(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103854674 B
(45)授权公告日 2016.02.24

(21)申请号 201410080609.4

(22)申请日 2009.11.24

(30)优先权数据
12/324,629 2008.11.26 US

(62)分案原申请数据
200910225825.2 2009.11.24

(73)专利权人 希捷科技有限公司
地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 高凯中 陆斌 B·F·法尔库 X·马

(74)专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司 31100
代理人 张欣

(51)Int.Cl.
G11B 5/66(2006.01)
G11B 5/667(2006.01)

(56)对比文件
US 2006228586 A1,2006.10.12,
US 2007037017 A1,2007.02.15,
CN 1534611 A,2004.10.06,
US 2003022025 A1,2003.01.30,
US 2006269797 A1,2006.11.30,

审查员 李强

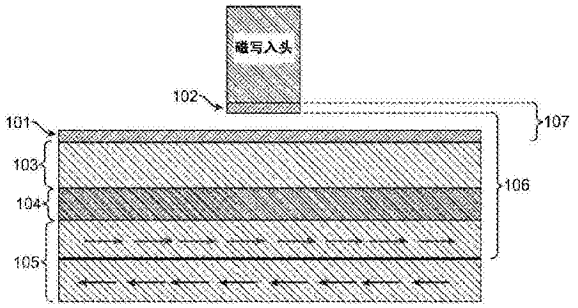
权利要求书2页 说明书10页 附图5页

(54)发明名称

具有减小的磁头保持间距、头介质间距或头到软底层间距的记录介质

(57)摘要

本发明公开了具有减小的磁头保持间距、头介质间距或头到软底层间距的记录介质。本发明的多个方面所包括的记录介质通过减小头介质间距、头保持间距、或头到软底层间距，提高了面密度。这些方面包括用磁性材料所构成的组件与成分来替换目前非磁性的设备组件(比如夹层和外涂层)。其它方面涉及在记录介质内所沉积的磁性晶种层。较佳地，这些方面具体实现成方法、系统和/或其组件，减小了有效磁间距，而不牺牲物理间距。



CN 103854674 B

1.一种磁记录装置,包括:

位于基板上的软磁底层(SUL);

位于所述SUL上方的磁性记录层;

位于所述磁性记录层的顶部的铁磁性介质外涂层;

位于所述SUL和所述磁性记录层之间的顺磁性夹层,其中所述顺磁性夹层包括含Ru的第一颗粒层,所述第一颗粒层位于含RuCo的第二和第三颗粒层之间;以及

在磁写入头的表面上方的铁磁性头外涂层。

2.如权利要求1所述的磁记录装置,其特征在于,所述顺磁性夹层包括:

在所述SUL上方的厚度为1-200埃的所述第二颗粒层;

在所述含RuCo的第二颗粒层上方的厚度为0.1-100埃的所述第一颗粒层;以及

在所述含Ru的第一颗粒层上方的含RuCo且厚度为1-200埃的所述第三颗粒层,其中所述含Ru的第一颗粒层反铁磁地耦合到所述含RuCo的第三和第二颗粒层。

3.如权利要求1所述的磁记录装置,其特征在于,所述顺磁性夹层的饱和磁化强度(Ms)为100-1000emu/cc且厚度为1-1000埃。

4.如权利要求1所述的磁记录装置,其特征在于,所述顺磁性夹层是颗粒状的并且还包括铁(Fe)、钴(Co)、镍(Ni)、碳(C)、或晶体磁性材料。

5.如权利要求1所述的磁记录装置,其特征在于,所述铁磁性介质外涂层的饱和磁化强度(Ms)为100-1000emu/cc且厚度为0.1-100埃。

6.如权利要求1所述的磁记录装置,其特征在于:

所述第一颗粒层反铁磁地耦合到所述第二和第三颗粒层,

所述第二和第三颗粒层中的每一个具有为1-200埃的相应厚度和为100-1000emu/cc的饱和磁化强度(Ms),以及

所述第一颗粒层的厚度在0.1-100埃之间。

7.如权利要求1所述的磁记录装置,其特征在于,所述铁磁性介质外涂层包括Fe、Co、Ni、C、Ni-Fe-C、或Ni-Co-C。

8.一种磁记录装置,包括:

位于软磁底层(SUL)上的磁性记录层;

位于所述磁性记录层的顶部的铁磁性介质外涂层;

位于所述SUL和所述磁性记录层之间的顺磁性夹层,其中所述顺磁性夹层包括含Ru的第一颗粒层,所述第一颗粒层位于含RuCo的第二和第三颗粒层之间;以及

在磁写入头的表面上方的铁磁性头外涂层。

9.如权利要求8所述的磁记录装置,其特征在于,所述顺磁性夹层包括:

在所述SUL上方的厚度为1-200埃的所述第二颗粒层;

在所述含RuCo的第二颗粒层上方的厚度为0.1-100埃的所述第一颗粒层;以及

在所述含Ru的第一颗粒层上方的含RuCo且厚度为1-200埃的所述第三颗粒层,其中所述含Ru的第一颗粒层反铁磁地耦合到所述含RuCo的第三和第二颗粒层。

10.如权利要求8所述的磁记录装置,其特征在于,所述顺磁性夹层的饱和磁化强度(Ms)为100-1000emu/cc且厚度为1-1000埃。

11.如权利要求8所述的磁记录装置,其特征在于,所述顺磁性夹层是颗粒状的并且还

包括铁 (Fe)、钴 (Co)、镍 (Ni)、碳 (C)、或晶体磁性材料。

12. 如权利要求 8 所述的磁记录装置，其特征在于，所述铁磁性介质外涂层的饱和磁化强度 (Ms) 为 100-1000emu/cc 且厚度为 0.1-100 埃。

13. 如权利要求 8 所述的磁记录装置，其特征在于 ：

所述第一颗粒层反铁磁地耦合到所述第二和第三颗粒层，

所述第二和第三颗粒层中的每一个具有为 1-200 埃的相应厚度和为 100-1000emu/cc 的饱和磁化强度 (Ms)，以及

所述第一颗粒层的厚度在 0.1-100 埃之间。

14. 如权利要求 8 所述的磁记录装置，其特征在于，所述铁磁性介质外涂层包括 Fe、Co、Ni、C、Ni-Fe-C、或 Ni-Co-C。

15. 一种磁记录装置，包括 ：

位于基板上的软磁底层 (SUL) ；

位于所述 SUL 上方的磁性记录层 ；

位于所述 SUL 和所述磁性记录层之间的顺磁性夹层，其中所述顺磁性夹层包括含 Ru 的第一颗粒层，所述第一颗粒层位于含 RuCo 的第二和第三颗粒层之间 ；以及

在磁写入头的表面上方的铁磁性头外涂层。

16. 如权利要求 15 所述的磁记录装置，其特征在于，所述顺磁性夹层包括 ：

在所述 SUL 上方的厚度为 1-200 埃的所述第二颗粒层 ；

在所述含 RuCo 的第一颗粒层上方的厚度为 0.1-100 埃的所述第一颗粒层 ；以及

在所述含 Ru 的第一颗粒层上方的含 RuCo 且厚度为 1-200 埃的所述第三颗粒层，其中所述含 Ru 的第一颗粒层反铁磁地耦合到所述含 RuCo 的第三和第二颗粒层。

17. 如权利要求 15 所述的磁记录装置，其特征在于，所述顺磁性夹层的饱和磁化强度 (Ms) 为 100-1000emu/cc 且厚度为 1-1000 埃。

18. 如权利要求 15 所述的磁记录装置，其特征在于，所述顺磁性夹层是颗粒状的并且还包括铁 (Fe)、钴 (Co)、镍 (Ni)、碳 (C)、或晶体磁性材料。

19. 如权利要求 15 所述的磁记录装置，其特征在于 ：

所述第一颗粒层反铁磁地耦合到所述第二和第三颗粒层，

所述第二和第三颗粒层中的每一个具有为 1-200 埃的相应厚度和为 100-1000emu/cc 的饱和磁化强度 (Ms)，以及

所述第一颗粒层的厚度在 0.1-100 埃之间。

20. 如权利要求 16-19 中任一项所述的磁记录装置，其特征在于，还包括 ：

位于所述磁性记录层的顶部的铁磁性介质外涂层，其中所述铁磁性介质外涂层的饱和磁化强度 (Ms) 为 100-1000emu/cc 且厚度为 0.1-100 埃。

具有减小的磁头保持间距、头介质间距或头到软底层间距的记录介质

[0001] 本申请是申请人于 2009 年 11 月 24 日提交的、申请号为“200910225825.2”的、发明名称为“具有减小的磁头保持间距、头介质间距或头到软底层间距的记录介质”的发明专利申请的分案申请。

