

X線トポグラフィの三次元化と応用

梶原堅太郎(JASRI)、向出大平(キャノン)、飯田敏(富山大)、川戸清爾(SAGA-LS)

通常のX線トポグラフィでは構造不均一の分布は二次元への投影像として観察されるが、三次元分布の観察方法も開発されている。本講演ではX線トポグラフィによる三次元観察技術を紹介するとともに、SPring-8のBL19B2およびBL28B2[1]で実施した観察例を報告する。

トポトモグラフィ手法を備えた白色X線トポグラフィ [2, 3]

CZシリコンのダッシュネッキング過程における転位の消滅機構を明らかにするために、トポトモグラフィ手法と白色X線トポグラフィ手法とを組み合わせた手法で、育成結晶ネック部の転位三次元分布を調査した[4]。トポトモグラフィ手法は、X線CTのように試料を回転させながらそれぞれの回転角度におけるX線トポグラフィ像を取得する方法であり、このとき回折ベクトルと回転軸を平行にすることで、試料を回転させても回折条件が常に満たされる。トポトモグラフィで転位の形状とすべり面を決定し、白色X線トポグラフィでバーガスベクトルを決定することができる。図1はBL28B2における実験装置の写真である。試料は[001]引き上げ、直胴部径2インチのシリコン結晶を用いた。001軸を回転軸として、試料を回転させながら、004回折トポグラフィを観察した。図2(a)は、トポトモグラフィで得られた004回折トポグラフィ像である。無転位化する直前では転位の多くは結晶表面に達することなく成長方向に凸な半ループ形状をして結晶内部に止まっていることが見て取れる。図2(b)は、白色X線トポグラフィで得られた111回折トポグラフィ像である。転位の消滅則から半ループ形状の転位線のバーガスベクトルの方位が $\langle 110 \rangle$ であることが分かった。

ステップスキャンニングセクショントポグラフィ [5, 6]

蛍石の光学特性の分布と結晶性の相関を明らかにするために、ステップスキャンニングセクショントポグラフィで、蛍石内部の亜粒界やすべり面の三次元分布を調査した。ステップスキャンニングセクショントポグラフィは、シート状のX線を試料に照射することで、入射X線の光路上の構造不均一を可視化することができる。このX線の光路からのX線トポグラフィ像が試料の一断面の構造不均一分布を示しており、試料を走査することで三次元の情報を得ることができる。試料は、ブリッジマン-ストックバーガー法により[111]方向に育成された蛍石であり、インゴットから切り出された直径30mmの円柱形状をしている。図3は、セクショントポグラフィ像を積み重ねて再構成した三次元トポグラフィ像であり、亜粒界などの構造不均一の三次元分布を示している。特にすべり面の分布は屈折率の分布と良く一致しており、屈折率の不均一は結晶構造の不均一によるものであることが分かった。

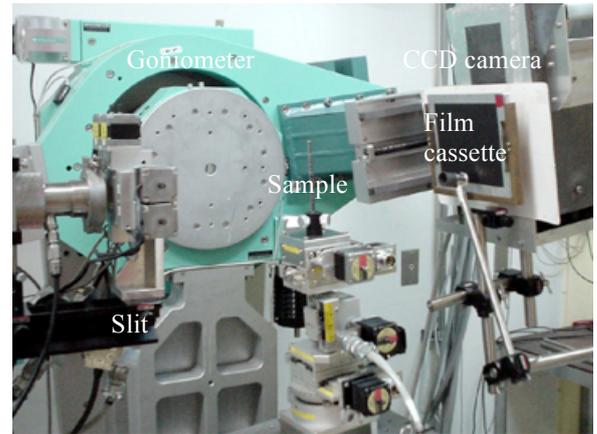


Fig.1 Equipment in BL28B2.

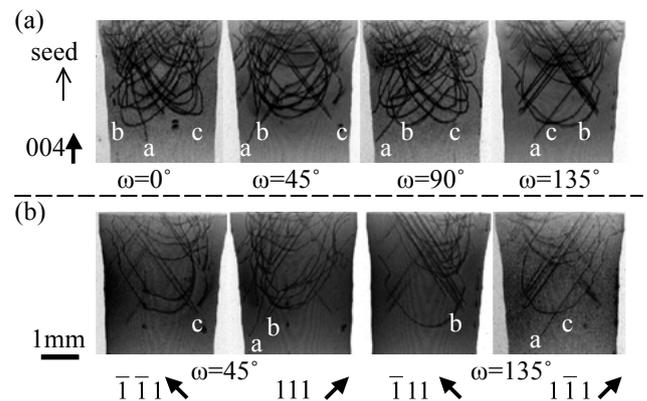


Fig.2 Dislocation images in Laue topographs of the neck of CZ silicon crystal using (a) (004) and (b) $\{111\}$ reflecting planes.

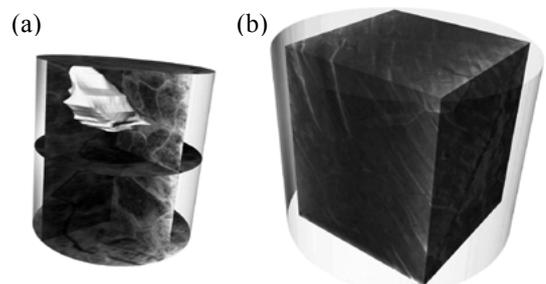


Fig.3 Three-dimensional reconstructed image of part of CaF_2 crystals from the section topographs. (a) 433 and (b) 111 reflections from the samples of diameter 30 mm and 60 mm, respectively.

- [1] Y. Chikaura et al.: J. Phys. D **34** (2001) A158–162.
- [2] S. Kawado et al.: J. Synchrotron Rad. **11** (2004) 304-308.
- [3] S. Kawado et al.: J. Phys. D **38** (2005) A17-A22.
- [4] W. Ludwig et al.: J. Appl. Cryst. **34** (2001) 602-607.
- [5] T. Mukaide et al.: J. Synchrotron Rad. **13** (2006) 484–488.
- [6] K. Kajiwarra et al.: Phys. Stat. Sol. (a) **204** (2007) 2682-2687.