

2006年2月8日

富士通研究所 淡路直樹

## SPring-8 戦略活用プログラム課題利用報告書

課題番号:2005B0832

実験課題名:定在波励起 XMCD 測定技術の開発及び次世代磁気デバイス用超格子磁性膜への適用

実験責任者:富士通研究所 淡路直樹

使用ビームライン:BL25SU

実験結果:

### 1. 目的

高度情報化社会を支えている情報ストレージデバイスにおいて、ハードディスクの占める役割は大きい。次世代ハードディスクの開発において、記録密度向上のために、磁気ヘッド読み出し部では、強磁性薄膜と反強磁性膜の界面付近に働く交換結合を利用したスピントラップ素子の特性向上が重要であるが、この交換結合のミクロレベルでのメカニズムは十分に解明されていない。一方、磁気ヘッド書き込み部では、記録媒体の微小領域に強磁場を発生させるため、高い飽和磁場( $B_s$ )を持つ材料が開発されている。我々は、最近、FeCo と Pd を積層した超格子膜において高 $B_s$ (2.6T)を達成したが、そのメカニズムは良く解明されていない。これらの構造では、磁性膜界面での磁気構造が重要であると考えられるが、その解明には有効な実験手段がなかった。最近、SPring-8において円偏光 X 線を用いた X 線磁気円二色性(X-ray Magnetic Circular Dichroism ; XMCD)測定が可能になり、磁性材料の有効な測定方法として注目されているが、従来の透過測定では、磁性膜界面に特定した測定は難しかった。本課題において、我々は、磁性薄膜における界面の磁気状態を敏感に測定する方法として、多層膜試料中に X 線が入射した際に試料中に励起される定在波の電場強度の変化を利用した、定在波励起 XMCD 測定法を考案し、原理検証を行った。

### 2. 実験

XMCD は、磁性元素の吸収端近傍における左右円偏光に対する吸収係数の差を利用して、磁気モーメントや磁気ヒステリシスを直接的に評価する手法である。通常の透過測定では、試料中の各元素の平均的な磁気状態が評価される。一方、定在波法では X 線の入射角を制御し、試料中に形成される定在波の深さ分布を変化させることで、薄膜中央部や界面近傍などを選択し、元素別の磁気モーメント、磁気ヒステリシスを測定することが可能になると考える。今回我々は、試料に対する X 線の入射角を変化させながら、左右円偏光それぞれに対する試料表面からの光子収量と、試料表面から鏡面反射される X 線(反射率)を計測し、定在波効果の確認を行った。

試料は、熱酸化膜付 Si 基板上にスパッタ成膜した(IrMn<sub>3</sub>/CoFe)交換結合膜を用いた。試料作

成の際に基板面内に直流磁場を印加し着磁を行った。試料は反射率測定が可能な、2軸ゴニオメータを内蔵する真空チャンバ内に、光の進行方向と試料の磁化方向が平行となるように設置した。試料からのX線反射率はゴニオメータの $\theta/2\theta$ 走査によりマイクロチャンネルプレート(MCP)を用いて測定した。また試料表面に電極を取り付け、試料電流の変化から光電子収量を測定した。今回の測定では、MCDシグナルに対する定在波の効果を見るため、一連の測定をMCDが出現する781eV(CoL<sub>3</sub>吸収端近傍)、及びMCDが出現しない766eV(非共鳴条件)で行った。

図1に非共鳴条件における左右円偏光に対するX線反射率の結果を示す。また、図2、3にCoL<sub>3</sub>吸収端近傍におけるX線反射率の強度及び光電子収量をそれぞれ示す。図1より、MCDが出現しないエネルギー領域では、左右円偏光に対するX線反射率が一致することを確認した。図2、3のMCDが出現するエネルギーにおいては、左右円偏光に対する吸収係数の差を反映して、X線反射率及び光電子収量ともに、全角度領域で強度差があることが分かった。2 $\theta$ が大きくなるに従い強度差が小さくなるのは、X線の入射ベクトルと試料の磁化ベクトルの内積が、X線の入射角 $\theta$ が90°に近づくとともに0に近づくためであり、理論と一致している。さらに、図3において、光電子収量の角度変化は、左右円偏光どちらに対しても同じように減衰するが、図2のX線反射率では、図中の矢印で示す角度領域で、定在波の効果によるものと思われる振動構造の違いがある。

今回観測された左右円偏光に対するX線反射率の振動構造の違いが、試料中の定在波によるIrMn<sub>3</sub>/CoFe界面領域とCoFe膜中の電場強度の違いによるものか検証するために、X線の入射角に対する電場強度の変化を計算し、比較を行った。図4に計算結果を示す。界面領域と膜中の電場強度比のプロットから、界面領域で相対的に電場強度が大きくなる角度と、今回X線反射率の振動構造の違いが見られる角度がほぼ一致することが分かった。このことから、今回の測定で観測された、左右円偏光に対するX線反射率の違いは、試料中の定在波による効果である可能性が高い。一方、光電子強度の角度変化で違いが見られなかったのは、光電子の脱出深さが2~3nmと浅く、定在波のような界面からの情報がほとんど含まれていないためと考えられる。

