

無極性面の適用による SiC p チャネル MOSFET の移動度向上 Improved channel mobility in 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 (11 $\bar{2}$ 0), (1 $\bar{1}$ 00)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にボディ層濃度・面方位の異なる p チャネル MOSFET における電界効果移動度の最大値($\mu_{FE,max}$)を示す。 c 軸垂直方向の移動度(実線)に着目すると、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2倍以上の移動度を示した。特に(1 $\bar{1}$ 00)面 $N_D=1 \times 10^{16}$ cm⁻³ の素子では、これまで報告された SiC p チャネル MOSFET の移動度[1-5]として最高値の 28 cm²/Vs が得られた。サブスレッショルドスイングから界面準位密度(D_{it})を評価した結果、 $N_D \sim 1 \times 10^{17}$ cm⁻³ の素子における D_{it} は、(0001)面では 7.9×10^{12} cm⁻²eV⁻¹、無極性面では 4.8×10^{12} cm⁻²eV⁻¹ であった。したがって、無極性面の低い D_{it} が高移動度の一因である。また、無極性面素子では移動度に異方性が存在し、 c 軸垂直方向の移動度($\mu_{FE,\perp}$)は c 軸平行方向の移動度($\mu_{FE,\parallel}$)よりも 20%以上高い。

図2に(1 $\bar{1}$ 00)面の $N_D=1 \times 10^{16}$ cm⁻³ の素子における電界効果移動度の異方性を示す。異方性の起源を解明するために、反転層正孔の平均有効質量(m_{inv}^*)を計算した。具体的には、三角ポテンシャル近似を用いて、重い正孔・軽い正孔・スプリットオフ正孔それぞれの反転層正孔密度を計算し、反転層正孔密度を用いてバルク有効質量を重み付け平均することで m_{inv}^* を計算した。その結果、 c 軸平行・垂直方向の有効質量比($m_{inv,\parallel}^*/m_{inv,\perp}^*$)は 1.3 となった。移動度比($\mu_{FE,\perp}/\mu_{FE,\parallel} \sim 1.3$ –1.5)と有効質量比が概ね一致したことから、電界効果移動度の異方性は、主に m_{inv}^* が起源であると言える。すなわち、SiC 無極性面上に作製した p チャネル MOSFET では、本質的に c 軸垂直方向の移動度の方が高いことを意味する。したがって、高性能 SiC FinFET CMOS の実現の観点では、側壁を(1 $\bar{1}$ 00)面とし、チャネル方向を c 軸垂直方向とすることが望ましい。

[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).

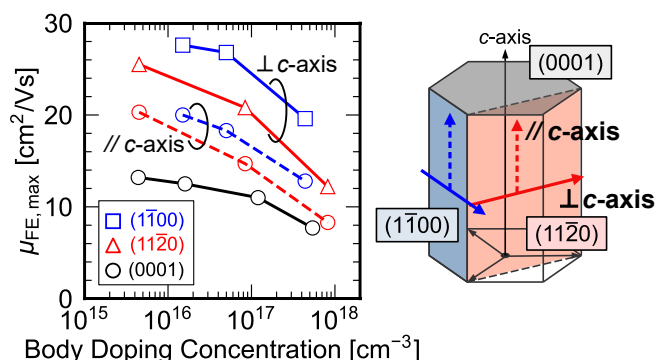


Fig. 1. Maximum field-effect mobility ($\mu_{FE,max}$) for the (0001), (11 $\bar{2}$ 0), and (1 $\bar{1}$ 00) MOSFETs with various body doping concentrations.

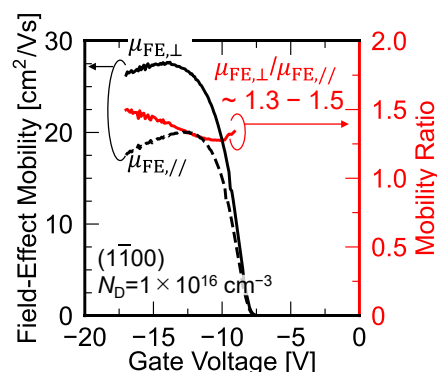


Fig. 2. Field-effect mobility and the mobility ratio as a function of the gate voltage for the (1 $\bar{1}$ 00) device ($N_D=1 \times 10^{16}$ cm⁻³).