

Difrakce elektronů v krystalech, zobrazení atomů

J. Záhora, Š. Lýsková, T. Jakubec

Gymnázium B. Němcové Hradec Králové
Všeobecné a sportovní gymnázium Bruntál
Gymnázium Trutnov

Abstrakt:

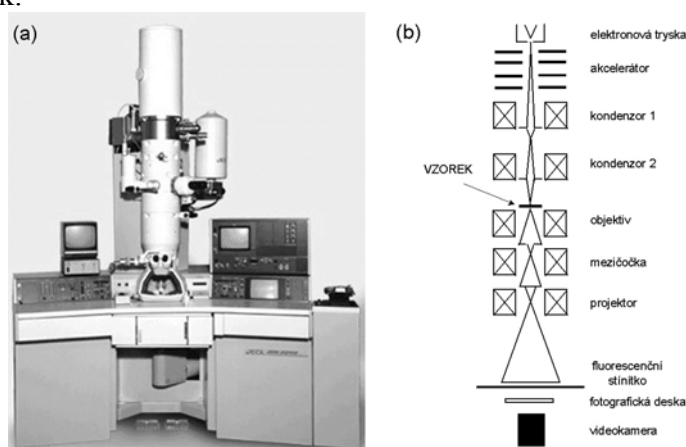
V rámci miniprojektu jsme se seznámili s difrakcí elektronů na monokrystalech a polykrystalech. Kromě toho jsme pozorovali poruchy krystalové mřížky, dislokace a částice Al(Mn,Fe)Si ve slitině Al-Mn-Zr, která se používá pro lamely automobilových chladičů. Z difraktogramů monokrystalu jsme určovali krystalové zóny, u polykrystalů, zda kubická krystalová mřížka je primitivní, prostorově či plošně centrovaná.

1 Úvod

V našem miniprojektu jsme se měli seznámit s principem difrakce, transmisním elektronovým mikroskopem a způsoby zobrazování atomů v krystalové mřížce (elektronová holografie, mikroskopie s atomovým rozlišením).

2 Transmisní elektronová mikroskopie

Transmisní elektronová mikroskopie (TEM) je jednou z vědeckých zobrazovacích metod, které se běžně používají v materiálovém výzkumu a medicíně. Umožňuje sledovat strukturu materiálů s rozlišením až 10^{-9} m (na úrovni atomů). Existuje mnoho technik pozorování, mezi nejzajímavější jistě patří elektronová holografie a mikroskopie s atomovým rozlišením. V tubusu mikroskopu (obr. 1) je elektronové dělo, osvětlovací a zobrazovací soustava magnetických čoček. V tubusu mikroskopu (obr. 1) je elektronové dělo, osvětlovací a zobrazovací soustava magnetických čoček.



Obr. 1. Transmisní elektronový mikroskop (a) a schéma jeho tubusu (b) [1].

Vnitřek tubusu je čerpán na vysoké až velmi vysoké vakuu (10^{-3} až 10^{-5} Pa). Elektrony jsou nejčastěji urychlovány napětím 200 kV. Pokud je mikroskop vybaven spektrometrem rentgenového záření nebo ztrát energie elektronů, můžeme provést i lokální chemickou

analýzu studované látky. Aby byly vzorky pro elektrony prosvětlitelné, musí mít velmi malou tloušťku (20 až 300 nm). Požadovanou tloušťku získáme elektrolytickým leštěním nebo ostřelováním pomocí iontů.

3 Difrakce elektronů

3.1 Princip difrakce

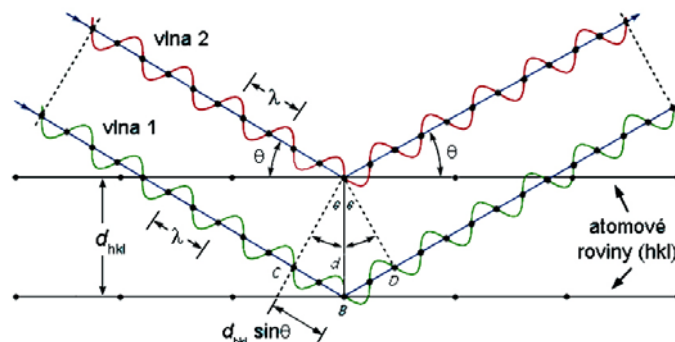
Difrakce je ohyb vlnění za překážku (krystalovou mřížku). Nastává, jestliže rozměry překážky (mezirovinné vzdálenosti) jsou srovnatelné s vlnovou délkou vlnění. Pokud použijeme částečně koherentní svazek elektronů, dochází k interferenci, kterou jsme schopni pozorovat.

