

Difrakce elektronů v krystalech, zobrazení atomů

J. Vaníčková, Gymnázium, Českolipská 373, Praha 9

johana@vanickovi.cz

K. Nabiová, Gymnázium, Jateční 22, Ústí nad Labem

nabiova.klara@gmail.com

J. Kubica, Gymnázium, Ostrava-Hrabůvka, p. o.

jakub.kubica@mensa.cz

Abstrakt

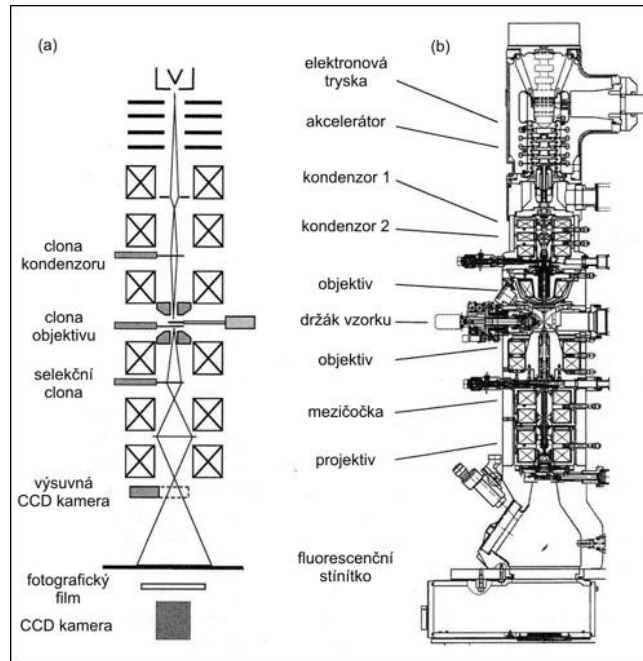
V této práci jsme se zabývali zobrazením dvou vzorků, aluminidu železa Fe_3Al (slitiny Fe-28 at.% Al) a měděné sítě s napařeným hliníkem, pomocí transmisního elektronového mikroskopu. U obou vzorků jsme z difrakčních obrazců vypočítali parametr krystalové mřížky.

1. Úvod

Transmisní elektronová mikroskopie využívá k zobrazování svazek elektronů urychlených vysokým napětím (200 kV), které mají velmi malou vlnovou délku (2,508 pm). Na rozdíl od pozorování předmětů světelným mikroskopem umožňuje i měření strukturních charakteristik krystalů pomocí difrakce, určení lokálního chemického složení analýzou charakteristického RTG záření vznikajícího po dopadu elektronů na vzorek nebo zobrazení atomových sloupců krystalů.

2. Transmisní elektronový mikroskop

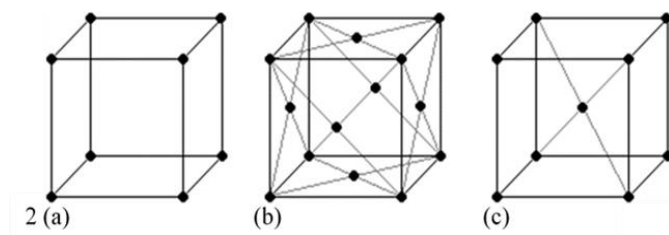
Elektrony jsou generovány termoemísí tryskou, která se skládá z wolframového vlákna, fokusační elektrody a anody. V mikroskopu jsou urychlovány napětím 200 kV a pomocí kondenzorů fokusovány do úzkého svazku dopadajícího na pozorovaný vzorek. Rychlost elektronů s energií 200 keV dosahuje 70 % rychlosti světla. Elektronové mikroskopy pracují ve vakuu, aby se zabránilo rozptylu elektronů v plynech a kontaminaci vzorku.



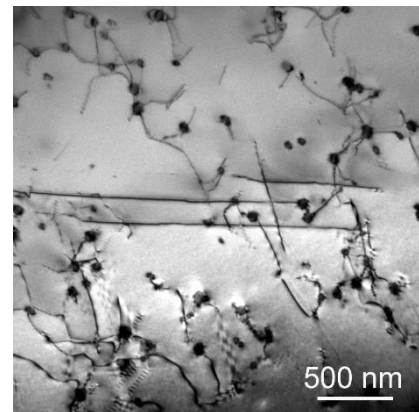
Obr. 1: Transmisní elektronový mikroskop, (a) schéma TEM, (b) řez mikroskopem JEOL.

