

チャージポンピング EDMR 法を用いたシリコン酸化膜界面欠陥の検出

Charge-pumping electrically-detected magnetic resonance for detection of silicon dangling bonds

静大電研 ○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法[1-3]は、MOS 界面の欠陥を解析するために広く用いられている手法である。同手法は、界面欠陥の電氣的性質（欠陥密度や状態密度分布）を解析できるものの、その磁氣的性質（化学的構造や起源）までは明らかにできない。本研究では、「チャージポンピング法」に「電子スピン共鳴法」を組み合わせたチャージポンピング EDMR 法[4,5]を立ち上げ、これをシリコン MOS トランジスタに適用した。ここでは、チャージポンピング法で検出されるシリコン酸化膜界面欠陥の種類の同定に初めて成功したことを報告する。

図 1(a)にチャージポンピング EDMR 法の測定系を示す。EDMR(Electrically detected magnetic resonance)法は、電子スピン共鳴を（マイクロ波の吸収としてではなく、）トランジスタ電流の変化として検出する手法である。ここではチャージポンピングモードで EDMR を行うため、ゲートに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電子正孔再結合電流（電荷転送電流）をモニターする（図 1(b)）。N 型 MOSFET（欠陥密度は FN ストレスにより $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ ）を配線した状態で電子スピン共鳴装置（X バンド, 10GHz）[6]のキャビティに挿入し、磁場を掃引して電子スピン共鳴に伴う電流の微小変化をロックイン検出した。

測定温度 30K における結果（ロックイン検出による微分信号）を図 2(a)に示す。電子スピン共鳴に伴うチャージポンピング電流の変化（チャージポンピング EDMR 信号）が観測された。これを積分しピーク分離したところ、3つのピークで構成されていることがわかった（図 2(b)）。それぞれの g 値から、信号の起源は界面に存在する P_{b0} センタ（赤線）、 P_{b1} センタ（緑線）、および界面近傍の酸化膜中に存在する E' センタ（青線）であると考えられる。また、その両端に小さなピーク（丸囲み）も検出しており、これは水素原子の核スピンと捕獲電子スピンとの相互作用による超微細構造信号（74 Gauss・ダブルット）であると考えられる。以上のように、本手法をシリコン MOS トランジスタに適用することで、チャージポンピング法で検出される界面欠陥の種類を初めて同定した。

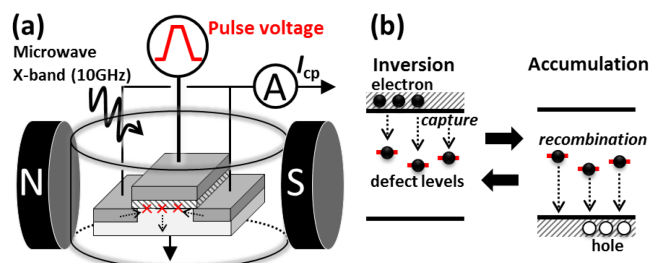


Fig.1(a) Measurement setup for charge pumping EDMR. N-type MOSFET fabricated on a (100) silicon was used for a test device. The defect states of $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ was induced by FN stress. (b) Band diagrams for the CP processes: electron capture and recombination. Closed and open circles depict electrons and holes, respectively.

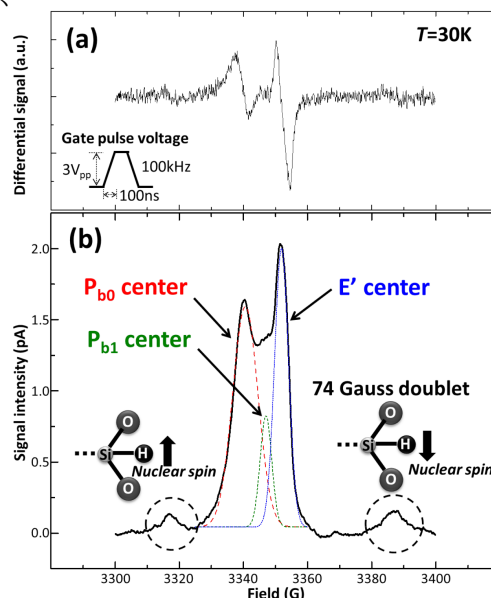


Fig.2 EDMR signal in the CP mode at 30K. (a) Output (differential) and (b) integrated signals.

[1]G. Groeseneken et al., *IEEE Trans. ED* **31**, 42 (1984).

[3]M. Hori et al., *Appl. Phys. Lett.* **106**, 041603 (2015).

[5]M. Hori et al., *Appl. Phys. Express* **10**, 015701 (2017).

[2]M. Hori et al., *Appl. Phys. Lett.* **105**, 261602 (2014).

[4]堀 匡寛他, 第 77 回秋季応用物理学会 14a-B13-5 (2016).

[6]M. Hori et al., *Appl. Phys. Lett.* **106**, 142105 (2015).

本研究の一部は、科学研究費補助金(Nos. 15K13970, 16H02339, 16H06087)の助成を受けて行われた。