

放射光 X 線トポグラフィの文献

作成者：川戸清爾 (SAGA-LS)
2011/10/01 作成

はじめに：

「日本結晶学会誌 第 54 巻 第 1 号 (2012) 特集：X 線トポグラフィの進展」に寄稿したレビュー記事「放射光 X 線トポグラフィの進展」の §5「放射光 X 線トポグラフィの最近の動向」で述べた調査文献は、以下の通りです。2000 年以降 2011 年 10 月現在までに発表された 256 件の研究論文を、観察対象別(材料別)に分類しました。2~3 行の内容説明と実験施設名も付記してあります。トポグラフィ・ビームラインの建設に関する論文では、主たる観察例に従っています。なお、マイクロビームを用いるトポグラフィについては割愛しています。ご参考になれば幸いです。

[Si/回折基礎]

- 1) J. Yoshimura and K. Hirano : Experimental observation of a strange temporal oscillation of X-ray Pendellösung fringes, *J. Synchrotron Rad.* **16** (2009) 601. (BL-15C, PF)
平行性の良い単色 X 線を楔形の Si 結晶に入射させて得られるペンデル縞を、X 線 CCD カメラで観測したところ、時間的にわずかに振動するのが見られた。振動の原因は不明。
- 2) J. Yoshimura : Reciprocal correlation between fringe contrast and amplitude of an anomalous oscillation of X-ray Pendellösung fringes, *J. Synchrotron Rad.* **11** (2004) 439. (BL-15C, PF)
平面波 X 線トポグラフィで、楔形 Si 結晶から得られるペンデル縞を観測し、コントラストと異常振動の振幅の間に逆相関があることを示した。
- 3) K. Okitsu, Y. Imai, Y. Ueji and Y. Yoda : ‘Six-beam X-ray section topograph’ images and computer-simulated images using the new n-beam dynamical theory based on the Takagi-Taupin equations, *Acta Cryst.* **A59** (2003) 311. (BL09XU, SPring-8)
Si の単色 X 線トポグラフィ(ラウエ・ケース)において、試料結晶の方位を調整して、同時反射によって 6 波が励起される状態を作り、セクション・トポグラフ像を撮影。n 波の動力的回折理論に基づくコンピュータ・シミュレーション像と比較。
- 4) V. Mocella, Y. Epelboin, J. p. Guigay and J. Härtwig : Applications of dynamical diffraction under locally plane wave conditions: defects in nearly perfect crystals and X-ray refractometry, *Acta Cryst.* **A57** (2001) 526. (ID19, ESRF)
局所的な平面波の条件下において、単色 X 線トポグラフィ(ラウエケース)で観察された Si 結晶からの干渉模様が、屈折イメージング(リフラクトメトリ)へ応用できること、また Si 表面のスクラッチの歪み場を可視化できることを示した。
- 5) K. Tamasaku and T. Ishikawa : Quantitative determination of the spatial coherence from the visibility of equal-thickness fringes, *Acta Cryst.* **A57** (2001) 197. (BL29XU, SPring-8)
アンジュレータ光の水平方向の空間コヒーレンス長を、平面波単色トポグラフィ(ラウエ・ケース)で観測した楔形 Si 結晶の等厚干渉縞より決定。結晶コリメーションにより、光源サイズから期待される値の約 100 倍が得られた。
- 6) J. Yoshimura : Non-projectiveness of X-ray Pendellösung-fringed diffraction images, *J. Synchrotron Rad.* **7** (2000) 374. (BL-15C, PF)

平面波X線トポグラフィで、楔形 Si 結晶から得られるペンデル縞を、X線フィルムを多数枚重ねて記録。ビーム・パスに沿う一種の空間的な振動を観測。

- 7) V. Mocella, Y. Epelboin and J. P. Guigay : X-ray dynamical diffraction: the concept of a locally plane wave, *Acta Cryst.* **A56** (2000) 308. (ID19, ESRF)

第三世代の放射光源では、一定の条件下で、試料結晶の出射面での回折強度が局所的な平面波の回折によって記述できる。単色X線トポグラフィ(ラウエ・ケース)で得られた Si の干渉縞の強度プロファイルが、ロッキングカーブを可視化したものであることを示した。

[Si/バルク、ウエーハ加工]

- 1) B. K. Tanner, J. Wittge, D. Allen, M. C. Fossati, A. N. Danilwesky, P. McNally, J. Garagorri, M. R. Elizalde and D. Jacques : Thermal slip sources at the extremity and bevel edge of silicon wafers, *J. Appl. Cryst.* **44** (2011) 489. (B16, Diamond)

8インチ Si ウェーハを RTA 処理したとき、エッジから発生するスリップ転位を実験室系の BedeScan と放射光白色X線トポグラフィで観察。

- 2) A. N. Danilewsky, J. Wittge, A. Croell, D. Allen, P. McNally, P. Vagovič, T. dos Santos Rolo, Z. Li, T. Baumbach, E. Gorostegui-Colinas, J. Garagorri, M. R. Elizalde, M. C. Fossati, D. K. Bowen and B. K. Tanner : Dislocation dynamics and slip band formation in silicon: In-situ study by X-ray diffraction imaging, *J. Cryst. Growth* **318** (2011) 1157. (TOPO-TOMO, ANKA)

表面に小さな圧痕をつけた Si 結晶を高温(約 1000C)に上げ、転位の発生からスリップバンドの形成までを、白色X線トポグラフィでイン・サイチュ観察。

- 3) K. Kajiwara, S. Kawado, S. Iida, Y. Suzuki and Y. Chikaura : Features of dislocation images reconstructed from step-scanned white X-ray section topographs, *phys. stat. sol. (a)* **204** (2007)2682. (BL28B2, SPring8)

白色X線ステップスキヤニング・セクショントポグラフィにより得た多数の画像データを三次元再構成。その場合の転位像の特徴を、Si を例に調べたもの。

- 4) S. Kawado, S. Iida, K. Kajiwara, Y. Suzuki and Y. Chikaura : Dislocation Elimination in Czochralski Silicon Crystal Grown Revealed by White X-ray Topography Combined with Topo-tomographic Technique, *AIP Conference Proceedings* **879** (2007) 1545. (BL28B2, SPring8)

トポ・トモグラフィを併用した白色X線トポグラフィにより大型 CZ - Si 単結晶のネック部の転位を三次元観察し、無転位化のモデルを提案。

- 5) J. M. Yi, Y. S. Chu, T. S. Argunova and J. H. Je : Analytic determination of the three-dimensional distribution of dislocations using synchrotron X-ray topography, *J. Appl. Cryst.* **39** (2006) 106. (XOR2-BM, APS)

単色X線トポグラフィ(ブラッグ・ケースの対称反射)で、回折ベクトルのまわりで試料を回転させたときの転位像の変化から、転位の三次元分布を解析的に決めようというもの。熱ショックで Si ウェーハに発生した転位に適用。

- 6) S. Kawado, T. Taishi, S. Iida, Y. Suzuki, Y. Chikaura and K. Kajiwara : Three-dimensional structure of dislocations in silicon determined by synchrotron white x-ray topography combined with a topo-tomographic technique, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **38** (2005) A17. (BL28B2, SPring8)

トポ・トモグラフィを併用した白色X線トポグラフィにより 2"径の CZ - Si インゴットのネック部で転位のハーフループの三次元構造を決定。

- 7) S. Iida, S. Kawado, T. Maehama, K. Kajiwara, S. Kimura, J. Matsui, Y. Suzuki and Y. Chikaura : Plane-wave synchrotron x-ray topography observation of grown-in microdefects in a slowly pulled CZ-silicon crystal, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **38** (2005) A23. (BL20B2, SPring8)
 低速引き上げ Si 単結晶中の微小欠陥 (転位ループのクラスター) を平面波トポグラフィで観察。
- 8) K. Kajiwara, S. Kimura and Y. Chikaura : New Topographic Method of Detecting Microdefects Using Weak-Beam Topography with White X-Rays, *Jpn. J. Appl. Phys.* **44** (2005) 4211. (BL28B2, SPring8)
 白色X線トポグラフィのウィークビーム法を用いて、FZ-Si のスワール欠陥を観察。
- 9) Y. Suzuki, Y. Tsukasaki, K. Kajiwara, S. Kawado, S. Iida and Y. Chikaura : Observation of silicon front surface topographs of an ultralarge-scale-integrated wafer by synchrotron x-ray plane wave, *J. Appl. Phys.* **96** (2004) 6259. (BL20B2, SPring8)
 すれすれ入射させた広領域単色X線トポグラフィにより、Si ウェーハ表面の微細構造を観察。
- 10) S. Kawado, T. Taishi, S. Iida, Y. Suzuki, Y. Chikaura and K. Kajiwara : Determination of the three-dimensional structure of dislocations in silicon by synchrotron white X-ray topography combined with a topo-tomographic technique, *J. Synchrotron Rad.* **11** (2004) 304. (BL28B2, SPring8)
 トポ・トモグラフィを併用した白色X線トポグラフィによる転位の三次元構造決定法の提案。
- 11) W. Wierzchowski, K. Wieteska, W. Graeff, M. Pawłowska, B. Surma and S. Strzelecka : X-ray topographic investigation of large oxygen precipitates in silicon, *J. Alloys and Compounds* **362** (2004) 301. (HASYLAB)
 CZ-Si 結晶を高温熱処理したとき形成される酸素析出物を、白色および単色X線トポグラフィ、特にブラッグ・ケースのセクション・トポグラフィで観察。
- 12) S. Kawado : X-ray characterization of crystal perfection and surface contamination in large-diameter silicon wafers, *Mat. Sci. Semicond. Proc.* **5** (2003) 435. (BL20B2, SPring8)
 単色X線トポグラフィによる大直径 Si ウェーハの結晶性評価のサーベイ。
- 13) A. Misiuk, W. Wierzchowski, K. Wieteska, L. Bryja and W. Graeff : Synchrotron topography of high temperature-pressure treated silicon implanted with helium, *Nucl. Instr. and Meth. B* **200** (2003) 358. (F1, DORIS III, HASYLAB)
 He を注入し、高温、高圧で処理した Si ウェーハを、白色X線トポグラフィ(背面反射)、単色X線によるロッキングカーブ測定、フォト・ルミネセンスで調べたもの。
- 14) J. P. Feiereisen, O. Ferry, A. Jacques and A. George : Mechanical testing device for in situ experiments on reversibility of dislocation motion in silicon, *Nucl. Instr. and Meth. B* **200** (2003) 339. (ID19, ESRF)
 ストレスを反転させたときに、転位の運動の反転が起るかどうかをテストする装置を作り、FZ-Si を試料にして、イン・サイチュの単色X線透過トポグラフィで観察。
- 15) S. Kawado, S. Iida, S. Yamaguchi, S. Kimura, Y. Hirose, K. Kajiwara, Y. Chikawa and M. Umeno : Synchrotron-radiation X-ray topography of surface strain in large-diameter silicon wafers, *J. Synchrotron Rad.* **9** (2002) 166. (BL20B2, SPring8)
 広領域単色X線トポグラフィによって、大直径 Si ウェーハの表面加工の各ステップ

における表面歪みを評価。

- 16) S. Iida, Y. Chikaura, S. Kawado and S. Kimura : Plane-wave X-ray topography and its application at SPring-8, *J. Synchrotron Rad.* **9** (2002) 169. (BL20B2, SPring8)
SPring-8における平面波X線ビームの形成確認とSiの微小欠陥観察。
- 17) T. Tuomi : Synchrotron X-ray topography of electronic materials, *J. Synchrotron Rad.* **9** (2002) 174. (F1 and BW1, HASYLAB-DESY ; ID19, ESRF)
白色X線トポグラフィ(透過、背面反射)の電子材料への応用をサーベイしたもの。
CZ-Siの微小欠陥(ボイドと析出物)の観察ほか、GaAs(バルクとエピ)、4H-SiCの例。
- 18) S. Goto, K. Takeshita, Y. Suzuki, H. Ohashi, Y. Asano, H. Kimura, T. Matsushita, N. Yagi M. Isshiki, H. Yamazaki, Y. Yoneda, K. Umetani and T. Ishikawa : Construction and commissioning of a 215-m-long beamline at SPring-8, *Nucl. Instr. and Meth. A* **467-468** (2001) 682. (BL20B2, SPring8)
SPring-8に建設された215-m長の中尺ビームラインの紹介。300 mm径Siウェーハの1ショット撮影による広領域単色X線トポグラフィの例が示されている。
- 19) Y. Chikaura, S. Iida, S. Kawado, K. Mizuno, S. Kimura, J. Matsui, M. Umeno, T. Ozaki, T. Shimura, Y. Suzuki, K. Izumi, K. Kawasaki, K. Kajiwara and T. Ishikawa : Construction of topography stations at SPring-8 and first observations, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **34** (2001) A158. (BL20B2 and BL28B2, SPring8)
SPring-8でトポグラフィが可能な2本のビームラインに設置された実験設備と、Siインゴットの単色X線トラバース・トポグラフィやSrTiO₃の低温白色X線トポグラフィなどの初期の観察例が報告されている。
- 20) T. Tuomi, R. Rantamäki, P. J. McNally, D. Lowney, A. N. Danilewsky and P. Becker : Dynamical diffraction imaging of voids in nearly perfect silicon, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **34** (2001) A133. (BW1, HASYLAB-DESY)
13 keV以下のエネルギーをもつアンジュレータ(準単色)光を使った透過トポグラフィで、FZ法で育成した超高純度Si完全結晶を観察し、大きなボイド欠陥像を得た。
- 21) S. Iida, Y. Aoki, Y. Sugita, T. Abe and H. Kawata : Grown-in Microdefects in a Slowly Grown Czochralski Silicon Crystal Observed by Synchrotron Radiation Topography, *Jpn. J. Appl. Phys.* **39** (2000) 6130. (BL-14C, PF)
低速引き上げで育成したCZ-Si結晶中の微小欠陥を、高エネルギー高次反射を用いた単色X線トポグラフィ(ラウエ・ケース)で観察。
- 22) S. L. Morelhão, J. Härtwig and D. L. Meier : Dislocations in dendritic web silicon, *J. Cryst. Growth* **213** (2000) 288. (ID19, ESRF)
実験室系トポグラフィと放射光白色X線トポグラフィ(透過法)で、Siのウェーブ結晶の転位を観察。

[Si素子製作プロセス / 反り、変形]

- 1) D. Allen, J. Wittge, J. Stopford, A. Danilewsky and P. McNally : Three-dimensional X-ray diffraction imaging of process-induced dislocation loops in silicon, *J. Appl. Cryst.* **44** (2011) 526. (Topo-Tomo BL, ANKA)
(100)Siウェーハ表面に微小圧痕をつけ、RTA処理して発生した転位ループを、白色X線ビームを用いたステップスキャンニング・セクショントポグラフィで三次元観察。

