

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

H01L 43/08

G11B 5/39 G11B 5/00

G11C 11/15



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 03132882.2

[43] 公开日 2004 年 3 月 3 日

[11] 公开号 CN 1479387A

[22] 申请日 2003.7.24 [21] 申请号 03132882.2

[30] 优先权

[32] 2002. 7. 24 [33] JP [31] 214900/2002

[71] 申请人 富士通株式会社

地址 日本神奈川

[72] 发明人 长坂惠一 清水丰

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商
标事务所

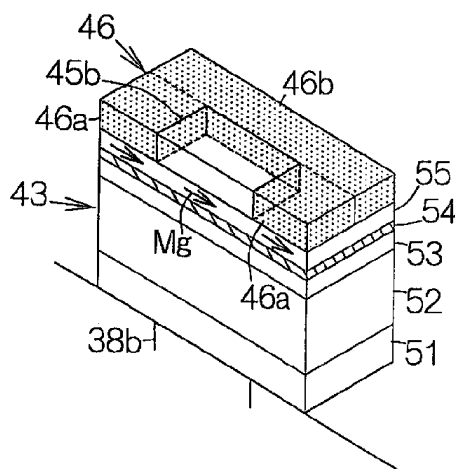
代理人 付建军

权利要求书 3 页 说明书 10 页 附图 5 页

[54] 发明名称 具有“电流垂直于平面”结构的磁阻元件

[57] 摘要

在自由磁层的表面上形成上电极的较小电极层。与自由磁层表面上的较小电极层相邻形成绝缘材料的磁畴控制膜。根据磁畴控制膜与自由磁层之间的磁交换耦合在单一方向上定向自由磁层的磁化。仅通过较小电极层在自由磁层与上电极之间建立电连接。自由和被钉扎磁层中的感测电流路径可以减小。因此，可以在 CPP 结构磁阻元件中获得较高的灵敏度。在 CPP 结构磁阻元件中，有效磁芯宽度也可以减小。



ISSN 1008-4274

1. 一种“电流垂直于平面”结构磁阻元件，包括：

导电自由磁层；

导电被钉扎磁层；

导电非磁性中间层，介于所述自由和被钉扎磁层之间；

主电极层，由导电材料制成；

较小电极层，由导电材料制成，并且介于所述自由磁层与所述主电极层之间；以及

磁畴控制膜，由绝缘磁性材料制成，并且相邻于所述自由磁层与所述主电极层之间的所述较小电极层。

2. 如权利要求 1 所述的“电流垂直于平面”结构磁阻元件，其中，所述磁畴控制膜相邻于所述较小电极层的后表面，较小电极层的前表面面对磁头滑块的空气支承表面。

3. 如权利要求 1 所述的“电流垂直于平面”结构磁阻元件，其中，所述磁畴控制膜还包括：

一对第一主体，相邻于磁头滑块的空气支承表面，从而使所述较小电极层介于它们之间；以及

第二主体，相邻于所述较小电极层和所述第一主体的后表面，电极层和第一主体的前表面面对所述空气支承表面。

4. 如权利要求 1-3 中的任一项所述的“电流垂直于平面”结构磁阻元件，其中，所述磁畴控制层由反铁磁层制成。

5. 一种“电流垂直于平面”结构磁阻元件，包括：

导电自由磁层；

导电被钉扎磁层；

导电非磁性中间层，介于所述自由和被钉扎磁层之间；

主电极层，由导电材料制成；

较小电极层，由导电材料制成，并且介于所述自由磁层与所述主电极层之间；

磁畴控制膜，由磁性材料制成，并且相邻于所述较小电极层，所述磁畴控制膜接触所述自由磁层；以及

绝缘层，位于所述磁畴控制膜与所述主电极层之间。

6. 如权利要求 5 所述的“电流垂直于平面”结构磁阻元件，其中，所述磁畴控制膜相邻于所述较小电极层的后表面，所述后表面面对磁头滑块的空气支承表面的前表面。

7. 如权利要求 5 所述的“电流垂直于平面”结构磁阻元件，其中，所述磁畴控制膜还包括：

一对第一主体，相邻于磁头滑块的空气支承表面，从而使所述较小电极层介于它们之间；以及

第二主体，相邻于所述较小电极层和所述第一主体的后表面，所述后表面面对所述空气支承表面的前表面。

8. 一种“电流垂直于平面”结构磁阻元件，包括：

导电自由磁层；

导电被钉扎磁层；

导电非磁性中间层，介于所述自由和被钉扎磁层之间；

第一电极层，由导电材料制成；

第二电极层，由导电材料制成，并且介于所述自由磁层与所述第一电极层之间；以及

磁畴控制膜，由绝缘磁性材料制成，并且相邻于所述自由磁层与所述第一电极层之间的所述第二电极层，

其中，所述第二电极层的表面接触所述第一电极层的表面，并且其表面面积小于所述第一电极层的表面面积。

9. 如权利要求 8 所述的“电流垂直于平面”结构磁阻元件，其中，所述磁畴控制膜仅与所述第二电极层的一侧相邻。

10. 如权利要求 8 所述的“电流垂直于平面”结构磁阻元件，其中，所述磁畴控制膜仅与所述第二电极层的两侧相邻。

11. 如权利要求 8 所述的“电流垂直于平面”结构磁阻元件，其中，所述磁畴控制膜至少与所述第二电极层的三侧相邻。

12. 如权利要求 8 所述的“电流垂直于平面”结构磁阻元件，其中，所述磁畴控制膜包括由所述第二电极层分隔的至少两个单独部分。

具有“电流垂直于平面”结构的磁阻元件

技术领域

本发明涉及一种“电流垂直于平面”(current-perpendicular-to-the-plane, “CPP”)结构磁阻元件,它允许感测电流(sensing current)流经沿着与数据平面正交的垂直方向层叠在预定数据平面之上的磁阻膜。更具体地说,本发明涉及一种 CPP 结构磁阻元件,它包括导电自由磁层、导电被钉扎(pinned)磁层以及介于它们之间的导电非磁性中间层。

