

GaN パワーデバイス用 HfAlO_x、HfSiO_x、AlSiO_x、Al₂O₃ 及び HfO₂ 絶縁膜の特性比較

Comparison of characteristics of HfAlO_x, HfSiO_x, AlSiO_x, Al₂O₃, and HfO₂ gate dielectrics for GaN power devices

1. 芝浦工大, 2. 物材機構, 3. 名大, 4. 北大 °前田瑛里香^{1,2}, 生田目俊秀², 廣瀬雅史^{1,2}, 井上万里², 大井暁彦², 池田直樹², 塩崎宏司³, 橋詰保⁴, 清野肇¹

1. SIT, 2. NIMS, 3. Nagoya Univ. 4. Hokkaido Univ., °E. Maeda^{1,2}, T. Nabatame², M. Hirose^{1,2}, M. Inoue², A. Ohi², N. Ikeda², K. Shiozaki³, T. Hashizume⁴, and H. Kiyono¹

E-mail: mc19018@shibaura-it.ac.jp

緒言 : GaN HEMT は、リーク電流抑制及び耐圧特性の向上の観点から、大きなバンドギャップ(B_g)、アモルファス構造及び物理膜厚を厚くできる高誘電率(High-k)なゲート絶縁膜が要求されている。これまで、我々は原子層堆積法(ALD)で成膜した HfO₂/SiO₂ ラミネート膜から作製したアモルファスな HfSiO_x ゲート絶縁膜を用いた GaN キャパシタで、非常に小さなフラットバンド電圧(V_{fb})ヒステリシス(+50 mV)、高い絶縁破壊電界 ($E_{eff,bd}=33$ MV/cm)及び比較的小さな界面準位密度 (D_{it}) 値 ($4.4 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ @ $E_c-E=0.25 \text{ eV}$)を示すことを報告した[1-2]。しかし、これまでゲート絶縁膜として数多く研究されている High-k 候補材料について同じ評価法で比較検討した報告例はほとんどない状況である。

そこで、本研究では、 B_g 及び誘電率の観点から、高 B_g 及び High-k な 5 種類の候補材料 (HfAlO_x、HfSiO_x、AlSiO_x、Al₂O₃ 及び HfO₂) を選び、その基本的な特性 (耐圧特性、界面特性、誘電率及び結晶性) を調べた結果を報告する。

実験方法 : 先ず、n-GaN 自立基板/n-GaN エピタキシャル層 ($N_d: 2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$)は、SPM 及び BHF 処理した。次に、プラズマ酸素ガスを用いたプラズマ ALD 法 ($T_g=300^\circ\text{C}$)により、膜厚~25 nm の Al₂O₃ 及び HfO₂ 単一層、Al₂O₃/SiO₂、HfO₂/SiO₂ 及び HfO₂/Al₂O₃ ラミネート層を成膜した。続いて、N₂ 雰囲気中、800°C で熱処理した。3 種類のラミネート層は、HfAlO_x、HfSiO_x 及び AlSiO_x 膜と成った。

最後に、Pt ゲート電極及び Ti/Pt オーミック電極を形成して MOS キャパシタを作製した。これらのキャパシタを $I-V$ 及び周波数 1M ~ 1k Hz で、電圧は空乏層から蓄積層を順方向として往復掃引して $C-V$ 測定した。

結果 : Fig. 1 に、800°C で熱処理した全てのゲート絶縁膜の MOS キャパシタの $J-E_{eff}$ 特性を示す。ここで、 E_{eff} 値は印可電圧をゲート絶縁膜の容量換算膜厚で割った値である。 $E_{eff,bd}$ ($J=10 \text{ Acm}^{-2}$) 値は、HfO₂ (14) < AlSiO_x (17) < Al₂O₃ (21) < HfSiO_x (33) < HfAlO_x (35 MV/cm)の順に増大した。HfO₂ 及び Al₂O₃ 膜は多結晶構造のために、結晶粒界に沿って流れるリーク電流によって低電圧で絶縁破壊したと思われる。また、 $J-E_{eff}$ 特性より、AlSiO_x 膜は電子が絶縁膜中の欠陥を介して流れるトンネル (TAT)伝導が主であり、HfSiO_x 及び HfAlO_x 膜は電界をかけることにより捕獲された電子が飛び出すトンネル(PF)伝導が主であることがわかった。 $C-V$ 特性より、 V_{fb} のヒステリシスは、HfO₂ 膜以外で $\pm 60 \text{ mV}$ 以下と非常に小さな値であり、電子のトラップ/デトラップが非常に少ない事を意味している。Fig. 2 に、全ての MOS キャパシタのコンダクタンス法より求めた D_{it} 値及び理想 V_{fb} 値からの V_{fb} シフト (ΔV_{fb}) 値を示す。 D_{it} 値は、HfO₂ > HfSiO_x \cong Al₂O₃ > AlSiO_x \cong HfAlO_x の順番で小さくなった。特に、AlSiO_x 及び HfAlO_x 膜の D_{it} 値は、 $1.1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ 以下と非常に小さな値を示した。 ΔV_{fb} 値は、AlSiO_x 膜以外で $\pm 100 \text{ mV}$ 以内であり、理想

V_{fb} 値に近かった。以上より、誘電率、耐圧及び界面特性の実験データより、HfAlO_x 膜がゲート絶縁膜として有望であると考えられる。

謝辞 : 本研究は JSPS 科研費 JP20H02189 の助成を受けたものです。[1] 前田 他, 第 80 回応用物理学会秋季講演会, 20a-E301-7(2019).

[2] E. Maeda et al., Microelectron. Eng. **216**, 111036 (2019).

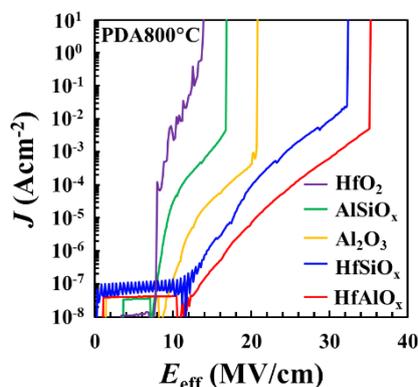


Fig. 1 $J-E_{eff}$ characteristics of Pt-gated MOS capacitors with five gate dielectrics.

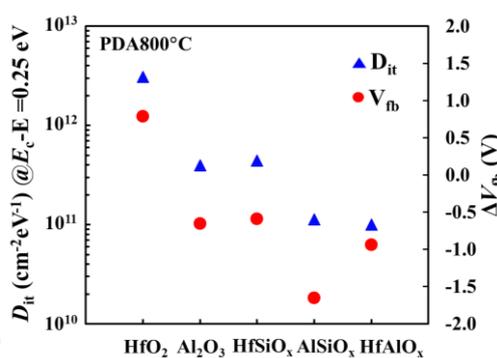


Fig. 2 D_{it} ($E_c-E=0.25 \text{ eV}$) and ΔV_{fb} (V_{fb} -ideal V_{fb}) of Pt-gated MOS capacitors with five gate dielectrics.