(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3647306号
(P3647306)
(45)発行日　平成17年5月11日(2005.5.11)　(24)登録日　平成17年2月18日(2005.2.18)

(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 4　(全 9 頁)

(21)出願番号　特願平11-110050
(22)出願日　平成11年4月16日(1999.4.16)
(65)公開番号　特開2000-307170(P2000-307170A)
(43)公開日　平成12年11月2日(2000.11.2)
審査請求日　平成13年11月28日(2001.11.28)

前置審査

(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　100106138
弁理士　石橋　政幸
(74)代理人　100120628
弁理士　岩田　慎一
(74)代理人　100127454
弁理士　緒方　雅昭
(72)発明者　池田　貴司
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

最終頁に続く

(54)【発明の名称】磁気抵抗素子及び磁気抵抗メモリ素子

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

少なくとも第１の磁性層／非磁性層／第２の磁性層の膜構成からなる磁気抵抗素子であって、該二つの磁性層の保磁力が異なっており、共に膜面法線方向に磁気異方性を有し、前記第１の磁性層の保磁力が、前記第１の磁性層よりも小さな保磁力を有する第２の磁性層の磁化飽和磁界よりも大きく、前記第２の磁性層がＧｄと、Ｆｅ、Ｃｏ及びＮｉから選択された１種以上の遷移金属を主成分し、且つ該第２の磁性層のＧｄの組成が１７ａｔ％～２８ａｔ％であることを特徴とする磁気抵抗素子。

【請求項２】

前記Ｇｄと遷移金属を主成分とする第２の磁性層の組成が補償組成付近であることを特徴とする請求項１に記載の磁気抵抗素子。

【請求項３】

前記第１の磁性層の組成が補償組成付近であることを特徴とする請求項１に記載の磁気抵抗素子。

【請求項４】

請求項１～３の何れか１項に記載の磁気抵抗素子の、前記第１の磁性層をメモリ層とし、前記第２の磁性層を検出層としたメモリ素子。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】

本発明は、小さな印加磁界で動作する微細化可能な磁気抵抗素子及び磁気抵抗メモリに関する。

【０００２】

【従来の技術】

強磁性層を用いた磁気抵抗素子は、現在ハードディスクドライブの再生ヘッドに用いられ、高い記録密度をもつハードディスクに必要不可欠なものとなっている。またセンサーとしても用いられている他、さらに固体メモリ素子への応用が検討されている。再生ヘッドに用いられている異方性磁気抵抗素子は、基本的には面内磁気異方性を持つ強磁性膜であり、この強磁性膜の面内方向に電流Ｉを流す回路および強磁性膜の抵抗変化を検出する回路を備えるものである。図１は異方性磁気抵抗効果の原理を示す図である。電流は磁化容易方向に流し、磁界Ｈを面内困難方向に印加するように強磁性膜を配する。磁化方向が電流方向と平行であるときの抵抗率を

【０００３】

【外１】

$$\rho_{//}$$

磁化方向が電流方向と垂直であるときの抵抗率を

【０００４】

【外２】

$$\rho_{\perp}$$

とすると、磁化Ｍと電流のなす角がθであるときの抵抗率ρは

【０００５】

【外３】

$$\rho = \rho_{//}\cos^2\theta + \rho_{\perp}\sin^2\theta$$

の式で表すことができる。この式からわかるように、強磁性膜の抵抗はそれに流れる電流と磁化のなす角度に依存している。再生ヘッドでは、ハードディスクからの浮遊磁界によって強磁性膜の磁化方向が変化し、その変化量が抵抗の変化量として検出される。

【０００６】

図２は磁気抵抗素子をメモリとして用いたときの、磁化方向と抵抗率変化について示したものである。磁化が右向きの場合を「０」、左向きの場合を「１」とし、検出時に強磁性膜の保磁力よりも大きな右向きの磁界を印加する。この場合、「０」が記録された強磁性膜の磁化方向は変化しないが、「１」が記録された強磁性膜の磁化方向は反転する。磁化が反転するとき磁化は電流方向に対して傾くので、上記のように抵抗率は変化することになる。従って、「０」を検出すると抵抗率は変化せず、「１」を検出すると抵抗率の変化が見られ、この違いを検出することによって「０」と「１」の情報の識別が可能である。

