

リン処理を施した SiC MOSFET におけるチャネル移動度の ボディ層アクセプタ密度依存性

Dependence of channel mobility on doping concentration of p-body
in POCl₃-annealed SiC MOSFETs

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¹

Kyoto 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、高密度界面準位 (D_{it}) の存在により、ゲート電圧に伴って、可動電子移動度と D_{it} に捕獲された電子密度が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[1, 2]、もしくは D_{it} の影響を極力低減した MOSFET の I - V 特性からチャネル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 ($D_{it} < 10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$) できる界面処理法であるリン処理 (POCl₃, O₂, N₂ の混合ガスアニール) [3] 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。ゲート特性を中心に測定を行い、チャネル移動度を評価することで、SiC MOSFET の移動度制限要因の議論を試みる。

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)+窒化処理 (NO 雰囲気 1250°C, 70 分)、もしくは熱酸化+リン処理 (POCl₃, O₂, N₂ 雰囲気 1000°C, 10 分 + N₂ 雰囲気 1000°C, 30 分) を施し作製した。酸化膜厚はそれぞれ 42, 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 3×10^{15} – $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の広範囲で系統的に変化させた。

結果・考察: Figure 1 にリン処理を施した MOSFET における電界効果移動度 (μ_{FE}) のゲート電圧依存性を示す。 $N_A = 3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ の MOSFET では $\mu_{FE} = 132 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ でピーク値を取るのに対し、 $N_A = 3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の MOSFET では $\mu_{FE} = 8 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 程度であることがわかる。続いて、Figure 2 に窒化処理およびリン処理を施した MOSFET における電界効果移動度のピーク値のボディ層アクセプタ密度依存性、および実測した Hall 移動度 (μ_{Hall}) のピーク値を、窒化処理を施した MOSFET における Hall 移動度の報告値[2]とともに示す。リン処理を施した MOSFET に関しては、 $N_A = 3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ において、 $\mu_{FE} = 132 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$, $\mu_{Hall} = 144 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ であった。これは、リン処理を施した MOSFET においては、キャリアトラップ効果が小さいことを示唆している。しかしながら、 $N_A < 3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の範囲では $\mu_{FE} = 82$ – $132 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ と比較的高移動度を維持しているのに対し、 $N_A > 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の範囲では、 $\mu_{FE} = 8$ – $36 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 程度まで減少している。それでもなお、窒化処理を施した場合と比べると、リン処理を施した場合は、広いボディ層アクセプタ密度の範囲において高い電界効果移動度を有することがわかる。また、(0001)面にリン処理を施した MOSFET におけるチャネル移動度のボディ層アクセプタ密度依存性は、(1120)および(1100)面に窒化処理を施した場合[4]と概ね一致している。続いて、先行研究における窒化処理を施した MOSFET での Hall 効果測定結果[2]と比較する。Hall 移動度の報告値[2]は実測結果と概ね整合しており、窒化処理の条件に大きな差異が無いことがわかる。その結果、例えば $N_A = 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の窒化 MOSFET における Hall 移動度は高々 $\mu_{Hall} = 30 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ であるのに対し、本研究で作製したリン処理 MOSFET の場合は最大で $\mu_{FE} = 103 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ となっている。したがって、窒化処理の場合に支配的となっている散乱要因がリン処理の場合では除去できている可能性が示唆される。

[1] T. Hatakeyama *et al.*, *Appl. Phys. Express* **10**, 046601 (2017).

[3] D. Okamoto *et al.*, *IEEE Trans. Electron Devices* **31**, 710 (2010).

[2] M. Noguchi *et al.*, *IEDM Tech. Dig.* (2017), p. 219.

[4] S. Nakazawa *et al.*, *IEEE Trans. Electron Devices* **62**, 309 (2015).

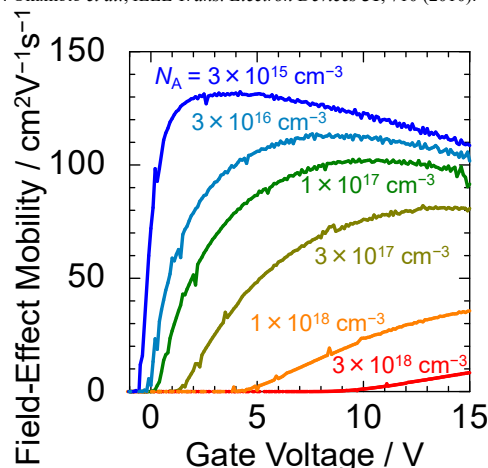


Fig. 1 Gate voltage dependence of field-effect mobility for POCl₃-annealed MOSFETs with various doping concentrations of the p-body.

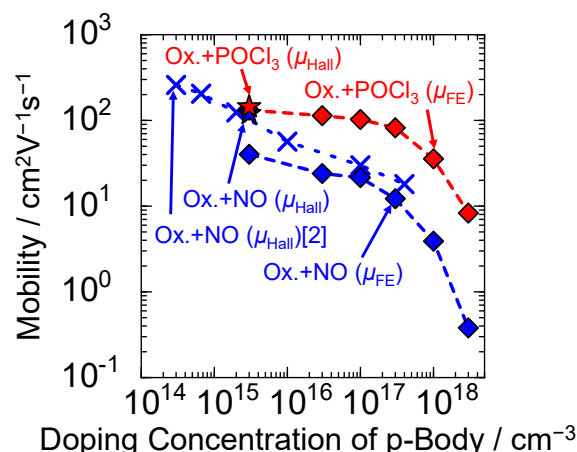


Fig. 2 Dependence of mobility on doping concentration of the p-body in NO-annealed and POCl₃-annealed MOSFETs.