

(様式第5号)

ダイヤモンド・バルク単結晶及び 酸化ガリウム・バルク単結晶のX線トポグラフィー測定 X-ray Topography of Diamond Bulk Single Crystals and Ga₂O₃ Bulk Single Crystals

嘉数 誠, 大島孝仁, 榎谷聡士, 森林朋也
Makoto Kasu, Takayoshi Oshima, Satoshi Masuya
Tomoya Moribayashi

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, 長期トライアルユース, 長期産学連携ユース)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。(トライアルユース, 及び産学連携ユースを除く)

1. 概要 (注: 結論を含めて下さい)

ダイヤモンドは5.47eVのワイドギャップ半導体であり, 高い絶縁破壊電界や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。半導体には下地基板として単結晶が必要であるが, 結晶中の格子欠陥はリーク電流や耐圧低下の原因となり課題である。そのためこれらの低減化のためにも, 結晶欠陥の観察や同定が必要である。そこで本研究ではX線トポグラフィーによりダイヤモンド単結晶中の格子欠陥を観察し, 素子特性との関連を調べる。

(English)

Diamond is a wide gap semiconductor with a bandgap of 5.47eV and is expected as high-efficient high-power device. However, defects in diamond 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. In this study, we performed X-ray topography observation of HPHT diamond single crystals, and investigated defects in HPHT diamond single crystals.

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, 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。

本研究では, 結晶欠陥と素子特性の関係を明らかにする。これまでのように結晶欠陥を観察, 同定し, その基板を用いてショットキーバリアダイオード(SBD)や電界効果トランジスタ(FET)を作製し, 結晶欠陥の有無または種類と, デバイス特性の相関を調べる。

またダイヤモンドと同様に次世代半導体として期待されている $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ についても測定を行う。 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ の結晶欠陥に関しては未だに報告が少ないため、X線トポグラフィ観察により転位や積層欠陥の同定を行う。

3. 実験内容 (試料, 実験方法, 解析方法の説明)

測定試料は高温高压法(HPHT法)により成長した(001)ダイヤモンド単結晶である[1]。この結晶を用いて図1に示すような配置でX線トポグラフィを行った。今回は反射Bragg配置にて{202}回折, {113}回折を測定した。

また、EFG成長した $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶においても測定を行った。測定した試料は(001)面の $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶である。この試料を反射Bragg配置にて{605}回折, {006}回折等を測定した。

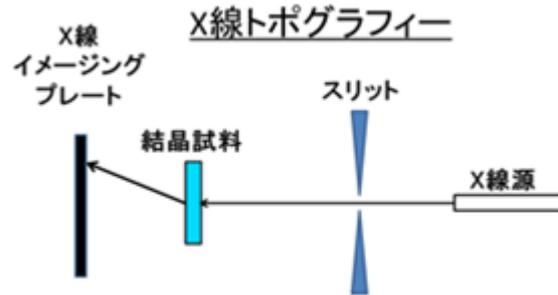


図1 X線トポグラフィ測定方法

4. 実験結果と考察

HPHT ダイヤモンド単結晶の X 線トポグラフィ像を見ると、積層欠陥や転位が観察された。欠陥の導入分布としては、これまで測定してきた超高純度 IIa 型と比べて、異なることがわかった[1, 2]。結晶欠陥を観察したこの結晶を用いて、今後はデバイス作製を行い、素子特性と欠陥との関係を明らかにしていく。

$\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶においても転位のような線状の欠陥が観察された。融液成長の際に引上げ方向である[010]方向に沿って、欠陥が導入していることがわかった。また C 面表面に対して貫通型のような欠陥も観察された。今後転位コントラストの消滅により転位のバーガーズベクトルを同定する。

5. 今後の課題

次世代のパワー半導体として注目されるダイヤモンド単結晶のシンクロトロン放射光を用いた X 線トポグラフィ観察を行い結晶欠陥の評価を行った。HPHT ダイヤモンド単結晶の測定を行い、転位や積層欠陥を観察した。これまで測定していた超高純度結晶とは欠陥分布が異なることがわかった[1, 2]。今後は、この観察試料を用いて、SBD や FET を作製し、素子特性と結晶欠陥との関連を調べる。

$\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶においても様々な回折条件で測定を行い、結晶欠陥を観察した。b 軸方向に延伸する転位のような欠陥が観察された。今後は転位コントラストの消滅により転位のバーガーズベクトルを同定する。

6. 参考文献

[1] H. Sumiya, K. Tamasaku, Japanese Journal of Applied Physics, 51 (2012) 090102.

[2] S. Masuya, K. Hanada, T. Uematsu, T. Moribayashi, H. Sumiya, M. Kasu, Japanese Journal of Applied Physics 55, (2016)040303

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] M. Kasu, R. Murakami, S. Masuya, K. Harada, and H. Sumiya, Synchrotron X-ray topography of dislocations in high-pressure high-temperature-grown single-crystal diamond with low dislocation density, Applied Physics Express, 7 (2014)125501.

[2] S. Masuya, K. Hanada, T. Uematsu, T. Moribayashi, H. Sumiya, M. Kasu, Determination of the type of stacking faults in single-crystal high-purity diamond with a low dislocation density of $<50\text{cm}^{-2}$ by synchrotron X-ray topography, Japanese Journal of Applied Physics 55, (2016)040303

[3] S. Masuya, K. Hanada, T. Moribayashi, H. Sumiya, M. Kasu, Determination of partial dislocations of stacking fault in (111) single crystal diamond grown on (111) seed crystal by synchrotron X-ray topography, Journal of Crystal Growth, in press.

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)

ダイヤモンド, 酸化ガリウム, X線トポグラフィ

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（2016年度実施課題は2018年度末が期限となります。）
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： 2018 年 3 月）