【０００７】

従来の磁気抵抗効果型メモリ素子の記録や検出に用いられる磁界は、図３に示すように強磁性膜の上下に導線を配し、これに電流を流すことにより強磁性膜面内に印加される。導線に流す電流の大きさは、片側の導線から発生する磁界のみでは磁化が反転せず、両導線に同時に電流を流した時、上下の導線の交差する位置にある強磁性層の磁化が反転するように決められる。記録印加磁界の方向は、強磁性層の磁気異方性と垂直な方向に配された導線に流れる電流の方向によって決まる。

【０００８】

磁気抵抗素子として使用されている強磁性膜は、主にNi、Fe、Coやそれらの合金からなり、面内磁気異方性を持ったフェロ磁性体である。一般に面内磁気異方性の誘起は、強磁性

膜の成膜中に磁気異方性を持たせる方向に磁界を印加することで達成される。

【０００９】

【発明が解決しようとする課題】

モバイル情報機器等において音声や画像といった膨大な容量をもつデータを取り扱う場合、データはディスクやテープに記録されている。しかしそのような情報記録装置は駆動装置を必要とするため、容量の大きな電源が必要である。また、モーターや大容量電源を搭載するため軽量化が困難であった。あるいは記録媒体が固体メモリであるモバイル情報機器では、十分に記録密度を高めた固体メモリは未だ実現しておらず、容量の小さなデータしか扱うことができなかった。

【００１０】

高い記録密度を持つ磁気抵抗メモリを実現するためには、強磁性膜の微細化が求められるが、強磁性膜の磁化容易軸方向のサイズを小さくしていくと、反磁界が増加するため磁化が不安定となり、メモリ素子の記録保存性が悪くなるという問題である。

【００１１】

そこで上記のような反磁界の問題を解決するために、強磁性膜の磁気異方性を膜面に対して垂直方向に向けることが考えられる。膜面積と反磁界の大きさの関係は、垂直磁化膜と面内磁化膜では異なり、面内磁化膜では膜面積を小さくすると反磁界は大きくなるが、垂直磁化膜の膜面積が小さくなると反磁界は逆に減少するので、磁化の方向は膜面法線方向に安定する。つまり、磁化の安定性という点で、膜面積の小さな強磁性膜は垂直磁気異方性を持つものが好ましい。

【００１２】

モバイル情報端末用の固体メモリとして磁気抵抗素子を用いる場合には、導線に電流を流すことで磁界を発生させるが、電源容量の制限から少ない電流で動作することが好ましく、磁気抵抗素子の磁性層は小さな保磁力を有することが求められる。

【００１３】

これまで、垂直磁化膜を用いた磁気抵抗素子においては、その磁性層としてＣｏＣｒ合金膜、Ｃｏ－γ$Ｆｅ_2Ｏ_3$やＢａフェライトが提案されているが、いずれも保磁力が大きく、小さな磁界で動作させることが困難である。また、膜面内方向に容易に磁化されるので、膜面内方向へ磁界が印加された場合、磁気抵抗効果率の低下を招くという問題があった。さらに、膜面法線方向に磁気異方性を誘起するために、単結晶基板の使用や基板の加熱が必要であった。

【００１４】

従って、本発明は小さな磁界で動作可能な、微細磁気抵抗素子を実現することを目的をするものである。

【００１５】

【課題を解決するための手段】

本発明者らは、上記課題を解決するため鋭意検討を行い本発明に到達した。即ち、本発明は、以下の発明及び実施態様を包含する。

【００１６】

（１）少なくとも第１の磁性層／非磁性層／第２の磁性層の膜構成からなる磁気抵抗素子であって、該二つの磁性層の保磁力が異なっており、共に膜面法線方向に磁気異方性を有し、前記第１の磁性層の保磁力が、前記第１の磁性層よりも小さな保磁力を有する第２の磁性層の磁化飽和磁界よりも大きく、前記第２の磁性層がＧｄと、Ｆｅ、Ｃｏ及びＮｉから選択された１種以上の遷移金属を主成分し、且つ該第２の磁性層のＧｄの組成が１７ａｔ％～２８ａｔ％であることを特徴とする磁気抵抗素子。

