



HỌC VIỆN NÔNG NGHIỆP VIỆT NAM
Vietnam National University of Agriculture

Chương 9

Vật liệu điện

Nguyễn Tiến Hiền
Bộ môn Vật lý

Email: nguyentienhien@vnua.edu.vn

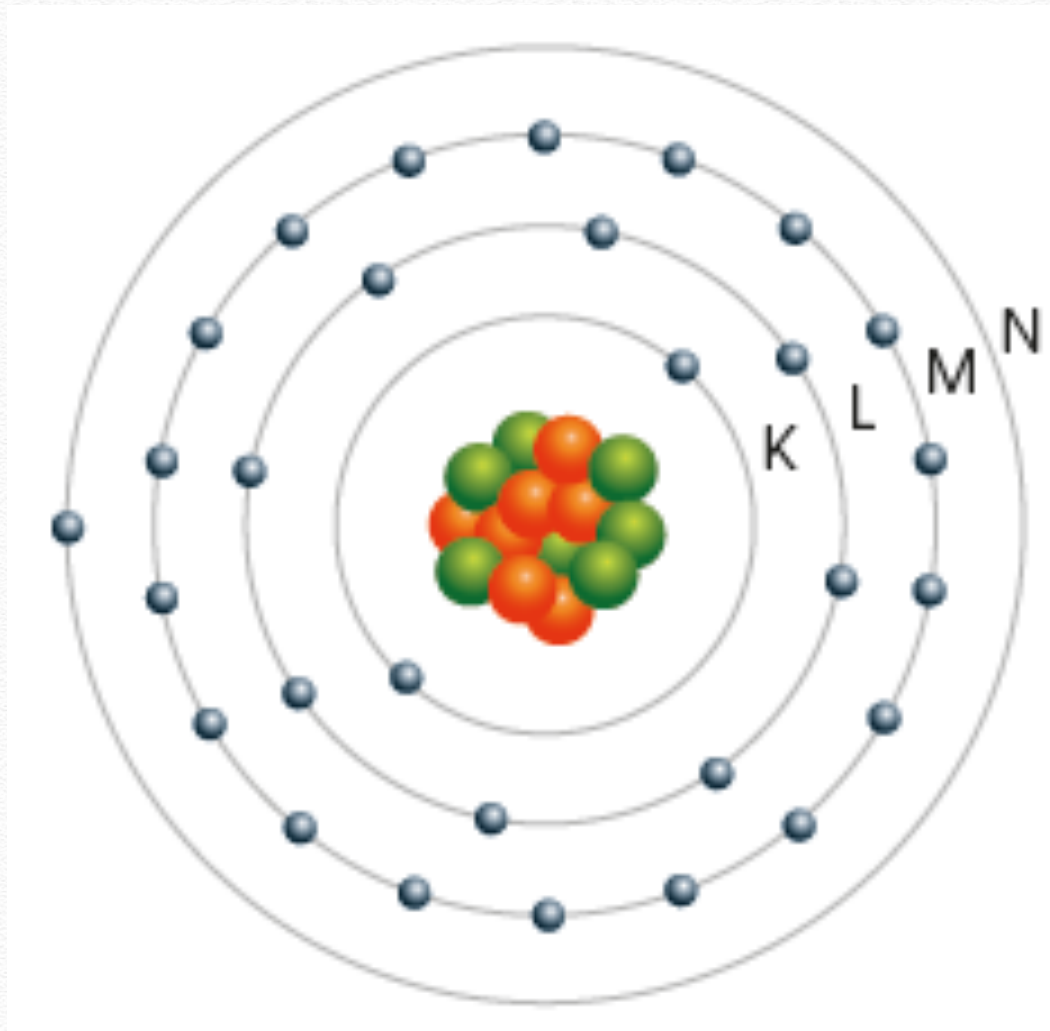
Webpage: <http://fita.vnua.edu.vn/nthien/>

NỘI DUNG CHÍNH

1. Cấu trúc vùng năng lượng
2. Vật liệu dẫn điện
3. Vật liệu cách điện
4. Vật liệu bán dẫn

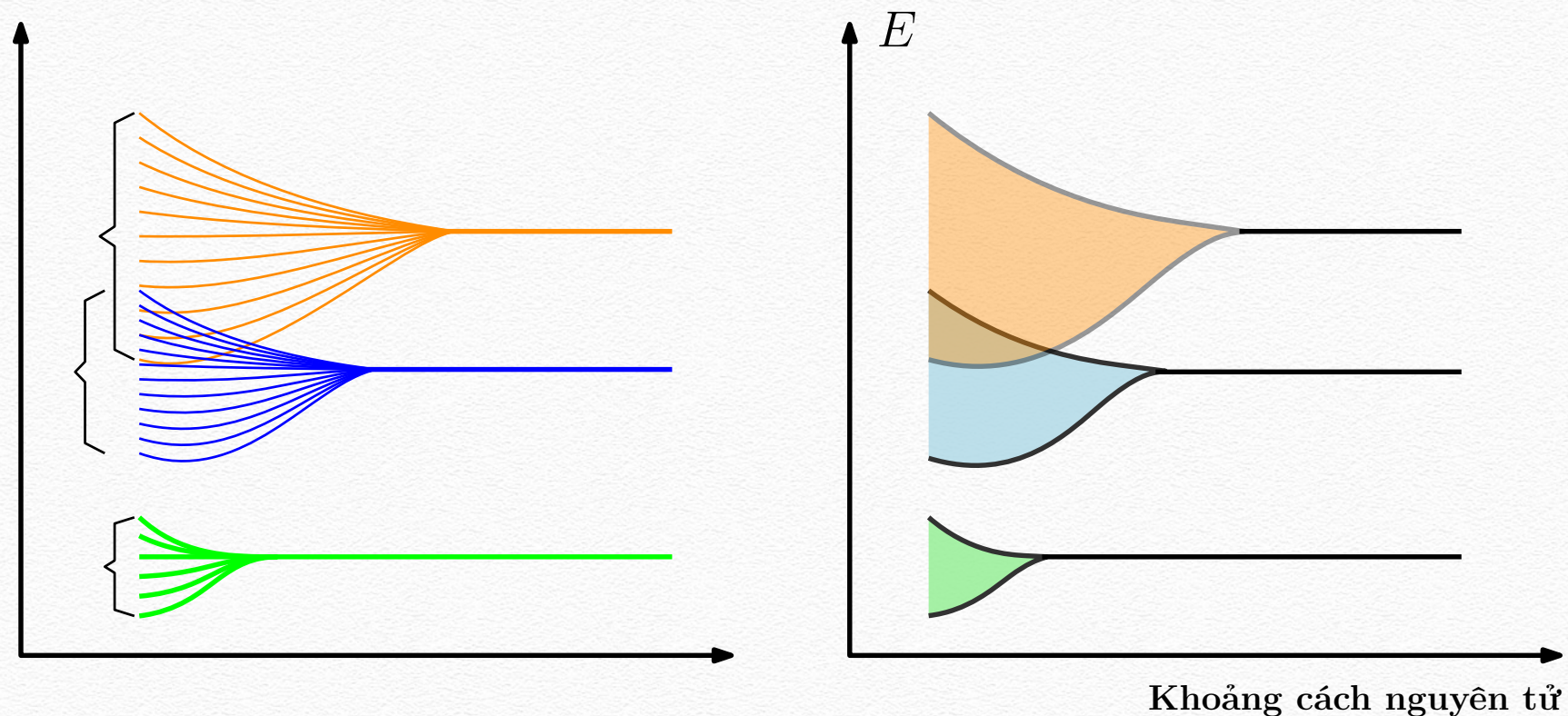
CẤU TRÚC VÙNG NĂNG LƯỢNG

1. Sự hình thành các vùng năng lượng



CẤU TRÚC VÙNG NĂNG LƯỢNG

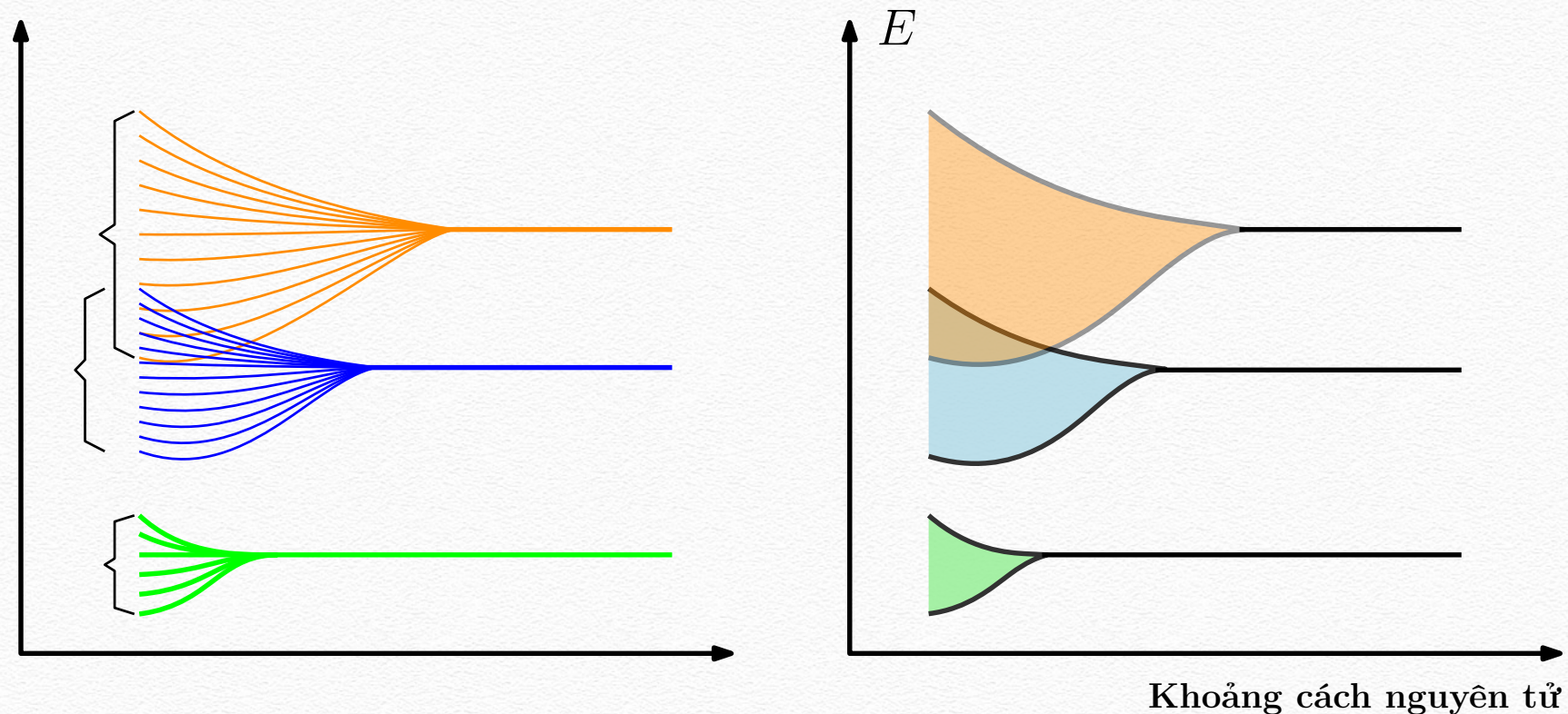
1. Sự hình thành các vùng năng lượng



- Khi các nguyên tử nằm xa nhau, vị trí các mức năng lượng của chúng hoàn toàn trùng nhau – hàm sóng của các điện tử không chồng phủ lên nhau.
- Khi các nguyên tử nằm gần nhau cỡ Å, các hàm sóng của các điện tử trong các nguyên tử có sự chồng phủ lên nhau, kết quả là các mức năng lượng bị tách ra thành các vùng năng lượng.

CẤU TRÚC VÙNG NĂNG LƯỢNG

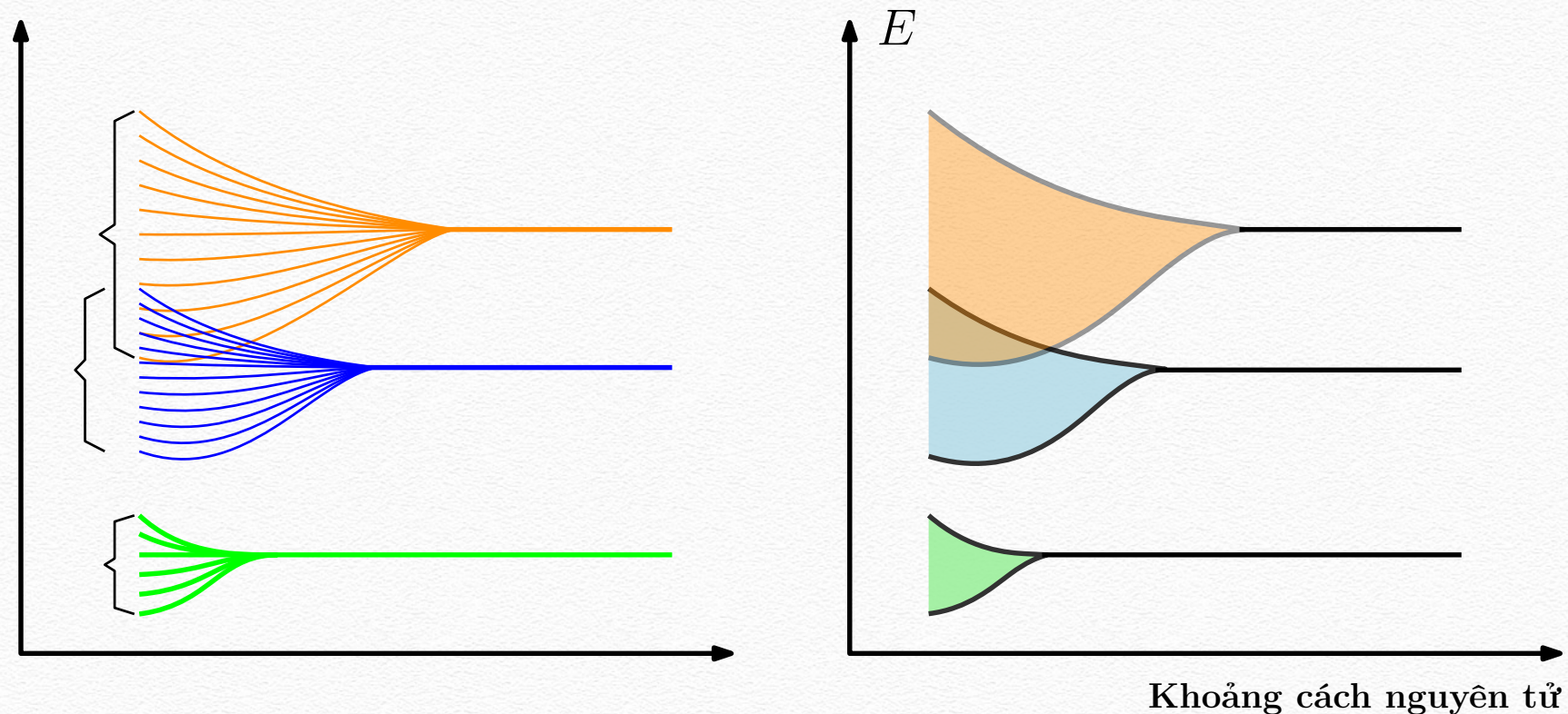
1. Sự hình thành các vùng năng lượng



- Mỗi một mức năng lượng tách ra thành một vùng, mỗi vùng gồm nhiều mức con nằm sát nhau và có thể coi như phổ năng lượng của chúng phân bố gần như liên tục.
- Độ rộng của vùng năng lượng phụ thuộc vào mức độ chồng phủ hàm sóng của các điện tử nhiều hay ít.

