

窒化物混晶半導体中の結晶欠陥および組成変動の解析

Structural Defects and Composition Fluctuation of GaN-based Alloy Semiconductor

ソニー 先端テクノロジー研究部門¹ °富谷 茂隆¹, 蟹谷 裕也¹

Adv. Tech. Res. Div., Sony Corp.¹, °Shigetaka Tomiya¹, Yuya Kanitani¹

E-mail: Shigetaka.tomiya@sony.com

半導体デバイスの特性や信頼性向上のためには、非輻射中心や高抵抗につながる結晶欠陥を制御・低減し、結晶性を向上させることが必須である。また、デバイス製作には3元素以上からなる混晶を用いるが、均一な組成となるように作り込むことが求められる。このためには、結晶性や結晶欠陥を詳細に解析し、これらの状態を理解することが必要である。

窒化物半導体は基本的にウルツ鉱型結晶構造を有するため、閃亜鉛鉱型構造を有する化合物半導体混晶における結晶欠陥や組成揺らぎの振る舞いとは、大きく異なる。本講演では、GaInN 混晶半導体やp型不純物であるMgをドーピングしたGaNエピタキシャル膜において観察される結晶欠陥や組成揺らぎを、透過電子顕微鏡(TEM)や3次元アトムプローブ(3DAP)によって解析した事例を紹介する。

近年、バンドギャップ域拡大の要望からGaInNのIn組成を増やして、窒化物半導体においてもより長波長領域の発光を得ることが求められている。しかしながら、GaNとInNとの低い非混和性のため、GaInN混晶の成長においてIn組成を増加させると様々な結晶欠陥が生じる。相分離によるInリッチな析出物以外に、積層欠陥(Stacking Faults)や反位境界(Inversion Domain Boundary: IDB)欠陥と刃状転位(edge dislocation)が複合した結晶欠陥などが生じる。また、In組成が比較的低い場合、顕著な相分離は観察されないものの、ナノスケールで組成が変動する様相が観察される。さらに、逆ピラミッド形状のいわゆるV欠陥(V-defect)と呼ばれる結晶欠陥が、貫通転位に付随してGaInN活性層近傍に観察される。

一方、GaN中ではp型不純物であるMgのアクセプター準位が深いことから、十分なホール濃度を得るためには、高濃度にMgをドーピングすることが望まれる。しかしながら、Mg濃度が高すぎると、極めて特異な構造である逆ピラミッド状の微小欠陥がエピタキシャル膜中に発生する。

これらの事例を紹介しながら、窒化物半導体材料以外の事例とも対比しつつ、窒化物半導体における結晶欠陥の制御について、現状の課題と今後の展開について述べていく。