

## 中心対称性の破れた 2次元層状物質の圧電特性

### Piezoelectric characteristics of non-centrosymmetric two-dimensional materials

東大工<sup>1</sup>, 名大理<sup>2</sup> ○東垂水 直樹<sup>1</sup>, 川元 颯巳<sup>1</sup>, 梅田 雅也<sup>1</sup>, 北浦 良<sup>2</sup>, 長汐 晃輔<sup>1</sup>

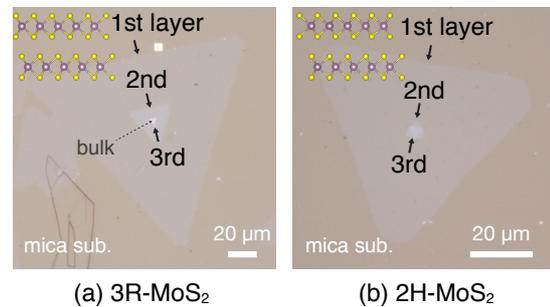
UTokyo<sup>1</sup>, Nagoya Univ.<sup>2</sup> ○N. Higashitarumizu<sup>1</sup>, H. Kawamoto<sup>1</sup>, M. Umeda<sup>1</sup>, R. Kitaura<sup>2</sup>, K. Nagashio<sup>1</sup>

E-mail: higashitarumizu@ncd.t.u-tokyo.ac.jp

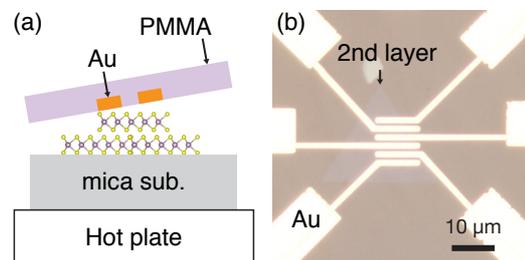
非点対称かつ柔軟性の高い結晶構造を持つ SnS は, MoS<sub>2</sub> と比較してより高い圧電定数が理論的に予測されていることから, 環境発電素子への応用が期待されている<sup>[1,2]</sup>. 分極を打ち消す方向で積層されるため, 圧電特性は奇数層のみで発現し単層で最大化するが, 単層における低いパワー密度 (~10<sup>2</sup> nW/cm<sup>2</sup>) は 2D 圧電素子共通の課題である<sup>[1,3]</sup>. 我々は, らせん成長等の非点対称性の制御技術に応用し分極方向を揃えた多層構造(**Fig. 1**)を作製することで実用上要求されるパワー密度 10<sup>2</sup> μW/cm<sup>2</sup> 級の実現を目指している. 今回既に圧電特性が実証され, さらに中心対称の破れた成長が可能な MoS<sub>2</sub> をモデル材料として選択した. 単層 MoS<sub>2</sub> における圧電特性は, 静的ひずみ印加時に圧電効果で生じたイオン分極により金属電極/MoS<sub>2</sub> 界面での Schottky barrier height (SBH) が S/D で非対称に変化するため,  $I_D$ - $V_D$  の非対称性として検出される<sup>[1]</sup>. しかしながら, 再現性に乏しく現時点で限定されたグループからの報告に留まっている. MoS<sub>2</sub> の SBH に関しては, 金属蒸着では MoS<sub>2</sub> への欠陥導入等により SBH 制御が難しく, 金属電極転写によるファンデルワールス界面形成により制御可能であると報告されている<sup>[4]</sup>. そこで本研究では, 金属電極転写法を用いた SBH 界面制御を適応し, 非点対称性を制御した多層構造での圧電特性の向上を目指した.

化学気相成長法を用いて SiO<sub>2</sub>/Si 基板上に成長した 3R/2H 構造の多層 MoS<sub>2</sub> を原子レベルでフラットな表面をもつマイカ基板上に転写した(**Fig. 1**). マイカ基板は膜厚を 10~50 μm に調整することで柔軟性とハンドリング性を両立した. 膜厚 2 μm の PMMA によって保持した Au 電極を転写装置を用いて 2 層 MoS<sub>2</sub> 上に転写した(**Fig. 2**). このデバイスをマイカ基板ごと膜厚 350 μm の PET 基板に貼り付け, 万力を用いてひずみを静的に印加後, 真空中で電気測定を行なった. 3R/2H 構造の 2 層 MoS<sub>2</sub> の 2 端子測定の結果を **Fig. 3** に示す. 圧縮ひずみを印加したとき, 3R-2 層 MoS<sub>2</sub> は  $V_D$  の正・負側で電流値は非対称に変化した. 圧電特性の消失した 2H-2 層 MoS<sub>2</sub> ではバンドギャップがひずみによって変化する圧抵抗効果による抵抗値の変化のみを反映し  $I_D$ - $V_D$  特性は対称的に変化するが, 3R 構造では圧電効果で生じたイオン分極により SBH が S/D で非対称に変化することで極性をもった電気特性の変化が観察された. 以上より, 2D 材料の圧電特性はバルクの効果である圧抵抗効果とは異なり界面の効果であり, 静的な電気特性で容易に評価することが可能であると言える. さらに多層化した非点対称な構造を作製することで, 環境発電材料としての性能向上が期待される.

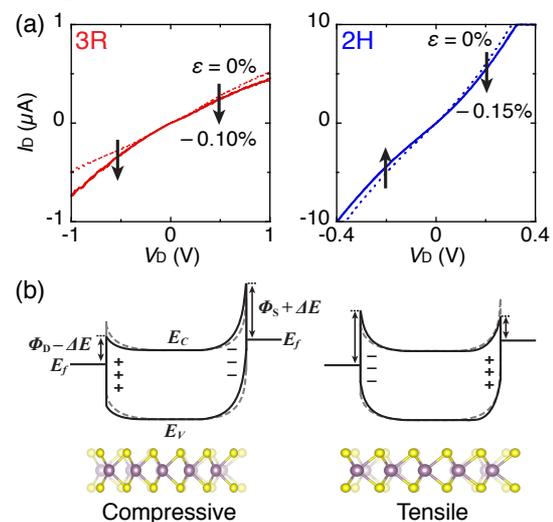
[1] W. Wu *et al.*, *Nature* **514**, 470 (2014). [2] R. Fei *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **107**, 173104 (2015). [3] J.-H. Lee *et al.*, *Adv. Mater.* **29**, 1606667 (2017). [4] Y. Liu *et al.*, *Nature* **557**, 696 (2018).



**Fig. 1** Optical images of (a) 3R and (b) 2H MoS<sub>2</sub> transferred on mica substrate.



**Fig. 2** (a) Schematic image of metal transfer method. (b) Optical image of metal-transferred device.



**Fig. 3** (a)  $I_D$ - $V_D$  curves of 3R/2H bilayer-MoS<sub>2</sub> with external strain. (b) Band diagrams of metal/MoS<sub>2</sub> with strain.