

ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG KHOA HỌC TỰ NHIÊN

VẬT LÝ LINH KIỆN ĐIỆN TỬ

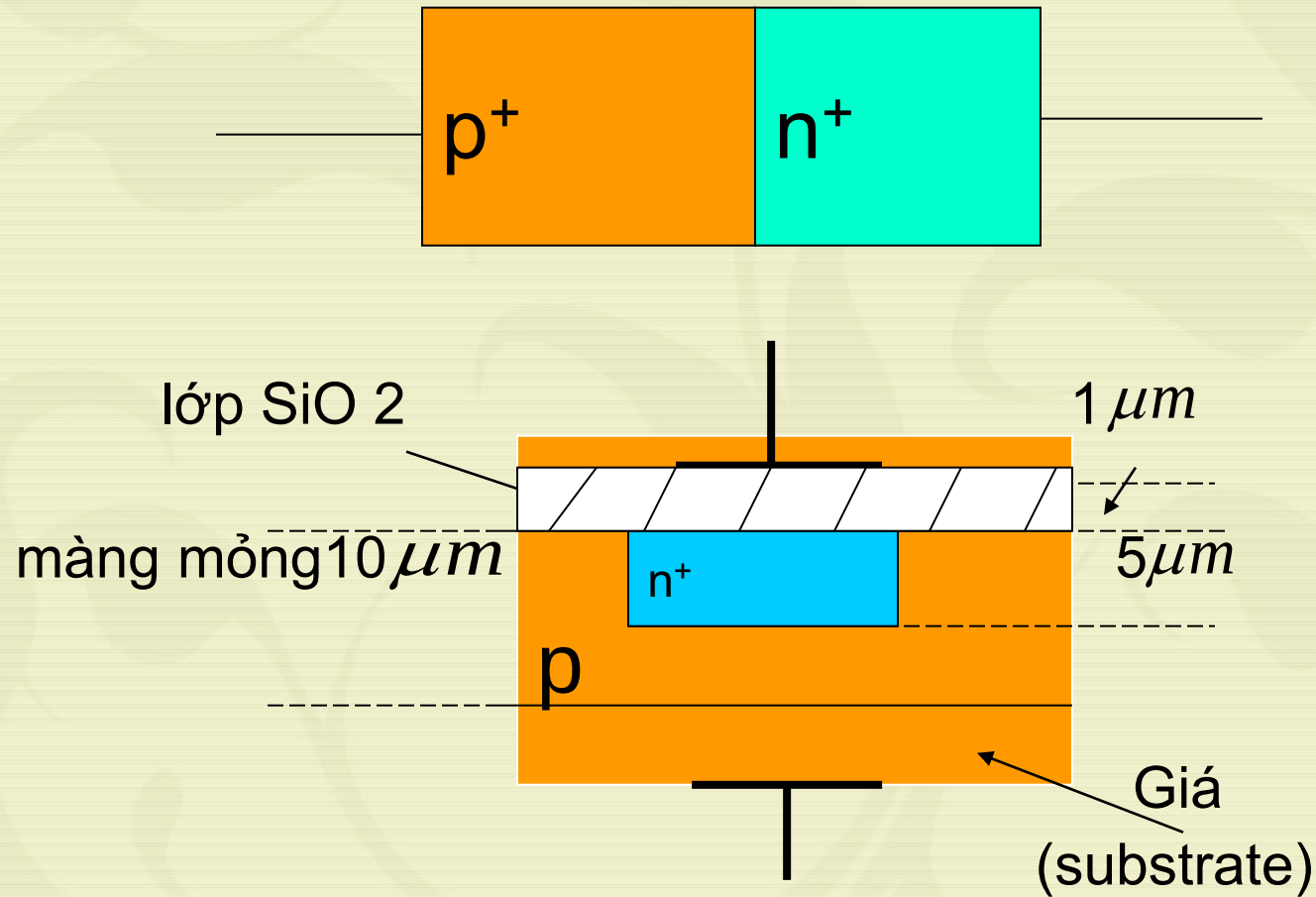
Chap 2: MỐI NỐI PN - DIODE

Trình bày: NGUYỄN THỊ THIÊN TRANG

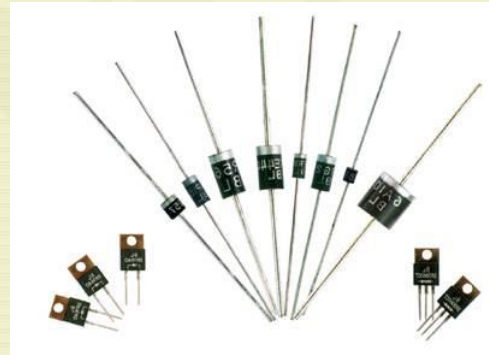
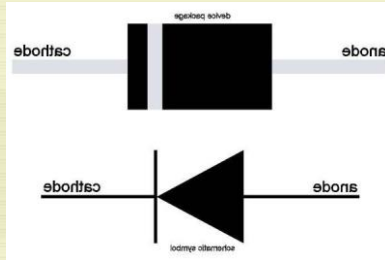
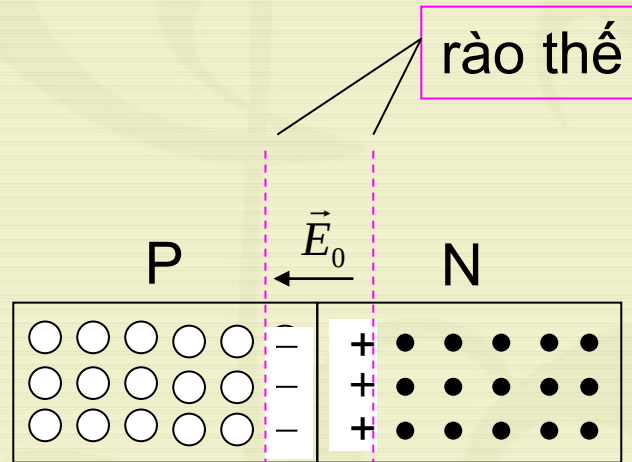
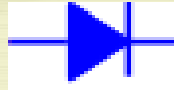
OUTLINE

- ❖ Tổng quan chung
- ❖ Cấu tạo & ký hiệu trong sơ đồ mạch
- ❖ Nguyên lý hoạt động của diode
- ❖ Đặc tuyến Volt – Ampe của diode bán dẫn
- ❖ Các tham số tĩnh của diode
- ❖ Sự phụ thuộc của đặc tuyến Volt – Ampe vào nhiệt độ
- ❖ Phân loại diode
- ❖ Ứng dụng diode
- ❖ Giải đồ năng lượng

