

**XMCD-PEEM による磁気ヘッド・MRAM 用交換結合膜の
磁区構造のパターンサイズ依存性**
**XMCD-PEEM Study on Pattern Size Dependence of Magnetic Domain
Structure of Exchange Coupled Films for High-Density Magnetic
Recording Head and MRAM Cell.**

野村 健二, 土井 修一, 淡路 直樹
Kenji Nomura, Shuuichi Doi, Naoki Awaji

(株)富士通研究所
Fujitsu Laboratories Ltd.

磁気ヘッド・MRAM 用 IrMn/CoFe 交換結合膜において、デバイスの信頼性の確保のために、単磁区を保つことが可能な素子サイズを調べることを目的として、様々なサイズの微細パターン試料を作製し、XMCD-PEEM を用いて、CoFe 層の磁区構造観察を行った。測定の結果、交換バイアス磁場が大きいと考えられる CoFe 膜厚が 2 nm の試料では、1 μm 以下のサイズにおいても、単磁区構造が得られることが分かった。

キーワード： XMCD-PEEM、磁気ヘッド、MRAM、交換結合膜、磁区

背景と研究目的：

ハードディスクドライブの読み取りヘッドや MRAM (Magnetoresistive Random Access Memory) 用の TMR (Tunneling Magnetoresistive) 膜は、ピン層とフリー層が極薄の絶縁層を隔てて形成されており、外部磁場によりフリー層の磁化方向を回転させ、ピン層の磁化方向との相対角度を変化させることによって、素子として機能させている。ピン層の磁化を安定に固定するために、ピン層には反強磁性/強磁性薄膜からなる交換結合膜が用いられており、より大きな交換バイアスをもつ材料が求められている。最近、開発された IrMn (反強磁性層)/CoFe (強磁性層) 交換結合膜は、大きな一方向異方性定数 ($J_k = 1.3 \text{ erg/cm}^2$) を示す[1] ことに加えて、バイアス発生の最小膜厚も薄いことなどから、読み取りヘッド等に広く用いられはじめている。これらの素子は年率 140 % の割合で進む記録密度の高まりに合わせてサブミクロンサイズまで急激に微細化が進んでいる。強磁性膜がこのようなサイズに加工されると、端面に発生する磁極により数 100~数 1000 Oe の反磁界が発生し、反強磁性膜との交換バイアスを弱めると考えられる。その結果、強磁性膜の磁化状態が不安定になり、磁気情報を失う可能性がある。我々は、IrMn/CoFe 膜において、単磁区を保つことが可能な素子サイズを調べることを目的として、様々なサイズの微細パターン試料を作製し、XMCD-PEEM (XMCD: X-ray Magnetic Circular Dichroism, PEEM: Photoelectron Emission Microscopy) を用いて、CoFe 層の磁区構造観察を行った。

実験：

CoFe 膜厚が 8、4、2 nm の 3 種類の IrMn(4 nm)/CoFe 膜を用意した。本試料を着磁後、FIB (Focused Ion Beam) を用いて、パターンの水平サイズが $20 \times 10 \sim 0.2 \times 0.1 \mu\text{m}^2$ の 11 種類で、そのパターンの着磁方向の縦横比が、2 と 0.5 の 2 種類の微細加工を行った。微細加工後に消磁を行い、測定に使用した。軟 X 線ビームライン BL17SU において、XMCD-PEEM を用いて、CoFe 層の磁区構造観察を行った。

結果および考察：

XMCD-PEEM 測定において、XMCD 信号が最大となるエネルギーを決めるために、Fe の吸収端近傍の XMCD スペクトル測定を行った。結果を図 1 に示す。図 1 は、右円偏光(+)と左円偏光

