

**HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG**



# **CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ**

*(Dùng cho sinh viên hệ đào tạo đại học từ xa)*

**Lưu hành nội bộ**

**HÀ NỘI - 2007**

# CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ

Biên soạn : THS. TRẦN THỊ CẨM

## LỜI NÓI ĐẦU

Tập giáo trình "Cấu kiện điện tử" được biên soạn để làm tài liệu giảng dạy và học tập cho các sinh viên chuyên ngành kỹ thuật Điện tử - Viễn thông, đồng thời giáo trình cũng có thể được sử dụng cho các sinh viên chuyên ngành Công nghệ thông tin, và làm tài liệu tham khảo cho các kỹ sư chuyên ngành Điện tử - Viễn thông.

Giáo trình được viết theo chương trình đề cương môn học "Cấu kiện điện tử và quang điện tử" của Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông.

Nội dung của giáo trình được trình bày một cách rõ ràng, có hệ thống các kiến thức cơ bản và hiện đại về vật liệu và các cấu kiện điện tử - quang điện tử đang sử dụng trong ngành kỹ thuật điện tử và kỹ thuật viễn thông.

Giáo trình "Cấu kiện điện tử" gồm 8 chương.

+ **Chương 1** Giới thiệu chung về cấu kiện điện tử và vật liệu điện tử. Trong chương này đã đưa ra định nghĩa và các cách phân loại của cấu kiện điện tử, các đặc tính và các tham số kỹ thuật của các loại vật liệu sử dụng trong kỹ thuật điện tử - viễn thông như chất cách điện, chất dẫn điện, chất bán dẫn và vật liệu từ.

+ **Chương 2** trình bày về các cấu kiện điện tử thụ động như điện trở, tụ điện, cuộn dây và biến áp, cùng các đặc tính và tham số cơ bản của các cấu kiện này, cách nhận biết và cách đọc các tham số của các linh kiện thực tế.

+ **Chương 3** trình bày về điốt bán dẫn. Trong chương này, giáo trình đã nêu lên tính chất vật lý đặc biệt của lớp tiếp xúc P - N, đồng thời trình bày chi tiết về cấu tạo và nguyên lý hoạt động cũng như các đặc tuyến, tham số kỹ thuật của điốt bán dẫn. Ngoài ra, trong chương 3 còn trình bày về các chế độ làm việc của điốt bán dẫn và giới thiệu một số loại điốt thông dụng và đặc biệt.

+ **Chương 4** trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của tranzito lưỡng cực (BJT). Đồng thời, trong chương này cũng trình bày cụ thể về ba cách mắc cơ bản của tranzito trong các sơ đồ mạch khuếch đại, các đặc tính và đặc điểm của từng cách mắc. Đồng thời ở chương 4 cũng trình bày về các cách phân cực và các mạch tương đương của tranzito.

+ **Chương 5** giới thiệu chung về tranzito hiệu ứng trường (FET) và phân loại tranzito trường. Trong chương trình bày cụ thể về cấu tạo và nguyên lý hoạt động cũng như các cách phân cực cho tranzito trường loại JFET và MOSFET.

+ **Chương 6** giới thiệu về cấu kiện thuộc họ thyristo như chỉnh lưu silic có điều khiển, triac, diac; nêu cấu tạo và nguyên lý hoạt động cũng như ứng dụng của chúng. Đồng thời, chương 6 cũng trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của tranzito đơn nối (UJT).

+ **Chương 7** đề cập đến sự phát triển tiếp theo của kỹ thuật điện tử là vi mạch tích hợp. Trong chương này trình bày về khái niệm, phân loại cũng như sơ lược về công nghệ chế tạo vi mạch bán dẫn, là loại vi mạch được sản xuất và sử dụng rộng rãi hiện nay. Ngoài ra, trong chương 4 còn trình bày đặc tính và tham số của trình bày về đặc điểm cũng như tham số của hai loại vi mạch: vi mạch tuyến tính và vi mạch số. Trong đó giới thiệu chi tiết về vi mạch khuếch đại thuật toán (OA), đây là loại vi mạch vạn năng được sử dụng rộng rãi ở nhiều chức năng khác nhau.

+ **Chương 8** trình bày về các cấu kiện quang điện tử. Chương này trình bày khá tỉ mỉ và hệ thống về các loại cấu kiện quang điện tử bán dẫn và không bán dẫn đang được sử dụng trong kỹ thuật điện tử và kỹ thuật viễn thông. Ở đây trình bày về các cấu kiện quang điện tử sử dụng trong kỹ thuật điện tử và thông tin quang:

- Các linh kiện phát quang: LED chỉ thị, LED hồng ngoại, LASER, và mặt chỉ thị tinh thể lỏng LCD.

- Các linh kiện thu quang: điện trở quang, điôt quang, tranzito quang, thyristo quang, tế bào quang điện và pin mặt trời.

Trong tập giáo trình này tác giả đã sử dụng nhiều tài liệu tham khảo và biên soạn theo một trật tự logic nhất định. Tuy nhiên, tập giáo trình không tránh khỏi những thiếu sót và hạn chế. Chúng tôi rất mong nhận được sự góp ý của các nhà chuyên môn, các bạn đồng nghiệp và những ai quan tâm đến chuyên ngành này để bổ sung và hoàn chỉnh tập giáo trình "Cấu kiện điện tử" được tốt hơn.

Các ý kiến đóng góp xin gửi đến bộ môn Kỹ thuật điện tử - Khoa Kỹ thuật điện tử I, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông, km 10 đường Nguyễn Trãi Hà Nội - Hà Đông.

Xin chân thành cảm ơn!



## CHƯƠNG 1

### GIỚI THIỆU CHUNG VỀ CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ

#### GIỚI THIỆU CHƯƠNG

Chương 1 giới thiệu khái niệm chung về cấu kiện điện tử, giúp cho sinh viên chuyên ngành Điện tử Viễn thông có khái niệm ban đầu bao quát về những linh kiện điện tử được sử dụng trong các mạch điện tử. Đồng thời trong chương 1 cũng giới thiệu về các đặc tính vật lý điện của các vật liệu cơ bản dùng trong kỹ thuật điện tử.

Học xong chương 1, sinh viên phải nắm được khái niệm chung về cấu kiện điện tử, khái niệm sơ bộ về mạch điện tử. Sinh viên cũng phải hiểu được các đặc tính kỹ thuật của các loại vật liệu dùng trong lĩnh vực kỹ thuật điện tử, một số loại vật liệu thông dụng thường dùng và ứng dụng chúng.

#### NỘI DUNG

##### 1.1. GIỚI THIỆU CHUNG

Cấu kiện điện tử là môn học về cấu tạo, nguyên lý hoạt động và một số ứng dụng của các linh kiện được sử dụng trong các mạch điện tử để thực hiện một chức năng kỹ thuật nào đó của một bộ phận trong một thiết bị điện tử chuyên dụng cũng như thiết bị điện tử dân dụng.

Cấu kiện điện tử có rất nhiều loại thực hiện các chức năng khác nhau trong mạch điện tử. Muốn tạo ra một thiết bị điện tử chúng ta phải sử dụng rất nhiều các linh kiện điện tử, từ những linh kiện đơn giản như điện trở, tụ điện, cuộn dây... đến các linh kiện không thể thiếu được như diode, tranzito... và các linh kiện điện tử tổ hợp phức tạp. Chúng được đấu nối với nhau theo các sơ đồ mạch đã được thiết kế, tính toán khoa học để thực hiện chức năng của thiết bị thông thường như máy radiocassettes, tivi, máy tính, các thiết bị điện tử y tế... đến các thiết bị thông tin liên lạc như tổng đài điện thoại, các trạm thu - phát thông tin hay các thiết bị vệ tinh vũ trụ v.v... Nói chung cấu kiện điện tử là loại linh kiện tạo ra các thiết bị điện tử do vậy chúng rất quan trọng trong đời sống khoa học kỹ thuật và muốn sử dụng chúng một cách hiệu quả thì chúng ta phải hiểu biết và nắm chắc các đặc điểm của chúng.

##### 1.2. PHÂN LOẠI CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ.

Có nhiều cách phân loại cấu kiện điện tử dựa theo những tiêu chí khác nhau. Ở đây chúng ta kể đến một số cách phân loại thông thường:

###### 1.2.1. Phân loại dựa trên đặc tính vật lý:

Dựa vào các đặc tính vật lý cấu kiện điện tử có thể chia làm 2 loại:

- Các cấu kiện điện tử thông thường: Đây là các linh kiện điện tử có đặc tính vật lý điện - điện tử thông thường. Chúng hoạt động dưới tác dụng của các sóng điện từ có tần số từ cực thấp ( $f = 1\text{Khz} \div 10\text{Khz}$ ) đến tần số siêu cao tần ( $f = 10\text{Ghz} \div 100\text{Ghz}$ ) hoặc sóng milimet.
- Cấu kiện quang điện tử: Đây là các linh kiện điện tử có đặc tính vật lý điện - quang. Chúng hoạt động dưới tác dụng của các sóng điện từ có tần số rất cao ( $f = 10^8$  đến  $10^9$  Ghz) thường được gọi là ánh sáng.

###### 1.2.2. Phân loại dựa theo lịch sử phát triển của công nghệ điện tử:

Người ta chia cấu kiện điện tử ra làm 5 loại:

- Cấu kiện điện tử chân không: là các cấu kiện điện tử mà sự dẫn điện xảy ra trong môi trường chân không.

- Cấu kiện điện tử có khí: là các cấu kiện điện tử mà sự dẫn điện xảy ra trong môi trường khí trơ.
- Cấu kiện điện tử bán dẫn: là các cấu kiện điện tử mà sự dẫn điện xảy ra trong môi trường chất bán dẫn.
- Cấu kiện vi mạch: là các chip bán dẫn được tích hợp từ các cấu kiện bán dẫn theo sơ đồ mạch đã thiết kế trước và có một hoặc một số chức năng nhất định.
- Cấu kiện nano: đây là các cấu kiện có kích thước nanomet được chế tạo theo công nghệ nano nên nó có các tính chất cũng như khả năng tiện ích vô cùng đặc biệt, khác hẳn với các cấu kiện có kích thước lớn hơn thông thường (từ  $\mu\text{m}$  trở lên).

### 1.2.3. Phân loại dựa trên chức năng xử lý tín hiệu:

Dựa theo chức năng xử lý tín hiệu người ta chia cấu kiện điện tử thành 2 loại là cấu kiện điện tử tương tự (điện tử analoge) và cấu kiện điện tử số (điện tử digital).

- Cấu kiện điện tử tương tự là các linh kiện có chức năng xử lý các tín hiệu điện xảy ra liên tục theo thời gian.
- Cấu kiện điện tử số là các linh kiện có chức năng xử lý các tín hiệu điện xảy ra rời rạc, không liên tục theo thời gian.

### 1.2.4. Phân loại dựa vào ứng dụng của cấu kiện điện tử:

Dựa vào ứng dụng của cấu kiện điện tử người ta chia cấu kiện điện tử ra làm 2 loại là các cấu kiện điện tử thụ động và các cấu kiện điện tử tích cực:

- Cấu kiện điện tử thụ động là các linh kiện điện tử chỉ có khả năng xử lý và tiêu thụ tín hiệu điện
- Cấu kiện điện tử tích cực là các linh kiện điện tử có khả năng biến đổi tín hiệu điện, tạo ra và khuếch đại tín hiệu điện.

## 1.3. KHÁI NIỆM VỀ MẠCH ĐIỆN VÀ HỆ THỐNG ĐIỆN TỬ

### 1.3.1. Mạch điện:

Mạch điện là một tập hợp gồm có nguồn điện (nguồn áp hoặc nguồn dòng) và các cấu kiện điện tử cùng dây dẫn điện được đấu nối với nhau theo một sơ đồ mạch đã thiết kế nhằm thực hiện một chức năng nào đó của một thiết bị điện tử hoặc một hệ thống điện tử. Ví dụ như mạch tạo dao động hình sin, mạch khuếch đại micro, mạch giải mã nhị phân, mạch đếm xung, hoặc đơn giản chỉ là một mạch phân áp,...

### 1.3.2. Hệ thống điện tử

Hệ thống điện tử là một tập hợp các mạch điện tử đơn giản có các chức năng kỹ thuật riêng thành một thiết bị điện tử có chức năng kỹ thuật nhất định hoặc một hệ thống điện tử phức tạp có chức năng kỹ thuật riêng như máy thu hình, máy hiện sóng, hệ thống phát thanh truyền hình, trạm truyền dẫn vi ba, hệ thống thông tin quang... Mạch điện tử hay một hệ thống điện tử bao giờ cũng có nguồn điện cung cấp một chiều (DC) để phân cực cho các cấu kiện điện tử hoạt động đúng chế độ và nguồn tín hiệu cần xử lý trong mạch.

## 1.4. VẬT LIỆU ĐIỆN TỬ.

Các vật liệu sử dụng trong kỹ thuật điện tử rất đa dạng và rất nhiều. Chúng được gọi chung là vật liệu điện tử để phân biệt với các loại vật liệu sử dụng trong các lĩnh vực khác. Tùy theo mục đích sử dụng và yêu cầu kỹ thuật mà lựa chọn vật liệu sao cho thích hợp đảm bảo về các chỉ tiêu kỹ thuật, dễ gia công và giá thành rẻ

- Dựa vào lý thuyết vùng năng lượng người ta chia vật chất ra làm ba loại là chất cách điện, chất bán dẫn và chất dẫn điện. Theo lý thuyết này thì các trạng thái năng lượng của



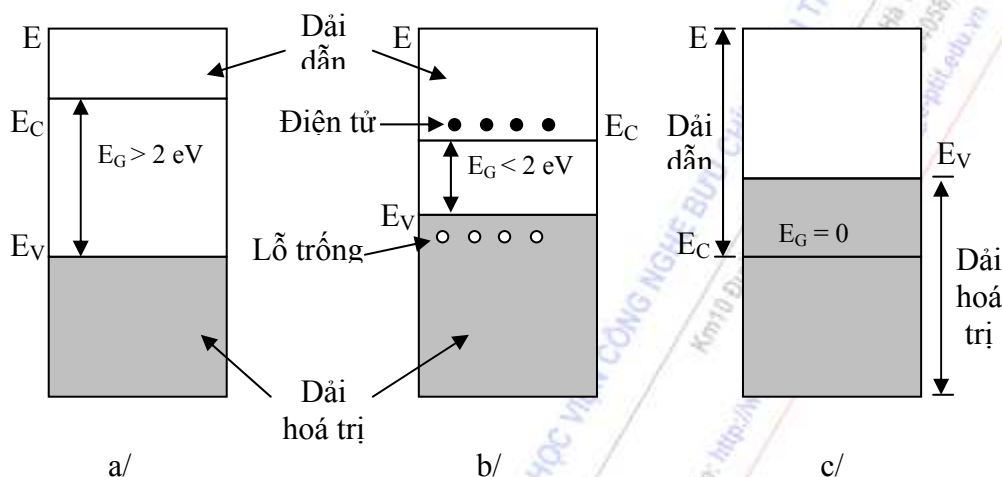
nguyên tử vật chất được phân chia thành ba vùng năng lượng khác nhau là: **vùng hóa trị**, **vùng dẫn** và **vùng cấm**. Mức năng lượng cao nhất của vùng hóa trị ký hiệu là  $E_V$ ; mức năng lượng thấp nhất của vùng dẫn ký hiệu là  $E_C$  và độ rộng vùng cấm ký hiệu là  $E_G$ .

+ Chất cách điện:

Cấu trúc vùng năng lượng của chất cách điện được mô tả trong hình 1-1a. Độ rộng vùng cấm  $E_G$  có giá trị đến vài eV ( $E_G \geq 2\text{eV}$ ).

+ Chất bán dẫn:

Chất bán dẫn có độ rộng vùng cấm rất nhỏ ( $E_G < 2\text{eV}$ ), xem hình 1-1b.



**Hình 1-1:** Cấu trúc dải năng lượng của vật chất  
a- Chất cách điện; b- Chất bán dẫn; c- Kim loại

+ Kim loại:

Cấu trúc vùng năng lượng của tinh thể không có vùng cấm, do đó vùng hóa trị hòa vào vùng dẫn (hình 1-1c) nên điện tử hóa trị chính là các điện tử tự do.

- Dựa vào ứng dụng, các vật liệu điện tử thường được phân chia thành 4 loại là chất cách điện (hay chất điện môi), chất dẫn điện, chất bán dẫn và vật liệu từ.

#### 1.4.1. Chất cách điện (hay chất điện môi).

##### a. Định nghĩa.

Chất cách điện, hay còn gọi là chất điện môi. Chất cách điện có điện trở suất cao vào khoảng  $10^7 \div 10^{17} \Omega\text{m}$  ở nhiệt độ phòng.

Chất cách điện gồm phần lớn các vật liệu vô cơ cũng như hữu cơ. Chúng có thể ở thể khí, thể lỏng và thể rắn.

##### b. Các tính chất của chất điện môi.

- *Độ thẩm thấu điện tương đối (hay còn gọi là hằng số điện môi):*

Hằng số điện môi ký hiệu là  $\epsilon$ , nó biểu thị khả năng phân cực của chất điện môi và được xác định bằng biểu thức:

$$\epsilon = \frac{C_d}{C_0} \quad (1.1)$$

Trong đó:  $C_d$  là điện dung của tụ điện sử dụng chất điện môi;  $C_0$  là điện dung của tụ điện sử dụng chất điện môi là chân không hoặc không khí.

- *Độ tổn hao điện môi ( $P_a$ ):*

Độ tổn hao điện môi là công suất điện chi phí để làm nóng chất điện môi khi đặt nó trong điện trường và được tính theo công thức tổng quát sau:

$$P_a = U^2 \omega C \tan \delta \quad (1.2)$$

Trong đó:

- $P_a$  là độ tổn hao điện môi đo bằng oát (w)
- $U$  là điện áp đặt lên tụ điện đo bằng vôn (V)
- $C$  là điện dung của tụ điện dùng chất điện môi đo bằng Farad (F)
- $\omega$  là tần số góc đo bằng rad/s
- $\tan \delta$  là góc tổn hao điện môi

- *Độ bền về điện của chất điện môi ( $E_{d.t}$ ):*

Nếu ta đặt một chất điện môi vào trong một điện trường mà nó bị mất khả năng cách điện - ta gọi đó là hiện tượng đánh thủng chất điện môi. Trị số điện áp khi xảy ra hiện tượng đánh thủng chất điện môi gọi là điện áp đánh thủng  $U_{d.t}$  thường đo bằng KV, và cường độ điện trường tương ứng với điểm đánh thủng gọi là độ bền về điện.

Độ bền về điện ký hiệu là  $E_{d.t}$  và được tính theo công thức:

$$E_{d.t} = \frac{U_{d.t}}{d} \quad [KV/mm; KV/cm] \quad (1.3)$$

Trong đó:  $U_{d.t}$  - là điện áp đánh thủng chất điện môi

$d$  - là bề dày của chất điện môi bị đánh thủng

- *Nhiệt độ chịu đựng:*

Là nhiệt độ cao nhất mà ở đó chất điện môi giữ được các tính chất lý hóa của nó.

- *Dòng điện trong chất điện môi ( $I$ ):*

Dòng điện trong chất điện môi gồm có 2 thành phần là dòng điện chuyển dịch và dòng điện rò.

- Dòng điện chuyển dịch  $I_{C.M}$  (hay gọi là dòng điện phân cực):

Quá trình chuyển dịch phân cực của các điện tích liên kết trong chất điện môi sẽ tạo nên dòng điện phân cực  $I_{C.M}$ . Khi ở điện áp xoay chiều dòng điện chuyển dịch tồn tại trong suốt thời gian chất điện môi nằm trong điện trường. Khi ở điện áp một chiều dòng điện chuyển dịch chỉ tồn tại ở các thời điểm đóng hoặc ngắt điện áp.

- Dòng điện rò  $I_{rò}$ :

Dòng điện rò là dòng điện được tạo ra do các điện tích tự do và điện tử phát xạ ra chuyển động dưới tác động của điện trường.

Dòng điện tổng qua chất điện môi sẽ là:

$$I = I_{C.M} + I_{rò}$$

- *Điện trở cách điện của chất điện môi:*

Điện trở cách điện được xác định theo trị số của dòng điện rò:

$$R_{c.d} = \frac{U}{I - \sum I_{C.M}} \quad (1.4)$$

Trong đó:  $I$  - Dòng điện nghiên cứu



$\Sigma I_{C.M.}$  - Tổng các thành phần dòng điện phân cực**c. Phân loại và ứng dụng của chất điện môi.**

Chất điện môi được chia làm 2 loại là chất điện môi thụ động và chất điện môi tích cực.

- Chất điện môi thụ động còn gọi là vật liệu cách điện và vật liệu tụ điện. Bảng 1.1 giới thiệu một số chất điện môi thông dụng và đặc tính của chúng.

- Chất điện môi tích cực là các vật liệu có thể điều khiển được như:

- + Về điện trường có gốm, thủy tinh,..
- + Về cơ học có chất áp điện như thạch anh áp điện
- + Về ánh sáng có chất huỳnh quang
- + Electric hay cái châm điện là vật chất có khả năng giữ được sự phân cực lớn và lâu dài.

**Bảng 1.1.** Giới thiệu đặc tính của một số chất điện môi thụ động thông dụng

Vật liệu	$E_{d.t}$ KV/mm	$\epsilon$	$tg\delta$	$\rho$ ( $\Omega m$ )	Tỷ trọng KG/m <sup>3</sup>	Ứng dụng
Mi ca	50 ÷ 200	6 ÷ 8	0,0004	$10^{15}$	$2,8 \cdot 10^3$	Tụ điện, cách điện
Sứ	15 ÷ 30	6,3 ÷ 7,5		$3 \cdot 10^{14}$		Giá đỡ, tụ điện..
Gốm làm tụ		12 ÷ 900 1700 ÷ 4500	0,002 ÷ 0,025 0,0006		$4 \cdot 10^3$	Tụ cao tần, tụ tần thấp..
Nhựa tổng hợp	10 ÷ 40	4 ÷ 4,6	0,05 ÷ 0,12		$1,2 \cdot 10^3$	Cách điện
Bìa cách điện	9 ÷ 12	3 ÷ 4	0,15		$1,6 \cdot 10^3$	Cách điện
Giấy	30	3 ÷ 4				Tụ điện, cách điện
Lụa	8 ÷ 60	3,8 ÷ 4,5	0,04 ÷ 0,08		$1,5 \cdot 10^3$	Cách điện
Sáp	20 ÷ 35	2,8 ÷ 2,9				Tấm chống ẩm
Paraphin	20 ÷ 30	2,2 ÷ 2,3	0,0003 ÷ 0,0007.	$10^{16}$		Tấm chống ẩm
Nhựa thông	10 ÷ 15	3,5	0,01			Làm sạch mối hàn
Polime	15 ÷ 20	2,3 ÷ 2,4	$1 \cdot 10^{-4} \div 5 \cdot 10^{-4}$	$10^{15}$ $\div 10^{17}$	$0,9 \cdot 10^3$	Cách điện ở cao tần
Cao su	20 ÷ 30	3 ÷ 7	0,02 ÷ 0,1	$10^{15}$	$1,6 \cdot 10^3$	Vỏ dây dẫn
Dầu tụ điện	20	2,2	0,002 ÷ 0,005			Tụ điện, cáp điện

**1.4.2. Chất dẫn điện****a. Định nghĩa.**

Chất dẫn điện là vật liệu có độ dẫn điện cao. Điện trở suất của chất dẫn điện nằm trong khoảng  $10^{-8} \div 10^{-5} \Omega m$ . Trong tự nhiên chất dẫn điện có thể là chất rắn, chất lỏng hoặc chất khí.

**b. Các tính chất của chất dẫn điện.**

- Điện trở suất:

$$\rho = R \frac{S}{l} \quad [\Omega.m], [\Omega.mm], [\mu\Omega.m] \quad (1.5)$$

trong đó: S - tiết diện ngang của dây dẫn [ $mm^2$ ;  $m^2$ ]

l - chiều dài dây dẫn [mm; m]

R - trị số điện trở của dây dẫn [ $\Omega$ ]

Điện trở suất của chất dẫn điện nằm trong khoảng từ:

$\rho = 0,016 \mu\Omega.m$  (của bạc Ag) đến

$\rho = 10 \mu\Omega.m$  (của hợp kim sắt - crôm - nhôm)

- Hệ số nhiệt của điện trở suất ( $\alpha$ ):

Hệ số nhiệt của điện trở suất biểu thị sự thay đổi của điện trở suất khi nhiệt độ thay đổi  $1^\circ C$ . Khi nhiệt độ tăng thì điện trở suất cũng tăng lên theo quy luật:

$$\rho_t = \rho_0(1 + \alpha t) \quad (1.6)$$

trong đó:  $\rho_t$  - điện trở suất ở nhiệt độ  $t (^\circ C)$

$\rho_0$  - điện trở suất ở nhiệt độ  $0^\circ C$

$\alpha$  - hệ số nhiệt của điện trở suất [ $K^{-1}$ ]

Đề cho kim loại nguyên chất thì hệ số nhiệt của chúng hầu như đều bằng nhau và bằng:  $\alpha = 1/273,15 K^{-1} = 0,004 K^{-1}$ .

- Hệ số dẫn nhiệt:  $\lambda$

Lượng nhiệt truyền qua diện tích bề mặt S trong thời gian t là:

$$Q = \lambda \frac{\Delta T}{\Delta l} S t \quad (1.7)$$

Trong đó:

$\lambda$  - là hệ số dẫn nhiệt [ $W/(m.K)$ ].

$\Delta T/\Delta l$  - là gradien nhiệt độ ( $\Delta T$  là lượng chênh lệch nhiệt độ ở hai điểm cách nhau một khoảng là  $\Delta l$ )

S - là diện tích bề mặt

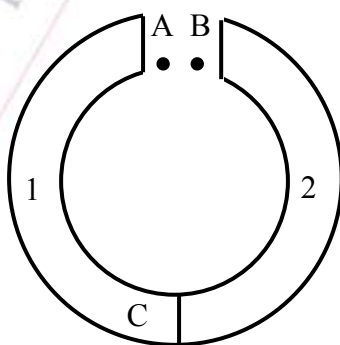
t - là thời gian

- Công thoát của điện tử trong kim loại:

Năng lượng cần thiết cấp thêm cho điện tử để nó thoát ra khỏi bề mặt kim loại được gọi là công thoát của kim loại.  $E_w$

- Điện thế tiếp xúc:

Nghiên cứu hai chất kim loại tiếp xúc với nhau như tiếp xúc C trong hình 1- 2.



**Hình 1- 3** : Hai kim loại có tiếp xúc C.

Hiệu điện thế tiếp xúc giữa hai kim loại này được xác định là sự chênh lệch thế năng  $E_{AB}$  giữa điểm A và B và được tính theo công thức:

$$E_{AB} = E_{W2} - E_{W1} \quad (1.8)$$

Tương ứng với thế năng  $E_{AB}$  (đo bằng eV) ta có điện thế tiếp xúc (đo bằng Vôn), ký hiệu là  $V_{AB}$  và có trị số bằng  $E_{AB}$ .

Nếu kim loại 1 và 2 giống nhau, điện thế tiếp xúc giữa chúng bằng 0. Nếu hai kim loại khác nhau thì kim loại nào có công thoát thấp hơn trở thành điện tích dương và kim loại có công thoát cao hơn sẽ trở thành điện tích âm.

### b. Một số loại vật liệu dẫn điện thường dùng.

Chất dẫn điện được chia làm 2 loại là chất dẫn điện có điện trở suất thấp và chất dẫn điện có điện trở suất cao.

- *Chất dẫn điện có điện trở suất thấp:*

Chất dẫn điện có điện trở suất thấp (hay độ dẫn điện cao) thường dùng làm vật liệu dẫn điện. Bảng 1.2 giới thiệu một số chất dẫn điện có điện trở suất thấp và tham số của chúng.

**Bảng 1.2.** Chất dẫn điện có điện trở suất thấp và các tính chất điện.

Vật liệu	$\rho (\mu\Omega m)$	$\alpha (K^{-1})$	$t_{n.c.} (^{\circ}C)$	Tỷ trọng ( $10^3 Kg/m^3$ )	Ứng dụng
Bạc (Ag)	0,0165	0,0038	960	10,8	Mạ công tắc, bản cực, ống dẫn sóng...
Đồng đỏ (Cu)	0,0175	0,0043	1080	8,96	Dây dẫn, chân cực linh kiện, ống dẫn sóng...
Hợp kim đồng	0,030÷0,06	0,002	900		lá tiếp xúc, dây điện thoại, dây điện trở...
Nhôm (Al)	0,0267	0,0045	660	2,7	Dây dẫn, điện cực, vỏ tụ...
Thiếc (Sn)	0,115	0,0042	230	7,3	hàn
Chì (Pb)	0,21	0,004	330	11,4	Cầu chì, vỏ cáp, acqui axit.
Vonfram (W)	0,055		2500	19,31	Sợi nung, công tắc, điện cực...
Moliden (Mo)	0,057		1500	10.2	Sợi nung, công tắc, điện cực...
Niken (Ni)	0,078		1450	8,9	Sợi nung, công tắc, điện cực...
Vàng (Au)	0,024			19,31	Dây dẫn cao tần, chân vi mạch, ống dẫn sóng... chống ăn mòn
Bạch kim (Pt)	0,105				Tiếp điểm, chất dẫn điện, đồng hồ đo điện...

- *Chất dẫn điện có điện trở suất cao:*

Các hợp kim có điện trở suất cao dùng để chế tạo các dụng cụ đo điện, các điện trở, biến trở, các dây may so, các thiết bị nung nóng bằng điện.

**Bảng 1.3.** Một số hợp kim thông thường và tính chất điện của chúng.

Vật liệu	$\rho (\mu\Omega m)$	$\alpha (K^{-1})$	$t_{nc} (^{\circ}C)$	tỷ trọng ( $10^3 Kg/m^3$ )	Ứng dụng
Manganhin	0,42 ÷ 0,48	0,00005	1200	8,4	Điện trở mẫu, dụng cụ đo điện
Constantan	0,48 ÷ 0,52	0,00005	1270	8,9	Biến trở, sợi đốt
Nicrôm	1 ÷ 1,2	0,00015	1400	8,2	Sợi nung, mỏ hàn, bếp điện, bàn là...
Cacbon (C)	0,28 ÷ 3,5	0,00004	1400		Điện trở, chất bôi trơn, micrôphôn...

### 1.4.3. Chất bán dẫn

#### a. Định nghĩa và đặc điểm của chất bán dẫn.

Chất bán dẫn là vật chất có điện trở suất nằm ở giữa trị số điện trở suất của chất dẫn điện và chất điện môi khi ở nhiệt độ phòng:  $\rho = 10^{-4} \div 10^7 \Omega.m$

Trong kỹ thuật điện tử chỉ sử dụng một số chất bán dẫn có cấu trúc đơn tinh thể, quan trọng nhất là hai nguyên tố Gecmani và Silic. Thông thường Gecmani và Silic được dùng làm chất chính, còn các chất như Bo, Indi (nhóm 3), photpho, Asen (nhóm 5) làm tạp chất cho các vật liệu bán dẫn chính. Đặc điểm của cấu trúc mạng tinh thể này là độ dẫn điện của nó rất nhỏ khi ở nhiệt độ thấp và nó sẽ tăng theo lũy thừa với sự tăng của nhiệt độ và tăng gấp bội khi có trộn thêm tạp chất.

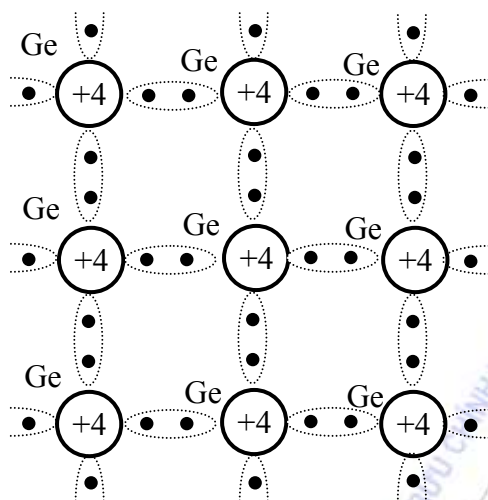
#### b. Chất bán dẫn nguyên tính.

Chất bán dẫn mà ở mỗi nút của mạng tinh thể của nó chỉ có nguyên tử của một loại nguyên tố thì chất đó gọi là chất bán dẫn nguyên tính (hay chất bán dẫn thuần) và được ký hiệu bằng chỉ số i (Intrinsic).

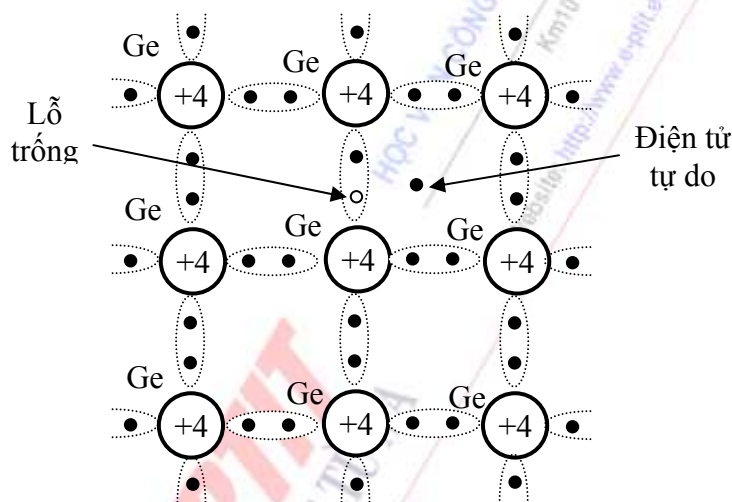
- *Hạt tải điện trong chất bán dẫn thuần:*

Hạt tải điện trong chất bán dẫn là các điện tử tự do trong vùng dẫn và các lỗ trống trong vùng hóa trị

Xét cấu trúc của tinh thể Gecmani hoặc Silic biểu diễn trong không gian hai chiều như trong hình (1- 3): Gecmani (Ge) và Silic (Si) đều có 4 điện tử hóa trị ở lớp ngoài cùng. Trong mạng tinh thể mỗi nguyên tử Ge (hoặc Si) sẽ góp 4 điện tử hóa trị của mình vào liên kết cộng hóa trị với 4 điện tử hóa trị của 4 nguyên tử kế cận để sao cho mỗi nguyên tử đều có hóa trị 4. Hạt nhân bên trong của nguyên tử Ge (hoặc Si) mang điện tích +4. Như vậy các điện tử hóa trị ở trong liên kết cộng hóa trị sẽ có liên kết rất chặt chẽ với hạt nhân. Do vậy, mặc dù có sẵn 4 điện tử hóa trị nhưng tinh thể bán dẫn có độ dẫn điện thấp. Ở nhiệt độ  $0^{\circ}K$ , cấu trúc lý tưởng như ở hình (1- 3) là gần đúng và tinh thể bán dẫn như là một chất cách điện.



**Hình 1- 3 :** Cấu trúc tinh thể Ge biểu diễn trong không gian hai chiều



**Hình 1- 4 :** Tinh thể Gecmani với liên kết cộng hóa trị bị phá vỡ

Tuy nhiên, ở nhiệt độ trong phòng một số liên kết cộng hóa trị bị phá vỡ do nhiệt làm cho chất bán dẫn có thể dẫn điện. Hiện tượng này mô tả trong hình 1- 4. Ở đây, một số điện tử bứt ra khỏi liên kết cộng hóa trị của mình và trở thành điện tử tự do. Năng lượng  $E_G$  cần thiết để phá vỡ liên kết cộng hóa trị khoảng 0,72eV cho Ge và 1,1eV cho Si ở nhiệt độ trong phòng. Chỗ thiếu 1 điện tử trong liên kết cộng hóa trị được gọi là lỗ trống. Lỗ trống mang điện tích dương và có cùng độ lớn với điện tích của điện tử. Điều quan trọng là lỗ trống có thể dẫn điện như điện tử tự do.

Trong chất bán dẫn nguyên tính, số lượng các lỗ trống đúng bằng số lượng các điện tử tự do.

$$p_i = n_i$$

$p_i$  - nồng độ hạt dẫn lỗ trống trong bán dẫn nguyên tính

$n_i$  - nồng độ hạt dẫn điện tử trong bán dẫn nguyên tính

Tiếp tục tăng nhiệt độ thì từng đôi điện tử - lỗ trống mới sẽ xuất hiện, ngược lại khi có hiện tượng tái hợp sẽ mất đi từng đôi điện tử- lỗ trống.

- *Độ dẫn điện của chất bán dẫn:*

Mật độ dòng điện qua chất bán dẫn  $J$  sẽ là:



$$J = (n\mu_n + p\mu_p)qE = \sigma E \quad (1.9)$$

Trong đó: n- là nồng độ điện tử tự do (điện tích âm)  
 p- là nồng độ lỗ trống (điện tích dương)  
 $\sigma$ - là độ dẫn điện  
 $\mu_n$ - độ linh động của điện tử  
 $\mu_p$ - độ linh động của lỗ trống

Do đó độ dẫn điện:

$$\sigma = (n\mu_n + p\mu_p)q \quad (1.10)$$

**Bảng 1.4** : Các đặc tính của Ge và Si

Các đặc tính	Ge	Si
Số nguyên tử-----	32	14
Nguyên tử lượng-----	72,6	28,1
Tỷ trọng (g/cm <sup>3</sup> )-----	5,32	2,33
Hằng số điện môi-----	16	12
Số nguyên tử/cm <sup>3</sup> -----	$4,4 \cdot 10^{22}$	$5,0 \cdot 10^{22}$
$E_{G0}$ , eV, ở 0 <sup>0</sup> K (năng lượng vùng cấm)-----	0,785	1,21
$E_G$ , eV, ở 300 <sup>0</sup> K -----	0,72	1,1
$n_i$ ở 300 <sup>0</sup> K, cm <sup>-3</sup> (nồng độ hạt dẫn điện tử) -----	$2,5 \cdot 10^{13}$	$1,5 \cdot 10^{10}$
Điện trở suất nguyên tính ở 300 <sup>0</sup> K [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ] -----	45	230
$\mu_n$ , cm <sup>2</sup> / V-sec -----	3800	1300
$\mu_p$ , cm <sup>2</sup> / V-sec -----	1800	500
$D_n$ , cm <sup>2</sup> / sec = $\mu_n \cdot V_T$ -----	99	34
$D_p$ , cm <sup>2</sup> / sec = $\mu_p \cdot V_T$ -----	47	13

Khi tăng nhiệt độ, mật độ các đôi điện tử - lỗ trống tăng và do đó độ dẫn điện tăng. Cho nên, nồng độ điện tử ni của bán dẫn nguyên tính sẽ thay đổi theo nhiệt độ trong quan hệ:

$$n_i^2 = A_0 T^3 e^{-E_{G0}/KT} \quad (1.11)$$

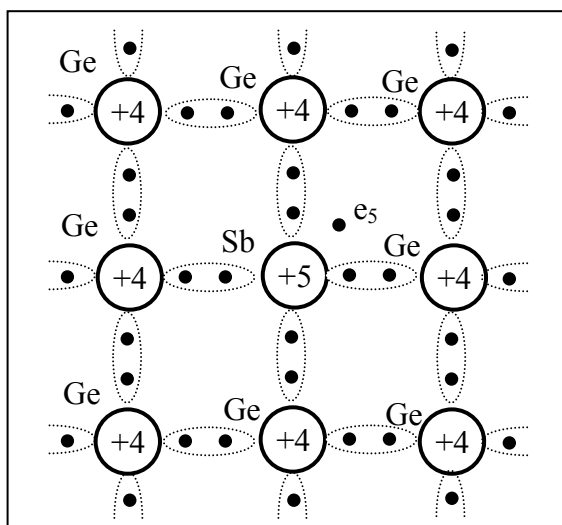
Trong đó:  $A_0$  - là hằng số đo bằng A/(m<sup>2</sup>.<sup>0</sup>K<sup>2</sup>)  
 $E_{G0}$  - là độ rộng vùng cấm ở 0<sup>0</sup>K

$\mu_n$ ,  $\mu_p$  và nhiều đại lượng vật lý quan trọng của Gecmani và Silic cho ở bảng (1.4). Độ dẫn điện của Gecmani hoặc Silic được tính theo công thức (1-11) sẽ tăng xấp xỉ 6% hoặc 8% khi nhiệt độ tăng 1<sup>0</sup>C (tương ứng).

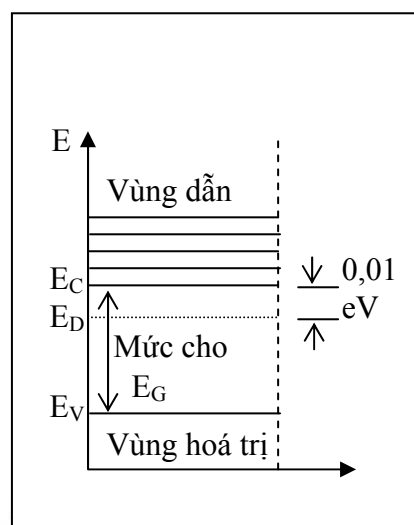
### b. Chất bán dẫn tạp loại N (chất bán dẫn tạp loại cho).

Ta thêm một ít tạp chất là nguyên tố thuộc nhóm 5 của bảng tuần hoàn Mendêlêép (thí dụ Antimon - Sb) vào chất bán dẫn Gecmani (Ge) hoặc Silic (Si) nguyên chất. Các nguyên tử tạp chất (Sb) sẽ thay thế một số các nguyên tử của Ge (hoặc Si) trong mạng tinh thể và nó sẽ đưa 4 điện tử trong 5 điện tử hóa trị của mình tham gia vào liên kết cộng hóa trị với 4 nguyên tử Ge (hoặc Si) ở bên cạnh, còn điện tử thứ 5 sẽ thừa ra nên liên kết của nó trong mạng tinh thể là rất yếu, xem hình (1-5) . Muốn giải phóng điện tử thứ 5 này thành điện tử tự do ta chỉ cần cấp một năng lượng rất nhỏ khoảng 0,01eV cho gecmani hoặc 0,05eV cho silic. Các tạp chất hóa trị 5 được gọi là tạp chất cho điện tử (Donor) hay tạp chất N.





**Hình 1- 5 :** Mạng tinh thể Ge có thêm tạp chất Sb hóa trị 5 (mạng tinh thể của gecmani loại N)



**Hình 1- 6 :** Đồ thị vùng năng lượng của bán dẫn Ge loại N

Mức năng lượng mà điện tử thứ 5 chiếm đóng là mức năng lượng cho phép được hình thành ở khoảng cách rất nhỏ dưới dải dẫn và gọi là **mức cho**, xem hình (1-6). Và do đó, ở nhiệt độ trong phòng, hầu hết các điện tử thứ 5 của tạp chất cho sẽ nhảy lên dải dẫn, nhưng trong dải hóa trị không xuất hiện thêm lỗ trống. Các nguyên tử tạp chất cho điện tử trở thành các ion dương cố định.

Ở chất bán dẫn tạp loại N: nồng độ hạt dẫn điện tử ( $n_n$ ) nhiều hơn nhiều nồng độ lỗ trống  $p_n$  và điện tử được gọi là hạt dẫn đa số, lỗ trống được gọi là hạt dẫn thiểu số.

$$n_n \gg p_n$$

trong đó:  $n_n$  - là nồng độ hạt dẫn điện tử trong bán dẫn tạp loại N

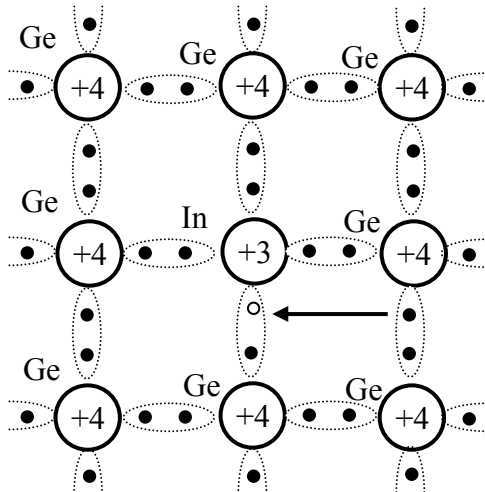
$p_n$  - là nồng độ hạt dẫn lỗ trống trong bán dẫn tạp loại N

### c. Chất bán dẫn tạp loại P (chất bán dẫn tạp loại nhận).

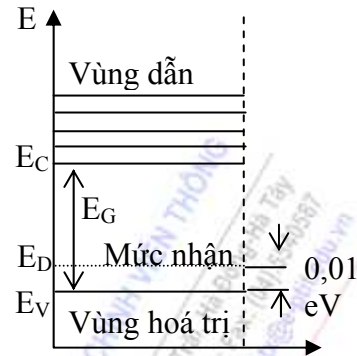
Khi ta đưa một ít tạp chất là nguyên tố thuộc nhóm 3 của bảng tuần hoàn Mendêlêp (thí dụ Indi - In) vào chất bán dẫn nguyên tính Gecmani (hoặc Silic). Nguyên tử tạp chất sẽ đưa 3 điện tử hóa trị của mình tạo liên kết cộng hóa trị với 3 nguyên tử Gecmani (hoặc Silic) bên cạnh còn mỗi liên kết thứ 4 để trống. Trạng thái này được mô tả ở hình (1- 7). Điện tử của mỗi liên kết gần đó có thể nhảy sang để hoàn chỉnh mỗi liên kết thứ 4 còn để dở. Nguyên tử tạp chất vừa nhận thêm điện tử sẽ trở thành ion âm và ngược lại ở nguyên tử chất chính vừa có 1 điện tử chuyển đi sẽ tạo ra một lỗ trống trong dải hóa trị của nó.

Các tạp chất có hóa trị 3 được gọi là tạp chất nhận điện tử (Acceptor) hay tạp chất loại P.

Mức năng lượng để trống của tạp chất trong chất bán dẫn chính sẽ tạo ra một mức năng lượng cho phép riêng nằm ở bên trên dải hóa trị gọi là **mức nhận**, (xem hình 1- 8)



**Hình 1- 7 :** Mạng tinh thể gecmani với một nguyên tử In hóa trị 3



**Hình 1- 8 :** Biểu đồ vùng năng lượng của bán dẫn loại P

Nếu tăng nồng độ tạp chất nhận thì nồng độ của các lỗ trống tăng lên trong dải hóa trị, nhưng nồng độ điện tử tự do trong dải dẫn không tăng. Vậy chất bán dẫn loại này có lỗ trống là hạt dẫn đa số và điện tử là hạt dẫn thiểu số và nó được gọi là chất bán dẫn tạp loại P.

$$P_p \gg N_p$$

trong đó:  $P_p$  - nồng độ hạt dẫn lỗ trống trong bán dẫn P

$N_p$  - nồng độ hạt dẫn điện tử trong bán dẫn P

**Kết luận:** Qua đây ta thấy, sự pha thêm tạp chất vào bán dẫn nguyên tính không những chỉ tăng độ dẫn điện, mà còn tạo ra một chất dẫn điện có bản chất dẫn điện khác hẳn nhau: trong bán dẫn tạp loại N điện tử là hạt dẫn điện chính, còn trong bán dẫn tạp loại P, lỗ trống lại là hạt dẫn điện chính.

#### d. Mật độ điện tích trong chất bán dẫn.

Quan hệ giữa nồng độ hạt dẫn điện tử  $n$  và nồng độ hạt dẫn lỗ trống  $p$  trong chất bán dẫn theo công thức gọi là luật khối lượng tích cực như sau:

$$n \cdot p = n_i^2 \quad (1.12)$$

Gọi  $N_D$  là nồng độ các nguyên tử chất cho và chúng đều bị ion hóa. Do đó mật độ tổng các điện tích dương sẽ là  $N_D + p$ .

Tương tự,  $N_A$  là nồng độ các ion nhận và tổng mật độ điện tích âm sẽ là  $N_A + n$ .

Do tính trung hòa về điện trong chất bán dẫn thì mật độ các điện tích dương bằng mật độ các điện tích âm, nên ta có:

$$N_D + p = N_A + n \quad (1.13)$$

Xét một vật liệu bán dẫn loại N thì sẽ có  $N_A = 0$ . Số lượng điện tử trong bán dẫn N lớn hơn nhiều so với số lỗ trống, khi đó công thức (1.13) đơn giản còn:

$$n \approx N_D \quad (1.14)$$

Như vậy, trong bán dẫn N nồng độ điện tử tự do xấp xỉ bằng mật độ các nguyên tử tạp chất cho. Do đó công thức (1.14) được viết:

$$n_n = N_D \quad (1.15)$$

Nồng độ lỗ trống trong bán dẫn N được viết theo công thức (1.12) ta có:

$$p_n = \frac{n_i^2}{n_n} = \frac{n_i^2}{N_D} \quad (1.16)$$

và  $n_n \gg p_n$

Tương tự, đối với bán dẫn tạp loại P ta có:

$$p_p = N_A \quad \text{và} \quad n_p = \frac{n_i^2}{N_A} \quad (1.17)$$

và  $p_p \gg n_p$

#### e. Dòng điện trong chất bán dẫn.

Trong chất bán dẫn có 2 thành phần dòng điện là dòng điện khuếch tán và dòng điện trôi.

- *Dòng điện khuếch tán:*

Sự tồn tại gradient nồng độ hạt dẫn ( $dP/dx$ ,  $dn/dx$ ) sẽ dẫn đến hiện tượng khuếch tán của các hạt dẫn từ nơi có nồng độ cao về nơi có nồng độ thấp và tạo ra dòng điện khuếch tán trong chất bán dẫn.

Hiện tượng khuếch tán các lỗ trống tạo nên mật độ dòng điện lỗ trống  $J_p$  [ampe/m<sup>2</sup>] được tính theo công thức sau:

$$J_p = -q \cdot D_p \frac{dP}{dx} \quad (1.18)$$

trong đó:  $D_p$  [m<sup>2</sup>/sec] - là hệ số khuếch tán của lỗ trống.

Tương tự, công thức tính mật độ dòng điện điện tử khuếch tán là:

$$J_n = q \cdot D_n \frac{dn}{dx} \quad (1.19)$$

trong đó:  $D_n$  - là hệ số khuếch tán của điện tử.

Cả hai hiện tượng khuếch tán và dịch chuyển (hiện tượng trôi) đều là các hiện tượng nhiệt động học thống kê,  $D$  và  $\mu$  không độc lập, chúng quan hệ với nhau theo công thức:

$$\frac{D_p}{\mu_p} = \frac{D_n}{\mu_n} = V_T \quad (1.20)$$

Trong đó

$$V_T = \frac{KT}{q} = \frac{T}{11600} \quad \text{gọi là điện thế nhiệt.}$$

Tại nhiệt độ phòng (300<sup>0</sup>K) thì  $\mu = 39D$ . Trong đó, giá trị  $D$  cho silic và gecmani cho ở bảng 1-4.

Mật độ dòng điện khuếch tán là:  $J_{k.t.} = J_p + J_n$

- *Dòng điện trôi:*

Dòng điện trôi là dòng chuyển động của các hạt dẫn dưới tác dụng của điện trường :

$$J = \sigma \cdot E = q(n\mu_n + p\mu_p) \cdot E \quad (1.21)$$

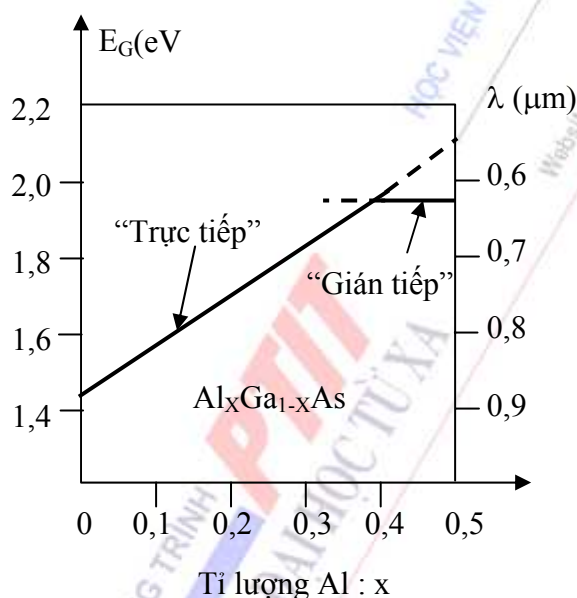
#### f. Đặc điểm của vật liệu bán dẫn quang.

Chất bán dẫn được dùng để tạo nguồn ánh sáng hầu hết đều có vùng cấm tái hợp trực tiếp. Trong chất bán dẫn các điện tử và lỗ trống có thể tái hợp trực tiếp với nhau qua vùng cấm mà không cần một hạt thứ 3 nào để bảo toàn xung lượng. Chỉ trong các vật liệu có vùng cấm trực tiếp hiện tượng tái hợp bức xạ mới có hiệu suất cao để tạo ra một mức độ phát xạ quang thích hợp. Mặc dù không có một đơn tinh thể bán dẫn nào có vùng cấm tái hợp trực tiếp, nhưng

các hợp chất của các chất thuộc nhóm III và nhóm V có thể cho ta vật liệu có vùng cấm tái hợp trực tiếp. Đây là các vật liệu được tạo nên từ sự liên kết của các nguyên tố nhóm III (như Al, Ga, hoặc In) và các nguyên tố nhóm V (như P, As, hoặc Sb). Sự liên kết ba và bốn thành phần khác nhau của các hợp chất đôi của các nguyên tố này cũng là các vật liệu rất thích hợp cho các nguồn ánh sáng.

Để làm việc ở phổ từ 800 ÷ 900nm, vật liệu được sử dụng thường là hợp kim 3 thành phần  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ . Tỷ lệ x của nhôm (Al) và galium arsenic (GaAs) xác định độ rộng vùng cấm của chất bán dẫn và, tương ứng, xác định bước sóng đỉnh của phát xạ bức xạ đỉnh. Điều này mô tả trong hình (1-9).

Giá trị x để cho vùng hoạt động của vật liệu được lựa chọn thường xuyên đạt được bước sóng là 800nm đến 850nm. Ở các bước sóng dài hơn thì chất 4 thành phần  $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$  là một trong các vật liệu cơ bản được sử dụng. Bằng sự thay đổi tỷ lệ phân tử gam x và y trong vùng hoạt động, các điốt phát quang (LED) có thể tạo ra công suất đỉnh ở bước sóng bất kỳ giữa 1,0 và 1,7 $\mu\text{m}$ . Để đơn giản ký hiệu  $\text{GaAlAs}$  và  $\text{InGaAsP}$  một cách tổng quát khi không cần nói rõ giá trị x và y cũng như các ký hiệu khác như  $\text{AlGaAs}$ ;  $(\text{AlGa})\text{As}$ ;  $(\text{GaAl})\text{As}$ ;  $\text{GaInPAs}$ ; và  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ .



**Hình 1-9 :** Bề rộng vùng cấm và bước sóng bức xạ ra là hàm của tỉ lệ phân tử gam của Al cho chất  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ở nhiệt độ phòng.

Các chất  $\text{GaAlAs}$  và  $\text{InGaAsP}$  thường được chọn để tạo chất bán dẫn sử dụng trong các linh kiện nguồn sáng vì nó có thể phù hợp với các tham số mạng tinh thể của giao diện cấu trúc dị thể bằng việc sử dụng một liên kết chính xác các vật liệu 2, 3, và 4 thành phần. Các yếu tố này ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất bức xạ và tuổi thọ của nguồn sáng. Quan hệ cơ học lượng tử giữa năng lượng E và tần số  $\nu(f)$ :

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

Bước sóng phát xạ đỉnh  $\lambda$  đo bằng  $\mu\text{m}$  có thể biểu diễn như một hàm của năng lượng vùng cấm  $E_G$  đo bằng eV theo công thức:

$$\lambda(\mu\text{m}) = \frac{1,24}{E_G} \quad (1.22)$$

## 1.5 VẬT LIỆU TỪ

### 1.5.1 Định nghĩa.

Vật liệu từ là vật liệu khi đặt vào trong một từ trường thì nó bị nhiễm từ.

Quá trình nhiễm từ của các vật liệu sắt từ dưới tác dụng của từ trường ngoài dẫn đến sự tăng nguồn nhiễm từ và quay các vectơ mômen từ theo hướng của từ trường ngoài

### 1.5.2 Các tính chất đặc trưng cho vật liệu từ.

#### a. Từ trở và từ thẩm:

Giống như điện trở của một dây dẫn, mạch từ cũng có từ trở  $R_m$ . Từ trở là một đại lượng đánh giá sự ngăn cản việc lập nên từ thông của một mạch từ. Từ trở được tính theo công thức sau:

$$R_m = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{S} \quad (1.23)$$

trong đó:  $l$  - là độ dài của mạch từ

$S$  - là tiết diện của mạch từ

$\mu$  - là độ từ thẩm của vật liệu trong mạch từ

Số nghịch đảo của  $\mu$  tương ứng với điện trở suất  $\rho$  trong mạch điện. Vậy  $1/\mu$  là từ trở suất của  $1\text{m}^3$  vật liệu từ.

Độ từ thẩm là số nghịch đảo của từ trở

$$\mu = \frac{1}{R_m} \cdot \frac{l}{S} = \frac{\Phi}{F_m} \quad (1.24)$$

trong đó:  $\mu$  là độ từ thẩm của vật liệu từ

$F_m$  là lực từ động và  $\Phi$  là từ thông.

Thay các giá trị của  $R_m$  và  $F_m$  và thay công thức tính mật độ từ thông (độ cảm ứng từ)

$$B = \Phi / S \quad (1.25)$$

ta có công thức tính độ từ thẩm:

$$\mu = \frac{B}{H} \quad [\text{H/m}] \quad (1.26)$$

Vậy độ từ thẩm là tỉ số giữa cảm ứng từ  $B$  và cường độ từ trường  $H$  và có đơn vị đo bằng Henry/met  $[\text{H/m}]$ , trong đó  $H$  đo bằng Ampe/met.

Độ từ thẩm của không gian tự do  $\mu_0$ :

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \quad [\text{H/m}]$$

#### b. Độ từ thẩm tương đối ( $\mu_r$ ):

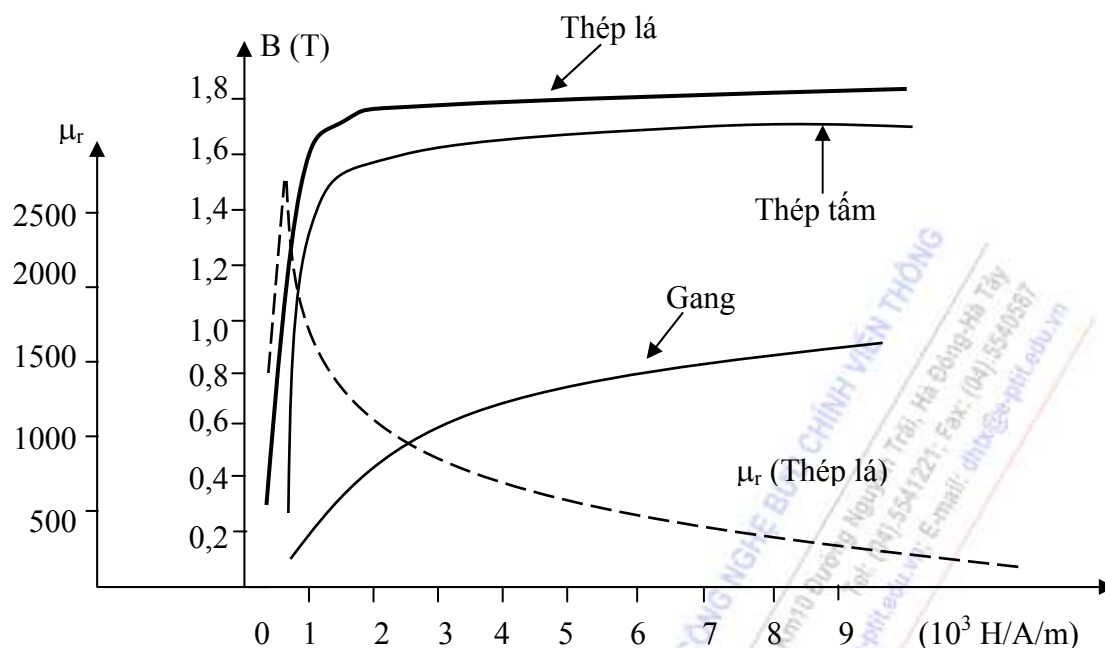
Sự gia tăng từ thông tổng hợp là độ cảm ứng từ  $B$  khi cho sắt hoặc thép vào một mạch điện được tính là độ từ thẩm tương đối  $\mu_r$  và công thức (1-61) được viết lại thành:

$$\mu_r \cdot \mu_0 = \frac{B}{H} \quad (1.27)$$

Trong trường hợp của không khí và các vật liệu không từ tính khác thì  $\mu_r = 1$ .



Tùy theo từng loại sắt hoặc thép mà  $\mu_r = 400 \div 2500$



**Hình 1- 10** : Đường cong từ hóa của gang, thép lá, thép đúc tấm và đường cong từ thẩm của thép lá.

Hình (1- 10) mô tả sự thay đổi của độ cảm ứng từ  $B$  khi cường độ từ trường  $H$  thay đổi trên các mẫu là mạch sắt từ khép kín và đường cong từ thẩm của thép lá. Đường từ hóa có thể được dùng để xác định độ cảm ứng từ  $B$  đối với một giá trị cường độ từ trường đã cho. Từ đó, độ từ thẩm tương đối của mỗi mẫu có thể được tính và vẽ trên đồ thị đường từ hóa này.

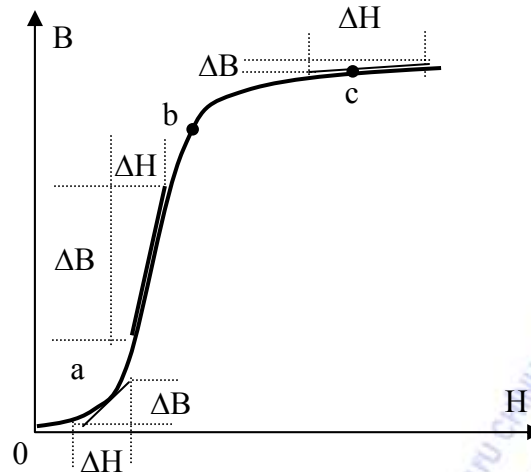
Đường đứt nét trong hình (1-10) mô tả độ từ thẩm tương đối  $\mu_r$  của thép lá. Độ từ thẩm tương đối không phải là đại lượng không đổi, nó phụ thuộc vào cường độ từ trường  $H$ . Đối với thép lá độ từ thẩm cực đại đạt được ở cường độ từ trường xấp xỉ  $250 \text{ A/m}$ .

### c. Đường cong từ hóa:

Đặc trưng cho tính chất của vật liệu từ ta có đường cong từ hóa  $B = f(H)$  biểu thị mối quan hệ giữa độ cảm ứng từ  $B$  và cường độ từ trường  $H$  (xem hình 1- 11).

Khi độ cảm ứng từ  $B$  và cường độ từ trường  $H$  trong cuộn dây thay đổi với số gia là  $\Delta B$  và  $\Delta H$  thì số gia của độ từ thẩm  $\Delta B / \Delta H$  sẽ trở nên quan trọng.





**Hình 1- 11** : Độ từ thẩm là tỉ số của B/H.

Điều cần biết ở đây là ta muốn đạt được một giá trị độ từ thẩm lớn nhất khi độ cảm ứng từ B cực đại với cường độ từ trường H có thể nhỏ nhất. Một quan hệ quan trọng khác là các giá trị thay đổi của B và H trong hình (1- 11). Độ nghiêng của đường cong từ hóa tại một điểm bất kỳ được gọi là gia lượng từ thẩm  $\Delta\mu$ .

$$\Delta\mu = \Delta B / \Delta H$$

Độ gia từ thẩm quan trọng trong ứng dụng mà ở đó yêu cầu sự thay đổi rất nhỏ của cường độ từ trường H và sự thay đổi lớn của cảm ứng từ B.

- *Hiện tượng trễ*: Hình (1- 12)

Đường cong từ hóa biểu thị quan hệ giữa độ cảm ứng từ B và cường độ từ trường H của vật liệu từ khi ta đặt nó trong từ trường.

Như biểu thị trong hình ta có:

$B_s$  - cảm ứng từ bão hòa

$B_d$  - cảm ứng từ dư

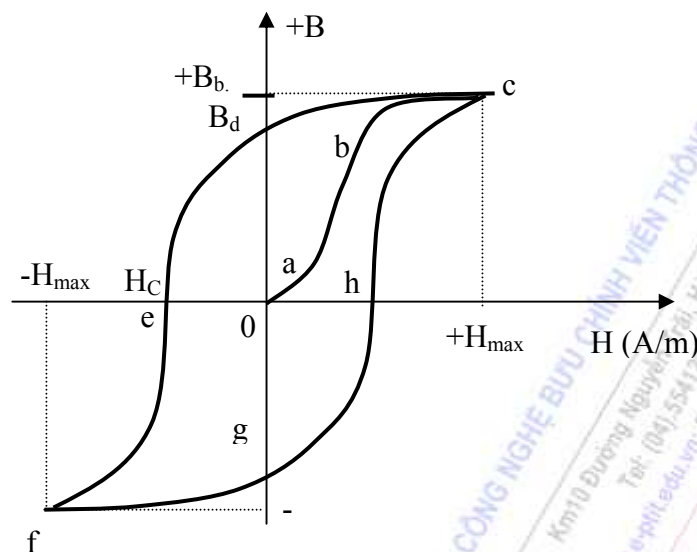
$H_c$  - lực kháng từ

Đường cong 0-a-b-c xảy ra khi vật liệu từ ban đầu là không bị nhiễm từ và cường độ từ trường tăng từ 0 lên. Khi ta giảm cường độ từ trường từ  $H_{max}$  xuống đến 0 thì vật liệu từ vẫn còn giữ lại một số từ thông. Độ cảm ứng từ còn lại trong vật liệu từ đã nhiễm từ khi cường độ từ trường giảm xuống đến 0 gọi là độ cảm ứng từ dư (đoạn o-d): ( $B_d$ ).

Để giảm độ cảm ứng từ dư đến 0, ta cần cung cấp một cường độ từ trường âm. Cường độ từ trường cần thiết (o-e) để giảm độ cảm ứng từ dư đến 0 được gọi là lực kháng từ ( $H_c$ ). Khi tiếp tục tăng giá trị ngược của cường độ từ trường H, thì độ cảm ứng từ B cũng tăng theo chiều âm đến giá trị bão hòa, ta có đường cong từ hóa mới (đoạn e-f). Một lần nữa, cường độ từ trường ngược lại giảm đến 0 thì độ cảm ứng từ cũng giảm đến giá trị cảm ứng từ dư (đoạn o-g). Và để giảm độ cảm ứng từ đến 0, ta lại phải tăng cường độ từ trường theo chiều dương đến trị số  $H_c$  (đoạn o-h) và đây cũng chính là lực kháng từ. Tiếp tục tăng cường độ từ trường theo chiều dương ta được đoạn "h-c" của đồ thị. Như vậy, đồ thị B/H có dạng một vòng khép kín. Vòng này đối xứng với độ lớn  $+B_{max} = -B_{max}$ , và  $+H_{max} = -H_{max}$ .

Vòng từ trễ chứng minh rằng, một ít năng lượng được hấp thụ vào trong vật liệu từ để

thắng lực ma sát và làm thay đổi sự sắp xếp thẳng hàng của các đomen từ. Năng lượng này là nguyên nhân làm nóng lõi cuộn dây, và nó chính là năng lượng lãng phí. Diện tích phủ kín vòng từ trễ tỉ lệ thuận với năng lượng hao phí này. Hình (1- 13) biểu diễn 3 vòng từ trễ tiêu biểu cho 3 loại vật liệu sắt từ.



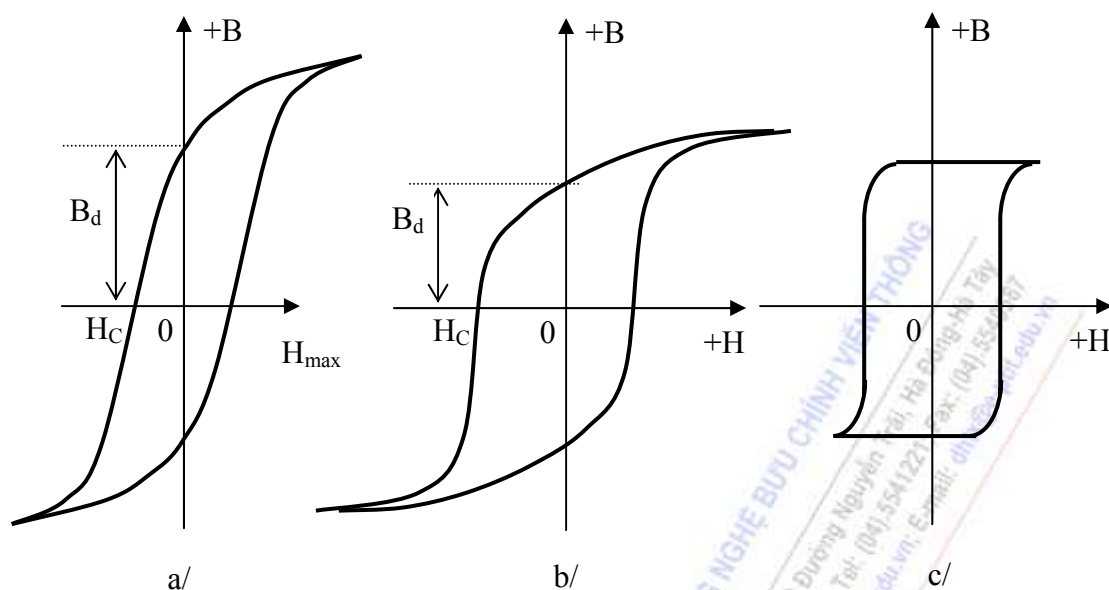
**Hình 1- 12 :** Vòng từ trễ (Khi cường độ từ trường giảm từ  $H_{max}$  đến 0, độ cảm ứng từ còn dư lại. Nếu  $H$  đổi hướng thì cảm ứng từ dư cũng đổi hướng).

Vòng từ trễ hình (1- 13a) là của sắt mềm. Vòng từ trễ hình (1- 13b) mô tả vòng từ trễ tiêu biểu của chất thép cứng, và diện tích của nó lớn là nguyên nhân dẫn đến tổn thất của lõi lớn. Tuy nhiên, vì độ cảm ứng từ dư của chất thép cứng lớn nên nó rất thuận lợi cho nam châm vĩnh cửu.

Vòng từ trễ hình (1- 13c) là của Ferit. Đây là một lõi ceramic được làm từ oxit sắt. Vòng từ trễ có hình dạng như vậy sẽ có tổn thất trễ lớn. Đặc tính độ cảm ứng  $B$  đạt tới trị số cảm ứng từ dư không đổi trong một hướng này cho phép sử dụng Ferit làm các bộ nhớ từ.

- *Dòng điện xoáy trong lõi sắt từ:*

Như ta đã biết, một từ trường thay đổi sẽ cảm ứng một sức điện động trong một dây dẫn đặt trong từ trường đó. Do vậy, một lõi sắt từ đặt trong một cuộn dây sẽ cảm ứng một sức điện động và tạo ra một dòng điện lưu thông trong lõi sắt từ được gọi là dòng điện xoáy. Dòng điện xoáy làm nóng lõi sắt từ và nó giữ vai trò quan trọng trong tổng tổn thất của cuộn dây. Để hạn chế dòng điện xoáy, lõi sắt từ làm việc với dòng điện xoay chiều luôn được chế tạo từ các lá mỏng. Bề mặt của các lá mỏng này được quét vecni hoặc một lớp sơn cách điện mỏng lên cả hai mặt để tăng điện trở của chúng đối với dòng điện xoáy. Bằng cách này các tổn thất do dòng điện xoáy không còn đáng kể.



**Hình 1- 13:** Hình dạng của một số vòng từ trễ của các vật liệu

### 1.5.3 Phân loại và ứng dụng của vật liệu từ.

Dựa vào vòng từ trễ người ta chia vật liệu từ làm 2 loại:

- Vật liệu từ mềm có độ từ thẩm cao và lực kháng từ nhỏ ( $H_c$  nhỏ và  $\mu$  lớn).
- Vật liệu từ cứng có độ từ thẩm nhỏ và lực kháng từ cao ( $H_c$  lớn và  $\mu$  nhỏ).

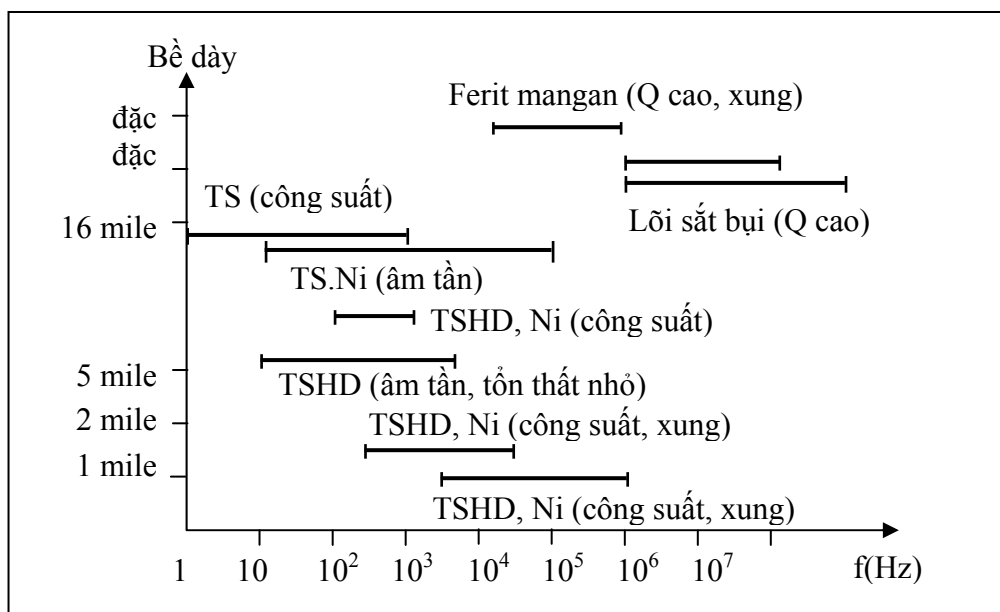
#### a. Vật liệu từ mềm:

- *Vật liệu từ mềm dùng ở tần số thấp:*

Vật liệu từ mềm làm việc ở tần số thấp thường được dùng rộng rãi là sắt, hợp kim sắt - silic, sắt - niken, lá thép kỹ thuật điện... để làm lõi biến áp, nam châm điện.

Hiện nay hợp kim sắt từ dùng rộng rãi nhất là sắt- silic. Sắt- niken có độ từ thẩm cao hơn. Vật liệu sắt dùng trong các cuộn dây và biến áp thường ở dạng tấm mỏng.

Một cách khác, hợp kim sắt từ được tạo thành bằng cách nung dính một hỗn hợp bột kẽm nguyên chất, sau đó được cán nguội và ủ. Khi cán nguội, nhờ tác động sắp xếp lại trục tinh thể nên tính chất từ theo hướng cán là tốt nhất và được gọi là vật liệu từ có định hướng. Để giảm độ tiêu hao do các dòng điện xoáy trong lõi biến áp người ta dùng vật liệu từ có điện trở suất cao. Để thay đổi tính chất từ và điện trở suất của vật liệu sắt từ ta phải thay đổi tỉ lệ thành phần hợp kim. Các tính chất của vật liệu từ thường cho dưới dạng các đường cong từ hóa và các đường cong độ từ thẩm. Độ dễ từ hóa của một vật liệu từ được đo bằng độ từ thẩm. Với sắt-silic có độ từ thẩm cực đại khoảng 7500H/m, còn sắt -niken khoảng 60000H/m. Các khoảng tần số làm việc của các vật liệu từ thông dụng như biểu diễn trong hình (1- 14).



**Hình 1- 14 :** Khoảng tần số làm việc của của các vật liệu từ thông dụng

- *Vật liệu từ mềm dùng ở tần số cao:*

(thường ở tần số vài trăm đến vài ngàn KHz).

+ Ferit là vật liệu từ được dùng rộng rãi nhất ở tần số cao.

Ferit là vật liệu từ có độ từ thẩm cao, tổn thất nhỏ. Ferit là hợp chất ôxit sắt 3 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) kết hợp với các ôxit kẽm loại hóa trị một hoặc hai ( $\text{ZnO}$ ;  $\text{Zn}_2\text{O}$ ). Nguyên vật liệu sau xử lý được nghiền thành bột mịn, trộn lại và ép định hình theo khuôn thành dạng thanh hay ống, sau đó được thiêu ở nhiệt độ cao trong môi trường thích hợp, Đây là quá trình gia công nhiệt đặc biệt để hợp chất cho điện trở suất cao.

Ferit có nhiều loại nhưng thông dụng nhất là Ferit-Mangan- Kẽm và Ferit -Niken- Kẽm.

Ferit có đặc điểm là điện dẫn suất thấp, độ từ thẩm ban đầu cao và giá trị cảm ứng từ bão hòa thích hợp. Ferit được dùng trong các cuộn dây, có hệ số phẩm chất cao, các biến áp có dải thông tần rộng, các cuộn dây trung tần, thanh anten, các cuộn làm lệch tia điện tử, các biến áp xung, v.v..

Ferit mangan kẽm (MnZn ferit) được chế tạo thành nhiều loại khác nhau tùy theo ứng dụng với những cuộn dây có hệ số phẩm chất cao (Q cao) trong khoảng tần số từ 1 đến 500KHz, có loại tổn thất nhỏ, có hệ số nhiệt của độ từ thẩm thấp và độ ổn định cao. Dùng trong truyền hình có loại thích hợp làm việc với điện cảm ứng từ cao; cũng có loại có độ từ thẩm thích hợp với các biến áp thông tin dải rộng và các biến áp xung.

Ferit niken kẽm (NiZn ferit) cũng có nhiều loại có thành phần oxit niken và oxit kẽm khác nhau, đồng thời chúng đều có điện trở suất cao.

+ Pecmaloi có độ từ thẩm cao (có thể tới hàng trăm ngàn H/m).

Pecmaloi là hợp kim gồm có 50% ÷ 80% là Niken, 18% ÷ 18,5% là Fe còn lại là Mangan, Crôm, Đồng, Silic và còn lại là Moliden.

Pecmaloi thường được dát mỏng. Chúng thường được dùng làm biến áp Micro, đầu từ, biến áp kích thước nhỏ, chất lượng cao. Nhược điểm của Pecmaloi rất dễ vỡ, dễ biến dạng nên

cẩn thận khi sử dụng và gia công chế tạo.

### b. Vật liệu từ cứng:

Theo ứng dụng chia vật liệu từ cứng thành 2 loại:

- Vật liệu để chế tạo nam châm vĩnh cửu.
- Vật liệu từ để ghi âm, ghi hình, giữ âm thanh, v.v..

Theo công nghệ chế tạo, chia vật liệu từ cứng thành:

- Hợp kim thép được tôi thành Martenxit là vật liệu đơn giản và rẻ nhất để chế tạo nam châm vĩnh cửu.
  - Hợp kim lá từ cứng.
  - Nam châm từ bột.
  - Ferit từ cứng: Ferit Bari ( $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) để chế tạo nam châm dùng ở tần số cao.
  - Băng, sợi kim loại và không kim loại dùng để ghi âm thanh.
- *Đặc điểm của nam châm vĩnh cửu là:*  
Năng lượng từ cực đại bao quanh không gian xung quanh chất sắt từ được tính bằng Oat (W):

$$W_d = \frac{B_d \cdot H_d}{2} \quad (1.28)$$

như vậy, năng lượng bao quanh không gian chất sắt từ được tính theo công thức:

$$W = \frac{B \cdot H}{2}$$

Nam châm trong trạng thái khép kín sẽ không truyền năng lượng ra không gian xung quanh. Khi tồn tại 1 khe không khí giữa các cực thì sẽ xuất hiện sự truyền năng lượng vào không gian xung quanh, trị số của nó phụ thuộc nhiều vào chiều dài khe không khí.

Các đặc tính của nam châm vĩnh cửu là các đại lượng:

- Lực kháng từ  $H_C$ .
- Độ cảm ứng từ dư  $B_{dr}$ .
- Năng lượng cực đại bao quanh không gian quanh chất sắt từ  $W_d$ .
- Độ từ thẩm của vật liệu từ cứng nhỏ hơn của vật liệu từ mềm và với sự tăng của  $H_C$  thì độ từ thẩm giảm.

Đại lượng  $H \cdot B / 2$  tỉ lệ với năng lượng cực đại của từ trường bao quanh chất sắt từ.

#### 1.4.5. Thạch anh áp điện ( $\text{SiO}_2$ )

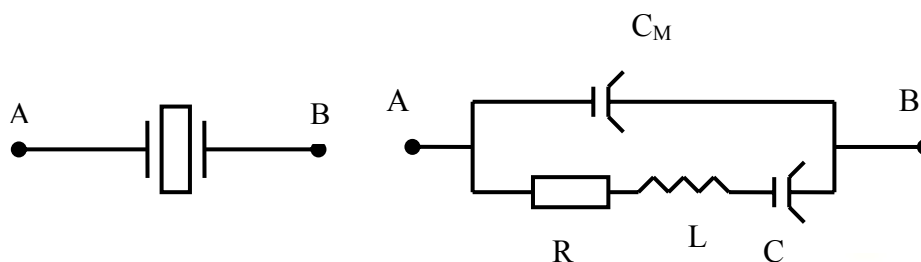
Thạch anh là tinh thể  $\text{SiO}_2$  tự nhiên không màu, trong suốt, thường gọi là pha lê tự nhiên; hoặc thạch anh màu (thạch anh khói, thạch anh tím). Tinh thể thạch anh áp điện có thể được gia công bằng phương pháp nhân tạo, khi đó các tính chất của nó gần giống như các tính chất của các tinh thể tự nhiên.

Thạch anh áp điện thường được dùng làm các bộ dao động thạch anh có tần số dao động rất ổn định.

Bộ cộng hưởng thạch anh: Bề mặt của các tấm thạch anh được mài bằng bột mịn và trên chúng được đặt các điện cực bằng kim loại tạo ra bộ cộng hưởng thạch anh.

Ký hiệu và mạch tương đương:





**Hình 1-5.** Ký hiệu và sơ đồ mạch tương đương của thạch anh trong mạch

Bộ cộng hưởng thạch anh cần có hệ số nhiệt tần số thấp và không được tạo ra các cộng hưởng ký sinh theo cả hai hướng kể từ tần số cộng hưởng chính trong dải tần đã cho của nó.

Điện tích xuất hiện ở hiệu ứng áp điện được xác định bằng công thức:

$$Q = d_{ij} \cdot F \quad (1.29)$$

trong đó:  $F$  - là lực gây ra biến dạng

$d_{ij}$  - môđun điện tương ứng với loại tinh thể.

## TÓM TẮT NỘI DUNG

Trong chương này chúng ta đã trình bày định nghĩa về cấu kiện điện tử một cách khái quát, đưa ra một số cách phân loại cấu kiện điện tử thông dụng. Thông thường nhất ta chia cấu kiện điện tử dựa theo ứng dụng của nó là cấu kiện điện tử thụ động và cấu kiện điện tử tích cực. Ngoài ra còn phân loại theo lịch sử phát triển công nghệ chế tạo của các cấu kiện mà chúng ta rất quen gọi là cấu kiện điện tử chân không, cấu kiện điện tử có khí, cấu kiện điện tử bán dẫn, vi mạch và cấu kiện điện tử nano.

Trong chương 1 cũng cho chúng ta một khái quát chung cấu trúc của một mạch điện tử và một hệ thống điện tử. Từ đây chúng ta có thể hình dung được tầm quan trọng của các cấu kiện điện tử và vị trí có thể sử dụng chúng trong các thiết bị điện tử.

Vật liệu điện tử là phần quan trọng của chương 1. Chúng ta đã nghiên cứu về đặc tính vật lý điện của các loại vật liệu sử dụng trong lĩnh vực điện tử và đã được phân ra làm 4 loại theo ứng dụng của nó.

**Chất cách điện hay còn gọi là chất điện môi** là loại dẫn điện kém, điện trở suất của nó rất cao ( $10^7 \div 10^{17}$ )  $\Omega\text{m}$ . Khi sử dụng chất cách điện ta phải chú ý đến các tính chất kỹ thuật sau: Hằng số điện môi  $\epsilon$ , biểu thị khả năng phân cực của chất điện môi; Độ bền về điện  $E_{d.t}$ , biểu thị khả năng chịu được điện áp cao của chất điện môi; Độ tổn hao điện môi  $P$  (hay góc tổn hao điện môi  $\text{tg}\delta$ ) biểu thị chi phí năng lượng điện vô ích của chất điện môi khi có dòng điện chạy qua. Tùy theo mục đích sử dụng mà chúng ta chú ý đến các tính chất đặc trưng này một cách tối ưu để lựa chọn vật liệu thích hợp.

Trong sử dụng, chất cách điện được chia làm 2 loại chính là vật liệu cách điện thụ động và chất cách điện tích cực. Chất cách điện thụ động thường dùng làm vật liệu cách điện và làm tụ điện. Còn chất cách điện tích cực có một số đặc tính cơ-điện đặc biệt như biến cơ năng thành điện năng (gôm xét nhét, muối xét nhét), tính áp điện (muối xét nhét, gôm xét nhét, thạch anh áp điện) hoặc Electret (cái châm điện)...

**Chất dẫn điện** là vật liệu dẫn điện tốt, thông thường ở thể rắn chúng là kim loại và hợp kim, còn ở thể lỏng chúng là các kim loại nóng chảy và dung dịch điện phân. Khi sử dụng chất



dẫn điện chúng ta phải chú ý đến các tính chất sau của nó: Điện dẫn suất hay điện trở suất ( $\sigma = 1/\rho$ ); Hệ số nhiệt của điện trở suất ( $\alpha$ ); Nhiệt dẫn suất ( $\lambda$ ); Hiệu điện thế tiếp xúc và Giới hạn bền khi kéo.

Trong sử dụng, chất dẫn điện được chia làm 2 loại: chất dẫn điện có điện trở suất thấp, thường dùng làm dây dẫn điện như đồng nguyên chất, nhôm nguyên chất và chất dẫn điện có điện trở suất cao thường được dùng làm các điện trở, các sợi nung nóng...Tuỳ theo mục đích sử dụng mà chúng ta lựa chọn các vật liệu có tính chất thích hợp.

**Chất bán dẫn** là vật liệu mà điện trở suất của nó có giá trị ở giữa giá trị của chất cách điện và chất dẫn điện. Trong kỹ thuật điện tử người ta chỉ sử dụng các chất bán dẫn có cấu trúc mạng tinh thể, quan trọng là 2 chất silic và gecmani. Đặc tính dẫn điện quan trọng của chất bán dẫn là độ dẫn điện của nó phụ thuộc rất nhiều vào nhiệt độ và nồng độ tạp chất có trong nó. Chất bán dẫn được chia làm 3 loại chính: chất bán dẫn thuần (nguyên tính), chất bán dẫn tạp loại N và chất bán dẫn tạp loại P. Chất bán dẫn nguyên tính có nồng độ hạt tải điện điện tử và hạt tải điện lỗ trống bằng nhau ( $p_i = n_i$ ); chất bán dẫn tạp loại P có hạt tải điện đa số là lỗ trống, hạt tải điện điện tử là thiểu số ( $p_p \gg n_p$ ); chất bán dẫn tạp loại N có hạt tải điện đa số là điện tử, hạt tải điện thiểu số là lỗ trống ( $n_n \gg p_n$ ).

Chất bán dẫn quang là vật liệu bán dẫn có cấu trúc điện tử đặc biệt để có thể bức xạ quang từ quá trình tái hợp của các hạt dẫn (biến đổi điện sang quang) hoặc hấp thụ quang để tạo ra các hạt dẫn điện (biến đổi quang sang điện).

**Vật liệu từ** là vật liệu có khả năng nhiễm từ khi đặt trong từ trường. Khi sử dụng vật liệu từ chúng ta phải chú ý các tính chất từ tính sau: Độ từ thẩm tương đối ( $\mu_r$ ), Từ trở ( $R_M$ ) và Tổn hao từ trễ. Ngoài ra chúng ta còn quan tâm đến tính chất của đường cong từ hoá và vòng từ trễ của vật liệu từ. Người ta thường chia vật liệu từ ra làm 3 loại: Vật liệu từ mềm, vật liệu từ cứng và vật liệu từ có công dụng đặc biệt.

Vật liệu từ mềm có độ từ thẩm cao, lực kháng từ và tổn hao từ trễ nhỏ.

Vật liệu từ cứng là loại có độ từ thẩm thấp, lực kháng từ cao.

Vật liệu từ có công dụng đặc biệt.

## CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Hãy cho biết một số cách phân loại cấu kiện điện tử thông thường?
2. Hãy cho biết các tính chất vật lý-điện cơ bản của chất cách điện?
3. Em hãy cho biết thông thường chất cách điện được chia làm mấy loại? Là những loại nào và phạm vi sử dụng chính của từng loại?
4. Hãy cho biết các tính chất vật lý-điện cơ bản của chất dẫn điện?
5. Dựa vào tính dẫn điện, chất dẫn điện được phân chia thành mấy loại? Là những loại nào? Cho ví dụ và nêu ứng dụng của chúng?
6. Hãy cho biết những yếu tố nào ảnh hưởng chính đến độ dẫn điện của chất bán dẫn?
7. Tại sao trong chất bán dẫn thuần, nồng độ hạt tải điện điện tử và hạt tải điện lỗ trống lại bằng nhau?
8. Thế nào là chất bán dẫn tạp loại N? Đặc điểm dẫn điện của nó là gì?
9. Thế nào là chất bán dẫn tạp loại P? Đặc điểm dẫn điện của nó là gì?
10. Chất bán dẫn quang điện tử có đặc điểm gì khác với chất bán dẫn thông thường?
11. Nêu những tính chất cơ bản của vật liệu từ?
12. Hãy cho biết vật liệu từ được phân chia thành mấy loại? Cho ví dụ ứng dụng của từng loại?
13. Cho một miếng bán dẫn Silic được pha thêm photpho nồng độ  $10^{15} / cm^{-3}$ . Hãy tính nồng

độ hạt dẫn trong miếng bán dẫn tại nhiệt độ  $300^0 K$ .

14. Hãy cho biết những tính chất đặc biệt của thạch anh áp điện và ứng dụng của nó?
15. Dựa vào cấu trúc vùng năng lượng của vật chất, chất bán dẫn có độ rộng vùng cấm là:
- a.  $EG > 2eV$     b.  $0eV < EG < 2eV$     c.  $EG = 0eV$     d.  $3eV < EG < 6eV$
16. Hãy điền vào chỗ trống của mệnh đề một trong những nhóm từ dưới đây:
- “Độ bền về điện của chất điện môi là giá trị .....ngoài đặt lên chất điện môi mà làm cho nó mất khả năng cách điện”.
- a. dòng điện;    b. điện áp;    c. công suất điện;    d. cường độ điện trường
17. Độ từ thẩm tương đối của vật liệu từ mư là một đại lượng....
- a. không thay đổi.  
b. thay đổi theo cường độ từ trường H.  
c. thay đổi theo tần số làm việc.  
d. thay đổi theo điều kiện môi trường như nhiệt độ, ánh sáng, độ ẩm...

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Giáo trình “Cấu kiện điện tử và quang điện tử” của Trần Thị Cẩm, Học viện Công nghệ BCVT, năm 2002.
2. Vật liệu kỹ thuật điện, của Nguyễn Đình Thắng, nhà xuất bản KHKT Hà Nội, năm 2005.

## CHƯƠNG 2

### CÁC CẤU KIỆN ĐIỆN TỬ THỤ ĐỘNG

#### GIỚI THIỆU CHƯƠNG

Chương 2 giới thiệu về các cấu kiện điện tử thụ động. Đó là cấu kiện điện trở, tụ điện, cuộn cảm và biến áp. Đây là các cấu kiện không thể thiếu được trong các mạch điện. Chúng luôn giữ một vai trò rất quan trọng trong hầu hết các mạch điện. Các cấu kiện này được trình bày một cách cụ thể từ định nghĩa, cấu tạo, ký hiệu trong các sơ đồ mạch, các cách phân loại thông dụng, các tham số cơ bản và các cách nhận biết chúng trên thực tế. Ngoài ra, chương 2 còn cho biết đặc tính của một số cấu kiện điện tử thụ động đặc biệt, sử dụng trong các lĩnh vực khác nhau.

#### NỘI DUNG

#### 2.1 ĐIỆN TRỞ

##### 2.1.1. Định nghĩa và ký hiệu của điện trở

###### a. Định nghĩa:

Điện trở là cấu kiện dùng làm phân tử ngăn cản dòng điện trong mạch. Trị số điện trở được xác định theo định luật Ôm:

$$R = \frac{U}{I} \quad [\Omega] \quad (2.1)$$

Trong đó:  $U$  – hiệu điện thế trên điện trở [V]

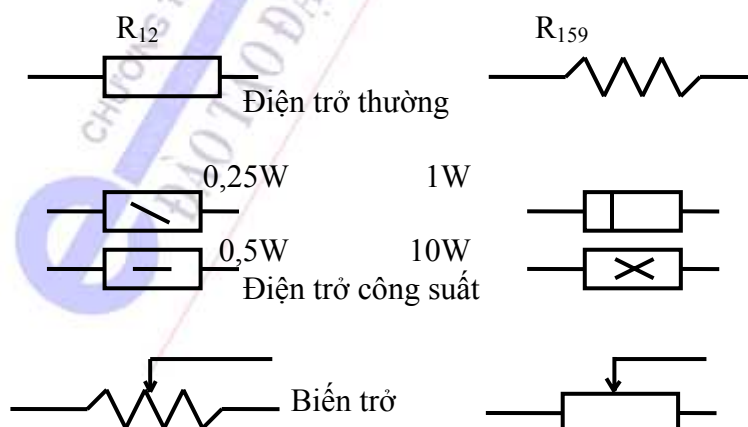
$I$  - dòng điện chạy qua điện trở [A]

$R$  - điện trở [ $\Omega$ ]

Trên điện trở, dòng điện và điện áp luôn cùng pha và điện trở dẫn dòng điện một chiều và xoay chiều như nhau.

###### b. Ký hiệu của điện trở trên các sơ đồ mạch điện

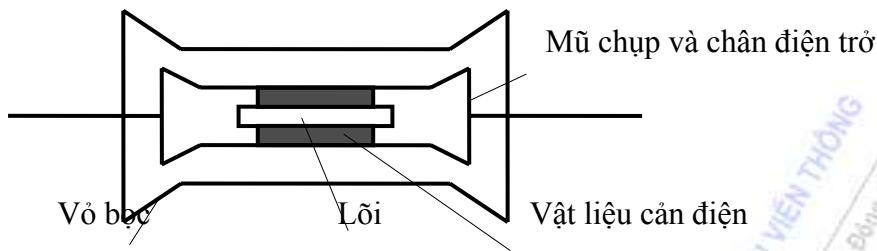
Trong các sơ đồ mạch điện, điện trở thường được mô tả theo các qui ước tiêu chuẩn như trong hình 2-1.



**Hình 2-1:** Ký hiệu của điện trở trên sơ đồ mạch điện

###### c. Cấu trúc của điện trở:

Cấu trúc của điện trở có nhiều dạng khác nhau. Một cách tổng quát ta có cấu trúc tiêu biểu của một điện trở như mô tả trong hình 2-2.



Hình 2.2: Kết cấu đơn giản của một điện trở

### 2.1.2. Các tham số kỹ thuật đặc trưng của điện trở

#### a. Trị số điện trở và dung sai

+ Trị số của điện trở là tham số cơ bản và được tính theo công thức:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (2.2)$$

Trong đó:  $\rho$  - là điện trở suất của vật liệu dây dẫn cản điện  
 $l$  - là chiều dài dây dẫn  
 $S$  - là tiết diện của dây dẫn

+ Dung sai hay sai số của điện trở biểu thị mức độ chênh lệch giữa trị số thực tế của điện trở so với trị số danh định và được tính theo %.

Dung sai được tính theo công thức:

$$\frac{R_{t.t} - R_{d.d}}{R_{d.d}} 100\% \quad \begin{cases} R_{t.t} & \text{Trị số thực tế của điện trở} \\ R_{d.d} & \text{Trị số danh định của điện trở} \end{cases}$$

Dựa vào % dung sai, ta chia điện trở ở 5 cấp chính xác:

Cấp 005: có sai số  $\pm 0,5\%$

Cấp 01: có sai số  $\pm 1\%$

Cấp I: có sai số  $\pm 5\%$

Cấp II: có sai số  $\pm 10\%$

Cấp III: có sai số  $\pm 20\%$

#### b. Công suất tiêu tán danh định: ( $P_{t.t.max}$ )

Công suất tiêu tán danh định cho phép của điện trở  $P_{t.t.max}$  là công suất điện cao nhất mà điện trở có thể chịu đựng được trong điều kiện bình thường, làm việc trong một thời gian dài không bị hỏng. Nếu quá mức đó điện trở sẽ nóng cháy và không dùng được.

$$P_{t.t.max} = RI_{max}^2 = \frac{U_{max}^2}{R} \quad [W] \quad (2.3)$$

Với yêu cầu đảm bảo cho điện trở làm việc bình thường thì  $P_{tt} < P_{ttmax}$ .

#### c. Hệ số nhiệt của điện trở : TCR

Hệ số nhiệt của điện trở biểu thị sự thay đổi trị số của điện trở theo nhiệt độ môi trường và được tính theo công thức sau:

$$TCR = \frac{1}{R} \cdot \frac{\Delta R}{\Delta T} \cdot 10^6 \quad [\text{ppm}/^\circ\text{C}] \quad (2.4)$$

Trong đó: R- là trị số của điện trở

$\Delta R$ - là lượng thay đổi của trị số điện trở khi

nhiệt độ thay đổi một lượng là  $\Delta T$ .

TCR là trị số biến đổi tương đối tính theo phần triệu của điện trở trên  $1^\circ\text{C}$  (viết tắt là ppm/ $^\circ\text{C}$ ).

Lưu ý: Điện trở than làm việc ổn định nhất ở nhiệt độ  $20^\circ\text{C}$ . Khi nhiệt độ tăng lớn hơn  $20^\circ\text{C}$  hoặc giảm nhỏ hơn  $20^\circ\text{C}$  thì điện trở than đều tăng trị số của nó.

### 2.1.3. Cách ghi và đọc các tham số trên thân điện trở

Trên thân điện trở thường ghi các tham số đặc trưng cho điện trở như: trị số của điện trở và % dung sai, công suất tiêu tán (thường từ vài phần mười Watt trở lên). Người ta có thể ghi trực tiếp hoặc ghi theo nhiều qui ước khác nhau.

#### a. Cách ghi trực tiếp:

Cách ghi trực tiếp là cách ghi đầy đủ các tham số chính và đơn vị đo của chúng. Cách ghi này thường dùng đối với các điện trở có kích thước tương đối lớn như điện trở dây quấn.

#### b. Ghi theo qui ước

Cách ghi theo quy ước có rất nhiều các quy ước khác nhau. ở đây ta xem xét một số cách quy ước thông dụng:

+ Không ghi đơn vị Ôm: Đây là cách ghi đơn giản nhất và nó được qui ước như sau:

$$R \text{ (hoặc } E) = \Omega \quad M = M\Omega \quad K = K\Omega$$

+ Quy ước theo mã: Mã này gồm các chữ số và một chữ cái để chỉ % dung sai. Trong các chữ số thì chữ số cuối cùng chỉ số số 0 cần thêm vào. Các chữ cái chỉ % dung sai qui ước gồm: F = 1 %, G = 2 %, J = 5 %, K = 10 %, M = 20 %.

