

(様式第 5 号)

パワーエレクトロニクス素子としての SiC の結晶欠陥評価 (I) Characterization of defects in SiC wafers

山下任、着本享、小松直佳、林将平、山口博隆
Tamotsu Yamashita, Susumu Tsukimoto, Naoyoshi Komatsu,
Shohei Hayashi, Hirotaka Yamaguchi

産業技術総合研究所 先進パワーエレクトロニクス研究センター
Advanced Powerelectronics Research Center,
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

- ※ 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）

これまでの検討で構造を確認した 4H-SiC エピタキシャル膜中の新規構造 Frank 型積層欠陥について、起点に着目した X 線トポグラフィによる観察を継続して行った。観察の結果、基板中を平行に走る 2 本の Frank 型部分転位が起点となり、これが基板エピ界面付近で幅を広げ、エピ中で積層欠陥として観察されていると推定された。

The origin of the new type of Frank-type stacking fault has been studied using x-ray topography. It was speculated by the results that the stacking faults are originated from two of Frank-type partial dislocations which run parallelly each other on the basal plane in the substrate.

2. 背景と目的

SiC によるパワーエレクトロニクス素子を実現するためには、欠陥の制御とそのデバイス特性への影響を明らかにすることは重要である。これまで X 線トポグラフィ法と光学顕微鏡、フォトルミネッセンス (PL)、電子顕微鏡などによる評価を組み合わせることで総合的に結晶欠陥の評価を調べてきた。昨年度は、SiC 結晶欠陥の構造解析を目的とした実験のほか、結晶成長、ウェーハ加工、エピタキシャル成長の各プロセスの評価のための実験、および「SiC エピウェハ欠陥検出手法」の国際規格提案のためのデータ収集などを実施した。今年度もさらに詳細な研究を進めるため、長期利用課題による実験をおこなう。

3. 4H-SiC エピタキシャルウェーハ中のフランク型積層欠陥の起点の構造解析

3.1 はじめに

我々が最近の市販品の 4H-SiC エピタキシャルウェーハ表面を PL 観察した結果では、これまで報告されているものとは異なり、波長 553nm での PL 発光を示す積層欠陥が認められた。我々は、当該積層欠陥が Frank タイプの積層欠陥であることを X 線トポグラフィ観察により見出し[1]、さらに、当該積層欠陥の高分解能 STEM 観察から積層構造を決定した。今年度は、これらの積層欠陥がどのような結晶欠陥を起点として形成されているかを明らかにするため、同一構造の積層欠陥多数個について、X 線トポグラフィ法による観察を行った。

3.2 実験

試料は市販品4H-SiCエピタキシャルウェーハで、553nmのPL発光波長を示す積層欠陥が多数形成されていることを事前に確認した。当該ウェーハについて、斜入射X線トポグラフィ法（光学配置：図3-1）により、4H-SiCの $\bar{1}\bar{1}28$ 、 $11\bar{2}8$ 、 $\bar{2}118$ 、 $1\bar{2}18$ の各反射について原子核乾板に記録した。

3.3 実験結果と考察

553nmPL発光積層欠陥の、代表的なX線トポグラフィ3例を、図3-2、図3-3、図3-4に示した。これらはいずれも、 $g=\bar{2}118$ 条件で得たものである。図3-2では、基板内部から $[2\bar{1}\bar{1}0]$ 方向に沿って積層欠陥起点部分に伸びるスジ状コントラスト（図中に赤矢印で示した）が観察された。また同様に図3-3では、基板内部から $[\bar{1}2\bar{1}0]$ 方向に沿って積層欠陥起点部分に伸びるスジ状コントラスト（図中に赤矢印で示した）が観察された。その一方で、図3-4では、スジ状コントラストが観察されなかった。 $[2\bar{1}\bar{1}0]$ 方向のスジが見られたもの、 $[\bar{1}2\bar{1}0]$ 方向のスジが見られたもの、スジが見られなかったものの比率を算出すると、概ね5:3:12であった。

さらに、図3-3で確認されたスジに関して、高分解能STEM観察を行った結果、幅が約 $2\mu\text{m}$ で、エピ中積層欠陥と同じ積層構造を有するFrank型積層欠陥が形成されていることが確認された。

積層欠陥の輪郭部分に、Frank型部分転位に起因する白黒一対の線状コントラスト（積層欠陥外側が黒コントラストで内側が白コントラスト）が観察されていることを考慮すると、図3-2、図3-3で観察されたスジ状コントラストは、2本のFrank型部分転位が、狭い幅で基板内を平行に走っているもので、これが基板エピ界面付近で幅を広げ、エピ中で積層欠陥として観察されていると推定された。また、スジ状コントラストが観察されなかった図3-4のような場合は、X線トポグラフィの分解能より小さい微小欠陥（例えば基板表面に形成された微小スクラッチ）が起点になっているか、もしくは、図3-2、図3-3と同様のFrank型欠陥が起点になっているが2本のFrank型部分転位の間隔が比較的狭いためにコントラストがキャンセルアウトされ、見かけ上欠陥がないように観察されていると推定された。

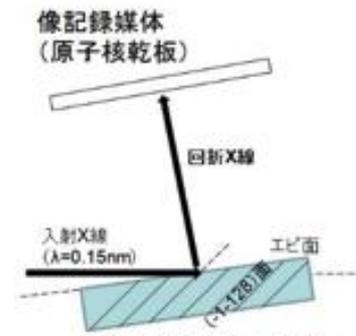


図3-1 X線トポグラフィ法の光学配置

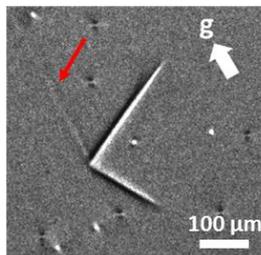


図3-2 553nm発光積層欠陥X線トポグラフィ。 $[2\bar{1}\bar{1}0]$ 方向のスジが見られるもの ($g=\bar{2}118$)

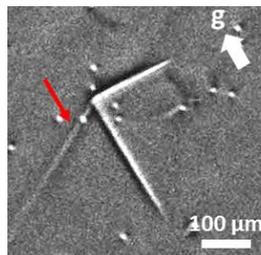


図3-3 553nm発光積層欠陥X線トポグラフィ。 $[\bar{1}2\bar{1}0]$ 方向のスジが見られるもの ($g=\bar{2}118$)

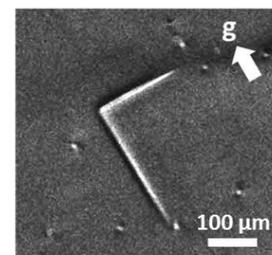


図3-4 553nm発光積層欠陥X線トポグラフィ。スジが見られないもの ($g=\bar{2}118$)

3.4 今後の課題

図3-4のような場合について高分解能観察を実施し、Frank型部分転位が確認されるか検証する。

参考文献

[1] 山下他、九州シンクロトロン光研究センター県有ビームライン利用報告書（2015）

5. 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）

6. 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-ray topography、SiC、stacking fault