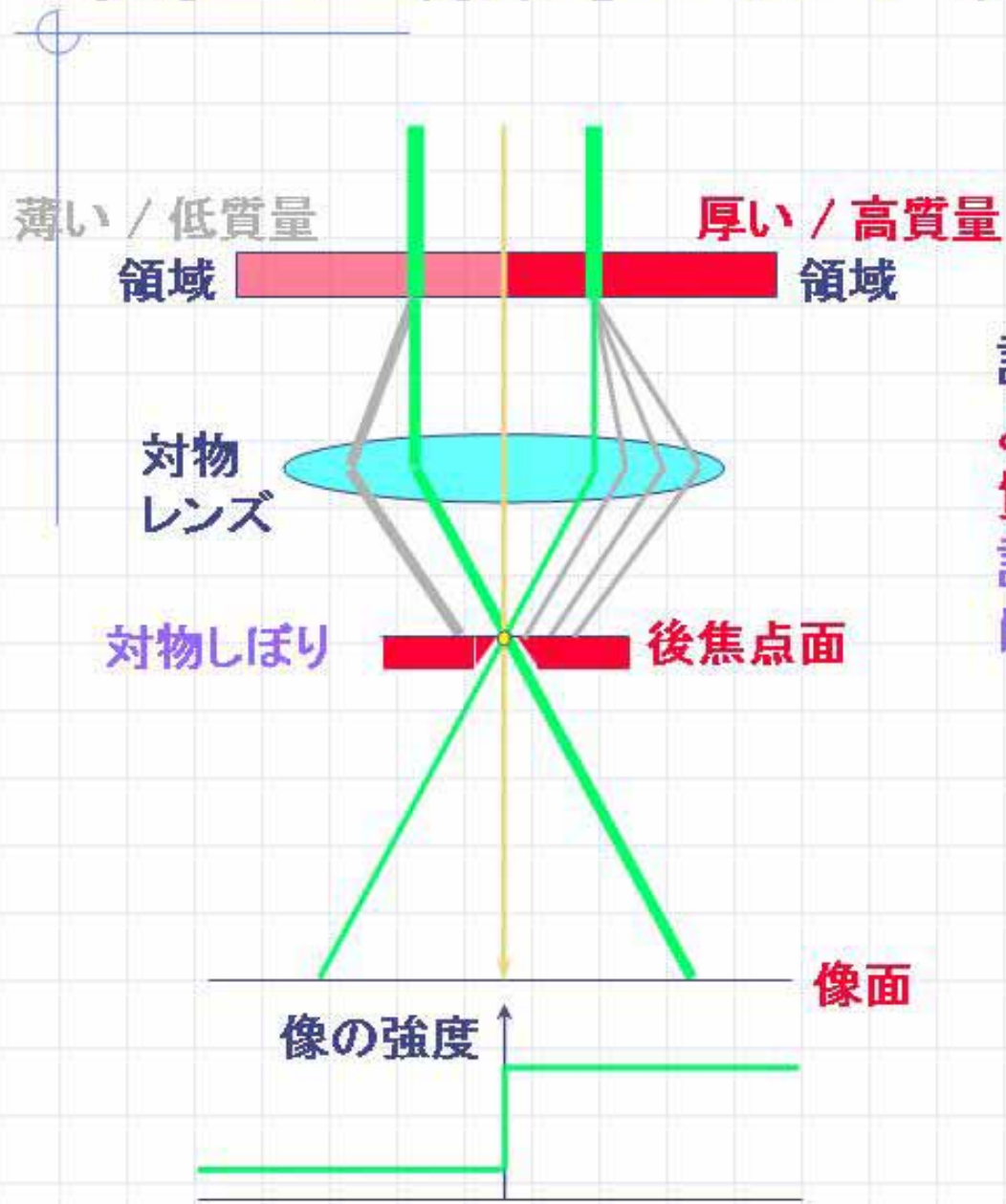


質量-膜厚コントラスト



試料がより厚い領域あるいはより高質量 (高原子番号) の物質で構成されている領域では試料中での電子線の弾性散乱は増加する

↓
透過電子線の量は減少する

↓
明視野像は暗くなる
暗視野像は逆

振幅・位相コントラスト

* 振幅コントラストの例

(電顕の場合には回折コントラストという)

