

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 01124480.1

G11B 5/39 (2006.01)

H01F 10/08 (2006.01)

G01R 33/09 (2006.01)

H01L 43/08 (2006.01)

[45] 授权公告日 2006 年 1 月 18 日

[11] 授权公告号 CN 1237511C

[22] 申请日 2001.7.30 [21] 申请号 01124480.1

[30] 优先权

[32] 2000.7.31 [33] US [31] 09/630,329

[71] 专利权人 国际商业机器公司

地址 美国纽约

[72] 发明人 哈德耶尔·S·吉尔

审查员 张 景

[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 王永刚

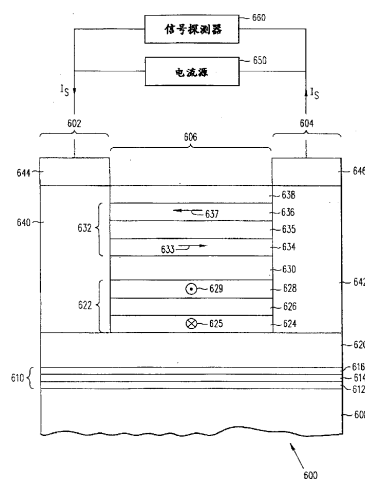
权利要求书 7 页 说明书 10 页 附图 5 页

## [54] 发明名称

带有低本征单轴各向异性自由层的巨磁致电阻传感器

## [57] 摘要

自旋阀磁致电阻传感器，具有反向平行被钉扎层、反向平行耦合的自由层和二者之间的非磁性导电分隔层。反向平行被钉扎层包含被反向平行耦合层分隔的第一和第二铁磁层。自由层包含第三铁磁层、第四铁磁层和二者之间的反向平行耦合层。Co-Fe 第三铁磁层的易磁化轴具有横向取向，Co-Fe-Hf-O 第四铁磁层的易磁化轴具有纵向取向，导致自由层低的净本征单轴各向异性  $H_k$ 。第四铁磁层的高电阻率使读出电流旁路降低，引起电子反转对称散射，改善了传感器的巨磁致电阻系数。



1. 一种自旋阀磁致电阻传感器，它包含：  
反铁磁层；  
邻近所述反铁磁层的被钉扎层，所述反铁磁层对所述被钉扎层的磁化方向进行固定；  
反向平行耦合的自由层，它包含：  
第三铁磁层；  
由电阻率大于 400 微欧姆厘米的材料所组成的第四铁磁层；  
以及  
排列在所述第三和第四铁磁层之间的反向平行耦合层；以及  
排列在所述被钉扎层和所述第三铁磁层之间的由非磁性导电材料组成的分隔层。
2. 权利要求 1 所述的自旋阀磁致电阻传感器，其中所述第四铁磁层由 Co-Fe-Hf-O 制成。
3. 权利要求 1 所述的自旋阀磁致电阻传感器，其中所述第三铁磁层由 Co-Fe 制成。
4. 权利要求 1 所述的自旋阀磁致电阻传感器，其中所述第四铁磁层由  $(\text{Co}_{90}\text{-Fe}_{10})_{60}\text{-Hf}_{10}\text{-O}_{30}$  制成。
5. 权利要求 1 所述的自旋阀磁致电阻传感器，其中所述第四铁磁层由  $(\text{Co}_a\text{-Fe}_b)_x\text{-Hf}_y\text{-O}_z$  制成，其原子百分比为  $40\% \leq x \leq 70\%$ ， $5\% \leq y \leq 25\%$ ， $20\% \leq z \leq 40\%$ ， $70\% \leq a \leq 95\%$ ， $5\% \leq b \leq 30\%$ ， $x + y + z = 100\%$ ， $a + b = 100\%$ 。
6. 权利要求 1 所述的自旋阀磁致电阻传感器，其中所述第三铁磁层由  $\text{Co}_a\text{-Fe}_b$  制成，其原子百分比为  $70\% \leq a \leq 95\%$ ， $5\% \leq b \leq 30\%$ ，且  $a + b = 100\%$ 。
7. 权利要求 1 所述的自旋阀磁致电阻传感器，其中所述反向平行耦合层由钉制成。
8. 权利要求 1 所述的自旋阀磁致电阻传感器，其中所述第三铁磁

层的易磁化轴具有相对于所述第四铁磁层的易磁化轴垂直的取向。

9. 权利要求 1 所述的自旋阀磁致电阻传感器, 其中所述反铁磁层由 Pt-Mn 制成。

10. 权利要求 1 所述的自旋阀磁致电阻传感器, 其中所述被钉扎层还包含:

邻近所述反铁磁层的第一铁磁层;

邻近所述分隔层的第二铁磁层; 以及

排列在所述第一铁磁层和所述第二铁磁层之间的反向平行耦合层。

11. 权利要求 10 所述的自旋阀磁致电阻传感器, 其中所述第三铁磁层由 Co-Fe 制成。

12. 权利要求 10 所述的自旋阀磁致电阻传感器, 其中所述第三铁磁层由  $\text{Co}_a\text{-Fe}_b$  制成, 其原子百分比为  $70\% < a < 95\%$ ,  $5\% < b < 30\%$ , 且  $a + b = 100\%$ 。

13. 权利要求 10 所述的自旋阀磁致电阻传感器, 其中所述第四铁磁层由  $(\text{Co}_{90}\text{-Fe}_{10})_{60}\text{-Hf}_{10}\text{-O}_{30}$  制成。

14. 权利要求 10 所述的自旋阀磁致电阻传感器, 其中所述第四铁磁层由  $(\text{Co}_a\text{-Fe}_b)_x\text{-Hf}_y\text{-O}_z$  制成, 其原子百分比为  $40\% < x < 70\%$ ,  $5\% < y < 25\%$ ,  $20\% < z < 40\%$ ,  $70\% < a < 95\%$ ,  $5\% < b < 30\%$ ,  $x + y + z = 100\%$ ,  $a + b = 100\%$ 。

15. 权利要求 10 所述的自旋阀磁致电阻传感器, 其中第四铁磁层的厚度与第三铁磁层的厚度相同。

16. 权利要求 10 所述的自旋阀磁致电阻传感器, 其中所述反铁磁层由 Pt-Mn 制成。

17. 一种自旋阀磁致电阻传感器, 它包含:

反铁磁层;

邻近所述反铁磁层的反向平行被钉扎层, 所述反向平行被钉扎层包含:

邻近所述反铁磁层的第一铁磁层;

