

三次元アトムプローブを用いた SiO₂/SiC 界面窒素の評価

Evaluation of nitrogen depth profile at nitrated SiO₂/SiC interface using APT

(国研)産総研¹, (株)東レリサーチセンター², 富士電機(株)³, 筑波大学⁴

○山田 敬一^{1,2}, 藤掛 伸二^{1,3}, 岩橋 洋平¹, 原田 信介¹, 矢野 裕司⁴, 奥村 元¹

AIST¹, Toray Research Center Inc.², Fuji Electric Co. Ltd.³, Univ. of Tsukuba⁴

○K. Yamada^{1,2}, S. Fujikake^{1,3}, Y. Iwahashi¹, S. Harada¹, H. Yano⁵ and H. Okumura¹

E-mail: keiichi-yamada@aist.go.jp

【はじめに】 SiO₂/SiC 界面の N は、界面準位密度や移動度に深く関与する重要なパラメータであり、SiO₂ 中の N は閾値変動への、SiC 中の N は閾値低下への影響が懸念される。これまでこれら特性と界面 N の関係は、SIMS や XPS など種々の物理分析手法にて評価・検討されてきた[1]。三次元アトムプローブ(Atom Probe Tomography : APT[2]) は、原子レベルの空間分解能を有することから、界面 N の解析に新たな知見を与えると期待される。ただし、SiO₂/SiC 界面では、N 含有イオン種に対し、種々の妨害イオンが干渉する。そこで、本研究では窒化原料として ¹⁵NO (1.1% N₂ 希釈) ガスを用いることで SiO₂/SiC 界面 N の APT 測定を行い、界面の N 挙動を評価するとともに APT の有効性を確認した。

【実験】 試料は、熱酸化膜(約 50nm)/n 型 4H-SiC エピ基板に ¹⁵NO ガスを用いて窒化処理(1440°C, 20min)を行った。APT 測定は、表面に Ni 膜をコートし、FIB を用いて針状に加工して行った。図 1 に APT 測定に用いた針状試料の SEM 像及び三次元再構築像を示す。

【結果及び考察】 図 2 に SiO₂/SiC 界面近傍より抽出した質量スペクトルを示す。¹⁵N 含有を示すイオン種として、¹⁵N⁺⁺, ²⁷(CN)⁺, ⁵⁵(SiCN)⁺⁺, ³¹(ON)⁺, ⁷¹(Si₂N)⁺⁺及び ⁴³(SiN)⁺が検出された。これらイオン種には妨害イオンの干渉は認められない。この他に ¹⁵N⁺も生成していると考えられるが、³⁰Si⁺⁺の強度が高すぎるため検出不可であった。また、本試料では ¹⁴N 含有イオン種の存在は確認できていない。図 3 に今回検出された N 含有イオン種より作成した深さ方向分析結果を示す。N は SiO₂/SiC 界面約 2nm の範囲でのみ検出されている。また、イオン種ごとに検出される深さはわずかに異なっており、ON⁺は酸化膜側に多く存在し、CN⁺及び SiCN⁺⁺は SiN⁺など他のイオン種よりも SiC 側へ拡がりをもつ。これら周囲の構成元素に由来した分子イオンごとの分布の違いは、界面の N が酸化膜・SiC 側両方に存在するためと推定される。このことは、APT 測定は、窒化条件に依存した N 分布の差異をイオン種ごとの分布・面密度の違いとして従来以上に詳細に検出できることを示しており、窒化条件に依存した N 深さ方向分布の評価に有効といえる。

【謝辞】 本研究は、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/SiC 次世代パワーエレクトロニクスの総合的研究開発」(管理法人: NEDO) によって実施された。また、サンプル作製は、トヨタ自動車(株)にご協力いただいた。

【参考文献】

[1] H. Shiomi et al., J. J. appl. Phys., 55, (2016) 04ER19.

[2] G. L. Kellogg et al., J. Appl. Phys., 51 (1980) 1184.

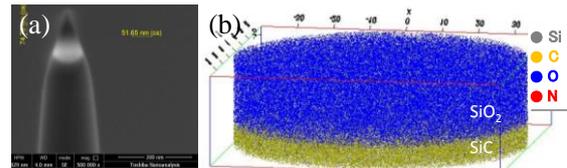


Fig.1 SEM image of a tip ready for the APT analysis (a) and the reconstructed 3D volume of sample tip (b).

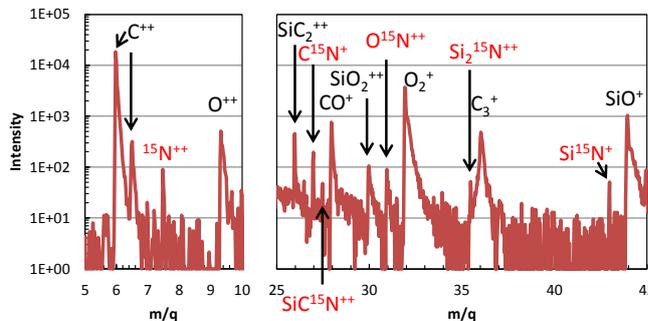


Fig. 2 Mass spectrum in vicinity of SiO₂/SiC interface.

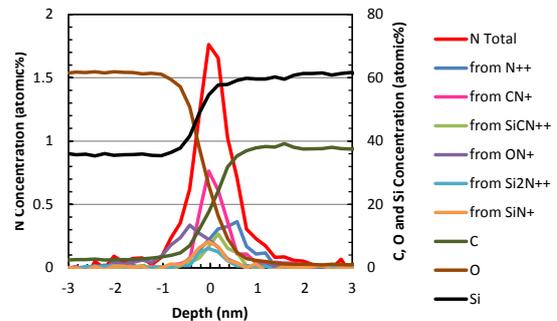


Fig. 3 Depth profile of individual ion species in vicinity of SiO₂/SiC interface.