- 2) T. Fukamachi, K. Hirano, R. Negishi, Y. Kanematsu, S. Jongsuksawat, K. Hirano and T. Kawamura : Interference fringes in multiple Bragg-Laue mode, *Acta Cryst. A67* (2011) 154. (BL-15C, PF)
単色X線をSi平行平板の表面から入射させて側面へ出射させる配置で、多重ブラッグ-ラウエ回折を起こさせたときに生じる干渉縞を観測。曲げ変形させた場合も追加実験[論文4)と同じ]。
- 3) J. Wittge, A. N. Danilewsky, D. Allen, P. McNally, Z. Li, T. Baumbach, E. Gorostegui-olinas, J. Garagorri, M. R. Elizalde, D. Jacques, M. C. Fossati, D. K. Bowen and B. K. Tanner : Dislocation sources and slip band nucleation from indents on silicon wafers, *J. Appl. Cryst.* **43** (2010) 1036. (TOPO-TOMO, ANKA)
(100)Si ウェーハ表面に微小圧痕をつけ、RTA 処理として 1000°C に加熱。10s 毎に白色X線トポグラフィ(透過)をイン・サイチュ撮影。転位ループの増殖、伝播過程を観察。
- 4) T. Fukamachi, M. Tohyama, K. Hirano, M. Yoshizawa, R. Negishi, D. Ju, K. Hirano and T. Kawamura : Interference fringes in multiple Bragg-Laue mode and mirage fringes from bent crystals, *Acta Cryst. A66* (2010) 421. (BL-15C, PF)
Si の平行平板に曲げ変形を与え、単色X線を表面から入射させて側面へ出射させたときに起こる、多重ブラッグ-ラウエ回折と蜃気楼回折の間で生じる干渉縞の変化を観測[論文7)関連]。
- 5) D. Allen, J. Wittge, A. Zlotos, E. Gorostegui-Colinas, J. Garagorri, P. J. McNally, A. N. Danilewsky and M. R. Elizalde : Observation of nano-indent induced strain fields and dislocation generation in silicon wafers using micro-Raman spectroscopy and white beam X-ray topography, *Nucl. Instr. and Meth. B* **268** (2010) 383. (ANKA and HASYLAB)
(100)Si ウェーハ表面に微小圧痕をつけ、その周りに生じる歪みの状態を、マイクロラマン分光と白色X線トポグラフィ(透過、背面反射)で観察。
- 6) A. Danilewsky, J. Wittge, A. Hess, A. Cröll, D. Allen, P. McNally, P. Vagovič, A. Cecilia, Z. Li, T. Baumbach, E. Gorostegui-Colinas and M. R. Elizalde : Dislocation generation related to micro-cracks in Si wafers: High temperature in situ study with white beam X-ray topography, *Nucl. Instr. and Meth. B* **268** (2010) 399. (TopoTomo BL, ANKA)
(100)Si ウェーハ表面に微小圧痕をつけ、790°C に加熱して 30 分ごとに白色X線トポグラフィをイン・サイチュで撮影。60° 転位の発生と伸長の様子を観察した。
- 7) T. Fukamachi, K. Hirano, M. Yoshizawa, R. Negishi, D. Ju, M. Tohyama, Y. Kanematsu, K. Hirano and T. Kawamura : Amplification of Reflected X-ray Beams by the Mirage Effect, *J. Phys. Soc Jpn.* **78** (2009) 103001. (BL-15C, PF)
Si の平行平板に曲げ変形を与えて、単色X線を表面から入射させると、蜃気楼効果により、表面からの回折ビーム強度が増大することを観測。
- 8) J. M. Yi, Y. S. Chu, T. S. Argunova, J. Z. Domagala and J. H. Je : X-ray diffractometry and topography of lattice plane curvature in thermally deformed Si wafer, *J. Synchrotron Rad.* **15** (2008) 96. (XOR2-BM, APS ; 7B2, PLS)
熱変形により CZ-Si ウェーハに発生した隣り合うスリップ・バンド間に生じた格子面の湾曲を、実験室系の回折計で測定すると共に、放射光単色および白色トポグラフィを用いて、スリップ・バンドの転位構造を調べた。
- 9) D. Noonan, P. J. McNally, W.-M. Chen, A. Lankinen, L. Knuuttila, T. O. Tuomi, A. N. Danilewsky and R. Simon : The evaluation of mechanical stress developed in underlying silicon substrates due to electroless nickel under bump metallization

using synchrotron X-ray topography, *Microelectron. Jour.* **37** (2006) 1372. (ANKA; F-1, HASYLAB)

無電解 Ni を用いてアンダーバンプ・メタライゼーションを行なったときに生じる Si 基板のストレスを、白色 X 線トポグラフィ(背面反射配置)で評価。

- 10) B.L. French, M. J. Daniels and J. C. Bilello : Investigation of the fracture toughness of radio frequency magnetron sputtered Al-Cu-Fe films via white-beam synchrotron radiography/topography, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **38** (2005) A44. (BL2-2, SSRL)

Si とサファイア($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$)基板に、RF スパッタリングで Al-Cu-Fe 膜付け、アニールしながら基板の白色 X 線トポグラフィ(透過)を観察して、応力の変化を観察。

- 11) P. J. McNally, J. Kanatharana, B. H. W. Toh and D. W. McNeill, A. N. Danilewsky, T. Tuomi, L. Knuuttila, J. Riikonen, J. Toivonen and R. Simon : Geometric linewidth and the impact of thermal processing on the stress regimes induced by electroless copper metallization for Si integrated circuit interconnect technology, *J. Appl. Phys.* **96** (2004) 7596. (Topo, ANKA; F-1, HASYLAB)

Si 基板上に無電解メッキによる Cu メタライゼーションを行なったとき、Si に生じる歪みを白色 X 線トポグラフィ(背面反射)で観察。ライン・エッジの応力が Cu 配線幅に関係することなどを報告。

- 12) J. Kanatharana, J. J. Pérez-Camacho, T. Buckley, P. J. McNally, T. Tuomi, A. N. Danilewsky, M. O'Hare, D. Lowney, W. Chen, R. Rantamäki, L. Knuuttila and J. Riikonen : Evaluation of mechanical stresses in silicon substrates due to lead-tin solder bumps via synchrotron X-ray topography and finite element modeling, *Microelectronic Engineering* **65** (2003) 209. (F-1, DORIS III, HASYLAB-DESY)

半田バンプによって Si 基板に生じる機械的ストレスを、背面反射法で、白色 X 線の広領域とセクション・トポグラフィで観察 [論文 13]と殆んど同じ内容]。

- 13) J. Kanatharana, J. J. Pérez-Camacho, T. Buckley, P. J. McNally, T. Tuomi, M. O'Hare, D. Lowney, W. Chen, R. Rantamäki, L. Knuuttila and J. Riikonen : Mapping of mechanical stresses in silicon substrates due to lead-tin solder bump reflow process via synchrotron x-ray topography and finite element modeling, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **36** (2003) A60. (F-1, DORIS III, HASYLAB-DESY)

半田バンプのリフロー・プロセス前後で、Si 基板に生じる機械的ストレスを、背面反射の白色 X 線広領域およびセクション・トポグラフィで観察。

- 14) D. Lowney, T. S. Perova, M. Nolan, P. J. McNally, R. A. Moore, H. S. Gamble, T. Tuomi, R. Rantamäki and A. N. Danilewsky : Investigation of strain induced effects in silicon wafers due to proximity rapid thermal processing using micro-Raman spectroscopy and synchrotron x-ray topography, *Semicond. Sci. Technol.* **17** (2002) 1081. (DORIS, HASYLAB-DESY)

Si ウェーハの RTO や RTD で導入される熱応力をマイクロ・ラマン法と放射光トポグラフィで解析。白色 X 線トポグラフィ(背面反射)と白色 X 線セクション・トポグラフィ(透過)が用いられている。

- 15) D. Altin, J. Härtwig, R. Köhler, W. Ludwig, M. Ohler and H. Klein : X-ray diffraction topography using a diffractometer with a bendable monochromator at a synchrotron radiation source, *J. Synchrotron Rad.* **9** (2002) 282. (ESRF)

湾曲モノクロメータを用いた単色 X 線トポグラフィとその応用。Si デバイス・パターンの観察のほか、水晶、GaAs、4H-SiC の観察例がある。

- 16) Y. Kudo, K.-Y. Liu, S. Kawado, Z. Xiaowei and K. Hirano : Characterization of process-induced lattice distortion in silicon by double-crystal x-ray topography using a curved collimator, *J. Appl. Phys.* **90** (2001) 670. (BL-15C, PF)
湾曲コリメータを用いた単色X線トポグラフィで、MOS デバイス・パターンについての Si ウェーハを観察。
- 17) F. Vallino, J.-P. Château, A. Jacques and A. George : Dislocation multiplication during the very first stages of plastic deformation in silicon observed by X-ray topography, *Mat. Sci. Eng.* **A319-321** (2001) 152. (ID19, ESRF)
FZ-Si の塑性変形初期段階を、高温白色X線トポグラフィ(透過)でイン・サイチュ観察。
- 18) A. Jacques, F. Vallino, F. Serbena and A. George : Dislocation multiplication in silicon at the onset of plasticity observed by *in situ* synchrotron x-ray topography, *J. Phys.: Condens. Matter* **12** (2000) 10045. (ID-19, ESRF)
Si 単結晶片に高温で引っ張り応力をかけ、イン・サイチュの白色X線トポグラフィにより、転位の発生、増殖プロセスを観察。
- 19) Y. Kudo, K.-Y. Liu, S. Kawado and K. Hirano : Elimination of extrinsic components overlapping lattice distortion variations of a silicon single crystal obtained by double-crystal X-ray topography, *J. Appl. Cryst.* **33** (2000) 226. (BL-15C, PF)
平行性の良い単色X線トポグラフィで、Si の面間隔と面方位のずれを定量測定する際に表れる外的な成分(モノクロメータとコリメータの非平行性などが原因)を除去する方法を提案。

[SOI]

- 1) A. Ogura, T. Yoshida, D. Kosemura, Y. Kakemura, M. Takei, H. Saito, T. Shimura, T. Koganesawa and I. Hirose : Evaluation of super-critical thickness strained-Si on insulator (sc-SSOI) substrate, *Solid-State Electron.* **52** (2008) 1845. (BL20B2, SPring-8)
超臨界厚歪みつき SOI ウェーハ(300mm 径)の結晶品質と歪み分布をインプレインX線回折、広領域単色X線トポグラフィ(ブラッグ・ケース)、ラマン分光で調べた。トポグラフィでは、ミスフィット転位に対応するクロスハッチ・パターンを観察。
- 2) T. Shimura, K. Kawamura, M. Asakawa, H. Watanabe, K. Yasutake, A. Ogura, K. Fukuda, O. Sakata, S. Kimura, H. Edo, S. Iida and M. Umeno : Characterization of strained Si wafers by X-ray diffraction techniques, *J. Mater. Sci.: Mater. Electron.* **19** (2008) S189. (BL13XU[マイクロビーム回折] & BL20B2, SPring-8; BL15C, PF)
二通りの方法で作製された SGOI 構造の上に Si エピ層を積んだ、いわゆる歪みつき Si ウェーハを、逆格子マップ、マイクロビームX線回折、広領域単色X線トポグラフィ(ブラッグ・ケース)で調べたもの。
- 3) T. Shimura, T. Inoue, Y. Okamoto, T. Hosoi, H. Edo, S. Iida, A. Ogura and H. Watanabe : Observation of Crystalline Imperfections in Supercritical Thickness Strained Silicon on Insulator Wafers by Synchrotron X-ray Topography, *ECS Trans.* **16** (10) (2008) 539. (BL20B2, SPring-8)
300mm 径の超臨界膜厚 sSOI ウェーハの結晶性を、すれすれ入射を用いた広領域単色X線トポグラフィ(ブラッグ・ケース)で調査。
- 4) T. Shimura, T. Inoue, Y. Okamoto, T. Hosoi, A. Ogura, O. Sakata, S. Kimura, H. Edo, S. Iida, and H. Watanabe : Application of Synchrotron X-ray Diffraction Methods to Gate Stacks of Advanced MOS devices, *ECS Trans.* **13** (2) (2008) 75.

(BL15C, PF; BL20B2, SPring-8) ; (参考 : BL-4C, PF; BL13XU, SPring8 : CTR 散乱 ; BL-13XU, SPring-8 : マイクロビーム回折)

MOS デバイスのゲートスタック構造に関して、放射光 X 線回折を用いた 2 件の評価結果を報告。歪み付 Si ウェーハの広領域単色 X 線トポグラフィは、論文 2) の予備データ。

- 5) K. Fukuda, T. Yoshida, T. Shimura, K. Yasutake, M. Umeno and S. Iida : White X-ray Topography of Lattice Undulation in Bonded Silicon-On-Insulator Wafers, *Jpn. J. Appl. Phys.* **45** (2006) 6795. (BL28B2, SPring-8)
貼り合せ SOI 層に存在する結晶格子のうねり(undulation)を、白色 X 線トポグラフィ(透過)と単色 X 線トポグラフィ(ラウエ・ケース)で観察、比較。
- 6) T. Ma, H. Tu, G. Hu, B. Shao and A. Liu : Investigation of Si/SiGe/Si on bonded silicon-on-insulator by triple-axis X-ray diffraction and synchrotron radiation double-crystal topography, *J. Cryst. Growth* **289** (2006) 489. (4W1A, BSRL)
貼りあわせで作製した SOI ウェーハ上に形成した Si/SiGe/Si ヘテロ構造を、実験室系回折計による逆格子マップと放射光単色 X 線トポグラフィ(ブラッグ・ケース)で調査。
- 7) K. Fukuda, T. Yoshida, T. Shimura, K. Yasutake and M. Umeno : Synchrotron X-Ray Topography of Lattice Undulation of Bonded Silicon-On-Insulator Wafers, *Jpn. J. Appl. Phys.* **43** (2004) 1081. (BL15C, PF)
貼り合せ SOI 層に存在する格子うねりを単色 X 線トポグラフィ(ラウエ・ケースおよびブラッグ・ケース)で観察し、その構造を解析。
- 8) T. Shimura, K. Fukuda, K. Yasutake and M. Umeno : Characterization of SOI wafers by synchrotron X-ray topography, *Eur. Phys. J. Appl. Phys.* **27** (2004) 439. (BL20B2, SPring-8)
貼りあわせによって作製された 8 インチ径の SOI ウェーハを、広領域単色 X 線トポグラフィで観察。
- 9) B. Surma, A. Misiuk, J. Härtwig, A. Wnuk, A. Bukowski and I. V. Antonova : Modificatrion of the SOI-like structures by annealing under high hydrostatic pressure, *J. Alloys and Compounds* **362** (2004) 269. (ID19, ESRF)
FZ-Si に O をイオン注入して、高圧の Ar 雰囲気中で熱処理した SIMOX 構造を、透過法の白色 X 線トポグラフィで調べ、酸素のクラスタリング過程で生じる構造欠陥を観察。
- 10) K. Fukuda, T. Yoshida, T. Shimura, K. Yasutake and M. Umeno : Large-Area X-Ray Topographs of Lattice Undulation of Bonded Silicon-On-Insulator Wafers, *Jpn. J. Appl. Phys.* **42** (2003) L117. (BL20B2, SPring-8)
広領域単色 X 線トポグラフィで、貼り合せ SOI 表面層に存在する格子のうねりを観察。
- 11) K. Fukuda, T. Yoshida, T. Shimura, K. Yasutake and M. Umeno : Observation of Lattice Undulation of Commercial Bonded Silicon-On-Insulator Wafers by Synchrotron X-Ray Topography, *Jpn. J. Appl. Phys.* **41** (2002) L1325. (BL15C, PF)
2 種類の市販貼りあわせ SOI ウェーハを単色 X 線トポグラフィで調べ、表面層に存在する格子のうねりを観察。
- 12) J. Härtwig, S. Köhler, W. Ludwig, H. Moriceau, M. Ohler and E. Prieur : X-ray Diffraction Topography at a Synchrotron Radiation Source Applied to the Study of Bonded Silicon on Insulator Material, *Cryst. Res. Technol.* **37** (2002) 705. (ID19, ESRF)
8 インチ径の貼りあわせ SOI ウェーハを、白色 X 線トポグラフィ(透過)と単色 X 線トポグラフィ(ラウエ・ケース)で評価。

[SiGe]

- 1) T. S. Argunova, J. M. Yi, J. W. Jung, J. H. Je, L. M. Sorokin, M. Yu. Gutkin, E. I. Belyakova, L. S. Kostina, A. G. Zabrodskii and N. V. Abrosimov : White X-ray beam topography and radiography of $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ crystals bonded to silicon, *phys. stat. sol. (a)* **204** (2007) 2669. (7B2, PLS)
 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ と Si ウェーハのダイレクト・ボンディングで作製したヘテロ接合の欠陥構造を白色X線トポグラフィ(透過)とラジオグラフィで調べたもの。
- 2) D. R. Black, J. C. Woicik, M. Erdtmann and T. A. Langdo : Imaging defects in strained-silicon thin films by glancing-incidence x-ray topography, *Appl. Phys. Lett.* **88** (2006) 224102. (33-BM, APS)
 SiGe-on-Si (001)基板上に成長させた歪み Si 膜の欠陥を、すれすれ入射の単色X線トポグラフィ(ブラッグ・ケース)で観察。
- 3) K. Wieteska, W. Wierzchowski, W. Graeff, M. Lefeld-Sosnowska and M. Regulska : Bragg-case section topography of growth defects in Si:Ge crystals, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **36** (2003) A 133. (F-1, HASYLAB)
 Ge を 3% および 1.2% 含む Si:Ge 結晶における Ge の偏析の影響を、白色X線トポグラフィ(ブラッグ・ケースのセクションおよびプロジェクション・トポグラフィ)と実験室系のラング法で研究[論文 4)と殆ど同じ]。
- 4) K. Wieteska, W. Wierzchowski, W. Graeff, M. Lefeld-Sosnowska and M. Regulska : Studies of growth bands in Si:Ge crystals, *Mat. Sci. Eng. B* **91-92** (2002) 462. (HASYLAB)
 Ge を 3% 含む Si:Ge 結晶の成長縞を、白色X線トポグラフィ(ブラッグ・ケースのセクション・トポグラフィ)と実験室系のラング法で観察。
- 5) P. J. McNally, G. Dilliway, J. M. Bonar, A. Willoughby, T. Tuomi, R. Rantamäki, A. N. Danilewsky and D. Lowney : On the use of total reflection x-ray topography for the observation of misfit dislocation at a grain at the surface of a Si/Ge-Si heterostructure, *Appl. Phys. Lett.* **77** (2000) 1644. (F-1, HASYLAB)
 Si/Ge-Si ヘテロ構造のミスフィット転位によって生じる表面歪みを、全反射条件下での白色X線トポグラフィで観察し、AFM で観察される表面の隆起との類似性を指摘。

