

CHƯƠNG 1 VẬT LIỆU DẪN ĐIỆN (VLDD)

1.1. Các quá trình vật lý trong VLDD và các tính chất của chúng

1.1.1 Các khái niệm cơ bản về chất dẫn điện

Dòng điện là sự chuyển dịch có trật tự của các điện tích dưới tác động của điện trường. Dòng điện xuất hiện trong vật chất bị ảnh hưởng bởi điện áp, khi đó dưới tác dụng của lực điện trường sẽ tạo ra các trạng thái chuyển động một cách có trật tự của các điện tích có trong vật chất. Như vậy điều kiện cần thiết để có dòng điện ở bất kỳ vật chất nào chính là sự tồn tại các điện tích tự do. Nhưng tùy thuộc vào bản chất thiên nhiên của các hạt mang điện có trong vật chất, hiện tượng dẫn điện được quan sát có những sự khác biệt rất khác nhau. Những dạng dẫn điện chủ yếu gồm:

- Tính dẫn điện điện tử: Hạt mang điện là những điện tích âm, chính xác hơn là các điện tử. Tính dẫn điện này là đặc tính dẫn điện của kim loại và bán dẫn điện tử.
- Tính dẫn điện ion hay phân li: Hạt mang điện là những ion, có thể là các điện tích dương hoặc âm của phân tử hay nguyên tử. Sự chuyển dịch của các điện tích dẫn đến hiện tượng điện phân.
- Tính dẫn điện điện di (thường thấy ở điện môi lỏng): Vật chất mang điện là những nhóm điện tích của phân tử (hay molion). Sự tồn tại của dòng điện trong vật chất dẫn đến hiện tượng điện chuyển.

Chất dẫn điện là vật chất mà ở trạng thái bình thường có các điện tích tự do. Nếu đặt những vật liệu này vào trong một trường điện, các điện tích sẽ chuyển động theo hướng nhất định của trường và tạo thành dòng điện.

Vật liệu dẫn điện có thể là các vật liệu ở thể rắn, lỏng và trong một số trường hợp đặc biệt có thể là cả ở thể khí.

*Các vật liệu ở thể rắn: Gồm kim loại, hợp kim và một số biến thể của cac-bon (than kỹ thuật điện).

Kim loại dẫn điện chia làm 2 loại: Loại có điện dẫn cao và loại có điện trở cao.

Loại có điện dẫn cao được dùng làm dây dẫn; lõi cáp, cuộn dây của máy biến áp và máy điện, cuộn dây sóng, anot của các đèn phát có công suất lớn...

Kim loại, hợp kim có điện trở cao được dùng trong các dụng cụ nung bằng điện trở như đèn thấp sáng, biến trở...

*Vật liệu dẫn điện ở thể lỏng: Gồm kim loại lỏng (nóng chảy) và các dung dịch điện phân (ở nhiệt độ phòng có thể kể thủy ngân Hg).

Cơ cấu của sự dẫn điện của kim loại (dạng rắn và dạng lỏng) là do sự di chuyển của các điện tử tự do, do đó các vật liệu này có điện dẫn điện tử (thường được gọi là *vật liệu dẫn điện loại 1*)

Các chất điện phân (thường gọi là *vật liệu dẫn điện loại 2*) như các dung dịch axit, bazơ, muối ... cơ cấu của sự dẫn điện của loại này là do sự di chuyển của các ion,

hệ quả là các thành phần của chất điện phân thay đổi dần dần và trên các điện cực xuất hiện các sản phẩm điện phân.

Tất cả các chất khí (kể cả khí kim loại) trong điện trường yếu không phải là chất dẫn điện. Tuy nhiên nếu điện trường vượt quá một giá trị nào đó (làm xuất hiện các hiện tượng ion do va đập và ion hóa quang) thì chất khí có thể trở thành chất dẫn điện có cả tính dẫn điện tử và tính dẫn ion. Chất khí bị ion hóa mạnh có số electron và ion dương trong một đơn vị thể tích bằng nhau trở thành một môi trường đặc biệt gọi là plazma.

Kim loại được xem như một hệ thống cấu tạo từ các ion dương nằm trong môi trường các điện tử tự do, chúng quyết định nhiều tính chất đặc trưng của kim loại.

-Sức hút giữa các ion dương và các điện tử tạo nên tính nguyên khối của kim loại.

-Đặt kim loại vào điện trường ngoài, các điện tử chạy theo một hướng tạo ra dòng điện (tính dẫn điện của kim loại).

-Khi nung nóng kim loại, dao động nhiệt của các ion dương tăng làm cản trở điện tử chuyển động nên điện trở kim loại tăng.

-Sự truyền động năng của các điện tử tự do và các ion dương tạo nên tính dẫn nhiệt của kim loại.

-Các điện tử khi hấp thụ năng lượng ánh sáng sẽ bị kích thích lên mức cao hơn, khi trở về nó phát ra năng lượng dưới dạng bức xạ. Sự khác nhau giữa 2 mức năng lượng đặc trưng cho tần số ánh sáng phản xạ nên mỗi kim loại có màu riêng (ánh kim).

-Tính dẻo của kim loại được giải thích là do các điện tử tự do bảo đảm mối liên kết kim loại không bị biến đổi khi các nguyên tử (ion dương) dịch chuyển vị trí tương đối với nhau.

- Một số kim loại có độ từ thẩm từ, có tính chất nóng chảy (điểm nóng chảy của hợp kim khác với điểm nóng chảy kim loại tạo ra nó), có tính giãn nở nhiệt.

-Kim loại có tính chống lại sự ăn mòn của hơi nước, oxy của không khí ở nhiệt độ thường.

-Hợp kim là sản phẩm của sự nấu chảy 2 hay nhiều nguyên tố mà nguyên tố chủ yếu là kim loại còn một lượng nhỏ là á kim. Người ta thay thế kim loại nguyên chất bằng hợp kim vì kim loại có tính dẻo, độ bền thấp, điện trở nhỏ và thay đổi theo nhiệt độ, có hệ số giãn nở nhiệt lớn nên không dùng trong các cơ cấu máy chính xác.

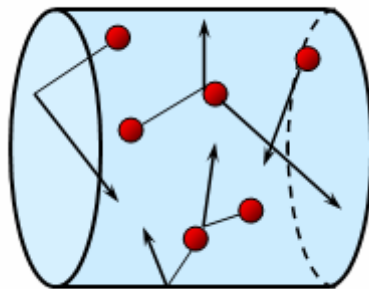
-Kim loại có tính chất cơ học: Nó có khả năng chống lại tác dụng của lực ngoài, nó có tính chất công nghệ như tính cắt gọt, tính hàn, rèn, đúc....

1.1.2 Sự dẫn điện của kim loại

Kim loại mang tính dẫn điện tử, khác với tính dẫn i-on là không có sự chuyển dịch nhìn thấy trong vật chất khi có dòng điện chảy qua.

Mặc dù trong kim loại có một số lượng lớn các điện tích chảy qua trong một thời gian dài nhưng không phát hiện bất kỳ sự thay đổi nào về khối lượng cũng như

thay đổi về cấu tạo hóa học (không kể tới sự ôxi hóa kim loại); các electron nằm ở không gian giữa các nút tinh thể; chúng dao động một cách hỗn loạn, tốc độ của chúng phụ thuộc vào nhiệt độ. Kích thước của các electron không đáng kể so với kích thước nguyên tử lại càng không đáng kể so với khoảng cách trung bình giữa các nguyên tử; như vậy các electron trong mức độ nào đó có thể xem như là các phân tử khí. Vì thế đôi khi chúng được gọi là khí điện tử. Khi kim loại không bị tác dụng của điện trường ngoài thì sự phân bố tốc độ chuyển động nhiệt của các electron (v_t) theo các hướng có xác suất như nhau, dòng điện không tồn tại khi không có điện trường ngoài (hình 1.1).



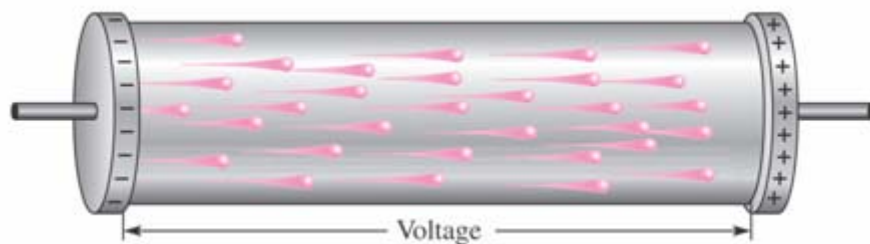
Hình 1.1 Chuyển động của các electron khi không có điện trường ngoài. Nếu kim loại được đặt trong một điện trường ngoài E thì mỗi electron sẽ chịu tác động của một lực:

$$F = e.E$$

Các electron chuyển động với một gia tốc ngược hướng điện trường E (hình 1.2) và bằng:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{eE}{m}$$

Trong đó $e = -1,6.10^{-19}$ (C) ; $m=9,1.10^{-31}$ (kg)



Hình 1.2 Các electron chuyển động ngược hướng điện trường. Qua thời gian t kể từ khi bắt đầu chuyển động vận tốc electron đạt được:

$$v_c = a.t = \frac{eEt}{m}$$

Tốc độ chung của electron bằng tổng của v_t và v_c .

Các electron va chạm với các nguyên tử ở nút tinh thể, sau mỗi lần va chạm vận tốc giảm về 0, sau đó lại tăng lên với gia tốc a . Gọi t_0 là thời gian chuyển động tự do không va chạm của electron. Khi đó tốc độ cực đại của electron là:

$$v_{\text{cmax}} = \frac{eEt_0}{m}$$

Vận tốc trung bình:

$$v_{\text{ctb}} = \frac{eEt_0}{2m} = \frac{eEl}{2v_t m}$$

Với $t_0 = l/v_t$; l : độ dài bước tự do của electron.

Có thể chứng minh rằng độ dài bước tự do tỷ lệ nghịch với nhiệt độ:

$$l = \frac{k_y}{2\pi NkT}$$

Trong đó:

k_y : Hệ số đàn hồi .

N : Mật độ nguyên tử .

k : Hằng số Boltzmann.

T : Nhiệt độ

Bảng 1.1: Độ dài bước tự do của electron trong một số kim loại ở 0°C (đơn vị Å⁰)

Li	110
Na	350
K	370
Ni	133
Cu	420
Ag	570
Au	410
Fe	220

Giả thiết trên một đơn vị thể tích (là một khối vuông có độ dài là 1 đơn vị) của vật chất có n hạt mang điện; giá trị điện tích của mỗi hạt là e . Tổng điện tích tự do trên đơn vị thể tích là ne . Tích của v_{ctb} với ne cho ta số lượng điện tích ở một đơn vị thời gian qua một đơn vị mặt cắt của vật thể, hay đó là mật độ dòng điện:

$$J = ne v_{\text{ctb}} = \frac{ne^2 l}{2v_t m} E = \gamma E$$

Đây là công thức tính cho một electron. Nếu xét tác động của điện trường lên tập hợp các electron tự do thì vận tốc trung bình sẽ lớn hơn cỡ hai lần. Khi đó:

$$\gamma = \frac{ne^2 l}{v_t m}$$

Như vậy điện dẫn suất (do đó điện trở suất và điện trở) của kim loại không phụ thuộc điện áp đặt lên nó.

Giả thiết động năng chuyển động nhiệt của electron tuân theo định luật chuyển động nhiệt của khí lý tưởng, ta có:

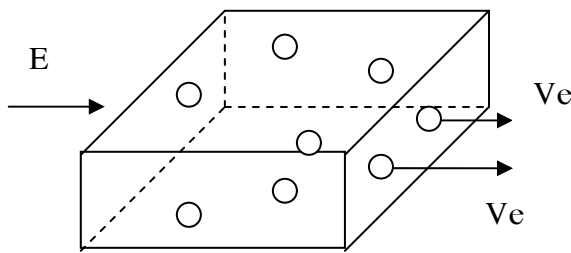
$$\frac{mv_t^2}{2} = \frac{3}{2} kT$$

$$v_t = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

$$\gamma = \frac{ne^2l}{\sqrt{3mkT}}$$

$$\rho = \frac{1}{\gamma} = \frac{\sqrt{3mkT}}{ne^2l}$$

Vậy khi nhiệt độ tăng lên thì điện trở của kim loại càng tăng. Vật lý lượng tử hiện đại đưa ra những công thức chính xác hơn nhưng bản chất vấn đề không thay đổi.



Hình 1.3

Giả sử ta quan sát một thể tích đơn vị dưới tác động của điện trường E vuông góc với một mặt của khối vuông (hình1.3).

Mật độ dòng điện trong kim loại được xác định bằng: $J = ne v_{ctb}$ (1.1)

Mặt khác:

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

$$I = J.S$$

$$U = E.l$$

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

Sau khi đơn giản, ta có:

$$J = \frac{E}{\rho} = E \cdot \gamma \quad (1.2)$$

Từ (1.1) và (1.2) ta có:

$$\gamma = ne \frac{v_{ctb}}{E} \quad (1.3)$$

Tỉ số $\mu = \frac{v_{ctb}}{E}$ được gọi là độ linh động (mobility) của hạt mang điện, đơn vị của μ là:

$$\frac{m/s}{V/m} = \frac{m^2}{V.s}$$

Công thức (1.3) được viết theo dạng sau:

$$\gamma = n.e.\mu$$

Gọi τ là thời gian trung bình giữa 2 lần va đập , ta có : $v_{ctb} = eE\tau / m$

Vậy : $\mu = v_{ctb} / E = e\tau / m$

Bảng 1.2 Độ linh động điện tử μ_e ($m^2 / V.s$) của một số kim loại

Cu: $\mu_e = 0.0032$
 Al: $\mu_e = 0.0015$
 Ag: $\mu_e = 0.005$

1.1.3 Điện trở suất của kim loại

Trong các kim loại có cấu trúc hoàn thiện, nguyên nhân duy nhất hạn chế độ dài bước tự do là dao động nhiệt của các nguyên tử ở các nút tinh thể. Rõ ràng là khi nhiệt độ tăng thì biên độ dao động nhiệt của các nguyên tử tăng theo làm tăng sự tán xạ của các electron, tức làm tăng điện trở.

Sự thay đổi của điện trở suất khi nhiệt độ thay đổi $1^{\circ}C$ được gọi là hệ số thay đổi điện trở suất theo nhiệt độ:

$$\alpha = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}$$

Trong miền tuyến tính, ta có

$$\rho_T = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$

Ở đó ρ_0 điện trở suất ở nhiệt độ ban đầu T_0

ρ điện trở suất ở nhiệt độ T

Trong đó α là hệ số thay đổi điện trở suất theo nhiệt độ đối với vật liệu tương ứng và ứng với những khoảng nhiệt độ được nghiên cứu. Hệ số α gần như giống nhau đối với các kim loại tinh khiết và có trị số gần đúng bằng $4.10^{-3} (1^{\circ}C)$.

Trong thiên nhiên không tồn tại tinh thể có cấu trúc hoàn thiện. Ở điều kiện thực tế thường xuyên có lỗi này hay lỗi khác. Những khác biệt này gọi chung là khuyết tật. Mặc dù nồng độ khuyết tật của những nguyên tử không lớn nhưng sự thay đổi tính chất vật lý của mạng tinh thể rất lớn.

Điện trở tổng của kim loại là tổng của điện trở gây ra bởi sự tán xạ của electron trên dao động nhiệt của các nút mạng ρ_t và điện trở dư ρ_{du} do sự tán xạ của các electron lên các khuyết tật:

$$\rho_{kl} = \rho_t + \rho_{du}$$

Ảnh hưởng lớn nhất trong việc tạo điện trở dư là sự tán xạ trên tạp chất (luôn tồn tại ở dạng chất bản hay hợp kim). Chú ý rằng bất kỳ tạp chất nào pha vào đều làm tăng điện trở suất, thậm chí nếu tạp chất đó có điện dẫn suất lớn hơn kim loại ban đầu (ví dụ: Pha 0.01% Ag vào dây đồng sẽ làm tăng điện trở suất lên $0.002\mu\Omega.m$)

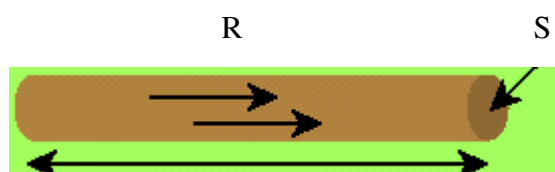
a. Điện trở R: là quan hệ giữa hiệu điện thế không đổi đặt ở hai đầu của dây dẫn và cường độ dòng điện một chiều tạo nên trong dây dẫn đó.

Điện trở của dây dẫn được tính theo công thức: (hình 1.4)

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

R: điện trở (Ω)

ρ : điện trở suất ($\Omega.m$).



l: chiều dài dây dẫn (m)
 S: tiết diện dây dẫn(mm²)

1

Hình 1.4

Điện dẫn G của một đoạn dây dẫn là đại lượng nghịch đảo của điện trở:

$$G = \frac{1}{R}$$

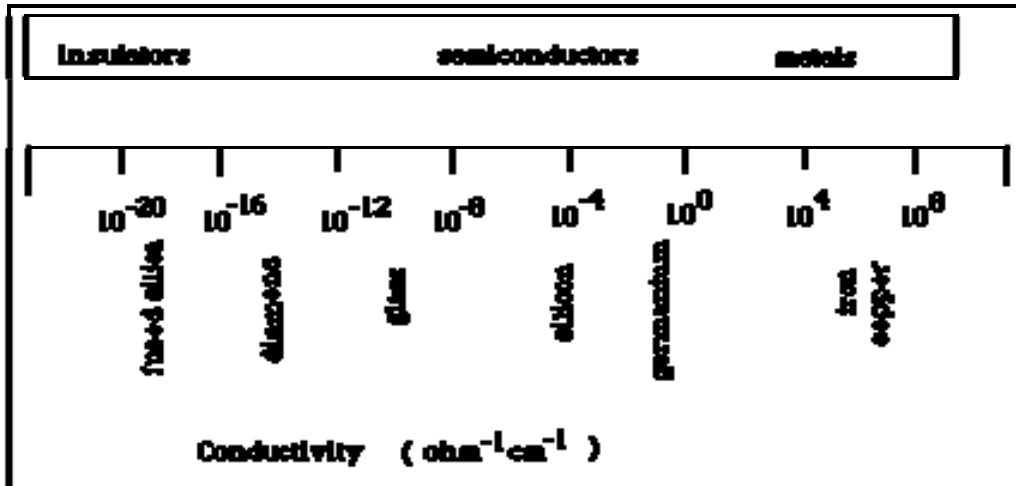
Điện dẫn được tính với đơn vị $\frac{1}{\Omega} = \Omega^{-1} = S$

b. Điện trở suất ρ : là điện trở của dây dẫn có chiều dài là một đơn vị chiều dài và tiết diện là một đơn vị diện tích.

Điện dẫn suất γ : là đại lượng nghịch đảo của điện trở suất.

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

Điện dẫn suất được tính theo: $m/\Omega \cdot mm^2$ hay $\Omega^{-1}cm^{-1}$



Bảng 1.3 Điện dẫn suất (conductivity) của: kim loại (metals), chất cách điện (insulators), chất bán dẫn (semiconductors).

Hệ số thay đổi điện trở suất theo nhiệt độ α :

Điện trở suất của kim loại và của nhiều hợp kim tăng theo nhiệt độ. Ở nhiệt độ sử dụng t_2 điện trở suất sẽ được tính toán xuất phát từ nhiệt độ t_1 theo công thức:

$$\rho(t_2) = \rho(t_1)[1 + \alpha(t_2 - t_1)]$$

Theo thực nghiệm thì đa số kim loại ở nhiệt độ phòng có $\alpha = 0,004(1/^\circ C)$

Hệ số thay đổi của điện trở suất theo áp suất:

Khi kéo hoặc nén đàn hồi, điện trở suất của kim loại biến đổi theo công thức:

$$\rho = \rho_0(1 \pm p\sigma).$$

Dấu “+” ứng với khi biến dạng do kéo, dấu “-“ do nén.

Ở đây, σ : Ứng suất cơ khí của mẫu.

p: Hệ số thay đổi của điện trở suất theo áp suất.

1.1.4 Hợp kim

a. Cấu tạo của hợp kim

Hợp kim là sản phẩm của sự nấu chảy hai hay nhiều nguyên tố mà nguyên tố chủ yếu là kim loại và hợp kim có tính chất của kim loại. Trong thành phần của hợp kim có thể có một lượng nhỏ các nguyên tố á kim, thí dụ thép là hợp kim của sắt và cacbon. Hợp kim được chế tạo chủ yếu bằng cách nấu chảy, ngoài ra cũng có thể bằng các phương pháp khác như: điện phân, thiêu kết...

b. Tính chất chung của hợp kim

* **Tính chất lý học của hợp kim:** Hợp kim có tính chảy loãng, tính dẫn nhiệt, tính giãn dài khi đốt nóng, vẻ sáng mặt ngoài, độ dẫn điện, độ thấm từ

- Tính nóng chảy: Hợp kim có tính chảy loãng khi đốt nóng và đông đặc lại làm nguội. Nhiệt độ ứng với hợp kim chuyển từ thể đặc sang thể lỏng hoàn toàn gọi là điểm nóng chảy.

- Tính dẫn nhiệt: là tính chất truyền nhiệt của hợp kim khi bị đốt nóng hoặc làm lạnh. Khi hợp kim có tính chất dẫn nhiệt tốt thì càng dễ đốt nóng nhanh và đồng đều, cũng như càng dễ nguội lạnh nhanh.

- Tính giãn nở nhiệt: Khi đốt nóng, các hợp kim giãn nở ra và khi nguội lạnh nó co lại. Sự giãn nở này cần đặt biệt chú ý trong nhiều trường hợp cụ thể.

- Tính nhiễm từ: Chỉ có một số kim loại có tính nhiễm từ, tức là nó bị từ hóa sau khi được đặt trong một từ trường. Tính nhiễm từ của thép và gang phụ thuộc vào thành phần và cả vào tổ chức bên trong của kim loại nữa, do đó tính nhiễm từ không phải là cố định đối với mỗi loại vật liệu.

* **Tính chất hóa học:** Tính chất hóa học biểu thị khả năng của hợp kim chống lại tác dụng hóa học của các môi trường có hoạt tính khác nhau. Tính chất hóa học của hợp kim biểu thị ở 2 dạng chủ yếu:

Tính chống ăn mòn: là khả năng chống lại sự ăn mòn của hơi nước hay ôxy của không khí ở nhiệt độ thường hoặc nhiệt độ cao.

Tính chịu axit: là khả năng chống lại tác dụng của các môi trường axit.

***Tính cơ học:** Tính chất cơ học của hợp kim gọi là cơ tính, là khả năng chống lại tác dụng của lực bên ngoài lên hợp kim. Cơ tính của hợp kim bao gồm: độ đàn hồi, độ bền, độ dẻo, độ cứng, độ dai va chạm

***Tính chất công nghệ:** là khả năng mà hợp kim có thể thực hiện được các phương pháp công nghệ để sản xuất các sản phẩm. Tính công nghệ bao gồm: tính cắt gọt, tính hàn, tính rèn, tính đúc, tính nhiệt luyện.

Tính nhiệt luyện là khả năng làm thay đổi độ cứng, độ bền, độ dẻo ... của hợp kim bằng cách nung nóng hợp kim tới nhiệt độ nhất định, giữ ở nhiệt độ đó một thời gian, rồi sau đó làm nguội hợp kim theo một chế độ nhất định.

Trong kỹ thuật thường sử dụng những hợp kim có cấu trúc dung dịch rắn; khi hình thành dung dịch rắn thì mạng tinh thể của kim loại được bảo toàn nhưng chu kỳ của mạng lại thay đổi.

Giống như kim loại, điện trở của hợp kim là tổng điện trở của các thành phần

$$\rho_{hk} = \rho_t + \rho$$

Trong đó :

ρ_t điện trở do sự tán xạ của electron lên dao động nhiệt của mạng.

ρ điện trở do sự tán xạ của electron lên sự không đồng nhất của hợp kim.

Đặc điểm của dung dịch rắn là ρ có thể lớn hơn nhiều lần so với ρ_t

Đối với những hợp kim gồm 2 thành phần A, B sự phụ thuộc của ρ vào thành phần được mô tả bởi phương trình parabol:

$$\rho = C \cdot x_a \cdot x_b = C \cdot x_a \cdot (1 - x_b)$$

Trong đó:

C: Hằng số phụ thuộc vào bản chất của mỗi hợp kim.

x_a, x_b thành phần nguyên tử của các kim loại A, B.

Ta thấy ρ sẽ tăng khi ta tăng nguyên tử B vào A hoặc tăng nguyên tử A vào B; ρ đạt giá trị cực đại của mình khi số lượng các thành phần bằng nhau $x_a = x_b = 0.5$

Trong dung dịch loãng khi một trong các thành phần (ví dụ như B) có nồng độ rất thấp và có thể coi như là tạp chất ($1 - x_b = 1$) thì ta có sự phụ thuộc tuyến tính của ρ

vào nồng độ nguyên tử $\rho = C x_A$

Một số phương pháp thử kim loại và hợp kim

Phương pháp Brinell:

Xác định độ cứng của kim loại: tức là khả năng chống lại sự lún của bề mặt kim loại tại chỗ ta ấn vào đó một vật cứng hơn.

Độ cứng Brinell

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Trong đó: P: Lực đặt vào bị (kg)

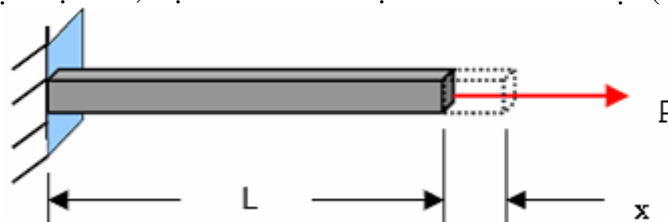
F: Diện tích mặt lõm (mm^2)

d: Đường kính của vết lõm (mm)

Dùng 1 viên bi cầu bằng thép đã tôi cứng có đường kính $D = 2,5; 5; 10 \dots$ mm ấn vào bề mặt vật cần thử với một lực P nhất định. Tỷ số giữa lực P và diện tích mặt lõm F gọi là độ cứng Brinell của vật HB [kg/mm^2].

Thử kéo:

Thử kéo là quá trình thử để xác định cơ tính của kim loại. Khi thử kéo ta có thể xác định được độ bền, độ đàn hồi và độ dẻo của kim loại. (Hình 1.5)



Hình 1.5 Thử kéo

-Độ bền: là khả năng của kim loại chống lại tác dụng của lực bên ngoài mà không bị phá hủy.

-Độ đàn hồi: là khả năng của kim loại có thể thay đổi hình dạng dưới tác dụng của lực bên ngoài rồi trở lại như cũ khi bỏ lực tác dụng.

-Độ dẻo: là khả năng biến dạng của kim loại dưới tác dụng của lực bên ngoài mà không bị phá hủy, đồng thời vẫn giữ được sự biến dạng khi bỏ lực tác dụng bên ngoài.

Độ dẻo được đánh giá bằng độ giãn dài tương đối và độ thắt tỉ đối

$$\sigma_s = \frac{l_1 - l_0}{l_0} 100\%$$

-Độ giãn dài tương đối

l_0 : Chiều dài tính toán ban đầu của mẫu thử

l_1 : Chiều dài tính toán lúc sau của mẫu thử

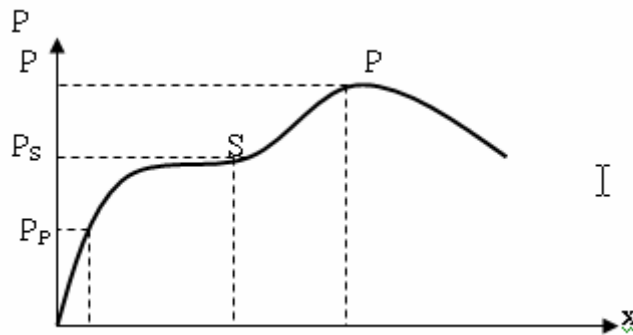
$$\Psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} 100\%$$

-Độ thắt tỉ đối

F_0 : Tiết diện của mẫu trước khi kéo

F_1 : Tiết diện của mẫu thử tại chỗ đứt

Kim loại càng dẻo thì độ giãn dài tương đối σ_s và độ thắt tỉ đối càng lớn.



Hình 1.6 Biểu đồ kéo

Ứng suất tại P_p có thể coi gần đúng như giới hạn đàn hồi của vật liệu.

Ứng suất tại trạng thái ứng với S được gọi là giới hạn chảy của vật liệu.

Vị trí điểm P ứng với trạng thái tải trọng của giới hạn bền khi kéo vật liệu. Trên biểu đồ kéo của thép ta có thể xác định giá trị của giới hạn bền, giới hạn chảy, giới hạn đàn hồi. Từ đó xác định được độ dẻo của thép.

1.1.5. Điện trở màng kim loại mỏng

Màng kim loại được ứng dụng rộng rãi trong kỹ thuật điện tử: chúng làm dây nối giữa các phần tử tiếp xúc, bản cực của tụ điện ...

Tính chất của màng kim loại mỏng có thể khác nhiều so với tính chất của kim loại khối ban đầu, mà cụ thể là sẽ điện trở suất tăng lên do xuất hiện hiệu ứng kích thước làm giảm độ dài bước tự do của electron, đó là hệ quả của sự phản xạ từ bề mặt của màng; ở nhiệt độ phòng sự tán xạ bề mặt này của electron gây ảnh hưởng rất mạnh lên phần lớn màng kim loại mỏng nếu độ dày của chúng nhỏ hơn $200 - 300 \text{ \AA}$.

Để đánh giá tính dẫn của màng kim loại ta sử dụng tham số điện trở hình vuông (hay điện trở mặt R_s):

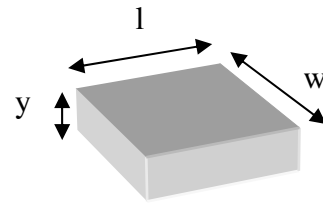
$$R_s = \rho \frac{l}{A} = \frac{\rho l}{yw} = \frac{\rho}{y}$$

Trong đó ρ : Điện trở suất của màng mỏng.

y : Độ dày của màng mỏng.

l và w là các cạnh của hình vuông ($l=w$).

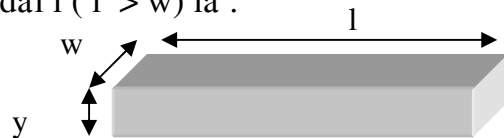
$A = yw$ là tiết diện (hình 1.7)



Hình 1.7

Điện trở của màng kim loại có bề rộng w , dài l ($l > w$) là :

$$R = \frac{\rho l}{y w} = \frac{R_s l}{w} \quad (\text{hình 1.8})$$

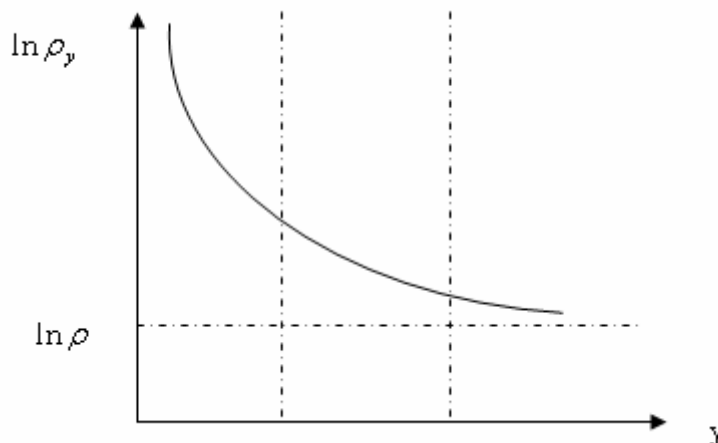


Hình 1.8

Điện trở suất của màng kim loại mỏng phụ thuộc vào độ dày y của nó theo qui

luật: $\rho_y = \rho \left(1 + \frac{l_0}{y} \right)$

trong đó l_0 là độ dài bước tự do của electron.



Hình 1.9 Sự phụ thuộc của điện trở suất màng kim loại mỏng vào độ dày của nó.

Để sản xuất điện trở màng mỏng thường phải sử dụng những màng có điện trở mặt cỡ $500 - 1000 (\Omega/\text{hình vuông})$; các vật liệu thường dùng là những kim loại khó nóng chảy như W, Mo, Cr, hợp kim của Ni với Cr..., điện trở màng mỏng làm từ

những kim loại sạch thường được ưa chuộng hơn, vì chúng có thành phần không đổi nên bảo đảm được tính đồng nhất của cấu trúc làm tăng tính ổn định của các tính chất điện của điện trở.

1.1.6. Hiện tượng tiếp xúc và sức nhiệt điện động

Khi cho 2 kim loại khác nhau tiếp xúc thì giữa chúng có một hiệu thế tiếp xúc, nguyên nhân sinh ra hiệu thế tiếp xúc là do công thoát của mỗi kim loại khác nhau nên số electron tự do trong mỗi kim loại khác nhau sẽ không bằng nhau (Hình 1.10).

Theo lý thuyết, hiệu thế tiếp xúc U_{AB} giữa 2 kim loại A ,B là:

$$U_{AB} = U_B - U_A = \frac{kT}{e} \ln \frac{n_A}{n_B}$$

Trong đó:

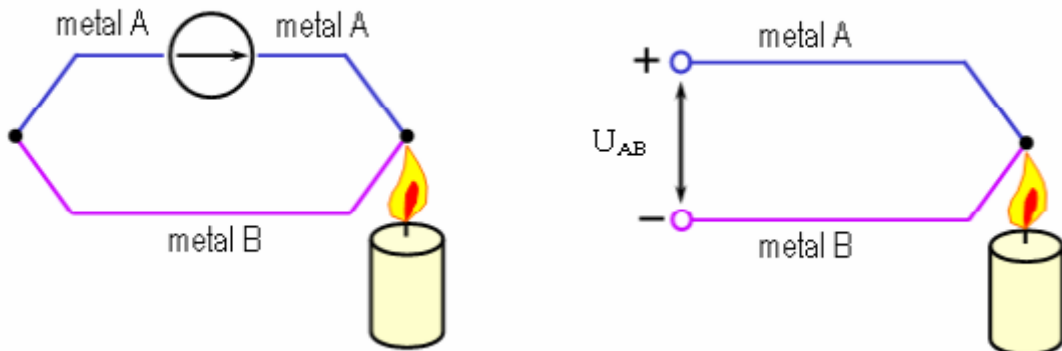
U_A, U_B là hiệu thế tiếp xúc của 2 kim loại A và B.

n_A, n_B là số electron trong 1 đơn vị thể tích của 2 kim loại A và B.

T: Nhiệt độ chỗ tiếp xúc.

k : Hằng số Boltzmann.

Hiệu thế tiếp xúc của các cặp kim loại dao động từ vài phần nghìn đến vài vôn.



Hình 1.10 Hiện tượng tiếp xúc

Nếu nhiệt độ 2 mối hàn như nhau thì tổng các hiệu thế trong mạch kín bằng 0.

Nếu 2 mối hàn có nhiệt độ T_1 và T_2 khác nhau thì khi đó xuất hiện sức nhiệt điện động:

$$U = U_{AB} + U_{BA} = U_B - U_A + U_A - U_B = \frac{kT_1}{e} \ln \frac{n_A}{n_B} + \frac{kT_2}{e} \ln \frac{n_B}{n_A} = \frac{k}{e} \ln \frac{n_B}{n_A} (T_2 - T_1)$$

$$U = \alpha_T (T_2 - T_1)$$

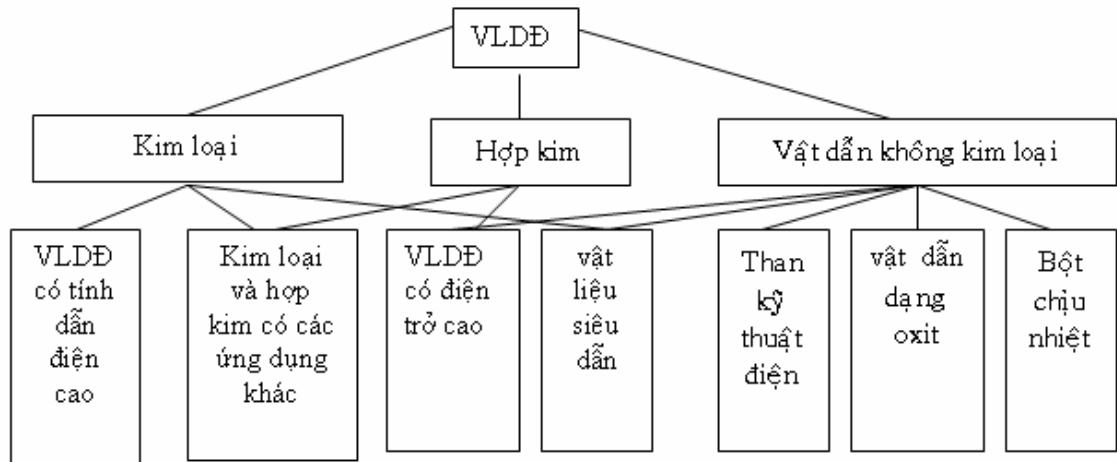
Trong đó: $\alpha_T = \frac{k}{e} \ln \frac{n_B}{n_A}$ là hệ số sức nhiệt điện động.

Ta thấy sức nhiệt điện động là hàm số của hiệu số nhiệt độ. Như vậy nếu dùng 2 kim loại có sức nhiệt điện động lớn thì có thể dùng cặp nhiệt ngẫu để đo nhiệt độ (nhiệt độ của 1 mối hàn được giữ ở giá trị không đổi và biết trước gọi là nhiệt độ chuẩn $T_1 = T_{ref}$, nhiệt độ T_c của mối hàn thứ hai khi đặt trong môi trường nghiên cứu sẽ đạt giá trị T_x chưa biết)

1.2 Vật liệu dẫn điện (VLĐĐ)

1.2.1 Phân loại

Trong vật lý, hóa học và trong kỹ thuật VLĐĐ được phân loại theo các cách khác nhau. Một trong các sơ đồ phân loại VLĐĐ theo thành phần, tính chất và ứng dụng được dẫn ra như sau:



Hình 1.11 Phân loại vật liệu dẫn điện

Kim loại và hợp kim với các ứng dụng khác nhau có thể kể đến :

- Kim loại khó nóng chảy.
- Kim loại quý .
- Kim loại với nhiệt độ nóng chảy trung bình.
- Kim loại với nhiệt độ nóng chảy thấp, vật liệu hàn.

1.2.2 Vật liệu có tính dẫn điện cao

Vật liệu thuộc nhóm này là vật liệu có điện trở suất ở điều kiện bình thường không vượt quá $0.1\mu\Omega\text{m}$. Thông dụng nhất trong số này là đồng và nhôm.

a. Đồng (Cu)

Đồng có cấu trúc tinh thể là loại lập phương diện tâm. Thông số mạng $a=3,61\text{Å}$, số nguyên tử trong 1 ô cơ bản $n_v = 4$, mật độ nguyên tử $N = n_c = n_v / a^3$.

Điện dẫn suất rất cao (chỉ sau bạc Ag), cơ tính lớn, chống được sự ăn mòn của không khí nhờ lớp oxit CuO bảo vệ, tính đàn hồi cao.

Màu sắc đỏ nhạt, dễ dát mỏng (giấy đồng có thể mỏng đến $0,0008\text{mm}$), có sức bền lớn khi bị va đập, có khả năng gấn và hàn dễ dàng.

Đồng không nhiễm từ. Tính chất cơ học của đồng phụ thuộc vào mức độ tinh khiết trong nó. Hợp kim đồng gồm nhiều vật liệu sẽ làm tăng điện trở suất vì vậy việc sử dụng hợp kim đồng được hạn chế, chỉ chế tạo đối với những chi tiết có yêu cầu cơ khí cao hoặc ở những chi tiết mà điện trở không đóng vai trò quan trọng. Hợp kim của đồng với cadimi Cd, Al, Sn, Ni, Zn sẽ tăng sức bền khi kéo và tăng tính chịu nhiệt.

Như vậy, các ưu điểm của Cu làm cho nó được dùng rộng rãi để làm vật dẫn là:

- Điện trở suất bé, chỉ lớn hơn Ag nhưng do Ag đắt tiền hơn nên ít được sử dụng.
- Có sức bền cơ học lớn.
- Có thể chịu được tác dụng của sự ăn mòn (đồng chỉ bị oxi hoá nhiều ở nhiệt độ cao, còn khi làm việc trong môi trường có độ ẩm cao Cu bị oxi hoá chậm hơn so với Fe).
- Dễ gia công: Cán mỏng thành lá, kéo thành sợi...
- Dễ hàn, nối ...

Đồng có nhiều loại:

Đồng tiêu chuẩn : Là loại đồng có điện dẫn suất $\gamma = 58 \frac{m}{\Omega mm^2}$ hay $\rho = 0,017 \frac{\Omega mm^2}{m}$

Điện dẫn của Cu có thể thay đổi rất mạnh khi có tạp chất. Ví dụ nếu trong đồng có 0.5%Zn, Cd, Mg thì điện dẫn của Cu có thể giảm đi 5%, và nếu cũng có chừng đó các chất Ni, Sn, Al thì có thể giảm đến 25%-40%; còn nếu có tạp chất Ba, As, P, Si thì có thể đến 55%. Vì vậy để làm vật dẫn thường chỉ dùng đồng điện phân chứa 99,9% Cu; nếu có ôxi thì đồng sẽ bị giòn.

Đồng không có ôxi:

Là đồng có độ bền cơ học rất tốt, trong nó không chứa quá 0.05% tạp chất và trong lượng tạp chất ấy thì lượng ôxi không quá 0.02%.

Đồng cứng: có sức bền cao, độ giãn dài bé, rắn và đàn hồi khi uốn.

Đồng mềm: được nung nóng xong để nguội, nó ít rắn, sức bền cơ học kém, độ dẫn khi đứt rất lớn, điện dẫn suất cao.

Cả 2 loại đều có hệ số thay đổi điện trở suất theo nhiệt độ như nhau.

Về công dụng thì đồng cứng dùng ở nơi nào cần có sức bền cơ học cao, độ rắn lớn chịu được sự mài mòn còn đồng mềm thì được dùng ở nơi nào cần có độ uốn lớn và sức bền cơ giới không đáng kể.

Hàng số vật lý và các tính chất hoá học:

Bảng 1.4 Giới thiệu các tính chất vật lý hoá học của đồng điện phân

Đặc tính	Đơn vị đo lường	Chỉ tiêu
Trọng lượng riêng ở 20°C	Kg/dm ³	8,90
Điện trở suất ở 20°C	$\Omega mm^2/m$	
- Dây mềm	-	0,01748
- Dây cứng	-	0,01786
- Hệ số thay đổi của điện trở suất theo nhiệt độ (ở 0°C – 150°C)	1/°C	0,00393
-Nhiệt dẫn suất	W/cm.grd	3,92
	Calo/cm.s.grd	0,938
-Nhiệt độ nóng chảy	°C	1083
-Nhiệt lượng riêng trung bình ở 25°C	Kcal/Kg.grd	0,0918

-Điểm sôi ở 760mm cột thủy ngân	°C	2325
-Hệ số giãn nở dài trung bình ở 20°C	1/độ (grd)	$16,42 \cdot 10^{-6}$
-Nhiệt độ kết tinh lại	°C	200
-Môđun đàn hồi, E		13000
-Sức bền đứt khi kéo		
-Dây mềm	Kg/mm ²	21
-Dây cứng	Kg/mm ²	45
-Kéo dài (riêng) ngang khi đứt	%	50 (mềm) 2 (cứng)
-Độ cứng Brinell	Kg/mm ²	
-Mềm		35 ở nhiệt
-Cứng		95 cứng
Thế điện hoá so với H	V	+0,34

Các hợp kim của đồng :

Hợp kim đồng thường gặp là đồng thanh và đồng thau.

Đồng thanh: có từ 3% đến 25% Zn và có thể pha thêm một số tạp chất khác... Người ta dùng đồng thanh để gia công các vòng cổ góp điện, các giá đỡ chổi than các khung, các tiếp điểm, các vòng cung... Đồng thanh còn được sử dụng cho việc chế tạo các dây dẫn viễn thông các đường dây trên không và các dây dẫn tải điện, chế tạo máy và các khí cụ điện, để gia công các chi tiết dùng để nối dây dẫn điện, dùng để giữ dây, vòng đầu dây và các đế đai vít, đai ốc cho hệ thống nối đất...

Ngoài việc dùng đồng tinh khiết để làm vật dẫn, người ta còn dùng các hợp kim của đồng trong đó có các chất như Sn, Si, P, Cr, Mn, Cd với hàm lượng ít, loại này có tên là đồng đỏ (Bronze); tùy theo tạp chất pha thêm vào, đồng đỏ có tính chất cơ học cao hay thấp so với đồng thường: sức bền chịu kéo của đồng đỏ có thể đạt đến 80(kg/mm²) -135(kg/mm²); điện trở suất lớn hơn so với đồng thuần túy, đồng đỏ thường được sử dụng để làm các lò xo dẫn điện.

Đồng thanh cadimi: Nếu trong đồng có Cd thì hợp kim có độ bền cơ học, điện dẫn và độ rắn cao; loại này có tính dẫn điện cao nhất dùng để chế tạo dây dẫn cho tàu điện, các cổ góp điện, vòng trượt, làm đầu tiếp xúc các phiến đồng trong cổ góp của máy điện.

Đồng thanh photpho: có độ bền cao và tính đàn hồi lớn. Do tính dẫn điện thấp nên dùng để sản xuất các chi tiết lò xo cần mật độ dòng điện bé. Đồng thanh có tính dễ đúc cao nên dùng trong các chi tiết dẫn điện có hình dáng phức tạp.

Đồng thau (Latun): Đồng thau là một hợp kim đồng với kẽm, trong đó kẽm không vượt quá 46%... Dùng để gia công các chi tiết dẫn điện như: các đầu cực ở các bảng điện phân phối, các nối phân cách, các đầu nối đến hệ thống tiếp đất, các móc giữ, các móc hình chữ T cho các mối nối nhánh, các đế đèn, các ổ cắm điện.... đồng thau có điện trở suất cao hơn so với đồng, có thể chịu được các quá trình gia công nên thường được dùng để chế tạo các chi tiết có độ bền cao như roto lồng sóc

trong động cơ điện, các chi tiết như vít, chốt, khóa, làm các chi tiết dẫn điện trong vô tuyến điện.

Bảng 1.5 So sánh các tham số của đồng, đồng thanh, đồng thau

	Đồng	Đồng thanh	Đồng thau
Điện trở suất ρ [Ωcm]	$1,75 \cdot 10^{-6}$	$1,92 \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-6}$
Nhiệt dẫn suất λ [$\text{w/cm} \cdot ^\circ\text{C}$]	3,9	0,54 đến 0,43	0,83 đến 1,17
Nhiệt lượng riêng C [$\text{w.s/g} \cdot ^\circ\text{C}$]	0,39		
Trọng lượng riêng γ [g/cm^3]	8,9	7,4	8,3
Độ cứng Brinell HB [kg/mm^2]	35/ 95	80/ 200	40/120
Ứng suất kéo được σ_{kd} [kg/mm^2]	21/45	50/ 85	18/ 50
Ứng suất cho phép σ_{cp} [kg/mm^2]	18		
Nhiệt độ nóng chảy ($^\circ\text{C}$)		900 đến 1200	850 đến 920

b. Nhôm(Al)

Nhôm dẫn điện tốt chỉ sau Ag, Cu, Au, nhôm có điện trở suất $\rho = 2,9 \cdot 10^{-6} \Omega\text{cm}$, nó dẫn nhiệt tốt $\lambda = 3,12 \text{ w/cm} \cdot ^\circ\text{C}$, tương đối nhẹ $\gamma = 2,7 \text{ g/cm}^3$.

Nhôm chịu ăn mòn tốt do có lớp oxit Al_2O_3 bảo vệ.

Nhôm dễ dát mỏng, kéo dài và tương đối mềm, có điểm nóng chảy thấp ($t_{nc}=680^\circ\text{C}$).

Độ bền cơ học thấp, khó hàn, dễ bị tác dụng với muối nước, HCl, NaOH đậm đặc. Nhôm là loại vật liệu thứ hai sau đồng sử dụng rất rộng rãi; nó là loại vật liệu có màu bạc, trắng và là một kim loại nhẹ (nếu 2 dây dẫn đồng và nhôm bằng nhau về độ dài, bằng nhau về điện trở thì mặc dù nhôm có tiết diện lớn hơn 1,68 lần, đường kính lớn hơn 1,3 lần nhưng nó lại nhẹ hơn đồng gần 2 lần); còn các hệ số giãn nở nhiệt, nhiệt dung, nhiệt lượng để cho chảy thì lớn hơn đồng (do đó để cho nhôm chuyển sang trạng thái lỏng cần nhiều nhiệt năng hơn so với đồng, tuy rằng điểm nóng chảy của nhôm thấp hơn đồng); điện trở suất của nhôm gấp 1,6 lần đồng; nhôm lại có nhiều trong thiên nhiên, giá thành rẻ hơn đồng (khi thay dây cần chú ý đến việc giá thành của cách điện tỉ lệ với chu vi của tiết diện nên có khi dùng nhôm sẽ đắt hơn so với đồng). Nhược điểm của nhôm là có độ bền cơ học thấp và khó hàn so với đồng.

Nhôm có tính dẻo lớn nên có thể sản xuất thành lá, dây, thanh, giấy nhôm. Nhôm nguyên chất dùng làm bản cực cho tụ điện, vỏ bọc bảo vệ dây cáp thay cho chì vì có tính mềm dẻo, chống ăn mòn tốt. Cũng như đồng, nhôm được sử dụng rộng rãi trong kỹ thuật làm dây dẫn, làm dụng cụ gia đình...

Nhôm dễ bị oxi hóa và khi đó sẽ hình thành lớp ôxi mỏng có điện dẫn bé có tác dụng bảo vệ không cho nhôm bị tiếp xúc ăn mòn, nhưng lại làm cho chỗ tiếp xúc có điện trở lớn, không cho phép tiến hành hàn nhôm bằng phương pháp thông thường (khi hàn nhôm phải dùng que hàn đặc biệt hay phương pháp siêu âm).

Lớp ôxit nhôm dày có thể dùng làm cách điện, do đó khi dùng nhôm đã bị oxi hoá để làm cuộn dây thì có thể không dùng cách điện giữa các vòng dây và các lớp dây, nhược điểm chính của cách điện loại này là hạn chế tính dẻo và có tính hút ẩm cao.

Trong thực tế đối với nhôm cần chú ý đến hiện tượng ăn mòn điện phân chỗ tiếp xúc giữa đồng và nhôm. Nếu chỗ tiếp xúc bị ẩm thì ở đây sẽ xuất hiện một sức điện động có chiều sao cho dòng điện đi từ nhôm sang đồng, do đó phần nhôm ở chỗ tiếp xúc bị ăn mòn rất nhiều; vì vậy chỗ tiếp xúc giữa đồng và nhôm cần chú ý bảo vệ chống ẩm (quét sơn). Ôxit nhôm sử dụng rộng rãi trong kỹ thuật chế tạo tụ điện, bộ nắn và các bộ chống sét. Nhôm là vật liệu dễ phun thành bụi và kết dính với Si và màng cách điện từ SiO_2 sử dụng trong kỹ thuật bán dẫn.

Bảng 1.6 Các hằng số vật lý và hoá học chính của nhôm

Tính chất	Đơn vị đo	Chỉ tiêu
-Trọng lượng riêng ở 20 °C	Kg/dm^3	2,7
-Điện trở suất ở 20 °C	$\Omega \cdot \text{cm} \cdot 10^{-6}$	2,941
-Điện dẫn suất ở 20 °C	$\Omega^{-1} \text{cm}^{-1} \cdot 10^{-6}$	0,34
-Hệ số thay đổi của điện dẫn suất theo nhiệt độ ở 20 °C	$1/^\circ\text{C}$	0,004
-Nhiệt dẫn suất ở 20 °C	$\text{W/cm} \cdot ^\circ\text{C}$	2,1
	$(\text{cal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C})$	0,503
-Nhiệt độ nóng chảy bình thường	$^\circ\text{C}$	657
-Nhiệt lượng riêng trung bình	Kcal/kg	0,2259
-Nhiệt lượng nóng chảy tiềm tàng riêng	Kcal/kg	93
-Điểm sôi ở 760 mm cột thuỷ ngân	Độ	2270
-Hệ số giãn nở dài trung bình (20 – 100°C)	$1/^\circ\text{C}$	$23,8 \cdot 10^{-6}$ 250-300
-Nhiệt độ tái tạo tinh thể	độ	7200
-Môđun đàn hồi	kg/mm^2	9 mềm
-Sức bền đứt khi kéo	kg/mm^2	17 cứng
-Độ giãn dài riêng khi kéo	%	45
-Độ cao tương đối	%	80
-Độ cứng Brinell	kg/mm^2	22

Bảng 1.7 Tính chất cơ học của nhôm

Tính chất cơ học	Đơn vị đo lường	Trạng thái vật liệu		
		Đúc	Cứng (kéo) không được ủ nhiệt	Mềm – đã ủ nhiệt
-Sức bền đứt khi kéo	kg/mm ²	9-12	15-25	8 -11
-Giới hạn đàn hồi	kg/mm ²	-		-3 - 4
-Giới hạn chảy	kg/mm ²	-	12-24	5-8
-Độ giãn dài tương đối	%	11-25	4-8	32-40
-Độ co ngót tương đối	%	-	50-60	70-90
-Độ cứng Brinell	kg/mm ²	24-32	40-55	15-25
-Sức bền khi cắt	kg/mm ²	-	10	6
-Sức bền khi nén	kg/mm ²	42	-	-

Hợp kim của nhôm:

Trong kỹ thuật thường dùng nhôm có chứa tạp chất không quá 0,5% để làm các lá nhôm, điện cực, vỏ của các tụ điện ...

Các tạp chất làm giảm tính dẫn điện của nhôm. Nếu trong nhôm có chứa khoảng 0,5% (Ni, Si, Zn, Fe, Pb) thì điện dẫn suất giảm không quá 2% -3%; nếu trong nhôm chứa Cu, Ag hay Mg thì tính dẫn giảm 5%-10%. Điện dẫn của nhôm còn giảm mạnh hơn nữa khi tạp chất là Ti, Mn. Trong nhôm kỹ thuật tạp chất chủ yếu là Fe và Si.

- Hợp kim Aldrey: có khoảng 0,4% Mg, 0,5% Si, 0,3% Fe.

Điện trở suất $\rho = 0,0317\Omega mm^2 / m$, độ bền cơ học gần bằng đồng nhưng nhẹ như nhôm nguyên chất nên được dùng làm đường dây tải điện trên không có khoảng cách giữa các cột lớn.

- Nhôm kỹ thuật A, E: có lượng tạp chất nhỏ hơn 0,5%, được ủ mềm ở nhiệt độ từ 330°C đến 370°C được dùng làm dây dẫn có điện trở suất nhỏ.

- Nhôm A-97: chứa không quá 0,03% tạp chất

- Nhôm A-999: lượng tạp chất nhỏ $\approx 0.001\%$

- Nhôm kỹ thuật: có chứa tạp chất chủ yếu là Fe và Si.

Các tạp chất làm giảm tính dẫn điện của nhôm là Ni, Si, Zn, Fe, Pb ... cứ 0,5% lượng tạp chất sẽ làm giảm điện dẫn suất 2% đến 3%, đồng làm giảm 5% đến 10%, Mn giảm hơn 10 %.

Ngoài ra, người ta còn dùng nhiều loại dây nhôm lõi thép để làm dây tải điện. Loại này độ bền cơ do lõi thép quyết định, còn tính dẫn điện do nhôm. Đường kính ngoài của dây nhôm lõi thép lớn hơn so với dây đồng. Khi dùng làm dây tải điện trên không, với điện áp cao, có thể giảm được tổn thất do phát sinh vầng quang điện ở bề mặt dây dẫn.

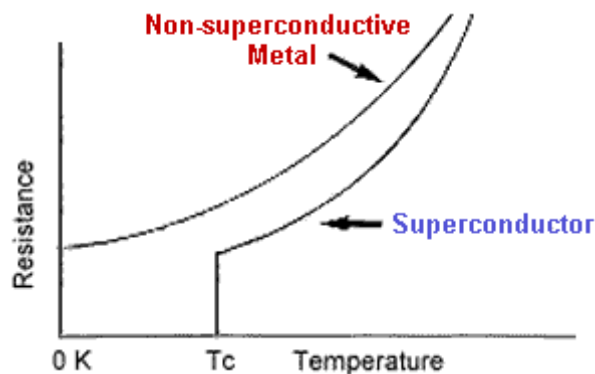
- Hợp kim nhôm đúc: có điện trở suất cao để đúc roto lồng sóc có hệ số trượt cao, có moment khởi động cao, đúc các động cơ nhiều tốc độ và các động cơ có những công dụng đặc biệt khác.

1.2.3. Kim loại và hợp kim siêu dẫn

Ở nhiệt độ xác định (T_c) điện trở của một chất đột ngột biến mất, nghĩa là chất đó cho phép dòng điện chảy qua trong trạng thái không có điện trở, trạng thái đó được gọi là trạng thái siêu dẫn. Chất có biểu hiện trạng thái siêu dẫn được gọi là chất siêu dẫn.

VD: Đến nhiệt độ $T_c = 4^0K$, điện trở suất của thủy ngân đột ngột giảm đến 0. Với dây dẫn bằng chì tiết diện $1mm^2$ ở nhiệt độ $T_c = 7,26^0C$, dòng điện đạt được $I=1250A$, $J=10^9A/m^2$, lớn hơn mật độ dòng điện cực đại đạt được trong kỹ thuật hàng trăm lần mà vật dẫn không bị nóng.

Nhiệt độ mà tại đó điện trở hoàn toàn biến mất được gọi là nhiệt độ tới hạn hoặc nhiệt độ chuyển pha siêu dẫn (T_c).



Hình 1.12 Điện trở VLSD biến mất khi nhiệt độ $T=T_c$

Ở trạng thái siêu lạnh các electron xuất hiện một tính chất lượng tử: hiện tượng xuyên hầm (tunnel effect); đó là hiện tượng các hạt có thể vượt một rào thế năng mà với năng lượng bình thường nó có thì không thể nào vượt qua được nếu xét trong phạm vi cơ học cổ điển của Newton. Theo cơ học lượng tử các electron có thể hình dung như là sự kết hợp có tính thống kê của cả hai tính chất sóng – hạt. Ở trạng thái siêu dẫn những sóng – hạt điện tử có khả năng vượt qua một rào thế U lớn hơn năng lượng W của hạt, và khi thực hiện được điều này thì có một dòng điện không bị cản lại (tức là bị mất năng lượng dưới dạng nhiệt) như trong sự dẫn điện thông thường.

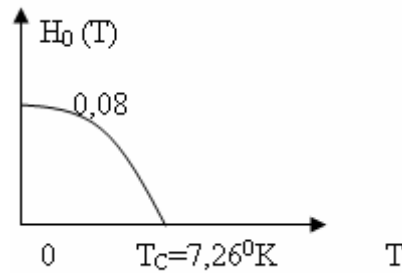
-Những vật liệu không có tính siêu dẫn : Kim loại hóa trị 1, chất sắt từ và chất kháng từ thường không có tính siêu dẫn.

-Trạng thái siêu dẫn bị phá hủy khi ở trong từ trường mạnh. Giá trị cường độ từ trường lúc này (ký hiệu H_0) phụ thuộc vào nhiệt độ.

+ Khi nhiệt độ $T=T_c$ thì $H_0=0$. (hình 1.11)

+ Khi nhiệt độ T tiến dần về 0^0K thì H_0 lại tăng dần lên đến giá trị $H_0(0)$ nào đó (đối với chì $H_0(0)=0,08$); hàm số chỉ phụ thuộc vào H_0 được cho bởi:

$$H_0(T) = H_0(0) \left[1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^2 \right]$$

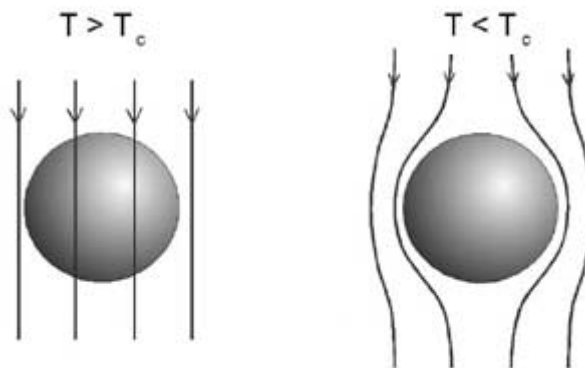


Hình 1.13 Sự phụ thuộc H_0 vào nhiệt độ

Khi $H > H_0$ thì không có hiện tượng siêu dẫn ở bất kỳ nhiệt độ nào.

Trạng thái siêu dẫn còn bị phá hủy khi dòng điện I lớn hơn giá trị $I_0 = 2 \Pi r H_0(T)$ với r là bán kính dây dẫn.

-Vật liệu siêu dẫn loại trừ từ thông (VLSD không nhiễm từ)



Hình 1.14

- a) Từ thông xuyên qua dây dẫn thường ở điều kiện $T > T_c ; H < H_0$ b) Từ thông bị đẩy khỏi dây dẫn bằng vật liệu siêu dẫn khi $T < T_c ; H < H_0$

Một số ứng dụng :

-VLSD dùng làm đường sắt đệm từ: đường ray giữ ở trạng thái siêu dẫn, bánh xe tàu có từ tính (từ trường bị đẩy khỏi VLSD)



Hình 1.15 Tàu cao tốc ứng dụng hiện tượng siêu dẫn.

- VLSD dùng để chế tạo nam châm điện siêu dẫn tạo từ trường cực mạnh cho máy gia tốc, lò phản ứng nhiệt hạch (J rất lớn $10^9 A/m^2$)

- Máy chụp ảnh cộng hưởng từ:

Khi chụp ảnh trong những vùng cơ thể người, máy có thể tái hiện chi tiết toàn bộ vùng đó nhờ năng lượng từ trường sinh ra từ nam châm điện siêu dẫn.

- Các máy tính nhiệt đoã thấp tốc độ cao:

Các máy tính sử dụng linh kiện bằng chất siêu dẫn có các ưu điểm nổi bật như: nhỏ, nhẹ, nhanh, cấu hình mạnh. Các mạch điện đóng mở nhanh và có thể tích nhỏ.

- Cảm biến có độ nhạy cao:

Tiêu biểu cho các máy đo độ nhạy cao là hệ đo SQUID. Đây là một loại máy dò nhạy nhất về các tín hiệu trường điện từ.

- Ăng-ten mini:

Người ta chế tạo ăngten siêu nhỏ bằng chất siêu dẫn và đưa vào sử dụng. Ăngten làm bằng chất siêu dẫn nhiệt độ cao có kích thước chỉ bằng 5% kích thước các loại ăngten thông thường.

- Công tắc quang học:

Trong các hệ tin học điều khiển truyền thông tin bằng cáp quang và các máy tính quang điện thế hệ mới, người chế tạo và sử dụng các loại thiết bị công tắc quang học từ chất siêu dẫn nhiệt độ cao.

- Truyền tải năng lượng:

Tải điện bằng các cáp siêu dẫn có lợi rất lớn so với đường dây tải điện thông thường. Lợi ích lớn nhất là khả năng tải dòng rất lớn và không bị tổn hao năng lượng trong quá trình tải điện.

- Bình tích trữ năng lượng từ siêu dẫn:

Năng lượng được tích trữ trong cuộn dây siêu dẫn và các mạch điện trong hệ thống này không bị tiêu hao năng lượng.

- Các bộ phóng điện từ:

Các cuộn dây điện từ siêu dẫn có thể sử dụng làm bộ phóng điện từ để phóng các vật thể có vận tốc cực lớn.

- Máy lạnh từ:

Cho đến nay, các máy lạnh thường sử dụng các chất làm lạnh chứa cloroflourocarleon, chất này có tác dụng phá hủy tầng ozon của trái đất, do đó các bơm từ nhiệt sẽ thay thế các máy lạnh sử dụng khí gas thông thường. Các chất siêu dẫn nhiệt độ cao có thể thay thế và làm đơn giản hóa các mô hình máy lạnh, giảm giá thành và công nghệ sản xuất cũng thuận lợi hơn.

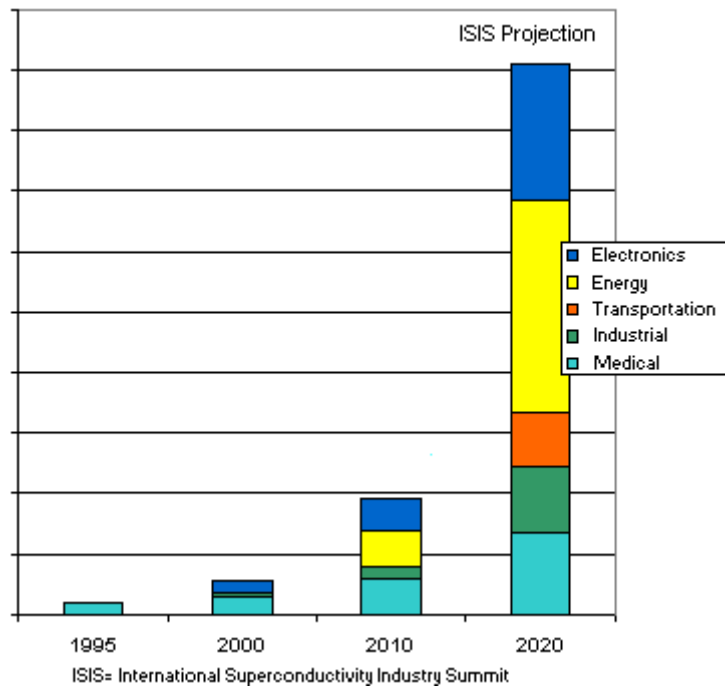
- Biến thế siêu dẫn:

Nếu những vòng dây làm bằng chất siêu dẫn được lắp đặt trong biến thế thì hiệu quả truyền năng lượng sẽ lớn và giá thành tải điện sẽ được giảm mạnh.

