

軌道流型磁気メモリの実証に向けた層状窒化物薄膜の創成

Layered nitride thin films toward magnetic memories driven by orbital currents

物質・材料研究機構, 磯上 慎二

NIMS, Research Center for Magnetic and Spintronic Materials, Shinji Isogami

E-mail: isogami.shinji@nims.go.jp

スピン軌道トルクを動作原理としたスピン流型磁気メモリは、不揮発性、高集積性、高速動作性などの特性を有していることから、次世代の低消費電力化に対応したメモリデバイスとして期待されている。一方で臨界電流密度を現行デバイスより 1~2 桁ほど低減すること、バイアス磁場を印加しなくても垂直磁化を電流反転できる技術などが求められ、従来の重金属を超える新材料や積層構造に関する研究が盛んになってきている。

層状窒化物薄膜の代表格と言える MXene (マキシン) は、2011 年に初めて合成された新しい二次元物質である (組成式: $M_{n+1}X_nT_x$) [1]。ただし $M = \text{Ti, V, Cr}$ 等の遷移金属, $X = \text{C}$ か N の軽元素, $T =$ ハロゲン等の終端元素を示す。特に T を省略した Bare MXene ($M_{n+1}X_n$) は、現有の遷移金属ダイカルコゲナイド化合物 (TMDC) と同じ結晶構造をもち、二次元物質本来の原子層平坦性、界面急峻性、金属に匹敵する優れた電気/熱伝導性や化学特性を示す化合物相が多いことから、二次元物質科学の研究分野において急速に高い関心を集めている。

近年、我々はマキシンの中で最もシンプルな窒化クロム (Cr_2N) の薄膜成長と、垂直磁化 Co/Pt 強磁性多層膜との接合で構成される磁気メモリデバイス (基板 // $\text{Cr}_2\text{N}(10)$ / $[\text{Co}(0.35) / \text{Pt}(0.3)]_3$ / Cap (in nm)) の電流反転実証、ならびに原理解明に取り組んできた[2,3]。その結果、

- ①層状 Cr_2N マキシンは窒素反応性スパッタリング法で合成可能な珍しい二次元物質、
- ②窒素脱離や相互原子拡散が少なくとも 650°C 近傍まで起きず、室温ですらエピタキシャル成長するほど安定、という新しい材料特性を見出した。さらに、
- ③磁場フリー磁化反転の臨界電流密度が、従来の W/CoFeB デバイスに匹敵、
- ④印加電流方向と Cr_2N 面内結晶対称性の相対角に依存しないロバストな磁場フリー磁化反転、という実用志向のデバイス特性を見出した。学術的な側面から、原理検証実験を通して、
- ⑤層状 Cr_2N 化合物として本質的に得られる軌道流の Z 成分が X および Y 成分に重畳、
- ⑥Co/Pt 強磁性層の Co モーメントと反強磁性結合した磁気モーメントが Cr 原子に誘起されていること等を明らかにした。以上の成果は、 Cr_2N マキシンをプロトタイプとして、層状窒化物薄膜が広く軌道流型デバイス創成の基幹材料となる可能性を示唆するものである。

謝辞: 本研究は Prabhat Kumar 博士, Gaurav Kumar Shukla 博士, 三浦良雄博士, 津田俊介博士, 矢治光一郎博士 (いずれも NIMS), 中村哲也博士, 住吉谷瞭歩博士, 小谷佳範博士 (いずれも東北大学/PhoSIC) からの協力, 科学研究費補助金 (23K22803, 25K01275), JST A-STEP 育成フェーズ (JPMJTR25T3), 池谷科学技術振興財団研究助成 (0371203-A), 村田学術振興財団研究助成 (M24AN110) からの支援を受けて行われた。

引用文献:

- [1] Naguib *et al.*, “Two-Dimensional Nanocrystals Produced by Exfoliation of Ti_3AlC_2 ,” *Adv. Mater.* 23, 4248 (2011).
- [2] Prabhat *et al.*, “Unconventional Spin–Orbit Torques by 2D Multilayered MXenes for Future Nonvolatile Magnetic Memories,” *Small* 21, 2500626 (2025).
- [3] Prabhat *et al.*, “Origin of two-dimensional MXene/ferromagnetic interface evaluated by angle-dependent hard X-ray photoemission spectroscopy,” *STAM* 26, 2551484 (2025).