

# Điện tử căn bản

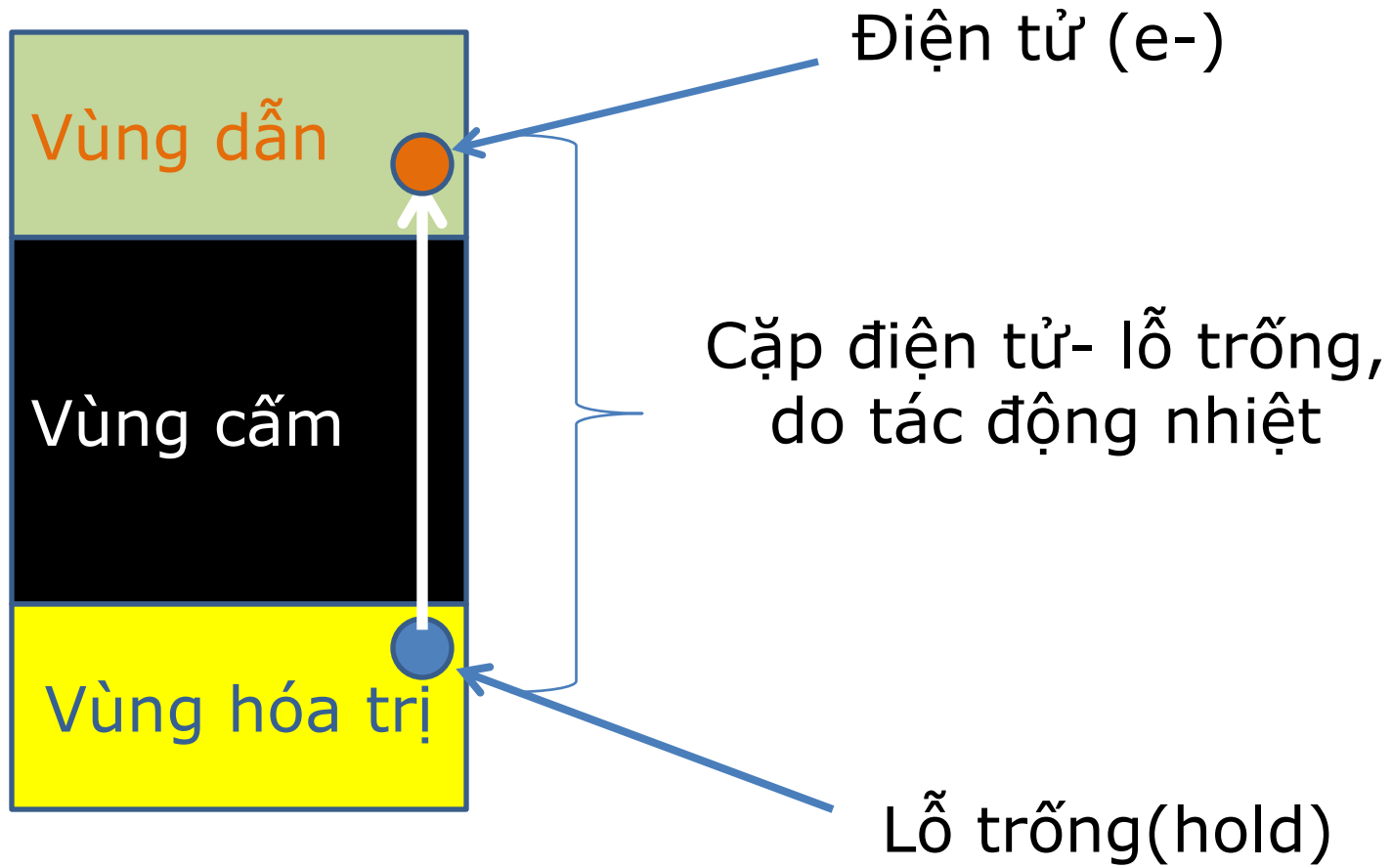
## Bài: Nối p-n, Diode

### **I. CHẤT BÁN DẪN**

- Phân biệt chất dẫn điện, chất cách điện, bán dẫn -> vùng năng lượng:
  - Vùng hóa trị
  - Vùng cấm
  - Vùng dẫn
- Khoảng cách các vùng năng lượng/phân bố các vùng năng lượng.
- Vùng cấm của chất bán dẫn: năng lượng ion hóa 1,12 eV(Si) và 0,6 eV(Ge)

# Điện tử căn bản

## Bài: Nối p-n, Diode



# Điện tử căn bản

## Bài: Nối p-n, Diode

- $n_i = p_i$  và  $n_i p_i = n_i^2$

với:

$n_i$  mật độ điện tử tự do trong chất bán dẫn thuần

$p_i$  mật độ lỗ trống trong chất bán dẫn thuần

- **Lý thuyết bán dẫn cho :**

$$n_i^2 = AT^3 \exp\left(-\frac{qE_g}{kT}\right)$$

trong đó: A là hằng số, T nhiệt độ tuyệt đối(Kelvin) °K,

$E_g$  năng lượng cần thiết để bẻ gãy nối cộng hóa trị  
(eV=  $1,6 \cdot 10^{-19}$  J),

k hằng số Boltzman( $1,38 \cdot 10^{-23}$  J/°K= $8,85 \cdot 10^{-5}$  eV/°K),

q điện tích điện tử ( $1,6 \cdot 10^{-19}$  C).

# Điện tử căn bản

## Bài: Nối p-n, Diode

- Ở 300°K (27°C)  
 $n_i = 1,5 \cdot 10^{10} / \text{cm}^3$  (Si)  
 $= 2,5 \cdot 10^{10} / \text{cm}^3$  (Ge)  
-> rất nhỏ so với mật độ nguyên tử trong mạng tinh thể  $= 5 \cdot 10^{22} / \text{cm}^3$  -> chất bán dẫn thuần dẫn điện rất yếu.
- Yêu cầu: + Tăng số lượng hạt dẫn(e-/lỗ trống).  
+ Giảm  $E_g$  hay kích thước vùng cấm nhỏ lại .

