

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-204004
(P2002-204004A)

(43) 公開日 平成14年7月19日 (2002.7.19)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
H 0 1 L 43/08		H 0 1 L 43/08	Z 2 G 0 1 7
G 0 1 R 33/09		G 1 1 B 5/39	5 D 0 3 4
G 1 1 B 5/39		G 1 1 C 11/14	Z 5 E 0 4 9
G 1 1 C 11/14			A 5 F 0 8 3
		11/15	
審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 9 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願2000-401185(P2000-401185)

(22) 出願日 平成12年12月28日 (2000.12.28)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝
東京都港区芝浦一丁目1番1号

(72) 発明者 砂井 正之

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 斉藤 好昭

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

(74) 代理人 100058479

弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

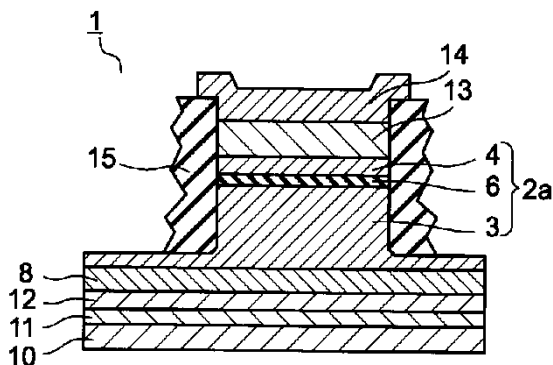
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果素子、磁気メモリ、磁気ヘッド、及び磁気再生装置

(57) 【要約】

【課題】 サイズを縮小した場合においても十分に高い磁気抵抗比を維持し且つ反転磁界の増大を防止し得る磁気抵抗効果素子、磁気メモリ、磁気ヘッド、及び磁気再生装置を提供すること。

【解決手段】 本発明の磁気抵抗効果素子1は、所定の外部磁場において外部磁場の非印加時に備える磁化の方向を保持する第1の強磁性層3と、上記外部磁場において外部磁場の非印加時に備える磁化の方向が変化し得る第2の強磁性層4と、第1の強磁性層3と第2の強磁性層4との間に介在する第1のトンネル障壁層6とを具備し、第1の強磁性層3、第1のトンネル障壁層4、及び第2の強磁性層6は強磁性トンネル接合を形成し、第2の強磁性層6に含まれる強磁性材料の組成は一般式 $(\text{CoFe})_{100-x}\text{Y}_x$ または一般式 $(\text{CoFeNi})_{100-x}\text{Y}_x$ で表され、前記YはB、Si、Zr、P、Mo、Al、及びNbからなる群より選ばれる少なくとも1種の元素であることを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 所定の外部磁場において前記外部磁場の非印加時に備える磁化の方向を保持する第1の強磁性層と、前記外部磁場において前記外部磁場の非印加時に備える磁化の方向が変化し得る第2の強磁性層と、前記第1の強磁性層と前記第2の強磁性層との間に介在する第1のトンネル障壁層とを具備し、前記第1の強磁性層、前記第1のトンネル障壁層、及び前記第2の強磁性層は強磁性トンネル接合を形成し、前記第2の強磁性層に含まれる強磁性材料の組成は一般式 $(\text{CoFe})_{100-x}\text{Y}_x$ または一般式 $(\text{CoFeNi})_{100-x}\text{Y}_x$ で表され、前記YはB、Si、Zr、P、Mo、Al、及びNbからなる群より選ばれる少なくとも1種の元素であることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項2】 前記xは不等式 $3 \leq x \leq 16$ に示す関係を満足することを特徴とする請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項3】 前記第2の強磁性層の膜厚は0.3nm乃至2.5nmの範囲内にあることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項4】 前記外部磁場において前記外部磁場の非印加時に備える磁化の方向を保持する第3の強磁性層と第2のトンネル障壁層とをさらに具備し、前記第3の強磁性層及び前記第2のトンネル障壁層は前記第2の強磁性層が前記第1のトンネル障壁層と前記第2のトンネル障壁層との間に介在し且つ前記第2の強磁性層並びに前記第1及び第2のトンネル障壁層が前記第1の強磁性層と前記第3の強磁性層との間に介在するように配置され、前記第3の強磁性層、前記第2のトンネル障壁層、及び前記第2の強磁性層は強磁性トンネル接合を形成したことを特徴とする請求項1乃至請求項4のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項5】 請求項1乃至請求項4のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果素子と、前記磁気抵抗効果素子を挟んで交差する第1及び第2の配線とを具備することを特徴とする磁気メモリ。

【請求項6】 請求項1乃至請求項4のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果素子と、前記磁気抵抗効果素子を支持する支持体と、前記磁気抵抗効果素子に接続された一対の電極とを具備することを特徴とする磁気ヘッド。

【請求項7】 磁気記録媒体、請求項1乃至請求項4のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果素子と前記磁気抵抗効果素子を支持する支持体と前記磁気抵抗効果素子に接続された一対の電極とを具備し且つ前記磁気記録媒体に記録された情報を読み出す磁気ヘッド、及び、前記磁気ヘッドを前記磁気記録媒体に対して相対移動させる移動機構を具備することを特徴とする磁気再生装置。