[0002] 有关申请的交叉参照

[0003] 本申请要求 2008 年 11 月 26 日提交的美国专利申请 12/324,629 的优先权，该申请引用在此作为参考。

技术领域

[0004] 本发明涉及具有增大的面密度的记录介质，尤其涉及通过减小磁头介质间距、磁头保持间距、或磁头到软底层间距而减小磁间距的方法、系统和组件。

背景技术

[0005] 磁介质被用于各种应用，主要是用在计算机和数据存储行业，例如，用在硬盘驱动器和其它记录设备中。面密度也被称为位密度，是指存储介质上单位面积中可填塞的数据的量。面密度通常是以每平方英寸有多少 GB（千兆位）来测量的。目前的磁盘和光盘所具有的面密度是每平方英寸有几个 GB。人们正努力将介质的记录面密度提高到大于 200GB/平方英寸。在实现高面密度这一方面，已经发现，垂直记录介质结构优于常规的纵向介质。通常，根据磁材料的晶粒的磁畴取向，将磁记录介质分成“纵向的”或“垂直的”；本发明的磁记录介质可以包括垂直的记录介质、纵向的记录介质、分立轨道记录介质、位组合的介质、或热辅助磁记录（HAMR）介质。

[0006] 在垂直磁记录介质（磁层中具有垂直的各向异性的记录介质）中，在与磁介质表面相垂直的方向上形成了剩余磁化强度，所记录的位被存储在记录层中垂直的或面外的取向中。

[0007] 在常规薄膜型磁介质中，细小晶粒的多晶磁性合金层充当有效的记录层。通常，记录介质是用含多晶 CoCr 或 CoPt- 氧化物膜制造的。在这种多晶膜中，富含 Co 的区域是铁磁性的，而富含 Cr 或氧化物的区域则是非磁性的。相邻铁磁畴之间的磁性交互作用因它们之间的非磁性区域而被削弱。

[0008] 使用具有垂直磁介质的“单极”磁换能器即“磁头”，可以获得高线性记录密度。写入换能器或磁头可以包括主（写入）极以及辅助极，并且基于要存储的信息位而产生高度集中的磁场，该磁场使介质磁化方向交替变化。当写入换能器所产生的局部磁场大于记录介质层的材料的矫顽磁力时，该位置处的多晶材料的晶粒就被磁化。在写入换能器所施加的磁场被除去之后，晶粒保持其磁化。磁化的方向匹配于所施加的磁场的方向。随后，记录介质层的磁化可以在读取换能器或读取“头”中产生电学响应，从而允许所存储的信息被读取。

[0009] 典型的垂直记录系统使用一种具有相对厚（与磁性记录层相比）的“软”磁底层

(SUL)和相对薄的“硬”垂直磁性记录层的记录介质，还使用一种单极磁头。磁“软度”是指具有相对低的矫顽磁力的磁性材料，大约 2-150 奥斯特(Oe)或者大约 1kOe 更佳，比如 NiFe 合金(坡莫合金)或很容易磁化和消磁的材料。“硬”磁性记录层具有相对高的矫顽磁力，比如几千 Oe，通常约为 2-10kOe，3-8kOe 更佳，例如，这种记录层包括具有垂直各向异性的钴基合金(例如，像 CoCrPtB 这样的 Co-Cr 合金，或既不容易磁化也不容易消磁的材料)。软磁底层引导从磁头发出的磁通量穿过硬的垂直磁性记录层。较佳地，该系统还包括非磁性基板、至少一个非磁性夹层以及任选的粘合层。较佳地，由一个或多个非磁性材料层构成的相对薄的夹层被置于至少一个硬磁性记录层之下，并且防止软底层与硬磁性记录层之间的磁交互作用，还促使该硬记录层具有期望的微结构和磁性质。参见美国专利公报 20070287031、美国专利 6914749、美国专利 7201977 等。上述夹层可以包括用于形成夹层层叠体的多个层，这些层中的至少一个层最好包括与硬磁垂直记录层相邻的 hcp (六角形紧密填充的)材料。

[0010] 磁通量Φ从磁头的主写入极发出，进入并穿过该主极下方区域中的至少一个垂直取向的硬磁性记录层，进入 SUL 并在其内前进一段距离，然后从中出来并穿过该换能器头的辅助极下方区域中的至少一个垂直的硬磁性记录层。

[0011] 与常规的垂直介质(因磁性晶粒之间存在强横向交换耦合而受到限制)相比，目前正开发一种粒状垂直磁记录介质，因为它能够进一步扩大所存储的数据的面密度。粒状(意味着面内的晶粒本质上是不连续的)垂直记录介质包括粒状垂直磁性层，该层具有被晶界分开的磁性柱状晶粒，而晶界则包括空隙、氧化物、氮化物、非磁性材料或它们的组合物。晶界的厚度约为 2-20 埃，能使磁性晶粒之间的磁交互作用减小很多。与常规的垂直介质相比(其中垂直磁性层通常是在有氩(Ar)等惰性气体存在时在低压和高温下被溅射的)，上述粒状垂直磁性层的沉积过程是在相对较高的压力和相对较低的温度下进行的，并且还利用了反应溅射技术，其中氧气和 / 或氮气被引入到例如氩和氧、氩和氮、或氩和氧和氮的气体混合物中。或者，也可以通过使用含氧化物和 / 或氮化物的溅射靶而引入氧或氮，这是在有惰性气体(比如氩)存在的情况下进行溅射的；或者，任选地，也可以在有氧气和 / 或氮气所构成的溅射气体存在的情况下进行溅射，同时有或没有惰性气体存在。氧气和 / 或氮气的引入能提供迁移到晶界中的氧化物和 / 或氮化物，这样，就可以提供一种粒状垂直结构，其晶粒之间的横向交换耦合得以减小。参见美国专利公报 20060269797。这种晶界的引入可以增大记录 / 存储介质的面密度。

[0012] 在所述介质中插入各种层，可形成层叠结构。该介质的层叠结构包括位于多晶层内的晶界。因为硬磁主记录层最好外延地形成于上述夹层上，所以每一个多晶层的晶粒都具有大致相同的宽度(在水平方向上测得的)并且垂直配准(即垂直地“相关”或对准)。完成的层叠体是一种保护性的外涂层，比如由类金刚石的碳(DLC)构成且形成于硬磁层之上，并且润滑顶层(比如由全氟代聚醚材料构成)形成于该保护性外涂层之上。上述垂直记录介质也可以包括与软磁底层(SUL)相邻的晶种层，并且最好包括非晶材料和面心立方晶格结构(fcc)材料中的至少一种。术语“非晶”是指这种材料在 X 射线衍射图案中与背景噪声相比没有呈现出任何峰值。根据本发明的非晶层可以包括非晶相的纳米微晶或任何其它形式的材料，只要该材料在 X 射线衍射图案中与背景噪声相比没有呈现出任何峰值就可以。晶种层促成了底层的特定晶体织构的成核过程。通常，晶种层是非磁性基板上首先沉积的层。

该层的作用是使接下来含 Cr 的底层的晶体取向具有纹理或对齐。晶种层、底层和磁性层通常在惰性气体(比如氩)环境中按顺序地被溅射沉积在基板上。

[0013] 垂直层叠的磁性层包括所谓的“粒状”记录层(其中,磁性晶粒仅仅是横向地弱交换耦合着)和连续层(其中,磁性晶粒横向地强交换耦合着),这些层以确定的记录介质配置铁磁地耦合在一起。在这种介质中,整个连续的磁性层可以与粒状磁性层中的每一个晶粒耦合着(从而形成垂直交换耦合的复合体 - “ECC”)。参见美国专利 7201977。

[0014] 晶粒非常细小的磁记录介质可能具有热不稳定性。一个解决方案是通过铁磁性记录层与另一个铁磁层或反铁磁层的耦合来提供稳定化处理。这可以通过提供一种稳定化的磁记录介质来实现,这种稳定化的磁记录介质由至少一对铁磁层构成,这些铁磁层通过插入其间的薄非磁性间隔层而反铁磁地耦合(″AFC″)。该耦合有望增大每一个磁性晶粒的有效体积,由此增大其稳定性 ;在确定稳定性增大方面,上述铁磁层对之间的耦合强度是关键的参数。与不连续的铁磁层相比,连续的铁磁层具有更低的矫顽磁力 ;非磁性间隔层在连续的铁磁层和不连续的铁磁层之间提供了磁性耦合或反铁磁耦合,这取决于其厚度。较佳地,上面的和下面的磁性层的磁性晶粒是以垂直对准的方式生长的,并且其尺寸相等或大约相等 ;否则,每一对铁磁层中所写入的区域可能不一致。美国专利 6777112。

[0015] 基板通常是盘片形状的,并且可以包括玻璃、陶瓷、玻璃 - 陶瓷、NiP/ 铝、金属合金、塑料 / 聚合物材料、陶瓷、玻璃 - 聚合物、复合材料、非磁性材料、或它们的组合体或层压体。参见美国专利 7060376。生产磁记录刚性盘片所通常使用的基板材料包括铝 - 镁(Al—Mg)合金。这种 Al—Mg 合金通常被无电极电镀上一层厚度约为 15 微米的 NiP,以增大基板的硬度,由此,提供适合的抛光表面以提供所需的表面粗糙度或纹理。任选的粘合层(如果存在于基板表面上的话)通常包括厚度小于 200 埃的金属层或金属合金材料层(比如 Ti、Ti 基合金、Ta、Ta 基合金、Cr、或 Cr 基合金)。

