

# 磁気ヘッド膜の反強磁性 / 強磁性界面 における磁気構造の評価

利用者 平野辰巳<sup>1</sup>、今瀬肇<sup>2</sup>  
所属 <sup>1</sup>日立製作所、<sup>2</sup>茨城県企画部

## 1. 緒言

情報化社会を支える磁気ディスク装置(HDD)の記録密度は年率40%程度で向上しており、記録密度：500Gb/in<sup>2</sup>のHDDが研究・開発されている。記録密度の高いヘッドを開発および量産する上で解決すべき課題の一つに、反強磁性層 / 磁化固定層(AFM/FM)間の安定した磁気結合の実現がある。即ち、磁気ヘッドの高感度化と狭トラック化に伴い、AFM/FMの磁気結合の不安定性が顕在化し、ヘッドの加工ダメージ等により固定した磁化の反転や回転現象が発生し、磁気ヘッドの特性を満足しないという問題がある。この解決には、1)交換結合の起源の解明、2)AFMの材料系(MnIr、MnPt)、膜厚、配向、粒径などの支配因子によるAFM/FM界面磁気構造の制御が必要となる。

X線磁気円二色性によるAFM/FM界面に誘起されたMnのMHL- $\mu$ の結果から、a)AFM/FM界面に外部磁場で回転しない、固着したMn磁化は存在せず、交換結合の起源ではないこと[1]、b)Mnの磁化量と交換結合磁界との相関がないこと[2]、が明らかになり、AFM/FM界面におけるMn磁化の深さ分布が重要と考えられる。

偏極中性子反射率は、磁性多層膜などにおける磁性膜の磁化量、界面磁化の深さ分布やラフネス、磁化方向の分散などの界面磁気構造を非破壊で評価する有力な手法である[3]。日本原子力研究開発機構の原子炉：JRR-3の冷中性子ビームポート(C2-2)に、中性子反射率計：SUIRENが新たに設置された[4]。更に、本装置に中性子スピンを制御する偏極光学系を新たに組み込むことにより、偏極中性子反射率の実験が可能となった。

AFM材料に単結晶FeF<sub>2</sub>、FM材料にCoを用いた理想試料系で、ALS放射光、ILL中性子施設を利用して、FeF<sub>2</sub>/Co界面において反強磁性結合した磁化構造が報告[5]されており、実ヘッド材料系での界面構造との差異に興味を持たれている。そこで本報告では、実ヘッド材料系のMnIr(AFM)/CoFe(FM)試料の偏極中性子による反射率測定の可能性を検討した。

## 2. 実験方法

図1に、偏極中性子反射率モードにおけるSUIREN実験配置を示す。JRR-3からの非偏極・冷中性子の中性子は、Pyrolytic Graphite(002)により波長：3.93 Åに分光され、偏極ミラーにより中性子スピンは一方向(アップ：+)に偏極される。スピントリッパにより、スピン反転(ダウン：-)した中性子を試料に照射することもできる。試料で反射した中性子は、下流側のスピントリッパ、アナライザーミラーにより、そのスピン方向(アップ/ダウン)を特定しての検出が可能である。中性子は、散乱ベクトルに垂直な試料面内磁化： $M$ と相互作用し、中性子スピン： $S$ に平行(垂直)な成分である $M_{\parallel}$  ( $M$ )との相互作用では、中性子スピンは非反転(反転)である。本装置では、4つの反射率： $R_{++}$ 、 $R_{+-}$ 、 $R_{-+}$ 、 $R_{--}$ の測定が可能で、 $R_{+-}$ は、試料に入射する中性子スピン(アップ：+)が試料での反射によりスピン反転(ダウン：-)した中性子反射率を表す。これらの反射率から、 $M$ の方向まで含めた深さ分布の解析が可能となる。

