

リン処理を施した SiC MOSFET における実効移動度のボディ電位依存性

Body bias dependence of the effective channel mobility in SiC MOSFETs
with phosphorus treatment京大院工¹, 名大院工², ○伊藤 滉二¹, 堀田 昌宏^{1,2}, 須田 淳^{1,2}, 木本 恒暢¹Kyoto Univ.¹, Nagoya Univ.², ○Koji Ito¹, Masahiro Horita^{1,2}, Jun Suda^{1,2}, Tsunenobu Kimoto¹

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

背景・目的：SiC MOSFET では、高密度の界面準位の存在により、可動電子移動度と界面準位に捕獲された電子密度が、ゲート電圧に伴って同時に変化する複雑さから、移動度制限要因の議論が困難となっている。この問題に対し、MOS-Hall 効果測定から可動電子移動度を評価する方法、もしくは界面準位密度 (D_{it}) の影響を極力低減した MOSFET の I - V 特性から直接実効移動度を評価する方法が方策として挙げられるが、後者に関する先行研究はほとんど存在しない。そこで、 D_{it} を大幅に低減 ($D_{it} < 10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$) できるリン処理 (POCl_3 , O_2 , N_2 の混合ガスアニール) [1] に着目した。本研究では、ボディ層アクセプタ密度 (N_A) を系統的に変化させた SiC n チャネル MOSFET を、リン処理を施して作製した。さらに、ボディ電位 (V_{BS}) を変化させて実効移動度 (μ_{eff}) を評価することで [2, 3]、SiC MOSFET の移動度制限要因の議論を試みた。

試料作製：MOSFET のゲート酸化膜は、p 型 4H-SiC (0001) 面試料に熱酸化 (1300°C, 30 分) + リン処理 (POCl_3 , O_2 , N_2 雰囲気 1000°C, 10 分 + N_2 雰囲気 1000°C, 30 分) を施し作製した。酸化膜厚は 58 nm であった。ボディ層アクセプタ密度は Al イオン注入を施すことで $3 \times 10^{15} \sim 3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の広範囲で系統的に変化させた。

結果・考察：Figure 1 に、 $N_A = 3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ の MOSFET における Hall 電子密度のゲート電圧依存性の測定結果を示す。測定値の傾きが、酸化膜容量を電気素量で割った理論値と概ね等しいことがわかる。これは、リン処理を施した SiC MOSFET では、キャリアトラップの影響が小さいことを示唆している。Figure 2(a) にリン処理を施した MOSFET における μ_{eff} の実効垂直電界 (E_{eff}) 依存性について、 V_{BS} を変化させた結果を示す。低濃度素子 ($N_A = 3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$) の場合、いずれの V_{BS} においても universal な移動度に収束するのに対して、高濃度素子 ($N_A = 3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) の場合、 V_{BS} の増加に伴って移動度が急激に低下することが見てとれる。特に、 $V_{BS} < -20 \text{ V}$ において、 $\mu_{eff} < 10 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ となる。これは、高濃度素子における移動度低下と似た振舞いである。続いて、Figure 2(b) にリン処理を施した MOSFET における μ_{eff} の E_{eff} 依存性を、他のドーピング密度条件の結果とともに示す。Universal な移動度を示す領域 ($E_{eff} < 1 \text{ MVcm}^{-1}$) では、 $\mu_{ph} / \text{cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1} = 1.2 \times 10^2 \cdot (E_{eff} / \text{MVcm}^{-1})^{-0.33}$ という式で振舞いが再現できるのに対し、高 E_{eff} においては、ドーピング密度に依らず移動度が低下している。文献 [4] では、高 E_{eff} における移動度の低下は、ドーピング密度よりむしろ電子の界面からの平均距離 Z_{av} に依存すると報告されている。Figure 3 に、 Z_{av} および μ_{eff} の関係をプロットした結果を示す。本研究より、大きい Z_{av} (3.0–4.5 nm) において、 μ_{eff} はほとんど変化しないのに対し、小さい Z_{av} (1.0–1.5 nm) においては、 μ_{eff} がドーピング密度に依らず急激に低下することが判明した。

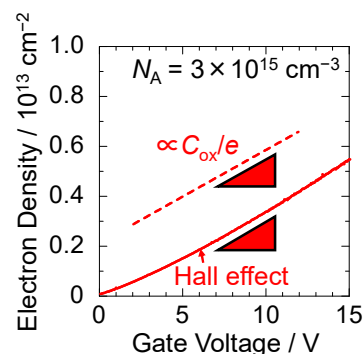


Fig. 1: Gate voltage dependence of electron density at room temperature for a lightly-doped ($N_A = 3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$) POCl_3 -annealed SiC MOSFET obtained by Hall effect measurement.

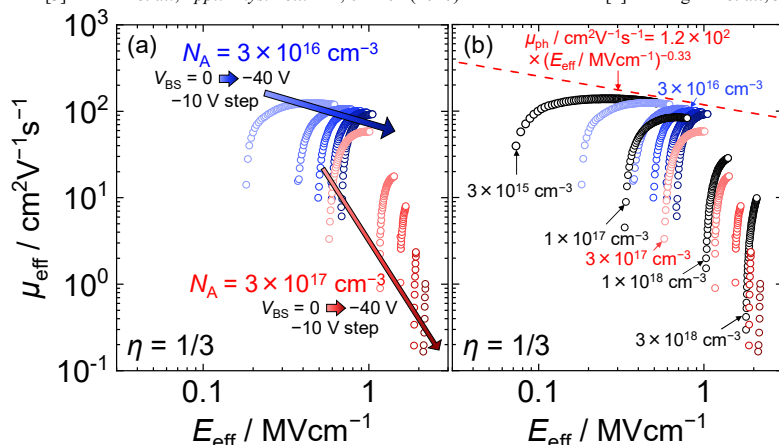


Fig. 2: Effective field dependence of effective mobility with negative body bias for lightly-doped ($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$) and heavily-doped ($3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) POCl_3 -annealed SiC MOSFETs.

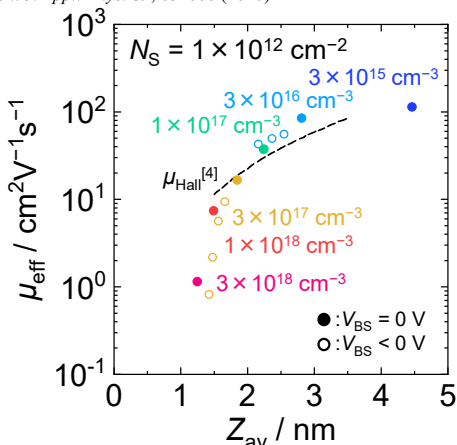


Fig. 3: Effective mobility as a function of the average distance of electrons from the SiC MOS interface.