

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5813601号
(P5813601)

(45) 発行日 平成27年11月17日(2015.11.17)

(24) 登録日 平成27年10月2日(2015.10.2)

(51) Int.Cl.

F 1

G 11 B 5/39

(2006.01)

G 11 B 5/39

H 01 L 43/10

(2006.01)

H 01 L 43/10

H 01 L 43/08

(2006.01)

H 01 L 43/08

Z

請求項の数 6 (全 15 頁)

(21) 出願番号

特願2012-189572 (P2012-189572)

(22) 出願日

平成24年8月30日 (2012.8.30)

(65) 公開番号

特開2013-54814 (P2013-54814A)

(43) 公開日

平成25年3月21日 (2013.3.21)

審査請求日

平成27年7月31日 (2015.7.31)

(31) 優先権主張番号

13/222,827

(32) 優先日

平成23年8月31日 (2011.8.31)

(33) 優先権主張国

米国(US)

早期審査対象出願

(73) 特許権者

503116280

エイチジーエスティーネザーランドビーブ
イ
オランダ国 1101 シーエム アムス
テルダム, ルナ アレナ, ヘリケルベルグ
ヴェヘ 238

(74) 代理人

100091096

弁理士 平木 祐輔

(74) 代理人

100105463

弁理士 関谷 三男

(74) 代理人

100102576

弁理士 渡辺 敏章

(74) 代理人

100101063

弁理士 松丸 秀和

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】耐食性スペーサ層を備え、より高い信号雑音比を有するCPP-GMRセンサ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第1磁性層および第2磁性層、

前記第1磁性層と前記第2磁性層との間に配置されたスペーサ層であって、AgSn₆、AgSn₁₀、AgSn₁₃、AgSn₁₆からなるグループから選択された物質を含む、スペーサ層、

を備え、

前記スペーサ層の電気抵抗率は、30 μ - cm以上であることを特徴とする再生ヘッドセンサ。

【請求項 2】

10

前記第1磁性層と前記第2磁性層の双方は、ホイスラー合金を含むことを特徴とする請求項1記載の再生ヘッドセンサ。

【請求項 3】

前記スペーサ層の厚さは、20 ~ 50 オングストロームであることを特徴とする請求項1記載の再生ヘッドセンサ。

【請求項 4】

第1磁性層および第2磁性層、

前記第1磁性層と前記第2磁性層との間に配置されたスペーサ層であって、AgSn₆、AgSn₁₀、AgSn₁₃、AgSn₁₆からなるグループから選択された物質を含む、スペーサ層、

20

を備えることを特徴とする再生ヘッドセンサ。

【請求項 5】

前記スペーサ層の厚さは、20～50オングストロームであることを特徴とする請求項4記載の再生ヘッドセンサ。

【請求項 6】

前記スペーサ層の電気抵抗率は、 $30\mu\text{-cm}$ より大きいことを特徴とする請求項4記載の再生ヘッドセンサ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

本発明の実施形態は一般に、巨大磁気抵抗効果(GMR)センサに関する。より詳しくは、本発明は膜面垂直通電(CPP)型の磁気抵抗センサに関する。

【背景技術】

【0002】

20

現代の磁気ディスクドライブの磁気再生ヘッドは、記録素子の抵抗成分が絶縁トンネル障壁層を挟むフリー層とリファレンス層の磁化の角度のコサインとして変化するトンネリング磁気抵抗(TMR)効果に基づいて動作する。記録されたデータを磁気媒体から再生できるのは、記録された磁気媒体からの外部磁界(すなわち、信号磁界)によってフリー層の磁化の方向が変化し、今度はこれがTMR素子のトンネル障壁層をまたがった抵抗を変化させ、またセンス電流または電圧を相応に変化させるからである。面記憶密度の増大に対応するための再生ヘッドの小型化に伴い、TMR再生ヘッドの素子抵抗は、標準的な検出用電子部品で容易に対応できる範囲を超えて増大すると予想される。

【0003】

GMRセンサは、TMR再生ヘッドに代わるものである。GMR再生ヘッドの抵抗は、フリー層とリファレンス磁性層間の角度によって変化する。さらに、GMR再生ヘッドは、これらの磁性層の検出CPPを利用する。CPP-GMRセンサは主として、構造面において、高抵抗のトンネル障壁層の代わりに低抵抗の金属スペーサを用いる点で、TMR再生ヘッドとは異なる。したがって、CPP-GMRセンサの抵抗は主として、フリー層とリファレンス層と低抵抗の金属スペーサの積層構造によって決まる。CPP-GMRセンサは、TMRセンサにおいて使用される障壁層を通る電子のスピンドル効果ではなく、磁性層とスペーサ層との界面および磁性層そのものの両方における伝導電子のスピンドル効果を利用する。同じ断面積であれば、CPP-GMRセンサの素子抵抗はTMRセンサの場合の10～20分の1であろう。

30

【0004】

CPP-GMRセンサは、素子抵抗がはるかに低いため、印加されるバイアス電圧がTMRセンサに使用されるものに相当する場合(たとえば、100mV)、ずっと高いセンス電流密度で動作する。このように電流密度がより高いと、CPP-GMRセンサの出力信号と信号雑音比は、動作中に印加されるスピンドル効果によりフリー層またはリファレンス磁性層のいずれかで誘起されるトルクから生じるスピントルク効果によって制限される。スピントルクが大きすぎると、フリー層またはリファレンス層のいずれかにおける磁化に振動不安定性がもたらされる可能性がある。したがって、CPP-GMR再生センサをスピントルクに起因する不安定性の生じにくいものとすれば、磁気記録分野でのその性能が向上する。

40

【0005】

さらに、再生ヘッドの加工中、CPP-GMRセンサにはラッピングまたは化学的機械的研磨/平均化(CMP)が施される場合があり、その間、露出した層が腐食を始める可能性がある。金属スペーサ層は、特にこの工程中で酸化しやすい場合がある。たとえば、一般的なスペーサ層の材料は、容易に腐食または変色することが知られている。エアベアリング面(ABS)を形成するための機械的ラッピング工程中、これらの材料は酸化し、CPP-GMRセンサの異なる層間の電流の流れを妨げるかもしれない。

