

# VẬT LÝ BÁN DẪN

## Chương 1: Vật lý bán dẫn

**I. Lý thuyết:** phân loại vật liệu bán dẫn; cấu tạo nguyên tử; bán dẫn thuần; bán dẫn pha tạp; dòng trôi; dòng khuếch tán; mô hình vùng năng lượng,...

### 1. Phân loại vật liệu bán dẫn

<b>Bán dẫn thuần</b>	Vật liệu bán dẫn thuần khiết, không có tạp chất (hoặc với mật độ rất thấp).	Đơn chất: nhóm IV (Si, Ge)
		Hợp chất: nhóm III và nhóm V, hay nhóm II và nhóm VI (GaAs)
<b>Bán dẫn pha tạp</b>	Được tạo thành khi đưa các tạp chất vào bán dẫn thuần và tính chất của nó được quy định bởi tạp chất.	Loại n: pha thêm các nguyên tử thuộc cột V (Sb, As, P) vào bán dẫn thuần Si hoặc Ge. Có 5 điện tử hóa trị (hay còn gọi là nguyên tử cho), $N_D > N_A$
		Loại p: pha thêm các nguyên tử cột III (B, Ga, In) vào bán dẫn thuần. Có 3 điện tử hóa trị (nguyên tử nhận), $N_A > N_D$ .

### 2. Cấu tạo nguyên tử

- Nguyên tử cấu tạo từ nhân và điện tử. Nhân gồm proton và neutron.
- Các điện tử quay xung quanh nhân theo quỹ đạo xác định.
- Điện tử chỉ có những mức năng lượng rời rạc.
- Mỗi quỹ đạo như vậy tương ứng với một mức năng lượng xác định.
- Trong nguyên tử, các quỹ đạo tương ứng với các mức năng lượng được gọi là lớp.

### 3. Dòng trôi

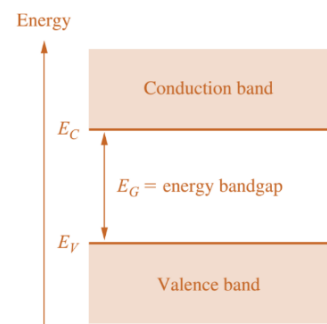
- Dưới tác dụng của điện trường, các hạt tải điện được gia tốc và dịch chuyển tạo nên dòng trôi.
- Tán xạ: khi dịch chuyển, các hạt tải điện va chạm với các ion dẫn đến mất động năng và chuyển hướng.
- Độ linh động: phản ánh tần số xảy ra tán xạ, là đại lượng thể hiện độ dễ của hạt tải điện khi dịch chuyển trong vật liệu.
- Độ linh động phụ thuộc:
  - + mật độ pha tạp:  $N_{A,D} \uparrow \rightarrow \mu \downarrow$
  - +  $t^0 \uparrow \rightarrow \mu \downarrow$
  - +  $m_{lt} > m_{dt} \rightarrow \mu_n > \mu_p$

### 4. Dòng khuếch tán

- Do có sự chênh lệch về mật độ, các hạt tải điện dịch chuyển từ vùng có mật độ cao sang vùng có mật độ thấp, ngay cả khi không có tác động của điện trường.
- Sự dịch chuyển có hướng này tạo ra một dòng điện trong chất bán dẫn, gọi là dòng điện khuếch tán.

### 5. Mô hình vùng năng lượng: 3 vùng

- Vùng hóa trị: chứa các điện tử hóa trị, khi đủ năng lượng các điện tử hóa trị nhảy lên vùng dẫn trở thành điện tử tự do và để lại 1 lỗ trống.
- Vùng dẫn: chứa các điện tử tự do.
- Vùng cấm: điện tử không tồn tại trong vùng này.
- $E_V$  đỉnh của vùng hóa trị, mức năng lượng cao nhất của điện tử hóa trị.
- $E_C$  đáy của vùng dẫn, mức năng lượng thấp nhất của điện tử tự do.
- Năng lượng vùng cấm:  $E_G = E_C - E_V$
- $E_G$  càng lớn  $\rightarrow$  càng ít điện tử tự do và lỗ trống  $\rightarrow$  độ dẫn điện yếu.
- T càng lớn  $\rightarrow$  càng nhiều điện tử hóa trị nhận đủ năng lượng trở thành tự do  $\rightarrow$  độ dẫn điện cao



