

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4024499号
(P4024499)

(45) 発行日 平成19年12月19日(2007.12.19)

(24) 登録日 平成19年10月12日(2007.10.12)

(51) Int. Cl.	F I	
HO 1 L 43/08 (2006.01)	HO 1 L 43/08	Z
GO 1 R 33/09 (2006.01)	HO 1 L 43/08	M
G 1 1 B 5/39 (2006.01)	GO 1 R 33/06	R
HO 1 F 10/32 (2006.01)	G 1 1 B 5/39	
HO 1 L 43/10 (2006.01)	HO 1 F 10/32	

請求項の数 12 (全 34 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2001-246583 (P2001-246583)	(73) 特許権者	000003078
(22) 出願日	平成13年8月15日(2001.8.15)		株式会社東芝
(65) 公開番号	特開2003-60263 (P2003-60263A)		東京都港区芝浦一丁目1番1号
(43) 公開日	平成15年2月28日(2003.2.28)	(74) 代理人	100108062
審査請求日	平成15年3月28日(2003.3.28)		弁理士 日向寺 雅彦
前置審査		(72) 発明者	湯浅 裕美
			神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
			式会社東芝 研究開発センター内
		(72) 発明者	上口 裕三
			神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
			式会社東芝 研究開発センター内
		(72) 発明者	吉川 将寿
			神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
			式会社東芝 研究開発センター内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果素子、磁気ヘッド及び磁気再生装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

磁化方向が実質的に一方向に固着された磁性体膜を有する磁化固着層と、磁化方向が外部磁界に対応して変化する磁性体膜を有する磁化自由層と、前記磁化固着層と前記磁化自由層との間に設けられた非磁性金属中間層と、を有する磁気抵抗効果膜と、

前記磁気抵抗効果膜の膜面に対して略垂直な方向にセンス電流を通電するために前記磁気抵抗効果膜に電氣的に接続された一対の電極と、

を備え、

前記磁化固着層と前記磁化自由層のうちの少なくともいずれかは、薄膜挿入層を有し、

前記薄膜挿入層は、鉄(Fe)が主たる合金、すなわち、2元合金の場合には鉄(Fe)を50%以上含し、3元以上の合金の場合には鉄(Fe)を25%以上含する合金であり、且つ結晶構造が体心立方晶である合金からなることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項2】

前記鉄(Fe)が主たる合金は、コバルト(Co)、ニッケル(Ni)、クロム(Cr)、バナジウム(V)、マンガン(Mn)、ロジウム(Rh)、チタン(Ti)、モリブデン(Mo)、タングステン(W)、ニオブ(Nb)、タンタル(Ta)、パラジウム(Pd)、白金(Pt)、ジルコニウム(Zr)及びハフニウム(Hf)からなる群より選択された少なくとも1種の元素を含むことを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗効果素子。

。

【請求項3】

10

20

前記鉄 (F e) が主たる合金は、マンガン (M n)、銅 (C u)、レニウム (R e)、ルテニウム (R u)、パラジウム (P d)、白金 (P t)、銀 (A g)、金 (A u) 及びアルミニウム (A l) からなる群より選択された少なくとも 1 種の元素を 0 . 1 原子 % 以上 2 0 原子 % 以下含むか、あるいは、スカンジウム (S c)、亜鉛 (Z n)、ガリウム (G a)、ゲルマニウム (G e)、ジルコニウム (Z r)、ハフニウム (H f)、イットリウム (Y)、テクネチウム (T c)、ボロン (B)、インジウム (I n)、炭素 (C)、シリコン (S i) 及びスズ (S n) からなる群より選択された少なくとも 1 種の元素を 0 . 1 原子 % 以上 1 0 原子 % 以下含むことを特徴とする請求項 1 記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 4】

磁化方向が実質的に一方向に固着された磁性体膜を有する磁化固着層と、磁化方向が外部磁界に対応して変化する磁性体膜を有する磁化自由層と、前記磁化固着層と前記磁化自由層との間に設けられた非磁性金属中間層と、を有する磁気抵抗効果膜と、

10

前記磁気抵抗効果膜の膜面に対して略垂直な方向にセンス電流を通電するために前記磁気抵抗効果膜に電氣的に接続された一対の電極と、

を備え、

前記磁化固着層と前記磁化自由層のうちの少なくともいずれかは、薄膜挿入層を有し、前記薄膜挿入層は、結晶構造が体心立方晶の鉄 (F e) からなることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項 5】

磁化方向が実質的に一方向に固着された磁性体膜を有する磁化固着層と、磁化方向が外部磁界に対応して変化する磁性体膜を有する磁化自由層と、前記磁化固着層と前記磁化自由層との間に設けられた非磁性金属中間層と、を有する磁気抵抗効果膜と、

20

前記磁気抵抗効果膜の膜面に対して略垂直な方向にセンス電流を通電するために前記磁気抵抗効果膜に電氣的に接続された一対の電極と、

を備え、

前記磁化固着層と前記磁化自由層のうちの少なくともいずれかは、薄膜挿入層を有し、前記薄膜挿入層は、鉄 (F e) とクロム (C r) とを主成分とする合金であって、クロム (C r) の含有量が 0 原子 % 以上 8 0 原子 % 以下であり、結晶構造が体心立方晶の合金からなることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項 6】

30

磁化方向が実質的に一方向に固着された磁性体膜を有する磁化固着層と、磁化方向が外部磁界に対応して変化する磁性体膜を有する磁化自由層と、前記磁化固着層と前記磁化自由層との間に設けられた非磁性金属中間層と、を有する磁気抵抗効果膜と、

前記磁気抵抗効果膜の膜面に対して略垂直な方向にセンス電流を通電するために前記磁気抵抗効果膜に電氣的に接続された一対の電極と、

を備え、

前記磁化固着層と前記磁化自由層のうちの少なくともいずれかは、薄膜挿入層を有し、前記薄膜挿入層は、鉄 (F e) とバナジウム (V) とを主成分とする合金であって、バナジウム (V) の含有量が 0 原子 % 以上 7 0 原子 % 以下であり、結晶構造が体心立方晶の合金からなることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

40

【請求項 7】

磁化方向が実質的に一方向に固着された磁性体膜を有する磁化固着層と、磁化方向が外部磁界に対応して変化する磁性体膜を有する磁化自由層と、前記磁化固着層と前記磁化自由層との間に設けられた非磁性金属中間層と、を有する磁気抵抗効果膜と、

前記磁気抵抗効果膜の膜面に対して略垂直な方向にセンス電流を通電するために前記磁気抵抗効果膜に電氣的に接続された一対の電極と、

を備え、

前記磁化固着層と前記磁化自由層のうちの少なくともいずれかは、薄膜挿入層を有し、前記薄膜挿入層は、結晶構造が体心立方晶である鉄 (F e) - コバルト (C o) 系合金であって、その中に、クロム (C r)、バナジウム (V)、タンタル (T a)、ニオブ (

50

Nb)、スカンジウム(Sc)、チタン(Ti)、マンガン(Mn)、亜鉛(Zn)、ガリウム(Ga)、ゲルマニウム(Ge)、ジルコニウム(Zr)、ハフニウム(Hf)、イットリウム(Y)、テクネチウム(Tc)、レニウム(Re)、ルテニウム(Ru)、ロジウム(Rh)、イリジウム(Ir)、パラジウム(Pd)、白金(Pt)、銀(Ag)、金(Au)、ボロン(B)、アルミニウム(Al)、インジウム(In)、炭素(C)、シリコン(Si)及びスズ(Sn)からなる群より選択された少なくとも1種の元素を0.1原子%以上10原子%以下含む合金からなることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項8】

磁化方向が実質的に一方向に固着された磁性体膜を有する磁化固着層と、磁化方向が外部磁界に対応して変化する磁性体膜を有する磁化自由層と、前記磁化固着層と前記磁化自由層との間に設けられた非磁性金属中間層と、を有する磁気抵抗効果膜と、

10

前記磁気抵抗効果膜の膜面に対して略垂直な方向にセンス電流を通電するために前記磁気抵抗効果膜に電氣的に接続された一対の電極と、

を備え、

前記磁化固着層と前記磁化自由層のうちの少なくともいずれかは、薄膜挿入層を有し、

前記薄膜挿入層は、結晶構造が体心立方晶である鉄(Fe)-コバルト(Co)系合金であって、その中に、銅(Cu)を0.1原子%以上10原子%以下含む合金からなることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項9】

20

磁化方向が実質的に一方向に固着された磁性体膜を有する磁化固着層と、磁化方向が外部磁界に対応して変化する磁性体膜を有する磁化自由層と、前記磁化固着層と前記磁化自由層との間に設けられた非磁性金属中間層と、を有する磁気抵抗効果膜と、

前記磁気抵抗効果膜の膜面に対して略垂直な方向にセンス電流を通電するために前記磁気抵抗効果膜に電氣的に接続された一対の電極と、

を備え、

前記磁化固着層と前記磁化自由層のうちの少なくともいずれかは、薄膜挿入層を有し、

前記薄膜挿入層は、結晶構造が体心立方晶である鉄(Fe)-コバルト(Co)系合金であって、その中に体心立方構造として存在しうる厚さ1nm以下の、銅(Cu)からなる層が周期的に挿入された合金からなることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

30

【請求項10】

前記磁化自由層の前記非磁性金属中間層と接していない側の界面に隣接して銅(Cu)、金(Au)および銀(Ag)、さらにこれらのうち少なくとも2種からなる合金のいずれかからなる背面挿入層が設けられたことを特徴とする請求項1~9のいずれか1つに記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項11】

請求項1~10のいずれか1つに記載の磁気抵抗効果素子を備えたことを特徴とする磁気ヘッド。

【請求項12】

請求項11記載の磁気ヘッドを備え、磁気記録媒体に磁氣的に記録された情報の読み取りを可能としたことを特徴とする磁気再生装置。

40

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、磁気抵抗効果素子、磁気ヘッド及び磁気再生装置に関し、より詳細には、磁気抵抗効果膜の膜面に対して垂直方向にセンス電流を流す構造の磁気抵抗効果素子、これを用いた磁気ヘッド及び磁気再生装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来、磁気記録媒体に記録された情報の読み出しは、コイルを有する再生用の磁気ヘッド

50

を記録媒体に対して相対的に移動させ、そのときに発生する電磁誘導でコイルに誘起される電流を検出する方法によって行われてきた。その後、磁気抵抗効果素子 (Magnetoresistive effect element) が開発され、磁場センサに用いられる他、ハードディスクドライブ等の磁気再生装置に搭載される磁気ヘッド (MRヘッド) として用いられてきた。

【0003】

近年、磁気記録媒体の小型化・大容量化が進められ、情報読み出し時の再生用磁気ヘッドと磁気記録媒体との相対速度が小さくなってきているため、小さい相対速度であっても大きな出力が取り出せるMRヘッドへの期待が高まっている。

【0004】

このような期待に対して、鉄 (Fe) 層 / クロム (Cr) 層や、鉄 (Fe) 層 / 銅 (Cu) 層のように強磁性金属膜と非磁性金属膜とをある条件で交互に積層して、近接する強磁性金属膜間を反強磁性結合させた多層膜、いわゆる「人工格子膜」が巨大な磁気抵抗効果を示すことが報告されている (Phys. Rev. Lett. 61 2474 (1988)、Phys. Rev. Lett., vol. 64, p2304 (1990)等参照)。しかし、人工格子膜は磁化が飽和するために必要な磁場が高いため、MRヘッド用の膜材料には適さない。

【0005】

これに対し、強磁性層 / 非磁性層 / 強磁性層のサンドイッチ構造の多層膜で、強磁性層が反強磁性結合しない場合でも、大きな磁気抵抗効果を実現した例が報告されている。すなわち、非磁性層を挟んだ2層の強磁性層の一方に交換バイアス磁場を印加して磁化を固定しておき、他方の強磁性層を外部磁場 (信号磁場等) により磁化反転させる。これにより、非磁性層を挟んで配置された2つの強磁性層の磁化方向の相対的な角度を変化させることによって、大きな磁気抵抗効果が得られる。このようなタイプの多層膜は「スピンバルブ (spin valve)」と呼ばれている。 (Phys. Rev. B, vol. 45, p806 (1992)、J. Appl. Phys., vol. 69, p4774 (1981)等参照)。

【0006】

スピンバルブは低磁場で磁化を飽和させることができるため、MRヘッドに適しており、既に実用化されている。しかし、その磁気抵抗変化率は最大でも約20%までであり、面記録密度100 Gbps (ギガビット毎平方インチ) 以上に対応するためには更に高い磁気抵抗変化率を有する磁気抵抗効果素子が必要となってきた。

【0007】

磁気抵抗効果素子においては、センス電流を素子膜面に対して平行方向に流すCIP (Current-in-Plane) 型の構造と、センス電流を素子膜面に対して垂直方向に流すCPP (Current Perpendicular to Plane) 型の構造とがある。そして、CPP型の磁気抵抗効果素子が、CIP型の素子の10倍程度の磁気抵抗変化率を示すとの報告があり (J. Phys. Condens. Matter., vol.11, p5717 (1999)等)、磁気抵抗変化率100%の達成も不可能ではない。

【発明が解決しようとする課題】

ところが、これまで報告されているCPP型の素子は、主に人工格子を用いたものであり、総膜厚の厚いことと、界面数の多いことが抵抗変化量 (出力絶対値) の大きい所以であった。しかし、ヘッドとしての磁気特性を満たすためには、スピンバルブ構造を有することが望ましい。

【0008】

図28は、スピンバルブ構造を有するCPP型の磁気抵抗効果素子を模式的に表す断面図である。すなわち、磁気抵抗効果膜Mは、上部電極52と下部電極54に挟持され、センス電流Iは膜面に対して垂直方向に流れる。磁気抵抗効果膜Mの基本的な膜構造は、同図に表したように、下部電極54の上に、下地層12、反強磁性層14、磁化固着層16、非磁性中間層18、磁化自由層20、保護層22が順次積層された構造を有する。

【0009】

これらの層は、基本的にはすべて金属からなる。磁化固着層16 (「ピン層」とも称される) は、磁化が実質的に一方向に固着された磁性層である。また、磁化自由層20 (「フ