+ Quy ước màu:

Thông thường người ta sử dụng 4 vòng màu, đôi khi dùng 5 vòng màu (đối với loại có dung sai nhỏ khoảng 1%).

☐ Loại 4 vòng màu được qui ước:

- Hai vòng màu đầu tiên là chỉ số có nghĩa thực của nó
- Vòng màu thứ 3 là chỉ số số 0 cần thêm vào (hay gọi là số nhân).
- Vòng màu thứ 4 chỉ phần trăm dung sai (%).

☐ Loại 5 vạch màu được qui ước:

- Ba vòng màu đầu chỉ các số có nghĩa thực
- Vòng màu thứ tư là số nhân để chỉ số số 0 cần thêm vào
- Vòng màu thứ 5 chỉ % dung sai.



**Bảng 2.1** : Bảng qui ước màu

	Vạch màu thứ 1	Vạch màu thứ 2	Vạch màu thứ 3	Vạch màu thứ 4
Màu	Hàng chục	Đơn vị	Số nhân	Dung sai
Đen	0	0	1	20%
Nâu	1	1	10	1%
Đỏ	2	2	100	2%
Cam	3	3	1000	-
Vàng	4	4	10000	-
Lục	5	5	100000	-
Lam	6	6	1000000	-
Tím	7	7	10000000	-
Xám	8	8	100000000	-
Trắng	9	9	1000000000	-
Vàng kim	-	-	0,1	5%
Bạch kim	-	-	0,01	10%
Không màu	-	-	-	20%

Thứ tự vòng màu được qui ước như sau:

**Hình 2-3:** Thứ tự vòng màu

#### 2.1.4. Phân loại và ứng dụng của điện trở

##### a. Phân loại:

Phân loại điện trở có rất nhiều cách. Thông dụng nhất là phân chia điện trở thành hai loại: điện trở có trị số cố định và điện trở có trị số thay đổi được (hay biến trở). Trong mỗi loại này lại được phân chia theo các chỉ tiêu khác nhau thành các loại nhỏ hơn như sau:

##### ☐ Điện trở có trị số cố định.

Điện trở có trị số cố định thường được phân loại theo vật liệu cản điện như:

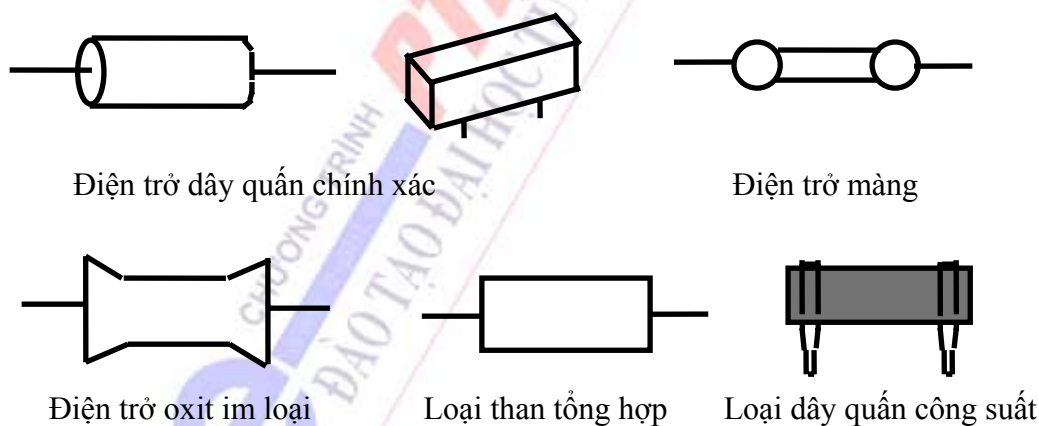
- + Điện trở than tổng hợp (than nén)
- + Điện trở than nhiệt giải hoặc than màng (màng than tinh thể).
- + Điện trở dây quấn gồm sợi dây điện trở dài (dây NiCr hoặc manganin, constantan) quấn trên ống gốm ceramic và phủ bên ngoài là một lớp sứ bảo vệ.
- + Điện trở màng kim, điện trở màng oxit kim loại hoặc điện trở miếng: Điện trở miếng thuộc thành phần vi điện tử. Dạng điện trở miếng thông dụng là được in luôn trên tấm ráp mạch.
- + Điện trở cermet (gốm kim loại).

Dựa vào ứng dụng điện trở được phân loại như liệt kê trong bảng 2.2.



Bảng 2.2: Các đặc tính chính của điện trở cố định tiêu biểu

Loại điện trở	Trị số R	$P_{t.t.max}$ [w]	$t^0$ làm việc $^0C$	TCR ppm/ $^0C$
<b><u>Chính xác</u></b>				
Dây quấn	$0,1\Omega \div 1,2M$	$1/8 \div 3/4$ ở $125^0C$	$-55 \div +145$	$\pm 10$
Màng kim	$10\Omega \div 5M$	$1/20 \div 1/2$ ở $125^0C$	$-55 \div +125$	$\pm 25$
<b><u>Bán chính xác</u></b>				
Oxyt kim loại	$10\Omega \div 1,5M$	$1/4 \div 2$ ở $70^0C$	$-55 \div +150$	$\pm 200$
Cermet	$10\Omega \div 1,5M$	$1/20 \div 1/2$ ở $125^0C$	$-55 \div +175$	$\pm 200$
Than màng	$10\Omega \div 5M$	$1/8 \div 1$ ở $70^0C$	$-55 \div +165$	$\pm 200$ ;
<b><u>Đa dụng</u></b>				$\pm 510$
Than tổng hợp	$2,7\Omega \div 100M$	$1/8 \div 2$ ở $70^0C$	$-55 \div +130$	$\pm 1500$
<b><u>Công suất</u></b>				
Dây quấn	$0,1\Omega \div 180K$	$1 \div 21$ ở $25^0C$	$-55 \div +275$	$\pm 200$
Hình ống	$1,0\Omega \div 3,8K$	$5 \div 30$ ở $25^0C$	$-55 \div +275$	$\pm 50$
Bất sườn máy	$0,1\Omega \div 40K$	$1 \div 10$ ở $25^0C$	$-55 \div +275$	$\pm 20$
Chính xác	$20\Omega \div 2M$	$7 \div 1000$ ở $25^0C$	$-55 \div +225$	$\pm 500$
<b><u>Màng kim loại</u></b>				
Điện trở miếng (màng vi điện tử)	$1\Omega \div 22M$		$-55 \div +125$	$\pm 25$ đến $\pm 200$

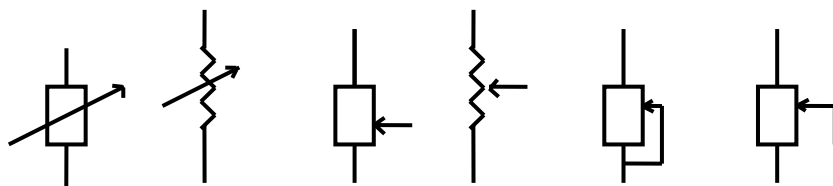


Hình 2-4: Một số hình dạng bên ngoài của một số điện trở cố định

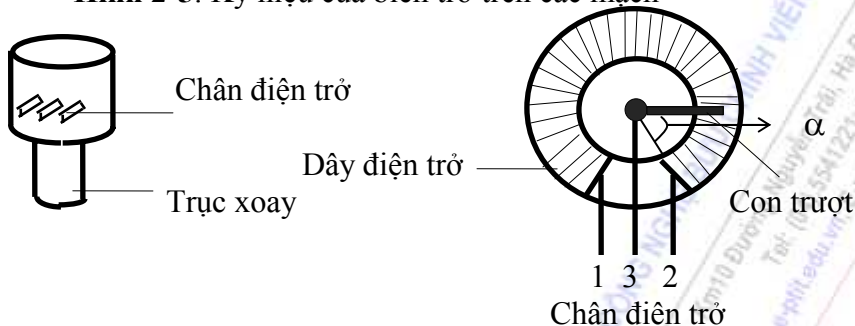
□ Điện trở có trị số thay đổi (hay còn gọi là biến trở)

Biến trở có hai dạng. Dạng kiểm soát dòng công suất lớn dùng dây quấn. Loại này ít gặp trong các mạch điện tử. Dạng thường dùng hơn là chiết áp. Cấu tạo của biến trở so với điện trở cố định chủ yếu là có thêm một kết cấu con chạy gắn với một trục xoay để điều chỉnh trị số

điện trở. Con chạy có kết cấu kiểu xoay (chiết áp xoay) hoặc theo kiểu trượt (chiết áp trượt). Chiết áp có 3 đầu ra, đầu giữa ứng với con trượt còn hai đầu ứng với hai đầu của điện trở.



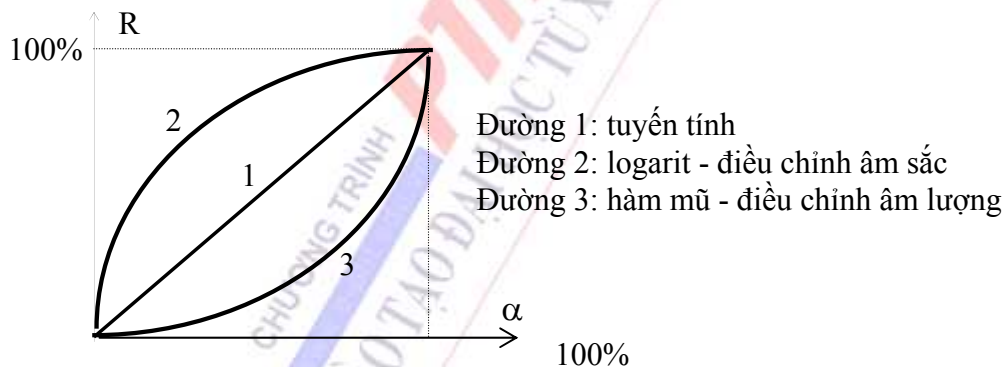
Hình 2-5: Ký hiệu của biến trở trên các mạch



Hình 2-6: Cấu trúc của một chiết áp dây quấn

Theo ứng dụng có thể chia chiết áp thành 3 loại chính: loại đa dụng, loại chính xác và loại điều chuẩn.

Ngoài các đặc tính tương tự như của điện trở cố định, chiết áp còn có các tham số riêng, trong đó cơ bản là luật điện trở. Luật điện trở cho biết trị số của điện trở thay đổi thế nào khi ta thay đổi góc xoay  $\alpha$  của con chạy (hình 2-7).



Hình 2.7: Ba luật điện trở thông dụng của chiết áp

#### b. Ứng dụng:

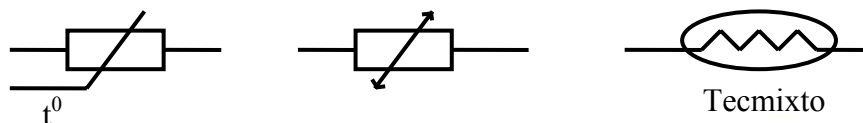
Ứng dụng của điện trở rất đa dạng: để giới hạn dòng điện, tạo sụt áp, dùng để phân cực, làm gánh mạch, chia áp, định hằng số thời gian, v.v..

#### c. Một số điện trở đặc biệt

##### □ Điện trở nhiệt: Tecmixto

Đây là một linh kiện bán dẫn có trị số điện trở thay đổi theo nhiệt độ. Khi ở nhiệt độ bình thường thì tecmixto là một điện trở, nếu nhiệt độ càng tăng cao thì điện trở của nó càng giảm.

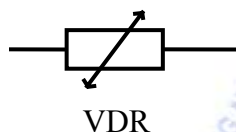
Hệ số nhiệt TCR của điện trở nhiệt tecomixto có giá trị âm lớn. Điện trở nhiệt thường được dùng để ổn định nhiệt cho các mạch của thiết bị điện tử, để đo và điều chỉnh nhiệt độ trong các cảm biến.



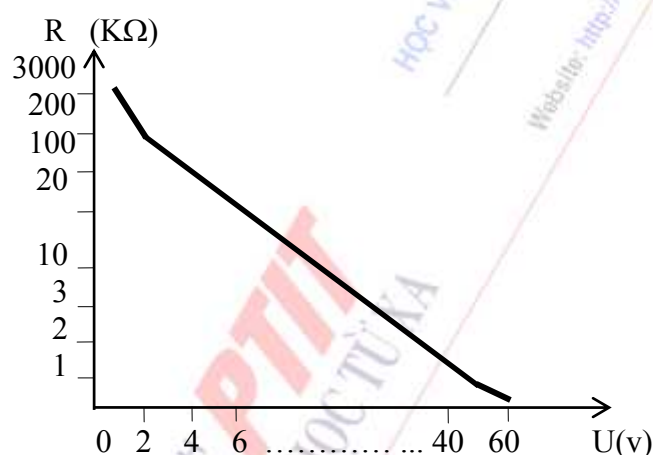
**Hình 2-8:** Ký hiệu của tecomixto trên sơ đồ mạch

□ **Điện trở Varixto:**

Đây là linh kiện bán dẫn có trị số điện trở thay đổi được khi ta thay đổi điện áp đặt lên nó.



**Hình 2-9:** Ký hiệu của varixto trong sơ đồ mạch



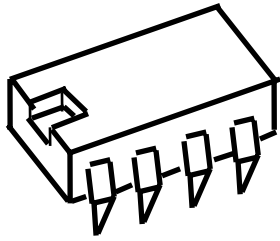
**Hình 2-10:** Sự thay đổi trị số điện trở của Varixto theo điện áp

Điện áp danh định là đặc tính cơ bản của varixto trong đó dòng điện qua varixto có trị số danh định.

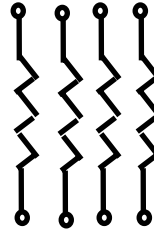
**Ứng dụng:** Varixto dùng để chia áp trên các lưới điều khiển để ổn định điện áp. Đồng thời, nó còn được mắc song song với các cuộn ra của biến áp quét dòng, quét màng để ổn định điện áp trên các cuộn lái tia điện tử.

- **Điện trở Mêgôm:** có trị số điện trở từ  $10^8 \div 10^{15} \Omega$  (khoảng từ 100 MΩ đến 1000000 GΩ). Điện trở Mêgôm được dùng trong các thiết bị đo thử, trong mạch tế bào quang điện.
- **Điện trở cao áp:** Là điện trở chịu được điện áp cao từ 5 KV đến 20 KV. Điện trở cao áp có trị số từ 2000 ÷ 1000 MΩ, công suất tiêu tán cho phép từ 5 W đến 20 W. Điện trở cao áp thường dùng làm gánh các mạch cao áp, các bộ chia áp.
- **Điện trở chuẩn:** Là các điện trở dùng vật liệu dây quấn đặc biệt có độ ổn định cao. Thí dụ, các vật liệu có sự thay đổi giá trị điện trở khoảng 10 ppm/năm,  $TCR = 4 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ .

□ **Mạng điện trở:** Mạng điện trở là một loại vi mạch tích hợp có 2 hàng chân.



a. Mạng điện trở: 8 chân 2 hàng



b. Sắp xếp các điện trở ở bên trong RN

**Hình 2-11:** Cấu trúc của mạng điện trở

## 2.2 TỤ ĐIỆN

### 2.2.1. Định nghĩa và ký hiệu của tụ điện

#### a. Định nghĩa:

Tụ điện là dụng cụ dùng để chứa điện tích. Một tụ điện lý tưởng có điện tích ở bản cực tỉ lệ thuận với hiệu điện thế đặt ngang qua nó theo công thức:

$$Q = C \cdot U \quad [\text{culông}] \quad (2.5)$$

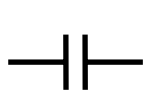
trong đó:  $Q$  - điện tích ở trên bản cực của tụ điện [C]

$U$  - hiệu điện thế đặt trên tụ điện [V]

$C$  - điện dung của tụ điện [F]

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{\epsilon \epsilon_0 \cdot S}{d}$$

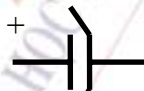
#### b. Ký hiệu của tụ điện trên các sơ đồ mạch:



Tụ thường



Tụ điện giải

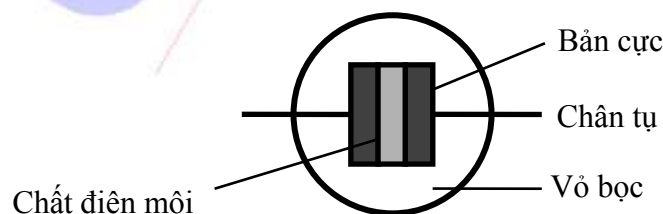


Tụ có điện dung thay đổi

**Hình 2-12:** Các ký hiệu của tụ điện

#### c. Cấu tạo của tụ điện:

Cấu tạo của tụ điện bao gồm một lớp vật liệu cách điện nằm giữa hai bản cực là 2 tấm kim loại có diện tích  $S$ .



**Hình 2-13:** Cấu tạo của tụ điện

### 2.2.2. Các tham số cơ bản của tụ điện

**a. Trị số dung lượng và dung sai:**+ *Trị số dung lượng (C):*

Trị số dung lượng tỉ lệ với tỉ số giữa diện tích hữu dụng của bản cực S với khoảng cách giữa 2 bản cực. Dung lượng được tính theo công thức:

$$C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{d} \quad [F] \quad (2.6)$$

Trong đó:  $\epsilon_r$  - hằng số điện môi của chất điện môi

$\epsilon_0$  - hằng số điện môi của không khí hay chân không

S - diện tích hữu dụng của bản cực [ $m^2$ ]

d - khoảng cách giữa 2 bản cực [m]

C - dung lượng của tụ điện [F]

Đơn vị đo dung lượng theo hệ SI là Farad [F], thông thường ta chỉ dùng các ước số của Farad.

+ *Dung sai của tụ điện:* Đây là tham số chỉ độ chính xác của trị số dung lượng thực tế so với trị số danh định của nó. Dung sai của tụ điện được tính theo công thức:

$$\frac{C_{t,t} - C_{d,d}}{C_{d,d}} \cdot 100\% \quad (2.7)$$

Dung sai của điện dung được tính theo %. Dung sai từ  $\pm 5\%$  đến  $\pm 20\%$  là bình thường cho hầu hết các tụ điện có trị số nhỏ, nhưng các tụ điện chính xác thì dung sai phải nhỏ (Cấp 01: 1%, Cấp 02: 2%).

**b. Điện áp làm việc:**

Điện áp cực đại có thể cung cấp cho tụ điện thường thể hiện trong thuật ngữ "điện áp làm việc một chiều".

Mỗi một tụ điện chỉ có một điện áp làm việc nhất định, nếu quá điện áp này lớp cách điện sẽ bị đánh thủng và làm hỏng tụ.

**c. Hệ số nhiệt:**

Để đánh giá sự thay đổi của trị số điện dung khi nhiệt độ thay đổi người ta dùng hệ số nhiệt TCC và tính theo công thức sau:

$$TCC = \frac{1}{C} \frac{\Delta C}{\Delta T} \cdot 10^6 \quad [ppm/^{\circ}C] \quad (2.8)$$

Trong đó:  $\Delta C$  - là lượng tăng giảm của điện dung khi nhiệt độ thay đổi một lượng là  $\Delta T$ .

C - là trị số điện dung của tụ điện.

TCC thường tính bằng đơn vị phần triệu trên  $1^{\circ}C$  (viết tắt ppm/ $^{\circ}C$ ) và nó đánh giá sự thay đổi cực đại của trị số điện dung theo nhiệt độ.

**2.2.3. Tụ điện cao tần và mạch tương đương:**

Sơ đồ mạch tương đương của tụ điện được mô tả ở hình 2-14.

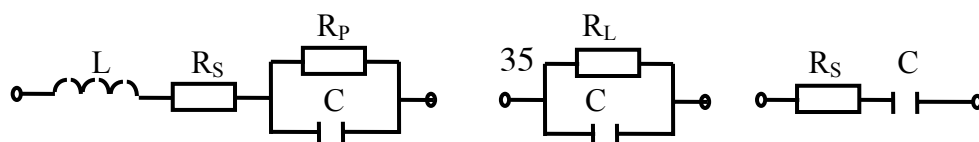
Trong sơ đồ: L - là điện cảm của đầu nối, dây dẫn (ở tần số thấp  $L \approx 0$ )

$R_S$  - là điện trở của đầu nối, dây dẫn và bản cực ( $R_S$  thường rất nhỏ)

$R_P$  - là điện trở rò của chất cách điện và vỏ bọc.

$R_L, R_S$  - là điện trở rò của chất cách điện

C - là tụ điện lý tưởng



a. Sơ đồ tương đương

b. Sơ đồ tương đương

c. Sơ đồ tương đương



Trong đó hình "a" cho tụ bình thường; hình "b" cho tụ có điện trở rò lớn và hình "c" cho tụ có điện trở rò thấp.

Hình 2-14 "c" là sơ đồ tương đương của tụ điện ở tần số cao. Khi tụ làm việc ở tần số cao ta phải chú ý đến tổn hao công suất trong tụ được thể hiện qua hệ số tổn hao DF:

$$DF = \frac{R_s}{X_C} \cdot 100\% \quad (2.9)$$

Trong đó:  $R_s$  - là trị số hiệu dụng nối tiếp của tụ điện (điện trở bản cực, dây dẫn...)

$X_C$  - là dung kháng của tụ điện

DF càng nhỏ thì tụ điện càng ít mất mát, tức là phẩm chất càng cao. Khi làm việc ở tần số cao cần tụ có phẩm chất cao. Hệ số phẩm chất của tụ điện được tính:

$$Q = \frac{1}{DF} \quad (2.10)$$

Đối với các tụ điện làm việc ở tần số cao thì tổn hao điện môi sẽ tăng tỉ lệ với bình phương của tần số:

$$P_a = U^2 \omega^2 C^2 R \quad (2.11)$$

Do đó, trên thực tế các tụ điện làm việc ở tần số cao cần phải có điện trở của các bản cực, dây dẫn và tiếp giáp nhỏ nên các chi tiết này thường được tráng bạc.

### 2.2.3 Các cách ghi và đọc tham số trên thân tụ điện

Hai tham số quan trọng nhất thường được ghi trên thân tụ điện là trị số điện dung (kèm theo dung sai sản xuất) và điện áp làm việc.

#### a. Cách ghi trực tiếp:

Ghi trực tiếp là cách ghi đầy đủ các tham số và đơn vị đo của chúng. Cách này chỉ dùng cho các loại tụ điện có kích thước lớn.

#### b. Cách ghi gián tiếp theo qui ước:

Cách ghi gián tiếp là cách ghi theo quy ước. Tụ điện có tham số ghi theo qui ước thường có kích thước nhỏ và điện dung ghi theo đơn vị pF.

Có rất nhiều các qui ước khác nhau như quy ước mã, quy ước màu, v.v.. Sau đây ta chỉ nêu một số quy ước thông dụng:

+ *Ghi theo qui ước số*: Cách ghi này thường gặp ở các tụ Polystylen.

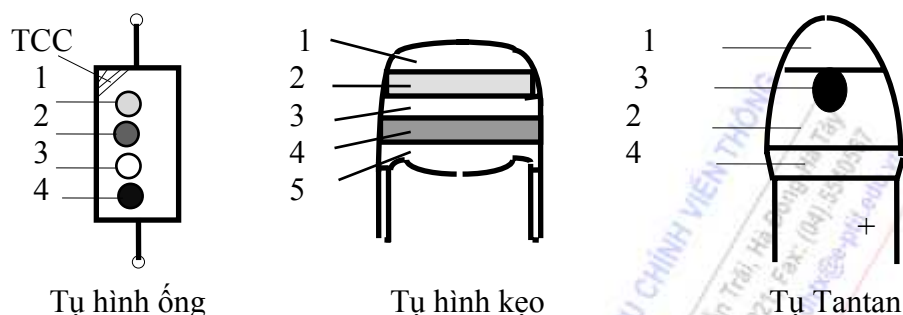
Ví dụ 1: Trên thân tụ có ghi 47/ 630: có nghĩa từ số là giá trị điện dung tính bằng pF, tức là 47 pF, mẫu số là điện áp làm việc một chiều, tức là 630 Vdc.

+ *Quy ước theo mã*: Giống như điện trở, mã gồm các chữ số chỉ trị số điện dung và chữ cái chỉ % dung sai.

Tụ gốm có kích thước nhỏ thường được ghi theo qui ước sau: ví dụ trên tụ ghi là 204 có nghĩa là trị số của điện dung 20.0000 pF Vdc.

Tụ Tantan là tụ điện giải cũng thường được ghi theo đơn vị  $\mu\text{F}$  cùng điện áp làm việc và cực tính rõ ràng.

+ *Ghi theo quy ước màu*: Tụ điện cũng giống như điện trở được ghi theo qui ước màu. Qui ước màu cũng có nhiều loại: có loại 4 vạch màu, loại 5 vạch màu. Nhìn chung các vạch màu qui ước gần giống như ở điện trở.



**Hình 2-15:** Mã màu của tụ điện

**Bảng 2.3:** Bảng qui ước mã màu trên tụ điện

	Vạch 1	Vạch 2	Vạch 3	Vạch 4	Vạch 4	Vạch 5
Màu	Số có nghĩa	Số có nghĩa	Số nhân (PF) Tantan( $\mu\text{F}$ )	$U_{DC}$ (V) Tụ Tantan	Dung sai $\leq 10\text{PF}$ $> 10\text{PF}$	Polyster
Đen	0	0	1 1	- 10	2PF $\pm 20\%$	-
Nâu	1	1	10 10	100 -	0,1PF $\pm 1\%$	-
Đỏ	2	2	100 100	250	- $\pm 2\%$	250w
Cam	3	3	1K -	-	- $\pm 2,5\%$	-
Vàng	4	4	10K -	400 6,3	- -	-
Lục	5	5	100K -	- 16	0,5PF $\pm 5\%$	-
Lam	6	6	- -	630 20	- -	-
Tím	7	7	- -	- -	- -	-
Xám	8	8	0,01 0,01	- 25	0.25PF -	-
Trắng	9	9	0,1 0,1	- 3	1PF $\pm 10\%$	-
Hồng	-	-	- -	- 35		-

#### 2.2.4. Phân loại và ứng dụng.

Có nhiều cách phân loại tụ điện, thông thường người ta phân tụ điện làm 2 loại là:

- Tụ điện có trị số điện dung cố định
- Tụ điện có trị số điện dung thay đổi được.

a. **Tụ điện có trị số điện dung cố định:**

Tụ điện có trị số điện dung cố định thường được gọi tên theo vật liệu chất điện môi và công dụng của chúng như trong bảng 2.4.

**Bảng 2.4:** Bảng phân loại tụ điện dựa theo vật liệu và công dụng.

Loại tụ	Điện dung	U làm việc (Vdc)	t <sup>0</sup> làm việc
+ Chính xác:			
. Mi ca	1 ÷ 91000 PF	100 ÷ 2500	-55 ÷ 125
. Thủy tinh	1 ÷ 10000 PF	300 ÷ 500	-55 ÷ 125
. Gốm	1 ÷ 1100 PF	150 ÷ 500	-55 ÷ 85
. Màng Polystylen	1000 ÷ 220000 PF	200 ÷ 600	-55 ÷ 85
+ Bán chính xác:			
. Màng chất dẻo	1000PF ÷ 10 μF	30 ÷ 1000	-55 ÷ 125
. Màng chất dẻo- giấy (trắng kim loại)	4700PF ÷ 10 μF	50 ÷ 400	-55 ÷ 125
+ Đa dụng:			
. Gốm Li- K	10 ÷ 100000 PF	50 ÷ 200	-55 ÷ 125
. Ta <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (nung dính, chất điện giải rắn có cực tính)	1 ÷ 580 PF	10 ÷ 300	-55 ÷ 125
. Màng dính ướt có cực	5,6PF ÷ 560 μF	4 ÷ 85	-55 ÷ 125
. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> khô, có cực tính	150PF ÷ 120000 μF	5 ÷ 450	-40 ÷ 85
+ Triệt - nuôi			
. Giấy	10000 PF ÷ 3 μF	100 ÷ 600	-55 ÷ 125
. Mi ca (hình khuy)	5 ÷ 2400 PF	≈ 500	-55 ÷ 125
. Gốm	100 ÷ 1500 PF	500 ÷ 1500	-55 ÷ 125
+ Thoát			
. Giấy	10000 ÷ 35000 PF	100 ÷ 500	-55 ÷ 85

+ Tụ điện giải nhôm: (Thường gọi là tụ hóa) Tính chất quan trọng nhất của tụ điện giải nhôm là chúng có trị số điện dung rất lớn trong một "hộp" nhỏ. Giá trị tiêu chuẩn của các tụ hóa nằm trong khoảng từ 1 μF đến 100000 μF.

Các tụ điện giải nhôm thông dụng thường làm việc với điện áp một chiều lớn hơn 400 Vdc, trong trường hợp này, điện dung không quá 100 μF. Ngoài điện áp làm việc thấp và phân cực thì tụ điện giải nhôm còn một nhược điểm nữa là dòng rò tương đối lớn.

+ Tụ tantan: (chất điện giải Tantan)

Đây là một loại tụ điện giải. Tụ tantan, cũng giống như tụ điện giải nhôm, thường có một giá trị điện dung lớn trong một khối lượng nhỏ.

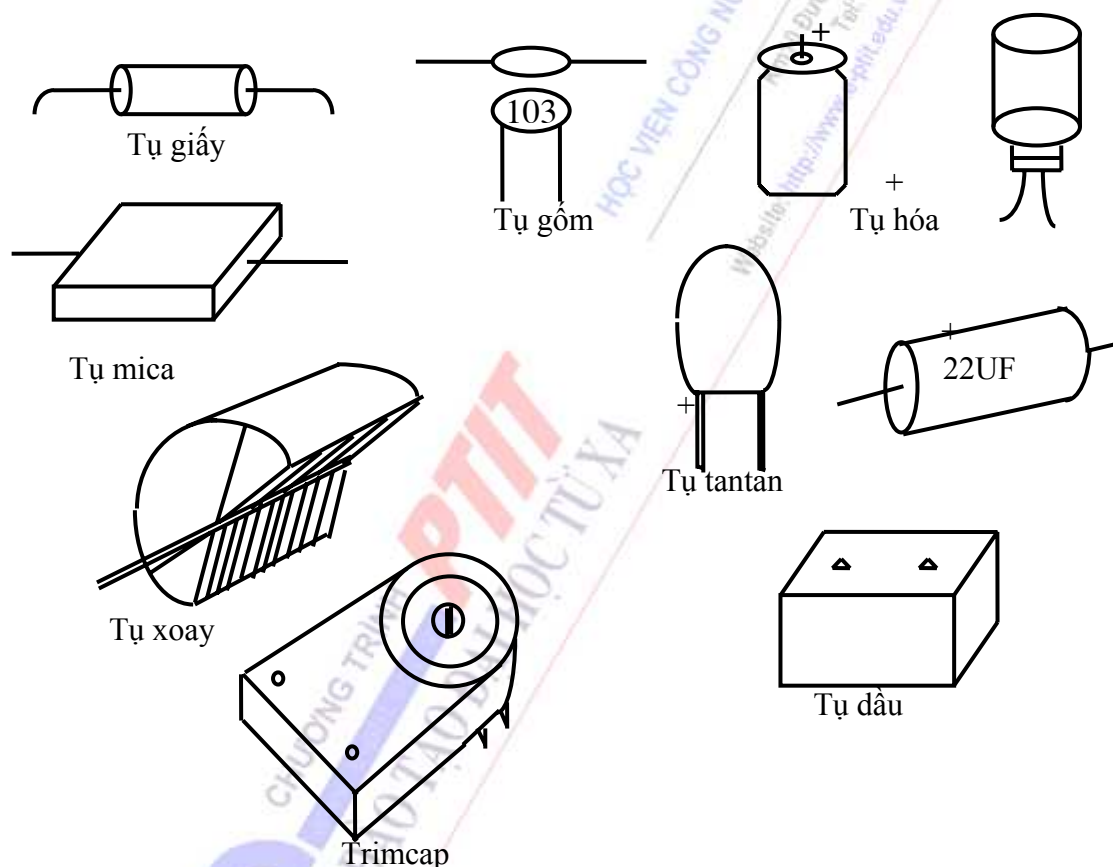
. Giống như các tụ điện giải khác, tụ tantan cũng phải được đấu đúng cực tính. Tụ tantan cũng được ghi theo qui ước 4 vòng màu.

**b. Tụ điện có trị số điện dung thay đổi**

Tụ điện có trị số điện dung thay đổi được là loại tụ trong quá trình làm việc ta có thể điều chỉnh thay đổi trị số điện dung của chúng. Tụ có trị số điện dung thay đổi được có nhiều loại, thông dụng nhất là loại đa dụng và loại điều chuẩn.

- Loại đa dụng còn gọi là tụ xoay: Tụ xoay được dùng làm tụ điều chỉnh thu sóng trong các máy thu thanh, v.v.. Tụ xoay có thể có 1 ngăn hoặc nhiều ngăn. Mỗi ngăn có các lá động xen kẽ, đối nhau với các lá tĩnh, chế tạo từ nhôm. Chất điện môi có thể là không khí, mica, màng chất dẻo, gốm, v.v..
- Tụ vi điều chỉnh (thường gọi tắt là Trimcap)

Loại tụ này có nhiều kiểu. Chất điện môi cũng dùng nhiều loại như không khí, màng chất dẻo, thủy tinh hình ống... Để thay đổi trị số điện dung ta dùng tuốc-nơ-vít để thay đổi vị trí giữa hai lá động và lá tĩnh



**Hình 2 -16:** Một số tụ điện thường gặp

**c. Ứng dụng:**

+ Tụ điện được dùng để tạo phần tử dung kháng ở trong mạch. Dung kháng  $X_c$  được tính theo công thức:

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{\omega C} \quad [\Omega] \quad (2.12)$$

Trong đó :  $f$  - là tần số của dòng điện (Hz)

C - là trị số điện dung của tụ điện (F)

+ Do tụ không cho dòng điện một chiều qua nhưng lại dẫn dòng điện xoay chiều nên tụ thường dùng để cho qua tín hiệu xoay chiều đồng thời vẫn ngăn cách được dòng một chiều giữa mạch này với mạch khác, gọi là tụ liên lạc.

+ Tụ dùng để triệt bỏ tín hiệu không cần thiết từ một điểm trên mạch xuống đất gọi là tụ thoát.

+ Tụ dùng làm phần tử dung kháng trong các mạch cộng hưởng LC gọi là tụ cộng hưởng.

+ Tụ dùng trong mạch lọc gọi là tụ lọc.

+ Do có tính nạp điện và phóng điện, tụ dùng để tạo mạch định giờ, mạch phát sóng răng cưa, mạch vi phân và tích phân...

## 2.3. CUỘN CẢM (hay CUỘN DÂY)

### 2.3.1. Định nghĩa và ký hiệu của cuộn cảm.

#### a. Định nghĩa:

Cuộn dây, còn gọi là cuộn tự cảm, là cấu kiện điện tử dùng để tạo thành phần cảm kháng trong mạch. Cảm kháng của cuộn dây được xác định theo công thức:

$$X_L = 2 \pi f L = \omega L \quad (\Omega) \quad (2.13)$$

Trong đó: L – điện cảm của cuộn dây (đo bằng Henry), phụ thuộc vào hình dạng, số vòng dây, cách sắp xếp, và cách quấn dây.

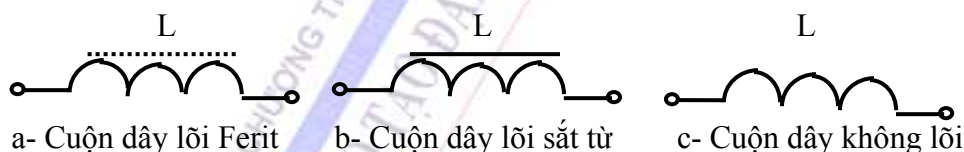
f - tần số của dòng điện chạy qua cuộn dây (Hz)

Các cuộn dây được cấu trúc để có giá trị độ cảm ứng xác định. Ngay cả một đoạn dây dẫn ngắn nhất cũng có sự cảm ứng. Như vậy, cuộn dây cho qua dòng điện một chiều và ngăn cản dòng điện xoay chiều. Đồng thời, trên cuộn dây dòng điện và điện áp lệch pha nhau  $90^\circ$ .

Cuộn dây gồm những vòng dây dẫn điện quấn trên một cốt bằng chất cách điện, có lõi hoặc không có lõi tùy theo tần số làm việc.

#### b. Ký hiệu các cuộn cảm trong sơ đồ mạch điện:

Trong các mạch điện, cuộn cảm được ký hiệu bằng chữ cái L.



Hình 2- 17: Ký hiệu cuộn dây trong sơ đồ mạch

### 2.3.2. Các tham số của cuộn cảm.

#### a. Điện cảm của cuộn dây (L):

Điện cảm của cuộn dây được tính theo công thức (2.14):

$$L = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot N^2 \cdot \frac{S}{l} \quad (2.14)$$

Trong đó : S - là tiết diện của cuộn dây ( $m^2$ )

N - là số vòng dây

l - là chiều dài của cuộn dây (m)

$\mu_r, \mu_0$  - là độ từ thẩm của vật liệu lõi sắt từ và của không khí (H/ m)

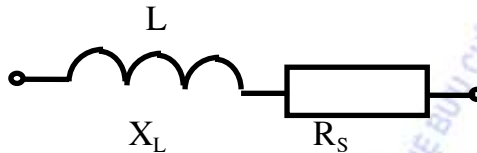


Qua biểu thức (2.14) ta thấy độ cảm ứng lớn nhất khi có cuộn dây ngắn với tiết diện lớn và có số vòng dây lớn.

**b. Hệ số phẩm chất của cuộn cảm (Q):**

Một cuộn cảm thực khi có dòng điện chạy qua luôn có tổn thất, đó là công suất điện tổn hao để làm nóng cuộn dây. Các tổn thất này được biểu thị bởi một điện trở  $R_S$  nối tiếp với cảm kháng  $X_L$  của cuộn dây. Hệ số phẩm chất Q của cuộn dây là tỷ số của cảm kháng  $X_L$  trên điện trở  $R_S$  này. Trị số Q càng cao thì tổn thất càng nhỏ và ngược lại.

$$Q = \frac{X_L}{R_S} \quad (2.15)$$



**Hình 2 -18:** Sơ đồ mạch tương đương của cuộn dây khi xét đến tổn thất

**2.3.3. Cuộn cảm cao tần số và sơ đồ mạch tương đương.**

Cuộn dây thực còn có tần số làm việc bị giới hạn bởi điện dung riêng của nó. Ở tần số thấp, điện dung này được bỏ qua vì dung kháng của nó rất lớn. Nhưng ở tần số đủ cao thì cuộn dây trở thành một mạch cộng hưởng song song. Tần số cộng hưởng của mạch cộng hưởng song song này gọi là tần số cộng hưởng riêng của cuộn dây  $f_0$ . Nếu cuộn dây làm việc ở tần số cao hơn tần số cộng hưởng riêng này thì cuộn dây mang dung tính nhiều hơn. Do đó tần số làm việc cao nhất của cuộn dây phải thấp hơn tần số cộng hưởng riêng của nó.



**Hình 2 -19:** Sơ đồ tương đương của cuộn dây khi làm việc ở tần số cao

Tần số cộng hưởng riêng của cuộn dây:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad [\text{Hz}] \quad (2.16)$$

Trong đó:  $L$  - là điện cảm của cuộn dây [H]

$C$  - là điện dung riêng của cuộn dây [F]

Tần số làm việc cao nhất của cuộn dây phải nhỏ hơn tần số  $f_0$  này.

$$f_{\max} < f_0$$

**2.3.4. Phân loại và ứng dụng của cuộn cảm.**

□ Dựa theo ứng dụng mà cuộn cảm có một số loại sau:

- Cuộn cộng hưởng là các cuộn dây dùng trong các mạch cộng hưởng LC.

- Cuộn lọc là các cuộn dây dùng trong các bộ lọc một chiều.
  - Cuộn chặn dùng để ngăn cản dòng cao tần, v.v..
- ☐ Dựa vào loại lõi của cuộn dây, có thể chia các cuộn dây ra một số loại sau. Chúng ta sẽ xem xét cụ thể từng loại một:

**a. Cuộn dây lõi không khí hay cuộn dây không có lõi:**

Cuộn dây lõi không khí có nhiều ứng dụng, thường gặp nhất là các cuộn cộng hưởng làm việc ở tần số cao và siêu cao.

Các yêu cầu chính của cuộn dây không lõi là:

- Điện cảm phải ổn định ở tần số làm việc.
- Hệ số phẩm chất cao ở tần số làm việc.
- Điện dung riêng nhỏ.
- Hệ số nhiệt của điện cảm thấp.
- Kích thước và giá thành phải hợp lý.

Để có độ ổn định cao, cuộn dây thường được quấn trên một ống cốt bền chắc bằng bìa hoặc sứ. Để giảm điện dung riêng có thể chia cuộn dây thành nhiều cuộn nhỏ nối tiếp.

Dây đồng nói chung được dùng đến tần số khoảng 50 MHz. Ở tần số cao hơn, cuộn dây thường được thay bằng ống đồng hoặc dải đồng tự đỡ (thường được mạ bạc để có điện dẫn xuất bề mặt cao) để tránh tổn thất trong ống quấn.

Các cuộn dây thường được tẩm dung dịch paraffin để chống ẩm, tăng độ bền cơ học, nhất là đối với các cuộn dây dùng sợi nhỏ chập lại hoặc cuộn dây quấn theo kiểu "tổ ong". Ở tần số Radio, các cuộn dây thường được bọc kim (đặt trong vỏ nhôm...) để tránh các nhiễu điện từ không mong muốn.

Muốn tăng điện cảm của cuộn dây mà không cần tăng số vòng dây, người ta dùng các lõi sắt từ

**b. Cuộn dây lõi sắt bụi:**

Cuộn dây lõi sắt bụi thường được dùng ở tần số cao và trung tần. Cuộn dây lõi sắt bụi có tổn thất thấp, đặc biệt là tổn thất do dòng điện xoáy ngược, và độ từ thẩm thấp hơn nhiều so với loại lõi sắt.

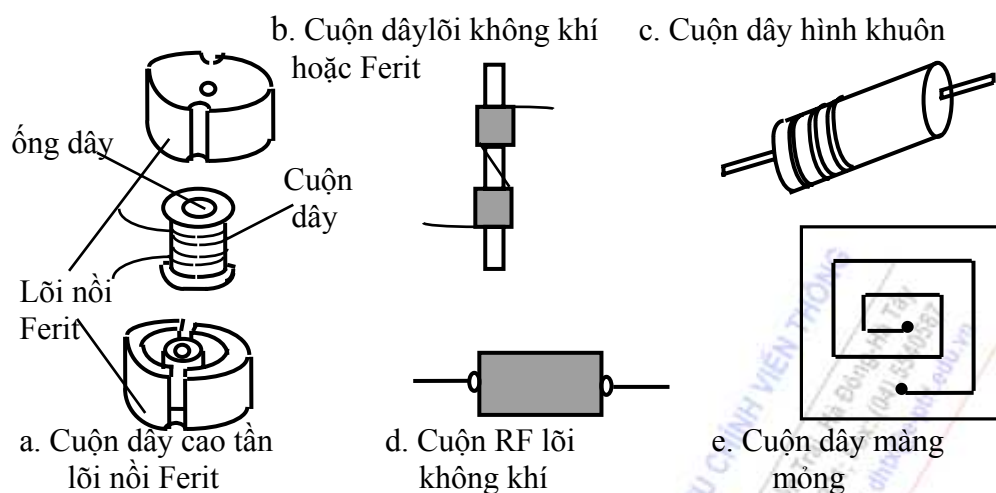
**c. Cuộn dây lõi Ferit:**

Cuộn dây lõi Ferit là các cuộn dây làm việc ở tần số cao và trung tần.

Lõi Ferit có nhiều hình dạng khác nhau như: thanh, ống, hình chữ E, chữ C, hình xuyên, hình nôi, hạt đậu, v.v.. Trong hình (2-20) mô tả một số loại cuộn dây cao tần và trung tần.

Lõi trong cuộn dây có thể được chế tạo để điều chỉnh đi vào hoặc đi ra khỏi cuộn dây. Như vậy điện cảm của cuộn dây sẽ thay đổi.

Tuỳ thuộc vào độ dày của sợi dây sử dụng và vào kích thước vật lý của cuộn dây, dòng điện cực đại có thể khoảng từ 50 mA đến 1 A.



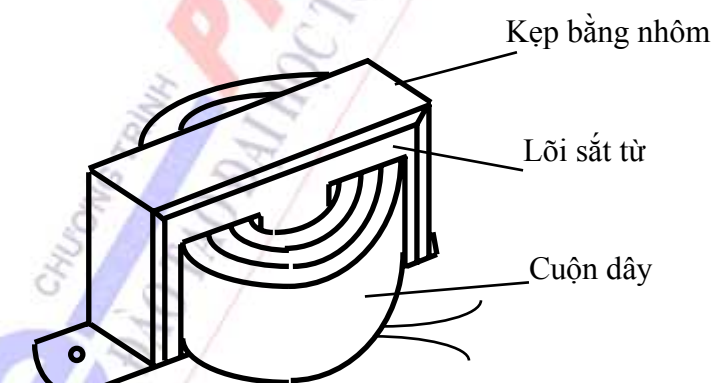
**Hình 2 -20:** Một số loại cuộn dây cao tần

#### d. Cuộn dây lõi sắt từ:

Lõi của cuộn dây thường là sắt - silic và sắt silic hạt định hướng, hoặc sắt- niken tùy theo mục đích ứng dụng. Đây là các cuộn dây làm việc ở tần số thấp. Dây quấn là dây đồng đã được tráng men cách điện, quấn thành nhiều lớp có cách điện giữa các lớp và được tẩm chống ẩm sau khi quấn.

Các cuộn chặn tần số thấp được dùng chủ yếu để lọc bỏ điện áp gợn cho nguồn cung cấp một chiều qua chỉnh lưu, làm tải anốt trong các tầng khuếch đại dùng đèn điện tử ghép LC, và trong các ứng dụng một chiều khác.

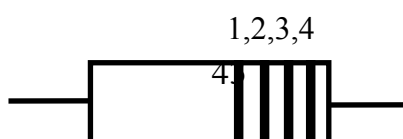
Giá trị cảm ứng của các cuộn dây này nằm trong khoảng từ 50 mH đến 20 H với dòng điện một chiều đến 10 A và điện áp cách điện đến 1000 V.



**Hình 2 -21:** Cuộn dây lọc nguồn tiêu chuẩn

- Ký hiệu của lõi Ferit và các cuộn dây: Ký hiệu của lõi và của các cuộn dây được qui định theo từng nước sản xuất.

Qui ước vòng màu cho các cuộn dây kích thước nhỏ. Nhìn chung qui ước màu giống như ở điện trở



*Qui ước:*

- Vòng màu thứ 1: chỉ số có nghĩa thứ nhất hoặc chấm thập phân
- Vòng màu thứ 2: chỉ số có nghĩa thứ hai hoặc chấm thập phân
- Vòng màu thứ 3: chỉ số 0 cần thêm vào
- Vòng màu thứ 4: chỉ dung sai %.

Trong trường hợp này, đơn vị đo của điện cảm là  $\mu\text{H}$ . Thứ tự các vòng màu ngược với điện trở.

**Bảng 2.5:** Mô tả ký hiệu màu cho các cuộn dây

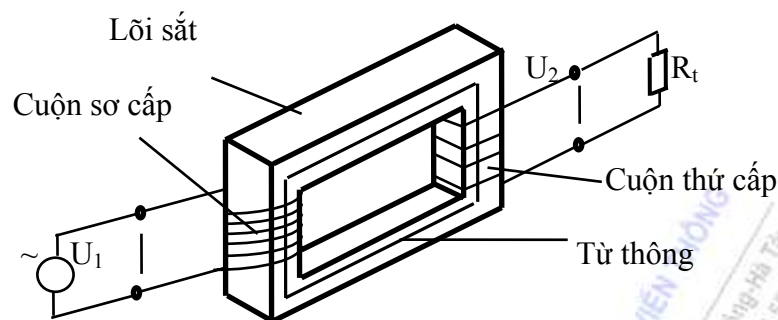
Màu	Giá trị của các số	Dung sai
Đen	0	-
Nâu	1	-
Đỏ	2	-
Cam	3	-
Vàng	4	-
Xanh lá cây	5	-
Xanh lam	6	-
Tím	7	-
Xám	8	-
Trắng	9	-
Bạch kim	-	10%
Vàng kim	Chấm thập phân	5%
Không vạch màu	-	20%

## 2.4. BIẾN ÁP

### 2.4.1. Định nghĩa và ký hiệu trong sơ đồ mạch.

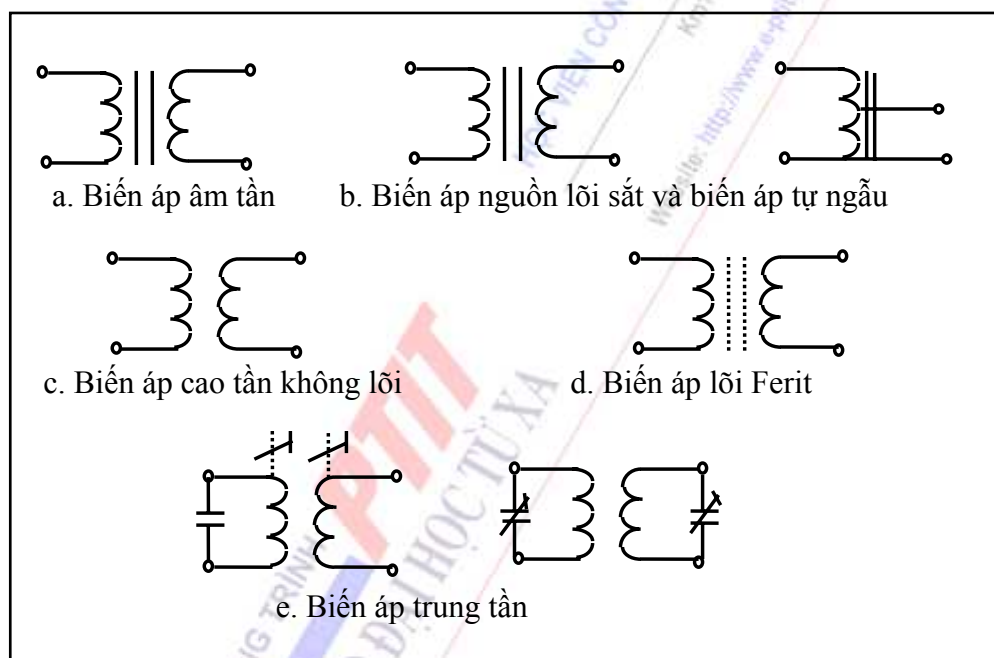
#### a. Định nghĩa:

Biến áp là thiết bị gồm hai hay nhiều cuộn dây ghép hồ cảm với nhau để biến đổi điện áp. Cuộn dây đầu vào nguồn điện gọi là cuộn sơ cấp, các cuộn dây khác đầu vào tải tiêu thụ năng lượng điện gọi là cuộn thứ cấp.



Hình 2 -23: Cấu tạo cơ bản của biến áp

## b. Ký hiệu của biến áp trong các sơ đồ mạch điện:



Hình 2 -24: Các ký hiệu của biến áp trong sơ đồ mạch điện

## 2.4.2. Các tham số kỹ thuật của biến áp.

## a. Hệ số ghép biến áp K:

Số lượng từ thông liên kết từ cuộn sơ cấp sang cuộn thứ cấp được định nghĩa bằng hệ số ghép biến áp K:

$$K = \frac{\text{Từ thông liên kết giữa hai cuộn sơ cấp và cuộn thứ}}{\text{Tổng số từ thông sinh ra do cuộn sơ cấp}}$$

Thông thường hệ số ghép biến áp được tính theo công thức:

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad (2.17)$$



Trong đó: M - hệ số hồ cảm của biến áp

$L_1$  và  $L_2$  - hệ số tự cảm của cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp tương ứng.

Khi  $K = 1$  là trường hợp ghép lý tưởng, khi đó toàn bộ số từ thông sinh ra do cuộn sơ cấp được đi qua cuộn thứ cấp và ngược lại.

Trên thực tế sử dụng, khi  $K \approx 1$  gọi là hai cuộn ghép chặt  
khi  $K \ll 1$  gọi là hai cuộn ghép lỏng

### b. Điện áp cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp:

Điện áp cảm ứng ở cuộn sơ cấp và thứ cấp quan hệ với nhau theo tỉ số:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\text{Do đó} \quad U_2 = U_1 \cdot \frac{N_2}{N_1} \quad (2.18)$$

Trong đó  $U_1$  - điện áp cảm ứng của cuộn dây sơ cấp.

$\frac{N_2}{N_1}$  - Hệ số biến áp là tỉ số giữa số vòng dây cuộn thứ cấp và cuộn sơ cấp.

Do đó nếu:  $N_1 = N_2$  thì  $U_1 = U_2$  ta có biến áp 1 : 1

$N_2 > N_1$  thì  $U_2 > U_1$  ta có biến áp tăng áp

$N_2 < N_1$  thì  $U_2 < U_1$  ta có biến áp hạ áp

### c. Dòng điện sơ cấp và dòng điện thứ cấp:

Quan hệ giữa dòng điện ở cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp theo tỉ số:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

Và dòng điện ở cuộn thứ cấp bằng:

$$I_2 = I_1 \frac{N_1}{N_2} \quad (2.19)$$

Ta thấy tỉ số dòng điện cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp là tỉ số nghịch đảo của điện áp cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp, nên một biến áp tăng áp cũng chính là một biến áp hạ dòng và ngược lại.

### d. Hiệu suất của biến áp:

Các biến áp thực đều có tổn thất nên người ta ra đưa thông số hiệu suất của biến áp. Hiệu suất của biến áp là tỉ số giữa công suất ra và công suất vào tính theo %:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{P_2}{P_2 + P_{\text{tổn thất}}} \cdot 100\% \quad (2.20)$$

trong đó  $P_1$  - công suất đưa vào cuộn sơ cấp

$P_2$  - công suất thu được ở cuộn thứ cấp

$P_{\text{tổn thất}}$  - Công suất điện mất mát do tổn thất của lõi  
và tổn thất của dây đồng.

Muốn giảm tổn hao năng lượng trong lõi sắt từ, dây đồng và từ thông rò người ta dùng loại lõi làm từ các lá sắt từ mỏng, có quét sơn cách điện, dùng dây đồng có tiết diện lớn và ghép chặt.

### 2.4.3. Phân loại và ứng dụng của biến áp.

Biến áp là thiết bị làm việc với dòng điện xoay chiều, còn khi làm việc với tín hiệu xung gọi là biến áp xung.

Ngoài công dụng biến đổi điện áp, biến áp còn được dùng để cách điện giữa mạch này với mạch kia trong trường hợp hai cuộn dây sơ cấp và thứ cấp cách điện với nhau và được dùng để biến đổi tổng trở trong trường hợp biến áp ghép chặt.

Biến áp cao tần dùng để truyền tín hiệu có chọn lọc thì dùng loại ghép lỏng, nhưng biến áp cao tần dùng để biến đổi tổng trở thì dùng loại ghép chặt.

Biến áp ghép chặt lý tưởng có  $\eta \approx 100\%$ , không có tổn thất của lõi và dây ( $K \approx 1$ ).

Sau đây là một số loại biến áp thông dụng.

#### a. Biến áp cộng hưởng:

Đây là biến áp cao tần (dùng ở trung tần hoặc cao tần) có lõi không khí hoặc sắt bụi hoặc ferit. Các biến áp này ghép lỏng và có một tụ điện mắc ở cuộn sơ cấp hoặc cuộn thứ cấp để tạo cộng hưởng đơn. Thông thường tần số cộng hưởng được thay đổi bằng cách điều chỉnh vị trí của lõi hoặc bao lõi.

Nếu dùng hai tụ điện mắc ở hai cuộn hai bên thì ta có thể có cộng hưởng kép hoặc cộng hưởng lệch.

Để mở rộng dải thông tần, ta dùng một điện trở đệm mắc song song với mạch cộng hưởng. Lúc đó thì độ chọn lọc tần số của mạch sẽ kém đi.

Thiết kế các biến áp cộng hưởng phải xét đến mạch cụ thể, nhất là đặc tính của các linh kiện tích cực và phải liên hệ đến điện cảm rò và điện dung phân tán của các cuộn dây.

#### b. Biến áp cấp điện (biến áp nguồn):

Là biến áp làm việc với tần số 50 Hz, 60 Hz. Biến áp nguồn có nhiệm vụ là biến đổi điện áp vào thành điện áp và dòng điện ra theo yêu cầu và ngăn cách thiết bị khỏi khỏi nguồn điện.

Các biến áp thường được ghi giới hạn bằng Vôn- Ampe. Các yêu cầu thiết kế chính của một biến áp cấp điện tốt là:

- Điện cảm cuộn sơ cấp cao để giảm dòng điện không tải xuống giá trị nhỏ nhất.
- Hệ số ghép K cao để điện áp thứ cấp ít sụt khi có tải.
- Tổn thất trong lõi càng thấp càng tốt.
- Kích thước biến áp càng nhỏ càng tốt.

#### c. Biến áp âm tần:

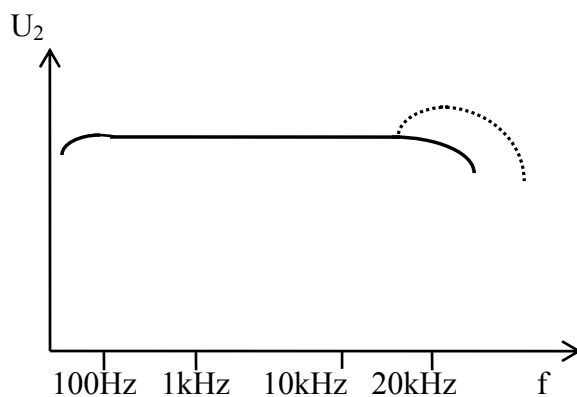
Biến áp âm tần là biến áp được thiết kế để làm việc ở dải tần số âm thanh khoảng từ 20 Hz đến 20000 Hz. Do đó biến áp này được dùng để biến đổi điện áp mà không được gây méo dạng sóng trong suốt dải tần số âm thanh, dùng để ngăn cách điện một chiều trong mạch này với mạch khác, để biến đổi tổng trở, để đảo pha, v.v..

Các yếu tố ảnh hưởng đến biến áp âm tần cần chú ý:

- Đáp ứng tần số:

Ở tần số thấp, công suất ra bị giới hạn chủ yếu bởi điện cảm cuộn sơ cấp.

Đáp ứng tần số bằng phẳng ở khoảng tần số từ 100 Hz đến 10 KHz. Ở khoảng này, sự thay đổi tần số không gây ảnh hưởng đến điện áp ra  $U_2$ .



**Hình 2 -25:** Đặc tính tần số của biến áp âm tần

Ở tần số đủ cao, sự mất mát năng lượng do lõi sắt tăng đến mức điện áp ra bị giảm xuống. Như vậy ở tần số làm việc cao, ảnh hưởng của điện cảm rò và điện dung phân tán giữa các vòng dây cao hơn.

- Khả năng truyền tải công suất:

Để có thể truyền tải công suất cực đại phải chấp nhận một lượng méo dạng sóng nhất định. Lượng méo này tùy thuộc vào người thiết kế.

Biến áp âm tần có thể dùng lõi sắt từ hoặc lõi ferit, và trên biến áp có ghi công suất (tùy thuộc vào kích thước...), tổng trở cuộn sơ cấp và tổng trở thứ cấp, loại có điểm giữa... Lõi biến áp âm tần cũng thường có khe không khí để chống bão hòa từ do dòng điện một chiều gây ra.

#### d. Biến áp xung:

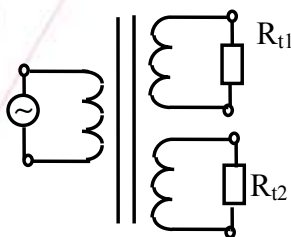
Biến áp xung có hai loại: loại tín hiệu và loại công suất.

Biến áp xung có yêu cầu về dải thông tần khắt khe hơn so với biến áp âm tần. Để hoạt động tốt ở cả tần số thấp (đỉnh và đáy xung) và ở tần số cao (sườn xung), biến áp xung cần phải có điện cảm sơ cấp lớn, đồng thời điện cảm rò nhỏ và điện dung giữa các cuộn dây nhỏ.

Để khắc phục các yêu cầu đối kháng này vật liệu lõi cần có độ từ thẩm cao và kết cấu hình học của cuộn dây thích hợp. Vật liệu lõi của biến áp xung được chọn tùy thuộc vào dải tần hoạt động có thể là sắt từ hoặc ferit.

#### e. Biến áp nhiều đầu ra:

Biến áp nhiều đầu ra gồm có 1 cuộn sơ cấp và nhiều cuộn thứ cấp. Điện áp ra ở mỗi cuộn phụ thuộc vào số vòng dây của cuộn đó cũng như phụ thuộc vào điện áp cuộn sơ cấp và số vòng dây của cuộn sơ cấp.



**Hình 2 -26:** Ký hiệu biến áp nhiều đầu ra

Một điều quan trọng cần chú ý là tổng điện áp ra được tính là tổng của các điện áp thứ cấp nếu các cuộn thứ cấp nối ghép theo kiểu trợ giúp và tất cả các điện áp của các cuộn dây đều cùng pha.

Nếu 1 trong các cuộn dây ghép nối theo kiểu ngược lại, sao cho điện áp của nó ngược pha với các điện áp khác thì phải lấy các điện áp khác trừ đi điện áp của nó.

## TÓM TẮT NỘI DUNG

Cấu kiện điện tử thụ động thông dụng gồm có điện trở, tụ điện, cuộn cảm và biến áp.

**Điện trở (R)** được coi là phần tử thông dụng nhất của các mạch điện tử. Đây là cấu kiện được chế tạo từ chất dẫn điện có điện trở suất cao. Trị số của điện trở được tính theo định luật Ôm. Điện trở dẫn dòng một chiều và xoay chiều như nhau. Các tham số kỹ thuật chính của điện trở là:

- Trị số điện trở và dung sai: Trị số điện trở đo bằng đơn vị Ôm ( $\Omega$ ), nó cho biết khả năng cản điện nhiều hay ít của điện trở; Dung sai của điện trở chỉ phần trăm (%) sai số cho phép của điện trở so với giá trị danh định của nó.
- Công suất tiêu tán cho phép là công suất điện cao nhất mà điện trở có thể chịu đựng được, quá trị số này thì điện trở sẽ bị nóng, cháy và hỏng. Tham số này thường được chú ý khi điện trở làm việc ở mạch điện có dòng điện lớn.
- Hệ số nhiệt của điện trở (TCR) biểu thị ảnh hưởng của nhiệt độ lên trị số của điện trở thường tính theo đơn vị phần nghìn trên độ bách phân (ppm/oC).

Điện trở được chế tạo và ghi các tham số cần thiết trên thân của nó để người sử dụng có thể đọc dễ dàng. Có một số cách ghi thông dụng được các nhà sản xuất qui định như ghi trực tiếp, ghi gián tiếp theo qui ước mã, qui ước màu...

**Tụ điện (C)** là cấu kiện điện tử được dùng làm phần tử tích điện tích trong mạch. Tụ điện ngăn cản dòng điện một chiều và dẫn dòng điện xoay chiều. Dòng điện và điện áp trên tụ điện lệch pha nhau 90 độ. Các tham số kỹ thuật chính của tụ điện là:

- Trị số điện dung và dung sai: Trị số điện dung biểu thị khả năng tích điện của tụ điện và nó được đo bằng đơn vị Farad (F). Tuy nhiên đơn vị này rất lớn nên trong kỹ thuật thường dùng các ước số của nó là Micro Farad ( $\mu F$ ), nano Farad (nF), pico Farad (pF). Dung sai của điện dung là sai số cho phép tính theo phần trăm (%) so với giá trị điện dung danh định của tụ điện.
- Điện áp làm việc cho phép (Vdc) là trị số điện áp cao nhất đo bằng vôn mà tụ điện chịu đựng được, quá giá trị này tụ điện sẽ bị “đánh thủng”.
- Hệ số nhiệt của tụ điện (TCC) biểu thị ảnh hưởng của nhiệt độ lên trị số điện dung được tính bằng phần triệu trên độ bách phân (ppm/oC).

**Cuộn cảm (L)** là cấu kiện điện tử dùng để tạo thành phần cảm kháng ở trong mạch. Cuộn cảm dẫn dòng điện một chiều và tần số thấp dễ dàng, dòng xoay chiều có tần số càng cao qua càng khó. Cảm kháng của cuộn cảm được tính theo công thức:  $X_L = 2\pi fL$ . Dòng điện và điện áp trên cuộn cảm lệch pha 90 độ. Khi sử dụng cuộn cảm chúng ta phải chú ý đến các tham số kỹ thuật cơ bản sau:

- Điện cảm của cuộn dây (L) đo bằng henry (H). Điện cảm phụ thuộc vào kích thước của cuộn dây, số vòng dây và cách quấn dây, vào lõi của cuộn dây.
- Hệ số phẩm chất của cuộn cảm (Q). Xét hệ số phẩm chất của cuộn cảm chúng ta phải xét về độ tổn hao của cuộn dây. Độ tổn hao được đặc trưng bằng một điện trở nối tiếp với cuộn dây. Hệ số phẩm chất  $Q = X_L/r$  (r- điện trở của các thành phần tạo ra cuộn dây).



- Tần số làm việc giới hạn ( $f_{g.h.}$ ) là tần số cao nhất mà cuộn dây vẫn làm việc bình thường, vẫn đảm bảo các tham số kỹ thuật của cuộn dây.

Chúng ta đã xem xét một số loại cuộn cảm thông dụng:

- + Cuộn cảm không có lõi, đó là các cuộn cảm làm việc ở tần số cao và siêu cao nên yêu cầu về điện dung riêng của cuộn cảm phải rất nhỏ, hệ số phẩm chất cao và chúng thường là các cuộn cộng hưởng.
- + Cuộn cảm lõi fe-rit: là các cuộn cảm làm việc ở tần số cao và trung tần và chúng cũng thường là cuộn cộng hưởng. Cuộn cảm lõi fe rit có thể điều chỉnh điện cảm được và nó có nhiều hình dạng khác nhau.
- + Cuộn cảm lõi sắt từ: là các cuộn cảm làm việc ở tần số thấp, thường là cuộn chặn cao tần, hoặc cuộn lọc nguồn.

**Biến áp** là cấu kiện dùng để biến đổi điện áp nhờ vào hiện tượng hồ cảm của các cuộn dây đặt gần nhau. Cấu tạo cơ bản của biến áp gồm có cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp. Cuộn sơ cấp có đầu vào thường được đấu với nguồn điện áp cần biến đổi, cuộn thứ cấp thường có đầu ra đấu với tải tiêu thụ. Khi sử dụng biến áp chúng ta cần chú ý các tham số kỹ thuật cơ bản của chúng.

- Tỉ số điện áp giữa cuộn thứ cấp và cuộn sơ cấp:  $U_2/U_1 = N_2/N_1$ , trong đó  $N_1$  và  $N_2$  là số vòng dây của cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp, tương ứng.
- Tỉ số giữa dòng điện thứ cấp và dòng điện sơ cấp:  $I_2/I_1 = N_1/N_2$
- Tỉ số giữa trở kháng vào và trở kháng ra:  $Z_2/Z_1 = N_1/N_2$
- Hệ số ghép biến áp K

Biến áp có nhiều loại, thông thường được phân chia theo mục đích sử dụng là biến áp cộng hưởng, biến áp nguồn, biến áp âm tần và biến áp xung. Biến áp cộng hưởng làm việc ở tần số cao và trung tần, thường là loại không có lõi hoặc lõi fe-rit. Biến áp cộng hưởng dùng để biến đổi tổng trở thì thuộc loại ghép chặt, còn dùng để truyền tín hiệu có chọn lọc thì thuộc loại ghép lỏng. Biến áp nguồn dùng để biến đổi điện áp ở tần số công nghiệp (50Hz, 60Hz). Biến áp nguồn thường dùng lõi sắt từ và là loại ghép chặt. Biến áp âm tần làm việc ở dải tần số âm thanh nên yêu cầu về đáp ứng tần số phải tốt trong suốt dải tần công tác. Biến áp xung là loại biến áp làm việc ở chế độ tín hiệu xung nên yêu cầu về đáp ứng tần số còn cao hơn biến áp âm tần vì nó phải làm việc tốt ở tần số cao cũng như ở tần số thấp. Biến áp âm tần có lõi là sắt từ hoặc fe-rit tùy theo yêu cầu mạch điện.

## CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Hãy cho biết các tham số cơ bản của điện trở?
2. Trình bày về các cách phân loại điện trở và nêu ứng dụng của chúng?
3. Cho biết các tham số cơ bản của tụ điện?
4. Nêu các cách phân loại tụ điện, cho một vài ví dụ.
5. Định nghĩa về cuộn cảm và nêu các tham số chính của nó.
6. Trình bày về đặc điểm của cuộn cảm lõi không khí và phạm vi sử dụng của chúng?
7. Trình bày các đặc điểm của cuộn cảm lõi fe-rit và ứng dụng của chúng?
8. Hãy cho biết các đặc tính của cuộn cảm lõi sắt từ và ứng dụng?
9. Nêu định nghĩa, cấu trúc và tham số chính của biến áp?
10. Trình bày về biến áp cộng hưởng?
11. Nêu các yêu cầu và đặc điểm chính của biến áp âm tần?
12. Đặc điểm của biến áp nguồn?



13. Dựa vào % dung sai, điện trở được phân chia làm....  
a. 3 loại;      b. 4 loại;      c. 5 loại;      d. 6 loại
14. Cấu trúc của biến trở khác với điện trở cố định chủ yếu là do .....  
a. vỏ bọc và lõi      b. vật liệu cản điện  
c. số chân của cấu kiện.      d. có thêm con chạy để điều chỉnh trị số điện trở.
15. Biến áp âm tần được thiết kế để làm việc ở dải tần số....  
a. từ 0Hz đến 20.000Hz;      b. từ 20KHz đến 1MHz  
c. từ 20Hz đến 20.000Hz;      d. từ 6MHz đến 1GHz

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

1. Giáo trình “Cấu kiện điện tử và quang điện tử”, Trần Thị Cẩm, Học viện CNBCVT, năm 2002.
2. Fundamentals of electric circuits, David A. Bell, Prentice-Hall International Editions, 1988

## CHƯƠNG 3

### ĐIÓT BÁN DẪN

#### GIỚI THIỆU CHƯƠNG

Chương 3 trình bày về các tính chất vật lý điện của lớp tiếp xúc P-N. Lớp tiếp xúc P-N là bộ phận chính của các cấu kiện bán dẫn. Lớp tiếp xúc P-N bao gồm các ion âm và dương cố định, chúng không dẫn điện nên lớp tiếp xúc P-N còn được gọi là lớp điện tích không gian hay lớp nghèo hạt dẫn. Trong chương 3 sẽ trình bày về các tính chất dẫn điện của lớp tiếp xúc P-N khi được phân cực thuận và phân cực ngược. Cũng trong chương này chúng ta sẽ được giới thiệu về một cấu kiện bán dẫn chỉ có một lớp tiếp xúc P-N đó là điốt bán dẫn. Điốt bán dẫn có nguyên lý dẫn điện một chiều và ta cũng nghiên cứu về đặc tuyến vôn-ampe của nó, các tham số tĩnh của điốt và chế độ động của nó. Ngoài ra chương 3 còn giới thiệu một số loại điốt thông dụng.

#### NỘI DUNG

##### 3.1. LỚP TIẾP XÚC P-N

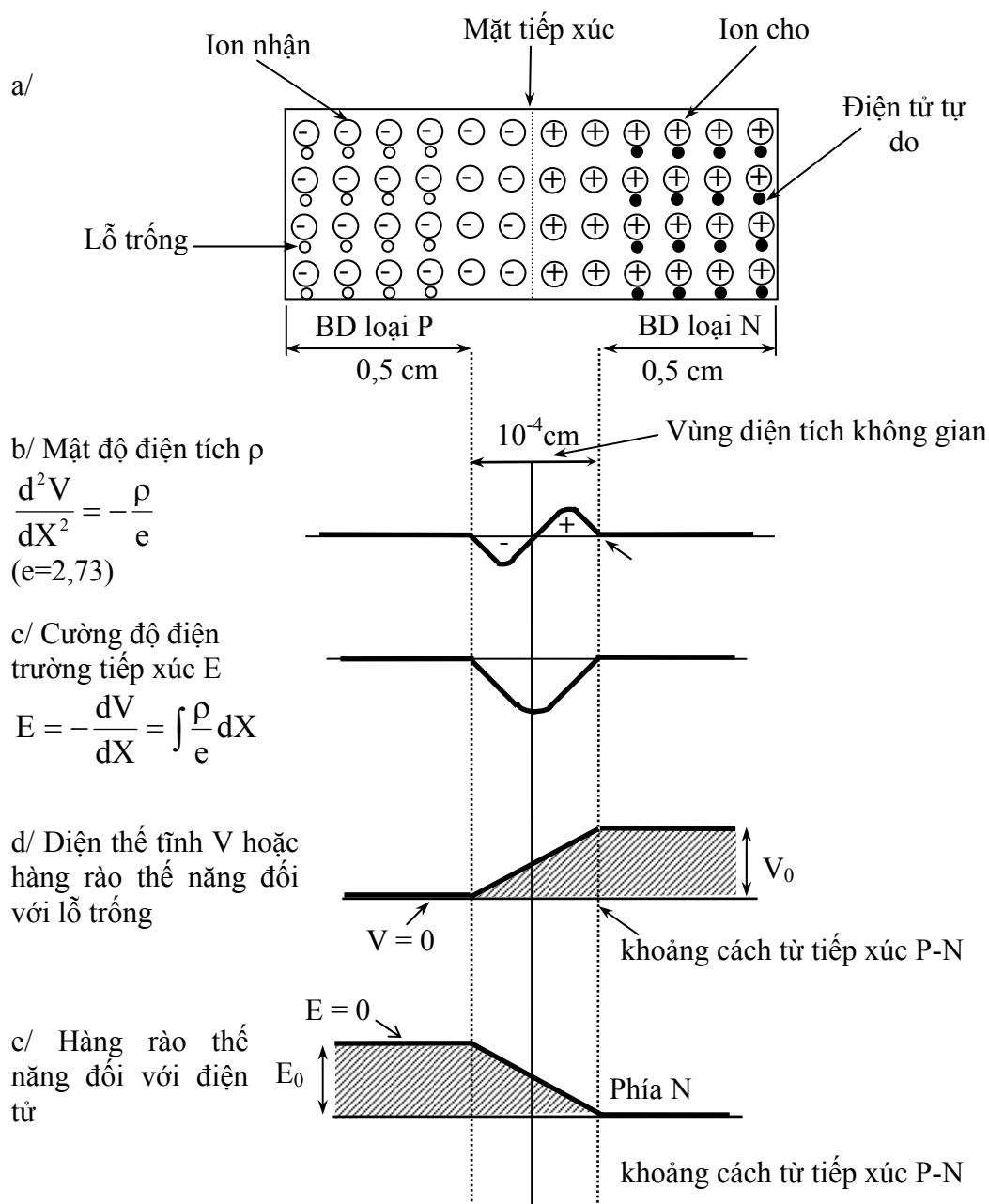
###### 3.1.1 Sự tạo thành lớp tiếp xúc P-N và các tính chất điện.

Nếu trên một miếng bán dẫn đơn tinh thể (bán dẫn nguyên tính), bằng các phương pháp công nghệ, ta tạo ra hai vùng có bản chất dẫn điện khác nhau: một vùng là bán dẫn tạp loại P và một vùng kia là bán dẫn tạp loại N. Như vậy, tại ranh giới tiếp xúc giữa hai vùng bán dẫn P và N này sẽ xuất hiện một lớp có đặc tính vật lý khác hẳn với hai vùng bán dẫn P và N, được gọi là lớp tiếp xúc P-N. Trong lớp tiếp xúc P-N chỉ bao gồm hai khối điện tích trái dấu là các ion âm bên phía bán dẫn P và ion dương bên phía bán dẫn N. Đây là các ion cố định, không dẫn điện, do vậy, lớp tiếp xúc P-N còn gọi là vùng điện tích không gian hay vùng nghèo hạt dẫn. Độ dày của lớp này khoảng  $10^{-4} \text{ cm} = 10^{-6} \text{ m} = \text{micron}$ .

Hình 3.1 mô tả các tính chất điện của tiếp xúc P-N. Trong lớp tiếp xúc tồn tại một điện trường tiếp xúc hay điện trường khuếch tán (Hình 3-1c) có cường độ là E được tính là tích phân của mật độ điện tích  $\rho$  (trong hình 3-1b). Điện trường tiếp xúc này có chiều tác dụng từ bán dẫn N sang bán dẫn P.

Sự thay đổi của điện thế tĩnh ở vùng điện tích không gian được chỉ ra ở hình (3-1d). Đó chính là hàng rào thế năng ngăn cản sự khuếch tán tiếp theo của các lỗ trống qua lớp tiếp xúc.

Hình dạng hàng rào thế năng, hình (3-1e), ngăn cản sự khuếch tán của các điện tử từ bán dẫn N qua lớp tiếp xúc.



**Hình 3 - 1** : Đồ thị của tiếp xúc P-N gồm:

- a- cấu trúc tiếp P-N ; b- mật độ điện tích
- c- cường độ điện trường
- d, e- hàng rào thế năng ở tiếp xúc P-N

### 3.1.2. Điều kiện cân bằng động của lớp tiếp xúc P-N

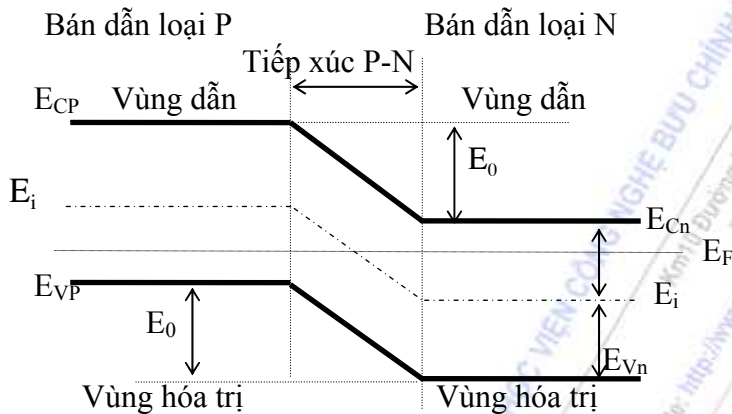
Khi dòng điện do các hạt dẫn chuyển động khuếch tán và các hạt dẫn chuyển động trôi qua tiếp xúc P-N có giá trị bằng nhau thì ta nói tiếp xúc P-N ở trạng thái cân bằng động,. Do các dòng điện này ngược chiều nhau nên chúng triệt tiêu lẫn nhau và dòng điện tổng qua lớp tiếp xúc P-N bằng không. Lúc này lớp tiếp xúc có bề dày ký hiệu là  $d$ , điện trở lớp tiếp xúc ký hiệu là  $R_{P/N}$ , cường độ điện trường tiếp xúc ký hiệu là  $E_0$  (hay còn gọi là hàng rào thế năng) và tương ứng với nó có hiệu điện thế tiếp xúc ký hiệu là  $V_0$ . Các đại lượng này ta sẽ tính được qua

các công thức dưới đây. Do lớp tiếp xúc P-N là vùng nghèo hạt dẫn nên điện trở của nó lớn hơn nhiều điện trở của hai vùng bán dẫn P và N ( $R_{P/N} \gg R_N$  và  $R_P$ ).

Điều kiện cân bằng này giúp ta tính được độ cao của hàng rào thế năng  $V_0$  phụ thuộc vào nồng độ tạp chất cho và tạp chất nhận. Giá trị của  $V_0$  khoảng từ vài phần mười vôn.

Theo hình (3- 2) ta thấy mức năng lượng Fecmi của cả hai phần bán dẫn P và N nằm trên một đường thẳng. Mức năng lượng  $E_0$  - thế năng của điện tử hay hàng rào thế năng của điện tử ở tiếp xúc P-N khi nó ở trạng thái cân bằng là:

$$E_0 = E_{Cp} - E_{Cn} = E_{Vp} - E_{Vn} \quad (3.1)$$



**Hình 3 - 2:** Đồ thị vùng năng lượng của tiếp xúc P-N khi hở mạch (trạng thái cân bằng).

Phác họa này minh họa cho hình 3-1e và biểu thị thế năng của điện tử. Bề rộng vùng cấm  $E_G$  [eV].

Hiệu điện thế tiếp xúc  $V_0$  ở tiếp xúc P-N trong trạng thái cân bằng nhiệt động được tính theo công thức sau:

$$V_0 = V_n - V_p = V_T \ln \frac{N_D N_A}{n_i^2} \quad (3.2)$$

Tương ứng với  $V_0$  ta có cường độ điện trường tiếp xúc ở trạng thái cân bằng nhiệt động  $E_0$  là:

$$E_0 = KT \ln \frac{N_D N_A}{n_i^2} \quad (3.3)$$

Trong đó  $E_0$  đo bằng [eV], và  $V_0$  đo bằng [V].

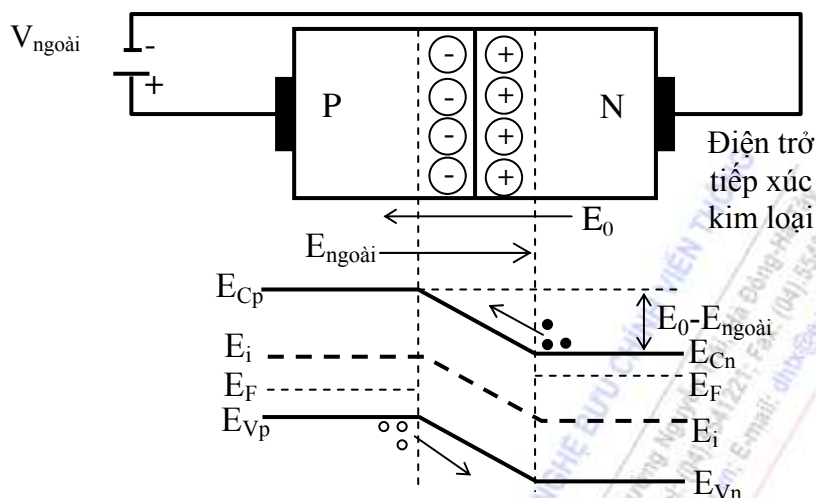
Ngoài ra, hiệu điện thế tiếp xúc  $E_0$  còn được tính theo công thức sau:

$$E_0 = KT \ln \frac{P_{p0}}{P_{n0}} = KT \ln \frac{n_{n0}}{n_{p0}} \quad (3.4)$$

Chỉ số 0 trong công thức trên để biểu thị rằng các nồng độ hạt dẫn này được tính ở điều kiện cân bằng nhiệt động.

### 3.1.3. Lớp tiếp xúc P-N khi phân cực thuận.

Tiếp xúc P-N được phân cực thuận khi ta đặt một nguồn điện áp bên ngoài lên lớp tiếp xúc P-N có chiều cực dương được nối vào bán dẫn loại P và cực âm nối vào bán dẫn N.



**Hình 3 - 3:** Tiếp xúc P – N phân cực thuận và đồ thị dải năng lượng của nó

Chiều tác dụng của điện trường ngoài ngược lại với chiều tác dụng của điện trường tiếp xúc trong lớp tiếp xúc P-N nên lúc này lớp tiếp xúc P-N không còn ở trạng thái cân bằng động nữa. Điện trường trong lớp tiếp xúc giảm xuống, hàng rào thế năng giảm xuống một lượng bằng điện trường ngoài:

$$E_{T.X.} = E_0 - E_{ngoài} \quad (3.5)$$

Do đó phần lớn các hạt dẫn đa số dễ dàng khuếch tán qua tiếp xúc P-N, kết quả là dòng điện qua tiếp xúc P-N tăng lên. Dòng điện chạy qua tiếp xúc P-N khi nó phân cực thuận gọi là dòng điện thuận  $I_{th}$ .

Khi tăng điện áp thuận lên, tiếp xúc P-N được phân cực thuận càng mạnh, hiệu điện thế tiếp xúc càng giảm, hàng rào thế năng càng thấp xuống, đồng thời điện trở lớp tiếp xúc giảm, bề dày của lớp tiếp xúc cũng giảm, các hạt dẫn đa số khuếch tán qua tiếp xúc P-N càng nhiều nên dòng điện thuận càng tăng và nó tăng theo qui luật hàm số mũ với điện áp ngoài.

Khi điện áp thuận có giá trị xấp xỉ với  $V_0$ , dòng điện chạy qua tiếp xúc P-N thực sẽ được khống chế bởi điện trở thuận của tiếp xúc kim loại và điện trở khối tinh thể. Do vậy đặc tuyến Vôn-Ampe gần giống một đường thẳng.

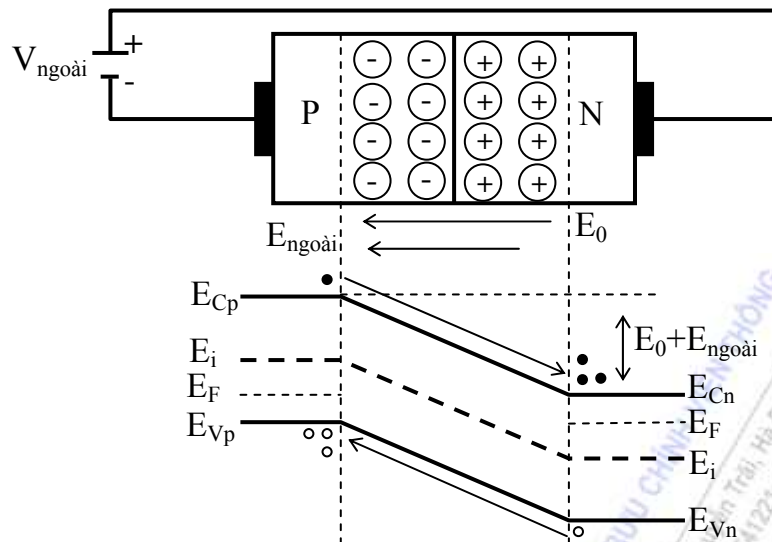
#### 3.1.4. Lớp tiếp xúc P-N khi phân cực ngược.

Lớp tiếp xúc P-N được phân cực ngược khi ta đặt một nguồn điện áp ngoài sao cho cực dương của nó nối với phần bán dẫn N, còn cực âm nối với phần bán dẫn P. Khi đó điện áp ngoài sẽ tạo ra một điện trường cùng chiều với điện trường tiếp xúc  $E_0$ , làm cho điện trường trong lớp tiếp xúc tăng lên:

$$E_{T.X.} = E_0 + E_{ngoài} \quad (3.6)$$

Tức là hàng rào thế năng càng cao hơn. Các hạt dẫn đa số khó khuếch tán qua vùng điện tích không gian, làm cho dòng điện khuếch tán qua tiếp xúc P-N giảm xuống so với trạng thái cân bằng.





**Hình 3 - 4:** Tiếp xúc P – N phân cực ngược và đồ thị dải năng lượng của nó

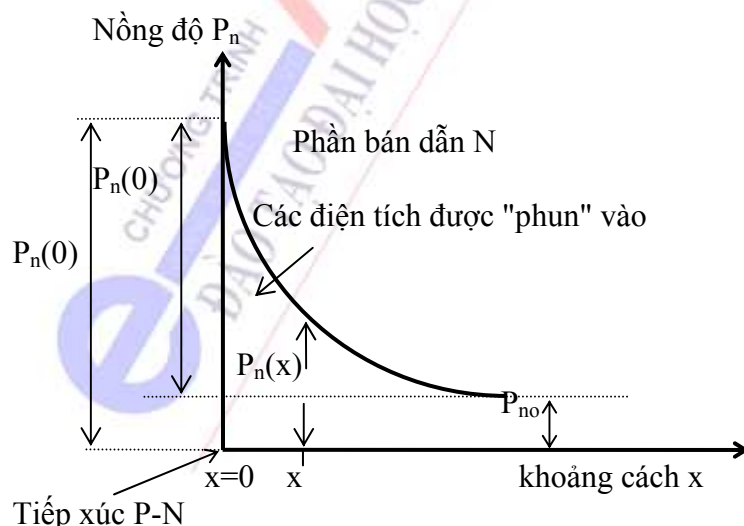
Đồng thời, do điện trường của lớp tiếp xúc tăng lên sẽ thúc đẩy quá trình chuyển động trôi của các hạt dẫn thiểu số và tạo nên dòng điện trôi có chiều từ bán dẫn N sang bán dẫn P và được gọi là dòng điện ngược  $I_{ngược}$ .

Nếu ta tăng điện áp ngược lên, hiệu điện thế tiếp xúc càng tăng lên làm cho dòng điện ngược tăng lên. Nhưng do nồng độ các hạt dẫn thiểu số có rất ít nên dòng điện ngược nhanh chóng đạt giá trị bão hòa và được gọi là dòng điện ngược bão hòa  $I_0$  có giá trị rất nhỏ khoảng từ vài nA đến vài chục  $\mu A$ .

#### **Dòng điện qua tiếp xúc P-N:**

##### **a. Dòng điện thuận:**

Khi tiếp xúc P-N phân cực thuận, qua nó có dòng điện thuận. Đó là dòng điện do các hạt dẫn đa số khuếch tán qua tiếp xúc P-N. Ta có:



**Hình 3 - 5:** Nồng độ lỗ trống trong bán dẫn N  
khi tiếp xúc P-N phân cực thuận ( $P_n(0) \gg P_{no}$ )

+ Dòng điện lỗ trống  $I_{Pn}(0)$  đi qua tiếp xúc P-N về phía bán dẫn N là (khi  $x = 0$ )

$$I_{Pn}(0) = \frac{S \cdot q \cdot D_p P_{no}}{L_p} \left( e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right) \quad (3.7)$$

Trong đó:  $I_{Pn}(0)$  - là dòng điện do các lỗ trống khuếch tán qua tiếp xúc P-N.

$S$  - là diện tích mặt tiếp xúc.

$q$  - điện tích của điện tử.

$D_p$  - Hệ số khuếch tán của lỗ trống.

$L_p$  - Độ dài khuếch tán của lỗ trống.

$P_{no}$  - Nồng độ hạt dẫn lỗ trống bên bán dẫn N.

$V$  - Điện áp phân cực thuận.

$V_T$  - Điện thế nhiệt ( $V_T = \frac{KT}{q} = \frac{T}{11600}$ ).

$e$  - số tự nhiên ( $= 2,73$ )

Ở đó  $P_{no}(e^{\frac{V}{V_T}} - 1) = P_n(0)$  gọi là mật độ lỗ trống "phun" vào phía bán dẫn N.

+ Dòng điện điện tử  $I_{np}(0)$  khuếch tán qua tiếp xúc P-N vào phía bán dẫn P là:

$$I_{np}(0) = \frac{S \cdot q \cdot D_n n_{po}}{L_n} \left( e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right) \quad (3.8)$$

Dòng điện qua tiếp xúc P-N là tổng của 2 thành phần dòng điện  $I_{Pn}(0)$  và  $I_{np}(0)$ , vậy ta có:

$$I = I_{Pn}(0) + I_{np}(0) = I_0 \left( e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right) \quad (3.9)$$

Trong đó  $I_0$  gọi là dòng điện ngược bão hòa và có biểu thức:

$$I_0 = \frac{S \cdot q \cdot D_p P_{no}}{L_p} + \frac{S \cdot q \cdot D_n n_{po}}{L_n} \quad (3.10)$$

#### b. Dòng điện ngược bão hòa:

Thay các giá trị  $P_{no} = P_n$  và  $n_{po} = n_p$  ta có công thức tính dòng điện  $I_0$ :

$$I_0 = S \cdot q \cdot \left( \frac{D_p}{L_p N_D} + \frac{D_n}{L_n N_A} \right) \cdot n_i^2 \quad (3.11)$$

Trong đó:

$$n_i^2 = A_0 T^3 e^{-\frac{E_{G0}}{KT}} = A_0 T^3 e^{-\frac{V_{G0}}{V_T}}$$

Ở đây có  $V_{G0}$  là điện áp có cùng đại lượng với  $E_{G0}$  (năng lượng vùng cấm ở  $0^0K$ )

Do đó sự phụ thuộc vào nhiệt độ của dòng  $I_0$  là:

$$I_0 = K_1 T^2 e^{-\frac{V_{G0}}{V_T}} \quad (3.12)$$

trong đó  $K_1$  là hệ số phụ thuộc vào nhiệt độ, và dòng điện tổng được tính gần đúng là:

$$I = I_0 \left( e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right) \quad (3.13)$$

#### 3.1.5. Đặc tuyến Vôn-Ampe của tiếp xúc P-N.

Đặc tuyến Vôn-Ampe của tiếp xúc P-N biểu diễn mối quan hệ giữa dòng điện chạy qua tiếp xúc và điện áp ngoài đặt lên tiếp xúc:

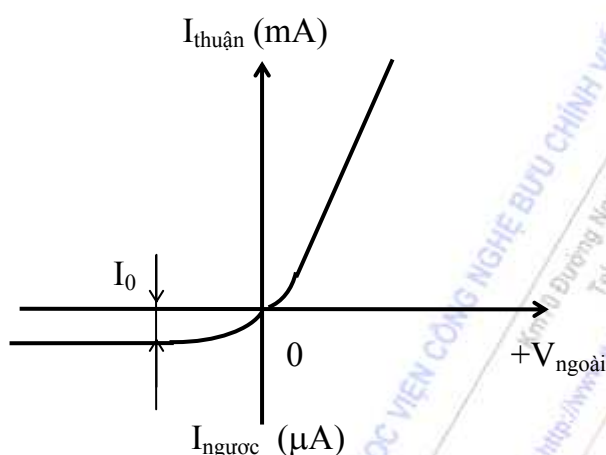
$$I = f(V_{\text{ngoài}})$$

Dòng điện liên quan với điện áp theo công thức (3.13):

$$I = I_0 (e^{\frac{V}{V_T}} - 1)$$

$V_T$  -điện thế nhiệt của bán dẫn. Ở nhiệt độ trong phòng  $V_T=0,026V=26mV$ .

Dạng đặc tuyến Vôn-Ampe của tiếp xúc P-N mô tả ở hình (3-6):



**Hình 3 - 6:** Đặc tuyến Vôn-Ampe của tiếp xúc P-N lý tưởng

*Kết luận:*

Qua đặc tuyến Vôn-Ampe dòng điện thuận đo bằng mA, còn dòng điện ngược chỉ đo bằng  $\mu A$ . Điều này cho thấy tiếp xúc P-N chỉ dẫn điện một chiều khi tiếp xúc P-N được phân cực thuận:

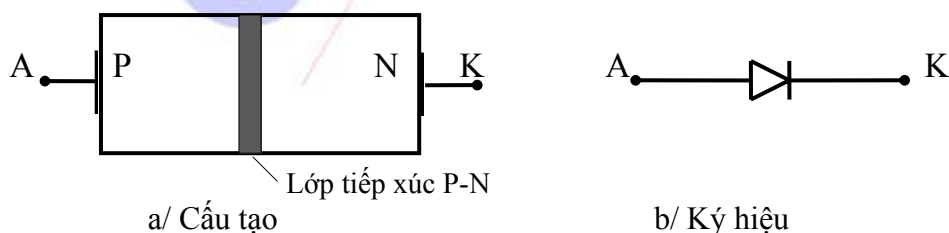
$$I_{\text{thuận}} \gg I_{\text{ngược}} = -I_0 \quad (\text{vì } I_0 \approx 0)$$

và được gọi là hiệu ứng chỉnh lưu.

### 3.2. ĐIÓT BÁN DẪN

#### 3.2.1. Cấu tạo của điốt và ký hiệu trong sơ đồ mạch điện.

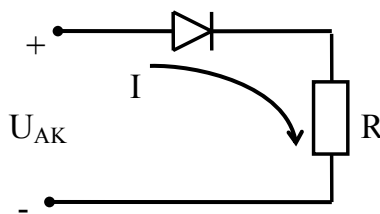
Điốt bán dẫn là cấu kiện gồm có một lớp tiếp xúc P-N và hai chân cực là anốt (ký hiệu là A) và catốt (ký hiệu là K). Anốt được nối tới bán dẫn P, catốt được nối với bán dẫn N được bọc trong vỏ bảo vệ bằng kim loại hoặc nhựa tổng hợp.



**Hình 3-7:** Cấu tạo và ký hiệu của điốt bán dẫn trên sơ đồ mạch.

### 3.2.2. Nguyên lý hoạt động của điốt.

Hoạt động của điốt dựa trên tính dẫn điện một chiều của tiếp xúc P-N. Hình 3-8 mô tả sơ đồ nguyên lý đầu điốt.



**Hình 3 - 8:** Sơ đồ nguyên lý của điốt

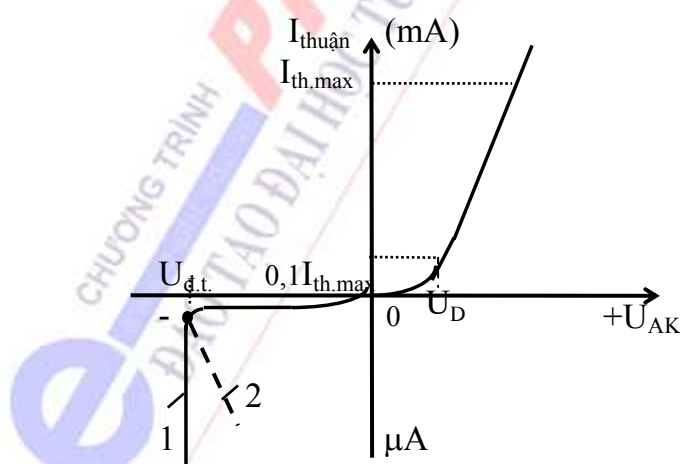
Khi đưa điện áp ngoài có cực dương vào anốt, âm vào catốt ( $U_{AK} > 0$ ) thì điốt sẽ dẫn điện và trong mạch có dòng điện chạy qua vì lúc này tiếp xúc P-N được phân cực thuận.

Khi điện áp ngoài có cực âm đưa vào anốt, cực dương đưa vào catốt ( $U_{AK} < 0$ ) điốt sẽ khóa vì tiếp xúc P-N phân cực ngược, dòng điện ngược rất nhỏ ( $I_0 \approx 0$ ) chạy qua.

### 3.2.3 Đặc tuyến vôn-ampe của điốt bán dẫn.

Đặc tuyến vôn- ampe của điốt biểu thị mối quan hệ giữa dòng điện qua điốt với điện áp đặt giữa hai chân cực anốt và catốt ( $U_{AK}$ ). Đây chính là đặc tuyến vôn-ampe của lớp tiếp xúc P-N, do vậy dòng điện chạy qua điốt được tính theo công thức sau:

$$I = I_0 \left( e^{\frac{U_{AK}}{V_T}} - 1 \right)$$



**Hình 3 - 9:** Đặc tuyến V-A của điốt bán dẫn

Hình 3- 9 mô tả đặc tuyến Vôn-Ampe của một điốt thực. Ta thấy:

- *Phần thuận của đặc tuyến* (khi  $U_{AK} > 0$ ):

Khi điốt được phân cực thuận thì dòng điện thuận tăng rất nhanh. Ta phải chú ý đến giá trị dòng điện thuận cực đại  $I_{\text{thuận max}}$ , điốt không được làm việc với dòng điện cao hơn trị số này.

