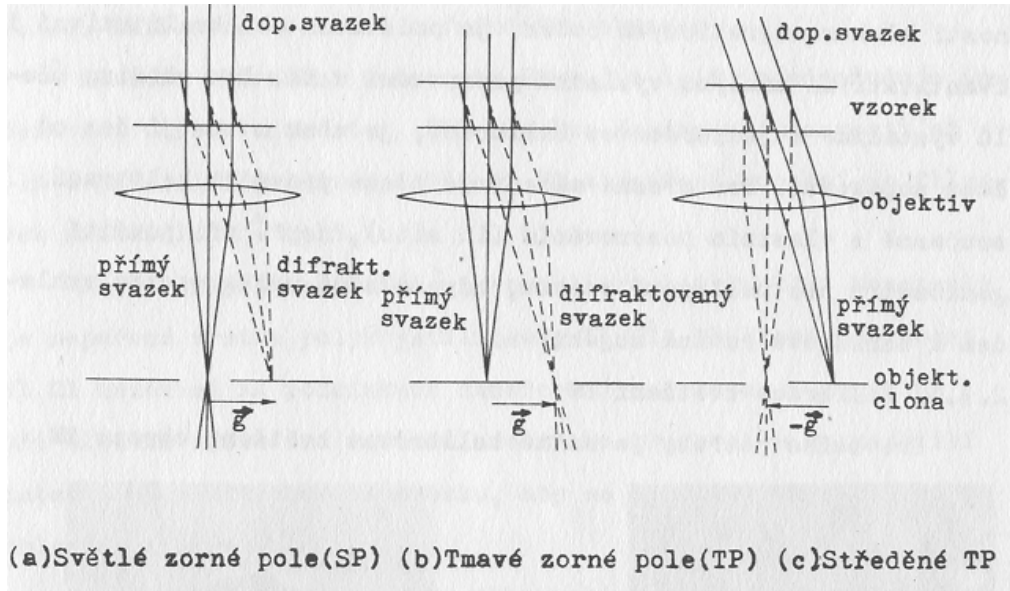


Kinematická teorie kontrastu

Interpretace obrazu v EM → znalost rozložení intenzity přímého resp. difraktovaného svazku na spodním povrchu krystalu

Obraz na stínítku EM = zvětšená mapa rozdělení intenzity v jednotlivých svazcích



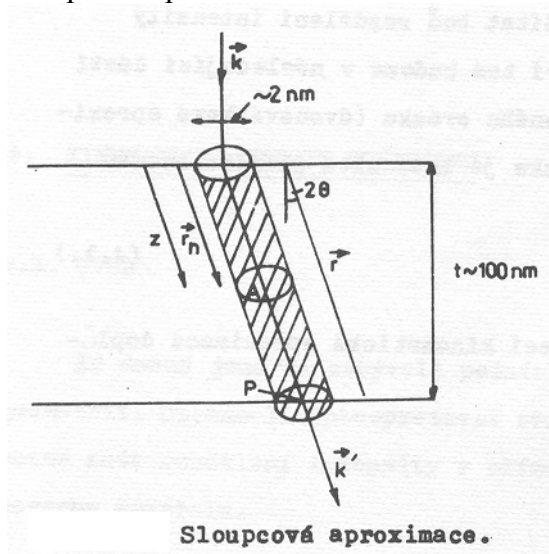
Předpoklady:

Dvousvazková aproximace: $I_0 = 1 - I_D$ (BF a DF – doplňkové obrazy)

Kontrast v ideálním krystalu

Vlnově optický přístup

Sloupcová aproximace



? – Intenzita v bodě P

Ze sloupce poloměru $\approx a \approx \text{nm}$

Proč? – malé Braggovy úhly

Příspěvek z bodu A

Celkový příspěvek – integrace 0-t

$$d\phi_g =$$

Příspěvek k amplitudě v bodě P z bodu A (\mathbf{r}_n)
 $n \dots$ počet EB/ 1 plochy roviny rovnoběžné
s povrchem

$$I_0 = 1$$

$$\frac{i n \lambda F_g}{\cos \theta} e^{-2\pi i \mathbf{k} \cdot \mathbf{r}_n} e^{2\pi i \mathbf{k}' \cdot \mathbf{r}}$$

