

-5cm

Samostatná práce II – BPC-EMV2

Jakub Charvot

3.5. 2023

Úvod

V této práci jsou prezentovány výpočty z oblasti elektronových procesů, iontových procesů, rentgenových procesů, jaderných procesů, laserových procesů a ultraakustických procesů.

1 Elektronové procesy

1.1 Přehled elektronových procesů

Elektronové procesy jsou procesy, při kterých jsou zapojeny elektrony. Tyto procesy mohou být popsány pomocí různých metod, např. Bornovy aproximace nebo Hartreeho-Fockovy metody.

1.2 Příklad 1.1.2 - výpočet

Zadání: *Určete hustotu emisního proudu rozžhaveného wolframového vlákna při teplotě 2 227 °C, působí-li současně elektrické pole o intenzitě $E = 2 \cdot 10^5 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$*

Nejprve je potřeba vypočítat emisní proud samotného vlákna, k tomu slouží následující vztah:

$$j_{eT} = AT^2 \exp\left(-\frac{W}{kT}\right)$$

Po dosazení dostáváme:

$$j_{eT} = 3\,155 \text{ A} \cdot \text{m}^{-2}$$

Takto vypočtená hodnota odpovídá emisnímu proudu samotného wolframového vlákna, bez působení el. pole. Působením napětí můžeme proudovou hustotu výrazně zesílit, platí

zde následující vztah:

$$\begin{aligned}
 j_{eTE} &= AT^2 \exp\left(-\frac{W - \Delta W}{kT}\right) \\
 j_{eTE} &= AT^2 \exp\left(-\frac{W}{kT}\right) \cdot \exp\left(\frac{\Delta W}{kT}\right) \\
 j_{eTE} &= j_{eT} \cdot \exp\left(\frac{\Delta W}{kT}\right) = j_{eT} \cdot \exp\left(\frac{0,44\sqrt{E}}{T}\right) \\
 j_{eTE} &= 3155 \exp\left(\frac{0,44\sqrt{2 \cdot 10^5}}{2500}\right) \\
 j_{eTE} &= 3413 \text{ A} \cdot \text{m}^{-2}
 \end{aligned}$$

1.3 Příklad 1.1.3 - výpočet

Zadání: Určete emisní proud katody vyrobené ve tvaru disku o průměru 10 mm z wolframu, vyhřáté na teplotu 2 227 oC. Urychlovací anoda je umístěna ve vzdálenosti 50 mm od katody a je na ni přivedeno napětí 10 kV

Vyjdete z proudové hustoty vypočtené v předchozím příkladu, pro stanovení proudu stačí stanovit plochu katody a dosadit do obecně známého vztahu:

$$\begin{aligned}
 I &= j_{eTE} S = j_{eTE} \frac{\pi d^2}{4} \\
 I &= j_{eTE} S = 3413 \frac{\pi (10 \cdot 10^{-3})^2}{4} \\
 I &= 0,268 \text{ A}
 \end{aligned}$$

2 Iontové procesy

2.1 Přehled iontových procesů

Iontové procesy jsou procesy, při kterých jsou zapojeny ionty. Tyto procesy mohou být popsány pomocí různých metod, např. Bornovy aproximace nebo Hartreeho-Fockovy metody.

2.2 Příklad 1.2.1

Zadání: Srovnajte základní vlastnosti elektronů a iontů.

Elektrony mají vždy záporný náboj a jsou obecně podstatně lehčí a menší než ionty. Díky své nízké hmotnosti se mohou pohybovat velmi vysokými rychlostmi blízcími se rychlostí světla.

Ionty mohou mít kladný i záporný náboj a jsou větší a těžší. Oproti elektronům mohou také tvořit chemické reakce (jelikož se jedná o celé ionizované atomy nebo molekuly). Lze je použít například i pro depozici tenkých vrstev.

