

電子混成により非磁性Cu層に誘起された磁気分極とそのスピン／軌道性

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, 大河内 拓雄^c

^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, ^c 京大大学院・化学専攻

背景

巨大磁気抵抗 (GMR) 膜における間接交換結合は非磁性スペーサー層の磁気分極に起因すると考えられる。Co/CuではCuのKおよびL端でXMCDが観測され、Cu 4pとCu 3dバンドが磁気分極していることが確認されている。角度分解光電子分光では薄いCu層内の量子井戸状態 (QWS) が観察され、Cu膜厚を変化させると、フェルミ・エネルギーにおける状態密度が間接交換結合と同一周期で振動することが分かっている。Cu層内のsp電子はCo界面で反射され、膜面法線方向に変調された定在波を形成する。Co/Cu/Co (001)では長周期、短周期の二種類の間接交換結合が存在し、これらはCuフェルミ面の極点を結ぶspanning vectorsから計算された周期と良く合う。光電子分光で二種類のQWSが観察されている。

GMR 膜はすでに高密度ディスクのヘッドに実用されている。間接交換結合の研究は、GMR膜のみならず将来のナノ磁性材料、スピンエレクトロニクス技術の開発の基礎を成す重要な研究である。

実験目的

Co/Cu多層膜、Gd/Cu多層膜からCo L端、Gd M端、Cu L端のXMCDを測定し、Co 3d電子、Gd 4f電子、Cu 3d電子の磁気分極を調べる。前二者は局在電子であり、CoおよびGdの磁性を担っている。Gd/Cuでは試料を冷却してGd層の磁化を増大させ、CuのXMCD信号が比例して変化するかどうか調べる。また、Co、Gd、CuのXMCDデータからそれぞ

れの $\langle S_z \rangle$ 、 $\langle L_z \rangle$ を求め、関与する磁性のスピン／軌道性を調べる。

Gd/Cu多層膜のXMCD

試料面に垂直に磁場 (1.4T) をかけ、磁場反転法を用い、Si sub / [Gd (5.9) / Cu (1.7)]₁₅ / Gd (3) / Y (2 nm) 多層膜のXMCDを全電子収量法により測定した。Gd M_{5,4}吸収端、Cu L_{3,2}吸収端近傍のスペクトルを図1に示す。測定温度は30 K、70 K、120 Kの3点である (Gd M_{5,4}端では30 Kのみ示す)。30 KでのXMCDピーク強度はGd M₅端で約700%、Cu L₃端で約15%である。Gd層の大きな磁

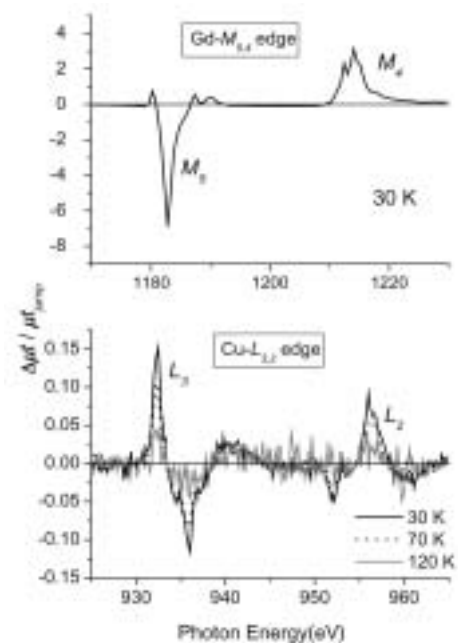


図1 Gd M_{5,4} 吸収端 (上) と Cu L_{3,2} 吸収端 (下) 近傍のXMCDスペクトル

気モーメント ($\sim 5 \mu_B/\text{atom}$) の影響を受けて、Cu層に大きな磁化が誘起されている。温度の上昇によりXMCD強度が減少するが、これはGd層の磁化が減るためであり、今回の実

