

C-4

紫外線励起法により作製した SiON 膜についての検討

Properties of SiON film fabricated by photo assisted process

○山崎 拓也¹, 常清 悠介¹, 長谷川 洋介², 高橋 芳浩³*Takuya Yamazaki¹, Yusuke Tunekiyo¹, Yousuke Hasegawa², Yoshihiro Takahasi³

Abstract: The photo assisted nitridation process using NH₃ gas to Si substrate has been investigated. In order to reduce the humidity in the process chamber, We heated a reactor when introducing substrates into the chamber. The film with high dielectric constant could be obtained by heating reactor, however, the leakage current was increased. It was confirmed that the current could be reduced by thermal annealing.

1. 研究背景

近年, 半導体集積回路 (LSI) は高速化・集積化に伴い微細化が進んでいる。これまで MOSFET のゲート絶縁膜としては SiO₂ 膜が用いられてきたが絶縁膜の薄膜化に伴いリーク電流 (直接トンネル電流) が増加し消費電力の増加・信頼性低下が問題となっている。これらの問題を解決するために高誘電率材料(High-k 材料)の研究が行われている。High-k 材料をゲート絶縁膜として用いると良好な界面特性が得られない。この問題は特性制御膜 (下地膜) を用いることで改善可能である。特性制御膜としては一般的に SiO₂ 膜が用いられている。しかし SiO₂ 膜を用いると誘電率(ϵ)が低下してしまい, High-k 材料を用いる意味が薄れてしまう。本研究では紫外線励起法により作製したシリコン窒化膜 (SiON 膜) に着目した。SiON 膜は SiO₂ 膜と比べ低温製膜が可能であり, 高誘電率である。また, 紫外線エネルギーを用いることにより低温窒化が可能となった。そこで SiON 膜を製膜, 電気的特性評価を行なった。

2. 原理

光励起法は光吸収による光分解を利用した製膜法である。材料ガス (NH₃) に 200[nm]以下の励起光を照射すると以下の反応が起こる。



特に(2)の反応がよく起こることが知られている。NH₃は励起光を受け通常よりも高いエネルギー状態となる。この状態であるとき NH は非常に反応性に富んでいるため, Si 基板と反応しシリコン窒化膜を形成する。

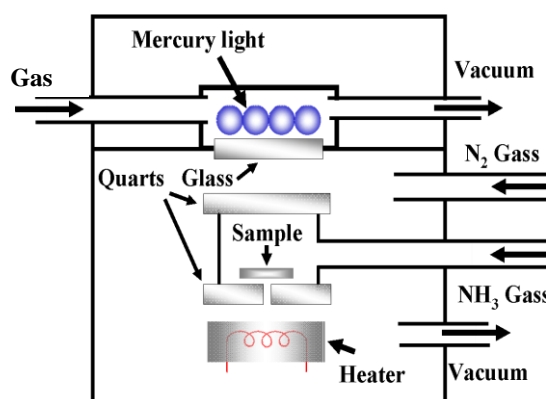


Figure 1. System of photo assisted process

3. 実験方法

p 形 Si 基板 (面方位 100、抵抗率 $\rho=2\sim6$ [Ωcm]) を RCA 洗浄後, 光励起法を用いて SiON 膜を製膜した。材量ガスとして NH₃:100[ccm], N₂:50[ccm], 反応圧力 300[Pa], 反応温度 50[$^{\circ}\text{C}$], 光照射時間 60[min]の条件で製膜を行なった。成長反応を促進するために光透過窓-板間距離を 1~2 [mm] まで近づけて実験を行った。今回の実験では反応室内の残留水分除去を行うために, Heater 温度 100[$^{\circ}\text{C}$]に設定後素子導入を行った。この方法を用いたものを高温導入, これまで通りの手順で作製したものを室温導入と定義し, 比較・検討を行った。製膜後, RTP(Rapid Thermal Processing)装置を用いて窒素雰囲気中 100~300[$^{\circ}\text{C}$], 60[min]の熱処理を行った。その後ゲート電極として直径 500[μm]の Al 電極を真空蒸着法を用いて製膜し, MIS 構造を作製した。作製した試料に対して電流密度-電界特性, 容量-電圧特性を測定し, 電気的特性の評価を行なった。

4. 結果・考察

図 2 に熱処理前の試料における容量-電圧特性 (測定周波数 1 [MHz]) を示す。室温導入で作製したものを実線, 高温導入で作製したものを点線で示す。作製した素子の膜厚には, 顕著な差は確認できなかった。(図 1 中の表参照) 最大静電容量 (C_{max}) を用いて算出した比誘電率 ϵ_s , はそれぞれ 2.1, 6.0 と 3 倍の差となった。SiN 膜の文献上の誘電率は 6 ~ 7 であることを考慮すると, 高温導入の方が文献値に近いことがわかる。このことから, 高温導入による誘電率増加は反応室内の残留水分低減による酸化の抑制によるものと考えている。また室温導入では容量遷移領域での立ち上がり鈍くなっている。これは, 界面準位の存在によるものである。この結果から, 高温導入の方が特性制御膜として適していることがわかる。