## Chương 2: Diode

**I. Lý thuyết:** cấu tạo; nguyên lý hoạt động (không phân cực, phân cực thuận, phân cực ngược, đánh thủng); đặc tuyến; tính chất tĩnh điện của vùng nghèo; mô hình toán học; mô hình mạch tương đương; các thông số của diode: điện trở, điện dung, hệ số hồi phục ngược,...

### 1. Cấu tạo

- Diode tiếp giáp p-n được tạo nên bằng cách ghép hai mẫu bán dẫn pha tạp loại p và n lại với nhau.
- Vùng tiếp xúc giữa hai loại bán dẫn loại p và n được gọi là tiếp giáp.
- Vùng p gọi là anode (+), vùng n gọi là cathode (-).

Bán dẫn loại n ( $n > p$ )	Bán dẫn loại p ( $p > n$ )
Điện tử: đa số, lỗ trống: thiểu số	Điện tử: thiểu số, lỗ trống: đa số
Nguyên tử cho = ion dương + điện tử	Nguyên tử nhận: ion âm + lỗ trống
Ion bị cố định trong mạng tinh thể	

### 2. Nguyên lý hoạt động

\* **Không phân cực:** không có nguồn điện áp đặt vào các chân của diode

- Các điện tử khuếch tán từ vùng n sang p và để lại các ion (+), các lỗ trống khuếch tán từ vùng p sang lớp n để lại ion (-) tạo ra **dòng khuếch tán** và các ion bị cố định trong mạng tinh thể.
- Các điện tử và lỗ trống bị tái hợp trong quá trình khuếch tán, hình thành nên vùng quanh tiếp giáp chứa các ion (+) và (-) gọi là **vùng nghèo** (do thiếu các hạt tải điện) dẫn điện rất kém (các ion bị cố định).
- Hình thành một **điện trường tiếp xúc** hướng từ ion (+) sang ion (-) có tác dụng cản trở dòng khuếch tán.
- Dòng khuếch tán tăng  $\rightarrow \vec{E}_{tx}$  tăng  $\rightarrow$  càng cản trở dòng khuếch tán.
- Khi  $E_{tx}$  đủ lớn  $\rightarrow$  không phân cực, diode ở trạng thái cân bằng  $\rightarrow$  không có dòng điện chạy qua diode.

\* **Phân cực ngược:** cực (+) nối với cathode, cực (-) nối anode  $\rightarrow V_K > V_A$

- Nguồn  $V_D$  tạo ra điện trường  $\vec{E}_{ng}$  cùng chiều  $\vec{E}_{tx} \rightarrow$  tăng điện trường trong vùng nghèo  $\rightarrow$  số lượng ion bị cố định trong vùng này tăng lên  $\rightarrow$  vùng nghèo mở rộng ra tăng rào thế với dòng khuếch tán so với trường hợp không phân cực  $\rightarrow$  không có dòng khuếch tán, không có dòng qua diode.

\* **Phân cực thuận:** cực dương nối anode, cực âm nối cathode  $\rightarrow V_A > V_K$

- Nguồn  $V_D$  tạo ra điện trường  $\vec{E}_{ng}$  ngược chiều  $\vec{E}_{tx} \rightarrow$  giảm điện trường trong vùng nghèo  $\rightarrow$  giảm rào thế với dòng khuếch tán so với trường hợp không phân cực  $\rightarrow$  tăng dòng khuếch tán  $\rightarrow$  có dòng qua diode (A  $\rightarrow$  K).

