

放射光 X 線トポグラフィの進展（補足）

九州シンクロトロン光研究センター

川戸清爾

日本結晶学会誌 **54**, 2-11(2012)に掲載された「放射光 X 線トポグラフィの進展」でページ数制限のため、編集段階で割愛した部分を以下に補足する。

6. 他のイメージング技術との関連

ここまでは、広い X 線ビームを結晶に照射する伝統的な X 線トポグラフィを扱ってきた。第三世代の放射光施設では、硬 X 線マイクロビーム形成の技術も進み、それを用いて結晶欠陥観察を行うトポグラフィも試みられている。入射 X 線をサブ μm ~ 数 μm 角に絞って、高精度の移動ステージ上に載せた試料に入射させ、回折してくるビームの強度を検出器で受ける。試料を一定範囲(数 100 μm ~ 数 mm 角)で二次元走査して、変化する回折強度をコンピュータでマッピング表示するものである。

使用できる測定光学系を図 8(a)に示す。試料への入射 X 線には、収束ビームと平行ビームの場合がある。前者を形成するための縮小光学系(単色 X 線)の例としては、ベント・シリンドリカル・ミラー⁸³⁾、Kirkpatrick-Baez (KB)ミラー⁸⁴⁾、フレネル・ゾーンプレート⁸⁵⁾があり、後者に使われる縮小光学系の例には、非対称反射縮小コリメータ系(単色 X 線)⁸³⁾、マイクロホール(白色 X 線)⁸⁴⁾がある。検出器は、pin ダイオードなどの 0 次元検出器が良いが、白色 X 線を用いるときは、高調波による像を分離するため、エネルギー分離ができる SSD (Solid State Detector)を用いる⁸⁵⁾。検出される情報は、図 8(b)に示すように、試料上の照射領域(A, B)間の積分回折強度の差あるいはブラッグ角の差によるコントラストから得られる。

具体的には、ベント・シリンドリカルミラーで絞った単色 X 線マイクロビームと V-スリットを用いて三次元トポグラフィを可能にし、ブラッグ・ケースで SiC ダイオード領域に存在するらせん転位を検出した例がある⁸³⁾。また、マイクロホールで取り出した白色 X 線束を用いたスペクトロ散乱トポグラフィも試みられ、ラウエ・ケースで Ge の転位が観察された⁸⁷⁾。

第三世代の放射光施設が建設されて以降、位相コントラスト・イメージングが有効に使われるようになって、生体組織、高分子材料などの観察が容易になった。この方法と X 線トポグラフィを組み合わせると、より正確な欠陥情報が得られる場合がある。例えば、Al-Pd-Mn 合金の正二十面体準結晶グレインを、単色 X 線を用いて観察すると、小さなホール(空洞)の形状が位相コントラストにより明確になり、そのホールが周辺母体に強い歪みを与えていることがトポグラフィで明らかになるといった具合である⁸⁸⁾。白色 X 線を用いた位相コントラスト・イメージングで、SiC 中のマイクロパイプも観察できているので⁸⁹⁾、今後両方法で調べると有効なケースも出てくるであろう。近い将来、三次元 X 線回折トポグラフィと位相コントラスト CT の組み合わせなども必要になるかもしれない。

マイクロビームを用いるイメージング(マッピング)では、試料は単結晶に限らないし、回折による結晶構造の情報のほかに、蛍光 X 線による組成や不純物の情報を得れ

ば、多角的な解析ができる。またトポグラフィで見られた特異点を、逆格子マップ測定を行うことによって、より詳細な格子変形(面間隔のずれ、面方位のずれ)の様子が調べられる。今後とも、実験室系、放射光利用のいずれにおいても、X線トポグラフィが他の解析手段と併用されて、材料開発に役立ち続けることを期待する。なお放射光によるX線トポグラフィ研究の近未来展望については参考文献90)を参照されたい。

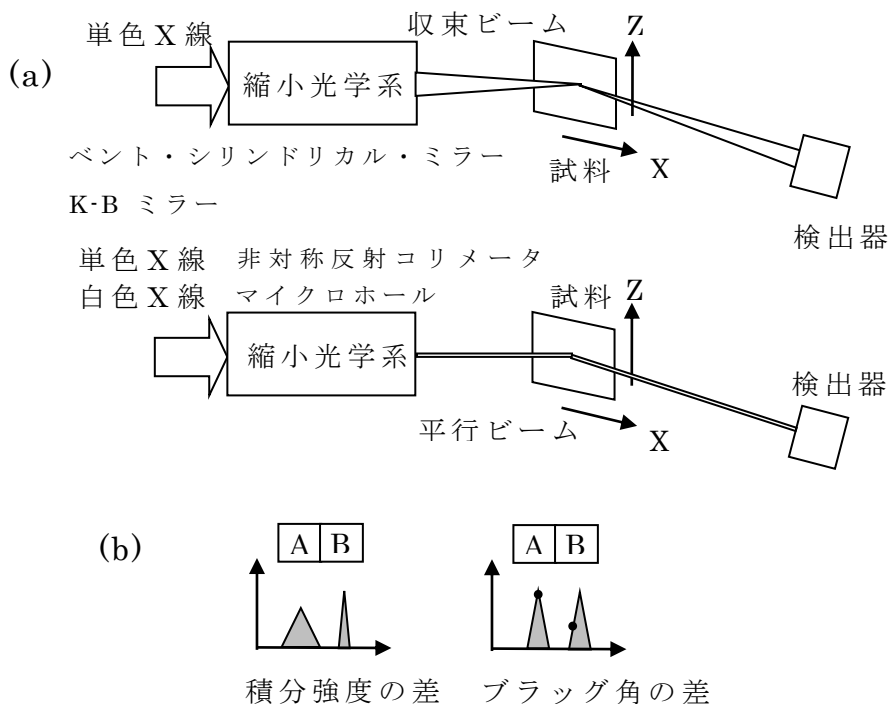


図 8 (a)マイクロビームを用いたトポグラフィの光学系 (b)検出される情報

文 献 (補足)

- 83) R. Tanuma, T. Kubo, F. Togoh, T. Tawara, A. Saito, K. Fukuda, K. Hayashi and Y. Tsusaka : *phys. stat. sol. (a)* **204** (2007) 2706.
- 84) M. Hasegawa and Y. Hirai : *J. Appl. Phys.* **90** (2001) 2792.
- 85) Y. Suzuki, A. Takeuchi, H. Takano, T. Ohigashi and H. Takenaka : *Jpn. J. Appl. Phys.* **40** (2001) 1508.
- 86) Y. Tsusaka, K. Yokoyama, S. Takeda, M. Urakawa, Y. Kagoshima, J. Matsui, S. Kimura, H. Kimura, K. Kobayashi and K. Izumi : *Jpn. J. Appl. Phys.* **39** (2000) L635.
- 87) Y. Chikaura, K. Kajiwara, K. Morita, K. Mizuno, S. Iida, S. Kawado and Y. Suzuki : *Nucl. Instr. and Meth. B* **199** (2003) 67.
- 88) L. Mancini, E. Reinier, P. Cloetens, J. Gastaldi, J. Härtwig, M. Schlenker and J. Baruchel : *Phil. Mag. A* **78** (1998) 1175.
- 89) T. Argunova, V. Kohn, J.-W. Jung and J.-H. Je : *phys. stat. sol. (a)* **206** (2009) 1833.
- 90) 飯田敏、志村考功 : *SPring-8*における近未来の利用研究の展望 (2009, SPring-8 利用者懇談会) p.20.