

Al₂O₃/SiO₂ 界面のダイポール層の繰り返し構造を利用した 大きなフラットバンド電圧シフト(>1 V)

Large flatband voltage shift (>1 V) induced by the multiple dipole layers in Al₂O₃/SiO₂ repeated stacks

東京大学大学院工学系研究科 マテリアル工学専攻 ◯鎌田 啓伸, 喜多 浩之

Department of Materials Engineering, The University of Tokyo, ◯H. Kamata and K. Kita

E-mail: kamata@scio.t.u-tokyo.ac.jp

【背景および目的】 一部の堆積ゲート絶縁膜では堆積膜/SiO₂ 界面にダイポール層が形成され^[1]、フラットバンド電圧(V_{fb})のシフトをもたらす。例えば Al₂O₃/SiO₂ 界面では+0.6 V ほど、Y₂O₃/SiO₂ 界面では-0.3 V ほどのシフトを生じると報告されているが、その制御範囲は限定的である。これに対し、ダイポール層をつくる界面を繰り返し積層しダイポール効果を重ね合わせることで、より大きな V_{fb} シフトが実現できる可能性がある。これは例えばパワー MOSFET において必要とされる高いしきい電圧を、低いドーパ濃度の基板上で実現する際に応用できると期待される。そこで本研究では、複数のダイポール層を積層し、MOS キャパシタ上で+1 V 以上の V_{fb} シフトを実証することを目的として実験を行った。

【実験手順】 Fig. 1 の構造における各絶縁膜界面でのダイポール効果を検証するため以下の①から④の順に逐次絶縁膜を追加し、各段階について Au 電極を真空蒸着し CV 測定により V_{fb} を決定した。①: p 型 Si 上に熱酸化 SiO₂ 膜 5.4 nm を成長した。②: Al₂O₃ 膜 3.0 nm をスパッタリングにより製膜し 800°C にて 0.1%O₂+N₂ 中でアニールを行った。③: EB 蒸着により Si を蒸着し 800°C にて 100%O₂ 中で 30 min 酸化することで、SiO₂ 膜 3.0 nm を成長させた。④: さらに②と同様に Al₂O₃ を製膜した。ただしここでは、最上部の Al₂O₃ の膜厚を約 2-7 nm の範囲で変化させることで固定電荷の影響を推定した。最後に 400°C にて 1% H₂ 雰囲気中で 5 min の FGA を行った。

【結果および考察】 各サンプルの V_{fb} を Fig. 2 に示す。①と②の比較により、Al₂O₃ を SiO₂ 上に製膜すると V_{fb} が 0.5 V ほど正にシフトすることがわかり、その強度が先行研究の結果と同程度であることから Al₂O₃/SiO₂ 界面でダイポール層が形成されたと考えられる。一方、②と③の比較から SiO₂ を Al₂O₃ 上に製膜した時はほとんど V_{fb} が変化しなかった。成膜方法によっては SiO₂/Al₂O₃ 界面では逆向きのダイポールが生じることも報告されているが^[2]、本研究では界面の混合の影響^[3]などにより生成しなかったと考えられる。また、③から④において V_{fb} は 0.7 V ほど正にシフトしたが、これは再び Al₂O₃/SiO₂ 界面でダイポール層が形成されたことによるものと考えられる。ここで、④の最上部の Al₂O₃ の膜厚を変化させたときの V_{fb} を Fig. 3 に示す。 V_{fb} の膜厚依存性には大きく分けて二つの領域があることがわかる。膜厚が 4 nm 以下の領域では V_{fb} は次第に大きくなったが、これはこの領域では膜厚の増加とともにダイポール層が徐々に形成される過程が観察されたと考えられる。約 4 nm でダイポール層が完成すると、それ以上の領域では直線的な V_{fb} の低下が見られた。これは絶縁膜界面の正味の固定電荷が正であるためであると考えられる。従って観察された正の V_{fb} シフトは固定電荷による影響では説明できない。このように複数のダイポール層による V_{fb} シフトの効果の重ね合わせによって V_{fb} の正方向の 1 V 以上のシフトが可能であり、 V_{fb} の制御範囲が拡大できることが実証された。尚、本研究の一部は JST 研究成果最適化プログラム A-STEP 及び日本学術振興会科研費補助金の助成により行われた。

【参考文献】 [1] Y. Yamamoto *et al.*, *JJAP* **46**, 7251 (2007). [2] S. Hibino *et al.*, *JJAP* **51**, 081303 (2012). [3] J. Fei *et al.*, *SSDM2015* (Sapporo).

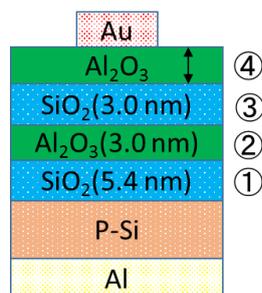


Fig.1. The schematic of the samples.

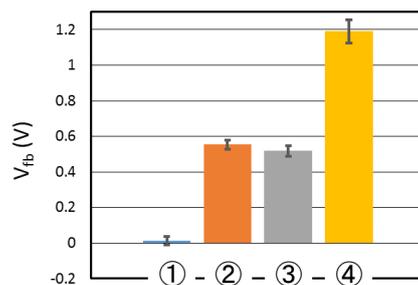


Fig.2. V_{fb} of samples ① SiO₂/Si, ② Al₂O₃/SiO₂/Si, ③ SiO₂/Al₂O₃/SiO₂/Si, ④ Al₂O₃(>4 nm)/SiO₂/Al₂O₃/SiO₂/Si.

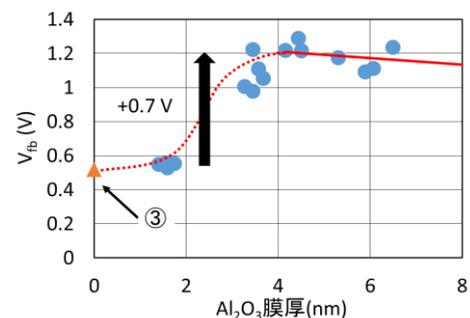


Fig.3. Top Al₂O₃ thickness dependence of V_{fb} for ④ shown in Fig.1.