

チャージポンピング電流の実時間計測による電子放出、再結合過程の直接観測

Direct observation of electron emission and recombination processes by time domain CP method

○堀 匡寛¹、渡辺時暢¹、土屋敏章²、小野行徳¹ (1. 富山大工、2. 島根大総合理工)

○Masahiro Hori¹, Tokinobu Watanabe¹, Toshiaki Tsuchiya², Yukinori Ono¹ (1.Univ. of Toyama, 2.Shimane Univ.)

E-mail: hori@eng.u-toyama.ac.jp

MOSFET の界面欠陥評価に広く用いられているチャージポンピング (CP) 法では、時間平均された定常電流 (CP 電流) のみを計測しており、その素過程 (電子の捕獲、放出、正孔との再結合) の情報は覆い隠されてしまっている。そのため、これらの素過程に対する十分な理解は得られておらず、近年その評価法自体に対して疑義が生じている[1]。我々は、CP 理論の検証と再構築を目指し、CP 電流の実時間計測[2,3]による素過程の直接観測を行っている。本報告では特に、電子の放出過程と正孔との再結合過程を時間スケールで直接観測したことを報告する。

ゲートにパルス電圧を印加したときの電子 (ソース・ドレイン) 電流と正孔 (基板) 電流とを高速電流アンプを用いて同時に計測した (図 1)。本研究では、パルスの立ち下がり (反転から蓄積状態) における電流に着目した。

電子電流 (赤線) と正孔電流 (青線) の測定結果を図 2 に示す。それぞれの電流において特徴的なピーク (図中の(A)と(B)) が観察された。これらは、界面欠陥に捕獲された電子の伝導帯への放出と、価電子帯の正孔との再結合に起因するものである。ピーク B の生じる電圧とフラットバンド電圧(V_{fb})とを比較すると、ピーク B は V_{fb} 以前に生じていることがわかる。このことは、価電子帯に熱励起された正孔が少数個でも、欠陥に捕獲された電子との再結合を完了するには十分であるということを示している。

図 2 で観察された電流のピークを理想的な電流曲線 (図 2 の黒線) で差し引いた後の結果を図 3 に示す。電子放出過程と再結合過程に起因するピーク A (赤線) と B (青線) を抽出した。ピーク A に着目すると、ピーク A は A1 (点線) と A2 (一点鎖線) の 2 つの要素で構成されていることがわかった。このことは、実時間 CP 計測法を用いることで、異なる 2 種類の欠陥を分離できることを示唆している。図中のピークの面積は、それぞれの素過程に寄与する電子数を反映している。異なるパルスの立ち下がり時間において放出過程と再結合過程に寄与する電子数を見積もり、その相関性を調べたところ、ピーク A における 2 つの要素のうち、一方のみ (A1) が CP 電流に寄与していることが分かった。

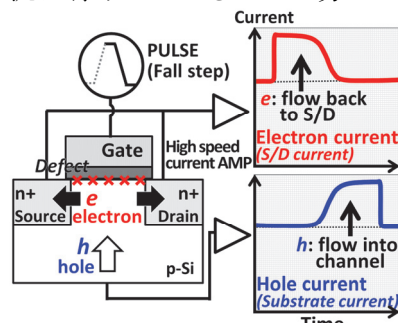


Fig. 1: Measurement setup for the time-domain CP method.

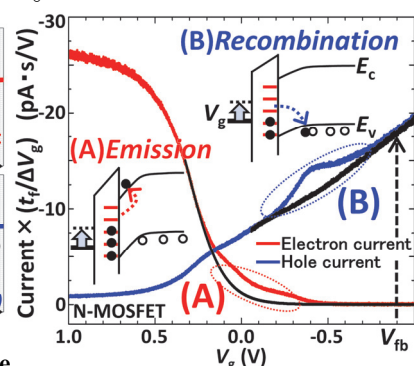


Fig. 2: Measurement results.

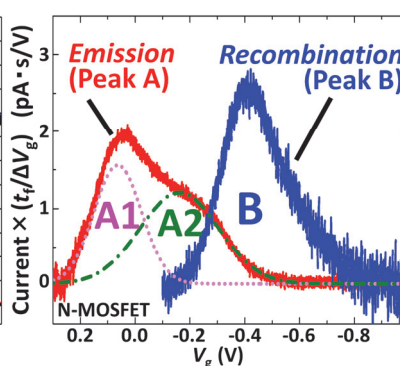


Fig. 3: Two peaks after subtraction.

[1] T. Tsuchiya, *Appl. Phys. Express* **4**, 094104 (2011). [2] M. Hori et al., *Appl. Phys. Lett.* **106**, 261602 (2014).

[3] M. Hori et al., to be published in *Appl. Phys. Lett.*

本研究の一部は、科学研究費補助金(Nos. 23226009, 24360128, 25289098, 25600015, 25706003, 26289105)、ほくぎん若手研究者助成、村田財団研究助成の助成を受けて行われた。