10

20

30

40

50

リー層」とも称される)は、磁化の方向が外部磁界に応じて自由に変化する磁性層である。

【0010】

ところが、このようなスピバルブ構造は、人工格子と比較すると総膜厚が薄くて界面数が少ないために、膜面に対して垂直方向に通電をすると、素子の抵抗が小さく、出力の絶対値も小さくなってしまう。

【0011】

例えば、従来CIP構造に用いている膜構造のスピバルブ膜をそのままCPP構造に用いて膜面に対して垂直方向に通電すると、 $1\mu\text{m}^2$ あたりの出力の絶対値はA/Rは、およそ $1\text{m}\mu\text{m}^2$ ほどしか得られない。つまり、スピバルブ膜を用いたCPP型磁気抵抗効果素子を実用化するためには、出力増大が重要であり、このためには、磁気抵抗効果素子のうちで、スピン依存伝導に関与する部分の抵抗値を上げ、抵抗変化量を大きくすることが極めて効果的である。

【0012】

本発明は、かかる課題の認識に基づいてなされたものであり、その目的は、スピバルブ構造の垂直通電型磁気抵抗効果素子において、スピン依存界面散乱とスピン依存バルク散乱の大きな材料からなる層をそれぞれ適所に設けることにより、スピン依存伝導をする部分の抵抗値を適切な値まで上げ、ひいては抵抗変化量を大きくすることにより高い磁気抵抗変化量を実現した磁気抵抗効果素子、及びこれを用いた磁気ヘッド、磁気再生装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

垂直通電型の磁気抵抗効果素子の出力は、磁性層と非磁性層の界面でのスピン依存散乱(界面散乱)と、磁性層内でのスピン依存散乱(バルク散乱)によって決定される。そこで、非磁性層との界面にはスピン依存界面散乱の大きな材料、磁性層中大半を占める部分にはスピン依存バルク散乱の大きな材料を持ってくると、大きな出力増大効果が期待できる。

【0013】

また、磁化固着層あるいは磁化自由層の、非磁性中間層と接しない方の界面に、非磁性背面層を入れると、磁化固着層/非磁性背面層界面あるいは磁化自由層/非磁性背面層界面でのスピン依存界面散乱を利用することができる。ここで、磁化固着層/非磁性背面層界面、あるいは磁化自由層/非磁性背面層界面に、スピン依存界面散乱の大きな材料を適用することで、出力が増大する。

【0014】

また、磁化固着層あるいは磁化自由層の中のいずれかの位置に、異種材料を挿入することはバンド構造に変調を与えることになるので、出力増大の可能性がある。

【0015】

本発明者は、かかる観点から独自の試作検討を進め、以下に詳述する独特の磁気抵抗効果素子を発明するに至った。

【0017】

上記構成によれば、スピン依存散乱を増大させ、磁気抵抗変化を増加させることができる。

【0018】

ここで、前記薄膜挿入層は、1原子層以上3nm以下の厚さを有するものとすることができる。

【0022】

本発明の第1の磁気抵抗効果素子は、磁化方向が実質的に一方向に固着された磁性体膜を有する磁化固着層と、磁化方向が外部磁界に対応して変化する磁性体膜を有する磁化自由層と、前記磁化固着層と前記磁化自由層との間に設けられた非磁性金属中間層と、を有する磁気抵抗効果膜と、前記磁気抵抗効果膜の膜面に対して略垂直な方向にセンス電流を通電するために前記磁気抵抗効果膜に電気的に接続された一対の電極と、を備え、

前記磁化固着層と前記磁化自由層のうちの少なくともいずれかは、薄膜挿入層を有し、前記薄膜挿入層は、鉄 (Fe) が主たる合金、すなわち、2元合金の場合には鉄 (Fe) を50%以上含し、3元以上の合金の場合には鉄 (Fe) を25%以上含する合金であり、且つ結晶構造が体心立方晶である合金からなることを特徴とする。

【0023】

ここで、前記鉄 (Fe) が主たる合金は、コバルト (Co)、ニッケル (Ni)、クロム (Cr)、バナジウム (V)、マンガン (Mn)、ロジウム (Rh)、チタン (Ti)、モリブデン (Mo)、タングステン (W)、ニオブ (Nb)、タンタル (Ta)、パラジウム (Pd)、白金 (Pt)、ジルコニウム (Zr) 及びハフニウム (Hf) からなる群より選択された少なくとも1種の元素を含むものとすることができる。

10

【0024】

または、前記鉄 (Fe) が主たる合金は、マンガン (Mn)、銅 (Cu)、レニウム (Re)、ルテニウム (Ru)、パラジウム (Pd)、白金 (Pt)、銀 (Ag)、金 (Au) 及びアルミニウム (Al) からなる群より選択された少なくとも1種の元素を0.1原子%以上20原子%以下含むか、あるいは、スカンジウム (Sc)、亜鉛 (Zn)、ガリウム (Ga)、ゲルマニウム (Ge)、ジルコニウム (Zr)、ハフニウム (Hf)、イットリウム (Y)、テクネチウム (Tc)、ボロン (B)、インジウム (In)、炭素 (C)、シリコン (Si) 及びスズ (Sn) からなる群より選択された少なくとも1種の元素を0.1原子%以上10原子%以下含むものとすることができる。

また、本発明の第2の磁気抵抗効果素子は、磁化方向が実質的に一方向に固着された磁性体膜を有する磁化固着層と、磁化方向が外部磁界に対応して変化する磁性体膜を有する磁化自由層と、前記磁化固着層と前記磁化自由層との間に設けられた非磁性金属中間層と、を有する磁気抵抗効果膜と、前記磁気抵抗効果膜の膜面に対して略垂直な方向にセンス電流を通電するために前記磁気抵抗効果膜に電氣的に接続された一対の電極と、を備え、

20

前記磁化固着層と前記磁化自由層のうちの少なくともいずれかは、薄膜挿入層を有し、前記薄膜挿入層は、結晶構造が体心立方晶の鉄 (Fe) からなることを特徴とする。

【0025】

また、本発明の第3の磁気抵抗効果素子は、磁化方向が実質的に一方向に固着された磁性体膜を有する磁化固着層と、磁化方向が外部磁界に対応して変化する磁性体膜を有する磁化自由層と、前記磁化固着層と前記磁化自由層との間に設けられた非磁性金属中間層と、を有する磁気抵抗効果膜と、

30

前記磁気抵抗効果膜の膜面に対して略垂直な方向にセンス電流を通電するために前記磁気抵抗効果膜に電氣的に接続された一対の電極と、

を備え、

前記磁化固着層と前記磁化自由層のうちの少なくともいずれかは、薄膜挿入層を有し、前記薄膜挿入層は、鉄 (Fe) とクロム (Cr) とを主成分とする合金であって、クロム (Cr) の含有量が0原子%以上80原子%以下であり、結晶構造が体心立方晶の合金からなることを特徴とする。

【0026】

また、本発明の第4の磁気抵抗効果素子は、磁化方向が実質的に一方向に固着された磁性体膜を有する磁化固着層と、磁化方向が外部磁界に対応して変化する磁性体膜を有する磁化自由層と、前記磁化固着層と前記磁化自由層との間に設けられた非磁性金属中間層と、を有する磁気抵抗効果膜と、前記磁気抵抗効果膜の膜面に対して略垂直な方向にセンス電流を通電するために前記磁気抵抗効果膜に電氣的に接続された一対の電極と、を備え、

40

前記磁化固着層と前記磁化自由層のうちの少なくともいずれかは、薄膜挿入層を有し、前記薄膜挿入層は、鉄 (Fe) とバナジウム (V) とを主成分とする合金であって、バナジウム (V) の含有量が0原子%以上70原子%以下であり、結晶構造が体心立方晶の合金からなることを特徴とする。

【0036】

また、本発明の第5の磁気抵抗効果素子は、磁化方向が実質的に一方向に固着された磁

50

磁性体膜を有する磁化固着層と、磁化方向が外部磁界に対応して変化する磁性体膜を有する磁化自由層と、前記磁化固着層と前記磁化自由層との間に設けられた非磁性金属中間層と、を有する磁気抵抗効果膜と、前記磁気抵抗効果膜の膜面に対して略垂直な方向にセンス電流を通電するために前記磁気抵抗効果膜に電氣的に接続された一対の電極と、

を備え、

前記磁化固着層と前記磁化自由層のうちの少なくともいずれかは、薄膜挿入層を有し、前記薄膜挿入層は、結晶構造が体心立方晶である鉄(Fe) - コバルト(Co)系合金であって、その中に、クロム(Cr)、バナジウム(V)、タンタル(Ta)、ニオブ(Nb)、スカンジウム(Sc)、チタン(Ti)、マンガン(Mn)、亜鉛(Zn)、ガリウム(Ga)、ゲルマニウム(Ge)、ジルコニウム(Zr)、ハフニウム(Hf)、イットリウム(Y)、テクネチウム(Tc)、レニウム(Re)、ルテニウム(Ru)、ロジウム(Rh)、イリジウム(Ir)、パラジウム(Pd)、白金(Pt)、銀(Ag)、金(Au)、ボロン(B)、アルミニウム(Al)、インジウム(In)、炭素(C)、シリコン(Si)及びスズ(Sn)からなる群より選択された少なくとも1種の元素を0.1原子%以上10原子%以下含む合金からなることを特徴とする。

10

【0037】

また、本発明の第6の磁気抵抗効果素子は、磁化方向が実質的に一方向に固着された磁性体膜を有する磁化固着層と、磁化方向が外部磁界に対応して変化する磁性体膜を有する磁化自由層と、前記磁化固着層と前記磁化自由層との間に設けられた非磁性金属中間層と、を有する磁気抵抗効果膜と、前記磁気抵抗効果膜の膜面に対して略垂直な方向にセンス電流を通電するために前記磁気抵抗効果膜に電氣的に接続された一対の電極と、を備え、

20

前記磁化固着層と前記磁化自由層のうちの少なくともいずれかは、薄膜挿入層を有し、前記薄膜挿入層は、結晶構造が体心立方晶である鉄(Fe) - コバルト(Co)系合金であって、その中に、銅(Cu)を0.1原子%以上10原子%以下含む合金からなることを特徴とする。

【0039】

また、本発明の第7の磁気抵抗効果素子は、磁化方向が実質的に一方向に固着された磁性体膜を有する磁化固着層と、磁化方向が外部磁界に対応して変化する磁性体膜を有する磁化自由層と、前記磁化固着層と前記磁化自由層との間に設けられた非磁性金属中間層と、を有する磁気抵抗効果膜と、前記磁気抵抗効果膜の膜面に対して略垂直な方向にセンス電流を通電するために前記磁気抵抗効果膜に電氣的に接続された一対の電極と、を備え、

30

前記磁化固着層と前記磁化自由層のうちの少なくともいずれかは、薄膜挿入層を有し、前記薄膜挿入層は、結晶構造が体心立方晶である鉄(Fe) - コバルト(Co)系合金であって、その中に体心立方構造として存在しうる厚さ1nm以下の、銅(Cu)からなる層が周期的に挿入された合金からなることを特徴とする。

【0040】

ここで、前記磁化自由層の前記非磁性金属中間層と接していない側の界面に隣接して銅(Cu)、金(Au)および銀(Ag)、さらにこれらのうち少なくとも2種からなる合金のいずれかからなる背面挿入層が設けられたものとすることができる。

【0041】

一方、本発明の磁気ヘッドは、前述した第1乃至第7のいずれかの磁気抵抗効果素子を備えたことを特徴とし、従来よりも大幅に高い出力を得ることができる。

40

【0042】

また、本発明の磁気再生装置は、この磁気ヘッドを備え、磁気記録媒体に磁氣的に記録された情報の読み取りを可能としたことを特徴とする。

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照しつつ本発明の実施の形態について説明する。

【0043】

図1は、本発明の実施形態にかかる磁気抵抗効果素子の要部断面構造を例示する模式図である。本具体例の磁気抵抗効果素子は、下部電極54の上に、下地層12、反強磁性層1

50

4、磁化固着層 16、非磁性中間層 18、磁化自由層 20、保護層 22、上部電極 52 がこの順に積層された構造を有する。つまり、磁気抵抗効果膜は、上部電極 52 と下部電極 54 に挟持され、センス電流は膜面に対して垂直方向に流れる。

【0044】

図示した磁気抵抗効果素子の中で、磁気抵抗効果を担うのは、磁化固着層 16 / 非磁性中間層 18 / 磁化自由層 20 の部分である。

【0045】

すなわち、この部分においては、スピン分極した電子に対して、スピンに依存した抵抗が生じ、スピン依存抵抗が生ずる。そして、本発明によれば、以下に詳述するように、これら磁化固着層 16 と磁化自由層 20 に、独特の材料からなる薄膜挿入層 32 及び 34 を挿入することにより、素子の出力、すなわち磁気抵抗変化量の絶対値を増大させ、実用に耐え得る垂直通電型の磁気抵抗効果素子を実現することができる。

10

【0046】

すなわち、垂直通電素子の出力は、磁性層と非磁性層との界面でのスピン依存散乱（界面散乱）と、磁性層内部でのスピン依存散乱（バルク散乱）とによって決定される。そして、磁性層と非磁性層との界面にはスピン依存界面散乱の大きな材料を配し、磁性層中の大半を占める部分にはスピン依存バルク散乱の大きな材料を配することにより、大きな出力増大効果が見込める。

【0047】

本発明者は、独自に試作・検討を行った結果、磁化固着層 16 や磁化自由層 20 の一部として、独特の材料からなる薄膜挿入層を挿入すると、これらスピン依存散乱を促進し、磁気抵抗変化を大きくできることを知得した。

20

【0048】

本発明において挿入する薄膜挿入層については、後に実施例を参照しつつ詳述するものとし、まず、本発明の磁気抵抗効果素子を構成するそれ以外の各要素について説明する。

【0049】

まず、下地層 12 は、その上の磁化自由層 20 や磁化固着層 16 の結晶性を改善する機能や、さらに界面の平滑性を高める機能などを有する材料により形成することが望ましい。このような材料としては、例えば、Cr（クロム）を約 40% 含むような、Ni（ニッケル）- Fe（鉄）- Cr 合金を挙げることができる。図示は省略したが、高配向させるために、下地層 12 と反強磁性層 14 との間に、例えば NiFe、Ru（ルテニウム）、Cu（銅）などからなる層を挿入してもよい。