第二铁磁层；以及  
排列在所述第一铁磁层和所述第二铁磁层之间的反向平行耦合层；

反向平行耦合的自由层，它包含：

第三铁磁层；

由高电阻率材料组成的第四铁磁层；以及

排列在所述第三和第四铁磁层之间的反向平行耦合层；以及  
排列在所述第二铁磁层和所述第三铁磁层之间的由非磁性导电材料组成的分隔层。

18. 权利要求 17 所述的自旋阀磁致电阻传感器，其中所述第四铁磁层由 Co-Fe-Hf-O 制成。

19. 权利要求 17 所述的自旋阀磁致电阻传感器，其中所述第三铁磁层由 Co-Fe 制成。

20. 权利要求 17 所述的自旋阀磁致电阻传感器，其中所述第三铁磁层由  $\text{Co}_a\text{-Fe}_b$  制成，其原子百分比为  $70\% < a < 95\%$ ， $5\% < b < 30\%$ ，且  $a + b = 100\%$ 。

21. 权利要求 17 所述的自旋阀磁致电阻传感器，其中所述第四铁磁层由  $(\text{Co}_{90}\text{-Fe}_{10})_{60}\text{-Hf}_{10}\text{-O}_{30}$  制成。

22. 权利要求 17 所述的自旋阀磁致电阻传感器，其中所述第四铁磁层由  $(\text{Co}_a\text{-Fe}_b)_x\text{-Hf}_y\text{-O}_z$  制成，其原子百分比为  $40\% < x < 70\%$ ， $5\% < y < 25\%$ ， $20\% < z < 40\%$ ， $70\% < a < 95\%$ ， $5\% < b < 30\%$ ， $x + y + z = 100\%$ ， $a + b = 100\%$ 。

23. 权利要求 17 所述的自旋阀磁致电阻传感器，其中第四铁磁层的厚度与第三铁磁层的厚度相同。

24. 权利要求 17 所述的自旋阀磁致电阻传感器，其中所述第三铁磁层的易磁化轴具有相对于所述第四铁磁层的易磁化轴垂直的取向。

25. 权利要求 17 所述的自旋阀磁致电阻传感器，其中所述反铁磁层由 Pt-Mn 制成。

26. 权利要求 17 所述的自旋阀磁致电阻传感器，其中所述分隔层

由铜制成。

27. 一种磁性读/写头，它包含：

写入头，它包括：

至少一个线圈层和绝缘叠层，此线圈层被埋置在绝缘叠层中；  
连接在背面间隙处并具有带边沿的形成空气支承表面一部分的磁极尖端的第一和第二磁极片层；

该绝缘叠层夹在第一和第二磁极片层之间；以及  
夹在第一和第二磁极片层的磁极尖端之间并形成空气支承表面一部分的写入间隙层；

读出头，它包括：

自旋阀磁致电阻传感器，它包含：

反铁磁层；

邻近所述反铁磁层的反向平行被钉扎层，所述反向平行被钉扎层包含：

邻近所述反铁磁层的第一铁磁层；

第二铁磁层；以及

排列在所述第一铁磁层和所述第二铁磁层之间的反向平行耦合层；

反向平行耦合的自由层，它包含：

第三铁磁层；

由高电阻率材料组成的第四铁磁层；以及

排列在所述第三和第四铁磁层之间的反向平行耦合层；以及

排列在所述第二铁磁层和所述第三铁磁层之间的由非磁性导电材料组成的分隔层；以及

排列在读出头的第二屏蔽层和写入头的第一磁极片层之间的绝缘层。

28. 权利要求 27 所述的磁性读/写头，其中所述第四铁磁层由 Co-Fe-Hf-O 制成。

29. 权利要求 27 所述的磁性读/写头, 其中所述第三铁磁层由 Co-Fe 制成。

30. 权利要求 27 所述的磁性读/写头, 其中所述第三铁磁层由  $\text{Co}_a\text{-Fe}_b$  制成, 其原子百分比为  $70\% < a < 95\%$ ,  $5\% < b < 30\%$ , 且  $a + b = 100\%$ 。

31. 权利要求 27 所述的磁性读/写头, 其中所述第四铁磁层由  $(\text{Co}_{90}\text{-Fe}_{10})_{60}\text{-Hf}_{10}\text{-O}_{30}$  制成。

32. 权利要求 27 所述的磁性读/写头, 其中所述第四铁磁层由  $(\text{Co}_a\text{-Fe}_b)_x\text{-Hf}_y\text{-O}_z$  制成, 其原子百分比为  $40\% < x < 70\%$ ,  $5\% < y < 25\%$ ,  $20\% < z < 40\%$ ,  $70\% < a < 95\%$ ,  $5\% < b < 30\%$ ,  $x + y + z = 100\%$ ,  $a + b = 100\%$ 。

33. 权利要求 27 所述的磁性读/写头, 其中第四铁磁层的厚度与第三铁磁层的厚度相同。

34. 权利要求 27 所述的磁性读/写头, 其中所述反铁磁层由 Pt-Mn 制成。

35. 权利要求 27 所述的磁性读/写头, 其中所述分隔层由铜制成。

36. 一种磁盘驱动系统, 它包含:

记录磁盘;

用来在记录磁盘上磁性记录数据以及用来读出记录磁盘上磁性记录的数据的磁性读/写头, 所述磁性读/写头包含:

写入头, 它包括:

至少一个线圈层和绝缘叠层, 此线圈层被埋置在绝缘叠层中;

连接在背面间隙处并具有带边沿的形成空气支承表面一部分的磁极尖端的第一和第二磁极片层;

该绝缘叠层夹在第一和第二磁极片层之间; 以及

夹在第一和第二磁极片层的磁极尖端之间并形成空气支承表面一部分的写入间隙层;

读出头, 它包括:

自旋阀磁致电阻传感器，它包含：

反铁磁层；

邻近所述反铁磁层的反向平行被钉扎层，所述反向平行被钉扎层包含：

邻近所述反铁磁层的第一铁磁层；

第二铁磁层；以及

排列在所述第一铁磁层和所述第二铁磁层之间的反向平行耦合层；

铁磁自由层，它包含：

第三铁磁层；

由高电阻率材料组成的第四铁磁层；以及

排列在所述第三和第四铁磁层之间的反向平行耦合层；以及

排列在所述第二铁磁层和所述第三铁磁层之间的由非磁性导电材料组成的分隔层；以及

排列在读出头的第二屏蔽层和写入头的第一磁极片层之间的绝缘层；

用来移动所述磁性读/写头跨越磁盘，使读/写头可以访问记录磁盘的不同区域的致动器；以及

电耦合到所述用来在记录磁盘上磁性记录数据的写入头和所述读出头的磁隧穿结传感器的记录信道，该磁隧穿结传感器用来响应来自磁性记录的数据的磁场而探测反向平行耦合的自由层的磁化轴相对第一和第二被钉扎层的固定磁化的旋转引起的磁隧穿结传感器的电阻值的变化。

