

深さ分解 X 線磁気円二色性による Fe/Ni/Cu(001) のスピン再配列転移の研究

東京大学大学院理学系研究科化学専攻 太田研究室 阿部 仁

Ni/Cu(001) 薄膜は、約 10 ML で面内磁化から面直磁化へとスピン再配列転移 (SRT) を起こす。このような表面の磁気異方性は CO や H などの分子吸着や金属原子の蒸着で大きく変わることが知られている。しかし、これらの現象について体系的な理解が得られているとはいえない。そこで、Fe/Ni/Cu(001) 系を対象として、Fe, Ni の磁性 (磁気異方性) がそれぞれの膜厚によってどのように変化するか、また、その原因は何によるものかを、X 線磁気円二色性 (XMCD) 法を用いて調べた。

実験は BL-7A にて行った。Fe/Ni(wedge-shaped)/Cu(001) を作成し、Ni, Fe の膜厚の異なる状態を効率的に作成した。円偏光 X 線 (円偏光度 80%) を用い、部分電子収量法で吸収スペクトルを測定し、磁化反転前後の差を取ることで、Ni, Fe L 端 XMCD スペクトルを得た。磁化の方向は試料への入射角を直入射 (NI, $\theta = 0^\circ$)、および斜入射 (GI, $\theta = 60^\circ$) での測定によって決定した。また、表面・界面成分を抽出するために、我々の研究室で開発した深さ分解 XMCD 法を用いた。これはオージェ電子の出射角度の異なる吸収スペクトルを位置敏感型検出器でより分けて測定する手法である。

図 1 に 7.5 ML Ni 薄膜に順次 Fe を蒸着していった際の XMCD スペクトルを示す。これから初め面内磁化した薄膜が、面直磁化になり、再び面内磁化となったことがわかる。得られた磁気異方性相図を図 2 に示す。面内磁化の Ni 薄膜が少量の Fe 蒸着で面直磁化となること、Fe を 1-2 ML 蒸着すると全ての Ni 薄膜 (6-16 ML) が面内磁化へと転移することがわかる。

深さ分解 XMCD のスペクトルの解析において、Ni 層を、表面第 1 層と内部層の 2 つの領域からなるモデルを仮定し、それぞれの磁気モーメント $M_{l(\text{top})}$, $M_{l(\text{inner})}$ を求めた。得られた値を表 1 に示した。ここで、 M_l , M_s はそれぞれ軌道、スピン磁気モーメントを表す。表 1 で、面内磁化の Ni(8 ML)/Cu(001) の M_l は、表面層が内部層の約 2 倍と大きいことが直接確かめられた。一方、面直磁化の Ni(10 ML)/Cu(001) では表面層と内部層で差が無いことがわかった。表 1 に示した磁気モーメントを用いて、磁気異方性定数 K を算出した。

Fe 蒸着前の Ni 薄膜では、表面層、内部層がそれぞれ -177, 33 $\mu\text{eV}/\text{atom}$ という磁気異方性定数を持つことがわかった。Fe 蒸着後では、それぞれ -36, 34 μeV と見積もられた。このように深さ分解 XMCD 法によって、磁気モーメント、磁気異方性定数を直接的に深さ方向に分解して求めることができた。ここで、Ni 薄膜の表面第 1 層は、Fe が蒸着される前は非常に大きな面内磁気異方性を持つが、Fe が蒸着されるとそれが 1/5 程度まで激減すると言える。一方内部層は Fe 蒸着前後で不変である。Fe についても同様に求め、磁気異方性定数は、1 ML 以下では $\sim 210 \mu\text{eV}/\text{atom}$ 、2 ML では $\sim 13 \mu\text{eV}/\text{atom}$ となった。1 ML 以下の Fe が非常に大きな面直磁気異方性を持つことがわかった。これらの得られた磁気異方性定数から転移境界線を求め、相図中に引いたが、実測の相図をよく再現している。このようにこの転移を深さ分解的に理解することができた。

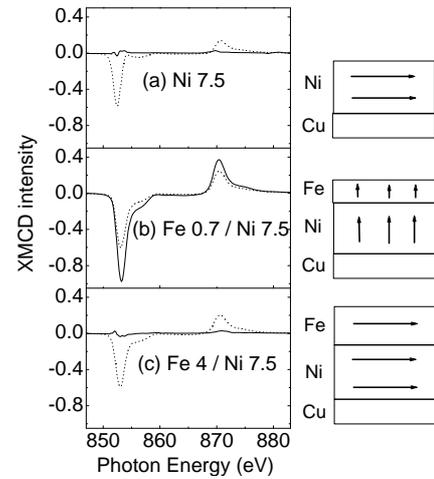


図 1: Fe(x ML)/Ni(7.5 ML)/Cu(001) の L 端 XMCD スペクトル (実線:直入射, 点線:斜入射)。 (a) $x = 0$, (b) $x = 0.7$, (c) $x = 4$ 。

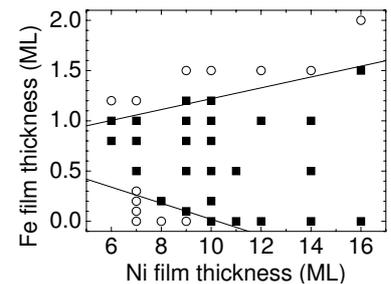


図 2: Fe/Ni/Cu(001) 系の磁気異方性相図。○は面内磁化、■は面直磁化。

表 1: Ni 及び Fe/Ni 薄膜中の Ni の磁気モーメント。

Film (ML)	bare Ni		Fe covered Ni			
	Ni(8) 面内	Ni(10) 面直	Fe(0.4)/Ni(8) 面直	Fe(2.5)/Ni(8) 面内	Fe(0.5)/Ni(10) 面直	Fe(2.7)/Ni(10) 面内
$M_{l(\text{top})}$ (μ_B)	0.06	0.06	0.08	0.09	0.07	0.06
$M_{l(\text{inner})}$ (μ_B)	0.03	0.06	0.08	0.06	0.07	0.06
M_s (μ_B)	0.3	0.6	0.7	0.6	0.8	0.6