[Ge]

- 1) K. Hirano, T. Fukamachi, M. Yoshizawa, R. Negishi, K. Hirano and T. Kawamura : Bragg-(Bragg)^m-Laue diffraction and its interference fringe, *phys. stat. sol. (a)* **206** (2009) 1855. (BL-15C, PF)
 Ge の平行平板を用いて、表面から単色X線を入射して側面から出射させたとき、すなわち Bragg-(Bragg)^m-Laue 配置で生じる干渉縞をより詳しく観察、理論と比較したもの[論文 2 と同じ内容]。
- 2) K. Hirano, T. Fukamachi, M. Yoshizawa, R. Negishi, K. Hirano, Z. Xu and T. Kawamura : X-ray Interference Fringe of Bragg-(Bragg)^m-Laue Case, *J. Phys. Soc. Jpn.* **77** (2008) 103707. (BL-15C, PF)
 Ge の平行平板を用いて、表面から単色X線を入射して側面から出射させたとき、すなわち Bragg-(Bragg)^m-Laue 配置で生じる干渉縞を観察し、理論と比較した速報。
- 3) M. P. Volz, M. Schweizer, B. Raghathamachar, M. Dudley, J. Szoke, S. D. Cobb and F. R. Szofran : X-ray characterization of detached-grown germanium crystals, *J. Cryst. Growth* **290** (2006) 446. (X-19C, NSLS)
 垂直ブリッジマン法で育成した Ge 単結晶の微細構造を白色X線トポグラフィ(背面

反射)で観察。成長界面をるつぼ壁に接触させた場合と非接触の場合で、転位密度を比較している。

- 4) T. Fukamachi, R. Negishi, M. Yoshizawa and T. Kawamura : X-ray Interference Fringe in Bragg-(Bragg)^m-Laue Case from Thin Finite Crystal, Jpn. J. Appl. Phys. **44** (2005) L787. (BL15C, PF)

Ge の平行平板を用いて、表面から X 線を入射して側面から出射させたとき、すなわち Bragg-(Bragg)^m-Laue 配置で生じる干渉縞を単色 X 線トポグラフィで観察。

- 5) T. Fukamachi, R. Negishi, S. Zhou, M. Yoshizawa, I. Matsumoto and T. Kawamura : Observation of X-ray Topographs Using Borrmann Effect in the Bragg Case, Jpn. J. Appl. Phys. **43** (2004) 5365. (BL15C, PF)

ブラッグ・ケースの平面波トポグラフィにおいて、X 線エネルギーを K 吸収端に選ぶと、欠陥イメージのコントラストにどのような特徴が表れるかを、Ge を試料に用いて検証したもの。残念ながら観察された欠陥の同定がされていない。

[diamond]

- 1) H. Umezawa, Y. Kato, H. Watanabe, A. M. M. Omer, H. Yamaguchi and S. Shikata : Characterization of crystallographic defects in homoepitaxial diamond films by synchrotron X-ray topography and cathodoluminescence, Diam. Relat. Mater. **20** (2011) 523. (BL-15C, PF)

Ib 型(001)人工ダイヤモンド結晶基板の上に、マイクロ波プラズマ CVD で成長させたホモ・エピタキシャル膜を、すれすれ入射の単色 X 線トポグラフィ(ブラッグ・ケース)で観察し、欠陥像とカソードルミネッセンス像の対応を調べた。

- 2) A. A. Shiryaev, F. Masiello, J. Härtwig, I. N. Kupriyanov, T. A. Lafford, S. V. Titkov and Y. N. Palyanov : X-ray topography of diamond using forbidden reflections: which defects do we really see?, J. Appl. Cryst. **44** (2011) 65. (BM05, ESRF)

様々の点欠陥、拡張欠陥のタイプや濃度をもつ天然および人工ダイヤモンドを、許容反射と禁制反射を用いた単色 X 線トポグラフィ(ラウエ・ケース)で調べた。禁制反射で容易に弱い歪み場が観察でき、IR マップとの比較から、ある種の点欠陥が禁制反射の構造因子を増加させる可能性を示唆。

- 3) N. Tsubouchi, Y. Mokuno, H. Yamaguchi, N. Tatsumi, A. Chayahara and S. Shikata : Characterization of crystallinity of a large self-standing homoepitaxial diamond film, Diam. Relat. Mater. **18** (2009) 216. (BL-15C, PF)

ホモエピタキシャル成長させたダイヤモンド薄膜の結晶性を、偏光顕微鏡、実験室系 X 線ロックンカーブ測定およびトポグラフィ、放射光単色 X 線トポグラフィ(ラウエ・ケース)で評価。

- 4) K. E. Kuper, D. A. Zedgenizov, A. L. Ragozin and V. S. Shatsky : X-ray topography of natural diamonds on the VEPP-3 SR beam, Nucl. Instr. and Meth. A **603** (2009) 170. (Microscopy and Tomography BL, VEPP-3)

天然ダイヤモンド結晶の欠陥を二結晶トポグラフィで観察。ブラッグ条件下で試料を透過してきた単色 X 線ビームを、KB 配置のマグニファイアで拡大している。

- 5) W. K. Wierzchowski and M. Moore : Bragg-case \vec{K}_g and \vec{K}_0 beam double-crystal synchrotron studies of growth sectors and dislocations in synthetic diamonds, J. Appl. Phys. **101** (2007) 053518. (7.6, SRS)

人工ダイヤモンドの成長セクター、転位を単色 X 線トポグラフィ(ブラッグ・ケース)で調べた。回折波と透過波の欠陥像を対比させて議論している。

- 6) V. V. Kvardakov, K. M. Podurets, S. A. Schetinkin, J. Baruchel, J. Härtwig and M. Schlenker : Study of the three-dimensional distribution of defects in crystals by synchrotron radiation diffraction tomography, *Nucl. Instr. and Meth. A* **575** (2007) 140. (ID19, ESRF)
白色X線を用いたステップスキャン・セクションシヨントポグラフィ(透過)による欠陥の三次元観察。人工ダイヤモンドのほかに水晶、Fe 3wt% Si の観察例。
- 7) E. Fritsch, M. Moore, B. Rondeau and R. G. Waggett : X-ray topography of a natural twinned diamond of unusual pseudo-tetrahedral morphology, *J. Cryst. Growth* **280** (2005) 279. (7.6, SRS-Daresbury)
天然ダイヤモンド双晶の内部のモフォロジー(morphology)を、白色X線セクション・トポグラフィ(透過)で調査。
- 8) Y. Zhong, S. Krasnicki, A. T. Macrander, Y. S. Chu and J. Maj : Bragg-case limited projection topography study of surface damage in diamond-crystal plates, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **38** (2005) A 39. (2-BM, APS)
ダイヤモンド結晶の表面損傷を、ブラッグ・ケースの単色X線リミテッド・トポグラフィで観察。
- 9) K. Tamasaku, T. Ueda, D. Miwa and T. Ishikawa : Goniometric and topographic characterization of synthetic IIa diamonds, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **38** (2005) A61. (BL29XU, SPring-8)
準平面波X線をIIa型人工ダイヤモンドに入射したロッキングカーブ測定とトポグラフィ(ラウエ・ケース)、並びに逆格子マップにより結晶完全性を評価。
- 10) W.-L. Yu, Q.-J. Zheng, Y.-L. Tian and W.-X. Huang : An approach in determination of the orientations of dislocations with synchrotron radiation, *Nucl. Instr. and Meth. A* **491** (2002) 302. (BSRF)
白色X線トポグラフィ(透過)を用いて、転位の方向を計算する方法を提案し、天然ダイヤモンド結晶で実証。
- 11) W. Ludwig, P. Cloetens, J. Härtwig, J. Baruchel, B. Hamelin and P. Bastie : Three-dimensional imaging of crystal defects by 'topo-tomography', *J. Appl. Cryst.* **34** (2001) 602. (ID19, ESRF)
単色X線を用いた回折トポグラフィ(ラウエ・ケース)とマイクロ・トモグラフィを結合させて、結晶欠陥の三次元分布を観察する新しい手法を提案。人工ダイヤモンドの観察例が示されている。

[SiC]

- 1) M. Dudley, F. Wu, H. Wang, S. Byrappa, B. Raghochamachar, G. Choi, S. Sun, E. K. Sanchez, D. Hansen, R. Drachev, S. G. Mueller and M. J. Loboda : Stacking faults created by the combined deflection of threading dislocations of Burgers vector c and $c+a$ during the physical vapor transport growth of 4H-SiC, *Appl. Phys. Lett.* **98** (2011) 232110. (X-19C, NSLS)
白色X線トポグラフィ(透過)を用いて、4H-SiC 結晶中の積層欠陥のフォルト・ベクトルを決定し、その形成メカニズムを提案。
- 2) Y. Q. Gao, X. B. Hu, X. G. Xu, X. F. Chen, Y. Peng, S. Song, M. H. Jiang and W. X. Huang : Stacking faults in semi-polar 6H-SiC single crystals, *Cryst. Res. Technol.* **46** (2011) 357. (BSRL)
(10 $\bar{1}$ 5)面のシード上に昇華法で育成した6H-SiC単結晶に発生した高密度の積層欠陥を、白色X線トポグラフィ(透過)とレーザー顕微鏡で観察。

- 3) K. Ishiji, R. Ohtani, S. Kawado, Y. Hirai and S. Nagamachi : Structural change of micropipes in Al-implanted SiC crystals by post-implantation annealing, *Semicond. Sci. Technol.* **26** (2011) 025009. (BL09A, SAGA-LS)
Al をイオン注入した 4H-SiC ウェーハを高温アニールしたとき、マイクロパイプ欠陥が縮小することを白色X線トポグラフィ(表面反射)で明らかにした。
- 4) B. Kallinger, S. Polster, P. Berwian, J. Friedrich, G. Müller, A. N. Danilewsky, A. Wehrhahn and A.-D. Weber : Threading dislocations in n- and p-type 4H-SiC material analyzed by etching and synchrotron X-ray topography, *J. Cryst. Growth* **314** (2011) 21. (TOPO-TOMO BL, ANKA)
n-type と p-type の 4H-SiC に存在する貫通転位を、選択エッチ法と白色X線トポグラフィ(表面反射)で観察・比較。低ドープレベルの場合は、p-type, n-type とも、エッチ・パターンから転位の同定は可能だが、高ドープレベルの n-type の場合は不可能であることを示した。
- 5) M. Nagano, H. Tsuchida, T. Suzuki, T. Hatakeyama, J. Senzaki and K. Fukuda : Annealing induced extended defects in as-grown and ion-implanted 4H-SiC epitaxial layers, *J. Appl. Phys.* **108** (2010) 013511. (BL16B2, SPring-8)
エピタキシャル 4H-SiC ウェーハにイオン注入し、高温アニールしたときに形成される欠陥を、放射光単色X線トポグラフィ(ブラッグ・ケース)、選択エッチ法、TEM で観察。
- 6) Y. Zhang, H. Chen, G. Choi, B. Raghathamachar, M. Dudley, J. H. Edgar, K. Grasza, E. Tymicki, L. Zhang, D. Su and Y. Zhu : Nucleation Mechanism of 6H-SiC Polytype Inclusions Inside 15R-SiC Crystals, *J. Electron. Mater.* **39** (2010) 799. (NSLS, APS)
6H-SiC ポリタイプを内包する 15R-SiC 結晶を、白色X線トポグラフィ(透過)と単色X線トポグラフィ(ラウエ・ケース)で調べ、ポリタイプ・インクルージョンの発生メカニズムを提案。
- 7) J. Hassan, A. Henry, P. J. McNally and J. P. Bergman : Characterization of the carrot defect in 4H-SiC epitaxial layers, *J. Cryst. Growth* **312** (2010) 1828. (HASLAB)
4H-SiC エピタキシャル層に生じるキャロット欠陥を光顕、KOH エッチ、CL、放射光白色X線トポグラフィ(背面反射)で調べ、欠陥構造を解明。
- 8) H. Yamaguchi and H. Matsuhata : Threading Screw Dislocations in 4H-SiC Wafer Observed by the Weak-Beam Method in Bragg-Case X-ray Topography, *J. Electron. Mater.* **39** (2010) 715. (BL15C, PF)
4H-SiC ウェーハ中の貫通らせん転位を、平行性を高めた単色X線を用いたウィークビーム法トポグラフィ(ブラッグ・ケース)で観察。らせん転位のセンスを決定できた。
- 9) L. Ning, X. Hu, Y. Wang, X. Xu, Y. Gao, Y. Peng, X. Chen, W. Huang and Q. Yuan : Basal plane bending of 6H-SiC single crystals observed by synchrotron radiation X-ray topography, *J. Appl. Cryst.* **42** (2009) 1068. (4W1A, BSRL)
昇華法で成長させた 6H-SiC(0001)ウェーハの基底面バンディングを、実験室系の高分解X線回折と放射光白色X線ラウエ・トポグラフィ(透過)で観測。ラウエ・パターンの形状は、球状の湾曲モデルに基づくシミュレーションと一致。
- 10) G. Agrosi, G. Tempesta, G. C. Capitani, E. Scandale and D. Sicche : Multi-analytical study of syntactic coalescence of polytypes in a 6H-SiC sample, *J. Cryst. Growth* **311** (2009) 4784. (BM 5, ESRF)

物理的気相輸送(PVT)法で育成した 6H-SiC 結晶中の多形の複雑な合体(ラメラ構造などを)、放射光白色 X 線トポグラフィ(透過)、ラウエ・パターン、実験室系トポグラフィ、マイクロ・ラマン分光、TEM を用いて多角的に解析。

- 11) I. Kamata, M. Nagano, H. Tsuchida, Yi. Chen and M. Dudley : Investigation of character and spatial distribution of threading edge dislocations in 4H-SiC epilayers by high-resolution topography, *J. Cryst. Growth* **311** (2009) 1416. (BL16B2 and BL08B2, SPring-8)
20 μm のエピタキシャル層を積んだ 4H-SiC ウェーハを、単色 X 線トポグラフィ(ブラッグ・ケース)で観察。貫通刃状転位のバーガスベクトルの方向を決定し、その分布を調べたもの。
- 12) H. Matsuhata, H. Yamaguchi, I. Nagai, T. Ohno, R. Kosugi and A. Kinoshita : Contrast of Basal Plane and Threading Edge Dislocations in 4H-SiC by X-ray Topography in Grazing Incidence Geometry, *Mater. Sci. Forum* **600-603** (2009) 321. (BL15C, PF)
エピ層をつけた 4H-SiC ウェーハの基板内にある基底面転位と貫通刃状転位を、単色 X 線トポグラフィ(非対称ブラッグ・ケース)で観察。回折ベクトルと転位像のコントラスト変化からバーガス・ベクトルを決定。
- 13) H. Yamaguchi, H. Matsuhata and I. Nagai : Dislocation Contrast of 4H-SiC in X-ray Topography under Weak-beam Condition, *Mater. Sci. Forum* **600-603** (2009) 313. (BL15C, PF)
4H-SiC エピタキシャル・ウェーハ中の転位を、単色 X 線トポグラフィ(斜入射ブラッグ・ケース)のウィーク・ビーム条件下で観察。この条件では、基底面転位像が分離して見えた。
- 14) H. Matsuhata, H. Yamaguchi, I. Nagai, T. Ohno, R. Kosugi and A. Kinoshita : Observation of Misfit Dislocations Introduced by Epi-layer Growth on 4H-SiC, *Mater. Sci. Forum* **600-603** (2009) 309. (BL15C, PF)
4H-SiC 基板上のエピ層内にある転位を、単色 X 線トポグラフィ(斜入射ブラッグ・ケース)で観察し、ミスフィット転位のバーガス・ベクトルを決定。
- 15) Y. Chen, M. Dudley, E. K. Sanchez and M. F. Macmillan : Simulation of Grazing-Incidence Synchrotron White Beam X-ray Topographic Images of Micropipes in 4H-SiC and Determination of Their Dislocation Senses, *J. Electron. Mater.* **37** (2008) 713. (X-19C, NSLS)
4H-SiC 中のマイクロパイプの白色 X 線トポグラフ(表面反射)像とシミュレーション像を詳細に比較し、白コントラスト部の傾斜の向きからマイクロパイプのセンスが決められることを示した。
- 16) D. Nakamura, S. Yamaguchi, Y. Hirose, T. Tani, K. Takatori, K. Kajiwara and T. Kimoto : Direct determination of Burgers vector sense and magnitude of elementary dislocations by synchrotron white x-ray topography, *J. Appl. Phys.* **103** (2008) 013510. (BL28B2, SPring-8)
白色 X 線のセクション・トポグラフィ(透過法)において、試料とフィルム間距離を大きく取ることにより、RAF 法で育成した 4H-SiC 結晶に存在するらせん転位のバーガス・ベクトルの向きと大きさを決定。
- 17) H. Tsuchida, I. Kamata and M. Nagano : Formation of basal plane Frank-type faults in 4H-SiC epitaxial growth, *J. Cryst. Growth* **310** (2008) 757. (BL16B2, SPring-8)
4H-SiC{0001}のエピタキシャル成長で生じる、基底面上で起きるフランク型積層欠

