

陽極酸化ポーラスアルミナ中に自己組織化した 磁性体ナノワイヤーアレイの磁化状態観察

Direct observation of magnetic states of the self-assembled magnetic nanowire array in porous anodized aluminum

山崎 篤志^a, 谷 勇輝^a, 松井 陽平^a, 西村 圭央^a, 今田 真^b, 美馬 一馬^b,
宮田 裕大^b, 山下 和徳^b, 山口 良輔^b, 井戸田 修一^c, 清水 智弘^d, 小飼 真人^e
Atsushi Yamasaki^a, Yuki Tani^a, Youhei Matsui^a, Yoshio Nishimura^a, Shin Imada^b,
Kazuma Mima^b, Yuta Miyata^b, Kazunori Yamashita^b, Ryosuke Yamaguchi^b, Syuichi Itoda^c,
Tomohiro Shimizu^d, Masato Kotsugi^e

^a 甲南大理工, ^b 立命館大理工, ^c 阪大基礎工, ^d マックスプランク微細構造物理学研究所, ^e JASRI

^a Faculty of Science and Engineering, Konan University,

^b College of Science and Engineering, Ritsumeikan University,

^c Faculty of Engineering Science, Osaka University,

^d Max-Planck Institut für Mikrostrukturphysik, ^e JASRI

陽極酸化ポーラスアルミナ中に自己組織化した磁性体ナノワイヤーに対して磁気円二色性を利用した光電子顕微鏡(MCD- PEEM)による磁気状態観察を行った. Ni ナノワイヤー中に Au を挿入したマルチセグメントナノワイヤーにおいて, Ni の強磁性ドメインとワイヤー中の欠陥に起因した磁壁の存在を明らかにした.

We have investigated magnetic structures in the magnetic nanowires formed in porous anodized aluminum templates by the magnetic circular dichroism in the soft-x-ray absorption applied to the photoemission electron microscope measurement (MCD-PEEM). The Ni magnetic domains and their domain wall were observed in the Ni/Au multi-segment nanowire.

キーワード/ナノワイヤー, 軟 X 線内殻光吸収磁気円二色性 (SXAS-MCD), 光電子顕微鏡 (PEEM)

背景と研究目的： 現在, 磁気記録は情報化社会の中で記録方式として欠かせないものとなっている. この中で中心的な役割を担っているメディアはハードディスクデバイス (HDD) であり, 記録密度は 20 世紀後半から現在まで驚異的な勢いで増している. HDD 中の記録再生素子の高感度・小型化に伴い, 記録メディアも高密度化され, 現在垂直磁気記録方式での記録が一般的になりつつある. 一方で, 年率 100%といわれた記録密度の伸びは鈍化しており, あらたな磁気記録材料の探索が盛んに行われている.

本研究では, 陽極酸化ポーラスアルミナ中に自己組織化した磁性体ナノワイヤーを次世代磁気記録材料候補として注目し, 磁気円二色性を利用した光電子顕微鏡(MCD- PEEM: Magnetic Circular Dichroism - Photoemission Electron Microscope)により磁気構造を明らかにすることを目的とする. 本試料作製方法の特徴として, 複数種の磁性体や非磁性体を用いて多層化できることや, 単分散で大量に作製できることなどが挙げられ, これらの点か

ら陽極酸化ポーラスアルミナ中に自己組織化したナノワイヤーは自由度と大量生産性を併せ持つ優れた材料であると考えられる. また, Niナノワイヤーにおける磁場パルスによる磁化反転の時間応答に関する理論的研究も既になされている[1]ことから, PEEMの時間分解測定など学術的にも将来的な発展が望める研究対象である.

今回我々は, 陽極酸化ポーラスアルミナ中に自己組織化した Ni ナノワイヤーに対し, 静



Fig. 1. Cross-sectional TEM image of self-assembled magnetic nanowire array in porous anodized aluminum template.



Fig. 2. TEM image of multi-segment nanowire $\text{Ni}/[\text{Au}(50\text{nm})/\text{Ni}(1000\text{nm})]_2/\text{Au}(50\text{nm})/\text{Ni}$.

