

白色/単色 X 線トポグラフィーシステムの開発

石地耕太朗, 川戸清爾, 平井康晴
九州シンクロトロン光研究センター

白色 X 線トポグラフィーは結晶中の格子欠陥を観察する手法で、多くの回折斑点が得られるが、白色 X 線は格子歪みに鈍感で、歪み場の観察には単色 X 線が必要である。そこで、SAGA-LS の白色 X 線トポグラフィー装置に単色化機能を加え、新しく白色/単色 X 線トポグラフィーシステムへと発展させた。単色化機能として小型の Si チャンネルカットモノクロメーター(結晶面 111, 5~20 keV)を導入した。特徴として、短時間(約 10 分)で簡便に X 線を切り替えできる。モノクロメーター挿入・エネルギー変更により光路が変わるが、常に試料の同じ位置に照射できる制御システムを構築した。

X 線トポグラフィーによる SiC 結晶 004 回折斑点の欠陥分布像を示す。(a)白色 X 線、(b)単色 X 線である。いずれの像でも刃状・らせん転位などの欠陥が見られるが、(a)より(b)の方が高画質である。白黒コントラストも(b)の方が鮮明で、結晶の歪み場をはっきり捉えている。この結果から、単色 X 線トポグラフィーとしての性能は十分であることが分かった。白色 X 線・単色 X 線トポグラフィーは互いに相補的であり、本システムによって、より多くの情報を短時間に収集できる。

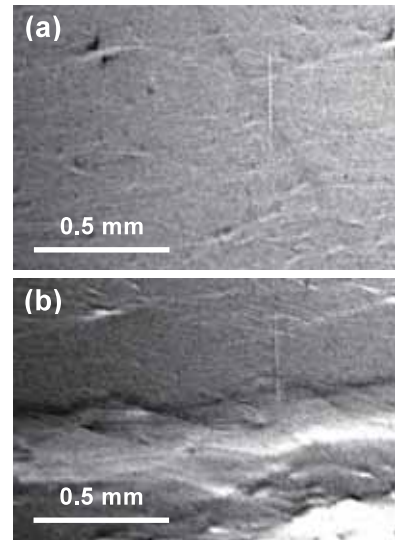


図 X 線トポグラフィーによる 4H-SiC 004 回折斑点の欠陥分布像。(a)白色 X 線、(b)単色 X 線。ブラッグ配置条件で単色 X 線のエネルギーは 12.9 keV、試料の同じ箇所を X 線フィルムで撮影。(a)から(b)の撮影までに要した時間は 10 分程度(現像処理時間除く)。

白色/単色X線トポグラフィーシステムの開発

石地耕太郎, 川戸清爾, 平井康晴
九州シンクロtron光研究センター

【はじめに】

X線トポグラフィーは結晶内の欠陥構造分布を視覚的に観察できる技術。X線トポグラフィーには白色X線と単色X線を用いる方法があるが、互いに得られる構造情報が異なるため一般に別々の手法と見なされることが多い。

- ・ **白色X線トポグラフィー**: 複数の回折斑点を捉えることができ、結晶内の欠陥の種類や導入方位が分かる。
 - ・ **単色X線トポグラフィー**: 1つの回折斑点しか観察できないが、高感度で格子歪みを捉えることが可能。
- しかし、得られる情報は相補的であり、同時にデータ収集できるシステムが必要。

SAGA-LSの白色X線トポグラフィー装置に単色化機能を付加し、新たに白色/単色X線トポグラフィーシステムを開発。そのシステムの性能評価のため、白色/単色X線トポグラフィー実験を行った。

【モノクロメーターの整備】

単色化機能として小型のSiチャンネルカットモノクロメーターを導入。結晶面は(111)、5~20 keVの仕様である。光路への退避/挿入で簡単に白色/単色X線変換可能。X線の切り替えで光路が変わるが、自動的に試料・検出器位置が調整されるので、照射位置は変わらない。X線の切替えは数分程度。



図1 Siチャンネルカットモノクロメーター

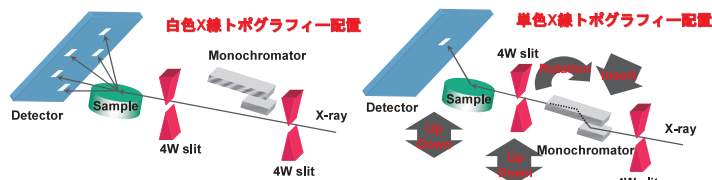


図2 白色X線トポグラフィー配置(左)と単色X線トポグラフィー配置(右)

