

(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 I
G 1 1 B 5/39 (2006.01)	G 1 1 B 5/39
H O 1 L 43/10 (2006.01)	H O 1 L 43/10
H O 1 L 43/08 (2006.01)	H O 1 L 43/08 Z

請求項の数 6 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2012-189572 (P2012-189572)	(73) 特許権者	503116280
(22) 出願日	平成24年8月30日 (2012. 8. 30)		エイチジーエスティーネザーランドビーブ イ
(65) 公開番号	特開2013-54814 (P2013-54814A)		オランダ国 1 1 0 1 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 2 3 8
(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)	(74) 代理人	100091096
(31) 優先権主張番号	13/222, 827		弁理士 平木 祐輔
(32) 優先日	平成23年8月31日 (2011. 8. 31)	(74) 代理人	100105463
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 関谷 三男
早期審査対象出願		(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、 $AgSn_6$ 、 $AgSn_{10}$ 、 $AgSn_{13}$ 、 $AgSn_{16}$ 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、 $30\mu - cm$ 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】

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、 $20 \sim 50$ 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、 $AgSn_6$ 、 $AgSn_{10}$ 、 $AgSn_{13}$ 、 $AgSn_{16}$ 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、 $30\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 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】

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】

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依存トンネル効果ではなく、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依存拡散効果を利用する。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。

【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偏極電子波密度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るれば、磁気記録分野でのその性能が向上する。

【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。

10

20

30

40

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、実施形態を参照することによって、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は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とはみなされない点に留意すべきである。

【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 8 C】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】

【 0 0 1 1 】

理解しやすくするために、同じ参照番号は可能な限り、各図に共通の同じ要素を指示するために使用されている。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。

【 0 0 1 2 】

以下の説明では、本発明の実施形態を参照する。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。

【 0 0 1 3 】

本発明は、C P P - G M R 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 C P P - G M R 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。

【 0 0 1 4 】

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 1 0 0 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 1 1 2 はスピンドル 1 1 4 に支持され、ディスクドライブモータ 1 1 8 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 1 1 2 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。

【 0 0 1 5 】

少なくとも 1 つのスライダ 1 1 3 が、磁気ディスク 1 1 2 の付近に位置付けられる。各スライダ 1 1 3 は、ディスク表面 1 2 2 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 1 2 1 を支持する。磁気ディスクが回転すると、スライダ 1 1 3 は半径方向に移動してディスク表面 1 2 2 の上方に出入りし、磁気ヘッドアセンブリ 1 2 1 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 1 2 1 は少なくとも、磁気ディスク表面 1 2 2 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 1 1 3 は、サスペンション 1 1 5 によってアクチュエータアーム 1 1 9 に取り付けられる。サスペンション 1 1 5 は、弱いバネ力を発生させ、これがスライダ 1 1 3 をディスク表面 1 2 2 に対して付勢する。各アクチュエータアーム 1 1 9 は、アクチュエータ手段 1 2 7 に取り付けられる。図 1 に示されるアクチュエータ手段 1 2 7 は、ボイスコイルモータ（V C M）であってもよい。V C M 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 1 2 9 によって供給されるモータ電流信号により制御される。

【 0 0 1 6 】

磁気ディスク 1 1 2 の回転によって、スライダ 1 1 3 とディスク表面 1 2 2 の間に A B S が発生し、これがスライダ 1 1 3 に対する上方の力、すなわち揚力を生む。A B S はそれゆえ、通常動作中、サスペンション 1 1 5 の弱いバネ力と釣り合い、スライダ 1 1 3 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 膜に印加され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ン偏極率を有し、これがその合金から放出される伝導電子のスピンの方に影響を与える。特に、ホイスラ合金に応じて、伝導帯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ン方向のいずれかを有する。特定のスピン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。