Khi  $U_{AK} > 0$  nhưng trị số nhỏ thì dòng điện thuận quá nhỏ nên đi ốt chưa được coi là phân cực thuận. Chỉ khi điện áp thuận  $U_{AK} \geq U_D$  thì đi ốt mới được tính là phân cực thuận và điốt mới dẫn điện. Điện áp  $U_D$  được gọi là điện áp thuận ngưỡng của điốt. Khi  $U_{AK} = U_D$  thì dòng điện thuận có trị số bằng khoảng  $0,1 I_{\text{th.max}}$ . và khi  $U_{AK} > U_D$  thì dòng điện thuận tăng nhanh và tăng gần như tuyến tính với điện áp.  $U_D$  có giá trị bằng  $(0,1 \div 0,3)V$  đối với điốt gecmani và bằng  $(0,4 \div 0,8)V$  đối với điốt silic.

#### □ Phần ngược của đặc tuyến Vôn-Ampe:

Khi  $|U_{AK}|$  lớn hơn vài lần  $V_T$  thì dòng điện ngược có giá trị bằng  $I_0$  và giữ nguyên giá trị này. Khi  $U_{AK} < 0$  tăng lên đến trị số  $U_{d.t.}$  thì dòng điện tăng vọt, ta gọi đây là hiện tượng đánh thủng tiếp xúc P-N. Hiện tượng đánh thủng tiếp xúc P-N làm mất khả năng chỉnh lưu của điốt và thông thường nó làm hỏng điốt, trừ điốt Zener là điốt sử dụng hiện tượng đánh thủng để ổn định điện áp. Điện áp tại điểm đánh thủng ta gọi là điện áp đánh thủng và ký hiệu là  $U_{d.t.}$ .

Có hai hiện tượng đánh thủng:

- Đánh thủng về điện (đường 1)
- Đánh thủng về nhiệt (đường 2)

+ Đánh thủng về nhiệt xảy ra do tác động nhiệt. Hiện tượng đánh thủng về nhiệt thường xảy ra đối với điốt gecmani. Lúc này từng đôi điện tử và lỗ trống được sinh ra do tác dụng của nhiệt năng làm cho dòng điện tăng lên còn sụt áp trên điốt giảm.

+ Đánh thủng về điện hay xảy ra đối với điốt silic và nó có ý nghĩa thực tế hơn. Hiện tượng đánh thủng về điện thường xảy ra theo 2 cơ chế sau:

- *Đánh thủng đường hầm:* là sự đánh thủng xảy ra ở một giá trị điện trường nào đó gọi là giá trị tới hạn  $E_{t.h.}$  đặt lên tiếp xúc P-N. Điều kiện để xảy ra hiện tượng đánh thủng đường hầm là:

$$|E|_{\text{max}} = E_{t.h.}$$

Thông thường  $E_{t.h.} = 3 \cdot 10^7 \text{ V/m}$  đối với điốt gecmani và  $E_{t.h.} = 8 \cdot 10^7 \text{ V/m}$  đối với điốt silic.

- *Đánh thủng thác lũ:* là sự ion hóa các nguyên tử của mạng tinh thể bởi sự va chạm với các hạt tải điện mang năng lượng lớn.

*Điện áp đánh thủng:* Tùy theo vật liệu mà điện áp đánh thủng có thể từ vài vôn đến hàng chục ngàn vôn.

#### 3.2.4 Các tham số tĩnh của điốt.

Để đánh giá, lựa chọn và sử dụng điốt chúng ta phải biết các tham số kỹ thuật của nó. Các tham số cơ bản của điốt:

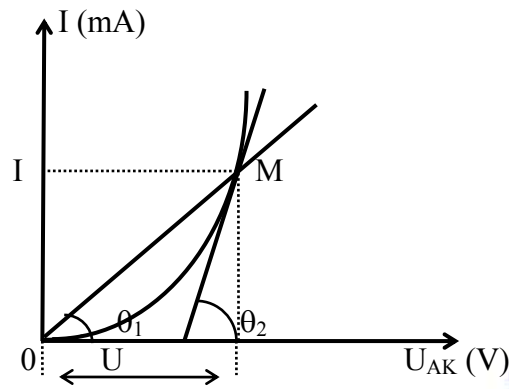
##### a. Điện trở một chiều hay còn gọi là điện trở tĩnh: $R_0$

Là điện trở của điốt khi làm việc ở chế độ nguồn một chiều hoặc tại chế độ tĩnh

$$R_0 = \frac{U}{I} \quad [\Omega] \quad (3.14)$$

Điện trở một chiều  $R_0$  chính là nghịch đảo góc nghiêng của đặc tuyến Vôn-Ampe tại điểm làm việc tĩnh M (góc  $\theta_1$ ).





**Hình 3 - 10:** Xác định điện trở một chiều và điện trở động của điốt.

Thông thường, do tính dẫn điện một chiều của điốt nên  $R_{0\text{thuận}} \ll R_{0\text{ngược}}$ .

**b. Điện trở động  $R_i$  :**

Là một tham số quan trọng và  $R_i$  tỉ lệ với cotang góc nghiêng của đường tiếp tuyến với đặc tuyến Vôn-Ampe tại điểm làm việc tĩnh M của điốt ( $\cotg \theta_2$ ).

$$R_i = \frac{dU}{dI} \quad [\Omega] \quad (3.15)$$

Do tính dẫn điện một chiều nên  $I \gg I_0$  và  $\left| \frac{U}{V_T} \right| \gg 1$ , do đó:

$$R_i = \frac{V_T}{I} \quad (3.16)$$

Ta thấy rằng tại một điểm làm việc thì  $R_0 > R_i$  (vì có góc  $\theta_2 > \theta_1$ ).

**c. Điện dung của điốt:  $C_d$  (hay điện dung của tiếp xúc P- N)**

Điện dung của tiếp xúc P- N gồm có 2 thành phần là điện dung rào thế (ký hiệu  $C_0$ ) và điện dung khuếch tán (ký hiệu  $C_{k.t}$ ). Ta có:

$$C_d = C_0 + C_{k.t} \quad (3.17)$$

**+ Điện dung rào thế  $C_0$  :**

Sự tăng các điện tích khi đặt điện áp ngược lên tiếp xúc P-N gọi là hiệu ứng điện dung. Độ gia tăng của điện dung này sẽ là:

$$C_0 = \left| \frac{dQ}{dU} \right| \quad (3.18)$$

Trong đó  $dQ$  là sự gia tăng của điện tích do sự thay đổi  $dU$  của điện áp.

Tham số  $C_0$  không phải là một trị số cố định, nó phụ thuộc vào trị số điện áp ngược đặt vào tiếp xúc P-N và được xác định theo công thức (3.18).

Ngoài ra, mật độ điện tích là một hàm của bề dày lớp tiếp xúc, do đó điện dung  $C_0$  có thể tính theo công thức:

$$C_0 = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{d} \quad (3.19)$$

Trong đó  $S$  : diện tích mặt tiếp xúc

$d$  : bề dày lớp tiếp xúc

$\epsilon_r$  : hằng số điện môi tương đối của chất bán dẫn

$\epsilon_0$  : độ thẩm thấu điện của không khí

Khi tăng điện áp ngược, bề dày lớp tiếp xúc tăng nên trị số  $C_0$  giảm xuống.

+ *Điện dung khuếch tán*:  $C_{k.t}$ .

Điện dung khuếch tán chỉ xuất hiện khi có hiện tượng khuếch tán xảy ra. Do đó khi điốt phân cực thuận thì  $C_{k.t} \gg C_0$ , còn khi điốt phân cực ngược thì  $C_{k.t} = 0$  và  $C_d = C_0$ .

Đối với điốt bán dẫn, điện dung tiếp xúc P-N gây nhiều ảnh hưởng xấu cho điốt khi làm việc ở tần số cao. Do đó, để đảm bảo cho điốt làm việc ở cao tần và siêu cao tần thì trị số điện dung phải nhỏ và các điốt này phải là các điốt tiếp điểm để diện tích mặt tiếp xúc nhỏ và tần số làm việc giới hạn khoảng  $300 \div 600$  MHz, có loại tới hàng chục GHz.

**d. Điện áp ngược cực đại cho phép:**  $U_{ngược \max}$

Là giá trị điện áp ngược lớn nhất có thể đặt lên điốt mà nó vẫn làm việc bình thường. Thông thường trị số này được chọn khoảng  $0,8U_{d.t.}$  [V]; Điện áp ngược cực đại  $U_{ng. \max}$  được xác định bởi kết cấu của điốt và nó nằm trong khoảng vài vôn đến 10 ngàn Vôn.

**e. Khoảng nhiệt độ làm việc:**

Là khoảng nhiệt độ đảm bảo điốt làm việc bình thường. Tham số này quan hệ với công suất tiêu tán cho phép của điốt.

$$P_{tt\max} = I_{\max} U_{AK\max} \quad (3.20)$$

Khoảng nhiệt độ làm việc của điốt gecmani khoảng từ  $-60^\circ\text{C}$  đến  $+85^\circ\text{C}$ , cho điốt silic khoảng từ  $-60^\circ\text{C}$  đến  $+150^\circ\text{C}$ .

### 3.2.5 Sự phụ thuộc của đặc tuyến Vôn-Ampe vào nhiệt độ.

Như công thức tính dòng điện qua tiếp xúc P-N:

$$I = I_0 (e^{\frac{U}{V_T}} - 1)$$

Ta thấy sự phụ thuộc của dòng điện vào nhiệt độ thông qua tham số điện thế nhiệt  $V_T$  và dòng điện ngược bão hòa  $I_0$ . Dòng điện ngược bão hòa phụ thuộc vào nhiệt độ theo công thức được viết gần đúng là:

$$I_0 = K T^m e^{-\frac{V_{G0}}{V_T}} \quad (3.21)$$

Trong đó  $K$  - là một hằng số

$V_{G0}$  - là năng lượng vùng cấm đo bằng Jun

Qua thực nghiệm người ta thấy rằng, đối với cả hai loại điốt Ge và Si, dòng điện ngược bão hòa tăng xấp xỉ gấp 2 lần đối với mỗi một sự tăng nhiệt độ lên  $10^\circ\text{C}$ .

Để cho dòng điện không đổi khi nhiệt độ thay đổi thì điện áp đặt lên điốt phải giảm với tốc độ là:

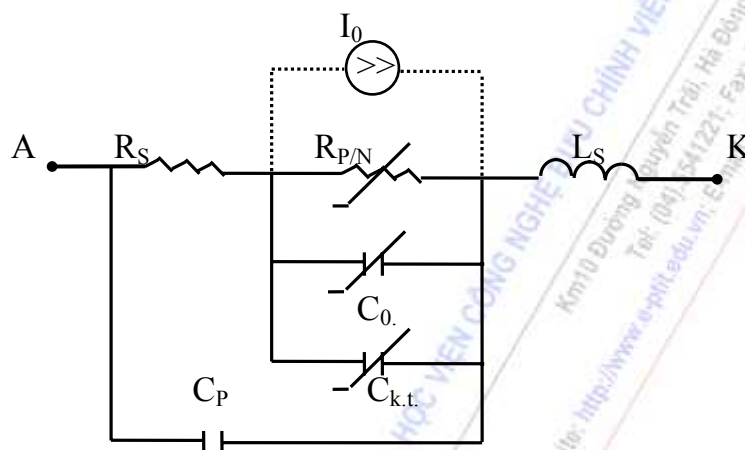
$$\frac{dU}{dT} = -2,1 \text{ mV}/^\circ\text{C} \text{ cho Ge và bằng } -2,3 \text{ mV}/^\circ\text{C} \text{ cho Si.}$$

Trong điều kiện điốt làm việc ở nhiệt độ phòng và điện áp ngưỡng  $U_D=0,2V$  cho điốt Ge và  $U_D = 0,6 V$  cho điốt Si.

### 3.2.6 Chế độ động của điốt.

Khi điốt làm việc trong các chế độ tín hiệu biến đổi ta gọi đó là chế độ động của điốt. Đối với điốt có các sơ đồ tương đương khi nó phân cực thuận và phân cực ngược.

Sơ đồ tương đương vật lý của một điốt bán dẫn:



**Hình 3 - 11:** Sơ đồ tương đương vật lý tổng quát của điốt bán dẫn.

Điốt được coi như một mạng hai cực và sơ đồ tương đương của nó như mô tả ở hình 3-11. Trong hình có:

$R_S$  - điện trở nối tiếp, là điện trở tiếp xúc kim loại, chân cực và của hai phần bán dẫn N và P.

$C_P$  - điện dung song song, là điện dung của chân cực và hai phần bán dẫn N và P.

$L_S$  - điện cảm nối tiếp, là điện cảm của chân cực điốt

$R_{P/N}$  - điện trở của tiếp xúc P – N.

$C_0$  - điện dung rào thế của tiếp xúc P – N.

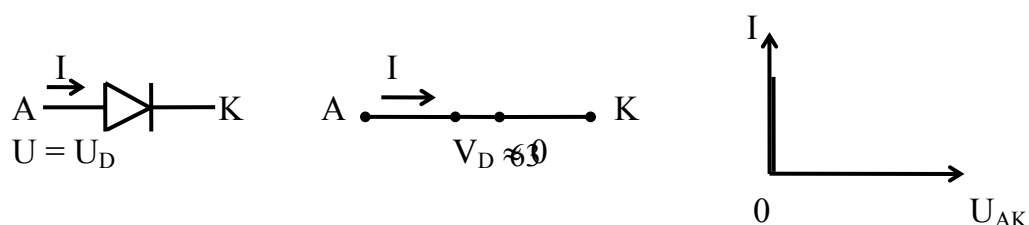
$C_{k.t}$  - điện dung khuếch tán của tiếp xúc P – N.

$I_0$  – nguồn dòng

#### 3.2.6.1 Các sơ đồ tương đương khi điốt phân cực thuận.

##### a. Sơ đồ một khóa điện tử ở trạng thái đóng:

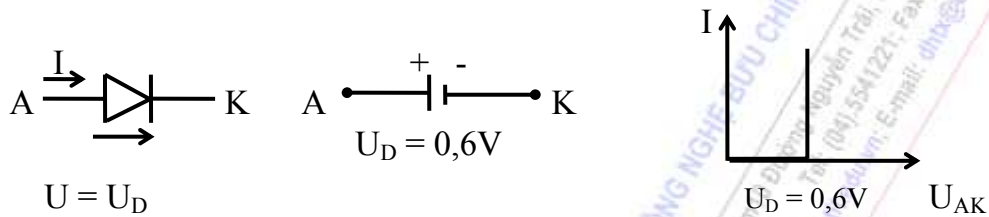
Khi phân cực thuận, điện áp phân cực  $U_D = 0,6V$  cho điốt Si, và  $U_D = 0,2V$  cho điốt Ge là quá nhỏ so với các điện áp khác nên có thể bỏ qua. Điốt lúc này coi như ngắn mạch.



a/ Mô hình điốt phân cực thuận với  $V_D = 0,6V \approx 0V$

**b. Sơ đồ một nguồn áp lý tưởng:**

Sơ đồ này đúng với nguồn điện áp  $V_D = 0,6V$  đối với điốt Si và  $V_D = 0,2V$  đối với điốt Ge.

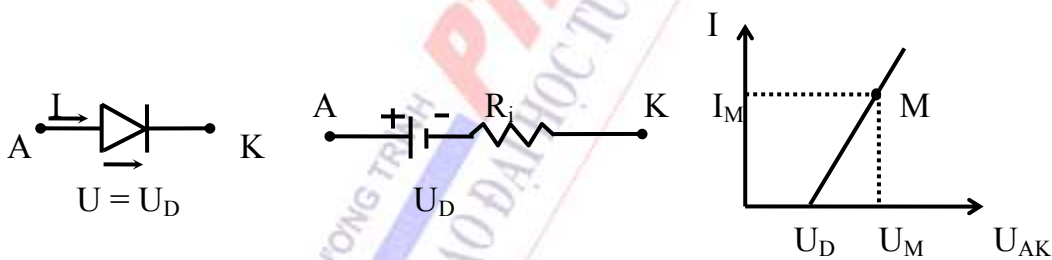


**Hình 3 -13:** Điốt là một nguồn điện áp lý tưởng

**c. Sơ đồ một nguồn điện áp thực:**

Trong trường hợp này điốt được coi như một nguồn điện áp thực gồm có nguồn điện áp và nội trở của nó chính là  $R_i$ .

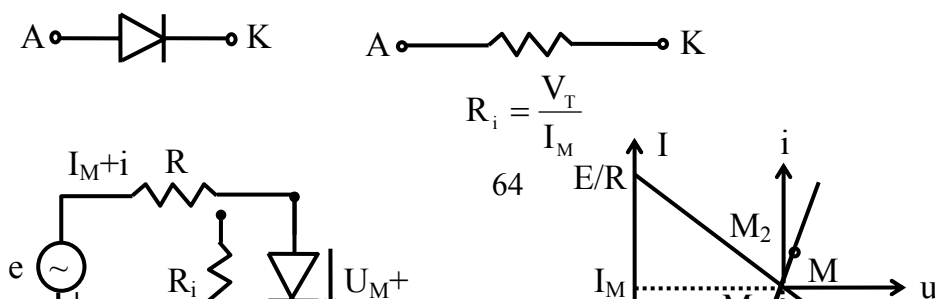
$$R_i = \frac{dV}{dI} = \frac{KT}{qI_M} = \frac{V_T}{I_M} \quad (3.22)$$



**Hình 3 -14:** Điốt là một nguồn điện áp thực

**d. Sơ đồ một điện trở  $R_i$  ở chế độ tín hiệu nhỏ tần số thấp:**

Ở chế độ này điốt được coi như một phần tử tuyến tính.



□ Chế độ động là chế độ diốt làm việc với nguồn xoay chiều e.

Ở chế độ động thì điểm làm việc M nằm trên đoạn thẳng  $M_1M_2$ , và diốt được coi như một phần tử tuyến tính (điện trở  $R_i$ ) và xung quanh điểm M ta có thể sử dụng định luật Ôm như sau:

$$u = R_i i = R_i \frac{e}{R + R_i} \quad (3.23)$$

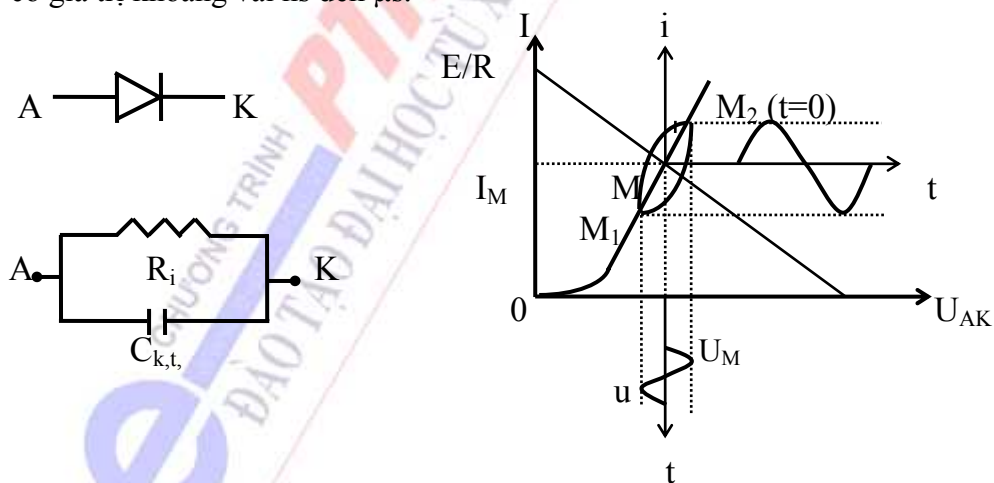
**e. Sơ đồ tương đương ở chế độ tín hiệu nhỏ tần số cao:**

Ở chế độ này diốt được coi như một điện trở thuận  $R_i$  mắc song song với một điện dung khuếch tán  $C_{k.t.}$ .

Điện dung  $C_{k.t.}$  xuất hiện trong khoảng thời gian  $\tau$  là khoảng thời gian lệch pha giữa  $i$  và  $u$ . Điện dung  $C_{k.t.}$  được xác định:

$$C_{k.t.} = \frac{\tau}{R_i}$$

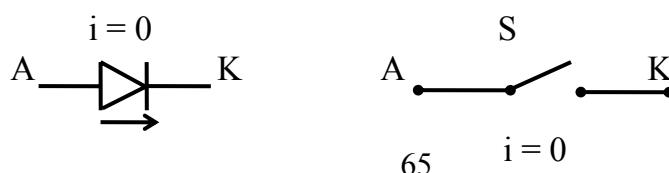
trong đó  $\tau$  có giá trị khoảng vài ns đến  $\mu s$ .



**Hình 3-16:** Diốt ở chế độ tín hiệu nhỏ tần số cao

**3.2.6.2 Sơ đồ tương đương của diốt khi phân cực ngược.**

a. Sơ đồ một khóa ở trạng thái hở:



**Hình 3-17:** Diốt là một khóa hở



**b. Sơ đồ một nguồn dòng lý tưởng:**



**Hình 3 -18:** Điốt là một nguồn dòng lý tưởng

**c. Sơ đồ một điện dung chuyển tiếp ở chế độ tín hiệu nhỏ:**



**Hình 3 -19:** Điốt như một tụ điện

$C_{t.x}$  - Đây là điện dung có trị số biến thiên cùng với sự biến thiên của điện áp ngược đặt lên nó theo qui luật:

$$C_{t.x} = \frac{C_0}{|V_{ngược}|^{\frac{1}{n}}} \quad \text{Với } n = 2 \div 3$$

So với điện dung thuận  $C_{k.t.}$  thì điện dung  $C_{t.x.}$  nhỏ hơn từ 100 đến 1000 lần.

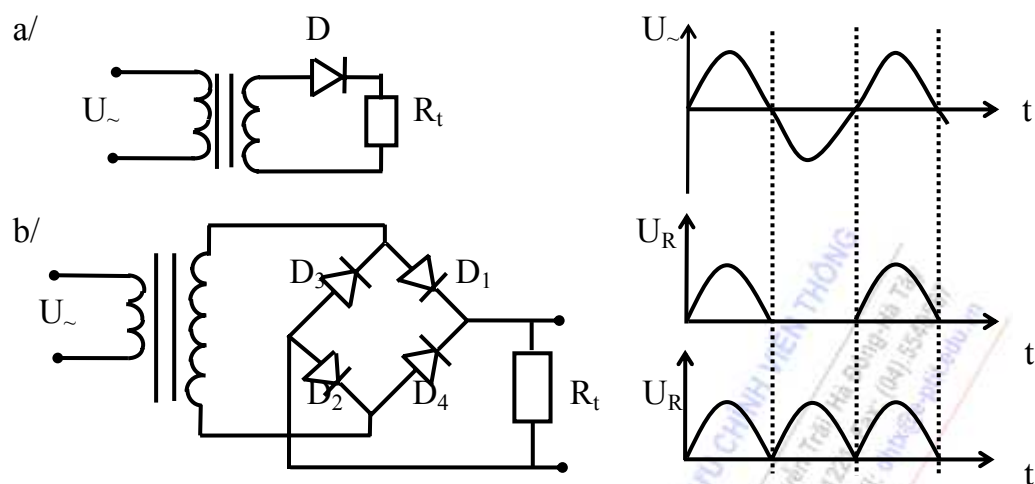
**3.2.7 Ứng dụng và phân loại điốt.**

Có nhiều cách phân loại điốt: có thể dựa vào vật liệu chế tạo, vào ứng dụng, vào công nghệ chế tạo, v.v.. có các loại điốt tiếp mặt, điốt tiếp điểm, điốt chỉnh lưu, điốt ổn áp, điốt tách sóng, điốt âm tần, điốt cao tần, v.v.. Sau đây ta nói đến một số loại điốt thường sử dụng.

**a. Điốt chỉnh lưu:**

Điốt chỉnh lưu sử dụng tính dẫn điện một chiều để chỉnh lưu dòng điện xoay chiều thành một chiều.

Đặc tính của điốt chỉnh lưu là các đại lượng dòng điện thuận cực đại  $I_{max}$  cho phép xác định dòng chỉnh lưu cực đại và điện áp ngược tối đa cho phép  $U_{ng.Max.}$  sẽ xác định điện áp chỉnh lưu lớn nhất. Thông thường ta chọn trị số điện áp ngược cho phép  $U_{ng.Max.} = 0,8 U_{d.t.}$



**Hình 3 -20** : a. Mạch chỉnh lưu nửa chu kỳ và dạng điện áp trên tải  
b. Mạch chỉnh lưu toàn sóng (cả chu kỳ) và dạng điện áp trên tải

Hiện nay điốt chỉnh lưu phổ biến nhất là điốt Silic vì có nhiệt độ làm việc cao. Điốt chỉnh lưu Geman dùng cho các chỉnh lưu công suất nhỏ. Dòng điện chỉnh lưu và điện áp ngược cho phép phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ môi trường nên các điốt công suất thường được gắn trên các bộ tỏa nhiệt.

Hình 3-20: Giới thiệu một số mạch chỉnh lưu.

- Điốt chỉnh lưu Gecmani: Là điốt chế tạo từ chất bán dẫn Ge.

Điốt chỉnh lưu gecmani có dòng điện ngược bão hòa khá nhỏ khoảng vài trăm microampe. Điện áp ngược tối đa cho phép không vượt quá 400 V. Đặc tuyến phản ngược có đoạn bão hòa và hiện tượng đánh thủng xảy ra thường là đánh thủng về nhiệt nên đặc tuyến có đoạn điện trở âm.

Nhiệt độ làm việc giới hạn của điốt chỉnh lưu Ge là 75°C. Các điốt chỉnh lưu Ge công suất lớn thường phải dùng các phương pháp tỏa nhiệt tốt.

Điện dung của điốt khá lớn (hàng chục pF) nên điốt Ge thường dùng ở tần số thấp.

- Điốt chỉnh lưu Silic: Là các điốt được chế tạo từ chất bán dẫn Si

Phần ngược của đặc tuyến V-A của điốt Si không có đoạn bão hòa rõ rệt. Điện áp ngược tối đa cho phép cao hơn nhiều so với điốt Ge và khi chưa bị đánh thủng thì làm việc khá ổn định. Nhiệt độ làm việc giới hạn của điốt Silic là 125°C.

Điốt Silic có điện áp đánh thủng có thể lên tới 2500 V và hiện tượng đánh thủng về điện là chủ yếu.

- Điốt chỉnh lưu đa tinh thể

Là loại điốt được dùng khá rộng rãi. Thông thường các điốt này được lắp ghép sẵn theo một sơ đồ nhất định tạo thành các cột chỉnh lưu.

Điốt chỉnh lưu đa tinh thể thường gặp là điốt Sêlen, điốt ôxit đồng.

### b. Điốt ổn áp (Zêne):

Người ta sử dụng chế độ đánh thủng về điện của chuyển tiếp P-N để ổn định điện áp. Điện áp đánh thủng của điốt phụ thuộc vào bề dày của lớp tiếp xúc P-N, nghĩa là phụ thuộc vào nồng độ tạp chất đưa vào bán dẫn.

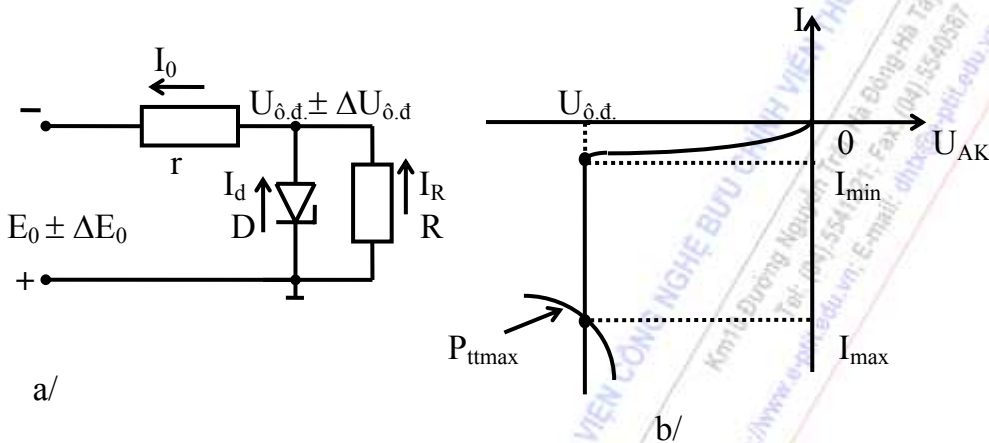
Trong hình 3 -21a là mạch ổn áp dùng điốt Zêne:

$E_0$  - là điện áp một chiều cần ổn định

$r$  - là điện trở hạn chế để hạn chế dòng điện trong mạch

$D$  - điốt ổn áp

$R_t$  - tải tiêu thụ điện áp đã được ổn áp



**Hình 3 -21:** Mạch điện ổn áp và đặc tuyến V-A

Độ ổn áp của mạch được tính theo công thức:

$$\Delta U_{\text{ô.d}} = \frac{\Delta E_0}{1 + \frac{r}{R_t} + \frac{r}{R_i}}$$

Các tham số chủ yếu của điốt ổn áp

- Điện áp ổn định  $U_{\text{ô.d}} = U_{\text{đánh thủng}}$
- Điện trở trong  $R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I}$  ( $R_i$  càng nhỏ chất lượng ổn định càng cao)
- $I_{\text{min}}$  - trị số dòng điện tại điểm mà hiện tượng đánh thủng ổn định
- $I_{\text{max}}$  - trị số dòng điện cực đại qua điốt được xác định bởi công suất tiêu tán cực đại trên điốt (nếu  $I > I_{\text{max}}$  điốt bị cháy)

#### b. Điốt xung:

Ở chế độ xung, điốt được sử dụng như khóa điện tử gồm có hai trạng thái: "dẫn" khi điện trở của điốt rất nhỏ và "khóa" khi điện trở của nó rất lớn.

Điốt xung có các thông số sau:

- Giá trị dòng điện thuận và dòng điện ngược: giá trị dòng điện thuận cực đại của điốt làm việc ở chế độ xung lớn hơn ở chế độ liên tục rất nhiều.
- Thời gian ổn định điện áp thuận  $t_0$ : là khoảng thời gian kể từ thời điểm cấp xung dương vào điốt cho tới khi đạt giá trị 1,1 lần giá trị điện áp thuận ổn định.
- Thời gian phục hồi khả năng ngắt  $t_p$ : là khoảng thời gian kể từ thời điểm khi điốt dẫn dòng điện ngược cho tới khi dòng ngược đạt giá trị 0,1 lần giá trị dòng ngược cực đại.

Theo trị số  $t_p$  người ta chia điốt xung làm 3 loại chính:

+ Loại tốc độ cao có :  $t_p < 10 \text{ nsec}$

+ Loại tốc độ trung bình có :  $10 \text{ nsec} < t_p < 100 \text{ nsec}$

+ Loại tốc độ thấp có :  $t_p > 100 \text{ nsec}$

#### d. Điốt Sôtky (Schottky)

Các điốt xung có các loại điốt hợp kim, điốt mêza, điốt Sôtky. Trong đó điốt Sôtky được dùng rộng rãi nhất. **Điốt Sôtky** sử dụng tiếp xúc bán dẫn - kim loại. Thời gian phục hồi chức năng ngắt của điốt Sôtky có thể đạt tới 100psec. Điện áp phân cực thuận cho điốt Sôtky khoảng  $U_D = 0,4V$ , tần số làm việc cao đến 100 GHz.

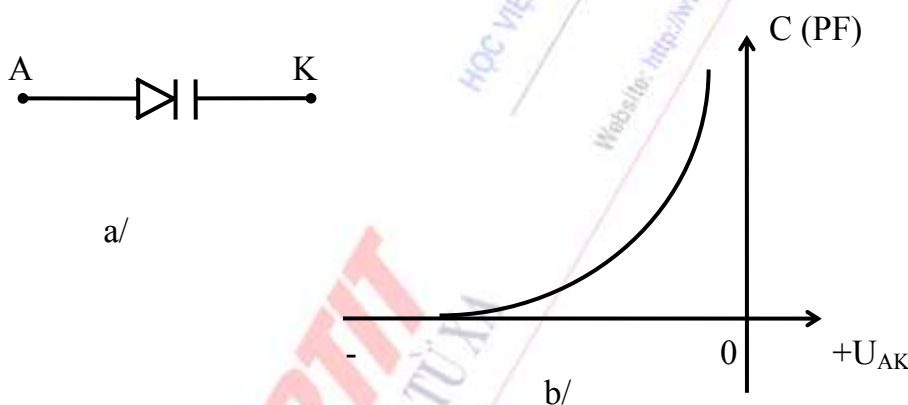
Ký hiệu của điốt Sotky trong các sơ đồ mạch điện:



#### e. Điốt biến dung (varicap):

Là loại điốt bán dẫn được sử dụng như một tụ điện có trị số điện dung điều khiển được bằng điện áp.

Nguyên lý làm việc của điốt biến dung là dựa vào sự phụ thuộc của điện dung rào thế của tiếp xúc P-N với điện áp ngược đặt vào nó.



**Hình 3 -22:** a- Ký hiệu của điốt biến dung trong sơ đồ mạch  
b- Sự phụ thuộc của điện dung chuyển tiếp P-N theo điện áp ngược đặt lên nó

Trị số điện dung cực đại của điốt biến dung phụ thuộc vào loại điốt và có trị số vào khoảng từ  $(5 \div 300) \text{ pF}$ .

Varicap thường được dùng trong các mạch dao động cần điều khiển tần số cộng hưởng bằng điện áp ở lĩnh vực siêu cao tần.

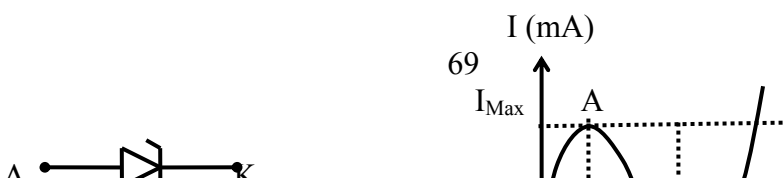
#### f. Điốt tunen (hay điốt xuyên hầm):

Điốt được chế tạo từ chất bán dẫn có nồng độ tạp chất rất cao, thông thường  $n = (10^{19} \div 10^{23})/\text{cm}^3$ .

Loại điốt này có khả năng dẫn điện cả chiều thuận và chiều ngược.

Hiệu ứng tunen là hiện tượng các hạt dẫn chuyển động qua tiếp xúc P-N mà không bị tổn hao năng lượng.

Ký hiệu của điốt tunen và đặc tuyến Vôn-Ampe

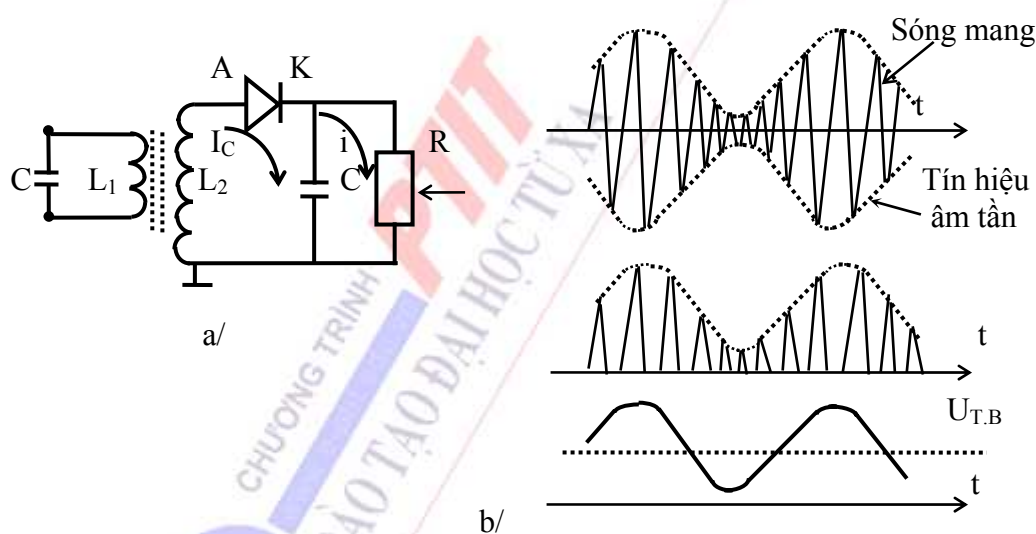


Đặc tuyến V-A của điốt tunen ở phần thuận có đoạn điện trở âm AB. Người ta sử dụng đoạn đặc tuyến AB này để tạo các mạch dao động phóng nạp. Điốt tunen có kích thước nhỏ, độ ổn định cao và tần số làm việc lên tới hàng nghìn MHz.

g. **Điốt cao tần:**

Các điốt cao tần thường là loại điốt tiếp điểm và thường dùng để xử lý các tín hiệu cao tần như:

- ☐ Điốt tách sóng dùng để tách tín hiệu tần thấp từ dao động điều biên.
- ☐ Điốt trộn sóng dùng để thay đổi tần số sóng mang của dao động điều biên.
- ☐ Điốt điều biến dùng để điều biến các dao động cao tần (sóng mang) theo các tín hiệu âm tần..



**Hình 3 -24:** a- Mạch tách sóng AM;  
b- tín hiệu âm tần  
và sóng mang trong quá trình tách sóng

## TÓM TẮT NỘI DUNG

Trong chương 3 đã trình bày về sự hình thành của lớp tiếp xúc P-N, các tính chất đặc biệt về điện của lớp tiếp xúc P-N và quan trọng là tính dẫn điện một chiều của nó: chỉ khi tiếp



xúc P-N phân cực thuận thì nó mới dẫn điện. Dòng điện chạy qua tiếp xúc P-N được tạo nên do hai loại hạt dẫn là hạt dẫn điện tử và hạt dẫn lỗ trống.

$$I = I_{pn}(0) + I_{np}(0) = I_0(e^{\frac{V}{V_T}} - 1)$$

Trong đó  $I_{pn}(0)$  và  $I_{np}(0)$  là dòng điện lỗ trống và dòng điện điện tử, tương ứng, đi qua tiếp xúc P-N;  $I_0$  là dòng điện ngược bão hòa;  $V$  – là trị số điện áp ngoài đặt lên tiếp xúc P-N và  $V_T$  là điện thế nhiệt của bán dẫn (ở nhiệt độ phòng  $V_T \approx 0,026V$ ).

Đặc tuyến Vôn-Ampe của tiếp xúc P-N biểu diễn mối quan hệ giữa dòng điện chạy qua tiếp xúc và điện áp ngoài đặt lên nó. Qua đây chúng ta thấy rằng: dòng điện khi tiếp xúc P-N được phân cực thuận lớn hơn rất nhiều lần dòng điện khi tiếp xúc được phân cực ngược. Thực tế, dòng điện ngược  $I_0$  rất nhỏ chỉ khoảng từ vài nA đối với bán dẫn silic đến vài chục  $\mu A$  đối với bán dẫn gecmany, nên có thể coi  $I_0 \approx 0$ .

Trong chương này chúng ta cũng nghiên cứu về điốt bán dẫn. Đây là cấu kiện bán dẫn chỉ có một lớp tiếp xúc P-N. Nguyên lý hoạt động của điốt là dựa vào tính dẫn điện một chiều của tiếp xúc P-N: điốt chỉ dẫn điện khi được phân cực thuận ( $U_{AK} > 0$ ).

Đặc tuyến Vôn-Ampe của đi-ốt cũng giống như đặc tuyến Vôn-Ampe của tiếp xúc P-N, nhưng đây là đặc tuyến Vôn-Ampe của một cấu kiện thực tế nên có một số điểm cần lưu ý. Về phần thuận của đặc tuyến, ta thấy chỉ khi nào  $U_{AK} \geq U_D$  thì đi-ốt mới được tính là phân cực thuận. Trong đó  $U_D$  gọi là điện áp thuận ngưỡng: đối với đi-ốt gecmany  $U_D = 0,1V \div 0,3V$ ; đối với đi-ốt silic  $U_D = 0,4V \div 0,8V$ . Ngoài ra, dòng điện thuận tăng nhanh, gần như tuyến tính, với điện áp đặt lên đi ốt nên ta phải chú ý giá trị dòng điện thuận cực đại. Đây là giá trị lớn nhất cho phép đi ốt làm việc, quá giá trị này đi ốt sẽ bị nóng và hỏng. Về phần ngược, dòng điện ngược gần như không thay đổi khi tăng điện áp ngược đặt lên đi ốt. Nhưng khi điện áp ngược đạt giá trị  $U_{đ.t.}$  (gọi là điện áp đánh thủng) thì đi ốt mất tính chỉnh lưu – khả năng dẫn điện một chiều, thì dòng điện ngược tăng vọt đó là hiện tượng đánh thủng đi ốt. Hiện tượng đánh thủng dẫn đến làm hỏng đi ốt trừ đi ốt zener sử dụng chế độ đánh thủng để ổn định điện áp.

Khi sử dụng đi ốt ta phải dựa vào các tham số tĩnh của nó để lựa chọn. Các tham số tĩnh cơ bản của đi ốt gồm có:

- + Điện trở động  $R_i$  là điện trở của đi ốt đối với thành phần xoay chiều của tín hiệu.
- + Điện dung của đi ốt  $C_d$  là điện dung của tiếp xúc P-N.
- + Điện áp ngược cho phép
- + Dòng điện thuận cực đại
- + Khoảng nhiệt độ làm việc.

Một điều rất quan trọng khi sử dụng các cấu kiện bán dẫn là ta phải chú ý đến sự ảnh hưởng của nhiệt độ lên hoạt động của đi ốt. Sự ảnh hưởng của nhiệt độ lên hoạt động của đi ốt thông qua sự phụ thuộc của dòng điện ngược bão hòa vào nhiệt độ theo hàm mũ và do điện thế nhiệt của chất bán dẫn cũng chịu ảnh hưởng của nhiệt độ. Theo tính toán gần đúng thì giá trị dòng điện ngược tăng gấp 2 lần đối với mỗi một sự tăng nhiệt độ lên  $10^0 C$ .

Chương 3 còn giới thiệu về chế độ động của đi ốt, các khả năng sử dụng đi ốt trong mạch điện tử và một số loại đi ốt bán dẫn thông dụng. Chúng ta nghiên cứu về sơ đồ mạch tương đương của đi ốt và các chế độ làm việc động của nó. Ngoài ra phần cuối chương cũng giới thiệu một số mạch ứng dụng đi ốt trên thực tế.

## CÂU HỎI ÔN TẬP.

1. Hãy nêu các tham số của tiếp xúc P-N khi ở trạng thái cân bằng?
2. Trình bày về các hiện tượng vật lý xảy ra khi tiếp xúc P-N phân cực thuận và phân cực ngược?
3. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của điốt bán dẫn?
4. Hãy giải thích về đặc tuyến Vôn-Ampe của điốt bán dẫn?
5. Nêu các tham số tĩnh của điốt bán dẫn?
6. Trình bày về các chế độ động của đi ốt bán dẫn?
7. Trình bày các đặc tính chính của điốt xung và cho biết ý nghĩa vật lý của tham số thời gian phục hồi chức năng ngắt của điốt ( $t_p$ )?
8. Hãy tính độ cao hàng rào thế năng của một điốt silic phân cực thuận khi ở nhiệt độ  $100^\circ\text{C}$  ? (biết rằng ở  $25^\circ\text{C}$  điốt được phân cực 0,7V).
9. Trong một tiếp xúc P-N, nồng độ tạp chất trong hai phần bán dẫn P và N là:  $N_A = 10^{18}\text{ cm}^{-3}$  và  $N_A = 10^{15}\text{ cm}^{-3}$ .
  - a. Hãy tính nồng độ hạt dẫn thiểu số tại biên của lớp nghèo hạt dẫn khi phân cực  $U=0,52\text{V}$ .
  - b. Tính tỉ số dòng điện trôi của điện tử và lỗ trống bên trong vùng N. Giả thiết rằng tiếp xúc P-N làm việc tại nhiệt độ phòng và  $n_i = 1,5 \cdot 10^{10}\text{ cm}^{-3}$
10. Điền vào chỗ trống của mệnh đề dưới một trong các nhóm từ sau:
 

“Lớp tiếp xúc P-N chỉ .....khi được phân cực thuận”.

  - a. dẫn điện;      b. không dẫn điện;      c. là một tụ điện;      d. là một điện trở
11. Dòng điện qua lớp tiếp xúc P-N liên quan với điện áp ngoài đặt lên nó theo công thức sau:
  - a.  $I = I_0(e^{U_{ng}/V_T} - 1)$ ;      b.  $I = I_0(e^{U_{ng}/V_T} + 1)$ ;      c.  $I = I_0(e^{U_{ng}/V_T} - 1)^2$ ;      d.  $I = I_0(e^{U_{ng}/V_T} + 1)^2$

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Giáo trình “Cấu kiện điện tử và quang điện tử”- Trần Thị Cẩm Học viện công nghệ BCVT, năm 2002.
2. “Electronic Devices and Circuits” – Jacob Millman, Christos C. Halkias, Mc Graw Hill Book 1987.

## CHƯƠNG 4

### TRANZITO LƯƠNG CỰC (BJT)

#### GIỚI THIỆU CHƯƠNG.

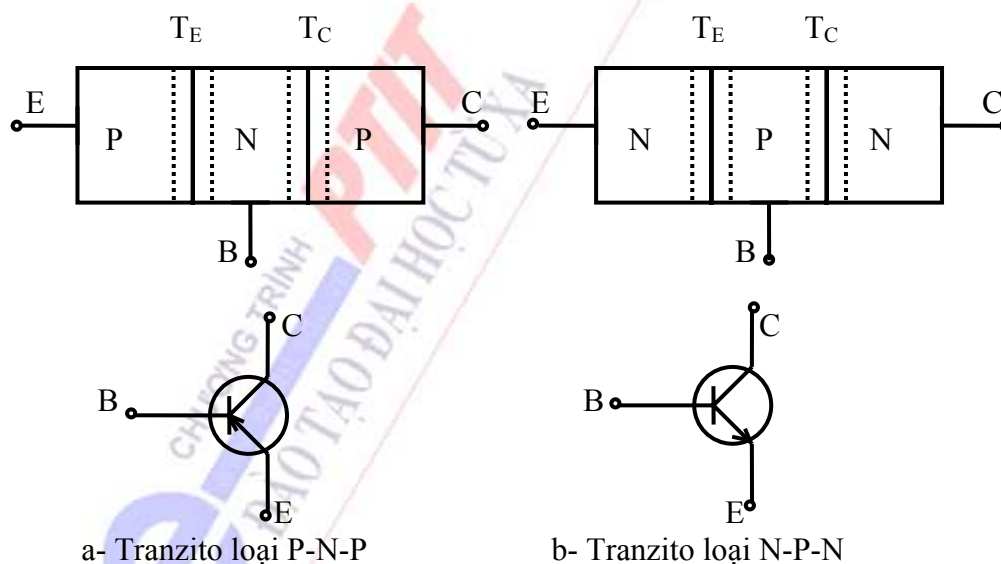
Chương 4 sẽ giới thiệu về tranzito lưỡng cực (Bipolar Junction Transistor – BJT). Đây là cấu kiện bán dẫn quan trọng có 2 lớp tiếp xúc P-N và 3 chân điện cực. Trong chương sẽ trình bày về nguyên lý hoạt động của tranzito lưỡng cực ở 3 chế độ cấp điện phân cực cho nó là chế độ tích cực, chế độ ngắt và chế độ bão hòa. Chương 4 trình bày về các cách mắc cơ bản của tranzito lưỡng cực trong các sơ đồ mạch khuếch đại là cách mắc cực gốc chung, cực phát chung và cực góp chung, đặc điểm của từng cách mắc. Trong chương 4 này còn đề cập đến các phương pháp phân cực cho tranzito như phân cực bằng dòng cực gốc, phân cực bằng phân áp và phân cực bằng hồi tiếp. Đồng thời trong chương này cũng trình bày về các sơ đồ tương đương của tranzito trong chế độ khuếch đại tín hiệu nhỏ và trình bày về chế độ chuyển mạch của tranzito.

#### NỘI DUNG

#### 4.1. CẤU TẠO VÀ KÝ HIỆU CỦA BJT TRONG SƠ ĐỒ MẠCH.

##### 4.1.1. Cấu tạo của BJT loại P-N-P và N-P-N

Tranzito lưỡng cực gồm có hai tiếp xúc P-N được tạo nên bởi 3 miền bán dẫn loại P và N xếp xen kẽ nhau. Nếu miền bán dẫn ở giữa là bán dẫn loại N thì ta có tranzito lưỡng cực loại P-N-P. Nếu miền bán dẫn ở giữa là bán dẫn loại P thì ta có tranzito lưỡng cực loại N-P-N.



**Hình 4 - 1 :** a. Tranzito lưỡng cực loại P-N-P (hay tranzito thuận) cấu tạo và ký hiệu trên sơ đồ mạch  
b. Tranzito N-P-N (hay tranzito ngược) cấu tạo và ký hiệu

Tranzito có 3 chân cực là:

- Cực Phát ký hiệu là chữ E (Emitter) là nguồn phát ra các hạt tải điện trong tranzito.
- Cực Gốc ký hiệu là chữ B (Base) là cực điều khiển dòng điện..

- Cực Góp ký hiệu là chữ C (Collector) có nhiệm vụ thu nhận tất cả các hạt dẫn từ phần phát E qua phần gốc B tới.
- Hai tiếp xúc P-N là tiếp xúc phát-gốc ký hiệu là  $T_E$  (gọi tắt là tiếp xúc phát), và tiếp xúc góp-gốc ký hiệu là  $T_C$  (gọi tắt là tiếp xúc góp).

#### 4.1.2. Nguyên lý làm việc của tranzito

Khi chưa cung cấp điện áp ngoài lên các chân cực của tranzito thì hai tiếp xúc phát  $T_E$  và góp  $T_C$  đều ở trạng thái cân bằng và dòng điện tổng chạy qua các chân cực của tranzito bằng 0.

Muốn cho tranzito làm việc ta phải cung cấp cho các chân cực của nó một điện áp một chiều thích hợp. Có ba chế độ làm việc của tranzito là: chế độ tích cực (hay chế độ khuếch đại), chế độ ngắt và chế độ dẫn bão hòa. Cả hai loại tranzito P-N-P và N-P-N đều có nguyên lý làm việc giống nhau, chỉ có chiều nguồn điện cung cấp vào các chân cực là ngược dấu nhau.

+ *Chế độ ngắt*: Cung cấp nguồn điện sao cho hai tiếp xúc P-N đều phân cực ngược. Tranzito có điện trở rất lớn và chỉ có một dòng điện rất nhỏ chạy qua nên tranzito coi như không dẫn điện.

+ *Chế độ dẫn bão hòa*: Cung cấp nguồn điện sao cho cả hai tiếp xúc P-N đều phân cực thuận. Tranzito có điện trở rất nhỏ và dòng điện qua nó là khá lớn.

Ở chế độ ngắt và chế độ dẫn bão hòa, tranzito làm việc như một phần tử tuyến tính trong mạch điện. Ở chế độ này tranzito như một khóa điện tử và nó được sử dụng trong các mạch xung, các mạch số.

+ *Chế độ tích cực*: Ta cấp nguồn điện sao cho tiếp xúc phát  $T_E$  phân cực thuận, và tiếp xúc góp  $T_C$  phân cực ngược. Ở chế độ tích cực, tranzito làm việc với quá trình biến đổi tín hiệu dòng điện, điện áp, hay công suất và nó có khả năng tạo dao động, khuếch đại tín hiệu,... Đây là chế độ thông dụng của tranzito trong các mạch điện tử tương tự.

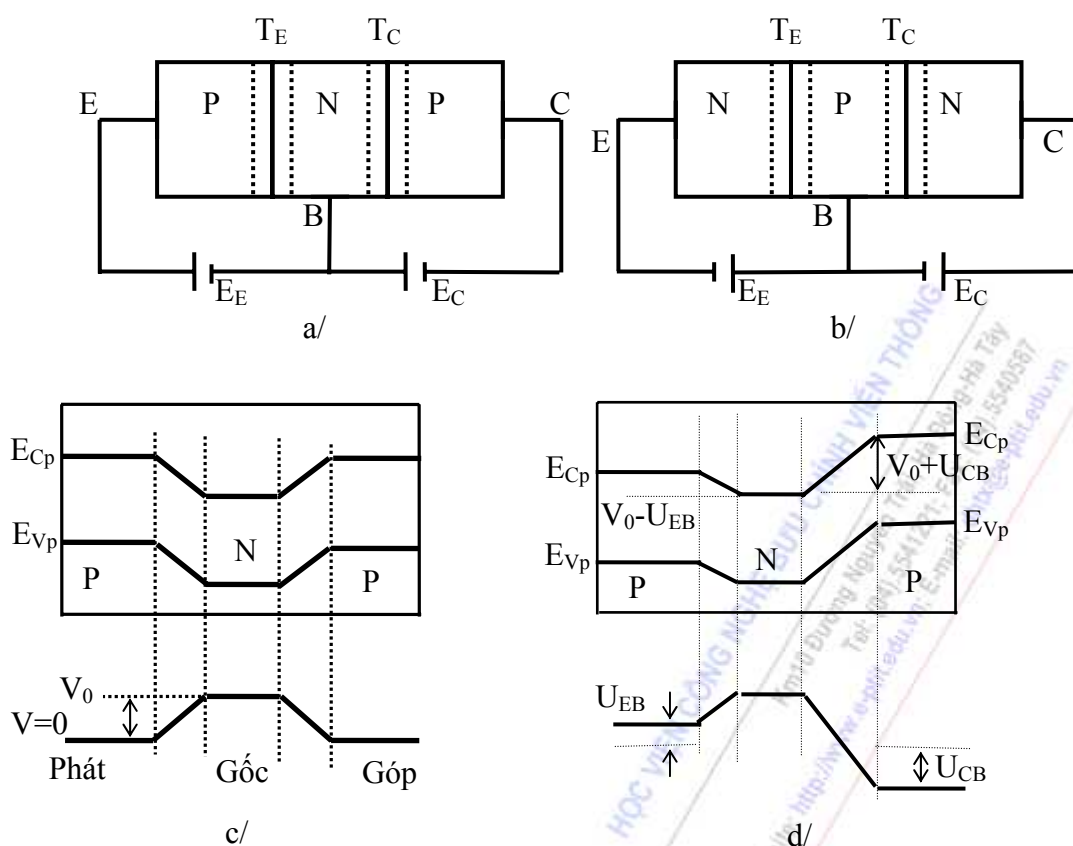
## 4.2. CÁC CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC CỦA TRANZITO BJT.

### 4.2.1. Chế độ tích cực (hay chế độ khuếch đại):

+ *Nguyên lý hoạt động*:

Ở chế độ tích cực ta phải cung cấp nguồn điện một chiều lên các chân cực sao cho tiếp xúc phát  $T_E$  phân cực thuận và tiếp xúc góp  $T_C$  phân cực ngược (xem hình 4-2 a,b,c,d).

*Ví dụ*: Ta xét nguyên lý làm việc của tranzito loại P-N-P còn đối với tranzito loại N-P-N có thể suy ra dựa vào nguyên lý hoạt động của tranzito loại P-N-P.



**Hình 4 - 2:** a và b: Chiều các nguồn điện cung cấp cho các chân cực của tranzito loại P-N-P và N-P-N để nó làm việc ở chế độ tích cực  
c và d: Đồ thị dải năng lượng của tranzito loại P-N-P

Khi tiếp xúc phát phân cực thuận, các hạt dẫn đa số là lỗ trống sẽ khuếch tán từ phần phát sang phần gốc, còn các điện tử từ phần gốc khuếch tán sang phần phát tạo nên dòng điện cực phát  $I_E$ , ta có:

$$\mathbf{I}_E = \mathbf{I}_{En} + \mathbf{I}_{Ep} \quad (4.1)$$

Trong đó:  $I_{En}$  - là thành phần dòng điện điện tử cực phát.

$I_{Ep}$  - là thành phần dòng điện lỗ trống cực phát.

Các hạt dẫn này gặp nhau sẽ tái hợp. Để đảm bảo nồng độ các lỗ trống phát ra lớn, người ta chế tạo phần phát có nồng độ tạp chất lớn hơn rất nhiều so với phần gốc. Như vậy ta có:

$$I_{Ep} \gg I_{En}$$

Ở đây người ta đưa ra tham số gọi là hiệu suất của cực phát, ký hiệu là  $\gamma$  và được tính theo công thức sau:

$$\gamma = \frac{I_{Ep}}{I_E} = \frac{I_{Ep}}{I_{En} + I_{Ep}} \approx 0,98 \div 0,995 \quad (4.2)$$

Tham số  $\gamma = \frac{I_{Ep}}{I_E}$  chỉ ra rằng đã có bao nhiêu lỗ trống (hay điện tử) chuyển dời từ cực phát E sang cực gốc B.

Các lỗ trống khuếch tán sang phần gốc, một phần nhỏ tái hợp với các điện tử, còn phần lớn chúng tiếp tục khuếch tán qua phần gốc về phía tiếp xúc góp. Đến tiếp xúc góp, các lỗ



trống sẽ chuyển động trôi qua lớp tiếp xúc và tạo nên dòng điện cực góp  $I_{Cp}$ . Đồng thời, qua tiếp xúc góp còn có dòng điện ngược  $I_{CB0}$  (còn gọi là dòng điện rò). Nên ta có công thức tính dòng điện cực góp tổng là:

$$I_C = I_{Cp} + I_{CB0} \quad (4.3)$$

Để số lỗ trống bị tái hợp ít trong phần gốc, ta chế tạo phần gốc thật mỏng sao cho bề dày của nó  $W_B \ll L_{Pn}$  - độ dài khuếch tán. Ở đây người ta đưa ra tham số gọi là hệ số chuyển dời dòng điện  $I_E$  ký hiệu là  $\beta^*$ . Tham số này chỉ ra số lỗ trống đến được cực góp mà không bị tái hợp trong phần gốc.

+ Hệ số chuyển dời  $\beta^*$  được xác định:

$$\beta^* = \frac{\text{Dòng điện do các hạt dẫn trích vào đến được tiếp xúc } T_C}{\text{Dòng điện của các hạt dẫn được trích vào tại tiếp xúc } T_E}$$

Do đó, trong trường hợp tranzito loại P-N-P ta có:

$$\beta^* = \frac{I_{Cp}}{I_{Ep}} = 0,98 \div 0,995 \quad (4.4)$$

+ Hệ số khuếch đại dòng điện cực phát  $\alpha$  hay còn gọi là hệ số truyền đạt dòng điện cực phát và nó được tính theo công thức sau:

$$\alpha = \frac{I_{Cp}}{I_E} = \frac{I_{Cp}}{I_{Ep}} \frac{I_{Ep}}{I_E} = \beta^* \gamma \quad (4.5)$$

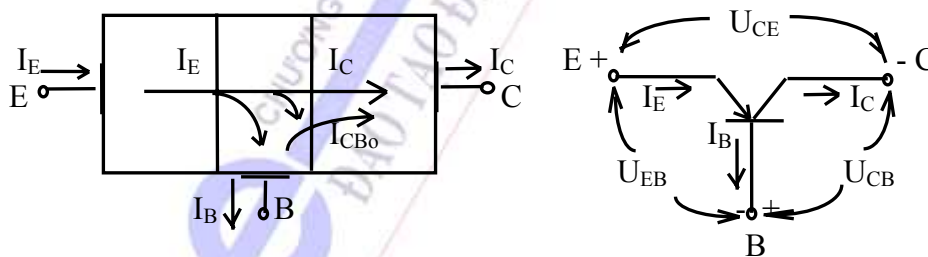
$\alpha$  có giá trị bằng khoảng  $0,90 \div 0,995$ .

Dòng điện do hiện tượng tái hợp trong lớp tiếp xúc phát và trong phần gốc trừ đi dòng điện ngược của tiếp xúc góp được gọi là dòng điện cực gốc ( $I_B$ ):

$$I_B = I_{Ep} - I_{Cp} - I_{CB0}$$

Quan hệ giữa 3 thành phần dòng điện trong tranzito là:

$$\begin{aligned} I_C &= \alpha I_E + I_{CB0} \\ I_B &= (1 - \alpha) I_E - I_{CB0} \\ I_E &= I_C + I_B \end{aligned} \quad (4.6)$$

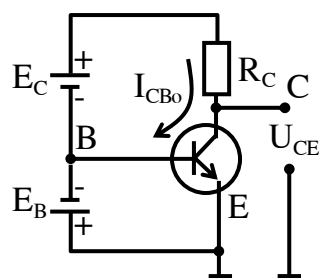


**Hình 4 - 3:** Các dòng điện và điện áp trên các chân cực của tranzito loại P-N-P.

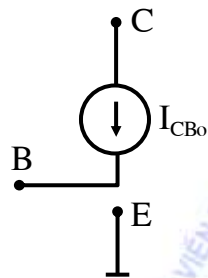
#### 4.2.2. Chế độ ngắt:

Ở chế độ này, ta cung cấp nguồn điện sao cho hai tiếp xúc P-N đều được phân cực ngược nên điện trở của tranzito rất lớn và qua nó chỉ có dòng điện ngược rất nhỏ của tiếp xúc góp  $I_{CB0}$ . Do dòng điện ngược của tiếp xúc phát  $I_{EB0}$  nhỏ hơn nhiều so với  $I_{CB0}$  nên mạch cực

E coi như hở. Dòng điện trong mạch cực gốc B có giá trị bằng dòng  $I_{CB0}$  nhưng ngược dấu ( $I_B = -I_{CB0}$ ). Ta có sơ đồ mạch tương đương dưới đây:

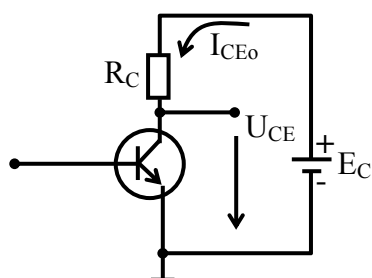


a/ Sơ đồ mạch điện tranzito trong chế độ ngắt

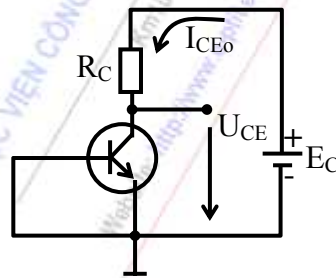


b/ Sơ đồ tương đương của tranzito

**Hình 4 - 4:** Sơ đồ mạch điện tranzito trong chế độ ngắt



a/



b/

**Hình 4 - 5:** Các sơ đồ tranzito làm việc ở chế độ ngắt

Trong nhiều trường hợp, chế độ ngắt của tranzito được sử dụng mà không cần nguồn điện áp giữa cực B và E ( $E_B$ ) như mô tả ở hình 4-5

Như vậy, trong cả hai trường hợp trong hình 4-5, điện áp giữa cực góp và cực phát  $U_{CE}$  sẽ được xác định:

$$\begin{aligned} U_{CE} &= E_C - R_C \cdot I_{CE0} \approx E_C \\ \text{và} \quad U_{CE} &= E_C - R_C \cdot I_{CEs} \approx E_C \end{aligned} \quad (4.7)$$

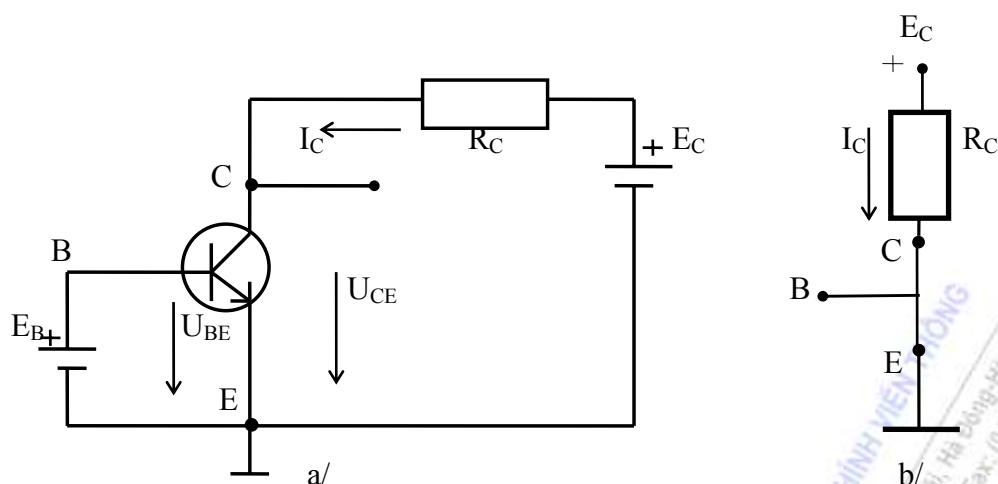
#### 4.2.3. Chế độ dẫn bão hòa:

Ở chế độ này ta cung cấp nguồn điện một chiều sao cho hai tiếp xúc P- N đều phân cực thuận (hình 4-6). Điện trở của hai tiếp xúc  $T_E$  và  $T_C$  rất nhỏ nên có thể coi như hai cực phát E và cực góp C được nối tắt. Dòng điện qua tranzito  $I_C$  khá lớn và không phụ thuộc vào hoạt động của tranzito. Như vậy, điện áp giữa cực góp và cực phát luôn xấp xỉ bằng 0 ( $U_{CE} \approx 0$ ), còn dòng điện chạy qua tranzito được tính bằng:

$$I_{CS} = \frac{E_C}{R_C}$$

Sơ đồ mạch tương đương của chế độ bão hòa mô tả trong hình (4-6b). Thực tế thì điện áp  $U_{CE}$  bằng khoảng 0,2V÷0,4V.

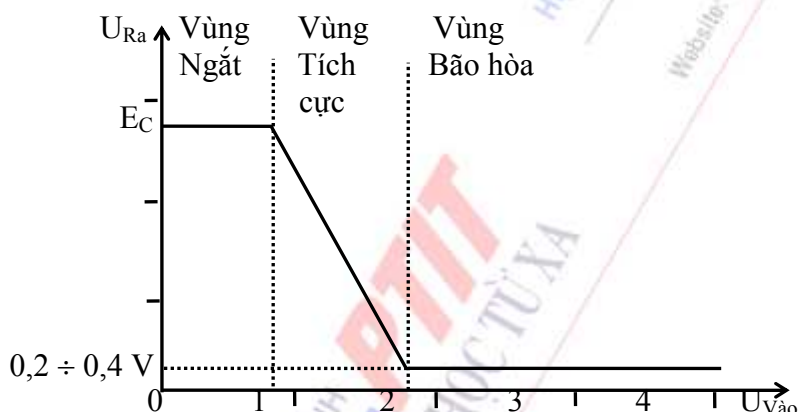
Như vậy, ở hai chế độ ngắt và chế độ dẫn bão hòa, tranzito làm việc như một chuyển mạch điện tử. Khóa đóng khi tranzito dẫn bão hòa, khóa hở khi tranzito ở chế độ ngắt.



Hình 4 - 6 : Chế độ dẫn bão hòa của tranzito

a. Sơ đồ mạch      b. Sơ đồ mạch tương đương

Đặc tuyến truyền đạt của tranzito trong các chế độ làm việc mô tả trong hình 4-7.



Hình 4 - 7: Đặc tuyến truyền đạt của tranzito

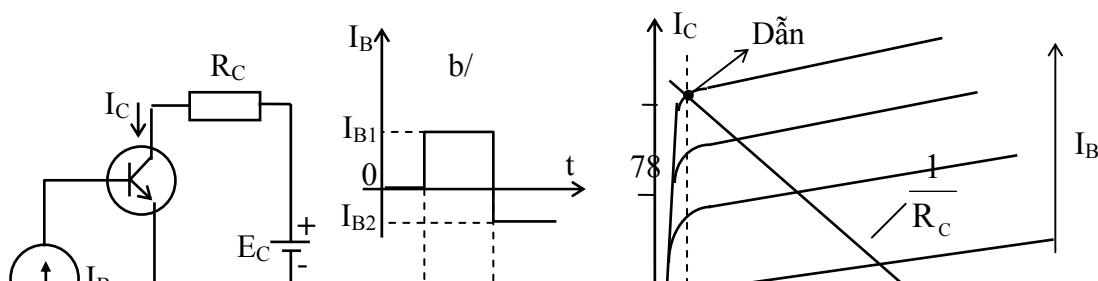
### 4.3. ĐẶC TÍNH QUÁ ĐỘ CỦA BJT (chế độ chuyển mạch của tranzito).

#### 4.3.1 Nguyên lý làm việc.

Ở chế độ chuyển mạch tranzito làm việc như một khóa điện tử, nghĩa là nó làm việc ở chế độ ngắt và chế độ bão hòa. Sơ đồ nguyên lý của chuyển mạch dùng tranzito mô tả trong hình 4-8.

Dòng điện  $I_{CS}$  (bão hoà) được tính theo công thức:

$$I_{CS} = \frac{E_C - U_{CEs}}{R_C} \quad (\text{bão hòa}) \quad (4.8)$$



Đối với tranzito,  $U_{CES}$  (bão hòa) =  $0,2V \div 0,4V$  nên trong biểu thức (4. 8) có thể bỏ qua. Do đó, dòng điện cực gốc nhỏ nhất  $I_{B1}$  cần thiết để điều khiển cho tranzito dẫn bão hoà là:

$$I_{B1} \geq \frac{i_{CS}}{\beta_{dc}} \approx \frac{E_C}{\beta_{dc} R_C} \quad (4. 9)$$

#### 4.3.2. Các tham số của BJT chuyển mạch.

Tham số quan trọng của BJT chuyển mạch là thời gian chuyển từ trạng thái “Dẫn” sang trạng thái “Khóa” và gọi là thời gian chuyển mạch. Thời gian chuyển mạch xác định bởi các yếu tố sau:

- Thời gian trễ ( $t_d$ ): là khoảng thời gian từ khi tác động lên đầu vào một xung cho đến khi dòng điện đầu ra đạt 10% giá trị dòng điện bão hoà của nó. Nghĩa là ( $I_C = 0,1 I_{CS}$ ).
- Thời gian lên ( $t_r$ ) và thời gian xuống ( $t_f$ ):
  - + Thời gian lên ( $t_r$ ): là khoảng thời gian để dòng điện ra  $I_C$  tăng từ 10% đến 90% dòng điện bão hoà ( $I_{CS}$ ).
  - + Dòng điện xuống ( $t_f$ ): là khoảng thời gian để dòng điện ra  $I_C$  giảm từ 90% đến còn 10% dòng điện bão hoà ( $I_{CS}$ ).
- Thời gian tồn đọng: (hay thời gian phục hồi chức năng ngắt)  $t_p$ : là khoảng thời gian kể từ khi cấp một dòng điện âm  $I_B$  cho đến khi dòng điện ra  $I_C$  giảm xuống còn 90% dòng điện bão hoà  $I_{CS}$ . Thời gian  $t_p$  là tham số cực kỳ quan trọng trong việc giới hạn tốc độ chuyển mạch của tranzito. Nó là thời gian cần thiết để giải toả các hạt dẫn thiểu số trong phần gốc và phân góp.

Gọi dòng  $I_{BA}$  là dòng điện cực gốc đã đưa tranzito sang trạng thái bão hoà, ta có:

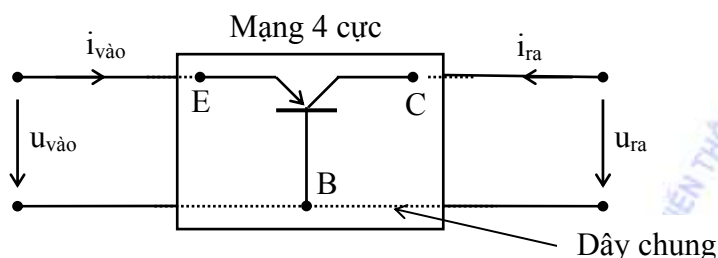
$$I_{BA} = \frac{E_C}{\beta_{dc} \cdot R_C} \quad (4. 10)$$

và thời gian tồn đọng được tính:

$$t_s = \tau_s \ln \frac{I_{B1} - I_{B2}}{I_{BA} - I_{B2}}$$

trong đó:  $\tau_s$  - thời gian sống của hạt thiểu số trong phần gốc và nó thường được cho đối với từng loại tranzito chuyển mạch.

#### 4.4. CÁC CÁCH MẮC CỦA TRANZITO BJT TRONG SƠ ĐỒ KHUẾCH ĐẠI.



**Hình 4 - 9:** Tranzito như một mạng 4 cực

Trong các mạch điện, tranzito được xem như một mạng 4 cực: tín hiệu được đưa vào giữa hai chân cực và tín hiệu lấy ra cũng giữa hai chân cực (xem hình 4-9).

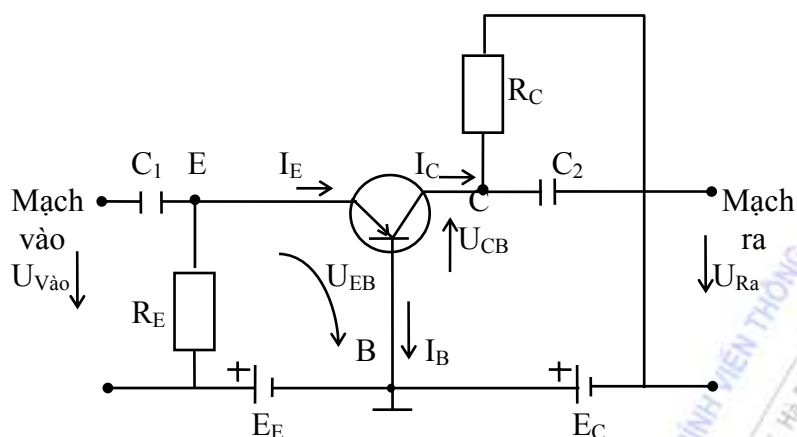
Tranzito là linh kiện bán dẫn có 3 chân cực nên khi sử dụng ta phải đặt một chân cực lên dây chung của mạch vào và mạch ra. Ta có thể chọn một trong 3 chân cực để làm cực chung cho mạch vào và mạch ra. Do đó, tranzito có 3 cách mắc cơ bản là mạch cực phát chung (CE), mạch cực gốc chung (CB), và mạch cực góp chung (CC).

##### 4.4.1. Sơ đồ mắc gốc chung:

Sơ đồ mạch mắc cực gốc chung mô tả trong hình 4-10. Trong sơ đồ mạch có:

- +  $E_E$ ,  $E_C$  là nguồn cung cấp một chiều cho tranzito loại P-N-P trong mạch.
- +  $R_E$  - điện trở định thiên cho tranzito.  $R_E$  có nhiệm vụ làm sụt bớt một phần điện áp nguồn  $E_E$  để đảm bảo cho tiếp xúc phát được phân cực thuận với điện áp phân cực  $U_{EB} \approx 0,6$  V cho tranzito Silic, và  $U_{EB} \approx 0,2$  V cho tranzito Gecmani. Đồng thời tín hiệu vào sẽ hạ trên  $R_E$  để đưa vào tranzito.
- +  $R_C$  - điện trở gánh có nhiệm vụ tạo sụt áp thành phần dòng xoay chiều của tín hiệu để đưa ra mạch sau và đưa điện áp từ âm nguồn  $E_C$  lên cực góp đảm bảo cho tiếp xúc góp được phân cực ngược.
- + Tụ điện  $C_1$ ,  $C_2$  gọi là tụ liên lạc có nhiệm vụ dẫn tín hiệu vào mạch và dẫn tín hiệu ra mạch sau.





**Hình 4 - 10:** Sơ đồ mắc gốc chung cho tranzito loại P-N-P

Cực gốc B của tranzito trong sơ đồ được nối đất. Như vậy, tín hiệu đưa vào giữa cực phát và cực gốc. Tín hiệu lấy ra giữa cực góp và cực gốc nên cực gốc B là chân cực chung của mạch vào và mạch ra. - Ta gọi là sơ đồ mắc cực gốc chung. Trong mạch có các thành phần dòng điện và điện áp sau:

$I_E$  gọi là dòng điện trên mạch vào.

$I_C$  gọi là dòng điện trên mạch ra.

$U_{EB}$  gọi là điện áp trên mạch vào

$U_{CB}$  gọi là điện áp trên mạch ra

Mối quan hệ giữa các dòng điện và điện áp trên các chân cực được mô tả thông qua các họ đặc tuyến tĩnh. Có hai họ đặc tuyến chính là :

Họ đặc tuyến vào:  $U_{EB} = f_1(U_{CB}, I_E)$

Họ đặc tuyến ra:  $I_C = f_2(U_{CB}, I_E)$

□ *Họ đặc tuyến vào:*

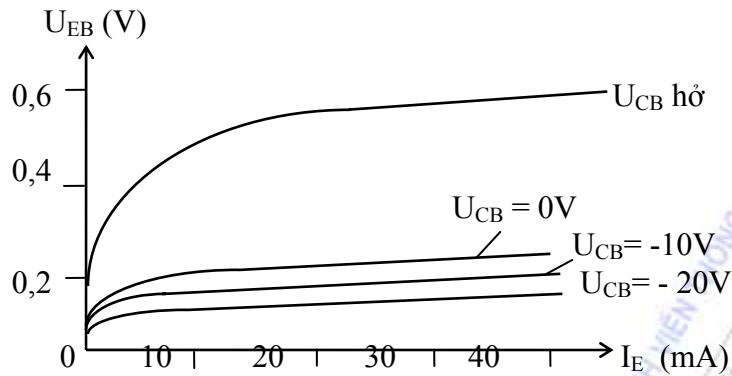
Đặc tuyến vào mô tả mối quan hệ giữa điện áp vào và dòng điện vào như sau:

$$U_{EB} = f_1(I_E) \text{ khi } U_{CB} = \text{const.}$$

Xét trường hợp đối với tranzito lưỡng cực Gecmani loại P-N-P. Khi cực góp hở thì đặc tuyến vào chính là đặc tuyến Vôn-Ampe của tiếp xúc P-N phân cực thuận nên ta có:

$$I_E = I_0 \left( e^{\frac{U_{EB}}{V_T}} - 1 \right)$$

Ta có đường đặc tuyến vào mô tả trong hình 4-11.



**Hình 4 - 11:** Họ đặc tuyến vào của tranzito gecmani loại P-N-P.

Khi  $U_{CB} \leq 0$ , đặc tuyến xê dịch rất ít chứng tỏ điện áp trên cực góp ít ảnh hưởng đến dòng điện qua tiếp xúc phát.

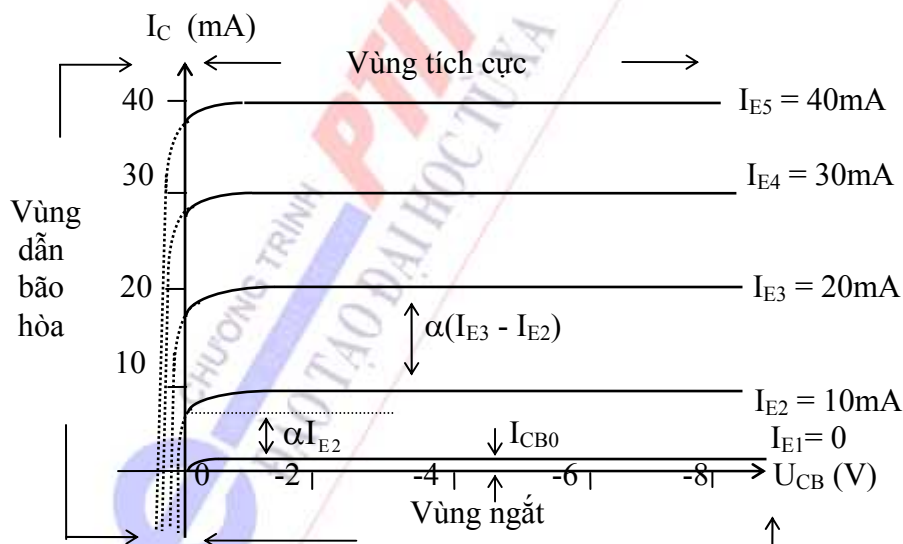
□ *Họ đặc tuyến ra:*

Đặc tuyến ra biểu thị mối quan hệ giữa dòng điện trên mạch cực góp với điện áp trên mạch cực góp. Ta có mối quan hệ sau:

$$I_C = f_2(U_{CB}) \text{ khi } I_E = \text{const.}$$

Biểu thức tính dòng điện trên cực góp  $I_C$  như sau:

$$I_C = \alpha I_E + I_{CB0}$$



**Hình 4 - 12:** Họ đặc tuyến ra của tranzito gecmani loại P-N-P trong sơ đồ mắc cực gốc chung

+ Khi  $I_{E1} = 0$  (khi cực phát hở mạch): đặc tuyến ra chính là đặc tuyến Vôn-Ampe của tiếp xúc góp phân cực ngược. Do vậy, dòng điện cực góp  $I_C = I_{CB0}$ .

+ Khi  $I_{E2} > 0$ : là khi tiếp xúc phát được phân cực thuận thì dòng điện cực góp sẽ là:

$$I_C = \alpha I_{E2} + I_{CB0}$$

Khi  $U_{CB} > 0$  trong khi  $U_{EB} > 0$  tranzito làm việc ở chế độ bão hòa nên sẽ có dòng điện thuận của tiếp xúc góp chạy ngược chiều với thành phần dòng điện thuận từ cực phát sang ( $\alpha I_{E2}$ ), do vậy, dòng điện tổng qua tiếp xúc góp giảm nhanh đến 0 và sau đó tăng nhanh nếu  $U_{CB} > 0$  tăng tiếp tục.

□ Các đặc điểm của sơ đồ mắc cực gốc chung:

- Tín hiệu vào và tín hiệu ra đồng pha nhau
- Trở kháng vào  $Z_V$  nhỏ khoảng vài chục đến vài trăm  $\Omega$

$$Z_{Vào} = \frac{1}{S} \approx 30 \div 300 \Omega$$

- Trở kháng ra lớn

$$Z_{ra} = R_C = 100 K\Omega \div 1 M\Omega$$

- Hệ số khuếch đại dòng điện cực phát

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} < 1 \quad (\alpha \approx 0,95 \div 0,999)$$

Như vậy, tranzito trong sơ đồ mắc cực gốc chung không có khuếch đại dòng điện.

- Hệ số khuếch đại điện áp:

$$K_u = \frac{\Delta U_{ra}}{\Delta U_{vao}} = \frac{\Delta I_C Z_{ganh}}{\Delta I_E Z_{vao}} \approx \frac{Z_{ganh}}{Z_{vao}} \quad (4.11)$$

Hệ số khuếch đại điện áp phụ thuộc vào điện trở gánh.

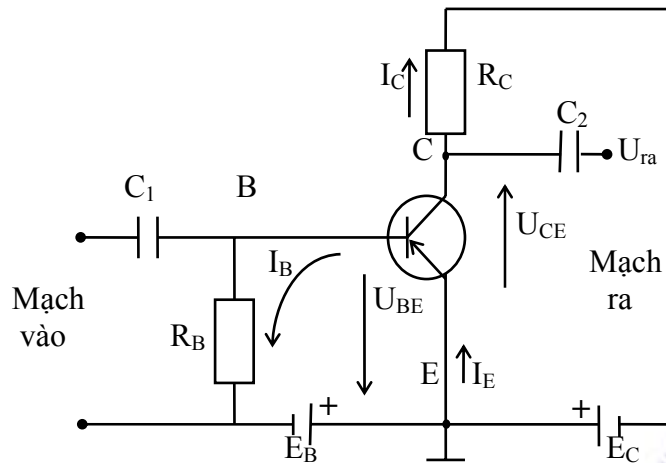
Khi  $Z_{gánh} \approx Z_{ra}$  thì  $K_u$  có trị số khoảng từ vài trăm ÷ vài nghìn lần.

- Hệ số khuếch đại công suất có thể đạt tới trị số hàng trăm lần.
- Dòng điện rò  $I_{CB0}$  nhỏ (khoảng từ vài chục nA đến vài  $\mu A$  đối với tranzito Silic, và đến vài chục  $\mu A$  đối với tranzito Gecmani).
- Tần số làm việc giới hạn cao vì có điện dung thông đường nhỏ.

Sơ đồ mạch mắc cực gốc chung có độ ổn định về nhiệt độ cao và tần số làm việc giới hạn cao. Mạch thường được dùng ở dải tần số làm việc cao như các tầng dao động nội của máy thu thanh, các tầng tiền khuếch đại âm tần của máy tăng âm, hoặc ở tầng khuếch đại công suất đẩy kéo.

#### 4.4.2. Sơ đồ mắc cực phát chung:

Sơ đồ mạch: (Xem hình 4-13)



**Hình 4 - 13:** Sơ đồ mắc cực phát chung của tranzito loại P-N-P.

Trong sơ đồ mạch gồm có các phần tử sau:

- +/  $E_E, E_C$  - Nguồn điện cung cấp một chiều cho tranzito loại P-N-P.
- +/  $R_B$  - Điện trở định thiên
- +/  $R_C$  - điện trở tải
- +/ Tụ điện  $C_1$  và  $C_2$  là tụ liên lạc.

Các cấu kiện này có nhiệm vụ trong mạch điện tương tự như ở sơ đồ mắc cực gốc chung.

Như vậy, tín hiệu đưa vào giữa cực gốc và cực phát, tín hiệu được lấy ra từ giữa cực góp và cực phát. Do đó, cực phát là chân cực chung của mạch vào và mạch ra và ta có sơ đồ mắc cực phát chung. Chiều của các thành phần dòng điện và điện áp trên các chân cực của tranzito được mô tả ở hình 4-13.

Trong sơ đồ mắc phát chung có dòng vào là  $I_B$ , dòng ra là  $I_C$ , điện áp vào là  $U_{BE}$ , điện áp ra là  $U_{CE}$ .

*Đặc điểm của sơ đồ mắc cực phát chung:*

- Tín hiệu vào và tín hiệu ra ngược pha nhau
- Trở kháng vào nhỏ nhưng lớn hơn so với trở kháng vào trong sơ đồ mắc cực gốc chung:

$$Z_{\text{vào}} = r_{BE} = 200 \div 2000 \Omega$$

- Trở kháng ra lớn nhưng nhỏ hơn so với trở kháng ra trong sơ đồ mắc cực gốc chung:

$$Z_{\text{ra}} = R_C // r_{CE} = 20K\Omega \div 100K\Omega$$

- Hệ số khuếch đại dòng điện cực gốc là tỉ số giữa dòng điện ra với dòng điện vào, ta có:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{\alpha I_E}{(1-\alpha)I_E} = \frac{\alpha}{1-\alpha} \quad (4.12)$$

$\beta$  có trị số từ vài chục ÷ vài trăm lần (còn ký hiệu là  $h_{FE}$ ).

- Hệ số khuếch đại điện áp:

$$K_u = \frac{\Delta U_{\text{ra}}}{\Delta U_{\text{vao}}} = -S(R_C // r_{CE}) \quad (4.13)$$

$K_u$  có thể đạt tới trị số từ hàng ngàn ÷ chục ngàn lần.

- Hệ số khuếch đại công suất:

$$K_p = \frac{P_{ra}}{P_{vao}}$$

$K_u$  có thể có trị số từ vài ngàn lần đến chục ngàn lần.

- Dòng điện rò cực góp  $I_{CE0}$  nhỏ nhưng lớn hơn trong sơ đồ mắc cực gốc chung
- Tần số làm việc giới hạn tương đối cao nhưng thấp hơn so với sơ đồ mắc cực gốc chung vì điện dung thông đường lớn hơn.
- Sơ đồ mạch mắc cực phát chung được sử dụng rộng rãi do có hệ số khuếch đại  $\beta$ ,  $K_u$ ,  $K_p$  rất lớn. Đồng thời mạch khá ổn định về nhiệt độ và có tần số làm việc giới hạn khá cao. Ngoài ra, mạch có trở kháng vào và trở kháng ra không chênh lệch nhiều nên trong việc ghép các mạch với nhau, ta có thể dùng kiểu ghép bằng điện trở và tụ điện (ghép RC) rất đơn giản trong tính toán lại đơn giản trong lắp ráp và giá thành rẻ.

*Các đặc trưng tĩnh và các tham số trong chế độ tín hiệu nhỏ:*

Để nghiên cứu mối quan hệ giữa các dòng điện và điện áp trên các điện cực của tranzito trong sơ đồ mắc cực phát chung, ta có các họ đặc tuyến như sau:

Họ đặc tuyến vào:  $U_{BE} = f_1(U_{CE}, I_B)$

Họ đặc tuyến ra:  $I_C = f_2(U_{CE}, I_B)$

- *Họ đặc tuyến vào tĩnh:*

Đặc tuyến vào tĩnh mô tả mối quan hệ giữa điện áp vào  $U_{BE}$  với dòng điện vào  $I_B$ .

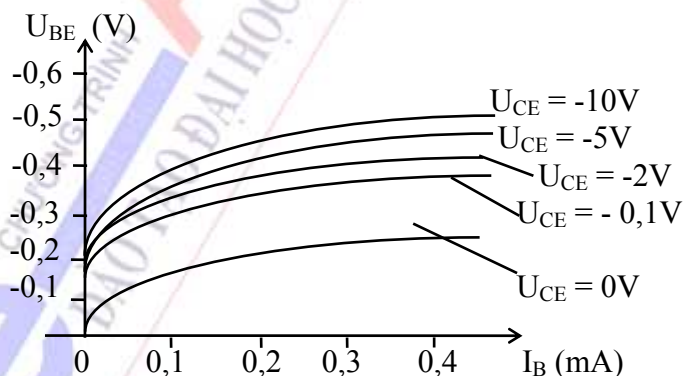
$$U_{BE} = f_1(I_B) \quad \text{khi } U_{CE} = \text{const.}$$

Ta có công thức tính dòng điện vào  $I_B$  bằng:

$$I_B = (1 - \alpha)I_E - I_{CB0}$$

và họ đặc tuyến vào được mô tả trong hình (4 - 14)

Do dòng điện  $I_E$  tăng theo qui luật hàm số mũ với điện áp  $U_{BE}$  nên dòng điện cực gốc  $I_B$  cũng sẽ tăng theo qui luật hàm số mũ với điện áp  $U_{BE}$ . Trên họ đặc tuyến vào ta thấy điện áp  $U_{CE}$  ít ảnh hưởng lên dòng điện  $I_B$ .



**Hình 4 - 14:** Đặc tuyến vào tĩnh của tranzito Ge loại P-N-P trong sơ đồ cực phát chung

- *Họ đặc tuyến ra tĩnh:*

Đặc tuyến ra biểu thị mối quan hệ giữa dòng điện trên mạch ra  $I_C$  và điện áp trên mạch ra  $U_{CE}$ . Ta có hàm biểu thị quan hệ này:

$$I_C = f(U_{CE}) \quad \text{khi dòng điện vào } I_B = \text{const.}$$

Và công thức tính dòng điện cực góp là:



$$I_C = \alpha I_E + I_{CB0}$$

Thay giá trị  $I_E = I_C + I_B$ , và biến đổi biểu thức trên, ta có:

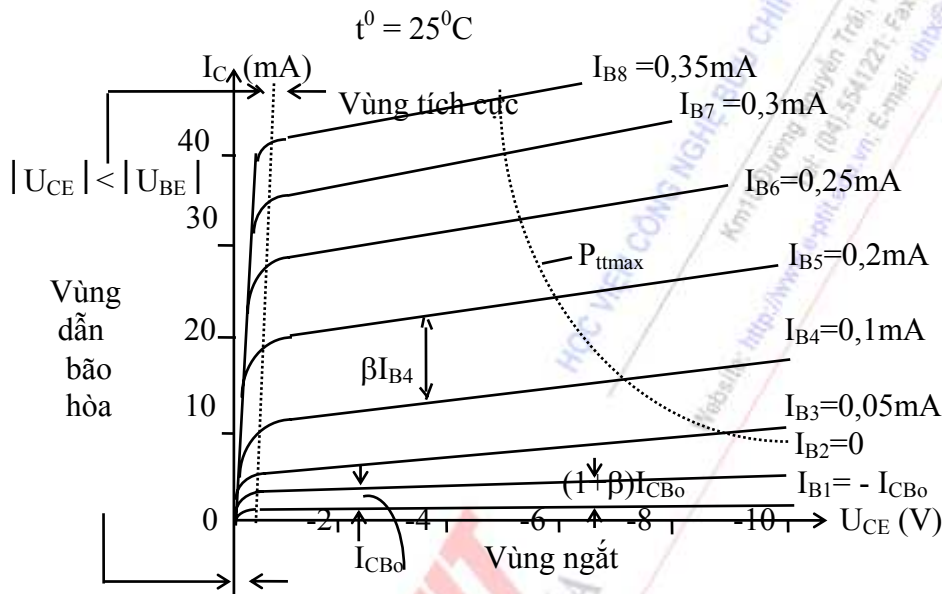
$$I_C = \left( \frac{\alpha}{1-\alpha} \right) I_B + \left( \frac{1}{1-\alpha} \right) I_{CB0} \quad (4.14)$$

Thay  $\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$ , và  $\frac{1}{1-\alpha} = \beta + 1$  ta có công thức tính dòng điện cực góp là:

$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CB0} \quad (4.15)$$

Trong đó  $\beta$  gọi là hệ số khuếch đại dòng điện cực gốc (thường có ký hiệu là  $h_{FE}$ ).

Đây là biểu thức biểu thị mối quan hệ giữa dòng điện điều khiển và dòng điện bị điều khiển trong sơ đồ mắc cực phát chung.



**Hình 4 - 15:** Họ đặc tuyến ra của tranzito gecmani loại P-N-P

với nguồn  $E_C = 10 \text{ V}$  và điện trở  $R_C = 500 \Omega$

Ta thấy dòng điện  $I_C$  có giá trị cực tiểu khi cả hai tiếp xúc phát  $T_E$  và tiếp xúc góp  $T_C$  đều phân cực ngược, dòng điện  $I_B = -I_{CB0}$  nên  $I_C = I_{CB0}$  và tranzito hoạt động trong vùng ngắt.

Khi  $I_B > 0$ , dòng điện ra được tính theo công thức:

$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CB0} \quad (4.16)$$

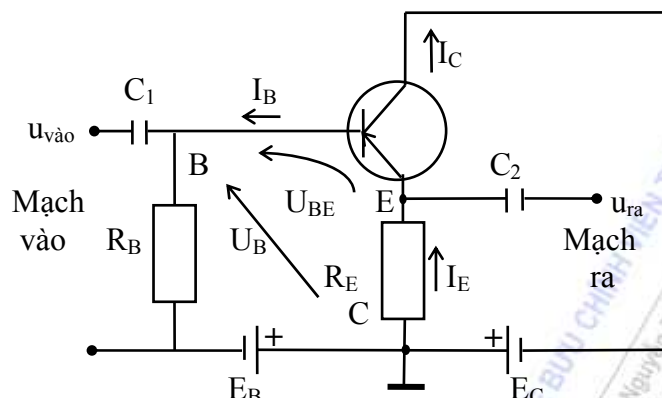
Nếu tăng điện áp trên mạch ra  $|U_{CE}|$  lên thì đặc tuyến ra không nằm ngang mà hơi dốc nghiêng. Khi giảm giá trị điện áp trên mạch ra  $|U_{CE}| < |U_{BE}|$  thì tiếp xúc góp  $T_C$  cũng được phân cực thuận. Lúc này tranzito làm việc ở chế độ bão hòa.

#### 4.4.3. Sơ đồ mắc cực góp chung (hay còn gọi là bộ lặp cực phát):

Sơ đồ mạch mô tả trong hình 4- 16:

Trong sơ đồ gồm có:  $E_B$ ,  $E_C$  - Nguồn cung cấp một chiều;  $R_B$  - điện trở định thiên;  $R_E$  - điện trở gánh và được mắc ở mạch cực phát; tụ điện  $C_1$ ,  $C_2$  là tụ liên lạc. Nhiệm vụ của các linh kiện trong mạch cũng giống như ở sơ đồ mắc gốc chung.

Trong mạch, tín hiệu đưa vào giữa cực gốc và cực góp, tín hiệu lấy ra trên  $R_E$  đặt giữa cực phát và cực góp, nên cực góp là chân cực chung của mạch vào và mạch ra. Vì vậy, ta có sơ đồ mắc cực góp chung.



**Hình 4 - 16:** Sơ đồ mắc cực góp chung của tranzito loại P-N-P

Khi cấp nguồn, dòng điện  $I_E$  xuất phát từ dương nguồn  $E_B$  qua điện trở tải  $R_E$  về cực phát và đến lớp tiếp xúc phát  $T_E$ . Tại đây, nó chia thành hai thành phần là dòng điện cực gốc  $I_B$  chạy qua  $R_B$  về đất và thành phần dòng điện cực góp  $I_C$  chạy qua cực góp xuống đất.

*Đặc điểm của sơ đồ mắc cực góp chung:*

- Tín hiệu vào và tín hiệu ra đồng pha
- Trở kháng vào lớn  $Z_{vào} = \beta R_E = 20 \text{ K}\Omega \div 500 \text{ K}\Omega$  (có thể tới hàng  $\text{M}\Omega$ )

- Trở kháng ra nhỏ

$$Z_{ra} = R_E // \left( \frac{1}{S} - \frac{R_{nguồn}}{\beta} \right) = 50\Omega \div 5\text{K}\Omega \quad (4.18)$$

- Hệ số khuếch đại điện áp:

$$K_u = \frac{\Delta U_{ra}}{\Delta U_{vao}} = \frac{\Delta U_{ra}}{\Delta U_{BC}} = \frac{\Delta U_{BC} - U_{BE}}{\Delta U_{BC}} < 1 \quad (4.19)$$

Thông thường ta lấy giá trị  $K_u \approx 1$ . Mạch mắc cực góp chung không có khuếch đại điện áp.

- Hệ số khuếch đại dòng điện cực gốc:

$$K_i = \frac{I_E}{I_B} = \frac{1}{1 - \alpha} = \beta + 1 \approx \beta \quad (4.20)$$

Vì  $\beta \gg 1$  nên hệ số khuếch đại dòng điện trong sơ đồ mắc cực góp chung tương đương với hệ số khuếch đại dòng điện của sơ đồ mắc cực phát chung.

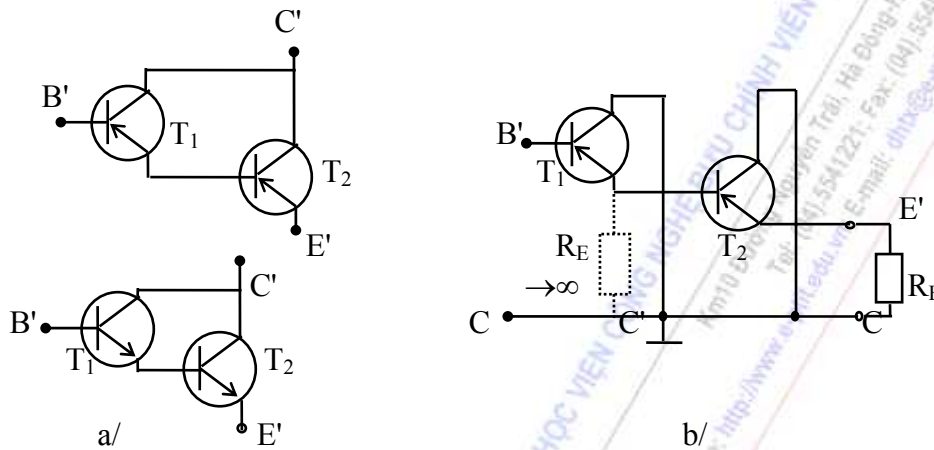
- Hệ số khuếch đại công suất  $K_p$  có trị số từ vài chục lần đến vài trăm lần.
- Dòng điện rò có trị số tương đương như ở sơ đồ mắc cực phát chung.
- Tần số làm việc giới hạn cũng có giá trị giống như ở sơ đồ mắc cực phát chung.

Đặc điểm cơ bản của sơ đồ mắc cực góp chung là có trở kháng vào rất lớn và trở kháng ra rất nhỏ ( $\frac{Z_{vao}}{Z_{ra}} =$  hàng ngàn lần) nên nó được dùng như một bộ biến đổi trở kháng.

