

Mn₃Ir/Co-Fe 積層膜の巨大交換磁気異方性と反強磁性スピンの 磁化過程との相関

Study of the correlation between the giant exchange anisotropy and the magnetization process of antiferromagnetic spins in Mn₃Ir/Co-Fe bilayers

角田匡清^a、芦沢好人^a、仲真美子^a、吉滝慎一郎^a、中村哲也^b

Masakiyo Tsunoda^a, Yoshito Ashizawa^a, Mamiko Naka^a, Shin-ichiro Yoshitaki^a, Tetsuya Nakamura^b

^a 東北大学大学院工学研究科電子工学専攻、^b 高輝度光科学研究センター

^aDept. of Electronic Engng., Grad. School of Engng., Tohoku University, ^bJASRI

Mn₃Ir/Co-Fe 積層膜で観測される巨大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、交換磁気異方性の大きさが著しく異なる2種類のMn-Ir/Co-Fe積層膜のESMH計測を行った。実験に用いた試料各層の化学組成は同一であり、反強磁性層の構造のみが規則(L1₂)相ならびに不規則(γ)相と異なる。両試料共に、強磁性層磁化に追従して反転もしくは回転する反強磁性スピン変位によるMnの強磁性成分のヒステリシス曲線が観測された。

In order to clarify the mechanism of giant exchange anisotropy observed in Mn₃Ir/Co-Fe bilayers, the element specific magnetization hysteresis measurements were performed on two different Mn-Ir/Co-Fe bilayers whose exchange anisotropy strength were significantly different. The chemical composition of the bilayers was same, but the crystallographic structure of the Mn-Ir layer were different as order (L1₂)-phase and disorder (γ)-phase. In both the bilayers, hysteresis behaviors of ferromagnetic component of Mn spins, arisen from the canted spin structure in the antiferromagnetic layer, were observed against external applied field. The magnetization reversal/rotation processes of Mn spin component well corresponded with those of ferromagnetic layer.

背景と研究目的

強磁性／反強磁性積層膜で観測される交換磁気異方性は、通常印加磁界方向に追従する強磁性体の磁化が一方向に固着される現象であり、多層膜における磁化相対角の人工制御性を生み出すため、磁気ランダムアクセスメモリ(MRAM)を始めとするスピントロニ

クスデバイスや超高密度磁気記録用スピントロニクスヘッド等に既に実用化されている。近年では、超高密度垂直磁気記録媒体の裏打ち軟磁性膜の磁区制御、マイクロ波帯用薄膜磁気デバイスの共鳴周波数制御などへの応用など、これまでにない広い応用分野での検討がなされており、ナノスピンマニピュレーションに

不可欠の要素技術となって来ている。

一方で、およそ半世紀前の交換磁気異方性の発見以来、その物理の理解と特性開発が多くの研究者によって行なわれてきたものの、現在に至るまで、本事象の統一的解釈と特性導出のための材料設計指針を欠いているのが世界的に見た研究の実状であり、交換磁気異方性の特性の内、応用上最も重要なスピン固着力（一方向異方性定数： J_K ）に関してすら、その定量的理解ならびに理論上限値が明らかとなっていない。実験責任者らのグループでは、近年 $L1_2$ 型 Mn_3Ir 反強磁性規則相を用いた積層膜で巨大な交換磁気異方性 ($J_K = 1.3 \text{ erg/cm}^2$) が誘導されることを見出した[1]。本材料はその優れた特性から既に産業応用のための検討が始まっているのと同時に、80年代後半の理論で定量解釈が成り立ったとする当時の値と比較して数倍の J_K を示すことから、学術的な側面からも交換磁気異方性研究の大きな転機になるものである。

交換磁気異方性の統一的理解のためには、積層膜内部、特に反強磁性層におけるスピンの構造とその磁化過程の解析が不可欠であり、元素選択磁化（ESM: Element Specific Magnetization）測定が有効である。ESMによって反強磁性層内に誘起された Mn の磁化の僅かな変位成分を検出し、反強磁性層のスピン構造とその外部磁界印加時の変化（磁化過程）を解析することが可能である。実際、Ohldag は、交換磁気異方性の着磁方向と軟 X 線の波数ベクトルを平行ならびに反平行とした場合に、反強磁性層スピンの磁気ヒステリシスループに、縦シフトが現れ、そのシフト量と交換磁気異方性の大きさが対応すると報告している[2]。Ohldag の解釈が正しいとするなら

