

光 CVD シリコン窒化膜の界面準位密度に及ぼす PMA 効果

Post metallization annealing effect on interface state density of silicon nitride film fabricated by photo-assisted chemical vapor deposition

○李一博¹, 鈴木黎², 呉研³, 高橋芳浩³

*Yibo Li¹, Rei Suzuki², Yan Wu³, Yoshihiro Takahashi³

Abstract: Low temperature annealing effects on interface state density between silicon and silicon nitride film deposited by photo-assisted chemical vapor deposition were investigated. The interface state density was evaluated by conductance method. It was confirmed that post metallization annealing (PMA) for the film fab $NH_3 / SiH_2Cl_2 = 100$ is the most effective to reduce interface state density.

1. 研究背景

半導体集積回路 (LSI) の高性能化は MOSFET の微細化により行われてきた。ただしゲート酸化膜 (SiO₂ 膜) の薄膜化は限界を迎えており、シリコン窒化膜などの高誘電率絶縁膜が使用されている。また、シリコン窒化膜は水分バリア性にも優れており、パッシベーション膜としても多用されている。製膜法として LPCVD 法が一般に用いられるが、700°C 程度の温度が必要であり、製膜前の使用材料が制限される問題がある。そこで我々は、光 CVD 法に注目して研究を行ってきた。光 CVD 法は紫外線のエネルギーにより材料ガスを分解させることにより、300°C 程度の低温で製膜が可能であることを報告してきた[1]。ゲート絶縁膜には、高い絶縁性、良好な界面特性が要求される。なかでも界面準位密度は MISFET のしきい値電圧、相互コンダクタンスに直接影響を及ぼし、また電気的ストレスによる界面準位密度の増大は、長期信頼性に対して大きな問題となる。しかし、光 CVD シリコン窒化膜の界面準位密度は LPCVD 膜に比べて高いことが確認されている。そして、電極作製後堆積後の熱アニール (Post Metallization Annealing :PMA) より界面準位密度は減少可能であることを確認されている。そこで今回、光 CVD シリコン窒化膜の製膜条件を変化して、熱アニールによる界面準位密度の抑制について検討を行った。

本研究では、MIS 構造に対するインピーダンス解析から、応答時定数も含めた界面準位密度の評価が可能なコンダクタンス法[2]を使用して評価した。

2. 実験方法

p 形 Si 基板 (抵抗率 1~10Ωcm, 面方位 100) を洗浄後、波長 254nm をピークとする低圧水銀灯を励起光源とした光 CVD 法により窒化膜を製膜した。光 CVD ではプロセス温度 300°C, 反応圧力 300 Pa, 材料ガス流量比 $NH_3/SiH_2Cl_2 = 50, 100, 150, 200$ の条件にてそれぞれ製膜を行った。エリプソメトリー法を用いて膜厚を評価した後、真空蒸着法により直径 300um のゲート電極を製膜し MIS 構造を作製した。熱アニール処理は、ゲート電極作製後のアニール (Post Metallization Annealing :PMA) について検討した。アニール処理は窒素雰囲気中で圧力 300Pa, 時間 10min, 温度 300°C の条件で行った、アニール前後においてインピーダンス測定を実施し、界面準位を評価した。

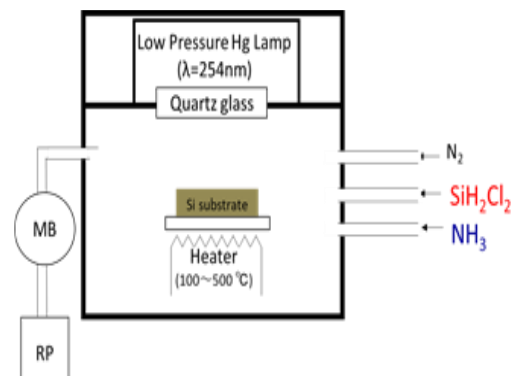


Figure.1 Schematic diagram of photo-CVD system

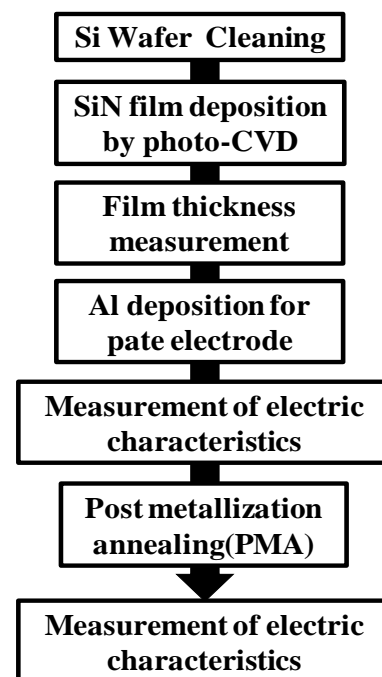


Figure.2 Process flow

3. 結果および考察

Fig.3 に流量比 150 の試料におけるゲート電極作製後のアニール (PMA) 前後での C-V 特性を示す。結果より、PMA を施すことにより容量遷移領域が正電圧方向 (0V 方向) にシフトし、かつ周波数依存性が大きく抑制されることがわかる。これは、PMA により固定正電荷密度、界面準位密度が共に減少可能であることを示す。