【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、磁気メモリ、磁気ヘッド、及び磁気再生装置に関する。

【0002】

【従来の技術】強磁性一重トンネル接合は、薄い絶縁体層を一对の強磁性層で挟持してなる構造を有している。それら強磁性層を電極として用いてバイアス電圧を印加すると、強磁性一重トンネル接合にはトンネル電流が流れる。

【0003】強磁性一重トンネル接合において、トンネル電流が流れる際のトンネル抵抗、すなわちトンネルコンダクタンス、は、一方の強磁性層の磁化方向と他方の強磁性層の磁化方向とがなす角度に依存して変化する。換言すれば、強磁性一重トンネル接合で得られる磁気抵抗効果(magnetoresistance effect)は、強磁性層間で磁化方向がなす角度に応じてトンネルコンダクタンスが変化することに基づいている。例えば、一方の強磁性層の磁化方向が膜面に平行な第1の方向であり且つ他方の強磁性層の磁化方向が第1の方向とは逆向きの第2の方向である場合には、トンネルコンダクタンスは最小となる。また、それら強磁性層の磁化方向がともに第1の方向である場合には、トンネルコンダクタンスは最大となる。

【0004】このような強磁性一重トンネル接合は、様々なデバイスへの応用が期待されている。例えば、一方の強磁性層を磁化方向が固定された磁化固着層とし且つ他方の強磁性層を外部磁場に応じて磁化方向が変化し得るフリー層とした強磁性一重トンネル接合については、固体磁気メモリ(或いは、磁気ランダムアクセスメモリ:MRAM)のメモリセルとして利用することが提案されており、このMRAMは、低記憶容量ながら既に試作されている。

【0005】MRAMは、基本的には不揮発性であり、高速の書き込み及び読み出しが可能であり、しかも、書き込み及び読み出しの繰り返しに対する耐疲労特性が高いなどの優れた特徴を有している。しかしながら、以下に説明するように、MRAMは、大容量化に伴ってメモリセルのサイズを縮小した場合に、フリー層の磁化方向を反転させるのに必要な磁場、所謂、反転磁場、が大きくなり、より大きな書き込み電流が必要となるという問題を有している。

【0006】フリー層の反転磁場は $1/W$ (W :セルの幅)に比例している。また、この反転磁場は、フリー層の膜厚 t 及び飽和磁化 M_s にも比例することが知られている。すなわち、フリー層の反転磁場は $t \cdot M_s / W$ に比例している。なお、フリー層の反転磁場が $1/W$ に比例しているのは、フリー層の磁化方向を反転させてMRAMセルに記憶された情報を書き換えるためには、フリー層内部に生じる反転磁場を上回る外部磁場を印加する必

要があるが、この反磁場はセルの幅方向に生じる磁極によってもたらされるためである。

【0007】上記比例関係から明らかなように、メモリセルのサイズを縮小した場合に反転磁場が増大するのを回避するためには、例えば、フリー層の膜厚 t を減少させればよい。しかしながら、膜厚 t を薄くした場合、本来、連続膜であるべきフリー層は得られず、下地上に多数の微粒子を分散させた形態となる。そのような多数の微粒子が形成する薄膜は、強磁性体ではなく常磁性体となるため、磁気抵抗比が著しく減少することとなる。

【0008】また、メモリセルのサイズを縮小した場合に反転磁場が増大するのを回避するために飽和磁化 M_s を減少させることもできる。しかしながら、飽和磁化 M_s を減少させるためにフリー層を構成する材料に非磁性材料を添加した場合、往々にして、フェルミ面における伝導電子のスピン分極度も低下して磁気抵抗比の低下を招くこととなる。

【0009】すなわち、従来技術では、メモリセルのサイズを縮小した場合に、十分に高い磁気抵抗比を維持しつつフリー層の反転磁界の増大を防止することができなかった。なお、MRAMに関連して説明した問題は、強磁性一重トンネル接合を利用した磁気ヘッドにおいても同様に存在している。また、強磁性一重トンネル接合に関して上述した問題は、強磁性二重トンネル接合においても同様である。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、上記問題点に鑑みてなされたものであり、サイズを縮小した場合においても十分に高い磁気抵抗比を維持し且つ反転磁界の増大を防止し得る磁気抵抗効果素子、磁気メモリ、磁気ヘッド、及び磁気再生装置を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明は、所定の外部磁場において前記外部磁場の非印加時に備える磁化の方向を保持する第1の強磁性層と、前記外部磁場において前記外部磁場の非印加時に備える磁化の方向が変化し得る第2の強磁性層と、前記第1の強磁性層と前記第2の強磁性層との間に介在する第1のトンネル障壁層とを具備し、前記第1の強磁性層、前記第1のトンネル障壁層、及び前記第2の強磁性層は強磁性トンネル接合を形成し、前記第2の強磁性層に含まれる強磁性材料の組成は一般式 $(\text{CoFe})_{100-x}\text{Y}_x$ または一般式 $(\text{CoFeNi})_{100-x}\text{Y}_x$ で表され、前記YはB、Si、Zr、P、Mo、Al、及びNbからなる群より選ばれる少なくとも1種の元素であることを特徴とする磁気抵抗効果素子を提供する。

