

Spin-LED における γ -AlO_x トンネルバリアの結晶化条件Crystallization condition of a γ -AlO_x tunnel barrier layer on GaAs in spin-LED東工大未来研[○]新保 理志¹, 西沢 望¹, 宗片 比呂夫¹FIRST, Tokyo Institute of Technology, [○]S. Shimbo, N. Nishizawa, and H. Munekata

E-mail: shimbo.s.aa@m.titech.ac.jp

我々は室温で純粋円偏光を発光する円偏光発光ダイオード(Spin-LEDs)を報告した[1]。Spin-LEDのトンネルバリアである結晶性 γ -AlO_x 薄膜は GaAs 上にエピタキシャル成長させた Al を室温酸化させることで実現した[2]。結晶性 γ -AlO_x には (1) 磁性体金属原子の半導体層への拡散の抑制 (2) 高い絶縁耐性[3] (3) 低い界面準位密度 (4) 高いスピン注入効率[2] といった特徴があると考えられている。しかし、結晶性 γ -AlO_x 薄膜の成長条件とこれらの特徴との関連は十分に明らかになっていない。

今回、結晶性 γ -AlO_x 薄膜の詳細な成長条件を得るために Al エピタキシャル層の成長温度 (T_{sub}) と γ -AlO_x 膜厚 (t_{AlO_x}) を変えて AlO_x/n-GaAs 構造を作製した。さらに、電気的特性の評価から(1)~(4)について議論する。

MBE 法を用いて n-GaAs 上に 0.58-nm の Al エピタキシャル層を基板温度を変えて成長した(試料 A : $T_{\text{sub}} = 80^\circ\text{C}$ 、試料 B : 30°C)。その後室温・乾燥大気雰囲気下で 10 時間自然酸化を行い、0.7-nm の AlO_x 層を得た。 t_{AlO_x} の異なる試料はこれらのプロセスを複数回繰り返して行うことで成膜した。

図 1 に AlO_x/n-GaAs 界面の断面 TEM 像を示す。試料 A は界面付近においてのみ周期的な原子像配列が観測されたが、AlO_x 層上部ではアモルファス状であった。それに対し、試料 B では AlO_x 薄膜全体が結晶性 γ -AlO_x 構造を示した。 J - V 特性を測定したところ、試料 B の電流密度は試料 A に比べて 2 桁以上小さかった。図 2 に界面準位密度(D_{it}) の T_{sub} と t_{AlO_x} 依存性を示す。 D_{it} は C - V 特性の周波数依存性からコンダクタンス法を用いて算出した。試料 A 群 ($t_{\text{AlO}_x} = 0.7 \sim 3.5$ nm) は一般的なアモルファス AlO_x/GaAs 構造における D_{it} と同等の値が得られた。試料 B 群では $t_{\text{AlO}_x} = 1.0$ nm のとき、 $D_{\text{it}} \sim 7 \times 10^{11} \text{ eV}^{-1}\text{cm}^{-2}$ と非常に低い値を示した。しかし $t_{\text{AlO}_x} = 1.4$ nm おける D_{it} は試料 A 群と同程度まで高くなっている。低温成長により GaAs 表面での Al 原子のマイグレーションを抑制され、エピタキシャル成長が促進し欠陥の少ない界面が形成される。酸化後においても結晶性が維持されると考えられ、結果として低い D_{it} が実現した。

本研究は文科省・先端量子科学アライアンスならびに JSPS 科研費 17K14104 の助成を受け実施された。また、TEM 測定においては東京工業大学技術部大岡山分析部門の技術的支援を受けた。

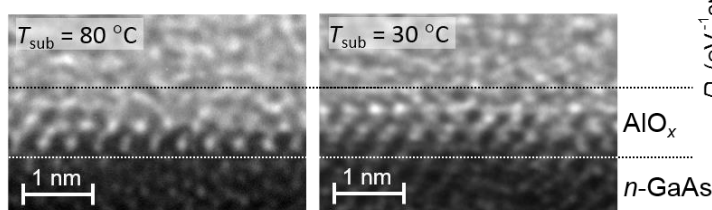
[1] N. Nishizawa *et al.*, PNAS **114**, 1783 (2017).[2] N. Nishizawa *et al.*, JAP **114**, 033507 (2013).[3] N. Yokota *et al.*, JAP **118**, 163905 (2015).

Fig. 1: Cross-sectional TEM images around AlO_x/n-GaAs region for sample-A (left-panel) and -B (right-panel) with $t_{\text{AlO}_x} = 1.0$ nm.

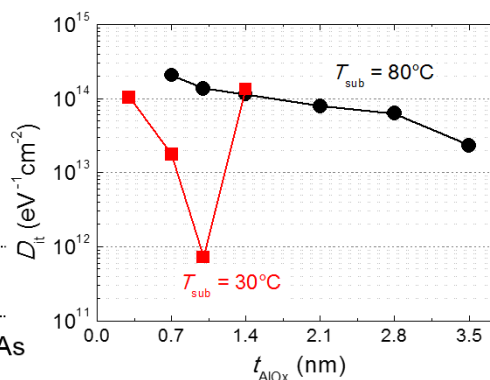


Fig. 2: Thickness dependence of interface-state density (D_{it}) for γ -AlO_x layers formed by post-oxidation of Al epilayer at $T_{\text{sub}} = 80^\circ\text{C}$ (black) and 30°C (red).