# Điện tử căn bản

## Bài: Nối p-n, Diode

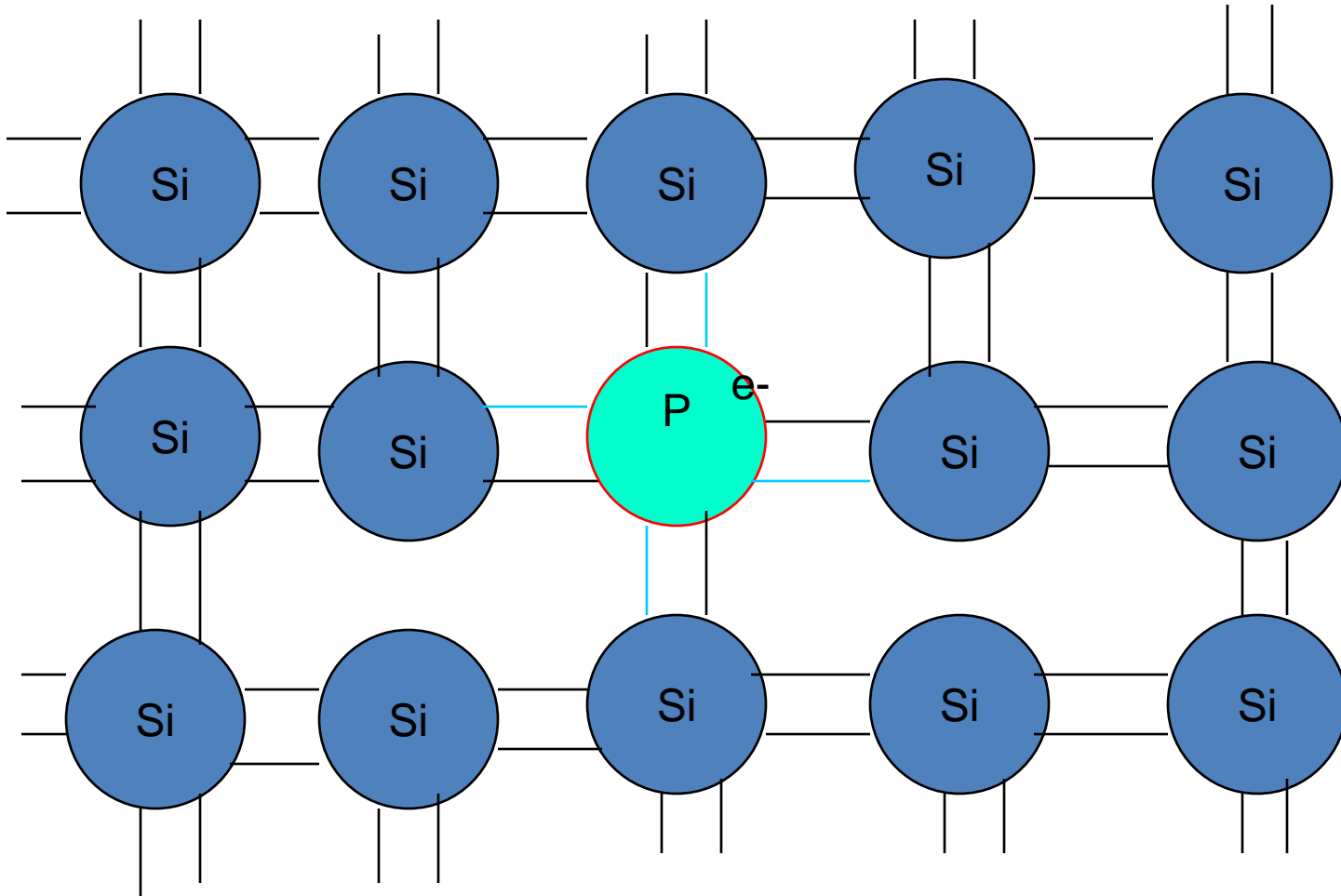
### II. BÁN DẪN LOẠI N VÀ P

#### 1. Bán dẫn loại n:

- Sử dụng các nguyên tố thuộc nhóm 5 bảng PLTH(Phosphorus(P), Arsenic(As), Antimony(Sb)) -> 5 e- lớp ngoài cùng.
- 4 điện tử ngoài cùng liên kết cộng hóa trị với 4 điện tử của 4 nguyên tử kế cận. Điện tử thứ 5 vì không liên kết nên dễ dàng di chuyển trong mạng tinh thể → điện tử tự do
- Do mất điện tử (thứ 5)-> mất trung hòa về điện -> ion dương

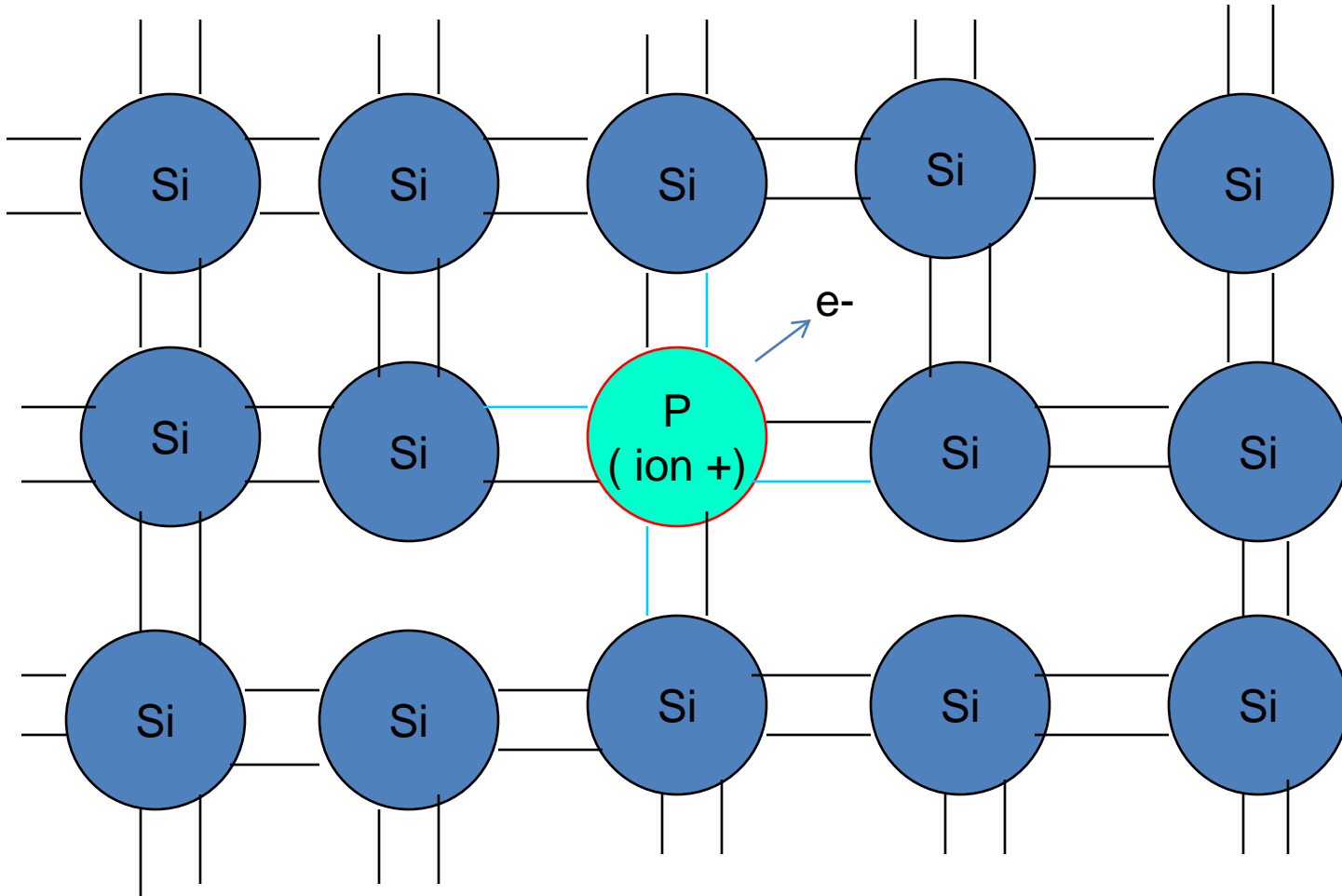
# Điện tử căn bản

## Bài: Nối p-n, Diode



# Điện tử căn bản

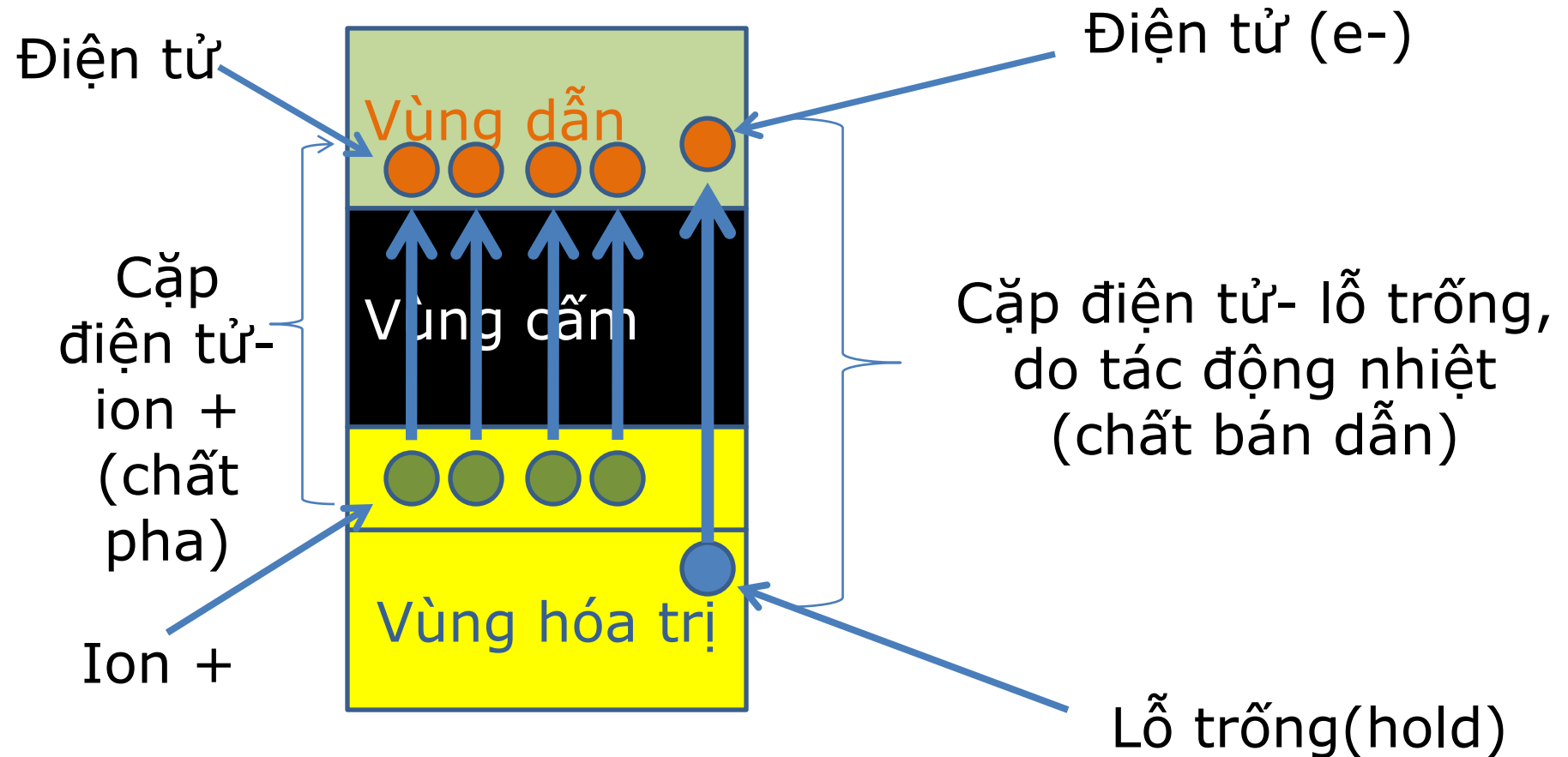
## Bài: Nối p-n, Diode



# Điện tử căn bản

## Bài: Nối p-n, Diode

- **Hiệu ứng cho (Donor)**





# Điện tử căn bản

## Bài: Nối p-n, Diode

- **Kết luận:**
  - **Hiệu ứng cho -> Số hạt dẫn tăng lên**  
-> **Năng lượng  $E_g$  giảm**
  - **Chất bán dẫn loại n có:**
    - **Điện tử tự do là hạt tải đa số, mật độ  $n_n$**
    - **Lỗ trống là hạt tải thiểu số, mật độ  $p_n$**
    - **Nguyên tử pha là nguyên tử cho->ion dương, mật độ  $N_D$**
  - **Trong điều kiện cân bằng nhiệt động:**  
 $n_n = N_D + p_n \approx N_D$  và  $n_n p_n = n_i^2$   
**Mật độ lỗ trống:**