背景技术

包括所谓旋转阀膜的 CPP 结构磁阻元件在本领域是公知的。公知类型的 CPP 结构磁阻元件允许旋转阀膜内自由铁磁层的磁化响应所施加的磁场而旋转。在这种情况下,最好预先在自由铁磁层内沿着预定单一方向建立磁化。因此,利用一对所谓磁畴(domain)控制膜来对磁化进行定向。这些磁畴控制膜位于使数据平面上的旋转阀膜介于它们之间。因此,旋转阀膜的自由铁磁层位于在磁畴控制膜之间建立的偏磁场内。

然而,偏磁场的强度在自由铁磁层内离磁畴控制膜越远的位置就越小。具有较小强度的磁场往往导致不能在自由铁磁层内建立磁化的统一或单一磁畴。因此,在不进一步减小旋转阀膜的尺寸或宽度的情况下不能获得足够强度的偏磁场。另外,该磁畴控制膜的形式或形状在生产过程中准确性较低。由于偏磁场的强度往往受到磁畴控制膜的形式或形状的影响,因此根据传统方法难以获得稳定的偏磁场。

旋转阀膜一般由导电材料制成。因此,感测电流能够流经整个旋转阀膜中的任何地方。因此,除非减小旋转阀膜的尺寸,否则不可能减小旋转阀膜内的感测电流路径。减小感测电流路径会导致提高 CPP 结构磁阻元件的灵敏度。另外,减小感测电流路径会导致减小磁芯的有效宽度,它用来提高使用 CPP 结构磁阻元件来读取磁性信息时的分辨率。

因此，本发明的一个目的是提供一种 CPP 结构磁阻元件，它可以足够建立自由磁层内的单一磁畴而无需进一步减小磁阻膜的尺寸。

发明内容

根据本发明的第一方面，提供一种“电流垂直于平面”结构磁阻元件，包括：导电自由磁层；导电被钉扎磁层；导电非磁性中间层，介于自由和被钉扎磁层之间；主电极层，由导电材料制成；较小电极层，由导电材料制成，并且介于自由磁层与主电极层之间；以及磁畴控制膜，由绝缘磁性材料制成，并且相邻于自由磁层与主电极层之间的较小电极层。

本发明的第二方面提供一种“电流垂直于平面”结构磁阻元件，包括：导电自由磁层；导电被钉扎磁层；导电非磁性中间层，介于自由和被钉扎磁层之间；主电极层，由导电材料制成；较小电极层，由导电材料制成，并且介于自由磁层与主电极层之间；磁畴控制膜，由磁性材料制成，并且相邻于较小电极层，磁畴控制膜接触自由磁层；以及绝缘层，位于磁畴控制膜与主电极层之间。

对于这两方面，CPP 结构磁阻元件可以允许根据磁畴控制膜与自由磁层之间的磁交换耦合在自由磁层中建立磁化单一磁畴或对齐。与按照传统方式在一对磁畴控制硬磁膜之间产生的静磁偏场相比，磁交换耦合用来可靠地在自由磁层内建立单一磁畴的磁化，而无需进一步减小磁阻膜包括其各层的尺寸或侧宽。

另外，最好仅通过较小电极层在自由磁层与主电极层之间建立电连接。较小电极层用来减小自由和被钉扎磁层中的感测电流路径。因此，可以增大单位截面的电流量。因此可以在具有相同总电流量的 CPP 结构磁阻元件中获得较高的灵敏度。在 CPP 结构磁阻元件中，随着感测电流路径的减小，有效磁芯宽度也可以减小。因此，提高 CPP 结构磁阻元件读取磁性二进制数据时的分辨率。

磁畴控制膜可以相邻于较小电极层的后表面，其中，该后表面面对磁头滑块的空气支承表面的前表面。磁畴控制膜还可以包括：一对第一

主体，相邻于磁头滑块的空气支承表面，从而使较小电极层介于它们之间；以及第二主体，相邻于较小电极层和第一主体的后表面，其中，该后表面面对空气支承表面的前表面。较小电极层还可以沿着磁头滑块的空气支承表面来布置。这样，电流可以被迫沿着空气支承表面流动。因此，可以可靠地提高 CPP 结构磁阻元件的灵敏度。而且，磁畴控制膜可以在较大的接触面积上接触自由磁层。

本发明的 CPP 结构磁阻元件甚至还可以安装在包括在任何类型的磁性记录介质驱动器内的磁头滑块上，这些磁性记录介质驱动器例如包括磁盘驱动器如硬盘驱动器，磁带驱动器等。

