

電子線ホログラフィーによる磁壁観察を通じたバルク磁気物性の評価

理化学研究所・京都大学大学院工学研究科 新津 甲大
 榊日立製作所 谷垣 俊明
 理化学研究所 原田 研
 理化学研究所・東北大学多元物質科学研究所 進藤 大輔

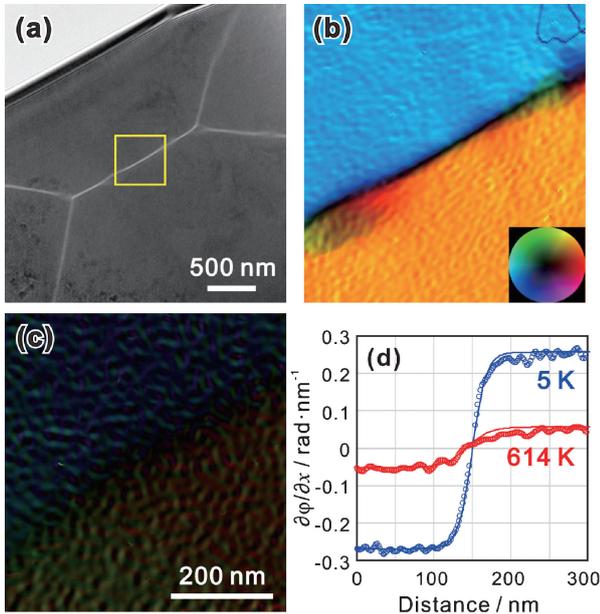


Fig. 1 (a) Ni 薄膜の Lorentz 像 (over focus). 電子線ホログラフィーにより得られた (b) 5 K, (c) 614 K での 180° 磁壁近傍 (a) 黄枠部) の面内磁束分布. (磁束密度・方向は (b) 挿図の color wheel 参照) (d) 同 180° 磁壁を跨ぐ位相変化プロファイル.

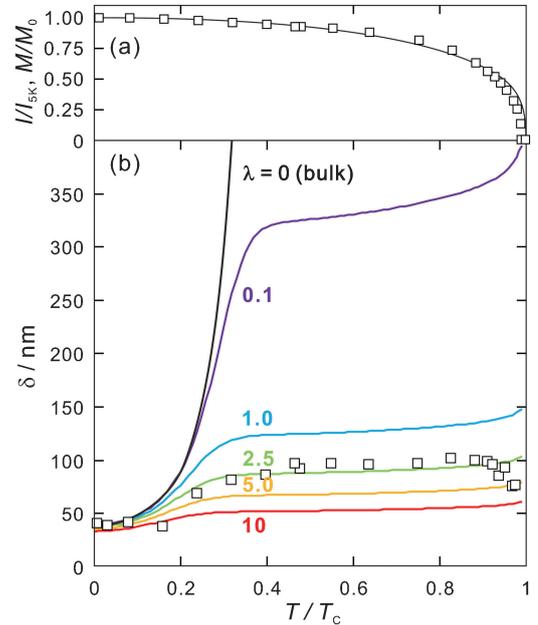


Fig. 2 (a) Ni の自発磁化の温度依存性 M/M_0 (曲線) と測定された磁区内の位相変化の温度依存性 I/I_{5K} (プロット). (b) 磁壁幅 δ の温度依存性.

バルク強磁性体に導入される 180° Bloch 磁壁の幅 δ は交換エネルギー γ_{ex} と結晶磁気異方性エネルギー γ_{ani} の和についての最小化の要請から $\pi(A/K_c)^{0.5}$ (A : 交換スティフネス係数, K_c : 結晶磁気異方性定数) で近似される. しかし薄膜という強い形状異方性の下では bcc や fcc 強磁性体の 180° Bloch 磁壁は必ずしも安定でなく, 計測される δ はバルクのそれとは異なる可能性が考えられる.

Fig. 1 (a) は Ni を磁化容易軸を含む (110) 面で薄膜化した試料の磁区組織である. ここで見える 180° 磁壁近傍に対し 5 K ~ T_c (キュリー温度; 627 K) 直下の温度域にて電子線ホログラムを取得し, 面内磁束分布像を得た. 5 K および 614 K における面内磁束分布を Fig. 1 (b), (c) に示す. 両温度における磁区を跨ぐ位相変化プロファイル (Fig. 1 (d)) より, 温度上昇に伴い磁区内の磁束密度は減じるものの磁壁構造はほぼ同じ構造を保っていることがわかる. 磁区内の面内磁束密度に対応する位相変化の温度依存性は既報の自発磁化の温度依存性と良い一致を示した (Fig. 2 (a)). 一方, Fig. 2 (b) に示す通り, δ の温度依存性は単調ではなく $(A/K_c)^{0.5}$ の温度依存性 (図中黒線) とは一致しないことが分かった.

この不一致を説明するため, 静磁エネルギー γ_{mag} の影響

を加味し, 試料の形状異方性を記述するためのパラメータ λ を導入すると, 同磁壁のエネルギー γ は,

$$\gamma \approx (A\pi^2/\delta) + (\delta K_c/2) + \lambda \cdot [\pi\delta^2/(\delta + D)] M_s^2$$

(D : 試料厚さ) と近似される. Fig. 2 (b) に様々な λ に対し $\partial\gamma/\partial\delta$ を満足する δ の温度依存性を示す. γ_{mag} の影響を考慮しないバルクモデル ($\lambda = 0$) では観察される δ の温度依存性を説明できないのに対し, 適切な λ 値を選び γ_{mag} の影響を加味することで実験結果を再現する温度依存性が得られる. このことは, バルク内部と異なり, 薄膜では γ_{mag} の増大を防ぐために shrink した磁壁になっていることを意味する. なお, この近似は磁気弾性異方性や結晶磁気異方性の小さい cubic 系の強磁性体で比較的良好に成り立つと考えられる.

A や K_c の実測には良質な単結晶が必要とされるだけでなく概して精密・高度な実験が求められる. 電子線ホログラフィー観察による δ の実測と, γ_{mag} を適切に評価することでこれらの絶対値だけでなく温度依存性までも簡便に見積もることが可能になると期待できる⁽¹⁾.

文 献

- (1) K. Niitsu, et al.: Appl. Phys. Lett., **113** (2018), 222407.
 (2018年 8月 7日受理) [doi:10.2320/materia.58.106]