$$p_n = \frac{n_i^2}{N_D}$$

# Điện tử căn bản

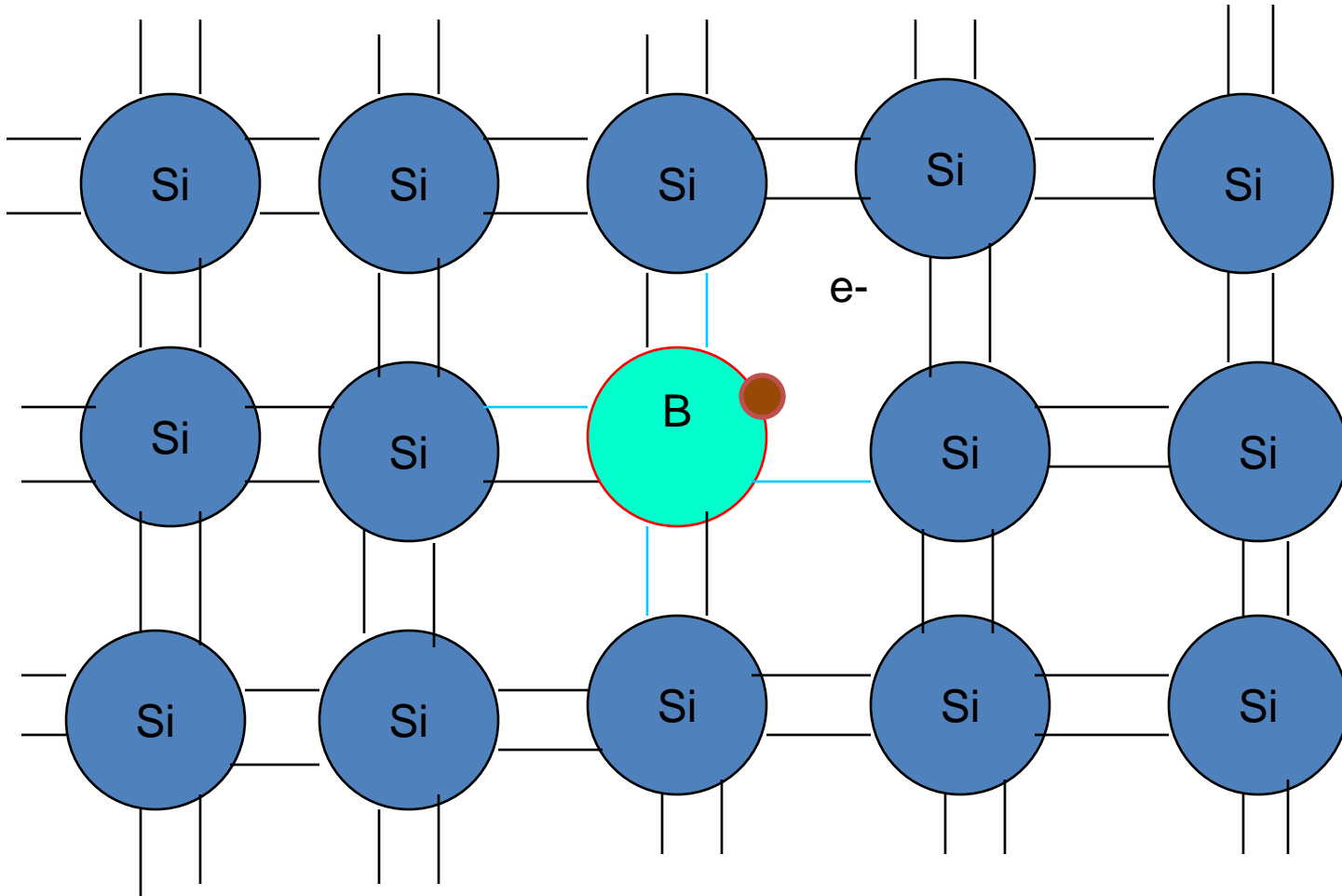
## Bài: Nối p-n, Diode

### 2. Bán dẫn loại p:

- Sử dụng các nguyên tố thuộc nhóm 3 bảng PLTH (Boron(B), Gallium(Ga), Indium(In))  
-> 3 e- lớp ngoài cùng.
- 3 điện tử ngoài cùng liên kết cộng hóa trị với 3 điện tử của 3 nguyên tử kế cận. Còn một vị trí thiếu điện tử -> coi như lỗ trống khả năng nhận thêm một điện tử.
- Khi nhận điện tử -> mất trung hòa về điện  
-> ion âm