非晶質、多結晶 } (図4) 湾曲した単結晶
多相結晶

* 位相コントラストの例

Fresnel (フレネル) フリンジ, 格子像

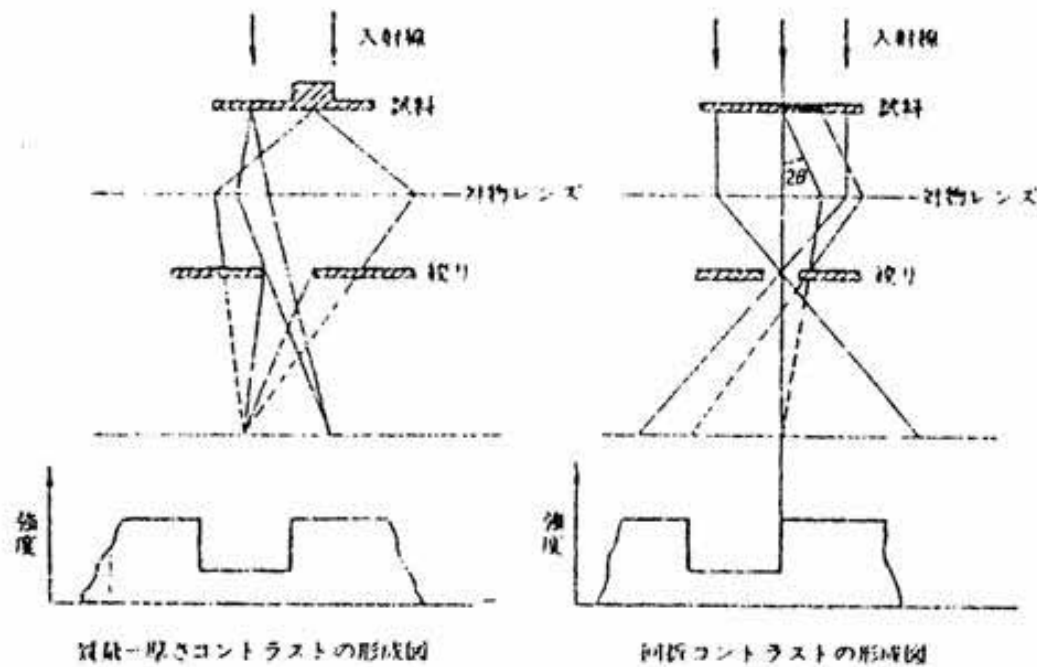
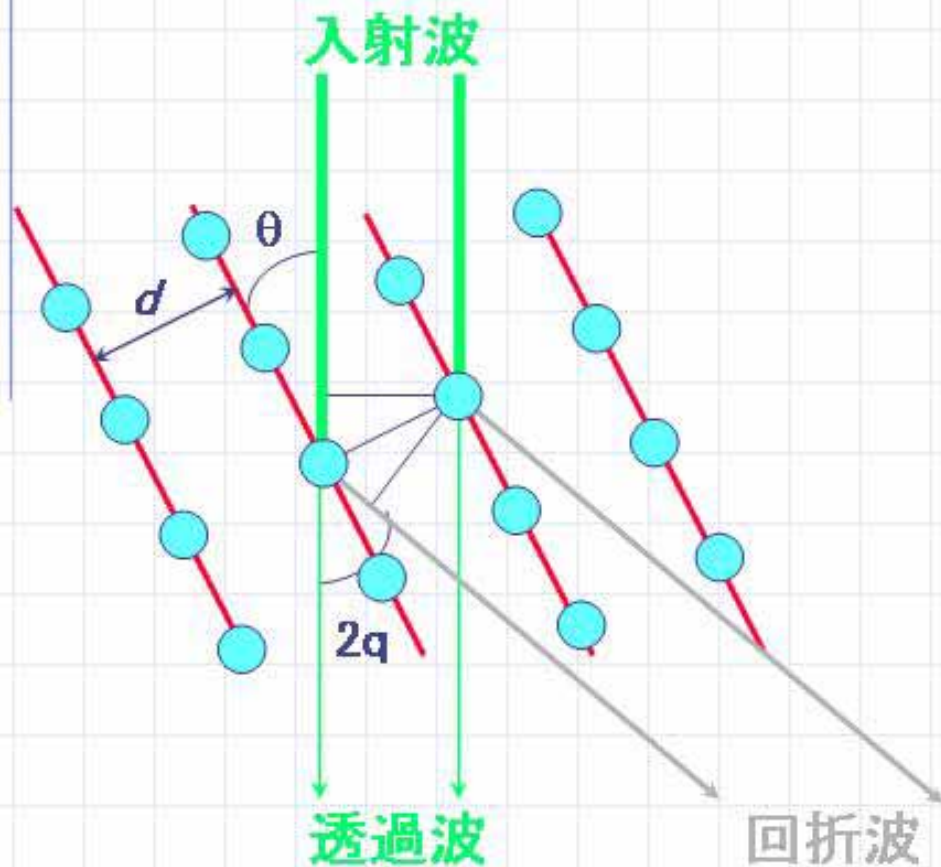


図4 非晶質、多結晶による回折コントラストの形成説明図⁽³⁾

回折コントラスト



Bragg条件

$$n\lambda = 2d \sin \theta_B$$

n : 整数

λ : 電子線の波長

d : 格子面間隔

θ_B : 回折角 (Bragg角)