附图说明

图 1 是硬盘驱动器的内部结构的扩大图；

图 2 是根据本发明一方面的浮动磁头滑块的放大透视图；

图 3 是浮动磁头滑块的空气支承表面上的读/写电磁换能器的前视截面图；

图 4 是根据本发明一个实施例的 CPP 结构磁阻读取元件的透视图；

图 5 是示出磁畴控制膜形成过程的晶片部分截面图；

图 6 是示出磁畴控制膜形成过程的晶片部分截面图；

图 7 是图 4 的 CPP 结构 MR 读取元件的透视图，示出根据本发明一个实施例的磁畴控制膜的结构；

图 8 是图 4 的 CPP 结构 MR 读取元件的透视图，示出根据本发明另一个实施例的磁畴控制膜的结构；

图 9 是图 4 的 CPP 结构 MR 读取元件的透视图，示出根据本发明另一个实施例的磁畴控制膜的结构；以及

图 10 是图 4 的 CPP 结构 MR 读取元件的透视图，示出根据本发明一个实施例的旋转阀膜的结构。

具体实施方式

图 1 示意性地示出硬盘驱动器(“HDD”)11 的内部结构作为磁性记

录介质或存储设备的例子。HDD 11 包括盒式主封装(enclosure)12, 限定例如扁平平行六面体的内部空间。至少一个记录介质或磁性记录盘 13 可以容纳在主封装 12 内的内部空间中。磁性记录盘 13 安装在主轴马达 14 的驱动轴上。主轴马达 14 驱动磁性记录盘 13 以例如 7,200rpm 或 10,000rpm 的较高旋转速率进行旋转。封盖(未示出)耦合到主封装 12, 从而限定主封装 12 与其自身之间的封闭内部空间。

支架(carriage)16 也容纳在主封装 12 的内部空间中, 以围绕垂直支轴 15 摆动。支架 16 包括从垂直支轴 15 在水平方向上延伸的刚性摆动臂 17, 以及固定到摆动臂 17 的尖端的弹性磁头悬架(head suspension)18, 从而从摆动臂 17 向前延伸。根据传统结构, 浮动磁头滑块 19 通过万向簧片(未示出)悬在磁头悬架 18 的尖端。磁头悬架 18 用来向磁性记录盘 13 的表面驱使浮动磁头滑块 19。当磁性记录盘 13 旋转时, 浮动磁头滑块 19 可以承受沿着旋转磁性记录盘 13 产生的气流。气流用来对浮动磁头滑块 19 产生提升力。因此, 在磁性记录盘 13 的旋转期间, 允许浮动磁头滑块 19 以提升力与磁头悬架 18 的驱使力之间的平衡所建立的较高稳定性, 保持浮动在磁性记录盘 13 的表面之上。

当在浮动磁头滑块 19 的浮动期间驱动支架 16 以围绕支轴 15 摆动时, 浮动磁头滑块 19 可以在磁性记录盘 13 的径向上跨越在磁性记录盘 13 上限定的记录轨道。该径向运动用来将浮动磁头滑块 19 正好定位于磁性记录盘 13 的目标记录轨道之上。因此, 可以采用致动器 21 如音圈马达("VCM")来实现例如支架 16 的摆动运动。在两个或多个磁性记录盘 13 包括在主封装 12 的内部空间之内的情况下, 根据传统方法可以在相邻磁性记录盘 13 之间布置一对弹性磁头悬架 18。

图 2 示出浮动磁头滑块 19 的一个例子。这一类型的浮动磁头滑块 19 包括: 滑块主体 22, 最好由 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$ 制成, 采用扁平平行六面体的形式; 以及磁头保护层 24, 被形成成为遍布在滑块主体 22 的末端或流出端上。磁头保护层 24 可以由 Al_2O_3 制成。读/写电磁换能器 23 嵌入在磁头保护层 24 中。与介质相对的表面或底部表面 25 在滑块主体 22 和磁头保护层 24 上不间断地限定, 从而以一定的距离面对磁性记录盘 13

的表面。底部表面 25 被设计为承受沿着旋转磁性记录盘 13 的表面产生的气流 26。

一对导轨 27 从前端或流入端向后端或流出端在底部表面 25 上延伸。各个导轨 27 被构造为限定顶部表面(未被标号)的空气支承表面 (“ABS”)28。气流 26 在各个空气支承表面 28 产生提升力。嵌入在磁头保护层 24 中的读/写电磁换能器 23 暴露在空气支承表面 28, 如下面详细所述。

根据本发明的一个优选实施例, 可以在空气支承表面 28 上形成类金刚石碳素 (“DLC”)保护层, 从而覆盖在读/写电磁换能器 23 的暴露端上。另外, 浮动磁头滑块 19 可以采取与上述不同的任何形状或形式, 而不脱离本发明。

图 3 示出暴露在空气支承表面 28 的读/写电磁换能器 23 的放大详图。读/写电磁换能器 23 具有感应写入元件或薄膜磁头 31 以及 “电流垂直于平面” (CPP)结构电磁换能器元件或 CPP 结构磁阻(MR)读取元件 32。薄膜磁头 31 被配置为通过例如利用在传导涡旋形线圈图案 (conductor swirly coil pattern)(未示出)中感应的磁场, 将磁性比特数据写入到磁性记录盘 13 上。CPP 结构 MR 读取元件 32 可以响应从磁性记录盘 13 作用的磁场中磁极性的反转利用电阻变化来检测磁性比特数据。薄膜磁头 31 和 CPP 结构 MR 读取元件 32 最好介于作为上半层或外涂膜的 Al_2O_3 层 33 与作为下半层或内涂膜的 Al_2O_3 层 34 之间。外涂和内涂膜组合在一起建立磁头保护层 24。

薄膜磁头 31 包括在空气支承表面 28 暴露前端的上磁极层 35 和类似地在空气支承表面 28 暴露前端的下磁极层 36。上下磁极层 35, 36 例如可以由 FeN、NiFe 等制成。上下磁极层 35, 36 的组合建立薄膜磁头 31 的磁芯。

