

窒化処理後に低温ウェット酸化処理をした 4H-SiC MOS 構造における 界面準位密度とウェット酸化膜成長量の関係性

Relationship between interface defect density and grown wet-oxide thickness in 4H-SiC MOS structure fabricated with low-temperature wet-oxidation after interface nitridation

東京大学大学院工学系研究科マテリアル工学専攻

○作田 良太、西田 水輝、平井 悠久、喜多 浩之

Dept. of Materials Engineering, The Univ. of Tokyo, °Ryota Sakuta, Mizuki Nishida,
Hirohisa Hirai, and Koji Kita

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

【背景】 SiC/SiO₂ 界面への窒素(N)導入処理では、SiC 表面に固定される窒素の量が界面準位密度 (D_{it})低減に重要である[1]が、過剰な N はかえって界面劣化を引き起こす可能性があり[2]、N 導入だけで界面品質を最適化するのには容易ではない。そこで、ドライ酸化後に界面特性を向上させられる別な手法であるウェット酸化によって、N 導入後になおも残留する欠陥を修復できれば、両者の組み合わせで D_{it} を最小化できる可能性がある。本研究では、N 導入後にウェット酸化を行った際の D_{it} の変化を調べ、これらのプロセスが独立に働く可能性を検討した。

【実験】 n 型エピタキシャル膜($N_D \sim 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$)を有する 4H-SiC Si 面 n 型基板を酸素雰囲気下 1300°C でドライ酸化後、NO:N₂=1:2 の混合雰囲気下 1150°C で酸窒化を行った。その後、H₂O:O₂=9:1 となるウェット雰囲気下 800°C で熱処理を行った。酸化膜を HF で取り除いた後、X 線光電子分光法(XPS)により、N1s と Si2p の各内殻スペクトルのピーク面積比から、SiC 表面の N 残留量を評価した。また、各試料を MOS キャパシタとし、コンダクタンス法を用いて D_{it} を評価した。

【結果と考察】 ウェット酸化時間と SiC 表面の N 残留量の関係を Fig. 1 に示す。使用したウェット雰囲気下での 800°C の酸化膜成長速度が $\sim 0.1 \text{ nm/hr}$ であり、2~3 hr 程度で約 1ML の SiO₂ を形成する事を考慮すると、ウェット酸化のごく初期の段階で一部の N が脱離して N 残留量が一定になった後、数 ML の酸化膜成長が進行すると同時に表面に固定されていた多くの N が脱離するといった機構が考えられる。次に異なるウェット酸化時間での D_{it} のエネルギー分布を Fig. 2 に示す。ウェット酸化を行わなかったサンプルと比較すると、ウェット酸化を 2 hr 行うことで伝導帯下端から 0.2 eV のエネルギーレベルで $D_{it} < 10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ へと最小化された一方、ウェット酸化を 8 hr 行なったサンプルは逆に D_{it} が増大した。N1s 内殻準位の XPS を Fig. 3 に示す。ウェット酸化の進行と共に N1s のピークが減少し、ブロード化した。これは、ウェット酸化により一部の N の周囲で酸化が進行した結果と解釈でき、このような結合の変化は数 ML のウェット酸化の進行と共に急速に D_{it} を増大させる原因の 1 つとなっている可能性がある。以上のように、長時間のウェット酸化は N 残留量を大幅に減らすと同時に化学状態を変化させて D_{it} を増加させるものの、ウェット酸化量が 1 ML 程度の初期段階では N の脱離が顕在化しないうちにウェット酸化による界面修復が進行するために D_{it} が最小化されると説明できる。観察された D_{it} 低減は、新たな界面欠陥を作らずに不要な N を除去した効果として解釈することも可能だが、むしろウェット酸化自身の効果が複合的に表れた結果である可能性が高い[3]。なお本研究の一部は、総合科学技術・イノベーション会議の SIP 戦略的イノベーション創造プログラム「次世代パワーエレクトロニクス (管理法人: NEDO)」及び JSPS 科研費補助金の助成により実施された。参考文献: [1] R. Kosugi et al., APL **99**, 182111 (2011) [2] T. Hatakeyama et al., APEX**10**, 046601 (2017) [3] 西田ら、本講演会 (2018)

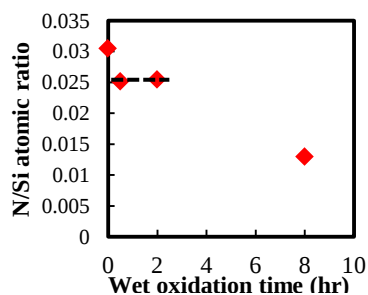


Fig. 1 Dependence of N/Si atomic ratio on wet oxidation time at SiC surface after etching SiO₂.

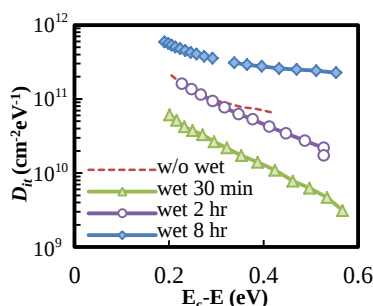


Fig. 2 Energy distribution of D_{it} for samples with various wet oxidation time.

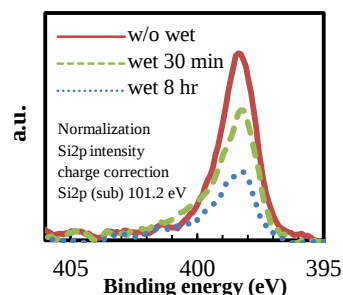


Fig. 3 N1s core-level spectra normalized by Si2p intensity (sub) of w/ and w/o wet oxidation.