(-)で測定した吸収スペクトルから求めた XMCD スペクトルである。XMCD が最大となるエネルギーは、Fe L_{III} で 708 eV であった。IrMn/CoFe 交換結合膜のパターンサイズと、CoFe 層の磁区構造の関係を調べるために、IrMn(4 nm)/CoFe(8 nm)試料を用いて、Fe L_{III} で XMCD-PEEM 測定を行った。20×10~2×1 μm² のパターンサイズで、パターンの縦横比が 0.5 の結果を図 2(a)、縦横比が 2 の結果を図 2(b)に、2×1~0.2×0.1 μm² のパターンサイズで、縦横比が 0.5 の結果を図 2(c)、縦横比が 2 の結果を図 2(d)に示す。図は、右円偏光(+)と左円偏光(-)で測定した吸収量の差分(μ₋-μ₊)である。図 2(a) に示したように、微細加工していない領域では、磁化ベクトルが着磁方向を向いた単磁区構造であった。図 2(a) および(b) に示したように、微細加工を行うことで、20×10 μm² サイズでは、パターンの縦横比によらず、パターン内の両端に、端部磁区が観測された。パターンサイズがより小さな 6×3 μm² サイズでは、パターンの縦横比により、磁区構造に違いが見られた。縦横比が 2 の試料では、20×10 μm² サイズと同様の磁区構造を示したが、縦横比が 0.5 の試料では、環流磁区が観測された。さらに小さなパターンサイズの場合には、図 2(c)に示したように、縦横比が 0.5 の試料では、1×0.5 μm² サイズまでは、環流磁区構造であり、それより小さい場合には、より小さくて複雑な形状の磁区が見られた。また、図 2(d) に示したように、縦横比が 2 の試料では、2×1 μm² サイズまでは端部磁区が観測されており、それより小さなサイズでは、より小さな磁区が形成されていると思われる。CoFe 膜厚が 8 nm の試料では、パターンのサイズや縦横比により、磁区構造の違いは見られたが、20×10 μm² 以下のサイズでは、いずれも単磁区構造ではなかった。また、CoFe 膜厚が 4 nm の試料においても、同様の測定を行った。図は省くが、CoFe 膜厚が 8 nm の試料と同様に、20×10 μm² 以下の全てのサイズで、単磁区構造ではなかった。

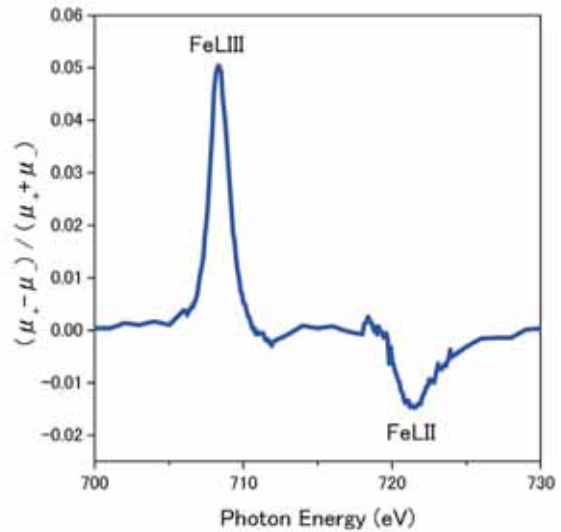


図 1. Fe 吸収端近傍の XMCD スペクトル

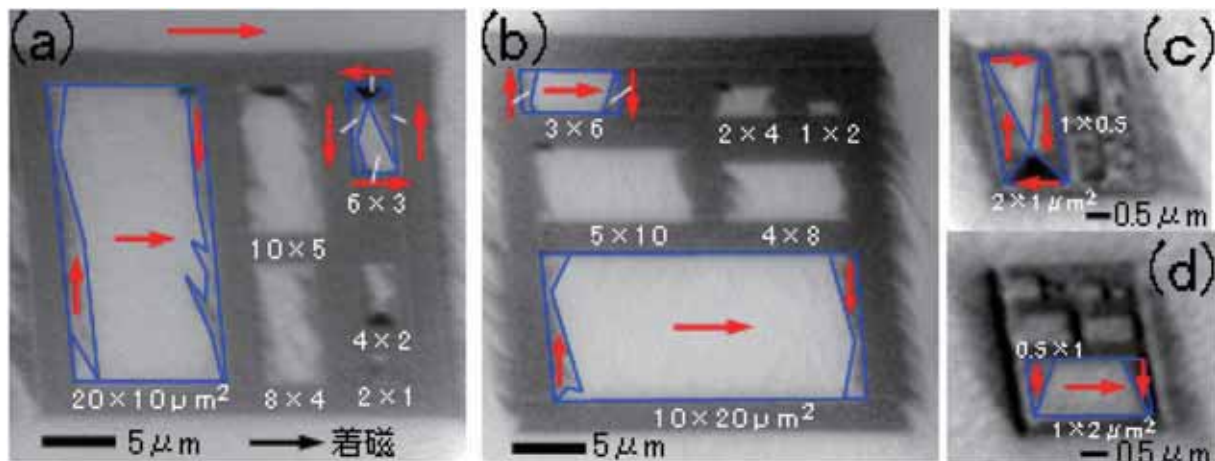


図 2. CoFe(8 nm)試料の XMCD-PEEM 像

さらに、CoFe 膜厚が 2 nm の試料を用いて、同様の測定を行った。結果を図 3 に示す。図 3(a) に示したように、本試料においても、微細加工を行っていない領域では、単磁区構造であった。また、図 3(a)および(b)に示したように、20×10 μm² サイズにおいても、CoFe 膜厚が 8 nm の時に