非磁性间隙层 37 介于上下磁极层 35, 36 之间。非磁性间隙层 37 最好例如可以由 Al_2O_3 制成。当在传导涡旋形线圈图案感应磁场时, 在上下磁极层 35, 36 之间交换磁通量。非磁性间隙层 37 允许交换磁通量漏出空气支承表面 28。该泄漏磁通量形成记录磁场, 即写入间隙磁场。

CPP 结构 MR 读取元件 32 包括下电极 38，遍布在铝层 34 的上表面上作为基础绝缘层。下电极 38 最好被配置为包括导电铅层 38a 和立于铅层 38a 的上表面上的导电端片 38b。下电极 38 可以不仅具有电导体特性，而且具有软磁性。如果下电极 38 例如由软磁电导体如 NiFe 制成，则下电极 38 最好可以用作 CPP 结构 MR 读取元件 32 的下屏蔽层。下电极 38 可以仅包括所述铅层 38a，而不包括导电端片 38b。

下电极 38 嵌入在绝缘层 41 中，其中，绝缘层 41 遍布在铝层 34 的表面上。绝缘层 41 被设计为在铅层 38a 的表面上延伸，从而接触端片 38b 的侧表面。因此，端片 38b 和绝缘层 41 的组合表示预定子结构层。平坦表面 42 或数据平面可以在端片 38b 的顶部表面和绝缘层 41 的上表面之上的子结构层上连续限定。

电磁换能器膜或旋转阀膜 43 位于平坦表面 42 上，从而沿着空气支承表面 28 延伸。旋转阀膜 43 从在空气支承表面 28 暴露的前端向后在平坦表面 42 上延伸。旋转阀膜 43 被构造为至少跨越端片 38b 的顶部表面。端片 38b 可以至少在空气支承表面 28 暴露的前端接触旋转阀膜 43 的底部或下边界。在这种结构中，可以在旋转阀膜 43 与下电极 38 之间建立电连接。旋转阀膜 43 的结构在下面详细描述。

平坦表面 42 覆盖有涂覆绝缘层 44。上电极 45 位于涂覆绝缘层 44 之上。上电极 45 可以被设计为包括：铅层或主电极层 45a，在涂覆绝缘层 44 的表面上延伸；以及较小电极层 45b，介于旋转阀膜 43 的顶部表面或上边界与主电极层 45a 之间。主电极层 45a 和较小电极层 45b 最好由导电材料制成。较小电极层 45b 应沿着空气支承表面 28 接触旋转阀膜 43。通过这种方式，可以在旋转阀膜 43 与上电极 45 之间建立电连接。

上电极 45 例如可以由软磁电导体如 NiFe 制成。如果上电极 45 被配置为不仅具有电导体特性，还具有软磁性，则上电极 45 也可以用作 CPP 结构 MR 读取元件 32 的上屏蔽层。在下屏蔽层或下电极 38 与上电极 45 之间限定的空间确定磁性记录盘 13 上沿着记录轨道的磁性记录或数据的线性分辨率。上电极 45 可以用与下磁极层 36 相同的材料制成。

在这种情况下，上电极 45 可以与下磁极层 36 作为单个结构集成在一起。

CPP 结构 MR 读取元件 32 包括介于旋转阀膜 43 与上电极 45 的主电极层 45a 之间的磁畴控制膜 46。磁畴控制膜 46 相邻于较小电极层 45b。磁畴控制膜 46 可以是硬磁膜或反铁磁膜，但是均应具有绝缘性。这种绝缘反铁磁材料可以用 NiO、Fe₂O₃ 等代表。磁畴控制膜 46 的结构在下面详细描述。

如图 4 所示，旋转阀膜 43 包括底层 51、钉扎层例如反铁磁层 52、被钉扎磁层 53、非磁性中间层 54 和自由磁层 55，它们最好是以上述次序遍布在平坦表面 42 上。被钉扎磁层 53 的磁化例如在反铁磁层 52 的影响下固定在特定横向(specific lateral direction)上。

在本实施例中，底层 51 最好例如可以由电导体如 Ta 制成。反铁磁层 52 可以由反铁磁材料如 IrMn、(Pd)PtMn 等制成。被钉扎磁层 53 例如可以由导电铁磁材料如 CoFe 制成。非磁性中间层 54 例如可以由导电非磁性材料如 Cu 制成。自由磁层 55 可以由导电材料制成。自由磁层 55 可以是具有软磁特性的多层膜。

一对第一主体 46a 和一个第二主体 46b 可以包括在磁畴控制膜 46 中。第一主体 46a 被设计为在横向上沿着空气支承表面 28 使上电极 45 的较小电极层 45b 介于它们之间。第二主体 46b 相邻于较小电极层 45b 和第一主体 46a 的后表面。因此，暴露在空气支承表面的表面可以定义为“箭”表面。

具体地说，较小电极层 45b 和第一主体 46a 介于第二主体 46b 与空气支承表面 28 之间。遍及第一和第二主体 46a,46b 的整个区域在自由磁层 55 的上表面支撑磁畴控制膜 46。通过这种方式，可以在磁畴控制膜 46 与自由磁层 55 之间建立磁交换耦合。磁交换耦合用来在单一横向上定向自由磁层 55 的磁化 Mg。因此，整个自由磁层 55 表现为所谓的单一磁畴。

