

論文の内容の要旨

情報記録は情報通信や情報処理とともに高度情報化社会を支える重要な技術である。近年、高速・大容量の情報記録装置が求められており、ハード・ディスク・ドライブ (HDD) がその役割を担う主要装置となっている。HDDは高速で回転する円板状の記録媒体と情報を読み書きするための磁気ヘッドから構成され、ヘッドは磁気情報を記録媒体に記録再生する役割を果たす。記録密度向上に伴って媒体から漏洩する磁束が減少するため、再生用のヘッド素子として微細化可能でしかも高感度な磁気センサーが必要となる。このようなセンサーとして、巨大磁気抵抗 (GMR) 効果を利用したスピバルブ型の再生ヘッドがある。二枚の強磁性膜の磁化相対方向が変化すると電気抵抗が大きく変化する現象を活用したセンサーで、一方の磁性膜の磁化を固定する必要があり、反強磁性膜との磁氣的交換相互作用が利用される。本論文は、再生ヘッド応用の反強磁性膜材料の開発を目的に材料探索を行い、開発した反強磁性材料と強磁性材料の磁氣的交換結合機構を検討したものである。

はじめに、再生磁気ヘッドへの応用で反強磁性膜に求められる条件を、(1)高耐食性、(2)大きな一方向磁気異方性エネルギー ($K_e \geq 0.10 \text{ erg/cm}^2$)、(3)高いブロッキング温度 ($T_B \geq 250 \text{ }^\circ\text{C}$)、(4)高い電気抵抗 ($\rho \geq 300 \text{ }\mu\Omega\text{cm}$)、(5)極薄膜化 ($t \leq 20 \text{ nm}$)、(6)適度な熱処理温度 ($T \leq 230 \text{ }^\circ\text{C}$)、考察し、Mn合金から成る反強磁性膜とNiFe強磁性膜の交換結合特性の考察から、CrMn反強磁性膜にPtを添加することによって大きな磁氣的交換結合特性が得られる見通しを得ている。

この見通しを基に、NiFe/CrMnPt 積層膜構造で合金組成や薄膜形成条件の検討を行い、Pt添加濃度5-8 at.%のCrMnPt反強磁性膜で一方向性磁気異方性エネルギーが目標値の90% ($K_e = 0.07 \text{ erg/cm}^2$)まで増大し、その他要因は全て前記諸条件を満たすこと、Pt以外の第3元素 ($M = \text{Cu, Rh, Pd, Ag, Ir, Au}$)の添加効果を系統的に調べ、Rh添加においてPt添加と類似特性が得られることを明らかにしている。強磁性膜をCoに変更したCo/CrMnPt積層膜系で熱処理 ($230^\circ\text{C} \times 3\text{h}$)を行うことにより、一方向性磁気異方性エネルギーが増大し ($K_e = 0.163 \text{ erg/cm}^2$)、反強磁性膜を再生磁気ヘッドとして実用化するための諸条件を全て満たすことを明らかにしている。

最後に、CrMnPt反強磁性膜で大きな一方向磁気異方性が発現する原因を、CrMnPt結晶構造の実験および理論の両面から解析し、CrMnPt結晶の対称性の破れが原因であることを考察している。

本論文は、NiFeやCo強磁性膜とCrMnPt反強磁性膜の交換結合機構を検討し、Pt元素添加および結晶格子歪が強磁性膜との磁氣的交換結合に大きな影響を与えていることを明らかにし、さらに実用面で、この研究を通して開発したCrMnPt反強磁性膜材料がHDD再生ヘッドに採用され、磁気記録の密度向上に貢献した。本研究で得られた知見は、磁性薄膜とそのデバイス応用の点で学術的かつ実用的な意義は大である。

論文審査の結果の要旨

本研究では、HDDの大容量化に重要な役割を果たす再生磁気ヘッド用の反強磁性膜材料の探索を行い、強磁性薄膜との磁氣的交換相互作用だけでなく耐食性など複数の実用化必要条件を満たす新規な反強磁性膜材料を開発した。既知の反強磁性材料CrMn合金に添加する第3元素の系統的な探索を行い、Ptを添加したCrMnPt膜が実用化条件を満たすことを明らかにした。NiFeやCo強磁性膜との交換結合機構を検討し、Pt元素添加および結晶格子歪が強磁性膜との磁氣的交換結合に大きな影響を与えていることを明らかにした。本研究を通して開発したCrMnPt反強磁性膜材料はHDD再生ヘッドに採用され、その記録密度向上に貢献した。

