

Difrakce elektronů v krystalech, zobrazení atomů

J. Zeman¹, A. Kopecká², J. Šejnoha³

¹Gymnázium Jaroslava Heyrovského,

²Gymnázium Rožnov pod Radhoštěm,

³Masarykovo Gymnázium Příbor

jakub_zeman@volny.cz,
betka.kopecka@seznam.cz
jiri.sejnoha@gypri.cz

Abstrakt:

Díky velmi malé vlnové délce elektronů a jejich difrakci v krystalech jsme schopni pozorovat objekty velké pouze několik nanometrů. Pomocí transmisní elektronové mikroskopie (TEM) můžeme zkoumat jak strukturu krystalů, tak rozmístění jednotlivých atomů. Z mikroskopu jsme získali difraktogramy a na jejich základě jsme určovali skutečnou strukturu krystalů. V naší práci jsme se zaměřili na vzorky hliníku (s jemnými a hrubými krystaly), železa a na slitinu NiTi.

1 Úvod

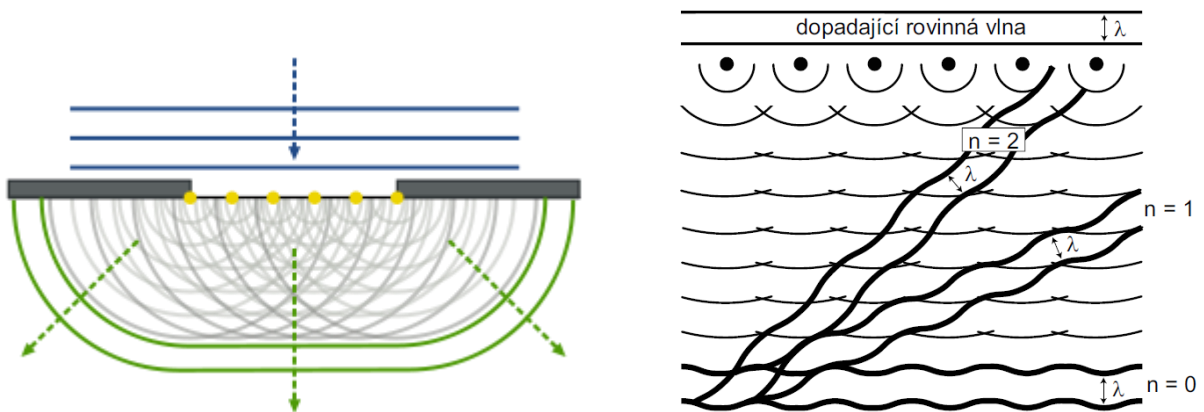
Difrakce elektronů a RTG záření na krystalech se využívá nejen v oblasti vědy a výzkumu, ale také při kontrole namáhaných materiálů (v letectví, strojírenství), v biologii a v dalších oborech. V případě elektronů – nabitých částic, které jsou odkláněny ze směru dopadu jádry atomů silnou Coulombovskou interakcí – je třeba studované vzorky ztenčit na tloušťku 30 až 400 nm.

2 Teorie

Základy difrakce

Difrakce (česky také někdy označovaná jako ohyb) je jev, kdy se vlnění po průchodu štěrbinou dostává i do oblasti geometrického stínu. To lze pozorovat u všech typů vlnění. Lze ji velice dobře pozorovat například u zvuku – vlnění se ohýbá za geometrický obrys všech překážek. Díky tomu můžeme zvuk slyšet za rohem. Ohyb je důsledkem Huygensova principu, při kterém se každý bod, do kterého vlnění dospěje, stává sám o sobě dalším zdrojem vlnění Obr. 1a. [2] S difrakcí souvisí také interference, což je skládání vln podle

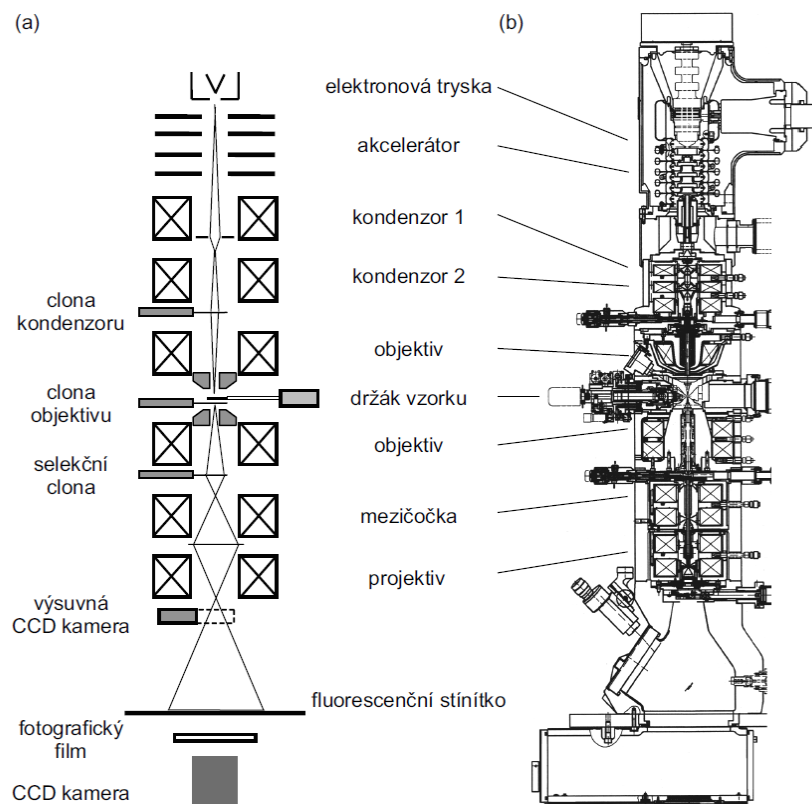
jejich fáze. Výsledkem interference je složené vlnění, které se v určitých oblastech vyruší (destruktivní interference) a v jiných se zesílí (konstruktivní interference – obr 1a,b) [3].