CẤU TRÚC VÙNG NĂNG LƯỢNG

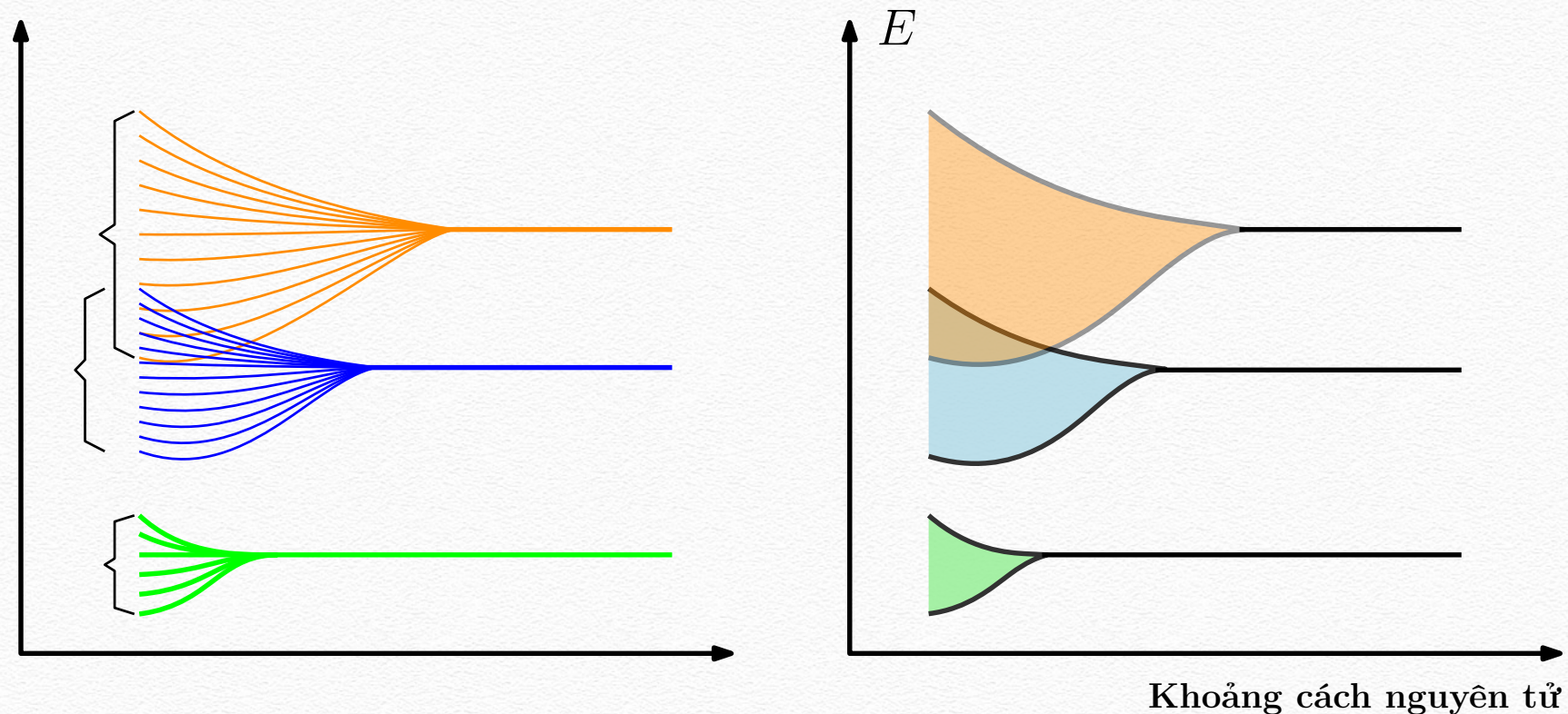
1. Sự hình thành các vùng năng lượng



- Các điện tử càng xa hạt nhân thì có sự chồng phủ hàm sóng càng mạnh. Tức là độ rộng vùng năng lượng càng lớn.
- Các vùng năng lượng do sự chồng phủ hàm sóng của các điện tử được gọi là vùng được phép.
- Vùng nằm giữa các vùng được phép được gọi là vùng cấm

CẤU TRÚC VÙNG NĂNG LƯỢNG

1. Sự hình thành các vùng năng lượng

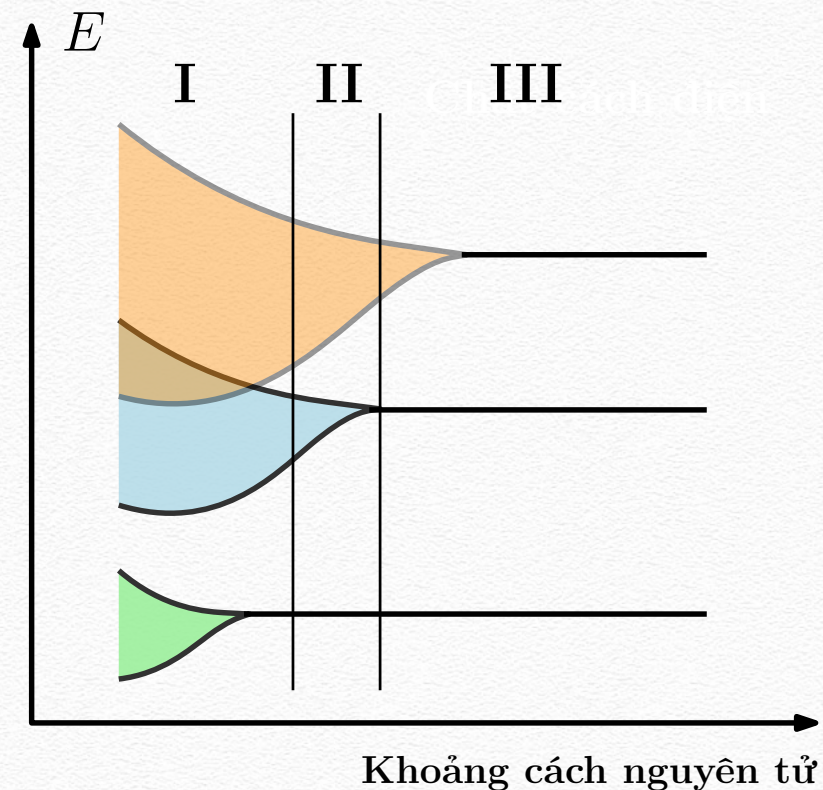


- Vùng hóa trị: là vùng năng lượng ngoài cùng, có thể được lấp đầy hoàn toàn hoặc là chỉ được lấp đầy một phần.
- Vùng dẫn: là vùng năng lượng được phép còn trống hoàn toàn và nằm phía trên vùng hóa trị.
- Nguyên lý năng lượng tối thiểu: các mức năng lượng thấp sẽ được lấp đầy các electron trước.

CẤU TRÚC VÙNG NĂNG LƯỢNG

2. Phân loại vật liệu điện

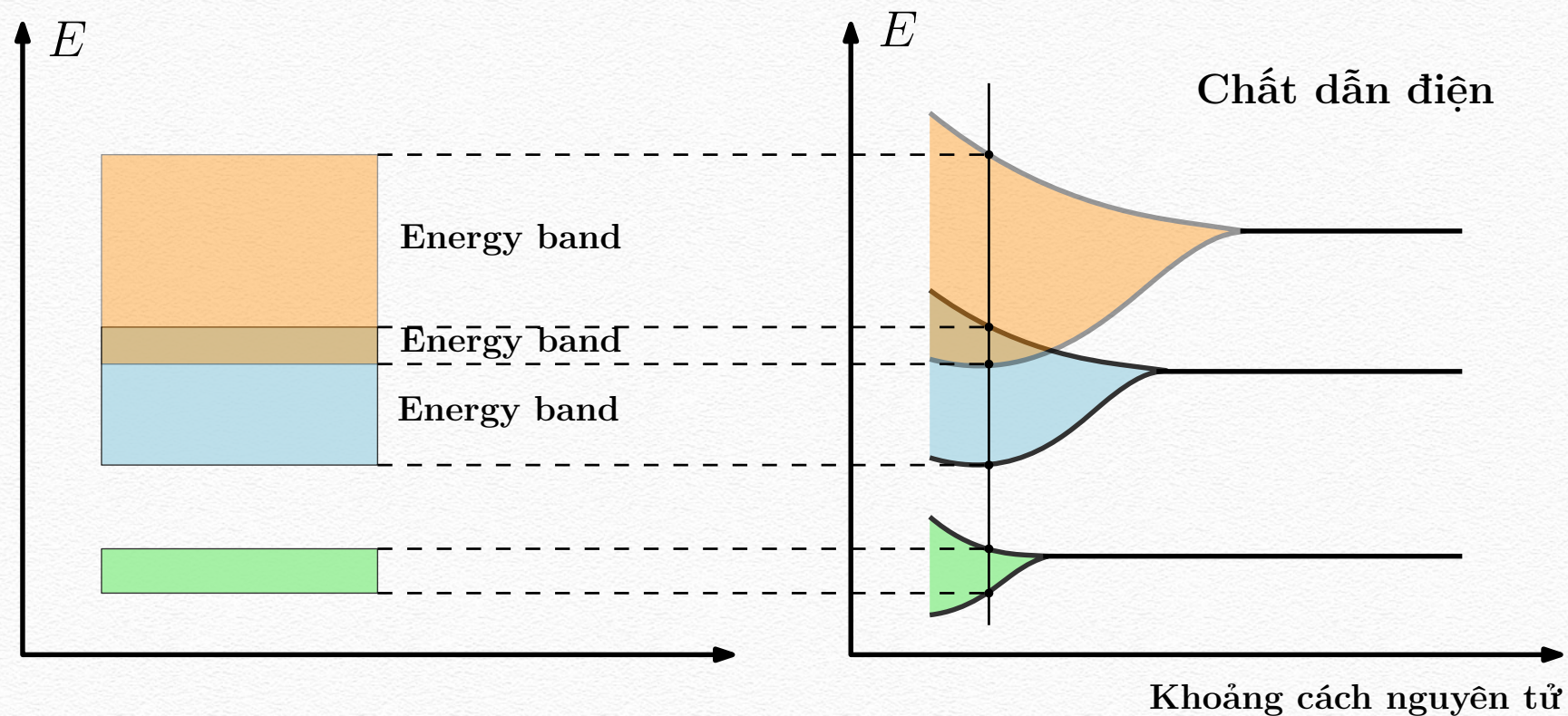
- + I - Kim loại
- + II - Bán dẫn
- + III - Điện môi



- Khi các nguyên tử liên kết với nhau, khoảng cách giữa chúng quyết định cấu trúc vùng năng lượng của vật liệu, do đó quyết định bản chất điện của vật liệu
- Khoảng cách này do bản chất liên kết khác nhau. Liên kết kim loại chặt chẽ nhất nên khoảng cách giữa các nguyên tử gần nhau hơn so với liên kết cộng hóa trị

CẤU TRÚC VÙNG NĂNG LƯỢNG

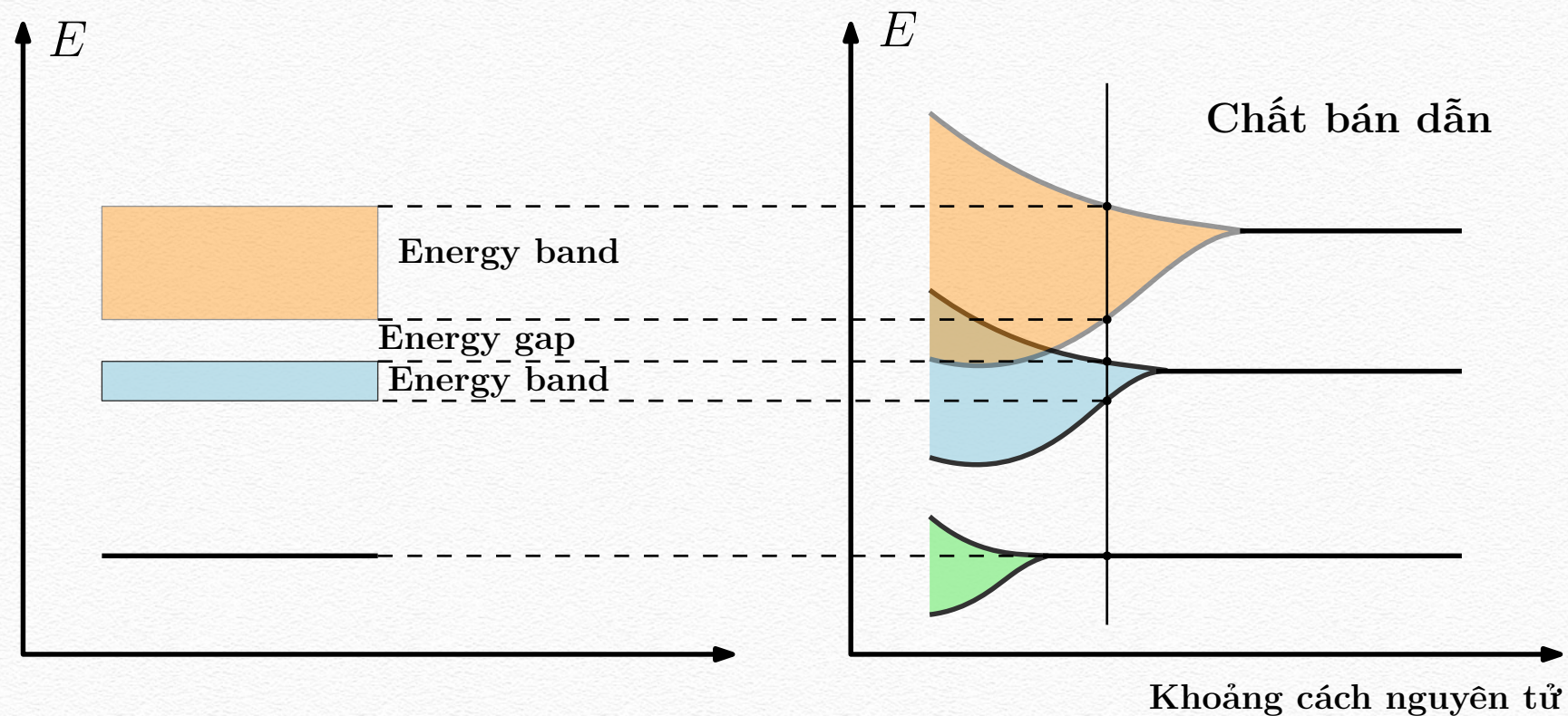
2. Phân loại vật liệu điện



- Kim loại (chất dẫn điện)
 - ❖ Không có vùng cấm
 - ❖ Vùng dẫn và vùng hóa trị chồng lên nhau
 - ❖ Electron hoàn toàn tự do trong tinh thể và dễ dàng trở thành hạt tải điện

