(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第3667244号

(P3667244)

(45)発行日　平成17年7月6日(2005.7.6)　(24)登録日　平成17年4月15日(2005.4.15)

(51)Int.Cl.[7]	F I		
H01L 43/08	H01L	43/08	Z
G01R 33/09	G11B	5/39	
G11B 5/39	G01R	33/06	R
H01L 27/105	H01L	27/10	447

請求項の数 13　(全 15 頁)

(21)出願番号　特願2001-78471(P2001-78471)
(22)出願日　平成13年3月19日(2001.3.19)
(65)公開番号　特開2002-280639(P2002-280639A)
(43)公開日　平成14年9月27日(2002.9.27)
審査請求日　平成14年12月18日(2002.12.18)

(73)特許権者　000001007
キヤノン株式会社
東京都大田区下丸子３丁目３０番２号
(74)代理人　100123788
弁理士　宮崎　昭夫
(74)代理人　100120628
弁理士　岩田　慎一
(74)代理人　100127454
弁理士　緒方　雅昭
(74)代理人　100088328
弁理士　金田　暢之
(74)代理人　100106297
弁理士　伊藤　克博
(74)代理人　100106138
弁理士　石橋　政幸

最終頁に続く

(54)【発明の名称】磁気抵抗素子、それを用いたメモリ素子、磁気ランダムアクセスメモリ及び磁気ランダムアクセスメモリの記録再生方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

膜面垂直方向に磁化した第１磁性層と、絶縁層と、膜面垂直方向に磁化した第２磁性層とが順に積層されてなり、前記第２磁性層の保磁力が前記第１磁性層の保磁力より高く、前記第１磁性層と前記第２磁性層の磁化の相対角度により前記第１磁性層と前記第２磁性層間に前記絶縁層を介して電流を流した際の抵抗値が異なる磁気抵抗素子において、

前記第２磁性層から前記第１磁性層に印加される磁界が、前記第１磁性層の前記磁界が印加されていない場合の磁化飽和磁界よりも小さく、前記第２磁性層の残留磁化Ｍ（ｅｍｕ／ｃｃ），膜厚ｈ（ｎｍ）及び長さＬ（μｍ）と前記第１磁性層の保磁力Ｈｃ（Ｏｅ）とが、

$$M \times h / (75 \times L + 2.6) < Hc$$

の関係を満たすことを特徴とする磁気抵抗素子。

【請求項２】

前記第２磁性層はフェリ磁性膜からなる請求項１に記載の磁気抵抗素子。

【請求項３】

前記第１磁性層及び前記第２磁性層はそれぞれフェリ磁性膜からなる請求項１に記載の磁気抵抗素子。

【請求項４】

前記第２磁性層の磁化が常に同じ方向に固着している請求項１乃至３のいずれか１項に記載の磁気抵抗素子。

【請求項５】
前記第１磁性層の保磁力Ｈｃが２０００Ｏｅ以下である請求項１乃至４のいずれか１項に記載の磁気抵抗素子。
【請求項６】
前記第２磁性層の膜厚が２ｎｍから１００ｎｍの範囲にある請求項１乃至５のいずれか１項に記載の磁気抵抗素子。
【請求項７】
前記第２磁性層が補償組成付近のフェリ磁性膜からなる請求項２に記載の磁気抵抗素子。
【請求項８】
前記第２磁性層が希土類鉄族元素合金フェリ磁性膜からなり、その組成における希土類元素の量が補償組成から±２．６原子％の範囲内である、請求項７に記載の磁気抵抗素子。
【請求項９】
前記第２磁性層の飽和磁化が１００ｅｍｕ／ｃｃ以下である請求項１乃至８のいずれか１項に記載の磁気抵抗素子。
【請求項１０】
前記フェリ磁性層は、Ｇｄ，Ｔｂ，Ｄｙのうち少なくとも１種を含む希土類元素とＦｅ，Ｃｏのうち少なくとも１種を含む鉄族元素とからなる請求項２に記載の磁気抵抗素子。
【請求項１１】
請求項１乃至１０のいずれか１項に記載の磁気抵抗素子と、前記磁気抵抗素子の膜面に垂直方向の磁界を発生する磁場発生手段とを有し、
前記磁場発生手段を用いて前記磁気抵抗素子に情報の記録を行うメモリ素子。
【請求項１２】
請求項１１に記載のメモリ素子を基板上に複数有し、前記磁気抵抗素子の一端を電界効果トランジスタのドレイン領域に接続し、他端をビット線に接続したメモリセルを有することを特徴とする磁気ランダムアクセスメモリ。
【請求項１３】
請求項１２に記載の磁気ランダムアクセスメモリの記録再生方法であって、
前記メモリ素子の前記第１磁性層の磁化の向きにより情報を記録し、
抵抗値の大小を読み取って情報を再生する、磁気ランダムアクセスメモリの記録再生方法。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、不揮発性メモリなどに応用される磁気抵抗素子に関する。
【０００２】
【従来の技術】
近年、高密度性、速応性、不揮発性を備えた固体記憶素子として、磁気抵抗効果を利用して情報を記憶する磁気メモリ素子が注目されており、磁気メモリ素子を用いたメモリ装置として、磁気ランダム・アクセス・メモリ（ＭＲＡＭ；magnetic random access memory）が注目されている。このような磁気メモリ素子によれば、磁性層の磁化の方向によって情報を記録することができ、記録情報を半永久的に保持する不揮発性メモリを構成することができる。このため、磁気メモリ素子は、例えば携帯端末やカードにおける情報記憶素子等の各種の記録素子としての利用が期待されている。特に、スピントンネル磁気抵抗（ＴＭＲ）効果を用いた磁気メモリ素子は、ＴＭＲ効果による高出力特性を利用することができ、高速読み出しが可能であるため、その実用化が期待されている。
【０００３】
磁気メモリ素子において、情報を記憶するための最小の単位部分を磁気メモリセルと呼ぶ。磁気メモリセルは、一般に、メモリ層と基準層とを有する。基準層は、通常、磁化方向

が特定の方向に固定または固着（pinned；ピン止め）された磁性材料の層である。メモリ層は、データを記憶する層で、通常、外部から磁界を加えることにより磁化方向を変えることができる磁性材料の層である。このような磁気メモリセルの論理状態は、メモリ層内の磁化方向が、基準層内の磁化方向と平行か否かによって決まる。磁気抵抗（ＭＲ）効果により、互いの磁化方向が平行な場合には磁気メモリセルの抵抗が小さくなり、互いの方向が平行ではない場合には磁気メモリセルの抵抗が大きくなる。磁気メモリセルの論理状態は、一般に、その抵抗率を測定することによって決定される。

