

Si 面 SiC 上ゲート絶縁膜に対する N₂ 雰囲気中での 高温熱処理による界面窒化プロセスとその欠陥低減効果

The interface nitridation process by high temperature annealing in N₂ ambient for insulator on Si face SiC and its effect on defect reduction

東芝研究開発センター, °朝羽 俊介, 伊藤 俊秀, 深津 茂人, 中林 幸雄, 清水 達雄, 飯島 良介

Toshiba Corporate R&D center, °Shunsuke Asaba, Toshihide Ito, Shigeto Fukatsu,

Yukio Nakabayashi, Tatsuo Shimizu, and Ryosuke Iijima

E-mail: shunsuke.asaba@toshiba.co.jp

SiC-MOSFET の高性能化のために、ゲート絶縁膜技術の改善が求められている。実用上重要な面方位である Si 面上の絶縁膜界面の欠陥を低減するためには、界面への窒素添加が有効である。現在、界面窒化を行うためには、NO ガスや N₂O ガスを用いた酸窒化熱処理が一般的である[1, 2]。一方で、コストと安全性に利点がある N₂ ガスを用いた高温熱処理の界面欠陥低減効果が報告されている[3]。しかしながら、界面への効果的な窒素導入は絶縁膜厚 15 nm 以下の場合に限られ、1400°C の高温曝露に起因した界面品質の劣化も懸念される。今回、実用的な膜厚である 45 nm 厚の絶縁膜に対し、適切な前処理酸化を行った場合、熱ダメージの抑制が期待される 1300°C の N₂ 熱処理によって、移動度 50 cm²/Vs を達成する良好な界面品質が得られることが明らかになった。

表面に 5×10¹⁵ cm⁻³ の N 型エピ層を有した Si 面 4°オフ 4H-SiC 基板を洗浄し、CVD による膜厚約 45 nm の絶縁膜の堆積後に、前処理酸化を施した。酸化処理には十分低い温度を選択することで、基板酸化による欠陥生成を避けた。最後に、N₂ 雰囲気中で 1300°C の N₂ 熱処理を行った。

以上のプロセスで作製した絶縁膜の SIMS 分析を実施した結果(Fig.1)、膜中では界面側で高濃度となる窒素分布が測定された。また、SiO₂/SiC 界面に偏在した高濃度の窒素が検出され、前処理酸化によって窒素濃度は約 100 倍に増加した。このとき、高濃度の窒素導入にともなって、界面準位密度(D_{it})が大きく低減されることを確認した(Fig.2)。測定された D_{it} は 1400°C の N₂ 熱処理を施した場合[3]と同等以上の良好な値であった。さらに、この絶縁膜を適用して作製した MOSFET を評価したところ、移動度は酸窒化熱処理[2]を上回る 50 cm²/Vs に到達し(Fig.3)、界面品質が優れていることが示された。

適切な前処理酸化を行うことで、従来よりも低温である 1300°C の N₂ 熱処理によって界面への高濃度の窒素添加が可能であることが明らかになった。現時点で界面反応メカニズムの理解は不十分であるが、基板酸化や高温曝露を回避しながら高濃度の窒素が界面に添加されたことで、酸窒化熱処理を上回る高い移動度が実現されたと考えられる。

- [1] H. Yoshioka, *et al.*, J. Appl. Phys., 112, 024520 (2012). [2] G.Y. Chung, *et al.*, IEEE Electron Device Lett., 22, 176 (2001).
[3] A. Chanthaphan, *et al.*, AIP Adv., 5, 097134 (2015).

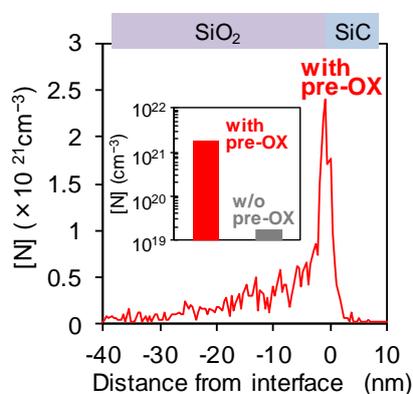


Fig.1. Depth profile of nitrogen density. (inset) Enhancement of nitrogen density at interface by pre-oxidation.

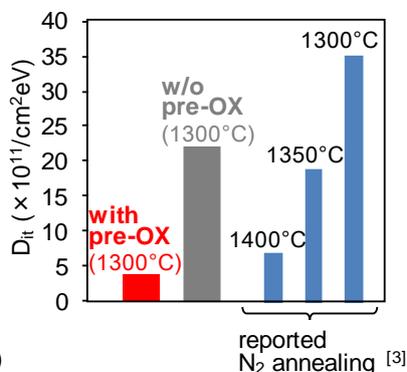


Fig.2. D_{it} at the energy of 0.2 eV below the conduction band bottom measured by the high-low method.

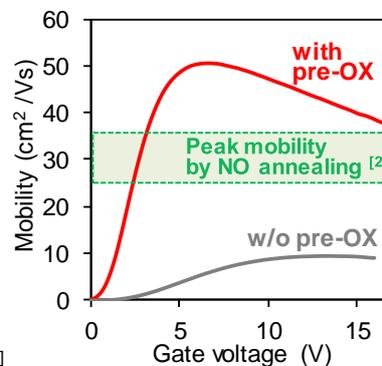


Fig.3. Field-effect mobility of MOSFET extracted from the I_D-V_G characteristics.