

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G11B 5/39 (2006.01)

G01R 33/09 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510098021.2

[45] 授权公告日 2009年2月11日

[11] 授权公告号 CN 100461264C

[22] 申请日 2005.9.1

[21] 申请号 200510098021.2

[30] 优先权

[32] 2004.10.29 [33] US [31] 10/977,300

[73] 专利权人 日立环球储存科技荷兰有限公司

地址 荷兰阿姆斯特丹

[72] 发明人 马修·J·凯里

杰弗里·R·奇尔德雷斯

斯蒂芬·马特

[56] 参考文献

US2002 / 0177013A1 2002.11.28

US2003 / 0179514A1 2003.9.25

US2004 / 0075957A1 2004.4.22

US2001/0001256A1 2001.5.17

CN1121178A 1996.4.24

审查员 马美红

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

代理人 李晓舒 魏晓刚

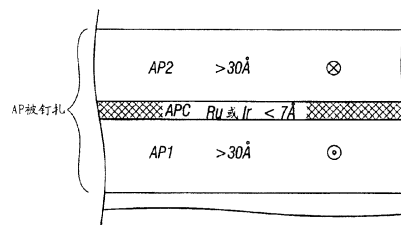
权利要求书 1 页 说明书 7 页 附图 3 页

[54] 发明名称

具有改进反平行被钉扎结构的电流垂直平面磁电阻传感器

[57] 摘要

本发明提供一种电流垂直平面式自旋阀 (CPP-SV) 磁电阻传感器, 其具有改进的反平行 (AP) 被钉扎结构。AP 被钉扎结构具有由非磁反平行耦合 (APC) 层分开并且其磁化方向反平行取向的两铁磁层。AP 被钉扎结构中铁磁层的一个是与 CPP-SV 传感器的非磁导电间隔物层相接触的参照层。在改进的 AP 被钉扎结构中, 每个铁磁层具有大于 30 \AA 的厚度, 优选地具有大于约 50 \AA 的厚度, 并且 APC 层为具有小于 7 \AA 厚度, 优选地为大约 5 \AA 或更小厚度的 Ru 或 Ir 层。超薄 APC 层, 特别是如果由铱 (Ir) 形成, 提供足够的耦合强度从而允许厚铁磁层将其磁化方向保持在稳定的反平行取向。



1. 一种电流垂直平面式磁电阻读取磁头,用于在传感电流施加到所述电流垂直平面式磁电阻读取磁头时从磁记录介质上的道读取磁记录数据,所述磁头包括:

由导电透磁材料的第一屏蔽层构成的第一电引线;

所述第一屏蔽层上的籽层;

自钉扎的反平行 AP 被钉扎结构,其包括位于所述籽层上并具有面内磁化方向的第一 AP 被钉扎 AP1 铁磁层、具有与所述 AP1 铁磁层的所述磁化方向基本反平行的面内磁化方向的第二 AP 被钉扎 AP2 铁磁多层、以及位于 AP1 铁磁层和 AP2 铁磁多层之间并与其相接触的 AP 耦合 APC 层,所述 AP1 铁磁层和 AP2 铁磁多层中的每者具有大于 50\AA 的厚度,所述 AP2 铁磁多层包括 CoFe 合金层和位于所述 APC 层与所述 CoFe 合金层之间的 NiFe 合金层,并且所述 APC 层基本由 Ir 构成并具有小于 5\AA 的厚度,且所述 AP 被钉扎结构具有大于 5 kOe 的饱和磁化;

包括所述 CoFe 合金层的氧化表面层的纳米氧化物层;

所述 CoFe 合金层的所述氧化表面层上的导电非磁间隔物层;

自由铁磁层,其位于所述间隔物层上并在没有外部磁场的情况下具有与 AP1 铁磁层和 AP2 铁磁多层的磁化方向基本正交取向的面内磁化方向;

位于所述自由铁磁层上的盖层; 以及

位于所述盖层上的由导电透磁材料的第二屏蔽层构成的第二电引线,所述自钉扎的 AP 被钉扎结构、所述导电非磁间隔物层、及所述自由铁磁层位于所述第一电引线和第二电引线之间,所述传感电流被引导进入所述第一电引线和第二电引线之一,垂直通过所述自钉扎的 AP 被钉扎结构、所述导电非磁间隔物层、及所述自由铁磁层,并从而所述第一电引线和第二电引线的另一个流出。

