

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP.HỒ CHÍ MINH**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA**  
**KHOA ĐIỆN-ĐIỆN TỬ**  
**BỘ MÔN KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ**



## **CHƯƠNG 1**

# **Lý thuyết bán dẫn**

**Bùi Minh Thành**  
**Bộ môn Kỹ thuật Điện tử - ĐHBK Tp. HCM**

# Nội dung

---

1. Cấu trúc nguyên tử
2. Vật liệu bán dẫn
3. Các dòng điện trong bán dẫn
4. Bán dẫn loại N và bán dẫn loại P
5. Chuyển tiếp PN
6. Phân cực cho chuyển tiếp PN

# Tài liệu tham khảo

---

- [1] Theodore F.Bogart, JR, **Electronic devices and Circuits**, 2nd Ed. , Macmillan 1991
- [2] Lê Phi Yến, Nguyễn Như Anh, Lưu Phú, **Kỹ thuật điện tử**, NXB Khoa học kỹ thuật
- [3] Allan R. Hambley, **Electrical Engineering: Principles and Applications**, Prentice Hall, 4 edition (2007)
- [4] Slide bài giảng môn Kỹ thuật điện tử cô Lê Thị Kim Anh

# Nội dung

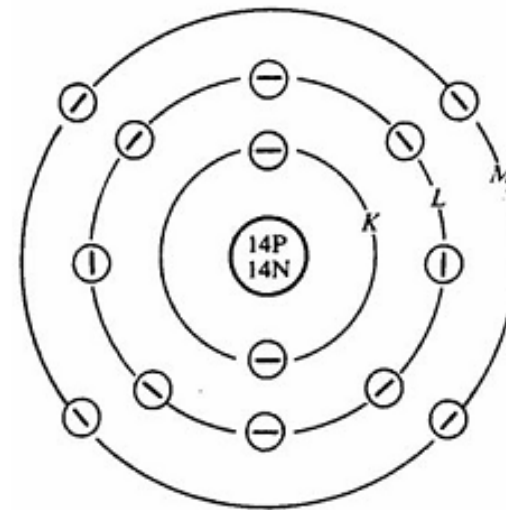
---

1. Cấu trúc nguyên tử
2. Vật liệu bán dẫn
3. Các dòng điện trong bán dẫn
4. Bán dẫn loại N và bán dẫn loại P
5. Chuyển tiếp PN
6. Phân cực cho chuyển tiếp PN

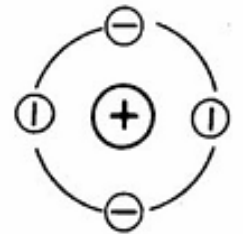
# 1. Cấu trúc nguyên tử

- Mỗi nguyên tử bao gồm một hạt nhân ở trung tâm chứa các điện tích dương mà ta gọi là proton. Hạt nhân được bao xung quanh bởi các electron mang điện tích âm.
- Số lượng electron bằng với số lượng proton trong hạt nhân và vì điện tích của proton và electron là bằng nhau nên nguyên tử trung hòa về điện

Các electron được sắp xếp vào ba quỹ đạo xung quanh hạt nhân.  
Ta nói các electron này chiếm một lớp vỏ nguyên tử



(a) A diagram of the silicon atom, showing its nucleus and electron shells.  
P = proton;  
N = neutron.



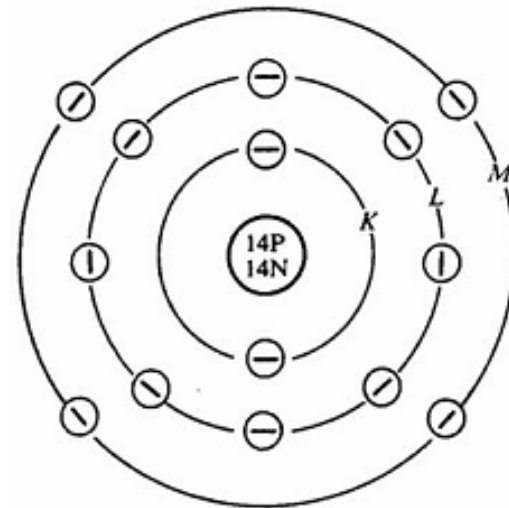
(b) An abbreviated diagram of the silicon atom, showing valence electrons only.

# 1. Cấu trúc nguyên tử

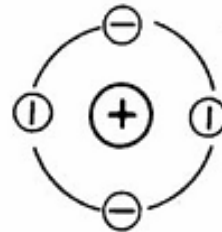
- Nếu đánh số thứ tự của bốn lớp vỏ đầu tiên bắt đầu từ lớp trong cùng (lớp gần hạt nhân nhất có số thứ tự là 1) thì số electron tối đa  $N_e$  mà lớp vỏ  $n$  có thể chứa là:

$$N_e = 2n^2$$

- Mỗi lớp vỏ nguyên tử lại được chia thành các lớp con. Lớp vỏ thứ  $n$  chứa  $n$  lớp con.
- Lớp con đầu tiên trong một lớp vỏ chứa 2 electron, các lớp con tiếp theo chứa nhiều hơn lớp con trước đó 4 electron.
- Các lớp con được ký hiệu là s, p, d, f



(a) A diagram of the silicon atom, showing its nucleus and electron shells.  
P = proton;  
N = neutron.



(b) An abbreviated diagram of the silicon atom, showing valence electrons only.

# 1. Cấu trúc nguyên tử

**VD:** Hạt nhân của nguyên tử germanium có 32 proton. Xác định số electron trong mỗi lớp và lớp con của nó.

| Lớp vỏ    | Lớp con | Dung lượng | Chứa thật sự |
|-----------|---------|------------|--------------|
| K         | s       | 2          | 2            |
| L         | s       | 2          | 2            |
|           | p       | 6          | 6            |
| M         | s       | 2          | 2            |
|           | p       | 6          | 6            |
|           | d       | 10         | 10           |
| N         | s       | 2          | 2            |
|           | p       | 6          | 2            |
|           | d       | 10         | 0            |
|           | f       | 14         | 0            |
| Tổng cộng |         |            | 32           |

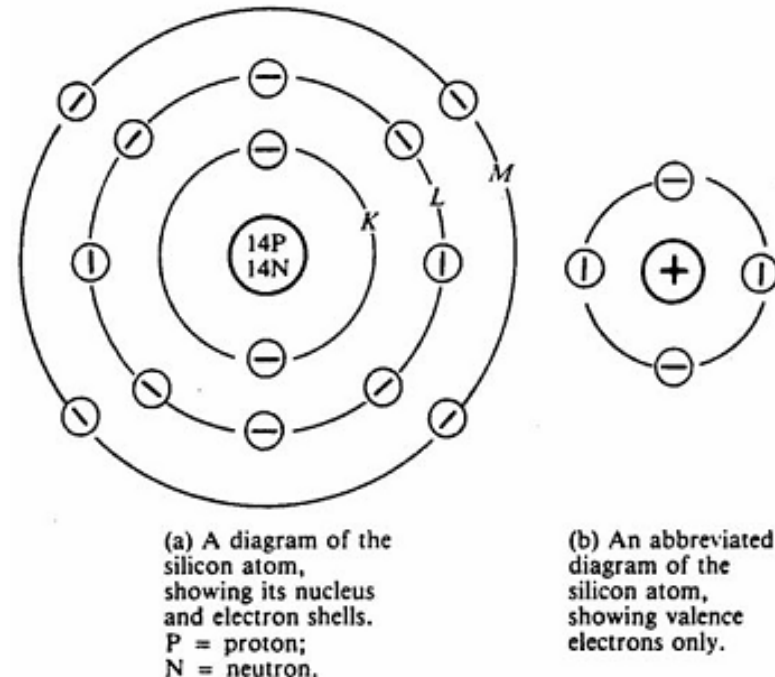
# 1. Cấu trúc nguyên tử

Khi hấp thu đủ năng lượng (ví dụ từ nhiệt), các electron sẽ thoát ra khỏi nguyên tử và trở thành các electron tự do. Chất dẫn điện có nhiều electron tự do trong khi chất cách điện có rất ít electron tự do.

