

(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, 榊谷 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, 長期トライアルユース, 長期産学連携ユース)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.(トライアルユース, 及び産学連携ユースを除く)

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, これまであまり報告がない酸化ガリウム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. However there are few reports about the defects in Gallium oxide single crystal. Then, we performed X-ray topography to observe and characterize crystal defects in 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、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 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 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線トポグラフィ観察により転位や積層欠陥の同定を行う。 これまでに $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ のすべり系に関する考察が報告がされてきたが[1, 2], 今回は様々な回折条件で測定を行い、転位のバーガーズベクトルの同定を行う。 また(001)面や(-201)面など異なる面方位の結晶も測定し、それぞれの面指数による特徴などについても調べる。

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(001)面及び(-201)面の $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶である[3]。この結晶を用いて図1に示すような配置でX線トポグラフィを行った。

(001)面 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶においては反射Bragg配置にて{605}回折, {224}回折などを測定した。

(-201)面 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶においても反射Bragg配置にて{60-5}回折, {006}回折などを測定した。

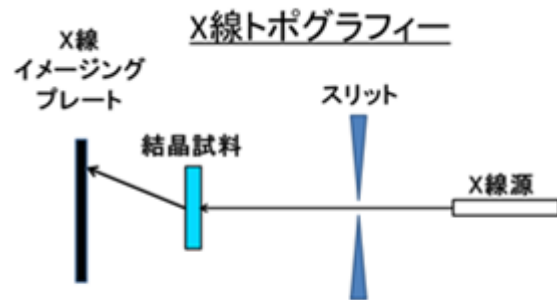


図1 X線トポグラフィ測定方法

4. 実験結果と考察

(001) $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 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。また伝搬方向は不明だが引上げ[010]方向に沿って並んだ転位列も観察され、粒界を形成していることがわかった。異なる回折条件によるコントラストの変化を用いてバーガーズベクトルの同定を目指していく。

(-201) $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶においても(001)面結晶と同じように[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もので、これらの転位についても今後解析を進めていく。

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。また同じく b 軸方向に配列した転位列も観察された。この転位列は粒界を形成しているようだが今後更なる調査を進めていく。またコントラスト実験から転位のバーガーズベクトルを $\langle 010 \rangle$ と同定し、一部の転位においてはらせん転位であることがわかった。他の転位も多くはバーガーズベクトルを $\langle 010 \rangle$ に持っていたが転位線の方と共さらに解析を進めていきたい。

6. 参考文献

- [1] H. Yamaguchi, A. Kuramata, T. Masui, Superlattices and Microstructures 99 (2016) 99.
- [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.
- [3] 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.

