

核共鳴散乱法を用いた Cr 系ナノ薄膜における磁氣的 フラストレーション効果の検出

Detection of Magnetic Frustration Effects in Cr-Based Nanoscale Thin Films using Nuclear Resonant Scattering

壬生 攻^{1,2}、瀬戸 誠^{3,2,5}、北尾真司^{3,2}、東谷口 聡^{3,4}、三井隆也^{5,2}

*K. Mibu^{1,2}, M. Seto^{3,2,5}, S. Kitao^{3,2}, S. Higashitaniguchi^{3,4}, T. Mitsui^{5,2}

¹ 名古屋工業大学大学院工学研究科、² CREST-JST、³ 京都大学原子炉実験所、
⁴ 京都大学大学院理学研究科、⁵ 日本原子力研究開発機構量子ビーム応用研究部門

¹ Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology, ² CREST-JST,

³ Research Reactor Institute, Kyoto University, ⁴ Graduate School of Science, Kyoto University,

⁵ Quantum Beam Science Directorate, Japan Atomic Energy Agency

金属ナノ薄膜における局所磁性の測定を目的に、⁵⁷Fe 核共鳴散乱実験を行った。電子スピ
ン分極のプロブとなる ⁵⁷Fe 核を含む薄膜試料に、プロブ核のメスバウアー遷移エネ
ルギーにあわせた単色放射光 X 線を入射し、核によって共鳴散乱された X 線の時間スペク
トルを測定した。厚さ 10.0nm の Cr 層の上に 0.2 nm の ⁵⁷Fe 単原子プロブ層を配した試料の核
共鳴時間スペクトルの温度依存性を測定したところ、Cr 層の下地に 1.0 nm の強磁性 ⁵⁶Fe 層
を敷いた試料と敷かない試料でスペクトルに明確な違いがみられ、下地の強磁性 ⁵⁶Fe 層の影
響を受けて Cr 層の磁気構造が変化し、⁵⁷Fe プロブ層の局所磁性に影響を及ぼしていること
を示唆する結果が得られた。

In order to study local magnetism in metallic thin films, ⁵⁷Fe nuclear resonant scattering measurements
were performed at BL11XU. X-ray beams corresponding to the ⁵⁷Fe Mössbauer transition energy were
monochromatized into a width of several meV and injected to samples containing a ⁵⁷Fe (90% up) layer as
a probe layer. The time spectra of X-rays resonantly scattered from the probing nuclei were successfully
obtained for samples with an ⁵⁷Fe(0.2 nm) layer deposited on a Cr(10.0 nm) layer at various temperatures. It
was found that the beat patterns of these spectra are different between the samples with and without an
⁵⁶Fe(1.0 nm) underlayer, suggesting that the magnetic structure of the Cr layer is changed by the existence of
the underlaid ferromagnetic ⁵⁶Fe layer.

背景と研究目的

ナノメートルサイズの磁性薄膜や磁性構造
体における局所磁性や局所電子スピン分極に
関する実験データは、磁性体ナノテクノロ

ジーやスピントロニクス発展のために重要
な情報源となる。メスバウアー分光法など原
子核をプロブとした実験法は、このような
局所磁性の測定手段として極めて有効である。

メスバウアー分光法を単結晶基板上に作製したナノ薄膜やナノ構造体に適用するにあたっては、いわゆる反射配置での測定が不可欠であるが、通常の線源実験で用られる内部転換電子検出法では実験環境に対する制約が多く、低温における測定、磁場・電場中での測定、低プローブ濃度試料の測定などが困難になる。これらの欠点を補う測定手段として、最近発展が著しい放射光核共鳴散乱法（放射光メスバウアー分光法）の利用が有望である。

当研究グループではこれまで、放射光核共鳴散乱法を用いた磁性薄膜・ナノ構造体の局所的磁性に関する研究を進めてきた。2006A期は2005B期の予備的な実験に引き続き、Cr層上に蒸着した ^{57}Fe 単原子層に誘起される内部磁場を、核共鳴散乱スペクトルを通じて検出する実験を試みた。Cr層の下地に強磁性 ^{56}Fe 層が存在する試料と存在しない試料を作製し、Cr層上の ^{57}Fe 単原子層に誘起され

る内部磁場の違いを調べることによって、強磁性 ^{56}Fe 層／反強磁性Cr層界面の原子ステップに起因する磁氣的フラストレーション効果 [1] が、Cr層やさらにその上の ^{57}Fe 単原子層の磁性に及ぼす影響を明らかにすることを目的としている。