【０００４】

このような磁気メモリセルに対する情報の書き込みは、磁気メモリ内の導体に電流を流して生じる磁界によりメモリ層内の磁化方向を変えることによって行われる。書き込まれた情報の読出しには、抵抗の絶対値を検出する絶対検出方式が採用される。

【０００５】

磁気メモリセルは、高集積化のために微細化が要求されるが、一般に、面内磁化膜においては、微細化に伴って膜面内の反磁界によりスピンが膜端面でカーリングして、磁化情報が安定に保存できないといった問題が生じる。これに対して本発明者は、膜面垂直方向に磁化した磁性膜（垂直磁化膜）を用いたＴＭＲ素子を特開平１１－２１３６５０号公報において開示している。この垂直磁化膜は、微細化してもカーリングの問題が発生することがないため、磁気メモリセルの微細化に適している

【０００６】

【発明が解決しようとする課題】

垂直磁化膜を用いたＴＭＲ素子による磁気メモリセルは、２つの磁性層が薄い非磁性層（トンネル絶縁膜）を挟んで積層されているため、磁気メモリセル内の一方の磁性層から発生する漏洩磁界が他方の磁性層に印加し、外部磁界がない場合においても磁界が印加された状態となる。

【０００７】

図１４は、垂直磁化膜を有するＴＭＲ素子について、磁化の方向の例を示している。低い保磁力を持つ磁性層１００と高い保磁力を持つ磁性層２００とがトンネル絶縁膜３００を挟む形で構成されている。図示した例では、（ａ），（ｂ）のどちらも磁性層２００は図示下向きに磁化されており、磁性層１００は、（ａ）では下向き、（ｂ）では上向きに磁化している。ここで磁性層２００は常に下向きの一方向に磁化されたピン層であり、磁性層１００は下向きか上向きかで磁化情報を有しているメモリ層である。これらの状態は、例えば、（ａ）が“０”を記録した状態、（ｂ）が“１”を記録した状態と考えてよい。

【０００８】

図１５の（ａ）には、この素子のＭＲカーブ（抵抗と印加磁界の関係を示した図）を、角型比が１であって磁性膜からの漏洩磁界がないと仮定して示した。磁性層（ピン層）２００は磁化方向を変えないため、磁性層（メモリ層）１００の磁化方向に対応した抵抗変化が現れている。オフセット磁界がなければ、保磁力Ｈｃと同じ大きさの磁界Ｈ１もしくは Ｈ２を印加するだけで、メモリ層に記録を行うことができる。Ｈ１は磁性層１００を上向きから下向きに反転する磁界であり、Ｈ２は磁性層１００を下向きから上向きに反転する磁界である。

【０００９】

しかし実際には、磁性層（ピン層）２００からは下向きの磁界が磁性層（メモリ層）１００に印加されているため、ＭＲカーブは（ｂ）に示すようにオフセット磁界Ｈｏ分だけシフトする。この場合には、記録磁界はＨ２＝Ｈｃ＋Ｈｏ，Ｈ１＝Ｈｃ－Ｈｏとなり、図１４の（ｂ）から（ａ）の状態に書き換えに必要な磁界はＨｏ分だけ小さくなり、逆に（ａ）から（ｂ）に書き換える場合は必要磁界がＨｏ分だけ大きくなる。これは、書き込み線に流す電流値が大きくなることを意味し、このため、消費電流が大きくなるか、あるいは書き込み線の配線の許容電流密度を超える場合には書き込みができなくなるといった問題が生じてしまう。また、この場合、メモリセルは、そこに記録された情報に応じて反転磁界の大きさが異なるため、マトリックス状に配置されたメモリセルを直交する２本の書込

み線で記録する場合に、例えば、反転磁界Ｈ２を要するメモリセルの情報を書き換えようとすると、そのとなりに存在する反転磁界Ｈ１を要するメモリセルの情報も書き換えてしまう、といった、誤記録動作が発生する可能性が高くなる。さらに、図１５の（ｃ）に示したように、オフセット磁界Ｈｏが保磁力Ｈｃよりも大きくなると、磁界が０の状態で一つの抵抗値しか取りえなくなるため、絶対検出が困難となる。

【００１０】

また、角型比が１でない場合については、図１６に示すように、無磁界の状態での抵抗値Ｒ２が反平行磁化状態の最大抵抗値Ｒｍａｘよりも小さくなる。この場合には、読み出しの抵抗値の差Ｒ２－Ｒ１が小さくなって、検出感度が悪化してしまう。この現象は、オフセット磁界Ｈｏが保磁力Ｈｃよりも小さくても発生する。ここでＲ１は外部磁場が０での最小抵抗値であり、Ｒ２は外部磁場が０での最大抵抗値である。図１６の（ａ）はオフセット磁界Ｈｏが存在する場合、（ｂ）はオフセット磁界Ｈｏが存在しない場合を示している。

【００１１】

加えて角型比が１でない場合においては図１６（ｂ）に示すように保磁力と同じ大きさの磁界を印加しても、磁化が完全に飽和しない。この際の、磁化を完全に飽和させるすなわちＭ＝Ｍｓとする磁界のことを磁化飽和磁界Ｈｓとよぶ。このような場合においてはオフセット磁界が磁化飽和磁界Ｈｓよりも大きいときには抵抗値を一つしかとりえなくなるためやはり絶対検出するのが困難となる。

【００１２】

そこで本発明の目的は、メモリ素子などに用いられる磁気抵抗素子において、このようなピン層からの静磁界によりメモリ層の反転磁界がオフセットする課題を解決するとともに、このような磁気抵抗素子を用いたメモリ素子及びその記録再生方法を提供することにある。