CẤU TRÚC VÙNG NĂNG LƯỢNG

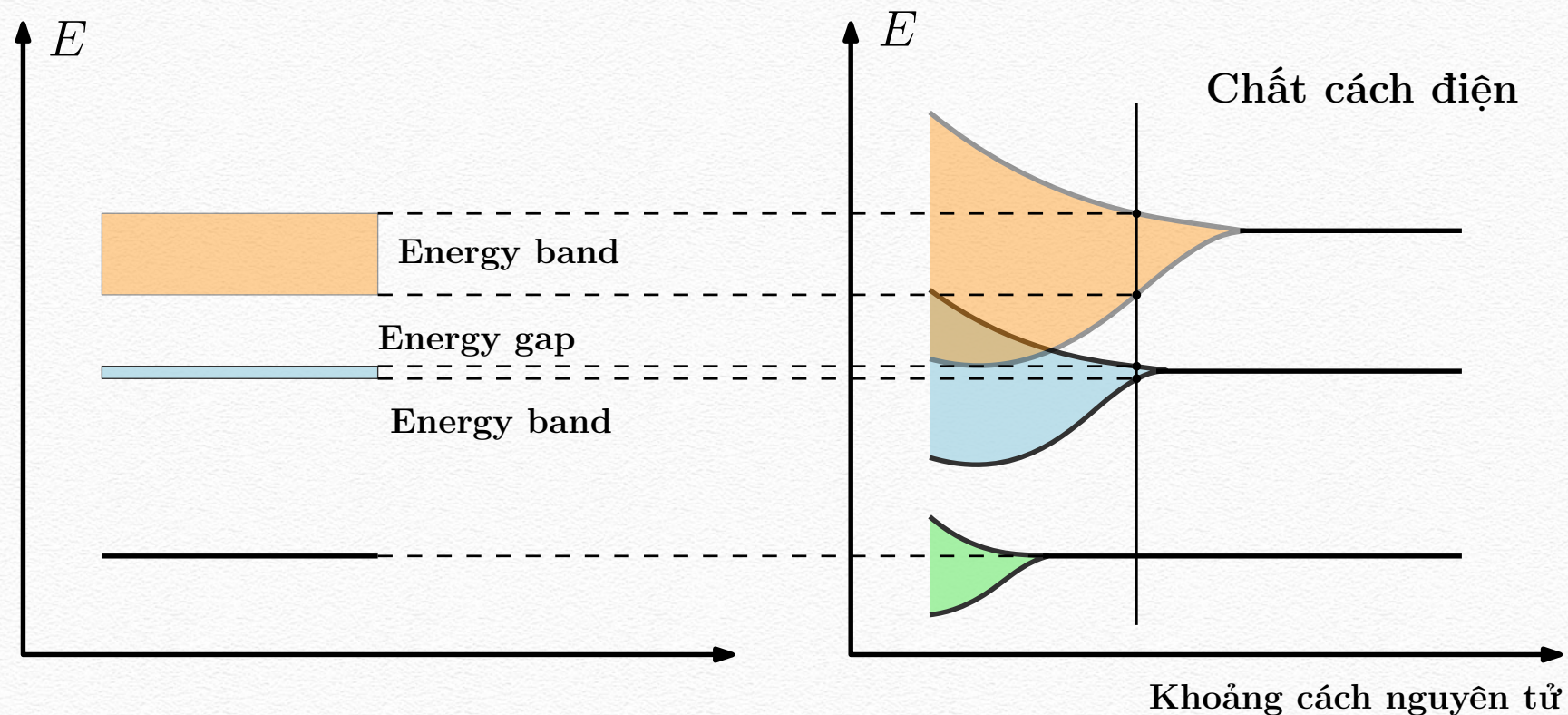
2. Phân loại vật liệu điện



- Bán dẫn
 - ❖ Độ rộng vùng cấm khá bé ($< 6 \text{ eV}$)
 - ❖ Do chuyển động nhiệt, electron có thể nhảy từ vùng hóa trị lên vùng dẫn trở thành hạt tải điện, tuy nhiên số lượng không nhiều
 - ❖ Tăng nhiệt độ thì mật độ electron tải điện tăng, bán dẫn dẫn điện tốt hơn

CẤU TRÚC VÙNG NĂNG LƯỢNG

2. Phân loại vật liệu điện



- Điện môi (Chất cách điện)
 - ❖ Độ rộng vùng cấm lớn ($> 6 \text{ eV}$)
 - ❖ Electron không thể nhảy từ vùng hóa trị lên vùng dẫn để trở thành hạt tải điện ngay cả khi nhiệt độ tăng cao
 - ❖ Điện môi vì thế không dẫn điện

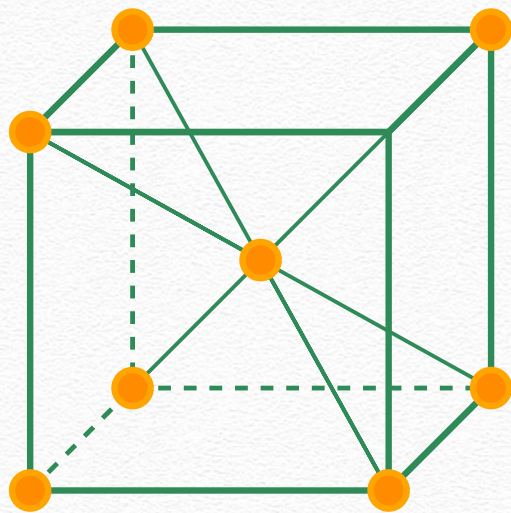
CHẤT DẪN ĐIỆN (Kim loại)

1. Nguyên tử kim loại

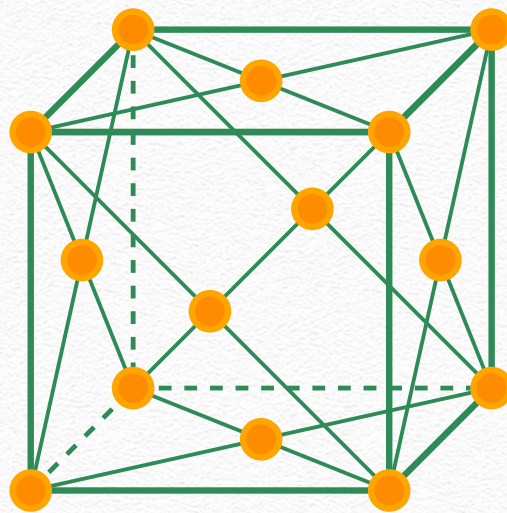
- Có từ 1 đến 3 electron ở lớp hóa trị liên kết yếu với hạt nhân.
- Electron hóa trị dễ dàng tách khỏi nguyên tử để trở thành electron tự do

2. Cấu trúc kim loại

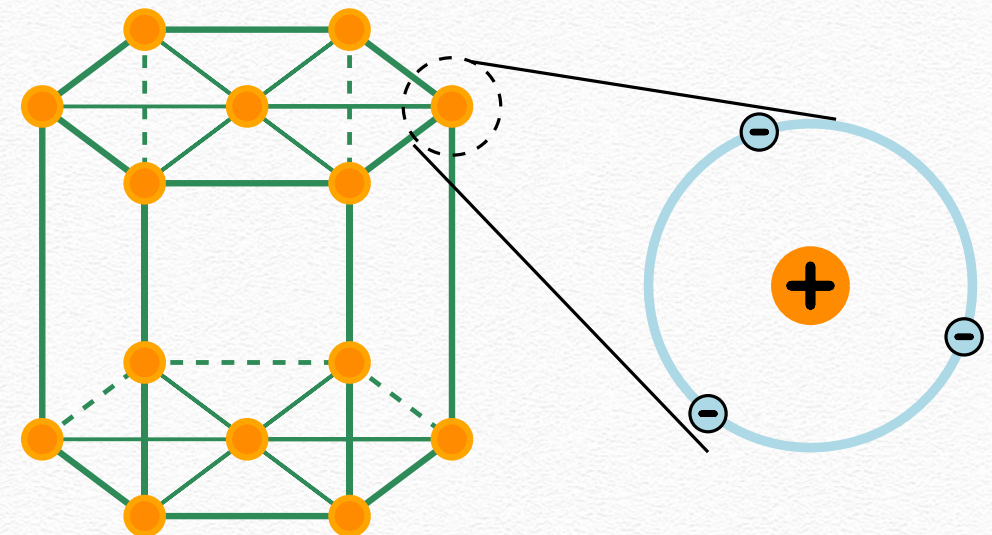
- ❖ Cấu trúc tinh thể
- ❖ Các ion dương dao động tại các nút mạng
- ❖ Các electron tự do chuyển động hỗn loạn trong tinh thể



Lập phương tâm khối



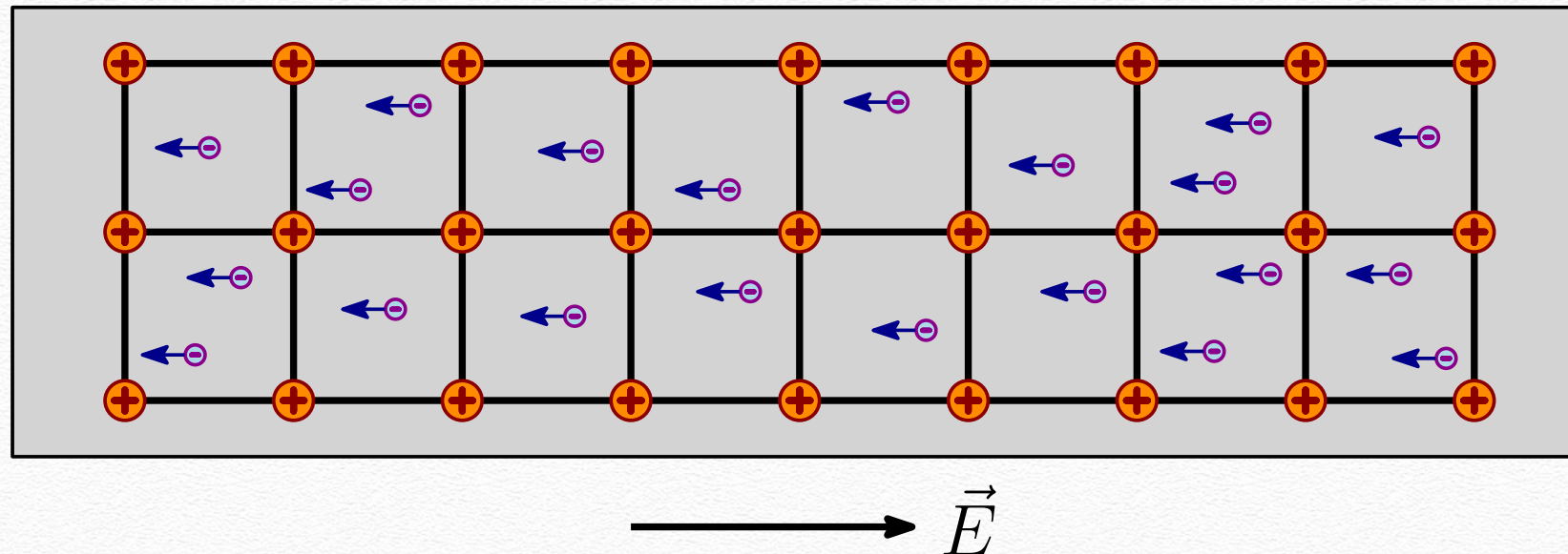
Lập phương tâm diện



Lục lăng

CHẤT DẪN ĐIỆN (Kim loại)

3. Dòng điện trong kim loại



- Khi đặt trong điện trường ngoài E , electron chuyển động có hướng ngược chiều điện trường ngoài và va chạm vào các ion dương ở các nút mạng, làm cản trở chuyển động của electron. Đây chính là nguyên nhân gây ra điện trở của kim loại.
- Vậy bản chất dòng điện trong kim loại là dòng chuyển dời có hướng của các electron tự do dưới tác dụng của điện trường.
 - ❖ Hạt tải điện trong kim loại là electron tự do.
 - ❖ Mật độ electron tự do trong kim loại rất lớn nên kim loại dẫn điện tốt.

CHẤT DẪN ĐIỆN (Kim loại)

4. Độ dẫn điện, điện trở

- **Độ dẫn điện:** là đại lượng đặc trưng cho vật liệu về khả năng cho phép điện tích (hay dòng điện) di chuyển qua nó.

