

温度変動に伴う酸化膜キャパシタの蓄積電荷量の変動に対する 界面ダイポール層の温度依存性の寄与の検証

Contribution of temperature dependence of interface dipole layer
to variation of charge stored on capacitors induced by temperature change
東京大学大学院工学系研究科マテリアル工学専攻 ○濱口 高志、喜多 浩之

Dept. of Materials Engineering, The Univ. of Tokyo, ○Takashi Hamaguchi and Koji Kita

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

[背景] High- k 材料および SiO_2 のうちいくつかの組合せでは界面ダイポール層強度に比較的大きな温度依存性(2-3mV/K)が見られる^{[1][2]}。その応用例として、我々は酸化膜キャパシタから温度変動下で変位電流を外部へ取り出す環境発電手法を提案し、 V_{FB} の温度係数が大きい系で温度変動時に流れる変位電流量が増大する結果を報告した^[3]。しかしそれが界面ダイポール層の温度依存性に起因するのか、固定電荷密度の温度依存性の効果に起因するのかは未検討であった。そこで今回は界面ダイポール層の温度依存性の効果が温度変動に伴う酸化膜キャパシタの蓄積電荷量の変動に寄与することを検証した。

[実験] (i)Al/熱酸化 SiO_2 /p-Si と(ii)Al/ Al_2O_3 /SiO₂/p-Si の2種類の構造のMOSキャパシタについて、 SiO_2 膜厚の異なる試料を各々作製した。試料(i)については熱酸化 SiO_2 の形成後、試料(ii)についてはスパッタリング法により Al_2O_3 を成膜した後に 800°C の 0.1% O_2 雰囲気中で PDA を行った。1MHz の CV 特性より各試料の V_{FB} を室温(24°C)から 54°C までのいくつかの温度で決定し、QSCV 特性よりゲート電圧を 0V に保持した際の電気容量(C_{OV})を決定した。試料の周囲を金属製の箱で覆い、その上からドライヤーで温風を当てることで試料の周囲の温度が変動する環境を疑似的に構築し、温度変動に伴う蓄積電荷の変動量を測定した。この時表面電極をフェムトアンメータに接続し、裏面電極と共に接地させた。なお MOS キャパシタの温度は近傍に設置した熱電対により測定した。

[結果] 試料(i)の1つに 0V を印加した状態で室温から 54°C まで温度変動(点線)を与えた際に得られた正味の変位電流密度の経時変化(実線)を Fig.1 に示す。昇温間にこのキャパシタから流出した単位面積あたりの電荷量 ΔQ は Fig.1 中の破線内の面積で与えられる。一方で各試料における室温(24°C)と 54°C での V_{FB} の差分を ΔV_{FB}^T とすると、室温から 54°C まで昇温した間にキャパシタから流出する電荷密度の期待値は $C_{\text{OV}} \times \Delta V_{\text{FB}}^T$ で与えられる。Fig.2 に示すように全ての試料で実測値 ΔQ と期待値がオーダーで一致したことから、温度変動に伴う V_{FB} の変動量に応じた蓄積電荷量の変化が計測できているものと考えられる。ここで ΔV_{FB}^T の成分には、それぞれ温度変動に伴い生じる(a) SiO_2 /Si 界面ないし Al_2O_3 /SiO₂ 界面の固定電荷密度の変動の効果、(b) Al の仕事関数と Si のフェルミ準位の差の変動量、(c) Al_2O_3 /SiO₂ 界面ダイポール層強度の変動量、が存在する。固定電荷密度の変動量を相殺する電荷がキャパシタに流入すると考えると、観測される ΔQ への(a)の寄与はキャパシタンスによらず一定になる。一方で(b)および(c)はキャパシタンスとの積に比例して ΔQ に寄与する。特に ΔQ の C 依存性の傾きは(c)の効果のために試料(ii)の方が大きくなるべきである。実際に各試料で観測された ΔQ の値を Fig.3 に示す。試料(i)については ΔQ のばらつきが大きいため C 依存性の傾きを決定することはできないが、試料(ii)におけるその傾きは、室温付近の温度域における Al_2O_3 /SiO₂ 界面ダイポール層強度の温度係数 (~1mV/K)^[1]より求めた(c)と計算値から得られた(b)との和で与えられる傾きと同程度であった。以上より、 Al_2O_3 /SiO₂ 界面ダイポール層の温度依存性の効果が温度変動に伴うキャパシタの蓄積電荷量の変動に寄与することが示唆された。これより温度変動下でキャパシタに流れる変位電流を外部へ取り出す発電手法では、界面ダイポール層の温度依存性の効果を利用できると期待してよい。

[参考文献] [1] S. Nittayakasetwat *et al.*, 2017 秋季応用物理学会(5p-C11-3). [2] 濱口, 喜多, 2018 春季応用物理学会(17a-F206-9).

[3] 濱口, 喜多, 2018 秋季応用物理学会(21p-145-10).

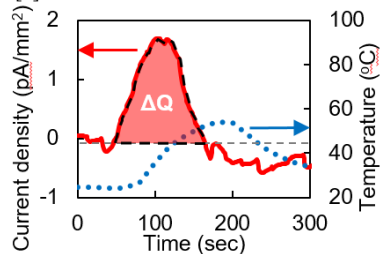


Fig.1. Change over time of displacement current density (solid line) flowed from one of capacitors (i) and temperature (dotted line). In the shown current density, the density of noise level has been eliminated.

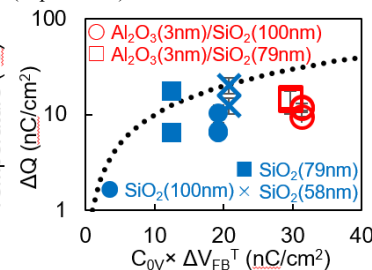


Fig.2 The variation of charge (ΔQ) observed during temperature increasing from room temperature (24°C) to 54°C for the capacitors (i) and (ii). The dotted line shows ideal ΔQ determined as $C_{\text{OV}} \times \Delta V_{\text{FB}}^T$.

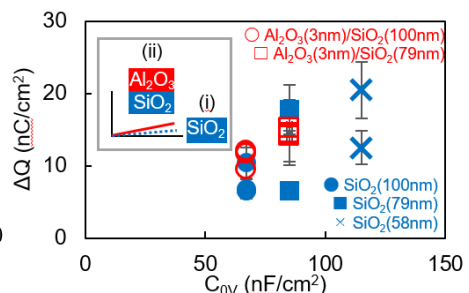


Fig.3 The dependence of ΔQ on C_{OV} for the capacitors (i) and (ii). The shown slopes represent the ones expected for (i) (dotted line) evaluated from (b), and the others expected for (ii) (solid line) evaluated from the sum of (b) and (c).