

高温アニールと γ 線照射による 4H-SiC/SiO₂ 窒化界面構造の変化の違い

Difference between 4H-SiC/SiO₂ nitrated interface structural changes by high temperature annealing and γ -ray irradiation

東京大学大学院工学系研究科マテリアル工学専攻¹, 日立製作所 研究開発グループ²

○佐俣 勇祐¹, 増永 昌弘², 島 明生², 桑名 諒², 喜多 浩之¹

Dept. of Materials Engineering, The Univ. of Tokyo¹, Hitachi, Ltd. R&D Group²

○Yusuke Samata¹, Masahiro Masunaga², Akio Shima², Ryo Kuwana² and Koji Kita¹

E-mail: samata@scio.t.u-tokyo.ac.jp

【はじめに】SiC MOSFET を高温下や高放射線下の過酷環境で長期間動作させるときの MOS 界面構造の変化は、移動度低下や閾値電圧の変動等のデバイス特性の深刻な劣化の原因となる[1]。そこで本研究では、4H-SiC/SiO₂ 窒化界面構造の安定性に注目する。我々は既に、高温 Ar アニールによる 4H-SiC/SiO₂ 界面からの N 原子の脱離挙動には、4H-SiC の結晶面方位により違いがあることを指摘した[2]。そこで今回は、Si 面、C 面および a 面上に形成された窒化界面構造の、高温アニールによる変化と γ 線照射による変化について、その挙動の違いを調査した。

【実験方法】n 型エピタキシャル膜を有する 4H-SiC の Si 面、C 面および a 面基板を O₂ 雰囲気下 1300°C でドライ酸化し、5 nm の SiO₂ 膜を形成した後、NO:N₂=1:2 の混合雰囲気下 1150°C で 2 時間の界面窒化を行い、4H-SiC/SiO₂ 界面に N 原子を導入した。次に、これらの試料に対して、⁶⁰Co 線源を用いて、0.7 kGy/h の γ 線を積算 200 kGy まで照射した。その後、これらの試料上に MOS キャパシタを作成し D_{it} を評価した。また、各試料について SiO₂ 膜を HF 水溶液で完全に除去した後、XPS (Mg K α 線源、取出角 90°) で 4H-SiC 表面の N 原子の相対的な密度の評価を行った。

【結果および考察】4H-SiC/SiO₂ 窒化界面からの、高温 Ar アニールによる N 原子の脱離挙動[2]を Fig. 1 に示す。点線の傾きの絶対値は、各面における脱離の活性化エネルギーを反映するとみなすことができる。傾きの違いから 4H-SiC/SiO₂ 窒化界面構造中の N 原子の高温アニールに対する安定性は、Si 面 > a 面 > C 面であると考えられる。次に、200 kGy の γ 線照射前後の Si 面試料の SiO₂ 膜をエッチングして測定した N1s 内殻光電子スペクトルを Fig. 2 に示す。 γ 線照射後には高結合エネルギー側へピークが広がり、N 原子周辺の構造変化が示唆される。同様の傾向は C 面および a 面の試料においてもわずかに見られた。これらの挙動は、高温アニールではピーク形状が変化せずにピーク強度が単調に低下する[2]という結果とは対照的である。N1s と Si2p の内殻スペクトルのピーク面積比から求めた、 γ 線照射積算線量の異なる試料の 4H-SiC 表面上の N 原子の相対密度を Fig. 3 に示す。全ての面方位の試料において、 γ 線照射による N 原子総量の減少は観察されなかった。実際、MOS キャパシタの CV 測定結果から High-Low 法で求めた D_{it} は、既往の報告[3]から予想された通り、どの面方位においても 200 kGy の γ 線照射後も増大が見られなかった。以上をまとめると、高温アニールでは、N 原子の化学状態 (N1s XPS 形状) が変化せずに脱離が生じたのに対し、 γ 線照射では、200 kGy 照射後も N 原子の脱離は観察されなかったが、わずかに化学状態の変化が生じた。また、4H-SiC/SiO₂ 窒化界面構造の安定性は、高温アニール耐性においては面方位依存性を示すが、 γ 線照射耐性においては面方位依存性が顕在化しなかった。このことは、高温アニールと γ 線照射の、界面構造の変化の機構の違いを反映していると考えられる。

[1] M. Masunaga *et al.*, IEEE Transactions on Electron Devices, vol. 67, no. 1, pp. 224-229 (2020).

[2] 佐俣, 喜多, 第 67 回応用物理学会春季学術講演会 15-p-A201-5 (2020). [3] J. Y. Yang *et al.*, ICSCRM We-P-49 (2019).

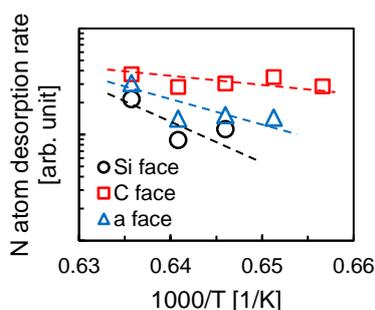


Fig. 1. N atom desorption rate on different crystal faces at 1250°C - 1300°C annealing in Ar.

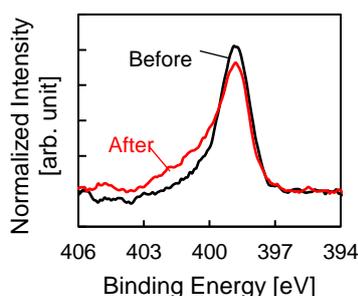


Fig. 2. N1s XPS normalized by Si2p peak intensity of 4H-SiC surfaces before and after 200 kGy irradiation.

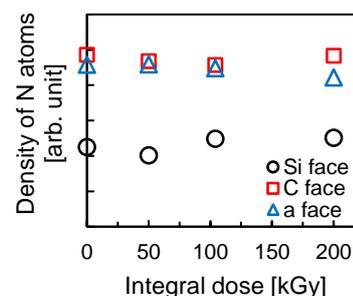


Fig. 3. Integral γ -ray dose dependence of N atom density on 4H-SiC surface with different crystal orientations.