50

【発明の概要】**【課題を解決するための手段】****【0006】**

本発明の1つの実施形態は、両者間にスペーサ層が堆積された第一の磁性層と第二の磁性層を有する再生ヘッドセンサを提供する。そのスペーサ層は合金を含み、その合金の少なくとも1つの金属は導電性を有する。さらに、このスペーサ層は、すべてその少なくとも1つの金属からなるスペーサ層と比較して、(i)より耐食性が高く、(ii)再生ヘッドセンサの電気抵抗を増大させる。

【0007】

本発明の1つの実施形態は、両者間にスペーサ層が堆積された第一の磁性層と第二の磁性層を含む再生ヘッドセンサを提供する。そのスペーサ層は銀合金を含む。

10

【0008】

本発明の他の実施形態は、再生ヘッドセンサの製造方法を提供する。この方法は、基板上に第一の磁性層を堆積させるステップを含む。この方法はまた、第一の磁性層の上にスペーサ層を堆積させるステップを含む。そのスペーサ層は金属合金を含み、その合金の少なくとも1つの金属は導電性を有する。さらに、このスペーサ層は、すべてその少なくとも1つの金属からなるスペーサ層と比較して、(i)より耐食性が高く、(ii)再生ヘッドセンサの電気抵抗を増大させる。この方法は、スペーサ層の上に第二の磁性層を堆積させるステップを含む。

【0009】

20

本発明の上記の特徴を詳しく理解できるように、簡単に上述した発明は、実施形態を参考することによって、より具体的に説明する場合があり、これらの実施形態のいくつかが添付の図面に描かれている。しかしながら、添付の図面は本発明の一般的な実施形態のみを示しており、したがって、本発明では他の同等に有効な実施形態も可能であることから、本発明の範囲を限定することはみなされない点に留意するべきである。

【図面の簡単な説明】**【0010】**

【図1】本発明の実施形態によるディスクドライブを示す。

【図2】本発明の実施形態による再生ヘッドセンサの一部の概略断面図を示す。

【図3】本発明の実施形態による再生ヘッドセンサのスペーサ層に使用される材料の正規化抵抗を示すグラフである。

30

【図4】本発明の実施形態による再生ヘッドセンサのスペーサ層に使用される材料の正規化抵抗を示すグラフである。

【図5A】本発明の実施形態による再生ヘッドセンサのスペーサ層に使用される材料の特性を示すグラフである。

【図5B】本発明の実施形態による再生ヘッドセンサのスペーサ層に使用される材料の特性を示すグラフである。

【図6A】本発明の実施形態による再生ヘッドセンサのスペーサ層に使用される材料の特性を示すグラフである。

【図6B】本発明の実施形態による再生ヘッドセンサのスペーサ層に使用される材料の特性を示すグラフである。

40

【図6C】本発明の実施形態による再生ヘッドセンサのスペーサ層に使用される材料の特性を示すグラフである。

【図6D】本発明の実施形態による再生ヘッドセンサのスペーサ層に使用される材料の特性を示すグラフである。

【図7A】本発明の実施形態による、再生ヘッドセンサの一部の製造方法を示す。

【図7B】本発明の実施形態による、再生ヘッドセンサの一部の製造方法を示す。

【図7C】本発明の実施形態による、再生ヘッドセンサの一部の製造方法を示す。

【図8A】本発明の実施形態による再生センサの構造を示す。

【図8B】本発明の実施形態による再生センサの構造を示す。

50

【図8C】本発明の実施形態による再生センサの構造を示す。

【図9】本発明の1つの実施形態による再生センサの構造を示す。

【発明を実施するための形態】

【0011】

理解しやすくするために、同じ参照番号は可能なかぎり、各図に共通の同じ要素を指示するためには使用されている。1つの実施形態において開示された要素は、特に詳述することなく、他の実施形態においても有効に利用され得る。

【0012】

以下の説明では、本発明の実施形態を参考する。しかしながら、本発明は特別に説明されている実施形態には限定されないと理解するべきである。その代わりに、以下に説明する特徴と要素は、異なる実施形態に関するものか否かを問わず、どのように組み合わせても本発明を実施し、実現できると考えられる。さらに、本発明の実施形態は、考えられる他の解決策および/または先行技術に勝る利点を達成するかもしれないが、特定の利点がある実施形態によって達成されるか否かは、本発明を限定しない。それゆえ、以下に説明する態様、特徴、実施形態および利点は単に例示のためであり、付属の特許請求の範囲に明記されているものを除き、特許請求の範囲の要素または限定とはみなさない。同様に、「発明」という表記は、本願で開示する本発明の主旨を一般化するものとはみなさず、付属の特許請求の範囲に明記されているものを除き、特許請求の範囲の要素または限定とはみなさないものとする。

【0013】

本発明は、CPP-GMRセンサのスペーサ層を形成する材料の電気抵抗と耐食性を増大させることに関する。スペーサ層、およびひいてはCPP-GMRセンサの抵抗を高めることによって、センサにより大きな電圧をかけることができ、信号対雑音比がより高くなる。スペーサ層の耐食性を増大させることにより、製造中、スペーサ層を耐食性材料に曝すことによる影響が最小限となる。

【0014】

ハードドライブの例

図1は、本発明の実施形態に係るディスクドライブ100を示している。図のように、少なくとも1つの回転可能な磁気ディスク112はスピンドル114に支持され、ディスクドライブモータ118によって回転される。各ディスクへの磁気記録は、磁気ディスク112上の同心円状のデータトラック(図示せず)の環状パターンの形態で行われる。

