

(様式第 5 号)

## SiC のウェーハ欠陥とデバイス特性の評価 (II) Characterization of wafer defect and device performance

山下任、内城貴則、着本享、小松直佳、山口博隆  
Tamotsu Yamashita, Takanori Naijo, Susumu Tsukimoto,  
Naoyoshi Komatsu, 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）

SiC デバイスの高耐圧化のためにエピタキシャル成長による厚膜が必要であるが、多形の安定化を図るためにスパイラル成長されたエピタキシャル膜の結晶評価を行った。厚さ 45 $\mu\text{m}$  のエピタキシャル成長膜のスパイラル成長領域の光学顕微鏡像と X 線トポグラフィ像を比較し、らせん転位を中心にスパイラル成長が発生する一方、異なるらせん転位から発生したスパイラル成長境界に転位の発生は確認されなかった。

「SiC エピ/ウェーハの欠陥検出手法」に関する国際規格を IEC TC47 に提案する準備をしており、その基礎データとして、欠陥の X 線トポグラフィを整理している。本報告では欠陥のガイドラインの一例を紹介する。

Epitaxial growth of thick film is needed for developing high blocking voltage silicon carbide (SiC) devices. In this study, epitaxial films grown with the spiral mode have been characterized by X-ray topography and optical microscopy. In an epitaxial film with thickness of 45 $\mu\text{m}$ , no dislocations were observed around boundaries of independent spiral growth domains.

We have classified method and data for characterization of SiC wafer, including X-ray topography, in order to submit to International Electrotechnical Commission (IEC). We show an example of the guideline in a specific defect case.

### 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、ウェーハ加工、エピタキシャル成長からデバイス特性・信頼性にわたる各段階における結晶欠陥の評価と影響を調べてきた。本年度もさらに詳細な評価を進めており、今期の実験結果をテーマ別に報告する。

### 3. CVD 法を用いた 4H-SiC on-axis 基板上的スパイラル成長

#### 3.1 はじめに

SiC デバイスの高耐圧化には、エピタキシャル膜の厚膜化が必要だが、現在は 4 °オフ基板を用いたステップ制御エピタキシャル成長を行っているため、厚膜化するとステップの存在しないウエハ端から成長が破綻してしまう。そこで、エピタキシャル膜の厚膜化を目的とし、ステップが存在しなくて

も基板の多形を引き継ぐことのできるスパイラル成長を行い、評価した。

### 3.2 実験

4H-SiC 単結晶ウェーハ(4° オフ、Si(0001)面)上にマイクロ・ビッカース装置を用いて微小圧痕を導入した。圧痕印加荷重は 10mN~1000mN である。ノマルスキー型微分干渉顕微鏡および走査電子顕微鏡(SEM)による圧痕分布の観察を行った後、単色 X 線トポグラフ法(波長 $\lambda=1.5\text{Å}$ 、回折条件 $g=\bar{1}\bar{1}28$ )によって微小圧痕分布や内部欠陥観察を行った。記録媒体として原子核乾板を用いた。

### 3.3 結果と考察

4H-SiC on-axis C 面基板上に約 45  $\mu\text{m}$  厚のエピタキシャル膜を成長させ、スパイラル成長領域を放射光 X 線トポ測定 ( $g=11\cdot2\cdot8$ ) により評価した。図 1 にスパイラル成長領域の顕微鏡像 (左) と放射光 X 線トポ像 (右) を示す。螺旋転位を橙色で、刃状転位を黄緑色で囲っている。顕微鏡像を見ると、螺旋転位の存在する位置からスパイラル成長が発生していることが確認できる。また、異なる螺旋転位から発生したスパイラル成長の境界において、転位の発生が懸念されていたが、転位の発生は確認されなかった。これは、スパイラル成長したエピタキシャル膜の実用化の実現に向け、重要な結果である。スパイラル成長領域には、3C インクルージョンが高密度に発生することがあり、この抑制が今後の課題であるが、基板の歪と 3C インクルージョン発生との関係性を評価するために、放射光 X 線トポ測定によるエピタキシャル成長前の基板評価などを行う予定である。