2. 如权利要求 1 所述的电流垂直平面式磁电阻读取磁头,其中所述 AP1 铁磁层和 AP2 铁磁多层具有基本相同的磁矩。

具有改进反平行被钉扎结构的电流垂直平面磁电阻传感器

技术领域

本发明涉及一种电流垂直平面式 (CPP) 磁电阻传感器, 其利用垂直指向构成传感器堆叠(sensor stack)的层的平面的传感电流进行工作。

背景技术

用作磁记录盘驱动器中读取头的一种类型的常规磁电阻传感器为“自旋阀”(SV) 传感器。SV 磁电阻传感器具有包括由通常为铜 (Cu) 的非磁性导电间隔层所分开的两个铁磁层的叠层。一个铁磁层其磁化方向例如通过与相邻反铁磁层的交换耦合被钉扎而被固定, 并且另一铁磁层其磁化方向在存在外部磁场时“自由”。利用对传感器施加的传感电流, 可根据电阻变化检测自由层磁化关于被固定层磁化的旋转。

在磁记录盘驱动器 SV 读取传感器或磁头中, 不存在外部磁场情况下, 被固定或被钉扎层的磁化通常垂直于盘的平面, 自由层的磁化通常平行于盘的平面。当暴露于来自盘上记录数据的外部磁场时, 自由层磁化旋转, 引起电阻的变化。如果流过 SV 的传感电流取向为平行于传感器堆叠中的层的平面, 所述传感器称作平面内电流式 (CIP) 传感器, 而如果传感电流取向为垂直于传感器堆叠中的层的平面, 其称作电流垂直平面式 (CPP) 传感器。A.Tnanka 等在“Spin-valve heads in the current-perpendicular-to-plane mode for ultrahigh-density recording” (IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, 38(1): 84-88 Part 1 JAN 2002) 里描述了 CPP-SV 读取磁头。

读取磁头中使用的一种类型的 CPP-SV 包括反平行 (AP) 被钉扎结构。AP 被钉扎结构具有由非磁性反平行耦合 (APC) 层分开的第二 (AP2) 铁磁层和第一 (AP1) 铁磁层, 两 AP 被钉扎铁磁层的磁化方向基本反平行取向。一侧与非磁性 APC 层相接触而另一侧与 Cu 间隔物(spacer)相接触的 AP2 通常称作参照层(reference layer)。通常在一侧与反铁磁或硬磁钉扎层(pinning layer)相接触而在另一侧与非磁性 APC 层相接触的 AP1 通常称作被钉扎层(pinned layer)。如果 AP 被钉扎结构为“自钉扎”类型, 则不需要反铁磁层。

在没有反铁磁或硬磁存在的自钉扎结构中，AP1与传感器衬底上籽层（seed layer）相接触。AP被钉扎结构最小化参照层和CPP-SV自由铁磁层之间的静磁耦合。也称作“层叠”被钉扎层的AP被钉扎结构在美国专利5,465,185中作了描述。

通过增加参照铁磁（AP2）层的厚度从而在AP2层内产生更多体电子自旋散射（bulk electron spin scattering），能够增加CPP-SV读取磁头的磁电阻（ $\Delta R/R$ ）。常见CoFe和NiFe合金的自旋扩散长度（spin-diffusion length）比大约为15-30Å的AP2的常见厚度要大。例如，S. Dubois等人测量的透磁合金（ $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ ）的自旋扩散长度为43Å（*Phys. Rev. B*60, page 477 (1999)），所以对于NiFe AP2层需要将AP2增加至或大于43Å。当AP2的厚度增加时，AP1的厚度也必须增加以抵消作用于自由层上的源于两个AP层的磁杂散场。因为AP1比AP2离自由层远，所以AP1甚至必须要比AP2厚以便在自由层处获得杂散场消除。当AP2的厚度增加时，AP1的磁矩也必须通过增加AP1层的厚度和/或饱和磁化而增加。其原因是为了保持AP被钉扎结构的净磁矩很小，以使近似与AP被钉扎结构的净磁矩成反比的反铁磁或硬磁钉扎层的有效钉扎场保持很高。可是，增加AP被钉扎铁磁层AP1和AP2的磁矩将降低AP结构的饱和场 H_s ，即克服了APC层的反平行耦合并且两个铁磁AP层的磁化变得平行的磁场。需要通常大于5 kOe的高 H_s 以获得磁稳定传感器。