30

【0050】

反強磁性層 14 は、磁化固着層 16 の磁化を固着する役割を有する。すなわち、PtMn（白金マンガン）、IrMn（イリジウムマンガン）、PdPtMn（パラジウム白金マンガン）、NiMn などからなる反強磁性層 14 を磁化固着層 16 と隣接して設けることにより、その界面にて発生する交換結合バイアス磁界を用いて磁化固着層 16 の磁化を一方方向に固着することができる。

【0051】

磁化固着層 16 の磁化固着効果を上げるためには、反強磁性層 14 と磁化固着層 16 との間に、磁気結合中間層（図示せず）を挿入することが望ましい。磁気結合中間層の材料としては、例えば、Fe、Co（コバルト）、Niなどを主成分とする強磁性合金を用いることができる。また、その層厚は、0.1 ~ 3 nm 程度と極力薄いことが磁化固着層 16 の磁化を抑制するために必要とされる。

40

【0052】

また、磁気結合中間層としては、スピバルブ GMR に採用される積層フェリ型の強磁性体層 / 反平行結合層 / 強磁性体層からなるいわゆる「シンセティック型」の積層構成も固着磁化を抑制するために好ましい。

【0053】

非磁性中間層 18 は、磁化固着層 16 と磁化自由層 20 との磁気結合を遮断する役割を有

50

する。さらに、磁化固着層 16 から磁化自由層 20 へ流れるアップスピン電子が散乱されないように、非磁性中間層 18 と磁化固着層 16 (薄膜挿入層 32) との界面を良好に形成する役割を有することが望ましい。

【0054】

非磁性中間層 18 の材料としては、例えば、Cu (銅)、Au (金)、Ag (銀)、Ru (ルテニウム)、Ir (イリジウム)、Pd (パラジウム)、Cr (クロム)、Mg (マグネシウム)、Al (アルミニウム)、Rh (ロジウム)、Pt (白金) などを用いることができる。またその膜厚は、磁化自由層 20 と磁化固着層 16 との間の磁気結合が十分に遮断できる程度に厚く、磁化固着層 16 からのアップスピン電子が散乱されない程度に薄いことが必要であり、材料に異なるが概ね 0.5 ~ 5 nm の範囲にあることが望ましい

10

【0055】

保護層 22 は、磁気抵抗効果膜の積層体をパターンニング加工などの際に保護する役割を有する。

【0056】

以上、説明した各要素を有する垂直通電型の磁気抵抗効果素子において、図 1 に表したように、磁化固着層 16 の一部として薄膜挿入層 32 を挿入し、磁化自由層 20 の一部として薄膜挿入層 34 を挿入すると、磁気抵抗変化量を増大できる。

【0057】

以下、本発明における薄膜挿入層 32、34 の具体的な構成について説明する前に、本発明において採用しうる磁気抵抗効果素子の他の具体例について概説する。

20

【0058】

図 2 乃至図 5 は、本発明の実施の形態にかかる磁気抵抗効果素子の他の具体例を表す模式図である。これらの図については、図 1 に表したものと同様の要素には同一の符号を付して詳細な説明は省略する。

【0059】

図 2 に表した磁気抵抗効果素子は、図 1 に表したものの積層順序を入れ替えたものである。この場合にも、磁化固着層 16 の非磁性中間層 18 との界面に薄膜挿入層 32 を挿入し、磁化自由層 20 の非磁性中間層 18 との界面に薄膜挿入層 34 を挿入することにより、図 1 に関して前述したものと同様の効果が得られる。

30

【0060】

また、図 3 に表した磁気抵抗効果素子の場合、磁化固着層を反強磁性結合層 40 で分割し、第 1 の磁化固着層 16 A と第 2 の磁化固着層 16 B における磁化の方向を反平行に固着することによって、磁化固着層全体としての磁化を低減させ、反強磁性層 14 による磁化ピンング力を増加させることが可能となる。

【0061】

この場合にも同図に表したように、薄膜挿入層 32、34 を、磁化固着層 16 と磁化自由層 20 にそれぞれ挿入することにより、前述したようなスピン散乱効果が得られ効果的である。

【0062】

40

また、図 4 に表した磁気抵抗効果素子の場合、薄膜挿入層 32、34 がそれぞれ強磁性体 F と非磁性体 N とを交互に積層した積層体からなる。

【0063】

一方、図 5 に表した磁気抵抗効果素子の場合、薄膜挿入層 32、34 がそれぞれ異なる 2 種の強磁性体 F1、F2 を交互に積層した積層体からなる。

【0064】

本発明の効果は、以下の 2 通りの素子で確認した。

【0065】

その 1 つめは、図 26 に例示したような垂直通電素子構造を有する。以下、その作製プロセスに沿ってこの素子の構造を説明する。

50

【 0 0 6 6 】

まず、S i (シリコン) 基板 (図示せず) 上に A l O_x を 5 0 0 n m 成膜し、その上にレジストを塗布、P E P (PhotoEngraving Process) により下部電極 5 4 となる部分のレジストを除去する。

【 0 0 6 7 】

次に、R I E (Reactive Ion Etching) によりレジストのない部分の A l O_x を除去し、T a (5 n m) / C u (4 0 0 n m) / T a (2 0 n m) からなる下部電極を成膜する。ここで、括弧内の数字は、膜厚を表す (以下同様)。

【 0 0 6 8 】

次に、下部電極を形成しない部分では A l O_x が表面に出るように、C M P (Chemical Mechanical Polishing) で平滑化する。その上にサイズ $3 \times 3 \mu\text{m}^2 \sim 5 \times 5 \mu\text{m}^2$ の磁気抵抗効果膜 M を作製した。ここで、一部の素子では磁気抵抗効果膜の側面に C o P t からなるハード膜 6 0 を 3 0 n m 作製した。

10

【 0 0 6 9 】

パシベーション膜 7 0 として S i O_x を 2 0 0 n m 成膜し、磁気抵抗効果膜 M の中央付近にコンタクトホール ($0.3 \mu\text{m} \sim 3 \mu\text{m}$) を R I E とイオンミリングにより開口した。

【 0 0 7 0 】

その後、上部電極 5 2 (T a (5 n m) / C u (4 0 0 n m) / T a (5 n m)) と電極パッド (A u (2 0 0 n m)) を作製した。

20

【 0 0 7 1 】

2 つめの素子は、図 2 7 に表したような構造を有する。下部電極 5 4 と C M P までは上記したプロセスと同様にした。その上に磁気抵抗効果膜 M を作成し、長手方向を $2 \mu\text{m}$ から $5 \mu\text{m}$ までに規定した。

【 0 0 7 2 】

パシベーション膜 7 0 となる S i O_x を厚み 2 0 0 n m 作成し、長手方向から 9 0 度の方向に $1.5 \mu\text{m}$ から $5 \mu\text{m}$ までにサイズを規定した。ここでは磁気抵抗効果膜 M の全体にセンス電流が一樣に流れるように、磁気抵抗効果膜 M の直上に、A u を 1 0 0 n m 成膜し、その後、1 つめの素子と同様に上部電極 5 2 と電極パッドを作成した。

【 0 0 7 3 】

これらの素子について、4 端子法を用いて電気抵抗特性を測定し、出力については差のないことを確認した。また、結晶構造解析は C u - K 線を用いて行い、モフォロジーは断面 T E M (Transmission Electron Microscopy) 観察にて確認し、組成分布については n - E D X (Energy Dispersive X-ray spectroscopy) で調べた。また、合金中の特定の元素について E X A F S (Extended X-ray Absorption Fine Structure) 電子状態を調べた。

30

【 0 0 7 4 】

以下、まず本発明の第 1 乃至第 4 の実施例として、磁化固着層 1 6 または磁化自由層 2 0 と非磁性中間層 1 8 との間に挿入する薄膜挿入層 3 2、3 4 の適正な膜厚について検討した結果を説明する。

40

【 0 0 7 5 】

(第 1 の実施例)

図 1 に例示した構造において、磁化自由層 2 0 と磁化固着層 1 6 がそれぞれ N i₈₀ F e₂₀ 層と薄膜挿入層 C o₅₀ F e₅₀ 合金層とから成る磁気抵抗効果膜を作製した。膜構成は以下の通りである。

保護層 2 2 : T a (1 0 n m)

磁化自由層 2 0 の一部 : N i₈₀ F e₂₀ (5 - x n m)

薄膜挿入層 3 4 : C o₅₀ F e₅₀ (x n m)

非磁性中間層 1 8 : C u (3 n m)

薄膜挿入層 3 2 : C o₅₀ F e₅₀ (x n m)

50

磁化固着層 16 の一部 : $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ (5 - x nm)

反強磁性層 14 : PtMn (15 nm)

第 2 下地層 12 : NiFeCr (5 nm)

第 1 下地層 12 : Ta (5 nm)

すなわち、磁化自由層 20 と磁化固着層 16 の総膜厚はそれぞれ 5 nm とし、薄膜挿入層となる $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 層の層厚 x を 0 nm から 5 nm まで変化させた複数の素子を製作した。また、本実施例においては、磁化固着層 16 に挿入される薄膜挿入層 32 の膜厚と、磁化自由層 20 に挿入される薄膜挿入層 34 の膜厚をいずれも同じ x nm とした。

【0076】

図 6 は、抵抗変化量の薄膜挿入層 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 厚さ依存性を表すグラフ図である。すなわち、同図の横軸は薄膜挿入層の層厚を表し、縦軸は素子面積 $1\ \mu\text{m}^2$ あたりの抵抗変化量 A_{R} を表す。

10

【0077】

同図から、薄膜挿入層の層厚を増やした場合、層厚 0.5 nm 付近から A_{R} が増加し始め、層厚 1 nm で約 1.4 倍となり、その後も増加し続けることが分かる。薄膜挿入層があまり薄い場合は、ミキシング（合金化）により所望の $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 薄膜挿入層ができていないために出力が上がらないと考えられる。したがって、ミキシングの恐れがないようなきれいな膜質の素子の場合は、更に薄い薄膜挿入層であっても効果が見込める。

【0078】

薄膜挿入層の膜厚が薄い場合に得られる A_{R} の増大は、スピン依存界面散乱の増大によるものと考えられる。但し、 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ はスピン依存バルク散乱も大きいため、膜厚を増すことで出力がさらに上昇していることが分かる。

20

【0079】

図 7 は、磁化自由層の保持力の薄膜挿入層の厚さ依存性を表すグラフ図である。すなわち、同図に横軸は薄膜挿入層の層厚を表し、縦軸は磁化自由層の保持力 H_c を表す。

【0080】

図 7 から、薄膜挿入層を厚くするにつれて保持力 H_c が増大し、1 nm では 150 e（エルステッド）を越えてしまうことが分かる。磁化自由層の保持力が高くなると外部磁場に対する感度が低下するため、薄膜挿入層の層厚には上限が生ずる。

【0081】

したがって、磁化自由層と磁化固着層とを対称形とした構成、すなわち磁化自由層 20 と磁化固着層 16 をそれぞれ $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ 層と薄膜挿入層 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 合金層とから成るものとし、両者に同一の層厚の薄膜挿入層を設ける場合には、 A_{R} の増大と H_c の抑制の観点から、薄膜挿入層 32、34 の層厚は、0.5 nm 以上 1 nm 以下とするのが実用的と言える。

30

【0082】

（第 2 の実施例）

次に、本発明の第 2 の実施例として、図 1 に表した構造において、磁化自由層 20 と磁化固着層 16 がそれぞれ、 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ と薄膜挿入層 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 合金から成る磁気抵抗効果膜を作製した。膜構成は以下の通りである。

40

保護層 22 : Ta (10 nm)

磁化自由層 20 の一部 : $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (5 - x nm)

薄膜挿入層 34 : $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ (x nm)

非磁性中間層 18 : Cu (3 nm)

薄膜挿入層 32 : $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ (x nm)

磁化固着層 16 の一部 : $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (5 - x nm)

反強磁性層 14 : PtMn (15 nm)

第 2 下地層 12 : NiFeCr (5 nm)

第 1 下地層 12 : Ta (5 nm)

本実施例においても、磁化自由層 20 と磁化固着層 16 の膜厚はそれぞれ 5 nm とし、C

50

$\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ からなる薄膜挿入層 32、34 の膜厚を 0 nm から 5 nm まで変化させた複数の素子を製作した。

【0083】

図 8 は、抵抗変化量の薄膜挿入層 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 厚さ依存性を表すグラフ図である。すなわち、同図の横軸は薄膜挿入層の層厚を表し、縦軸は素子面積 $1\ \mu\text{m}^2$ あたりの抵抗変化量 A/R を表す。

【0084】

同図から、薄膜挿入層の層厚を増やした場合、0.5 nm で A/R は増加し始め、1 nm で約 1.5 倍、その後も増加し続けることが分かる。この場合も、薄膜挿入層があまり薄い場合は、ミキシング（合金化）により所望の $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 薄膜挿入層ができていないために出力が上がらないと考えられる。したがって、ミキシングの恐れがないようなきれいな膜質の素子の場合は、更に薄い薄膜挿入層であっても効果が見込める。

【0085】

薄膜挿入層の膜厚が薄い場合に得られる A/R の増大は、スピン依存界面散乱の増大によるものと考えられる。但し、 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ はスピン依存バルク散乱も大きいので、膜厚を増すことで出力がさらに上昇していることが分かる。

【0086】

図 9 は、磁化自由層の保持力の薄膜挿入層の厚さ依存性を表すグラフ図である。すなわち、同図に横軸は薄膜挿入層の層厚を表し、縦軸は磁化自由層の保持力 H_c を表す。

【0087】

図 9 から、薄膜挿入層を厚くするにつれて保持力 H_c が増大し、0.75 nm では 15 Oe を越えてしまうことが分かる。磁化自由層の保持力が高くなると外部磁場に対する感度が低下するため、薄膜挿入層の層厚には上限が生ずる。

【0088】

したがって、本実施例の場合にも、磁化自由層と磁化固着層とを対称形とした構成、すなわち磁化自由層 20 と磁化固着層 16 をそれぞれ $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 層と薄膜挿入層 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 合金層とから成るものとし、両者に同一の層厚の薄膜挿入層を設ける場合には、 A/R の増大と H_c の抑制の観点から、薄膜挿入層 32、34 の層厚は、0.5 nm 以上 0.75 nm 以下とするのが実用的と言える。