【0015】

少なくとも1つのスライダ113が、磁気ディスク112の付近に位置付けられる。各スライダ113は、ディスク表面122から再生し、そこに記録するための1つまたはそれ以上の磁気ヘッドアセンブリ121を支持する。磁気ディスクが回転すると、スライダ113は半径方向に移動してディスク表面122の上方に出入りし、磁気ヘッドアセンブリ121が、磁気ディスク上の、所望のデータが記録されている異なるトラックにアクセスできるようにする。磁気ヘッドアセンブリ121は少なくとも、磁気ディスク表面122にデータを記録し、そこからデータを再生するための記録ヘッド部と再生ヘッド部を含んでいてもよい。各スライダ113は、サスペンション115によってアクチュエータアーム119に取り付けられる。サスペンション115は、弱いバネ力を発生させ、これがスライダ113をディスク表面122に対して付勢する。各アクチュエータアーム119は、アクチュエータ手段127に取り付けられる。図1に示されるアクチュエータ手段127は、ボイスコイルモータ(VCM)であってもよい。VCMは、一定の磁界の中で運動可能なコイルを備え、コイルの運動の方向と速度は、制御ユニット129によって供給されるモータ電流信号により制御される。

【0016】

磁気ディスク112の回転によって、スライダ113とディスク表面122の間にABSが発生し、これがスライダ113に対する上方の力、すなわち揚力を生む。ABSはそれゆえ、通常動作中、サスペンション115の弱いバネ力と釣り合い、スライダ113を

10

20

30

40

50

ディスク 112 の表面から離れた若干上方に、小さな、実質的に一定の間隔を空けて支持する。

【 0017 】

ディスク記憶システムの各種の構成要素は、動作中、制御ユニット 129 によって発生される制御信号、たとえばアクセス制御信号や内部クロック信号によって制御される。一般に、制御ユニット 129 は、論理制御回路、記憶手段およびマイクロプロセッサを備える。制御ユニット 129 は、各種のシステム動作を制御するための制御信号、たとえばライン 123 上のドライブモータ制御信号やライン 128 上のヘッド位置およびシーク制御信号を発生する。ライン 128 上の制御信号は、スライダ 113 をディスク 112 上の所望のデータトラックに最適に移動させ、位置付けるための所望の電流プロファイルを提供する。記録および再生信号は、記録チャネル 125 によって記録および再生ヘッド 121 へと、またはこれから伝えられる。10

【 0018 】

一般的な磁気ディスク記憶システムの上記の説明とこれに付随する図 1 の図は、代表的な例を示しているにすぎない。当然のことながら、ディスク記憶システムは多数のディスクとアクチュエータを含んでいてもよく、各アクチュエータは多数のスライダを支持していてもよい。

【 0019 】

GMR センサの層

CPP スピンバルブまたは擬スピンバルブが、上記の磁気ヘッドアセンブリ 121 に位置付けられる再生ヘッドの一部であってもよい。これらのスピンバルブは、GMR 膜に印加さるバイアス電流が膜面に垂直であるように方向付けられる。図 2 は、CPP スピンバルブまたは擬スピンバルブの一部の概略断面図を示す。図のように、GMR センサ 200 は、強磁性フリー層 206、強磁性リファレンス層 202、強磁性フリー層 206 と強磁性リファレンス層 202 の間に配置されたスペーサ層 204 を含む。センス電流 212 は、GMR センサ 200 の面に垂直である（すなわち、電流は積層内を垂直に流れる）。強磁性フリー層 206 と強磁性リファレンス層 202 の磁化のデフォルトでの向きまたは方向が示されている。「デフォルトでの」向きとは、再生ヘッドの外部の磁界の影響を受けない、強磁性層の磁化の方向である。20

【 0020 】

スペーサ層 204 は一般に、金属や金属合金等の導電性材料で作製される。本明細書において、金属合金とは、少なくとも 1 つの金属要素を含む、固体金属母体に要素を混ぜ込んだ混合物である。1 つの実施形態において、GMR センサ 200 の ABS は、図の表面であってもよい。すなわち、図 2 は、GMR センサ 200 をディスク表面 122 の視点から描いたものである。30

【 0021 】

磁気ヘッドアセンブリ 121 の GMR センサ 200 は磁気媒体の上方を移動するため、媒体の磁化は、強磁性フリー層 206 の磁化を偏向させる。GMR センサ 200 の電気抵抗は、電極磁化間の相対的角度とともに変化する。磁気ヘッドアセンブリ 121 は媒体 112 の上方を移動すると、フリー層 206 の磁化は、媒体 112 に保存されたビットからの磁界変化によって影響を受ける。面外磁化したビットから面内磁化した他のビットへの遷移は、素子抵抗の変化として再生され、その一方で、同様の磁化方向を有する 2 つのビット間の遷移は素子抵抗が変化しなかったものとして再生される。強磁性フリー層 206 と強磁性リファレンス層 202 の磁化の方向は、デフォルト状態において（すなわち、強磁性フリー層 206 の磁化が媒体 112 上の磁界によって影響を受けていない時に）約 90 度開いている。フリー層 206 とリファレンス層 202 の磁化の向きがより平行に近くなると、GMR センサ 200 の抵抗が低下する。反対に、層 206、202 の向きがより反平行に近くなると、GMR センサ 200 の抵抗が増大する。40

【 0022 】

強磁性フリー層 206 と強磁性リファレンス層 202 は、本明細書に記載する機能を果

50

たす、どのような磁性材料または複数層を含んでいてもよい。1つの実施形態において、強磁性フリー層206と強磁性リファレンス層202は、Co、FeおよびNiの合金を含む。他の実施形態において、強磁性フリー層206と強磁性リファレンス層202は、Co、Fe、Niの合金に最大で35原子パーセントのGe、Ga、SiまたはAlを含めたものを含む。他の実施形態において、強磁性フリー層206と強磁性リファレンス層202は、強磁性ホイスラ合金を含んでいてもよい。一般に、ホイスラ合金は大きなスピニ偏極率を有し、これがその合金から放出される伝導電子のスピニの向きに影響を与える。特に、ホイスラ合金に応じて、伝導帯の中の電子の大部分が、それぞれに関連する磁化に関して主としてスピナップ方向またはスピンドウ方向のいずれかを有する。特定のスピニを持つ伝導電子の密度を高くすると、GMRセンサ200の実現可能な信号対雑音比が増大する。

