

FeK吸収端共鳴X線磁気散乱法によるFe / Gd多層膜の低温磁気構造

橋爪 弘雄^a, 細糸 信好^a, 石地耕太郎^b, 早崎 有一^b, 清水 寛之^b, 村野 孝訓^b
^a 奈良先端大・物質科学教育研究センター, ^b 奈良先端大・物質創成科学研究科

背景、本実験の目的

我々は円偏光X線の共鳴磁気散乱により磁性多層膜の磁気構造を解析する技術を開発し¹⁾、Fe/Gd多層膜の室温および低温²⁾の磁気構造を決定した。共鳴磁気散乱の元素選択性を利用してGd L吸収端で超格子ブラッグ反射を測定し、Fe/Gd多層膜がFe整列、捩れ、Gd整列磁気構造の間を可逆的に相転移することを示した。強磁性Fe層に挟まれたGd層(厚さ約5 nm)の界面には温度、磁場に無関係にほぼ飽和した磁化($> 6 \mu_B$)が存在する。Gd層の内部の磁化は界面磁化より小さく、温度に依存した大きさを持つ。X線実験で決定したGd磁化分布からエネルギー最小化法によりFe/Gd多層膜の磁化曲線 $M(H)$ を計算すると、実験と良く一致する³⁾。捩れ磁化状態のFe/Gd多層膜に面内磁場をかけて強くすると、Gd層内部の磁化が磁場の方向に回転する。界面Gd磁化はFe磁化によりピン止めされており、磁場が低い間はほとんど回転しない。 $M(H)$ 曲線の上昇は専らGd磁化の回転に因る。ナノメートル級薄膜のこのような振る舞いを明らかにしたのは、他に例が無い。

本実験では共鳴散乱法によりFe層の挙動を調べることを目的とした。

実験状況

平成14年12月に15シフトのビームタイムを与えられた。以前に用いたFe/Gd試料を実験室で調べたところ、明瞭なブラッグ反射が観測されなかった。試料が劣化したと思われる。再作成する時間が無かったので、デジタ

ルロックイン・データ収集法の試験とCo/Cu多層膜、Gd/Cu多層膜のXMCD測定を行った。将来の実験に備えるためである。

デジタルロックイン・データ収集法(DL)

これはSPring-8で開発されたロックイン方式(AL)のデジタル版である。ALはアナログ型検出器であるイオンチェンバーからデータを収集するが、DLはパルス型検出器を用い、磁気散乱X線の計数を目的としている。ダイヤモンド移相子を回転振動させ、試料で散乱されたX線を高計数率APD検出器で測定し、計数データを移相子の回転に同期してgated fast counterに記録する。今回はAPDに浜松フォトニクス社の製品、gated fast counterにStanford Research Systems社のSR-400を用いた。APDの直線領域は 10^7 cpsまで延びている。図1の測定例におい

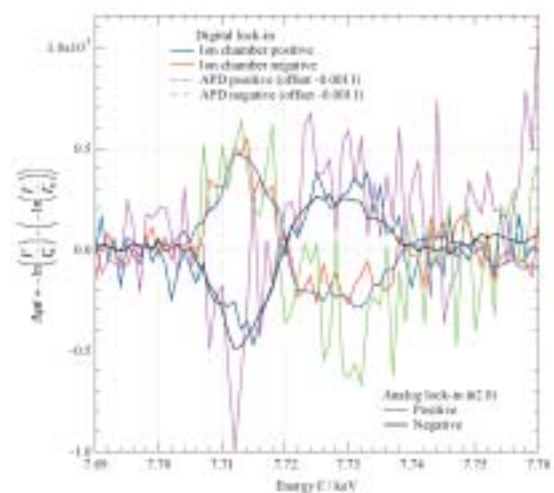


図1 DL方式で測定したCo K端XMCDスペクトル。Ion chamber(細い実線):検出器にイオンチェンバーを用いた場合、APD(細い点線):APD検出器を用いた場合。太線はALによる測定結果