【0089】

（第 3 の実施例）

次に、本発明の第 3 の実施例として、図 1 に表した構造において、磁化自由層 20 には薄膜挿入層 34 を挿入せずに層厚 5 nm の $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ に固定し、磁化固着層 16 のみを $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ 層と $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 薄膜挿入層 32 とから成る層とした磁気抵抗効果膜を作製した。膜構成は以下の通りである。

保護層 22	: Ta	(10 nm)
磁化自由層 20	: $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$	(5 nm)
非磁性中間層 18	: Cu	(3 nm)
薄膜挿入層 32	: $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$	(x nm)
磁化固着層 16 の一部	: $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$	(5 - x nm)
反強磁性層 14	: PtMn	(15 nm)
第 2 下地層 12	: NiFeCr	(5 nm)
第 1 下地層 12	: Ta	(5 nm)

本実施例においても、磁化固着層 16 の膜厚は 5 nm とし、 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ からなる薄膜挿入層 32 の膜厚を 0 nm から 5 nm まで変化させた複数の素子を製作した。

【0090】

図 10 は、抵抗変化量の薄膜挿入層 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 厚さ依存性を表すグラフ図である。すなわち、同図の横軸は薄膜挿入層の層厚を表し、縦軸は素子面積 $1\ \mu\text{m}^2$ あたりの抵抗変化量 A/R を表す。

【0091】

10

20

30

40

50

同図から、薄膜挿入層の層厚を増やした場合、本実施例においては 0.75 nm で A/R は増加し始め磁化固着層 16 を完全に置換した 5 nm で約 1.6 倍となることが分かる。本実施例においても、薄膜挿入層があまり薄い場合は、ミキシング（合金化）により所望の $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 薄膜挿入層ができていないために出力が上がらないと考えられる。したがって、ミキシングの恐れがないようなきれいな膜質の素子の場合は、更に薄い薄膜挿入層であっても効果が見込める。

【0092】

薄膜挿入層の膜厚が薄い場合に得られる A/R の増大は、スピン依存界面散乱の増大によるものと考えられる。但し、 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ はスピン依存バルク散乱も大きいため、膜厚を増すことで出力がさらに上昇していることが分かる。

10

【0093】

図 11 は、磁化自由層の保持力の薄膜挿入層の厚さ依存性を表すグラフ図である。すなわち、同図に横軸は薄膜挿入層の層厚を表し、縦軸は磁化自由層の保持力 H_c を表す。

【0094】

薄膜挿入層を磁化固着層 16 のみに挿入した場合には、磁化固着層と磁化自由層の両方に挿入した場合に比べて、 H_c は抑制される。しかし、スピバル膜全体の結晶性が劣化し始める厚さ 5 nm に達すると、 H_c は 100 e を越えてしまう。

【0095】

したがって、磁化固着層のみに $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ から成る薄膜挿入層 32 を挿入する場合には、 A/R の増大と H_c の抑制の観点から、薄膜挿入層 32 の層厚は、 0.75 nm 以上 4 nm 以下とするのが実用的と言える。

20

【0096】

（第 4 の実施例）

次に、本発明の第 4 の実施例として、図 1 に表した構造において、磁化固着層 16 は $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ (2 nm) / $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ (3 nm) に固定し、磁化自由層 20 として $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ 層に $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 薄膜挿入層を挿入した構造の磁気抵抗効果膜を製作した。膜構成は以下の通りである。

保護層 22	: Ta	(10 nm)
磁化自由層 20 の一部	: $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$	($5 - x \text{ nm}$)
薄膜挿入層 34	: $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$	($x \text{ nm}$)
非磁性中間層 18	: Cu	(3 nm)
磁化固着層 16	: $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$	(3 nm)
磁化固着層 16	: $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$	(2 nm)
反強磁性層 14	: PtMn	(15 nm)
第 2 下地層 12	: NiFeCr	(5 nm)
第 1 下地層 12	: Ta	(5 nm)

30

すなわち、本実施例においては、磁化自由層 20 の総膜厚は 5 nm とし、 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ からなる薄膜挿入層 34 の膜厚を 0 nm から 5 nm まで変化させた複数の素子を製作した。

【0097】

図 12 は、抵抗変化量の薄膜挿入層 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 厚さ依存性を表すグラフ図である。すなわち、同図の横軸は薄膜挿入層の層厚を表し、縦軸は素子面積 $1 \mu\text{m}^2$ あたりの抵抗変化量 A/R を表す。

40

【0098】

同図から、薄膜挿入層の層厚を増やした場合、本実施例においては 0.25 nm で A/R は増加し始め、 2 nm で最大値をとることが分かる。本実施例においても、薄膜挿入層があまり薄い場合は、ミキシング（合金化）により所望の $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 薄膜挿入層ができていないために出力が上がらないと考えられる。したがって、ミキシングの恐れがないようなきれいな膜質の素子の場合は、更に薄い薄膜挿入層であっても効果が見込める。

【0099】

50

また、 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 薄膜は、スピン依存界面散乱を増大させる効果は大きいですが、スピン依存バルク散乱の点では、 $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ のほうが勝るため、薄膜挿入層 34 の膜厚を厚くすると出力が低下する傾向を示す。

【0100】

図 13 は、磁化自由層の保持力の薄膜挿入層の厚さ依存性を表すグラフ図である。すなわち、同図に横軸は薄膜挿入層の層厚を表し、縦軸は磁化自由層の保持力 H_c を表す。

【0101】

薄膜挿入層 34 が厚くなるにつれて、 H_c は上昇するがその傾向は緩やかであり、全体的に 100 e 以内に抑えられている。

【0102】

したがって、磁化固着層 16 を $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ (2 nm) / $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ (3 nm) に固定し、磁化自由層 20 に薄膜挿入層 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ を挿入した場合には、 A_R の増大と H_c の抑制の観点から、薄膜挿入層 34 の層厚は、0.25 nm 以上 2.5 nm 以下とすることが実用的と言える。

【0103】

次に、本発明の第 5 乃至第 12 の実施例として、磁化固着層と磁化自由層に挿入する薄膜挿入層の材料について検討した結果を説明する。

【0104】

(第 5 の実施例)

まず、本発明の第 5 の実施例として、図 1 に例示した構造の磁気抵抗効果素子を作製した。その膜構成は以下の通りである。

保護層 22	: Ta	(10 nm)
磁化自由層 20 の一部	: $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$	(3 nm)
薄膜挿入層 34	: X	(2 nm)
非磁性中間層 18	: Cu	(3 nm)
薄膜挿入層 32	: X	(2 nm)
磁化固着層 16 の一部	: $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$	(3 nm)
反強磁性層 14	: PtMn	(15 nm)
第 2 下地層 12	: NiFeCr	(5 nm)
第 1 下地層 12	: Ta	(5 nm)

ここで、薄膜挿入層 32、34 の材料 X として、5 種類の Fe - Co 系合金 (Co 、 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 、 $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ 、 $\text{Fe}_{80}\text{Co}_{20}$ 、Fe) をそれぞれ用いた。

薄膜挿入層 32、34 の材料と、得られた A_R との関係を以下に示す。

X	: A_R (m μm^2)
Co	: 0.6
$\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$: 0.8
$\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$: 1.55
$\text{Fe}_{80}\text{Co}_{20}$: 1.45
Fe	: 1.35

なおここで、組成 X が $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ の場合は、磁化固着層 16、磁化自由層 20 の他の部分と同一の組成となるため、薄膜挿入層 32、34 の区別はつかない。上記の結果から、薄膜挿入層 32、34 の材料として Fe - Co 系合金を用いた場合、結晶構造が体心立方晶となる、 $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ 、 $\text{Fe}_{80}\text{Co}_{20}$ 、Fe を挿入した場合に、 A_R を増加する効果が得られることが判明した。これとは反対に、Co を用いた場合に至っては、挿入前より A_R が減少することも判明した。

【0105】

従って、薄膜挿入層 32、34 の材料として Fe - Co 系合金を用いる場合には、結晶構造が体心立方晶となる組成のものを用いることが望ましい。

【0106】

(第 6 の実施例)

10

20

30

40

50

次に、本発明の第6の実施例として、以下の膜構成を有する磁気抵抗効果素子を作成した。

保護層 22 : Ta (10 nm)
 磁化自由層 20 の一部 : $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (3 nm)
 薄膜挿入層 34 : X (2 nm)
 非磁性中間層 18 : Cu (3 nm)
 薄膜挿入層 32 : X (2 nm)
 磁化固着層 16 の一部 : $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (3 nm)
 反強磁性層 14 : PtMn (15 nm)
 第2下地層 12 : NiFeCr (5 nm)
 第1下地層 12 : Ta (5 nm)

10

ここで、薄膜挿入層 32、34 の材料 X として、5 種類の Fe - Ni 系合金 (Ni、 $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ 、 $\text{Fe}_{50}\text{Ni}_{50}$ 、 $\text{Fe}_{90}\text{Ni}_{10}$ 、Fe) をそれぞれ用いた。

薄膜挿入層 32、34 の材料と、得られた A R との関係を以下に示す。

X : A R ($\text{m} \mu\text{m}^2$)

挿入せず : 0.8

Ni : 0.3

$\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$: 0.4

$\text{Ni}_{50}\text{Fe}_{50}$: 0.9

$\text{Fe}_{90}\text{Ni}_{10}$: 1.3

Fe : 1.35

20

上記の結果から、薄膜挿入層 32、34 の材料として Fe - Ni 系合金を用いた場合にも、結晶構造が体心立方晶となる、 $\text{Fe}_{90}\text{Ni}_{10}$ 、Fe を挿入した場合に、A R を増加する効果が得られることが判明した。これとは反対に、Ni あるいは $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ を用いた場合に至っては、挿入前より A R が減少することも判明した。

【0107】

従って、薄膜挿入層 32、34 の材料として Fe - Ni 系合金を用いる場合にも、結晶構造が体心立方晶となる組成のものを用いることが望ましい。

【0108】

(第7の実施例)

30

次に、本発明の第7の実施例として、以下の膜構成を有する磁気抵抗効果素子を作成した。

保護層 22 : Ta (10 nm)
 磁化自由層 20 の一部 : $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (3 nm)
 薄膜挿入層 34 : X (2 nm)
 非磁性中間層 18 : Cu (3 nm)
 薄膜挿入層 32 : X (2 nm)
 磁化固着層 16 の一部 : $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (3 nm)
 反強磁性層 14 : PtMn (15 nm)
 第2下地層 12 : NiFeCr (5 nm)
 第1下地層 12 : Ta (5 nm)

40

ここで、薄膜挿入層 32、34 の材料 X として、5 種類の Co - Ni 系合金 (Ni、 $\text{Ni}_{80}\text{Co}_{20}$ 、 $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ 、 $\text{Co}_{90}\text{Ni}_{10}$ 、Co) をそれぞれ用いた。

薄膜挿入層 32、34 の材料と、得られた A R との関係を以下に示す。

X : A R ($\text{m} \mu\text{m}^2$)

挿入せず : 0.8

Ni : 0.3

$\text{Ni}_{80}\text{Co}_{20}$: 0.5

$\text{Ni}_{50}\text{Co}_{50}$: 1.0

$\text{Co}_{90}\text{Ni}_{10}$: 0.8

50

Co : 0.6

上記の結果から、薄膜挿入層32、34の材料としてCo-Ni系合金を用いた場合には、Ni₅₀Co₅₀の組成付近においてA₁₀₀Rを増加する効果が得られることが判明した。そして、NiあるいはCo付近の組成を採用した場合は、挿入前よりA₁₀₀Rが減少することも判明した。

【0109】

(第8の実施例)

次に、本発明の第8の実施例として、以下の膜構成を有する磁気抵抗効果素子を作成した。

保護層22 : Ta (10nm) 10
 磁化自由層20の一部 : Co₉₀Fe₁₀ (3nm)
 薄膜挿入層34 : X (2nm)
 非磁性中間層18 : Cu (3nm)
 薄膜挿入層32 : X (2nm)
 磁化固着層16の一部 : Co₉₀Fe₁₀ (3nm)
 反強磁性層14 : PtMn (15nm)
 第2下地層12 : NiFeCr (5nm)
 第1下地層12 : Ta (5nm)

ここで、薄膜挿入層32、34の材料Xとして、Fe₅₀Co₅₀に元素Z(Cu、Ti、Ga、Hf、またはMn)を3at(原子)%含有させた(Fe₅₀Co₅₀)₉₇Z₃を用いた。Fe₅₀Co₅₀に添加した元素Zと、得られたA₁₀₀Rとの関係を以下に示す。 20

Z : A₁₀₀R (m² μm²)
 添加せず : 1.55
 Cu : 2.9
 Ti : 2.7
 Ga : 2.4
 Hf : 2.7
 Mn : 2.2

上記の結果から、薄膜挿入層としてのFe₅₀Co₅₀合金に、これらの元素を微量に含有させた場合にA₁₀₀Rが増加することがわかった。さらに定量的に調べた結果、それぞれ含有量約30原子%程度まではA₁₀₀Rの増大の効果があるが、10原子%以下のときに顕著であり、望ましくは、5原子%以上10原子%以下とすると効果が大きいことが判明した。 30

【0110】

また、上記の元素の他にも、Cr、V、Ta、Nb、Zn、Ni、またはScを含有させても、A₁₀₀Rは増加した。さらに、Ge、Y、Tc、Re、Ru、Rh、Ir、Pd、Pt、Ag、Au、B、Al、In、C、Si、Sn、Ca、Sr、Ba、O、N、またはFを含ませた場合にも、効果が見られた。

【0111】

(第9の実施例)

次に、本発明の第9の実施例として、以下の膜構成を有する磁気抵抗効果素子を作成した。

保護層22 : Ta (10nm)
 磁化自由層20の一部 : Co₉₀Fe₁₀ (3nm)
 薄膜挿入層34 : X (2nm)
 非磁性中間層18 : Cu (3nm)
 薄膜挿入層32 : X (2nm)
 磁化固着層16の一部 : Co₉₀Fe₁₀ (3nm)
 反強磁性層14 : PtMn (15nm) 50

第2下地層12 : NiFeCr (5nm)

第1下地層12 : Ta (5nm)

ここで、薄膜挿入層32、34の材料Xとして、鉄(Fe)に元素Z(Cr、V、Ta、Nb、Cu、Zn、またはGa)を3at(原子)%含有させたFe₉₇Z₃を用いた。添加元素Zと、得られたA₁Rとの関係を以下に示す。