Số electron trong lớp vỏ ngoài cùng có ảnh hưởng rất lớn đến tính chất điện của vật liệu.

Vật liệu dẫn điện có rất ít electron trong lớp vỏ ngoài cùng, và chỉ cần một năng lượng nhỏ là có thể giải phóng chúng trở thành các electron tự do.

Đối với vật liệu cách điện, lớp vỏ ngoài cùng thường liên kết chặt với hạt nhân, do đó chúng có rất ít electron tự do.



# Nội dung

---

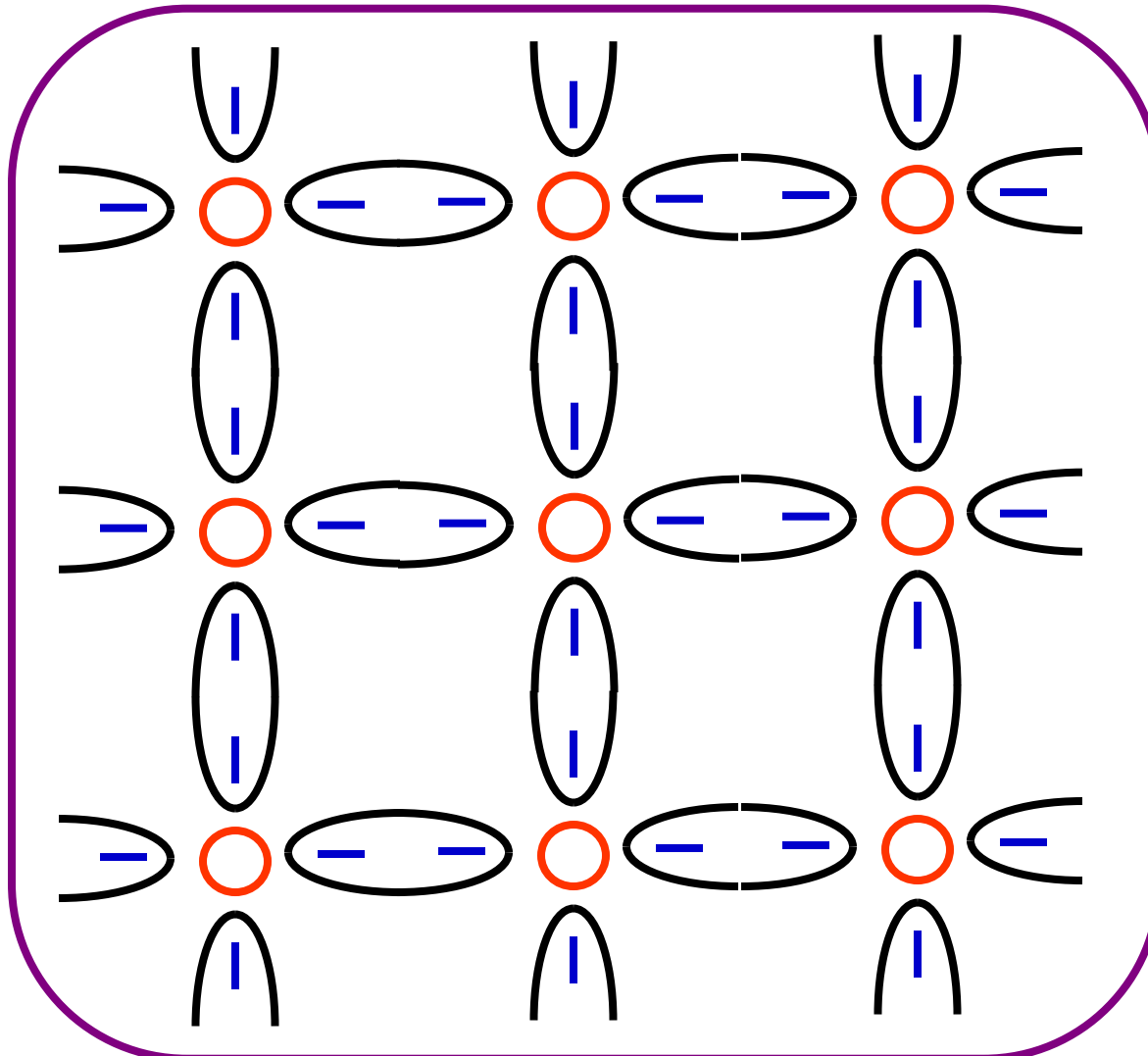
1. Cấu trúc nguyên tử
- 2. Vật liệu bán dẫn**
3. Các dòng điện trong bán dẫn
4. Bán dẫn loại N và bán dẫn loại P
5. Chuyển tiếp PN
6. Phân cực cho chuyển tiếp PN

## 2. Vật liệu bán dẫn

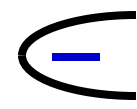
- Dựa trên tính dẫn điện, vật liệu bán dẫn không phải là vật liệu cách điện mà cũng không phải là vật liệu dẫn điện tốt.
- Đối với vật liệu **dẫn điện**, lớp vỏ ngoài cùng của nguyên tử có rất ít các electron, nó có khuynh hướng giải phóng các electron này để tạo thành electron tự do và đạt đến trạng thái bền vững.
- Vật liệu **cách điện** lại có khuynh hướng giữ lại các electron lớp ngoài cùng của nó để có trạng thái bền vững.
- Vật liệu **bán dẫn**, nó có khuynh hướng đạt đến trạng thái bền vững **tam thời** bằng cách lấp đầy lớp con của lớp vỏ ngoài cùng.
- Nguyên tử bán dẫn thực hiện điều này bằng cách chia sẻ bốn electron lớp vỏ ngoài cùng của nó với bốn electron của bốn nguyên tử lân cận.
- Các chất bán dẫn điển hình như Germanium (Ge), Silicium (Si),... Là những nguyên tố thuộc nhóm 4 nằm trong bảng hệ thống tuần hoàn.

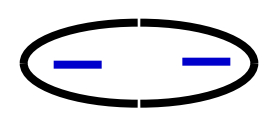
## Ví dụ về nguyên tử bán dẫn Silicon (Si)

Nguyên tử bán dẫn Si, có 4 electron ở lớp ngoài cùng.



 Hạt nhân

 một nửa liên kết hóa trị

 liên kết hóa trị

*Liên kết do 2 e lớp vỏ ngoài cùng của 2 nguyên tử lân cận tạo thành gọi là liên kết hóa trị (covalent bond)*

# Nội dung

---

1. Cấu trúc nguyên tử
2. Vật liệu bán dẫn
- 3. Các dòng điện trong bán dẫn**
4. Bán dẫn loại N và bán dẫn loại P
5. Chuyển tiếp PN
6. Phân cực cho chuyển tiếp PN

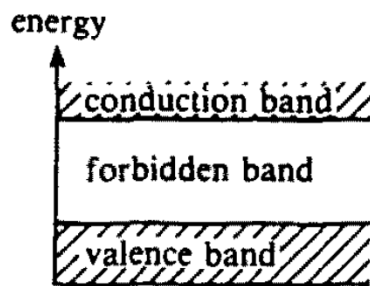
### 3. Dòng điện trong bán dẫn

- Trong vật liệu dẫn điện có rất nhiều electron tự do.
- Khi ở điều kiện môi trường, nếu được hấp thu một năng lượng nhiệt các electron này sẽ được giải phóng khỏi nguyên tử.
- Khi các electron này chuyển động có hướng sẽ sinh ra dòng điện.
- Đối với vật liệu bán dẫn, các electron tự do cũng được sinh ra một cách tương tự.
- Tuy nhiên, năng lượng cần để giải phóng các electron này lớn hơn đối với vật liệu dẫn điện vì chúng bị ràng buộc bởi các liên kết hóa trị.
- Năng lượng này phải đủ lớn để phá vỡ liên kết hóa trị giữa các nguyên tử.
- Thuyết lượng tử cho phép ta nhìn mô hình nguyên tử dựa trên năng lượng của nó, thường được biểu diễn dưới dạng giản đồ năng lượng.