【００１７】

（２）前記Ｇｄと遷移金属を主成分とする第２の磁性層の組成が補償組成付近であることを特徴とする（１）に記載の磁気抵抗素子。

【００１８】

（３）前記第１の磁性層の組成が補償組成付近であることを特徴とする（１）に記載

の磁気抵抗素子。
【００１９】
（４）　（１）～（３）の何れかに記載の磁気抵抗素子の、前記第１の磁性層をメモリ層とし、前記第２の磁性層を検出層としたメモリ素子。
【００２０】
【発明の実施の形態】
図４に本発明の磁気抵抗素子の膜構成の一例を示す。１０は基板、２１は第１の強磁性層、２２は非磁性層、２３は第２の強磁性層、２４は保護層である。
【００２１】
基板には通常素子基板として用いられるものであれば制限なく使用できるが、例えば、Ｓｉ基板やガラス基板等が用いられる。また、第１の強磁性層および第２の強磁性層は、垂直磁気異方性を示す磁性体が用いられる。
【００２２】
該磁化反転する磁性層は３００（Ｏｅ）以下の小さな保磁力を有していることが好ましく、かつ磁化曲線の角形比は１であることが好ましく、以上の特性を満たす材料として、ガドリウムと遷移金属の合金が挙げられる。耐食性を向上させるためにはＣｒやＴｉ等の元素を添加しても良いが、磁気特性や磁気抵抗特性を劣化させないことが好ましく、添加量は１０ａｔ％以内とすることが好ましく、５ａｔ％以内にすることがさらに好ましい。
【００２３】
また、磁化曲線の角形比を１にするためには、ガドリウムと遷移金属の組成比を補償組成付近にすることが好ましい。
【００２４】
例えば、Ｇｄ－Ｆｅの組成物では室温における補償組成はガドリウムが約２３ａｔ％であり、磁気特性と組成との関係は成膜条件によって若干ずれるが、ガドリウムの組成が１５～３１ａｔ％、即ち、補償組成±８％では角形比が約１となった。
【００２５】
印加される外部磁界範囲内において、両磁性層の磁化は、平行と反平行の状態を実現できるものである。希土類金属と遷移金属を主成分とする磁性層は、高価な単結晶基板等を用いたり加熱処理を施したりすることなく、膜面法線方向に磁気異方性を容易に誘起できる。さらに、遷移金属には、大きな磁気抵抗変化率を生じる元素が用いられることが好ましく、Ｆｅ、Ｃｏ及びＮｉが挙げられる。
また、膜厚を薄くすることによって保磁力を小さくすることが可能であり、１００ｎｍ以下にすると磁化曲線の角形比が１で保磁力が２００（Ｏｅ）程度の磁気特性が得られ好ましい。また、２０ｎｍ以下では、保磁力が数十Ｏｅ程度となるのでさらに好ましい。但し、所望の組成の磁気膜を安定して作成するために、１ｎｍ以上の膜厚を有することが好ましい。
【００２６】
図５は本発明の磁気抵抗素子の膜面法線方向に磁界を印加した場合に測定される磁気抵抗曲線を示したものである。
【００２７】
非磁性層の上下に配された磁性層の相互作用を考慮しないという条件下においては、スピン散乱型磁気抵抗素子では、非磁性層の膜厚が薄くなると磁気抵抗変化率は大きくなる。ところが実際には、非磁性層の膜厚が薄くなると、その上下に配された各強磁性層の静磁的結合力が強くなり、磁化の反平行状態が得られなくなってしまうため磁気抵抗効果率は逆に減少してしまう。したがって、非磁性層の膜厚が薄い場合においても、磁化の反平行状態を実現するために、磁性層の磁化を小さくすることが好ましい。例えば、磁性層が補償点を持つ場合には、その補償点を動作環境温度程度とすることで磁化を小さくできる。ガドリニウムと遷移金属を用いた合金薄膜においては、ガドリニウムの組成を１７ａｔ％～２８ａｔ％にすることが好ましく、１８ａｔ％～２６ａｔ％にするとさらに好ましい。
【００２８】

非磁性層には、そのフェルミ準位が、磁性層のフェルミ準位と同等のものが用いられ、そのような材料としてＣｕが挙げられる。非磁性層の成膜は、一般にスパッタリングや蒸着によって行われるが、膜厚が薄い場合には、島状になってしまう。材料や成膜条件によって若干異なるが、薄膜を形成するには１ｎｍ程度の膜厚が必要である。また高い磁気抵抗変化率を得るためには非磁性層中で、電子スピンが反転しないことが必要である。電子スピンの反転は電子の衝突と関係があり、電子の平均自由行程よりも非磁性層の膜厚が厚くなると電子のスピンは非磁性層中で反転してしまうことになる。例えば銅の平均自由行程は約３０ｎｍであるので、銅を非磁性層として用いた場合、その厚さは約３０ｎｍ以下であることが好ましい。

