

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 (16) -DOS の分析(II)-

Direct observation of electron capture processes in amphoteric defect states achieved by charge pumping in individual defects at MOS interface (16) -DOS analysis (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

本件では界面欠陥の準位密度 DOS に及ぼす P_{b1} の影響, DOS における 2 つのピーク間の関係性と相関エネルギー U , D-like 準位の深さが A-like 準位の DOS に及ぼす影響について考察する.

前の講演「DOS の分析(I)」で述べたように Si バンドギャップ内の P_{b1} の DOS の有無については未決着ではあるが[1-4], 電気的に活性だとすれば D-及び A-like 準位位置の違いにより図 1(b)に示す欠陥タイプに分類できる (タイプ 10, 11). 図 1(a)は P_{b0} の欠陥タイプであるが, P_{b0} のタイプ 7 と 9 は室温チャージポンピング (CP) によるタイプ判別法では P_{b1} の両タイプと区別できない. したがって, タイプ 7 や 9 とした欠陥の中に P_{b1} が紛れ込んでいる可能性を否定できない. ランダムに検出した 46 個の単一欠陥がすべて P_{b0} と見なしてそのタイプ別欠陥数から得られる P_{b0} の DOS を図 2(a)に示す. また, タイプ 7 や 9 とした欠陥の全数 6 個 (全体の 13%に相当) が実は P_{b1} であったと見なして得られる P_{b0} の DOS を図 2(b)に示す. これらの図の比較から, P_{b0} の DOS 形状への P_{b1} 有無の影響は限定的であることがわかる. しかもタイプ 7 や 9 とした欠陥の全数が P_{b1} であったとは考えにくい. P_{b1} は, P_{b0} を含めた全体のせいぜい 20%程度との ESR による報告[2]があるが, 我々のデータからは 0~数%程度以下が妥当と考えられる (酸化膜形成条件などに依存する可能性はある),

P_{b0} の相関エネルギー U は DOS の double peak 間のエネルギー差として定義され, 0.6~0.7 eV [1,2]であると報告されている. この定義はピーク位置の D-と A-like 準位が主要な対であることを前提にしていると考えられる. 我々は上記 46 個の個々の欠陥について D-と A-like 準位対の準位位置関係をすべて取得している. その結果によると, ピーク位置どうしの対は極めて稀であり, ピーク間には相関が無いことを示している. 従って, ピーク間エネルギー差を U とするのは物理的根拠に欠ける. 対をなす D-と A-like 準位のエネルギー差は実際には 0.2~0.7 eV の広い範囲で様々な値を示している (加重平均としては約 0.6 eV). これは欠陥の電子状態の多様性 (揺らぎ) を反映しているものと考えられる.

図 3 は P_{b0} の A-like 準位の DOS に及ぼす D-like 準位の準位深さの影響を示している. D-like 準位は正に帯電している欠陥に電子が 1 個捕獲された状態(+0)であり, さらに電子 1 個が捕獲された状態(0/-)が A-like 準位である. 伝導帯電子捕獲(+0)の D-like 準位の場合が図 3(a)と(b)であり, 準位が浅いため価電子帯電子捕獲(+0)の D-like 準位の場合が図 3(c)である. 前者と異なり, 後者では A-like 準位がミッドギャップ $E_i+0.3$ eV に局在していることがわかる. D-like 準位の深さによるこの特異的な A-like 準位の形成は, 電子捕獲による欠陥の電子状態遷移を考える際の一つの要件になり得ると考えられる.

本研究の一部は科研費 No. 24K00942 の助成を受けて行われた.

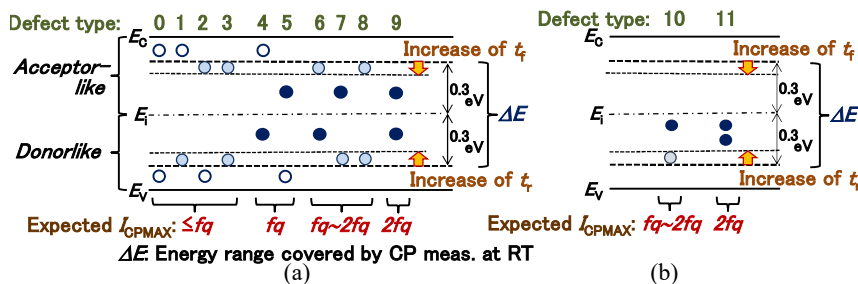


Fig. 1 Classification of (a) P_{b0} , and (b) P_{b1} .

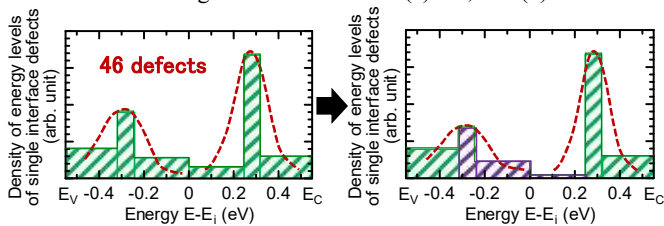


Fig. 2 DOS of P_{b0} , (a) assuming all 46 defects are P_{b0} , (b) assuming P_{b1} for all 6 defects of type 7 and 9.

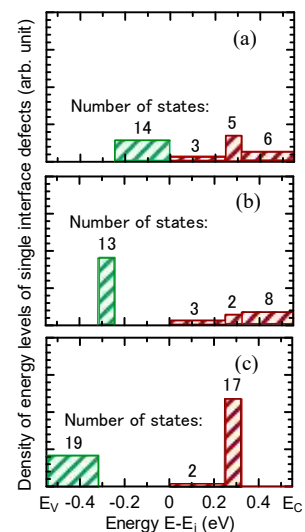


Fig. 3 Influence of level depth of D-like levels on DOS of A-like levels.

参考文献

- [1] A. Stesmans and V. V. Afanas'ev, Phys. Rev. B 57, 10030 (1998). [2] T. D. Mishima et al., IEEE T-NS 47, 3771 (2000).
[3] A. Stesmans and V. V. Afanas'ev, APL 78, 1451 (2001). [4] T. D. Mishima et al., APL 78, 1453 (2001).