Obr. 1. (a) Difrakce světla, jak ji popisuje Huygensův princip (každý bod na čele šířící se vlny lze chápat jako nový zdroj vlnění (sekundárních vln) [1], (b) difrakce na řadě atomů (difraktované svazky jsou výsledkem interference kulových vln vznikajících na každém atomu) [4].

Transmisní elektronový mikroskop

Transmisní elektronový mikroskop (TEM) využívá proudy elektronů k zobrazení struktur v řádu zlomků nanometrů, popřípadě i samotné atomy. Zobrazení těchto struktur nelze dosáhnout pomocí klasického mikroskopu, využívajícího pouze fotonů, jelikož fotony mají příliš velkou vlnovou délku.



Obr. 2. Schéma tubusu transmisního elektronového mikroskopu (a) a řez přístrojem JEOL (b) [4].

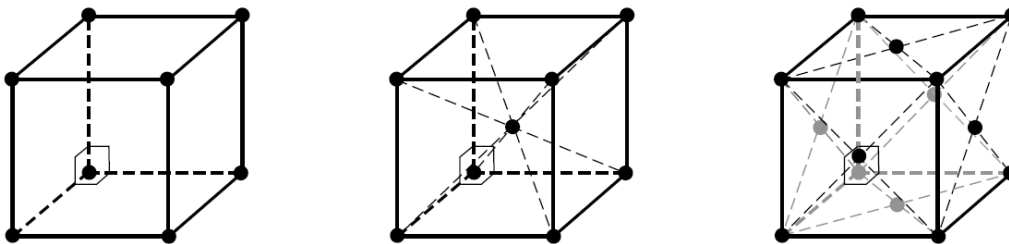
Na urychlení svazku elektronů se většinou používá napětí 200 kV. Uvnitř tubusu je vakuum, aby nedocházelo k rozptylu elektronů na molekulách plynu. Součástí tubusu je elektronová tryska, akcelerátor, kondenzorové čočky, objektiv, mezičočka, projekční čočka a pozorovací komora s fluorescenčním stínítkem. V dnešní době se již obraz neregistruje na fotografický film, ale využívá se digitální zobrazení. [4]

Difraktogramy

Pro měření krystalové mřížky se používají difraktogramy dvou typů. Kruhový difraktogram vzniká při difrakci na polykrystalickém vzorku s velikostí zrn 10 až 100 nm. Bodový difraktogram získáme v materiálech se zrn většími než 500 nm, umožňuje nám rozpoznat orientaci krystalové mřížky vůči směru dopadajícího elektronového svazku.

Krystalické mřížky

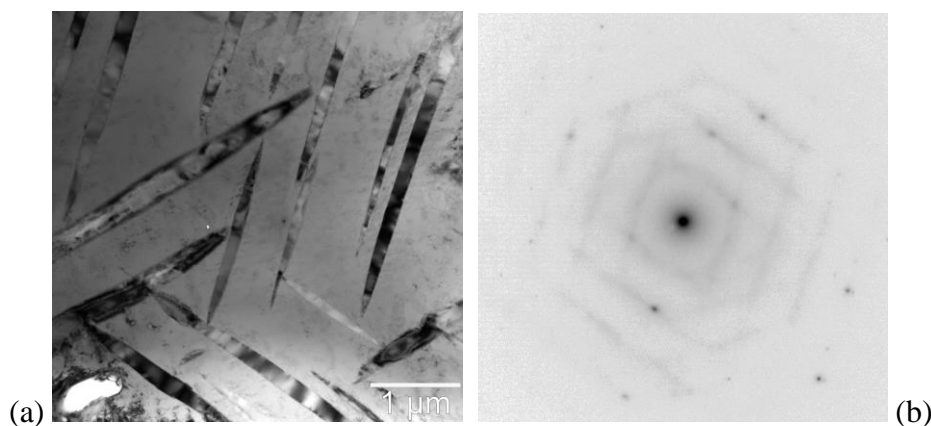
Pevné látky se v přírodě vyskytují ve formě amorfni (bez pravidelného vnitřního uspořádání) a krystalické. Ty se dále dělí na monokrystaly (v celém objemu vykazují translační symetrii elementární buňky krystalové mřížky) a polykrystaly (obsahují velké množství vzájemně náhodně orientovaných zrn). Celkem existuje sedm typů krystalových soustav. Nejčastějšími jsou ortorombická (kosočtverečná) nebo kubická (krychlová), se kterou jsme se setkali i v našem projektu. Krychlové soustavy se dále dělí podle přítomnosti dalších atomů v mřížce na prostou (primitivní), plošně centrovanou a prostorově centrovanou.