3.2 Braggův zákon

Při difrakci elektronů s vlnovou délkou λ na krystalové mřížce vzniká dráhový rozdíl, který způsobuje fázový posun těchto vlnění (obr. 2). Následně dochází k interferenci. Na stínítku pak můžeme pozorovat interferenční maxima, jejichž umístění popisuje Braggův zákon:

$$2d_{hkl} \sin \theta = n\lambda,$$

kde d_{hkl} je vzdálenost meziatomových rovin (hkl), θ difrakční úhel a n řád interference.

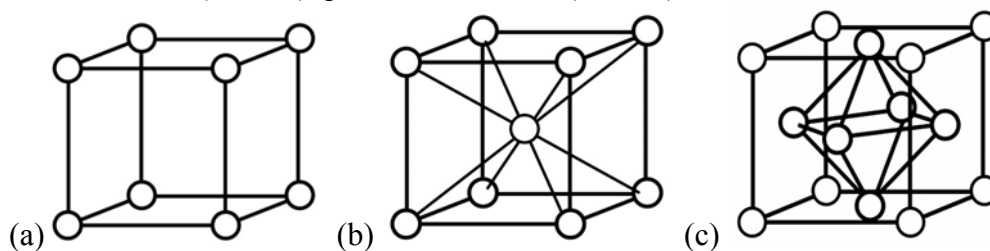


Obr. 2. Grafické znázornění Braggovy rovnice pro $n = 1$ (upraveno podle [2]).

4 Struktura materiálu

4.1 Krystalová mřížka

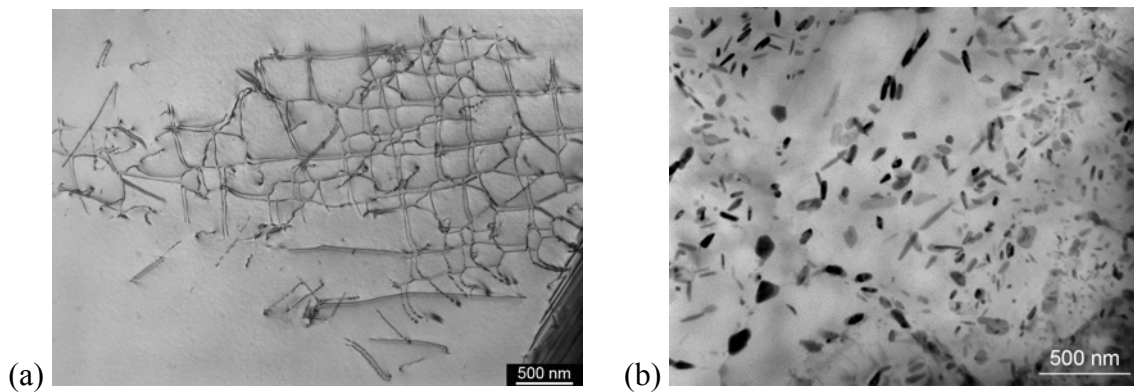
Uspořádání částic v látce může mít mnoho podob. Při našem pokusu jsme se zabývali zkoumáním některých kubických mřížek. Rozlišujeme tyto jejich druhy: primitivní (obr. 3a), prostorově centrovaná (obr. 3b), plošně centrovaná (obr. 3d) a diamantová.



Obr. 3. Kubické mřížky: (a) primitivní, (b) prostorově centrovaná, (c) plošně centrovaná.

4.2 Poruchy krystalové mřížky

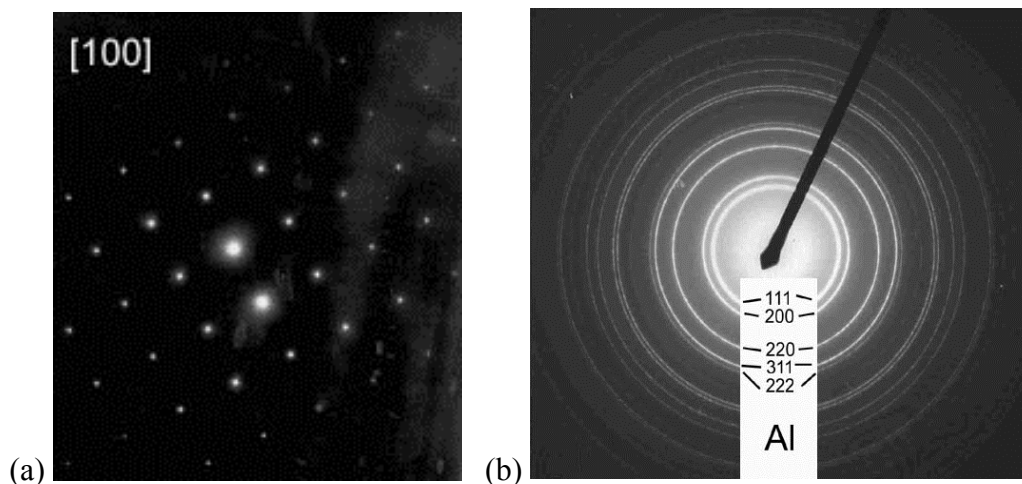
V krystalových mřížkách se často vyskytují poruchy, které ovlivňují vlastnosti materiálů. Patří k nim například dislokace nebo částice různých fází. Dislokace (obr. 4) jsou čarové poruchy, které umožňují plastickou deformaci krystalu. Pomocí TEM určujeme jejich hustotu, uspořádání, případně sledujeme jejich interakci s různými překážkami. Kromě dislokací jsme pozorovali i částice $\text{Al}(\text{Mn,Fe})\text{Si}$ ve slitině Al-Mn-Zr .



