



Elektrotechnické materiály a výrobní procesy I

Neoficiální sbírka příkladů částí dielektrických materiálů a polovodičů

Verze: 0.3

30. októbra 2024

zadania 2023/2024 a 2024/2025 - skontroluj, mali by byt rovnake

chyby vyhradene - nenesiem ziadnu zodpovednosť!

nejedna sa o oficiálny material, iba pomocku na učenie

Autor: cinanko

Vybrané konstanty

c	$2,998 \cdot 10^8$	m s^{-1}	Rychlosť svetla
h	$6,626 \cdot 10^{-34}$	J s	Planckova konstanta
k	$1,38 \cdot 10^{-23}$	J K^{-1}	Boltzmannova konstanta
m_a	$9,109 \cdot 10^{-31}$	kg	Hmotnosť elektronu
m_p	$1,672 \cdot 10^{-27}$	kg	Hmotnosť protonu
N_A	$6,023 \cdot 10^{-23}$	mol^{-1}	Avogadrova konstanta
n_L	$2,688 \cdot 10^{25}$	m^{-3}	Loschmidtovo číslo
q	$-1,602 \cdot 10^{-19}$	C	Náboj elektronu
ε_0	$8,854 \cdot 10^{-12}$	F m^{-1}	Permitivita vakuu
μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$	H m^{-1}	Permeabilita vakuu
k	$8,617 \cdot 10^{-5}$	eV K^{-1}	Redukovaná Boltzmannova konstanta

Vybrané vlastnosti polovodičových materiálů

Platné při teplotě $T = 300 \text{ K}$

Značka	Křemík	Germánium	Vlastnost
n_i	$1,45 \cdot 10^{16} \text{ m}^{-3}$	$2,29 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}$	Koncentrace nosičů proudu (elektronů a děr) ve vlastním polovodiči
W_g	$1,11 \text{ eV}$	$0,67 \text{ eV}$	Šířka zakázaného pásu
μ_n	$0,135 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$	$0,39 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$	Pohyblivost elektronů
μ_p	$0,048 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$	$0,19 \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$	Pohyblivost děr
N_c	$2,8 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$	$1,04 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$	Efektivní hustota stavů ve vodivostním pásu
N_v	$1,04 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$	$6,0 \cdot 10^{24} \text{ m}^{-3}$	Efektivní hustota stavů ve valenčním pásu

1 Oblast dielektrických materiálů a izolantů

1)

Elektronová polarizovatelnost α_e atomu argonu je $1,43 \cdot 10^{-40} \text{ F m}^2$. Určete relativní permitivitu argonu při normálních fyzikálních podmírkách.

$$\alpha_E = 1,43 \cdot 10^{-40} \text{ F m}^2 \quad (\text{Farad} \cdot \text{meter}^2)$$

$$\epsilon_r = ?$$

Claussius - Mossottiho rovnice (C - M)

$$\frac{\epsilon_r - 1}{1 + 2\epsilon_r} = \frac{n \cdot \alpha}{3 \cdot \epsilon_0} \quad \text{Musí rostout!}$$

argon = inertní plyn $\Rightarrow \epsilon_r \rightarrow 1$ (plyny)

$$\frac{\epsilon_r - 1}{1 + 2} = \frac{n \cdot \alpha}{3 \cdot \epsilon_0}$$

α = polarizovatelnost

ϵ_0 = permitivita vakuu

n = počet atomů v 1 m^3 lasky

$$\frac{\epsilon_r - 1}{3} = \frac{n \cdot \alpha}{2 \cdot \epsilon_0}$$

$$\epsilon_r = \frac{n \cdot \alpha}{\epsilon_0} + 1$$

n_L = Loschmidtovo číslo = počet atomov v 1 m^3 plynu
(pevné lasky - zhruba 2-3 rady viac)

$$\epsilon_r = \frac{n_L \cdot \alpha}{\epsilon_0} + 1 = \frac{2,688 \cdot 10^{25} \cdot 1,43 \cdot 10^{-40}}{8,854 \cdot 10^{-12}} + 1 = 1,000434 [-]$$

\Rightarrow plyn je malý príspevok (dak viac desatiných miest!)

