

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.  
G11B 5/39 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200610092406.2

[45] 授权公告日 2009年1月14日

[11] 授权公告号 CN 100452175C

[22] 申请日 2006.5.26

[21] 申请号 200610092406.2

[30] 优先权

[32] 2005.5.26 [33] JP [31] 2005-154023

[73] 专利权人 株式会社东芝

地址 日本国东京都港区芝浦一丁目1番1号

[72] 发明人 福泽英明 汤浅裕美 岩崎仁志

[56] 参考文献

CN1604355A 2005.4.6

US2003/0184921A1 2003.10.2

CN1419232A 2003.5.21

CN1153371A 1997.7.2

CN1534605A 2004.10.6

审查员 段瑞玲

[74] 专利代理机构 上海市华诚律师事务所  
代理人 黄依文

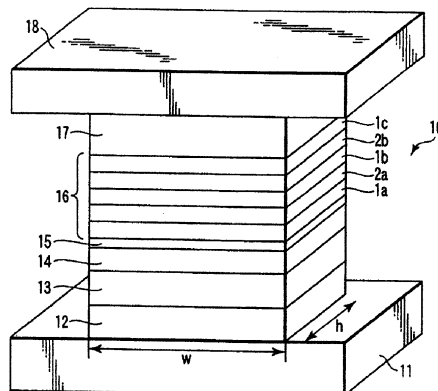
权利要求书2页 说明书12页 附图6页

[54] 发明名称

磁阻效应元件、磁头、磁记录再生装置、以及磁存储器

[57] 摘要

本发明的磁阻效应元件，包括：3层或以上的金属磁性层；所述3层或以上的金属磁性层间设置的磁性连接层；以及使电流相对于所述金属磁性层和连接层的迭层体在垂直方向上导通的电极，所述3层或以上的金属磁性层当中最底层或最顶层的金属磁性层的磁化方向被固定，外部磁场为零时，中间层的金属磁性层的磁化方向扭转，以便最底层的金属磁性层的磁化方向与最顶层的金属磁性层的磁化方向正交。



1. 一种磁阻效应元件，其特征在于，包括：  
3层或以上的金属磁性层；  
所述金属磁性层间设置的磁性连接层；  
以及使电流相对于所述金属磁性层和连接层的迭层体在垂直方向上导通的电极，  
所述金属磁性层当中最底层或最顶层的金属磁性层的磁化方向被固定，外部磁场为零时，中间的金属磁性层的磁化方向扭转，以便最底层的金属磁性层的磁化方向与最顶层的金属磁性层的磁化方向正交。
2. 如权利要求1所述的磁阻效应元件，其特征在于，所述金属磁性层当中，夹住1层连接层的2层金属磁性层的磁化方向成 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 角度。
3. 如权利要求1所述的磁阻效应元件，其特征在于，所述连接层由厚度为0.5nm以上但5.0nm以下的、包含由Co、Fe、Ni、Mn、Ti、V、以及Cr构成的组中选定的至少一种元素的氧化物或氮化物所形成。
4. 如权利要求3所述的磁阻效应元件，其特征在于，所述连接层由 $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、或者具有尖晶石晶体结构或反尖晶石晶体结构的 $\gamma$ - $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 、或者 $\text{XFe}_2\text{O}_4$ 所形成，其中X为Fe、Co、Ni、Mn、Cr、Ti或V。
5. 如权利要求1所述的磁阻效应元件，其特征在于，所述连接层由厚度为0.5nm以上但5nm以下的金属反铁磁性体所形成。
6. 如权利要求5所述的磁阻效应元件，其特征在于，所述连接层由Mn和XMn构成的组中选定的金属反铁磁性体所形成，其中X为Ni、Ir、Pt、Pd、Cr、Ru、或Rh。
7. 如权利要求1所述的磁阻效应元件，其特征在于，所述连接层由包含Ti、Cr、V中至少一种元素的金属层所形成。
8. 如权利要求7所述的磁阻效应元件，其特征在于，所述连接层由厚度为0.5nm以上但5nm以下的金属层所形成。

---

9. 如权利要求 1 所述的磁阻效应元件, 其特征在于, 所述金属磁性层由厚度为 0.5nm 以上但 5nm 以下的、包含由 Co、Fe、以及 Ni 构成的组中选定的至少一种元素的材料所形成。

10. 一种磁头, 其特征在于, 具有权利要求 1 所述的磁阻效应元件。

11. 一种磁记录再生装置, 其特征在于, 包括:

磁记录介质; 以及

权利要求 10 所述的磁头。

12. 一种磁存储器, 其特征在于, 具有权利要求 1 所述的磁阻效应元件。

## 磁阻效应元件、磁头、磁记录再生装置、以及磁存储器

### 相关申请的交叉引用

本申请基于并要求享有 2005 年 5 月 26 日提交的在先的日本专利申请 2005-154023 号的优先权权益，其全部内容通过引用在此一并考虑。

### 技术领域

本发明涉及使电流相对于膜面在垂直方向上导通这种结构的磁阻效应元件、以及采用它的磁头、磁记录再生装置、和磁存储器。

### 背景技术

由于发现磁性体的迭层结构体中的巨大磁阻效应（Giant MagnetoResistive Effect: GMR），磁器件性能飞跃式地提高。尤其是旋转阀膜（Spin-Valve: SV 膜）具有可容易应用于磁器件的结构，能够有效发挥 GMR 效应，因而对磁头和 MRAM（MAGNETIC RANDOM ACCESS MEMORY: 磁随机存取存储器）等磁器件带来大的技术进步。

所谓的“旋转阀膜”是指为 2 个强磁性层之间夹有非磁性金属间隔层这种结构的，设法由反铁磁性层等来固定其中之一强磁性层（称为“固定层”、“磁化固定层”等）的磁化，并随外部磁场（例如介质磁场）使其中另一强磁性层（称为“自由层”、“磁化自由层”等）的磁化旋转这种迭层膜。旋转阀膜可通过固定层和自由层的磁化方向的相对角度变化来获得巨大的磁阻变化。

现有的旋转阀膜，属于使读出电流与膜面平行导通的 CIP（Current In Plane: 平面内电流）- GMR 元件。近年来，由于发现比 CIP - GMR 元件大的 GMR（巨大磁阻）效应，因而使读出电流在膜面的大致垂直方向上导通的 CPP（Current Perpendicular to the Plane: 平面垂直方向电流）- GMR 元件（下面称为 CPP 元件）受到关注。

考虑到将上述磁阻效应元件应用于磁头的情况下，存在元件电阻一旦较高便在散粒噪声和高频响应方面有问题发生。对于这种要求，CPP 元件的元件的电阻取决于元件面积，在使元件细微化的情况下有电阻变化量增大这种优点，在磁器件愈益细微化的趋势下可有利地应用。从这种背景出发，CPP 元件以及用它的磁头可考虑为用以实现 200Gbps ~ 1Tbps（每平方英寸兆兆位）的记录密度的有力替代。但采用由非磁性金属所形成的间隔层的金属 CPP 元件，其电阻变化量本身相当小，所以难以得到较大的再生输出信号。

为了部分解决该问题，提出了所采用的间隔层在绝缘层中形成有由贯通其中的非磁性

金属所形成的细微电流通路（current confined paths：窄电流通路）的 CPP 元件（current-confined-path - CPP 元件）。这种 current-confined-path - CPP 元件（下面称为 CCP - CPP 元件）可以给出窄电流效应，可以得到比用非磁性金属间隔层的单纯 CPP 元件大的再生输出信号。但考虑到适应高记录密度的磁头应用的情况下，即便是 CCP - CPP 元件，MR（磁阻）变化率也有可能不足。

