

# Difrakce elektronů v krystalech

Veronika Hamplová

Gymnázium Jeseník, Komenského 281

[hamplova.veronika@seznam.cz](mailto:hamplova.veronika@seznam.cz)

Darina Součková

Gymnázium Otokara Březiny Telč, Hradecká 235

[Darina.Souckova@seznam.cz](mailto:Darina.Souckova@seznam.cz)

Honzíček Kundrlík

SPŠ Kutná Hora, Masarykova 197

[JKundrlík@seznam.cz](mailto:JKundrlík@seznam.cz)

## **Abstrakt:**

Z difraktogramů získaných pomocí transmisní elektronové mikroskopie je změřením úhlů a vzdáleností jednotlivých objektů a dále se znalostí strukturního faktoru možno určit směry dopadajícího elektronového svazku či strukturu pozorovaného materiálu. Takto byly v předkládané práci určeny tři směry dopadajícího záření a čtyři druhy testovaných materiálů.

## **1 Úvod**

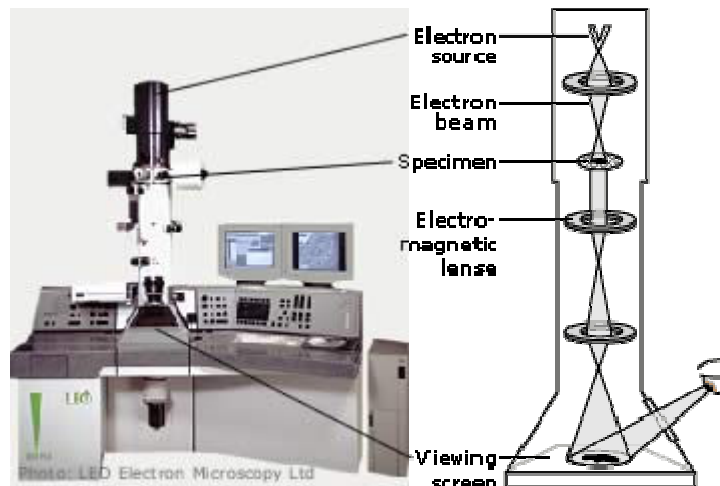
Jedním ze základních stavebních pilířů každé moderní civilizace je kvalitní zpracování materiálů. To se samozřejmě neobejde bez studia jejich vlastností a struktury. V současnosti se k tomuto využívá elektronové mikroskopie, s kterou dosáhneme zvětšení až 800000x. Největší problémy spojené s transmisní elektronovou mikroskopií (TEM) jsou zejména pracná příprava vzorků a dále vyhodnocení získaných obrazců.

## **2 Popis a výsledky měření**

- **Transmisní elektronový mikroskop (TEM)**

TEM je založený na proudu elektronů produkovaných elektronovou tryskou a urychlených pomocí akceleratorů. Tyto elektrony dále procházejí soustavou složenou většinou ze dvou

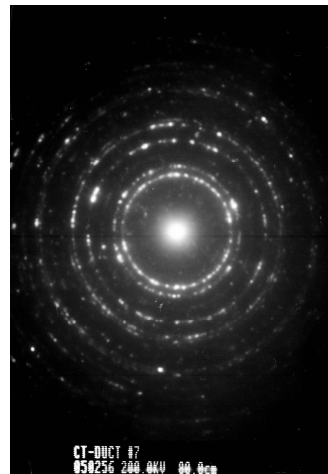
kondenzorů, dopadají na studovaný vzorek a vstupují do zobrazovací soustavy (obr. 1) [1]. Výsledný obrazec je tvořen u monokrystalických materiálů soustavou bodů, tzv. difraktogramů (obr. 2), u polykystalických pak soustavou soustředných kružnic (obr. 3). Z těchto obrazců pak lze na základě znalosti reciprokého prostoru (viz. 'Reciproký prostor') určit strukturu testovaného vzorku [2].



