



CHƯƠNG 2.

CHUYỂN TIẾP P-N

DIODE BÁN DẪN

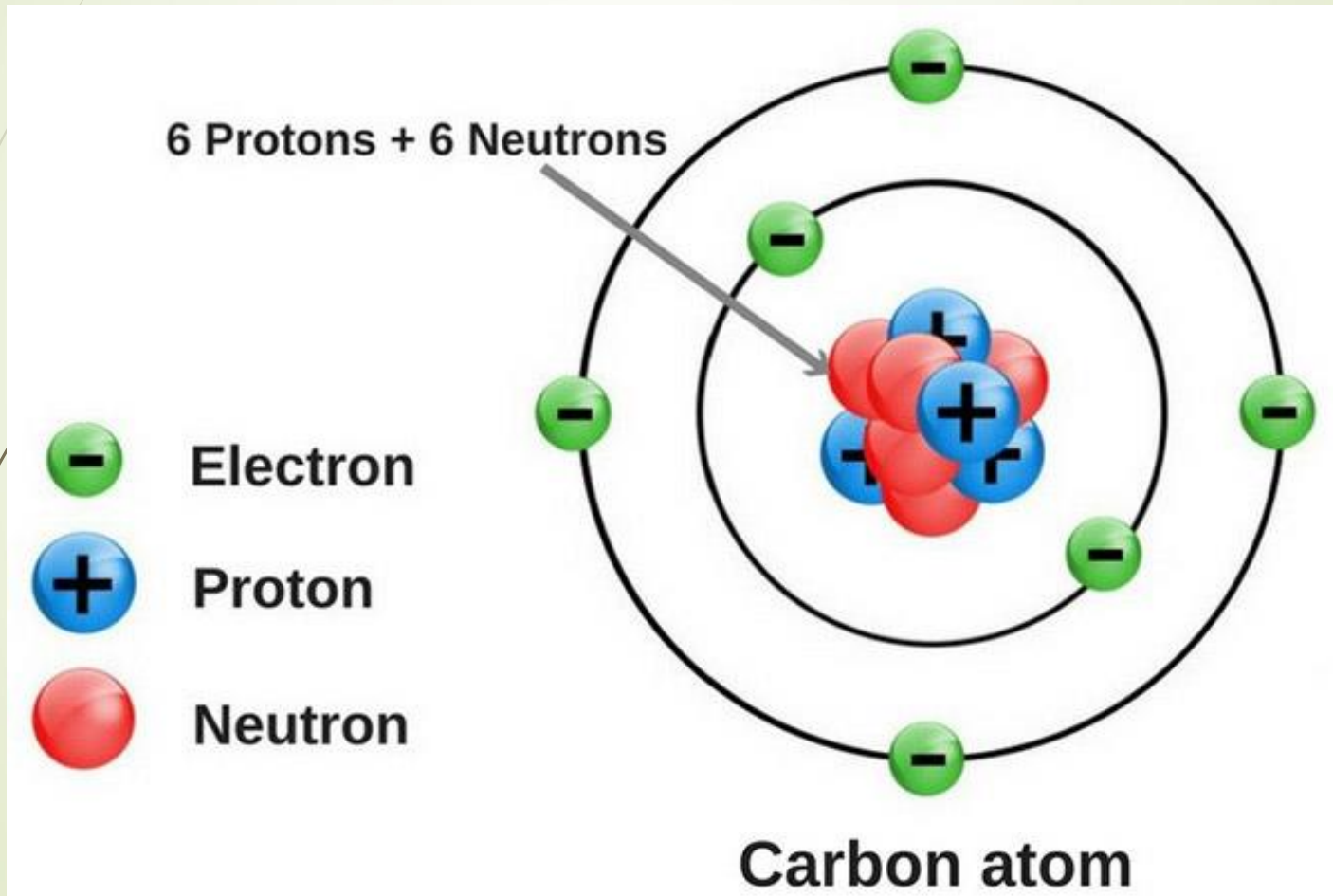
Giảng viên: Phan T. Thanh Huyền

Khoa Điện tử - Viễn thông

NỘI DUNG

- ❖ SƠ LƯỢC CẤU TRÚC CỦA NGUYÊN TỬ
- ❖ CẤU TRÚC VÙNG NĂNG LƯỢNG
- ❖ CHẤT BÁN DẪN
- ❖ CHUYỂN TIẾP P - N
- ❖ DIODE BÁN DẪN

SƠ LƯỢC CẤU TRÚC CỦA NGUYÊN TỬ



SƠ LƯỢC CẤU TRÚC CỦA NGUYÊN TỬ

❖ Cấu tạo nguyên tử:

✓ **Vỏ nguyên tử:** gồm điện tử (electron):

$$m_e = 9,1094.10^{-31}\text{kg}; q_e = -1,602.10^{-19}\text{C}.$$

✓ **Hạt nhân :** gồm proton và notron

– Proton (p): $m_p = 1,6726.10^{-27}\text{kg}; q_p = 1,602.10^{-19}\text{C}.$

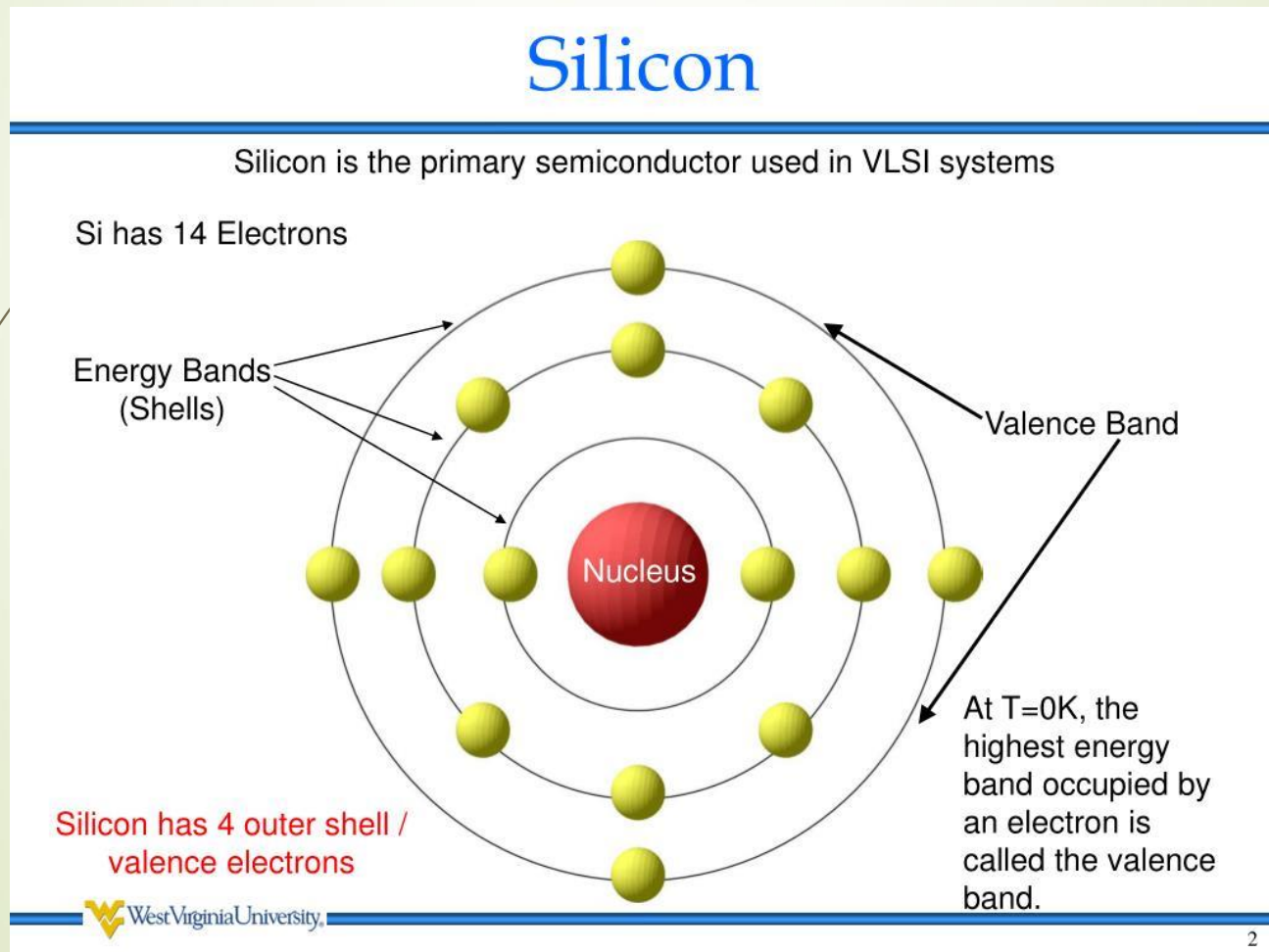
– Notron (n): $m_n = 1,6748.10^{-27}\text{kg}; q_n = 0.$

❖ Nguyên tử trung hòa về điện.

❖ Khối lượng của nguyên tử coi như bằng khối lượng của hạt nhân.

