

(4) X線トポグラフィーによる4H-SiCの巨視的欠陥の研究

佐々木雅之¹、山下任¹、迫秀樹¹、宮坂佳彦¹、松畑洋文²、山口博隆²

¹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

²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

1. はじめに

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。したがって、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へ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イメージング等とともに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。

本年度は巨視的欠陥として、三角形状の欠陥(三角欠陥)、エピ膜表面のステップバンチングや凹凸などの形状異常に注目してきた。三角欠陥については昨年度、X線トポグラフの g -ベクトルによるコントラストの変化などから、三角欠陥が3C-SiCによって形成され、その境界にショックレー型部分転位が存在することなどを確認した[1]。しかし、三角欠陥の頂点(起点)の様子が不明なものや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ウェーハで多数確認されるようになった。そこで、形態の異なる三角欠陥について評価を進めている。その結果、異物が起点となって発生した例があり、それはCVDプロセス中に混入したものであることがわかった[2]。

本稿では、エピウェーハ表面の形態異常発生について報告する。平坦な表面の4H-SiCのベアウェーハ上にエピ膜成長をしたとき、表面に局所的にスクラッチ状のステップバンチングや荒れが発生することがある。エピ膜成長後に現れるこれらの表面の凹凸はMOS構造を持つデバイスの歩留まり低下の原因になることが報告されている[1]。そこで、これらのエピ膜成長後に現れる局所的な表面の荒れについて、斜入射の放射光X線トポグラフィーを用いた表面近傍の格子欠陥の様子を調べ、その原因を考察した。

2. 実験内容

化学機械研磨(CMP)によって表面処理された市販の4H-SiCベアウェーハ表面を共焦点光学顕微鏡で観察した後、斜入射反射配置のX線トポグラフィーで表面近傍の格子欠陥の状態を評価した。とくに、斜入射の観察条件により、表面近傍の格子欠陥の存在を確認することを目的としている。実験はビームラインBL15においておこない、X線波長は0.15 nmであった。その後、ウェーハをCVD炉に入れて、エピ膜成長の前プロセスである水素エッチングを行った。ふたたびCVD炉からウェーハを取り出した後、共焦点光学顕微鏡とX線トポグラフィーによる観察を行った。さらに、透過型電子顕微鏡を用いて、表面の形態異常を詳細に観察した。

3. 結果と考察

図1(a)は傷状の形状異常のないベアウェーハ表面の光学顕微鏡像である。同じ位置のX線トポグラフ($g = \bar{1}128$)にはスジ状のコントラストが観察される。これは何らかの格子欠陥の集合が表面近傍に存在していることを示している(b)。同じ位置の水素エッチング後の表面の光学顕微鏡像(c)は格子欠陥に対応した位置に表面にピットが形成されていることを示しており、格子欠陥が原因のエッチングにより表面ステップのバンチングが形成されたことがわかる。水素エッチング後のX線トポグラフ(d)では格子欠陥が消失しており、(b)で観察された格子欠陥は水素エッチングで除去されたことがわかる。これは、水素エッチングによるピットの発生原因となった格子欠陥は表面直下に局在していたことを示している。この表面格子欠陥は、ウェーハの切断研磨加工によって表面に導入された格子欠陥がCMP処理によって取り除かれなかったものと考えられる。ベアウェーハ表面の傷の透過型電子顕微鏡観察か

ら、傷の両側にミクロン程度の長さの基底面転位が導入されていることがわかった。したがって、図 1(b)で観察される白点列はミクロン前後の長さの基底面転位であると考えられる。

図 2 はベアウェーハに見られる同様の白点列の別の観察例である。 $g = \bar{1}128$ で観察されていた白点列のコントラストは $g = \bar{1}108$ の回折条件では消失している。このことより、この白点列はバーガースベクトル $\vec{b} = \pm \frac{1}{3}[\bar{1}120]$ の短い基底面転位の集合であると考えられる。

本研究で得られたエピ膜表面の形態異常の発生シナリオは次の通りである。基板表面研磨により表面にスクラッチと、付随する転位などの積層欠陥が導入される。転位は表面より 4 度の角度を持つ基底面上に沿って結晶の少し深い位置まで導入される。CMP 処理によって、表面の凹凸は消失するが、転位は表面直下に存在し、トポグラフで観察される。CVD プロセスにおける水素エッチングでピット類が形成され、これが原因でエピ表面に形態異常が発生する。

4. まとめ

X 線トポグラフィを用いて、SiC ウェーハの加工やエピ膜形成のプロセスにおいて発生する欠陥を評価してきた。今後はそれらの詳細な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。今回の一連の観察により、共焦点微分干渉光学顕微鏡で検出することができない、隠れた傷（潜傷）を斜入射放射光 X 線トポグラフィで評価することが有効であることが示された。SiC 基板の表面研磨技術は現在発展段階にあり、完成度を上げる必要に迫られている。基板の研磨技術確立を目標とした評価技術として今後も X 線トポグラフィを利用していく予定である。

参考文献

- [1] Yamashita et al., Material Science Forum Vols. 740-742(2013) pp649-652.
 [2] 山下ほか、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] J. Sameshima et al., Materials Science Forum, Vol. 740-742 (2013) pp745-748.

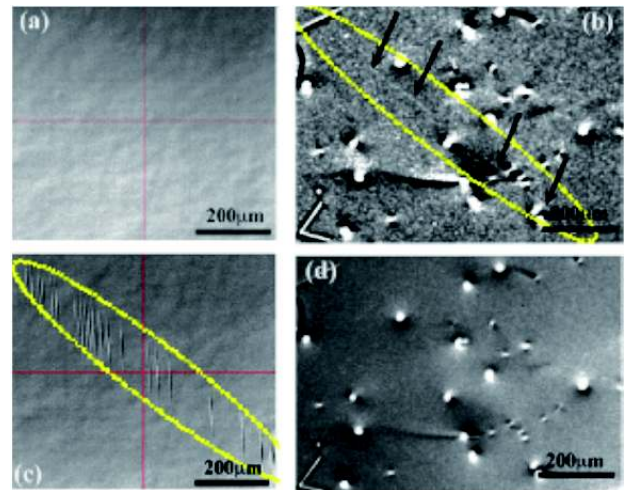


図 1.(a)化学機械研磨された市販のウェーハ表面の光学顕微鏡像。(b) 同じ位置での $g = \bar{1}128$ の回折条件での射入射 X 線トポグラフ。黒矢印の部分に白点の集合のようなスジ状のコントラストが観察される。(c)同じ位置の水素エッチング後の表面の光学顕微鏡像。(d) 同じ位置での $g = \bar{1}128$ の回折条件での射入射 X 線トポグラフ。

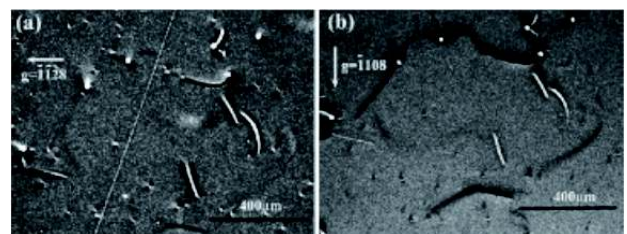


図 2. (a) $g = \bar{1}128$ の回折条件で観察される白点列。(b)同一場所の $g = \bar{1}108$ の回折条件での観察。コントラストの消失が観察される。これにより、白点列は $\vec{b} = \pm \frac{1}{3}[\bar{1}120]$ のミクロン程度の短い基底面転位の集合であると考えられる。