【００１３】

【課題を解決するための手段】

本発明の目的は、

膜面垂直方向に磁化した第１磁性層と、絶縁層と、膜面垂直方向に磁化した第２磁性層とが順に積層されてなり、前記第２磁性層の保磁力が前記第１磁性層の保磁力より高く、前記第１磁性層と前記第２磁性層の磁化の相対角度により前記第１磁性層と前記第２磁性層間に前記絶縁層を介して電流を流した際の抵抗値が異なる磁気抵抗素子において、前記第２磁性層から前記第１磁性層に印加される磁界が、前記第１磁性層の前記磁界が印加されていない場合の磁化飽和磁界よりも小さく、前記第２磁性層の残留磁化Ｍ（ｅｍｕ／ｃｃ），膜厚ｈ（ｎｍ）及び長さＬ（μｍ）と前記第１磁性層の保磁力Ｈｃ（Ｏｅ）とが、

$$M \times h / (75 \times L + 2.6) < Hc$$

の関係を満たすことを特徴とする磁気抵抗素子、及び、

前記第２磁性層はフェリ磁性膜からなる前記記載の磁気抵抗素子、及び、

前記第１磁性層及び前記第２磁性層はそれぞれフェリ磁性膜からなる前記記載の磁気抵抗素子、及び、

前記第２磁性層の磁化が常に同じ方向に固着している前記記載の磁気抵抗素子、及び、

前記第１磁性層の保磁力Ｈｃが２０００Ｏｅ（１．５９×１０^{4}Ａ／ｍ）以下である前記記載の磁気抵抗素子、及び、

前記第２磁性層の膜厚が２ｎｍから１００ｎｍの範囲にある前記記載の磁気抵抗素子、及び、

前記第２磁性層が補償組成付近のフェリ磁性膜からなる前記記載の磁気抵抗素子、及び、

前記第２磁性層が希土類鉄族元素合金フェリ磁性膜からなり、その組成における希土類元素の量が補償組成から±２．６原子％の範囲内である、前記記載の磁気抵抗素子、及び、

前記第２磁性層の飽和磁化が１００ｅｍｕ／ｃｃ以下である前記記載の磁気抵抗素子、

及び、
前記フェリ磁性層は、Ｇｄ，Ｔｂ，Ｄｙのうち少なくとも１種を含む希土類元素とＦｅ，Ｃｏのうち少なくとも１種を含む鉄族元素とからなる前記記載の磁気抵抗素子、及び、
前記記載の磁気抵抗素子と、前記磁気抵抗素子の膜面に垂直方向の磁界を発生する磁場発生手段とを有し、前記磁場発生手段を用いて前記磁気抵抗素子に情報の記録を行うメモリ素子、及び、
前記記載のメモリ素子を基板上に複数有し、前記磁気抵抗素子の一端を電界効果トランジスタのドレイン領域に接続し、他端をビット線に接続したメモリセルを有することを特徴とする磁気ランダムアクセスメモリ、及び、
前記記載の磁気ランダムアクセスメモリの記録再生方法であって、前記メモリ素子の前記第１磁性層の磁化の向きにより情報を記録し、抵抗値の大小を読み取って情報を再生する、磁気ランダムアクセスメモリの記録再生方法、
によって達成される。
なお、上記の「Ｍ×ｈ／（７５×Ｌ＋２．６）＜Ｈｃの関係を満たす」との条件は、第１の磁性層の保磁力ＨｃをＡ／ｍ単位で表わすとすれば、「Ｍ×ｈ／（７５×Ｌ＋２．６）＜４π×Ｈｃ／１０００（ただしπは円周率）の関係を満たす」という条件と置き換えることができる。

【００１４】
【発明の実施の形態】
次に、本発明の好ましい実施の形態について、図面を参照して説明する。

【００１５】
（第１の実施形態）
図１は、本発明の第１の実施形態の磁気抵抗素子の膜構成を示す断面図である。図中、矢印は各磁性層における磁化の方向を示している。また、（ａ），（ｂ）は、この磁気抵抗素子がとり得る２通りの磁化状態を示している。

【００１６】
図１に示すように、膜面垂直方向に磁化した第１磁性層１と非磁性の絶縁層Ｎ２と膜面垂直方向に磁化した第２磁性層２とがこの順に積層されている。絶縁層Ｎ２の厚さは、この絶縁層Ｎ２をはさんで両方の磁性層１，２の間にトンネル電流が流れる程度のものである。第２磁性層２の保磁力は第１磁性層１の保磁力より高くなっており、また、第１磁性層１と第２磁性層２の磁化の相対角度により、第１磁性層１と第２磁性層２の間に絶縁層Ｎ２を介して電流を流した際の抵抗値が異なるようになっている。具体的には、第１磁性層１／絶縁層Ｎ２／第２磁性層２は強磁性トンネル接合を形成しており、各磁性層１，２の伝導電子はそのスピンを保ったまま絶縁層Ｎ２をトンネルする。そのため両方の磁性層１，２の磁化状態によってトンネル確率が変化し、それがトンネル抵抗の変化として検出される。両方の磁性層１，２の磁化が平行の場合には抵抗値が小さく、反平行の場合には抵抗値が大きくなる。

【００１７】
第２磁性層２は、記録再生時に、常に同じ方向、例えば下向きに磁化されている。一方、第１磁性層１の磁化の方向は、記録情報に応じて磁化状態が上向きもしくは下向きになる。

【００１８】
情報の記録は、第１磁性層の磁化の向きによって決定される。第１磁性層の磁化は図示（ａ）では下向きであり、（ｂ）では上向きであるが、これらをそれぞれ二値記憶の“０”と“１”に対応させることができる。これらの状態は、この素子の近傍に絶縁膜を介して配置した書き込み線に電流を流して垂直方向の磁界を発生させ、その電流の向きによって制御することができる。電流の方向により、印加磁界の向きが変化する。このようにして記録された情報を読み出すときには、素子の膜面垂直方向に電流を流す。第１磁性層の磁化と第２磁性層の磁化、特に鉄族元素の磁化がこれら磁性層間で平行であるか反平行であるかによって素子抵抗値が異なるので、素子の抵抗値を測定し基準抵抗との差などを読み

込むことによって、記録された情報を読み出すことができる。

【００１９】

第２磁性層は、例えばフェリ磁性体からなる垂直磁化膜である。第２磁性層２として希土類鉄族合金からなる磁性層を用いた場合について、図２を用いて説明する。図２において実線の矢印は鉄族元素の副格子磁化の方向を示し、点線の矢印は希土類元素の副格子磁化の方向を示している。この第２磁性層２は、補償組成付近の組成に設定されている。すなわち、希土類元素の副格子磁化の大きさと鉄族元素の副格子磁化の大きさはほぼ等しい。図３は、希土類鉄族合金における希土類元素の含有量と飽和磁化Ｍｓとの関係を示すグラフである。図３に示すように、希土類鉄族合金膜の磁化は、希土類元素の量によって変化する。第２磁性層２の全体の磁化はこれらの副格子磁化の差になるため、第２磁性層２の磁化の大きさは十分小さくすることができる。磁性層から発生する磁界の大きさは磁化の大きさに比例するため、補償組成に近い希土類鉄族合金膜を用いることにより、第２磁性層２から第１磁性層１に印加される漏洩磁界を十分小さくすることができる。また磁気抵抗効果における抵抗変化は、主に鉄族元素の副格子磁化の大きさに依存すると考えられているが、上記の本実施形態の磁気抵抗素子においては、鉄族元素副格子磁化の大きさを小さくせずに全体の磁化の大きさを小さくできるため、磁気抵抗効果を劣化させずに、オフセット磁界を十分小さくすることが可能となる。

