

ダイヤモンド電解質溶液ゲート FET のしきい値

Threshold voltage of electrolyte solution gate diamond FET



早大先進理工¹, 横河電機², 早大材研³, [○](DC)稲葉 優文¹, 五十嵐 圭為¹, 檜村 卓朗¹,
阿部 修平¹, 柴田 将暢¹, 新谷 幸弘², 平岩 篤¹, 川原田 洋^{1,3}

Waseda Univ.¹, Yokogawa Electric. Corp², Kagami Memorial Res. Inst. for Mater. Sci. and Technol.,

Waseda Univ.³, [○]Masafumi Inaba¹, Keisuke Igarashi¹, Takuro Naramura¹, Shuhei Abe¹,

Masanobu Shibata¹, Yukihiko Shintani², Atsushi Hiraiwa¹, Hiroshi Kwarada^{1,3}

E-mail: inaba-ma@ruri.waseda.jp

ダイヤモンド電解質溶液ゲート FET (SGFET) による pH センサは、口腔内などの生体の pH を長期にモニタリングする用途に期待されている。これまで我々はダイヤモンド SGFET を作製し、その pH センサ能などを報告してきた^[1]。図 1、2 に典型的な水素終端(C-H)表面の 2 次元正孔ガス層 (2DEG) をチャネルに用いた SGFET の I_{DS} - V_{DS} 特性、 I_{DS} - V_{GS} 特性をそれぞれ示す。ここで電解質にはリン酸緩衝溶液 pH = 7.4 を用いた。これはノーマリーオフの特性を示している。これに対して、C-H ダイヤモンド表面に Al_2O_3 のゲート絶縁膜兼パッシベーション膜を形成した 2DEG によるダイヤモンド MOSFET は、ノーマリーオンの特性を示す^[2]。今回、C-H ダイヤモンド SGFET のしきい値に焦点を絞って議論する。

大気に曝された状態で C-H ダイヤモンドは、表面の C-H 結合のダイポールによりわずかに表面が正に帯電する。これに大気中の負イオンが吸着し、これがダイヤモンド中から正孔が誘起され、2DHG が形成される、負イオンモデルで説明可能である。電荷が容易には動かない、固体のゲート絶縁膜を用いる C-H ダイヤモンド MOSFET において、2DHG はゲート電圧(V_{GS}) = 0 V でもすでに誘起されているため、ノーマリーオンの特性が得られる。これに対し、電解質/ダイヤモンド界面では、界面に電気二重層 (EDL) が存在し、ダイヤモンド表面から数 nm のところに、表面吸着物に相当する電荷層が存在すると考えられる。 V_{GS} = 0 V のとき、電荷層の電荷密度が小さいためノーマリーオフになる。大気中と違い、水分子のように分子間で分極している物質が存在しても全体として電荷は中性となるため、表面電荷密度は大きくなれないことが原因と考えられる。 V_{GS} を負に印加していくと、EDL を挟んで溶液中に負電荷が増加し、2DHG が誘起されると考えられる。また、C-H 表面を陽極酸化 (C-H ダイヤモンドに溶液から正バイアス (V_{AO}) を印加して表面を酸化する) により段階的に酸化し、そのしきい値を観測した。図 3 に、陽極酸化電圧を増加していった際の $\sqrt{I_{DS}}$ - V_{GS} 特性を示す。ここから外挿した $\sqrt{I_{DS}} = 0$ A^{1/2} のときの V_{GS} をしきい値電圧 V_{TH} とし、 V_{AO} が 1.1 V 以上の印加で V_{TH} が負にシフトした。C-H ダイヤモンド表面が酸化され、表面終端の平均電荷が負にシフトし、EDL の形成により大きい負バイアスが必要となったと考えられる。当日は SGFET のノーマリーオフ特性の起源に関して詳細に報告する。

謝辞：本研究は科研費基盤 S (No. 26220903) の支援を受けて実施された。

[1] K. S. Song, H. Kwarada et al., Anal. Chem. Acta 573, 3 (2006).

[2] H. Kwarada, A. Hiraiwa et al., Appl. Phys. Lett. 105, 013510 (2014).

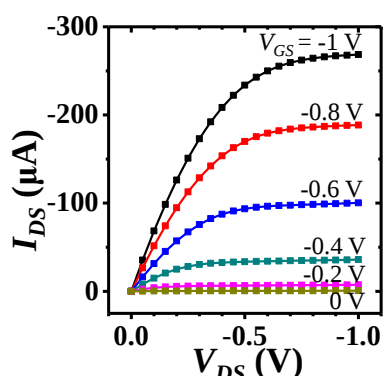


図 1 C-H ダイヤモンド SGFET の I_{DS} - V_{DS} 特性

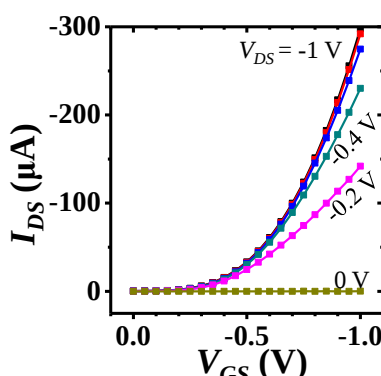


図 2 C-H ダイヤモンド SGFET の I_{DS} - V_{GS} 特性

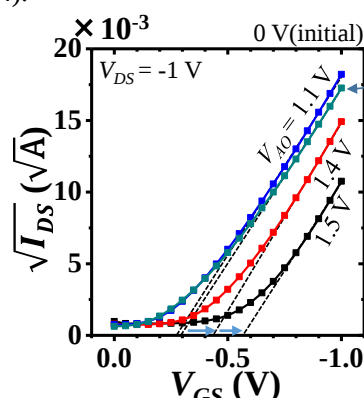


図 3 C-H ダイヤモンド SGFET の $\sqrt{I_{DS}}$ - V_{GS} 特性としきい値