

Mn-Ir/(Ni-Fe, Ni-Co)積層膜における界面誘起 Mn 磁気モーメント と交換磁気異方性との相関

Correlation between interface-induced ferromagnetic Mn moment and exchange bias in Mn-Ir/(Ni-Fe, Ni-Co) bilayers

角田匡清^a, 高橋宏和^a, 中村哲也^b, 児玉謙司^b, 三俣千春^c
M. Tsunoda^a, H. Takahashi^a, T. Nakamura^b, K. Kodama^b, C. Mitsumata^c

^a東北大学工学研究科, ^b高輝度光科学研究センター, ^c日立金属
^aGrad. School of Engng., Tohoku University, ^bJASRI, ^cHitachi Metals

Mn-Ir/強磁性積層膜の交換磁気異方性のメカニズムを明らかとすることを目的として、強磁性層組成を変化させた場合の一方向異方性定数 (J_K) の大きさと、界面誘導非補償反強磁性スピンの相関について透過法 XMCD により検討した。非補償 Mn スピンの大きさは、強磁性層の結晶構造が bcc の範囲では J_K の大きさとほぼ対応するが、fcc の範囲ではその対応関係が成り立たないことが判った。

In order to clarify the mechanism of exchange anisotropy of Mn-Ir/ferromagnetic (FM) bilayers, correlation between unidirectional anisotropy constant, J_K , and interfacial induced uncompensated antiferromagnetic (UC-AFM) spins was investigated with transmission XMCD method, as a function of the ferromagnetic layer composition. While the magnitude of UC-AFM correlate with the J_K within the compositional range where crystal structure of FM layer is bcc, this relationship is not satisfied in the range where FM has fcc structure.

キーワード：次世代磁気記録、スピンバルブ、MRAM、交換磁気異方性、X線磁気円二色性

1. 研究背景と目的

強磁性／反強磁性積層膜で観測される交換磁気異方性は、MRAM を始めとするスピントロニクスデバイスや超高密度 HDD 用スピンバルブヘッド等に実用化され、記録密度の増大に伴って、より大きな交換磁気異方性を導出することが求められている。交換磁気異方性の大きさ（一方向異方性定数, J_K ）を増大するための一つの手法として、強磁性層の組成を変化させることが知られ、Mn-Ir を反強磁性層に用いた交換結合膜においては、強磁性層の組成に対して、 J_K は系統的に変化する。交換磁気異方性は、主に反強磁性層内部に導入される‘磁場反転に対して非対称な’反強磁性スピンのねじれ構造によって誘導されると考えられるため[1]、同じ反強磁性層を有する積層膜で、強磁性層組成に対して J_K が系統的に変化する現象は容易には理解できない。一方、SPRING-8 BL25SU を利用した著者らのこれまでの研究により、Mn-Ir/Co-Fe 積層膜においては、積層界面の 1~2ML の範囲に非補償反強磁性スピン成分が誘起され、交換磁気異方性の大きさを支配する要因となることが明らかとなっており[2]、界面の交換結合を通じて、強磁性層組成が交換磁気異方性に影響

を及ぼすメカニズムの一端が明らかとなっており。実際、筆者らのグループでは、強磁性層の組成を系統的に変化させた Mn-Ir/Co-Fe 積層膜について、軟 X 線 MCD 分光の手法によって、サブナノメートル厚の界面層に誘起された非補償反強磁性スピンの計測を行った。その結果、界面 Mn の MCD スペクトルには、強磁性層磁化との結合方向を異にする 2 つの成分が含まれ、Co-Fe 層が体心立方 (bcc) 構造を有する範囲においては、2 つの成分の二乗和の平方根と J_K の大きさが 1 対 1 に対応することを見出した (2007A1976 課題)。そこで、本研究では、強磁性層の組成を Ni-Fe, Ni-Co に拡張し、上記対応関係が成り立つかどうかについて検討を行った。

2. 実験方法

Si-N メンブレン上に成膜した Ta(4)/Ru(5)/Mn₇₇Ir₂₃(10)/(Ni_{100-x}Fe_x, Ni_{100-x}Co_x)(4)/Ru(1)/Ta (1nm) の構造の積層膜について、透過法により Mn の L 吸収端近傍の吸収スペクトルならびに MCD スペクトルを測定した。L₃ 吸収端における MCD の大きさを、共鳴吸収ピーク (white line) の大きさと規格化し、原子当たりの局所あるいは誘導磁気モーメントの大きさの指標とした。