【００２０】

第２磁性層２に用いられる磁性層の例としては、比較的保磁力の高いＴｂＦｅ，ＴｂＦｅＣｏ，ＤｙＦｅ，ＤｙＦｅＣｏなどがあげられる。また、第１磁性層１に用いられる磁性層の例としては、比較的保磁力の低いＧｄＦｅ，ＧｄＦｅＣｏなどがあげられる。

【００２１】

本実施形態における第２磁性層２は、例えば補償組成付近で飽和磁化Ｍｓが小さい膜を用いる。この場合、反転磁界は大きくなるので、この磁気抵抗素子は、第２磁性層をピン層として用いることができ、絶対検出用の構成として適している。また、垂直磁化膜は、容易に保磁力を数ｋＯｅ以上にすることができるので、面内磁化膜のように反強磁性膜を用いてピン止めする必要がない。このため、本発明の磁気抵抗素子では、構造を複雑化することなく、簡単な構造で所望の特性を得ることが可能である。

【００２２】

（第２の実施形態）

表１は、膜厚ｈ（ｎｍ），長さＬ（μｍ），幅Ｌ（μｍ）で、外部磁場が０の時の磁化（残留磁化）Ｍ（ｅｍｕ／ｃｃ）を持つ垂直磁化膜の中心部で上面からの距離ｚ（ｎｍ）の位置における膜面垂直方向の漏洩磁界Ｈをエルステッド（Ｏｅ）単位およびアンペア毎メートル（Ａ／ｍ）単位で示したものである。漏洩磁界は、長さ（＝幅）Ｌが小さくなると、また膜厚が厚くなると、またＭが大きくなると、大きくなる。表１に示したｚ＝１．５ｎｍは、ＭＲＡＭに用いられるスピントンネル膜の膜厚の代表値であって、標準的に用いられる膜厚範囲であり、ｚ＝０．５ｎｍ～３ｎｍの範囲で、表１の数値がほぼ当てはまると考えられる。

【００２３】

【表１】

			Ms=10emu/cc		Ms=20emu/cc		Ms=40emu/cc	
h(nm)	L(μm)	z(nm)	H(Oe)	H(A/m)	H(Oe)	H(A/m)	H(Oe)	H(A/m)
20	0.1	1.5	22	1751	44	3502	87	6923
20	0.2	1.5	12	955	24	1910	48	3820
20	0.3	1.5	8	637	16	1273	33	2626
20	0.4	1.5	6	477	12	955	25	1990
20	0.5	1.5	5	398	10	796	20	1592
30	0.1	1.5	29	2308	57	4536	114	9072
30	0.2	1.5	17	1353	35	2785	70	5571
30	0.3	1.5	12	955	24	1910	49	3899
30	0.4	1.5	9	716	18	1432	37	2944
30	0.5	1.5	7	557	15	1194	30	2387
40	0.1	1.5	33	2626	65	5173	131	10425
40	0.2	1.5	22	1751	44	3502	89	7083
40	0.3	1.5	16	1273	32	2547	63	5014
40	0.4	1.5	12	955	24	1910	49	3899
40	0.5	1.5	10	796	20	1592	39	3104

【００２４】

漏洩磁界ＨをＯｅ単位で表すとして、これらをＭ／Ｈ×ｈをＬに対して示すと図４に示すようになり、これらの関係が（式１）

Ｍ／Ｈ×ｈ＝７５×Ｌ＋２．６　　（式１）

で表される。したがって、漏洩磁界Ｈ（Ｏｅ）は（式２）

Ｈ＝Ｍ×ｈ／（７５×Ｌ＋２．６）　　（式２）

で表される。漏洩磁界をＡ／ｍ単位で表せば、πを円周率として、

Ｈ＝２５０×Ｍ×ｈ／［π×（７５×Ｌ＋２．６）］　　（式２’）

で表される。

【００２５】

第１の実施形態の磁気抵抗素子を考えると、オフセット磁界は、第１磁性層１の磁化飽和磁界よりも小さい必要がある。したがって、磁化飽和磁界は保持力以上の大きさを有しているので（式２）より、第２磁性層２の残留磁化Ｍ（ｅｍｕ／ｃｃ），膜厚ｈ（ｎｍ），素子長さＬ（μｍ），第１磁性層の保磁力Ｈｃ（Ｏｅ）は、

Ｍ×ｈ／（７５×Ｌ＋２．６）＜Ｈｃ　　（式３）

の関係を満たすこととなる。保磁力ＨｃをＡ／ｍ単位で表すとすれば、

２５０×Ｍ×ｈ／［π×（７５×Ｌ＋２．６）］＜Ｈｃ　　（式３’）

の関係を満たすことになる。

【００２６】

（第３の実施形態）

第１の実施形態に示した素子に代表される本発明の磁気抵抗素子は、第１磁性層を情報を磁化方向で記録するメモリ層とし、第２磁性層を磁化方向が固着されたピン層としてもよ

いし、第１磁性層を検出層、第２磁性層をメモリ層としてもよい。後者の場合には、第２磁性層をその磁化方向で情報を記録し、読出し時に第１磁性層のみを磁化反転させて、その際の抵抗変化を検出することによって情報を再生する。

【００２７】

ただし、本発明の磁気抵抗素子は、後述するようにフェリ磁性体を用いてその磁化を小さくした場合には、保磁力（磁化反転磁界）が大きくなる。保磁力が大きいと、磁化反転に要するエネルギー、例えば書き込み線に流す電流値が大きくなる。このため、本発明の磁気抵抗素子は、好ましくは、第２磁性層を磁化方向が固着された磁性層として、第１磁性層に磁化情報を記録するのがよい。この場合には、読出し時に磁化反転の必要がないため、消費電力を小さくすることができる。

【００２８】

（第４の実施形態）

第１の実施形態に示した磁気抵抗素子の構成において、第１磁性層１の保磁力は、それが大きいほど書き込み時に必要な電流が大きくなるため、少なくとも２００Ｏｅ（１．５９×10^4Ａ／ｍ）以下であることが民生用途として現実的である。さらに消費電力などの観点から、１００Ｏｅ（７．９６×10^3Ａ／ｍ）以下で、５０Ｏｅ（３．９８×10^3Ａ／ｍ）以下が良く、さらに２０Ｏｅ（１．５９×10^3Ａ／ｍ）以下が良く、好ましくは１０Ｏｅ（７９６Ａ／ｍ）以下に抑えるのがよい。また、外部の磁界の影響により磁化が揺らいでしまうのを防ぐためには５Ｏｅ以上が好ましい。

