



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200310114890.0

[45] 授权公告日 2006 年 12 月 6 日

[11] 授权公告号 CN 1288628C

[22] 申请日 2003. 11. 7

[21] 申请号 200310114890.0

[30] 优先权

[32] 2002. 11. 8 [33] US [31] 10/290,825

[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 哈德瓦尔·辛格·吉尔

审查员 喻 颖

[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 李德山

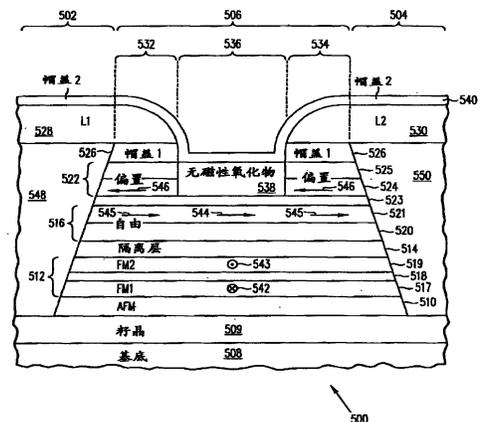
权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 6 页

[54] 发明名称

具有反平行耦合的引线/传感器重叠区的磁阻
传感器

[57] 摘要

提供一种具有反平行耦合的引线/传感器重叠区的磁阻传感器，包括与第一和第二引线层同自旋阀传感器层相交叠处的第一和第二无源区中自由层反平行耦合的铁磁偏置层。由第一和第二引线层之间的间隔限定的磁轨宽度区中偏置层的铁磁材料转变成无磁性氧化物，使磁轨宽度区中的自由层响应于来自磁盘的信号场而旋转。



1. 一种自旋阀传感器，具有第一和第二无源区以及横向地设置在所述第一和第二无源区之间的中心磁轨宽度区，所述自旋阀传感器包括：

被钉扎层；

铁磁自由层；

夹在所述被钉扎层和所述自由层之间的隔离层；

所述第一和第二无源区中的铁磁偏置层；

横向地设置在第一和第二无源区中铁磁偏置层之间的所述中心磁轨区中的非磁性氧化物层；

反平行耦合层，夹在所述铁磁自由层以及所述铁磁偏置层之间，用于在第一和第二无源区中提供所述铁磁偏置层和所述铁磁自由层之间的强反平行耦合；

形成在所述铁磁偏置层上的第一帽盖层；及

形成在所述非磁性氧化物层上的第二帽盖层。

2. 根据权利要求 1 的自旋阀传感器，其中连接到自旋阀传感器的第一和第二引线层分别与第一和第二无源区中的偏置层交叠。

3. 根据权利要求 2 的自旋阀传感器，其中第一和第二无源区之间的磁轨宽度区由第一和第二引线层之间的间隔限定。

4. 根据权利要求 1 的自旋阀传感器，其中自由层包括：

第二自由子层；以及

夹在第二自由子层和隔离层之间的第一自由子层。

5. 根据权利要求 4 的自旋阀传感器，其中第一自由子层由 Co-Fe 制成，第二自由子层由 Ni-Fe 制成。

6. 根据权利要求 1 的自旋阀传感器，其中偏置层包括：

第二偏置子层；以及

夹在第二偏置子层和反平行耦合层之间的第一偏置子层。

7. 根据权利要求 6 的自旋阀传感器，其中第一偏置子层由

Co-Fe 制成，第二偏置子层由 **Ni-Fe** 制成。

8. 如权利要求 1 所述的自旋阀传感器，其中所述第一帽盖层由 **Ta** 和 **Ru** 组成。

9. 如权利要求 1 所述的自旋阀传感器，其中所述第二帽盖层的材料选自 **Rh** 和 **Ru**。

具有反平行耦合的引线/ 传感器重叠区的磁阻传感器

技术领域

本发明总的涉及用于从磁介质读取信息信号的自旋阀磁阻传感器，特别涉及具有改进的引线/传感器重叠区的引线重叠自旋阀传感器。

背景技术

计算机经常包括具有介质的辅助存储装置，数据可以写到介质上并且可以从介质读取数据用于以后使用。包括旋转磁盘的直接存取存储装置（硬盘）通常用于将数据以磁的形式存储在磁盘的表面上。数据记录在磁盘表面上同心径向间隔开的磁道上。然后使用包括读取传感器的磁头从磁盘表面上的磁道上读取数据。

在高容量磁盘驱动器中，通常称做 MR 传感器的磁阻（MR）读取传感器为主要的读取传感器，是由于与薄膜感应头相比，它能够更大的磁轨和线密度从磁盘表面读取数据。MR 传感器通过它的 MR 读出层（也称做“MR 元件”）中的电阻变化检测磁场，MR 读出层的电阻为 MR 层读出的磁通量的强度和方向的函数。

常规的 MR 传感器在各向异性磁阻（AMR）效应的基础上工作，在该效应中 MR 元件电阻随 MR 元件的磁化强度和流过 MR 元件的读出电流方向之间角度的余弦的平方变化而改变。可以从磁介质上读取记录的数据，是由于来自记录的磁介质的外部磁场（信号场）使 MR 元件中的磁化方向发生变化，进而改变了 MR 元件中的电阻并相应地改变了读出电流或电压。

另一种类型的 MR 传感器为显示 GMR 效应的巨磁阻（GMR）传感器。在 GMR 传感器中，MR 读出层的电阻作为由无磁性层（隔离层）隔开的磁性层之间的传导电子的与自旋相关的传输以及在磁性层和无磁性层的界面以及磁性层内发生的伴随（accompanying）的与自旋相关的散射的函数而改变。