因此，作为实现可以适应高记录密度的巨大 MR（磁阻）变化率这种结构，热切希望新机制的 MR（磁阻）元件。

### 发明内容

本发明实施方式的磁阻效应元件，包括：3层或以上的金属磁性层；所述3层或以上的金属磁性层间设置的磁性连接层；以及使电流相对于所述金属磁性层和连接层的迭层体在垂直方向上导通的电极，所述3层或以上的金属磁性层当中最底层或最顶层的金属磁性层的磁化方向被固定，外部磁场为零时，中间的金属磁性层的磁化方向扭转，以便最底层的金属磁性层的磁化方向与最顶层的金属磁性层的磁化方向正交。

### 附图说明

图1是本发明实施方式的磁阻效应元件的立体图。

图2A、图2B和图2C是对本发明实施方式磁阻效应元件所加上的外部磁化为零情况下和所加上的是介质磁场情况下金属磁性层的磁化方向的说明图。

图3A、图3B和图3C是对本发明另一实施方式磁阻效应元件所加上的外部磁化为零情况下和所加上的是介质磁场情况下金属磁性层的磁化方向的说明图。

图4是本发明实施方式磁头的剖面图。

图5是本发明实施方式磁头的剖面图。

图6是本发明实施方式磁记录再生装置的立体图。

图7是本发明实施方式磁头组件的立体图。

图8示出的是本发明实施方式磁存储器的一例矩阵构成。

图9示出的是本发明实施方式磁存储器的另一例矩阵构成。

图10是示出本发明实施方式磁存储器的主要部分的剖面图。

图11是沿图10中A-A'线的剖面图。

### 具体实施方式

图1示出本发明一实施方式磁阻效应元件的立体图。图2A、图2B和图2C示意性图

示图 1 中产生 MR（磁阻）变化率的区域（下面有时称为弹簧式旋转阀膜）。

图 1 的磁阻效应元件具有使下电极 11、缓冲层 12、反铁磁性层 13、强磁性层 14、Ru 层 15、弹簧式旋转阀膜 16（金属磁性层 1a、连接层 2a、金属磁性层 1b、连接层 2b、金属磁性层 1c）、罩盖层 17、以及上电极 18 迭层的结构。

该图中，弹簧式旋转阀膜 16 具有使金属磁性层 1a、连接层 2a、金属磁性层 1b、连接层 2b、以及金属磁性层 1c 迭层的结构。连接层 2a、2b 由磁性氧化物或金属反铁磁性体所形成。包含于弹簧式旋转阀膜 16 中的彼此邻接的 2 层金属磁性层，通过两层间所夹有的连接层以磁方式具有较弱的结合。另外，图 1 中反铁磁性层 13、强磁性层 14 以及 Ru 层 15 的迭层膜起到锁定（ピニング）层作用（所谓的合成锁定层），使弹簧式旋转阀膜 16 中最底层的金属磁性层 1a 的磁化固定。图 1 的磁阻效应元件中，电流通过下电极 11 和上电极 18，相对于两电极间的迭层膜的膜面在垂直方向上导通。

参照图 2A、图 2B 和图 2C 说明外部磁场（介质磁场）为零情况下和加上外部磁场（介质磁场）情况下金属磁性层 1a~1c 的磁化方向。

最底层的金属磁性层 1a 的磁化方向固定而起到固定层作用，最顶层的金属磁性层 1c 的磁化方向随外部磁场变化而起到自由层作用。另外，对处于最底层的金属磁性层 1a 和最顶层的金属磁性层 1c 两者中间的金属磁性层 1b 和连接层 2a、2b 的功能而言，无法如通常旋转阀膜那样单纯分类为固定层、间隔层、或自由层的功能。按某一种看法，接近自由层迭层的连接层和金属磁性层起到自由层的一部分的作用，而接近固定层迭层的连接层和金属磁性层起到固定层的一部分的作用。按另一种看法，除了起到固定层作用的金属磁性层 1a 和起到自由层作用的金属磁性层 1c 以外，其磁化方向不论是与固定层还是与自由层均具有微妙的差异，因而也可以称为具有磁性的间隔层。这样，本发明的磁阻效应元件难以如同现有定义、明确定义为固定层、间隔层、自由层。因此，本说明书中将即便是加上外部磁场，磁化方向实际上也不变的这一层金属磁性层称为固定层（磁化固定层、这里仅为 1a），而将加上外部磁场时磁化方向变化最大的金属磁性层称为自由层（磁化自由层、这里仅为 1c）。

如图 2A 所示，外部磁场为零时，最顶层的金属磁性层 1c 的磁化方向和最底层的金属磁性层 1a 的磁化方向基本上正交，处于最底层的金属磁性层 1a 和最顶层的金属磁性层 1c 两者间的中间金属磁性层 1b 的磁化方向有少许扭转。这样，3 层或以上的金属磁性层彼此具有较弱的磁耦合，上述多个金属磁性层的磁化方向弹簧状地各有少许扭转，因而本发明实施方式的磁阻效应膜命名为弹簧式旋转阀膜。

如图 2B 和图 2C 所示，加上外部磁场时，最上层的金属磁性层 1c 的磁化方向随外部磁场的方向而变化，中间金属磁性层 1b 的磁化方向也随之变化。在加上图 2B 所示方向（这

里示出为+方向)的介质磁场,最顶层的金属磁性层1c的磁化方向和最底层的金属磁性层1a的磁化方向平行的情况下,读出电流在膜面垂直方向上导通时为低电阻(但根据材料组合的不同,在该磁化排列状态时也有为高电阻的情形)。另一方面,如图2C所示加上与上述相反的方向(这里示出为-方向)的介质磁场的情况下,最顶层的金属磁性层1c的磁化方向和最底层的金属磁性层1a的磁化方向反向平行,读出电流在膜面垂直方向上导通时为高电阻(但根据材料组合的不同,在该磁化排列状态时也有为低电阻的情形)。

按照如上所述的原理,本发明的磁阻效应元件可以同时实现其作为旋转阀膜的实用的动作和较大的MR(磁阻)变化率。

下面说明本发明磁阻效应元件所用的材料。

(i) 下电极由Cu、Au、Cr、Ta、NiFe等所形成。

(ii) 基底层(Underlayer)由如下所述材料所形成。

由Ti、Ta、W、Cr、Mo、Nb、V、Zr、Hf构成的组中选定的金属或包含上述金属在内的合金[厚度3nm~10nm]、

Ta[厚度3nm~5nm]/Ru[厚度2nm]、

NiFeCr[厚度3nm~5nm]、

Ta[厚度3nm]/NiFeCr[厚度3nm~5nm]、

Ta[厚度3nm]/NiFe[厚度2nm~5nm]。

(iii) 锁定(ピニング)层由如下所述材料所形成。

IrMn、PtMn、PdPtMn等反铁磁性层、

CoPt、CoPrCr、FePt等硬料层、

IrMn、PtMn、PdPtMn等反铁磁性层/强磁性层/Ru、

CoPt、CoPrCr、FePt等硬料层/强磁性层/Ru。

举例来说,PtMn/CoFe[厚度3nm]/Ru这种迭层结构的锁定(ピニング)层,上下金属磁性层通过Ru以反铁磁性方式磁耦合,因而称为所谓的合成锁定层。作为锁定层来说也可以用由IrMn、PtMn、PdPtMn所形成的单层锁定层和由硬料层形成的单层锁定层,但采用合成锁定层的话,可以使固定层的实际净磁矩为零以防止固定层的泄漏磁场的影响。另外,合成锁定层所含的强磁性层的材料可以用与后面述及的弹簧式旋转阀膜中的金属磁性层的材料同样的材料,所以请参照其说明。

