

GaN/HfSiO_x/Pt キャパシタで GaN/HfSiO_x 界面が電気特性に及ぼす影響

Influence of GaN/HfSiO_x interface on electrical properties

for GaN/HfSiO_x/Pt capacitors

1. 芝浦工大, 2. 物材機構, 3. 名大 °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, 清野肇¹

1. SIT, 2. NIMS, 3. NU. °Erika Maeda^{1,2}, Toshihide Nabatame², Masafumi Hirose^{1,2}, Mari Inoue²,
Akihiko Ohi², Naoki Ikeda², Koji Shiozaki³, and Hajime Kiyono¹

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

緒言：縦型 GaN パワーデバイスのゲート絶縁膜として、高耐圧特性の観点からアモルファス構造及び大きなバンドギャップの材料が望まれ、これまで SiO₂、高誘電率な材料 (High-k) である Al₂O₃、HfO₂、そしてこれらを組み合わせた AlSiO_x 及び HfSiO_x などが盛んに研究されている。前回、我々は Hf リッチな HfSiO_x に着目し、原子層堆積法(ALD)で成膜した HfSiO_x 膜は不活性ガスの 800°C 熱処理で、アモルファス構造、高誘電率($k>15$)、小さな V_{fb} ヒステリシス($V_{fb\ hys}=+50$ mV)及び高耐圧($E_{bd}=8.7$ MV/cm)特性を示すことを報告した[1-2]。しかし、約+50 mV の小さな V_{fb} シフトが認められ、これが HfSiO_x 膜或は n-GaN/HfSiO_x 界面のどちらの電気的な欠陥に起因するのかよく分かっていなかった。

そこで、本研究では、Hf_{0.64}Si_{0.36}O_x 膜の膜厚を変えた n-GaN/Hf_{0.64}Si_{0.36}O_x/Pt キャパシタを作製して、電気特性の膜厚依存性を調べ、得られた結果を基に電気的な欠陥について議論した。

実験方法：まず、n-GaN 自立基板/n-GaN エピタキシャル層($N_d:2\times 10^{16}$ cm⁻³)は、SPM 及び BHF 溶液を用いて表現処理した。次に、プラズマ酸素を用いた ALD 法($T_g=300^\circ\text{C}$)により、HfO₂ 層を 3 層と SiO₂ 層を 1 層で、繰り返し成膜することで HfO₂/SiO₂ ラミネート膜(Hf_{0.64}Si_{0.36}O_x)を作製した。Hf_{0.64}Si_{0.36}O_x 膜の膜厚は 15, 20, 25 及び 30 nm と変えた。続いて、N₂ 雰囲気、800°C で熱処理した。Pt ゲート電極及び Ti/Pt オーミック電極を形成して n-GaN/Hf_{0.64}Si_{0.36}O_x/Pt キャパシタを作製した。

結果：ダイナミック SIMS による Ga 原子の深さ方向の分析した結果、Hf_{0.64}Si_{0.36}O_x 膜(23.1 nm)の Ga 濃度は as-grown と同程度の検出限界以下の小さな値であり、Hf_{0.64}Si_{0.36}O_x 膜への Ga 拡散はほぼ認められなかった。**Fig. 1** に Hf_{0.64}Si_{0.36}O_x 膜の膜厚に対する n-GaN/Hf_{0.64}Si_{0.36}O_x/Pt キャパシタの J-E 特性を示す。全てのキャパシタは、膜厚に関係なく小さなリーク電流特性及び高耐圧($E_{bd}>7.8$ MV/cm) 特性を示した。これは、Hf_{0.64}Si_{0.36}O_x 膜が均一な膜質であることを示している。**Fig. 2** に Hf_{0.64}Si_{0.36}O_x 膜厚 15 nm 及び 25 nm のキャパシタの C-V 特性を示す。周波数は 1M~1kHz と変えて、電圧は空乏領域から蓄積領域を順方向として往復掃引した。両キャパシタにおいて顕著な周波数分散は認められなかった。Hf_{0.64}Si_{0.36}O_x 膜の膜厚と飽和容量値は直線関係を満足して、その傾きから求めた誘電率は、15.1 と期待通りに高誘電率であった。また、飽和容量値に対する V_{fb} のプロットは直線関係を満足する事が分かり、これは Hf_{0.64}Si_{0.36}O_x 膜の固定電荷が無視できる程小さいことを示している。また、この関係の傾きから求めた界面の固定電荷(Q_{it} (cm⁻²))は 10¹¹ オーダーであった。以上より、 V_{fb} シフトへ影響を及ぼす電気的な欠陥は、Hf_{0.64}Si_{0.36}O_x 膜でなく、主に n-GaN/Hf_{0.64}Si_{0.36}O_x 界面である事が分かった。

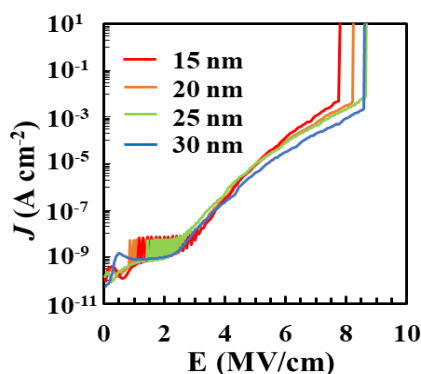


Fig. 1 J-E characteristics for n-GaN/Hf_{0.64}Si_{0.36}O_x/Pt MOS capacitors with Hf_{0.64}Si_{0.36}O_x thickness of 15~30 nm.

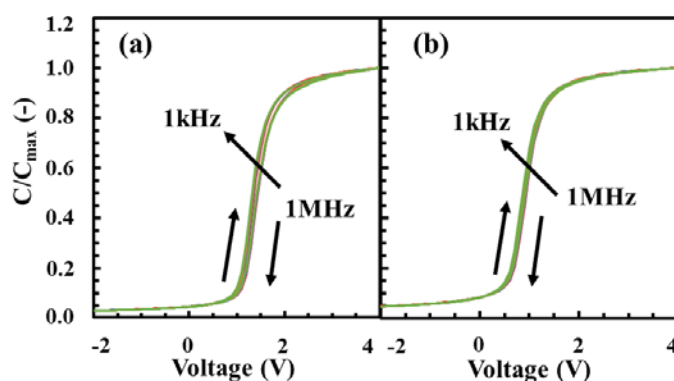


Fig. 2 C-V characteristics for n-GaN/Hf_{0.64}Si_{0.36}O_x/Pt MOS capacitors with Hf_{0.64}Si_{0.36}O_x thickness of (a) 15 nm and (b) 25 nm.

[1] 前田 他, 第 79 回応用物理学会秋季講演会, 18p-PA6-19 (2018).

[2] E. Maeda et al., Microelectronic Engineering. **216**, 111036 (2019).