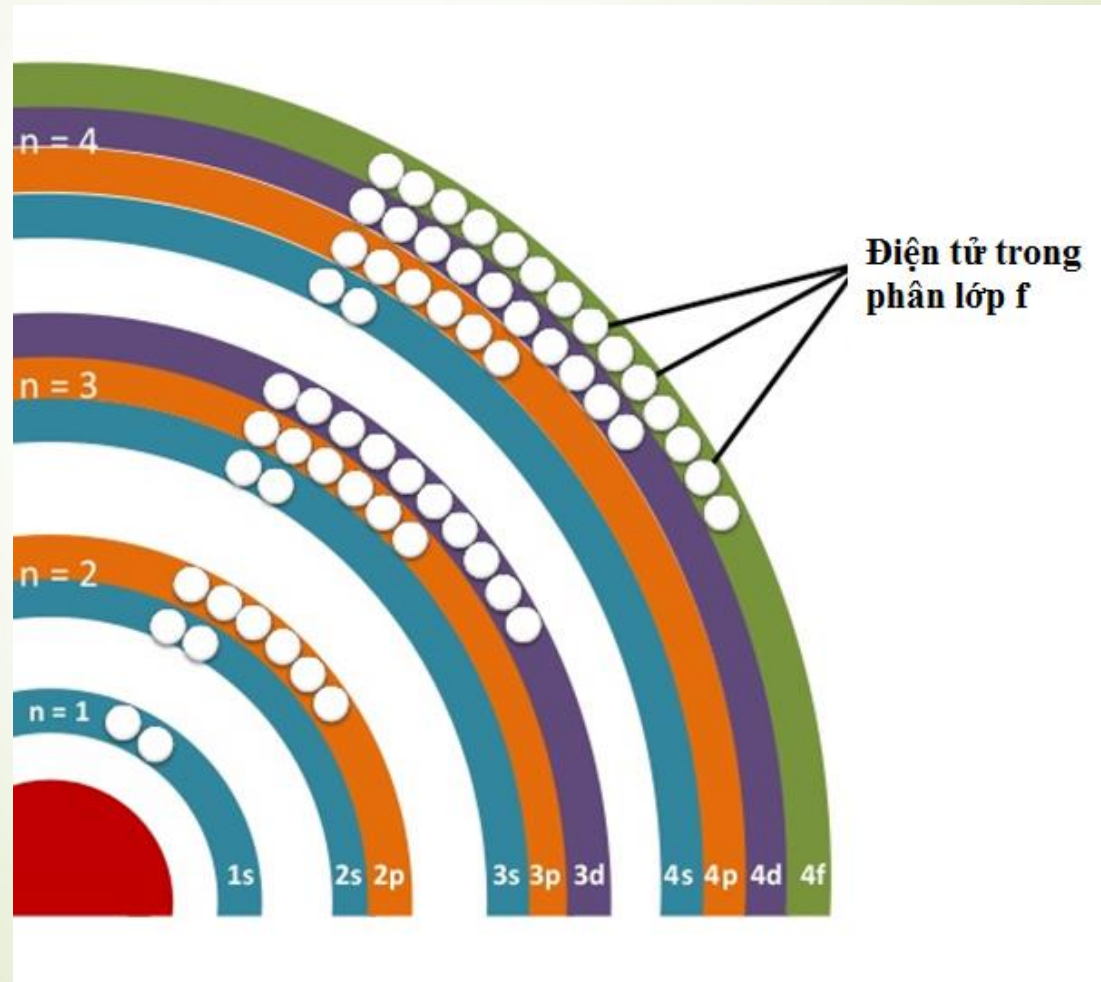
SƠ LƯỢC CẤU TRÚC CỦA NGUYÊN TỬ

❖ Sự phân bố của điện tử trong nguyên tử:



SƠ LƯỢC CẤU TRÚC CỦA NGUYÊN TỬ

❖ Sự phân bố của điện tử trong nguyên tử:

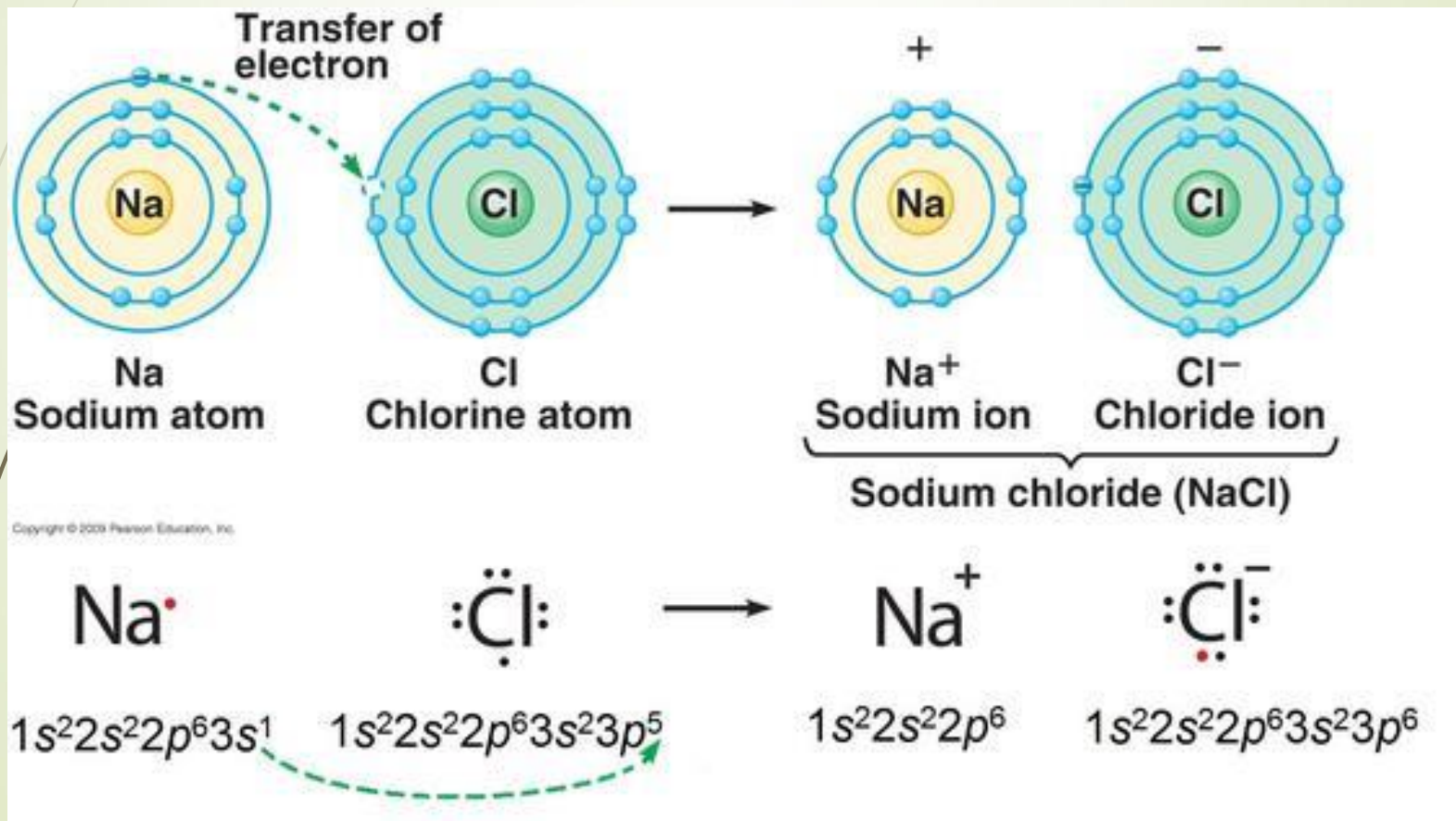


SƠ LƯỢC CẤU TRÚC CỦA NGUYÊN TỬ

- ❖ Sự phân bố của điện tử trong nguyên tử:
- ✓ Sắp xếp thành từng **lớp** quanh hạt nhân
- ✓ Các lớp được đánh số thứ tự (n) từ hạt nhân ra ngoài
- ✓ Mỗi lớp chia thành các **phân lớp** (s, p, d, f...)
- ✓ **Điện tử hóa trị:** nằm ở lớp ngoài cùng của nguyên tử

SƠ LƯỢC CẤU TRÚC CỦA NGUYÊN TỬ

❖ Đặc điểm của điện tử hóa trị:

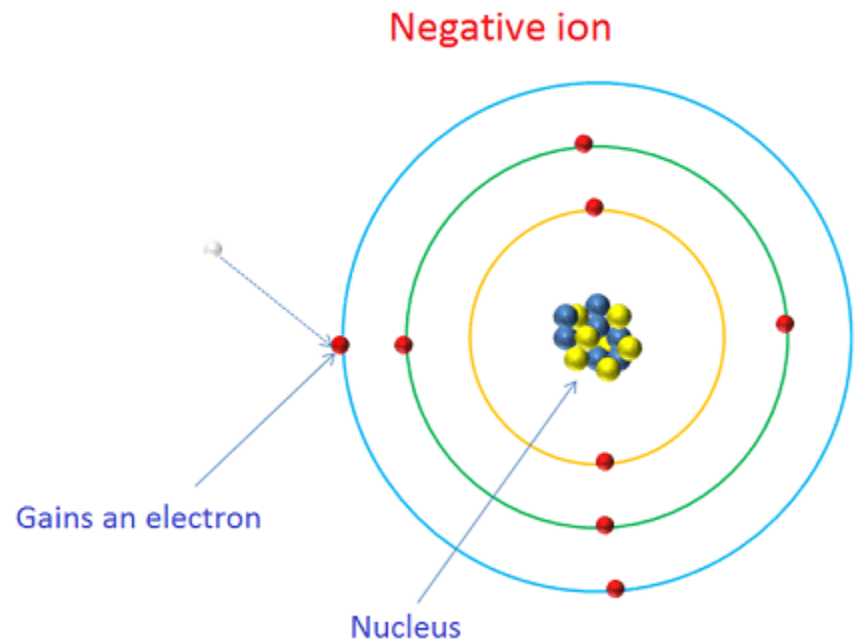
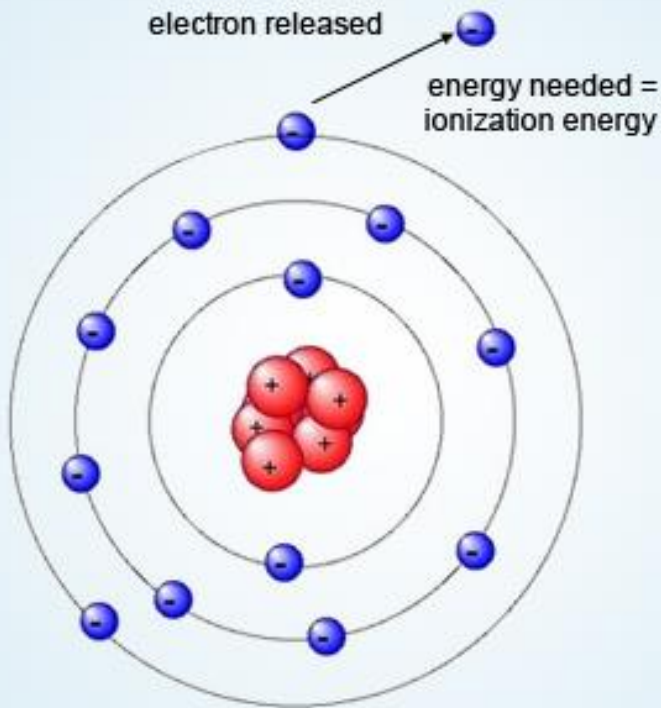


SƠ LƯỢC CẤU TRÚC CỦA NGUYÊN TỬ

- ❖ Đặc điểm của điện tử hóa trị:
 - ✓ Có thể tham gia tạo liên kết giữa các nguyên tử.
 - ✓ Có thể trở thành điện tử/electron tự do
- Nguyên tử có thể nhận hoặc cho điện tử (ion hóa):
 - ✓ Ion dương: nguyên tử bị mất điện tử.
 - ✓ Ion âm: nguyên tử nhận thêm điện tử.

