

チャンバー密閉式ミニマル集光加熱炉を用いた薄い熱酸化膜形成

Process of Thin Thermal Oxide Film Using a Minimal Focused Light Heating Furnace with a Sealed Chamber

ミニマルファブ技術研究組合¹, 米倉製作所², 産業技術総合研究所³, 堀場エステック⁴
三浦 典子¹, 山田 武史^{1,2}, 相澤 洸^{1,2}, 池田 伸一^{1,3}, 石田 夕起^{1,3}, 三ヶ原 孝則^{1,3},
西里 洋^{1,4}, 梅山 規男^{1,3}, 大西 康弘^{1,2}, クンブアン ソマワン^{1,3}, 原 史朗^{1,3}

MINIMAL¹, YONEKURA MFG. Co., LTD², AIST³, and HORIBA STEC, Co., Ltd⁴

Noriko Miura¹, Takeshi Yamada^{1,2}, Takeshi Aizawa^{1,2}, Shinichi Ikeda^{1,3}, Yuuki Ishida^{1,3}, Takanori Mikahara^{1,3},
Hiroshi Nishizato^{1,4}, Norio Umeyama^{1,3}, Yasuhiro Onishi^{1,2}, Sommawan Khumpuang^{1,3}, and Shiro Hara^{1,3}

E-mail: noriko-miura@minimalfab.com

【背景と研究目的】 MOS トランジスタの基本性能は、ゲート酸化膜/シリコン界面の清浄度やシリコン熱酸化膜の膜質に左右される。従来のデバイスプロセスは、クリーンルーム内に設置された製造装置内で行われるため、温湿度変化やパーティクルの影響を受けにくい。一方、ミニマルファブではクリーンルームを使用しない[1]ため、装置外部の環境に左右されず、プロセス室内を清浄に保つ必要がある。これまでの評価から、フルミニマルプロセスで作成した MOS キャパシタの界面準位密度とドライ酸化時の加熱炉周囲の絶対湿度との間に相関があることが判明している[2]。これは、ウェハ搬入時の大気巻込みにより、熱酸化膜の膜質が劣化していることを示唆している。加熱炉への大気巻込みは、膜質の劣化を引き起こすだけでなく、ウェハ昇温時の意図しない熱酸化により、薄膜形成を困難にする。そこで、我々は、密閉式チャンバーを有する集光加熱炉を開発し、チャンバー内を真空引き、窒素ガス置換することにより、熱酸化プロセスにおける大気巻込みの防止を試みた。本研究では、密閉チャンバーによる大気巻込み低減効果および薄い熱酸化膜の膜厚制御性について報告する。

【実験方法】 図1は本実験に用いたミニマル集光加熱炉のプロセス部の概略図である。チャンバーは石英ガラス製の密閉式であり、ダイヤフラムポンプによる真空引きが可能である。プロセスガスはピュリファイヤーにより不純物を取り除かれた後にチャンバーに導入され、ガス整流板を通してハーフィンチウェハ直上に供給される。ウェハ搬入時にチャンバーに巻き込んだ大気を取り除くため、昇温前にチャンバー内の真空引き、窒素ガス置換を行う。ウェハの昇温はチャンバー内に窒素ガスを流しながら行い、目標温度(本研究では 1150℃)で安定したところで酸素ガスに切り替える。熱酸化膜は、大気圧、酸素雰囲気中で形成する。薄い熱酸化膜の膜厚制御性を評価するため、短時間酸化時の熱酸化膜厚を従来方式であるミニマル抵抗加熱炉と比較した。

【結果と考察】 まず、加熱炉への大気巻込みの影響を調べるため、窒素ガスのみで 1150℃、15 分間の加熱を行い、熱酸化膜厚を測定した。フルミニマルプロセスのゲート酸化工程で用いているミニマル抵抗加熱炉では、8.5nm の熱酸化膜が形成された。集光加熱炉で、ウェハ搬入後にチャンバー内を真空引き、窒素ガス置換しなかった場合、15nm 程度の熱酸化膜が形成された。これは、炉体内への大気混入により熱酸化が起こったことを示している。一方、集光加熱炉でチャンバー内の真空引き、窒素ガス置換のサイクルを 2 回行ったのちに加熱した場合には、熱酸化膜厚は 2.6nm であった。この結果から、チャンバー内の真空引き、窒素ガス置換によって、意図しない酸化を抑制可能であることが確認できた。

図2に、ミニマルの抵抗加熱炉および集光加熱炉(真空引き、窒素ガス置換サイクル 2 回)における 1150℃での熱酸化時間と酸化膜厚の関係を示す。現行の抵抗加熱炉では、酸化時間 0 分(昇降温のみ)でも 7.4nm の熱酸化膜が形成され、8nm 以下の薄膜形成が困難であることが判明した。一方、集光加熱炉では、加熱時間 0.5 分以下では酸化膜厚が 2.1~2.6nm で横ばいとなり、明確な時間依存性が認められなかったが、加熱時間 1 分以上では酸化時間と膜厚に正の相関が認められた。加熱時間 1 分の酸化膜厚は約 4.0nm であることから、熱酸化膜厚 4nm 以上であれば加熱時間で膜厚制御が可能であると考えられる。これらの結果から、密閉チャンバーによる熱酸化プロセスは、熱酸化膜の薄膜化に有効であると考えられる。

<参考文献>

- [1] S. Khumpuang et al., IEEJ Trans. SM, Vol. 133(9), 272-277, (2013)
- [2] 浅野ら, 第 62 回応用物理学会秋季学術講演, 14a-A29-8

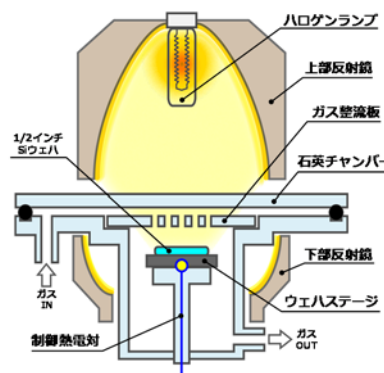


図1 ミニマル集光加熱炉の構造

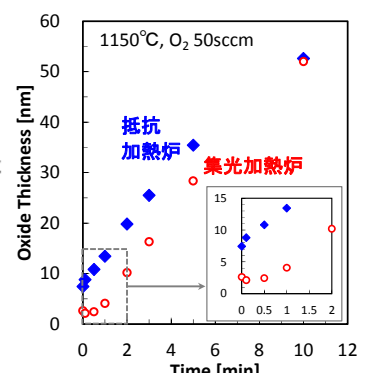


図2 熱酸化時間と酸化膜厚