\* **Đánh thủng:** Điện áp ngược trên diode vượt quá ngưỡng điện áp đánh thủng  $V_{BR}$ , dòng ngược qua diode tăng mạnh trong khi điện áp thay đổi không đáng kể  $\approx V_{BR}$ .

- **Thác lũ (mật độ pha tạp trung bình hoặc thấp):** điện áp phân cực ngược làm vận tốc hạt tải điện thiểu số tăng và có động năng lớn  $\rightarrow$  va chạm với các nguyên tử, phá vỡ các liên kết tạo thành các hạt tải điện mới được điện trường gia tốc mạnh, tiếp tục va chạm với các nguyên tử khác  $\rightarrow$  hạt tải điện tăng đột biến  $\rightarrow$  tạo nên dòng ngược lớn qua diode.

- **Zenner:** mật độ pha tạp cao làm cho vùng nghèo hẹp  $\rightarrow$  điện trường lớn  $\rightarrow$  bứt các điện tử ra khỏi liên kết, các hạt tải điện được điện trường gia tốc  $\rightarrow$  tạo nên dòng lớn qua diode.

### 3. Các tính chất tĩnh điện

- Vùng nghèo không có hạt tải điện tự do, chỉ còn ion âm và dương cố định.
- Hình thành điện trường tiếp xúc  $E_{tx}$  có hướng từ N  $\rightarrow$  P.
- Điện trường này quyết định thế năng tiếp xúc  $\phi_j$ , ảnh hưởng đến dòng khuếch tán.
- Độ rộng vùng nghèo phụ thuộc vào mức pha tạp và điện áp phân cực.
- Phân cực ngược: vùng nghèo mở rộng.
- Phân cực thuận: vùng nghèo thu hẹp.

#### 4. Đặc tuyến

##### \* Phân cực thuận:

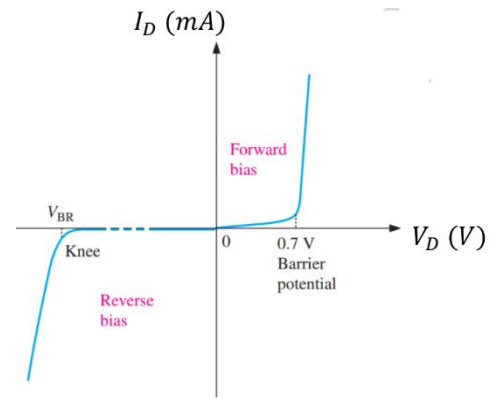
- $i_D$  phụ thuộc  $v_D$  theo hàm mũ  $e$ ;
- Khi  $V_D$  nhỏ ( $< 0,7 V$ ),  $I_D$  rất nhỏ  $\rightarrow$  diode dẫn yếu.
- Khi  $V_D$  đủ lớn ( $\geq 0,7 V$ ),  $I_D$  tăng rất nhanh trong khi  $V_D$  tăng không đáng kể và  $\approx 0,7 V \rightarrow$  diode dẫn mạnh.

##### \* Phân cực ngược:

- Khi điện áp ngược trên diode nhỏ hơn ngưỡng điện áp đánh thủng  $V_{BR}$ , dòng ngược rất nhỏ và không đổi.

##### \* Đánh thủng:

- Điện áp ngược trên diode vượt quá ngưỡng điện áp đánh thủng  $V_{BR}$ , dòng ngược qua diode tăng mạnh trong khi điện áp thay đổi không đáng kể  $\approx V_{BR}$ .