合成锁定层所含的Ru以下形成的金属磁性层的膜厚,希望是Ru以上的弹簧式旋转阀膜所含的金属磁性层的合计膜厚的1/2或以下。而且,Ru以下形成的金属磁性层的膜厚,希望是1nm~10nm,进一步希望是1nm~5nm。

(iv) 金属磁性层由如下所述材料所形成。可以是磁性层单层,也可以是磁性层和非

磁性层的迭层膜。

包含 Fe、Co、Ni、Co-Fe、Ni-Fe、Ni-Co、Fe-Co-Ni、Co 在内的合金、包含 Ni 的合金、包含 Fe 的合金，

(FeCo/Cu) × n 周期，

(CoNi/Cu) × n 周期，

(NiFe/Cu) × n 周期，

(FeCoNi/Cu) × n 周期。

(FeCo/Cu) × n 等迭层膜 最好是采用 Fe 富即 Fe 浓度为 50% 或以上的磁性层。这种金属磁性层，可获得增大总体散射的效应。为了加强上下金属磁性层的磁耦合，Cu 等非磁性层的膜厚不希望太厚，较好是 0.1nm ~ 1nm，更为理想的是 0.1nm ~ 0.5nm。而且，用 CoMnGe、NiMnSb、CoMnAl 等霍伊斯勒合金材料也行。

此外，也可以对以上磁性材料加入添加元素。作为添加元素可例举 Cu、Cr、Ti、V、Mn、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、W、Pt 等。尤其是对 FeCo 添加了 Cu 的 FeCoCu 合金由于总体散射效应增大因而较为理想。非磁性添加元素的浓度较好是 1 ~ 50 原子%，更为理想的是 2 ~ 20 原子%。而且，也可以采用对上述金属磁性材料进行过氮化处理的材料。

每一层金属磁性层的厚度  $t_m$  希望为 0.5nm ~ 10nm，更为希望的是 0.5nm ~ 5nm。多个金属磁性层可以用相同材料，也可以用不同材料。但远离锁定层的金属磁性层需要有相对于介质磁场容易磁化旋转的功能，因而较好是用 NiFe、CoFe、NiCo、Fe、NiFeCo、CoFeNi 合金，或在它们中加入添加元素来用软磁性材料形成。而靠近锁定层的金属磁性层的材料则不需要限定为软磁性材料，较好是采用有利于得到较大 MR（磁阻）变化率的磁性材料。

金属磁性层的层数为 3 层或以上的的话，便发挥其作为迭层弹簧式旋转阀膜的作用。金属磁性层的层数较好是 3 层 ~ 20 层，更为理想的是 3 层 ~ 10 层。金属磁性层的合计膜厚较好是约 3nm ~ 30nm，更为理想的是约 5nm ~ 20nm。金属磁性层的合计膜厚过厚的话，MR（磁阻）变化率便变大，但电阻也增加，因而高频响应方面不理想。而金属磁性层的合计膜厚较薄的话，从磁头、MRAM 制作工艺方面的观点来考虑则较为理想。但金属磁性层的合计膜厚太薄的话，就有可能限定于 MR（磁阻）变化率给出较大值的材料。

金属磁性层的晶体结构，希望 fcc 结构情形具有 fcc (111) 取向性、bcc 结构情形具有 bcc (110) 取向性、hcp 结构情形具有 hcp (001) 取向性或 hcp (110) 取向性。

晶体取向性希望取向的随机误差角度在 4.0° 以内，较好是 3.5° 以内，更为理想的是 3.0° 以内。这是例如 X 射线衍射中可作为按  $\theta - 2\theta$  测定得到的峰值位置的摆动曲线的半高宽进行测定的测定值。对磁头来说，可以检测为剖面是纳米级衍射坑的分布角度。

(v) 连接层发现有倾向于夹住其的上下 2 层金属磁性层的磁化方向来结合这种弹簧



功能。这种功能无法实现为连接层是完全的非磁性层这种情形。连接层需要是具有磁性的层，尤其较好的是每一原子层自旋磁化排列呈反向平行状态这种反铁磁材料（反强磁性材料）、或具有铁磁性的材料（尖晶石氧化物等）。

连接层所用的具体材料及其膜厚如下面所示。

(v1) 磁性氧化物

(v1a) 反铁磁性材料

含  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的氧化物 [厚度 0.5nm ~ 5nm],

含 NiO 的氧化物 [厚度 0.5nm ~ 5nm],

含  $\text{Co}_3\text{O}_4$  的氧化物 [厚度 0.5nm ~ 5nm]。

(v1b) 尖晶石氧化物（具有反铁磁性自旋排列）

含  $\text{MFe}_2\text{O}_4$  (M = Fe、Co、Ni、Cu、Mn、Cr、Ti、V、Zn 等) 的氧化物 [厚度 0.5nm ~ 5nm],

含  $\gamma$ - $\text{Fe}_3\text{O}_4$  的氧化物 [厚度 0.5nm ~ 5nm]。

(v2) 具有反铁磁性的自旋排列的金属材料

含 Mn、Cr、V、Ti 中某一种元素至少 10 原子%或以上的合金 [厚度 0.5nm ~ 5nm],

含 IrMn、PrMn、PdPtMn、CrMn、NiMn、RuRhMn、RuMn 中至少一个的层等 [厚度 0.5nm ~ 5nm]。

(v3) 3d 过渡金属的氧化物和氮化物

以 Mn、Cr、Ti、V 中至少一个元素为母材的氧化物、氮化物 [厚度 0.5nm ~ 5nm]。

为上述某一元素的情况下，也可以对上述金属材料中加入 Fe、Co、Ni、Cu、Cr、Ti、V、Mn、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、W、Al、Si 等添加元素。

而且，上述连接层的材料当中，为氧化物层或氮化物的情况下，为了避免元件电阻的增加，膜厚不太厚较为理想。具体来说，0.5nm ~ 3nm 则是更为理想的膜厚范围。

上述连接层材料当中，一般来说也可包含认为不具有磁性的材料，但按本发明这种结构使用的情况下，在被上下金属磁性层夹住的状态下，并且按较薄的膜厚使用，因而具有磁性。上面例举的材料，为本发明这种实施方式时发现磁性的一组材料。

上述材料所形成的连接层的厚度较厚的话，其上下 2 层的金属磁性层的磁化方向所呈的相对角度较大。这里，虽与本发明在概念上有所不同，但 H. Fukuzawa 等人在《日本应用物理》(J. APPL. PHYS.) 91, 6684 (2002)中披露了有磁性氧化物层介于其中的上下 2 层的金属磁性层的磁化方向呈现角度的现象。该篇论文报道，使氧暴露量增加来增加磁性氧化物层的膜厚的话，上下 2 层金属磁性层的磁化方向所呈的角度从  $0^\circ$  变化至  $30^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $90^\circ$ 。