【0012】また、本発明は、前記磁気抵抗効果素子と、前記磁気抵抗効果素子を挟んで交差する第1及び第2の配線とを具備することを特徴とする磁気メモリを提

供する。

【0013】さらに、本発明は、前記磁気抵抗効果素子と、前記磁気抵抗効果素子を支持する支持体と、前記磁気抵抗効果素子に接続された一対の電極とを具備することを特徴とする磁気ヘッドを提供する。

【0014】加えて、本発明は、磁気記録媒体、前記磁気抵抗効果素子と前記磁気抵抗効果素子を支持する支持体と前記磁気抵抗効果素子に接続された一対の電極とを具備し且つ前記磁気記録媒体に記録された情報を読み出す磁気ヘッド、及び、前記磁気ヘッドを前記磁気記録媒体に対して相対移動させる移動機構を具備することを特徴とする磁気再生装置を提供する。

【0015】本発明において、上記 x は不等式 $3 \leq x \leq 16$ に示す関係を満足することが好ましい。また、本発明において、第2の強磁性層の膜厚は0.3 nm乃至2.5 nmの範囲内にあることが好ましい。

【0016】本発明において、上記強磁性トンネル接合は、強磁性一重トンネル接合であってもよく、或いは、強磁性二重トンネル接合であってもよい。後者の場合、上記磁気抵抗効果素子は、上記外部磁場において外部磁場の非印加時に備える磁化の方向を保持する第3の強磁性層と第2のトンネル障壁層とをさらに有し、それら第3の強磁性層及び第2のトンネル障壁層は、第2の強磁性層が2つのトンネル障壁層間に介在し且つ第2の強磁性層及び2つのトンネル障壁層が第1及び第3の強磁性層間に介在するように配置される。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、本発明について、図面を参照しながらより詳細に説明する。なお、各図において、同様または類似する構成要素には同一の参照符号を付し、重複する説明は省略する。

【0018】図1は、本発明の第1の実施形態に係る磁気抵抗効果素子を概略的に示す断面図である。図1に示す磁気抵抗効果素子1は、強磁性一重トンネル接合2aを有している。この強磁性一重トンネル接合2aは、一対の強磁性層3、4間に絶縁体などからなるトンネル障壁層6を介在させた構造を有している。この強磁性一重トンネル接合2aは、それら強磁性層3、4間をトンネル障壁層6を介してトンネル電流が流れるように構成されている。

【0019】強磁性層3のトンネル障壁層6と接する面の裏面には、反強磁性層8が配置されている。これにより、強磁性層3の磁化方向は、外部磁場を作用させても変化することはない。一方、強磁性層4の磁化方向は、基本的には、外部磁場に応じて自由に回転し得る。すなわち、図1に示す磁気抵抗効果素子1において、強磁性層3は磁化方向が固定された第1の強磁性層、所謂、磁化固着層、であり、強磁性層4は外部磁場に応じて磁化方向が変化し得る第2の強磁性層、所謂、フリー層、である。換言すれば、図1に示す磁気抵抗効果素子1は、

強磁性層4の磁化方向を外部磁場によって反転または回転させて強磁性層3の磁化方向と強磁性層4の磁化方向とがなす角度を変化させるとトンネル抵抗或いはトンネル電流が変化するという磁気抵抗効果を利用するものである。

【0020】上述した強磁性一重トンネル接合2a及び反強磁性層8は、通常、基板10の一方の主面上に、各種薄膜を順次成膜することにより形成される。なお、図1の磁気抵抗効果素子1において、基板10と反強磁性層8との間には、拡散バリア層11及び配向制御層12が基板10側から順次積層されており、強磁性層4上には、保護層13及び配線層14が順次積層されている。また、参照番号15は絶縁層である。

【0021】図2は、本発明の第2の実施形態に係る磁気抵抗効果素子を概略的に示す断面図である。図2に示す磁気抵抗効果素子1は、強磁性一重トンネル接合2aの代わりに強磁性二重トンネル接合2bを有しており且つ強磁性二重トンネル接合2bと保護層13との間にさらに反強磁性層9を有していること以外は図1に示す磁気抵抗効果素子1とほぼ同様の構造を有している。

【0022】図2に示す磁気抵抗効果素子1において、強磁性二重トンネル接合2bは、強磁性層3、4間にトンネル障壁層6を介在させ、強磁性層4、5間にトンネル障壁層7を介在させた構造を有している。この強磁性二重トンネル接合2bは、強磁性層3、4間及び強磁性層4、5間をトンネル障壁層6、7を介してトンネル電流が流れるように構成されている。

【0023】また、図2に示す磁気抵抗効果素子1において、強磁性層3に関して説明したのと同様に、強磁性層5も反強磁性層9の存在によって磁化方向が固定された磁化固着層である。図2に示す磁気抵抗効果素子1は、強磁性層4の磁化方向を外部磁場によって反転または回転させて強磁性層3、5の磁化方向と強磁性層4の磁化方向とがなす角度を変化させるとトンネル抵抗或いはトンネル電流が変化するという磁気抵抗効果を利用するものである。