仅使用由无磁性材料（例如，铜）层分开的两层铁磁材料（例如，Ni-Fe）的 GMR 传感器通常称做显示 SV 效应的自旋阀（SV）传感器。

图 1 示出了现有技术的 SV 传感器 100，包括由中心区 102 隔开的端区 104 和 106。称做钉扎（pinned）层 120 的第一铁磁层的磁化通常由与反铁磁（AFM）层 125 的交换耦合固定（钉扎）。称做自由层 110 的第二铁磁层的磁化没有固定，并且响应于来自记录的磁介质的磁场（信号场）自由旋转。自由层 110 通过无磁导电隔离层 115 与钉扎层 120 隔开。分别形成在端区 104 和 106 中的硬偏置层 130 和 135 为自由层 110 提供了纵向偏置。分别形成在硬偏置层 130 和 135 上的引线 140 和 145 为 SV 传感器 100 读出阻值提供电连接。授予 Dieny 等人在这里作为参考引入的 IBM 的 U.S.专利 No.5,206,590 公开了在 SV 效应基础上工作的 GMR 传感器。

另一种类型的自旋阀传感器为反平行（AP）自旋阀传感器。AP 钉扎的阀传感器与简单的自旋阀传感器的不同之处在于 AP 钉扎结构具有多薄膜层而不是单个钉扎层。AP 钉扎结构具有夹在第一和第二铁磁钉扎层之间的反平行耦合（APC）层。第一钉扎层通过与反铁磁钉扎层交换耦合具有在第一方向中取向的磁化。第二钉扎层紧挨自由层，并且由于第一和第二铁磁钉扎层之间的 APC 层厚度最小（为 8 埃），反平行交换耦合到第一钉扎层。因此，第二钉扎层的磁化取向在与第一钉扎层的磁化方向反平行的第二方向中。

AP 钉扎结构优于单钉扎层，是由于第一和第二钉扎层的磁化相减地结合提供了小于单钉扎层磁化的净磁化。净磁化的方向由第一和第二钉扎层中较厚的决定。减少的净磁化等于从 AP 钉扎结构上减少的退磁场（demagnetization field）。由于反铁磁交换耦合与净钉扎磁化成反比，因此这增加了第一钉扎层与反铁磁钉扎层之间的交换耦合。AP 钉扎自旋阀传感器介绍在共同受让的这里作为参考引入的 Heim 和 Parkin 的 U.S.专利 No.5,465,185 中。

通常的自旋阀传感器具有顶面和底面以及与气浮表面（ABS）相交的第一和第二侧面，其中 ABS 为面向磁盘的传感器的露出表面。现有技术的读取头采用了邻接第一和第二侧面的第一和第二硬偏置层以及第一和第二引线层，用于纵向地偏置和稳定传感器中的自由

层并引导读出电流横向地穿过传感器。在自由层的侧面中心之间测量头的磁轨 (track) 宽度。为了将磁轨宽度减小到亚微米级别, 现已发现硬偏置层使自由层磁刚化 (稳定) (magnetically stiff), 所以它的磁矩不能自由地响应于来自旋转的磁盘的场信号。因此, 非常需要提供一种亚微米的磁轨宽度自旋阀传感器, 仍然在横向上对来自旋转磁盘的信号以及自由层的纵向偏置敏感, 从而使自由层保持在单磁畴状态中。

发明内容

因此, 本发明的一个目的是公开一种自旋阀传感器, 具有对来自旋转的磁盘的信号非常敏感的高度稳定的自由层。

本发明的另一目的是公开一种自旋阀传感器, 具有反平行耦合的引线/传感器重叠区。

本发明的另一目的是公开一种自旋阀传感器, 具有反平行耦合到引线重叠 (无源) 区中自由层的铁磁层。

本发明的另一目的是公开一种制造自旋阀传感器的方法, 传感器具有反平行耦合到引线重叠区中自由层的铁磁层。

根据本发明的原理, 公开了本发明的优选实施例, 其中自旋阀 (SV) 传感器具有第一和第二侧面之间的横向长度, 该长度被分成第一和第二无源区之间的磁轨宽度区, 其中磁轨宽度区由第一和第二引线层限定。自由层位于传感器顶部。具有几乎等于自由层厚度的厚度的铁磁偏置层反平行耦合到第一和第二无源区中的自由层。在磁轨宽度区中, 铁磁偏置层在随后的制造步骤中被氧化形成无磁性的氧化物。由于它的净磁化小, 因此反平行耦合的自由层和偏置层的组合对来自磁盘的信号不敏感, 造成第一和第二无源区中的自由层稳定。在磁轨宽度区, 由于通过氧化步骤铁磁偏置层被转变成磁轨宽度区中的无磁性的氧化物层, 自由层没有反平行耦合到偏置层, 自由层磁化在有信号场的情况下可以自由转动。

具体地, 本发明提供了一种自旋阀传感器, 具有第一和第二无源区以及横向地设置在所述第一和第二无源区之间的中心磁轨宽度区, 所述自旋阀传感器包括: 被钉扎层; 铁磁自由层; 夹在所述被钉扎层和所述自由层之间的隔离层; 所述第一和第二无源区中的铁磁偏

置层；横向地设置在第一和第二无源区中铁磁偏置层之间的所述中心磁轨区中的非磁性氧化物层；反平行耦合层，夹在所述铁磁自由层以及所述铁磁偏置层之间，用于在第一和第二无源区中提供所述铁磁偏置层和所述铁磁自由层之间的强反平行耦合；形成在所述铁磁偏置层上的第一帽盖层；及形成在所述非磁性氧化物层上的第二帽盖层。

