

**MnIr/CoFe 二層膜のアニール過程における界面 Mn スピンと  
交換結合エネルギーの相関**  
 ～高温軟 X 線 MCD 測定による *in-situ* 直接観察～  
**Correlation between interface-induced ferromagnetic Mn moment and  
exchange coupling energy during thermal annealing process  
in MnIr/CoFe bilayers**  
 ～ *In-situ* direct observation with pyrometric soft x-ray magnetic circular  
dichroism measurements ～

角田匡清<sup>a</sup>, 高橋宏和<sup>a</sup>, 駒崎洋亮<sup>a</sup>, 中村哲也<sup>b</sup>, 児玉謙司<sup>b</sup>  
 M. Tsunoda<sup>a</sup>, H. Takahashi<sup>a</sup>, Y. Komasaki<sup>a</sup>, T. Nakamura<sup>b</sup>, K. Kodama

<sup>a</sup> 東北大学工学研究科, <sup>b</sup> 高輝度光科学研究センター  
<sup>a</sup>Grad. School of Eng., Tohoku University, <sup>b</sup>JASRI

Mn-Ir/強磁性 (FM) 積層膜の交換磁気異方性のメカニズム解明の一助とすることを目的として、熱処理過程における界面誘導非補償反強磁性スピンの変化について *in-situ* で透過法 XMCD により測定を行った。非補償 Mn スピンは、積層界面の FM 層側結晶構造や組成によって、as-depo 状態においてその大きさが異なるのみならず、アニール処理過程における変化の挙動についても異なることを見出した。

In order to help for deep understanding of the mechanism of exchange anisotropy of Mn-Ir/ferromagnetic (FM) bilayers, interface-induced uncompensated antiferromagnetic (UC-AFM) spins was *in-situ* observed with transmission XMCD method, during the thermal annealing process of the bilayers. The magnitude of the UC-AFM spins correlate with the composition and crystal structure of the FM layer in as-deposited state. Changing behavior of the UC-AFM spins during the thermal annealing process also depends on the composition and the structure of the FM layer.

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

**背景と研究目的：** 本研究はハードディスクの記録密度の性能向上を目的として、読み取りヘッド素子の機能発現に不可欠なスピバルブ磁気結合構造の微視的起源について調査を行うものである。スピバルブを構成する磁気結合のなかでも反強磁性(AF)層と強磁性(F)層の界面に働く交換結合発現のメカニズム解明は今後の微小素子開発の鍵となる重要な課題と位置づけられる。筆者らのグループでは、BL25SUにおける一連の軟X線MCD測定によって、MnIr(AF)/CoFe(F)界面における非補償Mnスピンの分布や磁場応答について調査を行いその特徴を明らかにしてきた[1, 2]。一方、交換異方性薄膜の作成プロセスに注目すると、通常 as-depo.膜では交換異方性エネルギー( $J_K$ )は小さく磁界中アニール処理によって効果的に  $J_K$  が増大することから、アニールの過程で界面非補償スピンに有意な変化が生じていると予想される。したがって、本課題はアニール中の界面スピンの変化を軟

X線MCDによって調べ、交換異方性発現のメカニズム解明に向けた研究を進展させることを目的として実施した。

**実験方法：** 実験はBL25SUの電磁石MCD装置を用いて行った。高温測定用インサート、および、透過測定用試料キャリアを使用し、透過法によって高温下(室温~280°C)のXMCD測定を行った。試料は主として①Mn<sub>78</sub>Ir<sub>22</sub>(5nm)/Co<sub>50</sub>Fe<sub>50</sub>(3nm)二層膜であり、同時成膜で作成した計4個の試料のうち、2片を*in-situ*のXMCD測定に、また、残り2片を予め実験室で220°C、280°Cの各温度でアニール処理を行い *ex-situ*のXMCD測定に用いた。さらに、AF/F界面に極薄のCo層を挿入した②Mn<sub>78</sub>Ir<sub>22</sub>(5nm)/Co(0.5nm)/Co<sub>50</sub>Fe<sub>50</sub>(2.5nm)、および、③Mn<sub>78</sub>Ir<sub>22</sub>(5nm)/Co(3nm)についてもアニール処理中の*in-situ* XMCD測定を行った。