3. Krystalové mřížky a jejich poruchy

Krystalové mřížky se od sebe liší především tvarem elementární buňky (např. triklinické, monoklinické, ortorombické, tetragonální apod.). V našem experimentu jsme se zaměřili na kubické krystalové mřížky. Předmětem našeho zkoumání byly čarové poruchy neboli dislokace, které vznikají přirozeně při růstu krystalů nebo při jejich deformaci.



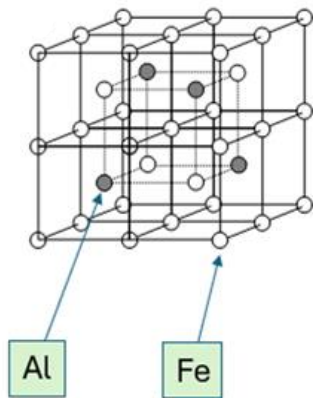
Obr. 2: Kubické krystalové mřížky: (a) primitivní, (b) plošně centrovaná, (c) prostorově centrovaná;



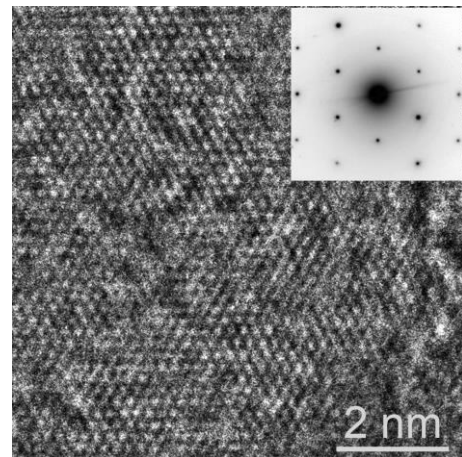
Obr. 3: Dislokace ve slitině Fe_3Al

4. Vzorky

Prvním vzorkem našeho experimentu byl aluminid železa Fe_3Al s přibližně 28 at.% hliníku a 72 at.% železa, jehož krystalická mřížka je kubická prostorově centrovaná (angl. body-centered cubic – bcc, viz obr. 2c). Druhým vzorkem byla měděná síťka, na níž byl napařen hliník.



Obr. 4: Struktura Fe_3Al

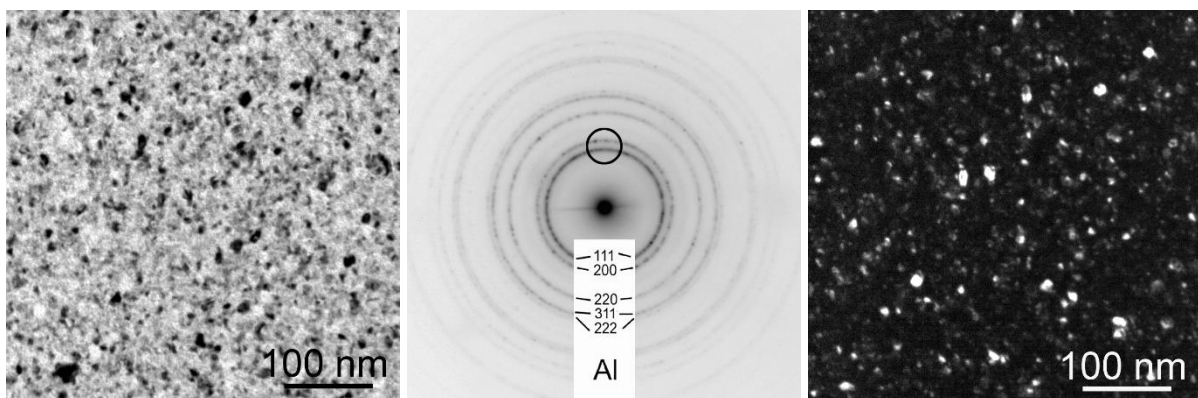


Obr. 5: Atomová struktura a difrakční obrazec grafenu

Grafen má pravidelné šesterečné uspořádání atomů, což je vidět jak na fotografii, tak na difrakčním obrazci (Obr. 5). K pořízení snímků v atomovém rozlišení je třeba použít jiný mikroskop, během našeho pozorování bychom to nestihli. Snímek nám poskytl vedoucí miniprojektu.

