



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：1702003S

BL番号：BL09

(様式第5号)

ダイヤモンド・バルク単結晶及び 酸化ガリウム・バルク単結晶の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, 梶谷 聡士, 森林 朋也, Saha Niloy Chandra
Makoto Kasu, Satoshi Masuya, Tomoya Moribayashi, Saha Niloy Chandra

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。そのためこれらの低減化のためにも、結晶欠陥の観察や同定が必要である。そこで本研究ではX線トポグラフィーによりダイヤモンド単結晶中や酸化ガリウム単結晶の格子欠陥を観察し、これらの素性を調べる。

(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. In this study, we performed X-ray topography to observe crystal defect 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、ダイヤモンドと同様に次世代半導体として期待されているβ-Ga₂O₃に関して測定を行う。β-Ga₂O₃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 $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ に関しても測定を行う。 $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ はこれまでほとんど報告がないため、結晶欠陥に関する知見がほとんど得られていない。そのため本研究では様々な回折で測定を行い、 $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 中に発生する結晶欠陥の観察と同定を行う。

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(010) $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 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{202}回折，{113}回折を測定した。

また，CVD成長した $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶においても測定を行った。測定した試料はC面のサファイア上に成長したC面 $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶である。この試料を反射Bragg配置にて{0006}回折，{10-14}回折等を測定した。

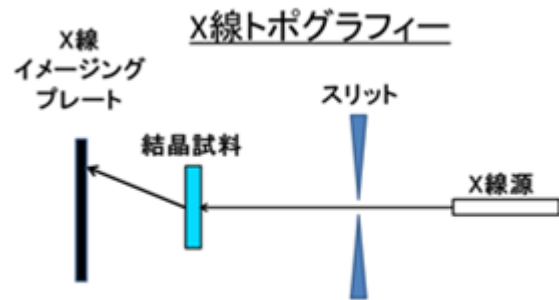


図1 X線トポグラフィー測定方法

4. 実験結果と考察

(010) $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶のX線トポグラフ像を見ると、積層欠陥や転位が観察された。融液成長の際に引上げ方向である[010]方向に沿って、欠陥が導入していることがわかった。またC面表面に対して貫通型のような欠陥も観察された。今後転位コントラストの消滅により転位のバーガーズベクトルを同定する。

$\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶に関しては、下地であるサファイア基板と $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ のエピタキシャル膜をそれぞれ測定した。サファイア基板に関しては転位や研磨痕のような欠陥が観察されたが、 $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 膜に関しては転位密度が高いため、欠陥を一つ一つ観察することが出来た。成長方法の改善や条件を改めることにより更なる高品質膜を成長させることが課題となった。

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。b軸方向に延伸する転位のような欠陥が観察された。今後は転位コントラストの消滅により転位のバーガーズベクトルを同定する。

$\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶においても様々な回折条件で測定を行い、下地のサファイア基板と $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 膜の観察を行った。転位密度が高く、転位コントラストが重なり合っていた為、一つ一つの欠陥を観察することが困難だった。今後更に低欠陥密度結晶を成長させることが課題である。

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, in press.

8. キーワード（注：試料及び実験方法を特定する用語を2～3）

ダイヤモンド，酸化ガリウム，X線トポグラフィー

9. 研究成果公開について（注：※2に記載した研究成果の公開について①と②のうち該当しない方を消してください。また、論文（査読付）発表と研究センターへの報告、または研究成果公報への原稿提出時期を記入してください（2017年度実施課題は2019年度末が期限となります。）
長期タイプ課題は、ご利用の最終期の利用報告書にご記入ください。

① 論文（査読付）発表の報告 （報告時期： 2018 年 3 月）