

## Au(111)微傾斜表面上の 3d 遷移金属ナノ構造における磁気構造 Magnetic structure of 3d transition metal nanostructures on vicinal Au(111) surfaces

川合真紀<sup>a,b</sup>、藤澤英樹<sup>a</sup>、白木 将<sup>c</sup>、高山英俊<sup>b</sup>、広瀬正明<sup>c</sup>

Maki Kawai<sup>a,b</sup>, Hideki Fujisawa<sup>a</sup>, Susumu Shiraki<sup>c</sup>, Hidetoshi Takayama<sup>b</sup>, Masaaki Hirose<sup>c</sup>

<sup>a</sup> 理化学研究所、<sup>b</sup> 東京大学大学院新領域創成科学研究科、<sup>c</sup> 東京大学工学部

<sup>a</sup> RIKEN (The Institute of Physical and Chemical Research). <sup>b</sup> Department of Advanced Materials Science, School of Frontier Sciences, The University of Tokyo. <sup>c</sup> Department of Applied Chemistry, School of Engineering, The University of Tokyo.

Au(111)微傾斜表面上に 3d 遷移金属の低次元ナノ構造を構築し、その磁気構造を X 線吸収分光ならびに磁気円二色性を用いて調べた。Mn の 1 次元ナノ構造では、蒸着量の減少に伴い磁気モーメントが増大する一方、磁場依存性では磁化ヒステリシスは観測されず、磁気モーメントに強磁性的な長距離相互作用が存在しないことが分かった。また、Ni の 1 次元ナノ構造では、明確な MCD ピークが観測されず、磁気モーメントが非常に小さい、あるいは磁気異方性による容易方向が表面の面内方向であることが示唆された。

We fabricated low-dimensional nanostructures of 3d transition metals on vicinal Au(111) surfaces, and examined their magnetic structures using x-ray absorption spectroscopy (XAS) and magnetic circular dichroism (MCD). We found that the magnetic moment of one-dimensional Mn nanostructures was increased with decreasing coverage. Magnetization curves for 1D Mn nanostructures did not exhibit ferromagnetic hysteresis loops, indicating the absence of long-range order. By contrast, no MCD signal was observed for 1D Ni nanostructures, which implies that the magnetic moment is very small and the surface normal is the hard direction for the 1D nanostructures.

構造体をバルクから薄膜というように 3 次元→2 次元→1 次元と低次元化、あるいはナノクラスターのように数ナノメートルまでダウンサイズすると、その構造体の持つ物理的性質は大きく変化する。表面科学の分野では、自己組織化により構築された周期ナノドット

等に関する研究が古くから行われている。本研究では、固体表面に規則的に配列する 1 次元の金属ナノワイヤを人口的に作り出し、その表面ナノ構造体の磁気特性を明らかにする。特に 3d 遷移金属に対し敏感な軟 X 線磁気円二色性（軟 X 線 MCD）を利用し、表面にお

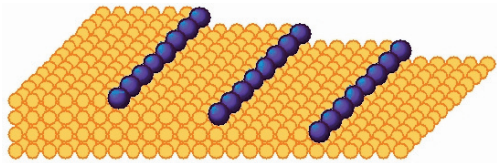


Fig.1 Organization of periodically arranged nanowires along steps

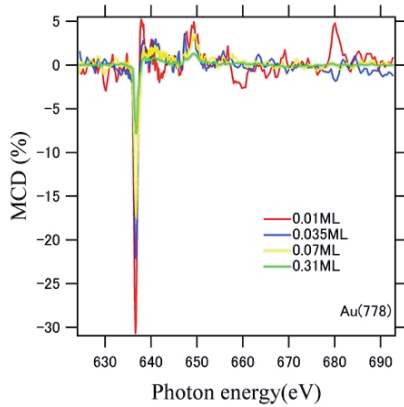


Fig.2 MCD spectra for 1D Mn nanostructures

ける遷移金属ナノ構造体の磁気特性を明らかにする。

1次元金属ナノワイヤを構築する方法として、Fig.1のようにステップが平行かつ規則的に存在するようなステップ基板（単結晶の低指数面をミスカットした微傾斜表面）を用意し、単原子層以下の極微量金属を表面に蒸着する。これは表面に存在するステップの多くが吸着原子や分子に対しポテンシャルミニマムを与えるという事実から、蒸着された金属原子が表面を拡散後、ステップに沿って吸着し1次元金属ワイヤを形成するというシナリオに基づいている。