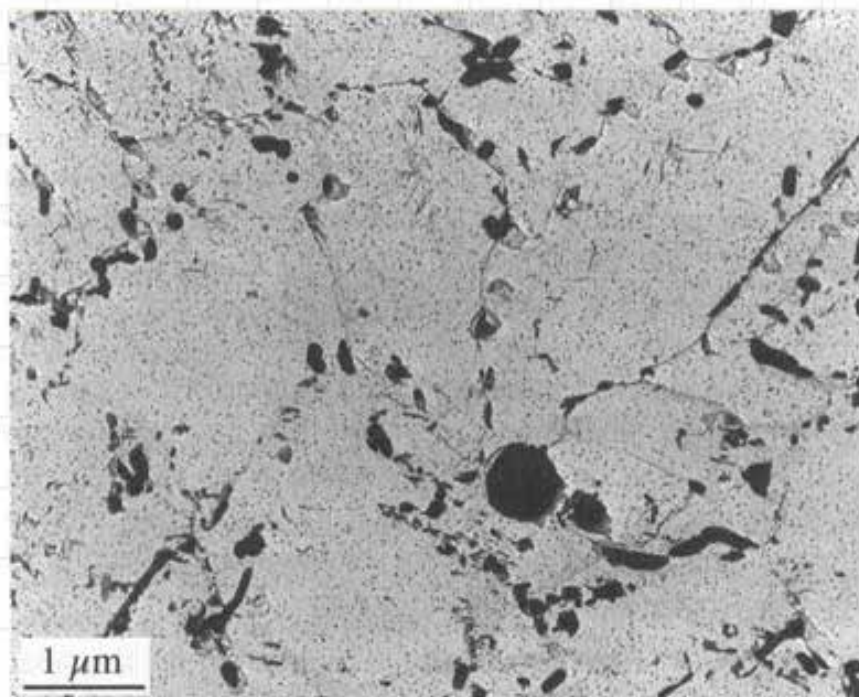
Bragg条件が満たされるとき
強い回折が起こる



明視野像は暗くなる
暗視野像は逆

コントラストの例

・質量-膜厚コントラスト



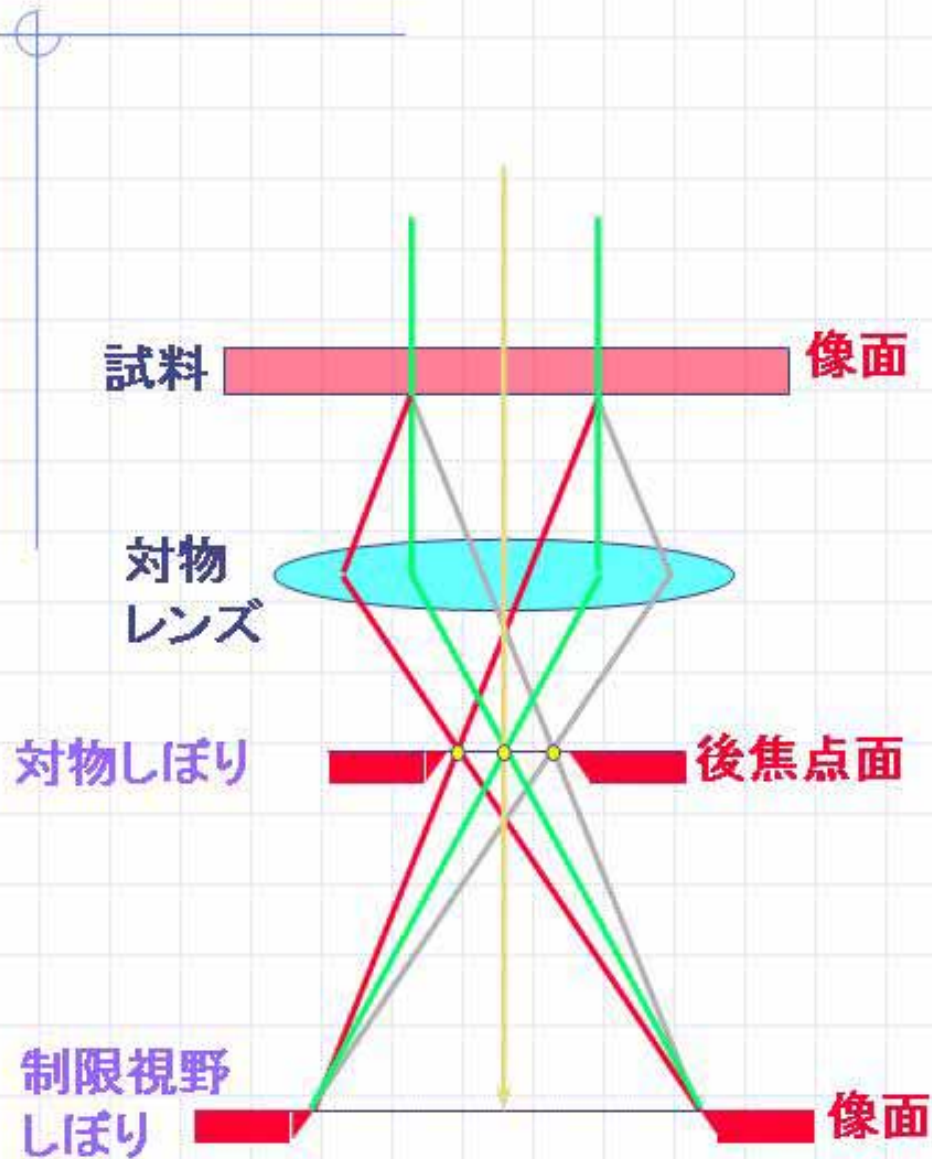
アモルファスカーボン
フィルム上の炭化物

・回折コントラスト



多結晶アルミニウム x15,000

電子線回折 — 明・暗視野像



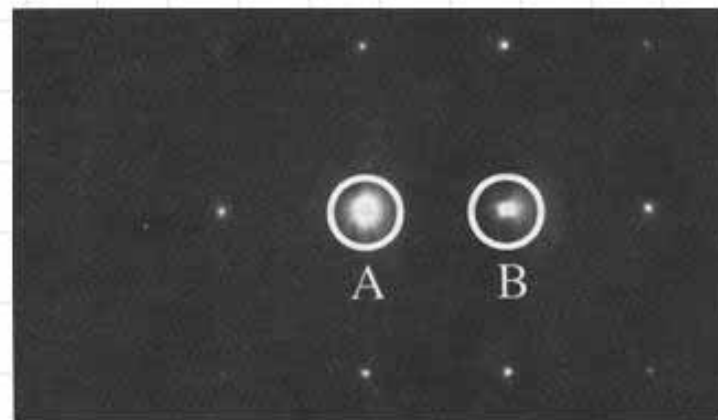
同一方向に回折を受けた波は
後焦点面で一つに交わる



後焦点面での電子線の交わり
は、回折の情報を含む



電子線回折図形



後焦点面での像

明視野像(Bright-Field Image)

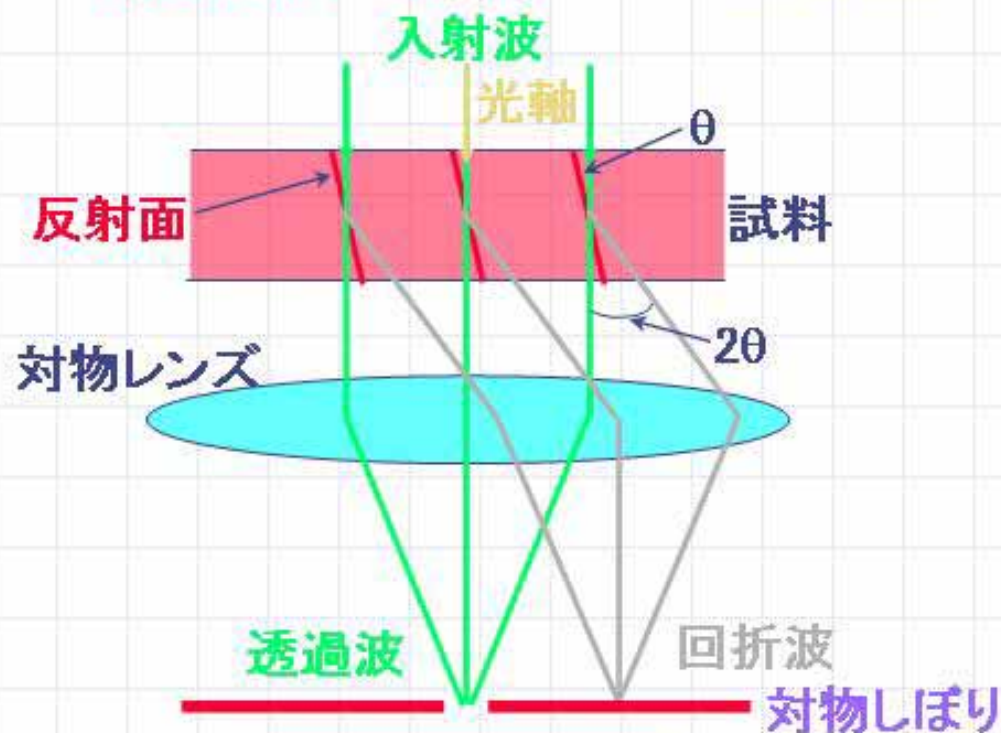
透過波およびいろいろな回折波が混在した状態では波の干渉のため十分なコントラストが得られない