## 3. 実験結果

試料は、Si基板/Ta(5)/Ru(5)/MnIr(5)/CoFe(2)/Cu(1)/Ru(2)の一軸配向の多結晶体である。括弧内の数値は膜厚でnm単位である。着磁方向に、1Tの外部磁場を負荷した後、試料を回転させて着磁方向垂直に0.18Tの外部磁場を負荷した4つの反射率を測定した。スピン非反転の反射率測定は各7時間、スピン反転反射率測定は各11時間程度である。偏極光学系の性能評価として、試料が無い状態での各偏極状態の中性子強度から、偏極ミラーの偏極率：0.986(アナライザーミラーも同値と仮定)、上流側スピントリッパの反転効率：0.993、下流側スピントリッパの反転効率：0.994が得られた。これらの偏極率、反転効率を補正した各反射率を図2に示す。併せて示したX線反射率では、膜厚に依存した振動構造が明瞭に観察されている。 $R_{++}$ と $R_{--}$ の反射率は異なり、その差異から、外部磁場により着磁方向から回転したCoFeの磁化成分( $M_{\parallel}$ )の評価が可能である。一方、 $R_{+-}$ と $R_{-+}$ は、ほぼ一致しており妥当な結果である。 $R_{+-}$ と $R_{-+}$ は、 $S$ に垂直な磁化成分( $M$ )による反射率であるため、着磁方向に平行なCoFe/MnIr界面での磁化成分を反映していると考えられる。これらの反射率は、CoFe/MnIrのCoFe及びその界面の磁化構造の測定ができていることを示している。

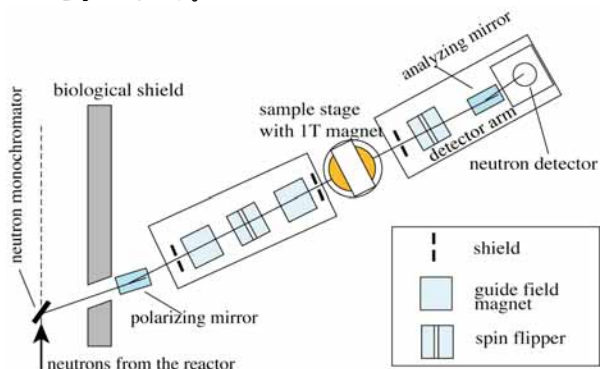


図1 偏極中性子反射率モードにおけるSUIREN実験配置

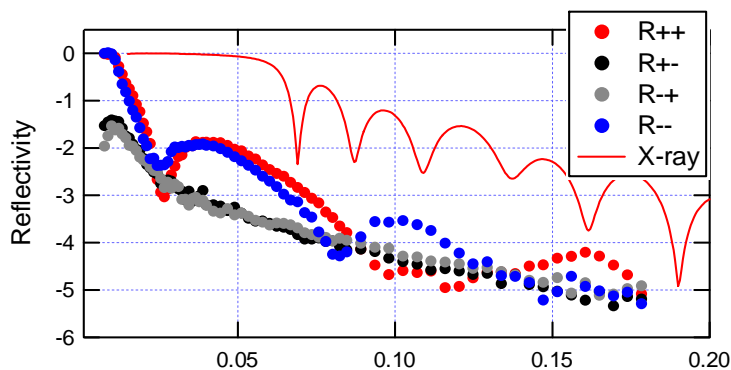


図2 MnIr/CoFe/Si基板の偏極中性子反射率およびX線反射率の測定結果

## 参考文献

[1] M. Tsunoda et al., Appl. Phys. Lett. **89**, 172501 (2006). [2] T. Hirano et al., SPring-8 Experimental Report (2006B). [3] G. P. Felcher et al., Rev. Sci. Instrum. **58**, 609 (1986). [4] D. Yamazaki et al., JAEA-Technology 2007-030, 1-21 (2007). [5] S. Roy et al., Phys. Rev. Lett. **95**, 047201 (2005).