陥の形成機構を、単色X線トポグラフィ(非対称ブラッグ・ケース)と TEM で研究。

- 18) W. Wierzchowski, K. Wieteska, T. Balcer, A. Malinowska, W. Graeff and W. Hofman : Observation of individual dislocations in 6H and 4H SiC by means of back-reflection methods of X-ray diffraction topography, *Cryst. Res. Technol.* **42** (2007) 1359. (E2 & F2, HASYLAB)
4H および 6H-SiC 中の転位およびその分布を、白色X線トポグラフィ(斜入射表面反射)と単色X線トポグラフィ(ブラッグ・ケース)で観察。転位像のシミュレーションもある。
- 19) X. R. Huang, D. R. Black, A. T. Macrander, J. Maj, Y. Chen and M. Dudley : High-geometrical-resolution imaging of dislocations in SiC using monochromatic synchrotron topography, *Appl. Phys. Lett.* **91** (2007) 231903. (BL 33-BM, APS)
4H-SiC(0001)ウェーハ中の転位を背面反射の単色X線トポグラフィで観察。1c らせん転位が円形の白コントラストのスポットとして観察され、2種類の基底面刃状転位の識別が可能であることを確認。
- 20) Y. Chen and M. Dudley : Direct determination of dislocation sense of closed-core threading screw dislocations using synchrotron white beam x-ray topography in 4H silicon carbide, *Appl. Phys. Lett.* **91** (2007) 141918. (X-19C, NSLS)
すれすれ入射の白色X線トポグラフィ(表面反射)で観察される 4H SiC の closed-core (転位芯に原子列が詰まっている)タイプの貫通らせん転位像をシミュレーション像と比較し、らせん転位のセンス(sense)を決定。
- 21) Y. Chen, G. Dhanaraj, M. Dudley, E. K. Sanchez and M. F. MacMillan : Sense determination of micropipes via grazing-incidence synchrotron white beam x-ray topography in 4H silicon carbide, *Appl. Phys. Lett.* **91** (2007) 071917. (X-19C, NSLS)
すれすれ入射の白色X線トポグラフィ(表面反射)で観察される 4H SiC のマイクロパイプ像をシミュレーション像と比較し、マイクロパイプのセンス(sense)を決定。
- 22) H. Tsuchida, I. Kamata and M. Nagano : Investigation of defect formation in 4H-SiC epitaxial growth by X-ray topography and defect selective etching, *J. Cryst. Growth* **306** (2007) 254. (BL16B2, SPring-8)
4H-SiC{0001}エピ成長における欠陥形成を、非対称反射を利用した単色X線トポグラフィ(ブラッグ・ケース)で観察し、KOHによる選択エッチ・パターンと対比。
- 23) D. Nakamura, S. Yamaguchi, I. Gunjishima, Y. Hirose and T. Kimoto : Topographic study of dislocation structure in hexagonal SiC single crystals with low dislocation density, *J. Cryst. Growth* **304** (2007) 57. (BL16B2 and BL20B2, SPring-8)
低転位密度の RAF 法 4 H-SiC 結晶の転位を、単色X線トポグラフィ(ラウエ・ケース[一部ブラッグ・ケース])で観察し、バーガース・ベクトルを決定。[論文 26)の詳報]
- 24) S. Yamaguchi, D. Nakamura, I. Gunjishima and Y. Hirose : Analysis of Dislocation Structures in Bulk SiC Single Crystal by Synchrotron X-ray Topography, *AIP Conference Proceedings* **879** (2007) 1550. (BL16B2 and BL20B2, SPring-8)
低転位密度の RAF 法 4 H-SiC 結晶の転位を、単色X線トポグラフィ(ラウエ・ケース[一部ブラッグ・ケース])で観察し、バーガース・ベクトルを決定。
- 25) J. M. Yi, Y. S. Chu, Y. Zhong, J. H. Je, Y. Hwu and G. Margaritondo : X-ray bright-field imaging analyzes crystalline quality and defects of SiC wafers, *J. Appl. Cryst.* **40** (2007) 376. (XOR2-BM, APS)

単色X線トポグラフィで4H-SiC結晶を透過回折が起る条件にしておいて、透過ビームの方を観察(bright-field imaging)。ベンド・コンターの他に、マイクロパイプ、サブ・バンダリーが見える。

- 26) W. M. Vetter and M. Dudley : The character of micropipes in silicon carbide crystals, *Phil. Mag.* **86** (2006) 1209. (X19-C, NSLS)
 白色X線トポグラフィ(背面反射と斜入射表面反射)で観察された4H-SiCのマイクロパイプ像をコンピュータでシミュレーション。いろいろなバーガス・ベクトルをもつと仮定した場合の像を計算している。
- 27) M. Dudley, J. Bai, X. Huang, W. M. Vetter, G. Dhanaraj and B. Raghochamachar : Synchrotron white beam X-ray topography, transmission electron microscopy and high-resolution X-ray diffraction studies of defects and strain relaxation processes in wide band gap semiconductor crystals and thin films, *Mat. Sci. Semi. Process.* **9** (2006) 315. (NSLS)
 ワイド・バンドギャップ半導体結晶および薄膜の欠陥に関する研究のレビューの中に、4H、6H-SiCの白色X線トポグラフィ(背面反射、透過)の紹介がある。
- 28) H. Tsuchida, I. Kamata, T. Miyanagi, T. Nakamura, K. Nakayama, R. Ishii and Y. Sugawara : *Jpn. J. Appl. Phys.* **44** (2005) L806. (BL16B2, SPring-8)
 単色X線トポグラフィ(非対称ブラッグ・ケース)で、4H-SiC基板上的エピタキシャル層の欠陥を観察し、エピ前の基板の欠陥と比較。
- 29) W. M. Vetter, H. Tsuchida, I. Kamata and M. Dudley : Simulation of threading dislocation images in X-ray topographs of silicon carbide homo-epilayers, *J. Appl. Cryst.* **38** (2005) 442. (BL16B2, SPring-8)
 単色X線トポグラフィ(すれすれ入射ブラッグ・ケース)で観察された4H-SiC基板上的エピタキシャル層へ貫通した転位像のコンピュータ・シミュレーション。
- 30) W. M. Vetter and M. Dudley : Characterization of defects in 3C-silicon carbide crystals, *J. Cryst. Growth* **260** (2004) 201. (X19-C, NSLS)
 3C-SiCの欠陥構造を白色X線トポグラフィ(透過)と実験室系逆格子マップ測定で調査。
- 31) T. Ohno, H. Yamaguchi, S. Kuroda, K. Kojima, T. Suzuki and K. Arai : Influence of growth conditions on basal plane dislocation in 4H-SiC epitaxial layer, *J. Cryst. Growth* **271** (2004) 1. (BL15C, PF)
 4H-SiCのエピタキシャル成長において、基板の基底面転位のエピ層への伝播に結晶成長の諸条件が及ぼす影響について、単色X線トポグラフィ(非対称表面反射)で調査。
- 32) T. Ohno, H. Yamaguchi, S. Kuroda, K. Kojima, T. Suzuki and K. Arai : Direct observation of dislocations propagated from 4H-SiC substrate to epitaxial layer by X-ray topography, *J. Cryst. Growth* **260** (2004) 209. (BL15C, PF)
 4H-SiC基板とエピタキシャル層の転位を単色X線トポグラフィ(非対称表面反射)で観察。基板の転位の種類によって、エピ層へ伝播するかしないかが決まる。
- 33) W. M. Vetter and M. Dudley : The contrast of inclusions compared with that of micropipes in back-reflection synchrotron white-beam topographs of SiC, *J. Appl. Cryst.* **37** (2004) 200. (X-19C, NSLS)
 背面反射ラウエ法で撮影した白色X線トポグラフィに見られる介在物のコントラストを、マイクロパイプ像と比較。
- 34) X. Ma, M. Dudley, W. Vetter and T. Sudarshan : Extended SiC Defects: Polarized Light Microscopy Delineation and Synchrotron White-Beam X-Ray Topography Ratification, *Jpn. J. Appl. Phys.* **42** (2003) L1077. (NSLS)
 偏光顕微鏡で観察される波状の欠陥イメージが、実はらせん転位であることを、白色X

線トポグラフィによって確認。

- 35) H. Jacobson, J. Birch, C. Hallin, A. Henry, R. Yakimova, T. Tuomi, E. Janzén and U. Lindefelt : Doping-induced strain in N-doped 4H-SiC crystals, *Appl. Phys. Lett.* **82** (2003) 3689. (HASYLAB)
高濃度 N ドーピングした 4H-SiC 基板に、低濃度 N をドーピングしたときのミスフィット転位の発生を、白色 X 線トポグラフィ(背面反射)で調べ、理論モデルからの予測と比較。
- 36) J. Härtwig, J. Baruchel, H. Kuhn, X.-R. Huang, M. Dudley and E. Pernot : X-ray “magnifying” imaging investigation of giant Burgers vector micropipe-dislocations in 4H-SiC, *Nucl. Instr. and Meth. B* **200** (2003) 323. (ID19, ESRF)
白色 X 線トポグラフィ(透過および背面反射)において、試料 - フィルム間距離を数メートルまで変化させて、4H-SiC のバーガース・ベクトルの大きいマイクロパイプ(らせん)転位を観察。
- 37) W. M. Vetter, J. Q. Liu, M. Dudley, M. Skowronski, H. Lendenmann and C. Hallin : Dislocation loops formed during the degradation of forward-biased 4H-SiC p-n junctions, *Mater. Sci. Eng. B* **98** (2003) 220. (X19-C, NSLS)
4H-SiC ウェーハに作られた p-n ダイオードの劣化中に形成される積層欠陥と境を接する部分転位の構造が、白色 X 線トポグラフィ(透過)で決定された。
- 38) H. Jacobson, R. Yakimova, M. Syväjärvi, A. Kakanakova-Georgieva, T. Tuomi and E. Janzén : Structural impact of LPE buffer layer on sublimation grown 4H-SiC epilayers, *J. Cryst. Growth* **256** (2003) 276. (F1, DORIS III, HASYLAB-DESY)
液相エピによるバッファ層をつけた後、昇華法でエピ成長させた 4H-SiC エピ膜の欠陥を、白色 X 線トポグラフィ(背面反射)などで解析。
- 39) M. Dudley, X.-R. Huang and W. M. Vetter : Contribution of x-ray topography and high-resolution diffraction to the study of defects in SiC, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **36** (2003) A30. (X-19C, NSLS)
SiC バルクおよび薄膜の評価に用いる放射光白色 X 線トポグラフィに関するいろいろなテクニックの短いレビュー。
- 40) U. Zimmermann, J. Österman, D. Kuylenstierna, A. Hallén, A. O. Konstantinov, W. M. Vetter and M. Dudley : Material defects in 4H-silicon carbide diodes, *J. Appl. Phys.* **93** (2003) 611. (X-19C, NSLS)
白色 X 線トポグラフィ(背面反射)、SEM-EBIC、光顕、EL で観察された 4H-SiC ダイオードの結晶欠陥と電気特性の関連を調べた。欠陥を含むダイオードは、逆方向耐圧が著しく低下する。
- 41) P. O. Å. Persson, L. Hultman, H. Jacobson, J. P. Bergman, E. Janzén, J. M. Molina-Aldareguia, W. J. Clegg and T. Tuomi : Structural defects in electrically degraded 4H-SiC p⁺/n⁻/n⁺ diodes, *Appl. Phys. Lett.* **80** (2002) 4852. (HASYLAB)
4H-SiC pin ダイオードを長期間動作させたときに時折発生する三角形状の欠陥の構造と形成機構を、白色 X 線トポグラフィ(背面反射)、SEM、CL、TEM で調べたもの。
- 42) P. G. Neudeck, J. A. Powell, G. M. Beheim, E. L. Benavage, P. B. Abai, A. J. Trunek, D. J. Spry, M. Dudley and W. M. Vetter : Enlargement of step-free SiC surfaces by homoepitaxial web growth of thin SiC cantilevers, *J. Appl. Phys.* **92** (2002) 2391. (X-19C, NSLS)
4H と 6H-SiC ウェーハ表面にリアクティブ・イオン・エッチングでメサ構造を作って、ホモエピタキシーしたときに生じる沿面成長(ウェーブ成長)によるカンチレバー状の薄板結晶の性状について報告。光顕、白色 X 線トポグラフィ(背面反射)、AFM でウェーブ領域を調べ、マイクロパイプ、らせん転位の伝播が止まることを確認している。

- 43) S. Ha, M. Skowronski, W. M. Vetter and M. Dudley : Basal plane slip and formation of mixed-tilt boundaries in sublimation-grown hexagonal polytype silicon carbide single crystals, *J. Appl. Phys.* **92** (2002) 778. (X19-C, NSLS)
昇華法で育成した 4H ポリタイプ SiC ウェーハに存在する基底面転位の分布、小傾角境界の構造を光顕、放射光白色 X 線トポグラフィ(透過)、実験室系高分解能 X 線回折で調査。
- 44) H. Jacobson, J. Birch, R. Yakimova, M. Syväjärvi, J. P. Bergman, A. Ellison, T. Tuomi and E. Jánzén : Dislocation evolution in 4H-SiC epitaxial layers, *J. Appl. Phys.* **91** (2002) 6354. (HASLAB)
4H-SiC ウェーハと昇華法で成長させたエピタキシャル層の結晶性を、実験室系高分解能 X 線回折と放射光白色 X 線トポグラフィ(背面反射)で調べた。トポグラフィでは、バルク中の c 軸に沿う貫通刃状転位がエピ層ではズレを起こすことを示した。
- 45) M. Dudley, W. M. Vetter and P. G. Neudeck : Polytype identification in heteroepitaxial 3C-SiC grown on 4H-SiC mesas using synchrotron white beam X-ray topography, *J. Cryst. Growth* **240** (2002) 22. (X-19C, NSLS)
白色 X 線トポグラフィ(背面反射、透過)等の手法を用いて、4C-SiC のメサ構造上に成長させた 3C-SiC ヘテロエピ膜における欠陥とポリタイプの分布を研究。
- 46) T. A. Kuhr, E. K. Sanches and M. Skowronski : Hexagonal voids and the formation of micropipes during SiC sublimation growth, *J. Appl. Phys.* **89** (2001) 4625. (X19-C, NSLS)
昇華法で育成した 4H および 6H-SiC 結晶中に観察される六角形のボイドを、光顕、AFM、SEM、KOH エッチ、白色 X 線トポグラフィ(背面反射)で調べた。X 線トポグラフィでは、ボイドの上の部分にはらせん転位がランダムに分布するが、ボイドの直下の部分にはらせん転位が存在しないことが分かった。
- 47) W. M. Vetter, W. Huang, P. Neudeck, J. A. Powell and Michael Dudley : Synchrotron white-beam topographic studies of 2H-SiC crystals, *J. Cryst. Growth* **224** (2001) 269. (X-19C, NSLS)
メチルトリクロロシランの熱分解法で育成した 2H-SiC 結晶を、白色 X 線トポグラフィ(透過)で観察し、スパイラル成長に係るらせん転位の証拠は見つからないと報告。
- 48) W. M. Vetter and M. Dudley : Partial dislocations in the X-ray topography of as-grown hexagonal silicon carbide crystals, *Mat. Sci. Eng. B* **87** (2001) 173. (X-19C, NSLS)
PVT(物理的気相輸送)法で作ったポリタイプ(4H, 6H)の SiC ウェーハと、レーリー法で作った 6H-SiC 単結晶片を、白色 X 線トポグラフィ(透過)と TEM で調べ、転位構造を解析。
- 49) E. Pernot, P. Pernot-Rejmánková, M. Anikin, B. Pelissier, C. Moulin and R. Madar : Structural defects in SiC ingots investigated by synchrotron diffraction imaging, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **34** (2001) A136. (ID19, ESRF)
改良型レーリー法で育成した 4H-SiC インゴットを、バルクのまま、白色 X 線セクション・トポグラフィ(透過)で観察。
- 50) W. M. Vetter and M. Dudley : X-ray topographic dislocation contrast visible in reflections orthogonal to the Burgers vectors of axial screw dislocations in hexagonal silicon carbide, *J. Appl. Cryst.* **34** (2001) 20. (X19-C, NSLS)
6H-SiC ウェーハを白色 X 線トポグラフィ(透過)で観察。超らせん転位の位置に表れる黒コントラストの成因を解析。