↓
透過波や各回折波を抽出する

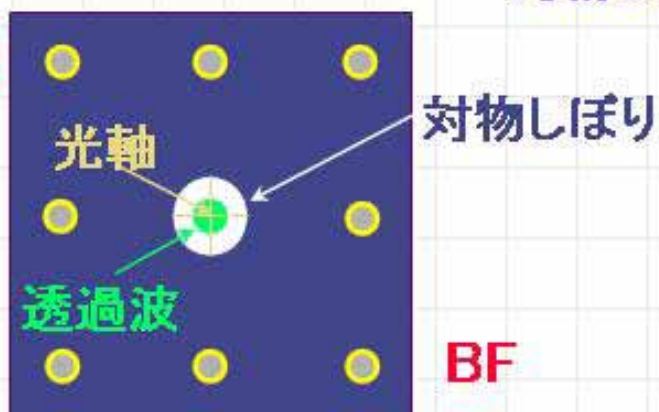
↓
後焦点面での波の交わりを対物しぼりにより抽出する

- 透過波のみによる結像
: 明視野像
- 一つの回折波のみによる結像
: 暗視野像

明視野像: 透過波のみによる結像

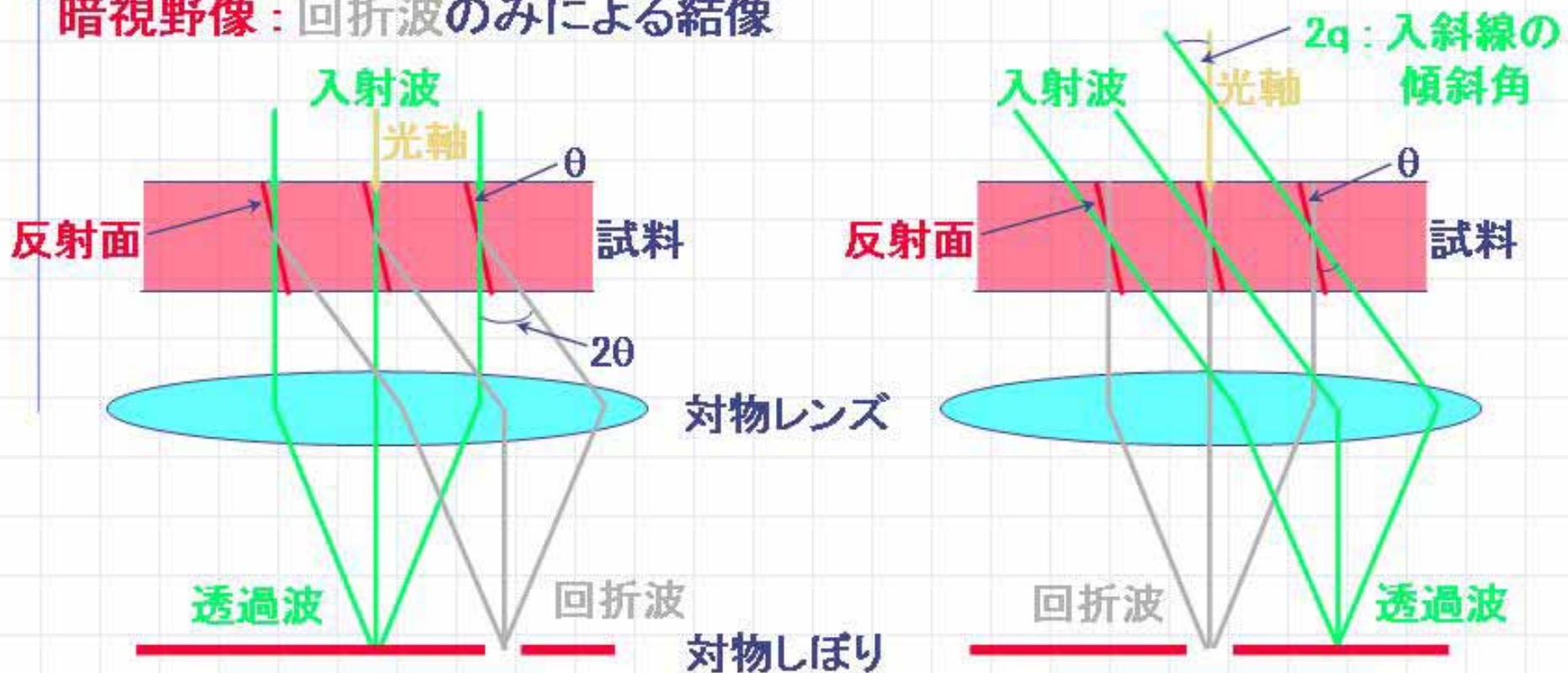


回折図形

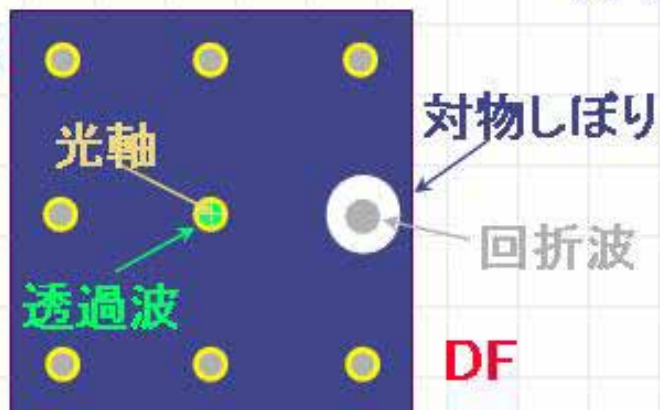


暗視野像 (Dark-Field Image)