- Định luật Ohm: $\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E}$

- ❖ j véc tơ mật độ dòng điện qua dây dẫn

- ❖ E véc tơ cường độ điện trường ngoài

- ❖ σ điện dẫn suất (hay độ dẫn điện) của vật liệu

- **Điện trở:** là đại lượng đặc trưng cho khả năng cản trở dòng điện của vật liệu:

$$R = \rho \frac{\ell}{S} \qquad \rho = \frac{1}{\sigma}$$

- ❖ R là điện trở của dây dẫn

- ❖ ρ là điện trở suất của vật liệu

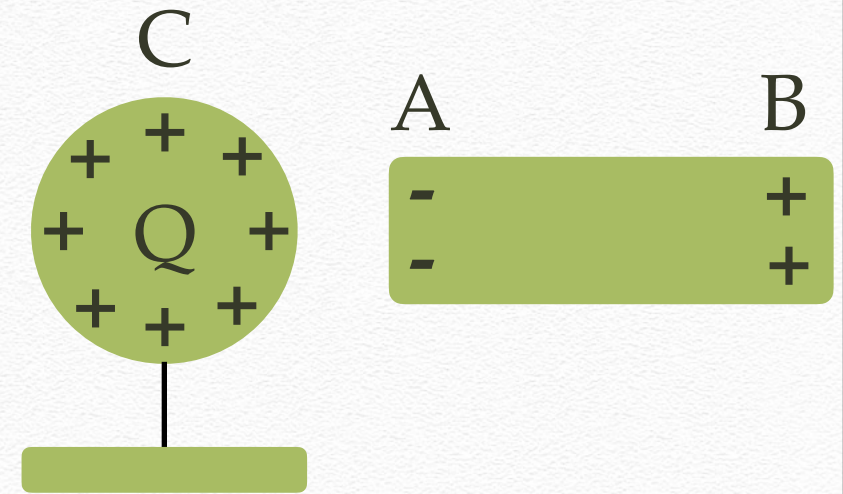
- ❖ ℓ là chiều dài dây dẫn

- ❖ S là diện tích tiết diện dây dẫn

CHẤT DẪN ĐIỆN (Kim loại)

5. Hiện tượng điện hưởng

- Đưa một vật dẫn AB trung hòa về điện gần một vật tích điện C thì trên hai đầu giới hạn A, B xuất hiện các điện tích trái dấu nhau => hiện tượng điện hưởng



- “Điện hưởng là hiện tượng xuất hiện các điện tích trái dấu ở hai đầu một vật dẫn khi đặt ở trong điện trường ngoài”
- Điện tích ở hai đầu A và B luôn bằng nhau và trái dấu nhau và gọi là điện tích cảm ứng

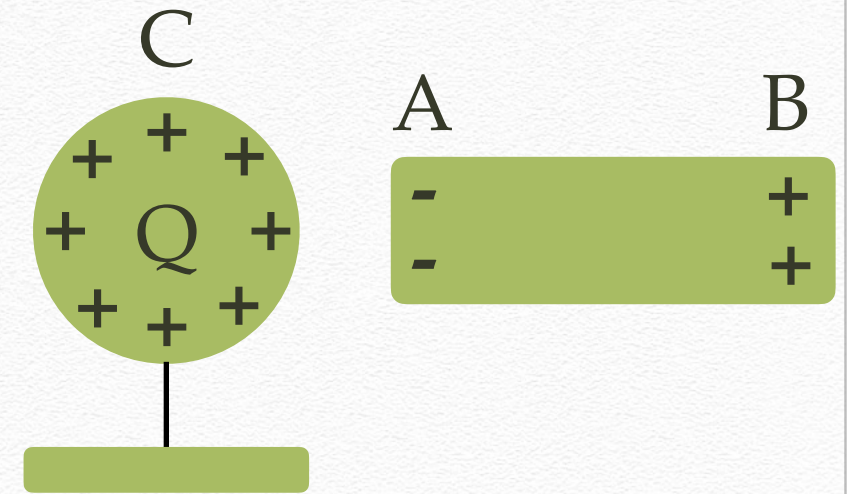
6. Giải thích hiện tượng điện hưởng

- AB là vật dẫn nên nó chứa các hạt điện tích tự do
- Khi đưa AB lại gần C, các điện tích tự do trong AB sẽ di chuyển dưới tác dụng của điện trường do C gây ra.
 - ❖ Điện tích dương di chuyển theo chiều điện trường còn
 - ❖ Điện tích âm di chuyển ngược chiều điện trường

CHẤT DẪN ĐIỆN (Kim loại)

6. Giải thích hiện tượng điện hưởng

- Các điện tích cảm ứng gây ra một điện trường phụ E' ngược chiều với điện trường E_0 do điện tích C gây ra
- Số điện tích cảm ứng càng nhiều thì điện trường phụ E' càng tăng
- E' tăng cho đến khi $E' = E_0 \Rightarrow$ điện trường tổng hợp bên trong AB lại bằng 0 $\Rightarrow$ các điện tích tự do trong AB ngừng di chuyển. Số điện cảm ứng tích ở hai đầu A, B đạt một giá trị không đổi, vật dẫn AB trở lại trạng thái cân bằng tĩnh điện.
- Như vậy khi đặt vật dẫn trong điện trường thì điện trường đó bị thay đổi đi do có cả điện trường của điện tích cảm ứng. Phần không gian trong lòng vật dẫn điện trường bằng không.



CHẤT DẪN ĐIỆN (Kim loại)

7. Điều kiện để vật dẫn ở trạng thái cân bằng tĩnh điện

- Véc tơ cường độ điện trường tại mọi điểm bên trong vật dẫn phải bằng không.
- Thành phần tiếp tuyến của véc tơ cường độ điện trường E_t tại mọi điểm trên bề mặt vật dẫn phải bằng không.

8. Tính chất của vật dẫn ở trạng thái cân bằng tĩnh điện

- TC1: Vật dẫn là một khối đẳng thế
- Chứng minh: Xét hai điểm A và B bên trong vật dẫn cân bằng tĩnh điện, tưởng tượng có một điện tích điểm q di chuyển giữa hai vị trí A và B

$$A_{MN} = q(V_M - V_N) = \int_M^N \vec{F} \cdot d\vec{s}$$

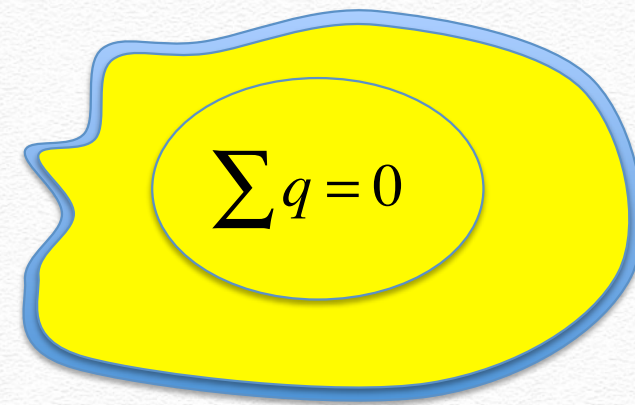
$$\vec{F} = q\vec{E}_{\text{trong}} = 0 \Rightarrow q(V_M - V_N) = 0 \Rightarrow V_M = V_N$$

CHẤT DẪN ĐIỆN (Kim loại)

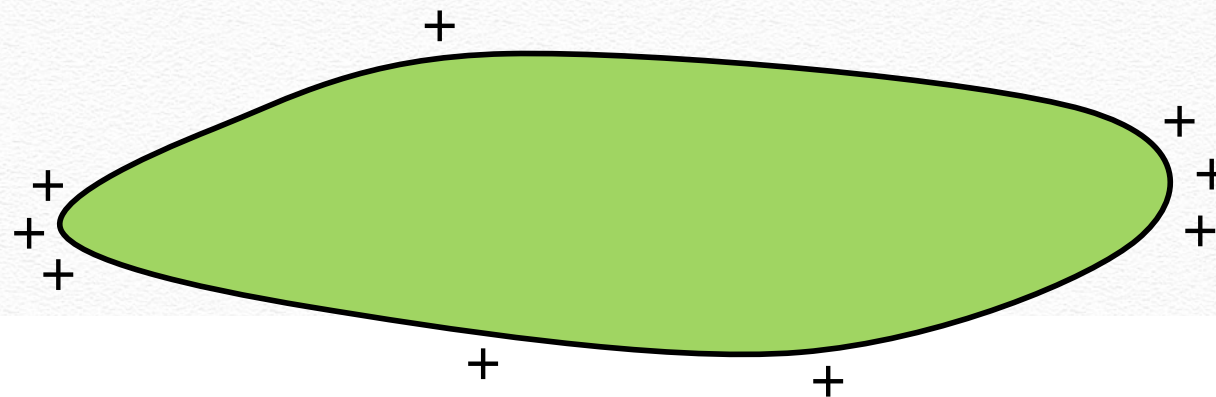
8. Tính chất của vật dẫn ở trạng thái cân bằng tĩnh điện

- TC2: Điện tích chỉ phân bố trên bề mặt của vật dẫn, bên trong vật dẫn, điện tích bằng không
- Chứng minh: Đối với mặt kín bất kỳ nằm hoàn toàn trong vật dẫn

$$\vec{E}_{\text{trong}} = 0$$
$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0 \epsilon} \sum q_i = 0$$



- TC3: Nếu vật dẫn có hình dạng không đều thì điện tích phân bố chủ yếu ở những chỗ lồi hoặc nhọn. Mật độ điện tích ở những chỗ nhọn cao hơn (hiệu ứng mũi nhọn)



9. Hệ vật dẫn: tụ điện

- Cấu tạo: gồm hai bản kim loại phẳng, đặt song song cách nhau một khoảng d , được tích điện trái dấu nhau: $+Q$ và $-Q$.
- Điện trường giữa hai bản tụ là đều có cường độ E .
- Điện dung của tụ

CHẤT CÁCH ĐIỆN (Điện môi)

1. Khái niệm

- Chất điện môi là chất mà các điện tử chỉ di chuyển được trong phạm vi phân tử chứ không di chuyển được trong cả vật.

2. Hiện tượng phân cực điện môi

- Khi đặt chất điện môi trong điện trường ngoài thì ở hai đầu của nó xuất hiện các điện tích trái dấu. Ở đầu mà đường sức điện đi vào xuất hiện điện tích âm còn đầu kia mang điện dương. Hiện tượng này gọi là hiện tượng phân cực điện môi.

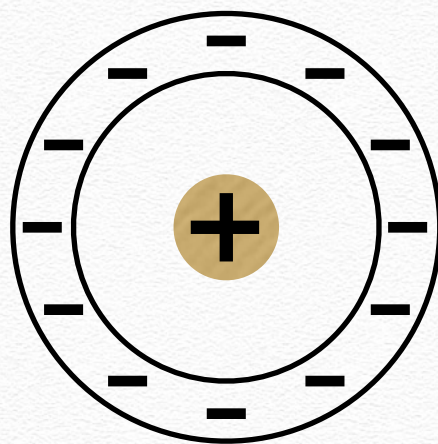
3. Phân biệt hiện tượng phân cực điện môi và điện hưởng

- Điện hưởng là sự phân bố lại các điện tích tự do trong vật dẫn.
- Phân cực điện môi thì trong điện môi không có các điện tích tự do mà chỉ có các điện tích trái dấu liên kết thành từng cặp. Do đó các điện tích phân cực xuất hiện vẫn là các điện tích liên kết.
- Điện trường tổng hợp trong điện môi khác không còn điện trường tổng hợp trong vật dẫn bằng không.

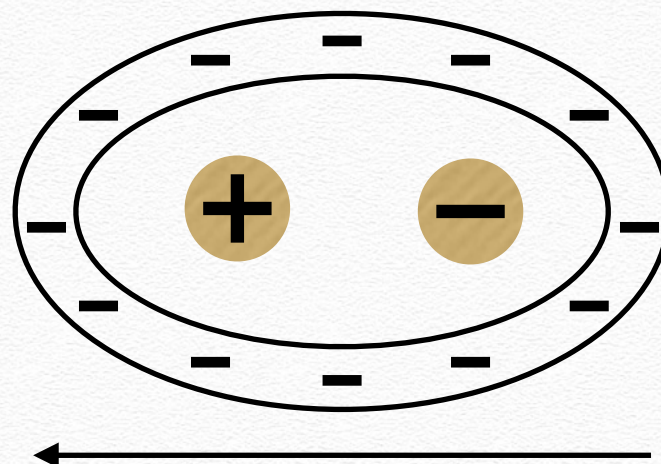
CHẤT CÁCH ĐIỆN (Điện môi)

4. Giải thích hiện tượng phân cực điện môi

- Với chất điện môi chưa phân cực ($H_2, N_2 \dots$)
 - ❖ Bình thường phân tử không tự phân cực, tâm của điện tích âm và dương trùng nhau.
 - ❖ Nếu đặt trong điện trường ngoài thì tâm điện tích âm và dương lệch nhau kết quả là phân tử phân cực và trở thành một lưỡng cực điện.
 - ❖ Các phân tử lúc đó nằm như những mắt xích dọc theo đường sức điện trường làm cho trong chất điện môi xuất hiện các điện tích trái dấu trên các mặt giới hạn.



$$\vec{E}_0 = 0$$



$$\vec{E}_0 \neq 0$$

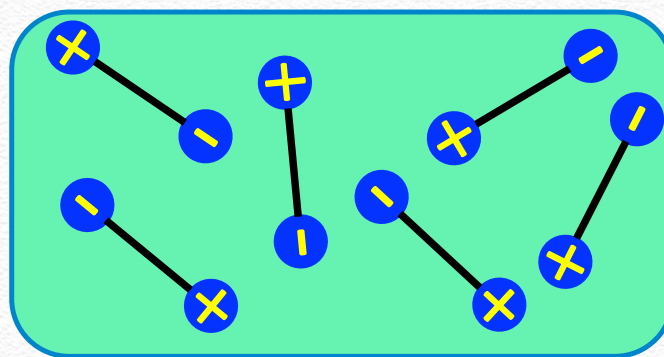


Lưỡng cực điện

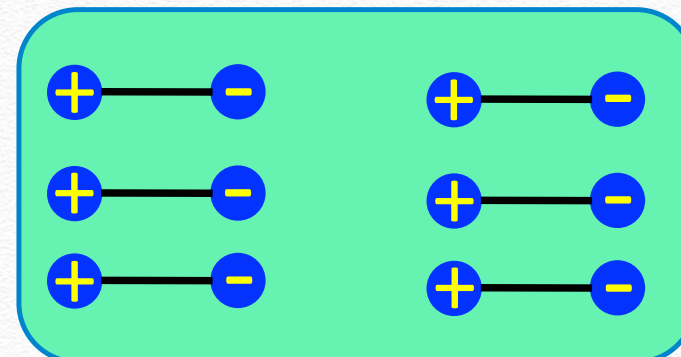
CHẤT CÁCH ĐIỆN (Điện môi)