【0024】さて、上述した第1及び第2の実施形態に係る磁気抵抗効果素子1は、強磁性層4を以下に説明する材料で構成したことを特徴としている。すなわち、図1及び図2に示す磁気抵抗効果素子1において、強磁性層4の組成は、一般式 $(\text{CoFe})_{100-x}\text{Y}_x$ または一般式 $(\text{CoFeNi})_{100-x}\text{Y}_x$ で表される。なお、それら一般式において、YはB、Si、Zr、P、Mo、Al、及びNbからなる群より選ばれる少なくとも1種の元素である。また、xは不等式 $0 < x < 100$ を満足する数値であり、好ましくは、不等式 $3 < x < 16$ を満足する数値である。

【0025】これら一般式に示す材料は、元素Yを含有していないこと以外は同様の組成を有する材料に比べて飽和磁化 M_s が小さく、したがって、磁気抵抗効果素子

1のサイズを縮小した場合（或いは、強磁性層4の幅Wを狭めた場合）においても、反転磁界が過剰に大きくなることのない。また、強磁性層4の膜厚tを減少させた場合においても、元素Yを含有する上記材料によると結晶化が抑制されるため、強磁性層4を連続膜として形成することができる。すなわち、磁気抵抗効果素子1のサイズを縮小した場合であっても、上記一般式に示す材料を用いることにより、式 $t \cdot M_s / W$ に比例する強磁性層4の反転磁界を十分に小さな値に維持することが可能となる。

【0026】図3は、本発明の第1及び第2の実施形態に係る磁気抵抗効果素子1の強磁性層4の組成とその磁気抵抗変化率との関係の一例を示すグラフである。このグラフは、一般式 $(\text{Co}_9\text{Fe})_{100-x}\text{B}_x$ に示す組成を有し且つ厚さが1nmの強磁性層4を用いた磁気抵抗効果素子1について得られたデータに基づいて描かれており、横軸は強磁性層4中のBの濃度に相当する上記一般式中のxを示し、縦軸は磁気抵抗変化率(%)を示している。

【0027】室温下での通常の成膜方法では、Bを含有しない Co_9Fe 膜を連続膜として成膜可能な膜厚の下限はせいぜい1.5nm程度である。 Co_9Fe 膜が不連続膜として形成された場合、その不連続膜は数nm径の微粒子の集合体で構成される。これら微粒子のそれぞれは室温下における強磁性を失い、磁化方向が定まらなくなつて、所謂、超常磁性となる。その結果、実用的な磁界強度の範囲内においては、磁気抵抗変化率は顕著に低下する。

【0028】それに対し、 Co_9Fe にBを添加すると、膜厚0.5nm程度までは連続膜を形成することができ、例えば、膜厚が1nmである場合には、図3に示すように、xを3乃至16とすることにより10%以上と十分に高い磁気抵抗変化率を得ることができ、xを5程度とすることにより20%以上もの磁気抵抗変化率を得ることができる。

【0029】なお、図3に示すデータは、元素YとしてBを添加した場合に得られたものであるが、元素YとしてSi、Zr、P、Mo、Al、及びNbを添加した場合においても同様の傾向が観測される。

【0030】元素Yを添加した場合に極めて薄い連続膜を形成可能となる理由は、元素Yの添加によって、成膜過程で成膜面上に到達した原子の拡散或いは移動が抑制されるため、結晶化が抑制されるからである。逆に言えば、元素Yを添加しない場合、成膜面上に到達した原子の拡散或いは移動は比較的自由に行われるため結晶化が生じ易い。そのため、従来技術では、膜厚を薄くした場合に個々の島の径が数nm程度の島状構造が形成され、各島は強磁性体であるにも関わらずその磁化方向が揺らいでしまう超常磁性を示すこととなり、その結果、磁気抵抗変化率が著しく低くなるのである。

【0031】また、図3では、 x が5を超えて増加すると磁気抵抗変化率が低下している。その理由は必ずしも明らかとされている訳ではないが、元素Yの濃度が高くなると伝導電子の散乱が多くなり、フェルミレベルの伝導電子のスピンの極度が著しく低下するためであると考えられる。

【0032】以上説明したように、上記一般式に示す材料によると、極めて薄い連続膜を形成可能であり、しかも、非磁性材料である元素Yを含有しているにも関わらず十分に高い磁気抵抗変化率を得ることができる。すなわち、強磁性層4を上記一般式に示す材料で構成することにより、磁気抵抗効果素子1のサイズを縮小した場合においても、十分に高い磁気抵抗比を維持し且つ反転磁界の増大を防止することができる。

