(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 104821171 B
(45)授权公告日 2019.03.12

(21)申请号 201510178423.7

(22)申请日 2015.01.30

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104821171 A

(43)申请公布日 2015.08.05

(30)优先权数据
14/170,487 2014.01.31 US

(73)专利权人 西部数据技术公司
地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 Z·高 H·S·吉尔 Y·洪 Q·勒

(74)专利代理机构 北京市柳沈律师事务所 11105
代理人 张波

(51)Int.Cl.
G11B 5/127(2006.01)
G11B 5/11(2006.01)
G11B 5/23(2006.01)

(56)对比文件
CN 1967893 A,2007.05.23,
CN 1983659 A,2007.06.20,
CN 1988002 A,2007.06.27,
CN 1697025 A,2005.11.16,
US 8320080 B1,2012.11.27,

审查员 付庆庆

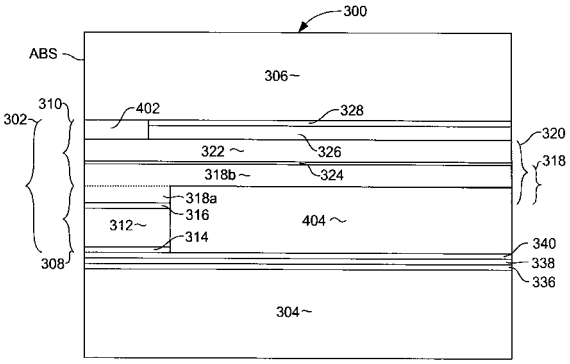
权利要求书2页 说明书5页 附图17页

(54)发明名称

具有窄轨道宽度和小读间隙的磁传感器

(57)摘要

本发明公开了磁传感器及其制造方法以及磁数据记录系统。一种磁传感器，具有第一传感器叠层部分，该第一传感器叠层部分包括自由层、非磁间隔或阻挡层、以及被钉扎层结构的一部分。该传感器具有形成在第一传感器叠层部分上面的第二传感器叠层部分。第二传感器叠层部分包括被钉扎层结构的第二部分和形成在上面的反铁磁材料层。第一传感器叠层部分形成有定义传感器的起作用的宽度和条高度的宽度和条高度，而上部可以被制造得更宽和更深而不影响传感器性能。由于与图案化整个传感器叠层所需的结构相比，第一传感器叠层部分的图案化在更薄的结构上进行，所以能够以更小的尺寸和更高的分辨率来进行图案化。



CN 104821171 B

1.一种磁传感器,包括:

传感器叠层,其具有第一部分和形成在所述第一部分上面的第二部分,所述第一部分具有定义传感器轨道宽度的宽度,并且所述第二部分具有延伸超出所述传感器轨道宽度的宽度;其中

所述传感器叠层的所述第一部分包括:磁自由层;非磁层;以及第一磁被钉扎层的第一部分,所述非磁层夹于所述磁自由层和所述第一磁被钉扎层的所述第一部分之间;以及

所述传感器叠层的所述第二部分包括:所述第一磁被钉扎层的第二部分;第二磁被钉扎层;夹于所述第一磁被钉扎层和所述第二磁被钉扎层之间的非磁反平行耦合层;以及与所述第二磁被钉扎层交换耦合的反铁磁材料层。

2.如权利要求1所述的磁传感器,其中:

所述传感器叠层延伸至空气轴承面;

所述磁传感器叠层的所述第一部分具有在与所述空气轴承面相反位置的后边缘,所述后边缘和所述空气轴承面之间的距离定义传感器条高度;以及

所述第二部分延伸超出所述传感器条高度。

3.如权利要求1所述的磁传感器,其中所述传感器叠层延伸至空气轴承面,并且所述反铁磁材料层从所述空气轴承面凹进。

4.如权利要求3所述的磁传感器,其中所述传感器叠层位于第一磁屏蔽和第二磁屏蔽之间,并且进一步包括位于所述反铁磁材料层和所述空气轴承面之间的磁基座。

5.如权利要求4所述的磁传感器,其中所述磁基座与所述第二磁屏蔽磁连接。

6.如权利要求1所述的磁传感器,其中所述传感器叠层的所述第二部分位于相对于所述传感器叠层的所述第一部分的背向。

7.如权利要求1所述的磁传感器,其中所述反铁磁材料层形成在所述第二磁被钉扎层上面,在与所述磁自由层相反的位置。

8.如权利要求1所述的磁传感器,进一步包括邻近所述传感器叠层的所述第一部分的第一侧和第二侧中的每一侧形成的第一磁偏置结构和第二磁偏置结构,所述磁偏置结构由软磁材料形成。

9.如权利要求8所述的磁传感器,其中每个所述磁偏置结构与反铁磁材料层交换耦合。

10.如权利要求8所述的磁传感器,其中每个所述磁偏置结构与在所述传感器叠层的所述第一部分下面和在每个所述磁偏置结构下面延伸的反铁磁材料层交换耦合。

11.一种用于制造磁偏置结构的方法,包括:

沉积第一传感器叠层部分,所述第一传感器叠层部分包括:磁自由层;沉积在所述磁自由层上面的非磁层;以及沉积在所述非磁层上面的第一磁被钉扎层的第一部分;

定义所述第一传感器叠层部分的轨道宽度和后边缘;以及

在所述第一传感器叠层部分上面沉积第二传感器叠层部分,所述第二传感器叠层部分包括:所述第一磁被钉扎层的第二部分;沉积在所述第一磁被钉扎层的所述第二部分上面的非磁反平行耦合层;沉积在所述非磁反平行耦合层上面的第二磁被钉扎层;以及沉积在所述第二磁被钉扎层上面的反铁磁材料层。

12.如权利要求11所述的方法,进一步包括,在沉积所述反铁磁材料层之后,去除所述反铁磁材料的邻近空气轴承面平面的部分。

13.如权利要求11所述的方法，进一步包括，在沉积所述反铁磁材料层之后，去除所述反铁磁材料的邻近空气轴承面平面的部分，并且沉积磁材料以填充其中所述反铁磁材料已被去除的空间。

14.如权利要求11所述的方法，进一步包括，在沉积所述反铁磁材料层之后，形成具有位于离空气轴承面平面所需距离的前边缘的掩模，进行离子研磨以去除所述反铁磁材料层的一部分，并进行化学机械抛光。

15.如权利要求11所述的方法，其中所述定义所述第一传感器叠层部分的轨道宽度和后边缘，进一步包括：

形成第一掩模，所述第一掩模成形有定义轨道宽度的宽度；

进行第一离子研磨以去除所述第一传感器叠层部分的未被所述第一掩模保护的部分；

形成第二掩模，所述第二掩模被成形来定义在与空气轴承面相反位置的后边缘；以及

进行第二离子研磨以去除所述第一传感器叠层部分的未被所述第二掩模保护的部分。

16.如权利要求15所述的方法，进一步包括，在进行所述第一离子研磨之后，沉积磁偏置层。

17.一种磁数据记录系统，包括：

外壳；

可移动地安装在所述外壳内的磁介质；

磁头，其具有形成于其上的磁传感器；以及

致动器机构，用于相对于所述磁介质的表面移动所述磁头，

其中所述磁传感器进一步包括：

传感器叠层，其具有第一部分和形成在所述第一部分上面的第二部分，所述第一部分具有定义传感器轨道宽度的宽度，并且所述第二部分具有延伸超出所述传感器轨道宽度的宽度；其中

所述传感器叠层的所述第一部分包括：磁自由层；非磁层；以及第一磁被钉扎层的第一部分，所述非磁层夹于所述磁自由层和所述第一磁被钉扎层的所述第一部分之间；以及

所述传感器叠层的所述第二部分包括：所述第一磁被钉扎层的第二部分；第二磁被钉扎层；夹于所述第一磁被钉扎层和所述第二磁被钉扎层之间的非磁反平行耦合层；以及与所述第二磁被钉扎层交换耦合的反铁磁材料层。

18.如权利要求17所述的磁数据记录系统，其中：

所述传感器叠层延伸至空气轴承面；

所述磁传感器叠层的所述第一部分具有在与所述空气轴承面相反位置的后边缘，所述后边缘和所述空气轴承面之间的距离定义传感器条高度；以及

所述第二部分延伸超出所述传感器条高度。

19.如权利要求17所述的磁数据记录系统，其中所述传感器叠层延伸至空气轴承面，并且所述反铁磁材料层从所述空气轴承面凹进。

20.如权利要求19所述的磁数据记录系统，其中所述传感器叠层位于第一磁屏蔽和第二磁屏蔽之间，并且进一步包括位于所述反铁磁材料层和所述空气轴承面之间的磁基座。

具有窄轨道宽度和小读间隙的磁传感器

技术领域

[0001] 本发明涉及磁数据记录，更具体地涉及磁读传感器，所述磁读传感器具有由底部沉积的自由层结构界定的轨道宽度，并且具有沉积在自由层结构上面的被钉扎层结构。

背景技术

[0002] 计算机的心脏是被称作磁盘驱动器的组件。磁盘驱动器包括旋转的磁盘、被悬臂悬挂成邻近旋转的磁盘的表面的读头和写头、以及致动器，该致动器摆动悬臂以将读头和写头置于旋转的盘上的选定圆形轨道上方。读头和写头直接位于具有空气轴承面(ABS)的滑块上。当盘不旋转时，悬臂将滑块偏置成接触盘的表面，但是当盘旋转时，旋转的盘使空气旋动。当滑块漂浮在空气轴承上时，写头和读头被用来写磁印记至旋转的盘和从旋转的盘读磁印记。读头和写头连接到处理电路，处理电路根据计算机程序运行以实现写和读功能。

[0003] 写头包括至少一个线圈、写极和一个或更多个返回极。当电流流过该线圈时，产生的磁场使磁通流过写极，这导致从写极的尖端发出的写入磁场。此磁场足够强，使得其局部磁化邻近的磁盘的一部分，由此记录一位数据。然后，写入磁场经磁介质的软磁底层行进而返回至写头的返回极。

[0004] 诸如巨磁致电阻(GMR)传感器或隧道结磁致电阻(TMR)传感器的磁致电阻传感器能被用来从磁介质读取磁信号。磁致电阻传感器具有响应外部磁场而改变的电阻。电阻上的此改变能被处理电路检测，以从相邻的磁介质读取磁数据。

[0005] 随着对数据密度的需求增加，有始终存在的减小磁传感器的间隙距离(gap spacing)的需求，以减小位尺寸并因而增大线数据密度。然而，传感器层的厚度只能被减小到不不利地影响传感器性能和稳定性的程度。因此，依然存在对以下磁传感器设计的需求，所述磁传感器设计能够提供可靠的传感器性能同时还减小间隙距离。