- 51) M. Tuominen, A. Ellison, T. Tuomi, R. Yakimova, S. Milita and E. Janzén : Nature and occurrence of defects in 6H-SiC Lely crystals, *J. Cryst. Growth* **225** (2001) 23. (ID19, ESRF)
レーリー法で育成した 6H-SiC 結晶中の欠陥を白色 X 線トポグラフィ(透過)で観察。追加として実験室系高分解能 X 線回折、化学エッチ法も併用。
- 52) J. Chaudhuri, K. Ignatiev, J. H. Edgar, Z. Y. Xie, Y. Gao and Z. Rek : Low temperature chemical vapor deposition of 3C-SiC on 6H-SiC—high resolution X-ray diffractometry and synchrotron X-ray topography study, *Mater. Sci. Eng.* **B76** (2000) 217. (2.2 & 7.2, SSRL)
6H-SiC 基板上に低温 CVD で成長させた 3C-SiC 薄膜を、実験室系高分解能 X 線回折、白色 X 線トポグラフィ(透過および背面反射)、単色 X 線トポグラフィ(斜入射非対称ブラッグ・ケース)で調べ、種々の結晶欠陥を観察。

[III-V compound]

- 1) A. Lankinen, L. Knuuttila, P. Kostamo, T. O. Tuomi, H. Lipsanen, P. J. McNally and L. O'Reilly : Synchrotron topography and X-ray diffraction study of GaInP layers grown on GaAs/Ge, *J. Cryst. Growth* **311** (2009) 4619. (F1, HASYLAB-DESY)
(001)6°-off Ge 基板に GaAs バッファを介して成長させた GaInP エピタキシャル層を、高分解 X 線回折(実験室系)による逆格子マップと白色 X 線トポグラフィ(背面反射と透過)によるミスフィット転位の観察。
- 2) A. N. Danilewsky, A. Cröll, J. Tonn, M. Schweizer, S. Lauer, K. W. Benz, T. Tuomi, R. Rantamäki, P. McNally and J. Curley : Dislocations and dislocation reduction in space grown GaSb, *Cryst. Res. Technol.* **44** (2009) 1109. (F1, HASYLAB)
宇宙空間において、フローティング・ゾーン法およびフローティング溶液ゾーン法で育成した GaSb 結晶の転位の振舞いを、白色 X 線トポグラフィ(透過)で観察。
- 3) A. Rack, T. Weitkamp, S. B. Trabelsi, P. Modregger, A. Cecilia, T. dos Santos Rolo, T. Rack, D. Hass, R. Simon, R. Heldele, M. Schulz, B. Mayzel, A. N. Danilewsky, T. Waterstradt, W. Diete, H. Riesemeier, B. R. Müller and T. Baumbach : The micro-imaging station of the TopoTomo beamline at the ANKA synchrotron light source, *Nucl. Instr. and Meth.* **B267** (2009) 1978. (TopoTomo BL, ANKA)
ANKA 放射光施設で建設されたトポ・トモビームラインの実験ステーションの内容説明。白色 X 線位相コントラスト・マイクロトモグラフィ、白色 X 線トポグラフィ(透過、背面反射)が可能。GaSb の観察例あり。
- 4) H. Chen, G. Wang, M. Dudley, Z. Zhang, L. Wu, Y. Zhu, Z. Xu, J. H. Edgar and M. Kuball : Defect structures in B₁₂As₂ epitaxial layers grown on (0001) 6H-SiC, *J. Appl. Phys.* **103** (2008) 123508. (X19C, NSLS)
(0001)6H-SiC 基板上に B₁₂As₂ のエピタキシャル層を積み、白色 X 線トポグラフィと TEM を用いてマイクロ構造解析を行なった。ラウエ・パターンから基板とエピ層のエピタキシャル方位関係などを明らかにしている。
- 5) A. N. Danilewsky, A. Rack, J. Wittge, T. Weitkamp, R. Simon, H. Riesemeier and T. Baumbach : White beam synchrotron topography using a high resolution digital X-ray imaging detector, *Nucl. Instr. and Meth. B* **266** (2008) 2035. (TOPO-TOMO, ANKA)
ANKA の TOPO-TOMO ビームラインに設置したイメージング用検出器(蛍光体で光に変換後、レンズ系/ミラーを介して冷却 CCD に取り込む方式)の説明と、白色 X 線トポグラフィ(透過)による InP 結晶の欠陥観察のデモ。

- 6) P. Kostamo, A. Lankinen, T. O. Tuomi, A. Säynätjoki, H. Lipsanen, Y. Zhilyaev, L. Fedorov and T. Orlova : Synchrotron X-ray topography and electrical characterization of epitaxial GaAs p-i-n structures, Nucl. Instr. and Meth. **A 591** (2008) 192. (F1, DORIS, HASYLAB-DESY)
GaAs 基板の上に形成したエピタキシャル GaAs p-i-n 構造(粒子線検出器)の欠陥を白色 X 線トポグラフィ(背面反射および透過)で観察し、電気特性との関連を調べた。ミスフィット転位が多いと暗電流が増えることを確認。
- 7) R. Negishi, T. Fukamachi, M. Yoshizawa, K. Hirano and T. Kawamura : Observation of interference fringes due to lattice distortion by resonant scattering X-ray topography, phys. stat. sol. (a) **204** (2007) 2694. (PF)
GaAs の欠陥のまわりの格子歪みによって生じる干渉縞を、単色 X 線でラウエ・ケースの共鳴散乱トポグラフィで観察。欠陥が何かは同定されていない。
- 8) A. Lankinen, L. Knuutila, T. Tuomi, P. Kostamo, A. Säynätjoki, J. Riikonen, H. Lipsanen, P. J. McNally, X. Lu, H. Sipilä, S. Vaijärvi and D. Lumb : Synchrotron X-ray topography study of defects in epitaxial GaAs on high-quality Ge, Nucl. Instr. and Meth. A **563** (2006) 62. (F1, DORIS, HASYLAB-DESY)
高品質の Ge 基板上に、MOCVD 法でエピタキシャル成長させた GaAs 薄膜の転位を白色 X 線トポグラフィ(透過および背面反射)で観察。
- 9) A. Lankinen, T. Tuomi, J. Riikonen, L. Knuutila, H. Lipsanen, M. Sopanen, A. Danilewsky, P. J. McNally, L. O'Reilly, Y. Zhilyaev, L. Fedorov, H. Sipilä, S. Vaijärvi, R. Simon, D. Lumb and A. Owens : Synchrotron X-ray topographic study of dislocations and stacking faults in InAs, J. Cryst. Growth **283** (2005) 320. (TOPO, ANKA ; F1, DORIS III and BW1, HASYLAB-DESY)
エピタキシャル InAs 膜中の転位を、白色および準単色 X 線トポグラフィ(透過、背面反射)で観察し、バーガス・ベクトルを決定。積層欠陥像も観察。
- 10) D. Lübbert, C. Ferrari, P. Mikulik, P. Pernot, L. Helfen, N. Verdi, D. Korytár and T. Baumbach : Distribution and Burgers vectors of dislocations in semiconductor wafers investigated by rocking-curve imaging, J. Appl. Cryst. **38** (2005) 91. (ID19, ESRF)
ロッキングカーブ解析とデジタル単色 X 線トポグラフィ(ラウエ・ケース)を組み合わせた方法で、InP と GaAs ウェーハを例に、転位密度マップを得る方法を提案。
- 11) W. M. Vetter, R. Nagarajan, J. H. Edgar and M. Dudley : Double-positioning twinning in icosahedral B₁₂As₂ thin films grown by chemical vapor deposition, Materials Letters **58** (2004) 1331. (X19-C, NSLS)
放射光白色 X 線を用いて、二十面体構造をもつワイド・バンドギャップ半導体である B₁₂As₂ 膜のラウエ・パターンを調べ、6H-SiC 基板とのエピ関係、二重位置配置に起因する双晶形成を明らかにした。
- 12) R. Negishi, M. Yoshizawa, S. Zhou, I. Matsumoto, T. Fukamachi and T. Kawamura : Change of lattice distortion images in X-ray topography with resonant scattering in the Laue case, J. Synchrotron Rad. **11** (2004) 266. (BL15C, PF)
単色 X 線トポグラフィ(ラウエ・ケース)で、X 線エネルギーを Ga と As の K 吸収端近くにチューニングすることで、GaAs 結晶の格子欠陥像コントラストが変化することを観察[論文 18 と同じ内容]。
- 13) B. Raghathamachar, M. Dudley, J. C. Rojo, K. Morgan and L. J. Schowalter : X-ray characterization of bulk AlN single crystals grown by the sublimation technique, J.

- Cryst. Growth **250** (2003) 244. (X-19C, NSLS)
昇華法で育成された AlN 基板を、白色 X 線トポグラフィ(透過)で調べ、スリップ・バンド、転位、不純物の介在物を観察。
- 14) B. Raghathamachar, W. M. Vetter, M. Dudley, R. Dalmau, R. Schlessler, Z. Sitar, E. Michaels and J. W. Kolis : Synchrotron white beam topography characterization of physical vapor transport grown AlN and ammonothermal GaN, J. Cryst. Growth **246** (2002) 271. (X-19C, NSLS)
昇華法で育成した AlN 単結晶とアモノサーマル(ammonothermal)法で育成した GaN 単結晶を、白色 X 線トポグラフィ(透過)で観察。
- 15) J. H. Edgar, L. Liu, B. Liu, D. Zhuang, J. Chaudhuri, M. Kuball and S. Rajasingam : Bulk AlN crystal growth: self-seeding and seeding on 6H-SiC substrates, J. Cryst. Growth **246** (2002) 187. (SSRL)
AlN-SiC/6H-SiC コンポジット基板に成長させた AlN 結晶の転位密度を、白色 X 線トポグラフィ(透過)で決定したとの記述がある。
- 16) W. M. Chen, P. J. McNally, K. Jacobs, T. Tuomi, A. N. Danilewsky, Z. R. Zytkeiwicz, D. Lowney, J. Kanatharana, L. Knuuttila and J. Riikonen : Determination of crystal misorientation in epitaxial lateral overgrowth of GaN, J. Cryst. Growth **243** (2002) 94. (DORIS III, HASYLAB-DESY)
サファイア上へ GaN を ELO (epitaxial lateral overgrowth)したときに起る結晶方位のズレを、白色 X 線セクション・トポグラフィ(透過)で調べた。
- 17) T. Tuomi, L. Knuuttila, J. Riikonen, P. J. McNally, W.-M. Chen, J. Kanatharana, M. Neubert and P. Rudolph : Synchrotron X-ray topography of undoped VCz GaAs crystals, J. Cryst. Growth **237-239** (2002) 350. (HASYLAB-DESY)
蒸気圧制御 CZ 法で育成した半絶縁性 GaAs 単結晶で発生する欠陥構造を、白色 X 線トポグラフィ(透過、セクション)で観察して解析。
- 18) R. Negishi, M. Yoshizawa, S. Zhou, I. Matsumoto, T. Fukamachi and T. Kawamura : Image Contrast of Lattice Defects in X-Ray Topography by Resonant Scattering, Jpn. J. Appl. Phys. **40** (2001) L884. (BL-15C, PF)
単色 X 線トポグラフィ(ラウエ・ケース)で、X 線エネルギーを Ga と As の K 吸収端近くにチューニングすると、GaAs 結晶の格子欠陥像コントラストが変化することを速報。
- 19) K. Wieteska, W. Wierzchowski, W. Graeff and A. Tuross : Application of Bragg-case section topography for strain profile determination in $A^{III}B^V$ implanted semiconductors, J. Phys. D: Appl. Phys. **34** (2001) A122. (HASYLAB-DESY)
1.5 MeV の Se イオンを注入した GaAs の歪みプロファイルの決定に、白色 X 線を用いたブラッグ・ケースのセクション・トポグラフィを応用。
- 20) A. Mazuelas, M. L. Dotor, D. Golmayo, U. Zeimer, T. Baumbach, D. Luebbert, J. Grenzer and J. Baruchel : Observation of dislocation generation in highly strained quantum well lasers during operation, J. Phys. D: Appl. Phys. **34** (2001) A117. (ID19, ESRF)
ミスフィット転位の形成による GaAs 系の量子井戸レーザの劣化を調べるため、レーザ動作させながら、単色 X 線トポグラフィ(ブラッグ・ケース)とロッキングカーブ測定を行なった。
- 21) B. K. Tanner, P. J. Parbrook, C. R. Whitehouse, A. M. Keir, A. D. Johnson, J. Jones, D. Wallis, L. M. Smith, B. Lunn and J. H. C. Hogg : *In situ* x-ray topography measurement of the growth temperature dependence of the critical thickness of epitaxial InGaAs on GaAs, J. Phys. D: Appl. Phys. **34** (2001) A109. (BM5, ESRF)
GaAs 基板に $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 層を MBE でエピタキシャル成長させながら、イン・サイチ

ユで高分解能の単色X線トポグラフィ(ブラッグ・ケース)観察を行い、ミスフィット転位が発生する臨界厚さを決定。

- 22) P. Möck : Analysis of thermal-treatment-induced dislocation bundles in GaAs wafers by means of X-ray transmission topography and complementary methods, *J. Appl. Phys.* **34** (2001) 65. (SRS/Daresbury)
GaAs 基板に III-V 化合物層を MBE 成長させたとき、基板に生じるスリップ転位を、異常透過条件下での白色X線トポグラフィ(透過配置)を用いて観察 [論文 23) と同じ]。より詳しいデータと解析が載っている。
- 23) P. Möck : Slip in GaAs substrates during molecular beam epitaxial growth: an X-ray topographic survey, *J. Cryst. Growth* **224** (2001) 11. (7.6, SRS/Daresbury)
GaAs 基板に III-V 化合物層を MBE 成長させたとき、基板に生じるスリップ転位を、異常透過条件下での白色X線トポグラフィ(透過)と追加的に単色X線トポグラフィ(ブラッグ・ケース)を用いて観察。
- 24) P. Möck and G. W. Smith : How to Avoid Plastic Deformation in GaAs Wafers during Molecular Beam Epitaxial Growth, *Cryst. Res. Technol.* **35** (2000) 541. (SRS/Daresbury)
GaAs 基板の上に MBE でエピタキシャル層を成長させたときに生じる基板の塑性変形を白色X線トポグラフィ(透過)で調べ、その改善策を議論。
- 25) M. Herms, M. Fukuzawa, V. G. Melov, J. Schreiber, P. Möck and M. Yamada : Residual strain in annealed GaAs single-crystal wafers as determined by scanning infrared polariscopy, X-ray diffraction and topography, *J. Cryst. Growth* **210** (2000) 172. (7.6, SRS-Daresbury)
LEC 法 GaAs ウェーハをアニールしたときの残留歪みを、走査型赤外偏光測定装置、実験室高分解X線回折装置で測定した際に、放射光白色トポグラフィ(透過)でも、定性的な歪み分布の評価を行っている。
- 26) J. Chaudhuri, C. Ignatiev, S. Stepanov, D. Tsvetkov, A. Cherenkov, V. Dmitriev and Z. Rek : High quality GaN layers grown by hydride vapor phase epitaxy— a high resolution X-ray diffractometry and synchrotron X-ray topography study, *Mat. Sci. Eng. B* **78** (2000) 22. (BL2.2 and BL7.2, SSRL)
6H-SiC 基板にハイドライド VPE 法でエピタキシャル成長させた GaN 層を、実験室系の高分解能回折計と放射光による透過および背面反射の白色X線トポグラフィ、単色X線トポグラフィで評価。トポグラフィでは、主に基板の欠陥が観察されている。