10

【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、 Co_2MnAl 、 Co_2MnSi 、 Co_2FeSi 、 Co_2MnGa 、 Co_2MnGe 、 Co_2FeAl 、 Co_2FeGe が含まれる。 $\text{Co}_2\text{Fe}(\text{Al}_{1-x}\text{Si}_x)$ 等の合金もまた、高いスピン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】

20

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、長いスピン拡散長を有し、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、そのスピン方向を保持する。

【0026】

スピン拡散長は、スピン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ン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んで電子を偏極する。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、伝導電子のスピン偏極を維持するべきである。

30

【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、しかも材料のスピン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のスピン拡散長は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。

40

【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、長いスピン拡散長を提供し、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

50

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、短いスピン拡散長または界面スピン拡散によりスピンプルプ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。

【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の長さと同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。RAをGMRセンサ200の積層体の抵抗面積積(RA)の最大磁気抵抗変化とすると、 $J_{crit-Ap} \times RA$ 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GMRセンサ200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。

【0037】

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202、206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_{crit} () は、 () と反比例する。特に、 J_{crit} (180°) $J_{crit} - A_P$ は $1 / A_P$ に比例し、 $A_P =$ ($= 180^\circ$) である。すなわち、 $J_{crit} - A_P \times RA$ は (RA / A_P) に対応する。

【0038】

CPP-GMR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、 (RA / 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】

$$\frac{\Delta RA}{\eta_{AP}} \propto \beta \left[\frac{1}{g_{FM-NM}^{\uparrow\downarrow}} + \frac{1}{2} (\rho t)_{NM} \right] \quad (1)$$

【数2】

混成コンダクタンス ($g^{\uparrow\downarrow}$) は、スペーサ材料のSharvin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 ($1/g^{\uparrow\downarrow}$) は、約 $0.5 \sim 1 \text{ m}\Omega - \mu\text{m}^2$ である。第二の項において、 $p t$ はスペーサ層204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 ($\Delta RA / \eta_{AP}$) 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 40 \AA の場合、抵抗 (p) が約 $0.03 \Omega - \mu\text{m}$ のCuまたはAgのスペーサ層204では、 $1/2 (p t)_{NM}$ 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 $1/g_{FM-NM}^{\uparrow\downarrow}$ の項によって小さくなっており、通常はこれより1桁大きい。

【0039】

図5A～Bは、異なるAg-Sn合金の抵抗 p ($\mu - \text{cm}$) を示すグラフである。図5Aは、Ag-Sn合金のSn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 p は $40 \sim 80 \mu - \text{cm}$ の範囲であり、これによってAg-Snの抵抗 (p_{Ag-Sn}) はAgのみの場合の抵抗 (p_{Ag}) より10～20倍増大する。したがって、それぞれの量のSnを添加することによって、Ag-Sn合金の抵抗を等式1の

【数3】

$$1/g_{FM-NM}^{\uparrow\downarrow}$$

の項と同等とすることができる。したがって、スペーサ層にAg-Sn合金を使用することによって、 $1/2 (p t)_{NM}$ と RA / A_P の数値が実質的に増大し、 J_{crit} がより高くなる。一般に、Ag-Sn合金の抵抗は、 $10 \mu - \text{cm}$ より大きい。

【0040】

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

【0041】

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 ($RA \propto \exp(-t/l_{sd})$)。スピントルクの不安定性がなくて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の消極に起因する 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 2 nm 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短縮したとしても、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 のスピン拡散長を 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 の濃度を变化させた $Ag-Sn$ 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サ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。 $Ag-Sn$ のスペーサを含む素子の抵抗は、 Ag のスペーサを含む素子より大きいこと (スペーサの厚さに対する RA の傾斜) が示されている。25 ~ 40 のスペーサの厚さの範囲では、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、ある範囲のスペーサの厚さに対するスペーサ層のスピン拡張長を示すグラフである。 $Ag-Sn$ のスペーサで R/R_0 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サの厚さよりは大きい。これに加えて、界面粗さによって、 Ag のスペーサの厚さは約 35 に制限され、その一方で、 $Ag-Sn$ のスペーサ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 $Ag/Ag-Sn$ スペーサを利用する各種の 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、スペーサ層 204 の異なる材料について、スペーサの厚さに関する、 $MR(R/R_0) \times$ 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。 $R/R_0 \times V_{crit}$ は、 Ag のスペーサ層 204 を含むセンサより、 $Ag-Sn$ のスペーサ層 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、スペーサ層 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サ層 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、スペーサ層を 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GMR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】