37. 权利要求 36 所述的磁盘驱动系统，其中所述第四铁磁层由 Co-Fe-Hf-O 制成。

38. 权利要求 36 所述的磁盘驱动系统，其中所述第三铁磁层由 Co-Fe 制成。

39. 权利要求 36 所述的磁盘驱动系统，其中所述第三铁磁层由

$\text{Co}_a\text{-Fe}_b$  制成, 其原子百分比为  $70\% < a < 95\%$ ,  $5\% < b < 30\%$ , 且  $a + b = 100\%$ 。

40. 权利要求 36 所述的磁盘驱动系统, 其中所述第四铁磁层由  $(\text{Co}_{90}\text{-Fe}_{10})_{60}\text{-Hf}_{10}\text{-O}_{30}$  制成。

41. 权利要求 36 所述的磁盘驱动系统, 其中所述第四铁磁层由  $(\text{Co}_a\text{-Fe}_b)_x\text{-Hf}_y\text{-O}_z$  制成, 其原子百分比为  $40\% < x < 70\%$ ,  $5\% < y < 25\%$ ,  $20\% < z < 40\%$ ,  $70\% < a < 95\%$ ,  $5\% < b < 30\%$ ,  $x + y + z = 100\%$ ,  $a + b = 100\%$ 。

42. 权利要求 36 所述的磁盘驱动系统, 其中第四铁磁层的厚度与第三铁磁层的厚度相同。

43. 权利要求 36 所述的磁盘驱动系统, 其中所述反铁磁层由 Pt-Mn 制成。

44. 权利要求 36 所述的磁盘驱动系统, 其中所述分隔层由铜制成。



## 带有低本征单轴各向异性自由层的巨磁致电阻传感器

### 技术领域

本发明一般涉及到用来从磁性媒体读取信息信号的巨磁致电阻 (GMR) 传感器, 确切地说是涉及到具有低本征单轴各向异性的反向平行耦合自由层的自旋阀传感器, 以及涉及到组合有这种传感器的磁性存储系统。

### 背景技术

计算机常常包括具有媒体的辅助存储器件, 在以后的使用中, 此媒体上可以写入数据并从中读取数据。组合有旋转磁盘的直接存取存储器件 (磁盘驱动器) 被普遍用来在磁盘表面上以磁性形式存储数据。数据被记录在磁盘表面上的径向分隔的同心磁道上。然后用包括读出传感器的磁头, 从磁盘表面上的磁道读取数据。

在高容量磁盘驱动器中, 通常称为 MR 传感器的磁致电阻 (MR) 读出传感器由于其以比薄膜感应磁头更高的磁道和线性密度从磁盘表面读取数据的能力而在读出磁头中占优势。MR 传感器通过其 MR 读出层 (也称为“MR 元件”) 的电阻值随正被 MR 层读取的磁通量的强度和方向的变化而探测磁场。

常规的 MR 传感器基于各向异性磁致电阻 (AMR) 效应而工作, 其中 MR 元件的电阻值随 MR 元件中的磁化与流过 MR 元件的读出电流的方向之间的夹角的余弦平方而变化。由于来自记录有数据的磁性媒体的外部磁场 (信号场) 引起 MR 元件中的磁化方向改变, 它又引起 MR 元件中的电阻值改变以及读出的电流或电压的相应改变, 故能够从磁性媒体读出记录的数据。

另一种 MR 传感器是呈现巨磁致电阻效应的巨磁致电阻 (GMR) 传感器。在巨磁致电阻传感器中, MR 读出层的电阻值随被非磁性层 (间隔层) 分开的磁性层之间的导电电子的自旋有关的传输以及发生在磁性

与非磁性层界面处和磁性层中伴生的自旋有关的散射而改变。

仅仅使用二个被非磁性材料层（例如铜）分隔的铁磁材料层（例如 Ni-Fe）的巨磁致电阻传感器，通常被称为自旋阀（SV）传感器，它呈现自旋阀效应。图 1 示出了现有技术的自旋阀传感器 100，它包含被中央区域 102 分隔的端部区域 104 和 106。称为被钉扎层的第一铁磁层 120 的磁化通常被与反铁磁（AFM）层 125 的交互耦合固定（被钉扎）。称为自由层的第二铁磁层 110 的磁化不被固定，可以响应于来自记录磁性媒体的磁场（信号场）而自由旋转。自由层 110 被非磁性导电分隔层 115 分隔于被钉扎层 120。制作在端部区域 104 和 106 中的引线 140 和 145 分别提供电连接，用来读取自旋阀传感器 100 的电阻值。此处列为参考的授予 Dieny 等人的 IBM 的美国专利 No.5206590 公开了基于巨磁致电阻效应而工作的一种自旋阀传感器。

另一种自旋阀传感器是反向平行（AP）被钉扎的自旋阀传感器。在反向平行被钉扎的自旋阀传感器中，被钉扎层是由被非磁性耦合层分隔的二个铁磁层组成的叠层结构，以致二个铁磁层的磁化被反铁磁地沿反向平行方向紧密耦合在一起。与图 1 的自旋阀传感器的被钉扎层结构相比，反向平行被钉扎的自旋阀传感器提供了改进的反铁磁（AFM）层到层叠的被钉扎层结构的交互耦合。这一改进了的交互耦合提高了反向平行钉扎的自旋阀传感器在高温下的稳定性，这使得能够对反铁磁层使用抗蚀剂和诸如 NiO 的电绝缘反铁磁材料。

参照图 2，反向平行钉扎的自旋阀传感器 200 包含被非磁性导电分隔层 215 分隔于层叠的反向平行被钉扎层结构 220 的自由层 210。层叠的反向平行被钉扎层结构 220 的磁化被反铁磁层 230 固定。层叠的反向平行被钉扎层结构 220 包含被非磁性材料（通常是钉（Ru））组成的反向平行耦合（APC）层分隔的第一铁磁层 226 和第二铁磁层 222。层叠的反向平行被钉扎层结构 220 中的二个铁磁层 226 和 222（FM1 和 FM2）的磁化方向反向平行，如箭头 227 和 223 所示（箭头分别指向纸面外和内）。