### 3. まとめ

磁性薄膜における界面の磁気状態を敏感に測定する手法として定在波による電場強度の変化を利用した定在波励起XMCD測定法を考案し、原理の検証を行った。(IrMn<sub>3</sub>/CoFe)交換結合膜のCoL<sub>3</sub>吸収端近傍での左右円偏光に対するX線反射率において、振動構造の違いを観測した。試料中の電場強度計算との比較から、X線反射率の違いは、界面領域と膜中における電場強度コントラストの違いに起因していると考えられ、MCDシグナルに与える定在波の効果を確認することができた。

#### 4. 謝辞

BL25SU における本課題の実験に関してご協力いただきました、JASRI の中村哲也様、木村洋昭様、産業利用促進コーディネーターの古宮聰様、並びに実験に関係された方々に深く感謝いたします。

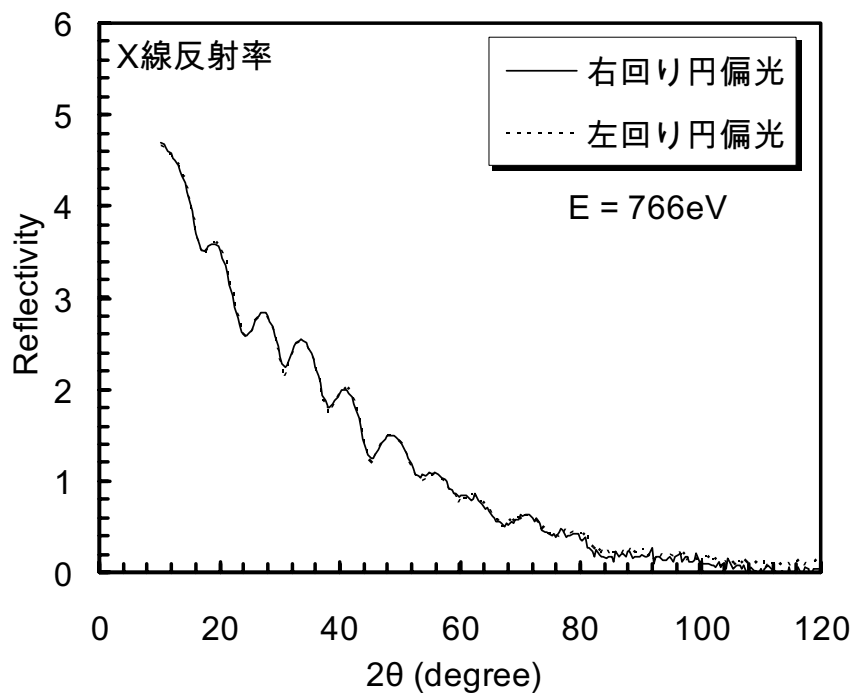


図1 X線反射率測定結果

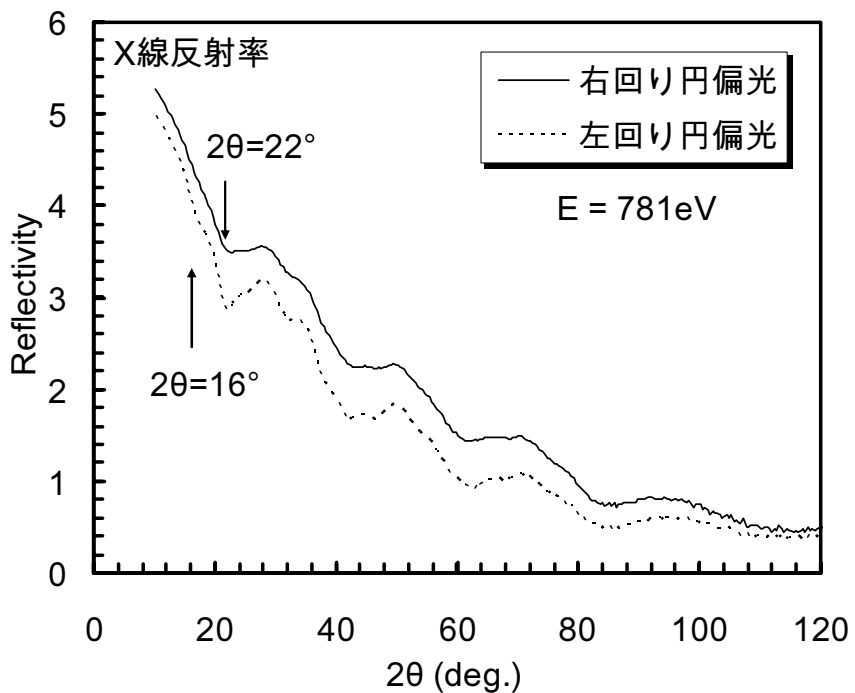


図2 X線反射率測定結果

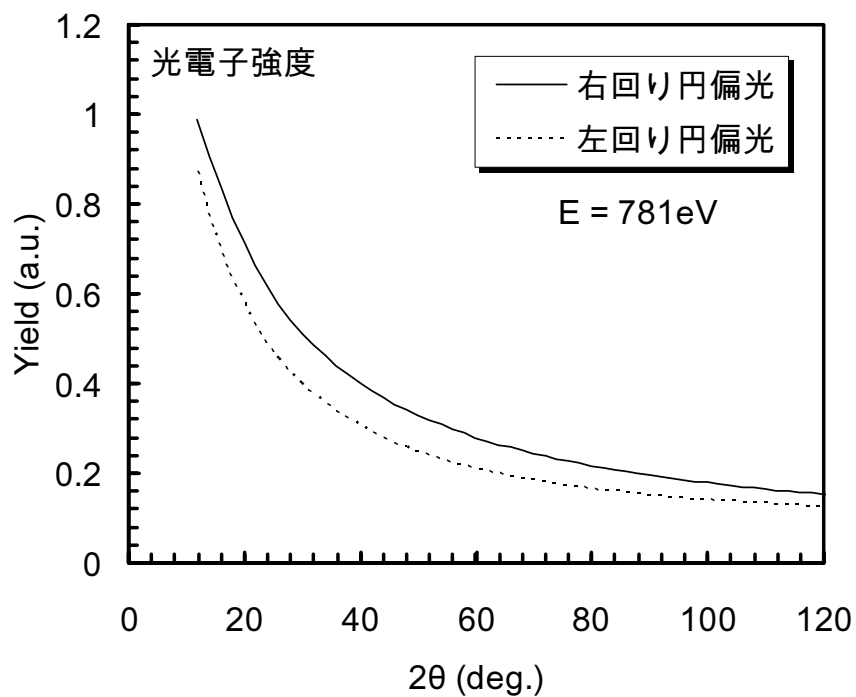


図3 光電子収量変化

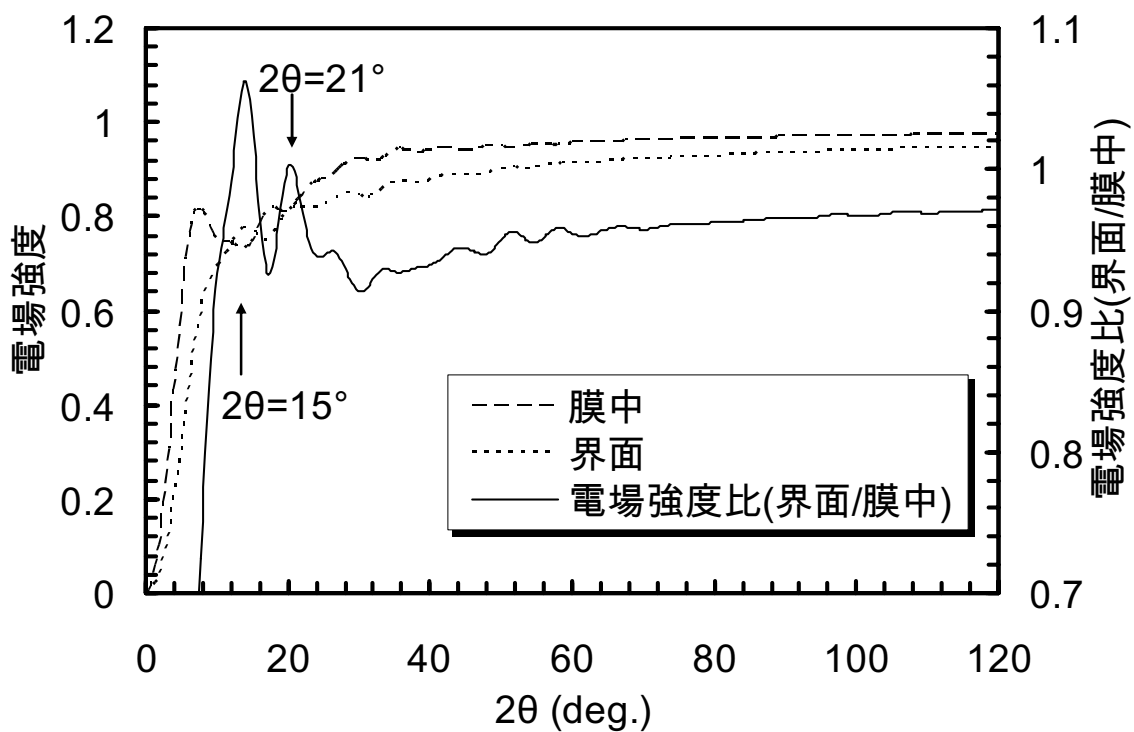


図4 試料中の電場強度計算値の角度変化