发明内容

[0006] 本发明提供一种磁传感器，其包括传感器叠层，该传感器叠层具有第一部分和形成于第一部分上面的第二部分。第一部分具有定义传感器轨道宽度的宽度，第二部分具有延伸超出所述传感器轨道宽度的宽度。传感器叠层的第一部分包括：磁自由层；非磁层；以及第一磁被钉扎层的第一部分。非磁层夹于磁自由层和第一磁被钉扎层的第一部分之间。传感器叠层的第二部分包括：第一磁被钉扎层的第二部分；第二磁被钉扎层；夹于第一磁被钉扎层和第二磁被钉扎层之间的非磁反平行耦合层；以及与第二磁被钉扎层交换耦合的反铁磁材料层。

[0007] 在一实施例中，所述传感器叠层的所述第二部分可以位于相对于所述传感器叠层的所述第一部分的背向(trailing direction)。

[0008] 磁传感器可通过以下方法形成，该方法包括：沉积第一传感器叠层部分，该第一传感器叠层部分包括：磁自由层；沉积在磁自由层上面的非磁层；以及沉积在非磁层上面的第

一磁被钉扎层的第一部分。然后定义第一传感器叠层部分的轨道宽度和后边缘。然后在第一传感器叠层部分上面沉积第二传感器叠层部分。第二传感器叠层部分包括:第一磁被钉扎层的第二部分;沉积在第一磁被钉扎层的第二部分上面的非磁反平行耦合层;沉积在非磁反平行耦合层上面的第二磁被钉扎层;以及沉积在第二磁被钉扎层上面的反铁磁材料层。

[0009] 由于传感器的起作用的轨道宽度和条高度在第一传感器部分上被图案化和定义,所以与如果整个传感器叠层被图案化所可能的情形相比,能够实现更小尺寸和更精细分辨率的传感器。这提高了传感器尺寸分辨率,并且允许用于增大的数据密度的减小的轨道宽度。

[0010] 此外,在空气轴承面附近,可以去除反铁磁材料的一部分,并且所得到的空间可以用磁材料再充满,该磁材料能与上磁屏蔽接合。这从总间隙厚度中去除了反铁磁材料的厚度,从而导致大幅减小的磁间距。

[0011] 一旦阅读了以下结合附图的对优选实施例的详细描述,本发明的这些和其它特征和优点将会明显,附图中相同的附图标记始终表示相同的元件。

附图说明

[0012] 为了对本发明的本质和优点、以及使用的优选模式的更充分的理解,应当参考下面的详细描述,所述描述被结合未按比例绘制的附图来理解。

[0013] 图1是可在其中实施本发明的磁盘驱动器系统的示意图;

[0014] 图2是滑块的ABS视图,其示出磁头在滑块上的位置;

[0015] 图3是磁读传感器的ABS视图,该传感器可形成在磁数据记录系统的滑块上;

[0016] 图4是从图3的线4-4观看的图3的磁传感器的侧面横截面视图;以及

[0017] 图5-25是在制造的各个中间阶段的磁传感器的视图,其示出制造根据本发明一实施例的磁传感器的方法。

具体实施方式

[0018] 下面的描述是当前想到的用于实施本发明的最佳实施例。此描述被做出是为了示出本发明的一般原理,此描述不意味着限制本文主张的发明概念。

[0019] 现在参考图1,这里示出实施本发明的一磁盘驱动器100。如图1所示,至少一个可旋转的磁盘112被支撑在主轴114上,并且被磁盘驱动器电机118旋转,所有这些被安装在外壳101内。每个盘上的磁记录呈现磁盘112上同心数据轨道(未示出)的环形图案的形式。

[0020] 至少一个滑块113位于磁盘112附近,每个滑块113支撑一个或更多个磁头组件121。随着磁盘旋转,滑块113在盘表面122上方径向地移入和移出,从而磁头组件121能访问磁盘的写有所需数据的不同轨道。每个滑块113通过悬架115被连接到致动器臂119。悬架115提供一微小的弹力,所述弹力将滑块113向盘表面122偏置。每个致动器臂119连接到致动器装置127。如图1所示的致动器装置127可以是音圈电机(VCM)。VCM包括在固定磁场内可移动的线圈,线圈移动的方向和速度通过控制器129提供的电机电流信号控制。

[0021] 在磁盘存储系统的运行过程中,磁盘112的旋转在滑块113和盘表面122之间产生空气轴承,空气轴承在滑块上施加向上的力或者举力。于是,在正常工作期间,空气轴承反

向平衡了悬架115的微小的弹力，并且将滑块113支撑开并且以小的，基本恒定的间距将滑块略微支撑在盘表面上方。

[0022] 工作中，磁盘存储系统的各个部件通过控制单元129产生的诸如访问控制信号和内部时钟信号的控制信号控制。通常，控制单元129包括逻辑控制电路、存储装置和微处理器。控制单元129产生控制各种系统操作的控制信号，诸如线路123上的驱动器电机控制信号和线路128上的头位置和寻道控制信号。线路128上的控制信号提供所需的电流分布，以最优地移动和定位滑块113至盘112上的所需数据轨道。通过记录通道125，写信号和读信号被传送至和自读写头121。

[0023] 参考图2，能更详细地看到磁头121在滑块113中的方位。图2是滑块113的ABS视图，并且如能被看到的那样，包括感应写头和读传感器的磁头位于滑块的尾缘。以上对通常的磁盘存储系统的描述以及图1的伴随的图示仅仅为了说明的目的。显然，磁盘存储系统可以包含大量的盘和致动器，并且每个致动器可支撑多个滑块。

[0024] 图3和4示出磁读头300的示意图。图3是从空气轴承面(ABS)观看的传感器300的视图，图4是从图3的线4-4观看的侧面横截面视图。磁读头300包括夹于上和下磁屏蔽304、306之间的传感器叠层302，上和下磁屏蔽304、306可由导电磁材料诸如NiFe构造，使得它们能用作电引线以及磁屏蔽。

[0025] 传感器叠层302包括第一传感器叠层部分(下部)308和第二传感器叠层部分(上部)310。如图3所示，下部308具有定义传感器轨道宽度TW的宽度，而上部310可以宽得多。

[0026] 下传感器部分308可包括可形成在籽层314上的磁自由层312。磁自由层312可以包括诸如NiFe、CoFe和/或赫斯勒合金(Heusler alloy)的材料。非磁间隔或阻挡层316可形成在磁自由层312上面。如果传感器300为隧道结传感器，则非磁间隔层316可以是诸如MgO的磁绝缘材料，或者如果传感器300为巨磁致电阻(GMR)传感器，则非磁间隔层316可以是诸如AgSn的导电间隔层。下传感器部分308还包括第一磁被钉扎层的第一部分(AP1第一部分)318a，其可由诸如NiFe或CoFe的磁材料构成。层318a将在下文被更详细地讨论。

[0027] 传感器叠层302包括被钉扎层结构320，被钉扎层结构320包括第一被钉扎磁层(AP1)318、第二被钉扎磁层322、以及夹在AP1层318和AP2层322之间的反平行耦合层324。反平行耦合层324可由诸如Ru的材料形成。如图3所示，AP1层318被形成为两磁层，第一层318a和第二层318b。第一层318a是下传感器叠层部分308的一部分，而第二层318b是上传感器叠层部分310的一部分。而且，可以看到，第一层318a具有在轨道宽度TW内的宽度，而第二层318b横向延伸超出轨道宽度TW。下文将更详细地描述用于制造这样的被钉扎层结构320的方法，其具有新颖的双层AP1层318。AP1层和AP2层两者都可由一种或更多种磁性材料诸如CoFe、NiFe或这些的组合构造。

[0028] 参考图4，上传感器叠层部分310包括反铁磁材料AFM层326的层，反铁磁材料AFM层326形成在被钉扎层结构320上面，与自由层312相反。如图4所示，AFM层326从ABS凹进，并且磁基座402被设置在AFM层326和ABS之间，也在AP2层322和上屏蔽306之间。AFM层326可以是诸如IrMn或PtMn的材料，并且与AP2层322交换耦合。AFM层326和AP2层322之间的交换耦合将AP2层的磁化钉扎在垂直于ABS的方向上。AP1层318和AP2层322之间的反平行耦合将AP1层318的磁化钉扎在也垂直于ABS且与AP2层322的方向相反的方向上。包覆层328可形成在AFM层326上面，以在制造过程中保护下面的层，并使传感器叠层320与上屏蔽306磁退耦。第

一传感器叠层部分308后面的空间可用非磁的电绝缘的填充层诸如氧化铝404填充。

[0029] 磁基座402可以由与上屏蔽306的材料类似的材料诸如NiFe形成。磁基座402可以与磁屏蔽306磁耦合，使得其用作磁屏蔽的一部分。结果，AFM层326和包覆层328有利地对读间隙没有贡献，导致增大的数据密度。因此，读间隙G是如图4所示的下屏蔽304的顶部与基座402的底部之间的距离。

[0030] 再参考图3，传感器300可在传感器叠层302的每侧包括磁偏置层330、332。偏置层330、332提供磁偏置场，该磁偏置场将磁自由层312的磁化偏置在与空气轴承面(ABS)平行的方向上。偏置层330、332可以通过薄的非磁性的电绝缘材料诸如氧化铝334与传感器叠层302和底部屏蔽隔开。磁偏置结构330、332可由高矫顽力硬磁材料构造，该材料由于其本身的硬磁特性而保持其磁化。替代地，偏置层330、332可由软磁材料构成。在此情况下，偏置结构的磁化可通过形成在其下的反铁磁材料交换耦合层来保持。例如，诸如Ru的非磁材料层336，形成在非磁材料336上面的诸如IrMn的反铁磁材料层338和形成在反铁磁材料层338上面的磁层340。非磁层336使层338与底部屏蔽304磁退耦。反铁磁层338与磁层340交换耦合以钉扎其磁化。然后，层340的此被钉扎的磁化将偏置层330、332的磁化保持在所需的平行于空气轴承面的方向上。

[0031] 图5-25示出用于制造诸如传感器300的磁传感器的方法，并进一步示出这样的传感器结构提供的优点。具体参考图5，底部磁屏蔽502由诸如NiFe的材料形成。然后，可选的一系列层可被沉积，以保持将要形成的偏置结构的磁化。这些层可包括：沉积到底部屏蔽上的诸如Ru的非磁退耦层504；沉积在退耦层504上面的反铁磁材料层506；以及沉积在反铁磁材料层506上面的诸如NiFe的磁材料层508。

[0032] 在沉积了可选的层504、506、508之后，沉积第一系列的传感器层510。此第一系列的传感器层510可对应于以上参考图3描述的底部传感器叠层部分308。第一系列的传感器层510可包括：籽层512；形成在籽层512上面的磁自由层514；沉积在磁自由层514上面的非磁阻挡或间隔层516；以及形成在非磁间隔或阻挡层516上面的磁第一被钉扎层的第一部分(AP1层的第一部分)518。

[0033] 然后，第一掩模结构520形成在第一系列的传感器层上面。掩模520的构造可以参考图6被更好地理解，图6示出从图5的线6-6观看的俯视图。如可在图6中看到的那样，掩模520延伸越过标为ABS的空气轴承面平面，并且延伸到后边缘522，后边缘522被成形来定义下传感器叠层条高度。