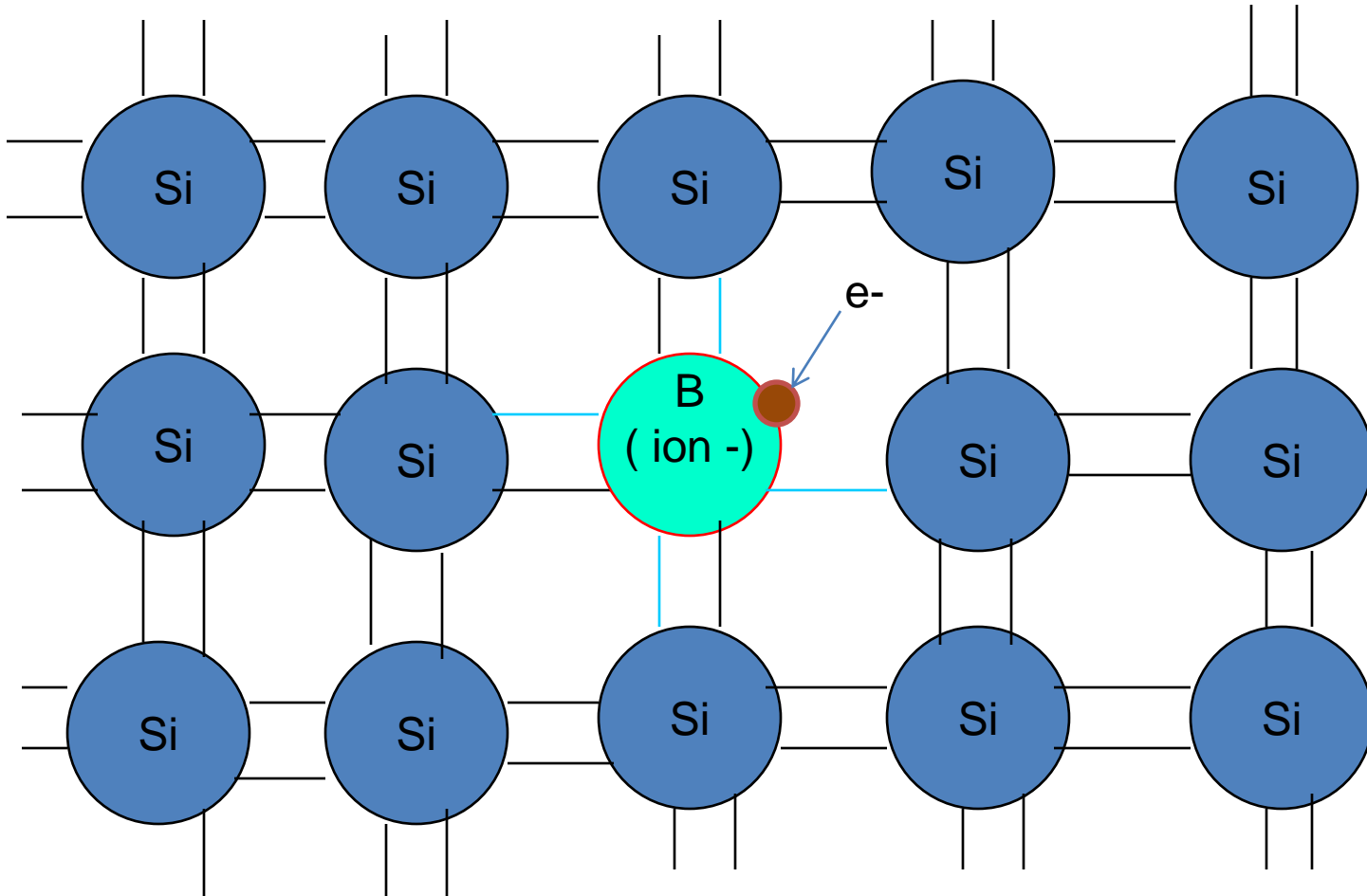
# Điện tử căn bản

## Bài: Nối p-n, Diode



# Điện tử căn bản

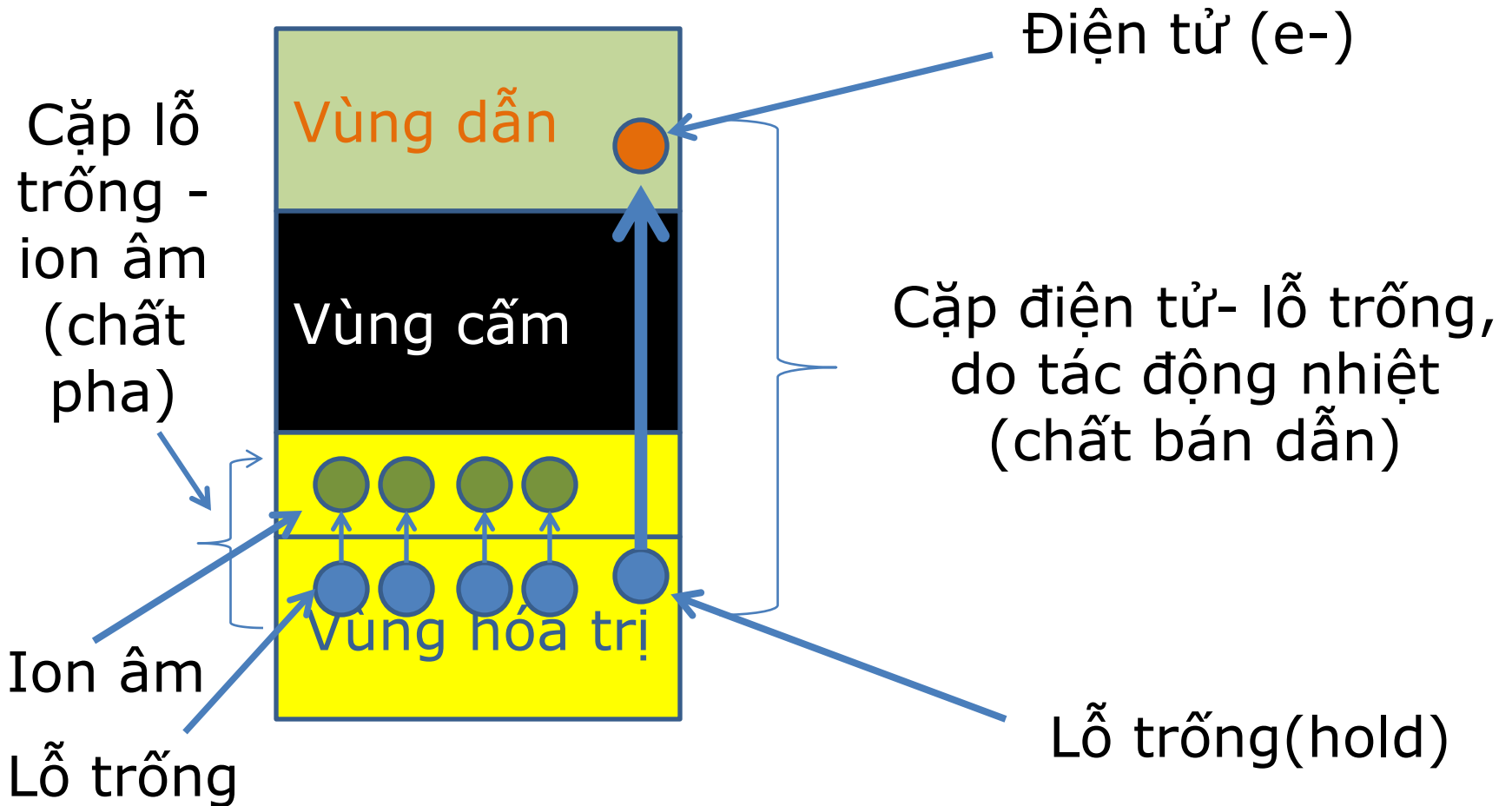
## Bài: Nối p-n, Diode



# Điện tử căn bản

## Bài: Nối p-n, Diode

- Hiệu ứng nhận (Acceptor)



# Điện tử căn bản

## Bài: Nối p-n, Diode

- Kết luận:
  - Hiệu ứng nhận -> Số hạt dẫn tăng lên  
-> Năng lượng  $E_g$  giảm
  - Chất bán dẫn loại p có:
    - Điện tử tự do là hạt tải thiểu số, mật độ  $n_p$
    - Lỗ trống là hạt tải đa số, mật độ  $p_p$
    - Nguyên tử pha là nguyên tử nhận->ion âm, mật độ  $N_A$
  - Trong điều kiện cân bằng nhiệt động:  
 $p_p = N_A + n_p \approx N_A$  và  $n_p p_p = n_i^2$   
Mật độ điện tử tự do:

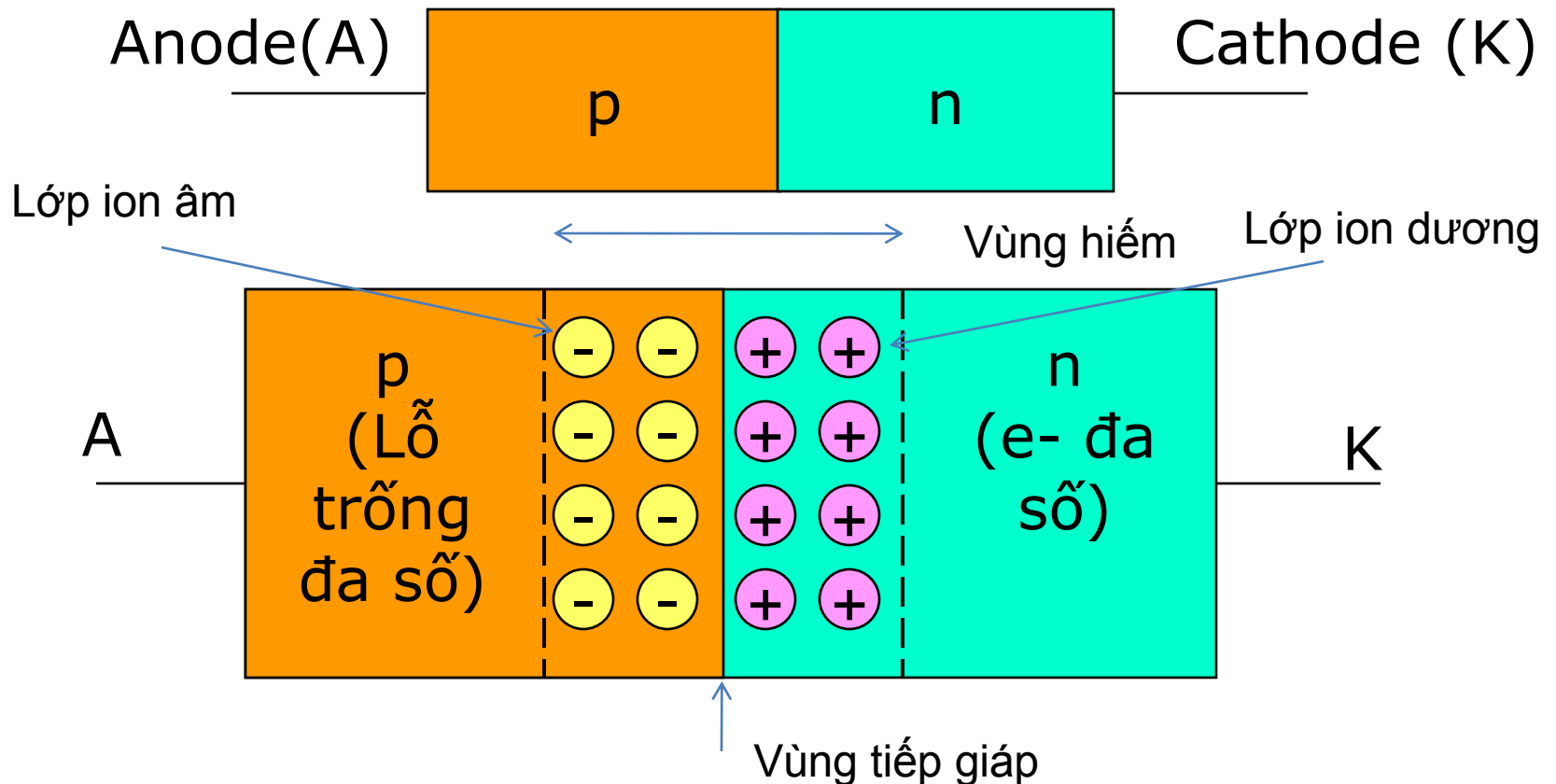
$$n_p = \frac{n_i^2}{N_A}$$

# Điện tử căn bản

## Bài: Nối p-n, Diode

### III. NỐI PN

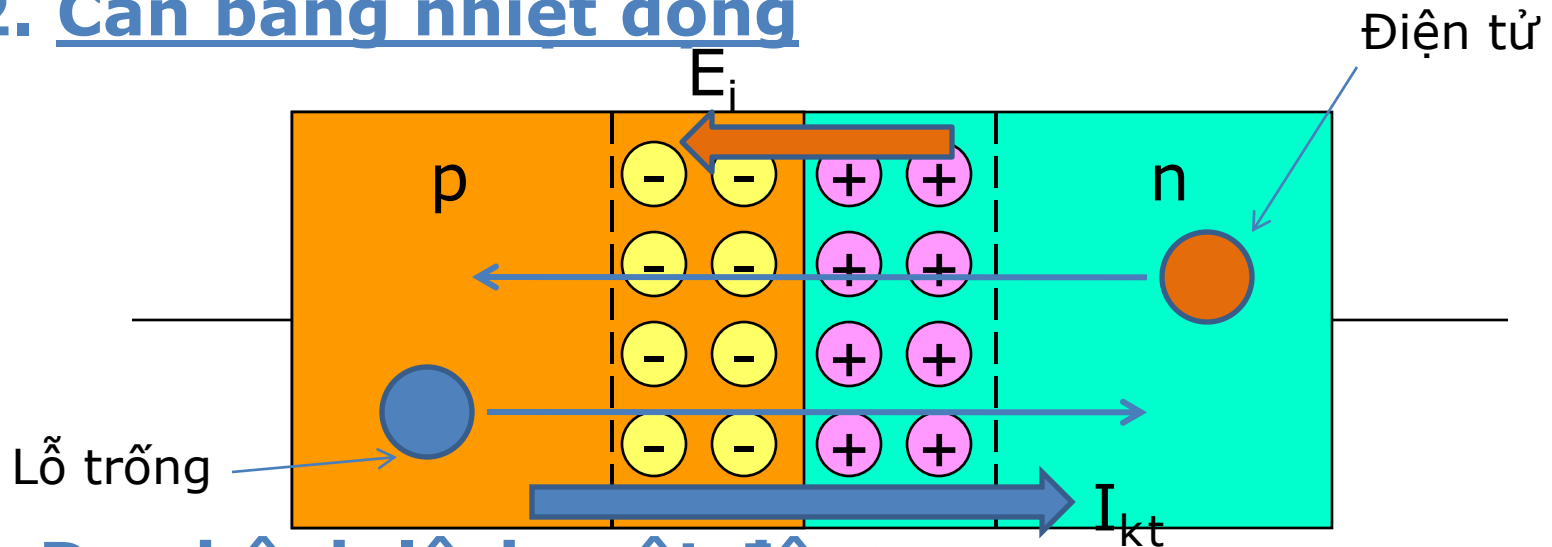
#### 1. Cấu tạo:



# Điện tử căn bản

## Bài: Nối p-n, Diode

### 2. Cân bằng nhiệt động



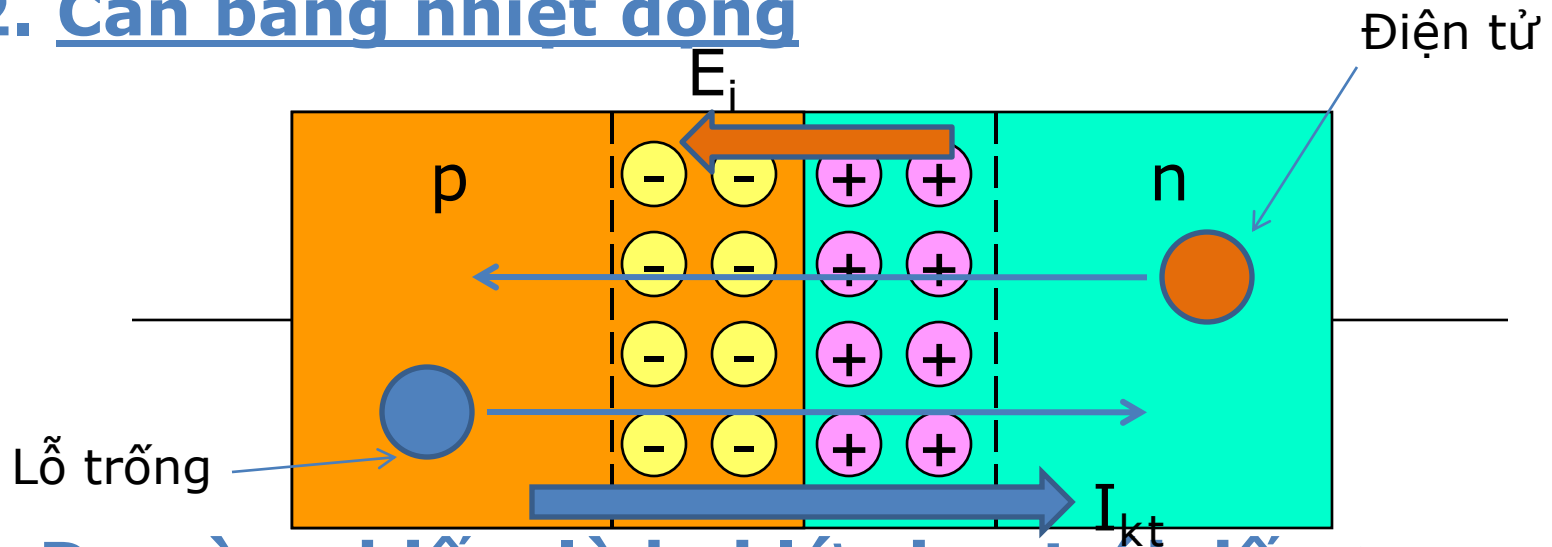
- Do chênh lệch mật độ ->
  - Lỗ trống di chuyển từ lớp p đến n
  - Điện tử tự do di chuyển từ n sang p
  - Tạo ra dòng điện khuếch tán  $I_{kt}$  hướng từ p đến n



# Điện tử căn bản

## Bài: Nối p-n, Diode

### 2. Cân bằng nhiệt động



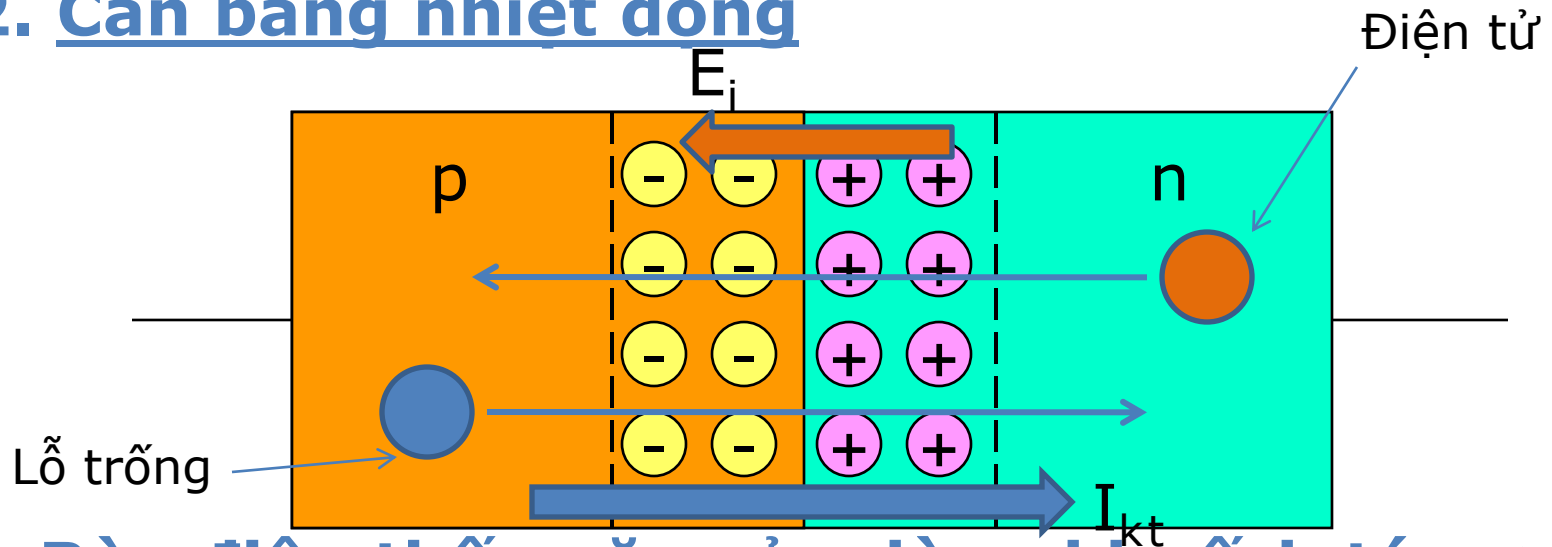
- Do vùng hiểm là hai lớp ion trái dấu->
  - Điện trường nội  $E_i$  hướng từ n sang p
  - $E_i$  -> rào điện thế cho bởi:

$$V_B = V_T \ln \frac{N_A N_D}{n_i^2}, \quad V_T = \frac{kT}{q}$$

# Điện tử căn bản

## Bài: Nối p-n, Diode

### 2. Cân bằng nhiệt động



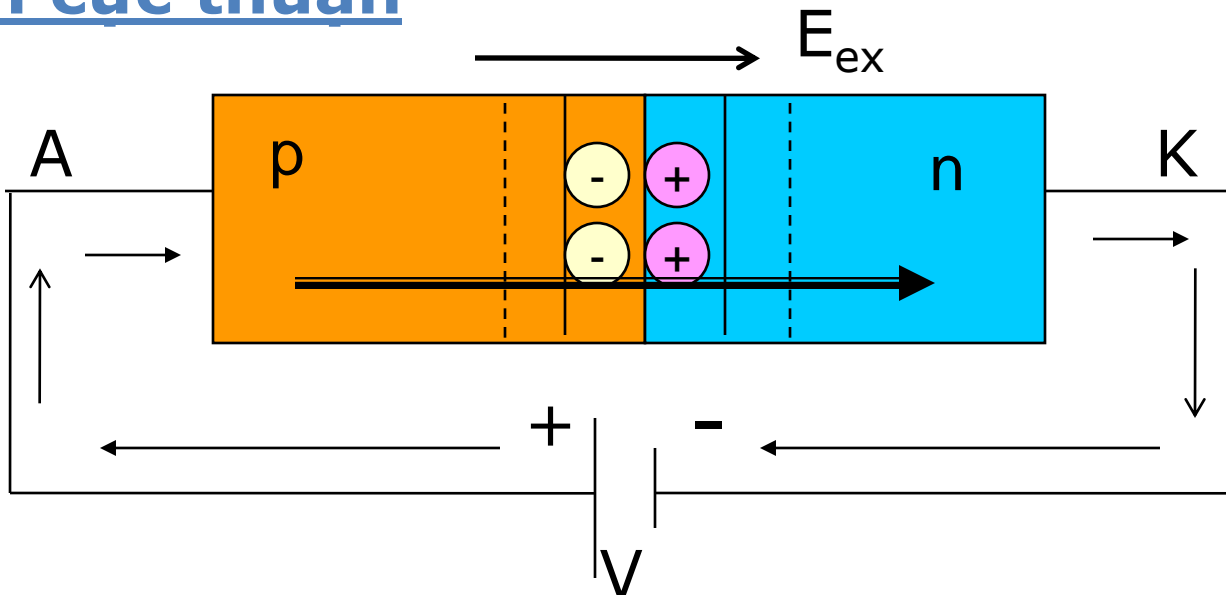
- Rào điện thế ngăn cản dòng khuếch tán -> cân bằng nhiệt động -> không có dòng điện chạy qua nối p-n.
- Ở  $300^\circ\text{K}$ ,  $V_B = 0,7\text{V}$  (Si)  
 $= 0,3\text{V}$  (Ge)

# Điện tử căn bản

## Bài: Nối p-n, Diode

### 3. Phân cực

#### a. Phân cực thuận



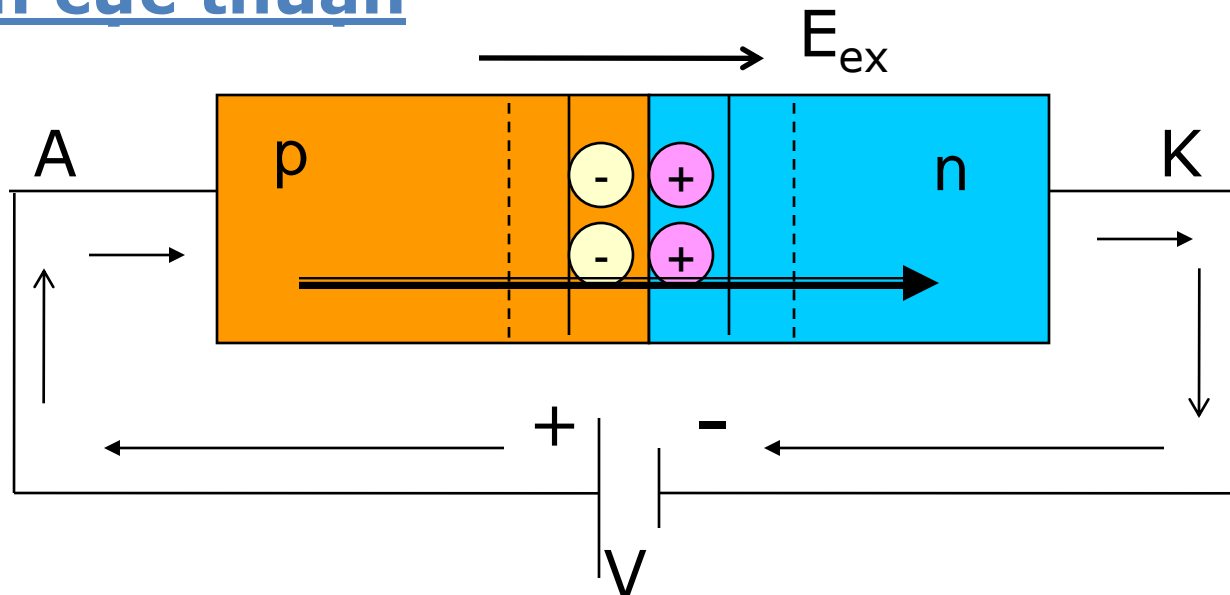
- Anode -> cực dương của nguồn
- Cathode -> cực âm của nguồn

# Điện tử căn bản

## Bài: Nối p-n, Diode

### 3. Phân cực

#### a. Phân cực thuận



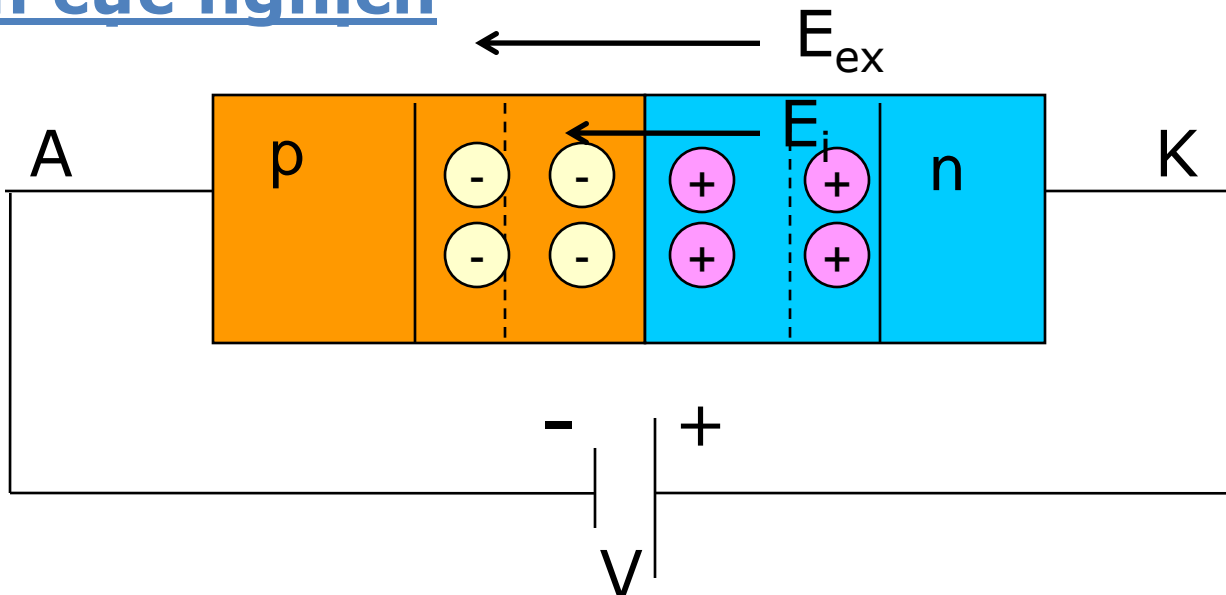
- Điện trường ngoài  $E_{ex} >$  điện trường nội  $E_i$  và ngược chiều  $\rightarrow$  rào điện thế  $(V_B - V)$  giảm  $\rightarrow$  vùng hiếm hẹp lại  $\rightarrow$  nối pn cho dòng thuận  $I_F$  lớn.