- Máy phát điện siêu dẫn:

Hiệu suất được nâng lên từ 98%-99%, kích thước chỉ bằng một nửa kích thước máy phát điện thông thường, giá thành rẻ hơn 40%.

Ngoài ra còn dùng chất siêu dẫn để chế tạo động cơ siêu dẫn, Thiết bị máy phát – động cơ siêu dẫn kết hợp, Tàu thủy siêu dẫn, Thiết bị dò sóng milimet, Bộ biến đổi analog/digital, Cảm biến đo từ thông ba chiều, Đầu dò bức xạ, Ôtô điện, Lò phản ứng nhiệt hạch từ, Máy gia tốc hạt.



Hình 1.16 Biểu đồ trình bày lĩnh vực ứng dụng của các chất siêu dẫn qua các năm **VLSD nhiệt độ cao:**

-Vật liệu gốm sứ là cách điện, nhưng một số gốm sứ có tính siêu dẫn ở nhiệt độ khá cao (nhiệt độ của nitơ lỏng $T=78^0K = -195^0C$).

Từ khi khám phá ra hiện tượng siêu dẫn 1911 đến 1972 đã tìm được khá nhiều kim loại và hợp kim siêu dẫn. Song nhiệt độ tới hạn T_c của chúng đều dưới 20^0K . Khi đó VLSD muốn hoạt động phải dùng kèm theo heli lỏng (nhiệt độ sôi khoảng 4^0K) rất đắt tiền.

- 1973, Phát hiện ra Nb_3Ge có $T_c = 23,3^0K$ dùng hydro lỏng rẻ hơn

- 1974, Vật liệu gốm siêu dẫn được phát hiện với hợp chất $BaPb_{1-x}Bi_xO_3$ ($x=0,5$). Có T_c cực đại cỡ 13K.

-1986, Nhóm TOKYO đã xác định được $(La_{0,85}Ba_{0,15})_2CuO_{4-8}$ có cấu trúc perouskite loại K_2NiF_4 và T_c cỡ 30K.

-1988, Phát hiện ra VLSD dựa trên Thali $Tl_2Ca_2Ba_2Cu_3O_{10}$ với $T_c=127^0K$. Sau đó không lâu tìm thấy một ôxit hỗn hợp của đồng, bari, canxi và thủy ngân có tính siêu dẫn với $T_c =150^0K$.

-1991, Một số nhà khoa học đã tìm ra siêu dẫn còn có trong hợp chất hữu cơ K_xC_{60} Đến năm 2001, đã có rất nhiều hợp chất siêu dẫn được phát hiện.

Bảng 1.8 Lịch sử phát hiện các hợp chất siêu dẫn.

Loại siêu dẫn	Chất siêu dẫn tiêu biểu	Nhiệt độ chuyển pha (K)	Năm phát hiện
Siêu dẫn kim loại và hợp kim	Hg	4,2	1911
	Nb	9,3	1930
	Nb ₃ Sn	18,1	1954
	Nb ₃ Ge	23,7	1973
Oxit siêu dẫn chứa Cu và O	La-Sr-Cu-O	20-30	1986
	Y(Re)-Ba-Cu-O	85-95	1987
	Bi-Sr-Ca-Cu-O	115-120	1988
	Ti-Ba-Ca-Cu-O	120-125	1988
	Hg-Ba-Ca-Cu-O	90-164	1993
Siêu dẫn không chứa Cu	Ba-K-Bi-O	20-30	1988
Siêu dẫn hữu cơ	K _x C ₆₀	30	1991
Siêu dẫn không chứa Cu và O	Ln(Re)-Ni-B-C	17	1994
	Y-Pd-B-C	23	1994

Các mẫu chất siêu dẫn của các trung tâm nghiên cứu trên giống nhau ở chỗ được tác dụng áp suất rất lớn (hơn 235.000 atmophe). Điều này chứng tỏ một khả năng tăng nhiệt độ tới hạn Tc bằng cách đưa các nguyên tử trong một hợp chất lại gần nhau hơn: khi các nguyên tử được đưa lại rất gần nhau trong vùng không gian có kích thước dài trong khoảng $0,53 \cdot 10^{-8} \text{cm}$ (giá trị trên là bán kính của quỹ đạo Bohr thứ nhất và được xem là biên giới của các hiện tượng vĩ mô và vi mô), thì những hiệu ứng của thế giới vi mô (lượng tử) bắt đầu phát huy tác dụng. Nếu đạt được áp suất hàng triệu atmophe người ta có thể vượt tới nhiệt độ $T_c = 200^0\text{K}$ và cao hơn nữa.

1.2.4 Hợp kim điện trở cao và hợp kim dùng làm cặp nhiệt điện :

Hợp kim có điện trở cao

Hợp kim có điện trở cao là hợp kim ở nhiệt độ bình thường có điện trở suất ρ lớn hơn $0.03\mu\Omega\text{m}$, được sử dụng để sản xuất dụng cụ đo lường, điện trở mẫu, thiết bị đốt nóng... Khi sử dụng hợp kim làm thiết bị đo không chỉ yêu cầu điện trở suất cao mà còn phải có hệ số nở dài nhỏ và sức nhiệt động nhỏ so với đồng. Dây điện trở phải có khả năng hoạt động ở nhiệt độ cao trong không khí ở thời gian dài.

-Vật liệu dùng làm điện trở chính xác sử dụng trong dụng cụ đo lường điện và điện trở chuẩn: cần có sức nhiệt điện động nhỏ so với các vật liệu khác.

-Vật liệu dùng làm bộ biến trở: cần có sức bền khi rung, sức bền đối với sự ăn mòn trong quá trình nung nóng, có giá thành hạ.

-Vật liệu sử dụng ở khí cụ điện sưởi nóng và đun nóng: cần có sức bền đối với thời gian, ở nhiệt độ cao không bị nóng chảy, không bị ôxy hóa, gia công được dễ dàng.

-*Manganium*: là hợp kim gốc đồng (khoảng 86%), 12% Mn, 2% Ni có điện trở suất $0,48 \Omega mm^2 / m$, nhiệt độ làm việc cho phép $200^{\circ}C$. Thường được sử dụng trong các dụng cụ đo và điện trở mẫu. Manganium là hợp kim chủ yếu dùng trong thiết bị nung và điện trở màu, manganium có thể kéo thành sợi đường kính 0,02mm, cũng có thể dùng để chế tạo các băng dày 0,01mm - 1mm, rộng 10mm - 300mm.

Để có hệ số nhiệt của điện trở suất bé và điện trở ổn định với thời gian, yêu cầu cho manganium qua gia công đặc biệt (nung trong chân không từ $350^{\circ}C$ - $550^{\circ}C$) sau đó sấy nguội dần và giữ lâu ở nhiệt độ phòng.

- *Constantan*: 60% Cu, 40% Ni, điện trở suất $0,48 \Omega mm^2 / m$, nhiệt độ làm việc cho phép $500^{\circ}C$. Dùng để sản xuất dây biến trở và dụng cụ đốt nóng bằng điện, sản xuất các cặp nhiệt điện để đo nhiệt độ không quá vài trăm độ. Constantan có sức nhiệt điện động đối với đồng hay sắt tương đối lớn nên sẽ là nguyên nhân gây sai số trong đo lường, hệ số nhiệt của điện trở suất có trị số rất bé, thường có dấu âm. Constantan được dùng để làm biến trở, phần tử của thiết bị nung khi nhiệt độ không quá $400^{\circ}C$ - $450^{\circ}C$.

- *Hợp kim nicrom*: là hợp kim của Ni và Cr, điện trở suất $1,2 \Omega mm^2 / m$, nhiệt độ làm việc cho phép $1100^{\circ}C$. Nicrom chống được oxy hóa ở nhiệt độ cao trong không khí, dễ kéo sợi, sử dụng trong các dụng cụ đốt nóng bằng điện như lò điện, bếp điện, mỏ hàn...

-*Hợp kim fercral*: là hợp kim của sắt, crôm, nhôm có điện trở suất $1,5 \Omega mm^2 / m$, nhiệt độ làm việc cho phép $1500^{\circ}C$, rẻ tiền vì giòn, cứng, khó kéo sợi. Dùng trong lò điện công nghiệp với công suất lớn.

-Hợp kim trên cơ sở kim loại quý: Là các hợp kim có vàng với crôm (20%), bạc với mangan và thiếc, bạc với niken ...chúng có điện trở suất lớn và hệ số biến đổi nhiệt nhỏ. Sử dụng làm điện trở chính xác.

Vật liệu dùng làm nhiệt ngẫu

Vật liệu làm nhiệt ngẫu phải có sức nhiệt điện động lớn và có quan hệ tuyến tính với nhiệt độ để dễ đo nhiệt độ (cặp nhiệt ngẫu). VD: Cu, Fe, Pt, Ni, Mo, W, Au, Ag và những hợp kim như Copel, Alumel, Cromel, Contum...

Ứng dụng làm nhiệt kế, dụng cụ đo điện xoay chiều không hình sin có tần số lớn 10^7 Hz VD: Ở nhiệt độ $t_1 = 100^{\circ}C$ và $t_2 = 0^{\circ}C$ cặp nhiệt ngẫu:

-Đồng – niken có sức nhiệt điện động 2,24 mv: $0,75 - (-1,49)$

-Đồng – constantan có sức nhiệt điện động 4,10 mv: $0,75 - (-3,35)$

Trong các đồng hồ đo lường và các điện trở mẫu, người ta thường có xu hướng sử dụng kim loại và hợp kim có sức nhiệt điện động tương đối bé hơn đồng để tránh các sai số.

Để làm cặp nhiệt ngẫu thường dùng các hợp kim sau:

- Copen (56%Cu;44%Ni)
- Alumen (95% Ni và 5% Al,Si,Mg)
- Cromel (90% Ni;10% Cr)
- Platin –Rodi (90% Pt;10% Rh)

Phạm vi đo được của các loại cặp nhiệt ngẫu:

- Platin – platinrodi: đo đến 1600⁰C
- Đồng – Copen : đo đến 350⁰C
- Sắt – Copen : đo đến 600⁰C
- Cromel –Alumel : đo đến 900 -1000⁰C

1.2.5 Vật liệu dẫn điện không kim loại:

Ngoài các kim loại và hợp kim dùng để chế tạo điện trở các bộ phận tiếp xúc, dây dẫn còn sử dụng các vật liệu không kim loại.

Vật liệu có nguồn gốc cacbon

Dây dẫn không kim loại được sử dụng rộng rãi trong kỹ thuật điện là grafit – một trong số dạng cacbon sạch. Nó có điện trở suất nhỏ, có nhiệt độ chịu nhiệt cao, tính dẫn nhiệt, bền vững với nhiều môi trường hóa học rất mạnh.

*Cacbon nhiệt phân:*Nhận được bằng phương pháp nhiệt tách hơi cacbon trong chân không hoặc môi trường khí trơ. Vật chất dùng để nhiệt phân thường được dùng là khí metan. Màng cacbon nhiệt phân sử dụng để làm điện trở tuyến tính dạng mặt phẳng.

Công nghiệp sản xuất linh kiện từ cacbon phần lớn là dùng nguyên liệu cacbon được nghiền nhỏ, sau đó được thiêu kết với vật chất kết dính khác và được ép thành các linh kiện có độ cứng cao.

Grafit được sử dụng trong công nghệ vật liệu bán dẫn để làm bộ phát nhiệt, màn chắn, lò nung...Có thể hoạt động ở nhiệt độ 2500⁰C.

Các vật liệu dẫn hỗn hợp

Vật liệu dẫn hỗn hợp là hỗn hợp của phụ gia dẫn và điện môi, bằng phương pháp thay đổi thành phần cấu tạo và đặc tính của hỗn hợp có thể thay đổi tính chất điện của vật liệu. Những vật liệu dẫn tổng hợp điển hình là Contactol và bột chịu nhiệt.

Contactol :

Sử dụng làm dây màng mỏng, sơn dẫn điện, làm contac giữa các kim loại hay giữa kim loại với bán dẫn, tạo điện cực trên điện môi, làm màn chắn từ, chế tạo ống dẫn sóng dẻo...

Bột chịu nhiệt :

Dùng để chế tạo băng điện trở, có khả năng điều chỉnh điện trở suất ở nhiệt độ rất rộng; trong các sơ đồ vi mạch sử dụng biến trở làm từ hỗn hợp của thủy tinh với Panadi và bạc. Trước tiên nghiền thủy tinh thành những hạt có kích thước từ 3µm -5µm, sau đó trộn đều với bột Ag và Pd cùng với chất kết dính hữu cơ. Điện trở suất của lớp màng phụ thuộc vào phần trăm vật dẫn.

1.2.6. Các loại vật liệu dẫn điện khác

a. Kim loại khó nóng chảy

Những kim loại có nhiệt độ nóng chảy lớn hơn 1700°C thì được gọi là kim loại khó nóng chảy, chúng có độ bền vững hóa học cao ở nhiệt độ thấp nhưng ở nhiệt độ cao thì trở nên tích cực vì vậy để sử dụng chúng ở nhiệt độ cao phải đặt vào môi trường khí trơ hoặc chân không.

Volfram(W)

Là kim loại rất nặng, cứng, có màu nâu xám, có nhiệt độ nóng chảy cao nhất, hệ số nở dài nhỏ nhất trong số các kim loại, có tính giòn và rất dễ gãy, dây dẫn làm từ volfram nguyên chất rất không bền vững ở nhiệt độ cao, để tăng độ bền vững tạo hình thì cần thêm SiO_2 , Al, Cr, loại này do khó nóng chảy và có độ bền cơ học lớn ở nhiệt độ cao, được sử dụng để làm dây tóc bóng đèn sợi đốt, chế tạo tim đèn... Volfram còn là vật liệu quan trọng để chế tạo điện cực, ống tia điện tử...

Molipden(Mo)

Trong số các kim loại khó nóng chảy thì Mo có điện trở suất nhỏ nhất, tinh thể Mo có tính dẻo cao (nhờ vậy gia công linh kiện bằng Mo rất dễ dàng), ở nhiệt độ bình thường Mo là kim loại rất bền vững (trong không khí nó bị oxi hoá ở 300°C). Độ bền của Mo kết hợp với tính dẻo của nó có thể chế tạo các chi tiết phức tạp hoạt động ở nhiệt độ cao; từ Mo chế tạo ra lưới đèn điện tử, ống tia rơngen và các linh kiện khác trong lò điện, trong môi trường khí trơ nó có thể hoạt động ở nhiệt độ 1700°C .

Tantal(Ta)

Khác với volfram và molipden là tantal không trở nên giòn ở nhiệt độ rất cao trong chân không, kết hợp với nhiệt độ nóng chảy cao, có độ dẻo cao và hình thể bền vững đã đặt vị trí của nó vào loại vật liệu sử dụng trong kỹ thuật chân không ở những nơi có tầm quan trọng đặc biệt, nhờ có hệ số điện môi của Ta_2O_5 bằng 25 nên nó cũng thường được dùng trong công nghiệp sản xuất tụ điện.

Niobi(Nb)

Là kim loại có tính chất tương tự tantal và nó nằm trong quặng cùng với quặng có tantal. Niobi có tính hấp thụ khí rất cao ở nhiệt độ 400°C - 900°C . Vì thế trong các dụng cụ chân không các linh kiện làm bằng Niobi hấp thụ lượng khí còn lại, Niobi là kim loại có khả năng chuyển sang trạng thái siêu dẫn ở nhiệt độ $9,2^{\circ}\text{K}$.

Crom(Cr)

Là kim loại rất thông dụng trong thực tế, có tính bền vững hoá học rất cao vì thế nó được sử dụng để bảo vệ bề mặt của kim loại, Crom có tính dính với thủy tinh, gốm sứ và liên kết với bất kỳ một kim loại nào, nó nằm trong hầu hết các hợp kim dùng để đốt nóng cặp nhiệt ngẫu, kim loại không rỉ, thép chịu nhiệt và vật liệu từ.

Reni (Re)

Re là kim loại nặng, hợp kim của nó với W được sử dụng trong công nghiệp đèn điện tử và thiết bị chân không thay cho W, có thể tạo cặp nhiệt ngẫu để đo được

hiệt độ tới 2500°C - 2800°C ở chân không, trong kỹ thuật điện tử Re được sử dụng để bảo vệ khỏi ăn mòn các linh kiện làm bằng đồng, bạc, W, Mo.

b. Những kim loại quý

Những kim loại quý là các kim loại có độ bền vững hoá học cao nhất gồm: vàng, bạc, platin, paladin...

Vàng (Au)

Vàng là kim loại có màu sáng chói, có tính dẻo cao, giới hạn bền kéo khoảng 15Kg/mm^2 . Trong kỹ thuật điện vàng được dùng như vật liệu tiếp xúc để làm lớp mạ chống ăn mòn, điện cực của tế bào quang điện và các công việc khác.

Au là kim loại có độ dẻo rất cao, trong kỹ thuật điện tử vàng được sử dụng làm vật liệu tiếp điểm, tráng bề mặt trong của ống dẫn sóng; ưu điểm của tiếp điểm bằng vàng là tính bền vững khỏi bị oxi hoá tiếp điểm ở nhiệt độ cao.

Bạc (Ag)

Bạc có màu trắng, rất bền vững với ôxi ở nhiệt độ thường, dẫn nhiệt rất tốt và là kim loại có điện trở suất nhỏ nhất, độ bền hoá học của bạc thấp hơn một số kim loại khác. Bạc được dùng để sản xuất các tiếp điểm có dòng điện nhỏ. Bạc cũng dùng làm bản cực trong sản xuất tụ gốm, tụ mica...Ag cũng được sử dụng rộng rãi trong kỹ thuật làm các tiếp điểm điện, làm các điện cực ...

Platin (Pt)

Có màu trắng, có tính bền vững hoá học rất cao thường dùng làm tiếp điểm có điện trở chuyển tiếp rất ổn định, làm cặp nhiệt ngẫu có thể hoạt động ở 1600°C , hợp kim của nó với Iridi có độ cứng cao cho phép hoạt động ở tần số cao, nó có thể kéo thành chỉ rất mảnh có đường kính $0,001\text{mm}$ được dùng làm sợi dây treo trong dụng cụ đo lường có độ nhạy cao.

Paladi(Pd)

Paladin có tính chất gần giống với Platin và thường được sử dụng để thay thế platin do giá thành rẻ hơn 4 -5 lần. Paladi và hợp kim của nó với bạc hay đồng sử dụng trong kỹ thuật tiếp điểm .

c. Các kim loại có độ nóng chảy trung bình

Các kim loại có độ nóng chảy trung bình gồm có sắt, nikel và coban, chúng là vật liệu sắt từ và có hệ số nhiệt điện trở cao.

Sắt và hợp kim của sắt

Sắt nguyên chất có: Fe^{α} (mạng lập phương thể tâm), Fe^{γ} (mạng lập phương diện tâm). Sắt tinh khiết là kim loại có màu trắng bạc, sắt thường bị tác động bởi ẩm và axit, là vật liệu rẻ và thông dụng nhất, có độ bền cơ học cao. Đặc tính của sắt và các vật liệu sắt từ là có quan hệ điện trở suất với nhiệt độ không tuyến tính; điện trở suất của sắt cũng như các kim loại khác phụ thuộc vào lượng tạp chất, ảnh hưởng lớn nhất tới tính chất dẫn điện của sắt là tạp chất Si và nó được sử dụng để làm lõi từ có điện trở suất cao và làm giảm tổn thất do dòng điện xoáy; do có độ từ thẩm cao nó được sử dụng làm lõi từ cho cuộn dây máy biến áp, sắt còn được sử dụng làm vỏ máy hoạt động ở 500°C .

Người ta thường quan tâm tới hợp kim của sắt:

- Gang là hợp kim của sắt có $1,7\% \div 4,5\%C$

- Thép là hợp kim của sắt có $0,5\% \div 1,7\%C$, (thép mềm $0,1\% \div 0,15\%$)

- Thép công nghiệp là hợp kim của Fe và C. Có thể thêm các nguyên tố khác như Si, Mn, S, P, Cr, W, Mo, Co, Cu, Al, Ti ... Thép có thể làm dây dẫn với điều kiện C khoảng $0,1\% \div 0,13\%$, S < $0,08\%$, Mn < $0,04\%$, P < $0,04\%$, S < $0,05\%$. Khả năng chống ăn mòn yếu nên được mạ kẽm, gây tổn thất từ trễ.

Thép bị ăn mòn ở nhiệt độ bình thường và môi trường ẩm thấp.

- Sắt rèn là hợp kim của sắt có $0,5\% C$

- Lưỡng kim: là thép được bọc đồng ở ngoài có tính chất cơ điện trung gian giữa thép và đồng.

Dây dẫn bằng thép có giá thấp hơn dây dẫn bằng đồng hay nhôm.

Ngoài ra, còn ứng dụng để làm thanh ray của tàu điện, đường sắt con tàu sử dụng điện, đường sắt métro được sử dụng như các đường dây dẫn điện, dây dẫn điện cho các xe vận tải có cần vệt, cho các cần trục, cho các cầu lăn trong xưởng luyện kim và cơ khí.

Nikel (Ni)

Nikel là kim loại màu trắng có khối lượng riêng bằng khối lượng riêng của đồng được sử dụng rộng rãi trong kỹ thuật chân không vì nó dễ điều chế tinh khiết, và được làm catod, tạp chất lưu huỳnh làm giảm độ bền cơ học của nikel rất mạnh. Nikel có tính bền vững hoá học rất cao, có độ bền cơ học cao, ở nhiệt độ lạnh vẫn có thể dập, kéo, cán. Từ nikel có thể chế tạo các linh kiện có kích thước và hình dáng cực kỳ phức tạp và làm lớp bảo vệ bên ngoài cho sắt, niken còn được dùng làm thành phần trong hàng loạt các hợp kim dẫn điện và từ. Đôi khi niken còn để sản xuất các chi tiết sưởi nóng.

Coban (Co)

Coban là kim loại có tính chất giống nikel, nó được sử dụng để làm hợp kim từ tính có độ chịu nhiệt cao, và hợp kim có hệ số nở dài nhỏ.

Bảng 1.9 Hằng số vật lý và hoá học của Fe:

Tính chất	Đơn vị đo	Chỉ tiêu
-----------	-----------	----------

-Trọng lượng riêng ở 20°C	Kg/dm ³	7,86
-Điện trở suất ở 20°C	$\Omega \text{ cm} \cdot 10^{-6}$	10
-Điện dẫn suất ở 20°C	$\Omega^{-1} \text{ cm}^{-1} \cdot 10^{-6}$	0,10
-Hệ số thay đổi của điện dẫn suất theo nhiệt độ ở 20°C	1/độ C	0,00657
-Nhiệt dẫn suất ở 18°C	W/cm.độ C	0,75
-Nhiệt độ nóng chảy bình thường	Độ C	1513
-Nhiệt lượng riêng trung bình (0°C-100°C)	Kcal/kg°C	0,111
-Nhiệt lượng nóng chảy tiềm tàng riêng	Kcal/kg°C	65
-Điểm sôi ở 760mm cột thuỷ ngân	Độ	2740
-Hệ số dẫn nở dài trung bình	1/độ C	12,310 ⁻⁶
-Môđun đàn hồi	độ	250-300
-Sức bền đứt khi kéo	kg/mm ²	21,070
	kg/mm ²	22
-Độ giãn dài riêng khi đứt	%	50
-Độ cứng Brinell	kg/mm ²	60
-Thế điện hoá so với H	V	0,44

d. Các kim loại có độ nóng chảy thấp

Chì (Pb)

Chì là kim loại màu xám. Chì có điện trở suất cao, ưu điểm là chống ăn mòn cao. Chì và hợp kim của nó thường dùng làm vỏ bọc bảo vệ cách điện của cáp để chống ẩm, ngoài ra còn dùng để sản xuất cầu chì, phiến chì của acqui chì...

Chì được dùng để làm vật liệu hấp thụ tia rơnghen.

Thiếc (Sn)

Thiếc là kim loại màu bạc trắng có cấu tạo tinh thể rõ rệt.

Thiếc được dùng để làm lớp vỏ bọc bảo vệ kim loại. Lá thiếc mỏng dùng để sản xuất các loại tụ điện thường có thêm một số chất phụ với gần 15% chì.

Kẽm(Zn)

Kẽm là kim loại màu sáng.

Kẽm được dùng để làm lớp mạ bảo vệ, có thành phần trong đồng thau và điện cực pin. Ngoài ra nó còn dùng trong tế bào quang điện, giấy kim loại, trong tụ điện kích thước nhỏ.

e. Hợp kim dùng cho kỹ thuật chân không

Cadmi (Cd)

Cadmi là kim loại màu trắng bạc. Cadmi được dùng trong kỹ thuật điện chân không để sản xuất tế bào quang điện, nó có trong thành phần của nhiều loại thuốc hàn, đồng thanh, dùng trong sản xuất pin và dùng làm chất làm chậm trong lò phản ứng hạt nhân.

Thủy ngân (Hg)

Thủy ngân là kim loại duy nhất ở trong trạng thái lỏng khi nhiệt độ bình thường. Thủy ngân được dùng làm catot lỏng trong chỉnh lưu thủy ngân, trong đèn thủy ngân và trong các dụng cụ phóng điện chứa khí, trong các đèn chiếu sáng ban ngày. Thủy ngân cũng dùng làm tiếp điểm trong rơle, làm cực thủy ngân khi đo tính chất điện của các điện môi rắn trong nhiều trường hợp thí nghiệm.

f. Vật liệu hàn: là hợp kim đặc biệt sử dụng để hàn nối, được chia thành 2 nhóm: nhóm mềm và nhóm cứng

Nhóm mềm: có nhiệt độ nóng chảy dưới 300°C , nhóm cứng lớn hơn 300°C . Vật liệu hàn mềm là hợp kim của thiếc và chì, thiếc chiếm 90% còn chì 10%. Tính dẫn điện của vật liệu này khoảng 9% -15% của đồng.

Vật liệu hàn cứng: là hợp kim của đồng và kẽm, ngoài ra còn phải kể đến hợp kim của bạc và các phụ gia khác.

Vật liệu trợ giúp để có mối hàn chắc chắn được gọi là chất giúp chảy. Nó có các tính chất:

- Hoà tan và ôxit và các vết dơ trên bề mặt của kim loại được hàn
- Bảo vệ trong quá trình hàn bề mặt và làm nóng chảy vật liệu hàn đồng thời bảo vệ khỏi bị oxi hoá
- Giảm bề mặt kéo của vật liệu hàn
- Tăng tiếp xúc của vật liệu được hàn nối

Chất phụ giúp làm chảy tích cực hoặc axit: làm hòa tan các lớp màng ôxit trên bề mặt kim loại, nhờ đó mà độ bám dính của vật liệu hàn tăng lên.

Chất phụ giúp làm chảy không chứa axit: là nhựa thông và có thêm một số phụ gia khác như rượu hoặc glixerin

Chất phụ gia giúp làm chảy chống ăn mòn

Lấy axit photphoric (H_2PO_4) làm vật liệu chủ yếu có thêm một số phụ gia hữu cơ có thành phần là axit hữu cơ.

g. Vật liệu dùng làm tiếp điểm điện

Yêu cầu chung: sức bền cơ khí lớn, độ rắn tốt, điện dẫn suất, điện dẫn nhiệt tốt để không nung nóng quá nhiệt độ cho phép khi tiếp điểm này có dòng điện định mức lâu dài đi qua. Có nhiệt độ nóng chảy cao, gia công được dễ dàng, có sức bền đối với sự ăn mòn, rỗ. Đối với các tiếp điểm di động phải có sức bền đối với sự tác động của hồ quang điện.

- Tiếp điểm cố định được làm từ Cu, Al, Zn, thép ...
- Tiếp điểm cắt làm từ Pt, Rhodi, Au, Ag, W, Mo, Cu, Ni, Cr ...
- Tiếp điểm trượt làm từ Cu (đồng thanh, đồng thau), Al..

-Tiếp điểm có công suất lớn làm từ hợp kim Ag-W, Ag-Mo, Ag-Ni, Cu-W, Cu-Mo... được tạo nên từ một kim loại khó nóng chảy với kim loại dẫn điện tốt (vật liệu kim loại gốm).

CHƯƠNG 2: VẬT LIỆU BÁN DẪN (VLBD)

2.1 Các quá trình vật lý trong VLBD và các tính chất của chúng

2.1.1 Các khái niệm cơ bản về bán dẫn

Vùng năng lượng trong chất rắn

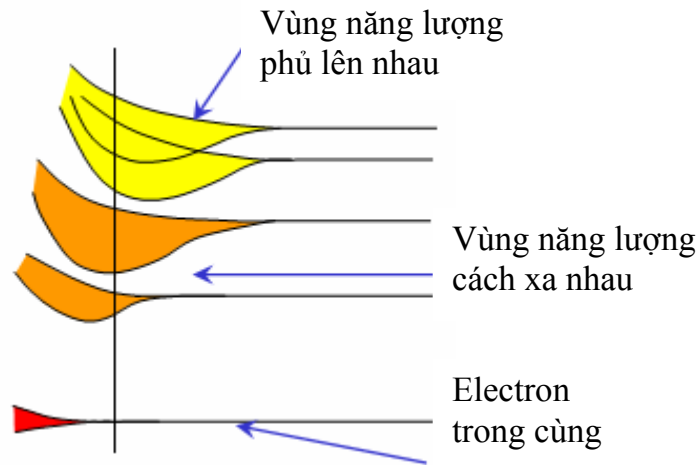
Chất rắn được coi như cấu tạo bởi một tập hợp các nguyên tử. Trong vật rắn tinh thể các nguyên tử được sắp xếp một cách tuần hoàn trong mạng tinh thể, để khảo sát vấn đề một cách khái quát ta hãy xét mạng tinh thể gồm những nguyên tử giống nhau. Khi khoảng cách giữa các nguyên tử lớn, các nguyên tử được coi là độc lập: không tương tác với nhau. Mỗi nguyên tử có mức năng lượng gián đoạn cho phép, giống như trong trường hợp chỉ có một nguyên tử đơn độc. Trong số các mức năng lượng đó có một số mức bị chiếm bởi electron. Ở trạng thái cơ bản electron chỉ chiếm những mức năng lượng thấp nhất. Khi chỉ có 1 nguyên tử cô lập ứng với mỗi giá trị lượng tử n chỉ có duy nhất 1 mức năng lượng, 1 quỹ đạo. Khi khoảng cách giữa các nguyên tử giảm đến một giá trị nào đó, các nguyên tử có tương tác với nhau thì sự chuyển động của electron không những chịu ảnh hưởng của hạt nhân nguyên tử của nó mà còn chịu ảnh hưởng của các nguyên tử khác trong mạng tinh thể. Khi có 2 nguyên tử tương tác với nhau thì sự chuyển động của hai electron của hai nguyên tử đó chịu ảnh hưởng của cả hai hạt nhân của hai nguyên tử, để thoả mãn nguyên lý Pauli hai electron phải ở hai trạng thái khác nhau, do đó mỗi mức năng lượng cũ bây giờ bị tách thành 2 mức năng lượng. Nếu hệ chứa N nguyên tử thì mỗi mức năng lượng trong nguyên tử cô lập sẽ tách thành N mức. Các mức này rất sát nhau tạo thành vùng năng lượng cho phép. Trong 1 cm^3 có khoảng 10^{22} nguyên tử, mỗi mức năng lượng sẽ tách thành 1 số rất lớn, mà độ rộng của một vùng năng lượng khoảng một vài eV, do đó khoảng cách giữa các mức nhỏ trong vùng năng lượng khoảng 10^{-22}eV , có thể nói sự biến thiên năng lượng trong một vùng năng lượng gần như liên tục. Giữa các vùng năng lượng là các vùng trống (gọi là vùng cấm) mà trong đó không thể tồn tại bất kỳ trạng thái nào của electron.

Khi số lượng electron và số nguyên tử tăng lên thì số mức được tách ra từ 1 mức tăng lên theo, tạo thành vùng năng lượng cho phép. Những electron ở vòng quỹ đạo ngoài cùng chịu ảnh hưởng tương tác nhiều nhất, do đó có vùng năng lượng rộng nhất. Đối với electron trong cùng, ảnh hưởng tương tác nhỏ nhất nên vùng năng lượng hẹp nhất, thậm chí không thể phân biệt với mức năng lượng của nguyên tử cô lập. (Hình 2.1)

Bề rộng của vùng năng lượng phụ thuộc vào khoảng cách giữa các nguyên tử tức là phụ thuộc vào cấu trúc tinh thể.

Số trạng thái trong mỗi vùng lại phụ thuộc vào số lượng nguyên tử tức là phụ thuộc vào độ lớn nguyên tử.

Những vùng gần nhau có thể phủ lên nhau, nếu khoảng cách này lớn thì các vùng năng lượng sẽ cách xa nhau và có thể ngăn cách bằng vùng cấm.



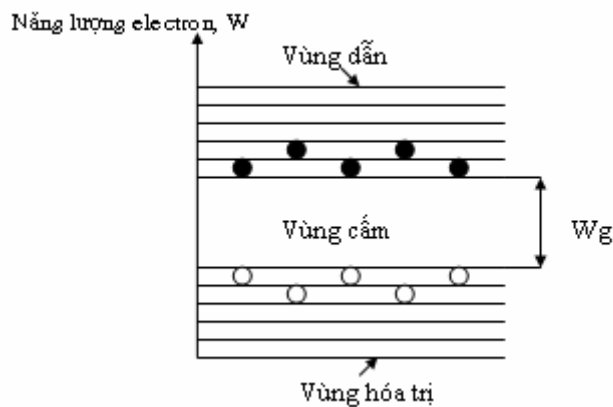
Hình 2.1 Sự hình thành vùng năng lượng trong chất rắn

Cấu trúc vùng năng lượng trong VLBD

Các vùng năng lượng trong chất rắn có thể bị chiếm đầy, chiếm một phần hay bỏ trống. Vùng năng lượng cao nhất bị chiếm bởi electron hóa trị và vùng cao hơn quyết định tính dẫn điện của chất rắn. Vùng hóa trị chứa nhiều điện tử bị chiếm đầy và vùng phía trên tiếp ngay sau đó là vùng dẫn. Ở vật liệu dẫn điện vùng dẫn không được điền đầy. Các electron dễ dàng bị chuyển từ vùng hoá trị lên mức năng lượng cao hơn trở thành electron tự do và tham gia vào quá trình dẫn điện.

Ở vật liệu cách điện vùng hóa trị bị chiếm đầy, vùng cấm có giá trị lớn cỡ vài eV, do vậy các electron khó có khả năng vượt qua vùng cấm để tham gia dẫn điện.

Ở vật liệu bán dẫn điện cấu trúc vùng năng lượng tương tự như vật liệu cách điện nhưng vùng cấm hẹp hơn cỡ 0,1eV đến 1 eV. Ở 0⁰K chúng là chất cách điện. Ở nhiệt độ trong phòng các electron có thể thu được năng lượng nhiệt đủ lớn để chuyển lên vùng dẫn và tham gia vào quá trình dẫn điện. Điều khác nhau giữa sự dẫn điện của kim loại và bán dẫn là khi các electron chuyển lên vùng dẫn thì đồng thời tạo ra ở vùng hóa trị các lỗ trống (Hình 2.2).



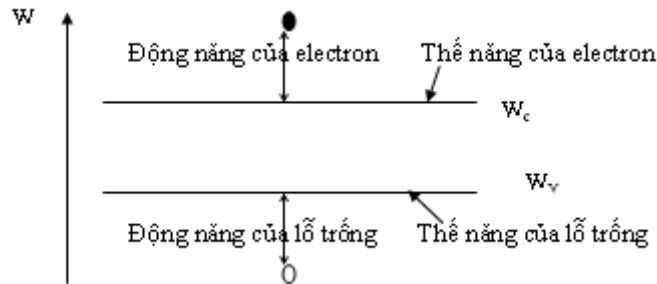
Hình 2.2 Cấu trúc vùng năng lượng trong VLBD.

- : Electron tự do trong vùng dẫn
- : Lỗ trống trong vùng hóa trị

Do đó, các electron trong vùng hóa trị có thể chuyển động đến các lỗ trống để lấp đầy tạo ra sự chuyển động của các lỗ trống đó là dòng các lỗ trống mang điện tích dương.

Mức thấp nhất trong vùng dẫn ứng với năng lượng của electron đứng yên hay chính là thế năng của electron, do đó đáy vùng dẫn tương ứng với thế năng của electron,

tương tự như đỉnh vùng hoá trị là ứng với thế năng của lỗ trống. Nếu electron ở mức năng lượng cao hơn W_c hoặc nếu lỗ trống ở mức năng lượng thấp hơn W_v thì các electron và lỗ trống này có động năng bằng hiệu giữa các mức năng lượng của chúng và năng lượng ứng với đáy vùng dẫn hoặc đỉnh vùng hóa trị. (Hình 2.3)



Hình 2.3 Đáy vùng dẫn tương ứng với thế năng của electron

***Phân loại VLBD**

Vật liệu bán dẫn sử dụng trong thực tế có thể chia ra bán dẫn đơn giản, bán dẫn hợp chất hóa học và bán dẫn phức tạp (bán dẫn gốm). Hiện tại đã nghiên cứu bán dẫn từ trường và bán dẫn lỏng.

Tất cả có khoảng 10 loại bán dẫn đơn giản

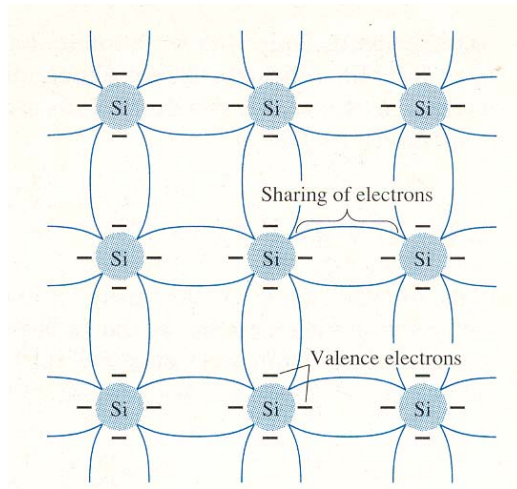
Nguyên tố	Thuộc nhóm (bảng tuần hoàn Mendêlêev)
Bo	III
Silic	IV
Giecmani	IV
Phốtpho	V
Asen	V
Lưu huỳnh	VI
Sêlen	VI
Têlur	VI
Iốt	VII

Các chất giecmani, silic và sêlen có ý nghĩa quan trọng trong kỹ thuật hiện đại.

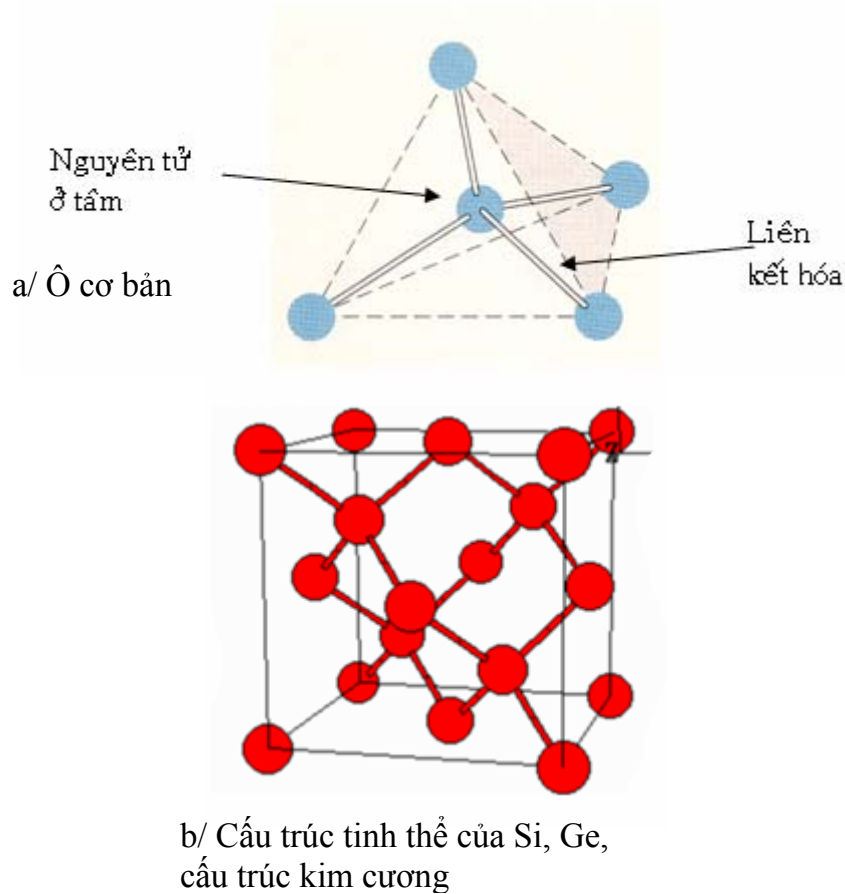
Bán dẫn hợp chất hóa học là hợp chất của các nguyên tố thuộc các nhóm khác nhau trong bảng hệ thống tuần hoàn Mendêlêev tương ứng với dạng tổng quát $A^{III}B^{V}$ (SiC) $A^{III}B^{V}$ (InSb, GaAs) và một số chất có thành phần phức tạp. (Các VLBD liên kết như GaAs, ký hiệu chung $A^{III}B^{V}$, chỉ sự liên kết của nguyên tố có hoá trị III là Ga với nguyên tố có hóa trị V là As)

***Cấu trúc tinh thể của VLBD**

Khảo sát 2 VLBD chính là Silic và germani: Tính chất chung trong cấu tạo nguyên tử của chúng là có 4 electron hóa trị ở trên phân lớp ngoài. Giữa các nguyên tử Silic (germani) có sự liên kết đồng hóa trị, mỗi nguyên tử liên kết với 4 nguyên tử xung quanh bằng cách trao đổi electron chung với nhau. (Hình 3.4)



Hình 2.4 Sơ đồ trải phẳng một chiều của mạng tinh thể Silic
 Cấu trúc tinh thể của Silic, Germani trong mạng không gian ba chiều là cấu trúc kim cương. Gồm 2 lập phương diện tâm lồng vào nhau, cách nhau ¼ đường chéo trong không gian.



Hình 2.5

Số nguyên tử Silic trong lập phương

$$\frac{1}{8} \cdot 8 + \frac{1}{2} \cdot 6 = 4$$

Mật độ nguyên tử Silic trong tinh thể

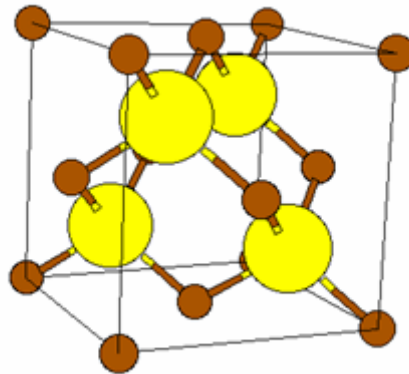
$$N_{Si} = \frac{2.4}{a^3}$$

Hằng số tinh thể của Silic là:

$$a = 5,43 \text{ \AA}$$

Vậy: $N(\text{Silic}) = 4,997 \cdot 10^{22}$ nguyên tử/ cm^3

Nếu 2 nguyên tử trong ô cơ bản khác nhau thì cấu trúc gọi là cấu trúc Sflerit (hay blenzo kẽm). Các VLBD: GaAs, AlAs, CdS ... thuộc cấu trúc này. GaAs có cấu trúc tinh thể sflerit ô cơ bản có 2 nguyên tử. Trong đó 1 là Ga, còn 1 là As. Bốn nguyên tử As bao quanh 1 nguyên tử Gali, 4 nguyên tử Ga bao quanh 1 nguyên tử Asen.



Hình 2.6 Cấu trúc tinh thể Sflerit của GaAs

*VLBD tinh khiết

Ở nhiệt độ $T=0^0\text{K}$ không có electron nào ở vùng hóa trị có đủ năng lượng bằng năng lượng vùng cấm W_g để nhảy lên vùng dẫn, để VLBD có thể dẫn điện. Ở nhiệt độ này VLBD không có tính dẫn điện giống như điện môi lý tưởng.

Khi $T>0$ tồn tại một xác suất có một số electron do nhận được năng lượng nhiệt sẽ vượt qua vùng cấm để có mặt ở vùng dẫn, trở thành electron tự do. Như vậy sẽ tạo thành một số lỗ trống ở vùng hóa trị, do các lỗ trống này mà electron ở vùng hóa trị sẽ tham gia vào quá trình dẫn điện. Bản chất của sự chuyển động của các lỗ trống này có thể hình dung như sự chuyển động của các điện tích dương với một giá trị khối lượng hiệu dụng nào đó. Sự chuyển động của electron tự do trong miền dẫn dễ dàng hơn sự chuyển động của lỗ trống trong vùng hóa trị. Nói cách khác, tính linh động của electron (μ_n) trong vùng dẫn lớn hơn tính linh động của lỗ trống (μ_p) trong vùng hóa trị. (Đối với Germani $\mu_n = 0,38 \text{ m}^2/\text{Vs}$, $\mu_p = 0,18 \text{ m}^2/\text{Vs}$)

Điện dẫn suất của VLBD xác định như sau: $\sigma = n \mu_n + p \mu_p$

n, p là mật độ electron và lỗ trống (cm^{-3}) trong VLBD.

VLBD tinh khiết là VLBD có thể bỏ qua ảnh hưởng của tạp chất trong nó. Trong VLBD tinh khiết có bao nhiêu electron tự do thì có bấy nhiêu lỗ trống.

Do vậy: $n = p = n_i$

Có thể tính được: $n = N_C \exp\left(-\frac{W_g}{2kT}\right)$

$$P = N_V \exp\left(-\frac{W_g}{2kT}\right)$$

Và
$$n_i^2 = n.p = N_C.N_V \exp\left(-\frac{W_g}{kT}\right)$$

(N_C, N_V biến thiên chậm theo nhiệt độ, coi như không đổi bên cạnh $\exp\left(-\frac{W_g}{kT}\right)$)

hay:
$$n_i = \sqrt{N_C.N_V} \cdot \exp\left(-\frac{W_g}{2.k.T}\right)$$

Ở đây:
$$N_C = 2\left(\frac{2\pi.m_e^*kT}{h^2}\right)^{3/2}$$

và
$$N_V = 2\left(\frac{2\pi.m_h^*kT}{h^2}\right)^{3/2}$$

Trong đó: m_e^* và m_h^* là khối lượng hiệu dụng của electron và lỗ trống

(Sự chuyển dịch trong giới hạn tinh thể một cách hỗn loạn hoặc dưới tác động của điện trường ngoài theo hướng nhất định, electron luôn luôn chịu tác động của trường tuần hoàn trong tinh thể; đưa khái niệm khối lượng hiệu dụng, cho khả năng viết nên chuyển động của các điện tích tự do trong bán dẫn giống như chuyển động của các hạt điện tích không tính tới trường tuần hoàn của lưới tinh thể.)

Từ đó:
$$\sigma_i = ne\mu_n + pe\mu_p = en_i(\mu_n + \mu_p)$$

Ví dụ: Tính mật độ hạt mang điện của VLBD tinh khiết là Silic, Germani, GaAs khi nhiệt độ biến thiên từ 100K đến 600K. Cho biết năng lượng vùng cấm biến thiên

theo nhiệt độ: $W(T) = W_g(0) - \alpha T^2 / (T + \beta)$

$W_g(0)$: năng lượng vùng cấm ở 0⁰K (eV), $\alpha; \beta$ là hằng số

Vật liệu	$W_g(0)$	$\alpha(eV.K^{-1})$	$\beta(K)$	$m_n^*(h_g)$	$m_p^*(h_g)$
Silic	1,17	$4,37.10^{-4}$	636	0,98 m	0,49 m
Germani	0,74	$4,77.10^{-4}$	235	1,64 m	0,28 m
GaAs	1,519	$5,4.10^{-4}$	204	0,067 m	0,45 m

Giải:

Mật độ hạt mang điện của VLBD tinh khiết được xác định bằng phương trình

$$n_i = 2\left(\frac{2\pi kT}{h^2}\right)^{3/2} (m_n^*.m_p^*)^{3/4} \cdot \exp\left(-\frac{W_g}{2kT}\right) = AT^{3/2} \exp\left(-\frac{W_g}{2kT}\right)$$

Trong đó:
$$A = 2\left(\frac{2\pi k}{h^2}\right)^{3/2} (m_n^*.m_p^*)^{3/4}$$

Hàm $T^{3/2}$ tăng chậm hơn hàm $\exp(-\frac{W_g}{2kT})$. Trong phép tính gần đúng có thể xem

$$AT^{3/2} = \text{const bên cạnh } \exp(-\frac{W_g}{2kT})$$

Chọn các giá trị của nhiệt độ $T(K) = 100; 150; 200; 250; 300; 350; 400; 600$. Tính giá trị A

$$A = 2 \left(\frac{6,28 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23}}{(6,625 \cdot 10^{-34})^2} \right)^{3/2} (m_n^* m_p^*)^{3/4} = 5,53 \cdot 10^{66} \cdot (m_n^* m_p^*)^{3/4}$$

Đối với Silic: $A = 5,53 \cdot 10^{66} (0,98 m_0 \cdot 0,49)^{3/4} = 5,53 \cdot 10^{66} \cdot m^{3/2} (0,98 \cdot 0,49)^{3/2}$

Với $(m=9 \cdot 10^{-31} \text{ kg})$ $A = 2,7 \cdot 10^{21} (m^{-3})$ $n_i = 2,7 \cdot 10^{21} \cdot T^{3/2} \exp(-W_g/2kT)$

Đối với Germani: $A = 2,68 \cdot 10^{21} (m^{-3})$ $n_i = 2,68 \cdot 10^{21} \cdot T^{3/2} \exp(-W_g/2kT)$

Với GaAs: $A = 3,47 \cdot 10^{20} (m^{-3})$ $n_i = 3,47 \cdot 10^{21} \cdot T^{3/2} \exp(-W_g/2kT)$

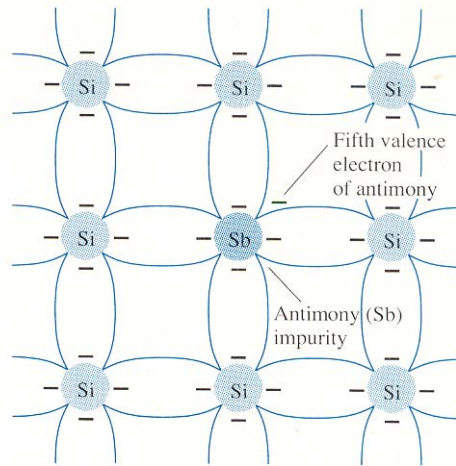
T(K)	100	150	200	250	300	350	400	600
-Silic								
$W_g(\text{eV})$	1,16	1,57	1,14	1,1391	1,13	1,11	1,103	1,043
$\exp(\frac{-W_g}{2kT})$	$2 \cdot 10^{-30}$	$4 \cdot 10^{-20}$	$5 \cdot 10^{-15}$	$3 \cdot 10^{-12}$	$3 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-5}$
$n_i(m^{-3})$	$6 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^{10}$	$3 \cdot 10^{13}$	$5 \cdot 10^{15}$	$2 \cdot 10^{17}$	$2 \cdot 10^{18}$	$1,7 \cdot 10^{21}$
-Germani								
$W_g(\text{eV})$	0,72	0,71	0,69	0,68	0,66	0,64	0,62	0,53
$\exp(\frac{-W_g}{2kT})$	$2,8 \cdot 10^{-19}$	$1,3 \cdot 10^{-12}$	$2 \cdot 10^{-9}$	$1,35 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$5,9 \cdot 10^{-3}$
$n_i(m^{-3})$	$7,5 \cdot 10^5$	$2,3 \cdot 10^{512}$	$1,5 \cdot 10^{16}$	$1,4 \cdot 10^{18}$	$4,2 \cdot 10^{19}$	$4,3 \cdot 10^{20}$	$2,7 \cdot 10^{21}$	$2,3 \cdot 10^{23}$
-GaAs								
$W_g(\text{eV})$	1,5	1,48	1,46	1,44	1,42	1,4	1,38	1,2
$\exp(\frac{-W_g}{2kT})$	$4,5 \cdot 10^{-39}$	$1,5 \cdot 10^{-25}$	$6,4 \cdot 10^{-19}$	$2,6 \cdot 10^{-15}$	$1,3 \cdot 10^{-12}$	$1 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^{-9}$	$4,5 \cdot 10^{-6}$
$n_i(m^{-3})$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$9,9 \cdot 10^{-2}$	$6,3 \cdot 10^5$	$3,5 \cdot 10^9$	$2,3 \cdot 10^{12}$	$2,4 \cdot 10^{14}$	$5,5 \cdot 10^{15}$	$2,3 \cdot 10^{19}$

*VLBD có tạp chất

Để tăng điện dẫn suất của Silic, Germani người ta cho vào nguyên tố khác có hóa trị III hoặc V. Nguyên tố này gọi là tạp chất, coi như là chất kích thích với số lượng rất nhỏ. Tùy theo loại điện tích nào (âm hay dương) mà VLBD có tạp chất được phân loại là loại n hay p.

*VLBD loại n

Nếu cho vào Silic (hoặc Germani) một số lượng của nguyên tố có hóa trị V, ví dụ Antimony (Sb). Nguyên tử Sb có 5 electron hóa trị, sẽ thay thế nguyên tử Silic, nó liên kết với 4 nguyên tử Silic gần nhất bằng cách trao 4 electron. Còn 1 electron dư, gần như được tự do chuyển động xung quanh lõi mang điện tích dương của nguyên tử Silic với bán kính của quỹ đạo rất lớn.

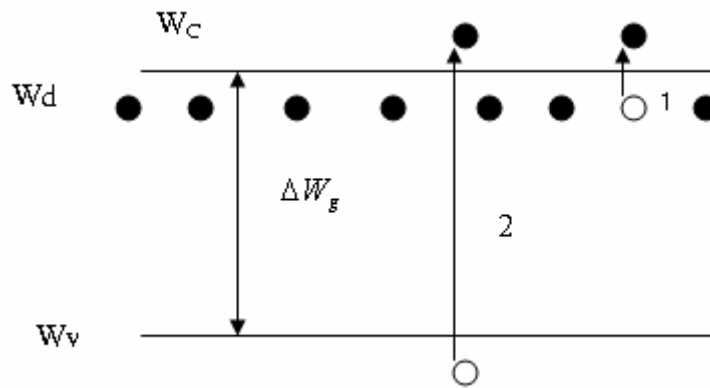


Hình 2.7 Tạp chất Sb trong tinh thể Si

Đối với Germani chẳng hạn năng lượng electron dư này gần bằng 0 (-0,03 eV), còn bán kính quỹ đạo lớn gấp 27 lần bán kính quỹ đạo của electron hydro.

Do năng lượng liên kết quá nhỏ cho nên ngay ở nhiệt độ phòng electron dư này của tạp chất được gần như tự do, có thể nhảy vào vùng dẫn góp phần vào việc tạo ra dòng điện nếu được kích thích bằng một năng lượng rất nhỏ (như ánh sáng, nhiệt độ...). Rõ ràng, electron này không tạo ra lỗ trống. Số hạt mang điện âm nhiều hơn do đó tạp chất gọi là tạp chất cho hay tạp chất donor.

Mức năng lượng cho “Wd” ở sát ngay mức Wc. Như vậy tạp chất cho đã tạo ra mức năng lượng cho phép ở trong vùng cấm (ở nửa phía trên).



Hình 2.8 Mức năng lượng cho “Wd” ở sát ngay mức Wc

Ở nhiệt độ phòng mỗi nguyên tử tạp chất “cho” cho thêm 1 hạt mang điện, mặc dù có nồng độ thấp nhưng làm tăng mật độ hạt mang điện, từ đó làm tăng điện dẫn suất với mức độ tăng lớn.

$$\sigma_n = \sigma_i + e.N.d.\mu_n \approx e.N.d.\mu_n \text{ với } Nd: \text{mật độ tạp chất cho}$$

Vì : $e.N.d.\mu_n \gg \sigma_i$

Ví dụ: So sánh điện dẫn suất của Germani tinh khiết với Germani loại n có tạp chất cho là photpho, số nguyên tử tạp chất này chỉ bằng 1 phần triệu của số nguyên tử Germani.

Giải:

Số nguyên tử Germani trong 1 m³ là N = 10²⁸ (m⁻³), số nguyên tử photpho chỉ bằng 1/10⁶ số nguyên tử Germani tức là 10²² (m⁻³)

Ở nhiệt độ phòng:

$n_{i\text{Germani}} = 10^{19} \text{ (m}^{-3}\text{)}$ nên điện dẫn suất :

$$\sigma_i = n_i e (\mu_n + \mu_p) = 10^{19} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} (0,38 + 0,18)$$

$$\sigma_i = 0,89 \left(\frac{1}{\Omega\text{m}} \right)$$

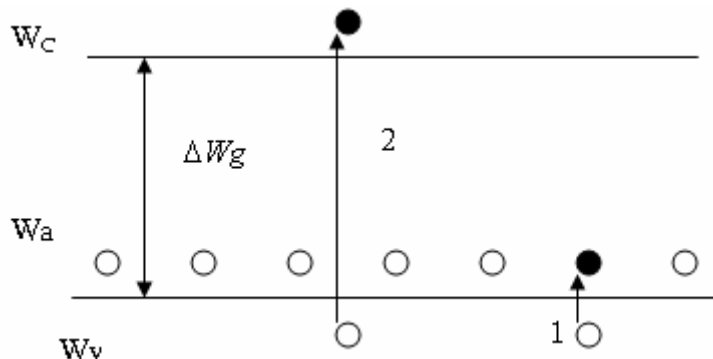
Đối với Germani loại n:

$$\sigma_n = e \cdot N_d \cdot \mu_n = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{22} \cdot 0,38 = 0,61 \cdot 10^3 \left(\frac{1}{\Omega\text{m}} \right)$$

Ta thấy điện dẫn suất tăng lên 1000 lần trong khi số nguyên tử tạp chất chỉ bằng 1 phần triệu số nguyên tử VLBD tinh khiết.

*VLBD loại p

VLBD tinh khiết nếu pha tạp chất nhóm III như B, Al, In... do chỉ có 3 liên kết hoàn chỉnh, 1 liên kết bỏ hờ nên chỉ cần 1 kích thích nhỏ (nhiệt độ, ánh sáng) sẽ có 1 electron của các liên kết hoàn chỉnh bên cạnh thế vào. Tạp chất bị ion hóa thành âm, còn ở mỗi liên kết mà electron đi khỏi sẽ xuất hiện một điện tích dương tức một lỗ trống. Vậy tạp chất đã làm tăng mật độ lỗ trống mà không làm tăng mật độ điện tử. Tạp chất nhóm III làm tăng mật độ lỗ trống được gọi là tạp chất nhận và bán dẫn gọi là bán dẫn loại p, nó tạo ra mức nhận W_a nằm sát bờ trên của vùng hóa trị. (Hình 2.9)



Hình 2.9 Mức năng lượng nhận W_a nằm sát mức W_v

Gọi N_a là mật độ tạp chất nhận thì điện dẫn suất của VLBD loại p là :

$$\sigma_p = e \cdot N_a \cdot \mu_p + \sigma_i \approx e \cdot N_a \cdot \mu_p$$

Ví dụ: Tính mật độ tạp chất trong 1 thanh Germani loại p có chiều dài 6 mm, bề rộng 1 mm, dày 0,5 mm và điện trở là 120 Ω

Cho biết $n_i = 2,5 \cdot 10^{19} \text{ [m}^{-3}\text{]}$

Giải: $\mu_n = 0,39 \left[\frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}} \right]$ và $\mu_p = 0,19 \left[\frac{\text{m}^2}{\text{V}\cdot\text{s}} \right]$

Tính điện trở suất: $\rho = R \frac{S}{l} = 120 \cdot \frac{0,5 \cdot 10^{-6}}{6 \cdot 10^{-3}} = 10^{-2} \text{ [}\Omega\text{m]}$

Suy ra điện dẫn suất:
$$\sigma_p = \frac{1}{\rho} = 10^2 \left[\frac{1}{\Omega m} \right]$$

Tính σ_i :

$$\sigma_i = e.n_i(\mu_n + \mu_p) = 1,6.10^{-19} .2,5.10^{19} (0,39 + 0,19)$$

$$\sigma_i = 1,45 \left[\frac{1}{\Omega m} \right] \ll \sigma_p = 100 \left[\frac{1}{\Omega m} \right]$$

Suy ra:
$$N_a = \frac{\sigma_p - \sigma_i}{e\mu_p} = \frac{100 - 1,45}{1,6.10^{-19} .0,19} = 3,8.10^{21} \quad [m^{-3}]$$

Điện dẫn suất do electron trong vùng dẫn bằng

$$e.n_i.\mu_n = 1,6.10^{-19} .2,5.10^{19} .0,39 = 1,56 \quad \text{chiếm tỉ lệ 1,56% tổng điện dẫn suất.}$$

2.1.2. Sự phụ thuộc nhiệt độ của mật độ các hạt mang điện

*Vị trí mức Fermi trong VLBD có tạp chất

Hàm phân bố Fermi-Dirac $p(w)$ cho biết xác suất điện tử chiếm mức năng lượng w nào đó.

$$p(W) = \frac{1}{1 + \exp\left[\frac{W - W_F}{kT}\right]}$$

Trong đó: $k = 1,38.10^{-23} \quad [J/K]$ Hằng số Boltzmann
 W_F : Năng lượng Fermi

Với $W = W_F$: $p(W) = \frac{1}{2}$ độc lập với nhiệt độ (mức năng lượng Fermi là trạng thái năng lượng mà ở đó xác suất chiếm trạng thái năng lượng bởi một electron đúng bằng 1/2)

Sự phân bố của electron và lỗ trống có trạng thái năng lượng cho phép phụ thuộc vào vị trí của mức năng lượng Fermi. Xác định được vị trí của mức Fermi ta xác định được số hạt mang điện có thể có của sự dẫn điện.

*Mật độ hạt mang điện trong bán dẫn

Để xác định số lượng các điện tích tự do trong bán dẫn cần lấy tích phân theo năng lượng tích số của hàm mật độ phân bố các mức năng lượng $S(W)$ và xác suất chiếm các mức này $p(W)$.Vậy:

$$n = n_e = \int_{W_C}^{\infty} S_e(w).p(w).dw = N_C \exp[-(w_g - w_p) / kT]$$

Tương tự, ta có:

$$p = \int_{\infty}^{W_V} S_p(w)[1 - p(w)].dw = N_V \exp\left[-\frac{W_F}{kT}\right]$$

Ở đây:
$$N_C = 2 \left(\frac{2\pi m_e^* kT}{h^2} \right)^{3/2}$$

và
$$N_V = 2 \left(\frac{2\pi m_h^* kT}{h^2} \right)^{3/2}$$

Trong đó: m_e^* và m_h^* là khối lượng hiệu dụng của electron và lỗ trống

Vị trí mức Fermi trong VLBD tinh khiết

Ta có:
$$n = p = n_i$$

Giả thiết rằng :
$$m_e^* = m_h^* = m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

thì
$$N_C = N_V = 2,5 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$$

Vậy:
$$n = p \Leftrightarrow W_g - W_{Fi} = W_{Fi} \Leftrightarrow W_{Fi} = W_g/2$$

Mức Fermi trong VLBD tinh khiết nằm ở giữa vùng cấm.