[0034] 参考图7，第一离子研磨被执行，从而去除未被掩模520保护的层。可以执行离子研磨直到抵达了底部屏蔽502。然后，沉积诸如氧化铝的非磁的电绝缘填充层802，并执行平坦化工艺，剩下如图8所示的结构。平坦化可包括进行化学机械抛光，并且可包括掩模剥离工艺。

[0035] 如能由以上看到的那样，相比于如果剩余的被钉扎层结构和反铁磁钉扎层被包括所会发生的情形，定义轨道宽度TW的所述掩蔽和研磨工艺在薄得多的结构(第一系列的传感器层510)上进行。与其它可能情况相比，这有利地允许掩蔽和离子研磨定义小得多的轨道宽度。

[0036] 现在参考图9和10，形成第二掩模结构902。图10是从图9的线10-10观看的俯视图。掩模902具有开口904，开口904被成形来定义下传感器叠层部分的条高度。然后，参考图11，

执行第二离子研磨以去除未被掩模902保护的材料。如图11所示，此离子研磨可在层504、506、508的去除之前终止。参考图12，沉积薄的非磁性的电绝缘层1202。层1202可以是诸如SiN的材料，并且优选地通过诸如原子层沉积或离子束沉积的共形沉积工艺沉积。

[0037] 然后，参考图13，以如图13所示的去除绝缘层1202的水平布置的部分留下直立绝缘侧壁的方式，执行诸如离子研磨的定向材料去除工艺。然后，参考图14，沉积磁偏置材料1402，随后沉积CMP停止层/偏置包覆层1404。偏置材料1402可以是NiFe，该包覆层可以是碳或类金刚石碳。绝缘侧壁1202钝化传感器层510，同时使磁层508暴露以与磁偏置层1402交换耦合。然后，化学机械抛光(CMP)可以被执行，以平坦化该结构并去除第二掩模902，剩下如图15所示的结构。

[0038] 现在参考图16，进行掠射角研磨，诸如以50度-75度的角度，以暴露层518，然后沉积第二系列的传感器层1602。这些层1602可以与以上参考图3和4描述的上传感器叠层部分310对应。本系列的传感器层包括磁层1604，磁层1604形成AP1层的第二部分。诸如Ru的反平行耦合层1606沉积在磁层1604上面。另一磁层(AP2)层1608沉积在反平行耦合层1606上面。诸如IrMn或PtMn的反铁磁材料的层(AFM层)1610沉积在AP2层1608上面，包覆层1612沉积在AFM层1610上面。此包覆层可以包括Ta和Ru中的一个或更多个。

[0039] 然后，参考图17，第三掩模结构1702形成在第二系列的传感器层1602上面。参考图18，可以更清楚地看到掩模1702的配置，图18示出从图17的线18-18观看的俯视图。掩模1702定义第二系列的传感器层1602的外部边界(条高度和宽度)。然后，参考图19，执行第三离子研磨以去除未被第三掩模1702保护的材料。第三离子研磨可被执行直到已经到达底部屏蔽502。然后，沉积电绝缘的非磁填充层2002，并进行诸如化学机械抛光的平坦化工艺，剩下如图20所示的结构。

[0040] 现在参考图21和22，第四掩模结构2101被形成，其具有位于空气轴承面处的区域中的开口2104。图22是从图21的线22-22观看的侧面横截面视图。参考图23，离子研磨被恰好充分地进行以去除包覆层1612和AFM层1610的未被掩模2102保护的部分，停止在AP2层1608处。然后，沉积磁材料2402，并且进行诸如化学机械抛光的平坦化工艺，留下如图24所示的结构，其中磁材料2402形成基底。然后，参考图25，诸如通过电镀形成上磁屏蔽2502。上磁屏蔽2502与磁基座2402接合，并且与磁基座2402磁连接。

[0041] 尽管上文已经描述了各种实施例，但是应当理解，它们仅通过示例而非限制的方式被介绍。对本领域技术人员而言，落入本发明范围内的其它实施例也可以变得显然。因此，本发明的广度和范围不应当被以上描述的示例性实施例中的任何示例性实施例限制，而是应当仅根据所附权利要求和其等价物定义。

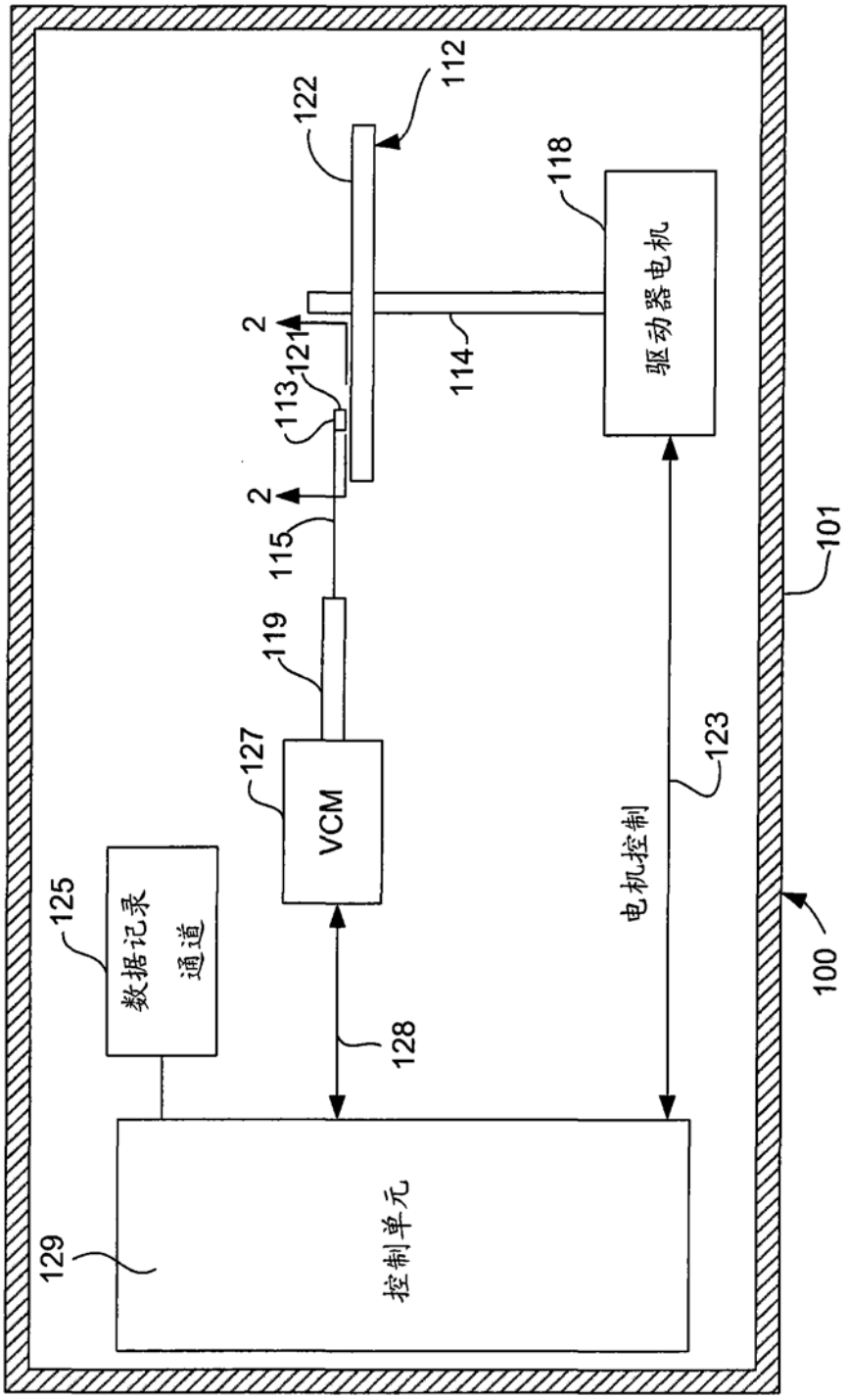

112
122
118
驱动器电机
2
121
113
114
2
115
101
119
127
VCM
123
电机控制
125
数据记录
通道
128
100
129
控制单元

