

Difrakce elektronů v krystalech, zobrazení atomů

P. Hartman

MSSCh Křemencova, Praha 1; katef2@seznam.cz

L. Kadrmanová

Gymnázium Jeseník; Kadrmanova@seznam.cz

F. Batysta

G J.V. Jirsíka, České Budějovice; xibaty@quick.cz

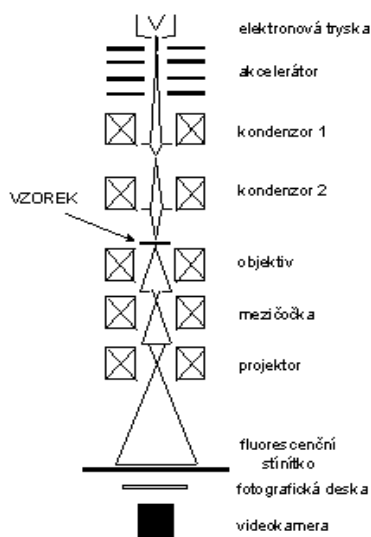
Abstrakt:

Jedním z hlavních pilířů při studiu struktury materiálů je v současné době transmisní elektronová mikroskopie. Je to jedna z mála metod, která nám umožňuje pozorování struktury materiálů, jejich vlastností a případných vad a poruch s velmi vysokým zvětšením a rozlišením.

1 Úvod

Na začátku dvacátého století nepostačovaly již optické mikroskopy nárokům vědy a výzkumu svým výkonem. Vlnová délka běžného světla je asi 2000x větší, než je velikost atomu, kdežto elektron s dostatečně vysokou hodnotou energie má vlnovou délku srovnatelnou se vzdáleností a velikostí jednotlivých atomů. Na konci dvacátých let umožnil vynález magnetické čočky zkonstruování prvního transmisního elektronového mikroskopu (TEM), který v roce 1930 sestavili M. Knoll a E. Ruska. Dnes je TEM nedílnou součástí výzkumu.

2 Transmisní elektronový mikroskop



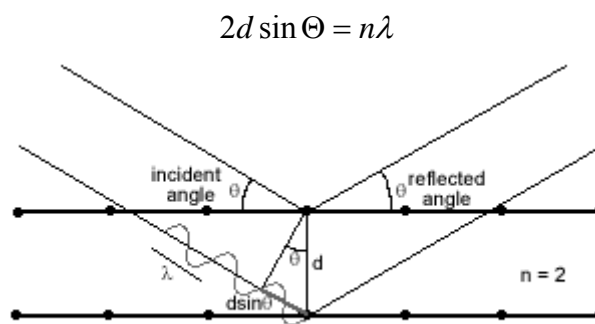
Základní schéma TEM je zobrazeno na obrázku 1. V horní části tubusu se nachází elektronová tryska emitující elektrony, které jsou následně urychlovány akcelerátorem. Tyto elektrony potom projdou přes osvětlovací soustavu tvořenou kondenzory, dopadnou na vzorek a přes složitou soustavu čoček a clon dopadají na fluorescenční stínítko, fotografickou desku nebo na CCD kameru. V celém tubusu musí být udržováno velmi vysoké vakuum (až 10^{-8} Pa), aby nedocházelo k nežádoucímu rozptylu elektronů. Navíc zkoumaný vzorek musí být *velmi* tenký, jinak by neprocházel dostatek elektronů vzorkem. Ideální je, když pozorujeme vrstvu o tloušťce ne více než stovky nm.

Obr. 1: Schéma transmisního elektronového mikroskopu.

TEM poskytuje dva základní módy pozorování – mód zobrazovací, sloužící k pozorování struktury a vad zkoumaného materiálu, a mód difrakční, který je používán především pro určování orientace krystalických látek a ve kterém je pozorován difrakční obrazec (difraktogram). Naším úkolem bylo tyto difraktogramy analyzovat.