当磁性存储密度提高以满足高存储容量磁盘驱动器的需求时，提高

自旋阀传感器的巨磁致电阻系数以便改善信号回读系统的灵敏度和信噪比特性，以及减小自由层的厚度以便满足更高的面密度要求，就越来越重要。在分隔层和被钉扎层周围以及分隔层与分隔层界面周围的读出电流旁路，由于引起巨磁致电阻效应的大部分自旋有关的散射发生在这一区域中，而导致巨磁致电阻系数下降。自旋阀传感器的自由层通常由 Co-Fe 层和 Ni-Fe 层组成。Co-Fe 被用来获得高的巨磁致电阻系数，而 Ni-Fe 被加入以便获得具有软磁性质的自由层。然而，Ni-Fe 具有低的电阻率，使读出电流旁路，导致巨磁致电阻系数下降。为了提高面密度应用而减小自由层的厚度，导致磁性性质的退化和巨磁致电阻系数降低。对自由层使用反向平行耦合结构，是减小自由层磁性厚度而不使磁性性质和巨磁致电阻系数退化的一种方法。然而，由于反向平行耦合而使自由层的本征单轴各向异性  $H_k$  增大，使这种结构对于自由层应用没有吸引力。

因此，为了减小自由层厚度、降低读出电流旁路、以及提高自旋阀传感器的巨磁致电阻系数同时保持自由层非常低的  $H_k$  值，对于改进的反向平行耦合自由层存在着需求。

### 发明内容

因此，本发明的目的是公开一种自旋阀传感器，它具有本征单轴各向异性  $H_k$  低的反向平行 (AP) 耦合的自由层。

本发明的另一目的是公开一种自旋阀传感器，它具有由高电阻率软铁磁材料组成的自由层。

本发明的又一目的是公开一种自旋阀传感器，它具有因利用铁磁自由层降低电流旁路而改进的巨磁致电阻系数。

本发明的再一目的是公开一种自旋阀传感器，它具有包含被钉 (Ru) 组成的反铁磁耦合层分隔的由 Co-Fe 组成的第三铁磁层和由 Co-Fe-Hf-O 组成的第四铁磁层的反向平行耦合的自由层。

根据本发明的原理，公开了一种自旋阀 (SV) 传感器，它具有反向平行被钉扎层、层叠的反向平行耦合自由层、以及夹在反向平行被钉扎层与自由层之间的非磁性导电分隔层。反向平行被钉扎层包含被反向平

行耦合 (APC) 层分隔的第一和第二铁磁层。反向平行耦合的自由层包含邻近分隔层的由 Co-Fe 组成的第三铁磁层以及被反向平行耦合 (APC) 层分隔于第三铁磁层的由 Co-Fe-Hf-O 组成的第四铁磁层。在传感器的反铁磁退火工艺步骤中, Co-Fe 层的易磁化轴变成横向, 而 Co-Fe-Hf-O 的易磁化轴由于这一纳米结晶材料的较高的热稳定性而保持纵向。Co-Fe 层的易磁化轴与 Co-Fe-Hf-O 材料的易磁化轴之间的 90 度夹角导致反向平行耦合的自由层的  $H_k$  非常低。第四铁磁层的 Co-Fe-Hf-O 材料具有高的电阻率, 导致读出电流旁路被自由层降低。此外, 第四铁磁层的金属氧化物已知会引起电子的反转对称散射。降低了的读出电流旁路以及电子的反转对称散射都有助于改善自旋阀的巨磁致电阻系数。

在下列详细的描述中, 本发明的上述以及其它的目的、特点和优点将变得明显。

#### 附图说明

为了更充分地理解本发明的性质和优点以及使用的优选模式, 应该结合附图参照下列详细描述。在下列附图中, 相似的参考号表示所有附图中的相似的部件。

图 1 是现有技术自旋阀传感器的空气支承表面图, 未按比例;

图 2 是现有技术中反向平行钉扎的自旋阀传感器的空气支承表面图, 未按比例;

图 3 是使用本发明的自旋阀晶体管传感器的磁性记录磁盘驱动系统的简化图;

图 4 是“自动分段控制”读/写磁头的垂直剖面图, 未按比例;

图 5 是“并合”读/写磁头的垂直剖面图, 未按比例; 以及

图 6 是本发明的自旋阀传感器的实施方案的空气支承表面图, 未按比例。

#### 具体实施方式

下列描述是目前用来实施本发明的最佳实施方案。这一描述是为了说明本发明的一般原理, 而不是对此处提出权利要求的本发明的概念的

限制。

现参照图 3，示出了体现本发明的磁盘驱动器 300。如图 3 所示，至少一个可旋转的磁盘 312 被支持在转轴 314 上，并被磁盘驱动电机 318 旋转。磁性记录媒体在磁盘 312 上成同心数据磁道（未示出）的环形图形。

至少一个滑块 313 被置于磁盘 312 上，各个滑块 313 支持一个或多个磁性读/写头 321，其中的磁头 321 组合有本发明的自旋阀传感器。当磁盘旋转时，滑块 313 在磁盘表面 322 上方径向内外移动，使磁头 321 可以访问记录了所需数据的磁盘的不同部分。各个滑块 313 被悬臂 315 固定到执行臂 319。悬臂 315 提供了使滑块 313 偏向磁盘表面 322 的轻微弹力。各个执行臂 319 被固定到致动器 327。图 3 所示的致动器可以是音圈电机（VCM）。VCM 包含可在固定磁场中运动的线圈，线圈运动的方向和速度受控制器 329 馈送的电机电流信号控制。

在磁盘存储系统的工作过程中，磁盘 312 的旋转在滑块 313（包括磁头 321 且面向磁盘 312 表面的滑块 313 的表面，被称为空气支承表面（ABS））与磁盘表面 322 之间产生一个空气支承，以便将向上的力施加到滑块。此空气支承于是抵消悬臂 315 的轻微弹力，并在正常工作过程中将滑块 313 支持在磁盘表面上方形成小的基本上恒定的间距。

磁盘存储系统的各个组成部分在工作时受控制单元 329 产生的诸如存取控制信号和内部时钟信号之类的信号的控制。控制单元 329 通常包含逻辑控制电路、存储芯片、和微处理器。控制单元 329 产生控制信号，例如线 323 和磁头位置上的驱动电机控制信号以及线 328 上的搜索控制信号，以控制各个系统工作。线 328 上的控制信号提供所需的电流分布来最佳地将滑块 313 移动和定位到磁盘 312 上的所需数据磁道。利用记录信道 325，将读和写信号连接到读/写头 321 和从读/写头连接出来。记录信道 325 可以是局部响应最大可能性（PMRL）信道或峰值探测信道。二种信道的设计和实现在本技术中对熟练人员来说是众所周知的。在优选实施方案中，记录信道 325 是 PMRL 信道。