图1

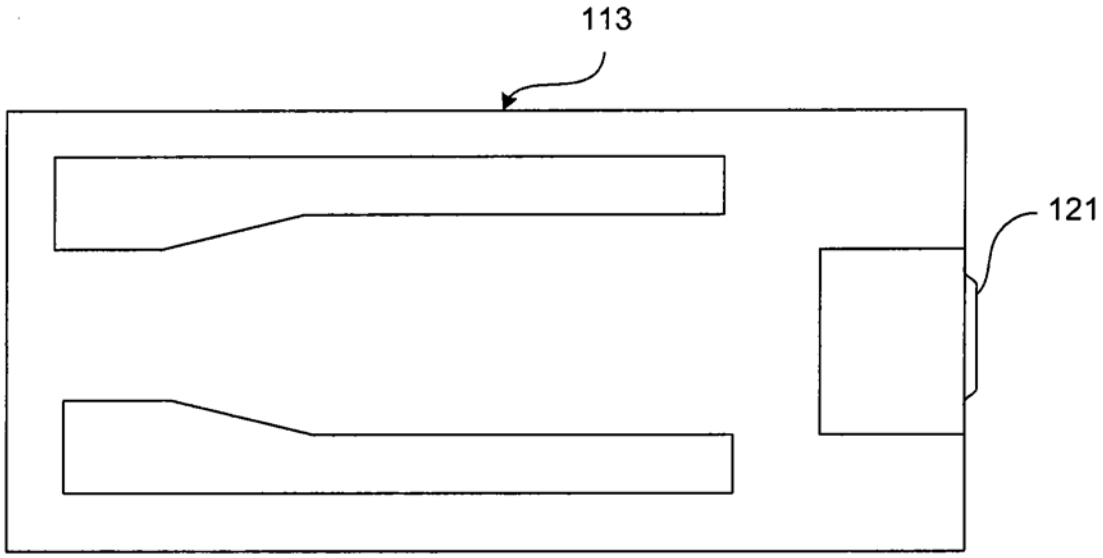


图2

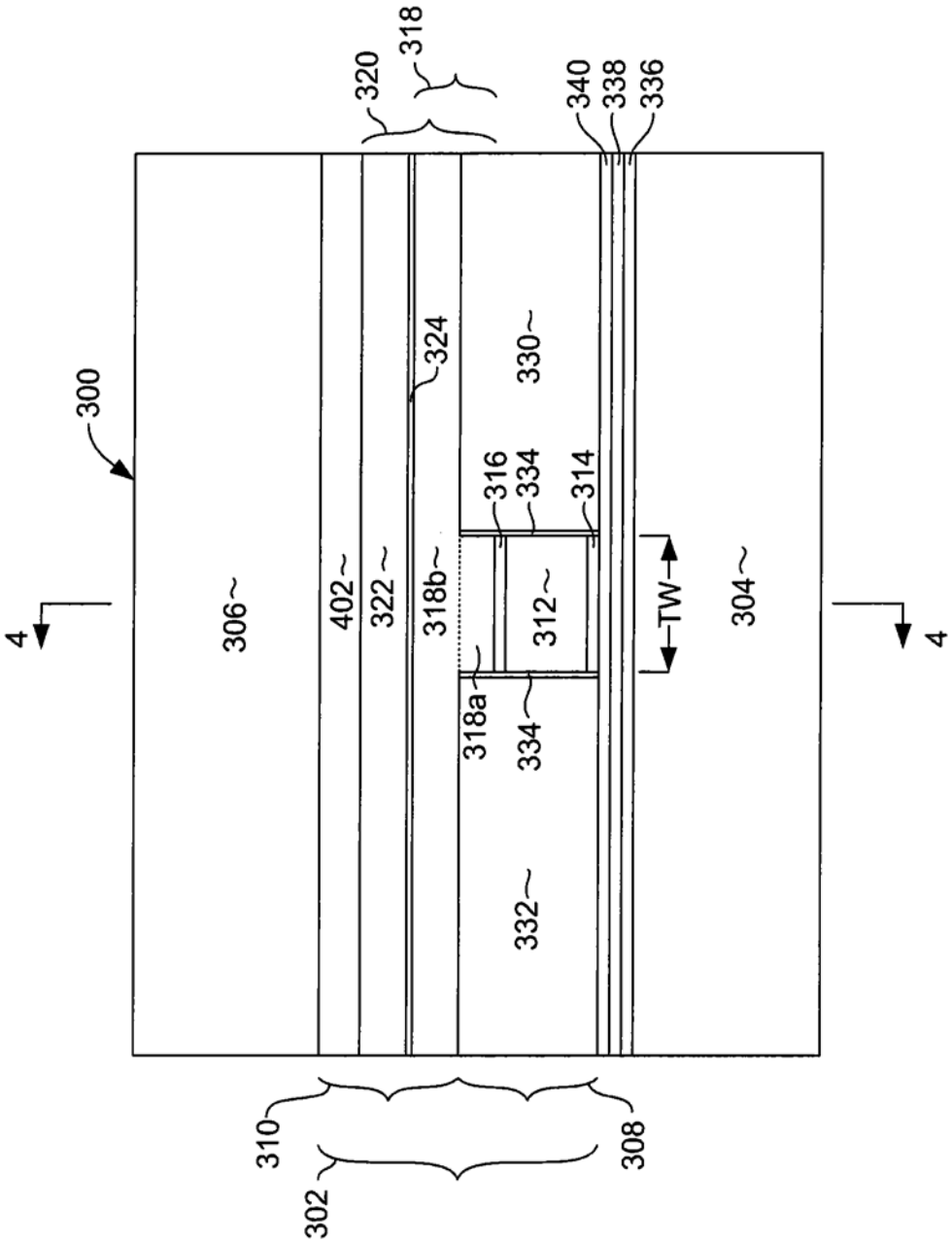

318
320
340
338
336
300
324
330
316
334
314
306
402
322
318b
312
TW
304
4
4
318a
334
332
310
308
302

图3

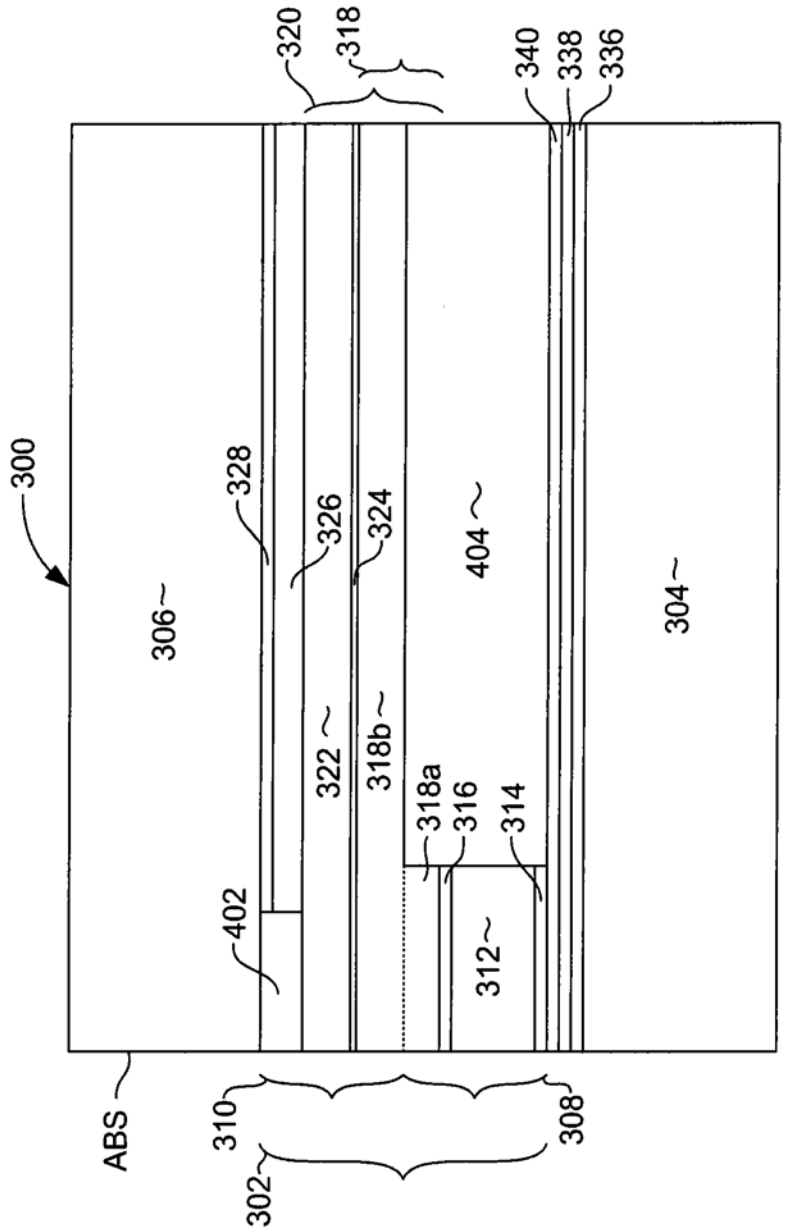

320
318
340
338
336
300
328
326
324
404
306
304
322
318b
318a
316
314
402
312
ABS
310
308
302