[0016] 相对较厚的软磁底层通常由 50-300nm 厚的软磁性材料层构成,比如 Ni、Co、Fe、含 Fe 的合金(比如 NiFe(坡莫合金)、FeN、FeSiAl、FeSiAlN)、含 Co 的合金(比如 CoZr、CoZrCr、CoZrNb)、或含 Co—Fe 的合金(比如 CoFeZrNb、CoFe、FeCoB、FeCoC)。相对较薄的夹层层叠体通常包括 50-300 埃厚的一层或多层非磁性材料。该夹层层叠体包括 hcp 材料的至少一个夹层,比如 Ru、TiCr、Ru/$CoCr_{37}Pt_6$、RuCr/CoCrPt 等,与硬磁垂直记录层相邻。当存在的时候,与软磁底层(SUL)相邻的晶种层通常可以包括厚度小于 100 埃的 fcc 材料层,比如 Cu、Ag、Pt 或 Au 的合金或非晶材料或晶粒细小的材料,比如 Ta、TaW、CrTa、Ti、TiN、TiW 或 TiCr。至少一个硬磁性垂直记录层通常由 10-25nm 厚的 Co 基合金层构成,该合金包括选自 Cr、Fe、Ta、Ni、Mo、Pt、W、Cr、Ru、Ti、Si、O、V、Nb、Ge、B 和 Pd 中的一个或多个元素。

[0017] 在上述常规介质类型中,纵向介质比垂直介质开发得更久,并且在计算机产业中已经应用了数十年。在这期间,各种组件和子系统(比如换能器头、信道和介质)都已反复地优化过,为的是在计算机环境中有效地工作。然而,目前普遍认为,纵向记录作为计算机应用中的工业标准正在走向尽头,因为物理极限实际上抑制了记录面密度的进一步增大。

[0018] 另一方面,预计垂直介质在计算机相关记录应用中能替代纵向介质,并且继续向前发展,使记录面密度进一步增大到远远超过纵向介质。然而,与纵向介质和记录技术的方方面面相比,垂直介质和记录技术开发得还不够好。具体来讲,垂直磁记录技术的每一个单独的组件(其中包括换能器头、介质和记录通道)与纵向记录技术的相应组件相比,开发得

不够完全，也不太优化。结果，相对于现有技术（即纵向介质和系统）而言，使用垂直介质和系统所能得到的益处是很难估计的。

[0019] 高密度垂直记录介质需要小心控制和平衡若干磁学属性，其中包括：各向异性要足够高，以能够实现热稳定并与高梯度磁头相兼容；开关场要足够低，以能够用磁头进行写入；横向交换耦合要足够低，以在磁性晶粒或簇之间维持很小的相关长度，并且横向交换耦合还要足够高，以维持较窄的开关场分布（SFD）；并且晶粒到晶粒的磁学属性的均匀性足以维持热稳定性并使 SFD 最小化。

[0020] 随着记录密度继续增大，有必要制造更小的晶粒结构，以使位中的磁性粒子数维持在相似的数值。更小的晶粒结构对非均匀性（比如晶粒之内的各向异性的变化）更敏感，并且也需要更高的各向异性以维持热稳定性，由此对可写入性造成不利影响。因此，需要一种可写入性得到改进、更窄的 SFD 中有更少的缺陷且各种性质的均匀性得到改进的介质。

[0021] 目前提高面密度的方法都集中在操纵和调整各种器件的磁性记录层内的单元。然而，头介质间距（HMS）（磁写入头和磁性记录层之间的距离，不包括头或记录层上的外涂层和润滑涂层）和头保持间距（HKS）（写入头空气轴承表面和 SUL 之间的间隙）或头到 SUL 间距是限制面密度的主要因素。随着 HMS/HKS 的减小，面密度在增大。参照图 1。每减小一埃，都可以显著增大面密度。同时，场梯度也得以改进。然而，减小 HMS/HKS 是非常困难的，近年来，在磁盘驱动记录和存储行业中 HMS/HKS 的减小已经进展缓慢。

[0022] 限制面密度增大的主要因素之一是，常规的标度律无法维持了，换句话说，无法用头几何尺寸的减小来标定 HMS/HKS。此外，HMS/HKS 物理间隔的减小可能不是期望的，因为最佳物理间隔量可能对介质带来许多好处，比如磁性记录层中的功能性垂直取向、晶粒分离和合适的晶粒尺寸。

发明内容

[0023] 通过克服目前关于减小 HMS、HKS 或 SUL 的各种限制，同时打破比例投影极限，本发明的各个方面优化了记录器件的面密度。各个实施方式涉及由顺磁性或铁磁性材料所构成的介质存储或记录器件（比如垂直记录介质、纵向记录介质、分立轨道记录介质、位图案化介质、或热辅助磁记录（HAMR）介质），以替代目前各种器件的非磁性组件（比如介质外涂层、磁头外涂层、或夹层）。较佳地，在记录过程中，有效的或磁的 HMS、HKS、或头到软底层间距得以减小，而并不牺牲物理间距。

[0024] 一个实施方式涉及磁记录器件，它包括磁性记录层以及在该磁性记录层顶部之上单独的顺磁性或铁磁性介质外涂层。较佳地，顺磁性或铁磁性介质外涂层包括 Fe、Co、Ni、C、Ni-Fe-C、Ni-Co-C、或它们的组合。

[0025] 另一个实施方式涉及一种包括顺磁性或铁磁性夹层的器件。较佳地，顺磁性或铁磁性夹层是粒状的，并且包括钌 (Ru)、铁 (Fe)、钴 (Co)、镍 (Ni)、碳 (C)、晶体磁性材料、或它们的组合。更佳地，顺磁性或铁磁性夹层包括含 Ru 的颗粒层，该层位于两个由 RuCo 构成的颗粒层之间，这是一种夹层结构，其中这两个 RuCo 层的厚度约为 1-200 埃或 100 埃，其中 Ru 层的厚度约为 0.1-100 埃或 10 埃。较佳地，Ru 层反铁磁地耦合到这两个 RuCo 层之一或两者，较佳地，每一个 RuCo 层的饱和磁化强度（M_s）约为 100-1000emu/cc 或大于 1000emu/cc。较佳地，该器件包括分离的含 Ru 的颗粒层，该层被沉积在上述夹层结构之上和磁性记录层

之下，其中，该分离的含 Ru 的颗粒层的厚度约为 0-100 埃、10-70 埃、或 60 埃。

[0026] 另一个实施方式涉及一种包括顺磁性或铁磁性夹层、顺磁性或铁磁性介质外涂层、沉积在磁写入头的表面上的顺磁性或铁磁性头外涂层、或它们的组合的器件，其中，夹层、介质外涂层、和 / 或头外涂层所具有的饱和磁化强度约为 100-1000emu/cc、大于 400emu/cc、大于 500emu/cc、大于 800emu/cc、或大于 1000emu/cc。较佳地，所述顺磁性或铁磁性夹层的厚度约为 1-1000 埃、1-500 埃、10-500 埃、100-500 埃、200-400 埃、或 250-350 埃。较佳地，所述顺磁性或铁磁性介质外涂层的厚度约为 0.1-100 埃或 0.5-50 埃。较佳地，所述顺磁性或铁磁性头外涂层的厚度约为 0.1-100 埃或 0.5-50 埃。

[0027] 另一个实施方式涉及一种包括顺磁性或铁磁性夹层、顺磁性或铁磁性介质外涂层、顺磁性或铁磁性头外涂层、或它们的组合的器件，其中与没有顺磁性或铁磁性介质外涂层、顺磁性或铁磁性头外涂层、顺磁性或铁磁性夹层、或它们的组合的器件相比，该实施方式的器件所具有的头介质间距（HMS）或头保持间距（HKS）的有效磁间距减小了约 0.1-100 埃、1-50 埃、1-30 埃、1-10 埃、或 10-20 埃，该实施方式的器件还具有增大的面密度、最大写入场、或场梯度。较佳地，面密度增大了约 5%、10%、15%、20%、25%、或更大。

[0028] 另一个实施方式涉及一种制造磁记录设备的方法，该方法包括：在基板上沉积软磁底层（SUL）；在 SUL 上沉积磁性记录层；以及在磁性记录层顶部之上沉积顺磁性或铁磁性介质外涂层。较佳地，该方法还包括在 SUL 和磁性记录层之间沉积顺磁性或铁磁性夹层。较佳地，顺磁性或铁磁性夹层包括含 Ru 的颗粒层，该层反铁磁地耦合到两个由 RuCo 构成的颗粒层之间，这是一种夹层结构，其中这两个 RuCo 层的厚度约为 1-200 埃或 100 埃，其中 Ru 层的厚度约为 0.1-100 埃或 10 埃。较佳地，该方法还包括在顺磁性或铁磁性夹层之下且在 SUL 之上沉积连续的晶种层，该晶种层包括钽 (Ta)、RuCr、磁性材料、极化材料、NiFe、Ni、钯 (Pd)、铂 (Pt)、铑 (Rh)、或它们的组合，其中该晶种层的厚度约为 1-100 埃、50-100 埃、60 埃。