【００２９】

したがって、第２磁性層２の残留磁化Ｍ（ｅｍｕ／ｃｃ），膜厚ｈ（ｎｍ），素子長さＬ（μｍ）は、（式４）の関係

Ｍ×ｈ／（７５×Ｌ＋２．６）＜２００　　（式４）

を満たすことがよい。

【００３０】

（第５の実施形態）

第１の実施形態に示す構成の磁気抵抗素子において、第２磁性層２の残留磁化Ｍ（ｅｍｕ／ｃｃ）は、第２磁性層の膜厚ｈ（ｎｍ），素子長さＬ（μｍ），第１磁性層１の保磁力Ｈｃ（Ｏｅ）を用いて、（式５）で表される。

【００３１】

Ｍ＝Ｈｃ／ｈ×（７５×Ｌ＋２．６）　　（式５）

第１磁性層１の保磁力ＨｃをＡ／ｍ単位で表すとすると、式５は、

Ｍ＝π×Ｈｃ／［２５０×ｈ×（７５×Ｌ＋２．６）］　　（式５’）

となる。

【００３２】

一方、第２磁性層の膜厚ｈは、２ｎｍから１００ｎｍ程度に設定されるのが好ましい。これは、２ｎｍより薄い場合は，磁化を安定的に保つことが容易ではなくなるからである。また，１００ｎｍより厚い場合には，許される磁化の値が小さくなり、組成マージンが取れなくなるからである。また、エッチングがしにくいなどのプロセス上の問題も発生しやすくなる。このため、好ましくは、８０ｎｍ以下、さらに好ましくは５０ｎｍ以下が良い。

【００３３】

表２に、素子長さＬが０．１μｍ，０．２μｍ，０．３μｍ，０．４μｍ，０．５μｍ、第２磁性層２の膜厚ｈが２ｎｍ，５ｎｍ，１０ｎｍ，２０ｎｍ，３０ｎｍ，４０ｎｍ，５０ｎｍ、第１磁性層の保磁力Ｈｃが５Ｏｅ（３９８Ａ／ｍ），１００ｅ（７９６Ａ／ｍ），２０Ｏｅ（１．５９×10^3Ａ／ｍ），５０Ｏｅ（３．９８×10^3Ａ／ｍ）のそれぞれの値から選ばれる場合における第２磁性層２の残留磁化Ｍ（ｅｍｕ／ｃｃ）の値を示した。

【００３４】

【表２】

L	h	H	M	H	M	H	M	H	M
μm	nm	Oe	emu/cc	Oe	emu/cc	Oe	emu/cc	Oe	emu/cc
0.1	2	5	25	10	51	20	101	50	253
0.2	2	5	44	10	88	20	176	50	440
0.3	2	5	63	10	126	20	251	50	628
0.4	2	5	82	10	163	20	326	50	815
0.5	2	5	100	10	201	20	401	50	1003
0.1	5	5	10	10	20	20	40	50	101
0.2	5	5	18	10	35	20	70	50	176
0.3	5	5	25	10	50	20	100	50	251
0.4	5	5	33	10	65	20	130	50	326
0.5	5	5	40	10	80	20	160	50	401
0.1	10	5	5	10	10	20	20	50	51
0.2	10	5	9	10	18	20	35	50	88
0.3	10	5	13	10	25	20	50	50	126
0.4	10	5	16	10	33	20	65	50	163
0.5	10	5	20	10	40	20	80	50	201
0.1	20	5	3	10	5	20	10	50	25
0.2	20	5	4	10	9	20	18	50	44
0.3	20	5	6	10	13	20	25	50	63
0.4	20	5	8	10	16	20	33	50	82
0.5	20	5	10	10	20	20	40	50	100
0.1	30	5	2	10	3	20	7	50	17
0.2	30	5	3	10	6	20	12	50	29
0.3	30	5	4	10	8	20	17	50	42
0.4	30	5	5	10	11	20	22	50	54
0.5	30	5	7	10	13	20	27	50	67
0.1	40	5	1	10	3	20	5	50	13
0.2	40	5	2	10	4	20	9	50	22
0.3	40	5	3	10	6	20	13	50	31
0.4	40	5	4	10	8	20	16	50	41
0.5	40	5	5	10	10	20	20	50	50
0.1	50	5	1	10	2	20	4	50	10
0.2	50	5	2	10	4	20	7	50	18
0.3	50	5	3	10	5	20	10	50	25
0.4	50	5	3	10	7	20	13	50	33
0.5	50	5	4	10	8	20	16	50	40

【００３５】

オフセット磁界は、前述したとおり、５００Ｏｅ（３．９８×１０^{3}Ａ／ｍ）以下がよく、好ましくは２００Ｏｅ（１．５９×１０^{3}Ａ／ｍ）以下、さらに好ましくは１００Ｏｅ（７９６Ａ／ｍ）以下、最も好ましくは５Ｏｅ（３９８Ａ／ｍ）以下に抑えることがよい。素子サイズとしては、０．３μｍ以下が実用的な不揮発メモリの集積度の観点から望ましい。第２磁性層の膜厚は、２ｎｍ以下が良いことを前述したが、表２から分かるように、好ましくは５ｎｍ以上が良い。したがって第２磁性層２の磁化の大きさとしては、１００ｅｍｕ／ｃｃ以下が望ましく、より好ましくは５０ｅｍｕ／ｃｃ以下、さらに好ましくは２０ｅｍｕ／ｃｃ以下、最も好ましくは１０ｅｍｕ／ｃｃ以下がよい。

