



マルチモーダル欠陥解析によるパワーデバイス半導体中の キラー欠陥評価(VII)

原田 俊太、瀬尾 圭介
名古屋大学 未来材料・システム研究所

キーワード：SiC, X線トポグラフィ, 複屈折イメージング, 混合転位, バーガースベクトル, 非破壊評価

1. 背景と研究目的

SiCはワイドバンドギャップ半導体として高耐圧・高温動作が可能であり、次世代パワーデバイスの基板材料として重要である。一方で、結晶中の転位やマイクロパイプ等の欠陥は歩留まり低下やリーク電流、信頼性ばらつきの要因となる。特に[0001]方向に進展する貫通転位のうち、らせん成分と刃状成分を併せ持つ貫通混合転位（TMD）は、バーガースベクトルや傾き角によってデバイス特性へ影響し得るため、事前に広面積・高速・非破壊で種類同定する手法が求められる。本研究では、シンクロトロン放射光X線トポグラフィ（XRT）と偏光顕微鏡による複屈折イメージングを組み合わせ、TMDのバーガースベクトル（らせん成分+刃状成分）を非破壊に同定する手法を確立することとした。

2. 実験内容

測定はあいちシンクロトロン光センターBL8S2にて実施し、反射斜入射条件のXRTで貫通転位のコントラストを取得した。同一視野を偏光顕微鏡で複屈折イメージングし、転位周辺の応力に起因する複屈折コントラストから、面内せん断応力分布を反映したパターンを得た。試料はCVD成長した厚膜4H-SiCエピ層を両面CMPで平坦化した薄片（最終厚さ約150μm）を用いた。手法妥当性の検証として、KOHエッチングでエッチピットを形成し、FIBで作製した試料を用いてTEMおよびLACBEDによりバーガースベクトル決定結果を比較した。

3. 結果および考察

XRT像ではTSD/TMDは大きな点状コントラストとして現れ、コントラスト形状からc成分([0001]等)の向きを推定できた。一方、複屈折像では刃状成分に由来する面内せん断応力が強い場合に顕著なコントラストが現れ、純粋らせん転位（TSD）はXRTで強いが複屈折コントラストが弱いという識別が可能であった。XRTでらせん成分を、複屈折像のコントラストパターンで刃状成分(a成分の向き)を決めることで、TMDのバーガースベクトルを非破壊で同定できた。さらに、LACBEDに基づく $g \cdot b = n$ 解析で得たバーガースベクトル（例：1/3[1213]）が、本手法で推定した結果と一致し、手法の正確性が確認された。本手法は、広面積に分布する多数のTMDを迅速に評価でき、リーク電流の原因となり得る転位タイプの事前スクリーニングに有効である。加えて、XRTで強いコントラストを示しつつ複屈折像でコントラストが小さい転位を純粋らせん転位として抽出できるため、GaN等他材料への展開可能性も示唆される。

4. 参考文献

1. Harada, S. et al., Nondestructive analysis of threading mixed dislocations in SiC using x-ray topography and birefringence, AIP Advances 15, 025208 (2025).
2. Harada, S., Matsubara, Y., Murayama, K., Non-destructive identification of edge-component burgers vector of threading dislocations in SiC wafers by birefringence imaging, Diamond Relat. Mater. 138, 110192 (2023).