

Difrakce elektronů na krystalové mřížce

Úkol: Změřit s pomocí elektronové difrakce mezirovinné vzdálenosti v polykrystalickém grafitu.

Potřeby: Viz seznam v deskách u úlohy na pracovním stole.

1. ÚVOD

Hypotézu, že nejen fotony ale i ostatní částice mikrosvěta (a konec konců i tělesa z nich vytvořená) se mohou při pohybu chovat zároveň jako vlny, vyslovil v roce 1924 francouzský fyzik Louis de Broglie (čti de broj). Znamená to například, že pohybující se elektrony projevují takové vlastnosti jako je difrakce a interference. Experimentálně bylo toto spojení vlnových a částicových vlastností, tzv. korpuskulárně vlnový dualismus, potvrzeno v roce 1927 při pozorování interakce urychlených elektronů s monokrystalem niklu.

Podle de Broglieovy hypotézy platí pro částice nenulové hmotnosti pohybující se rychlostí v

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot v} \quad , \quad (1)$$

kde m je hmotnost částice (buď klidová, nebo – při vysokých rychlostech – relativistická), h je Planckova konstanta.

K tomu, aby došlo k difrakci a ke vzniku interferenčních maxim, je nutné, aby vlnová délka λ vlnění byla srovnatelná se vzdálenostmi d stavebních částic krystalové mřížky (tj. řádově 10^{-10} m). Maxima potom vznikají, podobně jako při difrakci paprsků X, je-li splněna Braggova podmínka

$$2 \cdot d \cdot \sin \theta = k \cdot \lambda \quad , \quad k = 1, 2, \dots \quad , \quad (2)$$

kde θ je úhel mezi rovinou obsazenou atomy a elektronovým svazkem.

K získání svazku elektronů s dostatečně krátkou vlnovou délkou je nutné elektrony urychlit v elektrickém poli, přičemž platí

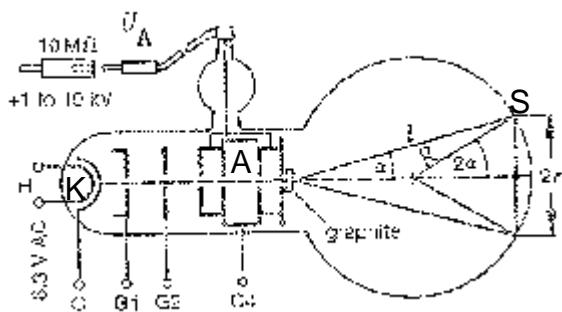
$$\lambda = \frac{h}{m_e v} = \frac{h}{\sqrt{2em_e U}} = \frac{1,225}{\sqrt{U}} \quad [nm] \quad , \quad (3)$$

jestliže napětí U dosazujeme ve voltech.

Při znalosti vlnové délky elektronového svazku lze z polohy interferenčních maxim určovat parametry (mezirovinné vzdálenosti) krystalové mřížky, na které dochází k difrakci a naopak.

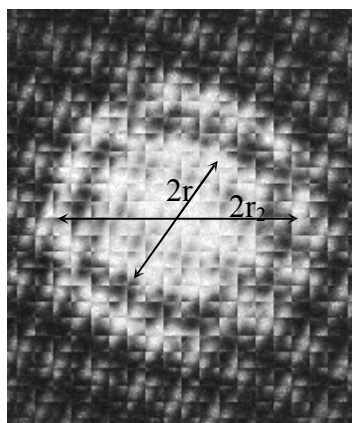
2. PRINCIP MĚŘENÍ

K pozorování difrakce elektronů na krystalické mřížce použijeme uspořádání podle obr. 1 na následující straně.



Obr. 1

Evakuovaná baňka obsahuje žhavenou katodu K jako zdroj elektronů, systém mřížek G pro úpravu elektronového paprsku a urychlovací anodu A. Paprsek elektronů prochází po urychlení na požadovanou rychlost zkoumaným vzorkem, v našem případě polykrystalickým grafitovým filmem a difraktované elektrony dopadají na fluorescenční stínítko S v kulovité části baňky o poloměru $R = 65$ mm. Baňka je pro lepší kontrast zobrazení umístěna ve stínícím boxu.

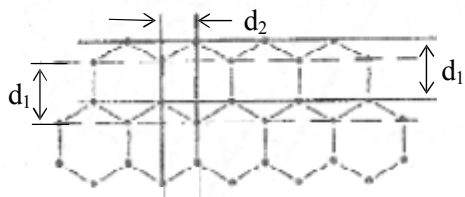


Obr. 2.