当 CPP 结构 MR 读取元件 32 与磁性记录盘 13 的表面相对以读取磁性信息数据时，允许自由磁层 55 的磁化 Mg 响应从磁性记录盘 13 施

加的磁极性反转而在旋转阀膜 43 中旋转。自由磁层 55 中磁化 Mg 的旋转引起旋转阀膜 43 的电阻变化。当感测电流通过上下电极 45、38 提供给旋转阀膜 43 时，在从上下电极 45、38 输出的感测电流中，响应磁阻变化，出现任何参数如电压的电平变化。因此，电平变化可以用来检测记录在磁性记录盘 13 上的磁性比特数据。

上电极 45 的较小电极层 45b 用来减小旋转阀膜 43 中的感测电流路径。下电极 38 的端片 38b 也用来减小旋转阀膜 43 中的感测电流路径。因此，可以增大单位截面的电流量。在具有相同总电流量的 CPP 结构 MR 读取元件 32 中，还可以获得较高的灵敏度。而且，在 CPP 结构 MR 读取元件 32 中，磁芯有效宽度可以随着感测电流路径的减小而减小。根据该结构，当 CPP 结构 MR 读取元件 32 读取磁性二进制数据时，可以提高分辨率。

本发明的 CPP 结构 MR 读取元件 32 允许根据磁畴控制膜 46 与自由磁层 55 之间的磁交换耦合，在自由磁层 55 中建立磁化 Mg 的单一磁畴或对齐。因此，与在一种传统方式的磁畴控制硬磁膜之间产生的静磁偏场相比，磁交换耦合用来可靠地在自由磁层 55 内建立单一磁畴的磁化，而无需进一步减小旋转阀膜 43 的尺寸或侧宽。

现在描述一种制造 CPP 结构 MR 读取元件 32 的方法。首先准备晶片(未示出)。根据传统方法依次层叠 Ta 层、反铁磁层、导电铁磁层、导电非磁性层、导电铁磁层和绝缘反铁磁层。可以使用溅射法(sputtering)来形成这些层。例如，在真空环境中连续形成 Ta 层、反铁磁层、导电铁磁层、导电非磁性层、导电铁磁层和绝缘反铁磁层。Ta 层、反铁磁层、导电铁磁层、导电非磁性层、导电铁磁层和绝缘反铁磁层可以遍及晶片的表面形成。

下一步，在绝缘反铁磁层的表面上形成预定图案的光致抗蚀膜。光致抗蚀膜被设计为具有旋转阀膜 43 的轮廓。当例如实施离子铣削(ion milling)时，预定形式或形状的旋转阀膜 43 和绝缘反铁磁膜保持在晶片的光致抗蚀膜之下。然后，如图 5 所示，在旋转阀膜 43 和绝缘反铁磁层 61 之上形成涂覆绝缘层 44。

在绝缘反铁磁层 61 和涂覆绝缘层 44 的上表面之上形成光致抗蚀膜 62。在光致抗蚀膜 62 中限定与较小电极层 45b 的形状相对应的孔穴 63。绝缘反铁磁层 61 在孔穴 63 的底部部分暴露。当例如实施离子铣削时，从孔穴 63 中除去绝缘反铁磁层 61。通过这种方式，可以在绝缘反铁磁膜 61 中限定穿透孔 64，最好如图 6 所示。然后，在晶片上形成上电极 45。上电极 45 部分引入到穿透孔 64 中。通过这种方式，可以获得上电极 45 的较小电极层 45b。

可以采用导电磁性材料来代替磁畴控制膜 46 中的绝缘磁性材料。在这种情况下，遍布在磁畴控制膜 46 的上表面上形成绝缘层 65，最好如图 7 所示。绝缘层 65 可以是非磁性层、磁层如硬磁层或反铁磁层中的任一种。可以通过与磁畴控制膜 46 相同的方式在绝缘层 65 中配置一对第一主体 65a 和一个第二主体 65b。具体地说，第一主体 65a 被设计为在横向上沿着空气支承表面 28 使上电极 45 的较小电极层 45b 介于它们之间。第二主体 65b 相邻于较小电极层 45b 和第一主体 65a 的后表面，其中，该后表面面对空气支承表面 28 的前表面。因此，允许感测电流流经根据较小电极层 45b 和端片 38b 建立的缩短路径。

现在参照图 8，磁畴控制膜 46 可以仅具有第一主体 46a，其中，第一主体 46a 在自由磁层 55 上沿着空气支承表面 28 使较小电极层 45b 介于它们之间。如图 9 所示，磁畴控制膜 46 可以仅具有第二主体 46b，其中，第二主体 46b 接触较小电极层 45b 的后表面，其中，该后表面面对空气支承表面 28 的前端。根据任一实施例，在磁畴控制膜 46 与自由磁层 55 之间发生的磁交换耦合允许可靠地在自由磁层 55 中建立磁化 Mg 的单一磁畴或对齐。因此，可以可靠地获得自由磁层 55 内单一磁畴的磁化。而且，旋转阀膜 43 中的感测电流路径可以通过这种方式减小。还可以在 CPP 结构 MR 读取元件 32 中获得较高的灵敏度。甚至，在 CPP 结构 MR 读取元件 32 中，磁芯的有效宽度可以随着感测电流路径的减小而减小。