典型磁盘存储系统的上述描述以及图 3 的伴随说明仅仅是为了表述

的目的。显然，磁盘存储系统可以包含大量磁盘和执行臂，且各个执行臂可以支持大量滑块。

图4是“自动分段控制”磁性读/写头400的侧剖面图，它包括写入头部分402和读出头部分404，读出头部分采用根据本发明的自旋阀传感器406。自旋阀传感器406被夹在非磁性绝缘第一和第二读出间隙层408和410之间，而读出间隙层被夹在铁磁性第一和第二屏蔽层412和414之间。响应于外部磁场，自旋阀传感器406的电阻值改变。流过传感器的读出电流 $I_r$ 使这些电阻值改变呈现为电位改变。这些电位改变则被图3所示的数据记录信道346的处理电路处理为回读信号。

磁性读/写头400的写入头部分402包括夹在第一和第二绝缘层418和420之间的线圈层416。可以用第三绝缘层522来整平磁头以消除线圈层416引起的第二绝缘层420中的皱纹。在本技术中，第一、第二、和第三绝缘层被称为绝缘叠层。线圈层416以及第一、第二、和第三绝缘层418、420、和422，被夹在第一和第二磁极片层424和426之间。第一和第二磁极片层424和426在背面间隙428处被磁性耦合，并在空气支承表面400处具有被写入间隙层434分隔的第一和第二磁极尖端430和432。绝缘层436位于第二屏蔽层414和第一磁极片层424之间。由于第二屏蔽层414和第一磁极片层424是分隔的层，故这一读/写头被称为“自动分段控制”磁头。

除了第二屏蔽层514与第一磁极片层524是公共层之外，图5与图4相同。这种读/写头被称为“并合”磁头500。图4中的自动分段控制磁头的绝缘层436在图5的并合磁头500中被略去。

图6示出了根据本发明一个实施方案的反向平行(AP)钉扎的自旋阀传感器600的空气支承表面(ABS)，未按比例。自旋阀传感器600包含被中央区域606彼此分隔的端部区域602和604。衬底608可以是任何适当的衬底，包括玻璃、半导体材料、或陶瓷材料，例如氧化铝( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )。籽晶层610是淀积来修正后续各个层的结晶学织构或晶粒尺寸的层，并根据后续层的材料而可以不需要。对于自旋阀传感器600的实施方案，籽晶层610包含淀积在衬底上的三层籽晶层结构。第一、

第二、和第三子层 612、614、和 616 被相继淀积在衬底 608 上。反铁磁 (AFM) 层 620 被淀积在第三子层 616 上, 其厚度为能够得到所需的交互性质, 通常为 100-500Å。在反铁磁层 620 的中央区域 606 上制作层叠的反向平行被钉扎层 622。反向平行被钉扎层 622 包含第一铁磁层 (FM1) 624、第二铁磁层 (FM2) 628、以及排列在 FM1 层 624 和 FM2 层 628 之间的反向平行耦合 (APC) 层 626。反向平行耦合层由非铁磁材料, 最好是钉 (Ru) 组成, 使 FM1 层 624 和 FM2 层 628 能够牢固地反铁磁耦合在一起。包括第三铁磁层 (FM3) 634、第四铁磁层 (FM4) 636、以及排列在第三和第四铁磁层 634 和 636 之间的反向平行耦合层 635 的层叠的反向平行耦合自由层 (自由铁磁层) 632, 被非铁磁导电分隔层 630 分隔于反向平行被钉扎层 622。在不存在外部场时, 自由层 632 的磁化最好平行于空气支承表面, 如表示反向平行耦合的第三和第四铁磁层 634 和 636 的磁化的箭头 633 和 637 分别所示。制作在自由层 632 上的帽层 638 完成了自旋阀传感器 600 的中央区域 606。

在此实施方案中, 帽层 638 由钽 (Ta) 组成。作为变通, 帽层 638 可以由制作在自由层 632 上的铜 (Cu) 的第一子层和制作在 Cu 的第一子层上的钽 (Ta) 的第二子层组成的双层帽层。自由层上 Cu 层的存在已知会通过自旋滤波器效应增强自旋阀传感器的磁致电阻。

自旋阀传感器 600 还包含分别制作在端部区域 602 和 604 上的偏置层 640 和 642, 用来为自由层 632 提供纵向偏置场, 以确保自由层中的单一磁畴状态。引线层 644 和 646 也分别被淀积在端部区域 602 和 604 上, 以便为读出电流  $I_s$  从电流源 650 流到自旋阀传感器 600 提供电连接。电连接到引线 644 和 646 的信号探测器 660, 对外部磁场 (例如存储在磁盘上的数据位产生的场) 在自由层 632 中感应的变化所造成的电阻值的变化进行读出。外部磁场使自由层 632 的磁化方向相对于最好垂直于空气支承表面被钉扎的被钉扎层 622 的磁化方向旋转。信号探测器 660 最好包含部分响应最大可能性 (PRML) 记录信道, 用来处理自旋阀传感器 600 探测到的信号。作为变通, 可以采用峰值探测信道或最大可能性信道 (例如 1, 7ML)。上述信道的设计和实现对本技术的熟练人员

来说是众所周知的。如本技术熟练人员所知，信号探测器 660 也包括诸如用来调整读出的电阻值变化的前置放大器（电学上置于传感器与信道之间）之类的其它支持电路。

在磁控溅射或离子束溅射系统中制造自旋阀传感器 600，以便相继淀积图 6 所示的多层结构。在存在大约 40Oe 的纵向磁场的情况下进行溅射淀积工艺。借助于相继淀积厚度约为 30Å 的由  $\text{Al}_2\text{O}_3$  组成的第一子层 612、厚度约为 30Å 的由  $\text{NiMnO}$  组成的第二子层 614、以及厚度约为 35Å 的由钽 (Ta) 组成的第三子层 616，在衬底 608 上制作籽晶层 610。厚度约为 200Å 的由 Pt-Mn 组成的反铁磁层 620 被淀积在籽晶层 610 的第三子层 616 上。

反向平行被钉扎层 622、分隔层 630、层叠的反向平行耦合自由层 632、以及帽层 638，被相继淀积在中央区域 606 中的反铁磁层 620 上。厚度约为 17Å 的由 Co-Fe 组成的 FM1 层 624 被淀积在反铁磁层 620 上。厚度约为 8Å 的由钽组成的反向平行耦合层 626 被淀积在 FM1 层 624 上。厚度约为 26Å 的由 Co-Fe 组成的 FM2 层 628 被淀积在反向平行耦合层 626 上。

