

GIỚI THIỆU MÔN HỌC

Tên môn học : **KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ**
 Phân phối giờ : 45 tiết
 Số tín chỉ : 2 – Kiểm tra: 20%; Thi: 80% (trắc nghiệm)

Giáo trình:

- Lê Phi Yến, Lưu Phú, Nguyễn Như Anh

- Kỹ thuật điện tử

NXB Đại Học Quốc Gia TP.HCM

Tài liệu tham khảo:

*- Theodore F. Bogart, JR - **Electronic devices and Circuits**
 2nd Ed. , Macmillan 1991*

1

GIẢNG VIÊN

Lê Chí Thông

Bộ môn Điện tử; Khoa Điện-Điện tử

Đại học Bách Khoa TP.HCM

ĐT: 0902-445-012

Email: chithong@gmail.com

chithong@hcmut.edu.vn

Website: sites.google.com/site/thongchile

tinyurl.com/thongchile

2

Chương 1

GIỚI THIỆU VỀ CHẤT BÁN DẪN

1.1 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.

3

1.1 Vật liệu bán dẫn

- Vật liệu **cách điện** lại có khuynh hướng giữ lại các electron lớp ngoài cùng của nó để có trạng thái bền vững.

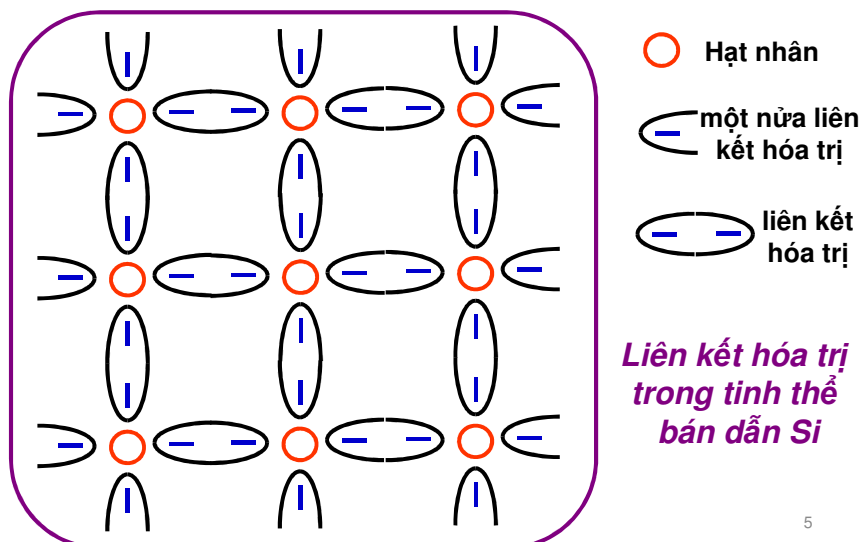
- Vật liệu **bán dẫn**, nó có khuynh hướng đạt đến trạng thái bền vững **tam thời** bằng cách lấp đầy lớp con của lớp vỏ ngoài cùng.

- 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.

4

Ví dụ về nguyên tử bán dẫn Silicon (Si)

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



1.2 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.

6

1.2 Dòng điện trong bán dẫn

- 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.

7

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.

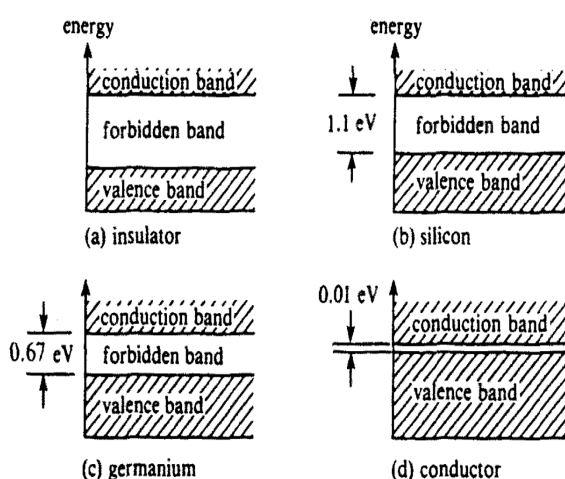
8

Giải đồ năng lượng

- 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.