【００３６】
また、前述で、素子の長さＬは、磁気抵抗素子の幅と長さのうち，長い方のことを言う。
【００３７】
（第６の実施形態）
図５に、$Gd_x(Fe_{1-y}Co_y)_{1-x}$の(y＝0.1～0.5)希土類鉄族合金膜について、組成と飽和磁化との関係を示した。$Tb_x(Fe_{1-y}Co_y)_{1-x}$，$Dy_x(Fe_{1-y}Co_y)_{1-x}$についても同様の関係を示す。第４の実施形態で述べたとおり、第１の実施形態の構成の磁気抵抗素子においては、第２磁性層２の磁化の大きさとしては，１００ｅｍｕ／ｃｃ以下が望ましく、より好ましくは５０ｅｍｕ／ｃｃ以下、さらに好ましくは２０ｅｍｕ／ｃｃ以下、最も好ましくは１０ｅｍｕ／ｃｃ以下がよい。図５を参照すると、そのような磁化の大きさを有する組成の膜として、補償組成付近の±２．６原子％以内であることが望ましく、±２．０原子％以内であることがより好ましく、さらに好ましくは±１．４原子％以内が良く、最も望ましくは±０．２５原子％以内がよい。その場合、希土類副格子磁化優勢な組成と鉄族元素副格子磁化優勢な組成とのどちらを用いてもよい。
【００３８】
（第７の実施形態）
上述した各実施形態による本発明の磁気抵抗素子に、垂直方向の磁界を発生させる磁場発生手段を設けることで、この磁場発生手段を用いて磁気抵抗素子に情報の記録を行い、メモリ素子とすることができる。例えば図６に示すように、書き込み線９００を図示していない絶縁膜を介して磁気抵抗素子の近傍に配置する。絶縁膜を設けるのは、磁気抵抗素子と書き込み線との電気的な接触を防ぐためである。書き込み線９００は、紙面の垂直方向に延びており、（ａ）では、紙面に向かって電流を流すことにより、第１磁性層１の磁化を上向きとする。また（ｂ）では、紙面から手前に向かって電流を流すことにより、第１磁性層１の磁化を下向きにすることができる。このようにして、書き込み線に流す電流の方向に基づいて磁気抵抗素子に二値の情報の記録を行うことができる。
【００３９】
（第８の実施形態）
上述した磁気抵抗素子を用いてメモリを構成する場合には、このような磁気抵抗素子からなるメモリセルをマトリックス状に配置する。この際に生じるメモリセル間のクロストークを解消するためには、スイッチング素子を設けるとよい。
【００４０】
図７は、スイッチング素子を有するメモリセルアレイを示したものであり、ここでは、メモリセルアレイ中にある多数あるメモリセルのうちの１つのみを取り出して示したものである。実際には、図示横方向と奥手方向に同様のメモリセルが並んでおり、上面から見てマトリックス状に配置されている。
【００４１】
図７において、シリコン半導体ｐ型基板３３上に作成したn^+領域であるソース領域３２及びドレイン領域３１と、ゲート電極８０とからなるＭＯＳＦＥＴ（金属酸化物半導体電界効果トランジスタ）のうち、ドレイン領域３１に磁気抵抗素子の一端が接続されている。磁気抵抗素子の他端はセンス線４０に接続される。
【００４２】
記録情報の書き込み・消去は、紙面垂直方向に延びた書き込み線９００と紙面横方向に延びたセンス線４０とに電流を流すことで、それらの交点に位置した磁気抵抗素子（メモリセル）に記録を行うことができる。ソース領域３２に接続された電極７０は接地されており、センス線４０の左端に電流源、右端にセンス回路を設けることで、磁気抵抗素子の抵抗値に応じた電位をセンス回路に与えることができ、情報の検出が可能となる。
【００４３】
（第９の実施形態）
図８及び図９には、０．２μｍ角の垂直磁化膜から発生する膜面垂直方向の漏洩磁界の分布を示した。具体的には、この漏洩磁界分布は、図１０に示すように、第１の実施形態の

構成の磁気抵抗素子において、第２磁性層２の磁化Ｍから発生する漏洩磁界が第１磁性層１に印加される様子を示したものである。漏洩磁界としては第２磁性層２から１ｎｍ上面での値を用いた。

【００４４】

図８において、太実線１は磁化が５０ｅｍｕ／ｃｃ、太実線２は磁化が１０ｅｍｕ／ｃｃ、細実線３は磁化が５ｅｍｕ／ｃｃ、点線４は磁化が２ｅｍｕ／ｃｃの場合を示している。膜厚は、全て５０ｎｍである。

【００４５】

図９において、実線１は膜厚が５０ｎｍ、点線２は膜厚が３０ｎｍであり、どちらも磁化は１０ｅｍｕ／ｃｃである場合を示している。これらの磁化、膜厚は、例えばＴｂＦｅ，ＧｄＦｅ，ＤｙＦｅ，ＤｙＦｅＣｏ，ＴｂＦｅＣｏ，ＧｄＦｅＣｏなどの希土類鉄族合金からなる垂直磁化膜においては容易に達成されうるものである。

【００４６】

図１１は、従来の構成の面内磁化膜の場合に、ピン層１２の磁化ＲＭからメモリ層１１に漏洩磁界が印加される様子を示したものである。ピン層１２とメモリ層１１の間には、絶縁層１３が形成されている。図１２は、０．２μｍ角のこのような面内磁化膜から発生する１ｎｍ上面での膜面横方向の漏洩磁界の分布を示したものである。端面において、１４００Ｏｅ（１１１×10^3Ａ／ｍ）程度の磁界が印加されることがわかる。また図１３は、０．２μｍ×０．６μｍの面内磁化膜から発生する１ｎｍ上面での膜面横方向の漏洩磁界分布を示したものであり、この場合でも１０００Ｏｅ（７９．６×10^3Ａ／ｍ）程度の磁界が印加されている。図１２及び図１３に示した面内磁化膜は、膜厚３ｎｍで磁化の大きさが１０００ｅｍｕ／ｃｃである。面内磁化膜においては、磁化方向のスピンの動きが磁化反転を決定するため、この端面での漏洩磁界は、磁化反転に重要な寄与をし、具体的にはオフセット磁界の増加を示すことが想定される。

【００４７】

以上の結果より、垂直磁化膜と面内磁化膜とを比較すると、垂直磁化膜では２０００Ｏｅ（１５．９×10^3Ａ／ｍ）以下、面内磁化膜では、１０００Ｏｅ（７９．６×10^3Ａ／ｍ）以上の漏洩磁界が印加されることが分かる。しかも、本発明におけるような垂直磁化膜においては、膜厚と磁化を設定することにより、漏洩磁界の大きさを５００Ｏｅ（３．９８×10^3Ａ／ｍ）、さらには、１００Ｏｅ（７９６Ａ／ｍ）以下に抑えることが可能である。このことから、本発明の磁気抵抗素子においては、オフセット磁界を低減できることがわかる。