本发明实施方式中，用3层或以上的金属磁性层发挥其作为旋转阀膜的作用，所以未加上介质磁场的状态下，如图2A所示，夹住1层连接层的上下2层金属磁性层的磁化方向所呈的角度（下面有时称为磁化排列角度）在 $0 < \theta < 90^\circ$ 范围内。存在有2个连接层的情况下，简单来说，每一层连接层的磁化排列角度便为 $90^\circ / 2 = 45^\circ$ ，但2个连接层之间磁化排列角度的数值不一定相同也行。较佳的磁化排列角度范围，每一层连接层为 $30^\circ \sim 60^\circ$ 。为该范围磁化排列角度的话，便容易发挥其作为迭层弹簧式旋转阀膜的作用。

连接层可以由如下所述方法来形成。

由金属反铁磁性体形成连接层的情况下，可考虑用溅射法、MBE（Molecular Beam Epitaxy：分子束外延生长法）、CVD（化学气相沉积法）、蒸镀法、PLD（脉冲激光沉积法）等来成膜。

由磁性氧化物形成连接层的情况下，可以采用在利用溅射法、MBE、CVD、蒸镀法等使金属材料成膜后进行氧化处理来使金属材料形成为氧化物的方法。作为氧化方法来说，可采用自然氧化法、基团氧化法、离子束氧化法、RF（射频）等离子氧化法等。氧化处理时为了提高氧化活性，也可以进行UV（紫外线）照射、基底加热等。进行离子束氧化的情况下，也可以将氧气导入到离子源中，或将氧气直接导入到氧化室中。离子束的加速能量较好是设定为50V～100V。而且，也可以用氧化物靶进行RF（射频）溅射、离子束沉积等。

（vi）罩盖层由如下所述材料所形成。

Cu [厚度 0～10nm] / Ta [厚度 1nm～5nm]，

Cu [厚度 0～10nm] / Ru [厚度 0～10nm]。

（vii）上电极与下电极同样，由Cu、Au、Cr、Ta、NiFe等所形成。

将本发明实施方式的磁阻效应元件应用于磁头的情况下，将弹簧式旋转阀膜16的宽度W加工为与记录轨宽度相对应。宽度W可设定为0.1微米或以下，为了用于高记录密度可设定为50nm或以下。弹簧式旋转阀膜16的进深h也加工为与宽度W基本上相同的尺寸。另外，为了使自由层的磁化方向偏置为与固定层的磁化方向相正交的方向，也可以在例如弹簧式旋转阀膜16的边上设置硬料层，或在弹簧式旋转阀膜16的上面设置堆叠式偏置层。但本发明实施方式中不一定需要设置偏置层。

现有的旋转阀膜中，固定层和自由层间的磁耦合非常弱，为了使自由层的磁化方向形成为一方向，必定需要使用采用对接接合的偏置磁场施加膜。但本发明的弹簧式旋转阀膜，固定层（与磁化固定层最为靠近的金属磁性层）和自由层（与磁化固定层最为远离的金属磁性层）之间通过连接层磁耦合，因而自由层的磁化方向由固定层的磁化决定。通过用适当的连接层，即便是未设置偏置磁场施加膜也能够使固定层和自由层的磁化排列为90度。

这样不需要设置偏置磁场施加膜的话，作为高密度记录的再生磁头，磁头结构简单这种好处相当大。这是因为，高记录密度的再生磁头中至少为 80nm 或以下的话，记录轨宽度便较小，因而制作对接接合的提起工艺相当难。而且，磁头的再生灵敏度随偏置磁场施加膜的磁场而降低，磁头输出在某种程度上会有所降低，但能够利用本发明去除偏置磁场施加膜的话，便可解决偏置磁场施加膜引起的输出降低的问题，因而可在不发生巴克豪森噪声的良好偏置状态下得到较大的磁头输出。也就是说，为适合高密度记录再生磁头的结构。

将本发明实施方式的磁阻效应元件应用于磁存储器（MRAM）的情况下，可以采用比磁头情形大的元件尺寸，将弹簧式旋转阀膜 16 的宽度  $W$  和进深  $h$  加工为 1 微米或以下为宜。而且，偏置层一般来说并不设置，可通过对弹簧式旋转阀膜 16 的形状进行研究来赋予单轴各向异性以实现开关动作。

用本发明实施方式的磁阻效应元件，可以实现 20 ~ 1000% 这种较大的 MR（磁阻）变化率和 60 ~ 1000  $m\Omega\mu m^2$  这种较低的 RA（面积电阻）。

参照图 3A、图 3B 和图 3C，针对含有 5 层金属磁性层 1a ~ 1e 和 4 层连接层 2a ~ 2d 的迭层弹簧式旋转阀膜，说明外部磁化（介质磁场）为零的情况下和加上外部磁场（介质磁场）的情况下的金属磁性层的磁化方向。

图 3A、图 3B 和图 3C 的迭层弹簧式旋转阀膜，其基本原理均与图 2A、图 2B 和图 2C 情形完全同样。但在未加上介质磁场的状态下利用固定层至自由层的 5 层金属磁性层 1a ~ 1e 使磁化方向旋转  $90^\circ$  即可，因而夹住 1 层连接层的 2 层金属磁性层的磁化方向所呈的角度（磁化排列角度）平均来说为  $90^\circ / 4 = 22.5^\circ$ 。但每一层连接层的磁化排列角度不需要相同，因而磁化排列角度的理想范围仍然为  $30^\circ \sim 60^\circ$  大小。

而且，对图 2A、图 2B 和图 2C 及图 3A、图 3B 和图 3C 都适用，将具有不同组成的 2 层金属磁性层迭层的情况下，该金属磁性层间的交换结合极强，因而可以视为一体的金属磁性层，可考虑为磁化排列角度并没有分散这种情况。也就是说，图 2A、图 2B 和图 2C 及图 3A、图 3B 和图 3C 中各自的金属磁性层也可以由金属磁性层的迭层膜所形成。

下面说明具有图 1 结构的磁阻效应元件的具体例。膜构成如下文所述。

下电极 (11): Cu

缓冲层 (12): Ta [厚度 5nm] / NiFeCr [厚度 5nm]

锁定层 (13、14、15): PtMn [厚度 15nm] / CoFe [厚度 3nm] / Ru [厚度 1nm]

金属磁性层 (1a): CoFe [厚度 2nm]

连接层 (2a):  $Fe_{80}Co_{20}$  氧化物 [厚度 1.5nm]

金属磁性层 (1b): CoFe [厚度 2nm]

连接层 (2b):  $Fe_{80}Co_{20}$  氧化物 [厚度 1.5nm]

金属磁性层 (1c): CoFe [厚度 1nm] / NiFe [厚度 3nm]

罩盖层 (17): Cu [厚度 1nm] / Ru [厚度 5nm]

上电极 (18): Cu。

该磁阻效应元件可以利用下面所述方法来制造。在基底上使成为下电极 11 的 Cu 成膜来形成图案。将该基底放置到 DC (直流) 磁控管溅射装置中。该装置具有通过真空阀与溅射室连接的氧化室。为了形成缓冲层 12、锁定层 13、14、15、以及金属磁性层 1a, 使 Ta / NiFeCr、PtMn / CoFe / Ru、以及 CoFe 成膜。这里, 也可以用 IrMn 替代 PtMn 作为反铁磁性层。IrMn 可以用 10nm 量级的膜厚 (比 PtMn 的 15nm 薄), 因而在器件动作方面有好处, 有利于实现高记录密度。

