

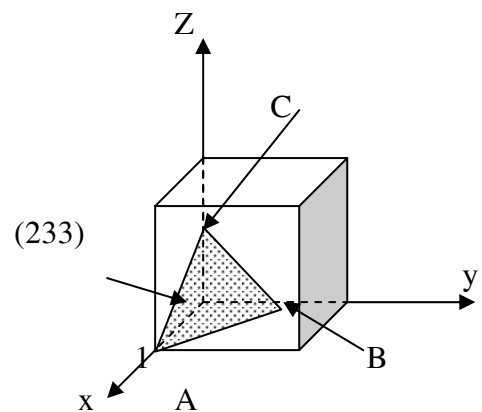
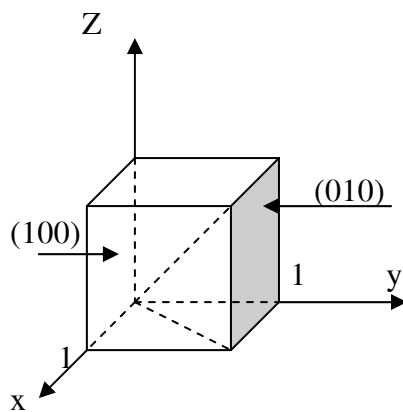
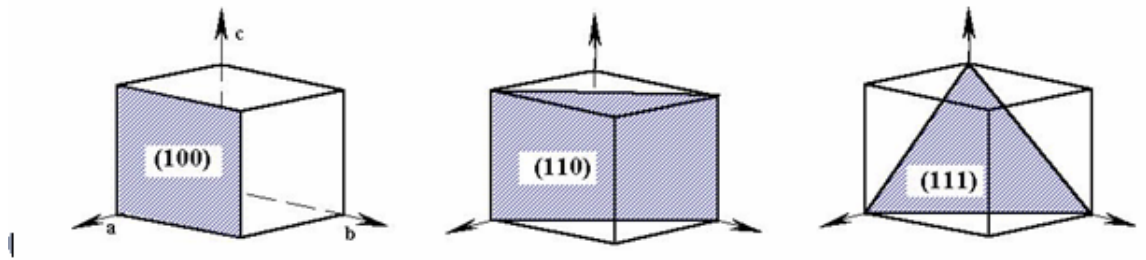
**BÀI TẬP VẬT LIỆU DẪN ĐIỆN**

**1-Cách ký hiệu mặt và phương tinh thể bằng chỉ số Miller**

Lấy trục tọa độ là 3 cạnh vuông góc của ô cơ bản.

a) **Ký hiệu mặt bằng (h k l)** trong đó h, k, l là 3 số nguyên không chia hết cho nhau, tìm được tương ứng trên hệ trục Oxyz (hoặc Oabc) bằng cách:

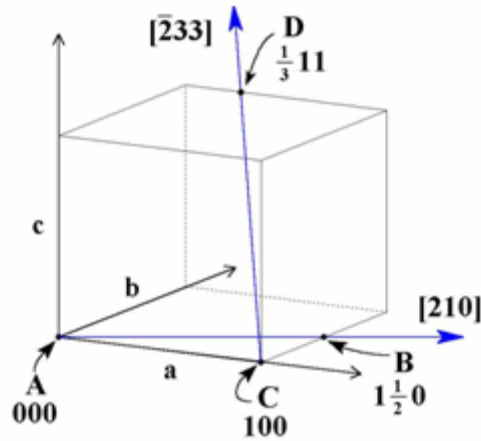
- Xác định giao điểm của mặt với 3 trục
- Lấy giá trị nghịch đảo
- Qui đồng mẫu số, xóa mẫu số chung ta có chỉ số Miller (khi đó các tử số sẽ là 3 số h, k, l cần tìm).



$$\begin{aligned}
 x &= 1 \quad ; 1/x = 1 = 2/2 \\
 y &= 2/3; 1/y = 3/2 \\
 z &= 2/3; 1/z = 3/2
 \end{aligned}$$

Chỉ số Miller của mặt ABC là (233)

b) **Ký hiệu phương bằng [u v w]**. Trong đó u, v, w là 3 số nguyên nhỏ nhất ứng với tọa độ của nguyên tử đầu tiên, trên phương đi qua gốc tọa độ 0 song song với phương đã cho.



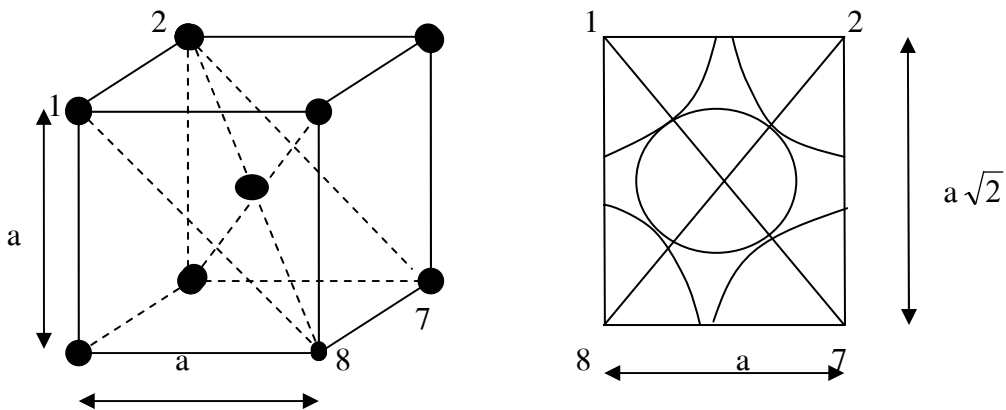
Chỉ số Miller của phương tinh thể AB là [210]

- Nếu mặt và phương có cùng ký hiệu thì vuông góc với nhau
- Nếu  $uh + vk + wl = 0$  thì mặt và phương song song với nhau.

**2- Các mạng tinh thể cơ bản**

a) **Mạng lập phương thể tâm**

- Thường thấy ở ( $F_c \alpha$ ), crom, wonfram, molipden, vanadi..
- Các nguyên tử nằm sát nhau theo các đường chéo của khối lập phương (nguyên tử ở giữa tiếp xúc với 8 nguyên tử ở đỉnh bao quanh, 8 nguyên tử này không tiếp xúc với nhau)



Mật độ khối là phần thể tích tính ra phần trăm của mạng do các nguyên tử chiếm chỗ, được xác định bằng:

$$M_v = \frac{n_v \cdot v}{V} \cdot 100\% \text{ (tính cho 1 ô cơ bản)}$$

Trong đó:  $n_v$ : Số nguyên tử của trong 1 ô cơ bản :  $n_v = 8 \cdot (1/8) + 1 = 2$  nguyên tử

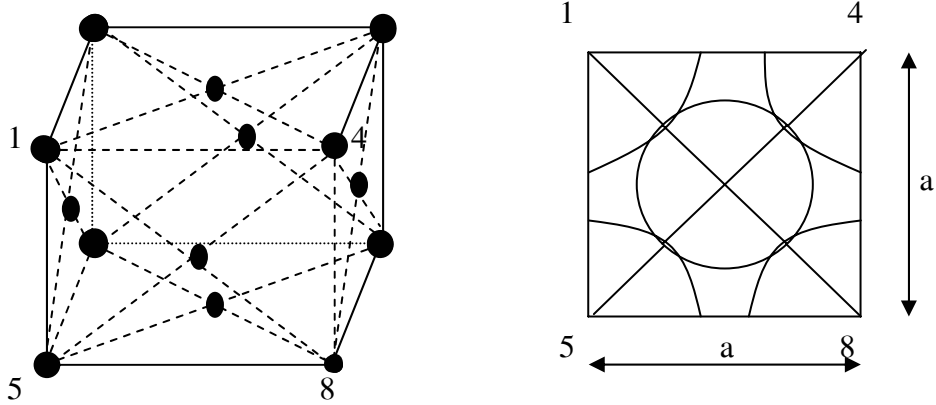
$v$ : Thể tích của nguyên tử  $v = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{a\sqrt{3}}{4}\right)^3$

$V$ : Thể tích của ô cơ bản  $V = a^3$  (a: hằng số tinh thể)

Suy ra 
$$M_v = \frac{2 \frac{4}{3} \pi \cdot (\frac{a\sqrt{3}}{4})^3}{a^3} \cdot 100\% = 68\%$$

Các lỗ hổng chiếm tỉ lệ 32%.

b) **Mạng lập phương diện tâm** ( thường thấy ở Fe  $\gamma$ ; Cu; Ni; Pb; Ag....)



Các nguyên tử nằm sát nhau theo những đường chéo mặt của khối lập phương. Số nguyên tử trong 1 ô cơ bản  $n_v = 8 \cdot (1/8) + 6 \cdot (1/2) = 4$

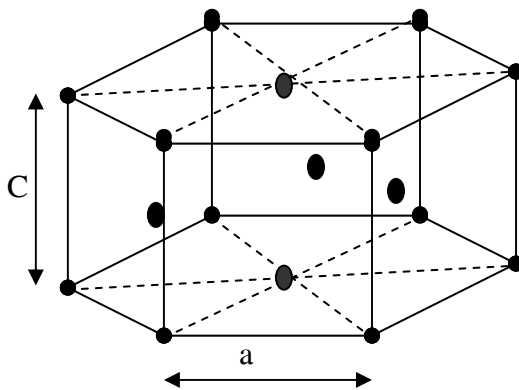
Thể tích của nguyên tử 
$$v = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{a\sqrt{2}}{4}\right)^3$$

Thể tích của ô cơ bản 
$$V = a^3$$

Mật độ khối 
$$M_v = \frac{n_v \cdot v}{V} \cdot 100\% = 74\%$$

c) **Mạng lục phương xếp chặt**

(a  $\neq$  c)



Ngoài mật độ khối ta thường tính mật độ mặt  $M_s = \frac{n_s \cdot s}{S} = \frac{n_s \cdot \pi \cdot r^2}{S}$

( S: là diện tích mặt tinh thể; r: bán kính nguyên tử)

Chú ý

-Ở các mặt và phương có mật độ lớn thì lực liên kết giữa các nguyên tử cũng lớn và ngược lại. Điều này quyết định cơ chế biến dạng dẻo.

-Thể tích giữa các lỗ hổng quyết định khả năng hòa tan xen kẽ của các nguyên tử vào nó.

-Mật độ nguyên tử ( $N = n_v / a^3$ ) khác với mật độ khối  $M_v$

**Bài1:** Cho biết sắt  $Fe_\alpha$  có mạng tinh thể lập phương thể tâm, bán kính nguyên tử  $1,24A^0$ , sắt  $Fe_\gamma$  có mạng tinh thể lập phương diện tâm, bán kính nguyên tử  $1,27A^0$

a/ Tính hằng số tinh thể của mỗi mạng tinh thể nói trên?

b/ Tính mật độ khối của mỗi chất?

*Hướng dẫn giải:*

$$\begin{aligned} Fe_\alpha \quad r &= \frac{\sqrt{3}}{4} a \quad n_{\text{ên}} \quad a = \frac{4r}{\sqrt{3}} = \frac{4 \cdot 1,24}{\sqrt{3}} = 2,8A^0 \\ M_v &= \frac{n_v \cdot v}{V} \cdot 100\% = 68\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Fe_\gamma \quad r &= \frac{a\sqrt{2}}{4} \quad n_{\text{ên}} \quad a = \frac{4r}{\sqrt{2}} = \frac{4 \cdot 1,27}{\sqrt{2}} = 3,6A^0 \\ M_v &= \frac{n_v \cdot v}{V} \cdot 100\% = 74\% \end{aligned}$$

**Bài 2:** Cho biết nhôm có tinh thể kiểu mạng lập phương diện tâm với hằng số tinh thể là  $a = 4,04 A^0$

a/Mô tả sự sắp xếp của các nguyên tử trên các mặt phẳng (111),(011) và (001). Hãy so sánh sự xếp chặt của các nguyên tử nhôm trên 3 mặt phẳng đó?

b/Tính mật độ khối của tinh thể nhôm?

c/ Tính mật độ nguyên tử của tinh thể nhôm?

**Bài 3:** Hãy so sánh độ dài của 2 dây dẫn bằng bạc và đồng có điện trở bằng nhau và có cùng tiết diện?

**Bài 4:** CMR nếu 2 dây dẫn đồng và nhôm bằng nhau về độ dài, bằng nhau về điện trở thì mặc dù dây nhôm có tiết diện lớn hơn 1,68 lần, đường kính lớn hơn 1,3 lần nhưng nó lại nhẹ hơn dây đồng gần 2 lần .

**Bài 5:** Dây cáp nhôm lõi thép dẫn dòng định mức 100A với mật độ  $2A/mm^2$ , dài 200m. Hãy tính:

a/ Tiết diện, trọng lượng và độ võng của dây?

b/ Thay dây nhôm bằng dây cáp đồng với yêu cầu tổn hao không đổi. Tính tiết diện, trọng lượng và độ võng của dây?

### BÀI TẬP VẬT LIỆU BÁN DẪN ĐIỆN

1. Những vật liệu bán dẫn cần học là: silic, giecmani; những vật liệu bán dẫn ghép thuộc các nhóm liên kết  $A^{III}B^V$ ,  $A^{II}B^{VI}$ ,  $A^{IV}B^{VI}$ , nhưng tập trung học kỹ hơn GaAs.

Nội dung cần biết về một VLBD cụ thể như sau:

Cấu trúc nguyên tử, cấu trúc tinh thể, tính chất vật lý, tính chất hóa học, cấu trúc các vùng năng lượng, công dụng, các thông số về tính chất, biết tính toán các thông số như: điện trở suất, bán kính nguyên tử, mật độ nguyên tử, mật độ điện tích  $n_i$ , mật độ ở bờ vùng dẫn,  $N_c$ , mật độ ở bờ vùng hóa trị,  $N_v$ , cấu trúc tinh thể có tạp chất.