【００４８】

一般に従来のＴＭＲ素子に用いられていた面内磁化膜は、ＮｉＦｅ，Ｃｏ，Ｆｅなどからなり、飽和磁化Ｍｓの大きさは８００～１５００ｅｍｕ／ｃｃ程度と大きい。しかもこのような膜では、一般に、磁化を小さくすると抵抗変化率も減少するので、抵抗変化率を保ちながらオフセット磁界を低減することは難しい。しかし希土類鉄族合金のようなフェリ磁性体では、抵抗変化の割合を落させずに容易に飽和磁化Ｍｓの大きさを数１０ｅｍｕ／ｃｃ程度に小さくすることが可能である。磁性体からの漏洩磁界の大きさは、飽和磁化Ｍｓに比例しているため、フェリ磁性体の場合には、磁化の大きさを小さくすることが可能で、その際、オフセット磁界を抑制することが可能である。

【００４９】

【発明の効果】

以上説明したように本発明の磁気抵抗素子によれば、反転磁界のオフセットが減少し、書き込み消去時の電流が低減するという効果がある。また、メモリセルを微細化しても、記録情報の検出が不可能になることがなく、高集積化が実現できるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の第１の実施形態の磁気抵抗素子を示す断面図である。

【図２】第２磁性層として希土類鉄族合金膜を用いた磁気抵抗素子を示す断面図である。

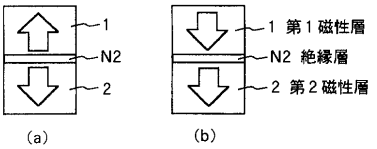
【図３】希土類鉄族合金における組成と飽和磁化の大きさの関係を示すグラフである。

【図４】垂直磁化膜からの漏洩磁界Ｈと素子サイズとの関係を示すグラフである。
【図５】希土類鉄族合金における組成と飽和磁化の関係を示すグラフである。
【図６】メモリセルの基本構成を示す図である。
【図７】半導体素子とハイブリッド化したメモリセルの基本構成を示す図である。
【図８】本発明に基づく磁気抵抗素子における漏洩磁界の分布を示すグラフである。
【図９】本発明に基づく磁気抵抗素子における漏洩磁界の分布を示すグラフである。
【図１０】本発明に基づく磁気抵抗素子における漏洩磁界の印加状態を模式的に示した図である。
【図１１】従来の面内磁化膜を用いた磁気抵抗素子における漏洩磁界の印加状態を模式的に示した図である。
【図１２】従来の面内磁化膜を用いた磁気抵抗素子における漏洩磁界の分布を示すグラフである。
【図１３】従来の面内磁化膜を用いた磁気抵抗素子における漏洩磁界の分布を示すグラフである。
【図１４】従来の磁気抵抗素子の構成の一例を示す断面図である。
【図１５】角型比が１の場合のＭＲカーブにおけるオフセット磁界を示すグラフである。
【図１６】角型比が１でない場合のＭＲカーブにおけるオフセット磁界を示すグラフである。