为了形成连接层 2a, 使  $\text{Fe}_{80}\text{Co}_{20}$  按 1nm 厚度成膜, 在该阶段将基底输送至氧化室, 进行离子束氧化、RF (射频) 等离子氧化、或基团氧化。可利用该氧化处理, 通过氧化 FeCo 来形成具有尖晶石晶体结构的 FeCo 氧化物。连接层的厚度  $t_c$  较好是 0.5nm ~ 5nm, 更为理想的是 1nm ~ 2nm。连接层的厚度为该范围的话, 便可以使每一层连接层的磁化排列角度为 30°~ 60°范围。

再度将基底输送至溅射室, 为了形成金属磁性层 1b, 使 CoFe 成膜。然后, 为了形成连接层 2b, 使 FeCo 成膜后, 与上述同样将基底输送至氧化室氧化。再度将基底输送至溅射室, 为了形成金属磁性层 1c 和罩盖层 17, 使 CoFe / NiFe 和 Cu / Ru 成膜。

在 290°C、10kOe 量级的磁场中对成膜后的基底进行 4 小时热处理。此后, 利用光刻将弹簧式旋转阀膜的元件宽度微细加工为与记录轨宽度基本上相等。具体来说, 进行图案形成以使元件其中一边尺寸为 100nm ~ 20nm。这种弹簧式旋转阀膜可得到 60 ~ 300mΩ  $\mu\text{m}^2$  量级的面积电阻 RA 和 20%或以上较大的 MR (磁阻) 变化率。

以上说明的是连接层采用 FeCo 类氧化物的例子, 但连接层也可以采用 2nm 量级膜厚的金属反铁磁性体例如  $\text{Ir}_{22}\text{Mn}_{78}$  等。连接层采用金属反铁磁性层的情况下, 与采用 FeCo 类氧化物的情况相比较, 有可作为 CPP 元件避免电阻增加这种好处。对于高记录密度来说, 为了提高高频响应速度, 尽可能降低元件电阻是至关重要的。具体来说, 需要将面积电阻 RA 抑制为 40 ~ 300mΩ  $\mu\text{m}^2$  量级。连接层采用金属反铁磁性体的情况下, 可以很容易实现 40 ~ 200mΩ  $\mu\text{m}^2$  的面积电阻 RA, 因而从高频响应速度方面考虑较为理想。连接层采用 IrMn 的情况下, 可以得到约 60 mΩ  $\mu\text{m}^2$  的面积电阻 RA 和约 20%这种较大的 MR (磁阻) 变化率。

如图 2A-图 2C 和图 3A-图 3C 所示, 本发明实施方式的弹簧式旋转阀膜中全部的金属磁性层为了以磁方式实现较弱的结合状态, 需要连接层的层数为 2 层或以上。这是因为, 连接层仅为 1 层, 则其磁耦合的影响过大。具体来说, 可通过增加夹住 1 层连接层的上下

2 层金属磁性层与金属磁性层内的磁耦合相比较较弱地磁耦合的连接层或非磁性层的层数，来如图 2A-图 2C 和图 3A-图 3C 所示分阶段实现扭转的磁化旋转，可进行作为弹簧式旋转阀膜的动作。

下面说明本发明实施方式的磁阻效应元件的应用。

图 4 和图 5 示出将本发明实施方式的磁阻效应元件组装到磁头中的状态。图 4 为相对于与磁记录介质（未图示）相对置的介质对置面在基本上平行的方向上剖切磁阻效应元件的剖面图。图 5 为相对于介质对置面 P 在垂直方向上剖切该磁阻效应元件的剖面图。

图 4 和图 5 例示的磁头具有所谓的硬对接结构。磁阻效应膜 10 是具有例如图 1 所示结构的膜层。磁阻效应膜 10 的上下分别设置有下电极 11 和上电极 18。图 4 中，磁阻效应膜 10 的两侧面迭层设置有偏置磁场施加膜 21 和绝缘膜 22。如图 5 所示，磁阻效应膜 10 的介质对置面设置有保护层 23。

针对磁阻效应膜 10 的读出电流由其上下配置的电极 11、18 如箭头 A 所示在相对于膜面基本上垂直的方向上导通。而且，利用左右设置的一对偏置磁场施加膜 21、21 对磁阻效应膜 10 加上偏置磁场。可以通过用该偏置磁场控制磁阻效应膜 10 的自由层的磁各向异性形成单磁畴，来使其磁畴结构稳定，并抑制随磁壁移动而产生的巴克豪森噪声（Barkhausen noise）（如前文所述，随金属磁性层和连接层材料的不同，也有可对弹簧式旋转阀膜去除偏置磁场施加膜的情形）。

按照本发明，磁阻效应膜的 MR（磁阻）变化率提高，因而应用于磁头的情况下可实现高灵敏度的磁再生。

图 4 和图 5 所示的磁头可组装到记录再生一体式磁头组件中，装载于磁记录再生装置上。

图 6 是例示这种磁记录再生装置概略构成的主要部分的立体图。具体来说，本发明的磁记录再生装置 150 为采用旋转致动器这种形式的装置。该图中，磁盘 200 加装于主轴 152 上，利用响应未图示的驱动装置控制部输出的控制信号的未图示的电动机在箭头 A 方向上旋转。本发明的磁记录再生装置 150 也可以形成为具备多个磁盘 200 的结构。

对磁盘 200 所存储的信息进行记录再生的滑动头 153，装配于悬浮件 154 的前端。滑动头 153 将包含上述任意一种实施方式磁阻效应元件的磁头装载于其前端附近。

磁盘 200 一旦旋转，滑动头 153 的介质对置面（ABS）便相对于磁盘 200 表面保持有规定的上浮量。或者也可以是滑动头与磁盘 200 相接触的所谓“接触行进型”。

悬浮件 154 与具有绕线部等的致动臂 155 的一端连接，该绕线部保持有未图示的驱动线圈。致动臂 155 的另一端设置有线性电动机其中一种的音频线圈电动机 156。音频线圈电动机 156 由致动臂 155 的绕线部所卷绕的未图示的驱动线圈和相向配置为夹住该线圈的

永磁铁和对置磁轭所形成的磁路构成。

致动臂 155 由主轴 157 的上下 2 处设置的未图示的滚珠轴承保持，以便可由音频线圈电动机 156 实现自如的旋转滑动。

图 7 为从磁盘一侧观察致动臂 155 前端的磁头组件的放大立体图。具体来说，磁头组件 160 具有例如保持驱动线圈的绕线部等的致动臂 155，致动臂 155 其中一端连接有悬浮件 154。

悬浮件 154 的前端装配有滑动头 153，该滑动头 153 所具有的磁头包含上述任意一种实施方式的磁阻效应元件。悬浮件 154 具有信号写入和信号读取用导线 164，该导线 164 与组装到滑动头 153 中的磁头的各电极电连接。图中 165 为磁头组件 160 中的电极盘。

按照本发明，通过具有含有上述本发明实施方式磁阻效应元件的磁头，能够可靠地读取以比现有情形高的记录密度以磁方式记录于磁盘 200 的信息。

下面说明装载了本发明实施方式磁阻效应元件的磁存储器。具体来说，可以用本发明实施方式的磁阻效应元件，来实现例如存储单元按矩阵形状配置的随机存取的磁存储器 MRAM (magnetic random access memory: 磁随机存取存储器) 等磁存储器。