5. Difrakční obrazce – hliník

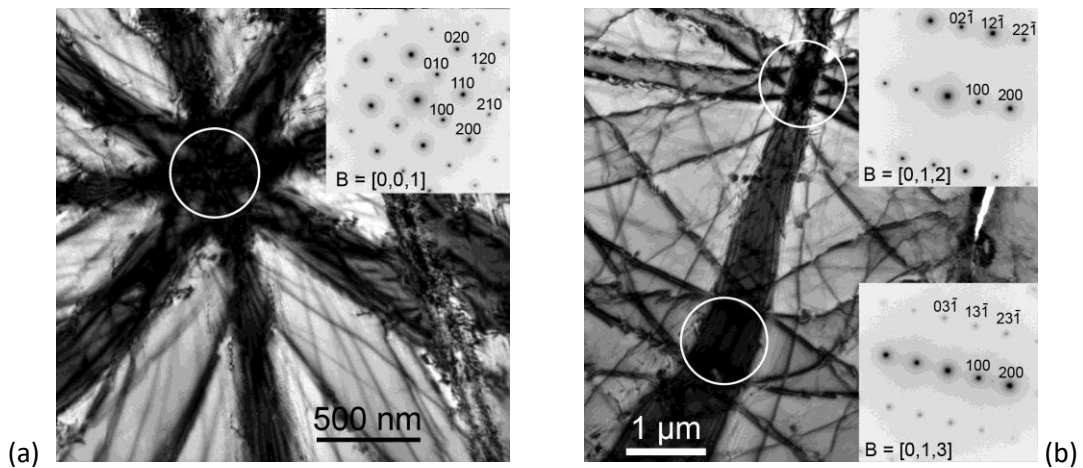
Napařený film hliníku je tvořen mnoha velmi malými krystaly (zrny) o velikosti do 10 nm (Obr. 6a). Protože jsou tato zrna náhodně prostorově orientovaná (mají různé natočení mřížky vůči dopadajícímu svazku elektronů), difrakčním obrazcem polykrystalu jsou soustředné kruhy (Obr. 6b). Pokud naklopíme svazek elektronů tak, aby do clony objektivu (kroužek na obr. 6b) dopadly difrakční stopy 111 a 200, dostaneme zobrazení v tmavém poli (viz obr. 6c), na kterém jsou zobrazena pouze zrna s určitým natočením mřížky, která difraktují do otvoru clony. Naproti tomu v obraze ve světlém poli (Obr. 6a) jsou zrna zobrazena všechna.



Obr. 6: (a) Zrna v napařeném filmu Al, (b) difrakční obrazec, (c) zobrazení v tmavém poli.

6. Difrakční obrazce – Fe_3Al

Pro popis krystalových rovin se používají Millerovy indexy. Hranaté závorky značí krystalografické směry (viz Obr. 7).



Obr. 7: Snímky křížení ohybových kontur na tenké fólii Fe_3Al (difrakční obrazce uvnitř snímků byly registrovány se selekční clonou v pozicích označených bílými kroužky); (a) osa krystalové zóny $B = [0,0,1]$, (b) osy krystalové zóny $B = [0,1,2]$ a $B = [0,1,3]$.

7. Mřížková konstanta

Z difraktogramů (Obr. 7) se dá určit mřížková konstanta pomocí vztahu

$$a = \frac{\lambda L}{R_{hkl}} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2},$$

kde $L = 100$ cm je vzdálenost mezi vzorkem a fluorescenčním stínítkem, R_{hkl} vzdálenost mezi stopami přímého a difraktovaného svazku a h, k, l jsou Millerovy indexy. Mřížková konstanta aluminidu železa byla stanovena na 0,288 nm a hliníku na 0,404 nm.

8. Diskuze a závěr

Pozorovali jsme dislokace ve struktuře aluminidu železa. Také jsme změřili mřížkové konstanty aluminidu železa a hliníku. Obě struktury byly kubické krystalové mřížky, u hliníku je centrování plošně centrované, krystalová mřížka aluminidu železa je odvozená z prostorově centrované mřížky. Přesnost měření mřížkové konstanty je nižší než u rentgenové nebo neutronové difrakce, ale i přesto je možné při korektní kalibraci dosáhnout přesnosti pod 1 %.

Poděkování

Rádi bychom poděkovali organizátorům Týdne vědy za možnost seznámit se s prací vědce, dále MFF UK za možnost použít TEM JEOL 2000 FX pro naši práci, FJFI ČVUT za poskytnutí prostor a také našemu garantovi, panu prof. Dr. RNDr. Miroslavu Karlíkovi, za odborný dohled a pomoc při tvorbě posteru a sborníkového příspěvku.

Reference

1. M. KARLÍK, Úvod do transmisní elektronové mikroskopie, 2011