

予め高温 $N_2 + H_2$ アニールを施した 4H-SiC 表面への MOS 形成プロセス

MOS structure fabrication on 4H-SiC surface after high temperature $N_2 + H_2$ annealing

東京大学工学部マテリアル工学科 ○佐賀 利浩, 喜多 浩之

Dept. of Materials Engineering, The Univ. of Tokyo, °Toshihiro Saga and Koji Kita

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

【はじめに】NO アニールと同様に, 高温での N_2 アニール[1]も SiC 最表面の C サイトの一部を N 原子で置換し, $SiO_2/4H-SiC$ 界面欠陥をパッシベーションできることが知られる。 N_2 アニールによる N 原子の導入効率は, SiO_2 形成後のアニールよりも, SiC 基板の表面に対するアニールにおいて高く, 特に N_2+H_2 雰囲気中での高温アニールでは 4H-SiC(0001)面上で $\sim 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ となり[2], 再表面の C サイトの殆どすべてを N で置換したモデル[3]に近づく。そこで本研究では, 通常の熱酸化後の NO アニールや N_2 アニールによる $\sim 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ [4]に比べて高いパッシベーション効果を期待して, SiC 表面に高温の N_2+H_2 アニールで予め高密度の N 原子を導入した上で, ゲート絶縁膜を堆積するプロセスによる MOS 構造の形成を試みた。

【実験方法】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(0001)面に対し RCA 洗浄を施した後, N_2 ガスに少量の H_2 及び Ar ガスを混合した雰囲気下で 1400°C または 1500°C で 1 分間または 30 分間のアニールを行った。各試料について SiO_2 膜を HF 水溶液で完全に除去した後, XPS で N1s と Si2p のピーク強度比から 4H-SiC 表面の窒素原子の相対的な密度の評価を行うと共に, AFM によって各試料の表面ラフネスを観察した。この方法で表面に窒素を導入した基板に, $1 \times 10^{-2} \text{ Pa}$ の O_2 雰囲気中での Si の電子線蒸着によって 38nm の膜厚で SiO_2 ゲート絶縁膜を形成後, $100\%O_2$ 雰囲気中 800°C にて 5 分間アニールを行い, Au 電極を蒸着して MOS 構造とし, C-V 測定を行った。

【結果および考察】 H_2 分圧が 0.03atm の雰囲気下で 30 分間 N_2 アニールを施すと 1400°C においては僅かな残留酸素の影響による酸化が進行し, 光学顕微鏡で観察すると SiC 基板表面に巨視的なラフネスが生じた。一方, 1500°C においては顕著な窒化が進行し (Fig.1), 巨視的な表面ラフネスが抑制された。Fig.2 に示す通り, 雰囲気中の H_2 分圧を増加させて 1500°C で 30 分間のアニールを行った場合, AFM で観察される微視的な表面ラフネス RMS は増加すると同時に基板表面への N 導入量は減少した。ラフネスを抑制しながら N を導入するには H_2 分圧は 0.03atm にまで制限した方がよいことがわかった。アニール時間を 1 分へ短縮した場合, ラフネス RMS は 2 nm 程度に抑えられる一方, N の導入量は 30 分の場合と同程度となった。そこで H_2 分圧 0.03atm で 1500°C の N_2 アニールを 1 分の処理をした SiC 基板上に, SiO_2 を堆積して MOS キャパシタを作製した。CV 特性は, 負の固定電荷が見られるものの, 周波数分散は抑えられ (Fig.3), 界面準位密度 (D_{it}) は $E_c - 0.2 \text{ eV}$ において $4 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ 程度であった。以上より, SiC 基板の N_2+H_2 雰囲気での高温アニールによって予め高密度の N を表面に導入した後に SiO_2 ゲート絶縁膜を堆積する手順によって効果的な界面パッシベーション効果が得られる可能性が示された。尚, 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って行われた。

参考文献 [1] A. Chanthapan et al, AIP Adv. 5, 097134(2015). [2] K. Murata et al, Appl. Phys. Express 13, 095506(2020). [3] T. Shirasawa et al, Phys. Rev. B 79, 241301(2009). [4] J. Rosen et al., J. Appl. Phys. 105, 124506(2009).

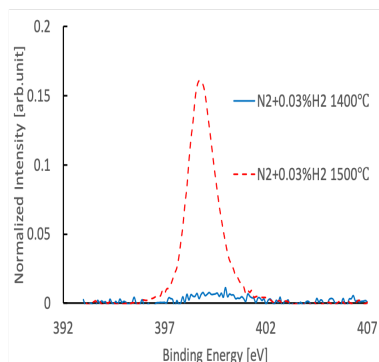


Fig. 1. N1s spectra of 4H-SiC surface normalized by Si 2p intensity.

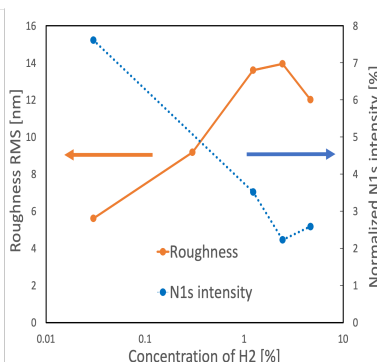


Fig. 2. Change of surface roughness and normalized N1s intensity by H_2 concentration in annealing ambient.

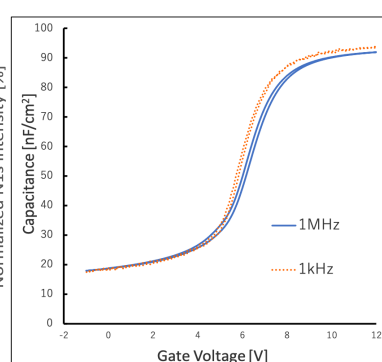


Fig. 3. Bidirectional C-V curves (1MHz, 1kHz) of $SiO_2/4H-SiC$ MOS capacitors.