てAPD DL方式によるデータ（細い点線）がノイズなのは、計数光子数が少ないためである（比較のために載せたALによる測定のみ1/200）。DLで測定されたXMCDプロファイルはALの結果（太い実線）と一致しているため、DLが期待通り動作していることが分かる。APD DLを用いることにより磁気散乱データが非同期方式より高S/N比で、しかも、短時間に収集できる見通しが得られた。

Co/Cu多層膜、Gd/Cu多層膜のXMCD測定

図2はCo (1.2)/Cu (1.8nm) 多層膜に可変磁場をかけて測定したCo K端(●)、Cu K端(×)のXMCDである。両者の飽和値を図上で合わせた（縦軸スケールを調節した）。二つのヒステリシス曲線は良く一致しており、Co 4pモーメントとCu 4pモーメントが磁場変化に対して同様に振る舞うことが分かる。Cu層の磁化は界面における電子軌道混成により生じると言うモデルと矛盾しない結果である。面白いことに、XMCD曲線はマクロなヒステリシス曲線（VSM）とも良く一致している。Co/Cuの磁化の大部分はCo 3dモーメントが担っている。XMCDは元素別に磁化を測るのに対し、VSMは試料全体の磁化を測定する。

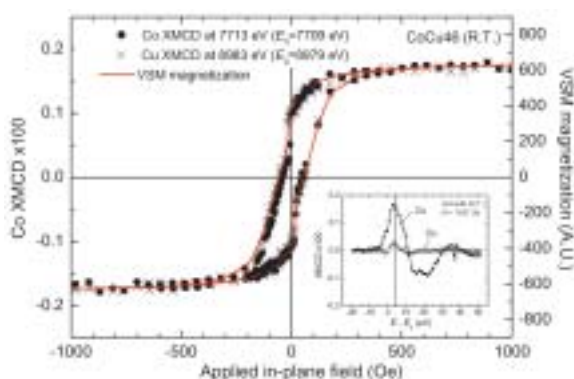


図2 Co/Cu多層膜のXMCDヒステリシス曲線。挿入図はCo K、Cu K端のXMCDスペクトルを示す。縦線は信号をサンプルした位置を示す。

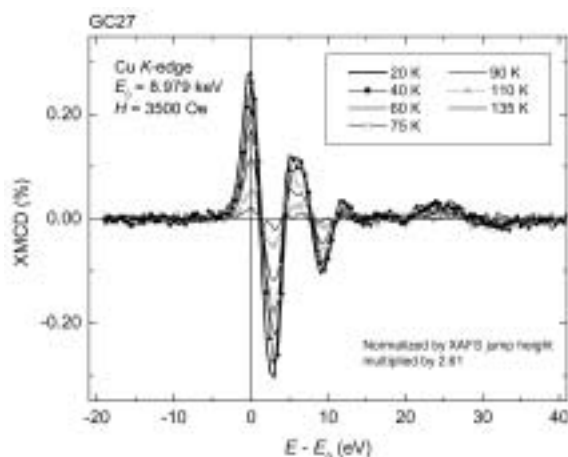


図3 Gd/Cu多層膜のCu K端XMCDスペクトル。測定温度：20-135K。

Gd (5.6)/Cu (1.7nm) 多層膜ではCo/Cuの場合よりはるかに大きな磁化がCu層に発生する。図3のCu K端XMCD信号は図2のCo K端信号より大きい。低温ではGd層に大きな磁化（ $\sim 6 \mu_B$ ）が生じ、これがCu層を強く磁化させる。CuのXMCDスペクトルは非常に顕著な振動を示している。これは今後の研究課題である。

DL実験に際し、表和彦、栗林勝、鈴木基寛、宮川勇人氏の協力を得た。

参考文献

- 1) N. Ishimatsu, H. Hashizume *et al.*, Phys. Rev. B **60**, 9595 (1999).
- 2) N. Hosoito, H. Hashizume *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **41**, 1231 (2002).
- 3) N. Hosoito, H. Hashizume *et al.*, J. Phys. Condens. Matter **14**, 5289 (2002).

発表論文

- [1] 大河内、石地、村野、細糸、橋爪、壬生：日本物理学会第58回年次大会、講演29a WD- 4
- [2] 石地、村野、細糸、橋爪：日本物理学会第58回年次大会、講演31pXF- 2