图4

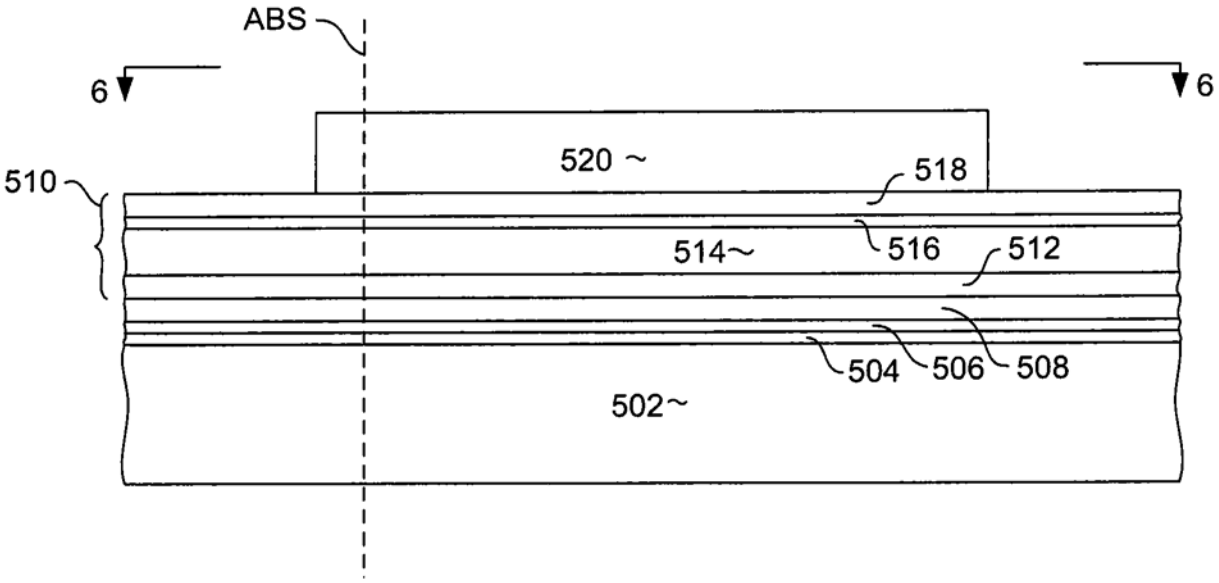


图5

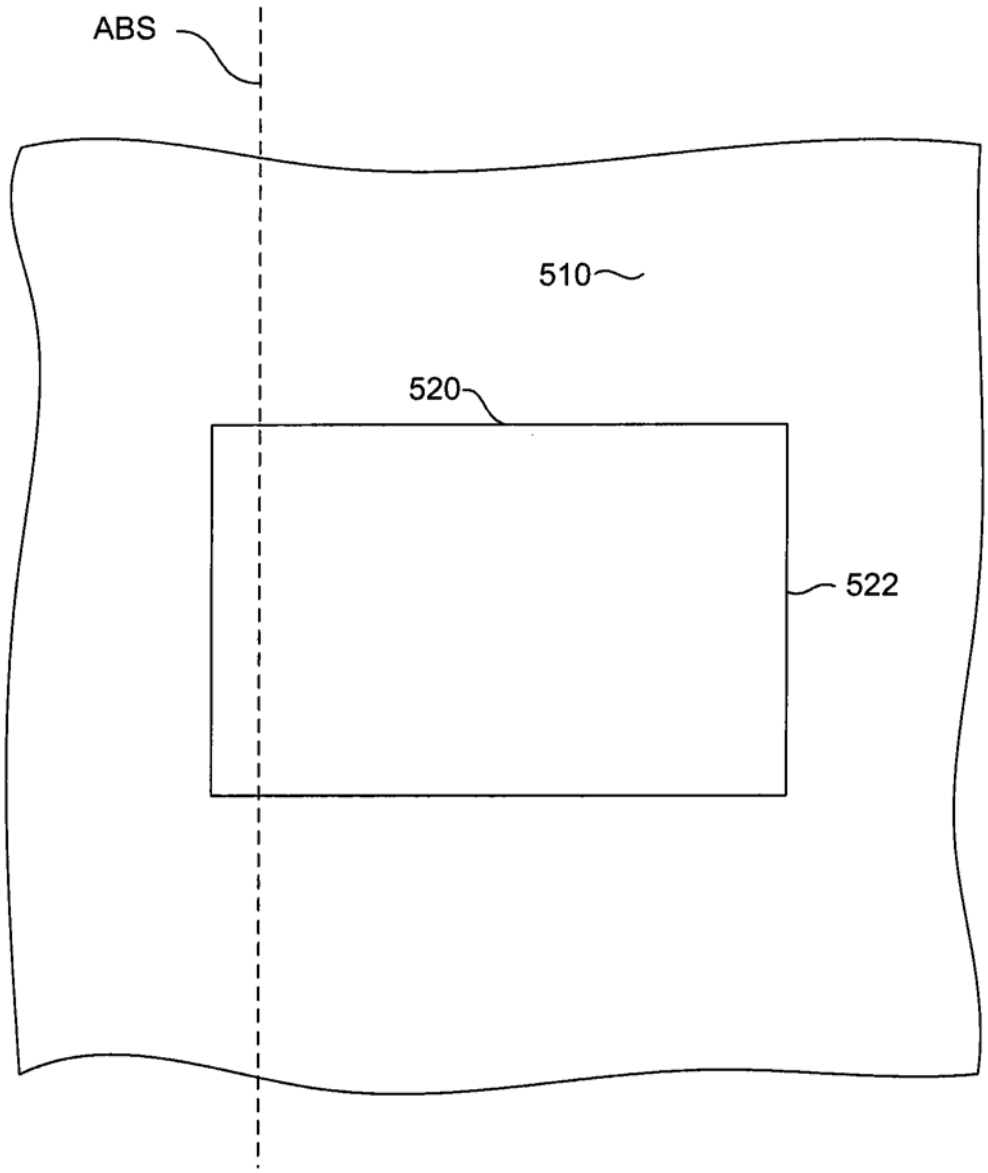


图6

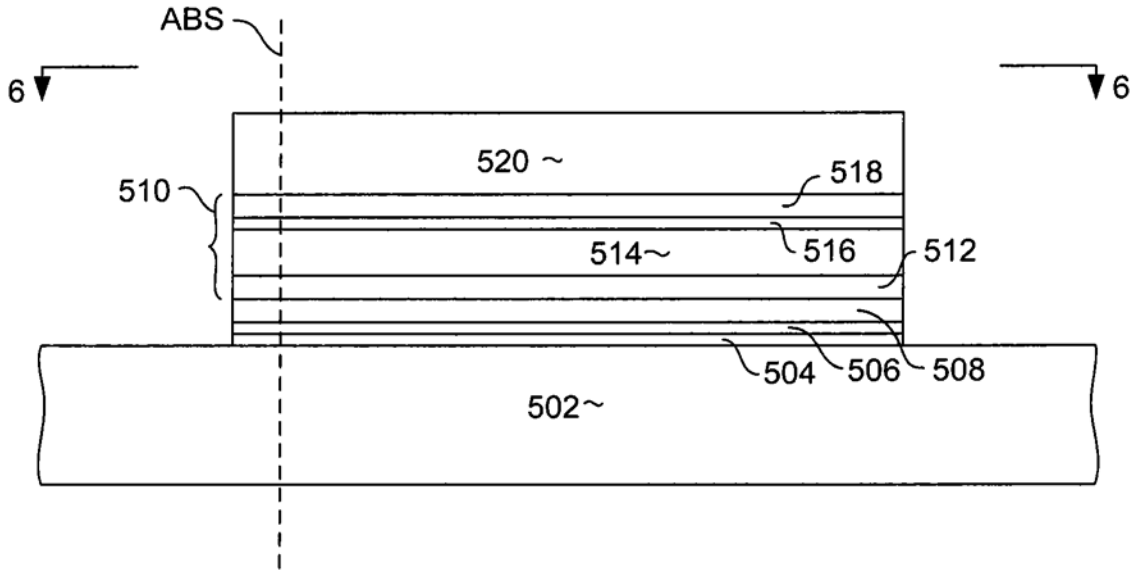

ABS
6
6
520 ~
518
510
514~
516
512
504
506
508
502~

图7

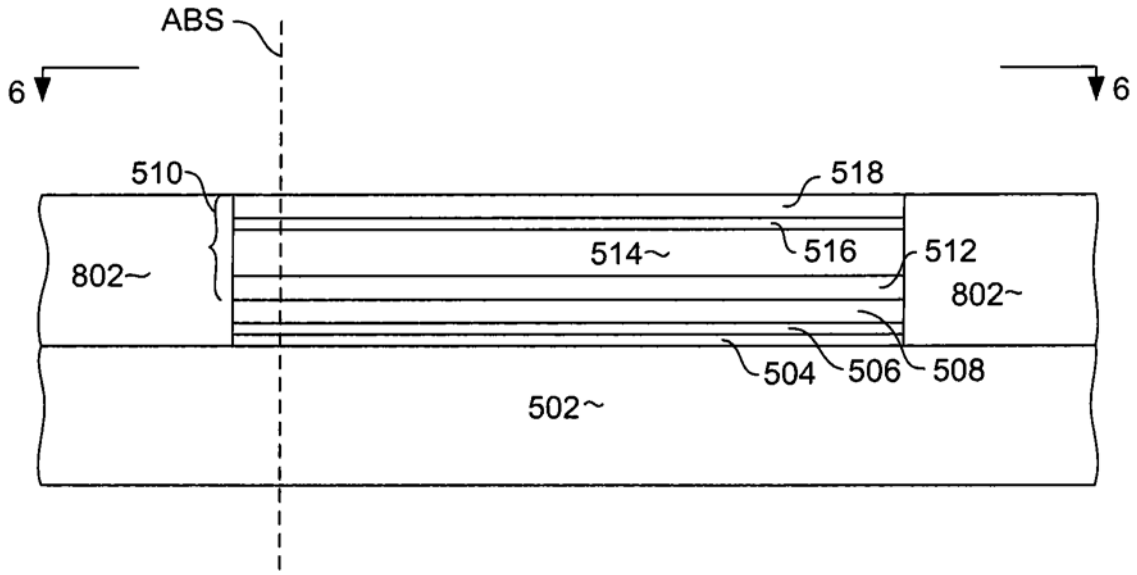

ABS
6
6
510
518
802~
514~
516
512
802~
504
506
508
502~

图8

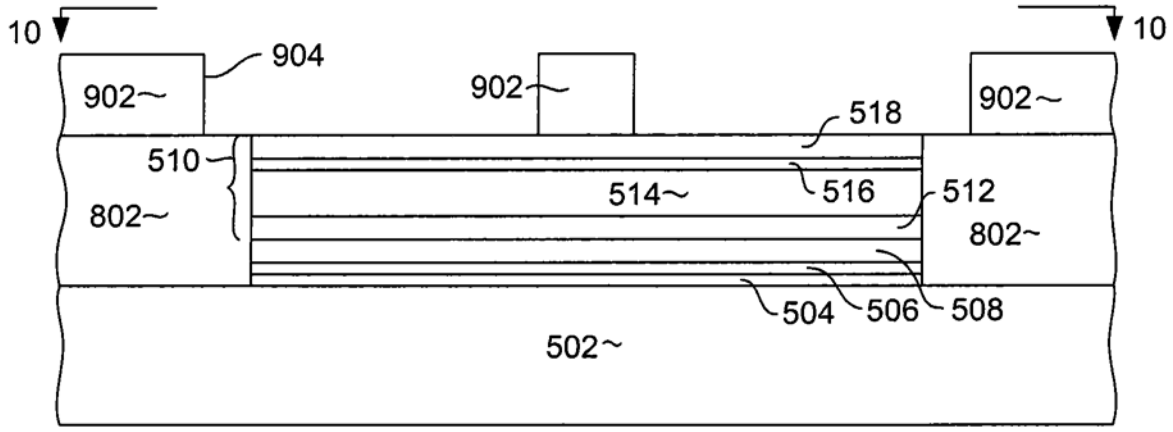


图9

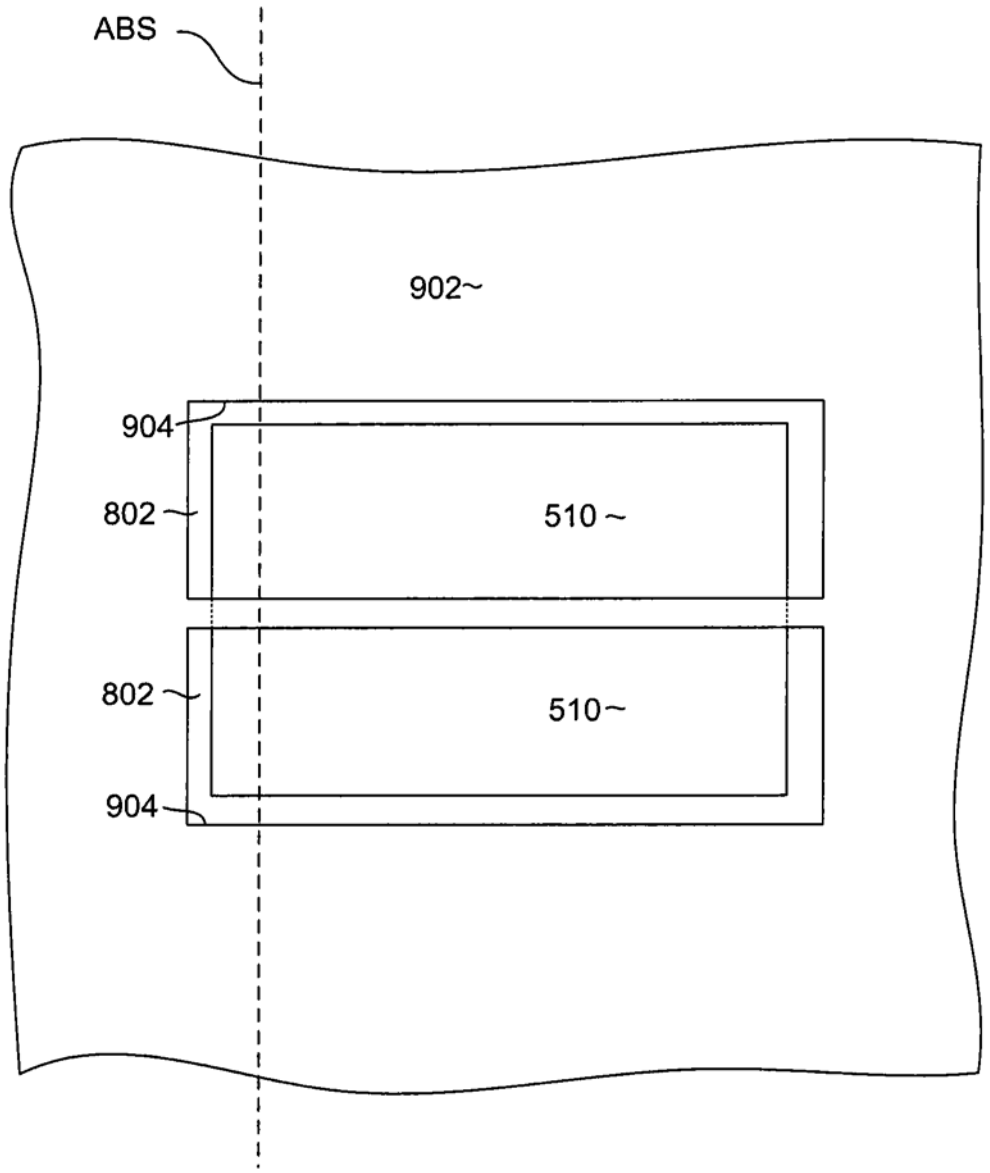

ABS
902~
904
802
510~
802
510~
904

图10

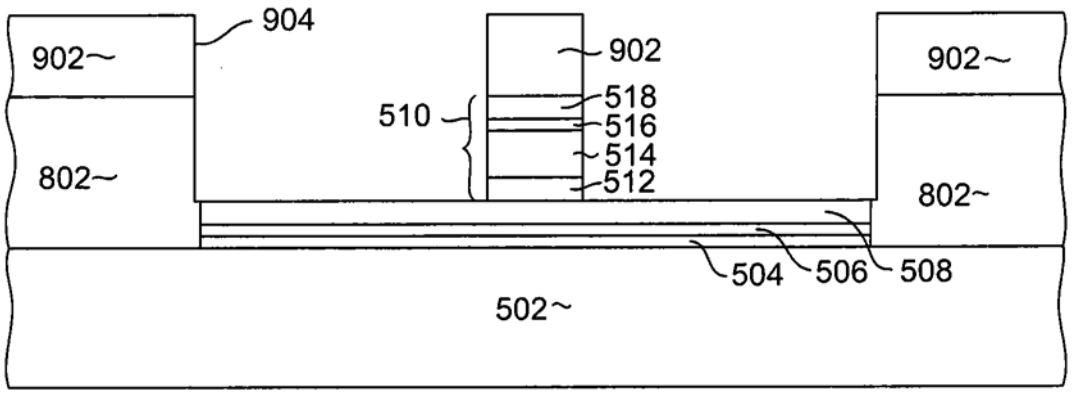

904
902~
902
902~
518
510
516
514
512
802~
802~
504
506
508
502~

图11

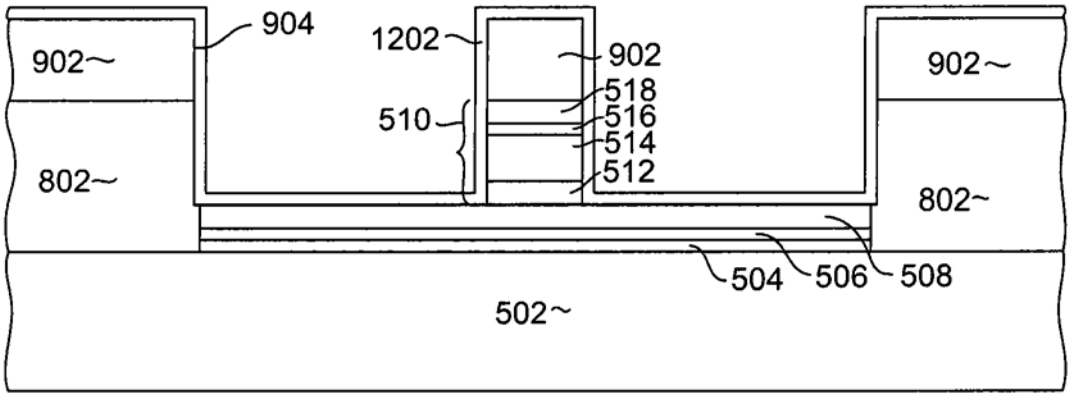

904
902~
1202
902