从下面详细说明中本发明的以上以及其它的目的、特点和优点将变得很显然。

附图说明

为了更好地理解本发明的特点和优点以及使用的优选方式，结合附图阅读下面详细的说明。在下面的各图中，在所有图中类似的附图标记表示类似或相似的部分。

图 1 为没有按比例画出的现有技术的 SV 传感器的气浮表面图；

图 2 为使用本发明的 SV 传感器的磁记录盘驱动系统的简化图；

图 3 为没有按比例画出的“背负”（piggy back）读取/写入磁头的垂直剖面图；

图 4 为没有按比例画出的“合并的”（merged）读取/写入磁头的垂直剖面图；

图 5 为没有按比例画出的本发明的引线重叠 SV 传感器的一个实施例的气浮表面图；以及

图 6a-6d 为没有按比例画出的图 5 的 SV 传感器的气浮表面图，依次示出了通过本发明的方法制造传感器的步骤。

具体实施方式

下面介绍的是目前考虑的实施例本发明的最佳实施例。本说明是为了说明本发明的一般原则，并不意味着局限在这里要求的本发明的概念。

现在参考图 2，示出了体现本发明的磁盘驱动器 200。如图 2 所示，至少一个可旋转的磁盘 212 支撑在轴 214 上并通过磁盘驱动电机

218 旋转。每个盘上的磁记录介质为磁盘 212 上同心的数据磁轨（未示出）的环形图形的形式。

至少一个浮动块定位在磁盘 212 上，每个浮动块 213 支撑一个或多个磁读取/写入磁头 221，其中磁头 221 结合了本发明的 SV 传感器。随着磁盘的旋转，浮动块 213 在磁盘表面 222 上径向地来回移动，由此磁头 221 可以访问记录了数据的磁盘的不同部分。每个浮动块 213 借助悬臂 215 连接在致动臂 219 上。悬臂 215 提供了轻微的弹簧力将浮动块 213 偏向盘表面 222。每个致动臂 219 连接到致动器 227。图 2 中所示的致动器可以是音圈电动机（VCM）。VCM 包括固定的磁场内可移动的线圈，线圈移动的方向和速度由控制器 229 提供的电机电流信号控制。

磁盘存储系统的操作期间，盘 212 的旋转在浮动块 213（包括磁头 321 并面向磁盘 212 表面的浮动块 213 的表面称做气浮表面（ABS））和在浮动块上施加向上的力或升力的盘表面 222 之间产生气浮。气浮由此平衡了悬臂的轻微弹簧力并在正常操作期间支撑浮动块 213 离开盘表面并位于盘表面之上很小基本上不变的间距处。

磁盘存储系统的各部件的操作可以由控制单元 229 产生的控制信号控制，例如存取控制信号和内部的时钟信号。通常，控制单元 229 包括逻辑控制电路、存储芯片以及微处理器。控制单元 229 产生控制信号以控制各个系统的操作，例如线 223 上的驱动电机控制信号以及线 228 上的磁头位置和查找控制信号。228 上的控制信号提供了需要的电流分布以将浮动块 213 最佳地移动并定位到磁盘 212 上需要的数据道上。借助记录信道（channel）225，读取和写入信号与读取/写入头 221 来回通信。记录信道 225 可以是部分响应最大似然（PMRL）信道或峰值检测信道。这两种信道的设计和实现在本领域中对于本领域中的技术人员来说是公知的。在优选实施例中，记录信道 225 为 PMRL 信道。

对常规磁盘存储系统的以上说明及图的图示仅为说明的目的。显然磁盘存储系统可以包含大量的磁盘和致动臂，并且每个致动臂可

以支撑多个浮动块。

图3为“背负”式(piggy back)磁读取/写入头300的侧视剖面图,包括写入头部分302和读取头部分304,写入头部分利用了根据本发明的自旋阀传感器306。传感器306夹在非磁性、绝缘的第一和第二读取间隙层308和310之间,读取间隙层夹在铁磁的第一和第二屏蔽层312和314之间。传感器306的阻值响应于外部磁场而改变。穿过传感器传导的读出电流 I_S 使这些阻值的变化表现为电位的变化。这些电位变化由图2所示的数据记录信道246的处理电路作为回读信号加以处理。

磁读取/写入头300的写入头部分302包括夹在第一和第二绝缘层318和320之间的线圈层316。可以利用第三绝缘层322使头部平面化以消除由线圈层316造成的第二绝缘层320中的波纹。第一、第二和第三绝缘层在本领域中称做绝缘叠层。线圈层316和第一、第二和第三绝缘层318、320和322夹在第一和第二磁极片层324和326之间。第一和第二磁极片层324和326在背间隙(back gap)328处磁耦合,并具有由写入间隙层334在ABS340处隔开的的第一和第二极尖330、332。绝缘层336位于第二屏蔽层314和第一磁极片层324之间。由于第二屏蔽层314和第一磁极片层324为隔开的层,因此这种读取/写入头称做“背负”头。

除了第二屏蔽层414和第一磁极片层424为公用层之外,图4与图3相同。这种类型的读取/写入头称做“合并”头400。图3中背负头的绝缘层336在图4的合并头400中省略了。

图5为没有按比例画出的根据本发明的一个优选实施例的引线重叠自旋阀传感器500的气浮表面(ABS)图。SV传感器500包括由中心区506相互隔开的端区502和504。基底508可以是包括玻璃、半导体材料或如氧化铝(Al_2O_3)的陶瓷材料的任何合适物质。籽晶层509为淀积的一层或多层以改变结晶学结构或随后的层的晶粒尺寸。反铁磁(AFM)层510淀积在籽晶层上。反平行(AP)钉扎层512、导电隔离层514和自由层516依次淀积在AFM层510上。

AFM 层具有的厚度足以提供所需的交换特性以作为用于反平行钉扎层 512 的钉扎层。在优选实施例中，AFM 层 510 比钉扎层所希望的薄，并且用于提供附加的籽晶层以有助于改进检测器的随后层的性质。AP 钉扎层 512 包括由反平行耦合（APC）层 518 隔开的第一铁磁（FM1）层 517 和第二铁磁（FM2）层 519，反平行耦合（APC）层 518 使 FM1 层 517 和 FM2 层 519 为强 AP 耦合，如反平行磁化 542（由指向纸内的箭头头部表示）和 543（由指出纸的箭头头部表示）所分别表示的。在优选实施例中，AP 耦合层 512 设计为本领域中公知的自钉扎层。自由层 516 包括 Co-Fe 的铁磁第一自由子层 520 以及 Ni-Fe 的铁磁第二自由子层 521。