的な磁化状態を調べるため MCD-PEEM 測定を実施した。また、Ni ワイヤー中に Au を挿入したマルチセグメントナノワイヤーに対しても同様の測定を行った。

実験方法： ポーラスアルミナ中に分散したまま、カッターにより切り出した直径 50nm の Ni ナノワイヤーアレイ (Fig. 1) を作製・加工して、SPRING-8 の BL17SU において Ni の L_3 吸収端の光エネルギーでの PEEM 測定を行った。MCD-PEEM 測定では、光スピンのヘリシティを反転させて、左右円偏光での PEEM 像の差分を取ることで磁気コントラストを得た。この際、Ni の L_3 吸収の閾値より僅かに低い光エネルギーでの吸収強度をバックグラウンドとし、軟 X 線光吸収 PEEM (SXAS-PEEM) 像および MCD-PEEM 像から差し引いた。また、個々のワイヤーの磁気特性を調べることを目的として、Si 基板上に単一のワイヤー (直径 25nm, 50nm の Ni ナノワイヤーおよび直径 100nm のマルチセグメントワイヤー) に対しても同様の測定を行った。

実験結果と考察： 一例として Fig. 2 に、本実験で用いた Au を含むマルチセグメントナノワイヤーの透過電子顕微鏡 (TEM) 像を示す。ワイヤーの構成として、ワイヤー成長の基礎となる部分の Ni 層に続き、長さ 50nm の Au 層、1000nm の Ni 層が交互に積層し、キャップ層である Ni 層で終端されている。このワイヤーの直径は約 100nm である。

Fig. 3 には、同様の構成を持つマルチセグメントナノワイヤーの低エネルギー電子顕微鏡 (LEEM: Low Energy Electron Microscope) 像, SX-PEEM 像, MCD-PEEM 像を示す。各像の視野はすべて $10\mu\text{m}$ である。Fig. 3(a) の LEEM 像から、試料は単一のワイヤーであり $3.5\mu\text{m}$ 程度の長さを持つことが分かる。また、黄色の矢印で示した図中下部のワイヤーの端付近に折れ曲がりのような欠陥が入っていることが確認される。Fig. 3(b) の SXAS-PEEM 像は、Ni の L_3 吸収端の光エネルギー ($h\nu \sim 853\text{ eV}$)

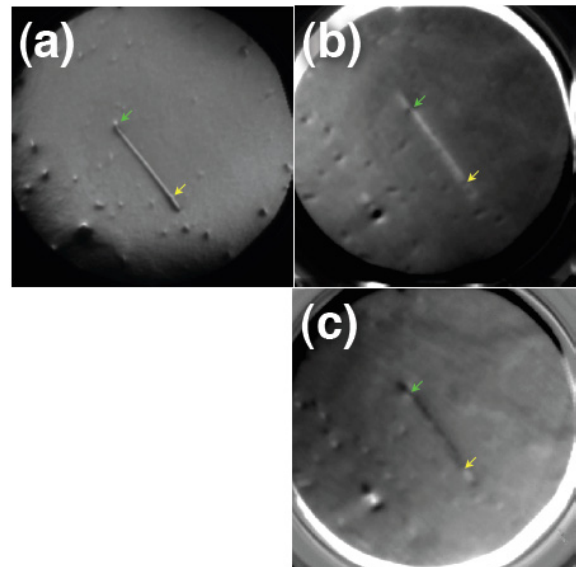


Fig. 3. Images of multi-segment nanowire $\text{Ni}/[\text{Au}(50\text{nm})/\text{Ni}(1000\text{nm})]_2/\text{Au}(50\text{nm})/\text{Ni}$ (FoV: $10\mu\text{m}$). These images are obtained by (a) LEEM, (b) SXAS-PEEM at Ni L_3 absorption maximum, and (c) MCD-PEEM at the same energy as (b).

において測定された。LEEM 像と比較して、ワイヤー像はややぼやけているが、ワイヤーのある位置で Ni 吸収強度が高くなっていることが分かる。緑色の矢印で示したワイヤー上端よりも上側にも強度が認められるが、LEEM 像をみても分かるように対応する部分にワイヤーはなく、本質的なものではないと考えられる。一方、この光エネルギーでは Au 部分に対する吸収はないため化学コントラストによる Au 部分の分離が可能ではないかと期待されたが、現時点では明瞭なコントラストは得られていない。Fig. 3(c) には、MCD-PEEM 像を示した。注目すべき点は、ワイヤー下部の欠陥を境に、コントラストが反転していることである。MCD-PEEM 像でのコントラストは Ni $3d$ 電子スピンの反転に由来しているため、欠陥を境に両側に Ni の強磁性的ドメインが形成されていると考えられ、その境界には磁壁が存在すると思われる。

今後の課題： 今回の実験では Ni ナノワイヤーアレイの試料において、試料加工時に使用した部材が原因で帯電がおり、PEEM 測定することができなかった。このため、早急に使用部材の最適化を行い、良導体試料を作製する必要がある。また、PEEM 測定における空間分解能を考慮した最適試料を準備する必要がある。

参考文献

[1] R. Hertel, J. Appl. Phys., **90**, 5752 (2001).