# Điện tử căn bản

## Bài: Nối p-n, Diode

### 3. Phân cực

#### b. Phân cực nghịch



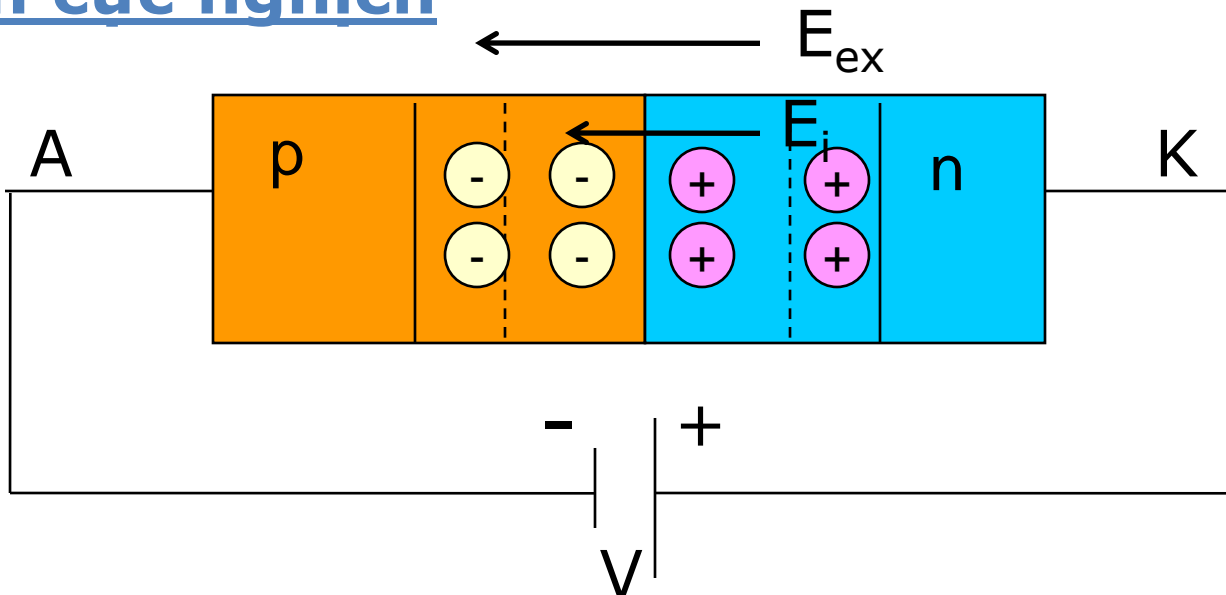
- Anode -> cực âm của nguồn
- Cathode -> cực dương của nguồn

# Điện tử căn bản

## Bài: Nối p-n, Diode

### 3. Phân cực

#### b. Phân cực nghịch



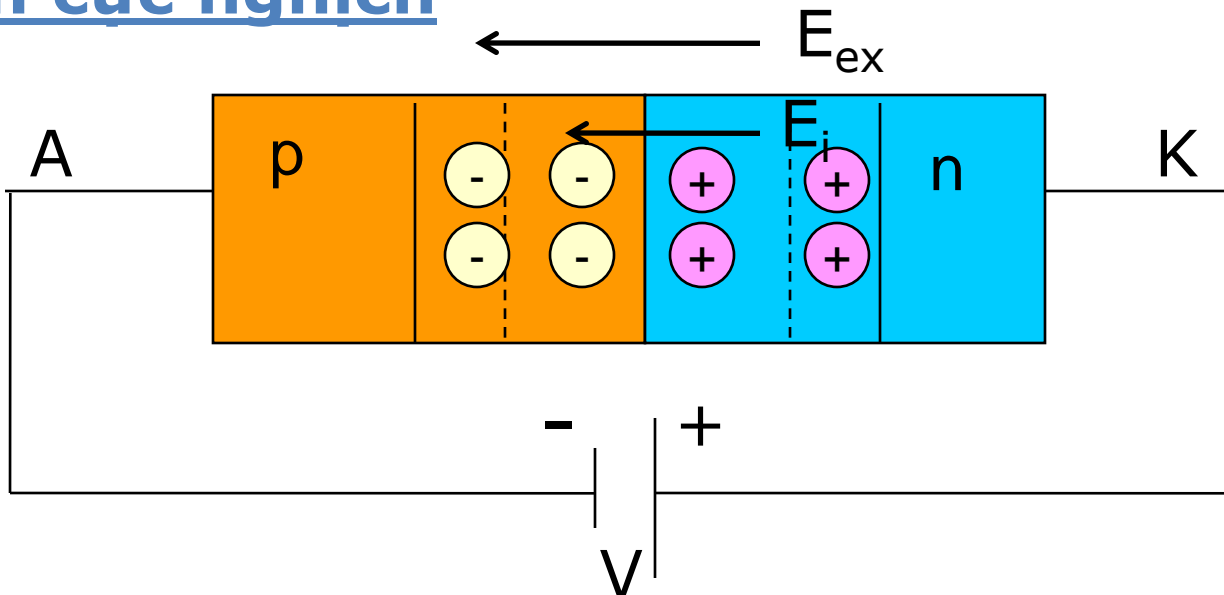
- Điện trường ngoài  $E_{ex}$  cùng chiều điện trường nội  $E_i$   $\rightarrow$  rào điện thế ( $V_B + V$ ) tăng  $\rightarrow$  vùng hiểm nở rộng ra  $\rightarrow$  nối pn gần như không có hạt tải qua vùng hiểm  $\rightarrow I = 0$ .

# Điện tử căn bản

## Bài: Nối p-n, Diode

### 3. Phân cực

#### b. Phân cực nghịch



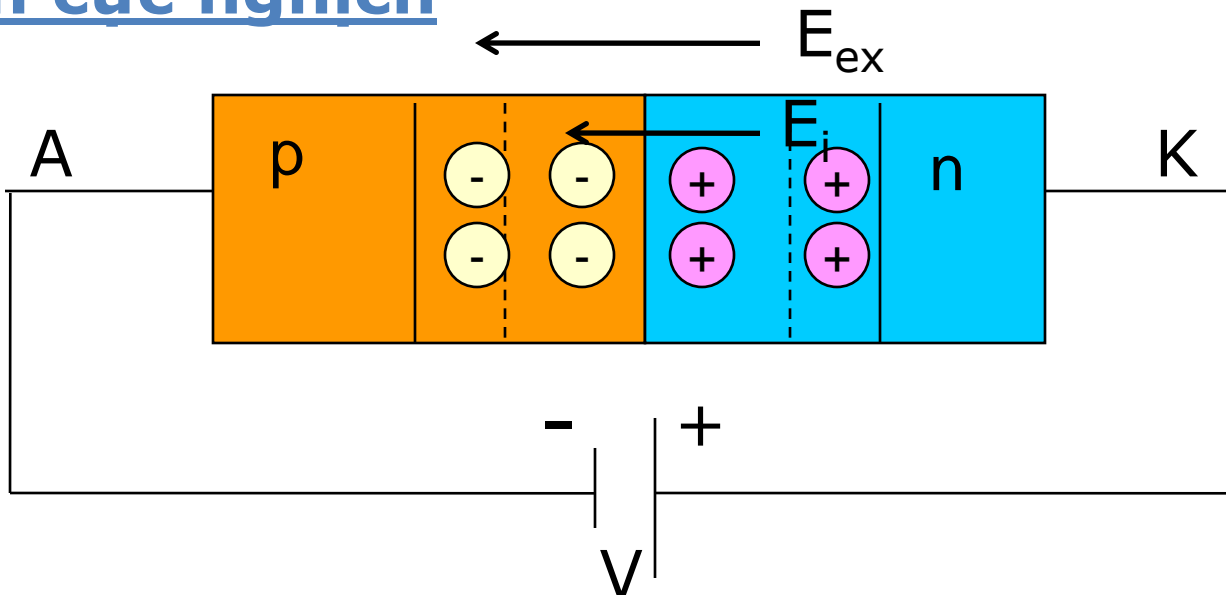
- Thực ra, khi phân cực nghịch, có dòng hạt tải thiểu số, dưới tác động của điện trường ngoài, di chuyển qua nối  $\rightarrow$  dòng nghịch  $I_R$  rất nhỏ (vài  $\mu A$  (Ge) và vài  $nA$  (Si)).