Obr. 1 [4]



Obr. 2

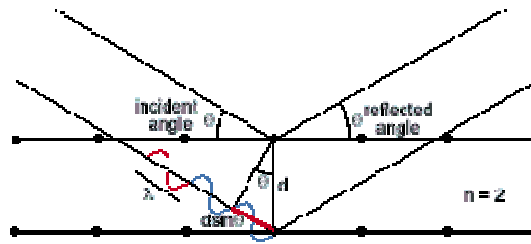


Obr. 3

- **Braggův zákon**

Rozptyl elektronů na mřížce se řídí tzv. Braggovým zákonem (1), který byl objeven sirem W. H. Braggem a jeho synem W. L. Braggem v roce 1912. Přestože je zákon velice jednoduchý, lze jím popsat chování jak klasických částic, tak i RTG záření či neutronů.

$$2 d \sin \Theta = n \lambda \quad (1)$$



Obr.4

- **Reciproký prostor**

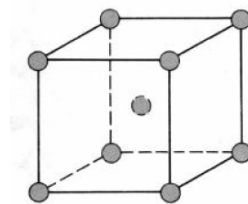
Každou elementární buňku je možno podle sady předepsaných vztahů [2] převést do tzv. reciprokého prostoru, ve kterém je již možno pracovat s difraktogramy. Pro představu je možno uvést buňku FCC, která se pomocí vztahů pro přepočítání do reciprokého prostoru zobrazí na buňku BCC.

- **Strukturní faktor**

Strukturním faktorem označujeme součet amplitud rozptýlených jednotlivými atomy elementární buňky (2).

$$F_{hkl} = \sum_{n=1}^N f_n e^{2\pi i(hu+kv+lw)} \quad (2)$$

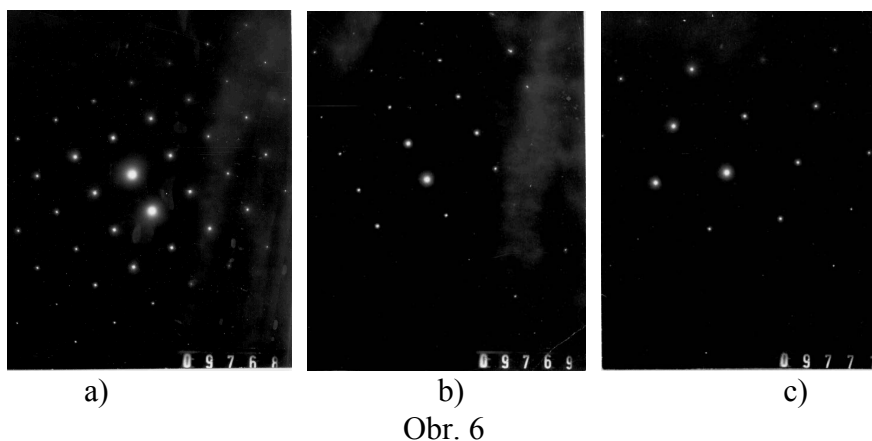
Hodnota strukturního faktoru se liší podle typu krystalové mřížky, např. pro strukturu bcc (obr. 5) je velikost faktoru rovna  $F_{hkl} = f_1 + f_2 \exp[\pi i(h+k+l)]$ , bude-li pak součet  $h+k+l = 2k+1$ ,  $\exp$  bude roven -1 a  $F = f_1 - f_2$ , pokud  $h+k+l=2k$ ,  $F = f_1 + f_2$ .



Obr. 5 [5]