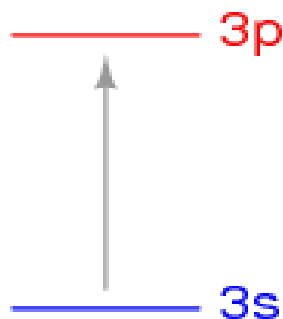
SƠ LƯỢC CẤU TRÚC CỦA NGUYÊN TỬ

❖ Sự ion hóa nguyên tử:



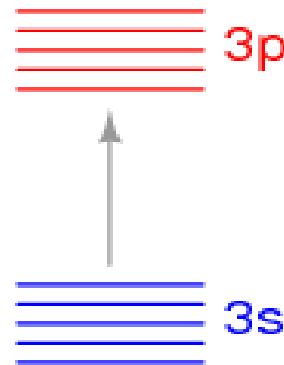
CẤU TRÚC VÙNG NĂNG LƯỢNG

Significant leap required for an electron to move to the next higher level



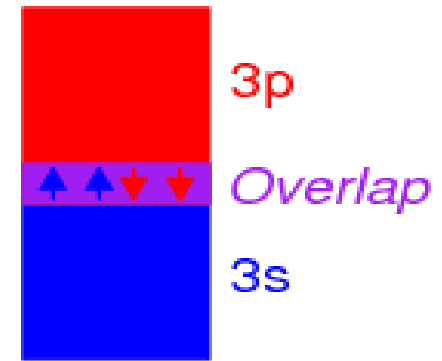
Single atom

Shorter leap required



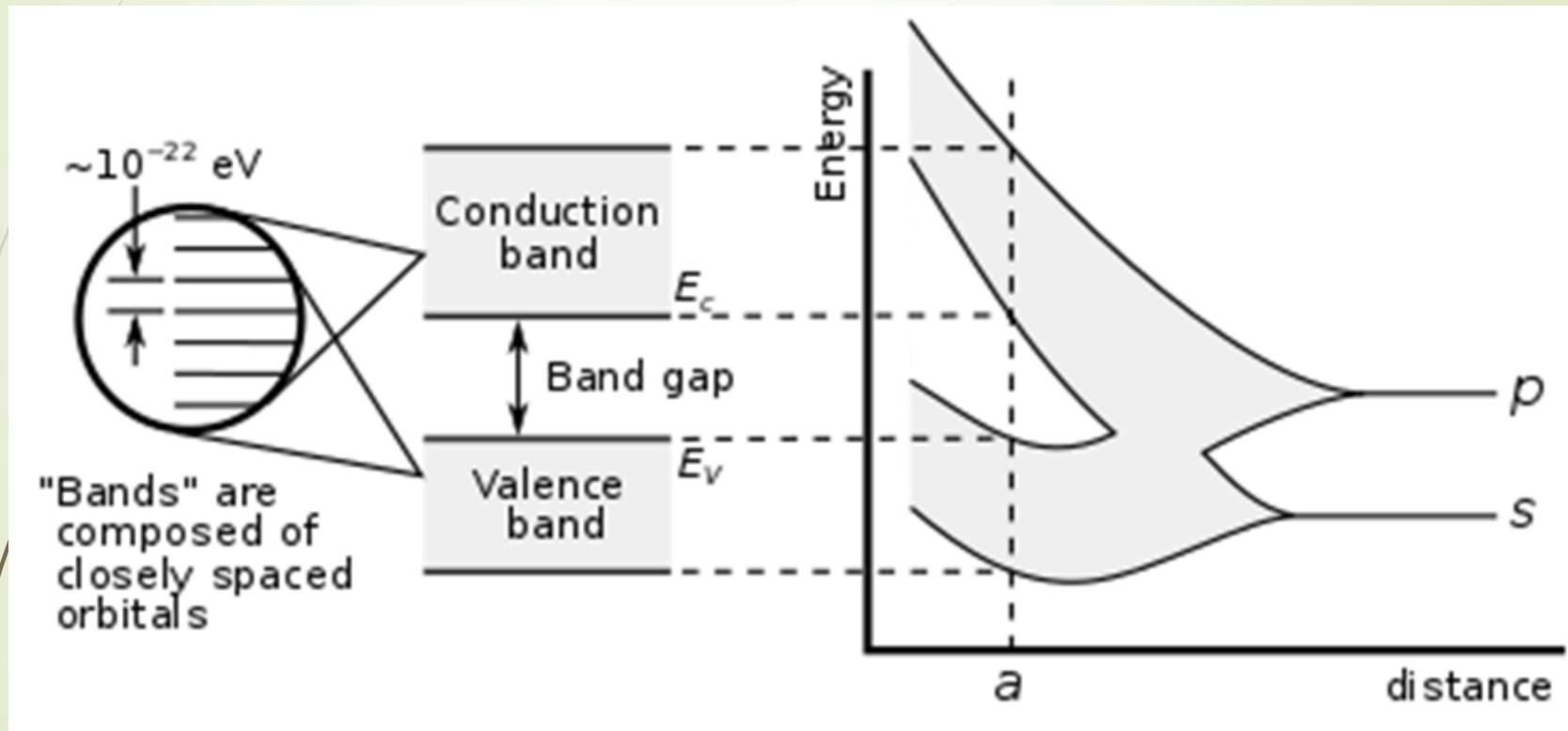
Five atoms
in close proximity

Overlap permits electrons to freely drift between bands



Multitudes of atoms
in close proximity

CẤU TRÚC VÙNG NĂNG LƯỢNG



CẤU TRÚC VÙNG NĂNG LƯỢNG

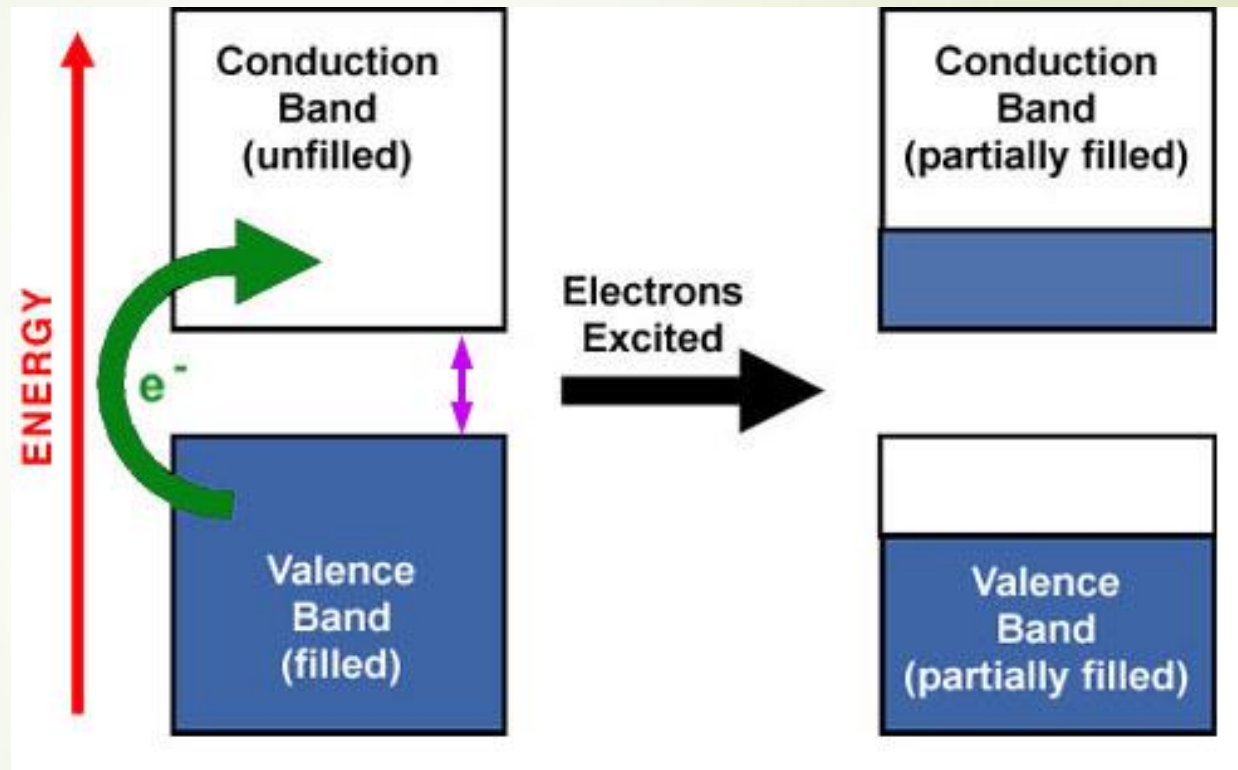
- ❖ Lý thuyết vùng năng lượng: Xét 2 trạng thái của nguyên tử:
 - ✓ Trạng thái độc lập: điện tử nằm trên các mức năng lượng gián đoạn (*trạng thái dừng*) với năng lượng E_n :

$$E_n = \frac{-13,6}{n^2} (\text{eV}) \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

- ✓ Trạng thái liên kết: Giữa các nguyên tử có sự tương tác
→ hình thành vùng năng lượng.