験でCu 3d電子の磁気分極がGd磁化に追隨して変化することが分かった。図2はCu L_{3,2}端XMCDピーク高とSQUIDで測定した試料磁化のスケールを合わせ、温度変化を比較したものである。XMCDの変化は、試料面に垂直に磁場をかけて測定した磁化変化（図2の下図）よりも、むしろ平行磁場の場合（図2の上図）に近い。XMCD実験と面直磁化測定のために2ヶ月半の間隔があったので、表面酸化などにより試料の状態が変化したと考えられる（事実、面内磁化は1/2に減っている）。BL39XUステーションで行なったXMCD測定では、Cu 4p電子の磁気分極はSQUID磁化に比例している。

30 KでのCu L端のXMCDプロファイルから、磁気光学総和則によりCu磁気分極のスピナー軌道分離を試みた（図3）。L₃、L₂各吸収端近傍でスペクトルが正負のピークを示し（図1）、それぞれの積分強度はほぼゼロになる。 $\langle L_z \rangle / 2 \langle S_z \rangle = -0.107$ が得られたが、この値はスペクトル・スキャン範囲、L₃領域とL₂領域を分離する境界エネルギーの設定位置により敏感に変化する。正確な値を求めるには、データのS/N比を改善する必要がある。

Gd/Cu系ではGMR効果やQWSは知られていないが、Cu層の磁気モーメントが大きいので、この系は非磁性層に誘起される磁気分極の挙動を調べる格好のモデル物質である。

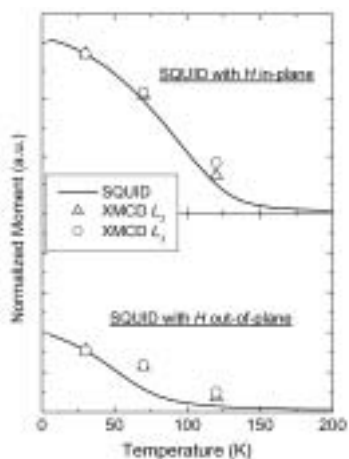


図2 試料磁化（SQUID）とCu XMCDピーク強度の温度変化

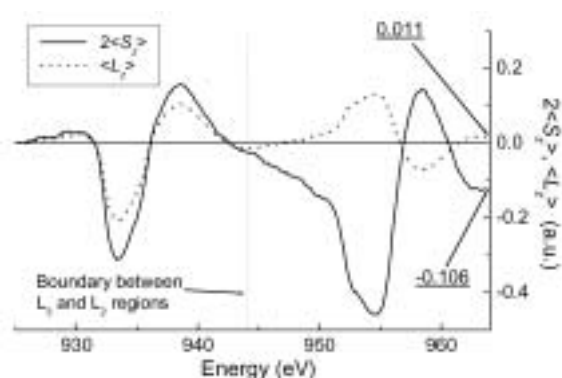


図3 Cu L端近傍の積分XMCD強度。縦点線はL₃領域とL₂領域の分離に用いたエネルギーを示す。

Co/Cu多層膜のXMCD

図4にSi sub/Ta(4.2)/[Cu(1.7)/Co(1.2 nm)]₅₀試料のCu L端近傍の吸収(μt)スペクトルとXMCDスペクトルを示す（スキャン時間:約1時間）。後者はノイズで、ピークがあるかないか分からない。Co/Cu試料のCu磁化（Gd/Cu試料の場合の数分の一）を検出するには、BL25SUステーションにロックイン方式を導入するのが有効であると考えられる。BL39XUではロックイン方式により、このCo/Cu試料のCu K端XMCDスペクトル（L端より2桁程度小さい）がきれいに測定できている。

発表論文

大河内、石地、村野、細糸他：日本物理学会第58回年次大会、講演29aWD- 4：石地、村野、細糸、橋爪：同大会、講演31pXF- 2

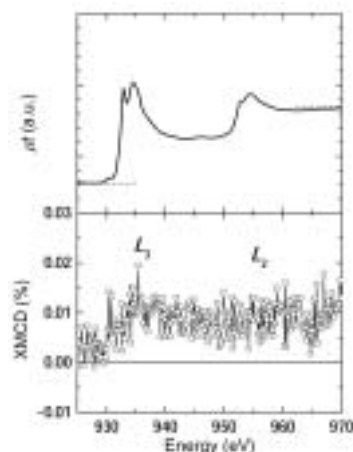


図4 Co/Cu多層膜のCu L端吸収曲線(上)、XMCDスペクトル(下)