由于AP被钉扎结构具有厚AP被钉扎铁磁层和强AP耦合，所以需要具有改善的磁电阻的CPP-SV传感器。

发明内容

本发明为具有改进的AP被钉扎结构的CPP-SV磁电阻传感器。在AP被钉扎结构中，铁磁层AP1和AP2分别具有大于30Å的厚度，优选地具有大于大约50Å的厚度，并且APC层为具有小于7Å厚度，优选大约5Å或更小厚度的Ru或Ir。超薄的APC层，特别地如果是铱（Ir）所形成的APC层，提供足够的耦合强度从而允许在不减少 H_s 的情况下使厚铁磁层可用于AP1和AP2。当CPP-SV传感器为磁记录盘驱动器读取磁头时，AP被钉扎结构位于底部读取磁头屏蔽（shield）和读取磁头自由铁磁层之间，AP2层与读取磁头的非磁性导电间隔物层相接触。AP2层可以为CoFe、NiFe和/或Cu

的叠层或多层以增加自旋相关散射。CoFe/Cu 和 NiFe/Cu 界面提供强的界面自旋相关散射，NiFe 提供强的体 (bulk) 自旋相关散射。

为了对本发明的特征和优点有更全面的理解，可结合附图参考以下详细说明。

附图说明

图 1 为移除盖的常规磁记录硬盘驱动器的示意顶视图。

图 2 为沿图 1 中 2-2 方向截取的滑块和部分盘的放大端部图。

图 3 为沿着图 2 中 3-3 方向的视图并示出了从盘方向观察的读/写磁头的端部。

图 4 为 CPP-SV 读取磁头的截面示意图，示出位于磁屏蔽层之间的堆叠。

图 5 为本发明 AP 被钉扎结构的截面示意图。

具体实施方式

CPP-SV 读取磁头具有用于磁记录盘驱动器的应用，参照图 1-3 简要描述其操作。图 1 常规磁记录硬盘驱动器 10 的简图。盘驱动器 10 包括磁记录盘 12 和支撑在盘驱动器外壳或机架 16 上的旋转音圈电机 (VCM) 致动器 14。盘 12 具有旋转中心 13 并通过配置在机架 16 上的主轴电机 (未示出) 沿方向 15 进行旋转。致动器 14 关于轴 17 旋转并包括刚性致动器臂 18。通常弹性悬挂 20 包括弯曲元件 23 并被安装在臂 18 的端部上。磁头载体或空气轴承滑块 22 安装在弯曲元件 23 上。磁记录读/写磁头 24 形成在滑块 22 的后缘面 25 上。弯曲 23 和悬挂 30 能够使滑块在旋转盘 12 产生的空气轴承上“仰俯(pitch)”和“横转(roll)”。通常，在被主轴电动机旋转的盘上叠放多个盘，单独的滑块和读/写磁头与每个盘表面相关联。

图 2 为沿着图 1 中 2-2 方向截取的滑块 22 和部分盘 12 的放大端部图。滑块 22 安装在弯曲元件 23 上并具有面向盘 12 的空气轴承表面 (ABS) 27 和通常垂直于 ABS 的后缘表面 25。ABS 27 使源自旋转盘 12 的气流产生空气轴承，其支撑滑块 20 非常接近或几乎接触盘 12 表面。读/写磁头 24 形成在后缘面 25 上并通过与后缘面 25 上的端子焊盘 29 的电连接而连接到盘驱动读/写电子组件。