本論文では、第1章で背景と研究目的を述べている。HDD装置の大容量化において磁気ヘッドの技術改良が果たす役割を概説し、再生用磁気センサーであるGMRヘッド構造における反強磁性膜の目的を考慮し、反強磁性材料に求められる条件を説明している。

第2章では、強磁性材料と反強磁性材料の間で生ずる磁氣的相互作用現象を説明し、従来から知られていたCrMnなどの反強磁性材料の特徴を述べている。さらに高感度で耐久性に優れた再生ヘッドを実現するためには、(1)高耐食性、(2)大きな一方向磁気異方性エネルギー($K_e \geq 0.10 \text{ erg/cm}^2$)、(3)高いブロッキング温度($T_B \geq 250 \text{ }^\circ\text{C}$)、(4)高い電気抵抗、(5)極薄膜化($t \leq 20 \text{ nm}$)、(6)適度な熱処理温度($T \leq 230 \text{ }^\circ\text{C}$)、の6条件を満たすことが必要であることを説明している。これら6条件を考慮して反強磁性材料の探索を行った経緯と考察結果が第3章から7章で述べられている。

第3章では、実験方法を述べている。薄膜材料の形成方法、膜の結晶構造解析方法、そして磁気特性の評価方法が記述されている。

第4章では、既知の反強磁性材料CrMn合金に添加する第3元素としてPtを選択し、NiFe強磁性膜とCrMnPt反強磁性膜との組み合わせで、交換結合特性など実用化に必要な6条件の検討結果が述べられている。この材料組み合わせでは(2)および(5)の実用化条件が未達であり、その理由の考察が行われている。

第5章では、CrMnに添加するPt以外の元素($M = \text{Cu, Rh, Pd, Ag, Ir, Au}$)の効果を検討している。CrMnPd合金は6条件をほぼ満たすが、(2)の一方向性磁気異方性エネルギー一定数が目標値の90%とわずかに及ばない結果であったことが説明されている。Pdと同様にRhもMn原子の磁気モーメントを局在化させ、CrMn合金の結晶磁気異方性エネルギー一定数を大きくする作用があることを明らかにし、その機構を検討している。しかし、CrMn(M)反強磁性膜とNiFe強磁性膜の組み合わせでは、実用化条件は未達であると結論している。

第6章では、強磁性膜をCoに変更し、Co/CrMnPt積層膜で実用化に必要な6条件の観点で実験を行い、検討を行った結果が記述されている。この積層膜では、熱処理($230^\circ\text{C} \times 3\text{h}$)を行うことにより、6条件が全て満たされることを見出している。熱処理によってボトルネックであった条件(5)の極薄膜($t \leq 20 \text{ nm}$)と条件(2)一方向磁気異方性エネルギー($K_e \geq 0.10$

erg/cm²)の達成を確認している。極薄膜状態のCrMnPtで一方向磁気異方性エネルギーが増大した原因を調べるために、X線回折によって積層膜の結晶構造を詳細に調べ、CrMnPt合金結晶の対称性が破れており、この結晶対称性の破れがCrMnPt膜で結晶磁気異方性の増大する原因となっていると考察している。

第7章では、理論モデル(Mauriモデル)に従ってCo/CrMnPt積層膜のCrMnPt結晶の結晶歪と一方向磁気異方性エネルギー一定数の関係を検討し、CrMnPt結晶に一定量以上の結晶歪が生ずると一方向磁気異方性エネルギーが増大することを示している。積層膜で観測されたCrMnPt結晶の歪量は測定された一方向磁気異方性エネルギーの増大を定量的に説明でき、格子歪の要因はCrMnPt(110)面間に働くクーロン引力による格子歪であると結論している。

第8章では結言を述べ、本研究を通して見出された新規な反強磁性材料であるCrMnPt合金材料がHDDの磁気ヘッドに採用され、磁気記録の高密度化に実用的な貢献を果たしたことが述べられている。第2章から第7章で述べられた研究結果は、25件の有査読論文(*J. Appl. Phys.*, vol. 95, no. 3, pp. 1323-1330, 2004, など)に発表されている。

本研究により、強磁性膜と反強磁性膜の磁氣的交換相互作用の現象理解が進み、実用面ではHDD装置の磁気ヘッド用GMRセンサーで有用なCrMnPt反強磁性膜材料の開発を行い、HDD装置の大容量化に貢献した。本研究は、磁気応用デバイスの技術改良に対して重要な基礎データと学術知見を提供するものと評価される。

以上により本論文は、博士(工学)の学位論文として十分な価値を有するものと認める。