

# 単一 MOS 界面トラップの 2 電子準位の相関 I -準位密度分布-

## Correlation between two energy levels of individual MOS interface traps I

静岡電研 ○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

界面トラップの物理はデバイス信頼性のみならず、特性ばらつきや動作安定性の面からも重要であり、デバイスに含まれるトラップの数や物理的位置、および、個々のトラップの物性など原子レベルでの理解が必要になっている。そのような状況の中で、ナノサイズのデバイスを用いて単一トラップの検出とその物性研究が可能な段階に入っており、トラップの電子的振舞いの本質的な素過程を観測可能にして、トラップ物理に新たな視点と展開をもたらすことができると期待される。

我々はこれまでにチャージポンピング (CP) 法を駆使した体系的な界面トラップ評価法を確立し、界面トラップ数のカウンティング技術を確立すると共に、真に単一の界面トラップを評価することによってトラップの本質的な物性評価に成功した[1, 2]：個々の界面トラップは 2 つの電子準位を有し、その CP 電流は従来信じられていた  $fq$  一定 ( $f$ :ゲートパルス周波数,  $q$ :電気素量) ではなく、電子準位のエネルギー位置に依存して  $0 \sim 2fq$  の範囲内で様々な値を示す。また、多数の単一界面トラップの測定から個々の電子準位を求めてエネルギー準位密度分布 (DOS) を導出し、バンドギャップ内に非対称な 2 つのピークがあることを示した。さらに、これらの結果を踏まえて、CP 理論を本質的に改定した。導出した単一トラップの DOS [2]を、 $P_{b0}$  センターの DOS [3]と共に図 1(a)と(b)に示す。これら 2 つの分布は酷似しており、センター 1 つ当たりドナー (D) 型とアクセプタ (A) 型の 2 つの準位を有する  $P_{b0}$  が界面トラップの主な起源であることを強く支持している。

今回、DOS のピーク位置にある A 型準位と対をなす D 型準位のエネルギー位置、および、ピーク位置にある D 型準位と対をなす A 型準位のエネルギー位置を求めた (各々、図 1(c)と(d))。予想に反して、各々ピーク位置にある D 型と A 型準位どうしの対は僅かであることがわかった。 $P_{b0}$  を想定すると、D 型準位に電子が捕獲されることによって A 型準位が確定すると考えられるため、対となる D 型と A 型準位のエネルギー位置には、何らかの物理的な要因による相関があると推測される。図 2(a)および(b)に、D 型と A 型準位の両者が関与している単一トラップの CP 特性例を示す。これらの例のように、電子捕獲過程の変化を示唆していると考えられる "Shoulder" が確認できる場合がある。この shoulder は、ゲートパルスの高周波化やオン時間の減少 (共に電子捕獲時間の短縮化) によって顕在化する。D 型と A 型準位の相関の物理を調べる手掛かりとして、準位対における電子捕獲過程を理解することが有効かもしれない。

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. Nuclear Science **48**, 2131 (2001).

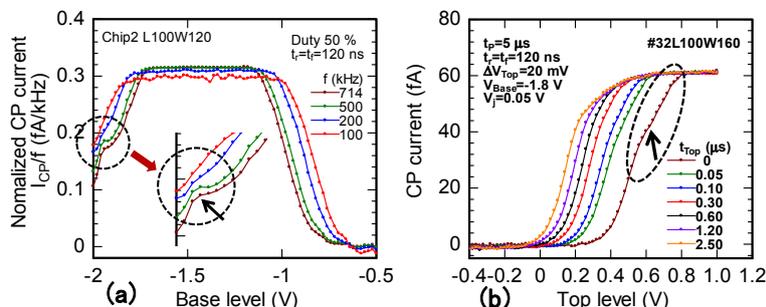


Fig. 2 CP characteristics of single interface traps, (a) dependences of the CP characteristics upon gate pulse frequency, and (b) dependences of variable pulse-height CP characteristics upon on-time ( $t_{top}$ ). A "shoulder" appears following upon (a) the increase of gate pulse frequency, and (b) the decrease of  $t_{top}$ .

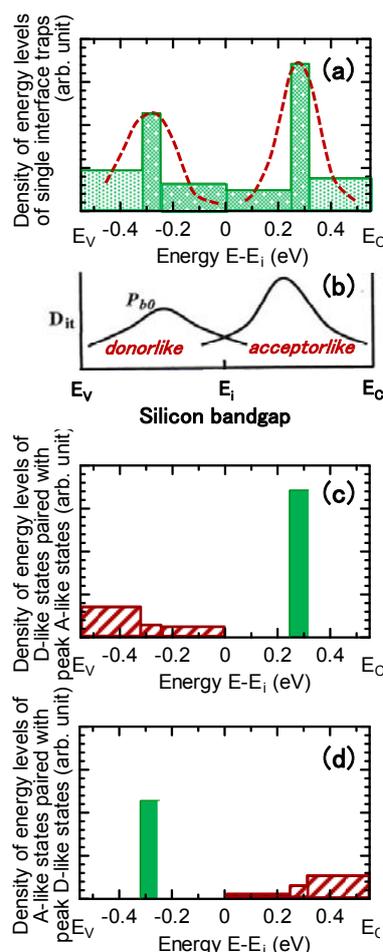


Fig. 1 (a) The density of the states (DOS) of *single* interface traps versus energy from the mid-gap, estimated from our experimental results [2], (b) the schematic illustration of DOS of the  $P_{b0}$  centers [3], (c) DOS of D-like states paired with A-like states at the peak, and (d) DOS of A-like states paired with D-like states at the peak.