可选地，在 CPP 结构 MR 读取元件 32 中，下电极 38 与被钉扎磁层 53 相比，旋转阀膜 43 可以使自由磁层 55 更靠近于前者。在这种实

施例中，例如，如图 10 所示，在下电极 38 的铅层 38a 的上表面上连续形成磁畴控制膜 46、自由磁层 55、非磁性中间层 54、被钉扎磁层 53 和反铁磁层 52。较小电极层 66 介于下电极 38 与自由磁层 55 之间。因此，仅通过较小电极层 66 在下电极 38 与旋转阀膜 43 之间建立电连接。因此，可以根据磁畴控制膜 46 与自由磁层 55 之间的磁交换耦合可靠地获得自由磁层 55 内单一磁畴的磁化 M_g 。而且，旋转阀膜 43 中的感测电流路径可以通过前述方式减小。

根据本发明，可以可靠地提供单一磁畴的自由磁层而无需进一步减小磁阻膜包括自由磁层的尺寸。本领域的技术人员应该知道在不脱离本发明的情况下可以对上述实施例进行修改或替换。

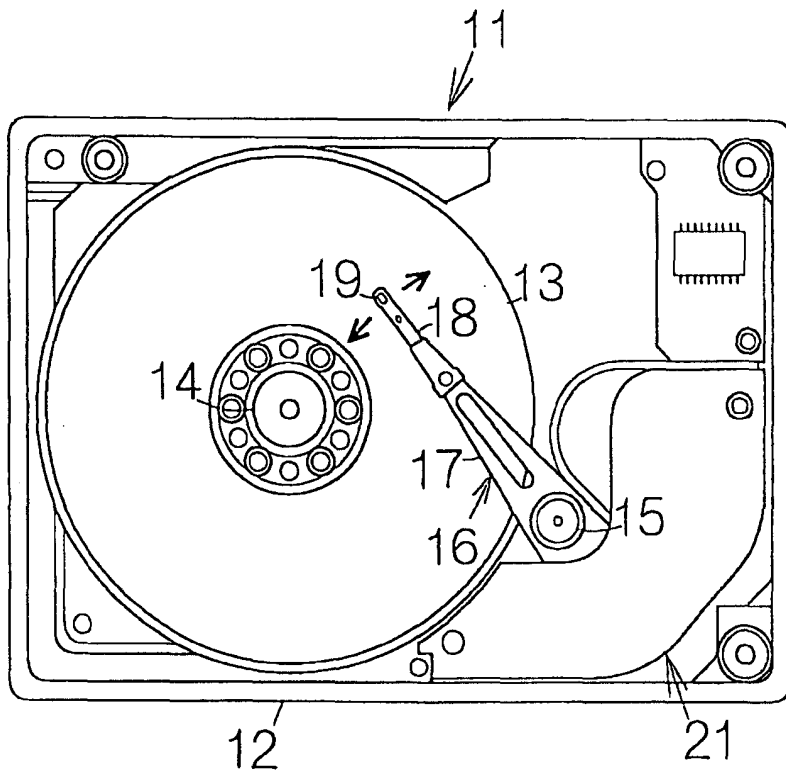


图1

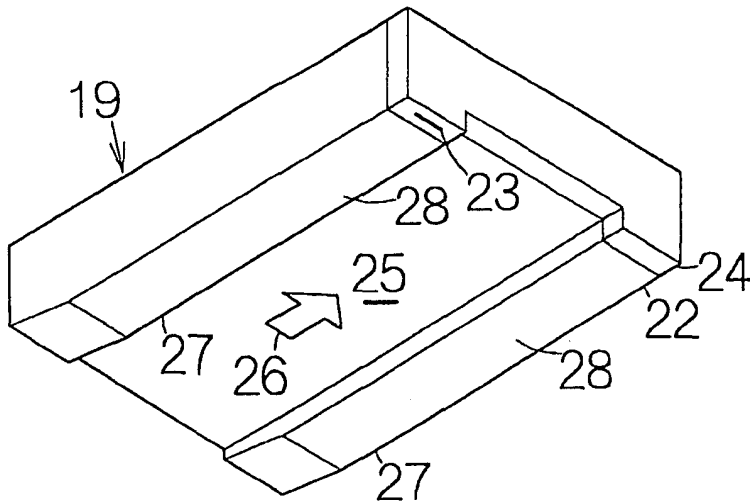


图2

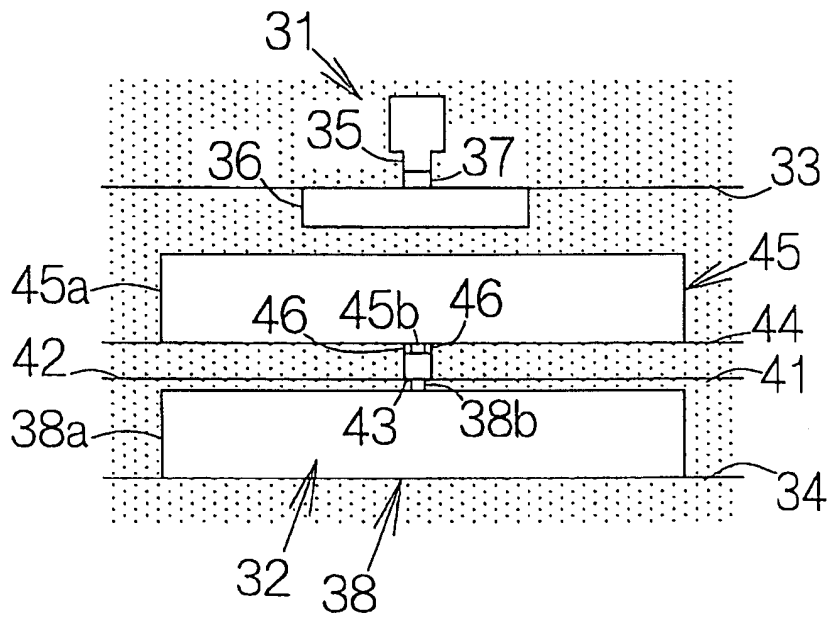


图3

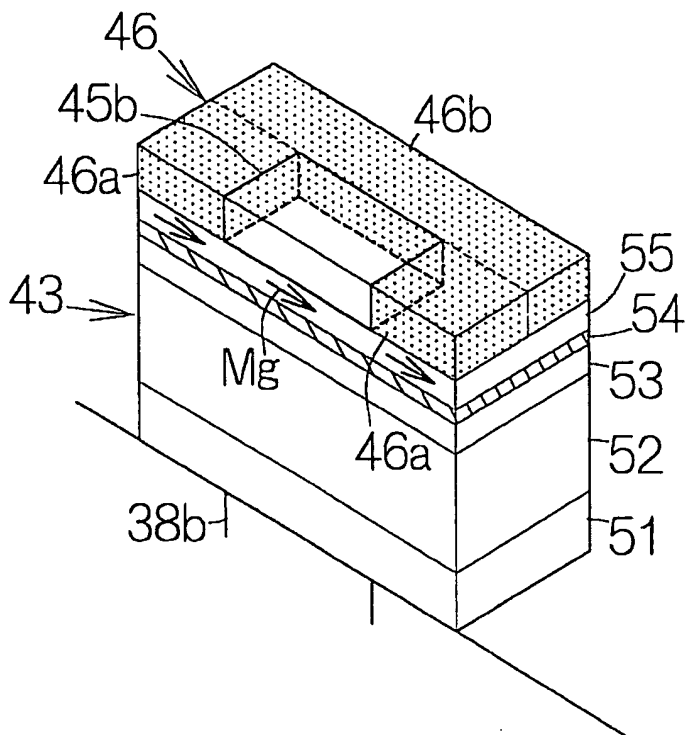


