

GaN MOS 界面における表面ポテンシャル揺らぎの絶縁膜形成温度依存性

ALD Temperature Dependence of Surface Potential Fluctuation at GaN MOS Interfaces

産総研 GaN-OIL¹, 名工大² °田岡紀之¹, 久保俊晴², 山田寿一¹, 江川孝志², 清水三聡¹AIST GaN-OIL.¹, Nagoya Institute of Tech.², °N. Taoka¹, T. Kubo², T. Yamada¹, T. Egawa², M. Shimizu¹

E-mail: taoka-nori@aist.go.jp

【背景】AlGaIn/GaN 界面に形成される 2 次元電子ガスを活用した高周波パワーデバイスやパワー集積回路等に注目が集まっている。一方、電流コラプス現象や閾値制御が問題であり、良好な表面保護膜、MOS 構造の形成技術の確立が望まれている。GaN MOS 界面は、これまでも盛んに研究されているが¹⁾、未だ Si MOS 界面と比較して未解明の部分が多い。

ワイドバンドギャップ半導体では、バンドギャップ全体にわたり界面特性を評価することは困難であるが、固定電荷や帯電した界面準位等の全電荷量を間接的に評価することは可能である。その指標の一つが表面ポテンシャル揺らぎ(σ_s)である²⁾。そこで本研究では、界面特性を正確に把握するために材料系を簡素化し、Al₂O₃/GaN MOS 構造を形成、その電気的界面特性を詳細に調べた。

【実験】サファイア基板の上に MOCVD で n 型 GaN 層を形成後、TMA と H₂O を用いた原子層堆積法(ALD)によって、20 nm の Al₂O₃ 層を異なる温度(T_d)で形成した。その後、ゲート電極 Pd/Ni/Au を形成することによって、MOS キャパシタを作製した (作製プロセスの詳細は、Ref. 3)に記載されている)。これらのキャパシタの界面特性を C-V 法およびコンダクタンス法によって詳細に調べた。

【結果】異なる T_d で形成した GaN MOS キャパシタの C-V カーブを図 1(a)-(c)に示す (測定周波数は 1kHz~1MHz である)。どの T_d においても、 C_{FB} 近傍において周波数分散が見られ、その分散は T_d に依存している。図 2(a)-(c)に Terman 法とコンダクタンス法で求めた界面準位密度(D_{it})分布を示す。どの T_d においても、2つの方法によって求めた D_{it} 分布は良く一致している。このことは、示した領域において、 D_{it} 分布が正しく求められていることを示している。また、 D_{it} およびフラットバンド電圧シフトから求めた電荷量(N_f)の T_d 依存性を図 2(d)に示す。 D_{it} は、 T_d の上昇と共に増加しているが、 N_f は 300°C で減少している。正負の電荷が混在する場合は、その補償のため、 N_f が小さく見積られる。しかし、その混在は、 σ_s の増大を引き起こし、 G_p/ω カーブの周波数軸方向への広がりとして現れる。図 3(a)に、 $T_d=200^\circ\text{C}$ と 300°C の場合の G_p/ω カーブおよび Nicollian らのモデル³⁾を基に計算した G_p/ω カーブを示す。高周波数側では、実験値と計算値の差は大きい、概ね計算と実験結果は一致している。またピークの広がり、 $T_d=300^\circ\text{C}$ の場合の方が大きいことが分かる。この広がりから求めた σ_s の分布(図 3(b))から、 σ_s は T_d と共に増加することが分かる。また、これら値は Si MOS の場合³⁾と比較して極めて大きな値である。このことは、 $T_d=300^\circ\text{C}$ の場合には多量の正負の電荷が MOS 界面に形成されていることを示している。発表当日は、O₃ および H₂O を酸化剤とした場合の界面特性についても議論する予定である。

【謝辞】この成果の一部は、NEDO の委託業務の結果得られたものです。参考文献: 1) 橋詰保 応用物理, **81**, 479(2012). 2) E. H. Nicollian *et al.*, *MOS physics and Technology*, (Wiley InterScience). 3) T. Kubo *et al.*, *Semicond. Sci. Technol.* **29**, 045004(2014).

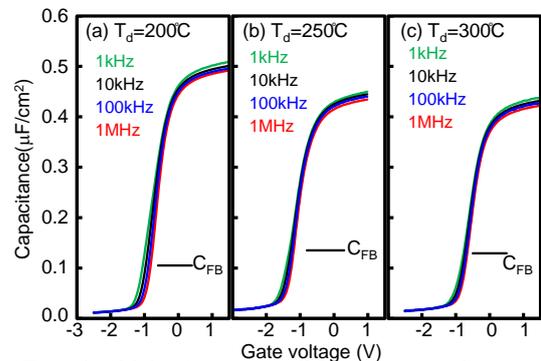


Fig. 1: Multi-frequency C-V curves with series resistance correction measured at RT for (a) $T_d=200^\circ\text{C}$, (b) 250°C and (c) 300°C . Here, C_{FB} means capacitances at flat-band conditions for each sample.

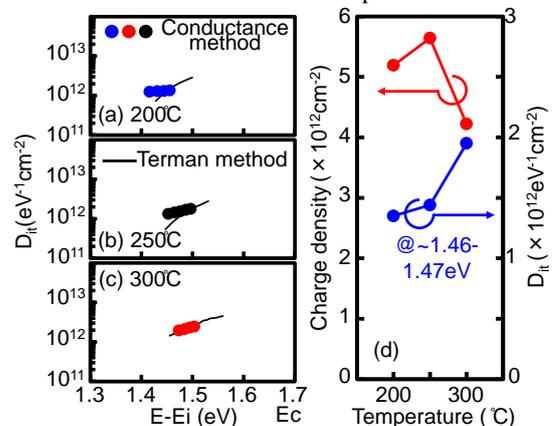


Fig. 2: Energy distributions of D_{it} for (a) $T_d=200^\circ\text{C}$, (b) 250°C and (c) 300°C . Here, E_i and E_c mean intrinsic Fermi level and energy of the conduction band minimum. (d) T_d dependences of N_f and D_{it} .

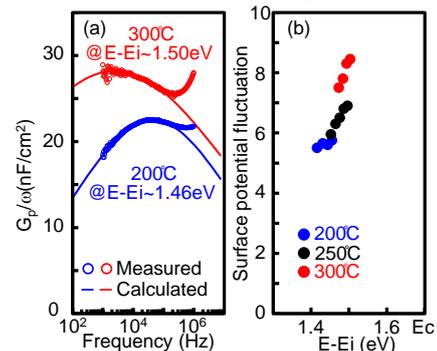


Fig. 3: (a) Measured and calculated G_p/ω curves for $T_d=200^\circ\text{C}$ and 300°C . (b) Energy distributions of surface potential fluctuation normalized by kT . Here, k and T are Boltzmann constant and absolute temperature.