



AichiSR あいち SR における X 線トポグラフィの試み

A trial experiment of X-ray topography at the Aichi SR

山口聡、宇山健

Satoshi Yamaguchi, Takeshi Uyama

(株)豊田中央研究所

Toyota Central R&D Labs., Inc.

1. 測定実施日

2014 年 9 月 10 日 10 時 – 18 時 30 分 (2 シフト), BL8S1

2014 年 9 月 11 日 10 時 – 18 時 30 分 (2 シフト), BL8S1

2014 年 9 月 12 日 10 時 – 18 時 30 分 (2 シフト), BL8S1

2. 概要

次世代半導体基板材料である SiC や GaN などの結晶性評価に X 線トポグラフィがある。あいち SR の現有ビームラインで X 線トポグラフィ実験がどの程度可能であるか試みた。

BL8S1 にて Berg-Barrett 配置 (非対称反射)、トラバース法、(+、-) 配置を用いることにより、4H-SiC 基板の 14mm×28mm の領域をワンショットで評価できた。ただし輸送部機器がトポグラフィ実験には不向きであるため、転位種によっては識別が困難であることが分かった。

3. 背景と研究目的

半導体デバイスの信頼性低下に結晶欠陥が関係していることがある。半導体単結晶中にどのような結晶欠陥が存在するか把握するために各種の評価技術があるが、X 線トポグラフィは非破壊で大面積を評価できることが特徴の手法である。

近年、次世代半導体基板材料として SiC や GaN の実用化が期待されている。基板材料において結晶欠陥がなるべく少ない状況が必要であり、究極的には Si のような無転位化を目指し高品質化の研究が世界各地で行われている。結晶中にどのような欠陥が存在しているかを把握することは、高品質化・無転位化に向けて重要な情報になる。

これまで弊社は、SiC 等の化合物半導体の X 線トポグラフィ観察については SPring-8 の放射光を用いて行っている。今回、あいち SR での X 線トポグラフィ観察実施の可能性を検討する。

4. 実験内容

実験：BL8S1（X線反射率、薄膜表面回折）で実験ハッチ内に設置されている小型多軸回折計を利用した。BL8S1では入射X線強度を確保するため全反射ミラーおよび分光器ではサンプル位置で集光されているが、今回はトポグラフィ実験のためなるべく並行なビームを得るようにした。

測定サンプル：

SPring-8で測定実績がある4H-SiC基板（c面8度オフ）を使用した。このサンプルは格子面の反りが少なく、全面に近い領域が同時に回折条件を満たすことができる。

測定条件：

測定パラメータは表1に示す。また比較のため、SPring-8で同サンプルを測定したときのパラメータも合わせて示す。BL8S1のビームサイズは小さいため、一度にX線を照射できる面積が狭い。大きな面積を一度に評価可能にするため、以下の方式を用いた。なおトポグラフはX線フィルムに記録した。

・Berg-Barrett配置：Footprintが長くなるように入射角を小さく、 2θ を90度付近になるような回折条件を使用する。

・トラバース法：回折条件を満たしながらサンプルと検出器（X線フィルム）を同期して走査する。

・（+，-）配置：回折条件が広範囲で満足するよう、一結晶分光器とサンプルの配置は+-配置とした。

表1 トポグラフ測定条件

	反射面	入射X線 [keV]	入射角 [deg.]	2θ [deg.]	侵入深さ [um]
あいちSR	11-28	11.10	3.8	70.0	11
SPring-8 BL16B2	11-28	11.94	1.0	64.4	4

5. 結果および考察

得られたトポグラフを図*に示す。

・（+，-）配置

（+，-）配置、（+，+）配置で得たトポグラフでは、回折条件を満たし評価できている領域が明らかに（+，-）配置の方が広い。一般に、（+，+）配置では回折に寄与できるX線のエネルギー幅が狭く、結果として回折条件が厳しくなる。今回利用した回折計は空間的制約上、（+，+）配置が取りやすい環境ではあるが、トポグラフィ観察では（+，-）配置を用いるメリットが高い。