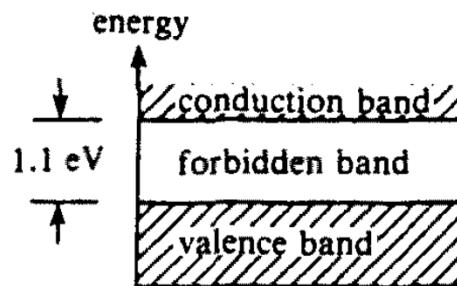
- Đơn vị năng lượng qui ước trong các giản đồ này là electronvolt (eV).
- Một electron khi muốn trở thành một electron tự do phải hấp thu đủ một lượng năng lượng xác định.
- Năng lượng này phụ thuộc vào dạng nguyên tử và lớp mà electron này đang chiếm.
- Các electron trong lớp vỏ ngoài cùng chỉ cần nhận thêm một lượng năng lượng tương đối nhỏ là đủ để giải phóng chúng.
- Các electron ở các lớp bên trong cần phải nhận một lượng năng lượng rất lớn mới có thể trở thành electron tự do.
- Các electron cũng có thể di chuyển từ lớp bên trong đến lớp bên ngoài trong nguyên tử bằng cách nhận thêm một lượng năng lượng bằng với chênh lệch năng lượng giữa hai lớp.
- Ngược lại, các electron cũng có thể mất năng lượng và trở lại với các lớp có mức năng lượng thấp hơn.
- Các electron tự do cũng vậy, chúng có thể giải phóng năng lượng và trở lại lớp vỏ ngoài cùng của nguyên tử.

## Giải đồ năng lượng

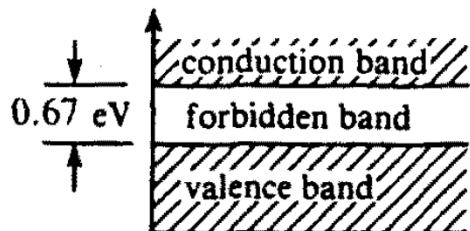
- Khi nhìn trên một nguyên tử, các electron trong nguyên tử sẽ được sắp xếp vào các mức năng lượng rời rạc nhau tùy thuộc vào lớp và lớp con mà electron này chiếm. Các mức năng lượng này giống nhau cho mọi nguyên tử.
- Tuy nhiên, khi nhìn trên toàn bộ vật liệu, mỗi nguyên tử còn chịu ảnh hưởng từ các tác động khác nhau bên ngoài nguyên tử. Do đó, mức năng lượng của các electron trong cùng lớp và lớp con có thể không còn bằng nhau giữa các nguyên tử.



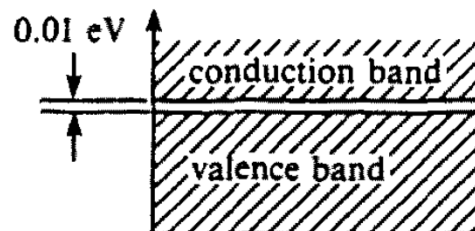
(a) insulator



(b) silicon



(c) germanium



(d) conductor

Giải đồ vùng năng lượng của một số vật liệu.

Vùng dẫn là vùng năng lượng của các electron tự do.

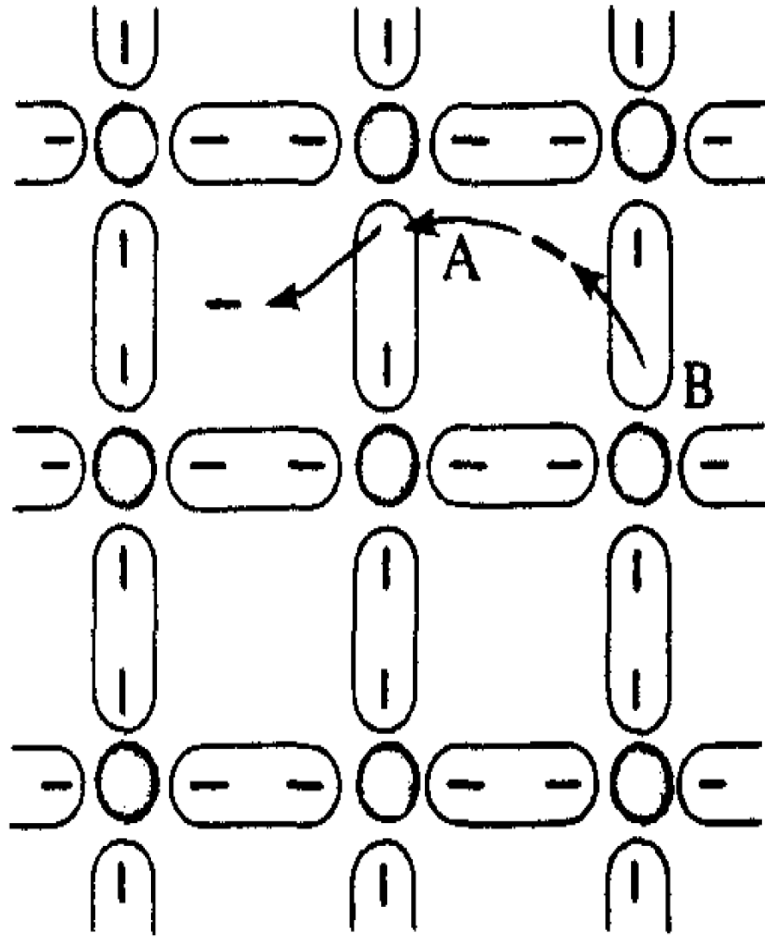
Vùng hóa trị là vùng của các electron nằm trong lớp vỏ ngoài cùng, chúng mang năng lượng thấp hơn so với vùng dẫn.



## *Nhận xét*

- Số electron tự do trong vật liệu phụ thuộc rất nhiều vào nhiệt độ và do đó độ dẫn điện của vật liệu cũng vậy.
- Nhiệt độ càng cao thì năng lượng của các electron càng lớn.
- Vật liệu bán dẫn có hệ số nhiệt điện trở âm.
- Vật liệu dẫn điện có hệ số nhiệt điện trở dương.

### 3.1 Lỗ trống và dòng lỗ trống



- Vật liệu bán dẫn tồn tại một dạng hạt dẫn khác ngoài electron tự do.
- Một electron tự do xuất hiện thì đồng thời nó cũng sinh ra một lỗ trống (hole).
- Lỗ trống được qui ước là hạt dẫn mang điện tích dương.
- Dòng di chuyển có hướng của lỗ trống được gọi là dòng lỗ trống trong bán dẫn.
- Khi lỗ trống di chuyển từ phải sang trái cũng đồng nghĩa với việc các electron lớp vỏ ngoài cùng di chuyển từ trái sang phải.