2. Điện dẫn suất của VLBD tinh khiết:  $\delta_i = n_i e(\mu_n + \mu_p)$

3. Mức năng lượng Fermi trong VLBD tinh khiết

$$W_F = W_g/2, eV$$

$$W_F = \frac{1}{2} W_g + \frac{3}{4} kT \ln \frac{m_n}{m_p}$$

4. Mật độ điện tích trong VLBD tinh khiết:

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

5. Mật độ electron trong vùng dẫn :

$$n = N_c \exp\left(-\frac{W_g - W_F}{kT}\right)$$

Mật độ điện tích ở bờ vùng dẫn

$$N_c = 2 \left( \frac{2\pi m_n kT}{h^2} \right)^{3/2}$$

6. Mật độ lỗ trống trong vùng hóa trị:

$$p = N_v \exp\left[-W_F - \frac{1}{kT}\right]$$

Mật độ điện tích ở bờ vùng hóa trị:

$$N_v = 2 \left( 2\pi m_p kT \frac{1}{h^2} \right)^{3/2}$$

7. Điện dẫn suất của VLBD có tạp chất loại n:

$$\sigma_n = eN_d \mu_n$$

8. Điện dẫn suất của VLBD có tạp chất loại p:

$$\sigma_p = eN_a \mu_p$$

9. Mức Fermi trong VLBD loại n:

$$W_F = W_g - kT \ln(N_c/N_d)$$

10. Mức Fermi trong VLBD loại p:

$$W_F = W_v - kT \ln(N_v/N_a)$$

11. Hệ số khuếch tán của điện tích:

$$D = \hbar kT / m, m^2/s$$

12. Hệ số khuếch tán của electron:

$$D_n = (kT/e) \mu_n, m^2/s$$

13. Hệ số khuếch tán của lỗ trống:

$$D_p = (kT/e) \mu_p, m^2/s$$

14. Vận tốc khuếch tán của electron:

$$V_n = D_n \frac{1}{n} \frac{dn}{dx}, m/s$$

15. Vận tốc khuếch tán của lỗ trống:

$$V_p = D_p \frac{1}{P} \frac{dp}{dx}, m/s$$

16. Mật độ dòng điện khuếch tán của electron:

$$J_{Dn} = eD_n \frac{dn}{dx}, \frac{A}{m^2}$$

17. Mật độ dòng điện khuếch tán của lỗ trống:

$$J_{Dp} = eD_p \frac{dp}{dx}, \frac{A}{m^2}$$

18. Phương trình Einstein:

$$kT/e = D_n / \mu_n = D_p / \mu_p$$

19. Hằng số Hall của VLBD loại n, loại p:

$$R_H = -1/(ne) ; R_H = 1/(pe), m^3 A^{-1} s^{-1}$$

20. . Hằng số Hall của VLBD vừa loại n vừa loại p:

$$R_H = \frac{p\mu_p^2 - n\mu_n^2}{e(p\mu_p + n\mu_n)^2}, m^3 A^{-1} s^{-1}$$

22. Quan hệ của hằng số Hall với điện dẫn suất và độ linh động:

$$\mu = R_H \cdot \sigma, m^3 A^{-1} s^{-1}$$

23. Điện áp tiếp xúc của tiếp giáp p-n

$$U_o = \frac{kT}{e} \ln \frac{N_a N_d}{n_i^2}, V$$

24. Quan hệ giữa điện tích đa số và điện tích thiểu số:

$$p_p = p_n \exp\left(\frac{eU_o}{kT}\right), 1/m^3$$

$$n_n = n_p \exp\left(\frac{eU_o}{kT}\right), 1/m^3$$

25. Bề dày vùng trống:

$$dp = \left[ \frac{2\varepsilon U_o N_d}{e N_a (N_a + N_d)} \right]^{1/2}, m$$

$$dn = \left[ \frac{2\varepsilon U_o N_a}{e N_d (N_a + N_d)} \right]^{1/2}, m$$

$$d = d_n + d_p = \left[ \frac{2\varepsilon U_o (N_a + N_d)}{e N_a N_d} \right]^{1/2}, m$$

$$dn / dp = N_a / N_d$$

26. Mật độ dòng điện bão hòa:

$$J_o = en_i^2 \left( \frac{D_p}{L_p N_d} + \frac{D_n}{L_n N_a} \right), \frac{A}{m^2}$$

27. Mật độ dòng điện của điốt tiếp giáp p-n với điện áp phân cực thuận:

$$J = J_o \exp(eU / kT), \frac{A}{m^2}$$

28. Điện dung của tiếp giáp p-n:

$$C_j = \left[ \frac{\varepsilon e N_a N_d}{2(N_a + N_d)} \right]^{1/2} U_j^{1/2}, \frac{F}{m^2}$$

$$C_j = \frac{\varepsilon}{dn + dp}, \frac{F}{m^2}$$

Bằng cách thay đổi nồng độ tạp chất, thay đổi điện áp phân cực nghịch, và thay đổi kiểu cấu tạo, có thể làm thay đổi giá trị điện dung.

29. Tạp chất trong VLBD làm tăng điện dẫn suất, không làm thay đổi cấu trúc nhưng làm thay đổi hằng số tinh thể và mức năng lượng miền cấm.

### A. Bài tập về tiếp xúc p-n và quang điện tử

**Bài 1:** Cho tiếp xúc p-n có  $N_a = 10^{24} (m^{-3})$ ;  $N_d = 10^{22} (m^{-3})$ , tiết diện  $10^{-6} (m^2)$ ;

$\mu_n = 0,4 (m^2 / Vs)$ ;  $\mu_p = 0,2 (m^2 / Vs)$ ;  $L_p = 2.10^{-4} (m)$ ;  $L_n = 3.10^{-4} (m)$ ;  $\varepsilon = 16$ ;

$n_i = 10^{19} (m^{-3})$ . Tính điện áp tiếp xúc, mật độ điện tích đa số, thiểu số, điện dẫn suất mỗi phía, hệ số khuếch tán, cường độ dòng bão hòa, cường độ khi điện áp phân cực thuận 0,25V và điện áp phân cực nghịch rất lớn, bề dày vùng trống khi  $U_{PCn} = 10V$ , điện dung của tiếp xúc khi  $U_{PCn} = 10V$ .

#### **Bài giải:**

-Điện áp tiếp xúc:  $U_o = \frac{kT}{e} \ln \frac{N_a N_d}{n_i^2} = \frac{1,38.10^{-23} \cdot 300}{1,6.10^{-19}} \ln \frac{10^{24} \cdot 10^{22}}{10^{38}} = 0,48V$

-Mật độ điện tích đa số phía p:  $N_a = 10^{24} (m^{-3})$ , phía n:  $N_d = 10^{22} (m^{-3})$

Mật độ điện tích thiểu số ở phía p là electron

$$n_p = Nd \cdot \exp\left(-\frac{eU_0}{kT}\right) = 10^{22} \cdot \exp\left(-\frac{0,48}{0,026}\right) = 10^{14} (\text{m}^{-3})$$

Mật độ điện tích thiếu số ở phía n (lỗ trống)

$$p_n = Na \cdot \exp\left(-\frac{eU_0}{kT}\right) = 10^{16} (\text{m}^{-3})$$

-Điện dẫn suất mỗi phía:

$$\text{Phía p: } \sigma_p = eNa\mu_p = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{24} \cdot 0,2 = 3,2 \cdot 10^4 (\Omega^{-1} \text{m}^{-1})$$

$$\text{Phía n: } \sigma_p = eNd\mu_p = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{22} \cdot 0,4 = 6,4 \cdot 10^2 (\Omega^{-1} \text{m}^{-1})$$

-Hệ số khuếch tán của điện tích được tính bằng phương trình Einstein

$$D_n = \left(\frac{kT}{e}\right) \cdot \mu_n = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{1,6 \cdot 10^{-19}} \cdot 0,4 = 0,005 (\text{m}^2 / \text{s})$$

$$D_p = \left(\frac{kT}{e}\right) \cdot \mu_p = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{1,6 \cdot 10^{-19}} \cdot 0,2 = 0,01 (\text{m}^2 / \text{s})$$

-Mật độ dòng điện bão hòa:

$$J_0 = e n_i^2 \left( \frac{D_p}{L_p \cdot Nd} + \frac{D_n}{L_n \cdot Na} \right) = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot (10^{-19})^2 \cdot \left( \frac{0,01}{2 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{22}} + \frac{0,005}{3 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{24}} \right) = 0,042 (\text{A})$$

Cường độ dòng điện bão hòa:

$$I_0 = J_0 \cdot S = 0,042 \cdot 10^{-6} = 0,04 (\mu\text{A})$$

-Mật độ dòng điện thuận:

$$J = J_0 \cdot \exp\left(\frac{eU}{kT}\right) = 0,042 \cdot \exp\left(\frac{0,25}{0,026}\right) = 6,3 \cdot 10^2 (\text{A})$$

Cường độ dòng điện thuận:  $I = JS = 0,63 (\mu\text{A})$

-Bề dày vùng trống:

$$d = \left[ \frac{2 \cdot \varepsilon (Na + Nd)}{eNaNd} \right]^{1/2} \cdot U^{1/2} = \left[ \frac{2 \cdot 16 \cdot (10^{24} + 10^{22}) \cdot 8,8 \cdot 10^{-12}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{24} \cdot 10^{22}} \right] \cdot 0,10^{1/2} = 1,33 (\mu\text{m})$$

-Giá trị điện dung:

$$C_J = \varepsilon \cdot \frac{S}{d} = 16,8856 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{10^{-6}}{1,33 \cdot 10^{-6}} = 106,5 \cdot 10^{-12} (\text{F}) \approx 100 (\text{pF})$$



- Cường độ dòng điện khi có điện áp phân cực nghịch rất lớn chính là cường độ dòng điện bão hòa:  $I_0 = 0,04(\mu A)$

**Bài 2:** Một vật liệu bán dẫn có năng lượng vùng cấm là 2,3eV. Hãy tính

- Giải sóng ánh sáng mà VLBD này có thể hấp thụ được.
- Giải sóng ánh sáng mà VLBD này có thể phát ra được.
- Các giải sóng ánh sáng trên nằm trong phạm vi quang phổ nào?

**Bài giải**

- Ánh sáng mà VLBD nói trên có thể hấp thụ được phải có năng lượng bằng hoặc lớn hơn năng lượng vùng cấm:

$$hf \geq W_g$$

$$h \frac{c}{\lambda} \geq W_g$$

$$\lambda \leq \frac{hc}{W_g} = \frac{(6,625 \cdot 10^{-34})(3 \cdot 10^8)}{1,602 \cdot 10^{-19} \cdot W_g} = \frac{1,24 \cdot 10^{-6} m}{W_g(eV)} = \frac{1,24 \mu m}{W_g(eV)}$$

$$\lambda \leq \frac{1,24}{2,3} = 0,539 \mu m \approx 540 nm$$

Bước sóng ánh sáng được hấp thụ phải bằng hoặc nhỏ hơn 540nm

$$\lambda \leq 540 nm.$$

- Ánh sáng mà VLBD nói trên có thể phát ra có năng lượng bằng hoặc nhỏ hơn năng lượng vùng cấm:

$$hf \leq W_g$$

từ đó, ánh sáng có bước sóng nằm trong giải

$$\lambda \geq 540 nm$$

- Ánh sáng có giải bước sóng  $\lambda \leq 540 nm$  nằm trong một phần của giải quang phổ mắt nhìn thấy được (ánh sáng màu xanh, màu tím) và quang phổ tia cực tím, tia X, tia gamma

ánh sáng có giải bước sóng  $\lambda \geq 540 nm$  cũng nằm trong một phần của quang phổ mắt nhìn thấy được ( ánh sáng màu xanh lá cây, màu vàng, màu cam, màu đỏ), và quang phổ hồng ngoại.

**Bài 3:** Hợp kim  $Hg_{1-x}Cd_xTe$  có năng lượng vùng cấm có thể xác định bằng hệ thức:

$$W_g = -0,3 + 1,9x, eV$$

Hãy xác định tỉ lệ thành phần của hợp kim để có bước sóng giới hạn của ánh sáng được hấp thụ bằng

- $10 \mu m$
- $5 \mu m$

**Bài giải**

Bước sóng giới hạn của ánh sáng được hấp thụ bằng:

$$\lambda_{gh} = \frac{1,24}{W_{geV}}, \mu m$$

Từ đó,

$$W_g = \frac{1,24}{\lambda_{gh}(\mu m)} = -0,3 + 1,9x$$

Giá trị của x:

$$X = \frac{\frac{1,24}{\lambda_{gh}} + 0,3}{1,9}$$

Với :

$$\begin{aligned} \lambda_{gh} &= 10 \mu m : \\ x_2 &= \frac{\frac{1,24}{\lambda_{gh}} + 0,3}{1,9} = 0,22 \approx 0,2 \end{aligned}$$

và hợp kim có ký hiệu :  $Hg_{0,8}Cd_{0,2}Te$ .

$$c) \text{ với } \lambda = 5,0 \mu m : \quad x = \frac{\frac{1,24}{5} + 0,3}{1,9} = 0,288 \approx 0,3$$

và hợp kim có ký hiệu:  $Hg_{0,7}Cd_{0,3}Te$ .

**Bài 4:** Hãy tính bước sóng giới hạn của ánh sáng mà GaAs có thể hấp thụ được. Nếu muốn giảm bước sóng xuống bằng  $0,7 \mu m$  thì phải thêm bao nhiêu Al và Ga, cho biết năng lượng vùng cấm của hợp kim  $Ga_{1-x}Al_xAs$  có thể tính bằng:

$$W_g(x) = 1,34 + 1,25x, eV \quad \text{nếu } x \leq 0,4.$$

**Bài 5 :** Ánh sáng có công suất  $10W/cm^2$  với bước sóng bằng  $0,75 \mu m$  chiếu lên linh kiện phát sáng làm bằng GaAs, hãy tính mức độ sản sinh cặp electron – lỗ trống ở nhiệt độ  $300^{\circ}K$ . Nếu thời gian tái hợp của electron– lỗ trống bằng  $10^{-9}s$ , hãy tính lượng gia tăng của electron – lỗ trống.