图4

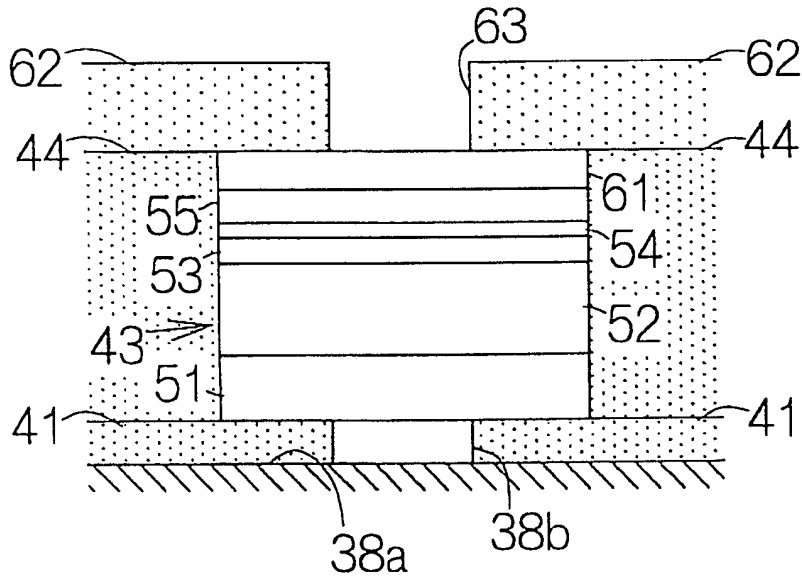


图5

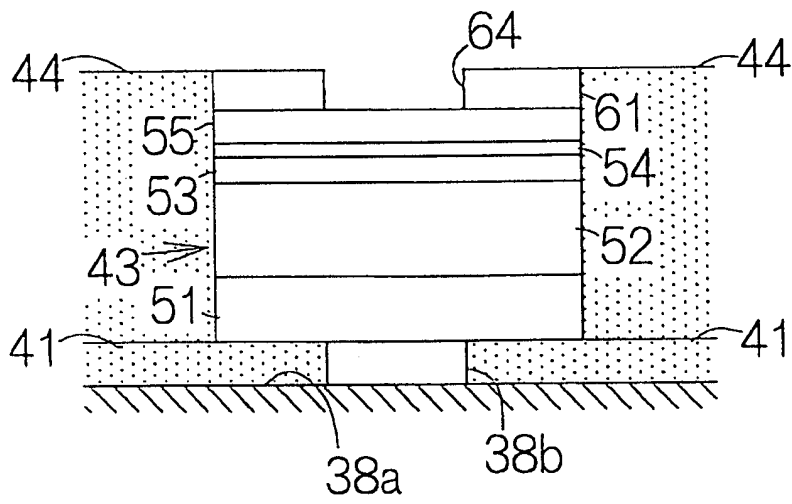


图6

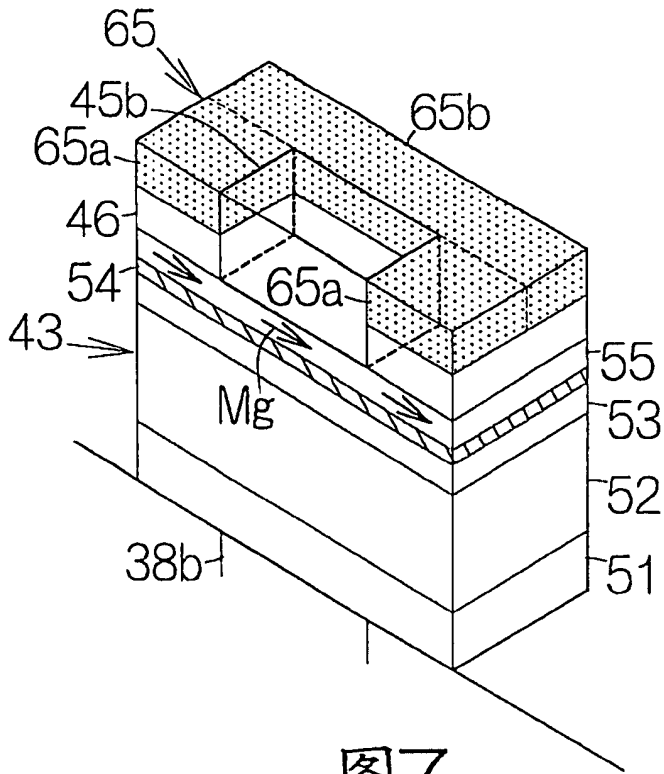


图7

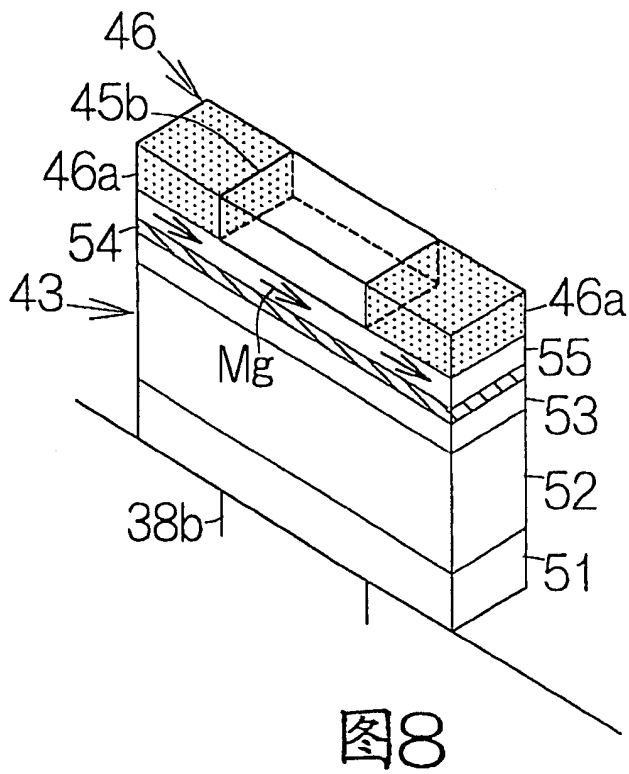


图8

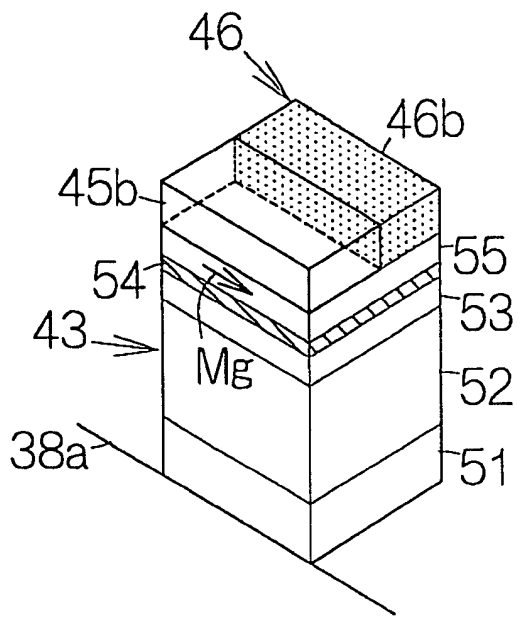


图9

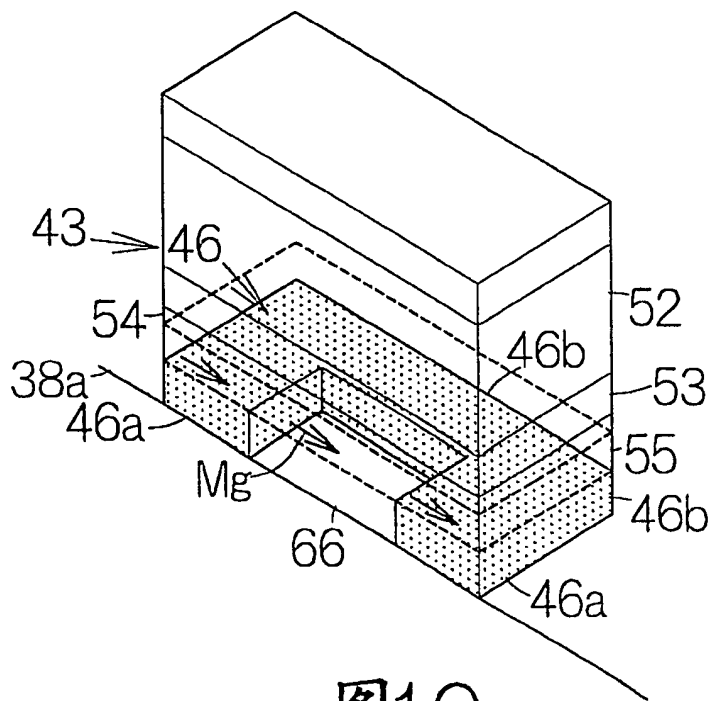


图10