

紫外線励起法により作製した SiON 膜についての検討 Fabrication and Evaluation of SiON film by photo assisted process

○山崎 拓也¹, 常清 悠介¹, 長谷川 洋介², 古瀬 達也², 高橋 芳弘³
Takuya Yamazaki¹, *Yusuke Tunekiyo¹, Yousuke Hasegawa², Tatuya Furuse², Yoshihiro Takahasi³

Abstract: The photo assisted nitridation process using NH₃ gas to Si substrate has been investigated. By decreasing the distance from lightsource to substrate, the film with thicker and with higher permittivity could be fabricated. It was also found that the densities of fixed charge and of interface states of SiON film were lower than evaporated SiO film.

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. 下地膜としては一般的に SiO₂ 膜が用いられている. 良好な電気的特性を有する SiO₂ 膜は製膜温度 1000[°C] 程度の熱酸化法によって製膜されており, 特性ばらつきの増大や歩留まり低下が問題となりつつある. それに替わる低温プロセスが求められている. この問題を解決するために SiON 膜に着目した. シリコン窒化膜 (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. 本研究では紫外線励起法を用いて低温窒化を行い, 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酸窒化膜を形成する.

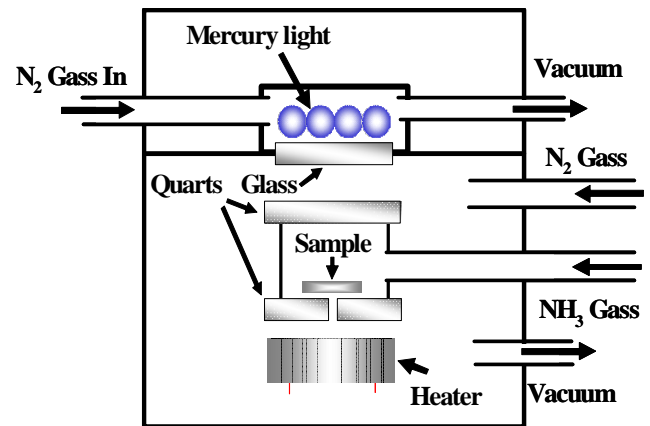


Figure 1. System of photo assisted process

3. 実験方法

Si 形基板 (面方位 100、抵抗率 $\rho = 2 \sim 6$ [Ωcm]) を RCA 洗浄後, 光励起法を用いて SiON 膜を製膜した. 製膜条件は, 流量ガスとして NH₃:100[ccm], N₂:50[ccm], 反応圧力は 300[Pa], 反応温度は 50[°C], 光照射時間は 60[min] の条件で製膜を行なった. 本研究では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なった. 次に真空蒸着法を用いてゲート絶縁膜として SiO 膜を製膜した. その後ゲート電極として直径 300[μm] の Al 電極を真空蒸着法を用いて製膜 MIS 構造を作製した. 作製した試料に対してリーク電流特性, 容量-電圧特性を測定し, 電気的特性の評価を行なった.

1 : 日大理工・院・電子 2 : 日大理工・学部・子情 3 : 日大理工・教員・子情

4. 結果・考察

表 1 に光励起法を用いて製膜した SiON 膜の光透過窓-基板間距離による膜厚および屈折率の変化を示す。なおそれぞれ製膜した時の材料ガスの流量, 基板温度, 真空度は同一条件とし, 製膜時間は 60[*min*]である。光透過窓-基板間距離を短くすることにより膜厚が約 2 倍程度増加していることがわかる。また, 屈折率も増加していることが分かる。これは紫外線光よって励起された NH 分子と Si 基板とが効率的に反応して窒化が促進されたためと考えられる。なお, これまでの研究により製膜後の熱処理により屈折率の更なる増加が報告されている^[1]。MIS 構造を用いて絶縁膜の電気的特性評価を行なう場合, 一般的に 10[nm]程度以上の膜厚が必要になるが, 本製膜法では最大膜厚 7.5[nm]程度であり評価が困難であった。そこで今回は本絶縁膜を下地膜として用いて, SiO 膜の製膜を行い下地膜の有無による特性変化から, 光励起法により製膜した膜の評価を行なった。なお, 評価に用いた SiON 膜の膜厚は 2[nm], SiO 膜の膜厚は 11[nm]である。