**Bài 6 :** Ánh sáng có mật độ công suất  $1 \frac{W}{cm^2}$  được chiếu lên mẫu GaAs. Hãy tính mật độ của cặp electron – lỗ trống được sinh ra ở trên bề mặt của mẫu GaAs và ở lớp dưới cách bề mặt  $0,5 \mu m$ . Giả thiết ánh sáng không bị phản chiếu trở lại từ bề mặt. Cho biết thời gian tái hợp của electron – lỗ trống bằng  $10^{-8}s$ .

**Bài 7:** Hãy giải thích rằng dòng điện ngắn mạch  $I_{sc}$  của pin mặt trời có quan hệ với điện áp không tải  $U_{oc}$  theo hàm như sau:

$$I_{sc} = A[\exp(BU_{oc}) + C]$$

Ở đó A, B, C là các đại lượng cần xác định giá trị. Pin mặt trời làm bằng Si, làm việc ở nhiệt độ  $300K$ , có diện tích  $100cm^2$ , dòng điện ngắn mạch  $3,3A$  dưới tác dụng của ánh sáng có mật độ công suất  $1kw/m^2$ , và dòng điện bão hòa  $0,3nA$ .

Hãy tính : a/ Điện áp không tải .

b/ Hiệu suất của pin.

**Bài 8:** Một pin mặt trời là tiếp giáp p-n, vật liệu Si, có dòng điện rò  $I_0 = 1\text{nA}$ , diện tích của pin  $200\text{mm}^2$ , dòng điện ngắn mạch dưới ánh nắng giữa trưa bằng  $20\text{mA}$ ; mức độ sản sinh cặp electron – lỗ trống trong Si bằng  $3.10^{24}/\text{sm}^3$ .

Cho biết hệ số khuếch tán của lỗ trống  $1,25.10^{-3}\text{m}^2/\text{s}$ .

Hãy tính:

a/ Chiều dài khuếch tán và thời gian sống của lỗ trống thiểu số ở trong phía n, giả thiết rằng thời gian sống của electron ở trong phía p là vô cùng ngắn do phía p có nồng độ tạp chất cao.

b/ Điện trở nối vào 2 đầu cực của pin để có được dòng điện bằng  $10\text{mA}$ .

c/ Công suất cấp cho điện trở.

**Bài 9:** Một tấm mỏng Si hình tròn, đường kính  $75\text{mm}$ , được dùng làm pin mặt trời. Dưới tác dụng của ánh nắng mạnh, dòng điện ngắn mạch của pin bằng  $500\text{mA}$ , ở nhiệt độ làm việc  $30^\circ\text{C}$ .

Hãy tính điện áp không tải của pin, cho biết dòng điện bão hòa trong tối của pin bằng  $0,3\ \mu\text{A}$ .

Hãy tính khả năng đáp ứng của pin, cho biết công suất của ánh nắng bằng  $100\text{W}/\text{m}^2$

Ghi chú: khả năng đáp ứng của pin được hiểu là tỉ số của cường độ quang điện với công suất của ánh nắng cung cấp cho pin (thứ nguyên A/W).

**Bài 10:** Hãy chứng minh rằng khi pin mặt trời phát ra được công suất cực đại, thì phương trình dưới đây được nghiệm đúng:

$$\left(1 + \frac{eU_m}{kT}\right) \exp\left(\frac{eU_m}{kT}\right) = 1 + \frac{I_{sc}}{I_0}$$

Ở đó  $U_m$  là điện áp của pin khi phát ra công suất cực đại. Giả thiết rằng  $I_{sc} \geq I_0, U_m \geq \frac{kT}{e}$ , thì phương trình có thể viết dưới dạng sau đây:

$$\text{Ln}x = c - x$$

Ở đó c là một hằng số .

Hãy xác định giá trị của  $U_m$ , cho biết dòng điện bão hòa bằng  $1\text{nA}$  và dòng điện ngắn mạch bằng  $100\text{mA}$  ở  $20^\circ\text{C}$ . Hãy tính giá trị của công suất phát ra cực đại của pin .

**Bài 11:** Một pin mặt trời làm việc như một diốt bằng Si với điện áp phân cực thuận và dòng điện bão hòa  $3\text{nA}$  ở trong tối, với nhiệt độ  $30^\circ\text{C}$ . khi được chiếu ánh sáng mặt trời, thì dòng điện ngắn mạch đo được bằng  $40\text{mA}$ .

Hãy tính giá trị điện áp không tải của pin.

Hãy dẫn phương trình của điện áp tối ưu  $U_m$  và dòng  $I_m$ , công suất cực đại  $P_m$  được pin phát ra.

Hãy tính giá trị của  $U_m, I_m, P_m$ .

Hãy tính hiệu suất pin, cho biết diện tích của pin  $2\text{cm}^2$ , công suất của ánh sáng  $1\text{kw/m}^2$ .

### B. Các bài tập khác

- Hằng số tinh thể của silic bằng  $5,43\text{Å}$ . Hãy tính mật độ nguyên tử của Si, và hãy tính mật độ của Ga trong GaAs có hằng số tinh thể bằng  $5,56\text{Å}$ .
- Trong công nghệ bán dẫn, linh kiện bằng Si có kích thước nhỏ nhất, còn linh kiện bằng GaAs thì có kích thước lớn nhất. Cho biết một linh kiện bằng Si có kích thước bằng  $(5 \times 2 \times 1)\ \mu\text{m}^3$ , và linh kiện laser bằng GaAs có kích thước  $(200 \times 10 \times 5)\ \mu\text{m}^3$ . Hãy tính số nguyên tử trong mỗi linh kiện.
- Hãy tính mật độ Ga trên mặt phẳng (001) của tinh thể GaAs tận cùng bằng Ga.
- Hãy tính trên mặt phẳng (110) có bao nhiêu nguyên tử Ga, và bao nhiêu nguyên tử As.
- Hãy mô tả sự sắp xếp của các nguyên tử trên mặt phẳng (111) của tinh thể GaAs.
- Hãy tính mật độ electron ở bờ vùng dẫn và mật độ lỗ trống ở bờ vùng hóa trị của Si, Ge, GaAs. Cho biết khối lượng hiệu dụng của electron và lỗ trống như sau:

	Si	Ge	GaAs
$m_n$ , kg	0,98m	1,64m	0,067m
$m_p$ , kg	0,49m	0,28m	0,45m

7. Hãy tính tỉ lệ của electron trong vùng hóa trị của giecmani tinh khiết có thể do tác dụng của nhiệt vượt qua vùng cấm  $W_g = 0,72\text{ eV}$  để tạo vùng dẫn ở nhiệt độ: a) 30K; b) 300K; c) ở nhiệt độ nóng chảy của Ge:  $937^\circ\text{C}$ .

8. Hãy tính tỉ lệ của electron có thể có ở vùng dẫn ở nhiệt độ phòng của : a) Ge ( $W_g = 0,72\text{ eV}$ ), b) Si ( $W_g = 1,1\text{eV}$ ), c) kim cương ( $W_g = 5,6\text{eV}$ ).

9. Hãy tính ở nhiệt độ nào thì kim cương có thể sử dụng như là bán dẫn.

10. Hãy so sánh vận tốc của electron chuyển động trong điện trường  $10\text{KV/m}$  trong Ge tinh khiết với vận tốc của electron chuyển động của electron trong chân không trên một đoạn đường  $10\text{mm}$  cũng trong điện trường  $10\text{kV/m}$ .

11. Một tinh thể Ge loại n có mật độ dòng điện  $10^3\text{A/m}^2$ , điện trở suất  $0,05\ \Omega\text{m}$ . Hãy tính thời gian cần thiết để electron chuyển động hết đoạn đường dài  $50\ \mu\text{m}$ .

12. Hãy tính điện dẫn suất của Ge tinh khiết ở nhiệt độ nóng chảy của nó,  $937^\circ\text{C}$ .

13. Điện trở suất của Si ở  $270^\circ\text{C}$  bằng  $3000\ \Omega\text{m}$ . Hãy tính mật độ hạt mang điện, biết rằng  $\mu_n = 0,17\text{ m}^2\text{A}^{-1}\text{s}^{-1}$ .

14. Điện trở suất của Si tinh khiết ở nhiệt độ phòng bằng  $2000\ \Omega\text{m}$ , và mật độ electron dẫn bằng  $1,4 \cdot 10^{16}\text{m}^{-3}$ . Hãy tính điện dẫn suất của Si với mật độ tạp

chất nhận  $10^{21}m^{-3}$  và  $10^{23}m^{-3}$ . Biết rằng :  $\mu_p$  có giá trị không đổi trong Si tinh khiết cũng như trong Si có tạp chất :  $\mu_p = 0,25 \mu_n$ .

**BÀI TẬP VẬT LIỆU ĐIỆN MÔI**

1) **Điện môi hỗn hợp** Thực tế cần phải xác định hệ số điện môi tương đương của nhiều điện môi trên cùng một điện môi tổng hợp.

-Xét tụ điện có điện môi gồm 2 điện môi đồng nhất mắc song song.

Ta có: 
$$C = C_1 + C_2 = \frac{\epsilon_1 \epsilon_0 S_1}{h} + \frac{\epsilon_2 \epsilon_0 S_2}{h}$$

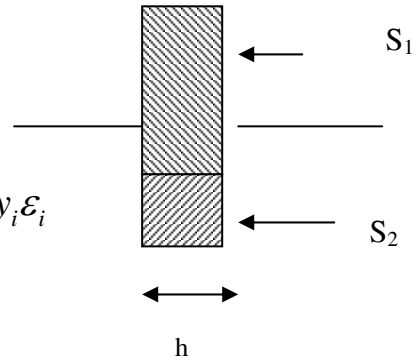
$$\frac{\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot (S_1 + S_2)}{h} = \frac{\epsilon_0 (\epsilon_1 S_1 + \epsilon_2 S_2)}{h}$$

$$\epsilon = \frac{\epsilon_1 S_1 + \epsilon_2 S_2}{S_1 + S_2}$$

Đặt 
$$y_1 = \frac{S_1}{S_1 + S_2} ; \quad y_2 = \frac{S_2}{S_1 + S_2}$$

thì 
$$\epsilon = y_1 \epsilon_1 + y_2 \epsilon_2$$

Trường hợp tổng quát ta có thể viết: 
$$\epsilon = \sum_{i=1}^m y_i \epsilon_i$$



-Xét tụ điện có điện môi gồm 2 điện môi đồng nhất mắc nối tiếp

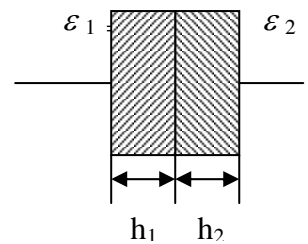
Ta có: 
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{h_1}{\epsilon_1 \cdot \epsilon_0 \cdot S_1} + \frac{h_2}{\epsilon_2 \epsilon_0 S_2}$$

$$\frac{h_1 + h_2}{\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot S} = \frac{1}{\epsilon_0 S} \left( \frac{h_1}{\epsilon_1} + \frac{h_2}{\epsilon_2} \right)$$

$$\frac{1}{\epsilon} = \frac{h_1}{h_1 + h_2} \cdot \frac{1}{\epsilon_1} + \frac{h_2}{h_1 + h_2} \cdot \frac{1}{\epsilon_2}$$

Đặt: 
$$y_1 = \frac{h_1}{h_1 + h_2} \quad y_2 = \frac{h_2}{h_1 + h_2} \quad \text{thì} \quad \frac{1}{\epsilon} = \frac{y_1}{\epsilon_1} + \frac{y_2}{\epsilon_2}$$

Trường hợp tổng quát có thể viết: 
$$\frac{1}{\epsilon} = \sum_{i=1}^m \frac{y_i}{\epsilon_i}$$



-Điện môi hỗn hợp được trộn lẫn vào nhau vì thế trên thực tế nó không hoàn toàn mắc song song hay nối tiếp. Giá trị tương đương của hệ số điện môi tổng hợp sẽ nằm giữa giá trị mắc song song và nối tiếp.

$$\left( \sum_{i=1}^m y_i \epsilon_i \right)^{-1} \leq \epsilon \leq \sum_{i=1}^m y_i \epsilon_i$$

## 2) Sự phân bố điện trường trong cách điện

Tham số có thể ảnh hưởng tới phân bố điện trường theo thể tích điện môi là hiệu số điện môi  $\varepsilon$ . Xét một tụ phẳng có bề dày  $h$  được đặt dưới điện áp  $U$

-Trong trường hợp điện môi đồng nhất thì điện trường trong từng điểm của điện môi hoàn toàn không phụ thuộc  $\varepsilon$ :  $E_0 = U / h$

-Trong trường hợp tụ phẳng có chứa 2 hay nhiều điện môi khác nhau.

+Nếu mắc song song thì trường lại trở nên đồng nhất và  $E = U / h$

+Nếu mắc nối tiếp: điện trường trong mỗi lớp bây giờ đã không giống nhau. Nó tỉ lệ nghịch với hệ số điện môi của vật liệu.