CẤU TẠO NỔI PN

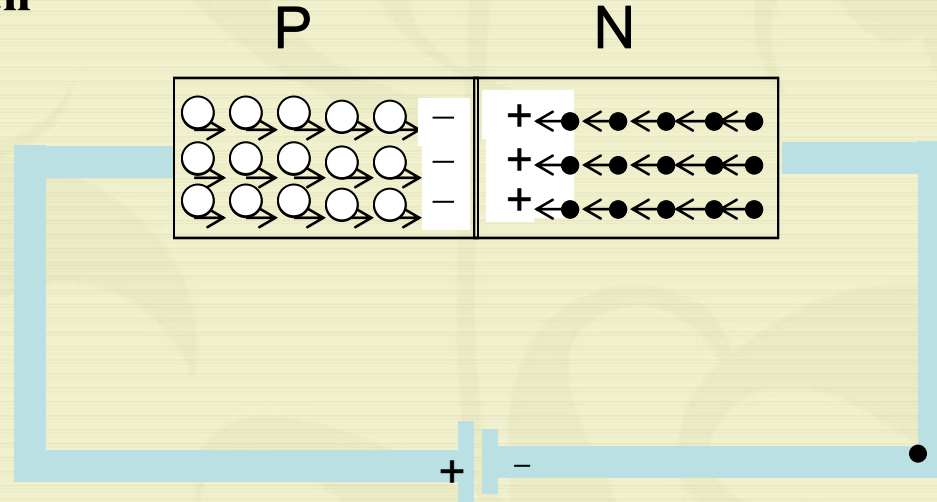


CẤU TẠO NỐI PN

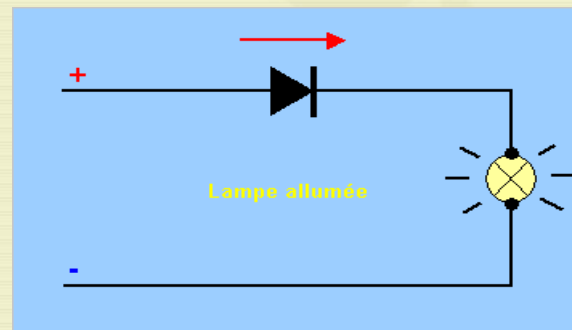


PHÂN CỰC NỐI PN

a. Phân cực thuận

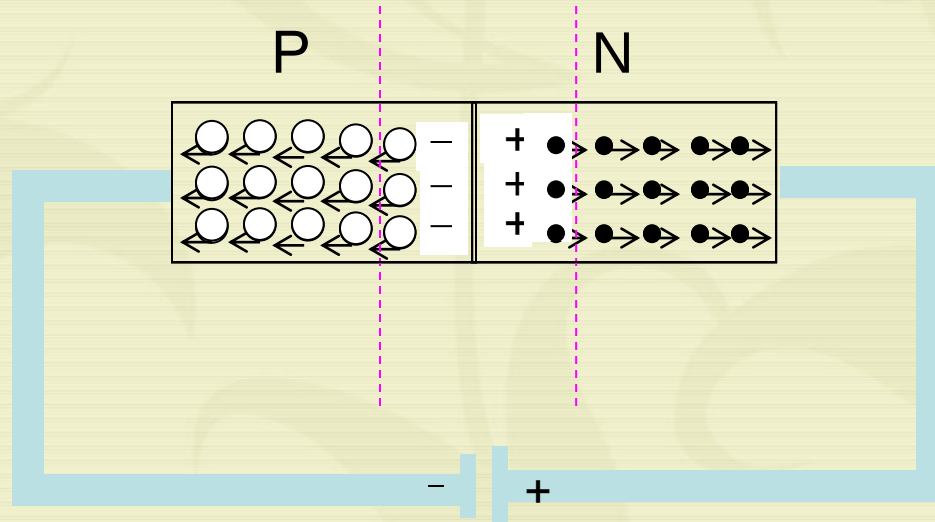


Phân cực thuận sẽ có dòng điện chạy qua diode

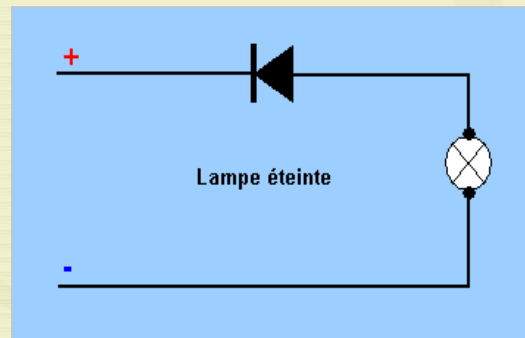


PHÂN CỰC NỐI PN

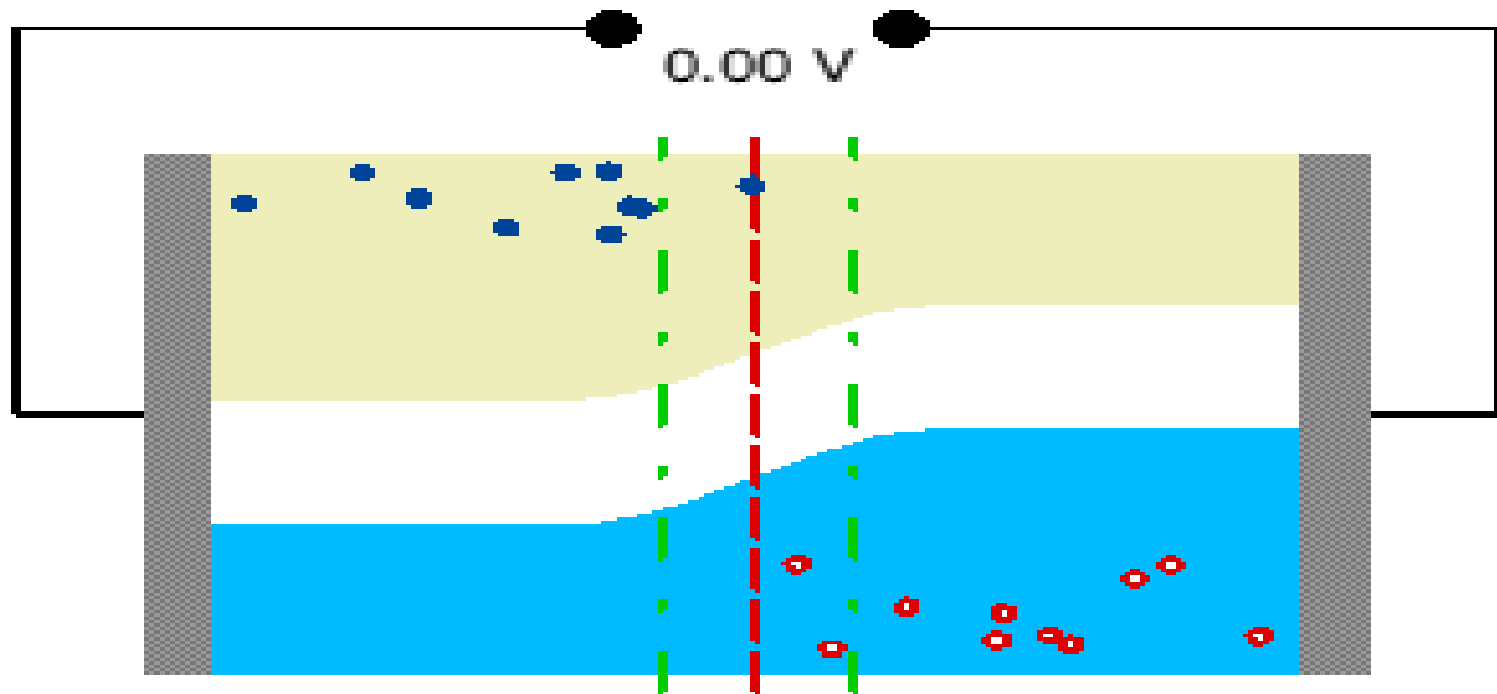
b. Phân cực nghịch



Phân cực nghịch không có dòng điện chạy qua diode



PHÂN CỰC NỐI PN



When we bring P-type & N-type together a depletion zone is created around the junction
This produces a barrier, blocking charge flow.

PHÂN CỰC NỐI PN

HIỆN TƯỢNG HỦY THÁC

- Tuy nhiên, khi phân cực nghịch với điện trường quá lớn, các nguyên tử trong vùng hiếm bị phá vỡ liên kết cộng hóa trị và do đó sẽ di chuyển ồ ạt qua mối nối → Dòng nghịch quá lớn trong khi điện thế không đổi (do điện trở quá bé) sẽ làm hư hỏng nối PN (**hủy thác** hay **sụp đổ**).
- **Hủy thác Zener** : Khi $V < 6$ v chỉ có sự phá vỡ liên kết cộng hóa trị.
- **Hủy thác tuyết đổ**: Khi $V > 6$ v ngoài sự phá vỡ liên kết cộng hóa trị còn có sự bứt các điện tử ra khỏi cấu trúc của nó do sự va chạm giữa các hạt tải có động năng lớn với các điện tử của nguyên tử.

CÔNG THỨC DÒNG ĐIỆN

1. Biểu thức dòng điện nổi pn

Lý thuyết và thực nghiệm cho:

$$I_D = I_S \left[\exp(V / \eta V_T) - 1 \right] \quad \eta = 1$$

trong đó dòng bão hoà ngược cho bởi:

$$\begin{aligned} I_S &= Aq \left(\frac{D_p p_{no}}{L_p} + \frac{D_n n_{po}}{L_n} \right) = \\ &= Aq \left(\frac{D_p}{L_p N_D} + \frac{D_n}{L_n N_A} \right) n_i^2 \end{aligned}$$

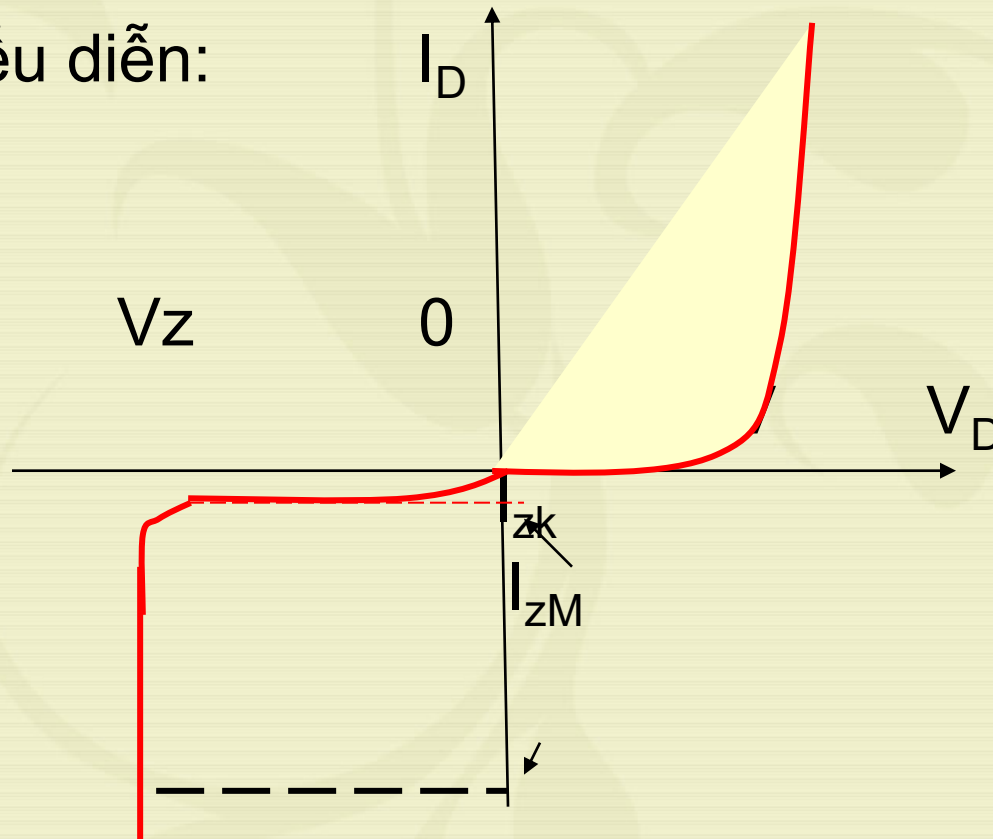
thường trong điều kiện dẫn điện lớn ta có:

ĐẶC TÍNH NỔI PN

- Khi phân cực thuận: $V > 4V_T \rightarrow \exp(V/V_T) \gg 1$:
 $I_D = I_F = I_S \exp(V/V_T)$ lớn
- Khi phân cực nghịch: $|V| \ll |4V_T| \rightarrow \exp(-V/V_T) \ll 1$:
 $I_D = I_R = -I_S$

