室温レーザーアニールにより作製されたβ-Ga2O3エピタキシャル薄膜の配向性制御

Orientation control of β -Ga₂O₃ epitaxial thin films formed by room-temperature laser annealing

[°]中村稀星¹, 内田啓貴¹, 土嶺信男², 金子 智^{3,1}, 松田晃史¹, 吉本 護¹

(1.東工大、2.(株)豊島製作所、3.神奈川県産技セ)

[°]K. Nakamura¹, H. Uchida¹, N. Tsuchimine², S. Kaneko^{3, 1}, A. Matsuda¹, M. Yoshimoto¹

(1. Tokyo Inst. of Tech., 2. TOSHIMA Manu., 3. Kanagawa Ind. Tech. Center)

E-mail: nakamura.k.bp@m.titech.ac.jp

【はじめに】β 型酸化ガリウム(β-Ga2O3)はダイヤモンドと同程度である約5 eV という大きなバンドギャップを もつ半導体である^[1]。β-Ga2O3 は深紫外まで透明であることや、Si や Sn のドープによるキャリア濃度の制御も可 能であることから、そのエピタキシャル薄膜は紫外域のオプトエレクトロニクスをはじめパワーデバイスなどへ の広い応用が期待されている^[2]。デバイス応用には、β-Ga2O3 薄膜の結晶性や配向性に加えて、表面平坦性や界 面急峻性の向上も重要であり、これには反応層生成や粗大な結晶粒成長を抑制する低温プロセスが寄与できる。 我々はこれまでに、バッファ層の導入、エキシマレーザーアニーリング(ELA)などの手法により、表面平坦な機 能性酸化物エピタキシャル薄膜が得られる室温プロセスを見出している^[3,4]。一方で、この室温レーザープロセ スでは、ワイドギャップ半導体固相エピタキシーのメカニズム検討と解明が課題となっている。本研究では室温 ELA による核形成と結晶成長に関する知見を得るために、固相結晶化プロセスの繰り返しやレーザー照射条件 による β-Ga2O3 エピタキシャル結晶層の膜厚制御や構造変化について検討した。

【実験及び結果】本研究のアプローチでは、図1に示したように ELA により作製した β-Ga2O3 エピタキシャル 薄膜をシード層とし、その上に堆積した第二層の Ga2O3 非晶質薄膜に再び ELA を行った。また、ELA による結 晶化は基板界面から行われると考えられる^[5]ことから、レーザー照射を従来の薄膜側(表面)だけでなく、基板側 (裏面)からも行い、核形成への影響も調べた。まず、NiO(111)エピタキシャルバッファ層、続いて前駆体となる Ga2O3 非晶質薄膜はパルスレーザー堆積(PLD)法により室温(~20℃、基板非加熱)で作製した。KrF エキシマレー ザー(λ=248 nm、パルス幅 20 ns)を NiO および β-Ga₂O₃焼結体ターゲット表面に集光し、原子ステップ α-Al₂O₃ (0001)基板上に、希薄 O₂ (1.0×10⁻⁵ Torr)中で堆積した。次に、この Ga₂O₃/NiO(111)/a-Al₂O₃(0001)薄膜に対して大 気中、室温(~20 ℃、基板非加熱)において KrF エキシマレーザー(非集光)をエネルギー密度 250 mJ/cm² で Ga2O3 表面および裏面から 500 pulse 照射し ELA を行い、β-Ga2O3 を結晶化させた。さらに続いて、このエピタキシャ ル薄膜上に第二層の Ga2O3 非晶質薄膜を堆積し、同条件で ELA を行うことによって結晶化を行った。図2は第 二層の Ga2O3 非晶質薄膜に対して ELA を(a)表面と(b)裏面から行った時の X 線回折(XRD)および反射高速電子線 回折(RHEED)像である。図2のRHEED像を比較すると、表面から ELA を行うと RHEED 像のストリークが不 鮮明となっており、表面まで十分に結晶化できないことが分かった。一方、裏面から ELA を行うとストリーク が鮮明に出ており、表面から ELA した時よりも結晶化が進んでいることが分かった。このことから、裏面(基 板側)からのレーザー照射により、非晶質に比べてよりバンドギャップの大きい β-Ga2O3 結晶層を透過し、表面 結晶化を生ずるレーザー強度が得られると考えられる。また、XRDのβ-Ga2O3-201と-402、202のピーク強度比 より裏面 ELA では β-Ga₂O₃ -201 優先配向が示唆された。堆積した Ga₂O₃ 非晶質薄膜の KrF エキシマレーザー照 射方向による結晶化への影響について、詳しい X 線構造解析と光学特性および電気特性を合わせて報告する。

Intensity [arb. unit]







[1] M.Orita, et al., Appl. Phys. Lett. 77 (2000) 4166.

[3] D.Shiojiri, et al., J.Cryst.Growth **424** (2015) 38.

[5] T.Nakajima, et al., Chem. Soc. Rev. 43 (2014) 2027-2041.

[2] M.Higashiwaki, et al., Appl. Phys. Lett. **100** (2012) 013504.

[4]内田啓貴他、第 63 回応用物理学会春季学術講演会 20a-W321-6 (2016).