4. Giải thích hiện tượng phân cực điện môi

- Với chất điện môi đã phân cực (H_2O , $\text{NH}_4 \dots$)
 - ❖ Bình thường phân tử đã tự phân cực, mỗi phân tử là một lưỡng cực điện nhưng sắp xếp hỗn loạn do chuyển động nhiệt
 - ❖ Nếu đặt trong điện trường ngoài, lực tĩnh điện làm quay các lưỡng cực và bắt chúng sắp xếp dọc theo điện trường ngoài.
 - ❖ Kết quả là làm xuất hiện điện tích trái dấu ở hai đầu điện môi tức là điện môi đã bị phân cực. Nếu bỏ điện trường ngoài thì sự phân cực cũng mất do chuyển động nhiệt làm mất sự định hướng. Mức độ phân cực phụ thuộc vào bản chất, nhiệt độ của điện môi và điện trường ngoài



$$\vec{E}_0 = 0$$



$$\vec{E}_0 \neq 0$$

CHẤT CÁCH ĐIỆN (Điện môi)

5. Điện trường trong chất điện môi

- Trong khối điện môi tồn tại 2 điện trường

- ❖ E_0 là điện trường ngoài

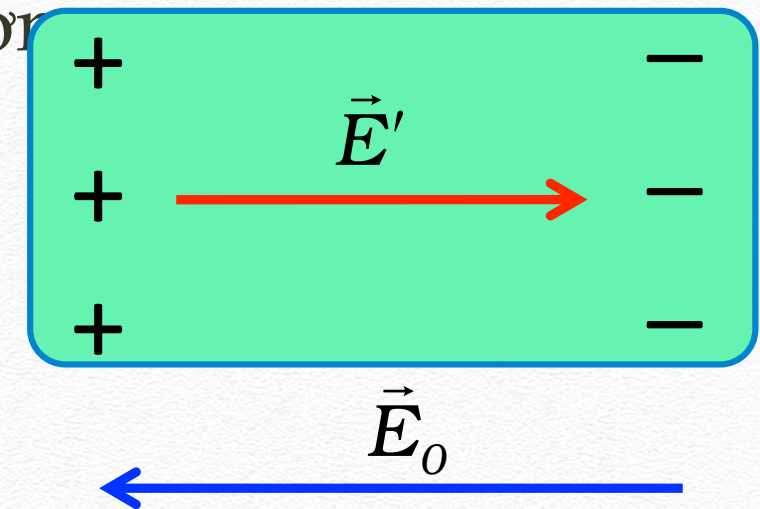
- ❖ E' là điện trường do các điện tích liên kết sinh ra.

- Điện trường tổng hợp: $E = E_0 - E' < E_0$

- Thực nghiệm chứng tỏ E' tỉ lệ với E_0 :

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E}$$

- Trong đó ε là hằng số điện môi của môi trường



CHẤT BÁN DẪN

1. Khái niệm chất bán dẫn

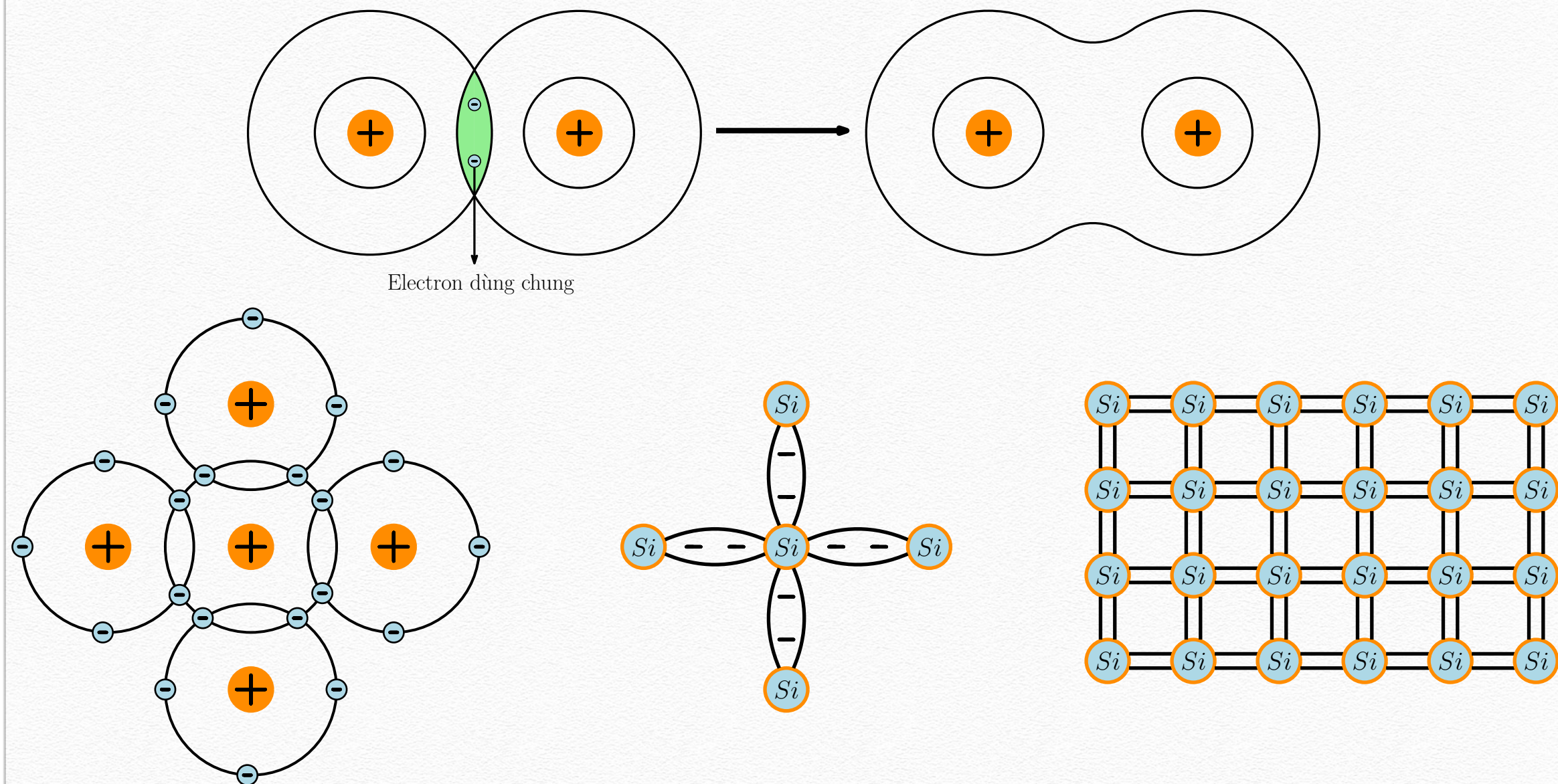
- Các chất bán dẫn: C, Si, Ge, Sn, Pb
- Có 4 electron hóa trị, liên kết với nhau bằng liên kết cộng hóa trị

The image displays a standard periodic table of elements, color-coded by groups. A legend at the top left defines the color coding: Nonmetals (yellow), Halogens (blue), Noble gases (purple), Alkali metals (orange), Alkaline earth metals (light orange), Lanthanoids (pink), Actinoids (light green), Transition metals (green), Metalloids (brown), and Post-transition metals (light blue). A callout box for Potassium (K) shows its atomic number (19), symbol (K), and element name (Potassium). The table includes elements from Hydrogen (1) to Oganesson (118), with the Lanthanide and Actinide series shown below the main body.

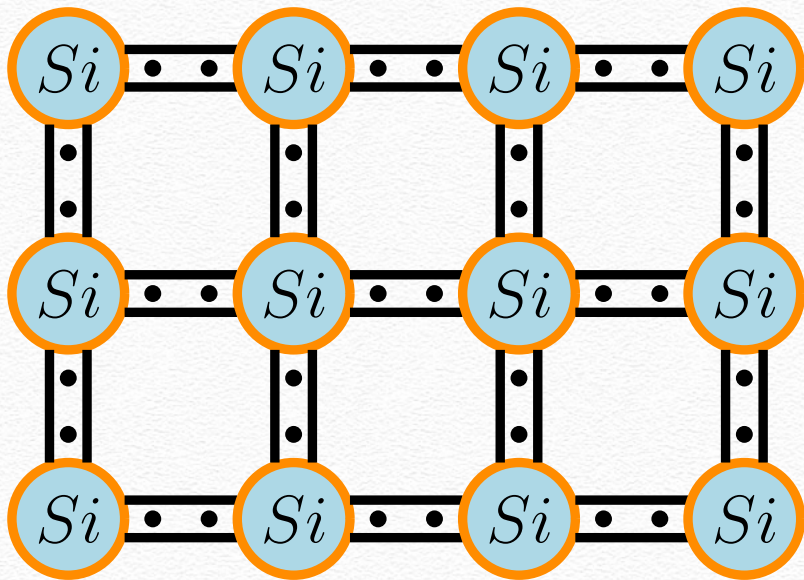
CHẤT BÁN DẪN

2. Cấu tạo chất bán dẫn

- Liên kết cộng hóa trị trong bán dẫn Si

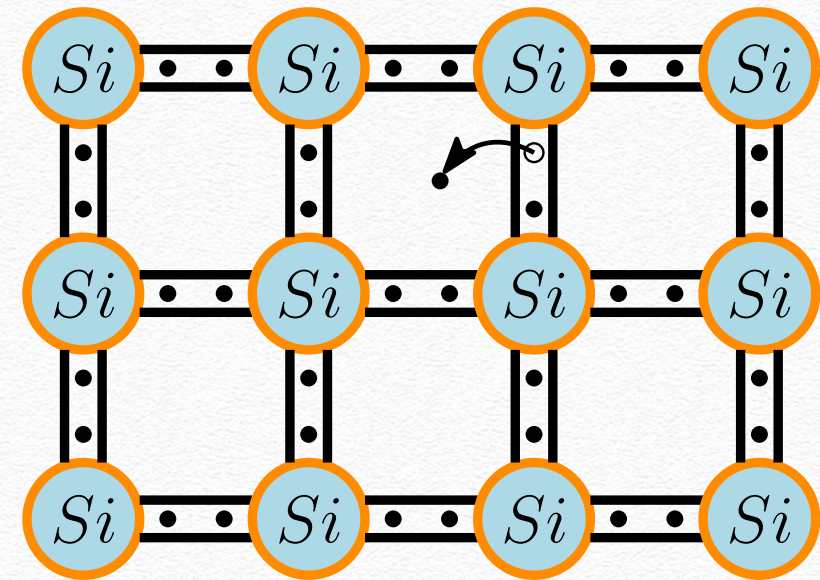


3. Hạt tải điện trong chất bán dẫn: Electron và Lỗ trống



$T = 0$

- Tất cả electron nằm trong liên kết cộng hóa trị
- Không có hạt tải điện tự do



$T > 0$

- Dao động nhiệt có thể phá vỡ liên kết cộng hóa trị
- Cặp electron – lỗ trống được hình thành
- Cả electron và lỗ trống có thể dịch chuyển trong toàn tinh thể và trở thành hạt tải điện

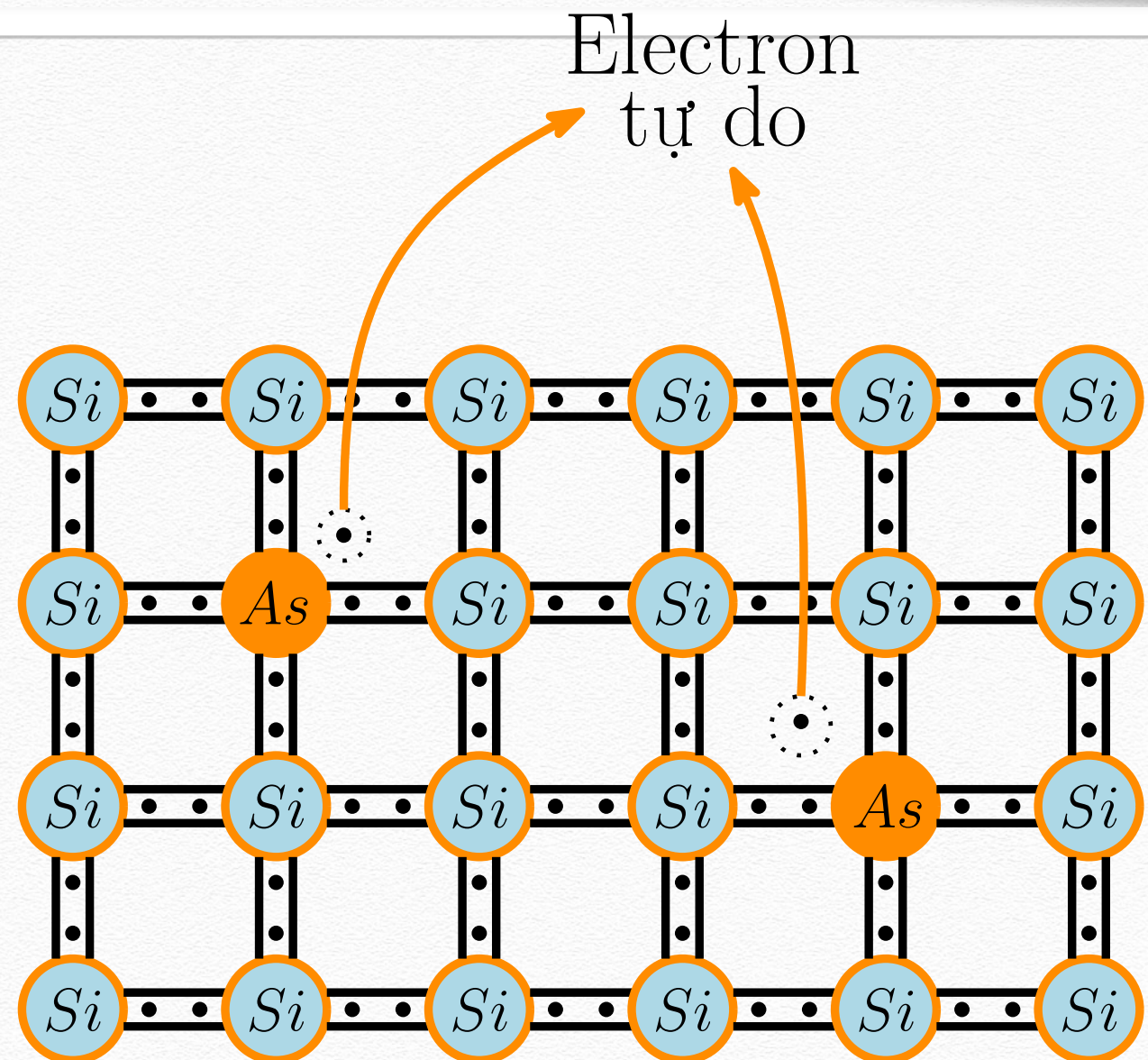
4. Các loại bán dẫn

- Dựa vào loại hạt tải điện chính trong bán dẫn mà người ta chia bán dẫn ra thành các loại sau
- Bán dẫn tinh khiết i (Si) là bán dẫn có mật độ electron và lỗ trống bằng nhau. Cả electron và lỗ trống cùng tham gia vào quá trình dẫn điện tuy nhiên mật độ hạt tải điện không cao
- Bán dẫn pha tạp
 - ❖ Bán dẫn loại n (Si pha thêm P hoặc As) là bán dẫn có mật độ electron lớn hơn mật độ lỗ trống
 - ❖ Bán dẫn loại p (Si pha thêm B) là bán dẫn có mật độ lỗ trống lớn hơn mật độ electron