由 APC 层 523 与自由层 516 隔开的偏置层 522 包括淀积在 APC 层 523 上的 Co-Fe 的铁磁第一偏置子层 524 和淀积在第一偏置子层 524 上的 Ni-Fe 的铁磁第二偏置子层 525。APC 层 523 使偏置层 522 强 AP 耦合到自由层 516。第一帽盖层 526 形成在偏置层 522 上。

第一和第二引线 L1 528 和 L2 530 形成在无源区 532 和 534 中的帽盖层 526 上以及与第一和第二无源区中传感器的中心区 506 重叠的端区 502 和 504 上。传感器的中心区 506 中 L1 528 和 L2 530 之间的间距限定了磁轨宽度区 536，磁轨宽度区 536 限定了读取头的磁轨宽度。通过溅射蚀刻和反应离子蚀刻（RIE）工艺除去 L1 和 L2 之间的磁轨宽度区 536 中的第一帽盖层 536，之后进行溅射蚀刻和氧化工艺将偏置层 522 的铁磁材料转变成磁轨宽度区 536 中的无磁性氧化物层 538。第二帽盖层 540 形成在端区 502，504 以及无源区 532 和 534 中的引线 L1 528 和 L2 530 上，以及磁轨宽度区 536 中的无磁性氧化物层 538 上。

AP 钉扎层 512 使 FM1 层 517 和 FM2 层 519 的磁化被钉扎（固定）在垂直于 ABS 的方向中，如分别指入和指出纸平面的箭头尾部 542 和箭头 543 表示。在磁轨宽度区 536 中，由箭头 544 指示的自由层 516 的磁化为铁磁地耦合的第一和第二自由子层 520 和 521 的净磁化，并且在存在外部（信号）磁场时不旋转。当不存在外部磁场时，

磁化 544 优选平行于 ABS 取向。在第一和第二无源区 532 和 534 中，自由层 516 强 AP 耦合到偏置层 522。

第一和第二无源区 532 和 534 中的偏置层 522 的磁化 546 为铁磁地耦合的第一和第二偏置子层 524 和 525 的净磁化。由于存在使自由层 516 强 AP 耦合到偏置层 522 的 APC 层 523，因此偏置层的磁化 546 取向平行于自由层的磁化 545。

该 AP 耦合的效果是稳定无源区 532 和 534 中的自由层，并且由于磁化 545 不响应外部场旋转，由此阻止了在旋转的磁盘上不希望的侧面读取 (side reading)。

邻接自旋阀层的端区层 548 和 550 可以由如氧化铝的电绝缘材料形成，或者可以由合适的硬偏置材料形成以便将纵向偏置场提供到自由层 516 以确保自由层中的单磁畴状态。用硬偏置材料形成端区层 548 和 550 的优点在于这些层远离磁轨宽度区 536，所以不会使该区域中自由层的磁化 544 磁刚性 (magnetically stiffening)，磁刚化使自由层对来自旋转磁盘的场信号不敏感。

分别淀积在端区 502 和 504 中的引线 L1 528 和 L2 530 提供了电连接，使读出电流 I_s 从电流源流动到 SV 传感器 500。电连接到引线的信号检测器读出由外部磁场 (例如，由存储在旋转的磁盘上的数据位产生的场) 在自由层 516 中感应的变化造成的阻值改变。外部场使自由层 516 的磁化 544 的方向相对于优选垂直于 ABS 钉扎的钉扎层 519 的磁化 543 的方向旋转。

参考图 5 和 6a-d 介绍 SV 500 的制造。在磁控溅射或离子束溅射系统中依次淀积图 5 所示的多层结构制造 SV 500。存在约 40 Oe 的纵向磁场时进行溅射淀积工艺。通过依次淀积厚度约 30Å 的氧化铝 (Al_2O_3) 层、厚度约 20Å 的 Ni-Fe-Cr 层以及厚度约 8Å 的 Ni-Fe 层在基底 508 上形成籽晶层 509。厚度范围 4-150Å 的 PtMn 的 AFM 层 510 淀积在籽晶层 509 上。通过依次淀积厚度约 10Å 的 Co-Fe 的 FM1 层 517、厚度约 8Å 的钉 (Ru) 的 APC 层 518 以及厚度约 19Å 的 Co-Fe 的 FM2 层 519，AP 钉扎层 512 形成在 AFM 层上。厚度约

20Å 的铜 (Cu) 的隔离层 514 淀积在 FM2 层 519 上, 通过首先淀积厚度约 10Å 的 Co-Fe 的第一自由子层 520, 之后为厚度约 15Å 的 Ni-Fe 的第二自由子层 521, 在隔离层 514 上淀积自由层 516. 厚度约 8Å 的 Ru 的 APC 层 523 淀积在第二自由子层 521 上. 通过首先淀积厚度约 10Å 的 CoFe 的第一偏置子层 524, 之后接厚度约 20Å 的 Ni-Fe 第二偏置子层 525 在 APC 层 523 上淀积偏置层 522. 淀积在偏置层 522 上的第一帽盖层 526 包括厚度约 20Å 的钽 (Ta) 的第一子层和第一子层上厚度约 20Å 的钌 (Ru) 的第二子层. 或者, 第一帽盖层可以由厚度 40Å 的单个钽 (Ta) 层形成.

