

強磁性-非強磁性接合の非強磁性層における磁気モーメントの
磁気円二色性顕微分光観察の試み
XMCD-PEEM investigation of magnetic moment in the nonmagnetic layer of
the magnetic-nonmagnetic junction

今田 真^a, 山口良輔^a, 宮田裕大^a, 美馬一真^a, 寺嶋健成^a, 小嗣真人^b
Shin Imada^a, Ryosuke Yamaguchi^a, Yuta Miyata^a, Kazuma Mima^a, Kensei Terashima^a, Masato Kotsugi^b

^a立命館大学理工学部, ^b高輝度光科学研究センター
^aRitsumeikan University, ^bJASRI

スピン流のダイナミクスにおいてスピン偏極電子状態が果たす役割を解明することを中期的な目標とし、強磁性-非磁性接合における非磁性体の静的なスピン偏極電子状態を磁気円二色性顕微分光を用いて観測することをめざした。試料はSi (001)上にパーマロイを50 nm、つづけてPdをx nm、最後に保護層としてAuを1 nm蒸着したものとし、Pd膜厚xは、基板上の横方向の距離に比例して変化させた。パーマロイ層の磁区構造はFeの2p吸収端においてははっきりと観測されたが、Pd 3p吸収端で観測を試みたPd層の磁区は観測されなかった。保護層の不完全性によるPd層およびパーマロイ層の酸化があったことがその要因と考えられる。

In order to understand the physics of spin current, it is important to investigate the dynamics of the spin polarized electronic states at the nonmagnetic layer of the magnetic-nonmagnetic junction. In this study, we have sought to observe magnetic domain structures of the nonmagnetic layer by means of XMCD-PEEM. The sample was Au(1 nm)/Pd(x nm)/permalloy(50 nm)/Si, where x was varied within the substrate. Although the magnetic domains of the permalloy layer was clearly observed, those of the Pd layer could not be resolved. It is expected that the Pd and permalloy layers were partly oxidized due to the imperfectness of the Au cover layer.

キーワード：スピントロニクス、スピン流、X線磁気円二色性顕微分光、元素別磁区構造観察

はじめに： スピントロニクスの発展の中で、スピンの流れ、即ちスピン流の研究が大きな関心を集めている。スピン流は、強磁性-非磁性接合において、強磁性体から非磁性体に伝播するので、非磁性体の電子状態がわずかにスピン偏極することがスピン流のメカニズムの基本となる。本研究では、スピン流のダイナミクスにおいてスピン偏極電子状態が果たす役割を解明することを中期的な目標とする。

そのための基礎的な研究として、本研究では、強磁性-非磁性接合における非磁性体の静的なスピン偏極電子状態を光電子顕微分光を用いて観測することをめざす。なぜなら、スピン流による動的なスピン偏極電子状態変化は、定常状態における非磁性体のわずかながらスピン偏極した電子状態からの変化であるので、後者を正しく見積っておく必要があるからである。具体的には、強磁性パーマロイ層上に非磁性元素のPdを蒸着した試料について、非磁性層のスピン偏極電子状態の空間分布を観測することを試みた。非磁性層のスピン偏極度は、強磁性層からの距離に依存す

ると期待されるので、その距離依存性を解明するために膜厚を何通りか変化させて測定を行った。本研究が成功すれば、非磁性層のスピン偏極電子状態が、スピン流が流れたときにどのように変化するかといったダイナミクスの解明に発展させられると期待される。

実験： 本研究で測定した試料は、Si (001)基板上にスパッタ法で作成した多層膜を電子ビームリソグラフィ法でパターンニングしたものである。多層膜は、Si (001)上にまずパーマロイを50 nm蒸着し、次にPdをx nm蒸着し、最後に保護層としてAuを1 nm蒸着したものであった。Pd膜厚xは、基板上の横方向の距離に比例して変化させることで、一枚の試料基板である範囲のPd膜厚について測定できるようにした。

実験は、XMCD-PEEMを用いることでパーマロイ層および非磁性層の磁気状態を解明する。まずFe 2p-3d吸収端ピークにおいてパーマロイ層の磁区構造を観察するとともに、非磁性Pdの3p-4d吸収端においてPdに誘起され

