新任教授研究紹介

エピタキシャル超薄膜を剥離して作る二次元物質

応用化学専攻　物質機能化学コース
教授　菅　大介

1.　はじめに

この度、２０２５年４月より、工学研究科応用化学専攻物質機能化学コースの教授を拝命し、C4 棟４階にて無機材料化学領域を担当することになった。学生時代から一貫して、遷移金属酸化物を主な研究対象として、薄膜材料科学の研究に従事してきた。より具体的には、気相での結晶成長技術（エピタキシャル成長技術）を駆使し、原子レベルでの物質の創製さらには、その界面や表面で発現する物性の開発や応用に取り組んできた。本稿では、最近の研究トピックスを紹介する。

2.　二次元強誘電体の開発

炭素原子１層からなるグラフェンの発見以来、原子層厚さを持つ二次元物質が新しいナノ材料として注目を集めており、その材料開発や電子機能探求が盛んにおこなわれている。二次元物質は、原子層同士がファンデルワールス結合によって“弱く”結合したファンデルワールス結晶から、原子層を機械的に剥離することで、作製できる。しかし、ファンデルワールス結晶の種類は多くなく、作製可能な二次元材料は限られている。一方で、現在広く機能材料として使われている酸化物など、共有結合やイオン結合によって構成原子が三次元的に“強く”結合した物質（三次元物質）から、二次元物質を作製することは難しいとも考えられてきた。

我々はこれまでに、準安定な菱面体晶構造強誘電相の二酸化ハフニウムジルコニウム($Hf_{0.5}Zr_{0.5}O_2$, HZO)がペロブスカイト型マンガン酸化物 $La_{0.7}Sr_{0.3}MnO_3$（LSMO）上にエピタキシャル成長できることを見出してきた。本研究では、LSMO が希塩酸水溶液に溶解するのに対して、HZO はほとんど溶解しないことに着目した。図１に示すように、パルスレーザー堆積法でチタン酸ストロンチウム $SrTiO_3$ 基板上に HZO/LSMO 積層構造を作製した後に、基板ごと積層試料を希塩酸水溶液中に浸すことで、HZO と基板との間の LSMO 層のみを選択的に除去（エッチング）した。LSMO 層が溶解した後に、HZO 層を基板から剥離し、HZO メンブレン結晶を得た。走査透過電子顕微鏡（STEM）法で、結

