

2次元層状 SnS の室温強誘電特性

Room Temperature Ferroelectric Behavior of Two-dimensional SnS

東大工¹, 国立交通大², ○東垂水直樹¹, 川元颯巳¹, 西村知紀¹, Wen-Hao Chang², 長汐晃輔¹
 UTokyo¹, NCTU², °N. Higashitarumizu¹, H. Kawamoto¹, T. Nishimura¹, W. -H. Chang², K. Nagashio¹
 E-mail: higashitarumizu@ncd.t.u-tokyo.ac.jp

2014年に単層 MoS₂ の圧電素子が実証されたことに端を発し^[1], 非点対称な結晶構造をもつ 2D 圧電材料の発電素子応用の研究が盛んに行われている. 単層 SnS は黒リンと同じパッカード構造をもち伸縮性に優れていることから, 圧電 d 定数は MoS₂ より 2 桁大きく PZT に匹敵する ($d \sim 145$ pm/V) ことが理論的に予測されている^[2]. さらに, 圧電性のみの MoS₂ とは異なり, SnS は焦電性・強誘電性が予測されており^[3], 発電応用にとどまらない様々なデバイスへの活用が期待される. しかしながら, SnS は Sn 原子の孤立電子対による強い層間力のため μm サイズの単層形成は実証されてこなかった. 我々はこれまでに緻密に制御した PVD 法によって高結晶な数層~単層の SnS をマイカ基板上に成長することに成功した^[4]. 圧電・焦電性の十分条件である強誘電性の証明は意義深い, 2D 強誘電体においてはプローブ顕微鏡を用いた材料評価にとどまっておらずデバイス実証は殆ど行われていない. 本研究は, SnS の強誘電特性に関する実験的実証を初めて行った.

マイカ上に PVD 成長した単層 SnS において第二光調波(SHG)を検出し, 分極構造を有することを確認した. 半導体でもある SnS の分極反転に伴う微小な変位電流を検出するには金属界面との界面にショットキー障壁を形成し, チャンネル部の伝導を抑制することが必要だと考えられる. そこで, マイカ上バルク SnS に仕事関数 ϕ_m の異なる種々の金属電極を取り付けショットキー障壁高さの 2 端子測定を行った. ϕ_m の大きな金属 (Cu, Ni, Pd, Au) ではオーミックな I_D - V_D 特性が得られたのに対し, ϕ_m の小さな金属 (Al, Ag) では非線形な I_D - V_D が得られた (Fig. 1). この結果は, p 型半導体である SnS に対して ϕ_m の小さな金属電極を用いることでショットキー接合を形成できることを示唆している. Ag コンタクトを用いた数層~単層 SnS のデバイスの室温における I_D - V_D 特性は, バルクとは異なりある電界 ($E = V_D/L_{ch} \sim 16$ kV/cm) で電流値のピークをもっており, 分極反転に伴い変位電流が流れるという強誘電体で観測される特性を示した (Fig. 2(a)). 変位電流であることを確かめるために印加電圧の正・負側でそれぞれ 2 回ずつ掃引する Double-wave 測定^[5]を行い, 分極反転が起こる 1 回目の掃引のみピークが生じ, 分極の向きが維持される 2 回目は生じない挙動を得た (Fig. 2(a)挿入図). さらに強誘電体特性評価系で得られた分極ヒステリシス曲線 (@RT, 1 Hz) は Fig. 2(b) に示す Q - E のように強誘電体特有のヒステリシスループを示したことから SnS の室温強誘電性を初めて捉えたと言える. 本成果はナノスケールのスイッチング素子の実現など新奇デバイスへの活用が期待される.

[1] W. Wu *et al.*, *Nature* **514**, 470 (2014). [2] R. Fei *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **107**, 1 (2015). [3] M. Wu and X. C. Zeng, *Nano Lett.* **16**, 3236 (2016). [4] H. Kawamoto *et al.*, 65th JSAP Spring Meeting, 20a-C202-8 (2018). [5] M. Fukunaga and Y. Noda, *J. Phys. Soc. Japan* **77**, 064706 (2008).

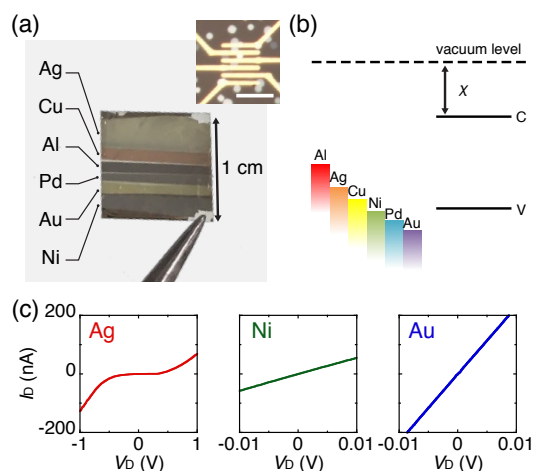


Fig. 1 (a) Photograph of mica substrate after the deposition of multiple metals with different ϕ_m . Inset: two-probe device after the metal liftoff. The scale bar represents 10 μm . (b) Band diagram of SnS and metals. (c) I_D - V_D curves of bulk SnS with different metal contacts: Ag, Ni and Au.

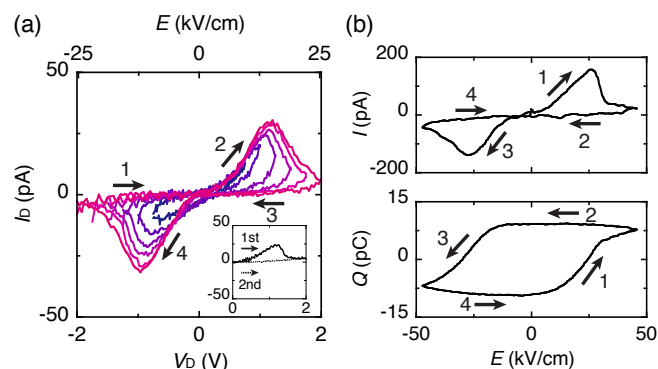


Fig. 2 (a) I_D - V_D for Ag/SnS device with different applied voltages. Inset: double-wave measurement at 0-2 V. (b) Ferroelectric hysteresis curve for Ag/SnS: current and charge versus nominal electric field.