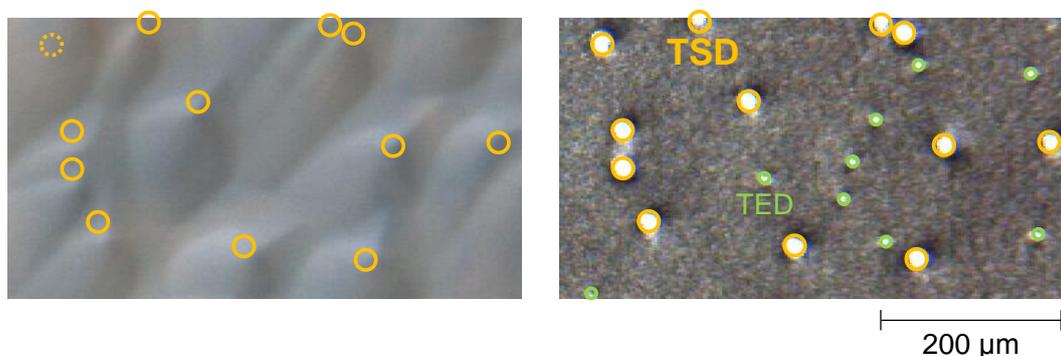


図 1 : スパイラル成長領域の顕微鏡像 (左) と放射光 X 線トポ像 (右)

## 4. SiC エピ/ウェーハに関する国際標準化のベースとなるデータ取得

### 4.1 はじめに

現在、パワーデバイスに関する国際標準は「半導体デバイス」に関して IEC TC47 でその標準化が進められているが、「半導体エピ/ウェーハ」に関する TC/SC は存在しない。そのため、SiC ウェーハについても、統一されたスペックはなく、特にウェーハ品質を決定する結晶欠陥について、その定義や判別手法など不明確であり、適切なウェーハ品質確認が困難な状況である。そのため、SiC ウェーハスペックを共通の指標で協議可能とする国際規格の制定が強く求められている。

このような背景から、産総研では省エネルギー等国際標準開発事業において、「SiC エピ/ウェーハ欠陥検出手法」に関する国際規格原案を作成し、IEC TC47 に提案することを目的としている。

### 4.2 実験結果、予想される成果、今後の展開

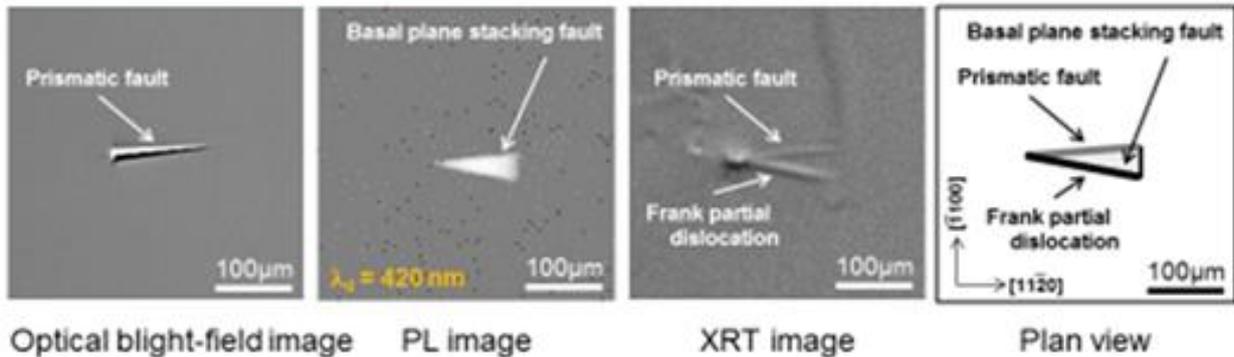
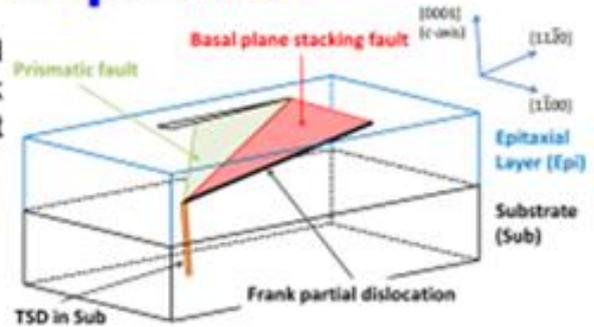
X 線トポグラフ像に加えて、Optical inspection 法及び Photoluminescence 法により取得した SiC エピ/ウェーハの観察像から、図に示すエピ欠陥に関するガイドラインを作成し、これをベースとして IEC 国際標準規格ドラフトを作成する。

# Stacking fault complexes

Stacking fault complexes consisting a basal plane stacking fault terminating at a Frank partial dislocation and a prismatic fault terminating at homoepitaxial layer surface

Morphological features :

**needle shaped features**  
**extending along the off-cut direction**  
 Referred to as “carrot defects”



www.aist.go.jp/ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY(AIST)

図2 SiC エピ/ウェハ欠陥のガイドライン例

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