【0023】

一般的な強磁性ホイスラ合金の例としては、これらに限定されないが、Co₂MnAl、Co₂MnSi、Co₂FeSi、Co₂MnGa、Co₂MnGe、Co₂FeAl、Co₂FeGeが含まれる。Co₂Fe(Al_{100-x}Si_x)等の合金もまた、高いスピニ偏極特性を有するホイスラ合金である。

【0024】

1つの実施形態において、強磁性フリー層206と強磁性リファレンス層202の各々の厚さは、15～100の範囲である。

【0025】

1つの実施形態において、スペーサ層204は導電性材料を含み、たとえばスペーサ層204は銀(Ag)または銅(Cu)のいずれかを含んでいてもよい。これらの金属はどちらも、ホイスラ合金の成長と適合する FCC結晶構造を持ち、すなわち、AgとCuの結晶特性は実質的にホイスラ合金の結晶特性と一致する。これに加えて、これらの金属はどちらも、長いスピニ拡散長を有し、すなわち、伝送された電子が、スペーサ層の一般的な厚さ(たとえば、20～50)より長い距離にわたって、そのスピニ方向を保持する。

【0026】

スピニ拡散長は、スピニ偏極電流の有効な輸送の尺度となる。前述のように、ホイスラ合金は特定のスピニ方向を有する伝導電子を高い密度で生成し、すなわち、ホイスラ合金は特定のスピニで電子を偏極する。磁気媒体の磁性方向をよりよく測定するためには、電子がスペーサ層204の中を移動する際、伝導電子のスピニ偏極を維持するべきである。

【0027】

スペーサ層204は、強磁性フリー層206と強磁性リファレンス層202の間の磁気(または交換)結合を防止できるように十分に厚く、しかも材料のスピニ拡散長より薄くする必要がある。AgとCuはどちらもこれを満たす。特に、AgとCuのスピニ拡散長は1000またはそれ以上である。

【0028】

スペーサ層の腐食

磁気再生ヘッドの一般的な加工では、GMRセンサ200に対してCMPが施される。1つのステップで、複数のGMRセンサ200を含むウェハが液体スラリの中に置かれ、研磨ディスクで研磨されてABSが形成される。このラッピング工程では、スペーサ層204が腐食性材料に曝される可能性がある。

【0029】

AgとCuは、腐食しやすいことが知られており、たとえば金属は容易に酸化または変色する。これらの金属は、長いスピニ拡散長を提供し、磁気的な結合を防止するが、製造中、腐食しうる。

【0030】

1つの実施形態において、スズ(Sn)とAgを混合して金属合金を形成し、スペーサ204として使用してもよい。有利な点として、Ag-Sn合金により、スペーサ層20

4の腐食防止能力は、銀のみからなるスペーサ層の場合より増大する。したがって、Ag-Sn合金のスペーサ層204は、センサ製造工程中において、より堅牢である。Ag-Sn合金の例としては、これらに限定されないが、 $AgSn_3$ 、 $AgSn_6$ 、 $AgSn_{10}$ 、 $AgSn_{13}$ 、 $AgSn_{16}$ があり、添え字はSnの原子濃度(%)を表す。1つの実施形態において、Ag-Sn合金の中のSnの原子濃度は2~20%である。

【0031】

図3は、Ag、CuおよびAg-Sn合金の正規化抵抗を示すグラフである。図3は、図に明記された材料について、その材料が水(すなわち、腐食性材料)の中に浸漬された日数ごとに正規化抵抗を測定したものである。図のように、AgとCuの抵抗は、腐食性材料に曝されると増大し始める。しかしながら、Ag-Sn合金は同じ抵抗を保っている。腐食したスペーサ層204は、信号を劣化させ、GMRセンサ200の信号対雑音比を低下させる。

10

【0032】

図4は、AgおよびAg-Sn合金の正規化抵抗を示すグラフである。図4は、図に明記された材料について、その材料が水中に浸漬された日数に関する正規化抵抗を測定したものである。純銀の抵抗は急速に上昇を始め、銀が腐食または変色していることを示している。しかしながら、Ag-Sn合金の抵抗は一定のままである。すなわち、Snを添加することにより、Agの腐食傾向がなくなる。

【0033】

1つの実施形態において、ゲルマニウム(Ge)とCuを混合して金属合金を形成し、スペーサ層204として使用してもよい。有利な点として、Cu-Ge合金により、スペーサ層204の腐食防止能力が増大する。Cu-Ge合金内のGeの原子濃度は5~20%であってもよい。

20

【0034】

一般に、どのような金属合金でも、スペーサ層の腐食防止能力が、その金属合金内の金属の1つのみからなるスペーサ層より高まるかぎり、またスペーサ層204とその磁性層202、206との界面が、短いスピントルクまたは界面スピントルクによりスピントルクへの磁気抵抗効果を過剰に減少せないかぎり、スペーサ層204として使用してよい。

【0035】

スペーサ層の抵抗の増大

30

CPP-GMR再生センサの信号対雑音比は、十分に大きなバイアス電圧を使用した時に、スピントルクにより誘発される励起と高い電子流密度に起因する雑音によって制限される。このスピントルクによる励起は、主として強磁性層202、206とスペーサ層204との界面で起こる。Agを含むスペーサ層204は最近、ホイスラ合金を含む強磁性層202、206との界面が有利な状態にあるため、高いCPP-GMR信号を取得するのに特に好適であることが明らかとなっているが、スピントルクによる励起が依然として、電位差および、その結果としてGMRセンサ200に印加されるかもしれない電流を制限する。