*Vị trí mức Fermi trong VLBD loại n

Ở nhiệt độ thấp hoặc có mật độ tạp chất lớn:

Ở nhiệt độ thấp, nồng độ tạp chất donor bị ion hóa bằng nồng độ của electron: $p_d = n$. Mỗi donor bị ion hóa có thể xem như một “trung tâm” vừa chiếm được một lỗ trống. Khi đó nồng độ của các donor này xác định được:

$$p_d = N_d \exp\left(-\frac{W_d - W_{Fi}}{kT}\right)$$

$$p_d = n \Leftrightarrow N_d \exp\left(-\frac{W_d - W_{Fi}}{kT}\right) = N_C \exp\left(-\frac{W_g - W_{Fi}}{kT}\right)$$

Chọn trục tọa độ tại $W_v = 0$ thì $W_g = W_c$ ta có:

$$\ln N_d + \left(\frac{W_d - W_{Fi}}{kT}\right) = \ln N_C - \left(\frac{W_c - W_{Fi}}{kT}\right)$$

$$W_{Fi} = \left(\frac{W_d + W_c}{2}\right) + \frac{1}{2} kT \ln \frac{N_d}{N_C}$$

Ở $T = 0^0\text{K}$ mức Fermi nằm giữa mức cho W_d và bờ dưới của vùng dẫn

Ở nhiệt độ cao hoặc mật độ tạp chất nhỏ:

Trong trường hợp này $N_d \ll N_C$. Ta tính được

$$W_{Fn} = W_g - kT \ln \frac{N_C}{N_d}$$

Ở nhiệt độ phòng $T = 300^0\text{K}$ giá trị $kT \ln \frac{N_C}{N_d} \approx 0.01 \div 0.02 \text{ (eV)}$; $W_{Fn} < W_d$

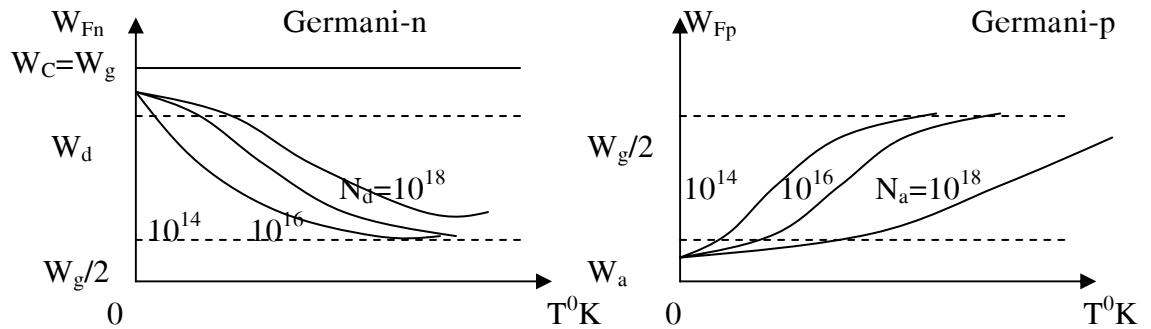
Ở nhiệt độ rất cao mức W_{Fn} giảm xuống mức W_{Fi} của VLBD tinh khiết

*Vị trí mức Fermi trong VLBD loại p

Lập luận tương tự ta tính được Fermi trong VLBD loại p

$$W_{Fp} = W_v - kT \ln \frac{N_a}{N_v}$$

- $T=300^0K$ W_{Fp} nằm giữa mức nhận W_a và đỉnh vùng hóa trị W_v
- Nhiệt độ cao sẽ làm W_{Fn} tăng về phía $W_{Fi} = W_g/2$



Hình 2.10 Vị trí mức Fermi trong VLBD

Ví dụ: Hãy tính mật độ electron trong Silic nếu mức Fermi ở cách dưới mức vùng dẫn một khoảng 0,2 eV ở nhiệt độ phòng.

Giải:

Ta biết mức Fermi trong VLBD có tạp chất loại n được xác định bởi hệ thức:

$$W_F = W_g - kT \ln \frac{N_c}{N_d}$$

Từ đó: $kT \ln \frac{N_c}{N_d} = 0,2(eV)$; $\ln \frac{N_c}{N_d} = \frac{0,2}{0,026} = 7,69$

$$N_d = N_c \exp(-7,69) = N_c \cdot 4,57 \cdot 10^{-4}$$

Với $N_c = 2,5 \cdot 10^{28} (m^{-3})$ thì $N_d = 1,14 \cdot 10^{25} (m^{-3})$

Ví dụ: Một thanh Silic tinh khiết được pha tạp chất loại n, điện trở của nó ở 20⁰C giảm xuống 1% giá trị điện trở của thanh Silic tinh khiết. Tính khoảng chuyển dịch của mức Fermi khỏi vị trí ban đầu của nó.

Giải:

Nd có thể xác định từ giá trị của điện dẫn suất: $\sigma_n = 100 \cdot \sigma_i$

$$e \cdot N_d \cdot \mu_n = 100 \cdot e \cdot n_i (\mu_n + \mu_p)$$

$$N_d = 100 \cdot n_i \cdot \frac{\mu_n + \mu_p}{\mu_n}$$

Biết rằng: $N_i = N_c \cdot \exp\left(-\frac{W_g}{0,052}\right)$

Vậy: $N_d = 100 \cdot \left(\frac{\mu_n + \mu_p}{\mu_n}\right) \cdot N_c \cdot \exp\left(-\frac{W_g}{0,052}\right)$

Khoảng dời của W_F khỏi vị trí ban đầu của nó bằng:

$$\frac{W_g}{2} - kT \ln \frac{N_c}{N_d} = 0,55 - 0,26 \left[\ln \frac{\mu_n}{100(\mu_n + \mu_p)} + \frac{1,1}{0,052} \right] = 0,128(\text{eV})$$

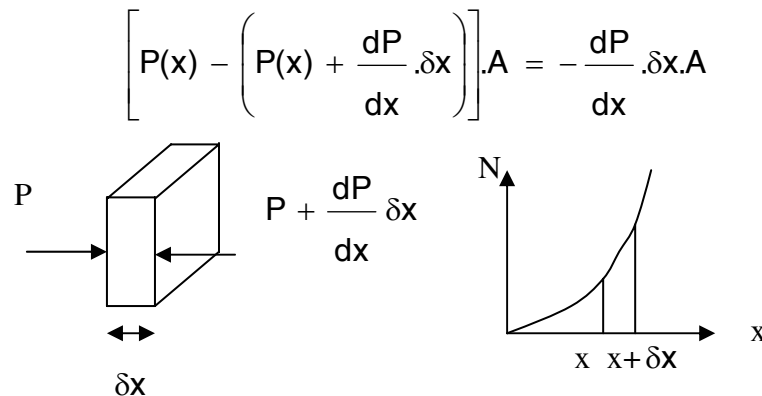
So sánh với mức năng lượng vùng cấm: $\frac{0,128}{1,1} = 12\%$

2.1.3 Cơ chế của sự khuếch tán và sự chuyển dịch của hạt mang điện

Khi không có điện trường ngoài đặt lên cũng có thể có dòng điện chảy trong vật liệu do gradient nồng độ hạt mang điện trong tinh thể

Xét một vách có bề dày δx , bề mặt A

$P(x)$ là áp suất tại x , $P + \frac{dP}{dx} \cdot \delta x$ là áp suất tại $x + \delta x$, chênh lệch áp suất là:



Hình 2.11 Sự khuếch tán của hạt tự do

Gọi N là mật độ hạt mang điện. Thể tích của khối có bề mặt A , bề dày δx là tích $A \cdot \delta x$ và tổng số hạt trong nó là $N \cdot A \cdot \delta x$

Lực tác dụng lên một hạt $F_d = \frac{1}{N} \cdot \frac{dP}{dx}$ lực F_d này làm cho hạt chuyển động có gia tốc tương tự như tác dụng của điện trường. Gọi τ là thời gian trung bình giữa 2 lần va đập.

Trong khi chuyển động có xảy ra sự va chạm nhưng các hạt vẫn có một vận tốc định hướng nào đó:

$$v_D = a_D \cdot \tau = \frac{F_D}{m} \cdot \tau = - \frac{\tau}{m \cdot N} \cdot \frac{dP}{dx} \quad [\text{m/s}]$$

Áp suất P tỉ lệ với mật độ điện tích N và nhiệt độ T : $P = N \cdot kT$

Vậy có thể viết:

$$v_D = - \frac{\tau \cdot kT}{m \cdot N} \cdot \frac{dP}{dx} = -D \cdot \frac{1}{N} \cdot \frac{dN}{dx}$$

Với D là hệ số khuếch tán $D = \frac{\tau \cdot kT}{m} \quad [\text{m}^2/\text{s}]$

-VLBD loại n: $v_{Dn} = D_n \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{dn}{dx} ; J_{Dn} = nev_{Dn} = e \cdot D_n \cdot \frac{dn}{dx}$

-VLBD loại P: $v_{DP} = D_p \cdot \frac{1}{p} \cdot \frac{dp}{dx} ; J_{DP} = nev_{DP} = e \cdot D_p \cdot \frac{dp}{dx}$

Hệ số khuếch tán D nói lên khả năng của hạt mang điện chuyển động qua tinh thể, tương tự như độ linh động nói lên khả năng chuyển động của hạt mang điện.

Ta có:
$$\tau = \mu \frac{m}{e} = D \cdot \frac{m}{kT} \text{ hay } D = \left(\frac{kT}{e}\right) \cdot \mu$$

Vậy:
$$\frac{D_p}{\mu_p} = \frac{D_n}{\mu_n} = \frac{kT}{e} \quad (\text{Phương trình Einstein})$$

Trong trường hợp tổng quát sự khuếch tán tuân theo phương trình của định luật Fick:

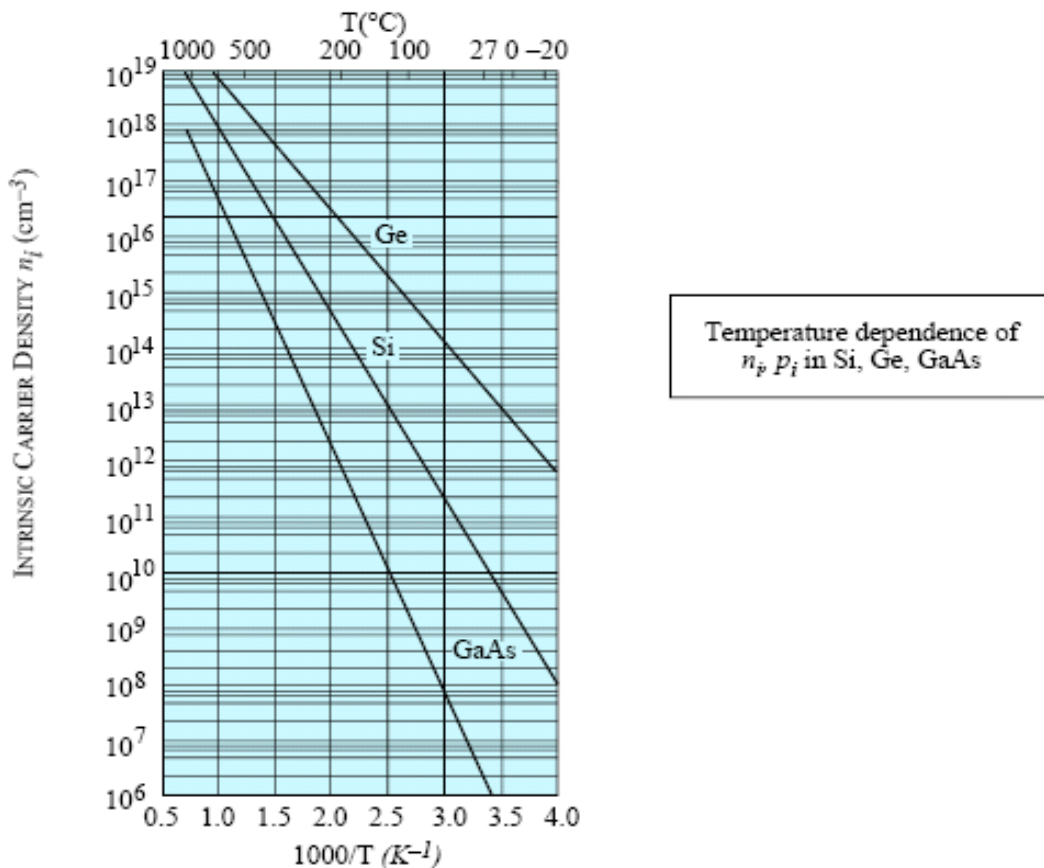
$$\frac{\partial N}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial r} \left(D \cdot \frac{\partial N}{\partial r} \right)$$

Phương trình này cho phép ta xác định nồng độ hạt dẫn, độ sâu khuếch tán, thời gian khuếch tán...

2.1.4. Điện dẫn suất của chất bán dẫn phụ thuộc vào nhiệt độ

Điện dẫn suất trong VLBD tinh khiết tăng tỷ lệ thuận với nhiệt độ.

INTRINSIC CARRIER DENSITIES FOR SOME SEMICONDUCTORS



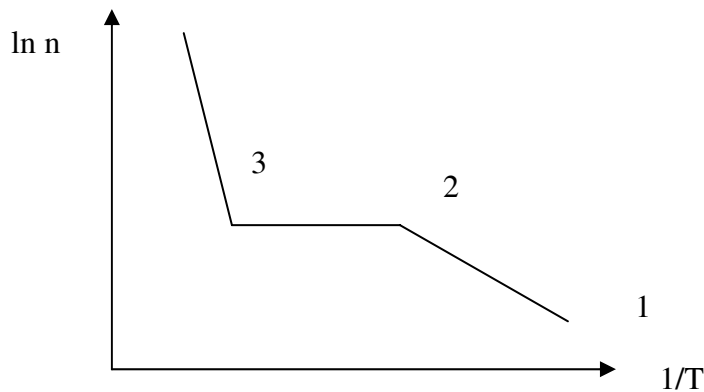
Hình 2.12 Sự phụ thuộc vào nhiệt độ của n_i, p_i trong Si, Ge, GaAs
 Điện dẫn suất trong VLBD loại n được xác định bằng: $\sigma = e.n\mu_n$

Trong đó n là mật độ electron trong bán dẫn.

Khi nhiệt độ còn thấp, cùng với sự tăng nhiệt độ (tức là tăng năng lượng nhiệt) mật độ các electron sẽ tăng do sự ion hoá các donor (đoạn 1-2). Độ dốc của đoạn này đặc trưng cho năng lượng ion hóa của tạp chất.

Tiếp tục tăng nhiệt độ, nồng độ các electron tự do gần như không tăng nữa (đoạn 2-3) vì lúc này tất cả các tạp chất đã bị ion hoá, còn xác suất ion hoá bán dẫn riêng thì rất nhỏ. Hai đoạn 1-2 và 2-3 là sự dẫn điện của tạp chất của bán dẫn.

Khi nhiệt độ đã tăng tương đối cao (đoạn sau điểm 3) nồng độ các hạt điện tích tự do sẽ tăng mạnh với nhiệt độ do sự vượt qua vùng cấm của các electron ở vùng hóa trị vào vùng dẫn. Độ nghiêng của đoạn này đặc trưng cho độ rộng vùng cấm của bán dẫn; nhiệt độ mà tại đó bắt đầu xuất hiện sự dẫn điện riêng sẽ càng nhỏ nếu độ rộng của vùng cấm bán dẫn càng nhỏ.



Hình 2.13 Sự phụ thuộc vào nhiệt độ của mật độ electron trong bán dẫn

Nguyên tắc hoạt động của các linh kiện bán dẫn dựa trên sự dẫn điện của tạp chất nên sự dẫn điện riêng sẽ phá hủy quá trình làm việc bình thường của linh kiện. Như vậy nhiệt độ tương ứng với điểm 3 là nhiệt độ làm việc tối đa của linh kiện bán dẫn loại n với mật độ tạp chất donor N_d ; nếu tăng mật độ tạp chất thì các đoạn tương ứng với sự dẫn điện của tạp chất của bán dẫn sẽ dịch chuyển lên trên. Khi mật độ tạp chất đủ lớn thì năng lượng ion hóa tạp chất tiến về 0. Bán dẫn như vậy được gọi là bán dẫn suy biến (bán kim loại).

2.1.5. Sự mất cân bằng của hạt mang điện và cơ chế tái hợp

Sự sinh ra lỗ trống và electron tự do có nghĩa là có một liên kết bị phá vỡ, từ đó electron được giải phóng trở thành tự do ở bên trong tinh thể. Trong quá trình chuyển động nó sẽ gặp một lỗ trống do electron khác để lại, điền vào lỗ trống, mỗi liên kết được thiết lập lại. Đó là hiện tượng tái hợp của electron và lỗ trống hay hiện tượng hủy cặp. Trong khoảng thời gian bằng nhau số lần sinh cặp và hủy cặp bằng nhau. Thời gian từ lúc sinh ra cặp cho đến lúc hủy cặp gọi là tuổi thọ. Xác suất hủy cặp tỉ lệ với số electron n và số lỗ trống p tức là tỉ lệ với tích số np .

Khi electron ở vùng dẫn trở về vùng hóa trị sẽ tái hợp với lỗ trống. Quá trình tái hợp có thể là quá trình có bức xạ, có thể là quá trình không có bức xạ.

- Trong quá trình tái hợp có bức xạ, photon được phát ra. Có hai loại bức xạ: bức xạ tự phát và bức xạ kích thích.

Trong quá trình bức xạ tự phát, electron và lỗ trống tái hợp với nhau và phát ra photon, mà không có photon từ trước. Đặc điểm của bức xạ tự phát là photon được phát ra không có quan hệ pha. Ánh sáng phát ra từ LED là do sự bức xạ tự phát.

Nếu photon hiện hữu trong quá trình tái hợp của electron – lỗ trống, thì photon này làm gia tăng năng lượng được bức xạ, và quá trình bức xạ trong trường hợp này gọi

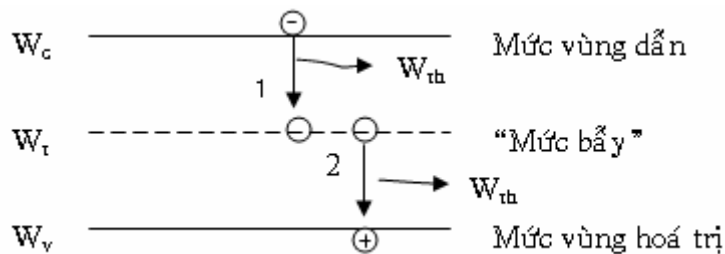
là bức xạ kích thích. Đặc điểm của quá trình bức xạ kích thích là photon được phát ra đồng pha với photon đã hiện hữu. Bức xạ từ laser bán dẫn là bức xạ kích thích.

- Electron và lỗ trống có thể tái hợp với nhau mà *không có bức xạ*, năng lượng phát ra thành nhiệt hoặc gây nên dao động tinh thể. Có hai loại tái hợp không có bức xạ:

- + Quá trình không có bức xạ do sai lệch mạng tinh thể.
- + Quá trình tái hợp Auger.

Quá trình tái hợp không có bức xạ do sai lệch mạng tinh thể

Trong vật liệu bán dẫn hoàn toàn không có khuyết tật, trong vùng cấm không có trạng thái cho phép nào đối với electron. Nhưng nếu trong vật liệu có tạp chất hoặc do ý muốn hoặc ngoài ý muốn, thì trong vùng cấm có mức năng lượng của điện tích. Những mức năng lượng trong vùng cấm là mức năng lượng của electron được định vị trong một không gian có hạn ở gần chỗ sai lệch. Khi những electron tự do chuyển động trong những vùng cho phép có thể bị sa vào “bẫy” do sai lệch mạng tinh thể.



Hình 2.14 Quá trình electron rơi vào “bẫy” và tái hợp (không có bức xạ) với lỗ trống.

- ① electron rơi vào “bẫy” và toả ra nhiệt W_{th} vào mạng tinh thể.
- ② electron tái hợp với lỗ trống ở vùng hoá trị và toả ra nhiệt W_{th} .

Trên hình 2.14 là sơ đồ mô tả quá trình electron rơi vào “bẫy”, và quá trình được giải phóng ra khỏi bẫy trong tái hợp với lỗ trống. Quá trình tái hợp này không có bức xạ, năng lượng được giải phóng ra là nhiệt năng. Quá trình rơi vào “bẫy” cũng có thể xảy ra với lỗ trống, khi lỗ trống chuyển động đến gần phạm vi có sai lệch mạng.

Sự tái hợp không có bức xạ do sai lệch mạng gọi là sự tái hợp Shockky - Read - Hall (viết tắt: sự tái hợp SRH). Sự tái hợp này có tầm quan trọng ở bề mặt của vật liệu vì bề mặt thường có nhiều sai lệch mạng.

Sự tái hợp Auger

Electron ở vùng dẫn tái hợp với lỗ trống ở vùng hoá trị, giải phóng năng lượng, nhưng năng lượng này không biến thành quang năng mà cung cấp cho một electron ở vùng dẫn, làm cho năng lượng của electron này được nâng cao hơn. Ta gọi electron này là electron nóng. Electron nóng thường giải phóng nhiệt năng. Quá trình này gọi là quá trình Auger, là một quá trình tái hợp không có bức xạ, có tầm quan trọng ở vật liệu bán dẫn có năng lượng vùng cấm nhỏ. Tốc độ tái hợp Auger tỉ lệ với np^2 hoặc pn^2 , tùy thuộc vào điện tích nóng là electron hoặc lỗ trống.

2.1.6. Hiện tượng quang và quang điện trong chất bán dẫn

Tính chất quang học của vật liệu bán dẫn

Khi chùm tia sáng được chiếu vào mạng tinh thể của VLBD thì một phần năng lượng ánh sáng sẽ bị hấp thụ. Tùy theo cấu trúc vùng năng lượng của từng loại VLBD mà xảy ra các cơ chế hấp thụ khác nhau:

- Hoặc làm cho electron nhảy từ vùng hóa trị lên vùng dẫn điện tạo ra cặp hạt dẫn.

- Hoặc ion hoá các nguyên tử tạp chất, làm xuất hiện các loại hạt tương ứng.

- Hoặc trao đổi năng lượng giữa các lượng tử ánh sáng (photon) với dao động nhiệt của mạng tinh thể (phonon).

- Đối với VLBD cấu trúc vùng năng lượng có nhiều cực trị (GaAs), ánh sáng có thể làm electron nhảy từ đáy vùng năng lượng này lên đáy vùng năng lượng cao hơn.

VLBD phát quang

Khi một electron ở mức năng lượng ban đầu W_1 , chuyển dời xuống mức năng lượng thấp hơn W_2 thì có hiện tượng phát quang. Năng lượng ánh sáng được phát ra bằng hiệu của hai mức năng lượng:

$$hf = W_1 - W_2 = h \frac{c}{\lambda}$$

Khi một electron ở vùng dẫn tác hợp trực tiếp với lỗ trống ở vùng hoá trị, thì hiệu của hai mức năng lượng chính là năng lượng vùng cấm.

$$W_g = h \frac{c}{\lambda_g}$$

Từ đây,ta có:

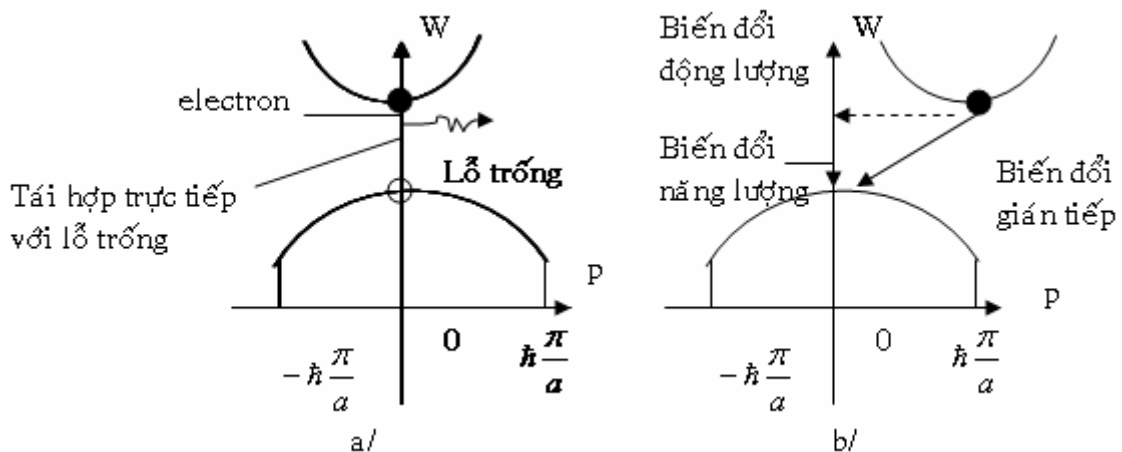
$$\lambda_g = \frac{hc}{W_g} = \frac{1,24}{W_g(eV)} (\mu m)$$

λ_g là bước sóng của ánh sáng được phát ra.

Ví dụ: GaAs có $W_g = 1,44eV$, thì ánh sáng được phát ra có bước sóng bằng:

$$\lambda_g = \frac{1,24}{1,44} = 0,86 \mu m$$

Có hai loại vật liệu bán dẫn: đó là vật liệu bán dẫn trực tiếp như GaAs và vật liệu bán dẫn gián tiếp như Si, Ge. Ở vật liệu GaAs electron tái hợp trực tiếp với lỗ trống, năng lượng của electron trực tiếp chuyển đổi thành quang năng, như mô tả trên đồ thị trên hình 2.15a. Ở vật liệu Si, Ge thì ngoài sự biến đổi năng lượng còn có sự biến đổi động lượng xảy ra đồng thời như mô tả trên hình 2.15b



Hình 2.15

- a) Sự tái hợp trực tiếp của electron với lỗ trống trong vật liệu bán dẫn trực tiếp.
- b) Sự tái hợp và sự biến đổi động lượng trong vật liệu bán dẫn gián tiếp.

Hiệu suất phát sóng của vật liệu bán dẫn gián tiếp rất nhỏ, năng lượng được chuyển đổi thành nhiệt năng là chủ yếu.

Electron bị mất động lượng có giá trị bằng: $\frac{h\pi}{a}$, ở đó a là hằng số tinh thể. Động lượng của ánh sáng được phát ra bằng:

$$p_{ph} = mc = \frac{W_{ph}}{c} = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda} \tag{2.1}$$

So sánh động lượng bị mất với động lượng của ánh sáng được phát ra :

$$\frac{\text{động lượng bị mất của electron}}{\text{động lượng của ánh sáng}} = \frac{h\pi/a}{h/\lambda} \approx \frac{\lambda}{a} \tag{2.2}$$

Ánh sáng mắt nhìn thấy được có $\lambda \approx 10^{-6}m$ và hằng số tinh thể có $a \approx 10^{-10}m$, thì tỉ số (2.2) là:

$$\frac{h}{a} = \frac{10^{-6}m}{10^{-10}m} = 10^4$$

Con số này nói lên rằng động lượng của ánh sáng được phát ra chỉ là một phần rất nhỏ của động lượng bị mất của electron.

Điốt phát quang (LED)

Điốt phát quang (LED) là một tiếp giáp p-n làm việc với điện áp phân cực thuận, electron được phun vào phía p và lỗ trống vào phía n. Những hạt thiểu số này tái hợp với những hạt đa số ở trong vùng trống. Ở vật liệu bán dẫn trực tiếp, quá trình tái hợp là quá trình tái hợp có bức xạ. Còn ở vật liệu bán dẫn gián tiếp thì hiệu suất phát quang rất thấp, năng lượng giải phóng chủ yếu là nhiệt năng.

Vật liệu bán dẫn trực tiếp là GaAs. Ngoài ra, còn có những vật liệu khác: $Ga_xAl_{1-x}As$; $In_{0,53}Ga_{0,47}As$; $In_{0,52}Al_{0,48}As$; InGaAsP; GaAsP. Những vật liệu có năng lượng vùng cấm lớn là ZnSe, ZnS, SiC, AlInGaP và GaN.

Cần chú ý rằng các hợp kim như GaAlAs và GaAsP trở thành vật liệu gián tiếp với một số tỉ lệ thành phần .

Dưới đây là phân tóm tắt của các vật liệu dùng để chế tạo LED.

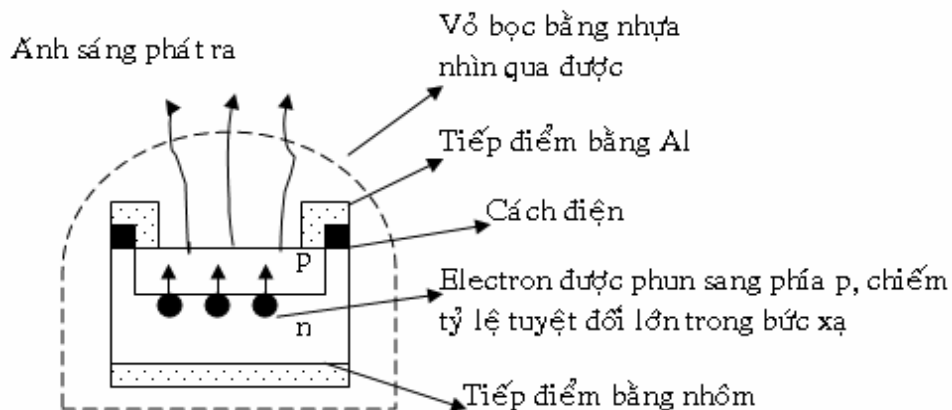
Tên vật liệu	Nhận xét
$In_{1-x}Ga_xAs_yP_{1-y}$; $x = 0,47y$ để có mạng tinh thể phù hợp mạng tinh thể của InP. $W_g = 1,35 - 0,72y + 0,12y^2, eV$	*Có mạng tinh thể phù hợp với InP *Có dải năng lượng bức xạ rộng, có thể đạt từ $\sim 0,8eV$ đến $1,35eV$. *Công nghệ vật liệu hoàn toàn tiên tiến có thể ứng dụng trong viễn thông.
$Ga_xAl_{1-x}As$ $W_g = 1,43 + 1,25x, eV$ $x \leq 0,35$	*Có mạng tinh thể phù hợp với GaAs *Công nghệ vật liệu hoàn toàn tiên

	tiến, có thể ứng dụng vào mạng thông tin công sở, xí nghiệp.
$GaAs_{1-x}P_x$	<p>*Vật liệu này trở thành vật liệu gián tiếp với $x = 0,45$</p> <p>*Với tạp chất là n, LED vẫn làm việc được mặc dầu vật liệu có tính chất gián tiếp, phát ra ánh sáng màu xanh lá cây ($\lambda=0,55\mu m$)</p> <p>*Có thể chế tạo nhiều vật liệu khác nhau như: $GaAs_{0,6}P_{0,4}$ cho ánh sáng màu đỏ; $GaAs_{0,35}P_{0,65}$: N cho ánh sáng màu cam; $GaAs_{0,15}P_{0,85}$: N cho ánh sáng màu vàng.</p>
SiC, GaN, ZnSe, AlZnGaP có năng lượng vùng cấm lớn, có thể phát ra ánh sáng xanh và tím, cực tím.	<p>*Vật liệu quan trọng để phát ra ánh sáng màu xanh (ở những linh kiện hiển thị, bộ nhớ)</p> <p>*Công nghệ vật liệu chưa hoàn thiện, nhưng đang trên đà tiến bộ nhanh.</p>

Vật liệu bán dẫn trực tiếp có hiệu suất bức xạ lớn, còn vật liệu bán dẫn gián tiếp thì rất nhỏ. Tuy nhiên, có thể đưa tạp chất vào vật liệu bán dẫn gián tiếp để làm cho vật liệu bán dẫn có hiệu suất bức xạ có giá trị chấp nhận được. Tạp chất tạo ra mức năng lượng trong vùng cấm, và nếu electron chuyển động đến mức này thì có thể hấp thụ photon. Tuy nhiên, hiệu suất hấp thụ và bức xạ vẫn thấp hơn so với vật liệu bán dẫn trực tiếp. GaAsP là một loại vật liệu mà có thể đưa vào tạp chất với nhiều mật độ khác nhau, từ đó có nhiều mức năng lượng hợp chất trong vùng cấm, nó được sử dụng để chế tạo LED.

*Nguyên lý làm việc của LED

LED là một điốt p-n làm việc với điện áp thuận. Electron và lỗ trống được phun qua mặt tiếp giáp p-n: electron được phun từ phía n sang phía p, còn lỗ trống từ phía p sang phía n.

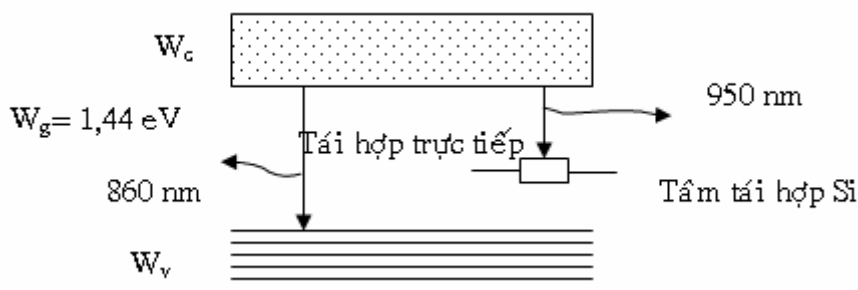


Hình 2.16 Sơ đồ cấu tạo của LED

Bức xạ ánh sáng do sự tái hợp có bức xạ của điện tích được phun trong tiếp giáp p-n có điện áp phân cực thuận. Lỗ trống được phun sang phía n, phát ra photon nhưng photon không phát ra ngoài, mà bị hấp thụ trở lại. Electron được phun sang phía p, phát ra photon ở gần bề mặt, do đó được phát ra ngoài.

Để khắc phục hiện tượng photon bị hấp thụ trở lại sau khi được phát ra, chúng ta đưa tạp chất Si vào GaAs, Si tạo ra mức “nhận” trong vùng cấm gọi là tâm tái hợp. Electron ở vùng dẫn sẽ chuyển động đến tâm Si tái hợp với lỗ trống, phát ra photon có bước sóng 950 nm, trong lúc sự tái hợp giữa photon ở vùng dẫn và lỗ trống ở vùng hoá trị phát ra photon có bước sóng 860 nm.

Sơ đồ trên hình 3.17 mô tả kết quả của sự tái hợp của electron vùng dẫn với tâm tái hợp là tạp chất Si. Hiện tượng tái hợp này gọi chung là tái hợp giữa mức vùng dẫn với mức “nhận” (còn có sự tái hợp giữa mức vùng dẫn với mức “cho”).



Hình 2.17 Sự tái hợp có bức xạ trong LED bằng GaAs

- Tái hợp giữa vùng dẫn và mức vùng hoá trị (tái hợp trực tiếp)
- Tái hợp giữa mức vùng dẫn và tâm tái hợp Si (tái hợp sau tâm tái hợp)

Ánh sáng có bước sóng 950 nm, tương ứng với năng lượng nhỏ hơn nhiều W_g của GaAs. Do vậy GaAs không hấp thụ trở lại photon này, nhờ đó hiệu suất được cải thiện rất nhiều.

GaP ($W_g = 2,26\text{eV}$; $\lambda_g = 549\text{nm}$) cũng là vật liệu để chế tạo LED, phát ra ánh sáng màu xanh lá cây hoặc có khi màu đỏ, tùy thuộc vào loại tạp chất. Đây là loại vật liệu gián tiếp, cần đưa vào tạp chất như N hoặc Bi để có sự tái hợp có bức xạ.

Sự kết hợp của GaAs với GaP cho $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ (gali-asen photphit) cũng là vật liệu dùng để chế tạo LED. Bằng cách điều chỉnh giá trị của x , có thể điều chỉnh giá trị của W_g từ 1,44eV (với $x=0$) đến 2,26eV (với $x=1$). Ánh sáng nằm trong dải hồng ngoại đến xanh lá cây. Với $0 < x < 0,4$; vật liệu có tính chất vật liệu trực tiếp, hiệu suất bức xạ cao. Ví dụ : LED được chế tạo bằng $\text{GaAs}_{0,6}\text{P}_{0,4}$ ($W_g = 1,8\text{eV}$) phát xạ ánh sáng có cường độ bức xạ lớn, cho ánh sáng màu đỏ. Với $x > 0,44$ vật liệu trở thành vật liệu gián tiếp, nhưng nếu pha tạp chất N thì có thể bức xạ ánh sáng trong dải vàng và xanh lá cây. Các vật liệu có ba hoặc bốn thành phần, như (Al, Ga) ánh sáng, (In, Gm) ánh sáng, (In, Ga) (As, P) dùng để chế tạo LED trong hệ thống cáp quang.

Vật liệu hấp thụ quang

Khi chiếu ánh sáng lên chất bán dẫn mà năng lượng ánh sáng lớn hơn năng lượng vùng cấm, thì điện tích trong vật liệu sẽ được gia tăng, tức 1 electron vùng hoá trị chuyển động lên vùng dẫn, từ đó điện dẫn suất tăng lên.

Điều kiện để hấp thụ ánh sáng là:

$$hf_{\min} \geq W_g$$

Tần số nhỏ nhất f_{\min} ứng với bước sóng ánh sáng lớn nhất λ_{\max} :

$$h \frac{c}{\lambda_{\max}} \geq W_g$$

$$\lambda_{\max} \leq \frac{hc}{W_g} = \frac{(6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Js})(3 \cdot 10^8 \text{ ms})}{W_g}$$

W_g thường được tính với eV, do vậy:

$$\lambda_{\max} \leq \frac{(6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Js})(3 \cdot 10^8 \text{ ms})}{1,69 \cdot 10^{-19} W_g} = \frac{1,24 \cdot 10^{-6} \text{ m}}{W_g (\text{eV})} = \frac{1,24 \mu\text{m}}{W_g (\text{eV})}$$

Tóm lại:
$$\lambda_{\max} \leq \frac{1,24}{W_g (\text{eV})} \mu\text{m}$$

Có nghĩa rằng vật liệu quang điện tử có một giá trị năng lượng vùng cấm $W_g(\text{eV})$, có thể hấp thụ ánh sáng có bước sóng nhỏ hơn hoặc bằng với $\frac{1,24}{W_g (\text{eV})} \mu\text{m}$

Trên đây là nguyên lý làm việc của vật liệu bán dẫn có thể hấp thụ ánh sáng.

Sau đây là một số vật liệu bán dẫn và bước sóng ánh sáng lớn nhất có thể thu được:

Vật liệu bán dẫn	λ_{\max} (nm)
Ge	1800
Si	1200
GaAs	880
GaP	550
CdS	520

Biết rằng phổ ánh sáng mắt nhìn thấy được nằm trong phạm vi từ 400 nm đến 700nm. Như vậy các vật liệu kể trên có thể dùng để chế tạo những linh kiện phát sáng trong phổ ánh sáng mặt trời nhìn thấy được đến gần hồng ngoại.

Đồng thời với sự sản sinh điện tích do tác dụng của ánh sáng cũng như sức sản sinh của điện tích do tác dụng của nhiệt, tạo ra hiện tượng nhiễu cho linh kiện dò tìm ánh sáng.

Như đã biết trước mật độ điện tích trong vật liệu bán dẫn tinh khiết phụ thuộc vào năng lượng vùng cấm và nhiệt độ theo hàm:

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

Nếu vật liệu có năng lượng vùng cấm nhỏ thì có thể phát hiện được ánh sáng có bước sóng lớn, nhưng đồng thời mật độ n_i sẽ lớn, gây nhiễu lớn, nếu không hạ thấp nhiệt độ làm việc. Ví dụ vật liệu InSb có $W_g=0,2 \text{ eV}$, có thể dò tìm ánh sáng có bước sóng khoảng 6000 nm, nhưng số điện tích sinh ra do nhiệt, ở nhiệt độ phòng, cũng trội hơn số điện tích sinh ra do ánh sáng, nghĩa là điện dẫn suất tối không thay đổi mấy dưới tác dụng của ánh sáng. Do vậy cần phải hạ thấp nhiệt độ xuống đến $77 \text{ }^\circ\text{K} = -196 \text{ }^\circ\text{C}$, là nhiệt độ của nitơ lỏng. Ở nhiệt độ này n_i sẽ giảm với 10^6 lần so với nhiệt độ phòng, vì vậy nhiễu sẽ giảm nhiều.

Quang thông Φ :
$$\Phi = \frac{P}{hf} = \frac{P \cdot \lambda}{hc} \left(\frac{1}{sm^2} \right)$$

Trong đó P: Công suất ánh sáng trên đơn vị diện tích, W/m^2 (Với P đã cho quang thông Φ tăng tuyến tính theo bước sóng λ); càng đi sâu vào vật liệu, công suất ánh sáng sẽ suy giảm, và suy giảm theo hàm số mũ cơ số e, có thể viết:

$$P(x) = P(0) \cdot \exp(-\alpha x)$$

Ở đó: P(0): Công suất ánh sáng trên bề mặt của vật liệu, $x = 0$

α : Hệ số hấp thụ $\left(\frac{1}{cm} \right)$

x: Bề dày vật liệu tính từ bề mặt (cm)

Từ đó cũng có thể viết:

$$\phi(x) = \phi(0) \cdot \exp(-\alpha x)$$

Ánh sáng được hấp thụ vào làm sinh ra những cặp electron – lỗ trống. Mức độ sinh ra điện tích kí hiệu là G_L $\left(\frac{1}{m^3} \right)$ và được định nghĩa bằng hệ thức:

$$G_L = \frac{\alpha \cdot P(x)}{hf} = \alpha \cdot \phi(x) \left(\frac{1}{s \cdot m^3} \right)$$

Tỉ số sửa ánh sáng tới so với ánh sáng hấp thụ là

$$\frac{I_{\text{tới}}}{I_{\text{hấp thụ}}} = 1 - \exp(-\alpha L)$$

Bề dày L cần thiết phải có của vật liệu để hấp thụ ánh sáng là

$$L > \frac{1}{\alpha}$$

Si có hệ số hấp thụ $\alpha = 10^3 / cm$, bề dày cần thiết đối với Si là $L > \frac{1}{\alpha} = 10^{-3} cm = 10 \mu m$

GaAs có hệ số hấp thụ $\alpha = 10^4 / cm$, bề dày cần thiết đối với GaAs là

$$L > \frac{1}{\alpha} = 10^{-4} cm = 1 \mu m$$

Ví dụ: Hệ số hấp thụ ánh sáng ở gần bờ các vùng năng lượng của GaAs bằng $10^4/cm$ và của Si bằng $10^3/cm$. Hãy tính bề dày cần thiết của GaAs và của Si nếu ánh sáng hấp thụ bằng 90% ánh sáng tới?

Giải: Biết rằng tỉ số ánh sáng tới và ánh sáng hấp thụ được xác định bằng:

$$\frac{I_{\text{tới}}}{I_{\text{hấp thụ}}} = 1 - \exp(-\alpha L)$$

Ở đó: α : Hệ số hấp thụ $\left(\frac{1}{cm} \right)$

L: Bề dày cần thiết (cm)

Tỉ số này bằng 90%. Từ đó, có thể xác định bề dày L

$$-\alpha L = \ln(1-0,9) = \ln 0,1 = -\ln 10 = -2,3$$

$$L = \frac{2,3}{\alpha}$$

Đối với GaAs: $L = \frac{2,3}{10^4 / cm} = 2,3 \cdot 10^{-4} cm = 2,3 \mu m$

Đối với Si: $L = \frac{2,3}{10^3 / cm} = 2,3 \cdot 10^{-3} cm = 23 \mu m$

Điốt quang:

Khi chiếu ánh sáng vào tiếp giáp p-n, những cặp electron – lỗ trống được sản sinh và tạo ra dòng điện gọi là dòng quang điện.

Dòng quang điện được xác định bằng:

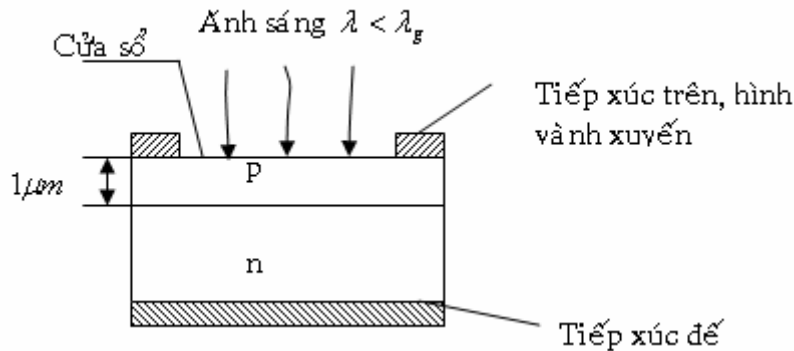
$$I_L = eA(L_p + L_n)G_L (A)$$

Ở đó: e: Điện tích của electron

A: Tiết diện của điốt (m^2)

L_p, L_n : Chiều dài khuếch tán của lỗ trống của electron (m)

G_L : Mức độ sản sinh điện tích do ánh sáng, ($\frac{1}{sm^3}$)

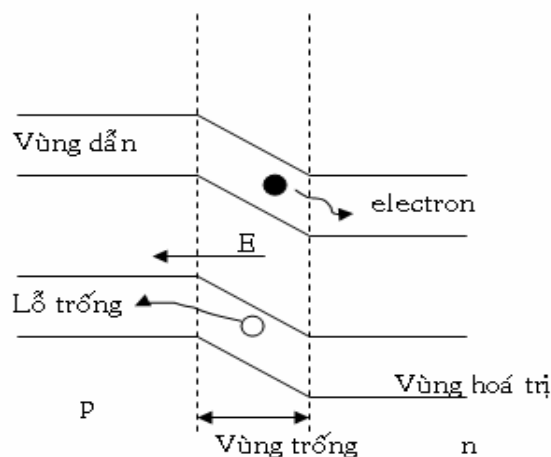


Hình 2.18 Sơ đồ cấu tạo điốt quang

Khi ánh sáng chiếu vào cửa sổ của điốt quang p-n, với bước sóng

$\lambda < \lambda_g = \frac{1,24}{w_g} (\mu m)$, thì sản sinh ra những cặp electron -lỗ trống. Những cặp electron

– lỗ trống sinh ra ở ngoài vùng trống mau chóng tái hợp với những điện tích thiểu số sinh ra do nhiệt. Còn những electron - lỗ trống sinh ra ở trong vùng trống thì do tác dụng của điện trường ở đó, chúng bị tách biệt, lỗ trống bị điện trường đẩy về phía p, và electron bị đẩy về phía n, như trên hình 2.19



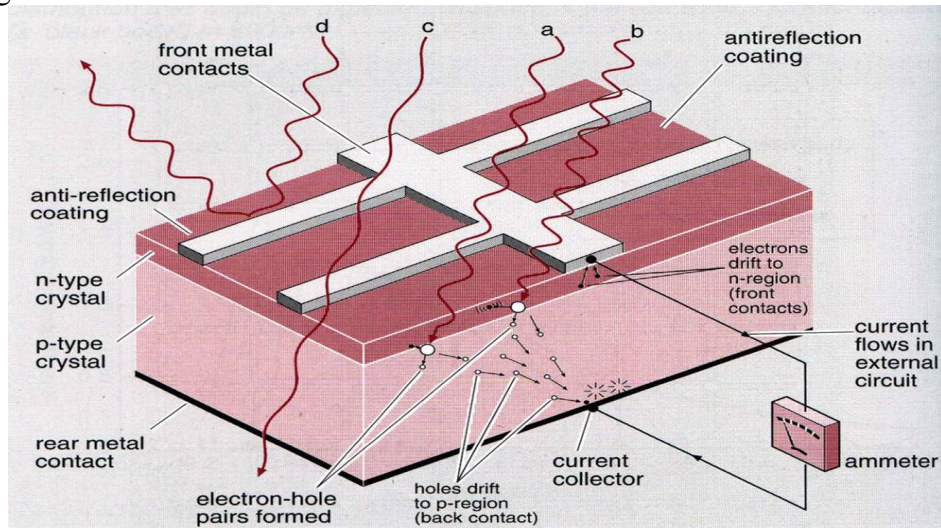
Hình 2.19 Lỗ trống bị điện trường đẩy về phía p, và electron bị đẩy về phía n

Do đó electron và lỗ trống ít có khả năng tái hợp, và nhờ vậy tạo ra dòng quang điện. Nếu điốt có điện áp phân cực nghịch, thì dòng quang điện bổ sung vào dòng điện rò, làm tăng dòng điện chảy trong mạch, và được sử dụng để phát hiện ánh sáng: dòng

quang điện chảy qua một điện trở, tín hiệu điện áp được lấy từ điện trở, như là tín hiệu phát hiện ánh sáng.

Pin mặt trời:

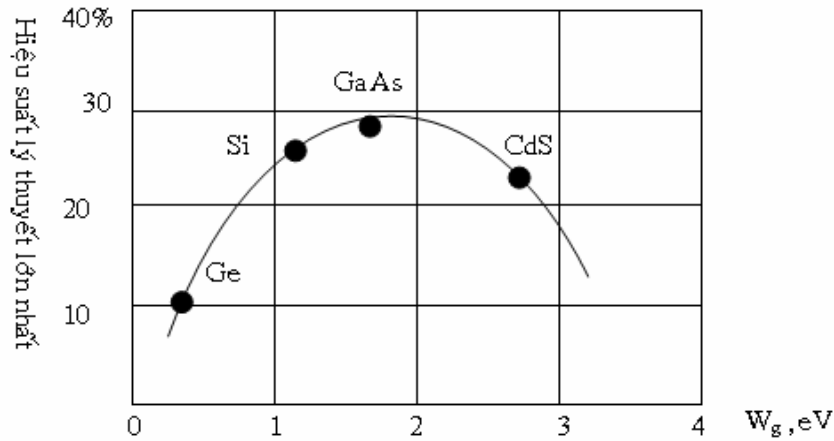
Pin mặt trời là điốt p-n chuyển đổi quang năng thành điện năng. Pin mặt trời làm việc không có nguồn điện cung cấp, điện áp và dòng điện của pin do ánh sáng tạo ra. Đường kính của pin thường khoảng 150 mm, như vậy pin có bề mặt lớn để nhận ánh sáng. Lớp n rất mỏng, chỉ bằng $0,25\mu\text{m}$. Tiếp xúc ở mặt trên làm bằng vàng hoặc nhôm, có dạng tiếp xúc ngón. Ở trên tiếp xúc có phủ một lớp ngăn phản chiếu ánh sáng.



Hình 2.20 Cấu tạo của một pin mặt trời (Front metal contacts: lớp tiếp xúc trên bằng kim loại, antireflection coating: lớp phủ chất không phản xạ, n-type crystal: bán dẫn loại n, p-type crystal: bán dẫn loại p, rear metal contact: lớp tiếp xúc dưới bằng kim loại, electron-hole pairs formed: những dạng cặp electron - lỗ trống, holes drift to p – region: lỗ trống trôi dạt về miền p, electron drift to n – region: electron trôi dạt về miền n, current flows in external circuit: dòng điện chạy trong mạch ngoài)

Vật liệu của tiếp giáp p-n là Si, Ge, Ga-As, CdS.

Trong số vật liệu trên, thì GaAs cho hiệu suất lớn nhất, như mô tả trên đồ thị trên hình 2.21. Pin mặt trời làm bằng GaAs có hiệu suất bằng 28% trong khi đó Si cho hiệu suất 25% và Ge thì chỉ cho 10%. Nhưng Ga-As đắt tiền hơn rất nhiều và không làm thành tấm mỏng có diện tích lớn được, vì vậy Si được sử dụng nhiều hơn, mà pin mặt trời bằng GaAs chỉ được sử dụng trong trường hợp dùng làm pin hội tụ, để tập trung năng lượng.



Hình 2.21 Hiệu suất lớn nhất của pin mặt trời làm bằng Si, Ge, GaAs, CdS

Trong thực tế, hiệu suất của pin mặt trời làm bằng Si nằm trong khoảng 10%-25%. Một Pin mặt trời bằng Si có diện tích 200 mm² có thể có hiệu suất bằng 15% cho công suất 10 mW với điện áp 0,6 V dưới ánh sáng mặt trời ban trưa. Nhưng nếu dùng nhiều pin, mỗi pin có đường kính 50 mm, ghép nối tiếp và song song thành một bộ pin cho được công suất đến 1 kW với điện áp 28V.

Điện áp không tải lớn nhất của pin mặt trời:

$$U_{OC} = \frac{kT}{e} \ln \left(1 + \frac{I_L}{I_0} \right)$$

U_{OC} có giá trị thường ứng với năng lượng vùng cấm, đối với Si, $U_{OC} \approx 0,5V$

Dòng quang điện I_L được xác định bằng:

$$I_L = eA(L_p + L_n)G_L \text{ (A)}$$

Dòng điện bão hoà I_0 được xác định: $I_0 = I_0A = e n_i^2 A \left(\frac{D_p}{L_p \cdot N_d} + \frac{D_n}{L_n \cdot N_a} \right)$ (A)

Ở trạng thái ngắn mạch ($U=0$) có dòng điện lớn nhất, dòng điện ngắn mạch:

$$I = I_{SC} = I_L - I_D = I_L - I_0(e^0 - 1) = I_L$$

I_D (dòng điện điốt) được xác định bằng:

$$I_D = I_0 \left(\exp \left(\frac{eU}{kT} \right) - 1 \right) \text{ (A)}$$

Cường độ của dòng điện ngắn mạch cỡ vài chục miliampe.

Ví dụ: Hãy tính điện áp không tải của pin mặt trời bằng Si có những thông số sau đây: (nhiệt độ $T = 300 \text{ }^0K$)

- Tiết diện : $A = 1,0 \text{ cm}^2$
- Mật độ “nhận” $N_a = 5.10^{17}/\text{cm}^3$
- Mật độ “cho” $N_d = 10^{16}/\text{cm}^3$
- Hệ số khuếch tán của electron $D_n = 20\text{cm}^2/\text{s}$
- Hệ số khuếch tán của lỗ trống $D_p = 10 \text{ cm}^2/\text{s}$
- Thời gian tái hợp của electron $\tau_n = 3.10^7\text{s}$
- Thời gian tái hợp của lỗ trống $\tau_p = 10^{-7}\text{s}$
- Dòng quang điện $I_L = 25\text{mA}$

Giải:

Điện áp không tải của pin mặt trời được xác định:

$$U_{OC} = \frac{kT}{e} \ln \left(1 + \frac{I_L}{I_0} \right)$$

Ở đó: I_0 là dòng điện bão hoà.

$$I_0 \text{ được xác định theo: } I_0 = I_0 A = e n_i^2 A \left(\frac{D_p}{L_p \cdot N_d} + \frac{D_n}{L_n N_a} \right)$$

Biết rằng $L = (D\tau)^{1/2}$, từ đó:

$$I_0 = e n_i^2 A \left(\frac{D_p}{(D_p \tau)^{1/2} \cdot N_d} + \frac{D_n}{(D_n \tau_n)^{1/2} \cdot N_a} \right) = e n_i^2 A \left[\left(\frac{D_p}{\tau_p} \right)^{1/2} \cdot \frac{1}{N_d} + \left(\frac{D_n}{\tau_n} \right)^{1/2} \cdot \frac{1}{N_a} \right]$$

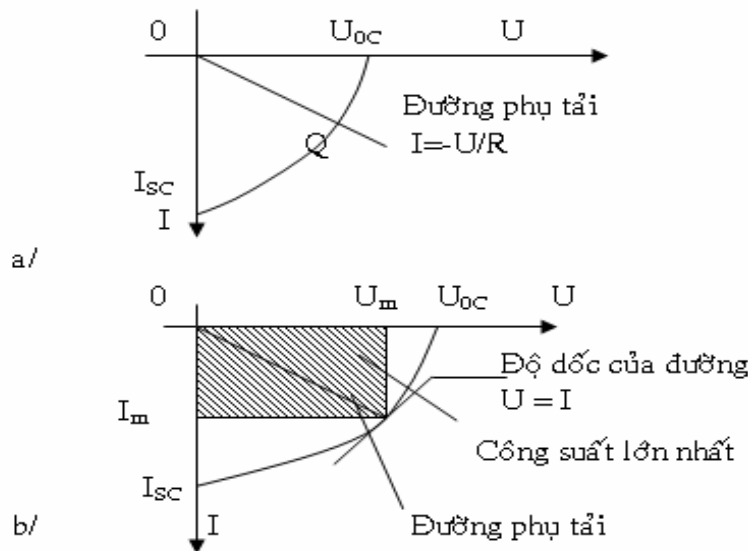
$$I_0 = (1,6 \cdot 10^{-19})(1,38 \cdot 10^{10})^2 \cdot (1) \left[\left(\frac{10}{10^{-7}} \right)^{1/2} \cdot \frac{1}{10^{16}} + \left(\frac{20}{3 \cdot 10^{-7}} \right)^{1/2} \cdot \frac{1}{5 \cdot 10^{17}} \right]$$

$$I_0 = 3,296 \cdot 10^{-11} \text{ A}$$

Điện áp không tải của pin mặt trời:

$$U_{OC} = 0,026 \ln \left(1 + \frac{25 \cdot 10^{-9}}{3,206 \cdot 10^{-11}} \right) \cong 0,026 \ln \frac{25 \cdot 10^{-3}}{3,296 \cdot 10^{-11}} = 0,52 \text{ V}$$

Có thể dựng đường đặc tính vôn-ampe (U-I) của pin mặt trời như đồ thị trên hình 2.22



Hình 2.22 a/ Điểm công tác Q b/ Công suất lớn nhất

Khi điện trở R thay đổi, thì cường độ dòng điện biến thiên từ dòng điện cực đại I_{SC} (với $R=0$ và $U=0$), đến 0 (với $R=\infty$ và $U=U_{OC}$) như thấy trên hình 2.22a; ở tại hai trạng thái cực trị đó, công suất cung cấp cho phụ tải bằng không. Ứng với R có giá trị khác với hai cực trị (0 và ∞), dòng điện có cường độ bằng:

$$I = -\frac{U}{R}$$

Trên đường đặc tính U-I, đó là giao điểm của đường phụ tải và đường đặc tính U-I, đó là điểm công tác Q. Ở tại điểm này, U và I có giá trị nhất định, và phụ tải nhận được năng lượng từ pin mặt trời.

Công suất: $P = UI$

$$P = UI_L - UI_0 \left(\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right)$$

Công suất có giá trị cực đại khi:

$$\frac{dP}{dI} = 0 = U + I \frac{dU}{dI}$$

Từ đó
$$\frac{dU}{dI} = -\frac{U}{I}$$

Nói cách khác, để có công suất phát ra lớn nhất, thì độ nghiêng của đường phụ tải bằng với giá trị âm của độ dốc của đường đặc tính U-I tại điểm công tác, như diễn đạt trên hình 2.22b.

Công suất lớn nhất là:

$$P_{\max} = U_m I_m \tag{23}$$

Công suất này nhỏ hơn giá trị $U_{oc} I_{sc}$. Công suất lớn nhất được mô tả bằng diện tích hình chữ nhật trên đồ thị ở Hình 2.23.

Hiệu suất của pin mặt trời: là tỉ số của công suất điện do pin mặt trời phát ra so với công suất ánh sáng mà pin hấp thụ. Nếu pin mặt trời làm việc tối ưu, thì hiệu suất được tính như sau:

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{in}} 100\% = \frac{U_m I_m}{P_{in}} 100\%$$

P_{in} là công suất của ánh sáng mặt trời chiếu lên pin mặt trời

Hệ số điền đầy:
$$F_f = \frac{U_m I_m}{U_{oc} I_{sc}}$$

Hệ số điền đầy càng lớn, chứng tỏ rằng giá trị của công suất lớn nhất, $U_m I_m$ càng gần với giá trị $U_{oc} I_{sc}$. Hệ số điền đầy thường có giá trị khoảng 0,7.

Vậy hiệu suất η có thể tính bằng:

$$\eta = \frac{(U_{oc} I_{sc}) F_f}{P_{in}} 100\%$$

Công suất của ánh sáng mặt trời khoảng 1kW/m^2 ở thời điểm ban trưa ở đường xích đạo. (Ánh sáng mặt trời vào ban trưa ở đường xích đạo được gọi là ánh nắng AM1; AM là viết tắt của từ “air-mass”; AM1 tức là air-mass 1)

Dòng điện ngắn mạch I_{sc} :

$$I_{sc} = I_L$$

I_L là dòng quang điện, như đã xác định:

$$I_L = eA(L_p + L_n)G_L$$

Mà
$$L_p = (D_p \tau_p)^{1/2} \text{ và } L_n = (D_n \tau_n)^{1/2}$$

Do đó:

$$I_L = eA \left((D_p \tau_p)^{1/2} + (D_n \tau_n)^{1/2} \right) G_L$$

Như vậy, để pin mặt trời có hiệu suất lớn, thì pin phải có bề mặt A hấp thụ ánh sáng lớn, mặt khác phải được chế tạo bằng vật liệu mà tuổi thọ của điện tích phải lớn, sự tái hợp của điện tích tương đối nhỏ. Vật liệu bán dẫn gián tiếp như Si có tỉ lệ tái hợp của điện tích nhỏ.

Ví dụ:

Một pin mặt trời có diện tích 1cm^2 và dòng quang điện $I_L = 25\text{ mA}$, dòng điện bão hoà ở 300K : $I_0 = 3,66.10^{-11}\text{ A}$.

- a) Hãy tính điện áp không tải và dòng điện ngắn mạch của pin.
 b) Hãy tính công suất phát ra được của pin với hệ số điền đầy bằng 0,8.
 c) Muốn có tổng công suất bằng 10 W và điện áp 10V thì phải nối bao nhiêu pin và nối song song bao nhiêu dãy pin, tính tổng pin cần thiết.

Giải:

- a) Điện áp không tải:

$$U_{OC} = \frac{kT}{e} \ln \left(1 + \frac{I_L}{I_0} \right) = 0,026 \ln \left(1 + \frac{25 \cdot 10^{-3}}{3,66 \cdot 10^{-4}} \right)$$

$$U_{OC} \approx 0,026 \ln 6,83 \cdot 10^8 = 0,53 \text{ V}$$

Dòng điện ngắn mạch

$$I_{SC} = I_L = 25 \text{ mA.}$$

- b) Công suất của pin phát ra được:

$$P = F_f \cdot U_{OC} \cdot I_{SC} = 0,8 \cdot 0,53 \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 10,6 \cdot 10^{-3} \text{ W} = 10,6 \text{ mW}$$

- c) Số pin mắc nối tiếp để có 10V

Chú ý rằng số pin không phải tính bằng $\frac{10V}{0,53V}$ mà phải tính bằng $\frac{10V}{U_m}$

Biết rằng:

$$P = F_f \cdot U_{OC} \cdot I_{SC} = U_m I_m$$

Có thể viết:

$$(F_f)^{1/2} U_{OC} \cdot (F_f)^{1/2} I_{SC} = U_m I_m$$

Vậy từ đó:

$$U_m = (F_f)^{1/2} U_{OC} = \sqrt{0,8} \cdot 0,53 \approx 0,9 \cdot 0,53 = 0,47V$$

Số pin nối tiếp là:

$$N_{(\text{nối tiếp})} = \frac{10V}{0,47V} \approx 21 \text{ pin}$$

Công suất của một dãy nối tiếp là:

$$p = (10V)(25 \cdot 10^{-3} \cdot 0,9) = 225 \cdot 10^{-3} \text{ W}$$

Số dãy nối song song:

$$N_{(\text{song song})} = \frac{10W}{0,225} = 44,4 \approx 45 \text{ dãy}$$

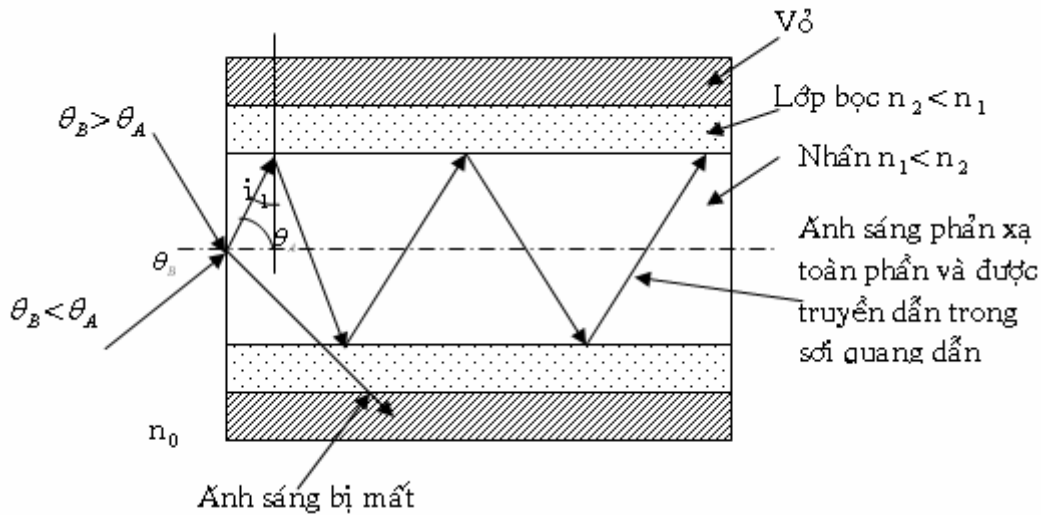
Tổng số pin: $21 \cdot 45 = 945$ pin.

Sợi quang dẫn

* Nguyên lý truyền dẫn tín hiệu ánh sáng bằng sợi quang dẫn:

Sợi quang dẫn là một hệ thống dẫn sáng hình trụ, trong đó ánh sáng được truyền dẫn nhờ có sự phản xạ toàn phần.

Cấu trúc cơ bản của sợi quang dẫn gồm có nhân ở tâm và vỏ bọc bên ngoài. Vật liệu làm nhân có hệ số chiết suất n_1 lớn hơn hệ số chiết suất n_2 của vật liệu làm lớp vỏ bọc ngoài. Bên ngoài lớp vỏ bọc này là vỏ để che chở, tránh tia sáng lọt ra ngoài.



Hình 2.23 Sơ đồ cấu trúc của sợi quang dẫn

Hệ số chiết xuất của nhãn $n_1 > n_2$ hệ số chiết xuất của lớp bọc. Nếu $\theta_B < \theta_A$ thì ánh sáng được phản xạ toàn phần và được truyền dẫn trong sợi quang dẫn. Nếu $\theta_B > \theta_A$ thì ánh sáng bị mất đi, không truyền dẫn được trong sợi quang dẫn.

