

(Al, Ga)₂O₃ 混晶系の現状についてCurrent status on (Al, Ga)₂O₃ alloy system

○大島 孝仁, °Takayoshi Oshima, 佐賀大学, Saga Univ. E-mail: oshima@cc.saga-u.ac.jp

α , β , γ , δ , ε の結晶多形を持つ Ga₂O₃ の半導体関連研究は, この 10 年加速度的に発展し, 2015 年から国際ワークショップ IWGO (International workshop on gallium oxide and related materials) が定期開催されるまでになった. しかしながら, 研究の多くは Ga₂O₃ を対象としており, 化合物の特徴を活かした混晶系の研究は少ない. そこで, ここでは, 特に (Al_xGa_{1-x})₂O₃ 混晶系の研究の現状をエピタキシャル成長にも触れて紹介したい.

β ガリア構造を持つ β -(Al_xGa_{1-x})₂O₃ については, β -Ga₂O₃ 単結晶が利用できることから研究報告が比較的多い. エピタキシャル成長法としては, 物理気相堆積法 (PVD) である分子線エピタキシー (MBE) やパルスレーザ堆積法 (PLD) が用いられている. この混晶膜成長において, 活性な Ga 種 (特に Ga₂O) の蒸気圧が非常に大きく, 強酸化源を用いなければ Al 組成制御が非常に困難であることが知られている, これは通常酸素分子を利用する PLD で問題となる[1]. 最初のヘテロエピタキシャル成長の報告は 2009 年であり, MBE により β -(Al_xGa_{1-x})₂O₃ ステップフロー成長, コヒーレントヘテロ界面 ($x \sim 0.6$ まで) が確認され, ヘテロ接合デバイスへの可能性が示された[2]. その数年後, 急峻な超格子作製[3], コヒーレント格子長と組成の対応[4], Type-I 型のバンドラインナップ[5], ヘテロ界面におけるキャリアの閉じ込め[6]の報告が相次ぎ, 二次元電子ガスを利用したヘテロ接合トランジスタが報告された[7]. 研究の段階は, エピタキシャル成長からデバイス応用へと移り変わりつつあるのかもしれない.

次に多いのは, コランダム型構造を持つ α -(Al_xGa_{1-x})₂O₃ である. この混晶薄膜は, 低 Al 組成では準安定であるが, 同じ結晶構造を持つ α -Al₂O₃ 基板上で安定化が促され全率固溶可能である. 2010 年に初めて MBE でヘテロエピタキシャル成長が報告され, $x \sim 0.6$ 以上の組成ではコヒーレントなヘテロ界面を形成可能であることが示された[8]. その後, ミスト化学気相堆積法 (CVD) を用いても全率固溶薄膜が作製可能であることが確認された[9]. また, 同手法により組成傾斜超格子など[10]高いエピタキシャル制御性示す結果が報告され, 今後のデバイス応用が期待される.

欠陥スピネル型構造を持つ γ -(Al_xGa_{1-x})₂O₃ では, その全率固溶薄膜がほぼ同じスピネル型構造を持つ MgAl₂O₄ 基板上で 2017 年に初めて MBE で示された[11]. 全 Al 組成範囲で準安定な化合物が安定化可能であることは注目に値すると考える. γ -Ga₂O₃ よりもむしろ γ -(Al_xGa_{1-x})₂O₃ の方が高い結晶性を示したため, γ -Al₂O₃ が欠陥スピネル型構造の安定化を促していると考えられる.

ビックスバイト型構造を持つ δ 相では, そもそも δ -Ga₂O₃ エピタキシャル成長の報告すらない.

ウルツ鉱型構造に似た構造を持つ ε -(Al_xGa_{1-x})₂O₃ については, 今年初めてミスト CVD 法を用いてサファイア基板上に作製可能であることが示された[12]. 多形で唯一極性を有する構造であり, 分極効果を持つヘテロ接合作製が期待される.

このように, 多形によって状況は異なるが, エピタキシャル成長とともに (Al_xGa_{1-x})₂O₃ 混晶分野も大きく展開しつつある. 上記の予稿原稿では, 多形毎の現状をまとめたが, 発表では自身が関わった結果を中心に報告する予定である.

- [1] J. Cryst. Growth **424**, 77 (2015). [2] Jpn. J. Appl. Phys. **48**, 70202 (2009). [3] J. Vac. Sci. Technol. A Vacuum, Surfaces, Film. **33**, 41508 (2015). [4] Appl. Phys. Express **9**, 61102 (2016). [5] 1st IWGO (2015). [6] Appl. Phys. Express **10**, 35701 (2017). [7] 2nd IWGO (2017). [8] Opt. Lett. **35**, 3793 (2010). [9] Jpn. J. Appl. Phys. **51**, 100207 (2012). [10] Appl. Phys. Express **9**, 71101 (2016). [11] Appl. Phys. Express **10**, 51104 (2017). [12] 2nd IWGO (2017).