積層制御による二次元強誘電体の設計

Designing two dimensional ferroelectrics via stacking control

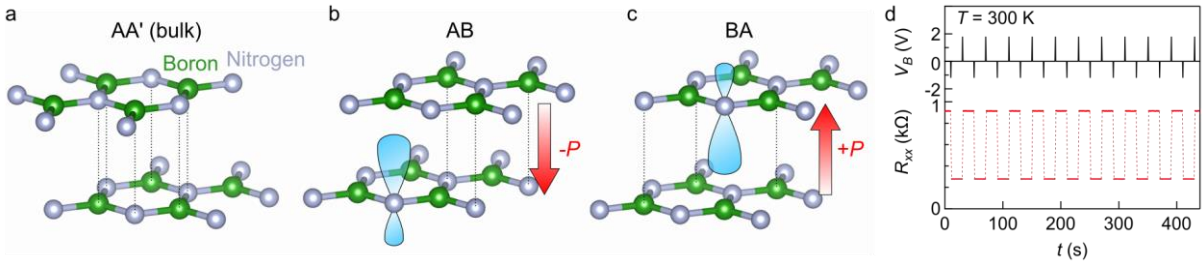
マサチューセッツ工科大　安田憲司

Massachusetts Institute of Technology, Kenji Yasuda

E-mail: yasuda@mit.edu

ファンデルワールス層状物質からなる二次元強誘電体は、原子層レベルまで強誘電性が保持されるため、強誘電メモリへの応用の観点から注目を集めている。従来、これらの二次元強誘電体はバルクの層状化合物を剥離することによるトップダウンの手法によって得られてきた。一方、これらの本手法では極性の層状結晶が必要となるため、得られる強誘電体には大きく制限が課されていた。本研究では、近年発展してきたファンデルワールス積層技術を応用することで、結晶の対称性を制御し、強誘電性を持たない母物質から強誘電体を設計できることを示す。

図 a にバルクの六方晶窒化ホウ素(BN)の結晶構造を示す。隣接する層が 180° 回転した積層構造(AA' stacking)のため、バルク BN は空間反転対称性を有する。一方、2 枚の BN を回転せずに積層すると、結晶は強誘電体となる[1]。平行積層された BN は、AB または BA stacking となり、面間のスライディングに伴う面直分極反転が生じる（図 b, c)。本研究では、単層 BN を切断、積層することで平行積層二層 BN を作製し、圧電応答力顕微鏡並びにグラフェンをプローブとして分極を測定した（図 d）[2-4]。本設計指針は幅広い二次元物質に適用可能であり、二次元強誘電体の種類を著しく広げる可能性を有している。我々は、積層制御の原理を遷移金属ダイカルコゲナイド(TMD)にも適用することによって、MoS_2, $MoSe_2$, WS_2, WSe_2 という 4 つの半導体 TMD においても強誘電性を実現した[5]。欠陥が少なく、化学的に安定である BN や TMD に強誘電性を付与することで今後の強誘電体メモリへの応用が期待できる。本研究は X. Wang, Y. Zhang, S. Liu, K. Watanabe, T. Taniguchi, J. Hone, L. Fu, P. Jarillo-Herrero との共同研究で行われた。



図：a, バルク BN の結晶構造。 b, c,平行積層した BN の結晶構造。d, 電場パルスによる強誘電反転とメモリ応答。[2]より引用、改変。

[1] L. Li, M. Wu ACS Nano. **11**, 6382–6388 (2017). [2] K. Yasuda *et al*. Science **372**, 1458-1462 (2021). [3] M. V. Stern *et al*. Science **372**, 1462-1466 (2021). [4] C. R. Woods *et al*. Nat. Commun. **12**, 347 (2021). [5] X. Wang*, K. Yasuda* *et al*. Nature Nanotech. Accepted.

© 2022年 応用物理学会