高性能 SiC パワーデバイス実現に向けたヘテロ界面評価とその制御技術の開発

Characterization and Control of Heterointerfaces for SiC Power Devices

 渡部 平司¹⁾
 Atthawut Chanthaphan¹⁾
 箕浦
 佑也¹⁾
 細井
 卓治¹⁾

 志村
 考功¹⁾
 吉越
 章隆²⁾
 寺岡
 有殿²⁾

Heiji WATANABE¹⁾ Atthawut Chanthaphan¹⁾ Yuya MINOURA¹⁾ Takuji HOSOI¹⁾ Takayoshi SHIMURA¹⁾ Akitaka YOSHIGOE²⁾ Yuden TERAOKA²⁾

¹⁾大阪大学 ²⁾原子力機構

SiC-MOS デバイス実現の大きな障壁となっている熱酸化 SiO₂/SiC 界面の電気的欠陥は、窒素導入により 終端化されるのが一般的である。我々は SiC 基板に高密度プラズマ窒化処理を施した後、熱酸化を行うこ とで形成した SiON/SiC 構造が優れた界面特性を示すことを報告している。そこで、4H-SiC (0001) 基板 に高密度プラズマ窒化処理を施して形成した Si (O) N/4H-SiC (0001) 構造について、大型放射光施設 SPring-8 の BL23SU にて光電子分光法により評価した。

<u>キーワード</u>:シリコンカーバイド (SiC)、SiO₂/SiC 界面、プラズマ窒化、MOS デバイス

1. 目的

シリコンカーバイド (Sic) は、従来の Si パワーデバイスに比べて大幅な高耐圧化・低損失化 が可能なことから、次世代パワーデバイス用材料として注目されている。また、化学的にも熱的に も安定な SiO₂ 絶縁膜が熱酸化プロセスによって形成可能な唯一のワイドバンドギャップ半導体で ある。熱酸化過程で Sic 基板中の Si 原子が反応して SiO₂を形成するのはシリコンと同じである が、c 原子は co あるいは cO₂ 分子を形成し、SiO₂ 腹を通って雰囲気中に拡散すると考えられてい る。しかし、一部の脱離できなかった炭素原子が不純物として SiO₂/Sic 界面に残留することが報 告されているなど、熱酸化 SiO₂/Sic 界面には高濃度の欠陥が存在するために、SiC-MOS トラン ジスタは物性値から期待されるほどの特性が得られていない。そのため、熱酸化 SiO₂/Sic 構造に 対して NO_x 雰囲気中で熱処理を行い、窒素導入することにより界面特性向上を図るのが一般的であ る。我々は、Sic 基板に高密度プラズマ窒化処理を施して Si (O) N/Sic 構造を形成したのちに、 熱酸化を行うことで SiO₂/Sic 界面に効率的に窒素を導入し、優れた電気特性が得られることを報 告している¹⁾。そこで、高密度プラズマ窒化処理により形成した Si (O) N/Sic 構造中の窒素原子 の化学結合状態について、放射光光電子分光法による分析を試みた。

<u>2. 方法</u>

放射光実験は日本原子力研究開発機構専用軟 x 線ビームライン(BL23SU)に設置された表面反応分析装置を用いて実施した。測定試料は、4H-SiC(0001)基板を洗浄後、基板温度 450°C でプラズマ窒化処理を施して作製した。また、比較試料として 1150°C のドライ O₂ 酸化で形成した

SiO₂/SiC 構造も評価した。光電子分光測定は入射 x 線エネルギーを 686.5 eV として、Si 2p、 C 1s、N 1s 内殻準位スペクトルを検出した。なお、表面吸着有機物低減のために、分析チャンバ 一内で 500°C の熱処理を施してから測定を行った²⁾。

3. 結果及び考察

Fig. 1に、プラズマ窒化試料 (N*) SiO₂/SiC 試料、そして単なる SiC 基板 (SiC-sub.) を測定し て得られた、Si 2p、C 1s、N 1s 内殻準位スペクトルを示す。プラズマ窒化試料のみ N 1s スペ クトルに顕著なピークが見られたことから、SiC 基板上に窒化膜が形成されていることがわかる (Fig. 1(c))。Si 2pスペクトルからは、SiC 基板 (Si-C 結合) 及び SiO₂膜 (Si-O 結合) の いずれにも帰属しないピークが 102 eV 付近に存在することが見て取れ、Si 原子と N 原子との結 合が示唆された (Fig. 1(c))。一方で、C 1s スペクトルには、SiC 基板ピークと表面吸着有機物 に起因する C-O ピーク以外に顕著なピークは見られず、C-N 結合はほとんど存在しないと言える (Fig. 1(b))。以上のことから、SiC 基板をプラズマ窒化した場合、炭素がほとんど含まれていない SiN 膜が形 成されると考えられる。今後は NO_xアニール処理を施した SiO₂/SiC 構造の測定を行い、本測定結果と比 較することで SiO₂/SiC 界面における N 原子の化学結合状態を明らかにすると共に、効果的な界面特性向 上技術について検討を進める予定である。

<u>4. 引用(参照)文献等</u>

- 1) Y. Kagei et al., Mater. Sci. Forum, 645-648 (2010) 507.
- 2) H. Watanabe et al., Appl. Phys. Lett. 99 (2011) 021907.



Fig. 1 Si 2p, C 1s, and N 1s core-level spectra taken from plasma nitrided SiC surface, SiO₂/SiC structure, and as-cleaned SiC substrate. All the spectra were taken after an annealing at 500°C in analysis chamber to reduce surface organic contaminations. Photoelectron takeoff angle was 90°.