Z : A₁R (m² μm²)

添加せず : 1.35

Cr : 1.45

V : 1.45

Ta : 1.45

Nb : 1.45

Cu : 1.80

Zn : 1.75

Ga : 1.70

上記の結果から、薄膜挿入層としての鉄に上記の元素を微量に含有させた場合にA₁Rが増加することがわかった。さらに定量的に調べた結果、それぞれ含有量約30原子%程度まではA₁Rの増大の効果があるが、10原子%以下のときに顕著であり、望ましくは、5原子%以上10原子%以下とすると効果が大きいことが判明した。

【0112】

また、上記の元素の他にも、Co、Ni、Sc、Ge、Y、Tc、Re、Ru、Rh、Ir、Pd、Pt、Ag、Au、B、Al、In、C、Si、Sn、Ca、Sr、Ba、O、N、Fのいずれかを含有させても、A₁Rは増加した。また、母相として、Fe以外にも、Feが50原子%以上を占めるFe-Co合金あるいはFe-Ni合金、あるいはFeが25原子%以上を占めるFe-Co-Ni合金においても同様の効果が得られた。

【0113】

(第10の実施例)

次に、本発明の第10の実施例として、以下の膜構成を有する磁気抵抗効果素子を作成した。

保護層22 : Ta (10nm)

磁化自由層20の一部 : Co₉₀Fe₁₀ (3nm)

薄膜挿入層34 : X (2nm)

非磁性中間層18 : Cu (3nm)

薄膜挿入層32 : X (2nm)

磁化固着層16の一部 : Co₉₀Fe₁₀ (3nm)

反強磁性層14 : PtMn (15nm)

第2下地層12 : NiFeCr (5nm)

第1下地層12 : Ta (5nm)

ここで、薄膜挿入層32、34の材料Xとして、コバルト(Co)に元素Z(Sc、Ti、Mn、Cu、またはHf)を3at(原子)%含有させたCo₉₇Z₃を用いた。添加元素Zと、得られたA₁Rとの関係を以下に示す。

Z : A₁R (m² μm²)

添加せず : 0.6

Sc : 1.0

Ti : 1.2

Mn : 1.0

Cu : 1.5

Hf : 1.0

上記の結果から、薄膜挿入層としてのコバルトに上記の元素を微量に含有させた場合にA₁Rが増加することがわかった。さらに定量的に調べた結果、それぞれ含有量約30原子%程度まではA₁Rの増大の効果があるが、10原子%以下のときに顕著であり、望まし

10

20

30

40

50

くは、5原子%以上10原子%以下とすると効果が大きいことが判明した。

【0114】

また、上記の元素の他にも、Fe、Ni、Cr、V、Ta、Nb、Zn、Ga、Ge、Zr、Y、Tc、Re、Ru、Rh、Ir、Pd、Pt、Ag、Au、B、Al、In、C、Si、Sn、Ca、Sr、Ba、O、N、またはFのいずれかを含有させても、ARは増加した。また、母相として、コバルト以外にも、コバルトが50原子%以上を占めるCo-Fe合金あるいはCo-Ni合金、あるいはコバルトが25原子%以上を占めるFe-Co-Ni合金においても同様の効果が得られた。

【0115】

(第11の実施例)

次に、本発明の第11の実施例として、以下の膜構成を有する磁気抵抗効果素子を作成した。

保護層22 : Ta (10nm)
 磁化自由層20の一部 : $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (3nm)
 薄膜挿入層34 : X (2nm)
 非磁性中間層18 : Cu (3nm)
 薄膜挿入層32 : X (2nm)
 磁化固着層16の一部 : $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (3nm)
 反強磁性層14 : PtMn (15nm)
 第2下地層12 : NiFeCr (5nm)
 第1下地層12 : Ta (5nm)

ここで、薄膜挿入層32、34の材料Xとして、ニッケル(Ni)に元素Z(Ti、Mn、Zn、Ga、Ge、Zr、またはHf)を3at(原子)%含有させた Ni_{97}Z_3 を用いた。添加元素Zと、得られたARとの関係を以下に示す。

Z : AR ($\text{m}^2/\mu\text{m}^2$)
 添加せず : 0.3
 Ti : 0.8
 Mn : 0.9
 Zn : 1.0
 Ga : 0.9
 Ge : 0.8
 Zr : 1.0
 Hf : 1.2

上記の結果から、薄膜挿入層としてのニッケルに上記の元素を微量に含有させた場合にARが増加することがわかった。さらに定量的に調べた結果、それぞれ含有量約30原子%程度まではARの増大の効果があるが、10原子%以下のときに顕著であり、望ましくは、5原子%以上10原子%以下とすると効果が大きいことが判明した。

【0116】

また、上記の元素の他にも、Fe、Co、Cr、V、Ta、Nb、Sc、Cu、Y、Tc、Re、Ru、Rh、Ir、Pd、Pt、Ag、Au、B、Al、In、C、Si、Sn、Ca、Sr、Ba、O、N、またはFのいずれかを含有させても、ARは増加した。また、母相として、ニッケル以外にも、ニッケルが50原子%以上を占めるNi-Fe合金あるいはNi-Co合金、あるいはニッケルが25原子%以上を占めるFe-Co-Ni合金においても同様の効果が得られた。

【0117】

(第12の実施例)

次に、本発明の第12の実施例として、以下の膜構成を有する磁気抵抗効果素子を作成した。

保護層22 : Ta (10nm)
 磁化自由層20の一部 : $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (3nm)

薄膜挿入層 3 4 : X (2 ~ 2 . 3 n m)
 非磁性中間層 1 8 : C u (3 n m)
 薄膜挿入層 3 2 : X (2 ~ 2 . 3 n m)
 磁化固着層 1 6 の一部 : C o _{9 0} F e _{1 0} (3 n m)
 反強磁性層 1 4 : P t M n (1 5 n m)
 第 2 下地層 1 2 : N i F e C r (5 n m)
 第 1 下地層 1 2 : T a (5 n m)

ここで、薄膜挿入層 3 2、3 4 の材料 X として、以下の 4 種類を用いた。

- (1) F e _{5 0} C o _{5 0} (2 n m)
 (2) (F e _{5 0} C o _{5 0}) _{9 7} C u ₃ (2 n m)
 (3) (F e _{5 0} C o _{5 0} (1 n m) / C u (0 . 1 n m) / F e _{5 0} C o _{5 0} (1 n m))
 (4) (F e _{5 0} C o _{5 0} (0 . 7 n m) / C u (0 . 1 n m) / F e _{5 0} C o _{5 0} (0 . 7 n m) / C u (0 . 1 n m) / F e _{5 0} C o _{5 0} (0 . 7 n m))

10

なお、これらの積層構造は、下部電極の側からの順番を表す。薄膜挿入層 3 2、3 4 の組成 X と、得られた A R との関係を示す。

X : A R (m μ m ²)

- (1) : 1 . 5 5
 (2) : 2 . 9
 (3) : 3 . 1
 (4) : 3 . 3

20

上記の結果より、F e _{5 0} C o _{5 0} 内に C u を均一に含有させたときよりも、C u 層を周期的に挿入した場合の方が、より大きい A R を得られることが分かる。

【 0 1 1 8 】

この傾向は、C u だけでなく、F e - C o 合金の中において体心立方構造として存在する厚さ 0 . 0 3 n m 以上 1 n m 以下の、クロム (C r)、バナジウム (V)、タンタル (T a)、ニオブ (N b)、スカンジウム (S c)、チタン (T i)、マンガン (M n)、亜鉛 (Z n)、ガリウム (G a)、ゲルマニウム (G e)、ジルコニウム (Z r)、ハフニウム (H f)、イットリウム (Y)、テクネチウム (T c)、レニウム (R e)、ルテニウム (R u)、ロジウム (R h)、イリジウム (I r)、パラジウム (P d)、白金 (P t)、銀 (A g)、金 (A u)、ボロン (B)、アルミニウム (A l)、インジウム (I n)、炭素 (C)、シリコン (S i)、スズ (S n)、カルシウム (C a)、ストロンチウム (S r)、バリウム (B a)、酸素 (O)、窒素 (N) 及びフッ素 (F) からなる群より選択された少なくとも 1 種の元素からなるを周期的に積層した構造についても見られた。

30

【 0 1 1 9 】

(第 1 3 の実施例)

次に、本発明の第 1 3 の実施例として、以下の膜構成を有する磁気抵抗効果素子を作成した。

保護層 2 2 : T a (1 0 n m)
 磁化自由層 2 0 の一部 : C o _{9 0} F e _{1 0} (4 . 5 n m)
 薄膜挿入層 3 4 : X (0 . 5 n m)
 非磁性中間層 1 8 : C u (3 n m)
 薄膜挿入層 3 2 : X (0 . 5 n m)
 磁化固着層 1 6 の一部 : C o _{9 0} F e _{1 0} (4 . 5 n m)
 反強磁性層 1 4 : P t M n (1 5 n m)
 第 2 下地層 1 2 : N i F e C r (5 n m)
 第 1 下地層 1 2 : T a (5 n m)

40

ここで、薄膜挿入層の材料 X は、F e _{1 - z} C r _z 合金とした。薄膜挿入層 3 2、3 4 の C r 含有量 Z と、薄膜挿入層の層厚と、得られた A R との関係を示す。なお、薄

50

膜挿入層を設けない場合と、純Feを2nm挿入した場合のデータも、比較のため示した。

Z (層厚)	:	A R (m μ m ²)
0 (0nm)	:	0.8
0 (2nm)	:	1.35
0 (0.5nm)	:	0.9
10 (0.5nm)	:	1.3
30 (0.5nm)	:	1.5
60 (0.5nm)	:	1.4
80 (0.5nm)	:	1.2

10

上記の結果について説明すると、まず、純Fe (Z = 0) からなる2nmの薄膜挿入層を挿入することで、ARが0.8 (m μ m²) から1.35 (m μ m²) に増えている。これは、以下のように説明できる。

【0120】

すなわち、このような強磁性遷移金属の場合、sバンド、pバンド、dバンドがエネルギー的に近いところで混成バンドを形成している。マジョリティ・スピン (多数スピン) は混成バンドから外れたエネルギー位置にフェルミレベルを持つため散乱されにくい、マイノリティ・スピン (少数スピン) は混成バンド域にフェルミレベルを持つため散乱されやすい状態にある。これが磁気抵抗効果の起源ともなっていることから、いかにマイノリティ・スピンのフェルミレベルが混成バンドの中央付近にフェルミレベルを持つか、あるいは、いかにマジョリティ・スピンのフェルミレベルが混成バンドから離れた位置にフェルミレベルを持つか、が磁気抵抗変化量の大小を見極めるためのひとつの指標となる。

20

【0121】

ここで、遷移金属は、結晶構造として、代表的には面心立方晶と体心立方晶を取り得る。Fe、Co、Niといった金属系では、一般に、体心立方晶の方が面心立方晶よりも、よりマイノリティ・スピンのフェルミレベルが混成バンドの中央に位置する。つまり、磁気抵抗効果を増大させるには、体心立方晶がよいことになる。本実施例において薄膜挿入層として純Feを挿入してARが上昇するのは、以上のようなことが原因のひとつであると考えられる。

【0122】

30

ところで、純Feの層厚を2nmから0.5nmまで薄くすると、ARは0.9 (m μ m²) まで減少してしまう。これは、Feが非常に薄くなると、結晶構造として体心立方晶を取りにくくなるためと考えられる。これに対して、全組成域で体心立方晶が安定して得られるように、薄膜挿入層にCrを含有させた結果、ARは純Fe (0.5nm) のときよりも増加した。

【0123】

なお、Fe-Cr合金は、Crを増やしていくとキュリー温度が低下し、Cr組成がおおよそ70at (原子) %以上では室温で常磁性を示す。ところが、Fe-Cr自体が極薄く、強磁性体が隣接しているような場合には、強磁性が誘起され、磁気抵抗効果を発現できる。

40

【0124】

(第14の実施例)

次に、本発明の第14の実施例として、以下の膜構成を有する磁気抵抗効果素子を作成した。

保護層22	:	Ta	(10nm)
磁化自由層20の一部	:	Co ₉₀ Fe ₁₀	(4.5nm)
薄膜挿入層34	:	X	(0.5nm)
非磁性中間層18	:	Cu	(3nm)
薄膜挿入層32	:	X	(0.5nm)
磁化固着層16の一部	:	Co ₉₀ Fe ₁₀	(4.5nm)

50

反強磁性層 1 4 : P t M n (1 5 n m)
 第 2 下地層 1 2 : N i F e C r (5 n m)
 第 1 下地層 1 2 : T a (5 n m)

ここで、薄膜挿入層の材料 X は、 $Fe_{1-z}V_z$ 合金とした。薄膜挿入層 3 2、3 4 の V 含有量 Z と、薄膜挿入層の層厚と、得られた A R との関係を以下に示す。なお、薄膜挿入層を設けない場合と、純 Fe を 2 nm 挿入した場合のデータも、比較のため示した。

Z (層厚) : A R (m μm^2)

0 (0 n m) : 0 . 8
 0 (2 n m) : 1 . 3 5
 0 (0 . 5 n m) : 0 . 9
 1 0 (0 . 5 n m) : 1 . 2
 3 0 (0 . 5 n m) : 1 . 3
 6 0 (0 . 5 n m) : 1 . 1
 8 0 (0 . 5 n m) : 1 . 1

10

第 8 実施例に関して前述したように、体心立方晶の Fe を挿入して A R が増大する効果は、薄膜挿入層がごく薄い領域ではやや減衰する。そこで、体心立方晶が安定となるように、V を含有させていったところ、A R が回復した。

【 0 1 2 5 】

Fe - V 合金も、V がおよそ 7 0 原子% 以上の組成領域では常磁性を示す。ところが、Fe - V 自体が非常に薄く、強磁性体が隣接しているような場合には、強磁性が誘起され、磁気抵抗効果を発現できる。

20

【 0 1 2 6 】

以上のような体心立方晶の安定化に伴う A R の増加は、Fe - Co 合金 (Co : 8 0 原子% 以下)、Fe - Ni 合金 (Ni : 1 0 原子% 以下)、Fe - Rh 合金 (Rh : 1 1 原子% ~ 5 5 原子%)、Fe - Ti 合金 (Ti : 4 9 原子% ~ 5 1 原子%)、Fe - Co - Ni 合金の体心立方晶の組成領域、Co - Mn - Fe 合金の体心立方晶の組成領域、を薄膜挿入層に用いた場合にも同様に見られた。

