

ナノ構造の磁気異方性と電界効果

小田 竜樹

金沢大学理工研究域

oda@cphys.s.kanazawa-u.ac.jp

磁気異方性は、基礎科学もさることながら応用上重要な磁性体の性質である。磁気メモリ材料などに用いる場合には、磁化方向が磁気配列の方向に対して垂直になっている垂直磁化材料(垂直磁化膜)が必要とされている。磁気異方性エネルギーは、内部エネルギーを磁化方向の関数として評価され、磁気双極子相互作用の寄与およびスピン軌道相互作用による電子状態の寄与の2つに分けて評価することができる。前者は、通常(正方格子等)は面内磁化を好む。後者から生じる面直磁化が、面内磁化を好む双極子の寄与を上回れば垂直磁化膜ができることになる。電子状態からの寄与がフェルミ準位付近の状態に非常に敏感であり、理論計算においても高精度な計算を行う必要がある。L1₀型のFePt規則合金は、c軸方向の強固な容易軸をもちナノ構造の磁性材料の候補として期待されている。我々のグループでは、こういった鉄白金系を例にとり磁気異方性エネルギーとその電界効果の研究を行ってきた。磁気異方性の起源を考える場合、磁性金属の軌道方向成分が、フェルミ準位に対してどのようなエネルギー位置にあるかが重要となる。もう少し具体的に述べると、d軌道成分の $m=0(3z^2-r^2)$ 軌道、 $\pm 1(xz, yz)$ 軌道、 $\pm 2(xy, x^2-y^2)$ 成分が、フェルミ準位に対してどのように配置しているかである。mが1つだけ互いに異なる軌道がフェルミ準位の上下に存在すると、面内磁化を好む磁気異方性を生み出し、mが互いに等しい軌道がフェルミ準位の上下にあると面直磁化を好むことになる。したがってxzおよびyz軌道がフェルミ準位付近から消失すると面直(z方向)磁化を強く発現する可能性がある。実際はフェルミ準位付近の電子構造は複雑であり、磁気異方性エネルギーを具体的に見積もることが求められる。電界を印加した場合[1,2]は、各軌道方向成分に、それぞれ異なったエネルギー準位の変化が起こるため磁気異方性が変化することになる。

実験では白金微斜面の段差端に磁性金属一次元鎖を構築するような微細加工を施す技術が進展している。(997)面段差端の鉄鎖では、容易軸が鎖方向に垂直でほぼ面内であるとの結果が報告されている[3]。孤立した鉄鎖について計算を行うと、鎖方向が磁化容易軸であることがわかる。Pt(111)表面上の鉄鎖でも、容易軸は鎖方向である。Pt(664)面段差端においた計算結果では、容易軸は鎖に垂直であることが分かり、実験をよく再現している結果を得ている[4]。

FePtとFePdのナノ構造で保磁力の電界効果が報告されているが、電界に対して反対の変化が報告されている[5]。小さな系で磁気異方性エネルギーの電界効果を計算すると、電界に対する異方性エネルギーの変化はやはり逆になっており実験結果を定性的に説明している[6]。

計算機性能の向上と計算コードの開発の進展により、徐々に実験と理論計算の対応関係はよくなっており、電界効果まで含めて、磁気異方性のデザインが可能となることが望まれる。

[1] M. Tsujikawa and T. Oda, J. Phys.: Condens. Matter, **21**, 064213 (2009).

[2] M. Tsujikawa and T. Oda, Phys. Rev. Lett. **102**, 247203 (2009).

[3] D. Repetto *et al.*, Phys. Rev. B **74**, 054408 (2006).

[4] M. Tsujikawa, A. Hosokawa, T. Oda, Phys. Rev. B, **77**, 054413 (2008).

[5] M. Weisheit *et al.*, Science **315**, 349 (2007).

[6] S. Haraguchi *et al.*, J. Phys. D: Appl. Phys., **44**, 064005 (2011).