[0029] 另一个实施方式涉及一种包括在磁写入头的表面上沉积顺磁性或铁磁性头外涂层的方法。较佳地，与没有顺磁性或铁磁性介质外涂层、顺磁性或铁磁性夹层、或它们的组合的器件相比，顺磁性或铁磁性介质外涂层、顺磁性或铁磁性夹层、顺磁性或铁磁性头外涂层、或它们的组合使该器件的头介质间距（HMS）或头保持间距（HKS）的有效磁间距减小了约 0.1-100 埃，使该器件的面密度增大了约 10-25%。

[0030] 另一个实施方式涉及通过这些实施方式的方法中的任一种方法或其组合而制造的磁记录设备。

[0031] 其它实施方式和优点会在下面的说明书中得到部分阐明，也可以从说明书或其实践中变得显而易见。然而，阐述这些示例并不打算作任何限制。

附图说明

[0032] 图 1 示出了关于 HMS/HKS 的灵敏度的有限元方法 (FEM) 仿真结果。这些结果显示了 HMS/HKS 的减小导致了最大写入场和场梯度的增大。记录头几何尺寸、该头和介质的磁性参数在这些仿真过程中全是相同的；只有 HMS/HKS 值发生变化。

[0033] 图 2（a）描绘了用于垂直记录系统的微磁仿真模型。该模型包括具有遮蔽极的单极头、介质磁性层和 SUL，并且考虑到了该介质所经受的典型的场，其中包括所施加的（外部

的）场、晶体各向异性场、静磁场和交换场。

[0034] 图 2（b）描绘了在对数 - 正态分布中的晶粒尺寸分布和 H_k 值分布；并且还描绘了通过 5° 角的 H_k 角度分布。

[0035] 图 3 示出了介质 / 夹层磁导率的影响，其中包括随着介质 / 夹层磁导率的增大，垂直写入场有所改善。

[0036] 图 4 示意性地描绘了本发明的一个实施方式。磁性记录层的外涂层是基于磁性材料的。

[0037] 图 5 示意性地描绘了本发明的一个实施方式。磁性记录层的外涂层是基于磁性材料的。上述夹层是由晶体磁性材料制成的。

[0038] 图 6 示意性地描绘了本发明的一个实施方式，其中包括被抗蚀性磁性层替代的磁性层顶部的一部分。

[0039] 图 7 示出了一个实施方式的示意图，其中包括 RuCo/Ru/RuCo 粒状夹层，还包括连续的晶种层和 SUL。

具体实施方式

[0040] 一个实施方式涉及一种独特的介质设计，通过把其磁导率比常用材料要高的材料引入到夹层、润滑剂、介质磁性层外涂层、磁写入头外涂层、或它们的组合中，该设计能够减小磁间距。较佳地，在没有减小物理间距的情况下，减小磁间距。磁导率更高的材料可以包括铁磁材料、顺磁性材料、或它们的组合。

[0041] 所实现的间距减小是指有效磁间距的减小，这是用物理间距除以磁导率而计算出的。写入头和 / 或读取头所感觉到的磁间距由此取决于所测量的层或空间的物理间距（或物理厚度）除以所考虑的层或空间的相对磁导率。磁导率与材料的磁矩有关，具有更高磁矩的材料具有更高的磁导率。较佳地，物理间距（与有效磁间距相对）在记录介质设备的实施方式中是不减小的，以保留与物理间距有关的参数，比如磁性记录层中的功能性垂直取向、晶粒分离和适宜的晶粒尺寸。

[0042] 图 2（a）-（b）示出了用于现有技术的垂直记录系统的微磁仿真模型。在按典型问题几何结构制成的该模型（包括介质磁性层 230、具有屏蔽极 215 的单极头 210、SUL220 和夹层 255）中，所研究的问题是介质磁导率的影响、垂直介质开关速度、晶粒尺寸的影响、介质角度和各向异性（Hk）分布情况以及动态开关时的转变参数。该模型考虑了所加的外部场（来自磁写入头）、晶体各向异性场（每一种材料的本征各向异性场）、静磁场以及交换场（各晶粒之间的场）。

[0043] 人们惊奇地发现，用铁磁性、顺磁性、或极化材料替代现有技术中目前的非磁性组件，能够优化可写性并提高面密度。非磁性材料常被用于现有技术的夹层，以防止软底层与硬磁性记录层之间的磁交互作用并且促成硬记录层具有期望的微结构和磁学性质。然而，图 3 示出了随着夹层磁导率的增大，写入场得到改进。在本模型中，该介质在 10,0000e 处对饱和磁化强度和各向异性作了归一。在本方法中，没有场梯度损失。

[0044] 磁导率的增大让有效磁间距（比如 HKS、HMS、或头到 SUL 间距）得以减小，而不影响实际的物理间距。对于 HKS、HMS、或“头到 SUL”物理间距而言，介质设备可以具有特定的预算或分配。物理间距通常不期望被牺牲（或减小）的原因是，夹层中的各个子层为磁性记录

层提供的优点包括但不限于良好的垂直取向、良好的晶粒分离以及适宜的晶粒尺寸。

[0045] 夹层、介质头外涂层以及盘片或介质外涂层(比如碳外涂层[COC])通常是介质中的间距的主要物理厚度之源。海拔高度、温度和湿度也影响着物理间距。通过用磁导率相对更高的材料(比如根据本发明各实施方式的顺磁性或铁磁性材料)来替换目前介质设备中的非磁性组件之一或其组合,就使有效磁间距减小了,并使面密度增大了,同时物理间距并未被牺牲。在一个实施方式中,用高磁导率磁性材料来替换常规的盘片外涂层、盘片润滑剂、头外涂层、夹层、或其组合等的材料。较佳地,其实际效果是,就 HKS、HMS 以及头到 SUL 间距而言,有效磁间距减小了(物理间距除以相对磁导率),而物理间距没有减小。图 3 示出了改进的介质和 / 或夹层磁导率的影响。随着介质 / 夹层磁导率的增大,垂直写入场得到改进。

[0046] 一个实施方式涉及一种包括磁写入头和记录介质的记录设备,该记录介质包括磁性记录层(最好包括介质硬层)以及位于该介质磁性层顶部之上的分离的顺磁性或铁磁性介质外涂层。较佳地,顺磁性或铁磁性外涂层包括润滑剂。更佳地,磁性外涂层是防腐蚀的。防腐蚀层可以另外地沉积在磁性记录层与磁性外涂层之间。此外,防腐蚀层可以较佳地替代磁性记录层的顶部或记录介质的另一个组件。被并入各设备组件中的防腐蚀材料包括但不限于铁、镍、钴、碳、或它们的组合物。顺磁性或铁磁性介质外涂层可以包括铁 (Fe)、钴 (Co)、镍 (Ni)、碳 (C)、Ni-Fe-C、Ni-Co-C、或它们的组合物,并且可以具有约 0.1-100 埃或约 0.5-50 埃的厚度。

[0047] 在另一个实施方式中,顺磁性或铁磁性介质外涂层替代了该设备中的盘片润滑剂、碳外涂层、类金刚石碳外涂层、它们的一个部分或多个部分、或它们的组合。顺磁性或铁磁性介质外涂层的饱和磁化强度 (M_s) 最好约为 100-1000emu/cc、大于约 400emu/cc、大于约 500emu/cc、大于约 800emu/cc、或大于约 1000emu/cc。另一个实施方式涉及顺磁性或铁磁性写入头外涂层。根据本发明的各实施方式,这种头外涂层可以单独使用,或者与顺磁性或铁磁性材料替换物组合起来,以减小记录介质设备的有效磁间距。

[0048] 顺磁性或铁磁性介质或头外涂层所包括的碳的比例可以是 1-20%、20%-80%、50%-90%、或大于 90%。在一个实施方式中,顺磁性或铁磁性介质外涂层所包括的碳的浓度在该外涂层的垂直厚度上逐渐变化,其中碳浓度在朝着磁写入头的表面的方向上更高点,在朝着介质硬层的表面的方向上更低点。在另一个实施方式中,碳浓度在相反方向上逐渐变化,朝着记录介质底部(换句话说,朝着 SUL)的浓度最高,朝着记录介质面对着磁写入头的那个表面的浓度最低。

[0049] 较佳地,与没有顺磁性或铁磁性介质和 / 或头外涂层的设备相比,上述顺磁性或铁磁性介质外涂层和 / 或头外涂层减小了介质记录设备的头介质间距 (HMS)、头保持间距 (HKS)、头到 SUL 间距、或它们的组合等的磁间距。这种磁间距的减小最好大于约 0.1、大于约 0.5、大于约 1、大于约 2、大于约 5、大于约 10 埃、大于约 20 埃、大于约 30 埃、或大于约 50 埃。较佳地,与没有磁性外涂层的设备相比,上述顺磁性或铁磁性介质和 / 或头外涂层增大了介质记录设备的面密度、最大写入场、场梯度、或它们的组合。在一个实施方式中,面密度增大了约 5%、10%、15%、20%、25%、或 30% 以上。

