

課題名：内殻吸収磁気円二色性によるナノスケール磁性体の

電子状態・磁気状態の研究

実験組織：小出常晴¹、宮内洋司¹、関根武俊¹、設楽哲夫¹、岡本淳²、藤森淳²、福谷博仁³、
雨宮健太⁴、鈴木義茂⁵、湯浅新治⁵、竹下弘人⁵、片山利一⁶、吉本護⁷
KEK-PF¹、東大院理²、筑波大物理³、東大スペクトル化学センター⁴、電総研⁵、東邦大薬⁶、東工大⁷
課題有効期間：1998年10月～2001年9月、実験ステーション名：BL-11A、BL-28A、AR-NE1B

研究目的

原子（0次元系）から固体（3次元系）への次元の増加に伴う長距離スピン秩序（磁性）の解明を目的とする。中間に位置する擬2、1次元ナノスケール磁性体の磁気状態・電子状態を研究する。MBE法とSTM観察により、原子レベルでサイズ・形状をコントロールしつつ製作した、遷移金属の磁性超薄膜・人工格子・ナノクラスター、及び磁性量子細線を対象とする。これらの試料に対してVUV～軟X線領域円偏光を利用した遷移金属の2p, 3p → 3d, 4d内殻およびAuとPtの4f → 5d内殻での内殻吸収磁気円二色性（MCXD）実験を行う。MCXDの角度依存性（マジック角のフル利用）、試料サイズ（厚さ又は直径）依存性、磁場強度依存性、及び温度依存性を重点的に研究する。超希薄なナノスケール磁性体における各原子あたりのスピン磁気モーメント (m_{spin}) の変化、及び軌道磁気モーメント (m_{orb}) と磁気双極子モーメント (m_{T}) の異方性を追究する。

研究成果

MBE法を用いてAu(111)再配列表面上"herring bone"パターンの角に自己形成させ、STM観察によりミクロ構造を確認した擬2次元Coナノクラスターに対し、軟X線領域円偏光を利用してCo $L_{2,3}$ 内殻MCXDを測定した。MCXDの角度依存性、クラスターサイズ（面内直径 $=D_{\text{av}}$ ）依存性、磁場強度依存性、温度依存性を研究した。特に角度依存性の測定において、本研究でマジック角 (54.7°) を初めて利用した¹⁾。

高磁場におけるMCXDの室温での非常に大きなMCXD、及びMCXDの磁場依存性と温度依存性から、Coクラスターサイズ（面内平均直径 D_{av} ）の減少に伴い、 $D_{\text{av}} \approx 6.7\text{-}7.2\text{nm}$ で強磁性（FM）から超常磁性（SPM）への磁気相転移が起こることを証明した¹⁾。

STM観察によりCoクラスターの高さが常に一定の2原子層である事実から、この系は下地のAuとキャップ層のAuで挟めば、界面Co原子のみで構成される（"マジック高さ"）。マジック角をフル利用した角度分解MCXDデータに角度依存MCXD総和則を適用して、界面Co原子のスピン磁気モーメント (m_{spin})、面直と面内軌道磁気モーメント ($m_{\text{orb}}^{\perp}, m_{\text{orb}}^{\parallel}$)、及び面直と面内磁気双極子モーメント ($m_{\text{T}}^{\perp}, m_{\text{T}}^{\parallel}$) の5つの磁気モーメントを初めて直接分離決定した¹⁾。特にスピンモーメント (m_{spin}) は $\geq 30\%$ 、面直軌道モーメント (m_{orb}^{\perp}) は ~ 2 倍もバルクCoでの値より大しており、最近の理論の予言を実証した。 m_{orb}^{\perp} と $m_{\text{orb}}^{\parallel}$ を用いて磁気異方性エネルギーを計算すると、この系は完全な垂直磁気異方性である。本研究から、 $7.2\text{nm} \leq D_{\text{av}} \leq 8.2\text{nm}$ のCoナノクラスターは、(1) 酸化なし、(2) 単磁区、(3) 室温でFM、(4) 垂直磁気異方性の4つの重要な特性を合わせ持つ。故に1つの強磁性Coクラスターをナノスケール1磁気ビットに応用できる（原理的）可能性がある¹⁾。

上記のCoナノクラスター研究に加えて、以下の研究も行った。(i) Au(001)表面上のCo超薄膜におけるhcpCo / bccCo構造相転移に伴う磁気状態(MCXD)のドラスティックな変化、及び(ii) AFM観察によりミクロ構造を確認した磁性ナノワイヤーのMCXD測定の試み、である。

PFシンポでは研究のまとまったCoナノクラスター¹⁾に関して報告する。

1) T. Koide et al., Phys. Rev. Lett. 87, 257201 (2001).