結晶面の異なる 4H-SiC MOS 界面からの Ar アニールによる N 原子脱離過程 Nitrogen atom desorption process during Ar annealing from 4H-SiC MOS interface on various crystal faces

東京大学大学院工学系研究科マテリアル工学専攻⁰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

[序論]SiC パワーMOSFET においてデバイス特性を制約する因子として、熱酸化に伴って生成する界面欠陥による MOS 界面近傍での電荷捕獲が挙げられる。その低減手法として、ゲート絶縁 膜 SiO₂ 形成後の NO アニールによる界面窒化が広く用いられている。N 原子は SiC 表面に特異的に安定に存在できることが知られているが[1]、界面構造の解明は不十分である。特にその SiC 結晶面方位による違いは、(0001)面に比べ、(000-1)面では N 原子の密度が高くなることが指摘されているものの[2]、その詳細は明らかでない。そこで本研究では、Ar アニール処理中の N 原子の脱離過程に着目し、界面構造中の N 原子の結合の強さの結晶面による比較を試みた。

【実験】n型エピタキシャル膜(N_D ~ 1×10¹⁶ cm⁻³)をもつ4H-SiC(0001)基板および(000-1)基板をO₂ 雰囲気下1300℃でドライ酸化した後、NO:N₂=1:2の混合雰囲気下1150℃で2時間の窒化を行 い、界面にN原子を導入した。このときの酸化膜厚は、(0001)基板上では37 nm、(000-1)基板上 では82 nmであった。次に、これらの試料をAr雰囲気下1150℃および1300℃で30~480分の アニールを行って意図的にN原子の一部を脱離させた。SiO₂膜をHF水溶液で取り除いた後、X 線光電子分光法(XPS)でSiC表面の組成分析を行い、N原子の残留量の変化を評価した。

[結果と考察] Fig. 1 に 1300℃の Ar アニールによる、4H-SiC(0001)面の N 1s 内殻準位スペクトルの時間変化を示す。N 原子が徐々に脱離していく様子が観測されたが、脱離が完了するには高温かつ長時間の Ar アニールが必要であることから、N 原子による特異的な安定構造の形成が動力学的にも示された。また、Fig. 2 に 1150℃ および 1300℃の Ar アニールによる(0001)面および(000-1)面の N 原子の残留量の変化を示す。縦軸は、取出し角 90°で測定された N 1s と Si 2p の強度比から算出したみかけの N 原子比率である。(000-1)面により多くの N 原子が存在することは、[2]の報告にも整合しており、界面構造や N 安定サイトの化学状態が結晶面により異なること[3]が示唆される。1150℃の Ar アニールでは、各面ともほとんど N 原子の脱離が起こっていない。1300℃の Ar アニールでは、(000-1) 面よりも(0001)面の方が N 原子が速く脱離したように見えるが、各面で酸化膜厚が異なるため、結晶面により N 原子の安定性に差がある可能性、または酸化膜中の N 原子の拡散が脱離過程を律速している可能性が考えられる。

[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。

[参考文献] [1] R. Kosugi *et al.* Appl. Phys. Lett. **99**, 182111 (2011). [2] T. Kimoto *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. **44**, 1213 (2005). [3] D. Mori *et al.* Appl. Phys. Lett. **111**, 201603 (2017).



407 405 403 401 399 397 395 393 Binding Energy [eV]

Fig. 1. N 1s XPS spectra normalized by Si 2p peak intensity of 4H-SiC (0001) surfaces annealed at 1300°C in Ar.



Fig. 2. Time dependence of nitrogen atomic % determined from N 1s/Si 2p intensity ratio on 4H-SiC (0001) and (000-1) surfaces annealed at different temperatures in Ar.