Ta có:  $D = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_0 \cdot E_1 = \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_0 E_2$

$$\varepsilon_1 \cdot E_1 = \varepsilon_2 E_2 \quad (*)$$

$$U = U_1 + U_2 = E_1 h_1 + E_2 h_2 \quad (**)$$

Giải hệ phương trình (\*) và (\*\*) ta được:

$$E_1 = \frac{\varepsilon_2 U}{h_1 \varepsilon_2 + h_2 \varepsilon_1} ; \quad U_1 = \frac{\varepsilon_2 U \cdot h_1}{h_1 \varepsilon_2 + h_2 \varepsilon_1}$$

$$E_2 = \frac{\varepsilon_1 U}{h_1 \varepsilon_2 + h_2 \varepsilon_1} ; \quad U_2 = \frac{\varepsilon_1 U \cdot h_2}{h_1 \varepsilon_2 + h_2 \varepsilon_1}$$

Tổng quát cho trường hợp tụ phẳng gồm  $m$  lớp

$$E_i = \frac{U}{\varepsilon_i \sum_{j=1}^m \frac{h_j}{\varepsilon_j}}$$

Xét tụ hình trụ có đường kính điện cực trong và ngoài là  $R_1, R_2$  thì cường độ điện trường tại điểm  $x$  (với  $R_1 < x < R_2$ ) sẽ là

$$E_x = \frac{U}{x \ln \frac{R_2}{R_1}}$$

Vị trí của vật liệu trong các lớp của tụ hình trụ gồm nhiều lớp ( $m$  lớp) ảnh hưởng rất lớn đến điện trường trong từng lớp điện môi. Để có thể nhận được sự phân bố một cách hợp lý (có  $E_{\max}$  thấp) cần bố trí lớp trong cùng có  $\varepsilon$  lớn. Nguyên tắc này được áp dụng cho cáp cao áp.

**Bài 1:** Một thanh cách điện hình trụ có đường kính  $d = 5\text{mm}$  và chiều dài  $l = 15\text{mm}$ , bằng chất polytetrafluoroetylen, có điện trở suất khối  $\rho_v = 10^{15} \Omega m$  và điện trở suất mặt  $\rho_s = 10^{16} \Omega$ , hai đầu có bọc kim loại để làm điện cực. Đặt điện áp lên hai điện cực  $U = 1\text{kV}$ , một chiều. Hãy tính dòng điện rò qua thanh cách điện và tính tổn hao công suất.

**Bài giải:**

$$\text{Điện trở khối } R_v = \rho_v \frac{l}{s} = 10^{15} \Omega m \cdot \frac{15 \cdot 10^{-3} m}{\frac{\pi}{4} (5 \cdot 10^{-3} m)^2} = 7,6 \cdot 10^{17} \Omega$$

$$\text{Điện trở mặt: } R_s = \rho_s \frac{l}{\pi d} = 10^{16} \cdot \frac{15}{\pi 5} = 9,55 \cdot 10^{15} \Omega$$

$$\text{Dòng điện chảy xuyên qua thanh cách điện: } I = \frac{U}{R_v} = \frac{10^3 V}{7,6 \cdot 10^{17} \Omega} = 1,315 \cdot 10^{-15} A$$

$$\text{Dòng điện chảy trên bề mặt: } I_s = \frac{U}{R_s} = \frac{10^3 V}{9,55 \cdot 10^{15} \Omega} = 1,05 \cdot 10^{-13} A$$

$$\text{Dòng } I_r = I + I_s = 1,315 \cdot 10^{-15} + 105 \cdot 10^{-15} = 106,35 \cdot 10^{-15} A = 1,06 \cdot 10^{-13} A.$$

$$\text{Hoặc } I_r = U/R_d$$

$$\text{Với } R_d = \frac{R_v \cdot R_s}{R_v + R_s} = \frac{7,6 \cdot 10^{17} \cdot 9,55 \cdot 10^{15}}{7,6 \cdot 10^{17} + 9,55 \cdot 10^{15}} = \frac{7,258 \cdot 10^{33}}{769,55 \cdot 10^{15}} = 9,43 \cdot 10^{15} \Omega$$

$$I_d = \frac{10^3}{9,43 \cdot 10^{15}} = 1,06 \cdot 10^{-13} A$$

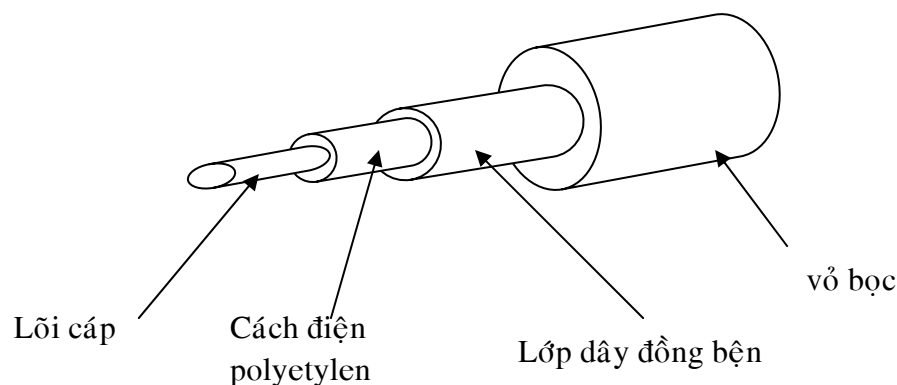
$$\text{Tổn hao công suất: } P = UI = 10^3 \cdot 1,06 \cdot 10^{-13} = 1,06 \cdot 10^{-10} W = 0,106 nW.$$

**Bài 2:** Một khối lập phương bằng ebônít, có cạnh  $a = 50 \text{ mm}$ , có điện trở suất khối  $\rho_v = 5 \cdot 10^3 \Omega m$  và điện trở suất mặt  $\rho_s = 10^{13} \Omega$ ; trên hai mặt đối diện có bọc kim loại để làm điện cực. Điện áp một chiều đặt lên hai điện cực  $U = 2 \text{ kV}$ . Hãy xác định dòng điện rò và tổn hao công suất.

**Bài 3:** Một dây cáp truyền thông có lõi  $d = 1 \text{ mm}$ , bọc cách điện bằng polyetylen, đường kính ngoài của lớp cách điện bằng  $10 \text{ mm}$ . điện trở suất khối  $\rho_v = 10^{14} \Omega m$  (bỏ qua dòng điện mặt). Hãy tính điện trở của lớp polyetylen với chiều dài  $l = 100 \text{ m}$  và  $l = 1 \text{ km}$ .

### **Bài giải:**

Sơ đồ cấu tạo của dây cáp:



Dòng điện rò chảy từ lõi d qua polyetylen, đến lớp bên bằng đồng, chảy theo hướng bán kính. Xét trên bán kính, cường độ điện trường không đồng đều.

Điện trở cách điện được tính bằng:  $R_d = \frac{\rho_v}{2\pi l} \ln \frac{R_2}{R_1} = \frac{\rho_v}{2\pi l} \ln \frac{D_2}{d}$

$$R_d = \frac{10^{14} \Omega m}{2\pi l} \ln \frac{10}{1} = \frac{0,366 \cdot 10^{14}}{l} \Omega$$

Chiều dài dây cáp l càng lớn thì điện trở cách điện  $R_d$  càng nhỏ.

Với  $l = 100m$

$$R_{1000} = \frac{0,366 \cdot 10^{14}}{10^3} = 0,366 \cdot 10^{11} = 3,66 \cdot 10^{10} \Omega$$

Nhận thấy: dây cáp càng dài thì điện trở cách điện càng nhỏ.

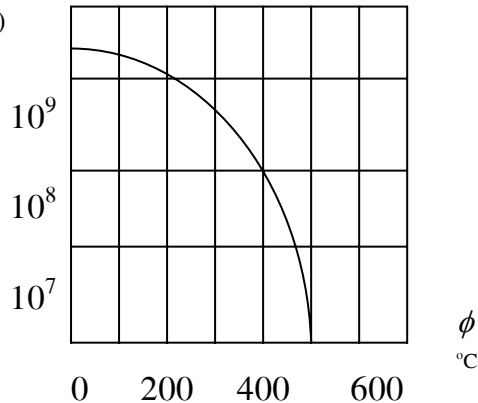
**Bài 4:** Hãy tính hệ số nhiệt của điện trở suất của sơn cách điện là emay, ở hai nhiệt độ 200°C và 400°C, dựa vào đồ thị trên hình bên cạnh.

**Bài giải:**

Định nghĩa của hệ số nhiệt:

$$TC_p = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{d\phi}, \left( \frac{1}{^\circ C} \right)$$

$\rho$   
( $\Omega m$ )



Đọc trên đồ thị giá trị của  $\rho$  ở hai nhiệt độ 200°C và 400°C.

$$\rho_{200} = \rho_1 = 10^9 (\Omega m), \text{ ở } 200^\circ C \text{ và } 400^\circ C.$$

$$\rho_{400} = \rho_2 = 10^8 (\Omega m)$$

Hệ số nhiệt được tính như sau:

$$TC_p = \frac{1}{\rho_1} \cdot \frac{\rho_2 - \rho_1}{\phi_2 - \phi_1} = \frac{1}{10^9} \cdot \frac{10^8 - 10^9}{400 - 200} = 0,00475 = -4,75 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{^\circ C}$$

Hệ số nhiệt có giá trị âm, có nghĩa rằng khi nhiệt độ tăng thì điện trở suất giảm.

**Bài 5:** Một tụ phẳng có điện cực hình vuông 100mm\*100mm, điện tích  $Q = 50pC$ . Hãy dựng đồ thị mô tả sự biến thiên của các đại lượng dưới đây khi khoảng cách điện cực tăng từ 1mm đến 10mm, trong hai trường hợp: a/ điện môi là không khí. b/ điện môi là chất lỏng với  $\epsilon = 2$ .

1/ giá trị điện dung

2/ hiệu thế giữa hai điện cực

3/ cường độ điện trường trong điện môi của tụ.

4/ chuyển dịch điện trong điện môi của tụ.

5/ năng lượng tích lũy trong tụ.



**Bài 6 :** Hãy xác định giá trị điện dung của dây cáp có lõi kim loại với đường kính  $d_1 = 1\text{mm}$ , bọc cách điện bằng polyetylen với đường kính ngoài  $d_2 = 10\text{mm}$ ; hằng số điện môi của polyetylen  $\varepsilon = 2,3$

**Bài 7:** Hỗn hợp điện môi gồm có 2 thành phần: polytetrafluoroetylen (ftorlon -4) và ticond T-80. Hãy xác định tỉ lệ ( theo thể tích ) của mỗi thành phần để cho hằng số điện môi của hợp chất bằng 10.

Cho biết :  $\varepsilon = 80$  đối với ticond T – 80

$$\varepsilon = 2,1 \text{ đối với ftorlon – 4.}$$

**Bài giải :**

Biết rằng hằng số điện môi của hỗn hợp điện môi  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = \varepsilon_1 y_1 + \varepsilon_2 y_2 = 10 \quad (1)$$

Ở đó:

$\varepsilon$ : hằng số điện môi của hỗn hợp điện môi;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ : hằng số điện môi của thành phần điện môi 1 và thành phần điện môi 2.

$y_1, y_2$ : tỉ lệ ( thể tích ) của mỗi thành phần điện môi;

$y_1 + y_2 = y$  là thể tích của hỗn hợp điện môi.

Từ đó có :  $y_2 = y - y_1$  hoặc ( $y_1 = y - y_2$ )

Thay vào (1), có:  $\varepsilon = \varepsilon_1 y_1 + \varepsilon_2 (y - y_1) = 10$ .

$$80y_1 + 2,1(y - y_1) = 10$$

Đặt  $y = 1$  hoặc ( $y = 100\%$ )

$$80y_1 + 2,1(1 - y_1) = 10$$

$$Y_1 = \frac{10 - 2,1}{80 - 2,1} = 0,1014 = 10,14\% \text{ (thể tích).}$$

Và  $y_2 = 1 - 0,1014 = 0,8986 = 89,86\%$  (thể tích)

Hoặc  $y_2 = 100\% - 10,14\% = 89,86\%$

Kiểm tra:  $80 \cdot 0,1014 + 2,1 \cdot 0,8986 = 8,1120 + 1,8871 = 9,9991 \approx 10$

**Bài 8:**

Điện môi của một tụ điện là điện môi hỗn hợp, gồm có: thermocond T – 20 ( là một vật liệu sứ gốm chế tạo từ titanat Zêriconi) và siêu sứ. Hãy tính tỉ lệ ( theo thể tích ) của mỗi thành phần sao cho hệ số nhiệt của điện môi hỗn hợp bằng không.

Cho biết :  $\varepsilon = 20$  và  $\alpha_\varepsilon = -0,5 \cdot 10^{-4} \cdot 1/^\circ\text{C}$  đối với thermocond T – 20

$$\varepsilon = 8 \text{ và } \alpha_\varepsilon = 1,0 \cdot 10^{-4} \cdot 1/^\circ\text{C} \text{ đối với siêu sứ.}$$

**Bài giải :**

Hệ số nhiệt của điện môi hỗn hợp có thể xác định bằng biểu thức:

$$\alpha_\varepsilon = y_1 \alpha_{\varepsilon_1} + y_2 \alpha_{\varepsilon_2} = 0$$

Ở đó:  $\alpha_\varepsilon$ : hệ số nhiệt của điện môi hỗn hợp ( $1/^\circ\text{C}$ );

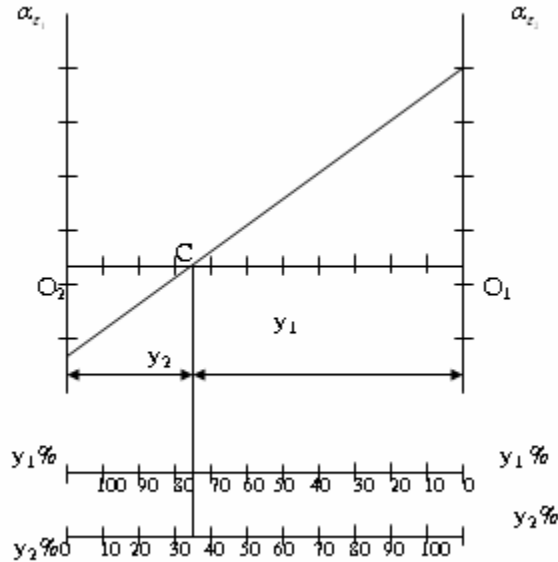
$\alpha_{\varepsilon_1}, \alpha_{\varepsilon_2}$ : hệ số nhiệt của thành phần điện môi thứ nhất và thành phần điện môi thứ hai

$y_1$  và  $y_2$  tỉ lệ ( thể tích ) của thành phần thứ nhất và thứ hai.