CẤU TRÚC VÙNG NĂNG LƯỢNG

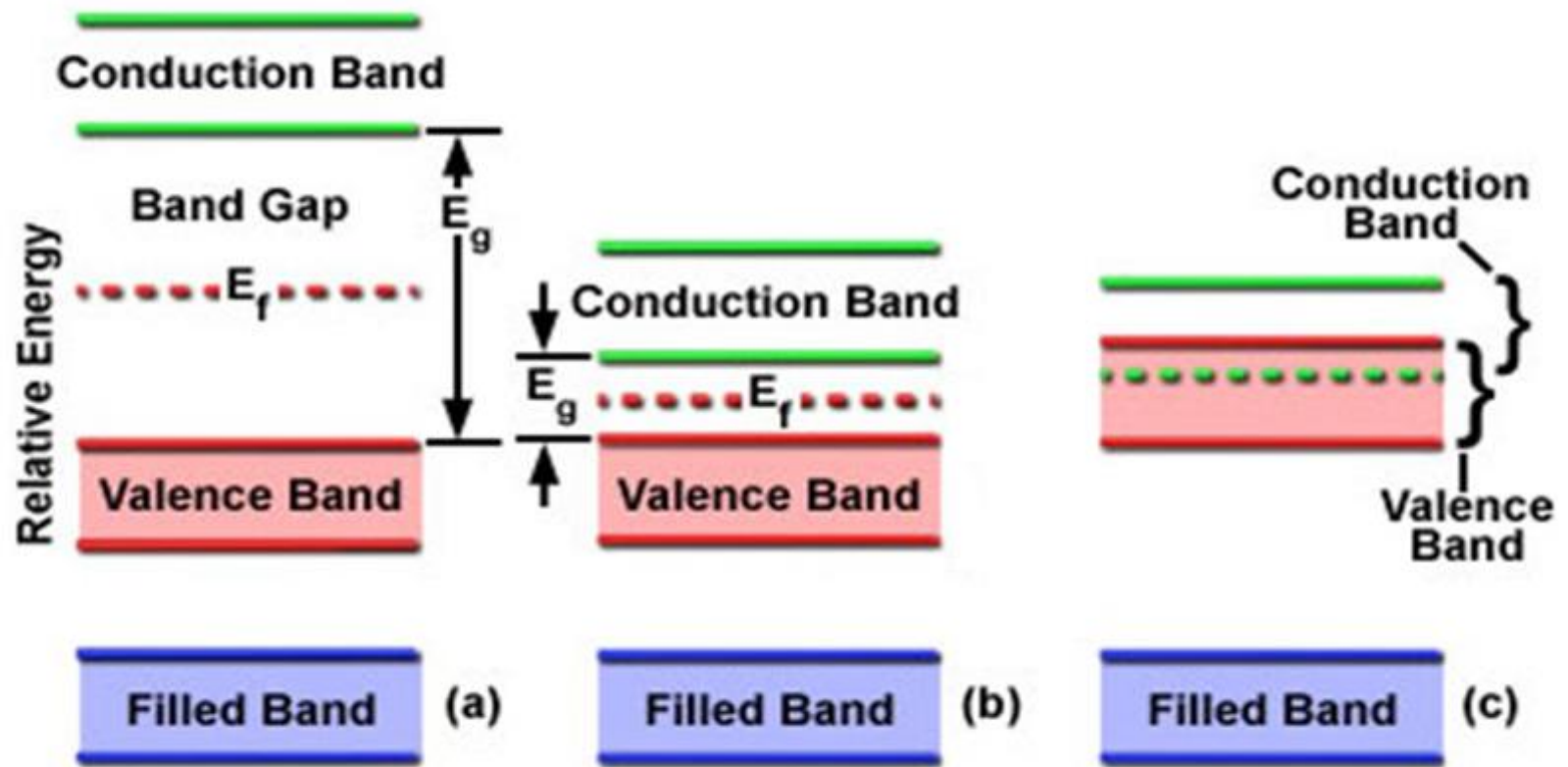
- ❖ 3 vùng chính:
- ✓ Vùng hóa trị
- ✓ Vùng dẫn
- ✓ Vùng cấm



- ❖ Điện tử muốn tham gia dẫn điện thì phải là hạt tự do → phải nằm trên vùng dẫn.

CẤU TRÚC VÙNG NĂNG LƯỢNG

- ❖ Phân loại vật liệu theo độ rộng vùng cấm:



Chất cách điện

Chất bán dẫn

Chất dẫn điện

CHẤT BÁN DẪN

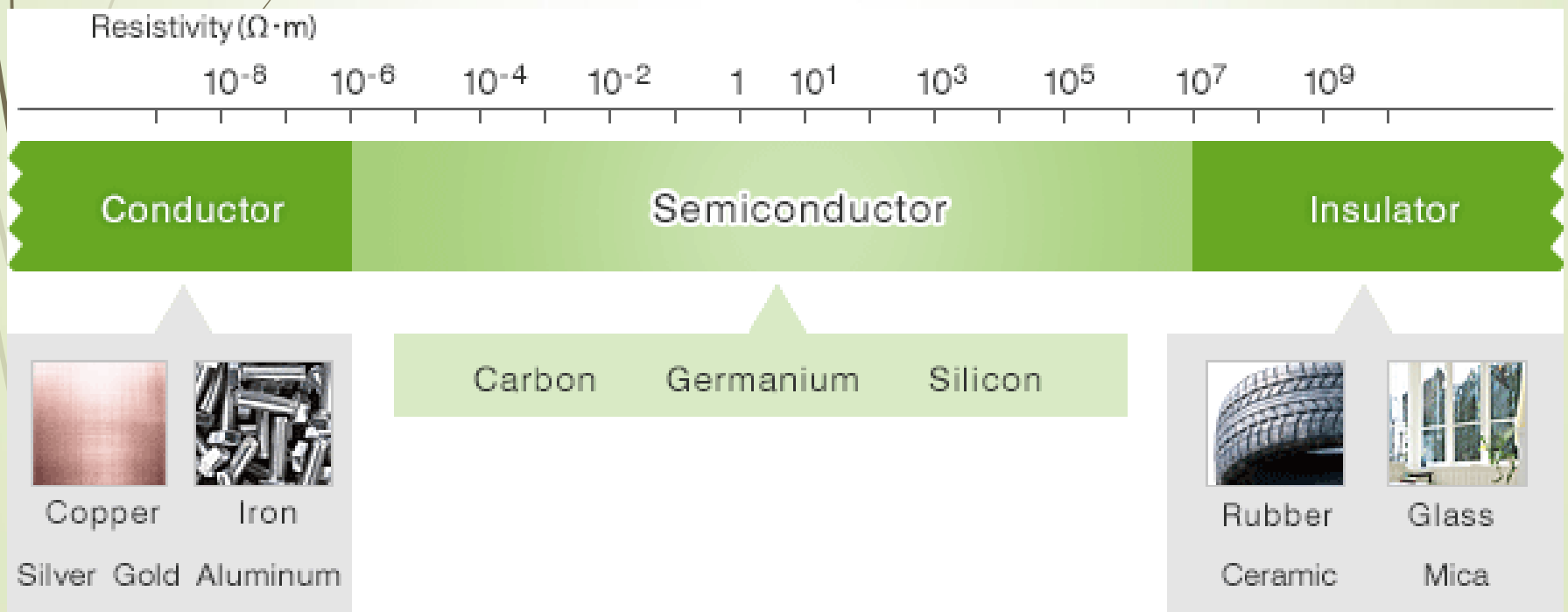
CHẤT BÁN DẪN THUẦN

CHẤT BÁN DẪN TẠP N

CHẤT BÁN DẪN TẠP P

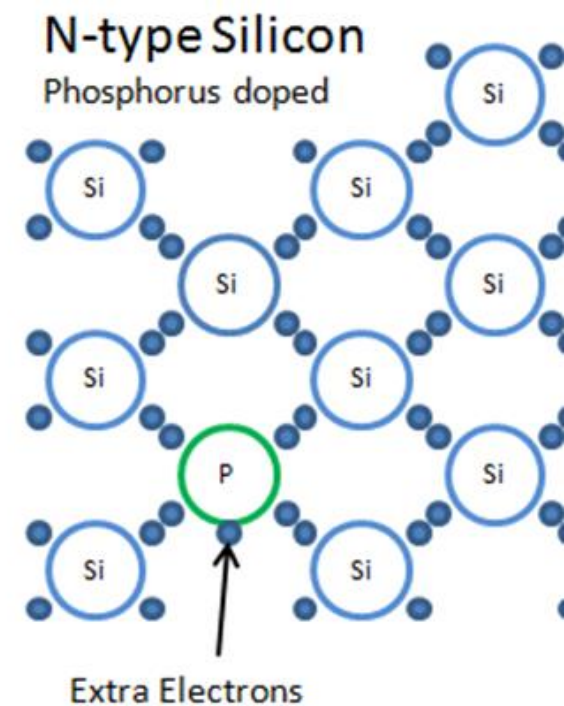
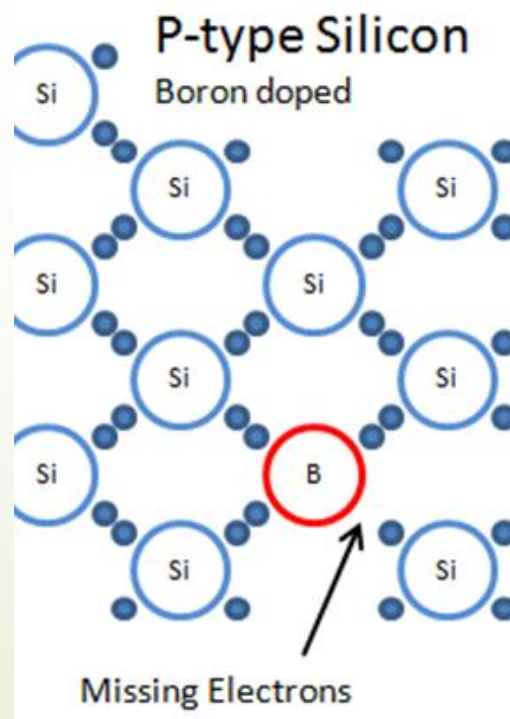
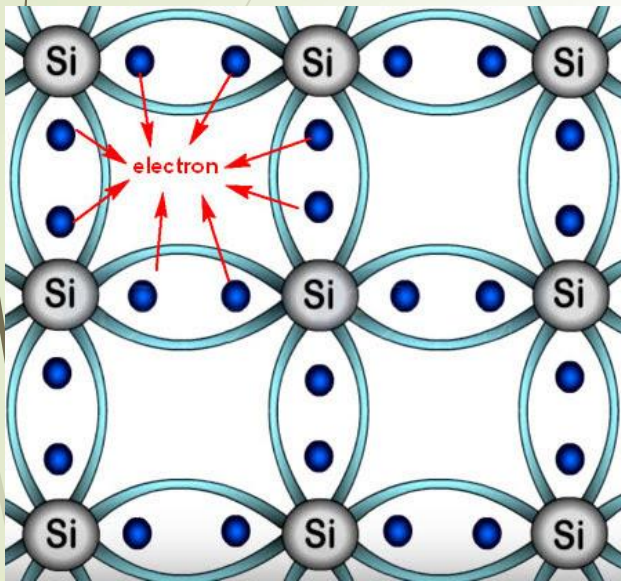
CHẤT BÁN DẪN

- ❖ Chất bán dẫn (semiconductor) là những chất mà khả năng dẫn điện nằm trung gian giữa chất dẫn điện (conductor) và chất cách điện (insulator).



