

## 磁性薄膜 Pd/Fe/Pd(001)における磁気異方性とその電界効果

Electric field effects on magnetic anisotropy energy in the magnetic film Pd/Fe/Pd(001)

原口辰也<sup>1</sup>、後藤純平<sup>1</sup>、辻川雅人<sup>1</sup>、小田竜樹<sup>2</sup>

Junpei Gotou<sup>1</sup>, Shinya Haraguchi<sup>1</sup>, Tsujikawa Masahito<sup>1</sup>, Tatsuki Oda<sup>2</sup>

<sup>1</sup>金沢大学自然科学研究科、<sup>2</sup>金沢大学理工研究域

Graduate School of Natural Sciences and Technology, Kanazawa University, Kanazawa 920-1192  
Institute of Science and Engineering, Kanazawa University, Kanazawa 920-1192

スピントロニクス分野において、電界または電位差によって磁性を制御することに注目が集まっている。これまで、保磁力または磁気異方性エネルギーの電界依存性測定の実験が、希薄磁性半導体(In,Mn)As, ZrO<sub>2</sub>/(Ga,Mn)As[1]をはじめ、FePt や FePd といった金属磁性薄膜[2]でも報告されてきた。我々は、FePt を含む系での磁気異方性エネルギーとその電界効果についての研究成果を挙げてきた[3]。実験で FePt 系との違いが明らかとなっている FePd 系での電界効果に関する研究を行ってきた[4]が、これまで Pt と Pd に関する起源の違いが明確ではなかったため、より詳細な磁気異方性エネルギーと電界効果に関する研究を行った。磁気異方性エネルギー(MAE)を評価する際には、これまでスピン軌道相互作用(SOI)を含む第一原理計算のみを行ってきたため、データ解析の範囲が狭くなっていた。本研究では、MAE の電界効果をより詳細に解析するため、単位胞中の原子毎に SOI を考慮するかしないかを決めて計算し、電界効果の起源について議論する。

Pd/Fe/Pd(001)の MAE は表面外向きの電界に対して減少することが得られ、この結果と Pt/Fe/Pt(001)における理論研究[3]とを比較すると実験結果[2]と一致する傾向が得られている[4]。電界ゼロでは、 $-426 \mu\text{J}/\text{m}^2$ (面内磁気異方性)の MAE を示し、電界に対して $-21\text{fJ}/\text{Vm}$ の変化率を示す。電界によるスピン密度の変化から、電界は表面から 2-3 原子層程度まで侵入することが明らかとなっている。Pd 原子での電界効果を、表面 Pd の原子(Pd(c))や 2 原子層目の Fe 原子の SOI を導入せず電子状態、MAE および電界効果を計算した。その他にも SOI を導入しない原子をいろいろ変化させて MAE の電界効果を見積もった。

計算結果では、全ての原子に SOI を導入したものと同符号の変化率を示した。この変化率の大きさについては、ある程度、系統的に変化する結果が得られた。Fe だけ SOI を考慮しなかった系では、もとの系の半分程度の変化率を示した。また Pd(c)と Fe を取り除いた薄膜(Pd の薄膜)についても MAE の電界効果を計算すると、比較的大きな電界効果が得られた。この 2 つの系の結果から、Fe からの寄与も重要であるが、Pd 自体からも MAE の電界効果が生じていることが示唆される。このような計算結果から、Pd の層を調整することにより電界効果を制御することが可能となると考えられる。研究では、局所的な MAE の寄与を示した MAE 密度分布を用いた解析を行い、FePt 系で同様の計算を行って、FePd 系との比較を行った。

[1] D. Chiba et al., Nature **455**, 515 (2008)

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

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

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