3 Difrakce elektronů

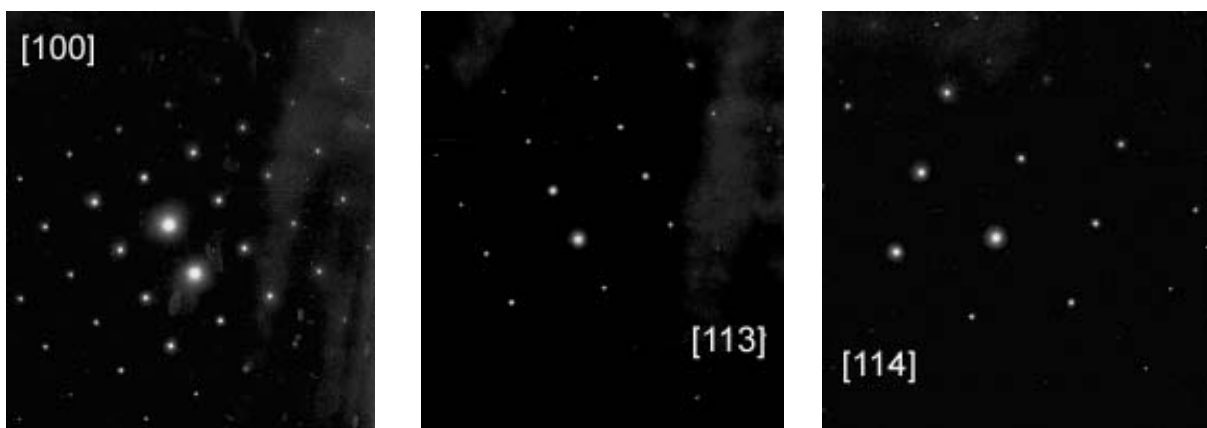
Jak vlastně taková difrakce funguje? Tento jev je obdobou ohybu světla na mřížce, pouze místo světla používáme elektronový svazek, který se difraktuje na krystalické struktuře látek. Pokud rozptýlené elektrony splní určitou podmínku (Braggův zákon viz obr. 2) dochází k interferenci (skládání) difraktovaných elektronových vln ☺.



Obr. 2 Braggův zákon

K dispozici jsme měli snímky kubicky plošně centrovaného monokrystalu zlata (viz obr. 3) a měli jsme zjistit, pod jakými úhly dopadá elektronový svazek na vzorek neboli jak byl monokrystal Au orientován vůči dopadajícímu svazku elektronů.

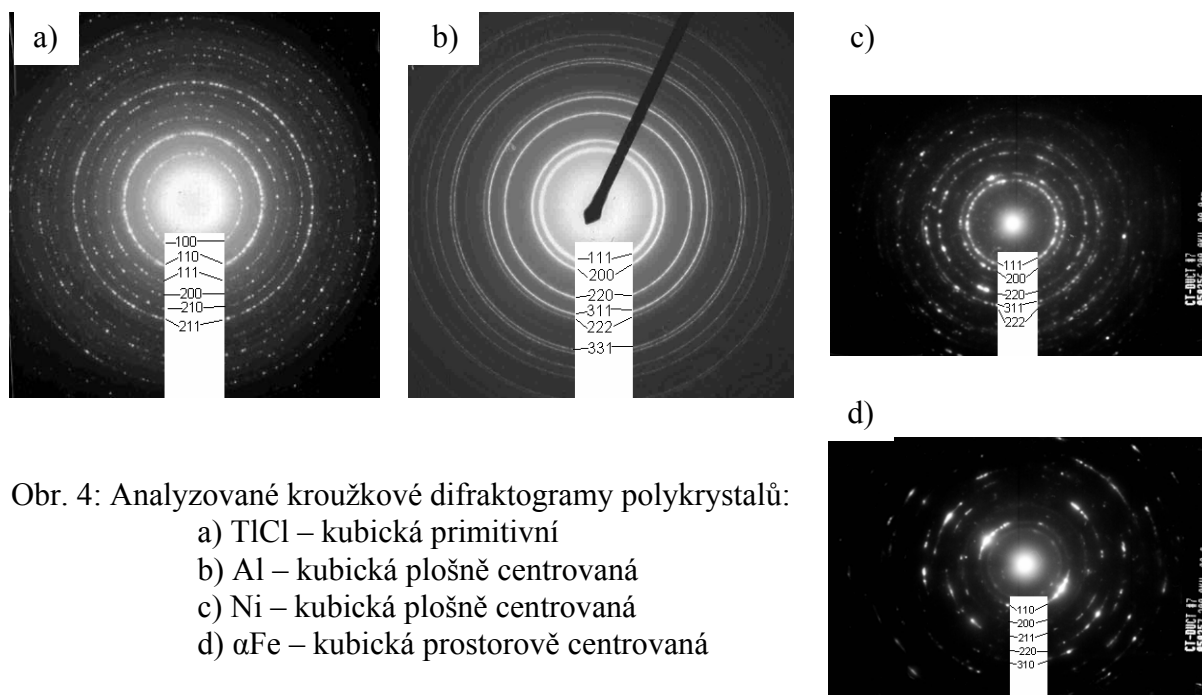
Postupovali jsme tak, že jsme spojnicemi světlých bodů (reflexí) proložili přímky a pomocí měření úhlů mezi těmito přímkami a poměru délek úseček spojujících dva nejbližší body jsme využitím tabelovaných hodnot [2] určili orientaci daného vzorku.



