

(様式第5号)

実施課題名：X線トポグラフィによる単結晶ダイヤモンドの欠陥観察  
Observation of single crystal diamond dislocations by X-ray topography

著者・共著者 氏名：鹿田真一、安岡幹貴、石井万里野  
S.Shikata, M.Yasuoka, and M. Ishii

著者・共著者 所属：関西学院大学 理工学部  
School of Sci. Technol., Kwansai Gakuin 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）

次世代省エネルギーパワーデバイス用ワイドギャップ半導体材料として、Siの約30倍の絶縁破壊電界を有するダイヤモンドが、高耐圧・高電流密度を生かした基幹系機器で、さらに低損失かつ高温動作可能なパワーデバイスとして利用されることが期待されている。現在のダイヤモンド単結晶材料（ウェハ）は、サイズ、低欠陥、低抵抗などで様々な開発課題を抱えている。その中で結晶欠陥について、評価及び成長の両面で研究を急ぐ必要があり、本施設を用いてX線トポグラフィにより、欠陥観察を試みた。

エピタキシャル成長を行った基板に関して $\langle 404 \rangle$ と $\langle 113 \rangle$ のgベクトルを用いてXRT像取得の実験を実施した。入射角を大きく設定し、基板全ての情報を観察する事を狙った実験である。今後、本基板上にエピタキシャル成長を行い、再度X線トポグラフィ観察を行い、基板の情報とエピ層情報を分離し、転位に関して検討を行う。

### (English)

Diamond is receiving much attention as the next generation wide bandgap semiconductor material because of its extreme characteristics such as the high electric breakdown field. Diamond material (wafer) suffers the size, resistivity and dislocation issues due to extreme equilibrium condition of growth. It is necessary to investigate dislocations and plane type defect such as stacking fault, in terms of both evaluation and growth toward power semiconductor material, intensive observation of defects by X-ray topography were carried out using this facility.

XRT experiments were conducted by using deep incident angle beam (approximately 10deg for  $[-40-4]$ ) to obtain dislocation information relate to the whole substrate. Diffraction vectors of  $\langle 404 \rangle$  are used for these experiments. Subsequently, the dislocation of this substrate will be analyzed. After that, another XRT measurement will be conducted for the epitaxial layer deposited on this substrate and dislocation information will be compared.

## 2. 背景と目的

地球のCO<sub>2</sub>の50%削減に向けて、殆ど全ての産業・輸送機器に用いられる省エネルギーパワー半導体の貢献が期待されている。Siが性能限界を見せ始め、SiCが電車、家電、産業機器等で実用に供され、大きな省エネ効果を発揮することがわかってきている。そんな中で、次世代ワイドギャップ半導体材料としてのダイヤモンドはSiに比べ約30倍の絶縁破壊電界、約5倍のバンドギャップを有しており、高耐圧・高電流密度を生かした基幹系機器で、さらに低損失かつ高温動作可能なパワーデバイスとして利用されることが期待されている。現在のダイヤモンド単結晶材料（ウェハ）は、サイズ、低

欠陥、低抵抗などで様々な開発課題を抱えている。その中で基板及びエピタキシャル膜の結晶欠陥について、評価及び成長の両面で研究を急ぐ必要があり、本施設ビームラインを用いた研究を実施する。

### 3. 実験内容（試料、実験方法、解析方法の説明）

測定試料は Nドープ絶縁HPHT基板 (Ib) で、表面は (001) 面でファイン研磨済の結晶を用いた。X線トポグラフィは本施設BL09を用い、取り出した放射光をスリット通過させ、反射モードで測定し、フィルムに露光させた。用いたgベクトルは、反射モードの  $\langle 404 \rangle$  及び  $\langle 113 \rangle$  で像撮影を実施した。計測のスキーム概要図例を図1に示す。結晶を回転して測定することで、トポグラフィ像を撮影し、4方向の結晶のトポグラフィ像を得ることが出来た。

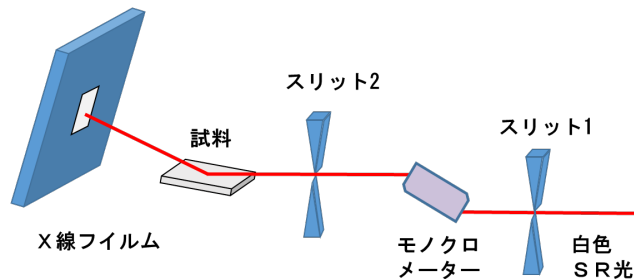


図1 X線トポグラフィの計測図

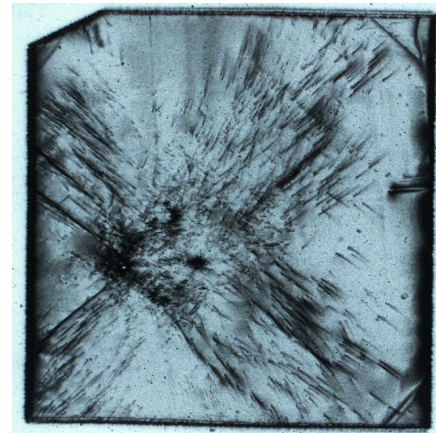


図2 エピ成長用絶縁HPHT基板 (3mm角) のX線トポグラフィ像 [-40-4]

### 4. 実験結果と考察

絶縁 HPHT 基板ダイヤモンド結晶基板について、図2に示すような反射 X 線トポグラフィの画像群 ( $g\langle 404 \rangle$ ) を得ることが出来た。入射角は  $10^\circ$  の深めの角度で、基板全ての情報が取得できる条件である。今後、本基板上にエピタキシャル成長を行い、基板からの転位引継ぎ及びエpi/基板界面における発生転位の解析を行うことを目的としたものである。

### 5. 今後の課題

今後、まず本基板に存在する転位ベクトル、バーガーズベクトル、転位種類を解析する。併せて、基板上に成長したエピタキシャル膜を、次回、X線トポグラフィ像撮影を行い浅い入射により上層部の転位情報を得て、今回の基板転位情報と比較検討する。

### 6. 参考文献

“Development of white and monochromatic X-ray topography system in SAGA-LS”,  
K. Ishiji, S.Kawado, and Y. Hirai, Phys. Status Solidi A 208, No. 11, 2516–2521 (2011)

### 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）

（下線は本施設利用者）

- 1) “Complete analysis of dislocations in single crystal diamonds”,  
Y. Sato, K. Miyajima and S. Shikata, Diam. Relat. Mat., 126(2022)109129
- 2) “Effect of surface irregularities on diamond Schottky barrier diode with threading dislocations”,  
N.Mikata, M.Takeuchi, N. Ohtani, K.Ichikawa, T.Teraji, and S.Shikata,  
Diam. Relat. Mat., 127 (2022) 109188
- 3) “Analysis method of diamond dislocation vectors using reflectance mode X-ray topography”,  
S.Shikata, K.Miyajima, and N.Akashi, Diam.Relat.Mat., 118 (2021) 108502
- 4) “Influence of threading dislocation on diamond Schottky barrier diode characteristics”,  
N.Akashi, N.Fujimaki, and S.Shikata, Diam.Relat.Mat., 109 (2020)108024
- 5) “Dislocation vector analysis method of deep dislocation having c-axis segment in diamond”,  
S.Shikata and N.Akashi, Material Science Forum, 1004 (2020) pp.519-524

### 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）

結晶欠陥、X線トポグラフィ、ダイヤモンド、単結晶

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（2021年度実施課題は2023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： 2024年 3月） |
| ② 研究成果公報の原稿提出  | （提出時期： 年 月）      |