

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 (9) -捕獲電子の再結合過程(II)-

Direct observation of electron capture processes in amphoteric defect states achieved by charge pumping in individual defects at MOS interface (9) -Recombination process (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

これまで我々はチャージポンピング (CP) 法による MOS 界面における単一欠陥の測定・評価法を確立し, 室温では単一欠陥からの CP 電流 I_{CPS} 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見出した[1]. この一連の実測結果から, 各単一欠陥が 2 電子準位を有していることを直に実証し, すべての I_{CPS} 値を説明できる単一欠陥の 10 種のタイプ分類を行った. また, $I_{CPS}=fq$ 一定を大前提としている従来 CP 理論を本質的に改訂した[2]. さらに, 単一界面欠陥の 2 電子準位の密度分布 (DOS) を導出し, ESR による P_{b0} センターの DOS[3]との一致性を示し, CP で電気的に検出された単一界面欠陥が ESR で磁気的に検出された P_{b0} センターであることを実証した[2]. 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) の両性準位を有する単一欠陥における電子捕獲素過程を直接観測し, A-および D-like 準位への伝導帯電子の捕獲時定数の実測に成功した[4]. さらに, D-および A-like 準位への連続的な伝導帯電子捕獲素過程を観測し, D-like 準位の電子捕獲後の欠陥構造緩和過程の直接観測に成功した[5]. また, この欠陥構造緩和時間に対する伝導帯電子濃度の影響など, 実験的に抽出した幾つかの特徴を基にして構造緩和の物理を考察した[6].

本件では前報と同様に単一欠陥の A-like 準位や D-like 準位に捕獲された伝導帯電子の価電子帯正孔との再結合素過程を扱うが, ここでは伝導帯電子が両方の準位に捕獲され, その後の両捕獲電子の連続的な再結合の素過程を直接観測する. この目的のためにタイプ 6 の単一欠陥を用いた. この欠陥では図 1 に示すように CP サイクルの反転期間に D-および A-like の両準位に伝導帯電子が捕獲され, 蓄積期間にその両電子が価電子帯正孔と再結合する (各再結合時定数を各々 τ_{RD} , τ_{RA} とする). これらの時定数は CP 電流のゲートパルス・オフ時間 t_{Base} 依存性の解析から得られるものと考えられる.

図 2 に CP 電流の t_{Base} 依存性を様々なゲートパルス立下り時間 t_f について示す. この依存性を一つの時定数でフィッティングできないことは明らかである. t_f の増大で CP 電流が減少しているのは, タイプ 6 欠陥の A-like 準位が CP で検出可能なバンドギャップ内エネルギー範囲の上端付近に位置しており, この準位からの CP 電流が t_f の増大と共に減少するためである. なお, この欠陥の D-like 準位は深い位置にあり, この準位からの CP 電流は t_f には依存せず, t_{Base} 増大による飽和電流値は常に fq ($=32$ fA) である. 図 2 の CP 電流を各 t_f 毎にその飽和値で規格化した結果を図 3 に示す. 図中の各破線曲線は一組の時定数 (τ_{RA} と τ_{RD}) のみがフィッティング・パラメータであり, 図から $\tau_{RA}=2$ ns, $\tau_{RD}=230$ ns が得られた.

以上のように単一欠陥の A-like および D-like の両準位に捕獲された伝導帯電子の価電子帯正孔との連続的な再結合素過程を観測し, 各再結合時定数の導出に成功した.

本研究の一部は科研費 No. 20H02203 の助成を受け行われた.

参考文献

- [1] T. Tsuchiya and Y. Ono, Jpn. J. Appl. Phys. 54, 04DC01, 2015.
- [2] T. Tsuchiya and P. M. Lenahan, Jpn. J. Appl. Phys. 56, 031301, 2017.
- [3] P. M. Lenahan et al., IEEE Trans. Nucl. Sci. 48(6), p. 2131, Dec. 2001.
- [4] 土屋 他, 第 69 回応用物理学会春季学術講演会 23p-E307-18~20, 2022.
- [5] 土屋 他, 第 83 回応用物理学会秋季学術講演会 22a-A102-1~2, 2022.
- [6] 土屋 他, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会 16a-A403-9~10, 2023.

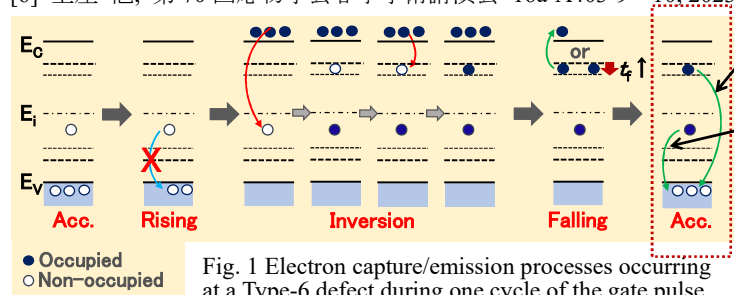


Fig. 1 Electron capture/emission processes occurring at a Type-6 defect during one cycle of the gate pulse.

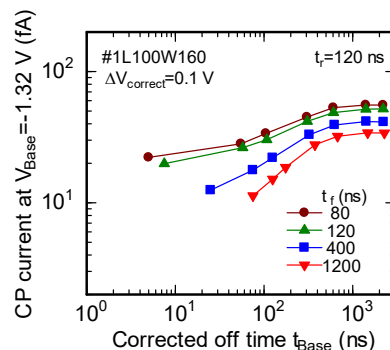


Fig. 2 Dependences of CP current from both an A-like and a D-like states of a Type-6 defect upon corrected off time with the fall time as a parameter.

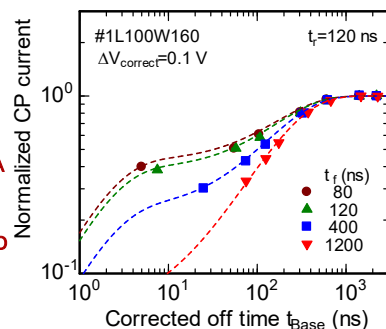


Fig. 3 Dependences of normalized CP current from a single Type-6 defect upon corrected off time.