非磁性导电分隔层 630 由淀积在 FM2 层 628 上的厚度约为 21Å 的铜 (Cu) 组成。作为变通，分隔层 630 可以由银 (Ag)、金 (Au)、或 Cu、Ag、和 Au 的合金组成。层叠的反向平行耦合自由层 632 包含淀积在分隔层 630 上的厚度约为 10-20Å 最好是 15Å 的由 Co-Fe 组成的 FM3 层 634、淀积在 FM3 层 634 上的厚度约为 8Å 的由钽组成的反向平行耦合层 635、以及淀积在反向平行耦合层 635 上的厚度约为 10-20Å 最好是 15 Å 的由 Co-Fe-Hf-O 组成的 FM4 层 636。帽层 638 由淀积在自由层 632 的 FM4 层 638 上的厚度约为 50Å 的 Ta 组成。

在淀积中央部分 606 之后，在大约 800Oe 的横截于空气支承表面的磁场中，对传感器进行退火，然后仍然在磁场中冷却，以设定反铁磁层 620 与横截于空气支承表面的层叠反向平行被钉扎层 622 的交互耦合。FM1 层 624 具有与反铁磁层 620 的表面形成界面的表面，致使反铁磁层将 FM1 层 624 的磁矩 625（在图 6 中由指向纸面内的箭头尾巴表示）沿



垂直于离开空气支承表面的方向钉扎。FM1层624的磁化被与反铁磁层620的交互耦合沿此方向钉扎。反向平行耦合层626非常薄(大约8 Å),使得能够得到FM1层624与FM2层628之间的反铁磁交互耦合。因此,FM2层628的磁化629(由指向纸面外的箭头的头部表示)沿相反于FM1层624的磁化625的方向,亦即垂直并向着空气支承表面定向。作为变通,FM1层624的磁化625可以沿相反的方向被设定(垂直并离开空气支承表面),致使磁化625指向纸面外。FM2层628的磁化629则由于反向平行耦合跨越反向平行耦合层626而指向纸面内。

本发明的新颖特点是采用Co-Fe-Hf-O来形成反向平行耦合的自由层632的FM4层636。已知Co-Fe-Hf-O材料由于其纳米结晶结构而具有高的热稳定性,其结果是,用来设定Pt-Mn组成的反铁磁层620与横截于空气支承表面的反向平行被钉扎层622的交互耦合的横向退火工艺,将不引起FM4层636的Co-Fe-Hf-O材料的易磁化轴从其纵向取向发生旋转。然而,横向退火工艺引起FM3层634的热稳定性较低的Co-Fe材料的易磁化轴变成横向。结果,反向平行耦合的自由层632的FM3层和FM4层的纯净本征单轴各向异性 $H_k$ 会降低。已知铁磁Co-Fe-Hf-O材料具有非常高的电阻率(>400微欧姆厘米),并具有软磁性(矫顽力 $H_c < 5$  Oe, 和本征单轴各向异性 $H_k < 10$  Oe)。在使自由层632响应于信号磁场而自由旋转方面,软磁性是很重要的。FM4层636的高电阻值使流过自由层632的这一子层的读出电流降低,导致分隔层630以及与引起巨磁致电阻效应的自旋有关的散射过程最有效的分隔层形成界面的铁磁层中的读出电流增大。除了高电阻率之外,Co-Fe-Hf-O材料还是一种已知引起电子反转对称反射的金属氧化物。电子被金属氧化物材料反转对称反射回到自由层,继续在其中增加巨磁致电阻效应。降低了的读出电流旁路与散射进入金属氧化物层的电子的反转对称反射的组合效应,将导致自旋阀传感器600的巨磁致电阻系数增大。

Co-Fe-Hf-O材料的高电阻率和低单轴各向异性是纳米晶粒结晶结构造成的。所需材料的组分范围可以用原子百分比表示为 $(Co_a-Fe_b)_x-Hf_y-O_z$ , 其中,  $40\% < x < 70\%$ ,  $5\% < y < 25\%$ ,  $20\% < z <$

40%， $70\% \leq a \leq 95\%$ ， $5\% \leq b \leq 30\%$ ， $x + y + z = 100\%$ ， $a + b = 100\%$ 。  
优选组分是 $(\text{Co}_{90}\text{-Fe}_{10})_{60}\text{-Hf}_{10}\text{-O}_{30}$ 。

层叠的自由层 632 的 FM3 层 634 由组分范围原子百分比表示为  $\text{Co}_a\text{-Fe}_b$  的 Co-Fe 制成，其中  $70\% \leq a \leq 95\%$ ， $5\% \leq b \leq 30\%$ ，且  $a + b = 100\%$ 。优选组分是  $\text{Co}_{90}\text{-Fe}_{10}$ 。

对于本技术的熟练人员来说，显然，本发明的反向平行耦合自由层可以被用作磁隧穿结 (MTJ) 传感器磁致电阻器件来获得来自反向平行耦合和此自由层材料和结构造成的灵敏度提高的降低自由层磁性厚度的优点。

虽然参照优选实施方案已经具体描述了本发明，但本技术领域的熟练人员可以理解，可以在形式和细节方面作出各种各样的改变而不偏离本发明的构思、范围与说明。因此，所公开的发明被认为仅仅是示例性的，且仅仅由所附权利要求所规定的范围来限定。

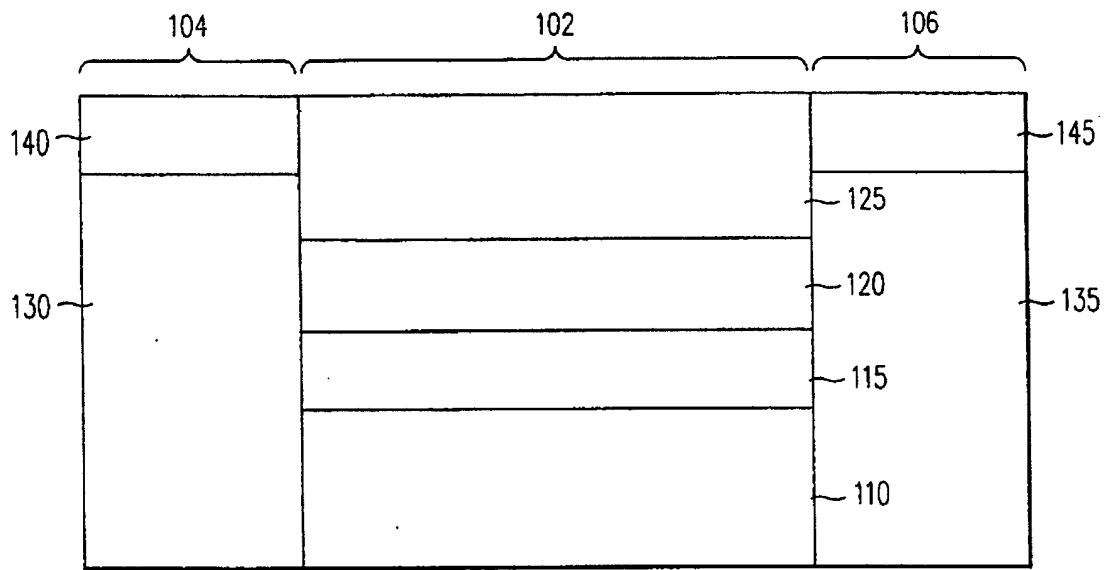


图1  
(现有技术)