Trên thực tế, sơ đồ mắc góp chung ít được dùng, người ta chỉ sử dụng mạch này để phối hợp trở kháng giữa một mạch có trở kháng ra cao với mạch có trở kháng vào thấp. Các đặc tuyến và tham số của sơ đồ mắc cực góp chung cũng tương tự như ở sơ đồ mắc cực phát chung, do vậy ta sẽ không xem xét thêm nữa.

#### 4.4.4. Sơ đồ Dacling- ton :

Sơ đồ Dacling- ton gồm có 2 tranzito đấu theo kiểu cực góp chung (CC) và nó được coi như một tranzito mới với các chân cực: E' , B' , C' (xem hình 4-17).



**Hình 4 - 17:** Sơ đồ Dacling- ton: (a). Sơ đồ mạch; (b). Sơ đồ thay thế

*Các tham số của sơ đồ:*

- Hệ số khuếch đại dòng điện:

$$\beta' = \beta_{T1} * \beta_{T2} \quad (4.21)$$

- Trở kháng vào:

$$Z_{\text{vào}} = r_{B'E'} = 2r_{BE1} = 2\beta' \frac{V_T}{I_{C'}} \quad (4.22)$$

- Độ hỗ dẫn:

$$S' = \frac{I_{C'}}{2V_T} \quad (4.23)$$

- Trở kháng ra:

$$Z_{\text{ra}} = r_{C'E'} = \frac{2}{3} r_{CE2} \quad (4.24)$$

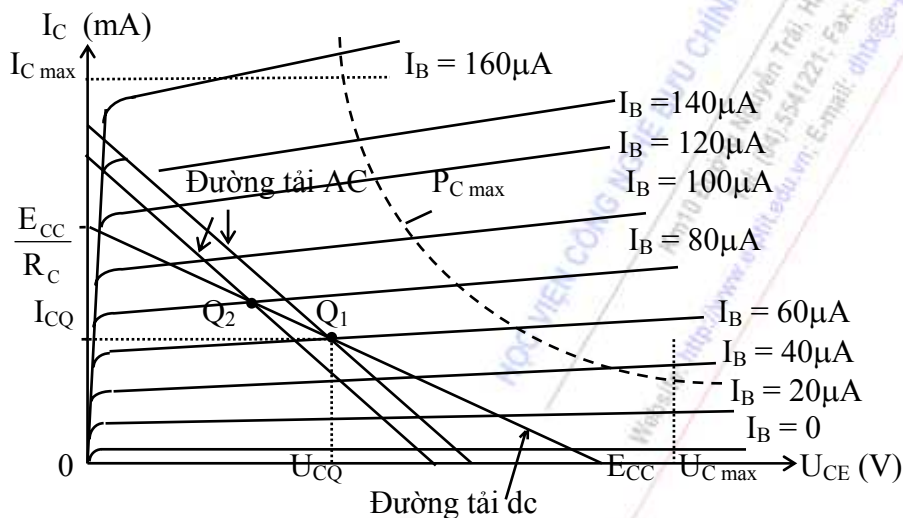
### 4.5. PHÂN CỰC CHO TRANZITO LƯƠNG CỰC.

#### 4.5.1. Khái niệm phân cực cho các chế độ làm việc của tranzito:

Phân cực cho tranzito là việc cung cấp nguồn điện một chiều vào các chân cực sao cho tranzito làm việc đúng chế độ (ngắt, bão hòa hay tích cực) và các tham số của tranzito không vượt quá các giá trị giới hạn ( $I_{C\text{max}}$ ,  $U_{C\text{emax}}$ ,  $U_{C\text{bmax}}$ ,  $U_{E\text{bmax}}$ ,  $P_{\text{ttmax}}$ , tần số giới hạn) như chỉ ra ở hình 4-18. Ở chế độ ngắt, ta chỉ cần cấp nguồn điện sao cho hai tiếp xúc P-N của tranzito đều phân cực ngược. Ở chế độ bão hòa, cấp điện sao cho hai tiếp xúc P-N đều phân cực thuận hoặc

sao cho điện áp  $U_{CE} = (0,2 \div 0,4)V$ . Chỉ ở chế độ tích cực là việc phân cực cho tranzito phức tạp và cần chú ý hơn. Chúng ta sẽ làm quen với một số khái niệm trong việc phân cực cho tranzito như điểm làm việc tĩnh, đường tải một chiều (dc), đường tải xoay chiều (ac)...

Điểm làm việc tĩnh trên các họ đặc tuyến của tranzito là điểm mà tại đó các hàm của tranzito hầu như tuyến tính khi nó làm việc trong vùng chế độ tích cực. Để xác lập điểm làm việc nhất thiết phải cung cấp cho tranzito một nguồn điện áp một chiều và dòng điện một chiều từ bên ngoài. Ta chọn điểm làm việc tĩnh Q sao cho khi tín hiệu xoay chiều thay đổi theo thời gian ( $u_t$ ) được đặt lên lối vào (cực B) thì trên lối ra (cực C) ta nhận được một tín hiệu (điện áp hoặc dòng điện) có cùng dạng sóng với tín hiệu trên lối vào đó.



**Hình 4 - 18:** Họ đặc tuyến ra của sơ đồ cực phát chung và các đường tải một chiều (dc) và xoay chiều (ac).

Nếu tín hiệu ra không tái tạo lại một cách trung thực tín hiệu vào thì điểm làm việc đã chọn không thích hợp và cần phải di chuyển đến một vị trí mới trên họ đặc tuyến ra.

□ *Các đường tải một chiều (dc) và xoay chiều (ac):*

Giả sử rằng chúng ta chọn điện trở  $R_C$  sao cho đường tải một chiều (dc) như chỉ ra trong hình vẽ 4-18 và nếu  $R_{tái} = \infty$  ta có thể chọn điểm làm việc tĩnh  $Q_1$  ở trung tâm của đường tải dc với các giá trị điện áp và dòng tĩnh là  $U_{CQ}$ ,  $I_{CQ}$  và  $I_{BQ}$ . Nếu  $R_{tái} \neq \infty$  thì ta có một đường tải xoay chiều (ac) đáp ứng cho một tải là  $R'_{tái} = R_{tái} // R_C$  được vẽ đi qua điểm làm việc  $Q_1$ .

Khi có tín hiệu xoay chiều đưa đến lối vào và trên mạch ra có đầu tải, thì điểm làm việc động sẽ xoay xung quanh điểm làm việc tĩnh Q và các giá trị dòng điện xoay chiều và điện áp xoay chiều sẽ dao động xung quanh giá trị dòng điện và điện áp một chiều đó.

Để phân cực cho các tranzito làm việc ta có thể dùng hai nguồn điện một chiều hoặc dùng một nguồn để mạch đơn giản và kinh tế hơn. Thực tế người ta thường dùng một nguồn điện cung cấp và sử dụng các điện trở dẫn điện áp về các chân cực của tranzito để phân cực mà ta hay gọi là mạch định thiên.

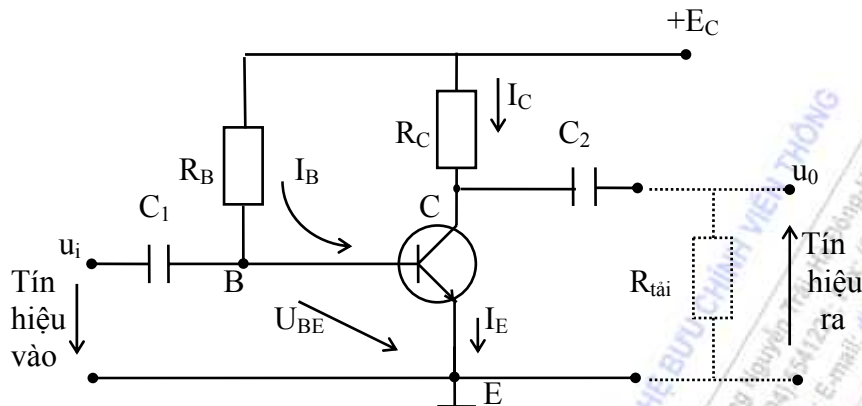
#### 4.5.2. Phân cực kiểu cố định (hay mạch định thiên bằng dòng cực gốc) :

Sơ đồ mạch điện như hình 4-19. Trong sơ đồ dùng tranzito loại N-P-N nên có:

- Điện trở  $R_B$ , gọi là điện trở định thiên, được đấu từ dương nguồn  $E_C$  về cực gốc để phân cực thuận cho tiếp xúc phát - gốc.

- Điện trở  $R_C$ , gọi là tải, có nhiệm vụ dẫn điện áp từ dương nguồn  $E_C$  về cực góp sao cho tiếp xúc góp - gốc phân cực ngược.

Dòng điện  $I_C$  chạy từ dương nguồn  $E_C$  qua  $R_C$  về âm nguồn  $E_C$ . Dòng điện  $I_B$  chạy từ dương nguồn  $E_C$  qua  $R_B$  về âm nguồn  $E_C$ .



**Hình 4 - 19:** Mạch định thiên cố định

Trên đường tải dc ta chọn điểm làm việc thích hợp với điều kiện tín hiệu đầu vào có giá trị dòng điện cực gốc không vượt quá giá trị dòng điện  $I_B$  được tính theo công thức sau:

$$I_B = \frac{E_C - U_{BE}}{R_B} \quad (4.25)$$

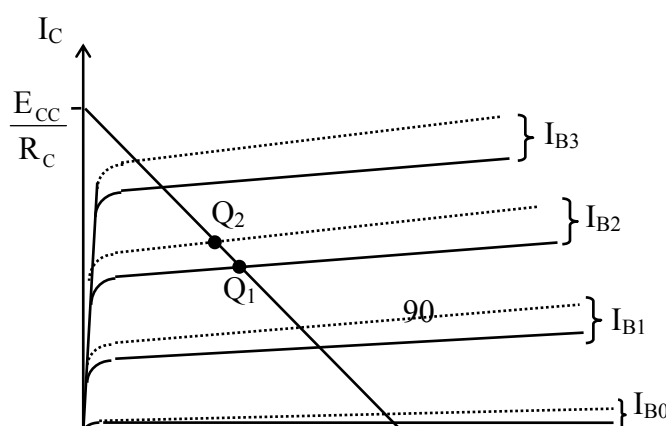
Theo công thức trên, có nguồn điện  $E_{CC}$  là cố định, điện áp  $U_{BE}$  chọn bằng 0,2V cho tranzito gecmani và 0,6V cho tranzito silic nên dòng  $I_B$  là cố định. Trong trường hợp muốn thay đổi dòng điện  $I_B$ , tức là thay đổi điểm làm việc tĩnh Q thì ta thay đổi trị số điện trở  $R_B$ .

Vì dòng  $I_B$  đã chọn là một hằng số nên sơ đồ mạch ở trên (hình 4-19) được gọi là mạch phân cực kiểu cố định hay mạch phân cực nhờ dòng cực gốc. Dòng  $I_B$  được gọi là dòng điện định thiên.

#### □ Độ ổn định của mạch định thiên.

Khi tranzito hoạt động, các tham số của mạch sẽ thay đổi do nhiều nguyên nhân, đặc biệt là do nhiệt độ môi trường thay đổi. Vì vậy, việc ổn định điểm làm việc Q đã chọn là rất cần thiết.

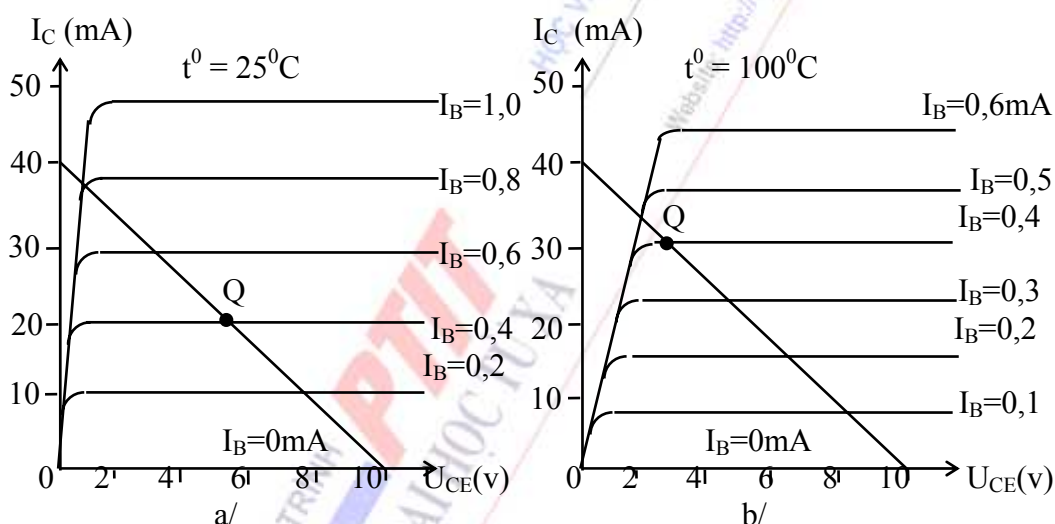
Ta giả thiết rằng tranzito trong hình (4-19) được thay bằng một tranzito khác cùng loại nhưng có hệ số khuếch đại  $\beta$  lớn hơn như chỉ ra trong hình (4-20), và vì  $I_B$  giữ không đổi tại  $I_{B2}$  bằng mạch phân cực bên ngoài, sẽ dẫn đến việc điểm làm việc  $Q_1$  phải di chuyển đến  $Q_2$ . Điểm làm việc mới này có thể không thỏa mãn hoàn toàn. Đặc biệt nó có thể làm cho tranzito chuyển sang chế độ bão hòa. Lúc này chúng ta phải thay đổi dòng điện  $I_B$  để đảm bảo chế độ làm việc cần thiết cho tranzito.





□ **Ổn định nhiệt cho tranzito:**

Vấn đề quan trọng thứ hai gây ảnh hưởng đến sự phân cực của tranzito là sự thay đổi nhiệt độ. Như ta đã biết dòng điện ngược bão hòa  $I_{CB0}$  phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ, điều này có thể gây khó khăn cho việc sử dụng tranzito. Ngay cả khi điểm làm việc tĩnh đã được xác định ở vùng chế độ tích cực thì do ảnh hưởng của nhiệt độ nó vẫn có thể chuyển sang chế độ bão hòa. Trong hình (4- 21) chỉ ra họ đặc tuyến ra của tranzito 2N708 tại nhiệt độ  $+25^{\circ}\text{C}$  và  $+100^{\circ}\text{C}$ . Ta thấy rõ rằng hầu như nó làm việc ở chế độ bão hòa tại nhiệt độ  $+100^{\circ}\text{C}$  mặc dù nó đã được phân cực ở giữa vùng chế độ tích cực tại  $+25^{\circ}\text{C}$ .



**Hình 4- 21:** Họ đặc tuyến ra ở  $t^0 = +25^{\circ}\text{C}$  (a) và  $+100^{\circ}\text{C}$  (b) của tranzito loại N-P-N 2N708

• **Hệ số ổn định S:**

Hệ số ổn định S là tốc độ thay đổi của dòng điện cực góp so với sự thay đổi của dòng điện ngược bão hòa để giữ cho hệ số khuếch đại  $\beta$  và điện áp  $U_{BE}$  không đổi, ta có:

$$S = \frac{\partial I_C}{\partial I_{CB0}} \approx \frac{\Delta I_C}{\Delta I_{CB0}} \quad (4.26)$$

Trong chế độ tích cực, mối quan hệ cơ bản giữa  $I_C$  và  $I_B$  được cho bởi công thức:

$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CB0}$$

Nếu lấy đạo hàm công thức trên theo  $I_C$  và xem xét  $\beta$  là hằng số theo  $I_C$ , thì ta có:

$$1 = \frac{1 + \beta}{S} + \beta \frac{dI_B}{dI_C}$$

$$S = \frac{1 + \beta}{1 - \beta \left( \frac{dI_B}{dI_C} \right)} \quad (4.27)$$

Đối với sơ đồ mạch định thiên kiểu cố định,  $I_B$  không phụ thuộc vào  $I_C$ , nên hệ số ổn định được tính:

$$S = \beta + 1 \quad (4.28)$$

Giá trị  $S$  càng lớn có nghĩa là mạch càng không ổn định về nhiệt. Theo định nghĩa ở đây thì hệ số ổn định  $S$  không thể nhỏ hơn 1.

Muốn duy trì sự ổn định điểm làm việc tĩnh  $Q$  ta phải giữ cho dòng điện  $I_{CQ}$  và điện áp  $U_{CEQ}$  không đổi. Kỹ thuật thường được sử dụng để ổn định điểm làm việc tĩnh có thể phân chia thành 2 loại:

- Kỹ thuật ổn định
- Kỹ thuật bù

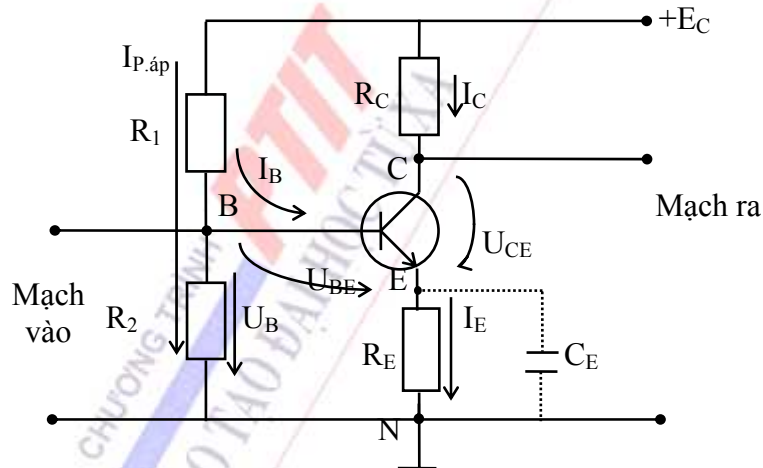
Kỹ thuật ổn định là ta sử dụng các mạch phân cực điện trở mà ở đó cho phép  $I_B$  thay đổi sao cho giữ được  $I_C$  là không đổi một cách tương đối với sự thay đổi của  $I_{CBo}$ ,  $\beta$  và  $U_{BE}$ .

Kỹ thuật bù là sử dụng các linh kiện nhạy nhiệt như diôt, tranzito, tecmixto, v.v.. Các linh kiện này cung cấp một điện áp bù và dòng điện bù để giữ cho điểm làm việc ổn định.

Trong các phần tiếp theo, kỹ thuật ổn định cho mạch định thiên được thể hiện để sao cho giá trị hệ số  $S$  giảm xuống và do đó tạo ra dòng điện cực góp  $I_C$  ít phụ thuộc vào dòng điện  $I_{CBo}$ .

#### 4.5.3. Mạch định thiên phân áp :

Sơ đồ mạch cho trên hình 4-22.



**Hình 4 - 22:** Sơ đồ mạch định thiên phân áp

Trong mạch, hai điện trở  $R_1$  và  $R_2$  nối tiếp nhau và đầu trực tiếp giữa hai cực của nguồn cung cấp  $E_C$  sẽ tạo nên mạch phân áp, dòng điện phân áp  $I_{P.áp}$  chạy qua  $R_1$  và  $R_2$  không phụ thuộc vào sự biến đổi theo nhiệt độ của các dòng điện và điện áp trên các chân cực của tranzito. Do đó, sụt áp do dòng phân áp tạo ra trên  $R_2$  cũng không phụ thuộc vào hoạt động của tranzito.

Điện áp trên cực gốc chính là sụt áp trên điện trở  $R_2$  do dòng điện phân áp tạo nên, vậy ta có:

$$U_B = I_{P.áp} R_2$$

$$U_B = \frac{E_C \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (4.29)$$

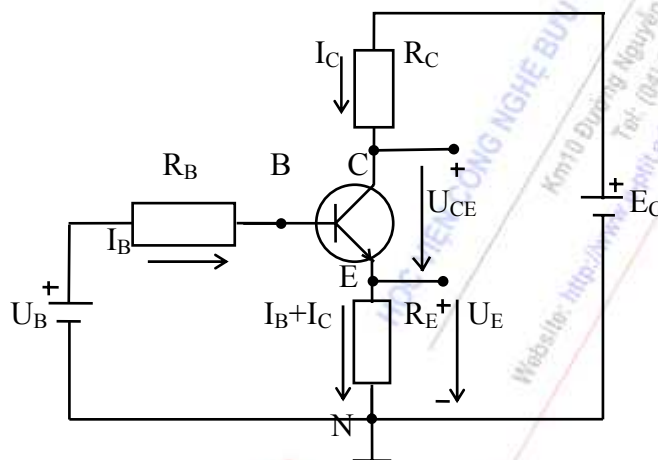
Nếu ta thay sơ đồ mạch phân cực ở hình (4-22) bằng sơ đồ mạch phân cực dùng hai nguồn cung cấp một chiều là  $U_B$  cho mạch cực gốc và  $E_C$  cho mạch cực góp như ở hình (4-23) thì điện trở  $R_B$  là điện trở tương đương của hai điện trở  $R_1$  và  $R_2$  mắc song song, ta có:

$$R_B = \frac{R_2 R_1}{R_2 + R_1} \quad (4.30)$$

- Hệ số ổn định  $S$ :**

Trên sơ đồ mạch hình 4-23, theo định luật điện áp vòng của Kiết xốp ở mạch cực gốc, ta có:

$$U_B = I_B R_B + U_{BE} + (I_B + I_C) R_E \quad (4.31)$$



**Hình 4 - 23:** Mạch thay thế tương đương với mạch định thiên phân áp ở hình 4-22

Nếu xét  $U_B$  và  $U_{BE}$  không phụ thuộc vào dòng điện  $I_C$ , ta có thể tính đạo hàm công thức (4.31) theo  $I_C$  để có:

$$\frac{dI_B}{dI_C} = - \frac{R_E}{R_E + R_B} \quad (4.32)$$

Thay (4.32) vào công thức (4.27) kết quả ta có:

$$S = \frac{1 + \beta}{1 + \beta \frac{R_E}{R_E + R_B}} = (1 + \beta) \frac{1 + \frac{R_B}{R_E}}{1 + \beta + \frac{R_B}{R_E}} \quad (4.33)$$

Qua công thức (4.33) ta thấy giá trị  $R_B$  càng nhỏ thì độ ổn định càng cao.

- Phân tích mạch định thiên phân áp:**

+ Nếu giá trị của các linh kiện trong sơ đồ mạch đã cho trước, thì điểm làm việc tĩnh được xác định như sau: Theo định luật Kiế Xốp cho mạch cực góp ta có:

$$-E_C + I_C (R_C + R_E) + I_B R_E + U_{CE} = 0 \quad (4.34)$$

Từ công thức (4.34) ta có thể xác định được điểm làm việc tĩnh Q với các giá trị dòng điện  $I_C$  và  $U_{CE}$  tương ứng.

+ Nếu các linh kiện trong sơ đồ mạch không cho trước thì việc xác định điểm làm việc tĩnh của tranzito được thực hiện như trường hợp mạch phân cực dùng hai nguồn cung cấp độc lập với các trị số:

$$U_B = \frac{E_C R_2}{R_1 + R_2} \quad \text{và} \quad R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Giả sử dòng điện  $I_B \ll I_{P.áp}$  và coi như  $I_B \approx 0$  thì:

$$I_{P.áp} = \frac{E_C}{R_1 + R_2}$$

$$U_E = I_E R_E = U_B - U_{BE} - I_B R_B$$

và dòng điện cực góp là:

$$I_C \approx I_E = \frac{U_B - U_{BE}}{R_E}$$

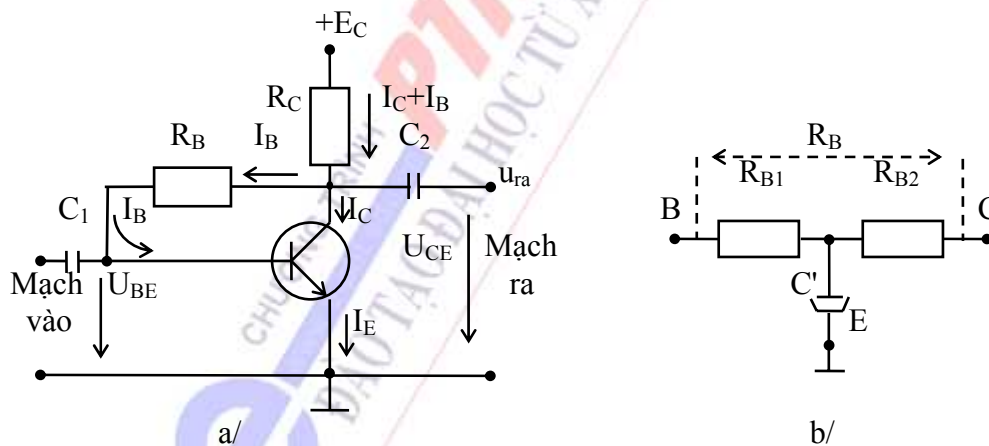
Điện áp giữa cực góp và cực phát là:

$$U_{CE} = E_C - I_C R_C - I_E R_E$$

#### 4.5.4. Mạch phân cực bằng hồi tiếp:

- *Sơ đồ mạch:* Hình 4-24.

Trong sơ đồ, điện trở  $R_B$  được gọi là điện trở định thiên hoặc điện trở hồi tiếp. Nó dẫn một phần điện áp từ mạch ra về mạch vào để phân cực cho tiếp xúc phát  $T_E$ , và điện áp phân cực là:  $U_{BE} = U_{CE} - I_B R_B$ .



**Hình 4 - 24:** a- Sơ đồ mạch định thiên hồi tiếp âm điện áp

b- Phương pháp phân chia hồi tiếp thành phần tín hiệu xoay chiều

Hệ số ổn định S của sơ đồ hình (4-24) được tìm từ phương trình sau:

$$-E_C + (I_B + I_C) R_C + I_B R_B + U_{BE} = 0 \quad (4.35)$$

Từ đó có:

$$I_B = \frac{E_C - I_C R_C - U_{BE}}{R_C + R_B} \quad (4.36)$$

Vì điện áp  $U_{BE}$  không phụ thuộc vào dòng điện  $I_C$ , do đó ta có:

$$\frac{dI_B}{dI_C} = - \frac{R_C}{R_C + R_B} \quad (4.37)$$

Thay (4.37) vào công thức (4.27), ta được công thức tính hệ số ổn định S:

$$S = \frac{\beta + 1}{1 + \beta \frac{R_C}{R_B + R_C}} \quad (4.38)$$

Giá trị này của hệ số S sẽ nhỏ hơn  $(\beta + 1)$  trong sơ đồ mạch định thiên kiểu cố định, vì vậy đã cải thiện được hệ số ổn định của mạch.

- *Phân tích sơ đồ mạch:*

Nếu giá trị của các linh kiện trong sơ đồ mạch đã được biết, thì điểm làm việc tĩnh Q được xác định như sau:

Ứng với mỗi một giá trị của dòng điện  $I_B$  đã cho, ta có thể tính được điện áp trên cực góp theo công thức sau:

$$U_{CE} = I_B R_B + U_{BE} \quad (4.36)$$

Dòng điện cực góp  $I_C$  có thể xác định bằng công thức:

$$I_C = \frac{\beta [E_C - U_{BE} + (R_C + R_B) I_{CB0}]}{\beta R_C + R_B} \quad (4.37)$$

- *Phương pháp loại bỏ hiện tượng hồi tiếp thành phần tín hiệu:*

Theo sơ đồ mạch định thiên bằng hồi tiếp âm điện áp này, thì trên điện trở  $R_B$  không chỉ có thành phần một chiều được hồi tiếp mà có cả thành phần xoay chiều của tín hiệu. Để khắc phục hiện tượng này ta thay điện trở  $R_B$  bằng 2 điện trở  $R_{B1}$  và  $R_{B2}$  đầu nối tiếp với nhau, và điểm nối giữa chúng được đấu qua một tụ điện  $C'$  xuống đất (hình 4-24b). Như vậy, tại tần số làm việc thành phần tín hiệu hồi tiếp về sẽ qua tụ  $C'$  xuống đất nên không gây ảnh hưởng cho mạch.

Trong bảng 4.1 và 4.2 cho ta biết một số các tham số của tranzito silic và gecmani ở các nhiệt độ khác nhau.



**Bảng 4.1:** Các tham số của tranzito silic tiêu biểu.

T (°C)	- 65	+25	+175
$I_{CBo}$ (nA)	$1,95 \cdot 10^{-3}$	1,0	33.000
$\beta$	25	55	100
$U_{BE}$ (V)	0,78	0,60	0,225

**Bảng 4.2:** Các tham số của tranzito gecmani tiêu biểu.

T (°C)	- 65	+25	+75
$I_{CBo}$ (μA)	$1,95 \cdot 10^{-3}$	1,0	32
$\beta$	20	55	90
$U_{BE}$ (V)	0,38	0,20	0,10

#### 4.5.5. So sánh 3 phương pháp phân cực

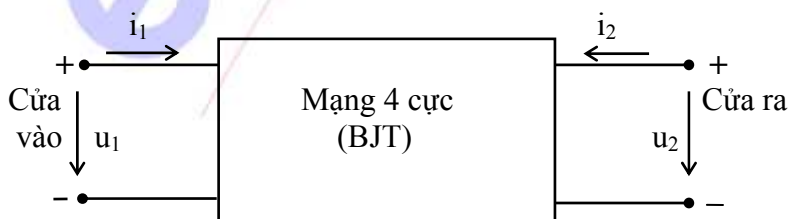
Trong 3 phương pháp phân cực vừa nghiên cứu ta thấy phương pháp phân cực cố định có sơ đồ mạch và tính toán các tham số của mạch đơn giản nhưng độ ổn định điểm làm việc tĩnh của mạch kém nhất. Phương pháp phân cực dùng hồi tiếp đã cải thiện được độ ổn định chế độ làm việc của mạch nhưng do mạch hồi tiếp có thể hồi tiếp cả thành phần tín hiệu, làm hệ số khuếch đại của mạch giảm. Đồng thời, nếu điện trở  $R_C$  có trị số nhỏ thì hầu như mạch không cải thiện được độ ổn định so với phương pháp cố định. Phương pháp phân cực phân áp là phương pháp có độ ổn định tốt nhất, ngay cả khi điện trở  $R_C = 0$ . Do vậy đây là phương pháp được sử dụng nhiều nhất.

#### 4.6. SƠ ĐỒ TƯƠNG ĐƯƠNG CỦA BJT Ở CHẾ ĐỘ KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ TẦN SỐ THẤP.

Để giải các bài toán có liên quan đến các linh kiện tích cực, ta phải đưa chúng về các dạng mạch điện tương đương. Có nhiều khả năng xây dựng sơ đồ mạch tương đương, ở đây chúng ta sẽ xem xét một sơ đồ thông dụng nhất đó là sơ đồ tương đương kiểu hỗn hợp.

##### 4.6.1. Sơ đồ mạng 4 cực dùng cho BJT.

Hình 4-25 biểu diễn một mạng 4 cực dùng cho tranzito lưỡng cực: trên mạch vào có dòng điện vào  $i_1$  và điện áp vào  $u_1$ ; trên mạch ra có dòng điện ra  $i_2$  và điện áp ra  $u_2$ . Chúng ta có thể chọn 2 trong 4 đại lượng này là các biến độc lập và biểu diễn 2 biến còn lại theo các biến độc lập đã chọn.

**Hình 4 - 25:** Mạng 4 cực

Nếu chọn dòng điện  $i_1$  và điện áp  $u_2$  là các biến độc lập và nếu 2 mạch vào và ra là tuyến tính thì ta có thể viết:

$$u_1 = h_{11} i_1 + h_{12} u_2 \quad (4.38)$$

$$i_2 = h_{21} i_1 + h_{22} u_2 \quad (4.39)$$

Các đại lượng  $h_{11}$ ,  $h_{12}$ ,  $h_{21}$ ,  $h_{22}$  được gọi là các tham số h hoặc các tham số hỗn hợp vì tất cả chúng không có cùng thứ nguyên.

Từ các công thức (4.38) và (4.39) ta xác định các tham số h như sau:

$$h_{11} = \left. \frac{u_1}{i_1} \right|_{u_2=0} : \text{Trở kháng vào khi ngắn mạch ra } (\Omega).$$

$$h_{12} = \left. \frac{u_1}{u_2} \right|_{i_1=0} : \text{Độ khuếch đại điện áp nghịch đảo}$$

(không thứ nguyên).

$$h_{21} = \left. \frac{i_2}{i_1} \right|_{u_2=0} : \text{Hệ số khuếch đại dòng điện.}$$

(không thứ nguyên).

$$h_{22} = \left. \frac{i_2}{u_2} \right|_{i_1=0} : \text{Độ dẫn hồi ra khi hở mạch vào (mA/V).}$$

*Ký hiệu:* Các ký hiệu thêm vào dưới đây được qui ước theo tiêu chuẩn của IEEE:

$i = 11$  = đầu vào

$o = 22$  = đầu ra

$f = 21$  = truyền dẫn thuận

$r = 12$  = truyền dẫn ngược

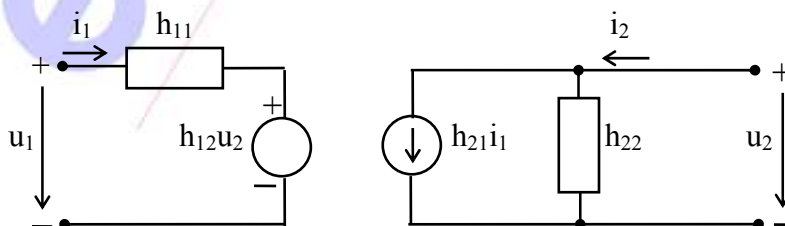
Trong trường hợp của tranzito, có thêm các ký hiệu (b, e, hoặc c) vào để chỉ các kiểu sơ đồ mắc tranzito. Ví dụ:

$h_{ib} = h_{11b}$  = Trở kháng vào ở sơ đồ mắc gốc chung.

$h_{fe} = h_{21e}$  = Hệ số khuếch đại thuận dòng điện ngắn mạch trong sơ đồ mắc cực phát chung.

Vì linh kiện mô tả bằng công thức (4.38) và (4.39) được giả thiết là không chứa các phần tử kháng, nên 4 tham số  $h_{11}$ ,  $h_{12}$ ,  $h_{21}$ ,  $h_{22}$  là các số thực và các điện áp cũng như dòng điện  $u_1$ ,  $u_2$ ,  $i_1$ ,  $i_2$  là các hàm của thời gian.

Mạch hỗn hợp cho một linh kiện bất kỳ đặc trưng bằng công thức (4.38) và (4.39) được biểu diễn ở hình 4-26.



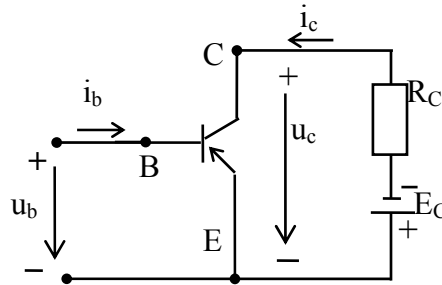
**Hình 4 - 26:** Sơ đồ tương đương hỗn hợp cho mạng 2 cửa của hình (4-25).

Các tham số  $h_{21}$  và  $h_{12}$  không có thứ nguyên.

## 4.6.2. Sơ đồ vật lý tương đương của BJT.

Mô hình tương đương của tranzito ở đây được cho trong mối quan hệ của các tham số h. Các tham số h đã được các nhà sản xuất xác định cho các tranzito.

Để nhận được mô hình tương đương hỗn hợp cho tranzito, ta nghiên cứu sơ đồ mắc cực E chung như hình 4- 27.



Hình 4 - 27: Mạch mắc cực E chung đơn giản.

Các biến  $i_b$ ,  $i_c$ ,  $u_b$ , và  $u_c$  biểu thị tổng các dòng điện và điện áp tức thời. Ở đây ta chọn dòng điện  $i_b$  và điện áp  $u_c$  là các biến độc lập và  $u_b$ ,  $i_c$  là các hàm như sau:

$$u_b = f_1(i_b, u_c) \quad (4.40)$$

$$i_c = f_2(i_b, u_c) \quad (4.41)$$

Mở rộng công thức (4.40) và (4.41) bao quanh điểm làm việc tĩnh  $I_B$ ,  $U_C$ , tương tự ta có:

$$\Delta u_B = \left. \frac{\partial f_1}{\partial i_B} \right|_{U_C} \Delta i_B + \left. \frac{\partial f_1}{\partial u_C} \right|_{I_B} \Delta u_C \quad (4.42)$$

$$\Delta i_C = \left. \frac{\partial f_2}{\partial i_B} \right|_{U_C} \Delta i_B + \left. \frac{\partial f_2}{\partial u_C} \right|_{I_B} \Delta u_C \quad (4.43)$$

Như sự biểu thị ở các chỉ số của hai công thức trên, điện áp cực góp  $U_C$  hoặc dòng điện cực gốc  $I_B$  phải giữ là hằng số.

Các đại lượng  $\Delta u_B$ ,  $\Delta u_C$ ,  $\Delta i_B$  và  $\Delta i_C$  biểu thị các tín hiệu nhỏ của điện áp và dòng điện trên cực gốc và cực góp. Dựa vào các ký hiệu ta có thể viết:

$$u_b = h_{ie} i_b + h_{re} u_c \quad (4.44)$$

$$i_c = h_{fe} i_b + h_{oe} u_c \quad (4.45)$$

Trong đó:  $i_b$ ,  $u_b$ ,  $u_c$  và  $i_c$  : là dòng điện và điện áp tức thời trên các chân cực B và C của tranzito. Ta có:

$$h_{ie} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial i_B} \right|_{U_C} = \left. \frac{\partial u_B}{\partial i_B} \right|_{U_C} \quad h_{re} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial u_C} \right|_{I_B} = \left. \frac{\partial u_B}{\partial u_C} \right|_{I_B} \quad (4.46)$$

$$h_{fe} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial i_B} \right|_{U_C} = \left. \frac{\partial i_C}{\partial i_B} \right|_{U_C} \quad h_{oe} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial u_C} \right|_{I_B} = \left. \frac{\partial i_C}{\partial u_C} \right|_{I_B} \quad (4.47)$$

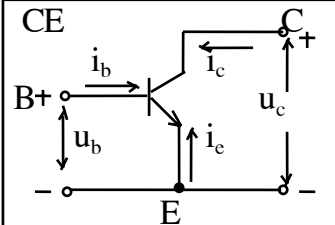
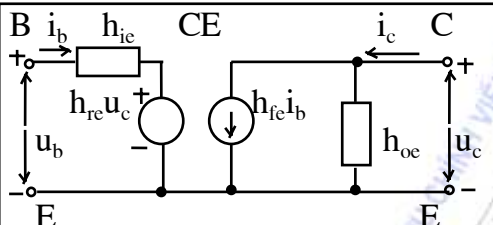
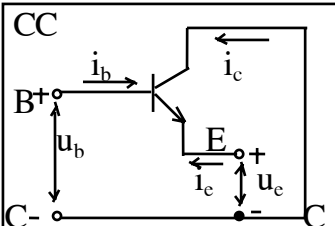
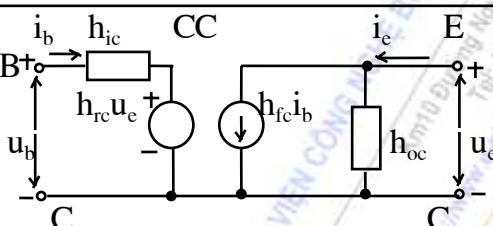
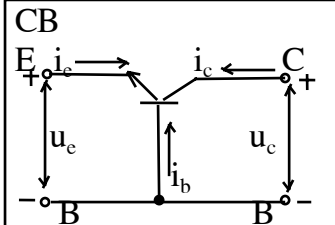
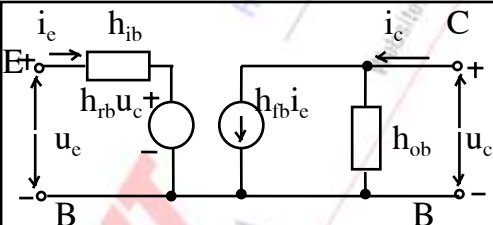
Xuất phát từ công thức (4.46) và (4.47) ta xác định các tham số h của tranzito trong sơ đồ mắc E chung.

- Ba sơ đồ mắc tranzito:

Trong bảng 4.3 trình bày tóm tắt ba cách mắc tranzito cùng các sơ đồ tương đương hỗn hợp và các công thức tính dòng điện  $i$  và điện áp  $u$  thích hợp với từng sơ đồ.

Mạch điện và công thức trong bảng (4.3) có giá trị cho cả tranzito loại N-P-N và cả P-N-P và không phụ thuộc vào loại của tải hoặc cách phân cực.

**Bảng 4.3:** Các cách mắc tranzito và mô hình tương đương hỗn hợp của chúng

Sơ đồ mạch	Mô hình tương đương hỗn hợp	Công thức $u, i$
		<p>CE</p> $u_b = h_{ie} i_b + h_{re} u_c$ $i_c = h_{fe} i_b + h_{oe} u_c$
		<p>CC</p> $u_b = h_{ie} i_b + h_{re} u_e$ $i_e = h_{fe} i_b + h_{oe} u_e$
		<p>CB</p> $u_e = h_{ib} i_e + h_{rb} u_c$ $i_c = h_{fb} i_e + h_{ob} u_c$

a. Các công thức biến đổi các tham số  $h$  giữa ba cách mắc của tranzito:

**Bảng 4.4:** Các công thức chuyển đổi gần đúng cho các tham số h của tranzito  
(Các số liệu cho trong bảng là đối với một tranzito tiêu chuẩn).

	CE	CC	CB
$h_{ie}$	$1100 \Omega$	$h_{ic}$	$\frac{h_{ib}}{1 - h_{fb}}$
$h_{re}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$1 - h_{rc}$	$\frac{h_{ib} h_{ob}}{1 + h_{fb}} - h_{rb}$
$h_{fe}$	50	$-(1 - h_{fc})$	$-\frac{h_{fb}}{1 + h_{fb}}$
$h_{oe}$	$25 \mu A/V$	$h_{oc}$	$\frac{h_{ob}}{1 + h_{fb}}$
$h_{ib}$	$\frac{h_{ie}}{1 + h_{fe}}$	$-\frac{h_{ic}}{h_{fc}}$	$21,6 \Omega$
$h_{rb}$	$\frac{h_{ie} h_{oe}}{1 - h_{fe}} - h_{re}$	$h_{rc} - \frac{h_{ic} h_{oe}}{h_{fc}} - 1$	$2,9 \cdot 10^{-4}$
$h_{fb}$	$-\frac{h_{fe}}{1 + h_{fe}}$	$-\frac{1 + h_{fc}}{h_{fc}}$	- 0,98
$h_{ob}$	$\frac{h_{oe}}{1 + h_{fe}}$	$-\frac{h_{oc}}{h_{fc}}$	$0,49 \mu A/V$
$h_{ic}$	$h_{ie}$	$1100 \Omega$	$\frac{h_{ib}}{1 + h_{fb}}$
$h_{rc}$	$1 - h_{re} \approx 1$	1	1
$h_{fc}$	$-(1 + h_{fe})$	- 51	$-\frac{1}{1 + h_{fb}}$
$h_{oc}$	$h_{oe}$	$25 \mu A/V$	$\frac{h_{ob}}{1 + h_{fb}}$

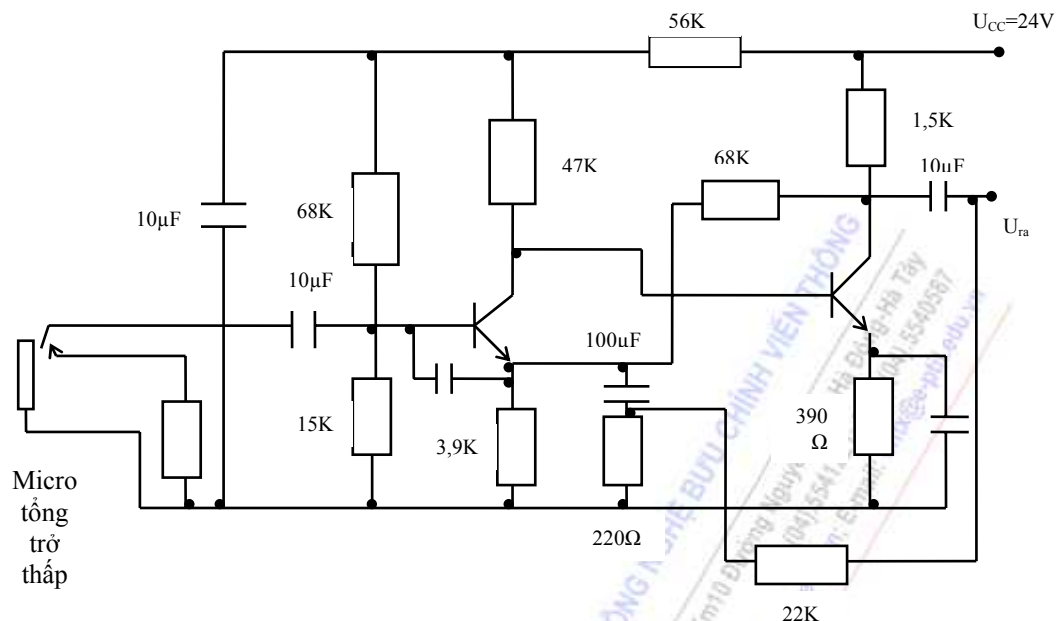
#### 4.7. MỘT SỐ ỨNG DỤNG CỦA BJT

Tranzito lưỡng cực là phần tử tích cực được sử dụng rộng rãi trong các mạch điện tử. Chúng được dùng trong hầu hết các mạch điện tử và giữ nhiều chức năng chủ yếu của mạch. Những ứng dụng thông thường của tranzito lưỡng cực là khuếch đại, tạo dao động hình sin, xung, ổn áp, chuyển mạch điện tử... Ở đây ta sẽ xem xét một số ví dụ về ứng dụng của chúng.

- *Khuếch đại:* Tranzito được dùng trong các mạch khuếch đại một chiều (dc), khuếch đại tín hiệu (ac), mạch khuếch đại vi sai, các mạch khuếch đại đặc biệt, mạch ổn áp...

Ví dụ: mạch khuếch đại micro dùng cho máy tăng âm như ở hình 4-28





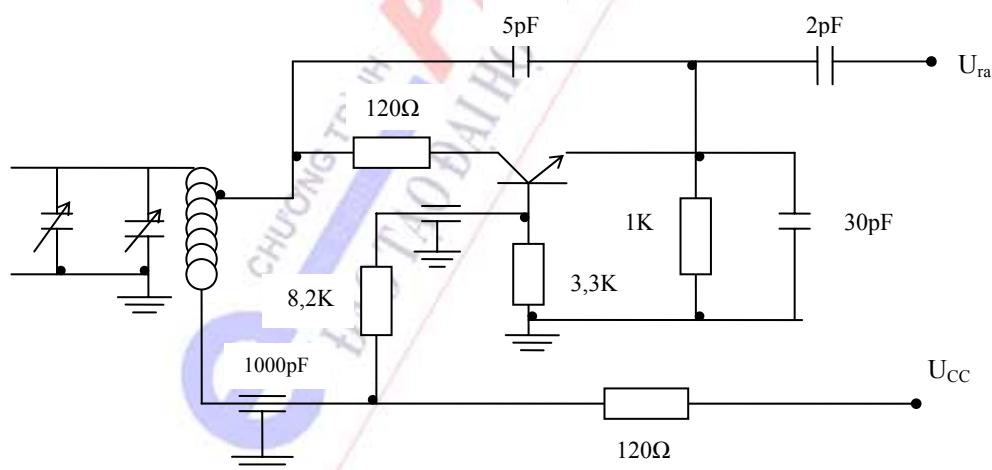
**Hình 4 - 28:** Mạch khuếch đại dùng BJT - C631A

Trong mạch các điện trở hồi tiếp  $R=22K$ ,  $R=68K$  (hồi tiếp từ cực góp  $T_2$  về) và  $R=220\Omega$  xác định hệ số khuếch đại của mạch:

$$K_U = \frac{68K // 22K}{220\Omega} = \frac{16,7K}{0,22K} = 75$$

Các điện trở hồi tiếp một chiều  $R = 3,9K$  và  $R = 68K$  từ  $T_2$  về để ổn định chế độ làm việc của mạch.

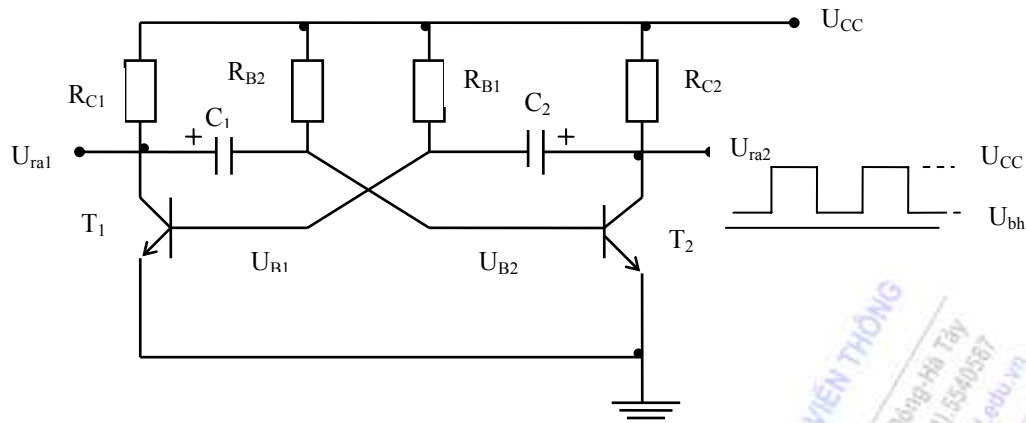
- Mạch tạo dao động sóng hình sin dùng trong radio (Hình 4-29)



**Hình 4 – 29:** Mạch tạo dao động hình sin dùng BJT-SE3001

Do tần số hoạt động của mạch trên 100MHz nên tranzito được mắc theo sơ đồ cực gốc chung. Khung cộng hưởng gồm có một cuộn cảm và hai tụ điện. tụ điện 5pF là tụ hồi tiếp để duy trì dao động.

- Mạch đa hài:



**Hình 4 – 30:** Mạch đa hài tự dao động dùng tranzito lưỡng cực

Mạch đa hài tự dao động tạo xung vuông. Trạng thái cân bằng của mạch (một tranzito mở và một tranzito khóa) chỉ ổn định trong một thời gian hạn chế nào đó, rồi tự động lật sang trạng thái kia và ngược lại (hai tranzito thay nhau thông, tắt). Trên lối ra ta lấy được chuỗi xung vuông có tần số dao động được tính gần đúng theo công thức:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,69R_{B2}C_1 + 0,69R_{B1}C_2} \quad (4.48)$$

### TÓM TẮT

Chương 4 đã trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của tranzito lưỡng cực (BJT). Tranzito lưỡng cực có 2 tiếp xúc P-N và 3 chân cực là cực phát (E), cực gốc (B) và cực góp (C). Có 2 loại tranzito là P-N-P và N-P-N. Nguyên lý hoạt động của chúng giống nhau chỉ có chiều của nguồn điện cung cấp vào các chân cực của tranzito là ngược dấu nhau.

Tranzito có 3 chế độ làm việc tùy theo sự phân cực cho 2 tiếp xúc P-N: chế độ tích cực, chế độ ngắt, chế độ bão hòa. Chế độ tích cực là khi ta cấp điện một chiều sao cho tiếp xúc phát-gốc phân cực thuận và tiếp xúc góp-phát phân cực ngược. Ở chế độ tích cực, tín hiệu ra biến thiên theo sự biến thiên của tín hiệu vào nên ta còn gọi là chế độ khuếch đại. Tranzito làm việc ở chế độ ngắt là khi ta cấp điện cho các chân cực sao cho 2 tiếp xúc P-N đều phân cực ngược. Ở chế độ ngắt tranzito không dẫn điện, cực góp coi như được nối tắt với nguồn cung cấp và tranzito như một chuyển mạch ở trạng thái hở. Tranzito hoạt động ở chế độ bão hòa khi ta cung cấp điện áp vào các chân cực sao cho cả 2 tiếp xúc P-N đều phân cực thuận. Ở trạng thái này, cực phát và cực góp của tranzito coi như được nối tắt, dòng điện qua tranzito khá lớn, sụt áp giữa cực góp-phát gần bằng không vôn và tranzito như một chuyển mạch ở trạng thái đóng.

Trong chương 4 trình bày về các thành phần dòng điện trong tranzito gồm có: dòng điện cực phát  $I_E$ , dòng điện cực góp  $I_C$ , dòng điện cực gốc  $I_B$ , về các hệ số khuếch đại dòng điện cực phát  $\alpha$  và hệ số khuếch đại dòng điện cực gốc  $\beta$ . Đồng thời, trong phần này cũng nêu mối quan hệ giữa các dòng điện thông qua các hệ số khuếch đại:

+ Đối với hệ số  $\alpha$ :

$$I_C = \alpha I_E + I_{CB0}$$

$$I_B = (1 - \alpha) I_E - I_{CB0}$$

$$I_E = I_C + I_B$$

+ Đối với hệ số  $\beta$ :

$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1)I_{CB0}$$

$$I_B \approx I_C / \beta$$

Chương 4 còn trình bày về 3 cách mắc tranzito trong các sơ đồ mạch khuếch đại là: mạch cực gốc chung, mạch cực phát chung, mạch cực góp chung; về mối quan hệ giữa các dòng điện trên tranzito với điện áp trên các chân cực của nó thông qua các họ đặc tuyến vào và ra. Trong phần này, chúng ta đã xem xét đến các đặc điểm của từng cách mắc và phạm vi ứng dụng của chúng trong các mạch điện tử.

Muốn tranzito làm việc đúng chế độ, các tham số của mạch không vượt quá các giá trị giới hạn thì chúng ta phải xác định điểm làm việc tĩnh cho tranzito và các phương pháp ổn định điểm làm việc đã chọn. Thông thường người ta sử dụng một số phương pháp phân cực cho tranzito như:

- Mạch phân cực cố định: Mạch này đơn giản, dễ tính toán nhưng độ ổn định thấp.
- Mạch phân cực phân áp: Đây là mạch có nhiều ưu điểm nhất so với các phương pháp phân cực khác. Mạch có độ ổn định cao ngay cả khi điện trở tải  $R_C = 0$ , nên mạch được sử dụng rộng rãi.
- Mạch phân cực dùng hồi tiếp: Mạch đã cải thiện được độ ổn định điểm làm việc tĩnh, nhưng còn hạn chế do điện trở hồi tiếp đưa cả thành phần tín hiệu về mạch vào làm giảm khả năng khuếch đại của mạch.

Trong chương 4 còn đưa ra sơ đồ tương đương hỗn hợp của tranzito trong các mạch khuếch đại và các tham số của nó.

Nhìn chung, chương 4 có nội dung rất quan trọng của chương trình môn học về cấu kiện điện tử vì tranzito lưỡng cực là một cấu kiện chủ đạo của các mạch điện tử khác nhau.

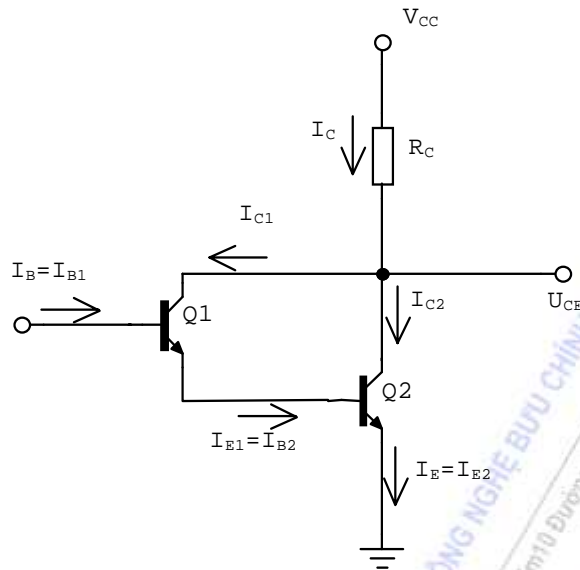
### CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Nêu cấu tạo và các ký hiệu của 2 loại tranzito lưỡng cực.
2. Trình bày nguyên lý làm việc của BJT ở chế độ tích cực.
3. Trình bày nguyên lý làm việc của BJT ở chế độ ngắt và chế độ bão hòa.
4. Trình bày về sơ đồ mắc cực gốc chung và các đặc điểm của cách mắc này?
5. Trình bày về cách mắc cực phát chung và đặc điểm của cách mắc này?
6. Trình bày về cách mắc cực góp chung và đặc điểm của sơ đồ này?
7. Trình bày về sơ đồ Darlington.
8. Nêu khái niệm và sự cần thiết của việc phân cực cho tranzito.
9. Trình bày về mạch phân cực cố định.
10. Hãy cho biết về độ ổn định và hệ số ổn định của mạch định thiên cho BJT?
11. Trình bày về mạch phân cực phân áp.
12. Trình bày về mạch phân cực hồi tiếp.
13. Sơ đồ tương đương của BJT ở chế độ khuếch đại tín hiệu nhỏ và các tham số hỗn hợp của mạch.
14. Trình bày nguyên lý làm việc của BJT ở chế độ chuyển mạch và tham số cơ bản của nó.
15. Cho sơ đồ mạch như hình vẽ :

Cho biết  $\alpha_1=0,98$ ,  $\alpha_2=0,96$ ,  $V_{cc}=24V$ ,  $R_C=120\Omega$ ,  $I_E=100mA$  Bỏ qua dòng điện ngược bão hoà ( $I_{CB0}=0$ ).

Xác định :

- a. Các dòng điện  $I_{C1}$ ,  $I_{B1}$ ,  $I_{E1}$ ,  $I_{C2}$ ,  $I_{B2}$ .
- b.  $U_{CE}$ .



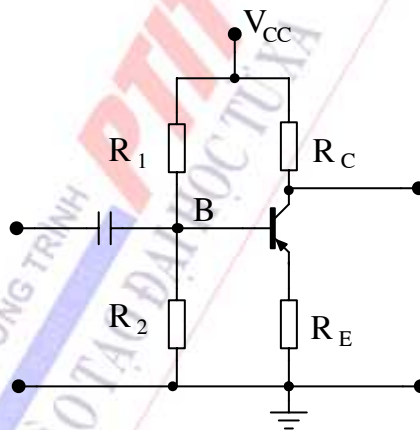
16. Cho sơ đồ mạch và dùng Tranzito Gecmani và các giá trị trong mạch :

$V_{CC} = -20V$ ,  $R_C = 2k\Omega$ ,  $R_E = 0,1k\Omega$ ,  $R_1 = 100k\Omega$ ,  $R_2 = 5k\Omega$ ,  $\beta = 50$ .

Hãy xác định:

Các dòng điện tĩnh  $I_B$ ,  $I_C$ ,  $I_E$  và điện áp  $U_{CE}$ .

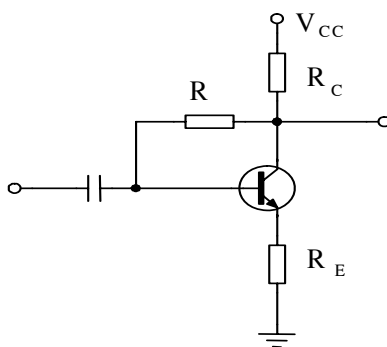
Hệ số ổn định  $S$ .



17. Cho sơ đồ mạch như hình vẽ và các giá trị :

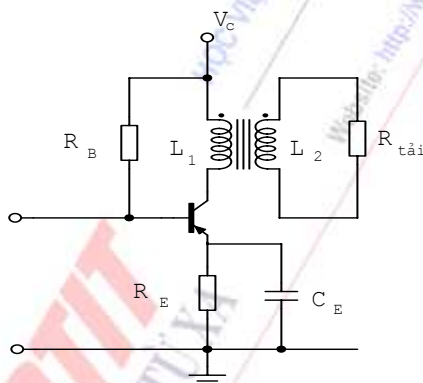
$V_{CC} = 24V$ ,  $R_C = 10k\Omega$ ,  $R_E = 270\Omega$ . Tranzito silic có hệ số  $\beta = 45$  và làm việc tại điểm làm việc tĩnh là  $U_{CE} = 5V$  hãy xác định:

- a. Trị số  $R$
- b. Hệ số ổn định  $S$



18. Cho mạch khuếch đại công suất dùng tranzito loại P-N-P

- Hãy cho biết tranzito được mắc theo cách nào ? Kiểu mạch định thiên ?
- Nêu nhiệm vụ của các linh kiện mắc trong mạch
- Cho biết  $V_C = -40V$ ,  $R_E = 5\Omega$ ,  $I_{CBO} = -5mA$ , cho dòng điện tĩnh  $I_C = -1A$ , hệ số khuếch đại dòng  $\beta = 100$ , điện trở cuộn sơ cấp  $L_1$  là  $10\Omega$ . Hãy xác định giá trị  $R_B$  và hệ số ổn định S.



- Tranzito lưỡng cực làm việc ở chế độ tích cực thuận khi được phân cực với...
  - hai tiếp xúc P-N đều phân cực ngược
  - hai tiếp xúc P-N đều phân cực thuận
  - tiếp xúc phát phân cực thuận, tiếp xúc góp phân cực ngược
  - tiếp xúc phát phân cực ngược, tiếp xúc góp phân cực thuận
- Tranzito lưỡng cực làm việc ở chế độ ngắt khi nó được phân cực với...
  - hai tiếp xúc P-N đều phân cực ngược
  - hai tiếp xúc P-N đều phân cực thuận
  - tiếp xúc phát phân cực thuận, tiếp xúc góp phân cực ngược
  - tiếp xúc phát phân cực ngược, tiếp xúc góp phân cực thuận
- Ở chế độ khóa điện tử Tranzito lưỡng cực làm việc ở .....
  - chế độ tích cực và chế độ ngắt;
  - chế độ bão hòa và chế độ tích cực
  - chế độ bão hòa và chế độ ngắt;
  - chế độ tích cực
- Trong sơ đồ mạch khuếch đại, tranzito lưỡng cực làm việc ở .....
  - chế độ tích cực và chế độ ngắt;
  - chế độ bão hòa và chế độ tích cực
  - chế độ bão hòa và chế độ ngắt;
  - chế độ tích cực



### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Giáo trình “Cấu kiện điện tử và quang điện tử”, Trần Thị Cẩm, Học viện CNBCVT, năm 2002.
2. Giáo trình “Kỹ thuật điện tử”, Đỗ Xuân Thụ, NXB GD 1997



## CHƯƠNG 5

### TRANZITO TRƯỜNG (FET)

#### GIỚI THIỆU CHƯƠNG

Chương 5 giới thiệu về một loại tranzito có nguyên lý làm việc hoàn toàn khác với nguyên lý làm việc của BJT, đó là tranzito hiệu ứng trường viết tắt là FET. Trong FET việc điều khiển dòng điện trên mạch ra do điện áp trên mạch vào quyết định. Trong chương 5 trình bày về cấu tạo và nguyên lý làm việc của các loại tranzito trường: JFET, MOSFET. Trong chương này còn trình bày về các cách mắc và phân cực cho tranzito trường, các sơ đồ tương đương của FET trong mạch khuếch đại tín hiệu nhỏ và chế độ chuyển mạch của nó.

#### NỘI DUNG.

##### 5.1. GIỚI THIỆU CHUNG VỀ FET.

###### 5.1.1. Nguyên lý hoạt động cơ bản

Khác với tranzito lưỡng cực, hoạt động của tranzito trường dựa trên nguyên lý hiệu ứng trường nghĩa là độ dẫn điện của đơn tinh thể bán dẫn do điện trường bên ngoài điều khiển. Dòng điện trong tranzito trường do một loại hạt dẫn tạo nên: lỗ trống hoặc điện tử nên nó còn được gọi là cấu kiện đơn cực.

Nguyên lý hoạt động cơ bản của tranzito trường là dòng điện đi qua một môi trường bán dẫn có tiết diện dẫn điện thay đổi dưới tác dụng của điện trường vuông góc với lớp bán dẫn đó. Khi thay đổi cường độ điện trường sẽ làm thay đổi điện trở của lớp bán dẫn và do đó làm thay đổi dòng điện đi qua nó. Lớp bán dẫn này được gọi là kênh dẫn điện.

###### 5.1.2. Phân loại:

Tranzito trường có hai loại chính là:

- Tranzito trường điều khiển bằng tiếp xúc P-N (hay gọi là tranzito trường mối nối): Junction field-effect transistor - viết tắt là JFET.
- Tranzito có cực cửa cách điện: Insulated-gate field effect transistor - viết tắt là IGFET. Thông thường lớp cách điện được dùng là lớp oxit nên còn gọi là metal-oxide-semiconductor transistor (viết tắt là MOSFET).

Trong loại tranzito trường có cực cửa cách điện được chia làm 2 loại là MOSFET kênh sẵn và MOSFET kênh cảm ứng.

Mỗi loại FET lại được phân chia thành loại kênh N và loại kênh P.

Tranzito trường có ba chân cực là cực Nguồn ký hiệu là chữ S (source); cực Cửa ký hiệu là chữ G (gate); cực Máng ký hiệu là chữ D (drain).

Cực nguồn (S): cực nguồn mà qua đó các hạt dẫn đa số đi vào kênh và tạo ra dòng điện nguồn  $I_S$ .

Cực máng (D): là cực mà ở đó các hạt dẫn đa số rời khỏi kênh.

Cực cửa (G): là cực điều khiển dòng điện chạy qua kênh.

###### 5.1.3. Một số ưu nhược điểm của tranzito trường so với tranzito lưỡng cực:

Một số ưu điểm:

+ Dòng điện qua tranzito chỉ do một loại hạt dẫn đa số tạo nên. Do vậy FET là loại cấu kiện đơn cực (unipolar device).

+ FET có trở kháng vào rất cao.

+ Tiếng ồn trong FET ít hơn nhiều so với tranzito lưỡng cực.

+ Nó không bù điện áp tại dòng  $I_D = 0$  và do đó nó là cái ngắt điện tốt.

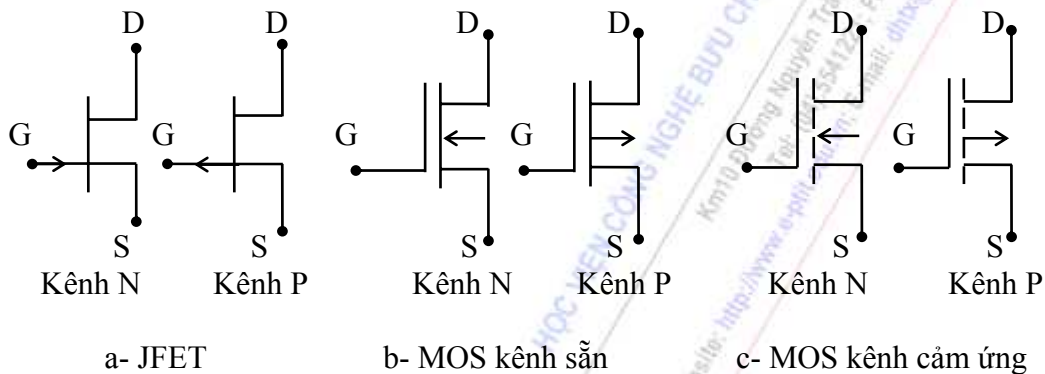
+ Có độ ổn định về nhiệt cao.

+ Tần số làm việc cao.

Một số nhược điểm:

Nhược điểm chính của FET là hệ số khuếch đại thấp hơn nhiều so với tranzito lưỡng cực.

#### 5.1.4. Ký hiệu của FET trong các sơ đồ mạch:



Hình 5-1 : Ký hiệu của các FET trong sơ đồ mạch.

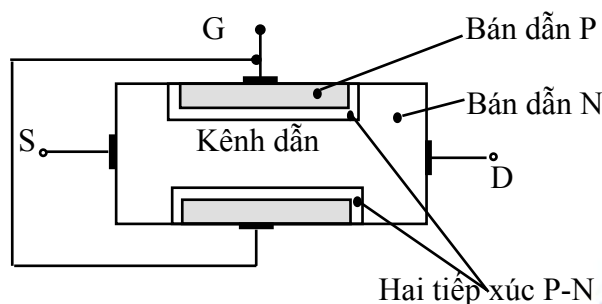
## 5.2. TRANZITO TRƯỜNG LOẠI ĐIỀU KHIỂN BẰNG TIẾP XÚC P-N. (viết tắt là JFET - Junction Field Effect Transistor)

### 5.2.1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của JFET

#### a. Cấu tạo của JFET:

Tranzito JFET cấu tạo gồm có một miếng bán dẫn mỏng loại N (gọi là kênh loại N) hoặc loại P (gọi là kênh loại P) ở giữa hai tiếp xúc P-N và được gọi là kênh dẫn điện. Hai đầu của miếng bán dẫn đó được đưa ra hai chân cực gọi là cực máng (ký hiệu là D) và cực nguồn (ký hiệu là S). Hai miếng bán dẫn ở hai bên của kênh được nối với nhau và đưa ra một chân cực gọi là cực cửa (ký hiệu là G). Cho nên, cực cửa được tách khỏi kênh bằng các tiếp xúc P-N.

Các tranzito trường JFET hầu hết đều là loại đối xứng, có nghĩa là khi đầu trong mạch có thể đổi chỗ hai chân cực máng và nguồn cho nhau thì các tính chất và tham số của tranzito không hề thay đổi.



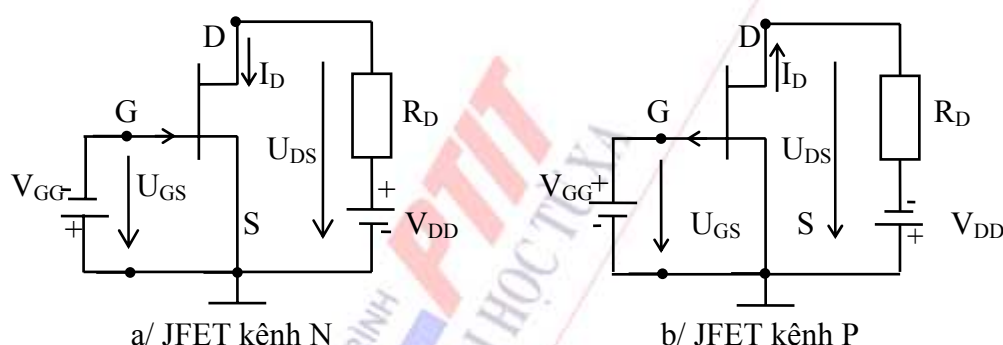
**Hình 5-2** : Cấu tạo của tranzito trường loại JFET kênh dẫn loại N.

### b. Nguyên lý hoạt động của JFET:

Nguyên lý hoạt động của tranzito trường JFET kênh loại N và kênh loại P giống nhau. Chúng chỉ khác nhau về chiều của nguồn điện cung cấp vào các chân cực.

Để cho tranzito trường làm việc ở chế độ khuếch đại phải cung cấp nguồn điện  $U_{GS}$  có chiều sao cho cả hai tiếp xúc P-N đều được phân cực ngược. Còn nguồn điện  $U_{DS}$  có chiều sao cho các hạt dẫn đa số chuyển động từ cực nguồn S, qua kênh, về cực máng D để tạo nên dòng điện trong mạch cực máng  $I_D$ . Ta có các sơ đồ nguyên lý như hình 5-3.

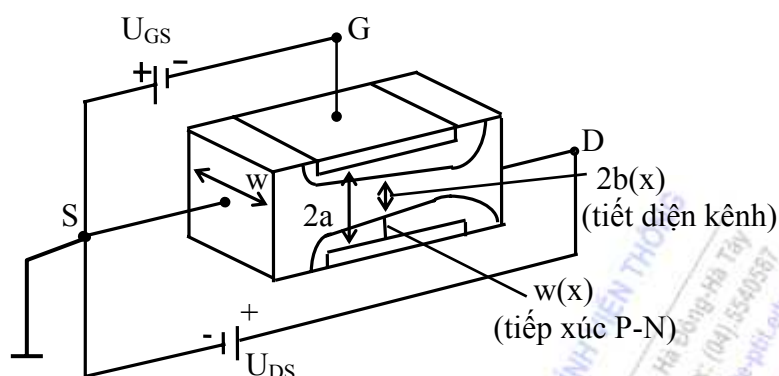
Trong phần này trình bày về nguyên lý hoạt động của tranzito JFET kênh N.



**Hình 5-3** : Sơ đồ nguyên lý làm việc của JFET.

Xét sơ đồ hình 5-3(a): Để cho hai tiếp xúc P-N đều phân cực ngược ta phải cung cấp nguồn  $V_{GG}$  có cực dương vào chân cực nguồn S, cực âm vào chân cực cửa G. Để cho các hạt dẫn điện tử chuyển động từ cực nguồn về cực máng thì nguồn điện  $V_D$  có chiều dương vào cực máng, chiều âm vào cực nguồn.

Khi  $U_{DS} > 0$ , thì điện thế tại mỗi điểm dọc theo kênh sẽ tăng dần từ cực nguồn S đến cực máng D. Do vậy, tiếp xúc P-N sẽ bị phân cực ngược mạnh dần về phía cực máng. Bề dày lớp tiếp xúc tăng dần về phía cực máng và tiết diện của kênh sẽ hẹp dần về phía cực máng (xem hình 5-4).



**Hình 5-4** : Mô hình đầu nối nguồn cung cấp cho JFET kênh N.

- Xét khả năng điều khiển của điện áp trên cực cửa  $U_{GS}$  đối với dòng điện  $I_D$  và đặc tuyến truyền đạt của FET:

Muốn xét khả năng điều khiển dòng điện  $I_D$  của điện áp trên cực cửa phải đặt lên cực máng một điện áp  $U_{DS1} > 0$  và giữ cố định.

Khi điện áp trên cực cửa  $U_{GS} = 0V$ , hai tiếp xúc P-N sẽ được phân cực ngược mạnh dần từ cực nguồn về phía cực máng, và do đó kênh cũng sẽ hẹp dần về phía cực máng. Tuy nhiên, ở trường hợp này, tiết diện của kênh là lớn nhất nên dòng điện chạy qua kênh là lớn nhất, ký hiệu là  $I_{D0}$ .

Khi đặt điện áp trên cực cửa có trị số âm ( $U_{GS} < 0$ ), thì tiếp xúc P-N được phân cực ngược càng mạnh hơn, và tiết diện của kênh càng hẹp lại, điện trở của kênh càng tăng, kéo theo dòng điện  $I_D$  giảm xuống. Khi điện áp trên cực cửa giảm xuống đến một trị số gọi là điện áp ngắt:  $U_{GS} = U_{GSngắt}$  thì hai lớp tiếp xúc P-N phủ trùm lên nhau và kênh hoàn toàn biến mất, dòng điện chạy qua kênh bằng 0 ( $I_D = 0$ ).

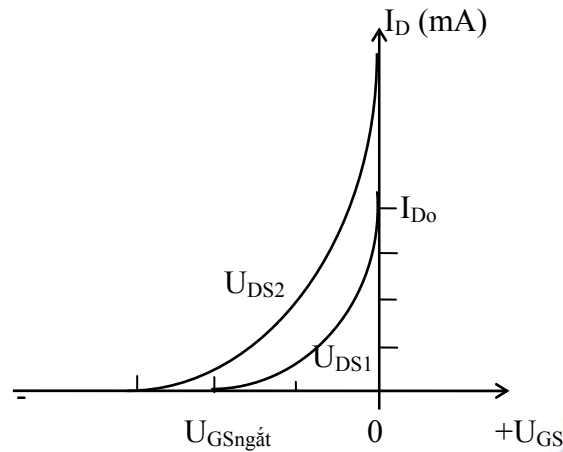
Quan hệ giữa dòng điện  $I_D$  với điện áp  $U_{GS}$  thể hiện bằng đường đặc tuyến điều khiển hay còn gọi là đặc tuyến truyền đạt và có hàm là  $I_D = f(U_{GS})$  khi  $U_{DS}$  không đổi.

Dòng điện  $I_D$  được tính bằng công thức Shockley:

$$I_D = I_{D0} \left( 1 - \frac{U_{GS}}{U_{GSngắt}} \right)^2 \quad (5.1)$$

Đây là một phương trình bậc 2 và biểu diễn bằng đường cong có dạng parabol, ta có đặc tuyến truyền đạt như mô tả trong hình (5-5).





**Hình 5-5** : Đặc tuyến truyền đạt của JFET kênh loại N.

Đặt hệ số  $K = \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GSngắt}}\right)^2$  ta có thể viết lại công thức (5.1) như sau:

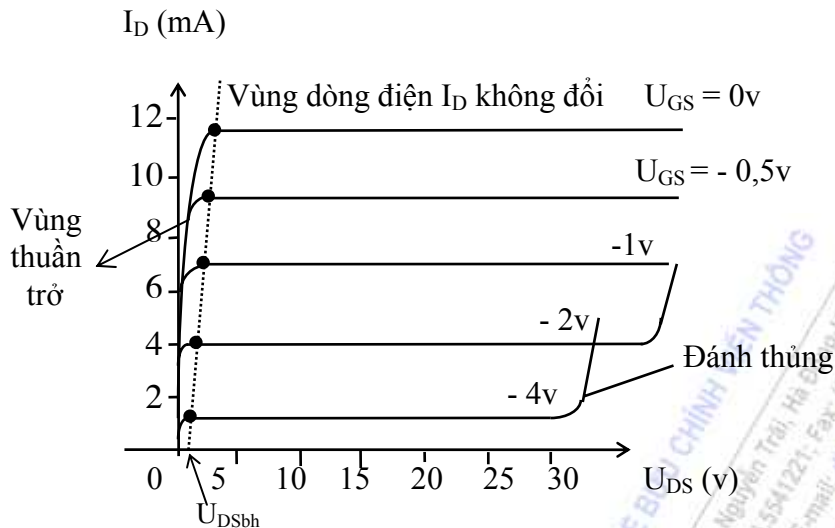
$$I_D = KI_{D0} \quad (5.2)$$

□ *Đặc tuyến ra của JFET.*

Đặc tuyến ra chỉ mối quan hệ giữa dòng điện  $I_D$  và điện áp máng  $U_{DS}$ .

Đối với JFET kênh loại N, đặt một trị số  $U_{GS} \leq 0$  (giả sử đặt  $U_{GS} = U_{GS1} < 0$ ) và giữ cố định, sau đó thay đổi trị số điện áp  $U_{DS}$ . Khi điện áp  $U_{DS} = 0V$  thì hai tiếp xúc P-N được phân cực ngược đồng đều từ cực nguồn đến cực máng, tiết diện của kênh là lớn nhất nhưng dòng điện bằng 0 ( $I_D = 0$ ). Đặt  $U_{DS} > 0$  và có giá trị nhỏ, điện thế tại mỗi điểm dọc theo kênh sẽ tăng dần từ cực nguồn đến cực máng, làm cho tiếp xúc P-N được phân cực ngược mạnh dần về phía cực máng, đồng thời, các hạt dẫn điện tử sẽ chuyển động về cực máng tạo nên dòng điện cực máng  $I_D$ . Tăng dần điện áp  $U_{DS}$  cho càng dương hơn, hai tiếp xúc P-N càng được phân cực ngược mạnh hơn về phía cực máng, tiết diện của kênh càng bị hẹp dần về phía cực máng, nhưng dòng điện  $I_D$  lại càng tăng và tăng tuyến tính với sự tăng của điện áp  $U_{DS}$ . Ta có đoạn đặc tuyến dốc đứng gọi là vùng thuần trở.

Khi điện áp  $U_{DS}$  tăng đến trị số mà tại đó hai tiếp xúc P-N chạm nhau, tạo ra "điểm thắt" của kênh, thì trị số điện áp đó ta gọi là điện áp  $U_{DS}$  bão hòa ( $U_{DSbh}$ ) hay còn gọi là điện áp "thắt". Lúc này dòng điện  $I_D$  đạt tới trị số dòng điện bão hòa  $I_{Dh}$ . Nếu tiếp tục tăng điện áp cực máng càng dương hơn thì cường độ dòng điện  $I_D$  không tăng nữa mà chỉ có tiếp xúc P-N được phân cực ngược mạnh hơn và chúng trùm phủ lên nhau làm cho một đoạn kênh bị lấp và chiều dài của kênh bị ngắn lại. Lúc này, quan hệ giữa dòng điện  $I_D$  với điện áp  $U_{DS}$  không theo định luật Ôm nữa,  $I_D$  gần như không đổi khi điện áp  $U_{DS}$  tiếp tục tăng, ta có vùng dòng điện  $I_D$  không đổi.



**Hình 5-6** : Họ đặc tuyến ra của JFET kênh loại N.

Nếu tăng trị số điện áp  $U_{DS}$  lên quá cao có thể xảy ra hiện tượng đánh thủng tiếp xúc P-N và dòng điện  $I_D$  sẽ tăng vọt lên gọi là vùng đánh thủng.

Thay đổi trị số điện áp trên cực cửa và thực hiện lại các bước như trên sẽ thu được họ đặc tuyến ra như mô tả trong hình 5- 6.

### 5.2.2. Các cách mắc của JFET trong sơ đồ mạch

Như các tranzito lưỡng cực, tranzito trường cũng có 3 cách mắc trong các sơ đồ mạch khuếch đại là: sơ đồ mắc cực nguồn chung, sơ đồ mắc cực máng chung, sơ đồ mắc cực cửa chung.

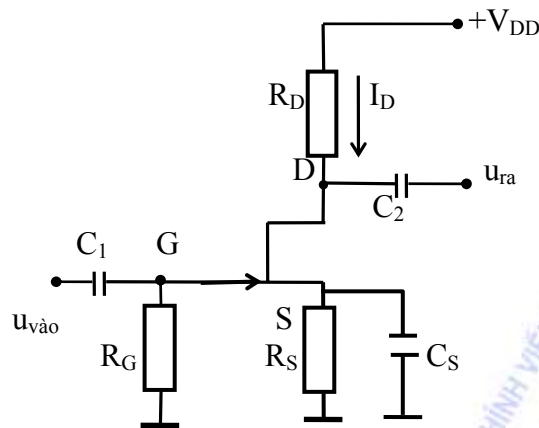
#### a. Sơ đồ cực nguồn chung:

Trong sơ đồ hình (5-7), nguồn cung cấp một chiều  $V_{DD}$ , điện trở định thiên  $R_G$ , tải  $R_D$ . Sơ đồ mắc cực nguồn chung giống như sơ đồ mắc cực phát chung đối với các tranzito lưỡng cực, có điểm khác là dòng vào  $I_G$  thực tế bằng 0 và trở kháng vào rất lớn.

Đặc điểm của sơ đồ cực nguồn chung:

- Tín hiệu vào và tín hiệu ra ngược pha nhau.
- Trở kháng vào rất lớn  $Z_{vào} = R_{GS} \approx \infty$
- Trở kháng ra  $Z_{ra} = R_D // r_d$
- Hệ số khuếch đại điện áp  $\mu \approx S r_d > 1$

Đối với tranzito JFET kênh N thì hệ số khuếch đại điện áp khoảng từ 150 lần đến 300 lần, còn đối với tranzito JFET kênh loại P thì hệ số khuếch đại chỉ bằng một nửa là khoảng từ 75 lần đến 150 lần.



Hình 5- 7: Sơ đồ mắc cực nguồn chung của JFET kênh loại N

**b. Sơ đồ mắc cực máng chung:**

Sơ đồ mạch mô tả trong hình 5-8. Sơ đồ mắc cực máng chung giống như sơ đồ mắc cực góp chung của tranzito lưỡng cực. Tải  $R_S$  được đấu ở mạch cực nguồn và sơ đồ còn được gọi là mạch lặp cực nguồn.

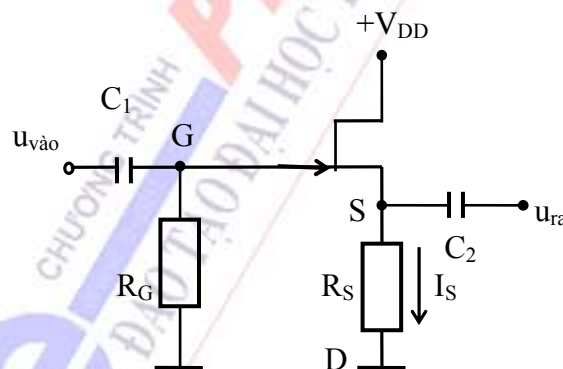
Đặc điểm của sơ đồ này có:

- Tín hiệu vào và tín hiệu ra đồng pha nhau.
- Trở kháng vào rất lớn

$$Z_{\text{vào}} = R_{GD} = \infty$$

- Trở kháng ra rất nhỏ  $Z_{\text{ra}} = R_S // \frac{1}{g_m}$

- Hệ số khuếch đại điện áp  $\mu < 1$



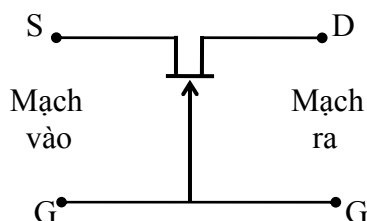
Hình 5-8 : Sơ đồ mắc cực máng chung của JFET kênh loại N

Sơ đồ cực máng chung được dùng rộng rãi hơn, cơ bản là do nó giảm được điện dung vào của mạch, đồng thời có trở kháng vào rất lớn. Sơ đồ này thường được dùng để phối hợp trở kháng giữa các mạch.

**c. Sơ đồ mắc cực cửa chung:**

Sơ đồ này theo nguyên tắc không được sử dụng do có trở kháng vào nhỏ, trở kháng ra lớn.

Sơ đồ mạch nguyên lý trong hình 5-9:



Hình 5-9 : Sơ đồ mắc cực cửa chung của JFET kênh N.

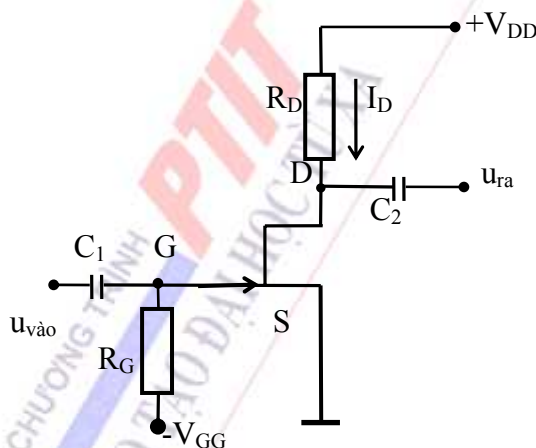
### 5.2.3. Phân cực cho JFET

Giống như tranzito lưỡng cực, tranzito trường cũng có các cách phân cực như: phân cực cố định, phân cực phân áp và phân cực hồi tiếp.

#### a. Phân cực cố định.

Sơ đồ phân cực cố định mô tả trong hình (5-10):

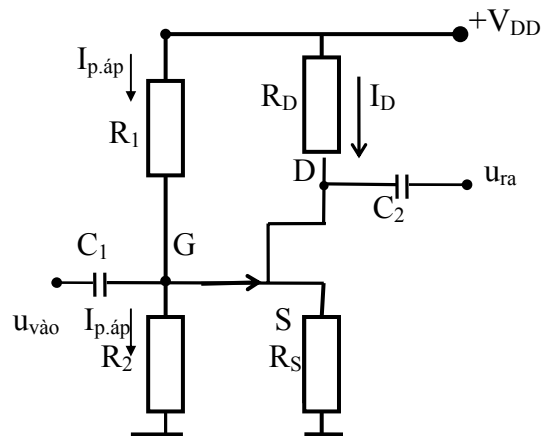
Trong cách phân cực này nguồn điện  $V_{GG}$  được đặt vào cực cửa và mạch được gọi là phân cực cố định vì có  $U_{GS} = -U_{GG}$  có giá trị cố định. Như vậy, muốn xác định điểm làm việc Q thích hợp ta phải dùng 2 nguồn cung cấp. Đây là điều bất lợi của phương pháp phân cực này.



Hình 5-10: Mạch phân cực cố định của JFET kênh loại N

#### b. Phân cực phân áp

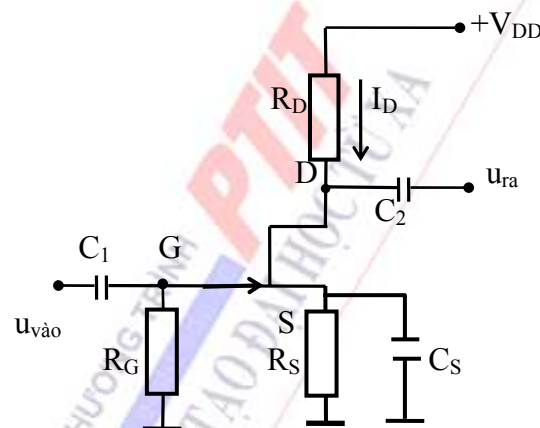
Sơ đồ mạch phân cực phân áp mô tả ở hình 5-11. Phương pháp này rất hữu hiệu cho tranzito lưỡng cực nhưng đối với JFET thì không tiện lợi khi sử dụng.



Hình 5-11: Mạch phân cực phân áp của JFET kênh loại N

### c. Phân áp tự cấp (còn gọi là tự phân cực)

Sơ đồ tự phân cực của JFET mô tả trong hình 5-12. Đây là cách phân cực không giống như đối với BJT và nó là cách phân cực hữu hiệu nhất đối với JFET, trong cách phân cực này thì điện áp  $U_{GS} = -I_D R_S$ .



Hình 5-12: Phân cực tự cấp cho JFET kênh loại N

#### 5.2.4. Các tham số của tranzito trường ở chế độ tín hiệu nhỏ.

Các tham số cơ bản của FET trong chế độ tín hiệu nhỏ thường có: độ hỗ dẫn, trở kháng ra, trở kháng vào và hệ số khuếch đại điện áp.

Sơ đồ mạch tương đương của FET ở chế độ tín hiệu nhỏ cũng giống như của tranzito lưỡng cực. Ở chế độ này, dòng điện cực máng  $i_D$  là một hàm của điện áp trên cực cửa  $u_{GS}$  và điện áp trên cực máng  $u_{DS}$ , ta có:

$$i_D = f(u_{GS}, u_{DS})$$



Khi cả hai điện áp trên cực cửa và cực máng đều biến đổi thì dòng điện cực máng sẽ thay đổi theo:

$$\Delta i_D = \left. \frac{\partial i_D}{\partial u_{GS}} \right|_{U_{DS}=\text{const.}} \Delta u_{GS} + \left. \frac{\partial i_D}{\partial u_{DS}} \right|_{U_{GS}=\text{const.}} \Delta u_{DS} \quad (5.3)$$

Trong chế độ tín hiệu nhỏ các đại lượng  $\Delta i_D = i_d$ ;  $\Delta u_{GS} = u_{gs}$ ;  $\Delta u_{DS} = u_{ds}$ , như vậy công thức (5.3) được viết:

$$i_d = g_m u_{gs} + \frac{1}{r_d} u_{ds} \quad (5.4)$$

Trong đó:

- *Độ hỗ dẫn* (ký hiệu là  $g_m$ ):

$$g_m = \left. \frac{\partial i_D}{\partial u_{GS}} \right|_{U_{DS}=\text{const.}} \approx \frac{\Delta i_D}{\Delta u_{GS}} \bigg|_{U_{DS}=\text{const.}} = \frac{i_d}{u_{gs}} \bigg|_{U_{DS}=\text{const.}} \quad (5.5)$$

Độ hỗ dẫn của FET biểu thị khả năng điều khiển của điện áp cực cửa  $u_{GS}$  lên dòng điện xoay chiều cực máng  $i_D$ .

Giá trị độ hỗ dẫn của FET nằm trong khoảng:  $S = 3 \div 20 \text{ mA/V}$ .

- *Trở kháng ra hay còn gọi là điện trở máng* (ký hiệu là  $r_d$ ):

Điện trở máng  $r_d$  biểu thị sự ảnh hưởng của điện áp cực máng  $u_{DS}$  tới dòng điện cực máng  $i_D$  ta có công thức:

$$r_d = \left. \frac{\partial u_{DS}}{\partial i_D} \right|_{U_{GS}=\text{const.}} \approx \frac{\Delta u_{DS}}{\Delta i_D} \bigg|_{U_{GS}=\text{const.}} = \frac{u_{ds}}{i_d} \bigg|_{U_{GS}=\text{const.}} \quad (5.6)$$

- *Hệ số khuếch đại điện áp  $\mu$* :

Hệ số khuếch đại điện áp chỉ số lần điện áp trên cực cửa tác động lên dòng điện cực máng mạnh hơn so với điện áp trên cực máng. Ta có công thức:

$$\mu = \left. \frac{\partial u_{DS}}{\partial u_{GS}} \right|_{I_D=\text{const.}} \approx \frac{\Delta u_{DS}}{\Delta u_{GS}} \bigg|_{I_D=\text{const.}} = \frac{u_{ds}}{u_{gs}} \bigg|_{I_D=\text{const.}} \quad (5.7)$$

So sánh các công thức tính độ hỗ dẫn  $g_m$ , điện trở máng  $r_d$  và hệ số khuếch đại điện áp  $\mu$ , ta có công thức sau:

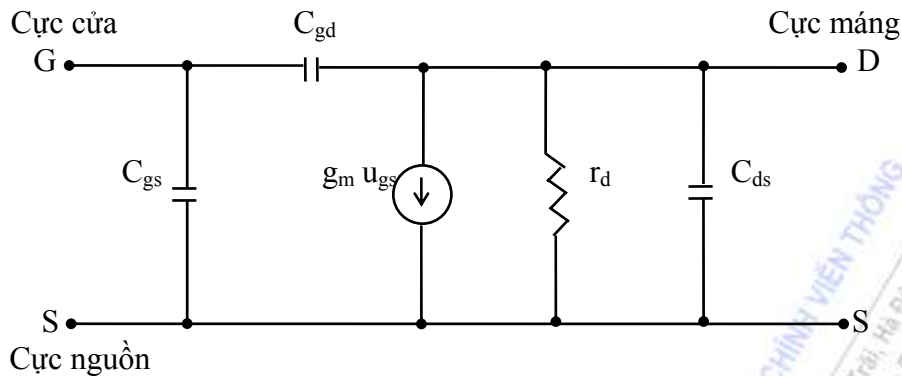
$$\mu = g_m r_d \quad (5.8)$$

Hệ số khuếch đại có trị số khoảng vài trăm lần.

#### 5.2.5. Sơ đồ tương đương của JFET trong chế độ tín hiệu nhỏ.

Sơ đồ tương đương của FET ở chế độ tín hiệu nhỏ được mô tả trong hình 5-13. Trong sơ đồ này tồn tại các điện dung giữa ba chân cực. Tụ điện  $C_{gs}$  biểu thị điện dung rào thế của tiếp xúc P-N giữa cực cửa và cực nguồn, và tụ điện  $C_{gd}$  là điện dung rào thế của tiếp xúc P-N giữa cực cửa và cực máng. Tụ điện  $C_{ds}$  là điện dung máng-nguồn của kênh dẫn. Đây là các điện dung ký sinh của FET. Khi tranzito làm việc ở tần số thấp thì chúng không gây ảnh hưởng gì cho mạch, nhưng khi ở tần số cao chúng có thể gây ngắn mạch giữa các chân cực của tranzito.

Vì tiếp xúc P-N của cực cửa phân cực ngược nên các điện trở giữa cực cửa - cực nguồn  $r_{gs}$  và giữa cực cửa - máng  $r_{gd}$  rất lớn, do đó trong sơ đồ ở hình 5- 13 hai điện trở này được bỏ qua.



**Hình 5- 13:** Sơ đồ mạch tương đương của FET trong chế độ tín hiệu nhỏ

Từ công thức (5. 4) và (5. 1) ta tính được:

$$g_m = g_{mo} \left( 1 - \frac{U_{GS}}{U_{GSng\frac{1}{2}}t} \right) \quad (5. 9)$$

trong đó  $g_{mo}$  là giá trị độ dẫn khi  $U_{GS} = 0$  và được xác định:

$$g_{mo} = \frac{-2I_{Do}}{U_{GSng\frac{1}{2}}t} \quad (5.10)$$

Vì  $I_{Do}$  và  $U_{GSng\frac{1}{2}}t$  ngược pha nhau nên  $g_{mo}$  luôn dương.

### 5.3. TRANZITO TRƯỜNG LOẠI CỰC CỬA CÁCH LY (IGFET)

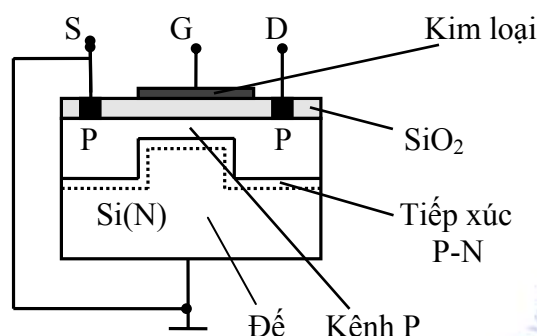
Đây là loại tranzito trường có cực cửa cách điện với kênh dẫn điện bằng một lớp cách điện mỏng. Lớp cách điện thường dùng là chất oxit nên ta thường gọi tắt là tranzito trường loại MOS. Tên gọi MOS được viết tắt từ ba từ tiếng Anh là: Metal - Oxide - Semiconductor.

Tranzito trường MOS có hai loại: tranzito MOSFET có kênh dẫn và tranzito MOSFET kênh cảm ứng. Trong mỗi loại MOSFET này lại có hai loại là kênh dẫn loại P và kênh loại N.

#### 5.3.1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của MOSFET kênh dẫn:

##### a. Cấu tạo:

Tranzito trường MOSFET kênh dẫn còn gọi là MOSFET-chế độ nghèo (Depletion-Mode MOSFET viết tắt là DMOSFET). Ta có mô hình mô phỏng cấu tạo của MOSFET trong hình 5 – 14. Tranzito trường loại MOS có kênh dẫn là loại tranzito mà khi chế tạo người ta đã chế tạo sẵn kênh dẫn.



**Hình 5-14** : Cấu tạo của MOSFET kênh dẫn loại P

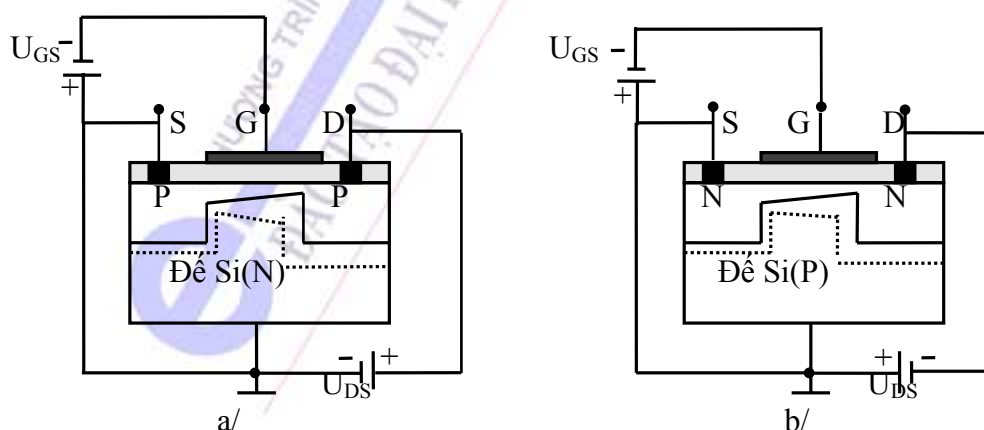
**b. Nguyên lý hoạt động:**

Tranzito loại MOSFET kênh dẫn có hai loại là kênh loại P và kênh loại N. (ví dụ trong hình 5-14 là MOSFET có kênh dẫn loại P).