【００２９】

次に本発明の磁気抵抗素子の動作について説明する。

【００３０】

今、第１の磁性層が比較的保磁力の大きな磁性膜であり、第２の磁性層がガドリニウムと遷移金属を主成分とする比較的保磁力の小さな磁性膜であるとする。

【００３１】

第１の磁性層の保磁力は記録磁界より小さく、かつ検出磁界よりも大きく、第２の磁性層の保磁力は、検出磁界と第１の磁性層から発生する浮遊磁界の差よりも小さく、かつ第１の磁性層から発生する浮遊磁界よりも小さくなければならない。但し、記録磁界は検出磁界よりも大きく、検出磁界は第１の磁性層から発生する浮遊磁界よりも大きい。

【００３２】

第１の磁性層の磁化は図６に示すように、下向きに向いていて印加磁界範囲内では磁化方向は反転しないとする。膜面法線方向上向きに第２の磁性層の保磁力よりも大きく、第１の磁性層の保磁力よりも小さな磁界Ｈａを印加した場合、第２の磁性層の磁化は上向きになり、両磁性層の磁化は反平行になる。膜法線方向下向きにＨａを印加した場合、第２の磁性層の磁化は下向きになり、両磁性層の磁化は平行になる。両磁性層の磁化が平行になったとき、磁気抵抗素子の電気抵抗は比較的小さく、反平行になったとき電気抵抗は比較的大きくなる。この性質を利用することにより、磁気抵抗素子に印加された磁界方向を検出することができる。

【００３３】

印加磁界範囲内で第２の磁性層に加えて第１の磁性層も磁化反転可能である場合の磁化方向の変化を図７に示す。ただし、第１の磁性層の保磁力が第２の磁性層の保磁力よりも大きいとする。両磁性層の保磁力よりも大きな磁界Ｈｗを印加することによって、両磁性層の磁化はどちらもＨｗの方向に揃う。このとき両磁性層の磁化は平行である。次に、上述したように、Ｈａを印加すると第２の磁性層の磁化のみＨａの印加方向に揃う。したがって、各層の磁化方向の組み合わせは４通りとなる。このような磁気特性を持つ磁気抵抗素子は、非破壊検出可能なメモリとして用いることができる。すなわち、第１の磁性層をメモリ層として、その磁化の向きが下向きのときを「０」、上向きのときを「１」とする。記録磁化方向の検出は、第２の磁性層の磁化方向を変化させることにより、磁気抵抗効果を用いて行われる。例えば、Ｈａをまず上向きに印加し、次いで下向きに印加する。「０」が記録されている場合、Ｈａの反転によって磁気抵抗は減少し、「１」が記録されている場合では、逆に増加する。この磁気抵抗の変化の違いにより、記録情報を非破壊で検出可能である。図８はＨａと磁気抵抗素子の電位Ｖの関係を示したタイムチャートである。

【００３４】

【実施例】

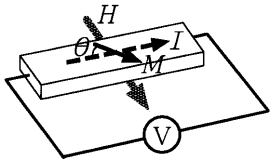
実施例１

チャンバー内を1×10^{-5}Pa以下まで真空にした後、ガラス基板上にマグネトロンDCスパッタリングによって第１の磁性層として遷移金属副格子磁化優勢である$Gd_{22}Co_{78}$アモルファス合金薄膜を２０ｎｍ、非磁性層としてＣｕを６ｎｍ、第２の磁性層として遷移金属副格子磁化優勢である$Dy_{17}Fe_{83}$アモルファス合金薄膜を２０ｎｍ、保護層としてＰｔを３ｎｍ順次成膜した。成膜中のＡｒガス圧は、０．３Ｐａ一定とした。