9

Giải đồ năng lượng



Giải đồ vùng năng lượng của một số vật liệu.

10

Giản 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.

11

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.

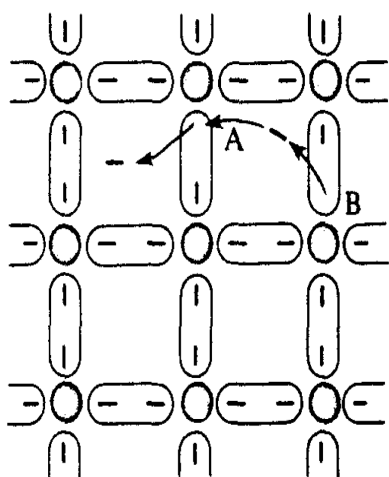
- Nhiệt độ càng cao thì năng lượng của các electron càng lớn.

- Vật liệu bán dẫn có hệ số nhiệt điện trở âm.

- Vật liệu dẫn điện có hệ số nhiệt điện trở dương.

12

1.2.1 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 quy 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.

13

1.2.1 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.

14

1.2.1 Lỗ trống và dòng lỗ trống

- 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 khiết** hay **bán dẫn nội tại (loại i)** (intrinsic).

- Ta có: $n_i = p_i$

n_i : mật độ electron (electron/cm³)

p_i : mật độ lỗ trống (lỗ trống/cm³)

15

1.2.2 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
$\mu_n = 0.14 \text{ m}^2/(\text{Vs})$	$\mu_n = 0.38 \text{ m}^2/(\text{Vs})$
$\mu_p = 0.05 \text{ m}^2/(\text{Vs})$	$\mu_p = 0.18 \text{ m}^2/(\text{Vs})$

16

1.2.2 Dòng trôi

- Trong chuyển động trôi, vận tốc trung bình của điện tử và lỗ trống tỷ lệ với cường độ điện trường E (hoặc gradien điện thế) đã gây ra chuyển động đó:

$$v_n = -\mu_n E = \mu_n \frac{d\phi}{dx}$$

$$v_p = \mu_p E = -\mu_p \frac{d\phi}{dx}$$

17

1.2.2 Dòng trôi

- 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^2); E : cường độ điện trường (V/m)

n, p : mật độ electron tự do và lỗ trống, (hạt dẫn/ m^3)

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

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

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

18

Ví dụ 1-1

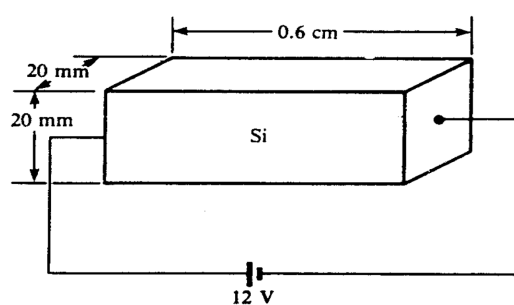
Một hiệu điện thế được đặt lên hai đầu của một thanh bán dẫn thuần trong hình vẽ. Giả sử :

$$n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ là electron/m}^3$$

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

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.



19

Hướng dẫn

1. Ta có:

$$E = U/d = 2 \cdot 10^3 \text{ V/m}$$

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

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

2. Vì vật liệu là thuần nên:

$$p_i = n_i = 1.5 \times 10^{10} (\text{/cm}^3) = 1.5 \times 10^{10} / 10^{-6} (\text{/m}^3)$$

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

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

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

4. 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:

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

20

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:

$$\sigma = nq_n\mu_n + pq_p\mu_p$$

21

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.

