



九州シンクロトロン光研究センター 県有ビームライン利用報告書

課題番号：1703011S

BL番号：BL09

(様式第5号)

ダイヤモンド単結晶及び 酸化ガリウム単結晶のX線トポグラフィー測定 X-ray Topography of Diamond Bulk Single Crystals and Ga₂O₃ Bulk Single Crystals

嘉数 誠, 榎谷 聡士, 森林 朋也, 片桐 英鉄
Makoto Kasu, Satoshi Masuya, Tomoya Moribayashi, Eitetsu Katakiri

佐賀大学大学院 工学系研究科
Graduate School of Engineering, Saga University

- ※1 先端創生利用(長期タイプ)課題は、実施課題名の末尾に期を表す(I)、(II)、(III)を追記してください。
- ※2 利用情報の公開が必要な課題は、本利用報告書とは別に利用年度終了後2年以内に研究成果公開(論文(査読付)の発表又は研究センターの研究成果公報で公表)が必要です(トライアル利用を除く)。
- ※3 実験に参加された機関を全てご記載ください。
- ※4 共著者には実験参加者をご記載ください(各実験参加機関より1人以上)。

1. 概要 (注: 結論を含めて下さい)

ダイヤモンドや酸化ガリウムは広いバンドギャップ、高い絶縁破壊電界や優れた熱伝導率などから次世代のパワーデバイス材料として期待されている。半導体には下地基板として単結晶が必要であるが、結晶中の格子欠陥はリーク電流や耐圧低下の原因となり課題である。そのためこれらの抑制や制御技術の確立のためにも、結晶欠陥の観察や同定を行い、基礎物性を解明することが必要である。そこで本研究では、ダイヤモンド単結晶及び酸化ガリウム単結晶の結晶欠陥に関して、X線トポグラフィーにより観察しこれらの素性を調べた。

(English)

Diamond and Gallium oxide are wide band gap semiconductor, and are expected as high-efficient high-power device. However, defects in diamond crystals lead to a leakage current and decrease the breakdown voltage. Therefore, to minimize the defect density, it is critical to understand crystal defects such as dislocations and stacking faults. Then, we performed X-ray topography to observe and characterize crystal defects in diamond and Gallium oxide single crystal.

2. 背景と目的

我々はこれまで新しい電子材料の創製とそれを生かしたデバイス応用に関する研究を行ってきた。現在は、シリコンカーバイド(SiC)、窒化ガリウム(GaN)、窒化アルミニウム(AlN)、ダイヤモンド、β-Ga₂O₃等の広いバンドギャップをもつ新しい半導体の創製とそれをを用いた低損失・高耐圧のパワーデバイスの応用に関する研究を行っている。

環境・エネルギー問題は、今や不可避の深刻な社会問題である。エレクトロニクス、情報通信ネットワーク、電力ネットワークのエネルギー効率は、システムのハードウェアの大部分を占めるシリコン(Si)材料の固有の物性限界に到達している。それを打破するために、Siよりバンドギャップが広いSiCやGaNや、新しいワイドギャップ半導体であるダイヤモンドや酸化ガリウムを用いた高効率パワーデバイスの実用化に繋げ、エネルギー問題を根本的に解決することが最大の目標である。

本研究では、次世代半導体として期待されているダイヤモンドと $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ に関して測定を行う。 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ の結晶欠陥に関しては未だに報告が少ないため、X線トポグラフィー観察により転位や積層欠陥の同定を行う。

またダイヤモンドに関してはセクショントポグラフィーにより三次元のトポグラフ像を測定し、結晶欠陥を立体的に観察する。

3. 実験内容 (試料, 実験方法, 解析方法の説明)

測定試料は融液成長の一つであるEFG法により成長した(-201) $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶である[1]。この結晶を用いて図1に示すような配置でX線トポグラフィーを行った。今回は反射Bragg配置にて{-623}回折, {-402}回折を測定した。

また、ダイヤモンド結晶に関しては白色X線を用いて観察する。透過Laue配置にて、検出器にはCCDカメラを用いる。これらの状態でセクショントポグラフィーを測定し、透過X線の三次元像を取得する。

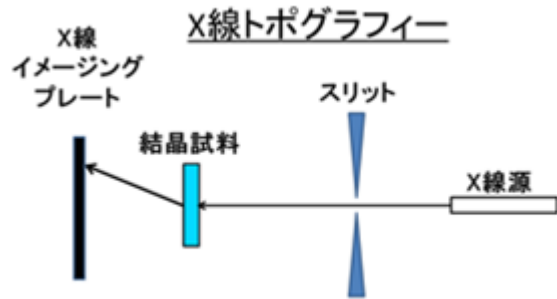


図1 X線トポグラフィー測定方法

4. 実験結果と考察

(-201) $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶において、これまで観察してきた結果と同様に[010]方向に沿った転位が観察された。こちらの転位はコントラスト実験からバーガーズベクトルが $\langle 010 \rangle$ であることがわかった。転位の伝搬方向、バーガーズベクトルともに $\langle 010 \rangle$ であることかららせん転位であると同定した。転位が[010]方向でないものもあるので、これらの転位についても今後解析を進めていく。

ダイヤモンド結晶に関しては、得られた像に ImageJ のソフトを使用し、三次元像を作製した。転位や積層欠陥を三次元に観察することができた。転位や積層欠陥の導入面を見積もったところすべり面である{111}面に発生していることを確認することが出来た。

5. 今後の課題

次世代のパワー半導体として注目される酸化ガリウム単結晶及びダイヤモンド単結晶のシンクロトロン放射光を用いた X 線トポグラフィー観察を行い結晶欠陥の評価を行った。 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶において様々な回折条件で測定を行い、結晶欠陥を観察した。ほとんどの転位でバーガーズベクトルを $\langle 010 \rangle$ と同定することが出来た。一部の転位はらせん転位であることがわかったが、今後更に詳細に調べていく。

ダイヤモンド単結晶においては CCD カメラを用いてセクショントポグラフィーの測定を行った。ダイヤモンド単結晶の三次元像を得ることができ、欠陥を立体的に捉えることが出来た。欠陥の導入面や方向を今後更に詳しく調査していく。

6. 参考文献

[1] A. Kuramata, K. Koshi, S. Watanabe, Y. Yamaoka, T. Masui, S. Yamakoshi, Japanese Journal of Applied Physics, 55 (2016) 1202A2.

7. 論文発表・特許 (注: 本課題に関連するこれまでの代表的な成果)

[1] M. Kasu, R. Murakami, S. Masuya, K. Harada, and H. Sumiya, Synchrotron X-ray topography of dislocations in high-pressure high-temperature-grown single-crystal diamond with low dislocation density, Applied Physics Express, 7 (2014)125501.

[2] S. Masuya, K. Hanada, T. Uematsu, T. Moribayashi, H. Sumiya, M. Kasu, Determination of the type of stacking faults in single-crystal high-purity diamond with a low dislocation density of $< 50\text{cm}^{-2}$ by synchrotron X-ray topography, Japanese Journal of Applied Physics 55, (2016)040303

[3] S. Masuya, K. Hanada, T. Moribayashi, H. Sumiya, M. Kasu, Determination of partial dislocations of stacking fault in (111) single crystal diamond grown on (111) seed crystal by synchrotron X-ray topography, Journal of Crystal Growth, 468 (2017) 439.