2. Đặc tuyến $V - I$:

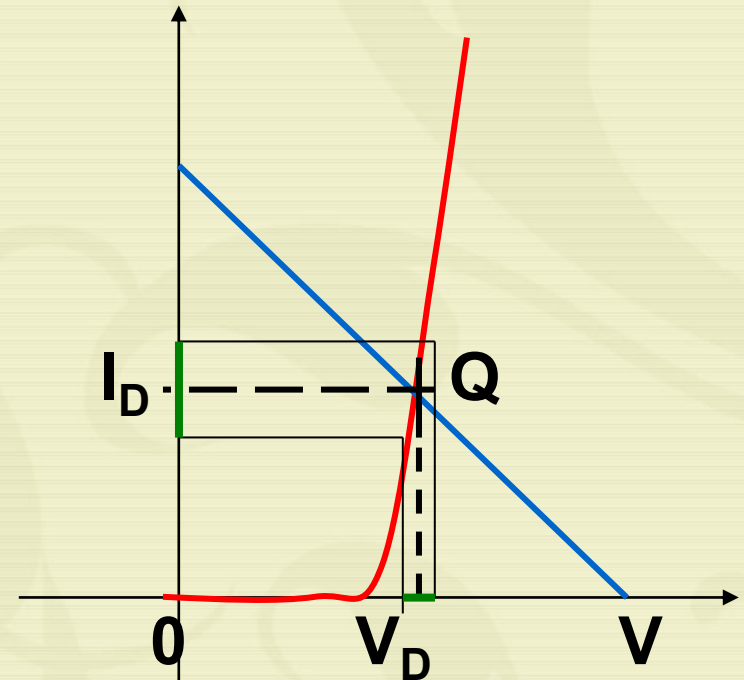
Ta có đường biểu diễn:



ĐIỆN TRỞ & ĐIỆN DUNG MỐI NỐI PN

a. Điện trở tĩnh:

$$R_D = \left. \frac{V_D}{I_D} \right|_Q$$



b. Điện trở động:

$$r_d = \left. \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D} \right|_Q = \left. \frac{dV_D}{dI_D} \right|_Q$$

ĐIỆN TRỞ NỐI PN

- Thường thì do sự thay đổi nhỏ nên ta có:

$$g_d = \frac{1}{r_d} = \frac{dI_D}{dV_D} \bigg|_Q = \frac{d}{dV_D} [I_S \exp(V_D/V_T) - 1] =$$

$$= \frac{1}{V_T} I_S \exp(V_D/V_T) = \frac{I_D}{V_T} \bigg|_Q \Rightarrow$$

$$r_d = \frac{V_T}{I_D} \bigg|_Q \quad r_d = \frac{26}{I(\text{mA})}$$

- Có trị số thường rất bé (vài Ohm – vài chục Ohm) xem như không đáng kể.

ĐIỆN DUNG NỐI PN

a. Điện dung chuyển tiếp:

Khi phân cực nghịch, vùng hiếm nở rộng và không có các hạt tải đi qua nên xem như cách điện (**điện môi**). Trong khi đó, ở 2 vùng ngoài vùng hiếm có các hạt tải điện (**2 bảng dẫn điện**) → Tụ điện có điện dung:

$$C_T = C_o \frac{A}{x_d} = C_o \frac{A}{W}$$

$$C_o = 11,7 \varepsilon_o \quad (\text{Si})$$

$$C_o = 15,8 \varepsilon_o \quad (\text{Ge})$$

$$\varepsilon_o = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$$

C_T có giá trị từ vài phần mười đến vài chục pF.

ĐIỆN DUNG NỐI PN

b. Điện dung khuếch tán:

Khi phân cực thuận, do có sự khuếch tán của các hạt tải qua nối, và khi điện thế phân cực tăng lên một lượng dV thì có sự gia tăng 1 lượng $dq_j \rightarrow$ Tụ điện có điện dung cho bởi:

$$C_D = \frac{dq_j}{dV}$$

C_D có trị vài nghìn pF.

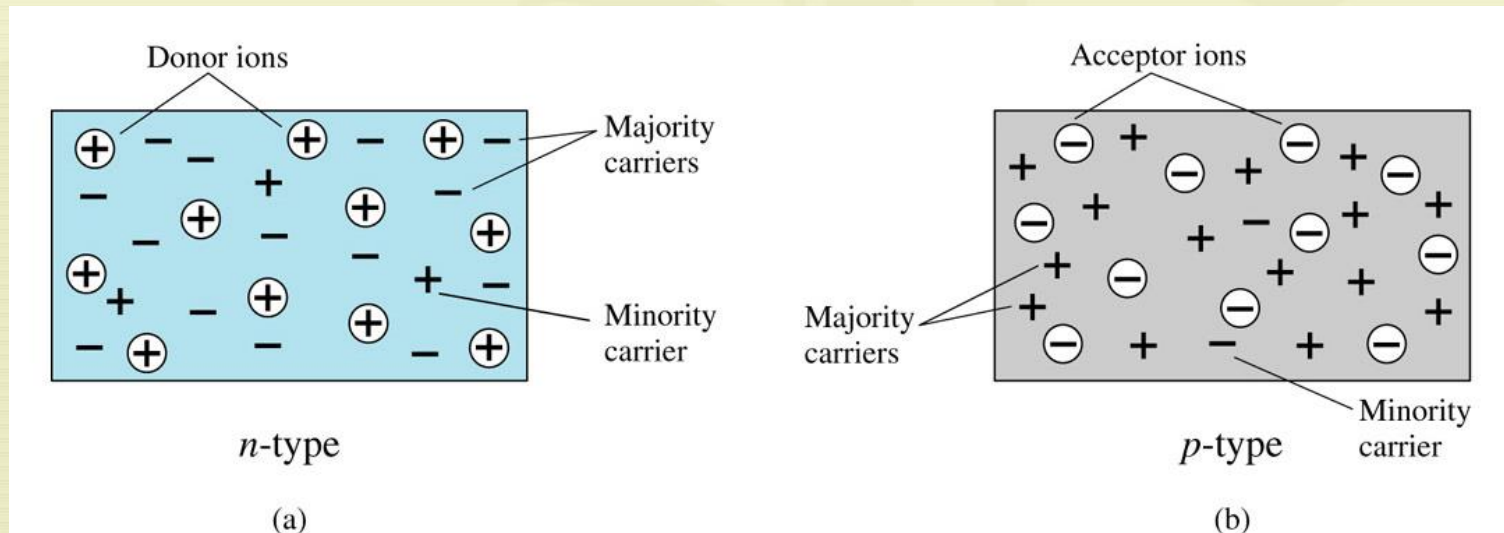
Ở tần số thấp, $X_C = 1/\omega C \rightarrow$ rất lớn, xem như tụ hở mạch

Ở tần số cao, $X_C \rightarrow 0$ rất bé, xem như tụ nối tắt

Vậy các tụ C_T , C_D làm nối PN không hoạt động ở tần số cao.