【 0 1 2 7 】

さらに、これら合金に、Sc、Ti、Mn、Cu、Zn、Ga、Ge、Zr、Hf、Y、Tc、Re、Ru、Rh、Ir、Pd、Pt、Ag、Au、B、Al、In、C、Si、Sn、Ca、Sr および Ba からなる群のうち、母相となる合金に含まれていない少なくとも 1 種の元素を 0 . 5 原子% から 3 0 原子% まで添加した場合にも、A R 増大の効果が見られた。

30

【 0 1 2 8 】

(第 1 5 の実施例)

次に、本発明の第 1 5 の実施例として、非磁性中間層 1 8 を Au (金) とした場合について説明する。本実施例においては、以下の膜構成を有する磁気抵抗効果素子を作成した。

保護層 2 2 : T a (1 0 n m)
 磁化自由層 2 0 の一部 : $Co_{90}Fe_{10}$ (3 n m)
 薄膜挿入層 3 4 : X (2 n m)
 非磁性中間層 1 8 : A u (3 n m)
 薄膜挿入層 3 2 : X (2 n m)
 磁化固着層 1 6 の一部 : $Co_{90}Fe_{10}$ (3 n m)
 反強磁性層 1 4 : P t M n (1 5 n m)
 第 2 下地層 1 2 : N i F e C r (5 n m)
 第 1 下地層 1 2 : T a (5 n m)

40

ここで、薄膜挿入層の材料 X として、5 種類 Fe - Co 系合金 (Co、 $Co_{90}Fe_{10}$ 、 $Fe_{50}Co_{50}$ 、 $Fe_{80}Co_{20}$ 、Fe) を用いた。得られた A R の値を以下に示す。

X : A R (m μm^2)

50

C o : 0 . 3
 C o₉₀ F e₁₀ : 0 . 4
 F e₅₀ C o₅₀ : 0 . 9
 F e₈₀ C o₂₀ : 1 . 4 5
 F e : 1 . 7

以上のように、非磁性中間層 1 8 を A u としたときの薄膜挿入層 3 2、3 4 としては、F e 濃度の高いものほど A R が大きい傾向が得られた。このように、非磁性中間層 1 8 の材質に応じて薄膜挿入層 3 2、3 4 の材料を適宜選択することは、A R 増大のために重要である。

【 0 1 2 9 】

10

(第 1 6 の実施例)

次に、本発明の第 1 6 の実施例として、図 1 4 に表したように背面挿入層 3 6 を有する構造について検討した結果について説明する。まず、以下のように薄膜挿入層を持つ磁気抵抗効果素子を作成し、その効果を調べた。

試料 A : 標準構造 (図 1)

保護層 2 2 : T a (1 0 n m)
 磁化自由層 2 0 の一部 : C o₉₀ F e₁₀ (4 n m)
 薄膜挿入層 3 4 : F e₅₀ C o₅₀ (1 n m)
 非磁性中間層 1 8 : C u (3 n m)
 薄膜挿入層 3 2 : F e₅₀ C o₅₀ (1 n m)
 磁化固着層 1 6 の一部 : C o₉₀ F e₁₀ (4 n m)
 反強磁性層 1 4 : P t M n (1 5 n m)
 第 2 下地層 1 2 : N i F e C r (5 n m)
 第 1 下地層 1 2 : T a (5 n m)

20

試料 B : 背面挿入層 3 6 を有する構造 (図 1 4)

保護層 2 2 : T a (1 0 n m)
 背面挿入層 3 6 : C u (1 n m)
 磁化自由層 2 0 の一部 : C o₉₀ F e₁₀ (4 n m)
 薄膜挿入層 3 4 : F e₅₀ C o₅₀ (1 n m)
 非磁性中間層 1 8 : C u (3 n m)
 薄膜挿入層 3 2 : F e₅₀ C o₅₀ (1 n m)
 磁化固着層 1 6 の一部 : C o₉₀ F e₁₀ (4 n m)
 反強磁性層 1 4 : P t M n (1 5 n m)
 第 2 下地層 1 2 : N i F e C r (5 n m)
 第 1 下地層 1 2 : T a (5 n m)

30

試料 A の A R は、1 . 2 (m Ω μ m²) であったのに対し、背面挿入層 3 6 を持つ試料 B の A R は、1 . 5 (m Ω μ m²) まで増大した。これは、スピン依存界面散乱が、磁化自由層 2 0 / 背面挿入層 3 6 の界面で生じているためと考えられる。

【 0 1 3 0 】

この効果は、図 1 5 に例示したような、反強磁性層 1 4 を上側に配置した構造の場合にも同様に得ることができる。

40

【 0 1 3 1 】

(第 1 7 の実施例)

次に、本発明の第 1 7 の実施例として、背面挿入層 3 6 を有する構造において、薄膜挿入層を挿入する効果について検討した結果について説明する。まず、以下のように背面挿入層を持つ磁気抵抗効果素子として 7 種類の試料 C ~ I を作成し、その効果を調べた。

試料 C : 薄膜挿入層なし (図 1 4)

保護層 2 2 : T a (1 0 n m)
 背面挿入層 3 6 : C u (1 n m)
 磁化自由層 2 0 : C o₉₀ F e₁₀ (5 n m)

50

非磁性中間層 1 8	: C u	(3 n m)	
磁化固着層 1 6	: C o _{9 0} F e _{1 0}	(5 n m)	
反強磁性層 1 4	: P t M n	(1 5 n m)	
第 2 下地層 1 2	: N i F e C r	(5 n m)	
第 1 下地層 1 2	: T a	(5 n m)	
試料 D : 薄膜挿入層 3 2 を磁化固着層 1 6 と反強磁性層 1 4 との間に挿入 (図 1 6)			
保護層 2 2	: T a	(1 0 n m)	
背面挿入層 3 6	: C u	(1 n m)	
磁化自由層 2 0	: C o _{9 0} F e _{1 0}	(5 n m)	
非磁性中間層 1 8	: C u	(3 n m)	10
磁化固着層 1 6 の一部	: C o _{9 0} F e _{1 0}	(4 n m)	
薄膜挿入層 3 2	: F e _{5 0} C o _{5 0}	(1 n m)	
反強磁性層 1 4	: P t M n	(1 5 n m)	
第 2 下地層 1 2	: N i F e C r	(5 n m)	
第 1 下地層 1 2	: T a	(5 n m)	
試料 E : 薄膜挿入層 3 2 を磁化固着層 1 6 の中に挿入 (図 1 7)			
保護層 2 2	: T a	(1 0 n m)	
背面挿入層 3 6	: C u	(1 n m)	
磁化自由層 2 0	: C o _{9 0} F e _{1 0}	(5 n m)	
非磁性中間層 1 8	: C u	(3 n m)	20
磁化固着層 1 6 の一部	: C o _{9 0} F e _{1 0}	(2 n m)	
薄膜挿入層 3 2	: F e _{5 0} C o _{5 0}	(1 n m)	
磁化固着層 1 6 の一部	: C o _{9 0} F e _{1 0}	(2 n m)	
反強磁性層 1 4	: P t M n	(1 5 n m)	
第 2 下地層 1 2	: N i F e C r	(5 n m)	
第 1 下地層 1 2	: T a	(5 n m)	
試料 F : 薄膜挿入層 3 2 を磁化固着層 1 6 と非磁性中間層 1 8 との間に挿入 (図 1 8)			
保護層 2 2	: T a	(1 0 n m)	
背面挿入層 3 6	: C u	(1 n m)	
磁化自由層 2 0	: C o _{9 0} F e _{1 0}	(5 n m)	30
非磁性中間層 1 8	: C u	(3 n m)	
薄膜挿入層 3 2	: F e _{5 0} C o _{5 0}	(1 n m)	
磁化固着層 1 6 の一部	: C o _{9 0} F e _{1 0}	(4 n m)	
反強磁性層 1 4	: P t M n	(1 5 n m)	
第 2 下地層 1 2	: N i F e C r	(5 n m)	
第 1 下地層 1 2	: T a	(5 n m)	
試料 G : 薄膜挿入層 3 4 を非磁性中間層 1 8 と磁化自由層 2 0 の間に挿入 (図 1 9)			
保護層 2 2	: T a	(1 0 n m)	
背面挿入層 3 6	: C u	(1 n m)	
磁化自由層 2 0 の一部	: C o _{9 0} F e _{1 0}	(4 n m)	40
薄膜挿入層 3 4	: F e _{5 0} C o _{5 0}	(1 n m)	
非磁性中間層 1 8	: C u	(3 n m)	
磁化固着層 1 6	: C o _{9 0} F e _{1 0}	(5 n m)	
反強磁性層 1 4	: P t M n	(1 5 n m)	
第 2 下地層 1 2	: N i F e C r	(5 n m)	
第 1 下地層 1 2	: T a	(5 n m)	
試料 H : 薄膜挿入層 3 4 を磁化自由層 2 0 の中に挿入 (図 2 0)			
保護層 2 2	: T a	(1 0 n m)	
背面挿入層 3 6	: C u	(1 n m)	
磁化自由層 2 0 の一部	: C o _{9 0} F e _{1 0}	(2 n m)	50

薄膜挿入層 3 4 : $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ (1 nm)
 磁化自由層 2 0 の一部 : $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (2 nm)
 非磁性中間層 1 8 : Cu (3 nm)
 磁化固着層 1 6 : $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (5 nm)
 反強磁性層 1 4 : PtMn (15 nm)
 第 2 下地層 1 2 : NiFeCr (5 nm)
 第 1 下地層 1 2 : Ta (5 nm)
 試料 I : 薄膜挿入層 3 4 を磁化自由層 2 0 と背面挿入層 3 6 との間に挿入 (図 2 1)
 保護層 2 2 : Ta (10 nm)
 背面挿入層 3 6 : Cu (1 nm)
 薄膜挿入層 3 4 : $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ (1 nm)
 磁化自由層 2 0 の一部 : $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (4 nm)
 非磁性中間層 1 8 : Cu (3 nm)
 磁化固着層 1 6 : $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (5 nm)
 反強磁性層 1 4 : PtMn (15 nm)
 第 2 下地層 1 2 : NiFeCr (5 nm)
 第 1 下地層 1 2 : Ta (5 nm)

10

これら試料 C ~ I について A R を評価した結果、以下の通りであった。

試料 A R (m μm^2)

C : 0.9
 D : 1.0
 E : 1.0
 F : 1.2
 G : 1.2
 H : 1.0
 I : 1.1

20

薄膜挿入層 3 2 または 3 4 を、磁化固着層 1 6 / 非磁性中間層 1 8 の界面 (試料 F)、または磁化自由層 2 0 / 非磁性中間層 1 8 の界面 (試料 G) に配置したときに、最も A R 増の効果が大きかった。また、磁化自由層 2 0 / 背面挿入層 3 6 の界面に挿入した場合 (試料 I) が、その次に効果があった。これらは、スピン依存界面散乱が増加しているため

30

【0132】

一方、試料 D、E、H でも、A R はある程度増加している。この理由のひとつとしては、 $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ のほうが $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ よりもスピン依存バルク散乱が大きいことが挙げられる。また、結晶構造が面心立方晶の層と体心立方晶の層が積層されることで、磁化固着層や磁化自由層のバンド構造に変調が加えられ、マジョリティ・スピンとマイノリティ・スピンの伝導度の差が拡大することにも、起因している可能性がある。

【0133】

(第 1 8 の実施例)

前述した第 1 7 実施例においては、1 層の薄膜挿入層についてその挿入位置による効果を調べた。本実施例においては、そこで効果が顕著であった試料 F、G、I を組み合わせることで、更なる A R の増大を達成する。具体的には、以下のように背面挿入層を持つ磁気抵抗効果素子として以下の試料 J、K を作成し、その特性を調べた。

40

試料 J : $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ 薄膜挿入層を磁化固着層 1 6 と非磁性中間層 1 8 の界面、および磁化自由層 2 0 と非磁性中間層 1 8 の界面に配置

保護層 2 2 : Ta (10 nm)
 背面挿入層 3 6 : Cu (1 nm)
 磁化自由層 2 0 の一部 : $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (4 nm)
 薄膜挿入層 3 2 : $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ (1 nm)
 非磁性中間層 1 8 : Cu (3 nm)

50

薄膜挿入層 3 2 : $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ (1 nm)

磁化固着層 1 6 の一部 : $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (4 nm)

反強磁性層 1 4 : PtMn (15 nm)

第 2 下地層 1 2 : NiFeCr (5 nm)

第 1 下地層 1 2 : Ta (5 nm)

試料 K : $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ 薄膜挿入層を磁化固着層 1 6 と非磁性中間層 1 8 の界面、磁化自由層 2 0 と非磁性中間層 1 8、および磁化自由層 2 0 と背面挿入層 3 6 の界面の界面に配置

保護層 2 2 : Ta (10 nm)

背面挿入層 3 6 : Cu (1 nm)

10

薄膜挿入層 3 2 : $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ (1 nm)

磁化自由層 2 0 の一部 : $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (4 nm)

薄膜挿入層 3 2 : $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ (1 nm)

非磁性中間層 1 8 : Cu (3 nm)

薄膜挿入層 3 2 : $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ (1 nm)

磁化固着層 1 6 の一部 : $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (4 nm)

反強磁性層 1 4 : PtMn (15 nm)

第 2 下地層 1 2 : NiFeCr (5 nm)

第 1 下地層 1 2 : Ta (5 nm)

その結果、期待通りに、 A_{R} は試料 J において $1.3 (\text{m} \mu\text{m}^2)$ 、試料 K において $1.7 (\text{m} \mu\text{m}^2)$ と高く、薄膜挿入層を 1 層のみ挿入した試料 F 及び G ($A_{\text{R}} = 1.2 (\text{m} \mu\text{m}^2)$)、試料 I ($A_{\text{R}} = 1.1 (\text{m} \mu\text{m}^2)$) と比較して、 A_{R} の増大が得られた。

20

【0134】

(第 19 の実施例)

本実施例においては、図 2 に例示したような、反強磁性層 1 4 を上側に配置したトップ型スピバルブ構造を製作してその特性を評価した。その結果、前述した各実施例と同様に、薄膜挿入層 3 2、3 4、背面挿入層 3 6 による磁気抵抗変化量の増大効果が認められた。