Au(111)微傾斜表面に Fe、Ni、Mn などの 3d 遷移金属を微量蒸着するとステップを修飾して1次元ワイヤを構築する様子が走査トンネル顕微鏡 (STM) で観察される。Fe や Ni では下地 Au の原子配列と同じ fcc 構造で1次元ナノ構造を形成するのに対し、Mn では  $2 \times 1$

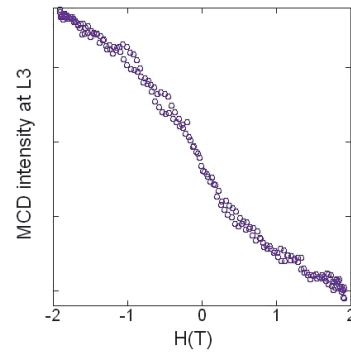


Fig.3 Magnetization curve for 1D Mn monatomic rows

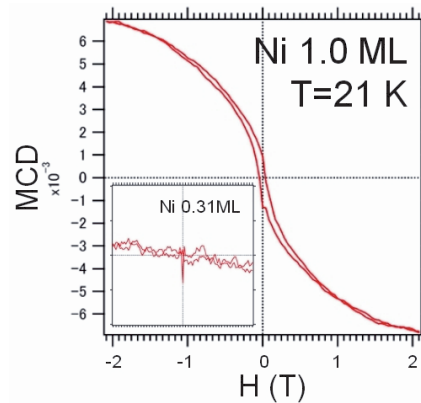


Fig.4 Magnetization curves for Ni nanostructures

や  $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$  などの様々な超構造形成しながら成長する。

Mn を 0.01~0.31 ML の範囲 (0.07 ML が 1 原子列に相当する) で蒸着し X 線吸収および MCD 測定を行ったところ、蒸着量が減少するに従い、1 原子あたりの磁気モーメント(軌道モーメント、有効スピンモーメント)が増大した (Fig.2)。同様の傾向は Fe の 1 次元構造でも観測されている<sup>[1]</sup>。さらに MCD のピーク強度の磁場依存性を調べると、最大磁場  $H=2T$  においても飽和磁化とはならず、常磁性あるいは超常磁性的な磁化曲線が得られた (Fig.3)。この振る舞いは Fe とは大きく異なる。Fe を 0.07 ML 蒸着した 1 原子鎖の場合、最低温度 18K では強磁性的な振る舞いを示し、30K で超常磁性、100K で常磁性へと相転移した。即ち、Fe では隣り合うサイトの磁気モー

メント間に交換相互作用に伴う強磁性的カップリングが生じスピンのブロックタイプの1次元強磁性フラグメントが形成される。一方、Mn では磁気モーメント間に強磁性的な短距離秩序が存在しないか、仮にあるとしても1ブロックに含まれる原子数が少ないと考えられる。

同様に Ni についても実験を行った。Ni を1モノレイヤー蒸着すると明確なMCDピークが観測されると共に強磁性的な磁化曲線が得られたが、0.31 ML (5原子列相当) 蒸着した1次元ナノ構造では、MCDシグナルが得られなかった (Fig.4)。測定は表面垂直方向の磁場印加条件で行われており、この実験結果からNiの1次元ナノ構造では磁気モーメントが非常に小さい、あるいは磁化容易軸がステップ並行あるいは垂直の表面面内方向であることが示唆される。

## 参考文献

- [1] H. Fujisawa et al., J. Electron Relat. Phenom. 144-147 (2005) 519.

## 論文発表状況

- (1) 白木将 他, 日本表面科学会・放射光表面科学部会シンポジウム (口頭発表)