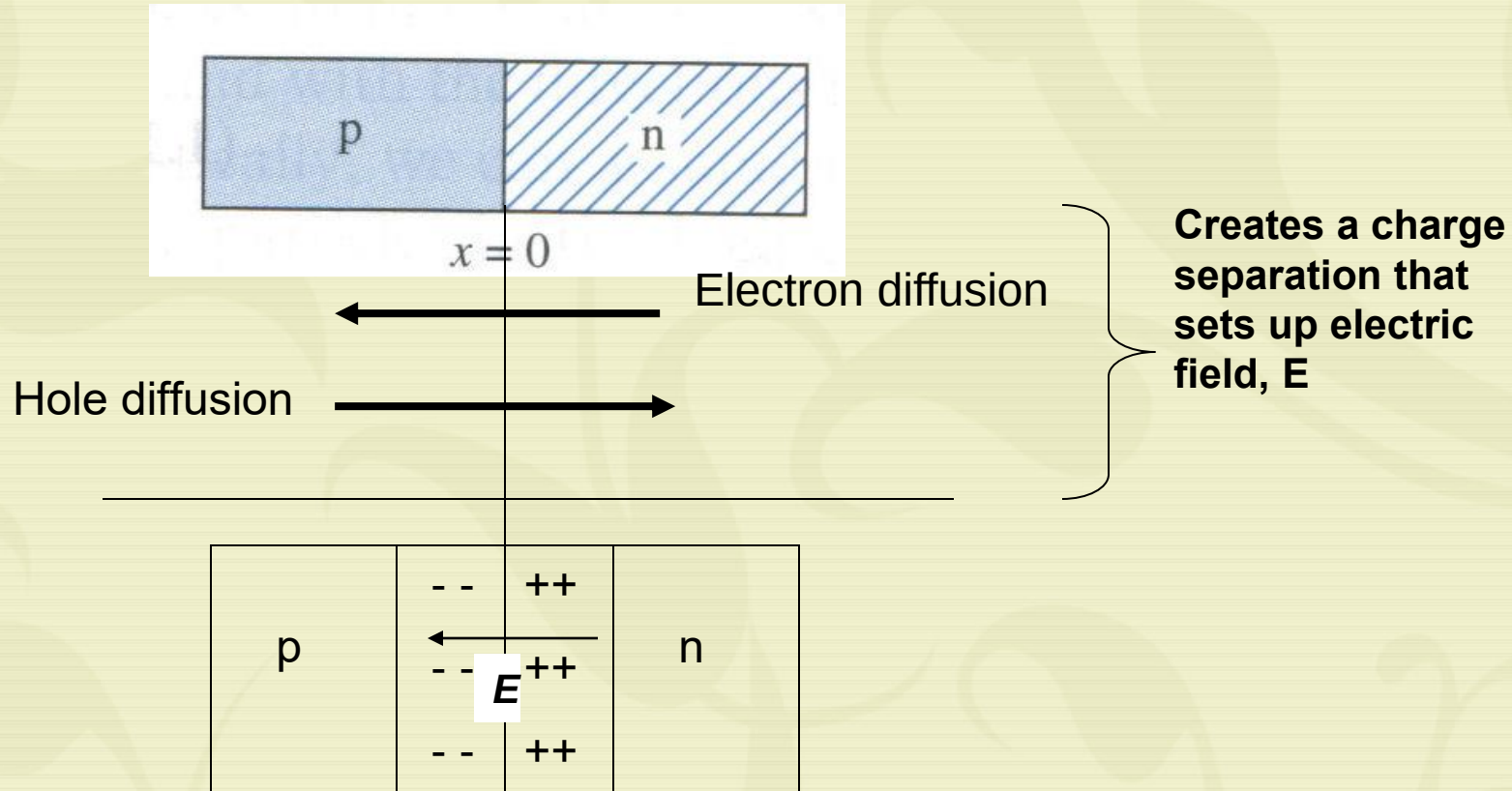
PN - TRẠNG THÁI CÂN BẰNG

- Mỗi nơí N – hạt tải đa số là electron, hạt tải thiểu số là lỗ trống.
- Mỗi nơí P – hạt tải đa số là lỗ trống, hạt tải thiểu số là electron.

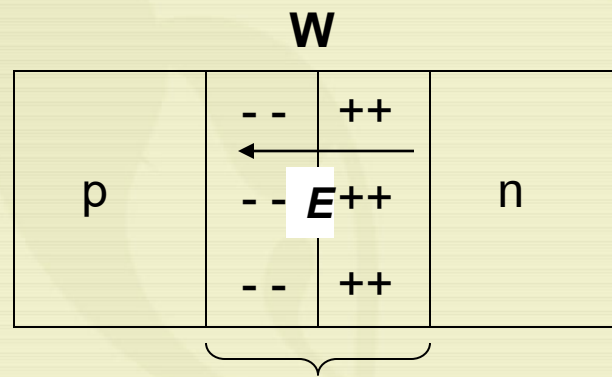


TRẠNG THÁI CÂN BẰNG CỦA MỖI NỐT PN

- Join n-type and p-type doped Silicon (or Germanium) to form a **p-n junction**.



The Electric field will create a force that will stop the diffusion of carriers → reaches thermal equilibrium condition



Known as space charge region/depletion region.

Potential difference across the depletion region is called the built-in potential barrier, or built-in voltage:

$$V_{bi} = \frac{kT}{e} \ln\left(\frac{N_a N_d}{n_i^2}\right) = V_T \ln\left(\frac{N_a N_d}{n_i^2}\right)$$

$$V_T = kT/e$$

k = Boltzmann's constant

T = absolute temperature

e = the magnitude of the electronic charge = 1.6 × 10⁻¹⁹ C

N_a = the net acceptor concentration in the p-region

N_d = the net donor concentration in the n-region

V_T = **thermal voltage**, [$V_T = kT / e$] it is approximately **0.026 V** at temp, $T = 300 \text{ K}$

TRẠNG THÁI CÂN BẰNG CỦA MỖI NỐI PN

Ví dụ 1

Tính V_{bi} của mối nối PN tại $T = 300$ K, vùng P có nồng độ pha $N_a = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, vùng N có nồng độ pha $N_d = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ và $n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$.

TRẠNG THÁI CÂN BẰNG CỦA MỐI NỐI PN

$$V_{bi} = \frac{kT}{e} \ln\left(\frac{N_a N_d}{n_i^2}\right) = V_T \ln\left(\frac{N_a N_d}{n_i^2}\right)$$

- Ví dụ 2

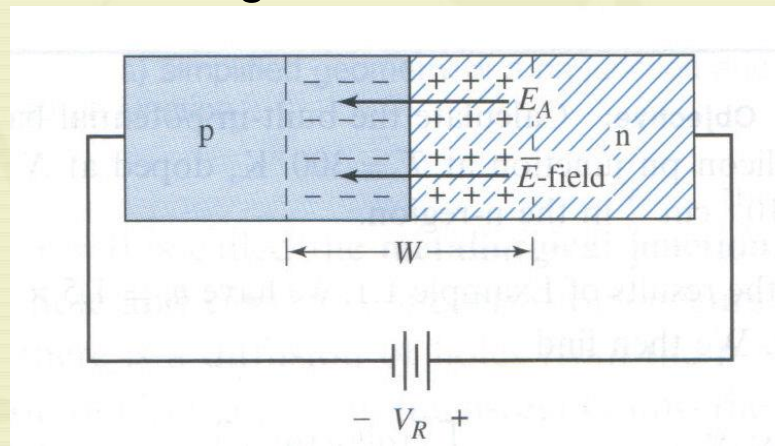
Mối nối PN tại $T = 400\text{K}$, vùng N được pha tạp với nồng độ $N_d = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ vùng P được pha tạp với nồng độ $N_a = 10^{19} \text{ cm}^{-3}$. Tính V_{bi} của mối nối PN, với B và E_g của Si lần lượt là $5.23 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \text{ K}^{-3/2}$ và 1.1 eV

ANSWER

- $V_T = kT / e = 86 \times 10^{-6} (400) / 1\text{eV} = 0.0344 \text{ V}$
- $n_i = BT^{3/2} \exp (-E_g / 2kT)$
 $= 5.23 \times 10^{15} (400)^{3/2} \exp -1.1 / 2 (86 \times 10^{-6}) (400)$
 $= 4.76 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$
- $V_{bi} = V_T \ln (N_a N_d / n_i^2)$
 $= 0.0344 \ln 10^{18} (10^{19}) / (4.76 \times 10^{12})^2$
 $= \underline{0.922\text{V}}$

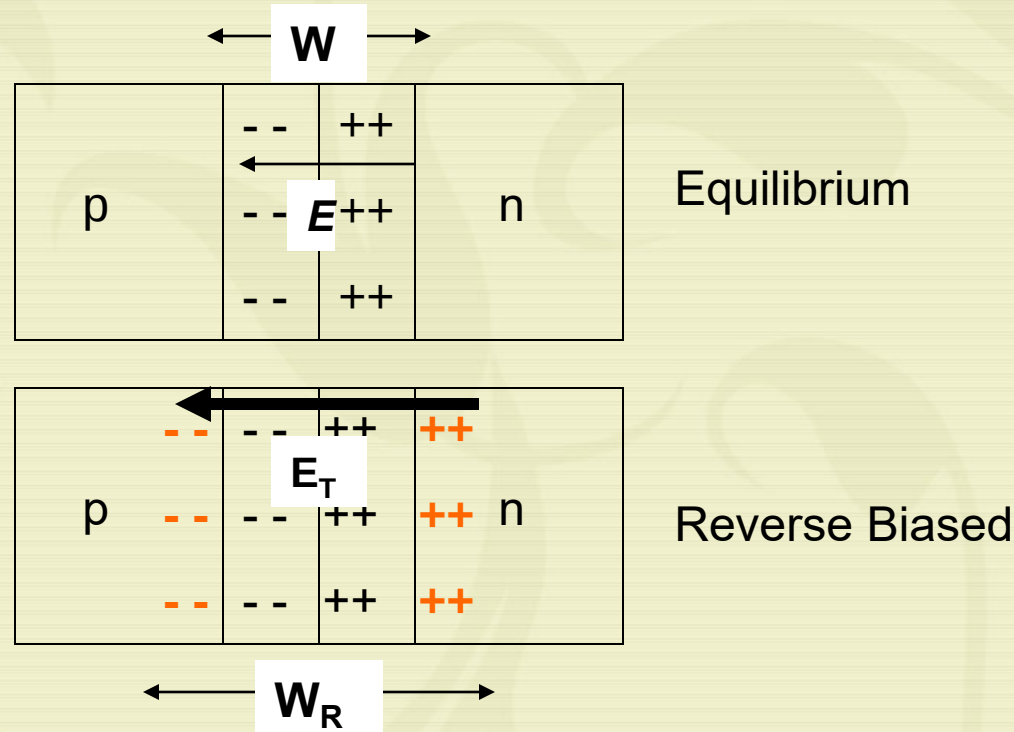
Reverse-Biased pn Junction

- +ve terminal is applied to the n-region of the pn junction and vice versa.
- Applied voltage V_R will induce an applied electric field E_A .
- Direction of the E_A is the same as that of the E -field in the space-charge region.
- Magnitude of the electric field in the space-charge region increases above the thermal equilibrium value. Total $E_T = E + E_A$
- Increased electric field holds back the holes in the p-region and the electrons in the n-region.



Reverse-Biased pn Junction

- Hence, no current across the pn junction.
- This applied voltage polarity is called **reverse bias**.
- $E \propto \text{charge}$ so, since there is an increase of the electric field in the depletion region, the number of charges increases too since the width of the depletion increases.



PHÂN LOẠI DIODE

- ❖ Diode chỉnh lưu
- ❖ Diode cao tần, tách sóng
- ❖ Diode Schottky
- ❖ Diode Zener
- ❖ Diode biến dung
- ❖ Diode quang
- ❖ LED, ghép quang (Optron)
- ❖ Diode hồng ngoại

PHÂN LOẠI DIODE

Diode là linh kiện được chế tạo theo nguyên lý nối PN, nhưng được phân loại theo nhiều cách khác nhau:

- Vật liệu cấu tạo
- Công nghệ chế tạo
- Kích thước
- Mật độ pha
- Công dụng (chức năng)

Nên một diode có khi có nhiều tên gọi khác nhau (diod chỉnh lưu, diod tiếp xúc mặt, diod hạ tần...)