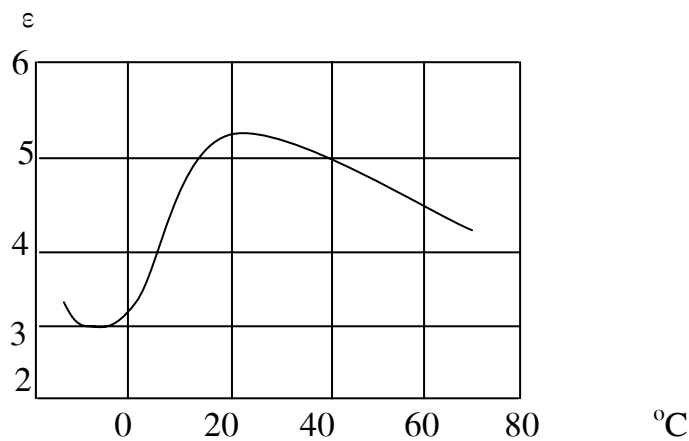
Giải bằng phương pháp giản đồ:

Đoạn  $O_1C$  cho giá trị của  $y_1$

Đoạn  $O_2C$  cho giá trị của  $y_2$



**Bài 9:** Đồ thị trên hình cho thấy quan hệ giữa hệ số điện môi  $\epsilon$  của dầu sovol và nhiệt độ. Từ đồ thị hãy xác định giá trị của hệ số nhiệt của hằng số điện môi  $TC_\epsilon$  của dầu sovol ở tần số 50Hz trong phạm vi nhiệt độ từ  $0^\circ\text{C}$  đến  $80^\circ\text{C}$ .



Sự biến thiên của hằng số điện môi  $\epsilon$  của dầu sovol trong hàm của nhiệt độ ở tần số 50Hz.

**Bài giải:**

Định nghĩa của hệ số nhiệt của hằng số điện môi:

$TC_\epsilon = \frac{1}{\epsilon} \frac{d\epsilon}{dT} \left( \frac{1}{^\circ\text{C}} \right)$ . Từ đồ thị nhận thấy rằng trong phạm vi nhiệt độ từ 0 đến

$20^\circ\text{C}$ , giá trị của  $\epsilon$  tăng, và trong phạm vi nhiệt độ trên  $20^\circ\text{C}$  thì giảm. Do đó, ta xác định giá trị  $TC_\epsilon$  trong từng phạm vi nhiệt độ.

**Phạm vi nhiệt độ 0 đến 20°C :**

Trong phạm vi nhiệt độ này, mặc dù các giá trị  $\epsilon$  nằm trong đường hơi cong nhưng ta có thể cho gần đúng là đường thẳng. Giá trị  $\epsilon$  và  $d\epsilon/dT$  có thể đọc như sau:

Ở nhiệt độ  $T_1 = 0^\circ\text{C}$ , giá trị  $\epsilon = 3,15$

$T_2 = 20^\circ\text{C}$ , giá trị  $\epsilon = 5,2$

từ đó:  $d\epsilon = \epsilon_2 - \epsilon_1 = 5,2 - 3,15 = 2,05$

$dT = 20 - 0 = 20^\circ\text{C}$ .

$TC_\epsilon = 1/52(-0,5/60) = -1,6 \cdot 10^{-3} 1/^\circ\text{C}$ .

**Bài 10:**

Một tụ phẳng với khoảng cách hai điện cực  $a = 40\text{mm}$ , và diện tích điện cực  $A = 0,2\text{m}^2$ , điện áp xoay chiều  $U = 100\text{V}$  tần số  $f = 50\text{Hz}$ . Hãy tính giá trị điện dung của tụ và vẽ đồ thị phân bố của điện trường trong hai trường hợp sau:

1. Điện môi giữa hai điện cực chỉ là không khí.
2. Một trong hai điện cực được bọc thủy tinh dày 10mm; hằng số điện môi của thủy tinh  $\epsilon = 5$ .

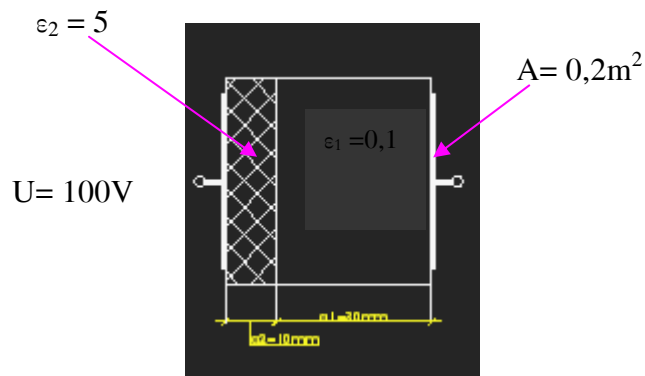
**Bài giải:**

1. Giá trị điện dung của tụ phẳng với điện môi là không khí:

$$C = \epsilon_0 \epsilon \cdot A/a = (8,854 \cdot 10^{-12} \cdot \text{F/m}) \cdot 1 \cdot (0,2/4 \cdot 10^{-2}) = 0,44 \cdot 10^{-10} \text{F} = 44\text{pF}$$

Cường độ điện trường:  $E = U/a = 100/4 \cdot 10^{-2} = 2500\text{V/m}$ .

2. Trường hợp một trong hai điện cực được bọc thủy tinh dày 10mm:



Giá trị điện dung:

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} (F); \text{ ở đó } C_1 = \frac{\epsilon_0 \epsilon \cdot A}{a_1} (F) \text{ và}$$

$$C_2 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_2 \cdot A}{a_2} (F)$$

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_1 \frac{A}{a_1} \cdot \epsilon_0 \epsilon_2 \cdot \frac{A}{a_2}}{\epsilon_0 A \left( \frac{\epsilon_1}{a_1} + \frac{\epsilon_2}{a_2} \right)} = \frac{\epsilon_1 \cdot \epsilon_0 A \frac{\epsilon_2}{a_2}}{\frac{\epsilon_1}{a_1} + \frac{\epsilon_2}{a_2}} = \epsilon_0 \epsilon_1 \epsilon_2 \cdot \frac{A}{\epsilon_1 a_2 + \epsilon_2 a_1}$$

$$C = (8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}) \cdot 1,5 \cdot \frac{0,2 \text{ m}^2}{(1 \cdot 10 + 5 \cdot 30) \cdot 10^{-3} \text{ m}} = 0,055 \cdot 10^{-9} \text{ F} = 55 \text{ pF}$$

Cường độ điện trường trong lớp không khí:

$$E_1 = \epsilon_2 \frac{U}{a_1 \epsilon_2 + a_2 \epsilon_1} = 5 \cdot \frac{100 \text{ V}}{(30 \cdot 5 + 10 \cdot 0,1) \cdot 10^{-3}} = 3125 \text{ V/m}$$

Điện áp trên lớp không khí:  $U = a \cdot E = 30 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot 3125 \text{ V/m} = 93,75$ .

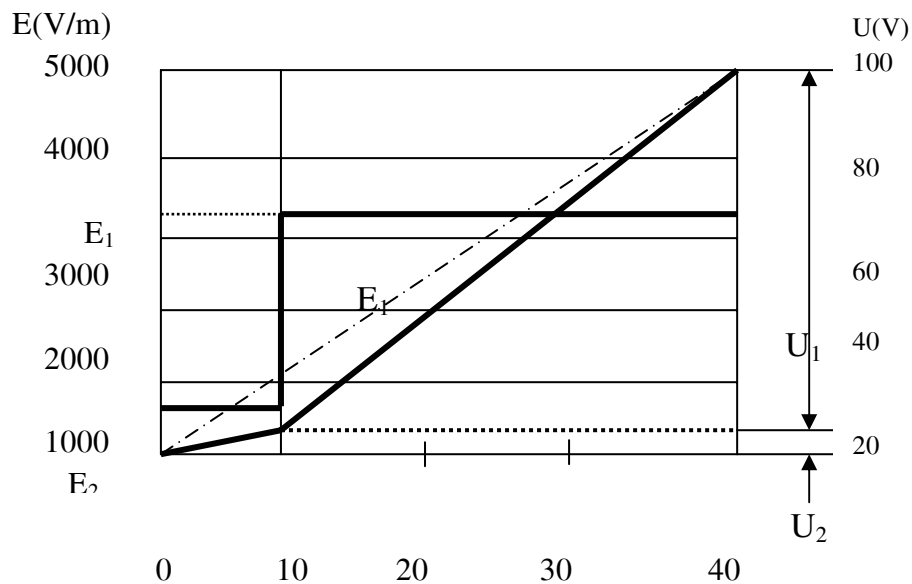
Cường độ điện trường trong lớp thuỷ tinh:

$$E_2 = \epsilon_1 \frac{U}{a_1 \epsilon_2 + a_2 \epsilon_1} = 1 \cdot \frac{100 \text{ V}}{30 \cdot 5 + 10 \cdot 1} = 625 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

Điện áp trên lớp thuỷ tinh:  $U_2 = a_2 E_2 = 10^{-2} \text{ m} \cdot 625 \text{ V/m} = 6,25 \text{ V}$

Đúng vậy, vì :  $U_1 + U_2 = 93,75 + 6,25 = 100 \text{ V} = U$ .

Đồ thị phân bố cường độ điện trường và điện áp trên mỗi lớp điện môi.



$$E_1 = 3125 \text{ V/m};$$

$$U_1 = 93,75 \text{ V}; \epsilon_1 = 1$$

$$E_2 = 625 \text{ V/m}; U_2 = 6,25 \text{ V}; \epsilon_2 = 5.$$

Nhận xét : trong lớp điện môi có hằng số điện môi  $\epsilon$  nhỏ hơn thì có cường độ điện trường nhỏ hơn, và đồ thị phân bố điện áp có độ dốc lớn hơn.

Trên hình vẽ, có đường  $U'$ , đó là đường phân bố điện áp trên điện môi chỉ có một lớp.

**Bài 11:** Một tụ điện phẳng cách điện bằng hai lớp thuỷ tinh, mỗi lớp dày 5mm, hằng số điện môi bằng 5, giữa hai lớp thuỷ tinh tồn tại một khe hở không khí dày 1mm.

- 1) hãy tính điện áp cho phép đặt lên tụ điện, biết rằng độ bền cách điện của không khí bằng 21kV/cm.
- 2) nếu thay một lớp thủy tinh bằng một lớp điện môi khác để có hằng số điện môi tương đương của tụ điện bằng 4, thì điện môi đó phải có hằng số điện môi bằng bao nhiêu. ( giả thiết không còn khe hở không khí giữa hai lớp điện môi).

**Bài giải:**

- 1) Suy luận: trong trường hợp điện môi hỗn hợp gồm có những lớp điện môi có hằng số điện môi khác nhau, thì trong lớp điện môi có hằng số điện môi nhỏ hơn sẽ có cường độ điện trường lớn hơn. Vậy khi chọn giá trị điện áp có thể đặt lên tụ điện, phải bảo đảm cường độ điện trường trong lớp điện môi có hằng số điện môi nhỏ hơn không lớn hơn độ bền cách điện của điện môi đó, cụ thể ở đây là không khí.

Kí hiệu cường độ điện trường trong khe hở không khí  $E_1$ .

Đã biết:

$$E_1 = \epsilon_2 \frac{U}{a_1\epsilon_2 + 2a_2\epsilon_1} \leq 21 \frac{kV}{cm}$$

Ở đó:  $\epsilon_1, \epsilon_2$  :hằng số điện môi của không khí, của thủy tinh;

$a_1$ : bề dày lớp không khí

$a_2$ :bề dày một lớp thủy tinh.

Từ đó có:  $U = \frac{a_1\epsilon_2 + 2a_2\epsilon_1}{\epsilon_2} .E_1 = \frac{0,1cm.5 + 2.0,5cm.1}{5} .21 \frac{kV}{cm} = 6,3kV$

**Bài 12:** Một tấm micanit gồm có 10 lớp mica, mỗi lớp dày 25 $\mu$ m, và 9 lớp sơn, mỗi lớp dày 5 $\mu$ m. Các đặt tính điện của hai vật liệu cho như sau:

	Điện trở suất khối $P_v(\Omega m)$	hằng số điện môi $\epsilon$	độ bền cách điện $E_d(mV/m)$
Mica	$10^{14}$	8	75
Sơn	$10^{11}$	4	50

Hãy xác định điện áp có thể đánh thủng tấm micanit

a) khi đặt điện áp một chiều

b) khi đặt điện áp xoay chiều

giả thiết các đặc tính của mica và sơn không thay đổi với mọi tần số.

**Bài giải:**

- 1) Khi đặt điện áp một chiều thì trong điện môi tồn tại dòng điện dẫn, cường độ dòng điện này phụ thuộc vào điện trở cách điện của điện môi. Trường hợp cách điện có nhiều lớp có điện trở suất khác nhau; và đặt nối tiếp, thì điện trở tương đương sẽ là:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_{1n} + R_{2(n-1)}$$

$$R_1 = p_1.a_1/A \text{ (mica)}$$

$$R_2 = p_2.a_2/A \text{ (sơn)}$$

Ở đó:  $R_1, R_2$  : điện trở cách điện của một lớp mica, một lớp sơn.

$P_1, p_2$ : điện trở suất khối của mica và của sơn.

$a_1, a_2$ : bề dày của một lớp mica, một lớp sơn.

$A$ : bề mặt của điện cực.