見られていたような端部磁区は形成されず、単磁区構造であった。図 3(c)および(d)に示したように、さらに小さな $2 \times 1 \mu\text{m}^2$ 以下のパターンでは、磁化ベクトルが着磁方向と反平行となる磁区が観測されたが、それぞれのパターン内は単磁区であった。CoFe 膜厚が 2 nm の試料では、パターンのサイズや縦横比によらず、パターン内は単磁区構造であった。

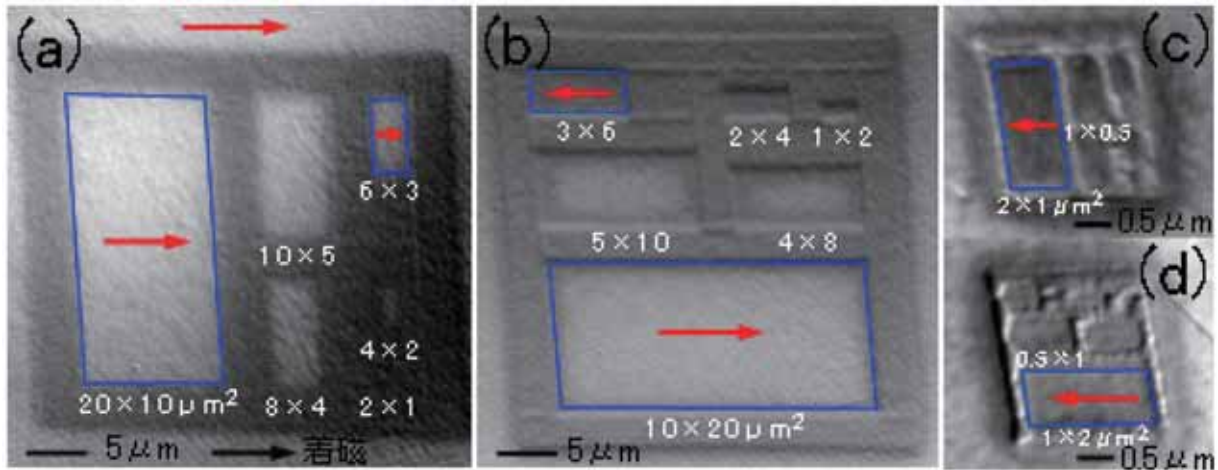


図 3. CoFe (2 nm) 試料の XMCD-PEEM 像

図 2 と図 3 を含め、今回の測定結果をまとめると、微細加工を行っていない領域では、CoFe 膜厚によらず、単磁区であった。パターン領域では、CoFe 膜厚が 8、4 nm の試料で、端部磁区や還流磁区が観測された。これは、磁化が一方向に揃って単磁区になった場合には静磁エネルギーが大きく、さらに、パターンサイズが小さくなると、静磁エネルギーは増大するため、それを避けるために端部磁区や還流磁区が形成されたと考えられる。一方、CoFe 膜厚が 2 nm の試料では、パターン領域でも、単磁区であった。交換バイアス磁場 H_{ex} は、近似的に $H_{\text{ex}} = J_k / (d_F M_s)$ (M_s : 強磁性層の飽和磁化、 d_F : 強磁性層の膜厚) で表されると報告されており [1]、CoFe 膜厚が薄い 2 nm の試料の方が、交換バイアス磁場が大きいと考えられる。CoFe 膜厚が 2 nm の試料では、パターンが $1 \mu\text{m}$ 以下まで小さくなり、静磁エネルギーが増大した場合においても、交換結合が十分大きいために、単磁区構造を得ることができたと考えられる。

今後の課題：

XMCD-PEEM を用いて、Mn L_{III} 吸収端で IrMn 層の磁区構造観察を行い、本研究で得られた CoFe 層の磁区構造との対応関係を調べることで、交換結合バイアスの発現機構についての知見が得られる可能性がある。

参考文献：

[1] K. Imakita *et al.*, Appl. Phys Lett. **85**, 3812 (2004).

謝辞：

BL17SU における PEEM 実験の遂行にあたり、ご協力いただきました JASRI の小嗣様に深く感謝いたします。