【0036】

大きなスピントルクによって、強磁性層202、206の一方または両方に、磁気雑音と磁化の振動不安定性がもたらされるかもしれない。この不安定性は、リファレンス層およびフリー層202、206の磁化がより反平行の方向に近づくと増大する。換言すれば、反平行状態($J_{crit-Ap}$)で不安定となり始める磁化臨界電流密度は、平行方向(J_{crit-p})の場合の電流密度より有意に小さい。実験的に、CuまたはAgの従来のスペーサに関して、 $J_{crit-p}/J_{crit-Ap}$ が一般に、2~4の範囲であることが検証された。それゆえ、実際の素子の動作においてセンサの性能を制限するのは $J_{crit-Ap}$ である。過剰な雑音または不安定性を回避するには、安定な動作のために、センス電流212の密度(GMRセンサ200の長さと断面積により測定される)を臨界値以下に保つ必要がある。 R_A をGMRセンサ200の積層体の抵抗面積積(R_A)の最大磁気抵抗変化とすると、 $J_{crit-Ap} \times R_A$ は、CPP-GMRセンサか

40

50

ら得られる最大電圧信号を表す。最大信号電圧を下げれば、同時に G M R センサ 2 0 0 の信号雑音比も低下し、より小さな信号が雑音によって消される可能性が高くなる。

【 0 0 3 7 】

スピントルクの大きさは、スピントルク伝達効率 () によって測定され、はフリー層およびリファレンス層 2 0 2、2 0 6 の磁化の間の角度である。ある角度 において、磁化臨界電流 $J_{c r i t}$ () は、() と反比例する。特に、 $J_{c r i t}$ (= 180°) $J_{c r i t - A_P}$ は $1 / A_P$ に比例し、 $A_P = (= 180^\circ)$ である。すなわち、 $J_{c r i t - A_P} \times R_A$ は (R_A / A_P) に対応する。

【 0 0 3 8 】

C P P - G M R センサで利用されるものと似た金属多層積層体の拡散輸送理論に基づき、(R_A / A_P) の数値の制御におけるスペーサ層の役割は、以下のように表してもよい。

【 数 1 】

$$\Delta R_A / \eta_{A_P} \propto \beta \left[1 / g_{F M - N M}^{\downarrow\uparrow} + \frac{1}{2} (\rho t)_{N M} \right] \quad (1)$$

【 数 2 】

混成コンダクタンス ($g^{\downarrow\uparrow}$) は、スペーサ材料の S h a r v i n コンダクタンスと同様であると予想され、一般に、典型的に選択される金属スペーサと同様である。混成コンダクタンスの逆数 ($1/g^{\downarrow\uparrow}$) は、約 $0.5 \sim 1 \text{ m}\Omega - \mu\text{m}^2$ である。第二の項において、 ρt はスペーサ層 2 0 4 の抵抗と厚さの積であり、これは金属スペーサの選択によって増大させてもよい。そのようにすることで、同時に ($\Delta R_A / \eta_{A_P}$) も増大するかもしれない。一般的なスペーサの厚さ (t) である 4 0 Å の場合、抵抗 (ρ) が約 $0.03 \Omega - \mu\text{m}$ の C u または A g のスペーサ層 2 0 4 では、 $1 / (\rho t)_{N M}$ が約 $0.06 \text{ m}\Omega - \mu\text{m}^2$ となる。しかしながら、この数値は、等式 1 の $1/g_{F M - N M}^{\downarrow\uparrow}$ の項によって小さくなっている、通常はこれより 1 衡大きい。

【 0 0 3 9 】

図 5 A ~ B は、異なる A g - S n 合金の抵抗 ρ ($\mu\text{-cm}$) を示すグラフである。図 5 A は、A g - S n 合金の S n の原子濃度が 8 ~ 17 % で変化することを示している。図のように、抵抗 ρ は $40 \sim 80 \mu\text{-cm}$ の範囲であり、これによって A g - S n の抵抗 ($\rho_{A g - S n}$) は A g のみの場合の抵抗 ($\rho_{A g}$) より 10 ~ 20 倍増大する。したがって、それぞれの量の S n を添加することによって、A g - S n 合金の抵抗を等式 1 の

【 数 3 】

$$1/g_{F M - N M}^{\downarrow\uparrow}$$

の項と同等とすることができます。したがって、スペーサ層に A g - S n 合金を使用することによって、 $1 / 2 (\rho t)_{N M}$ と R_A / A_P の数値が実質的に増大し、 $J_{c r i t}$ がより高くなる。一般に、A g - S n 合金の抵抗は、 $10 \mu\text{-cm}$ より大きい。

【 0 0 4 0 】

図 5 B は、薄膜から、および G M R センサ構造から測定した抵抗を示す。図 5 B は、薄膜と G M R センサのどちらにおいても、A g - S n 膜の抵抗のほうが、 $50 \sim 100 \mu\text{-cm}$ の範囲と、A g のみを含む場合より大きいことを示している。

【 0 0 4 1 】

10

20

30

40

50

しかしながら、本質的な磁気抵抗の変化（RA）は概ね、スペーサの厚さに指数関数的に対応する（ $RA \propto e^{-t/l_{sd}}$ ）。スピントルクの不安定性がなくとも他の雑音源があり、そのため、十分な信号対雑音比を達成するには、十分な信号レベルとすることが必要である。それゆえ、Ag-Sn合金はまた、スペーサ層204を通過する伝導電子のスピン消極に起因するRAの縮小による大幅な損失を回避するために、そのスピン拡散長（ l_{sd} ）は、選択されたスペーサ層204の厚さ（t）の、好ましくは5から10倍であるべきである。また、スペーサ層204の厚さは、強磁性層202、206間の磁気結合を防止するために、最低値、たとえば2nmより大きくするべきである。それゆえ、Sn以外の不純物をAgに添加して抵抗を改善してもよいが、これらの元素によってスペーサ層204のスピン拡散長が有意に短縮し、容認できない程度までRAが小さくなるかもしれない。このような不利な効果は、RA/ A_p の数値を増大させるという利点を打ち消す可能性がある。しかしながら、Ag-SnおよびCu-Ge合金であれば、両方の条件を満たす。

【0042】

GMRセンサ200の積層体の最大のRAを保持するためには、スペーサ層の材料のスピン拡散長は、スペーサ層204の厚さより大きくするべきである。しかしながら、SnをAgに添加することによってスピン拡散長が数千オングストロームからわずか数百オングストロームに縮小したとしても、この縮小はRAに有意な影響を与えない。したがって、少量のSn（20%未満）をAgに添加することにより、RA/ A_p を増大でき、その際、スペーサ層204のスpin拡散長をGMRセンサ200の積層体のRAが有意に低下する点まで短縮させない。