Khi tranzito làm việc, thông thường cực nguồn S được nối với đế và nối đất nên  $U_S = 0$ . Các điện áp đặt vào các chân cực cửa G và cực máng D là so với chân cực S. Nguyên tắc cung cấp nguồn điện cho các chân cực sao cho hạt dẫn đa số chạy từ cực nguồn S qua kênh về cực máng D để tạo nên dòng điện  $I_D$  trong mạch cực máng. Còn điện áp đặt trên cực cửa có chiều sao cho MOSFET làm việc ở chế độ giàu hạt dẫn hoặc ở chế độ nghèo hạt dẫn.

Nguyên lý làm việc của hai loại tranzito kênh P và kênh N giống nhau chỉ có cực tính của nguồn điện cung cấp cho các chân cực là trái dấu nhau. Sơ đồ nguyên lý đầu nối MOSFET kênh dẫn như trong hình 5-15.

*Ví dụ:* Xét nguyên lý hoạt động của tranzito MOSFET kênh dẫn loại P.



**Hình 5-15** : Sơ đồ nguyên lý của MOSFET:

a- MOSFET kênh dẫn loại P.

b- MOSFET kênh dẫn loại N

- Xét khả năng điều khiển của MOSFET kênh dẫn loại P (Hình 5-15a):

Khả năng điều khiển dòng điện  $I_D$  của điện áp trên cực cửa  $U_{GS}$  chính là đặc tuyến truyền đạt của MOSFET, nói cách khác, đó là mối quan hệ giữa dòng điện  $I_D$  với điện áp  $U_{GS}$ , ta có hàm sau:

$$I_D = f(U_{GS}) \text{ khi } U_{DS} = \text{const.}$$

Để các hạt dẫn lỗ trống chuyển động từ cực nguồn S về cực máng D, ta đặt một điện áp trên cực máng  $U_{DS} = U_{DS1} < 0$  và giữ không đổi. Sau đó thay đổi điện áp trên cực cửa  $U_{GS}$  theo chiều dương hoặc theo chiều âm. Khi  $U_{GS} = 0$  thì dưới tác dụng của điện áp  $U_{DS}$  các lỗ trống chuyển động từ cực nguồn về cực máng tạo nên dòng điện  $I_D$

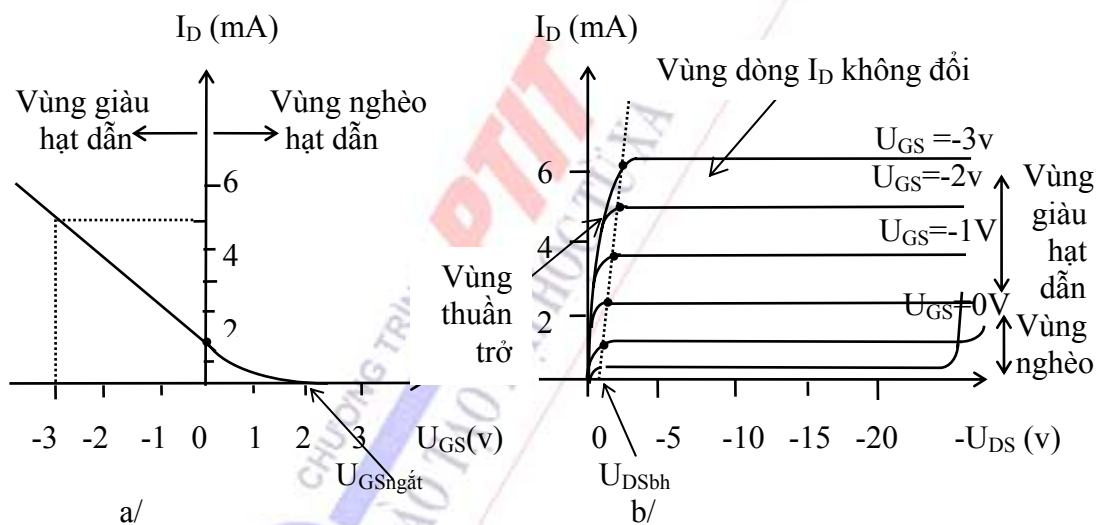
Nếu  $U_{GS} < 0$ , nhiều lỗ trống được hút về kênh làm nồng độ hạt dẫn trong kênh tăng lên, độ dẫn điện của kênh tăng và dòng điện chạy trong kênh  $I_D$  tăng lên. Chế độ làm việc này gọi là chế độ giàu hạt dẫn.

Nếu  $U_{GS} > 0$ , các lỗ trống bị đẩy ra xa kênh làm mật độ hạt dẫn trong kênh giảm xuống, độ dẫn điện của kênh giảm và dòng điện chạy qua kênh  $I_D$  giảm xuống. Chế độ làm việc này gọi là chế độ nghèo hạt dẫn. Mối quan hệ này được thể hiện trên hình 5-16a.

- Xét họ đặc tuyến ra (hay quan hệ giữa dòng điện  $I_D$  và điện áp  $U_{DS}$ ):

$$I_D = f(U_{DS}) \text{ khi } U_{GS} = \text{const.}$$

Hình 5- 16b thể hiện họ đặc tuyến ra của MOSFET kênh sẵn loại P. Đây là các đường biểu diễn mối quan hệ giữa dòng điện  $I_D$  với điện áp  $U_{DS}$  ứng với từng giá trị của điện áp  $U_{GS}$  khác nhau.



**Hình 5 - 16 :** Các họ đặc tuyến của MOSFET kênh sẵn loại P:

- Họ đặc tuyến điều khiển  $I_D = f(U_{GS})$  khi  $U_{DS}$  không đổi
- Họ đặc tuyến ra  $I_D = f(U_{DS})$  khi  $U_{GS}$  không đổi

Trên họ đặc tuyến ra, khi điện áp  $U_{DS} = 0V$  thì dòng điện qua kênh  $I_D = 0$ , do đó đặc tuyến xuất phát từ gốc tọa độ. Điều chỉnh cho  $U_{DS}$  âm dần, với trị số còn nhỏ thì dòng điện  $I_D$  tăng tuyến tính với sự tăng trị số của điện áp  $U_{DS}$  và mối quan hệ này được tính theo định luật Ôm. Ta có vùng thuần trở của đặc tuyến.

Khi điện áp  $U_{DS}$  đạt tới trị số bão hòa ( $U_{DSb.h.}$ ) thì dòng điện cực máng cũng đạt tới một trị số gọi là dòng điện bão hòa  $I_{Db.h.}$ . Trong trường hợp này, lớp tiếp xúc P-N chạm vào đáy của lớp oxit và kênh có điểm "thắt" tại cực máng, nên  $U_{DSb.h.}$  còn được gọi là điện áp "thắt".

Nếu cho  $|U_{DS}| > |U_{DSb.h.}|$  thì dòng điện không thay đổi và giữ nguyên trị số bão hòa  $I_{Db.h.}$ . Đồng thời, tiếp xúc P-N bị phân cực ngược càng mạnh về phía cực máng, làm cho chiều dài của phần kênh bị "thắt" tăng lên. Độ chênh lệch của điện áp  $\Delta U_{DS} = |U_{DS}| - |U_{DSb.h.}|$  được đặt lên đoạn kênh bị "thắt" và làm cho cường độ điện trường ở đây tăng, giúp cho số các lỗ trống vượt qua đoạn kênh bị "thắt" không thay đổi, do vậy dòng  $I_{Dbh}$  giữ không đổi. Ta có vùng dòng điện  $I_D$  bão hòa.

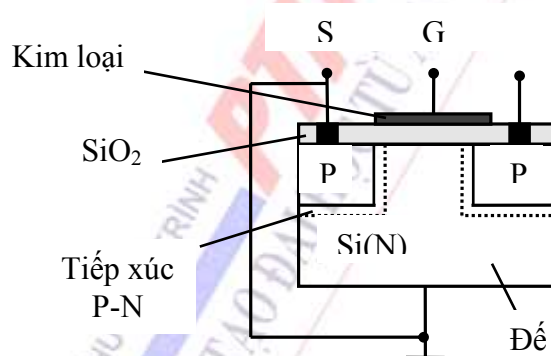
Trường hợp, nếu đặt  $U_{DS}$  quá lớn sẽ dẫn đến hiện tượng đánh thủng tiếp xúc P-N ở phía cực máng, dòng điện  $I_D$  tăng vọt. Lúc này tranzito chuyển sang vùng đánh thủng.

Qua các họ đặc tuyến của MOSFET kênh sẵn ta thấy nó làm việc ở cả 2 chế độ nghèo và giàu hạt dẫn. MOSFET kênh sẵn có mức ồn nhỏ nên nó thường được dùng trong các tầng khuếch đại đầu tiên của thiết bị cao tần. Độ hỗ dẫn  $g_m$  của nó phụ thuộc vào điện áp  $U_{GS}$  nên hệ số khuếch đại điện áp thường được tự động điều khiển.

### 5.3.2. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của MOSFET kênh cảm ứng.

#### a. Cấu tạo:

Tranzito trường loại MOS kênh cảm ứng còn gọi là MOSFET chế độ giàu (Enhancement-Mode MOSFET viết tắt là E-MOSFET). Khi chế tạo MOSFET kênh cảm ứng người ta không chế tạo kênh dẫn. Do công nghệ chế tạo đơn giản nên MOSFET kênh cảm ứng được sản xuất và sử dụng nhiều hơn. Hình 5-17 mô phỏng cấu tạo của MOSFET kênh cảm ứng loại P



Hình 5 – 17: Cấu tạo của MOSFET kênh cảm ứng loại P

#### b. Nguyên lý hoạt động

Nguyên lý làm việc của loại kênh P và kênh N giống hệt nhau chỉ khác nhau về cực tính của nguồn cung cấp đặt lên các chân cực. Trước tiên, nối cực nguồn S với đế và nối đất, sau đó cấp điện áp giữa cực cửa và cực nguồn để tạo kênh dẫn.

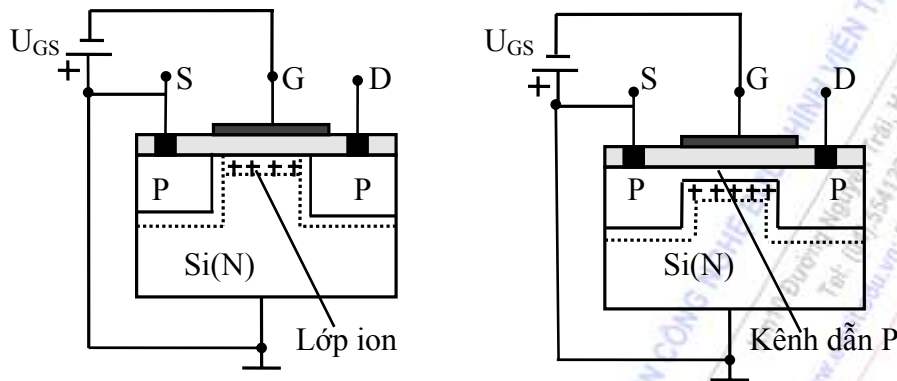
#### - Tạo kênh dẫn và khả năng điều khiển của tranzito:

Ví dụ: Ta trình bày nguyên lý hoạt động của MOSFET kênh cảm ứng loại P.



Theo nguyên tắc cấp nguồn điện cho các chân cực, ta cấp nguồn điện  $U_{GS} < 0$  để tạo kênh, còn  $U_{DS} < 0$  để tác động cho các lỗ trống chuyển động từ cực nguồn về cực máng tạo nên dòng điện  $I_D$ . (Xem hình 5 -18)

Khi ta đặt một điện áp lên cực cửa âm hơn so với cực nguồn ( $U_{GS} < 0$ ) đến một giá trị gọi là điện áp ngưỡng (ký hiệu là  $U_{GSth}$ ) thì một số các lỗ trống được hút về tạo thành một lớp mỏng các lỗ trống trên bề mặt của lớp bán dẫn đế Si(N), nối liền cực nguồn S với cực máng D và kênh dẫn điện được hình thành.



**Hình 5 - 18** : Sự hình thành kênh dẫn của MOSFET loại P

Khi kênh đã xuất hiện, dưới tác dụng của điện trường cực máng các lỗ trống sẽ di chuyển từ cực nguồn, qua kênh, về cực máng và tạo nên dòng điện trong tranzito  $I_D$ .

Tiếp tục cho  $U_{GS}$  càng âm hơn, nghĩa là  $|U_{GS}| > |U_{GSth}|$ , thì số lỗ trống được hút về kênh càng nhiều, mật độ hạt dẫn trong kênh càng tăng lên, độ dẫn điện của kênh càng tăng dẫn đến cường độ dòng điện chạy qua kênh cũng tăng lên. Qui luật tăng của dòng điện  $I_D$  theo điện áp  $U_{GS}$  biểu diễn theo công thức sau:

$$I_D = k (U_{GS} - U_{GSth})^2 \quad (5.11)$$

Đây là phương trình của đặc tuyến truyền đạt biểu diễn trong hình 5-19. Hệ số  $k$  là hằng số và được tính theo công thức:

$$k = \frac{I_{D(on)}}{(U_{GS(on)} - U_{GSth})^2} \quad (5.12)$$

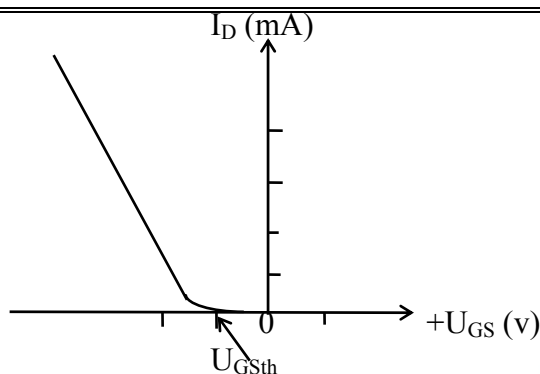
Trong đó  $I_{D(on)}$  và  $U_{GS(on)}$  là trị số dòng điện và điện áp tương ứng được xác định trên họ đặc tuyến ra của MOSFET.

Thay công thức (5.12) vào công thức (5.11) ta có:

$$I_D = \frac{I_{D(on)}}{(U_{GS(on)} - U_{GSth})^2} (U_{GS} - U_{GSth})^2 \quad (5.13)$$

Đặt  $K = \left( \frac{U_{GS} - U_{GSth}}{U_{GS(on)} - U_{GSth}} \right)^2$  ta có:

$$I_D = KI_{D(on)} \quad (5.14)$$



**Hình 5 - 19 :** Đặc tuyến điều khiển của MOSFET kênh cảm ứng loại P

- Họ đặc tuyến ra:

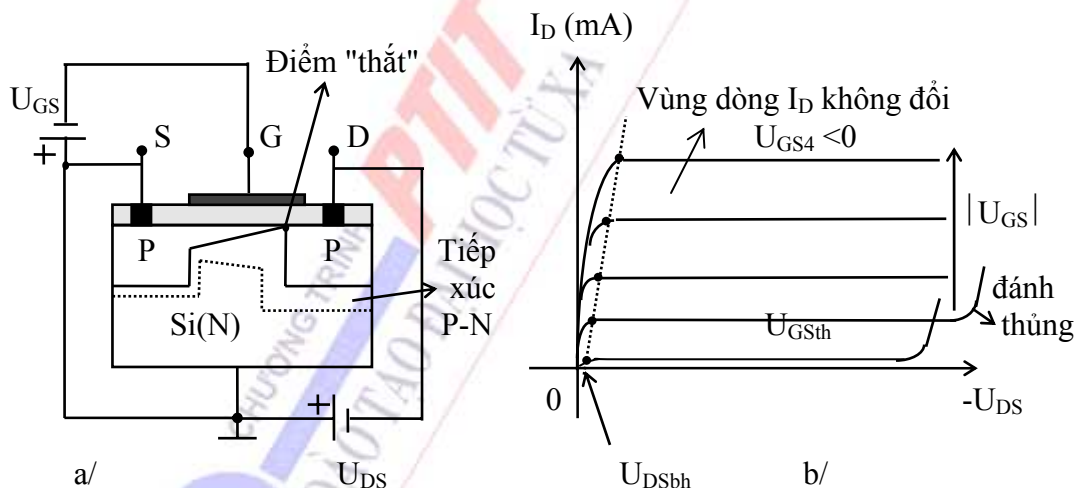
Họ đặc tuyến ra biểu thị mối quan hệ giữa dòng điện  $I_D$  và điện áp  $U_{DS}$ . Trong sơ đồ mắc cực nguồn chung thì  $I_D$  là dòng điện ra và điện áp  $U_{DS}$  là điện áp ra, ta có hàm biểu thị mối quan hệ này:

$$I_D = f(U_{DS}) \text{ khi } U_{GS} \text{ giữ không đổi}$$

Điện áp đặt lên cực cửa yêu cầu phải đủ lớn để kênh dẫn đã được hình thành. Sau đó, ta thay đổi điện áp  $U_{DS}$  và theo dõi sự thay đổi của dòng  $I_D$  theo điện áp  $U_{DS}$ . Ta có sơ đồ mạch nguyên lý đầu nối MOSFET kênh P mô tả trong hình 5- 20a.

Xét đường cong đặc tuyến ra ứng với trị số  $U_{GS} < 0$ , ví dụ  $U_{GS4}$  như trong hình 5- 20b, ta thấy:

Nếu  $U_{DS} = 0$ , thì các lỗ trống không chuyển động về cực máng nên dòng  $I_D = 0$ .



**Hình 5- 20 :** a - Sơ đồ nguyên lý của MOSFET kênh cảm ứng loại P.

b- Họ đặc tuyến ra của MOSFET kênh cảm ứng loại P.

Khi đặt  $U_{DS} < 0$  có trị số nhỏ, thì điện thế tại mỗi điểm dọc theo kênh sẽ giảm dần cực nguồn S đến cực máng. Dưới tác dụng của điện áp  $U_{DS}$  các lỗ trống sẽ di chuyển từ cực nguồn đến cực máng tạo nên dòng điện  $I_D$ . Tiếp tục cho điện áp  $U_{DS}$  càng âm thì dòng  $I_D$  tăng nhanh và tăng tuyến tính với sự tăng của điện áp âm  $U_{DS}$ . Đồng thời, tiếp xúc P-N cũng được phân cực ngược tăng dần từ cực nguồn đến cực máng, bề dày lớp tiếp xúc tăng dần về phía cực máng và

kênh hẹp dần về phía cực máng, điện trở kênh tăng lên. Ta có đoạn dốc của đặc tuyến gọi là vùng thuần trở.

Khi trị số điện áp trên cực máng đạt trị số, mà tại đó bề dày của tiếp xúc P-N tăng lên chạm vào đáy của lớp oxit ở phía cực máng, thì ta gọi là điện áp cực máng bão hòa ( $U_{DSbh}$ ). Lúc này dòng điện  $I_D$  đạt trị số bão hòa  $I_{Dbh}$ . Tiếp tục cho điện áp  $U_{DS}$  càng âm hơn, thì bề dày của tiếp xúc P-N càng tăng về phía cực máng, phần kênh bị "thắt" lại càng tăng lên và chiều dài của kênh bị ngắn lại, nhưng dòng điện không đổi và  $I_D = I_{Dbh}$ . Trong trường hợp này, độ gia tăng của điện áp cực máng  $\Delta U_{DS} = |U_{DS}| - |U_{DSbh}|$  sẽ được đặt lên đoạn kênh bị "thắt". Và nó tác dụng trực tiếp lên phần kênh còn lại, kích thích sự chuyển dịch của các hạt lỗ trống từ cực nguồn vượt qua đoạn kênh bị "thắt" để về cực máng làm cho dòng điện  $I_D$  không đổi. ta có vùng dòng  $I_D$  không đổi.

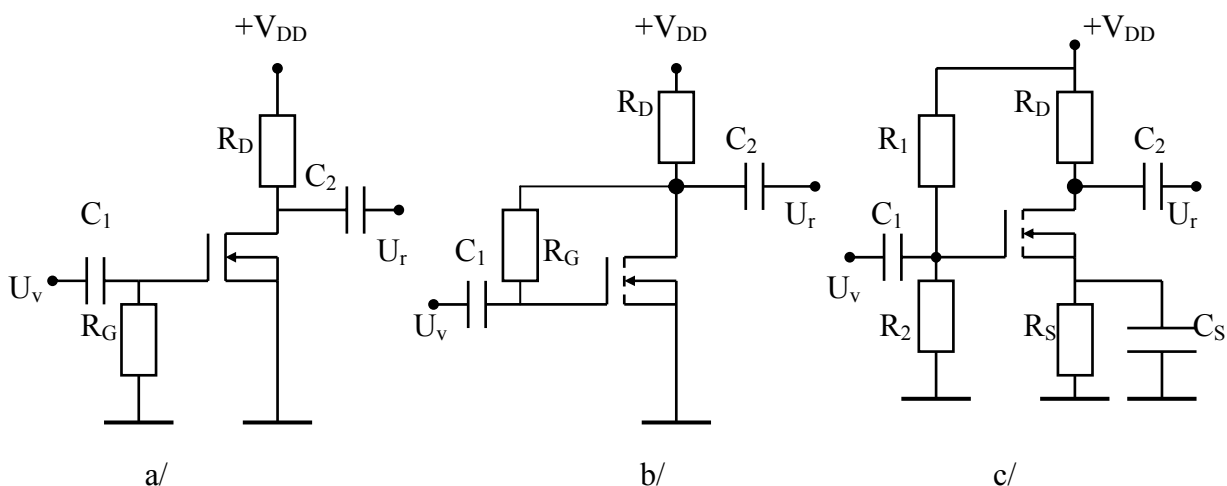
Nếu trị số âm của  $U_{DS}$  quá lớn thì có thể xảy ra hiện tượng đánh thủng lớp tiếp xúc P-N ở phía cực máng, làm cho dòng điện  $I_D$  tăng vọt lên.

### 5.3.3. Các cách mắc MOSFET trong các sơ đồ mạch khuếch đại

Giống như JFET, tranzito loại MOSFET cũng có 3 cách mắc cơ bản là cực nguồn chung, cực máng chung và cực cửa chung. Trong 3 cách mắc này thì cách mắc cực cửa chung không được sử dụng trên thực tế. Do vậy, thông thường ta sử dụng hai cách mắc nguồn chung và máng chung.

### 5.3.4. Phân cực cho MOSFET

Cũng như BJT và JFET, thông thường có 3 cách phân cực cho MOSFET như chỉ ra ở hình 5-21 là: a/ phân cực cố định, b/ phân cực hồi tiếp và c/ phân cực phân áp.

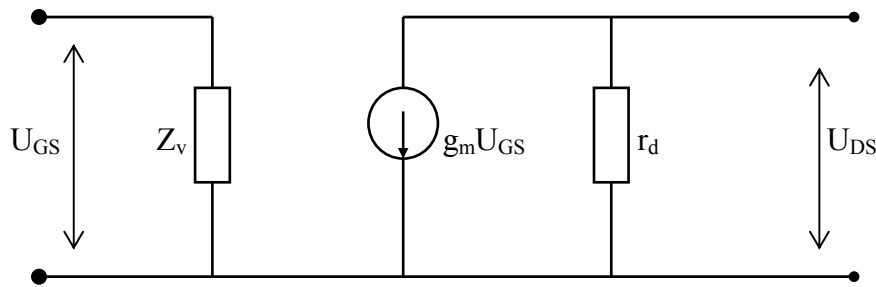


**Hình 5 – 21:** Các cách phân cực thông thường cho MOSFET

phân cực zero và  $I_D = I_{D0}$ . Đây là cách phân cực đơn giản nhất. Sơ đồ hình 5-21b là cách phân cực hồi tiếp cực máng cho MOSFET kênh cảm ứng. Do dòng  $I_G = 0$  nên  $U_{RG} = 0V$  và  $U_r = U_v$ . Sơ đồ hình 5-21c là mạch phân cực phân áp. Ở cách phân áp này có trở kháng vào  $Z_v = R_1 // R_2$ ;  $U_{GS} = U_G - I_D R_S$ .

### 5.3.4. Sơ đồ mạch tương đương của MOSFET

Sơ đồ tương đương của MOSFET mô tả trong hình 5-22



**Hình 5 – 22:** Sơ đồ tương đương của MOSFET kênh cảm ứng

Trong sơ đồ, điện trở  $Z_v$  rất lớn ( $Z_v = R_{GS} \approx \infty$ ) nên trong các sơ đồ mạch tương đương mạch vào gần như hở mạch. Điện trở  $r_d$  là trở kháng ra và nó là điện trở của kênh đối với thành phần xoay chiều.

□ *Ưu điểm của tranzito trường so với tranzito lưỡng cực:*

- Trở kháng vào của FET rất lớn: loại điều khiển bằng tiếp xúc P-N khoảng  $10^{10} \div 10^{13} \Omega$ ; loại MOS khoảng  $10^{13} \div 10^{15} \Omega$ .
- Dòng điện qua cực cửa rất nhỏ:

Loại JFET:  $I_{G(JFET)} = 1 \text{ pA} \div 1 \text{ nA}$

Loại MOS:  $I_{G(MOS)} = \left( \frac{1}{10} \div \frac{1}{20} \right) I_{GJFET}$

- Tính ổn định về nhiệt cao
- Tần số làm việc cao như ở đèn điện tử chân không có thể đến vài trăm MHz.
- Tạp âm nhỏ

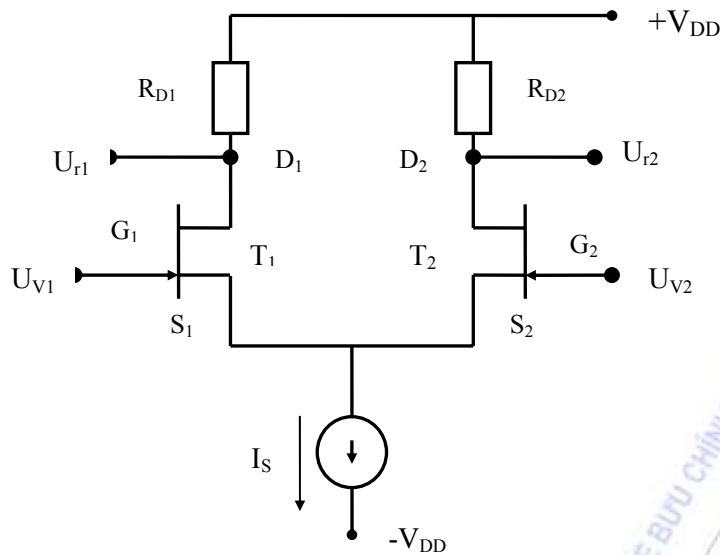
Tranzito trường được sử dụng giống như tranzito lưỡng cực nhưng do hệ số khuếch đại điện áp của nó nhỏ hơn nhiều nên chúng thường được dùng ở những mạch có yêu cầu về ổn định nhiệt độ cao, độ nhạy cao và tần số làm việc cao.

### 5.3.6. Một số ứng dụng của FET

Trong kỹ thuật điện tử, tranzito trường được sử dụng gần giống như tranzito lưỡng cực. Tuy nhiên, do một số các ưu nhược điểm của FET so với BJT đã nói ở trên, đặc biệt là hệ số khuếch đại thấp, mà tranzito trường thường được sử dụng ở những mạch thể hiện được ưu thế của chúng. Đặc biệt trong việc tích hợp IC thì tranzito trường được ứng dụng rất hiệu quả vì cho phép tạo ra các IC có độ tích hợp rất cao (LSI và VLSI). Sau đây ta sẽ xem xét một vài mạch ứng dụng của FET.

#### 1. Tầng khuếch đại vi sai dùng FET.

Để tăng trở kháng vào (tới hàng chục  $M\Omega$ ) người ta sử dụng tranzito trường như hình 5-23. Về nguyên lý hoạt động của mạch khuếch đại vi sai không có gì khác với mạch dùng tranzito lưỡng cực, chỉ có trở kháng vào của mạch dùng FET thì lớn hơn nhiều (có thể tới hàng trăm lần cao hơn so với dùng BJT).



**Hình 5 – 23:** Mạch khuếch vi sai dùng FET

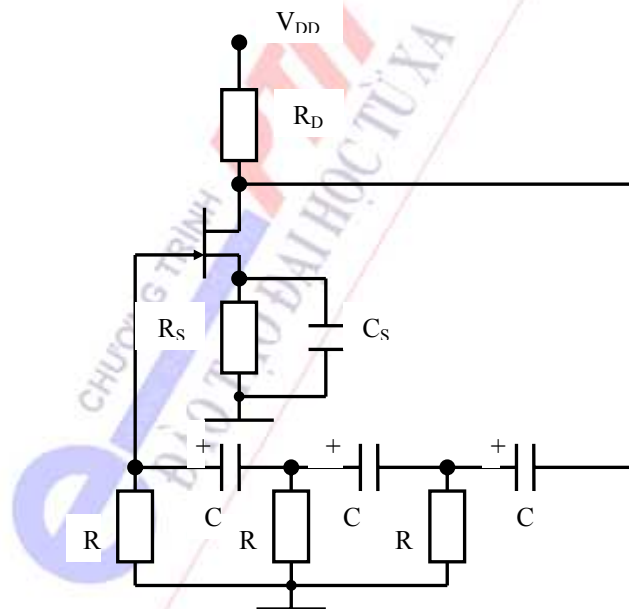
2. Mạch phát sóng RC dùng FET.(Hình 5-24)

Ở tầng khuếch đại có hệ số khuếch đại  $K = g_m.R_L$ , trong đó  $g_m$  là độ dẫn của FET và

$$R_L = \frac{R_D r_d}{R_D + r_d}$$

$R_L$  là điện trở tải của mạch.

$$\text{Tần số dao động của mạch: } f = \frac{1}{2\pi\sqrt{6RC}}$$



**Hình 5 – 24:** Mạch tạo dao động RC dùng FET

Mạch tạo dao động RC cho dao động có tần số đủ thấp. Trong khối khuếch, tín hiệu ra ngược pha với tín hiệu vào (FET mắc Nguồn chung) nên mạch hồi tiếp RC phụ thuộc tần số phải dịch pha tín hiệu  $180^\circ$  ở tần số phát sóng.



## TÓM TẮT NỘI DUNG

Tranzito trường (FET) là loại tranzito đơn cực, dòng điện chạy trong cấu kiện do một loại hạt dẫn tạo nên. Việc điều khiển dòng điện ra do điện trường trên cực cửa quyết định. Khi thay đổi điện áp trên cực cửa sẽ làm thay đổi tiết diện kênh dẫn điện, và làm thay đổi mật độ hạt dẫn trong kênh dẫn đến sự thay đổi cường độ dòng điện chạy qua kênh.

Tranzito trường chia làm 2 loại chính: tranzito trường mối nối JFET và tranzito trường có cực cửa cách điện IGFET- thông thường gọi là MOSFET.

JFET có kênh dẫn nằm giữa 2 tiếp xúc P-N và 3 chân cực là cực Nguồn (S), cực Cửa (G), cực Máng (D). Có hai loại JFET là loại kênh N và loại kênh P. Hai loại này nguyên lý hoạt động giống nhau chỉ có chiều nguồn điện cung cấp cho các chân cực là ngược dấu nhau. Nguyên tắc cấp điện phân cực cho JFET sao cho hai tiếp xúc P-N phân cực ngược và hạt dẫn phải chuyển động từ cực nguồn về cực máng để tạo ra dòng điện cực máng. Khi thay đổi điện áp trên cực cửa thì dòng điện qua tranzito thay đổi theo qui luật hàm mũ như sau:

$$I_D = I_{D0} \left( 1 - \frac{U_{GS}}{U_{GSngat}} \right)^2$$

Trong đó:  $I_D$  là dòng điện cực máng  
 $I_{D0}$  là dòng điện máng khi  $U_{GS} = 0V$   
 $U_{GS}$  là điện áp đặt lên cực cửa  
 $U_{GSngat}$  là điện áp ngắt.

Và ta có đường đặc tuyến điều khiển biểu diễn mối quan hệ này.

Khi điện áp đặt lên cực máng thay đổi sẽ làm cho dòng điện máng thay đổi theo một cách tuyến tính khi  $U_{DS}$  còn nhỏ ( $U_{DS} < U_{DS \text{ bão hòa}}$ ). Tranzito làm việc trong vùng thuần trở. Khi  $U_{DS} > U_{DS \text{ bão hòa}}$  thì tranzito chuyển sang hoạt động ở vùng bão hòa hay vùng có dòng điện không đổi ( $I_D$  bão hòa). Lúc này, khi điện áp trên cực máng thay đổi thì dòng điện qua tranzito không thay đổi.

MOSFET là tranzito trường có cực cửa cách điện với lớp cách điện là oxit silic. Có hai loại tranzito trường có cực cửa cách điện là loại có kênh sẵn và loại kênh cảm ứng. Mỗi loại lại có 2 loại là kênh loại N và kênh loại P. Nguyên lý hoạt động của loại kênh N và kênh P giống nhau chỉ có chiều của nguồn cung cấp vào các chân cực là ngược dấu nhau.

MOSFET kênh sẵn hoạt động ở hai chế độ: nghèo hạt dẫn và chế độ giàu hạt dẫn. Do khi chế tạo người ta đã chế tạo sẵn kênh, nên khi đặt điện áp lên cực cửa và cực máng thì tranzito có thể dẫn điện ( $U_{GS} > U_{GSth}$ ).

MOSFET kênh cảm ứng là tranzito trường không chế tạo kênh dẫn điện, mà kênh sẽ được hình thành trong quá trình tranzito làm việc. Muốn tranzito dẫn điện, ta phải cấp điện lên cực cửa để tạo kênh. Khi  $U_{GS} = U_{GSth}$  thì kênh mới hình thành. Sau khi có kênh thì dòng điện trong tranzito do các hạt dẫn điện chạy từ cực nguồn về cực máng sẽ chịu sự điều khiển của điện áp đặt lên cực cửa và cực máng. Mối quan hệ này được thể hiện qua công thức tính dòng điện cực máng sau:

$$I_D = k(U_{GS} - U_{GSth})^2$$

Trong đó k là hằng số và được tính bằng công thức:

$$K = \frac{I_{D(on)}}{(U_{GS(on)} - U_{GSth})^2}$$

Đặc tuyến truyền đạt của MOSFET kênh cảm ứng không xuất phát từ gốc tọa độ mà xuất phát từ giá trị  $U_{GSth}$  và cũng có đường cong hàm mũ bậc 2.

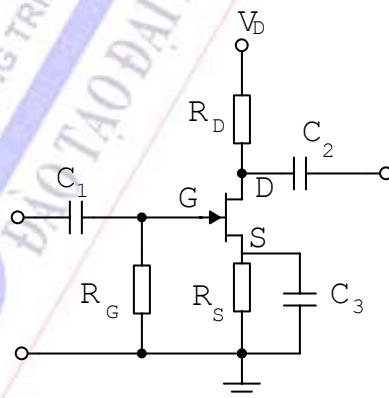
Đặc tuyến ra của MOSFET kênh cảm ứng cũng có 2 vùng hoạt động cơ bản là vùng thuần trở và vùng dòng điện không đổi.

Trong các sơ đồ mạch, tranzito trường cũng được phân cực như các tranzito lưỡng cực, và các phương pháp phân cực cũng tương tự. Trong phần này, chúng ta cần chú ý sử dụng các phương pháp tối ưu cho từng loại tranzito trường như đã trình bày trong mục 5.2.3 và 5.3.4.

So với tranzito lưỡng cực, tranzito trường có một số đặc điểm: Trở kháng vào rất lớn, dòng vào rất nhỏ ( $I_G = 0$ ); điều khiển dòng điện bằng điện áp; tần số làm việc cao; tạp âm thấp; nhưng hệ số khuếch đại điện áp nhỏ hơn.

## CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của JFET?
2. Nêu các tham số cơ bản của tranzito trường JFET?
3. Trình bày về các cách mắc cơ bản của JFET trong các sơ đồ mạch khuếch đại?
4. Trình bày cách phân cực cố định của JFET?
5. Trình bày phương pháp tự phân cực của JFET?
6. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của MOSFET kênh sẵn?
7. Giải thích các họ đặc tuyến điều khiển và họ đặc tuyến ra của MOSFET kênh sẵn?
8. Trình bày về cách phân cực cố định cho MOSFET kênh sẵn?
9. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của MOSFET kênh cảm ứng?
10. Nhận xét và giải thích các họ đặc tuyến điều khiển và họ đặc tuyến ra của MOSFET kênh cảm ứng?
11. Trình bày về phương pháp phân cực phân áp cho MOSFET?
12. Trình bày về cách phân cực hồi tiếp cho MOSFET?
13. So sánh ưu nhược điểm của các phương pháp phân cực cho FET.
14. Cho biết các ưu nhược điểm của FET so với BJT?
15. Cho sơ đồ mạch như hình vẽ:



Hình bài 15

- a. Hãy cho biết tranzito được mắc theo cách nào ? Mạch định thiên kiểu gì ?
- b. Nêu nhiệm vụ của các linh kiện trong mạch ?

- c. Cho biết  $V_D=30V$ , điện áp ngắt  $U_{GSngắt} = -2V$ , dòng điện  $I_{D0}=2mA$  (tại  $U_{GS}=0V$ ), điểm làm việc tĩnh được chọn có dòng  $I_D=1mA$ .

Hãy tính:

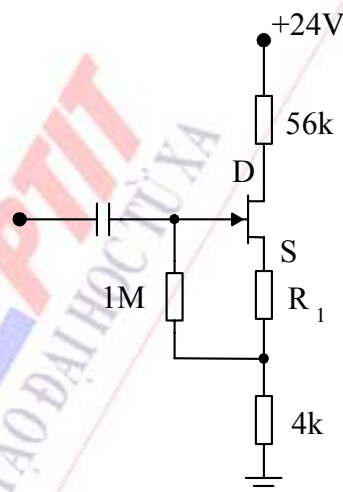
- Điện áp  $U_{GS}$  tại điểm làm việc tĩnh ?
- Trị số điện trở  $R_S$  (cho  $C_S$  rất lớn).

16. Cho bộ khuếch đại (như ở hình bài 15) sử dụng FET kênh N với

- Điện áp ngắt  $U_{GSngắt} = -2V$
- Độ dẫn  $g_{m0}=1,6mA/V$  (khi  $U_{GS}=0V$ )
- Dòng điện bão hòa  $I_{D0}=1,65mA$  (ứng với khi  $U_{GS}=0V$ ). Nguồn cung cấp  $V_D=24V$ .
- Tranzito làm việc với dòng điện tĩnh  $I_D=0,8mA$ .
- Giả sử  $r_d \geq R_D$

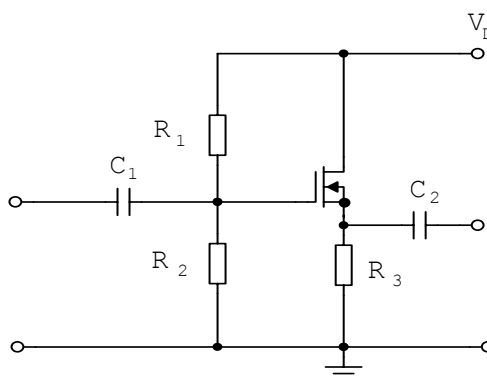
Hãy tính giá trị điện áp tĩnh  $U_{GS}$ , độ dẫn  $g_m$ , điện trở  $R_S$ ,  $R_D$  nếu hệ số khuếch đại điện áp thấp nhất là 20dB (cho  $C_S$  rất lớn)

17. Tầng khuếch đại dùng tranzito FET kênh N có  $I_{D0} = 1mA$ ,  $U_{GSngắt} = -1V$ . Nếu điện áp tĩnh  $U_{DS} = 10V$ , tính  $R_1$



Hình bài 17

18. Cho sơ đồ mạch dùng tranzito trường MOS kênh cảm ứng loại N.



Hình bài 18

- Hãy cho biết tranzito được mắc theo cách nào ?
- Mạch định thiên kiểu gì ?
- Nêu nhiệm vụ của các linh kiện trong sơ đồ mạch.

19. Sơ đồ mạch cho như bài 18.

- Nếu cấp nguồn  $V_D = 30V$ ; Điện áp ngưỡng  $U_{GS} = 1,0V$ ; Dòng điện máng tại  $U_{GS} = 2U_{GS\text{ngưỡng}}$  là  $I_{D0} = 1,5mA$ ;  $R_1 = 23k\Omega$ ;  $R_2 = 7k\Omega$ ; Điểm làm việc tĩnh được chọn có  $U_{GS} = 5V$ .

Hãy tính:      Trị số dòng điện tĩnh  $I_D$

Trị số điện trở  $R_3$

20. Trong FET việc điều khiển dòng điện máng là do.....quyết định.

- dòng điện trên cực cửa;      b. Điện áp trên cực cửa
- điện áp trên cực máng;      d. dòng điện cực cửa và điện áp cực cửa

21. Trong FET dòng điện trên cực cửa có giá trị bằng:

- $I_G \approx 0mA$ ;      b.  $I_G = (50 \div 100)mA$ ;      c.  $I_G = \infty$ ;      d.  $0mA < I_G < 10mA$

22. Quan hệ giữa dòng điện  $I_D$  và điện áp  $U_{GS}$  trong JFET được thể hiện qua công thức sau:

- $I_D = I_{D0} \left( 1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS\text{ngat}}} \right)^2$
- $I_D = I_{D0} \left( 1 + \frac{U_{GS}}{U_{GS\text{ngat}}} \right)^2$
- $I_D = I_{D0} \left( 1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS\text{ngat}}} \right)$
- $I_D = I_{D0} \left( 1 + \frac{U_{GS}}{U_{GS\text{ngat}}} \right)$

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Giáo trình “Cấu kiện điện tử và quang điện tử”, Trần Thị Cẩm, Học viện CNBCVT, năm 2002.
- “Electronic Principles”- Firth Edition, Albert Paul Malvino, Ph.D., E.E. McGraw-Hill.
- Giáo trình “Kỹ thuật mạch điện tử”, Đỗ Xuân Thụ, NXB KHKT, năm 1999

## CHƯƠNG 6: CẤU KIỆN THYRISTO

### GIỚI THIỆU CHƯƠNG

Chương 6 giới thiệu về các cấu kiện có 4 lớp bán dẫn. Đây là các cấu kiện thuộc họ thyristo. Thyristo là cấu kiện bán dẫn khóa mở mạch mà tác động ở 2 trạng thái bền (khóa và mở) của nó tùy thuộc vào tính hồi tiếp dương của 4 lớp bán dẫn P-N-P-N.

Thyristo có thể là cấu kiện 2 chân cực, 3 chân cực hoặc 4 chân cực, có thể dẫn điện một chiều hoặc cả hai chiều. Trong họ thyristo quan trọng nhất là đèn chỉnh lưu Silic có điều khiển (SCR), Triac, Diac, v.v...Phần đầu tiên của chương sẽ giới thiệu về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của cấu kiện chỉnh lưu silic có điều khiển (SCR), về các đặc tính và tham số của nó. Cấu kiện thứ hai là triac, đây là cấu kiện dẫn điện hai chiều, các đặc tính và tham số của triac, đây là linh kiện quan trọng được dùng nhiều trong các mạch điều khiển nguồn điện. Cấu kiện Diac: cấu tạo và nguyên lý hoạt động, cũng như ứng dụng của nó.

Ngoài ra, trong chương 6 còn giới thiệu về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của tranzito đơn nối (UJT). Đây là cấu kiện có 3 chân cực nhưng chỉ có 1 lớp tiếp xúc P-N và do vậy nó cũng có các đặc tính và tham số rất khác với các tranzito thông thường.

### NỘI DUNG

#### 6.1. CHỈNH LƯU SILIC CÓ ĐIỀU KHIỂN (SCR).

##### 6.1.1. Cấu tạo:

Chỉnh lưu silic có điều khiển, gọi tắt là SCR, gồm có 4 lớp bán dẫn P và N sắp xếp theo kiểu P-N-P-N. Ba chân cực được ký hiệu bằng các chữ A - anốt, K - catốt, và G - cực điều khiển. Cực anốt nối với phần bán dẫn P<sub>1</sub> trước, còn catốt nối với phần bán dẫn N<sub>2</sub> sau; cực điều khiển G thường được nối với phần bán dẫn P<sub>2</sub>.

Đèn chỉnh lưu silic có điều khiển chỉ dẫn điện một chiều.

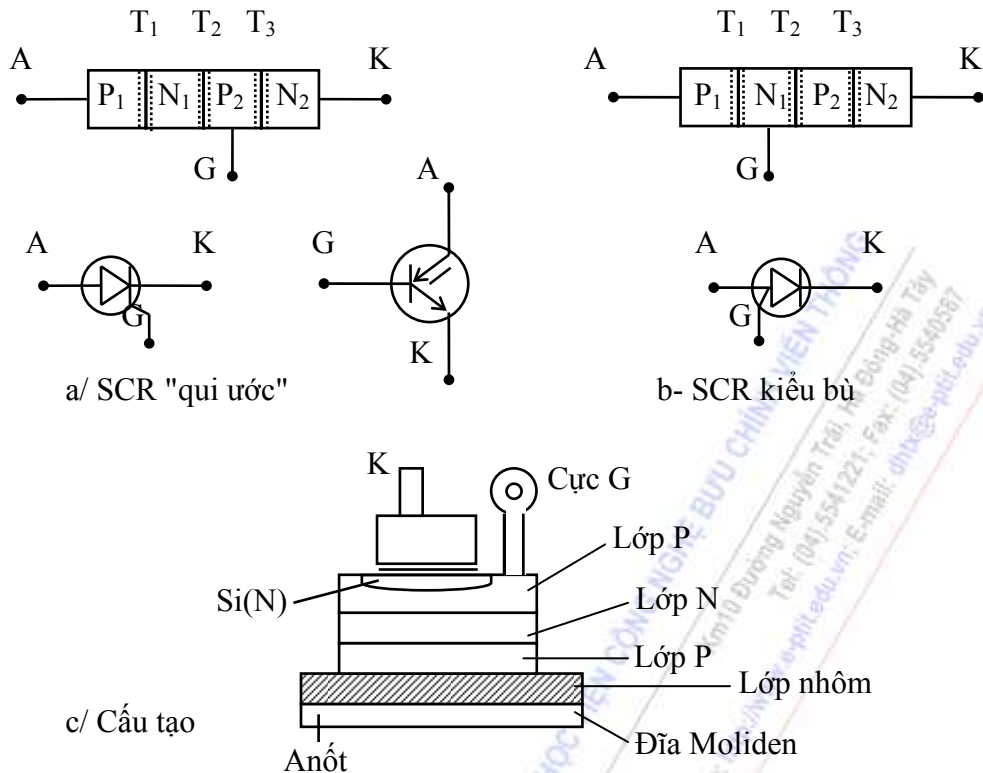
Mô hình cấu tạo và ký hiệu của SCR trong sơ đồ mạch mô tả trong hình 6- 1a,b,c.

Có hai loại SCR là:

- + SCR điều khiển theo catốt hay còn gọi là SCR theo qui ước (đơn giản gọi là SCR). Loại này cực điều khiển G được nối với phần bán dẫn P<sub>2</sub> sau.
- + SCR điều khiển theo anốt hay còn gọi là SCR kiểu bù. Loại này cực điều khiển G được nối với phần bán dẫn N<sub>1</sub> trước.

Thông thường người ta sử dụng loại SCR qui ước. Các SCR kiểu bù công suất thấp ít được dùng vì công suất tiêu thụ của nó cao hơn loại SCR qui ước. Sau đây, chúng ta nghiên cứu về nguyên lý làm việc của SCR qui ước, gọi tắt là SCR.

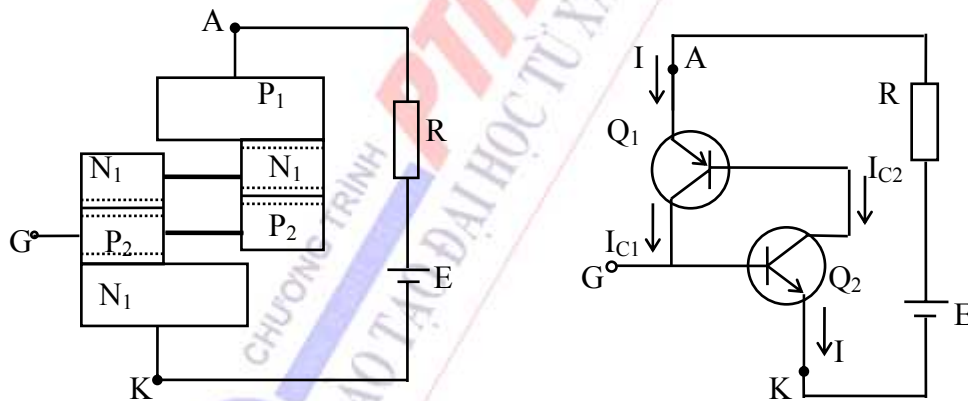




**Hình 6- 1:** Ký hiệu và cấu tạo của SCR.

### 6.1.2. Nguyên lý làm việc:

Sơ đồ mạch tương đương của SCR:



**Hình 6- 2:** Sơ đồ mạch tương đương của SCR

Theo cấu tạo, SCR có 3 tiếp xúc P- N được ký hiệu  $T_1$ ,  $T_2$ , và  $T_3$

□ Khi cực điều khiển G để hở ( $I_G = 0$ ):

Đặt điện áp nguồn cung cấp  $U_{AK}$  vào giữa anốt và catốt để phân cực cho SCR và lúc này nó được coi như 1 điốt:

+ Khi phân cực ngược ( $U_{AK} < 0$ ) thì tiếp xúc  $T_1$  và  $T_3$  phân cực ngược,  $T_2$  phân cực thuận nên qua SCR chỉ có dòng điện ngược rất nhỏ. Nếu tăng  $|U_{AK}|$  lên cao đến điện áp đánh

thùng tiếp xúc  $T_1$  và  $T_3$  thì đây là hiện tượng đánh thủng kiểu thác lũ hay đánh thủng zener với điện áp đánh thủng  $U_{đ.t.} = U_{đ.t.T1} + U_{đ.t.T3}$ . Nếu xảy ra hiện tượng này thì coi như SCR hỏng.

+ Khi phân cực thuận ( $U_{AK} > 0$ ) thì các tiếp xúc  $T_1$  và  $T_3$  phân cực thuận, tiếp xúc  $T_2$  phân cực ngược và qua SCR cũng chỉ có dòng điện ngược rất nhỏ (hay SCR ở chế độ trở kháng cao).

Nếu tăng dần điện áp phân cực thuận  $U_{AK} > 0$  lên đến điện áp đánh thủng tiếp xúc  $T_2$  thì dòng điện qua SCR tăng vọt. Lúc này cả 3 tiếp xúc P-N đều coi như được phân cực thuận, điện trở của chúng rất nhỏ làm cho sụt áp trên SCR giảm hẳn xuống còn khoảng từ 1 ÷ 2 V. Trị số điện áp mà tại đó xảy ra đánh thủng tiếp xúc  $T_2$  được gọi là điện áp đỉnh khuỷu  $U_{BO}$ . Trị số  $U_{BO}$  này thường vào khoảng từ 200 ÷ 400V. Vùng điện áp này ta gọi là vùng chặn thuận.

Như vậy, khi SCR đã dẫn điện thì dòng điện qua nó không thể khống chế được trong SCR mà nó được hạn chế nhờ điện trở mắc ở mạch ngoài.

Theo sơ đồ mạch tương đương ở hình 6- 2 của SCR ta thấy, khi SCR dẫn điện thì qua nó có dòng điện  $I$  chạy từ A đến K và giữa các tiếp xúc P-N của 2 tranzito  $Q_1$  và  $Q_2$  có các dòng điện vào và ra là:

$$I_{C1} = I_{B2} \text{ và } I_{C2} = I_{B1} \quad (6.1)$$

Trong đó:

$$I_{C1} = \alpha_1 I + I_{CB01}$$

$$I_{C2} = \alpha_2 I + I_{CB02}$$

Và  $\alpha_1, \alpha_2$  là hệ số khuếch đại thác lũ alpha (hay số nhân thác lũ).

Dòng điện tổng qua SCR là:

$$I = I_{C1} + I_{C2} = I(\alpha_1 + \alpha_2) + I_{CB01} + I_{CB02} \quad (6.2)$$

Thay:

$$I_{CB01} + I_{CB02} = I_{CB0}$$

$I_{CB0}$  là dòng điện ngược bão hòa của tiếp xúc P-N.

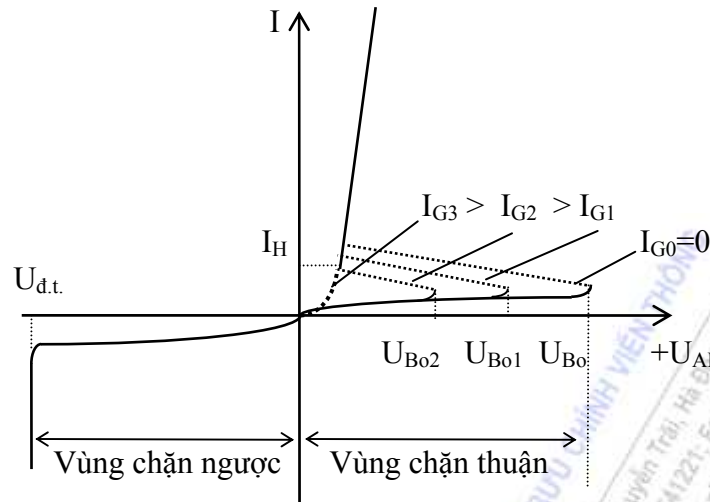
Vậy ta có:

$$I = \frac{I_{CB0}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)} \quad (6.3)$$

Như vậy, khi  $(\alpha_1 + \alpha_2) = 1$  thì dòng điện tăng vọt và không giới hạn được, nó tương ứng với tiếp xúc  $T_2$  được phân cực thuận. Lúc này, SCR dẫn điện và có nghĩa là cả hai tranzito  $Q_1$  và  $Q_2$  đều dẫn bão hòa. Lúc này, SCR ở chế độ "ON": đóng mạch, hệ số khuếch đại  $\alpha$  của hai tranzito trở nên nhỏ và đạt được điều kiện  $(\alpha_1 + \alpha_2) = 1$ .

□ Khi ta đưa dòng điện điều khiển vào cực điều khiển  $G$  ( $I_G \neq 0$ ):

Khi cho một dòng điện vào cực điều khiển  $G$ , nó có thể làm tăng hệ số  $\alpha$  mà không phụ thuộc vào điện áp và dòng điện. Như vậy, dòng  $I_G$  có tác dụng gia tăng hạt dẫn thiểu số cho lớp bán dẫn  $P_2$  để cho tiếp xúc  $T_2$  thông sớm hơn. Tùy theo trị số của dòng  $I_G$  mà điện áp đánh thủng tiếp xúc  $T_2$  và trị số dòng điện duy trì  $I_H$  thay đổi. Khi  $I_G$  có giá trị càng lớn thì  $U_{BO}$  càng nhỏ và  $I_H$  càng nhỏ. Quan hệ này được thể hiện qua đặc tuyến Vôn-Ampe của SCR biểu diễn trong hình 6-3.



**Hình 6-3** : Đặc tuyến vôn-ampe của SCR

Trong trường hợp này dòng điện qua SCR có biểu thức tính là:

$$I = \frac{\alpha_2 I_G + I_{CB0}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)} \quad (6.4)$$

Điện áp, mà tại đó SCR chuyển từ chế độ ngắt sang chế độ dẫn được điều khiển bằng tín hiệu rất nhỏ trên cực điều khiển. Ở các SCR công suất lớn, để kích thích cho SCR hoạt động ta dùng dòng điện  $I_G$  có hiệu ứng nhỏ. Còn ở các SCR công suất thấp, dòng  $I_G$  được sử dụng để bật và tắt SCR.

Khi SCR đã dẫn thì dù ta cắt dòng điện điều khiển  $I_G$ , nó vẫn tiếp tục dẫn điện. Khi SCR dẫn điện ta gọi là nó đã được khởi động. SCR chỉ ngừng dẫn khi dòng điện bị giảm xuống dưới mức  $I_H$  hoặc điện áp đặt lên SCR ở nửa chu kỳ âm.

Khi SCR ngừng dẫn, muốn nó hoạt động trở lại ta phải kích khởi động cho nó.

Như vậy ta thấy, trên thực tế, khi đặt điện áp  $U_{AK}$  nào đó lên SCR thì chỉ có dòng điện ngược chạy qua SCR, còn dòng điều khiển  $I_G$  sẽ tạo ra một thành phần dòng điện kích thích sao cho tổng các hệ số khuếch đại kiểu thác lũ của dòng điện  $(\alpha_1 + \alpha_2) \rightarrow 1$  thì SCR sẽ khởi động.

Khi  $U_{AK}$  thuận tăng lên thì dòng điều khiển cần thiết để khởi động SCR sẽ giảm xuống.

*Đặc điểm của SCR:*

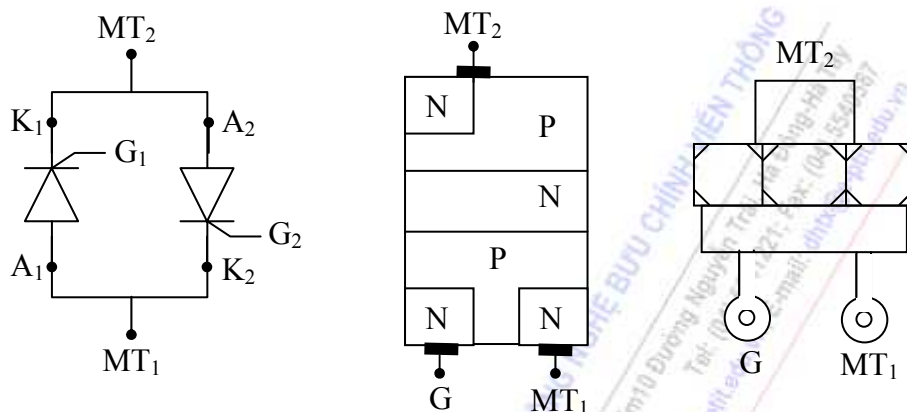
- Thời gian mở và tắt (hay thời gian phục hồi  $t_p$ ) rất nhanh (vài  $\mu s$  đến vài chục  $\mu s$ ).
- Cường độ dòng điện cao (hàng nghìn ampe).
- Điện áp cao (hàng nghìn Vôn).
- Sụt áp giữa 2 cực nhỏ (từ 1 ÷ 2V).
- Khả năng điều khiển lớn

## 6.2. TRIAC (Triode Alternative Current).

Là một cấu kiện thuộc họ Thyristo. Triac có 3 chân cực và có khả năng dẫn điện hai chiều khi có tín hiệu kích khởi động (dương hoặc âm).

### 6.2.1. Cấu tạo của triac:

Do tính dẫn điện hai chiều nên hai đầu ra chính của triac dùng để nối với nguồn điện được gọi là đầu ra  $MT_1$  và  $MT_2$ . Giữa hai đầu ra  $MT_1$  và  $MT_2$  có năm lớp bán dẫn bố trí theo thứ tự P-N-P-N-P như SCR theo cả 2 chiều. Đầu ra thứ ba gọi là cực điều khiển G. Như vậy triac được coi như hai SCR đấu song song ngược chiều với nhau, xem hình 6-4.

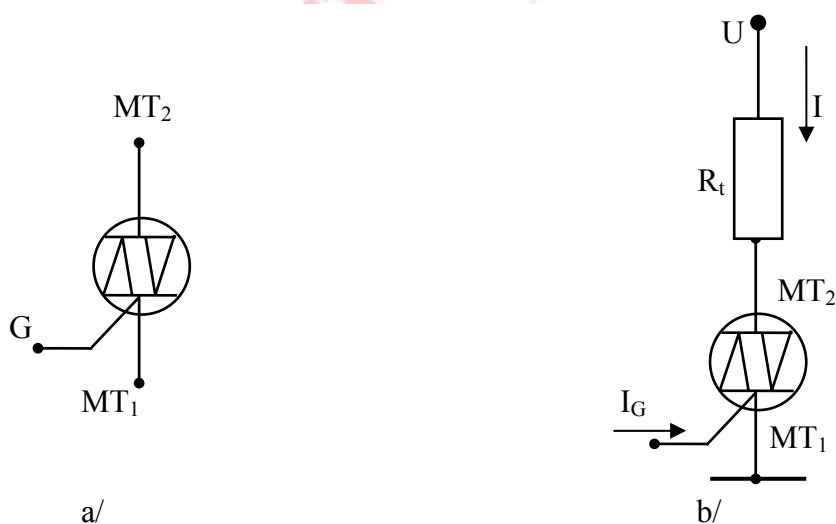


Hình 6- 4: Cấu tạo của triac

### 6.2.2. Nguyên lý làm việc:

Theo quy ước, tất cả các điện áp và dòng điện đều quy ước theo đầu ra chính  $MT_1$ .

Như vậy, điện áp nguồn cung cấp cho  $MT_2$  phải dương (hoặc âm) hơn so với  $MT_1$ . Còn tín hiệu điều khiển được đưa vào giữa hai chân cực G và chân cực  $MT_1$ . Ký hiệu và sơ đồ nguyên lý đầu triac trong mạch mô tả trong hình 6-5a,b.



Hình 6 – 5: Ký hiệu (a) và sơ đồ nguyên lý (b) của triac

Đặc tuyến Vôn-Ampe của triac được biểu diễn trong hình 6- 6. Đặc tuyến thể hiện khả năng dẫn điện hai chiều của triac.

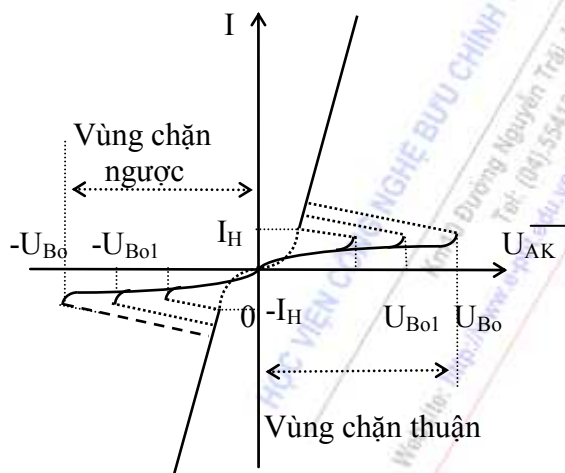
Phương pháp kích công của triac cũng giống như SCR chỉ khác là có thể dùng cả dòng dương hay dòng âm cho cả phần tư thứ I và phần tư thứ III của đặc tuyến Vôn- Ampe của triac.

Có hai phương pháp kích khởi động cho triac hoạt động nhạy nhất là:

- ☐ Cực cổng G dương và cực  $MT_2$  dương so với  $MT_1$
- ☐ Cực cổng G âm và cực  $MT_2$  âm so với  $MT_1$

Trong mạch điện, một triac cho qua 2 nửa chu kỳ của một điện áp xoay chiều và điều khiển bằng một cực điều khiển G.

Khác với SCR, triac tắt trong một khoảng thời gian rất ngắn lúc dòng điện tải đi qua điểm O. Nếu mạch điều khiển của triac có gánh là điện trở thuần thì việc ngắt mạch không có gì khó khăn. Nhưng nếu tải là một cuộn cảm thì vấn đề làm tắt triac trở nên khó khăn vì dòng lệch pha trễ. Thông thường để tắt Thyristo người ta sử dụng cái ngắt điện hoặc mạch đảo lưu dòng điện trong mạch.



Hình 6- 6 : Đặc tuyến Vôn- Ampe của triac

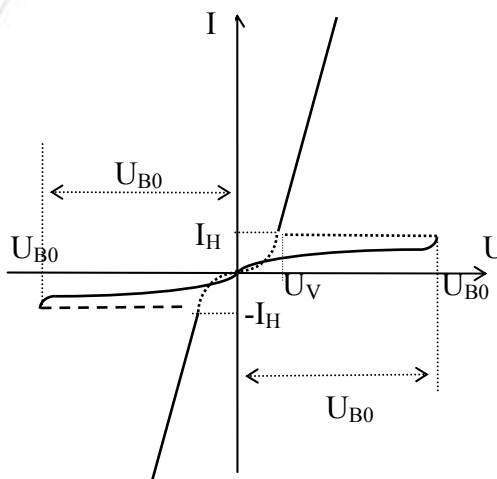
### 6.3. DIAC

#### 6.3.1. Cấu tạo và ký hiệu của diac

Diac là cấu kiện 4 lớp bán dẫn có 2 chân cực  $A_1$  và  $A_2$ . Cấu trúc của diac giống như triac nhưng không có cực điều khiển G nên diac cũng dẫn điện hai chiều.. Hình 6-7 giới thiệu ký hiệu của diac trong các sơ đồ mạch.



Hình 6 – 7: Ký hiệu của diac



Hình 6- 8 : Đặc tuyến Vôn- Ampe của diac



### 6.3.2. Nguyên lý hoạt động của diac

Do không có cực điều khiển nên việc kích mở cho diac thực hiện bằng cách nâng cao điện áp đặt vào hai cực. Khi điện áp nguồn đạt đến giá trị  $U_{B0}$  thì diac dẫn điện và điện áp trên nó sụt xuống chỉ còn 1 đến 2 vôn ( $U_V$ ).

Trong ứng dụng, diac thường dùng làm phần tử mở cho triac dẫn. Khi diac dẫn điện, độ sụt áp trên nó là:

$$\Delta U = U_{B0} - U_V$$

được đưa vào cực điều khiển của triac như là xung kích để làm cho triac dẫn điện. Thông thường, trên thực tế ứng dụng, diac và triac được tổ hợp thành một linh kiện duy nhất.

### 6.3.3. Ứng dụng của Thyristo.

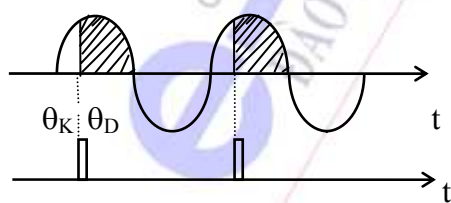
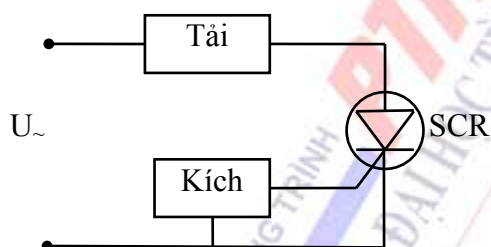
Thyristo được dùng như một chuyển mạch điện tử. Nó thường được dùng để điều khiển nguồn điện, điều khiển công suất cho lò nung, điều khiển tốc độ ô tô, điều khiển đèn tắt - sáng, điều khiển mô tơ điện một chiều v.v... Sau đây chúng ta xem xét một thí dụ về mạch kiểm soát pha (hay còn gọi là mạch điều khiển nguồn):

Đây là quá trình tắt mở dùng để nối nguồn điện xoay chiều cho tải trong một phần của mỗi chu kỳ xem hình 6-8: a/ mạch điều khiển nửa chu kỳ dùng SCR và b/ mạch điều khiển cả chu kỳ dùng triac.

Trong đó: Điểm A là thời điểm kích

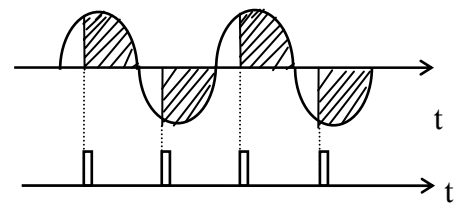
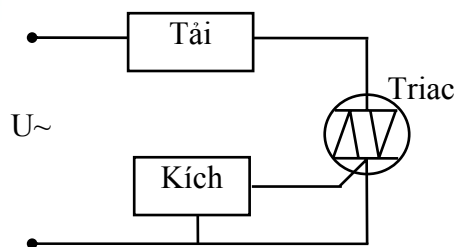
Góc  $\theta_K$  là góc kích và  $\theta_D$  là góc dẫn (thực tế  $\theta_K + \theta_D = 180^\circ$ )

Bằng cách thay đổi góc kích hoặc góc dẫn chúng ta sẽ kiểm soát được công suất tiêu thụ của tải. Góc dẫn cực đại  $\theta_{Dmax} = 180^\circ$ ; góc dẫn cực tiểu  $\theta_{Dmin} = 90^\circ$



Xung kích

a. Mạch điều khiển nửa sóng



Xung kích

b. Mạch điều khiển cả sóng

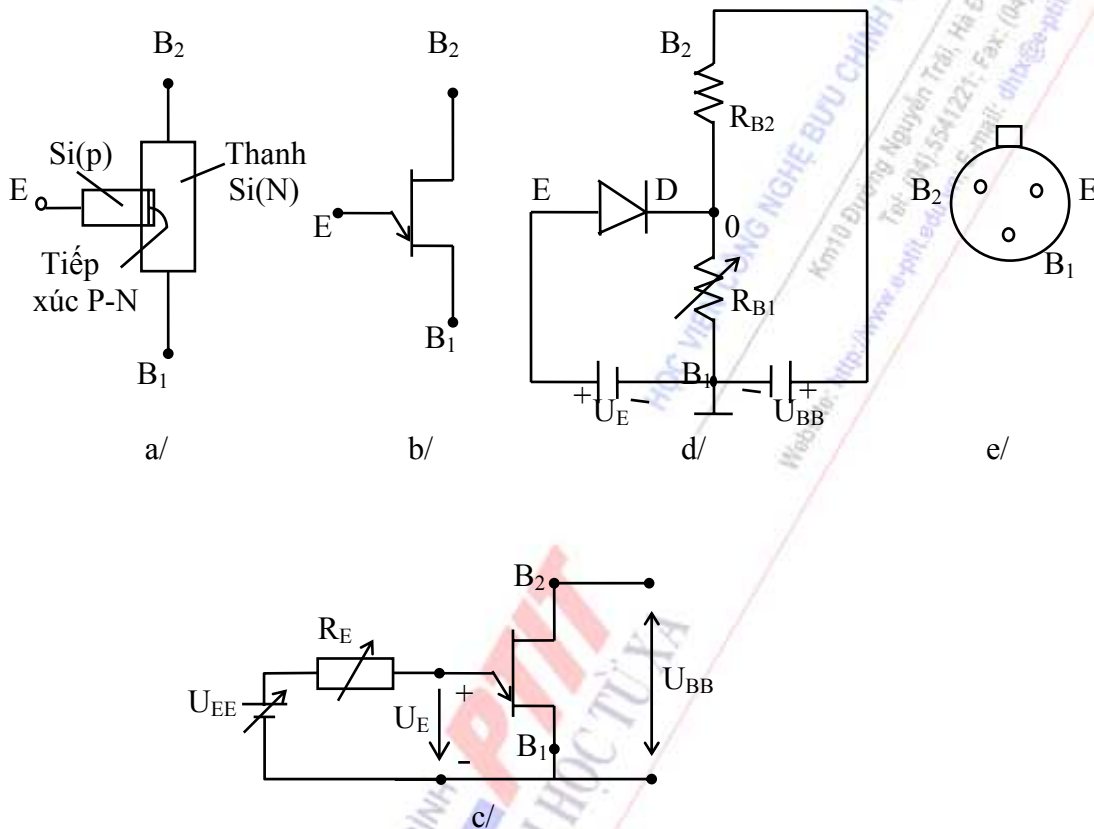
**Hình 6 - 9** : Mạch điều khiển nguồn

## 6.4. TRANZITO ĐƠN NÓI (UJT - UNITJUNCTION TRANSISTOR)

### 6.4.1. Cấu tạo của tranzito đơn nói.

UJT là linh kiện bán dẫn có một tiếp xúc P-N và 3 chân cực. Nó gồm một thanh bán dẫn Silic loại N có gắn thêm 1 miếng bán dẫn Silic loại P để tạo thành một tiếp xúc P-N.

Chân cực nối với mẫu bán dẫn P gọi là cực phát E. Hai đầu còn lại của thanh Silic loại N được đưa ra 2 chân cực gọi là Nền 1 (ký hiệu B<sub>1</sub>) và Nền 2 (ký hiệu B<sub>2</sub>).



**Hình 6- 10:** a- Cấu tạo; b- ký hiệu;  
c/ Sơ đồ nguyên lý; d- sơ đồ tương đương của UJT  
e- bố trí chân cực của UJT

### 6.4.2. Nguyên lý làm việc của UJT.

Trong sơ đồ tương đương, diốt được thay thế cho tiếp xúc P-N; R<sub>B1</sub> là điện trở của phần bán dẫn nền 1; R<sub>B2</sub> là điện trở của phần bán dẫn nền 2.

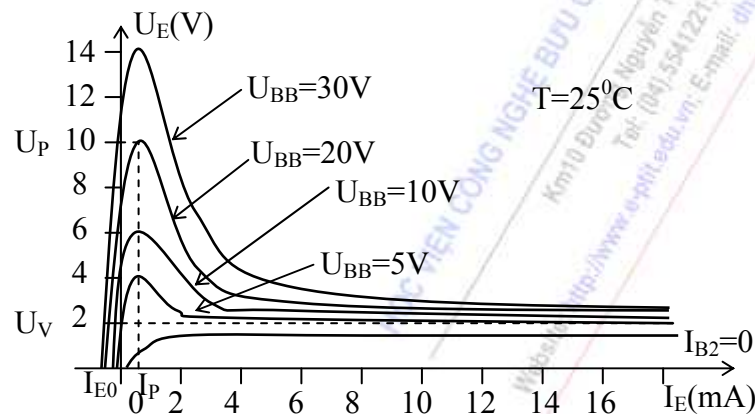
Để cho tranzito đơn nói hoạt động ta phân cực cho nó như hình 6- 9c. Cung cấp điện áp dương cho B<sub>2</sub> so với B<sub>1</sub> (U<sub>BB</sub> > 0). Như vậy, nếu hờ mạch cực phát thì R<sub>B1</sub> và R<sub>B2</sub> là bộ phân áp cho nguồn U<sub>BB</sub>. Do đó, điện áp tại điểm O sẽ là:

$$U_O = \frac{U_{BB} R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} = \eta U_{BB} \quad (6.5)$$

Trong đó  $\eta = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}}$  gọi là hệ số thuần khiết

- Nếu  $U_E < \eta U_{BB}$  ( $U_E < U_O$ ) thì tiếp xúc P-N (điốt D) được phân cực ngược và qua nó chỉ có dòng điện ngược  $I_{EO}$  rất nhỏ. Ta có vùng ngắt của đặc tuyến vôn- ampe của UJT.
- Khi  $U_E > \eta U_{BB}$ , tiếp xúc P-N được phân cực thuận, dòng  $I_E$  tăng dần. Khi  $U_E > U_P$  ( $U_P$  gọi là điện áp kích khởi cho UJT hoạt động hay gọi là điện áp đỉnh) thì dòng  $I_E$  tăng nhanh. Dưới tác dụng của điện trường, các lỗ trống chuyển động từ cực phát E xuống Nền 1 ( $B_1$ ), còn các điện tử chuyển động từ Nền 1 đến phần phát tạo nên dòng điện  $I_E$ . Do sự gia tăng ồ ạt của các hạt dẫn trong Nền 1 nên điện trở  $R_{B1}$  giảm trong khi dòng điện  $I_E$  tăng và điện áp  $U_E$  giảm nên ta có vùng điện trở âm của đặc tuyến vôn- ampe.

Ta có đặc tuyến vôn- ampe của UJT mô tả trong hình 6 -10:



**Hình 6-11:** Đặc tuyến Vôn – Ampe của UJT

Đặc tuyến Vôn- Ampe biểu thị quan hệ giữa dòng điện cực phát  $I_E$  với điện áp trên cực phát  $U_E$ . Mỗi quan hệ này được biểu diễn bằng hàm sau:

$$I_E = f(U_E)$$

Nếu cực nền 2 ( $B_2$ ) hở mạch, nghĩa là dòng  $I_{B2}=0$  thì quan hệ Vôn-Ampe lối vào là đặc tuyến Vôn-Ampe của tiếp xúc P-N:

$$I_E = I_{E0} \left( e^{\frac{U_E}{V_T}} - 1 \right)$$

và ta có đường đặc tuyến ứng với  $I_{B2}=0$  trong hình

Qua hình 6-10 ta thấy, khi thay đổi điện áp đặt lên giữa nền 1 và nền 2 ( $U_{BB}$ ) thì điện áp đỉnh ( $U_P$ ) cũng thay đổi theo và đưa đặc tuyến dịch lên trên.

Tại vùng điện trở âm, dòng điện chỉ bị giới hạn bởi các linh kiện mắc ở mạch ngoài, do đó mạch ngoài phải bảo đảm để dòng điện  $I_E < I_{E_{max}}$

Khi  $I_E$  tăng đến  $I_V$ , muốn tăng thêm dòng  $I_E$  lên nữa ta buộc phải tăng  $U_E$  vì số lượng lỗ trống và điện tử đã đạt đến tình trạng di chuyển bão hòa, đặc tuyến chuyển sang vùng điện trở dương.

**Bảng 6.1 :** Biến thiên của điện trở nền 1 ( $R_{B1}$ ) theo  $I_E$  của một UJT tiêu biểu.

$I_E$ (mA)	0	1	2	5	10	20	50
$R_{B1}$ ( $\Omega$ )	4600	2000	900	240	150	90	40

#### 6.4.3. Các tham số của tranzito đơn nối.

- Điện trở liên nền  $R_{BB} = R_{B1} + R_{B2} = 4K\Omega \div 12K\Omega$  tùy thuộc vào loại UJT và phụ thuộc vào nhiệt độ.
- Hệ số thuần khiết  $\eta = \frac{R_{B1}}{R_{BB}} = 0,45 \div 0,82$  không phụ thuộc nhiệt độ. Nó phụ thuộc vào vật liệu chế tạo linh kiện.
- Điện áp đỉnh:  $U_P = \eta U_{BB} + U_D = \eta U_{BB} + 0,7V$  (6. 6)  
 Trong đó:  $U_{BB}$  - điện áp đặt vào giữa 2 Nền  $B_1$  và  $B_2$ .  
 $U_D$  - điện áp ngang qua điôt ( $U_D = 0,7V$ ).  
 Điện áp đỉnh là trị số điện áp đặt lên cực phát để UJT bắt đầu dẫn.
- Dòng điện đỉnh  $I_P$  là dòng điện chạy qua UJT tương ứng với trị số điện áp đỉnh  $U_P$  đặt lên cực phát E (hay còn gọi là dòng điện kích khởi). Trị số của  $I_P$  chỉ vài  $\mu A$ .
- Điện áp trung  $U_V \approx 2V$  là điện áp thấp nhất nối vùng điện trở âm với vùng điện trở dương của đặc tuyến.
- Dòng điện trung  $I_V$  là trị số dòng điện tương ứng với điện áp  $U_E = U_V$ .
- Điện áp bão hòa  $U_{Ebh}$  là điện áp ứng với dòng  $I_E = 50mA$  và điện áp  $U_{BB} = 10v$ .

#### 6.4.4. Ứng dụng.

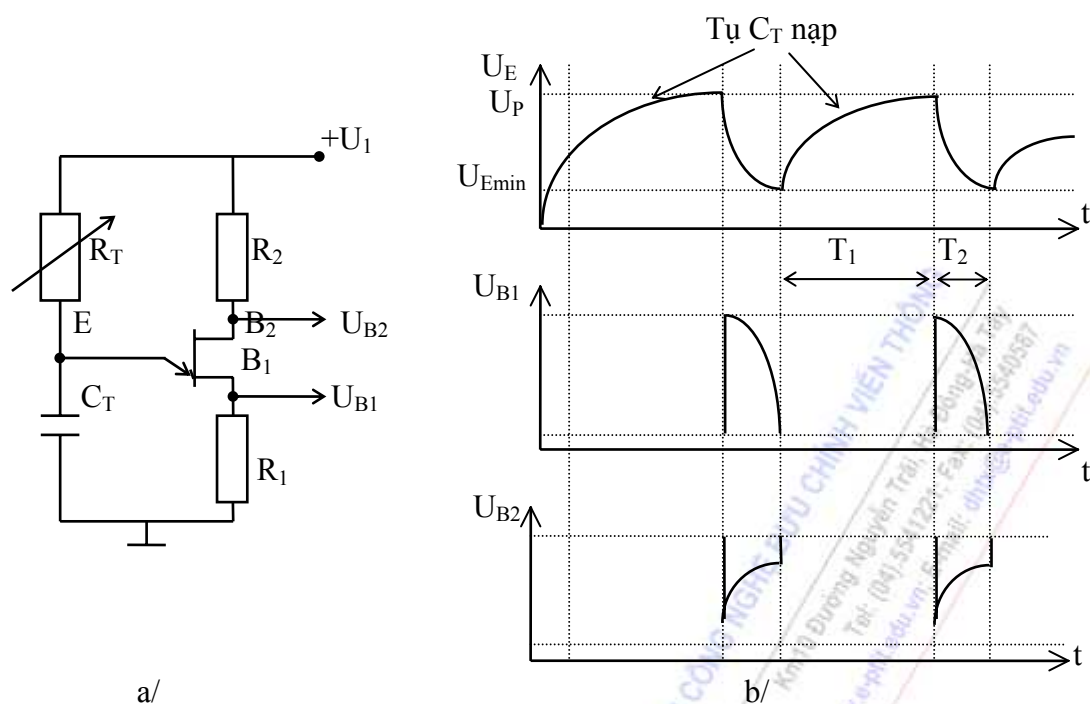
Người ta thường sử dụng đoạn đặc tuyến điện trở âm để tạo các mạch dao động. Cho nên UJT thường được dùng trong các mạch phóng nạp tạo xung, trong mạch định thời các mạch báo động và quan trọng nhất là dùng để kích khởi cho đèn chỉnh lưu Silic có điều khiển hoạt động.

*Ví dụ:* UJT sử dụng trong mạch dao động phóng nạp (hình 6- 11)

Trong sơ đồ có nguồn cung cấp  $U_1$ , tải  $R_T$ , tụ phóng nạp  $C_T$ , trên  $R_1$  ta lấy xung ra,  $R_2$  là điện trở bù nhiệt. Ta có thể tính điện trở  $R_2$  theo công thức sau:

$$R_2 = \frac{0,7 R_{BB}}{U_1} \quad (6. 7)$$

Ngoài ra, điện trở  $R_2$  còn có nhiệm vụ giới hạn dòng khi điện áp  $U_1$  quá lớn.



**Hình 6- 12** : a- Sơ đồ mạch tạo dao động phóng nạp dùng UJT.

b- Dạng sóng tại các chân cực E, B<sub>1</sub> và B<sub>2</sub> .

Tần số của dao động lấy ra trên R<sub>1</sub> (hoặc trên R<sub>2</sub>):

$$f = \frac{1}{T_1 + T_2} \approx \frac{1}{T_1} \quad (6.8)$$

(vì  $T_1 \gg T_2$ )

Trong đó:  $T_1$  - thời gian UJT ngừng dẫn (thời gian tụ  $C_T$  nạp điện)

$T_2$  - thời gian UJT dẫn điện (thời gian tụ  $C_T$  phóng điện)

Điều kiện để mạch hoạt động tốt như sau:

+ Đường tải  $R_T$  phải cắt đặc tuyến tại một điểm ở vùng điện trở âm hay nói cách khác dòng điện chạy qua UJT phải có trị số:

$$I_V > I > I_P$$

hoặc tải có giá trị là 
$$\frac{U_{BB} - U_P}{I_P} > R_T > \frac{U_{BB} - U_V}{I_V}$$

+ Để không làm giảm  $U_E$  cần có  $C_T \geq 0,01\mu F$

+ Nếu  $C_T > 1\mu F$ , nên thêm điện trở nối tiếp với  $C_T$  để bảo vệ cực phát.

## TÓM TẮT NỘI DUNG

Thyristo là các cấu kiện có 4 lớp bán dẫn được sắp xếp theo trật tự P-N-P-N. Chúng là cấu kiện có 2 chân cực, 3 chân cực hoặc 4 chân cực; có khả năng dẫn điện một chiều hoặc hai chiều. Đây là các cấu kiện điện tử đóng ngắt mạch mà hai trạng thái đóng và ngắt mạch của nó phụ thuộc vào tính hồi tiếp dương của 4 lớp bán dẫn trên.

Họ thyristo gồm có các cấu kiện như chỉnh lưu silic có điều khiển (SCR), triac, diac, chuyển mạch silic có điều khiển...



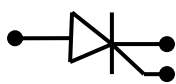
Chỉnh lưu silic có điều khiển (SCR) là cấu kiện có 4 lớp bán dẫn được sắp xếp theo thứ tự  $P_1-N_1-P_2-N_2$  và hai ba chân cực: A-nốt đấu vào bán dẫn  $P_1$ , K-tốt đấu vào bán dẫn  $N_2$ , cực điều khiển G đấu vào bán dẫn  $P_2$ . SCR chỉ dẫn điện một chiều khi cấp điện áp thuận vào giữa 2 cực A-K ( $U_{AK}>0$ ). Tùy vào dòng điện điều khiển  $I_G$  lớn hay nhỏ mà vùng chặn thuận có các giá trị khác nhau. Nếu  $I_G$  càng lớn thì giá trị điện áp đỉnh khuỷu (hay điện áp khởi động) của SCR càng nhỏ. Đặc tuyến Vôn-Ampe của SCR có đoạn chặn thuận và đoạn chặn ngược. Nếu điện áp đặt lên SCR bằng hoặc vượt vùng chặn ngược thì cấu kiện bị đánh thủng và bị hỏng; còn bằng hoặc vượt vùng chặn thuận thì cấu kiện sẽ dẫn điện và SCR được kích khởi động, dòng điện chạy qua SCR tăng vọt và nó chỉ bị khống chế bởi điện trở mắc ở mạch ngoài. Điều kiện để SCR dẫn điện là hệ số nhân thác lũ  $\alpha_1\alpha_2=1$ . Khi SCR đã dẫn điện nếu ta ngắt dòng điều khiển thì nó vẫn dẫn điện. SCR chỉ ngừng dẫn khi điện áp nguồn chuyển sang nửa chu kỳ âm hoặc dòng điện giảm xuống dưới giá trị dòng điện duy trì  $I_H$ . Khi muốn SCR dẫn điện ta lại phải kích cho nó dẫn điện.

Triac là cấu kiện cũng có 3 chân cực nhưng dẫn điện hai chiều. Các chân cực được gọi là các đầu ra  $MT_1$ ,  $MT_2$  và cực điều khiển G. Triac được cấu tạo từ 5 lớp bán dẫn sắp xếp theo trật tự N-P-N-P-N sao cho tạo ra được cấu trúc như là 2 SCR đấu song song và ngược chiều nhau. Việc kích cho triac dẫn điện có thể được thực hiện bằng 4 cách nhưng thông thường người ta sử dụng 2 cách nhạy nhất là  $MT_2$  dương hơn  $MT_1$  và cực G dương hơn  $MT_1$  hoặc  $MT_2$  và cực G cùng âm hơn  $MT_1$ . Khi triac đã dẫn điện, muốn nó ngừng dẫn ta phải giảm dòng điện qua nó xuống dưới giá trị dòng điện duy trì  $I_H$  hoặc dùng cái ngắt điện. Việc cho triac ngừng dẫn khó khăn hơn so với SCR vì nó dẫn điện cả hai chiều.

Tranzito đơn nối (UJT) là tranzito chỉ có một lớp tiếp xúc P-N và ba chân cực là cực Phát (E), Nền 1 ( $B_1$ ) và Nền 2 ( $B_2$ ). Nguyên lý hoạt động của UJT khác hẳn với các tranzito khác đã học. Khi điện áp đặt lên cực phát phải bằng hoặc lớn hơn giá trị điện áp đỉnh ( $U_P$ ) thì UJT mới dẫn điện, nhưng sụt áp trên nó giảm và đặc tuyến Vôn-Ampe có đoạn điện trở âm. Điện áp đỉnh  $U_P = \eta U_{BB} + 0,7V$ ; trong đó  $\eta$  là hệ số thuần khiết,  $U_{BB}$  là điện áp giữa Nền2 và Nền1. Khi dòng điện đạt đến giá trị  $I_V$  – dòng điện trưng thì sụt áp trên UJT giảm đến trị số điện áp trưng  $U_V$ . Từ giá trị này UJT chuyển sang vùng điện trở dương của đặc tuyến. Người ta sử dụng đoạn điện trở âm để lắp các mạch tạo xung phóng nạp.

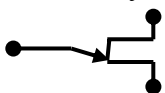
### CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Trình bày cấu tạo, ký hiệu và nguyên lý hoạt động của SCR?
2. Hãy giải thích về đặc tuyến Vôn-Ampe của SCR?
3. Trình bày về điều kiện để SCR dẫn điện?
4. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của triac?
5. Hãy vẽ đặc tuyến Vôn-Ampe và chỉ ra các vùng kích nhạy nhất cho triac trên đồ thị?
6. Trình bày về cấu tạo, ký hiệu và đặc tuyến Vôn-Ampe của diac?
7. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của UJT?
8. Nêu các tham số của UJT và ứng dụng của nó?
9. Ký hiệu sau đây là của cấu kiện nào?



a. SCR;      b. Triac;      c. Diac;      d. UJT

10. Ký hiệu sau đây là của cấu kiện nào?



a. SCR;      b. Triac;      c. UJT;      d. FET

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- 1- Giáo trình “Cấu kiện điện tử và quang điện tử” – Trần Thị Cẩm, Học viện CNBCVT, năm 2002.
- 2- “Các linh kiện bán dẫn thông dụng”- Nguyễn Như Anh và nhóm tác giả, NXB KHKT, năm 1988.



## CHƯƠNG 7

### VI MẠCH TÍCH HỢP

#### GIỚI THIỆU CHƯƠNG

Các điốt và tranzito tuy rất nhỏ nhưng khi ghép với nhiều linh kiện thụ động để thực hiện một chức năng nào đó thì nó vẫn thành một khối lớn. Ngoài ra, do chế tạo rời rạc nên các tham số của tranzito cũng không giống nhau tuy cùng ký hiệu. Do đó, khi ghép nhiều linh kiện rời rạc sẽ không bảo đảm độ tin cậy cao và không kinh tế. Vì vậy hướng phát triển của kỹ thuật điện tử sau bán dẫn là kỹ thuật vi điện tử.

Chương 7 này sẽ giới thiệu về khái niệm và phân loại vi mạch tích hợp, về các phương pháp chế tạo mạch tích hợp bán dẫn như qui trình quang khắc, qui trình plana và qui trình công nghệ epitaxi-plana. Trong chương này cũng trình bày về các phương pháp chế tạo các cấu kiện điện tử trong vi mạch bán dẫn: điện trở, tụ điện, cuộn cảm, tranzito và điốt cũng như các chi tiết khác. Đồng thời, chương 7 cũng trình bày về đặc điểm và các tính chất của một số loại vi mạch tích hợp hiện đang được sử dụng rộng rãi trong lĩnh vực kỹ thuật điện tử như vi mạch tuyến tính, vi mạch số.

#### NỘI DUNG:

#### 7.1. KHÁI NIỆM VÀ PHÂN LOẠI VI MẠCH TÍCH HỢP

##### 7.1.1. Định nghĩa vi mạch và các ưu khuyết điểm.

###### a. Định nghĩa:

Một vi mạch tích hợp bao gồm một chip đơn tinh thể silic có chứa các linh kiện tích cực và linh kiện thụ động cùng dây nối giữa chúng. Các linh kiện này được chế tạo bằng công nghệ giống như công nghệ chế tạo điốt và tranzito riêng rẽ. Quá trình công nghệ này gồm việc nuôi cấy lớp epitaxi, khuếch tán tạp chất mặt nạ, nuôi cấy lớp oxit, và khắc oxit, sử dụng ảnh in li tô để định rõ các giản đồ...

Vậy, vi mạch tích hợp (Integrated circuits - viết tắt là IC) là sản phẩm của kỹ thuật vi điện tử bán dẫn. Nó gồm các linh kiện tích cực như tranzito, điốt..., các linh kiện thụ động như điện trở, tụ điện, cuộn cảm, và các dây dẫn, tất cả được chế tạo trong một qui trình công nghệ thống nhất, trong một thể tích hay trên một bề mặt của vật liệu nền. Mỗi một loại vi mạch tích hợp chỉ giữ một hoặc vài chức năng nhất định nào đó.

###### b. Ưu nhược điểm của vi mạch điện tử:

So với các mạch rời rạc vi mạch tích hợp có nhiều ưu điểm, tuy nhiên cũng có một số nhược điểm.

###### □ Ưu điểm:

Vi mạch tích hợp có độ tin cậy rất cao, kích thước nhỏ, chứa được nhiều phần tử (IC bậc 1 chứa 10 linh kiện, IC bậc 2 chứa  $11 \div 100$  linh kiện, IC bậc 3 chứa  $101 \div 1000$  linh kiện, IC bậc 4 chứa đến 10000 linh kiện hoặc lớn hơn), giá thành hạ, tiêu thụ ít năng lượng điện.

###### □ Nhược điểm:

- Do sử dụng năng lượng nhỏ nên hạn chế tốc độ làm việc.
- Yêu cầu về độ ổn định nguồn cung cấp cao.

### 7.1.2. Phân loại vi mạch tích hợp.

Mạch tổ hợp, hay còn gọi là vi mạch tích hợp, là một bước tiến vượt khác hẳn với các mạch rời rạc, các linh kiện của mạch được kết hợp với nhau tùy theo các phương pháp chế tạo.

Có rất nhiều cách phân loại vi mạch tích hợp. Ta xét một số cách phân loại vi mạch thông dụng:

**a. Phân loại theo tính chất dữ liệu được xử lý bằng IC :** chia thành 2 loại sau:

- *IC tuyến tính:* Là loại IC có khả năng xử lý các dữ liệu xảy ra liên tục.
- *IC số:* Là loại IC có khả năng xử lý các dữ liệu xảy ra rời rạc.

**b. Phân loại theo công nghệ chế tạo:** chia thành 4 loại sau:

- *Vi mạch bán dẫn* (hay còn gọi là vi mạch đơn khối): Trong các vi mạch bán dẫn, các phần tử tích cực và thụ động được chế tạo trên một đơn tinh thể bán dẫn (Si (N) hoặc Si (P)) làm chất nền. Việc chế tạo vi mạch bán dẫn chủ yếu dựa trên quá trình quang khắc theo các phương pháp Plana, Plana- epitaxi hay siloc.
- *Vi mạch màng mỏng:* Trong đó chỉ tích hợp các linh kiện thụ động trên đế là thủy tinh cách điện hay Ceramic bằng phương pháp bốc hơi và lắng đọng trong chân không, còn các phần tử tích cực được hàn gắn vào mạch như các linh kiện rời rạc. Ưu điểm của loại này là chế tạo được các điện trở và tụ điện có chất lượng cao và sai số nhỏ.
- *Vi mạch màng dày:* Trong đó chỉ tích hợp các linh kiện thụ động trên đế là chất bán dẫn bằng phương pháp quang khắc qua khuôn còn các linh kiện tích cực được hàn vào như linh kiện rời rạc.
- *Vi mạch lai:* Trong đó tích hợp cả các linh kiện tích cực và các linh kiện thụ động trên một đế là thủy tinh hoặc Ceramic theo cả hai công nghệ chế tạo vi mạch bán dẫn và vi mạch màng mỏng. Vi mạch lai có độ tin cậy cao hơn loại vi mạch bán dẫn. Tuy nhiên, công nghệ chế tạo vi mạch lai còn phức tạp nên giá thành của nó cao hơn, điều này hạn chế việc sử dụng công nghệ này.

**c. Phân loại theo loại tranzito có trong IC:** chia thành 2 loại như sau:

- *Vi mạch lưỡng cực:* Trong đó các tranzito được tích hợp là các tranzito lưỡng cực. Vi mạch lưỡng cực có tốc độ chuyển mạch cao (cỡ 5 ns đến 20 ns), công suất tiêu tán nhiệt từ vài  $\mu$ W đến vài trăm mW, nhưng mức độ tích hợp thấp khoảng  $\leq 100$  phần tử trong một vi mạch vì kích thước của các tranzito và các phần tử thụ động lớn.
- *Vi mạch MOS:* Là các vi mạch, trong đó các tranzito được tích hợp là loại tranzito trường, thông thường là các tranzito trường loại MOS. Vi mạch MOS có độ tích hợp bậc 3, bậc 4 (cỡ 10000 phần tử hoặc hơn nữa trong một IC). Các vi mạch MOS không cần tích hợp điện trở vì có thể dùng tranzito MOS làm điện trở. Vi mạch MOS có khả năng chống nhiễu cao nhưng thời gian chuyển mạch chậm, công suất tiêu thụ thấp hơn IC lưỡng cực nhiều.

**d. Dựa theo số phần tử được tích hợp trong IC:** chia thành 4 loại sau:

- *Vi mạch loại SSI:* số phần tử được tích hợp  $< 12$
- *Vi mạch loại MSI:* số phần tử được tích hợp từ  $12 \div 100$
- *Vi mạch loại LSI:* số phần tử được tích hợp từ  $100 \div 1000$

- *Vi mạch loại VLSI*: số phần tử được tích hợp  $> 1000$

Trong các loại vi mạch này thì vi mạch đơn khối được sản xuất và sử dụng nhiều nhất do công nghệ chế tạo đơn giản, giá thành rẻ, thời gian chuyển mạch nhanh và số phần tử tích hợp khá cao.

## 7.2. CÁC PHƯƠNG PHÁP CHẾ TẠO MẠCH TÍCH HỢP BÁN DẪN

### 7.2.1. *Quá trình quang khắc.*

Trước tiên ta phải tạo một khuôn gọi là khuôn ánh sáng. Sau đó trên bề mặt tấm bán dẫn Si để ta tạo một lớp oxit silic  $\text{SiO}_2$  bằng phương pháp gia công nhiệt ở nhiệt độ  $1000^\circ\text{C}$  đến  $1200^\circ\text{C}$  trong hơi nước. Tiếp theo là phủ lớp cảm quang và sau đó đặt khuôn ánh sáng lên trên lớp cảm quang, rồi chiếu ánh sáng vào khuôn ánh sáng. Ánh sáng sẽ tác động lên lớp cảm quang theo đúng cấu hình của khuôn ánh sáng. Sau đó bỏ khuôn ánh sáng ra và tiến hành hiện hình và định hình. Tiếp theo là quá trình ăn mòn bằng các dung dịch hóa học những chỗ có ánh sáng chiếu vào. Sau đó ta loại bỏ lớp cảm quang và kết quả được tấm bán dẫn trên có phủ một lớp bảo vệ bằng  $\text{SiO}_2$  theo cấu hình yêu cầu.

Mỗi lớp phủ bảo vệ bằng  $\text{SiO}_2$  theo cấu hình yêu cầu được gọi là một mask (mặt nạ), mỗi lần tạo ra một mask phải được lặp lại đầy đủ các bước đã nêu ở trên, nên khi chế tạo vi mạch điện tử mà số mask càng giảm thì sẽ càng kinh tế.

### 7.2.2. *Quá trình plana.*

Đây là loại công nghệ cho phép gia công các phần tử của mạch điện tử trên bề mặt của một phiến đơn tinh thể bán dẫn silic. Công nghệ plana là công nghệ kết hợp hai quá trình quang khắc và khuếch tán. Sau khi tạo ra mask ta sẽ tiến hành khuếch tán tạp chất vào để bán dẫn theo cấu hình của mask. Khi chế tạo tranzito lưỡng cực thì số mặt nạ (mask) sẽ nhiều nhất. Các điôt, điện trở, tụ điện cũng được chế tạo đồng thời cùng với quá trình chế tạo tranzito.