【0033】上述した磁気抵抗効果素子1において、強磁性層3、5を構成する材料は特に制限されるものではなく、例えば、パーマロイに代表されるNiFe合金、Fe、Co、Ni、及びそれらを含む合金、NiMnSb、PtMnSbのようなホイスラー合金などのハーフメタル、CrO₂、マグネタイト、Mnペロブスカイトなどの酸化物系のハーフメタル、アモルファス合金などの種々の軟磁性材料から、CoPt合金、FePt合金、遷移金属-希土類合金などの硬質磁性材料まで、種々の強磁性材料を使用することができる。

【0034】また、上述した磁気抵抗効果素子1において、反強磁性層8、9は、それぞれ、強磁性層3、5との交換結合によりそれらの磁化方向を固定するために設けられている。これら反強磁性層8、9としては、例えば、FeMn、IrMn、PtMn、NiMnなどの反強磁性合金やNiO、Fe₂O₃などの反強磁性材料からなる薄膜に加え、Co/Ru/Co、Co/Au/Coなどの反強磁性交換結合膜を用いてもよい。

【0035】トンネル障壁層6、7は、それぞれ、強磁性層3、4間及び強磁性層4、5間にトンネル電流を流し得る範囲のポテンシャル高さや厚さを有するものであればよい。トンネル障壁層6、7の材料としては、例えば、Al、Si、Mg、希土類元素、及びこれらの元素を含む合金の酸化物または窒化物などを用いることができる。但し、酸化物絶縁体からなる薄膜は、その作製条件等によってポテンシャル障壁が大きく変化する。磁気抵抗効果素子1の特性は、ポテンシャル障壁の幅及び高さに応じて大きく変化するもので、そのような酸化物絶縁体を用いる場合、素子特性の設定の自由度が高くなる反面、素子サイズに応じて種類や作製条件等を適宜設定する必要がある。

【0036】上記磁気抵抗効果素子1において、基板10としては、例えば、表面にSiO₂酸化膜が形成されたシリコン単結晶基板を用いることができる。基板10上に形成する拡散バリア層11は拡散を防ぐためのものであり、その材料としては、例えば、Ta、TaPt、

Ti、TiN_x、及びCoSi₂等を用いることができる。拡散バリア層上に形成する配向制御層12は、所望の結晶配向性を有する反強磁性層8を形成するための下地層であり、例えば、NiFe、Cu、Ag、及びAuなどの材料で構成され得る。また、保護層13の材料としては、例えば、TaやAu等を使用することができ、配線層14の材料としては、例えば、Al、Cu、Ag、及びAu等を使用することができる。

【0037】次に、第1及び第2の実施形態に係る磁気抵抗効果素子1を用いた磁気メモリについて説明する。

【0038】図4は、本発明の第1及び第2の実施形態に係る磁気抵抗効果素子1を用いた磁気メモリ(MRAM)を概略的に示す断面図である。また、図5は、図4に示すMRAMの等価回路図である。

【0039】図4に示すMRAM21はシリコン基板22を有している。このシリコン基板上にはゲート電極24が形成されており、シリコン基板22の表面領域には、このゲート電極24を挟むようにしてソース・ドレイン領域25、26が形成されている。これにより、MOSトランジスタ23が構成されている。なお、ゲート電極24は、読み出し用のワードライン(WL1)を構成している。また、ワードライン(WL1)24上には、絶縁膜27を介して書き込み用のワードライン(WL2)28が形成されている。

【0040】MOSトランジスタ23のドレイン領域26にはコンタクトメタル29の一端が接続されており、コンタクトメタル29の他端には下地層30が接続されている。この下地層30上のワードライン(WL2)28に対応する位置には強磁性トンネル接合素子(TMR)31が形成されており、さらに、TMR31上にはビットライン32が形成されている。

【0041】MRAM21のセルは、以上のようにして構成されている。なお、図4に示すTMR31及び下地層30は、例えば、図1及び図2に示す磁気抵抗効果素子1から、基板10、保護層13、配線層14、及び絶縁層15などを除いた構造に相当する。

【0042】上述したMOSトランジスタ23とTMR31とで構成されるメモリセルは、図5に示すように、アレイ状に配列されている。トランジスタ23のゲート電極である読み出し用のワードライン(WL1)24と、書き込み用のワードライン(WL2)28とは平行に配置されている。また、TMR31の上部に接続されたビットライン(BL)32は、ワードライン(WL1)24及びワードライン(WL2)28と直交するように配置されている。

【0043】このMRAM21は、第1及び第2の実施形態に係る磁気抵抗効果素子1を用いているので、メモリセルのサイズを縮小した場合においても、十分に高い磁気抵抗比を維持しつつフリー層の反転磁界の増大を防止することができる。すなわち、このMRAM21で

は、メモリセルのサイズを縮小した場合においても、十分に電流で情報の書き込みが可能である。

【0044】なお、MRAM21においては、トランジスタ23の代わりに、ダイオードを使用してもよい。例えば、ワードライン24上にダイオードとTMR31との積層体からなるメモリセルを形成し、TMR31上にワードライン24と直交するようにビットライン32を形成してもMRAM21を得ることができる。

