

表面ポテンシャル揺らぎが GaN MOSFET のキャリア移動度に与える影響

Impacts of surface potential fluctuation on carrier mobility in an inversion layer of GaN MOSFET

産総研 GaN-OIL, °田岡 紀之, 山田寿一, 清水三聡

AIST GaN-OIL, °N. Taoka, T. Yamada, and M. Shimizu

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

【背景】反転層中のキャリア移動度は、MOSFET の特性を表す重要な指標である。そのため反転層中におけるキャリアの散乱機構の解明は移動度を向上させる為に非常に重要である。Poly-Si/SiO₂/Si 構造の MOSFET では、その散乱機構は良く理解されているが[1]、GaN MOSFET では、その理解は不十分である。また、GaN MOS 界面では、非常に大きな表面ポテンシャル揺らぎ(σ_s)が見られているが[2]、 σ_s が移動度に与える影響については、ほとんど議論されていない。そこで本研究では、 σ_s と界面準位の性質が移動度に及ぼす影響について Brews のモデル[3]を基に検討した。

【計算方法】GaN 表面におけるフェルミレベル (E_{SF})、界面電荷量(N_{it})および σ_s との関係性を Brews のモデルを用いて計算した。計算では、 N_{it} は E_{SF} に依存せず一定とした。このことは同数のアクセプタとドナー型の界面準位がバンドギャップ中に分布している状態、または、固定電荷が支配的な状態に相当する。また、反転層キャリア密度 (N_s) の E_{SF} 依存性をボルツマン分布を用いて求めた。

【結果および考察】Si MOSFET の反転層中の移動度において、クーロン散乱によって制限される移動度(μ_c)は、 N_s^{-1} に比例することが知られている。これは、クーロン散乱体が反転層キャリアによってスクリーニングされる効果による。同様なスクリーニング効果のため、MOS 界面において σ_s も小さくなるのが Brews のモデルから予想される。図 1(a)は、計算で求めた σ_s のエネルギー分布 (実線) とコンダクタンス法で求めた Al₂O₃/GaN 界面における σ_s のエネルギー分布 (赤丸および黒丸) である[2]。図中の表記(H₂O, O₃+H₂O)は Al₂O₃ 形成時に用いた酸化材を表している。計算では、midgap において、 $\sigma_s = 8$ とした。計算で求めたエネルギー分布では、 σ_s は伝導帯に近づくにつれて、減少することが分かる。これは、先に述べたスクリーニングの影響である。一方、実験結果では、 σ_s は伝導帯端に向けて増加する傾向が見られる。このことは、Al₂O₃/GaN 界面における界面準位はアクセプタ型の性質を持っていることを示している。また、界面準位が電子を捕獲し、その電荷をスクリーニングする効果は小さいことを示している。MOSFET の動作を考えた場合、このような界面特性は大幅に μ_c を低下させることが予想される。Midgap における σ_s の大きさが 2 と 8 の場合の N_s 依存性を図 1(b)に示す。点線は、midgap における σ_s の大きさが 8 の場合で、スクリーニング効果が無い場合を示している。 $\sigma_s = 8$ の場合、 N_s の増加と共に、 σ_s は減少するが、 $N_s = 1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ においても、 $\sigma_s = 2$ 程度の揺らぎが存在する。同様に $\sigma_s = 2$ の場合においても、 $N_s = 1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ において、 $\sigma_s = 0.5$ 程度の揺らぎ存在する。計算方法の部分で述べた様に、計算では、 N_{it} は E_{SF} に依存しないと仮定しているが、図 1(a)で議論した様に、 N_{it} は E_c に近づくに連れて増加するので(σ_s の大きさは N_{it} に依存するため)、Fig.1(a)に示した界面特性を有する様な MOS 界面では、 $N_s = 1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ において、さらに σ_s の値が大きくなると考えられる。これらの結果は、MOSFET 特性の向上のためには、 N_{it} だけでなく、界面準位の性質やスクリーニングの効果を考慮することが重要であることを示している。当日は、移動度と σ_s の関係について更に議論する予定である。

【謝辞】この成果は、NEDO より委託を受け実施した。参考文献：1) S. Takagi *et al.*, IEEE TED, **41**, 2357(1994). 2) N. Taoka *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys., **57**, 01AD04 (2018). 3) J. R. Brews, J. Appl. Phys., **43**, 2306 (1972).

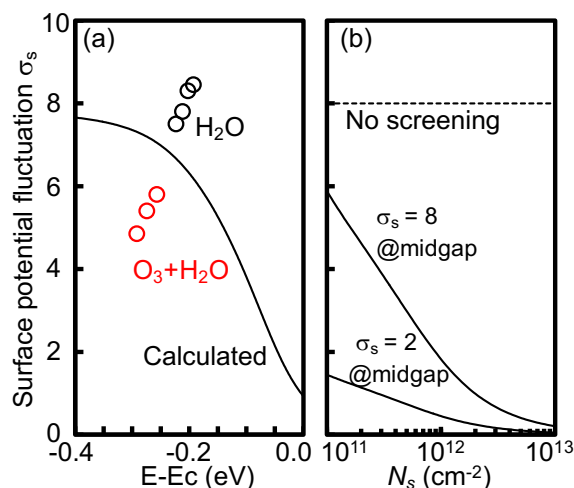


Fig. 1: σ_s as functions of (a) energy from E_c and (b) N_s . Here, E_c denotes the energy level of the conduction band minimum.