

(001)  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 上に形成した原子層堆積 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> に対する成膜後熱処理効果Post-deposition annealing effect on ALD-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> formed on (001)  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>早大ナノ・ライフ<sup>1</sup>, 名大未来研<sup>2</sup>, 早大理工<sup>3</sup>, 早大材研<sup>4</sup>, トヨタ自動車<sup>5</sup>○平岩 篤<sup>1,2</sup>, 堀川 清貴<sup>3</sup>, 川原田 洋<sup>1,3,4</sup>, 加渡 幹尚<sup>5</sup>, 且野 克典<sup>5</sup>RONLI, Waseda Univ.<sup>1</sup>, IMaSS, Nagoya Univ.<sup>2</sup>, Fac. Sci. Eng., Waseda Univ.<sup>3</sup>, KMLMST, Waseda Univ.<sup>4</sup>,Toyota Motor Corp.<sup>5</sup>○A. Hiraiwa<sup>1,2</sup>, K. Horikawa<sup>3</sup>, H. Kawarada<sup>1,3,4</sup>, M. Kado<sup>5</sup>, and K. Danno<sup>5</sup>

**1. 緒言**  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> は AlN・ダイヤモンドに次ぐ禁制帯幅を有し、かつ基板を作成しやすいため電力素子応用に向け検討が盛んである。他のワイドバンドギャップ半導体と同じく、その実用化には高性能・高信頼ゲート絶縁膜の形成が大きな課題である。その解決には原子層堆積 (ALD) 法により形成した Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜が有望であり、GaN 上において成膜後熱処理 (PDA) によりバイアス安定性が大きく向上することを先に報告した[1]。ここでは、上記 Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 上に形成した ALD-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜に対する PDA 効果について報告する。

**2. 実験方法** (1) 表面に *n* 型ホモエピタキシャル膜 (キャリア濃度  $4 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ , 5.5-7 $\mu\text{m}$ ) を有する *n* 型 (001)  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 基板 ( $\text{Sn } 6 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ) 上に、先報[1]と同様にしてトリメチルアルミニウムと H<sub>2</sub>O を前駆体とした ALD により 450°C にて Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜を 32nm 形成した後、600-900°C の 4%H<sub>2</sub>/Ar 雰囲気中にて 30 分間熱処理を行った。ついで、抵抗加熱蒸着法により Al ゲート電極を形成した。なお、比較のため熱処理を行わない試料も作成した。(2) 定電圧ストレス印加と容量電圧特性測定を交互に反復し、フラットバンド電圧  $V_{fb}$  を経時的に測定した。

**3. 結果とその検討** ALD-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜フラットバンド電圧の電圧ストレス (酸化膜換算電界強度  $F_{eo} = 4 \text{MV/cm}$ ) による変動量 (中途記号) は、GaN 上に形成した場合 (中抜き記号, [1]) と対照的に PDA により増加する (図1)。また PDA の高温化に伴う変化も単調ではない。なお、アニールを真空中にて行った場合、フラットバンド電圧の変動量が若干減少するものの、アニール前より変動量が多い点に変わりがない (図示せず)。ALD-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜のリーク電流には、GaN 上と同様に PDA 高温化とともに相変化 (結晶化) 特有の急峻な減少が生ずる (図2)。しかしながら、同変化の生ずる閾値温度は GaN 上より約 100°C 低く、結晶化しやすいことが分かる。この閾値温度は先に (201) $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 上にて報告された値[2]にほぼ等しい。このような電流減少は、(001)  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 上と GaN 上のいずれにおいても主に Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/基板界面におけるエネルギー障壁  $\phi_s$  が高くなることに起因することを空間電荷制限電荷放出 (SCC-FE) モデル[3]を用いた解析により明らかにした (図3、[4])。

**4. 結言** (001)  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 基板上に形成した ALD-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜のバイアス安定性は GaN 上と同等であるが、PDA により大きく低下するので PDA 以外の改善技術を開発する必要がある。

**【参考文献】** [1] K. Horikawa, et al., J. Vac. Sci. Technol. B 38 (2020) 062207. [2] M. Hirose, et al., Microelectron. Eng. 216 (2019) 111040. [3] A. Hiraiwa, et al., J. Appl. Phys. 127 (2020) 065307. [4] 平岩、他、第81回秋季 応用物理学会、10p Z04 8 (2020).

**【謝辞】** 本研究は文部科学省「学際・国際的高度人材育成ライフイノベーションマテリアル創製共同研究プロジェクト」の支援を得たものである。

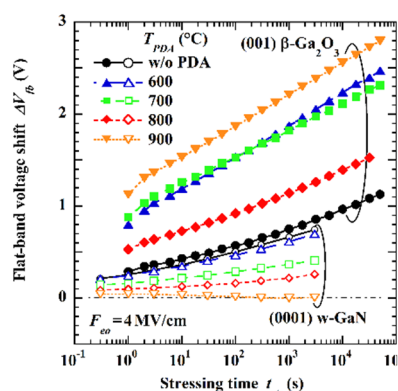


Fig. 1  $V_{fb}$  shift vs stressing time. The GaN results were cited from [1].

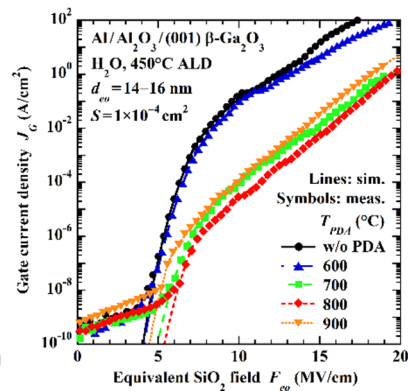


Fig. 2 Current-voltage characteristics of ALD-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> capacitors.

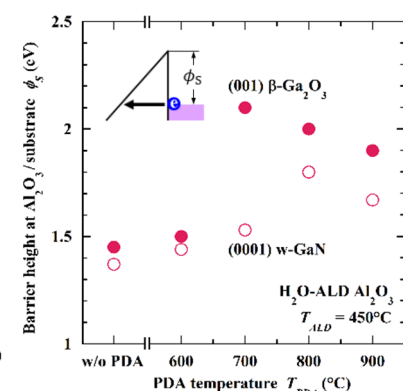


Fig. 3 Barrier heights at Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/substrate. The GaN results were cited from [4].