3. 実験結果と考察

強磁性層の組成に対して、Mn の規格化 MCD の大きさをプロットした結果を Fig.1 に示す。図中には、同じ膜構成で熱酸化膜付 Si 基板上に作製した積層膜で計測した J_K の大きさ、ならびに強磁性層の結晶構造も合わせて示した。比較のために、2007A1976 課題で計測した Mn-Ir/Co-Fe 積層膜の結果も合わせて示している。先ず強磁性層の結晶構造が bcc の範囲について見る。 J_K の大きさは、Co₇₀Fe₃₀ 付近の組成でおよそ 0.6erg/cm² の最大値をとり、Fe 濃度の増大に伴って、単調に減少する。このとき、Mn の規格化 MCD の大きさは Fe-Co 層の組成に対して、系統的に変化し、Fe=77at%付近においてその符号が変化する。Mn-MCD の符号の変化は、前述したように Fe 起源の界面誘起 Mn スピンと Co 起源の界面誘起 Mn スピンの方向が異なっていることに由来しており、2つの成分の二乗和の平方根を取ると J_K の大きさと 1対1に対応する。さらに、Fe-Ni の領域では、Ni 濃度 40 at.%付近のインバー合金組成に向かって J_K はさらに減少した。次に強磁性層の結晶構造が fcc の範囲について見る。Co₇₀Fe₃₀ 付近の組成で最大値をとった J_K は、Co 濃度の増大に伴って急激に減少する。さらに Co-Ni の領域では、 J_K は Ni 濃度 40 at.%近傍で緩やかなピークを作った後に減少し、純 Ni の場合には、ほぼ 0 となった。さらに、Ni-Fe 領域では、Fe 濃度の増大に従って、 J_K は増大する傾向を示すが、Ni 濃度 40 at.%付近のインバー合金組成に向かって急激に減少した。Mn-MCD の

変化は、Ni-Fe 系においては、Co-Fe 系の場合と同様に符号の変化を伴い、Fe 起源の界面誘起 Mn スピンと Ni 起源の界面誘起 Mn スピンの方向が異なることが判る。一方で、Ni-Co 系における Mn-MCD の変化は符号の変化を伴わず、およそ Ni 濃度の増大に伴って、Mn-MCD の大きさは単調に増大した。この Ni-Co 系における Mn-MCD の大きさの変化と前述した J_K の大きさの変化を比較すると、少なくとも、bcc-Co-Fe 強磁性層を用いた積層膜で見られた 1対1の対応関係は成立しないことが判る。

以上のことから、Mn-Ir/強磁性積層膜の交換磁気異方性の大きさは、界面誘起 Mn の大きさだけでなく、強磁性層の結晶構造にも依存することが明らかとなった。

4. 今後の課題

本課題によって、XMCD による界面誘導非補償反強磁性スピンは積層界面における異種原子間の交換結合の状況を知る上で有効であることが、それだけでは交換磁気異方性の大きさを説明できないことが判った。今後は、本課題の実験結果を踏まえ、積層膜のスピンの構造のマイクロマグネティクスシミュレーションなどを通じ、より統一的な交換磁気異方性のメカニズム解明を目指す。

参考文献：

- [1] C. Mitsumata et al., Phys. Rev. B **68**, 014437 (2003).
- [2] M. Tsunoda et al., J. Appl. Phys., **101**, 09E510 (2007).

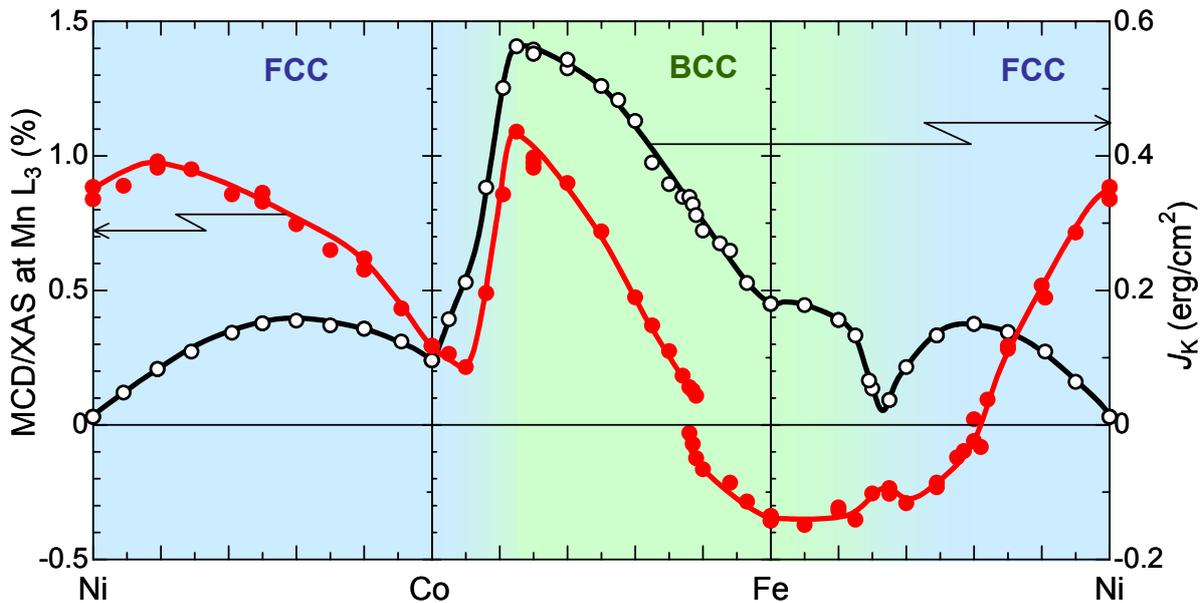


Fig.1 Normalized Mn-MCD and J_K in Mn-Ir/(Ni-Co, Co-Fe, Fe-Ni) bilayers.