

MOS 界面の単一欠陥チャージポンピングによって可能となった 両性準位における電子捕獲素過程の直接観測 (6) -欠陥構造緩和(II)- Direct observation of electron capture processes in amphoteric defect states achieved by charge pumping in individual defects at MOS interface (6) -Lattice relaxation (II)-

静大電研 ○土屋敏章, 堀 匡寛, 小野行徳

Shizuoka Univ., ○Toshiaki Tsuchiya, Masahiro Hori, Yukinori Ono

E-mail: tsuchiya.toshiaki@shizuoka.ac.jp

我々はこれまで、MOS 界面欠陥評価法としてのチャージポンピング (CP) 法をより体系化し、真に単一の界面欠陥の測定・評価を可能にした。各単一欠陥は 2 電子準位を有しており、その準位位置によって 10 種類の欠陥タイプに分類し (図 1), その CP 電流 (I_{CP}) が $0 \sim 2fq$ (f : ゲートパルス周波数, q : 電気素量) の様々な値を示すことを実験的に明らかにした[1]。さらに, $I_{CP}=fq$ (一定) に基づいて従来の CP 理論を本質的に改訂し, 単一界面欠陥の 2 電子準位の密度分布 (DOS) を導出して, 既報の ESR 結果[2]による P_{b0} センターの DOS と酷似していることを示した[3]。これらの結果に基づいて, ドナー型 (D-like) とアクセプタ型 (A-like) 準位の両性 (amphoteric nature) を有する単一欠陥における D-like と A-like 準位ペアのエネルギー位置関係を求め, これら欠陥タイプの特徴を活かした両性準位における電子捕獲素過程の直接観測法を考案した[4, 5]。そして, A-like, および, D-like 準位における伝導帯電子捕獲時定数の測定に成功した[4]。さらに, D-like と A-like 準位への連続的な伝導帯電子捕獲素過程を観測して, D-like 準位が電子を捕獲した直後の欠陥構造緩和過程の直接観測に成功し, また, これまで識別が困難であったタイプ 4 と 5 を捕獲時定数の違いで識別可能なことを示した[5]。

本件では, D-like と A-like 準位への連続的な伝導帯電子捕獲過程を有するタイプ 6~9 の単一界面欠陥を用いて, 欠陥構造緩和素過程を測定評価し, その特徴を抽出して緩和過程の物理を考える。

前報[5]のように, 構造緩和は伝導帯電子が欠陥に捕獲された際の電子的エネルギーが電子-フォノン相互作用によって格子に与えられることで生じると考えられる[特徴 1] (図 2)。また, 図 3 に示すように構造緩和を伴わないと考えられるタイプ 2 と 5 欠陥に比べて, タイプ 6~9 欠陥では A-like 準位への電子捕獲時定数 τ_A (この場合, τ_A には構造緩和時定数も加わっている) が同等以上であり, その値は様々である。つまり, 構造緩和を伴う欠陥と伴わない欠陥が存在し[特徴 2], 構造緩和時定数の値は欠陥ごとに様々である[特徴 3]。さらに, 図 4 に示すように, 欠陥構造緩和時定数 τ_{rel} が $\Delta V_1 (=CP_V_{Top} - V_{LT}$, CP_V_{Top} : CP 電流測定時のゲートパルス・オン電圧, V_{LT} : 欠陥付近の局所閾値電圧) の増大, つまり, 欠陥付近の反転層電子濃度の増大と共に指数関数的に減少している[特徴 4]。

以上のように欠陥ごとに構造緩和の有無や緩和時定数が異なり, D-like 準位に捕獲される伝導帯電子が構造緩和のエネルギー源と考えられ, 欠陥近傍の伝導帯電子濃度も大きな影響を与えている。これらを考慮すると, 正に帯電した D-like センター近傍での一種のポーラロン効果による局所的格子歪み, 歪みによるバンド構造の摂動的变化, および, 伝導帯電子の欠陥への直接遷移の誘発等が示唆される。

謝辞 本研究の一部は科研費 No. 20H02203 の助成を受けて行われた。

参考文献

- [1] T. Tsuchiya and Y. Ono, Jpn. J. Appl. Phys. 54, 04DC01, 2015.
- [2] P. M. Lenahan et al., IEEE Trans. Nucl. Sci. 48(6), p. 2131, Dec. 2001.
- [3] T. Tsuchiya and P. M. Lenahan, Jpn. J. Appl. Phys. 56, 031301, 2017.
- [4] 土屋 他, 第 69 回応物学会春季学術講演会 23p-E307-19~20, 2022.
- [5] 土屋 他, 第 83 回応物学会秋季学術講演会 22a-A102-1~2, 2022.

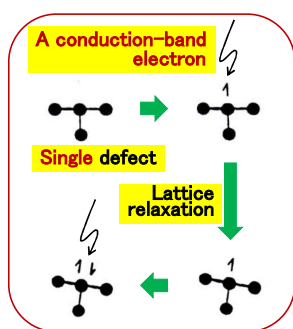


Fig. 2 Mechanism of a conduction-band-electron related lattice-relaxation at a single defect.

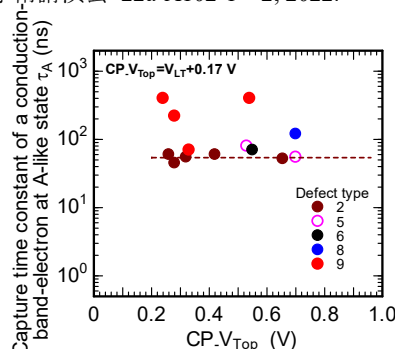


Fig. 3 Capture time constant of a conduction-band-electron at an A-like state as a function of CP_V_{Top} .

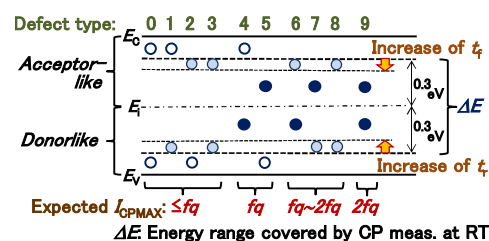


Fig. 1 Classification of single amphoteric Si/SiO₂ interface-defects [1, 3]

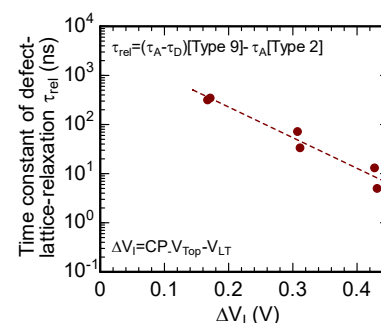


Fig. 4 Dependences of lattice-relaxation time constant upon ΔV_1 .