4. Các loại bán dẫn

- Bán dẫn pha tạp loại n

- ❖ Cấy nguyên tử As vào mạng tinh thể Silic
- ❖ As có 5 electron hóa trị, nhiều hơn 1 electron so với Silic
- ❖ As dùng 4 electron vào liên kết cộng hóa trị còn dư một electron còn lại trở thành electron tự do
- ❖ Có thêm nhiều điện tử tự do hơn tham gia vào quá trình dẫn điện
- ❖ Bán dẫn loại N (n – vì hạt tải điện chủ yếu là điện tích âm)

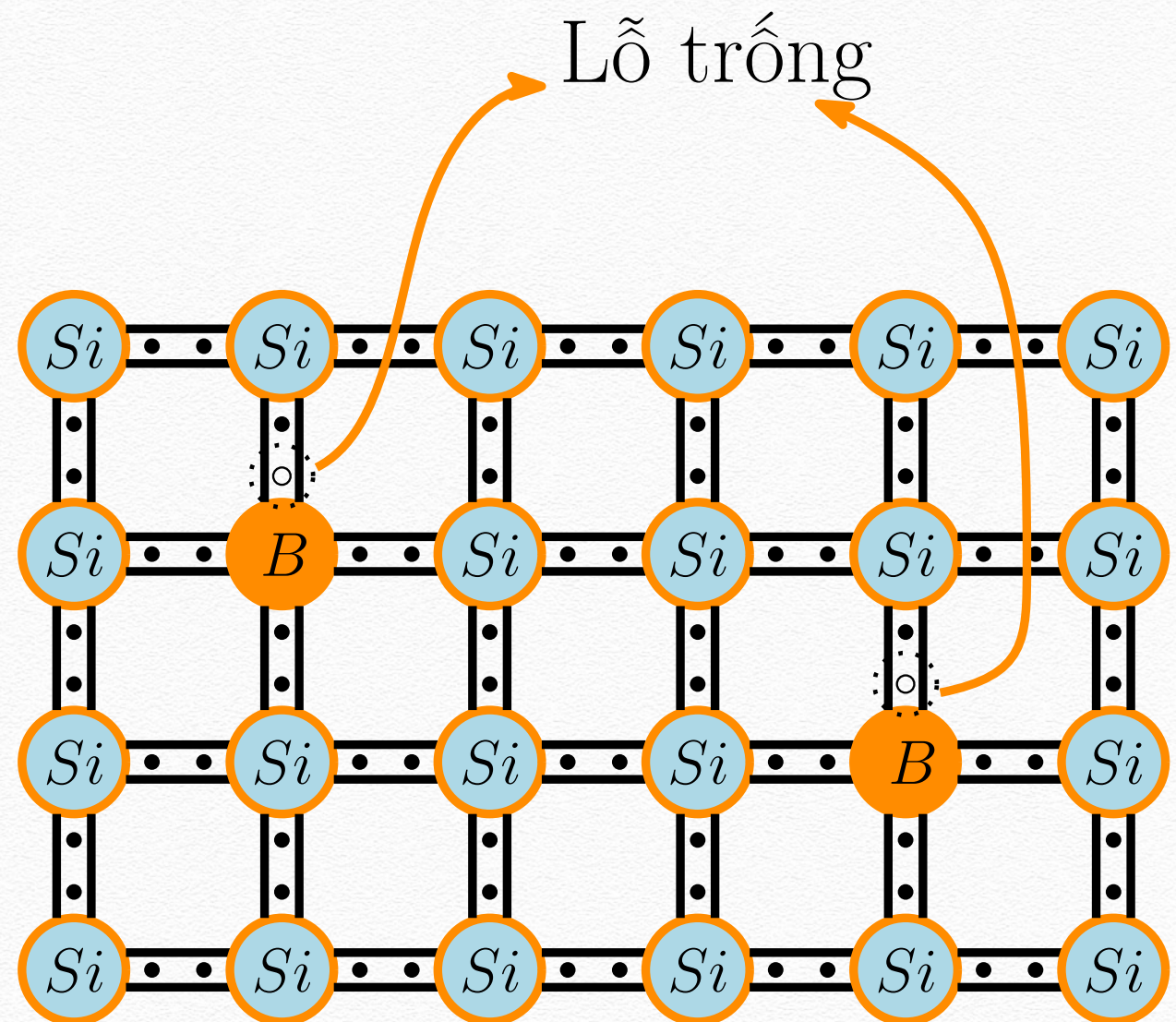


CHẤT BÁN DẪN

4. Các loại bán dẫn

- Bán dẫn pha tạp loại p

- ❖ Cấy nguyên tử B vào mạng tinh thể Silic
- ❖ B có 3 electron hóa trị, ít hơn 1 electron so với Silic
- ❖ B dùng 3 electron vào liên kết cộng hóa trị và còn thiếu một electron trong liên kết
- ❖ Có thêm nhiều lỗ trống được tạo thành tham gia vào quá trình dẫn điện
- ❖ Bán dẫn loại P (p – vì hạt tải điện chủ yếu là điện tích dương)



5. Lớp tiếp xúc p-n

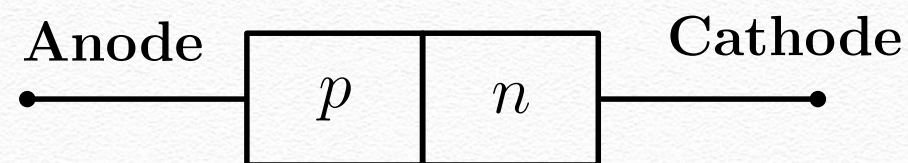
- Khi cho hai bán dẫn loại p và loại n tiếp xúc với nhau thì do nồng độ hạt tải điện ở hai bên chênh lệch nhau mà có sự khuếch tán các hạt tải điện:
 - ❖ Electron khuếch tán từ miền n sang miền p.
 - ❖ Lỗ trống khuếch tán từ miền p sang miền n.
- Nếu sự chênh lệch về nồng độ các loại hạt mang điện ở hai khối này càng lớn thì sự khuếch tán diễn ra càng mạnh.
- Do sự khuếch tán các điện tử và lỗ trống một cách tự nhiên:
 - ❖ Lớp bán dẫn loại p mất bớt lỗ trống và nhận thêm điện tử => tích điện âm.
 - ❖ Lớp bán dẫn loại n mất bớt điện tử và nhận thêm lỗ trống => tích điện dương.

5. Lớp tiếp xúc p-n

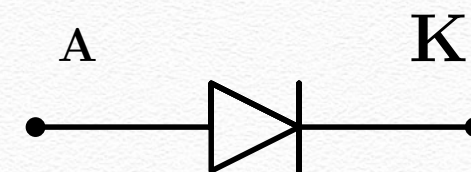
- Kết quả là tại lớp tiếp xúc p-n có 1 điện trường hướng từ n sang p ngăn cản quá trình khuếch tán của các hạt tải điện.
- Mặt khác, tại lớp tiếp xúc, có thể xảy ra sự tái hợp điện tử lỗ trống hình thành các nguyên tử trung hòa còn các ion không di chuyển được nên lớp tiếp xúc p-n gọi là vùng nghèo (vùng thiếu vắng hạt tải điện).

6. Đi ốt bán dẫn

- Đi ốt bán dẫn là linh kiện điện tử cho phép dòng điện đi qua nó theo một chiều mà không theo chiều ngược lại.
- Cấu tạo: Đi ốt thực chất là một tiếp giáp p-n.
- Điện cực nối với khối p được gọi là Anốt (ký hiệu là A)
- Điện cực nối với khối n gọi là Katốt (ký hiệu là K)



Cấu tạo



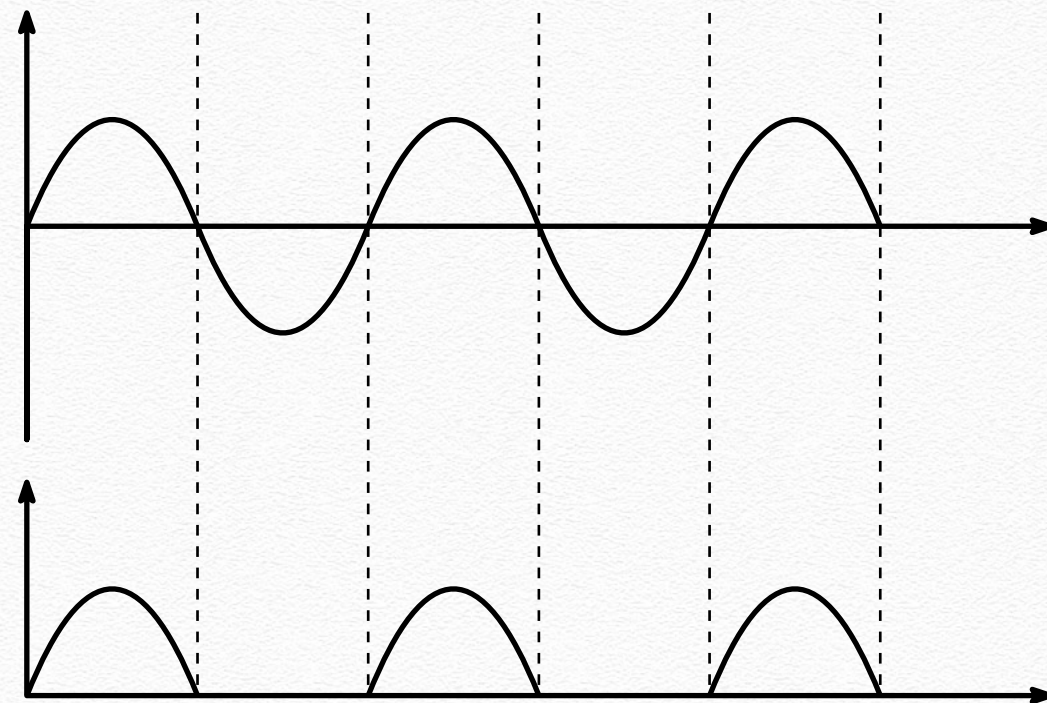
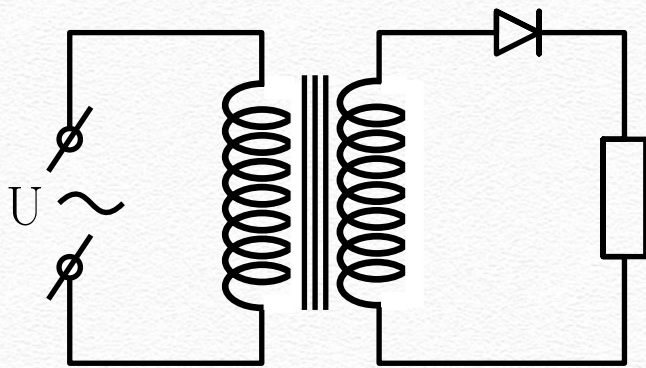
Ký hiệu

6. Đi ốt bán dẫn

- Phân cực thuận đi ốt
 - ❖ Cực dương nối vào khối p, cực âm nối vào khối n.
 - ❖ Điện áp ngoài ngược chiều với điện trường tiếp xúc E_{tx}
 - ❖ Độ dày của lớp tiếp xúc thu hẹp lại
 - ❖ Dòng điện dễ dàng di chuyển từ cực (+) qua diot sang cực (-) => đi ốt được thông.
- Phân cực ngược đi ốt
 - ❖ Cực dương nối vào khối n, cực âm nối vào khối p.
 - ❖ Điện áp ngoài cùng chiều với điện trường tiếp xúc E_{tx}
 - ❖ Độ dày của lớp tiếp xúc mở rộng ra
 - ❖ Dòng điện rất khó di chuyển từ cực (+) qua diot sang cực (-) => đi ốt không được thông.
- Vậy lớp tiếp xúc p-n chỉ dẫn điện theo một chiều khi được phân cực thuận => tính chỉnh lưu của diode bán dẫn.