22

Hướng dẫn

1. Vì bán dẫn thuần nên:

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

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

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

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

$$2. \quad R = \rho \frac{l}{S} = 32.98 \text{ K}\Omega$$

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

23

1.3.3 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.

24

1.3.3 Dòng khuếch tán

Mật độ dòng khuếch tán của điện tử $J_n = qD_n \frac{dn}{dx}$

Mật độ dòng khuếch tán của lỗ trống $J_p = -qD_p \frac{dp}{dx}$

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

D_n : hệ số khuếch tán của điện tử (silicon 34 cm²/s)

D_p : hệ số khuếch tán của lỗ trống (silicon 12 cm²/s)

dn/dx : gradient của nồng độ điện tử

dp/dx : gradient của lỗ trống

$$D_n = V_T \mu_n$$

$$D_p = V_T \mu_p$$

Điện thế nhiệt

$$V_T = \frac{kT}{q}$$

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

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

T: nhiệt độ K = °C + 273

Tại nhiệt độ phòng (20°C), $V_T \approx 25 \text{ mV}$

25

Bán dẫn thuần khiết (Bán dẫn loại i)

Mật độ điện tử tự do bằng với mật độ lỗ trống.

$$n_i = p_i$$

n_i : mật độ điện tử tự do (electron/cm³)

p_i : mật độ lỗ trống (lỗ trống/cm³)

- Điện tử tự do có điện tích $-q$
- Lỗ trống có điện tích $+q$
- Điện tử tự do và lỗ trống là hạt dẫn → **Tạo ra dòng điện khi chuyển động có hướng**

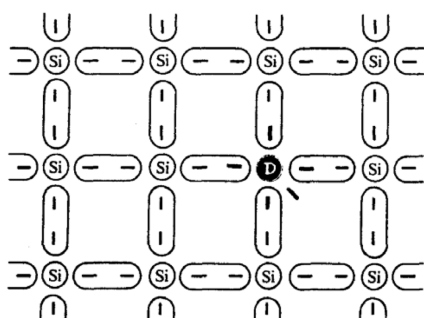
26

Bán dẫn loại P và bán dẫn loại N

- 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.

27

Bán dẫn loại N



Cấu trúc tinh thể bán dẫn chứa một nguyên tử donor.

Hạt nhân của donor được ký hiệu là D.

• **Bán dẫn loại N = Bán dẫn thuần + Tạp chất nhóm 5**

Vd: Si + Phosphore, Ge + Asenic

- Tạp chất này cung cấp điện tử → **Tạp chất cho** (tạp chất donor)
- Nguyên tử tạp chất bị ion hóa thành **ion dương**

28

Bán dẫn loại N

$$n_d = N_d$$

n_d : Nồng độ điện tử tự do do tạp chất cung cấp

N_d : Nồng độ tạp chất donor

$$n_n = N_d + p_n$$

n_n : Tổng nồng độ điện tử tự do trong bán dẫn N

p_n : nồng độ lỗ trống trong bán dẫn N

$$n_n \gg p_n \rightarrow n_n \approx N_d$$

$$n_n p_n = n_i^2$$

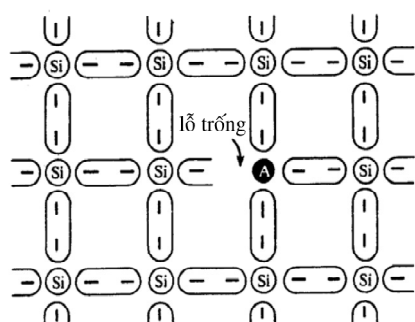
n_i : mật độ điện tử trong bán dẫn thuần

Hạt dẫn đa số là điện tử.

Hạt dẫn thiểu số là lỗ trống.

29

Bán dẫn loại P



Cấu trúc tinh thể bán dẫn có chứa một nguyên tử acceptor.