完成中心区 506 的淀积之后, 涂覆光致抗蚀剂 602 并在光刻装置中曝光, 以掩蔽中心区 506 中的 SV 传感器 500, 然后在溶液中显影露出端区 502 和 504. 通过离子铣除去未掩蔽的端区 502 和 504 中的各层, 氧化铝 (Al_2O_3) 的端区层 548 和 550 淀积在端区中. 此外, 纵向硬偏置层可以形成在端区 502 和 504 中, 以便将纵向偏置场提供到自由层 516, 以确保自由层中的单磁畴状态.

使用光致抗蚀剂 604 和光刻工艺形成 SV 传感器 500 中中心区 506 中的磁轨宽度区 536. 厚度范围 200-600Å 的铑 (Rh) 的第一和第二引线 L1 528 和 L2 530 淀积在端区 502 和 504 上以及提供了需要的引线传感器重叠的第一和第二无源区 532 和 534 中的未掩蔽第一帽盖层 526 上. 除去磁轨宽度区 536 中的光致抗蚀剂掩模 604 之后, 使用引线 L1 528 和 L2 530 作为掩模用于溅射蚀刻和反应离子蚀刻 (RIE) 以除去磁轨宽度区 536 中的第一帽盖层 526. 除去第一帽盖层 526 之后, 用含氧气体溅射蚀刻磁轨宽度区 536 中偏置层 522 的露出部分, 将铁磁偏置层 524 和 525 转变成无磁性氧化物层 538. 厚度约 40Å 的铑 (Rh) 或钌 (Ru) 的第二帽盖层 540 淀积在端区 502 和 504 及无源区 532 和 534 中的引线 L1 528 和 L2 530 上以及磁轨宽度区 536 中无磁性氧化物层 538 上.

应该理解本发明的引线/传感器重叠区 (无源区 532 和 534) 中的反平行耦合偏置/自由层结构可以和具有位于叠置层底部附近的钌

扎层的任何底部自旋阀 (SV) 传感器一起使用。在底部自旋阀结构中，自由层可以容易地 AP 耦合到偏置层，并且使铁磁偏置层氧化以在磁轨宽度区中形成无磁氧化物是容易实现的：特别是，引线/传感器重叠区中的 AP 耦合偏置自由层可以和 AFM 钉扎的简单钉扎或 AP 钉扎的 SV 传感器以及自钉扎的 SV 传感器一起使用。

虽然参考优选实施例具体示出和介绍了本发明，但本领域中的技术人员应该理解可以不脱离本发明的精神、范围和指教对形式和细节进行各种改变。因此，公开的发明仅为说明，并且仅由附带的权利要求书中的具体内容限定。

图1 (现有技术)

