

# 高濃度ボディ層を有する SiC MOSFET のゲート特性に着目した 界面準位密度評価

## Estimation of interface state density in heavily-doped SiC MOS structures from gate characteristics of MOSFETs

京大院工 °伊藤 滉二, 小林 拓真, 堀田 昌宏, 須田 淳, 木本 恒暢

Kyoto Univ., °Koji Ito, Takuma Kobayashi, Masahiro Horita, Jun Suda, Tsunenobu Kimoto

E-mail: ito@semicon.kuee.kyoto-u.ac.jp

**背景・目的:** SiC MOSFET では、高密度界面準位が移動度を律速することが知られている。一方で、パワーデバイス应用到に必要な高濃度ボディ層 ( $N_A > 5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ) を有する MOSFET においては移動度がさらに低下する現象が報告されており[1]、ボディ層濃度と界面準位密度( $D_{it}$ )との関係の理解は特に重要である。そこで、本研究では、ボディ層濃度を变化させた n チャネル MOSFET を作製し、室温ゲート特性に着目して伝導帯端近傍における  $D_{it}$  の評価を行った。

**試料・計算モデルの概要:** MOSFET のゲート酸化膜は、p 型 SiC (0001) 面試料に熱酸化 (1300°C, 30 分)、もしくは熱酸化+NO 処理 (1250°C, 70 分) を施し作製した (酸化膜厚は約 42 nm)。ボディ層アクセプタ密度は Al イオン注入を施すことで  $N_A = 3 \times 10^{15} - 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  の広範囲で变化させた。また、 $D_{it}$  分布の比較のために、MOS キャパシタを n 型エピ層 ( $N_D \sim 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ) に上記と同一条件で酸化を施すことで作製した。MOSFET 特性から  $D_{it}$  分布を評価する際、反転層の電子は全て一定の移動度で伝導に寄与し、界面準位に捕獲された電子は一切伝導に寄与しないと仮定して、ドレイン電流  $I_D$  およびゲート電圧  $V_G$  を理論的に計算し、実験  $I_D$ - $V_G$  特性を再現するように  $D_{it}$  分布を決定した[2]。反転層電子密度および界面準位捕獲電子密度は、それぞれ量子閉じ込め効果を考慮した二次元状態密度および  $D_{it}$  と Fermi-Dirac 分布との積のエネルギー積分により求めた。移動度はホール移動度の測定結果を参考に  $\mu = 100 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$  で一定とした。なお、 $D_{it}$  分布には以下の関数形を仮定した。

$$D_{it} = D_0 + D_1 \exp\left(\frac{E - E_C}{E_1}\right) + D_2 \exp\left(\frac{E - E_C}{E_2}\right)$$

$D_0, D_1, D_2, E_1, E_2$  および界面固定電荷密度  $Q_{fix}$  をパラメータとし、実験  $I_D$ - $V_G$  特性を再現した。

**結果・考察:** 図 1 に代表的な  $I_D$ - $V_G$  特性の実験および計算結果を示す。例えば低濃度 MOSFET においては、 $V_G = 1.1 - 14.1 \text{ V}$  ( $E_C - E_T = 0.02 - 0.15 \text{ eV}$  に対応) の広範囲で良好な一致を示している。また、図 2 にゲート特性から抽出した  $D_{it}$  分布を MOS キャパシタの評価結果とともに示す。酸化膜形成条件によらず、得られた  $D_{it}$  分布は  $C$ - $\psi_S$  法[3]の結果と比較的深いエネルギー領域 ( $E_C - 0.2 \text{ eV}$  程度) で整合した。このことから、1 MHz 以上の周波数に応答するような応答の速い準位も MOSFET のドレイン電流を制限するといえる。窒化処理後も伝導帯端に向けて  $D_{it}$  は大きく増加し、伝導帯端 ( $\sim E_C$ ) では  $D_{it} > 10^{13} \text{ cm}^{-2}\text{eV}^{-1}$  という結果になった。また、 $D_{it}$  分布はボディ層  $N_A$  に大きくは依存しないことが見て取れる。したがって、高濃度 MOSFET におけるドレイン電流の減少は、量子閉じ込め効果による二次元状態密度下端の高エネルギー側へのシフトによって、反転層キャリア密度が減少することに起因すると示唆される。

[1] S. Nakazawa et al., *IEEE Trans. Electron Devices* **62**, 309 (2015). [2] M. Hauck et al., *Ext. Abstr. of ICSCRM 2017*, TU.B1.3 (2017). [3] H. Yoshioka et al., *J. Appl. Phys.* **111**, 014502 (2012).

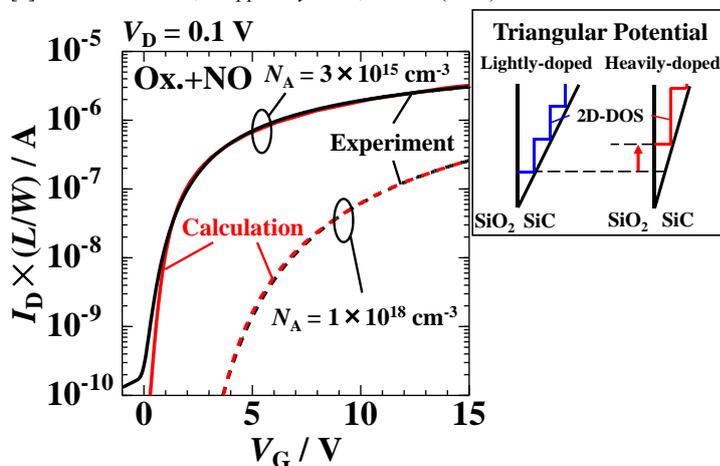


Fig. 1 Typical experimental and calculated gate characteristics for NO-annealed MOSFETs with lightly- and heavily-doped p-bodies. In a MOSFET with heavily-doped p-body, drain current decreases due to the energy shift of the bottom edge of 2D-DOS by the quantum confinement effect.

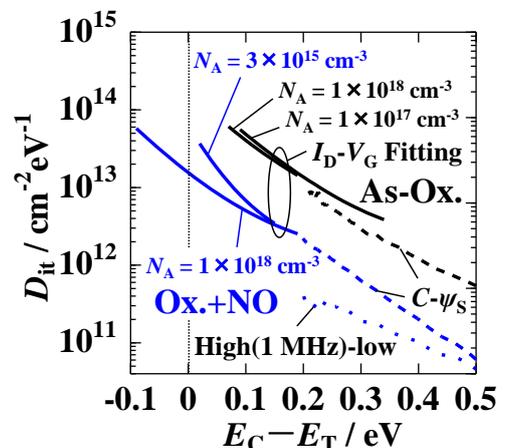


Fig. 2 Comparison of interface state densities in MOS structures extracted by various methods.