

# スピン偏極 SEM によるナノ積層構造の実空間分析

甲野藤 真<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup>産業技術総合研究所 エレクトロニクス研究部門

<sup>2</sup>産業技術総合研究所 ナノスピントロニクス研究センター

\*m.konoto@aist.go.jp

## 1. はじめに

高分解能スピン偏極走査電子顕微鏡(スピン偏極 SEM) [1]は SEM と同等の高い面内分解能でナノ領域スピンの方向を 3 次元解析し、その分布状態をイメージデータとして表示することができる。プロービング深さも約 1 nm と小さいため、磁性表面やナノスケールで設計された磁性薄膜・積層膜の分析においても、有力な手法の一つとなっている。本講演では、スピン偏極 SEM の活用例として、層状酸化物の表面磁性の解析と層間結合した磁性多層膜の直接分析を紹介する。

## 2. 層状 Mn 酸化物の表面磁性

層状酸化物  $\text{La}_{2-2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$  [2]は  $\text{MnO}_2$  磁性層と  $(\text{La}, \text{Sr})_2\text{O}_2$  非磁性絶縁層が交互に積層した層状結晶構造を有しており、 $(\text{La}, \text{Sr})_2\text{O}_2$  層に沿って容易に劈開する(図 1(a))。磁気構造は組成や温度に依存して様々に変化するが、観察した試料( $x \approx 0.3$ , 温度 50 K)では、 $\text{MnO}_2$  層内で平行配列したスピンの層間で強磁性的に相互作用し、積層面に対して垂直な方向を向いている。図 1(b), (c)は劈開面のスピン偏極 SEM 像である。劈開面に対して(b)平行および(c)垂直な磁化ベクトル成分の分布を同時に計測し、成分の符号と大きさをグレースケール表示した。観察視野は2つの特徴的な領域に分かれており、境界左側の領域では面内成分が検出された(図1(b))。図 1(c)には、垂直磁気異方性に特有のドメインパターンが現れた。境界左側の垂直成分は右側のそれに比較して小さいが、パターンが境界で連続していることから、2つの領域でドメインの基本(深部)構造には変化がないこともわかった。これらの結果は、左側の表面においてスピンの再配列し、大きな面内成分を伴うドメインが構成された事を示している。境界の左右で、表面の状態を反映したと考えられる 2 次電子強度の顕著な差異が検出されたことから、劈開時に生じた最表面構造の変化がドメイン再構成の誘因になったものと考えられる。

## 3. 90° 層間磁気結合した多層膜のドメイン構造

磁性多層膜が示す様々な層間相互作用の一つとして、図 2(a)のような、酸化物ナノレイヤーを介した磁性薄膜が示す特異な層間結合が挙げられる[3]。磁化曲線などマクロな物性測定の結果から、 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$  (A, B)層の磁化は 90° の角度を成すと考えられるが、結合状態の詳細は明らかではない。スピン偏極 SEM を用いれば、磁気情報が積層方向に平均化されないため、このような極薄い積層膜の磁化分布なども直接分析可能と期待される。図 2(b),(c)は  $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (A)層のスピン偏極 SEM 像である。2枚の像はそれぞれ(b) x 方向および(c) y 方向の面内ベクトル成分の分布を表す。y 方向成分像にのみ白黒のコントラストが現れたことから、交換磁気異方性によって x 方向に固着された  $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (B)層の磁化に対し、 $\pm 90^\circ$  の角度で  $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (A)層の磁化が結合し、磁化方向に細長く伸びた微細ドメインを形成していることが明らかとなった。

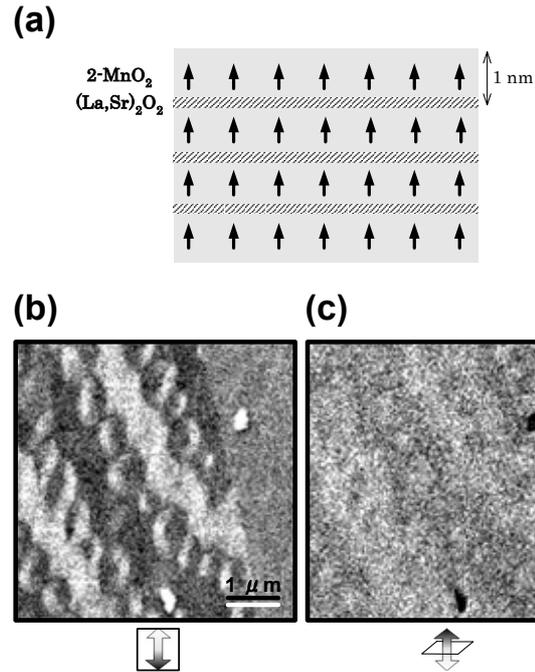


図 1 (a) 層状 Mn 酸化物の積層構造とスピンの配列状態. (b),(c) 劈開面のスピンの偏極 SEM 像. それぞれ(b)面内および(c)垂直方向の磁化ベクトル成分の分布を表す.

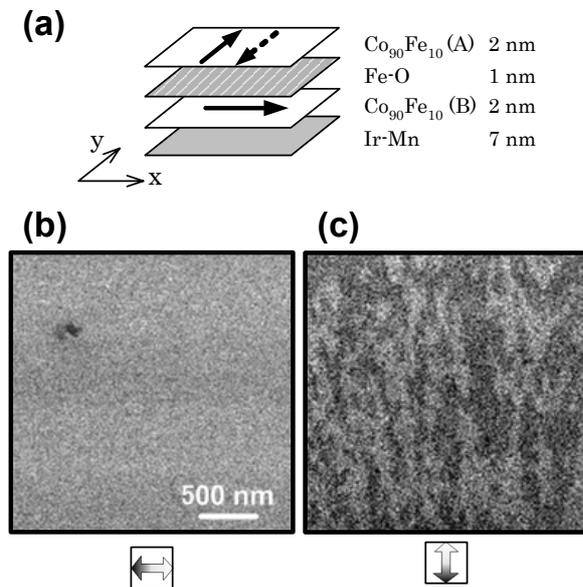


図 2 (a)  $90^\circ$  層間磁気結合した多層膜の構成図. (b),(c)  $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (A)層のスピンの偏極 SEM 像. それぞれ (b) x 方向および(c) y 方向の磁化ベクトル成分の分布を表す.

[1] M. Konoto *et al.*, Phys. Rev. Lett. **93**, 107201 (2004).

[2] Y. Moritomo *et al.*, Nature **380**, 141 (1996).

[3] H. Yuasa, H. Fukuzawa, and M. Konoto, 2010 Joint MMM/Intermag Conference Digest.