

(様式第 5 号)

## X 線トポグラフィーによる SiC の巨視的欠陥の研究 (III)

### X-ray topographic study on macroscopic defects in SiC wafers (III)

佐々木雅之<sup>1)</sup>、山下 任<sup>1)</sup>、迫 秀樹<sup>1)</sup>、宮坂佳彦<sup>1)</sup>、松畑洋文<sup>2)</sup>、山口博隆<sup>2)</sup>

Masayuki Sasaki, Tamotsu Yamashita, Hideki Sako, Yoshihiko Miyasaka,  
Hirofumi Hatsuhata, Hirotaka Yamaguchi

<sup>1)</sup>技術研究組合次世代パワーエレクトロニクス研究開発機構

*R & D Partnership for Future Power Electronics Technology*

<sup>2)</sup>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)課題は、実施課題名の末尾に期を表す(I)、(II)、(III)を追記して下さい。

※ 2 利用情報の開示が必要な課題は、本利用報告書とは別に利用年度終了後二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。(トライアルユースを除く)

#### 1. 概要 (注：結論を含めて下さい)

4H-SiC エピ膜形成に関わる欠陥を X 線トポグラフィーによって調べた。とくに、エピ膜に発生する三角欠陥、エピ膜表面の凹凸などの形状異常、基板との界面に発生する界面転位の原因などについて調べた。三角欠陥には多様な形態が見られるが、エピ成長炉中で混入した不純物が原因で発生したのを見つかった。また、エピ膜表面の形状異常が基板の加工研磨で残留した欠陥に起因することがわかった。界面転位はエピタキシャルプロセスなどに依存し、同一ウェーハでの形状や分布の違いが観察された。

Defects in 4H-SiC epitaxial wafers have been studied by using X-ray topography. The study was focused on triangular defects in the epitaxial layer, morphological anomalies on the surface, and dislocations at the substrate-epitaxial layer interface. Some different origins of triangular defects were observed and a typical one was originating from a foreign particle fell on the wafer during the growth process in the furnace. The surface anomalies were found to be pits around the dislocations localized near surface generated by hydrogen gas during a pretreatment process. The interface dislocations show different behaviors depending on the wafer vendor and/or specification, and the difference in their shape and distribution was observed.

#### 2. 背景と目的

4H-SiC をパワーエレクトロニクス素子として実用化するために、結晶欠陥の素子性能の影響を明らかにするとともに、欠陥低減化のためにその構造や発生原因を明らかにすることは重要である。これまで、微分干渉顕微鏡、電子顕微鏡、フォトルミネッセンス等とともに X 線トポグラフィーを用いてウェーハ表面形態や内部の欠陥について評価してきた[1]。本年度は巨視的欠陥として、三角欠陥と呼ばれる三角形状の欠陥[2]、エピ膜表面の凹凸などの形状異常[3]に注目してきた。三角欠陥はエピ膜に現れる典型的な欠陥であるが、起点となる欠陥の頂点の形態や内部の構造に多様性があることがわかってきたが、さらに研究を進める必要がある。また、エピ膜表面の形状については、CMP 処理によって取り除かれなかったウェーハ表面に残留した基底面転位原因で発生することが

明らかになった。

エピ膜-基板界面近傍には成長方向に垂直な $[1\bar{1}00]$ 方向にのびた界面転位がしばしば発生する。これは、電子や光の照射により拡張し、MOS素子では酸化膜厚の不均質やデバイスの信頼性に影響をおよぼすことがわかっている。そのため、その構造や分布について調べ、発生原因を明らかにする必要がある。

### 3. 実験内容（試料、実験方法、解析方法の説明）

試料は市販の3インチ径4H-SiCエピタキシャルウェーハであり、表面方位は傾斜角 $4^\circ$ の(0001)面である。ウェーハ供給業者の異なるウェーハをとりそろえ、それぞれは共焦点微分干渉顕微鏡観察による表面観察などの品質評価がなされている。X線トポグラフィは、ビームラインBL15を利用し、波長0.15 nmの単色X線による反射配置で斜入射の回折条件（ $g=1128$ ）で観察し、原子核乾板（Ilford L4）に記録した。

### 4. 実験結果と考察

界面転位は、エピ膜成長方向に垂直な $[1-100]$ にそった刃状転位であり、基板-エピ膜界面近傍に発生している。その発生は、プロセス条件に起因すると考えられ、形態は業者や仕様によって大きく異なる。図1にその一例を示す。(a)から(d)は、ウェーハ上のごとなる位置での観察例であるが、中央領域で長さが長く、また密度が高いという分布がある。界面転位の始点には基板中の基底面転位、あるいは貫通転位が観察されることが多い。現在、業者や仕様などによる界面転位の分布や形態の特徴について調査中であり、さらにプロセス条件最適化の検討を進める予定である。

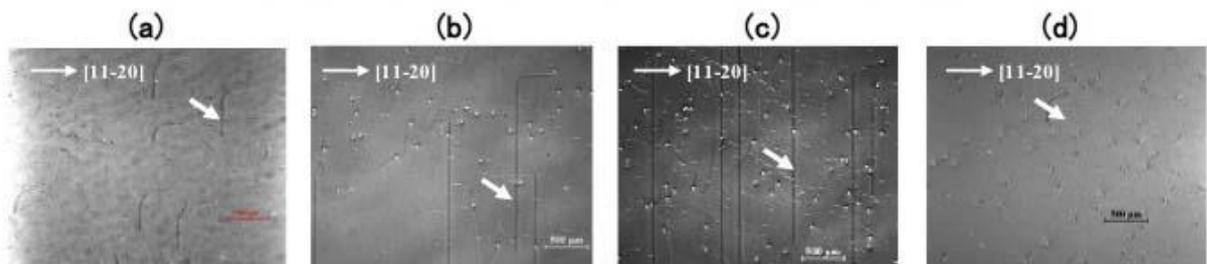


図1 界面転位の例(矢印)。(a)~(d)は同一ウェーハ上の異なる位置の転位像を示す。(a)から(d)の順にエピ成長方向 $[11\bar{2}0]$ に沿った方向。(b)、(c)がウェーハ中心部に近い。

### 5. 今後の課題

SiCのエピタキシャルウェーハには、界面転位や三角形状の巨視的欠陥などプロセス起因の欠陥のほか、切断研磨加工後の残留欠陥によって引き起こされる表面形状異常があることを見いだしてきた。また、いずれの欠陥にもウェーハ供給業者や仕様ごとに形態や量に違いが見られる。今後も引き続き、欠陥の調査を進めるとともに各種欠陥と電気特性等との相関をとり、欠陥の制御とデバイス設計の最適化を進めていく。

### 6. 参考文献

- [1] 山口博隆、松畑洋文、関根正樹、山下任、高橋聖一、宮坂佳彦、佐々木雅之、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（平成23年度、課題番号1105051AS）
- [2] 山下任、宮坂佳彦、佐々木雅之、迫秀樹、松畑洋文、山口博隆、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（平成24年度第I期）
- [3] 佐々木雅之、山下任、迫秀樹、宮坂佳彦、松畑洋文、山口博隆、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（平成24年度第II期）

### 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） 準備中

### 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） X線トポグラフィ、界面転位

**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（2013年度実施課題は2015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： 2015年9月）