【0043】

図6Aは、Snの濃度を変化させたAg-Snの合金のRAを示すグラフである。Ag-Sn合金のSnが8%まで、そのRAは純AgのRAと実質的に同じである。一般に、Ag-Sn合金は、20を超える厚さのスペーサ層にとって十分なスピン拡散長を有する。好ましくは、スペーサ層204の厚さは約20~45である。

【0044】

図6Bは、ある範囲のスペーサの厚さに対するスペーザの抵抗の増大による素子抵抗の増大を示すグラフである。Ag-Snのスペーザを含む素子の抵抗は、Agのスペーザを含む素子より大きいこと（スペーザの厚さに対するRAの傾斜）が示されている。25~40のスペーザの厚さの範囲では、GMR信号は、AgとAg-Snの素子について大体同じである。

【0045】

図6Cは、ある範囲のスペーザの厚さに対するスペーザ層のスピン拡張長を示すグラフである。Ag-SnのスペーザでR/Rが減少しているのは、Ag-Snのスピン拡散長がAgのそれより小さいことを示しているが、それでも一般的な素子のスペーザの厚さよりは大きい。これに加えて、界面粗さによって、Agのスペーザの厚さは約35に制限され、その一方で、Ag-Snのスペーザははるかに平滑であり、25まで薄くしても電極間の有害な磁気結合は発生しない。

【0046】

図6Dは、Ag、Ag-Snまたは多層Ag/Ag-Snスペーザを利用する各種のCPP-GMRセンサのスピントルクデータを示すグラフである。このデータは、スペーザ層204の異なる材料について、スペーザの厚さに関する、MR（R/R）×リファレンス層のスピントルク不安定性の原因となる臨界電圧（ $V_{crit} = J_{crit} \times RA$ ）の推移を示す。 $R/R \times V_{crit}$ は、Agのスペーザ層204を含むセンサより、Ag-Snのスペーザ層204を含む再生センサのほうが高い。

【0047】

1つの実施形態において、スペーザ層204はCu-Ge合金を含んでいてもよく、合金の抵抗（ p_{Cu-Ge} ）は、Cuのみからなるスペーザ層204の抵抗（ p_{Cu} ）より大きい。Cu-Ge合金のスピン拡散長によって、スペーザ層を20より厚くすること

10

20

30

40

50

ができる。

【0048】

1つの実施形態において、それぞれの合金の中の S n または G e のいずれかの原子濃度は 10 % 未満である。他の実施形態において、それぞれの合金の中の S n または G e のいずれかの原子濃度は 2 ~ 20 % である。

【0049】

一般に、どのような金属合金でも、スペーサ層の腐食防止能力が、したがって G M R センサ 200 が、その金属合金内の金属の 1 つのみからなるスペーサ層より高まるかぎり、またスペーサ層 204 とその磁性層 202、206 との界面が、短いスピン拡散長または界面スピン拡散によりスピンバルブへの磁気抵抗効果を過剰に減少させないかぎり、スペーサ層 204 として使用してよい。10

【0050】

G M R センサの製造方法

図 7 A ~ C は、G M R センサの製造方法を示す。図 7 A において、強磁性リファレンス層 202 が基板 701 の上に堆積される。基板 701 は、CPP - G M R 再生ヘッドを製造する際に有益な他の複数の層、たとえばニッケル鉄 (NiFe)、チタン (Ta)、ルテニウム (Ru)、コバルト鉄 (CoFe) または、センサの結晶構造または特性を改善するのに役立つその他の磁性または非磁性下地層等を含んでいてもよい。

【0051】

1つの実施形態において、強磁性リファレンス層 202 は複数の元素を含むホイスラ合金である。各元素は、ホイスラ合金の各元素のための別々のターゲットを使用する物理気相成長 (PVD) 方式か、ホイスラ合金のすべての元素を含む単一ターゲット方式のいずれかにより堆積させてもよい。20

【0052】

図 7 B において、スペーサ層 204 が強磁性リファレンス層 202 の上に堆積される。スペーサ層 204 は、少なくとも 1 つの導電性金属、たとえば Ag または Cu を含む金属合金を含んでいてもよい。金属合金はまた、スペーサ層 204 の耐食性と電気抵抗を、不純物を含まない場合のこれらの特性と比較して増大させる少なくとも 1 つの不純物、たとえば S n または G e も含んでいてよい。PVD 方式では、導電性金属と不純物の上に、個々のターゲットから、または金属と不純物の両方を含む単一ターゲットからスパッタしてもよい。30

【0053】

1つの実施形態において、スペーサ層は、強磁性リファレンス層 202 と直接接觸する。。

【0054】

図 7 C において、強磁性フリー層 206 がスペーサ層 204 の上に堆積される。1つの実施形態において、強磁性リファレンス層 202 は、複数の元素を含むホイスラ合金である。各要素は、ホイスラ合金の各元素のための別々のターゲットを使用する PVD 方式か、ホイスラ合金のすべての元素を含む単一ターゲット方式のいずれかにより堆積させてもよい。さらに、この後で基板上に他の層を堆積させて、CPP - G M R センサヘッドの製造を終了させてもよい。40

【0055】

1つの実施形態において、層 202、204、206 はアモルファスであり、同じ結晶構造を共有しない。他の実施形態において、層 202、204、206 の 1 つまたはそれ以上は結晶であり、異なる層の同じ秩序の結晶構造を共有してもよい。

