

(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 線トポグラフィー観察 X-ray Topography observation of Diamond single crystal and Ga₂O₃ single crystal

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。しかし、半導体デバイスの下地となる単結晶基板中の格子欠陥（結晶欠陥）は、素子特性に影響を与えるため課題である。そのため、これらの抑制や制御技術のため、結晶欠陥の観察や同定が必要である。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 X 線トポグラフィー観察を行い、これらの結晶中に導入される結晶欠陥の観察と同定を行った。

(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、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。

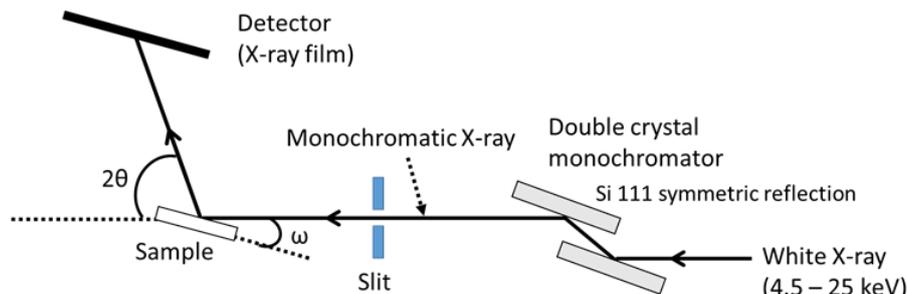
本研究では、次世代半導体として期待されているβ-Ga₂O₃に関して測定を行った。β-Ga₂O₃の観察試料はハライド気相成長(HVPE成長)により成長したホモエピ結晶である。HVPE成長は量産性と

結晶純度の観点から魅力的であるが、新規性が故に、これまで結晶欠陥に関する報告がなかった。そこで本研究では、Edge defined Film fed Growth(EFG)法により成長した β -Ga₂O₃ バルク単結晶上に、HVPE 成長したホモエピ結晶を観察し、エピ成長中に発生する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)

β -Ga₂O₃の観察試料は(001)面のHVPEホモエピ結晶である[1]。下地基板はEFG成長した(001) β -Ga₂O₃ バルク単結晶として、約10 μ mのエピ厚を成長している。

結晶欠陥の観察はBL09のビームラインを利用し、X線トポグラフィーにより観察する。図1に示すような反射Bragg配置で測定を行う。観察試料は下地基板とエピ膜が一体となっており、今回はエピ膜の観察を目的としていることから、エピ膜10 μ m内の侵入となるように条件を選定した。g=605, 224などの回折を選び、転位コントラスト実験からバーガーズベクトルを求めた。



4. 実験結果と考察

得られたトポ像から β -Ga₂O₃ エピ結晶において多数の転位が発生していることがわかった。トポ像において点状にコントラストが見られ、基板結晶の欠陥の引継ぎ、または基板界面から新たに発生した貫通転位だと考えられる。今回の試料では、EFG 基板に見られた[010]方向に沿った転位や転位列はあまり観察されなかった[2]。また、回折を変化させた際の転位コントラストの結果から、一部の転位においてはバーガーズベクトル $\langle 010 \rangle$ であることがわかった。今後、下地基板との関連を含めて、さらにこれらの転位の素性および発生機構に関して調べていく。

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。

β -Ga₂O₃ホモエピ結晶において様々な回折条件で測定を行い、貫通転位と思われる転位を観察した。コントラスト実験から、バーガーズベクトルを $\langle 010 \rangle$ と同定することが出来た。今後は下地基板の欠陥との対応を取り、転位の発生メカニズムの解明に繋げていきたい。また、転位とエッチピットの関係や、電気特性との関連についても調べていく。

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.
- [2] O. Ueda, N. Ikenaga, K. Koshi, K. Iizuka, A. Kuramata, K. Hanada, T. Moribayashi, S. Yamakoshi, M. Kasu, Japanese Journal of Applied Physics, 55 (2016) 1202BD.

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.

[4] S. Masuya, K. Hanada, T. Oshima, H. Sumiya, M. Kasu, "Formation of stacking fault and dislocation behavior during the high-temperature annealing of single crystal HPHT diamond", *Diamond and Related Materials* **75** (2017) 155.

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)

酸化ガリウム, ハライド気相成長 (HVPE), X線トポグラフィ

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: 2019年3月)