

電子顕微鏡によるワイドギャップ材料のマルチスケール欠陥評価

Electron Microscopic Study on Multiscale Defects in Wide Gap Materials

1.東北大学 〇木口 賢紀¹、白石 貴久¹、今野 豊彦¹、谷川 智之¹

1.Tohoku Univ. 〇Takanori Kiguchi¹, Takahisa Shiraishi¹, Toyohiko J. Konno¹,
Tomoyuki Tanikawa¹

E-mail: tkiguchi@imr.tohoku.ac.jp

【緒言】窒化物ワイドギャップ材料は、LED や LD といった発光デバイスから HEMT の様な電子デバイスに至るまで次世代の電子・光学デバイスの発展に不可欠な材料である。しかしながら、Si や GaAs など多くの半導体と比較して、サファイア基板との整合性の悪い GaN の格子欠陥密度は桁違いに高く、結晶としてのクオリティは低いと言わざるを得ない。貫通転位をはじめ、種々の格子欠陥、界面、積層構造、弾性場などバルク結晶構造が変調された特異構造の存在によって、電子状態が変化するため、特異構造やその分布を原子スケールから μm スケールで分布状態の理解がこの様な特異構造を通じた結晶成長や物性の制御において重要な指針を与えると考えられる。近年、収差補正技術や様々な画像解析技術の著しい発展により、N の様な軽元素を含めて原子分解能で欠陥構造を評価できるようになった。演者は、これまでに酸化物薄膜に局在する格子欠陥や界面などの局所構造を原子分解能からナノスケールで解析し、局所弾性場の観点から特異構造形成メカニズムを明らかにしてきた^{1,2)}。本講演では、これらの解析手法を電子・光学デバイスとして最も重要な材料の1つである GaN などワイドギャップ材料に展開し、界面構造、極性構造、積層欠陥、貫通転位、量子井戸構造などの窒化物にいて重要な役割を果たす特異構造について、組成情報が強調される HAADF-STEM 法、回折コントラストが強調される LAADF-STEM 法、軽元素のイメージングが可能な ABF-STEM 法など種々の STEM イメージング法を併用することで、窒化物や酸化物ワイドギャップ材料が内包するマルチスケールな特異構造について解析した結果を紹介し、結晶成長や物性発現における特異構造の理解の重要性について検討する。

【実験方法】MOVPE 法で表面窒化したサファイア(0001)基板上に低温 GaN(LT-GaN)バッファ層を介して堆積した p-GaN/InGaN/n-GaN/アンドープ GaN 構造を持つ N 極性 GaN を使用した。得られた膜の微構造は、収差補正 TEM/STEM 測定により評価した。STEM 像には、HAADF/LAADF/ABF の各種コントラストを同時撮影し、特異構造を評価した。STEM 像の歪み解析や STEM-EELS 法により、局所弾性場、誘電関数・結合状態を解析した。

【結果】解析結果の一部を示す。Fig.1 に基板近傍の断面 LAADF 像を示す。界面直上の領域に転位密度の高い層が存在する。特に、LT-GaN バッファ層に相当する界面近傍に強い回折コントラストが現れている。このコントラストの正体を調べるため、HAADF 像と幾何学的位相解析により得た歪みマップを Fig.2 に示す。高密度のミスフィット転位、基板から 3 nm の領域が LT-GaN バッファ層、積層欠陥の存在を示している。また、HAADF 像より、基板の表面窒化層はほぼ 1-2 ML 程度と非常に薄い。当日は、その他の特異構造の詳細な解析結果についても触れる

【謝辞】本研究は、科研費新学術領域研究「特異構造の結晶科学」17H05327、東北大学・大阪大学微細構造解析プラットフォーム、九州大学超高压電子顕微鏡連携ステーションの支援を受けて行われた。

【文献】[1] T. Kiguchi, JJAP, **56**, 10PB12 (2017). [2] T. Kiguchi, Sci. Technol. Adv. Mater. **12**, 034413 (2011).

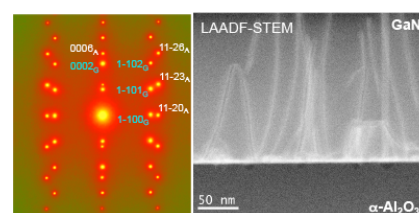


Fig. 1 LAADF image of interface region and SAED pattern of GaN.

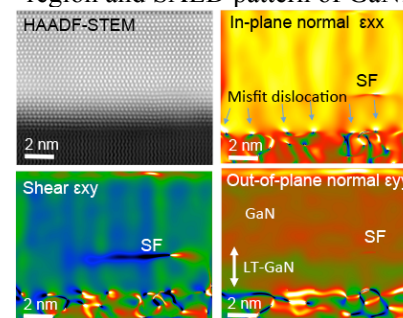


Fig. 2 HAADF-STEM image and strain maps.