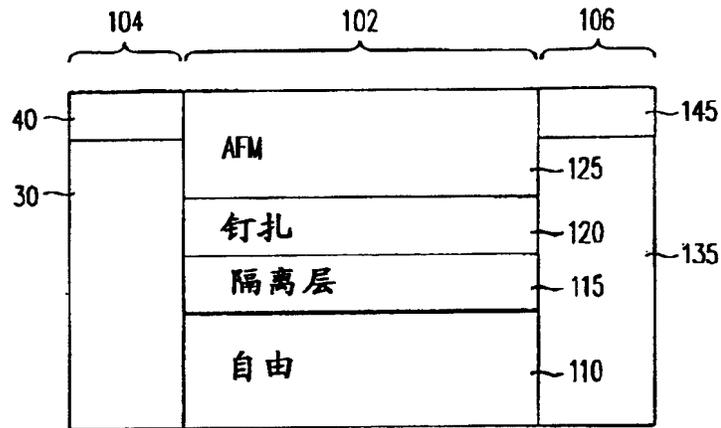


图2

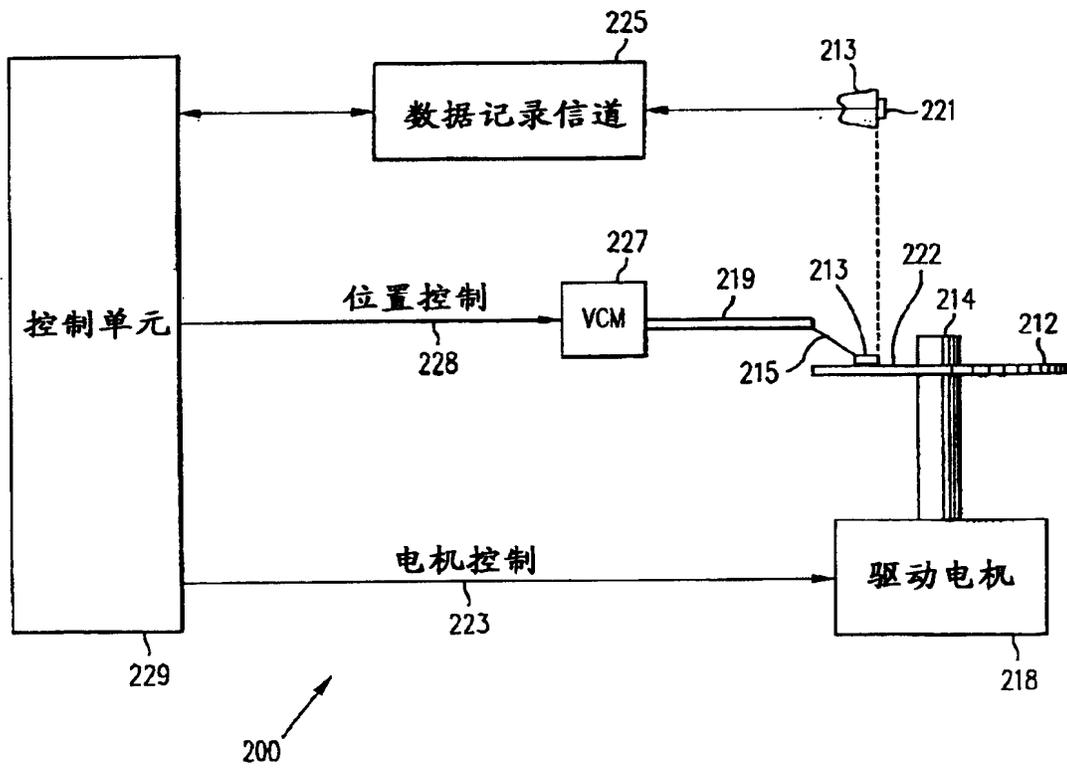
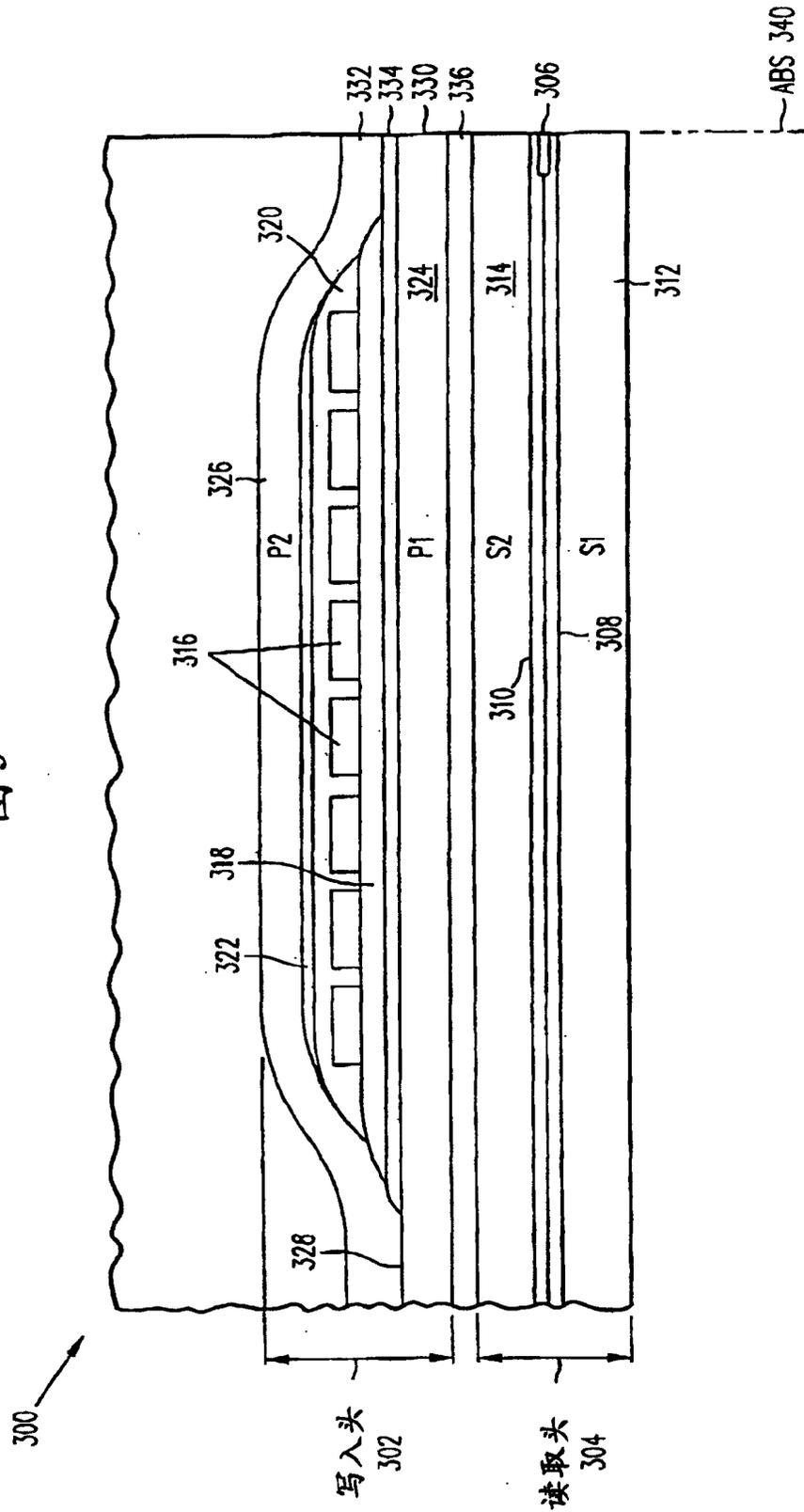