Có 10 lớp mica và 9 lớp sơn ( $n = 10$  và  $n - 1 = 9$ )

Vậy điện trở tương đương:  $R = 10R_1 + 9R_2 = 10\rho_1 a_1/A + 9\rho_2 a_2/A = \frac{1}{A}(10\rho_1 a_1 + 9\rho_2 a_2)$

Dòng điện chảy qua tấm mica:

$$I_d = U \frac{A}{10\rho_1 a_1 + 9\rho_2 a_2} \text{ với } U \text{ là điện áp đặt trên tấm mica.}$$

Điện áp rơi trên một lớp mica:

$$U_1 = I_d R_1 = U \frac{A}{10\rho_1 a_1 + 9\rho_2 a_2} \cdot \rho_1 \frac{a_1}{A} = U \frac{\rho_1 a_1}{10\rho_1 a_1 + 9\rho_2 a_2}$$

Cường độ điện trường trong lớp mica:

$$E_1 = \frac{U_1}{a_1} = U \frac{\rho_1}{10\rho_1 a_1 + 9\rho_2 a_2}$$

Từ đây, có thể suy ra cường độ điện trường trong lớp sơn:

$$E_2 = \frac{U_2}{a_2} = U \frac{\rho_2}{10\rho_1 a_1 + 9\rho_2 a_2}$$

So sánh cường độ điện trường :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{\frac{1}{\sigma_1}}{\frac{1}{\sigma_2}} = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}; \sigma : \text{điện dẫn suất}$$

Vậy:  $E_1 \sigma_1 = E_2 \sigma_2$

Đẳng thức này cho thấy rằng mật độ dòng điện không đổi, lớp điện môi nào có điện dẫn suất lớn hơn đều có cường độ điện trường nhỏ hơn. Cụ thể là trong lớp sơn có điện trường nhỏ hơn trong mica. Do đó, để xác định giá trị điện áp  $U$  có thể đặt lên tấm mica, cần phải lấy giá trị độ bền điện của mica để làm cơ sở tính toán.

Như trên đã có:  $E_1 = \frac{U_1}{a_1} = U \frac{\rho_1}{10\rho_1 a_1 + 9\rho_2 a_2}$

Từ đó:  $U = E_1 \sigma_1 (10\rho_1 a_1 + 9\rho_2 a_2) = 18,75 \text{ kV}$ .

Cường độ điện trường trong lớp sơn:

$$E_2 = E_1 \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = 0,075 \frac{\text{MV}}{\text{m}}$$

- 2) Khi đặt điện áp xoay chiều, dòng điện chảy qua điện môi phụ thuộc vào điện dung. Trường hợp điện môi có hai lớp có hằng số điện môi khác nhau, thì giá trị điện dung tương đương sẽ là:

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_1 \varepsilon_2}{\varepsilon_1 a_2 + \varepsilon_2 a_1} \left( \frac{F}{m^2} \right)$$

Mật độ mặt điện tích:

$$D = CU = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_1 \varepsilon_2}{\varepsilon_1 a_2 + \varepsilon_2 a_1} U \left( \frac{As}{m^2} \right)$$

Mật độ mặt điện tích trong hai lớp điện môi bằng nhau:

$$D = \varepsilon_0 \varepsilon_1 E_1 = \varepsilon_0 \varepsilon_2 E_2 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_1 \varepsilon_2}{\varepsilon_1 a_2 + \varepsilon_2 a_1} U$$

Từ đó cường độ điện trường  $E_1$  trong mica:

$$E_1 = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1 a_2 + \varepsilon_2 a_1} U$$

Cường độ điện trường trong lớp sơn:

$$E_2 = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_1 a_2 + \varepsilon_2 a_1} U > E_1 \quad \text{vì :}$$

$$\varepsilon_1 > \varepsilon_2$$

rút ra được đẳng thức:  $E_1 \varepsilon_1 = E_2 \varepsilon_2$

$$E_2 = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} E_1 > E_1 \quad \text{vì } \varepsilon_1 > \varepsilon_2$$

Kết luận: trong lớp sơn có điện trường lớn hơn, do đó để tính giá trị của điện áp  $U$  cho phép, cần phải lấy giá trị độ bền điện của sơn làm cơ sở tính toán.

Vật điện áp đánh thủng sẽ là :

$$U = \frac{9\varepsilon_1 a_2 + 10\varepsilon_2 a_1}{\varepsilon_1} E_2$$

$$U = \frac{9.8.5.10^{-6} + 10.4.25.10^{-6}}{8} .50 = \frac{360.10^{-6} + 1000.10^{-6}}{8} = 8500.10^{-6} MV$$

$$U = 8500V.$$

Cường độ trong lớp mica chỉ bằng  $\frac{1}{2}$  cường độ trong sơn.

$$E_1 = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} . E_2 = \frac{4}{8} E_2 = \frac{1}{2} E_2 = \frac{1}{2} . 50 = 25 \frac{MV}{m}$$

**Bài 13:** Cho một thanh dẫn dẫn điện, tiết diện tròn, đường kính  $d = 30\text{mm}$ , được đặt đồng tâm trong một ống kim loại có đường kính trong  $D_2 = 100\text{mm}$ , giữa thanh dẫn và ống kim loại là cách điện gồm có hai lớp: lớp trong là ống bằng giấy bakelit bọc sát thanh dẫn, đường kính ngoài của ống giấy  $D_1 = 600\text{mm}$ , và lớp ngoài là dầu biến thế.

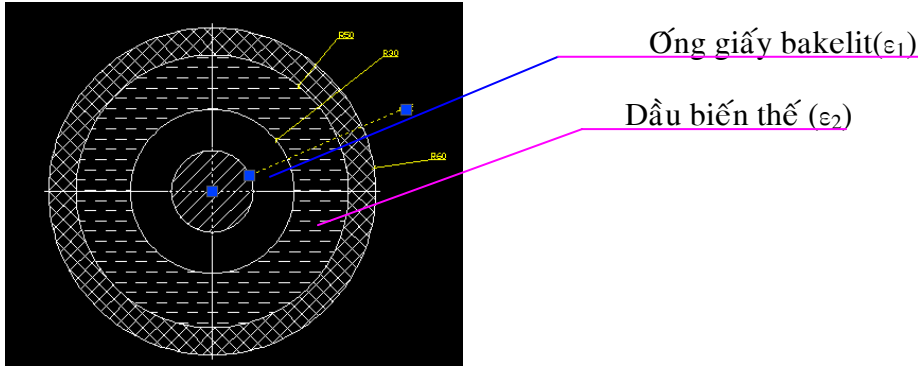
- 1) Điện áp đặt lên thanh dẫn và ống kim loại:  $100\text{kV}$  với tần số  $50\text{Hz}$ . Hãy vẽ đồ thị phân bố cường độ điện trường trong mỗi lớp cách điện theo hướng bán kính. hãy tính giá trị điện dung, với chiều dài  $L = 1500\text{mm}$ . Hãy tính giá trị điện dung nếu hai lớp cách điện thay đổi vị trí, và hãy tính hệ số an toàn về phương diện cường độ điện trường.

2) Điện áp đặt lên thanh dẫn và ống kim loại là điện áp một chiều, 100kV.

Hãy tính cường độ điện trường trong mỗi lớp cách điện.

Cho biết đặc tính của giấy bakelit và dầu biến thế như sau:

	$\epsilon$	$\rho_v(\Omega m)$
giấy bakelit	4,4	$10^{12}$
dầu biến thế	2,2	$10^{14}$



**Bài giải:**

1) Trường hợp đặt điện áp xoay chiều 100kV, 50hz.

Suy luận:

a/ mật độ mặt điện tích không đổi:

$$D = \frac{Q}{2\pi r l}; \frac{d}{2} < r < \frac{D_2}{2}$$

Ở đó Q : điện tích ,(As)

L: chiều dài, (m)

R: bán kính bất kỳ, (m).

b/ phân bố cường độ điện trường theo hướng bán hình:

$$E(r) = \frac{D}{\epsilon_0 \epsilon} = \frac{Q}{2\pi \epsilon_0 \epsilon l r} \left( \frac{V}{m} \right)$$

Cụ thể trong ống giấy bakelit có:

$$E_1(r) = \frac{Q}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_1 l r}; \frac{d}{2} < r < \frac{D_1}{2}$$

Trong dầu biến thế có:

$$E_2(r) = \frac{Q}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_2 l r}; \frac{D_1}{2} < r < \frac{D_2}{2}$$

Điện áp trên lớp giấy bakelit:

$$du_1 = E_1 dr = \frac{Q}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_1 l r} dr = k \cdot \frac{1}{\epsilon_1} \frac{dr}{r}; U_1(r) = k \frac{1}{\epsilon_1} \ln r$$



$$k = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 l}$$

Với

$$U_1 = k \frac{1}{\epsilon_1} \int_{\frac{d}{2}}^{\frac{d_1}{2}} \frac{dr}{r} = k \frac{1}{\epsilon_1} \ln \frac{D_1}{d}$$

Điện áp trên lớp dầu biến thế:

$$U_2(r) = k \frac{1}{\epsilon_2} \ln \frac{D_2}{D_1}$$

U điện áp trên hai lớp điện môi:

$$U = U_1 + U_2 = k \left( \frac{1}{\epsilon_1} \ln \frac{D_1}{d} + \frac{1}{\epsilon_2} \ln \frac{D_2}{D_1} \right)$$

$$\text{Từ đó: } k = \frac{U}{k \left( \frac{1}{\epsilon_1} \ln \frac{D_1}{d} + \frac{1}{\epsilon_2} \ln \frac{D_2}{D_1} \right)} = \frac{\epsilon_1 \epsilon_2}{k \left( \frac{1}{\epsilon_1} \ln \frac{D_1}{d} + \frac{1}{\epsilon_2} \ln \frac{D_2}{D_1} \right)} U$$

$$\text{Và } U_1 = \frac{\epsilon_1 \epsilon_2}{k \left( \frac{1}{\epsilon_1} \ln \frac{D_1}{d} + \frac{1}{\epsilon_2} \ln \frac{D_2}{D_1} \right)} \cdot \frac{1}{\epsilon_1} \ln \frac{D_1}{d} \cdot U = \frac{\epsilon_2 \cdot \ln \frac{D_1}{d}}{\left( \frac{1}{\epsilon_1} \ln \frac{D_1}{d} + \frac{1}{\epsilon_2} \ln \frac{D_2}{D_1} \right)} U$$

$$U_2 = \frac{\epsilon_1 \cdot \ln \frac{D_1}{d}}{\left( \frac{1}{\epsilon_1} \ln \frac{D_1}{d} + \frac{1}{\epsilon_2} \ln \frac{D_2}{D_1} \right)} U$$

Cường độ điện trường trong mỗi lớp dưới điện áp U:

$$E_1(r) = k \frac{1}{\epsilon_1} \frac{1}{r} = \frac{\epsilon_1 \epsilon_2}{\left( \epsilon_2 \ln \frac{D_1}{d} + \epsilon_1 \ln \frac{D_2}{D_1} \right)} U \cdot \frac{1}{\epsilon_1} \cdot \frac{1}{r}$$

$$E_1(r) = \frac{\epsilon_1 U}{\left( \epsilon_2 \ln \frac{D_1}{d} + \epsilon_1 \ln \frac{D_2}{D_1} \right)} \cdot \frac{1}{r}$$

$$E_{1\max} \text{ ở } r = \frac{d}{2} = R_o; E_{\min} \text{ ở } r = \frac{D_1}{2} = R_1$$

$$E_{1\max} = \frac{\epsilon_2 U}{R_o \cdot \left( \epsilon_2 \ln \frac{D_1}{d} + \epsilon_1 \ln \frac{D_2}{D_1} \right)} = 3,89 \frac{MV}{m}$$

$$E_{1\min} = \frac{\varepsilon_2 \cdot U}{r \left( \varepsilon_2 \ln \frac{D_1}{d} + \varepsilon_1 \ln \frac{D_2}{D_1} \right)} = 1,94 \frac{MV}{m}$$

$$E_2 = \frac{\varepsilon_1 \cdot U}{r \left( \varepsilon_2 \ln \frac{D_1}{d} + \varepsilon_1 \ln \frac{D_2}{D_1} \right)}$$

$E_{2\max}$  ở  $r = R_1$  và  $E_{2\min}$  ở  $r = D_2/2 = R_2$

Có thể nhận thấy rằng

$$E_{2\max} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \cdot \frac{R_o}{R_1} \cdot E_{1\max} = \frac{4,4}{2,2} \cdot \frac{15}{30} \cdot 3,89 = 3,89 \frac{MV}{m}$$

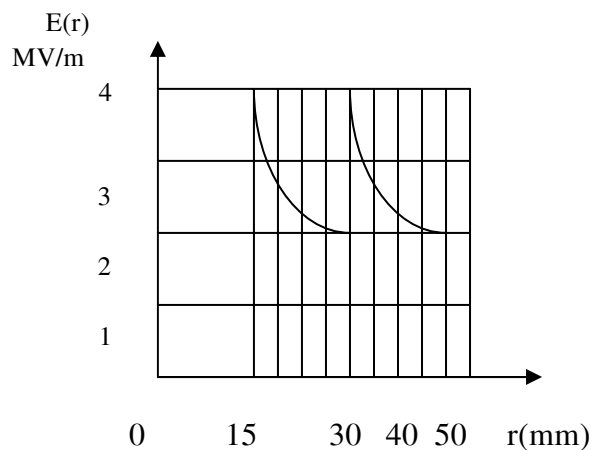
$$E_{2\min} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \cdot \frac{R_1}{R_2} \cdot E_{1\min} = \frac{4,4}{2,2} \cdot \frac{30}{50} \cdot 1,94 = 2,328 \frac{MV}{m}$$

Có thể tính giá trị điện áp trên mỗi lớp điện môi:  
trên giấy bakelit:

$$U_1 = \frac{\varepsilon_2 \ln \frac{D_1}{d}}{\varepsilon_2 \ln \frac{D_1}{d} + \varepsilon_1 \ln \frac{D_2}{D_1}} \cdot U = \frac{2,2 \cdot \ln \frac{60}{30}}{2,2 \cdot \ln \frac{60}{30} + 4,4 \ln \frac{100}{60}} \cdot 100 = 40,4kV$$

$$U_2 = U - U_1 = 100 - 40,4 = 59,6kV$$

Đồ thị phân bố cường độ điện trường:



c) Trường hợp thay đổi vị trí của điện môi, lớp dầu ở bên trong, lớp giấy bakelit có hằng số điện môi lớn hơn ở bên ngoài.