# 磁気ヘッド膜の反強磁性 / 強磁性界面 における磁気構造の評価

利用者 平野辰巳<sup>1</sup>、今瀬肇<sup>2</sup>  
所属 <sup>1</sup>日立製作所、<sup>2</sup>茨城県企画部

## 1. 緒言

情報化社会を支える磁気ディスク装置(HDD)の記録密度は年率40%程度で向上しており、記録密度：500Gb/in<sup>2</sup>のHDDが研究・開発されている。記録密度の高いヘッドを開発および量産する上で解決すべき課題の一つに、反強磁性層 / 磁化固定層(AFM/FM)間の安定した磁気結合の実現がある。磁気ヘッドの高感度化と狭トラック化に伴い、AFM/FMの磁気結合の不安定性が顕在化し、ヘッドの加工ダメージ等により固定した磁化の反転や回転現象が発生し、磁気ヘッドの特性を満足しないという問題がある。この解決には、1)交換結合の起源の解明、2)AFMの材料系(MnIr、MnPt)、膜厚、配向、粒径などの支配因子によるAFM/FM界面磁気構造の制御が必要となる。

X線磁気円二色性によるAFM/FM界面に誘起されたMnのMHL- $\rho$ の結果から、a)AFM/FM界面に外部磁場で回転しない、固着したMn磁化は存在せず、交換結合の起源ではないこと[1]、b)Mnの磁化量と交換結合磁界との相関がないこと[2]、が明らかになり、AFM/FM界面におけるMn磁化の深さ分布が重要と考えられる。

偏極中性子反射率法は、磁性多層膜などにおける磁性膜の磁化量、界面磁化の深さ分布やラフネス、磁化方向の分散などの界面磁気構造を非破壊で評価する有力な手法である[3]。日本原子力研究開発機構の原子炉：JRR-3の冷中性子ビームポート(C2-2)に、中性子反射率計：SUIRENが設置された[4]。更に、本装置に中性子スピンを制御する偏極光学系を新たに組み込むことで、偏極中性子反射率の実験が可能となった。

AFM材料に単結晶FeF<sub>2</sub>、FM材料にCoを用いた理想試料系で、ALS放射光、ILL中性子施設を利用して、FeF<sub>2</sub>/Co界面において反強磁性結合した磁化構造が報告[5]されており、実ヘッド材料系での界面構造との差異に興味を持たれている。そこで本報告では、実ヘッド材料系で、交換結合が異なるMnIr(AFM)/CoFe(FM)試料の偏極中性子による反射率測定を検討した。

## 2. 実験方法

図1に、偏極中性子反射率モードにおけるSUIREN実験配置を示す。JRR-3からの非偏極・冷中性子の中性子は、Pyrolytic Graphite(002)により波長：3.93 Åに分光され、偏極ミラーにより中性子スピンは鉛直方向(アップ：+)に偏極される。スピンフリップにより、スピン反転(ダウン：-)した中性子を試料に照射することもできる。試料で反射した中性子は、下流側のスピンフリップ、アナライザミラーにより、そのスピン方向(アップ/ダウン)が特定できる。中性子は、散乱ベクトルに垂直な試料面内磁化： $M$ と相互作用し、中性子スピン： $S$ に平行(垂直)な成分である $M//(\perp)S$ との相互作用では、中性子スピンは非反転(反転)である。本装置では、4つの反射率： $R_{++}$ 、 $R_{+-}$ 、 $R_{-+}$ 、 $R_{--}$ の測定が可能で、 $R_{+-}$ は、試料に入射する中性子スピン(アップ：+)が試料での反射によりスピン反転(ダウン：-)した中性子反射率を表す。