【0045】次に、第1及び第2の実施形態に係る磁気抵抗効果素子1を用いた磁気ヘッドについて説明する。図6は、本発明の第1及び第2の実施形態に係る磁気抵抗効果素子1を用いた磁気ヘッドを有する磁気ヘッドアセンブリを概略的に示す斜視図である。図6に示す磁気ヘッドアセンブリ41は、例えば、駆動コイルを保持するボビン部などを備えたアクチュエータアーム42を有している。このアクチュエータアーム42にはサスペンション43の一端が取り付けられており、サスペンション43の他端にはヘッドスライダ44が取り付けられている。上述した第1及び第2の実施形態に係る磁気抵抗効果素子1は、このヘッドスライダ44に組み込まれた磁気再生ヘッドに利用されている。

【0046】サスペンション43上には信号の書き込み及び読み取り用のリード線45が形成されており、これらリード線45はヘッドスライダ44に組み込まれた磁気再生ヘッドの電極にそれぞれ電氣的に接続されている。なお、図6において、参照番号46は、磁気ヘッドアセンブリ41の電極パッドを示している。

【0047】この磁気ヘッドアセンブリ41は、例えば、以下に説明するような磁気記録再生装置に搭載され得る。図7は、図6に示す磁気ヘッドアセンブリ41を搭載した磁気記録再生装置を概略的に示す斜視図である。図7に示す磁気記録再生装置51において、磁気記録媒体である磁気ディスク52はスピンドル53に回転可能に支持されている。スピンドル53には、制御部（図示せず）からの制御信号に応じて動作するモータ（図示せず）が接続されており、これにより、磁気ディスク52の回転を制御可能としている。

【0048】磁気ディスク52の円周部近傍には固定軸54が配置されており、この固定軸54は、その上下2ヶ所に配置されたボールベアリング（図示せず）を介して図6に示す磁気ヘッドアセンブリ41を揺動可能に支持している。磁気ヘッドアセンブリ41のボビン部にはコイル（図示せず）が巻きつけられており、このコイルとそれを挟んで対向して配置された永久磁石と対向ヨークとは磁気回路を形成するのと同時にボイスコイルモータ55を構成している。このボイスコイルモータ55によって、磁気ヘッドアセンブリ41の先端のヘッドスライダ44を、磁気ディスク52の所望のトラック上へと位置させることを可能としている。なお、この磁気記録再生装置51において、情報の記録及び再生は、磁気デ

ィスク52を回転させて、ヘッドスライダ44を磁気ディスク52から浮上させた状態で行う。

【0049】以上のように、第1及び第2の実施形態に係る磁気抵抗効果素子1は、磁気メモリ、磁気ヘッド、磁気再生装置、及び磁気記録再生装置に利用することができる。また、第1及び第2の実施形態に係る磁気抵抗効果素子1は、磁気センサ及びそれを用いた磁界検出装置などに利用することも可能である。

【0050】

【実施例】以下、本発明の実施例について説明する。

（実施例）図2に示す磁気抵抗効果素子1を以下に説明する方法により作製した。まず、Si/SiO₂基板10をスパッタリング装置内に搬入した。次に、装置内の初期真空度を 2×10^{-7} Torr以下に設定し、その後、装置内にArを導入して圧力を 2×10^{-3} とした。次いで、Si/SiO₂基板10の一方の主面上に、厚さ5 nmのTaからなる拡散バリア層11、厚さ15 nmのNiFeからなる配向制御層12、厚さ17 nmのIr₂₂Mn₇₈からなる反強磁性層8、及び厚さ3 nmのCoFeからなる強磁性層3を連続的に順次成膜した。

【0051】次に、Arガス中でAl₂O₃ターゲットをスパッタリングすることにより、強磁性層3上に厚さ1.5 nmのAl₂O_x層を成膜した。次いで、真空破壊することなく装置内に純酸素を導入するのと同時にグロー放電させることにより酸素プラズマを発生させ、この酸素プラズマを利用してAl₂O_xをAl₂O₃へと酸化することによりトンネル障壁層6を得た。このとき、Al₂O_xからAl₂O₃への変換度合の調節は、グロー放電時のパワー及び酸化時間を制御することにより行った。

【0052】装置から純酸素を排気した後、上述したのと同様の条件下でスパッタリングを行うことにより、トンネル障壁層6上に厚さ1.5 nmの(Co₉Fe)_{0.95}B_{0.5}からなる強磁性層4を成膜した。次いで、Arガス中にて、上述したのと同様の条件下でスパッタリングを行って強磁性層4上にAl₂O_x層を成膜し、このAl₂O_x層を酸素プラズマ処理することによりAl₂O₃からなるトンネル障壁層7を得た。さらに、上述したのと同様の条件下でスパッタリングを行うことにより、トンネル障壁層7上に、厚さ5 nmのCoFeからなる強磁性層5、厚さ17 nmのIr₂₂Mn₇₈からなる反強磁性層9、及び厚さ5 nmのTaからなる保護膜13を順次成膜した。

【0053】その後、通常のフォトリソグラフィ技術とイオンミリング技術とを用いて、これら薄膜を幅Wが2～0.25 μmであり且つ長さLが幅Wの3倍となるようにパターンニングすることにより二重トンネル接合部を規定した。以上のようにして、図2に示す磁気抵抗効果素子1を得た。