100

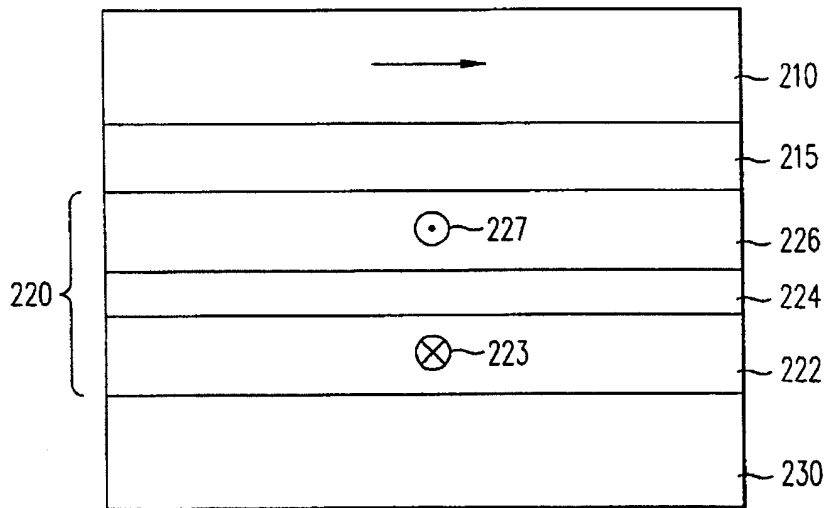


图2  
(现有技术)

200

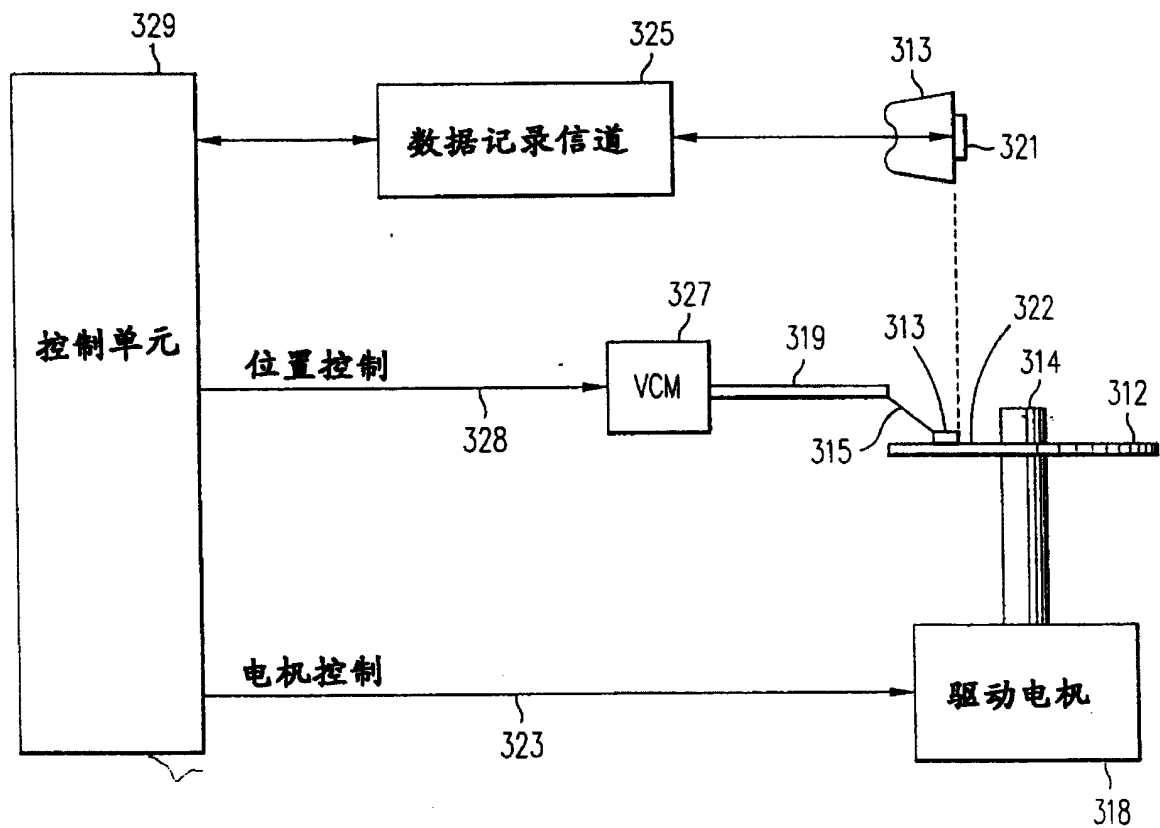
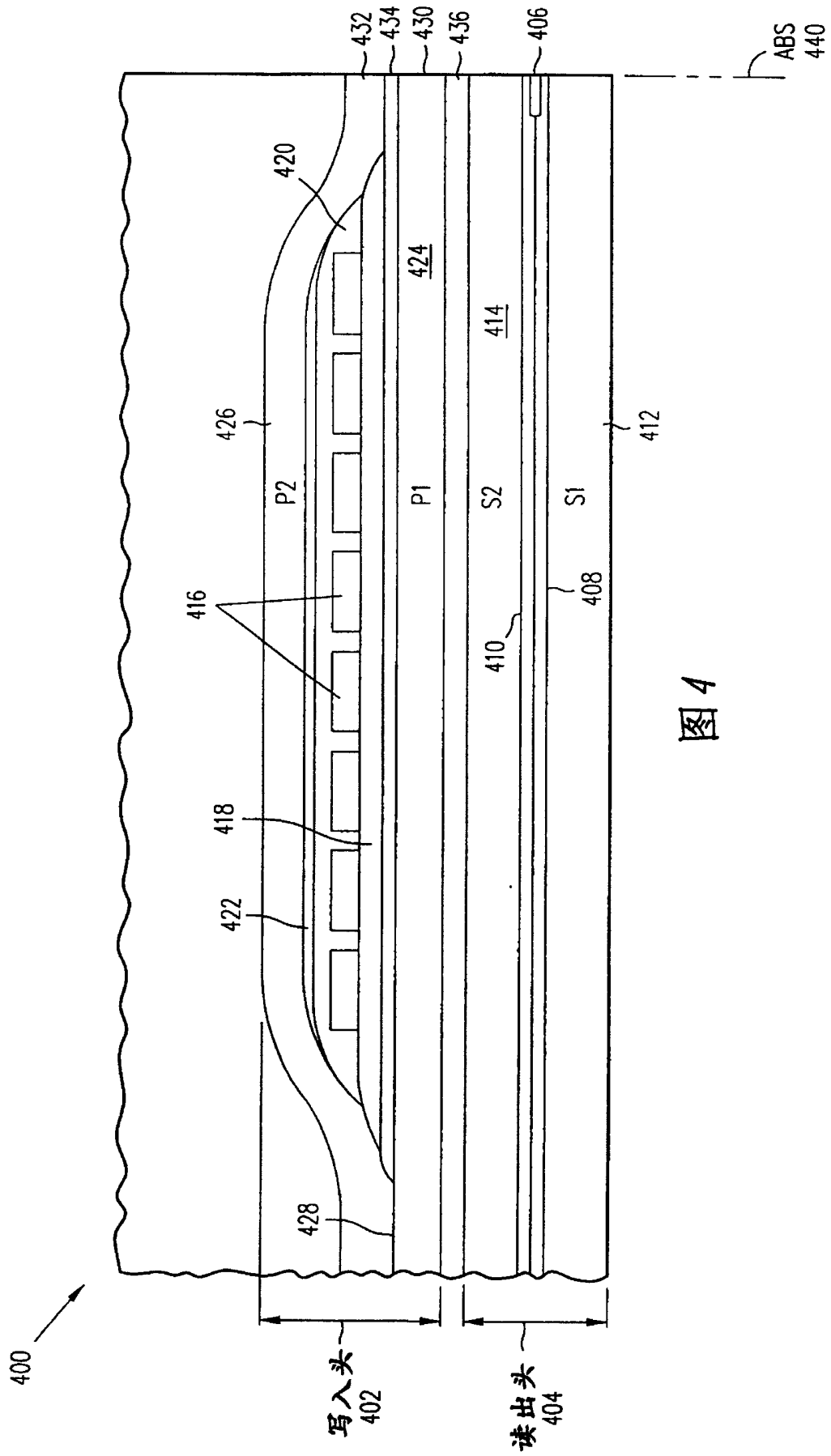