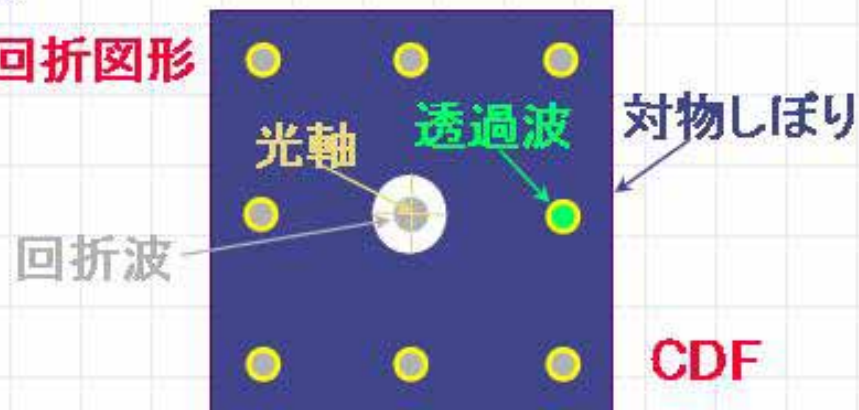
暗視野像：回折波のみによる結像



回折図形

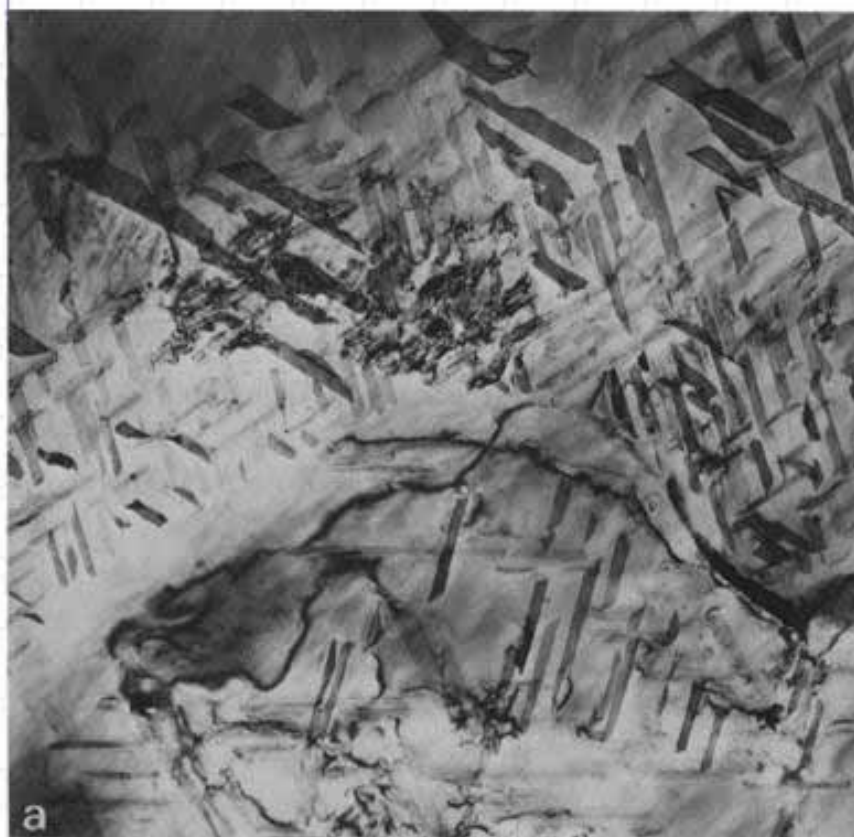


回折図形

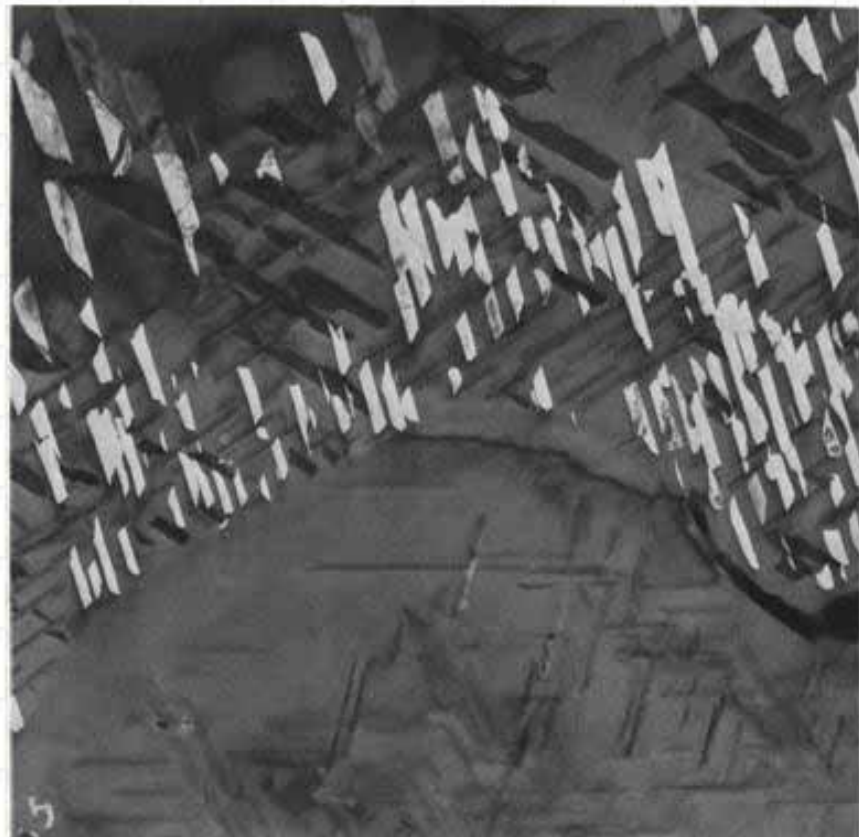


明視野像と暗視野像（例）

明視野像：透過波のみによる結像



暗視野像：回折波のみによる結像

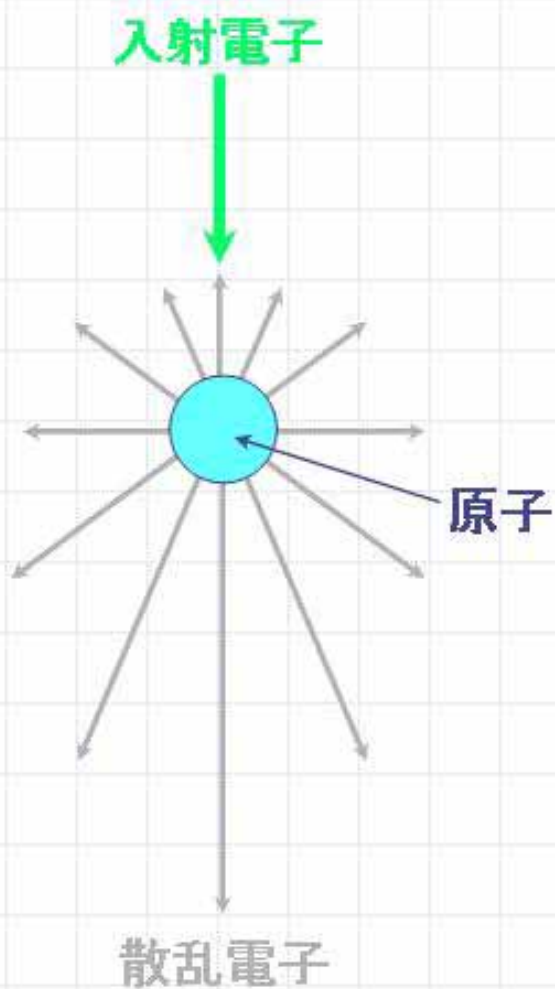


Al-Cu合金中の析出物