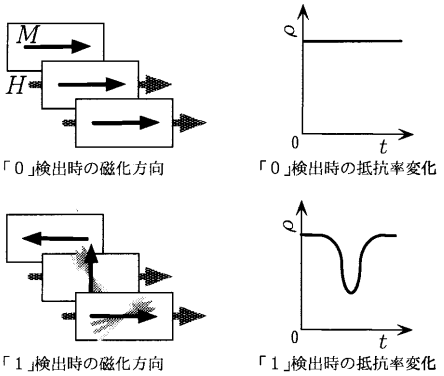
【００３５】
上記のようにして得られた磁気抵抗素子の膜面法線方向に磁界を印加し、磁化曲線を測定したところ、角形比１の磁化曲線が得られ、第１の磁性層の保磁力は、１５０（Ｏｅ）、第２の強磁性層の交換結合膜の保磁力は４．３（ｋＯｅ）であった。さらに、膜面内方向に磁界を印加し磁化曲線の測定を行ったところ、残留磁化は検出されなかった。
【００３６】
得られた磁気抵抗素子の抵抗効果率を四端子法によって測定したところ、±１５０（Ｏｅ）で抵抗変化が見られ、磁性層の磁化が反平行であるときの抵抗値は、平行であるときの抵抗値に比べて大きくなることが確認された。ただし、印加した磁界の大きさは３００（Ｏｅ）で、方向は膜面法線方向である。
【００３７】
実施例２
第１の磁性層として遷移金属副格子磁化優勢である$Gd_{21}Fe_{79}$アモルファス合金薄膜を５ｎｍ、非磁性層としてＣｕを６ｎｍ、第２の磁性層として遷移金属副格子磁化優勢の$Gd_{22}Fe_{78}$アモルファス合金薄膜を５ｎｍ、保護層としてＰｔを３ｎｍ順次成膜した。成膜条件は実施例１と同じとした。
【００３８】
上記のようにして得られた磁気抵抗素子の膜面法線方向に磁界を印加し、磁化曲線を測定したところ、角形比１の磁化曲線が得られ、第１の磁性層の保磁力は２０（Ｏｅ）、第２の磁性層の保磁力は１１０（Ｏｅ）であった。さらに、膜面内方向に磁界を印加し磁化曲線の測定を行ったところ、残留磁化は検出されなかった。得られた磁気抵抗素子の抵抗変化率を四端子法によって測定したところ、±２０（Ｏｅ）および±１１０（Ｏｅ）で抵抗変化が見られ、磁性層の磁化が反平行であるときの抵抗値は、平行であるときの抵抗値に比べて大きくなることが確認された。ただし、印加した磁界の大きさは３００（Ｏｅ）で、方向は膜面法線方向である。
【００３９】
比較例１
２００℃に加熱した石英ガラス基板上に、第１の磁性層として$Co_{82}Cr_{18}$を１００ｎｍ、非磁性層としてＣｕを６ｎｍ、第２の磁性層として$Co_{82}Cr_{18}$を３０ｎｍ、保護層としてＰｔを３ｎｍ順次成膜した。ただし、磁性層の成膜ガス圧力は１Ｐａで、その他の成膜条件は実施例１と同じとした。
【００４０】
上記のようにして得られた磁気抵抗素子の膜面法線方向に磁界を印加し、磁化曲線を測定したところ、第１の磁性層の保磁力は１．５（ｋＯｅ）、第２の磁性層の保磁力は１．３（ｋＯｅ）で、各磁性層の角形比はどちらも０．２程度と小さい値を示した。また、膜面内方向に磁界を印加して磁化曲線を測定したところ、膜面内方向に残留磁化が有り、角形比が０．３の磁化曲線となった。
【００４１】
得られた磁気抵抗素子の抵抗変化率を四端子法によって測定したところ、明確な抵抗変化は確認されなかった。これは、両磁性層の磁化反転が同じ磁界範囲内で徐々に起きており、上スピンを持つ電子と下スピンを持つ電子の電気電動率に大きな差が生じないためであると思われる。ただし、印加した磁界の大きさは２ｋＯｅで、方向は、膜面法線方向である。
【００４２】
比較例２
チャンバー内を１×１０^{-5}Ｐａまで真空にした後、ガラス基板上にマグネトロンDCスパッタリングによって第１の磁性層として遷移金属副格子磁化優勢である$Gd_{16}Fe_{84}$アモルファス合金薄膜を２０ｎｍ、非磁性層としてＣｕを６ｎｍ、第２の磁性層として遷移金属副格子磁化優勢である$Gd_{17}Fe_{83}$アモルファス合金薄膜を２０ｎｍ、保護層としてＰｔを３ｎｍ順次成膜した。成膜中のＡｒガス圧は、０．３Ｐａ一定とした。