#### 5. Mô hình toán học

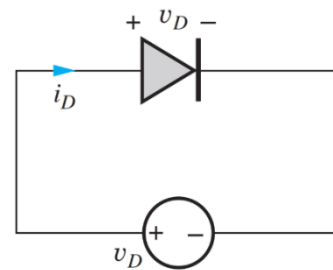
##### Phương trình shockley

$$I_D = I_S (e^{\frac{v_D}{nV_T}} - 1)$$

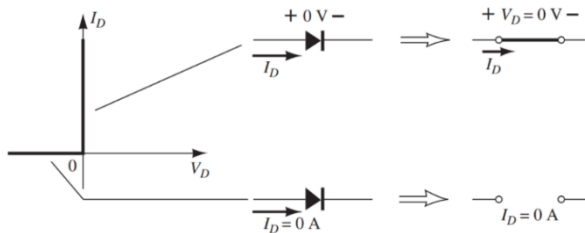
##### Phân cực thuận:

$$I_D \approx I_S (e^{\frac{v_D}{V_T}})$$

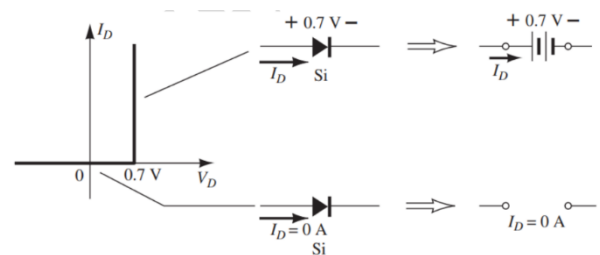
##### Phân cực ngược: $I_D \approx -I_S$



#### 6. Mô hình mạch tương đương



Mô hình lý tưởng



Mô hình sụt áp

#### 7. Các thông số

- Điện trở tĩnh:  $R_D = \frac{V_D}{I_D}$  (thay đổi theo vị trí điểm Q).

- Điện trở động:  $r_D = \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D} = \frac{V_T}{i_D + I_S} = \frac{25mV}{i_D}$

- Điện dung:  $Q = CV$

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d} \quad (d = W_d)$$

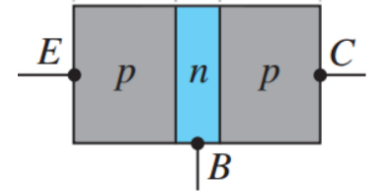
$$V_R \uparrow \rightarrow W_d \uparrow \rightarrow C \downarrow$$

## Chương 3: BJT

**I. Lý thuyết:** cấu tạo; nguyên lý hoạt động (npn và pnp); mối quan hệ giữa các dòng điện qua BJT; dòng rò; đặc tuyến; các vùng hoạt động; hiệu ứng Early,...

### 1. Cấu tạo

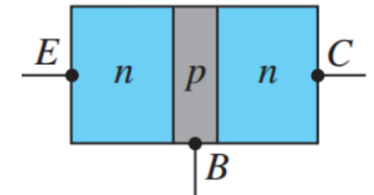
- Cực Base nối với lớp bán dẫn loại n nằm ở giữa có nồng độ pha tạp thấp và độ rộng rất nhỏ.
- Cực Emitter nối với lớp bán dẫn loại p với nồng độ pha tạp cao.
- Cực Collector nối với lớp bán dẫn loại p còn lại với nồng độ trung bình.



### 2. Nguyên lý hoạt động

#### NPN

- $T_{BE}$  phân cực thuận  $\rightarrow$  có dòng khuếch tán
- Do chênh lệch về mật độ pha tạp nên dòng khuếch tán của điện tử  $\gg$  lỗ trống  $\rightarrow$  bỏ qua dòng của lỗ trống.
- Vùng B rất hẹp nên một số điện tử tái hợp với lỗ trống, đa số các điện tử tiếp tục khuếch tán đến  $T_{BC}$ .
- Khi điện tử lọt vào vùng nghèo của  $T_{BC}$ ,  $E_{tx}$  kéo điện tử sang C  $\rightarrow$  sinh ra dòng  $E \rightarrow C$  (BJT dẫn).



#### PNP

- $T_{BE}$  phân cực thuận sinh ra dòng khuếch tán.
- Do chênh lệch về mật độ pha tạp nên dòng khuếch tán của lỗ trống  $\gg$  điện tử nên bỏ qua dòng của điện tử.
- Vùng B rất hẹp nên một vài điện tử tái hợp với lỗ trống, đa số các lỗ trống tiếp tục khuếch tán sang  $T_{BC}$ .
- Khi điện tử lọt vào vùng nghèo của  $T_{BC}$ ,  $E_{tx}$  kéo lỗ trống sang C  $\rightarrow$  sinh ra dòng  $E \rightarrow C$  (BJT dẫn).