[II-VI compound]

- 1) K. Mizuno, T. Kobayashi, F. Fujiki, H. Okamoto, P. Prete and N. Lovergine : Assessment of heteroepitaxial ZnSe layers on GaAs by means of grazing incident X-ray topography, *Physica B* **376-377** (2006) 782. (BL-15C, PF)
GaAs 基板上に MOVPE でエピタキシャル成長させた ZnSe 層の結晶完全性を、後段にアナライザを備えた単色X線トポグラフィ(すれすれ入射ブラッグ・ケース)で調査。
- 2) K. Mizuno, T. Kobayashi, K. Morikawa, H. Okamoto and Toshiaki Asahi : Characterization of VGFB-grown ZnTe single crystals by means of synchrotron X-ray topo-tomographic technique, *J. Cryst. Growth* **292** (2006) 538. (BL-15B1, PF)
垂直勾配凝固ブリッジマン法で成長させた ZnTe 単結晶を白色X線トポ・トモグラフィで三次元観察し、双晶構造を明らかにした。

- 3) K. Mizuno, F. Fujiki, H. Okamoto, P. Prete and N. Lovergine : Grazing Incident X-Ray Topographs of Heteroepitaxial ZnSe Films on GaAs Substrates, *Jpn. J. Appl. Phys.* **43** (2004) L321. (BL-15C, PF)
GaAs 基板の上にヘテロエピされた ZnSe 膜の結晶完全性を、単色 X 線を用いたすれすれ入射の非対称ブラッグ・ケースで観察。
- 4) W. Palosz, K. Graszka, K. Durose, D. P. Halliday, N. M. Boyall, M. Dudley, B. Raghathamachar and L. Cai : The effect of the wall contact and post-growth cool-down on defects in CdTe crystals grown by 'contactless' physical vapour transport, *J. Cryst. Growth* **254** (2003) 316. (記述なし。多分 NSLS)
アンブル壁に接触させずに PVT 法成長させた CdTe 結晶を白色 X 線トポグラフィ(背面反射)等で調べ、成長後冷却速度の転位密度への影響を明らかにした。
- 5) A. N. Danilewsky, R. Simon, A. Fauler, M. Fiederle and K. W. Benz : White beam X-ray topography at the synchrotron light source ANKA, Research Centre Karlsruhe, *Nucl. Instr. and Meth. B* **199** (2003) 71. (TOPO, ANKA)
放射光施設 ANKA(ドイツ)における白色 X 線トポグラフィ(透過、背面反射)の初期の実験例を紹介。CdTe デバイス(検出器)の観察のほか、GaSb, InP といった III-V compound の例も出ている。

[酸化物系]

- 1) T. Ozaki, K. Kusunose, H. Yamaguchi, K. Kajiwara and Y. Chikaura : Spontaneous strain of conductive strontium titanate $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{TiO}_3$ measured by using X-ray topographic domain contrast, *Phase Transitions* **84** (2011) 837. (BL28B2, SPring-8)
 $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{TiO}_3$ の構造相転移における自発歪みを、低温の白色 X 線トポグラフィ(透過)で観測されるドメインのコントラストから測定。
- 2) D.-G. Zhong, T. Bing, Z.-H. Yu, S.-H. Wang X.-J. Jiang, L.-X. He and W.-X. Huang : Investigation on the regeneration of Z-cut KDP crystals, *Cryst. Res. Technol.* **46** (2011) 911. (BSRL)
KDP の Z カット面上に再成長させた表面薄膜層の結晶完全性を、実験室系高分解能 X 線回折、放射光白色 X 線トポグラフィ(透過)で調査。
- 3) F. Masiello, T. A. Lafford, P. Pernot, J. Baruchel, D. S. Keeble, P. A. Thomas, A. Zukauskas, G. Stromqvist F. Laurell and C. Canalias : Investigation by coherent X-ray section topography of ferroelectric domain behaviour as a function of temperature in periodically poled Rb:KTP, *J. Appl. Cryst.* **44** (2011) 462. (BM05, ESRF)
周期的に分極させた Rb:KTP の強誘電ドメインが、キュリー温度近くの高温度状態でどのように振舞うかを、白色 X 線のセクショントポグラフィ(透過)で観察。
- 4) B. Raghathamachar, J. J. Carvajal, M. C. Pujol, X. Mateos, R. Sole, M. Aguilo, F. Diaz and M. Dudley : Synchrotron X-Ray Topography Study of Structural Defects and Starain in Epitaxial Structures of Yb- and Tm-Doped Potassium Rare-Earth Double Tungstates and Their Influence on Laser Performance, *J. Electron. Mater.* **39** (2010) 823. (X-19C, NSLS)
固体レーザ用の $\text{KRE}(\text{WO}_4)_2$, RE=Y, Lu, Yb; KREW 単結晶と Yb および Tm ドープエピタキシャル層の結晶欠陥と歪みを、白色 X 線トポグラフィ(透過および背面反射)で観察。

- 5) A. Malinowska, M. Lefeld-Sosnowska, K. Wieteska, W. Wierzchowski, J. Härtwig and W. Graeff : Synchrotron topographic studies of growth defects in the core of a SrLaGaO₄ single crystal, *phys. stat. sol. (a)* **206** (2009) 1816. (ID19, ESRF; F1 and E2, HASYLAB)
SrLaGaO₄ 単結晶のコア部分に存在する成長欠陥を、実験室系と放射光白色(背面反射、透過)および単色 X 線(ブラッグ・ケース)トポグラフィで観察し、ロッド状欠陥に関連する格子変形も測定。
- 6) P. Pernot, B. Gorges, H. Vitoux, R. Kluender, F. Masiello and J. Baruchel : A furnace for coherent beam transmission topography applied to ferroelectric crystals, *phys. stat. sol. (a)* **206** (2009) 1880. (BM05, ESRF)
強誘電体結晶を高温 X 線トポグラフィで観察するための小型炉(ラウエ・ケース用)と白色 X 線トポグラフィによる BaTiO₃、LiNbO₃ の観察例について報告。
- 7) Z. De-Gao, T. Bing, W. Shu-Hua, J. Xue-Jun, Li Ming, H. Lin-Xiang and H. Wan-Xia : Growth and characterization of K_{1-x}(NH₄)_xH₂PO₄ mixed crystals onto z-cut point seeds, *Cryst. Res. Technol.* **44** (2009) 925. (BSRL)
Z カット面のポイント・シード結晶上に溶液成長させた K_{1-x}(NH₄)_xH₂PO₄ 混晶から切り出したスライスで白色 X 線トポグラフィ(透過)で調べ、内部応力、クラックを観察。
- 8) Z. De-Gao, T. Bing, D. Sheng-Ming, W. Qing-Guo, Z. Yan-Shuai, H. Wan-Xia and Y. Tao : Characterization of KDP crystal grown from solution with low pH value, *Cryst. Res. Technol.* **44** (2009) 500. (BSRL)
低 pH 値をもつ溶液から成長させた KDP 結晶を化学エッチ法、白色 X 線トポグラフィ(透過)で調べ、成長縞や介在物といった成長欠陥を観察。
- 9) J. Gronkowski, E. Wierzbicka, M. Lefeld-Sosnowska, J. Borowski and J. Härtwig : White-beam synchrotron-radiation and conventional X-ray topography of GdCa₄O(BO₃)₃:Y, *Rad. Phys. Chem.* **78** (2009) S58. (ID19, ESRF)
非線形光学結晶である Y ドープ GdCa₄O(BO₃)₃ 結晶の欠陥構造を、実験室系と放射光白色 X 線トポグラフィ(いずれも透過)で調べた。転位像のコントラストについて議論。
- 10) A. Malinowska, M. Lefeld-Sosnowska, K. Wieteska, W. Wierzchowski, W. Graeff and A. Pajaczkowska : X-ray topography of Ca_{0.5}Sr_{0.5}NdAlO₄ single crystal, *J. Cryst. Growth* **310** (2008) 3398. (F1 and E2, HASYLAB-DESY)
高温超電導体薄膜形成用の基板材料である Ca_{0.5}Sr_{0.5}NdAlO₄ 単結晶を、実験室系と放射光単色(ブラッグ・ケース)および白色 X 線(透過、背面反射)トポグラフィで調べた。成長縞に付随する格子変形に着目している。
- 11) Y. Yoneda, J. Mizuki, H. Takeda and T. Shiosaki : X-ray Topography of Piezoelectric La₃Ta_{0.5}Ga_{5.5}O₁₄ Crystal Grown by Czochralski Method, *IEEE Trans. Ultrasonics, Ferroelectrics, Freq. Control* **55** (2008) 971. (BL14B1, SPring-8)
チョクラスキー法で育成した La₃Ta_{0.5}Ga_{5.5}O₁₄ の結晶品質を単色 X 線トポグラフィ(ブラッグ・ケース)と実験室系二結晶法ロッキングカーブ測定で調査。
- 12) K. Kolodziejak, W. Wierzchowski, K. Wieteska, M. Malinowski, W. Graeff and T. Lukasiewicz : Investigation of structural perfection and faceting in highly Er-doped Yb₃Al₅O₁₂ crystals, *Cryst. Res. Technol.* **43** (2008) 369. (E2 and F1, HASYLAB)
Er ドープ Yb₃Al₅O₁₂ 結晶の完全性を、白色 X 線トポグラフィ(斜入射表面反射、透過)および単色 X 線トポグラフィ(ブラッグ・ケース)で調べた。成長縞とファセットが観察された。
- 13) J. Xiao, X. Zhang, P. Zhu, W. Huang and Q. Yuan : Synchrotron radiation topography study of temperature-induced phase transformation in unpoled

- 0.92Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O₃-0.008PbTiO₃ crystals, Solid State Comm. **148** (2008) 109. (4W1A, BSRL)
分極していない 0.92Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O₃-0.008PbTiO₃ 結晶の誘電体ドメインのダイナミックな振舞いを、高温イン・サイチュ白色X線トポグラフィ(透過)で観察。
- 14) P. Pernot and J. Baruchel : Pyroelectric-piezoelectric related enhancement of the domain contrast on topographs performed using a coherent X-ray beam in LiNbO₃ at low temperature, phys. stat. sol. (a) **204** (2007) 2700. (ID19, ESRF)
室温で周期的に分極した LiNbO₃ を低温にして、白色X線セクション・トポグラフィ(透過)で、逆ピエゾ効果による周期的な強いコントラストを観測。
- 15) D. Walker, P. A. Thomas, P. Pernot-Rejmánková and J. Baruchel : *In situ* investigation of the non-linear optical crystal rubidium titanyl arsenate, RbTiOAsO₄, under applied electric field using X-ray imaging, J. Appl. Cryst. **40** (2007) 505. (ID19, ESRF)
非線形光学結晶 RbTiOAsO₄(RTA)結晶の表面に周期的な電極を付け、イン・サイチュで白色X線セクション・トポグラフィ(透過)を行い、電場印加による周期構造を観察。次いで、単色X線を用いたイン・サイチュのセクション・トポグラフィ(ラウエ・ケース)により、表面近傍の歪み量を見積もった。
- 16) G. Dhanaraj, M. Dudley, D. Bliss, M. Callahan and M. Harris : Growth and process induced dislocations in zinc oxide crystals, J. Cryst. Growth **297** (2006) 74. (X-19C, NSLS)
熱水法で成長させた ZnO 単結晶の転位構造を白色X線トポグラフィ(透過)で観察。
- 17) L. Gao, X. B. Hu, J. Y. Wang, H. Liu, X. G. Xu, S. H. Yao, P. P. Zhu, Y. L. Tian and W. X. Huang : White-beam synchrotron topographic study of antiparallel 180° domains in near-stoichiometric LiNbO₃ grown from Li₂O-rich melt, J. Cryst. Growth **283** (2005) 409. (4W1A, BSRL)
ほぼストイキオメトリの組成をもつ LiNbO₃ を育成し、白色X線トポグラフィ(透過)を用いて研究。Nb の異常散乱を利用して 180° ドメインを観察した。
- 18) W. Wierzchowski, K. Wieteska, W. Graeff, H. Sakowska, T. Łukasiewicz and M. Pawłowska : Synchrotron X-ray investigation of La_{0.3}Sr_{0.7}Al_{0.65}Ta_{0.35}O₃ crystals, Cryst. Res. Technol. **40** (2005) 517. (F1 & E2, HASYLAB)
La_{0.3}Sr_{0.7}Al_{0.65}Ta_{0.35}O₃ 基板の成長縞などを、主に放射光白色X線(背面反射および透過)および単色X線トポグラフィ(ブラッグ・ケース)で調べた。追加的に実験室系ラング・トポグラフィ、二結晶トポグラフィも使用。
- 19) T. Ozaki, K. Kusunose, H. Sakaue, H. Okamoto, K. Kajiwara, Y. Suzuki and Y. Chikaura : White beam X-ray topographic measurement of spontaneous strain in strontium titanate, Nucl. Instr. and Meth. B **238** (2005) 255. (BL28B2, SPring-8)
SrTiO₃ の低温白色X線トポグラフィ(透過)で観察されるラメラ状のドメイン構造のコントラストから、ゾーン境界ソフトモード相転移における自発歪みを測定。
- 20) D. Walker, P. A. Thomas, Q. Jiang, P. Pernot-Rejmánková, J. Baruchel and T. Ayguavives : X-ray imaging investigation of periodically electroded rubidium titanyl arsenate, RbTiOAsO₄, under an applied electric field, J. Phys. D: Appl. Phys. **38** (2005) A55. (ID19, ESRF)
RbTiOAsO₄ 結晶の表面に周期的な電極を付け、イン・サイチュで白色X線セクション・トポグラフィ(透過)を行って、電場印加の効果調べたもの。
- 21) Y. Yoneda, J. Mizuki, Y. Kohmura, Y. Suzuki, S. Hamazaki and M. Takashige : X-Ray Topography on Domain-Controlled BaTiO₃ Crystals, Jpn. J. Appl. Phys. **43**