Nguyên tử acceptor được ký hiệu là A.

• **Bán dẫn loại P = Bán dẫn thuần + Tạp chất nhóm 3**

Vd: Si + Bore, Ge + Indium

• Tạp chất này nhận điện tử \rightarrow **Tạp chất nhận (tạp chất acceptor)**

• Nguyên tử tạp chất bị ion hóa thành **ion âm**

30

Bán dẫn loại P

$$p_a = N_a$$

p_a : Nồng độ lỗ trống do tạp chất cung cấp

N_a : Nồng độ tạp chất acceptor

$$p_p = N_a + n_p$$

p_p : Tổng nồng độ lỗ trống trong bán dẫn P

n_p : nồng độ điện tử tự do trong bán dẫn P

$$p_p \gg n_p \rightarrow p_p \approx N_a$$

$$n_p p_p = n_i^2$$

n_i : mật độ điện tử trong bán dẫn thuần

Hạt dẫn đa số là lỗ trống.

Hạt dẫn thiểu số là điện tử.

31

Ví dụ 1-3

Một thanh silicon có mật độ electron trong bán dẫn thuần là 1.4×10^{16} electron/m³ bị kích thích bởi các nguyên tử tạp chất cho đến khi mật độ lỗ trống là 8.5×10^{21} lỗ trống/m³. Độ linh động của electron và lỗ trống là $\mu_n = 0.14$ m²/(Vs)

và $\mu_p = 0.05$ m²/(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.

32

Ví dụ 1-3

Một thanh silicon có mật độ electron trong bán dẫn thuần là 1.4×10^{16} electron/m³ bị kích thích bởi các nguyên tử tạp chất cho đến khi mật độ lỗ trống là 8.5×10^{21} lỗ trống/m³. 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

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

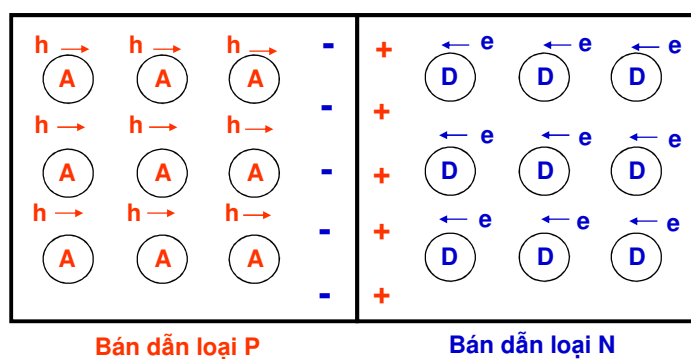
2. Vì $p > n$ nên vật liệu là loại P.

$$3. \sigma = n\mu_n q_n + p\mu_p q_p$$

$$= (2.3 \times 10^{10})(0.14)(1.6 \times 10^{-19}) + (8.5 \times 10^{21})(0.05)(1.6 \times 10^{-19})$$

$$= 5.152 \times 10^{-10} + 68 \approx 68 \text{ S/m}$$

33

1.4 Chuyển tiếp PN

- Hai khối bán dẫn P và N tiếp xúc nhau
 - Do chênh lệch nồng độ \rightarrow hiện tượng khuếch tán của các hạt dẫn đa số
 - Điện tử khuếch tán từ N \rightarrow P
 - Lỗ trống khuếch tán từ P \rightarrow N
- \rightarrow Dòng điện khuếch tán với mật độ dòng là

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

34

1.4 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 dương 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 $J = \sigma E_{tx} = q(p_n \mu_p + n_p \mu_n) E_{tx}$

35

1.4 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_{tx} 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

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

Thông thường $V_{tx} = 0,35$ V đối với Ge và 0,7 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**"

36

Ví dụ 1-4

Một chuyển tiếp PN được tạo nên từ bán dẫn loại P có 10^{22} acceptor/m³ và bán dẫn loại N có 1.2×10^{21} donor/m³.