### 3. Mối quan hệ giữa các dòng điện qua BJT

$$I_E = I_B + I_C$$

$$I_C \approx I_E$$

$$I_B \ll I_C \text{ và } I_B \ll I_E$$

Hệ số khuếch đại dòng:

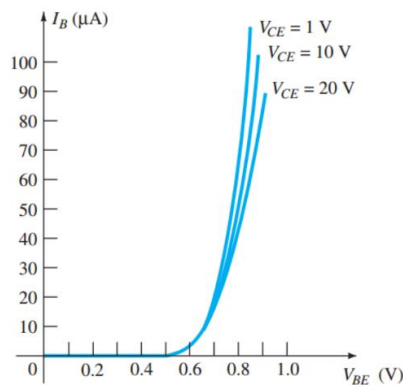
$$\text{Mắc Base chung: } \alpha = \frac{I_C}{I_E} \qquad \alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

$$\text{Mắc Emitter chung: } \beta = \frac{I_C}{I_B} \qquad \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

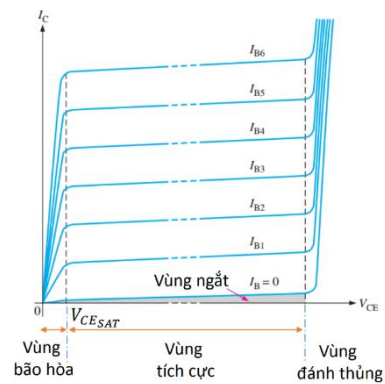
### 4. Dòng rò

- Trong vùng nghèo của  $T_{BC}$ , dưới tác dụng nhiệt các cặp điện tử và lỗ trống được tạo thành và điện trường  $E_{tx}$  kéo đi tạo thành dòng rò  $I_{CO}$ .
- Do hình thành dưới tác dụng nhiệt nên  $I_{CO}$  có giá trị rất nhỏ và từ khoảng  $\mu A$  hoặc  $nA$  mà  $I_C$  khoảng  $mA$  nên ta bỏ qua  $I_{CO}$ .

## 5. Đặc tuyến Mắc Emitter chung



Đặc tuyến vào:  $i_B (v_{BE}) (v_{CE} = \text{const})$



Đặc tuyến ra:  $i_C (v_{CE}) (i_B = \text{const})$

## 6. Các vùng hoạt động

- Vùng ngắt: cả 2 tiếp giáp đều phân cực ngược nên không có dòng qua BJT, xem như khóa mở
- Vùng bão hòa: cả 2 tiếp giáp đều phân cực thuận nên sụt áp giữa C và E rất nhỏ, xem như khóa đóng
- Vùng tích cực thuận:
- Vùng tích cực đảo:

$T_{BE}$	$T_{BC}$	
	Phân cực ngược	Phân cực thuận
Phân cực thuận	Vùng tích cực thuận (chức năng khuếch đại tốt)	Vùng bão hòa
Phân cực ngược	Vùng ngắt	Vùng tích cực ngược (chức năng khuếch đại kém)

## 7. Hiệu ứng Early

- Thực tế, trong vùng tích cực, dòng  $i_C$  tăng nhẹ khi  $v_{CE}$  tăng

- Trở kháng ra:  $r_o = \frac{\Delta v_{CE}}{\Delta i_C}$

- Không có hiệu ứng Early:  $r_o = \frac{\Delta v_{CE}}{\Delta i_C} = \frac{\Delta v_{CE}}{0} = \infty$

- Có hiệu ứng Early:  $r_o = \frac{\Delta v_{CE}}{\Delta i_C} = \frac{V_A + V_{CEQ}}{I_{CQ}}$