[0050] 另一个实施方式涉及一种包括顺磁性或铁磁性夹层的记录介质,这种顺磁性或铁磁性夹层最好沉积在 SUL 上。较佳地,顺磁性或铁磁性夹层位于磁性记录层下方。较佳地,

顺磁性或铁磁性夹层是颗粒状的。顺磁性或铁磁性夹层可以包括钌 (Ru)、Fe、Co、Ni、C、或它们的组合。在某些实施方式中，顺磁性或铁磁性夹层包括晶体磁性材料。较佳地，它包含三层纳米晶体膜。在一个实施方式中，顺磁性或铁磁性夹层被沉积在记录介质上，同时使用了常规的介质硬层，具有或不具有常规的介质外涂层。在另一个实施方式中，根据本发明各实施方式的顺磁性或铁磁性介质外涂层和顺磁性或铁磁性夹层被置于记录设备中。较佳地，也使用了顺磁性或铁磁性头外涂层。

[0051] 顺磁性或铁磁性夹层材料的饱和磁化强度 (M_s) 最好约为 100-1000emu/cc、大于约 400emu/cc、大于约 500emu/cc、大于约 800emu/cc、或大于约 1000emu/cc。所述顺磁性或铁磁性夹层的厚度约为 1-1000 埃、1-500 埃、10-500 埃、100-500 埃、200-400 埃、或 250-350 埃。

[0052] 一个实施方式涉及一种包括 SUL 的记录设备，该 SUL 最好被含 Ru 的连续的防铁磁耦合 (AFC) 层分成两个区域。较佳地，这两个 SUL 区域中的每一个区域都包括非晶 FeCo- 合金，并且这两个分离的区域中的每一个区域的厚度约为 1-400 埃、10-300 埃、100-300 埃、或 200 埃。较佳地，含 Ru 的连续的 AFC 层的厚度约为 1-100 埃、1-50 埃、1-30 埃、10-30 埃、或 10 埃。

[0053] 在另一个实施方式中，记录设备包括顺磁性或铁磁性夹层，该夹层是由两个含 RuCo 的层夹住一个含 Ru 的层制成的。该 RuCo 层最好包括多于 50% 的 Co、多于 75% 的 Co、多于 90% 的 Co、或多于 99% 的 Co。这两个 RuCo 层中的每一个的厚度最好约为 1-200 埃，50-150 埃更佳，100 埃尤佳。Ru 层最好是颗粒状的，其厚度约为 0.1-100 埃，10 埃更佳，并且最好反铁磁地耦合到上述 RuCo 层之一或两者。

[0054] 较佳地，每一个 RuCo 层的饱和磁化强度约为 100-1000emu/cc，或者大于 1000emu/cc，并且最好是颗粒状的。

[0055] 在进一步的实施方式中，含 Ru 的分离的颗粒层被沉积在 RuCo-Ru-RuCo 夹层结构之上和磁记录介质 (最好包括介质硬层) 之下。较佳地，该分离的 Ru 层的厚度约为 0-100 埃、10-70 埃、或 60 埃。

[0056] 另一个实施方式涉及一种包括沉积在 SUL 之上的连续晶种层的记录设备。较佳地，根据本发明的各实施方式，该晶种层被沉积在顺磁性或铁磁性夹层之下。晶种层最好包括磁性材料、极化材料、钽 (Ta)、RuCr、NiFe、Ni、钯 (Pd)、铂 (Pt)、铑 (Rh)、或它们的组合。在一个实施方式中，晶种层被置于上述 RuCo-Ru-RuCo 夹层结构之下。较佳地，该晶种层的厚度约为 1-100 埃、50-100 埃、或 60 埃。

[0057] 在另一个实施方式中，晶种层包括磁性材料、极化材料、或它们的组合。较佳地，晶种层的材料包括 NiFe、Ni、钯 (Pd)、铂 (Pt)、铑 (Rh)、或它们的组合。

[0058] 与没有含 Ru 和 Co 层的夹层结构的记录设备相比，本文所揭示的 RuCo-Ru-RuCo 夹层结构较佳地减小了来自 SUL 的噪声。与没有顺磁性或铁磁性夹层的记录设备相比，根据本发明各实施方式的顺磁性或铁磁性夹层减小了来自 SUL 的噪声。

[0059] 较佳地，与没有顺磁性或铁磁性夹层的设备相比，上述顺磁性或铁磁性夹层减小了介质记录设备的头介质间距 (HMS)、头保持间距 (HKS)、头到 SUL 间距、或它们的组合等的磁间距。这种有效磁间距的减小最好大于约 0.1、大于约 0.5、大于约 1、大于约 2、大于约 5、大于约 10 埃、大于约 20 埃、大于约 30 埃、或大于约 50 埃。较佳地，与没有磁性夹层的设备

相比，上述磁性夹层增大了介质记录设备的面密度、最大写入场、场梯度、或它们的组合。在一个实施方式中，面密度增大了约 5%、10%、15%、20%、25%、或大于 30%。

[0060] 下面的内容提供了用于实现这些方面的示例，并且并不穷尽所有可能的实现方式，也并没有限制性。

[0061] 示例

[0062] 示例 1

[0063] 在记录设备中，Ni-C 复合膜或磁性介质外涂层 (101) 被沉积在磁性记录层 (103) 上，较佳地，磁性记录层 (103) 包括介质硬层；较佳地，磁性外涂层 (101) 替代目前标准的类金刚石碳 (DLC) 外涂层。参照图 4。较佳地，如本图所示的实施方式中，含磁导率相对很高的材料的外涂层 (102) 被加到磁性写入头的表面上。结果是，与现有技术的设备（其记录介质层和 / 或磁写入头上不包括铁磁性或顺磁性外涂层）相比，有效的磁 HKS 和 HMS 减小了，同时物理间距没有变化。本实施方式的磁性 Ni-C 膜在磁学意义上有效地减小了外涂层 (101) 厚度。图 5-7 也示出了 HKS(106) 和 HMS(107)。

[0064] 顺磁性或铁磁性介质或头外涂层或保护膜也可以包括 Ni-Fe-C、Ni-Co-C、Ni、Co、Fe、或它们的组合。这种膜或外涂层中的碳的百分比最好约为 50-90%，其厚度约为 0.5-50 埃。较佳地，该记录设备还包括夹层 (104) 和 SUL(105)。

[0065] 图 4-7 中的水平箭头指示了在 SUL(105) 双层 AFC 结构（图 4-6）中以及在多层所构成的 AFC 颗粒状夹层 (108)（图 5-7）中的反平行磁场。这些反平行场允许该设备处于平衡之中，换句话说，处于无噪声的状态中。图 7 中垂直的箭头指示了磁通量Φ的路径。在一个实施方式中，从单极磁换能器头的单极发出的磁通量Φ进入并穿过该单极下方区域中的硬磁性记录层 (103)，进入软磁底层 (105) 并在其内穿行一段距离，然后，从 SUL(105) 出来，穿过单极磁换能器头的辅助极下方区域中的磁性记录层 (103) 之内的至少一个垂直硬磁性记录层。

[0066] 示例 2

[0067] 在图 5 所示的示例中，示出了与图 4 相似的结构，其中，用含 RuCo、Ru 的磁性夹层 (108) 替代了常规的夹层 (104)。在本实施方式中，含 Ru 的层 (110) 最好被两个含 RuCo 的层 (111) 夹住。所有三个层最好是纳米晶体膜。RuCo 合金中的 Co 组分最好介于 50％ -100％之间。RuCo 膜的厚度最好介于 10-200 埃之间。Ru 膜的厚度最好介于 0.1-20 埃之间。

[0068] 示例 3

[0069] 图 6 示出了另一个实施方式，其中，被夹在中间的颗粒状磁性夹层 (108) 包括 RuCo(111)/Ru(110)/RuCo(111)，其结构类似于图 5 所示的那些结构。在本实施方式中，防腐蚀顶层 (109) 最好含 Ni-C 复合膜，被用于替换磁性记录层的顶部，或者被用作磁性记录层的单独的顶层。磁性记录层最好也包括至少一个介质硬层。

[0070] 目前的设计所使用的磁性层具有含 CoCrPt 合金的连续顶层，并且这些磁性层不是防腐蚀的。本发明的一个实施方式使用 Ni-C 基复合膜，其磁化强度大于 100emu/cc、大于 400emu/cc、大于 500emu/cc、大于 800emu/cc、或大于 1000emu/cc，以替代 CoCrPt 合金。较佳地，碳组分约为 20%-80%。在一个实施方式中，在该层的厚度方向上，碳组分逐渐变化，其上表面具有更高的碳含量。也提出了包括 Fe、Ni、Co、C 的其它复合膜。这种防腐蚀的复合膜最好被包括在磁性外涂层之内，更佳地，包括被置于介质硬层之上的分离的层。较佳地，