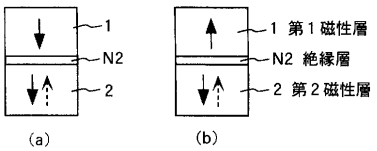
【符号の説明】

１　　第１磁性層
２　　第２磁性層
Ｎ２　　絶縁層

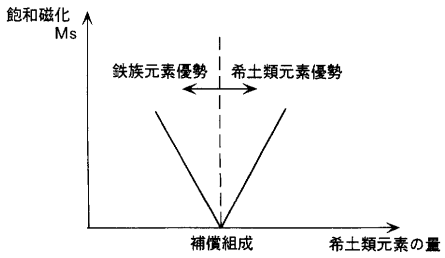
【図１】



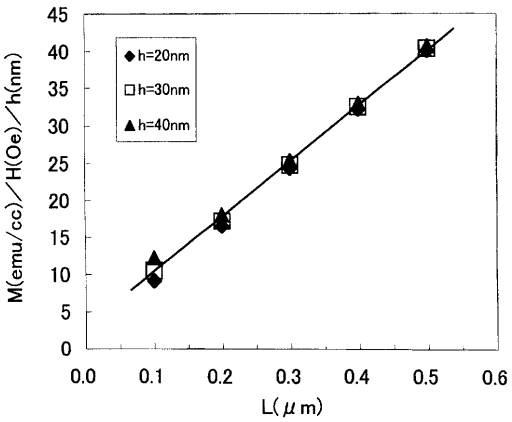
【図２】



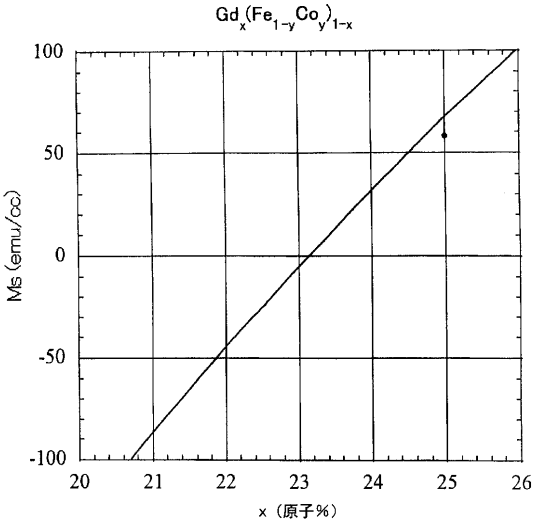
【図３】



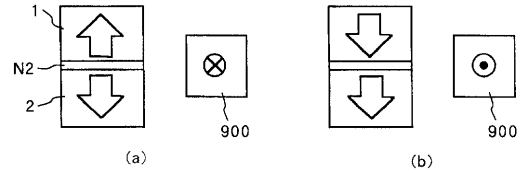
【図４】



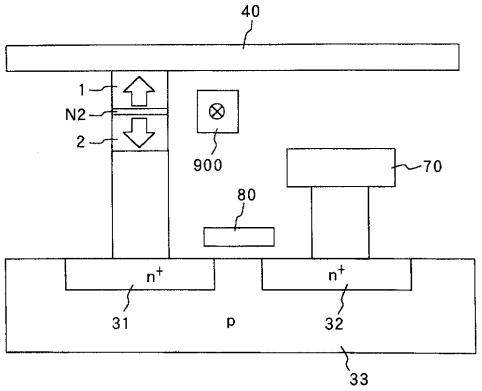
【図５】



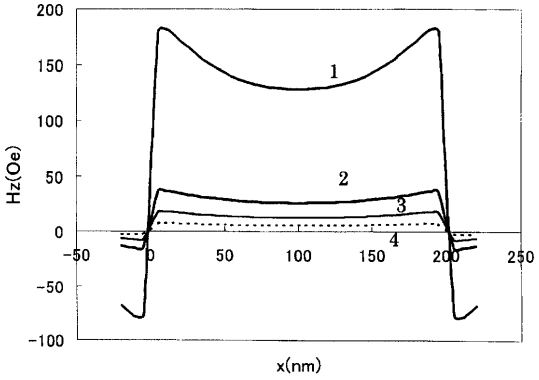
【図６】



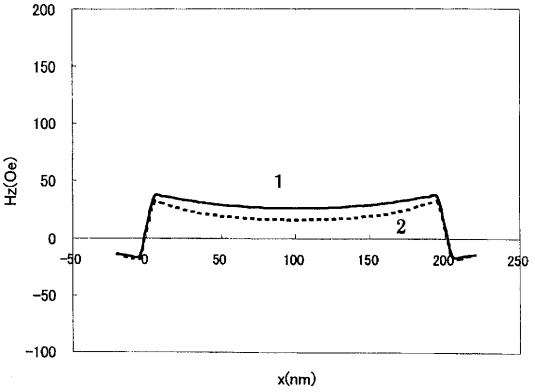
【図７】



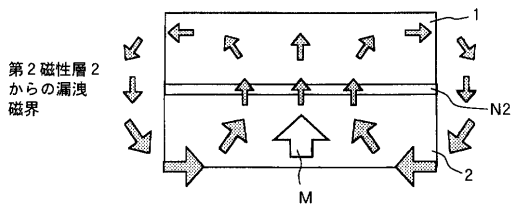
【図８】



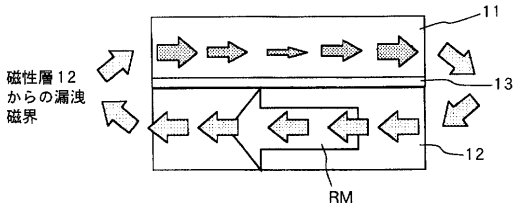
【図９】



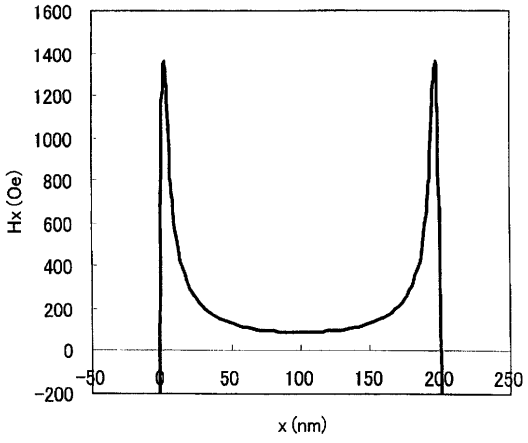
【図１０】



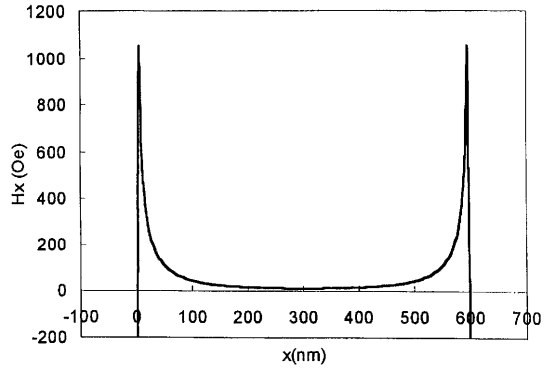
【図１１】



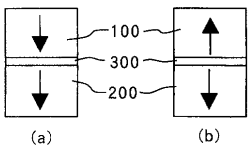
【図１２】



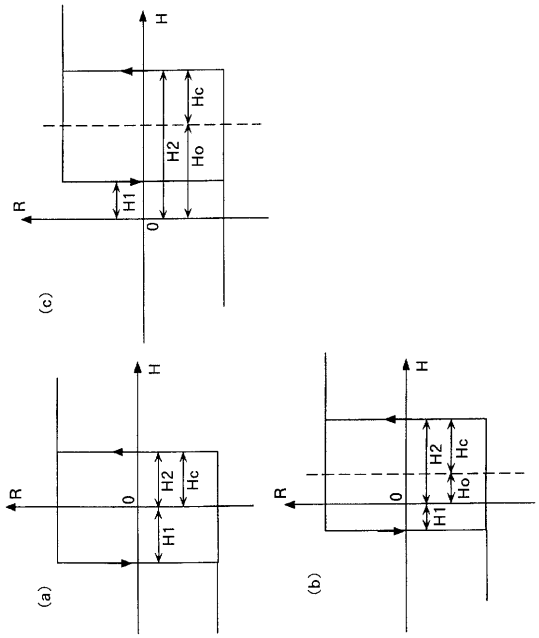
【図１３】



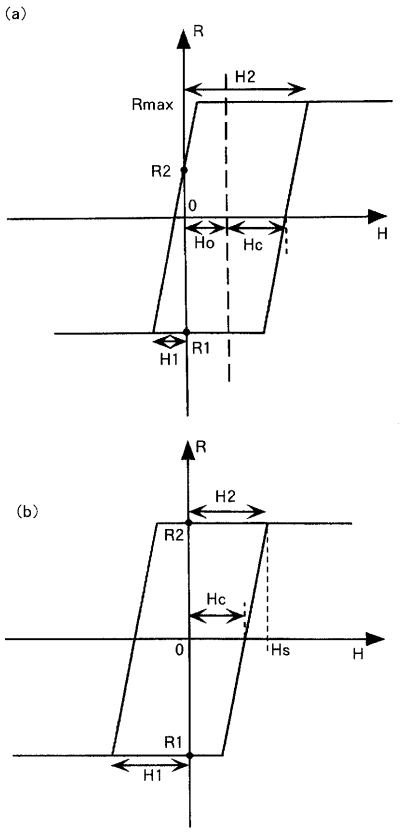
【図１４】



【図１５】



【図１６】



フロントページの続き

(72)発明者　西村　直樹
東京都大田区下丸子３丁目３０番２号　キヤノン株式会社内

審査官　粟野　正明

(56)参考文献　特開平１１－２１３６５０（ＪＰ，Ａ）
特開平１１－１３５８５６（ＪＰ，Ａ）
特開２０００－０７６８４３（ＪＰ，Ａ）
特開２００１－１９６６５７（ＪＰ，Ａ）
特開２０００－３０７１７０（ＪＰ，Ａ）
特開２０００－３３１４７３（ＪＰ，Ａ）
特開２０００－３０６３７４（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.^{7}，ＤＢ名)
H01L 43/08
G01R 33/09
G11B 5/39
H01L 27/105