Trình tự của quá trình plana như sau (xem hình 7-1):

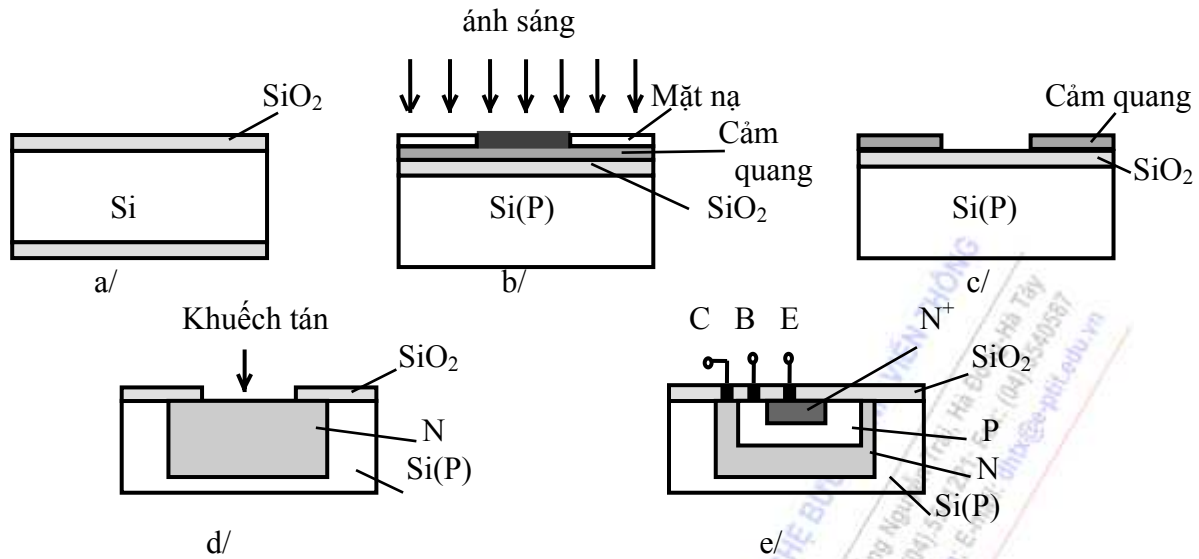
1. Gia công tấm bán dẫn silic tinh khiết:

Từ một chất silic tự nhiên qua công nghệ làm sạch để tạo ra một chất silic tinh khiết có độ sạch ít nhất đạt 99,99999%. Tấm silic được cưa cắt đúng kích thước và gia công bề mặt. Tấm bán dẫn này được dùng làm đế và thường có bề dày khoảng  $100\mu\text{m}$ .

2. Oxy hóa tấm bán dẫn đế: hình 7-1a

Qua quá trình oxy hóa tạo ra trên hai mặt của tấm silic hai lớp  $\text{SiO}_2$ . Bề dày lớp  $\text{SiO}_2$  có thể khống chế một cách chính xác nhờ thời gian oxy hóa, nồng độ oxy thổi vào lò và tốc độ di chuyển của tấm bán dẫn trong lò.

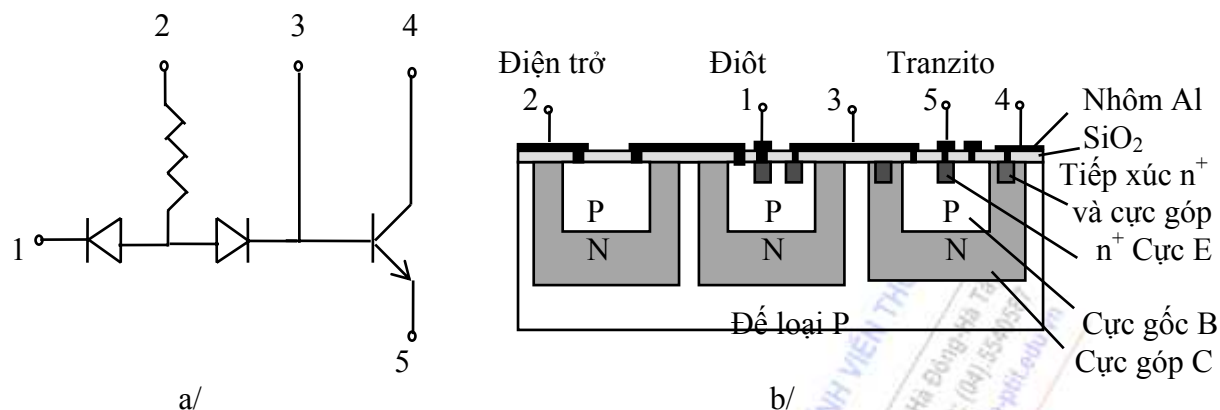




**Hình 7 - 1** : Trình tự của công nghệ Plana

3. Cho ăn mòn lớp SiO<sub>2</sub> ở phía dưới để tiến hành khuếch tán tạp chất vào (ví dụ loại P), vì để là bán dẫn tinh khiết.
4. Phủ lớp cảm quang: hình 7-1b,c  
Chất cảm quang là một hợp chất hóa học có đặc điểm là nó sẽ trở nên bền vững hoặc không bền vững trong một dung môi đã được xác định trước khi nó được chiếu sáng.
5. Quang khắc và ăn mòn chọn lọc lớp SiO<sub>2</sub> theo cấu hình của khuôn ánh sáng, ta sẽ thu được mặt nạ đầu tiên. Xem hình 7-1c. Tiếp tục cho ăn mòn bằng cách ngâm vào dung dịch axit flohydric HF, sau đó bỏ lớp cảm quang đi ta sẽ tạo ra được một lỗ thủng qua lớp SiO<sub>2</sub> đến tinh thể silic. Kích thước của lỗ thủng tùy thuộc vào mặt nạ.
6. Khuếch tán tạp chất loại N (nguyên tố nhóm 5 - tạp chất cho) vào để để tạo vùng collector khi chế tạo tranzito loại N-P-N. Xem hình 7-1d
7. Sau đó oxy hóa lần thứ hai để tạo lớp SiO<sub>2</sub>.
8. Phủ lớp cảm quang, che mặt nạ, chiếu sáng và cho ăn mòn ta thu được mặt nạ thứ hai.
9. Khuếch tán bán dẫn loại P (nguyên tố nhóm 3- tạp chất nhận) để tạo vùng bazơ
10. Oxy hóa tạo lớp SiO<sub>2</sub>.
11. Quang khắc và ăn mòn chọn lọc ta thu được mặt nạ thứ ba và tiến hành khuếch tán tạo vùng N<sup>+</sup> của Emitter.
12. Oxy hóa + quang khắc và ăn mòn ta có mặt nạ thứ tư để gắn các điện cực E,B,C. Xem hình 7-1e

### 7.2.3. Quy trình công nghệ epitaxi- plana.



**Hình 7 - 2 :** a- Một mạch điện gồm một điện trở, hai điốt và một tranzito.  
b- Mặt cắt của vi mạch thể hiện sơ đồ mạch (a).

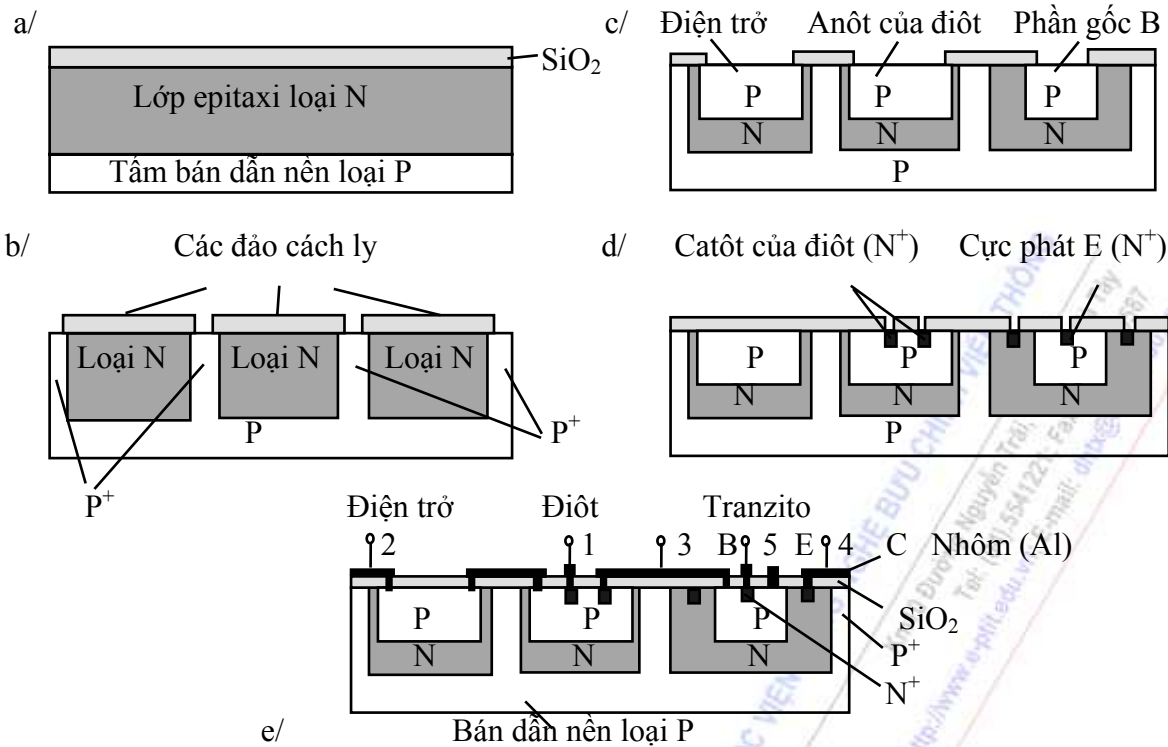
Công nghệ epitaxi- plana tương tự như công nghệ plana. Epitaxi là quá trình nuôi một lớp đơn tinh thể mỏng bên trên một đế tinh thể khác. Lớp đơn tinh thể mỏng này được gọi là lớp epitaxi.

Quá trình công nghệ epitaxi- plana được mô tả qua ví dụ một mạch tích hợp như ở hình 7-2a,b.

#### a. Nuôi lớp epitaxi:

Một lớp epitaxi loại N dày khoảng 25 micron ( $1 \text{ micron} = 10^4 \text{ Angstrom}$ ) được nuôi bên trên một lớp nền bán dẫn loại P. Lớp bán dẫn nền này có điện trở suất khoảng  $10 \Omega \cdot \text{cm}$ , tương đương  $N_A = 1,4 \cdot 10^{15} \text{ nguyên tử/cm}^3$ . Lớp epitaxi loại N có thể chọn điện trở suất từ 0,1 đến  $0,5 \Omega \cdot \text{cm}$ . Trên lớp epitaxi phủ một lớp cách điện SiO<sub>2</sub> mỏng khoảng 0,5 micron. Lớp SiO<sub>2</sub> được tạo nên nhờ quá trình oxy hóa trong lò nung nóng khoảng  $1000^\circ \text{C}$ . (Xem hình 7- 3a).

#### b. Khuếch tán cách ly:



**Hình 7 - 3 :** Quá trình công nghệ epitaxi - plana chế tạo vi mạch theo sơ đồ hình 7-2.

Trong hình 7 - 3b chỉ ra kết quả của quá trình khuếch tán cách ly. Bằng phương pháp quang khắc và ăn mòn lớp  $\text{SiO}_2$  ở 4 vị trí, để tạo ra ba vùng cách điện nhau. Các phần  $\text{SiO}_2$  còn lại là một mặt nạ để tiến hành khuếch tán tạp chất nhận vào. Các vùng N trong hình 7- 3b được gọi là các đảo cách ly vì chúng được phân chia bằng hai tiếp xúc P-N kiểu lưng- đối- lưng. Cần chú ý là nồng độ tạp chất nhận  $N_A$  khoảng  $5.10^{20}/\text{cm}^3$  trong vùng giữa các đảo cách ly và ta sẽ tạo được vùng  $P^+$  có nồng độ hạt dẫn cao hơn nhiều so với nền P để ngăn chặn vùng nghèo hạt dẫn của tiếp xúc phân cực ngược giữa nền và vùng cách ly.

### c. Khuếch tán phần gốc B và phần phát E:

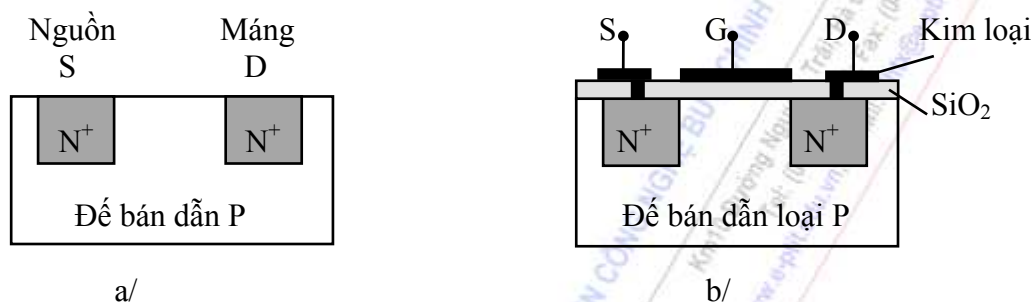
Tiếp theo là các quá trình của công nghệ plana để tạo ra phần bán dẫn P của điện trở, anôt của điôt và cực gốc của tranzito. Cần chú ý là phần bán dẫn P này có điện trở suất lớn hơn nhiều điện trở suất của các vùng cách ly. Để tạo ra phần bán dẫn  $N^+$  của phần phát của tranzito, catôt của điôt thì ta cho khuếch tán tạp chất loại N với nồng độ tạp chất cao.

### d. Quá trình kim loại hóa nhôm:

Các phần tử của sơ đồ mạch điện ở hình 7-2 đã được tích hợp, chúng hoàn toàn cách ly nhau. Bây giờ ta phải nối ghép chúng theo sơ đồ mạch điện yêu cầu. Lớp đầu nối giữa các linh kiện được thực hiện bằng việc lắng đọng trong chân không một màng mỏng kim loại nhôm lên trên cùng, sau đó sử dụng kỹ thuật quang khắc để loại bỏ các phần nhôm không cần nối giữa điện trở, điôt và tranzito. Cuối cùng là bước gắn các chân cực cho các phần tử của IC.

### 7.2.4. Phương pháp chế tạo vi mạch tích hợp tranzito trường.

Tranzito trường tích hợp loại MOS chỉ chiếm khoảng 5% diện tích bề mặt yêu cầu bởi một tranzito hai lớp epitaxi trong các mạch tích hợp thông thường. Chỉ cần một bước khuếch tán trong quy trình chế tạo tranzito trường loại MOS kênh cảm ứng. Trong bước này hai vùng bán dẫn loại N nồng độ cao được khuếch tán vào bán dẫn đế loại P có nồng độ tạp chất thấp để tạo cực nguồn và cực máng. Một lớp cách điện  $\text{SiO}_2$  được nuôi cấy, và các lỗ hở được khắc axit để gắn điện cực nguồn và cực máng. Kim loại cho các tiếp xúc này được bốc hơi đồng thời cùng với cực cửa để hoàn thành linh kiện là tốt nhất. Xem hình 7-4a,b.



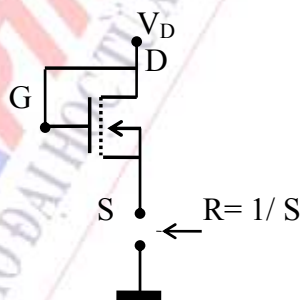
**Hình 7 - 4 :** FET - MOS kênh cảm ứng loại N.

a- Cực nguồn và cực máng được khuếch tán vào bán dẫn đế.

b- Linh kiện đã hoàn thiện.

Ngoài ra, trong các vi mạch, tranzito MOS là một điện trở có trị số xác định bằng điện áp đặt ngang qua kênh dẫn ( $R = 1/S$  có thể tới hàng trăm  $\text{K}\Omega$ ).

Công nghệ chế tạo FET cũng sử dụng hai công nghệ plana và epitaxi- plana.



**Hình 7 - 5:** Tranzito MOS như một điện trở

### 7.2.5. Phương pháp cách điện trong vi mạch.

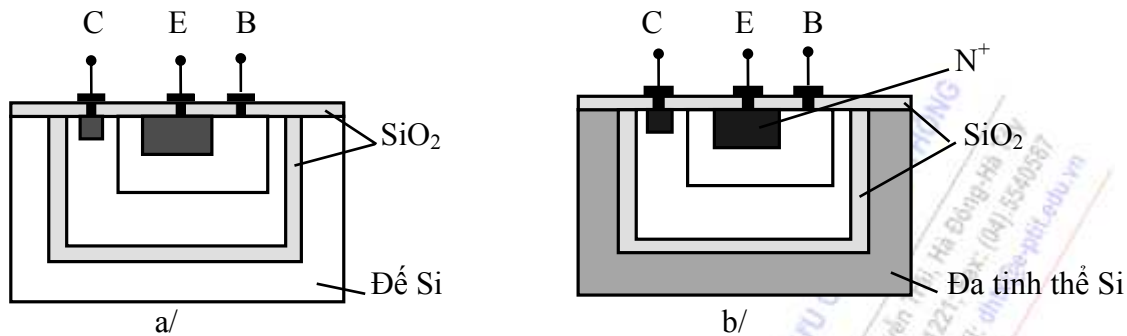
Trong các vi mạch tích hợp người ta thường dùng 2 phương pháp cách điện là cách điện bằng tiếp xúc P-N và cách điện bằng điện môi.

#### a. Cách điện bằng tiếp xúc P-N.

Tiếp xúc P-N khi được phân cực ngược thì điện trở của nó rất lớn. Do vậy, trong vi mạch điện tử người ta sử dụng tiếp xúc góp - để phân cực ngược để cách điện

**b. Cách điện bằng chất điện môi.**

Trong phương pháp này các phần tử sẽ cách điện với nhau bằng lớp điện môi, lớp điện môi này bao quanh phần góp ngăn cách phần góp với đế. Xem hình 7-6a.



**Hình 7 -6 :** Phương pháp cách điện bằng chất điện môi:

a- với đế là tinh thể Si; b- với đế là đa tinh thể Si.

Một phương pháp cách điện dễ dàng hơn là dùng đế là bán dẫn đa tinh thể vì quá trình nuôi cấy đa tinh thể không đòi hỏi chặt chẽ như khi nuôi cấy đơn tinh thể. Xem hình 7-6b.

**7.3. CÁC CẤU KIỆN ĐƯỢC TÍCH HỢP TRONG VI MẠCH****7.3.1. Điện trở.****a. Điện trở bán dẫn**

- Đây là điện trở đơn khối bán dẫn loại P hoặc loại N. Giá trị điện trở của khối bán dẫn được xác định bằng điện trở suất, độ dài và diện tích tiết diện của vùng vật liệu:

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (7.1)$$

Trong đó: L- độ dài của khối bán dẫn  
S- diện tích tiết diện của khối bán dẫn  
 $\rho$ - điện trở suất của chất bán dẫn

- Điện trở khuếch tán là các điện trở được cấy trên một đế bán dẫn. Điện trở khuếch tán được tính theo công thức (7.2):

Nếu điện trở khuếch tán pha tạp chất cho  $N_D$  thì điện trở được xác định:

$$R_{KT} = \frac{L}{q\mu_n N_D S} \quad (\Omega) \quad (7.2)$$

Trong đó : L- Độ dài của lớp điện trở khuếch tán  
S- Diện tích tiết diện của lớp điện trở.

Nếu điện trở khuếch tán được pha tạp chất nhận  $N_A$  thì ta chỉ việc thay các giá trị độ linh động của lỗ trống và nồng độ  $N_A$  vào công thức 7.2.

Trong các vi mạch tranzito trường, người ta sử dụng điện trở là tranzito trường với trị số phụ thuộc vào điện áp đặt lên cực cửa và cực máng.

**b. Điện trở màng mỏng.**



Điện trở màng mỏng được chế tạo bằng phương pháp bốc hơi và lắng đọng trong chân không ở nhiệt độ cao lên trên một đế là chất điện môi. Vật liệu dùng làm điện trở thường dùng là hợp kim Nicrôm. Điện trở chế tạo theo phương pháp này có độ chính xác rất cao (khoảng 1%). Đây là ưu điểm đặc biệt của linh kiện màng mỏng.

### 7.3.2. Tụ điện trong vi mạch.

Trong vi mạch tích hợp sử dụng ba loại tụ điện cơ bản sau:

- Tụ điện dùng điện dung của tiếp xúc P-N khi phân cực ngược
- Tụ điện dùng ba lớp Kim loại- Oxit- bán dẫn, gọi là tụ điện MOS
- Tụ điện màng mỏng

#### a. Tụ điện dùng tiếp xúc P-N.

Tụ điện dùng tiếp xúc P-N được chế tạo đồng thời cùng với quá trình chế tạo tranzito. Giá trị điện dung của loại tụ này khi điện áp đặt lên nhỏ được tính theo công thức 7.3:

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d} \quad (7.3)$$

Trong đó: S- diện tích mặt tiếp xúc  
d- bề dày lớp tiếp xúc

Tuy vậy, trong công nghệ chế tạo vi mạch người ta rất hạn chế chế tạo tụ điện vì nó chiếm diện tích lớn trên bề mặt đế silic.

#### b. Tụ điện MOS.

Tụ được hình thành từ ba lớp: Kim loại- Oxit ( $\text{SiO}_2$ ) - Bán dẫn có nồng độ tạp chất cao. Thông thường lớp điện môi  $\text{SiO}_2$  dày cỡ 0,08 đến 0,1  $\mu\text{m}$  cho trị số điện dung nhỏ nhưng điện áp đánh thủng lớn: Trị số điện dung khoảng từ 300 ÷ 650 pF/mm<sup>2</sup> với điện áp đánh thủng khoảng từ 7v đến 50v.

#### c. Tụ điện màng mỏng.

Tụ điện màng mỏng được chế tạo theo công nghệ màng mỏng. Tụ gồm hai má là kim loại và lớp điện môi mỏng ở giữa, tất cả được đặt lên một đế là chất điện môi. Bề dày của lớp điện môi khoảng từ 100 đến 200 Angstrom. Giá trị điện dung có thể tính theo công thức 7.3 với S là diện tích má tụ và d là bề dày của chất điện môi.

### 7.3.3. Cuộn cảm trong vi mạch.

Trong vi mạch bán dẫn các mạch thường được thiết kế không có cuộn cảm trừ trường hợp không thể bỏ qua được. Trong trường hợp bắt buộc phải có cuộn cảm thì dùng loại điôt đặc biệt gọi là điôt cảm ứng hoặc loại cuộn cảm màng mỏng.

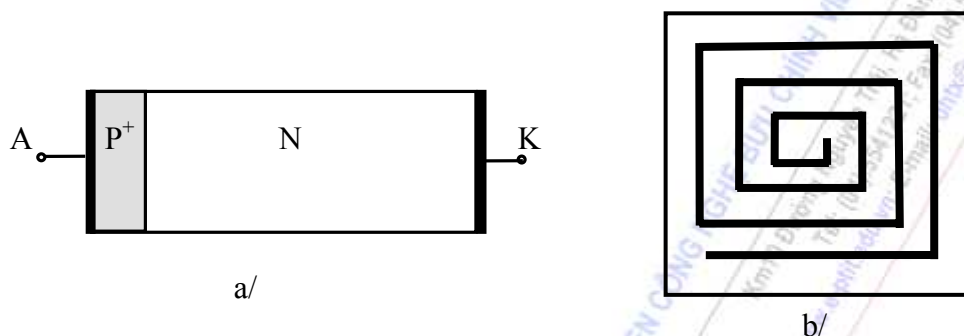
#### a. Cuộn cảm là điôt cảm ứng.

Loại điôt này cho điện cảm khoảng vài milihenry (mH). Điôt cảm ứng gồm có vùng bán dẫn P có nồng độ pha tạp lớn hơn, còn vùng bán dẫn N có nồng độ tạp chất rất nhỏ, gần như bán dẫn nguyên tính (xem hình 7-7a). Khi đặt lên điôt một điện áp thuận, các lỗ trống phun

vào bán dẫn N, một số ít bị tái hợp, số còn lại sẽ cần một khoảng thời gian để khuếch tán tiếp vào bán dẫn N. Như thế dòng điện thuận có xu hướng chậm pha so với điện áp. Do vậy, nó đã thực hiện chức năng của một cuộn cảm. Vùng bán dẫn N càng dài thì dòng hạt dẫn bay qua nó càng lâu và trị số điện cảm càng lớn.

### b. Cuộn cảm màng mỏng.

Cuộn cảm màng mỏng được chế tạo dưới dạng đường xoắn tròn hoặc xoắn vuông màng mỏng. Xem hình 7-7b. Cuộn cảm này có thể đạt giá trị cỡ 0,1mH khi hệ số phẩm chất  $Q = 10$ .



**Hình 7-7 :** a- Cuộn cảm dùng điốt cảm ứng.  
b- Cuộn cảm màng mỏng.

### 7.3.4. Tranzito trong vi mạch

Trong vi mạch tích hợp người ta dùng tất cả các loại tranzito thường sử dụng trong mạch rời. Hai loại thông dụng nhất là tranzito lưỡng cực và tranzito trường.

#### a. Tranzito lưỡng cực.

Trong vi mạch tích hợp người ta thường dùng tranzito loại N-P-N vì:

- Khi khuếch tán tạp chất loại N thì nó rất dễ hòa tan vào silic.
- Độ linh động của điện tử lớn gấp hai lần độ linh động của lỗ trống. Vì vậy thời gian tác động của vi mạch nhanh hơn.

#### b. Tranzito trường.

Trong vi mạch tích hợp thường dùng JFET và MOSFET kênh có sẵn trong kỹ thuật tương tự như tạo ra tầng khuếch đại vi sai, các tầng tải Emitơ... Còn MOSFET kênh cảm ứng thường được dùng trong kỹ thuật số.

Khi chỉ cần dùng MOSFET một loại kênh thì người ta thường dùng loại kênh P vì nó cho độ tin cậy cao hơn, tính chống nhiễu cao hơn và nó chỉ sử dụng logic âm.

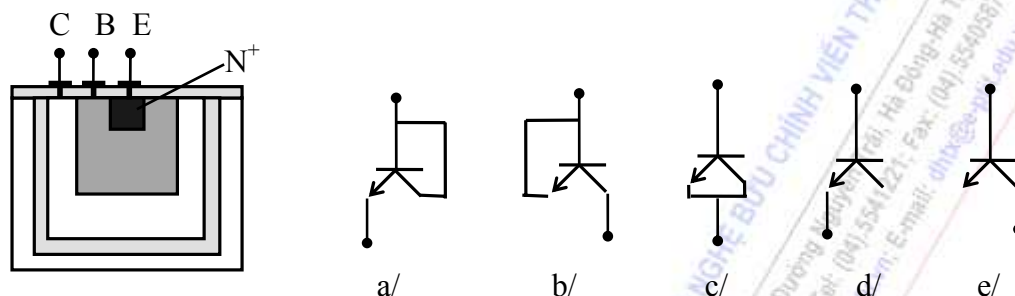
Khi yêu cầu dùng cả hai loại kênh P và kênh N, phải chế tạo chúng trên cùng một đế silic và được gọi là MOSFET kiểu bù và ký hiệu là CMOSFET.

### 7.3.5. Điốt trong vi mạch

Trong các mạch vi điện tử thường không chế tạo trực tiếp điốt mà thường chế tạo tranzito rồi sau đó nối tắt các chân cực để tạo ra điốt. Thông thường có hai cách nối tắt tranzito thành điốt sau đây.

#### a. Nối tắt tranzito thành điốt trong mạch cách điện bằng chất điện môi.

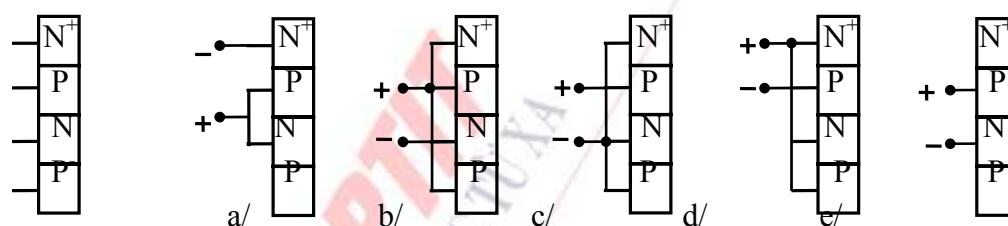
Có 5 cách nối tắt tranzito thành điốt, xem hình 7-8a,b,c,d,e. Mỗi cách nối sẽ cho một loại điốt với các tham số riêng của nó.



**Hình 7- 8 :** Các cách nối tranzito thành điốt trong mạch cách điện bằng điện môi

#### b. Nối tắt tranzito thành điốt trong mạch cách điện bằng tiếp xúc P-N.

Tranzito trong mạch vi điện tử cách điện bằng tiếp xúc P-N là cấu trúc 4 lớp bán dẫn nên có thể lấy bốn đầu ra: E,B,C và Đế. Và ta có 5 cách đấu nối tranzito thành điốt. Xem hình 7-9a,b,c,d,e.



**Hình 7-9 :** Các cách nối tranzito thành điốt trong mạch cách điện bằng tiếp xúc P-N

### 7.4. VI MẠCH TUYẾN TÍNH

#### 7.4.1. Giới thiệu chung và phân loại vi mạch tuyến tính

Vi mạch tuyến tính được hiểu là các tổ hợp vi mạch có các tín hiệu trên lối ra tỷ lệ với tín hiệu trên lối vào theo quy luật đường thẳng.

Các vi mạch tuyến tính thường đòi hỏi các phần tử mắc thêm ở mạch ngoài nhiều hơn so với các IC số để hoàn thành một chức năng nào đó. Điều này khiến cho các sơ đồ sử dụng vi mạch tuyến tính nhạy cảm với nhiễu bên ngoài hơn và bởi vậy khó sử dụng hơn.

Vi mạch tuyến tính thường được phân thành 2 loại chính là: tổ hợp vi mạch tranzito-điốt và vi mạch sử dụng chuyên dụng, và vi mạch khuếch đại thuật toán.

#### a. Tổ hợp vi mạch tranzito - điốt và vi mạch sử dụng chuyên dụng:

Gồm tổ hợp các điốt hay tranzito có những chỉ tiêu kỹ thuật giống nhau. Ví dụ: tổ hợp điốt CA3039, tổ hợp tranzito CA3813B, tổ hợp hỗn hợp tranzito điốt CA3093E - ta có thể sử dụng như các điốt và tranzito rời rạc.

Loại vi mạch này được sử dụng trong các bộ khuếch đại trung tần trong máy thu hình, thu thanh và các máy thu phát chuyên dụng khác, trong các bộ điều khiển của hệ thống điều khiển tự động, trong các bộ khuếch đại âm tần, các mạch ổn áp và mạch điều chỉnh công suất, loại vi mạch này có thể dùng làm một chức năng hoặc nhiều chức năng.

### b. Vi mạch khuếch đại thuật toán:

Mạch khuếch đại thuật toán là mạch khuếch đại tín hiệu điện để thực hiện các phép tính và thuật toán khác nhau trên các đại lượng tương tự, trong sơ đồ mạch có hồi tiếp âm sâu. Hiện nay các bộ khuếch đại thuật toán đóng vai trò quan trọng và được ứng dụng rộng rãi trong kỹ thuật khuếch đại, tạo tín hiệu hình sin và xung, trong bộ ổn áp và bộ lọc tích cực, v.v... Tuy nhiên, trong các bộ khuếch đại thông thường những tính chất và tham số hoàn toàn được xác định bởi sơ đồ mạch của nó, còn trong bộ khuếch đại thuật toán thì các tính chất và tham số của nó được xác định bởi các tham số của mạch hồi tiếp. Các bộ khuếch đại thuật toán được thực hiện theo sơ đồ khuếch đại dòng một chiều với giá trị thiên áp vào ra bằng không. Chúng cũng được đặc trưng bởi hệ số khuếch đại lớn, trở kháng vào cao và trở kháng ra thấp.

Một bộ khuếch đại thuật toán lý tưởng phải đạt được các tiêu chuẩn sau:

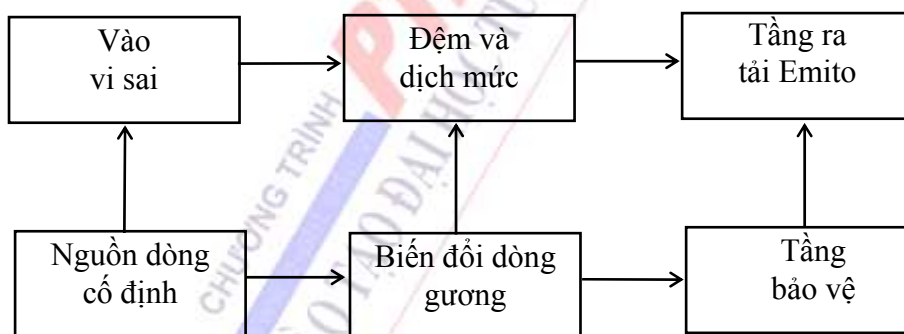
- Hệ số khuếch đại điện áp  $K_u \rightarrow \infty$
- Trở kháng vào  $Z_{vào} \rightarrow \infty$
- Trở kháng ra  $Z_{ra} \rightarrow 0$
- Dải tần số làm việc  $\Delta f \rightarrow \infty$

### 7.4.2. Cấu trúc bên trong của vi mạch khuếch đại thuật toán:

#### a. Cấu trúc của vi mạch khuếch đại thuật toán

- Sơ đồ khối của bộ khuếch đại thuật toán tích hợp:

Hình 7-12 trình bày sơ đồ khối của bộ khuếch đại thuật toán.



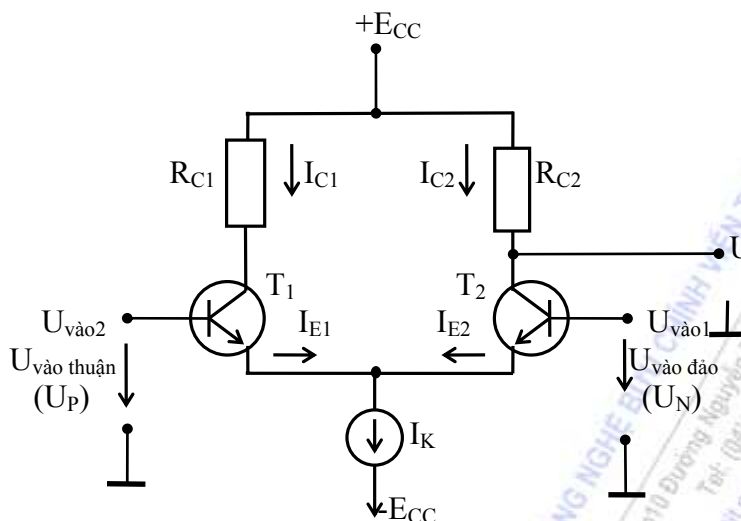
**Hình 7 -12 :** Sơ đồ khối của một bộ khuếch đại thuật toán

Bộ khuếch đại thuật toán bao gồm tầng vào khuếch đại vi sai để đảm bảo có hệ số khuếch đại cao, sau đó là mạch dịch mức và mạch ra cho phép nhận được tín hiệu ra cần thiết và trở kháng ra yêu cầu.

+ Tầng vào vi sai:

Cấu trúc điển hình của một tầng khuếch đại vi sai làm việc theo nguyên lý cầu cân bằng song song mô tả trong hình 7 -13: Hai nhánh cầu là  $R_{C1}$  và  $R_{C2}$ , còn hai nhánh kia là các tranzito  $T_1$  và  $T_2$  được chế tạo trong cùng một điều kiện sao cho  $R_{C1} = R_{C2}$  và hai tranzito  $T_1$ ,  $T_2$  có các tham số giống hệt nhau. Điện áp ra  $U_{ra}$  lấy trên một cực góp, còn  $I_K$  là nguồn dòng ổn

định có thể tạo ra từ một điện trở đầu với âm nguồn, hoặc tạo ra nhờ các tranzito đầu theo mạch nguồn dòng. Như vậy  $I_K = I_{E1} + I_{E2} = \text{const.}$



**Hình 7 - 13 :** Sơ đồ tầng vào khuếch đại vi sai.

Trong hình, tranzito  $T_2$  được mắc theo sơ đồ cực phát chung, do đó  $U_{vào1}$  sẽ là lỗi vào đảo của mạch khuếch đại thuật toán; còn tranzito  $T_1$  được mắc theo sơ đồ cực góp chung nên  $U_{vào2}$  sẽ là lỗi vào không đảo (hay lỗi vào thuận) của mạch khuếch đại thuật toán.

Hệ số khuếch đại điện áp của tầng vào vi sai:

$$K_U = \frac{U_{ra}}{U_{vào2} - U_{vào1}} \quad (7.4)$$

Hệ số  $K_U$  rất lớn, khoảng từ  $10^4$  đến  $10^5$ .

Công thức tính trở kháng vào:

$$Z_{vào} = \frac{U_{vào}}{I_{vào2} - I_{vào1}} \quad (7.5)$$

Do vậy, khi  $Z_{vào} = \infty$  thì  $I_{vào} = 0$ , và như vậy ta có  $I_{vào2} = I_{vào1}$

Để đảm bảo  $I_{vào2} = I_{vào1}$  thì  $I_{E1} = I_{E2} = I_K/2$  và  $I_K$  phải ổn định nên phải chọn hai tranzito  $T_1$  và  $T_2$  giống hệt nhau.

+ Nguồn dòng ổn định : Để  $I_K$  ổn định thường dùng một nguồn dòng ổn định.

+ Tầng ra mắc tải Emitơ (cực góp chung).

Bộ khuếch đại thuật toán yêu cầu có trở kháng ra  $Z_{ra}$  nhỏ, nghĩa là dòng điện ra là lớn nhất, nên tranzito ở tầng ra phải mắc theo sơ đồ cực góp chung. Như vậy, hệ số khuếch đại điện áp của tầng ra  $K_U \approx 1$ . Và điều này có nghĩa là hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại thuật toán chủ yếu ở tầng vào vi sai và ở các tầng trung gian.

+ Tầng đệm và dịch mức:

Từ đầu vào tới đầu ra, ngoài tầng vào vi sai cần có các tầng khuếch đại trung gian để khuếch đại công suất cho tầng ra. Số lượng các tầng khuếch đại trung gian này tùy thuộc vào hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại thuật toán.

+ Tầng bảo vệ:



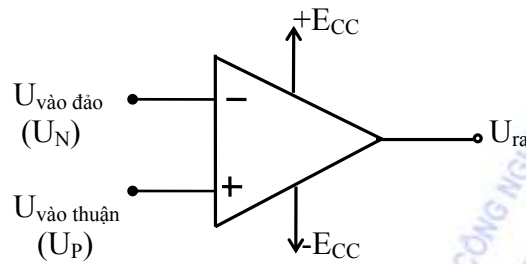
Khi bộ khuếch đại làm việc với dòng điện lớn ở tầng ra, sẽ dễ làm hỏng các tranzito, do đó phải dùng tầng bảo vệ để phân dòng cho tầng cuối.

+ Bộ biến đổi dòng gương:

Bộ biến đổi dòng gương dùng để biến đổi một nguồn dòng ổn định thành nhiều nguồn dòng ổn định nhằm cung cấp cho các tầng khác. Mạch này thường dùng ở các mạch có yêu cầu chất lượng cao.

+ Hai nguồn nuôi (gọi là nguồn lưỡng cực)  $\pm E_{CC}$ : Các IC khuếch đại thuật toán tiêu chuẩn làm việc với điện áp nguồn nuôi bằng  $\pm 15V$ .

**b. Ký hiệu của IC khuếch đại thuật toán trong sơ đồ mạch:** Xem hình 7-14.

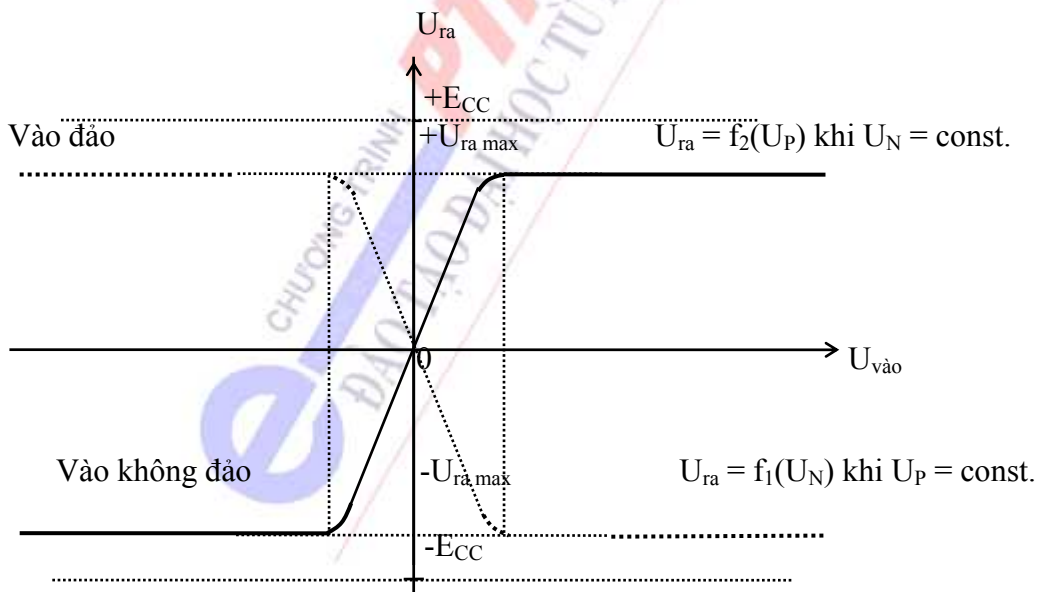


Hình 7 - 14 : Ký hiệu bộ khuếch đại thuật toán

**c. Các tham số và đặc tuyến của bộ khuếch đại thuật toán.**

1. Đặc tuyến truyền đạt điện áp:

Đặc tuyến truyền đạt điện áp là đặc tuyến quan trọng nhất của bộ khuếch đại thuật toán biểu thị mối quan hệ giữa điện áp ra và điện áp vào của mạch :  $U_{ra} = f(U_P, U_N)$



Hình 7 -15 : Đặc tuyến truyền đạt điện áp của bộ KĐTT.

Đặc tuyến truyền đạt điện áp được biểu diễn bằng hai đường ứng với các lối vào đảo và lối vào không đảo. Mỗi đường đặc tuyến gồm có các đoạn nằm ngang và một đoạn dốc. Xem hình (7 - 15).

- Đoạn nằm ngang tương ứng với chế độ tranzito ở tầng ra thông bão hòa hoặc ngắt dòng. Tại đây, khi thay đổi điện áp tín hiệu trên lối vào thì điện áp ra không đổi và được xác định bằng các giá trị  $\pm U_{ra\max}$  gọi là giá trị điện áp ra cực đại. Trong các IC khuếch đại thuật toán giá trị  $U_{ra\max}$  thấp hơn điện áp nguồn cung cấp  $E_{CC}$  khoảng từ 1vôn đến 3vôn.
- Đoạn dốc của đặc tuyến truyền đạt biểu thị sự phụ thuộc tỉ lệ của điện áp ra với điện áp vào. Đây là một đường thẳng với góc nghiêng xác định hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại thuật toán khi không có hồi tiếp ngoài.

Đường đặc tuyến lý tưởng sẽ đi qua gốc tọa độ, tức là khi  $U_{vào} = 0$  thì  $U_{ra} = 0$  và được gọi là trạng thái cân bằng của bộ khuếch đại thuật toán. Trên thực tế trạng thái cân bằng khó thực hiện hoàn toàn, có nghĩa là khi  $U_{vào} = 0$  thì  $U_{ra} \neq 0$ . Vì vậy, muốn cho điện áp ra bằng không, ta cần phải đặt tới lối vào bộ khuếch đại thuật toán một hiệu điện áp nào đó gọi là thiên áp không  $U_0$  (khoảng vài mV).

2. Hệ số khuếch đại điện áp vi sai được tính theo công thức:

$$K_U = \frac{\Delta U_{ra}}{\Delta U_{vào}} = 10^4 \div 10^5 \quad (7.6)$$

Giá trị của  $K_U$  lớn cho phép thực hiện hồi tiếp âm sâu nhằm cải thiện nhiều tính chất quan trọng của bộ khuếch đại thuật toán.

Trong giới hạn miền khuếch đại, điện áp ra tỷ lệ với điện áp vào theo công thức:

$$U_{ra} = K_U \cdot U_V = K_U (U_P - U_N) \quad (7.7)$$

Hệ số khuếch đại đồng pha: Nếu trên đầu vào thuận và đảo đặt cùng một điện áp  $U_{G1}$  đồng pha thì  $U_{vào} = 0$ , và như vậy điện áp  $U_{ra}$  cũng cần phải bằng không. Nhưng thực tế điều này không hoàn toàn đúng, tức là hệ số khuếch đại tín hiệu đồng pha  $K_{G1}$  không bằng 0.

$$K_{G1} = \frac{\Delta U_{ra}}{\Delta U_{G1}} \neq 0.$$

Đối với một bộ khuếch đại thuật toán tốt thì cần phải có  $K_U$  lớn và  $K_{G1}$  nhỏ.

Sự phụ thuộc vào nhiệt độ của các tham số của bộ khuếch đại thuật toán sẽ gây nên độ trôi thiên áp đầu vào và điện áp đầu ra theo nhiệt độ. Để cân bằng ban đầu cho bộ khuếch đại thuật toán, người ta đưa vào một trong các đầu vào của nó một điện áp phụ thích hợp hoặc một điện trở để điều chỉnh dòng thiên áp ở mạch vào.

### 3. Trở kháng ra:

Trở kháng ra là một trong các tham số quan trọng của bộ khuếch đại thuật toán nó có trị số nhỏ (khoảng từ vài chục  $\Omega$  đến vài trăm  $\Omega$ ).

### 4. Trở kháng vào của bộ khuếch đại thuật toán:

Trở kháng vào của bộ khuếch đại thuật toán thường được phân biệt trở kháng vào đối với tín hiệu vi sai và trở kháng vào đối với tín hiệu đồng pha.

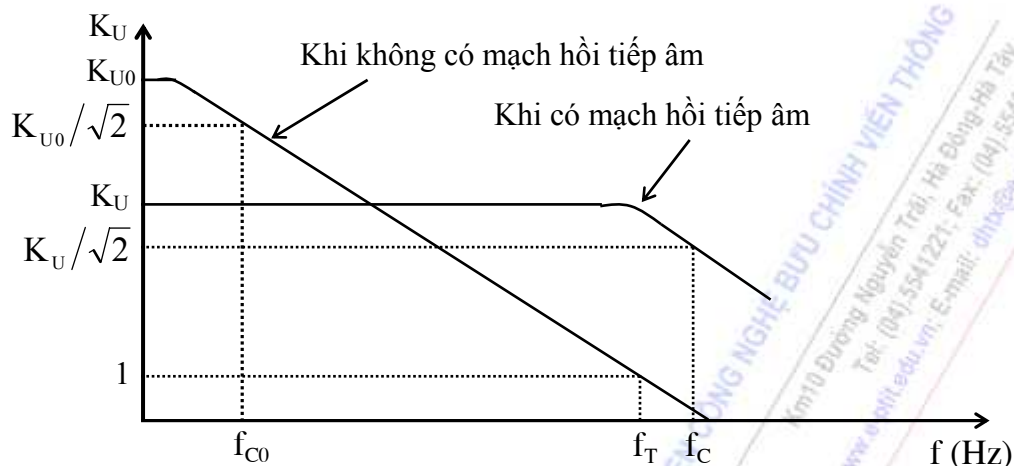
Đối với các bộ khuếch đại thuật toán dùng tranzito lưỡng cực ở lối vào, trở kháng vào đối với tín hiệu vi sai  $R_V$  vào khoảng vài  $M\Omega$ , còn trở kháng vào đối với tín hiệu đồng pha  $R_{G1}$

bằng vài  $G\Omega$ . Dòng vào ban đầu của các bộ khuếch đại thuật toán lưỡng cực tiêu chuẩn giới hạn từ 20 đến 200 nA, còn các bộ khuếch đại thuật toán dùng tranzito trường khoảng vài nA.

### 5. Đặc tuyến tần số :

Đặc tính tần số biểu thị sự phụ thuộc của hệ số khuếch đại vào dải tần số làm việc.

Hình 7 - 16 chỉ ra đặc tuyến biên độ tần số của bộ khuếch đại thuật toán  $K_U = \psi(f)$ .

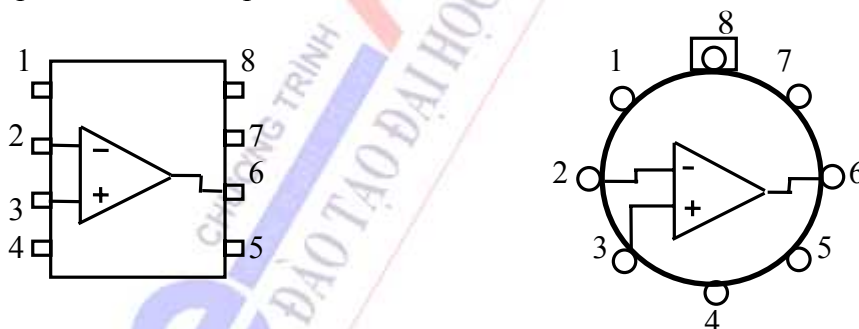


**Hình 7 - 16 :** Đặc tuyến biên độ tần số của bộ khuếch đại thuật toán

Qua đồ thị hình (7 -16) ta thấy hệ số khuếch đại điện áp  $K_U$  bị giảm xuống khi ở tần số cao. Bắt đầu từ tần số cắt  $f_C$  với độ dốc đều -20dB/decac của trục tần số.

Tần số  $f_T$  ứng với trường hợp khi hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại thuật toán bằng 1 nên gọi là tần số khuếch đại đơn vị.

Tần số cắt  $f_C$  (hay tần số biên) ứng với trường hợp khi hệ số khuếch đại điện áp bị giảm đi  $\sqrt{2}$  lần so với hệ số khuếch đại ở tần số thấp và được gọi là dải thông tần. Khi không có mạch hồi tiếp âm thì  $f_C$  rất thấp, cỡ vài chục Hz.



**Hình 7 - 17 :** Sơ đồ chân của bộ khuếch đại thuật toán 741

- |                              |                     |
|------------------------------|---------------------|
| 1. Điều chỉnh điện thế không | 2. Lối vào đảo      |
| 3. Lối vào thuận             | 4. Điện áp nguồn âm |
| 5. Điều chỉnh điện thế không | 6. Lối ra           |

Sơ đồ chân của bộ khuếch đại thuật toán loại 741 với các loại vỏ khác nhau được mô tả ở hình 7 -17.

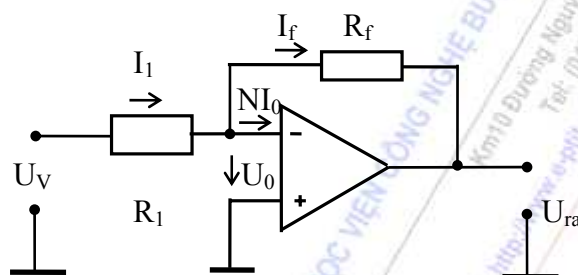
Nhằm tăng trở kháng vào lên tới hàng chục  $M\Omega$  người ta thường dùng tầng vào vi sai là các tranzito trường, và trở kháng ra nhỏ nhờ tầng ra đầu theo sơ đồ đaling- ton, ví dụ như bộ khuếch đại thuật toán kiểu LF356.

#### 6. Một số ứng dụng của bộ khuếch đại thuật toán

Một số mạch ứng dụng cơ bản dùng bộ khuếch đại thuật toán làm việc ở trong miền tuyến tính của đặc tuyến truyền đạt và có sử dụng hồi tiếp âm để điều khiển các tham số cơ bản của mạch.

##### + Bộ khuếch đại đảo.

Bộ khuếch đại đảo cho trên hình 7 - 18.



**Hình 7 - 18 :** Sơ đồ đầu bộ khuếch đại đảo của bộ khuếch đại thuật toán

Bộ khuếch đại đảo trong hình có hồi tiếp âm điện áp song song qua điện trở hồi tiếp  $R_f$ . Đầu vào không đảo nối với đất. Tín hiệu vào qua  $R_1$  đặt lên lối vào đảo. Nếu coi bộ khuếch đại thuật toán là lý tưởng thì điện trở vào vô cùng lớn và dòng điện vào vô cùng bé:

$$Z_{\text{vào}} \rightarrow \infty$$

$$I_0 \approx 0$$

Khi đó, tại nút N trong sơ đồ có phương trình nút dòng điện và ta có:

$$I_1 \approx I_f \quad (7.9)$$

Khi hệ số khuếch đại  $K \rightarrow \infty$  thì điện áp lối vào  $U_0 = \frac{U_{ra}}{K} \rightarrow 0$ , do đó:

$$\frac{U_v}{R_1} = -\frac{U_{ra}}{R_f} \quad (7.10)$$

Từ đây có hệ số khuếch đại điện áp của bộ khuếch đại đảo:

$$K_U = \frac{U_{ra}}{U_v} = -\frac{R_f}{R_1} \quad (7.11)$$

Dấu "-" trong biểu thức để biểu thị tín hiệu vào và ra ngược pha nhau.

##### + Bộ khuếch đại không đảo.

Sơ đồ bộ khuếch đại không đảo mô tả trong hình 7 -19.

Bộ khuếch đại không đảo gồm có mạch hồi tiếp âm điện áp đặt vào lối vào đảo, còn tín hiệu vào đặt tới lối vào không đảo của bộ khuếch đại thuật toán.

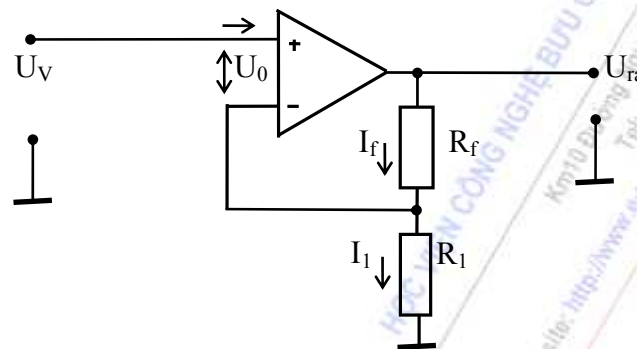
Vì điện áp giữa các đầu vào của bộ khuếch đại thuật toán  $U_0 = 0$  nên quan hệ giữa điện áp  $U_V$  và  $U_{ra}$  được xác định bằng công thức sau:

$$U_V = U_{ra} \frac{R_1}{R_1 + R_f} \quad (7 - 12)$$

Hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại không đảo là:

$$K_U = \frac{U_{ra}}{U_{vao}} = \frac{R_1 + R_f}{R_1} = 1 + \frac{R_f}{R_1} \quad (7.13)$$

Khi sử dụng bộ khuếch đại thuật toán để khuếch đại tín hiệu người ta thường dùng bộ khuếch đại đảo vì mạch ổn định hơn.



Hình7 - 19 : Bộ khuếch đại không đảo.

#### 7.4.3. Vi mạch ổn áp

Vi mạch ổn áp nhận ở lối vào một điện áp không ổn định và tạo ra ở lối ra một điện áp ổn định. Vi mạch ổn áp gồm có 2 loại là vi mạch cho điện áp ra ổn định cố định và vi mạch ổn áp cho điện áp ra ổn định có thể điều chỉnh được.

- Vi mạch ổn áp điện áp ra ổn định cố định thường có 2 họ thông dụng:

Họ 78XX ổn định điện áp dương; Họ 79XX ổn định điện áp âm. Ví dụ:

7805: điện áp ra cố định + 5V,      7905 có điện áp ra cố định - 5V

7812: điện áp ra cố định + 12V,      7909 có điện áp ra cố định - 9V

7809: điện áp ra cố định + 9V,      7912 có điện áp ra cố định - 12V

- Vi mạch ổn áp có điện áp ra ổn định có thể điều chỉnh được như:

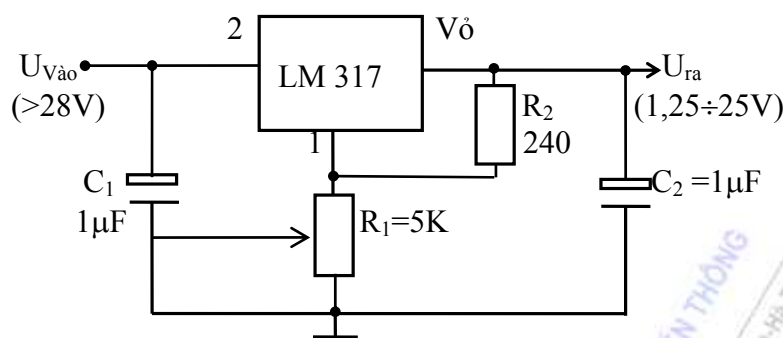
LM317: điện áp ra điều chỉnh từ 1,2V đến 37V

LM337T: điện áp ra điều chỉnh từ - 1,2V đến - 37V

A723C: điện áp ra điều chỉnh từ 2V đến 37V

Ví dụ: Bộ ổn áp từ 1,25vôn đến 25vôn: Vi mạch LM 317 có thể cung cấp cho đầu ra một dòng điện đến 15A trong dải điện áp từ 1,2vôn đến 37vôn. Vi mạch LM có chân số 1 là đầu vào, chân số 2 là chân điều chỉnh và vỏ là chân thứ 3 và là đầu ra. Trong hình 7 -20, điện áp vào cần phải lọc trước khi đưa vào LM 317. Có thể bỏ tụ  $C_1$  nếu điện áp vào được cung cấp từ một nguồn đặt rất gần LM 317. Điện trở  $R_1$  dùng để điều chỉnh điện áp ra.





Hình 7 - 20 : Vi mạch ổn áp loại LM 317

## 7.5. VI MẠCH SỐ

### 7.5.1. Giới thiệu và phân loại vi mạch số

#### a. Giới thiệu.

Vi mạch số gồm các mạch logic cơ bản để thực hiện các thuật toán logic và các hàm logic khác nhau.

Các vi mạch số là các thiết bị 2 trạng thái, một trạng thái gần với 0 vôn hoặc đất (gọi là mức thấp hoặc ký hiệu là L), và trạng thái kia gần với điện áp cung cấp cho mạch (gọi là mức cao hoặc ký hiệu là H). Các mạch tích hợp số có thể xử lý các bit nhị phân riêng lẻ hoặc các từ nhiều bit nhị phân.

Hầu hết các vi mạch số được sử dụng hiện nay là các vi mạch số chế tạo trên cơ sở các tranzito lưỡng cực và tranzito trường. Mỗi một vi mạch số hầu như đều có thể thực hiện được một chức năng hoàn chỉnh, nên chúng cần rất ít linh kiện mắc thêm ở bên ngoài.

Các tham số cơ bản của vi mạch số:

- Mức logic: mức logic 0 và mức logic 1

Các mức logic này là các trị số điện áp tương ứng với mức logic thấp và mức logic cao, tùy từng loại mà nó có trị số điện áp khác nhau

- Nguồn nuôi: nguồn cung cấp phải đảm bảo độ ổn định cao.
- Khả năng ghép tải: biểu thị khả năng ghép được bao nhiêu lối vào của cổng logic tới một lối ra của một cổng cho trước.
- Tốc độ chuyển mạch hay còn gọi là độ tác động nhanh của vi mạch:

Loại cực nhanh	$t_{tb} \leq 5 \text{ nsec}$
Loại nhanh	$t_{tb} = 5 \div 10 \text{ nsec}$
Loại trung bình	$t_{tb} = 10 \div 100 \text{ nsec}$
Loại chậm	$t_{tb} > 100 \text{ nsec}$

- Công suất tiêu thụ: công suất tiêu thụ của vi mạch số phụ thuộc vào tín hiệu đặt lên nó.
- Dải nhiệt độ làm việc: mỗi hãng sản xuất có một chỉ tiêu nhiệt độ khác nhau.

#### b. Phân loại

Các vi mạch hàm logic cơ bản trên tranzito lưỡng cực và tranzito trường gồm các loại: Tranzito logic với liên kết trực tiếp (TL); Điện trở - tranzito logic (RTL); Điốt - tranzito logic (DTL); Tranzito - tranzito logic (TTL); Logic MOS; Logic CMOS (complementary MOS).

Hai họ vi mạch số quan trọng nhất và được sử dụng nhiều nhất là họ TTL/LS và họ CMOS. Họ TTL là các vi mạch trong đó tích hợp các tranzito lưỡng cực với một tranzito nhiều tiếp xúc gốc- phát. Mỗi một tiếp xúc BE là một lối vào. Còn họ CMOS trong đó tích hợp các tranzito trường MOS kênh cảm ứng loại P và N đấu bù nhau.

Họ TTL có tốc độ chuyển mạch cao ( $t_{tb} = 6 \div 15$  nsec), công suất tiêu thụ thấp ( $45 \div 15$   $\mu$ W) và khả năng chịu tải lớn (hệ số tải  $n > 10$ )

Dòng vào của MOS rất nhỏ vì thế điện trở lối vào của tranzito MOS rất lớn cho phép chế tạo vi mạch có khả năng chịu tải cao ( $n = 10 \div 20$ ), có độ chống nhiễu cao và công suất tiêu thụ rất nhỏ.

## 7.6. VI MẠCH NHỚ

### 7.6.1. Giới thiệu và phân loại bộ nhớ.

**a. Định nghĩa:** Bộ nhớ là cấu kiện có khả năng lưu trữ dữ liệu và các chương trình điều khiển dưới dạng số nhị phân (0;1). Khả năng nhớ dữ liệu có thể lâu dài (bộ nhớ cố định) nhưng cũng có thể tạm thời (bộ nhớ tạm thời).

Phần tử nhỏ nhất để nhớ được 1 bit nhị phân gọi là *tế bào nhớ* (memory ceel).

Tin tức trữ trong bộ nhớ gồm một số bit gọi là *Từ nhớ*. Từ nhớ có độ dài 8 bit gọi là *1 byte*; độ dài 16bit gọi là *1 từ nửa lời*; độ dài 32 bit gọi là *Từ một lời*.

Quá trình đưa dữ liệu vào bộ nhớ gọi là “*viết*”; quá trình lấy dữ liệu ra gọi là “*đọc*”. Thao tác Viết và Đọc được tiến hành từng Từ có độ dài tùy vào từng loại máy theo một chu kỳ khép kín gọi là Chu kỳ viết hoặc Chu kỳ đọc.

Thời gian truy cập bộ nhớ là khoảng thời gian kể từ lúc bắt đầu chu kỳ viết hoặc đọc đến khi dữ liệu được ghi vào tế bào nhớ hoặc xuất hiện trên đầu ra.

Bộ nhớ chỉ viết một lần gọi là *bộ nhớ chỉ đọc*. Bộ nhớ có thể viết đi viết lại nhiều lần gọi là *bộ nhớ viết và đọc*.

### b. Phân loại bộ nhớ

Tùy theo vật liệu, cấu trúc, công nghệ mà bộ nhớ được chia làm nhiều loại. Dựa vào vật liệu chế tạo ta có bộ nhớ bán dẫn và bộ nhớ từ.

Bộ nhớ bán dẫn rất thông dụng hiện nay vì có thời gian truy cập nhỏ, hay nói cách khác là tốc độ đọc-viết cao.

Bộ nhớ từ có tốc độ truy cập thấp nhưng khả năng trữ dữ liệu lớn, không tiêu thụ năng lượng trong quá trình trữ tin.

### 7.6.2. Các tham số chính của bộ nhớ.

- *Dung lượng bộ nhớ (C)*: biểu thị khả năng trữ tin của bộ nhớ tính bằng bits, bytes, Kbytes, Mbytes, hoặc theo số Từ, KTừ trên một chip nhớ. Dung lượng bộ nhớ liên quan đến số lối vào địa chỉ. Dung lượng bộ nhớ được tính theo công thức:

$$C = 2^{\text{lũy thừa}} \text{ của } N, \text{ trong đó } N - \text{số bit của lối vào địa chỉ}$$

Ví dụ: Bộ nhớ có dung lượng  $64 \times 4$ bit nghĩa là bộ nhớ chứa 64 Từ 4 bit.

Bộ nhớ  $2K \times 8$ bit nghĩa là bộ nhớ chứa 2Kbyte.

- *Thời gian truy cập ( $t_a$ )*: Đặc trưng cho tốc độ hoạt động của bộ nhớ tính theo đơn vị ns. Thông thường  $t_a$  có trị số từ vài chục đến 1000ns tùy loại bộ nhớ.

- *Công suất tiêu thụ ( $P_o$ )*: Đặc trưng mức tiêu thụ công suất của bộ nhớ tính theo  $\mu$ w/bit. Tham số này chỉ có đối với bộ nhớ bán dẫn.

- *Giá thành*: tính theo đơn vị tiền/bit.
- *Điện thế nguồn nuôi ( $E_{CC}$  hoặc  $V_{DD}$ )*: họ TTL có  $E_{CC} = +5V$ ; họ CMOS có  $V_{DD} = 3V$  đến  $15V$ .

### 7.6.3. Vi mạch nhớ.

#### a. Định nghĩa

Vi mạch nhớ là các bộ nhớ bán dẫn, trong đó các tế bào nhớ được tạo ra từ các linh kiện bán dẫn hoặc mạch có khả năng tích trữ điện tích.

#### b. Phân loại vi mạch nhớ.

- *Phân loại theo công nghệ chế tạo*: vi mạch nhớ chia làm 2 loại là bộ nhớ lưỡng cực và bộ nhớ MOS/CMOS.

+ Bộ nhớ lưỡng cực: các tế bào nhớ được tạo thành từ các tranzito lưỡng cực.

+ Bộ nhớ MOS/CMOS: các tế bào nhớ được tạo thành từ các tranzito trường MOS.

- *Phân loại theo đặc thù lưu trữ dữ liệu*: vi mạch nhớ chia làm 2 loại chính là bộ nhớ cố định- ROM và bộ nhớ tạm thời- RAM.

+ ROM (Read Only Memory) là bộ nhớ chỉ đọc, nghĩa là chỉ có thể lấy dữ liệu ra. Ở đây các dữ liệu được lưu trữ vĩnh viễn ở mỗi tế bào nhớ, nên khi mất nguồn điện cũng không mất dữ liệu. Việc ghi dữ liệu vào do nhà sản xuất thực hiện.

Ngoài ra, bộ nhớ cố định còn có PROM, EPROM và EAPROM. PROM giống như ROM, dữ liệu chỉ được ghi vào một lần nhưng do người sử dụng thực hiện. EPROM là bộ nhớ có thể xóa đi và viết lại. Muốn xóa ta dùng tia cực tím. EAPROM là bộ nhớ cố định có thể xóa và viết lại. Việc xóa được thực hiện nhờ dòng điện.

+ RAM (Random Access Memory)- bộ nhớ tạm thời, là bộ nhớ đọc/viết. Mỗi tế bào nhớ là một Flip-Flop nên khi mất nguồn điện cung cấp thì tin tức trong RAM bị xóa ngay. RAM có 2 loại là RAM tĩnh (SRAM) và RAM động (DRAM).

SRAM: Tế bào nhớ là Flip-Flop (tranzito lưỡng cực hoặc tranzito MOS). Dữ liệu được ghi vào SRAM sẽ được duy trì trong nó chừng nào còn nguồn cung cấp cho chip.

DRAM: Dùng điện tích nạp vào linh kiện MOS để nhớ 1 bit tin trong tế bào nhớ. Vì điện tích nạp vào không duy trì được lâu nên định kỳ phải nạp lại điện tích gọi là “làm tươi” bộ nhớ (refresh).

Cả hai loại SRAM và DRAM đều thuộc loại bộ nhớ xóa ngay khi mất nguồn điện cung cấp.

#### d. Cấu trúc và hoạt động của RAM:

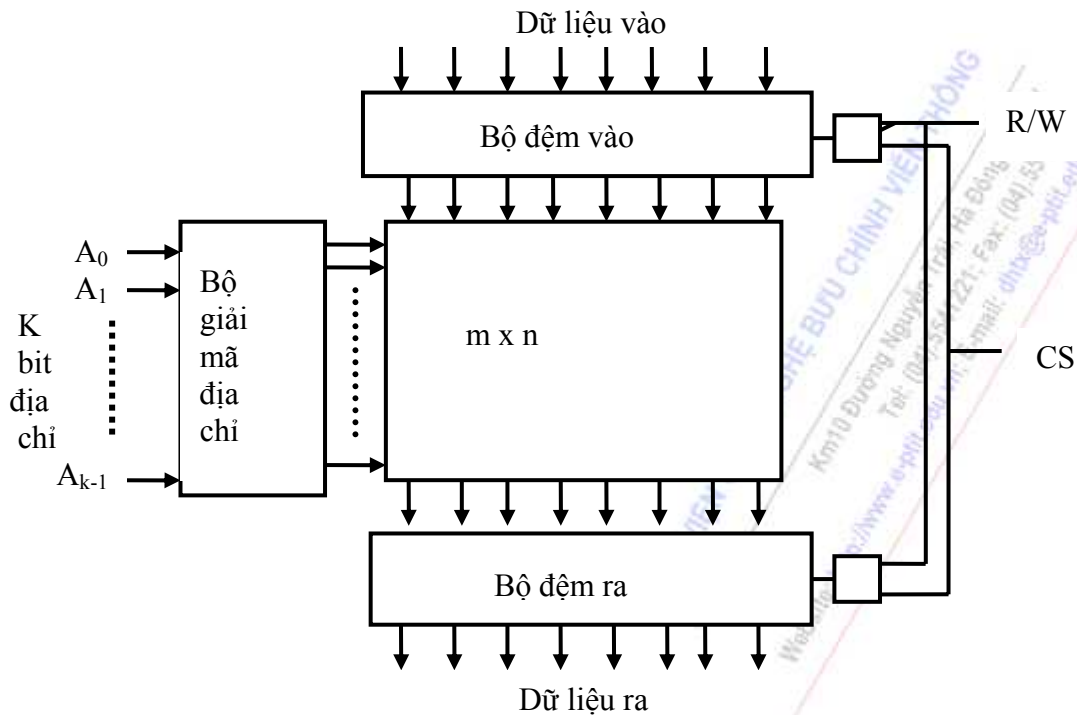
- *Cấu trúc của RAM*: các tế bào nhớ được bố trí dưới dạng ghép ma trận  $m \times n$  ( $m$  hàng và  $n$  cột) và có bộ giải mã địa chỉ để xác định vị trí ô nhớ. Xem hình 7-21. Bộ giải mã địa chỉ có  $K$  bit, do vậy sẽ có 2 lũy thừa  $k$  địa chỉ hay dung lượng bộ nhớ là 2 lũy thừa  $k$ . Các dữ liệu vào và ra được đưa qua các bộ đệm vào/ ra để điều khiển việc viết và đọc của bộ nhớ thông qua chân điều khiển R/W; chân CS là chân chọn chip.

- *Nguyên lý hoạt động*: Khi CPU đưa tới một tổ hợp địa chỉ, bộ giải mã địa chỉ xác định vị trí của Từ nhớ, sau đó chờ tác động của các lối vào R/W và CS, bộ nhớ sẽ thực hiện chức năng đọc hoặc viết.

+ Đọc: đặt  $R/W = 1$  và  $CS = 1$ : Bộ đệm vào được khóa lại, bộ đệm ra được mở. Nhờ vậy dữ liệu ở địa chỉ đã chọn sẽ đi qua bộ đệm ra để ra BUS dữ liệu.

+ Viết: đặt  $R/W = 0$  và  $CS = 1$ : Bộ đệm vào mở, bộ đệm ra bị khóa. Các dữ liệu vào từ BUS dữ liệu sẽ đi qua bộ đệm vào để đến vị trí ô nhớ đã được xác định.

Các bộ đệm thường là các cổng logic 3 trạng thái. Khi không có tác động đọc hoặc viết, nhờ logic ở lối vào CS các bộ đệm đều ở trạng thái trở kháng cao (Zcao). Các lối vào CS còn giúp ta ghép nhiều chip nhớ với nhau để tăng dung lượng nhớ.

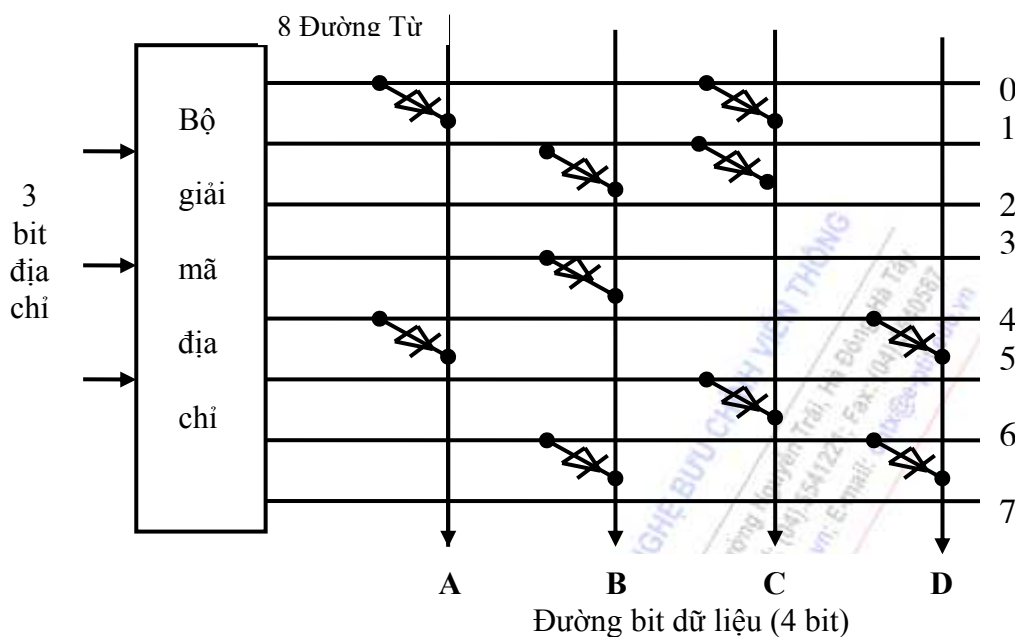


Hình 7 – 21: Cấu trúc của RAM

#### d. Cấu trúc của ROM bán dẫn

- ROM là bộ nhớ chứa sẵn dữ liệu, khi cần ta chỉ đọc mà không viết ngay vào được. Trong ROM bán dẫn mỗi tế bào nhớ có thể sử dụng điốt hoặc tranzito để trữ dữ liệu. Thời gian truy cập của bộ nhớ lưỡng cực khoảng  $50\text{ns} \div 90\text{ns}$ , còn đối với MOSFET thì chậm hơn 10 lần.

Ví dụ: Ta có cấu trúc của ROM dùng điốt: trên giao điểm của đường Từ (hàng) và đường Bit (cột) nếu có điốt thì tương ứng là bit 1, nếu không có điốt thì tương ứng là bit 0. Xem hình 7-22.



**Hình 7 – 22:** Cấu trúc của ROM 8TỪ x 4bit dùng điốt

- PROM: là bộ nhớ ROM chỉ viết một lần do người sử dụng thực hiện. Trong PROM tất cả các giao điểm giữa đường Từ và đường Bit người ta đều nối tiếp một điốt với một cầu chì. Khi viết dữ liệu vào bộ nhớ người ta chỉ cần phóng vào bộ nhớ một dòng điện đủ lớn để làm đứt cầu chì tại giao điểm đã chọn và như vậy giao điểm này được viết bit 0. Còn các giao điểm nào không bị đứt cầu chì sẽ là bit 1. Su khi viết xong không thay đổi được nữa.

## 7.7. NHỮNG ĐIỂM CẦN CHÚ Ý KHI SỬ DỤNG VI MẠCH TÍCH HỢP.

Các vi mạch được sử dụng rất rộng rãi trong kỹ thuật tương tự (vi mạch tuyến tính) và kỹ thuật số (vi mạch số). Khi sử dụng vi mạch tích hợp cần lưu ý một số điểm chính sau:

- Phải đọc được ký hiệu của vi mạch: Trên thân vi mạch thường ghi tên hãng sản xuất, ký hiệu chức năng của vi mạch, ký hiệu sản phẩm có là thương phẩm, ngày tháng năm sản xuất.
- Biết tra cứu vi mạch trong sổ tra cứu để biết chức năng IC và chức năng các chân của IC.
- Chú ý chân nguồn cung cấp cho IC làm việc.
- Khi đấu vào mạch phải đấu chân nguồn cung cấp trước, sau mới cho tín hiệu vào mạch.
- Nguồn cung cấp phải có độ ổn định cao.
- Hàn nối IC vào mạch phải chú ý dùng mỏ hàn nhọn, có công suất thấp khoảng 30w đến 60w, tránh làm nóng IC.

**Đặc biệt đối với các IC số cần chú ý một số điểm sau:**

Các vi mạch số thường gặp là các họ vi mạch TTL, CMOS, MOS, v.v.. đây là các IC thực hiện một chức năng hoàn chỉnh như cổng, hệ đếm, giải mã, ghi dịch, hệ nhớ, hệ vi xử lý.

- Khi chọn một vi mạch cần quan tâm tới các tham số sau: công suất tiêu thụ, khả năng chịu tải, thời gian chuyển mạch, khả năng chống nhiễu, điện áp nguồn nuôi, mức logic...



- Xung nhịp: tốc độ chuyển mạch của vi mạch số cần đủ lớn. Để mạch điện làm việc ổn định thì xung nhịp cần có độ dốc sườn 400 ns, nếu không đạt tiêu chuẩn này cần tạo lại dạng xung nhịp.
- Bất kỳ ở chế độ làm việc nào, điện áp tại lối vào của vi mạch không được cao hơn điện áp của chân nguồn ( $V_{CC}$  hoặc  $V_{DD}$ ) và không thấp hơn đất

*Đối với vi mạch loại TTL/LS cần lưu ý:*

- Điện áp cung cấp  $V_{CC}$  không vượt qua 5,25vôn.
- Các đầu vào không dùng đến của họ TTL/LS được coi như ở trạng thái cao (H)... Nhưng nếu một đầu vào nào được giả thiết là cố định ở mức cao thì phải nối tới  $V_{CC}$ .
- Đặt các đầu ra của cổng không dùng đến ở mức cao để tiết kiệm điện.
- Dùng ít nhất một tụ khử ghép đối với mỗi nhóm từ 5 đến 10 cổng, từ 2 đến 5 bộ đếm và thanh ghi...
- Tránh sử dụng các dây dẫn dài trong mạch. Nếu dây dẫn dài quá 25 cm phải dùng dây bọc kim hoặc cáp đồng trục.

*Đối với vi mạch MOS và CMOS:*

- Điện áp đầu vào không vượt quá  $V_{DD}$  (trừ hai IC 4049 và 4050).
- Điện áp cung cấp  $V_{DD}$  nằm trong khoảng  $(+3V \div +15V) \pm 5\%$
- Tất cả các đầu vào không dùng đến phải nối với  $V_{DD}$  hoặc đất.
- Phải chú ý tránh hiện tượng tích điện tĩnh trên lối vào của vi mạch CMOS và MOS bằng cách: Không nên cất vi mạch CMOS trong các hộp không có tính dẫn điện; nên đặt các chân IC xuống các khay nhôm khi chưa đấu chúng vào mạch; mở hàn nên dùng nguồn acqui, không dùng mỏ hàn điện xoay chiều.

*Khi lắp ráp các vi mạch số ta cần lưu ý: Lắp đặt vi mạch số: có hai cách:*

+ Lắp IC trên đế cắm: ưu điểm là IC không bị nóng nhưng dễ gây hiệu ứng tiếp xúc kém ở đế cắm vì IC có nhiều chân, làm giảm độ tin cậy của mạch.

+ Hàn trực tiếp IC vào mạch: ưu điểm của phương pháp này là đảm bảo tiếp xúc tốt song dễ làm nóng IC trong quá trình hàn, do đó sẽ làm thay đổi các tham số của IC.

Các IC số thường có vỏ là thanh nhựa đẹp và có 14, 16 hoặc 24 chân. Khi vẽ mạch in phải chú ý đến vị trí tương đối giữa mạch dẫn nguồn với dây chung và phải chú ý tụ lọc giữa nguồn và dây chung. Điện dung của các tụ này tùy thuộc vào từng họ IC.

Khi hàn chân vi mạch vào mạch in nên hàn chân nối nguồn trước sau mới hàn các chân tiếp theo.

Khi ngắt mạch, phải ngắt tín hiệu vào, sau đó cắt nguồn và nghiêm cấm việc đưa tín hiệu vào trước khi nối nguồn cung cấp.

Khi nối ghép các vi mạch khác loại với nhau phải chú ý điện áp nguồn cung cấp, các mức logic, và nên sử dụng các mạch đệm để bảo đảm việc nối ghép tốt nhất.

## TÓM TẮT NỘI DUNG

Vi mạch tích hợp là một chip bán dẫn, trong đó tích hợp các cấu kiện điện tử bán dẫn trên một dây chuyền công nghệ được tự động hóa từ khâu thiết kế mạch đến khi cho ra một cấu kiện. Mỗi vi mạch có một hoặc một số chức năng nhất định.

Có nhiều cách phân loại vi mạch, trong đó thông thường người ta dựa vào 4 tiêu chí để phân loại:

- Dựa vào khả năng xử lý dữ liệu vi mạch chia làm 2 loại là vi mạch tuyến tính và vi mạch số.
- Dựa vào công nghệ chế tạo vi mạch chia làm 4 loại: vi mạch bán dẫn, vi mạch màng mỏng, vi mạch màng dày và vi mạch lai.
- Dựa vào loại tranzito được tích hợp vi mạch chia làm 2 loại: vi mạch lưỡng cực và vi mạch MOS/CMOS.
- Dựa vào số lượng phần tử được tích hợp vi mạch được chia làm 4 loại: SSI, MSI, LSI và VLSI.

Công nghệ chế tạo vi mạch rất phức tạp. Hiện nay công nghệ này gồm một số quá trình sau: quá trình quang khắc, quá trình plana, quá trình epitaxi-plana.

- o Quá trình quang khắc: là quá trình tạo ra trên tấm bán dẫn các lớp phủ bảo vệ theo các cấu hình cần thiết bằng phương pháp quang hóa.

- o Quá trình plana là công nghệ chế tạo các phần tử của mạch điện trên bề mặt của phiến đơn tinh thể bán dẫn silic. Quá trình plana là công nghệ kết hợp quá trình quang khắc và quá trình khuếch tán để tạo ra các cấu kiện điện tử như điện trở, tụ điện, điốt, tranzito...

- o Công nghệ epitaxi-plana là quá trình nuôi cấy một lớp đơn tinh thể mỏng gọi là lớp epitaxi bên trên một đế tinh thể bán dẫn khác. Sau đó là quá trình plana để tạo ra các cấu kiện điện tử trên bề mặt của lớp epitaxi trên.

Việc chế tạo các cấu kiện điện tử trong vi mạch được thực hiện từ cấu trúc cơ bản của tranzito như điốt, tranzito; còn điện trở và tụ điện thì có thể tạo ra từ các lớp tiếp xúc P-N hoặc một số công nghệ khác được trình bày trong chương 7 này.

Về ứng dụng, trong chương này đưa ra hai lĩnh vực sử dụng IC cơ bản là vi mạch tuyến tính và vi mạch số. Vi mạch tuyến tính là các vi mạch xử lý các dữ liệu xảy ra liên tục theo thời gian. Ở các cấu kiện này, quan hệ vào/ra là quan hệ đường thẳng. Vi mạch tuyến tính quan trọng là IC khuếch đại thuật toán (OA). Đây là một loại IC vạn năng, nó có thể thực hiện nhiều chức năng trong mạch điện tùy thuộc vào các linh kiện đấu ở mạch ngoài.

IC số là các vi mạch thực hiện các hàm logic. Trong vi mạch số các mức điện áp vào ra đều thể hiện 2 giá trị logic là 0 và 1. Các tham số chính của vi mạch số gồm có nguồn nuôi, mức logic vào/ra, hệ số ghép tải, độ phòng vệ nhiễu, trễ truyền lan, công suất tiêu thụ, dòng vào/ra.

Trong chương 7 cũng nêu những điều cần chú ý khi sử dụng IC.

### CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Định nghĩa về vi mạch tích hợp?
2. Nêu các cách phân loại vi mạch tích hợp?
3. Trình bày về công nghệ plana?
4. Trình bày về công nghệ plana-epitaxi
5. Hãy cho biết các cách chế tạo điện trở trong vi mạch?
6. Hãy cho biết các cách chế tạo tụ điện trong vi mạch?

7. Trình bày về cách tạo ra điốt trong vi mạch?
8. Vẽ ký hiệu và giải thích nhiệm vụ các chân của vi mạch khuếch đại thuật toán?
9. Trình bày về đặc tính truyền đạt và đặc tính tần số của OA?
10. Nêu các tham số cơ bản của IC OA?
11. Trình bày về vi mạch số và nêu các tham số chính của chúng?
12. Nêu những điểm cần chú ý chính khi sử dụng IC?
13. Vi mạch tích hợp được sản xuất và sử dụng nhiều nhất hiện nay là loại nào?
  - a. Vi mạch bán dẫn;
  - b. Vi mạch màng mỏng;
  - c. Vi mạch màng dày;
  - d. Vi mạch lai
14. Điện trở trong vi mạch MOS được tích hợp là.....
  - a. điện trở màng kim.
  - b. điện trở đơn khối bán dẫn.
  - c. điện trở của tiếp xúc P-N.
  - d. một MOSFET có cực cửa nối với cực máng.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Giáo trình “Cấu kiện điện tử và quang điện tử”, Trần Thị Cầm, Học viện CNBCVT, năm 2002.
2. Nguyễn Quốc Trung – “Vi điện tử số” NXB KHKT năm 1997.

## CHƯƠNG 8

### CẤU KIỆN QUANG ĐIỆN TỬ

#### GIỚI THIỆU CHƯƠNG

Chương 8 trình bày về các cấu kiện bán dẫn dùng để biến đổi tín hiệu điện sang tín hiệu quang và các cấu kiện biến đổi tín hiệu quang sang tín hiệu điện. Các cấu kiện biến đổi điện sang quang (còn được gọi là cấu kiện phát quang) được nghiên cứu trong chương này gồm có các loại điốt phát quang, laser bán dẫn; còn các cấu kiện biến đổi quang sang điện (còn gọi là các cấu kiện thu quang) gồm có điện trở quang, điốt quang, tranzito quang, thyristo quang. Nội dung chính của phần này sẽ trình bày về cấu tạo, ký hiệu và nguyên lý hoạt động cũng như các đặc tính và tham số của các cấu kiện bán dẫn quang được đề cập đến trong chương. Ngoài ra chương 8 còn trình bày về cấu trúc và tham số của các bộ ghép quang, các bộ lọc quang và các CCD

#### NỘI DUNG

##### 8.1. GIỚI THIỆU CHUNG

Do yêu cầu đòi hỏi ngày càng nhanh và phức tạp của công nghệ thông tin, do những ưu điểm của các hệ thống thông tin quang, mà các thiết bị điện tử hiện nay đang sử dụng rất nhiều các linh kiện quang như LED, LCD, quang trở, photodiốt, tranzito quang, LASER, sợi quang dẫn, các bộ ghép quang...Tiêu biểu cho sự tiến bộ nhanh chóng của công nghệ chế tạo linh kiện bán dẫn quang là sự phát hiện chất bán dẫn được liên kết từ các nguyên tố ở nhóm III và nhóm V của bảng tuần hoàn Mendelêep.

Trong chương này sẽ trình bày về cấu tạo và nguyên lý làm việc cũng như các tham số cơ bản của các linh kiện quang điện tử thường được sử dụng trong kỹ thuật thông tin hiện nay. Đồng thời trình bày một số sơ đồ mạch ứng dụng của chúng.

##### 8.1.1. Khái niệm chung về kỹ thuật quang điện tử.

###### a. Định nghĩa về kỹ thuật quang điện tử:

Quang điện tử là những hiệu ứng tương hỗ giữa bức xạ ánh sáng và mạch điện tử. Bức xạ ánh sáng là một dạng của bức xạ điện từ có dải tần số dao động rất cao,  $10^{14} \div 10^{15} \text{ Hz}$ , hoặc độ dài bước sóng từ khoảng 50nm đến khoảng 100 $\mu\text{m}$ .

###### b. Các bức xạ quang được chia ra thành ba vùng là:

- Vùng cực tím có độ dài bước sóng từ 50nm đến 380nm.
- Vùng ánh sáng nhìn thấy có bước sóng từ 380nm đến 780nm.
- Vùng hồng ngoại có bước sóng từ 780nm đến 100 $\mu\text{m}$ .

Đặc điểm của mắt người là nhìn thấy các sóng điện từ thuộc vùng ánh sáng nhìn thấy. Mắt người không chỉ phân biệt được độ sáng yếu hay mạnh, mà còn phân biệt được từng bước sóng riêng biệt gọi là độ cảm màu của mắt. Nhưng trong kỹ thuật chỉ dùng khái niệm bước sóng chứ không dùng khái niệm màu sắc, và ngay cả tần số cũng ít dùng. Các bước sóng trong thông tin quang hiện nay nằm ở vùng hồng ngoại nên khái niệm màu sắc càng không có ý nghĩa.

###### c. Phân loại linh kiện quang điện tử:

Linh kiện quang điện tử gồm có linh kiện bán dẫn quang điện tử và linh kiện không bán dẫn quang điện tử.

- *Linh kiện bán dẫn quang điện tử*: là những linh kiện được chế tạo từ vật liệu bán dẫn như điện trở quang, điốt quang, tranzito quang, LED, LASER bán dẫn, v.v..
- *Linh kiện không phải bán dẫn quang điện tử*: như sợi quang dẫn, mặt chỉ thị tinh thể lỏng LCD, ống nhân quang v.v..

### 8.1.2. Hệ thống truyền dẫn quang.

#### a. Sơ đồ khối của các hệ thống thông tin:

Sơ đồ khối cơ bản nhất của hệ thống thông tin điện và quang được mô tả trên hình 8-1a,b. Trong hình :

Nguồn tín hiệu: là các dạng thông tin thông thường như tiếng nói, hình ảnh, số liệu, văn bản...

Mạch điện tử : có nhiệm vụ xử lý nguồn thông tin để tạo ra các tín hiệu điện dưới dạng analog hoặc digital.

Khối E/O: là mạch biến đổi điện - quang có nhiệm vụ điều biến tín hiệu điện thành cường độ bức xạ ánh sáng để phát đi (biến đổi tín hiệu điện thành tín hiệu quang).

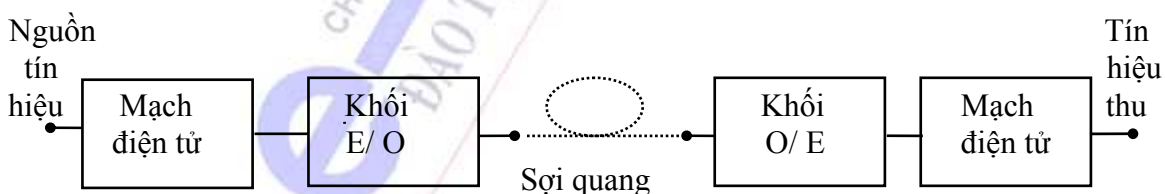
Sợi quang có nhiệm vụ truyền dẫn tín hiệu quang từ nơi phát đến nơi thu.

Khối O/E : mạch biến đổi quang - điện còn gọi là bộ thu quang có nhiệm vụ tiếp nhận ánh sáng từ sợi quang đưa đến và biến đổi trở lại thành tín hiệu điện như tín hiệu điện đã phát đi.

Tải tin : Trong hệ thống điện thì tải tin là các sóng điện từ cao tần, trong hệ thống quang tải tin là ánh sáng và cũng là sóng điện từ song có tần số rất cao ( $10^{14} \div 10^{15}$  Hz) do vậy tải tin quang rất thuận lợi cho tải các tín hiệu băng rộng.



a. Hệ thống thông tin điện



b. Hệ thống thông tin quang

**Hình 8-1:** a. Hệ thống thông tin điện .

b. Hệ thống thông tin quang.

#### b. Ưu điểm của hệ thống truyền dẫn quang:



Qua hình (8-1a,b) ta thấy hai hệ thống đều có các phần tử và tín hiệu tương đồng, chỉ có môi trường truyền dẫn là khác nhau. So với hệ thống thông tin điện, hệ thống thông tin quang có một số ưu điểm sau:

- + Sợi quang nhỏ, nhẹ hơn dây kim loại, dễ uốn cong, tốn ít vật liệu.
- + Sợi quang chế tạo từ thủy tinh thạch anh không bị ảnh hưởng của nước, axit, kiềm nên không bị ăn mòn. Đồng thời, sợi là chất điện môi nên cách điện hoàn toàn, tín hiệu truyền trong sợi quang không bị ảnh hưởng của nhiễu bên ngoài tới và cũng không gây nhiễu ra môi trường xung quanh.
- + Đảm bảo bí mật thông tin, không sợ bị nghe trộm.
- + Khả năng truyền được rất nhiều kênh trong một sợi quang có đường kính rất nhỏ. Tiêu hao nhỏ và không phụ thuộc tần số nên cho phép truyền dẫn băng rộng và tốc độ truyền lớn hơn nhiều so với sợi kim loại.
- + Giá thành rất rẻ.

## 8.2. CÁC CẤU KIỆN BIẾN ĐỔI ĐIỆN – QUANG (Cấu kiện phát quang)

### 8.2.1. Sự tương tác giữa ánh sáng và vật chất.

Như đã biết, theo lý thuyết dải năng lượng của vật chất, thì thông thường các hạt đều tồn tại ở mức cơ bản ( $E_k$ ) vì mức này có năng lượng thấp nhất nên cũng bền vững nhất. Chỉ cần kích thích một năng lượng nào đó, ví dụ như quang năng, điện năng, nhiệt năng... thì các hạt ở mức cơ bản sẽ di chuyển lên mức năng lượng cao hơn, gọi là các mức kích thích ( $E_i$ ). Các hạt chỉ tồn tại ở các mức kích thích một thời gian rất ngắn khoảng  $10^{-8}$  giây rồi nó lại dịch chuyển về các mức năng lượng thấp hơn và phát ra ánh sáng, hay còn gọi là các photon. Photon phát ra theo định luật bảo toàn năng lượng:

$$h\nu = E_i - E_k \quad (8.1)$$

và ta có tần số bức xạ của ánh sáng tính theo công thức (8.1):

$$\nu = \frac{E_i - E_k}{h} \quad (8.2)$$

trong đó:  $\nu$  - tần số bức xạ của ánh sáng ( $\nu = \frac{c}{\lambda}$ ).

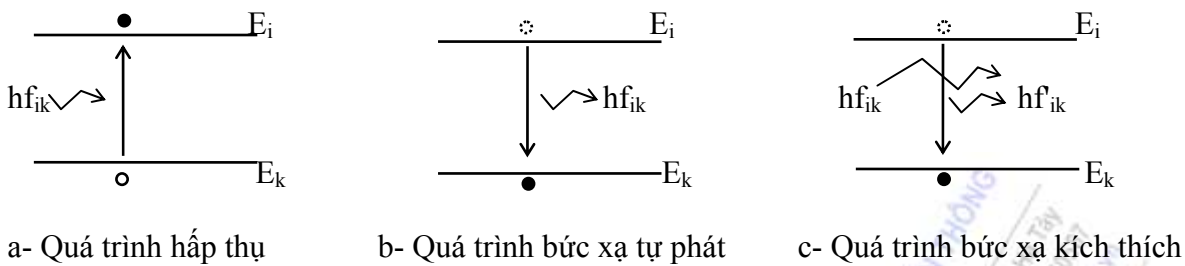
$h$  - hằng số Plank ( $h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J.s} = 4,16 \cdot 10^{-15} \text{ eV.s}$ ).

$c$  - vận tốc của ánh sáng ( $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ).

$\lambda$  - độ dài bước sóng của bức xạ ánh sáng phát ra.

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{c}{\frac{E_i - E_k}{h}} = \frac{1240}{(E_i - E_k)} \left[ \frac{\text{eV.nm}}{\text{eV}} \right] = \frac{1240}{E_G} \left[ \frac{\text{eV.nm}}{\text{eV}} \right]$$

Sự tương tác giữa ánh sáng và vật chất gồm có 3 quá trình: quá trình hấp thụ, quá trình bức xạ tự phát và quá trình bức xạ kích thích (Xem hình 8- 2a,b,c).



**Hình 8- 2 :** Ba quá trình chủ yếu của sự tương tác giữa ánh sáng và vật chất

**a. Quá trình hấp thụ:**

Quá trình hấp thụ (hình 8-2a) là quá trình mà tại đó khi có một photon tương tác với vật chất thì một điện tử ở mức năng lượng cơ bản  $E_k$  sẽ nhận thêm năng lượng của photon (quang năng) và nhảy lên mức năng lượng kích thích  $E_i$ .

**b. Quá trình bức xạ tự phát:**

Bức xạ tự phát (hình 8-2b) là quá trình mà các điện tử nhảy lên mức năng lượng kích thích  $E_i$ , nhưng chúng nhanh chóng trở về mức năng lượng cơ bản  $E_k$  và phát ra photon có năng lượng  $h\nu$ . Mỗi một bức xạ tự phát ta thu được một photon.

Hiện tượng này xảy ra không có sự kích thích bên ngoài nào và được gọi là quá trình bức xạ tự phát. Bức xạ này đẳng hướng và có pha ngẫu nhiên.

**c. Quá trình bức xạ kích thích:**

Nếu có một photon có năng lượng  $h\nu$  tới tương tác với vật chất mà trong lúc đó có một điện tử đang còn ở trạng thái kích thích  $E_i$ , thì điện tử này được kích thích và ngay lập tức nó di chuyển trở về mức năng lượng cơ bản  $E_k$  và bức xạ ra một photon khác có năng lượng cũng đúng bằng  $h\nu$ . Photon mới bức xạ ra này có cùng pha với photon đi đến và được gọi là bức xạ kích thích (hay bức xạ cảm ứng). Xem hình 8-2c.

**8.2.2. Điốt phát quang (LED) chỉ thị.**

Điốt phát quang là linh kiện bán dẫn quang điện tử. Nó có khả năng phát ra ánh sáng khi có hiện tượng tái hợp xảy ra trong tiếp xúc P-N. Điốt phát quang thường được gọi tắt là LED do viết tắt từ các từ tiếng Anh: Light- Emitting Diode. Tùy theo vật liệu chế tạo mà ta có ánh sáng bức xạ ra ở các vùng bước sóng khác nhau.

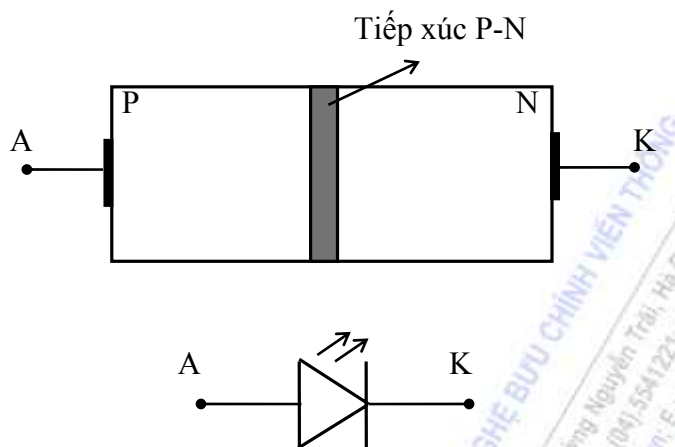
Trong mục này ta sẽ trình bày trước hết về LED bức xạ ra ánh sáng nhìn thấy gọi là LED chỉ thị. LED chỉ thị có ưu điểm là tần số hoạt động cao, kích thước nhỏ, công suất tiêu hao nhỏ, không sụt áp khi bắt đầu làm việc. LED không cần kính lọc mà vẫn cho ra màu sắc. LED chỉ thị rất rõ khi trời tối. Tuổi thọ của LED khoảng 100 ngàn giờ.