518
516
514
512
510
902~
802~
802~
504
506
508
502~

图12

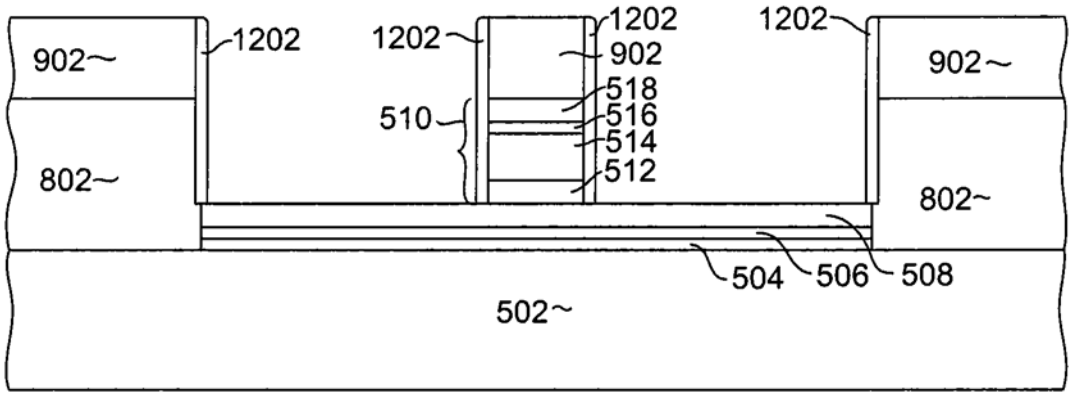

1202
1202
1202
902~
902
902~
518
516
514
512
510
802~
802~
504
506
508
502~

图13

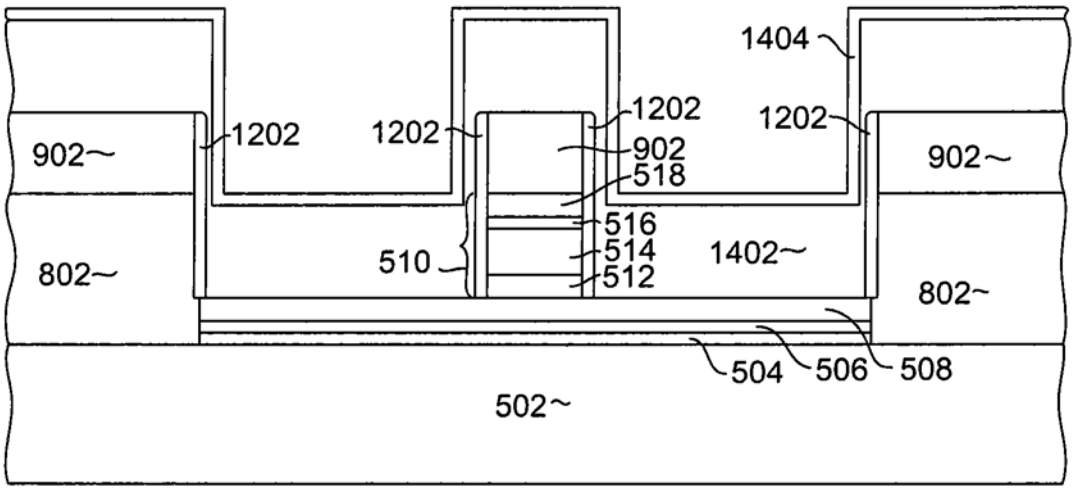

1404
1202
1202
1202
902~
902
902~
518
516
514
512
510
1402~
802~
802~
504
506
508
502~

图14

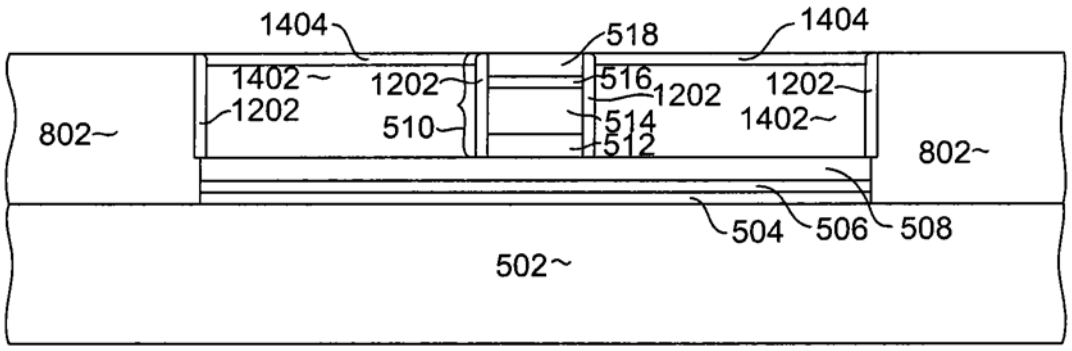

1404
518
1404
1402
1202
516
1202
1202
1202
1402
802
510
514
802
512
504
506
508
502

图15

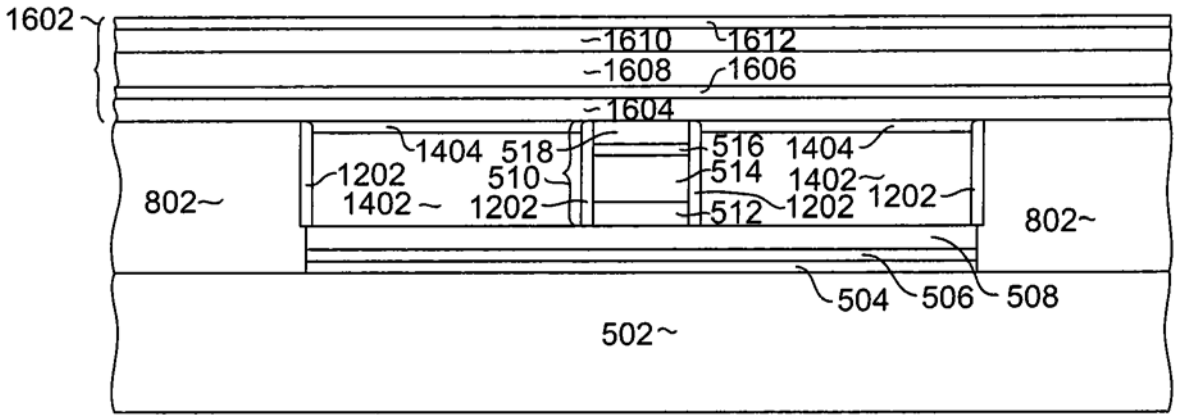

1602
1610
1612
1608
1606
1604
1404
518
516
1404
1202
510
514
1402
802
1402
1202
1202
1202
802
512
504
506
508
502