1. DIODE CHỈNH LƯU

- Điện thế lớn
- Dòng điện lớn

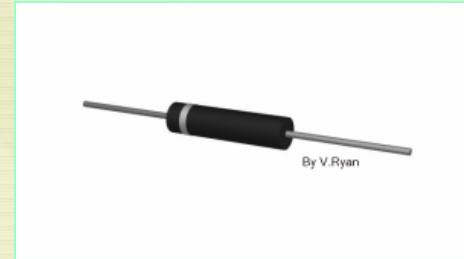


Nên diode chỉnh lưu có các đặc điểm:

- Tiếp xúc mặt
- Hoạt động ở tần số thấp (hạ tần)

Sử dụng diode cần tham khảo datasheet:

$$P_{DM}, I_{FM}, I_{RM}, V_{BR}, C_D, C_T, f_{max}, T_{max}$$



2. DIODE CAO TẦN

- Tiếp xúc điểm $\rightarrow C_D, C_T$ nhỏ
- Do đó:
 - Điện thế thấp
 - Dòng điện thấp

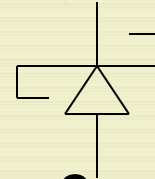
Sử dụng trong:

Mạch tách sóng Radio, T.V.

Mạch logic, mạch số (mạch giao hoán)

3. DIODE SCHOTTKY

- Tiếp giáp kim loại – bán dẫn → bức tường âm và hạt tải nóng
- Rào thế thấp 0,25 V
- Thời gian tích trữ không đáng kể $t_s = 0$
- Thời gian hồi phục bé
- Điện dung tích trữ vài phần mười pF



Sử dụng trong các mạch giao hoán, mạch logic, mạch số, mạch tần số cao 20 GHz

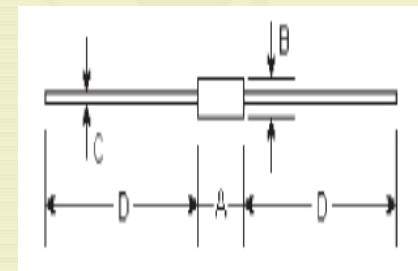
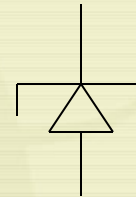
4. DIODE ZENER

- Tạo điện thế ổn định (áp dụng hiện tượng hủy thác).
- Mỗi diod zener có trị số V_Z khác nhau 3,3 V; 3,9 V; 5,1V; 5,6V; 6,8V; 7,5V; 10V; 12V.... (tùy theo cách chế tạo và mật độ pha).

Khi sử dụng phải tuân theo datasheet và điều kiện:

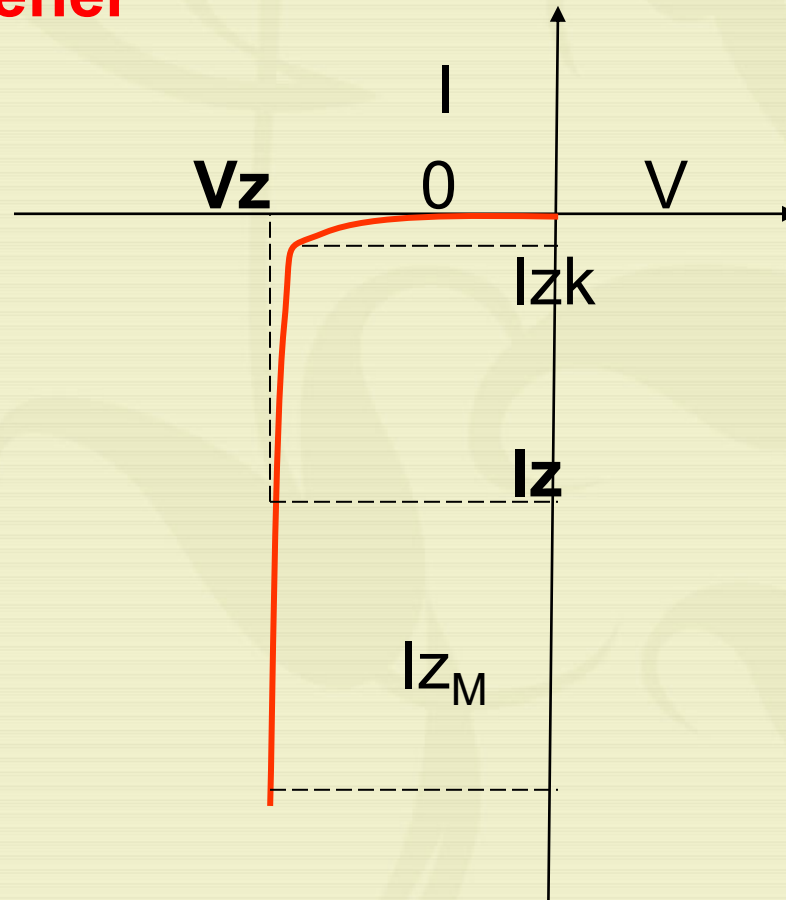
$$I_{ZK} < I_Z < I_{ZM}$$

$$P_Z = V_Z I_Z < P_{ZM}$$



4. DIODE ZENER

Đặc tuyến Diode Zener

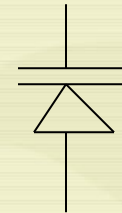


- $P_{ZM} = V_Z I_{ZM}$
- $I_{ZK} < I_Z < I_{ZM}$

5. DIODE BIẾN DUNG (VARICAP DIODE)

- Sử dụng điện dung chuyển tiếp khi phân cực nghịch nối PN.
- Điện dung diode biến dung:

$$C_T = \frac{C_T(0)}{\left(1 + \frac{V_R}{V_B}\right)^n}$$



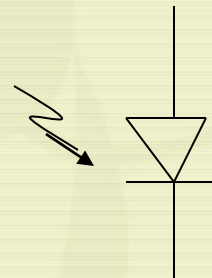
- Thường $n = 1$; $C_T(0)$ điện dung tại $V_R = 0$ V
- Áp dụng trong các mạch:
 - Dao động cộng hưởng, mạch điều hợp trong TV, Radio
 - Mạch điều khiển từ xa
 - Mạch chọn đài tự động

6. DIODE QUANG (THU QUANG-PHOTODIODE)

- **Áp dụng hiệu ứng quang – điện** của các vật liệu Si, GaAs...
- Chuyển đổi ánh sáng thu được từ bề mặt trong suốt thành dòng điện khi diode phân cực nghịch.
- Mỗi diode chỉ thu được một bức xạ nhất định.

Sử dụng làm cảm biến, bộ dò trong **các mạch**:

- Báo động
- Đo cường độ sáng
- Đếm sản phẩm



7. DIODE PHÁT QUANG (LED)

- Áp dụng hiệu ứng điện quang
- LED phát sáng khi phân cực thuận
- Mỗi LED phát một bức xạ nhất định tùy theo vật liệu chế tạo và chất pha:

GaAs bước sóng = 0,77-0,88 đỏ

Al,Sb = 0,65

GaAsP đỏ

GaPZn hồng phách

GaAsS = 0,57-0,58 vàng

GaPN₂ = 0,55-0,56 lục

7. DIODE PHÁT QUANG (LED)

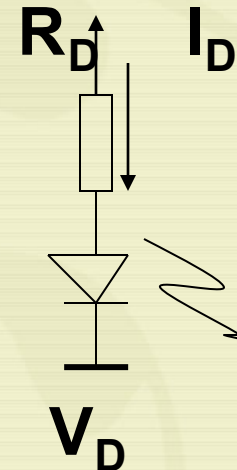
LED dẫn có: $V_D = 1,6V - 2,2V$; $I_D = 5 - 30mA$

Chọn trung bình: $V_D = 2V$ và $I_D = 10 mA$

Mạch có điện trở R_D nối với LED và nguồn V_{CC} , cách tính trị R_D tùy theo trị số nguồn V_{CC} :

+ V_{CC}

$$V_{CC} = R_D I_D + V_D \Rightarrow$$
$$R_D = \frac{V_{CC} - V_D}{I_D}$$



Với

$V_{CC} = 5V$	$\rightarrow R_D = 200 \text{ Ohm}$	Chọn 270 hoặc 330 Ohm
$= 9V$	$= 700 \text{ Ohm}$	Chọn 680
$= 12V$	$= 1000 \text{ Ohm}$	

7. DIODE PHÁT QUANG (LED)

- LED áp dụng trong các mạch:
 - Chỉ báo, hiển thị
 - LED 7 đoạn trong các máy phát, máy đo ...

Diode phát – thu hồng ngoại

Là những diode phát – diode thu quang với bức xạ trong lĩnh vực hồng ngoại (bước sóng khoảng 1000nm)

Được sử dụng trong các mạch báo động, điều khiển, thu phát tín hiệu, dữ liệu có tính bảo mật.

8. DIODE LASER

- Diode khuếch đại ánh sáng bằng bức xạ của phát xạ kích thích (Light Amplication by Stimulated Emission of Radiation – LASER).
- Giống như diode nối nhưng có thêm bộ phận làm đảo mật độ dân số và buồng cộng hưởng tạo ra ánh sáng kết hợp có cường độ lớn và bức xạ thành chùm tia tập trung rất hẹp.
- Áp dụng trong thông tin sợi quang, trong các máy CD, VCD, DVD, mạng máy tính ...

