

(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、Sdoeung Sayleap²、CHE AMIRUL SYAFIQ IQBAL²
Satoshi Masuya¹、Sdoeung Sayleap²、CHE AMIRUL SYAFIQ IQBAL²

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 2 インチの EFG 基板やエピウエハーの量産化を実現したが、今回 VB 成長したバルク基板についても結晶欠陥の観察を行い、これらの評価を行った。その結果、VB 基板においても、EFG と同様の転位列などが観察されたが、転位密度としては EFG 結晶と同程度であった。

(English)

X-ray topography to evaluate crystalline defects were performed to Gallium Oxide (β -Ga₂O₃) which expected as next generation wide bandgap semiconductor material. Measurements were performed on VB grown bulk wafers, then compare substrates grown by EFG. It was found that same features with EFG such as dislocation array are observed, and dislocation density is almost same. We succeeded in growing the high-quality crystal by VB method.

2. 背景と目的

β -Ga₂O₃ は、バンドギャップが広く絶縁破壊電界が高いため、低損失で高耐圧の次世代パワー半導体材料として期待されている。先行する炭化ケイ素や窒化ガリウムよりも優れる物性を持っており、更に融液成長が可能な点から、これらの材料よりも低コストで基板を作製できる特徴がある。10 年ほど前から急速に研究が進み、これまでに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、課題として格子欠陥(結晶欠陥)の影響も報告されており、 β -Ga₂O₃ を用いたショットキーバリアダイオードにおいて結晶欠陥による素子特性の劣化が明らかになっている[1, 2]。これらのデバイスの活性層であるエピタキシャル層の欠陥は下地基板の品質が大きく影響するため、バルク基板の高品質化が重要となる。これまで Edge-defined Film-fed Growth(EFG)法で育成したバルク基板について報告を行ってきたが、今回 Vertical Bridgeman(VB)法で育成した結晶について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VB法により育成したバルク基板で、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。 β -Ga₂O₃では結晶内でのX線吸収が顕著なため透過法は向かず、図1に示すような測定配置 (反射法) で測定した。測定ではモノクロメーターを通した単色光を用い、回折したX線をフィルムに露光した。測定試料の表面の面方位は(011)面であり、 $g=422$ 等の回折を用いた。

4. 実験結果と考察

図2に今回観察した β -Ga₂O₃バルク基板のX線トポグラフ像を示す。点状のコントラストが見えており、成長中に発生した転位と思われる。図の上部には $\langle 010 \rangle$ に沿った転位列が観察され、EFGやエピウエハーでも見られるため、成長法や育成軸に関わらず β -Ga₂O₃で発生する特有の転位分布であることがわかった。これらの起点には比較的大きなコントラストが発生しており、インクルージョンや不純物の偏析と思われるが詳細は不明である。結晶全体の転位密度は $10^3 \sim 10^4 \text{ cm}^{-2}$ 程度でほぼEFG基板と同じである。VB法においてもEFGと同じレベルの高品質結晶を育成することに成功した。

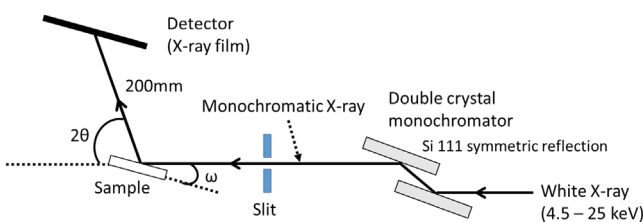
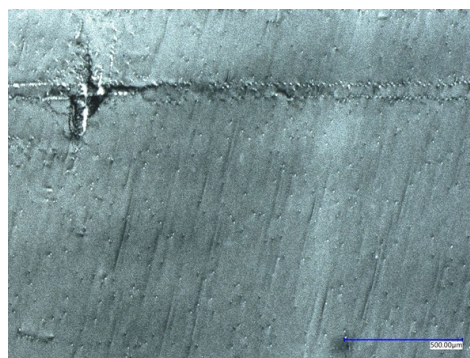


Fig.1 反射 Bragg 配置の測定系レイアウト図



500 μm

Fig. 2 VB 基板の X 線トポグラフ像

5. 今後の課題

今回 VB 法により EFG と同等レベルの β -Ga₂O₃結晶を育成したが、デバイス応用のため更なる高品質化および4~6インチへのスケールアップを目指していく。結晶欠陥低減に向けた指針を示すためにもこれらの欠陥の発生要因や構造解析をより詳細に調べていく必要がある。

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)まで)

① 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)まで

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 :

2023 年 3 月)