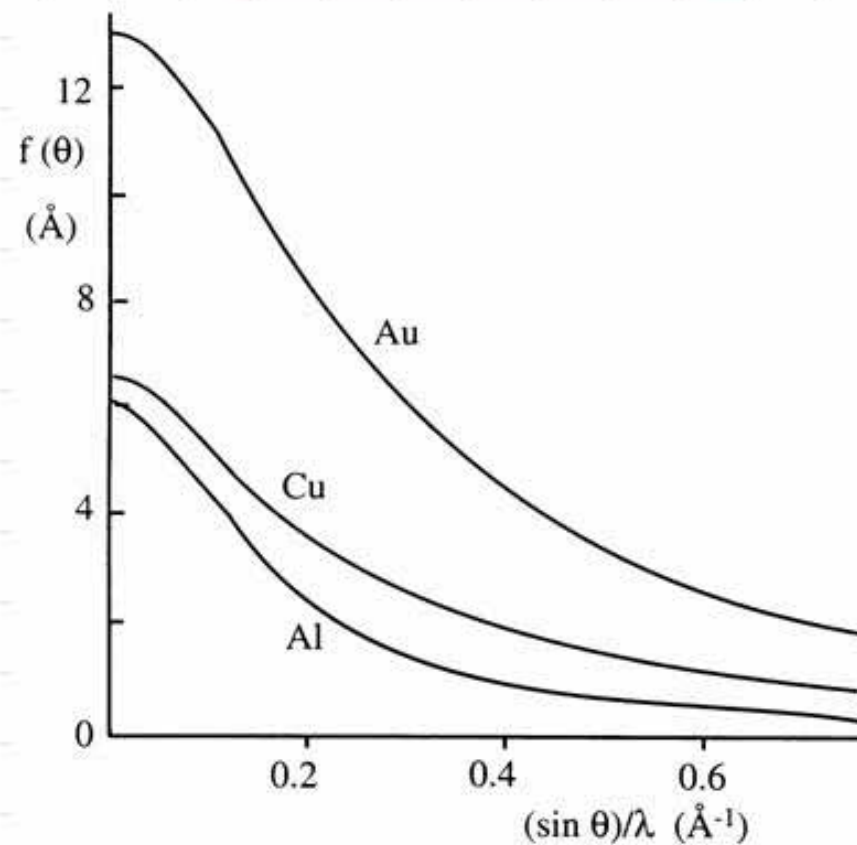
講演内容

- I. 電子顕微鏡で得られる情報
- II. 電子顕微鏡の基礎知識
- III. 装置としての透過電子顕微鏡
- IV. 電子による結像
- V. 電子線回折**
- VI. 透過電子顕微鏡の操作と注意
- VII. 透過電子顕微鏡法の問題点

孤立原子による散乱



原子散乱因子



原子散乱因子

$$f(\theta) = \frac{m_0 e^2}{2h^2 \epsilon_0} \left(\frac{\lambda}{\sin \theta} \right)^2 (Z - f_x)$$