たスピン偏極電子状態とその空間分布を観測しようとした。

結果、および、考察： まず、強磁性パーマロイ層の磁区分布を観測し、その上で同じマイクロ構造について Pd に誘起された磁気モーメント分布の観測を試みた。図 1 (a)および(c)に、Pd 膜厚 $x = 1.0$ および 0.2 nm の $20 \times 20 \mu\text{m}^2$ のマイクロ構造について、パーマロイ層の磁区構造を示す。いずれも、磁区構造がはっきりと見られている。前者(図 1(a))は測定装置に導入されたままの状態である。白と黒の領域は右および左に磁化した領域、灰色の領域は上下のいずれかに磁化した状態である。「ボルテックス型」と呼ばれる閉じた磁区構造が見られている。一方、後者(図 1(c))は、一旦 PEEM 測定槽から試料準備槽に搬送し、交流磁場で消磁したあとの状態である。図 1(a)と比較して細かい磁区構造が観測されている。しかしながら、図 1(b), (d)ともに磁区に対応するコントラストは見えておらず、Pd 層の磁化は観測されなかった。

図 2 は、図 1(c)(d)のマイクロ構造について測定した鉄 2p-3d 光吸収スペクトルである。酸化のない Fe であれば 707 eV と 720 eV のピークのみが観測されるはずだが、 708.5 eV 付近に顕著なピークが、また 721.5 eV 付近に構造が見られる。これらは酸化された Fe に見られる構造なので、試料を大気中で搬送した際に、 1 nm の Au 保護層と 0.2 nm の Pd 層を突き抜けてパーマロイ層の表面付近が酸化されたことを示している。Au 保護層が膜厚 1 nm の一様な膜ではなく、粒状あるいは小さな穴の開いた状態になってしまったため、酸素がその下の層に達したと考えられる。

今後の課題： 軟 X 線領域の XMCD 顕微分光においては、検出深さが数 nm 程度なので、Au などの保護膜は $1-2$ nm が適当である。従って、保護膜が今回の試料と同程度の膜厚でしかも一様な膜となる必要がある。今後、Fe, Pd ならびに Au 各層をエピタキシャル成長し

たのち、リソグラフィ法でパターンニングすることで、単結晶多層膜マイクロ構造を作製し、これについて Pd 磁区構造の検出を試みる必要がある。

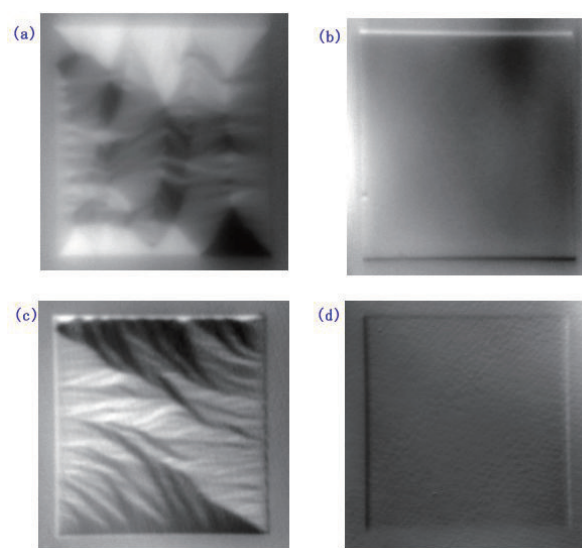


Fig. 1. XMCD-PEEM image at Fe 2p edge ((a) and (c)) and Pd 3d edge ((b) and (d)) of $20 \times 20 \mu\text{m}^2$ square microstructure of Au(1 nm)/Pd(x nm)/Py(50 nm)/Si with $x = 1$ nm ((a) and (b)) and 0.2 nm ((c) and (d)).

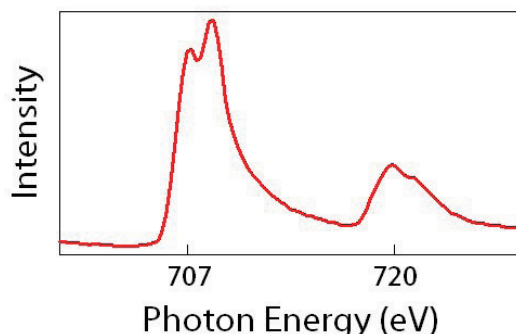


Fig. 2. Fe 2p XAS spectrum of the Fe layer of the sample. The peak at about 708.5 eV and the structure at about 721.5 eV indicate that the Py layer was partly oxidized.