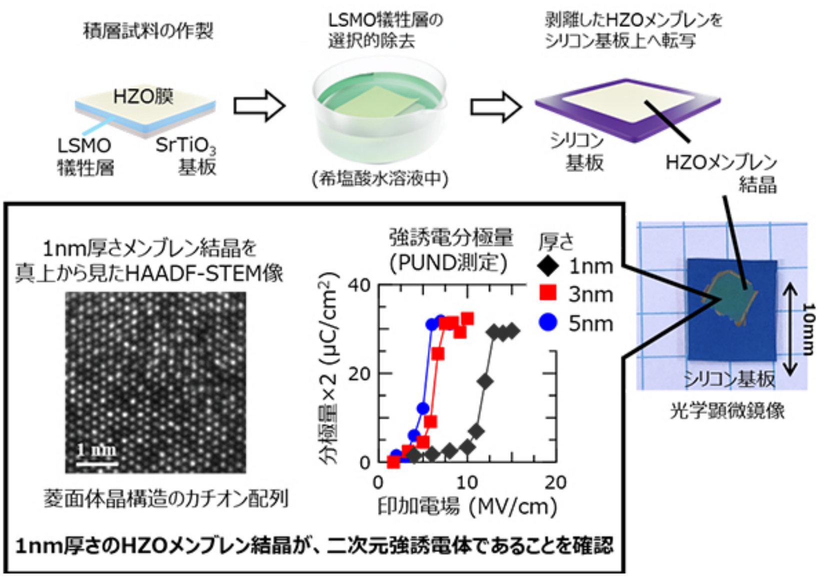

図１：HZO エピタキシャル薄膜の剥離による二次元強誘電体の作製

晶格子２個分に相当する 1nm 厚さのメンブレン結晶を観察したところ、強誘電相かつ準安定相である菱面体晶の結晶構造が維持されていることがわかった。また分極測定からは、室温において、面直方向に約 10μC/cm^2 の自発分極を有していることも確認した。これらの結果は、三次元物質である二酸化ハフニウムジルコニウムから二次元強誘電体が作製できることを示すものである。これまで、三次元強誘電体を数ナノメートルにまで極薄化すると自発分極が低減もしくは消失してしまうことから、二次元強誘電体の作製は難しいと考えられてきた。本研究成果は、この定説を打ち破り、三次元強誘電体からでも二次元物質が作製できることを示すものである。本研究におけるメンブレン結晶作製技術は、二酸化ハフニウムジルコニウムだけでなく、様々な三次元物質にも適用可能であることから、今後、本手法を活用した、二次元材料の開発が期待できる。

また、本研究で開発した二次元強誘電体は、それ自身、さらには磁性体や超伝導体など様々な機能性物質上へ転写可能でもある。つまり、本研究成果は、二次元強誘電体を捻り角度を調整して積層（ツイスト積層）したモアレ超構造や、強誘電体と様々な機能性材料との積層構造など、これまでの薄膜技術では作製の難しかった人工超構造やデバイス構造の開発に新しいルートを可能にする。このような研究を推進していくことで、強誘電体の新しい学理の構築さらにはデバイス応用が拓ける。

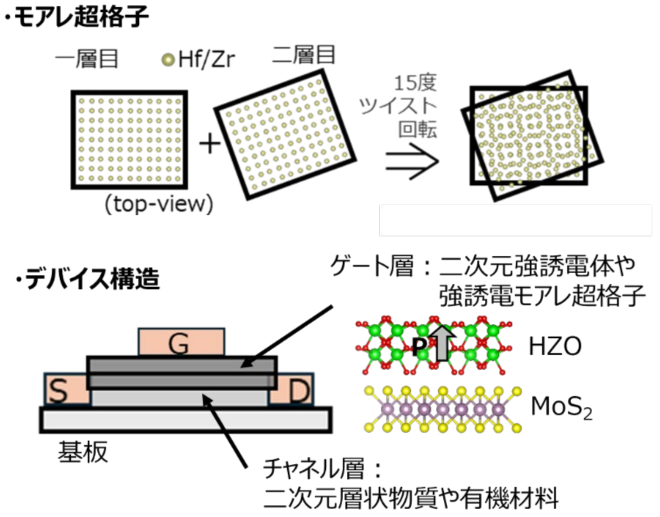

図２：二次元強誘電体を基軸とした研究展開

３．おわりに

筆者は、学生時代から准教授時代までの研究者人生のほとんどを過ごしてきた京都大学を飛び出し、研究者人生の次なるフェーズを大阪大学で迎えることとなった。研究室の主宰は重責を伴うが、薄膜成長技術を基軸としてナノ薄膜物質やそのデバイス機能開発に取り組み、無機材料化学や薄膜材料科学の分野で世界をリードする研究成果を創出してきたい。上記の二次元強誘電体などの二次元物質に加えて、水素吸蔵酸化物など新しい材料開発にも挑戦していきたいと考えている。また、薄膜材料開発に関する研究を通して、世界的に活躍できる後進を育て、本学の発展ならびに、我が国の研究力の発展や国際的プレゼンスの向上にも貢献する。今後ともご指導ご鞭撻のほどをお願いする次第である。

参考文献

1) Y. Shen, K. Ooe, X. Yuan, T. Yamada, S. Kobayashi, M. Haruta, D. Kan, Y. Shimakawa Nature Communications 15, 4789 (2024).
2) Y. Shen, K. Ooe, K. Shitara, S. Kobayashi, T. Yoshimura, T. Yamada, L. Xie, Y. Shimakawa, D. Kan Physical Review Materials 9, 024411 (2025).
3) Y. Isoda, T. N. Pham, R. Aso, S. Nakamizo, T. Majima, S. Hosokawa, K. Nitta, Y. Morikawa, Y. Shimakawa, D. Kan, Nature Communications 16, 56 (2025).

（京都大学　理学部化学専攻　2001 年卒
京都大学　大学院理学研究科　化学専攻 2003 年修士　2006 年博士）