根据本发明的各实施方式，防腐蚀的复合膜替代了介质硬层的顶部；更佳地，防腐蚀的复合膜被置于介质硬层与顺磁性或铁磁性外涂层之间。

[0071] 根据一个实施方式的记录介质也包括磁性外涂层（101）以及图5-6所示的磁性夹层（108）或图4所示的常规非磁性夹层（104）。

[0072] 示例4

[0073] 在图7所示的示例中，磁性夹层（108）包括Ru层（114），该Ru层（114）反铁磁地耦合（AFC）到两个颗粒状的RuCo膜（113），这两个颗粒状的RuCo膜（113）将该Ru层（114）夹住。这种AFC耦合设计不同于目前的设计，其中，因其多层结构而使用了单个含RuCo的颗粒状“SMILE”（等价于软磁夹层）层。与使用单层RuCo的记录介质相比，根据本发明实施方式的AFC设计较佳地减小了来自软磁夹层的噪声。该RuCo层的饱和磁化强度约为100-1000emu/cc。

[0074] 这两个RuCo层（113）中的每一个最好约为100埃厚；介于这两个RuCo层（113）之间的Ru AFC颗粒层（114）最好是10埃厚。在RuCo/Ru/RuCo层叠体顶部之上，最好有分离的颗粒状Ru层112，该层112使磁性记录层（被标记为“M1”）与上述磁性夹层分离，从而防止了这两个层之间的交换耦合所导致的问题。磁性记录层（在本实施方式中，其厚度约为20nm或200埃）最好包括介质硬层，并且更佳地包括介质软层、顺磁性或铁磁性介质外涂层、防腐蚀层、润滑层、或它们的组合。分离的颗粒状Ru层112约为0-100埃厚，10-70埃厚较佳，60埃更佳。

[0075] 在另一个实施方式中，在RuCo/Ru/RuCo夹层之下且在SUL之上，有连续的晶种层，该晶种层最好包括Ta/RuCr，其厚度约为1-100埃，60埃较佳。在另一个实施方式中，SUL最好包括非晶FeCo合金，连续AFC Ru层将该SUL从中间分成两个单独的层。较佳地，这两个FeCo层各自约为200埃，而两者之间的Ru AFC层最好约为1-100埃、1-50埃、1-30埃、10-30埃、或10埃。

[0076] 本发明的各实施方式（比如图7所示的）物理地维持了实际夹层厚度，同时在磁学意义上减小了有效厚度。

[0077] 示例5

[0078] 为了进一步减小夹层的磁学厚度，在某些实施方式中，使用了顺磁性或铁磁性材料或极化材料。较佳地，这些材料选自NiFe、Ni、Pd、Pt、Rh、或它们的组合。这种磁性材料或极化材料最好被进一步包括在SUL和磁性夹层之间的晶种层中。这不同于目前的设计（使用了“软磁夹层等价物”（“SMILE”）），因为至少添加了极化材料（Pt、Rh、Pd等）。

[0079] 对于本领域普通技术人员而言，考虑到本文所揭示的内容，本发明的其它实施方式和应用将会是明显的。本文所引用的所有文献，包括公报、美国和外国专利及专利申请，都全部引用在此作为参考。本文所使用的术语“包括”包括了更具限定意义的术语以及“主要由……构成”和“由……构成”等表述。说明书和示例旨在被视为示例性的，本发明的真正范围和精神由权利要求书指明。

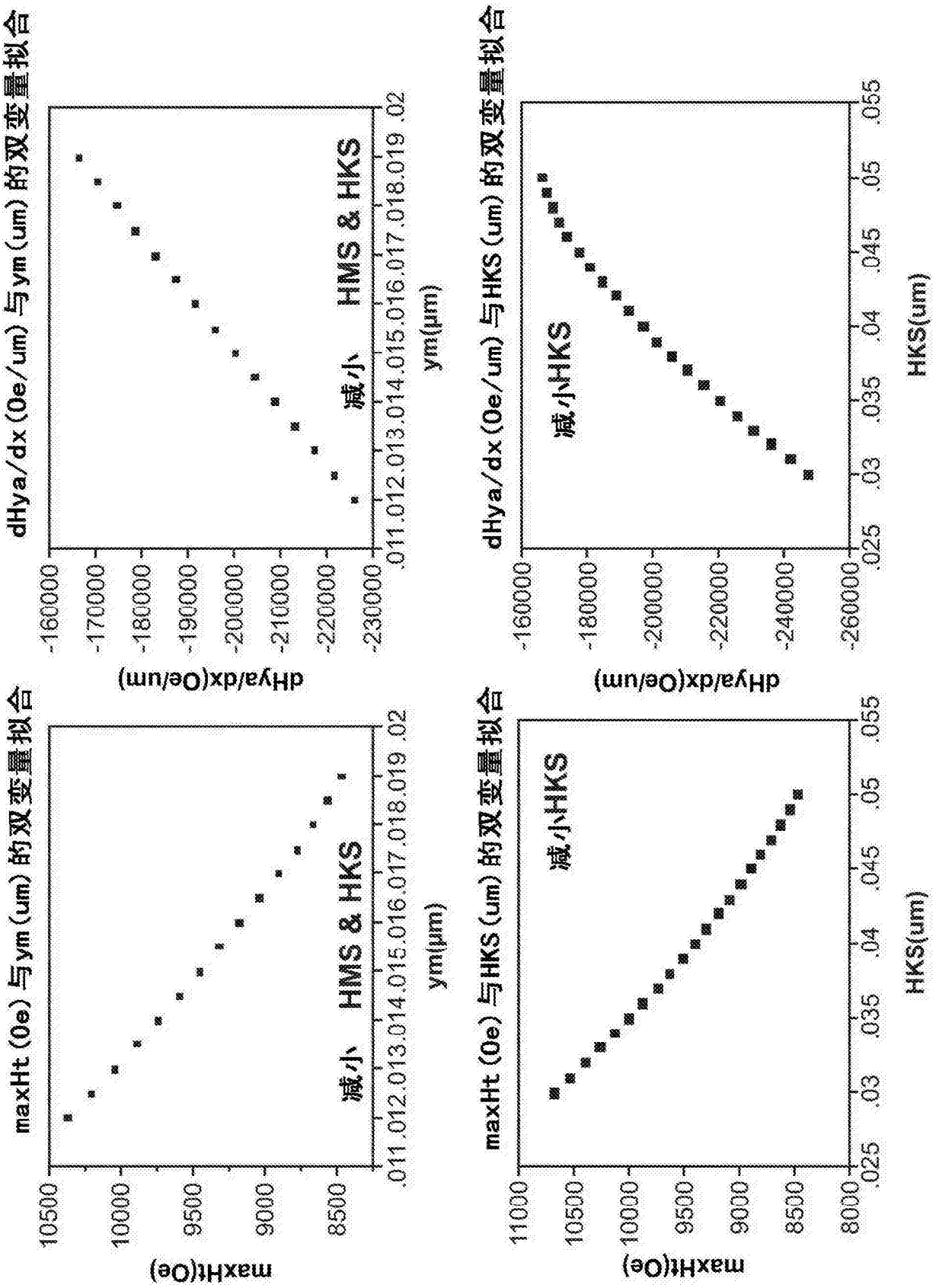

dHya/dx (Oe/um) 与ym (um) 的双变量拟合
减小 HMS & HKS
dHya/dx(Oe/um)
ym(μm)
maxHt (Oe) 与ym (um) 的双变量拟合
减小 HMS & HKS
maxHt(Oe)
ym(μm)
dHya/dx (Oe/um) 与HKS (um) 的双变量拟合
减小HKS
dHya/dx(Oe/um)
HKS(um)
maxHt (Oe) 与HKS (um) 的双变量拟合
减小HKS
maxHt(Oe)
HKS(um)