Loschmidtovo číslo vieme použiť iba pri štandardných podmienkach (ak nemame zadanu napr. zmena tlaku atd.)

2)

Relativní permitivita ε_{rs} složeného ze dvou vzájemně nereagujících látok o permitivitách ε_{r1} a ε_{r2} se často určuje Lichteneckerovým mocninovým vztahem

$$\varepsilon_{rs}^k = v_1 \varepsilon_{r1}^k + v_2 \varepsilon_{r2}^k \quad (1)$$

v němž v_1 a v_2 jsou poměrné objemové podíly obou látok a k je empirická konstanta. Hodnota konstanty k se mění v rozsahu $< -1; +1 >$ podle tvaru a rozložení částic obou látok; při chaotickém uspořádání částic $k \rightarrow 0$. Ukažte, že v tomto případě přechází mocninový vztah ve vztah logaritmický:

$$\log \varepsilon_{rs} = v_1 \log \varepsilon_{r1} + v_2 \log \varepsilon_{r2} \quad (2)$$

$$\varepsilon_{rs}^k = v_1 \varepsilon_{r1}^k + v_2 \varepsilon_{r2}^k$$

k = empirická konstanta (zkušenost)

$$a^x = 1 + \frac{x \cdot \ln a}{1!} + \frac{x^2 \ln a^2}{2!} + \dots \quad \begin{matrix} \text{rozvoj vztahu} \\ (\text{mocninová rada}) \end{matrix}$$

nejvyšší příspěvek
ak $x \rightarrow 0 \Rightarrow$ malý příspěvek

$$a^x \approx 1 + \frac{x \ln a}{1} \quad (\text{ila } \ln a \rightarrow 0)$$

$$x = k \quad 1 + \frac{k \cdot \ln \varepsilon_{rs}}{1} = v_1 \cdot \left(1 + \frac{k \cdot \ln \varepsilon_{r1}}{1} \right) + v_2 \cdot \left(1 + \frac{k \cdot \ln \varepsilon_{r2}}{1} \right)$$

$$1 + k \cdot \ln \varepsilon_{rs} = v_1 + v_1 \cdot k \cdot \ln \varepsilon_{r1} + v_2 + v_2 \cdot k \cdot \ln \varepsilon_{r2}$$

v_1 a $v_2 \rightarrow$ poměrné objemové podíly; $v_1 + v_2 = 1$ vždy
(můžeme odstranit samosobně složec $v_1, v_2 \approx 1$)

$$k \cdot \ln \varepsilon_{rs} = v_1 \cdot k \cdot \ln \varepsilon_{r1} + v_2 \cdot k \cdot \ln \varepsilon_{r2}$$

k můžeme odstranit, protože bolo v každom členovi

$$\ln \varepsilon_{rs} = v_1 \cdot \ln \varepsilon_{r1} + v_2 \cdot \ln \varepsilon_{r2}$$

$$\ln x = 2,3 \cdot \log x$$

$$\log \varepsilon_{rs} = v_1 \cdot \log \varepsilon_{r1} + v_2 \cdot \log \varepsilon_{r2}$$

3)

Mezi elektrodami deskového kondenzátoru o rozměrech 7x12 cm a vzdálenosti elektrod 5 mm je vložena destička z polystyrenu o tloušťce 3 mm. Zbytek prostoru mezi elektrodami je vyplněn vzduchem za normálních atmosférických podmínek. Vypočtěte kapacitu tohoto kondenzátoru, je-li relativní permitivita polystyrenu při teplotě 20 °C rovna 2,3. Jak se změní kapacita kondenzátoru, je-li celý prostor mezi elektrodami vyplněn pěnovým polystyrenem, v němž je objemový podíl polystyrenu a vzduchu stejný jako v prvním případě?