图 8 示出的为本发明实施方式磁存储器的一例矩阵构成。该图示出存储单元按阵列形状配置情形的电路构成。为了对阵列中的 1 位进行选择，可通过预先具有列译码器 350、行译码器 351，利用位线 334 和字线 332 使开关晶体管 330 导通来进行唯一的选择，并由读出放大器 352 进行检测，来读出磁阻效应元件 10 中磁记录层（自由层）所记录的位信息。写入位信息时，加上通过使写入电流流过特定的写入字线 323 和位线 322 所产生的磁场。

图 9 示出的为本发明实施方式磁存储器的另一例矩阵构成。这种情况下，按矩阵形状布线的位线 322 和字线 334 分别由译码器 360、361 选择，选择阵列中的特定存储单元。各个存储单元具有使磁阻效应元件 10 和二极管 D 串联连接的结构。这里，二极管 D 具有防止读出电流在所选定的磁阻效应元件 10 以外的存储单元中迂回这种作用。写入是利用通过分别使写入电流流过特定的位线 322 和写入字线 323 所产生的磁场进行的。

图 10 为示出本发明实施方式磁存储器的主要部分的剖面图。图 11 为沿图 10 中 A-A' 线的剖面图。上述图示的结构与图 8 或图 9 中所示的磁存储器中所含的 1 位的存储单元相对应。该存储单元具有存储元件部分 311 和地址选择用晶体管部分 312。

存储元件部分 311 具有磁阻效应元件 10 和与之连接的一对布线 322、324。磁阻效应元件 10 为上述实施方式的磁阻效应元件。

另一方面，选择用晶体管部分 312 设置有通过通路 326 和嵌埋布线 328 连接的晶体管 330。该晶体管 330 根据加在控制极 332 上的电压进行开关动作，控制磁阻效应元件 10 和

布线 334 的电流路径的开闭。

而且,磁阻效应元件 10 的下方在与布线 322 基本上正交的方向上设置有写入布线 323。上述写入布线 322、323 可以利用例如铝 (Al)、铜 (Cu)、钨 (W)、钽 (Ta)、或含上述任意一种材料的合金来形成。

这种构成的存储单元中,将位信息写入磁阻效应元件 10 时,通过使写入脉冲电流流过布线 322、323,加上用上述电流感应产生的合成磁场,来使磁阻效应元件的记录层磁化适当反转。

而且,读出位信息时,通过对布线 322、含有磁记录层的磁阻效应元件 10、以及下电极 324 流过读出电流,并测定磁阻效应元件 10 的电阻值或电阻值的变化。

本发明实施方式的磁存储器,采用上述实施方式的磁阻效应元件,即便是对单元尺寸进行微细化,也能够可靠控制记录层的磁畴来确保可靠的写入,而且读出也能够可靠进行。

以上参照具体例对本发明的实施方式进行了说明。但本发明不限于上述具体例。举例来说,对于磁阻效应膜的具体结构、此外对于电极、偏置施加膜、绝缘膜等的形状、材质而言,可以由本领域技术人员从公知范围当中进行适当选择,与本发明同样地实施,并得到同样的效果。

举例来说,将磁阻效应元件应用于再生用磁头时,可通过对元件的上下赋予磁屏蔽,来规定磁头的检测分辨率。

而且,本发明不仅适用于纵向磁记录方式的磁头或磁记录再生装置,而且同样适用于垂直磁记录方式的磁头或磁记录再生装置,可得到同样效果。

此外,本发明的磁记录再生装置可以是始终具有特定记录介质的所谓固定式磁记录再生装置,另一方面也可以是可调换记录介质的所谓“可拆”方式的磁记录再生装置。

另外,作为本发明的实施方式,以上述磁头和磁记录再生装置为基础,本领域技术人员可作适当设计修改来实施的全部磁阻效应元件、磁头、磁记录再生装置、以及磁存储器,都同样属于本发明范围。

另外的优点和修改对本领域技术人员来说是显而易见的。所以,本发明的更宽方面不限于这里图示说明的具体细节和示范性实施例。因而,可以在不背离总体发明构思的实质或保护范围的情况下如所附权利要求及其等效保护范围所定义的那样对本发明进行种种修改。

