

ミニマル集光加熱炉で形成したゲート酸化膜の電気特性

Electrical Characteristics of Gate Thermal Oxide Processed by Minimal Focused Light Heating Furnace

ミニマルファブ技術研究組合¹, 産業技術総合研究所², 米倉製作所³

三浦 典子¹, 居村 史人^{1,2}, 山田 武史^{1,3}, 相澤 洸^{1,3}, 池田 伸一^{1,2}, 石田 夕起^{1,2},

三ヶ原 孝則^{1,2}, 大西 康弘^{1,3}, クンプアン ソマワン^{1,2}, 原 史朗^{1,2}

MINIMAL¹, AIST², and YONEKURA MFG. Co., LTD³

Noriko Miura¹, Fumito Imura^{1,2}, Takeshi Yamada^{1,3}, Takeshi Aizawa^{1,3}, Shinichi Ikeda^{1,2}, Yuuki Ishida^{1,2},

Takanori Mikahara^{1,2}, Yasuhiro Onishi^{1,3}, Sommawan Khumpuang^{1,2}, and Shiro Hara^{1,2}

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ミニマル装置周囲の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き込みにより、プロセス中の膜質が劣化していることを示唆している。界面準位密度は、基本的に熱酸化工程の質で決まるのであるから、熱酸化工程で湿度変化が影響している可能性がある。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、熱酸化プロセスにおける大気巻き込みの防止を試みた。本研究では、この密閉式チャンバーを用いてトランジスタのゲート酸化膜を形成し、電気特性を評価したのでその結果について報告する。

【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。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(1150°C)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。

電気的特性は、フルミニマルプロセスにて作成した pMOSFET(ゲート長 14 μm)および MOS キャパシタ(直径 300 μm の Al 電極)を用いて評価した。ゲート酸化膜厚は、約 70nm である。

【結果と考察】 図2に、集光加熱炉でゲート酸化膜を形成した MOS キャパシタの CV 特性を示す。MOS キャパシタの CV 特性の C_{max} から求めた酸化膜厚は 68.0nm であり、ミニマル膜厚測定器で測定した熱酸化膜厚(67.8nm)とほぼ一致した。High-Low 法[3]で求めた界面準位密度(D_{it})は、 $8.2 \times 10^9 \text{cm}^{-2}$ となった。今回の実験におけるゲート酸化膜形成時の集光加熱装置周辺の湿度は 60%程度であった。過去のデータから、ミニマル抵抗加熱炉でゲート酸化膜を形成した場合、界面準位密度は、湿度が高い夏場では $5.0 \times 10^{10} \sim 1 \times 10^{11} \text{cm}^{-2}$ 程度、湿度の低い冬場では $1 \times 10^{10} \text{cm}^{-2}$ 程度となることが判明している[2]。本研究では、密閉式チャンバーを用いることにより、大気中の水分の影響を受けることなく良質な熱酸化膜を形成できたと考えられる。

また、pMOSFET のドレイン電流-ドレイン電圧(I_d - V_d)特性も良好な特性を示し(図3)、pMOS トランジスタが正常に動作することが確認された。これらの結果から、ミニマル集光加熱炉の密閉式チャンバーで形成した熱酸化膜は、従来プロセスと同等以上の電気特性を示すことが確認できた。

<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

[3] R. Castagne and A. Vapaille, Surface Sci., 28, 157 (1971)

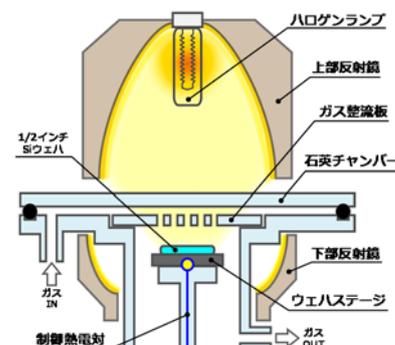


図1 ミニマル集光加熱炉の構造

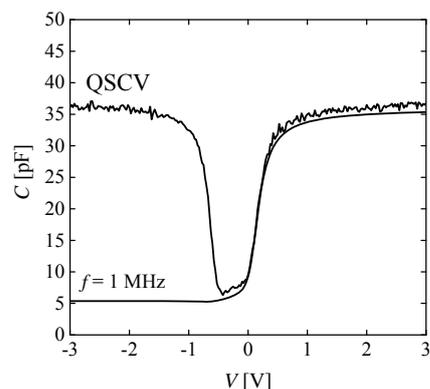


図2 MOS キャパシタの CV 特性

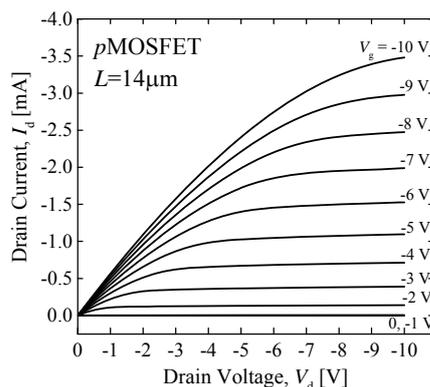


図3 pMOSFET の I_d - V_d 特性