Pro polykrystalické materiály je typické, že v důsledku nahodilého uspořádání individuálních vrstev vůči paprsku elektronů vytvářejí dopadající elektrony na stínítku obrazec interferenčních maxim v podobě soustředných kruhů (obr. 2). Jejich poloměry r_k umožňují vypočítat hodnoty mezirovinných vzdáleností d , tj. vzdálenosti mezi rovinami obsazenými atomy vzorku podle rovnice

$$d_k = \frac{2R}{r_k} \cdot k\lambda \quad (4)$$

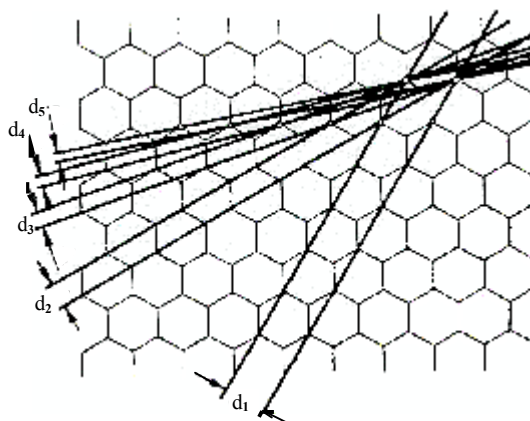
V našem případě se jedná o mezirovinné vzdálenosti d_1 a d_2 , které jsou odpovědné za vznik dvou intenzivních interferenčních kruhů pro maxima **prvního řádu ($k = 1$)** (viz obr. 3). Intenzita interferenčních kruhů vyšších řádů je mnohem nižší a v pozorovaném uspořádání jsou prakticky nerozlišitelné. Některé kruhy navíc splývají.



Obr. 3.

Mezirovinné vzdálenosti v grafitu:

$$d_1 = 213 \text{ pm} ; d_2 = 123 \text{ pm} ; d_3 = 80,5 \text{ pm} ; \\ d_4 = 59,1 \text{ pm} ; d_5 = 46,5 \text{ pm}$$

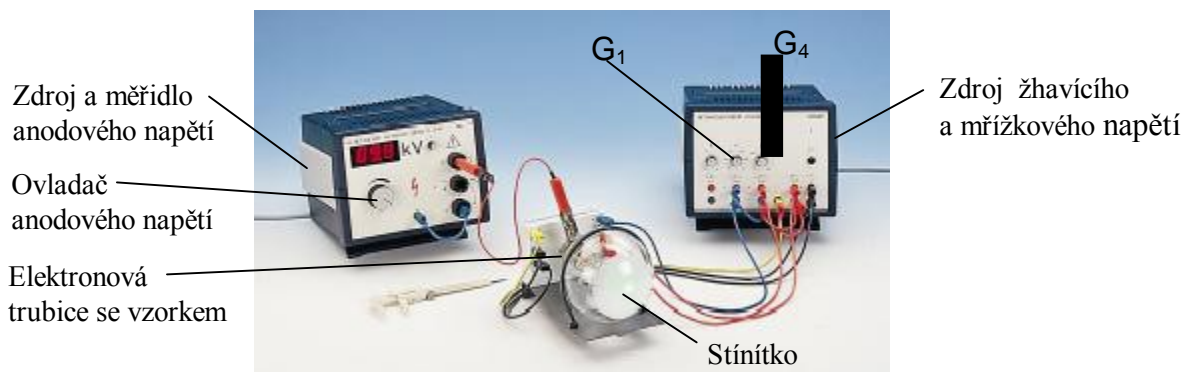


3. POSTUP MĚŘENÍ

K měření použijeme aparaturu PHYWE pro pozorování elektronové difrakce sestavenou podle obr. 4 na následující straně.

S propojovacími kabely nemanipulujte !!!

Pro lepší kontrast zobrazení je elektronová trubice umístěna ve stínícím boxu.



Obr. 4.

Pracovní postup:

1. Po kontrole správného propojení kabelů učitelem nastavte ovladače mřížkového napětí G_1 na hodnotu cca 30 V , napětí G_4 na hodnotu cca 200 V , anodové napětí na nulu a zdroje zapněte (vypínače jsou na zadní straně).
2. Nastavte hodnotu anodového napětí na 4 kV a upravte hodnoty napětí na mřížkách G_1 a G_4 tak, aby difrakční obrazec byl přiměřeně jasný a co nejostřejší.
3. Určete průměr dvou nejmenších difrakčních kruhů $2r_1$, $2r_2$ (např. tak, že posuvným měřítkem z umělé hmoty změříte jejich vnitřní a vnější průměr a vypočítáte průměrnou hodnotu).
4. Proveďte další měření při zvyšování anodového napětí po 0,5 kV až do hodnoty 7,5 kV a výsledky přehledně zapisujte do tabulky.
5. Vypočítejte z anodového napětí příslušné vlnové délky, jim odpovídající mezirovinné vzdálenosti d_1 a d_2 (s využitím rovnice 4), jejich průměrnou hodnotu a chybu měření.
6. Graficky znázorníte závislosti poloměru r na vlnové délce λ a a s využitím směrnice těchto závislostí vypočítejte mezirovinné vzdálenosti d_i . Platí rovnice (4).

Poznámky:

- Viditelnost difrakčních kruhů vyšších řádů závisí na intenzitě okolního osvětlení v laboratoři a jas a kontrast obrazce může být ovlivněn napětím na mřížkách G_1 a G_4 .
- Jasná skvrna v centru stínítka má nepříznivý vliv na fluorescenční vrstvu. K potlačení tohoto vlivu snižujte intenzitu obrazce ihned po každém vyhodnocení (zvýšením napětí na mřížce G_1).

Příklad tabulky

U	λ	$2r_1$	$2r_2$	r_1	r_2	d_1	d_2