

放射光核共鳴散乱法を用いた Fe 単原子層膜の磁性探査

Investigation on Magnetic Properties of Monatomic Fe layers using Nuclear Resonant Scattering

壬生 攻^{1,2)} スハルヤディ エディ^{1,2)} 北尾 真司^{3,2)} 小林 康浩^{3,2)}

瀬戸 誠^{3,4,2)} 三井 隆也^{4,2)}

Ko MIBU SUHARYADI Edi Shinji KITAO Yasuhiro KOBAYASHI Makoto SETO Takaya MITSUI

¹⁾名古屋工業大学 ²⁾CREST-JST ³⁾京都大学 ⁴⁾日本原子力研究開発機構

SPring-8 ビームライン BL11XU において、Cr 層上に蒸着された ⁵⁷Fe 単原子層の核共鳴散乱時間スペクトルを測定した。その結果、Cr 層の厚さや Cr 層の下地の ⁵⁶Fe 強磁性層の有無に依存して ⁵⁷Fe 単原子層の磁性が変化していることを示唆する結果が得られた。

キーワード： 放射光、核共鳴散乱、時間スペクトル、Fe、Cr、単原子層、薄膜、磁性、内部磁場

1. 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、原子核をプローブとした実験法は、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。しかるに、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通常の線源実験で用いられる内部転換電子検出法は、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、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おり、Cr 層上に蒸着した ⁵⁷Fe 単原子層に誘起される内部磁場を、核共鳴散乱時間スペクトルを通じて検出する実験を行ってきた。今回は厚さ 8.0 nm の Cr 層の上に ⁵⁷Fe 単原子層 (0.2 nm) を蒸着した試料と、さらに Cr 層の下地に 10.0 nm の ⁵⁶Fe 層を敷いた試料の核共鳴散乱時間スペクトルを測定した。Cr 層の下地に強磁性 ⁵⁶Fe 層が存在する試料と存在しない試料で Cr 層上の ⁵⁷Fe 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 ⁵⁶Fe 層/反強磁性 Cr 層界面におけ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 ⁵⁷Fe 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。

2. 方法

実験は、SPring-8 ビームライン BL11XU にて行った。⁵⁷Fe 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に 1 原子層蒸着された ⁵⁷Fe 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行った。X 線パルス入射直後から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パッチ間隔 165.2 ns) の散乱 X 線強度を時間に対して積算することによって、⁵⁷Fe 核に共鳴散乱された X 線の時間スペクトルを測定した。これらのスペクトルから核が

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。液体ヘリウムフロー型クライオスタットに試料をセットし、300 ~ 25 Kの温度領域で測定を行った。

3. 研究成果

厚さ 8.0 nm の Cr 層の下地に 10 nm の強磁性 ^{56}Fe 層がある場合とない場合で、Cr 層の上に蒸着された ^{57}Fe 単原子層のスペクトルに明確な違いが見出された。また、両試料ともスペクトルに著しい温度依存性がみられた。これらの結果は、下地の強磁性 ^{56}Fe 層の影響により Cr 層およびその上の ^{57}Fe 単原子層の磁性が変化し、 ^{57}Fe 核が感じる内部磁場の違いに反映されていることを示唆している。一方、 ^{57}Fe 単原子層を ^{56}Fe 層の中に埋め込んだ参照試料のスペクトルを測定したところ、Fe の磁気モーメントはバルクと同じ大きさであることや、今回のような ^{57}Fe 単原子層試料に対する反射配置の測定では散乱 X 線進行方向の試料の有効厚みに依存するいわゆる“ダイナミカル効果”の影響はそれほど大きくないことが確認され、スペクトルの温度依存性は磁化の温度変化を反映したものであることが確認された。

4. 結論・考察

Cr 層の上に蒸着した ^{57}Fe 単原子層に対して得られた時間スペクトルは、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、 ^{57}Fe 単原子層に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。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、以前のビームタイムでの結果も総合すると、以下のような情報が得られている。

- (1) 室温では、すべての試料において ^{57}Fe 単原子層は常磁性的である。
- (2) 室温においては、ダイナミカル効果の影響により、核の脱励起寿命が自然寿命の 5 倍程度までスピードアップしている。
- (3) 低温において、核脱励起のスピードアップが顕著になる。(ダイナミカル効果の温度変化に依るものではなく、広く分布した内部磁場の発現を反映したものであろう。)
- (4) 低温のスペクトルは試料に依って異なっており、Cr 層およびその上に蒸着された ^{57}Fe 単原子層の磁性が Cr 層の環境によって異なっていることが示唆されている。
- (5) 低温では、下地 ^{56}Fe 層あり Cr (10 nm) 層上の ^{57}Fe 単原子層が内部磁場の発現を反映した量子ビートを最も明確に示し、比較的しっかりと磁気秩序を持っていることが示唆されている。

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、系統的にデータを蓄積していくことによって、この系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。

5. 引用(参照)文献等

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