### 3.1 Lỗ trống và dòng lỗ trống

- Có thể phân tích dòng điện trong bán dẫn thành hai dòng electron.
- Để tiện lợi ta thường xem như dòng điện trong bán dẫn là do dòng electron và dòng lỗ trống gây ra.
- Ta thường gọi electron tự do và lỗ trống là hạt dẫn vì chúng có khả năng chuyển động có hướng để sinh ra dòng điện.
- Khi một electron tự do và lỗ trống kết hợp lại với nhau trong vùng hóa trị, các hạt dẫn bị mất đi, và ta gọi quá trình này là quá trình tái hợp hạt dẫn.
- Việc phá vỡ một liên kết hóa trị sẽ tạo ra một electron tự do và một lỗ trống, do đó số lượng lỗ trống sẽ luôn bằng số lượng electron tự do. Bán dẫn này được gọi là bán dẫn thuần hay bán dẫn nội tại (intrinsic).
- Ta có:  **$n_i = p_i$** 
  - $n_i$ : mật độ electron (electron/cm<sup>3</sup>)
  - $p_i$ : mật độ lỗ trống (lỗ trống/cm<sup>3</sup>)

## 3.2 Dòng trôi

- Khi một hiệu điện thế được đặt lên hai đầu bán dẫn, điện trường sẽ làm cho các electron tự do di chuyển ngược chiều điện trường và các lỗ trống di chuyển cùng chiều điện trường.
- Cả hai sự di chuyển này gây ra trong bán dẫn một dòng điện có chiều cùng chiều điện trường được gọi là **dòng trôi** (drift current).
- Dòng trôi phụ thuộc nhiều vào khả năng di chuyển của hạt dẫn trong bán dẫn, khả năng di chuyển được đánh giá bằng độ linh động của hạt dẫn. Độ linh động này phụ thuộc vào loại hạt dẫn cũng như loại vật liệu.

| Silicon                                | Germanium                              |
|----------------------------------------|----------------------------------------|
| $\mu_n = 0.14 \text{ m}^2/(\text{Vs})$ | $\mu_n = 0.38 \text{ m}^2/(\text{Vs})$ |
| $\mu_p = 0.05 \text{ m}^2/(\text{Vs})$ | $\mu_p = 0.18 \text{ m}^2/(\text{Vs})$ |

## 3.2 Dòng trôi

- Vận tốc của hạt dẫn trong điện trường E:

$$v_n = E \cdot \mu_n$$

$$v_p = E \cdot \mu_p$$

- Mật độ dòng điện J:

$$J = J_n + J_p = nq_n\mu_n E + pq_p\mu_p E = nq_nv_n + pq_pv_p$$

Với: J mật độ dòng điện, (A/m<sup>2</sup>) , E cường độ điện trường(V/m)

n, p mật độ electron tự do và lỗ trống, (hạt dẫn/m<sup>3</sup>)

$q_n, q_p$  = đơn vị điện tích electron =  $1.6 \times 10^{-19}$  C

$\mu_n, \mu_p$  = độ linh động của electron tự do và lỗ trống (m<sup>2</sup>/Vs)

$v_n, v_p$  = vận tốc electron tự do và lỗ trống, (m/s)

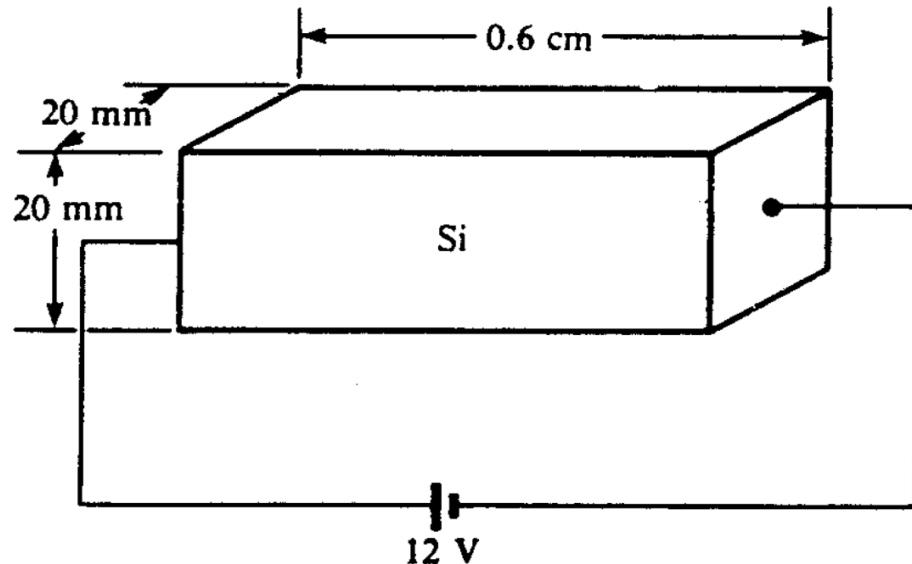
## Ví dụ 1-1

Một hiệu điện thế được đặt lên hai đầu của một thanh bán dẫn thuần trong hình vẽ. Giả sử :  $n_i = 1.5 \times 10^{10}$  là electron/cm<sup>3</sup>

$$\mu_n = 0.14 \text{ m}^2/(\text{Vs}) ; \quad \mu_p = 0.05 \text{ m}^2/(\text{Vs})$$

### Tìm:

1. Vận tốc electron tự do và lỗ trống;
2. Mật độ dòng electron tự do và lỗ trống;
3. Mật độ dòng tổng cộng;
4. Dòng tổng cộng trong thanh bán dẫn.



# Hướng dẫn

1. Ta có:

$$E = U/d = 2.10^3 \text{ V/m}$$

$$v_n = E.\mu_n = 2.8 \times 10^2 \text{ m/s}$$

$$v_p = E.\mu_p = 10^2 \text{ m/s}$$

2. Vì vật liệu là thuần nên:

$$p_i = n_i = 1.5 \times 10^{10} (\text{ / cm}^3) = 1.5 \times 10^{16} (\text{ / m}^3)$$

$$J_n = n_i.q_n.v_n = 0.672 \text{ A / m}^2$$

$$J_p = n_i.q_p.v_p = 0.24 \text{ A / m}^2$$

$$3. \quad J = J_n + J_p = 0.672 + 0.24 = 0.912 \text{ A / m}^2$$

$$4. \text{ Tiết diện ngang của thanh là : } (20 \times 10^{-3} \text{ m})(20 \times 10^{-3} \text{ m}) = 4 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Dòng điện:

$$I = J.S = (0.912 \text{ A / m}^2).(4 \times 10^{-4} \text{ m}^2) = 0.365 \text{ mA}$$

# Một số lưu ý

- Điện trở có thể được tính bằng cách dùng công thức:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

- Điện dẫn, đơn vị siemens (S), được định nghĩa là nghịch đảo của điện trở, và điện dẫn suất, đơn vị S/m, là nghịch đảo của điện trở suất:

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

- Điện dẫn suất của vật liệu bán dẫn có thể được tính theo công thức:

$$\sigma = nq_n\mu_n + pq_p\mu_p = \frac{J}{E}$$

## Ví dụ 1-2

1. Tính điện dẫn suất và điện trở suất của thanh bán dẫn trong ví dụ 1-1.
2. Dùng kết quả của câu 1 để tìm dòng trong thanh bán dẫn khi điện áp trên hai đầu của thanh là 12V .

### Hướng dẫn

1. Vì bán dẫn thuần nên:

$$n = p = n_i = p_i = 1.5 \times 10^6 /m^3, q_n = q_p = 1.6 \times 10^{-19} C$$

$$\sigma = n q_n \mu_n + p q_p \mu_p$$

$$\sigma = 4.56 \times 10^{-4} S/m$$

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = 2192.98 \Omega m$$

2.

$$R = \rho \frac{l}{S} = 32.98 K\Omega$$

$$I = \frac{U}{R} = 0.365 mA$$

## 3.3 Dòng khuếch tán

- Nếu như trong bán dẫn có sự chênh lệch mật độ hạt dẫn thì các hạt dẫn sẽ có khuynh hướng di chuyển từ nơi có mật độ hạt dẫn cao đến nơi có mật độ hạt dẫn thấp hơn nhằm cân bằng mật độ hạt dẫn.
- Quá trình di chuyển này sinh ra một dòng điện bên trong bán dẫn. Dòng điện này được gọi là **dòng khuếch tán** (diffusion current).
- Dòng khuếch tán có tính chất quá độ (thời gian tồn tại ngắn) trừ khi sự chênh lệch mật độ được duy trì trong bán dẫn.

