

シンクロトロン光を用いたトポグラフィとイメージング

九州工業大学大学院 工学研究院 鈴木芳文, 近浦 吉則

はじめに

X線散乱トポグラフィは、米田、近浦^{1,2)}の提案、実証に始まり、図1に示すように材料評価に対して、多くの実用材料（生体材料を含む）への応用を意図し、研究を進められてきた。その研究の一端について観察例を示して述べる。X線を用いて、材料の内部構造の可視化することをトポグラフィもしくはイメージングと呼ぶ。PC等ICT技術を取り入れ、方位分布トポグラフィ³⁾、再構成方位分布トポグラフィ⁴⁾と発展させてきた。準平面波によるトポグラフィ観察もX線光学の進歩のみならずICT技術の進展をも組み込んだ展開である。⁵⁾ひとつは、散乱トポグラフィに関連した内容を話す。2つ目は、最近X線医学イメージングの研究において行っている動力学回折理論の計算機シミュレーションについてのトポグラフィ像に関連した話をする。

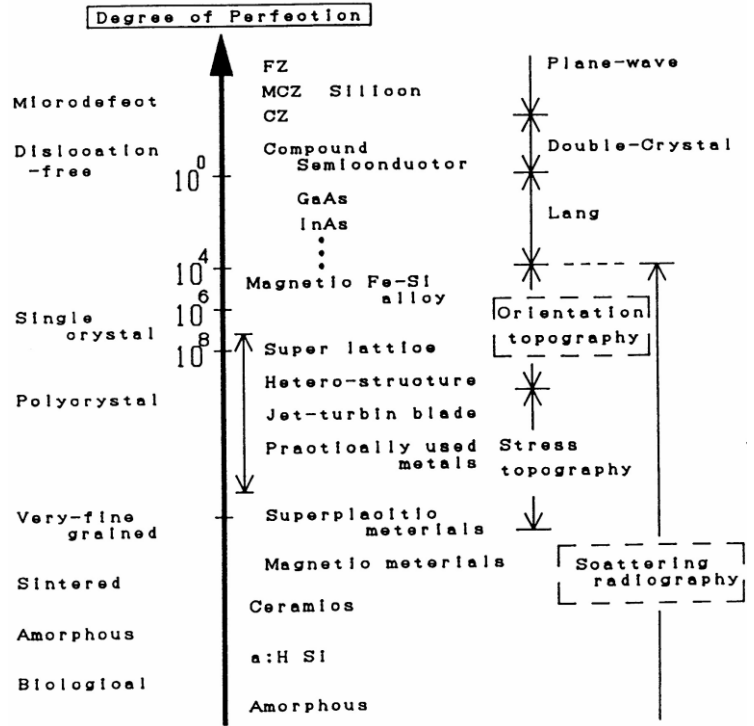


図1. 物質の結晶性と各種トポグラフィの関係

X線散乱トポグラフィ

1993年頃にPFにて実験し得た試料が竹（セルロース結晶）である5 μm内の空間分解能に達したX線散乱トポグラフィ像の結果を図2に示す。図3は、そのとき用いたPC-aided X線散乱トポグラフィシステムのブロックダイアグラムである。基本的には2次元X-Y走査によって、X線強度をその位置に対応してトポグラフィ像を得ていた。その後、SPring-8等で、行った実験法や方位分布トポグラフィ³⁾、再構成方位分布トポグラフィ⁴⁾は、このシステム及び概念がそのベースになっているので、それらの代表例としてここに示す。

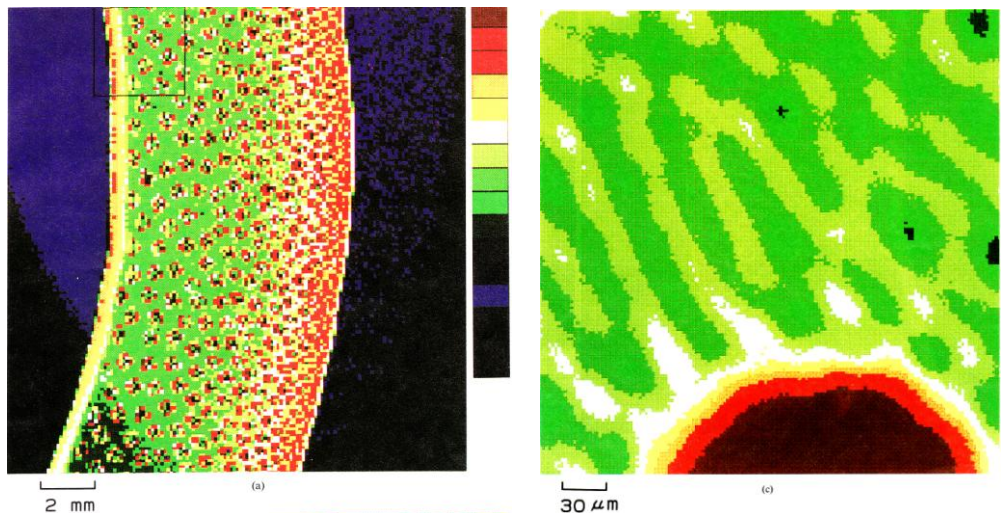


図2. X線散乱トポグラフィ像（竹）

高木方程式を用いた動力学回折理論の
数値解のイメージング技術への応用

格子不整系化合物半導体薄膜のトポ
グラフ像において、回折指数によって
欠陥像が欠陥の発生位置によって
異なる実験結果を得た。これらを動力学理論
の数値シミュレーションで説明を試み
た。

