

(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、単結晶基板中に発生する転位や積層欠陥などの結晶欠陥をX線トポグラフィーにより評価した。

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、半導体デバイス応用を実現するにあたり更なる結晶欠陥の低減が求められる。これまでは主にSnドープした導電性n型基板を評価してきたが、今回、Feドープによる高抵抗基板を観察し、従来のn型結晶との比較を行った。

(English)

X-ray topography to evaluate crystalline defects were performed to Gallium Oxide (β -Ga₂O₃) which expected as next generation wide bandgap semiconductor material. So far, we have mainly evaluated Sn-doped conductive n-type substrates, but this time, we observed Fe-doped high-resistance substrates and compared them with n-type crystals.

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]。これまでSnドープ等による導電性n型基板の結晶欠陥を評価してきたが、今回はFeドープした高抵抗基板を測定した。Feドープによる高抵抗基板は横型デバイスを作製する際に重要となるが、ドープ種による欠陥構造の違いなどはわかっていなかった。フェルミ準位の低下による真性点欠陥の形成エネルギーの変化や、不純物原子の違いによる応力差などが予想されるが、転位等の欠陥においてどのよ

うな違いが出るか評価する。

3. 実験内容 (試料、実験方法、解析方法の説明)

試料はEdge-define Film fed Growth (EFG)法により育成したバルク基板で、 10^{18} cm^{-3} 程度のFeを不純物としてドーピングしている。結晶欠陥の観察を目的としたため、転位密度が高いと予想される試料を選定した。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、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(010)面であり、 $g=024$ 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Feドーパ $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ EFG基板のX線トポグラフ像を示す。全体に無数の転位が発生しており、(100)面や(001)面に沿って発生していることがわかった。転位の分布や特性について、現段階ではSnドーパやアンドープ試料と比較して、Feドーパによる特異性は確認できてない。詳細については電子顕微鏡などにより更なる調査が必要であるが、転位密度などについてはドーパ種による違いはないことがわかった。

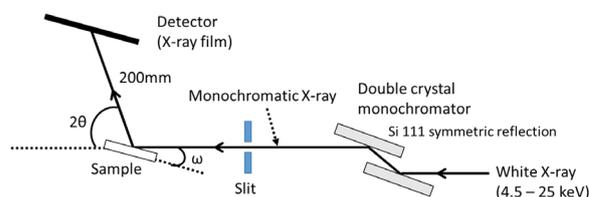


Fig.1 反射 Bragg 配置の測定系レイアウト図

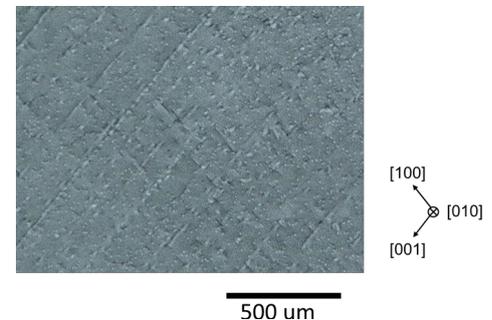


Fig.2 Feドーパ基板のX線トポグラフ像

5. 今後の課題

今回、Feドーパ $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ EFG基板のX線トポグラフィー観察からドーパ種による欠陥構造の変化を調べたが、トポグラフィーで観察できる範囲では変化はなかった。原子スケールでの構造解析を行うため電子顕微鏡などでの観察も必要だと思われる。またこのFeドーパ $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ を用いた横型電子デバイスの応用も進める。

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、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$

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： 2024年 3月）