GMRセンサの製造方法

図7A~Cは、GMRセンサの製造方法を示す。図7A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-GMR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7B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と直接接触する。

【0054】

図7C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-GMR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は直接接触せず、間に他の層が堆積されてもよい。

【実施例】

【0057】

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 8 0 6、スペーサ層 8 0 4、固定強磁性リファレンス層 8 0 2、反強磁性ピニング層 8 0 8 で形成される。強磁性フリー層 8 0 6 は、強磁性リファレンス層 8 0 2 にとって適当な同じ材料を含んでいてもよい。強磁性層 8 0 2、8 0 6 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 C o、F e、N i 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 8 0 2 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。

【 0 0 5 9 】

図 8 C は、固定強磁性層 8 1 2 が反強磁性ピニング層 8 0 8 に交換結合され、また薄い、反強磁性結合層 8 1 0 を通じて、強磁性リファレンス層 8 0 2 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 8 1 0 は、反平行結合に適した材料（たとえば、R u）を含んでいてもよい。反強磁性結合層 8 1 0 は、固定層 8 1 2 とリファレンス層 8 0 2 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 8 0 6 の磁化に関して、どちらも約 9 0 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 9 0 4 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 9 0 6 と第二の強磁性フリー層 9 1 2）が反強磁性結合層 9 1 0 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 9 0 6、9 1 2 の磁化は、強磁性リファレンス層 9 0 2 の磁化から約 9 0 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 9 0 2 の磁化は、反強磁性層 9 0 8 によって固定される。反平行結合フリー層 9 1 2 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 9 0 6 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 9 0 4 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。

【 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。

【 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 】

- 1 0 0 ディスクドライブ
- 1 1 2 磁気ディスク
- 1 1 3 スライダ
- 1 1 4 スピンドル
- 1 1 5 サスペンション
- 1 1 8 ドライブモータ
- 1 1 9 アクチュエータアーム
- 1 2 1 磁気ヘッドアセンブリ
- 1 2 2 ディスク表面
- 1 2 3、1 2 8 ライン
- 1 2 5 記録チャネル
- 1 2 7 アクチュエータ手段
- 1 2 9 制御ユニット

10

20

30

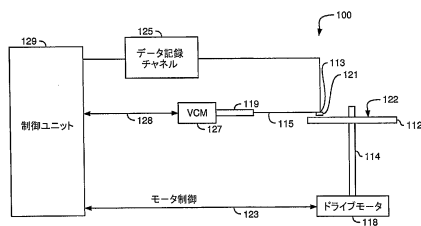
40

50

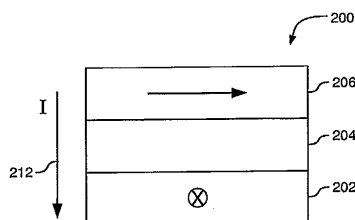
- 200 GMRセンサ
- 202、802、902 強磁性リファレンス層
- 204、804、904 スペース層
- 206、806 強磁性フリー層
- 212 センス電流
- 701 基板
- 808、908 反強磁性層
- 810、910 反強磁性結合層
- 812 固定強磁性層
- 906 第一の強磁性フリー層
- 912 第二の強磁性フリー層

