

2 トラップ間のチャージポンピング相互作用

Charge Pumping Interaction between Two Traps

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

MOS 系デバイスにおいて、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点からも重要であり、デバイスに含まれるトラップの数、個々のトラップの物理的位置・捕獲断面積・エネルギー準位など原子レベルでの理解が必要になっている。

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[1-3]：界面トラップは1個当たり2つの電子準位を有し、そのCP電流はこれまで信じられていた fq 一定値(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になる。また、多数の単一界面トラップの個々の電子準位を求め、エネルギー準位密度分布(DOS)を導出した結果、バンドギャップ内に2つのピークを持つことがわかった。さらに、これらの結果を踏まえて、従来のCP理論を本質的に改定した。

一方、ESR(Electron Spin Resonance)によるこれまでの研究報告から、界面トラップの正体はSiダングリングボンド(P_b センター：(100)面SiのMOS界面では P_{b0} と P_{b1} の2種が存在するが、 P_{b0} センターが支配的)であり、 P_{b0} はドナー型とアクセプタ型の両性を有し、バンドギャップ内に2つのピークのある準位密度分布を有すると考えられている[4,5]。これらの P_{b0} センターに関する特徴は、上記の単一界面トラップの評価から得た結果とよく一致しており、CP法によって単一 P_{b0} センターの電気的特性の直接測定を可能にしたとも言える。

以上の背景の基に本報告では、一見すると P_{b1} センターからの信号と判断しかねない特性が、実際には2トラップ間のクーロン相互作用に起因していると考えられる例について報告する。

図1は、1界面トラップにおける電子準位対の位置によってトラップのタイプを0~9の10種に分類したものである[2]。これらのトラップは(100)面SiのMOS界面で支配的な P_{b0} センターの特徴と矛盾しない。これまで我々が測定した約40個の界面トラップはこの図の何れかのタイプに分類可能であった。例えば、図2に示す試料では、CP特性のゲートパルス・オン時間 t_{TOP} 、オフ時間 t_{BASE} 依存性などから2つの界面トラップを含むと判定できたもので、ゲートパルス立上り時間 t_r 依存性と立下り時間 t_f 依存性から、この2つのトラップはタイプ6と9であると判定できる。

図3に示した試料は、同様に2つの界面トラップを含んでいると判定できたものであり、 t_r および t_f 依存性から、1つのトラップ(トラップAとする)は $2fq$ のCP電流を示すタイプ9であると判定できる。他方のトラップ(トラップBとする)は最大CP電流が $1.4fq$ であり2電子準位双方からの寄与を示している。しかし、 t_r 依存性が無く、 t_f 増大によって $0.8fq$ にまで減少している。これらのことから、トラップBの2つの電子準位の両方が、CP法で検出できるエネルギー範囲 ΔE (図1参照)の下端付近に存在していると仮定できる。これは、2電子準位の両方がバンドギャップ中心の下方に存在するとする P_{b1} センターの特徴[5]と一致するように思われる。しかし注目すべきは、CP電流の減少が $t_f > 800$ nsで飽和している点である。この飽和は上記の、2電子準位が共に ΔE 下端付近に存在するとした仮定と矛盾する。結論として、トラップBはタイプ7であり、 $t_f > 800$ nsでのCP電流はアクセプタ型準位のみからの電流であり、 fq ではなく $0.8fq$ にまで減少したのはトラップAとのクーロン相互作用に起因していると考えると矛盾が無い。

本研究はJST CREST(JPMJCR1774)の助成を受けて行われた。

参考文献

- [1] T. Tsuchiya et al., JJAP **49**, 064001 (2010).
- [2] T. Tsuchiya and Y. Ono, JJAP **54**, 04DC01 (2015).
- [3] T. Tsuchiya and P. M. Lenahan, JJAP **56**, 031301 (2017).
- [4] P. M. Lenahan and P. V. Dressendorfer, APL **44**, 96 (1984).
- [5] P. M. Lenahan et al., IEEE T-NS **48**, 2131 (2001).

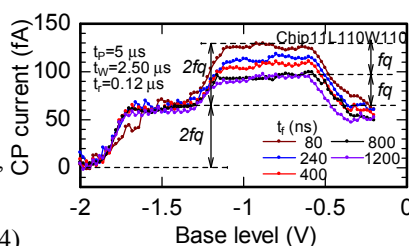


Fig. 2 CP characteristics showing a typical feature of a P_{b0} center.

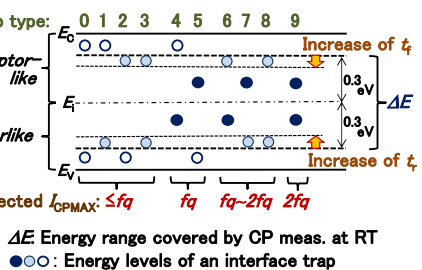


Fig. 3 CP characteristics showing a seeming feature of a P_{b1} center.