ば、本研究で用いる $L1_2$ 型 $Mn_3Ir/Co-Fe$ 積層膜では、極めて大きな縦ループシフトが観測されるものと考えられる。

実験

実験は BL25SU の電磁石 MCD 装置を用いて行った。試料は $L1_2$ 型 Mn_3Ir 10nm / Co-Fe 4 nm 積層膜、ならびに比較試料として γ (不規則 fcc)- $Mn_{75}Ir_{25}$ 10 nm / Co-Fe 4 nm 積層膜を用いた。両積層膜表面には、酸化防止膜として Ru 1 nm / CrNiFe 2 nm を積層している。軟 X 線波数ベクトルと電磁石磁界の方向には 10 度の伏角があり、試料面から測った印加磁界の方向は 20 度、軟 X 線波数ベクトルの方向は 30 度とした。試料温度は室温とした。同一の試料基板から測定試料を 2 枚切り出し、交換磁気異方性の着磁方向を 180 度反転させて試料台に固定した (\pm 着磁)。吸収スペクトルならびに ESMH の計測は全電子収量法 (TEY) によった。

結果および考察

図 1 に ESMH の測定結果を示す。縦軸の MCD 信号は、各元素 (Co および Mn) の $L3$ ならびに $L2$ 吸収端でのそれぞれの MCD 強度 ($= (I_+ - I_-) / (I_+ + I_-)$; I_{\pm} は \pm hericity 偏光に対する吸収強度) の差分としている。

Co の ESMH は通常の磁化測定で得られるものと同等の磁気ヒステリシス曲線が得られており、 $L1_2$ -, γ -試料共に +着磁試料と -着磁試料のそれぞれで負磁界、ならびに正磁界方向への横シフトが認められる。シフト磁界の大きさは、 J_K の大きさに従って、 $L1_2$ -試料では約 2 kOe と大きな値を示している。一方で、Mn の ESMH に関しても、着磁方向ならびに

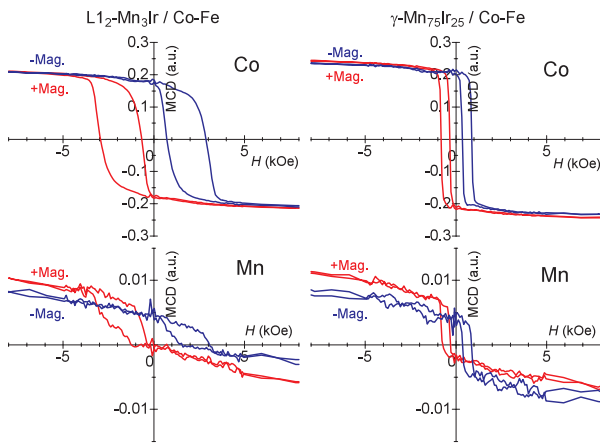


Fig.1 Co and Mn ESMH for bilayers with ordered ($L1_2$) and disordered (γ)-Mn-Ir layer.

$L1_2$ 、 γ -のそれぞれに依らず、磁気ヒステリシスを示すことが判る。同時に Mn の ESMH の磁気ヒステリシスは Co のそれと良く対応している。このことは、Mn-Ir 膜中に誘起された反強磁性スピンの変位に基づく強磁性成分が、強磁性 Co-Fe 層の磁化と同時に反転あるいは回転を起こしていることを意味している。特に、 J_K の大きさが 3 倍程度異なる $L1_2$ -試料ならびに γ -試料の双方で、反強磁性層中の強磁性成分が、強磁性層磁化に同様に追従して反転をすることは、今回の実験による発見であり、理論計算と対比させた今後の交換磁気異方性メカニズム解明の一助となることが予想される。

一方で、Ohldag の論文で主張されている、反強磁性層のヒステリシスループの縦シフト量の大小と J_K との相関については、今回の実験結果からはその是非に対して結論を下すことができない。これはすなわち、図 1 において $L1_2$ -試料の Mn-ESMH のヒステリシスの縦方向の大きさが、+着磁試料と-着磁試料で 50%程度の違いを生じていること、ならびに γ -試料の Mn-ESMH のヒステリシスにおいては+着磁試料が上方向に、-着磁試料が下方向

にシフトしており、Ohldag 論文で主張されるような固着した Mn の強磁性成分存在下でのヒステリシス曲線の挙動と全く逆に振舞っていることによる。現時点で考えるこのような奇異な振る舞いの原因は、TEY 法に起因する二次電子収量の磁界強度依存性などの artifact による影響である。

今後の課題

本課題によって、XMCD による交換磁気異方性膜の磁化過程計測が有効であることが判ったので、今後は、蛍光法、透過法など、artifact が少ないと考えられる MCD 計測法を用いて、MCD 信号が極めて微弱な反強磁性スピン変位の磁化過程を、より明確にできるような実験を計画したい。

参考文献

- [1] K. Imakita et al., Appl. Phys. Lett., **85**, 3812 (2004).
- [2] H. Ohldag et al., Phys. Rev. Lett., **91**, 017203 (2003).

キーワード

- ・ 交換磁気異方性

強磁性層／反強磁性層積層膜で観測される界面現象の一つ。磁気記録などに応用される。