m_0 : 電子の静止質量

e : 電子の電荷

h : Planck定数

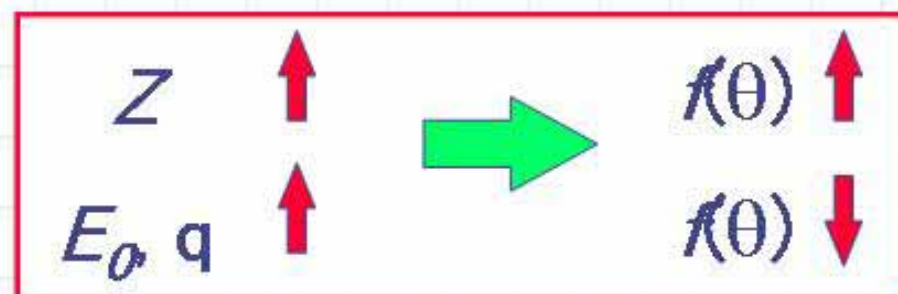
ϵ_0 : 真空中の誘電率

Z : 原子番号

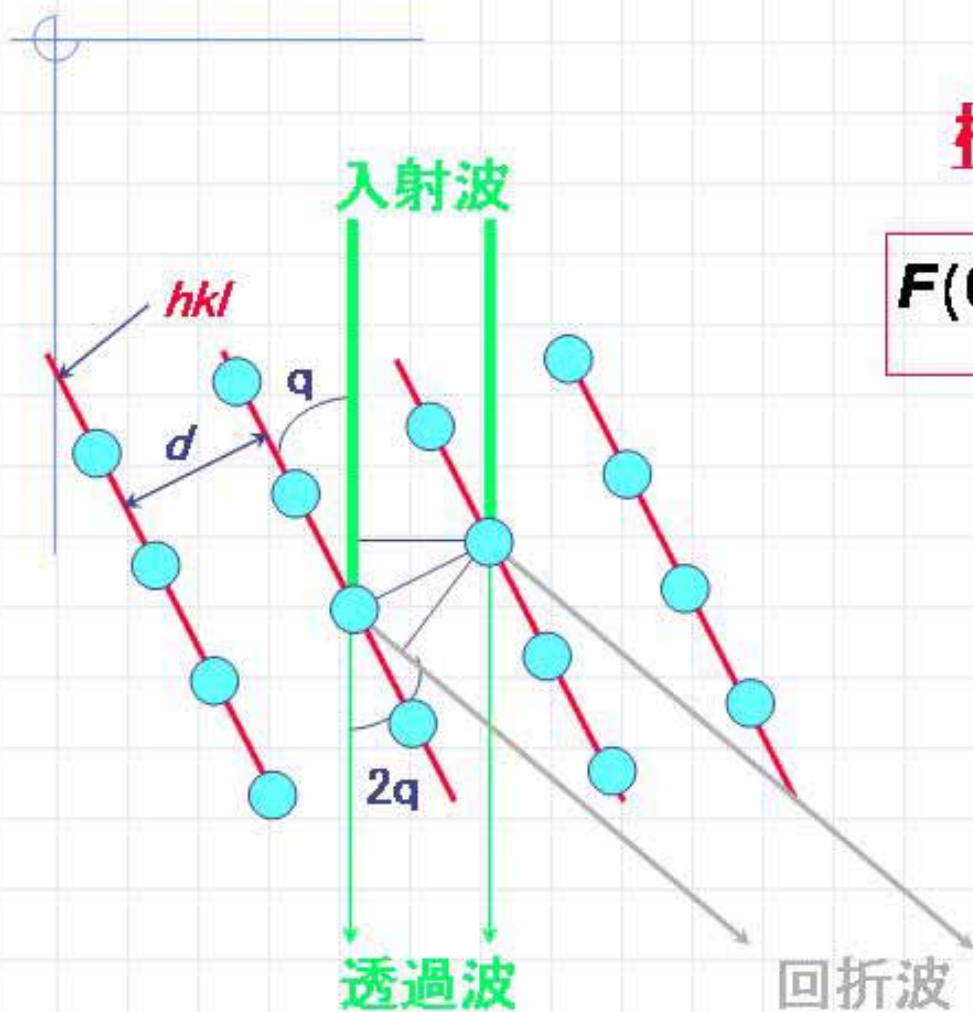
f_x : X線の散乱因子

θ : 回折角

λ : 電子の波長



結晶(単位胞)での散乱



構造因子(structure factor)