图 3 是沿着图 2 中 3-3 方向的视图并示出了从盘 12 观察的读/写磁头

24 的端部。读/写磁头 24 为沉积在滑块 22 后缘面 25 上并被光刻构图的一系列薄膜。写入磁头包括由写入间隙 30 分开的磁写入极 P1/S2 和 P1。CPP-SV 磁电阻传感器或读取磁头 100 位于两个磁性屏蔽 S1 和 P1/S2 之间, P1/S2 也用作写入磁头的第一写入极。屏蔽 S1、S2 由透磁材料(magnetically permeable material)形成并是导电的, 所以可用作读取磁头 100 的导引线。也可使用单独的电引线, 在这种情况下, 与由导电引线材料如钽、金或铜材料形成的层相接触地形成读取磁头 100, 所述层与屏蔽 S1、S2 相接触。

图 4 为放大截面图, 示出了构成传感器 100 的层。传感器 100 为包括形成在两个通常为电镀 NiFe 合金膜的磁屏蔽层 S1、S2 之间的堆叠的 CPP-SV 读取磁头。通常通过化学机械抛光 (CMP) 来抛光下部屏蔽 S1 从而为传感器堆叠生长提供光滑的衬底。传感器层包括具有被固定磁矩或磁化方向 121 穿越取向 (进入页面内) 的参照铁磁层 120、具有能够响应来自盘 12 的穿越外部磁场在层 110 平面内旋转的磁矩或磁化方向 111 的自由铁磁层 110、以及参照层 120 和自由层 110 之间的通常为铜 (Cu) 的导电间隔物层 130。

如美国专利 5,465,185 中所描述的, 参照层 120 为公知的反平行 (AP) 被钉扎结构也称作“叠层”被钉扎层的部分。AP 被钉扎结构最小化参照层 120 和自由层 110 之间的静磁耦合。AP 被钉扎结构包括经过诸如 Ru 或 Ir 的 AP 耦合 (APC) 层 123 而反铁磁耦合的参照铁磁 (AP2) 层 120 和下铁磁 (AP1) 层 122。AP1 和 AP2 铁磁层具有各自的反平行取向的磁化方向 127、121。AP 被钉扎结构可以是“自钉扎”的或者 AP1 层 122 的磁化方向可通过交换耦合到反铁磁 (AF) 层 124 或硬磁层而被钉扎。

底部电引线 126 和籽层 125 位于下屏蔽层 S1 和 AP 被钉扎结构之间。籽层 125 可以是单层或不同材料的多层。盖层(capping layer)112 和顶部电引线 113 位于自由铁磁层 110 和上屏蔽层 S2 之间。盖层 112 可以是单层或不同材料的多层, 如 Cu/Ru/Ta 三层。

当所关注范围内的外磁场, 即源自盘 12 上记录的数据的磁场存在时, 自由层 110 的磁化方向 111 将旋转, 同时参照层 120 的磁化方向 121 保持被固定而不旋转。因此, 当传感电流 I_s 从顶部引线 113 到底部引线 126 垂直经过堆叠(stack)施加时, 来自盘上记录的数据的磁场将引起自由层磁化 111 相对于参照层磁化 121 旋转, 其作为电阻变化是可检测的。

引线 126、113 通常为 Ta。可是, 也可以使用低电阻材料。他们是可选

的并可用于调节屏蔽到屏蔽的间隔。如果引线 126 和 113 不存在，则把底部和顶部屏蔽 S1 和 S2 用作引线。籽层 125 通常为层或更多层 NiFeCr、NiFe、Ta、Cu 或 Ru。反铁磁层 124 通常为 Mn 合金，例如 PtMn、NiMn、FeMn、IrMn、PdMn、PtPdMn 或 RhMn。如果使用硬磁层而不用反铁磁层，则其常见为 CoPt 或 FePt 合金，例如 CoPtCr。盖层 112 提供腐蚀保护并通常由 Ru 或 Ta 形成。铁磁层 122 (AP1)、120 (AP2) 和 110 (自由层) 通常由 Co、Fe 和 Ni 中的一种或更多种的合金、或者两种合金的双层如 CoFe-NiFe 双层所形成。例如，参照铁磁层 120 可以是通常具有 10 至 30Å 厚的 CoFe 合金，并且自由铁磁层 110 可以是双层，其为通常 10 - 15Å 厚且形成在间隔物层 130 上的 CoFe 合金与形成在双层的 CoFe 层上通常为 10 - 30Å 厚的 NiFe 合金的双层。在传感器堆叠外部自由铁磁层 110 侧缘附近或堆叠中可包括如 CoPt 或 CoCrPt 层的硬磁层 (未示出)，用于自由铁磁层 110 的磁稳定或纵向偏置。。