图16

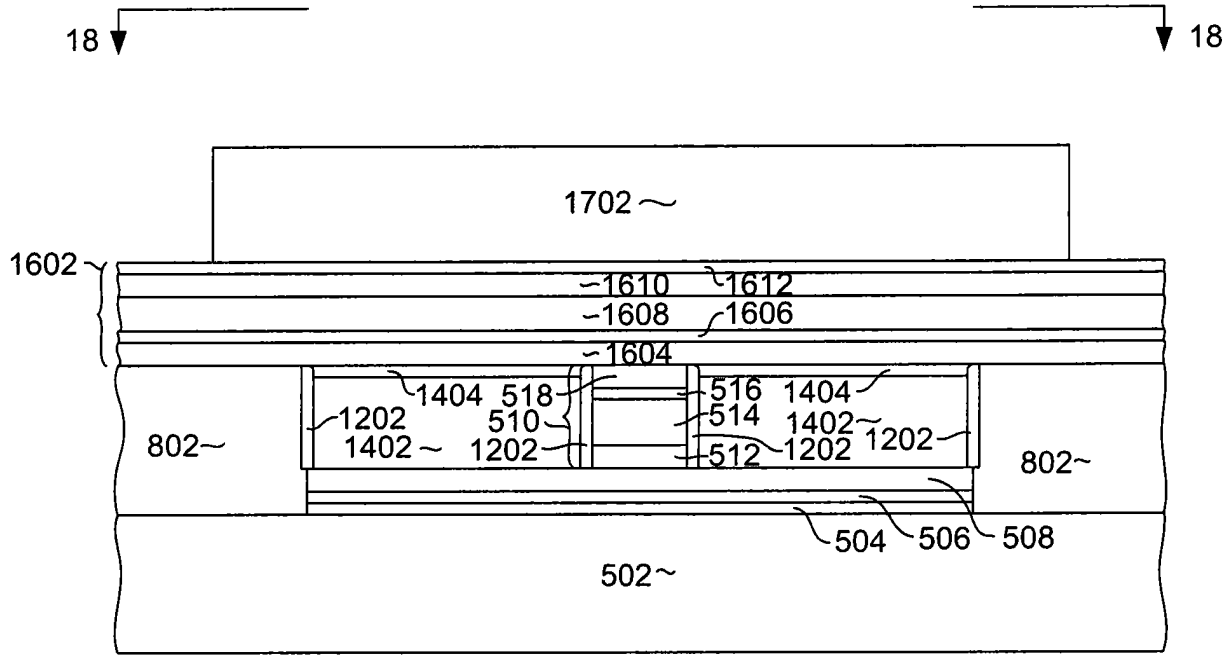

18
18
1702
1602
1610
1612
1608
1606
1604
1404
518
516
1404
1202
510
514
1402
802
1402
1202
512
1202
1202
802
504
506
508
502

图17

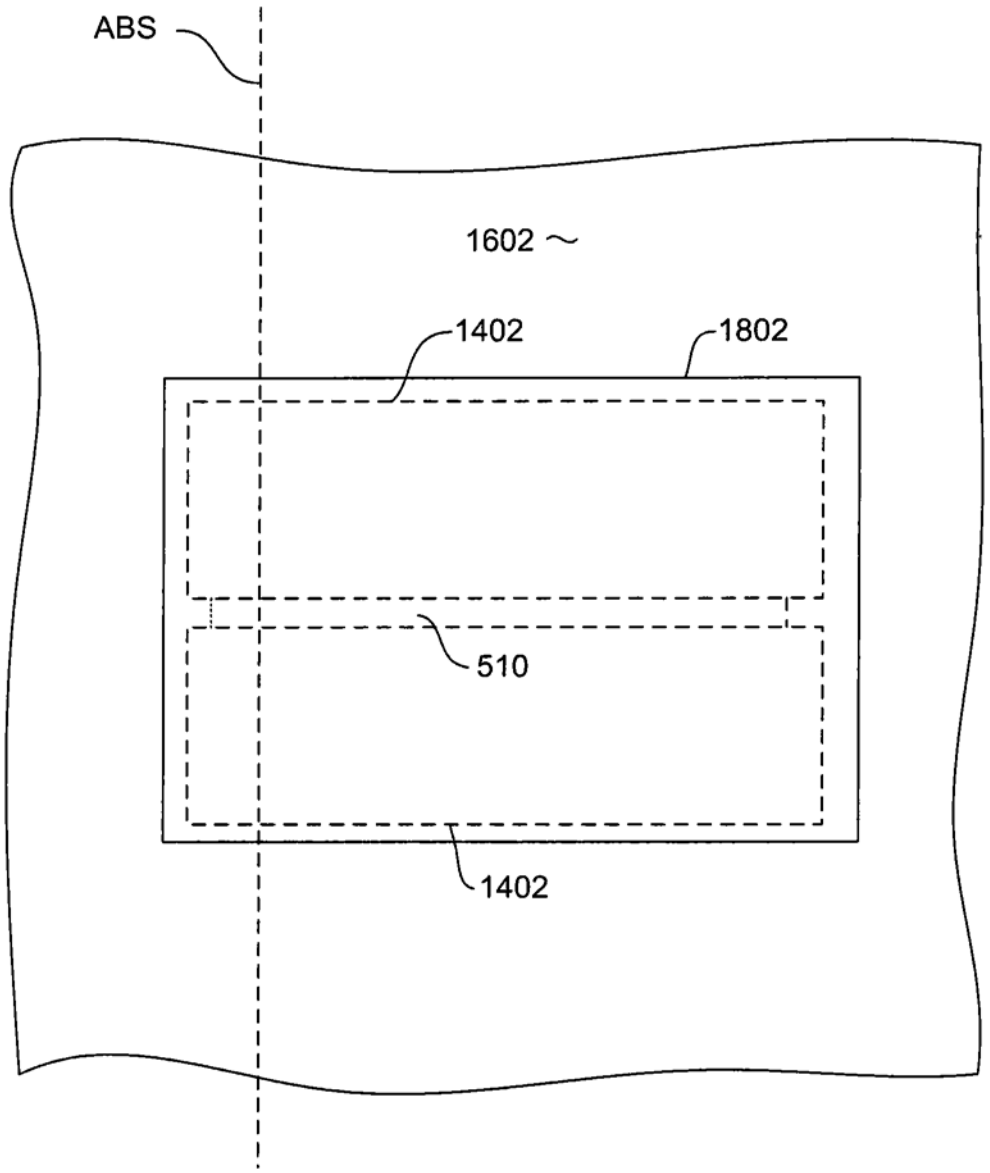


图18

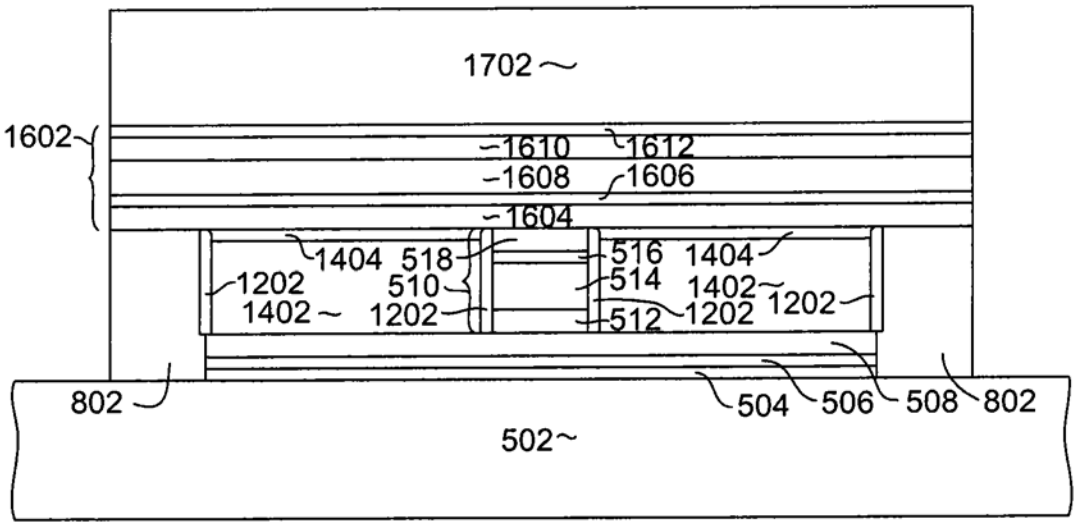

1702
1602
1610
1612
1608
1606
1604
1404
518
516
1404
1202
510
514
1402
1402
1202
512
1202
1202
802
504
506
508
802
502

图19

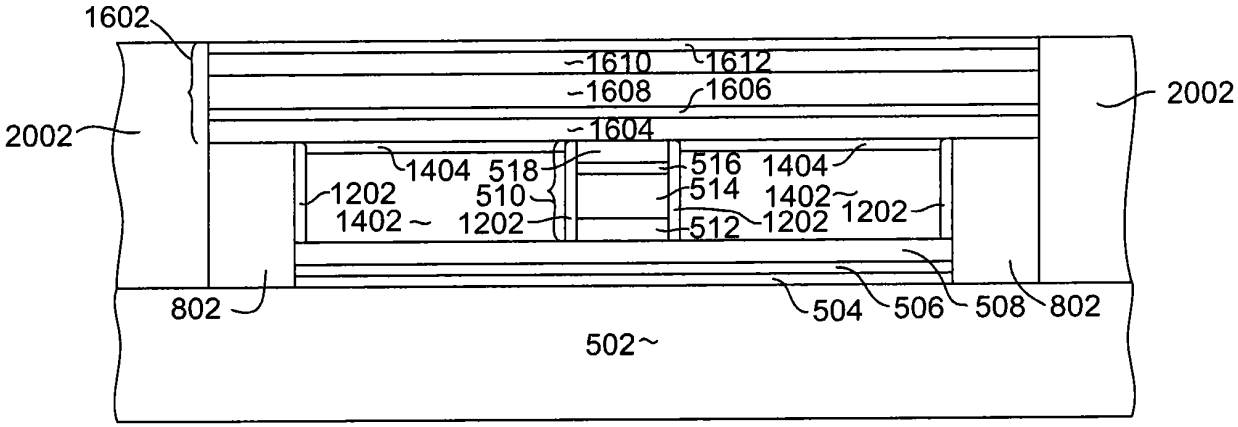

1602
2002
2002
1610
1612
1608
1606
1604
1404
518
516
1404
1202
510
514
1402
1402
1202
512
1202
1202
802
504
506
508
802
502

