

強磁性単結晶ナノ構造 Co/Au(001)の磁性 Magnetism of novel ferromagnetic single-crystal nanostructure

今田 真^a, 宮町 俊生^a, 小森 聡^a, 井戸田 修一^a, 福本恵紀^b, 川越 毅^c, 菅 滋正^a
S. Imada,^a T. Miyamachi,^a S. Komori,^a S. Itoda,^a K. Fukumoto,^b T. Kawagoe,^c S. Suga^a

^a阪大院基礎工, ^b高輝度光科学研究センター, ^c大阪教育大学
^aOsaka Univ., ^bJASRI, ^cOsaka Kyoiku Univ.

強磁性 Co 単結晶ナノ構造のサブミクロン磁区構造を軟 X 線磁気円二色性顕微分光を用いて観測した。試料は単結晶 Au(001)基板上に Co を室温成長後アニールしたものである。この試料の磁区構造を、光電子顕微鏡による光吸収顕微分光と軟 X 線円偏光スイッチングとを組み合わせた軟 X 線磁気円二色性顕微分光を用いて観測した。強磁性 Co 単結晶ナノ構造の面内回転角度に対する磁気円二色性強度分布の変化を測定することで、Co ナノ構造の容易磁化方向を見積もることができた。

Magnetic domain structures of ferromagnetic Co nanostructures have been studied by soft x-ray magnetic circular dichroism (SXMCD) microspectroscopy. Co nanostructures were obtained by depositing Co on a single-crystal Au (001) substrate at room temperature and annealing it. The magnetic domain structures were observed by SXMCD microspectroscopy by combining photoabsorption microspectroscopy by photoelectron emission microscope and switching of the circular polarization of the soft x-ray source. Dependence of the SXMCD microspectroscopy image on the lateral rotation angle has enabled the analysis of the magnetic easy direction of the Co nanostructures.

キーワード：次世代高密度磁気記録媒体、強磁性ナノ構造、軟 X 線磁気円二色性顕微分光、元素別磁区構造観察

背景と研究目的： 近年の磁気記録装置の大容量化・高速化はこれまでも増して急速に進んでいる。従って、既存の技術の限界を超えるためのブレークスルーを目指して、新しいアイデアに基づく磁気記録手法の提案ならびにその検証がなされる必要性が高まっている。

我々は、単結晶基板上に遷移金属を MBE 蒸着した際に、基板の種類、温度や蒸着速度の条件によってどのようなナノ構造ができるか、またどのような磁性(磁区構造を含む)が発現するかを、STM (scanning tunneling microscopy)などを用いて研究してきた。我々は最近、単結晶 Au (001)基板上の Co 薄膜・ナノ構造の成長を STM/STS と LEED を用いて明らかにし、新しいタイプの Co ナノ構造を見出した[1]。室温成長させた Co は bcc 構造を取るが、500 K でアニールすることで顕著な構造変化が観測され、 $\langle 100 \rangle$ 方向に整列した Co ナノアイランドが見出された。STM プロフィールから、この Co ナノアイランドは、表面が 1 原子層で Au で覆われており、外周部は 2 原子層の Au で覆われていると推定される。

これらのナノ構造の磁性に関する情報、特

に磁化容易方向を知ることがきわめて重要であることは言うまでもない。膜全体の平均的な情報であれば、SQUID (superconducting quantum interference device)や、元素選択的には軟 X 線磁気円二色性 (SXMCD : soft X-ray magnetic circular dichroism)によって得ることができる。さらに、光電子顕微鏡 (PEEM: photoelectron emission microscope)を用いた SXMCD 顕微分光[2]を行うことで、分解能 100 nm 程度で磁区構造および SXMCD スペクトルの空間依存性を測定することができる。SXMCD 顕微分光のメリットの一つは、SXMCD 強度が円偏光の入射方向への磁気モーメントの射影に比例するので、試料を面内回転させながら測定することで、一つ一つの磁区が面内のどの向きに磁化しているかを知ることができることである。

本研究では、単結晶 Au 基板上の Co 薄膜ナノ構造について、STM を用いてそのナノ構造をあらかじめ調べた上で、SXMCD 顕微分光を用いて磁区構造と容易磁化方向を明らかにすることを目的とした。

実験： 試料は、Au (001)基板を室温に保ちながら Co を 6 原子層 (ML: monatomic layers)

蒸着し、その後 500 K でアニールした後に、保護層として 2 nmのAuを蒸着した。STMを用いて試料の高さプロフィールを測定するとともに、代表的な点についてSTS測定を行なった。これらによって、試料上のCoナノ構造の断面構造を推定した。