尽管图 4 中所示的读取磁头 100 因为 AP 被钉扎结构处于自由层 110 下方而成为“底部被钉扎”读取磁头，但自由层 110 可位于 AP 被钉扎结构的下方。在这样的配置中，AP 被钉扎结构的层倒转，AP2 层 120 位于间隔物层 130 顶部上并与之相接触。

在具有 AP 被钉扎结构的常规 CPP-SV 读取磁头中，AP1 和 AP2 铁磁层通常具有小于大约 30Å 的厚度，而 Ru APC 层具有大于大于 7Å 的厚度，通常具有 7 - 10Å 之间的厚度。可将 AP 被钉扎结构的膜可靠地溅射沉积至单埃以下的精确度。通过打开遮挡器并以给定速度沉积给定时间，通常以接近 1Å/s 的速率沉积所述膜。例如，N.Wiese 等人在 2004 年 9 月 13 日的 Appl. Phys. Lett. 第 85 卷编号 11 中描述了当 Ru APC 的厚度从 7 到 12 Å 的厚度以 1Å 步幅变动时，CoFeB/Ru/CoFeB 三层中反铁磁交换耦合能的差别。

期望具有更厚的 AP2 层从而利用电子的全自旋扩散长度 (full spin-diffusion length)。这将增加电子的体自旋相关散射，这样增加了读取磁头的磁电阻。可是，AP 被钉扎结构展示大于大约 5 kOe 的高饱和磁场 H_s 从而获得对于 AP1 和 AP2 磁化方向的稳定反平行配置也是必要的。然而，对于厚的 AP1 和 AP2 层，通过 APC 层的耦合强度不足以提供具有足够高 H_s 的 AP 被钉扎结构。

本发明为具有如图 5 所示的改进 AP 被钉扎结构的上述 CPP-SV 读取磁

头。每个铁磁层 AP1 和 AP2 具有大于 30Å，优选地大于约 50Å 的厚度，并且 APC 层为具有小于 7Å，优选地约 5Å 以下的 Ru 或 Ir。超薄的 APC 层，特别是如果由铱 (Ir) 形成，提供足够的耦合强度从而在不减少 H_s 的情况下允许厚铁磁层用于 AP1 和 AP2。

AP1 和 AP2 层优选为 Fe 含量处于大约 5 和 80 原子百分比之间的 CoFe。AP2 可被层叠以进一步增强体自旋相关散射。具有大约 15 至 25 原子百分比的 Fe 的 NiFe 为强体散射物质，因此具有 NiFe 的叠层有益于进一步增强 $\Delta R/R$ 。层叠的 AP2 层可以是 CoFe/NiFe 或 CoFe/NiFe/CoFe 三层。Cu 也是有用的叠层材料，因为 CoFe/Cu 和 NiFe/Cu 界面提供高界面自旋相关散射。一个或更多个自由层、AP2 层、盖层和导电非磁间隔物层也可以包括纳米氧化物层以局部限定电路路径并增加有效电阻率。例如，通过已经沉积一些 CoFe 之后中断沉积并在 0.1 至 10 托的 O_2 或 O_2/Ar 气体中氧化其表面几分钟，可形成 CoFe 纳米氧化物层。通过氧化其他材料，如 Cu/Al 合金，能够形成纳米氧化物层。

利用 40Å 的 CoFe 自由层、25Å 的 Cu 间隔物层和本发明的 AP 被钉扎结构制成了各种 CPP-SV 样品。利用 5Å 的 Ir APC 层和各种 AP1 和 AP2 层制成了 AP 被钉扎结构。CPP 堆叠通过电子束光刻进行限定并具有大约 100nm 的直径。下面的表 1 列出了这些样品的所测的 CPP-SV 传感器的 $\Delta R/R$ 和 AP 被钉扎结构的 H_s 。