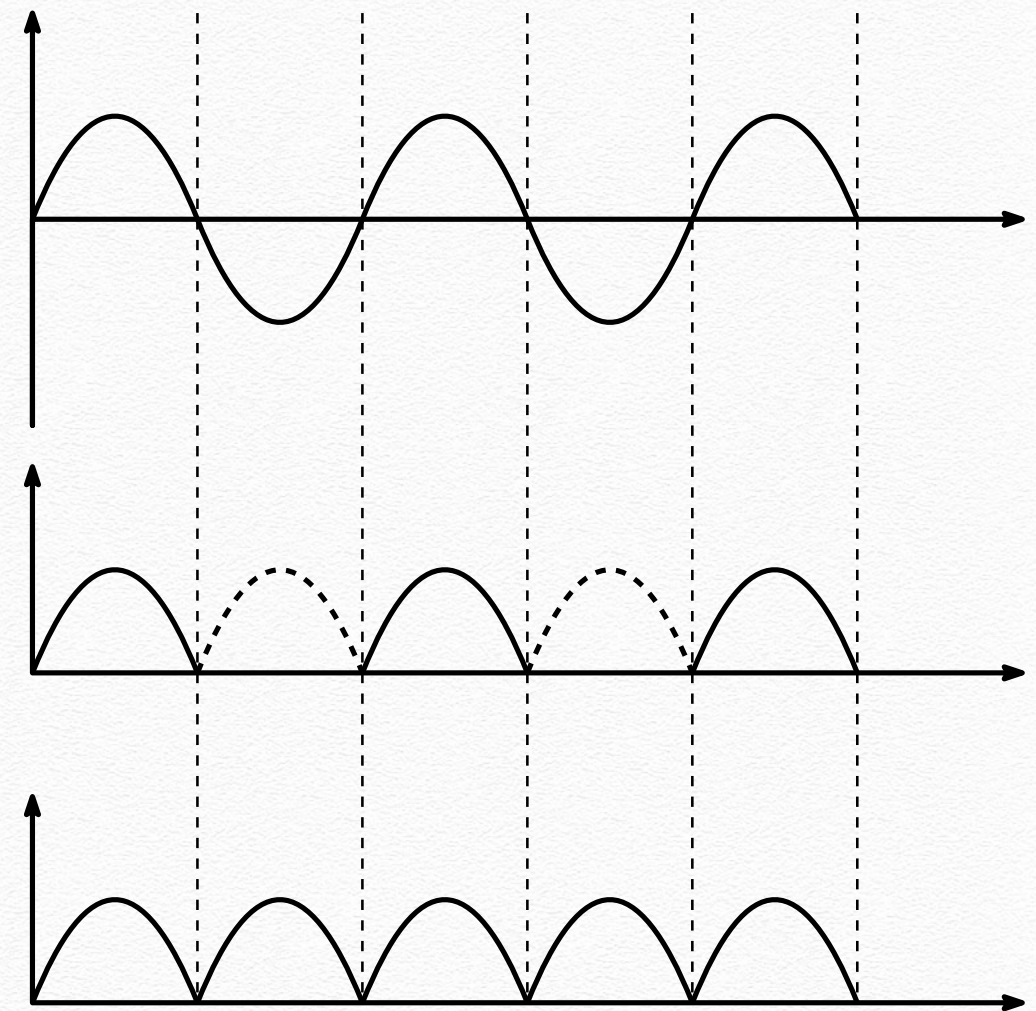
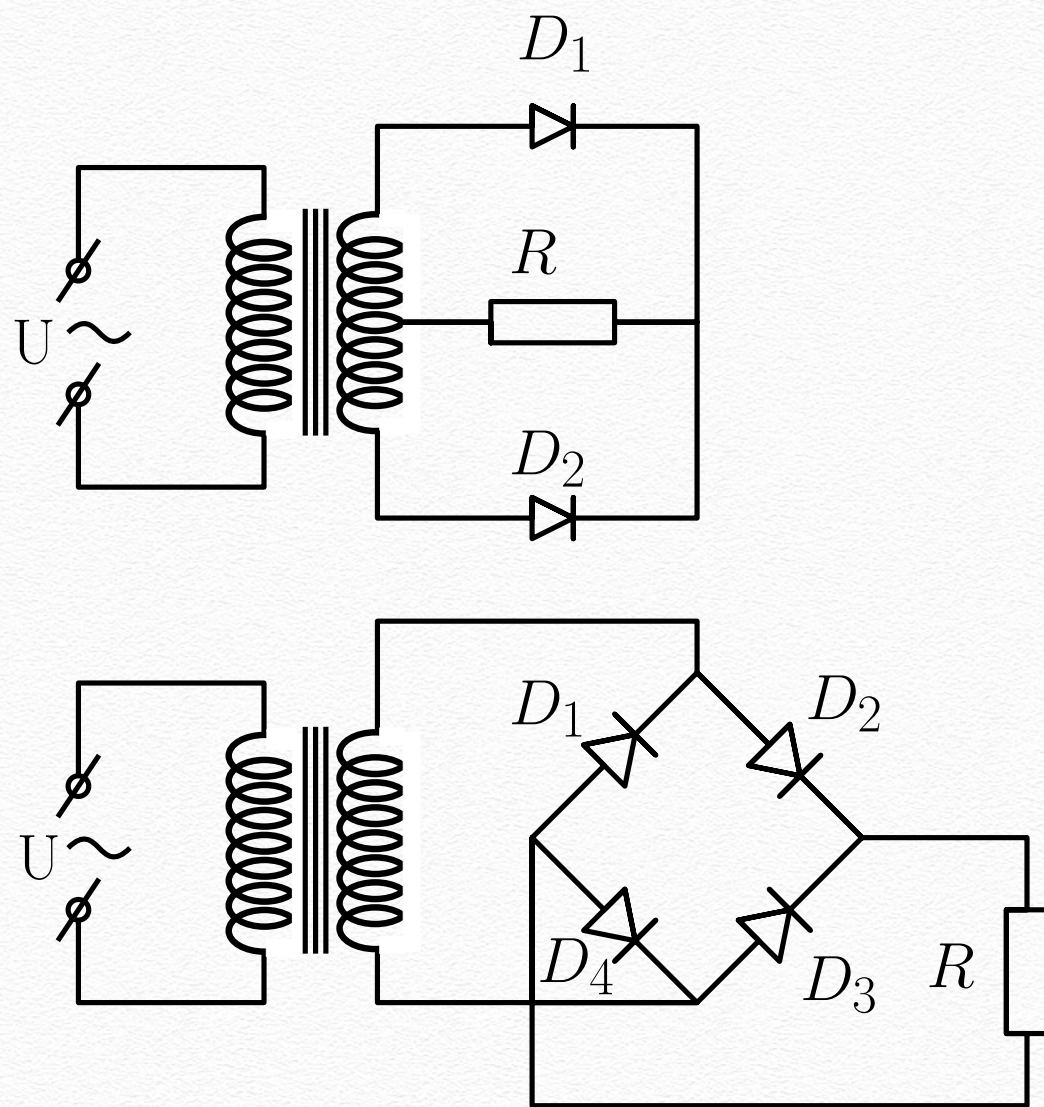
6. Đi ốt bán dẫn

- Mạch chỉnh lưu dùng đi ốt
 - ❖ Chỉnh lưu một nửa chu kỳ



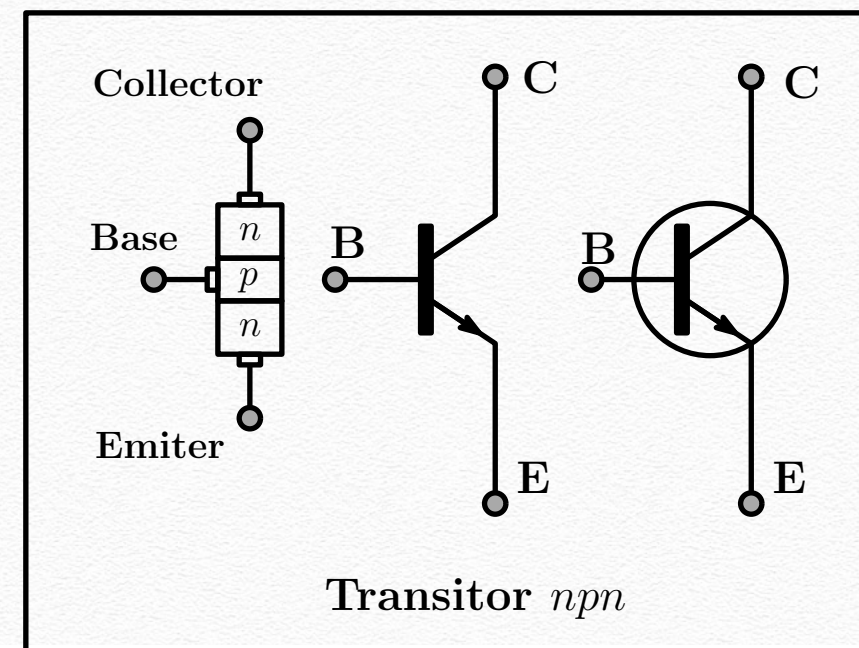
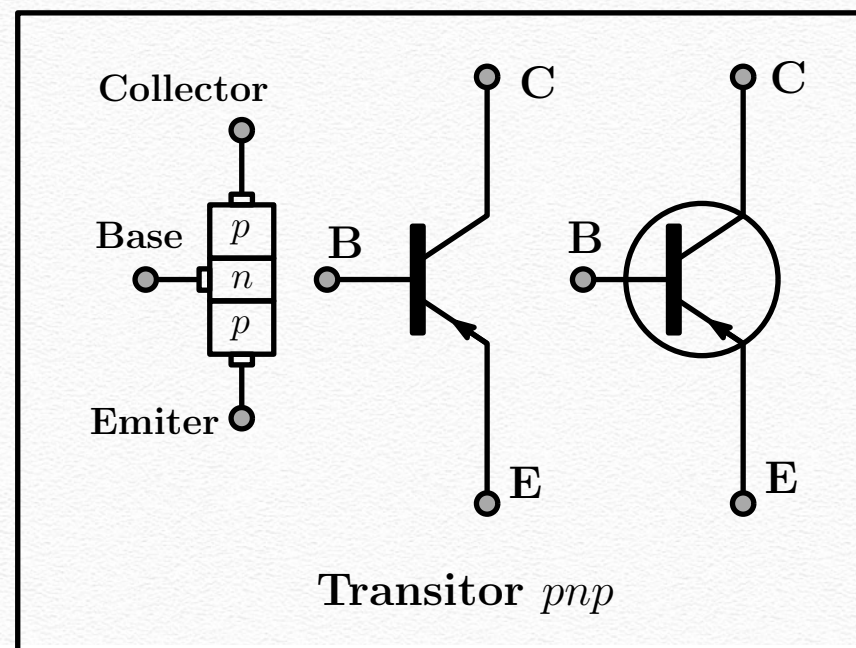
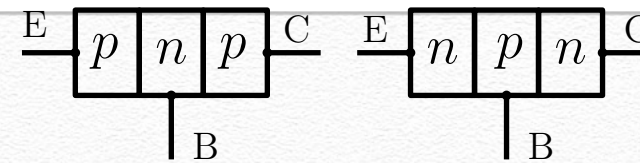
6. Đi ốt bán dẫn

- Mạch chỉnh lưu dùng đi ốt
 - ❖ Chỉnh lưu hai nửa chu kỳ



7. Transistor

- Gồm 3 lớp bán dẫn ghép với nhau thành 2 lớp tiếp xúc p – n.
- Lớp giữa gọi là **cực gốc Base (B)**, là lớp rất mỏng và có nồng độ tạp chất thấp.
- Hai lớp bán dẫn bên ngoài được nối ra thành **cực phát Emitter (E)**, và **cực thu Collector (C)**. Vùng bán dẫn E và C có cùng loại bán dẫn (loại n hay p) nhưng có kích thước và nồng độ tạp chất khác nhau nên không hoán vị cho nhau được.



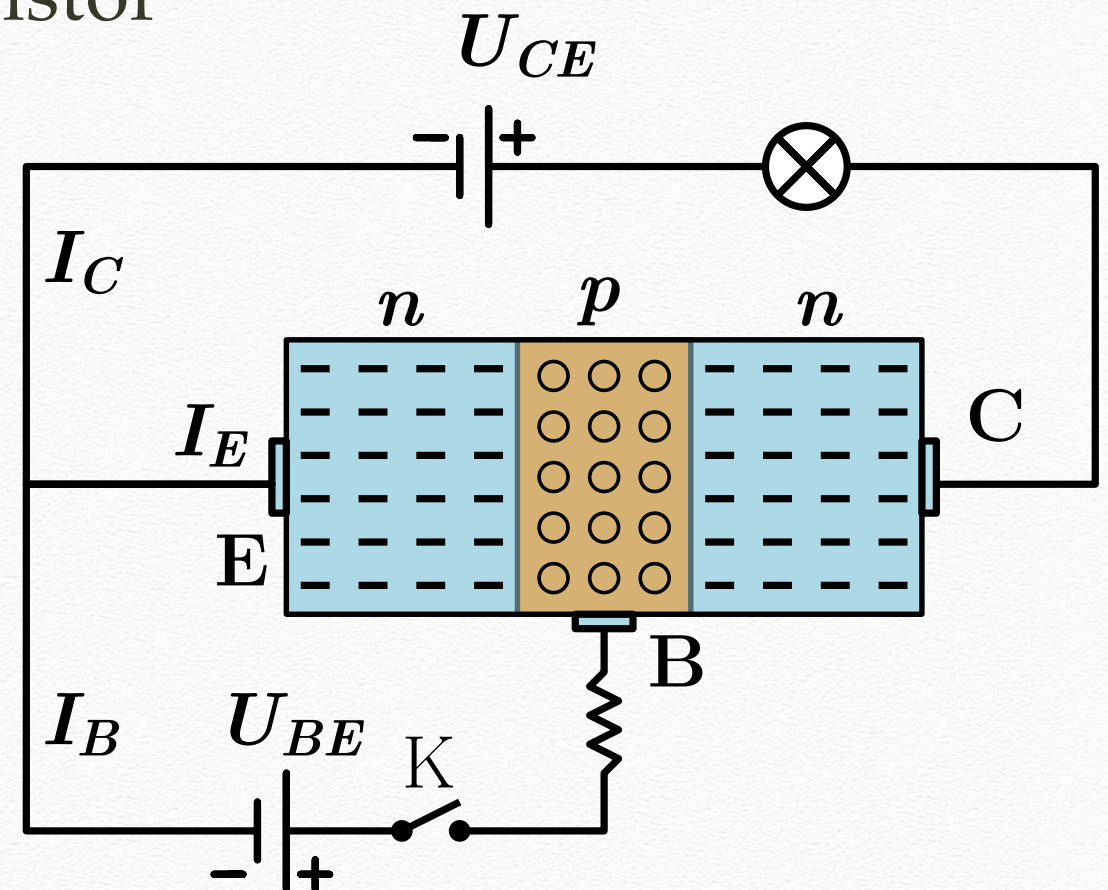
CHẤT BÁN DẪN

8. Nguyên tắc hoạt động của transistor

- Để có thể hoạt động ta phải cấp cho transistor một nguồn điện, nguồn điện cung cấp cho transistor được quy ước là nguồn cấp cho cực CE.
- K mở, không có dòng qua mỗi CE, hay $I_C = 0$, đèn tắt.
- K đóng, mỗi p – n phân cực thuận $\Rightarrow$ xuất hiện dòng I_B .
- Khi dòng I_B xuất hiện, cũng có dòng I_C xuất hiện chạy qua mỗi CE, làm đèn sáng. Dòng I_C mạnh hơn dòng I_B gấp nhiều lần. Dòng I_C phụ thuộc vào dòng I_B theo công thức.