$$\varepsilon_1 = 2,2 \text{ và } \varepsilon_2 = 4,4$$

$$E_{1\max} = \frac{\varepsilon_2 \cdot U}{R_0 \left( \varepsilon_2 \ln \frac{D_1}{d} + \varepsilon_1 \ln \frac{D_2}{D_1} \right)} = \frac{4,4}{15 \cdot 10^{-3} \left( 4,4 \ln \frac{60}{30} + 2,2 \ln \frac{100}{60} \right)} \cdot 100 = 7 \frac{MV}{m}$$

$$E_{1\min} = \frac{\varepsilon_2 \cdot U}{R_1 \left( \varepsilon_2 \ln \frac{D_1}{d} + \varepsilon_1 \ln \frac{D_2}{D_1} \right)} = 3,5 \frac{MV}{m}$$

$$E_{2\max} = \frac{\varepsilon_1 \cdot U}{R_1 \left( \varepsilon_2 \ln \frac{D_1}{d} + \varepsilon_1 \ln \frac{D_2}{D_1} \right)} = 1,76 \frac{MV}{m}$$

$$E_{2\min} = \frac{E_{2\max} \cdot R_1}{R_2} = 1,76 \cdot \frac{30}{50} = 1,1 \frac{MV}{m}$$

$$U_1 = \frac{\varepsilon_2 \ln \frac{D_1}{d}}{\varepsilon_2 \ln \frac{D_1}{d} + \varepsilon_1 \ln \frac{D_2}{D_1}} U = \frac{4,4 \cdot \ln \frac{60}{30}}{2,2 \cdot \ln \frac{100}{60} + 4,4 \ln \frac{60}{30}} \cdot 100 = 73kV$$

$$U_2 = U - U_1 = 100 - 73 = 27kV$$

Nhận xét: lớp cách điện trong có cường độ điện trường tăng lên và điện áp cũng tăng lên. Sự phân bố điện trường và điện áp trong hai lớp cách điện có mức chênh lệch nhau nhiều hơn.

2) Giá trị điện dung:

Điện dung tương đương của hai lớp điện môi:

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}, (F)$$

Ở đó:  $C_1 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_1 2\pi l}{\ln \frac{R_1}{R_0}}$ : Điện dung của lớp điện môi bên trong

$C_2 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_2 2\pi l}{\ln \frac{R_2}{R_1}}$ : Điện dung của lớp điện môi bên ngoài.

l: chiều dài

Sau khi thay thế và biến đổi có:  $C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_1 \varepsilon_2}{\left( \varepsilon_1 \ln \frac{R_2}{R_1} + \varepsilon_2 \ln \frac{R_1}{R_0} \right)} 2\pi l, (F)$

với  $\varepsilon_1 = 4,4$  ;  $\varepsilon_2 = 2,2$  ;  $l = 1,5$

$R_0 = 15\text{mm}$  ;  $R_1 = 30\text{mm}$  ;  $R_2 = 50\text{mm}$ .

$$C = \frac{(8,85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}) \cdot (4,4 \cdot 2,2)}{\left(4,4 \ln \frac{50}{30} + 2,2 \ln \frac{30}{15}\right)} \cdot (2\pi \cdot 1,5) = \frac{85,7 \cdot 10^{-12}}{3,77} \cdot 9,42 = 214 \cdot 10^{-12} F$$

$C = 0,214 nP.$

Nếu thay đổi vị trí hai lớp điện môi, với:

$\epsilon_1 = 2,2; \epsilon_2 = 4,4$ , thì giá trị C sẽ là:

$$C = \frac{85,7 \cdot 10^{-12}}{\left(2,2 \ln \frac{50}{30} + 4,4 \ln \frac{30}{15}\right)} \cdot 9,42 = \frac{85,7 \cdot 10^{-12}}{4,17} \cdot 9,42 = 193 \cdot 10^{-12} F = 0,193.$$

Trường hợp đặt điện áp một chiều  $U_{DC} = 100kV$ :

Suy luận: mật độ dòng điện không đổi qua các lớp điện môi.

$$\sigma_1 E_1 = \sigma_2 E_2$$

ở đó:  $\sigma_1, \sigma_2$ : Điện dẫn suất của lớp điện môi một và lớp điện môi hai.

Vậy lớp nào có điện dẫn suất lớn hơn thì sẽ có điện trường nhỏ hơn. Trong lớp giấy bakelit,  $\rho_1 = 10^{12} \Omega m$ , sẽ có điện trường nhỏ hơn, và trong dầu biến thế  $\rho_2 = 10^{14} \Omega m$  sẽ có điện trường lớn hơn.

$$\text{Điện áp } U = U_1 + U_2 = I_d R_{d1} + I_d \cdot R_{d2} = U \cdot \frac{R_{d1}}{R_{d1} + R_{d2}} + U \frac{R_{d2}}{R_{d1} + R_{d2}}$$

$I_d$ : dòng điện dẫn qua hai lớp điện môi

$R_{d1}, R_{d2}$ : điện trở cách điện của lớp giấy bakelit và của lớp dầu biến thế.

$$E_1(r) = \frac{1}{r} \frac{U_1}{\left(\ln \frac{R_1}{R_0}\right)} = \frac{1}{r \ln \frac{R_1}{R_0}} \cdot \frac{R_{d1}}{R_{d1} + R_{d2}} \cdot U$$

Cường độ điện trường trong lớp bakelit:

$$R_{n1} = \rho_1 \frac{\ln \frac{R_1}{R_0}}{2\pi l}; R_{n2} = \rho_2 \frac{\ln \frac{R_2}{R_1}}{2\pi l}$$

$$\text{Sau khi thay thế và rút gọn ta có: } E_1(r) = \frac{\rho_1}{\rho_1 \ln \frac{R_1}{R_0} + \rho_2 \ln \frac{R_2}{R_1}} \frac{U}{R}$$

Cường độ điện trường trong lớp dầu:

$$E_2(r) = \frac{\rho_2}{\rho_1 \ln \frac{R_1}{R_0} + \rho_2 \ln \frac{R_2}{R_1}} \frac{U}{R}$$

Nhận xét: với điện áp một chiều, điện trường phân bố trong các lớp điện môi theo giá trị điện trở suất, trong lúc với điện áp xoay chiều thì phân bố theo giá trị hằng số điện môi và theo hướng tỉ lệ.

Giá trị cường độ điện trường cực đại và cực tiểu trong mỗi lớp cách điện:

$$E_{1\max} = \frac{\rho_1}{\rho_1 \ln \frac{R_1}{R_0} + \rho_2 \ln \frac{R_2}{R_1}} \frac{U}{R_0} = 0,128 \frac{MV}{m}$$

Trong giấy bakelit:

$$E_{1\min} = \frac{\rho_1}{\rho_1 \ln \frac{R_1}{R_0} + \rho_2 \ln \frac{R_2}{R_1}} \frac{U}{R_1} = \frac{0,128}{2} = 0,064 \frac{MV}{m}$$

Trong dầu biến thế:

$$E_{2\max} = \frac{\rho_2}{\rho_1 \ln \frac{R_1}{R_0} + \rho_2 \ln \frac{R_2}{R_1}} \frac{U}{R_1} = E_{1\max} \frac{\rho_2 R_0}{\rho_1 R_1} = 0,128 \frac{MV}{m} \frac{10^{14}}{10^{12}} \frac{15}{30} = 6,4 \frac{MV}{m}$$

$$E_{2\min} = \frac{\rho_2}{\rho_1 \ln \frac{R_1}{R_0} + \rho_2 \ln \frac{R_2}{R_1}} \frac{U}{R_2} = 6,4 \frac{MV}{m} \cdot \frac{R_1}{R_2} = 6,4 \cdot \frac{30}{50} = 3,84 \frac{MV}{m}$$

Trong trường hợp thay đổi vị trí hai lớp điện môi, tức là dầu biến thế ở bên trong, và giấy bakelit ở bên ngoài, thì trong dầu biến thế có điện trở suất lớn hơn, vẫn có điện trường lớn hơn, mà còn lớn hơn nữa vì đặt gần hơn với điện trường trong.

Quả vậy: với:  $\epsilon_1 = 2,2$   $\rho_1 = 10^{14} \Omega m$

$$\epsilon_2 = 4,4 \quad \rho_2 = 10^{12} \Omega m$$

Trong dầu biến thế:

$$E_{1\max} = \frac{\rho_1}{\rho_1 \ln \frac{R_1}{R_0} + \rho_2 \ln \frac{R_2}{R_1}} \frac{U}{R_0} = 9,55 \frac{MV}{m}$$

$$E_{1\min} = \frac{\rho_1}{\rho_1 \ln \frac{R_1}{R_0} + \rho_2 \ln \frac{R_2}{R_1}} \frac{U}{R_1} = \frac{9,55}{2} = 4,775 \frac{MV}{m}$$

Trong giấy bakelit:

$$E_{2\max} = \frac{\rho_2}{\rho_1 \ln \frac{R_1}{R_0} + \rho_2 \ln \frac{R_2}{R_1}} \frac{U}{R_1} = 0,048 \frac{MV}{m}$$

$$E_{2\min} = E_{1\min} \frac{\rho_2 R_2}{\rho_1 R_1} = 4,775 \frac{MV}{m} \cdot \frac{10^{12}}{10^{14}} \cdot \frac{30}{50} = 0,029 \frac{MV}{m}$$

**Bài 14:** Các dây dẫn được bọc cách điện bằng ống micanit, và đặt trong rãnh trong lõi thép. Ống micanit dày 4mm. giữa dây dẫn và ống micanit tồn tại khe hở không khí 0,1mm, và giữa ống micanit và thành của rãnh cũng tồn tại khe hở 0,1mm.

Hãy tính cường độ điện trường trong micanit và trong khe hở không khí, và tính điện áp trên micanit và trên khe hở không khí.

Cho biết hằng số điện môi của không khí  $\epsilon_1 = 1$  và của micanit  $\epsilon_2 = 5$ .

**Bài giải:**

Kí hiệu:  $\epsilon_1 = 1$ : hằng số điện môi không khí.

$a_1 = 0,1\text{mm}$ : bề dày một khe hở không khí;

$\epsilon_2 = 5$ : hằng số điện môi mica.

$U = 6\text{kV}$ : điện áp đặt trên dây dẫn và lõi thép.

$E_1, E_2$ : cường độ điện trường trong không khí trong mica.

Suy luận : cường độ điện trường trong khe hở không khí sẽ lớn hơn.

Điện áp:  $U = U_1 + U_2 = 2a_1E_1 + a_2E_2$

và  $E_2 = \epsilon_1 . E_1 / \epsilon_2$

$$\text{từ đó: } U = 2a_1E_1 + a_2 \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} . E_1 = \frac{2a_1\epsilon_2 + a_2\epsilon_1}{\epsilon_2} E_1$$

Vậy cường độ điện trường trong khe hở không khí:

$$E_1 = \frac{\epsilon_2}{2a_1\epsilon_2 + a_2\epsilon_1} . U = \frac{5}{2.0,01.5 + 0,4.1} . 6 = 60 \frac{\text{kV}}{\text{cm}}$$

Cường độ điện trường trong mica:

$$E_2 = \frac{\epsilon_1}{2a_1\epsilon_2 + a_2\epsilon_1} . U = \frac{1}{2.0,01.5 + 0,4.1} . 6 = 12 \frac{\text{kV}}{\text{cm}}$$

Điện áp trên hai khe hở không khí:

$$U_1 = 2a_1E_1 = 2.0,01\text{cm}.60.\text{kV/cm} = 1,2$$

Điện áp trên mica:

$$U_2 = a_2.E_2 = 0,4\text{cm}.12\text{kV/cm} = 4,8\text{kV}$$

Nhận xét: trong khe hở không khí cường độ điện trường lớn hơn so với trong mica, lớn hơn độ bền điện của không khí ( $E_d = 21\text{kV/cm}$ ), dẫn đến phóng điện trong khe hở không khí, từ đó cách điện mica sẽ bị làm hỏng.

**Bài 15:**

Một tấm sứ dày 25mm, bên trong có một nét đứt rộng 0,1mm. hằng số điện môi của sứ  $\epsilon = 5,5$ . điện áp đặt lên tấm sứ 50kV. Hãy cho biết có hiện tượng gì xảy ra.

**Bài 16:** Một điện cực đặt trên một tấm cách điện dày 1cm, trong môi trường không khí. Hãy tính điện áp có thể đặt lên điện cực khi vật liệu của tấm cách điện với hằng số điện môi là :

prespan	$\epsilon = 3$
bakelit	$\epsilon = 4,5$
sứ	$\epsilon = 5,5$
thuỷ tinh	$\epsilon = 8$

**Bài 17:** Một tụ điện phẳng cách điện bằng giấy, diện tích điện cực

$A = 100 \times 100\text{mm}^2$ ; cách điện có các thông số sau đây: bề dày  $a = 1\text{mm}$ ;  $\epsilon = 8$ ;  $p_v = 10^{10}\Omega\text{m}$ ;  $\text{tg}\delta = 0,1$ . Hãy tính tổn hao điện môi, và tổn hao điện môi trung bình

khi điện áp đặt lên tụ là:

1) Điện áp một chiều  $U = 1\text{kV}$ ;

2) Điện áp xoay chiều  $U = 1\text{kV}$ , tần số  $f = 50\text{kHz}$ .

