

Si 基板中に形成されるガス種に依存した プラズマ誘起ダメージ層極性の同定

Identification of Gas-chemistry-dependent “Effective” Polarity of Plasma-damaged Layer in Si Substrates

京大院工 ○濱野 誉, 占部 継一郎, 江利口 浩二

Kyoto Univ., ○Takashi Hamano, Keiichiro Urabe, and Koji Eriguchi

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、プラズマプロセス時に Si 基板に形成される欠陥構造が MOS デバイスの性能・信頼性に大きな影響を与えている。プラズマ照射後の Si 基板表面では、最表面に生じる表面欠陥層の奥に、キャリア捕獲・放出サイトとしてはたらく潜在欠陥が多数形成される (Fig. 1(a)) [1]。第一原理計算により、潜在欠陥のエネルギーギャップ内準位分布は、エッチングガス種に依存すると予想されているが[2]、実験による同定 (解析手法確立) には至っていない。我々はこれまで電気容量解析 (C-V 測定) を駆使して潜在欠陥密度解析を行ってきた[1]。また、Si 基板中のドーパント種 (n 型, p 型) に応じた C-V 解析最適化に基づいた、潜在欠陥準位 (プロファイル) 解析の感度向上可能性を報告してきた[3]。将来の高性能半導体デバイス設計には、欠陥の超低密度化と同時に、残留する欠陥の準位解析、すなわちダメージ層の電氣的極性を明らかにすることは重要である。本講演では、希ガスおよび反応性ガスを用いたプラズマ照射により形成される欠陥準位を、C-V 解析手法を最適化して実験的に同定した結果について報告する。

2. 欠陥準位分布解析の原理[3]

プラズマ照射により形成される欠陥準位が伝導帯側に偏在する場合 (Fig. 1(a)中のプロファイル(A)) を想定し、対応する MOS 構造の C-V 特性の周波数依存性に着目する。数値計算から、n 型基板では、C-V 曲線は空乏領域で水平方向にシフトし、また、p 型基板では、蓄積領域にかけて C-V 曲線の垂直方向の顕著な周波数依存性が確認できた。一方、価電子帯側に欠陥が多数存在する場合 (プロファイル(B))、p 型基板で C-V 曲線の水平方向のシフトが見られた。つまり基板極性に応じ C-V 曲線の変化を解析することで、欠陥のギャップ内準位分布を推定できる。

3. 実験手法・結果

n 型 (Sb ドープ) および p 型 (B ドープ) 低抵抗 Si 基板を誘導結合型プラズマ源に同時に曝露した。ガス種として Ar または SF₆ を用いた。なお SF₆ の場合は O₂ プラズマ照射を続けて行い、表面酸化層の厚さを Ar の場合と同程度に調整した。その後 Hg プローバを用いて擬 MOS 構造を形成し、測定周波数 f_{mod} を変調して C-V 測定を行った。Fig. 1(b), 1(c) に測定結果を示す。Ar の場合、n 型, p 型基板に対し、それぞれ水平、垂直方向の周波数依存性が見られた。つまり、準位分布はプロファイル(A)であると考えられる。一方 SF₆ の場合、p 型基板に対し若干の水平方向シフトが確認できる。この結果は、伝導帯側に大部分の欠陥が存在しているものの、価電子帯側にも多数の欠陥が存在する (プロファイル(C)) を示唆している。なおこれら欠陥準位分布の違いは、格子間原子の元素種に依存した電子状態密度変化の違いに起因すると考えている。

4. おわりに

現在、プラズマプロセスでは、プラズマ誘起ダメージが問題視されるとともに、様々なガス種の組み合わせ、プロセス条件が用いられている。欠陥形成を完全に抑制することは困難であり、まずその本質的特徴 (欠陥準位) を解明することが重要である。ガス種に応じた欠陥準位形成を C-V 解析最適化により実験的に同定する本手法は、今後のプラズマダメージ設計に有効である。

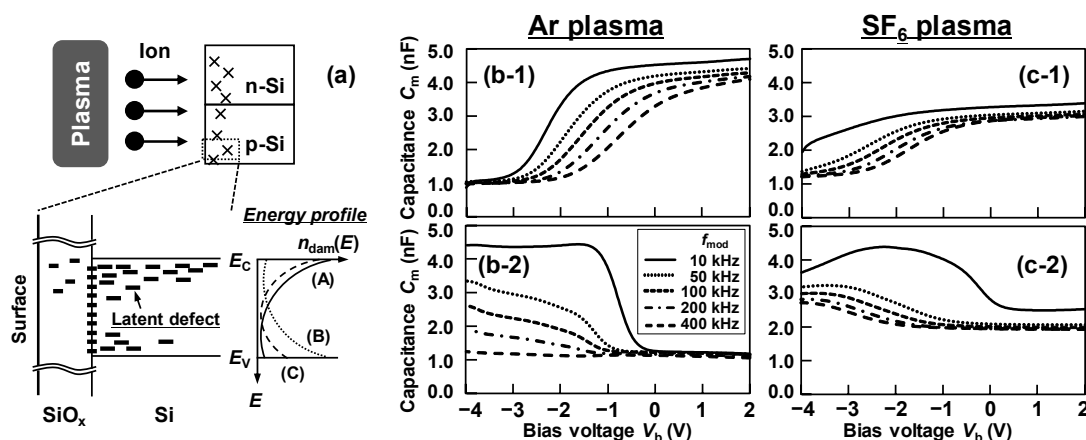


Fig. 1 (a) Expected energy profiles of latent defects in a plasma-exposed Si substrate.

(b) Experimental C-V characteristics of a damaged sample by Ar plasma. (1) n-type and (2) p-type substrate.

(c) Experimental C-V characteristics of a damaged sample by SF₆ plasma. (1) n-type and (2) p-type substrate.

参考文献 [1] Y. Nakakubo *et al.*, ECS J. Solid State Sci. Technol. **4**, N5077 (2015).

[2] Y. Yoshikawa *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **57**, 06JD03 (2018). [3] T. Hamano *et al.*, JSPS spring meeting 11p-W641-1 (2019).