【0056】

1つの実施形態において、強磁性リファレンス層 202、スペーサ層 204、および強磁性フリー層 206 は直接接觸せず、間に他の層が堆積されてもよい。

【実施例】

【0057】

10

20

30

40

50

図 8 A ~ C は、本発明の実施形態による各種の再生センサを示している。図 8 A は、C P P スピンバルブを含む再生センサの 1 つの実施形態を示す。一般的な C P P - G M R スピンバルブは、強磁性フリー層 806、スペーサ層 804、固定強磁性リファレンス層 802、反強磁性ピニング層 808 で形成される。強磁性フリー層 806 は、強磁性リファレンス層 802 にとて適當な同じ材料を含んでいてもよい。強磁性層 802、806 は同じ材料を含んでいてもよく、またはこれらは、たとえば Co、Fe、Ni の合金の異なる 1 層または複数の層を含んでいてもよい。

【 0 0 5 8 】

図 8 B は、強磁性リファレンス層 802 が反強磁性ピニング層に固定されていない、擬スピンバルブを示している。

10

【 0 0 5 9 】

図 8 C は、固定強磁性層 812 が反強磁性ピニング層 808 に交換結合され、また薄い、反強磁性結合層 810 を通じて、強磁性リファレンス層 802 に反強磁性結合されている「A P 固定」スピンバルブを示す。反強磁性結合層 810 は、反平行結合に適した材料（たとえば、Ru）を含んでいてもよい。反強磁性結合層 810 は、固定層 812 とリファレンス層 802 を結合し、それらのそれぞれの磁化は相互に反平行となり、強磁性フリー層 806 の磁化に関して、どちらも約 90 度である。

【 0 0 6 0 】

図 9 は、本発明の実施形態による、高感度、高耐食性のスペーサ層 904 を有する再生ヘッドセンサを示す。図のように、図 9 は「A P フリー層」を示し、2 つの強磁性フリー層（すなわち、第一の強磁性フリー層 906 と第二の強磁性フリー層 912）が反強磁性結合層 910 を介して相互に磁気結合されており、これらの磁化は反平行となっている。さらに、層 906、912 の磁化は、強磁性リファレンス層 902 の磁化から約 90 度の向きである。1 つの実施形態において、強磁性リファレンス層 902 の磁化は、反強磁性層 908 によって固定される。反平行結合フリー層 912 は、リファレンス層に基本的に平行な向きにあるときに、第一の強磁性フリー層 906 のスピントルク不安定性に対する耐性を高めることができ、それゆえ、高抵抗スペーサ層 904 によって提供される反平行状態の高いスピントルク安定性を補う。

20

【 0 0 6 1 】

図中、再生ヘッドセンサを形成する層間に他の層を堆積させてもよい。さらに、各層が異なる材料または複数の層を含んでいてもよい。

30

【 0 0 6 2 】

以上は、本発明の実施形態に関するものであるが、本発明の他の、別の実施形態をその基本的範囲から逸脱することなく導き出してもよく、その範囲は以下の特許請求の範囲により決定される。

【 符号の説明 】

【 0 0 6 3 】

- 100 ディスクドライブ
- 112 磁気ディスク
- 113 スライダ
- 114 スピンドル
- 115 サスペンション
- 118 ドライブモータ
- 119 アクチュエーターム
- 121 磁気ヘッドアセンブリ
- 122 ディスク表面
- 123、128 ライン
- 125 記録チャネル
- 127 アクチュエータ手段
- 129 制御ユニット

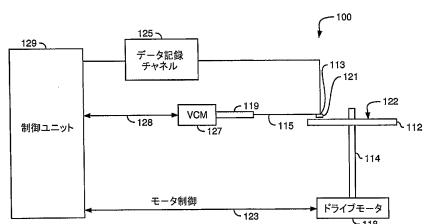
40

50

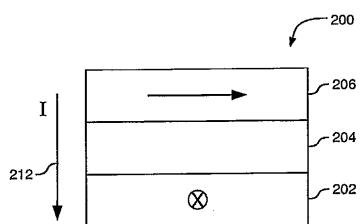
- 200 GMRセンサ
 202、802、902 強磁性リファレンス層
 204、804、904 スペーサ層
 206、806 強磁性フリー層
 212 センス電流
 701 基板
 808、908 反強磁性層
 810、910 反強磁性結合層
 812 固定強磁性層
 906 第一の強磁性フリー層
 912 第二の強磁性フリー層