【００４３】
上記のようにして得られた磁気抵抗素子の膜面法線方向に磁界を印加し、磁化曲線を測定したところ、膜組成が$Gd_{17}Fe_{83}$である磁性膜の保磁力が、膜組成がGd16Fe84である磁性膜の磁化飽和磁界よりも小さかった。
【００４４】
得られた磁気抵抗素子の抵抗変化率を四端子法によって測定したところ、山型の磁化抵抗曲線が確認され、磁気抵抗変化率は実施例２の１／４程度と小さな値を示した。これは、両磁性層の磁化が完全な反平行状態になっていないためであると考えられる。
【００４５】
【発明の効果】
上記のように本発明の磁気抵抗素子は、膜面法線方向に磁気異方性を有し、保磁力が小さく、かつ作製が容易である。また、微細化しても磁化方向が不安定になることがないので、低消費電力で駆動可能である高密度メモリ素子として利用できるものである。
【図面の簡単な説明】
【図１】異方性磁気抵抗効果の原理を示す図
【図２】従来の磁気抵抗素子の磁化方向と抵抗率変化を示す図
【図３】従来の磁気抵抗素子の磁界印加用導線と強磁性膜の配置を示す図
【図４】本発明の磁気抵抗素子の膜構成図
【図５】本発明の磁気抵抗素子の磁気抵抗曲線
【図６】本発明の磁気抵抗素子の磁化方向の変化を示す図
【図７】本発明の磁気抵抗素子の磁化方向の変化を示す図
【図８】印加磁界と電位の関係を示したタイムチャート
【符号の説明】
１０　基板
２１　第１の磁性層
２２　非磁性層
２３　第２の磁性層
２４　保護層
３１　電極
３２　電極
３３　磁性体

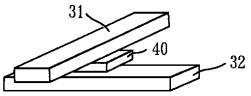
【図１】



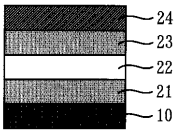
【図２】



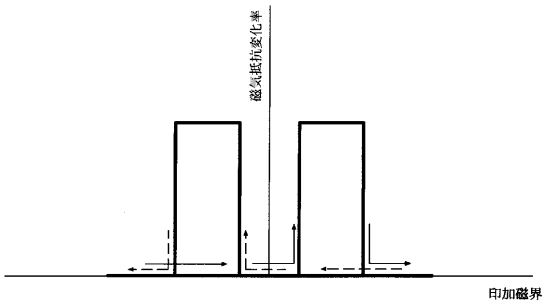
【図３】



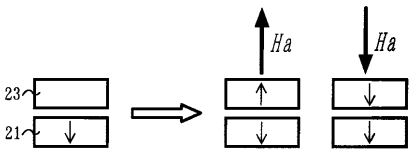
【図４】



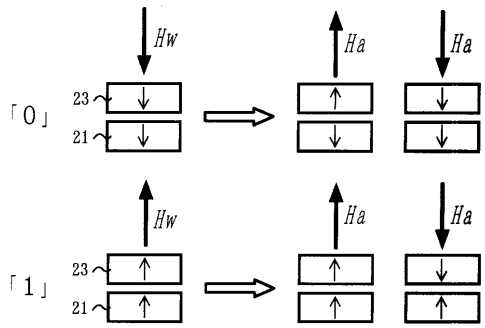
【図５】



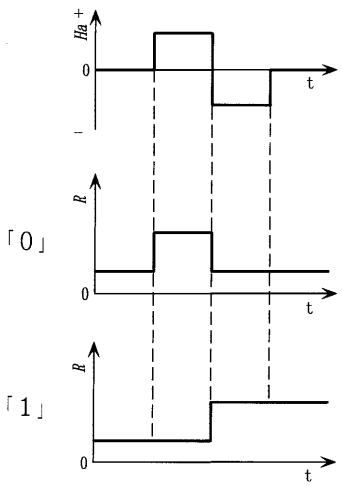
【図６】



【図７】



【図８】



フロントページの続き

審査官　粟野　正明

(56)参考文献　特開平１０－１３４５６０（ＪＰ，Ａ）
特開平１０－１３５０３８（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－０２８７４８（ＪＰ，Ａ）
特開平０８－０６９９１７（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