表 1

AP1	AP2	H_s (kOe)	$\Delta R/R$ (%)
33Å $Co_{90}Fe_{10}$	35Å $Co_{90}Fe_{10}$	19	1.6
68Å $Co_{90}Fe_{10}$	70Å $Co_{90}Fe_{10}$	10	2.3
138Å $Co_{90}Fe_{10}$	140Å $Co_{90}Fe_{10}$	5	2.8
43Å $Co_{90}Fe_{10}$	10Å $Co_{90}Fe_{10}/50Å Ni_{81}Fe_{19}/10Å Co_{90}Fe_{10}$ (磁矩与 43Å CoFe 的相同)	14	2.6

表 1 中的数据显示，对于所有大于 30Å 的 AP2 层，5Å 的 Ir APC 层提供的耦合提供大于 5 kOe 的 H_s 并且传感器 $\Delta R/R$ 大于大约 1.6%。比较起来，对于具有相同自由和 Cu 间隔物层结构，但 AP 被钉扎结构具有 15Å $Co_{90}Fe_{10}$

的更薄 AP1、 17\AA $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 的更薄 AP2 以及 8\AA Ru 的更厚 APC 的类似 CPP-SV 传感器， H_s 为 6 kOe 并且 $\Delta R/R$ 为 1.2。

优选地，AP1 和 AP2 层具有大约相同的磁矩，并由此应具有相同的厚度。可是，对于非常厚的 AP1 和 AP2 层，AP1 应当比 AP2 厚以便抵消自由层上磁杂散场。可是，在此需要论证增加 AP2 厚度的效果而不关注消除磁杂散场，所以表 1 样品中 AP1 和 AP2 的磁矩相匹配。在表 1 的样品中，AP1 层比 AP2 薄 2\AA 以说明 AP2 层和 Cu 间隔物层之间界面处的“死”层。在表 1 中的最后一个样品中，CoFe/NiFe/CoFe 双层用于 AP2 层，具有 70\AA 的总物理厚度。可是，由于 NiFe 的磁化低于 CoFe，故该三层的磁矩可与 45\AA 的 CoFe 相当。因此，对于最后一个样品，为 AP1 选择 45\AA 厚的 CoFe 层。因为 NiFe 为自旋相关电子的强体散射物质，所以与 AP2 中 35\AA 和 70\AA 的 CoFe 的样品相比， $\Delta R/R$ 提高了。当使用超薄（小于 7\AA ）的 Ru APC 层时，也能发现与表 1 的这些结果相类似的结果。

虽然参照优选实施例已经特定地示出并描述了本发明，但本领域技术人员应当理解，在不脱离本发明的精神和范围的情况下，可在形式和细节上进行各种改变。因此，所披露的本发明应当被认为仅仅是示例性的并限制在仅由所附权利要求所规定的范围内。

