

(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

高橋和敏, 榎谷聡士, 森林朋也, 片桐英鉄
Kazutoshi Takahashi, 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, HVPEにより成長した β -Ga₂O₃ホモエピ結晶を観察した. 貫通転位が観察され, これらの転位の一部はバーガーズベクトル<010>であることがわかった.

(English)

Diamond and Gallium oxide are wide band gap semiconductor, and are expected as high-efficient high-power electronics device. However, defects in 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. しか

しながら、半導体結晶を用いて作製される電子デバイス・光デバイスの特性は、その結晶中の格子欠陥の物性に大きく左右される。例えば、線状欠陥である転位は格子歪、欠陥準位、局所反応サイトなどを与え、多くの場合、デバイス特性を悪化させる要因となる。従って、格子欠陥の抑制や制御は結晶成長やデバイス開発に携わる研究者、エンジニアの必達の目標であるため、これらの欠陥を観察し、構造を同定することは重要な課題である。

本研究では、次世代半導体として期待されている $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ に関して測定を行った。HVPE 法によりホモエピ成長を行った試料を測定した。HVPE 成長は量産性と結晶純度の観点から魅力的であるが、これまで結晶欠陥に関する報告がなかった[1]。そこで本研究では、下地基板と成長結晶の欠陥を比較することで、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)

観察試料はEFG(001)面上にHVPE法によりホモエピ成長を行った(001)面 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ エピ膜(厚さ約 $10\mu\text{m}$)である。エピ成長前にEFG基板のX線トポグラフィー測定を行い、エピ成長後に再度エピ膜の測定を行った。

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いるが、下地基板はエピ成長前に観察しており、今回はエピ膜の観察を行うため、侵入深さはエピ膜 $10\mu\text{m}$ 内となるように条件を選定した。 $g=605, -1005$ などの回折を選び、転位の観察を行った。

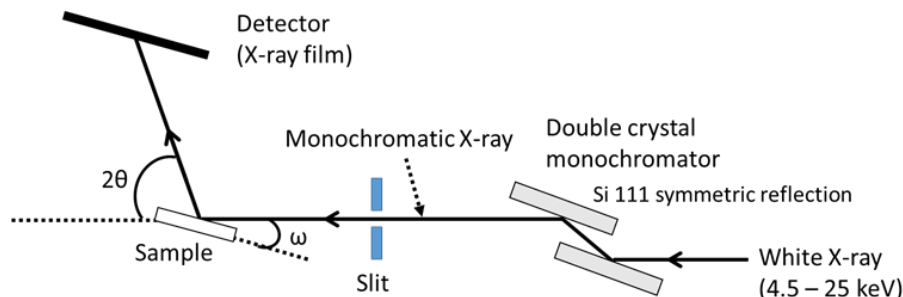


図 1 X 線トポグラフィー装置図

4. 実験結果と考察

得られたトポ像から $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 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。エピ膜で観察された転位の箇所では、基板にも転位が観察されており、下地基板の欠陥を引継いだ貫通転位であることがわかった。基板内部で観察された欠陥はエピ膜に影響を及ぼしていないが、表面に露出した欠陥は、エピ成長で引き継がれエピ膜を貫通するように転位が発生している。他にも下地基板の傷や圧痕などの長距離歪がエピ膜の欠陥の起源になっていることがわかった。

今後はコントラスト実験から転位のバーガーズベクトルの同定や、熱処理などによる動特性など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。 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ ホモエピ結晶において測定を行い、貫通転位と思われる転位を観察した。これらの転位は下地基板の欠陥を引継ぎ発生したものであることがわかった。下地基板の表面に露出した欠陥が起点となり、エピ層に欠陥が導入していることがわかった。

今後はこれらの転位のバーガーズベクトルの同定や、動特性の観察を行っていきたい。またこのエピ上に電子デバイスを作製し電気特性との比較も行う予定である。

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.