2.3 Příklad 1.2.2 - výpočet

Zadání: Stanovte maximální koncentraci implantovaných iontů bóru do monokrystalu křemíku ve vzdálenosti středního doletu iontů R_p od povrchu destičky a koncentraci iontů ve vzdálenosti $R_p \pm \Delta R_p$ a na povrchu monokrystalu. ΔR_p je střední kvadratická odchylka. Zjištěný koncentrační profil naznačte graficky. Celková dávka $Q = 1018 \text{ m}^{-2}$ při energii iontů 100 keV

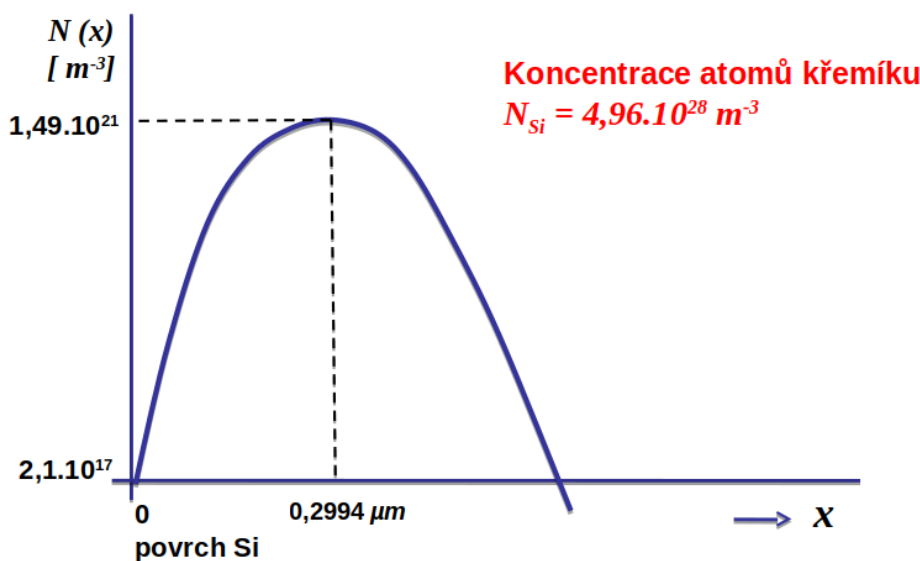
Pro implantaci bóru do křemíku při energii iontů 100 keV platí:

$$R_p = 0,2994 \mu\text{m} \text{ a } \Delta R_p = 0,0710 \mu\text{m}$$

Pro stanovení maximální koncentrace vyjdeme z následujícího vztahu:

$$\begin{aligned} N_{max} &= \frac{Q}{\sqrt{2\pi}\Delta R_p} \\ N_{max} &= \frac{10 \cdot 10^{18}}{\sqrt{2\pi}0,0710 \cdot 10^{-6}} \\ N_{max} &= 1,49 \cdot 10^{21} \text{ m}^{-3} \end{aligned}$$

Jak by vypadal koncentrační profil v závislosti na vzdálenosti od povrchu můžeme vidět na obrázku 1



Obrázek 1: Závislost koncentrace dopantů na hloubce resp. vzdálenosti od povrchu.

3 Rentgenové procesy

3.1 Přehled rentgenových procesů

Rentgenové procesy jsou procesy, při kterých jsou zapojeny rentgenové záření. Tyto procesy mohou být popsány pomocí různých metod, např. Bornovy aproximace nebo Hartreeho-Fockovy metody.