*Tính chất của sợi quang dẫn

Các thông số thuộc về tính chất của sợi quang dẫn, đó là:

1/ Góc nhận: Ký hiệu θ_A là góc nhận, điều kiện để tia sáng phản xạ toàn phần là tia sáng được chiếu từ nguồn đến sợi quang dẫn với góc tới θ có giá trị nhỏ hơn góc nhận $\theta < \theta_A$. Giá trị lớn nhất của góc nhận bằng:

$$\theta_A = \sin^{-1} \left(\frac{1}{n_0} (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \right)$$

2/ Góc tới hạn: $i_{1\max} = \sin^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$

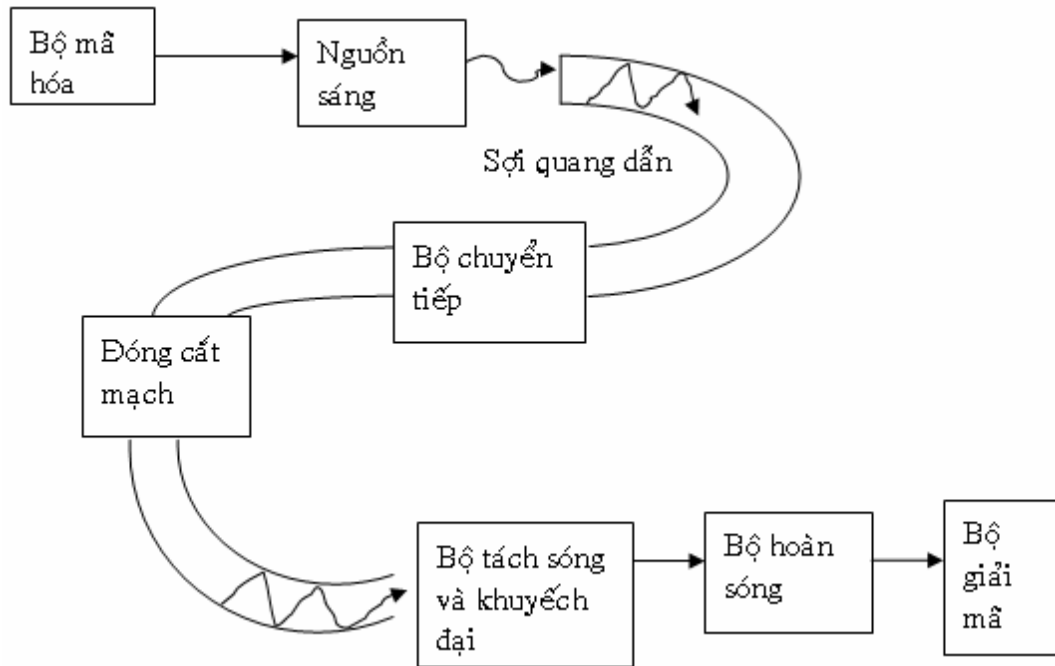
3/ Số mở: Đại lượng $(n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$ gọi là số mở; ký hiệu NA (numerical operture):

$$(NA) = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$$

4/ Góc mở: $A = \sin^{-1} \left[(n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \right]$

*Khái niệm về hệ thống thông tin bằng sợi quang dẫn

Trên hình 3.24 là sơ đồ hệ thống thông tin bằng sợi quang dẫn.



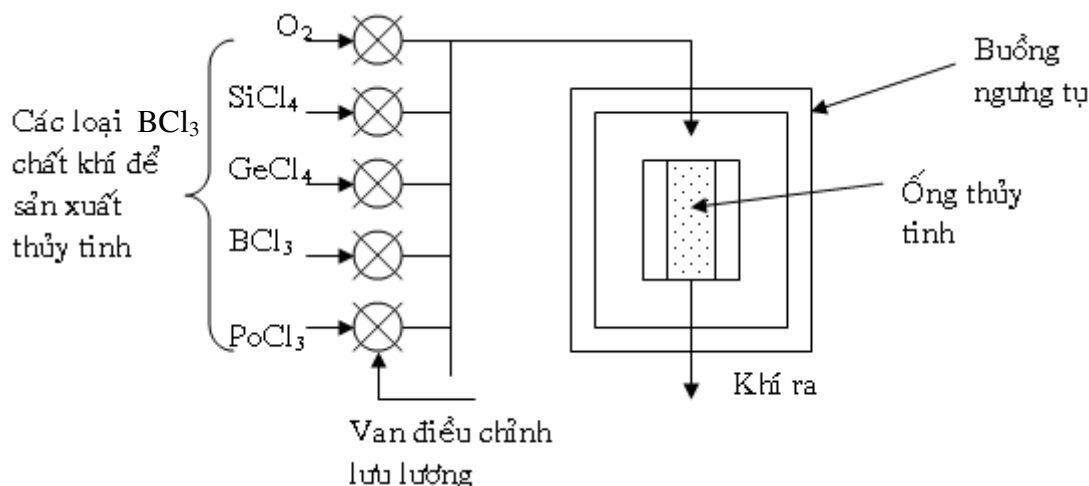
Hình 2.24 Những bộ phận trong hệ thống thông tin bằng sợi quang dẫn.

Tín hiệu (tiếng nói, số liệu ...) được mã hóa thành tín hiệu ánh sáng. Quá trình trên được thực hiện nhờ bộ mã hóa và nguồn ánh sáng. Tín hiệu (ánh sáng) được truyền vào sợi quang dẫn, sợi quang dẫn là thành phần chìa khóa để làm cho việc thông tin bằng ánh sáng có thể thực hiện được. Trong khi tín hiệu được truyền dẫn theo sợi quang dẫn, có thể cần phải chuyển vào những kênh khác, điều này cần bộ đóng cắt mạch. Khi tín hiệu đã được truyền dẫn đến điểm cần thiết, được tách sóng bằng bộ tách sóng quang học. Tín hiệu được khuếch đại và được thu nhận.

Tín hiệu quang bị suy giảm trong quá trình được truyền dẫn cần đặt những bộ chuyển tiếp để tái sinh tín hiệu quang.

*Công nghệ chế tạo sợi quang dẫn:

Công nghệ chế tạo sợi quang dẫn là công nghệ ngưng tụ hóa học của hơi (Chemical Vapor deposition – CVD). Một hỗn hợp khí được thổi qua một bề mặt được nung nóng đến nhiệt độ đủ để cho chất khí tác dụng hoặc ngưng tụ trên bề mặt để tạo thành một lớp bám chất trên bề mặt. Công nghệ này trong việc chế tạo sợi quang dẫn được mô tả trên hình 2.25



Hình 2.25: Công nghệ CVD để sản xuất phôi của sợi quang dẫn

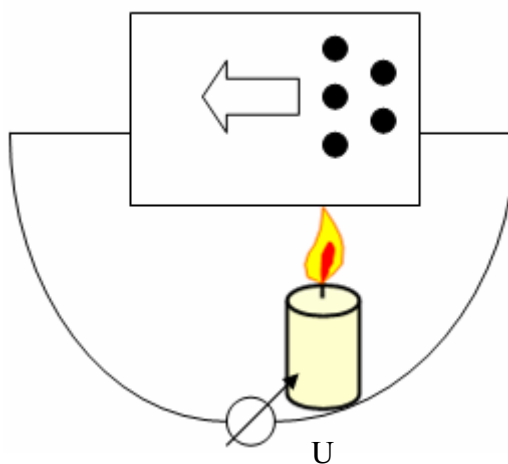
Các thành phần chất khí được thổi vào buồng ngưng tụ có đặt một ống thủy tinh thạch anh siêu sạch và được nung trong những vùng có nhiệt độ khác nhau, khi các chất khí chảy qua ống thủy tinh thì chúng có tác dụng hóa học với ống và ngưng tụ thành lớp thủy tinh.

Phôi: Được chế tạo theo phương pháp CVD có chứa nhiều ion OH. Chúng có vai trò chính trong việc gây nên suy giảm trong sợi quang dẫn, vì vậy cần phải khử sạch. Phôi được đưa vào môi trường khí SiCl₂ ở nhiệt độ $\approx 1700\text{ }^{\circ}\text{K}$ ($\approx 1420^{\circ}\text{C}$) trong thời gian 5 giờ. Mật độ của ion OH được giảm từ 30 phần triệu xuống 0,5 phần triệu. Phôi có chiều dài $\approx 1\text{m}$ và đường kính $\approx 2\text{cm}$. Sau khi phôi được chế tạo, thì được kéo thành sợi.

2.1.7. Hiện tượng nhiệt điện và hiệu ứng Hall trong chất bán dẫn

Hiện tượng nhiệt điện

Trong vật liệu bán dẫn, cũng giống như trong kim loại, dưới tác động của nhiệt độ sẽ xuất hiện hiệu điện thế, thường được gọi là sức nhiệt điện động, sự thay đổi nhiệt độ gây ảnh hưởng đến sự thay đổi nồng độ hạt dẫn trong lòng vật liệu, hệ quả của nó làm xuất hiện sự khuếch tán các hạt dẫn từ nơi có nhiệt độ cao tới nơi có nhiệt độ thấp hơn. Một phương pháp để xác định loại điện dẫn là đốt một đầu bán dẫn như hình vẽ 2.26



Hình 2.26 Hiện tượng nhiệt điện

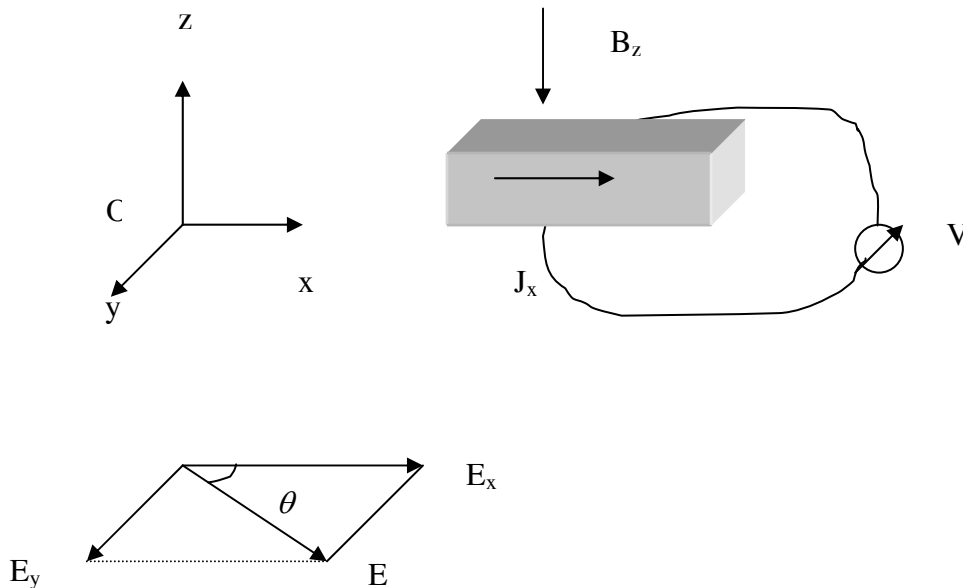
Nếu bán dẫn loại p, thì ở đầu bị đốt vì có nhiệt năng ngoài nên một số lớn các điện tử sẽ đi từ vùng hoá trị sang mức nhận của tạp chất. Từ đầu nóng bắt đầu có sự

khuếch tán sang đầu lạnh là nơi điện tử tự do ít hơn, do đó đầu nóng tích điện dương, đầu lạnh tích điện âm.

Hiệu ứng Hall

Bằng cách đo hệ số hiệu ứng Hall, có thể xác định mật độ và loại hạt mang điện trong VLBD loại n và loại P.

Nếu thanh bán dẫn có dòng điện J_x chạy qua được đặt vào từ trường B_z thì trên các mặt cạnh vuông góc với mặt (xOy) sẽ xuất hiện một điện áp. Đó là hiệu ứng Hall. Nếu đo được điện áp này, ta có thể xác định không chỉ dấu của hạt dẫn mà còn tính được nồng độ và xác định được độ linh động của hạt dẫn.



Hình 2.27 Hiệu ứng Hall

Điện trường E_x làm điện tích chuyển động (có dòng J_x) với vận tốc v_x . Từ trường B_z tác dụng lên điện tích chuyển động bằng lực Lorentz F_L . Lực đẩy do tác dụng của điện trường theo phương y (E_y) sẽ cân bằng lực Lorentz

$$e \cdot E_y = e \cdot v_x \cdot B_z \quad \text{hay} \quad E_y = v_x \cdot B_z$$

-Loại n: $v_x = J_x / (-ne) \Rightarrow E_y = -\frac{1}{en} J_x \cdot B_z$

-Loại p: $v_x = J_x / (pe) \Rightarrow E_y = \frac{1}{ep} J_x \cdot B_z$

Hệ số tỉ lệ $R_H = \frac{E_y}{J_x \cdot B_z} = -\frac{1}{en} = \frac{1}{pe}$ gọi là hằng số Hall

Điện trường tổng cộng trong vật liệu $\vec{E} = \vec{E}_x + \vec{E}_y$ lệch với trục x một góc θ_H gọi là góc Hall:

$$\text{tg}\theta_H = \frac{E_y}{E_x} = \frac{v_x \cdot B_z}{E_x} = \mu \cdot B_z$$

Giữa hằng số Hall và độ linh động có quan hệ

$$\mu_p = \frac{v_x}{E_x} = \frac{ep}{\frac{J_x}{\sigma}} = \frac{1}{ep} \cdot \sigma = R_H \cdot \sigma$$

Nếu đo được R_H và biết σ (điện dẫn suất) ta biết được độ linh động μ (đo được R_H bằng cách đo hiệu điện thế U_H của mẫu VLBD)

Trong VLBD vừa loại n vừa loại p: dòng điện chảy theo phương trục y là σE_y có thể diễn đạt bằng:

$$J_y = \sigma E_y = e \cdot (p \cdot v_p - n \cdot v_n)$$

Ta có: $v_p = \mu_p \cdot E_y = \mu_p (E_x \cdot \text{tg}\theta_H) = \mu_p \cdot E_x \cdot (\mu_p \cdot B_z) = \mu_p^2 \cdot E_x \cdot B_z$

$$v_n = \mu_n^2 \cdot E_x \cdot B_z$$

Vậy: $\sigma E_y = e(p \cdot \mu_p^2 - n \cdot \mu_n^2) E_x \cdot B_z$

$$R_H = \frac{E_y}{J_x B_z} = \frac{e(p \cdot \mu_p^2 - n \cdot \mu_n^2) E_x \cdot B_z}{\sigma \cdot J_x \cdot B_z} = \frac{e \cdot (p \cdot \mu_p^2 - n \cdot \mu_n^2)}{\sigma^2}$$

mà $\sigma = e(p \cdot \mu_n + n \cdot \mu_p)$ nên $R_H = \frac{e(p \cdot \mu_p^2 - n \cdot \mu_n^2)}{e^2 (p \cdot \mu_n + n \cdot \mu_p)^2} = \frac{p \cdot \mu_p^2 - n \cdot \mu_n^2}{e(p \cdot \mu_n + n \cdot \mu_p)^2}$

Ví dụ: Một thanh Germani $10\text{mm} \times 1\text{mm} \times 1\text{mm}$ đặt trong một từ trường 0,2 T. Điện áp đặt trên 2 đầu chiều dài là 1mV, dòng điện 43,6 μA . Điện áp Hall đo được là $U_H = 7,8 \mu\text{V}$. Tính độ linh động điện tử μ_n .

Giải:

Điện trường Hall:

$$E_y = \frac{7,8 \mu\text{V}}{1\text{mm}} = \frac{7,8 \cdot 10^{-6}}{10^{-3}} = 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ V/m}$$

Mật độ dòng chảy theo chiều dài: $J_x = \frac{I}{S} = \frac{43,6 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 43,6 \text{ A/m}^2$

Theo định nghĩa, hằng số Hall:

$$R_H = \frac{E_y}{J_x B_z} = \frac{7,8 \cdot 10^{-3}}{43,6 \cdot 0,2} = 8,89 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{As}$$

Mật độ của electron: $n = \frac{1}{e R_H} = 7 \cdot 10^{21} \text{ m}^{-3}$

Điện trường theo chiều dài x: $E_x = \frac{1\text{mV}}{10\text{mm}} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^{-3}} = 0,1\text{V / m}$

Điện dẫn suất: $\sigma = \frac{J_x}{E_x} = \frac{43,6}{0,1} = 436(\Omega\text{m})^{-1}$

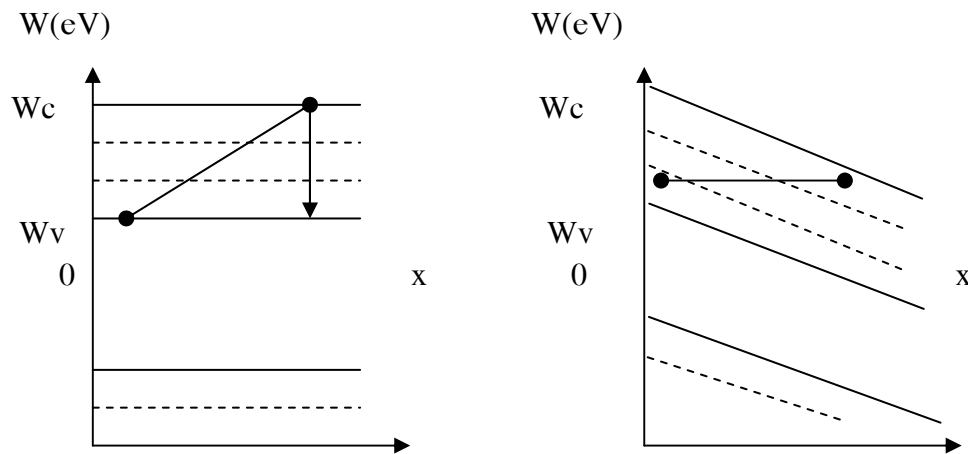
Độ linh động điện tử:

$$\mu_n = R_H \cdot \sigma = 8,9 \cdot 10^{-4} \cdot 436 = 3880,4 \cdot 10^{-4} = 0,39\text{m}^2 / \text{Vs}$$

Kiểm nghiệm: $\sigma = n \cdot e \cdot \mu_n$ nên

$$\mu_n = \frac{\sigma}{n \cdot e} = \frac{436}{7 \cdot 10^{21} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 38,88 \cdot 10^{-2} = 0,39\text{m}^2 / \text{Vs}$$

2.1.8. Điện dẫn của chất bán dẫn đặt trong điện trường có cường độ cao



Hình 2.28 Chuyển động của điện tử có thể biểu diễn bằng đường nằm ngang còn mức năng lượng là đường nằm nghiêng.

Khi chuyển động trong điện trường, điện tử thay đổi tọa độ và năng lượng của mình. Khi nhảy từ mức năng lượng này sang mức năng lượng khác thì động năng của nó tăng lên một khoảng $\Delta w = eU$ (U là hiệu điện thế trên quãng đường điện tử đi qua), còn thế năng của điện tử thì giảm đúng bằng như vậy để tổng năng lượng không đổi. Điện tử khi tán xạ có thể bị mất năng lượng tích lũy và quay lại mức thấp hơn. Để thuận tiện, theo trục y ta ký hiệu năng lượng toàn phần trừ đi ΔW , khi đó chuyển động của điện tử có thể biểu diễn bằng đường nằm ngang còn mức năng lượng là đường nằm nghiêng.

Trong điện trường mạnh sự tỉ lệ thuận của mật độ dòng điện với điện trường ngoài không còn đúng nữa. Đó là hệ quả của sự thay đổi điện dẫn suất của vật liệu bán dẫn. Để giải thích sự thay đổi này ta khảo sát ảnh hưởng của điện trường lên độ linh động và nồng độ hạt dẫn trong thể tích của bán dẫn.

Ảnh hưởng của điện trường lên độ linh động

Trong điện trường yếu, về cơ bản ảnh hưởng của trường chỉ làm thay đổi hướng vận tốc của hạt dẫn. Trong điện trường đủ mạnh sự tăng giá trị của vận tốc trên độ dài

bước tự do có thể so sánh với vận tốc của chuyển động nhiệt, điều này dẫn tới sự giảm của thời gian bước tự do và sự thay đổi độ linh động của hạt dẫn.

Ảnh hưởng của điện trường lên nồng độ hạt dẫn

Khi điện trường lớn hơn 10^6 V/m trong vật liệu bán dẫn bắt đầu xuất hiện một lượng thừa hạt dẫn và điện dẫn suất của nó tăng lên. Có các cơ chế sau của sự tăng nồng độ hạt dẫn:

*Ion hoá nhiệt điện

Điện trường ngoài làm thay đổi dạng của rào thế giữa các nguyên tử của tinh thể. Nếu không có điện trường ngoài thì trong tinh thể giữa các nguyên tử sẽ có trường tuần hoàn; dưới tác dụng của điện trường mạnh độ cao của rào thế sẽ giảm. Nếu đó là độ cao của rào thế của nguyên tử tạp chất (ví dụ donor) thì sự giảm năng lượng một lượng dW dẫn đến sự tăng nồng độ hạt dẫn trong vùng dẫn:

$$n = \sqrt{N_c N_d} \exp\left(\frac{dW}{2kT}\right)$$

Sự thay đổi nhỏ dW gây ra một sự thay đổi lớn nồng độ hạt dẫn (hiện tượng trên chỉ xảy ra khi điện trường gần 10^6 V/m).

*Ion hoá do va đập:

Điện tử tự do dưới tác dụng của điện trường mạnh có thể tích lũy năng lượng trên độ dài bước tự do đủ để ion hoá nguyên tử tạp chất hay nguyên tử của chính vật liệu bán dẫn. Ion hoá do va đập làm cho số lượng hạt dẫn tăng mạnh, vì điện tử vừa sinh ra lại bị gia tốc bởi điện trường, lại ion hoá các nguyên tử khác...

*Hiệu ứng đường hầm

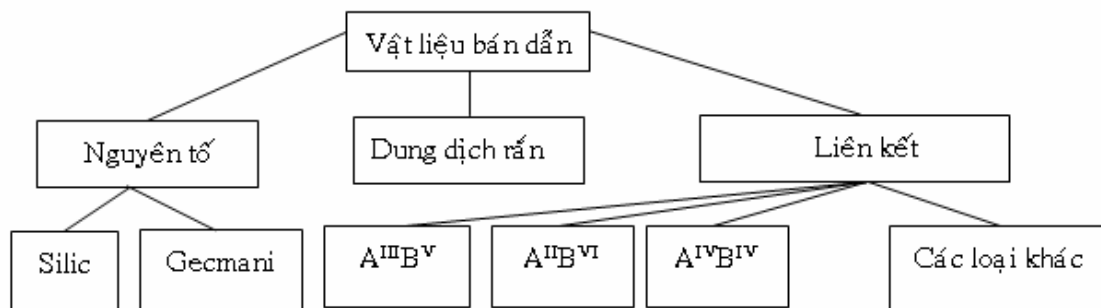
Điện trường mạnh gây ra độ nghiêng lớn trên giản đồ năng lượng. Trong điều kiện này điện tử có thể di chuyển xuyên qua rào thế hẹp mà không thay đổi năng lượng của mình. Điện trường làm xuất hiện hiệu ứng đường hầm khác nhau đối với mỗi vật liệu bán dẫn, thông thường cỡ 10^8 V/m.

2.2 Vật liệu bán dẫn (VLBD)

2.2.1 Phân loại

Bán dẫn là nhóm vật liệu cực kì đa dạng. Nó có hàng trăm nguyên tố và vật chất khác nhau. Bán dẫn có thể là vật liệu hữu cơ hoặc vô cơ, tinh thể, vật chất không định hình, chất rắn, lỏng, có từ tính, hoặc không từ tính. Mặc dù có sự khác biệt cơ bản về cấu tạo và thành phần hóa học nhưng loại vật liệu này có tính chất rất đặc biệt là khả năng thay đổi tính chất dưới tác động của năng lượng bên ngoài.

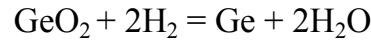
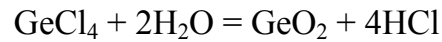
Trong giới hạn của giáo trình này, VLBD được phân loại theo sơ đồ sau:



Hình 2.29 Phân loại vật liệu bán dẫn.

2.2.2 Germanium

Germani có màu bạc, không tác dụng với không khí, nước, HCl, H₂SO₄ loãng. Nó rất hiếm trên quả đất. Có mặt trong những hợp chất GeO₂, GeS₂, GeCl₄. Trong quá trình sản xuất kim loại màu, ta có thể thu được Germani như một sản phẩm phụ



Các phương pháp tinh chế Germani cũng tương tự như tinh chế Silic

Kết quả điều chế hóa học nguyên liệu ban đầu cho ta tetraclorua giecmani, tiếp tục điều chế thành đioxyt giecmani (GeO₂) dưới dạng bột trắng. Đioxyt giecmani được khử trong lò hydro ở nhiệt độ 650 °C -700°C thành giecmani có dạng bột xám.

Trong nhiều trường hợp giecmani được điều chế trực tiếp từ GeCl₄ bằng cách phân tích hợp chất này ở nhiệt độ cao trong hơi kẽm. Bột giecmani được rửa trong dung dịch axit và đúc thành thỏi. Giecmani thỏi dùng làm nguyên liệu để điều chế giecmani đặc biệt tinh khiết bằng phương pháp nóng chảy phân vùng hay điều chế trực tiếp đơn tinh thể bằng phương pháp kéo nóng chảy.

Để sản xuất dụng cụ bán dẫn, thỏi giecmani được cắt thành phiến mỏng, bề mặt của các phiến được tẩy rửa để loại trừ các khuyết tật lúc gia công.

Điện trở suất của giecmani tùy thuộc vào nhiệt độ. Người ta nhận thấy rằng: trong một khoảng nhiệt độ nhất định, hệ số biến đổi của điện trở của giecmani theo nhiệt độ là âm.

Điện dẫn suất của giecmani thay đổi trong những giới hạn rộng từ $10^{+3} \frac{1}{\Omega \cdot \text{cm}}$ đến

$10^{-2} \frac{1}{\Omega \cdot \text{cm}}$. Điều này được giải thích thông qua sự tập trung của tạp chất và đặc

tính riêng của nó.

Giecmani hòa tan chậm trong chất kiềm. Ở nhiệt độ lớn hơn 200°C - 250°C, giecmani phản ứng mạnh với halogen.

Giecmani được dùng để sản xuất các bộ chỉnh lưu dòng điện xoay chiều với các công suất khác nhau, các loại transistor, giecmani còn dùng để chế ra bộ cảm biến sức điện động Hall và các hiệu ứng từ điện để đo cường độ từ trường, dòng điện, công suất, để nhân đôi đại lượng trong các dụng cụ tính toán kỹ thuật...

Các tính chất quang của giecmani cho phép dùng nó làm transistor quang, điện trở quang, thấu kính quang mạnh (đối với tia hồng ngoại), các bộ lọc quang học, điều biến ánh sáng và sóng vô tuyến ngắn. Giecmani có hiệu ứng quang điện cả trong trường hợp hấp thụ các điện tử trung bình và nhanh cũng như khi hãm các hạt nguyên tố khối lượng lớn. Ví dụ, khi hấp thụ hạt sẽ có xung dòng điện kéo dài gồm 0,5μs, tương ứng với 10⁶ điện tử. Vì vậy giecmani có thể dùng để sản xuất các bộ đếm hạt nhân.

Khoảng nhiệt độ làm việc của các dụng cụ giecmani từ -60°C đến +70 °C, khi nhiệt độ tăng gần giới hạn trên thì dòng điện thuận chiều trong diode tăng lên 2 lần, còn dòng điện ngược chiều thì tăng 3 lần. Khi làm lạnh đến -50°C -60 °C dòng điện thuận chiều giảm 70% -75%. Dụng cụ giecmani cần được bảo vệ chống ẩm của không khí.

2.2.3 Silicon

Silic chứa 29,5% trong khối lượng vỏ trái đất, được tìm thấy dưới dạng SiO₂ trong các mỏ (dạng Silicat).

Silic thường được điều chế bằng cách khử tetraclorua silic bằng hơi kẽm ở nhiệt độ 1000 °C trong môi trường kín. Quá trình gia công tiếp theo của silic giống như gecmani, nhưng gặp nhiều khó khăn vì nhiệt độ nóng chảy của silic cao hơn nhiều so với gecmani và gần với nhiệt độ hóa mềm của thủy tinh thạch anh.

Tính chất hóa lý của Silic: Silic tinh thể có ánh thép, tan trong kim loại nóng chảy, là hợp phần của nhiều hợp kim. Về mặt hóa học Silic tinh thể ít hoạt động, Ở nhiệt độ phòng, Silic chỉ hóa hợp với Flo, Silic chỉ tác dụng với axit Flohydric và axit Nitric. Nó còn tác dụng mạnh với kiềm.

Điện dẫn của silic cũng như gecmani phụ thuộc rất nhiều vào tạp chất chứa trong nó.

Silic được dùng để sản xuất dụng cụ bán dẫn tương tự như gecmani: diode, triốt, tế bào quang có lớp chắn của hiệu ứng Hall...

Silic trong hợp kim với sắt được dùng dưới dạng các thép tấm làm máy biến áp (4% Si) với mục đích giảm tổn thất trong lõi thép. Nó còn được sử dụng trong chế tạo các hợp kim khác của sắt (thép và gang có sức bền đối với nhiệt độ, thép công cụ, thép trong xây dựng, vật liệu chịu lửa...)

Tương tự, người ta còn sử dụng để chế tạo các hợp kim như đồng thau, đồng thanh với silic, silic còn được sử dụng như chất khử Ôxy trong luyện kim.

Silic tinh thể được dùng làm chất bán dẫn dẫn điện để sản xuất các loại máy tách sóng, được sử dụng như điện trở trong lĩnh vực tần số rộng, hoặc trong những máy khuếch đại.

Bảng 2.1 Tính chất của Ge và Si

Tính chất	Đơn vị đo	Gecmani	Silic
Trọng lượng nguyên tử		72,6	28,06
Thể tích nguyên tử		13,5	11,7
Thông số mạng	A^0	5,66	5,42
Khối lượng riêng	g/cm^3	5,3	2,3
Nhiệt độ nóng chảy	0C	936	1414
Điện trở suất riêng	$\Omega.cm$	68	200.000
Nồng độ riêng các hạt dẫn cơ bản	cm^{-3}	$2.5.10^{13}$	10^{10}
Bề rộng vùng cấm	eV	0,72	1,12
Độ linh động điện tử	$cm^2/V.s$	3900	1400
Độ linh động lỗ trống	$cm^2/V.s$	1900	500
Hệ số điện môi tương đối		16	12,5

2.2.4 Carbide Silic

Đây là hợp chất của các nguyên tố nhóm IV trong bảng tuần hoàn Mendeleev là Silic và cacbon ($A^{IV}B^{IV}$). Trong thiên nhiên vật liệu bán dẫn này rất ít gặp và có số lượng hạn chế.

Cacbit Silic kỹ thuật được sản xuất trong các lò điện khi khử dioxit silic bằng cacbon. Màu sắc và điện dẫn của tinh thể Silic phụ thuộc vào các tạp chất và số nguyên tử thừa của Silic hay Cacbon so với thành phần hợp thức (thừa Silic thì SiC có điện dẫn loại n, còn thừa Cacbon có loại p).

Các nguyên tố tạp chất ở nhóm V (N, P, As, Sb, Bi) và sắt trong SiC làm cho nó có màu xanh và điện dẫn loại n, các tạp chất trong nhóm II (Ca, Be, Mg) và nhóm III (B, Al, Ga, In) làm cho nó có màu da trời và điện dẫn loại p. Điện dẫn của tinh thể SiC ở nhiệt độ bình thường dao động trong phạm vi rộng, điện dẫn của tinh thể SiC dạng bột phụ thuộc vào điện dẫn của các hạt nhỏ ban đầu, kích thước của các hạt, mức độ nén các hạt đó, điện trường và nhiệt độ.

Tính chất của tinh thể SiC

Điện dẫn của SiC không tuân theo định luật Ôm, nguyên nhân chủ yếu là khi tăng điện áp thì xảy ra quá trình tự giải thoát điện tử từ các mũi nhọn và cạnh sắc của các hạt bột. Hiện tượng này làm cho các khe hở được bịt kín lại và điện tích tiết diện điện trở tăng lên.

Trong kỹ thuật điện SiC được dùng để chế tạo các tấm điện trở phi tuyến của chống sét van để bảo vệ đường dây tải điện và các thiết bị điện; sản xuất các varistor điện áp thấp dùng trong các thiết bị tự động, kỹ thuật máy tính và dụng cụ điện trong xây dựng, dùng trong các lò điện nhiệt độ cao, để sản xuất các bộ phận đốt trong đèn inhitron... Varistor làm bằng các hạt SiC rời rạc không ổn định, dễ thay đổi đặc tính nên các hạt SiC cần gắn chặt bằng chất kết dính: varistor làm bằng SiC có chất kết dính là đất sét gọi là tirit; varistor làm bằng SiC có chất kết dính là thủy tinh lỏng gọi là vilit.

Thông thường đặc tính V-A của varistor gần đúng với phương trình:

$$U=A.I^\alpha$$

Ở đây A, α là các hằng số.

Các điện trở phi tuyến varistor được sản xuất với điện áp từ 3V - 1500V, dòng điện làm việc từ 0,1mA - 1000 mA. Trong kỹ thuật hiện nay varistor được sử dụng rộng rãi. Nó được dùng để ổn áp, làm dập tia lửa điện, nhân tần số, điều chỉnh số vòng hay đổi chiều quay động cơ, điều khiển mạch xoay chiều bằng điện áp một chiều, giải mã xung theo biên độ, điều chỉnh độ nghe rõ của thiết bị điện thoại... varistor cũng được dùng rộng rãi trong máy tính.

Cacbit silic (SiC) tốt hơn nhiều so với silic trong việc mang dòng điện trong mạch điện tử. Do vậy, nó có thể giảm lãng phí năng lượng trong mọi thiết bị điện tử dân dụng hoặc văn phòng. Cacbit silic là một trong những vật liệu tuyệt vời nhất dành cho các thiết bị điện tử công suất cao.

Nó cũng có thể hoạt động ở nhiệt độ cao hơn so với silic. Điều này đồng nghĩa với việc cảm biến làm bằng cacbit có thể làm việc được ở nhiệt độ cao hơn nhiều.

Các thanh silic được chế tạo từ carbide silic, silic tinh thể và cacbon. Chúng có điện trở suất cao và chịu nhiệt tốt, được dùng làm phần tử đốt nóng trong lò điện nhiệt độ cao. Thiết bị đốt nóng bằng thanh silic có thể dùng trong các lò điện với công suất khác nhau, nhiệt độ lớn nhất đến 1500°C.

2.2.5 Vật liệu bán dẫn có liên kết dạng $A^{III}B^V$

Tinh thể bán dẫn có thể được tạo thành bằng những nguyên tử của nguyên tố hóa trị III và của nguyên tố hóa trị V; kí hiệu là $A^{III}B^V$.

Hợp chất $A^{III}B^V$ là loại vật liệu có triển vọng, bởi vì nó cho phép lựa chọn rộng rãi các tham số của vật liệu ban đầu (bề rộng vùng cấm, độ linh hoạt hạt dẫn, ...) để tạo ra các dụng cụ bán dẫn. Chúng có cấu trúc sfalerit tương tự với cấu trúc của kim cương, chỉ khác là bản chất và kích thước các phần tử trong cấu trúc khác nhau. Phương pháp chủ yếu để có hợp chất $A^{III}B^V$ là cho các thành phần tác dụng trực tiếp trong chân không hay trong khí trơ.

Vật liệu bán dẫn dạng này thông dụng nhất là GaAs.

GaAs có cấu trúc tinh thể sfalerit (hay blenzo kẽm)

Ga là nguyên tố hiếm, được điều chế từ tinh quặng kẽm. Là kim loại mềm màu trắng. Các electron xếp trên 4 lớp, vỏ ngoài cùng có 3 electron hóa trị, bán kính nguyên tử $1,81\text{Å}^0$.

As được điều chế từ FeAsS. Các electron sắp trên 4 lớp, vỏ ngoài cùng có 5 điện tử hóa trị, bán kính nguyên tử là $1,33\text{Å}^0$

Mật độ nguyên tử Ga trong tinh thể GaAs :

$$N_{Ga} = \frac{4}{a^3} = \frac{4}{(5,65)^3} (10^{-8})^3 = 2,2 \cdot 10^{22} \text{ cm}^{-3}$$

Mật độ nguyên tử As trong tinh thể GaAs:

$$N_{As} = \frac{4}{a^3} = 2,2 \cdot 10^{22} \text{ cm}^{-3}$$

Hằng số tinh thể: $a = 5,63 \text{ Å}^0$

Năng lượng vùng cấm: $W_g = 1,43 \text{ (eV)}$

Độ linh động: $\mu_n = 0,85$ và $\mu_p = 0,04 \left(\frac{m^2}{Vs} \right)$

Mật độ tinh khiết: $n_i = 9 \cdot 10^{12} \text{ (m}^{-3}\text{)}$

-Độ linh động của electron của GaAs lớn hơn độ linh động của electron của Silic với tỉ lệ gần 10 lần. Nếu điện trường bằng nhau thì electron trong GaAs sẽ di chuyển nhanh hơn, thời gian chuyển mạch ngắn hơn. Ứng dụng để làm transistor làm việc với tần số cao.

-Vì năng lượng vùng cấm lớn hơn so với Silic, Giecmani nên có thể làm việc đến 300^0C (Silic- 200^0C , Giecmani- 100^0C). Ứng dụng làm vi mạch chất lượng cao.

-Electron chuyển động từ vùng dẫn trở về vùng hóa trị trong tinh thể GaAs có thể phát ra ánh sáng. Trái lại ở Silic, Giecmani thì phát ra nhiệt. Do đó, được dùng để chế tạo linh kiện hiển thị điện áp thấp.

GaAs dùng để chế tạo laze bán dẫn, diot quang kích thước nhỏ, cấu trúc đơn giản. Để nhận được GaAs (nói chung cho VLBD $A^{III} B^V$) cần tổng hợp A^{III} và B^V bằng sự nấu chảy trực tiếp. Sau đó là các bước tương tự như với Silic: rửa sạch tinh thể-pha tạp chất-trông đơn tinh thể.....

Vật liệu bán dẫn $A^{III}B^V$ có tạp chất

-Đưa vào nguyên tố hóa trị II (ví dụ: Zn) thì GaAs trở thành VLBD loại p

-Đưa vào nguyên tố hóa trị VI (ví dụ: Selen) thì GaAs thành VLBD loại n

-Đưa vào nguyên tố hóa trị IV (ví dụ: Silic) thì tùy vào vị trí của Silic trong tinh thể GaAs mà ta có VLBD loại p hay loại n

+Nếu Silic thay thế As thì GaAs là VLBD loại p

+Nếu Silic thay thế Ga thì GaAs là VLBD loại n

Công nghệ cấy ion đưa chùm tia Silic cấy vào tinh thể GaAs. Sau khi được ủ ở 800^0C , các nguyên tử Silic thay thế Ga để GaAs thành loại n.

Tính dẫn điện của GaAs không những phụ thuộc vào hóa trị của tạp chất đưa vào mà còn phụ thuộc vào vị trí nguyên tử tạp chất trong tinh thể Ga.

Các chất In^{III} , P^V , Sb^V , Al^{III} , khi đưa vào GaAs sẽ tạo thành VLBD ghép có tạp chất: $Ga_x In_{1-x} As$, $GaP_x As_{1-x}$, $Ga_{1-x} Al_x As...$ với các phương trình tính năng lượng vùng cấm khác nhau.

VÍ DU: Đối với chất $Ga_{1-x} Al_x As$ phương trình tính năng lượng vùng cấm là:

$$Wg=1,43+1,25x.$$

Còn đối với $\text{Gap}_x\text{As}_{1-x}$:

$$Wg= 1,424+ 1,15.x+0,176.x^2$$

2.2.6 Dung dịch rắn trên cơ sở liên kết dạng $A^{III}B^V$

Như đã biết, trong kỹ thuật người ta thường sử dụng những vật liệu có cấu trúc dung dịch rắn; khi hình thành dung dịch rắn thì mạng tinh thể được bảo toàn nhưng chu kỳ của mạng lại thay đổi. Dung dịch rắn cho phép mở rộng đáng kể sự lựa chọn vật liệu với các thông số vật lý xác định, điều này làm tăng khả năng ứng dụng của vật liệu trong những dụng cụ bán dẫn cụ thể. Điều đặc biệt nhất của dung dịch rắn là khả năng có thể thay đổi độ rộng vùng cấm của nó bằng cách thay đổi thành phần của chúng, với sự thay đổi này thì hệ số điện môi, chiết suất của vật liệu sẽ thay đổi và xảy ra hiện tượng dịch chuyển các mức năng lượng tạp chất.

VÍ DỤ: dung dịch rắn $\text{GaAs}_{1-y}\text{P}_y$, $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$... (với x và y cỡ 0,3 – 0,4) có độ rộng vùng cấm cỡ 1,7eV được dùng chế tạo các diot và laser phát ánh sáng đỏ; còn dung dịch rắn $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}$ (x=0.5 - 0,7) được dùng trong phổ màu vàng – xanh lá cây.

Dung dịch rắn còn được ứng dụng rộng rãi trong việc tạo ra các tiếp xúc giữa hai bán dẫn có độ rộng vùng cấm khác nhau và các dụng cụ bán dẫn trên cơ sở các tiếp xúc này. Các cặp dung dịch rắn hay dùng là: cặp $\text{GaAs} - \text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ và cặp $\text{GaSb} - \text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}$.

2.2.7 Vật liệu bán dẫn (VLBD) có liên kết dạng $A^{IV}B^{IV}$

VLBD dạng $A^{IV}B^{IV}$ được nghiên cứu nhiều nhất là PbS. Nó thường được sử dụng trong các bộ tách sóng giống như các bán dẫn có vùng cấm hẹp khác; những tính chất cơ bản của các bán dẫn loại này được cho trong bảng sau:

Bảng 3.2 Tính chất cơ bản của bán dẫn dạng $A^{IV}B^{IV}$

Bán dẫn	Hằng số mạng (\AA)	Khối lượng riêng (mg/m^3)	Nhiệt độ nóng chảy ($^{\circ}\text{C}$)	Bề rộng vùng cấm ở 300 K (eV)	Độ linh động điện tử (m^2/Vs)	Độ linh động lỗ trống (m^2/Vs)
PbS	5,94	7,61	1114	0,39	0,06	0,07
PbSe	6,12	8,15	1076	0,27	0,12	0,1
PbTe	6,46	8,16	917	0,32	0,18	0,09

Cả 3 bán dẫn trên có dạng tinh thể lập phương giống như muối ăn NaCl. Lượng thừa nguyên tử Pb gây ra tính dẫn điện tử, còn lượng thừa S gây ra tính dẫn lỗ trống. Dạng của sự dẫn điện có thể thay đổi bằng cách đưa thêm tạp chất vào. Các nguyên tử nhóm I như Na, Cu, Ag thay thế chì và trở thành acceptor; nếu nguyên tử thay Pb là kim loại Bi thì Bi sẽ đóng vai trò của donor. Tính chất của donor còn thể hiện khi tạp chất thuộc nhóm 7.

Chúng có độ nhạy cảm quang cao, nên thường được dùng để sản xuất photoresist. Ở nhiệt độ thấp trong những vật liệu này có thể xuất hiện hiện tượng tái hợp, điều này cho phép sử dụng chúng để sản xuất laser, ngoài ra, còn có thể sử dụng chúng để chế tạo các phần tử nhiệt trong các máy phát nhiệt điện bán dẫn ...

2.2.8 Vật liệu bán dẫn (VLBD) có liên kết dạng $A^{II}B^{VI}$

VLBD loại này bao gồm ZnS, CdS, HgS, ZnSe, CdSe, HgSe... Tính chất của chúng được cho trong bảng sau:

Bảng 2.3 Tính chất của bán dẫn dạng $A^{II}B^{VI}$

Bán dẫn	Hằng số mạng (A^0)	Khối lượng riêng (mg/m^3)	Nhiệt độ nóng chảy (0C)	Bề rộng vùng cấm ở 300 K (eV)	Độ linh động điện tử (m^2/Vs)	Độ linh động lỗ trống (m^2/Vs)
ZnS	3,82	4,10	1780	3,74	0,014	0,0005
CdS	4,13	4,82	1750	2,53	0,034	0,011
HgS	5,84	7,73	1480	1,78	0,07	
ZnSe	5,66	5,42	1520	2,73	0,026	0,0015
HgSe	6,08	8,25	790	0,12	2	
CdSe	4,3	5,81	1246	1,85	0,072	0,0075

Tạp chất có hoá trị nhỏ hơn II đóng vai tạp chất nhận (axceptor).

VÍ DỤ: tạp chất nhóm I như Ag, Au...sau khi thay Zn hay Cd trong mạng tinh thể sẽ trở thành axceptor.

Tính chất quan trọng của VLBD loại này là rất nhiều từ chúng thể hiện tính dẫn điện chỉ ở một dạng (n hoặc p) không phụ thuộc vào đặc tính của hợp kim, tạp chất pha vào.

VÍ DỤ: ZnS, ZnSe, CdSe, HgSe luôn luôn có tính dẫn loại n. Chỉ có ZnTe có tính dẫn lỗ trống, còn CdTe, HgTe có thể có tính dẫn vừa n, vừa p tùy thuộc điều kiện ngoài và tạp chất. Chính điều này làm hạn chế khả năng ứng dụng thực tế của họ bán dẫn này.

Trong họ bán dẫn này thì ứng dụng nhiều nhất vẫn là ZnS và CdS. CdS thường dùng làm photoresist; còn ZnS thường dùng làm chất phát quang.

Tạp chất đóng vai trò quan trọng đối với độ quang dẫn riêng của họ bán dẫn này: khi pha tạp đồng (Cu) nhiều thì đóng vai trò chủ đạo là độ quang dẫn của tạp chất.

Màng mỏng làm từ HgSe, HgTe có độ linh động cao thường được sử dụng để chế tạo cảm biến có độ nhạy cao.

Ứng dụng của bán dẫn loại $A^{II}B^{VI}$

Ứng dụng của liên kết $A^{II}B^{VI}$ theo tỉ lệ sử dụng phân chia ra ZnS và CdS. Loại đầu tiên được sử dụng trong kỹ thuật ánh sáng, loại thứ hai trong công nghiệp chế tạo biến trở quang có độ nhạy rất cao với vùng phổ nhìn thấy. Màng mỏng làm từ liên kết Se, Te, Hg sử dụng làm các bộ cảm biến Hall.

2.2.9 Các loại khác

Các sunfua :

Chì sunfua (PbS), Bismut Sunfua (Bi_2S_3), và Cadmi Sunfua (CdS) được dùng để sản xuất điện trở quang. PbS gặp trong thiên nhiên ở dạng vật liệu galenit và có thể điều chế được bằng một số phương pháp nhân tạo, nó có biến thể vô định hình và tinh thể.

Bismut Sunfua (Bi_2S_3) được điều chế bằng cách nấu chảy Bi với S không có ôxi. Tinh thể của nó thuộc hệ thống hình thoi và có màu xám đen.

Cadmi sunfua thu được bằng các phương pháp khác nhau và có thể là vô định hình và tinh thể. Màu của nó tùy thuộc vào biến thể và các tạp chất trong nó.

Các điện trở quang được dùng để đếm sản phẩm trong sản xuất dây chuyền, để kiểm tra độ cao của các vật lỏng và bột rời trong bình chứa, trong các máy sao chép hình

để gia công các chi tiết theo bản vẽ, để báo tín hiệu ánh sáng, báo hiệu khi có khói và kiểm tra mức đốt cháy nhiên liệu, dùng trong máy điều khiển theo chương trình, trong các thiết bị bảo vệ tự động ép bằng khuôn lạnh và các máy khác.

Điện trở quang có thể mắc trực tiếp vào mạng chiếu sáng điện áp xoay chiều và một chiều, tuổi thọ của chúng không nhỏ hơn 10.000 giờ.

Các sunfua còn được dùng làm chất phát quang. Kẽm sunfua được kích hoạt bằng đồng cũng là một loại sunfua phát điện. Bề rộng vùng cấm của ZnS gần 3,6eV, vì thế nó gần như điện môi.

Các ôxit

Đồng oxit có màu đỏ thẫm chỉ có thể là bán dẫn loại p. Điện dẫn của đồng oxit phụ thuộc nhiều vào các loại tạp chất, nhiệt luyện và nhiệt độ.

Những dụng cụ bán dẫn đầu tiên là những chỉnh lưu bán dẫn và tế bào quang điện được điều chế từ các tấm đồng oxit hoá với bề mặt bị phủ một lớp ôxit đồng. Khi chế tạo chỉnh lưu ôxit đồng thì lấy một phiến đồng bằng đồng đỏ tinh khiết đem đặt vào trong lò có môi trường ôxi hóa với nhiệt độ 1020°C - 1040°C trong khoảng 5 giờ. Sau đó đưa vào lò thứ hai nhiệt độ 600°C và giữ trong khoảng 10 giờ.

Selen (Se)

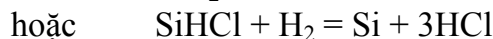
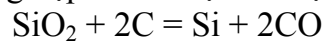
Se có nhiều dạng: dạng vô định hình, dạng tan được, dạng tinh thể màu đỏ, dạng trong suốt. Se thu được từ cặn của việc tinh chế đồng. Nếu chiếu sáng Se trong thời gian 0,001s thì tính dẫn của nó tăng lên đến 15 lần, nên Se được ứng dụng để chế tạo tế bào quang điện. Diot làm từ Se dùng để tách dòng điện có tần số cao.

2.3 Công nghệ chế tạo VLBD

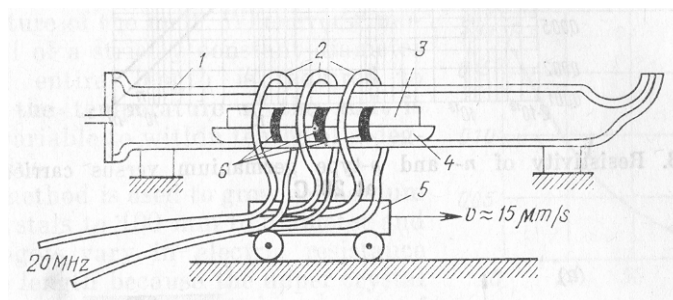
Trong phần này sẽ trình bày một số phương pháp chế tạo VLBD: phương pháp kéo chảy, phương pháp Czochralski, công nghệ epitaxi, một số phương pháp chế tạo tiếp xúc p-n : các khái niệm cơ bản về quang khắc, phương pháp cấy ion, ... và các phương pháp làm sạch trong công nghệ điện tử.

2.3.1 Phương pháp kéo chảy

Trong công nghiệp Silic được chế tạo bằng cách dùng than cốc khử ôxy trong SiO₂:



Silic nhận được chứa 2% đến 5% tạp chất. Để nhận được Silic với độ sạch cao ta phải rửa sạch nó bằng phương pháp rửa tinh thể (còn gọi là phương pháp kéo chảy). Tạp chất trong thanh Silic sẽ hòa tan trong pha lỏng (vùng nóng chảy) và cùng với chúng di chuyển về phía đuôi của thanh Silic, cắt bỏ đầu này ta sẽ có thanh Silic tinh khiết.

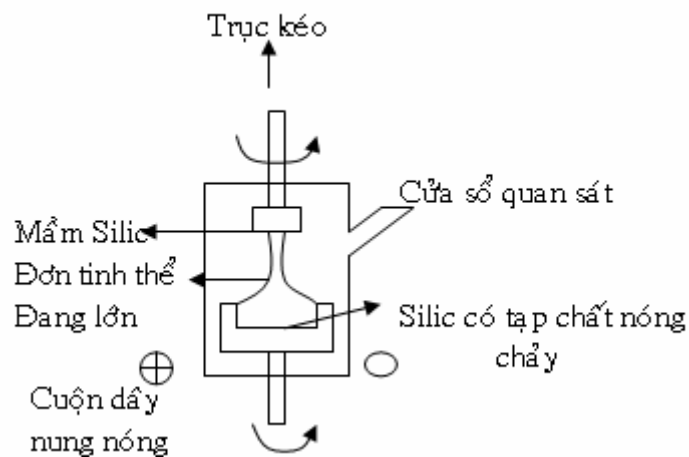


Hình 2.30 Phương pháp kéo chảy

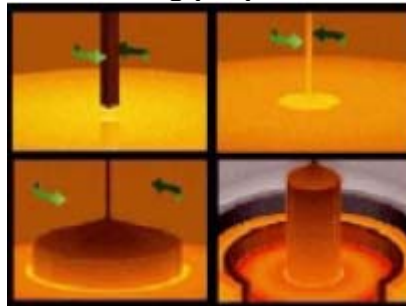
2.3.2 Phương pháp Czochralski

Để nhận được đơn tinh thể Silic ta dùng phương pháp trồng đơn tinh thể (còn gọi là phương pháp Czochralski).

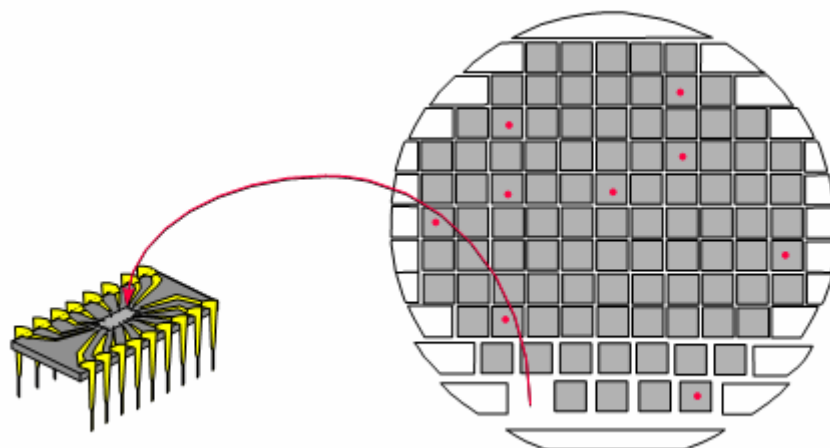
Giữ mầm Silic trong hỗn hợp nóng chảy, khi mầm bắt đầu tan trên bề mặt thì kéo chậm lại. Một cột hỗn hợp lỏng sẽ được kéo theo mầm và bị giữ với mầm bởi sức căng bề mặt. Giảm nhiệt độ, hỗn hợp sẽ cứng dần tạo thành một khối với mầm Silic Tạp chất được đưa trực tiếp vào hỗn hợp để tạo ra VLBD loại p hay n. Mầm vừa được kéo vừa được quay khoảng 200 vòng/phút để tạp chất phân bố đều trong tinh thể. Khi thanh đơn tinh thể phát triển từ mầm (có đường kính 2mm) đạt được đường kính 2cm thì giữ vận tốc kéo không đổi, khoảng 10^{-5} m/s để đường kính không tăng nữa.



Hình 2.31 Phương pháp Czochralski



Hình 2.32 Thỏi Si mọc lên từ phương pháp Czochralski



Hình 2.33 Một IC được tạo ra từ phiến Si

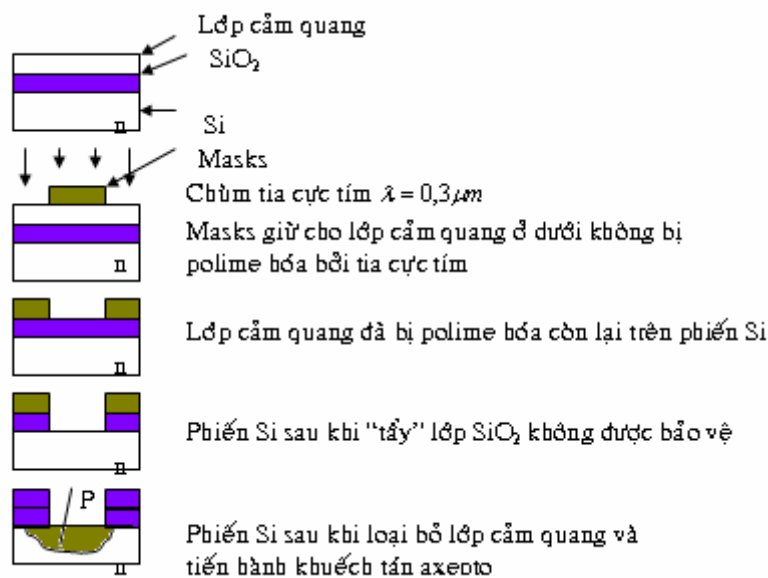
phương pháp tái tinh thể hoá Silic đa tinh thể dùng tác dụng nhiệt độ để nối các vùng đa tinh thể thành một lớp đơn tinh thể. Hai phương pháp này hiện ít được dùng. Hầu hết các vật liệu bán dẫn quang điện tử được chế tạo bằng công nghệ epitaxi. Một màng mỏng (vài micron) bằng vật liệu bán dẫn được tạo ra trên một nền (đáy cỡ 200µm). Chất lượng vật liệu nền vô cùng quan trọng trong công nghệ epitaxi. Vật liệu nền phải có mạng tinh thể phù hợp với màng vật liệu chính, nếu không thì trong màng vật liệu chính sẽ có sai lệch mạng, dưới dạng sai lệch đường hoặc những loại sai lệch khác. Những sai lệch mạng có tác hại nghiêm trọng đến chất lượng của vật liệu. Vật liệu nền quan trọng là GaAs và InP.

Những ứng dụng quan trọng nhất của lớp Silic epitaxi trên vật liệu nền Silic đơn tinh thể: Epitaxi với nồng độ tạp chất vừa (10^{16} cm^{-3}) trên nền có nồng độ cao (10^{19} cm^{-3}) loại này thường được dùng cho mạch CMOS.

Epitaxi với nồng độ tạp chất vừa (10^{16} cm^{-3}) trên nền có nồng độ cao (10^{19} cm^{-3}) và lớp ngậm có nồng độ cao (10^{20} cm^{-3}): loại này được dùng cho vi mạch lưỡng cực (bipolar), lớp epitaxi dày khoảng từ 0,5µm đến 20 µm.

Một số phương pháp chế tạo tiếp xúc p-n

-Khái niệm quang khắc: quang khắc quá trình tạo hình, rửa ăn mòn lớp phim khuôn che (photoresist) tạo hình cấu trúc mong muốn trên bề mặt vật liệu. Phim khuôn che là lớp cảm quang, còn khuôn che (mask) lưu trữ thông tin về cấu trúc cần truyền lên phim, là một tấm thủy tinh được phủ chất Cr phản quang.



Hình 2.36 Sơ đồ một quá trình quang khắc

-Pha tạp bằng phương pháp cấy ion

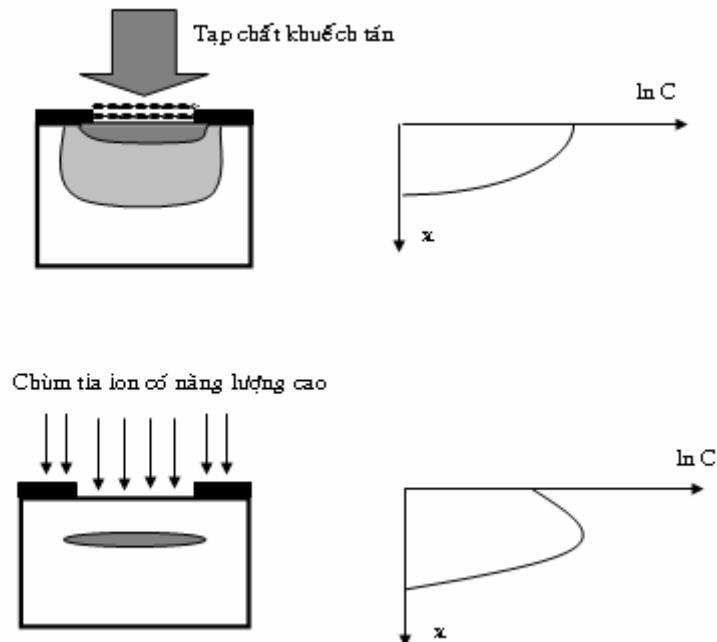
Đĩa silic đơn tinh thể là cơ sở của công nghệ vi điện tử. So với những ngày đầu của công nghệ silic, đường kính của đĩa ngày càng tăng (từ 76mm trong những năm 1970 đến 300mm trong những năm gần đây). Mỗi lần tăng đường kính của đĩa silic đều mang lại nhiều vấn đề phức tạp, không những cho quá trình sản xuất đĩa mà còn cho từng qui trình công nghệ chế tạo vi mạch. Vấn đề lớn nhất là trọng lượng đĩa càng tăng khiến máy móc dụng cụ xử lý đĩa cần được hiệu chỉnh cho thích hợp.

Đĩa silic được cưa ra từ một thỏi đơn tinh thể. Bề mặt đĩa có một hướng tinh thể nhất định (1 0 0) hay (111). Sai lệch vài độ của hướng tinh thể là điều kiện tốt cho quá trình hình thành epitaxi. Để đánh dấu hướng tinh thể chính của đĩa, hãng sản xuất đĩa thường mài phẳng một cạnh đĩa, ta gọi cạnh phẳng này là flat. Cạnh hình chữ nhật của vi mạch thường chạy song song hay vuông góc với flat. Góc giữa một flat nhỏ và một flat lớn cho biết thông tin về hướng tinh thể của đĩa và tính dẫn của tạp chất (do lỗ trống hay điện tử quyết định).

Phần lớn các thỏi silic được chế tạo bởi phương pháp Czochralski: một mầm tinh thể được nhúng vào một nồi chứa silic tinh khiết nóng chảy. Tinh thể silic định hướng theo mầm này và mọc dài thành một thỏi silic đơn tinh thể.

Cũng như phương pháp khuếch tán, phương pháp cấy ion là một qui trình công nghệ quan trọng để đưa tạp chất vào để bán dẫn nhằm tạo các vùng có dạng hạt dẫn lựa chọn (loại p hoặc loại n). Trước đây, các vùng pha tạp thường được tạo bởi những phương pháp khuếch tán, nồng độ tạp sẽ giảm dần từ bề mặt và profile nồng độ sẽ được xác định chủ yếu bởi nhiệt độ và thời gian khuếch tán. Hiện nay, ở rất nhiều công đoạn pha tạp đều sử dụng phương pháp cấy ion, trong đó các ion tạp chất được cấy vào bán dẫn bằng một chùm ion có năng lượng cao. Profile nồng độ sẽ có giá trị lớn nhất không phải ở tại bề mặt mà ở trong khối bán dẫn, ngoài ra sự phân bố profile nồng độ được xác định chủ yếu bằng khối lượng ion và năng lượng của chùm ion.

Thông thường, khuếch tán thường được sử dụng để chế tạo các chuyển tiếp p-n sâu, còn cấy ion thường sử dụng tạo các chuyển tiếp p-n nông như nguồn và máng của MOSFET.



Hình 2.37 So sánh sự phân bố nồng độ tạp chất giữa cấy ion và khuếch tán.

Là quá trình đưa các ion có năng lượng cao (keV- MeV) đủ để xâm nhập vào vùng gần bề mặt để mà không dùng nhiệt độ.

Các nguyên tử tạp được ion hóa, gia tốc và đưa đến bề mặt phiến, sau đó các ion có năng lượng cao đi vào mạng tinh thể, va chạm với nguyên tử Si và dừng lại. Năng

lượng cần thiết để cấy tạp B, P, As vào Si là 50keV –100 keV, tạo độ sâu khuếch tán 10nm - 1000nm.

Ưu điểm:

Khống chế chính xác lượng nguyên tử tạp, cho phép nhận nồng độ 10^{14}cm^{-3} ÷ 10^{20}cm^{-3} với độ chính xác cao.

Việc cấy ion tạp chất được tiến hành trong chân không vì vậy không ảnh hưởng tới sự phân bố tạp của các công đoạn trước.

Điểm cực đại của mật độ hạt dẫn nằm trong vật liệu chứ không ở bề mặt.

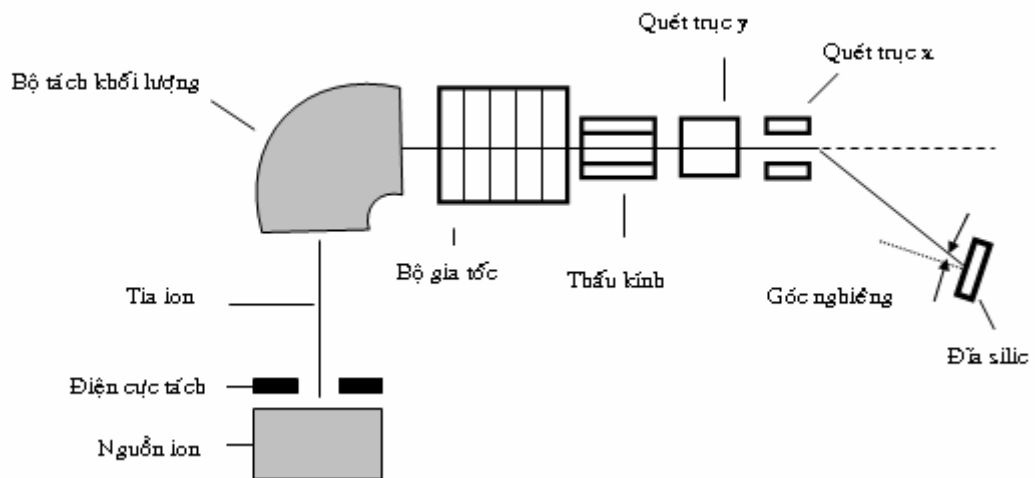
Có thể cấy nhiều loại nguyên tố khác nhau.

Ví dụ: cấy oxy để nhận SiO_2 ở sâu trong đế silic .

Cấy các lớp Silicid (là hợp chất giữa silic và kim loại)

Thiết bị cấy:

Các hệ thống cấy ion hiện nay được chia làm hai loại: loại cường độ yếu, trung bình (cường độ dòng ion khoảng 1mA) và loại cường độ mạnh (10mA). Khác biệt về thiết kế giữa hai loại hệ thống này nằm ở cách dẫn tia ion đến bề mặt vật liệu để đạt được nồng độ cấy đều trên toàn bề mặt đĩa: trong khi tia ion cường độ yếu với đường kính tia khoảng 1mm được quét lên mặt đĩa thì ở loại cường độ mạnh có đường kính khoảng vài cm và đĩa vật liệu được chuyển động vuông góc với tia ion, tia ion này quét một diện tích lớn hơn bản thân đĩa silic nên tránh được quá tải nhiệt cho đĩa đang được xử lý.



