温度変動による界面ダイポール層強度の変化の環境発電への応用可能性の検討

Study on applicability to energy harvesting of the interface dipole layer strength change under temperature fluctuating environment

東京大学大学院工学系研究科マテリアル工学専攻 ○濵口 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] 温度の時間変動を微小電力に変換する焦電発電は環境発電の 1 つである。しかし既存の焦電体では発電効率が焦電係数と誘電率に制約される。一方我々は 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）が見られると報告した[1][2]。これは異種酸化物を積層した構造中に生じる分極が温度依存性をもつことを意味し、焦電体の表面電荷が温度によって変化するという焦電効果に類似する。界面ダイポール層強度の温度依存性は，異種酸化膜の組合せで決まるものであり[2]、材料の焦電物性に制約されずに発電効率を設計できる可能性がある。しかも異種酸化膜を複数積層させた場合に所望の方向の界面ダイポール層のみを選択的に得ることもできるため[3]，界面ダイポール層強度の温度依存性を加算的に増大させることも期待できる。そこでまずは，MOS キャパシタの両端に流れる変位電流が界面ダイポール層の挿入によって増大することの実証を通じ，界面ダイポール層に基づいた温度変動による環境発電への応用可能性を検討した。

[実験] (i)Al/Al_2O_3/熱酸化 SiO_2/p 型 Si、(ii)Al /SiO_2/Si の 2 つの MOS キャパシタを作製した。前者はスパッタリング法での Al_2O_3 の成膜後 800°C の 0.1%O_2 雰囲気でアニールを行った。表面電極を電流計に接続し、裏面電極直下に熱電対を設置した。MOS キャパシタ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または冷風を当てることでサンプルの周囲の温度が変動する環境を疑似的に構築した。

[結果] MOS キャパシタの両端を短絡して温度変動を与えると、それに応じた V_{FB} の変化分を相殺するために電荷の移動が生じて変位電流として観測される。(i)に温度変動を与えた時にみられる V_{FB} の変化は、ゲート電極の仕事関数と基板に用いる半導体のフェルミ準位との差 Ψ_{ms} の変化と、Al_2O_3/SiO_2 界面ダイポール層強度 V_{dipole} の変化の和で与えられる(Fig.1(a))。これら二つの温度係数が一定であるような温度範囲では V_{FB} の温度係数も一定であるため、温度変動率 dT/dt が一定の間に流れる変位電流は一定でありその値は温度変動率に比例すると考えられる。実際、(i)に温度変動を与えた時に得られた電流密度 I と温度 T の経時変化を示した Fig.1(b).からわかるように、得られた電流密度の値 I と温度が一定である時間帯(A)での電流密度の値 I_0 との差分の絶対値$|I-I_0|$は、温度変動率が一定である 3 つの時間帯(B)から(D)のそれぞれにおいて、その時間帯での温度変化率の値と正の相関を示した(Fig.2(b).)。一方(i)ではある一定の温度変化率に対して得られる$|I-I_0|$の値が(i)と比べ減少しており(Fig.2(b).)、これは界面ダイポール層の効果が(ii)では存在しないため、V_{FB} がより小さな温度依存性を示したことに起因すると考えて矛盾しない。以上より、界面ダイポール層の挿入によって，温度変動時に絶縁膜両端での変位電流が増大する可能性が示され、焦電発電と同様な原理に基づく環境発電への応用可能性が示唆された。尚、本研究の一部は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] S. Nittayakasetwat *et al*., 2017 秋季応用物理学会(5p-C11-3). [2] T. Hamaguchi *et al.,* 2018 春季応用物理学会(17a-F206-9) [3] H. Kamata *et al.,* Applied Physics Letters **110** 102106(2017)

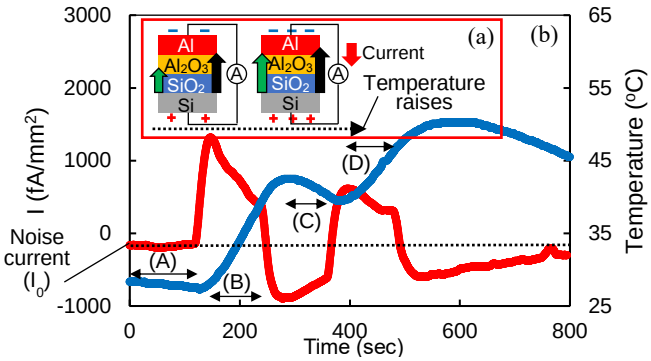

Fig.1. (a) Schematic diagram of displacement current caused by changes of V_{dipole} (green) and Ψ_{ms} (black) due to temperature change. (b) Change over time of displacement current flowed from sample(i) (red) and temperature (blue) shown by the thermocouple.

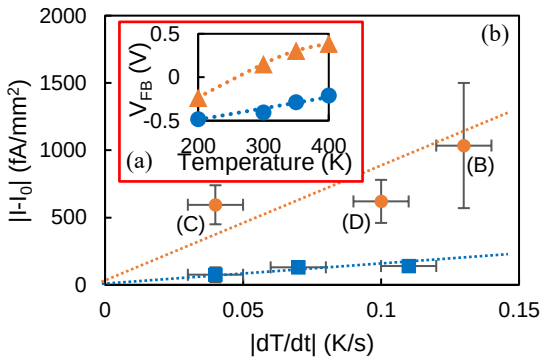

Fig.2. (a) Temperature dependence of V_{FB} values of an Au/Al_2O_3/SiO_2/Si MOS capacitor(Orange) and Au/SiO_2/Si one(Blue). (b) Absolute values of displacement current($|I-I_0|$) after removing the value of noise current(I_0) flowed from sample(i) (Orange) and (ii) (Blue) when the values of dT/dt were constant. The dotted lines are guides for the eye.

© 2018年 応用物理学会