これまでの研究で、②の試料ではbcc構造であるCo<sub>50</sub>Fe<sub>50</sub>層に誘導されて極薄のCo層が

bcc構造となり、その結果、③のようにCo層がfcc構造を有する場合や、さらに試料①と比べても大きな $J_K$ を発現することが分かっている。

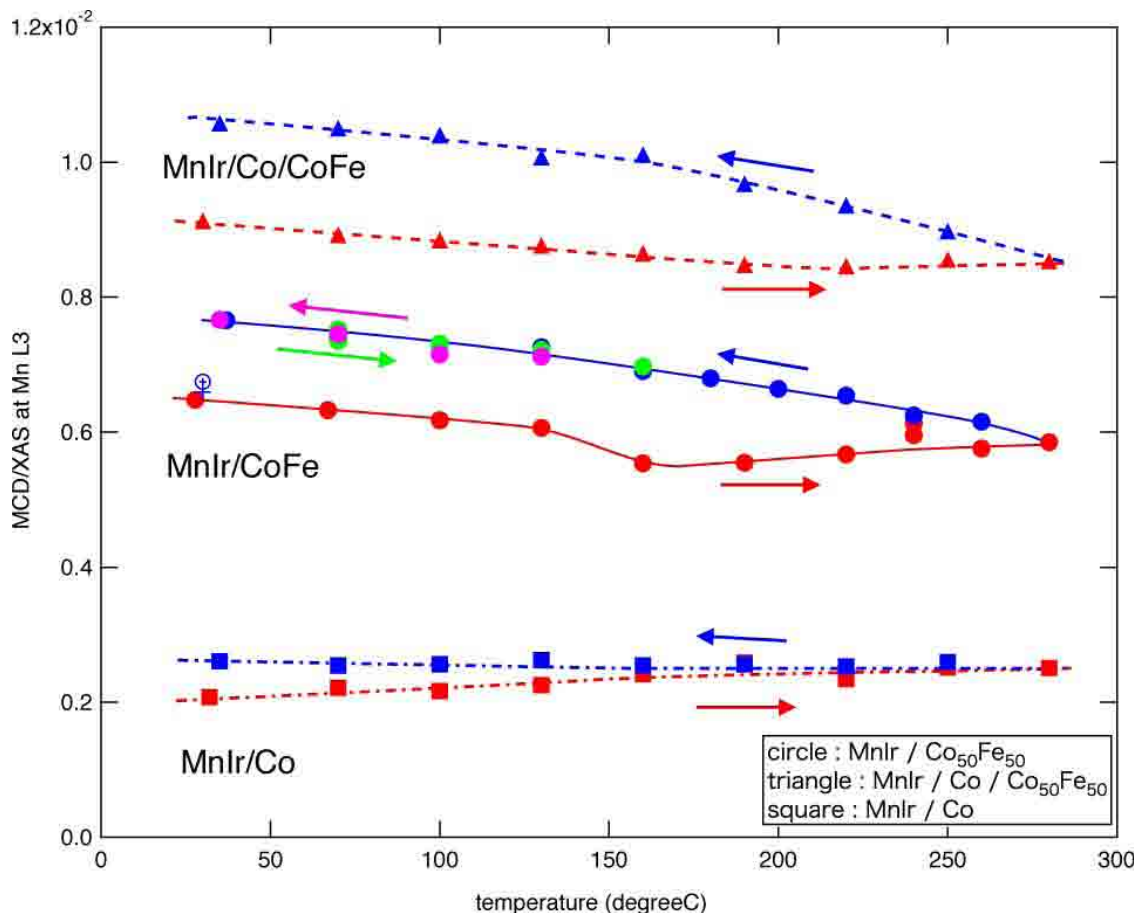
**実験結果と考察：** 図に Mn の  $L_3$  吸収端における XMCD 強度の試料温度依存性を示す。①～③の何れの試料においてもアニール処理（昇温→降温）の結果、Mn の XMCD が増大しており、非補償の Mn スピンが増大していることが示された。また、①の試料について、昇温過程の 150°C 付近で Mn の MCD 強度が極小となっており、このことは 2007A の予備実験結果と整合している。また、①の試料で 280°C から室温へ降温後に再び 150°C まで昇温したが、XMCD 強度は可逆的に変化をした。一方、②の試料では Mn の MCD 強度の極小は約 220°C 付近に認められるが、③の試料では 280°C までの範囲で単調に増加し、降温時にも大きな強度変化は示さない。これらの結果より、AF/F 界面の F 側結晶構造や組成によってアニール処理中の Mn 非補償スピンの大きな差異が生じることが明らかになった。

**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、ならびに積層界面の結晶構造変化に基づくスピン構造の変化を知る上で有効であることが判った。また、交換磁気異方性が消失するブロッキング温度以上においても、界面誘導非補償反強磁性スピンの残留が直接的に観測され、同非補償スピンの積層界面の交換結合によって誘起されていることが明らかとなった。

今後は、本課題の実験結果を踏まえ、積層膜のスピン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] K. Imakita, M. Tsunoda, and M. Takahashi; Appl. Phys. Lett., **85** (2004) 3812.
- [2] M. Tsunoda, S. Yoshitaki, Y. Ashizawa, C. Mitsumata, T. Nakamura, H. Osawa, T. Hirono, D. Y. Kim, and M. Takahashi; J. Appl. Phys., **101**, (2007) 09E510.
- [3] M. Tsunoda, T. Nakamura, M. Naka, S. Yoshitaki, C. Mitsumata, and M. Takahashi; Appl. Phys. Lett., **89** (2006) 172501.



**Fig.1** Normalized Mn-MCD in Mn-Ir/FM bilayers during their thermal annealing process.