8. DIODE LASER

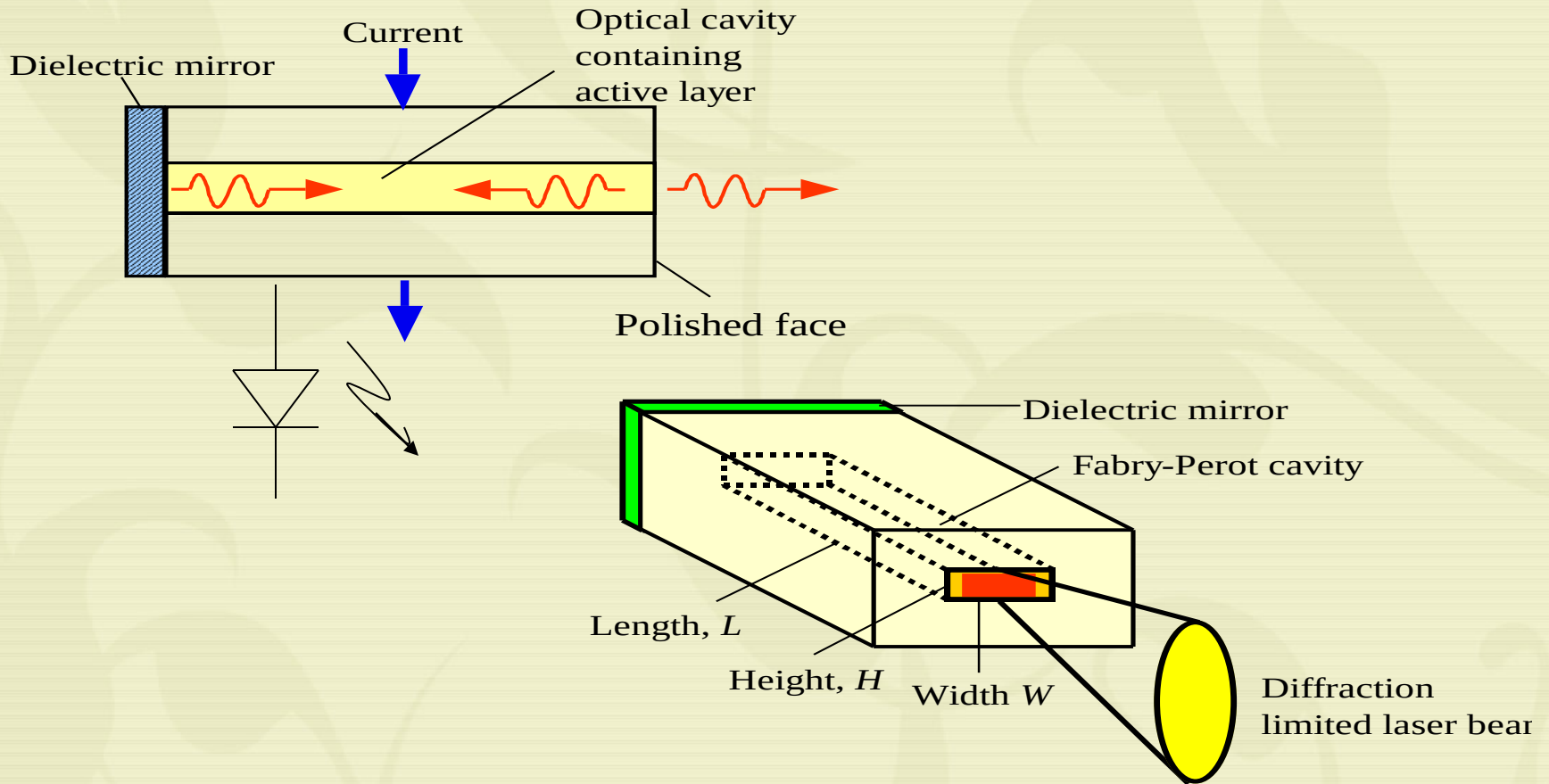
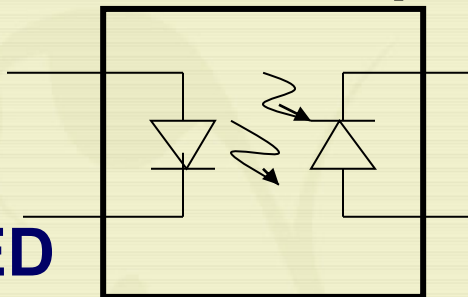


Fig. 6.56: A semiconductor lasers have an optical cavity to build-up the required electromagnetic oscillations.

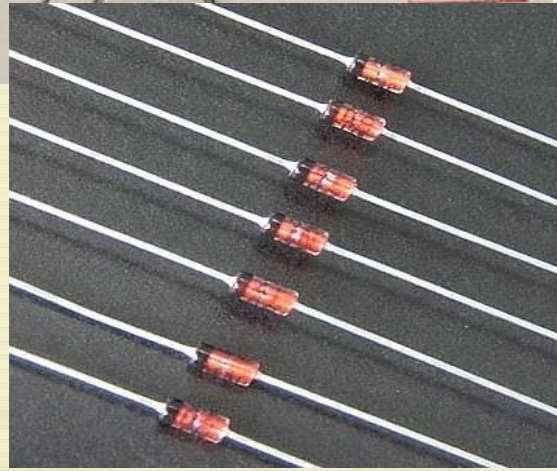
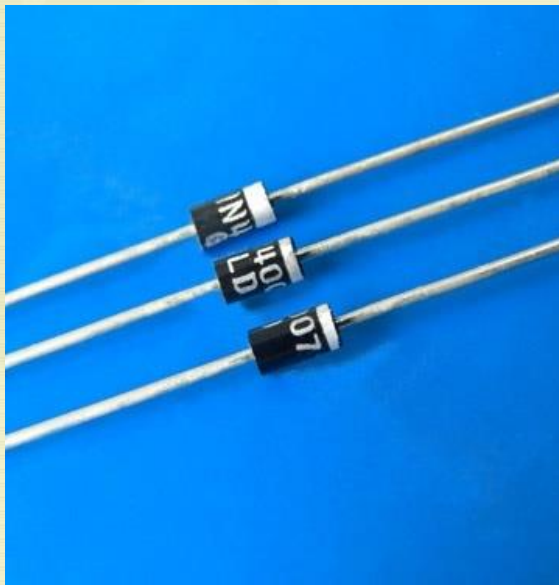
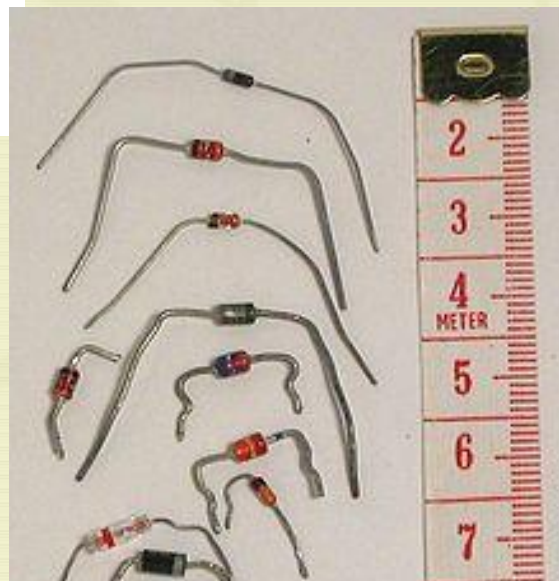
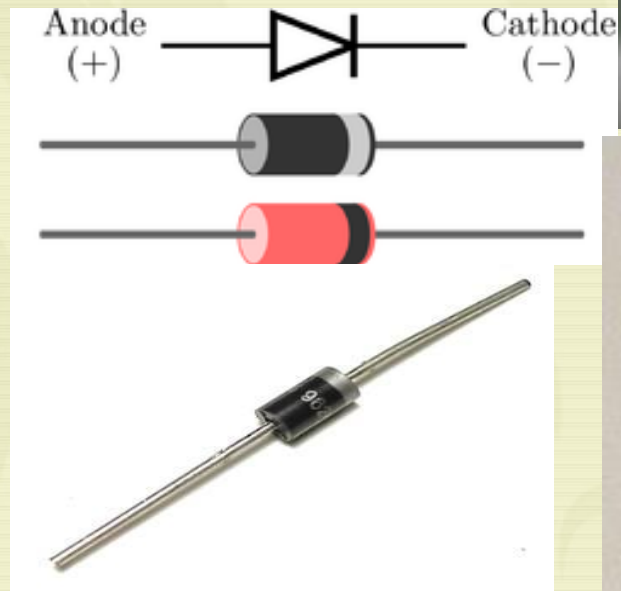
BỘ GHÉP QUANG (OPTRONS – OPTROISOLATION - OPTOCOUPPLERS)

- Ghép nối LED và linh kiện thu quang vào chung trong một vỏ kín nhằm truyền tín hiệu có tính bảo mật hoặc có độ cách ly điện tốt hơn biến thế (10^{15} Ohm; 7.500V), tránh nhiễu điện từ xen vào tín hiệu, dữ liệu truyền đi.
- Các linh kiện thu quang là: diode, transistor, FET, SCR, DIAC ... quang