**a. Cấu tạo và ký hiệu của LED:**

□ *Cấu tạo:*

Điốt phát quang gồm có một lớp tiếp xúc P-N và hai chân cực anốt (A), catốt (K). Anốt được nối với bán dẫn loại P, còn catốt được nối với bán dẫn loại N.

Hình 8-3 mô tả mô hình cấu tạo của LED và ký hiệu trong các sơ đồ mạch.

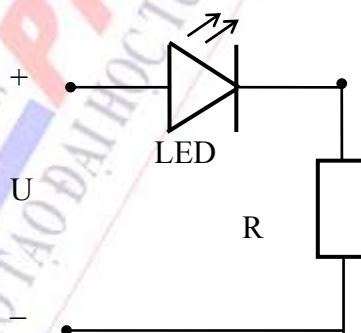


**Hình 8- 3 :** Mô hình cấu tạo và ký hiệu của LED.

Vật liệu chế tạo điốt phát quang đều là các liên kết của các nguyên tố thuộc nhóm 3 và nhóm 5 của bảng tuần hoàn Mendêlêep như GaAs, hoặc liên kết 3 nguyên tố như GaAsP v.v.. Đây là các vật liệu tái hợp trực tiếp, có nghĩa là sự tái hợp xảy ra giữa các điện tử ở sát đáy dải dẫn và các lỗ trống ở sát đỉnh dải hóa trị.

#### b. Nguyên lý làm việc:

Sơ đồ nguyên lý đầu LED mô tả trong hình 8- 4.



**Hình 8- 4 :** Sơ đồ nguyên lý của LED.

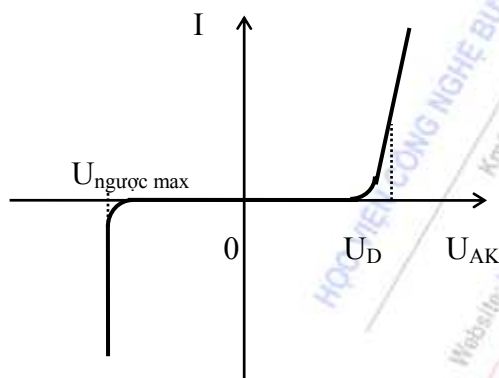
Khi LED phân cực thuận, các hạt dẫn đa số khuếch tán ồ ạt qua tiếp xúc P-N, chúng gặp nhau sẽ tái hợp và các photon được phát sinh. Tốc độ tái hợp trong quá trình bức xạ tự phát này tỉ lệ với nồng độ điện tử trong phần bán dẫn P và nồng độ lỗ trống trong phần bán dẫn N. Đây là các hạt dẫn thiểu số trong chất bán dẫn. Như vậy, để tăng số photon bức xạ ra cần phải gia tăng nồng độ hạt dẫn thiểu số trong các phần bán dẫn. Cường độ dòng điện của điốt tỉ lệ với nồng độ hạt dẫn được "chích" vào các phần bán dẫn, do đó cường độ phát quang của LED tỉ lệ với cường độ dòng điện qua điốt.

Như vậy LED có khả năng biến đổi tín hiệu điện thành tín hiệu quang, nên nó được coi là dụng cụ phát quang.

Điện áp phân cực cho LED gần bằng độ rộng vùng cấm của vật liệu, do đó, các LED bức xạ ở các bước sóng khác nhau sẽ được chế tạo từ các vật liệu bán dẫn có độ rộng vùng cấm khác nhau và điện áp phân cực cho chúng cũng khác nhau. Tuy nhiên LED có điện áp phân cực thuận tương đối cao (khoảng từ 1,6 v đến 3 v) và có điện áp ngược cho phép tương đối thấp (khoảng từ 3 v đến 5 v).

### c. Đặc tuyến Vôn - Ampe của LED:

Đặc tuyến Vôn - Ampe của điốt phát quang biểu diễn mối quan hệ giữa dòng điện quang với điện áp đặt lên LED.



**Hình 8- 5:** Đặc tuyến Vôn - Ampe của LED

Khi điện áp thuận thay đổi (dù rất nhỏ) sẽ làm cho dòng điện qua điốt tăng đáng kể và kéo theo sự tăng cường độ bức xạ quang, do vậy cần xác định vùng làm việc cho điốt tương đối ổn định và dùng nguồn dòng để cung cấp.

Điốt phát quang rất nhạy với nhiệt độ. Khi nhiệt độ làm việc thay đổi, cực đại phổ bức xạ có thể thay đổi cả về độ dài bước sóng lẫn cường độ: khi nhiệt độ làm việc tăng thì độ dài bước sóng bức xạ ngắn lại (khoảng  $0,02 \mu\text{m}/^{\circ}\text{C}$  đến  $0,009 \mu\text{m}/^{\circ}\text{C}$ ) và điện áp phân cực cho điốt có thể bị giảm (khoảng từ  $1,3 \text{ mV}$  đến  $2,3 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ ).

Để đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ lên giá trị điện áp phân cực, người ta sử dụng hệ số nhiệt cho điốt:  $S_{TV}$ :

$$S_{TV} = \left. \frac{\Delta U}{\Delta T} \right|_{I=\text{const}} \quad (8.3)$$

Hệ số nhiệt của LED có giá trị âm nên khi sử dụng trong hệ thống có nhiều các linh kiện điện tử cần chú ý đến tham số này. Khoảng nhiệt độ hoạt động của LED khoảng từ  $-60^{\circ}\text{C}$  đến  $+85^{\circ}\text{C}$ . Công suất của LED khoảng từ vài trăm  $\mu\text{W}$  đến vài watt.

Bảng 8-1 cho biết độ rộng vùng cấm của các vật liệu càng lớn thì năng lượng được giải phóng ra càng lớn và bức xạ được phát ra có bước sóng càng ngắn.

**Bảng 8.1:** Tham số của một số loại LED

Vật liệu	$E_G$ (ev)	$\lambda_p$ (nm)	vùng bức xạ	$U_D$ (v) ở $I=20\text{mA}$	$U_{ngược}$ Max	$t_r$ (nsec)	Loại tái hợp
Ge	0,66	-	-	-	-	-	G.tiếp
Si	1,09	-	-	-	-	-	G.tiếp
GaAs	1,43	910	Hồng ngoại	$1,6 \div 1,8$	5	50	T. tiếp
GaAsP	1,9	660	Đỏ	$1,6 \div 1,8$	5		T. tiếp
GaAlAs	1,91	650	Đỏ	$1,6 \div 1,8$	5		T. tiếp
GaAsP	2,0	635	Cam	$2,0 \div 2,2$	5	100	T. tiếp
GaAsP	2,1	585	Vàng	$2,2 \div 2,4$	5	100	T. tiếp
GaAsP	2,2	565	Lá cây	$2,4 \div 2,7$	5	400	T. tiếp
GaP	2,24	560	Lá cây	$2,7 \div 3,0$	5	-	G. tiếp
SiC	2,5	490	Da trời	3,0	-	900	G.tiếp
Gallium-Nitrit	3,1	400	Tím	3,0	-	-	G. tiếp

#### d. Ứng dụng và một số loại LED chỉ thị:

LED chỉ thị được sử dụng rộng rãi trong lĩnh vực quảng cáo, trong xe hơi, máy bay, trò chơi trẻ em, âm nhạc, máy ảnh... vì thể tích nhỏ, công suất tiêu tán thấp và thích hợp với các mạch logic. Khi sử dụng LED cần phải mắc nối tiếp với một điện trở hạn chế dòng. Trị số của điện trở nối tiếp được tính theo công thức (8. 4):

$$R_T = \frac{U_{CC} - U_D}{I} \quad (8. 4)$$

Trong đó:  $U_{CC}$  - Điện áp nguồn cung cấp

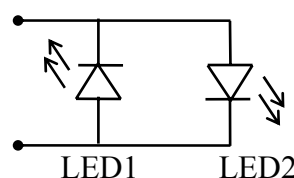
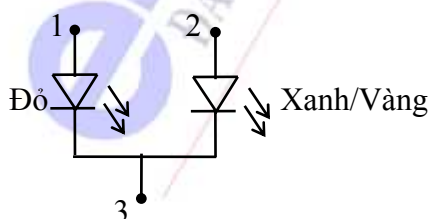
$U_D$  - Điện áp phân cực cho LED

$I$  - Dòng điện chạy qua LED

(có trị số danh định khoảng từ 10mA đến 30mA)

#### □ Một số loại LED chỉ thị:

- LED đơn: Đây là linh kiện một LED.
- LED đôi: Để dùng cho những ứng dụng đặc biệt:

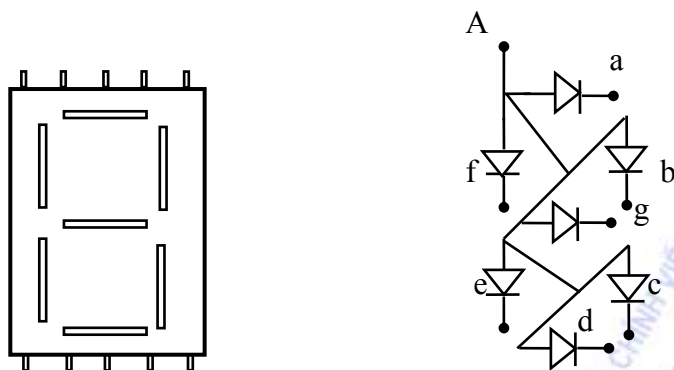


Hình 8- 6 : LED đôi.

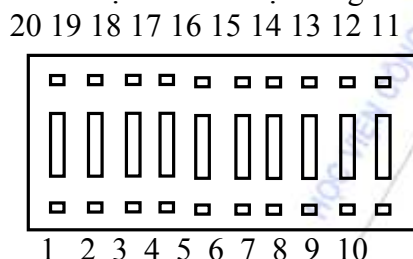
- LED bảy đoạn sáng: Đây là một tổ hợp gồm có 7 LED được đấu nối với nhau theo hình số 8 dùng để hiển thị các số thập phân từ 0 đến 9. (Xem hình 8- 7).



- Bảng chiếu sáng LED: Đây là tập hợp nhiều LED thành một chuỗi với mạch tổ hợp hoặc không có mạch tổ hợp bên trong, (xem hình 8- 8).



**Hình 8- 7:** Cấu trúc của một LED 7 đoạn sáng đầu kiểu Anốt chung.



**Hình 8- 8:** Bảng chiếu sáng LED

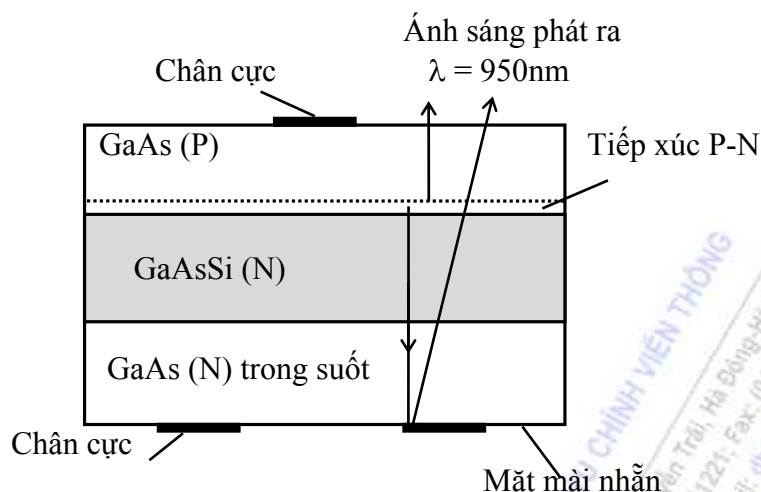
### 8.2.3. LED hồng ngoại.

Đối với các hệ thống thông tin quang yêu cầu tốc độ bit xấp xỉ 100 đến 200Mbit/s cùng sợi quang đa mode với công suất quang khoảng vài chục  $\mu\text{W}$ , các điốt phát quang bán dẫn thường là các nguồn sáng tốt nhất.

#### a. Cấu tạo:

Cấu tạo của LED hồng ngoại cơ bản là giống các LED chỉ thị. Để bức xạ ánh sáng hồng ngoại, LED hồng ngoại được chế tạo từ vật liệu Galium Asenit (GaAs) với độ rộng vùng cấm  $E_G = 1,43 \text{ eV}$  tương ứng với bức xạ bước sóng khoảng 900nm.

Hình 8- 9 mô tả cấu trúc của một LED hồng ngoại bức xạ ánh sáng 950nm.

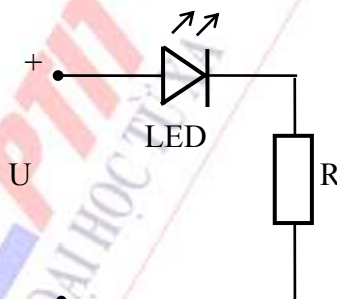


**Hình 8- 9 :** Cấu trúc của LED hồng ngoại bức xạ bước sóng 950nm.

Trong phần epitaxy lỏng trong suốt GaAs (N) tạo một lớp tinh thể có tính chất lưỡng tính với tạp chất Silic là GaAsSi (N) và một tiếp xúc P-N được hình thành. Với sự pha tạp chất Silic ta có bức xạ với bước sóng 950 nm Mặt dưới của LED được mài nhẵn tạo thành một gương phản chiếu tia hồng ngoại phát ra từ lớp tiếp xúc P-N.

**b. Nguyên lý làm việc:**

Hình 8- 10 mô tả sơ đồ nguyên lý đấu nối LED hồng ngoại trong mạch điện.



**Hình 8- 10 :** Sơ đồ nguyên lý của LED hồng ngoại

Khi phân cực thuận cho điôt, các hạt dẫn đa số sẽ khuếch tán qua tiếp xúc P-N, chúng tái hợp với nhau và phát ra bức xạ hồng ngoại. Các tia hồng ngoại bức xạ ra theo nhiều hướng khác nhau. Những tia hồng ngoại có hướng đi vào trong các lớp chất bán dẫn, gặp gương phản chiếu sẽ được phản xạ trở lại để đi ra ngoài theo cùng hướng với các tia khác. Điều này làm tăng hiệu suất của LED.

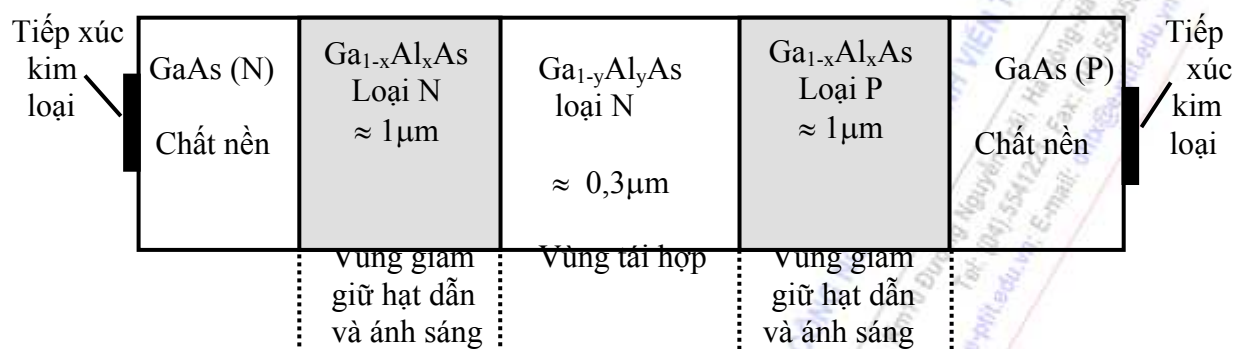
Ánh sáng hồng ngoại có đặc tính quang học giống như ánh sáng nhìn thấy, nghĩa là nó có khả năng hội tụ, phân kỳ qua thấu kính, có tiêu cự.... Tuy nhiên, ánh sáng hồng ngoại rất khác ánh sáng nhìn thấy ở khả năng xuyên suốt qua vật chất, trong đó có chất bán dẫn. Điều này giải thích tại sao LED hồng ngoại có hiệu suất cao hơn LED chỉ thị vì tia hồng ngoại không bị yếu đi khi vượt qua các lớp bán dẫn để ra ngoài.

Tuổi thọ của LED hồng ngoại dài đến 100000 giờ. LED hồng ngoại không phát ra ánh sáng nhìn thấy nên rất có lợi trong các thiết bị kiểm soát vì không gây sự chú ý.

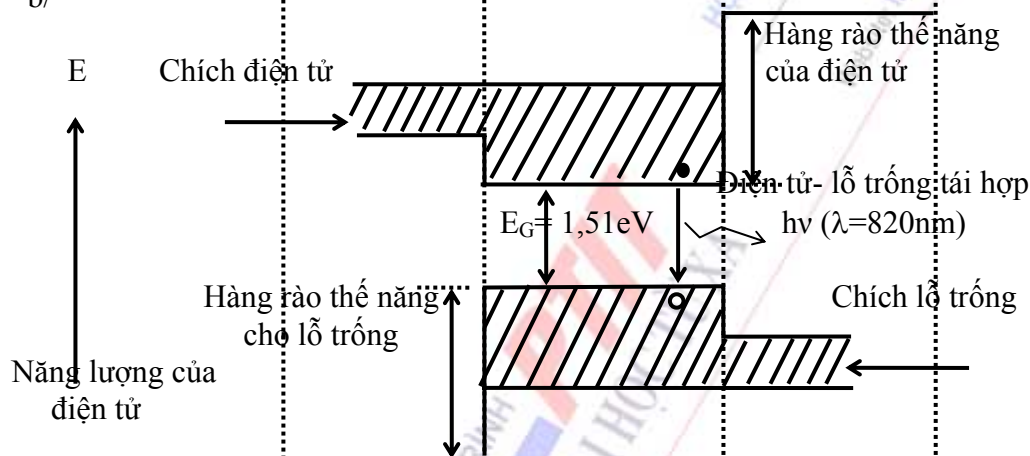
**c. LED hồng ngoại cấu trúc đặc biệt:**

Để truyền dẫn trong sợi quang đạt hiệu quả người ta sử dụng các loại LED hồng ngoại có độ sáng phát ra cao, có thời gian đáp ứng nhanh và hiệu suất lượng tử cao, đó là LED cấu trúc dị thể kép. Đây là cấu trúc được sử dụng rất rộng rãi hiện nay.

a/

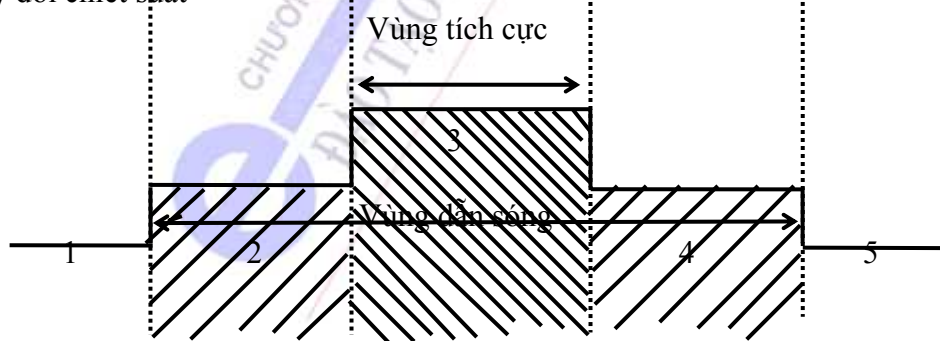


b/



c/ Sự thay đổi chiết suất

n



**Hình 8- 11** : a/ Mặt cắt của LED cấu trúc dị thể kép loại GaAlAs với  $x > y$

b/ Giản đồ năng lượng của vùng tích cực

và hàng rào thế năng của điện tử và lỗ trống

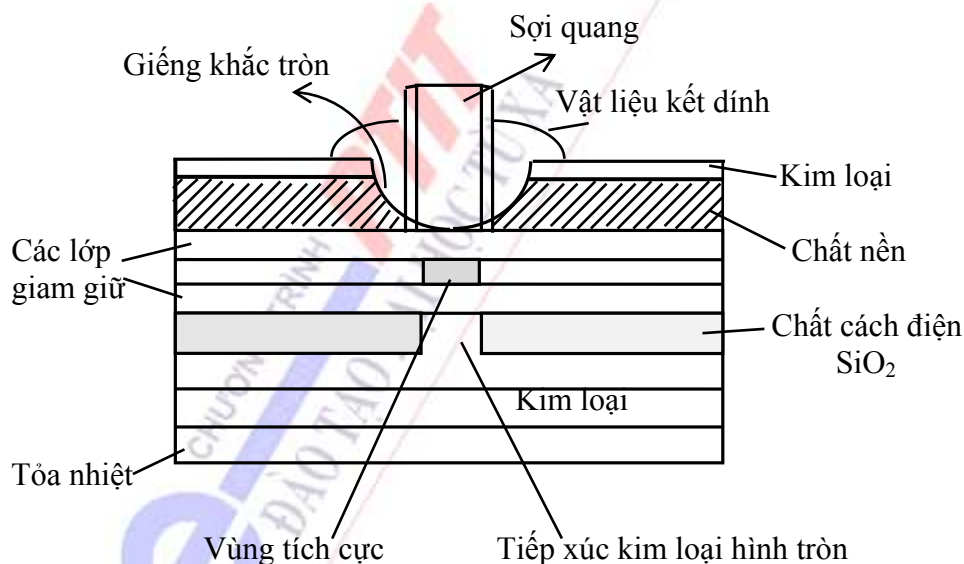
c/ Sự thay đổi chiết suất trong các lớp dị thể

Hình 8- 11 biểu diễn một LED cấu trúc dị thể kép (double heterostructure) bởi vì có hai lớp hợp kim  $Ga_{1-x}Al_xAs$  loại N và P đều có độ rộng vùng cấm lớn hơn độ rộng vùng cấm của lớp tích cực  $Ga_{1-y}Al_yAs$  loại N, cũng có nghĩa là chiết suất của hai lớp này nhỏ hơn chiết suất của lớp tích cực (trong đó % phân tử lượng  $x > y$ ). Bằng phương pháp cấu trúc Sandwich của các lớp hợp kim tổng hợp khác nhau, cả 2 loại hạt dẫn và trường ánh sáng được giam giữ lại trong trung tâm của lớp tích cực, (xem hình 8- 11b). Đồng thời sự khác nhau về chiết suất của các lớp kề cận này đã giam giữ trường ánh sáng trong lớp tích cực ở trung tâm, (xem hình 8- 11c). Sự giam giữ hạt dẫn và ánh sáng ở trong lớp tích cực đã làm tăng độ bức xạ và hiệu suất quang lượng tử.

Hai dạng cơ bản của LED được dùng cho sợi quang là bức xạ bề mặt (còn gọi là bức xạ Burrus) và bức xạ cạnh.

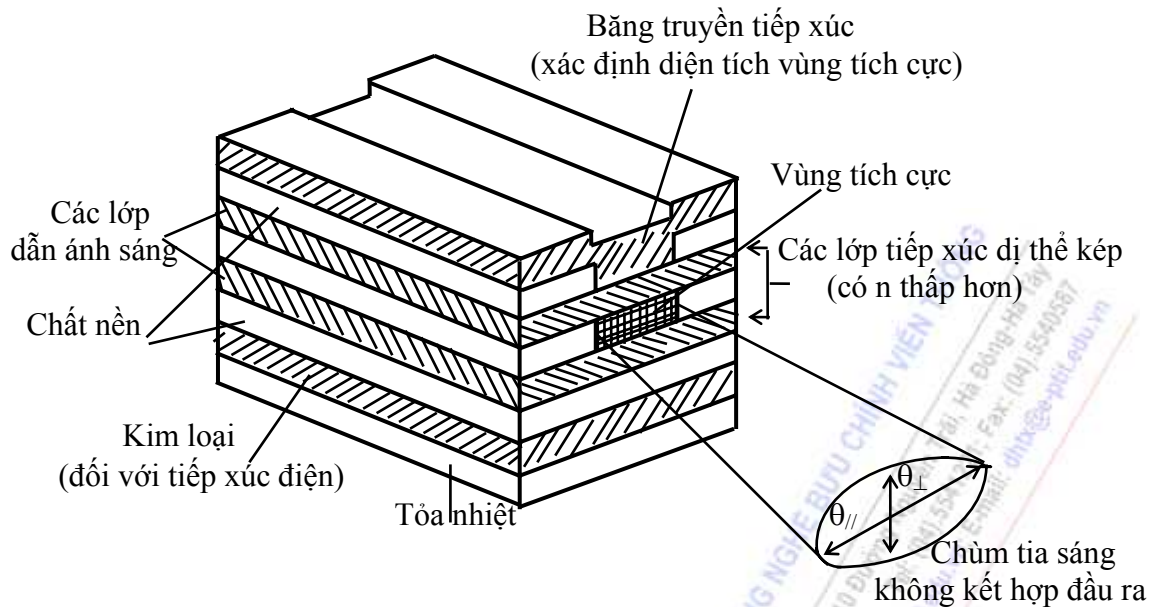
- Trong bức xạ bề mặt, mặt phẳng của vùng tích cực bức xạ ánh sáng vuông góc với trục x của sợi quang như mô tả trong hình 8- 12. Trong cấu trúc này một "cái giếng" được khắc qua phần chất nền của LED, sau đó sợi quang được gắn chặt vào để nhận ánh sáng bức xạ ra. Diện tích vòng tròn tích cực trong bề mặt bức xạ trên thực tế có đường kính  $50\mu m$  và bề dày đến  $2,5\mu m$ . Phổ bức xạ cơ bản là đẳng hướng với độ rộng chùm tia nửa công suất  $120^\circ$ .

Phổ đẳng hướng này từ một bức xạ bề mặt được gọi là phổ Lambe, trong đó độ phát sáng ở mọi hướng đều bằng nhau, nhưng công suất giảm đi theo hàm  $\cos\theta$ , với  $\theta$  là góc giữa hướng chiếu ánh sáng và đường vuông góc với bề mặt. Do vậy công suất giảm xuống 50% so với trị số đỉnh của nó khi  $\theta = 60^\circ$ , để tổng độ rộng chùm tia nửa công suất là  $120^\circ$ .



**Hình 8- 12:** Mặt cắt của LED bức xạ bề mặt.

Vùng tích cực được giới hạn bởi một đường tròn có diện tích tương ứng với mặt cắt đầu lõi của sợi quang



**Hình 8- 13** : Cấu trúc của LED dị thể kép bức xạ cạnh.

Chùm tia ra là Lambe ở bề mặt của tiếp xúc P-N ( $\theta_{//} = 120^\circ$ )  
và hướng vuông góc với tiếp xúc P-N là  $\theta_{\perp} = 30^\circ$ .

- LED bức xạ cạnh được mô tả ở hình 8- 13 gồm một vùng tiếp xúc tích cực và hai lớp dẫn ánh sáng. Cả hai lớp dẫn quang đều có chiết suất thấp hơn của vùng tích cực nhưng cao hơn chiết suất của các vật liệu xung quanh. Cấu trúc này tạo ra một kênh dẫn sóng hướng bức xạ ánh sáng theo hướng lõi sợi quang. Để ghép khít lõi sợi quang đường kính từ  $50\mu\text{m}$  đến  $100\mu\text{m}$ , băng truyền tiếp xúc đối với bức xạ cạnh có chiều rộng là  $50\mu\text{m}$  đến  $70\mu\text{m}$ . Chiều dài của vùng tích cực khoảng từ  $100\mu\text{m}$  đến  $150\mu\text{m}$ . Phổ bức xạ của LED bức xạ cạnh định hướng tốt hơn so với bức xạ bề mặt, như biểu diễn trong hình (8- 13). Ở bề mặt song song với tiếp xúc, mà tại đó không có hiệu ứng dẫn sóng, thì chùm tia bức xạ là phổ Lambe với độ rộng nửa- công suất của  $\theta_{//} = 120^\circ$ . Trong bề mặt vuông góc với tiếp xúc, bằng việc chọn độ dày của ống dẫn sóng, độ rộng chùm tia nửa- công suất  $\theta_{\perp}$  được tạo ra nhỏ hơn  $25^\circ$  đến  $35^\circ$ .

### 8.2.3. Điốt LASER.

#### a. Định nghĩa về LASER:

LASER là một linh kiện quang học dùng để tạo ra và khuếch đại ánh sáng đơn sắc có tính liên kết về pha từ bức xạ tự phát của ánh sáng.

LASER là từ viết tắt của tên gọi bằng tiếng Anh: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

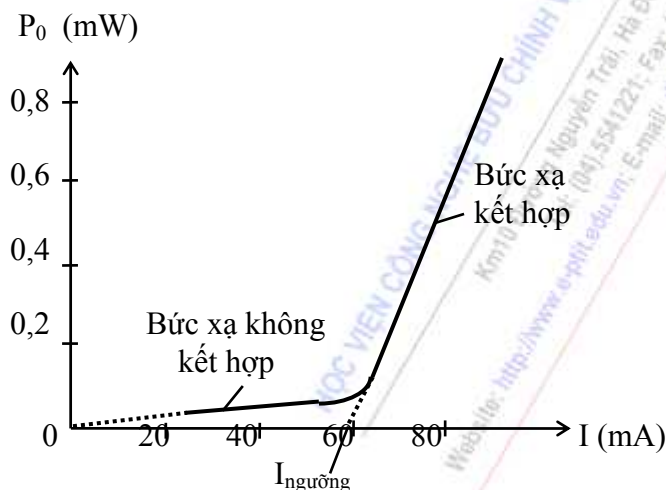
Nguyên lý hoạt động cơ bản của LASER là kết quả của 3 quá trình chủ yếu là quá trình hấp thụ photon, quá trình bức xạ tự phát và quá trình bức xạ kích thích.

Quá trình bức xạ kích thích sẽ chỉ trội hơn quá trình hấp thụ nếu độ chiếm giữ của các trạng thái kích thích lớn hơn độ bị chiếm giữ của các trạng thái cơ bản. Điều kiện này được gọi



là sự đảo mật độ chiếm giữ trong chất bán dẫn. Trong LASER bán dẫn, sự đảo mật độ chiếm giữ xảy ra trong trường hợp các hạt dẫn đa số khuếch tán ồ ạt qua tiếp xúc P-N. Điều này chỉ xảy ra khi dòng điện thuận qua điốt phải vượt quá trị số dòng điện ngưỡng như chỉ ra ở hình 8-14. Hình 8-14 biểu thị sự phụ thuộc của công suất phát của LASER vào dòng điện chạy qua điốt.

Vật liệu bán dẫn của điốt LASER phải là bán dẫn có sự tái hợp trực tiếp và năng lượng photon gần bằng độ rộng vùng cấm ( $h\nu \approx E_G$ ). Để tăng độ phát sáng của LASER phải sử dụng chất bán dẫn được pha tạp với nồng độ tạp chất rất cao (hay còn gọi là sự pha tạp suy biến).



**Hình 8-14:** Đặc tuyến bức xạ của LASER bán dẫn.

Trong thông tin quang, các LASER phải bức xạ ra ánh sáng thuộc 3 cửa sổ công tác của sợi quang là  $\lambda = 850$  nm, 1300 nm, và 1550 nm. Vật liệu bán dẫn thường được chọn trên nền GaAs. Chất Gallium Arsenid cho bức xạ ở nhiệt độ 300<sup>0</sup>K với  $\lambda = 900$  nm, muốn có bức xạ  $\lambda = 800$  nm ta cần phải thay đổi độ rộng vùng cấm của nó bằng cách pha thêm nhôm vào để có chất bán dẫn GaAlAs. Để có bức xạ bước sóng từ  $\lambda = 1200$  nm đến 1600 nm thì sử dụng hợp chất 4 thành phần InGaAsP.

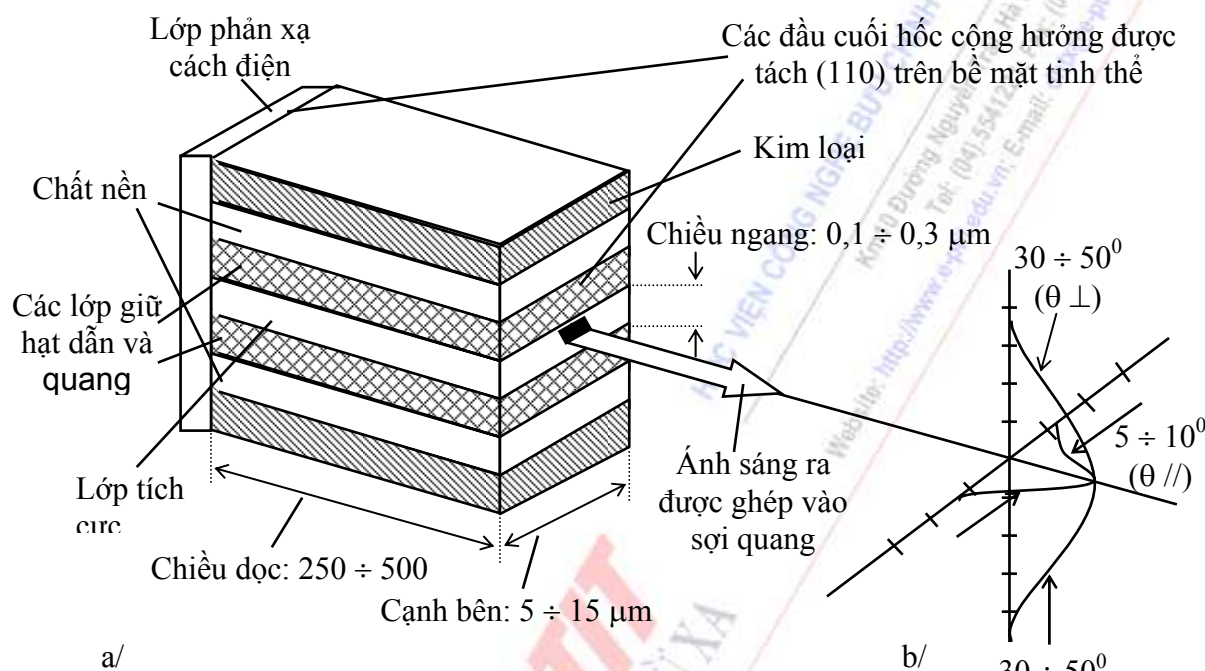
Đối với các hệ thống thông tin cáp sợi quang yêu cầu độ rộng băng tần lớn hơn 200MHz, điốt LASER có thể đạt được yêu cầu này hơn LED. Các điốt LASER tiêu chuẩn có thời gian đáp ứng thấp hơn 1ns, có độ rộng phổ bức xạ quang khoảng 2nm hoặc nhỏ hơn, và nói chung, các điốt LASER có khả năng liên kết lỗi và các khẩu độ số nhỏ. Thực tế, tất cả các điốt LASER đang sử dụng hiện nay là các linh kiện nhiều lớp tiếp xúc dị thể.

#### **b. Cấu trúc của điốt LASER:**

Cấu trúc của LASER tương tự như LED nhưng phức tạp hơn, phần lớn vì yêu cầu thêm về việc giam giữ dòng điện trong một hốc cộng hưởng nhỏ.

Bức xạ kích thích trong LASER bán dẫn được sinh ra bên trong một hốc cộng hưởng Fabry- Perot. Hình 8-15 mô tả một cấu trúc cơ bản của hầu hết các loại điốt LASER. Tuy nhiên hốc cộng hưởng rất nhỏ, kích thước chiều dài khoảng từ 250 đến 500 $\mu$ m, chiều rộng khoảng từ 5 đến 15 $\mu$ m và bề dày khoảng từ 0,1 đến 0,2 $\mu$ m. Các kích thước này được gọi chung là kích thước chiều dọc, cạnh bên và chiều ngang của hốc cộng hưởng.

Trong hốc cộng hưởng Fabry Perot của diốt LASER, có một bộ phận các gương phản chiếu được định hướng. Các mặt gương được tạo ra bằng 2 mặt chẻ tách tự nhiên của tinh thể bán dẫn (mặt 110). Mục đích của các gương này là để cung cấp sự hồi tiếp quang theo hướng chiều dài, và sẽ biến cấu kiện thành một máy phát với hệ số tăng ích để bù lại sự tổn thất quang trong hốc cộng hưởng. Hốc cộng hưởng của LASER có thể có nhiều tần số cộng hưởng. Cấu kiện sẽ phát ra ánh sáng tại các tần số cộng hưởng mà tại đó hệ số tăng ích của nó đủ để vượt qua được sự mất mát. Các cạnh bên của hốc cộng hưởng được hình thành bởi các cạnh thô, xù xì của cấu kiện để hạn chế các bức xạ không mong muốn trong các hướng này.



**Hình 8- 15 :** a/ Cấu trúc của một diốt LASER với hốc cộng hưởng Fabry- Perot:

Các đầu cuối tách bóc tinh thể như là gương phản chiếu.

Đầu cuối không sử dụng có thể bọc bằng tấm phản xạ cách điện để giảm mất mát quang trong hốc cộng hưởng

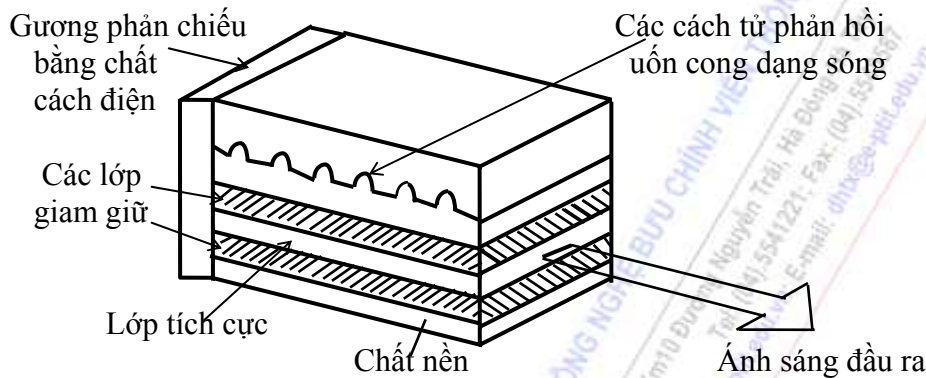
b/ Đồ thị phân bố trường xa của bức xạ

**Chú ý :** Chùm tia sáng từ LASER tạo thành một hình elip đứng ngay cả khi vùng phát quang tại điện tích mặt tích cực là một elip ngang.

□ **Diốt LASER hồi tiếp - phân bố (DFB):**

Đây là một loại diốt LASER không cần các mặt tách bóc tinh thể để tạo gương phản xạ quang. Ở DFB gần như tạo được độ chọn lọc một ánh sáng rất tốt dựa trên sự lan truyền sóng trong một cấu trúc tuần hoàn. Một diốt LASER loại DFB tiêu biểu được mô tả trong hình 8-16. Cấu tạo của LASER loại này cũng giống như loại Fabry Perot nhưng sự hoạt động bức xạ được thực hiện nhờ bộ gương phản chiếu Bragg, đó là các cách tử tuần hoàn, hoặc nhờ sự thay đổi theo chu kỳ của chiết suất mà nó được hợp thành trong cấu trúc nhiều lớp dọc theo chiều dài của diốt laser.

Nói chung, tín hiệu quang hoàn toàn lấy ra từ mặt trước của LASER, có nghĩa là, một mặt của nó được đặt thẳng hàng với sợi quang. Trong trường hợp này, một gương phản chiếu bằng chất cách điện có thể được lắng đọng trên mặt sau của LASER để giảm sự mất mát quang trong hốc cộng hưởng, để giảm mật độ dòng điện ngưỡng, và để tăng hiệu suất lượng tử ngoài. Với gương phản chiếu 6 lớp, độ phản xạ có thể đạt tới trên 98% .



Hình 8- 16 : Cấu trúc của một điôt LASER phản hồi- phân bố (DFB)

### c. Hoạt động của điôt LASER: Cấp nguồn cho LD hoạt động phân cực thuận

Khi dòng điện cung cấp  $I \geq I_{\text{ngưỡng}}$  sẽ xảy ra bức xạ laser. Sự bức xạ quang bên trong hốc cộng hưởng của điôt LASER tạo ra một phổ của các đường điện trường và từ trường gọi là các mốt (modes) của hốc cộng hưởng. Các mốt này có thể phân chia thành 2 bộ mốt độc lập. Mỗi bộ mốt được mô tả trong các thuật ngữ là các biến đổi nửa hình sin ngang, bên và dọc của trường điện từ dọc theo hệ trục chính của hốc cộng hưởng. Trong đó, mốt dọc có quan hệ với chiều dài  $L$  của hốc cộng hưởng và xác định cấu trúc nguyên lý của phổ tần số của bức xạ ánh sáng phát ra. Vì chiều dài  $L$  của hốc cộng hưởng lớn hơn nhiều lần độ dài bước sóng ( $\lambda \approx 1\mu\text{m}$ ) nên có rất nhiều mốt dọc có thể tồn tại trong hốc cộng hưởng.

Mốt bên cạnh nằm trong bề mặt của tiếp xúc P-N. Các mốt này phụ thuộc vào sự chế tạo các mặt bên và độ rộng của hốc cộng hưởng; nó xác định hình dạng của mặt cắt cạnh bên của chùm tia laser. Các mốt này rất quan trọng vì chúng xác định một cách phong phú các đặc tính của LASER như phổ bức xạ và mật độ dòng điện ngưỡng.

Để xác định các điều kiện laser và tần số cộng hưởng, ta biểu diễn sự lan truyền sóng điện từ theo hướng dọc (dọc theo trục chuẩn cho các gương):

$$E(z,t) = I(z) \exp [j(\omega t - \beta z)] \quad (8. 5)$$

Trong đó:  $I(z)$ - là mật độ trường quang theo hướng dọc ( $z$ )  
 $z$  - khoảng cách theo hướng dọc của hốc cộng hưởng  
 $\omega$  - là tần số góc của ánh sáng  
 $\beta$  - là hệ số lan truyền

Bức xạ laser là điều kiện mà tại đó sự khuếch đại ánh sáng có thể thắng được sự hấp thụ ở trong điôt LASER. Yêu cầu đòi hỏi để cho phát laser là phải đạt được sự đảo mật độ chiếm giữ trong chất bán dẫn. Điều kiện này có thể được giải thích bằng mối quan hệ giữa mật độ trường sáng  $I$ , hệ số hấp thụ  $\alpha_\lambda$ , và hệ số khuếch đại  $g$  trong hốc cộng hưởng Fabry Perot. Tốc

độ bức xạ kích thích trong một môi trường đã cho tỉ lệ thuận với mật độ bức xạ trong môi trường đó. Mật độ bức xạ ứng với các photon có năng lượng  $h\nu$  thay đổi theo qui luật hàm mũ với khoảng cách  $z$ , dọc theo hốc cộng hưởng tính theo công thức sau:

$$I(z) = I(0) \exp\{[I'g(h\nu) - \alpha'(h\nu)]z\} \quad (8.6)$$

Trong đó:  $\alpha'$  - là hệ số hấp thụ hữu ích của vật liệu trong đường quang.

$I'$  - là hệ số giam giữ ánh sáng.

$I(0)$  - mật độ trường quang ban đầu

$g$  - hệ số khuếch đại quang

Sự khuếch đại quang của các môi trường đã chọn đạt được bằng cơ chế phản hồi của hốc cộng hưởng quang. Trong sự lặp đi lặp lại nhiều lần giữa 2 tấm gương phản chiếu đặt song song, một phần nhỏ của bức xạ liên kết với các môi trường có hệ số khuếch đại quang cao nhất được duy trì và khuếch đại trong mỗi một lượt đi qua hốc cộng hưởng.

Bức xạ Laser xuất hiện khi độ khuếch đại của một hoặc một số môi trường đủ để trội hơn sự mất mát ánh sáng trong suốt một lượt đi vòng quanh qua hốc cộng hưởng, nghĩa là  $z = 2L$ . Trong suốt lượt đi vòng quanh này chỉ có một phần nhỏ  $R_1$  và  $R_2$  của bức xạ quang được phản xạ từ hai đầu 1 và 2, tương ứng, của LASER; ở đó,  $R_1$  và  $R_2$  là độ phản xạ của gương. Do vậy công thức (8.6) được viết thành:

$$I(2L) = I(0)R_1R_2 \exp\{2L[I'g(h\nu) - \alpha'(h\nu)]\} \quad (8.7)$$

Tại ngưỡng phát laser, một dao động trạng thái bền chiếm giữ và độ lớn cũng như pha của sóng phản hồi có thể bằng các sóng gốc tạo ra nó. Điều này cho ta các điều kiện phát laser:

$$I(2L) = I(0) \quad \text{Đối với biên độ} \quad (8.8)$$

$$\text{và} \quad e^{-j\beta 2L} = 1 \quad \text{Đối với pha} \quad (8.9)$$

Công thức (8.9) cho thông tin về tần số cộng hưởng của hốc Fabry Perot.

Từ công thức (8.8) chúng ta có thể tìm thấy các môi trường có độ khuếch đại đủ lớn để dẫn đến sự phát quang và chúng ta có thể tìm được biên độ của các môi trường này. Do vậy, từ công thức (8.8), điều kiện để đạt được độ khuếch đại quang ngưỡng-lasing  $g_{th}$ : là một điểm mà tại đó độ khuếch đại  $g$  lớn hơn hoặc bằng tổng mất mát  $\alpha_t$  ở trong hốc cộng hưởng

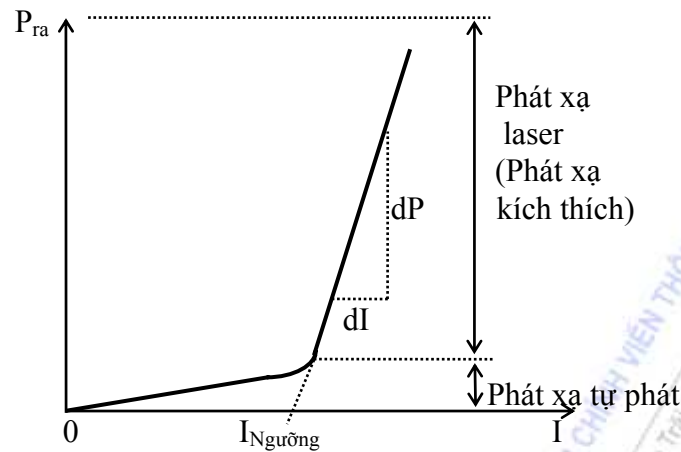
$$I'g_{th} \geq \alpha_t$$

$$\alpha_t = \alpha' + \frac{1}{2L} \ln\left(\frac{1}{R_1R_2}\right) \quad (8.10)$$

Nếu một môi trường thỏa mãn công thức (8.10) đạt tới ngưỡng đầu tiên, thì theo lý thuyết, tại điểm đạt của điều kiện ngưỡng này, tất cả năng lượng tổng được đưa vào trong LASER sẽ tăng độ lớn của riêng một môi trường này. Trên thực tế, tín hiệu ra luôn tồn tại nhiều hơn một môi trường. Các yếu tố quan trọng cho các điều kiện hoạt động đơn môi trường dọc là các vùng tích cực mỏng và có độ ổn định nhiệt cao.

Quan hệ giữa công suất quang phát ra với dòng điện điều khiển điốt được thể hiện ở hình 8-17. gọi là đặc tuyến bức xạ.





Hình 8- 17: Đặc tuyến bức xạ P-I

Khi dòng điện có trị số thấp ( $I < I_{\text{Ngưỡng}}$ ) trong điốt chỉ có bức xạ tự phát. Cả khoảng phổ và độ rộng chùm tia bên cạnh bức xạ này giống như của LED. Sự tăng đột ngột và rất nhanh của công suất ra xuất hiện tại ngưỡng lasing. Điểm chuyển đổi đột ngột này dẫn đến việc khoảng phổ và độ rộng chùm tia hẹp lại theo độ tăng của dòng điện điều khiển. Độ rộng phổ xấp xỉ 1nm và độ rộng chùm tia cạnh bên hẹp hoàn toàn đến chuẩn  $5^0 \div 10^0$  ngay khi vượt qua điểm ngưỡng. Dòng điện ngưỡng  $I_{\text{th}}$  thường được xác định bằng phép ngoại suy của vùng lasing ở đường cong đồ thị sự phụ thuộc của công suất phát quang vào dòng điện điều khiển, như ở hình (8- 17).

#### d. Các đặc tính và tham số của LASER:

##### □ Đặc tuyến bức xạ:

Đặc tuyến bức xạ biểu thị quan hệ giữa công suất ánh sáng phát ra và dòng điện điều khiển chạy qua điốt LASER (xem hình 8- 17).

Qua hình vẽ ta thấy:

Khi dòng điện  $I < I_{\text{Ngưỡng}}$  : Ánh sáng phát ra là bức xạ tự phát của LED.

Khi dòng điện  $I \geq I_{\text{Ngưỡng}}$  : Sự đảo điện xuất hiện và ánh sáng phát ra là bức xạ kích thích cho ta ánh sáng kết hợp.

##### □ Hiệu suất lượng tử vi phân ngoài: $\eta_{\text{ext}}$

Hiệu suất lượng tử vi phân ngoài xác định số lượng photon bức xạ ra trên đơn vị điện tử - lỗ trống tái hợp trên mức ngưỡng.

$$\eta_{\text{ext}} = \frac{q}{E_G} \frac{dP}{dI} = 0,8065 \lambda \frac{dP}{dI} \left[ \mu\text{m} \cdot \frac{\text{mW}}{\text{mA}} \right] \quad (8. 11)$$

Trong đó:  $E_G$  - độ rộng vùng cấm đo bằng eV.

$q$  - điện tích của điện tử.

$dP$  - lượng thay đổi công suất bức xạ ra đo bằng [mW].

khi gia lượng dòng điện cung cấp là  $dI$  đo bằng mA.

$\lambda$  - độ dài bước sóng bức xạ ra đo bằng  $\mu\text{m}$ .



Với các LASER bán dẫn thông dụng thì  $\eta_{\text{ext}} = (15 \div 20)\%$ ; còn đối với các linh kiện chất lượng cao có  $\eta = 30 \div 40)\%$ .

□ *Tần số cộng hưởng:*

Theo công thức (8. 9) ta có thể xét các tần số cộng hưởng của LASER. Điều kiện để thực hiện được công thức (8. 9) là khi có:

$$2\beta L = 2\pi m \quad (8. 12)$$

trong đó:  $m$ - là một số nguyên

$\beta$ - hằng số lan truyền với:

$$\beta = 2\pi n / \lambda \quad (8. 13)$$

$n$  - chiết suất của chất bán dẫn.

Từ đây ta có:

$$L = m \cdot \frac{\lambda}{2n} = m \cdot \frac{C}{2n\nu} \quad (8. 14)$$

Trong đó  $C$  là vận tốc ánh sáng trong môi trường chân không. Điều này có nghĩa là chiều dài hộp cộng hưởng bằng một số nguyên lần nửa bước sóng ánh sáng trong chất bán dẫn. Như vậy trong hốc cộng hưởng tồn tại các thành phần sóng đứng khi một số nguyên  $m$  nửa sóng trải rộng trong vùng giữa các gương.

Vì trong các LASER, hệ số khuếch đại là một hàm của tần số, do đó sẽ có một khoảng tần số được duy trì theo công thức (8. 14). Mỗi một tần số này đáp ứng một dao động của LASER. Do vậy sẽ có một số LASER đơn một và một số LASER đa một. Mối quan hệ giữa hệ số khuếch đại và tần số sẽ có dạng Gauss:

$$g(\lambda) = g(0) \exp \left[ -\frac{(\lambda - \lambda_0)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (8. 15)$$

Trong đó:  $\lambda_0$  - là độ dài bước sóng tại trung tâm của phổ

$\sigma$  - là độ rộng phổ khuếch đại

và hệ số khuếch đại cực đại  $g(0)$  tỉ lệ thuận với sự đảo điện.

Xét tần số, hoặc độ dài bước sóng, khoảng cách giữa các một của một LASER đa một. Để tìm khoảng cách tần số  $\Delta\nu$ , nghiên cứu 2 một liên tiếp nhau của tần số  $\nu_{m-1}$  và  $\nu_m$  biểu diễn bằng các số nguyên  $(m-1)$  và  $m$ . Từ công thức (8. 14), ta có:

$$m-1 = \frac{2Ln}{C} \nu_{m-1}$$

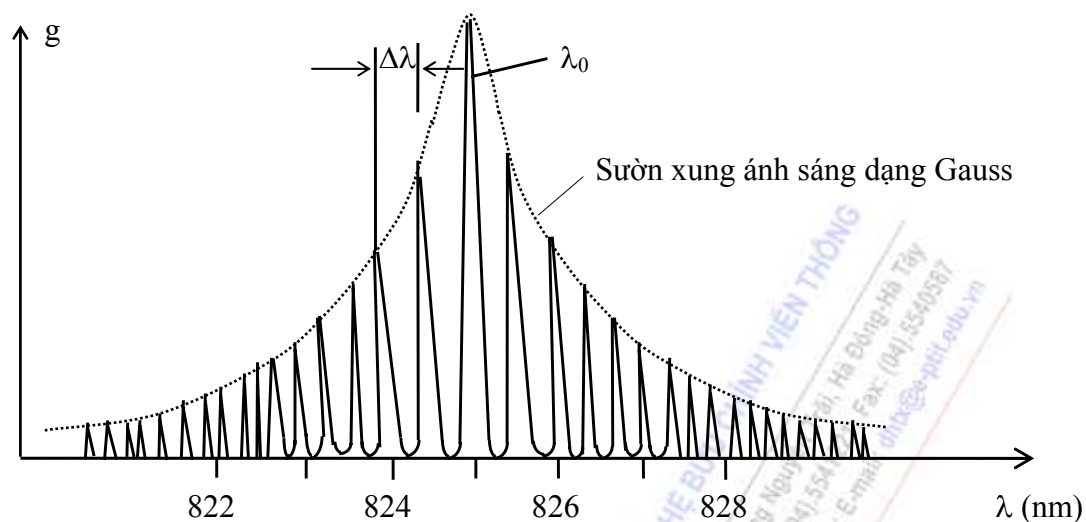
và 
$$m = \frac{2Ln}{C} \nu_m$$

Trừ hai công thức này cho nhau ta có:

$$1 = \frac{2Ln}{C} (\nu_m - \nu_{m-1}) = \frac{2Ln}{C} \Delta\nu \quad (8. 16)$$

Từ đây ta có khoảng cách tần số:

$$\Delta\nu = \frac{C}{2Ln} \quad (8. 17)$$



**Hình 8 - 18 :** Phổ tiêu biểu của một điốt LASER GaAlAs/ GaAs

Ta biết bước sóng và tần số có quan hệ với nhau như sau (vì  $v\lambda = C$ ):

$$\Delta v/v = \Delta \lambda/\lambda$$

ta có:

$$\Delta \lambda = \frac{\lambda^2}{2Ln} \quad (8.18)$$

Như vậy công thức (8.15) và (8.18) cho ta quang phổ bức xạ của một LASER đa mốt và đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của độ khuếch đại vào tần số và khoảng cách tần số phụ thuộc vào cấu trúc của LASER, (xem hình 8-18).

#### 8.2.4. Mặt chỉ thị tinh thể lỏng (LCD: Liquid Crystal Display).

##### a. Khái niệm:

Mặt chỉ thị tinh thể lỏng- LCD- không phải là linh kiện bán dẫn quang điện tử. LCD được chế tạo dưới dạng thanh và chấm- ma trận. LCD là cấu kiện thụ động, nó không phát sáng nên càng dễ đọc nếu xung quanh càng sáng. LCD có tuổi thọ khá cao từ 10000 giờ đến 100000 giờ và ngày nay nó thay thế dần các mặt chỉ thị loại LED, Plasma hay huỳnh quang.

LCD: dùng làm mặt chỉ thị cho đồng hồ, máy tính con, các thiết bị đo số, đồ chơi trẻ em, màn hình ti vi.

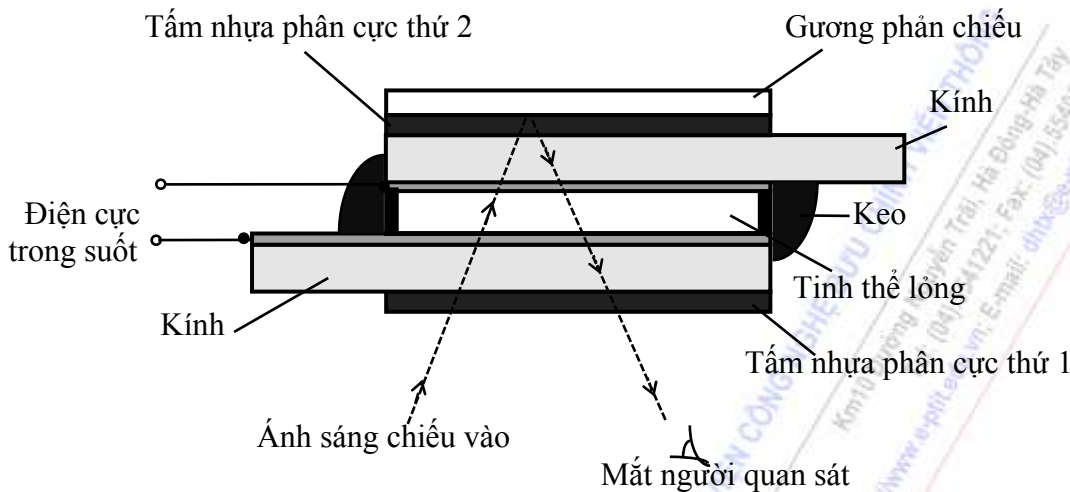
*Vật liệu:*

Tinh thể lỏng sử dụng trong LCD là những hợp chất hữu cơ. Các phân tử của tinh thể lỏng này được phân bố sao cho các trục dọc của chúng nằm song song với nhau.

Hiệu ứng quang học dùng cho LCD chỉ hạn chế trong khoảng "không đẳng hướng", do vậy dải nhiệt độ làm việc của LCD bị hạn chế và xác định bởi hai điểm nhiệt độ nóng chảy và nhiệt độ trong suốt.

##### b. Cấu tạo của thanh LCD:

Cấu tạo của LCD gồm có 2 tấm kính đặt cách nhau khoảng  $10\mu\text{m}$ . Mặt phía trong của 2 tấm kính tráng một lớp oxit kẽm (ZnO) trong suốt làm hai điện cực. Xung quanh bên cạnh hai tấm kính được hàn kín, sau đó đổ tinh thể lỏng vào khoảng giữa 2 tấm kính và gắn kín lại. Hai tấm nhựa có tính phân cực ánh sáng được dán bên ngoài hai tấm kính sao cho hình ảnh phản chiếu của mặt chỉ thị được nhìn từ một phía nhờ gương phản chiếu.



Hình 8- 19 : Cấu tạo của một thanh LCD

### c. Nguyên lý làm việc:

#### □ Chế độ phản chiếu:

+ Khi chưa có điện áp đặt vào, các thanh LCD không làm việc thì ánh sáng sẽ đi qua tấm nhựa phân cực thứ nhất, qua chất tinh thể lỏng, qua tấm nhựa phân cực thứ 2 đến gương phản chiếu và phản chiếu trở về phía người quan sát và thanh LCD không nhìn thấy - Mặt chỉ thị trong suốt.

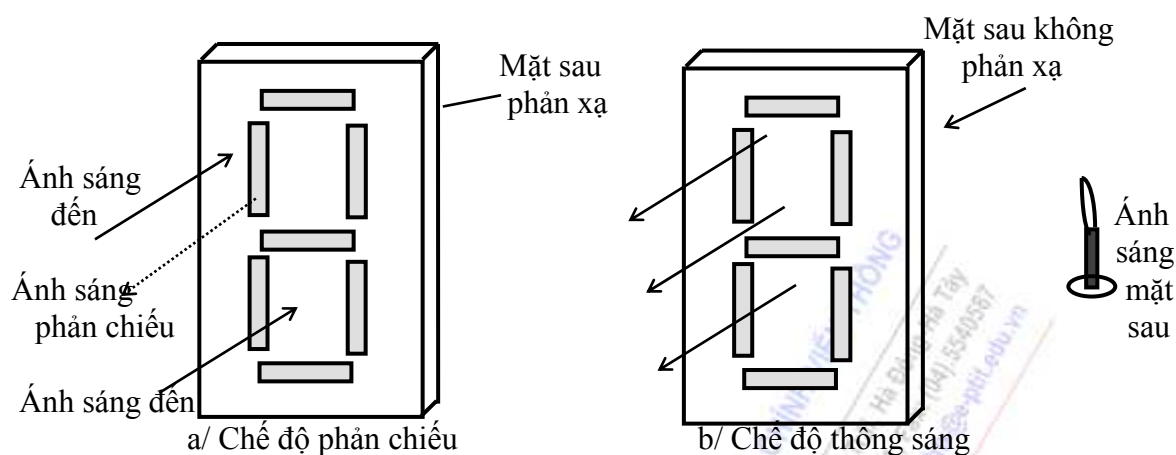
+ Khi có điện áp cung cấp cho thanh LCD, trục dài của các phân tử chất tinh thể lỏng được định hướng theo hướng của điện trường. Như vậy, ánh sáng đi qua tấm nhựa phân cực thứ nhất sẽ bị thay đổi do chất tinh thể đã hoạt hóa, do đó, ánh sáng không thể đi qua tấm phân cực thứ 2 để phản chiếu lại bằng gương phản chiếu. Như thế thanh tinh thể lỏng chịu tác động của điện trường sẽ bị tối đi.

Với 2 màng lọc phân cực  $90^\circ$  ta có nền của mặt chỉ thị trong suốt và những chữ, số, dấu hiệu tối đen. Đây là mặt chỉ thị hoạt động ở chế độ phản chiếu.

Nhược điểm của chế độ phản chiếu là mặt chỉ thị phải dựa vào một nguồn sáng từ bên ngoài. Nếu không có ánh sáng ngoài hay trong một phòng tối thì mặt chỉ thị sẽ không nhìn thấy.

#### □ Chế độ thông sáng:

Nếu 2 màng lọc phân cực song song thì ta có mặt chỉ thị có nền tối và các chữ, số và dấu hiệu sẽ trong suốt. Loại này thích hợp với việc chiếu sáng từ phía sau mặt chỉ thị và ta gọi là chế độ thông sáng.



**Hình 8 - 20** : Chế độ làm việc của LCD

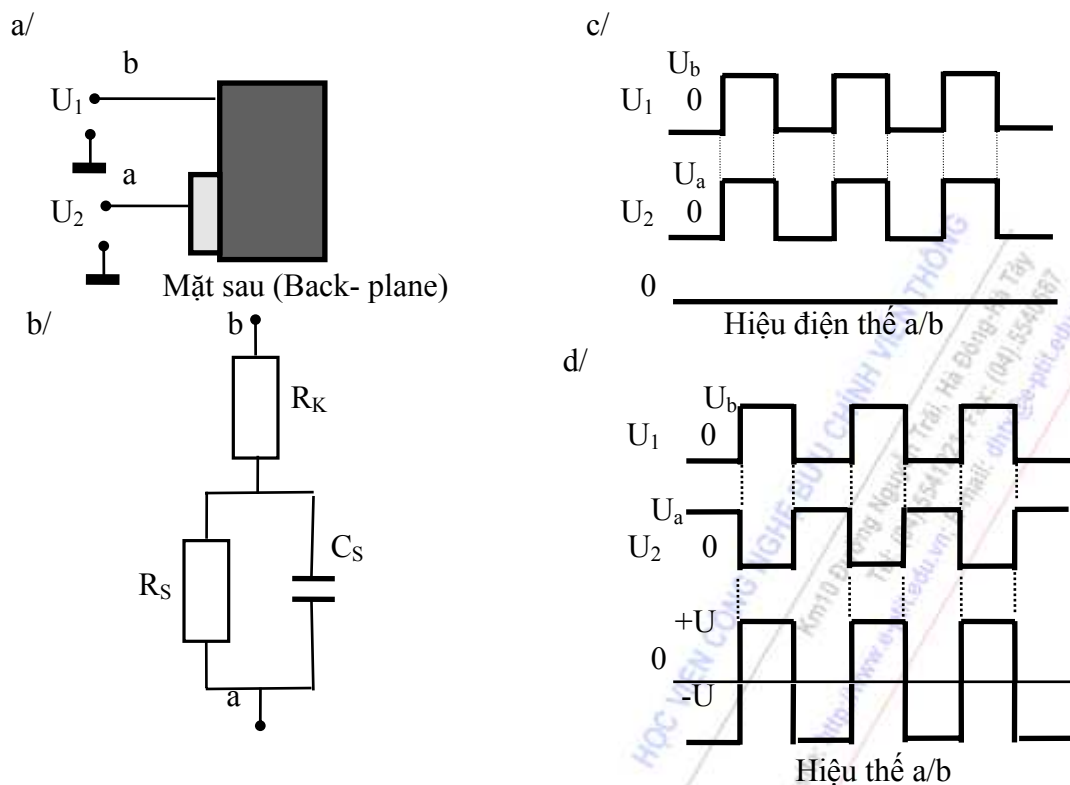
Ở chế độ này, ánh sáng đi qua các phần không hoạt hóa nhưng được gò vào khuôn bằng các thanh hoạt hóa. Vì vậy chữ số đã chọn sẽ nhìn thấy. Để ánh sáng chiếu đều, cần có một tấm kính tán xạ đặt giữa LCD và nguồn sáng.

Hầu hết các đồng hồ số hiển thị đều kết hợp cả hai chế độ phản chiếu và thông sáng. Loại LCD này cần có điện áp xoay chiều từ 3V đến 8V, thời gian hiện số là 100 msec và thời gian tắt từ 200 msec đến 300 msec.

#### **d. Mạch điện điều khiển LCD:**

Phân đoạn tinh thể lỏng và mạch điện tương đương của nó được mô tả trong hình 8-21a,b. Trong hình 8- 21 có:

- a: là điện cực của một phân đoạn;
- b: là điện cực chung.
- $R_K$  : là điện trở của các vật liệu giữa nguồn điện và phân đoạn tinh thể lỏng (khoảng vài  $K\Omega$ ).
- $R_S$  : là điện trở của tinh thể lỏng (khoảng vài  $M\Omega$ )
- $C_S$  : là điện dung giữa hai cực điện của một phân đoạn tinh thể lỏng (khoảng từ  $100pF \div 200pF$  ,  $300pF$  cho LCD loại lớn).



**Hình 8- 21:** a- Phân đoạn LCD với các chân điện cực.

b- Mạch điện tương đương của một phân đoạn LCD.

c- Hai điện cực a và b có điện áp cùng pha.

d- Hai điện cực a và b có điện áp ngược nhau.

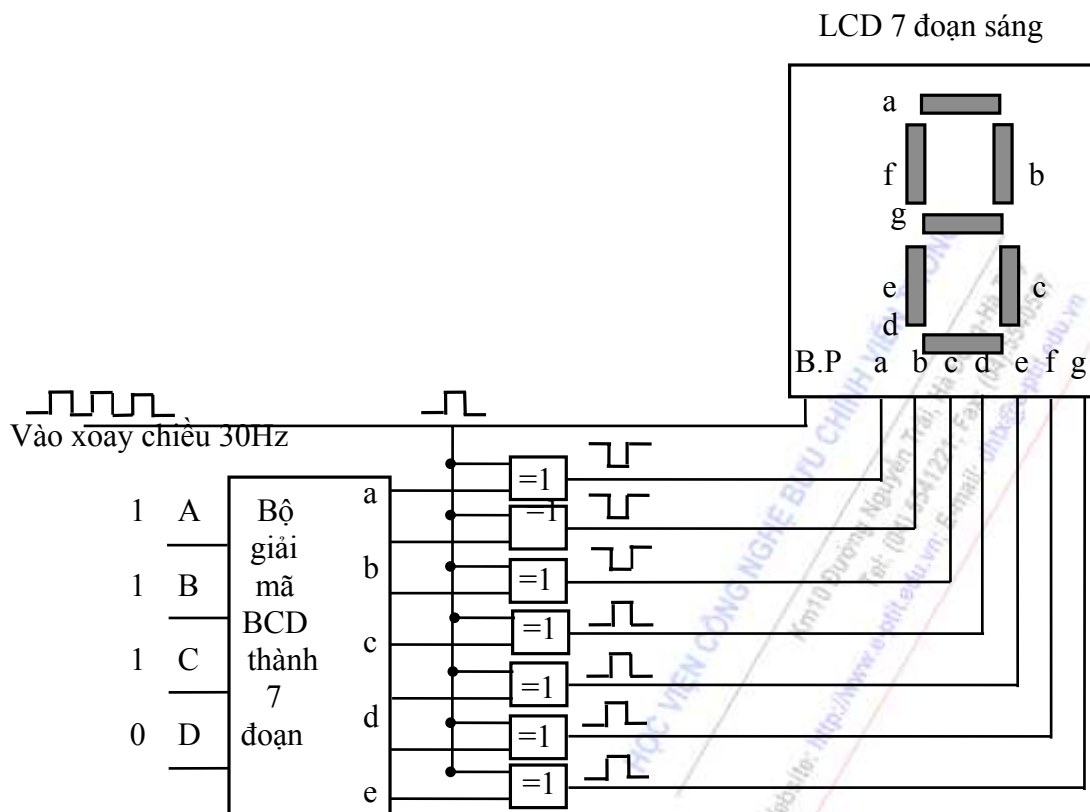
Điện dung  $C_S$  không gây ảnh hưởng ở tần số làm việc từ 30 Hz đến 150 Hz, hoặc 200 Hz. Với các tần số  $< 30$  Hz các chữ số bị chập chờn; và với tần số  $> 100$  Hz và với điện áp khá cao các phân đoạn không có điện áp cũng bị chập chờn. Để hạn chế hiện tượng này, các phân đoạn không sử dụng phải nối với điện cực mặt sau (Back -plane).

Trong hình (8- 21c) cho ta thấy, khi điện áp trên hai điện cực a và b của phân đoạn LCD cùng pha thì hiệu thế của phân đoạn là 0V nên nó không có kích hoạt.

Trong hình (8-21d): Khi hai điện cực a và b có điện áp ngược nhau thì hiệu thế giữa điện cực a và điện cực b là một điện áp xoay chiều với biên độ bằng  $2U_b$  và phân đoạn LCD được kích thích hoạt động.

Như đã biết, để LCD làm việc ta cần một điện áp xoay chiều không có lần điện áp một chiều. Với điện áp một chiều lớn, màng điện cực trong suốt từ chất Indium/ oxit kẽm bị khử thành Indium/kẽm. Màng điện cực sẽ tối đi và LCD bị mù.





**Hình 8- 22** : Hoạt động của LCD với bộ giải mã 7 đoạn sáng và cổng X-OR (CMOS).

LCD thông thường yêu cầu điện áp một chiều lần vào < 100mV; còn LCD màu yêu cầu điện áp một chiều lần vào < 50mV. Do vậy, ta nên dùng mạch điều khiển với IC họ CMOS sẽ cho ta một điện áp ít méo nhất. Vì LCD có công suất thấp nên dùng các cổng CMOS điều khiển là tốt nhất. Hình 8- 22 mô tả hoạt động của mặt chỉ thị LCD 7 đoạn với bộ giải mã BCD thành 7 đoạn.

Theo như hình (8- 22), một phân đoạn trên mặt chỉ thị LCD sẽ trở nên đen nếu nó ngược pha với B.P.; nó sẽ trở nên trong suốt nếu điện áp trên nó cùng pha với điện áp trên B.P.

**e. Các tham số chính của LCD:**

Bảng 8.2 chỉ ra một số tham số của LCD.

**Bảng 8.2 :** Tham số của LCD

Tham số	Đơn vị	min	Loại tiêu chuẩn	max
Khoảng nhiệt độ làm việc	$^{\circ}\text{C}$	- 10		+60
Khoảng nhiệt độ dự trữ	$^{\circ}\text{C}$	- 25		+70
Điện áp làm việc	$V_{T.B.}$	3	4,5	6
Thành phần dc	mV			100
Tần số điều khiển	Hz	30		200
Dòng tiêu thụ năng lượng	$\text{nA/mm}^2$		15	30
Thời gian lên	ms		40	
Thời gian tắt	ms		80	
Thời gian lên + thời gian tắt	ms			250

### 8.3.CÁC CẤU KIỆN CHUYỂN ĐỔI QUANG – ĐIỆN (cấu kiện thu quang).

Tại đầu ra của đường truyền dẫn quang cần phải có cấu kiện thu quang để chuyển đổi các tín hiệu quang thành tín hiệu điện. Cấu kiện thu quang còn được gọi là các bộ tách quang. Vì tín hiệu quang rất yếu và bị biến dạng khi nó xuất hiện ở đầu sợi quang nên bộ tách quang cần phải có độ nhạy cao, tạp âm của hệ thống thấp nhất, có tốc độ đáp ứng nhanh hoặc độ rộng băng đủ để thỏa mãn tốc độ dữ liệu. Đồng thời, bộ tách quang không được nhạy với sự thay đổi của nhiệt độ, có độ bền cao và giá thành phải chăng so với các bộ phận khác của hệ thống.

Một số các cấu kiện thu quang thường sử dụng như điện trở quang, điốt quang, tranzito quang, thyristo quang...

#### 8.3.1. Điện trở quang.

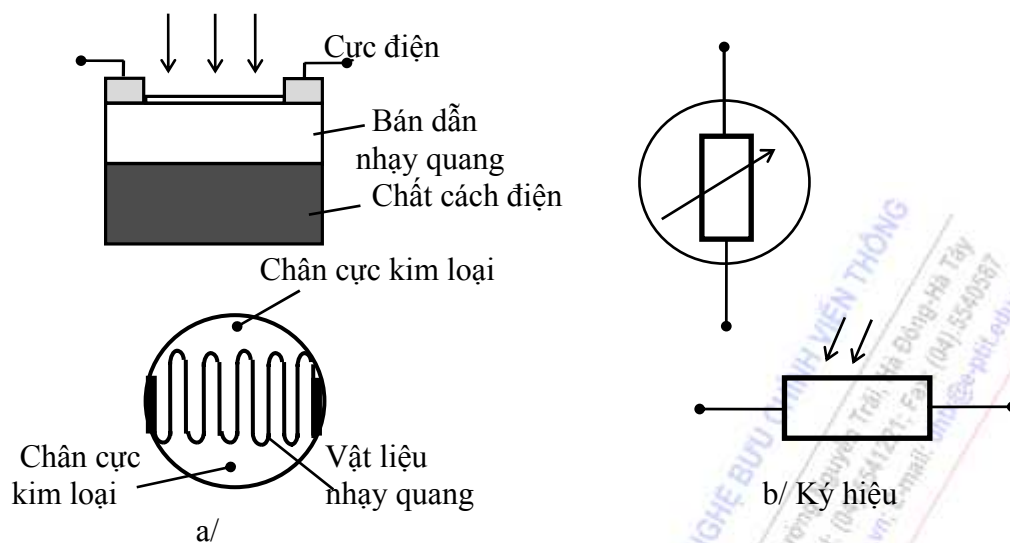
Điện trở quang là một cấu kiện bán dẫn thụ động, không có lớp tiếp xúc P-N.

Vật liệu dùng để chế tạo điện trở quang thường là Cadmium Sulfid ( $\text{CdS}$ ), Cadmium Selenid ( $\text{CdSe}$ ), Sulfid kẽm ( $\text{ZnS}$ ) hoặc các tinh thể hỗn hợp khác. Tất cả các vật liệu này được gọi là vật liệu bán dẫn nhạy quang.

##### a. Cấu tạo:

Điện trở quang gồm một lớp vật liệu bán dẫn nhạy quang rải lên một tấm vật liệu cách điện và 2 chân dẫn điện. Để chống ẩm người ta bọc bên ngoài quang trở một lớp sơn chống ẩm trong suốt với vùng ánh sáng hoạt động của nó. Tất cả được bọc trong một vỏ bằng chất dẻo có cửa sổ cho ánh sáng đi qua.

Hình 8- 23a,b mô tả cấu tạo và ký hiệu của điện trở quang.



**Hình 8- 23:** a- Cấu tạo của điện trở quang  
b- Ký hiệu của điện trở quang trong sơ đồ mạch

#### b. Nguyên lý làm việc:

Mạch điện đầu điện trở quang trình bày ở hình 8- 24.

Khi chiếu ánh sáng vào vật liệu bán dẫn nhạy quang với năng lượng photon lớn hơn hoặc bằng độ rộng vùng cấm của vật liệu, do quá trình hấp thụ quang năng, từng cặp điện tử- lỗ trống mới xuất hiện. Do vậy, nồng độ hạt dẫn trong chất bán dẫn tăng lên, làm độ dẫn điện của nó tăng, hay nói cách khác là điện trở của chất bán dẫn giảm xuống.

Độ dẫn điện được tạo ra khi được chiếu ánh sáng là:

$$\sigma = \sigma_0 + \sigma_F$$

trong đó:  $\sigma_0$  - là độ dẫn điện khi chưa chiếu sáng.

$\sigma_F$  - độ dẫn điện được tạo ra do ánh sáng.

$$\sigma_F = q(\mu_n + \mu_p)\Delta p \quad (8.19)$$

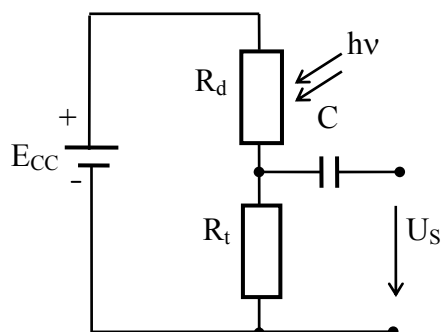
ở đây:  $\Delta n = \Delta p$  - nồng độ điện tử bằng nồng độ lỗ trống mới sinh ra.

Dòng điện quang được tính theo công thức:

$$I_{ph} = q.\Delta p.(\mu_n + \mu_p).E.w.d \quad (8.20)$$

trong đó  $w.d$  là tiết diện của lớp bán dẫn nhạy quang,  $E$  là cường độ điện trường.

Qua công thức trên ta thấy độ dẫn điện của vật liệu bán dẫn có thể thay đổi được khi ta thay đổi nồng độ hạt dẫn và độ linh động hiệu dụng của điện tử và lỗ trống. Như vậy, khi ta thay đổi cường độ chiếu sáng lên điện trở quang thì cường độ dòng điện trong mạch cũng thay đổi theo.



**Hình 8- 24:** Sơ đồ đầu điện trở quang trong các mạch.

Hệ số khuếch đại của điện trở quang ( $K$ ) xác định như là tỉ số của các hạt dẫn thu được trên chân cực và các hạt dẫn được sinh ra trên đơn vị thời gian:

$$K = \frac{\tau_p (\mu_n + \mu_p) U_{cc}}{l^2} \quad (8.21)$$

trong đó:  $\tau_p$  - thời gian sống của hạt dẫn,  $U_{cc}$  là điện áp cung cấp.

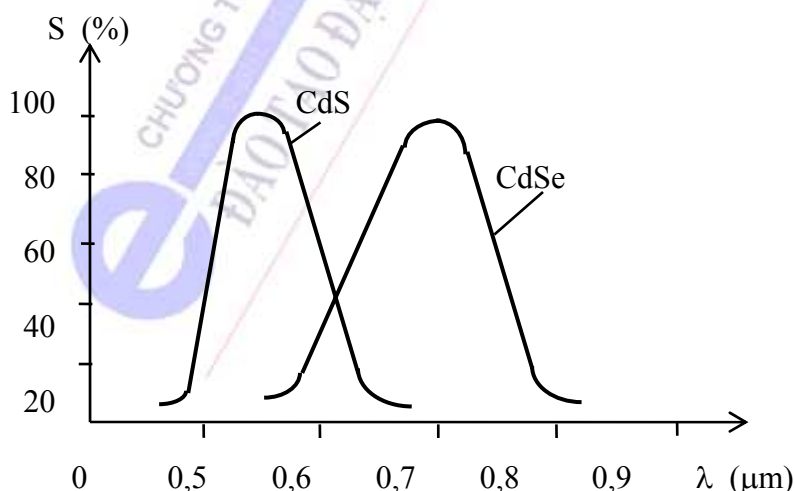
$l$  – chiều dài cửa sổ của điện trở quang

Trong hình (8- 24), để điện trở quang hoạt động cần cấp cho nó một nguồn điện áp  $U_{cc}$ . Quang trở  $R_d$  mắc nối tiếp với một tải  $R_t$  và tụ điện  $C$  dùng để dẫn tín hiệu điện đưa ra khỏi ra.

Khi bị chiếu sáng, điện trở  $R_d$  của điện trở quang thay đổi với trị số là  $\Delta R$ . Dòng điện trong mạch tăng lên một lượng  $\Delta I$  và sụt áp trên tải  $R_t$  cũng tăng lên một lượng là  $u_s$ , ta có:

$$u_s = U_{cc} \frac{R_t \Delta R}{(R_t + R_d - \Delta R)(R_t + R_d)} \quad (8.22)$$

và tín hiệu này được đưa vào một bộ khuếch đại qua tụ điện  $C$ .



**Hình 8- 25 :** Đặc tuyến phổ của điện trở quang

Các điện trở quang có khả năng khuếch đại dòng điện lên đến  $10^5$  lần hoặc hơn nữa. Tuy nhiên, các giá trị này chỉ phù hợp khi cường độ ánh sáng không thay đổi theo thời gian hoặc thay đổi chậm. Khi tần số biến điệu, cường độ ánh sáng tăng thì hệ số khuếch đại của điện trở quang giảm. Khả năng đáp ứng tần số của điện trở quang thấp, thường đạt từ vài chục Hz đến vài KHz.

Đặc tuyến phổ của một số loại điện trở quang mô tả trong hình 8- 25. Đây là đồ thị biểu diễn sự biến đổi của độ nhạy tương đối của điện trở quang theo quang phổ.

### c. Các tham số chính của điện trở quang:

+ Điện dẫn suất  $\sigma_p$  : là hàm số của mật độ năng lượng quang  $\rho_\lambda$  khi độ dài bước sóng không đổi.

$$\sigma_p(\rho_\lambda) \quad \text{khi } \lambda = \text{const}$$

+ Độ nhạy tương đối của điện trở quang  $S(\lambda)$ : là tỉ số giữa điện dẫn suất thay đổi theo bước sóng  $\sigma_p(\lambda)$  và điện dẫn suất cực đại  $\sigma_{p,\max}$  khi mật độ năng lượng quang  $\rho_\lambda$  không đổi:

$$S(\lambda) = \frac{\sigma_p(\lambda)}{\sigma_{p,\max}} \bigg|_{\rho_\lambda} \quad (8.23)$$

+ Vận tốc làm việc: là thời gian hồi đáp của một điện trở quang khi có sự thay đổi từ sáng sang tối hay từ tối sang sáng. Với cường độ ánh sáng mạnh, điện trở quang làm việc nhanh hơn. Điện trở quang làm việc chậm hơn khi trời lạnh và cất giữ trong bóng tối.

+ Hệ số nhiệt của điện trở quang: Hệ số nhiệt của điện trở quang tỉ lệ nghịch với cường độ chiếu sáng. Do đó, để giảm bớt sự thay đổi trị số của điện trở quang theo nhiệt độ, điện trở quang cần được cho hoạt động ở mức chiếu sáng tối đa.

+ Điện trở tối  $R_d$  : Điện trở tối là điện trở trong bóng tối của điện trở quang. Điện trở tối là tham số quan trọng, nó cho ta biết "dòng điện rò" lớn nhất đối với một điện thể trên điện trở quang.

+ Điện thế hoạt động: Tùy theo cấu trúc mặt nạ của điện trở quang mà có các điện thể làm việc khác nhau. Điện thế này có thể lên tới 0,5 Kv/mm. Điện thế hoạt động cao nhất đo được khi điện trở quang hoạt động trong bóng tối. Khi sử dụng điện trở quang cần chọn giá trị điện áp cung cấp sao cho tối ưu đối với mạch điện mà không làm hỏng điện trở quang.

+ Công suất tiêu tán cao nhất: Khi điện trở quang hoạt động cần phải giữ cho nhiệt độ của nó thấp hơn một nhiệt độ cho phép. Nhiệt độ cho phép của điện trở quang thường giới hạn từ  $-40^\circ\text{C}$  đến  $+75^\circ\text{C}$ .

### 8.3.2. Điốt quang.

#### a. Khái niệm chung:

Khi chiếu sáng một tiếp xúc P-N thì trên nó sẽ xuất hiện một điện áp. Tùy theo chức năng và cấu trúc có thể chia điốt quang thành nhiều loại như sau:

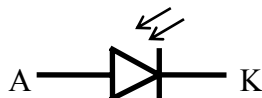
- Điốt quang loại tiếp xúc P-N.
- Điốt quang loại PIN.
- Điốt quang thác (APD).

Một số đặc điểm của điốt quang là rất tuyến tính, ít nhiễu, dải tần số làm việc rộng, nhẹ, có độ bền cơ học cao và tuổi thọ cao.



Điốt quang không nhạy bằng điện trở quang loại CdS nhưng nó làm việc nhanh gấp nhiều lần.

□ *Ký hiệu của điốt quang trong sơ đồ mạch: như hình 8- 26.*



**Hình 8- 26 :** Ký hiệu của điốt quang.

□ *Vật liệu cơ bản:*

Hiện nay, để truyền dẫn tín hiệu quang theo 3 cửa sổ suy hao nhỏ nhất của sợi quang, người ta chú ý đến các điốt quang làm việc ở hai vùng bước sóng:

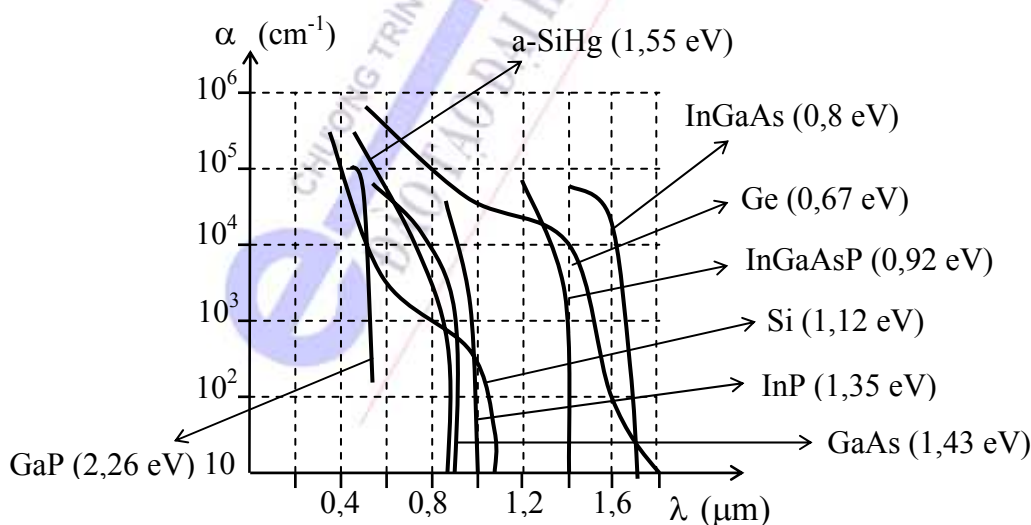
- Vùng bước sóng từ 0,85 đến 0,9  $\mu\text{m}$ .
- Vùng bước sóng từ 1,3 đến 1,6  $\mu\text{m}$ .

Trong vùng bước sóng thứ nhất từ 0,85 đến 0,9  $\mu\text{m}$ , thì vật liệu chế tạo điốt quang được chọn là Silic vì Silic có độ nhạy cao với bước sóng quanh 0,85  $\mu\text{m}$ . Độ rộng vùng cấm của silic là  $E_G = 1,1\text{eV}$  và bằng năng lượng quang cần hấp thụ, ta có:

$$E_G = h\nu = h \frac{C}{\lambda} \quad (8. 24)$$

và sẽ có bước sóng cắt là:  $\lambda_p = 1,1\mu\text{m}$ .

Trong vùng bước sóng thứ hai từ 1,3 đến 1,6  $\mu\text{m}$  cần sử dụng chất bán dẫn có độ rộng vùng cấm hẹp hơn với  $E_G < 0,95\text{ eV}$  người ta thường chọn vật liệu bán dẫn được chế tạo từ các liên kết III-V như GaAs, InP, InAs và GaSb... Ngoài ra, người ta cũng chú ý đến liên kết II-VI như PbSnSe và CdHgTe. Nhờ thay đổi hàm lượng phù hợp trong cấu trúc  $\text{Hg}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$  có thể chế tạo được các điốt quang làm việc ở bước sóng 1,3  $\mu\text{m}$  đến 1,55  $\mu\text{m}$ . Thực tế đã có loại điốt quang thác APD thử nghiệm chế tạo từ vật liệu  $\text{Hg}_{0,4}\text{Cd}_{0,6}\text{Te}$ .

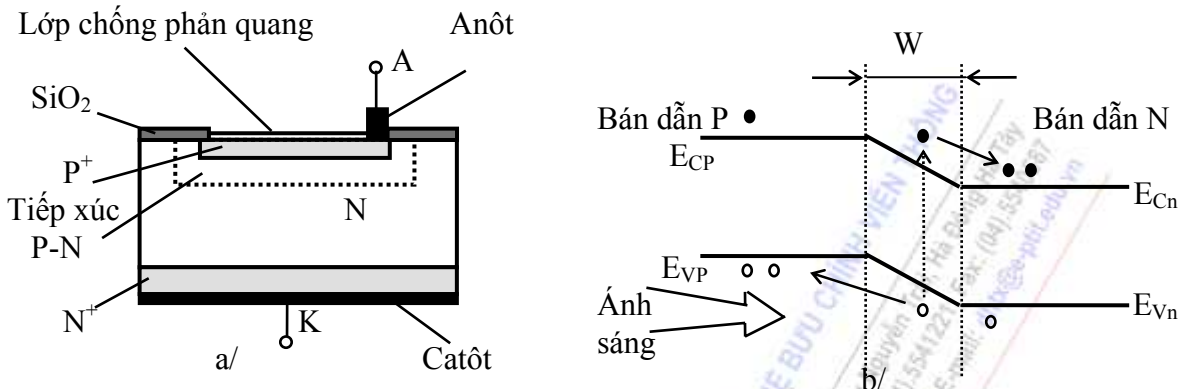


**Hình 8- 27:** Hệ số hấp thụ của một số chất bán dẫn quan trọng

Trong hình, năng lượng vùng cấm được chỉ ra dọc theo độ dài bước sóng.

Chú ý rằng, hệ số hấp thụ giảm nhanh tại vùng năng lượng cấm, đồng thời sự hấp thụ là không đáng kể đối với năng lượng photon  $< E_G$ . Như vậy, Silic hấp thụ photon với  $\lambda \leq 1,1 \mu m$  và GaAs hấp thụ photon với  $\lambda \leq 0,9 \mu m$ .

### b. Điốt quang loại tiếp xúc P-N:



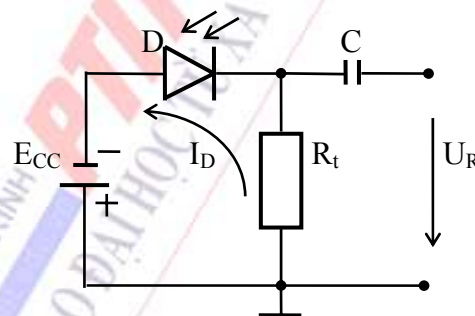
**Hình 8- 28 :** Cấu tạo của điốt quang loại tiếp xúc P-N (a) và phân bố dải năng lượng của tiếp xúc P-N (b).

- **Cấu tạo:**

Điốt quang gồm có một tiếp xúc P-N. Bề dày của lớp tiếp xúc là  $w$ . Hai phần bán dẫn  $P^+$  và  $N^+$  có nồng độ tạp chất cao. Điốt có một cửa sổ để chiếu ánh sáng vào. Hai chân anốt A và catốt K là kim loại được nối tới các phần bán dẫn. (Xem hình 8- 28)

- **Nguyên lý làm việc:**

Sơ đồ nguyên lý đấu nối điốt quang trong mạch điện mô tả trong hình 8-29:



**Hình 8- 29:** Sơ đồ nguyên lý đấu nối điốt quang

Như trong sơ đồ hình 8- 29, điốt quang được cấp nguồn  $E_{CC}$  sao cho tiếp xúc P-N phân cực ngược để tạo ra một điện trường dịch chuyển các hạt dẫn thiểu số sẽ được sinh ra dưới tác dụng của ánh sáng. Do đó, khi chưa có tác dụng ánh sáng thì trong điốt thu quang chỉ có dòng điện ngược (dòng điện tối hay dòng rò) rất nhỏ.

Khi cho ánh sáng chiếu vào, (xem hình 8- 28b), do quá trình hấp thụ, trong bán dẫn xuất hiện từng cặp điện tử - lỗ trống. Các điện tử và lỗ trống này dưới tác động của điện trường ở tiếp xúc P-N phân cực ngược sẽ chuyển động trôi qua tiếp xúc P-N và tạo nên dòng điện gọi là dòng quang điện.

Nếu quang thông của ánh sáng đi tới là  $F_{ph}$ . Và quang thông của ánh sáng bị phản xạ là  $RF_{ph}$ . Thì dòng điện quang do hạt dẫn điện tử – lỗ trống sinh ra trong lớp nghèo có thể tính theo công thức:

$$I_1 = q \int_0^w F_{ph} \cdot \alpha_\lambda \cdot e^{-\alpha_\lambda x} dx = q \cdot F_{ph} (1 - e^{-\alpha_\lambda w}) \quad (8.25)$$

Vì quá trình tái hợp bên trong lớp nghèo hạt dẫn phân cực ngược là không đáng kể, tất cả các điện tử và lỗ trống vừa sinh ra được thu nhận và hiệu suất sẽ gần đạt 100%.

Dòng điện do các hạt dẫn sinh ra trong lớp  $N^+$  có thể là:

$$I_2 = q \cdot F_{ph} \frac{\alpha_\lambda \cdot L_p}{1 + \alpha_\lambda \cdot L_p} e^{-\alpha_\lambda w} \quad (8.26)$$

Trong vùng  $N^+$ , một số hạt dẫn bị tái hợp nên hiệu suất  $< 100\%$ .

Dòng điện quang tổng là:

$$I_{ph} = I_1 + I_2 = q \cdot F_{ph} \left( 1 - \frac{e^{-\alpha_\lambda w}}{1 + \alpha_\lambda \cdot L_p} \right)$$

$$I_{ph} = q \cdot \frac{P_0}{h\nu} \left( 1 - \frac{e^{-\alpha_\lambda w}}{1 + \alpha_\lambda \cdot L_p} \right) \quad (8.27)$$

Trong đó:

$q$ - điện tích của điện tử.

$h\nu$ - năng lượng của photon.

$P_0$  - công suất quang đi tới điốt quang.

$\alpha_\lambda$  - hệ số hấp thụ ánh sáng tại bước sóng  $\lambda$ .

$w$ - bề dày của tiếp xúc P-N.

$L_p$  – Độ dài khuếch tán của lỗ trống.

Hiệu suất lượng tử là:

$$\eta = \frac{I_{ph}/q}{F_{ph}} = 1 - \frac{e^{-\alpha_\lambda w}}{1 + \alpha_\lambda \cdot L_p} \quad (8.28)$$

trong đó  $F_{ph} = \frac{P_0}{h\nu}$  và  $P_0$  là công suất quang sau khi đã bị phản xạ bề mặt linh kiện.

Độ nhạy của điốt quang:

$$S = \frac{I_{ph}}{P_0} = \frac{q \cdot \eta}{h \cdot \nu} = \frac{\eta \cdot \lambda}{1,24} \quad [A/W] \quad (8.29)$$

trong đó  $\lambda$  [ $\mu m$ ].

Linh kiện cần có độ nhạy cao vì nó sẽ cho dòng điện quang cao hơn đối với cùng công suất quang chiếu vào.

Tần số và cường độ của dòng quang điện hoàn toàn do tần số và cường độ của ánh sáng kích thích quyết định.

Điốt quang loại tiếp xúc P-N có vùng điện tích không gian hẹp, ánh sáng được hấp thụ phần lớn ở trong vùng bán dẫn loại P và N. Như vậy hiệu suất lượng tử thấp và tốc độ đáp ứng thấp. Để tăng hiệu suất lượng tử hóa và độ nhạy người ta chế tạo điốt quang có vùng điện tích không gian rộng hơn. Đó là điốt quang loại PIN và điốt quang thác APD.

### c. Điốt quang loại PIN:

□ Cấu tạo:

Điốt quang loại PIN gồm một lớp bán dẫn  $N^+$  có nồng độ tạp chất cao làm nền, trên đó phủ một lớp bán dẫn nguyên tính I (Intrinsic), rồi đến lớp bán dẫn loại  $P^+$  có nồng độ tạp chất cao. Do đó điốt có tên gọi là điốt P-I-N. Bên trên bề mặt của lớp bán dẫn  $P^+$  là điện cực vòng Anôt để ánh sáng có thể thâm nhập vào miền bán dẫn I. Trên lớp bán dẫn P có phủ một lớp mỏng chống phản xạ quang để tránh tổn thất ánh sáng chiếu vào.

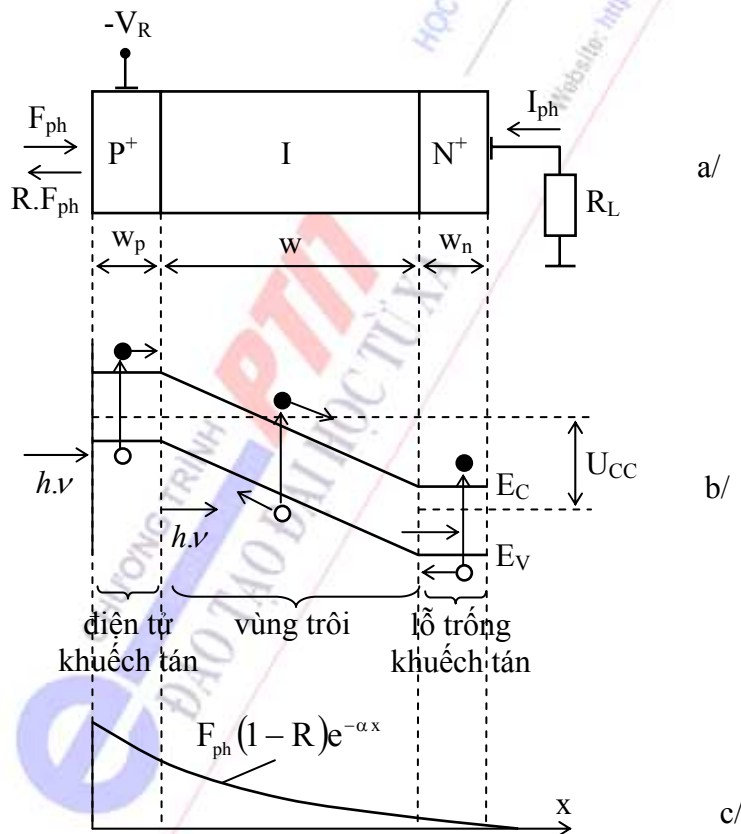
□ Nguyên lý hoạt động:

Điện áp cung cấp cho điốt phân cực ngược dọc theo linh kiện, vì vậy lớp I bị nghèo hoàn toàn trong suốt thời gian hoạt động của nó.

Khi ánh sáng đi vào lớp bán dẫn  $P^+$ , trường hợp lý tưởng mỗi photon sẽ sinh ra trong miền  $P^+$ , I hoặc  $N^+$  một cặp điện tử- lỗ trống. Các điện tử và lỗ trống vừa sinh ra sẽ được điện trường mạnh hút về hai phía điện cực, tạo ra một dòng điện ở mạch ngoài và trên tải  $R_L$  thu được một điện áp  $U_{Ra}$ .