Obr. 4. Poruchy krystalové mříže: (a) dislokace, (b) částice $\text{Al}(\text{Mn,Fe})\text{Si}$ ve slitině Al-Mn-Zr .

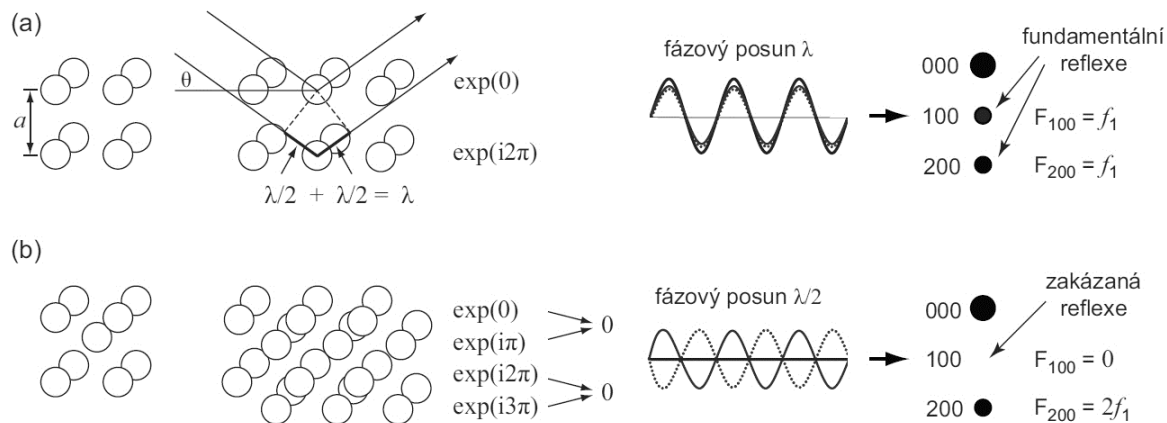
4.3 Difrakce na krystalech

Rozlišujeme difrakci na monokrystalech a polykrystalech. Z difrakčního obrazce monokrystalu (obr. 5a) můžeme určit směr dopadajících paprsků. U polykrystalů (obr. 5b) má difrakční obrazec tvar soustředných kružnic, které indexujeme podle pořadí od středu.



Obr. 5. Difrakční obrazce: (a) monokrystal, osa zóny $[100]$, (b) napařený polykrystal Al s velmi malými zrny.

Při difrakci dochází ke konstruktivní a destruktivní interferenci. Konstruktivní interference nastává, když jsou vlny ve fázi a amplitudy se sčítají (obr. 6a). V důsledku destruktivní interference, kde se amplitudy odčítají (obr. 6b), vznikají tzv. zakázané reflexe (bodové stopy nebo kružnice se nezobrazí).



Obr. 6. Konstruktivní (a) a destruktivní (b) interference při difrakci (upraveno podle [3]).

5 Shrnutí

Transmisní elektronová mikroskopie je důležité odvětví, které se uplatňuje v medicíně (výzkum virů) i ve výzkumu materiálů. Umožňuje sledovat mikrostrukturu uvnitř materiálů, což se často využívá při vědecké práci i v aplikovaném výzkumu pro průmysl.

Poděkování

Děkujeme Matematicko-fyzikální fakultě UK za možnost použití TEM, katedře materiálů FJFI za materiální a technickou podporu a prof. Dr. RNDr. Miroslavu Karlíkovi za odborný dohled.

Reference:

- [1] KARLÍK, M.: Transmisní elektronová mikroskopie: pohled do nitra materiálů, *Československý časopis pro fyziku*, **55**, č. 5 (2005), 457-464.
- [2] HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J.: Vysokoškolská učebnice obecné fyziky, Vutium a Prometheus, Praha, 2001.
- [3] KARLÍK, M.: Úvod do transmisní elektronové mikroskopie, Česká technika – nakladatelství ČVUT, Praha, 2011.