

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 (1) -両性準位の DOS-

Direct observation of electron capture processes in amphoteric defect states achieved by
charge pumping in individual defects at MOS interface (1) -DOS of the amphoteric states-

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・評価を可能にすると共に、各単一欠陥は 2 電子準位を有し、その CP 電流 (I_{CPi}) は準位位置に依存して $0 \sim 2fq$ (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明らかにした[1]。また、 $I_{CPi}=fq$ (一定) に基づいている従来の CP 理論を本質的に改訂するとともに、単一界面欠陥の 2 電子準位の密度分布 (DOS) を導出し、既報の ESR 結果[2]による P_{b0} センターの DOS (図 1) と酷似していることを示した[3]。

これらの結果に基づき、ドナー型 (D-like) とアクセプタ型 (A-like) 準位の両性 (amphoteric nature) を有する各単一欠陥について、D-like と A-like 準位ペアのエネルギー位置関係を明示できる。例えば、図 1 の既報の DOS を見ると、各ピーク位置の D-like と A-like 準位のペアが多数を占めていると推測させる。実際、このピーク間のエネルギー差は有効相関エネルギーとして妥当との報告もある[4]。しかし、我々が単一欠陥から得た 2 電子準位の DOS は確かにバンドギャップ中心 E_i の ± 0.3 eV 付近に各ピークを有しているが、ピーク位置の D-like 準位とピーク位置の A-like 準位どうしのペアは僅かであり、各ピーク位置の D-like 準位や A-like 準位に対するペア準位はそれぞれ広いエネルギー範囲に分布している。例として、ピーク位置の D-like 準位とペアをなしている A-like 準位の分布を図 2 に示す。

また、我々が得た 2 電子準位の DOS に基づくと、各 D-like 準位と A-like 準位ペアのエネルギー位置が判明しているため、ある D-like 準位が電子を捕獲した場合、その後どのエネルギー位置に A-like 準位が形成されるのかが明確である。多数の P_{b0} センターを一挙に ESR 測定して得られた既報の DOS (図 1) からは、特定の一部の D-like 準位が電子を捕獲した場合に A-like 準位がどのエネルギー位置に形成されるかを予想することは勿論困難である (図 3)。我々の結果からは、例えば、図 4 に示すように、フェルミ準位 E_F がフラットバンド状態に近いような場合であっても、既に全体の約半数の A-like 準位が確定し形成されているといえる。

以上のように、単一界面欠陥を用いた 2 電子準位の評価は有用であり、単一界面欠陥における CP 過程の理解をさらに深めることによって、D-like 準位や A-like 準位における電子捕獲放出の素過程や、D-like 準位が電子を捕獲したことによる A-like 準位の形成過程などを直接観測できる可能性がある。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] B.E. Deal and C.R. Helms, The Physics and Chemistry of SiO₂ and the Si-SiO₂ Interface, Springer Science & Business Media, p. 321, 1989.

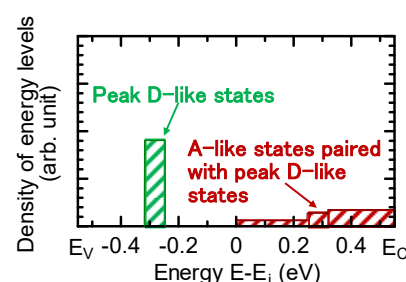


Fig. 2 DOS of the peak D-like states and that of A-like states paired with the D-like states.

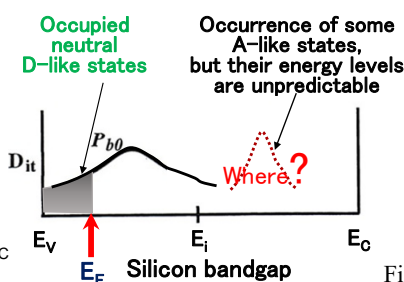


Fig. 3 DOS of P_{b0} centers. A part of D-like states are occupied, but it is impossible to predict where some A-like states occur.

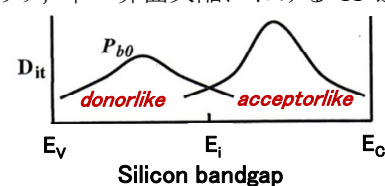


Fig. 1 DOS of P_{b0} centers [2].

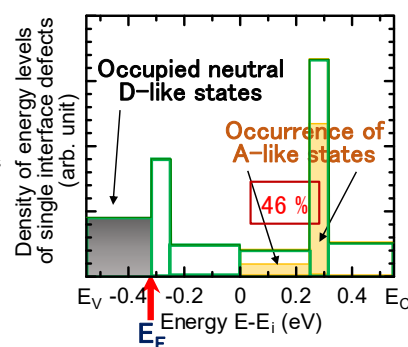


Fig. 4 DOS of D-like and A-like states, obtained from evaluation of individual defects. Almost 50 % A-like states are formed even when the inversion layer is not still formed.