10

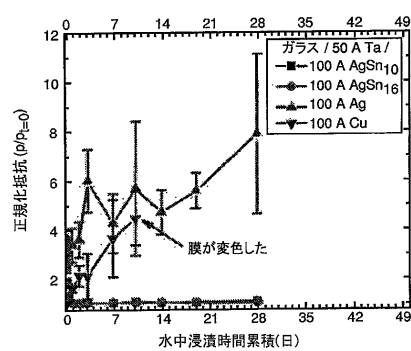
【図1】



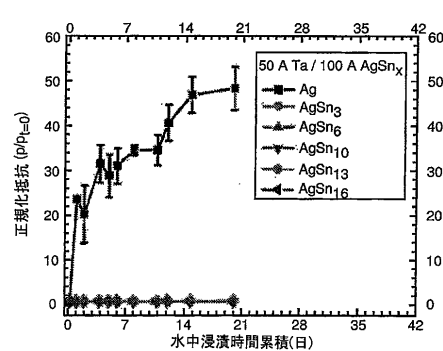
【図2】



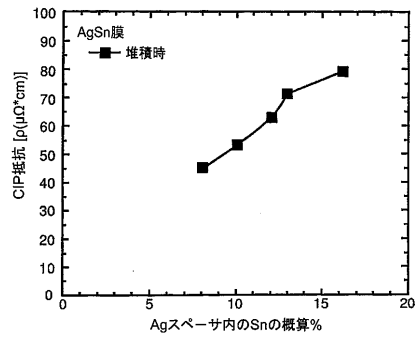
【図3】



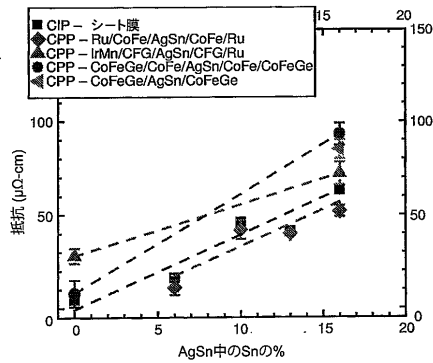
【図4】



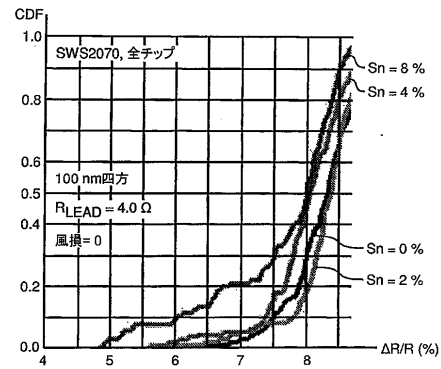
【図 5 A】



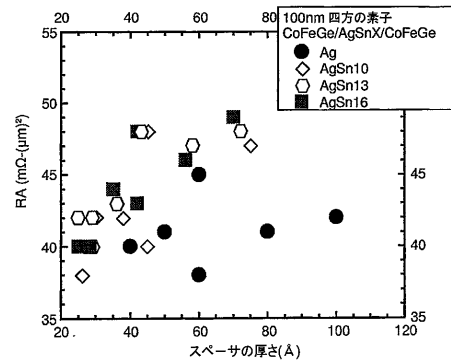
【図 5 B】



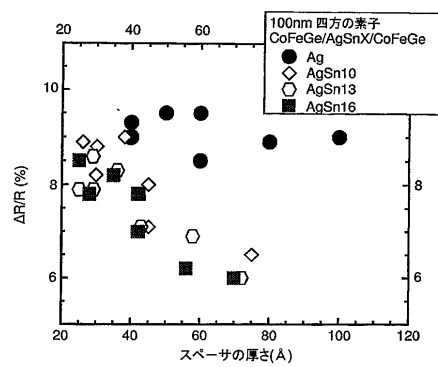
【図 6 A】



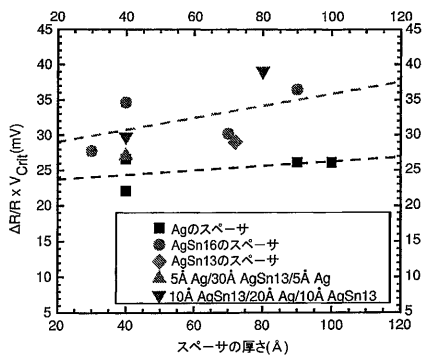
【図 6 B】



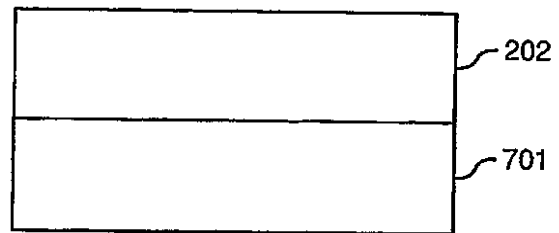
【図 6 C】



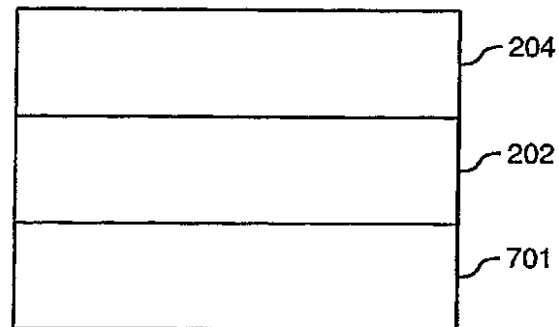
【図 6 D】



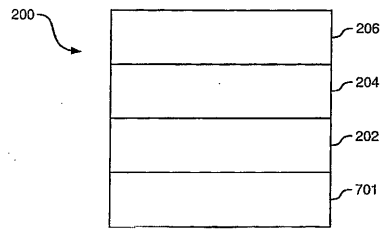
【図 7 A】



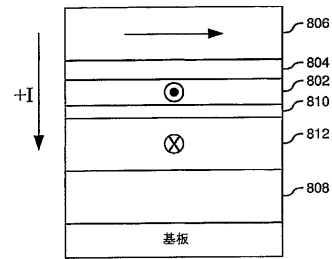
【図 7 B】



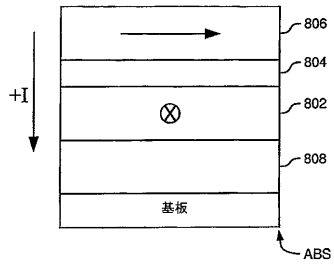