Tìm điện thế nhiệt và điện thế hàng rào tại 25°C.

Cho $n_i = 1.5 \times 10^{16}$ electron/m³.

37

Ví dụ 1-4**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:

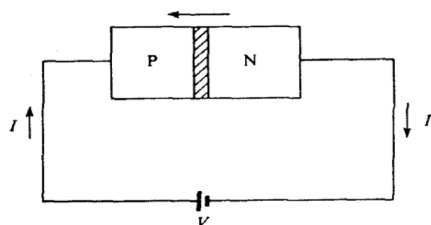
$$V_0 = V_T \cdot \ln\left(\frac{N_A \cdot N_D}{n_i^2}\right)$$

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

38

1.5 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.

39

Phân cực thuận chuyển tiếp PN

- P nối cực dương, N nối cực âm
- Hàng rào điện thế giảm còn $V_{tx} - V$

→ 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)

40

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).

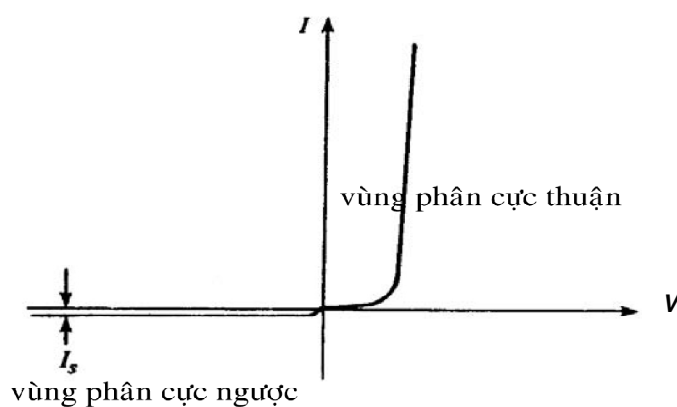
I_S (I_0): dòng ngược bão hòa (A)

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

V_T : điện thế nhiệt (V)

41

Đặc tuyến Vôn-Ampe



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

42

1.6 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°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.

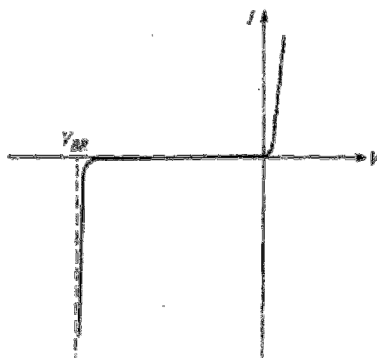
43

- **Đánh thủng về nhiệt** thường gây ra hậu quả tai hại, **phá hỏng vĩnh viễn** đặc tính chỉnh lưu của chuyển tiếp P-N

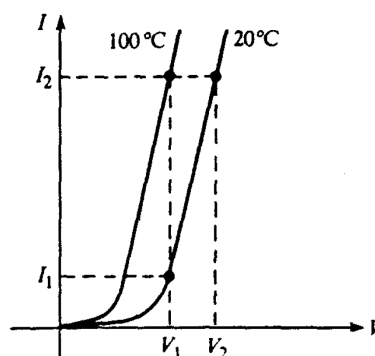
- **Đánh thủng về điện**, nếu có biện pháp hạn chế dòng điện ngược sao cho công suất tiêu tán chưa vượt quá giá trị cực đại cho phép thì chuyển tiếp P-N vẫn có thể **phục hồi** đặc tính chỉnh lưu của mình

44

1.6 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.

45

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

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

$$\text{Cho } m = 1 \Rightarrow I = 0.283 \text{ mA}$$

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

Khi nhiệt độ thay đổi từ 20°C đến 100°C, dòng bão hòa I_S được nhân đôi 8 lần, nghĩa là I_S tại 100°C gấp 256 lần I_S tại 20°C:

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

46