$$F(\theta) = \sum_j f_j \exp\{2\pi i(hx_j + ky_j + lz_j)\}$$

f_j : 原子散乱因子

x_j, y_j, z_j : 結晶単位胞中の原子位置

h, k, l : 散乱が起こる原子面の
Miller指数

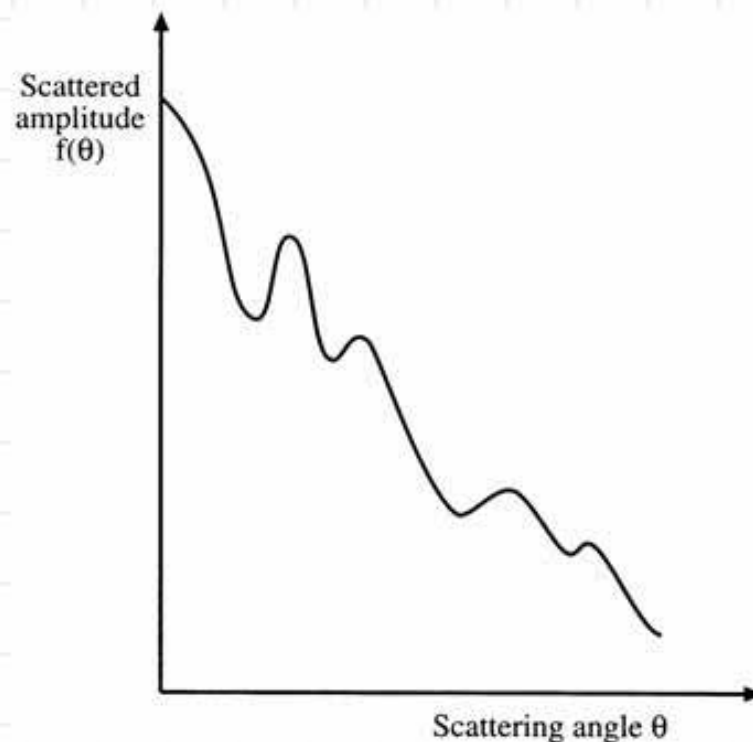
構造因子は原子位置および回折面を
考慮した**原子散乱因子の和**

散乱強度は、原子の種類($f(\theta)$),
原子の位置(x, y, z), 特定の原子
面(hkl)の影響を受ける

物質中での原子の散乱

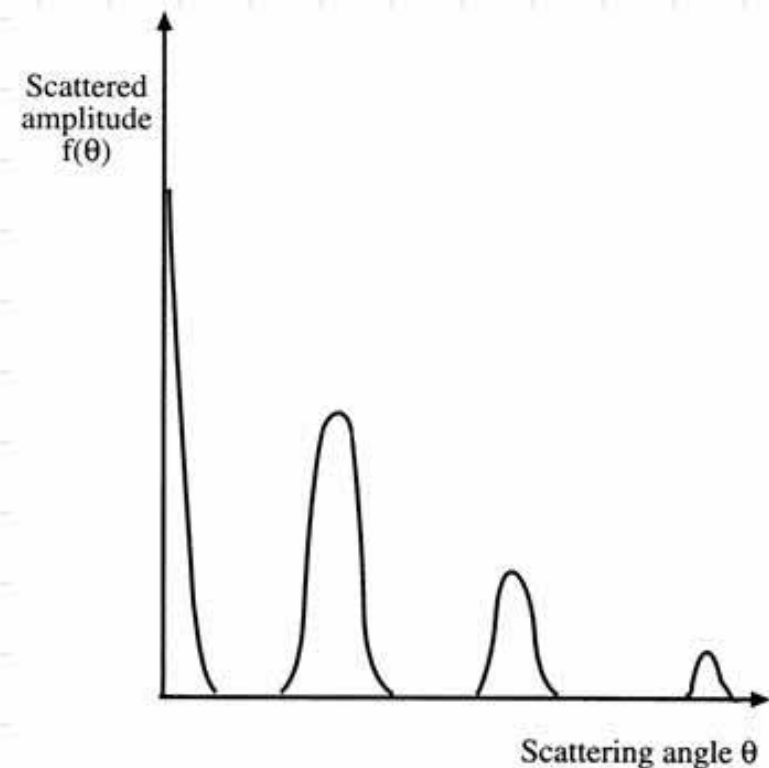
アモルファス材料の構造因子

- 原子配列はほぼランダム
- 第1および第2隣接の原子間距離はほぼ一定



結晶性材料の構造因子

- 規則正しい原子配列
- 回折波の強度は特定の原子面位置(角)で最大



微小結晶での散乱

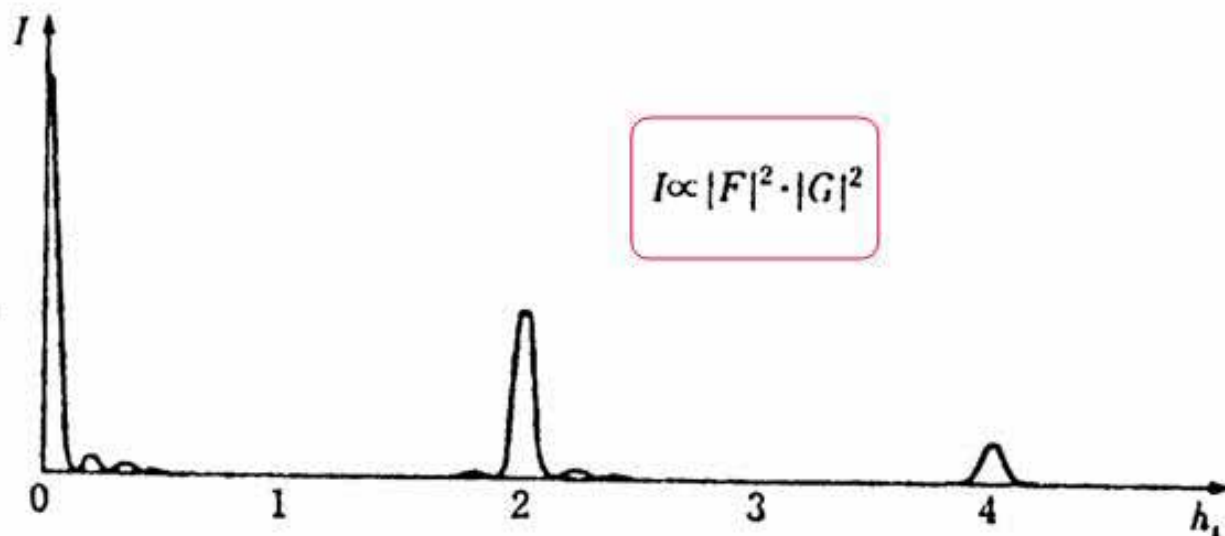
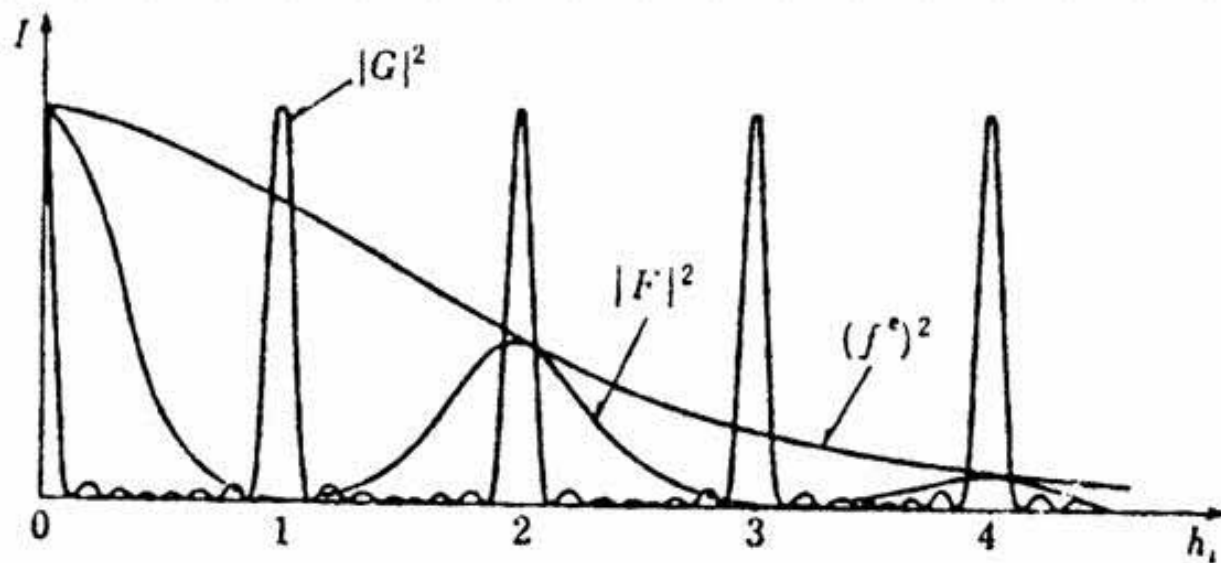


図 2.3

回折線の強度分布