実験

^{57}Fe 原子核のメスバウアー共鳴エネルギー（14.4 keV）に合わせたアンジュレーター放射光を、高分解能モノクロメータを用いてバンド幅数 meV 程度に絞ったのち試料に入射し、試料による核共鳴散乱時間スペクトルをアバランシェ・フォトダイオード（APD）検出器を用いて測定した。試料最表面付近にわずか1原子層程度蒸着されたプローブ核によって入射X線を効率的に共鳴散乱させるために、薄膜面すれすれ入射の全反射配置での測定を試みた。X線パルス入射直後から

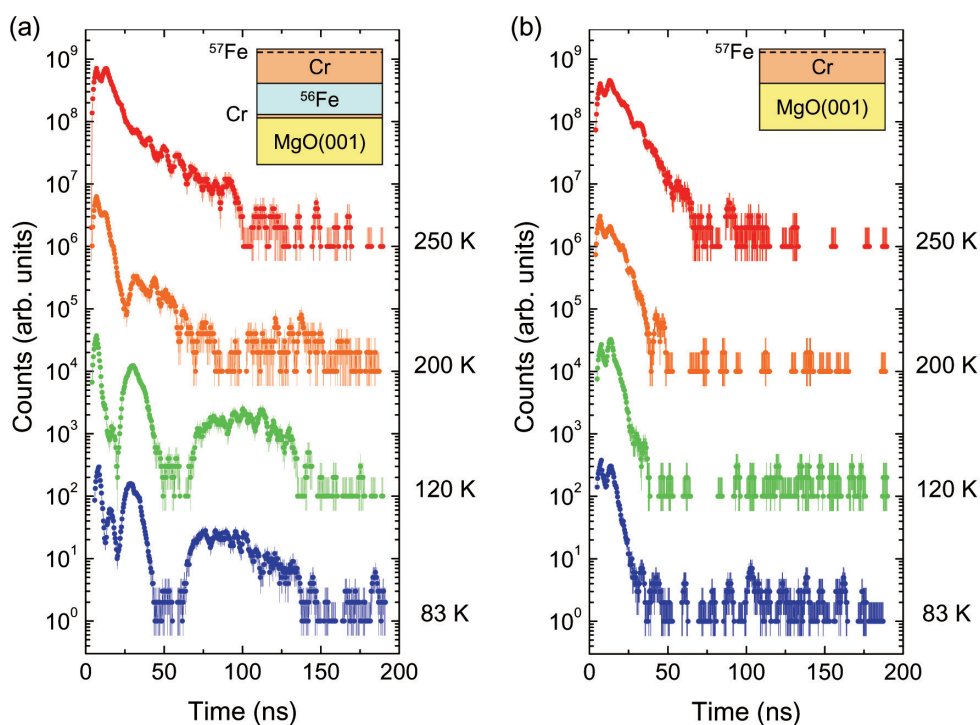


Fig. 1 Nuclear resonant time spectra for an ^{57}Fe (0.2 nm) layer deposited on a Cr(10.0 nm) layer (a) with and (b) without an ^{56}Fe (1.0 nm) underlayer at 250, 200, 120, and 83K.

次のパルスが入射される直前まで（今回の運転モードではバンチ間隔 228 ns）の散乱強度を時間に対して積算することによって、プローブ核に共鳴散乱された X 線の時間スペクトルを測定し、そこから核が有効に感じている内部磁場を導き出し、核サイトにおける局所磁性に関する情報を得ることを目指した。液体窒素フロー型小型クライオスタット中に試料をセットし 300 ～ 80 K の温度領域で測定を行った。

結果および今後の課題

Figure 1 に、厚さ 10.0 nm の Cr 層上に ^{57}Fe 単原子層（0.2 nm）を蒸着した 2 つの試料の核共鳴散乱時間スペクトルの温度依存性を、試料の構成図と共に示す。各温度で 1 本のスペクトルを測定するのに要した時間は 8 時間程度であった。Cr 層の下地に 1.0 nm の強磁性 ^{56}Fe 層がある場合とない場合でスペクトルに明らかな違いがみられ、 $^{56}\text{Fe}/\text{Cr}$ 界面フラストレーション効果の影響を受けて Cr 層の磁性が変化し、 ^{57}Fe プローブ核が感じる内部磁場の違いとして現れていることを示す結果が得られている。

現時点では、時間スペクトルのフィッティングに成功するには至っていないが、得られたスペクトルは強磁性 Fe に典型的なスペクトルからは大きく異なっており、内部磁場の分布あるいは揺らぎが存在することを示唆している。今後、さらに実験条件の最適化を進め、必要となるプローブ層の厚さや測定時間の低減を進めると共に、時間スペクトルの Cr 層厚依存性に関する系統的なデータを蓄積し、このようなナノ薄膜の局所磁性を明らかにしていくことが課題となっている。

参考文献

- [1] Mibu *et al.*, Phys. Rev. Lett. **84** (2000) 2243.