Hình 2.38 Sơ đồ hệ cấy ion

Nguồn ion: dùng khí AsH_3 ; BF_3 , PH_3 tạo Plasma ở áp suất $P=10^{-3}$ mmHg.

Dùng điện áp DC khoảng 20KV để tách ion dương ra khỏi Plasma.

Nam châm phân tích chọn loại ion đưa vào ống gia tốc.

Ống gia tốc cung cấp năng lượng cần thiết để ion có thể chui vào lớp bề mặt đế.

Sau khi chỉnh hội tụ, chùm tia ion sẽ bị lệch dưới tác dụng của bản lệch ngang X và bản lệch dọc Y

Phiên Si đặt lệch khỏi tâm sao cho các hạt trung tính không đến bề mặt đế và được đặt trong lồng Faraday để có thể đếm được số ion.

Tia ion được điều khiển để đến đĩa theo góc nghiêng khoảng 7° so với mặt phẳng đứng để tránh hiệu ứng kênh.

Ủ sau khi cấy ion:

Trong quá trình cấy ion do va chạm, nhiều nguyên tử để bị đẩy khỏi vị trí nút mạng. Nếu liều lượng lớn, nhiều sai hỏng sẽ dẫn đến vật liệu trở thành vô định hình. Để sửa lại cấu trúc tinh thể và cài tạp chất vào sâu trong tinh thể, vật liệu cần ủ trong thời gian nhất định từ $500^{\circ}\text{C} \div 1000^{\circ}\text{C}$. Để tránh sự khuếch tán có thể ủ nhanh bằng tia laser hoặc bằng tia hồng ngoại.

Ứng dụng và triển vọng:

Sử dụng rộng rãi trong các mạch ULSI lưỡng cực và MOS.

Tạo các lớp n^+ ở sâu trong đế, tạo vùng Base và Emitter trong công nghệ Bipolar và chế tạo điện trở có giá trị lớn. Với MOS: pha tạp kênh để điều chỉnh điện áp ngưỡng, tạo các giếng p hoặc n cho mạch CMOS, tạo vùng S và D của MOSFET.

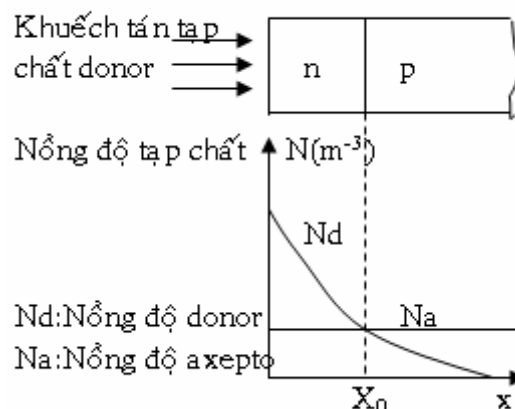
Để không chế nồng độ và sự phân bố tạp, đặc biệt khi kích thước linh kiện giảm.

Kỹ thuật tạo lớp bằng cấy sâu ion ôxi được gọi là phương pháp ngăn bằng cấy ôxi (SIMOX): bắn tia ôxi vào vật liệu nền silic đơn tinh thể sâu khoảng $0.1\mu\text{m}$ đến $1\mu\text{m}$ và nồng độ ôxi cao thì một lớp ôxit ngậm sẽ hình thành bên dưới một lớp đơn tinh thể. Ta gọi lớp này là lớp SOI (Silicon On Insulator). Lỗi tinh thể do tia ion gây ra được tự động hiệu chỉnh lại ngay sau khi chúng xuất hiện, vì nhiệt độ vật liệu khi tia ion bắn vào bề mặt rất cao.

Một ứng dụng nữa là phương pháp trộn bằng tia ion (IBIM): hai lớp vật liệu (ví dụ molipden trên silic) được trộn với nhau tại bề mặt tiếp xúc qua ion cấy (ví dụ nguyên tử asen). Với cách này lớp silic mới hình thành sẽ là lớp tiếp xúc điện giữa silic và molipden.

-Phương pháp lớp chuyển tiếp khuếch tán

Để tạo ra lớp chuyển tiếp khuếch tán p-n, người ta dùng tạp chất ở thể khí, thể lỏng hoặc rắn, khuếch tán vào chất bán dẫn. Lớp p-n nhận được từ kết quả của sự khuếch tán tạp chất xuyên qua các lỗ trên lớp bảo vệ mặt của chất bán dẫn còn được gọi là lớp chuyển tiếp planar. Thường người ta sử dụng SiO_2 để làm lớp bảo vệ (màn chắn) để ngăn chặn khuếch tán của các tạp chất vào Silic. Chúng chỉ khuếch tán vào những vùng chọn trước mà ở đó lớp ôxit SiO_2 đã bị bóc đi nhờ kỹ thuật quang khắc.



Hình 2.39 Phương pháp chuyển tiếp khuếch tán.

Vậy ta có thể điều khiển được hình thể của dụng cụ và độ sâu của sự thâm nhập tạp chất vào tinh thể bán dẫn bằng công nghệ planar. Công nghệ này dẫn đến sự phát triển mạnh mẽ của các mạch tổ hợp: Trên cùng một phiến Silic ta có thể chế tạo được rất nhiều “chip”.

Một công cụ cơ sở và hết sức quan trọng trong công nghiệp sản xuất vi mạch là bộ masks. Khi thay đổi mask ta có thể thay đổi các linh kiện của chip và từ đó thay đổi tính năng hoạt động của IC. Tất cả các mạch tổ hợp có thể làm từ một vài dạng transistor và các đường dẫn (đều có kích thước cỡ μm). Kích thước nhỏ làm tăng tốc độ làm việc, giảm công suất tiêu thụ điện: các tín hiệu được chuyển từ logic 0 sang 1 ở trong một chip rõ ràng là nhanh hơn là chuyển từ chip này sang các chip khác. Sự truyền nhận tín hiệu nhanh hơn sẽ làm giảm các dạng điện dung không có ích (điện dung ký sinh), công suất tiêu thụ thấp, dẫn đến giá thành sản phẩm giảm, thiết bị làm việc hiệu quả hơn.

Một số yêu cầu của một hệ khuếch tán

- Quá trình khuếch tán không được làm hỏng bề mặt phiến bán dẫn
- Sau quá trình khuếch tán, vật liệu còn đọng lại trên bề mặt phiến, phải được tẩy một cách dễ dàng để thuận lợi cho các công đoạn sau, ví dụ như tạo đường dẫn, nối các tiếp điểm.
- Hệ khuếch tán phải cho cùng một kết quả đối với tất cả các phiến trong cùng dây chuyền công nghệ.
- Hệ khuếch tán phải có khả năng khuếch tán cùng một lúc một số phiến bán dẫn.
- Nhiệt độ khuếch tán thường sử dụng trong khoảng $600^{\circ}C$ đến $800^{\circ}C$

+Để tạo vùng khuếch tán, ta phủ hỗn hợp hữu cơ chứa chất khuếch tán lên bề mặt phiến Silic, bằng phương pháp quay (với vận tốc 2500 vòng/ phút đến 5000 vòng/ phút) tạo một lớp dày khoảng 5000Å . Sau đó ủ nhiệt khoảng $200^{\circ}C$, rồi đưa mẫu vào lò khuếch tán ở nhiệt độ cao hơn ($800^{\circ}C$ đến $1100^{\circ}C$). Các tạp chất sẽ khuếch tán vào đế Silic, để lại trên bề mặt một lớp SiO_2 . Đây là kỹ thuật Spin - on đang được thực hiện để tạo chuyển tiếp p-n tại phòng sạch của ITI (SOD: Spin-on-Dopant; SOG: Spin- on-Glass).

Ngoài ra còn có kỹ thuật CVD (Chemical Vapour Deposition).

Hỗn hợp khí B_2H_6 , SiH_4 , O_2 , Ar, Ni được đưa vào bình thạch anh ($T=425^{\circ}C$), tạo một lớp lắng đọng trên bề mặt Silic loại n. Sau đó đưa mẫu vào lò nung ở nhiệt độ $T=600^{\circ}C$, tạp chất B sẽ khuếch tán vào đế Silic tạo nên chuyển tiếp p-n và để lại trên bề mặt lớp SiO_2 dày từ 1500Å đến 5000Å . Để tạo vùng hạt dẫn loại n trên đế Silic người ta sử dụng khí có chứa P như PH_3 , các bước tiến hành hoàn toàn tương tự.

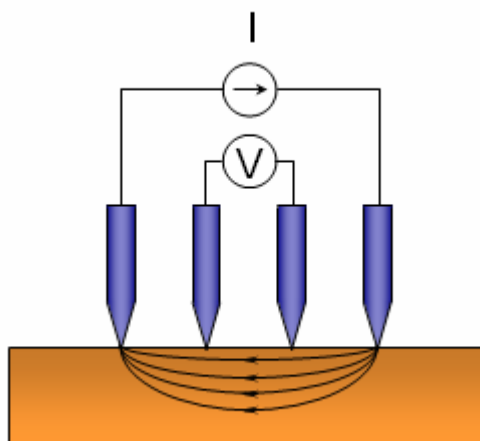
+Để đánh giá lớp khuếch tán ta phải tiến hành:

- Đo chiều sâu chuyển tiếp p-n
- Đo điện trở bề mặt
- Đo phân bố nồng độ tạp chất
- Đo chiều sâu khuếch tán x_J bằng phương pháp mài bi: Viên bi sắt có bán kính R, mài lỗ sâu hơn x_J , nhuộm màu bằng HF_4HNO_3 (nồng độ nhỏ hơn 1%) vùng bán dẫn loại p phản ứng với dung dịch và trở nên sẫm màu. Đo các giá trị của đường kính trong và ngoài (d và D) của vùng sẫm màu, chiều sâu khuếch tán x_J sẽ được xác

định bằng công thức :

$$x_J = \frac{D^2 - d^2}{8R}$$

-Đo điện trở bề mặt (điện trở vuông)



Hình 2.40 Cách đo điện trở bề mặt

Cho dòng điện chạy qua 2 mũi ngoài và đo độ sụt IR giữa 2 mũi giữa. Nếu các lớp rỗng và độ dày x_j nhỏ so với khoảng cách giữa các mũi thì điện trở bề mặt của các lớp khuếch tán là: $R_0 = 4,53 V/I$.

-Đo phân bố tạp chất tại chuyển tiếp p-n

Điện áp đặt vào chuyển tiếp làm thay đổi độ rộng vùng nghèo, điện dung sẽ thay đổi

$$N_x = \frac{C^3}{A \cdot q \cdot \epsilon_s} ; \quad x = \frac{A \cdot \epsilon_s}{C}$$

Trong đó: A: Diện tích mặt cắt

ϵ_s : Hằng số điện môi của bán dẫn

C: Điện dung

N_x : Nồng độ tại x (mép vùng nghèo)

-Phòng sạch và công nghệ làm sạch phiến bán dẫn

Công nghệ điện tử phát triển luôn gắn liền với việc tăng hiệu quả sản xuất và công nghệ bảo vệ môi trường sản xuất.

Bảng 2.4 Quá trình phát triển công nghệ sản xuất IC

	1980	1990	1999	2004
Độ mỏng (mm)	75	150	200	300
Kỹ thuật (DRAM)	64K	4M	256M	1G
Độ lớn (cm ²)	0,3	0,9	3,0	4,5
Kích thước linh kiện	2,0	0,8	0,25	0,2-0,1
Các bước xử lý	100	300	600	700-800
Kích thước phòng sạch	1000-100	1	0,1	

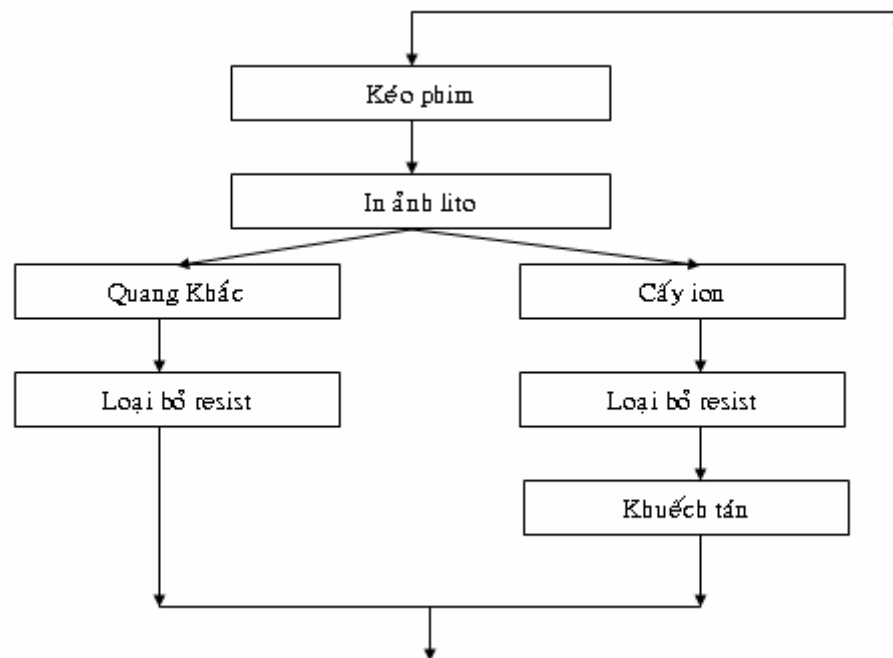
Việc giảm kích thước linh kiện đòi hỏi môi trường làm việc chất lượng cao hơn. Ngày nay IC trên cơ sở MOSFET có độ dài kênh dẫn 0,20µm cần phòng sạch class 0,1 để loại bỏ các tạp bản và lớp ôxy tự nhiên bám trên bề mặt phiến Si. Khi sản xuất các quá trình di chuyển phiến Si phải được thực hiện trong môi trường khí N₂ vô cùng sạch. Vấn đề được đặt ra là làm thế nào để kiểm soát được môi trường trong khi chế tạo linh kiện?

Khái niệm phòng sạch được phát triển tại Sandia National Laboratories vào năm 1961. tháng 12 năm 1963 chính phủ Mỹ đưa ra tiêu chuẩn về phòng sạch Federal Standard 209.

Các thiết bị sử dụng trong phòng sạch

Phòng sạch thường được xây dựng dạng hình hộp với lối đi ở giữa. Chiều rộng lý tưởng của lối đi là 2,4m chiều cao lý tưởng từ nền đến trần là 3,4m -3,6m. Diện tích phòng sạch phụ thuộc vào đường kính phiến bán dẫn. Ví dụ sử dụng phiến bán dẫn đường kính 200mm để sản xuất DRAM 16bit với công suất thiết kế của nhà máy là 20.000 phiến một tháng cần phòng sạch có diện tích 5000m² và 1000 m² có độ sạch thấp hơn để phục vụ cho phòng chính (nơi để các thiết bị phục vụ làm sạch khác, phòng để quần áo sạch, giày,...)

Để chế tạo một IC cần từ 14-20 modul công nghệ. Một modul bao gồm 10 – 20 bước chế tạo.



Hình 2.41 Các qui trình công nghệ chế tạo IC

Trong một modul của qui trình công nghệ như trên, các màng cách điện hoặc dẫn điện được tạo bởi các phương pháp khác nhau như: ôxi hóa; các phương pháp lắng đọng từ thể khí, APCVD (atmospheric pressure CVD); PECVD (phasma-Enhanced CVD), hoặc các kỹ thuật bốc bay trong chân không PVD để tạo ra đường dẫn kim loại. Các mạch tổ hợp được hình thành trên phiến bán dẫn qua các công đoạn sử dụng hệ quang khắc (photolithography) và chất cảm quang (photoresist). Sau đó phiến được chuyển đến công đoạn hoặc để ăn mòn (Etching) hoặc cấy ion (Ion Implantation). Tại vị trí để ăn mòn, các màng điện môi hoặc dẫn điện sẽ được tẩy bỏ ở những phần không cần thiết, trong khi đó tại nơi cấy ion, các ion nguyên tố As, P, B được đưa vào phiến bán dẫn để tạo ra các linh kiện. Sau khi lớp cảm quang được tẩy khỏi bề mặt, phiến Si đã cấy ion được chuyển tới lò khuếch tán (Diffusion) để ủ và loại bỏ các khuyết tật xuất hiện trong quá trình cấy ion.

Không gian để bố trí các thiết bị phục vụ cho các quá trình trên sẽ được phân bố như sau:

- Quang khắc 25%
- Khuếch tán và LPCVD 20%
- Thin film 20%
- Dry etching 15%
- Implatation 10%
- Wet process 10%

Nguyên tắc bố trí các thiết bị sử dụng trong phòng sạch:

- Giảm tối thiểu khoảng cách di chuyển phiến giữa các quy trình công nghệ bằng cách đặt thiết bị như quang khắc, ăn mòn, phủ, tẩy bỏ cảm quang gần nhau một cách liên tục.
- Giảm sự nhiễm bẩn bằng cách tách rời đầu sau của buồng chứa phiến với đầu trước của lò và khu vực để ăn mòn phiến.
- Các thiết bị phải được bố trí dễ dàng cho việc thay thế và mở rộng cải tiến.
- Giảm tối thiểu tần số vận chuyển phiến từ khu vực chế tạo này sang khu vực chế tạo khác bằng cách bố trí các thiết bị của từng modul hợp lý như sau:

Khu vực đặt các lò: lò khuếch tán, lò ôxy hóa, phòng xử lý hóa học, thiết bị đo màng mỏng.

Khu vực quang khắc: thiết bị phủ photoresist, hiện hình ảnh, các lò nung sơ bộ, hệ thống quan sát bằng quang học, kính hiển vi điện tử quét (SEM).

Khu vực ăn mòn: lò ủ nhiệt, hệ thống ăn mòn, thiết bị quan sát quang học.

Khu vực loại bỏ resist: tủ hóa, thiết bị tẩy bỏ resist.

-Công nghệ làm sạch phiến bán dẫn

Khái niệm cơ sở

Quá trình làm sạch bề mặt phiến Silic lần đầu tiên được thực hiện vào năm 1960 do W. Kern và D.A puotinen, sau đó được công bố vào năm 1970. Các tác giả đã sử dụng 2 dung dịch liên tiếp nhau

1 – $\text{NH}_4 \text{OH} - \text{H}_2 \text{O}$ (còn gọi là Standard clearning 1 – SC1) với các tỉ lệ (1:1:5) và (1:2:7) ở nhiệt độ $70^\circ\text{C} - 80^\circ\text{C}$

2 – $\text{HCL} - \text{H}_2\text{O}_2 - \text{H}_2\text{O}$ (SC2) với tỉ lệ : (1:1:6) và tỉ lệ (1:2:8) ở nhiệt độ $70^\circ\text{C} - 80^\circ\text{C}$

Cả hai đều dựa trên cơ sở độ pH. SC1 có nồng độ pH cao có thể tẩy sạch các chất bẩn hữu cơ và các tạp chất bằng phản ứng oxy hóa. SC2 có nồng độ pH thấp tẩy sạch các kim loại bám trên bề mặt bằng cách tạo các hợp chất tan trong nước.

Về cơ bản, nguyên tắc làm sạch mẫu ít có sự thay đổi, tuy nhiên do kích thước linh kiện ngày càng giảm nhỏ, trong công nghệ ULSI và VLSI đòi hỏi phiến bán dẫn có bề mặt siêu sạch do đó yêu cầu về công nghệ làm sạch bề mặt cũng tăng lên rất nhiều. Các yêu cầu về công nghệ này phải đảm bảo làm sạch bề mặt phiến khỏi các hạt bụi, chất hữu cơ, kim loại...

Số lượng các hạt chất hữu cơ hoặc kim loại bám trên bề mặt có thể làm giảm bởi công nghệ phòng sạch và cải tiến công nghệ làm sạch mẫu bằng phương pháp ướt. Để tăng độ sạch của lớp ôxit cực cửa siêu mỏng và các màng epitaxi được tạo ở nhiệt độ thấp, thì trên bề mặt phiến bán dẫn phải được tẩy sạch lớp ôxit tự nhiên,

đặc biệt là phá vỡ các liên kết hydro. Một trong những yếu tố cần phải loại bỏ là độ nhám bề mặt có kích cỡ micromet. Yếu tố này ít bị ảnh hưởng khi độ dày lớp ôxít cực cửa lớn hơn 200\AA và công nghệ $0,7\mu\text{m}$; tuy nhiên khi độ dày lớp ôxít cực cửa nhỏ hơn 100\AA đối với công nghệ $0,35\mu\text{m}$ và nhỏ hơn thì độ nhám của bề mặt tiếp xúc SiO_2 / Si ảnh hưởng rất lớn đến độ linh động của điện tử trong kênh dẫn và chất lượng lớp ôxít cực cửa trong các MOSFET. Độ sạch lớp ôxít cực cửa đóng vai trò hết sức quan trọng vì nó xác định hiệu suất, khả năng làm việc và sự hình thành vi mạch. Các yếu tố gây nên nhám bề mặt, bụi bẩn có thể là kết quả của quá trình công nghệ, phản ứng hóa học, nước rửa, dụng cụ thí nghiệm, các phương pháp loại bỏ khí tham gia phản ứng, ảnh hưởng nhiệt độ và bản thân phiến Si ban đầu.

Do các chất hóa học, nước khử ion và phiến Si có thể thu được với độ sạch rất cao nên nguồn gây bẩn có thể là các dụng cụ và quá trình thực hiện công nghệ hơn là môi trường và người thực hiện. Mặc dù có rất nhiều qui trình làm sạch mẫu đã được nghiên cứu và phát triển nhưng điều quan trọng chủ yếu là loại bỏ khả năng gây bẩn hơn là làm sạch bằng phương pháp khác nhau.

Cơ chế tẩy sạch bản và sự nhiễm bẩn

Các hạt bẩn xuất hiện trên bề mặt phiến Si trong quá trình công nghệ từ dụng cụ, môi trường xung quanh, khí, hóa chất...

Các hạt bẩn có trong các loại hóa chất như sau (số hạt/ml)

Bảng 2.5 Số lượng hạt bẩn có trong một số loại hóa chất

	$\geq 0,2\mu\text{m}$	$\geq 0,5\mu\text{m}$
NH_4OH	130-240	15-30
H_2O_2	20-100	5-20
HF	0-1	5-20
HCL	2-7	1-2
H_2SO_4	180-1150	10-80

Kích thước hạt giảm khi kích thước nhỏ nhất đặc trưng cho công nghệ giảm, thông thường kích thước hạt phải nhỏ hơn 10 lần kích thước nhỏ nhất đặc trưng cho công nghệ.

Ví dụ: công nghệ $0,2\mu\text{m}$ CMOS yêu cầu hạt có kích thước $\leq 0,02\mu\text{m}$

Các hạt bẩn bám vào bề mặt phiến bán Si theo một số cơ chế sau:

- Lực liên kết tĩnh điện, lực Van Der Waals
- Lực liên kết hóa học, lực tạo bởi các điện tích kép.

Như vậy cơ chế làm sạch có thể phân loại như sau:

- Sự hòa tan
- Phân hủy bằng phản ứng oxy hóa – hòa tan
- Tẩy bằng ăn mòn các chất bẩn ra khỏi bề mặt phiến
- Đẩy các hạt bẩn ra khỏi bề mặt bằng dòng điện

SC1 bao gồm cả các cơ chế trên: H_2O_2 oxy hóa bề mặt Si và ion OH^- từ NH_4OH tạo nên các ion tích điện âm trên bề mặt.

Để nâng cao hiệu suất làm sạch, ta phải kết hợp giữa SC1 – SC2 – với một số phương pháp khác.

Ví dụ: SC1 kết hợp với megasonic (nhiệt độ nhỏ hơn 40 °C), năng lượng âm thanh được phát song song với bề mặt phiến đặt trong dung dịch SC1, âm thanh được phát ra bởi nguồn có công suất 200W tần số 850Khz - 900Khz.

Làm sạch chất bẩn kim loại

Nếu mức độ bẩn của các hạt kim loại lớn hơn 10^{10} nguyên tử trên một cm^2 , dẫn đến các sai hỏng cấu trúc làm ảnh hưởng đến quá trình ôxy hóa và epitaxy tiếp theo, kết quả là làm tăng dòng rò của chuyển tiếp p-n, giảm thời gian sống của hạt dẫn cơ bản. Hai cơ chế liên kết chính của kim loại với bề mặt Si

-Có sự trao đổi điện tích giữa ion kim loại dẫn đến phá hủy Si. Sự liên kết này rất khó tẩy bằng phương pháp làm sạch ướt. Các loại ion kim loại này thường là Au, tính âm điện của chúng cao hơn Si nên chúng trung hòa điện bằng cách lấy điện tử từ Si và kết tủa trên bề mặt của Si.

-Các kim loại như Al, Cr, Fe luôn có xu hướng bị ôxy hóa khi bề mặt Si bị ôxy hóa và chúng tồn tại trong lớp ôxít các kim loại này có thể loại bỏ bằng dung dịch HF.

-Sử dụng phương pháp tẩy rửa ướt đem lại hiệu quả cao nhất để loại bỏ chất bẩn kim loại.

-Cả SC1 và SC2 đều có khả năng loại bỏ tạp bẩn kim loại trên bề mặt phiến Si do H_2O_2 có khả năng ôxy hóa cao.

Làm sạch tạp bẩn hữu cơ

Các chất hữu cơ xuất hiện trên mặt Si từ các khí hữu cơ có trong không khí, các containers chứa trong photoresist. Sự có mặt các hợp chất hữu cơ trên bề mặt gây trở ngại các quá trình làm sạch lớp ôxít tự nhiên và tạo bẩn kim loại, đồng thời tạo nên các hiệu ứng phụ ảnh hưởng tới các quá trình công nghệ tiếp theo. Các chất cảm quang là nguồn gây bẩn hữu cơ chủ yếu trong quá trình sản xuất IC.

Có thể dùng $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2$ (3:1 hoặc 4:1) để tẩy các chất bẩn hữu cơ. Thông thường các tạp bẩn hữu cơ được tẩy sạch bằng phương pháp khô ngay từ đầu, sau đó làm sạch hoàn toàn bằng phương pháp ướt.

Làm sạch hạt nhám siêu nhỏ trên bề mặt

Trên bề mặt phiến bán dẫn luôn có các vết nhám có kích thước siêu nhỏ và ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng sản phẩm:

Nguyên nhân: lớp điện môi hình thành sau quá trình ôxy hóa nhiệt rất mỏng khoảng 100Å cho công nghệ 0,35 μm (PC486). Ngày nay công nghệ 0,18 μm yêu cầu lớp ôxít SiO_2 xấp xỉ 40Å. Bề mặt phiến phải được làm phẳng ở mức độ nguyên tử .

-Dung dịch $\text{NH}_4\text{OH} - \text{H}_2\text{O}_2 - \text{H}_2\text{O}$ được sử dụng ở bước công nghệ đầu tiên để tẩy các hạt bẩn, các chất hữu cơ và một số kim loại bám trên bề mặt.

-Một qui ước chuẩn được công bố sử dụng $\text{NH}_4\text{OH} - \text{H}_2\text{O}_2 - \text{H}_2\text{O}$ theo tỉ lệ 1:1:5 ở 70°C trong 10 -15 phút tạo nên bề mặt Si thô.

Cơ chế xảy ra trên bề mặt thô như sau:

- NH_4OH tác dụng như chất tẩy lớp ôxít trong khi H_2O là chất ôxy hóa. Tuy nhiên, quá trình ôxy hóa – sau đó lớp ôxít bị ăn mòn xảy ra đồng thời và liên tục trong dung dịch SC1, như vậy bề mặt Si trở nên thô (nhám).

Để giảm hiệu ứng trên:

- Giảm nồng độ NH_4OH
- Giảm nhiệt độ dung dịch
- Giảm thời gian rửa phiến

Sử dụng kính hiển vi quét hiệu ứng xuyên hầm (STM) để kiểm tra bề Si, nhận thấy lớp ôxít tự nhiên trên bề mặt Si có ảnh hưởng lớn đến độ phân giải: kính hiển vi lực nguyên tử (AFM) cũng thường được sử dụng để xác định độ nhám của bề mặt sau khi xử lý phiến.

Làm sạch lớp ôxít tự nhiên

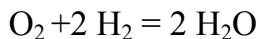
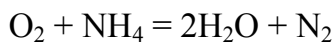
Trên bề mặt phiến Si luôn tồn tại lớp ôxít SiO₂ tự nhiên, siêu mỏng không kiểm soát được độ dày, lớp ôxít này được hình thành trong quá trình công nghệ. Những ảnh hưởng của lớp ôxít tự nhiên:

- Làm tăng điện trở tiếp xúc
- Ngăn cản quá trình epitaxi
- Các tạp kim loại có thể tồn tại trong lớp ôxít tự nhiên trong quá trình rửa mẫu.
- Lớp ôxít tự nhiên này không thể tẩy được

-Đây là nguồn khuếch tán kim loại vào bán dẫn hoặc vào trong lớp biên SiO₂/Si, tạo nên các khuyết tật trong các quá trình công nghệ ở nhiệt độ cao. Lớp ôxít tự nhiên thường được xác định bằng phương pháp phân tích phổ của tia X của các điện tử và Ellipsometry. Rất khó đồng thời xác định độ dày lớp ôxít và chiết suất khi độ dày này nhỏ hơn Amstrong. Độ dày lớp ôxít tự nhiên tăng khi thời gian rửa mẫu trong nước khử ion tăng.

Ta thấy nguyên tử ôxy trước hết phá vỡ liên kết Si – Si. trên bề mặt vẫn còn nguyên tử H. Đối với bề mặt trong DI sẽ bị phá hủy bởi các ion O²⁻ hoặc OH⁻, liên kết Si – H chỉ tồn tại ở lớp biên SiO₂/Si.

Một phương pháp làm giảm hiệu ứng trên là sử dụng màng loại khí ở bước thứ nhất. Ôxy trong nước sẽ nhanh chóng khuếch tán qua màng loại khí. Sau đó nồng độ O₂ giảm xuống. Có thể làm giảm ôxy bằng phản ứng có sự tham gia của chất xúc tác Rb.



Phương pháp khác là sử dụng N₂ làm sủi bọt làm giảm áp suất của ôxy trong nước.

Bước cuối cùng của quá trình rửa phiến trước khi ôxy hóa hoặc epitaxi

Ngày nay, công nghệ epitaxi trở nên rất quan trọng trong việc chế tạo linh kiện có tốc độ lớn như High electron mobility transistor hoặc linh kiện trên cơ sở SiGe.

Trước khi tạo lớp ôxy cực cửa, có đến 74% cơ sở sản xuất sử dụng HF như công đoạn cuối cùng. Lý do: HF tẩy được các tạp kim loại còn sót lại và lớp ôxít tự nhiên, tạo bề mặt chất lượng cao. Sử dụng HF 0,5% ở 70 °C có thể tẩy sạch SiO₂ đi khỏi bề mặt Si.

Một số dung dịch khác thường được dùng để rửa phiến trước khi ôxy hóa hoặc epitaxi:

- HF/IPA (iso propyl Alcohol <1000pm)
- HF (0,5%)/ H₂O₂ (10%) : H₂O có thể dùng để tẩy tạp kim loại với nồng độ 10¹⁰ at/cm² trong khoảng 10 phút.

Công nghệ rửa ướt (Wet Cleaning)

- Dùng dung dịch H₂SO₄ : H₂O₂ với tỷ lệ (2:1) hoặc (3:1) hoặc HNO₃ (100%). Thời gian 10 phút để tẩy bụi bẩn, vết dầu mỡ.
- Sử dụng HNO₃ (69%) trong thời gian 10 phút ở nhiệt độ T = 110 °C để tẩy tạp hữu cơ, kim loại,...

- Sử dụng HF (1%) để tẩy lớp ôxít tự nhiên và tạp kim loại.
- Sau mỗi lần đều rửa qua nước siêu sạch, quay khô.

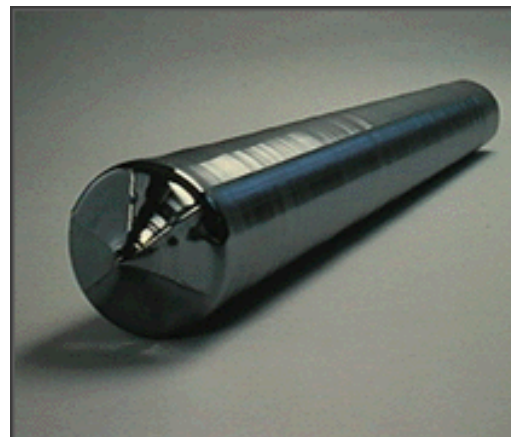
Công nghệ rửa khô (Dry cleaning)

Công nghệ rửa ướt vẫn là phương pháp được dùng chủ yếu, tuy nhiên với các mạch ULSI người ta đã nhận thấy các vấn đề hạn chế liên quan tới công nghệ rửa ướt là:

- Sinh ra các hạt mới từ chính các dung dịch.
- Khó làm khô
- Giá thành cao
- Ô nhiễm môi trường
- Không dễ thay đổi qui trình công nghệ

Để khắc phục những hạn chế này người ta sử dụng công nghệ rửa khô. Quá trình rửa khô là dạng sử dụng các chất hóa học ở dạng khí. Thông thường cần phải tạo năng lượng kích hoạt để tăng cường phản ứng hóa học ở nhiệt độ thấp. Dạng năng lượng bổ sung này có thể là Plasma, các chùm hạt, bức xạ sóng ngắn hoặc khí được nung nóng. Các dạng khí này được dùng để làm sạch bề mặt phiến nhưng không được tạo nên các sai hỏng trong đế Si hoặc làm hỏng phiến.

Thanh Silic kéo được bằng phương pháp Czochralski trên thực tế



CHƯƠNG 3 VẬT LIỆU ĐIỆN MÔI (VLDM)

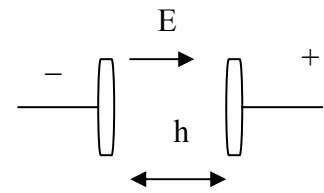
3.1 Các quá trình vật lý trong điện môi và các tính chất của chúng

3.1.1 Sự phân cực của điện môi

Tính chất quan trọng bậc nhất của điện môi là khả năng phân cực của nó dưới tác dụng của điện trường ngoài. Hiện tượng phân cực là sự thay đổi vị trí trong không gian của những thành phần mang điện và hình thành moment điện.

Trạng thái của điện môi dưới tác dụng của điện trường ngoài có thể biểu thị qua vectơ phân cực (hay cường độ phân cực) \vec{P} . Dưới tác dụng của \vec{P} xảy ra sự thay đổi vị trí trật tự trong không gian của điện tích phân tử điện môi.

Xét thể tích điện môi trong tụ phẳng(H3.1), ta có cường độ điện trường $E = \frac{U}{h}$ (V/m)



Hình 3.1. Điện trường giữa 2 bản cực tụ

- Ở điện môi tuyến tính thì \vec{P} quan hệ tuyến tính với \vec{E}

$$\vec{P} = K_E \epsilon_0 \cdot \vec{E} \quad (\text{C/m}^2).$$

K_E hệ số phân cực của điện môi

-Ở điện môi đẳng hướng \vec{P} song song với \vec{E}

-Ở điện môi dị hướng: quan hệ giữa \vec{P} và \vec{E} ở dạng tenxơ.

-Ở điện môi không tuyến tính (như xec-nhet điện) không có tỉ lệ tuyến tính giữa \vec{P} và \vec{E} .

Ngoài \vec{P} và \vec{E} còn có đại lượng vectơ khác, đó là vectơ cảm ứng điện \vec{D} (vectơ điện cảm \vec{D}):

$$\vec{D} = \epsilon_0 \cdot \vec{E} + \vec{P}$$

Với $\vec{P} = K_E \epsilon_0 \cdot \vec{E}$

Và gọi $\epsilon = 1 + K_E \geq 1$ là hệ số điện môi tương đối của vật liệu

Ta có: $\vec{D} = \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot \vec{E}$

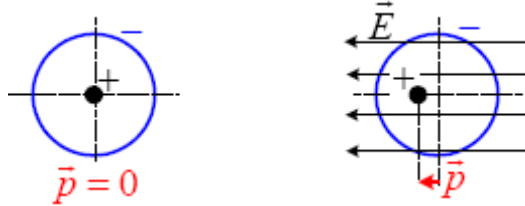
Dòng vectơ điện cảm \vec{D} qua bề mặt khép kín bao quanh một thể tích nào đó sẽ bằng tổng điện tích tự do có trong thể tích đó.

$$\oint \vec{D} \cdot d\vec{s} = \sum q_{td}$$

Giá trị \vec{D} ở mọi điểm trong điện môi là như nhau (\vec{D} có cùng đơn vị với \vec{P} là C/m^2). Tham số xác định khả năng hình thành điện dung là hệ số điện môi ϵ , ϵ phản ánh tính chất của vật chất trong một khối lượng (thể tích) đủ lớn, nhưng không phản ánh tính chất của từng nguyên tử hay phân tử của vật chất.

Bản chất vật lý của sự phân cực điện môi

Phân tử của bất kỳ vật chất nào của điện môi cũng có cấu tạo từ những thành phần riêng biệt (nguyên tử, ion), mỗi thành phần có điện tích xác định dương hoặc âm. Lực liên kết giữa các điện tích xác định tính chất cơ học của vật chất. Tổng đại số của tất cả các điện tích trong phân tử của bất kỳ vật chất nào đều bằng 0, nhưng vị trí không gian điện tích trong phân tử của vật chất khác nhau sẽ khác nhau. Nếu thay tất cả các điện tích dương và điện tích âm bằng một điện tích dương và một điện tích âm tương đương và vị trí trọng tâm của từng điện tích dương riêng và âm riêng thì trọng tâm của các điện tích dương và âm này có thể trùng nhau hoặc không trùng nhau.(H3.2)



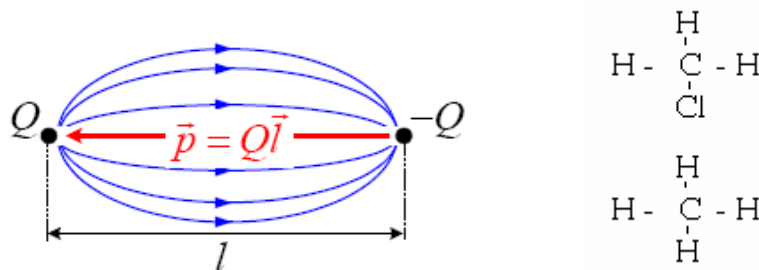
Hình 3.2 Trọng tâm điện tích dương và âm có thể trùng nhau hoặc không trùng nhau

Phân tử, trong đó tâm của các điện tích dương và điện tích âm trùng nhau gọi là không phân cực. Phân tử, trong đó tâm của các điện tích dương và âm không trùng nhau mà cách nhau một khoảng cách l gọi là phân cực (hay lưỡng cực).

Ví dụ: CH_4 là phân tử không phân cực; CH_3Cl là phân tử phân cực.(H3.3)

Các phân tử lưỡng cực được đặc trưng bởi moment lưỡng cực

$$\vec{p} = Q \cdot \vec{l}$$



Hình 3.3 Phân tử lưỡng cực và momen lưỡng cực \vec{p}

Tính có cực có thể đánh giá theo cấu tạo hóa học của phân tử. Ngược lại bằng thực nghiệm có thể xác định được p , từ đó đưa ra kết luận về cấu trúc của phân tử. Những phân tử gồm một nguyên tử He, Ne, Ar hoặc 2 nguyên tử giống nhau (H_2 , N_2 , Cl_2) là không phân cực. Còn liên kết ion gồm 2 hay nhiều loại như KCl , HCl là loại có cực tính mạnh.

Vậy: phân cực là sự sắp xếp có trật tự trong không gian của các điện tích. Dưới tác dụng của điện trường ngoài các điện tích chuyển động có giới hạn trong điện môi và hình thành momen điện ở tất cả thể tích điện môi.

Phân loại điện môi

Điện môi có thể chia làm 3 loại:

- +Loại điện môi có cực (lưỡng cực): là điện môi gồm các phân tử lưỡng cực.
- +Loại điện môi không cực (trung hòa): là điện môi gồm các phân tử không phân cực.

+Loại xec-nhet điện (chất sắt điện): Là điện môi có tính phân cực tự phát. Nó có cấu trúc miền (đômen): gồm những miền lớn có phân cực tự phát, xuất hiện do ảnh hưởng của các quá trình trong điện môi. Hướng của các momen điện của các miền khác nhau và tổng phân cực trong điện môi bằng 0.

Sự phân cực chuyển dịch và phân cực định hướng trong chất khí

*Phân cực chuyển dịch

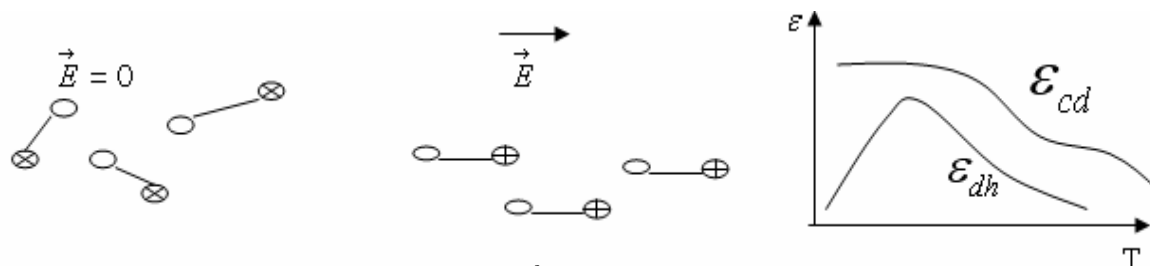
Là sự phân cực trong đó có sự chuyển dịch các điện tử so với hạt nhân của nguyên tử dưới tác động của điện trường ngoài (còn gọi là phân cực điện tử). Sự chuyển dịch này có tính chất đàn hồi, có sự biến dạng các lớp vỏ điện tử của nguyên tử và ion. Thời gian xác lập các phân cực điện tử không đáng kể 10^{-15} s, nên được coi là tức thời. Khả năng phân cực của các điện tử không phụ thuộc vào nhiệt độ, nhưng lại giảm khi nhiệt độ tăng vì sự giãn nở nhiệt của điện môi và do số lượng các hạt trong đơn vị thể tích bị giảm.

* Phân cực định hướng

Phân tử lưỡng cực nằm trong dao động nhiệt hỗn loạn một phần được định hướng dưới tác dụng của điện trường ngoài. Phân cực định hướng có thể xảy ra nếu lực phân tử không cản trở lưỡng cực định hướng theo điện trường.

Tăng nhiệt độ thì lực phân tử giảm làm tăng phân cực lưỡng cực. Tuy nhiên khi nhiệt độ quá cao sẽ làm tăng chuyển động nhiệt của phân tử tức là làm giảm ảnh hưởng định hướng của trường.

Sự phụ thuộc của hệ số điện môi ϵ vào nhiệt độ T trong trường hợp phân cực chuyển dịch và phân cực định hướng được trình bày trên hình vẽ sau:



Hình 3.4. Phân cực chuyển dịch và phân cực định hướng

Hiện tượng phân cực trong chất lỏng và chất rắn

* Hiện tượng phân cực trong chất lỏng

Sự xoay chuyển của lưỡng cực theo hướng của điện trường E trong môi trường có độ nhớt cần phải vượt qua một số cản trở. Vì thế phân cực lưỡng cực trong chất lỏng gắn liền với tổn thất năng lượng. Trong môi trường có độ nhớt cao, sự cản trở đối với sự xoay của phân tử lớn tới nỗi khi điện trường biến thiên nhanh, các lưỡng cực không thể xoay kịp theo hướng của nó và phân cực lưỡng cực khi tần số gia tăng hoàn toàn biến mất.

* Hiện tượng phân cực trong chất rắn

Phân cực một cách tức thời, đàn hồi, không phát tán năng lượng

-Phân cực điện tử (hay phân cực chuyển dịch) quan sát thấy ở mọi điện môi, hoàn thành trong thời gian ngắn 10^{-15} s (có thể so sánh với chu kỳ ánh sáng).

-Phân cực ion: Đặc trưng cho vật rắn có cấu tạo ion và được xác định bởi sự chuyển dịch đàn hồi các ion liên kết. Thời gian xác lập của phân cực ion là 10^{-13} s. Khi nhiệt độ tăng, khoảng cách giữa các ion tăng, lực đàn hồi yếu đi làm phân cực ion tăng.

Phân cực tăng giảm một cách chậm chạp kèm theo sự phát tán năng lượng

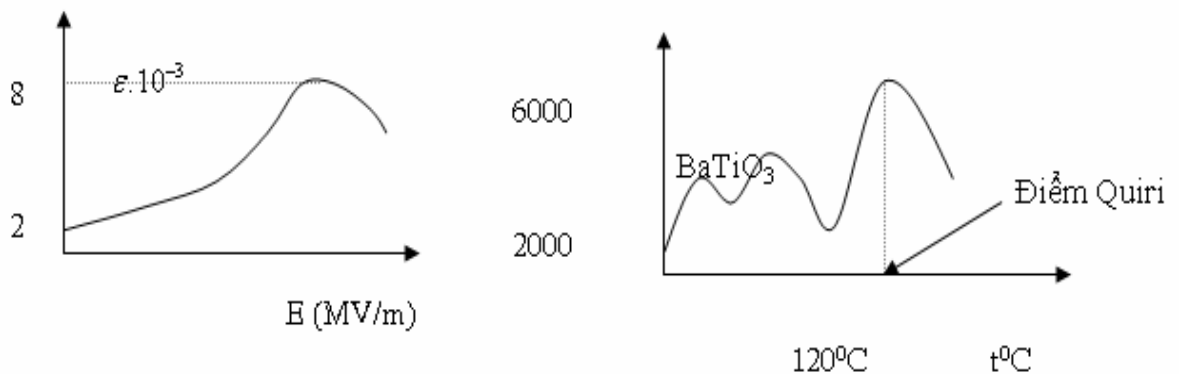
-Phân cực lưỡng cực chậm: Các phân tử lưỡng cực ở trạng thái chuyển động nhiệt hỗn loạn được định hướng một phần dưới tác dụng của điện trường, do đó đưa đến sự phân cực. Khi nhiệt độ tăng, trị số phân cực tăng đến khi chuyển động nhiệt hỗn loạn trở nên mạnh hơn thì phân cực giảm.

-Phân cực ion chậm: Các ion có liên kết yếu, trong khi dịch chuyển theo chuyển động nhiệt hỗn loạn còn nhận thêm các dịch chuyển thừa theo hướng của điện trường. Tăng dần theo nhiệt độ.

-Phân cực điện tử chậm: Xuất hiện do các điện tử thừa bị kích thích bởi nhiệt độ.

-Phân cực kết cấu: Xảy ra trong chất rắn có cấu tạo không đồng nhất, xuất hiện ở tần số thấp, gây tổn thất năng lượng lớn.

-Phân cực tự phát: Tồn tại ở điện môi xec-nhet điện, vật chất có từng vùng với momen điện riêng khi không có điện trường. Đặc điểm là đạt giá trị bão hòa, gây tổn thất năng lượng lớn, hệ số điện môi phụ thuộc vào điện trường.(H3.5)



Hình 3.5 Hệ số điện môi phụ thuộc vào cường độ điện trường, điểm Quri là điểm cực đại khi phân cực tự phát của BaTiO₃.

3.1. 2 Sự dẫn điện của điện môi

Khi một mẫu điện môi đặt trong điện áp nào đó sẽ xuất hiện những dòng điện rất nhỏ. Bao gồm:

-Dòng điện rò (I_r): do một số điện tích tự do chuyển dịch gây nên

-Dòng điện phân cực (I_{pc}): do sự chuyển dịch của các điện tích ràng buộc khi có phân cực điện tử hay phân cực ion, nó có thời gian tồn tại rất ngắn không thể đo được.

-Dòng điện dung (I_c): do sự dịch chuyển của các điện tử trong các dạng phân cực khác của điện môi. Đối với điện áp một chiều dòng I_c chỉ có khi đóng hoặc ngắt điện. Đối với điện áp xoay chiều nó tồn tại liên tục.

Vậy tổng dòng điện trong điện môi:

$$I = I_r + I_c$$

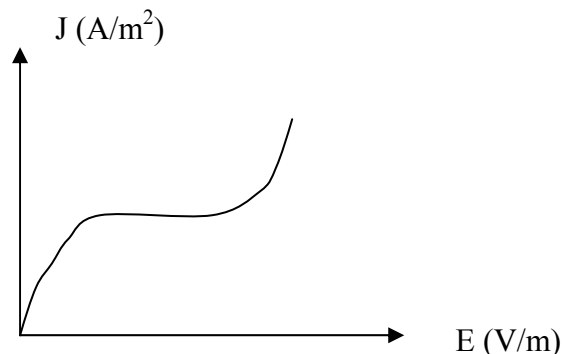
Độ dẫn điện của điện môi còn phụ thuộc vào trạng thái điện môi: khí, lỏng, rắn và phụ thuộc vào độ ẩm, nhiệt độ, thời gian làm việc lâu dài dưới điện áp.

* Tính dẫn điện của điện môi khí

Khi điện trường yếu chất khí có độ dẫn điện rất bé, dòng điện chỉ xuất hiện khi trong chất khí có các ion hoặc điện tử tự do. Có 2 nguyên nhân chính dẫn đến sự ion hóa các phân tử khí:

-Khi điện trường đủ mạnh, các hạt mang điện va chạm với các phân tử khí tạo ra các ion.

-Các yếu tố bên ngoài như tia cực tím, tia phóng xạ, nhiệt độ sẽ gây nên hiện tượng ion hóa các phân tử khí, phân tích thành ion âm và ion dương, dưới điện áp đặt vào sẽ di chuyển tạo thành dòng điện. Khi điện trường quá lớn sẽ xảy ra hiện tượng thác điện tử và dòng điện tăng mãnh liệt tới khi chọc thủng khoảng cách giữa các điện cực.



Hình 4.6 Quan hệ giữa cường độ điện trường và mật độ dòng điện trong điện môi khí.

* Tính dẫn điện của điện môi lỏng

Độ dẫn điện của điện môi lỏng liên quan chặt chẽ với cấu tạo phân tử của chất đó.

Trong chất lỏng không cực, độ dẫn điện phụ thuộc vào sự có mặt của các tạp chất phân ly (kể cả nước).

Trong chất lỏng có cực, độ dẫn điện còn phụ thuộc vào sự phân ly của các phân tử bản thân chất lỏng. Vì vậy điện môi lỏng có cực bao giờ cũng có độ dẫn lớn hơn so với điện môi lỏng không cực.

Khi hằng số điện môi tăng thì độ dẫn cũng tăng. Khi các tạp chất có chứa trong điện môi lỏng sẽ làm giảm độ dẫn điện và tăng điện trở suất của nó.

Khi nhiệt độ tăng, độ linh hoạt của các ion tăng, mức độ phân ly tăng nên điện dẫn suất của điện môi lỏng phụ thuộc rất nhiều vào nhiệt độ, nó tăng theo hàm mũ:

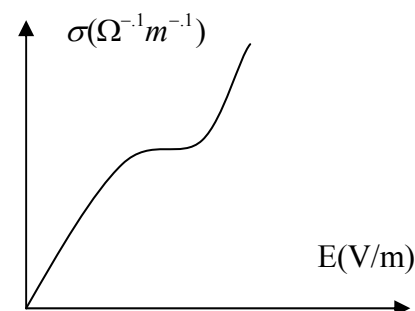
$$A \exp(-a/T) \quad \text{với } a, A \text{ là hằng số phụ thuộc vào điện môi.}$$

Trong điện trường mạnh $E = 100 \text{ MV/m}$, theo thực nghiệm dòng điện không tăng tuân theo định luật Ohm nữa, do số ion chuyển động đến điện cực tăng lên mạnh mẽ.

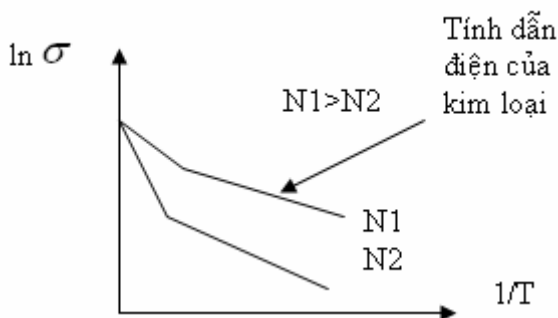
* Tính dẫn điện của điện môi rắn

Độ dẫn điện trong điện môi rắn là do có sự dịch chuyển các ion bản thân điện môi, ion tạp chất và do các điện tử tự do. Trong điện môi rắn có cấu tạo ion, độ dẫn điện được xác định chủ yếu do sự di chuyển của các ion đã được giải phóng bởi ảnh hưởng của dao động nhiệt. Nếu dòng điện là sự chuyển dịch của nhiều ion thì

$$\sigma = \sum A \exp\left(-\frac{E_i}{kT}\right)$$



Hình 3.7 Quan hệ giữa điện dẫn với cường độ điện trường trong điện môi lỏng.



Hình 3.8 Quan hệ của độ dẫn điện trong điện môi rắn với nhiệt độ

Ở đó E_i là tổng các năng lượng để giải phóng ion và năng lượng di chuyển nó từ một trạng thái này sang trạng thái khác; A: hằng số.

Với lượng tạp chất N khác nhau, điện dẫn suất của chúng cũng khác nhau. (H3.8)

* Tính dẫn điện mặt của điện môi rắn

Nguyên nhân do sự tồn tại trên bề mặt điện môi độ ẩm hay bụi bẩn. Nước là một điện môi lỏng có cực tính, điện trở suất thấp nên một lớp màng cực mỏng trên bề mặt điện môi làm cho điện dẫn suất mặt của điện môi tăng nhanh. Độ ẩm tương đối của môi trường là yếu tố quan trọng nhất ảnh hưởng tới điện dẫn suất mặt của điện môi (γ tăng mạnh khi độ ẩm tương đối vượt quá 70%).

Điện môi có cực hòa tan trong nước một phần sẽ tạo điều kiện cho tạp chất bám lên bề mặt điện môi làm điện dẫn suất mặt tăng. Điện môi có cực có điện dẫn suất mặt cao hơn nhiều so với điện môi không cực bề mặt không bám nước.

So sánh sự phân cực và sự dẫn điện của điện môi:

-Khi phân cực có sự chuyển dịch liên kết với một phân tử của vật chất, không thể đi quá giới hạn của phân tử đó. Còn sự dẫn điện là sự chuyển động của các điện tích trên khoảng cách dài xuyên thấu qua độ dày điện môi từ điện cực này đến điện cực kia.

-Phân cực có vị trí trong tất cả các phân tử các phần tử của điện môi. Sự dẫn điện là do một lượng tạp chất không lớn tham gia. Nếu điện môi cực sạch thì sự dẫn điện rất yếu. Phân cực là sự chuyển dịch trong không gian một số lượng lớn điện tích nhưng trên khoảng cách cực ngắn.

-Sự chuyển dịch các điện tích trong phân cực có thể xem như là dịch chuyển của điện tích có đàn hồi. Nếu ngừng tác động của điện áp lên điện môi thì các điện tích có xu hướng quay về trạng thái ban đầu còn sự dẫn điện thì không có hiện tượng này.

-Dòng điện dẫn tồn tại trong suốt thời gian đặt điện áp 1 chiều lên điện môi, còn dòng điện do phân cực (dòng điện dung) chỉ tồn tại ở thời điểm đóng ngắt điện áp 1 chiều. Dòng điện dung chỉ tồn tại lâu dài khi điện áp xoay chiều tác động lên điện môi.

3.1.3 Tổn hao điện môi

Là phần năng lượng tản ra trong điện môi làm nó nóng lên trong điện trường. Khác với dây dẫn, phần lớn các điện môi có tổn thất công suất phụ thuộc vào tần số, điện áp đặt vào, tổn hao công suất ở điện áp xoay chiều lớn hơn so với điện áp một chiều và tăng rất nhanh khi tăng tần số và điện áp.

Giá trị tổn hao công suất trong điện môi gọi là tổn hao điện môi

$$P_r = U^2 / R$$

* Tổn hao điện môi với điện áp một chiều:

Đặt điện áp một chiều lên một đoạn cách điện, sau khoảng thời gian đủ lớn sẽ có dòng điện rò (I_r) chảy qua điện môi, bao gồm: dòng điện rò khối (I_v) và dòng điện rò mặt (I_s) chảy trên bề mặt điện môi:

$$I_r = I_v + I_s = U/R_v + U/R_s = U/R$$

Trong đó: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_v} + \frac{1}{R_s}$; R_v : điện trở khối; R_s : điện trở mặt

Điện trở khối của điện môi được xác định bởi: $R_v = \rho_v l/S (\Omega)$

Điện trở mặt của điện môi được xác định bởi: $R_s = \rho_s l/L (\Omega)$

ρ_v : Điện trở suất khối của điện môi ($\Omega \cdot m$)

ρ_s : Điện trở suất mặt của điện môi (Ω)

l: Chiều dài đoạn cách điện (m)

S: Tiết diện đoạn cách điện. (m^2)

L: Chu vi của tiết diện (m)

Tổn hao điện môi: $P_r = U \cdot I_r = I_r^2 \cdot R = U^2 / R$

* Tổn hao điện môi với điện áp xoay chiều:

Để xét khả năng tiêu tán năng lượng ta sử dụng giá trị $I_r = I_c \cdot \sin \delta$ ở đó góc δ là góc tổn hao điện môi.

δ và $\tan \delta$ đặc trưng cho tổn hao điện môi đối với dòng điện xoay chiều.

Góc δ càng lớn tổn hao sẽ càng lớn. Thông thường giá trị $\tan \delta$ được cho trước trong tham số của vật liệu.

Điện môi chất lượng cao có $\tan \delta = 10^{-4}$ đến 10^{-3} tương đối nhỏ

Điện môi chất lượng kém có $\tan \delta \geq 10^{-2}$ dễ bị nóng và phá hủy

Ta có:
$$I_c = \frac{U}{Z_c} = \omega \cdot C \cdot U$$

$$I_r = \tan \delta \cdot I_c = \omega \cdot C \cdot U \cdot \tan \delta$$

Tổn hao điện môi

$$P_r = U \cdot I_r = \omega \cdot C \cdot U^2 \cdot \tan \delta = 2\pi \cdot f \cdot \frac{\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot S}{h} \cdot U^2 \cdot \tan \delta$$

Tổn hao riêng của điện môi: $p = \frac{P_r}{V} = \frac{1}{S \cdot h} \cdot 2\pi \cdot f \cdot \frac{\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot S}{h} \cdot U^2 \cdot \tan \delta$

$$(U = E \cdot h) = \frac{1}{S \cdot h} \cdot 2\pi \cdot f \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot S \cdot h \cdot E^2 \cdot \tan \delta =$$

$$2\pi \cdot f \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot E^2 \cdot \tan \delta$$

Đặt $\lambda = 2\pi \cdot f \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot \tan \delta$ thì $p = \lambda \cdot E^2$

λ gọi là điện dẫn suất tích cực của điện môi dưới điện áp xoay chiều, nó phụ thuộc vào tần số của điện áp xoay chiều.

Các dạng tổn hao điện môi

+Tổn hao điện môi là hiện tượng không tốt của vật liệu. Có nhiều nguyên nhân:

-Tổn hao điện môi do phân cực: thấy rõ ở các chất có sự phân cực chậm, điện môi có cấu tạo lưỡng cực, điện môi có cấu tạo ion ràng buộc không chặt chẽ.

-Tổn hao điện môi do dòng điện rò: thường thấy ở điện môi có điện dẫn khối hoặc điện dẫn mặt lớn đáng kể.

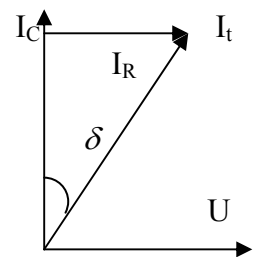
-Tổn hao điện môi do ion hóa: có trong các điện môi ở trạng thái khí, tổn thất này thường biểu hiện trong các trường không đồng nhất khi cường độ điện trường vượt quá trị số bắt đầu ion hóa của khí đó.

-Tổn hao điện môi do cấu tạo không đồng nhất (gây nên bởi các tạp chất)

-Tổn hao điện môi trong chất lỏng không phân cực: điện dẫn suất loại này rất bé nên tổn hao điện môi cũng rất bé. Nếu là chất lỏng phân cực thì có thể có thêm tổn hao điện môi do các phân tử lưỡng cực gây nên.

+Các phân tử có cực, các vật liệu trên cơ sở xenlulo như giấy, cactong, thủy tinh hữu cơ có $\tan \delta \approx 0,01$ Tổn hao điện môi rất lớn.

+Khi cách điện cao áp cần chọn điện môi có $\tan \delta$ nhỏ.



3.1.4 Phá hủy điện môi

Đặt điện môi trong điện trường, trong điện môi có sự phân cực, dẫn điện, tổn hao điện môi. Nếu trường xoay chiều thì dòng cách điện I_r tăng đồng thời dòng điện dung I_c cũng tăng, tổn hao điện môi cũng tăng theo. Nếu điện trường quá lớn sẽ xảy ra sự phá hủy điện môi, điện môi bị chọc thủng, dòng điện sẽ tăng vọt. Tại điểm P

($\frac{dI}{dU} = \infty$) hình thành trong điện môi kênh dẫn chọc

thủng điện môi (ngắn mạch giữa 2 cực). Sau đó điện áp được giảm xuống do điện trở cách điện giảm xuống. (H3.9)

Cường độ điện trường trong điện môi tại vị trí và thời điểm chọc thủng

$$E_c = U_c / h \text{ gọi là độ bền điện}$$

với: U_c là điện áp chọc thủng.

Phá hủy điện môi khí

Sự phá hủy điện môi khí phụ thuộc vào thành phần hóa học của chất khí và áp suất, nhiệt độ, khoảng cách giữa 2 điện cực, kích thước và hình dáng điện cực. Nguyên nhân là do hiện tượng ion hóa va chạm và ion hóa quang. Nếu điện trường đồng nhất hiện tượng đánh thủng xảy ra đột ngột. VD: Khi tăng điện áp giữa 2 điện cực hình cầu cách nhau một khoảng h (với $h \leq r$) thì sẽ xuất hiện phá hủy điện môi khí chọc thủng tất cả khoảng không khí giữa 2 điện cực ở dạng tia lửa, nếu công suất đủ lớn sẽ hình thành cung lửa.

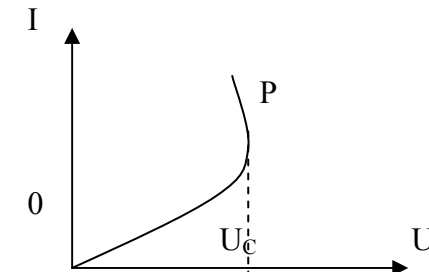
Nếu điện trường không đồng nhất, trước khi chất khí bị đánh thủng sẽ có hiện tượng vàng quang điện làm thay đổi tính chất hóa học của chất khí trong thể tích bị vàng quang. Tăng điện áp lên nữa thì vàng quang phát triển ngày càng rộng và cuối cùng xảy ra hiện tượng phóng điện hoàn toàn giữa các điện cực. Khi áp suất hạ xuống tới 1 giá trị nào đó thì độ bền điện giảm tới giá trị cực tiểu sau đó lại tăng rất nhanh. Trong chất khí thường xuyên có một số điện tích tự do như điện tử, ion dương, ion âm... Khi đặt điện trường lên chất khí, các hạt sẽ có vận tốc và động năng. Khi va chạm với các phân tử trung hòa nếu động năng hạt đạt tới giá trị đủ để ion hóa chất khí thì hạt sẽ chia các phân tử trung hòa thành các điện tích dương và điện tử. Các điện tích được hình thành lại tiếp tục chuyển động tiếp tục bắn phá. Cứ như vậy quá trình này phát sinh cho tới khi chọc thủng khoảng không khí. Áp suất tăng (nhiệt độ không đổi) thì mật độ không khí tăng, độ dài bước tự do l_0 giảm, năng lượng (tức động năng) $W = E \cdot q \cdot l_0$ giảm, độ bền cách điện (E_c) phải tăng.

Phá hủy điện môi lỏng

Điện môi lỏng thường là dầu mỏ cách điện, chúng là hỗn hợp của các điện môi có cực và điện môi không cực có nguồn gốc cacbon.

Yếu tố quan trọng nhất ảnh hưởng tới độ bền điện của chất lỏng là mức độ làm sạch tạp chất chứa trong nó, đầu tiên là nước (nồng độ chiếm 0,01% cũng đủ để làm giảm độ bền cách điện xuống còn 50% làm dầu không đủ chất lượng để sử dụng).

