

MOVPE 法を用いた β -Ga₂O₃ 成長の熱力学解析とその実験的検証Thermodynamic analysis of β -Ga₂O₃ growth by MOVPE

and its experimental verification

東京農工大¹, 大陽日酸², 気相成長³ °後藤 健¹, (M2)田中 那実¹, (M1)西村 太郎¹,(D)池永 和正^{1,2}, 石川 真人³, 町田 英明³, 熊谷 義直¹Tokyo Univ. Agric. and Tech.¹, TAIYO NIPPON SANSO Corp.², Gas-Phase Growth Ltd.³,°K. Goto¹, N. Tanaka¹, T. Nishimura¹, K. Ikenaga^{1,2}, M. Ishikawa³, H. Machida³, Y. Kumagai¹

E-mail: gotoken@go.tuat.ac.jp

β -Ga₂O₃ 縦型パワーデバイス用のキャリア走行層製作手法として、GaCl-O₂系 HVPE 法による高精度にキャリア密度制御 ($n = 10^{15} - 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)された高速ホモエピタキシャル成長技術がすでに確立しており、高耐圧かつ低損失なデバイス動作が実証されている[1]。しかし、原子層精度での膜厚制御や異種材料との混晶による変調ドーピング層および急峻な界面制御が要求される複雑なデバイス構造への対応には限界があり、これらの要求に応える結晶成長手法の開発が望まれている。その一つとして MOVPE 法が検討されているが、原料となる有機金属化合物(MO)と酸素(O₂)の反応制御が困難なこともあり、成長例は世界的に見て数グループからの報告に限られている。今回、熱力学解析を用いて MO と O₂ の化学反応過程を考察し、最適な β -Ga₂O₃ 成長条件を見出すとともに、選定された条件で実際に成長を検証したので報告する。

原料ガスにトリエチルガリウム(TEGa)と O₂、キャリアガスにアルゴン(Ar)を用いた。成長系内に共存する 16 ガス種(GaH₃, GaH₂, GaH, Ga, Ga(OH), GaO, Ga₂O, C₂H₄, C₂H₂, C₂H₆, CO₂, CO, O₂, H₂O, H₂, Ar)について、全圧(P_{tot}), 成長温度(T_g), TEGa 供給分圧(P°_{TEGa}), VI/III 供給比($2P^{\circ}_{\text{O}_2}/P^{\circ}_{\text{TEGa}}$)で定まる様々な条件下において、系内で生じる 12 の化学平衡反応群が成り立つように各ガス種の平衡分圧を計算し、 β -Ga₂O₃成長の駆動力を詳細に解析した。その結果、系内に供給されるO₂は、TEGaに由来する水素(H₂)および炭素(C)と優先的に反応(燃焼)することが分かった。したがって、高温かつ高い供給VI/III比とすることでH₂およびCが完全燃焼し、不純物の混入が抑制された高純度 β -Ga₂O₃結晶が成長することが示唆された。これらの解析結果に基づき、c面サファイア基板上で $P_{\text{tot}} = 20 \text{ Torr}$, $T_g = 900^\circ\text{C}$, $P^{\circ}_{\text{TEGa}} = 2 \times 10^{-2} \text{ Torr}$, VI/III = 100 の条件を用いて成長実験を行った結果、1.4 $\mu\text{m/h}$ の成長速度で、(201)配向した平滑な表面を有する β -Ga₂O₃結晶が得られた(Fig. 1)。また、結晶に含まれるH, C不純物濃度はいずれもSIMSのバックグラウンドレベル未満であった。

本研究の一部は科研費新学術領域研究 No. 16H06417 及び東京農工大学グローバルイノベーション研究院の援助を受けた。

[1] K. Konishi et al., Appl. Phys. Lett., **110**, 103506 (2017).

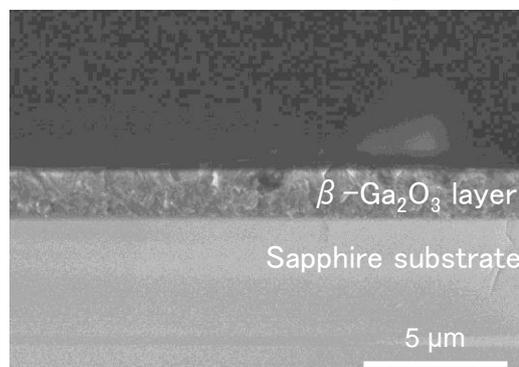


Fig. 1 Cross-sectional SEM image of β -Ga₂O₃ layer grown at 900°C on a c-plane sapphire substrate