

無極性面を用いた高移動度 SiC p チャネル MOSFET の作製と評価

Fabrication and characterization of high-mobility SiC p-channel MOSFETs utilizing nonpolar faces

京大院工¹ ○三上 杏太¹, 金子 光顕¹, 木本 恒暢¹

Kyoto Univ. °Kyota Mikami, Mitsuaki Kaneko, Tsunenobu Kimoto

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

背景・目的: SiC MOSFET は、Si では実現困難な高温動作 CMOS 集積回路への応用が期待されている。集積度向上の観点では、(0001)面にのみチャネルを有するプレーナ型 MOSFET ではなく、無極性面にもチャネルを有する FinFET の利用が有望である。しかし、無極性面 p チャネル MOSFET の報告は極めて限定的である[1]。本研究では、ボディ層ドナー密度(N_D)を系統的に変化させた(11 $\bar{2}$ 0)、(1 $\bar{1}$ 00)面 p チャネル MOSFET を作製し、そのチャネル移動度を(0001)面素子と比較した。

デバイス作製: n型4H-SiC (1120), (1100)基板上n型エピ層を用いてpチャネルMOSFETを作製した。ゲート絶縁膜は熱酸化(1300°C, 3分)とNOアニール(1250°C, 70分)により形成した。酸化膜厚は約40 nm、 N_D は 5×10^{15} – 8×10^{17} cm⁻³、チャネル長(L)は100 μ m、チャネル幅(W)は50 μ mである。

結果・考察: 図1に作製した(1 $\bar{1}$ 00)面 p チャネル MOSFET のゲート特性を示す。 N_D の増加に伴って、ゲート特性が負電圧方向にシフトしている。これは、 N_D の増加によるしきい値電圧の上昇によって説明できる。図2に電界効果移動度のゲート電圧依存性を示す。 $N_D = 1 \times 10^{16}$ cm⁻³の素子において、電界効果移動度の最大値($\mu_{FE,max}$)は28 cm²/Vsであり、これまで報告された SiC p チャネル MOSFET の移動度[1-5]として最高値である。また、 N_D が 1×10^{16} cm⁻³ から 4×10^{17} cm⁻³ へ増加するに従って、 $\mu_{FE,max}$ は28 cm²/Vs から20 cm²/Vs に低下している。これは(0001)面 p チャネル素子と同様の傾向であり、実効垂直電界に起因した散乱によって移動度が低下したと推測できる[5]。

図3にボディ層濃度・面方位の異なる p チャネル素子の $\mu_{FE,max}$ を示す。同程度の N_D を有する(0001)面素子と比較して、無極性面素子は約2倍、もしくはそれ以上の移動度を示した。この現象の起源を解明するために、サブスレッショルドスイング(SS)から価電子帯端(E_V)近傍の界面準位密度(D_{it})を評価した。SSは規格化ドレイン電流($I_{DN} = I_D \times L/W$)が 10^{-9} A– 10^{-8} A の範囲で評価した。その結果、 $N_D \sim 1 \times 10^{17}$ cm⁻³の素子における D_{it} は、(0001)面において 7.9×10^{12} cm⁻²eV⁻¹、無極性面において 4.8×10^{12} cm⁻²eV⁻¹ であり、無極性面における E_V 近傍の D_{it} が低いことが分かった。したがって、 E_V 近傍の D_{it} の差異が、SiC p チャネル MOSFET における移動度の面方位依存性の一因であると考えられる。

[1] M. Noborio *et al.*, *IEEE Trans. Electron Devices* **56**, 1953 (2009). [2] M. Okamoto *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **89**, 023502 (2006).

[3] K. Moges *et al.*, *Appl. Phys. Express* **12**, 061003 (2019).

[4] K. Tachiki *et al.*, *IEEE Trans. Electron Devices* **68**, 638 (2021).

[5] K. Mikami *et al.*, *Appl. Phys. Express* **15**, 036503 (2022).

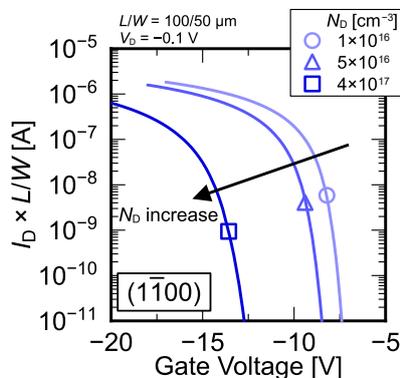


Fig. 1. Gate characteristics for the fabricated (1 $\bar{1}$ 00) p-channel MOSFETs.

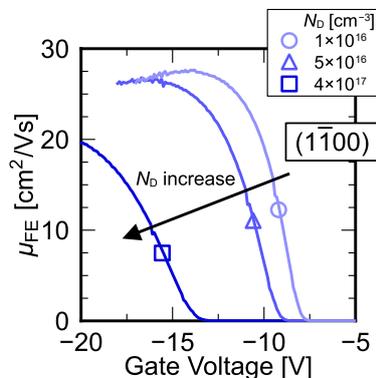


Fig. 2. Field-effect mobility as a function of the gate voltage for the fabricated (1 $\bar{1}$ 00) p-channel MOSFETs.

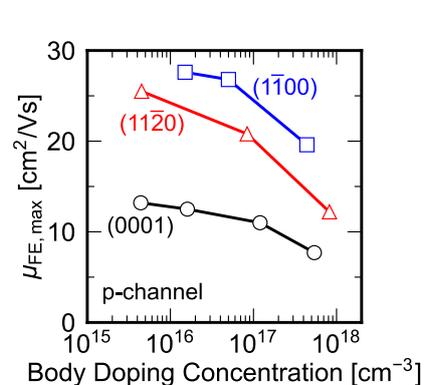


Fig. 3. Maximum field-effect mobility ($\mu_{FE,max}$) for the (11 $\bar{2}$ 0) and (0001) MOSFETs with various body doping concentrations.