

(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 (I)

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

山下 任<sup>1)</sup>、宮坂佳彦<sup>1)</sup>、佐々木雅之<sup>1)</sup>、迫 秀樹<sup>1)</sup>、松畑洋文<sup>2)</sup>、山口博隆<sup>2)</sup>  
Hideki Sako, Tamotsu Yamashita, Masayuki Sasaki, 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-エピタキシャルウェーハ上の巨視的欠陥である鈍角三角欠陥について、X 線トポグラフィーを光学顕微鏡および電子顕微鏡による観察とともに系統的に評価し、その形態と発生原因について調べた。鈍角三角欠陥の頂点には穴状欠陥が存在し、その中には不純物が混入していることがわかった。不純物はエピ成長炉内で成長中に混入したものである可能性が高いことから、それがエピ膜成長を妨げるとともに、その影響が下流側に面状に広がり、エピ膜表面に形状欠陥を引き起こしたと考えられる。

An obtuse-triangular defect on the 4H-SiC epitaxial wafer has been observed by means of X-ray topography in combination with optical microscopy and electron microscopy, and its morphology and generation mechanism are studied. A hollow defect was observed at the apex of the triangle, and a foreign particle was buried in the defect. Since the foreign particle is likely to originate from the CVD furnace, the particle fell on the wafer during the growth process would interrupt the growth to form the hollow, which is a possible source of the triangular defect.

#### 2. 背景と目的

4H-SiC エピタキシャルウェーハ表面には様々な形態の欠陥が存在し、それらがデバイス特性の信頼性低下を引き起こす。そのため、各種欠陥の形態と形成原因、デバイス特性との対応付けを行うことが重要である。これまで我々は微分干渉顕微鏡、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。昨年度は三角欠陥(頂点が鋭角であるため、鋭角三角欠陥と称する)について詳細な解析を行った。今年度我々は、頂点が鈍角で、底辺がミリメートルオーダーの長さを有する「鈍角三角欠陥」に着目した。鈍角三角欠陥のうち、欠陥の頂点(起点)に介在物や転位・スクラッチ等が存在し、欠陥内部に3C-SiCが形成されているものは知られているが、頂点の様子が不明でかつ欠陥内部に結晶学的欠陥の形成が認められないタイプが昨今のエピタキシャルウェーハで多数確認されるようになった。そこでこのようなタイプの鈍角三角欠陥について、起点の構造解析による形成原因究明、および鋭角三角欠陥との違いについて調べた。

### 3. 実験内容 (試料、実験方法、解析方法の説明)

解析には、[1120]方向に $4^\circ$ のオフ角を有する、市販の4H-SiC (Si面) エピタキシャルウェーハを用いた。ウェーハの表面観察には共焦点微分干渉顕微鏡観察を用い、頂点が鈍角で、底辺が[1100]方向に平行でmmオーダーの長さを有する鈍角三角形欠陥を解析の対象として選択した。また、詳細なモフォロジーは走査型電子顕微鏡 (SEM) によって調べた。X線トポグラフィーは、ビームラインBL15において、波長0.15 nmのX線を用いて、反射配置で斜入射の回折条件 ( $g = 1128$ ) でおこなわれた。

### 4. 実験結果と考察

典型的な鈍角三角欠陥の共焦点微分干渉顕微鏡像および頂点のSEM像をそれぞれ図1、図2に示す。頂点には直径が $1\mu\text{m}$ 程度の穴がエピタキシャル膜表面から内部に向かって形成されていることがわかった。

図3に、鈍角三角欠陥頂点近傍の、X線トポグラフを示した。図中の点線は、鈍角三角欠陥の輪郭に対応する。輪郭部分に結晶欠陥が対応している様子、および鈍角三角欠陥内部に別の三角欠陥が形成されている様子は認められなかった。これは、積層欠陥であった鋭角三角欠陥とは対照的である<sup>1)</sup>。また、トポグラフには、頂点に対応する位置に黒い点状のコントラストが確認された。頂点位置は表面形状が穴状になっていることから、マイクロパイプの可能性が想起されるが、X線トポグラフのコントラストからその可能性は否定される。マイクロパイプは貫通らせん転位に起因する空洞欠陥であり、そのひずみに対応するコントラストを示すからである<sup>2)</sup>。

その穴状欠陥内には、断面SEM観察によって大きさ数ミクロン程度の異物が存在し、それはその組成からエピ炉内から混入した可能性が高いことがわかった。したがって、エピ膜プロセス中に付着した異物によって成長が妨げられて穴状欠陥となり、その影響がその下流側に面状に広がった結果、表面に鈍角三角欠陥が形成されたものと考えられる。

### 5. 今後の課題

昨年度の鋭角三角欠陥、今年度の鈍角三角欠陥の他にも形状の異なる巨視的欠陥がウェーハの観察で見出されており、同様に他手法とX線トポグラフィーを組み合わせる解析を進めている。今後はそれらの構造と発生原因を解明し、デバイス性能に与える影響を明確にする必要がある。

### 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 (課題番号 1105051AS)
- 2) : X. R. Huang, M. Dudley, W. M. Vetter, W. Huang, S. Wang et al. Appl. Phys. Lett 74, 353(1999).