Dưới tác động của điện trường các hạt nước tồn tại trong dầu dưới dạng nhũ tương và bị kéo dài theo hướng của điện trường, chia thành những giọt nhỏ tạo thành mắt xích và bị lôi kéo tới nơi có điện trường mạnh hơn hay là tới các điện cực làm điện áp chọc thủng của dầu giảm xuống nhanh chóng. Các bọt khí cũng bị lôi kéo tới vùng có điện trường mạnh (các bọt khí trong trường mạnh dễ bị ion hóa, hệ số điện môi lúc đó có giá trị cao hơn hẳn hệ số điện môi của dầu). Các tạp chất có sợi như



Hình 3.9. Quan hệ của dòng điện qua cách điện với điện áp.

sợi giấy, sợi vải ... hút nước trở thành tạp chất nửa dẫn điện và hệ số điện môi tăng rất nhanh, chúng bị lôi kéo rất nhanh tới vùng điện trường lớn, tạo thành mũi nhọn hướng vào điện cực làm điều kiện bị chọc thủng của dầu dễ dàng hơn.

Sự thay đổi áp suất và nhiệt độ không ảnh hưởng mấy tới độ bền cách điện. Trong nhiều thiết bị cao áp, ta thường phân nhỏ tạp chất làm cho chúng phân bố đều đặn theo thể tích của điện môi lỏng. Tuy nhiên độ bền chỉ tăng khi thời gian đặt điện áp ngắn vì ở thời gian này các tạp chất nhỏ chưa kịp hình thành những mắt xích dẫn đến chọc thủng điện môi (để mắt xích kịp hình thành cần có 0,1s đến 1 s)

Sự phá hủy điện môi rắn

Các dạng chủ yếu là phá hủy điện và phá hủy nhiệt

+Phá hủy điện: Xảy ra ở nơi có điện trường tập trung mạnh, xảy ra đột ngột và có tính chất cục bộ. Phá hủy điện có các đặc tính sau:

-Thời gian phát triển nhanh (μs)

-Độ bền điện ít bị ảnh hưởng của tần số điện áp đặt vào, của nhiệt độ và (nếu trường đồng nhất) của kích thước điện môi và điện cực.

+Phá hủy nhiệt điện: Xuất hiện khi năng lượng nhiệt thoát ra từ điện môi (do tổn hao điện môi) lớn hơn năng lượng có khả năng phân tán. Khi đó có sự phá vỡ về sự cân bằng nhiệt, làm vật liệu nóng lên tới nhiệt độ làm nóng chảy hay đốt nóng điện môi. Sự phá hủy nhiệt điện còn phụ thuộc vào độ chịu nhiệt của điện môi. Các điện môi hữu cơ có điện áp chọc thủng nhiệt điện thấp hơn so với điện môi vô cơ ở cùng điều kiện do chúng có độ chịu nhiệt kém hơn. Có thể giải thích rằng khi nhiệt độ tăng lên thì tổn hao do dòng điện xuyên thấu (dòng điện rò Ir) tăng lên vì:

$$P_r = 2\pi.f.\frac{\epsilon.\epsilon_0.S}{h}.U^2.tg\delta$$

$$\text{hay: } P_r = \frac{U^2.f.\epsilon.S}{1,8.10^{10}.h}.tg\delta_0.e^{\alpha.(t-t_0)}$$

Trong đó: $tg\delta_0$: Tang của góc tổn hao điện môi (ở nhiệt độ môi trường t_0) δ_0

α : Hệ số nhiệt của $tg\delta_0$

t_0 : Nhiệt độ môi trường

t : Nhiệt độ bị đốt nóng do tổn hao điện môi

Do nhiệt dẫn của kim loại lớn hơn nhiều so với nhiệt dẫn của điện môi nên có thể coi toàn bộ nhiệt lượng của điện môi được tỏa ra môi trường qua đường điện cực.

Công suất thoát ra: $P_t = 2.\delta.S.(t - t_0)$

Với δ là hệ số truyền nhiệt từ điện môi ra môi trường.

Ở nhiệt độ t_1 (ứng với điện áp U_1) vẽ đường cong $P_{R,U}(t)$ ta thấy nếu $t_3 > t > t_1$ thì $P_t > P_r$ tức là công suất nhiệt thoát ra vẫn lớn hơn công suất tỏa nhiệt của điện môi nên trạng thái cân bằng nhiệt chưa được thiết lập.

Ở nhiệt độ t_2 (ứng với điện áp U) điểm Q chính là điểm cân bằng nhiệt. Có thể coi U là điện áp đánh thủng nhiệt U_{dt} .

Tại điểm Q ta có: $P_r = P_t$

$$\text{hay } \frac{U^2.f.\epsilon.S}{1,8.10^{10}.h}.tg\delta_0.e^{\alpha(t-t_0)} = 2.\delta.S.(t - t_0) \quad (3.1)$$

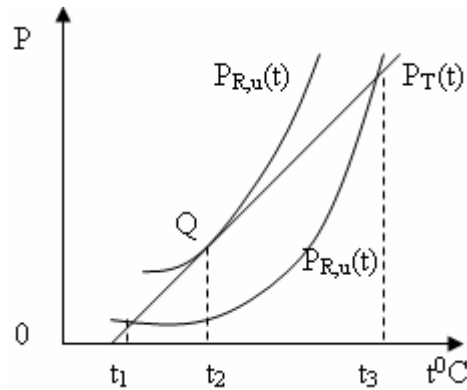
$$\text{Và } \frac{\partial P_r}{\partial t} = \frac{\partial P_t}{\partial t}$$

$$\text{hay } \frac{\alpha.U^2.f.\epsilon.S}{1,8.10^{10}.h} .tg\delta_0.e^{\alpha(t-t_0)} = 2.\delta.S. \quad (3.2)$$

Chia (3.1) và (3.2) theo 2 vế ta có: $\frac{1}{\alpha} = t - t_0 \quad (3.3)$

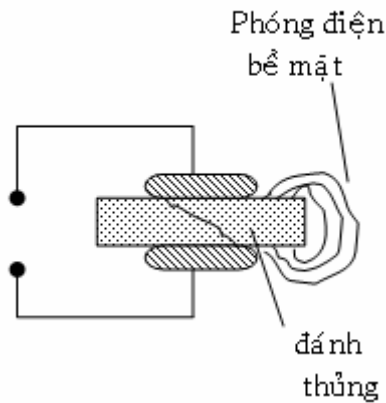
Từ (3.2) và (3.3) ta có: $U_{dt} = 1,15. 10^5 \sqrt{\frac{\delta.h}{f.\epsilon.tg\delta_0.\alpha}}$

Vậy điện áp đánh thủng nhiệt U_{dt} tăng chậm hơn bề dày h



Hình 3.10 Điểm cân bằng nhiệt Q

Sự phóng điện bề mặt



Hình 3.11 Quá trình đánh thủng điện môi

Nếu tăng điện áp giữa 2 điện cực có tấm cách điện mà cạnh bên của nó nhú ra ngoài điện cực rất nhiều có thể xảy ra 2 hiện tượng:

-Tấm cách điện không chịu nổi điện áp, ở một hoặc nhiều chỗ điện tích từ điện cực này qua điện cực kia xuyên qua tấm cách điện. Đây là sự phá hủy điện môi (hiện tượng đánh thủng)

-Khi điện áp được tăng lên đến 1 giá trị nào đó, ở cạnh mép của điện cực xuất hiện vàng quang rồi phát triển thành những tia lửa điện bò trên bề mặt tấm cách điện, tăng điện áp thì tia lửa điện càng dài và cuối cùng nối với nhau ở cạnh bên của tấm cách điện, hồ quang phóng trên bề mặt của tấm cách điện từ cực này đến cực kia. Đây là sự phóng điện bề mặt. Nó chỉ tồn tại (gây sự cố) trong thời gian ngắn, cách điện còn tiếp tục làm việc trở lại sau khi nguyên nhân gây sự phóng điện bề mặt không tồn tại nữa.(H3.11)

Sự đánh thủng do nhiệt

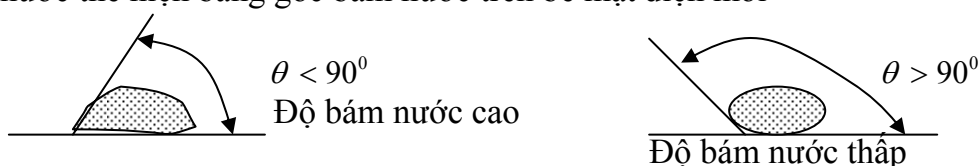
Là hậu quả của sự giảm bớt điện trở tác dụng của điện môi khi nó bị đốt nóng trong điện trường. Điều này sẽ làm tăng thành phần tác dụng của dòng điện và làm cho điện môi ngày càng nóng lên đến khi bị phá hủy vì nhiệt độ. Xảy ra khi điện dẫn của điện môi tăng, khi tồn thất điện môi lớn, khi điện môi bị đốt nóng từ một nguồn nhiệt khác, khi sự tỏa nhiệt trong điện môi xấu. Có thể giải thích như sau: Do thành phần không đồng nhất, tồn tại một phần riêng biệt nào đó của điện môi có độ dẫn điện cao, nó được coi như là một rãnh mỏng đi qua chiều dày chất điện môi. Do mật độ dòng cao ở rãnh nên chúng tỏa nhiều nhiệt lượng như thế ở rãnh này điện trở cách điện giảm và dòng điện lại tăng lên. Quá trình tăng nhiệt cứ tiếp tục cho tới khi vật liệu điện môi bị phá hủy do nhiệt theo toàn bộ chiều dày (ở nơi yếu nhất).

Đặc điểm: chỗ bị đánh thủng thường là chỗ tỏa nhiệt kém nhất, điện áp đánh thủng giảm khi nhiệt độ môi trường tăng cao hoặc khi kéo dài thời gian tác dụng của điện áp. Ở một nhiệt độ xác định nào đó xảy ra đánh thủng do điện, sau đó có phát nóng phụ trong điện môi, bắt đầu có quá trình đánh thủng do nhiệt.

3.1.5 Các yếu tố của môi trường ảnh hưởng đến điện môi

Tính hút ẩm

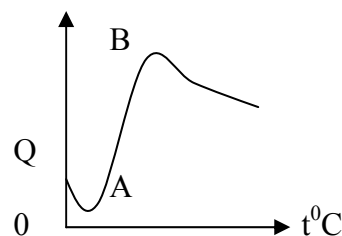
Độ bám nước thể hiện bằng góc bám nước trên bề mặt điện môi



Hình 3.11 Góc θ càng nhỏ thì độ bám nước càng cao

Để bảo vệ bề mặt của điện môi có cực khỏi bị tác động của độ ẩm thì trên bề mặt của nó phải phủ thêm một lớp điện môi không thấm nước.

Điện trở suất của điện môi xấp xỉ bị giảm mạnh bởi ảnh hưởng của độ ẩm có chứa tạp chất có tính phân ly với tính dẫn điện cao.



Hình 3.12. Quan hệ giữa điện trở suất với nhiệt độ

Quan hệ giữa điện trở suất với nhiệt độ được thể hiện ở hình 3.12. Khi nhiệt độ tăng mức phân ly của tạp chất trong nước tăng do đó điện trở suất giảm. Sau đó là thời gian loại bỏ nước, điện trở suất tăng tới điểm B (giai đoạn sấy khô). Ở nhiệt độ sau điểm B thì điện trở suất giảm xuống.

Ở điện áp xoay chiều thì $tg\delta$ có độ nhạy cao với độ ẩm: nó tăng rất nhanh khi độ ẩm của vật liệu gia tăng, dẫn đến hệ số điện môi cũng tăng theo.

Tăng khả năng làm việc của cách điện ở nhiệt độ cao là hết sức quan trọng. Trong máy điện và các thiết bị điện việc tăng tính chịu nhiệt thường được xác định bằng độ chịu nhiệt của vật liệu cách điện cho phép nhận được công suất lớn hơn mà không thay đổi kích thước. Nhiệt độ công tác tăng lên đặc biệt quan trọng ở các thiết bị nâng, thiết bị điện trong máy bay... ở đó cần giảm trọng lượng và kích thước tối đa, nó còn liên quan tới các biện pháp phòng cháy, phòng nổ trong công nghiệp dầu mỏ ngành than.

Tính chịu lạnh của điện môi

Là khả năng cách điện ở nhiệt độ thấp (60°C đến 70°C): ở nhiệt độ thấp tính cách điện tốt hơn ở nhiệt độ thường, nhưng cách điện trở nên giòn, cứng. Thử cách điện dưới nhiệt độ thấp thường đi kèm với tác động của độ rung.

Tính dẫn nhiệt của điện môi

Là một trong những dạng chuyển nhiệt từ nơi có nhiệt độ cao đến nơi có nhiệt độ thấp hơn dẫn đến sự cân bằng với nhiệt độ. Tính dẫn nhiệt ảnh hưởng đến độ bền khi có phá hủy nhiệt điện được biểu thị bằng hệ số nhiệt dẫn Λ .

Sự nở nhiệt của điện môi

Được đánh giá qua hệ số nở nhiệt $\alpha_t = TK = \frac{1}{l} \cdot \frac{\partial l}{\partial t}$ với α_t càng nhỏ thì vật liệu có

tính nở nhiệt càng cao và ngược lại. Điện môi hữu cơ có α_t lớn hơn điện môi vô cơ nên các linh kiện chế tạo từ điện môi vô cơ có kích thước ổn định hơn khi nhiệt độ thay đổi.

Tính chất hóa học của điện môi

Khi điện môi làm việc lâu dài, nó không được phép bị phá hủy, không gây ra ăn mòn kim loại tiếp xúc với nó, không liên kết với các vật chất khác như không khí, nước, kiềm, axit... Độ bền vững dưới tác động của tất cả các ảnh hưởng nói trên ở mỗi điện môi rất khác nhau: vật chất có cực dễ hòa tan trong chất lỏng có cực, còn vật chất không cực dễ hòa tan trong chất lỏng không cực. Vật chất có cấu trúc đường thẳng hòa tan dễ dàng hơn vật chất có cấu trúc không gian.

Sự hóa già

Tính chất của VLCD (chủ yếu của vật liệu hữu cơ) trong thời gian vận hành bị giảm sút liên tục, ta nói VLCD bị hóa già. Quá trình hóa già thực chất là kết quả của những sự biến đổi hóa chất xảy ra nhanh hoặc chậm do điều kiện vận hành tác động. Những yếu tố quan trọng nhất ảnh hưởng đến sự hoá già là:

-Nhiệt độ: tốc độ của phản ứng hoá học tăng với nhiệt độ theo hàm mũ, sự giảm sút tính chất cách điện gia tăng rất mạnh khi nhiệt độ tăng.

-Những tác dụng hóa học tác động lên VLCD phát sinh từ những VLCD gần bên (như sơn tẩm, dầu...) từ môi trường bao quanh VLCD (như chất bản thể khí, ozon, ẩm) từ vật liệu điện cực và các quá trình hóa học khác (oxy hóa, bay hơi ...).

-Những tác động cơ học trong quá trình chế tạo, quá trình vận hành.

Sự hóa già có thể thể hiện qua tuổi thọ L

$$L_{\theta} = L_{\theta_0} \cdot 2^{(\theta_0 - \theta) / b}$$

Trong đó L_{θ} : tuổi thọ ở nhiệt độ θ ($^{\circ}\text{C}$) ; $b = 8, \dots, 12$ hằng số của VLCD

L_{θ_0} : tuổi thọ ở nhiệt độ so sánh ví dụ nhiệt độ ứng với cấp chịu nhiệt

Điều kiện nghiệm đúng của biểu thức là: θ phải nhỏ hơn nhiệt độ làm cho bản chất của sự hoá già biến đổi, như vậy hơi nhỏ hơn θ_{\max} (nhiệt độ lớn nhất của tính chịu nhiệt). Biểu thức trên còn nghiệm đúng đối với tất cả vật liệu cách điện hữu cơ (cao su, nhựa...).

Những VLCD có gốc gốm sứ và khoáng sản, cũng như thủy tinh không biểu hiện sự hóa già. Trong trường hợp vận hành gián đoạn thì có thể vượt quá nhiệt độ ứng với cấp chịu nhiệt mà tuổi thọ không bị suy giảm.

Những quá trình hóa học chủ yếu gây nên sự hóa già của VLCD có thể là: sự oxy hóa, sự trùng hợp, sự khử trùng hợp, sự thủy phân, bay hơi.

-Sự oxy hóa: làm cho trong VLCD sinh ra những chất mang tính chất axit, chúng làm suy giảm tính chất điện của VLCD và đẩy nhanh quá trình hóa già bằng tác dụng xúc tác.

-Sự trùng hợp: (chủ yếu trong nhựa tổng hợp) làm giảm tính chất cơ học, VLCD trở nên giòn, từ đó những thông số điện bị suy giảm theo.

-Sự thủy phân: những phân tử nước làm cấu trúc phân tử bị lỏng lẻo

-Sự bay hơi: những sản phẩm làm mềm hoặc dễ bay hơi thì thoát đi sẽ làm VLCD bị giòn, co ngót, tính chất cơ bị suy giảm.

Tính chất cơ học của điện môi

Độ bền cơ học là khả năng của vật liệu không bị biến dạng dưới tác động của lực cơ học

-Độ bền kéo dãn, nén và uốn: Ở điện môi có cấu tạo dị hướng (lớp, sợi...) độ bền cơ học phụ thuộc vào hướng tác động lực. Ở thủy tinh, gốm, sứ, nhựa... độ bền nén cao hơn so với độ bền kéo dãn và độ bền uốn. Độ bền của thủy tinh tăng lên khi đường kính sợi thủy tinh giảm xuống, nhiệt độ tăng thì độ bền cơ học của điện môi giảm xuống.

-Tính giòn: Là khả năng bị phá hủy của vật liệu mà không bị biến dạng. Độ giòn còn phụ thuộc vào cấu trúc của điện môi và điều kiện thử.

Trong một số trường hợp cần kiểm tra khả năng của vật liệu không bị phá hủy (ở thời gian dài) với độ rung, thử độ rung rất quan trọng cho các vật liệu cách điện dùng cho máy bay.

Lực cơ học tác động lên điện môi trong điện trường

Sự phân cực điện môi trong điện trường gắn liền với lực tác động trong điện môi. Rõ ràng các điện cực của tụ điện nằm dưới điện áp phải kéo lẫn nhau và tạo ra lực cơ học trên điện môi của tụ điện.

$$F = dW / dh$$

Trong đó: h: bề dày điện môi

$W = CU^2/2$: năng lượng điện trường tích lũy trong điện môi

$$\text{Vậy} \quad F = \frac{U^2}{2} \cdot \frac{dC}{dh} = \frac{U^2}{2} \cdot \frac{d(\epsilon \cdot \epsilon_0 S / h)}{dh} = \frac{\epsilon \cdot \epsilon_0}{2} \cdot \frac{SU^2}{h^2}$$

$$E = U / h \quad \rightarrow \quad F = \frac{1}{2} \cdot S \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot E^2 = \frac{1}{2} \cdot S (\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot E) \cdot E$$

$$D = \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot E \quad \rightarrow \quad F = \frac{1}{2} \cdot S \cdot D \cdot E$$

$$\text{Lực tác động trên một đơn vị diện tích của bản cực} \quad f = \frac{F}{S} = \frac{1}{2} \cdot D \cdot E$$

Trường hợp một cầu điện môi có bán kính r, làm từ vật liệu có ϵ_1 đặt trong môi trường có ϵ_2 .

Nếu $\epsilon_2 > \epsilon_1$: cầu hướng tới vùng có cường độ điện trường lớn

Nếu $\epsilon_1 < \epsilon_2$: cầu bị đẩy xa khỏi vùng có điện trường lớn

Ví dụ: Giọt nước có $\epsilon_2 = 80$ trong dầu cách điện $\epsilon_1 = 2,2$ bị lôi kéo vào vùng có trường cao, bọt khí ϵ_2 trong dầu sẽ bị đẩy từ vùng trường cao ra vùng trường thấp.

Lực cơ học tác động lên điện môi có xu hướng làm biến dạng điện môi. Hiện tượng này gọi là hiện tượng điện giao.

Đặc tính nhiệt của điện môi. Tính chịu nhiệt của điện môi

Là khả năng của điện môi chịu đựng được tác động của nhiệt độ cao trong một khoảng thời gian có thể so sánh với thời gian hoạt động bình thường mà không bị thay đổi tính chất. Độ chịu nhiệt của điện môi vô cơ được xác định khi bắt đầu có sự thay đổi tính chất điện (ví dụ: tg δ tăng nhanh, hay điện trở suất giảm). Đối với điện môi hữu cơ độ chịu nhiệt được xác định khi bắt đầu có sự biến dạng cơ học kéo dãn hay uốn.

Quan hệ giữa hệ số điện môi với các yếu tố khác nhau

*** Quan hệ với tần số**

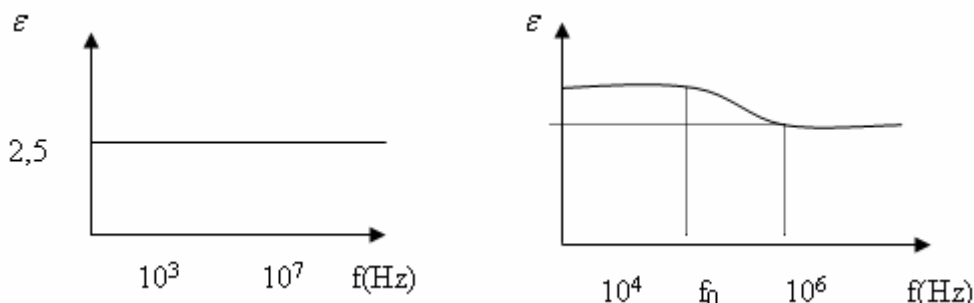
Thời gian để hoàn thành phân cực điện tử và phân cực ion rất nhanh so với thời gian đổi dấu của điện áp, thậm chí ở tần số rất cao. Vì thế phân cực điện môi chỉ có đặc điểm là biến dạng cơ cấu điện môi ở một thời gian cực ngắn. Hệ số điện môi của điện môi không cực không phụ thuộc vào tần số ở dải tần số rất rộng.

Ở điện môi có cực, khi tần số tăng, giá trị ε thoát tiên vẫn giữ giá trị không đổi nhưng tới một tần số giới hạn f₀ nào đó chúng phân cực không kịp, ε bắt đầu giảm xuống. Khi tăng mãi tần số thì ε giảm tới tới hạn ε_∞. Do tần số đủ lớn không làm các lưỡng cực xoay kịp theo tần số và nó trở nên bất động và ε = const. Có thể tính được tần số tới hạn theo công thức sau:

$$f_0 = \frac{kT}{8\pi\eta r^3}$$

trong đó: η : Độ nhớt động k: Hằng số Boltzmann

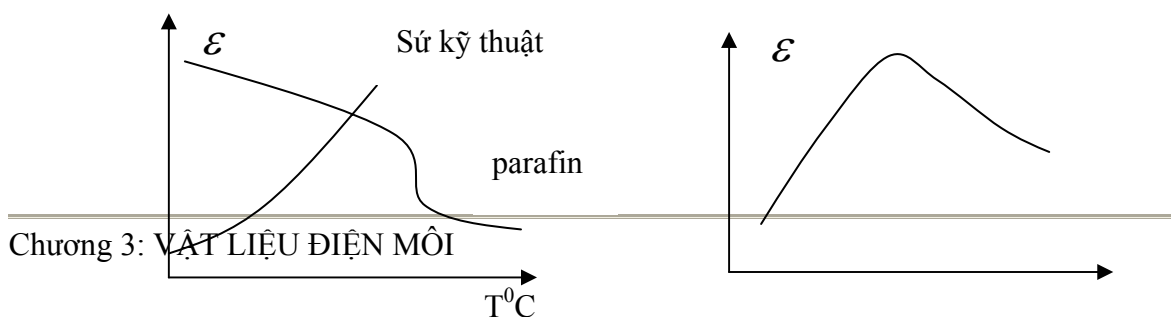
r: Bán kính phân tử T: Nhiệt độ



Hình 3.13 Quan hệ giữa hệ số điện môi với tần số

*** Quan hệ với nhiệt độ**

Ở điện môi không cực, trong quá trình phân cực điện tử nhiệt độ không làm ảnh hưởng tới phân cực. Nhưng do có sự nở nhiệt của vật chất và số lượng phân tử trong 1 đơn vị thể tích giảm xuống, vì thế ε cũng giảm xuống. Sự thay đổi ε rất mạnh được quan sát ở vật liệu tinh thể parafin. Điều này được giải thích là sự chuyển trạng thái từ rắn sang lỏng. Ở vật rắn có cấu trúc tinh thể ion không chặt (sứ kỹ thuật) phân cực điện tử, phân cực ion ... có hệ số điện môi ε không lớn và có hệ số nhiệt điện môi dương ($TK \epsilon = \frac{1}{\epsilon} \cdot \frac{d\epsilon}{dT} > 0$)



T⁰C

Hình 3.14. Quan hệ giữa điện môi và nhiệt độ.

Ở điện môi có cực: ở vùng tần số thấp sự định hướng của phân tử phần lớn các trường hợp không thực hiện được. Khi nhiệt độ tăng lên, khả năng định hướng của các phân tử dễ dàng hơn và dẫn đến ϵ tăng. Nhưng khi tiếp tục tăng nữa thì tăng dao động nhiệt của phân tử, sự định hướng khó hơn, ϵ giảm xuống. Đường cong ϵ theo nhiệt độ có điểm cực đại.

* Quan hệ với áp suất

Hệ số điện môi tăng khi áp suất tăng do sự tăng mật độ vật chất.

Đối với chất khí $\epsilon = 1 + A.p$ Trong đó: A: Hằng số ; p: áp suất

Hệ số điện môi của chất khí không cực tăng tuyến tính với áp suất.

* Quan hệ với độ ẩm

Ở điện môi hút nước (ϵ của điện môi nhỏ hơn ϵ của nước), ϵ tăng rất nhanh khi độ ẩm tăng lên. Điện dung của tụ điện khi làm ẩm tăng, nhưng khi đó điện trở suất, tổn hao điện môi lại tăng lên.

* Quan hệ với điện áp

Ở điện môi tuyến tính, hầu hết các trường hợp ϵ không phụ thuộc điện áp. Ở chất khí hay chất lỏng có cực có thể thấy hiện tượng bão hòa và ϵ ở trường cao nhỏ hơn đôi chút so với ϵ ở trường yếu.

3. 2 Điện môi thụ động

3.2.1 Phân loại

Phân loại theo trạng thái vật lý

- Vật liệu cách điện (VLCĐ) thể khí

- VLCĐ thể lỏng

- VLCĐ thể rắn: có thể phân thành các nhóm cứng, đàn hồi, có sợi, băng, màng mỏng. Giữa thể lỏng và thể rắn có một thể trung gian (thể mềm nhão) như các loại sơn tẩm

Phân loại theo thành phần hóa học

- VLCĐ hữu cơ: nhóm có nguồn gốc trong thiên nhiên như cao su, xenlulo, nhóm nhân tạo như phenol, vinyl...

- VLCĐ vô cơ: các chất khí, chất lỏng không cháy, sứ, gốm, mica, thủy tinh....

Phân loại theo tính chịu nhiệt

Khi chọn VLCĐ phải biết VLCĐ có tính chịu nhiệt theo cấp nào Y, A, E....

Cấp cách điện	Nhiệt độ cho phép (°C)	Các vật liệu cách điện chủ yếu trong từng cấp
Y	90	Giấy, vải sợi, lụa, cao su... không được tẩm sơn hay ngâm trong chất cách điện lỏng
A	105	Gồm các điện môi cấp Y nhưng tẩm sơn hoặc ngâm trong dầu để giảm tác động hóa già của điện môi
E	120	Các loại nhựa hữu cơ có chất phụ gia chịu nhiệt như : nhựa Hetinac, Epoxi, Polieste....
B	130	Các vật liệu có chứa các thành phần vô cơ như: amian,

		vật liệu thủy tinh có kết cấu với các vật liệu hữu cơ tẩm bằng các vật liệu có tính chịu nhiệt như sợi vải thủy tinh, nhựa epoxi với các phụ gia
F	150	Các vật liệu mica, sản phẩm từ sợi thủy tinh không lớp đệm hoặc các lớp đệm bằng vật liệu vô cơ
H	180	Nhựa silic hữu cơ có tính chịu nhiệt đặc biệt cao
C	Trên 180	Các vật liệu vô cơ không chứa thành phần tẩm hay kết dính như: mica, thủy tinh, sứ

3.2.2 Khái niệm cơ bản về cấu trúc và tính chất của polyme

Polyme theo cách mô tả ban đầu là phân tử của nhiều hợp phần cơ bản (từ tiếng Hy Lạp poly là nhiều và me là hợp phần). Ngày nay theo IUPAC (International Union for Pure and Applied chemistry – liên hiệp quốc tế về hóa cơ bản và ứng dụng) polyme được định nghĩa là “một hợp chất gồm các phân tử được hình thành do sự lặp lại nhiều lần của một loại hay nhiều loại nguyên tử hay một nhóm nguyên tử (đơn vị cấu tạo monome) liên kết với nhau với số lượng khá lớn để tạo nên một loạt tính chất mà chúng thay đổi không đáng kể khi lấy đi hoặc thêm vào một vài đơn vị cấu tạo”.

Polyme có thể phân loại theo nhiều cách. Sau đây là những cách phân loại thường gặp:

Phân loại theo nguồn gốc hình thành

- Polyme thiên nhiên: có thể có nguồn gốc thực vật hoặc động vật như: xenlulo, caosu, protein, enzym.
- Polyme tổng hợp: được sản xuất từ những loại monome bằng phản ứng trùng ngưng, trùng hợp như các loại polyolephin, polyvinylclorit, nhựa phenolfomandehit, polyamit, v.v

Phân loại theo cấu trúc

Theo cấu trúc phân tử người ta phân biệt polyme mạch thẳng, polyme mạch nhánh, polyme mạng lưới và polyme không gian.

Phân loại theo tính chịu nhiệt

- Polyme nhiệt dẻo: thường là các polyme mạch thẳng. Ở loại vật liệu này, dưới tác dụng của lực ở nhiệt độ nhất định, các phân tử có thể trượt lên nhau, có nghĩa là phân tử có đủ năng lượng để thắng lực tương tác giữa các phân tử. Nói cách khác, ở nhiệt độ nhất định nào đó vật liệu có thể chảy, trở thành dẻo và dưới nhiệt độ này nó rắn trở lại. Polyme nhiệt dẻo là loại vật liệu có giá trị thương mại quan trọng nhất hiện nay.

- Polyme nhiệt rắn: là những polyme hay oligome, prepolymer có khối lượng phân tử không cao lắm, có khả năng tạo thành các polyme không gian.

- phân loại theo lĩnh vực ứng dụng: theo cách này polyme được phân thành các loại sau đây: chất dẻo, sợi, cao su, sơn và keo.

3. 2.3 Polyme thẳng

Polyme mạch thẳng là những polyme trong đó các mắt xích (me) liên kết với nhau thành một mạch duy nhất. Những mạch này rất dẻo, có thể hình dung như một sợi mì dài. Đối với polyme mạch thẳng, liên kết Van Der Waals giữa các mạch đóng vai trò quan trọng. Các polyme mạch thẳng thông dụng là polyetylen, polyvinylclorit, polystyren, polymetylmetylacrylat.

Những phân tử của polyme đường thẳng có hình dáng một chuỗi xích hoặc như một sợi chỉ cho nên tỷ số giữa chiều dài với kích thước chiều ngang của phân tử rất lớn, có thể đạt tới hàng ngàn. Ví dụ phân tử polystirol với $n = 6000$ có chiều dài khoảng $1,5 \cdot 10^{-4}$ cm và chiều ngang $1,5 \cdot 10^{-7}$ cm, những phân tử của các polyme tự nhiên như xenlulôza và cao su có chiều dài khoảng 10^{-5} cm và chiều ngang là 10^{-8} cm – 10^{-7} cm. Polyme đường thẳng khá mềm và co giãn tốt, khi nhiệt độ tăng lên vừa phải thì phần nhiều các polyme đường thẳng hóa dẻo và sau đó nóng chảy. Các polyme đường thẳng có khả năng hòa tan trong những dung môi thích hợp.

3. 2.4 Compozit

Những đặc điểm chính của vật liệu composit gồm :

Vật liệu nhiều pha; các pha tạo nên composit thường rất khác nhau về bản chất, không hoà tan lẫn nhau và phân cách nhau bằng ranh giới pha, phổ biến là composit gồm hai pha. Pha liên tục trong toàn khối composit được gọi là nền , còn pha phân bố gián đoạn được nền bao bọc gọi là cốt.

Trong composit tỷ lệ, hình dáng, kích thước cũng như sự phân bố của nền và cốt tuân theo các qui định thiết kế trước.

Tính chất của các pha thành phần được kết hợp để tạo nên tính chất chung của composit. Tuy vậy, tính chất của composit không bao hàm tất cả tính chất của các pha thành phần khi chúng đứng riêng lẻ mà chỉ lựa chọn trong đó những tính chất tốt và phát huy thêm.

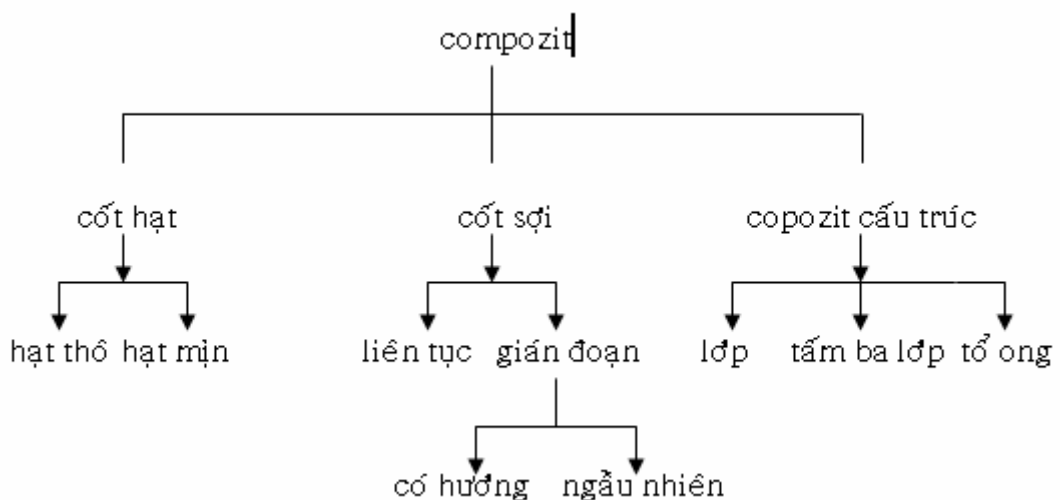
Có hai cách phân loại:

Theo bản chất của nền

- Composit nền chất dẻo
- Composit nền kim loại
- Composit nền gốm
- Composit nền là hỗn hợp nhiều pha

Theo đặc điểm của cấu trúc

- Composit cốt hạt
- Composit cốt sợi
- Composit cấu trúc



Hình 3.15 Sơ đồ phân loại composit

Cốt

Trong toàn khối compozit, xét về mặt sắp xếp thì cốt phân bố không liên tục. Về mặt bản chất, cốt có thể rất đa dạng tùy thuộc vào tính chất của compozit cần chế tạo. Riêng với loại compozit kết cấu, cốt thường là vật liệu bền ở nhiệt độ thường và nhiệt độ cao, có môđun đàn hồi lớn và khối lượng riêng nhỏ.

Trong thực tế, cốt có thể bằng kim loại (thép không gỉ, wolfram, môlipđen, ...)

Bằng chất vô cơ (cacbon, thủy tinh, gốm...).

Hình dạng, kích thước, hàm lượng và sự phân bố cốt là những yếu tố có ảnh hưởng mạnh đến tính chất của compozit.

Nền

Trong compozit, nền đóng những vai trò chủ yếu sau đây:

-Liên kết toàn bộ các phần tử cốt thành một khối compozit thống nhất

-Tạo khả năng để tiến hành các phương pháp gia công vật liệu compozit thành các chi tiết theo thiết kế.

-Che phủ, bảo vệ cốt tránh các hư hỏng cơ học và hóa học do tác dụng của môi trường ngoài.

Nền có thể là các vật liệu rất khác nhau. Về cơ bản người ta có thể phân loại nền thành 4 nhóm: polyme, kim loại, gốm và hỗn hợp.

Phụ thuộc vào tính chất compozit cần chế tạo người ta chọn loại nền phù hợp.

Tính chất của nền ảnh hưởng mạnh không chỉ đến chế độ công nghệ chế tạo mà còn đến các đặc tính sử dụng của compozit như: nhiệt độ làm việc, độ bền mỏi, khối lượng riêng, độ bền riêng và khả năng chống lại tác dụng của môi trường ngoài.

Compozit hạt

Compozit hạt có cấu tạo gồm các phần tử cốt dạng hạt đẳng trục phân bố đều trong nền. Các phần tử cốt trong trường hợp này thường là các pha cứng và bền hơn nền.

Dựa vào đặc điểm của cơ chế hóa bền trong compozit hạt, người ta phân biệt hai loại: compozit hạt thô và compozit hạt mịn.

Compozit cốt sợi

Compozit cốt sợi là loại vật liệu kết cấu quan trọng nhất. Mục tiêu chủ yếu nhất khi thiết kế chế tạo compozit cốt sợi là độ bền riêng và môđun đàn hồi riêng cao. Do vậy, cả nền và sợi đều cần có khối lượng riêng nhỏ; nền phải tương đối dẻo, còn sợi cốt phải có độ cứng và bền cao.

Tính chất của compozit cốt sợi phụ thuộc vào nhiều yếu tố: bản chất vật liệu cốt và nền, độ bền liên kết nền và cốt trên ranh giới, sự phân bố và định hướng sợi, kích thước, hình dạng của nó.

Compozit cấu trúc

Khái niệm compozit cấu trúc là để chỉ các bán thành phẩm dạng lớp, dạng tấm ba lớp được tạo thành bằng cách kết hợp các vật liệu đồng nhất với vật liệu compozit theo những phương án cấu trúc khác nhau. Vì thế, tính chất của nó phụ thuộc không chỉ vào tính chất các vật liệu thành phần mà còn vào sự sắp xếp và kiến trúc hình học của chúng trong kết cấu nữa.

Các compozit cấu trúc dạng lớp và dạng tấm ba lớp được sử dụng trong nhiều lĩnh vực: vận tải, hàng không, các công trình xây dựng kiến trúc.

3. 2.5 Hỗn hợp cách điện

Hỗn hợp cách điện (compound) là hỗn hợp của những vật liệu cách điện khác nhau như: nhựa, nhựa đường (bitum), xenlulo,... chúng được hóa lỏng bằng gia nhiệt tới nhiệt độ đủ cao, sau đó được đông cứng khi làm lạnh nên thường được gọi là compound nhiệt. Sự đông cứng xảy ra do quá trình polime hóa trong compound khi

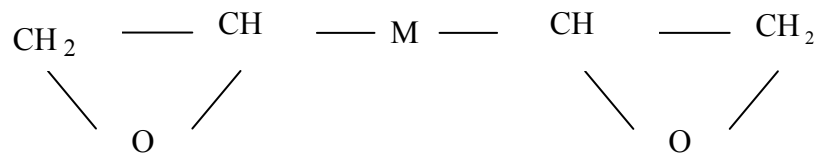
ta cho một số chất đông cứng đặc biệt vào chúng. Compound đông cứng ở nhiệt độ phòng thường được sử dụng trong các thiết bị điện tử được cấu thành từ những chi tiết nhạy cảm với sự biến động của nhiệt độ.

Theo công dụng có thể chia compound thành hai loại chính: một loại dành để tẩm và một loại dùng để rót. Loại tẩm hay dùng để ngâm, tẩm cuộn dây máy điện. Loại rót dùng để rót vào các hộp đầu cấp, vào vỏ máy biến dòng, vỏ các thiết bị điện, lấp đầy những hốc lớn, các khe giữa những chi tiết khác nhau nhằm bảo vệ cách điện khỏi độ ẩm, làm tăng điện áp đánh thủng của cách điện, tăng độ bền cơ học của chúng...

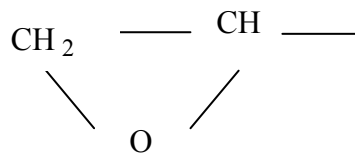
Theo tính chất có thể chia compound thành loại nhiệt cứng và loại nhiệt dẻo:

Compound nhiệt cứng là loại không bị mềm đi nữa khi đã được đông cứng khác với loại nhiệt dẻo bị mềm đi khi bị nung nóng. Loại nhiệt dẻo dùng để rót hoặc tẩm như compound bitum, chất điện môi dạng sáp, polime nhiệt dẻo... không nên dùng loại nhiệt cứng để rót vì khi đó khả năng sửa chữa các chi tiết sẽ bị loại trừ. Loại nhiệt cứng hay dùng nhất trong kỹ thuật điện tử là compound trên cơ sở nhựa epoxi (compound - epoxi) vì chúng có độ bám dính rất cao, độ co ngót lại nhỏ, độ bền nhiệt và điện tốt. Ngoài ra còn có các loại nhiệt cứng khác như compound trên cơ sở nhựa poliefia, nhựa silic hữu cơ (là chất có cấp chịu nhiệt cao nhất)....

Compound - epoxi được tạo thành từ hỗn hợp nhựa epoxi và các chất làm cứng, có thể có thêm một số chất pha loãng, chất độn (ví dụ như cát thạch anh)... Tùy theo thành phần các chất mà ta có compound đông đặc ở nhiệt độ phòng hoặc ở nhiệt độ cao hơn. Nhựa epoxi thông dụng nhất là nhựa có cấu trúc vòng epoxi như sau:

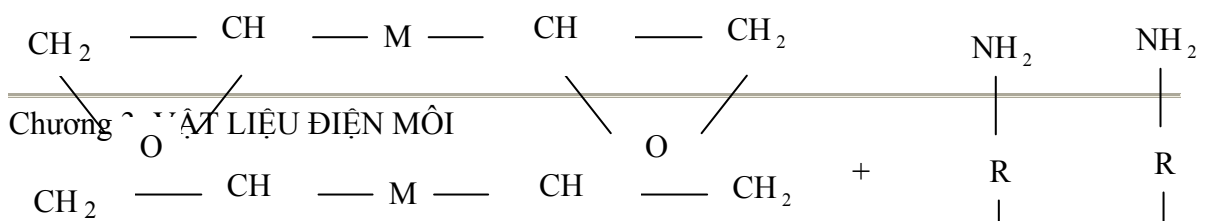


Trong đó M là ký hiệu của chuỗi nguyên tử giữa 2 vòng epoxi

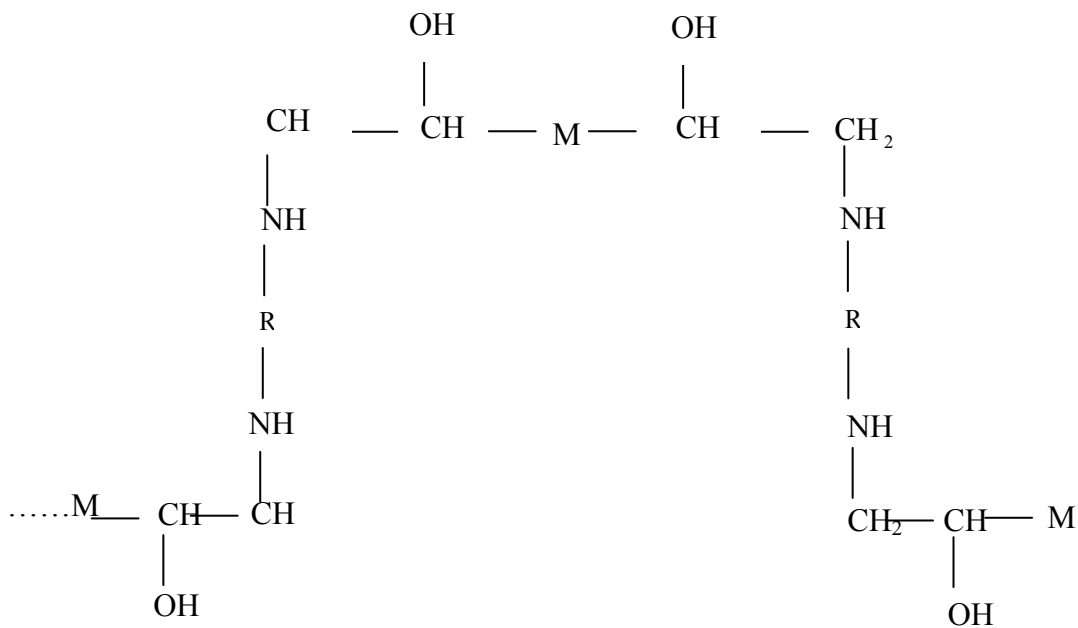


Nhựa epoxi không có đủ những tính chất kỹ thuật cần thiết, nhưng dưới ảnh hưởng của các chất đông cứng được thêm vào, nhựa epoxi sẽ có thêm một loạt các tính chất đáng quý khác để ứng dụng trong thực tế. Chất đông cứng thường dùng là amin, các axit anhydrit... Tuy nhiên sử dụng axit anhydrit cần phải nung nóng đến hơn 100°C để nhựa epoxi đông cứng, còn dùng amin thì sự đông cứng xảy ra ở nhiệt độ thấp hơn.

Quá trình đông cứng xảy ra khi cho vào nhựa epoxi chất diamin (là chất mà phân tử của chúng có chứa hai nhóm amin NH₂) NH₂-R- NH₂



Các vòng epoxi “mở ra” và xuất hiện các nhóm hydroxit – OH. Các nhóm này gây ra sự bám dính cần thiết của compound vào điện môi lưỡng cực và kim loại.



Compound – epoxi được tạo thành như trên rất cứng và có tính chống ẩm rất tốt. Chúng được sử dụng rộng rãi trong các thiết bị điện và vô tuyến điện như: máy biến thế, cuộn cảm, tụ điện, được dùng làm kín các linh kiện rời, vi mạch... Một vài dạng compound -epoxi có tính thuần nhất và trong suốt đối với các bức xạ của vùng phổ nhìn thấy và vùng cận hồng ngoại nên được làm môi trường đưa bức xạ từ Led ra ngoài.

Dưới đây giới thiệu một số các compound cách điện và phạm vi ứng dụng của chúng:

a. Trong điện công nghiệp :

Tên	Ứng dụng
1.Nhựa phenol	-Nắp đậy cho những khí cụ điện đóng ngắt hạ thế

2. Polivinylclorit	-Hộp lắp cầu chì -Hộp nút ấn ,hộp đầu nối. -Hộp công tắc. -Giá đỡ chổi than -Cổ góp -Hộp cho những khí cụ điện đóng cắt bảo vệ.
3. Polieste	-Ống cách điện -Dây buộc -Tấm giấy amiăng để làm cách điện cho những phần tử cổ góp. -Màng mỏng làm cách điện cho động cơ.
4. Xenlulohidrat	-Những lớp cách điện chịu tác dụng mạnh về cơ và nhiệt
5. Sợi thủy tinh tấm nhựa xilicon	-Dầu cách điện
6. Polizobutilen	-Vỏ bọc dây
7. Neopren	

b. Trong kỹ thuật điện tử:

Tên	Ứng dụng
1. Nhựa phenol	-Vỏ hộp radio, dụng cụ đo. -Công tắc chuyển mạch
2. Polixirol	-Khung cuộn băng ghi âm -Màn hình ,thiết bị đo vô tuyến. -Đĩa cho dây cáp cao tần.
3. Polietilen	-Cách điện dây cáp đặt dưới biển. -Bọc cách điện dây dẫn. -Dây dẫn không có điện dung -Vỏ dây cáp
4. Poliamit	-Vỏ cho dây dẫn di chuyển
5. Polizobutilen	-Băng cách điện

3. 2.6 Thủy tinh vô cơ

Thủy tinh

Là những chất vô cơ không định hình và là hệ phức tạp của nhiều loại ôxit khác nhau (chủ yếu vẫn là SiO_2).

Ở nhiệt độ bình thường các loại thủy tinh khác nhau sẽ có $\varepsilon = 3,8 \div 16,2$, $\text{tg } \delta = 0,0002$ đến $0,01$. Thủy tinh có khối lượng riêng càng lớn (có nhiều ôxit chì) thì hệ số điện môi càng cao. Thủy tinh thạch anh tinh khiết có $\text{tg } \delta$ nhỏ nhất. Các bọt khí có trong thủy tinh có ảnh hưởng quyết định đến độ bền cách điện của nó.

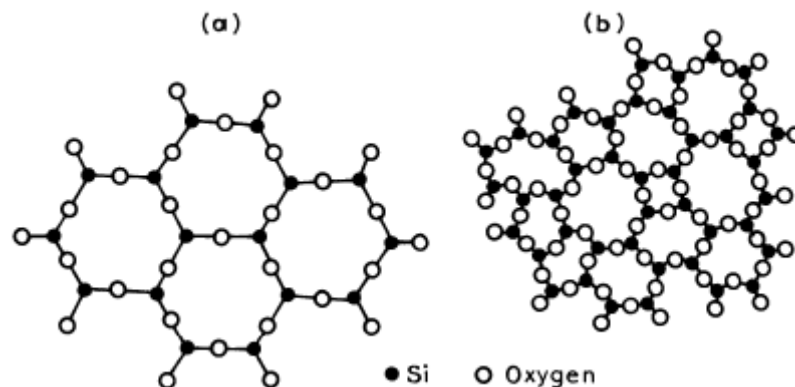
-Thủy tinh tụ điện: dùng làm điện môi cho các tụ điện dùng trong các bộ lọc cao thế, các mạch dao động của thiết bị cao tần. Loại này có ε lớn, $\text{tg } \delta$ nhỏ.

-Thủy tinh định vị: chế tạo các chi tiết định vị, sứ cách điện, chuỗi hạt cách điện.

Thủy tinh bóng đèn: chế tạo ra chân bóng đèn thấp sáng, các loại ống điện trở khác nhau. Cần có tính liên kết tốt với kim loại (W, Mo)

-Men thủy tinh: loại thủy tinh đục dễ nóng chảy có độ bóng, dính tốt dùng để phủ lên mặt ngoài của sản phẩm

-Sợi thủy tinh: là thủy tinh được kéo thành sợi nhỏ, dài và rất mềm dùng để sản xuất ra loại vải sợi thủy tinh sử dụng cho việc chịu nhiệt và cách điện. Loại này ít hút ẩm, ít đàn hồi và không chịu được mài mòn nên cách điện bằng thủy tinh dễ bị hư hỏng khi va chạm.



a/ vật liệu có tổ chức tinh thể (theo qui luật) b/ vật liệu thủy tinh (không theo qui luật)

Hình 3.16 So sánh giữa vật liệu có tổ chức tinh thể với thủy tinh

3. 2.7 Thủy tinh ceramic

Thủy tinh ceramic (gồm thủy tinh) là nhóm vật liệu tương đối mới, nó có tổ chức kết hợp giữa vô định hình và tinh thể, bao gồm một hoặc vài pha tinh thể phân bố trên nền pha vô định hình.

Giai đoạn đầu vật liệu được chế tạo theo công nghệ thủy tinh, có tổ chức gồm một pha thủy tinh đồng nhất. Tạo hình sản phẩm được thực hiện ở trạng thái lỏng hoặc mềm. Sau đó sản phẩm được xử lý nhiệt theo chế độ xác định để thực hiện quá trình tạo mầm và kết tinh.

Các loại gốm thủy tinh kỹ thuật thường dựa trên cơ sở thủy tinh gốc hệ $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Li}_2\text{O}$, $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$, $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O}$,... Để thuận lợi cho quá trình tạo mầm, người ta phải chọn thành phần thủy tinh gốc phù hợp và đưa thêm vào các chất xúc tác tạo mầm như Pt, TiO_2 , ZrO_2 , SnO_2 , sulfit, fluorit,...

Phần lớn thủy tinh gồm là vật liệu không trong suốt, nhưng cũng có loại trong suốt khi kích thước các hạt pha tinh thể rất nhỏ (bé hơn $0,4\mu\text{m}$)

Bằng cách điều khiển quá trình hình thành các vi tinh thể, người ta có thể chủ động tạo ra các loại gốm thủy tinh với các tính chất mong muốn.

Các tính chất và công dụng của gốm thủy tinh

-Gốm thủy tinh không giãn nở nhiệt: gốm thủy tinh có chứa các pha tinh thể với hệ số giãn nở nhiệt đặc biệt nhỏ hoặc có trị số âm và pha tinh thể phù hợp để có hệ số giãn nở chung của vật liệu là rất nhỏ hoặc bằng không.

Vật liệu này có độ bền xung nhiệt rất cao, ổn định kích thước khi nhiệt độ thay đổi.

-Gốm thủy tinh có độ bền cơ học cao và chịu mài mòn: gốm thủy tinh có độ bền cơ học cao, khả năng chịu mài mòn cao hơn so với vật liệu thủy tinh.

Độ bền kéo khoảng $150\text{Mpa} - 600\text{Mpa}$.

-Gốm thủy tinh dễ gia công tạo hình bằng phương pháp cơ khí: tính chất này giúp cho việc chế tạo các chi tiết lắp ghép bằng vật liệu này được thuận lợi.

-Gốm thủy tinh có tính chất điện, từ đặc biệt: các pha tinh thể có tính chất điện, từ đặc biệt được chủ động tạo ra trong gốm thủy tinh sẽ mang lại cho vật liệu các tính chất điện từ đặc biệt.

-Gốm thủy tinh sinh học: gốm thủy tinh với thành phần hóa học và thành phần pha thích hợp có thể tạo ra mối liên kết trực tiếp kiểu sinh hóa

3. 2.8 Ceramic

Là những vật liệu vô cơ dùng để sản xuất những sản phẩm có hình dáng bất kỳ. Sau đó được đưa vào nung ở nhiệt độ cao. Nếu ta chọn được thành phần cấu tạo và quá trình công nghệ chế tạo thích hợp thì vật liệu gốm sẽ có độ bền cơ cao, hệ số điện môi nhỏ, tính chịu nhiệt tốt

Gốm thường: chủ yếu là SiO_2 , Al và khoáng fenspat, dùng để sản xuất ra các loại sứ cách điện, các sản phẩm được làm ra cần phải được tráng men và nung nóng. Lớp men thủy tinh sẽ ngăn không cho hơi ẩm thấm vào các lỗ xốp, tăng điện áp chịu phóng điện cho bề mặt và giảm bớt độ rò điện theo bề mặt, loại bỏ các vết nứt nhỏ, nên bụi và các chất bẩn khác ít có khả năng bám vào. Loại này có $E_{dt} = 30 \text{ kV/mm}$, $\epsilon = 6$, $\text{tg } \delta = 0,02$; khi nhiệt độ tăng cao thì tính cách điện giảm đi rất nhiều. Dùng để làm sứ đường dây (sứ treo, sứ đứng), sứ trong trạm (sứ đỡ, sứ xuyên), sứ dùng cho thiết bị điện, sứ định vị (phích cắm), đui đèn....

Gốm cao tần:

-Sứ siêu cao tần: là vật liệu mà gốc giống gốm thường nhưng có thêm các chất phụ gia khác như BaO để làm tăng độ bền cơ và tính cách điện.

-Aluminosit (chủ yếu là Al_2O_3): có $\epsilon = 10$, $\text{tg } \delta = 0,001$ có độ bền cơ cao và chịu được nhiệt độ 1600°C .

-Steatit (chủ yếu là SiO_2 Mg) độ bền cơ tốt, $\text{tg } \delta = 0,0002$. Đặc biệt dành riêng cách điện cao tần, dùng làm VLCĐ định vị trong các thiết bị kỹ thuật vô tuyến.

Gốm dùng làm tụ điện: có hệ số điện môi cao dùng làm tụ điện như gốm TiO_2 , gốm xenhit BaO, TiO_2

3. 2. 9 Các loại khác

Điện môi khí

VLCĐ thể khí có các tính chất sau:

-Hệ số điện môi gần bằng 1

-Điện trở cách điện rất lớn và phụ thuộc điện áp

-Hệ số tổn hao phụ thuộc điện áp

-Độ bền cách điện phụ thuộc nhiều vào áp suất, các thông số hình học của điện cực, thời gian tác dụng của điện áp.

Ví dụ: khí nitơ (N_2), khí elege (SF_6)

Điện môi lỏng

VLCD thể lỏng được sử dụng ở máy biến áp, khí cụ điện đóng ngắt, trong số này dầu biến thế được sử dụng nhiều nhất.

Ưu điểm: có độ bền cách điện cao ($E_{dt} = 160 \text{ kV/cm}$) hằng số điện môi $\epsilon = 2,3$ tương đương một nửa điện môi ở thể rắn, sau khi bị đánh thủng, khả năng cách điện của dầu phục hồi trở lại, có thể thâm nhập vào các khe rãnh hẹp, vừa cách điện vừa có tác dụng làm mát, có thể sử dụng làm môi trường dập tắt hồ quang điện ở máy cắt điện.

Nhược điểm: các tính năng điện của dầu biến đổi lớn nếu dầu bị bẩn, nhạy cảm với độ ẩm vì lớp dầu ở trên mặt có tính hút ẩm. Ở nhiệt độ cao có những thay đổi hóa học tạo bọt trong dầu tính năng cách điện và làm mát đều giảm (sự hóa già), dễ cháy, điện trở suất lớn $10^{16} \Omega cm$ nhưng giảm nhanh khi nhiệt độ tăng (từ $20^\circ C$ đến $100^\circ C$ điện trở suất giảm 10 lần).

Xác định điện áp đánh thủng:

-Điện trường đồng nhất: $U_{dt} = 40 h + 25 \text{ (kV)}$ với $3 \leq h \leq 40 \text{ cm}$

-Điện trường không đồng nhất: $U_{dt} = 19 \cdot h^{3/4} \text{ (kV)}$ với $3 \leq h \leq 20 \text{ cm}$

Nếu 2 điện cực có một điện cực nhọn và một điện cực phẳng, trong trường hợp 2 điện cực đều nhọn $U_{dt} = 40 \sqrt{h}$

Ngoài ra còn có dầu tụ điện dùng để tẩm cho tụ điện giấy, tụ điện động lực (có $E_{dt} \geq 200 \text{ kV/cm}$, $\text{tg} \delta = 0,002$) dầu cáp dùng để tẩm cho các lớp cách điện trong việc sản xuất dây cáp điện lực, các điện môi lỏng tổng hợp khác như dầu sovol ($C_{12}H_5Cl_5$), hợp chất silic hữu cơ, flo hữu cơ.... Dầu thực vật: dầu gai, dầu trẩu, dầu thầu dầu.... Dưới tác dụng của nhiệt độ, ánh sáng có khả năng chuyển sang trạng thái rắn thường được sử dụng để chế tạo thành các loại sơn dầu cách điện, vải sơn hoặc tẩm cho gỗ

Điện môi rắn

- Vật liệu cách điện dạng sợi

Sợi được tẩm thì tính chất của chúng do tính chất của chất tẩm quyết định. Sợi thủy tinh có đường kính 3 đến 5 μm trơn nên cần được dùng nhựa để gắn chặt vào mặt được cách điện như nhựa dầu, nhựa silicon, nhựa teflon... tùy yêu cầu nhiệt độ cho phép (để cách điện cuộn dây ta dùng băng thủy tinh với nhựa silicon hay nhựa teflon bôi lên một hoặc cả hai mặt).

- VLCD dạng giấy và các chế phẩm từ giấy

Giấy xenlulo, giấy cứng như phíp, giấy amiăng, giấy ep tẩm nhựa.

- Cánh kiến, mica

+Cánh kiến: là loại khoáng, sản phẩm kết tinh có thể bóc thành miếng rất mỏng, có 2 loại : muxcovit và flogopit

Muxcovit ($K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$) mỏng, trong suốt có độ bền cơ điện cao, tuổi thọ điện môi nhỏ. Ở nhiệt độ cao $600^\circ C$ đến $700^\circ C$ xảy ra mất nước tinh thể dẫn đến giòn hóa vôi

Flogopit ($K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 12SiO_2 \cdot 2H_2O$) màu vàng, nâu, xanh lá cây, đen có tính chịu nhiệt cao nhưng ở $700^\circ C$ đến $800^\circ C$ thì khả năng cách điện mất hẳn

+Mica: lấy những miếng cánh kiến cỡ 10 cm^2 đến 60 cm^2 và bóc ra những miếng mỏng $0,1\text{ mm}$ đến $0,02\text{ mm}$, rồi dùng chất keo kết dính lại với nhau thì được mica. Càng nhiều cánh kiến càng ít chất keo kết dính thì mica càng cứng, càng khó biến dạng, chịu nhiệt tốt hơn. Mica được sử dụng làm VLCD cổ góp, cách điện cuộn dây trong máy điện và ở các điện trở đốt nóng. Micalex là bột cánh kiến trộn với bột thủy tinh ($E_{đt} = 150\text{ kV/cm}$) hay được dùng làm tay nắm cách điện, phích cắm ở bếp điện...

- Cao su cách điện

-Cao su lưu hóa: cao su dẻo (1% đến 3% S) đàn hồi cao, có khả năng chịu kéo. Cao su cứng (ebonit) 30% đến 35% S là vật liệu rắn chịu được tải trọng va đập. Được dùng làm vỏ bọc cách điện cho các dây dẫn dùng trong thiết bị điện, lắp ráp, bọc cách điện cho các dây dẫn và dây cáp mềm, ống cách điện dụng cụ bảo hộ (găng tay, giày, thảm cách điện....)

Nhược điểm:

+Độ bền nhiệt thấp (hóa già khi bị nung nóng, trở nên giòn nứt)

+Ít chịu được tác dụng của dầu mỡ, không chịu được tác dụng của các chất lỏng không cực tính khác như xăng, benzen

+Kém bền đối với tác dụng của ánh sáng, các tia tử ngoại làm cao su nhanh bị hóa già. Khí ôzôn gây tác hại lớn cho cao su (nhất là khi cao su bị kéo)

+Không đặt trực tiếp cao su lên kim loại bằng đồng nhất là ở nhiệt độ cao mà phải lót gián tiếp qua vải, giấy ... để tránh ảnh hưởng của lưu huỳnh

Cao su cách điện thông thường có $E_{đt} = 30\text{ kV/mm}$, $\varepsilon = 3 \div 7$, $\text{tg } \delta = 0,02$ đến $0,1$. Ebonit thường dùng làm bình ắc quy hay những nơi có cường độ dòng điện nhỏ.

-Cao su tổng hợp: Cao su butadien, escapon, cloropen...

Escapon có tính cách điện cao dùng làm điện môi cao tần $\varepsilon = 3$, $\text{tg } \delta = 0,0005$

Cloropen có tính cách điện thấp, rất bền đối với tác dụng của dầu, xăng, ôzôn và các chất ôxi hóa khác. Dùng làm vỏ bảo vệ cho cáp, các tấm đệm chịu dầu.

- Nhựa cách điện

Nhựa tổng hợp

-Polyetilen (C_2H_4)_n có độ bền về cơ tốt, chịu được axit, kiềm khi nhiệt độ tăng độ bền cơ lại giảm, dùng làm chất cách điện cho dây cáp (cáp điện thoại, cáp điện lực)

-Polystirol (C_6H_8)_n có tính cách điện cao, tính hút ẩm thấp, ở nhiệt độ thấp rất giòn có khuynh hướng tạo ra những vết nứt ở bề mặt, kém bền đối với tác dụng của dung môi, tính chịu nhiệt không cao.

-Polyvinylclorit ($\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}$)_n rất bền đối với nước, kiềm, axit loãng, dầu, xăng và rượu. Dùng làm chất cách điện cho dây dẫn, vỏ bọc bảo vệ cho cáp, vỏ bình ắc quy

-Polytetrafloetilen (C_2F_4)_n có tính chịu nhiệt cao 150°C , chịu được axit, kiềm, không cháy, không hút ẩm, không dính nước kể cả các loại chất lỏng khác, không chịu được tác dụng của vàng quang điện

-Bakelit: là loại nhựa nhiệt cứng, có độ bền cơ cao, ít co giãn, có tạo vết khi gặp sự phóng điện. Dùng để tẩm cho gỗ, chế tạo các chất dẻo, nhựa ép lớp.

-Gliptan: Độ bám dính, độ đàn hồi, độ bền hóa già do nhiệt và độ bền chống sự tạo vết cao hơn bakelit. Dùng chế tạo sơn dán, sơn tẩm cho các thiết bị điện.

-Epoxi: là một chất lỏng nhớt, khi thêm vào chất làm đông sẽ đông cứng lại thành một khối cách điện tốt và có độ chống thấm cao, bám dính tốt vào các vật liệu

khác như sứ, thủy tinh, kim loại... thường dùng để sản xuất sơn dán, sơn phủ hợp chất làm dày.

-Nhựa silic hữu cơ: có tính cách điện rất cao, tính chịu nhiệt rất tốt không thấm nước, có độ bền cơ thấp, độ bám dính kém, ít chịu được dầu và đất kiềm. Sử dụng làm sơn phủ, hợp chất cách điện, chất dẻo, sơn phủ

+Nhựa thiên nhiên

-Nhựa cánh kiến: $E_{dt} = 30 \text{ kV/mm}$, $\varepsilon = 3,56$; $\text{tg } \delta = 0,01$ dùng để chế tạo sơn dán, mica nit...

-Nhựa thông: rất giòn, màu vàng nâu $E_{dt} = 15 \text{ kV/mm}$

-Nhựa đường: $E_{dt} \leq 25 \text{ kV/mm}$, $\varepsilon = 3$, $\text{tg } \delta = 0,01$ được sử dụng để chế tạo sơn và hợp chất cách điện.

+Nhựa ép lớp: Là loại chất dẻo nhiều lớp được sử dụng làm vật liệu kết cấu và VLCĐ

-Hebinac: (ép nóng nhiều lớp giấy đã tẩm nhựa bakelit) có tính cách điện tương đối cao, độ bền cơ tốt, chống ẩm tốt, không chịu được sự phóng điện hồ quang.