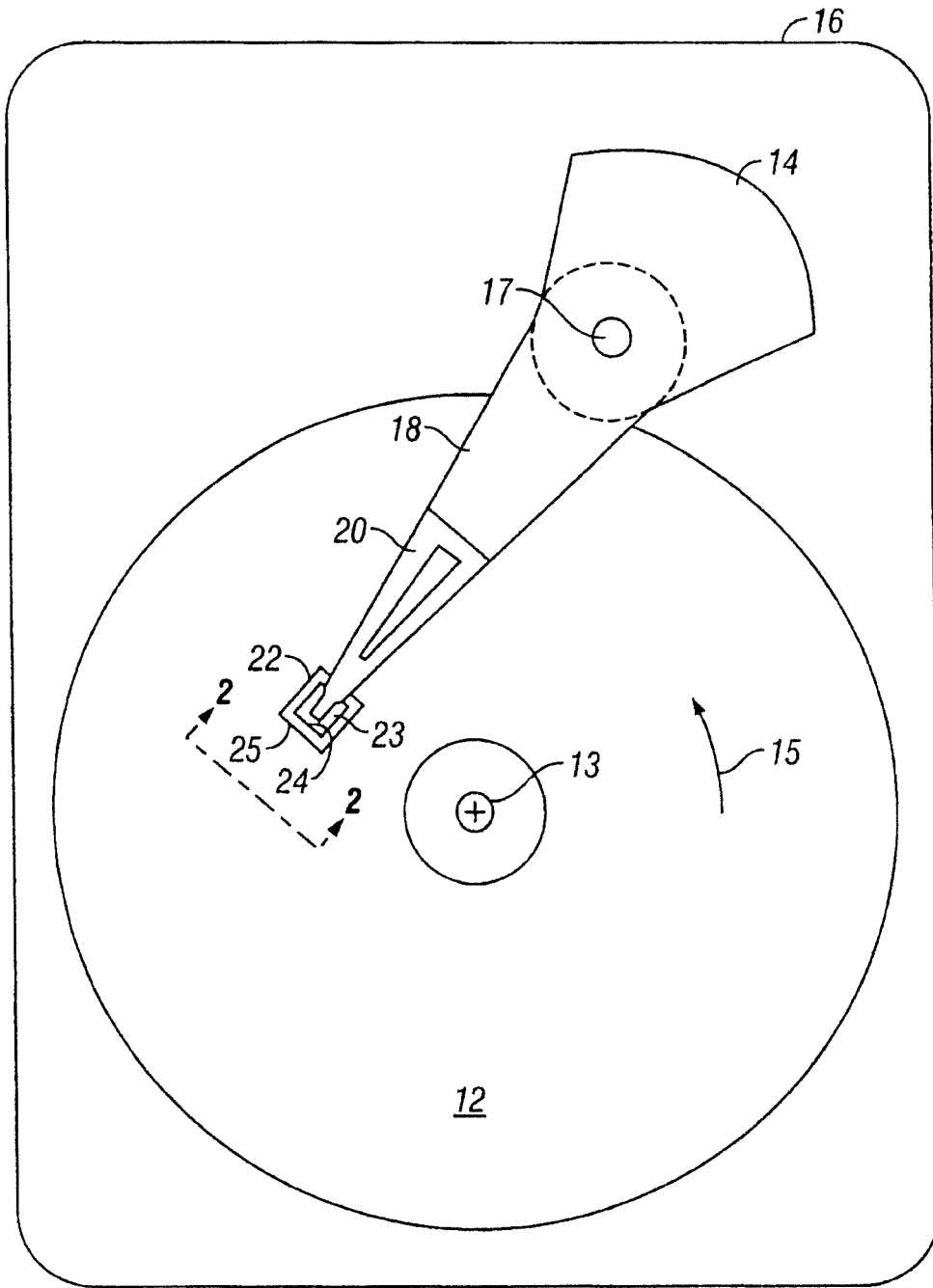


图 1

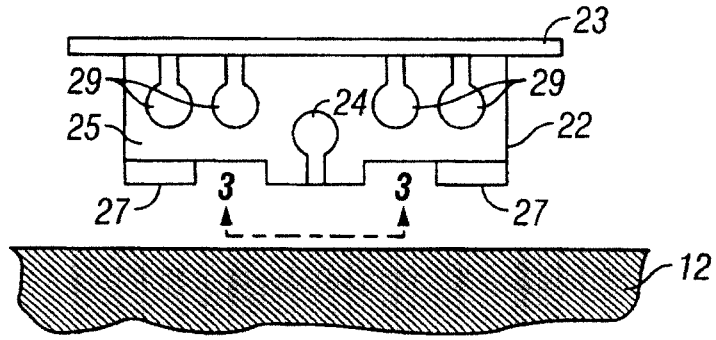


图 2

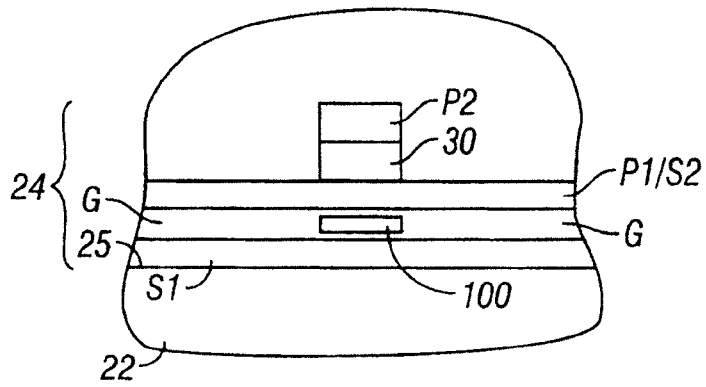