# Nội dung

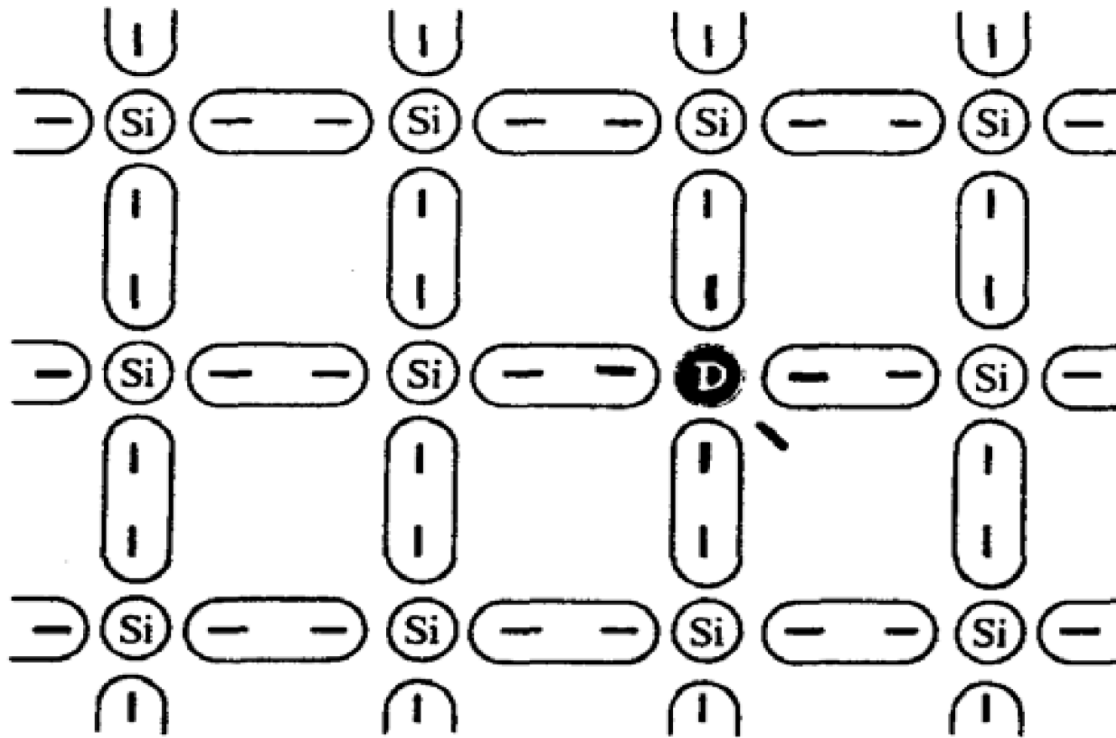
---

1. Cấu trúc nguyên tử
2. Vật liệu bán dẫn
3. Các dòng điện trong bán dẫn
4. Bán dẫn loại N và bán dẫn loại P
5. Chuyển tiếp PN
6. Phân cực cho chuyển tiếp PN

## 4. Bán dẫn loại P và bán dẫn loại N

- Trong bán dẫn thuần hay còn gọi là bán dẫn nội tại (intrinsic semiconductor) có mật độ electron tự do bằng với mật độ lỗ trống.
- Trong thực tế, người ta sẽ tạo ra vật liệu bán dẫn trong đó mật độ electron lớn hơn mật độ lỗ trống hoặc vật liệu bán dẫn có mật độ lỗ trống lớn hơn mật độ electron tự do.
- Các vật liệu bán dẫn này được gọi là bán dẫn có pha tạp chất.
- Bán dẫn mà electron tự do chi phối được gọi là bán dẫn loại N, và ngược lại, bán dẫn trong đó lỗ trống chi phối chủ yếu được gọi là bán dẫn loại P.

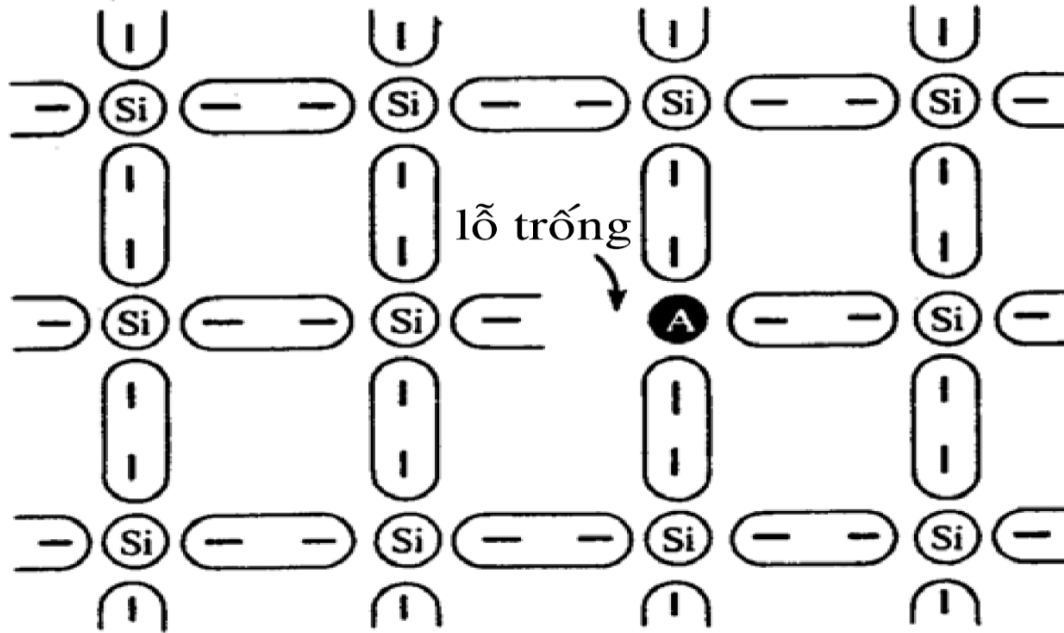
## Cách thức tạo ra bán dẫn loại N



Cấu trúc tinh thể bán dẫn chứa một nguyên tử donor.  
Hạt nhân của donor ký hiệu là D.

- Nguyên tử tạp chất lúc này được gọi là nguyên tử tạp chất cho (donor) -> ion dương.
- Các vật liệu được sử dụng như tạp chất cho donor thông thường là antimony, arsenic, phosphorus.
- Các electron của tạp chất này đã có thể trở thành electron tự do trong vùng dẫn và nguyên tử tạp chất trở thành một ion dương.

## Cách thức tạo ra bán dẫn loại P



Cấu trúc tinh thể bán dẫn có chứa một nguyên tử acceptor.  
Nguyên tử acceptor được ký hiệu là A.

- Nguyên tử tạp chất được gọi là tạp chất nhận (acceptor) -> ion âm
- Vật liệu thường được dùng làm tạp chất trong trường hợp này là aluminum, boron, gallium, indium.

- Trong vật liệu bán dẫn loại N, mặc dù số lượng electron tự do nhiều hơn hẳn so với lỗ trống nhưng lỗ trống vẫn tồn tại trong bán dẫn.
- Lượng tạp chất donor càng lớn, mật độ electron tự do càng cao và càng chiếm ưu thế so với lượng lỗ trống.
- Do đó, trong bán dẫn loại N, electron tự do được gọi là hạt dẫn đa số (hoặc hạt dẫn chủ yếu), lỗ trống được gọi là hạt dẫn thiểu số (hoặc hạt dẫn thứ yếu).
- Một mối quan hệ quan trọng giữa mật độ electron và mật độ lỗ trống trong hầu hết các bán dẫn trong thực tế là:

$$np = n_i^2$$

Với:      n: mật độ electron

          p: mật độ lỗ trống

$n_i$ : mật độ electron trong bán dẫn thuần.

## Ví dụ 1-3

Một thanh silicon có mật độ electron trong bán dẫn thuần là  $1.4 \times 10^{16}$  electron/m<sup>3</sup> bị kích thích bởi các nguyên tử tạp chất cho đến khi mật độ lỗ trống là  $8.5 \times 10^{21}$  lỗ trống/m<sup>3</sup>. Độ linh động của electron và lỗ trống là  $\mu_n = 0.14 \text{ m}^2/(\text{Vs})$  và  $\mu_p = 0.05 \text{ m}^2/(\text{Vs})$ .