图3



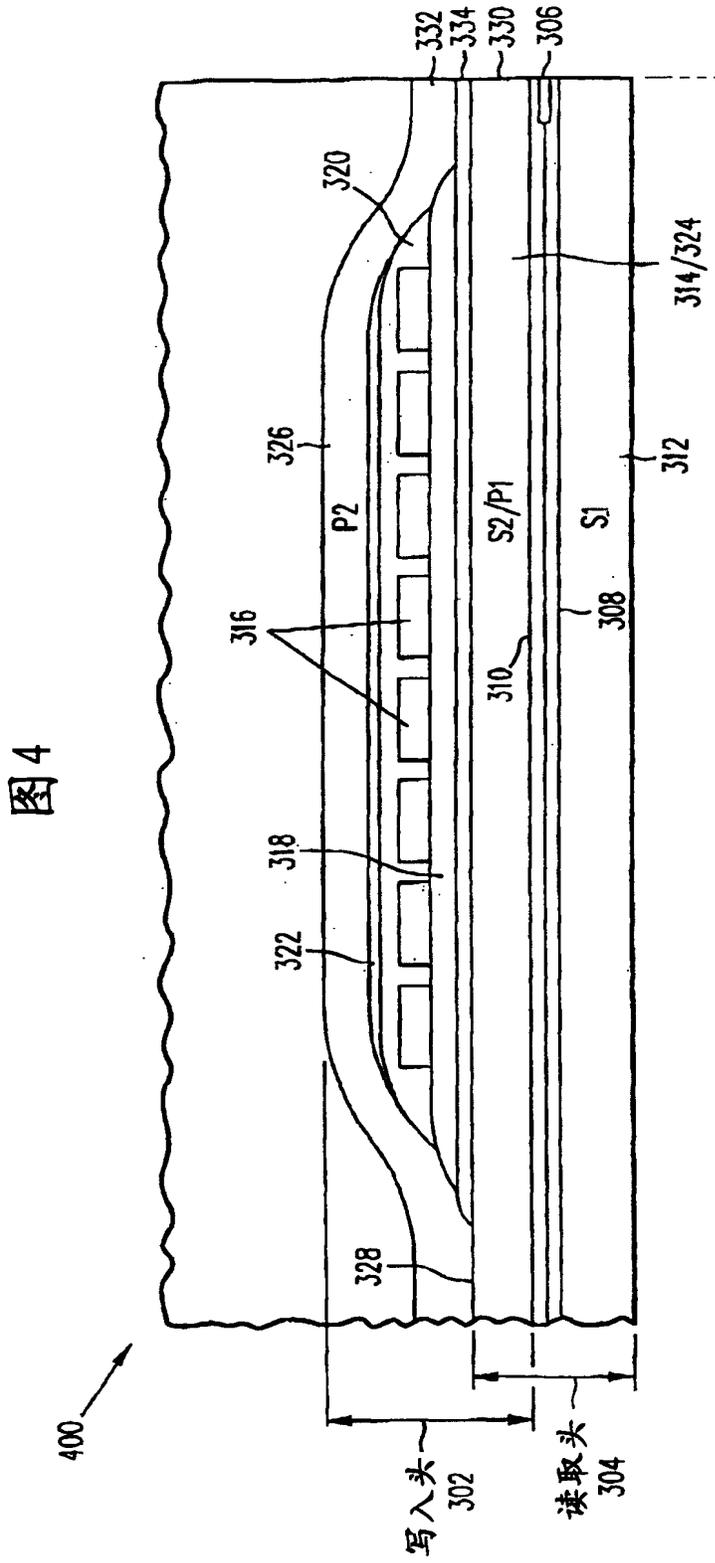


图 5

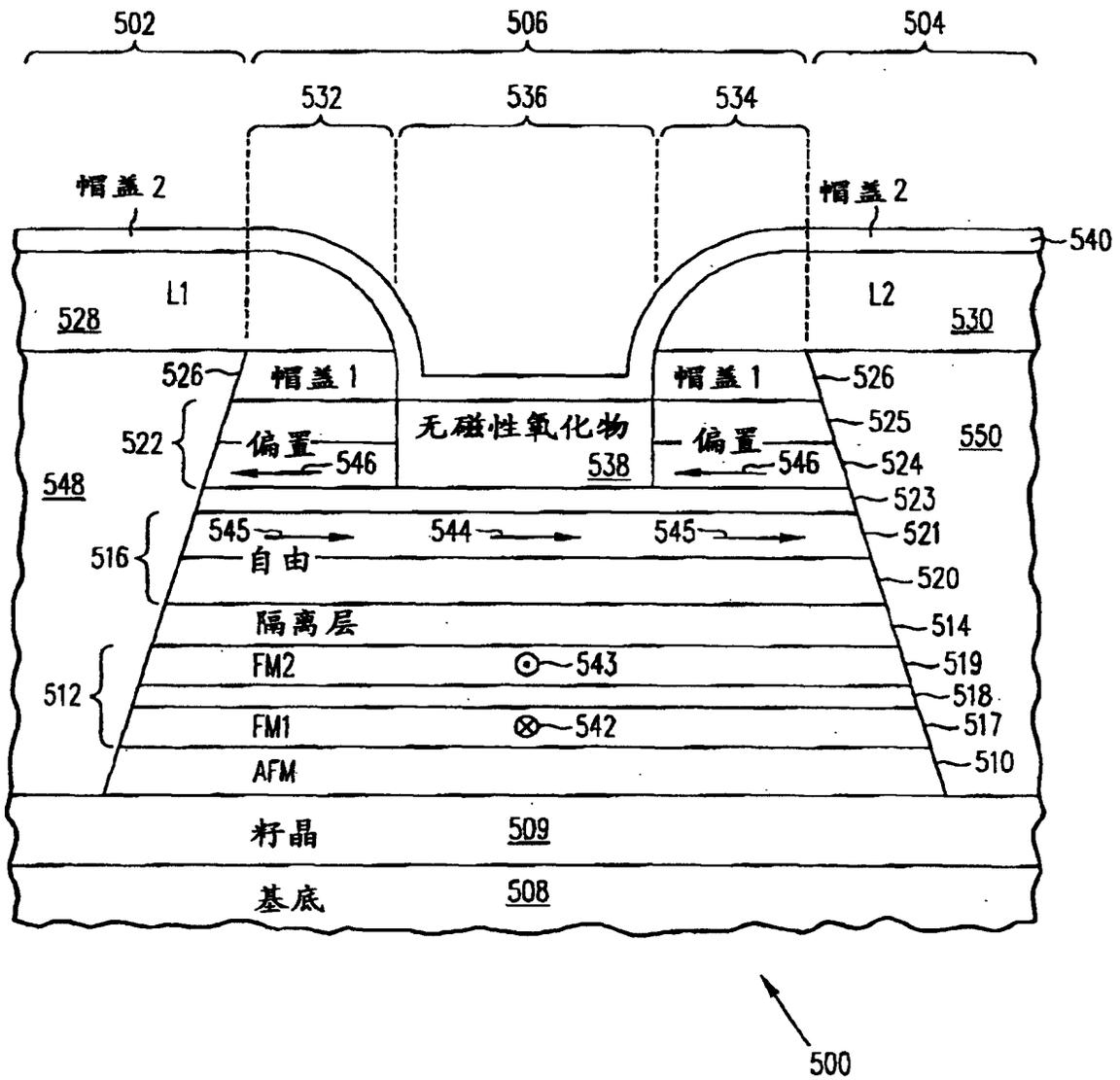


图 6a

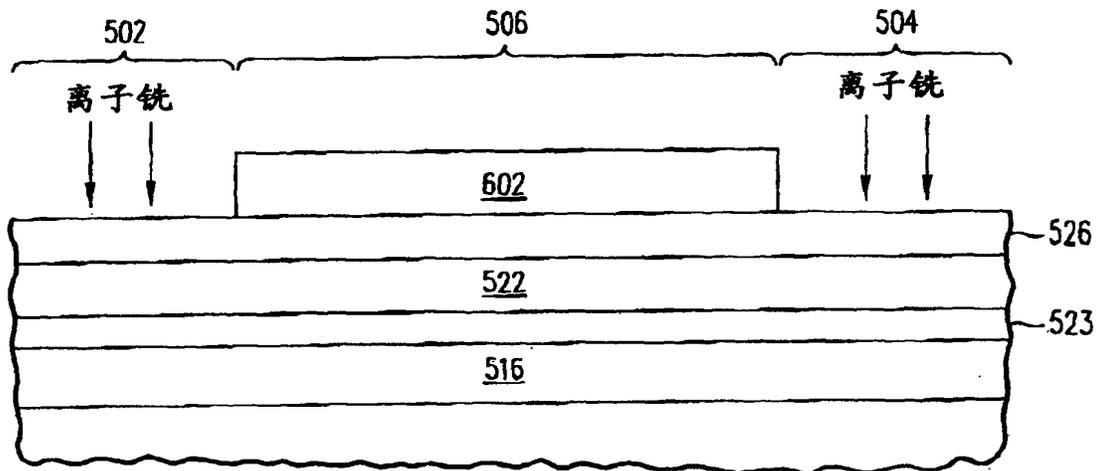


