

過渡電流解析によるシリコン酸化膜中のプラズマ誘起欠陥準位評価 Characterization of Plasma Process-Induced Defect States in SiO₂ Films Using Transient Current Analysis

京大院工¹, 学振特別研究員 DC² 濱野 誉^{1,2}, 占部 継一郎¹, 江利口 浩二¹

Kyoto Univ.¹, JSPS Research Fellow², [○]Takashi Hamano^{1,2}, Keiichiro Urabe¹, and Koji Eriguchi¹

E-mail: hamano.takashi.35c@st.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

半導体デバイスの微細化に伴い、プラズマプロセスにより固体材料表面近傍に形成される欠陥（プラズマ誘起欠陥）に起因するデバイス性能、信頼性の劣化が顕在化している。これまでに、Si 系絶縁膜に対するプラズマ誘起欠陥の影響として、誘電率変化[1]、リーク電流増加[2]、信頼性寿命劣化[3]が報告されてきた。欠陥形成を考慮したデバイス特性、信頼性の予測モデル構築には、プロセス条件によって変化する欠陥パラメータ（欠陥密度、電子状態、Fig. 1(a)）の同定が必要である[3,4]。また、絶縁膜材料の欠陥解析の特徴として、アモルファス材料では計算科学を用いた電子状態予測は難しく、実験による同定が欠かせない点がある。以上の背景から、本研究では電圧ストレス印加後に絶縁膜から放出される過渡的な電流とバンドギャップ内の欠陥エネルギー準位の関係に着目し、シリコン酸化膜中のプラズマ誘起欠陥の解析を試みた。

2. 過渡電流解析による欠陥準位評価

Fig. 1(b)に本研究で用いた過渡電流解析の枠組みを示す。過程Ⅰでは MOS 構造に対して電圧 V_b を時間 t_b 印加し、電子を絶縁膜中の欠陥準位にトラップさせる。このとき低 V_b では電圧印加以前に存在する欠陥を、高 V_b では電圧印加中に新たに形成される欠陥を解析できる。過程Ⅱでは印加電圧を 0 V とし、トラップ準位からの電子放出に伴う過渡電流 $I_t(t)$ を測定する。欠陥のエネルギー準位により電子放出の時定数が異なるため、 I_t-t 曲線のピーク面積、時刻から絶縁膜中に形成された伝導帯近傍の欠陥面密度と欠陥準位を解析することができる。

3. 実験手法・結果

n 型低抵抗 Si 基板上の SiO₂ 膜（膜厚 22 nm）を誘導結合型プラズマ源（Ar または SF₆ ガス）に 5 s 曝露した。その後電子ビーム蒸着により Ti 電極を作製し、室温で電気特性評価を行った。Fig. 1(c-i)に $I-V$ 特性を示す。低電圧領域 ($V \leq 12$ V) では、リーク電流増加が確認できるもののガス種による大きな差異は見られない。次に、Fig. 1(c-ii)に過渡電流解析結果 ($V_b = 10$ V, $t_b = 10$ s) を示す。今回の実験では、Ar プラズマの場合、SF₆ と比較して伝導帯近傍の欠陥面密度が大きく、欠陥のエネルギー準位分布に違いがあることが示唆された。この違いは、格子間原子種を含む局所的な欠陥構造の違いに起因すると考えられる。

4. おわりに

先端高性能デバイス設計、プロセス開発では、欠陥の低密度化と同時に残留欠陥が及ぼすデバイス特性変化の解明が不可欠である。本研究では、蓄積電荷放出による過渡電流に着目してシリコン酸化膜内部のプラズマ誘起欠陥を高感度に解析した。本手法は実動作中における経時的な欠陥形成にも適用可能であり、長期信頼性予測を含む絶縁膜プラズマプロセス設計に有用である。

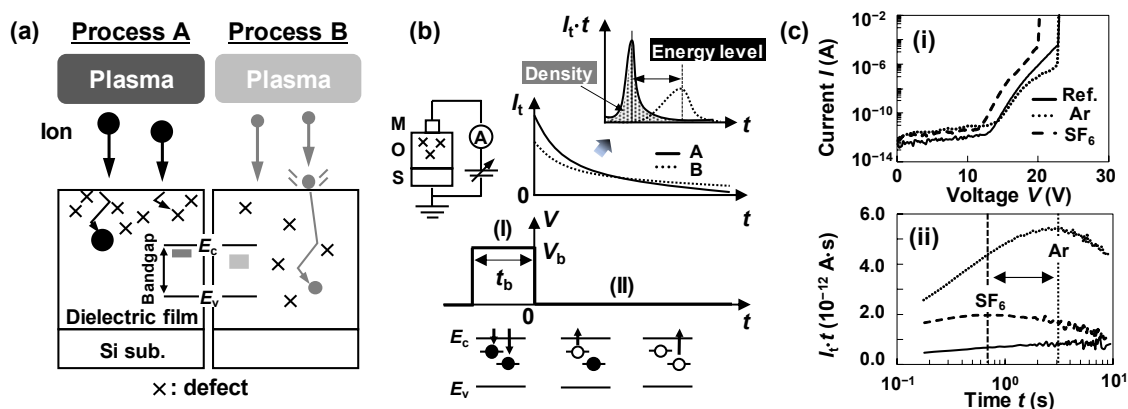


Fig. 1 (a) Schematics of the process-dependent defect generation and defect profiles.

(b) Framework of the transient current analysis for dielectric films.

(c) Experimental (i) $I-V$ and (ii) I_t-t curves of damaged SiO₂ films exposed to Ar or SF₆ plasmas.

謝辞 本研究の一部は科研費（20J22727）の助成を受けて行われた。また、名古屋大学低温プラズマ科学研究センターにおける共同利用・共同研究として実施された。

参考文献

[1] T. Hamano *et al.*, MNC2019, 30D-6-4 (2019).

[2] K. Eriguchi, Jpn. J. Appl. Phys. **56**, 06HA01 (2017).

[3] T. Hamano *et al.*, JSAP spring meeting, 12p-A205-13 (2020).

[4] K. Eriguchi, J. Phys. D **50**, 333001 (2017).