Fig. 4 に流量比 150 の試料における PMA 前後でのリーク電流特性の変化を示す。結果より、PMA を施しても絶縁特性は大きく変化しないことを確認した。

Fig.5 に流量比 (NH₃/SiH₂Cl₂) で製膜した試料における PMA 前後での界面準位密度の変化を示す。結果より、流量比が変化しても界面準位密度はほぼ変化しないことを確認した。一方、アニール処理より界面準位密度が低減であり、流量比 100 で製膜したシリコン窒化膜では PMA により $4.2 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ まで低減できることが確認できた。一般的に PMA 処理による界面特性改善は、ゲート金属内の水分が熱処理により絶縁膜中を拡散し、界面付近のダングリングボンドと H ないしは OH 基が結合することが原因と考えられる。本試料においても同様なメカニズムにより界面特性が改善されたものと考えている。

Fig.6 に流量比 (NH₃/SiH₂Cl₂) で製膜した試料における PMA 前後での応答時定数の変化を示す。結果より、流量比より応答時定数は変動していることが確認した。また、PMA 処理より応答時定数は一桁から二桁程度低減することを確認できた。

4. まとめ

光 CVD シリコン窒化膜を製膜するときの材料ガス流量比を変化させて、熱アニールによる界面準位密度の変化について検討を行った。その結果、流量比を変化させても界面準位密度がほぼ変化しないことを確認した。そして、流量比 100 の試料における PMA 前後での界面準位密度の低減が一番大きくなることを確認した。また、流量比により応答時定数が変動することを確認した。アニール処理により絶縁特性は変化しないことを確認した。今後、アニール処理条件の最適化により、界面準位密度の改善を行う予定である。

5. 参考文献

- [1] 高橋芳浩 他：
「光 CVD 法によるシリコン窒化膜の熱処理効果」
- [2] 陳士琪：
「コンダクタンス法による MIS 構造の界面準位密度評価」

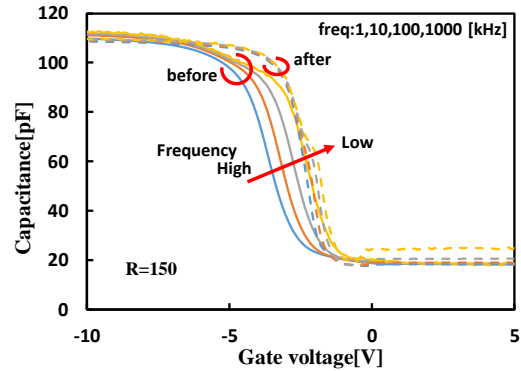


Figure.3 C-V characteristic of MIS structure before and after (PMA)

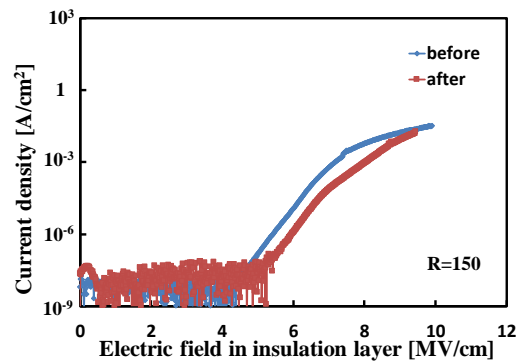


Figure.4 Leakage current characteristic of MIS structure before and after (PMA)

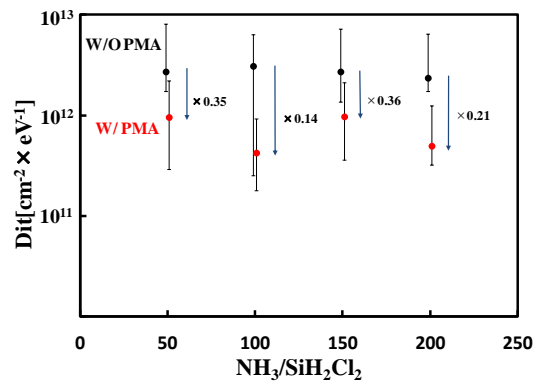


Figure.5 Density of interface state in each MIS structure

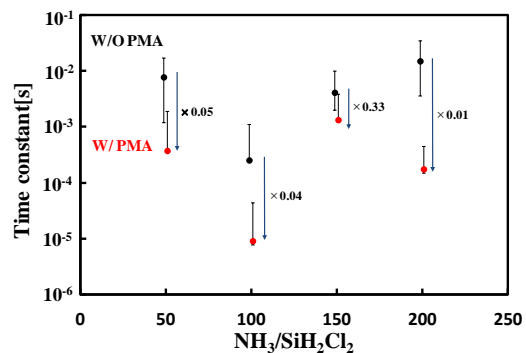


Figure.6 Response time constant