-Tectolit: Có ứng suất dai và đập, độ bền mài mòn và sức chịu lực cao.

-Tectolit thủy tinh: được sản xuất trên cơ sở vải sợi thủy tinh, có độ bền nhiệt, tính chịu ẩm, độ bền cơ và tính cách điện cao.

3.3 Điện môi tích cực

3.3.1 Phân loại

Những điện môi tích cực là xec-nhet điện; piezoelectric (áp điện); piroelectric (hỏa điện); electret (điện châm) ...

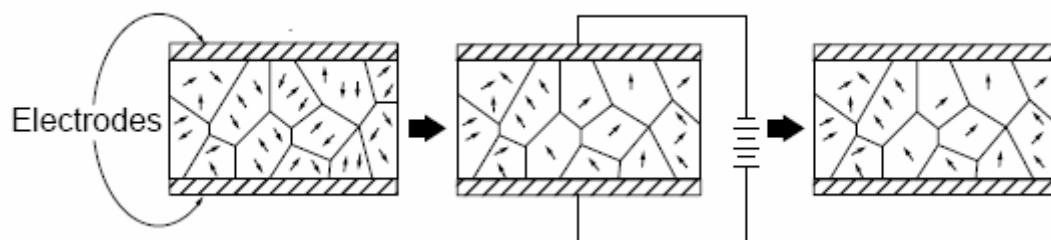
Phân loại nghiêm ngặt điện môi tích cực rất khó khăn vì sự khác biệt rõ ràng giữa điện môi tích cực và điện môi thụ động không có.

Phần lớn các trường hợp điện môi tích cực được phân loại theo thể loại hiệu ứng vật lý có thể sử dụng để điều khiển tính chất của vật liệu. Tuy nhiên loại phân loại này dù là hoàn toàn logic và có cơ sở nhưng vẫn chưa cho phép xác định một cách rõ ràng một nhóm vật liệu này với nhóm khác.

3.3.2 Chất xec-nhet điện

Chất xec-nhet điện là những vật liệu có sự phân cực tự phát, hướng của chúng có sự thay đổi trong điện trường ngoài.

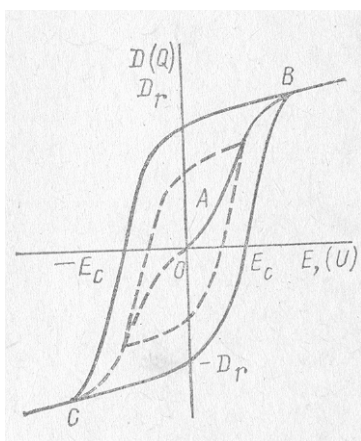
Khi không có điện trường ngoài $E=0$, xec-nhet điện có cấu trúc vùng (domen), đó là những vùng lớn có phân cực tự phát. Hướng của các mômen điện cảm trong mỗi domen khác nhau; tổng phân cực bằng 0. Khi tinh thể có kích thước đủ nhỏ nó có thể chỉ có một domen. Tuy nhiên vật liệu có kích thước lớn có thể chia thành tập hợp nhiều domen, vì trạng thái một domen không có lợi về mặt năng lượng.



Hình 3.17 Cấu trúc của chất xec - nhet điện

Khi điện trường ngoài E khác 0 mômen điện của các domen sẽ thay đổi, tạo thành hiệu ứng phân cực rất mạnh; đó là do hệ số điện môi của xec-nhet điện rất cao (có thể đến 100.000). Sự phân cực tự phát có liên quan đến quá trình sinh và tăng các domen mới, vì có sự dịch chuyển các giới hạn của các vùng, kết quả là gây ra sự tái định hướng các vectơ phân cực tự phát theo hướng của điện trường ngoài.

Hệ quả của cấu trúc vùng domen là sự phụ thuộc không tuyến tính của cảm ứng điện D vào điện trường ngoài E như hình vẽ 3.18.



Hình 3.18 Đường cong phân cực chính và đường điện trễ của xec-nhet điện .

Khi điện trường ngoài E nhỏ, sự phụ thuộc của D và E là tuyến tính (đoạn OA); sự dịch chuyển các giới hạn miền trong quá trình này mang tính thuận nghịch (đàn hồi).

Trong miền điện trường ngoài E đủ lớn (đoạn AB) sự dịch chuyển này không còn mang tính đàn hồi nữa, lúc này số lượng các domen có sự định hướng đa số (có các véc tơ phân cực tự phát tạo thành góc nhỏ nhất với hướng của điện trường ngoài) sẽ tăng

Khi giá trị đạt tương ứng với điểm B, tất cả các domen đều định hướng theo điện trường ngoài (xuất hiện trạng thái bão hoà). Trong đơn tinh thể trạng thái này tương ứng với một vùng trạng thái, đường OAB là đường cong phân cực chính của xec-nhet điện.

Nếu từ trạng thái bão hoà này giảm điện trường ngoài E về 0 thì cảm ứng điện D không trở về 0 mà về một giá trị D_r nào đó. Khi điện trường ngoài E đổi hướng thì cảm ứng điện D giảm nhanh và đến giá trị nào đó của điện trường ngoài thì cảm ứng điện trở về 0, điện trường ngoài E_c tại đó cảm ứng điện D đi qua 0 gọi là lực kháng. Tiếp tục tăng điện trường ngoài E thì xec-nhet điện về lại trạng thái bão hoà (điểm C).

Vậy sự phân cực của xec-nhet điện trong trường biến thiên tạo thành đường điện trễ. Diện tích của đường điện trễ tỷ lệ với tổn hao năng lượng trong điện môi trong một chu kỳ. Tập hợp các đỉnh vòng điện trễ nhận được ở những giá trị biên độ điện trường xoay chiều khác nhau sẽ hình thành đường phân cực chính của xec-nhet điện.

Ứng dụng của xec-nhet điện:

Trong kỹ thuật, xec-nhet điện được sử dụng theo các hướng chính sau:

- Sản xuất tụ điện tần số thấp có điện dung cao.

- Sử dụng vật liệu có miền phân cực không tuyến tính lớn để khuếch đại điện môi, điều biến và điều khiển hệ thống khác .
- Sử dụng xec-nhet điện vào kỹ thuật máy tính vào thành phần bộ nhớ.
- Sử dụng xec-nhet điện và kháng xec-nhet điện để điều biến và biến đổi tia laser
- Sử dụng để sản xuất áp điện và biến đổi hoá điện.

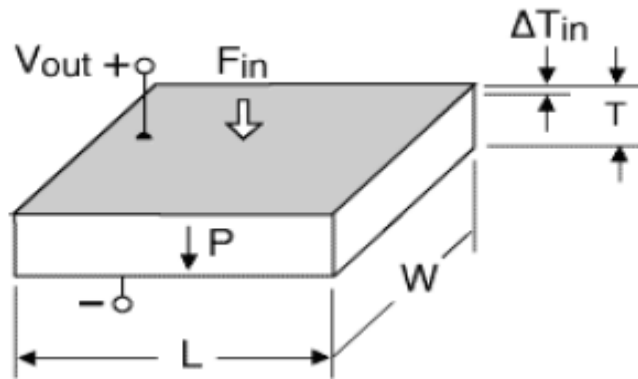
Tụ điện gốm xec-nhet điện

Cũng như bất kỳ điện môi nào để sản xuất tụ điện thông thường, cần phải có hệ số điện môi cao và ít phụ thuộc vào nhiệt độ, tổn hao thấp.

Một trong những phương pháp quan trọng để nhận được tính chất tối ưu trong khoảng nhiệt độ cho trước là sử dụng dung dịch rắn. Sự thay đổi nồng độ của các thành phần trong dung dịch rắn có thể điều khiển giá trị hệ số điện môi, dịch chuyển nhiệt độ Quiri, làm thay đổi phân cực không tuyến tính...

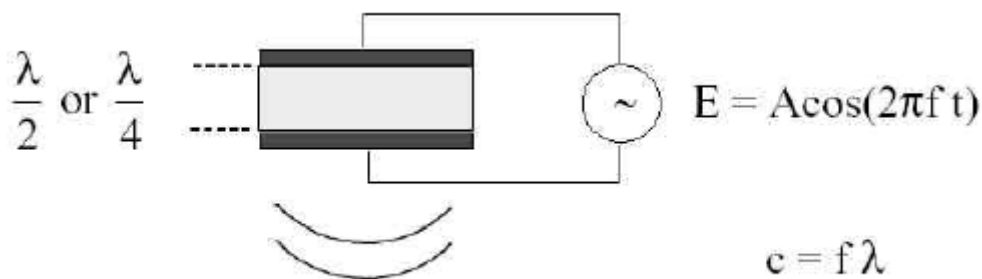
3.3.3 Piezoelectric

Hiệu ứng áp điện trực tiếp là hiện tượng phân cực điện môi dưới tác động của lực cơ học. Hiện tượng này được phát hiện vào 1880: có sự xuất hiện trên bề mặt của điện môi điện tích thay đổi tuyến tính vào lực cơ học.



Hình 3.19 Hiện tượng áp điện

Hiệu ứng áp điện thuận nghịch là hiện tượng xảy ra sự thay đổi kích thước điện môi phụ thuộc vào cường độ điện trường E theo qui luật tuyến tính. Sự biến dạng của áp điện phụ thuộc vào hướng của điện trường: khi đặt lên áp điện một trường hình sin thì ở nó cũng xuất hiện một biến dạng cùng tần số.



Hình 3.20 Hiệu ứng áp điện trong trường hình sin

Hiện nay có hàng ngàn vật chất có tính chất áp điện, trong số đó có tất cả các xec-nhet điện. Trong thực tế áp điện chỉ sử dụng trong giới hạn nhất định: một trong số

đó là đơn tinh thể thạch anh. Đây là một trong những biến dạng của dioxit silic. Ngoài ra còn có thể kể đến muối xec-nhet, nhưng sử dụng rộng rãi nhất là gốm xec-nhet.

Ở trạng thái bình thường gốm xec-nhet không xuất hiện tính áp điện do môi trường đẳng hướng có vị trí hạt tinh thể nằm hỗn loạn và phân chia chúng thành miền có hướng phân cực tự phát khác nhau, dưới tác dụng của điện trường mạnh thì sự phân cực của các miền sẽ theo hướng của điện trường, sau khi điện trường được loại bỏ vẫn giữ được độ phân cực dư; từ gốm áp điện sản xuất micro kích thước nhỏ, điện thoại, cảm biến áp suất, cảm biến biến dạng, cảm biến gia tốc và rung... Biến áp điện dùng để chế tạo điện áp cao, máy biến áp hoạt động ở tần số từ 10Khz - 500Khz, được dùng trong máy phát xung điện áp cao, nguồn của ống tia điện tử, nó có ưu điểm là gọn nhẹ cấu tạo đơn giản và kết cấu bền vững...

3.3.4 Piroelectric

Hiện tượng hỏa điện là sự thay đổi phân cực tự phát của điện môi khi nhiệt độ thay đổi. Piroelectric là các điện môi có hiện tượng hỏa điện cao

Khi nhiệt độ không thay đổi mômen phân cực tự phát của điện môi bị triệt tiêu bằng các điện tích tự do trái dấu xuất hiện do sự dẫn điện hay hấp thụ các hạt mang điện từ môi trường xung quanh. Sự thay đổi của phân cực tự phát sẽ giải phóng một số điện tích trên bề mặt điện môi và làm xuất hiện dòng điện:

$$I = S \cdot p \cdot dT/dt$$

S: diện tích bề mặt của hỏa điện

p: hệ số hỏa điện

dT/dt: tốc độ thay đổi nhiệt độ

Sự phụ thuộc vào nhiệt độ của phân cực tự phát được giải thích bởi 2 nguyên nhân: Khi nhiệt độ tăng lên sẽ làm phá vỡ trật tự của các mômen lưỡng cực (hiệu ứng hỏa điện thứ nhất), mặt khác sự đốt nóng sẽ gây ra sự thay đổi kích thước của điện môi (hiệu ứng hỏa điện thứ hai).

Tính chất hỏa điện có ở các điện môi tuyến tính như Li_2SO_4 và các xec-nhet điện. Hỏa điện tuyến tính khác với xec-nhet điện là hướng phân cực tự phát không thay đổi dưới tác động của điện trường ngoài.

Xec-nhet điện chỉ thể hiện tính chất hỏa điện ở trạng thái đơn miền vì trong mẫu đa miền tổng phân cực bằng 0 nên hiệu ứng hỏa điện không tồn tại.

Hiệu ứng hỏa điện xuất hiện ở gốm xec-nhet điện được sử dụng nhiều trong chế tạo các cảm biến nhiệt, máy thu ánh sáng; nguyên lý hoạt động của máy thu ánh sáng rất đơn giản: năng lượng ánh sáng chiếu vào bề mặt phân diện tích có tinh thể gốm xec-nhet điện sẽ đốt nóng nó, kết quả làm thay đổi hướng phân cực tự phát và làm xuất hiện dòng điện xung, một mạch điện sẽ ghi nhận dòng điện này... chúng có khả năng hoạt động trong dải tần đến 10MHz; hiệu ứng áp điện và hiệu ứng hỏa điện có thể thấy ở một số polyme, ưu điểm của chúng là công nghệ sản xuất đơn giản, giá thành rẻ, có thể chế tạo mẫu gần như với bất kỳ dạng hình học nào...

3.3.5 Electret

Electret là vật liệu điện môi có thể giữ được sự phân cực lâu dài và tạo ra môi trường xung quanh một điện trường. (nó có tính chất tương tự một nam châm vĩnh cửu).

Electret nhiệt có khả năng tạo ra một điện trường xung quanh mình một thời gian dài thậm chí hàng năm. Electret quang sản xuất từ vật liệu có tính dẫn quang

(S,CdS...) khi đồng thời tác động ánh sáng và điện trường. Electret quang có thể giữ được điện tích ở bóng tối và nhanh chóng xả ra ở ánh sáng.

Tồn tại những phương pháp khác nhau để có trạng thái electret trong điện môi. Ví dụ electret hình thành khi tác động lên điện môi chỉ có điện trường không có đốt nóng hoặc chiếu tia, điện trường được chọn lớn đến nỗi trên bề mặt của điện môi xuất hiện phóng điện của chất khí, các ion bắn phá bề mặt của điện môi và tạo ra các khuyết tật và hình thành điện tích bề mặt. Sự nhiễm điện dễ dàng hơn ở áp suất thấp.

Tuổi thọ của electret ở điều kiện bình thường có thể tới hàng chục năm. Nó giảm rất nhanh khi nhiệt độ và độ ẩm tăng lên.

Mật độ điện tích mặt của electret trong khoảng $(10^{-8} - 10^{-10}) \text{ C/cm}^2$. Trong electret có các loại điện tích liên kết và tự do khác nhau, hiệu số của chúng tạo nên điện tích bề mặt và tùy theo số lượng của chúng mà dấu của nó trên bề mặt electret thay đổi theo thời gian.

Nếu electret được đặt giữa điện cực thì điện tích cảm ứng Q_{cur} trên nó là:

$$Q_{\text{cur}} = Q / (\varepsilon h_1/h_2 + 1)$$

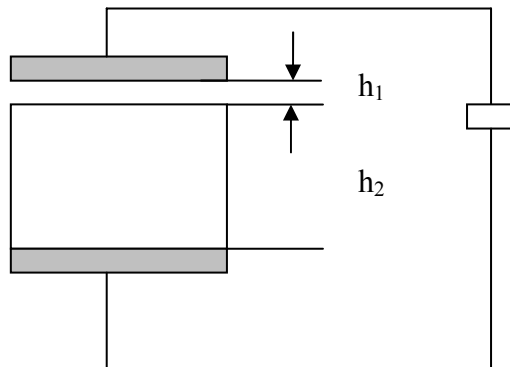
Q : điện tích trên bề mặt của electret

h_1 : khe hở giữa một bề mặt electret với điện cực

h_2 : bề dày của electret

ε : hệ số điện môi của electret

khi ta thay đổi khe hở h_1 thì điện tích cảm ứng cũng thay đổi



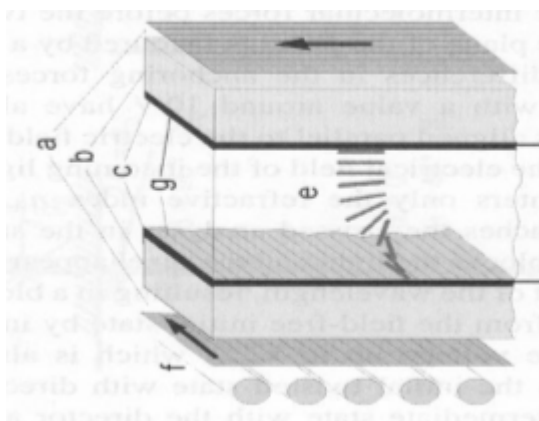
Hình 3.21 Điện tích cảm ứng electret thay đổi khi ta thay đổi khe hở h_1

Electret dùng để chế tạo micro, điện thoại, đo độ rung cơ học, đo áp suất khí quyển, đo độ ẩm không khí. Electret được sử dụng làm bàn phím trong máy tính điện tử và nhiều công dụng khác...

3.3.6 Tinh thể lỏng

Tinh thể lỏng vừa có tính chất của một vật liệu thể lỏng (như là: độ nhớt thấp, có hình dáng theo hình của bình đựng nó), vừa có tính chất của vật liệu thể rắn. Nó có khả năng điều biến ánh sáng khi đặt nó dưới tín hiệu điện.

Tinh thể lỏng có tính chất không đẳng hướng. Nó có độ nhớt thấp và có thể chảy. Tinh thể lỏng được hình thành từ những phân tử hữu cơ, có hình dáng que dài từ 20Å đến 100Å . Trên hình 3.22 có thể thấy sơ đồ cấu trúc phân tử hình que của tinh thể lỏng của một chất hữu cơ gọi là p-azoxyanioul (viết tắt là PAA)



Hình 3.24 Sơ đồ cấu tạo của tế bào tinh thể lỏng xoắn Nematic.

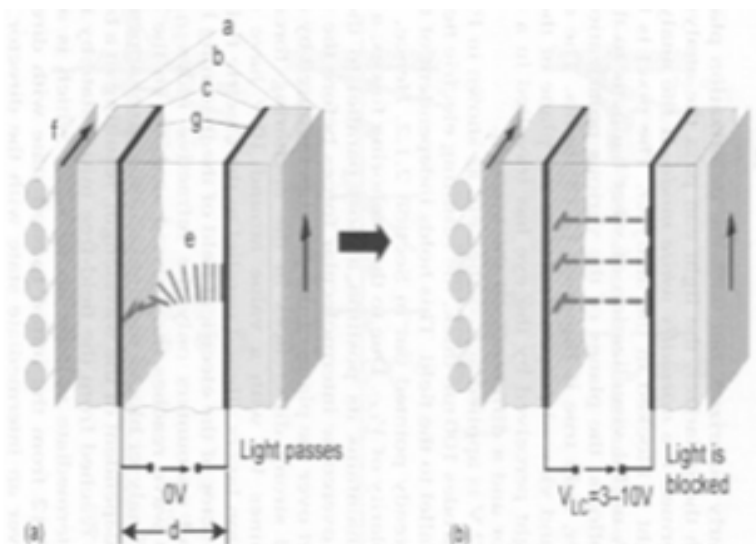
Tinh thể lỏng được chứa trong hai tấm kính được mài theo hai hướng thẳng góc nhau.

Hằng số điện môi của tinh thể lỏng có giá trị khác nhau khi phân tử lỏng song song với phương của điện trường khi thẳng góc với điện trường. Ký hiệu hằng số điện môi ϵ . Khi phân tử lỏng nằm song song với điện trường kí hiệu $\epsilon_{//}$ và khi thẳng góc có kí hiệu là ϵ_{\perp} . Thông thường $\epsilon_{//} \neq \epsilon_{\perp}$. Hiệu của chúng kí hiệu là

$$\Delta\epsilon, \Delta\epsilon = \epsilon_{//} - \epsilon_{\perp}.$$

Tinh thể lỏng được gọi là có dương tính, tức là khi đó thế năng của phân tử có giá trị nhỏ nhất.

Điện trường khi tác dụng lên tinh thể lỏng là thay đổi hướng sắp xếp của các phân tử lỏng. Hình 3.25 mô tả hướng sắp xếp của các phân tử tinh thể lỏng không có điện trường và khi có điện trường. Dưới tác dụng của điện trường các phân tử tinh thể lỏng xoay một góc 90° và trở thành song song với điện trường (Hình 3.25b).



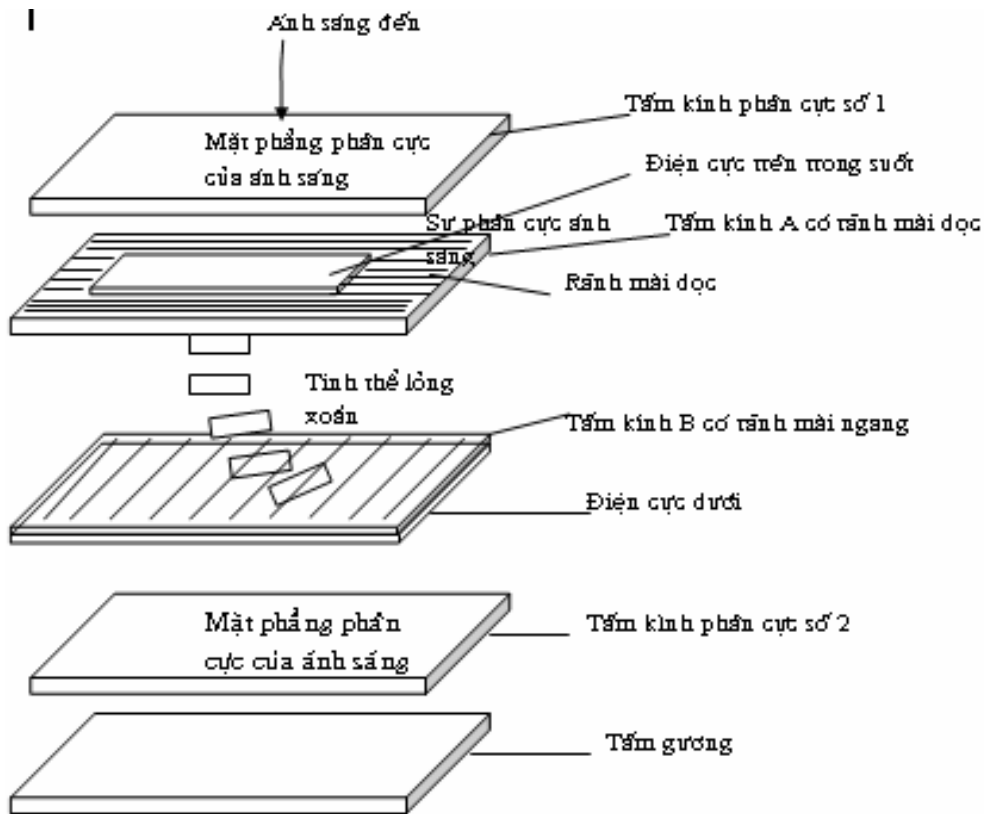
Hình 3.25 Hướng sắp xếp của các phân tử tinh thể lỏng thay đổi dưới tác dụng của điện trường

a/ tinh thể lỏng ở giữa hai kính, các phân tử tinh thể lỏng nằm song song với rãnh mài trên hai kính, điện trường bằng không.

b/ dưới tác dụng của điện trường, các phân tử lỏng xoay và trở thành song song với điện trường .

Linh kiện hiển thị dùng tế bào tinh thể lỏng

Hình 3.26 cho thấy sơ đồ cấu tạo của một loại linh kiện hiển thị dùng tế bào tinh thể lỏng Nematic xoắn.



Hình 3.26 sơ đồ cấu tạo của linh kiện hiển thị dùng tế bào tinh thể lỏng Nematic xoắn.

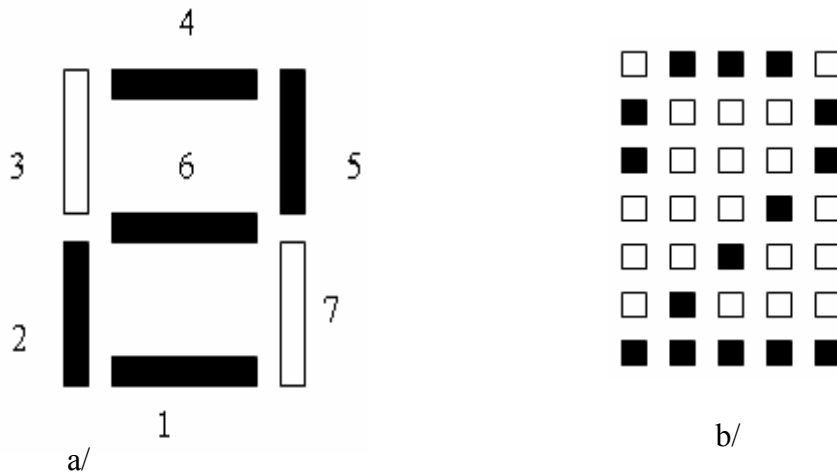
Tinh thể lỏng được chứa giữa hai tấm kính A và B đã được mài có rãnh, khoảng cách giữa hai tấm rãnh là $10\ \mu\text{m}$ rãnh mài trên hai tấm kính phẳng thẳng góc với nhau, làm cho các phân tử của tinh thể lỏng bị xoắn linh kiện hiển thị còn gồm các tấm phân cực số 1 đặt ở trên tinh thể lỏng và tấm phân cực số 2 đặt ở dưới, và dưới tấm kính này còn là một tấm gương.

Ánh sáng đến tấm phân cực số 1, mặt phẳng phân cực của tấm kính này song song với rãnh mài của tấm kính A. Ánh sáng đi qua tấm điện cực trên trong suốt _ điện cực thường là bằng chất oxyt indi-thiếc. Ánh sáng đi qua tế bào tinh thể lỏng mặt phẳng phân cực của ánh sáng xoay một góc 90° như vậy khi ánh sáng đi đến tấm kính B, thì mặt phẳng phân cực của ánh sáng song song với rãnh mài của tấm kính.

Ánh sáng đi qua tấm phân cực số 2 và đến tấm gương, phản chiếu trở lại, đi trở về qua tấm phân cực số 2, đến tế bào tinh thể lỏng mặt phẳng phân cực của ánh sáng xoay một góc 90° và cuối cùng trở về tấm kính phân cực 1. Do đó khi nhìn từ trên xuống, chúng ta có một mặt phản chiếu sáng.

Đặt điện áp lên trên hai điện cực ở tấm kính a và b điện áp xoay chiều, từ 5v đến 10v, đủ để tạo ra cường độ điện trường lớn, là cho các phân tử của tinh thể lỏng nằm theo phương của điện trường, và như vậy tế bào tinh thể lỏng không còn khả năng điều khiển ánh sáng. Mặt phẳng phân cực của ánh sáng đến sẽ không bị xoay

90° khi đi qua tế bào tinh thể lỏng, nhưng ánh sáng bị phân tán do đó không có khả năng đi qua tấm kính phân cực số 2, có rất ít phần ánh sáng được phản chiếu trở lại, khi nhìn từ trên xuống bề mặt của điện cực trên bị tối. Sở dĩ dùng điện áp xoay chiều, vì điện áp này không tạo ra sự ăn mòn điện hóa, trong khi đó điện áp xoay chiều thì tạo ra sự ăn mòn điện hóa làm cho tuổi thọ của tinh thể lỏng bị giảm. Các phân tử của tinh thể lỏng sắp xếp theo phương của điện trường, nhưng không có dòng điện chảy nhờ đó công suất tiêu thụ của linh kiện rất nhỏ. Để hiển thị số hoặc chữ, có thể sắp xếp các linh kiện hiển thị theo hai cách mô tả trên Hình 3.27



Hình 3.27 Hai cách sắp xếp tế bào tinh thể lỏng để hiển thị số
a/ với 7 phân tử ; b/ với 35 phân tử.

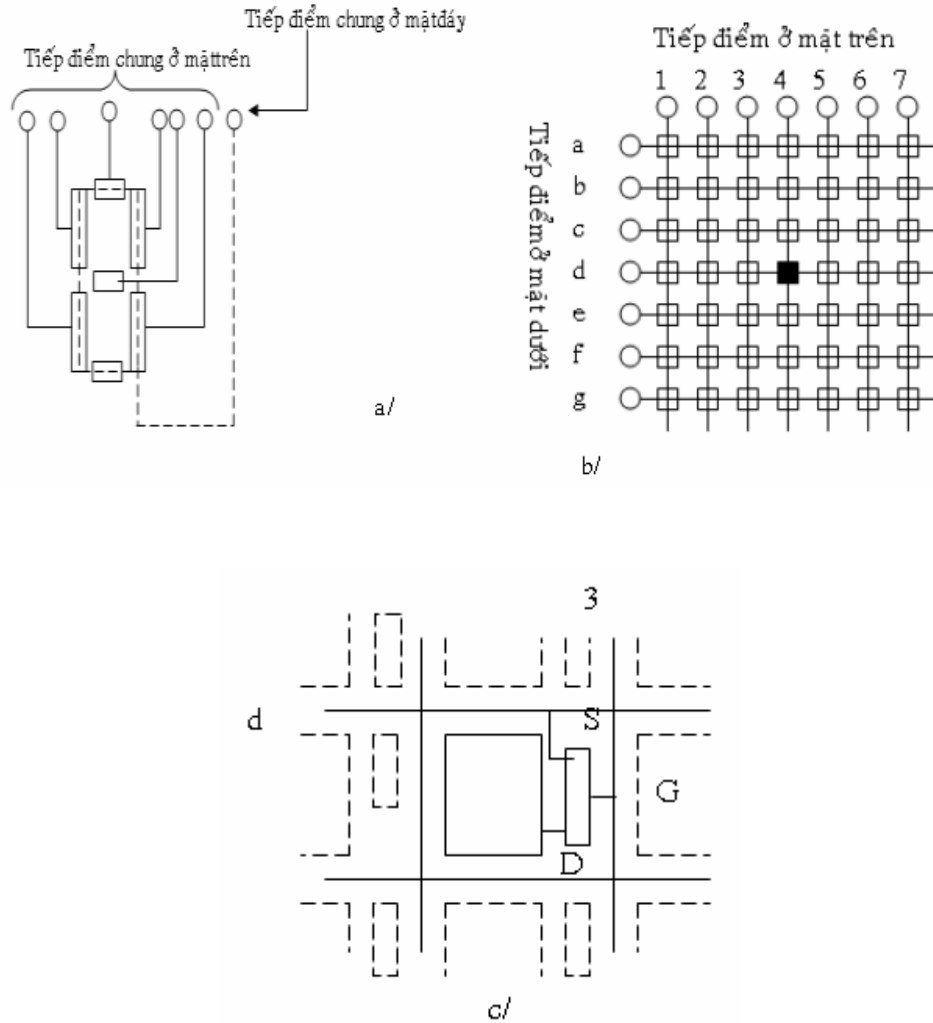
Cơ sở để lựa chọn cách sắp xếp là kích thước của con số được hiển thị nội dung và độ phức tạp của mạch. Cách sắp xếp với 7 phân tử thông thường để hiển thị số ví dụ trên mặt đồng hồ, còn cách sắp xếp 35 phân tử dùng để hiển thị các chữ cái lẫn số.

Mỗi phân tử tế bào tinh thể lỏng được đóng mở theo tín hiệu logic.

Ví dụ trên hình 3.27a, tín hiệu logic điều khiển đóng các phân tử 1, 2, 4, 5 và 6, và điều khiển mở các phân tử 3, 7. Cách này đòi hỏi tín hiệu logic với đến đúng từng địa chỉ của mỗi phân tử, và như vậy mạch sẽ trở nên vô cùng phức tạp ở màn hiển thị lớn. Trong trường hợp có số phân tử lớn, phải giảm số dây nối. Ví dụ như cách sắp xếp như trên hình 3.28a

Mỗi phân tử được nối với dây dẫn riêng đến tiếp điểm ở mặt trên; có một dây nối chung của tất cả các phân tử, đến tiếp điểm chung ở mặt đáy. Như vậy có tất cả n+1 dây nối cho n phân tử. Có thể cải tiến rất nhiều cách nối trên bằng cách nối song song các ma trận hiển thị. Như trình bày trên hình 3.28b

Tất cả các tiếp điểm trên mặt trên được nối với các phân tử được sắp xếp theo cột dọc, và tất cả các tiếp điểm trên mặt đáy thì được nối với tất cả các phân tử theo hàng ngang. Địa chỉ của các phân tử được nối đến bằng cách đặt điện áp lên cột dọc và hàng ngang nào có chứa phân tử đó.



Hình 3.28 Các cách sắp xếp địa chỉ hiển thị
 a/ địa chỉ đơn giản ; b/ địa chỉ theo ma trận
 c/ địa chỉ ma trận với MOST

Ví dụ đặt điện áp +2V lên cột dọc số 4, và -2V lên hàng ngang d, sẽ làm cho phần tử được đóng và được hiển thị, (ô vuông tô đen trên hình 3.28b) có thể thấy rằng số lượng dây dẫn được giảm rất nhiều, ví dụ cần số phần tử hiển thị là $n \times n$, thì số lượng dây dẫn chỉ cần $2n$. Tuy nhiên cách sắp xếp này đòi hỏi phải quét liên tục áp xung lên các cột dọc và hàng ngang, qui trình nối mạch có thể thực hiện như sau: đặt điện áp +u lên cột 1 và đồng thời đặt điện áp -u lên một phần tử nào đó cần đóng nằm trong các hàng ngang a – g mà thuộc cột 1. Sau một thời gian địa chỉ t_a , điện áp xung +u được đặt lên cột 2 và một điện áp xung -u được đặt lên các hàng ngang và như thế tiếp tục đến cột 3. Tổng thời gian quét bằng tích của t_a và số cột dọc, và tổng thời gian này được giới hạn dưới, ví dụ $40 \mu s$.

Một khả năng có thể kéo dài thời gian đóng của mỗi phần tử hiển thị lớn hơn thời gian địa chỉ t_a bằng cách đặt mỗi MOST vào mỗi hàng, tức là mỗi MOST cho một phần tử, như thấy trên hình 3.28c địa chỉ được gởi đến phần tử (nét vẽ liền) bằng cách nối cổng g vào cột dọc 3, điện áp từ nguồn S lấy từ hàng d được chuyển đến kênh d, và phần tử được đóng. Điện tích của điện dung trong MOST cần có một thời gian để thoát qua phần tử tinh thể lỏng, cường độ dòng tiêu thụ rất nhỏ, nhờ đó thời gian đóng còn kéo dài sau khi đã cắt điện áp. Linh kiện có phức tạp hơn nhưng

đạt được yêu cầu là kéo dài thời gian hiển thị ,công nghệ chế tạo màng mỏng bằng silic vô định hình sẽ làm giảm khó khăn về sự phức tạp của cấu tạo của linh kiện.

3.3.7 Vật liệu sử dụng trong lĩnh vực laser

Laser là nguồn bức xạ quang, có tính chất định hướng cao và mật độ năng lượng lớn. Nguyên tắc tác động của laser là hiện tượng cưỡng bức bức xạ. Nó đồng thời phát xạ theo tần số và phát sóng điện từ bằng một số lượng rất lớn nguyên tử hay phân tử dưới tác động của điện từ trường ngoài. Bản thân từ laser được ghép bằng các chữ cái đầu của cụm từ Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

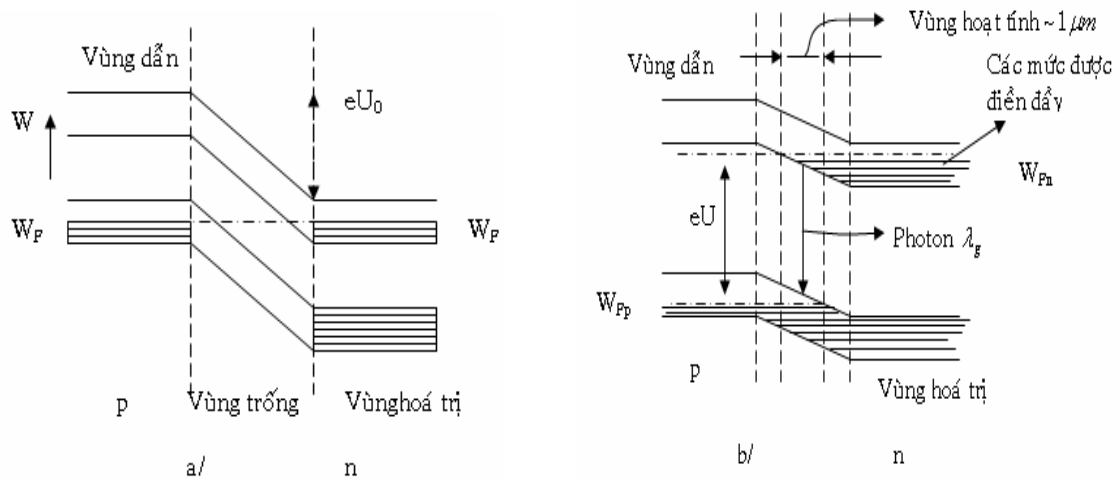
Laser có nhiều loại :laser rắn, laser khí, laser bán dẫn.

Laser rắn là loại laser mà môi trường hoạt tính là chất rắn,thường là các điện môi dạng tinh thể hoặc vô định hình có dạng hình trụ tròn.VD: laser rubi dùng rubi là tinh thể nhôm Al_2O_3 trong đó một số ion Al^{+3} đã được thay bằng các ion Cr^{+3} .Thanh rubi có dạng hình trụ dài 100-300mm,đường kính tới 30-50mm.Laser dùng các nguyên tố đất hiếm như Neodym,Dysprozi,Samari,Erbium...

Laser khí là laser sử dụng hoạt chất là các chất khí .Chất khí ở đây có thể bao gồm những chất khí tồn tại ở nhiệt độ thường (Argon,Neon,Krypton,Xenon...), cũng có thể là những chất hơi do vật chất được nung nóng bốc hơi,ví dụ hơi kim loại.

Laser bán dẫn (Điốt laser)

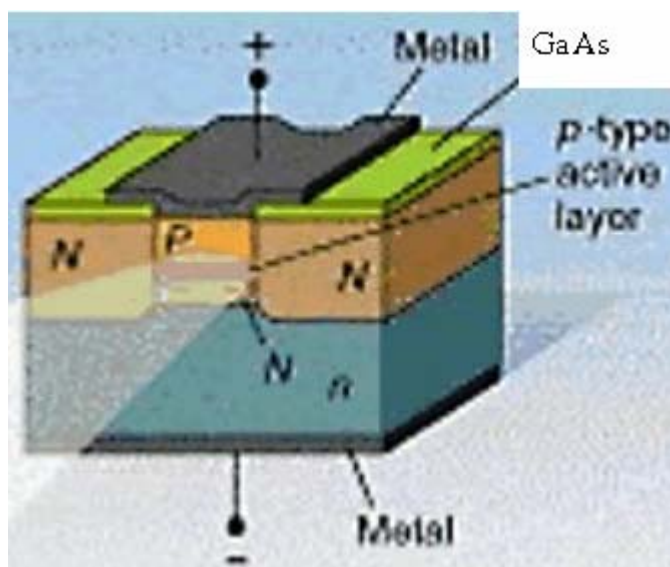
Hình 3.29a trình bày sơ đồ cấu trúc các vùng năng lượng của điốt laser không có điện áp phân cực, và Hình 3.29b trình bày sơ đồ cấu trúc các vùng năng lượng của điốt laser với điện áp phân cực.



Hình 3.29 Sơ đồ cấu trúc các vùng năng lượng của điốt laser
 a/ Không có điện áp phân cực
 b/ Có điện áp phân cực thuận $eU > W_g$

Điốt laser được đặt điện áp phân cực thuận, sao cho $eU > W_g$, tất cả các mức năng lượng ở phía n đều được nâng lên, còn ở phía p thì bị hạ thấp xuống do đó chiều cao của rào chắn giảm xuống rất nhiều, như thấy trên hình 3.29b. Các hạt mang điện được phun với số lượng lớn vào vùng hoạt tính sát với mặt tiếp giáp, trong vùng này electron có thể chuyển động từ vùng dẫn đến những mức trống trong vùng hóa trị, và bức xạ photon. Để có thể tạo được vùng hoạt tính điều kiện phải là $eU > W_g$.

Sự tái hợp của electron-lỗ trống bức xạ ra photon có năng lượng gần bằng W_g , chiều dài bước sóng λ_g , nhưng quá trình này chỉ có hiệu quả ở vật liệu bán dẫn trực tiếp: do đó chỉ sử dụng vật liệu bán dẫn trực tiếp để chế tạo laser.



Hình 3.30 Sơ đồ cấu tạo của diốt laser bằng GaAs

Diốt laser gồm có tiếp giáp p^+n^+ bằng GaAs hoặc vật liệu bán dẫn trực tiếp khác, có tạp chất nhận và tạp chất cho, với mật độ $10^{24}/m^3$. Tinh thể GaAs có hai mặt đầu được xẻ rãnh rất chính xác để tạo ra mặt phẳng nhẵn, song song với nhau, gần như có thể nhìn qua được, có khả năng phản xạ.

Ngay khi U lớn hơn giá trị ngưỡng, thì có dòng điện chảy, do sự bức xạ kích thích, những photon này đi đến những mặt phẳng được xẻ rãnh; những mặt phẳng này như những tấm gương, làm cho những photon đến phản xạ trở lại vào vùng hoạt tính.

Các photon chuyển động qua vùng hoạt tính và kích thích sự bức xạ thêm photon đồng pha- cứ mỗi lần photon được bức xạ và đến mặt phẳng phản xạ như gương, thì lại một lần nữa chuyển động qua vùng hoạt tính và nhiều photon hơn được bức xạ, tất cả các photon đều đồng pha với nhau. Quá trình này cứ tiếp diễn lặp lại, sự bức xạ và sự chuyển động của photon qua vùng hoạt tính xảy ra nhiều lần, kết quả là cường độ ánh sáng được khuếch đại và bức xạ nhiều photon đồng pha.

Tuy nhiên mức độ khuếch đại ánh sáng không phải tiếp tục tăng đến vô cùng, mà bị giới hạn do hai hiện tượng: một là do một số photon bị hấp thụ vào vật liệu ở ngoài vùng hoạt tính, hai là những photon này đến các mặt phản xạ ở hai biên thì chỉ được phản xạ với tỷ lệ 1/3.

Cường độ ánh sáng sẽ ổn định ở giá trị có được khi mà quá trình khuếch đại của ánh sáng cân bằng với quá trình tổn hao. Hai mặt trước và sau của tinh thể được gia công thô nhằm để không cho photon được bức xạ về hướng của hai mặt đó.

Dòng điện ngưỡng có mật độ khoảng $10^7 A/m^2$ ở $77^\circ K$, và tăng đến $10^9 A/m^2$ ở $300K$, với điện áp phân cực thuận cỡ 1V. Như vậy công suất bức xạ cỡ $(10^7 - 10^9) w/m^2$; nếu diốt có kích thước $100 \mu m \times 100 \mu m$, thì có công suất bức xạ bằng $(10^{-1} - 10) w$, phải được giải nhiệt nhờ có tấm hấp thụ nhiệt (điều này giải thích việc diốt laser thường làm việc ở chế độ xung và ở nhiệt độ thấp).

Một số vật liệu bán dẫn trực tiếp như GaAs, InGaP và AlGaAs sử dụng để chế tạo laser ánh sáng hồng ngoại. Một lần nữa chúng ta hãy tính bước sóng của ánh sáng được bức xạ từ GaAs, cho biết năng lượng vùng cấm của GaAs bằng $W_g = 1,58 \text{ eV}$.

$$\lambda \frac{1,24}{w_g (\text{eV})} \mu\text{m} = \frac{1,24}{1,58} = 0,785 \mu\text{m}$$

(Đây là bước sóng của tia hồng ngoại).

Ví dụ : Dùng chất $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ để chế tạo diốt laser có thể bức xạ ra ánh sáng mắt người có thể nhìn thấy được $\lambda = 0,650 \mu\text{m}$, cho biết: năng lượng vùng cấm của chất $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ có thể xác định theo phương trình sau :

$$W_g = 1,424 + 1,247x \quad (\text{eV})$$

Giải : Ánh sáng nhìn được có bước sóng $\lambda = 0,650 \mu\text{m}$, thì vật liệu cần có năng lượng vùng cấm bằng:

$$W_g (\text{eV}) = \frac{1,24}{\lambda_{\mu\text{m}}} = \frac{1,24}{0,650} = 1,907 \text{ eV}$$

$$\text{Vậy} \quad 1,424 + 1,247x = 1,907$$

$$x = \frac{1,907 - 1,424}{1,247} = 0,388 \sim 0,4$$

Vật liệu cần dùng là : $\text{Al}_{0,4}\text{Ga}_{0,6}\text{As}$

Nhược điểm của laser một lớp chuyển tiếp là cần có dòng điện thuận lớn và cần phải tỏa nhiệt. Chế tạo laser có nhiều lớp chuyển tiếp phân cực có thể khắc phục các nhược điểm này.

3.3.8 Các loại khác

Các loại vật liệu điện môi tích cực khác có thể kể đến là vật liệu cho cơ học lượng tử ; tinh thể điện môi có tính chất quang không tuyến tính...

Không chỉ chất rắn mới có các tính chất của điện môi tích cực mà còn có thể có cả chất lỏng và chất khí (ví dụ như môi trường hoạt tính của laser khí)

Theo thành phần hóa học có thể có vật liệu vô cơ, vật liệu hữu cơ.

Theo cấu tạo và tính chất có thể có tinh thể và vật liệu không định hình, điện môi có cực hay không có cực...

Một số phương pháp thử nghiệm điện môi

Tính chất quan trọng nhất của cách điện là độ bền cách điện, ta phải tìm cách thử độ bền cách điện mà không làm hỏng cách điện, đó là phương pháp thử không phá hủy. Những thông số có thể đo bằng phương pháp thử không phá hủy là dòng điện rò, hệ số tổn hao, điện áp ngưỡng của ion hóa... chúng giúp ta phát hiện được biến đổi chất lượng của toàn bộ cách điện hoặc ít nhất một bộ phận lớn của cách điện.

Bằng việc đo tổn hao và điện trở cách điện, ta có thể phát hiện tình trạng hút ẩm của cách điện (các lần đo đều phải tiến hành trong những điều kiện như nhau)

Đo tổn hao bằng cầu Schering

R_1, R_2, C_2 điện trở và tụ để cân bằng cầu

Cx: cách điện cần đo

C_n : tụ chuẩn , không tổn hao

R_1 : biến trở

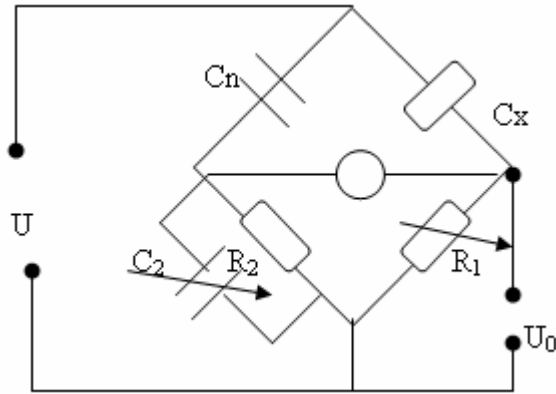
R_2 : điện trở không đổi

C_2 : tụ biến đổi

ω : tần số điện áp nguồn V

V_G : đồng hồ hiển thị cầu đo được cân bằng

Trị số $\text{tg } \delta$ đo được là $\text{tg } \delta = R_2 \cdot C_2 \cdot \omega$



Hình 3.31 Đo tổn hao bằng cầu Schering

Trong trường hợp ở bên trong cách điện có bột khí thì $\text{tg } \delta$ sẽ tăng vọt đột biến ở giá trị V_i nào đó. Đây chính là hậu quả của tổn hao ion hóa trong bột khí. Điện áp V_i gọi là điện áp ngưỡng của ion hóa.

Trong trường hợp đo với cao thế, $\text{tg } \delta$ tăng với điện áp đến một trị số nào đó và giảm dần sau đó. Lý do là hằng số điện môi tăng nhanh hơn $\text{tg } \delta$ vì có ion hóa bên trong

Trị số điện dung C_x của cách điện

$$C_x = \frac{R_2}{R_1} \cdot C_n$$

CHƯƠNG 4 VẬT LIỆU TỪ (VLT)

4.1 Các quá trình vật lý trong VLT và các tính chất của chúng

4.1.1 Các khái niệm cơ bản

Nguyên nhân chủ yếu gây nên từ tính của VLT là do các điện tích luôn luôn chuyển động theo các quỹ đạo kín tạo nên những dòng điện vòng. Nói cụ thể hơn là do sự quay của các điện tích tích xung quanh trục của mình (spin điện tử) và sự quay theo quỹ đạo của các điện tử trong nguyên tử; mômen từ của proton và nơtron nhỏ hơn hàng ngàn lần so với mômen từ của điện tử. Vì vậy tính chất từ của nguyên tử được xác định bằng điện tử, mômen từ của hạt nhân có thể bỏ qua. Mọi vật chất nếu đưa vào từ trường sẽ hình thành momen từ \vec{M} nào đó. Momen từ của một đơn vị thể tích \vec{J}_M được xác định bởi:

$$\vec{J}_M = \frac{\vec{M}}{V} = k_M \cdot \vec{H}$$

(khi vật thể không đồng nhất thì: $\vec{J}_M = d\vec{M} / dV$)

Trong đó: \vec{H} : Vectơ cường độ từ trường [A/m]

\vec{J}_M : Độ từ hóa [A/m]

V: thể tích vật [m³]

k_M :Hệ số đặc trưng cho khả năng nhiễm từ trong từ trường của vật.

k_M - là đại lượng không đơn vị, được gọi là độ từ cảm(hay hệ số phân cực từ).

Trong thể tích vật nhiễm từ tạo thành một từ trường riêng \vec{H}_i (theo hướng hoặc ngược hướng với từ trường ngoài \vec{H}). Vì vậy \vec{B} (véctơ cảm ứng từ tổng cộng trong vật chất) xác định bằng tổng các véctơ cảm ứng từ của từ trường ngoài và từ trường riêng:

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}_i = \mu_0 \cdot \vec{H} + \mu_0 \cdot \vec{J}_M = \mu_0 \cdot \vec{H} + \mu_0 \cdot k_M \cdot \vec{H}$$

$$\vec{B} = \mu_0 (1 + k_M) \cdot \vec{H} = \mu_0 \mu_r \vec{H}$$

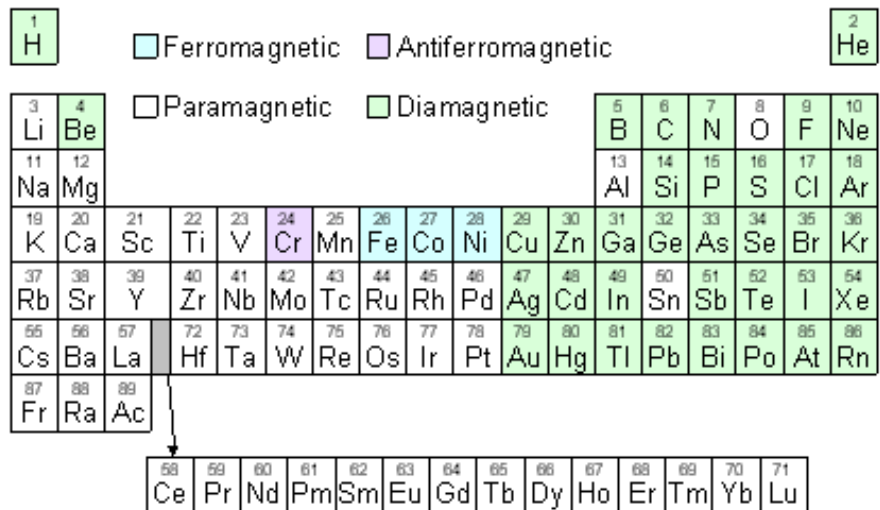
Trong đó : $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ [H/m]

$\mu_r = (1 + k_M)$ Hệ số từ thẩm tương đối, chỉ cảm ứng từ trong môi trường lớn gấp bao nhiêu lần cảm ứng từ trong chân không(không đơn vị).

$\mu = \mu_0 \mu_r$ Hệ số từ thẩm tuyệt đối [H/m]

4.1.2 Phân loại vật chất theo tính chất từ:

Vật liệu từ được phân loại theo phương diện nhiễm từ trên cơ sở những giá trị của μ_r và k_M . Theo phản ứng với từ trường ngoài và đặc tính sắp xếp từ bên trong, mọi vật chất trong thiên nhiên có thể chia thành năm nhóm: nghịch từ, thuận từ, sắt từ, kháng sắt từ và ferit từ .



Hình 4.1 Bảng tuần hoàn trình bày một số nguyên tố từ tính ở nhiệt độ phòng.

Vật chất nghịch từ (Diamagnetic): là những vật chất có độ từ cảm âm và không phụ thuộc vào hướng của từ trường ngoài. Chúng có μ_r có giá trị không đổi cho đến cường độ từ trường rất lớn. Trong vật liệu không có từ trường riêng khi không có từ trường ngoài : $\mu_r < 1$; $k_M = (- 0,1.10^{-6})$ đến $(- 10^{-5})$. Độ từ cảm của vật chất nghịch từ thay đổi rất ít theo nhiệt độ. Điều này được giải thích rằng hiệu ứng nghịch từ là quá trình bên trong nguyên tử, mà sự chuyển động nhiệt của các hạt không bị ảnh hưởng lên nó. Sự thể hiện bên ngoài của vật chất nghịch từ là chất nghịch từ bị đẩy ra khỏi từ trường không đồng nhất.

Vật chất nghịch từ là các khí trơ, H₂ và nhiều chất lỏng(nước, dầu mỡ và các sản phẩm của nó), hàng loạt kim loại như đồng vàng, bạc, thủy ngân... và phần lớn bán dẫn như silic, Ge, liên kết A^{III}B^V, A^{II}B^{VI} và các liên kết hữu cơ, tinh thể kiềm – halogen, thủy tinh vô cơ và các vật chất khác. Vật chất nghịch từ là tất cả các vật chất có liên kết đồng hóa trị và các vật chất có trạng thái siêu dẫn.

Vật chất thuận từ (Paramagnetic): là các vật chất có độ từ cảm k_M dương, không phụ thuộc vào cường độ từ trường ngoài. Ở nhiệt độ bình thường độ từ cảm k_M của vật chất thuận từ khoảng $10^{-3} - 10^{-6}$. Vì vậy hệ số từ thẩm tương đối μ_r không khác nhiều 1. Nhờ độ nhiễm từ dương của vật chất thuận từ, nếu đưa chúng vào từ trường không đồng nhất sẽ bị kéo vào Trong trường rất mạnh và ở nhiệt độ thấp trong vật chất thuận từ có thể xảy ra trạng thái bão hòa từ, trong đó tất cả mômen từ cơ bản định hướng song song với cường độ từ trường. Hiệu ứng thuận từ theo bản chất vật lý rất giống phân cực lưỡng cực của điện môi.

Hầu hết các kim loại, các chất khí ôxy, nitơ, các muối kim loại, sắt từ ở nhiệt độ cao, các chất mangan, crom, vanadi, clorua coban (CoCl_2) clorua sắt (FeCl_2) clorua canxi (CaCl_2) là vật chất thuận từ .

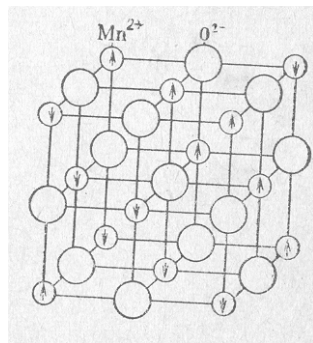
Các vật chất thuận từ rắn có độ từ cảm thay đổi theo nhiệt độ tuân theo định luật Quyri – Veiss:

$$k_M = C/(T - \theta)$$

C, và θ là hằng số của vật chất quan sát.

Vật chất sắt từ (ferromagnetic): là các vật chất có độ từ cảm rất cao tới 10^6 , và phụ thuộc rất nhiều vào cường độ từ trường và nhiệt độ. Tính chất quan trọng nhất của vật chất sắt từ là khả năng từ hóa tới bão hòa trong từ trường yếu - chúng có μ_r rất lớn, và là hàm số của cường độ từ trường. Khi không có từ trường ngoài, bên trong vật liệu đã có những miền từ hóa tự phát. Khi có từ trường ngoài, những miền này sắp xếp theo trật tự. VD: sắt, coban, niken, một số đất hiếm có $k_M = 10^6$ là vật chất sắt từ

Vật chất kháng sắt từ (antiferromagnetic): là các vật chất, ở nhiệt độ thấp hơn một nhiệt độ nào đó sẽ xuất hiện sự định hướng tự phát phản song song của các mômen từ cơ bản của các nguyên tử (hoặc ion) giống nhau trong mạng tinh thể. Vật chất kháng sắt từ có độ từ cảm dương ($k_M = 10^{-3} - 10^{-5}$) và phụ thuộc rất nhiều vào nhiệt độ. Khi bị đốt nóng, vật chất kháng sắt từ sẽ chuyển tiếp pha vào trạng thái thuận từ. Nhiệt độ của chuyển tiếp này, khi biến mất trật tự từ được gọi là điểm kháng sắt từ Quyri.



Hình 4.2 Trật tự từ trong cấu trúc MnO

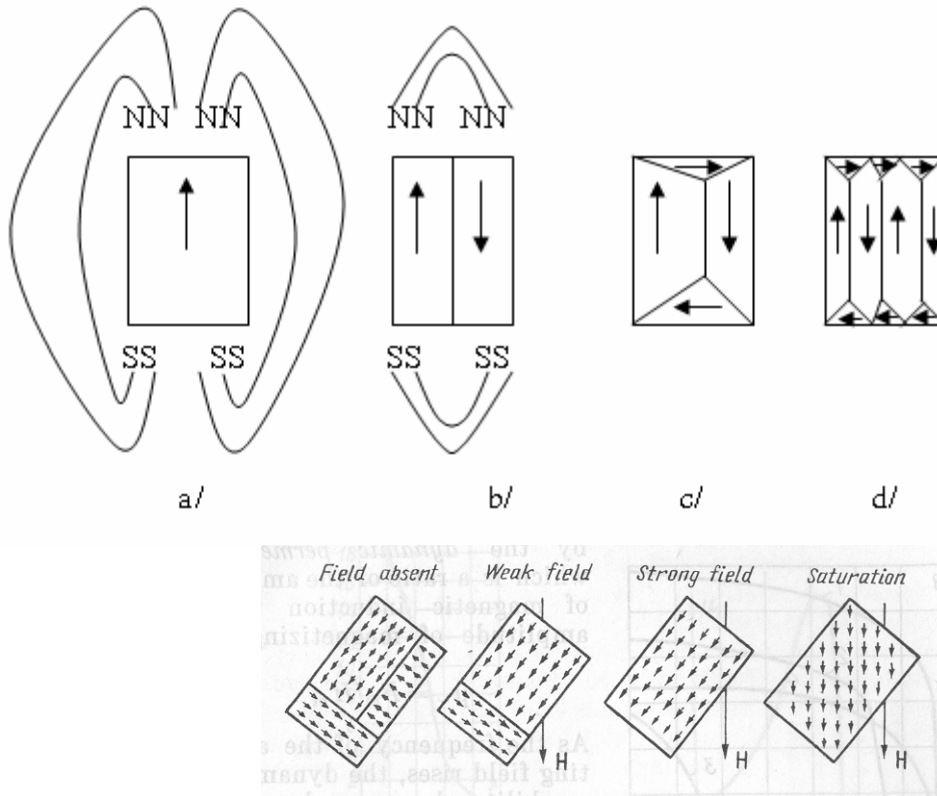
Có hàng ngàn liên kết có tính chất kháng sắt từ. Hình 4.2 là ví dụ chỉ rõ cấu trúc của MnO (có mạng tinh thể giống NaCl). Các ion của Mn có các mômen từ hướng ngược nhau. Mặc dù có sự sắp xếp trật tự từ trong tinh thể, nhưng tổng từ hoá (nhiễm từ) của tinh thể khi không có từ trường ngoài bằng 0.

Ferit từ gồm các vật chất mà tính chất từ của chúng có kháng sắt từ không triệt tiêu. Tương tự như chất sắt từ chúng có độ từ cảm rất cao, và phụ thuộc rất nhiều vào cường độ từ trường và nhiệt độ. Mặc dù vậy ferit từ có những khác biệt cơ bản với sắt từ. Tính chất của ferit từ có ở một vài hợp kim, nhưng chủ yếu là các liên kết oxit, trong đó ferit có ý nghĩa thực tế nhất.

Thuận từ, nghịch từ, kháng sắt từ có thể liên kết thành nhóm vật chất có từ tính yếu, trong khi đó sắt từ và ferit từ là vật chất có từ tính mạnh.

4.1.3 Bản chất của trạng thái sắt từ

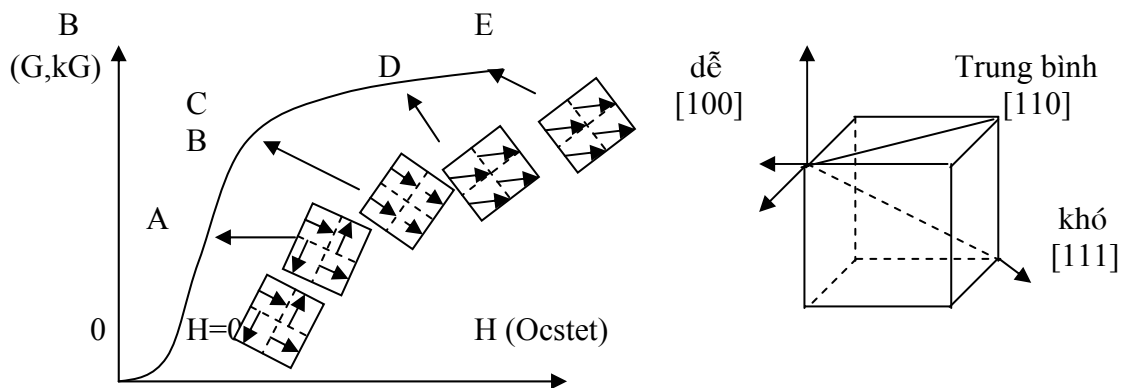
Thực nghiệm đã chỉ rõ rằng tính chất đặc biệt của trạng thái sắt từ là do cấu trúc vùng (miền) domen bên trong. Các domen là những vùng vĩ mô có thể từ hóa đến giá trị bão hòa ngay khi không có từ trường ngoài. Từ hóa tự phát của các miền là do sự định hướng song song các mômen từ của nguyên tử trong sắt từ.



Hình 4.3 Cấu trúc domen của sắt từ và sự định hướng của domen trong trường ngoài H : a/H=0 b/H nhỏ c/H lớn d/trạng thái bão hoà

Trong vật lý có hai loại lực có ảnh hưởng lớn đến các hiện tượng trong nguyên tử, đó là lực từ và lực điện. Tuy nhiên lý thuyết và thực nghiệm chỉ ra rằng lực từ rất yếu để có thể chống lại chuyển động nhiệt khi nhiệt độ lớn hơn một vài độ K. Vì thế trạng thái sắt từ xuất hiện do lực điện. Năng lượng tương tác tĩnh điện của điện tử hóa trị có thể chiếm khoảng một vài eV, và chỉ cần một năng lượng nhỏ của năng lượng này cũng đủ để đạt hiệu ứng định hướng cần thiết.

Sự phụ thuộc cảm ứng từ vào cường độ từ trường gọi là đường cong từ hóa. Để nhận được đường cong từ hóa ta xét trạng thái khử từ của mẫu (tức là sự vắng mặt từ trường ngoài thì cảm ứng từ bằng 0).



Hình 4.4 a/đường cong từ hóa b/ hướng từ hóa dễ và khó của sắt

Trên đường cong từ hóa (hình 4.4a) có những ký tự O , A , B , C , D , E để chỉ các giai đoạn của quá trình từ hóa. Trong đó xảy ra sự sắp xếp của những miền từ hóa tự phát trong vật liệu (các domen từ).

-Tại O: Cường độ từ trường bằng 0, những vùng từ hóa tự phát sắp xếp không theo trật tự, cảm ứng từ bằng 0.

-Đoạn OA: Cường độ từ trường rất nhỏ, vách của những vùng bị xô lệch. Những vùng nào ở gần từ trường ngoài hơn thì thể tích của chúng tăng lên, những vùng có sự định hướng không thuận lợi của vectơ từ hóa J_M thì thể tích giảm xuống. Sau khi loại bỏ trường yếu các vách sẽ trở lại vị trí cũ (không có J_M thừa), quá trình này có tính chất đàn hồi.

-Đoạn A-B-C: Một số vùng xoay hướng một cách rõ rệt, những vùng nào gần từ trường ngoài hơn thì xoay hướng dễ hơn, quá trình này mang tính chất không đảo ngược được. Đường cong từ hóa có độ cong lớn nhất.

-Đoạn DE: Tất cả các vùng dần dần xoay theo hướng của trường. Đây là trạng thái bão hòa.