図 3 に電流密度-電界特性を示す。室温導入で作製したものを実線, 高温導入で作製したものを点線で示す, 室温導入で作製した方が低電界領域での絶縁性が優れていることがわかる。また, 高温導入では電界 7 [MV/cm] 付近で絶縁破壊が起こっているのに対して室温導入では電界 25 [MV/cm] 付近まで絶縁性が確認できた。このことから室温導入の方が絶縁性に優れていることが確認できる。そこで高温導入の試料の絶縁性向上を目的に熱処理効果について検討した。なお, 低温プロセスを目指していることから, 熱処理温度は 300 [°C] 以下とした。

図 4 に熱処理前後における電流密度-電界特性を示す。結果から, 熱処理温度を上昇することで, 低電界領域における絶縁性の改善が確認できた。また, 熱処理を行うことで絶縁破壊電圧の向上も確認できた。以上の結果から, 製膜後に 300 [°C] 程度の低温熱処理を行うことで, 膜質の改善が可能であることが確認できた。

5. まとめ

光励起法を用いた SiON 膜の作製と評価を行った。その結果, 素子導入前に反応室内の残留水分を除去することにより最大静電容量が増加することを確認できた。この最大静電容量から評価した比誘電率は 6 程度となり文献値に近づくことを確認した。一方高温導入では絶縁性が低下することを確認した。しかし製膜後の低温熱処理によって絶縁性の改善が可能であることも確認した。

6. 参考文献

SiON 膜を下地とした HfO₂ ゲート絶縁膜の作製及び評価 高月 健太 H19 卒業論文
 MOCVD 法を用いた HfO₂ 高誘電率ゲート絶縁膜の作製と評価 渡邊 拓 H20 修士論文

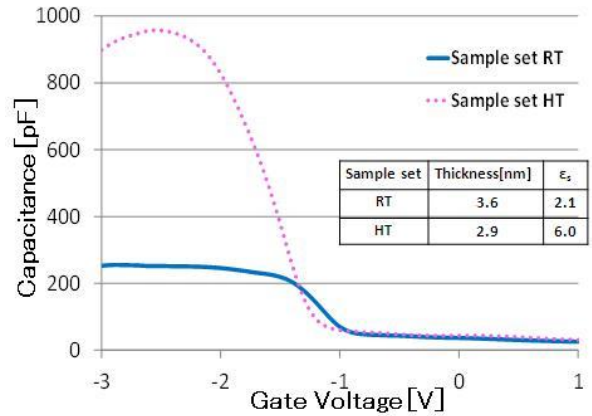


Figure 2. C-V characteristics

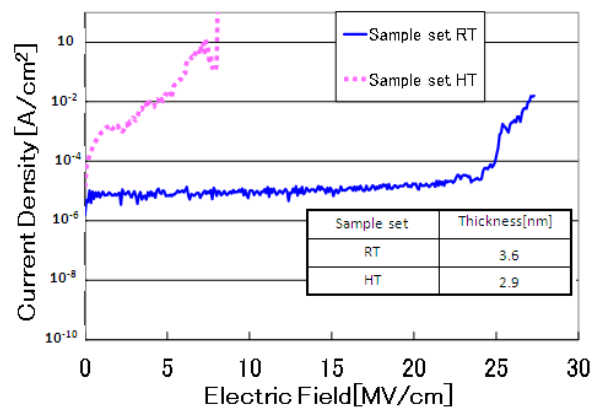


Figure 3. Leek current properties

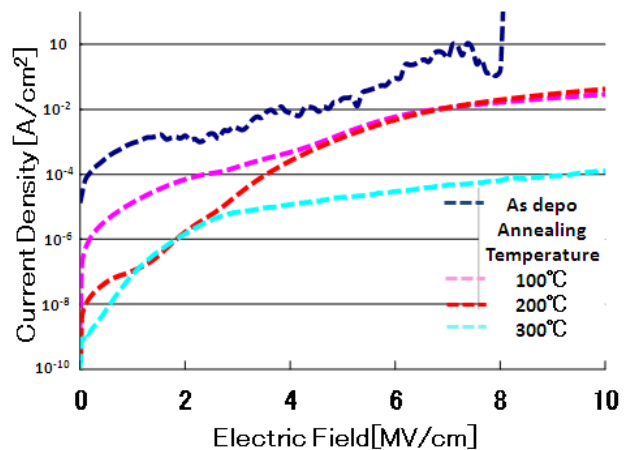


Figure 4. Leakage current properties before and after annealing