图 3

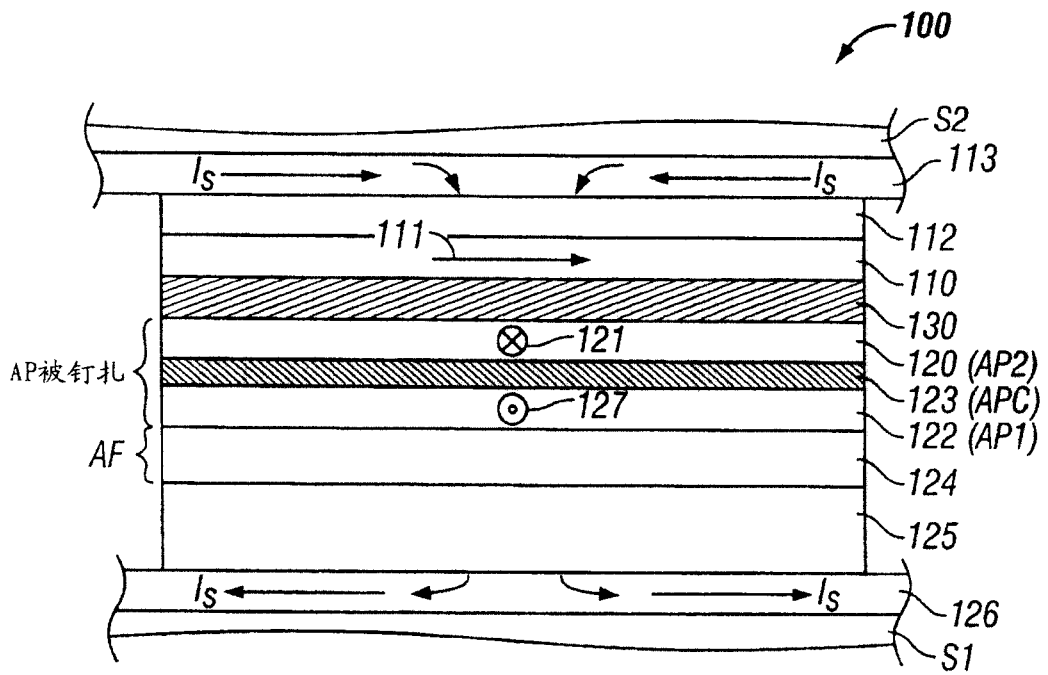


图 4

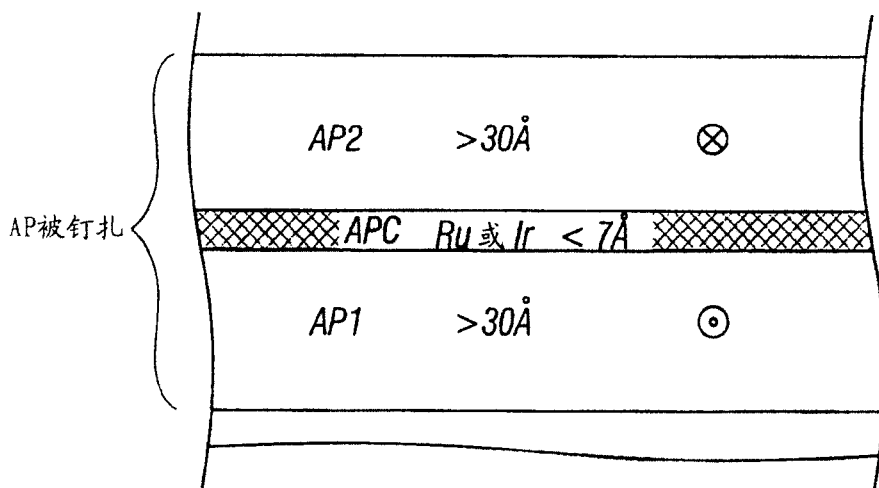


图 5