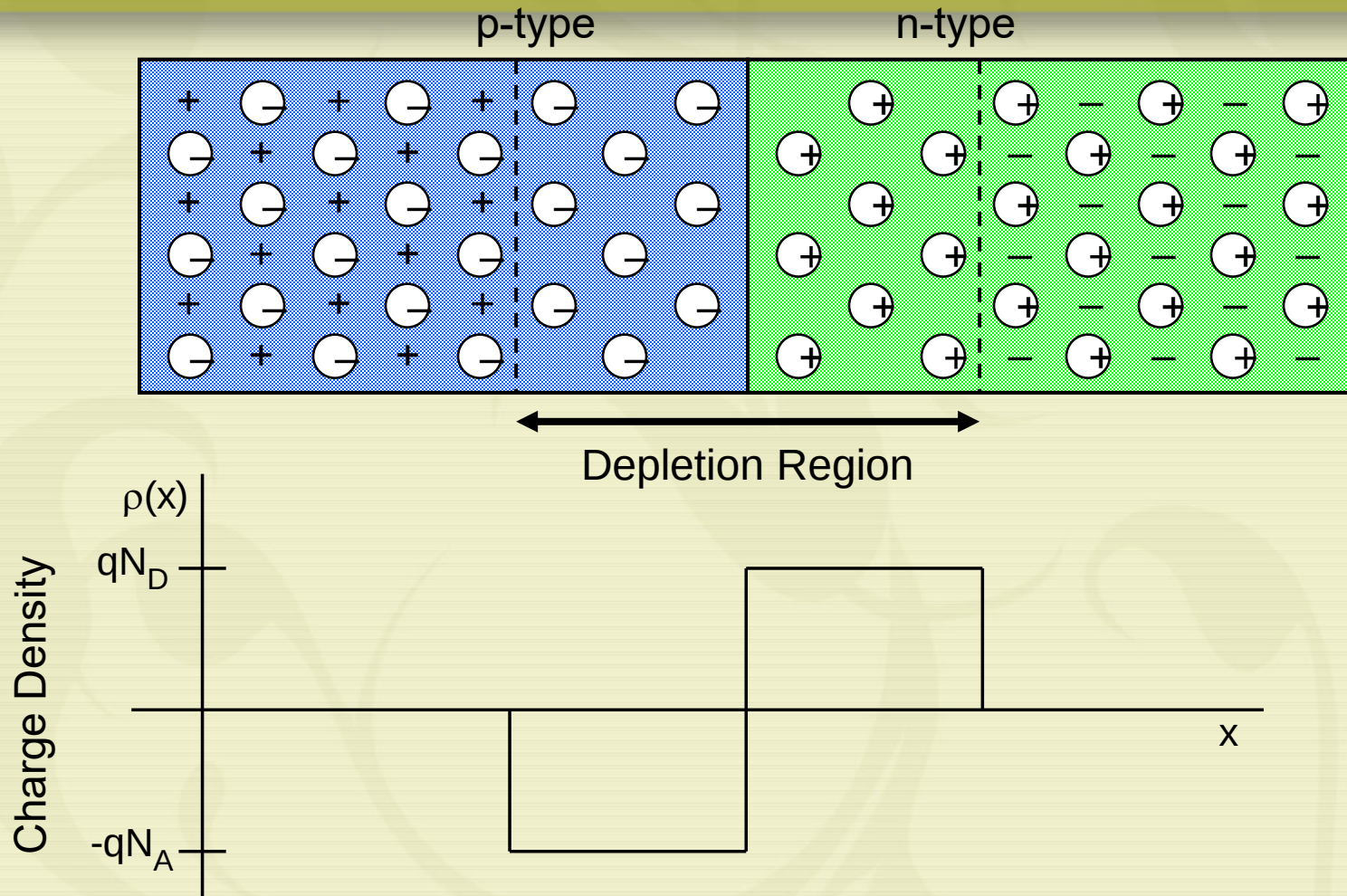


▪ LED

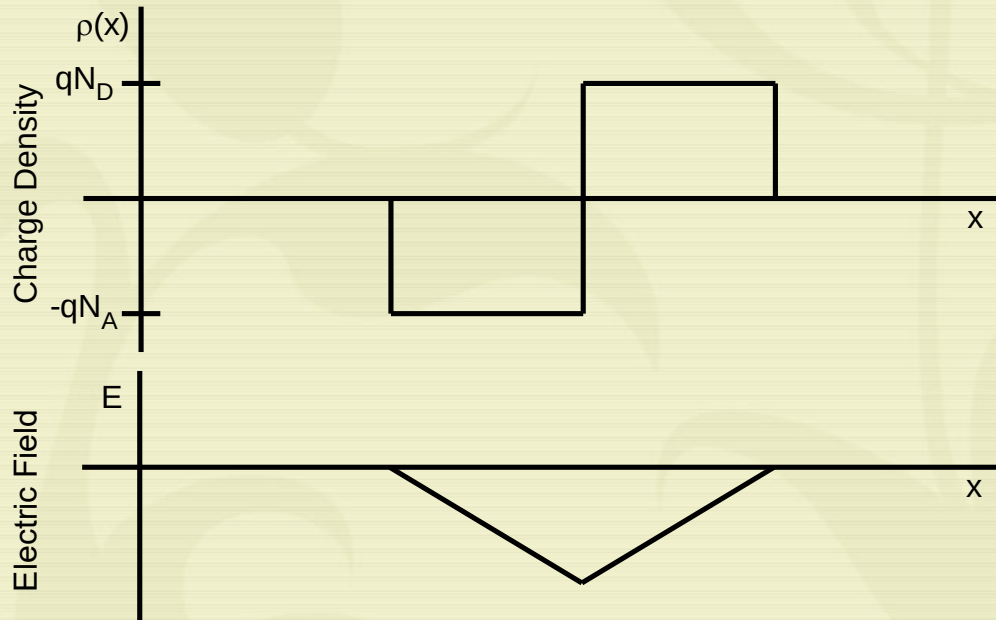
Diode quang (thu); photodiode



DIODE – GIẢN ĐỒ NĂNG LƯỢNG



ĐIỆN TRƯỜNG

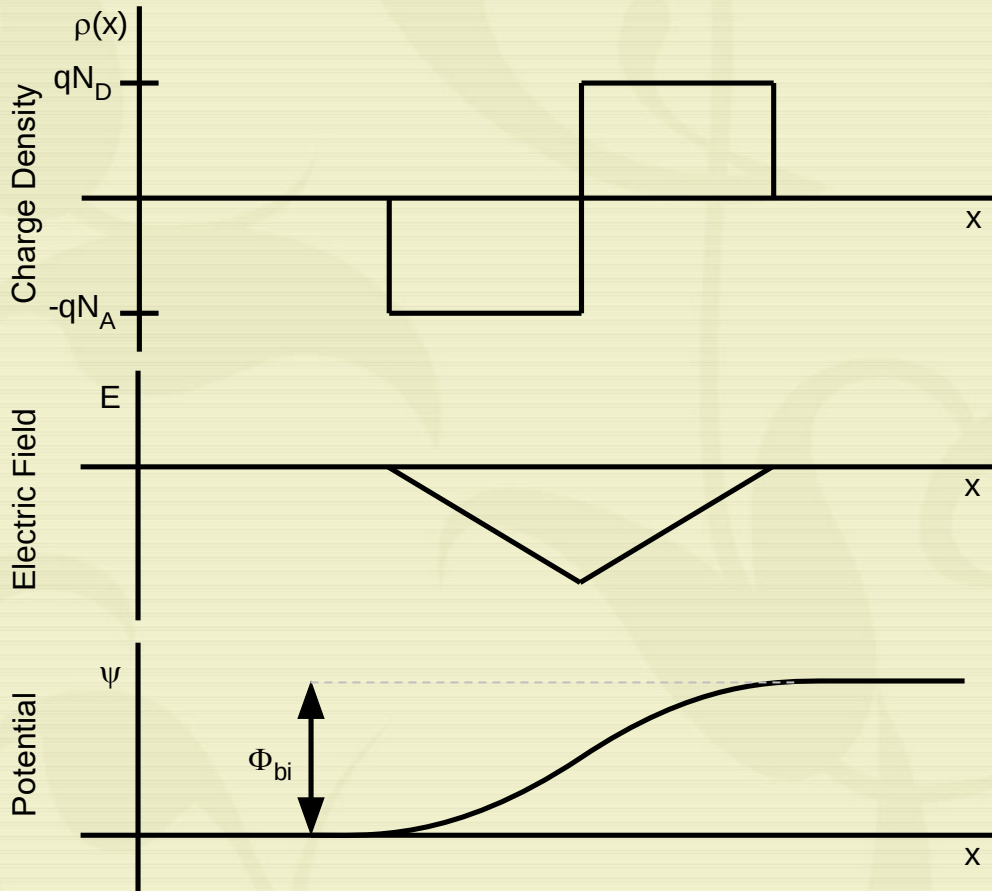


- Điện trường E là hàm tích phân của mật độ điện tích
- Phương trình Poisson

$$\frac{dE}{dx} = \frac{\rho(x)}{\epsilon}$$

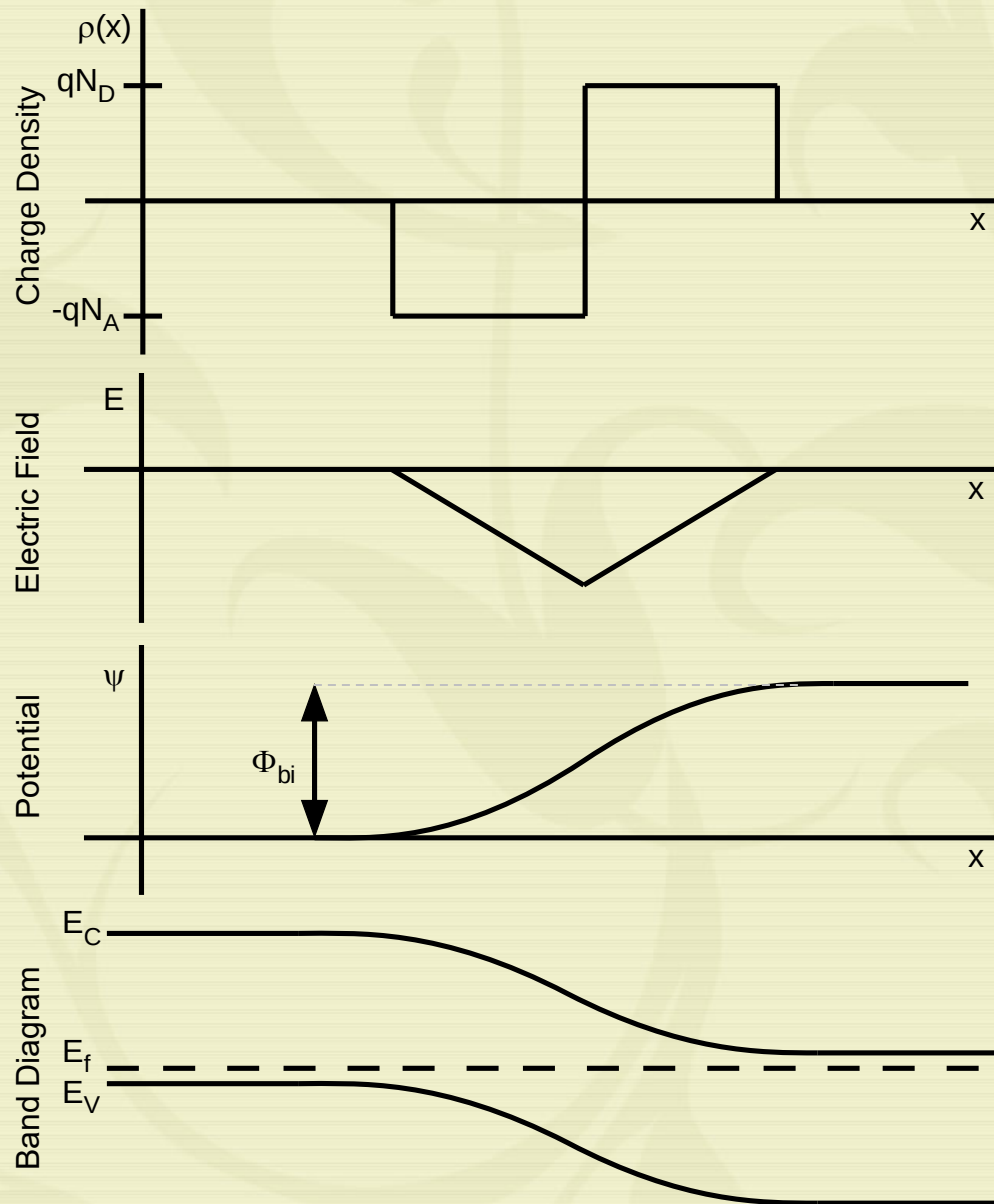
ϵ là hằng số điện môi của Si

THỂ NĂNG

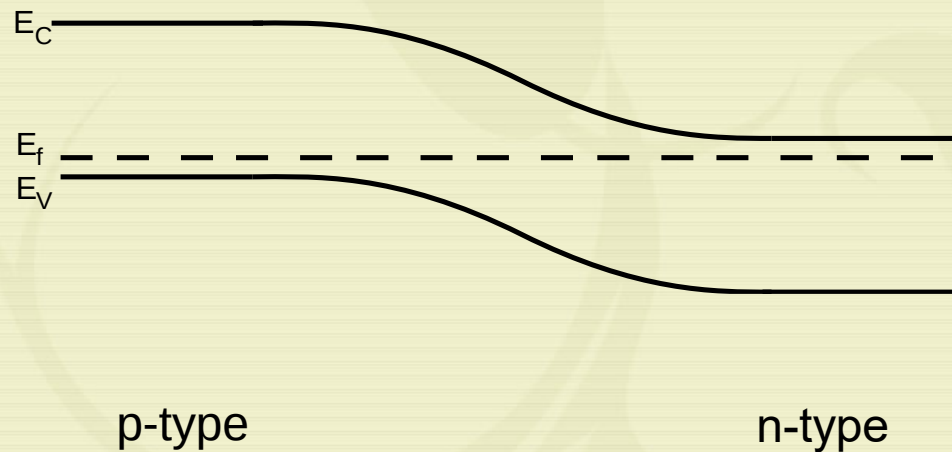
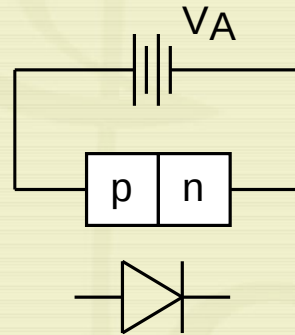


$$\frac{d\psi}{dx} = -E(x)$$

GIẢI ĐỒ NĂNG LƯỢNG

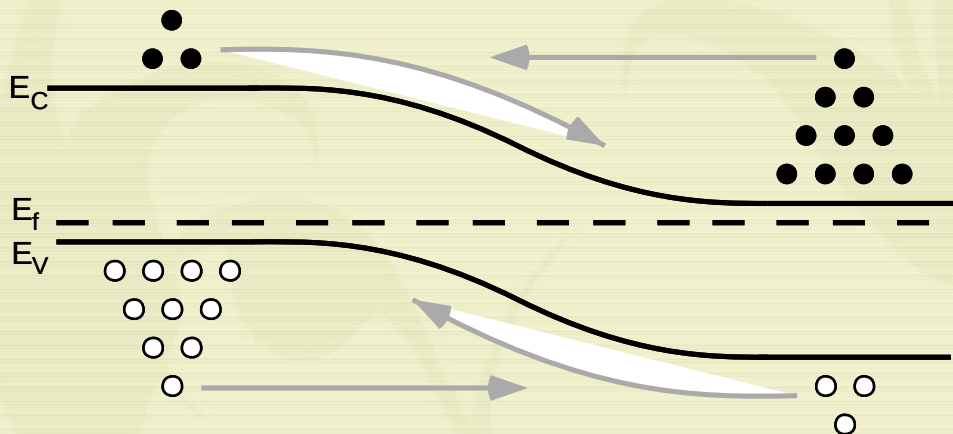