・トラバース法

トラバースなしでの観察領域は入射 X 線の footprint である 2.5mm(H) × 28mm(W) (W についてはサンプル幅) であったが、トラバースにより 14mm(H) × 28mm(W) の広い領域が評価可能となった。縦方向の 9mm は自動ステージのストローク幅であり、モータの仕様によってはさらに領域を広げることが可能である。

(+, -) 配置およびトラバース法の採用によって広い領域をトポグラフ観察が可能であることが分かった。ただし、幅の広い X 線を用いるとトラバース法なしで広い領域が一度に観察可能である。その一例を SPring-8 BL16B2 で同じサンプルを測定したトポグラフを示す。

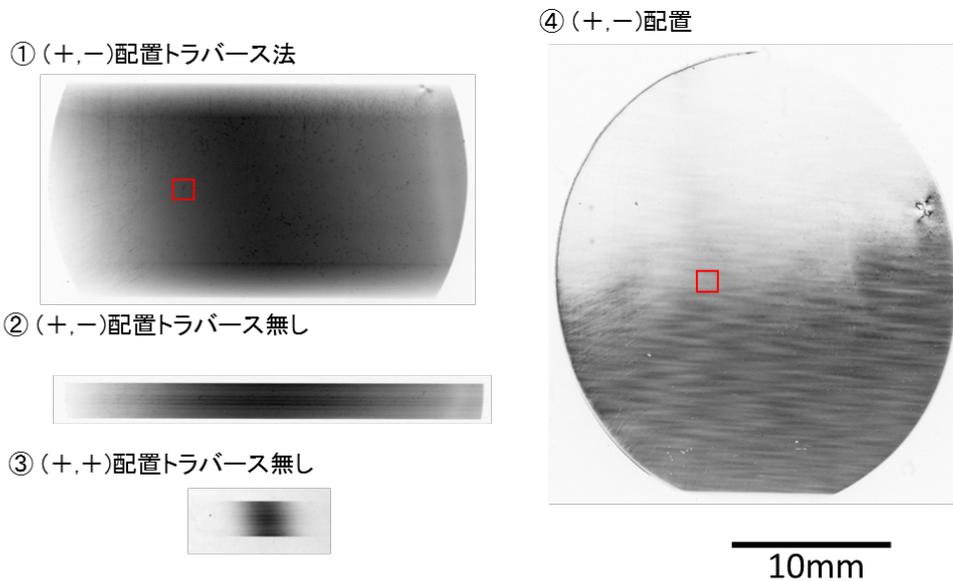


Fig2 4H-SiC 基板の X 線トポグラフ

①(+, -) 配置トラバース法、② (+, -) 配置トラバース無し、③ (+, +) 配置トラバース無し、④SPring-8 BL16B2 Berg-Barret 配置 ((+, -) 配置、トラバース無し)

・欠陥認識能

図 3 に今回得られたトポグラフの拡大像と SPring-8 BL16B2 で得た同じ領域の X 線トポグラフ拡大図を示す。図中の欠陥像として、大き目の丸い欠陥像は貫通らせん転位 (TSD)、小さめの丸めの欠陥像は貫通刃状転位 (TED)、線状の欠陥像は基底面内転位 (BPD) に対応する。ここで、今回あいち SR で得られたトポグラフと SPring-8 のトポグラフでは明らかに欠陥認識能が異なることが言える。

この原因は入射 X 線エネルギー分布の違いによると考えている。すなわち、あいち SRBL8S1 では一結晶分光器において、Si111 反射・ $\theta_B=20.5^\circ$ で 11.1keV の X 線に単色化している。この分光結晶表面は Si (111) から 9.5 度ビームを小さ