【図 7 C】



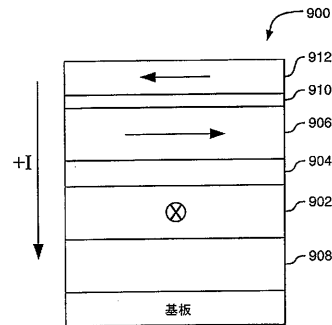
【図 8 C】



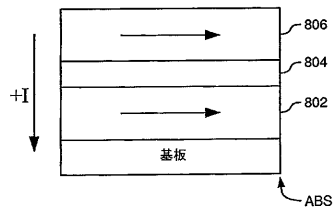
【図 8 A】



【図 9】



【図 8 B】



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 9 5 1 2 0 カリフォルニア州, サンノゼ, ナイトフォール コート 1 0 3 9

(72)発明者 ジョン シー・リード

アメリカ合衆国 9 5 1 2 3 カリフォルニア州, サンノゼ, ラ ストラダ ドライブ ナンバ
ー 2 5 3 5 2

(72)発明者 ニール スミス

アメリカ合衆国 9 5 1 2 3 カリフォルニア州, サンノゼ, パーチ リッジ サークル 3 2 4

審査官 斎藤 眞

(56)参考文献 特開平 0 5 - 2 9 1 0 3 7 (J P , A)

米国特許出願公開第 2 0 0 7 / 0 1 0 9 6 9 3 (U S , A 1)

米国特許出願公開第 2 0 0 3 / 0 1 9 7 9 8 6 (U S , A 1)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G 1 1 B 5 / 3 9

H 0 1 L 4 3 / 0 0 - 4 3 / 1 4