图20

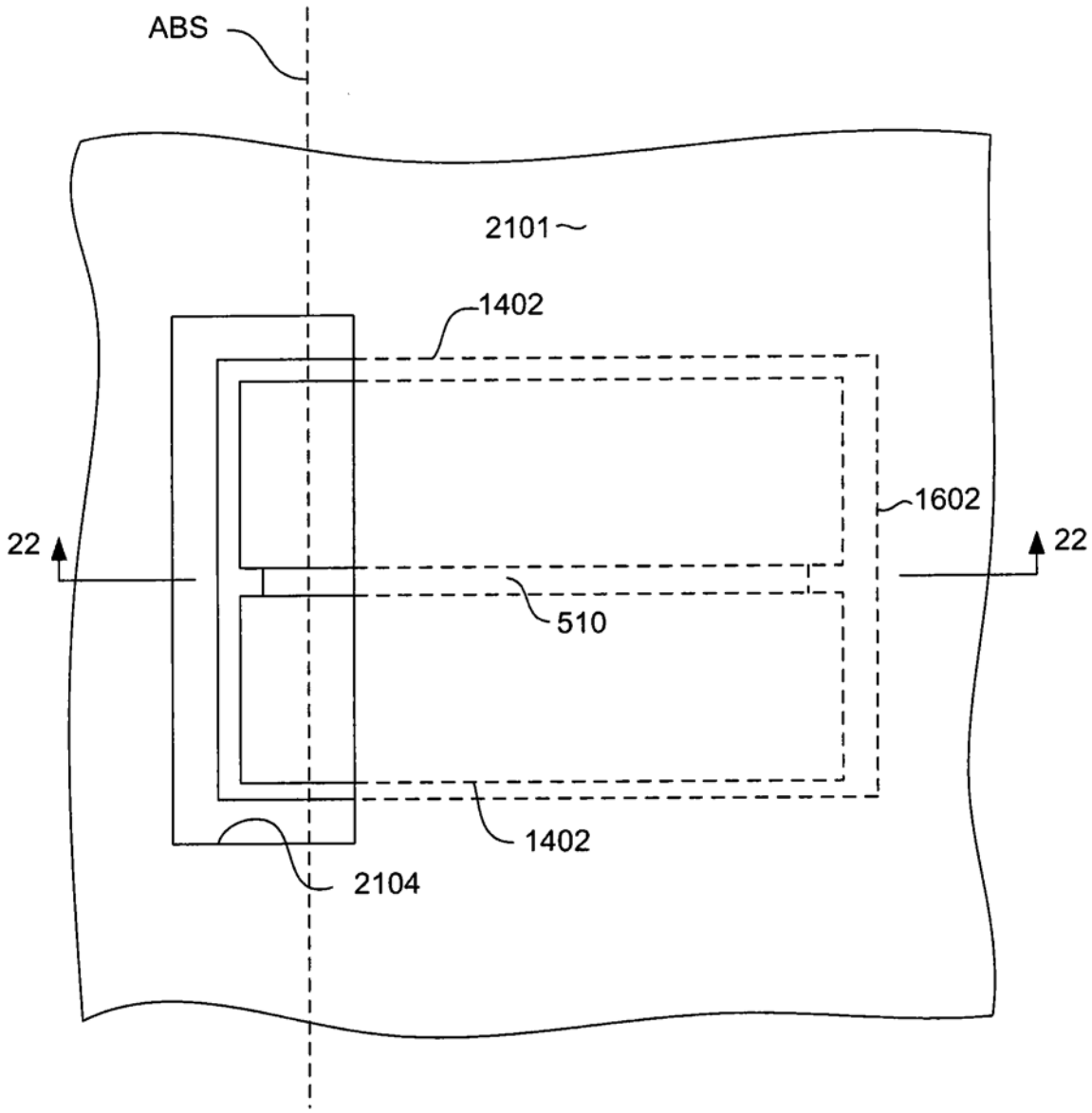


图21

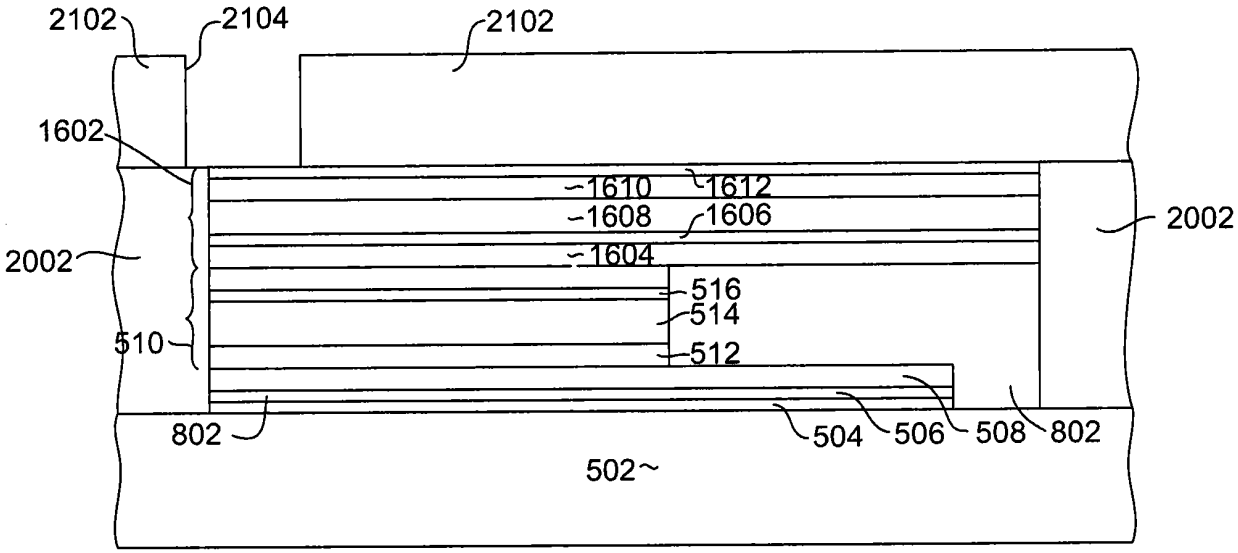

2102
2104
2102
1602
1610
1612
1608
1606
1604
2002
2002
516
514
510
512
802
504
506
508
802
502~

图22

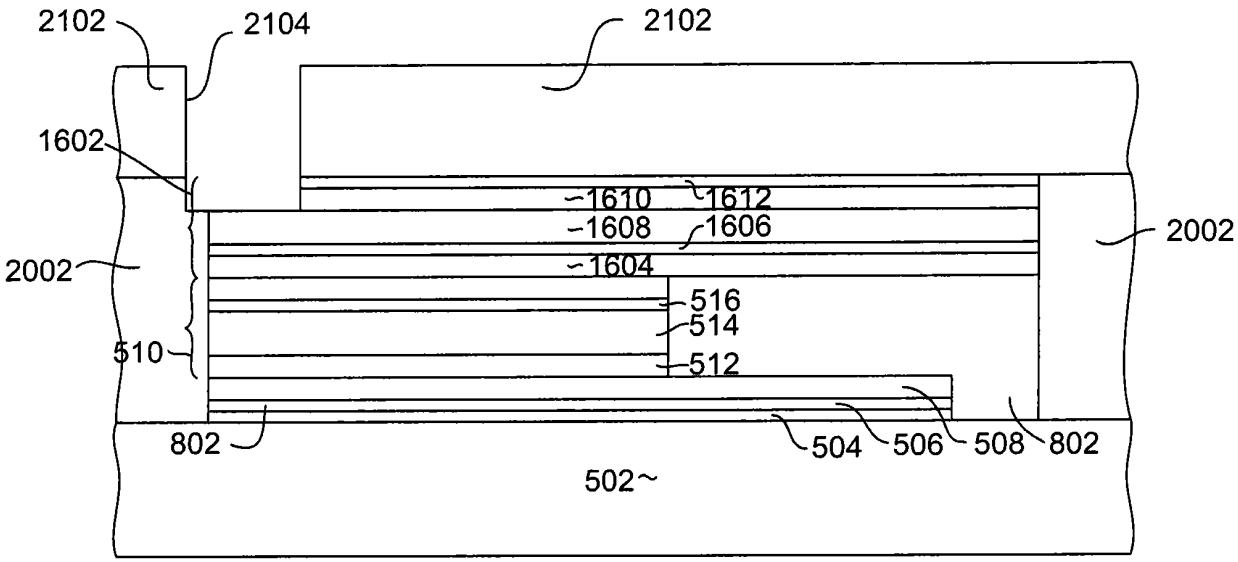

2102
2104
2102
1602
1610
1612
1608
1606
1604
2002
2002
516
514
510
512
802
504
506
508
802
502~

图23

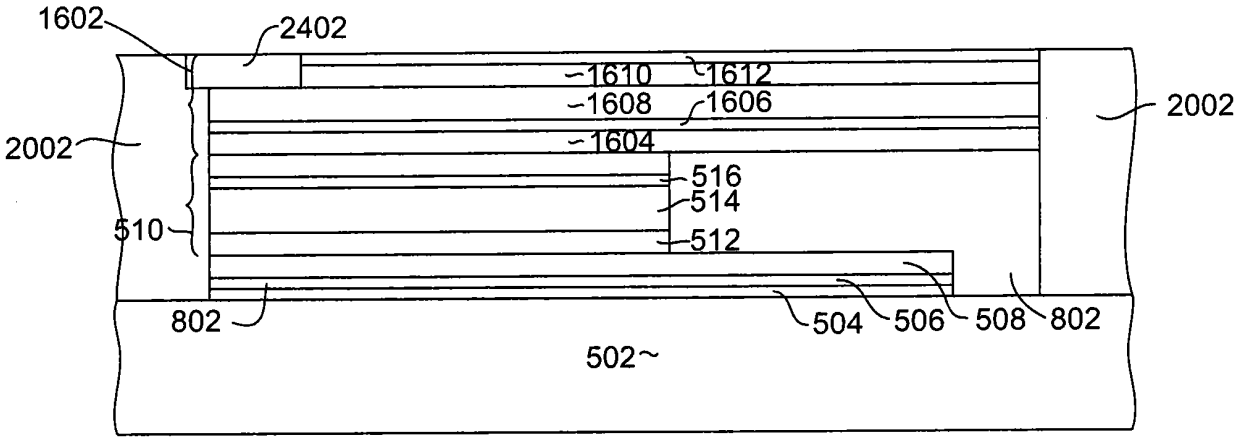

1602
2402
1610
1612
1608
1606
1604
2002
2002
516
514
510
512
802
504
506
508
802
502

图24

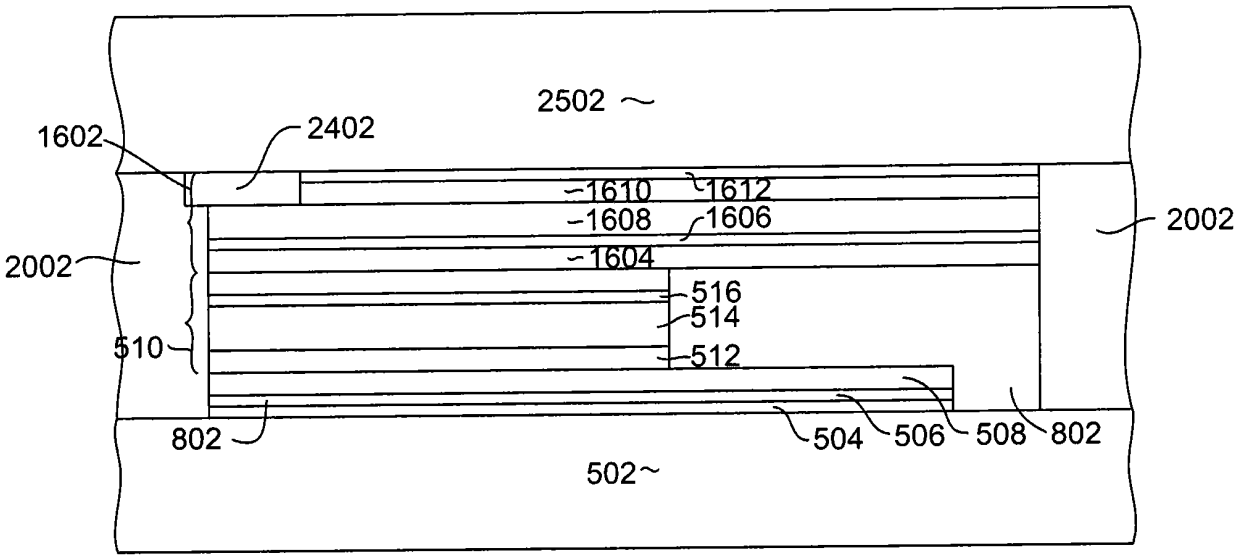

2502
1602
2402
1610
1612
1608
1606
1604
2002
2002
516
514
510
512
802
504
506
508
802
502

图25