

Cu 添加 Mn_4N の Cu 磁気モーメントの反転と磁化補償の検討

物質・材料

SATテクノロジー・ショーケース2024

■ はじめに

Mn_4N 薄膜は垂直磁気異方性と小さな磁化を併せ持ち、電流駆動磁壁移動を利用したデバイスの候補材料として注目されている。 Mn_4N 系混晶では不純物の添加量を制御し、特定の組成で磁化が極小値をとる磁化補償という特異な現象も確認されている^[1]。この磁化補償は磁壁移動の効率を爆発的に向上させ、Ni 添加 Mn_4N では磁化補償組成付近で 3,000 m/s (電流密度 1.2×10^{12} A/m²) という、室温かつ磁場を使わない条件では世界最速の記録を達成した^[2]。今回、バルク結晶での磁化補償が示唆されていた Cu 添加 Mn_4N ($Mn_{4-x}Cu_xN$)^[3] に注目し、分子線エピタキシーを用いて高品質な $Mn_{4-x}Cu_xN$ 薄膜を作製した。さらに、試料振動型磁力計 (VSM) を用いた磁化測定および X 線磁気円二色性測定 (XMCD) による磁気構造の同定を行い、 $Mn_{4-x}Cu_xN$ 薄膜の磁化補償の可能性を検討した。

■ 実験方法

分子線エピタキシー法により SrTiO₃ [STO] (001) 基板上に ~23 nm の $Mn_{4-x}Cu_xN$ ($x = 0.0-0.5$) 薄膜を作製した。作製した薄膜に対し、磁場を面直に印加して VSM による室温での磁化測定を行った。薄膜の磁気構造は KEK Photon Factory BL-16 にて 5 T の磁場を印加しながら軟 X 線を照射し、室温での Cu の $L_{2,3}$ 吸収端における X 線吸収スペクトル (XAS) および XMCD 測定を行い評価した。なお、磁場/軟 X 線は面直方向から約 55° 傾いた方向から印加/照射した。また、XAS・XMCD の信号は蛍光収量法により取得した。

■ 結果・考察

STO 基板上に作製した $Mn_{4-x}Cu_xN$ 薄膜の飽和磁化の組成 x 依存性を Fig. 1 に示す。 x に対して飽和磁化が減少していき、 $x = 0.3-0.5$ で極小値を示している。なお、 $x = 0.4$ に関しては磁化が著しく小さくなり、VSM の感度を超え計測不可であった。そのため、 $x \sim 0.4$ で、反平行を向いている磁気モーメント同士の大部分が打ち消しあっていると考えられる。続いて、 $Mn_{4-x}Cu_xN$ ((a) $x = 0.3$, (b) $x = 0.4$) 薄膜の Cu- $L_{2,3}$ 吸収端における XAS・XMCD (XAS プロファイルは正規化している) を Fig. 2 に示す。XAS プロファイルに関しては、この 2 つの組成で大きな違いが見られなかった。これは、添加された Cu の価数が変化していないことを示唆している。XMCD プロファイルを見ると、Fig. 2 (a) の $Mn_{3.7}Cu_{0.3}N$ では 934 eV、955 eV にそれぞれ正、負のピークが現れた。一方で、組成 x を大きくした Fig. 2 (b) の

$Mn_{3.6}Cu_{0.4}N$ では、それら 2 つのピークの符号反転が起きた。XMCD プロファイルのピークの向きは、その原子の磁気モーメントの配列を反映していると考えられる。そのため、Cu の添加量を増やしていくと、 $x = 0.3-0.4$ 間のある組成で Cu の磁気モーメントが反転するといえる。磁化補償を示す場合に見られる特徴である、磁化の極小値および磁気モーメントの反転が同時に確認されたため、私たちは $Mn_{4-x}Cu_xN$ 薄膜が室温で組成による磁化補償を示す可能性が高いと考える。

■ 参考文献

- [1] T. Komori *et al.*, J. Appl. Phys. **127**, 043903 (2020).
- [2] S. Ghosh *et al.*, Nano Lett. **21**, 2580 (2021).
- [3] R. Zhang *et al.*, Acta Mater. **234**, 118021 (2022).

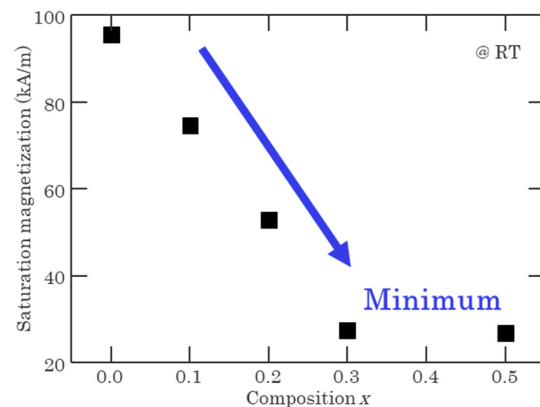


Fig. 1. Composition dependence of saturation magnetization.

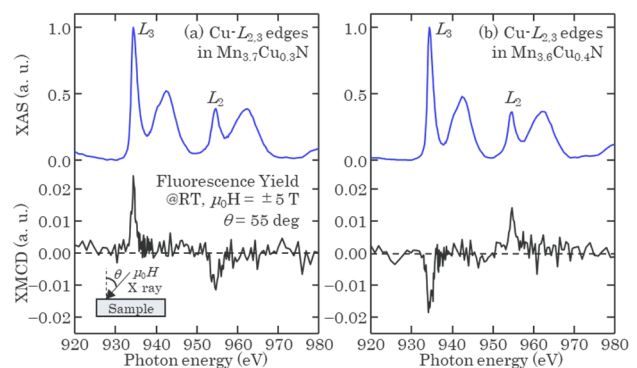


Fig. 2. XAS and XMCD spectra in (a) $Mn_{3.7}Cu_{0.3}N$ and (b) $Mn_{3.6}Cu_{0.4}N$ films at Cu- $L_{2,3}$ edges (XAS are standardized).

代表発表者 旗手 蒼(はたて あおい)
 所属 筑波大学大学院 数理物質科学研究群
 応用理工学学位プログラム
 問合せ先 〒305-0005 茨城県つくば市天王台 1-1-1
 TEL: 029-853-5472

■キーワード: (1) スピントロニクス
 (2) エピタキシャル成長
 (3) X 線磁気円二色性
 ■共同研究者: (1) 雨宮 健太 KEK
 (2) 都甲 薫 筑波大学
 (3) 末益 崇 筑波大学