高木-タウパン方程式⁵⁾は、次式に示
すように2元の連立微分方程式であり、

$$\frac{\partial}{\partial S_0} D_0 = -i\pi K \chi_h D_h(\mathbf{r})$$

$$\frac{\partial}{\partial S_h} D_h = -i\pi K \chi_h D_0(\mathbf{r}) + 2i\pi [K \beta_h - \frac{\partial}{\partial S_h} \{\mathbf{h} \cdot \mathbf{u}(\mathbf{r})\}] D_h(\mathbf{r})$$

式の中に歪みとブラッグ角からのずれを含んでいて、容易に計
算機シミュレーションのプログラムに載せることができる。
式の中の各記号はそれぞれ D_0 : 透過波の振幅、 D_h :
回折波の振幅、 χ : 電気感受率、 $\mathbf{u}(\mathbf{r})$: 原子の格子点
からの変位、 K : 波数、 \mathbf{r} : 結晶の変位ベクトル、 \mathbf{h} :
回折波のベクトル、 S_h : 回折方向、 S_0 : 透過方向、 β_h :
入射波のブラッグ角からのずれを表す係数である。
この式は単結晶内に入射したX線が結晶内を進むとき、X線あ
るいは電子線の振幅を導き出すことができる式で、不完全結晶
における動力学的回折の問題や、X線トポグラフィにおける諸
種の格子欠陥像のシミュレーションに広く用いられている。

非対称の臨界角近傍でのトポグラフ像の観察を DESY で行
い、膜そのものに深さ依存の欠陥が生じていること確認した。
その後、計算機シミュレーションを行い、図4に示す結果を得
た。⁷⁾

参考文献

- 1) Y. Yoneda and Y. Chikaura: Z. Naturforsch. **A37** (1982) 412.
- 2) Y. Chikaura, Y. Yoneda and G. Hildebrandt: J. Appl. Crystallogr. **15** (1982) 48.
- 3) Y. Chikaura and Y. Takata: Jpn. J. Appl. Phys. **29** (1990) L378[JSAP].
- 4) Y. Chikaura, Y. Suzuki: J. Appl. Cryst. Vol.26, No. 2, pp. 219-225 (1993).
- 5) S. Iida, S. Kawado, M. Maehama, K. Kajiwara, S. Kimura, J. Matsui, Y. Suzuki and Y. Chikaura: J. Phys. D: Appl.Phys., Vol. 38, No. 5A, pp. A23-A27 (2005).
- 6) S. Takagaki: Acta Cryst. Vol. **15** (1962) 1311.
- 7) Y. Suzuki, D. Novikov, G. Materlik, M. Yoshida, Y. Chikaura, H. Kii: Jpn. J. Appl. Phys. , Vol. 37, No. 7A, pp. L820-L823 (1998).

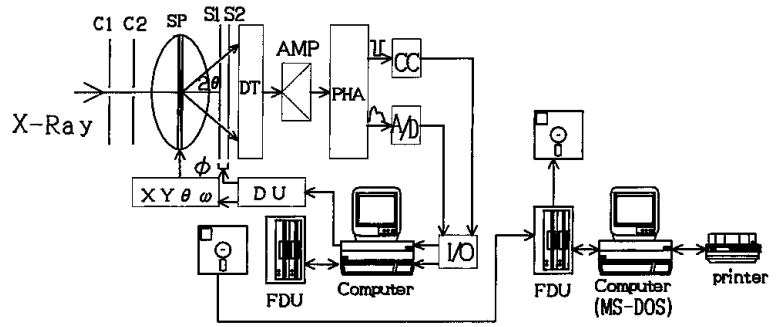


図3. PC-aided X線散乱トポグラフィシステムのブロックダイア
グラム

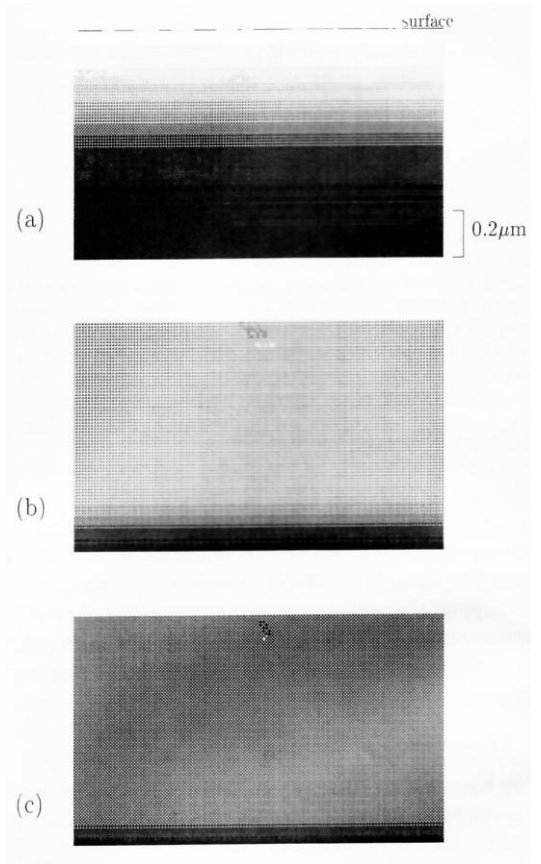


図4. 1.0 μm InAs エピ膜に局所的歪を含む断面の回折波動場の002, 004, 006回折指数依存の計算機シミュレーション