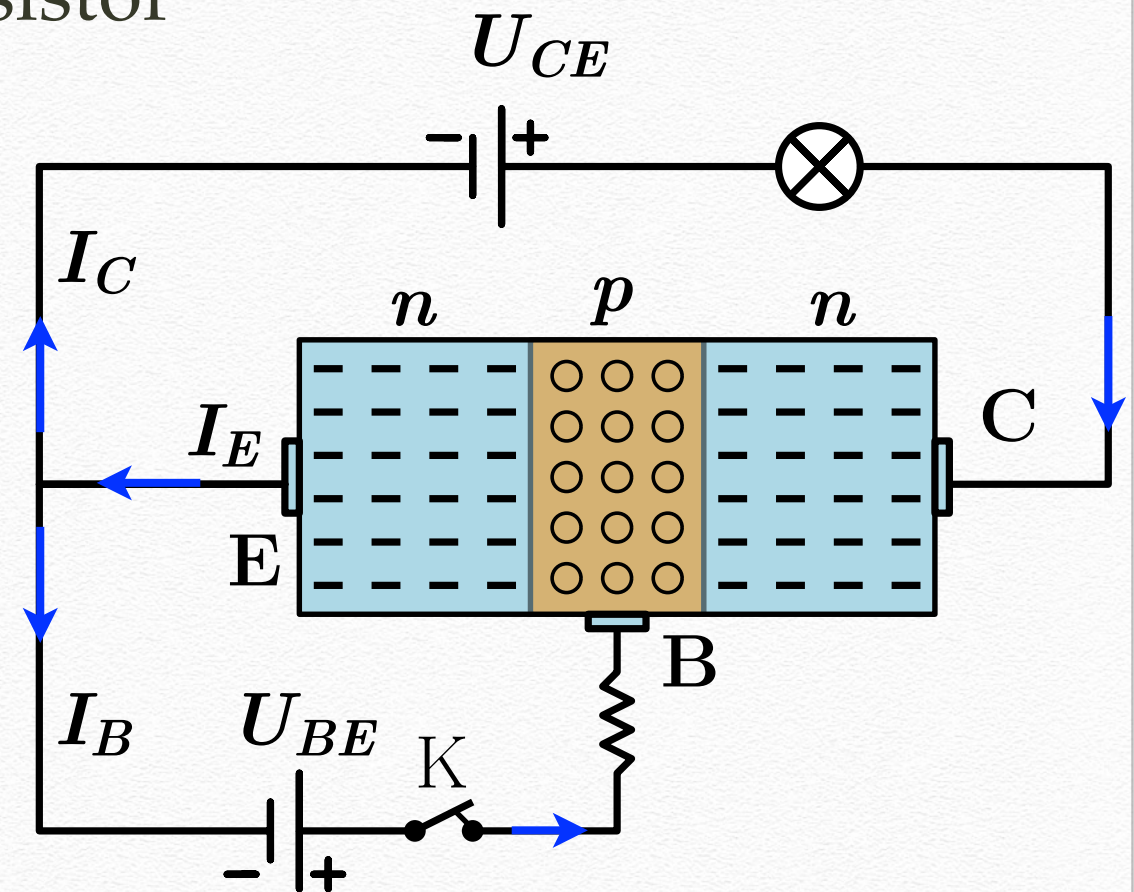
$$I_C = \beta \cdot I_B$$

- β được gọi là hệ số khuếch đại của transistor



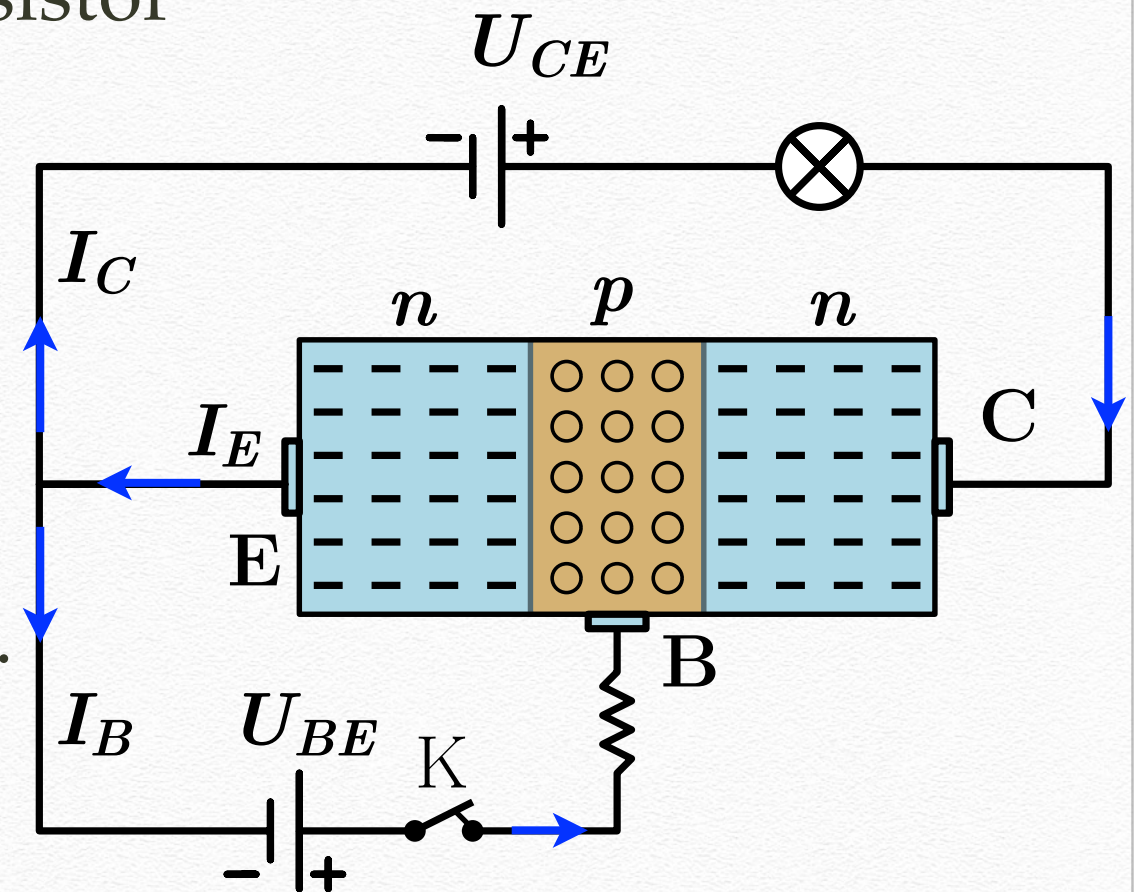
8. Nguyên tắc hoạt động của transistor

- Giải thích cơ chế hoạt động
 - ❖ Khi xuất hiện dòng I_B do lớp bán dẫn p tại cực B rất mỏng và nồng độ pha tạp thấp, vì vậy số điện tử tự do từ lớp bán dẫn n (cực E) vượt qua tiếp giáp sang lớp bán dẫn p (cực B) lớn hơn số lượng lỗ trống rất nhiều
 - ❖ Một phần nhỏ trong số các điện tử đó thế vào lỗ trống tạo thành dòng I_B còn phần lớn số điện tử bị hút về phía cực C dưới tác dụng của điện áp $U_{CE} \Rightarrow$ tạo thành dòng I_C chạy qua Transistor.



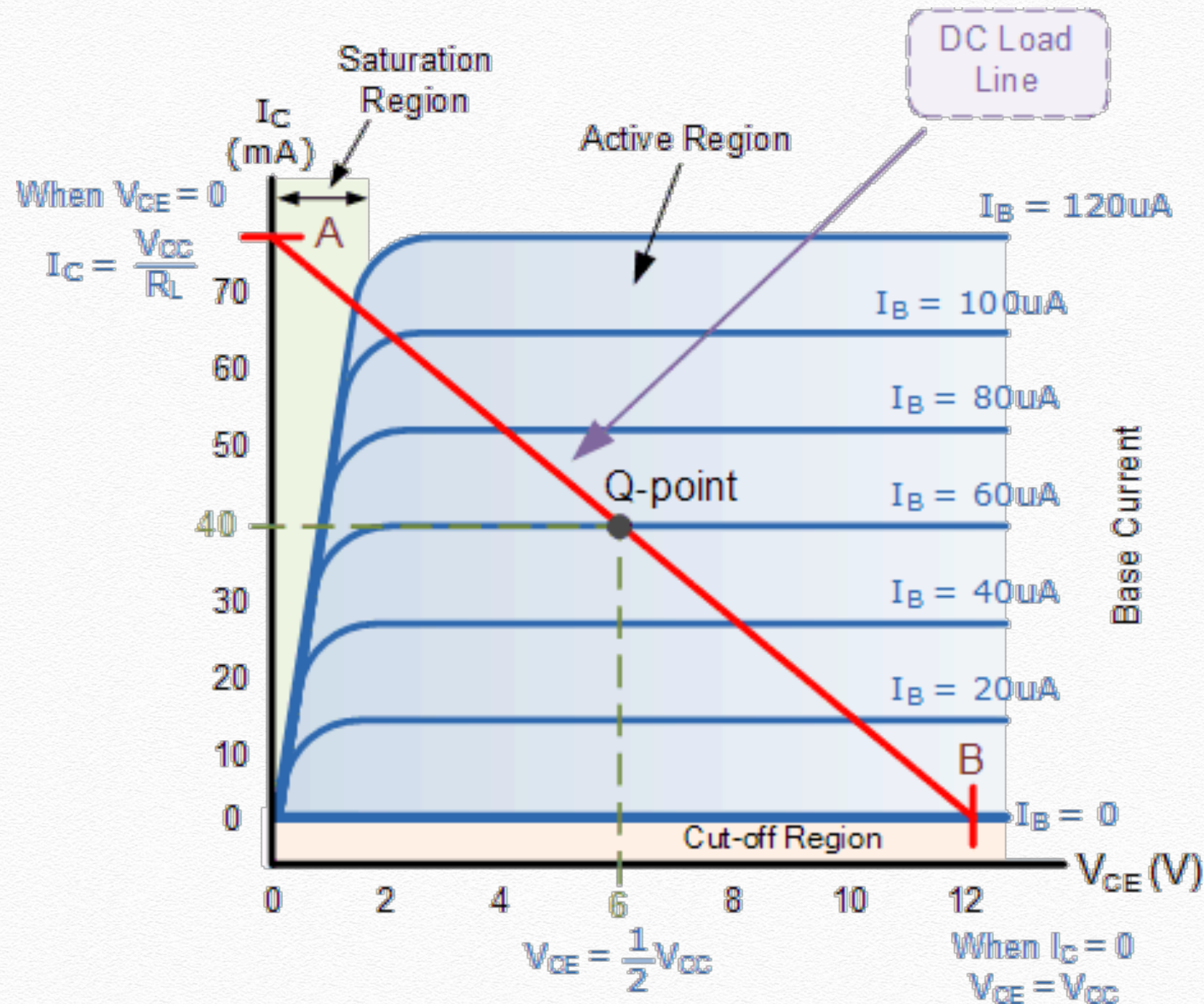
8. Nguyên tắc hoạt động của transistor

- Giải thích cơ chế hoạt động
 - ❖ Khi xuất hiện dòng I_B , transistor cho phép dòng điện đi từ Collector đến Emitter.
 - ❖ I_C tăng giảm tỉ lệ thuận với I_B .
 - ❖ $I_E = I_B + I_C$.
 - ❖ U_B luôn gần bằng U_E .
 - ❖ Chênh lệch $U_B - U_E$ càng lớn khi dòng điện qua transistor càng lớn.

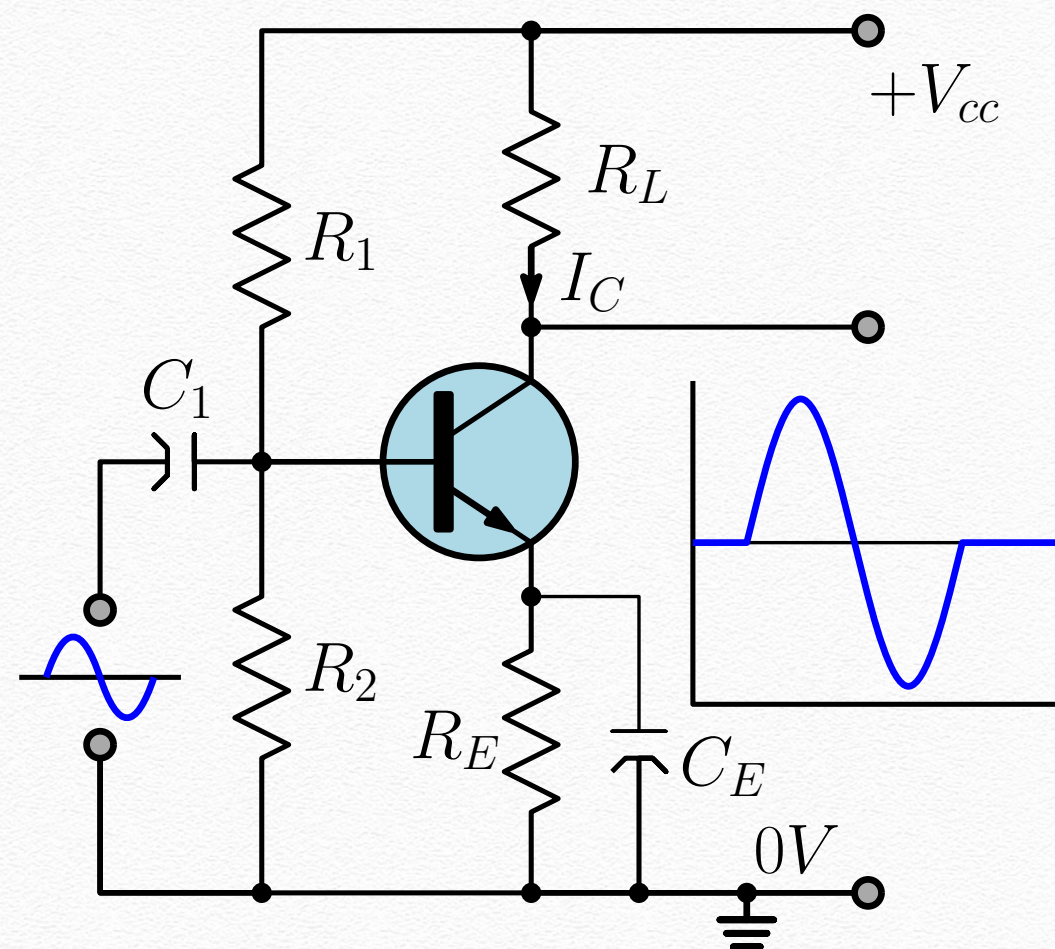


CHẤT BÁN DẪN

1. Đường đặc trưng Vôn-Ampe của transistor



1. Mạch khuếch đại dùng transistor



Hết chương 9

Nguyễn Tiên Hiền

Bộ môn Vật lý

Email: nguyentienhien@vnua.edu.vn

Webpage: <http://fita.vnua.edu.vn/nthien/>