图3



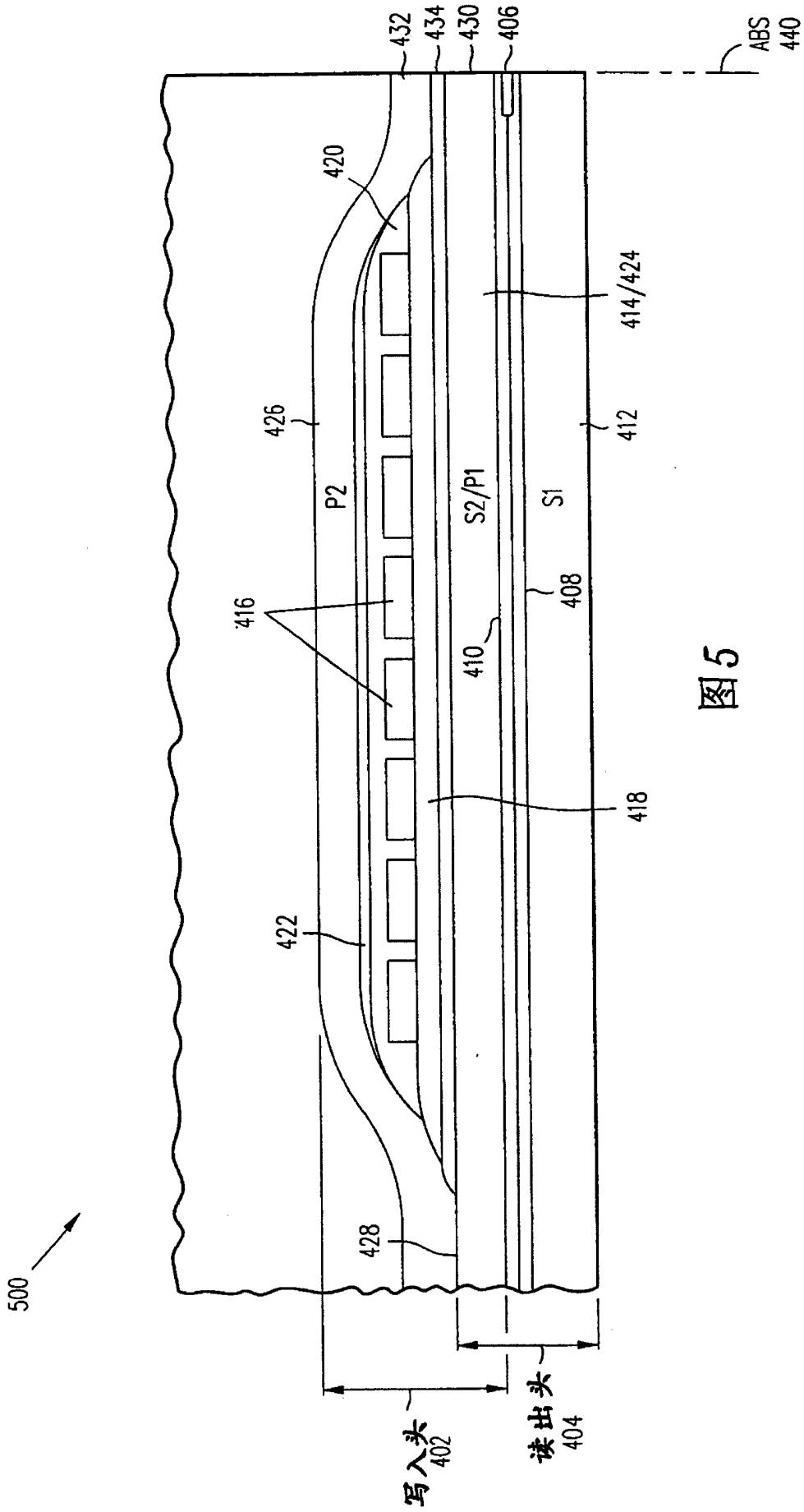


图5