【0135】

30

(第 20 の実施例)

本実施例においては、「積層フェリ構造」の磁気抵抗効果素子における薄膜挿入層 3 2、3 4、背面挿入層 3 6 の効果を確認した。

【0136】

図 3 は、積層フェリ構造の磁気抵抗効果素子の断面構造の一例を表す模式図である。すなわち、第 1 の磁化固着層 1 6 A と第 2 の磁化固着層 1 6 B とが、反平行結合層 4 0 を介して積層されている。このように磁化固着層が積層フェリ構造とされた磁気抵抗効果素子においても、前述した各実施例と同様に、薄膜挿入層 3 2、3 4、背面挿入層 3 6 による磁気抵抗変化量の増大効果が認められた。

【0137】

40

また、図 2 2 は、積層フェリ構造の磁気抵抗効果素子の断面構造の他の具体例を表す模式図である。

【0138】

すなわち、同図の磁気抵抗効果素子は、下部電極 5 4、下地層 1 2、反強磁性層 1 4、第 1 の磁化固着層 1 6 A と反平行結合層 4 0 と第 2 の磁化固着層 1 6 B の 3 層構造を有する磁化固着層 1 6、非磁性中間層 1 8、第 1 の磁化自由層 2 0 A と反平行結合層 4 0 と第 2 の磁化自由層 2 0 B の 3 層構造を有する磁化自由層 2 0、保護層 2 2、上部電極 5 2 をこの順に積層した構造を有する。

【0139】

このように磁化固着層 1 6 と磁化自由層 2 0 がそれぞれ積層フェリ構造とされた磁気抵抗

50

効果素子においても、前述した各実施例と同様に、薄膜挿入層 3 2、3 4、背面挿入層 3 6 による磁気抵抗変化量の増大効果が認められた。

【0140】

(第21の実施例)

本実施例においては、いわゆる「デュアル型」の磁気抵抗効果素子における薄膜挿入層、背面挿入層の効果を確認した。

【0141】

図23は、デュアル型の磁気抵抗効果素子の断面構造を例示する模式図である。すなわち、同図の磁気抵抗効果素子は、下部電極54、下地層12、第1の反強磁性層14A、第1の磁化固着層16A、第1の非磁性中間層18A、磁化自由層20、第2の非磁性中間層18B、第2の磁化固着層16B、第2の反強磁性層14B、保護層22、上部電極52をこの順に積層した構造を有する。

10

【0142】

このようなデュアル構造の磁気抵抗効果素子においても、前述した各実施例と同様に、薄膜挿入層32、34、背面挿入層36による磁気抵抗変化量の増大効果が認められ、一对の磁化固着層と磁化自由層とを有する標準的な磁気抵抗効果素子の1.5倍から3倍の磁気抵抗変化量を示した。

【0143】

(第22の実施例)

本実施例においては、磁化固着層と磁化自由層がそれぞれ強磁性層と非磁性層とを交互に積層した積層体からなる磁気抵抗効果素子における薄膜挿入層、背面挿入層の効果を確認した。

20

【0144】

図4は、本実施例の磁気抵抗効果素子の断面構造を表す模式図である。すなわち、この磁気抵抗効果素子は、下部電極54、下地層12、反強磁性層14、強磁性層Fおよび非磁性層Nを交互に積層した積層体からなる磁化固着層16、非磁性中間層18、強磁性層Fおよび非磁性層Nを交互に積層した積層体からなる磁化自由層20、保護層22、上部電極52をこの順に積層した構造を有する。

【0145】

この素子の磁化固着層16磁化自由層20においては、強磁性層Fが非磁性層Nを介して強磁性結合している。

30

【0146】

このような積層構造の磁気抵抗効果素子においても、前述した各実施例と同様に、薄膜挿入層32、34、背面挿入層36による磁気抵抗変化量の増大効果が認められた。すなわち、本実施例の場合、磁化固着層16、磁化自由層20をそれぞれ構成する複数の強磁性層Fのうちのいずれかを前述した各実施例において説明したような組成および結晶構造の薄膜挿入層とすることにより、磁気抵抗変化量の増大が認められた。

【0147】

(第23の実施例)

本実施例においては、磁化固着層と磁化自由層がそれぞれ2種類の強磁性層F1、F2を交互に積層した積層体からなる磁気抵抗効果素子における薄膜挿入層、背面挿入層の効果を確認した。

40

【0148】

図4は、本実施例の磁気抵抗効果素子の断面構造を表す模式図である。すなわち、この磁気抵抗効果素子は、下部電極54、下地層12、反強磁性層14、第1の強磁性層F1および第2の強磁性層F2を交互に積層した積層体からなる磁化固着層16、非磁性中間層18、第1の強磁性層F1および第2の強磁性層F2を交互に積層した積層体からなる磁化自由層20、保護層22、上部電極52をこの順に積層した構造を有する。

【0149】

このような積層構造の磁気抵抗効果素子においても、前述した各実施例と同様に、薄膜挿

50

入層 3 2、3 4、背面挿入層 3 6 による磁気抵抗変化量の増大効果が認められた。すなわち、本実施例の場合、磁化固着層 1 6、磁化自由層 2 0 をそれぞれ構成する第 1 及び第 2 の強磁性層 F 1、F 2 のうちのいずれかを前述した各実施例において説明したような組成および結晶構造の薄膜挿入層とすることにより、磁気抵抗変化量の増大が認められた。

【0150】

(第 2 4 の実施例)

次に、本発明の第 2 4 の実施例として、本発明の磁気抵抗効果素子を搭載した磁気再生装置について説明する。すなわち、図 1 乃至図 2 3 に関して前述した本発明の垂直通電型の磁気抵抗効果素子は、例えば、記録再生一体型の磁気ヘッドアセンブリに組み込まれ、磁気記録再生装置に搭載することができる。

10

【0151】

図 2 4 は、このような磁気記録再生装置の概略構成を例示する要部斜視図である。すなわち、本発明の磁気記録再生装置 1 5 0 は、ロータリーアクチュエータを用いた形式の装置である。同図において、磁気記録用媒体ディスク 2 0 0 は、スピンドル 1 5 2 に装着され、図示しない駆動装置制御部からの制御信号に応答する図示しないモータにより矢印 A の方向に回転する。本発明の磁気記録再生装置 1 5 0 は、複数の媒体ディスク 2 0 0 を備えたものとしてもよい。

【0152】

また、媒体ディスク 2 0 0 は、記録ビットの磁化方向がディスク面と略平行ないわゆる「面内記録方式」のものでも良く、あるいは、記録ビットの磁化方向がディスク面に対して略垂直な「垂直記録方式」のものでも良い。

20

【0153】

媒体ディスク 2 0 0 に格納する情報の記録再生を行うヘッドスライダ 1 5 3 は、薄膜状のサスペンション 1 5 4 の先端に取り付けられている。ここで、ヘッドスライダ 1 5 3 は、例えば、前述したいずれかの実施の形態にかかる垂直通電型の磁気抵抗効果素子あるいは磁気ヘッドをその先端付近に搭載している。

【0154】

媒体ディスク 2 0 0 が回転すると、ヘッドスライダ 1 5 3 の媒体対向面 (A B S) は媒体ディスク 2 0 0 の表面から所定の浮上量をもって保持される。あるいはスライダが媒体ディスク 2 0 0 と接触するいわゆる「接触走行型」であってもよい。

30

【0155】

サスペンション 1 5 4 は、図示しない駆動コイルを保持するボビン部などを有するアクチュエータアーム 1 5 5 の一端に接続されている。アクチュエータアーム 1 5 5 の他端には、リニアモータの一種であるボイスコイルモータ 1 5 6 が設けられている。ボイスコイルモータ 1 5 6 は、アクチュエータアーム 1 5 5 のボビン部に巻き上げられた図示しない駆動コイルと、このコイルを挟み込むように対向して配置された永久磁石および対向ヨークからなる磁気回路とから構成される。

【0156】

アクチュエータアーム 1 5 5 は、スピンドル 1 5 7 の上下 2 箇所 に設けられた図示しないボールベアリングによって保持され、ボイスコイルモータ 1 5 6 により回転摺動が自在にできるようにしている。

40

【0157】

図 2 5 は、アクチュエータアーム 1 5 5 から先の磁気ヘッドアセンブリをディスク側から眺めた拡大斜視図である。すなわち、磁気ヘッドアセンブリ 1 6 0 は、例えば駆動コイルを保持するボビン部などを有するアクチュエータアーム 1 5 5 を有し、アクチュエータアーム 1 5 5 の一端にはサスペンション 1 5 4 が接続されている。

サスペンション 1 5 4 の先端には、図 1 乃至図 2 3 に関して前述したような本発明の垂直通電型磁気抵抗効果素子を具備するヘッドスライダ 1 5 3 が取り付けられている。サスペンション 1 5 4 は信号の書き込みおよび読み取り用のリード線 1 6 4 を有し、このリード線 1 6 4 とヘッドスライダ 1 5 3 に組み込まれた磁気ヘッドの各電極とが電氣的に接続さ

50

れている。図中 1 6 5 は磁気ヘッドアッセンブリ 1 6 0 の電極パッドである。

【 0 1 5 8 】

本発明によれば、図 1 乃至図 2 3 に関して前述したような垂直通電型の磁気抵抗効果素子を具備することにより、磁気抵抗変化量が大きく、すなわち感度の高い読み取りが可能となる。その結果として、従来よりも大幅に高い記録密度で磁気記録媒体ディスク 2 0 0 に磁氣的に記録された微弱な信号を確実に読みとることが可能となる。

【 0 1 5 9 】

以上、具体例を参照しつつ、本発明の実施の形態について説明した。しかし、本発明は、これらの具体例に限定されるものではない。例えば、磁気抵抗効果膜を構成する各要素の具体的な寸法関係や材料、その他、電極、バイアス印加膜、絶縁膜などの形状や材質に関しては、当業者が公知の範囲から適宜選択することにより本発明を同様に実施し、同様の効果を得ることができる限り、本発明の範囲に包含される。

10

【 0 1 6 0 】

また、前述したように、磁気抵抗効果素子における反強磁性層、磁化固着層、非磁性中間層、磁化自由層などの構成要素は、それぞれ単層として形成してもよく、あるいは 2 以上の層を積層した構造としてもよい。

【 0 1 6 1 】

また、本発明の磁気抵抗効果素子を再生用磁気ヘッドに適用する際に、これと隣接して書き込み用の磁気ヘッドを設けることにより、記録再生一体型の磁気ヘッドが得られる。

【 0 1 6 2 】

さらに、本発明の磁気再生装置は、特定の磁気記録媒体を定常的に備えたいわゆる固定式のものでも良く、一方、記録媒体が差し替え可能ないわゆる「リムーバブル」方式のものでも良い。

20

【 0 1 6 3 】

またさらに、本発明の磁気抵抗効果素子は、磁気抵抗効果メモリ (M R A M) にも用いて好適である。

【 0 1 6 4 】

その他、本発明の実施の形態として上述した磁気ヘッド及び磁気記憶再生装置を基にして、当業者が適宜設計変更して実施しうるすべての磁気抵抗効果素子、磁気ヘッド及び磁気記憶再生装置も同様に本発明の範囲に属する。

30

【 0 1 6 5 】

【 発明の効果 】

以上詳述したように、本発明によれば、スピナルブ構造を有する垂直通電型の磁気抵抗効果素子の磁気抵抗効果膜に、独特の組成または結晶構造を有する薄膜挿入層または背面挿入層を挿入することにより、大きな抵抗変化量が得られ、従来のスピナルブ構造の垂直通電型磁気抵抗効果素子では実現できなかった高感度の読み取りを実現できる。

【 0 1 6 6 】

その結果として、従来よりも高い記録密度で高速の磁気記録再生が可能となり産業上のメリットは多大である。

【 図面の簡単な説明 】

40

【 図 1 】 本発明の実施形態にかかる磁気抵抗効果素子の要部断面構造を例示する模式図である。

【 図 2 】 本発明の実施の形態にかかる磁気抵抗効果素子の第 2 の具体例を表す模式図である。

【 図 3 】 本発明の実施の形態にかかる磁気抵抗効果素子の第 3 の具体例を表す模式図である。

【 図 4 】 本発明の実施の形態にかかる磁気抵抗効果素子の第 4 の具体例を表す模式図である。

【 図 5 】 本発明の実施の形態にかかる磁気抵抗効果素子の第 5 の具体例を表す模式図である。

50

- 【図 6】抵抗変化量の薄膜挿入層 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 厚さ依存性を表すグラフ図である。
- 【図 7】磁化自由層の保持力の薄膜挿入層の厚さ依存性を表すグラフ図である。
- 【図 8】抵抗変化量の薄膜挿入層 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 厚さ依存性を表すグラフ図である。
- 【図 9】磁化自由層の保持力の薄膜挿入層の厚さ依存性を表すグラフ図である。
- 【図 10】抵抗変化量の薄膜挿入層 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 厚さ依存性を表すグラフ図である。
- 【図 11】磁化自由層の保持力の薄膜挿入層の厚さ依存性を表すグラフ図である。
- 【図 12】抵抗変化量の薄膜挿入層 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 厚さ依存性を表すグラフ図である。
- 【図 13】磁化自由層の保持力の薄膜挿入層の厚さ依存性を表すグラフ図である。
- 【図 14】本発明の第 16 の実施例として試作した背面挿入層 36 を有する構造を表す模式図である。
- 【図 15】反強磁性層 14 を上側に配置した構造を表す模式図である。
- 【図 16】薄膜挿入層 32 を磁化固着層 16 と反強磁性層 14 との間に挿入した構造を表す模式図である。
- 【図 17】薄膜挿入層 32 を磁化固着層 16 の中に挿入した構造を表す模式図である。
- 【図 18】薄膜挿入層 32 を磁化固着層 16 と非磁性中間層 18 との間に挿入した構造を表す模式図である。
- 【図 19】薄膜挿入層 34 を非磁性中間層 18 と磁化自由層 20 との間に挿入した構造を表す模式図である。
- 【図 20】薄膜挿入層 34 を磁化自由層 20 の中に挿入した構造を表す模式図である。
- 【図 21】薄膜挿入層 34 を磁化自由層 20 と背面挿入層 36 との間に挿入した構造を表す模式図である。
- 【図 22】積層フェリ構造の磁気抵抗効果素子の断面構造の他の具体例を表す模式図である。
- 【図 23】デュアル型の磁気抵抗効果素子の断面構造を例示する模式図である。
- 【図 24】本発明の磁気記録再生装置の概略構成を例示する要部斜視図である。
- 【図 25】アクチュエータアーム 155 から先の磁気ヘッドアセンブリをディスク側から眺めた拡大斜視図である。
- 【図 26】本発明の実施例において試作した垂直通電素子構造を表す模式図である。
- 【図 27】本発明の実施例において試作したもうひとつの垂直通電素子構造を表す模式図である。
- 【図 28】スピナルブ構造を有する CPP 型の磁気抵抗効果素子を模式的に表す断面図である。

