Si 面・C 面・a 面上に形成された 4H-SiC/SiO₂ 窒化界面構造の安定性の比較 Comparison between the stability of N-introduced 4H-SiC/SiO₂ interfaces formed on Si-face, C-face and a-face

東京大学大学院工学系研究科マテリアル工学専攻 [○]佐俣 勇祐, 喜多 浩之 Dept. of Materials Engineering, The Univ. of Tokyo, [°]Yusuke Samata and Koji Kita 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。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 MOS 界面からの N 原子の熱的な脱離過程には、Si 面と C 面で違いがあることを指摘した[1]。これは面方位による窒化界面構造の違いを反映していると予想される。そこで今回は、Si 面、C 面および a 面からの N 原子脱離過程を比較し、窒化界面構造の安定性の違いを議論する。

【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 O_2 雰囲気下 1300 でドライ酸化し、30 nm または 5 nm の SiO_2 膜を形成した後、 $NO:N_2=1:2$ の混合雰囲気下 1150 で 2 時間の界面窒化を行い、4H-SiC/SiO $_2$ 界面に N 原子を導入した。次に、これらの試料に対して Ar 雰囲気下 1300 で 30 分のアニールを行い、30 別原子の一部を熱的に脱離させた。30 膜を 30 財 水溶液で取り除いた後、30 で 30 分のアニールを行い、30 別原子の一部を熱的に脱離さいた。30 以原子の内設スペクトルのピーク面積比から、30 別原子の残留量を評価した。

【結果および考察】30 nm の SiO_2 膜を有する Si 面および C 面サンプルを NO アニールした後、 BHF エッチングで SiO₂ 膜厚を様々に変えて 1300℃で 30 分の Ar アニールを行い、N 原子の残留 割合の SiO₂ 膜厚依存性を調べた (Fig.1)。N 原子の脱離過程では、界面構造が分解する反応と、 その後の脱離分子の外方拡散の2つの過程が逐次的に生じると想像される。SiO2膜厚が薄いほど、 脱離速度が外方拡散の影響を受けにくくなり、界面での分解反応が脱離速度を律速するようにな ると解釈できる。そこで、界面の分解反応速度を観測するために十分薄い 5 nm の SiO2 膜を持つ Si面、C面およびa面で分解の活性化エネルギーを求めることとした。5nmのSiO2膜を形成した 各結晶面のサンプルを、NOアニール直後にSiO2膜を剥離して測定したN1s内殻光電子スペクト ルを Fig. 2 に示す。文献[2]の傾向とは必ずしも一致しないが、本研究の条件下では C 面への導入 量が最も多く、続いて a 面、Si 面の順であった。次に各結晶面からの N 原子の脱離速度を比較し た。Fig. 3 に示す通り、1300℃で 30 分の Ar アニール後に脱離した割合を比較すると、Si 面で最 も大きく、C面とa面は同程度であった。つまり、N原子の導入された界面構造の安定性は、Si面 <C 面≒a 面であるように見える。また、Ar アニール温度を 1250℃とすると各面方位における脱 離割合は急激に低下した。1250℃における脱離割合の精度が欠けるため、脱離速度の温度依存性 の面方位による違いの有無は分からないが、各面方位とも界面構造の分解のための活性化エネル ギーは数 eV 程度と予想される。

【謝辞】本研究の一部は日本学術振興会科研費補助金の助成により実施された。

[1] 佐俣, 喜多, 第80回応用物理学会秋季学術講演会 20p-E311-5 (2019). [2] T. Kimoto et al., Jpn. J. Appl. Phys. 44, 1213 (2005).

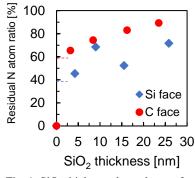


Fig. 1. SiO₂ thickness dependence of residual N atom ratio after 30 min Ar annealing at 1300°C.

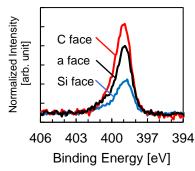


Fig. 2. N1s XPS spectra normalized by Si2p peak intensity of 4H-SiC surfaces which was measured before Ar annealing.

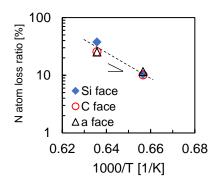


Fig. 3. N atom loss ratio on different crystal faces after 30 min Ar annealing at 1300°C and 1250°C.