- (2004) 6821. (BL47XU, SPring-8)
純 BaTiO₃ と 0.5% Sr 置換した BaTiO₃ 単結晶におけるドメイン構造の違いを、偏光顕微鏡と単色 X 線トポグラフィ(ラウエ・ケース)で観察。
- 22) Y. Yoneda, Y. Kohmura, Y. Suzuki, S. Hamazaki and M. Takashige : X-Ray Diffraction Topography on a BaTiO₃ Crystal, J. Phys. Soc. Jpn. **73** (2004) 1050. (BL47XU, SPring-8)
単色 X 線トポグラフィ(ブラッグ・ケース)を用いて、BaTiO₃ の 90° ドメイン・ウォールと、試料に電場をかけたときの変化を観察。
- 23) D. Shilo and E. Zolotoyabko : Stroboscopic X-Ray Imaging of Vibrating Dislocations Excited by 0.58 GHz Phonons, Phys. Rev. Lett. **91** (2003) 115506. (ID19, ESRF)
LiNbO₃ における弾性表面波の伝播と個々の転位の相互作用を、単色 X 線ストロボ・トポグラフィ(ブラッグ・ケース)で調べ、転位が振動するのを観測した。
- 24) S. A. Schetinkin, E. Wheeler, V. V. Kvardakov, M. Schlenker and J. Baruchel : Observation of the phase coexistence in α -Fe₂O₃ at the Morin transition by synchrotron radiation white beam section topography, J. Phys. D: Appl. Phys. **36** (2003) A118. (ID19, ESRF)
 α -Fe₂O₃ のモーリン遷移における相の共存を、温度と磁場を変えた白色 X 線セクション・トポグラフィ(透過)で観察。
- 25) W. M. Chen, P. J. McNally, Yu. V. Shvyd'ko, T. Tuomi, A. N. Danilewsky and M. Lerche : Dislocation analysis for heat-exchanger method grown sapphire with white beam synchrotron X-ray topography, J. Cryst. Growth **252** (2003) 113. (F1, DORIS III, HASYLAB-DESY)
熱交換法で成長させたサファイア(α -Al₂O₃)を白色 X 線トポグラフィ(透過)で観察し、存在する転位の構造を決定。
- 26) C. K. Suzuki, A. H. Shinohara, C. Q. Hiramatsu, J. Yoshimura, J. B. Reid, K. Kajiwara and Y. Chikaura : High resolution X-ray Laue topography of thick quartz crystals at SPring-8, Nucl. Instr. and Meth. B **199** (2003) 85. (BL28B2, SPring-8)
6~30 mm 厚の水晶(α -SiO₂)を白色 X 線トポグラフィ(透過)で調べ、Z 板天然水晶の含有物、Y 板人工水晶の転位などを観察。
- 27) T. Ozaki, I. Fujimoto, K. Mizuno, S. Iida, K. Kajiwara, T. Taira, J. Yoshimura, T. Shimura and Y. Chikaura : Low temperature Laue topography of strontium titanate at SPring-8, Nucl. Instr. and Meth. B **199** (2003) 81. (BL28B2, SPring-8)
SrTiO₃ の白色 X 線トポグラフィ(透過)を、立方晶 - 正方晶相転移温度(105 K)の前後で実施し、低温側で白黒ストライプを示すドメイン境界を観察した。
- 28) T. Mitsui, Y. Imai and S. Kikuta : Stroboscopic topographies on iron borate crystal in 9.6 MHz rf magnetic field, Nucl. Instr. and Meth. B **199** (2003) 75. (BL-14B, PF)
磁気音響波(magnetoacoustic wave)の結晶変形へ及ぼす影響を、FeBO₃ 結晶の単色 X 線ストロボ・トポグラフィ(ブラッグ・ケース)で研究。
- 29) D. Shilo and E. Zolotoyabko : Visualization of surface acoustic wave scattering by dislocations, Ultrasonics **40** (2002) 921. (ID19, ESRF)
単色 X 線ストロボ・トポグラフィ(ブラッグ・ケース)で、LiNbO₃ における弾性表面波の伝播を可視化し、転位による散乱を観察、コントラストについて考察した。
- 30) Y. Epelboin and B. Capelle : Analysis of the Contrast of Piezoelectric Devices in Synchrotron Stroboscopic Section Topographs, Cryst. Res. Technol. **37** (2002) 676. (ID19, ESRF)

- 白色X線ストロボ・セクション・トポグラフィ(透過)で観察された、水晶(α -SiO₂)振動子の超音波伝播モードを示すコントラストを[論文: 36]、動力的回折理論によって説明し、結晶とX線フィルム間距離をパラメータに、シミュレーションを行なった。
- 31) J. Xiao, Y. Tian, W. Huang, Y. Hang and S. Yin : In situ observation of ferroelectric domain configurations in unpoled 0.92Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O₃-0.08PbTiO₃ crystals by synchrotron radiation topography, *Phys. Lett. A* **300** (2002) 456. (4W1A, BSRL)
分極していない PZT-8%PT 結晶の強誘電ドメイン構造と相転移を、イン・サイチュの高温白色 X 線トポグラフィ(透過)で観察。
- 32) C. Rinaudo, P. Orione and M. Causà : Verneil corundum: an integrated PBC and white beam synchrotron radiation X-ray topography analysis, *J. Cryst. Growth* **244** (2002) 53. (LURE-Orsay)
ベルヌーイ法で作ったコランダム(α -Al₂O₃)単結晶ボウルの割れを検討するため、多くの試料の白色 X 線トポグラフィ(透過)を撮影、PBC(periodic-bond-chain)解析を行なった。
- 33) W. M. Vetter, H. Totsuka, M. Dudley and B. Kahr : The perfection and defect structure of organic hourglass inclusion K₂SO₄ crystal, *J. Cryst. Growth* **241** (2002) 498. (X19-C, NSLS)
砂時計状の包有物を含む K₂SO₄ 結晶を、白色 X 線トポグラフィ(透過)と実験室系回折計による逆格子マップで研究。
- 34) N. Zaitseva, L. Carman, I. Smolsky : Habit control during rapid growth of KDP and DKDP crystals, *J. Cryst. Growth* **241** (2002) 363. (BL2-2, SSRL)
いろいろな晶癖をもつ KDP(KH₂PO₄)と DKDP(KD₂PO₄)結晶を、実験室系のラング法と放射光白色 X 線トポグラフィ(透過)で観察。
- 35) B. Teng, J. Wang, X. Cheng, Z. Wang, H. Jiang, S. Dong, Y. Liu and Z. Shao : Growth defects in BiB₃O₆ crystals observed with white-beam synchrotron topography, *J. Cryst. Growth* **235** (2002) 407. (BSRL)
BiB₃O₆ 結晶の成長欠陥を白色 X 線トポグラフィ(透過)と TEM で観察。結晶が褐色を示す領域の形成メカニズムを議論している。
- 36) B. Capelle, J. Détaint and Y. Epelboin : New contrasts of piezoelectric devices using synchrotron stroboscopic section topography at ESRF, *J. Appl. Cryst.* **34** (2001) 625. (ID19, ESRF)
水晶(α -SiO₂)振動子における超音波の伝播モードを、白色 X 線ストロボ・セクション・トポグラフィ(透過)で研究した。
- 37) Q. Yuan, C. Zhao, W. Luo, X. Yin, J. Xu and S. Pan : Crystal growth of β' -Gd₂(Mo₄)₃ and in situ observation of its domain structure by the microscope and the synchrotron X-ray topography, *J. Cryst. Growth* **233** (2001) 717. (4W1A, BSRL)
CZ 法で成長させた β' -Gd₂(Mo₄)₃ 結晶の誘電ドメイン構造を、分極電圧下、温度可変で、光学顕微鏡と白色 X 線トポグラフィ(透過)によるイン・サイチュ観察を行なった。
- 38) X. B. Hu, H. D. Jiang, H. Liu, S. S. Jiang, Q. Li, J. Y. Wang, C. Q. Zhang, B. Teng, Y. L. Tian and W. X. Huang : Observation of inhomogeneity in congruent LiTaO₃ crystal, *J. Cryst. Growth* **225** (2001) 6. (4W1A, BSRL)
コングルエント組成をもつ LiTaO₃ の不均一性を、白色 X 線トポグラフィ(透過)で観察。
- 39) N. Chrysanthakopoulos, M. Calamiotou, F. Lorut and J. Baruchel : Combined x-ray imaging and diffraction study of light-induced distortions in Fe:LiNbO₃, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **34** (2001) A163. (ID19, ESRF)
Fe をドーピングした LiNbO₃ の Z 板に、Xe アーク光を照射したときに生じる歪みを、白色 X 線トポグラフィ(ブラッグ・ケース)で、イン・サイチュ観測。

- 40) F. Heyroth, J. Zellner, H-R Höche, C. Eisenschmidt, E. Weckert and M. Drakopoulous : Pinhole topography in the three-beam case of x-ray diffraction—experiment and theory, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **34** (2001) A151. (ID19 and ID22, ESRF)
結晶内に 3 波が存在するとき(同時反射)のエネルギーの流れを、水晶(α -SiO₂)を試料にして、単色のピンホール・ビームを用いたトポグラフィ(ラウエ・ケース)で観察し、シミュレーションと比較。
- 41) E. Zolotoyabko, D. Shilo and E. Lakin : X-ray imaging of acoustic wave interaction with dislocations, *Mat. Sci. Eng. A* **309-310** (2001) 23. (ID19, ESRF)
LiNbO₃における表面弾性波の伝播を可視化するために、放射光のパルス性を利用した単色X線ストロボ・トポグラフィ(ブラッグ・ケース)を実施。転位との相互作用を観測。
- 42) P. Pernot-Rejmánková, P. A. Thomas, P. Cloetens, F. Lorut, J. Baruchel, Z. W. Hu, P. Urenski and G. Rosenman : Periodically poled KTA crystal investigated using coherent X-ray beams, *J. Appl. Cryst.* **33** (2000) 1149. (ID19, ESRF)
周期的に分極した KTA(KTiOAsO₄)単結晶のフェロエレクトリック・ドメインを、白色X線セクション・トポグラフィ(透過)で観察。
- 43) I. Matsouli, V. V. Kvardakov and J. Baruchel : Double-crystal diffraction imaging with a small effective divergence source: application to the magneto-acoustic vibrations in FeBO₃, *J. Appl. Cryst.* **33** (2000) 1051. (ID19, ESRF)
高周波磁場をかけることによって FeBO₃(111)結晶中に励起された超音波定在波を、単色X線トポグラフィ(ラウエ・ケース)で観測。
- 44) U. Alter and J. Härtwig : X-ray Topographic Investigation of Quartz Single Crystals at High Temperature, up to 1185°C, *Cryst. Res. Technol.* **35** (2000) 207. (ID19, ESRF)
水晶を 1185°C まで加熱しながら、イン・サイチュの白色X線トポグラフィ(透過)で構造変化を調べた。 α - β 相変化温度直下で、ドルフィネ双晶が形成されるのが見られたが、1180°C では水晶-クリストバライトの相変化は観察できなかった。

[ハロゲン化物、リン化物]

- 1) P. Kostamo, M. Shorohov, V. Gostilo, H. Sipilä, V. Kozlov, I. Lisitsky, M. Kuznetsov, A. Lankinen, A. N. Danilewsky, H. Lipsanen and M. Leskelä : Characterization of TlBr for X-ray and l-ray detector applications, *Nucl. Instr. and Meth. A* **607** (2009) 129. (Topo BL, ANKA)
X線、ガンマ線検出器用の TlBr の結晶品質を、実験室系X線回折(ロッキングカーブ測定と逆格子マップ)と放射光白色トポグラフィ(背面反射)で調べ、小傾角粒界の数と抵抗率に相関を見出した。
- 2) T. Mukaide, K. Kajiwara, T. Noma and K. Takada : Three-dimensional visualization of the inner structure of single crystals by step-scanning white X-ray section topography, *J. Synchrotron Rad.* **13** (2006) 484. (BL28B2, SPring-8)
ステップスキニング白色X線セクショントポグラフィで得た CaF₂ 単結晶のトポグラフィ画像データを再構成して、サブグレイン構造を三次元観察。
- 3) J. Baruchel, C. Medrano and M. Schlenker : Synchrotron radiation topographic study of the thick ferromagnetic-fan interface in MnP, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **38** (2005) A67. (ID19, ESRF)

MnP におけるフェロ磁性相とファン相の共存を、低温で磁場印加した白色X線(透過、セクション)および単色X線トポグラフィ(ラウエ・ケース) でイン・サイチュ観察。

- 4) J. Baruchel, P. C. de Camargo, H. Klein, I. Mazzaro, J. Nogues and A. De Oliveira : New possibilities of synchrotron radiation diffraction topography for the investigation of 'exotic' magnetic domains, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **34** (2001) A114. (ID19, ESRF)

ESRF で行なわれた、低温白色X線トポグラフィ(透過)による CoF_2 の 180° 反強磁性ドメインの観察、白色(透過)および単色X線(ブラッグ・ケース、サテライト反射)トポグラフィによる **Cr** の**スピン密度波ドメイン**の観察の報告。

- 5) J. Baruchel, E. Boller, J. I. Espeso, H. Klein, C. Medrano, J. Nogues, E. Pernot and M. Schlenker : Bragg-diffraction imaging of magnetic crystals with third-generation synchrotron radiation, *J. Magn. Mater.* **233** (2001) 38. (ID19, ESRF)

ESRF の ID19 で行われた磁性体単結晶のトポグラフィのサーベイ。方法は、白色(透過)または単色X線(ラウエ・ケース)を用いたセクションおよびプロジェクト・トポグラフィ。MnP の磁気共存相、 CoF_2 の反強磁性ドメインの他、**マグネタイト Fe_3O_4** の低温相、**ヘマタイト $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$** の異常磁化プロセス、 **$\text{FeBO}_3$** の磁気弾性共鳴(磁場印加)[いずれも白色X線トポ]の観察例がある。

[金属]

- 1) A. Buffet, G. Reinhart, T. Schenk, H. Nguyen-Thi, J. Gastaldi, N. Mangelinck-Noël, H. Jung, J. Härtwig, J. Baruchel and B. Billia : Real-time and in situ solidification of Al-based alloys investigated by synchrotron radiation: a unique experimental set-up combining radiography and topography techniques, *phys. stat. sol. (a)* **204** (2007) 2721. (ID19, ESRF)

ラジオグラフィと白色X線トポグラフィを結合した実験装置を用いて、Al-ベースの合金の固化現象をイン・サイチュで観察。

- 2) W. Ludwig, E. M. Lauridsen, S. Schmidt, H. F. Poulsen and J. Baruchel : High-resolution three-dimensional mapping of individual grains in polycrystals by topotomography, *J. Appl. Cryst.* **40** (2007) 905. (ID19, ESRF)

単色X線トポ・トモグラフィで、多結晶試料中のグレインの三次元形状を再構成する方法を開発し、アルミニウム合金の円筒形試料に適用。

- 3) K. Mizuno, S. Yamamoto, K. Morikawa, M. Kuga, H. Okamoto and E. Hashimoto : Vacancy generation mechanism at high temperatures in ultrahigh-purity aluminum single crystals with a low dislocation density, *J. Cryst. Growth* **275** (2005) e1697. (BL-15B1, PF)

低転位密度で超高純度のAl単結晶の高温における原子空孔発生メカニズムを、白色X線トポグラフィ(透過)で研究。室温から 300°C まで温度を上げてトポグラフを撮影。

- 4) M. Polcarová, P. Lejček, J. Brádler, V. Paidar and A. Jacques : Interaction of migrating grain boundaries with crystal defects: observation by *in situ* SR topography, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **38** (2005) A33. (ID19, ESRF)

Fe-Si バイ・クリスタル中で移動するグレイン・バウンダリーと小傾角サブ・バウンダリーの相互作用を、イン・サイチュの高温単色X線トポグラフィ(ラウエ・ケース)で観察。

- 5) A. R. Lang : Some Bristol-Prague explorations in x-ray topography, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **38** (2005) A1. (7.6, SRS-Daresbury)

Fe-Si 合金単結晶のトポグラフィ研究のサーベイ。殆んどが実験室系であるが、放射光はレチクログラフィが紹介されている。

- 6) K. Mizuno, K. Morikawa, S. Yamamoto, M. Kuga, H. Okamoto and E. Hashimoto : New Vacancy Source in Ultrahigh-Purity Aluminum Single Crystals with a Low Dislocation Density, *J. Phys. Soc. Jpn.* **73** (2004) 1101. (BL-15B1, PF)
低転位密度の超高純度 Al 単結晶を、高温(300°C)の白色 X 線トポグラフィ(透過)で観察し、新しい空孔発生プロセスを見出した。
- 7) A. Jacques, A. George, M. Polcarová and J. Bradler : Dislocation transmission through a $\Sigma=3$ grain boundary in Fe 6 at.% Si: In situ experiments in compression specimen, *Nucl. Instr. and Meth. B* **200** (2003) 261. (ID19, ESRF)
Fe 6% at.% Si バイ・クリスタルを用いて、圧縮応力下でスリップ・バンドがグレイン・バウンダリーを通過するかどうかを、イン・サイチュの単色 X 線トポグラフィ(ラウエ・ケース)で観察。
- 8) M. Polcarová, J. Brádler, A. Jacques, P. Lejček, A. George and O. Ferry : *In situ* observation of grain boundary migration by synchrotron radiation topography, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **36** (2003) A98. (ID19, ESRF)
Fe-6at%Si のバイ・クリスタルにおけるグレイン・バウンダリーの移動を、高温イン・サイチュ単色 X 線トポグラフィ(ラウエ・ケース)で観察。
- 9) K. Mizuno, S. Yamamoto, H. Okamoto, M. Kuga and E. Hashimoto : Ultrahigh-purity aluminum single crystals with a low dislocation density grown by strain-annealing method, *J. Cryst. Growth* (2002) 367. (BL-15B1, PF)
歪み焼鈍法で成長させた低転位密度の超高純度 Al 単結晶を、リング法と放射光白色トポグラフィ(透過)で調べ、転位の数、バーガース・ベクトルを決定。
- 10) K. Mizuno, S. Nagai, A. Tamiya, Y. Noda, K. Ito, M. Iwami, M. Kunimoto and T. Kino: Indistinct Defect Images in Topographs of Nearly Perfect Aluminum Crystals Just Prior to Appearance of Dislocation Loops, *J. Phys. Soc. Jap.* **69** (2000) 1271. (BL-15B, PF)
低転位密度の Al 単結晶を 295°C あるいは 200°C に保って転位ループの形成過程を、イン・サイチュ白色 X 線トポグラフィ(ラウエ・ケース)で調べたところ、ループの出現直前に、ぼんやりとした欠陥像が現れた。格子間原子あるいは空孔のクラスタリングと推定。