图 6b

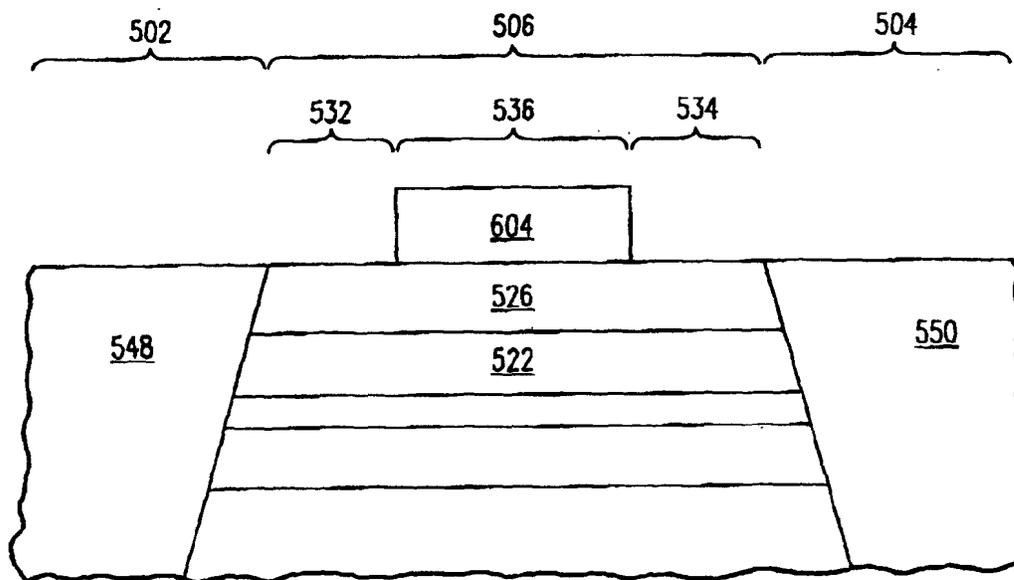


图 6c

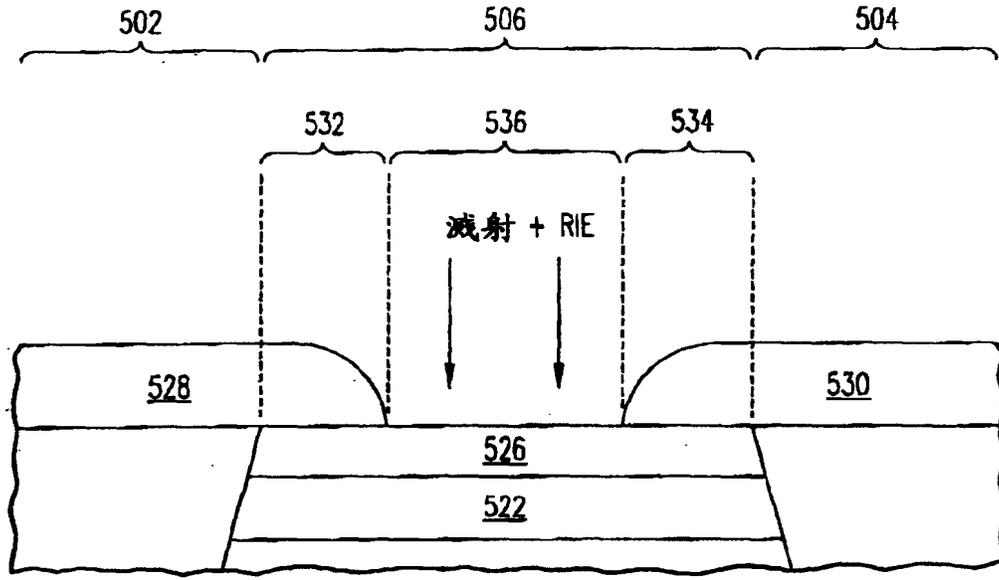


图 6d