実験は、BL25SUの光電子顕微鏡ステーションにおいて行った。試料に円偏光軟X線を照射し、試料表面から放出される2次電子の面内強度分布をPEEMを用いて測定した。BL25SUの2台のアンジュレータを正負の円偏光に設定し、電子軌道を制御するキッカー電磁石によって試料に照射する円偏光の極性を制御した[3]。円偏光の極性を0.1 Hzで反転させながら、正負の円偏光極性に対する測定を繰り返し行なうことで、正負の円偏光極性に対するPEEM像の差(SXMCD-PEEM像と呼ぶ)を精度よく得た。

Co 2p吸収端におけるSXMCD-PEEMを用いることでCoナノ構造の磁区構造を観察した。吸収端ピークにおいて磁区構造を観察するとともに、Co 2p吸収領域全体で光エネルギーを変えながら測定することで位置分解SXMCDスペクトルを得た。さらに、一つ一つの磁区が面内のどの向きに磁化しているかを明らかにするため、試料を22.5度ずつ合計で90度面内回転させてSXMCD-PEEM像を観測した。

結果および考察： 図1及び図2に、得られたSXMCD-PEEM像の例を示す。視野の径は5 μm で、円偏光入射方向は上下方向である。

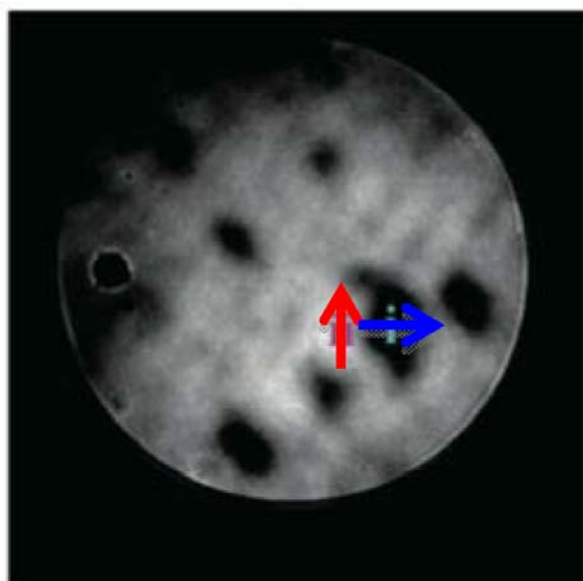


図1. 得られたSXMCD-PEEM像。

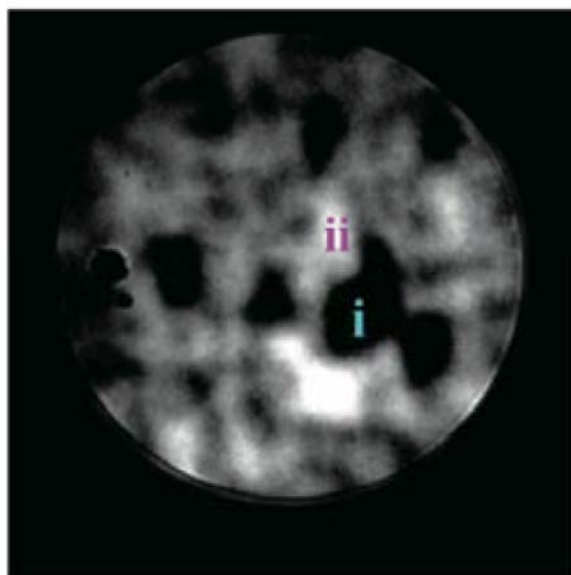


図2. 図1の状態から試料を時計回りに45度回転させた状態のSXMCD-PEEM像。

濃淡はSXMCD強度に対応し、白から黒にかけての変化が、磁化の光入射方向への射影の正のある値から負のある値までの変化に対応する。図1の状態から試料を時計回りに45度回転させた状態が図2である。

SXMCD強度の角度依存性を解析することで、各領域の磁化方向を決定した。即ち、円偏光と磁化方向のなす角を θ とするとSXMCD強度は $\sin\theta$ に比例することを用いて、SXMCD強度の角度依存性をフィッティングすることで磁化方向を決定した。図中の領域i及びiiについて決定された磁化方向を図1上に矢印で示した。

今回SXMCD-PEEMで決定されたCoナノ構造の容易磁化方向は、STMで観測されたCoナノアイランドの構造に起因しているはずである。容易磁化方向の主な決定要素である結晶磁気異方性と形状磁気異方性の競合によってこの系の容易磁化方向が決定されると解釈される。

参考文献

- 1) T. Kawagoe, T. Miyamachi, M. Someta, T. Kudo and S. Suga, Surf. Sci. **602** (2008) L15.
- 2) J. Stöhr, et al., Science **259** (1993) 658.
- 3) T. Hara et al., Nucl. Instr. and Meth. A **498** (2003) 496.