

フォーミングガスアニールが Cr/SiO₂/Si 界面の熱抵抗に与える影響

The influence that FGA process gives for the thermal resistance of the Cr/SiO₂/Si interface

慶應大理工 電子工¹, JST CREST²

○熊田 亜理沙¹, 竹内 豪¹, 宮田 耕¹, 高橋 綱己^{1,2}, 内田 建^{1,2}

Dept. Electronics and Electrical Eng., Keio Univ.¹,

CREST, Japan Science and Technology Agency²

○Arisa Kumada¹, Go Takeuchi¹, Tsutomu Miyata¹, Tsunaki Takahashi^{1,2}, and Ken Uchida^{1,2}

E-mail: arisa.k@ssn.elec.keio.ac.jp, uchidak@elec.keio.ac.jp

【目的】 近年, ナノ構造 Si は, 熱電変換材料や最先端トランジスタのチャネル材料として注目を集めている. ナノ構造 Si では, 表面 (界面) /体積比が大きいため, 界面の熱的な特性を正確に把握し, 理解することが重要である. 特に, 集積回路内で利用される微細トランジスタの開発では, MOS 構造 (金属/SiO₂/Si 界面) の熱特性 (熱伝導, 熱抵抗など) の理解が, 自己加熱を正確に評価する上で不可欠である. 一般に, 異種材界面では熱が流れにくくなる界面熱抵抗が存在することが知られている. MOS 構造における界面熱抵抗は SiO₂ や金属電極の成膜方法によって変化することが知られており [1], 既報データ間のばらつきも大きい [2,3]. 今回, 熱処理 (フォーミングガスアニール: FGA) が界面熱抵抗に及ぼす影響を調べたので報告する.

【実験方法】 Si 基板上に熱酸化膜形成後, Cr/Au=3/100 nm の金属電極配線を電子線描画/電子線蒸着により形成した (図 1). まず, 金属細線に交流電流を流し, 3 次高調波電圧 (電極の温度上昇 ΔT に比例する) を測定することで, 基板の熱伝導率を導出した. 次に, 電極の下部に Si 基板のみが存在するとした時の 3 次高調波電圧成分 (ΔT) を導出し, MOS 構造 (電極の下部に酸化膜と Si 基板が存在する) の 3 次高調波成分との差から SiO₂ の熱抵抗・Cr/SiO₂ の界面熱抵抗・Si/SiO₂ の界面熱抵抗の総和を求めた [3]. また, 熱抵抗の SiO₂ 膜厚依存性から, SiO₂ の熱伝導率・Cr/SiO₂ 界面と Si/SiO₂ 界面の界面熱抵抗の合計を求めた (図 2). この方法で求めた SiO₂ の熱伝導率と界面熱抵抗は, 先行研究 [3] とほぼ一致し, 実験方法の妥当性を確かめた. その後 FGA を H₂:4%, 450°C で 20 分行い, 再び 3 次高調波成分 (ΔT) を求め, FGA 前との比較を行った.

【結果】 図 3 に FGA 前後における 3 次高調波電圧 (ΔT) の周波数依存性を示す. FGA を行うことで, 基板の温度振動が小さくなることが明確に示されている. このことは, SiO₂ の熱抵抗, Cr/SiO₂ の界面熱抵抗, Si/SiO₂ の界面熱抵抗の総和が, FGA によって小さくなることを示している. これは, 熱処理により Cr/SiO₂ の密着性が向上したことや, FGA の効果により Si/SiO₂ 界面の質が向上したこと等に起因すると予想される.

【結論】 四端子の金属電極に外部端子間に交流電流をバイアスし, 内部端子間に発生する 3 次高調波電圧から熱抵抗を評価する 3 ω 法を利用することで, MOS 構造の熱抵抗を評価した. その結果, FGA によって MOS 構造の熱抵抗が小さくなることを確認した.

【参考文献】

- [1] M. Seong *et al.*, J. Appl. Phys., **113** (2013) 24321.
- [2] O. Q. Kading *et al.*, Appl. Phys. Lett., **65** (1994) 1629.
- [3] T. Yamane *et al.*, J. Appl. Phys., **91**, (2002) 9773.

謝辞: 本研究の一部は, 内閣府の最先端・次世代研究開発支援プログラムにより助成を受けて行われた. また素子作製の一部は文部科学省委託事業ナノテクノロジープラットフォーム (東京工業大学) の支援を受けた.

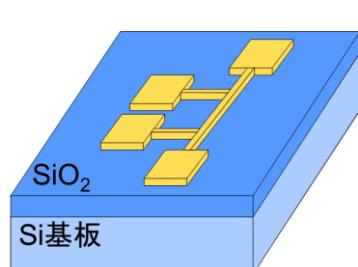


図 1: デバイス構造

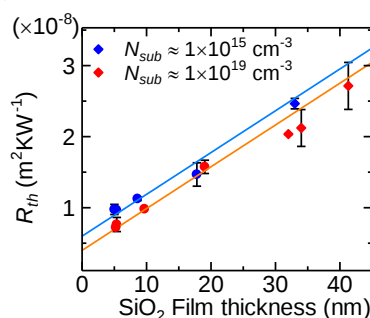


図 2: SiO₂ 熱抵抗の酸化膜厚依存性

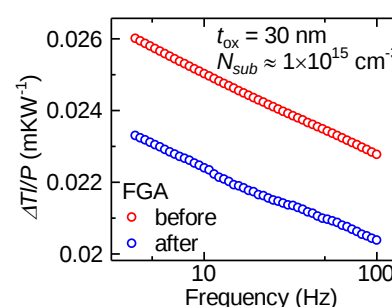


図 3: FGA 前後の温度振動