[固体 He]

- 1) I. Iwasa : Dislocation image on x-ray topographs within kinematical theory, *Phys. Rev. B* **66** (2002) 144111. (BL-15B, PF)
運動学的回折理論の範囲で X 線トポグラフィの転位像を計算し、極低温で観察される固体 He の白色 X 線トポグラフィ(透過)で観察されるサブ・バンドリーのコントラストを説明。

[氷]

- 1) M. Montagnat, J. Weiss, J. Chevy, P. Duval, H. Brunjail, P. Bastie and J. Gil Sevillano : The heterogeneous nature of slip in ice single crystals deformed under torsion, *Phil. Mag.* **86** (2006) 4259. (ID19, ESRF)
ねじり変形を加えた氷の単結晶を低温白色 X 線トポグラフィ(透過)で観察。トポグラフィの強度プロファイルから転位配列の不均一性を解析。

[グラファイト]

- 1) M. Ohler, M. Sanchez del Rio, A. Tuffanelli, M. Gambaccini, A. Taibi, A. Fantini and G. Pareschi : X-ray topographic determination of the granular structure in a graphite mosaic crystal: a three-dimensional reconstruction, *J. Appl. Cryst.* **33** (2000) 1023. (BM5, ESRF)

モザイク結晶である気相成長黒鉛の粒状構造を、単色X線トポグラフィ(ブラッグ・ケース)で観察。CCDで捉えたトポグラフの強度分布から、結晶粒の三次元再構成を行った。

[準結晶]

- 1) J. Gastaldi, G. Reinhart, H. Nguyen-Thi, N. Mangelinck-Noel, B. Billia, T. Schenk, J. Härtwig, B. Grushko, H. Klein, A. Buffet, J. Baruchel, H. Jung, P. Pino and B. Przepiarynski : *In situ* study of quasicrystal growth by synchrotron X-ray imaging, *Phil Mag.* **87** (2007) 3079. (ID19, ESRF; ELETTRA)

高温からの徐冷によるAlPdMn合金の固化過程で起きる準結晶グレインの成長する様子を、白色X線トポグラフィ(透過)と位相コントラスト・イメージングを組み合わせてイン・サイチュ観察。

- 2) B. Bauer, G. Meisterernst, J. Härtwig, T. Schenk and P. Gille : Czochralski growth and X-ray topographic characterization of decagonal AlCoNi quasicrystals, *Phil Mag.* **86** (2006) 317. (ESRF)

チョクラルスキー法で育成した正十角形のAlCoNi準結晶を、放射光単色X線トポグラフィ(ラウエ・ケース)と実験室系リング法トポグラフィで観察。

- 3) J. Gastaldi, T. Schenk, L. Mancini, H. Klein, J. Härtwig, S. Agliozzo, J. Baruchel and M. De Boissieu : Synchrotron X-ray diffractometry and imaging of strains and defects in icosahedral quasicrystal grains, *Phil Mag.* **86** (2006) 5897. (ID19, ESRF; ELETTRA)

Al-Pd-Mn合金の正二十面体準結晶グレインの歪みと欠陥を、単色X線トポグラフィ(ラウエ・ケース)、位相コントラスト・イメージング、高分解能X線回折で調査。

- 4) J. Gastaldi, S. Agliozzo, A. Létoublon, J. Wang, L. Mancini, H. Klein, J. Härtwig, J. Baruchel, I. R. Fisher, T. Sato, A. P. Tsai and A. M. De Boissieu : Degree of structural perfection of icosahedral quasicrystalline grains investigated by synchrotron X-ray diffractometry and imaging techniques, *Phil. Mag.* **83** (2003) 1. (ID19, ESRF)

種々の合金系で異なる徐冷固化法によって成長させた正二十面体準結晶グレインの完全性を、ロックンクカーブ測定、単色X線トポグラフィ(ラウエ・ケース)、位相コントラスト・イメージングで調べた報告。

- 5) J. Härtwig, S. Agliozzo, J. Baruchel, R. Colella, M. de Boissieu, J. Gastaldi, H. Klein, L. Mancini and J. Wang : Anomalous transmission of x-rays in quasicrystals, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **34** (2001) A103. (ID19, ESRF)

Al-Mn-Pd準結晶の1つのグレインでは、異常透過が起きることを、単色X線を用いたロックンクカーブ測定とトポグラフィ(ラウエ・ケース)で確認。

- 6) H. Klein, S. Agliozzo, L. Mancini, J. Gastaldi, J. Härtwig and J. Baruchel : The variation of quasicrystal defect contrast: how and why, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **34** (2001) A98. (ID19, ESRF)

白色X線トポグラフィ(透過)と単色X線トポグラフィ(ラウエ・ケース)を用い、二十面体構造をもつAl-Mn-Pd準結晶の1つのグレインにおける欠陥のコントラストを、試

料・検出器間距離を変えて観察。

- 7) L. Mancini, A. Létoublon, S. Agliozzo, J. Wang, J. Gastaldi, M. de Boissieu, J. Härtwig and H. Klein : Effect of annealing on the structural perfection of Al-Pd-Mn icosahedral quasicrystal grains, *Mat. Sci. Eng. A* **294-296** (2000) 57. (ID19, ESRF)

CZ法で育成したAl-Pd-Mn準結晶グレインの完全性に及ぼすアニールの影響を、ロッキングカーブ測定と、ラジオグラフィおよび単色X線トポグラフィ(ラウエ・ケース)によるイメージングを用いて調べた。

[タンパク質]

- 1) T. Sawaura, D. Fujii, M. Shen, Y. Yamamoto, K. Wako, K. Kojima and M. Tachibana : Characterization of dislocations in monoclinic hen egg-white lysozyme crystals by synchrotron monochromatic-beam X-ray topography, *J. Cryst. Growth* **318** (2011) 1071. (BL15B1 and BL15C, PF)
単斜晶の卵白リゾチーム結晶を単色X線トポグラフィ(ラウエ・ケース)で観察し、ループ状転位の乗っている格子面やバーガース・ベクトルの方向を決定。
- 2) J. J. Lovelace and G. E. O. Borgstahl : The use of orthogonal projection to visualize mosaic domains from topographic data collected on protein crystals, *J. Appl. Cryst.* **43** (2010) 907. (BioCARS, APS)
タンパク質結晶に関する単色X線トポグラフィ・データ(ラウエ・ケース)からモザイク・ドメインの大きさと形状を抽出する方法を提案。
- 3) Y. Mukobayashi, N. Kitajima, Y. Yamamoto, K. Kajiwara, H. Sugiyama, K. Hirano, K. Kojima and M. Tachibana : Observation of dislocations in hen egg-white lysozyme crystals by synchrotron monochromatic-beam X-ray topography, *phys. stat. sol. (a)* **206** (2009) 1825. (BL15B1 and BL15C, PF; BL28B2, SPring8)
正方晶と斜方晶の卵白リゾチーム結晶中の転位を単色X線トポグラフィ(ラウエ・ケース)で観察し、転位のタイプやバーガースベクトルの方向を明らかにした。
- 4) M. Koishi, N. Ohya, Y. Mukobayashi, H. Koizumi, K. Kojima and M. Tachibana : Observation of Clear Images of Dislocations in Protein Crystals by Synchrotron Monochromatic-Beam X-ray Topography, *Cryst. Growth Design* **7** (2007) 2182. (BL14B & BL15B1, PF; BL28B2, SPring-8)
卵白リゾチーム結晶(正方晶、斜方晶、単斜晶)の転位を、単色X線トポグラフィ(ラウエ・ケース)で観察すると、明瞭なイメージが観察できることを報告。
- 5) H. Koizumi, M. Tachibana, K. Kojima and I. Yonenaga : Dislocation structures in tetragonal hen egg-white lysozyme crystals using synchrotron white-beam topography, *Physica B* **401-402** (2007) 691. (BL15B1, PF ; BL28B2, SPring-8)
正方晶の卵白リゾチーム結晶を白色X線トポグラフィ(透過)で観察すると、 $\langle 110 \rangle$ 方向のバーガース・ベクトルをもたせぬ転位が支配的であった。この結果を、転位の弾性エネルギーに基づいて議論した。
- 6) H. Koizumi, M. Shimizu, M. Tachibana and K. Kojima : Characterization of dislocations in orthorhombic hen egg-white lysozyme crystals by synchrotron X-ray topography, *phys. stat. sol. (a)* **204** (2007) 2688. (BL15B1, PF)
斜方晶の卵白リゾチーム結晶を白色X線トポグラフィ(透過)で観察。転位のバーガース・ベクトルを決定。
- 7) J. J. Lovelace, C. R. Murphy, R. Murphy, R. Pahl, K. Brister and G. E. O. Borgstahl : Tracking reflections through cryogenic cooling with topography, *J.*

- Appl. Cryst. **39** (2006) 425. (14-BM-D, APS)
 高平行度の単色X線ビームを用い、反射プロファイル測定とトポグラフィ(ラウエ・ケース)によって、正方晶リゾチーム結晶のモザイク構造を調べ、クライオ冷却するとモザイシティが増大することを見出した。
- 8) H. Koizumi, M. Tachibana, I. Yoshizaki and K. Kojima : Analysis of dislocation images in X-ray topography of protein crystals: tetragonal hen egg-white lysozyme crystals, Phil. Mag. **85** (2005) 3709. (BL15B1, PF ; BL28B2, SPring-8)
 正方晶リゾチームの白色X線トポグラフィ(透過)における転位像の解析。
- 9) J. J. Lovelace, C. R. Murphy, H. D. Bellamy, K. Brister, R. Pahl and G. E. O. Borgstahl : Advances in digital topography for characterizing imperfections in protein crystals, J. Appl. Cryst. **38** (2005) 512. (14-BM-D, APS)
 ラウエ・パターンの多数の斑点をデジタル記録して、それらの微細構造を調べるデジタル白色X線トポグラフィを開発。室温と低温凍結した状態を比較。
- 10) Z. W. Hu, Y. S. Chu, B. Lai, B. R. Thomas and A. A. Chernov : Diffraction and imaging study of imperfections of crystallized lysozyme with coherent X-rays, Acta Cryst. D **60** (2004) 621. (XOR2-BM, APS)
 位相コントラスト・ラジオグラフィと、単色X線トポグラフィ(対称ラウエ・ケース)およびロッキング・カーブ測定を組み合わせて、正方晶の卵白リゾチーム結晶の欠陥と完全性を評価。
- 11) J. J. Lovelace, A. S. Soares, H. D. Bellarmy, R. M. Sweet, E. H. Snell and G. E. O. Borgstahl : First results of digital topography applied to macromolecular crystals, J. Appl. Cryst. **37** (2004) 481. (X26-C, NSLS)
 立方晶のインシュリン結晶の単色X線トポグラフ(ラウエ・ケース)を、デジタル CCD カメラで記録。記録されたトポグラフは、X線フィルムや写真乾板のように詳細ではないが、短時間で複雑な内部構造が分かる。
- 12) B. Capelle, Y. Epelboin, J. Härtwig, A. B. Moraleda, F. Otálora and V. Stojanoff : Characterization of dislocations in protein crystals by means of synchrotron double-crystal topography, J. Appl. Cryst. **37** (2004) 67. (ID19, ESRF)
 正方晶の卵白リゾチーム結晶を放射光X線二結晶トポグラフィ(ラウエ・ケース)で研究。転位、成長バンド、成長セクターの境界を観察している。
- 13) M. Tachibana, H. Koizumi, K. Izumi, K. Kajiwara and K. Kojima : Identification of dislocations in large tetragonal hen egg-white lysozyme crystals by synchrotron white-beam topography, J. Synchrotron Rad. **10** (2003) 416. (BL15B1, PF ; BL28B2, SPring-8)
 正方晶の卵白リゾチーム結晶を白色X線トポグラフィ(透過)で観察。支配的な転位は、 $\langle 110 \rangle$ 方向のバーガース・ベクトルをもたせぬ転位と同定。
- 14) D. T. Gallagher, C. Stover, D. Charlton, L. Arnowitz and D. R. Black : X-ray topography of microgravity-grown ribonuclease S crystals, J. Cryst. Growth **255** (2003) 403. (X23A3, NSLS)
 スペース・シャトルの中、すなわち微小重力環境で成長させたリボヌクレアーゼ S 結晶を単色X線トポグラフィ(ラウエ・ケース)で観察し、地上の実験室で成長させた結晶と比較。
- 15) C. Charron, A. Kadri, M.-C. Robert, R. Giegé and B. Lorber : Crystallization in the presence of glycerol displaces water molecules in the structure of thaumatin, Acta Cryst. D **58** (2002) 2060. (D25, LURE-Orsay)
 ナトリウム・タルトラート($\text{Na}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$)とグリセロールの存在下で結晶化させたタウ

マチン結晶の全般的な品質を、単色X線トポグラフィ(ラウエ・ケース)でチェック。

- 16) W. M. Vetter, D. T. Gallagher and M. Dudley : Synchrotron white-beam X-ray topography of ribonuclease S crystals, *Acta Cryst. D* **58** (2002) 579. (X19-C, NSLS)
 リボヌクレアーゼ S 結晶を白色X線トポグラフィ(透過)で観察。成長セクターのようなものが見える。
- 17) M. Tachibana and K. Kojima : Growth, defects and mechanical properties of protein single crystals, *Curr. Top. Cryst. Growth Res.* **6** (2002) 35. (BL15B1, PF ; BL28B2, SPring-8)
 正方晶リゾチームの結晶成長と白色X線トポグラフィ(透過)による評価の記述がある。
- 18) M. C. Robert, B. Capelle, B. Lorber and R. Giege : Influence of impurities on protein crystal perfection, *J. Cryst. Growth* **232** (2001) 489. (D25b, LURE-Orsay)
 タウマチン、卵白リゾチーム結晶を、単色X線トポグラフィ(ブラッグ・ケース)とロックングカーブ測定で評価。
- 19) T. J. Boggon, J. R. Helliwell, R. A. Judge, A. Olczak, D. P. Siddons, E. H. Snell and V. Stojanoff : Synchrotron X-ray reciprocal-space mapping, topography and diffraction resolution studies of macromolecular crystal quality, *Acta Cryst. D* **56** (2000) 868. (X26C, NSLS)
 微小重力環境下と地上で成長させた卵白リゾチームの結晶性を比較するために、リゾチーム結晶に単色X線を照射して、ラウエ・ケースでトポグラフを撮るとともに、逆格子マッピング(アナライザ使用)を行った。

[有機結晶]

- 1) S. Jo, H. Yoshikawa, A. Fujii and M. Takenaga : X-ray topography of polydiacetylene single crystals prepared by using physical vapor growth technique, *Appl. Surf. Sci.* **252** (2006) 7383. (BL28B2, SPring-8)
 PVD法で成長させたポリジアセチレン単結晶の欠陥を、白色X線トポグラフィ(透過)で観察。
- 2) B. D. Chapman, A. Checco, R. Pindak, T. Siegrist and C. Kloc : Dislocations and grain boundaries in semiconducting rubrene single-crystals, *J. Cryst. Growth* **290** (2006) 479. (X6B, NSLS)
 気相成長法で育成した薄膜状の有機半導体単結晶ルブレンの品質を、単色X線トポグラフィ(ラウエ・ケース)とロックングカーブ測定で評価。
- 3) W. Huang, W. Wang, M. Wang and Q. Yuan : Study of growth defects in benzophenone crystals, *J. Cryst. Growth* **274** (2005) 518. (BSRL)
 ベンゾフェノン(C₁₃H₁₀O)結晶中の欠陥(成長縞、転位、介在物、空洞)を白色X線トポグラフィ(透過)で観察。
- 4) N. Horiuchi, F. Lefauchaux, A. Ibanez, F. Lorut and J. Baruchel : X-ray characterization of an organic-inorganic solution grown crystal: case of 2-amino-5-nitropyridinium chloride, *J. Cryst. Growth* **262** (2004) 594. (ESRF)
 溶液成長させた 2A5NPCl 結晶を、白色X線を用いた透過ラウエ法の配置でトポグラフ撮影を行い、介在物、セクター境界等を観察。

以上