1. Tìm mật độ electron trong bán dẫn đã pha tạp chất.
2. Bán dẫn là loại N hay loại P?
3. Tìm độ dẫn điện của bán dẫn pha tạp chất.

### Hướng dẫn

1. 
$$n = \frac{n_i^2}{p} = \frac{(1.4 \times 10^{16})^2}{8.5 \times 10^{21}} = 2.3 \times 10^{10} \text{ electron/m}^3$$

2. Vì  $p > n$  nên vật liệu là loại P.

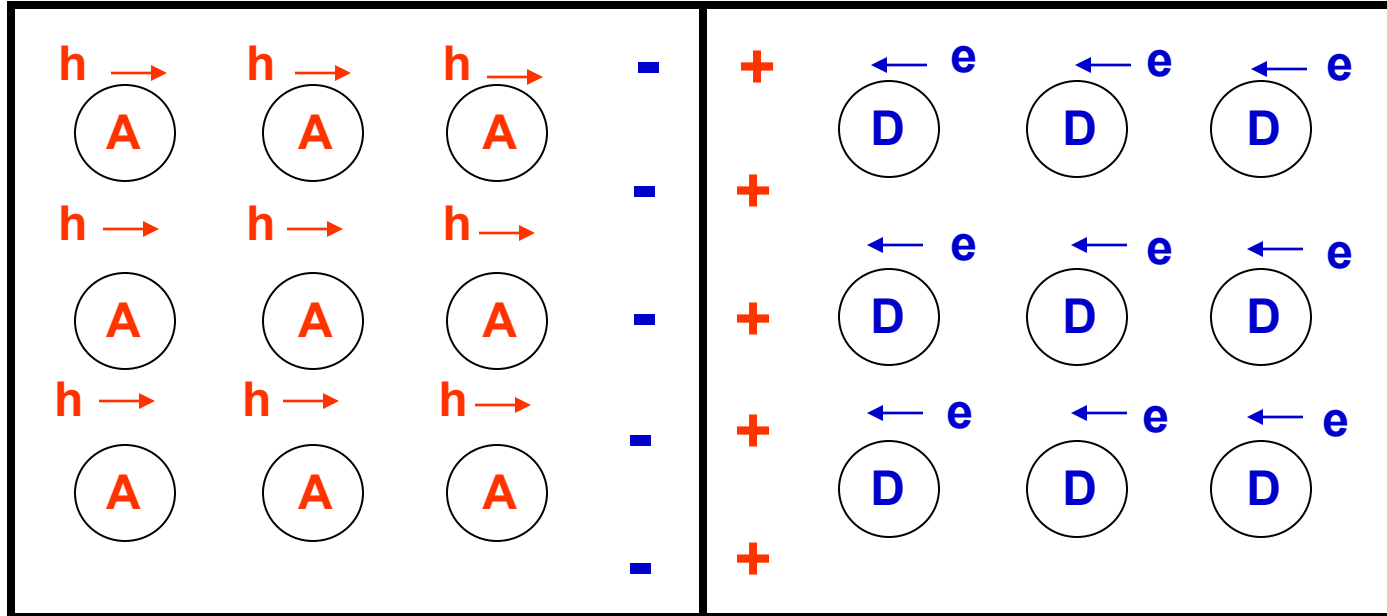
3. 
$$\begin{aligned}\sigma &= n\mu_n q_n + p\mu_p q_p \\ &= (2.3 \times 10^{10})(0.14)(1.6 \times 10^{-19}) + (8.5 \times 10^{21})(0.05)(1.6 \times 10^{-19}) \\ &= 5.152 \times 10^{-10} + 68 \approx 68 \text{ S/m}\end{aligned}$$

# Nội dung

---

1. Cấu trúc nguyên tử
2. Vật liệu bán dẫn
3. Các dòng điện trong bán dẫn
4. Bán dẫn loại N và bán dẫn loại P
- 5. Chuyển tiếp PN**
6. Phân cực cho chuyển tiếp PN

## 5. Chuyển tiếp PN



**Bán dẫn loại P**

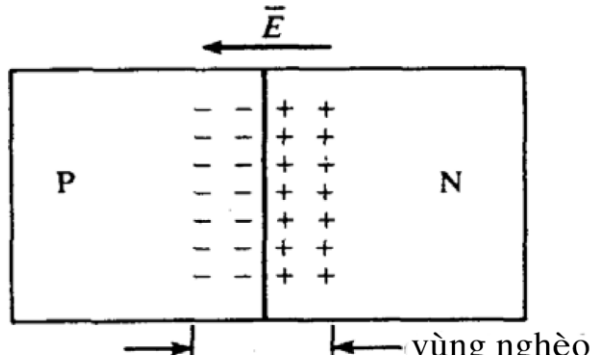
**Bán dẫn loại N**

- Hai khối bán dẫn P và N tiếp xúc nhau
- Do chênh lệch nồng độ → hiện tượng khuếch tán của các hạt dẫn đa số
  - Điện tử khuếch tán từ N → P
  - Lỗ trống khuếch tán từ P → N

→ Dòng điện khuếch tán với mật độ dòng là

$$J = qD_n \frac{dn}{dx} - qD_p \frac{dp}{dx}$$

# 5. Chuyển tiếp PN



- Trên đường khuếch tán, các điện tích trái dấu sẽ **tái hợp** với nhau → trong một vùng hẹp ở hai bên mặt ranh giới có **nồng độ hạt dẫn giảm xuống rất thấp**.
- Tại vùng đó, bên bán dẫn P hầu như chỉ còn ion âm acceptor và bên bán dẫn N hầu như chỉ còn ion âm donor → hình thành hai lớp điện tích trái dấu đối diện nhau → chênh lệch hiệu điện thế → điện thế tiếp xúc  $V_{tx}$  → điện trường tiếp xúc  $E_{tx}$ .
- Vùng hẹp đó được gọi là **vùng nghèo (depletion region)** hoặc **chuyển tiếp P-N (PN junction)**.
- Do  $E_{tx}$  → hiện tượng trôi của các hạt dẫn thiểu số
  - Lỗ trống của bán dẫn N chạy về cực âm của điện trường
  - Điện tử của bán dẫn P chạy về cực dương của điện trường

→ dòng điện trôi với mật độ dòng là  $J = \sigma E_{tx} = q(p_n \mu_p + n_p \mu_n) E_{tx}$

## 5. Chuyển tiếp PN

- Dòng điện trôi ngược chiều với dòng khuếch tán
- Nồng độ hạt dẫn đa số trong hai khối bán dẫn càng chênh lệch → khuếch tán càng mạnh và tái hợp càng nhiều →  $E_{\text{bx}}$  càng tăng → dòng trôi càng tăng
- Sau một thời gian ngắn, dòng trôi và dòng khuếch tán cân bằng nhau → Dòng tổng cộng qua mặt ranh giới bằng không: **trạng thái cân bằng**

Khi đó, hiệu điện thế tiếp xúc có giá trị nhất định

$$V_{\text{bx}} = V_T \ln \frac{p_p}{p_n} = V_T \ln \frac{n_n}{n_p} = V_T \ln \left( \frac{N_a N_d}{n_i^2} \right)$$

Thông thường  $V_{\text{bx}} = 0,35 \text{ V}$  đối với Ge và  $0,7 \text{ V}$  đối với Si.

