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(7)-τωに関する考察-

Direct observation of electron capture processes in amphoteric defect states achieved by

charge pumping in individual defects at MOS interface (7) - Consideration on τ_D -

静大電研 ⁰土屋敏章,堀 匡寛,小野行徳

Shizuoka Univ., ^OToshiaki 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、その CP 電流 (ICP) が 0~2fq (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、Icp=fq(一定)に基づいている従来の 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 P60 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,図1に示したタイプ1,4,6,8,9の単一欠陥を用いて,これらの D-like 準位への伝導帯電 子捕獲時定数 $_{D}$ を求め、 $_{D}$ が CP_ V_{Top} (= V_{LT} +0.17 V であり CP 電流測定時のゲートパルス・オン電圧、 VLT は欠陥近傍の局所閾値電圧)の増大と共に減少することがわかり、その原因を考察する.

前報[4]でタイプ1欠陥の D-like 準位 (正に帯電)の m が CP_V Top 増大と共に減少することを示した. 今回さらにタイプ4,6,8,9単一欠陥から得られた $_{D}$ 値を加えて図2に示す.図から,欠陥タイプやD-like 準位のエネルギー位置に依らず, $_{D}$ がほぼユニバーサルな CP_ V_{Top} 依存性を有し,CP_ V_{Top} 増大と共に 減少することを確認した.これは捕獲断面積が比較的に小さいA-like準位には見られない傾向である.

使用したデバイスのチャネル領域における不純物濃度分布や,検出された単一欠陥の位置と VLTの関 係等を考察し、図2の結果は、CP_V_{Top}の増大と共に、欠陥極近傍の反転層電子濃度は一定ではあるが その周辺近傍では電子濃度が高くなっていることに起因すると結論付けた.また、図3に示すように、 タイプ1と8欠陥のD-like 準位が位置する Si バンドギャップ内領域I(幅約 0.1 eV)では, D-like 準位 の価電子帯電子占有率 apc の増大と共に b が減少している. apc の増大は D-like 準位位置が浅くなる(価 電子帯上端に近づく)ことを意味するので、D-like 準位位置が価電子帯上端に近づくほど捕獲断面積 のが増大している可能性は否定できない.しかし、ギャップ内領域 II に位置するタイプ4,6 および9 の ωは,タイプ1と8欠陥に比べて増大傾向は示しておらず,同じような範囲内で広く分布している. したがって、D-like 準位のエネルギー位置の違いによる捕獲断面積の増減で統一的に説明することは困 難である. Defect type:

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, 堀, 小野, 第 69 回応物学会春季学術講演会 23p-E307-19~20, 2022. [5]土屋, 堀, 小野, 第 83 回応物学会秋季学術講演会 22a-A102-1~2, 2022.





Fig. 2 Dependences of τ_D upon CP_V_{Top} (=V_{LT}+0.17 V, V_{LT}: local threshold voltage near each defect).



Fig. 1 Defect types of samples used in this study.



Fig. 3 Dependences of τ_D upon the occupancy probability of a valence-band-electron at D-like states present in the energy region I and II in Si bandgap.