シリコン MOS 界面のチャージポンピング EDMR における信号強度の温度依存性

Temperature dependence of charge pumping EDMR signal on silicon MOS interfaces

静大電研 ⁰堀 匡寛, 土屋 敏章, 小野 行徳 Shizuoka Univ., [°]Masahiro Hori, Toshiaki Tsuchiya, Yukinori Ono E-mail: hori.masahiro@shizuoka.ac.jp

チャージポンピング(CP)法[1-3]は、MOSFETの界面欠陥評価のために広く用いられている手法である。同手法は、ゲートへ高周波電圧を印加することで生じる再結合(CP)電流から、界面欠陥の密度やエネルギー分布といった欠陥の電気的性質を解析するものである。しかしながら、同手法は欠陥の磁気的(スピンの)性質を解析できず、そのため CP 電流に寄与する欠陥の種類

(化学結合の構造)を同定できていなかった。また、CPにおける詳細な再結合過程も明らかでなかった。これらの課題に対して、我々はこれまでにCP 法と電子スピン共鳴法とを組み合わせた CP-EDMR (Electrically-detected magnetic resonance)法を立ち上げ[4-6]、同手法をシリコン MOS 界面に適用し、主要な界面欠陥(P_{b0} と E'センタ)が CP 過程に寄与していることを明らかにした[7]。本報告では、CP-EDMR の信号強度の温度依存性を取得し、その解析からスピンに依存する再結合過程を明らかにしたことを報告する。

EDMR は、電子スピン共鳴をトランジスタの電流の変化として検出する手法である。ここでは CPを電子スピン共鳴下で行うため、ゲートに高周波パルス電圧を印加し、反転状態と蓄積状態と の繰り返しで生じる界面欠陥を介した CP 電流 I_{cp} をモニターする。シリコン nMOSFET (FN スト レス印加により欠陥密度は $N_{it} \sim 10^{11}$ cm⁻²)を電子スピン共鳴装置 (X バンド, 10GHz) に挿入し、 磁場を掃引して電子スピン共鳴に伴う電流変化 ΔI_{cp} を検出した。測定温度 T は、27K から 300K とした。

図 1a 左は、*T* = 27 K での測定結果である。 電子スピン共鳴に伴う CP 電流の変化 Δ*I*_{cn}

(CP EDMR 信号)を観測した。以前報告 したように[7]、この信号は3つのピークで 構成されており、信号の起源は主要な界面 欠陥(P_{b0} 、E'センタ)、および伝導帯近傍 の浅い準位(Shallow state, SS)である。

図 la には、T = 60 K, 300 K での測定結果 も示している。これらの信号強度と温度の 関係を図 lb, lc にプロットした。低温下(T< 40 K)では温度の上昇とともに、3 つの信 号の強度は一様に小さくなっていること が分かる($-T^{2.5}$)。一方、高温下(T > 80 K) では SS は観測されなかった。

詳細な解析については当日の発表にて 報告するが、低温下(T < 40 K)では欠陥の電 子スピンと SS の電子スピンがペアを組み、 高温下(T > 80 K)では欠陥中の2電子スピ ンがペアを組むというモデルで、スピンに 依存した再結合過程を説明できることが 分かった[8]。このことは、 P_{b0} と E'センタを 介した CP 過程は、1 つのサイトに対して 2 つの電子が捕獲される2電子 CP 過程に従う ことを示している。

Groeseneken et al., *IEEE Trans.* ED 31, 42 (1984).
M. Hori et al., *Appl. Phys. Lett.* 105, 261602 (2014).
M. Hori et al., *Appl. Phys. Lett.* 106, 041603 (2015).
H. MEE寛他, 第 78 回秋季応物学会 7a-PB3-9 (2017).
本研究は、科研費補助金(Nos. 16H02339, 16H06087.)



Fig. 1. (a) CP EDMR signals at T = 27, 60 and 300 K. The signal is composed of three peaks; P_{b0}(red), E'(green), and shallow state(blue). (b),(c) Temperature dependence of signal intensity (height) for (b) P_{b0} and E' and for (c) SS, respectively. Inset of Fig.1(c) shows the ratio of $\Delta I_{cp}(SS)$ to $\Delta I_{cp}(P_{b0}) + \Delta I_{cp}(E')$.

[5]堀匡寬他, 第 65 回春季応物学会 18a-G203-1 (2018). [6]M. Hori et al., *Appl. Phys. Express* **10**, 015701 (2017). [7]堀匡寬他, 第 66 回春季応物学会 10a-S221-9 (2019). [8]M. Hori et Y. Ono, *Phys. Rev. Appl.* in press (2019).

本研究は、科研費補助金(Nos. 16H02339, 16H06087, 17H06211)、JST CREST(JPMJCR1774)の助成を受けて行われた。