Hiệu điện thế này ngăn cản, không cho hạt dẫn tiếp tục chuyển động qua mặt ranh giới, duy trì trạng thái cân bằng, nên được gọi là “**hàng rào điện thế**”

# 5. Chuyển tiếp PN

- Hiệu điện thế tồn tại ở hai bên chuyển tiếp được gọi là hiệu điện thế hàng rào (barrier).

$$V_0 = V_\gamma = \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{N_A N_D}{n_i^2} \right)$$

-Với:

k: hằng số Boltzmann =  $1.38 \times 10^{-23}$  J/K

T: nhiệt độ tuyệt đối K

q: đơn vị điện tích =  $1.6 \times 10^{-19}$  C

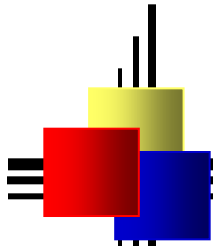
$N_A$ : nồng độ tạp chất acceptor trong bán dẫn loại P

$N_D$ : nồng độ tạp chất donor trong bán dẫn loại N

$n_i$ : mật độ hạt dẫn trong bán dẫn thuần.

- Để thể hiện sự phụ thuộc của hiệu điện thế vào nhiệt độ, người ta đưa ra khái niệm điện thế nhiệt:

$$V_T = \frac{kT}{q} \Rightarrow V_0 = V_\gamma = V_T \ln \left( \frac{N_A N_D}{n_i^2} \right)$$



## Ví dụ 1-4

Một chuyển tiếp PN được tạo nên từ bán dẫn loại P có  $10^{22}$  acceptor/ $m^3$  và bán dẫn loại N có  $1.2 \times 10^{21}$  donor/ $m^3$ . Tìm điện thế nhiệt và điện thế hàng rào tại  $25^\circ\text{C}$ . Cho  $n_i = 1.5 \times 10^{16}$  electron/ $m^3$ .

### Hướng dẫn

Áp dụng: 
$$V_T = \frac{kT}{q}$$

với:  $T = 25 + 273 = 298^\circ\text{K}$

$$k = 1.38 \times 10^{-23}$$

$$q = 1.6 \times 10^{-19}\text{C}$$

$$V_T = 25.7 \text{ mV}$$

Điện thế hàng rào:

$$V_0 = V_T \cdot \ln\left(\frac{N_A \cdot N_D}{n_i^2}\right)$$

$$V_0 = 0.635 \text{ V}$$

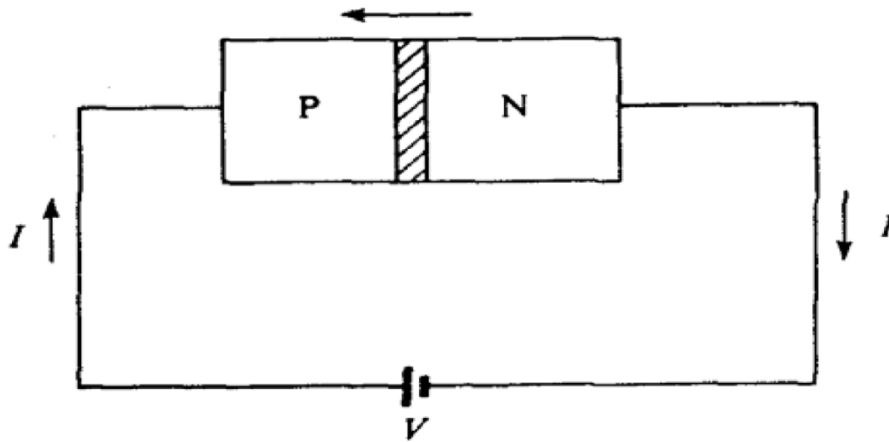
# Nội dung

---

1. Cấu trúc nguyên tử
2. Vật liệu bán dẫn
3. Các dòng điện trong bán dẫn
4. Bán dẫn loại N và bán dẫn loại P
5. Chuyển tiếp PN
- 6. Phân cực cho chuyển tiếp PN**

## 6. Phân cực chuyển tiếp PN

- Chuyển tiếp PN có thể được phân cực bằng cách dùng một nguồn điện áp đặt lên hai đầu của chuyển tiếp.

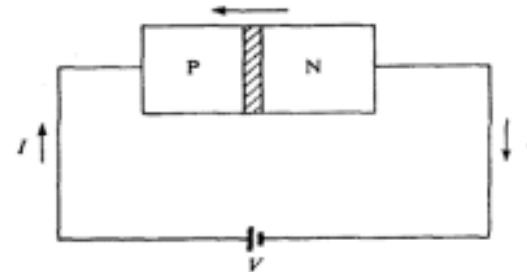


*Nguồn áp phân cực thuận chuyển tiếp PN.*

## 6. Phân cực chuyển tiếp PN

### Phân cực thuận chuyển tiếp PN

- P nối cực dương, N nối cực âm
- Hàng rào điện thế giảm còn  $V_{bx} - V$
- Hạt dẫn đa số sẽ “tràn qua hàng rào” sang miền đối diện, được gọi là hiện tượng **“phun hạt dẫn”** hay **“chích hạt dẫn” (injection)**
- Tình trạng thiếu hạt dẫn trong vùng nghèo được giảm bớt → bề dày **vùng nghèo thu hẹp** → **điện trở của vùng này giảm**
- Dòng điện qua chuyển tiếp PN **lớn và tăng nhanh theo điện áp**



Trong đó:

$$I = I_S \left[ e^{qV/mkT} - 1 \right] \approx I_S e^{qV/mkT} = I_S e^{V/mV_T}$$

$I$  : dòng qua chuyển tiếp (A)

$V$ : điện áp phân cực (V).

$I_S$  ( $I_0$ ): dòng ngược bão hòa (A)

$m$ : hệ số hiệu chỉnh, phụ thuộc vào vật liệu;  $1 \leq m \leq 2$ )

$V_T$ : điện thế nhiệt (V)

## 6. Phân cực chuyển tiếp PN

### Phân cực ngược chuyển tiếp PN

- P nối cực âm, N nối cực dương
- Hàng rào điện thế tăng thành  $V_{tx} + V$
- Hạt dẫn đa số rời xa khỏi mặt ranh giới → vùng nghèo mở rộng → điện trở tăng
- Dòng điện qua chuyển tiếp PN nhỏ và nhanh chóng đạt tới giá trị bão hòa  $I_S$  ngay khi  $V$  còn rất thấp

$$I = I_S \left[ e^{qV/mkT} - 1 \right] \approx -I_S$$

Trong đó:

$I$  : dòng qua chuyển tiếp (A)