【白色/単色X線トポグラフィーデモンストレーション】

4H-SiC 004回折斑点(プラグ配置: 入射光角度 $\theta = 3^\circ$)の同一箇所の白色/単色X線トポグラフィーによる欠陥分布像を図3に示す。(a)は平面的であったのに対し、(b)は鮮明で、高画質。ただし、マイクロパイブを捉えるためには歪みに鈍感な白色X線の方が分かりやすい。

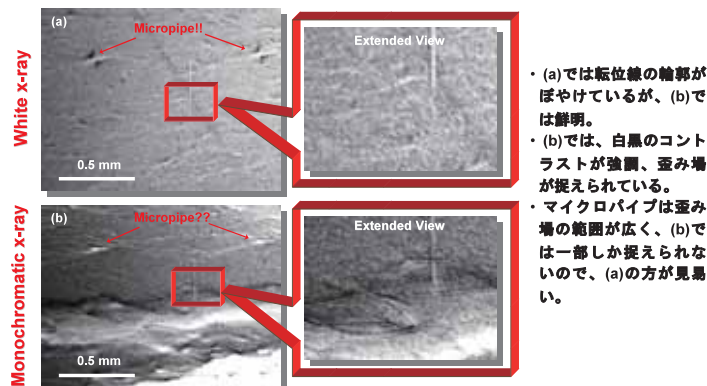


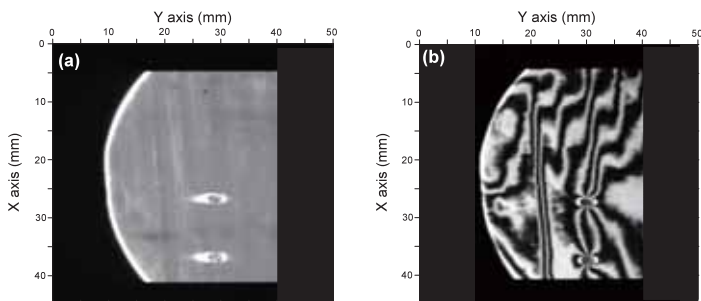
図3 X線トポグラフィーによるSiC 004回折斑点の像。(a)白色X線。(b)単色X線。同一箇所をX線フィルムで撮影。単色X線エネルギーは12.9 keV。

- ・ (a)では転位線の輪郭がぼやけているが、(b)では鮮明。
- ・ (b)では、白黒のコントラストが強調、歪み場が捉えられている。
- ・ マイクロパイブは歪み場の範囲が広く、(b)では一部しか捉えられないので、(a)の方が見易い。

つぎに、2インチ径の4H-SiCウェハの白色/単色X線トポグラフィーによる像を図5に示す。(a)ではウェハの研磨痕や黒斑点欠陥(ラザフォード後方散乱のビーム痕跡)の様子が分かる。(b)ではエネルギーを10 eVずつ変えて撮影して重ねた。ウェハ歪みの分布状態を示す縞模様(ゼブラパターン)が得られた。観察領域において、ウェハは0.078度反っていることが分かった。



図4 2インチ径、0.4 mm厚の4H-SiCウェハ写真。



研磨痕や黒斑点欠陥(ラザフォード後方散乱のHeビーム痕跡)の様子がよく分かる。

ウェハの歪み状態を表すゼブラパターンを捉えた。

図5 X線トポグラフィーによる4H-SiCウェハ004回折斑点の像。(a)白色X線。(b)単色X線。ウェハの半分を2次元デジタル検出器で撮影。(b)では、12.82~12.91 keVを10 eV刻みで撮影。



白色/単色X線トポグラフィーで得られる構造情報は互いに相補的。本システムは短時間で白色/単色X線を切り替えできることが利点。

【まとめ】

- ・ Siチャンネルカットモノクロメーターの整備により白色/単色X線切り替えが簡便・短時間で可能。自動化により試料の照射位置は変わらない。
- ・ 白色X線トポグラフィーと単色X線トポグラフィーのデモンストレーションを行い、得られる情報が相補関係であることを示した。
- ・ 白色/単色X線を必要に応じて使い分け、豊富なデータ蓄積が可能。
- ・ 今後、外場刺激装置の導入、トポトモグラフィーシステムの開発などを行い、高機能化を目指す。