(Bỏ qua dòng điện bề mặt, cách điện dôi ra ngoài bề mặt điện cực để ngăn cản sự rò điện trên bề mặt)

**Bài giải:**

1) Khi đặt điện áp một chiều, thì tổn hao điện môi là :

$$P_d = \frac{U^2}{R_d} (W)$$

$$R_d = \rho_v \frac{a}{A} = (10^{10} \Omega m) \frac{10^{-3} m}{10^{-2} m} = 10^9 \Omega$$

$$P_d = \frac{(10^3 V)^2}{10^9 \Omega} = 10^{-3} W = 1\text{mW}$$

1) Khi đặt điện áp xoay chiều, thì tổn hao điện môi chủ yếu bằng:

$$P_d = \omega C U^2 \text{tg} \delta, (W)$$

$$C = \epsilon_0 \epsilon \frac{A}{a} = \left( 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m} \right) \left( 8 \cdot \frac{10^{-12} m^2}{10^{-3} m} \right) = 70,832 \cdot 10^{-11} F = 7,08 \cdot 10^{-10} F$$

$$P_d = \left( 314 \frac{1}{s} \right) \left( 7,08 \cdot 10^{-12} \frac{As}{V} \right) (10^3 V)^2 (0,1) = 2,22 \cdot 10^{-2} W = 22\text{mW}$$

tổn hao điện môi trung bình tính trên đơn vị thể tích:

$$\rho_d = \frac{P_d}{V} = \omega \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon \text{tg} \delta \cdot E^2 = \left( 314 \frac{1}{s} \right) \left( 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm} \right) (8,0,1) \left( 10^6 \frac{V}{m} \right)^2$$

$$\rho_d = 2224 \frac{W}{m^3}; E = \frac{Q}{U} = \frac{10^3}{10^{-3}} = 10^6 \frac{V}{m}$$

Tổn hao điện môi trung bình tính trên đơn vị thể tích và trên đơn vị cường độ điện trường:

$$\rho_0 = \frac{P_d}{E^2} = \omega \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon \text{tg} \delta \left( \frac{W}{m^3 \left( \frac{V}{m} \right)^2} \right)$$

Đại lượng này chính là điện dẫn suất của điện môi:

$$\rho_0 = 5 = \left( 314 \frac{1}{s} \right) \left( 8,854 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{As}{Vm} \right) (8,01) = 2224 \cdot 10^{-12}$$

$$= 2,224 \cdot 10^{-9} \left( \frac{W}{m^3 \left( \frac{V}{m} \right)^2} \right) = 2,224 \cdot 10^{-9} \left( \frac{1}{\Omega m} \right)$$

**Bài 18:** Cho một dây cáp viễn thông, dài 100m và 1km; lõi kim loại ở giữa có

đường kính  $d_1 = 1\text{mm}$ , bọc cách điện bằng polyetylen, đường kính ngoài của cách điện  $d_2 = 10\text{mm}$ , hằng số điện môi và tổn hao của điện môi là  $\epsilon = 2,3$  và  $\text{tg}\delta = 4.10^{-4}$ . Điện áp làm việc  $U = 1\text{kV}$ ,  $f = 10\text{MHz}$ .

1) Hãy tính tổn hao điện môi của cáp;

2) Hãy tính tổn hao điện môi trung bình ( tính trên đơn vị thể tích) của cáp ở 3 vị trí: ở mặt tiếp xúc của cách điện với lõi kim loại; ở mặt ngoài của cách điện tiếp xúc với điện cực ngoài, và ở giữa lớp cách điện.

**Bài giải:**

1) Tổn hao điện môi của cáp:

$$P_d = \omega C U^2 \text{tg}\delta, (W)$$

$$\text{Biết rằng : } C = \epsilon_0 \epsilon \frac{2\pi l}{\ln \frac{R_2}{R_1}} = \left( 8,854.10^{-12} \frac{F}{m} \right) 2,3. \frac{2\pi}{\ln \frac{10}{1}} l(m)$$

$$C = 55,60.10^{-12}.l (F)$$

$$l = 100\text{m } C_1 = 55,60.10^{-10}\text{F}$$

$$l = 1\text{km } C_2 = 55,60.10^{-19}\text{F}$$

$$\text{từ đó có: } P_{d1} = 2\pi.10^7 \left(\frac{1}{s}\right) (55,6.10^{-10} F) (10^3 V)^2 .4.10^{-4} = 139,7W$$

$$P_{d2} = 1397W.$$

2) Tổn hao điện môi trung bình:

$$\rho_d = \frac{P_d}{V} = 2\pi f . \epsilon_0 \epsilon . \text{tg}\delta . E^2(r) = 2\pi.10^7 . 8,854.10^{-12} . 2,3 . 4.10^{-4} . E^2(r) = 5,11.10^{-7} . E^2(r)$$

Ở trong điện môi của cáp, cường độ điện trường thay đổi với bán kính r.

$$\text{Biết rằng : } E(r) = \frac{U}{r \ln \frac{R_2}{R_1}} = \frac{1}{r} \cdot \frac{10^3 V}{\ln \frac{10}{1}} = \frac{1}{r} . 4,35.10^2 \frac{V}{m}$$

$$\text{ở } r = R_1$$

$$E_{\max} = \frac{4,35.10^2}{0,5.10^{-3}} = 8,7.10^5 \frac{V}{m}; E^2_{\max} = 7,569.10^{11} \frac{V^2}{m^2}$$

$$\rho_{d \max} = 5,11.10^{-7} . 7,569.10^{11} = 3,867.10^5 \left(\frac{W}{m^3}\right)$$

$$\text{ở } r = R_2$$

$$E_{\min} = \frac{4,35.10^2}{5.10^{-3}} = 8,7.10^4 \frac{V}{m}; E^2_{\min} = 7,569.10^9 \frac{V^2}{m^2}$$

$$\rho_{\min} = 3,867.10^3 \left(\frac{W}{m^3}\right)$$

$$\text{ở } r = \frac{R_1 + R_2}{2} = \frac{0,5 + 5}{2} = 2,75\text{mm}$$



$$E_{tb} = \frac{4,35 \cdot 10^2}{2,75 \cdot 10^{-3}} = 1,58 \cdot 10^4 \frac{V}{m}; E^2_{tb} = 2,5 \cdot 10^{10} \frac{V^2}{m^2}$$

$$\rho_{dib} = 5,11 \cdot 10^{-7} \cdot 2,5 \cdot 10^{10} = 1,278 \cdot 10^4 \left(\frac{W}{m^3}\right)$$

**Bài 19:** Hãy tính giá trị  $tg\delta$  của dầu biến thế ở tần số 50hz và 5khz, cho biết:

$$\rho_v = 10^{13} \Omega m; \varepsilon = 2,2$$

**Bài giải:** biết rằng  $tg\delta = \frac{I_d}{I_C} = \frac{\frac{U}{R_d}}{U\omega C} = \frac{1}{R_d \omega C}$

ở đó  $R_d$  điện trở cách điện, ( $\Omega$ )

C: giá trị điện dung, (F)

$$\omega = 2\pi f \text{ (1/s)}$$

lấy tụ phẳng làm cơ sở khảo sát:

$$R_d = \rho_v \frac{a}{A}, (\Omega)$$

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{A}{a}, (F)$$

ở đó a: bề dày cách điện

A: bề mặt điện cực.

$$\text{Từ đó: } tg\delta = \frac{1}{2\pi f \left(\rho_v \frac{a}{A}\right) \left(\varepsilon_0 \varepsilon \frac{A}{a}\right)} = \frac{1}{(2\pi\varepsilon_0)(\varepsilon\rho_v).f}$$

$$tg\delta = \frac{1}{2\pi \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{As}{Vm} (2,2 \cdot 10^{13} \Omega m) f \left(\frac{1}{s}\right)} = 8,17 \cdot 10^{-4} \frac{1}{f}$$

$$f = 50\text{hz } tg\delta = 8,17 \cdot 10^{-4} \cdot 1/50 = 1,63 \cdot 10^{-5}$$

$$f = 5\text{khz } tg\delta = 1,63 \cdot 10^{-7}$$

ghi chú: nhận thấy rằng  $tg\delta$  giảm khi tần số tăng, điều này chỉ đúng trong một giải tần số. Giá trị  $tg\delta$  của dầu biến thế rất nhỏ, từ đó thấy rằng tổn hao điện môi của dầu biến thế chủ yếu là tổn hao do dòng điện rò.

**Bài 20:**

Hãy tính tổn hao trung bình của sứ dưới cường độ điện trường 1kV/cm, ở tần số 50hz và 1Mhz, biết rằng số tổn hao  $\varepsilon tg\delta$  của sứ ở tần số 50hz là 0,16 và ở tần số 1Mhz là 0,035.

**Bài giải:**

Biết rằng tổn hao điện môi trung bình:

$$\rho_d = 2\pi f \varepsilon_0 (\varepsilon tg\delta) \cdot E^2, \left(\frac{W}{m^3}\right)$$

ở tần số 50hz:

$$\rho_{d50hz} = 2\pi \cdot 50 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,16 \cdot (10^5)^2 = 4,45 \left( \frac{W}{cm^3} \right) = 4,45 \left( \frac{\mu W}{cm^3} \right)$$

ở tần số 1Mhz:

$$\rho_{d1Mhz} = \frac{10^6}{50} \cdot \frac{0,035}{0,16} \cdot 4,45 = 4,375 \cdot 10^3 \cdot 4,45 = 19469 \frac{\mu W}{cm^3} \approx 19,5 \frac{mW}{cm^3}$$

Nhận thấy rằng ở tần số 1Mhz tổn hao trung bình tăng 4375 lần so với tổn hao trung bình ở tần số 50hz, tuy số tổn hao (etgđ) giảm.

Do vậy sứ không được sử dụng ở tần số cao. Mà sử dụng siêu sứ có

$tg\delta = (6 \div 9) \cdot 10^{-4}$  ở tần số 1Mhz. Trong lúc ở sứ thường  $tg\delta = (90 \div 100) \cdot 10^{-4}$  cũng ở tần số 1Mhz.

**Bài 21:** Hãy tính tổn hao điện môi trên 1m của một dây cáp 220kV, tiết diện lõi đồng  $1250mm^2$ , đường kính lõi 48mm; bọc cách điện chia làm lớp: lớp trong, có bán kính ngoài  $r_1 = 38mm$ ;  $\epsilon_1 = 4,3$ ; lớp ngoài, có bán kính ngoài  $r_2 = 100mm$ ;  $\epsilon_2 = 3,5$ . Hệ số tổn hao chung  $tg\delta = 0,004$ .

**Bài 22:** Hãy tính điện áp đánh thủng khoảng cách 270cm giữa hai kim loại đặt trong khí.

**Bài giải:**

Biết rằng khoảng cách giữa hai điện cực lớn hơn 10cm, thì điện áp đánh thủng được xác định bằng phương trình MIHAILOV dưới đây giữa hai điện cực điều là đỉnh nhọn.

$$U_{dt} = 3,52a + 17 \text{ kV.}$$

ở đó: a: khoảng cách điện cực, cm.

$$U_{dt} = 3,52 \cdot 270 + 17 = 950 + 17 = 967 \text{ kV}$$

điện áp xoay chiều tần số 50hz.

tính trung bình mỗi cm khoảng cách điện cực chiều được : 3,58kV/cm.

**Bài 23:** Cách điện rãnh của máy điện 10,5kV có bề dày  $a = 3,5cm$ . làm bằng mica; độ bền điện của mica bằng 250kV/cm. Bối dây đặt trên cách điện của mica có bán kính vòng tròn  $r = 1mm$ .

1) Hãy tính cường độ điện trường ở góc của bối dây dưới điện áp làm việc và dưới điện áp thử bằng 24kV.

2) Nếu tăng bán kính vòng tròn của bối dây  $r = 3,5 \text{ mm}$ , thì sẽ có tác dụng gì.

**Bài giải:**

1) Biết rằng cường độ điện trường ở góc cạnh, mép của điện cực lớn hơn so với cường độ điện trường đồng đều trong trong cách điện đặt dưới điện cực. Tỷ lệ  $E_{max}/E = f(a/r)$  ở đó  $E_{max}$  cường độ điện trường ở góc điện cực, E cường độ điện trường đồng đều trong cách điện, a bề dày cách điện, r bán kính vòng tròn góc điện cực, kí hiệu hàm, được xác định bằng đường cong Dreyfus. Từ đường cong có thể đọc được :

với  $a/r = 3,5mm/1mm$  có  $E_{max}/E = 1,4$ .

$$\text{Vậy với điện áp làm việc } E = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot a} = \frac{10,5}{\sqrt{30,35}} = 17,34 \frac{kV}{cm}$$

Từ đó ở góc của điện cực:  $E_{\max} = 1,4.E = 1,4.17,34 \frac{kV}{cm} = 24,3 \frac{kV}{cm}$

Với điện áp thử:  $U_t = 24kV$ :

$$E = \frac{24kV}{0,35cm} = 69 \frac{kV}{cm}$$

$$E_{\max} = 1,4.69 = 96 \frac{kV}{cm}$$

2) Nếu tăng bán kính vòng tròn  $r = 3,5mm$ , thì:

$$\frac{E_{\max}}{E} = 1,1$$

giới hạn  $E_{\max} = 21,2 kV/cm$  trong không khí, thì:  $E = 21,2/1,1 = 19,36 kV/cm$ .

khi đó bề dày cách điện sẽ là:

$$a = \frac{10,5}{\frac{\sqrt{3}}{19,36}} = 0,31cm = 3,1mm$$

**Bài 24:** Hãy tính bề dày của cách điện một lớp của dây cáp với bán kính của lõi  $r_0 = 12,2mm$ , điện áp 220kV, độ bền điện của cách điện  $E_d = 12,5MV/m$ .

**Bài 25:** Hãy tính bề dày của cách điện của dây cáp 220kV, gồm 2 lớp: lớp trong có bán kính trong  $r_0 = 12,2mm$ ;  $\epsilon_1 = 4,3$ ;  $E_{d1} = 9,2MV/m$ ; lớp ngoài :  $\epsilon_2 = 3,5$ ,  $E_{d2} = 8,6MV/m$ .