図 2 に電流密度-電界特性を示す。低電界領域では下地膜の有無による変化はみられなかった。ただし下地膜により絶縁耐圧が向上する傾向が確認された。

図 3 に容量-電圧特性を示す。SiO 膜のみをゲート絶縁膜とした試料では容量遷移領域での立ち上がりが鈍く, また C-V カーブが大きく負方向にシフトしている。これは, SiO 膜中の固定正電荷及び, SiO-Si 界面準位が高密度に存在していることを示す。これより真空蒸着法により製膜した SiO 膜は, 熱酸化法により製膜した SiO₂ 膜などに比べ非常に劣ることがわかった。一方, SiON を下地膜とした試料ではあると C-V カーブの立ち上がりが急峻となり負方向へのシフトも小さくなることがわかった。これらのことから, 光励起法で作製した絶縁膜は良好な界面特性を有していることを確認した。なお, 下地膜なしの試料の最大静電容量値から評価した比誘電率は約 2 である。熱酸化法により製膜される SiO₂ 膜の比誘電率は 3.9 であり, それと比較すると非常に低い結果となった。この原因究明は今後の課題である。

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, 光透過窓-基板間距離を狭めることで膜厚・屈折率共に増加することを確認した。また作製した SiON 膜を SiO 蒸着膜の下地膜として用いて電気的特性評価を行った。その結果, 絶縁破壊電圧の向上, 界面特性の改善を確認し各種絶縁膜に対する下地膜としての有効性を確認した。今後 HfO₂ 膜など各種高誘電率絶縁膜に対する下地膜として用いた場合の電気的特性の評価を行なう予定である。

6. 参考文献

[1] 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

Table 1. Film thickness and refractive index of the film by photo assisted nitridation

基板間距離[mm]	膜厚[nm]	屈折率
30	2.0	2
~2	3.7	2.6

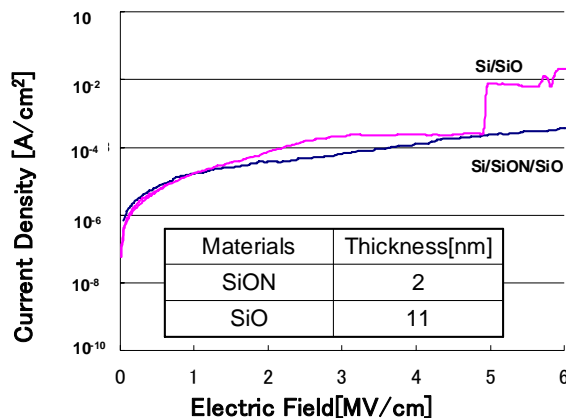


Figure 2. Leak current properties

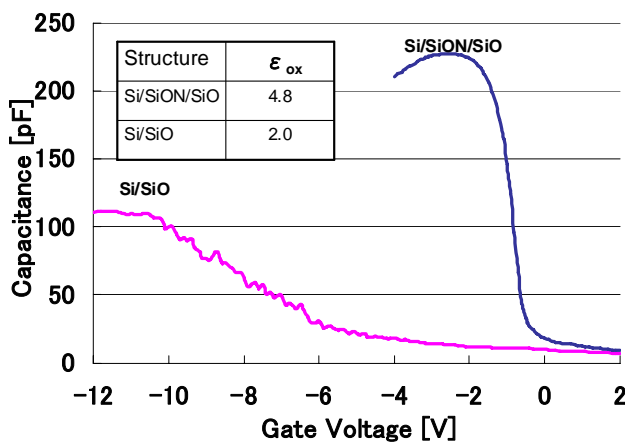


Figure 3. C-V characteristics