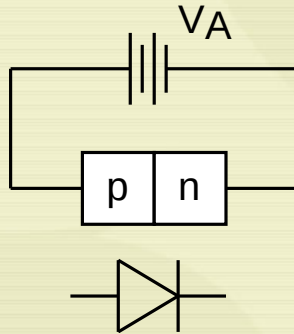


GIẢI ĐỒ NĂNG LƯỢNG



PN – CHƯA PHÂN CỰC

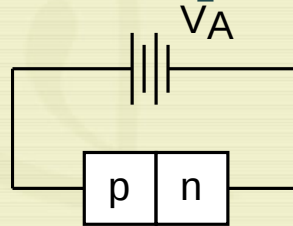
If $V_A = 0$



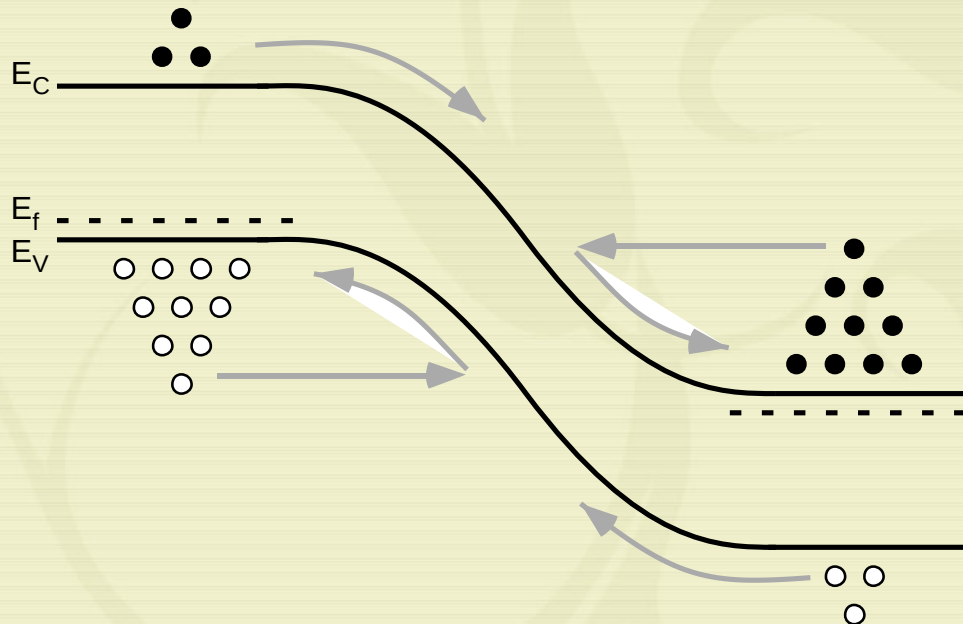
- Các electron hoặc lỗ trống lang thang trong vùng nghèo sẽ có thể bị quét về phía bên kia thông qua điện trường
- Một số electron và lỗ trống tích lũy đủ đẳng lượng để khuếch tán qua được vùng nghèo.
- Khi không phân cực
 $I_{drift} = I_{diff}$

PN – PHÂN CỰC NGƯỢC

If $V_A < 0$

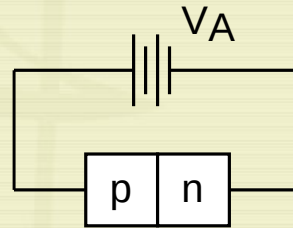


Reverse Biased



PN – PHÂN CỰC THUẬN

If $V_A < 0$



Forward Biased