### 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)

Origin Analyses of Obtuse Triangular Defects in 4deg.-off 4H-SiC Epitaxial Wafers by Electron Microscopy and by Synchrotron X-ray Topography ; Material Science Forum Vols. 740-742(2013) pp649-652.

### 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 エピタキシャルウェーハ、斜入射放射光X線トポグラフィー観察、マイクロパイプ

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下さい。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下さい (2012年度実施課題は2014年度末が期限となります。))

- ① 論文 (査読付) 発表の報告 (報告時期: 2013年2月)

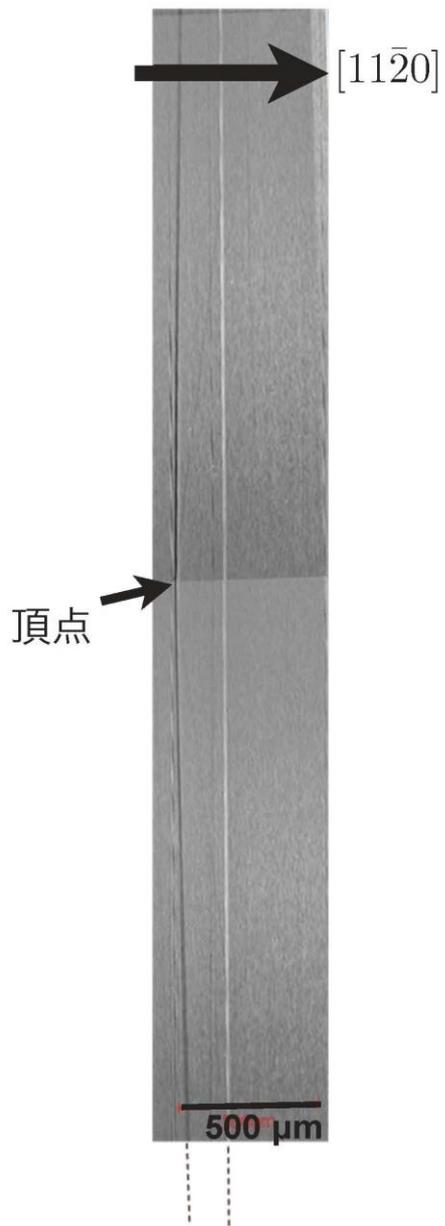


図 1 鈍角三角欠陥(光学顕微鏡像)

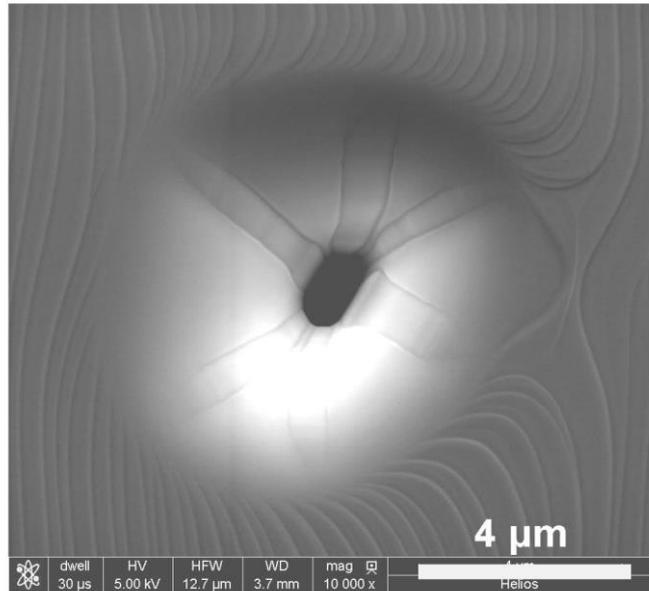


図 2 鈍角三角欠陥頂点の SEM 像

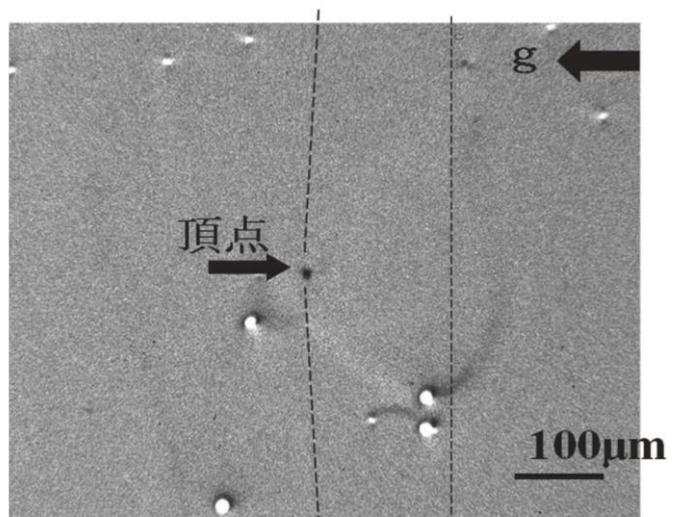


図 3 鈍角三角欠陥の X 線トポグラフ