

## 単一界面トラップの準位密度分布：“U字型”分布は定説か？

### Distribution of the energy levels of *single* interface-traps: Is it really “U-shaped”?

島根大総理工<sup>1</sup>, ペンシルベニア州立大<sup>2</sup> ○土屋敏章<sup>1</sup>, P. M. レナハン<sup>2</sup>

Shimane Univ.<sup>1</sup>, Pennsylvania State Univ.<sup>2</sup>, T. Tsuchiya<sup>1</sup>, P. M. Lenahan<sup>2</sup>

E-mail: tsuchiya@ecs.shimane-u.ac.jp

これまで、チャージポンピング(CP)法[1]を用いてMOS界面トラップ数のカウンティング手法を確立し、単一界面トラップからのCP電流 $I_{CP}$ を体系的に評価することによって、 $I_{CP}$ はトラップ1個当たり2つのエネルギー準位が関与した電子捕獲放出過程によることを明らかにした[2]。また、この2つのエネルギー準位の位置に依存して、 $I_{CP}$ は $0 \sim 2fq$  ( $f$ :ゲートパルス周波数,  $q$ :電子電荷)の様々な値を取ることを明らかにし、 $I_{CP}=fq$ 一定であることを前提とした従来のCP理論を根底から改正すると共に、単一界面トラップのエネルギー準位密度分布(DOS)を粗くではあるがはじめて実験的に導出した[3, 4]。

この単一トラップのDOSを、 $P_{b0}$ センターのDOS[5]と共に図1に示す。これら2つの分布の様子は酷似しており、1つのセンター当たりドナー型とアクセプタ型の2つのエネルギー準位を有する $P_{b0}$ センター[6]が界面トラップの起源であることを強く支持している。しかし、界面トラップのDOSはいわゆる“U字型”を有しているとの定説とは異なっており疑問が残る。

このような視点で、MOS界面トラップのDOSに関する多くの報告例を再調査したところ、(111)か(100)面のSi基板MOSに対して、電子線や $\gamma$ 線照射後、あるいは、FNやBTストレス後のDOSの変化を、ほとんどがhigh/low- $f$ CV法を用いて評価している。この評価法で信頼できるDOSのエネルギー準位の範囲は $E_V+0.2 \text{ eV} \sim E_V+0.9 \text{ eV}$ であるとの指摘がある[7]。

本研究では、(100)Si基板上のnMOSFET ( $L=0.3 \mu\text{m}$ ,  $W=20 \mu\text{m}$ ,  $T_{ox}=6.5 \text{ nm}$ )を用いて、ホットキャリア・ストレス(HCS)前後における界面トラップのDOSの変化をCP法で評価した(測定温度範囲: 200~393 K)。図2に示す結果から、図3の模式図で示すように、初期状態でも“U字型”準位(例えばDIGSモデル[8])より、 $P_{b0}$ センター準位が支配的であり、HCS後は $P_{b0}$ センターの発生でこの傾向がより顕著になっている。ただし、室温測定範囲に限ると、 $P_{b0}$ センターが支配的でも見かけ上は“U字型”になる。謝辞 本研究はJSPS科研費26289105の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] G. Groeseneken et al., IEEE Trans. Electron Devices **31**, 42 (1984).
- [2] T. Tsuchiya and Y. Ono, Jpn. J. Appl. Phys. **54**, 04DC01 (2015).
- [3] 土屋, 小野, 第62回応用物理学会春季学術講演会予稿 11p-A23-8 (2015).
- [4] 土屋, 第63回応用物理学会春季学術講演会予稿 20a-S422-1 (2016).
- [5] P. M. Lenahan et al., IEEE Trans. Nuclear Science **48**, 2131 (2001).
- [6] P. M. Lenahan and P. V. Dressendorfer, Appl. Phys. Lett. **44**, 96 (1984).
- [7] G. J. Gerardi et al., Appl. Phys. Lett. **49**, 348 (1986).
- [8] H. Hasegawa and H. Ohno, J. Vac. Sci. Technol. **B4**, 1130 (1986).

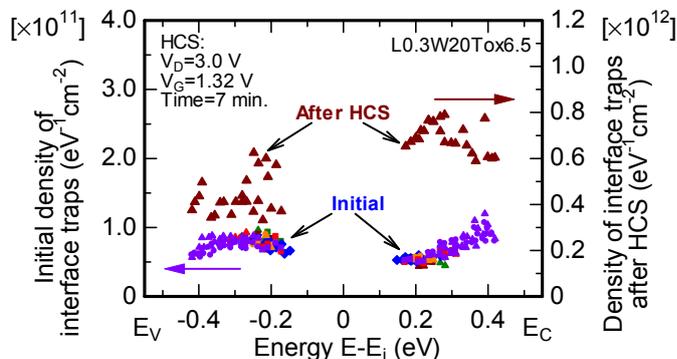


Fig. 2 Interface-trap distributions before and after hot-carrier stress (HCS), measured by the CP method. HCS:  $V_D=3.0 \text{ V}$ ,  $V_G=1.32 \text{ V}$ , stress time=7 min.

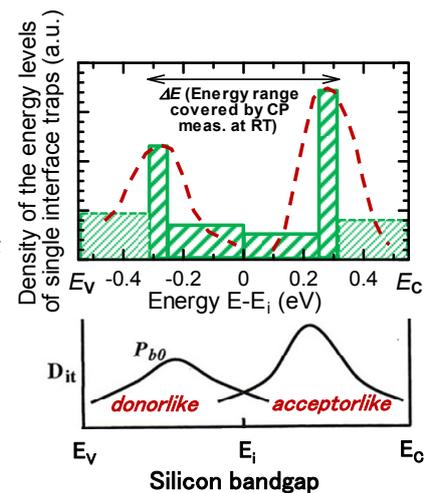


Fig. 1 The density of the states (DOS) of *single* interface traps versus energy from midgap, estimated from our experimental results, and the schematic illustration of DOS of the  $P_{b0}$  centers [5].

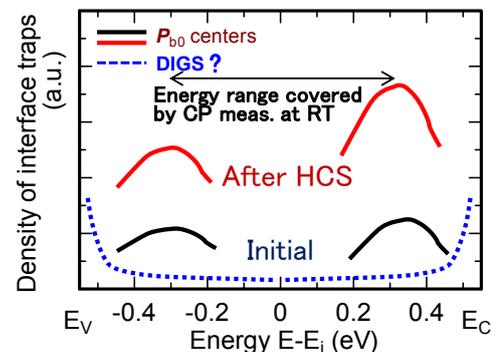


Fig. 3 Schematic illustrations of each component from  $P_{b0}$  centers and “U-shaped” states (DIGS) in the interface-trap distributions, supposed from the results of Fig. 2.