【0054】なお、強磁性層3の磁化方向と強磁性層5の磁化方向とは、反強磁性層8、9によって基板面に平

行な同一方向に固定した。このような構成によると、強磁性層3、5の磁化方向は数1000e程度の弱い外部磁場によって変化することはなく、強磁性層4の磁化方向は外部磁場に対応して変化する。また、この磁気抵抗効果素子1において、強磁性二重トンネル接合2bの抵抗は、強磁性層3、5の磁化方向と強磁性層4の磁化方向とが同一である場合に最も低く、強磁性層3、5の磁化方向と強磁性層4の磁化方向とが反対である場合に最も高い値をとる。

【0055】(比較例)強磁性層4として厚さ1.5nmの(Co₉Fe)_{0.95}B_{0.5}膜を形成する代わりに厚さ3nmのCo₉Fe膜を形成したこと以外は上記実施例で説明したのと同様の方法により図2に示す磁気抵抗効果素子1を作製した。

【0056】次に、上記実施例及び比較例で作製した磁気抵抗効果素子1の磁気抵抗比(TMR)を調べた。なお、TMRは、強磁性二重トンネル接合2bの抵抗の最小値をR_{min}とし且つ最大値をR_{max}とした場合に、下記等式：

$$TMR(\%) = [(R_{max} - R_{min}) / R_{min}] / 100$$

で定義される。

【0057】図8は、本発明の実施例及び比較例に係る磁気抵抗効果素子1の磁気抵抗比を示すグラフである。図中、横軸はトンネル接合部の幅Wの逆数1/W(μm⁻¹)を示し、縦軸は強磁性層4の磁化方向を反転させるのに必要な磁場の強さH_c(Oe)を示している。また、図中、曲線61は本発明の実施例に係る磁気抵抗効果素子1について得られたデータを示し、曲線62は比較例に係る磁気抵抗効果素子1について得られたデータを示している。

【0058】図8に示すように、本発明の実施例に係る磁気抵抗効果素子1では、トンネル接合部の幅Wを0.25μm程度に小さくしても、強磁性層4の磁化方向を反転させるのに必要な磁場の強さH_cは400e以下と十分に小さい。しかも、磁場の強さH_cの幅Wに対する変化率は小さいので、さらなる微細化にも対応可能であることが分かる。

【0059】それに対し、比較例に係る磁気抵抗効果素子1では、トンネル接合部の幅Wを0.25μm程度とすると、強磁性層4の磁化方向を反転させるのに必要な磁場の強さH_cは1000eを超え、実用上、強磁性層4の磁化方向を反転させるのが困難となった。

【0060】なお、元素YとしてBの代わりにSi、Zr、P、Mo、Al、及びNbを用いたこと以外は上述したのと同様の方法により実施例及び比較例に係る磁気抵抗効果素子1を作製し、それらの比較を行ったところ、元素YとしてBを用いた場合と同様の傾向が見られ

た。また、強磁性層4の材料として一般式(CoFe)_{100-x}Y_xで表される材料の代わりに一般式(CoFeNi)_{100-x}Y_xで表される材料を用いて同様の比較を行ったところ、上述したのと同様の傾向が見られた。

【0061】

【発明の効果】以上説明したように、本発明では、外部磁場に応じて磁化方向が変化し得る強磁性層に、極めて薄い連続膜を形成可能であり且つ十分に高い磁気抵抗変化率を得ることが可能な所定の材料を使用する。そのため、サイズを縮小した場合においても、十分に高い磁気抵抗比を維持し且つ反転磁界の増大を防止することができる。すなわち、本発明によると、サイズを縮小した場合においても十分に高い磁気抵抗比を維持し且つ反転磁界の増大を防止し得る磁気抵抗効果素子、磁気メモリ、磁気ヘッド、及び磁気再生装置が提供される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る磁気抵抗効果素子を概略的に示す断面図。

【図2】本発明の第2の実施形態に係る磁気抵抗効果素子を概略的に示す断面図。

【図3】本発明の第1及び第2の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の強磁性層の組成とその磁気抵抗変化率との関係の一例を示すグラフ。

【図4】本発明の第1及び第2の実施形態に係る磁気抵抗効果素子を用いた磁気メモリを概略的に示す断面図。

【図5】図4に示す磁気メモリの等価回路図。

【図6】本発明の第1及び第2の実施形態に係る磁気抵抗効果素子を用いた磁気ヘッドを有する磁気ヘッドアセンブリを概略的に示す斜視図。

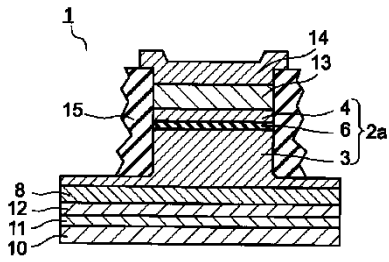
【図7】図6に示す磁気ヘッドアセンブリを搭載した磁気記録再生装置を概略的に示す斜視図。