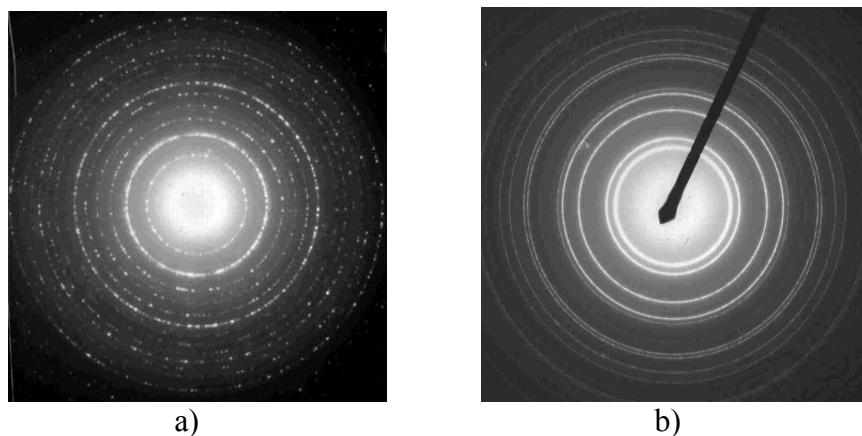
- **Zpracování difrakčních obrazců**

Z difraktogramů monokrystalu zlata na obrázcích 6 a-c bylo třeba určit směr dopadajícího elektronového svazku. Porovnáním s difraktogramy uvedenými v [3] a změřením úhlů byly zjištěny hodnoty směrů u obr. 6a) [100], 6b) byl přiřazen směr [113] a 6c) směr [114].



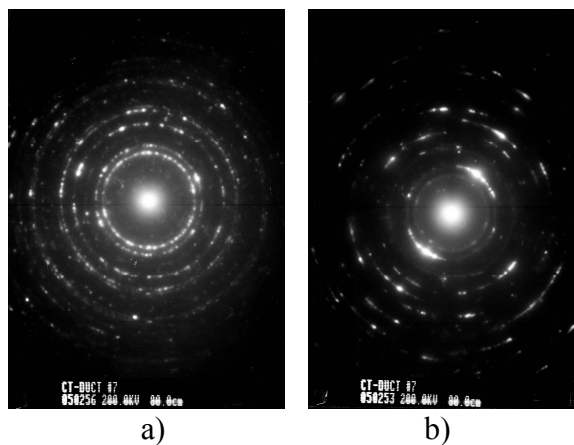
Obr. 6

U dvou difraktogramů polykrystalického materiálu bylo třeba přiřadit každé soustředné kružnici odpovídající rovinu a z těchto výsledků poté přiřadit danému difraktogramu materiál, ze kterého byl složen testovaný vzorek. Z výsledků bylo konstatováno, že difraktogram na obrázku 7a) odpovídá polykrystalu  $TiCl_3$  a difraktogram na obr. 7b)  $Al$ .



Obr. 7

Vyhodnocením velikostí strukturálních faktorů dle vztahu (2) [2] u difraktogramů na obr. 8 a), b) byla difraktogramu 8a) přiřazena struktura fcc a obrázku 8b) struktura bcc.



Obr. 8

### 3 Závěr

Hlavním úkolem předkládané práce bylo teoretické seznámení s transmisní elektronovou mikroskopií a následné zpracování difraktogramů. Na několika předložených fotografiích byla provedena analýza difrakčních obrazců, pomocí které byly určeny směry dopadajícího elektronového svazku a dále struktury testovaných vzorků.

### Poděkování

Děkujeme Ing. Tomáši Skibovi za obětavou pomoc a vynikající oběd v Menze UK. Dále FJFI ČVUT v Praze za organizaci Fyzikálního týdne, Ing. Jakubu Prahlovi za úvod do problematiky a vedení MINIPROJEKTU a v neposlední řadě za vzornou přípravu materiálů a poskytnutí prostor doc. Dr. RNDr. M. Karlíkovi.

### Reference:

- [1] KARLÍK, M. *Transmisní elektronová mikroskopie: pohled do nitra materiálů* Čs. čas. fyz. 55/2005 pp. 457 – 464
- [2] KITTEL, CH. *Úvod do fyziky pevných látek* Academia, Praha 1985
- [3] SMOLA, B. *Transmisní elektronová mikroskopie ve fyzice pevných látek* UK Praha 1983 pp. 158 - 159
- [4] [http://nobelprize.org/educational\\_games/physics/microscopes/tem/index.html](http://nobelprize.org/educational_games/physics/microscopes/tem/index.html)
- [5] <http://webpages.charter.net/ericbeaton/powerpt/chpt3.pdf>