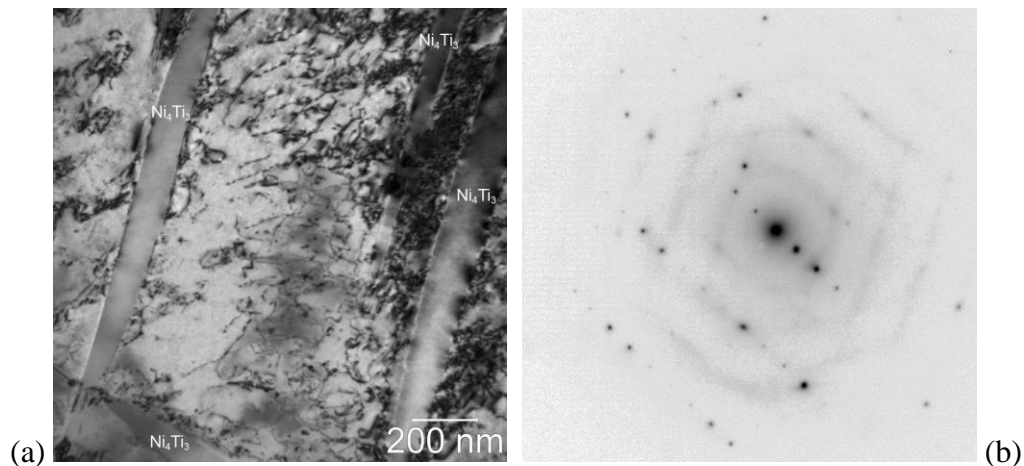
Obr. 3. Kubické krystalové struktury, zleva doprava: prostá, prostorově centrovaná a plošně centrovaná.

3 Měření

Pozorovali jsme slitinu NiTi (s vlastností tvarové paměti).



Obr. 4: (a) Snímek slitiny NiTi v rozptylovém kontrastu. Je vidět matici (majoritní zrno NiTi, šedá plocha) a částice fáze Ni_4Ti_3 čočkovitého průřezu, které v matici vznikají precipitací (transformací v pevné fázi), (b) odpovídající bodový difrakční obrazec matrice (jedná se o pouze o jedno zrno, tedy o monokrystal).



Obr. 5: (a) V difrakčním kontrastu jsou mezi částicemi Ni_4Ti_3 viditelné krátké černé čáry – dislokace; jsou to čarové poruchy krystalové mřížky vznikající buď při plastické deformaci slitiny vnějším napětím (tah, tlak, ohyb, válcování, redukce průřezu při tažení drátu) nebo v důsledku vnitřních napěťových polí vyvolaných růstem částic precipitátů (zde Ni_4Ti_3), (b) odpovídající difrakční obrazec částice Ni_4Ti_3 s romboedrickou (klencovou) mřížkou.

4 Shrnutí

V tomto miniprojektu jsme měli možnost se seznámit s prací s TEM a vyzkoušet si určování typů krystalových mřížek podle kruhových a bodových difraktogramů. Rovněž jsme mohli pozorovat krystalové poruchy (např. dislokace) ve slitině NiTi.

Poděkování

Rádi bychom poděkovali celému realizačnímu týmu týdne vědy a obzvláště pak panu prof. Dr. RNDr. Miroslavu Karlíkovi za seznámení s danou problematikou, za jeho cenné rady a za poskytnutí obrazových příloh.

Reference:

- [1] Kolektiv autorů: Wikipedia, the free encyclopedia – Huygens – Fresnel principle (https://en.wikipedia.org/wiki/Huygens%E2%80%93Fresnel_principle), citováno 18.6.2019
- [2] Kolektiv autorů: Wikipedia, the free encyclopedia – Difrakce (<https://cs.wikipedia.org/wiki/Difrakce>), citováno 18.6.2019
- [3] Kolektiv autorů: Wikipedia, the free encyclopedia – Interference (<https://cs.wikipedia.org/wiki/Interference>), citováno 18.6.2019
- [4] KARLÍK, Miroslav. *Úvod do transmisní elektronové mikroskopie*, Česká technika – nakladatelství ČVUT, Praha, 2011, strana 13.