Trên thực tế, một phần ánh sáng vào bị tổn thất do phản xạ. Lớp chống phản xạ tạo cho linh kiện có thể đạt hiệu suất tới 80%. Nếu ta tính đến độ phản xạ  $R_f$  tại bề mặt của điốt quang thì dòng điện quang sơ cấp  $I_{ph}$  tính theo công thức (8.27) được viết lại như sau:

$$I_{ph} = q \cdot \frac{P_0}{h\nu} \left( 1 - \frac{e^{-\alpha_\lambda w}}{1 + \alpha_\lambda \cdot L_p} \right) (1 - R_f) \quad (8.30)$$



**Hình 8- 30:** Hoạt động của điốt quang PIN

a/ Mô hình cấu tạo của điốt PIN

b/ Giản đồ năng lượng khi phân cực ngược

c/ Đặc tính phát sinh hạt dẫn

Đối với silic, hệ số phản xạ ánh sáng hầu như là 30%.

Khả năng thâm nhập ánh sáng vào các lớp bán dẫn thay đổi theo bước sóng. Vì thế lớp bán dẫn  $P^+$  không được quá dày. Xác suất tạo ra các cặp điện tử - lỗ trống trong miền I tăng lên theo độ dày của miền này, do đó miền I càng dày càng đạt hiệu suất lượng tử hóa cao. Nhưng nếu độ rộng của lớp I tăng lên thì thời gian trôi qua nó chậm hơn và làm chậm tốc độ chuyển mạch.

Trong điốt PIN không có khuếch đại và hiệu suất cực đại là đơn vị, độ rộng băng tần có thể giới hạn bởi hằng số thời gian điện dung - điện trở ngoài. Trên thực tế, độ rộng băng tần có thể đạt 10 GHz. Điốt quang loại PIN có dòng điện tối rất nhỏ nên tiếng ồn thấp hơn so với điện trở quang. Vì nguyên nhân này, điốt PIN là bộ tách quang thông dụng trong các hệ thống thông tin quang.

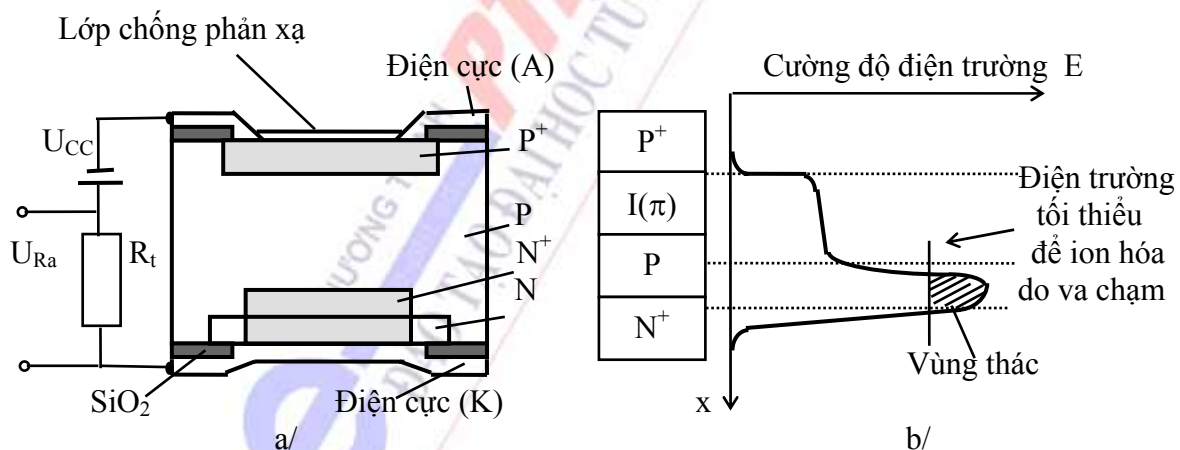
#### d. Điốt quang thác (APD):

Để tăng độ nhạy của điốt quang, người ta có thể sử dụng hiệu ứng giống như hiệu ứng nhân điện tử trong các bộ nhân quang điện. Cấu tạo của điốt quang sẽ có dạng đặc biệt đó là điốt quang với hiệu ứng quang thác APD - Avalanche Photodiodes.

Điốt quang thác giống như điốt PIN trừ điện áp phân cực lớn hơn nhiều để tạo ra sự nhân thác lũ về hạt dẫn và như vậy APD có khuếch đại dòng điện bởi sự ion hoá do va chạm và nhân hạt dẫn.

##### □ Cấu tạo:

Hình (8- 31a,b) mô tả cấu tạo và sự phân bố điện trường trong điốt quang thác APD. Như hình vẽ, lớp bán dẫn nguyên tính I trong điốt P-I-N được thay bằng một lớp bán dẫn P có nồng độ tạp chất thấp. Như vậy, miền bán dẫn P tạo thành miền trôi và là nơi sinh ra các cặp điện tử- lỗ trống.



**Hình 8- 31** : Cấu tạo của APD và phân bố điện trường trong điốt APD.

Điện trường do điện áp phân cực ngược bên ngoài đặt vào thay đổi theo các lớp bán dẫn dọc theo điốt được mô tả như hình (8- 31b): Trong vùng trôi điện trường tăng chậm, nhưng trong vùng tiếp xúc  $P-N^+$  thì tăng nhanh và tạo ra miền thác tại vùng này.

##### □ Nguyên lý hoạt động:



Nguyên lý hoạt động của APD cơ bản giống như điốt P-I-N.

Sơ đồ nguyên lý được mô tả trong hình (8- 31a). Theo sơ đồ này, điốt quang thác được phân cực ngược nhờ nguồn  $U_{CC}$ , và tín hiệu điện được lấy ra trên tải  $R_L$ .

Khi chiếu ánh sáng vào, sẽ xuất hiện thêm các cặp điện- lỗ trống mới trong miền trôi (bán dẫn P). Dưới tác động của điện trường, các điện tử trong miền P sẽ dịch chuyển đến vùng thác của tiếp xúc P-N<sup>+</sup> và rơi vào vùng có điện trường mạnh nên được tăng tốc. Các điện tử có tốc độ lớn này sẽ va chạm vào các nguyên tử khác để tạo ra các cặp điện tử- lỗ trống mới. Hiện tượng này được gọi là hiện tượng ion hóa do va chạm. Do đó, dòng điện qua điốt APD tăng nhanh như được khuếch đại lên với hệ số khuếch đại M. Hệ số khuếch đại (hay còn gọi là hệ số nhân) phụ thuộc vào điện áp phân cực cho điốt và nó có thể đạt tới 200 lần. Xem hình 8 -32

Hệ số nhân M cũng có thể tính theo công thức:

$$M_{ph} = \frac{I_M}{I_{ph}} = \frac{1}{1 - (V/V_{dt})^n} \quad (8.31)$$

Trong đó:  $I_M$  - là giá trị trung bình của dòng điện nhân tổng tại đầu ra.

$I_{ph}$  - là dòng quang điện sơ cấp chưa được nhân, xác định theo công thức (8. 30).

$V_{dt}$  - điện áp đánh thủng tại giá trị M xác định.

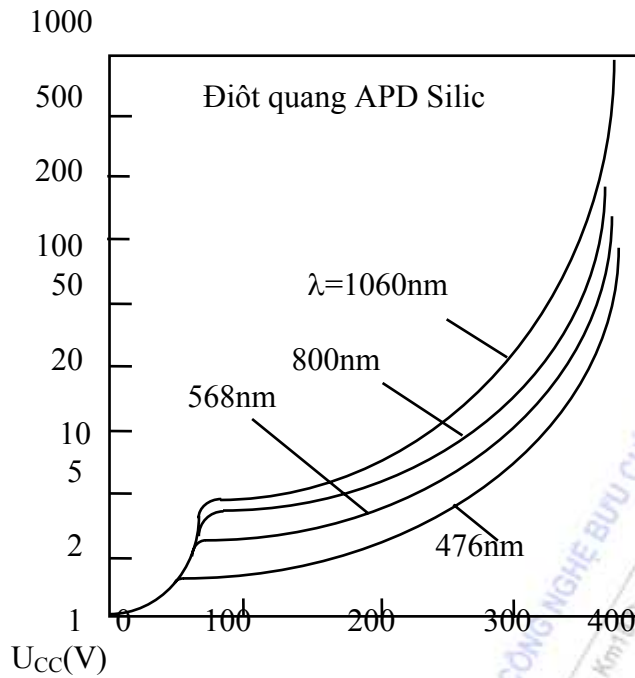
$n$  - lũy thừa, là hằng số vật liệu có giá trị từ 2,5 đến 7.

$V = V_0 - I_M R_M$  với  $V_0$  là điện áp phân cực ngược cho điốt;  $R_M$  là điện trở nối tiếp của điốt quang và điện trở tải của mạch tách quang và  $I_M$  là dòng điện nhân ở đầu ra của APD.

Qua hình 8- 32 ta thấy điốt APD cần có điện áp phân cực lớn hơn nhiều so với điốt loại P-I-N. Nếu thời gian cho quá trình ion hóa trong miền thác càng dài thì hệ số khuếch đại M càng lớn, song tốc độ trôi qua miền thác sẽ chậm đi. Các xung cũng sẽ bị giãn rộng ra và hạn chế độ rộng băng tần B. Để đánh giá khả năng làm việc của APD, người ta định nghĩa tích số độ khuếch đại và độ rộng băng do quá trình thác là:

$$M_{ph} \cdot B = \frac{1}{2\pi\tau} \quad (8.32)$$

Trong đó:  $\tau$  là thời gian giữa 2 quá trình va chạm của điện tử với các nguyên tử.



**Hình 8- 32** : Sự phụ thuộc của hệ số khuếch đại dòng điện M của điốt quang APD silic vào điện áp phân cực  $U_{CC}$  ở các bước sóng khác nhau tại nhiệt độ trong phòng.

Sự tăng hệ số khuếch đại có thể đạt được khi tích hệ số khuếch đại - độ rộng băng tần đạt 100 GHz hoặc hơn. Thông thường, các APD cho phép đạt độ rộng băng trên 1GHz với giá trị  $M_{ph}$  lớn. Để ổn định giá trị  $M_{ph}$ , ta cần cấp một điện áp nguồn lớn và ổn định về nhiệt do đó chi phí để đảm bảo chế độ làm việc cho APD lớn hơn nhiều so với điốt loại P-I-N.

Trong điốt APD silic, ion hoá do va chạm bởi điện tử khoảng 50 lần lớn hơn lỗ trống và do đó nó cho tỉ lệ tín hiệu / tiếng ồn tốt nhất.

□ *Các đặc tính và tham số của điốt quang:*

- Hiệu suất lượng tử hóa  $\eta$  là tỉ số giữa số lượng các đôi điện tử- lỗ trống sinh ra trên số photon có năng lượng  $h\nu$  đi đến và nó được tính theo công thức sau:

$$\eta = \frac{\text{Số cặp điện tử - lỗ trống sinh ra}}{\text{Số photon đi đến}} = \frac{I_{ph} / q}{P_0 / h\nu} \quad (8.33)$$

Trong đó :  $I_{ph}$  là dòng quang điện trung bình sinh ra do công suất quang trung bình  $P_0$  đi tới điốt quang.

Trên điốt thực tế hiệu suất lượng tử hóa  $\eta = (30 \div 95)\%$ .

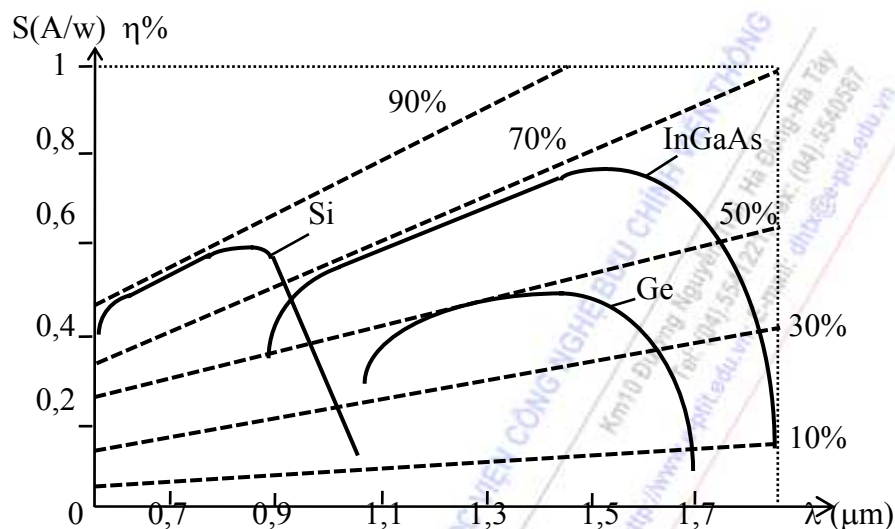
- Độ nhạy của điốt quang S: (hay hệ số chuyển đổi)

Độ nhạy chỉ rõ giá trị dòng quang điện sinh ra trên đơn vị công suất ánh sáng đi đến điốt. Nó liên hệ với hiệu suất lượng tử hóa theo công thức:

$$S = \frac{I_{ph}}{P_0} = \frac{\eta q}{h\nu} \quad [A/w] \quad (8.34)$$

Trong các điốt quang loại P-I-N, độ nhạy là hàm của bước sóng được mô tả ở hình 8- 33.

Trong hầu hết các photodiôt, độ nhạy là một hàm tuyến tính với công suất quang. Có nghĩa là, dòng quang điện  $I_{ph}$  tỉ lệ thuận trực tiếp với công suất quang  $P_0$  chiếu vào cấu kiện tách quang, cũng như vậy, độ nhạy  $S$  là hằng số tại một bước sóng đã cho. Tuy nhiên, hiệu suất lượng tử hóa không phải là hằng số tại tất cả các bước sóng vì nó thay đổi theo năng lượng photon. Dẫn đến độ nhạy là hàm của bước sóng và vật liệu bán dẫn, xem hình 8- 33.



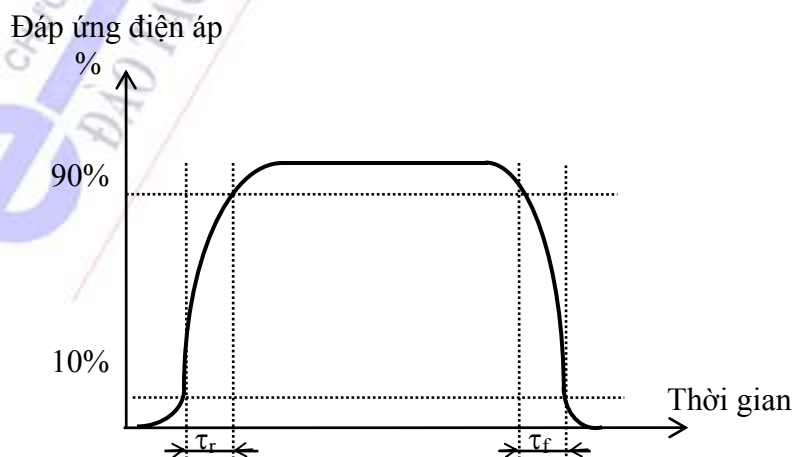
**Hình 8- 33 :** So sánh giữa hiệu suất lượng tử và độ nhạy như một hàm của bước sóng cho điôt quang loại P-I-N đối với các vật liệu khác nhau.

- Tạp âm của bộ tách quang:

Trong các hệ thống thông tin sợi quang, nhìn chung photodiôt được yêu cầu để tách các tín hiệu quang rất yếu. Việc tách các tín hiệu quang yếu nhất có thể yêu cầu bộ tách quang và mạch khuếch đại tiếp theo của nó phải tối ưu sao cho tỉ số tín hiệu trên tạp âm (S/N) được duy trì. Tỉ số tín hiệu trên tạp âm (S/N) tại đầu ra của một bộ thu quang được xác định như sau:

$$\frac{S}{N} = \frac{\text{Công suất tín hiệu dòng quang điên}}{\text{Công suất tạp âm của điôt quang} + \text{Công suất tạp âm mạch khuếch đại}}$$

- Thời gian hồi đáp:



**Hình 8- 34 :** Thời gian lên  $\tau_r$  và thời gian xuống  $\tau_f$  của đáp ứng điện áp lỗi ra của điôt quang.

Thời gian hồi đáp của điốt quang được biểu thị bằng thời gian lên và thời gian xuống của tín hiệu tách quang trên lõi ra khi điốt quang được chiếu sáng bằng bức xạ quang đầu vào. Thời gian lên được đo từ 10% đến 90% sườn lên của xung ra và thời gian xuống cũng được đo như vậy, xem hình 8- 34:

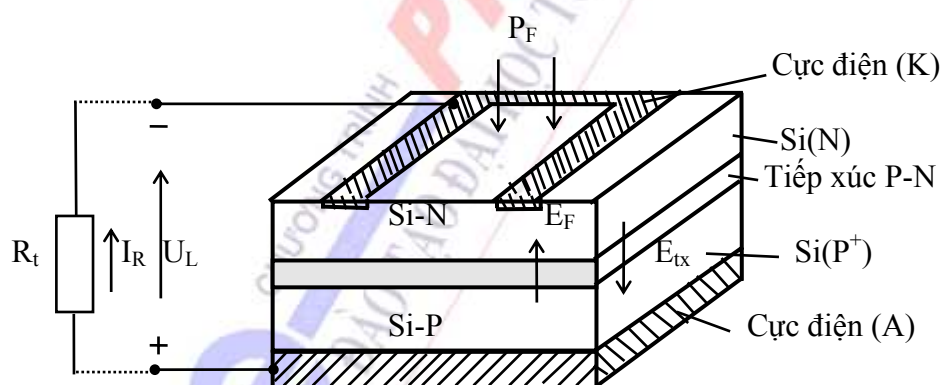
### 8.3.3. Tế bào quang điện và pin mặt trời.

#### a. Cấu tạo:

Tế bào quang điện thường được chế tạo từ các vật liệu: Ge, Si, CdS, ZnS,... Cấu tạo của tế bào quang điện gồm phần nhạy quang là tấm bán dẫn loại N với các cửa sổ trong suốt cho tín hiệu quang chiếu vào. Phía đối diện với lớp bán dẫn N là lớp bán dẫn loại P. Tất cả được bọc trong vỏ bảo vệ với 2 điện cực dẫn ra ngoài.

#### b. Nguyên lý làm việc:

Khi chiếu sáng lên lớp bán dẫn N, do quá trình lượng tử hóa sẽ sinh ra từng đôi điện tử - lỗ trống. Dưới tác dụng của điện trường trong lớp tiếp xúc  $E_{tx}$  các lỗ trống sẽ di chuyển từ phần bán dẫn N sang bán dẫn P, còn các điện tử thì chuyển động về bề mặt của lớp bán dẫn N và làm xuất hiện ở hai đầu cực hiệu điện thế có hướng điện trường từ bán dẫn P sang bán dẫn N ( $E_F$ ) và ngược chiều với chiều của điện trường tiếp xúc. Do đó, điện trường tiếp xúc giảm, các hạt dẫn đa số sẽ khuếch tán qua tiếp xúc P-N. Hiện tượng này tiếp tục đến một trị số  $E_F$  nào đó mà tại đó trạng thái cân bằng động trong tiếp xúc P-N được xác lập, hiệu điện thế  $U_F$  ở hai đầu cực điện ổn định. Như vậy, tế bào quang điện đã chuyển năng lượng ánh sáng sang năng lượng điện. Đây là điện thế hở mạch của tế bào quang điện  $U_L$ . Nếu nối kín mạch ngoài bằng tải  $R_t$  sẽ có dòng điện chạy qua là  $I_R$  (trường hợp ngắn mạch ngoài ta sẽ có dòng điện ngắn mạch  $I_{phot.}$ ). Hệ số có ích của tế bào quang silic khá cao nên được sử dụng làm pin mặt trời. Tế bào quang silic có thể hoạt động ở cả chế độ có nguồn và chế độ chế biến tín hiệu.



**Hình 8- 35 :** Cấu tạo và cơ chế hoạt động của tế bào quang điện từ Si.

#### c. Đặc tuyến vôn-ampe và tham số:

Dòng điện qua tế bào quang khi chưa chiếu sáng chính là dòng điện của điốt bán dẫn theo phương trình của Shockley:

$$I = I_0[\exp(U/V_T) - 1]$$

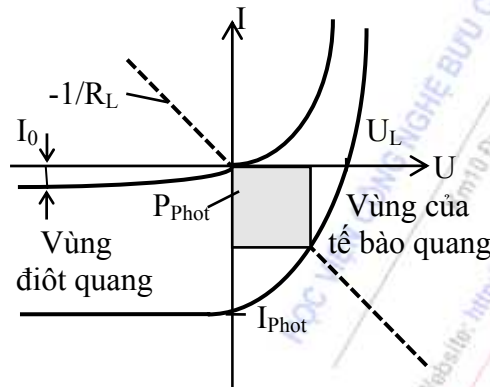
Khi tế bào quang được chiếu sáng, thì đặc tuyến dịch chuyển theo chiều âm của trục I. Khoảng dịch này bằng dòng quang điện ngắn mạch  $I_{Phot}$ . Lúc này dòng điện qua tế bào quang sẽ có biểu thức:

$$I = I_0[\exp(U_L/V_T) - 1] - I_{Phot} \quad (8.35)$$

Trong đó:

- $I_{Phot}$  là dòng quang điện ngắn mạch.
- $U_L$  là điện thế quang điện hở mạch
- $P_{Phot}$  là công suất quang điện hiệu dụng

Hai tham số quan trọng của tế bào quang hay pin mặt trời là hiệu suất biến đổi và công suất hiệu dụng. Khác với pin mặt trời, các tế bào quang điện được cấu tạo với những cấu trúc bé cho công suất nhỏ và không tối ưu cho phổ mặt trời.



**Hình 8- 36:** Đặc tuyến vôn -ampe của tế bào quang điện

Hiệu suất biến đổi quang- điện là tỉ số giữa công suất hiệu dụng lớn nhất với hệ số mặt trời S và tính theo công thức:

$$\eta = (IU)_{Max}/S \quad (8.36)$$

Hệ số mặt trời S tùy thuộc vào sự suy giảm của ánh sáng mặt trời qua tầng khí quyển và được đo bằng đơn vị AM.

Dòng điện do ánh sáng tạo ra trên tải cùng hướng với dòng điện ngược bão hoà của tiếp xúc P-N. Do vậy, dòng điện tổng của tiếp xúc P-N khi chiếu sáng được tính:

$$I = I_{Phot} + I_0 \left( 1 - e^{\frac{U}{V_T}} \right) \quad (8.37)$$

Với  $I_{Phot}$  được tính theo công thức:

$$I_{Phot} = q \cdot G_L (L_n + L_p) \cdot A \quad (8.38)$$

trong đó:  $G_L$  - tốc độ phát sinh hạt dẫn.

A - diện tích mặt tiếp xúc

Đặc tính Vôn – Ampe theo công thức (8. 37) ở hình 8- 37

Hệ số mặt trời AM1 được xác định là mặt trời chiếu tại đỉnh điểm và cấu kiện tại mặt biển dưới điều kiện AM1 là cao hơn  $100 \text{ mW/cm}^2$  một chút. Phổ mặt trời ngoài không khí được hiểu là AMO, ở đó năng lượng mặt trời là  $135 \text{ mW/cm}^2$ . Đặt  $I=0$  trong công thức (8. 37) để tính điện áp hở mạch là:



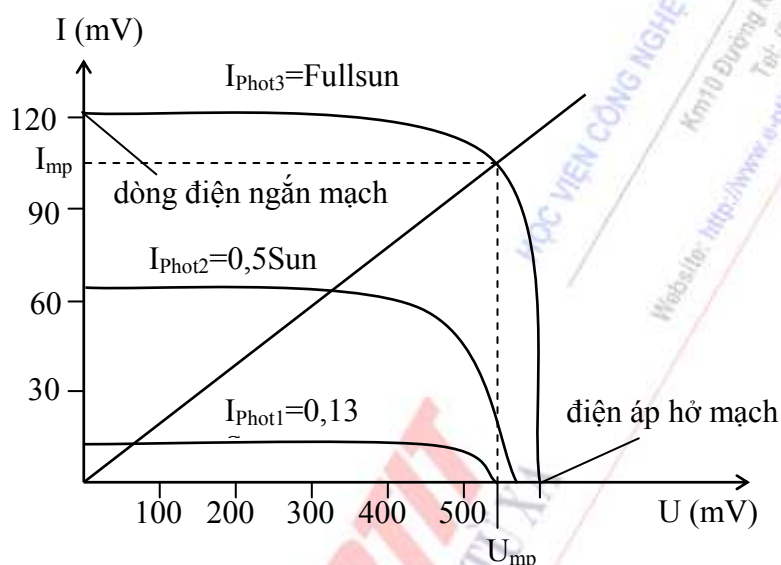
$$U_L = V_T \ln \left( 1 + \frac{I_L}{I_0} \right) \quad (8.39)$$

Công suất lớn nhất có thể nhận được từ một pin mặt trời tùy thuộc vào khoảng đặc tuyến nằm giữa dòng điện ngắn mạch và điện thế hở mạch.

#### d. Vật liệu:

Vật liệu thường dùng để chế tạo pin mặt trời có Si, GaAs, CdS.... Silic có độ rộng vùng cấm  $E_G = 1,1\text{eV}$  cho ta điện thế hở mạch  $U_L = 0,5\text{V}$ , và dòng ngắn mạch  $I_{\text{Phot.}} = 50\text{mA/cm}^2$  và hiệu suất biến đổi  $\eta$  trên thực tế khoảng từ 10% đến 11%. Vật liệu GaAs có độ rộng vùng cấm  $E_G = 1,43\text{eV}$  cho ta điện thế hở mạch  $U_L = 0,7\text{V}$ , dòng điện ngắn mạch  $I_{\text{Phot.}}$  khá nhỏ khoảng  $10\text{mA/cm}^2$  và hiệu suất biến đổi thực tế khoảng  $\eta = 21\%$ .

Mỗi một tế bào pin mặt trời cho điện thế khoảng 0,4V đến 0,5V. Khi sử dụng, các tế bào pin mặt trời thường được đấu thành modul pin mặt trời để cho điện áp cao hơn.

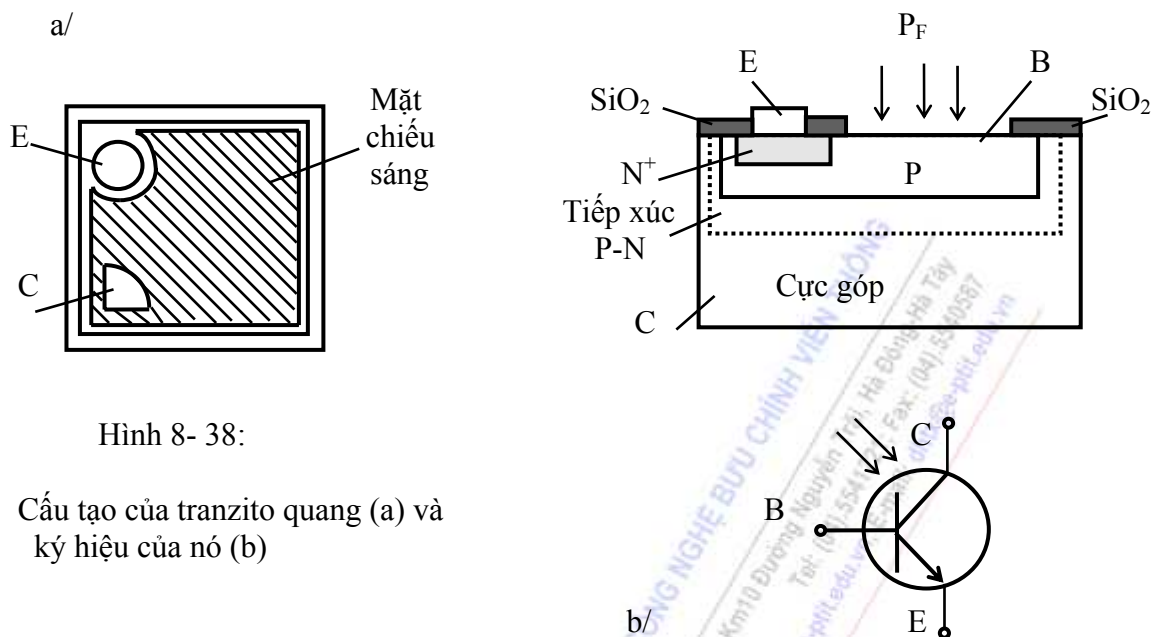


**Hình 8- 37:** Đặc tuyến Vôn – Ampe của tế bào pin mặt trời dưới độ chiếu sáng AM1 (air - mass), nghĩa là năng lượng mặt trời tại mặt biển dưới bầu trời trong sáng với ánh nắng mặt trời đỉnh điểm

#### 8.3.4. Tranzito quang lưỡng cực.

##### a. Cấu tạo:

Cấu tạo và ký hiệu của tranzito quang mô tả trong hình 8- 38. Giống như tranzito thường, tranzito quang có 2 loại PNP và NPN. Ba chân cực: cực phát E, cực gốc B, và cực góp C. Cực gốc là bề mặt được ánh sáng chiếu vào, nó được chế tạo rất mỏng để có điện trở nhỏ.



Hình 8-38:

Cấu tạo của tranzito quang (a) và ký hiệu của nó (b)

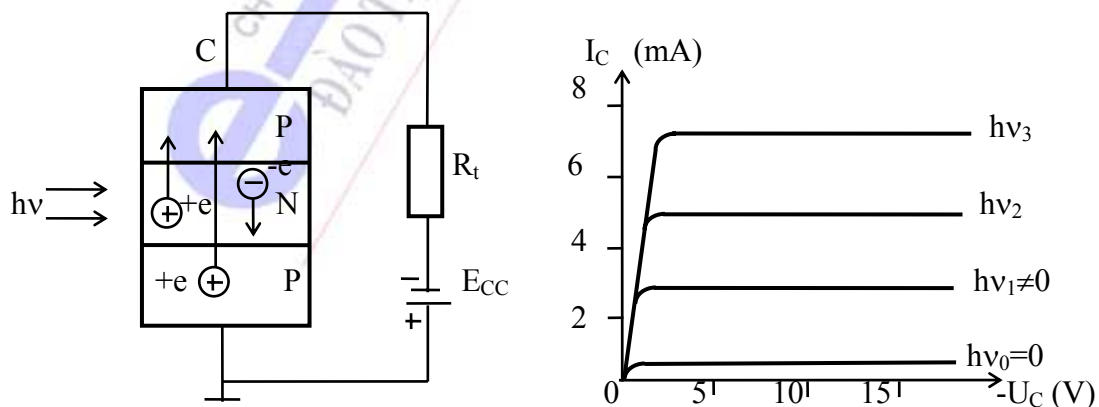
Hình 8-38 : Cấu tạo và ký hiệu của tranzito quang

#### b. Nguyên lý hoạt động:

Sơ đồ nguyên lý đầu tranzito quang mô tả ở hình 8-39.

Trong hình, nguồn cung cấp  $E_{CC}$  tạo cho tiếp xúc phát phân cực thuận và tiếp xúc góp phân cực ngược. Tải  $R_t$  để sụt bớt một phần điện áp phân cực cho tranzito, và lấy tín hiệu điện ra.

- Khi không có tín hiệu quang ( $h\nu = 0$  hay  $I_B = I_{\text{Phot}} = 0$ ) trong mạch chỉ có dòng điện tối  $I_{C \text{ tối}}$ . Đây là dòng điện do các lỗ trống khuếch tán từ phần phát sang tới cực góp và nó có trị số nhỏ.
- Khi có tín hiệu quang đến ( $h\nu \neq 0$  hay  $I_B = I_{\text{Phot}} \neq 0$ ), ở phần gốc sẽ xuất hiện các cặp điện tử- lỗ trống. Các lỗ trống sẽ di chuyển về cực góp tạo nên thành phần dòng quang điện  $I_{\text{Pphot}}$ , còn các điện tử chuyển động về phía tiếp xúc phát, kích thích cho sự khuếch tán của các hạt dẫn tại đây dễ dàng hơn..



Hình 8-39: Sơ đồ nguyên lý đầu tranzito quang và đặc tuyến Vôn -Ampe của nó

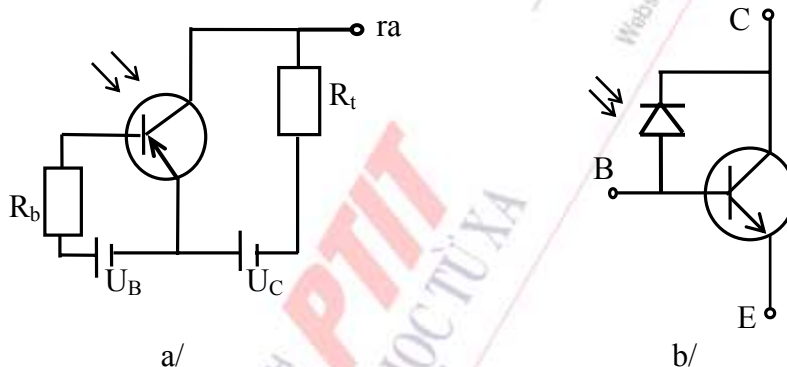
Với sơ đồ mắc cực phát chung như hình vẽ, ta có thể tính gần đúng dòng điện cực góp khi tranzito quang được chiếu sáng  $I_{Cs}$ :

- Do cực gốc để hở và có ánh sáng chiếu đến nên dòng điện cực gốc chính là dòng tín hiệu quang  $I_{Phot.}$ .
- Hệ số khuếch đại dòng quang chính bằng hệ số khuếch đại của tranzito trong sơ đồ mắc cực phát chung ( $M = \beta$ ).

Vậy, tổng dòng điện trong tranzito quang khi được chiếu sáng:

$$I_{Cs} = \beta I_{Phot.} + I_{Pphot} + I_{C\text{ tối}} \quad (8, 40)$$

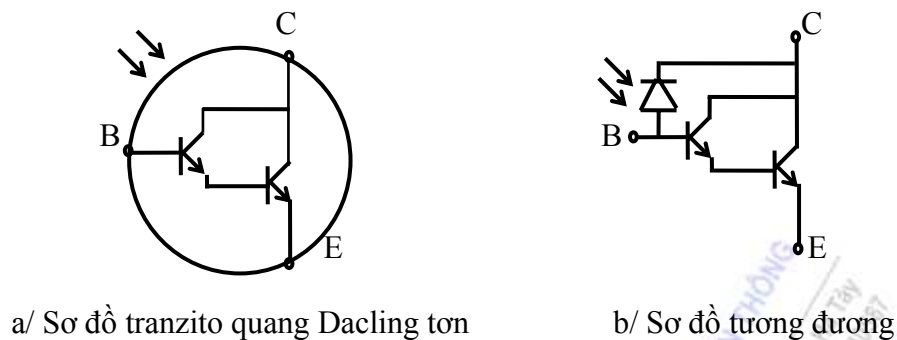
Thành phần dòng điện tối  $I_{C\text{ tối}}$  sẽ hạn chế khả năng khuếch đại tín hiệu quang của tranzito. Để khắc phục hạn chế này người ta dùng tranzito quang 3 chân cực để giảm dòng điện tối và tăng trở kháng ra của mạch. Sơ đồ đầu tranzito 3 chân cực như trong hình 8- 40. Với cách mắc này các tham số của mạch phụ thuộc vào dòng điện cực gốc rõ rệt. Tại giá trị dòng điện cực gốc tối ưu nào đó sẽ cho các thông số tối ưu: dòng điện tối có thể giảm xuống 10 lần, trở kháng ra tăng lên khoảng 10 lần, và các hệ số khuếch đại dòng điện và điện áp tăng lên đáng kể so với mạch để hở cực gốc. Trong các mạch, tranzito quang cũng có thể mắc theo 3 cách mắc. Đó là các sơ đồ: cực gốc chung, cực phát chung và cực góp chung như tranzito thường chỉ có khác tín hiệu điều khiển là tín hiệu quang.



**Hình 8- 40:** a- Sơ đồ mắc tranzito quang 3 chân cực để tối ưu các thông số  
b- Sơ đồ tương đương của tranzito quang: điôt quang là tiếp xúc gốc- góp.

Về mặt cấu trúc có thể coi tranzito quang như một mạch tích hợp đơn giản gồm một điôt quang làm nhiệm vụ biến đổi tín hiệu quang sang tín hiệu điện và một tranzito có nhiệm vụ khuếch đại (xem hình 8- 40b).

Để có hệ số khuếch đại dòng quang lớn, người ta dùng sơ đồ Dacling- ton đối với các tranzito quang, xem hình 8- 41. Tranzito quang Dacling-ton được chế tạo như chỉ ra trong hình.



**Hình 8- 41:** Sơ đồ tranzito quang Dacling-ton

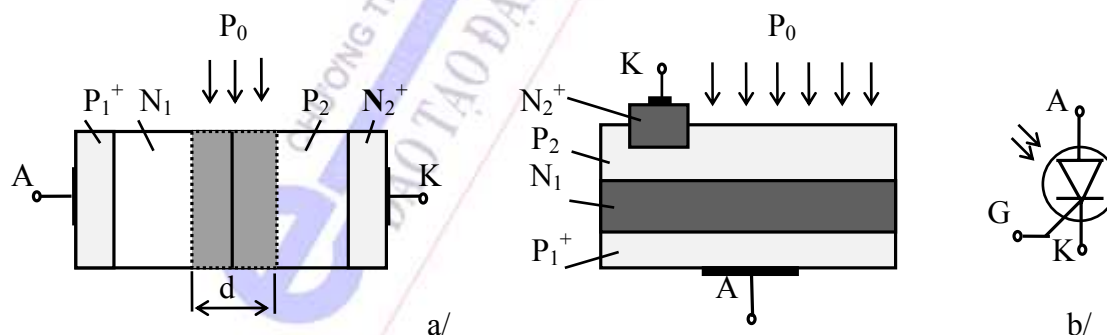
Từ sơ đồ tương đương ta thấy độ nhạy phổ của tranzito quang cũng giống như đối với các điốt quang tương ứng, tuy nhiên vì tranzito quang có khả năng khuếch đại nên độ nhạy của nó cao hơn điốt quang khoảng vài trăm lần. Tần số làm việc của tranzito quang thấp hơn điốt quang. Tranzito quang làm việc với tần số đến vài trăm KHz (khoảng 300KHz, còn sơ đồ Dacling-ton chỉ khoảng 30KHz) trong khi điốt quang làm việc đến vài chục MHz.

### 8.3.5. Thyristo quang.

#### a. Cấu tạo:

Cũng như các thyristo thường, trong họ thyristo quang cũng có các dạng thyristo 4 lớp, 5 lớp bán dẫn với 3 hoặc 4 chân cực. Các thyristo quang đều có vỏ bọc với cửa sổ trong suốt cho các tín hiệu quang đi đến. Hình 8- 42 mô tả cấu tạo và ký hiệu của thyristo quang.

Anôt (A) là một lớp bán dẫn loại P có nồng độ tạp chất cao và Catôt (K) là lớp bán dẫn loại N có nồng độ tạp chất cao. Còn hai vùng bán dẫn N và P ở giữa có nồng độ tạp chất thấp nên bề rộng (d) của tiếp xúc P-N giữa chúng ( $T_2$ ) lớn hơn nhiều so với hai tiếp xúc P-N ở anôt ( $T_1$ ) và ở catôt ( $T_3$ ).



**Hình 8- 42:** Cấu tạo (a) và ký hiệu (b) của SCR quang.

#### b. Nguyên lý làm việc:

Nguyên lý làm việc của SCR quang giống như của các SCR thường, chỉ khác tín hiệu điều khiển là tín hiệu quang:

Khi chưa chiếu sáng SCR, ta đặt điện áp dương vào anôt ( $U_{AK} > 0$ ) thì SCR không dẫn điện chỉ có vùng điện tích không gian  $T_2$  lan rộng. Khi chiếu ánh sáng vào SCR, do quá trình quang lượng tử sẽ xuất hiện các đôi điện tử- lỗ trống mới làm mật độ hạt dẫn trong vùng này tăng lên dẫn đến dòng điện giữa anôt và catôt tăng. Khi hệ số chuyển tải dòng điện gia tăng đến 1 (nghĩa là  $\alpha_p + \alpha_n = 1$ ) thì SCR dẫn điện.

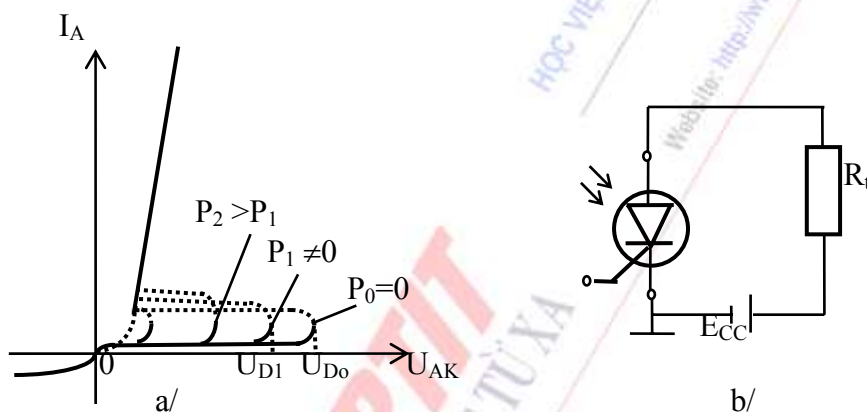
Khi cường độ tín hiệu quang tăng, giá trị điện áp dẫn  $U_D$  (hay điện áp đỉnh khuỷu) giảm và giá trị dòng điện qua SCR được tính theo công thức sau:

$$I_{A.S.} = \frac{I_{t\ddot{a}i} + I_{Phot}}{1 - (\alpha_p + \alpha_n)} \quad (8.41)$$

Trong đó:

- $I_{t\ddot{a}i}$  là dòng điện ngược của tiếp xúc  $T_2$ .
- $\alpha_p$  và  $\alpha_n$  là hệ số chuyển tải dòng điện qua nền bán dẫn P và nền bán dẫn N.
- $I_{Phot}$  là dòng quang điện

Độ nhạy của thyristo phụ thuộc vào điện áp thuận đặt lên anôt, vào nhiệt độ và cấu trúc của nó. Để tăng độ nhạy, thyristo quang thường có kích thước mỏng, nhỏ nên nó chỉ làm việc với điện áp thấp và dòng điện bé.



**Hình 8- 43** : Đặc tuyến Vôn -Ampe (a) và sơ đồ nguyên lý (b) của SCR quang.

Vậy ở thyristo quang, tín hiệu quang chỉ làm nhiệm vụ kích cho thyristo dẫn điện chứ không điều khiển được giá trị dòng điện anôt. Cường độ tín hiệu quang chỉ có tác dụng làm thay đổi thời gian đóng mở của thyristo (xem hình 8- 43).

## 8.4. CÁC BỘ GHÉP QUANG (OPTO- COUPLERS).

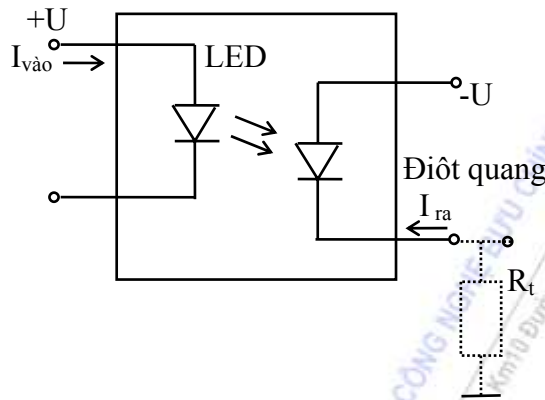
### 8.4.1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động.

Bộ ghép quang còn gọi là bộ cách ly quang (Photo coupled isolators), còn thông thường ta gọi là bộ ghép quang (Opto- Coupler). Bộ ghép quang dùng để cách điện giữa các mạch điện có sự khác biệt về điện thế khá lớn mà vẫn truyền dẫn được tín hiệu điện giữa chúng. Ngoài ra nó còn được dùng để tránh các vòng đất gây nhiễu trong mạch điện.



**a. Cấu tạo và nguyên lý làm việc:**

Cấu tạo của bộ ghép quang gồm có một điôt phát quang (LED) có nhiệm vụ phát ra ánh sáng có đáp ứng nhanh với sự thay đổi của dòng điện đi qua nó, và một linh kiện thu quang (ví dụ như điôt quang, tranzito quang, thyristo quang...). Hai linh kiện này đặt cạnh nhau tạo thành bộ ghép quang, trong đó dòng điện đầu vào của một mạch điện sẽ tạo ra một dòng điện thích ứng ở đầu ra của một mạch điện khác.



**Hình 8- 44** : Cấu tạo và sơ đồ nguyên lý của bộ ghép quang dùng điôt quang.

Khi LED được phân cực thuận, với dòng điện thuận, LED sẽ phát ra ánh sáng. Ánh sáng này được chiếu trực tiếp lên cấu kiện thu quang hoặc chiếu gián tiếp qua sợi quang dẫn và cấu kiện thu quang sẽ biến tín hiệu quang thành tín hiệu điện. Như vậy, đầu tiên tín hiệu điện được LED biến thành tín hiệu quang, sau đó tín hiệu quang được cấu kiện thu quang biến đổi lại thành tín hiệu điện.

**b. Tính chất cách điện :****- Điện trở cách điện:**

Điện trở cách điện là điện trở với dòng điện một chiều giữa đầu vào và đầu ra của bộ ghép quang. Điện trở cách điện có trị số bé nhất khoảng  $10^{11}\Omega$ .

**- Điện dung cách điện:**

Cấu trúc của bộ ghép quang gồm có LED và photodiode hoặc phototransistor nên có thể tạo ra một điện dung từ 0,3 đến 2pF giữa đầu vào và đầu ra. Do đó với điện trường thay đổi nhanh ( $500V/\mu S$ ) điện dung ký sinh này có thể truyền và tạo ra trên lối ra xung điện có các gai nhọn. Để giảm ảnh hưởng này ta nên dùng bộ ghép quang không có chân nối ở cực gốc của transistor quang, và nối một tụ điện giữa lối vào và lối ra để giảm gai nhọn ở xung ra.

**- Điện thế cách ly:**

Điện thế cách ly là điện thế cao nhất mà bộ ghép quang có thể chịu đựng được. Điện thế cách ly phụ thuộc vào cấu trúc của bộ ghép quang, không khí,...

**- Hệ số truyền đạt dòng điện (CTR):**

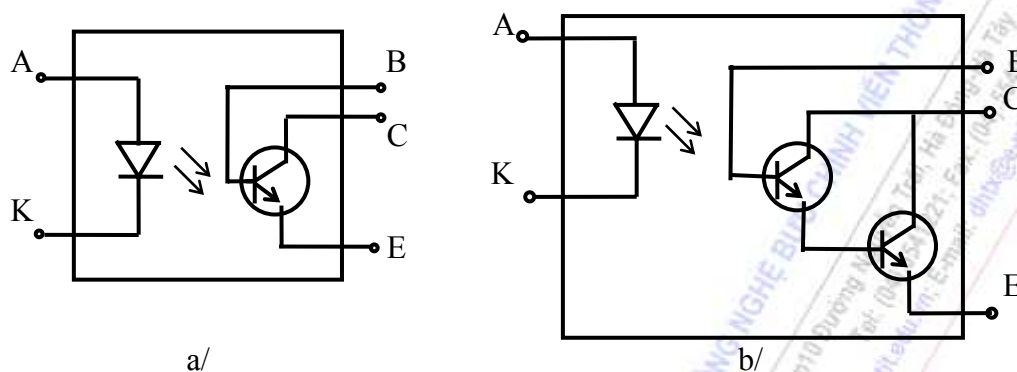
Hệ số truyền đạt là tham số quan trọng nhất của bộ ghép quang. Hệ số truyền đạt được tính theo % cho biết dòng điện ra lớn hơn so với dòng điện vào của LED trong một bộ ghép quang:

$$CTR = \frac{I_{ra}}{I_{vào}} \quad (8.42)$$

### 5.5.2 Một số loại bộ ghép quang.

#### a. Bộ ghép quang với phototranzito:

Bộ ghép quang này gồm có một LED hồng ngoại và một tranzito quang như hình 8- 45a.



**Hình 8- 45:** a- Bộ ghép quang với tranzito quang lưỡng cực.

b- Bộ ghép quang với tranzito quang Dacling- ton.

#### b. Bộ ghép quang với tranzito quang Dacling- ton:

Bộ ghép quang với tranzito quang Dacling- ton được dùng để tăng hệ số truyền đạt nhờ sự khuếch đại của một tranzito (xem hình 8- 50b).

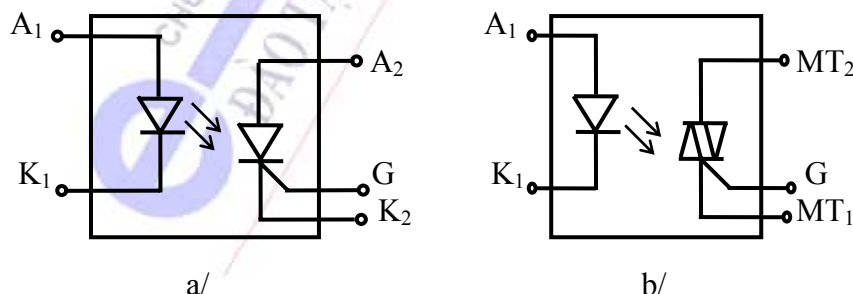
#### c. Bộ ghép quang với thyristo quang:

Bộ ghép quang này gồm có một LED hồng ngoại và một thyristo quang làm việc với ánh sáng hồng ngoại, xem hình 8- 46a.

Bộ ghép quang với thyristo quang được dùng để điều khiển một thyristo công suất khác làm việc.

#### d. Bộ ghép quang với Triac quang:

Bộ ghép quang với triac quang (xem hình 8-46b) được dùng để điều khiển một triac công suất khác làm việc.



**Hình 8- 46:** a- Bộ ghép quang với Thyristo quang.

#### e. Bộ ghép quang có khe hở (Slotted Opto- Coupler):

Bộ ghép quang với khe hở thường được sử dụng để kiểm tra sự xuất hiện của các vật thể.

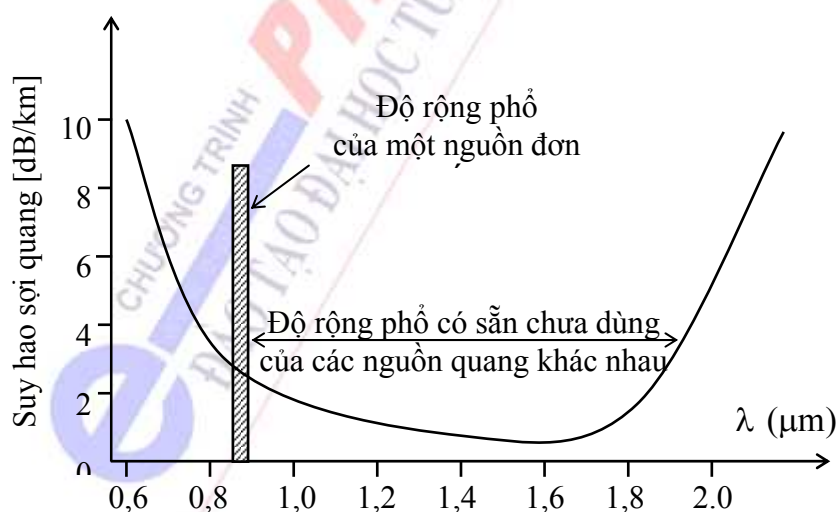
Hình 8- 47 mô tả một bộ ghép quang với khe hở. Trong mạch, LED phát ra ánh sáng liên tục

và tranzito quang sẽ kiểm tra sự xuất hiện của bất kỳ vật thể nào cản trở sự chiếu sáng ở trong khe.

## 8.5. CẤU KIỆN QUANG HÌNH HỌC DÙNG TRONG THÔNG TIN QUANG (Bộ lọc quang)

### 8.5.1. Khái niệm về kỹ thuật thông tin quang.

Bộ lọc quang liên quan đến kỹ thuật ghép kênh phân chia theo bước sóng -WDM. Vì mỗi một nguồn sáng đơn sắc có độ rộng phổ hẹp, nên trong truyền dẫn nó chỉ sử dụng một phần rất nhỏ băng truyền dẫn của một sợi quang. Ghép kênh phân chia theo bước sóng sẽ tạo ra rất nhiều kênh phổ sử dụng đồng thời.

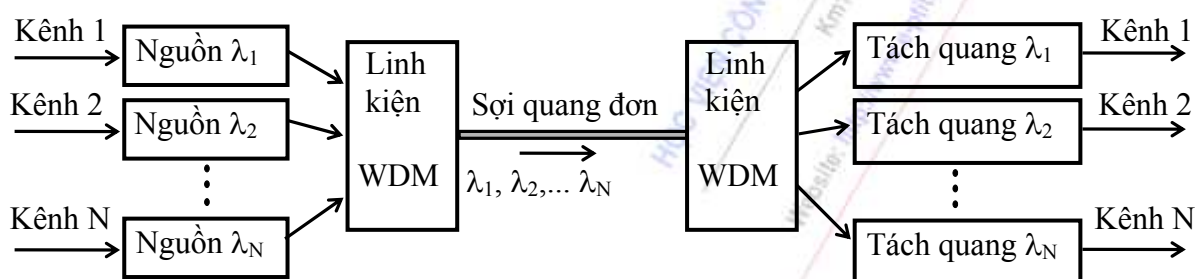


**Hình 8- 48:** Một nguồn quang đơn sử dụng một phần rất nhỏ băng truyền dẫn của phổ có sẵn của sợi quang ghép kênh phân chia theo bước sóng (WDM) tạo ra rất nhiều kênh phổ sử dụng đồng thời.

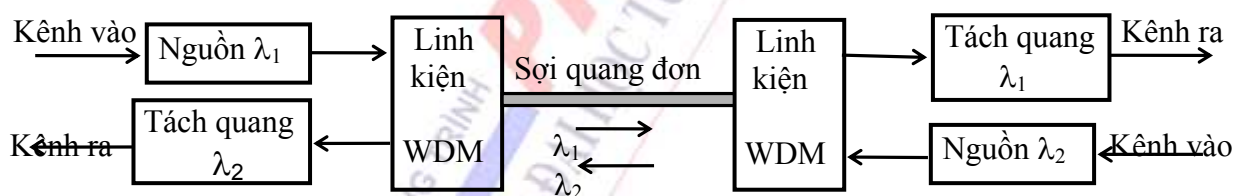
Từ hình 8- 48 ta thấy có rất nhiều vùng hoạt động phổ có thể thêm vào. Một cách lý tưởng, sự tăng đột biến dung lượng thông tin của một sợi quang có thể đạt được bằng việc truyền dẫn đồng thời các tín hiệu quang trên cùng một sợi quang từ nhiều nguồn ánh sáng khác nhau có các bước sóng đỉnh bức xạ đặt cách nhau một cách chính xác. Bởi mỗi nguồn sáng hoạt động tại một bước sóng đỉnh khác nhau, tính toàn vẹn của các tín tức độc lập từ mỗi nguồn được duy trì để việc chuyển đổi tuần tự sang tín hiệu điện ở đầu thu. Đây là cơ sở của ghép kênh phân chia theo bước sóng (WDM).

Hai cơ cấu WDM khác nhau mô tả trong hình 8- 49 và hình 8- 50. Trong hình 8-49, linh kiện WDM đơn hướng được sử dụng để kết hợp các bước sóng mang tín hiệu khác nhau trên một sợi quang đơn tại một đầu và để tách chúng vào bộ tách quang thích hợp tại đầu kia.

Sơ đồ hệ thống WDM hai hướng được mô tả trong hình 8- 50. Sơ đồ này gồm việc gửi tín tức trong một hướng tại một bước sóng  $\lambda_1$  và đồng thời trong hướng ngược lại tại bước sóng  $\lambda_2$ .



**Hình 8- 49 :** Hệ thống WDM đơn hướng kết hợp N tín hiệu độc lập để truyền trên 1 sợi quang đơn.

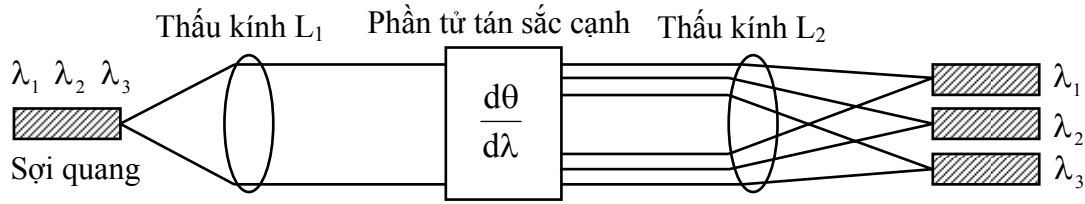


**Hình 8- 50:** Hệ thống WDM hai hướng, trong đó, hai bước sóng hoặc nhiều hơn được truyền đồng thời trong các hướng ngược nhau trên cùng một sợi quang.

Trong các hệ thống thông tin quang trong hai hình trên, các bộ ghép kênh phân chia theo bước sóng có hai loại được sử dụng rộng rãi nhất là các linh kiện tán sắc cạnh như các lăng kính hoặc các cách tử, và các bộ lọc màng mỏng hoặc các linh kiện tích hợp quang đơn một.

### 8.5.2. Bộ lọc quang bằng các linh kiện tán sắc (hay bộ ghép kênh tán sắc cạnh).

Sơ đồ của một bộ ghép kênh tán sắc cạnh được mô tả trong hình 8- 51 đối với hệ thống 3 bước sóng sử dụng, ở đó  $\frac{d\theta}{d\lambda}$  là độ tán sắc cạnh của linh kiện.



**Hình 8- 51:** Sơ đồ biểu diễn một phần tử WDM tán sắc cạnh cho 3 bước sóng. Nhiều bước sóng có thể kết hợp hoặc phân chia với loại linh kiện này.

Khi linh kiện sử dụng như một bộ phân kênh, ánh sáng từ sợi quang đi ra được chuẩn trực bằng thấu kính  $L_1$  (gọi là thấu kính chuẩn trực) và đi qua phần tử tán sắc cạnh và nó được phân chia thành các kênh có bước sóng đi vào các chùm tia có định hướng không gian khác nhau. Thấu kính  $L_2$  (thấu kính hội tụ) sẽ hội tụ các tia đầu ra vào các sợi quang thu thích hợp hoặc các bộ tách quang thích hợp. Sự tán sắc tuyến tính  $\frac{dx}{d\lambda}$  tại các sợi quang thu được xác định:

$$\frac{dx}{d\lambda} = f \cdot \frac{d\theta}{d\lambda} \quad (8.43)$$

ở đây  $f$  là chiều dài tiêu cự của thấu kính  $L_2$ .

Trong trường hợp lý tưởng không có quang sai, độ rộng phổ nguồn zero, tổn hao chèn nguyên tính và xen tiếng zero nếu các tín hiệu ra được phân chia lớn hơn đường kính của nó ( $d_k$ ), nghĩa là:

$$\frac{dx}{d\lambda} \cdot \Delta\lambda \geq d_k \quad (8.44)$$

với:  $\Delta\lambda$  - khoảng cách phổ giữa các kênh (khoảng cách bước sóng).

$d_k$  - đường kính của sợi quang

Ở đây giả thiết rằng tất cả các sợi quang (phát và thu) đều có cùng đường kính  $d_k$  và khẩu độ số NA.

Để thu nhận tất cả ánh sáng từ sợi quang phát, thấu kính chuẩn trực  $L_1$  cần có đường kính  $b$  thỏa mãn điều kiện:

$$b > 2f \frac{NA}{n'} \quad (8.45)$$

trong đó  $n'$  là chiết suất của môi trường giữa thấu kính  $L_1$  và linh kiện tán sắc cạnh.

Kết hợp công thức (8.43), (8.44) và (8.45), ta có:

$$b \geq \frac{2 \left( \frac{NA}{n'} \right) d_k}{\Delta\lambda \left( \frac{d\theta}{d\lambda} \right)} \quad (8.46)$$

Trong các hệ thống thực tế, chùm tia ra bị trải rộng ra ngoài bởi kích thước hữu hạn của nguồn sáng và kết quả tán sắc cạnh do sự trải rộng bước sóng của độ rộng phổ của nguồn. Độ tăng tỉ lượng  $S$  của đường kính chùm tia được tính gần đúng bằng:

$$S = \frac{b' - b}{b} \approx (1 + m) \frac{w \cdot d_k (NA)}{b^2 \cdot n'} \quad (8.47)$$



trong đó:  $m$  – số lượng các kênh bước sóng  
 $b'$  – đường kính của thấu kính  $L_2$ .  
 $w$  – độ dài tuyến tổng từ đầu ra của thấu kính  $L_1$  đến đầu vào của thấu kính  $L_2$

Để loại bỏ hiện tượng tràn đầy độ mở số của sợi quang thu, độ trải rộng tia sáng tổng cần phải là một phần nhỏ đường kính của thấu kính chuẩn trực, nghĩa là  $S < 1$ .

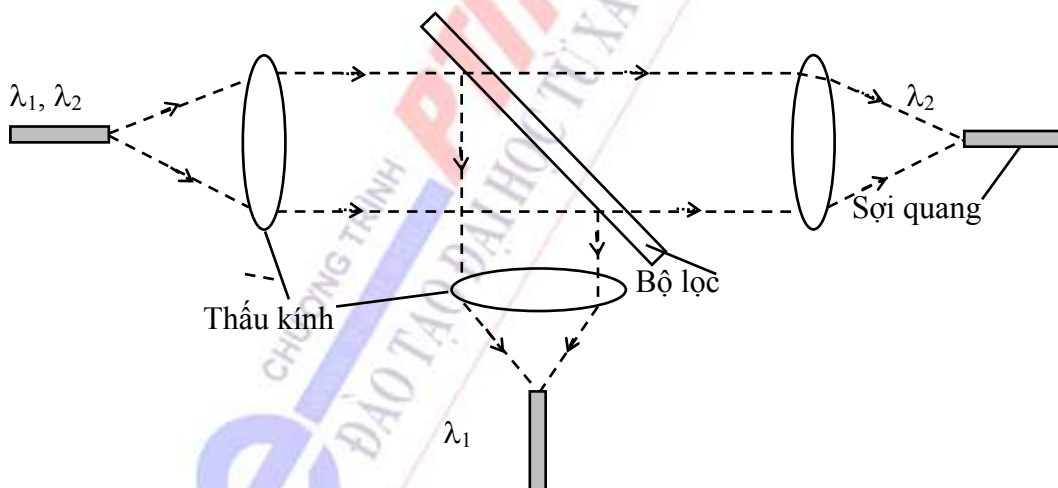
Một số lớn các kênh có thể được kết hợp và phân chia với các phần tử ghép kênh tán sắc cạnh. Hầu hết các linh kiện này sử dụng liên hợp thấu kính – cộng – cách tử (grating – plus – lens). Đôi khi người ta dùng lăng kính làm phần tử tán sắc cạnh. Các tổn thất chèn tiêu biểu khoảng từ  $1 \div 3$  dB, và mức tiếng xen vào khoảng từ  $-20$  dB đến  $-30$  dB.

### 8.5.3. Bộ lọc quang màng mỏng.

Trong phần này chúng ta sẽ nghiên cứu về bộ lọc quang màng mỏng. Hoạt động của một phần tử ghép kênh loại bộ lọc được mô tả trong hình 8- 52 cho hoạt động của hai bước sóng. Các bộ lọc được thiết kế để truyền ánh sáng cho một bước sóng cụ thể và để hoặc hấp thụ, hoặc phản xạ tất cả các bước sóng khác.

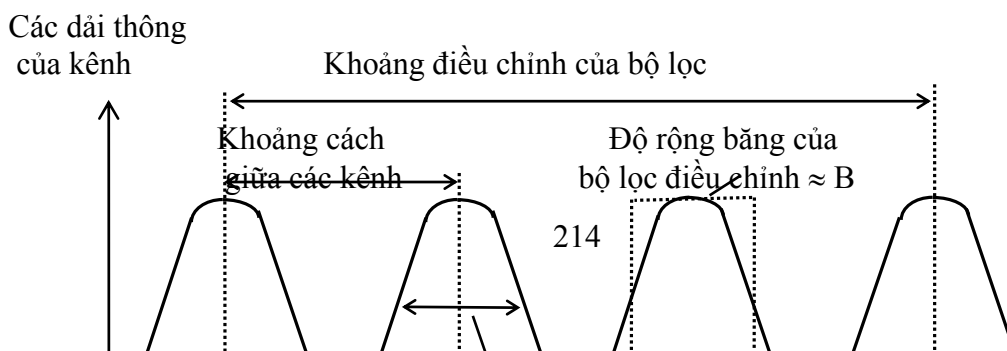
Các bộ lọc loại phản xạ thường được sử dụng vì tổn hao của các bộ lọc loại hấp thụ có xu hướng tăng cao hơn (cao hơn 1dB).

Bộ lọc phản xạ gồm một tấm kính phẳng, bên trên nó nhiều lớp màng mỏng chất cách điện khác nhau được lắng đọng tùy theo tính chọn lọc của bước sóng. Các bộ lọc này có thể sử dụng nối tiếp thành chuỗi để phân chia thêm các kênh bước sóng. Sự phức tạp cũng tăng theo số lượng các bộ lọc nối tiếp và sự tăng tổn hao tín hiệu cũng xảy ra với việc tăng thêm các bộ ghép kênh nối tiếp. Nhìn chung chỉ nên hạn chế hoạt động đến 2 hoặc 3 bộ lọc (có nghĩa là hoạt động 3 hoặc 4 kênh).



**Hình 8- 52 :** Bộ lọc màng mỏng nhiều lớp phản xạ sử dụng cho WDM.

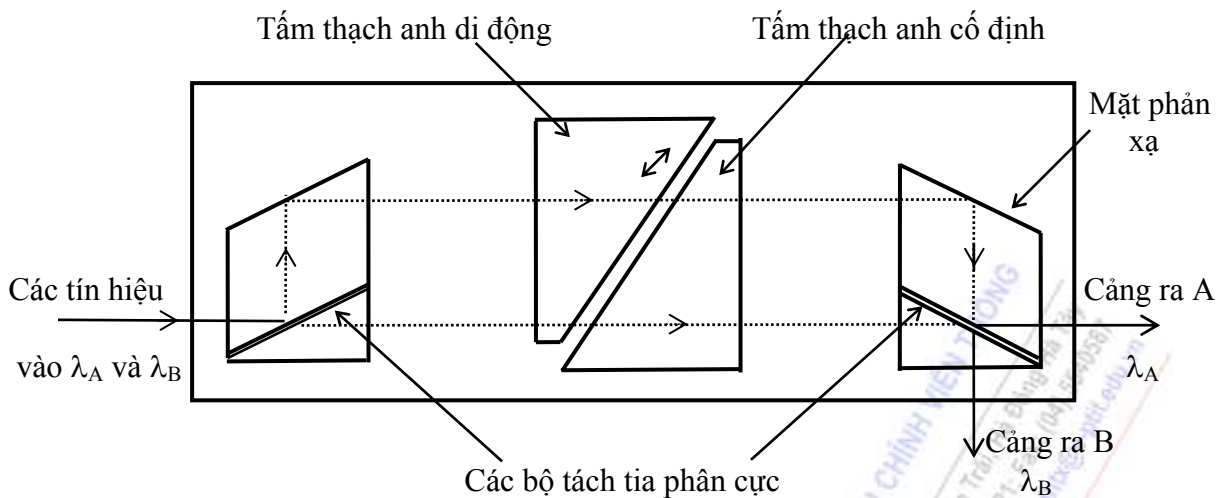
Linh kiện này trong suốt tại bước sóng  $\lambda_2$  và phản xạ tại bước sóng  $\lambda_1$ .



Trong thiết kế các hệ thống WDM, cần phải chú ý làm giảm đến mức thấp nhất các yếu tố gây ra sự giảm sút phẩm chất ngoài biên của đường truyền. Trên đây là các linh kiện WDM thụ động, độ chọn lọc bước sóng của chúng được cố định. Người ta cũng phát minh ra các phần tử WDM tích cực, các phần tử này được chuyển một cách tích cực hoặc được điều chỉnh theo bước sóng. Giữa các phần tử WDM tích cực là nguồn đa bước sóng và các tổ hợp tách quang, các laser có khả năng điều chỉnh bước sóng, và các bộ lọc có thể điều chỉnh bước sóng.

Khái niệm về việc bộ lọc có thể điều chỉnh được mô tả trong hình 8-54. Trong phương pháp này, các tín hiệu tín tức khác nhau được gửi vào các kênh tần số riêng của độ rộng băng B. Bằng việc sử dụng một bộ lọc với dải thông có độ rộng B mà nó có thể điều chỉnh trên khoảng tần số của các kênh này, người ta có thể chọn được kênh theo yêu cầu.

Hình 8- 54 mô tả một ví dụ về một bộ lọc có thể điều chỉnh bước sóng (a wavelength-tunable- filter). Ở đây, một phần tử đa cấp lưỡng chiết suất cấu tạo từ hai ống dẫn sóng bằng thạch anh (a birefringent multiple- order element) được đặt giữa hai bộ tách tia phân cực (polarizing beam splitters).



**Hình 8- 54** : Ví dụ về bộ lọc điều chỉnh bước sóng.  
 Một tấm thạch anh di động thay đổi độ dài tuyến đường đi qua tinh thể để thay đổi phổ ra hình sin.

Công suất ra  $P$  của ánh sáng tại các cảng ra A và B liên hệ với công suất vào  $P_0$  bằng công thức:

$$P = \frac{P_0}{2} \left( 1 \pm \cos \frac{2\pi \Delta n L}{\lambda} \right) \quad (8.48)$$

Trong đó:

- $\Delta n$  : độ chênh lệch giữa chiết suất thông thường và chiết suất khác thường của vật liệu lưỡng chiết.
- $\lambda$  : độ dài bước sóng.
- dấu  $\pm$  liên quan đến các cảng A (dấu +) và cảng B (dấu -).

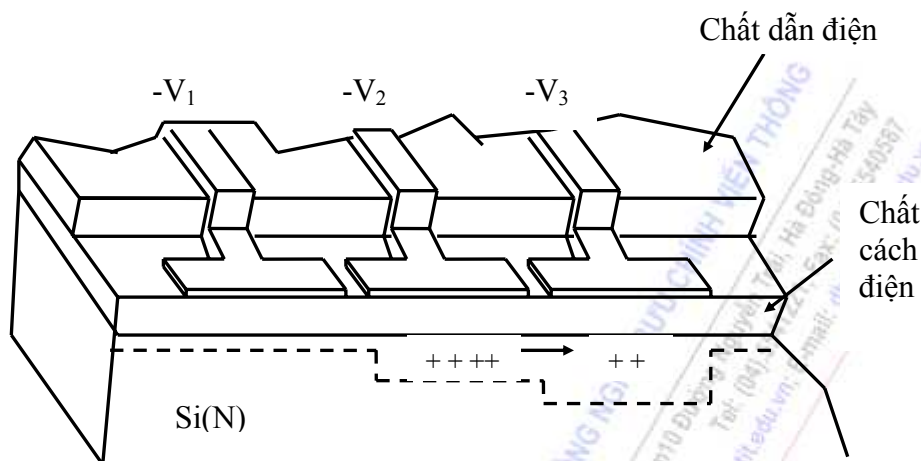
Sự biến đổi hình sin của phổ ra có thể được thay đổi bằng cách thay đổi độ dài đường truyền  $L$  đi qua tinh thể. Điều này đạt được bằng cách di chuyển một trong các tấm thạch anh lên trên hoặc xuống dưới. Sự thay đổi chiều dài theo cấp bậc chu kỳ quay phân cực sẽ xác định vị trí của kênh, còn các thay đổi lớn hơn sẽ sửa đổi sự đặt cách của các kênh. Vì tuyến quang là thuận nghịch, linh kiện này có thể được sử dụng như là bộ ghép kênh và hoặc như là bộ phân kênh đều được.

## 8.6. CẤU KIỆN CCD (Tổ hợp các detector quang)

CCD là mạch tổ hợp các detector quang. CCD được viết tắt từ tiếng Anh Charge-Coupled Devices (các cấu kiện liên kết tích điện). Kỹ thuật CCD được sử dụng trong các ống thu hình màu, các sensor quang học đọc các văn bản trên máy FAX...

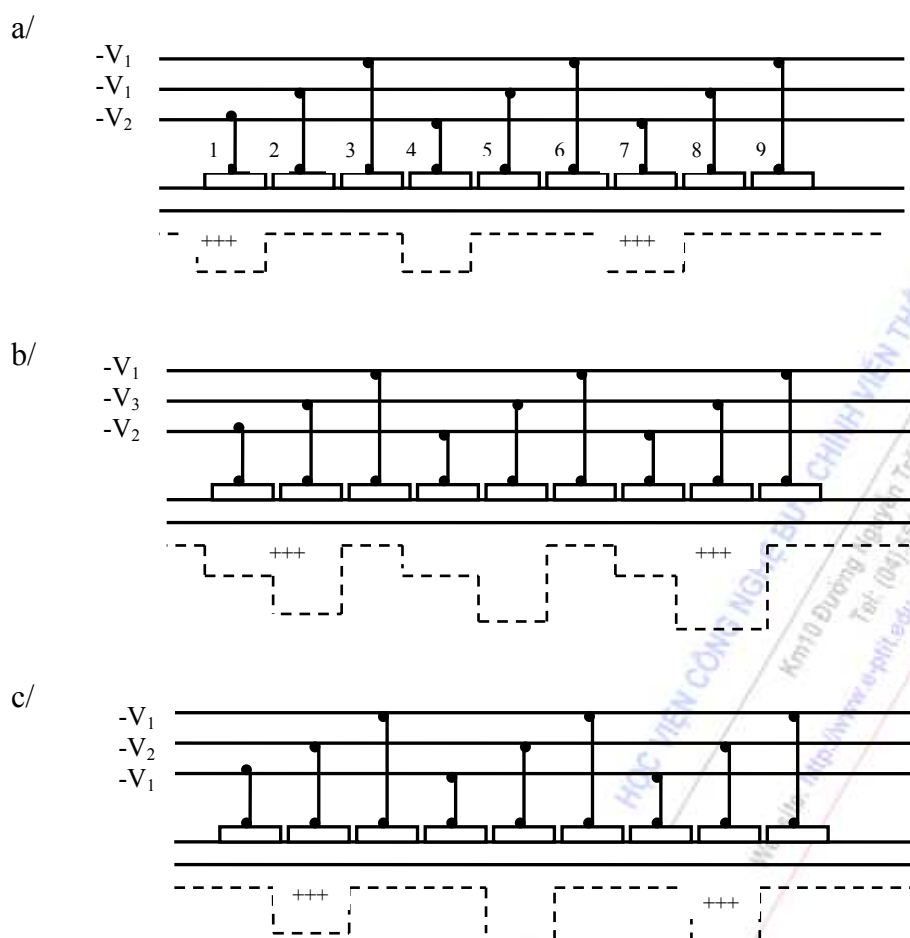
Tổ hợp các detector dùng trong thu hình màu được thực hiện trên vật liệu silic. Tùy theo ứng dụng mà các detector được tổ hợp trên cùng một hàng hay trên cùng một mặt phẳng. Tổ hợp trên cùng một hàng với khoảng cách giữa các sensor từ 10 đến 15  $\mu\text{m}$  thì cần từ vài trăm đến vài nghìn detector (mạch tổ hợp LSI). Đối với mạch tổ hợp trên cùng một mặt phẳng, các detector được sắp xếp theo một ma trận. Để có một hình ảnh rõ cho máy video, độ rộng băng tần 3MHz, người ta cần từ 200.000 đến 250.000 detector. Đó là mạch tổ hợp loại VLSI và kỹ thuật Si-MOS được chọn. Theo công nghệ này, mỗi detector có thể là một  $N^+ - P$  diốt plana hoặc một tụ điện loại MOS.

Một CCD thực chất là một bộ dịch chuyển tín hiệu. Tính chất của nó được xác định bởi cách thức tín hiệu từ các detector được dịch chuyển ra ngoài như thế nào để ta có tín hiệu video ở đầu ra. Bộ dịch chuyển có thể hoạt động theo phương pháp analog hoặc digital. Ta sẽ xét về hoạt động của một CCD cấu tạo từ các tụ điện MOS nằm kề bên nhau (xem hình 8-55).



**Hình 8 – 55:** Cấu trúc của một CCD từ các tụ điện MOS.

Các tụ điện có thể thu, tích trữ và tùy theo điện áp thích ứng có thể dịch chuyển các điện tích từ tụ điện này sang tụ điện khác. Khi thu hình, trong thời gian tích phân, các điện tích được sinh ra do việc hấp thụ ánh sáng và khi đọc, các điện tích này được đẩy ra theo xung đồng bộ để ta có một tín hiệu video ở đầu ra (xem hình 8-56). Ngay sau khi đặt một điện thế thích hợp lên điện cực kế tiếp để có hố điện thế sâu hơn, các điện tích được đẩy vào hố đó. Mỗi điện cực thứ 3 (chân 1, 4, 7...) có điện thế giống nhau. Với điện thế  $-V_1 > -V_2 > -V_3$  thì các điện tích sẽ dịch chuyển về phía bên phải theo cách thức của CCD loại 3 pha. Cho ống thu hình màu cần 3 chip CCD cho 3 màu là màu đỏ, xanh lá cây và xanh da trời. Trên thực tế, các ống hình màu được chế tạo chỉ có 1 chip với bộ lọc để sắp xếp sao cho kênh xanh lá cây có số điểm gấp 2 lần số điểm màu đỏ và xanh da trời vì mắt người nhạy với màu xanh lá cây tốt nhất. Để thu hình màu cần có khoảng 400 điểm hình cho một hàng sẽ cho ta một ảnh màu tốt. Ví dụ: Đối với ống thu hình màu dùng 1 chip theo tiêu chuẩn của NTSC cần khoảng 484x400 đơn vị detector, còn của PAL cần tới 580x400 đơn vị detector.



**Hình 8 – 56:** Hoạt động của một CCD với  $-V_1 > -V_2 > -V_3$

Tùy theo sự sắp xếp giữa phần detector và phần nhớ mà ta có các loại CCD khác nhau như: IT (Interline Transfer); FT (Frame Transfer); XY (Cấu trúc với bộ dịch chuyển digital).

### TÓM TẮT

Cấu kiện quang điện tử nghiên cứu trong chương 8 gồm các cấu kiện phát quang (cấu kiện biến đổi điện – quang) như LED, LASER và các cấu kiện thu quang (cấu kiện biến đổi quang-điện) như điện trở quang, điốt quang, tranzito quang, thyristo quang...

Điốt phát quang- LED là linh kiện phổ thông của quang điện tử, có tần số hoạt động rất cao, thể tích nhỏ, công suất tiêu hao bé và không sụt áp khi hoạt động. Điốt phát quang được sử dụng rộng rãi ở hai lĩnh vực là LED bức xạ ánh sáng nhìn thấy gọi là LED chỉ thị và LED bức xạ ánh sáng hồng ngoại gọi là LED hồng ngoại. Hai loại LED này có cấu tạo và nguyên lý hoạt động gần giống nhau, chỉ có bước sóng bức xạ ra ở các vùng khác nhau do vật liệu bán dẫn có độ rộng vùng cấm khác nhau theo mối quan hệ:

$$\lambda = \frac{hc}{E_G}$$

Trong đó:  $h$ - hằng số Plank ( $h = 4,16 \cdot 10^{-15}$  eV)

$c$ - vận tốc ánh sáng ( $c = 3 \cdot 10^8$  m/s)

$E_G$ - độ rộng vùng cấm, (eV)



Cấu tạo của LED chỉ thị gồm có một lớp tiếp xúc P-N, hai chân cực anốt và catốt. Vật liệu bán dẫn là liên kết của các nguyên tố thuộc nhóm 3 và nhóm 5 của bảng tuần hoàn Mendeleev.

Nguyên lý hoạt động là dựa vào quá trình tái hợp của các hạt dẫn khi điốt được phân cực thuận để bức xạ quang. Điện áp phân cực cho LED gần bằng độ rộng vùng cấm, do đó, đối với các LED bức xạ ở các bước sóng khác nhau sẽ có điện áp phân cực khác nhau. Để cường độ bức xạ cao, các vật liệu chế tạo LED có độ pha tạp lớn, do vậy điện trở của chúng rất nhỏ. Do vậy, khi đấu LED trong mạch ta phải đấu nối tiếp với một điện trở và đấu nối tiếp với nguồn điện. Điện áp phân cực cho LED nằm trong khoảng từ  $1,6V \div 3V$ . Điện áp phân cực ngược giới hạn cho điốt cũng giới hạn khoảng từ  $3V \div 5V$ . LED rất nhạy với nhiệt độ, hệ số nhiệt của nó có giá trị âm. Như vậy, khi nhiệt độ tăng thì cường độ bức xạ quang của LED giảm (khoảng  $1\%/^{\circ}C$ ).

LED hồng ngoại có cấu trúc đặc biệt để tạo ra ánh sáng có cường độ cao, thời gian đáp ứng nhanh và hiệu suất quang lượng tử cao. LED cấu trúc dị thể kép gồm 5 lớp bán dẫn có vật liệu và nồng độ pha tạp khác nhau để tạo ra các lớp giam giữ hạt dẫn và giam giữ ánh sáng. Nhờ các lớp giam giữ hạt dẫn mà hiệu suất quang lượng tử được nâng cao và cũng chính nhờ các lớp này mà tập trung được bức xạ quang theo một hướng nhất định. Tuy nhiên, ánh sáng bức xạ ra trong LED đều đẳng hướng và đều là ánh sáng không kết hợp, có cường độ bức xạ không cao và phổ bức xạ lớn.

LASER bán dẫn là một cấu kiện bán dẫn quang dùng để tạo ra và khuếch đại ánh sáng đơn sắc có tính liên kết về pha từ bức xạ tự phát của ánh sáng nên cường độ bức xạ của Laser rất lớn và có phổ bức xạ rất nhỏ (khoảng vài nm).

Cấu tạo của Laser gần giống như LED nhưng phức tạp hơn do yêu cầu về độ giam giữ hạt dẫn và ánh sáng trong một hốc cộng hưởng.

Trong LASER, ba quá trình quang điện đều xảy ra: quá trình hấp thụ photon, quá trình bức xạ tự phát và quá trình bức xạ kích thích. Muốn LASER bức xạ thì ta phải cung cấp cho nó một dòng điện có cường độ lớn hơn giá trị ngưỡng nào đó ( $I_{CC} \geq I_{CC \text{ ngưỡng}}$ ). Lúc đó trạng thái “đảo điện” sẽ xảy ra trong các lớp bán dẫn. Điều kiện để có bức xạ Laser là sự khuếch đại ánh sáng thắng được sự hấp thụ quang trong buồng cộng hưởng của điốt laser. Sự lan truyền ánh sáng dọc theo chiều dài L của hốc cộng hưởng được viết theo công thức sau:

$$E(z,t) = I(z) \cdot e^{j(\omega t - \beta z)}$$

Trong đó  $I(z)$ - mật độ trường quang theo hướng dọc (z)  
 z- khoảng cách theo hướng dọc của hốc cộng hưởng  
 $\omega$ - tần số góc của ánh sáng  
 $\beta$ - hệ số lan truyền

Mật độ bức xạ quang ứng với các photon có năng lượng  $h\nu$  được tính theo công thức:

$$I(z) = I(0)R_1R_2 \cdot e^{[I'g(h\nu) - \alpha'(h\nu)]z}$$

Trong đó:  $\alpha'$  - hệ số hấp thụ hữu ích của vật liệu  
 $I'$  - hệ số giam giữ ánh sáng  
 $I(0)$ - mật độ trường quang ban đầu  
 g- hệ số khuếch đại quang  
 $R_1$  và  $R_2$ - độ phản xạ của 2 gương phản xạ trong hốc cộng hưởng

Điều kiện để có lasing là một dao động trạng thái bền chiếm giữ và độ lớn cũng như pha của sóng phản hồi có thể bằng các sóng gốc tạo ra nó, đó chính là:

về biên độ:  $I(2L) = I(0)$

về pha:  $e^{-j\beta 2L} = 1$

Để đạt được điều kiện này thì độ khuếch đại tại ngưỡng lasing  $g_{th}$  phải lớn hơn hoặc bằng tổng mất mát  $\alpha_t$  trong hốc cộng hưởng.

Đặc tính và tham số của Laser:

Đặc tuyến phát xạ biểu thị quan hệ giữa công suất bức xạ quang và dòng điện cung cấp cho Laser. Để có lasing thì  $I_{CC} \geq I_{CC \text{ ngưỡng}}$

Hiệu suất lượng tử vi phân ngoài xác định số photon bức xạ ra trên đơn vị điện tử-lỗ trống:

$$\eta_{ext} = \frac{qdP}{E_0 dI} = 0,806\lambda \frac{dP}{dI}$$

Khoảng cách tần số  $\Delta\nu = \frac{C}{2Ln}$

Khoảng cách bước sóng  $\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2Ln}$

Trong đó  $n$  – chiết suất của vật liệu bán dẫn chế tạo Laser.

Cấu kiện thu quang có nhiệm vụ biến đổi tín hiệu quang sang tín hiệu điện. Điện trở quang là cấu kiện bán dẫn không có tiếp xúc P-N. Hiện tượng biến đổi quang –điện được thực hiện nhờ hiện tượng hấp thụ quang để tạo ra các đôi điện tử-lỗ trống. Những hạt dẫn mới xuất hiện sẽ chuyển động dưới tác dụng của điện trường và tạo nên dòng quang điện và việc chuyển đổi quang-điện được thực hiện.

Điốt quang là cấu kiện thu quang có tần số làm việc rất cao. Điốt quang có một tiếp xúc P-N và quá trình hấp thụ quang xảy ra cơ bản trong lớp tiếp xúc P-N. Điốt quang loại tiếp xúc P-N cho dòng điện rò nhỏ nhất nhưng có độ nhạy thấp vì lớp tiếp xúc P-N quá hẹp, nên hiệu suất quang lượng tử thấp. Để tăng độ nhạy của điốt quang người ta chế tạo điốt quang loại P-I-N và điốt quang thác APD. Điốt quang loại P-I-N có vùng tích cực là lớp bán dẫn nguyên tính (Intrinsic) dày hơn lớp tiếp xúc P-N nhiều. Do vậy, hiệu suất quang lượng tử được nâng cao dẫn đến cường độ dòng điện quang tăng lên rõ rệt. Dòng điện quang được tính theo công thức:

$$I_{phot} = q \frac{P_0}{h\nu} \left[ 1 - \frac{e^{-\alpha_\lambda w}}{1 + \alpha_\lambda L_p} \right] (1 - R_f)$$

Trong đó:  $q$ - điện tích của điện tử

$P_0$  – công suất quang đi tới điốt quang

$h\nu$  – năng lượng photon

$\alpha_\lambda$  – hệ số hấp thụ ánh sáng tại bước sóng  $\lambda$

$w$  – bề dày của lớp bán dẫn nguyên tính

$R_f$  – độ phản xạ tại bề mặt của điốt quang

Hiệu suất lượng tử là:  $\eta = \frac{I_{phot} / q}{P_0 / h\nu} = 1 - \frac{e^{-\alpha_\lambda w}}{1 + \alpha_\lambda L_p}$

Độ nhạy của điốt quang:  $S = \frac{I_{phot}}{P_0} = \frac{q\eta}{h\nu} = \frac{\eta\lambda}{1,24} \quad [A/w]$

Điốt quang thác (APD) có cấu trúc đặc biệt để tạo ra trong nó một vùng có biến đổi điện áp nhanh và đó chính là vùng thác. Khi các hạt dẫn di chuyển đến vùng thác sẽ được tăng tốc và chúng va chạm với các nguyên tử trung hòa trong vùng này, gây ra hiện tượng i-on hóa

do va chạm. Do vậy, số các hạt dẫn được tăng lên theo cấp số nhân dẫn đến cường độ dòng điện quang của điốt tăng lên như được khuếch đại với hệ số nhân  $M$  được tính theo công thức:

$$M = \frac{I_M}{I_{phot}}$$

Trong đó  $I_M$  là giá trị trung bình của dòng quang điện nhân tổng đầu ra.

Tế bào quang điện và pin mặt trời là các cấu kiện biến đổi năng lượng quang thành năng lượng điện.

Điốt APD cho độ nhạy cao nhất nhưng nó yêu cầu nguồn cung cấp cao và ổn định.

Tranzito quang là cấu kiện biến đổi tín hiệu quang sang tín hiệu điện và khuếch đại chúng. Tranzito quang có cấu tạo như tranzito thường nhưng cực gốc của nó có diện tích bề mặt lớn để chiếu ánh sáng vào. Khi được chiếu sáng, trong phần gốc sẽ xuất hiện các đôi điện tử-lỗ trống mới. Những hạt dẫn này chuyển động dưới tác dụng của điện trường tạo nên thành phần dòng điện quang. Tổng dòng điện sáng trong tranzito:

$$I_{CS} = \beta I_{phot} + I_{pphot} + I_{Ctối}$$

Tranzito quang có độ nhạy cao hơn so với điốt quang nhưng tần số làm việc thấp hơn nhiều.

Thyristo quang là cấu kiện đóng ngắt mạch. Ánh sáng chỉ có tác dụng mở cho thyristo dẫn chứ không có tác dụng biến đổi tín hiệu trong cấu kiện.

Các bộ ghép quang có nhiệm vụ cách điện giữa các mạch điện có sự khác biệt về điện thế khá lớn mà vẫn truyền dẫn được tín hiệu giữa chúng. Cấu tạo của bộ ghép quang gồm có một linh kiện phát quang (LED) và một linh kiện thu quang đặt gần nhau. Khi đó dòng điện đầu vào của một mạch điện sẽ tạo ra một dòng điện thích ứng ở đầu ra của một mạch điện khác với hệ số truyền đạt CTR được tính theo công thức:

$$CTR = \frac{I_{ra}}{I_{vào}}$$

Cấu kiện hình học trong thông tin quang là những bộ lọc quang. Đó là các bộ lọc quang dùng các linh kiện tán sắc và bộ lọc quang màng mỏng. Bộ lọc quang bằng linh kiện tán sắc (hay còn gọi là bộ ghép kênh tán sắc cạnh) như một bộ phân kênh, ánh sáng đi qua bộ lọc quang sẽ được phân chia thành các kênh có bước sóng đi vào các chùm tia có định hướng không gian khác nhau. Bộ lọc quang màng mỏng được thiết kế để truyền ánh sáng trong một bước sóng cụ thể và để hoặc hấp thụ, hoặc phản xạ tất cả các bước sóng khác. Bộ lọc loại phản xạ thường được sử dụng vì tổn hao của chúng thấp.

Mạch tổ hợp các detector- CCD là một bộ dịch chuyển tín hiệu. CCD có thể được tạo ra từ các điốt hoặc các tụ điện MOS. Các điện tích được tích trữ trong các CCD và dịch chuyển điện tích giữa các tụ điện được thực hiện khi cấp cho chúng những điện áp thích ứng. Các CCD được sử dụng trong các ống thu hình màu, trong các máy video, máy FAX,... để đọc các dữ liệu ra ngoài.

## CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của LED chỉ thị?
2. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của LED hồng ngoại di thể kép?
3. Hãy cho biết các tham số cơ bản của LED?
4. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của mặt chỉ thị tinh thể lỏng LCD loại phản xạ?

5. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của LASER có buồng cộng hưởng cấu trúc dị thể kép?
6. Hãy cho biết các tham số cơ bản của Laser?
7. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của điện trở quang?
8. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của điốt quang loại P-I-N?
9. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của điốt APD?
10. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của tranzito quang?
11. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của thyristo quang?
12. Hãy trình bày về bộ ghép quang và các tham số kỹ thuật của chúng?
13. Trình bày về bộ lọc quang màng mỏng?
14. Trình bày về cấu tạo và nguyên lý hoạt động của bộ CCD dùng tụ MOS?
15. Năng lượng của ánh sáng có bước sóng 820nm và 1,3 $\mu$ m là bao nhiêu electron vôn (eV)?
16. Một laser chế tạo từ  $Ga_{1-x}Al_xAs$  với  $x = 0,07$  thì có  $E_G = 1,5$  eV. Hãy tính độ dài bước sóng bức xạ ra?
17. Một laser hoạt động ở bước sóng  $\lambda = 850nm$  có chiều dài hốc cộng hưởng  $L = 500\mu m$  và chiết suất  $n = 3,7$ .

Hỏi khoảng cách tần số và khoảng cách bước sóng là bao nhiêu ?

18. Hãy điền vào chỗ trống của mệnh đề dưới một trong các nhóm từ sau:  
 “Độ dài bước sóng bức xạ được quyết định bởi.....của chất bán dẫn.  
 a. độ dẫn điện;                      b. nồng độ hạt dẫn  
 c. loại tạp chất pha tạp;        d. độ rộng vùng cấm
19. Nguồn sáng trong LED là do quá trình.....  
 a. bức xạ tự phát.                  b. bức xạ tự phát và bức xạ kích thích.  
 c. bức xạ kích thích.              d. hấp thụ và bức xạ kích thích
20. Nguồn sáng trong LASER là do quá trình.....  
 a. bức xạ tự phát.                  b. bức xạ tự phát và bức xạ kích thích.  
 c. bức xạ kích thích.              d. hấp thụ và bức xạ kích thích

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Giáo trình “Cấu kiện điện tử và quang điện tử”- Trần Thị Cẩm, Học viện CNBCVT, năm 2003.
2. “Cấu kiện quang điện tử” - Dương Minh Trí, NXB KHKT năm 1998.
3. “Optical fiber communications” – Gerd Keiser, Mc Graw Hill Inc. 1991.

## ĐÁP ÁN BÀI TẬP

Chương 1: Câu 13:  $n_n = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  và  $p_n = 2,25 \cdot 10^5 \cdot \text{cm}^{-3}$

Chương 3: Câu 8:  $U_D = 0,53\text{V}$ ;

Câu 9: a/  $P_n(0) = 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ ;  $n_p(0) = 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ ; b/ Tỷ số  $= 3 \cdot 10^4$ .

Chương 4: Câu 15:  $I_{C2} = 96\text{mA}$ ;  $I_{B2} = 4\text{mA}$ ;  $I_{C1} = 3,92\text{mA}$ ;  $I_{B1} = 0,08\text{mA}$ ;  $U_{CE} = 12\text{V}$

Câu 16:  $I_E = 7,5\text{mA}$ ;  $I_B = 1,47\text{mA}$ ;  $I_C = 7,35\text{mA}$ ;  $U_{CE} = 4,55\text{V}$ ;  $S = 24,88$ .

Câu 17:  $R = 110\text{K}\Omega$ ;  $S = 9,5$ ; Câu 18:  $R_B = 7\text{K}\Omega$ ;  $S = 94,3$ .

Chương 5: Câu 15: a/ sơ đồ mắc SC; định thiên tự cấp; c/  $U_{GS} = -0,6\text{V}$ ;  $R_S = 600\Omega$ .

Câu 16:  $U_{GS} = -0,62\text{V}$ ;  $g_m = 1,11\text{mA/V}$ ;  $R_S = 770\Omega$ ;  $R_D \geq 9\text{K}\Omega$ .

Câu 17:  $R_1 = 2\text{K}\Omega$

Câu 18: a/ FET đầu DC; b/ phân cực kiểu phân áp; c/ trong tài liệu.

Câu 19:  $I_D = 24\text{mA}$ ;  $R_3 = 83\Omega$

Chương 8: Câu 15:  $E_{G1} = 1,5\text{eV}$ ;  $E_{G2} = 0,95\text{eV}$ .

Câu 16:  $\lambda = 0,826\mu\text{m}$

Câu 17:  $\Delta\nu = 81\text{GHz}$ ;  $\Delta\lambda = 0,2\text{nm}$





## MỤC LỤC

Chương 1: Giới thiệu chung về cấu kiện điện tử .....	3
Giới thiệu chương .....	3
Nội dung .....	3
1.1 Giới thiệu chung .....	3
1.2 Phân loại cấu kiện điện tử .....	3
1.3 Khái niệm về mạch điện và hệ thống điện tử .....	4
1.4 Vật liệu điện tử .....	4
1.5 Vật liệu từ .....	5
Tóm tắt nội dung .....	24
Câu hỏi ôn tập .....	25
Tài liệu tham khảo .....	26
Chương 2: Cấu kiện điện tử thụ động .....	27
Giới thiệu chương .....	27
Nội dung .....	27
2.1 Điện trở .....	27
2.2 Tụ điện .....	34
2.3 Cuộn cảm .....	40
2.4 Biến áp .....	44
Tóm tắt nội dung .....	49
Câu hỏi ôn tập .....	50
Tài liệu tham khảo .....	51
Chương 3: Diot bán dẫn .....	52
Giới thiệu chương .....	52
Nội dung .....	52
3.1 Lớp tiếp xúc P-N .....	52
3.2 Diot bán dẫn .....	58
Tóm tắt nội dung .....	70
Câu hỏi ôn tập .....	72
Tài liệu tham khảo .....	72
Chương 4: Tranzitor lưỡng cực (BJT) .....	73
Giới thiệu chương .....	73
Nội dung .....	73
4.1 Cấu tạo và ký hiệu của BJT trong sơ đồ mạch .....	73
4.2 Các chế độ làm việc của Tranzitor BJT .....	74
4.3 Đặc tính quá độ của BJT .....	78
4.4 Các cách mắc của Tranzitor BJT trong sơ đồ khuếch đại .....	80
4.5 Phân cực cho Tranzitor lưỡng cực .....	88
4.6 Sơ đồ tương đương ở chế độ khuếch đại tín hiệu nhỏ tần số thấp .....	96
Tóm tắt nội dung .....	102
Câu hỏi ôn tập .....	103
Tài liệu tham khảo .....	105
Chương 5: Tranzitor trường FET .....	106
Giới thiệu chương .....	106

Nội dung.....	106
5.1 Giới thiệu chung về FET .....	106
5.2 Tranzitor trường loại điều khiển bằng tiếp xúc P-N.....	107
5.3 Tranzitor trường loại cực cửa cách ly.....	116
Tóm tắt nội dung .....	125
Câu hỏi ôn tập .....	126
Tài liệu tham khảo.....	128
Chương 6: Cấu kiện Thyristor.....	129
Giới thiệu chương .....	129
Nội dung.....	129
6.1 Chỉnh lưu Silic có điều khiển .....	129
6.2 Triac.....	132
6.3 Diac.....	134
6.4 Tranzitor đơn nốt .....	136
Tóm tắt nội dung .....	139
Câu hỏi ôn tập .....	140
Tài liệu tham khảo.....	140
Chương 7: Vi mạch tích hợp .....	141
Giới thiệu chương .....	141
Nội dung.....	141
7.1 Khái niệm và phân loại vi mạch tích hợp .....	141
7.2 Các phương pháp chế tạo mạch tích hợp bán dẫn .....	143
7.3 Các cấu kiện được tích hợp trong vi mạch .....	148
7.4 Vi mạch tuyến tính.....	151
7.5 Vi mạch số .....	159
7.6 Vi mạch nhớ.....	160
7.7 Những điểm cần chú ý khi sử dụng vi mạch tích hợp .....	163
Tóm tắt nội dung .....	164
Câu hỏi ôn tập .....	165
Tài liệu tham khảo.....	166
Chương 8: Cấu kiện quang điện tử.....	167
Giới thiệu chương .....	167
Nội dung.....	167
8.1 Giới thiệu chung .....	167
8.2 Các cấu kiện biến đổi điện - quang.....	169
8.3 Các cấu kiện biến đổi quang - điện.....	190
8.4 Các bộ ghép quang.....	204
8.5 Cấu kiện quang hình học dùng trong thông tin quang .....	211
8.6 Cấu kiện CCD .....	216
Tóm tắt nội dung .....	221
Câu hỏi ôn tập .....	221
Tài liệu tham khảo.....	222
Đáp án bài tập .....	223

# CẦU KIẾN ĐIỆN TỬ

Mã số: 492CKT220

Chịu trách nhiệm bản thảo

TRUNG TÂM ĐÀO TẠO BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG 1