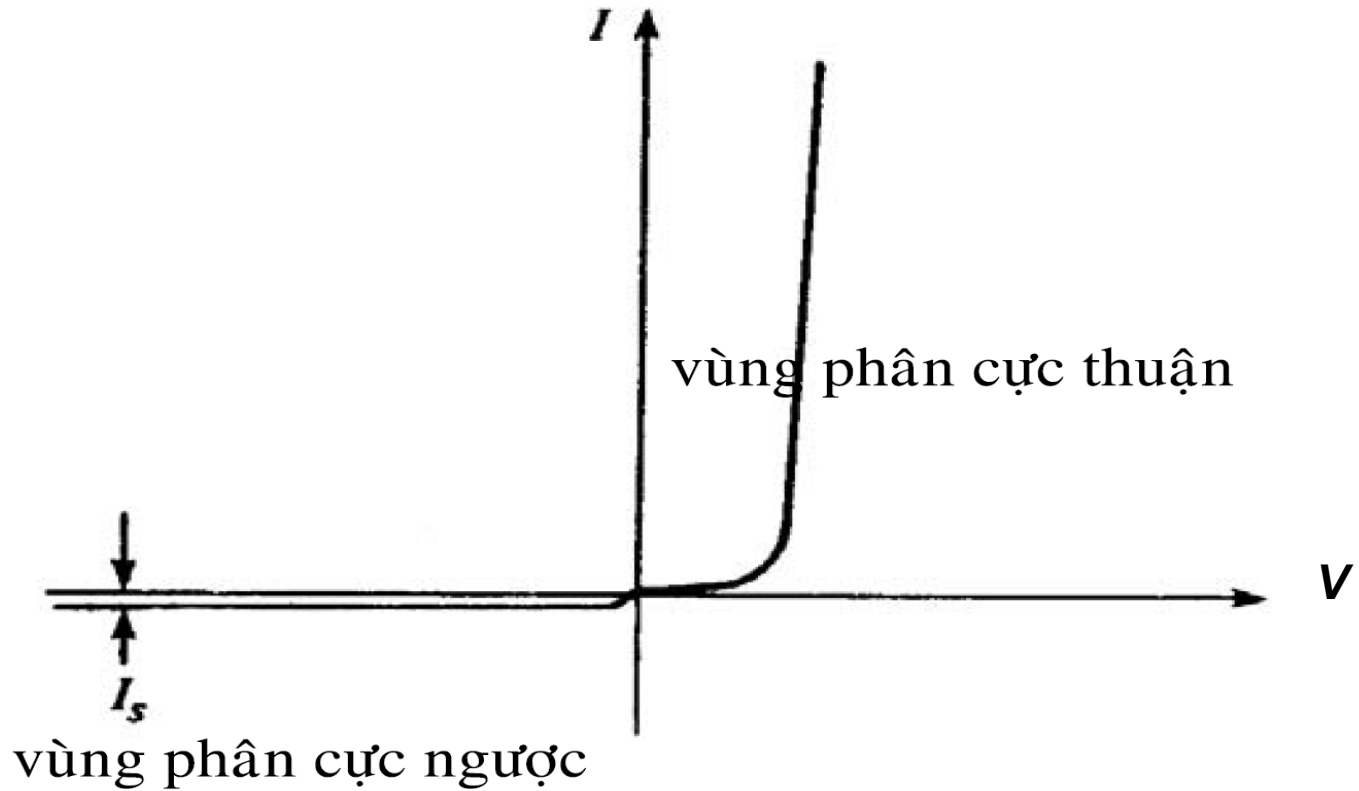
$V$ : điện áp phân cực (V).

$I_S$  ( $I_0$ ): dòng ngược bão hòa (A)

$m$ : hệ số hiệu chỉnh, phụ thuộc vào vật liệu;  $1 \leq m \leq 2$ )

$V_T$ : điện thế nhiệt (V)

## Đặc tuyến Volt-Ampe



***Quan hệ dòng – áp trong chuyển tiếp PN  
dưới phân cực thuận và phân cực ngược.***

## 6.2. Đánh thủng chuyển tiếp PN

Có 2 nguyên nhân gây ra đánh thủng: nhiệt và điện.

- Đánh thủng về nhiệt xảy ra do sự tích lũy nhiệt trong vùng nghèo hạt dẫn.

(Dòng  $I_S$  tăng gấp đôi khi nhiệt độ tăng  $10^\circ\text{C}$ )

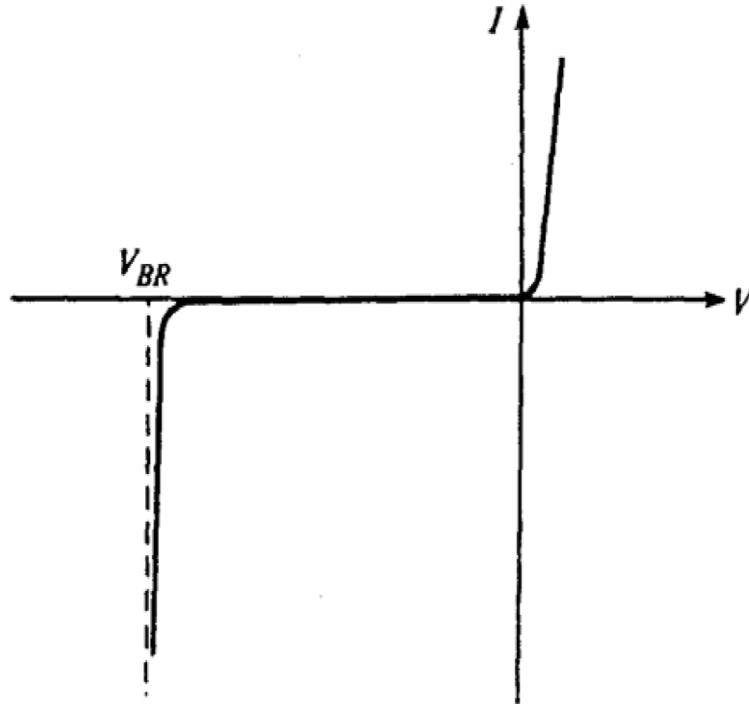
- Đánh thủng về điện được phân làm 2 loại: đánh thủng **thác lũ** (avalanching) và đánh thủng **xuyên hầm** (tunnel)

- Biên độ của dòng ngược khi  $V$  xấp xỉ  $V_{BR}$  (**breakdown voltage**) có thể được tính bằng biểu thức sau:

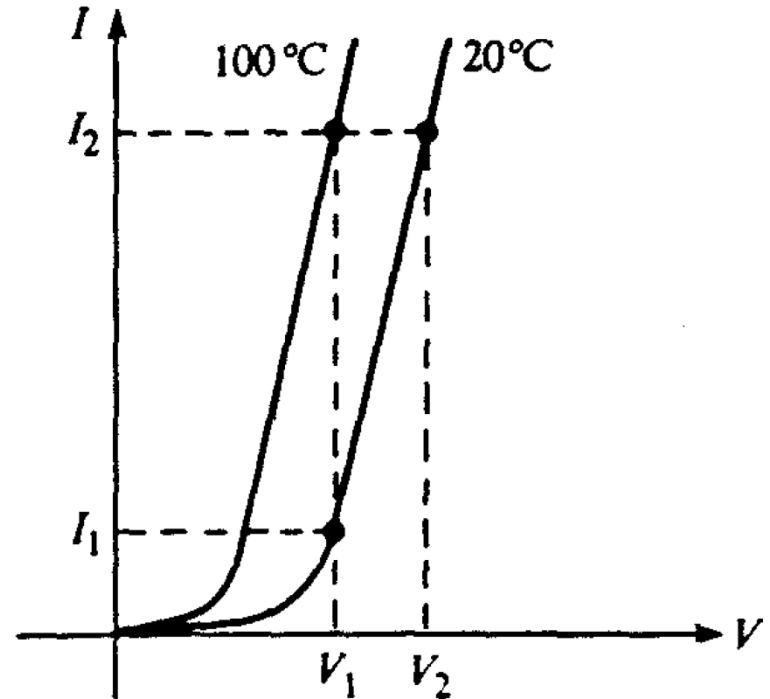
$$I = \frac{I_S}{1 - \left( \frac{V}{V_{BR}} \right)^n}$$

với  $n$  là hằng số được xác định từ thực nghiệm.

## 7. Đánh thủng chuyển tiếp PN



*Quan hệ của diode cho thấy sự gia tăng đột ngột của dòng khi áp gần đến điện áp đánh thủng.*



*Sự gia tăng của nhiệt độ làm cho đặc tuyến dịch sang trái.*

## Ví dụ 1-5

Một diode silicon có dòng bão hòa là 0.1 pA ở 20°C . Tìm dòng điện qua nó khi được phân cực thuận ở 0,55V. Tìm dòng trong diode khi nhiệt độ tăng lên đến 100 °C.

### Hướng dẫn

$$\text{Ở } T = 20^{\circ}\text{C} \Rightarrow V_T = 0.02527\text{V}$$

$$V > 0.5\text{V} \Rightarrow \eta = 1 \Rightarrow I = 0.283 \text{ mA}$$

$$\text{Ở } T = 100^{\circ}\text{C} \Rightarrow V_T = 0.03217\text{V}$$

Khi nhiệt độ thay đổi từ 20°C đến 100°C, dòng được nhân đôi 8 lần, do đó gia tăng 256 lần:

$$I = 256 \times 10^{-13} \left( e^{0.55/0.03217} - 1 \right) = 0.681 \text{ mA}$$