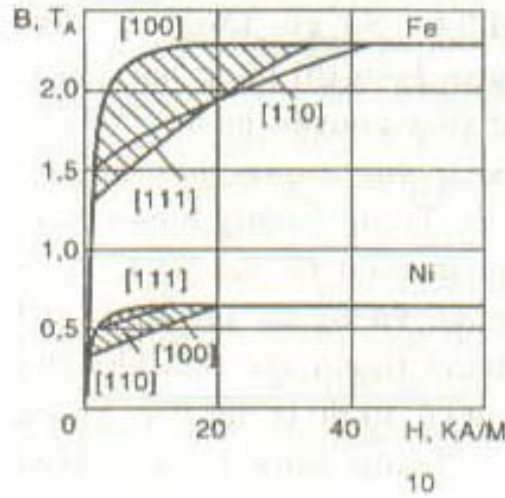
4.1.4 Các quá trình khi từ hóa sắt từ

a. Định hướng từ

Trong vật chất đơn tinh thể sắt từ tồn tại hướng từ hóa dễ và khó . Số lượng của hướng này được xác định bằng tính đối xứng của mạng tinh thể. Khi không có từ trường ngoài các mômen từ của miền tự định hướng theo một trong các trục dễ từ hóa.

Ô cơ bản của sắt là một khối vuông lập phương thể tâm. Hướng từ hóa dễ trùng với cạnh của khối vuông $[100]$ (hình 4.4b).Vậy trong tinh thể Fe có 6 hướng từ hóa dễ. Hướng không gian của đường chéo khối vuông $[111]$ là hướng khó từ hóa.Ở Niken ,ô cơ bản là một khối vuông lập phương diện tâm. Hướng của đường chéo khối vuông $[111]$ lại là hướng dễ từ hóa Trong khi đó Coban (được tinh thể hóa ở dạng lăng trụ lục giác) chỉ có hai hướng từ hóa dễ, trùng với trục

của lăng trụ, tức là mômen từ của miền khi không có từ trường ngoài chỉ có thể định hướng trong hai hướng phản song song. Loại sắt từ này gọi là vật liệu với một trục dị hướng từ.

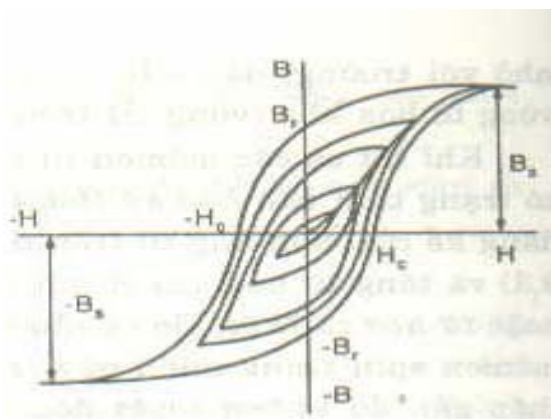


Hình 4.5 Đường cong từ hoá của Fe và Ni theo hướng tinh thể khác nhau

Để từ hóa mẫu tinh thể tới bão hòa dọc theo một trong số trục dễ từ hóa cần tốn ít năng lượng hơn so với hướng khó từ hóa (hình 4.5). Năng lượng của từ trường ngoài để xoay vectơ từ hóa của tinh thể sắt từ ở hướng dễ từ hóa sang hướng khó từ hóa được gọi là năng lượng thực tế của dị hướng từ hóa tinh thể. Năng lượng này có thể tính theo diện tích của hình giới hạn bằng các đường cong từ hóa theo các hướng tinh thể khác nhau (phần gạch chéo trong hình 4.5).

b. Từ trễ

Nếu sắt từ được từ hóa tới bão hòa B_s sau đó ngắt khỏi trường ngoài, thì cảm ứng từ không trở về không mà vẫn còn một giá trị nào đó B_r , gọi là cảm ứng từ dư (hình 4.6). Để loại bỏ được từ dư cần phải có từ trường trái dấu.



Hình 4.6 Đường vòng từ trễ ở các giá trị biên độ từ trường biến thiên và đường cong từ hoá chủ yếu

Cường độ từ trường khử từ $-H_c$ mà khi đó cảm ứng trong sắt từ tiến về không gọi là lực kháng từ.

Tăng cường độ trường tới giá trị lớn hơn – H_c gây ra sự từ hóa ngược lại, lại tới bão hòa – B_s . Với biên độ từ trường ngoài khác nhau có thể có được họ vòng từ trễ. Vòng từ trễ khi từ thông bão hòa gọi là vòng giới hạn. Nếu tiếp tục tăng cường độ từ trường diện tích của vòng từ trễ không thay đổi.

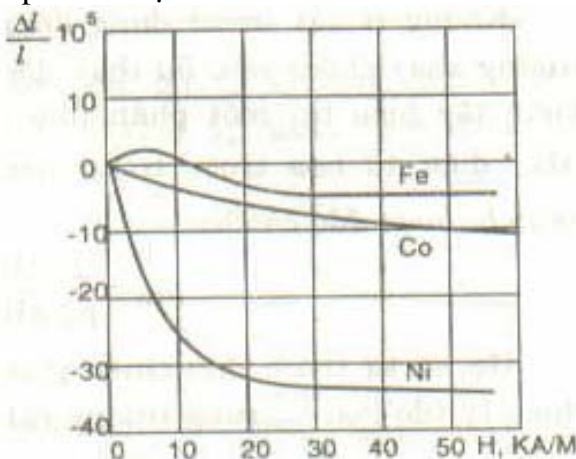
Cảm ứng từ B_r và lực kháng từ H_c là các tham số giới hạn của vòng từ trễ. Tập hợp của đỉnh các vòng từ trễ hình thành đường cong từ hóa chủ yếu của sắt từ. Đường cong từ hóa chủ yếu của vật liệu từ mềm (có H_c nhỏ) không khác nhiều đoạn đường cong khởi đầu.

c. Từ giảo

Sự thay đổi trạng thái từ của mẫu sắt từ dẫn tới sự thay đổi độ dài và hình dạng của nó, hiện tượng này gọi là từ giảo. Có hai loại từ giảo : tự phát và tuyến tính . Từ giảo tự phát xuất hiện khi có sự chuyển tiếp vật chất từ thuận từ sang sắt từ trong quá trình làm lạnh xuống dưới nhiệt độ Quiri.

Từ giảo tuyến tính được đánh giá bằng giá trị biến dạng mẫu theo hướng của từ trường: $\lambda = \frac{\Delta l}{l}$. Giá trị của λ phụ thuộc vào loại cấu trúc, hướng tinh thể, cường độ từ trường và nhiệt độ.

Từ giảo tuyến tính có thể dương hoặc âm, tức là kích thước mẫu theo hướng của từ trường khi từ hóa có thể tăng hoặc giảm. Trên (hình 4.7) là quan hệ của hệ số từ giảo tuyến tính với cường độ từ trường của các đa tinh thể sắt từ như Fe, Ni, Co. Biến dạng từ giảo xuất hiện ở từ trường bão hòa của mẫu gọi hằng số từ giảo λ_s . Như vậy từ giảo, cũng như sự dị hướng tinh thể, gây khó khăn cho quá trình từ hóa sắt từ ở trường yếu. Vì vậy vật liệu từ có hằng số dị hướng và hằng số từ giảo thấp sẽ có hệ số từ thẩm cao.



Hình 4.7 Sự phụ thuộc biến dạng từ giảo của đa tinh thể Fe, Ni, Co với cường độ từ trường ngoài

Trên hình 4.7 trong trường yếu sắt và niken có dấu của hằng số từ giảo khác nhau. Điều này được sử dụng để tạo ra hợp kim của Fe và Ni là loại permaloi có độ từ thẩm ban đầu cao . Trong Permaloi chứa khoảng 80% Ni, hệ số từ giảo theo tất cả hướng tinh thể chủ yếu gần bằng 0.

Hằng số từ giảm xuống khi đốt nóng sắt từ và sẽ giảm về 0 tại nhiệt độ chuyển tiếp vật chất vào trạng thái thuận từ (điểm Quiri)

d. Hệ số từ thẩm

Từ đường cong từ hóa sắt từ dễ dàng dựng quan hệ của hệ số từ thẩm μ với cường độ từ trường H. Hệ số từ thẩm được xác định theo công thức $\mu = \frac{B}{\mu_0 H}$

được gọi là hệ số từ thẩm tương đối.

Giá trị giới hạn của hệ số từ thẩm khi cường độ từ trường tiến về 0 gọi là hệ số từ thẩm khởi đầu μ_H . Đặc tính này có ý nghĩa rất quan trọng trong kỹ thuật khi sử dụng vật liệu từ. Có thể xác định bằng thực nghiệm hệ số từ thẩm khởi đầu ở trường yếu với cường độ từ trường khoảng 0,1A/m.

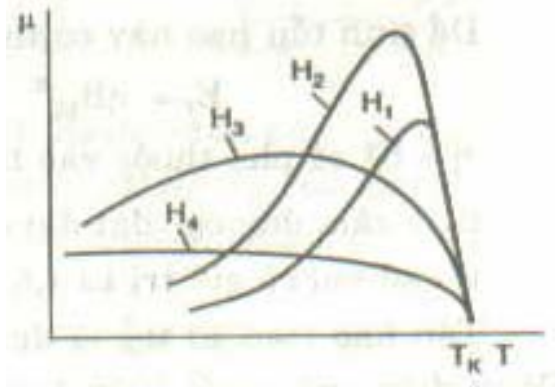
Trong vùng từ hóa thuận nghịch của sắt từ hệ số từ thẩm tuân theo công thức:

$$\mu = \mu_H + \beta H$$

β - hằng số, phụ thuộc vào bản chất của vật liệu

4.1.5 Ảnh hưởng của nhiệt độ đến từ tính của sắt từ:

Khi làm nóng sắt từ ta sẽ làm yếu vai trò trao đổi tương hỗ bên trong nó, dẫn tới quá trình phản định hướng nhiệt của mômen từ và giảm từ hóa tự phát. Khi nhiệt độ lớn hơn một nhiệt độ nào đó sẽ xảy ra sự phân chia lại cấu trúc miền, tức là từ hóa tự phát biến mất và chuyển vào trạng thái thuận từ. Nhiệt độ của chuyển tiếp pha đó gọi là điểm từ Quiri. Gần điểm từ Quiri quan sát thấy hàng loạt sự khác thường, đồng thời với sự thay đổi các tính chất không từ của sắt từ như điện trở suất, nhiệt dung riêng, hệ số nở dài, và những tham số khác.



Hình 4.8 Sự phụ thuộc μ của sắt từ với nhiệt độ ở cường độ từ trường khác nhau: $H_4 > H_3 > H_2 > H_1$ (μ_H tương ứng H_1 , còn H_4 là vùng bão hoà)

Đặc điểm của quan hệ này là hệ số từ thẩm không bằng nhau ở từ trường yếu và mạnh (hình 4.8). Hệ số từ thẩm khởi đầu μ_H có điểm max rất rõ ở nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ của Quiri đôi chút.

4.1.6 Vật liệu sắt từ trong từ trường xoay chiều:

Tổn hao từ: Từ hóa sắt từ trong trường xoay chiều dẫn tới tổn thất năng lượng, làm nóng vật liệu. Trong trường hợp tổng quát tổn hao của từ hóa là tổng của tổn hao trên vòng từ trễ và tổn hao do dòng điện xoáy.

Tổn hao trên vòng từ trễ (J/m^3) trên một chu kỳ từ hóa (chính xác hơn trên một chu kỳ thay đổi của từ trường ngoài), trên một đơn vị thể tích vật chất, xác định bằng diện tích tĩnh của vòng từ trễ: $E_r = \oint H \cdot dB$

Để tính tổn hao này có thể sử dụng công thức gần đúng có dạng:

$$E_r = \eta B_m^n \quad (4.1)$$

η : Hệ số phụ thuộc vào tính chất của vật liệu

B_m : Cảm ứng cực đại đạt được trong chu kỳ quan sát.

n : Số mũ có giá trị từ 1,6 tới 2 và phụ thuộc vào B_m .

Dòng điện xoáy xuất hiện trong môi trường dẫn do có sức điện động tự cảm tỷ lệ với tốc độ thay đổi của trường. Từ đó có thể phân biệt từ trễ tĩnh với từ trễ động: nếu như vòng từ trễ tĩnh chỉ biểu thị tổn thất trên vòng, thì từ trễ động có thêm dòng điện xoáy, tức là khi từ hóa trong trường xoay chiều, vòng từ trễ rộng ra. Trong trường hợp này tổn thất trên vòng từ trễ E_r trên một chu kỳ thay đổi của từ trường ngoài có giá trị không đổi ở dải tần số khá lớn, còn tổn thất trên dòng điện xoáy E_T tăng tỷ lệ với tần số.

Đặc tính thực tế hơn đó là công suất tích cực (tức là năng lượng tiêu tổn trên một đơn vị thời gian) được tỏa ra trong sắt từ khi từ hóa nó. Công suất tổn hao do dòng điện xoáy, xác định theo công thức thực nghiệm và có dạng:

$$P_T = E_T \cdot f \cdot V = f^2 B_m^2 V \xi \quad (4.2)$$

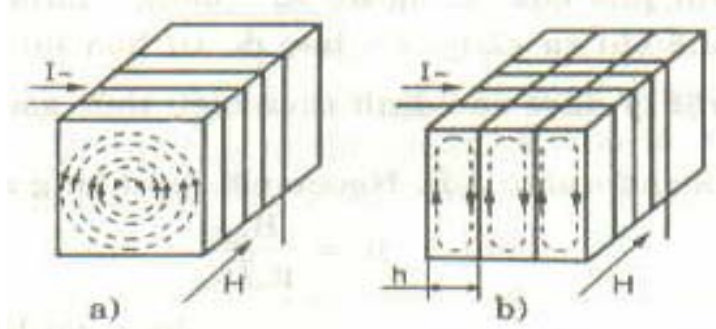
V - thể tích mẫu

ξ - hệ số, tỷ lệ với điện dẫn suất của vật chất và phụ thuộc vào kích thước hình học và kích thước mặt cắt ngang của mẫu từ hóa.

Theo (4.1) công suất tổn hao trên vòng từ trễ có thể tính:

$$P_r = \eta B_m^n f \cdot V$$

Do P_T phụ thuộc vào mũ bình phương của tần số, còn P_r chỉ phụ thuộc vào mũ bậc nhất của tần số nên ở tần số cao đầu tiên phải tính tới P_T (tức là tổn thất trên dòng điện xoáy) trước



Hình 4.9 Sơ đồ phân bố dòng điện xoáy trong mặt cắt ngang của lõi sắt từ:

a/ Lõi đặc b/ Lõi ghép

Dòng điện xoáy thường xuyên xuất hiện trong mặt phẳng, nằm vuông góc với từ trường (hình 4.9a). Dưới tác động của từ trường biến thiên trong bất kỳ một mạch vòng cũng xuất hiện suất điện động cảm ứng tỷ lệ với sự thay đổi tần số:

$$U \sim E \sim f \cdot B_m$$

Theo định luật Jun – Lens, công suất tỏa ra trong mạch vòng được xác định bằng biểu thức:

$$P_a = \gamma \cdot E^2 \sim \gamma \cdot f^2 B_m^2$$

trùng với công thức thực nghiệm(4.2)

Để giảm tổn thất trên dòng điện xoáy cần phải sử dụng vật liệu từ có điện trở suất cao, hoặc ráp lõi từ những lá được cách điện với nhau. Khi ráp lõi phải hướng theo đường cảm ứng từ, như đã chỉ rõ trên (hình 4.9b). Công suất tiêu tán do dòng điện xoáy trên một đơn vị khối lượng được tính bằng W/Kg, và có quan hệ với độ dày của lá h như sau:

$$P_T = \frac{P_r}{V \cdot d} = 1,64 \gamma \cdot h^2 f^2 B_m^2 \cdot \frac{1}{d}$$

d- khối lượng riêng của vật liệu

Tổn thất dưới tác động của từ trường là do tồn tại cảm ứng dư khi cường độ từ trường thay đổi. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, sự từ hóa sắt từ giảm xuống (sau khi loại bỏ từ trường ngoài) xảy ra không tức thời, mà sau một thời gian nào đó từ vài giây tới một vài phút. Thời gian xác định trạng thái ổn định từ tăng lên rất nhanh khi nhiệt độ giảm xuống. Hiện tượng nói trên được gọi là độ nhớt từ. Bản chất vật lý của tổn hao từ có nhiều điểm giống phân cực lưỡng cực trong tổn hao điện môi.

Hệ số từ thẩm phức và góc tổn hao

Khi đưa sắt từ vào trường xoay chiều hệ số từ thẩm phức được mô tả:

$$\mu \sim = \mu' - j \mu''$$

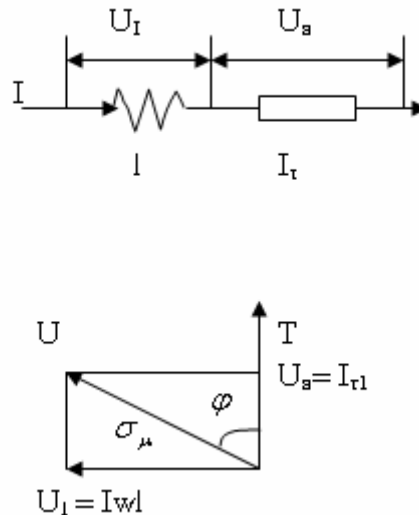
μ' được gọi là hệ số từ thẩm đàn hồi

μ'' được gọi là độ từ thẩm nhớt.

Gọi δ_μ gọi là góc tổn hao từ, ta có:

$$\operatorname{tg} \delta_\mu = \mu'' / \mu'$$

$\operatorname{tg} \delta_\mu$ có thể biểu thị qua các tham số của sơ đồ thay thế. Sơ đồ này có cuộn dây có lõi từ điện cảm L mắc nối tiếp với điện trở r_1 (hình 4.10)



Hình 4.10: Sơ đồ thay thế và biểu đồ vectơ của cuộn cảm lõi từ

Từ biểu đồ vectơ ta có:

$$\text{tg } \delta_{\mu} = \frac{U_a}{U_1} = \frac{I r_i}{I \omega L} = \frac{r_i}{\omega L}$$

Công suất tổn hao tích cực được tính theo công thức:

$$P_a = I^2 \cdot \omega \cdot L \cdot \text{tg } \delta_{\mu}$$

Hiệu ứng bề mặt: theo định luật Lens, dòng điện xoáy trong sắt từ có xu hướng làm cản trở sự biến thiên sinh ra nó. Vì vậy từ trường riêng của dòng điện xoáy thường xuyên làm yếu sự thay đổi của từ trường chính, tức là dòng điện xoáy khử tác động từ trên lõi, làm giảm cảm ứng và hiệu quả của hệ số từ thẩm.

Từ hình vẽ 4.9a ta thấy rằng tác động khử từ của dòng điện xoáy không giống nhau ở những phần khác nhau của tiết diện và có giá trị lớn nhất ở phần trung tâm. Vì vậy từ thông xoay chiều phân bố không đều theo mặt cắt của dây dẫn từ, cảm ứng từ có giá trị cực tiểu ở phần trung tâm của mặt cắt, tức là dòng điện xoáy che chắn trung tâm lõi khỏi sự xâm nhập của từ thông. Khi tần số thay đổi càng cao, hệ số từ thẩm và điện dẫn suất của môi trường từ hóa càng lớn thì từ trường bề mặt xuất hiện càng mạnh. Trong trường hợp hiệu ứng mặt ngoài thể hiện mạnh, sự thay đổi cảm ứng từ theo mặt cắt của lõi trên hướng vuông góc z với bề mặt của nó được thể hiện bằng phương trình:

$$B_m = B_{m0} \exp(-z/x)$$

B_{m0} : Cảm ứng từ trên bề mặt của lõi; Δ độ sâu xuất hiện điện từ trường ngoài vào vật chất được xác định theo công thức:

$$\Delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \cdot \gamma \cdot \mu_0 \cdot \mu}} = \sqrt{\frac{1}{\pi \cdot f \cdot \mu_0 \cdot \mu \cdot \gamma}}$$

$$\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ H/m}$$

Ví dụ: thép cacbon có $\mu = 1000$, $\gamma = 10^7 \text{ Sim/m}$, $\Delta = 0,7 \text{ mm}$ ở tần số 50Hz và $\Delta = 0,005 \text{ mm}$ ở tần số 10^6 Hz .

Do cảm ứng từ không phân bố đều theo mặt cắt của lõi từ, vì thế phải đưa ra một trị số trung bình gọi là hệ số từ thẩm hiệu dụng μ_{hd} . Nó tính trên cơ sở từ hoá đồng nhất theo mặt cắt của lõi từ:

$$\mu_{hd} = \frac{\Phi}{\mu_0 SH}$$

Φ : từ thông

S: Diện tích mặt cắt của lõi từ;

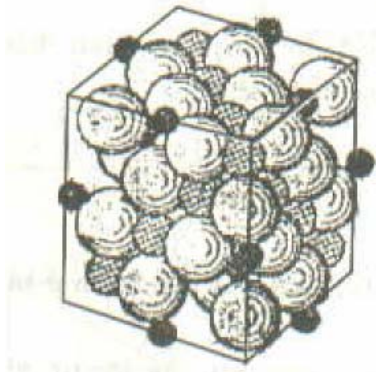
H: Cường độ từ trường ngoài

Tần số tăng lên sẽ làm tăng sức điện động cảm ứng, đồng thời tăng ảnh hưởng của dòng điện xoáy tới khử từ và làm giảm hệ số từ thẩm hiệu dụng của sắt từ. Người ta lợi dụng sự suy giảm sóng điện từ khi truyền trong môi trường dẫn để tạo màn chắn điện từ, dùng để bảo vệ mạch điện tử và dụng cụ đo lường khỏi từ trường ngoài và nhiễu radio. Để bảo vệ có hiệu quả thì độ dày của màn chắn phải lớn hơn độ sâu sóng điện từ xuất hiện trong vật chất Δ . Tại tần số radio sử dụng màn chắn kim loại từ, đồng, đồng thau, nhôm. Tuy nhiên ở tần số thấp màn chắn loại này tỏ ra không hiệu quả do cần phải có độ dày lớn (ví dụ ở tần số 50Hz thì Δ xấp xỉ 1cm). Trong những trường hợp này cần sử dụng màn chắn làm từ vật liệu sắt từ, đặc biệt làm từ permaloi có hệ số từ thẩm cao.

4.1.7 Đặc điểm của ferit từ:

Ferit từ có tên gọi xuất phát từ ferit là các liên kết hoá học của Fe_2O_3 với các oxit kim loại khác. Hiện nay người ta sử dụng hàng trăm mác ferit khác nhau, chúng khác biệt theo thành phần hoá học, cấu trúc tinh thể, những tính chất từ, điện và những tính chất khác.

Ferit được sử dụng rộng rãi nhất là ferit có cấu trúc spinen. Thành phần hoá học của ferit spinen là $MeFe_2O_4$ ở đây Me là ký hiệu chung của cation hoá trị hai nào đó. Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng, sự tồn tại hay biến mất tính chất từ được xác định bằng cấu trúc tinh thể của vật liệu trong đó có sự sắp xếp vị trí các ion của kim loại hoá trị hai và sắt giữa các ion oxy.

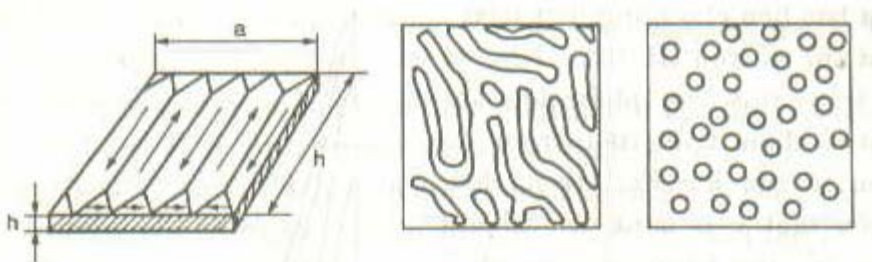


Hình 4.11 Ô cơ bản của spinen.

Ô cơ bản của spinen là một khối vuông trong thành phần của nó có tám đơn vị cấu trúc loại MeFe_2O_4 , hay có 32 ion oxy, 16 ion sắt ba và 8 ion kim loại hoá trị hai (hình 4.11).

4.1.8 Cấu trúc domen trong màng từ mỏng:

Đặc điểm của màng từ mỏng là có độ dày mỏng ($h \ll a, b$) và hướng từ hóa dễ nằm ở mặt phẳng của màng. Các domen phẳng được hình thành như thể hiện trên hình 4.12a. Những màng từ rất mỏng có cấu trúc một domen, còn khi độ dày lớn hơn 10^{-3} - 10^{-2} mm có cấu trúc nhiều domen được cấu tạo từ những miền hẹp, dài và từ hóa theo các hướng ngược nhau.



Hình 4.12: Cấu trúc miền trong màng từ mỏng

Người ta đặc biệt quan tâm tới màng đơn tinh thể của một số ferit có một trục dị hướng từ, tức là vật liệu chỉ có một trục từ hóa dễ. Nếu mặt phẳng của màng mỏng vuông góc với trục từ hóa dễ, thì khi không có từ trường ngoài, màng mỏng có cấu trúc miền ziczắc ngoằn ngoèo. (hình 4.12b).

Khi trường ngoài thẳng góc với mặt phẳng màng mỏng, hình dáng cấu trúc miền sẽ thay đổi. Nếu tăng trường ngoài bắt đầu phá vỡ cấu trúc ziczắc, các miền trở thành dạng đốm, sau đó hình thành miền trụ từ bền vững hay bọt từ (hình 4.12c). Nếu tiếp tục tăng cường độ từ trường thì bán kính trụ từ giảm dần và tới một giá trị H nào đó khi tất cả màng mỏng từ hóa đồng nhất thì miền trụ từ biến mất.

Miền trụ từ được điều khiển bằng trường ngoài và tồn tại trong một khoảng H xác định nào đó, dùng để tạo ra những hệ thống logic và bộ nhớ: giá trị (1) tương ứng sự có mặt của nó, còn giá trị (0) nó không tồn tại. Nếu trong mặt phẳng của màng tạo ra từ trường không đồng nhất, thì có thể thấy sự chuyển động của miền trụ từ dưới tác động của từ trường này; hiện nay đã tìm ra phương pháp tạo ra các miền, điều khiển chúng chuyển động, cho chúng có mặt hoặc không có mặt tại điểm cho trước. Điều khiển chuyển động đứt quãng miền trụ từ theo một hướng xác định với sự trợ giúp của bẫy permaloi có hình dáng khác nhau trên bề mặt màng từ.

4.2 Vật liệu từ

4.2.1 Phân loại:

Trên thị trường VLT được phân ra làm 2 nhóm chính: nhóm VLT mềm và nhóm VLT cứng.

+ VLT mềm: có hệ số từ thẩm lớn. Được sử dụng làm lõi thép trong mạch từ của các thiết bị điện từ.

+ VLT cứng: có tích số năng lượng từ $(B.H)_{\max}$ lớn. Được sử dụng làm nam châm vĩnh cửu. Vật liệu từ cứng là vật liệu có lực kháng từ H_c cao. Nó chỉ bị từ hóa ở cường độ từ trường rất cao.

Vật liệu từ mềm được qui ước có $H_c < 800\text{A/m}$, còn vật liệu từ cứng $H_c > 4\text{kA/m}$.

4.2.2 Vật liệu từ mềm trong từ trường không đổi và từ trường thay đổi có tần số thấp

Những yêu cầu chủ yếu đối với vật liệu

Ngoài hệ số từ thẩm cao và lực kháng từ thấp, vật liệu từ mềm phải có từ cảm bão hòa lớn, cho qua dòng từ tối đa qua diện tích mặt cắt cho trước. Nếu thực hiện được yêu cầu đó thì kích thước của hệ thống dẫn từ giảm xuống rất nhiều.

Vật liệu từ sử dụng ở trường từ biến thiên phải có tổn hao do từ hóa nhỏ nhất, thông thường dây dẫn từ được ráp từ những lá thép mỏng được cách điện với nhau. Những vật liệu lá và băng phải có độ mềm dẻo thì quá trình chế tạo các chi tiết mới dễ dàng.

Yêu cầu quan trọng ở vật liệu từ mềm là thỏa mãn tính chất ổn định theo thời gian và không bị tác động của nhiệt độ, lực cơ học... Trong số các đặc tính từ thường có sự thay đổi lớn trong quá trình sử dụng đó là hệ số từ thẩm μ (đặc biệt ở trường yếu) và lực kháng từ.

Sắt và sắt ít cacbon

Thành phần chủ yếu của phần lớn các vật liệu từ là sắt (Fe). Sắt là vật liệu từ mềm điển hình, tính chất từ của nó phụ thuộc vào lượng tạp chất.

Trong số các vật liệu sắt từ, sắt có từ cảm bão hòa lớn nhất (khoảng 2,2 Tesla).

Sắt nguyên chất siêu sạch có lượng cacbon không quá 0,05% và được điều chế bằng hai phương pháp:

- + phương pháp điện phân
- + phương pháp nhiệt luyện quặng

Tính chất của sắt phụ thuộc không chỉ lượng tạp chất, mà còn phụ thuộc vào cấu trúc của vật liệu, áp lực cơ học.

Sắt sạch kỹ thuật

Thường chứa một số lượng tạp chất không nhiều, gồm có cacbon, lưu huỳnh, mangan, silic, và những nguyên tố khác làm giảm tính chất từ của nó. Do có điện trở suất thấp, sắt từ kỹ thuật được sử dụng không nhiều.

Thép kỹ thuật silic

Thép silic kỹ thuật là vật liệu từ mềm được sử dụng rộng rãi. Nhờ có silic trong thành phần của thép mà vật liệu có điện trở suất cao, giảm tổn thất do dòng điện xoáy. Ngoài ra silic có trong thép có khả năng loại bỏ cacbon ở dạng grafit và hầu như khử oxy có trong thép do liên kết hóa học với oxy tạo thành SiO_2 (silica) và bị loại bỏ. Nhờ có đưa Si vào trong thép làm tăng hệ số từ thẩm khởi đầu μ_H và hệ số từ thẩm cực đại μ_{\max} , giảm bớt lực kháng từ H_c và giảm tổn thất từ trễ. Sự đóng góp của Si làm tăng hệ số từ thẩm của thép, giảm hằng số dị hướng từ và hằng số từ giảo.

Ở thép có chứa 6,8% Si hằng số dị hướng từ nhỏ hơn ba lần so với sắt sạch, và giá trị từ giảo bằng không. Trong trường hợp này thép Si có hệ số từ thẩm cao nhất.

Tuy nhiên trong kỹ thuật thành phần Si không vượt quá 5% điều này được giải thích rằng Si làm giảm tính chất của thép về độ bền cơ học, nó làm cho thép dễ gãy. Loại thép này không sử dụng được để dập khuôn. Ngoài ra tăng Si làm giảm từ cảm bão hòa, do Si là thành phần không dẫn từ.

Thép Si có tính dị hướng từ, tương tự của sắt sạch tức là hướng từ hóa dễ trùng với hướng tinh thể [100], còn hướng từ hóa khó trùng với đường chéo không gian [111] của ô cơ bản.

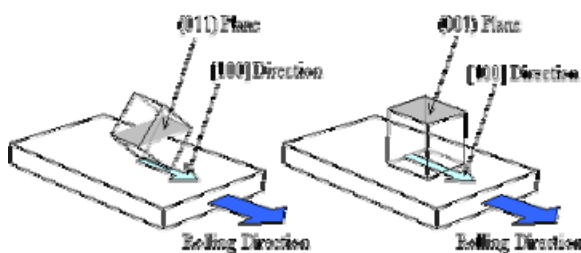
Thép kỹ thuật điện: Là hợp kim của sắt và silic, chứa ít cacbon được cán thành tấm. Chia làm 2 loại: loại không hướng và loại có hướng.

-Thép kỹ thuật điện không hướng: có từ tính gần như nhau theo mọi hướng trên tấm phẳng. Được sử dụng trong máy điện lớn và nhỏ, trong máy biến áp. Ngày nay chỉ được chế tạo bằng phương pháp cán nguội. Hệ số từ thẩm, suất tổn hao của thép kỹ thuật điện không hướng hầu như không phụ thuộc hoặc ít phụ thuộc vào góc giữa hướng từ hóa và hướng cán. Thép có hướng thì có sự thay đổi rõ rệt.

Các tham số thường thấy: tỉ lệ silic đến 3,5% ; 0,5% Al. Chiều dày 0,35 mm; 0,45mm; 0,635mm. Thép kỹ thuật điện không hướng loại bán thành phẩm được sử dụng trong trường hợp chế tạo những sản phẩm với loạt lớn, có kích thước lõi từ nhỏ. Hàm lượng silic đến 3% ; 0,5% Al, tỉ lệ C là 0,05% nhưng phải giảm đến 0,005% sau khi ủ nhiệt, bề dày 0,47 đến 0,64 mm.

-Thép kỹ thuật điện có hướng: từ thông chảy theo chiều cán của tấm thép, sử dụng trong máy biến thế công suất lớn. Chiều dày 0,23 ; 0,27 ; 0,3 ; 0,35 mm. Tỉ lệ Si 3,5%, đường kính hạt 3 mm.

Loại có suất tổn hao nhỏ ở từ cảm lớn thường có tỉ lệ Si 2,5% đường kính hạt 8mm. (thường ta phải cách điện bề mặt tấm thép để hạn chế tổn hao lõi thép)



Hình 4.13 Sự định hướng các hạt trong quá trình cán thép Si

Hợp kim kháng từ thấp

Permaloi là hợp kim sắt- nikel có độ từ thẩm rất cao trong vùng trường yếu và có lực kháng từ rất nhỏ. Permaloi chia ra loại cao và loại thấp nikel. Cao thì chứa 72% – 80% Ni còn thấp thì chứa 40% – 50% Ni. hệ số từ thẩm khởi đầu μ_H và hệ số từ thẩm cực đại μ_{max} đạt cực đại khi hợp kim chứa 78,5% Ni. Hợp kim này dễ từ hóa trong trường yếu là do trong nó không tồn tại dị hướng từ và hiện tượng từ giảo. Do có dị hướng yếu nên mômen từ dễ dàng xoay từ hướng dễ từ hóa theo hướng của trường, và nhờ không tồn tại từ giảo nên khi từ hóa không xuất hiện ứng suất cơ học làm giảm sự dịch chuyển của các biên giới domen dưới tác động của trường yếu.

Tính chất từ của permaloi rất nhạy cảm với lực cơ học bên ngoài tác động, phụ thuộc vào thành phần hóa học, lượng tạp chất có trong hợp kim và thay đổi rất mạnh vào chế độ gia nhiệt của vật liệu.

Để tạo nên những hợp kim có tính chất cần thiết thì trong thành phần hợp kim có thêm những phụ gia như Môlipden, Crôm chúng làm tăng điện trở suất và hệ số từ thẩm khởi đầu và làm giảm sự ảnh hưởng của lực cơ học. Tuy nhiên sẽ làm giảm từ cảm bão hòa. Đồng làm tăng μ trong một khoảng hẹp, tăng độ ổn định nhiệt và điện trở suất đồng thời gia công dễ dàng hơn, còn Silic và Mangan làm tăng điện trở suất.

Alsifer

Là hợp kim của ba thành phần sắt, silic và nhôm 9,5% Si, 5,6% Al, còn lại là sắt, loại hợp kim này có độ cứng và giòn. Tính chất của Alsifer như sau: $\mu = 35400$; $\mu_{\max} = 117000$; $H_c = 1,8A/m$; $\rho = 0,8\mu\Omega.m$. Nó có tính chất không thua kém permaloi cao Nikel.

Các sản phẩm chế từ Alsifer - màn từ, thân các dụng cụ v.v... được chế tạo bằng phương pháp đúc với thành của chi tiết không mỏng hơn 2mm – 3mm vì hợp kim này giòn. Điều này làm hạn chế rất nhiều khi sử dụng vật liệu alsifer.

Do tính giòn alsifer có thể nghiền nhỏ thành bột và dùng với sắt cacbon để sản xuất lõi ép cao tần.

4.2.3 Vật liệu từ mềm trong từ trường thay đổi có tần số cao:

Vật liệu từ dùng trong cuộn kháng, biến áp cuộn cảm, những khí cụ đóng ngắt được lựa chọn trên cơ sở giá trị của từ cảm, hệ số từ thẩm, tổn hao ở tần số sử dụng. Khống chế dòng điện xoáy có tầm quan trọng hàng đầu, nhằm để giảm tổn hao và giảm thiểu hiệu ứng do dòng điện xoáy, chống nhiễu gây ra. Yêu cầu này được thực hiện bằng việc sử dụng những hợp kim có hệ số từ thẩm cao dưới dạng băng mỏng cuộn thành lõi hay dưới dạng bột hợp kim sắt được bọc cách điện, ép thành lõi hoặc dùng lõi ferit. Băng từ mỏng được sử dụng với tần số làm việc từ 400Hz đến 20 kHz. Thiết bị điều hòa công suất thường làm việc ở tần số 10 kHz và cao hơn. Vật liệu từ được sử dụng là bột hợp kim sắt được ép thành lõi hoặc là ferit. Tổn hao là thông số quan trọng chính yếu đặc biệt khi sử dụng ở tần số cao. Những thông số cần được xem xét khác là nhiệt độ môi trường, các thông số vật lý khác có thể tác dụng lên phần tử từ.

+*Hợp kim sắt – niken 3%*: sử dụng ở tần số cao, được chế tạo thành những băng mỏng có cách điện dày 0,025 đến 0,15 mm trên bề mặt, có μ cao, suất tổn hao nhỏ ở từ cảm tương đối thấp. Giống như những băng từ mềm loại hợp kim khác, hợp kim này được dùng để chế tạo những lõi thép ghép tấm bằng những phương pháp khác nhau bao gồm:

1. Cuộn băng để làm lõi hình xuyên, chữ C và chữ E.
2. Dập hoặc cắt theo chiều dọc của tấm thép để làm lõi biến áp.
3. Lá thép dập sẵn có hình chữ E, I, F, L ... để làm lõi biến áp.

+*Băng hợp kim niken*: có μ cao, dày từ 0,0032 đến 0,15 mm sử dụng ở tần số 0,1 đến 100kHz. Những băng mỏng hơn 0,0254 mm thường được quấn

trên lõi bằng thép không gỉ hoặc bằng gốm sứ để làm cứng vững cuộn băng và để giữ từ tính được ổn định. Ví dụ: Mo permalloy, supermalloy, Fe- No 48 ...

Thường μ sẽ giảm khi tần số tăng là tính chất chung của mọi vật liệu từ. Những hợp kim này được dùng làm lõi cho máy biến dòng, biến áp trong những bộ chỉnh lưu – nghịch lưu, biến áp xung công suất lớn, đầu từ... những băng từ mỏng hơn 0,0254 mm được dùng trong mạch định giờ, bộ nghịch lưu tần số cao, bộ nhớ số, biến áp xung, từ kế

+*Những loại băng từ khác:* Permendur (30 đến 50% coban) , permendur vanadi (49% Co, 2% V) và những hợp kim vô định hình. Permendur có từ cảm lớn (236 G) có thể cán thành băng dày 0,0254 mm, dùng chế tạo những đầu ghi từ, permendur vanadi được dùng làm lõi cuộn cho máy biến áp đòi hỏi phải có kích thước nhỏ và trọng lượng nhỏ dùng ở tần số dưới 3 kHz có thể phát triển tính chất từ giao cao ở trong vật liệu bằng cách ủ nhiệt để dùng làm cảm biến.

+*Lõi ferrit:* được chế tạo bằng những loại bột oxit kim loại. Một số nguyên tử sắt trong tinh thể của ferrit sắt từ được thay thế bằng những nguyên tử Mn và Zn để tạo thành ferrit mangan kẽm hoặc được thay thế bằng những nguyên tử niken và kẽm để tạo thành ferrit niken kẽm.

Ferrit mangan kẽm thường được bán ở thị trường dùng ở tần số dưới 1,5 MHz. Ferrit niken kẽm dùng chủ yếu trong những bộ lọc có tần số làm việc trên 1,5 MHz. Chúng giống với vật liệu gốm về công nghệ chế tạo và tính chất vật lý, có điện trở suất tương đương với chất bán dẫn và lớn hơn (1triệu lần) so với kim loại, $\mu=10000$, điểm Quiri rất thấp (100 đến 300⁰C), từ cảm bão hòa nhỏ (<5000G). Những lõi ép sẵn có dạng hình vành xuyến, chữ E, U và I hình nổi. Được dùng trong biến áp nguồn tần số cao (10 đến 100kHz), biến áp xung, cuộn cảm có khe hở không khí điều chỉnh được, đầu từ, những bộ lọc trong những mạch điện tử tần số cao.

4.2.4 Vật liệu từ cứng

Phân loại và tính chất

Vật liệu từ cứng khác với vật liệu từ mềm là lực kháng từ cao. Diện tích của vòng từ trễ của vật liệu từ cứng lớn hơn rất nhiều so với vật liệu từ mềm.

Theo công dụng của vật liệu từ cứng, có thể chia ra thành vật liệu cho nam châm vĩnh cửu và vật liệu để ghi và lưu trữ âm thanh, hình ảnh lâu dài....

Vật liệu cho nam châm vĩnh cửu

-Đối với các nam châm kín (dạng hình xuyến) không mất năng lượng cho không gian bên ngoài.

-Khi có khe hở không khí giữa các cực sẽ xuất hiện năng lượng truyền ra không gian, giá trị năng lượng này sẽ phụ thuộc vào chiều dài của khe hở.

$$W_{\max} = \frac{B_L H_L}{8\pi}$$

Giá trị này xác định mức độ sử dụng nam châm tốt nhất và cũng là giá trị quan trọng nhất đặc trưng cho chất lượng của vật liệu làm nam châm vĩnh cửu.

Loại nam châm cũ được chế tạo bằng thép ít cacbon (1% C), được làm cứng bằng xử lý nhiệt.

Vật liệu từ	Thành phần hóa học	Từ dư B_d (G)	Lực kháng từ H_C (oc)	$(BH)_{max}$ (MG.oc)
Thép crom 3,5%	3,5 Cr, 1C, Fe	10300	60	0,3
Thép Co 3%	3,25 Co, 4 Cr, 1 C, Fe	9700	80	0,38
Thép Co 36%	38 Co; 3,8 Cr; 5W; 0,75C	10000	230	0,98
Alnico 1	12Al; 21Ni; 5Co; 3Cu; Fe	7200	470	1,4
Alnico 2	10Al; 19Ni; 13 Co; Fe	7500	560	1,7
Alnico 50 G	8Al; 14Ni; 24 Co; 3Cu; Fe	13300	670	6,5
Alnico 5 Col	8Al; 14Ni; 24 Co; 3Cu; Fe	13500	740	7,55
Alnico 6	8Al; 16Ni; 24Co; 3Cu; 1Ti; Fe	10500	780	3,9
Cobal đất hiếm:	(RE là kí hiệu của 1 hoặc	7200	10000	18
12 RE Co	nhiều kim loại trong nhóm	7200	6500/10000	12
15 RE Co	đất hiếm: samarium,	8000	7000/14000	15
16 Re Co	cerium, praseodymium...)	8300	7500/18000	16
Cunife	60Cu; 20Ni; 20 Fe	5500	530	1,4
Vicalloy	10V; 52 Co; Fe	7500	250	0,8
ESD 31	18,3Fe, 10,3Co, 72,4Pb	5000	1000	3

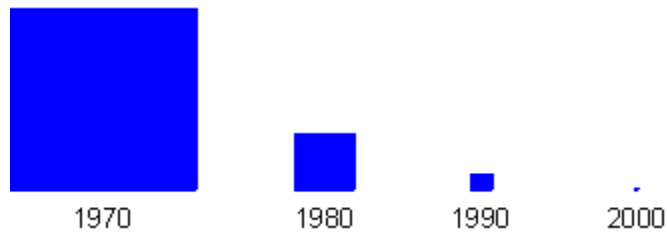
Các vật liệu để ghi thông tin từ

Những vật liệu từ cứng là những băng từ để ghi âm hoặc ghi hình, để ghi và lưu trữ thông tin của máy tính... Những băng kim loại mỏng từ hợp kim không rỉ và băng nhựa có lớp bột của hợp kim thường được sử dụng nhằm mục đích này. Tuy nhiên để thỏa mãn quá trình xóa sạch sự ghi thì cần kháng từ nhỏ, đó là những yêu cầu mâu thuẫn. Như vậy tốt nhất là giá trị H_C nằm trong giới hạn 20kA/m – 50kA/m. Vật liệu để ghi từ cần phải có từ dư đủ lớn và tính ổn định của các tham số từ khi nhiệt độ thay đổi.

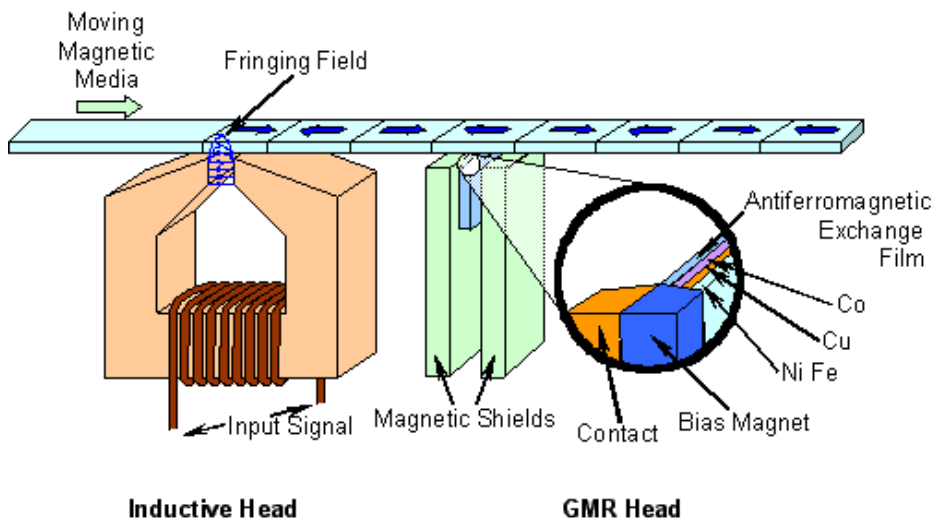
Ứng dụng chính trong kỹ thuật ghi từ là băng trên cơ sở của polime. Những băng đó được sản xuất bằng cách quét lên một lớp sơn từ mỏng vào polime. Sơn từ có cấu tạo từ bột từ với các vật chất kết dính, bám dính và phân đều hạt bột từ và làm giảm độ dày của lớp công tác. Băng nhựa được sản xuất từ Polietylentereftalat hay còn gọi là lapsan có độ bền kéo cao. Băng từ được sản xuất có các thành phần γ -Fe₂O₃ với các hạt nhỏ một vùng. Băng có hai lớp từ có cấu tạo từ γ -Fe₂O₃ và CrO₂ có ưu điểm là tính ghi từ tốt ở tần số thấp và lớp màng mỏng tốt chứa γ -Fe₂O₃. Nhờ có độ dày chung nhỏ loại băng này được sử dụng cho băng ghi âm chất lượng cao. Tính chất của băng từ tốt nhất để ghi thông tin là băng polime có lớp công tác làm từ sắt nguyên chất hoặc là hợp kim sắt từ. Sử dụng loại này trong đĩa compact hay băng kacet có thể ghi được dải tần số từ 10Hz – 27.000Hz. So với vật liệu ôxit sắt từ băng từ kim loại đắt hơn nhiều nó được sử dụng trong các thiết bị chuyên nghiệp.

Trong những năm qua vật liệu từ đã ngày càng quan trọng trong lĩnh vực lưu trữ thông tin. Ví dụ, đối với máy tính. Trong khi các linh kiện bán dẫn chỉ dùng làm bộ nhớ sơ cấp, thì các đĩa và băng từ lại có khả năng lưu trữ những lượng thông tin lớn

và với giá thành thấp hơn. Ngày nay ngành công nghiệp ghi âm và truyền hình đang hy vọng nhiều vào băng từ để lưu trữ và cải tạo các chương trình audio và video. Các dữ liệu máy tính, âm thanh hoặc hình ảnh dưới dạng các tín hiệu điện tử đều được chuyển nạp rồi lưu trữ lại trong các khu vực rất nhỏ của môi trường lưu trữ từ. Việc nạp thông tin và lấy ra từ băng hoặc đĩa được thực hiện nhờ một đầu từ. Đó là một cuộn dây quấn xung quanh một lõi (vật liệu từ) có xẻ một khe. Dữ liệu được đưa vào (hay “ghi”) bằng tín hiệu điện qua cuộn dây làm lõi từ sinh một từ trường đi qua khe. Từ trường này sẽ từ hóa một khu vực rất nhỏ trên đĩa hoặc băng. Khi ngắt trường, sự từ hóa vẫn còn lưu lại và tín hiệu đã được lưu trữ. Cũng chính đầu từ đó được dùng để tái hiện thông tin đã lưu trữ. Khi băng hoặc đĩa đi qua khe của đầu từ, mỗi một biến đổi của từ trường băng (đĩa) sẽ sinh ra một điện áp cảm ứng trong cuộn dây đầu từ. Điện áp này được khuếch đại rồi chuyển về dạng nguyên gốc.



Hình 4.14 Biểu đồ trình bày khổ của bột bit dữ liệu trên một đĩa cứng.



Hình 4.15. Sơ đồ nguyên lý ghi/ đọc dữ liệu.

Hợp kim đúc

Được đúc bằng công nghệ truyền thống, vật liệu Alnico có cấu trúc giòn, dễ vỡ, khó gia công cơ khí (trừ gia công bằng cách nghiền)

Alnico 5DG, 5 columnar được làm cứng theo hướng trong quá trình đúc. Alnico 5 DG được đúc trong khuôn phẳng nguội để tạo sự kết tinh theo thớ trong

quá trình đúc. Alnico 5 Columnar được đúc trong khuôn nóng và khuôn phẳng nguội để tạo được 100% thớ dọc trong toàn bộ khối vật đúc.

Trừ các loại Alnico 1, 2, 3, 4 tất cả các loại Alnico khác đều được xử lý nhiệt trong từ trường có hướng theo hình dáng bảo đảm có cấu trúc ngưng tụ và phát triển những tính chất từ không đẳng hướng. Alnico 5DG, 5 Columnar, Alnico 8, 9 chỉ được sử dụng với từ thông đường thẳng. Dùng trong loa, thiết bị viba, động cơ, máy phát, dụng cụ đo, menhato, máy phân ly từ, những dụng cụ thông tin, máy bán hàng tự động.

Vật liệu từ gốm

Được sử dụng ngày càng nhiều do có những từ tính được cải tiến và do hợp kim cobal quá đắt. Những nguyên liệu thô được dùng trong các nam châm này là oxit sắt phối hợp với cacbonat stronci hoặc với cacbonat bari. Hỗn hợp oxit sắt và cacbonat được nung khô, sau đó được xay (cỡ hạt 1 μm) rồi ép thô hoặc trộn nhào với nước, rồi mới đem ép (với lực ép lớn). Trong quá trình ép, có thể tiến hành từ hóa để có được từ tính theo hướng mong muốn.

Vật liệu từ gốm giòn, dễ vỡ, điện trở suất lớn, nhẹ hơn vật liệu từ đúc. Hình dạng có thể là vành xuyên, vòng cung, hình khối. Sử dụng trong loa, động cơ điện 1 chiều manheto, đèn làm việc với sóng truyền thông, nam châm nâng hàng, máy phân ly từ... Nam châm gốm có dạng vòng cung được sử dụng nhiều trong kỹ nghệ ô tô, trong bơm làm nguội cho động cơ nổ, động cơ quạt máy và nóng, động cơ kéo cửa kính. Cường độ từ trường từ hóa bằng 10000 Oc dùng để làm lõi nam châm bão hòa, lõi nam châm phải được đặt trong vỏ bảo vệ để tránh gây ứng suất cơ học trong nam châm.

Vật liệu từ đất hiếm coban.

Vật liệu từ này có năng lượng từ và lực kháng từ lớn nhất. Được chế tạo bằng phương pháp luyện kim bột từ coban (65% đến 77%), kim loại đất hiếm (23 đến 35%). Có khi có cả đồng, sắt. Kim loại đất hiếm thường dùng là Samarium, ngoài ra là praseodymium, cerium, ytri neodymium, lanthanum. Hợp kim đất hiếm được xay mịn cỡ hạt từ 1 đến 10 μm được ép thô trong từ trường mạnh, sau đó được nung nóng và mài bằng bột mài để có kích thước cuối cùng.

Mặc dù phải sử dụng những nguyên vật liệu đắt tiền nhưng nhờ có lực kháng từ lớn nên nam châm có kích thước nhỏ và có tính ổn định nhiệt. Những nam châm này được dùng trong những mạch điện tử nhỏ như động cơ, máy in, bộ phận hội tụ tia điện tử. Ở những đèn điện tử trong kỹ thuật truyền thông cũng có loại nam châm đất hiếm bọc nhựa nhưng năng lượng từ nhỏ (chỉ bằng một phần của loại nung)

Vật liệu từ có vùng phân cực tự phát kéo dài

Là hợp kim sắt –coban dưới dạng những hạt không đẳng hướng (tinh thể hình kim hoặc dẹt). Một công nghệ đặc biệt làm cho những hạt từ phát triển trong chất liên kết là chì. Chì có khả năng chảy và điền kín những lỗ rỗng trong nam châm đã được ép khô. Hướng của từ trường để từ hóa nằm theo trục dọc của hạt.

Khi đã được làm đông cứng trong chì, những hạt có khả năng chống khử từ. Nhược điểm của vật liệu từ này là nhiệt độ làm việc thấp (150°C) và trọng lượng riêng lớn (do có chì).

Hợp kim dễ uốn

Gồm có các vật liệu: Cunife, vicalloy, remalloy, Cr-Co-Fe và trong mức độ nào đó có Mn- Al- C. Tính chất: dễ uốn, dễ kéo, dễ rèn, dễ cán thành dây hoặc dải nhỏ. Việc xử lý nhiệt lần cuối sau khi tạo hình sẽ làm cho từ tính phát triển đầy đủ.

Cunife là vật liệu từ có hướng. Kết quả của sự cán, kéo nguội, được sử dụng rộng rãi trong dụng cụ đo và vận tốc kế trên ô tô.

Vicalloy dùng làm băng từ có chất lượng cao và hiệu suất lớn, dùng làm khớp ly hợp từ.

Remalloy được sử dụng trong máy điện thoại (đang được thay bằng hợp kim Cr-Co-Fe có giá thành giảm hơn)

Nhóm hợp kim Cr-Co-Fe chứa từ 20 đến 35% Cr, 5 đến 25% Co có tính dễ uốn, dễ gia công cơ khí ở trạng thái nóng cũng nhỏ nguội, có từ tính rất tốt (tương đương với Alnico 5, tốt hơn Cunife, Vicalloy, Remalloy). Được xử lý nhiệt bằng cách làm nguội nhanh từ 1200 đến 600°C (pha phân hủy spin). Pha từ đã phát triển trong pha phân hủy spin có thể được định hướng bằng cách xử lý nhiệt trong từ trường hoặc có thể định hướng từ bằng cách lão hóa biến dạng trong quá trình kéo thành dây.

Hợp kim Mn-Al-C

Đạt được những tính chất nam châm vĩnh cửu ($B_r = 5500 \text{ G}$; $H_c = 2300 \text{ Oe}$; $B_d.H_d = 5 \text{ MG.Oe}$). Trong quá trình biến dạng cơ khí ở nhiệt độ khoảng 720°C . Sự biến dạng cơ khí có thể thực hiện bằng cách ép đùn, ép nóng. Những thành phần hợp kim không đắt tiền, nhưng những dụng cụ khuôn mẫu thiết bị thì đắt tiền. Được dùng ở loa, động cơ điện, đèn manheto, trọng lượng riêng nhỏ $5,1 \text{ g/cm}^3$. Nhiệt độ Quiri thấp 320°C .

4.2.5 Vật liệu từ có công dụng đặc biệt

Ferit và hợp kim có đường trễ từ chữ nhật

Vật liệu từ có đường trễ từ chữ nhật được sử dụng rất rộng rãi trong các hệ thống tự động, kỹ thuật máy tính, trong các thiết bị thông tin. Lõi vật liệu từ loại này có hai trạng thái bền vững tương ứng các hướng khác nhau của cảm ứng từ dư. Chính nhờ tính đặc biệt này ta có thể sử dụng nó để giữ và xử lý thông tin nhị phân. Ghi và đọc thông tin được thực hiện bằng cách chuyển mạch từ một trạng thái từ này sang trạng thái khác nhờ sự trợ giúp của xung dòng điện được tạo bởi cường độ từ trường cần thiết. Lõi từ có đường trễ từ chữ nhật có đặc điểm là độ tin cậy cao, có kích thước nhỏ, giá thành thấp, đặc tính tương đối ổn định. Chúng có thời gian sử dụng không hạn chế, giữ được thông tin khi nguồn bị ngắt.

Đối với vật liệu dạng này cần có những yêu cầu đặc biệt. Thông số chủ yếu là hệ số vuông của đường từ trễ K_v , là tỉ số của từ cảm còn lại B_c với độ từ cảm max B_{max} .

$$K_v = B_c / B_{\text{max}}$$

Xác định B_{\max} khi cho $H_{\max} = 5H_c$. Điều mong muốn là K_v gần bằng 1.

Ngoài ra vật liệu từ cứng phải thỏa mãn thời gian từ hóa ngược ít, có đặc tính từ ổn định ở nhiệt độ cao. Ferit có đường từ trễ cứng trên thực tế được sử dụng rất rộng rãi so với băng kim loại mỏng, điều này được giải thích rằng công nghệ sản xuất lõi đơn giản hơn và kinh tế hơn.

Hợp kim sắt-niken: tỉ lệ của Ni nằm trong dải rộng, tạo ra những hợp kim có từ tính khác nhau trong dải rộng. Với tỉ lệ 30% Ni, vật liệu không có từ tính $\rho = 80 \mu\Omega\text{cm}$, với 78% Ni và được xử lý nhiệt chính xác hợp kim có hệ số từ thẩm rất cao, các hợp kim này rất nhạy với nhiệt luyện.

Hợp kim sắt niken 48%: đã được phát triển để dùng trong những trường hợp cần có hệ số từ thẩm cao vừa nhưng từ cảm bão hòa phải cao hơn Permollooy 78. VD: Audiolloy, Corpenter 49 ... thường được sử dụng nhiều trong radio, rada, dụng cụ khuếch đại từ. Dentamax có đường từ trễ vuông theo hướng cán, hệ số từ thẩm cao được sử dụng dưới dạng băng mỏng làm lõi cuộn dây máy biến áp xung và khuếch đại từ.

Hợp kim sắt-đồng-niken: Thêm thành phần Cu, Cr vào hợp kim Fe – Ni sẽ làm tăng hệ số từ thẩm ở từ cảm nhỏ. Để có những tính chất tối ưu chúng được ủ ở 1100°C trong 4 giờ, trong khí H_2 sau đó làm nguội chậm. Dùng làm vỏ chống nhiễu từ cho dụng cụ điện tử, làm lõi của khởi động từ.

Trong nhóm các VLST có một bộ phận “sắt từ” mà hệ số dẫn nhiệt α_T âm có tên là hợp kim inva (hợp kim sắt – niken hoặc sắt – platin), với hợp kim chứa 36% Ni thì α_T nhỏ hơn 10 lần so với Ni và Fe nguyên chất. Còn hợp kim chứa 56% Pt thì $\alpha_T < 0$ như thế hợp kim này khi bị nung nóng không dẫn nở ra mà ngược lại, nó bị co ngắn lại. Các hợp kim inva được ứng dụng rộng rãi trong kỹ thuật, trong các lĩnh vực dân dụng, chế tạo thiết bị điện vô tuyến. Trong tương lai, các hợp kim mới có khối lượng nhẹ và hệ số $\alpha_T \leq 0$ sẽ được nghiên cứu và ứng dụng trong thực tế.

Hợp kim có hệ số từ thẩm không đổi: Là những hợp kim có hệ số từ thẩm vừa, có giá trị không đổi trong dải từ cảm rộng. Dùng cho những mạch có dạng sóng ít méo. VD: Isoperm, conpermh là hợp kim Fe – Ni, có 40% đến 55% Ni được luyện nguội một cách nghiêm ngặt. Tính chất hợp kim biến đổi rất nhiều với thành phần hóa học và việc xử lý nhiệt. Một hợp kim khác 45%Ni, 25%Co, 30%Fe trong phạm vi từ cảm từ 0 đến 600G, hệ số từ thẩm có giá trị không đổi, tổn hao từ trễ nhỏ $\rho = 19,63 \mu\Omega\text{cm}$

Hợp kim coban – niken – sắt (50%Ni, 25%Co, 25% Fe) gọi là Perminvar có hệ số từ thẩm không đổi trong phạm vi từ cảm nhỏ ($B \approx 800\text{G}$)

Hợp kim 45% Ni 25%Co 30%Fe, được nung ở 425°C trong 24 giờ, sau đó làm nguội chậm có tổn hao từ trễ như sau:

Từ cảm B (G)	1003	1604	4950	13810
Tổn hao từ trễ (10^{-7}J)	17,27	163	1736	4430

Hợp kim cảm biến nhiệt: Nhiệt độ Quiri của kim loại có thể nâng lên hoặc hạ xuống bằng cách thêm vào những thành phần khác, có thể chế tạo những hợp kim mất từ tính ở bất kỳ nhiệt độ nào đến 1115°C . Những hợp kim trên cơ sở sắt thường được dùng để có hệ số từ thẩm cao nhất có thể ở nhiệt độ dưới điểm Quiri. Ni, Mn, Cr, Si là những thành phần hợp kim có tác dụng hữu hiệu nhất cho mục đích này, hầu hết những hợp kim được chế tạo để dùng vào việc khống chế nhiệt độ như ở cuộn kháng, máy biến áp ... (hợp kim coperter temperatene compensator là hợp kim niken- đồng- sắt mất từ tính ở 55°C) được dùng để làm phần tử bù nhiệt.

Điểm Quiri của một số kim loại, hợp kim:

Ni	352°C	45Ni 5Cr 50Fe	325°C
Fe	780°C	45Ni 15Cr 40Fe	59°C
Co	1115°C	Ferit Niken NiFe_2O_4	455°C

+**Hợp kim vô định hình:** được chế tạo bằng công nghệ mới làm nguội nhanh kim loại đang nóng chảy và những tấm băng mỏng được chế tạo thành có bề dày 0,0254 đến 0,0762 mm. Hợp kim hóa rắn trước khi những nguyên tử kịp tách ra hoặc kết tinh. Kết quả là hình thành vật liệu có kết cấu nguyên tử như của thủy tinh, điện trở suất 125 đến $130 \mu\Omega\text{cm}$. Một số từ tính có thể biến đổi bằng cách dùng những yếu tố hợp kim khác nhau. Những hợp kim vô định hình có thể sử dụng ở tần số cao như hợp kim sắt –silic, sắt –niken dưới dạng đúc hoặc cán thành băng.

+**Lõi bằng bột hợp kim niken –sắt:** Bột hợp kim bọc cách điện, được ép thành hình và xử lý nhiệt . Bột hợp kim thông dụng là Permalloy 2 –81 có 2% Mo, 81% Ni, và sắt. Còn có senlust (có 7% Si, 7% Al và còn lại là sắt). Trước khi được ép, những hạt bột được bọc bằng một màng mỏng cách điện vô cơ, chịu nhiệt cao, có thể chịu được lực ép lớn, nhiệt độ ủ 650°C trong khí H_2 . Bọc cách điện cho những hạt bột để giảm tổn hao do dòng điện xoáy và để tạo nên khe hở không khí được phân chia, có thể điều chỉnh được để có μ thay đổi trong dải rộng (lõi permalloy 2 –81 có μ thay đổi từ 14 đến 300, senlust μ thay đổi từ 10 đến 140).

Lõi bằng bột hợp kim niken –sắt được sử dụng trong những trường hợp cần phải giữ giá trị điện cảm ổn định, khi những thành phần từ tính biến đổi với dòng một chiều hay với nhiệt độ. Có thể giữ cho từ tính không biến đổi với nhiệt độ bằng cách cho vào bột hợp kim bột kim loại có điểm Quiri thấp để trung hòa hệ số nhiệt dương của hệ số từ thẩm của bột hợp kim. Dùng trong cuộn cảm ứng điện thoại, cuộn kháng trong bộ lọc để điều hòa công suất khi cần, để giữ ở mức độ tối thiểu độ dao động của điện áp, biến áp xung và bộ nguồn có chế độ đóng ngắt cần phải có tổn hao lõi thép nhỏ. Tần số làm việc có thể trong dải từ 1 KHz đi với vật liệu từ có $\mu = 300$, đến 500 KHz đối với vật liệu từ có $\mu = 14$.

+*Lõi bột sắt*: được chế tạo từ nhiều loại bột sắt có cỡ hạt từ 2 đến 100 μm . Những hạt được cách điện với nhau bằng loại cách điện đặc biệt. Bột sắt đã được bọc cách điện được trộn với chất kết dính bằng nhựa Fenol hoặc epoxi và chất bôi trơn khuôn. Bột được ép theo những hình dáng khác nhau: hình vành xoắn, chữ E, lõi điều chỉnh có ren, dạng cái cốc, dạng lá, vòng đệm, ống ... Những lõi đã ép được nung trong lò ở nhiệt độ thấp, trở thành rắn chắc. Những hạt đã bọc cách điện tạo ra khe hở không khí giảm tổn hao do dòng điện xoáy, nâng cao tần số làm việc $\mu = 4$ đến 90, giải tần làm việc từ 50 đến 250 MHz., Dùng làm lõi biến áp tần số cao, cuộn dây hòa âm, cuộn cảm, cuộn kháng của bộ lọc, bộ nguồn có giảm tạp âm, mạch điều khiển công suất.