10

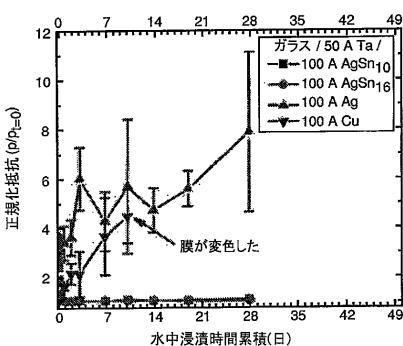
【図1】



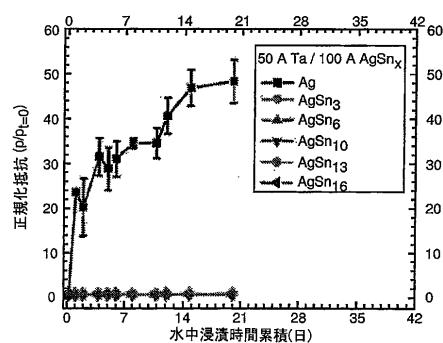
【図2】



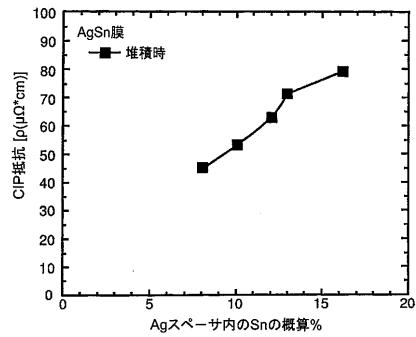
【図3】



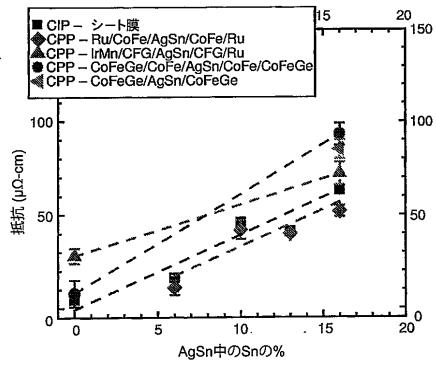
【図4】



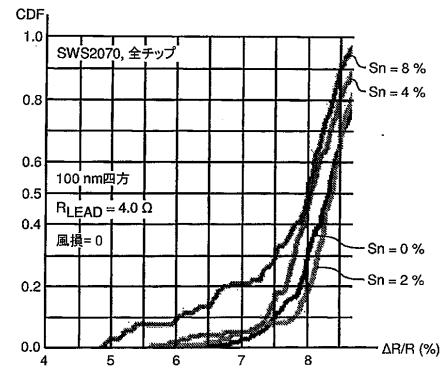
【図 5 A】



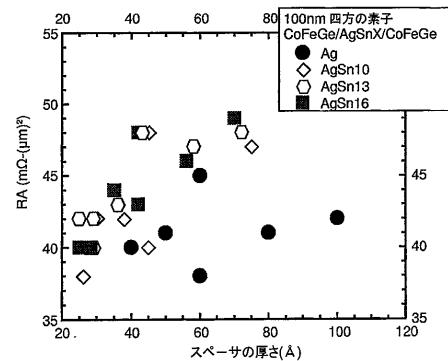
【図 5 B】



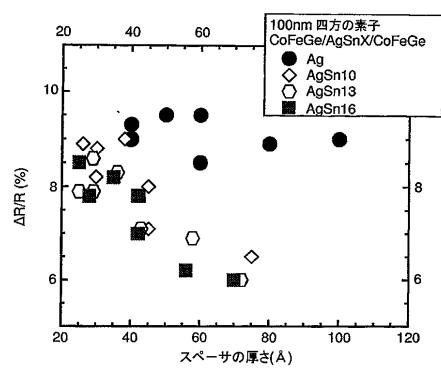
【図 6 A】



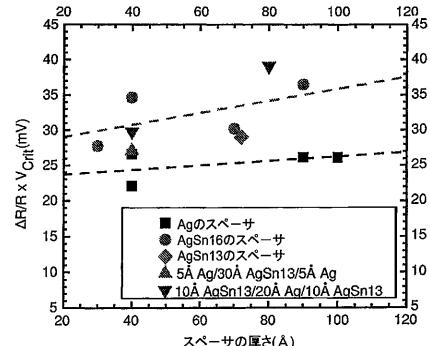
【図 6 B】



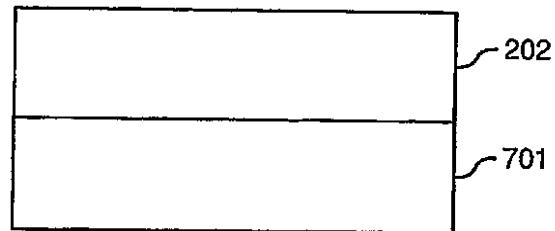
【図 6 C】



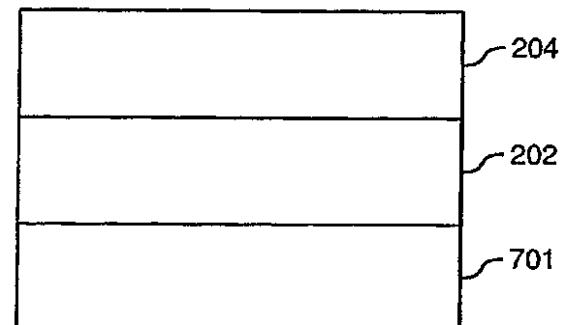
【図 6 D】



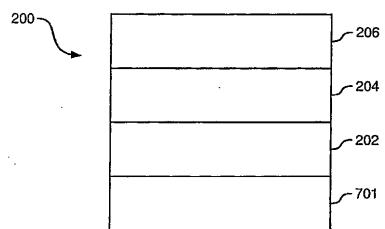
【図 7 A】



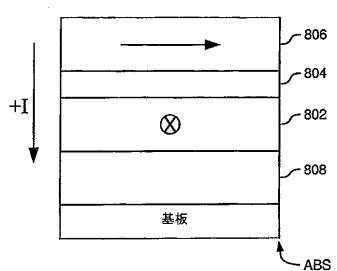
【図 7 B】



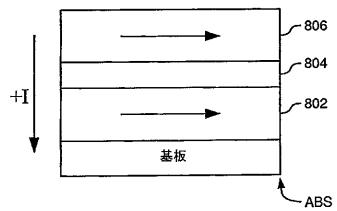
【図 7 C】



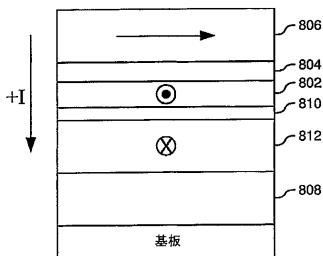
【図 8 A】



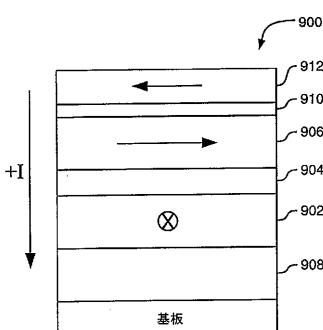
【図 8 B】



【図 8 C】



【図 9】



フロントページの続き

(74)代理人 100153903

弁理士 吉川 明

(72)発明者 ジェフリー アール. チャイルドレス

アメリカ合衆国 95120 カリフォルニア州, サンノゼ, ナイトフォール コート 1039

(72)発明者 ジョン シー. リード

アメリカ合衆国 95123 カリフォルニア州, サンノゼ, ラ ストラーダ ドライブ ナンバ
- 25 352

(72)発明者 ニール スミス

アメリカ合衆国 95123 カリフォルニア州, サンノゼ, バーチ リッジ サークル 324

審査官 斎藤 真

(56)参考文献 特開平05-291037 (JP, A)

米国特許出願公開第2007/0109693 (US, A1)

米国特許出願公開第2003/0197986 (US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 11 B 5 / 39

H 01 L 43 / 00 - 43 / 14