图 1

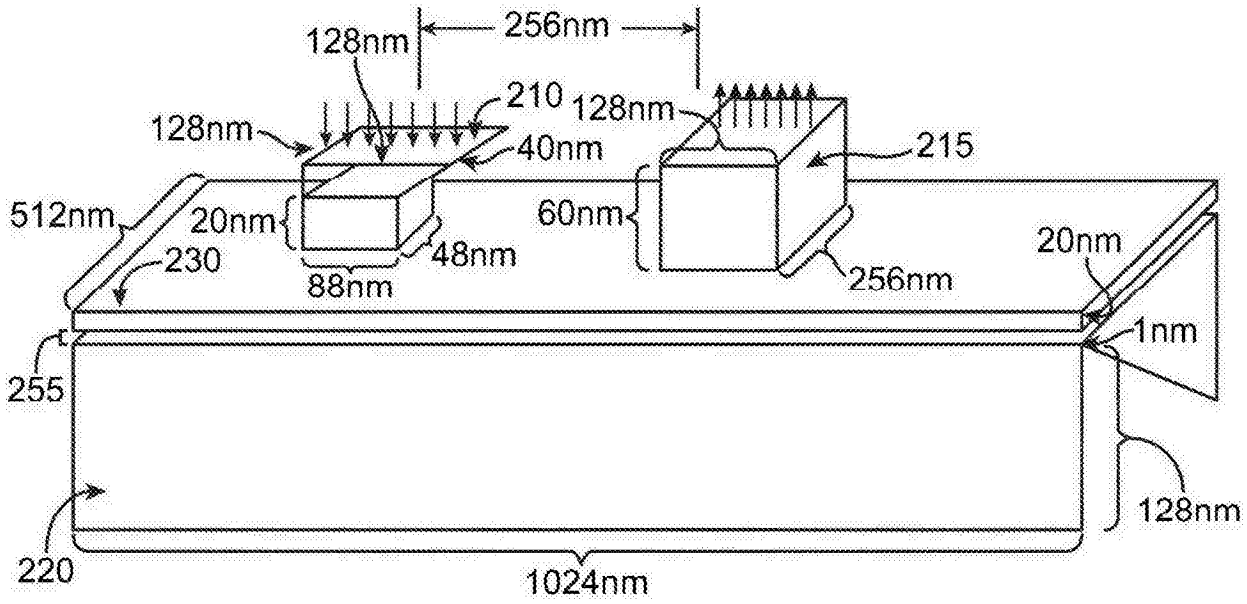


图 2(a) 现有技术

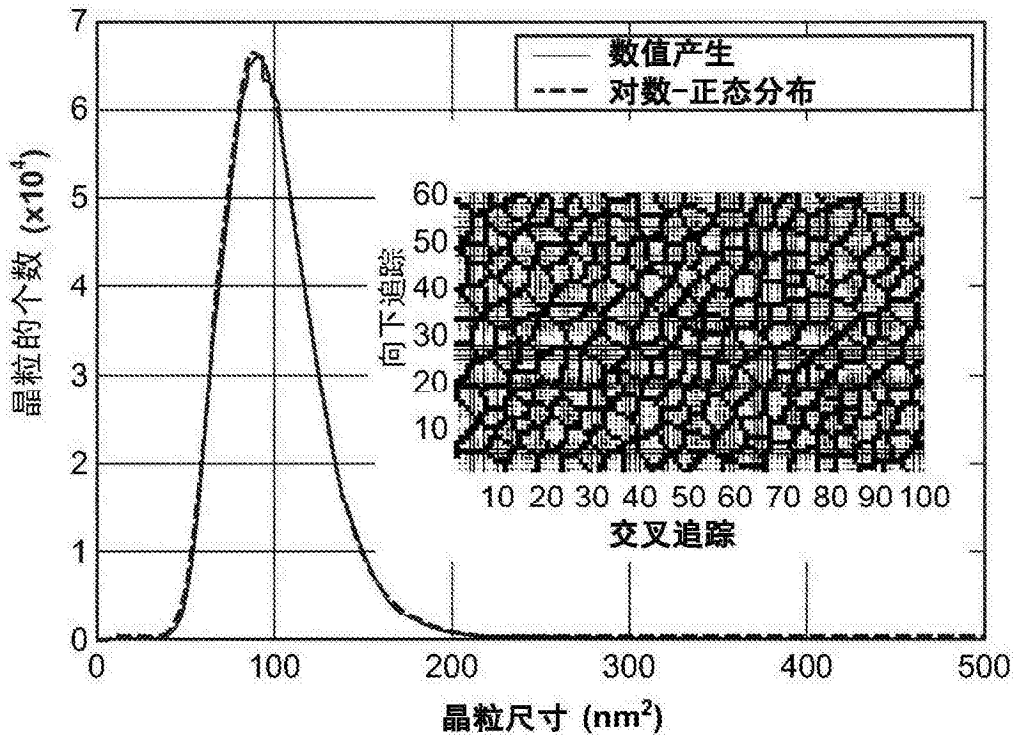


图 2(b) 现有技术

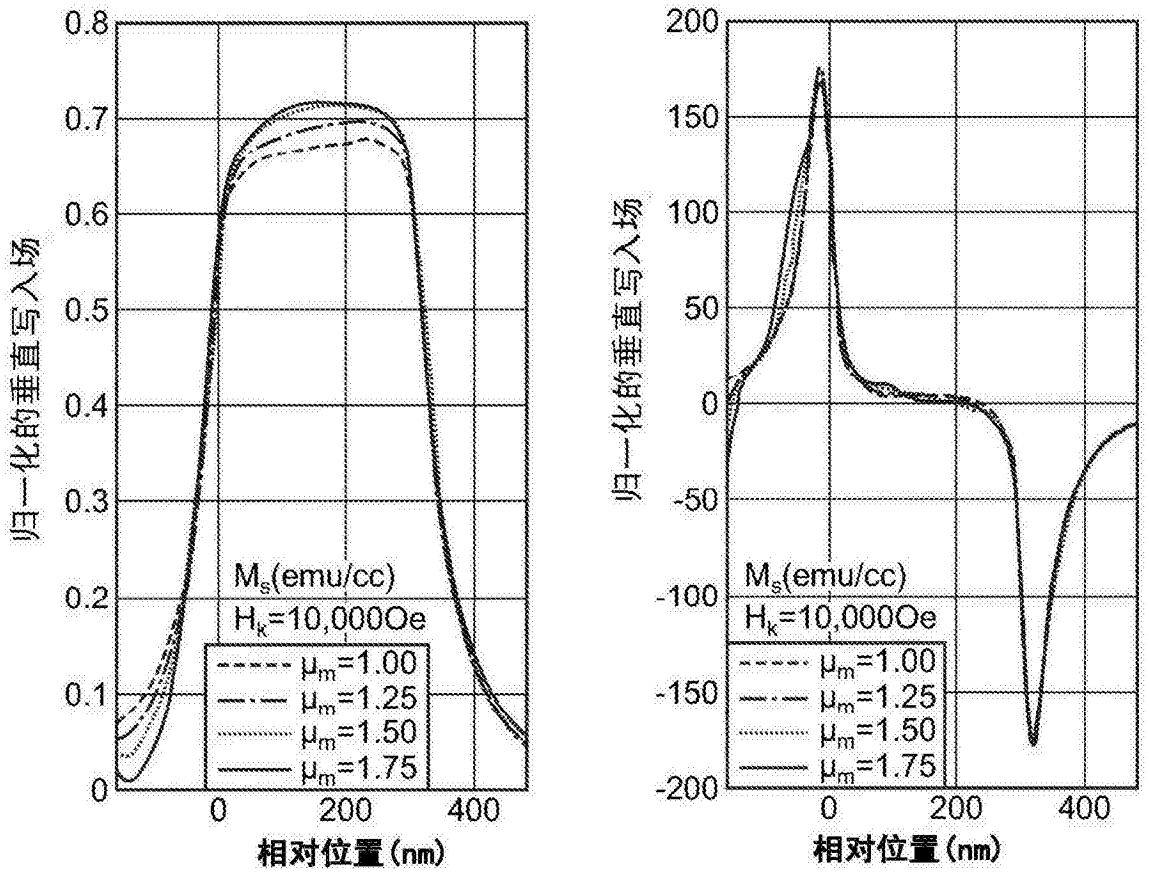

归一化的垂直写入场
相对位置(nm)
M_s(emu/cc)
H_k=10,000Oe
μ_m=1.00
μ_m=1.25
μ_m=1.50
μ_m=1.75
归一化的垂直写入场
相对位置(nm)
M_s(emu/cc)
H_k=10,000Oe
μ_m=1.00
μ_m=1.25
μ_m=1.50
μ_m=1.75