Platí $\vec{K} = \vec{g} + \vec{s}_g$ a

$$\vec{K} \cdot \mathbf{r}_n = \vec{g} \cdot \mathbf{r}_n + \vec{s}_g \cdot \mathbf{r}_n = n + s_g \cdot z$$

$$d\phi_g = \frac{i n \lambda F_g}{\cos \theta} e^{-2\pi i s_g z}$$

Dosazení a vynechání členu $e^{2\pi i \mathbf{k} \cdot \mathbf{r}}$

$$d\phi_g = \frac{i n \lambda F_g}{\cos \theta} e^{-2\pi i s_g z} \frac{dz}{a}$$

$$= \frac{i\pi}{\xi_g} e^{-2\pi i s_g z} dz,$$

a ... mezirovinná vzdálenost
rovnoběžných rovin s povrchem

$$\xi_g = \frac{\pi V_e \cos \theta}{\lambda F_g}$$

extinkční hloubka pro e^- (reflexe \mathbf{g})

$$\phi_g = \frac{i\pi}{\xi_g} \int_0^t e^{-2\pi i s_g z} dz$$

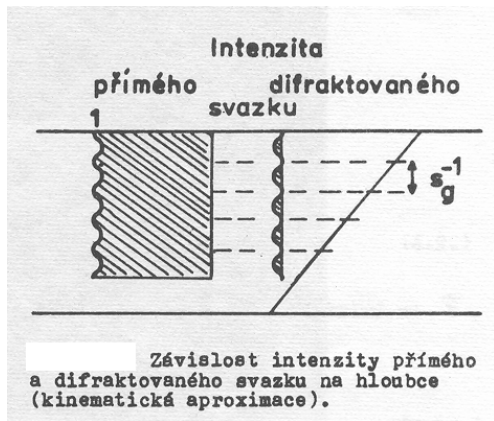
Celková amplituda:
integrace 0-t

$$\phi_g = e^{-\pi i s_g t} \frac{i \sin(\pi t s_g)}{\xi_g s_g}$$

Výsledná amplituda difraktovaného
svazku

$$I_g = \frac{\sin^2 \pi t s}{\xi_g^2 s^2}$$

Výsledná intenzita difraktovaného svazku



$$I_g = \frac{\sin^2 \pi t s}{\xi_g^2 s^2}$$

2 typy kontrastu v ideálním krystalu →

$$I_g \approx -t \text{ (tloušťka)}$$

$$-s \text{ (orientace)}$$

a) *Tloušťkové extinkční kontury*
 $s = \text{konst.}$

$$I_g \approx t, \text{ periodicitu: } \Delta z = s^{-1}$$

Klínovitý krystal:
 střídání tmavých a světlých proužků spojující
 místa $t = \text{konst.}$

Kontury jsou rovnoběžné s okrajem fólie a při
 naklápění se nepohybují.



b) *Extinkční ohybové kontury*

Pro $t = \text{konst.}$

$$I_g \approx s, \text{ perioda } \approx 1/t$$

Zohýbaný krystal:
 kontury spojují místa se stejnou orientací.

Kontury se pohybují při naklápění

$$\text{Hlavní kontura: } s_g = 0$$



Jiný typ kontrastu v neporušeném krystalu nepozorujeme.

Kontrast v porušeném krystalu

Porucha v krystalu – lokální distorze mříže – lokální posunutí.

Odvození amplitudy a intenzity na spodním povrchu stejné jako v ideálním krystalu (sloupcová aproximace).

Rozdíl:

Poloha jednotlivých vrstev určena vektorem: $\mathbf{r}_n' = \mathbf{r}_n + \mathbf{R}_n \dots \mathbf{R}_n \dots$ posunutí EB v daném místě sloupce

$$d\phi_g = \frac{i\pi}{\xi_g} \cdot e^{-2\pi i \vec{K} \cdot \vec{r}_n'} \cdot dz$$

Přírůstek z bodu \mathbf{r}_n'

$$d\phi_g = \frac{i\pi}{\xi_g} e^{-2\pi i (s z + \vec{g} \cdot \vec{R}(z))} \cdot dz$$

V součinu $\mathbf{K} \cdot \mathbf{r}_n'$ zanedbáme malou veličinu $\mathbf{s} \cdot \mathbf{R}_n$

$$\phi_g = \frac{i\pi}{\xi_g} \int_0^t e^{-2\pi i (s z + \vec{g} \cdot \vec{R}(z))} \cdot dz$$

Celková amplituda

Resumé:

Příčina vzniku kontrastu v okolí defektu vůči neporušené mříži:

Dodatečný fázový posuv $e^{-i\alpha}$, $\alpha = 2\pi \mathbf{g} \cdot \mathbf{R}(\mathbf{z})$ vlivem přítomnosti defektu

Teoretická podmínka neviditelnosti defektu v daném \mathbf{g} :

$\mathbf{g} \cdot \mathbf{R}(\mathbf{z}) = 0, \pm 1, \pm 2 \dots$ pro všechna \mathbf{z} ve sloupci

Praktická podmínka neviditelnosti defektu v daném \mathbf{g} : $\mathbf{g} \cdot \mathbf{R}(\mathbf{z})$ se liší od celého čísla o méně než 2%.

Kontrast různých defektů: nutno znát závislost $\mathbf{R}=\mathbf{R}(\mathbf{z})$

Pozorování poruch v TEM:

- a) čarové poruchy – dislokace, dislokační smyčky
- b) plošné poruchy – hranice zrn, vrstevné chyby, dvojčata
- c) částice jiné fáze – precipitáty, dispersoidy

Viz praktická ukázka