

電気容量解析に基づく Si 基板内のプラズマプロセス誘起欠陥の ギャップ内準位分布予測

Model Prediction of Energy Profiles of Plasma Process-Induced Defects in Si Substrates Using Capacitance-Voltage Method

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

最先端半導体デバイス製造においてプラズマプロセスは重要な役割を担っている。極微細構造、複雑な 3 次元構造の高精度加工を実現する一方、プラズマ照射は固体材料との相互作用により材料内部に望ましくない“プラズマプロセス誘起欠陥”を形成する[1]。デバイスの微細化に伴い、欠陥形成に起因するデバイス特性、信頼性の劣化が顕在化している。高性能デバイス設計には、欠陥の低密度化とともに、残留する欠陥の本質的特性を解明することが不可欠である。プラズマプロセス誘起欠陥は特徴的な物理的深さプロファイル、バンドギャップ内のエネルギー準位分布を有し、様々な形態をとりうる特徴を持つ[2] (Fig. 1(a))。Si 基板表面の欠陥に対して、これまで特に深さプロファイルに焦点を当てた分析、解析が進められてきた[3]が、エネルギー準位分布の解析手法確立には至っていない。以上の背景から本研究では、Si 基板内部の様々な欠陥準位分布を考慮した電気特性予測手法を構築し、特徴的な実験結果と比較することでギャップ内欠陥準位分布を予測した。

2. ギャップ内欠陥準位分布を考慮した電気容量—電圧特性の予測

n 型 Si 基板内に欠陥準位が多数存在する MOS 構造の電気容量—電圧 ($C-V$) 特性を数値計算により予測する。欠陥の深さプロファイルは指数分布、エネルギー準位分布はボルツマン型または平均エネルギー $\bar{E}$ の異なる 2 つのガウシアン型分布を仮定した。Fig. 1(b)に予測結果を示す。ガウシアン型分布の場合、 $\bar{E}$ がギャップ中央に近づくにつれて、ボルツマン型分布の場合に見られる単調な形状からフラットバンド近傍に特異な形状を持つ曲線への変化が見られた。

3. 実験結果とモデル予測の比較によるプラズマプロセス誘起欠陥解析

低抵抗 n 型 Si 基板を(A)誘導結合型 (ICP) または(B)容量結合型 (CCP) プラズマ源に 60 s 曝露した。ガス種として Ar を用いた。Fig. 1(c)に水銀プローブを用いて測定した MOS 構造の $1/C^2-V$ 曲線を示す。典型的な単調曲線である(A)とは異なり、(B)は空乏領域においてハンプ構造が見られる。また、他のガス種でも同様の特異な形状を持つ実験結果が報告されている[4]。この結果は、プロセス条件 (プラズマパラメータ) によって欠陥のエネルギー準位分布が大きく異なることを意味する。なおこれら準位分布の違いは、局所的な欠陥構造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様々なプラズマ源、ガス種が用いられており、生じる欠陥の電子状態、つまりエネルギー準位分布も様々である。欠陥準位分布に応じたデバイスの特徴的な電気特性変化に着目してギャップ内準位分布を予測する本手法は、種々のプロセス条件に対するプラズマプロセス誘起欠陥解析、制御に有用であると考えている。講演では、欠陥のエネルギー準位分布に依存した MOSFET 特性変化の予測等、最近の取り組みについても紹介する。

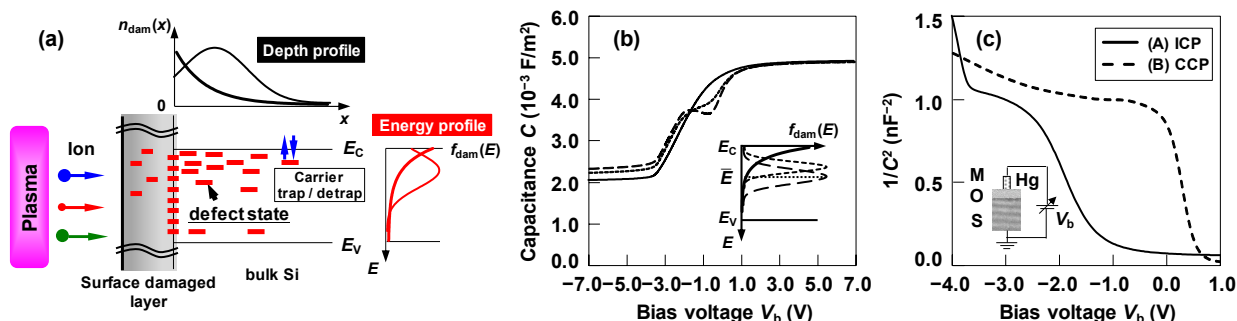


Fig. 1 (a) Example of the energy band diagram of a damaged Si structure.

(b) Predicted $C-V$ characteristics calculated for three energy profiles of defects.

(c) Comparison of experimental $1/C^2-V$ curves of damaged devices exposed to the ICP or CCP.

謝辞 本研究の一部は中久保義則氏 (キオクシア) の協力のもとで行われた。

参考文献

- [1] K. Eriguchi, Jpn. J. Appl. Phys. **56**, 06HA01 (2017). [2] T. Hamano *et al.*, J. Phys. D **52**, 455102 (2019).
[3] Y. Sato *et al.*, J. Vac. Sci. Technol. A **37**, 011304 (2019). [4] A. Matsuda *et al.*, Proc. Symp. Dry Process., 182 (2012).