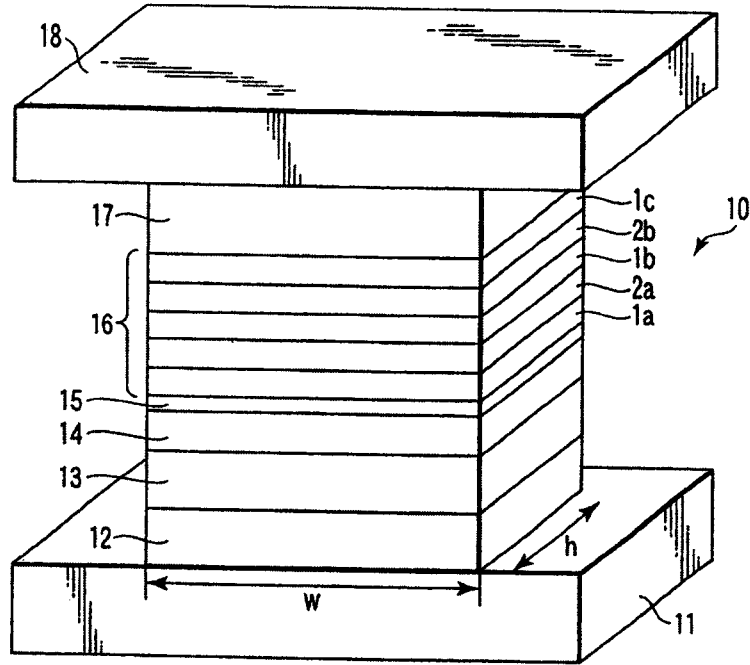


图 1

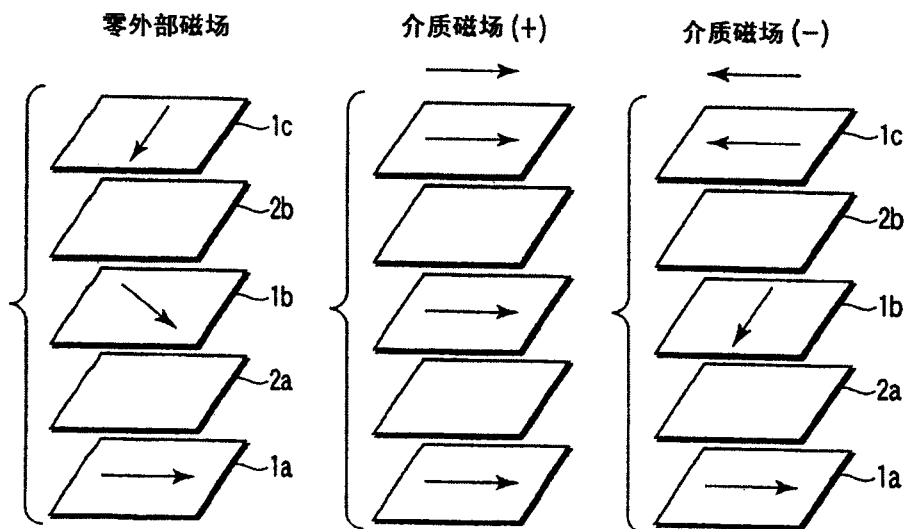


图 2A

图 2B

图 2C



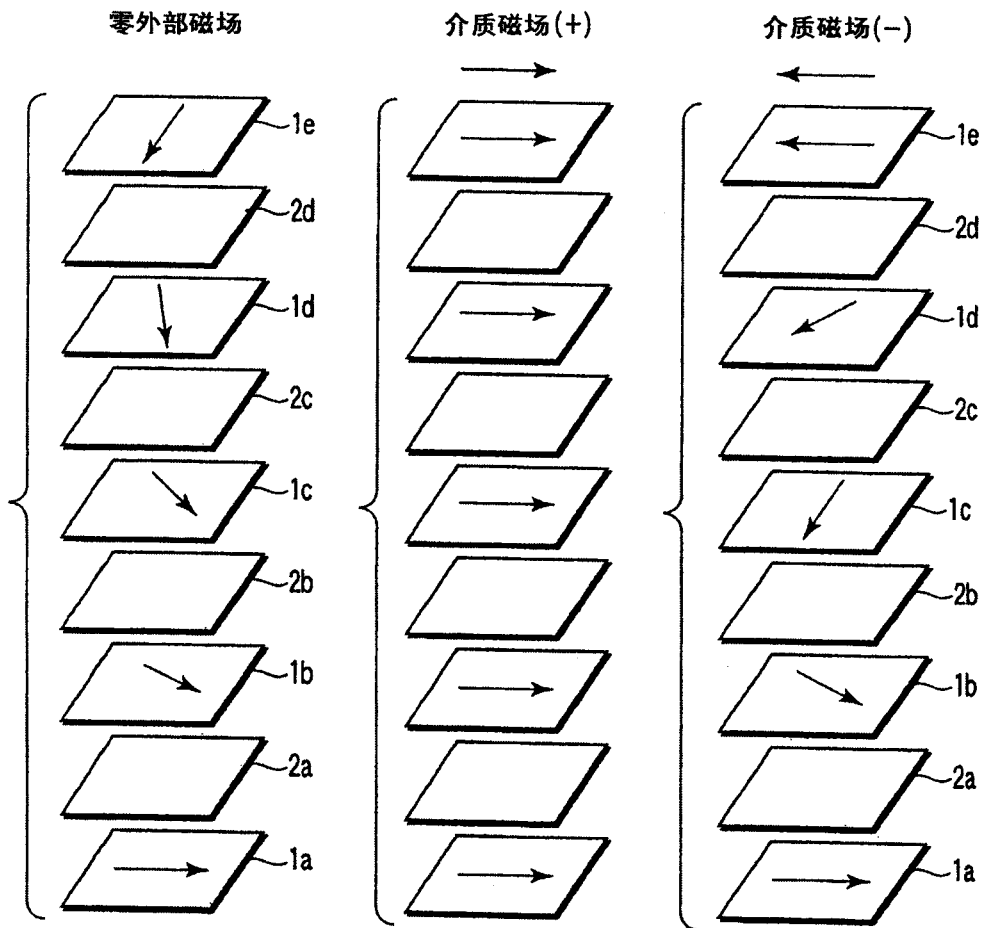


图 3A

图 3B

图 3C

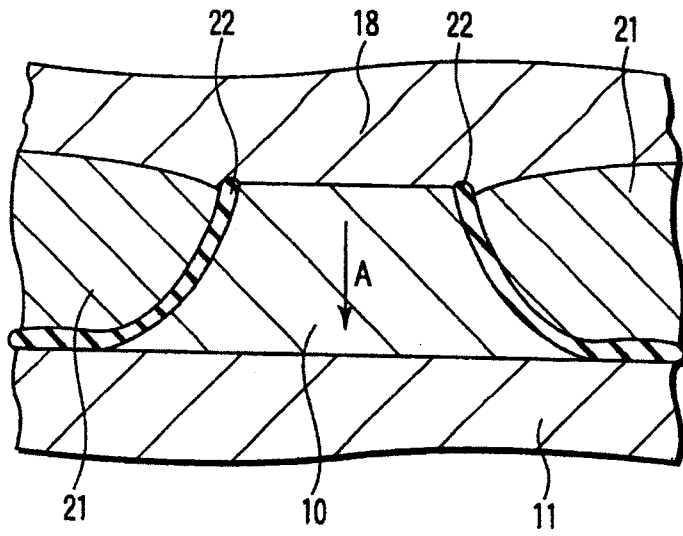


图 4

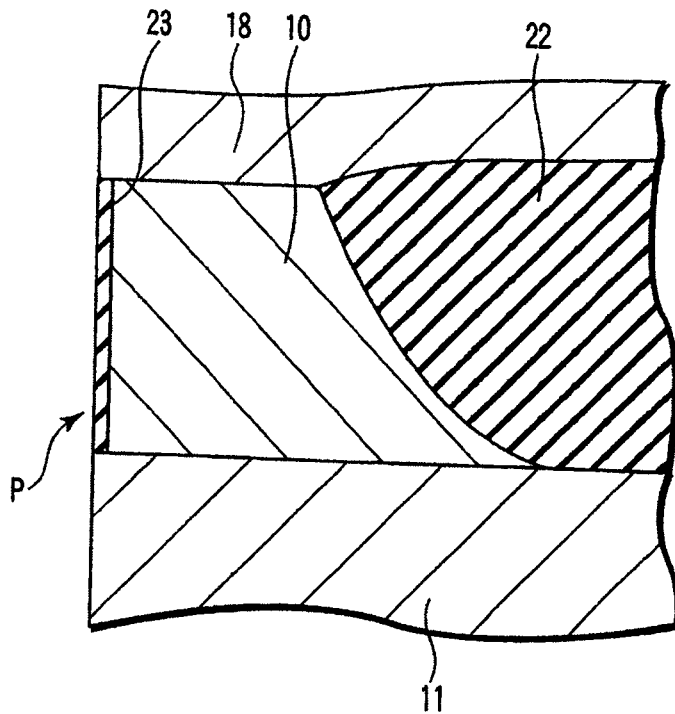


图 5