3.2 Příklad 2.1.1 - výpočet

Zadání: Stanovte nejkratší vlnovou délku rentgenového záření vzniklého po dopadu svazku elektronů na kov. Urychlovací napětí $U = 2 \text{ kV}$

Nejkratší vlnovou délku bude mít záření s nejvyšší energií, musíme tedy stanovit maximální energii dopadajících elektronů. Ty jsou urychlovány napětím U , bude to tedy vypadat takto:

$$\begin{aligned}\lambda_{min} &= \frac{hc}{E} = \frac{hc}{qU} \\ \lambda_{min} &= \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 2,998 \cdot 10^8}{1,602 \cdot 10^{-19} \cdot 2 \cdot 10^3} \\ \lambda_{min} &= 0,619 \text{ nm}\end{aligned}$$

3.3 Příklad 2.1.2 - výpočet

Zadání: Stanovte vlnovou délku rentgenového záření pro kterou dosáhne intenzita záření maxima. Urychlovací napětí $U = 2 \text{ kV}$

Ze spektrální charakteristiky vyzářeného rtg. záření bylo empiricky zjištěno, že maximální intenzita záření odpovídá frekvenci, při které má záření energii přibližně 0,6 maximální hodnoty. Upravíme tedy výpočet:

$$\begin{aligned}\lambda_{I_{max}} &= \frac{hc}{0,6E} = \frac{hc}{0,6qU} \\ \lambda_{I_{max}} &= \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 2,998 \cdot 10^8}{0,61,602 \cdot 10^{-19} \cdot 2 \cdot 10^3} \\ \lambda_{I_{max}} &= 1,032 \text{ nm}\end{aligned}$$

4 Jaderné procesy

4.1 Přehled jaderných procesů

Jaderné procesy jsou procesy, při kterých jsou zapojena jádra atomů. Tyto procesy mohou být popsány pomocí různých metod, např. Bornovy aproximace nebo Hartreeho-Fockovy metody.

4.2 Příklad 2.2.1 - výpočet

Zadání: Stanovte rychlost s jakou se pohybují tzv. tepelné neutrony při teplotě $25 \text{ }^\circ\text{C}$

Vyjdeme zde z kinetické energie neutronu, ta je rovna jeho energii tepelné:

$$E = \frac{1}{2}m_n v_n^2 = kT$$

Z této rovnosti vyjádříme rychlost neutronu v závislosti na termodynamické teplotě:

$$v_n = \sqrt{\frac{2kT}{m_n}}$$

$$v_n = \sqrt{\frac{21,38 \cdot 10^{-23}(25 + 273,15)}{1,674 \cdot 10^{-27}}}$$

$$v_n = 2\,216 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

4.3 Příklad 2.2.7 - výpočet

Zadání: Stanovte kolikrát se zmenší tok tepelných neutronů při průchodu destičkou z kadmia a hliníku o tloušťce 1 mm. Účinný průřez pro kadmium $\sigma_{Cd} = 2\,500 \cdot 10^{-28} \text{ m}^2$ a pro hliník $\sigma_{Al} = 0,21 \cdot 10^{-28} \text{ m}^2$

Pro vypočtení tohoto příkladu je potřeba stanovit absorpční koeficient obou materiálů:

$$\alpha = n\sigma$$

$$\alpha_{Cd} = n_{Cd}\sigma_{Cd} = 4,6 \cdot 10^{28} \cdot 2\,500 \cdot 10^{-28} = 11\,500 \text{ m}^{-1}$$

$$\alpha_{Al} = n_{Al}\sigma_{Al} = 6,02 \cdot 10^{28} \cdot 0,21 \cdot 10^{-28} = 1,26 \text{ m}^{-1}$$

Následně využijeme vztah pro stanovení toku neutronů po průchodu vrstvou materiálu tlustou x m:

$$\varphi(x) = \varphi_0 \cdot \exp(-\alpha x)$$

$$\frac{\varphi_0}{\varphi(x)} = \frac{1}{\exp(-\alpha x)}$$

Zlomek na posledním řádku přímo odpovídá na naši otázku "kolikrát se zmenší?". Po dosazení hodnot pro oba materiály získáme následující hodnoty:

- Po průchodu kadmíem se tok zmenší 99 009 krát.
- Po průchodu hliníkem pouze 1,002 krát.

