

(様式第 5 号)

X 線トポグラフィーによる β -Ga₂O₃ ウエハーの欠陥評価 Characterization of crystalline defects in β -Ga₂O₃ wafer by X-ray topography.

梶谷 聡士¹、嘉数 誠²、Sdoeung Sayleap²、Chaman Md Muhidul Islam²
Satoshi Masuya¹、Makoto Kasu²、Sdoeung Sayleap²、Chaman Md Muhidul Islam²

1; 株式会社ノベルクリスタルテクノロジー、2; 佐賀大学大学院工学系研究科

1; Novel Crystal Technology, Inc.

2; 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）

次世代のパワー半導体材料として期待される β -Ga₂O₃ について、その結晶評価のため X 線トポグラフィーにより転位等の結晶欠陥の観察を行った。これまでに量産化を実現した 2 インチのバルクウエハーおよびエピウエハーにおいて測定を行い、転位や積層欠陥を観察し、その発生状況や分布等について調べた。

Edge defined Film fed Growth(EFG)法により作製した β -Ga₂O₃ バルク基板と、EFG 基板上に halide vapor phase epitaxy(HVPE)法によりエピタキシャル成長を行ったエピウエハーともに明瞭に欠陥を観察することができ、転位密度 10⁴ cm⁻² 程度であることを確認できた。

(English)

To evaluate crystalline defects, X-ray topography were performed to Gallium Oxide (β -Ga₂O₃) which expected as next generation wide bandgap semiconductor material. Measurements were performed on 2-inch EFG bulk wafers and HVPE epi wafers that had been commercialized so far. Dislocations and stacking faults were observed clearly, and their structure and distribution were investigated.

2. 背景と目的

低炭素社会を実現するため、我が国の電力消費の大部分を占める動力、照明、情報通信機器などの省エネルギー化を推進することが必達の課題である。そのためにはこれらの根幹をなすパワー半導体の開発が不可欠であるが、現状のシリコンを用いた半導体は材料固有の物性限界に到達しており、これ以上の技術向上は難しいと考えられている。そこでシリコンを超える半導体材料として酸化ガリウム (β -Ga₂O₃) が注目されている。

β -Ga₂O₃ は、先行する炭化ケイ素(SiC)や窒化ガリウム(GaN)と比較して、バンドギャップが広く絶縁破壊電界が高いため、これらの材料より更に低損失で小型の半導体素子を実現できる。さらに酸化ガリウムは融液成長が可能なことから、SiC や GaN よりも低コストに製造できる特徴を有しており、これまで優れたダイオード特性やトランジスタ特性が報告されている。

しかしながら産業応用の課題として格子欠陥(結晶欠陥)の影響が懸念される。半導体デバイスは

一般的に単結晶基板上に作られるが、この基板結晶中の結晶欠陥は多くの場合、リーク電流の発生や耐圧低下の要因となり、素子特性劣化を引き起こす。酸化ガリウムにおいても結晶欠陥による素子特性の劣化が報告されており[1, 2]、結晶欠陥の抑制や制御技術の確立が求められる。そこで本研究では、結晶中の欠陥を非破壊で観察できる X 線トポグラフィーにより、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 中の結晶欠陥の評価を行った。

3. 実験内容 (試料、実験方法、解析方法の説明)

試料はEFGバルク基板、およびEFG基板上にHVPE法によりエピタキシャル成長したエピウエハーで測定した。これらの試料についてBL09にてX線トポグラフィー観察を行った。 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ では結晶内でのX線吸収が顕著なため透過法は向かず、反射法で測定した。測定には主に単色光を利用しており、 $g=224$ 等の条件を採用した。

4. 実験結果と考察

図1にEFG基板のX線トポグラフ像を示す。転位等の欠陥が白または黒のコントラストとして明瞭に観察できている。転位の特徴として、 $\langle 010 \rangle$ へ延伸する転位、 $\langle 010 \rangle$ に沿った転位列、(001)面上をランダムにのびる転位、などが観察されている。

エピウエハーについては貫通転位が主に観察され、EFG基板と同様に転位列なども見えていることから、基板欠陥を引き継いでいる可能性がある。また転位密度はおおよそ 10^4 cm^{-2} 程度であることがわかった。

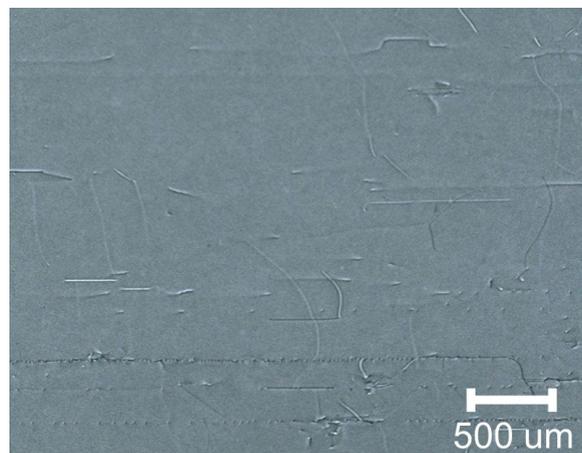


Fig.1. X-ray topography image of EFG grown $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ single crystal taken by $g=224$

5. 今後の課題

具体的な抑制法については検討中だが、さらなる欠陥の低減化が課題である。また、今回の観察試料は2インチウエハーだが、スケールアップした4インチ基板やエピウエハーについても同様の観察を行い、欠陥の観察と評価が必要である。

また、ダイオードやトランジスタなどの電子デバイスにおける電気特性との相関も明らかにしていく必要がある。

6. 参考文献

- [1] S. Sdoeung, et al., Appl. Phys. Lett., 117, 22106, (2020).
- [2] S. Sdoeung, et al., Appl. Phys. Express, 14, 036502, (2021).

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] S. Masuya, K. Sasaki, A. Kuramata, S. Yamakoshi, O. Ueda, M. Kasu, Jpn. J. Appl. Phys. 58, 055501 (2019).

[2] S. Sdoeung, K. Sasaki, K. Kawasaki, J. Hirabayashi, A. Kuramata, T. Oishi, M. Kasu, Appl. Phys. Lett., 117, 22106, (2020).

[3] S. Sdoeung, K. Sasaki, K. Kawasaki, J. Hirabayashi, A. Kuramata, M. Kasu, Appl. Phys. Express, 14, 036502, (2021).

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)

X線トポグラフィー、 β -Ga₂O₃

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。提出期限は利用年度終了後2年以内です。例えば2018年度実施課題であれば、2020年度末(2021年3月31日)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：	年	月)
② 研究成果公報の原稿提出	(提出時期：	年	月)