4)

Rezistivitu elektroizolačních kapalin ρ_v lze v závislosti na teplotě vyjádřit vztahem

$$\rho = A \cdot \exp^{\frac{B}{T}} \quad (3)$$

v němž $A[\Omega \text{ m}]$ a $B[\text{K}]$ jsou materiálové konstanty; teplota T je udána v K. Kabelový impregnant složený z minerálního oleje s přídavkem 25 % (hmotnostních) rafinované kalafuny má při teplotě 20 °C rezistivitu $2 \cdot 10^{10} \Omega \text{ m}$. Stanovte rezistivitu tohoto impregnantu při teplotách 50 °C a 80 °C, je li součinitel B roven $7 \cdot 10^3 \text{ K}$.

5)

Měřením dynamické viskozity transformátorového oleje BTS2 na Höpplerově viskozimetru byly při několika teplotách zjištěny údaje uvedené v tabulce. Stanovte rezistivitu tohoto oleje při teplotách 50 °C a 85 °C, je li hodnota rezistivity při teplotě 20 °C rovna $8 \cdot 10^{11} \Omega \text{ m}$. Při výpočtu předpokládejte, že při změně teploty se nemění koncentrace volných iontů v oleji.

Tabulka:

$\vartheta [^\circ\text{C}]$	20	40	60	80	100
$\eta [\text{N s m}^{-2}]$	$4,35 \cdot 10^{-2}$	$1,21 \cdot 10^{-2}$	$3,95 \cdot 10^{-3}$	$1,46 \cdot 10^{-3}$	$6,01 \cdot 10^{-4}$

6)

V obvodu střídavého elektrického proudu je zapojen kondenzátor, jehož dielektrikum vykazuje ztráty. Chování tohoto kondenzátoru lze za předpokladu, že pochody v dielektriku jsou lineární vyšetřit sledováním ekvivalentního dvouprvkového náhradního zapojení kondenzátoru s ideálním, bezztrátovým dielektrikem a odporu představujícího ztráty. Uvažujte, že kondenzátor s ideálním dielektrikem o kapacitě C_p a odpor R_p jsou v náhradním zapojení spojeny paralelně a že je na uvedenou soustavu připojeno napětí U .

Nakreslete pro tento případ fázorový diagram napětí a proudů soustavy a určete ztrátový činitel, celkovou impedanci a celkové ztráty energie v soustavě.

7)

Ve smyslu zadání úlohy č. C-7 uvažujte sériové zapojení odporu R_s a kondenzátoru s ideálním dielektrikem C_s . K soustavě obou prvků nechť je přiloženo napětí U . Nakreslete fázorový diagram napětí a proudů soustavy, určete ztrátový činitel, celkovou impedanci a celkové ztráty energie v soustavě.

8)

Určete ztrátový činitel vzduchu za normálních fyzikálních podmínek a při kmitočtu 50 Hz, má-li rozhodující vliv na velikost ztrát elektrická vodivost vzduchu. Relativní permitivita vzduchu je za normálních fyzikálních podmínek rovna 1,000 584, rezistivita je za stejných podmínek $10^{16} \Omega \text{ m}$.

9)

Komplexní permitivita ε^* dielektrika je definována vztahem $\varepsilon^* = \varepsilon' - j\varepsilon''$. V závislosti na kmitočtu lze podle Debyeho vyjádřit komplexní permitivitu rovnicí

$$\varepsilon^* = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{1 + j\omega\tau} \quad (4)$$

v níž ε_s značí relativní (statickou) permitivitu dielektrika určenou při kmitočtu $f \rightarrow 0$, ε_∞ relativní (optickou) permitivitu určenou při velmi vysokých kmitočtech; τ je relaxační doba, která je mimo jiné i funkcí teploty. **Vyjděte z obou uvedených vztahů a určete reálnou část ε' a imaginární část ε'' komplexní permitivity.**