Obr. 3: Analyzované difraktogramy monokrystalu zlata.

Na difraktogramech polykrystalů (na rozdíl od monokrystalů) lze pozorovat soustředné kružnice (obr. 4). Polykrystal se totiž skládá z mnoha zrn (monokrystalů), které jsou vůči sobě vzájemně pootočené. Kruhový difrakrogram tedy vzniká rotací difraktogramu monokrystalu. Čím více zrn je v analyzované oblasti zahrnuto, tím více jsou kružnice spojité a naopak.

Při difrakci různých typů krystalografických struktur (základní - primitivní, plošně centrovaná, prostorově centrovaná) jsou poměry n -tého a prvního poloměru různé. Pomocí vztahů mezi poloměry kružnic a mezivzálenostmi atomů a pomocí hodnot strukturního faktoru (viz [2]) lze určit druh elementární buňky zkoumaného polykrystalu a posloupnost indexů rovin příslušejícím jednotlivým kroužkům (viz obr. 4).



Obr. 4: Analyzované kroužkové difraktogramy polykrystalů:

- a) TiCl – kubická primitivní
- b) Al – kubická plošně centrovaná
- c) Ni – kubická plošně centrovaná
- d) α Fe – kubická prostorově centrovaná

4 Shrnutí

Seznámili jsme se základními principy použití transmisního elektronového mikroskopu. Difraktogramy látek s různým uspořádáním elementárních částic se od sebe významně liší. Monokrystaly se nám difrakcí zobrazí jako body (bodový difraktogram) a polykrystaly jako soustředné kružnice (kroužkový difraktogram).

Poděkování

Děkujeme našim profesorům za laskavé doporučení, ČD za poskytnutí skupinové slevy (děkují jen Kadrmanová a Batysta), a v neposlední řadě organizačnímu výboru Fyzikálního týdne, obětavému supervizorovi panu Ing. Petru Homolovi za trpělivost a panu Svobodovi, bez nějž by tato akce nevznikla.

Reference:

- [1] KITTEL, CH.: *Úvod do fyziky pevných látek* Academia, 1985
- [2] SMOLA, B.: *Transmisní elektronová mikroskopie ve fyzice pevných látek* UK v Praze, 1983, s.157-159
- [3] KARLÍK, M.: *Pohled na atomy: vysokorozlišovací elektronová mikroskopie* Rozhledy matematicko-fyzikální 1995, číslo 4, ročník 72
- [4] http://www.matter.org.uk/diffraction/geometry/superposition_of_waves_exercises.htm
- [5] http://pascal.fjfi.cvut.cz/cgi-bin/toCP1250/~drska/edu/webfyz/rtg_difrakce/zuzstr1.html
- [6] <http://fyzika.fme.vutbr.cz/~komrs/Fourier/KapF18.pdf>