CHẤT BÁN DẪN

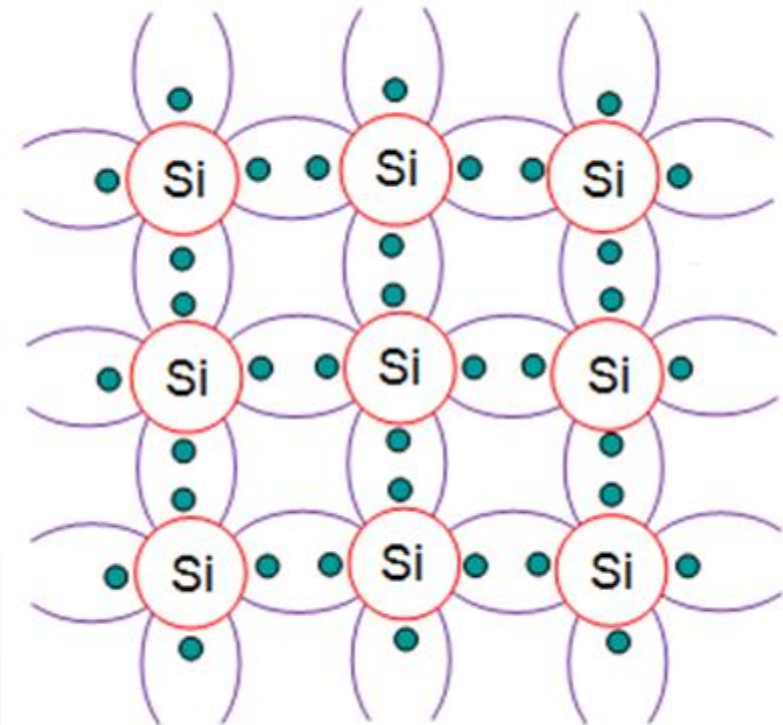
❖ Phân loại theo thành phần cấu tạo mạng tinh thể: i, n, p.



1. CHẤT BÁN DẪN THUẦN/TINH KHIẾT

(LOẠI I)

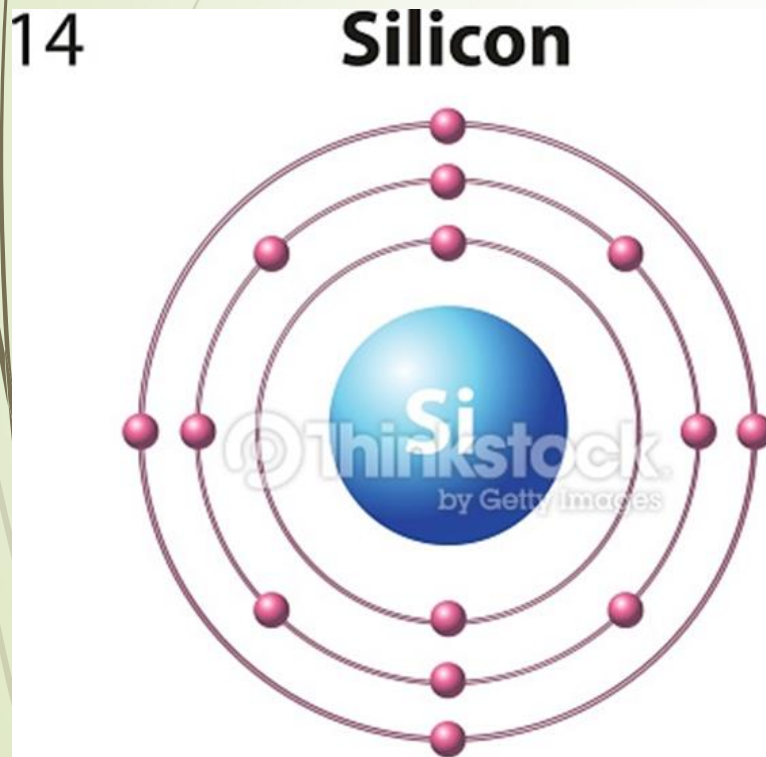
- ❖ Là chất bán dẫn mà trong thành phần mạng tinh thể không có nguyên tử lạ hoặc sai hỏng mạng.
- ❖ Hai bán dẫn thuần điển hình: Silic (Si) và Germani (Ge)



Mạng tinh thể của Silic

1. CHẤT BÁN DẪN THUẦN

❖ Cấu trúc mạng tinh thể:



Atomic mass: 28.085
Electron configuration: 2, 8, 4



Atomic mass: 72.63
Electron configuration: 2, 8, 18, 4

1. CHẤT BÁN DẪN THUẦN

❖ Cấu trúc mạng tinh thể:

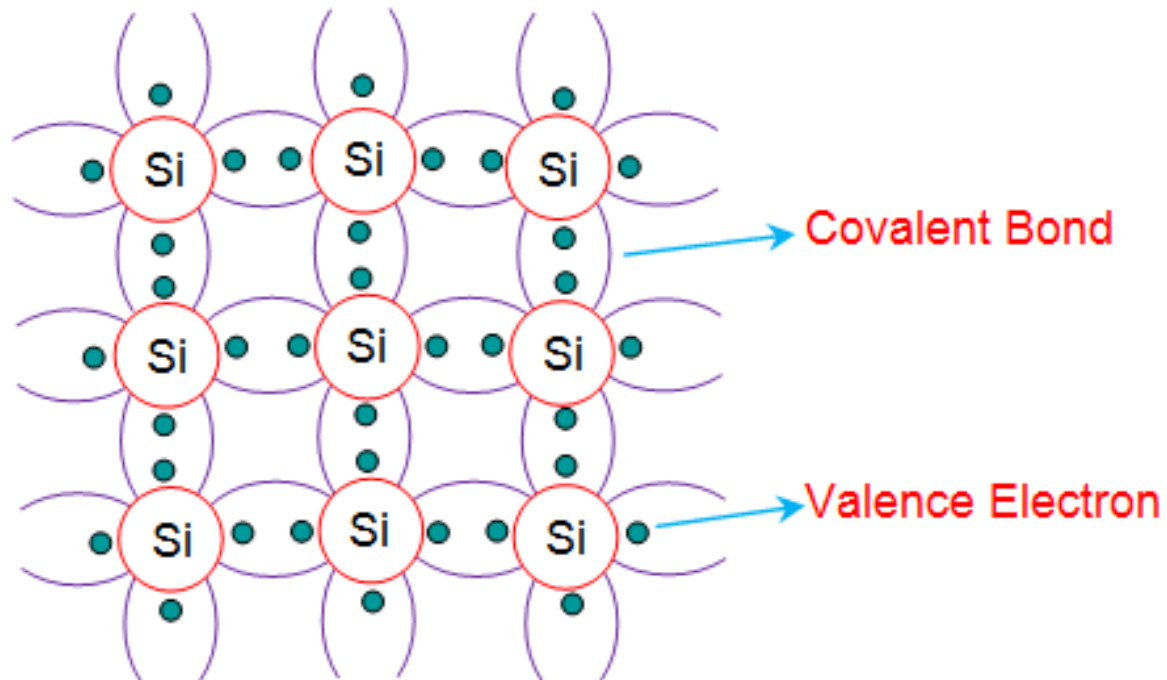
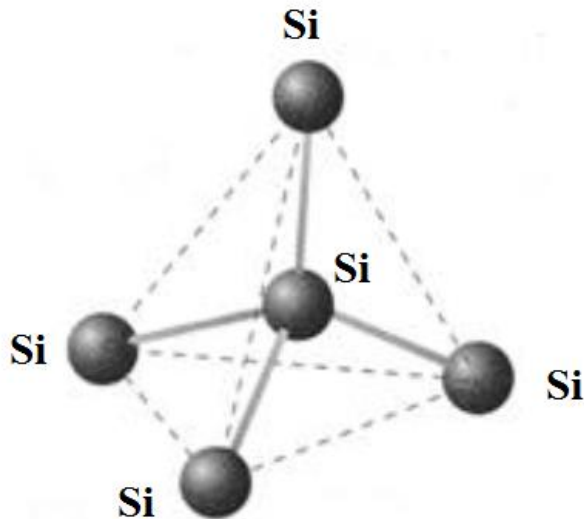


Figure 1 2-D Crystal Lattice of Silicon

1. CHẤT BÁN DẪN THUẦN

❖ Cấu trúc mạng tinh thể:

- ✓ Các nguyên tố bán dẫn đều có 4 điện tử hóa trị.
- ✓ Trong mạng tinh thể, mỗi nguyên tử liên kết với 4 nguyên tử khác ở gần nó nhất bằng liên kết cộng hóa trị.
- ✓ Ở nhiệt độ thấp, tất cả điện tử hóa trị đều nằm trong các mối liên kết cộng hóa trị bền vững nên trong chất bán dẫn không có điện tử tự do.

➔ Ở nhiệt độ thấp, chất bán dẫn thuần không dẫn điện.

1. CHẤT BÁN DẪN THUẦN

❖ Cơ chế sinh hạt tải điện:

- ✓ Phá vỡ liên kết cộng hóa trị giữa các nguyên tử khi mạng tinh thể hấp thụ năng lượng từ nguồn tác động ngoài làm phát sinh cặp điện tử tự do - lỗ trống.
- ✓ Lỗ trống là môi liên kết bị thiếu điện tử, có điện tích dương ($q_h = +1e$), “chuyển động” ngược chiều với điện tử.

➔ Số điện tử tự do luôn bằng số lỗ trống.

Trong chất bán dẫn có hạt tải điện tự do nên ở nhiệt độ cao, chất bán dẫn thuần trở thành chất dẫn điện.

1. CHẤT BÁN DẪN THUẦN

❖ Cơ chế sinh hạt tải điện:

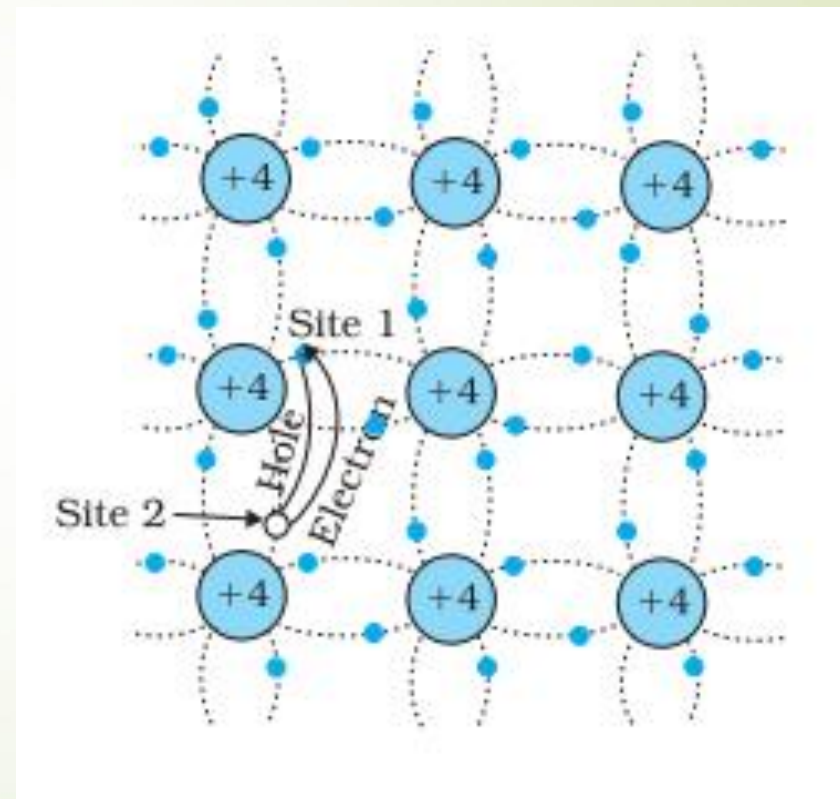
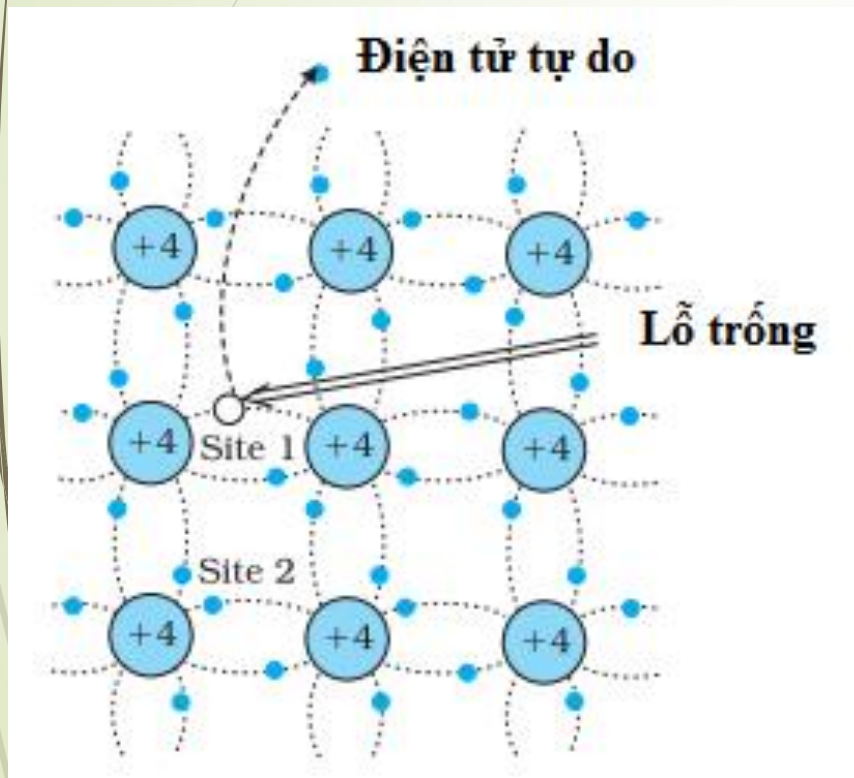
✓ Hai quá trình xảy ra trong chất bán dẫn:

- Quá trình phát xạ hạt tải điện.
- Quá trình tái hợp hạt tải điện.

✓ Chuyển động của lỗ trống được hiểu là do điện tử từ môi liên kết đầy đủ chuyển đến lấp đầy môi liên kết khuyết thiếu thì sẽ làm xuất hiện lỗ trống ở vị trí ban đầu của điện tử đó.

1. CHẤT BÁN DẪN THUẦN

❖ Cơ chế sinh hạt tải điện:

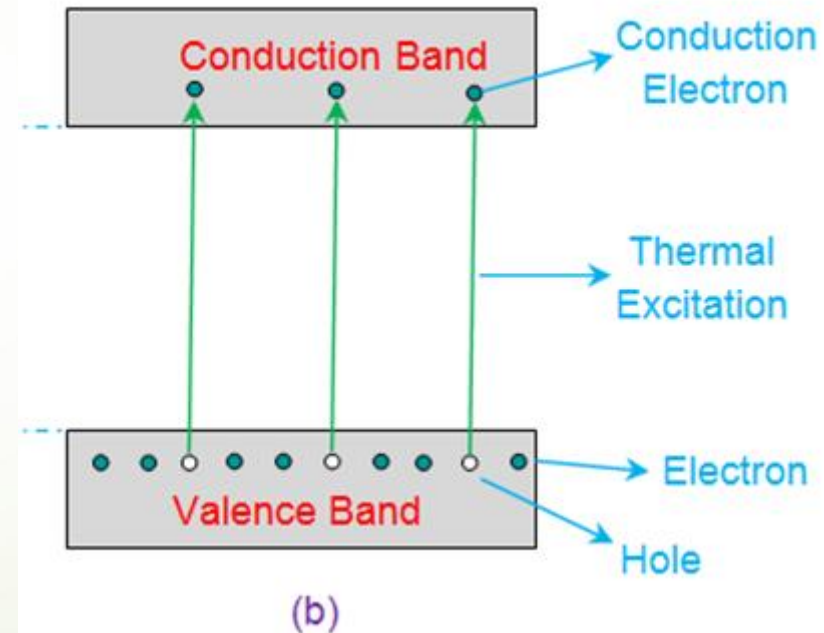
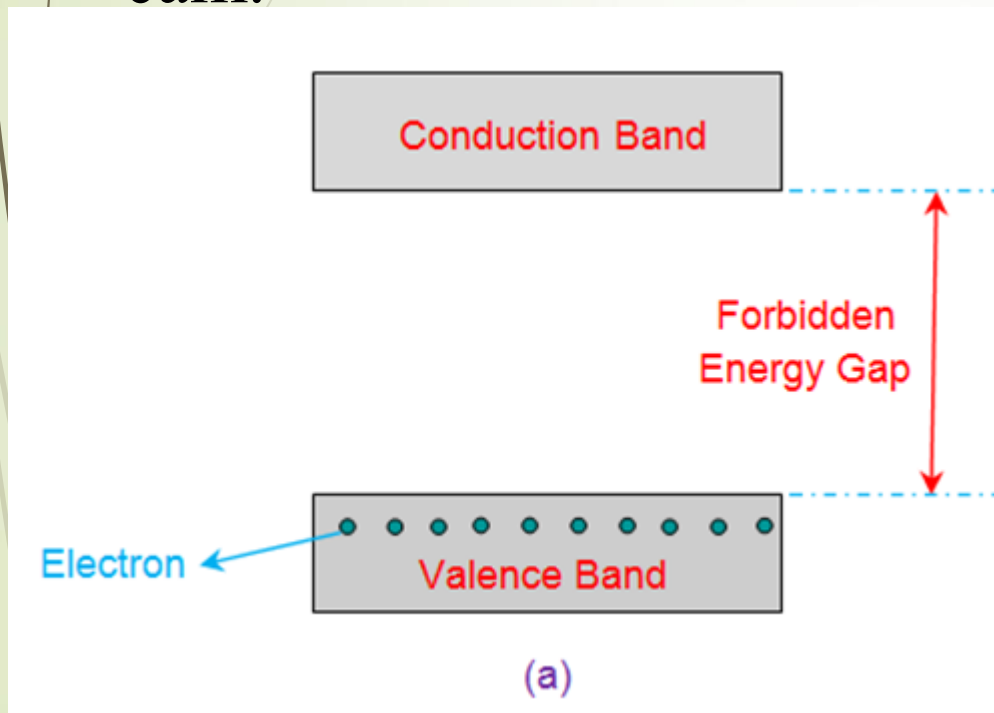


Sự hình thành hạt tải điện

Sự chuyển động của lỗ trống
trong mạng tinh thể

1. CHẤT BÁN DẪN THUẦN

- ❖ Cấu trúc vùng năng lượng: Mức Fecmi ở giữa vùng cấm.