5 Laserové procesy

5.1 Přehled laserových procesů

Laserové procesy jsou procesy, při kterých jsou zapojeny lasery. Tyto procesy mohou být popsány pomocí různých metod, např. Bornovy aproximace nebo Hartreeho-Fockovy metody.

5.2 Příklad 3.1.1 - výpočet

Zadání: Yttrium-Aluminium-Granát laser dotovaný neodymem, YAG:Nd³⁺, má rozdíl energií mezi horní a spodní laserovou hladinou 1,17 eV. Určete vlnovou délku příslušného laserového záření a stanovte jaké oblasti spektra odpovídá.

Energie vyzářeného fotonu je přímo svázaná s vlnovou délkou takového záření:

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E}$$

$$\lambda = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 2,998 \cdot 10^8}{1,17 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}}$$

$$\lambda = 1,06 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

Tato vlnová délka odpovídá infračervené oblasti elektromagnetického spektra.

5.3 Příklad 3.1.4 - výpočet

Zadání: *Laserový svazek o průměru $d = 0,1 \text{ mm}$ dopadl kolmo na destičku z křemíku. Výkon přenášený ve svazku je $P = 10 \text{ kW}$. Stanovte plošnou hustotu výkonu laserového záření po průchodu destičkou o tloušťce $x = 2 \text{ mm}$, použijeme-li záření o vlnové délce $\lambda = 1,06 \mu\text{m}$, součinitel reflexe uvažujme $R = 0,28$ a absorpční součinitel $\alpha(\lambda) = 5 \text{ cm}^{-1}$. Rozhodněte, zda na dané vlnové délce lze křemík použít pro optické systémy*

Zde se kombinují dva jevy, nejprve se část intenzity paprsku odrazí zpět a následně je část pohlcena materiálem. Pro stanovení hustoty výkonu po průchodu systémem musíme zohlednit oba jevy.

Plošná hustota výkonu na začátku:

$$N_{S_0} = \frac{P_0}{S} = \frac{4P_0}{\pi d^2} = 1,27 \cdot 10^{12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Odečtení odraženého výkonu:

$$N'_{S_0} = N_{S_0}(1 - R) = 9,144 \cdot 10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Odečtení absorbovaného výkonu:

$$N_S = N'_{S_0} \cdot \exp(-\alpha(\lambda)x)$$

$$N_S = 9,144 \cdot 10^{11} \cdot \exp(-5 \cdot 10^2 \cdot 2 \cdot 10^{-3})$$

$$N_S = 3,36 \cdot 10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

6 Ultraakustické procesy

6.1 Přehled ultraakustických procesů

Ultraakustické procesy jsou procesy, při kterých jsou zapojeny zvukové vlny. Tyto procesy mohou být popsány pomocí různých metod, např. Bornovy aproximace nebo Hartreeho-Fockovy metody.

6.2 Příklad 3.2.4 - výpočet

Zadání:

V této sekci je uveden výpočet pro příklad 3.2.4. Jsou uvedeny použité metody a vypočtené výsledky.

6.3 Příklad 3.2.7 - výpočet

Zadání:

V této sekci je uveden výpočet pro příklad 3.2.7. Jsou uvedeny použité metody a vypočtené výsledky.

Závěr

V této práci byly prezentovány výpočty z oblasti elektronových procesů, iontových procesů, rentgenových procesů, jaderných procesů, laserových procesů a ultraakustických procesů. Pro každou oblast byly uvedeny příklady a provedeny výpočty s použitím různých metod. Výsledky těchto výpočtů byly uvedeny v příslušných sekcích.

Výpočty byly provedeny s ohledem na principy dané oblasti a s použitím vhodných metod. Výsledky ukázaly, že metoda použitá k výpočtu může mít významný vliv na výsledky a jejich správnost.

Tato práce by mohla být rozšířena o další příklady a oblasti, a tím poskytnout více informací o různých procesech. Zároveň by bylo možné věnovat se více srovnání různých metod a zhodnocení, která metoda je pro danou oblast nejvhodnější.