

(様式第5号)

## HVPE 成長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 HVPE grown Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 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。しかし、酸化ガリウムを用いた電子デバイスにおいて、結晶欠陥と素子特性の関連は明らかになっておらず、欠陥の特性ごとの素子への影響を調べる必要がある。そこで本研究では、 $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 基板上にショットキーバリアダイオード(SBD)を作製し、素子特性を測定後、この基板の欠陥を観察することで結晶欠陥が素子特性へ与える影響を調べた。

### (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 Gallium oxide single crystal. In this study, we investigate the effects of defects on electrical properties by  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

### 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、 $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>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。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。しかし、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  デバイスにおいて結晶欠陥が素子特性へ与える影響は十分に明らかになっていない。 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  を用いた電子デバイスの信頼性・素子特性向上のためにはこれらの影響を理解しておくことが不可欠である。

そこで本研究は、次世代半導体として期待されている  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  の結晶欠陥が素子特性へ与える影響を明らかにすることを目的とした。 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  基板上に SBD を作製し、素子特性を測定後、この基板の X 線トポグラフィー測定を行った。素子特性と欠陥分布や密度との対応を調べ、リーク電流の起源を明らかにする。

### 3. 実験内容 (試料, 実験方法, 解析方法の説明)

EFG(001)面上にHVPE法によりホモエピ成長を行い、(001)面 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ エピ膜(厚さ約 $10\mu\text{m}$ )上にSBD作製を行った。電極を多数作製し、それぞれの電極において電流-電圧特性を測定した。測定後、電極を除去し、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 面を露出させ、X線トポグラフィー測定により、それぞれの電極直下の結晶欠陥を観察した。

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、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。

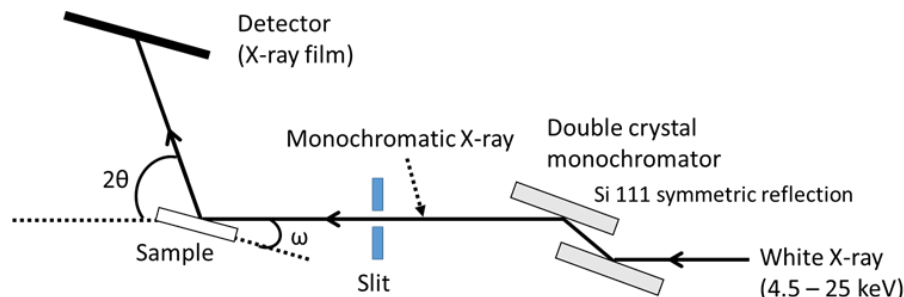


図 1 X 線トポグラフィー装置図

### 4. 実験結果と考察

得られたトポ像から  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  結晶において多数の転位が観察された。以前の実験結果から下地基板の欠陥を引継いだ貫通転位であると予想される。また一部の領域に限って、 $\langle 010 \rangle$ 方向に延伸した転位のような欠陥が観察された。これらの欠陥の密度と素子特性を照らし合わせると、欠陥密度の高い領域では SBD においてリーク電流が増加していることがわかった。逆に、欠陥密度の低い領域では、比較的リーク電流は抑えられていた。従って、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  においても転位等の欠陥が、SBD 等の電子デバイスにおいて特性劣化の原因となることがわかった。

また、表面の傷も SBD のリーク電流と大きく関連していた。

### 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、結晶欠陥と SBD 特性の関連を調べた。下地基板からの貫通転位や、 $\langle 010 \rangle$ 方向へ延伸する転位が観察された。これらの欠陥密度が高い領域では SBD において素子特性が劣化し (リーク電流の増加)、欠陥密度の低い領域では、良好な素子特性が得られた。これらの結果から、素子特性や信頼性向上のためにも  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  結晶の結晶欠陥を抑制する必要があることがわかった。今後はこれらの欠陥の抑制や制御技術の確立が課題である。

### 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.