【図8】本発明の実施例及び比較例に係る磁気抵抗効果素子の磁気抵抗比を示すグラフ。

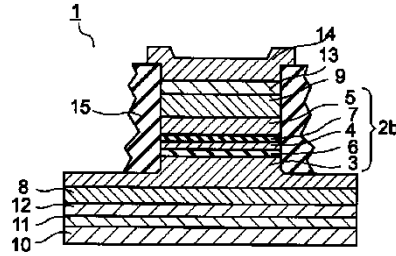
【符号の説明】

- 1…磁気抵抗効果素子
- 2a…強磁性一重トンネル接合
- 2b…強磁性二重トンネル接合
- 3～5…強磁性層
- 6, 7…トンネル障壁層
- 8, 9…反強磁性層
- 10…基板
- 11…拡散バリア層
- 12…配向制御層
- 13…保護層
- 14…配線層
- 15…絶縁層

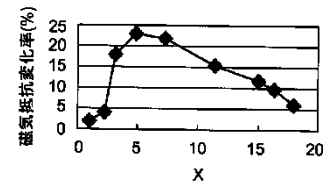
【図1】



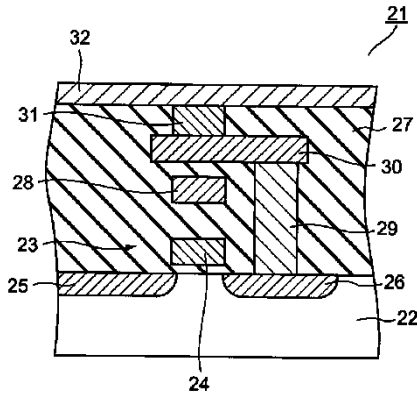
【図2】



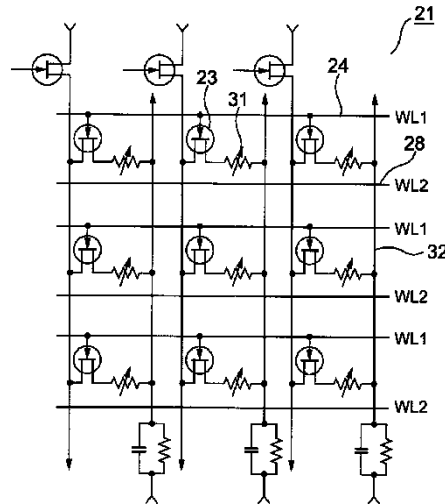
【図3】



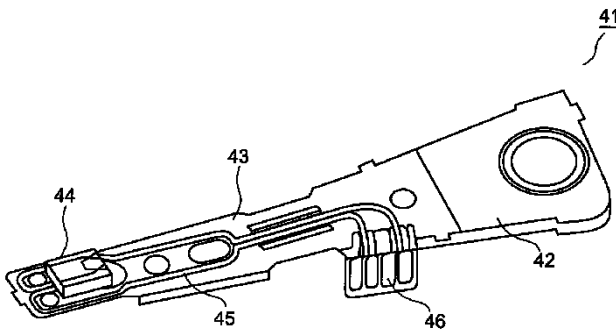
【図4】



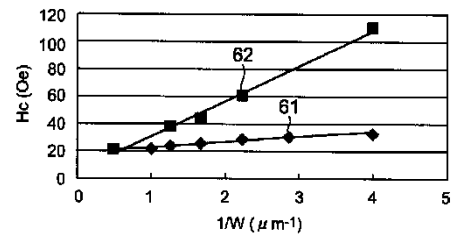
【図5】



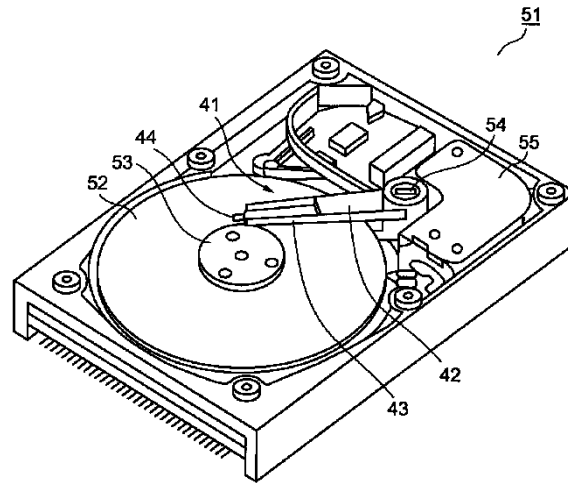
【図6】



【図8】



【図7】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	ターム(参考)
G 1 1 C	11/15	H 0 1 F	10/16
H 0 1 F	10/16	G 0 1 R	33/06
H 0 1 L	27/105	H 0 1 L	27/10

(72)発明者	中島 健太郎	F ターム(参考)	2G017 AA01 AB07 AD55 AD65
	神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株		5D034 BA03 BA08 BA15 CA00
	式会社東芝研究開発センター内		5E049 AA04 AA09 AC05 BA06 BA12
(72)発明者	天野 実		BA16
	神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株		5F083 FZ10 KA01 KA05
	式会社東芝研究開発センター内		