

(様式第5号)

キラ欠陥自動検査システム構築に向けたパワーデバイス半導体
結晶のX線トポグラフィ法による欠陥評価
Defect evaluation of semiconductor crystals for power devices by X-ray
topography toward construction of automatic inspection system for killer defect

原田 俊太
Shunta Harada

名古屋大学
Nagoya 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

次世代のパワーデバイス材料として注目を集めている炭化ケイ素（SiC）基板には、 10^3 - 10^5 個/cm² の転位が含まれており、この中の一部の欠陥が「キラ欠陥」として、デバイスの特性や信頼性に影響を与えることが知られている。キラ欠陥の特定のためには、半導体基板の転位の種類と位置の特定を行い、デバイスの特性との相関を明らかにする必要がある。このためには、高い分解能で広い面積に対して高速で、非破壊の欠陥評価を行う技術が必要となる。本研究では、放射光 X 線トポグラフィと複屈折イメージを比較して対応関係を解明することにより、偏光観察による半導体結晶中のキラ欠陥検査システムを構築するために、6 インチ SiC 基板の X 線トポグラフィ撮影を行い複屈折イメージにおけるコントラストの位置との対応を確認した。

(English)

Silicon carbide (SiC) substrates, which are attracting attention as next-generation power device materials, contain 10^3 - 10^5 cm⁻² dislocations, and some of these defects are referred to as "killer defects." It is known to affect the characteristics and reliability of the device. In order to identify killer defects, it is necessary to identify the type and position of dislocations on the semiconductor substrate and clarify the correlation with the characteristics of the device. For this purpose, a technique for performing non-destructive defect evaluation with high resolution and high speed over a wide area is required. In this study, X-ray topography of a 6-inch SiC substrate is used to construct a killer defect inspection system in semiconductor crystals by polarization observation by comparing synchrotron radiation X-ray topography and birefringence images to clarify the correspondence. Photographs were taken to confirm the correspondence with the position of contrast in the birefringence image.

2. 背景と目的

あらゆる半導体デバイスにおいて、結晶欠陥は特性や信頼性に影響を耐えるため、生産性（歩留り）を低下させる原因となる。このため高品質の半導体基板が求められている。シリコン（Si）基板は高品質の結晶成長手法が確立されているため、無転位のウエハを製造する技術が確立しているが、それ

以外の半導体基板には多くの転位が含まれており、無転位を前提としたデバイスの製造は現状では不可能である。例えば、次世代のパワーデバイス材料として注目を集めている炭化ケイ素（SiC）基板には、 10^3 - 10^5 個/cm²の転位が含まれており、この中の一部の欠陥が「キラ欠陥」として、デバイスの特性や信頼性に影響を与えることが知られている。キラ欠陥の特定のためには、半導体基板の転位の種類と位置の特定を行い、デバイスの特性との相関を明らかにする必要がある。このためには、高い分解能で広い面積に対して高速で、非破壊の欠陥評価を行う技術が必要となる。しかし、これらすべてを満足する半導体欠陥評価装置は現状では存在しない。偏光観察による複屈折イメージングでは、応力によって複屈折が変化する光弾性効果により、転位に伴う応力分布を観察することが可能であり、複屈折イメージから転位の種類を判別することが原理的には可能である¹。また、光学的な観察手法であるため、非破壊で高速の観察が可能である。本研究では、放射光 X 線トポグラフィと複屈折イメージを比較して対応関係を解明することにより、偏光観察による半導体結晶中のキラ欠陥検査システムを構築することが目的である。これにより、SiCをはじめとするパワーデバイス半導体の生産性が向上し、社会実装を加速させることにより省エネルギー社会の実現に貢献する。

3. 実験内容（試料、実験方法、解析方法の説明）

複数の製造メーカーの6インチ、4インチSiCウエハのX線トポグラフィ観察を行った。波長約1.5 Åで11-28回折を用いて、エネルギーキャンによりX線フィルムを用いて結晶全面の測定を行った。X線フィルムを顕微鏡で撮影することにより電子データとするが、得られた6インチ全面を撮影するために、自動ステージによる自動撮影システムを構築しつつある。このため、全面における比較はまだできていない。

4. 実験結果と考察

Fig. 1 に 6 インチウエハの X 線フィルムの写真を示す。6 インチウエハのほぼ全面において X 線トポグラフィ像を取得することができた。測定に要した時間は、ビームのフラックスやウエハの品質などにもよるが、約 1-2 時間で 1 枚の撮影を行う事ができた。Fig. 2 に X 線フィルムを顕微鏡で観察した X 線トポグラフィ像を示す。線上のコントラストとしてあらわされる基底面転位、点状のコントラストとしてあらわされる貫通転位が結像されており、複屈折像と比較を行う事で、その対応関係を調べることができる。今回の測定で、複数の製造メーカーのウエハの観察を行い大面積で画像を取得することができ、ビックデータを収集することができた。これらのデータと像シミュレーションを融合してキラ欠陥判定アルゴリズムを構築する。

5. 今後の課題

今後、6 インチの X 線フィルム写真を顕微鏡で自動撮影するシステムを構築し、6 インチウエハ全面において対応を確認し、キラ欠陥自動検査システムを構築する。

6. 参考文献

1. A. Kawata, K. Murayama, S. Sumitani, and S. Harada, Jpn. J. Appl. Phys. **60**, 6 (2021).

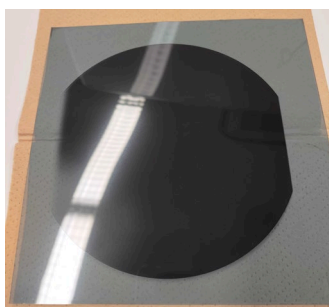


Fig. 1. 6 インチ SiC ウエハの X 線トポグラフィ像を撮影した X 線フィルム。



Fig. 2. 6 インチ SiC ウエハの X 線トポグラフィ像。

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. A. Kawata, K. Murayama, S. Sumitani, and S. Harada, Jpn. J. Appl. Phys. **60**, 6 (2021).
2. A. Tanaka, S. Inotsume, S. Harada, K. Hanada, Y. Honda, T. Ujihara, and H. Amano, Phys. Status Solidi **257**, 1900553 (2020).

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)

SiC, 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。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：2023年3月) |
| ② 研究成果公報の原稿提出 | (提出時期：2023年3月) |