

4H-SiC/ゲート絶縁膜界面への窒素導入プロセスの低温化の検討 Investigation of low-temperature nitridation process to 4H-SiC/gate dielectric interface

¹東京大学大学院工学系研究科材料工学専攻, ²東京大学大学院新領域創成科学研究科物質系専攻
◎佐々木 琉¹, 中島 辰海¹, 女屋 崇², 喜多 浩之^{1,2}

¹Dept. of Materials Engineering, The Univ. of Tokyo, ²Dept. of Advanced Materials Science, Univ. of Tokyo
◎Ryu Sasaki¹, Tatsumi Nakashima¹, Takashi Onaya², and Koji Kita^{1,2}
E-mail: sasaki-ryu875@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

[序論] 1250~1300°C の高温での NO アニール処理は, 4H-SiC/ゲート絶縁膜界面へ効率よく窒素を導入し, キャリアトラップを大幅に減少させる優れた手法であるが, 同時に SiC 表面の酸化が進行することに注意が必要である。SiC の酸化はその表面近傍や界面に欠陥準位を蓄積させ, 移動度の深刻な劣化の原因の1つとなると示唆されており^{[1][2]}, これが NO アニール処理を行っても MOSFET のチャネル移動度が十分に改善しない理由である可能性が考えられる。そこで, 窒素導入プロセスの低温化(1000°C)などにより SiC の酸化反応を抑制しつつも十分なパッシベーションができる条件を探索した。

[実験] n 型エピ層(Np: $\sim 1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$)を有した 4H-SiC(0001)基板上に熱酸化膜($\text{SiO}_2^{\text{thermal}}$)および電子線蒸着による堆積 SiO_2 膜($\text{SiO}_2^{\text{depo}}$)を膜厚 2 nm~50 nm で形成し, 1000°C または 1150°C の NO 処理(NO:N₂=1:2)を施した。比較のため, 電子線蒸着で堆積する絶縁膜を Y_2O_3 に変えて同様の試料を作製した($\text{Y}_2\text{O}_3^{\text{depo}}$)。SiC の酸化による膜厚増加は X 線反射率測定により処理前後での膜厚差から決定した。界面の窒素濃度はその相対値を, 絶縁膜を HF で除去したのち Si 2p および N 1s の内殻準位 XPS の強度に基づいて評価した。電気特性を評価するために, NO 処理した試料上に SiO_2 を 15 nm 追加で堆積させ, 0.1% O_2 雰囲気下で 900°C 10 分の PDA を施して Au をゲート電極とした MOS キャパシタを作製した。

[結果と考察] Fig. 1 は, 膜厚 2 nm の $\text{SiO}_2^{\text{depo}}$ 及び $\text{SiO}_2^{\text{thermal}}$ について NO アニールに伴う膜厚増加量を示したものである。1150°C の場合に比べ, 1000°C への低温化によって SiC の酸化が大幅に抑制されることが示された。堆積膜の収縮を考慮しても数時間の処理で膜厚増加量は 0.2 nm ほどであり, 原子一層分の酸化に抑えられた穏やかな処理であると考えられる。次に膜厚による界面窒素濃度の違いを 1000°C, 6 時間の処理をしたもので比較すると, $\text{SiO}_2^{\text{depo}}$ と $\text{SiO}_2^{\text{thermal}}$ のどちらも SiO_2 膜厚が薄いほど増加した。そのため以降は 2 nm の SiO_2 膜に限って議論する。Fig. 2 は同じ 2 nm の試料について, 絶縁膜を変えたときの NO 処理時間による界面窒素濃度の変化を示している。1000°C の処理において $\text{SiO}_2^{\text{thermal}}$ よりも $\text{SiO}_2^{\text{depo}}$ を用いることで飽和量がおよそ 1.4 倍と窒素導入が大幅に促進された。また, 熱酸化が抑えられているにもかかわらず, 40 nm の熱酸化膜に対して良好なパッシベーションが得られる 1150°C での標準的な処理の場合 (Fig. 2 で reference とした) と同等の窒素濃度を得ることが可能であることが示された。更に, $\text{SiO}_2^{\text{depo}}$ の代わりに $\text{Y}_2\text{O}_3^{\text{depo}}$ を用いることで, 同じ 1150°C の処理でもおよそ 1.7 倍の窒素濃度を得ることが可能であった。なお Y_2O_3 は高温で SiC と反応してシリケートを形成することが分かっており, 膜中の分子拡散過程が SiO_2 と異なることが関係していると思われる。このように窒素導入の効率は処理温度だけでなく絶縁膜の形成手法や種類によっても向上させることが可能である。Fig. 3 は 2 nm の $\text{SiO}_2^{\text{depo}}$ に対して 1000°C, 4 時間の NO 処理を用いて形成した MOS キャパシタの CV 特性である。まだプロセスの最適化はされていないものの, 低温で導入した窒素でも効果的に界面パッシベーションが可能であることが確認された。

[1] K. Tachiki et al., Appl. Phys. Express **13**, 121002 (2020). [2] A. Hatmanto and K. Kita, Appl. Phys. Express **12**, 055505 (2019).

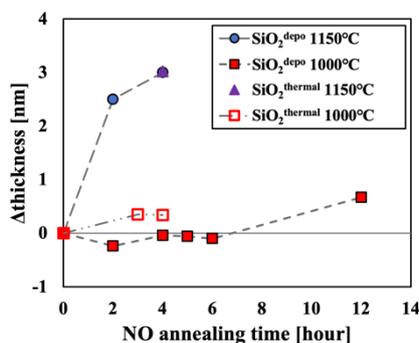


Fig. 1 SiO_2 film thickness changes as a function of NO annealing time (shrinkage of deposited film is not considered).

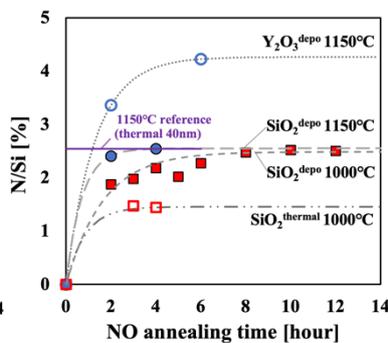


Fig. 2 Surface N density for different dielectric film as a function of NO annealing time (vertical axis is the apparent N/Si composition ratio obtained by XPS).

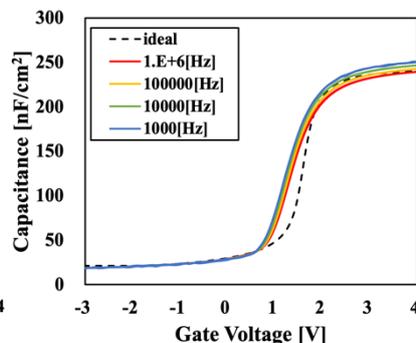


Fig. 3 CV characteristics of 4H-SiC(0001)/ SiO_2 /Au capacitors with NO annealing at 1000°C for 4 hours.