

## 重点産業利用課題報告書

1. 実験課題番号: 2007A1940
2. 実験課題名: 微細加工で作製した磁性体微小構造のボルテックス形成に関するSPELEEMによる研究
3. 実験責任者所属機関及び氏名: NTT物性科学基礎研究所 前田文彦
4. 共同研究者: 日比野浩樹 (NTT物性基礎研), 関根佳明 (NTT物性基礎研),  
新田淳作 (東北大工), 好田誠 (東北大工), 郭方准 (JASRI),  
渡辺義夫 (JASRI), 小嗣真人 (JASRI)
5. 使用ビームライン: BL17SU
6. 実験結果:

電子のスピンをアクティブに制御するスピントロニクスデバイスは、不揮発、低消費電力のメリットを有し、次世代デバイスとして活発に研究が進められている。このデバイスにおいて、強磁性体/半導体接合はスピン偏極した電流の注入及び検出に欠かせない構造であり、強磁性体の磁区は微小半導体接合部における注入効率等の観点で大きな役割を果たす。ここで、素子を構成する磁性構造体では、構造体自身の形状ならびにその幾何学的配置によって磁区構造が大きく制約される。そのため、磁性構造体やその配置間隔が磁区と同程度のサイズになると、強磁性体の磁区構造に関する理解は素子の微細化に不可欠となる。

今回、磁性体の形状としてボルテックス状態にあれば磁束をはき出さないリング構造について注目した。これは、磁束をはき出さないことにより近接した磁性体への影響が小さくなり、高密度集積化に有利となるからである。さらに、この構造を用いてトンネル磁気抵抗効果を実現するにはボルテックスのカイラリティの制御が重要である。そのため、カイラリティ制御の観点で微小磁性体構造を設計し、理論計算により予測される結果と実際の磁区とを対応させ、これまで適用されてこなかった微小領域における理論の有効性の検証を試みるとともにカイラリティの制御を目指した。

実験では、強磁性体である Fe を用いて直径約  $1\ \mu\text{m}$  の ring をベースとした構造を多数形成した試料を作製し、分光型光電子・低エネルギー電子顕微鏡(SPELEEM)と円偏光軟 X 線を組み合わせて、この構造の内部磁区の観察を試みた。具体的には、Si 酸化膜を形成した Si 基板上に Fe 薄膜と Fe 膜の酸化を防止する薄い Au 保護膜を形成した後、電子線リソグラフィーによって線幅約 200nm, 直径  $1\ \mu\text{m}$  の ring 状構造を形成して試料を作製した。図 1 は、今回用いた構造について OOMMF (The Object Oriented MicroMagnetic Framework project) コード[1]を用いて磁化応答をシミュレーションした結果である。試料作製後に外部磁場をかけ、図中矢印で示した点で磁場を止めて観察に用いた。また、実験は BL17SU に設置した SPELEEM を用いて行い、アンジュレータの極性を切り替えることにより Fe の  $L_3$  吸収端直上の軟 X 線について右偏光と左偏光を用いて 2 次電子像を測定した。両者の像を取得後、除算による演算処理を行

うことにより、X線磁気円二色性(XMCD)像を求めた。

作製した試料を用いて測定を始めたところ、Fe磁性体構造とSi基板との反応抑制のために挿入した酸化膜による帯電効果が予想外に大きく当初2次電子像を得ることができなかった。そこで、超高真空中で表面に非磁性体金属であるPbを蒸着して帯電の解消を試みた。2次電子像をモニターしながらPb蒸着量を増やしていくと、急激に2次電子強度が増加した。そして、ほぼ飽和した時点で蒸着を停止したところ、鮮明な2次電子像が観察可能になった。図2に、ゴミによって遮蔽されてPbで被覆されなかった境界部分の2次電子像(縦5 $\mu\text{m}$ ×横5 $\mu\text{m}$ )を示す。下地が明るい部分がPbで被覆された領域で、暗い部分が被覆されていない領域である。Pb被覆領域に近い部分(a)や被覆領域(b)では、明瞭なパターンが観察できた。しかし、被覆領域から完全に孤立した部分(c)では帯電の影響で像が不明瞭になっているのが分かる。この条件においてピーク強度は小さいながらFeL<sub>3</sub>吸収端スペクトルが測定できたのでXMCD像を測定したところ、微弱ながら磁気円二色性による濃淡を観察することに成功した。ただし、観測された濃淡は不明瞭であり作製した構造とも必ずしも対応せず、計算結果との比較に耐える信頼性の高い実験結果を得ることはできなかった。

今回は、帯電効果が2次電子像の取得に予想以上に大きな影響を与え、信頼性の高い実験データを得ることは困難であることが分かった。今後、作製プロセスの見直しによる試料構造の最適化を図り、磁性体と基板との界面反応を抑制しつつ帯電の起きない試料を作製し、明瞭な磁区観察の達成を目指す。そして、試料構造と磁区構造の相関を解明し、理論計算の精度向上とボルテックスのカイラリティ制御に向けた構造最適化を図る。

#### 参考文献

[1] M. Donahue and D. Porter, OOMMF Users Guide, Version 1.2a3, NIST, 2002 (<http://math.nist.gov/oommf/>).

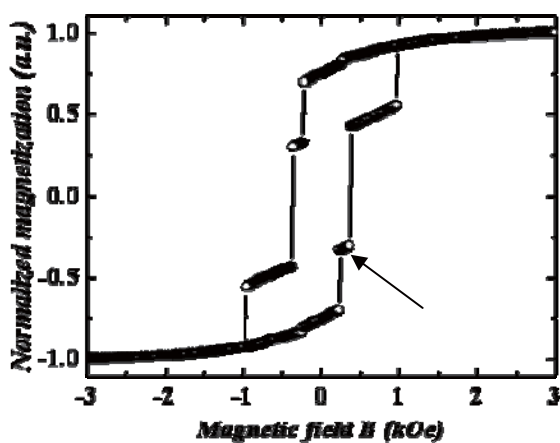


図1 作製した構造のOOMMFシミュレーション結果。

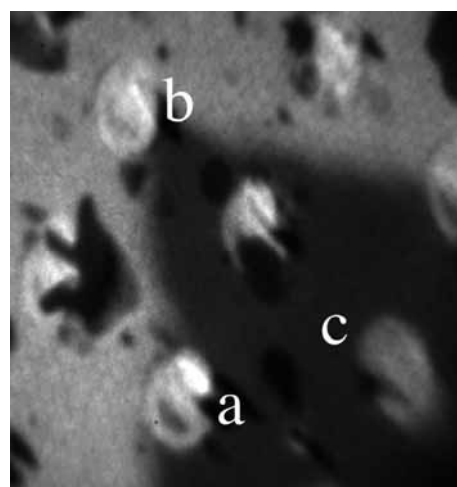


図2 作製した構造のSPLEEMで観察したSEM像。