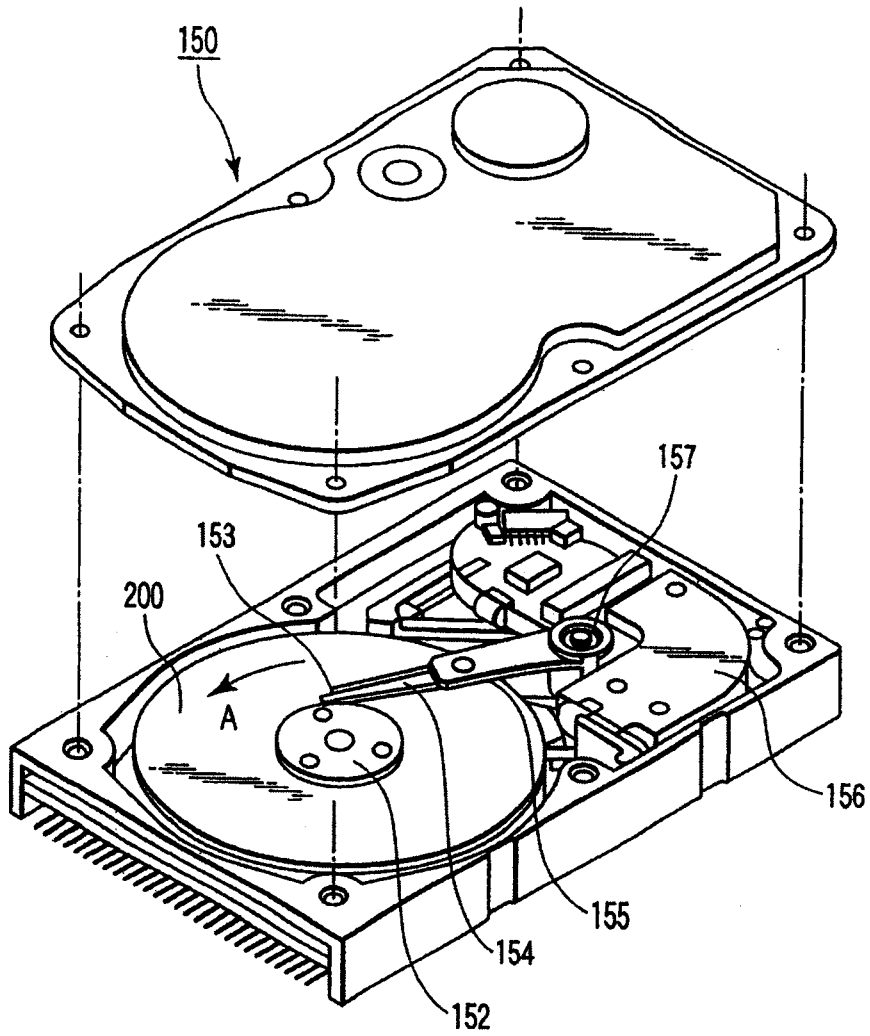


图 6

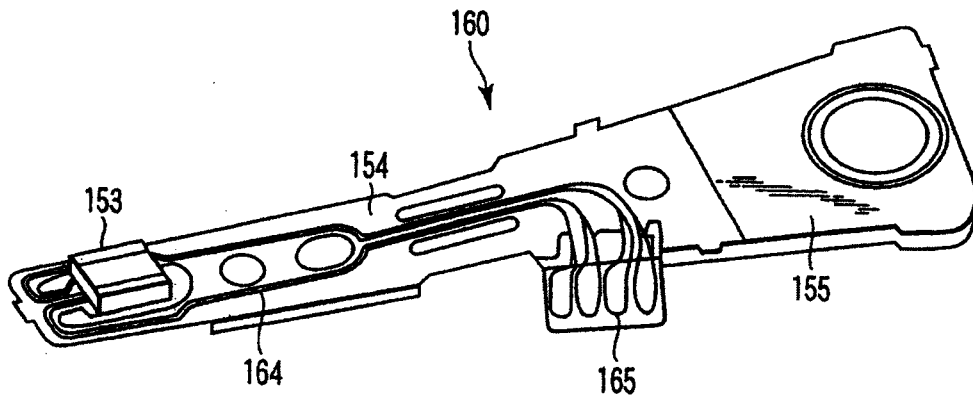


图 7

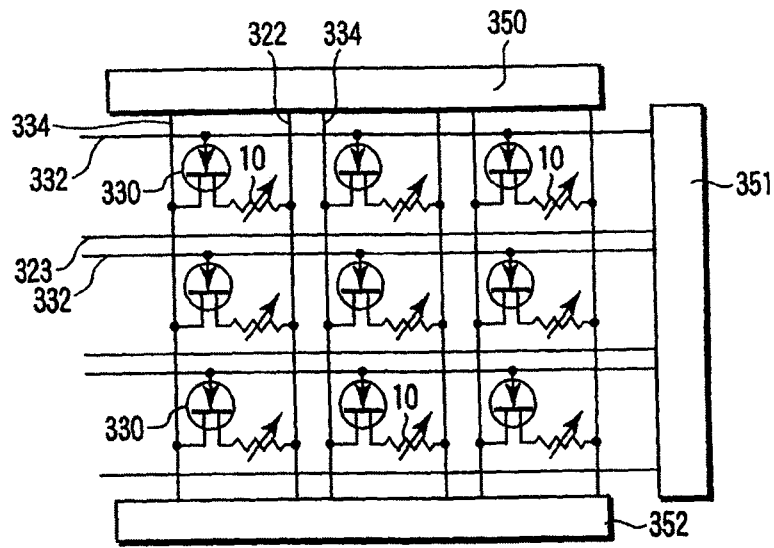


图 8

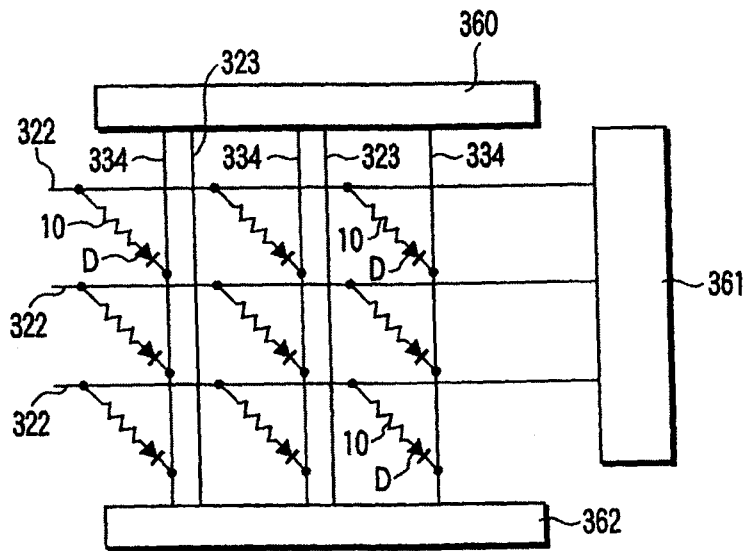


图 9

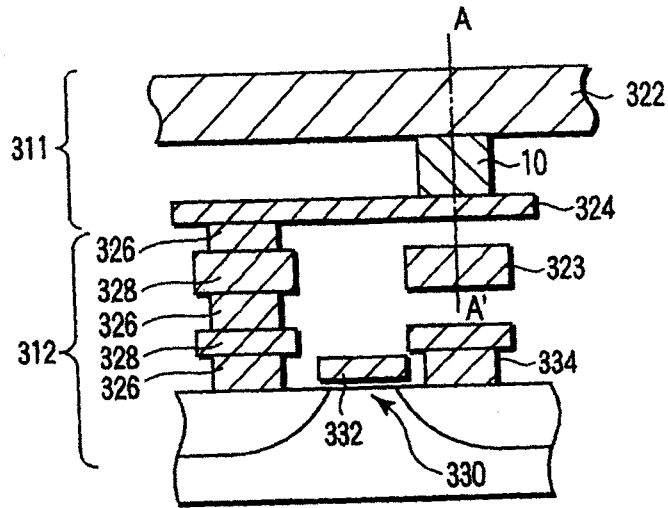


图 10

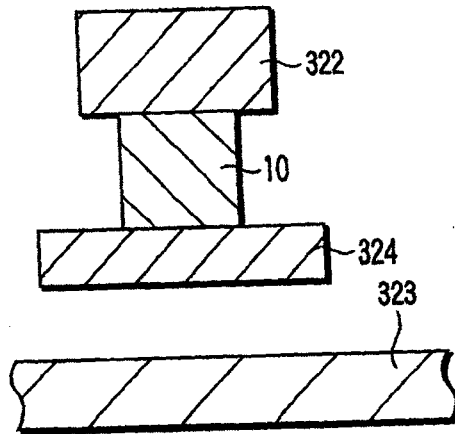


图 11