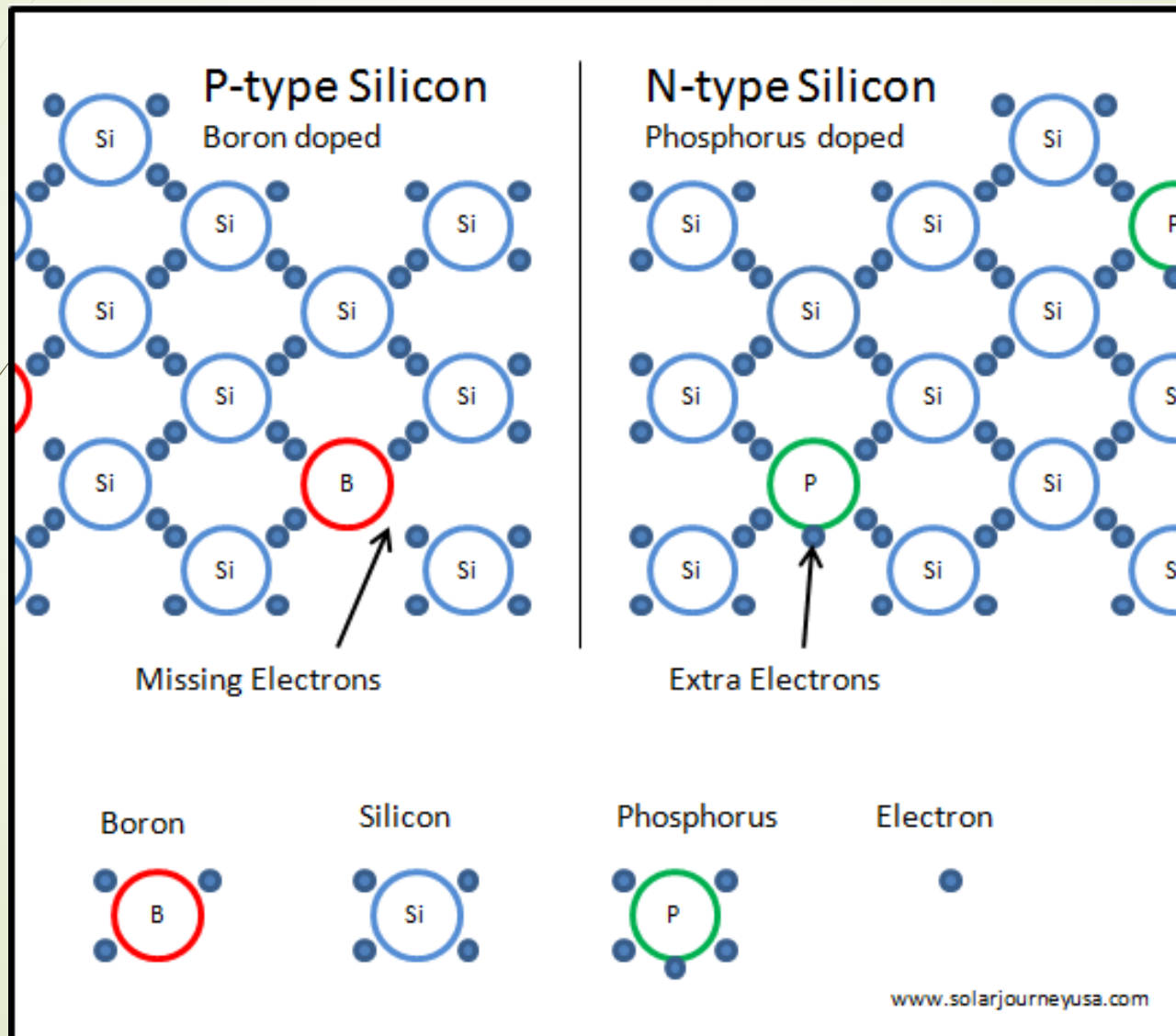


Giải đồ vùng năng lượng của bán dẫn thuần

a) Tại $T = 0K$

b) Tại $T > 0K$

2. CHẤT BÁN DẪN TẠP

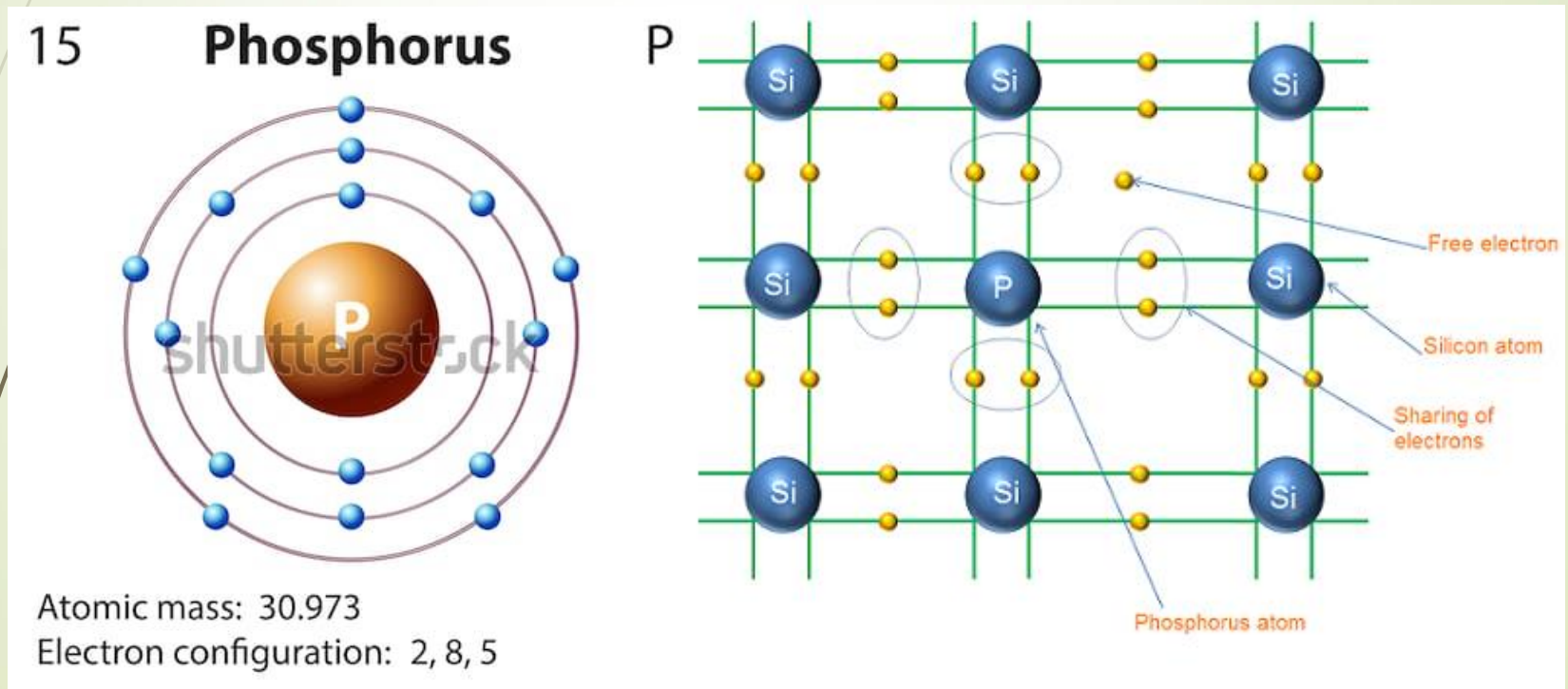


2. CHẤT BÁN DẪN TẠP

- ❖ **Định nghĩa:** Chất bán dẫn tạp là loại bán dẫn mà trong thành phần cấu tạo, ngoài nguyên tử của bán dẫn thuần (Si hoặc Ge) còn có nguyên tử của chất khác (tạp chất).
- ❖ **Hai loại bán dẫn tạp:**
 - ✓ Bán dẫn tạp loại n
 - ✓ Bán dẫn tạp loại p

2A. BÁN DẪN TẠP LOẠI N

- ❖ Pha thêm tạp chất là nguyên tố nhóm V vào bán dẫn thuần Si hoặc Ge \rightarrow bán dẫn tạp loại n.



Nguyên tử tạp nhóm V

Mạng tinh thể của bán dẫn tạp loại n

2A. BÁN DẪN TẠP LOẠI N

❖ Cấu trúc mạng tinh thể:

- ✓ Mỗi nguyên tử tạp nhóm V (ví dụ: P) chiếm 1 nút mạng tinh thể.
- ✓ Mỗi nguyên tử tạp tạo 4 liên kết cộng hóa trị với nguyên tử của bán dẫn thuần (Si).
- ✓ Điện tử hóa trị thứ 5 của nguyên tử tạp chất không nằm trong mỗi liên kết nào nên có xu hướng tách ra khỏi nguyên tử để trở thành hạt tự do.

2A. BÁN DẪN TẠP LOẠI N

❖ Cơ chế sinh hạt tải điện:

- ✓ Tách điện tử hóa trị thứ 5 không bị ràng buộc bởi mối liên kết cộng hóa trị ra khỏi nguyên tử tạp chất, tạo ra điện tử tự do và ion dương tạp chất, nằm cố định tại nút mạng.
- ✓ Phá vỡ liên kết cộng hóa trị của bán dẫn nền (Si/Ge) → sinh cặp lỗ trống và điện tử tự do.

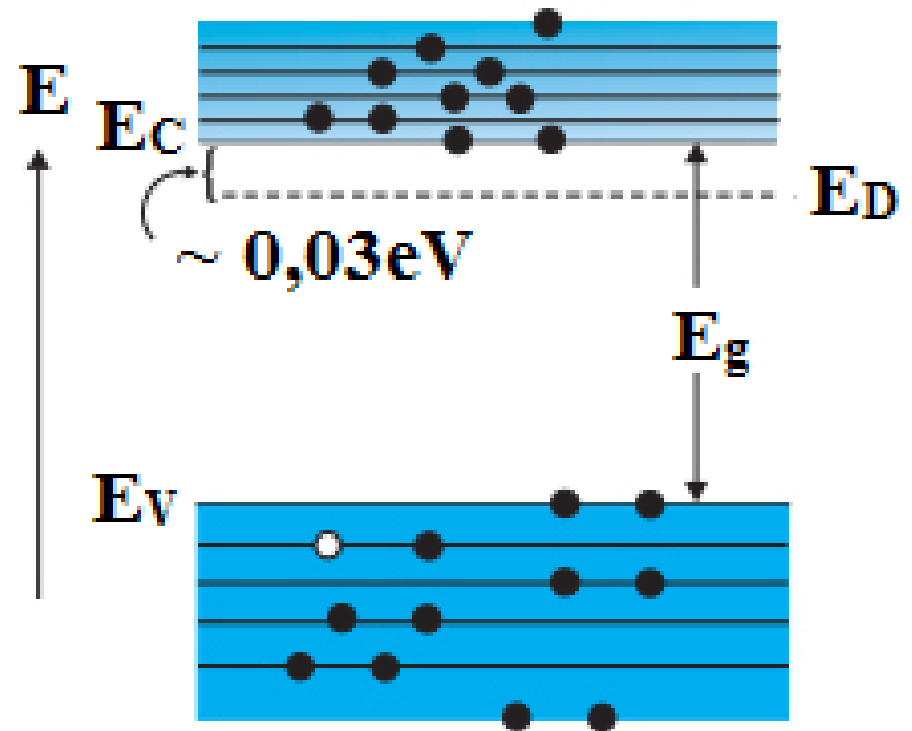
2A. BÁN DẪN TẠP LOẠI N

❖ Các kết quả:

- ✓ Số điện tử tự do (hạt tải điện âm) nhiều hơn số lỗ trống (hạt tải điện dương) → bán dẫn tạp loại n (negative semiconductor).
- ✓ Lỗ trống là hạt thiếu số/hạt không cơ bản, điện tử là hạt đa số/hạt cơ bản.
- ✓ Trong chất bán dẫn xuất hiện thêm ion dương tạp chất nằm cố định tại nút mạng.

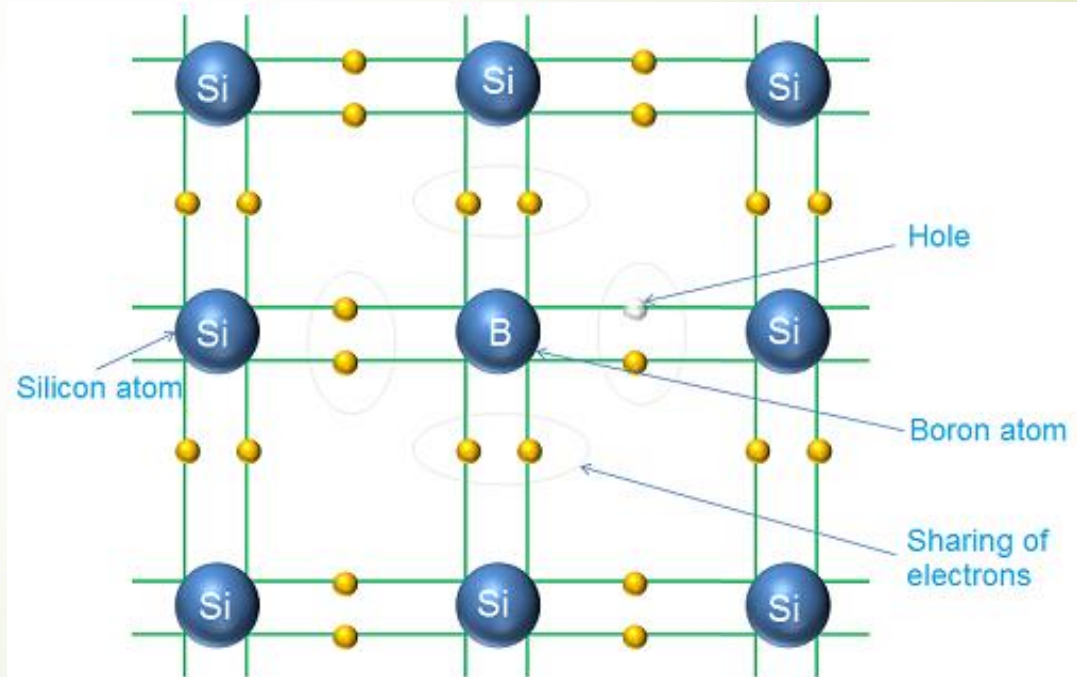
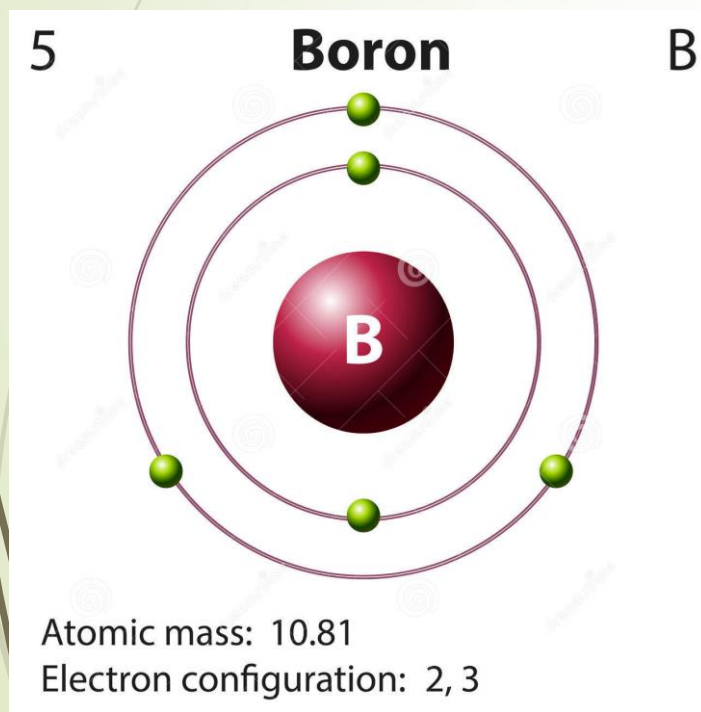
2A. BÁN DẪN TẠP LOẠI N