【符号の説明】

- 12 下地層
- 14 反強磁性層
- 16 磁化固着層
- 18 非磁性中間層
- 20 磁化自由層
- 22 保護層
- 32、34 薄膜挿入層
- 36 背面挿入層
- 40 反平行結合層
- 52 上部電極
- 54 下部電極
- 60 ハード膜
- 70 パシベーション膜
- 150 磁気記録再生装置
- 152 スピンドル
- 153 ヘッドスライダ
- 154 サスペンション

10

20

30

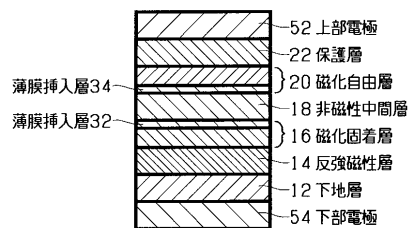
40

50

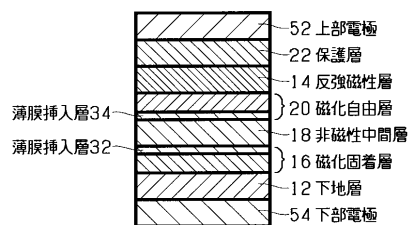
1 5 5 アクチュエータアーム
 1 5 6 ボイスコイルモータ
 1 5 7 スピンドル
 1 6 0 磁気ヘッドアッセンブリ
 1 6 4 リード線
 2 0 0 媒体ディスク
 F 強磁性層
 F 1 強磁性層
 F 2 強磁性層
 N 非磁性層

10

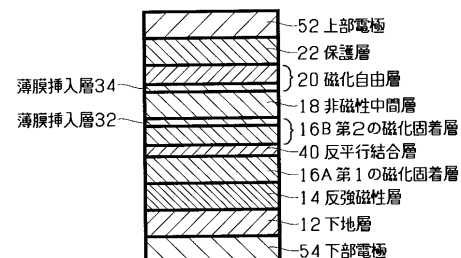
【図 1】



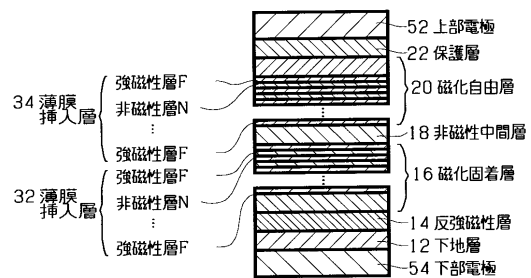
【図 2】



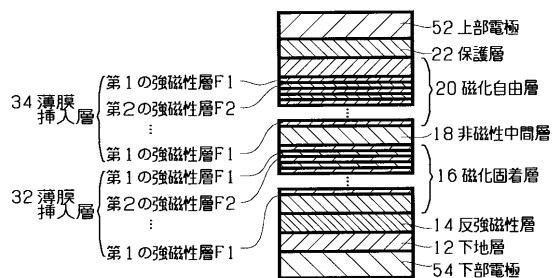
【図 3】



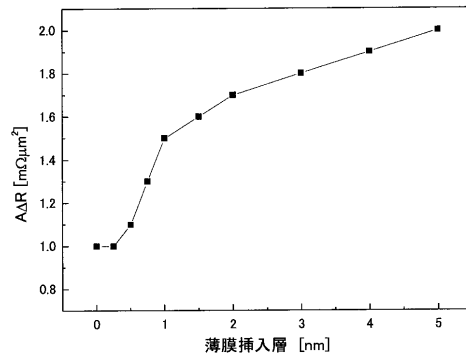
【図 4】



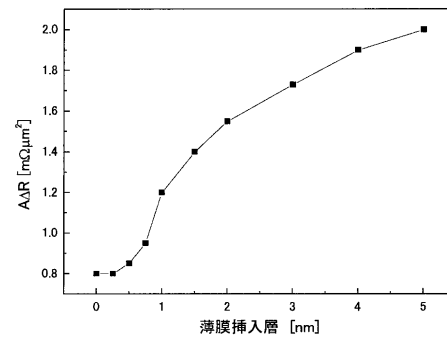
【図 5】



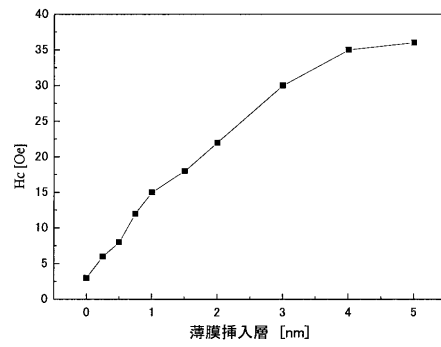
【図 6】



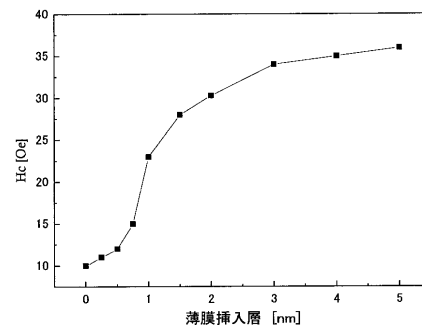
【図 8】



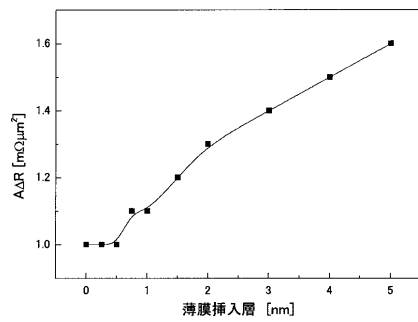
【図 7】



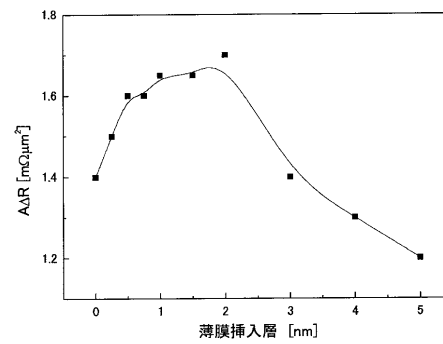
【図 9】



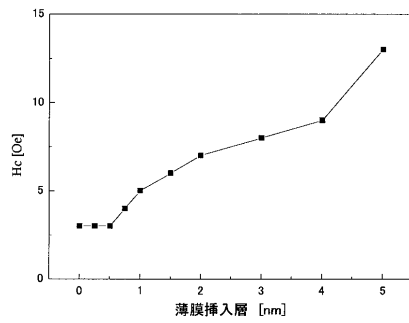
【図 10】



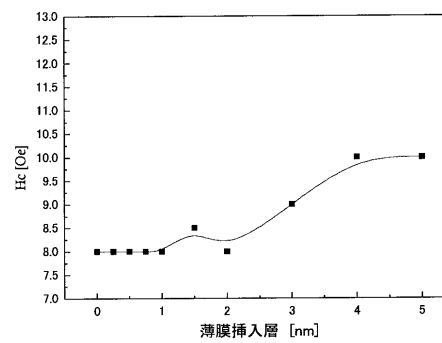
【図 12】



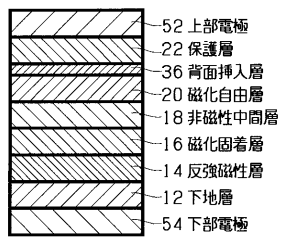
【図 11】



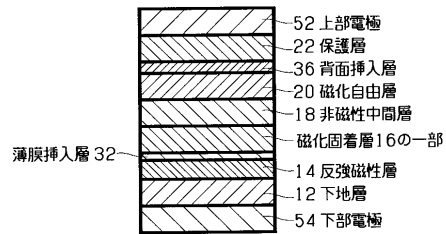
【図 13】



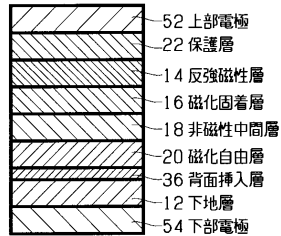
【図 14】



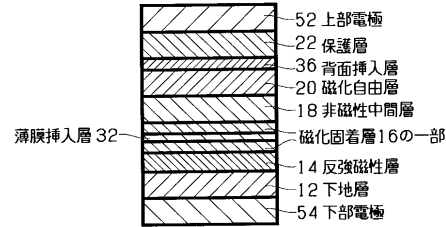
【図 16】



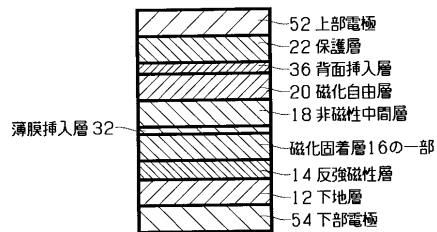
【図 15】



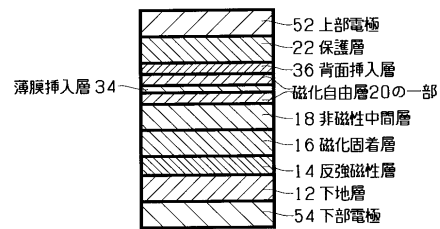
【図 17】



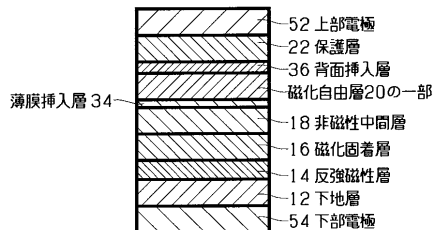
【図 18】



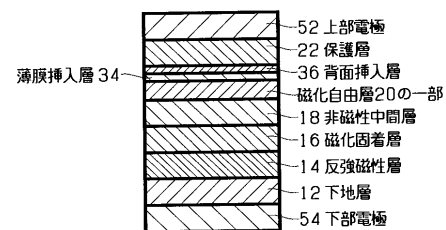
【図 20】



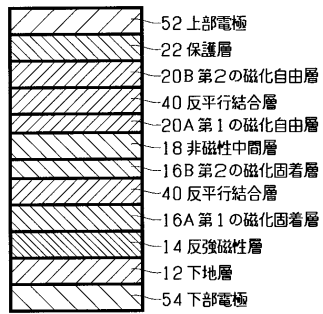
【図 19】



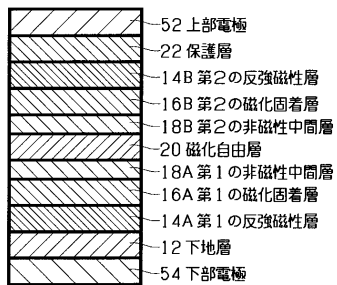
【図 21】



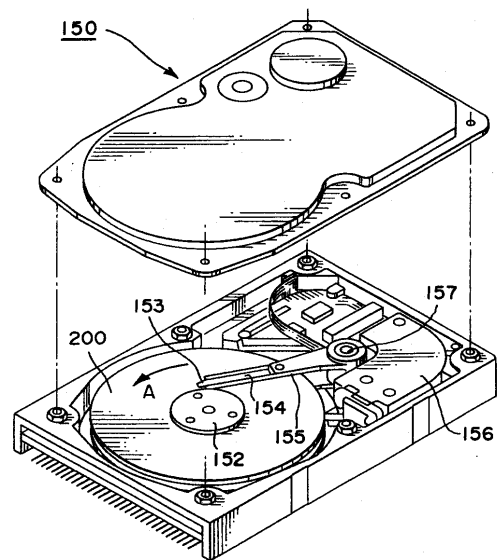
【図 2 2】



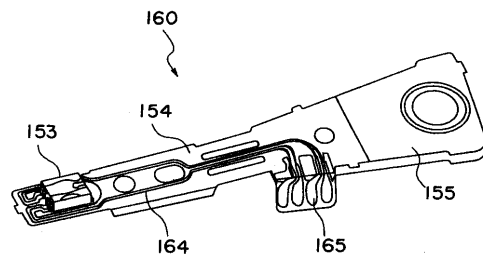
【図 2 3】



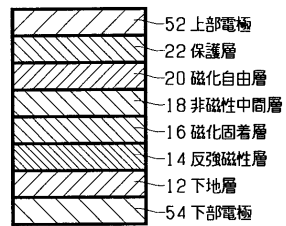
【図 2 4】



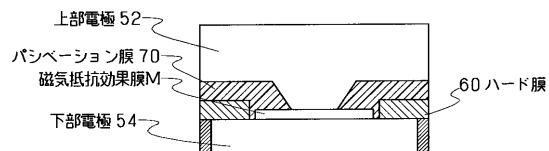
【図 2 5】



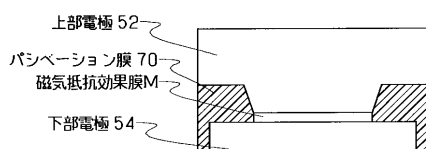
【図 2 8】



【図 2 6】



【図 2 7】



フロントページの続き

(51) Int.Cl.

F I

H 0 1 L 43/10

(72)発明者 鴻井 克彦

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝 研究開発センター内

(72)発明者 岩崎 仁志

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝 研究開発センター内

(72)発明者 永田 友彦

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝 研究開発センター内

(72)発明者 坂久保 武男

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝 研究開発センター内

(72)発明者 佐橋 政司

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝 研究開発センター内

審査官 三浦 尊裕

(56)参考文献 特開2001-077442(JP, A)

特開平11-039612(JP, A)

特開平09-293611(JP, A)

特開2003-086865(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 43/08

G01R 33/09

G11B 5/39

H01F 10/32

H01L 43/10