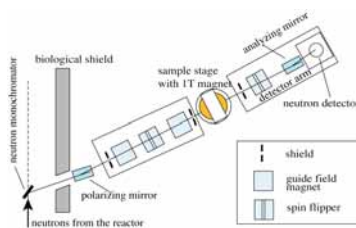


図1 偏極中性子反射率モードにおけるSUIREN実験配置

## 3. 実験結果

試料の膜構成は、Si基板 / Ta(5)/Ru(5)/MnIr(3,5)/CoFe(2)/Cu(1)/Ru(2)である。括弧内の数値は膜厚でnm単位である。MnIrの膜厚が異なる2試料で、交換結合は各々、0.1、0.5erg/cm<sup>2</sup>である。着磁方向に、1Tの外部磁場を负荷した後、試料を回転させて着磁方向垂直に0.18Tの外部磁場を负荷した4つの反射率を測定した。スピン非反転の反射率測定は各7時間、スピン反転反射率測定は各11時間程度である。試料が無い状態での各偏極状態の中性子強度から、偏極/アナライザミラーの偏極率、上下フリップの反転効率を評価した。これらの偏極率、反転効率を補正した各反射率を図2に示す。併せて示したX線反射率では、膜厚に依存した振動構造が明瞭に観察されている。 $R_{++}$ と $R_{--}$ の反射率は異なり、その差異から、外部磁場により着磁方向から回転したCoFeの磁化成分( $M//$ )の評価が可能である。また、2試料間での反射率も異なり、MnIrの膜厚差異を表している。 $R_{+-}$ と $R_{-+}$ は、 $S$ に垂直な磁化成分( $M$ )による反射率であるため、着磁方向に平行なCoFe/MnIr界面での磁化成分を反映していると考えられる。高Jk試料は、低Jk試料に比べて $R_{+-}$ と $R_{-+}$ の反射率は高く、着磁方向に平行なCoFe/MnIr界面での磁化成分が多いと考えられ、両試料における界面磁化構造の差異が測定できていることを示している。

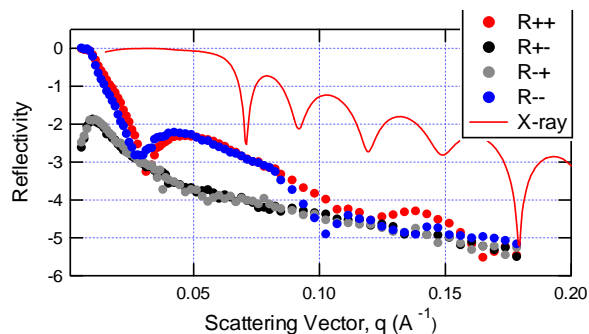


図2(a) MnIr(3)/CoFe系試料の偏極中性子反射率およびX線反射率の測定結果。Jk=0.1 erg/cm<sup>2</sup>。

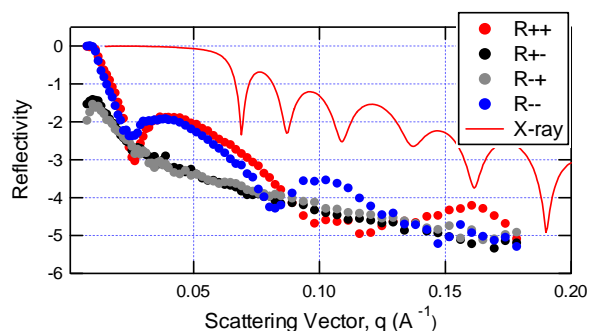


図2(b) MnIr(5)/CoFe系試料の偏極中性子反射率およびX線反射率の測定結果。Jk=0.5 erg/cm<sup>2</sup>。

## 参考文献

[1] M. Tsunoda et al., Appl. Phys. Lett. **89**, 172501 (2006). [2] T. Hirano et al., SPring-8 Experimental Report (2006B). [3] G. P. Felcher et al., Rev. Sci. Instrum. **58**, 609 (1986). [4] D. Yamazaki et al., JAEA-Technology 2007-030, 1-21 (2007). [5] S. Roy et al., Phys. Rev. Lett. **95**, 047201 (2005).