- ❖ Cấu trúc vùng năng lượng:
- ✓ Tạp chất nhóm V gọi là tạp Donor/tạp cho điện tử.
- ✓ E_D : Mức năng lượng tạp chất.
- ✓ E_F (mức Fermi): giữa mức E_D và E_C



2B. BÁN DẪN TẠP LOẠI P

- ❖ Pha thêm tạp chất là nguyên tố nhóm III vào bán dẫn thuần Si hoặc Ge \rightarrow bán dẫn tạp loại p.



Nguyên tử tạp nhóm III

Mạng tinh thể của bán dẫn tạp loại p

2B. BÁN DẪN TẠP LOẠI P

❖ Cấu trúc mạng tinh thể:

- ✓ Mỗi nguyên tử tạp nhóm III (ví dụ: B) chiếm 1 nút mạng tinh thể.
- ✓ Mỗi nguyên tử tạp có 3 điện tử hóa trị nên tạo 3 liên kết cộng hóa trị đầy đủ với nguyên tử của bán dẫn thuần (Si).
- ✓ Liên kết cộng hóa trị thứ 4 thiếu điện tử nên có xu hướng nhận điện tử để hoàn thiện.

2B. BÁN DẪN TẠP LOẠI P

- ❖ Cơ chế sinh hạt tải điện:
- ✓ Nguyên tử tạp lấy điện tử của một mối liên kết đầy đủ $\text{Si-Si} \rightarrow$ sinh ra lỗ trống và ion âm tạp chất định xứ.
- ✓ Phá vỡ liên kết cộng hóa trị $\text{Si-Si} \rightarrow$ sinh cặp lỗ trống và điện tử tự do.

2B. BÁN DẪN TẠP LOẠI P

- ❖ Quá trình sinh hạt tải dẫn đến:
 - ✓ Số lỗ trống (hạt tải điện dương) nhiều hơn số điện tử (hạt tải điện âm) \rightarrow bán dẫn tạp loại p (**p**ositive semiconductor).
 - ✓ Lỗ trống là hạt đa số, điện tử là hạt thiểu số.
 - ✓ Trong chất bán dẫn xuất hiện thêm **ion âm tạp chất nằm cố định tại nút mạng**.

2B. BÁN DẪN TẠP LOẠI P

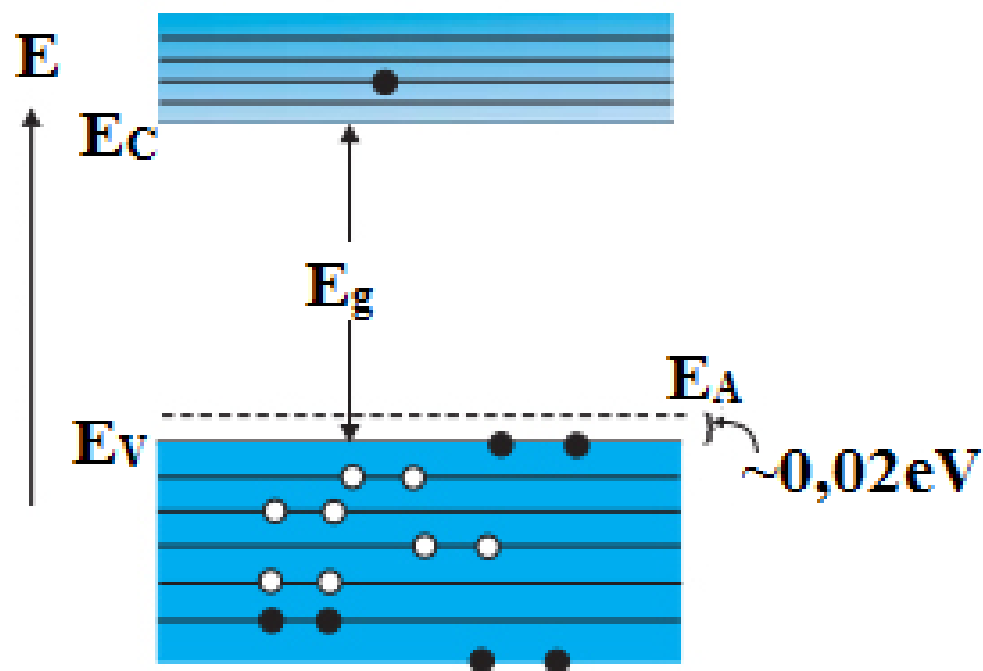
❖ Cấu trúc vùng năng lượng:

✓ E_A : Mức năng lượng tạp chất.

✓ Tạp chất nhóm III gọi là tạp Acceptor/tạp nhận điện tử.

✓ Mức Fermi: giữa mức

E_v và E_c



SO SÁNH BÁN DẪN THUẦN & BÁN DẪN TẠP

BÁN DẪN THUẦN

BÁN DẪN TẠP

Thành phần là nguyên tố nhóm IV, điển hình là Silic và Germani.

Tính dẫn điện kém nên khả năng ứng dụng trong thực tế không cao.

Nồng độ điện tử và nồng độ lỗ trống luôn bằng nhau.

Khả năng sinh hạt tải điện chủ yếu phụ thuộc vào nhiệt độ.

Được chế tạo từ bán dẫn thuần bằng cách pha thêm tạp chất (là nguyên tố nhóm III hoặc V).

Tính dẫn điện tốt hơn so với bán dẫn thuần, ứng dụng nhiều trong thực tế.

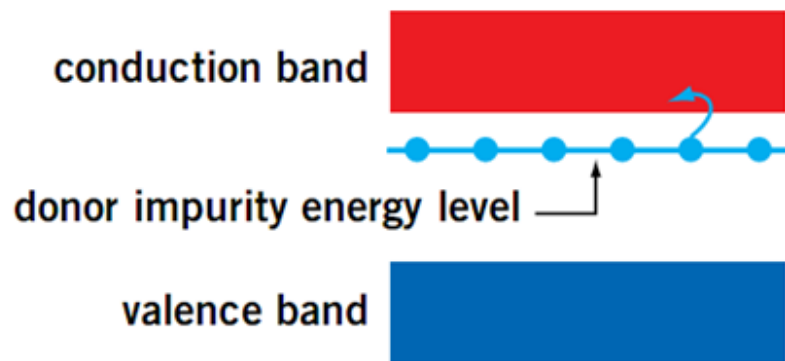
Nồng độ điện tử và nồng độ lỗ trống khác nhau. Trong bán dẫn tạp loại n, điện tử là hạt đa số còn Trong bán dẫn tạp loại p, lỗ trống là hạt đa số.

Khả năng sinh hạt tải điện phụ thuộc vào nhiệt độ và nồng độ pha tạp.

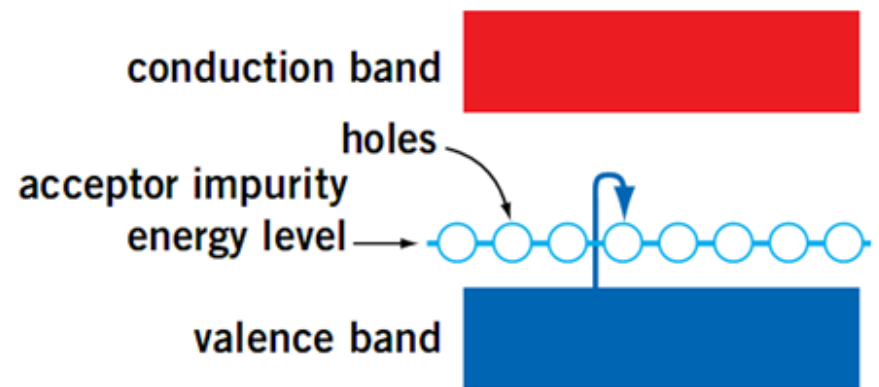
SO SÁNH BÁN DẪN TẠP N VÀ TẠP P

BÁN DẪN TẠP LOẠI N	BÁN DẪN TẠP LOẠI P
Tạp chất cần pha vào bán dẫn thuần là nguyên tố nhóm V.	Tạp chất cần pha vào bán dẫn thuần là nguyên tố nhóm III.
Nguyên tử tạp cung cấp thêm điện tử cho chất bán dẫn (tạp donor).	Nguyên tử tạp cung cấp thêm lỗ trống cho chất bán dẫn (tạp acceptor).
Điện tử là hạt đa số. Lỗ trống là hạt thiểu số.	Lỗ trống là hạt đa số. Điện tử là hạt thiểu số.
Mức năng lượng tạp chất nằm trong vùng cấm và rất gần đáy vùng dẫn.	Mức năng lượng tạp chất nằm trong vùng cấm và rất gần đỉnh vùng hóa trị.

SO SÁNH BÁN DẪN TẠP N VÀ TẠP P



Energy-band diagram of an n-type semiconductor



Energy-band diagram of a p-type semiconductor