图 3

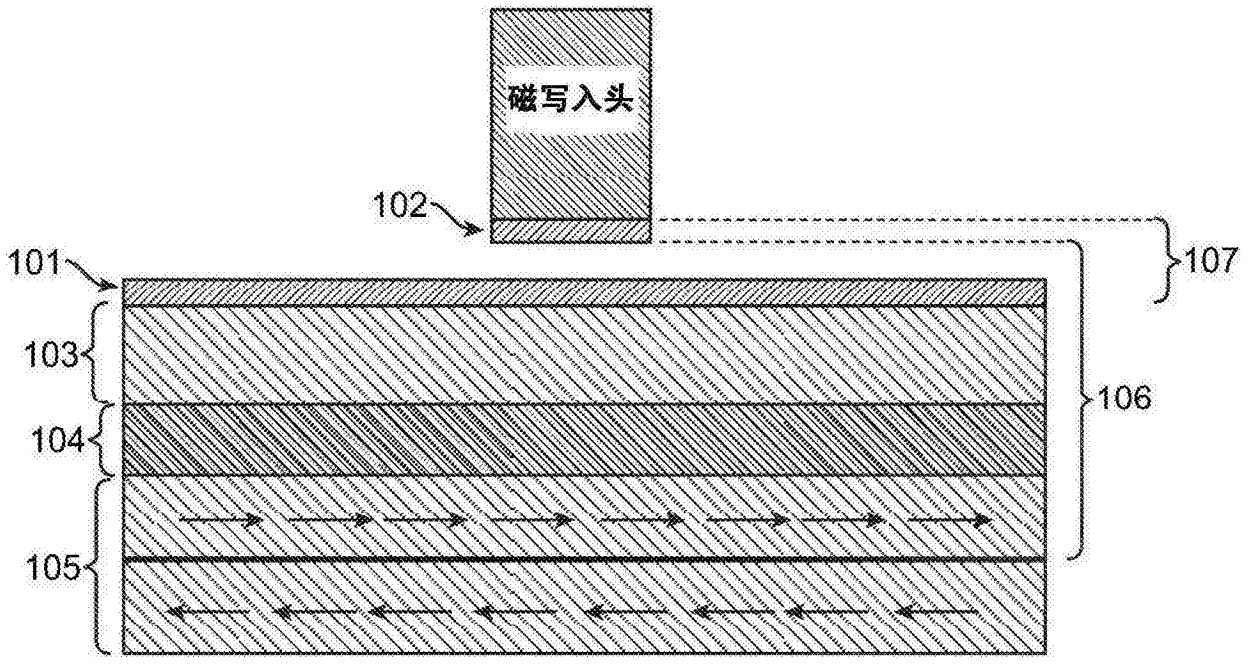

磁写入头
102
101
107
103
106
104
105

图 4

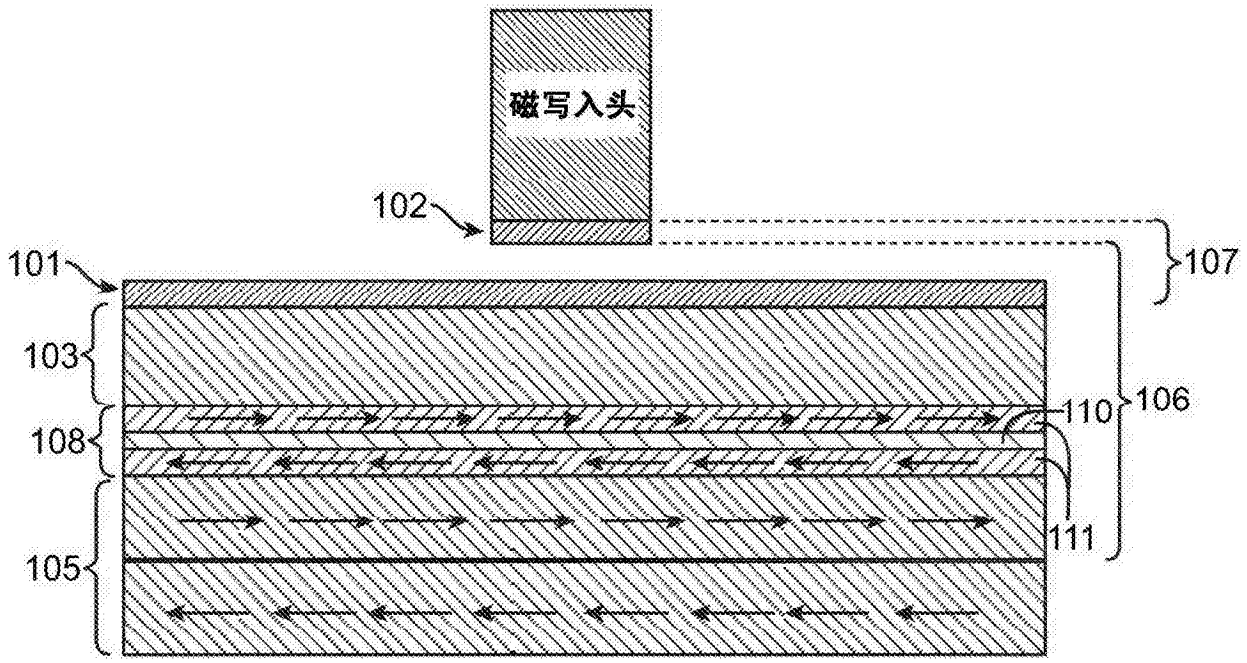

磁写入头
102
101
107
103
106
110
108
111
105

图 5

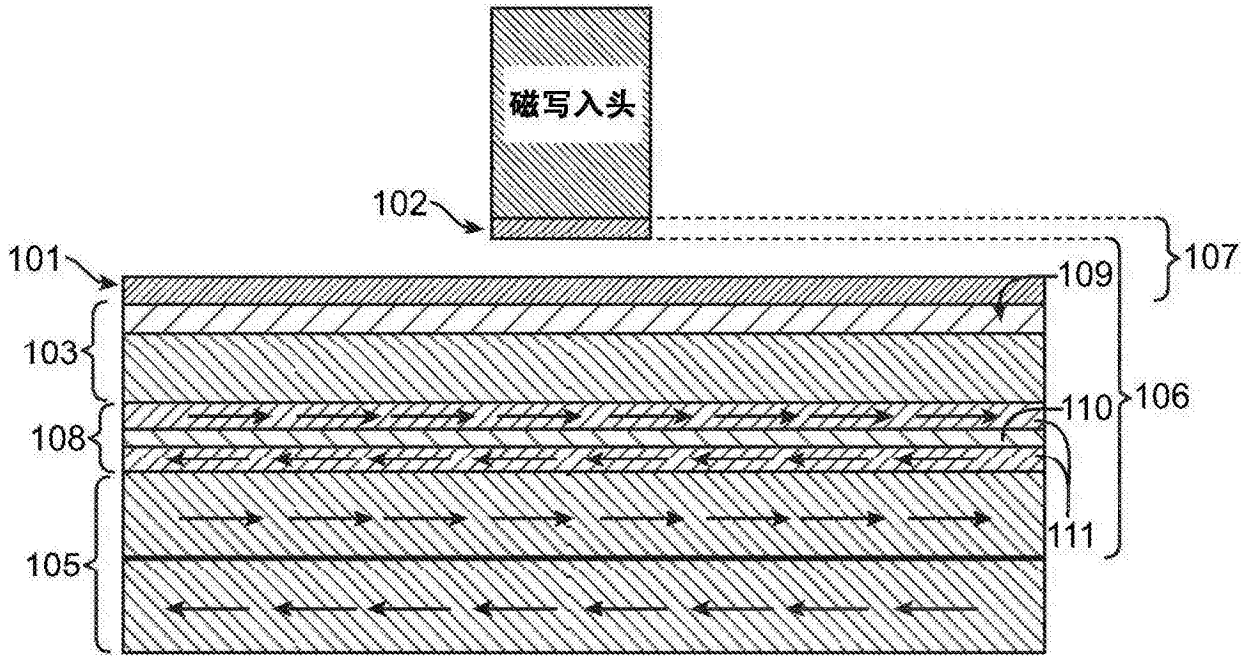

磁写入头
102
101
107
109
103
106
110
108
111
105

图 6

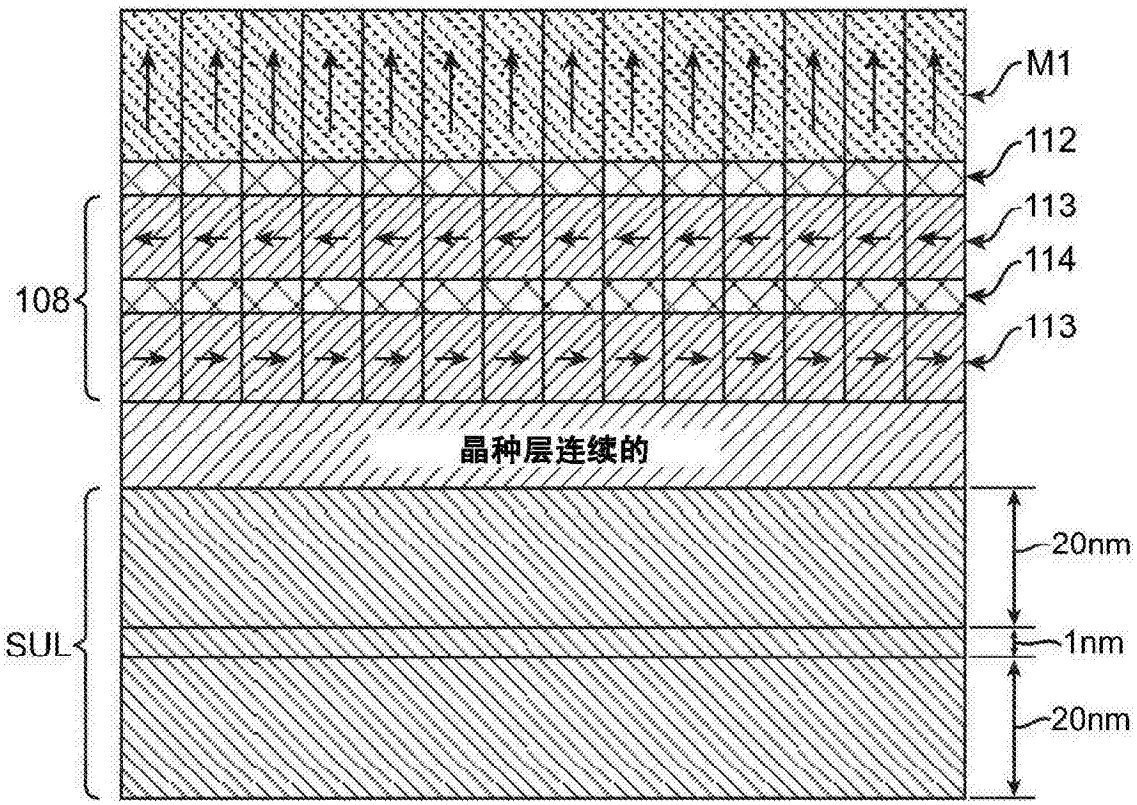


图 7