

Al/SiO₂/GeO₂/Ge ゲートスタックに於ける界面ダイポールの生成と消失

Creation and annihilation of interfacial dipoles in Al/SiO₂/GeO₂/Ge gate stacks

九大・大学院総合理工学府¹, 九大・産学連携センター²,

永富 雄太¹, 建山 知輝¹, 坂口 大成¹, 山本 圭介², 王 冬¹, 中島 寛²

I-Eggs, Kyushu Univ.¹, KASTEC, Kyushu Univ.², Yuta Nagatomi¹, Tomoki Tateyama¹,

Taisei Sakaguchi¹, Keisuke Yamamoto², Dong Wang¹, Hiroshi Nakashima²

E-mail: 3ES14011E@s.kyushu-u.ac.jp

1. はじめに

我々グループは, Al/SiO₂/GeO₂/Ge スタックを熱処理すると, 界面準位とボーダトラップの密度が低減すること[1], ゲートスタック中に Al 原子が導入され, 負の固定電荷密度が増加すること, その導入量を制御して界面電荷の総量をゼロに近づければ, p-MOSFET の正孔移動度が向上すること, を明らかにしてきた[2]. しかし, Al-PMA によって誘起される V_{fb} および V_{TH} の大きな正方向シフトは, 負の固定電荷密度の増加だけでは説明ができない. 今回, Al/SiO₂/GeO₂/Ge と Al/SiO₂/Si のゲートスタックを作製し, V_{fb} -EOT との関係から界面ダイポールの生成, Al-PMA によるダイポールの消失, を調査したのでその結果を報告する.

2. 試料作製

使用した p-形(100)の Ge および Si 基板の抵抗率はそれぞれ 0.38 および 8.8 Ωcm である. 基板を化学洗浄後, bilayer passivation(BLP)法によって 0.5 nm-SiO₂ を堆積した. BLP 法は, 基板温度 350°C, Ar/O₂ 雰囲気で行った. BLP 法では, SiO₂ スパッタ堆積と同時にプラズマ酸化が生じ, SiO₂/Ge(Si)界面に酸化膜の GeO₂(SiO₂)が成長する[1]. 続いて同一真空中(室温)で膜厚を 5~20 nm の範囲で変えて SiO₂ を堆積し, 400°C-30 min の熱処理を施した. その後, 100 nm-Al を真空蒸着し, 300~400°C の温度範囲で 30 min の Al-PMA を行い, 電極を加工して MOSCAP を作製した. 比較として Al-PMA 無しの試料も作製した.

3. 電気特性

作製した全ての Ge-MOSCAP において典型的な C-V 特性が得られた. フラットバンド電圧(V_{fb})を Al-PMA 温度の関数として Fig. 1 に示す. Al-PMA 温度の増加に伴い, V_{fb} が正方向へシフトしている. この挙動は文献[1-2]の結果と同じであるが, 1 V 以上の大きな V_{fb} シフトを負の固定電荷密度の増加だけで説明することはできない. 他の要因として, ゲートスタック中での界面ダイポールの生成が考えられる. Fig. 2 に Al-PMA を施していない Si および Ge-MOSCAP の V_{fb} -EOT プロットを示す. 切片から得られた Al の実効仕事関数($\Phi_{Al, eff}$)は, Si で 4.31 eV, Ge で 3.55 eV と得られた. Si では Al の仕事関数値(4.1~4.3 eV)と良く一致するが, Ge では大きく異なる. この結果は, SiO₂/GeO₂ 界面付近に 0.7~0.8 eV の界面ダイポールの生成を示唆している. Fig. 3 に Al-PMA を施した Si および Ge-MOSCAP の V_{fb} -EOT プロットを示す. Si-MOSCAP では, Al-PMA の温度によらず Al の仕事関数値と一致した $\Phi_{Al, eff}$ が得られている. このことから, 熱処理に伴い Al/SiO₂ 界面が Al/AlO_x/SiO₂ に変化し, ダイポールが生成されるとの仮説は否定される. 即ち, PMA による Al/SiO₂ 界面でのダイポール生成はないと結論できる. 一方で, Ge-MOSCAP では Al-PMA 後の $\Phi_{Al, eff}$ は Al の仕事関数値と一致している. これは, PMA 無しの Ge-MOSCAP で生成した SiO₂/GeO₂ 界面でのダイポールが, Al-PMA によって消失したことを示唆している. 従って, Fig. 1 の V_{fb} 変化は, Al-PMA 処理前に生成されていた SiO₂/GeO₂ 界面ダイポールが 300°C の Al-PMA によって消失し, Al-PMA 温度の増加に伴い, ゲートスタック中への Al 導入量が増加して負の固定電荷密度が増加したと解釈される.

参考文献: [1] K. Hirayama et al., JJAP. 50 (2011) 04DA10. [2] 永富他, 第 63 回応用物理学会春季学術講演会.

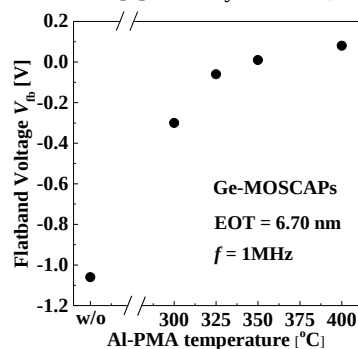


Fig. 1 V_{fb} plots as a function of PMA temperature.

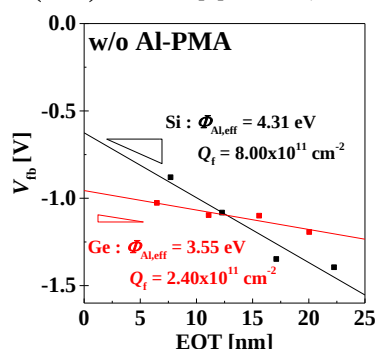


Fig. 2 V_{fb} -EOT plots of Si- and Ge-MOSCAPs without Al-PMA.

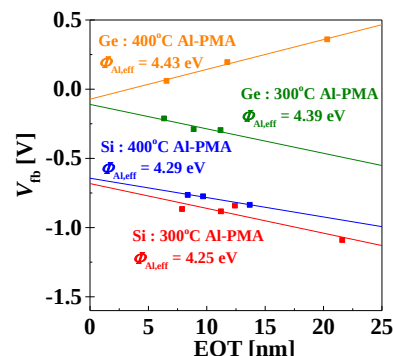


Fig. 3 V_{fb} -EOT plots of Si- and Ge-MOSCAPs with Al-PMA.