# Điện tử căn bản

## Bài: Nối p-n, Diode

### 3. Phân cực

#### b. Phân cực nghịch



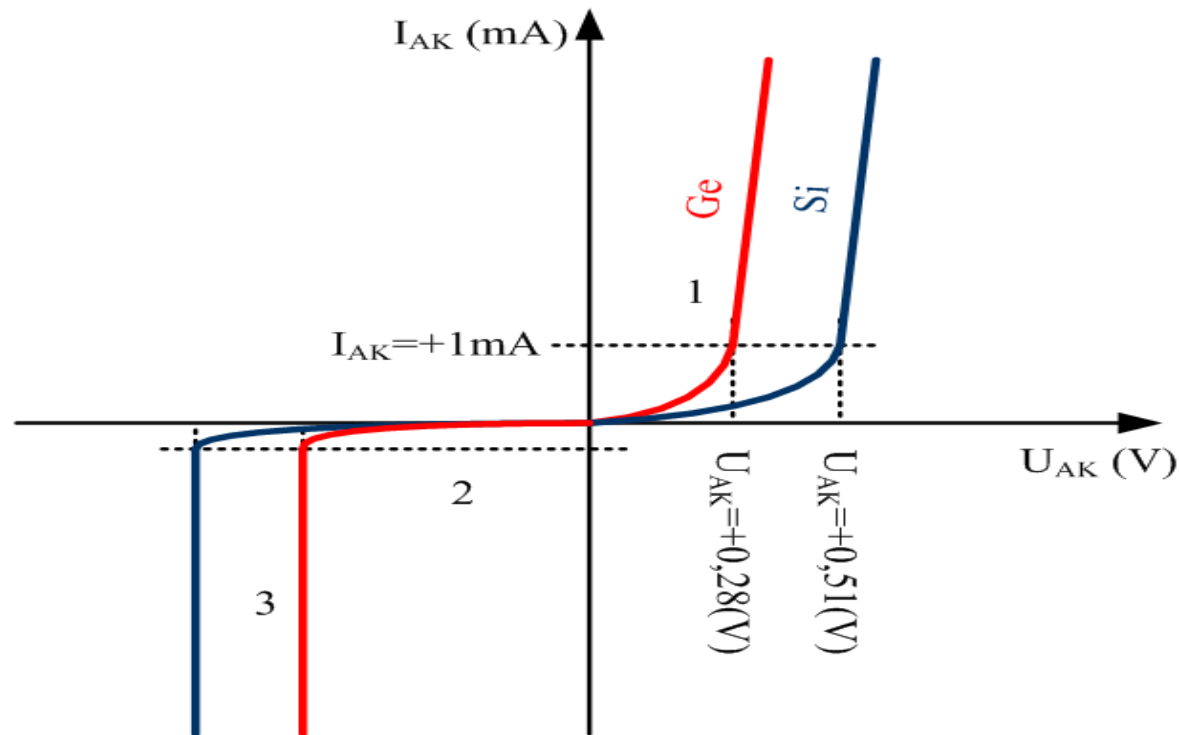
- Dòng nghịch còn gọi là dòng rỉ hay dòng ngược bão hòa  $I_s$  (vì các hạt tải thiểu số quá ít và đạt giá trị không đổi – bão hòa).



# Điện tử căn bản

## Bài: Nối p-n, Diode

### 4. Đặc tuyến V-I



# Điện tử căn bản

## Bài: Nối p-n, Diode

### 4. Đặc tuyến V-I

- Liên hệ giữa  $I_D$  và  $V_D$

$$I_D = I_S \left[ \exp\left( \frac{V_D}{\eta V_T} \right) - 1 \right]$$

**Thường trong điều kiện dẫn điện với dòng lớn, ta có:  $\eta=1$ .**

# Điện tử căn bản

## Bài: Nối p-n, Diode

### 4. Đặc tuyến V-I

- Điện trở nối pn

➤ **Điện trở tĩnh: dựa vào đặc tuyến**

$$R_D = \frac{V_D}{I_D}$$

❖ **Khi phân cực thuận  $R_D$  nhỏ**

❖ **Khi phân cực nghịch  $R_D$  rất lớn**

# Điện tử căn bản

## Bài: Nối p-n, Diode

### 4. Đặc tuyến V-I

- Điện trở nối pn

- Điện trở động:

$$r_d = \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D} = \frac{dV_D}{dI_D}$$

$$\frac{dI_D}{dV_D} = \frac{d[I_S (\exp(\frac{V_D}{V_T}) - 1)]}{dV_D} = \frac{I_S}{V_T} \exp(\frac{V_D}{V_T}) = \frac{I_D}{V_T}$$

**Vậy:**

$$r_d = \frac{dV_D}{dI_D} = \frac{V_T}{I_D} \approx \frac{26 \text{ mV } (300^\circ \text{ K})}{I_D}$$

# Điện tử căn bản

## Bài: Nối p-n, Diode

### 4. Đặc tuyến V-I

- Điện dung nối pn

- Điện dung chuyển tiếp:

- Khi phân cực nghịch, vùng hiếm nở rộng và không có các hạt tải đi qua -> cách điện -> vùng hiếm xem như điện môi.

- Trong khi đó, ở hai bên vùng hiếm tập trung các hạt tải điện -> hai bản cực của tụ -> Tụ

- điện có điện dung:  $C_T = C_o \frac{A}{W}$

Với  $C_o = 11,7\epsilon_o(\text{Si})$  và  $C_o = 15,8\epsilon_o(\text{Ge})$ ,  $\epsilon_o = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$

# Điện tử căn bản

## Bài: Nối p-n, Diode

### 4. Đặc tuyến V-I

- Điện dung nối pn

- Điện dung khuếch tán:

- Khi phân cực thuận, do có sự khuếch tán của các hạt tải qua nối pn

- Và khi điện thế phân cực tăng lên một lượng  $dV$  thì có sự gia tăng một lượng  $dq$  -> Tụ điện có điện dung:

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

# Điện tử căn bản

## Bài: Nối p-n, Diode

### □ Nhận xét

- Bán dẫn lớp n:  $e^-$ : đa số, lỗ trống: thiếu số, ion dương
- Bán dẫn lớp p:  $e^-$ : thiếu số, lỗ trống: đa số, ion âm
- Phân cực thuận: Anode  $\rightarrow +$ , Cathode  $\rightarrow -$   
( $V_{AK} > 0$ )
- Phân cực nghịch: Anode  $\rightarrow -$ , Cathode  $\rightarrow +$   
( $V_{AK} < 0$ )

# Điện tử căn bản

## Bài: Nối p-n, Diode

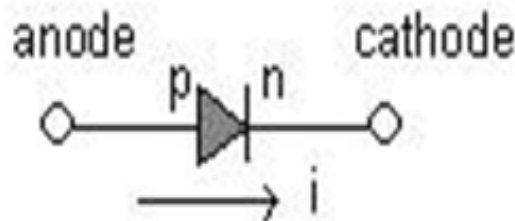
### ❑ Nhận xét

- Phân cực thuận:  $R_D$  (điện trở tĩnh) nhỏ
- Phân cực nghịch:  $R_D$  (điện trở tĩnh) rất lớn

- **Điện trở động**:  $r_d = \frac{26 \text{ mV}}{I_D}$

$I_D$  là dòng qua diode ở phân cực một chiều(DC)

- **Ký hiệu nối pn -> Diode**





# Điện tử căn bản

## Bài: Nối p-n, Diode

### 5. Hiệu ứng Zener

- Hiện tượng hủy thác

Khi phân cực nghịch với điện trường quá lớn (điện áp phân cực nghịch quá lớn), các hạt thiểu số va chạm với nguyên tử phá vỡ liên kết cộng hóa trị làm tăng các hạt dẫn, các hạt dẫn này va chạm với nguyên tử phá vỡ liên kết cộng hóa trị  $\rightarrow$  dòng nghịch tăng nhanh sẽ làm hư nối pn  $\rightarrow$  hủy thác hay sụp đổ.

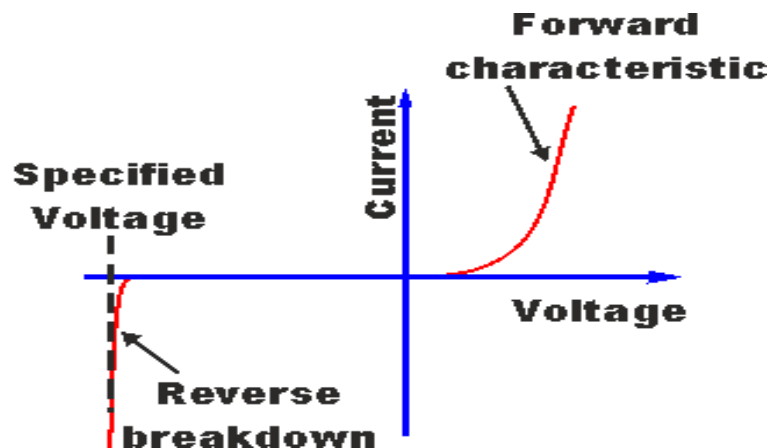
# Điện tử căn bản

## Bài: Nối p-n, Diode

### 5. Hiệu ứng Zener

- Hủy thác Zener:

Khi sự phá vỡ liên kết cộng hóa trị chỉ xảy ra trong vùng hiểm -> hủy thác Zener/ hiệu ứng Zener -> Hiệu điện thế hai đầu diode khi phân cực nghịch không đổi -> Hiệu điện thế Zener  $V_z$



# Điện tử căn bản

## Bài: Nối p-n, Diode

### 5. Hiệu ứng Zener

- **Đặc tuyến Diod Zener**

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

- **Ký hiệu:**