くする方向にオフセットしており、分光器から得られる X 線の平行度が低下し、この X 線を用いたトポグラフィ実験では回折条件が鈍感になり欠陥周りの歪場に対する感度が悪くなると考える。また分光器に備わっているベンド機構についても、ベンドを無しの状態に戻しても完全にフラットな結晶面が再現するとは考えにくく、欠陥認識能を低下する一因と考えている。

4H SiC 基板において、貫通らせん転位は認識できるが貫通刃状転位の認識は困難である状況により、現在の構成ではラボ装置と同等レベルの観察は可能と考える。

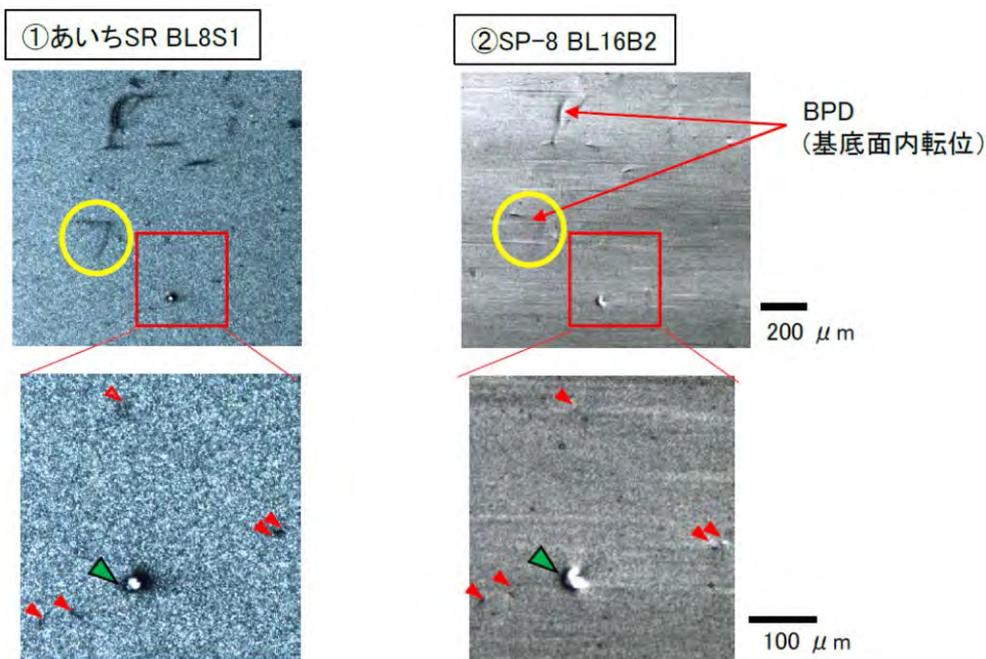


Fig. 2 トポグラフィ拡大図(図 2 中で□で示した領域)

①あいち SR BL8S1 ②Spring-8 BL16B2

- ・図中緑矢印: TSD 像。①②ともに確認可
- ・図中赤矢印: TED 像。①は②と照合すれば認識できるレベル
- ・図中黄丸: V 字型の BPD 像→BPD の表面からの深さが原因
①の侵入深さ~11um, ②の侵入深さ~4um

6. 今後の課題

(+,+) 配置およびトラバース法を用いて比較的広い領域を評価可能となったが、貫通刃状転位レベルの小さな欠陥に対する認識能に関しては不足と考えている。欠陥認識能および空間分解能向上には、分光器の最適化が必要と考える。また、より広い面積を効率的に分解能高く観察するには、入射 X 線のビームサイズが大きくなる必要がある。そのようなトポグラフィ実験に適したビームラインの整備を期待する。

7. 謝辞

課題実験実施に当たり、あいち SR でトポグラフィ実験の実施実績のある名古屋大学 工学研究科 原田俊太 助教には有益なご助言をいただきました。また、実験時には吉村氏、酒井氏に適切なサポートいただきました。深く感謝いたします。

8. 参考文献

菊田惺志、X線回折・散乱技術 上、東京大学出版社、1992年