



# [12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 98123427.5

[45] 授权公告日 2004 年 2 月 25 日

[11] 授权公告号 CN 1139916C

[22] 申请日 1998.10.23 [21] 申请号 98123427.5

[30] 优先权

[32] 1997.10.24 [33] US [31] 957788

[71] 专利权人 国际商业机器公司

地址 美国纽约

[72] 发明人 小罗伯特·E·方塔纳  
斯图阿特·S·P·帕金  
秦华苍(音译)  
马森·L·威廉姆斯

审查员 张 景

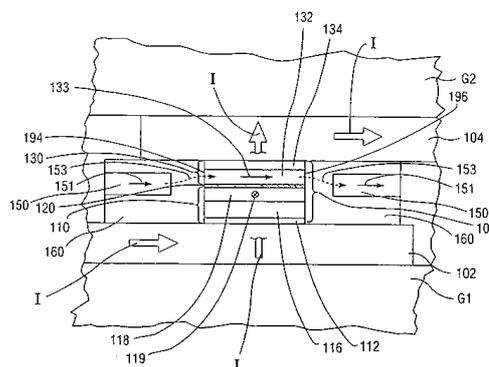
[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利  
商标事务所  
代理人 吴丽丽

权利要求书 5 页 说明书 17 页 附图 10 页

[54] 发明名称 具有作为后方磁通引导读出层的磁性隧道结磁电阻读出磁头

[57] 摘要

一种用于磁性记录系统的磁性隧道结(MTJ)磁阻读出磁头,具有 MJH 读出或自由铁磁体层,该层也起着把一个把磁通从磁记录媒体引导到隧道结上来的磁通引导装置的作用。该 MTJ 固定铁磁体层和该 MTJ 隧道势垒层具有与磁头读出表面基本上是共面的前面边沿。固定和自由铁磁体层两者都和 MTJ 隧道势垒层的相对面的表面接触,但自由铁磁体层伸出到或者是隧道势垒层或者是固定铁磁体层的后面边沿之外,无论哪个后面边沿更靠近读出表面。这将保证在隧道结区域内磁通为非零。



1、一种用来在连接到读出电路上时，读出以磁性方式记录在媒体上的数据的磁性隧道结磁电阻读出磁头，该磁头具有平面的读出表面，在磁记录数据被读出时，该读出表面被安排为平行于媒体表面，上述读出磁头的特征是具有：

一个具有形成读出表面的一部分的边沿的衬底；

一个形成在该衬底上的第1导电性引线；

一个形成在第1引线上且具有和读出表面共面的前面边沿和位于比前面边沿距读出表面更远的后面边沿的固定铁磁体层，固定铁磁体层的磁化方向被固定为沿着优选方向，使得在存在有来自媒体的外加磁场的情况下，可以防止转动；

一个读出铁磁体层，具有一个与读出表面共面的读出边沿和一个后面边沿，读出铁磁体层的磁化方向被定向为在不存在着外加磁场的情况下垂直于固定铁磁体层的磁化方向，而在存在来自媒体的外加磁场的情况下磁化方向自由旋转；

一个绝缘隧道势垒层，定位于固定和读出铁磁层之间并和固定及读出铁磁体层接触，用来允许隧道化电流在垂直于固定和读出铁磁体层的方向上流动，该隧道势垒层具有一个与读出表面共面的前面边沿和后面边沿，后面边沿被定位为比前面边沿距读出表面更远；

一个形成在读出铁磁体层上边的第2导电性引线；并且

其中，隧道势垒层、固定铁磁体层和读出铁磁体层三者的位置关系是：如果隧道势垒层的后面边沿比固定铁磁体层的后面边沿更靠近读出表面，则读出铁磁体层的后面边沿定位为比隧道势垒层的后面边沿距读出表面更远，如果固定铁磁体层的后面边沿比隧道势垒层的后面边沿距读出表面更近，则读出铁磁体层的后面边沿定位为比固定铁磁体层的后面边沿距读出表面更远。

2、权利要求1所述的磁头，其特征是：读出铁磁体层的磁化方向，在不存在外加磁场的情况下，平行于读出表面。

3、权利要求 1 所述的磁头，其特征是：还包括有下述部分；

一个偏置铁磁体层，用于在不存在外加磁场的情况下把读出铁磁体层的磁化方向纵向偏置到垂直于固定铁磁体层的磁化方向；和

一个位于偏置和读出铁磁体层之间，用于使偏置层和读出层电绝缘的电绝缘层，其中电引线与偏置层用该绝缘层绝缘，从而当一个读出电流在固定铁磁体层和读出铁磁体层之间通过时，它垂直地通过隧道势垒层而不会流入偏置层中。

4、权利要求 1 所述的磁头，其特征是：磁头是在其中读出磁头被写入磁头屏蔽的那种类型的集成化读 / 写磁头的一部分，而上述衬底是供读出磁头用的第 1 屏蔽。

5、权利要求 4 所述的磁头，其特征是：还包括一个形成于第 1 屏蔽上边的电绝缘性间隙材料层，并且第 1 电引线层形成在间隙材料层上边。

6、权利要求 1 所述的磁头，其特征是：还包括一个第 2 衬底，其中第 1 引线，读出铁磁体层，隧道势垒层和第 2 引线形成一个位于第 1 和第 2 衬底之间的叠层；还包括一个位于上述叠层与第 1 和第 2 衬底之间的绝缘材料。

7、权利要求 6 所述的磁头，其特征是：磁头是在其中读出磁头是进行了磁屏蔽的那种类型的集成化读 / 写磁头的一部分；第 2 衬底是把读出磁头与写入磁头分开来的第 2 屏蔽。

8、权利要求 1 所述的磁头，其特征是：还包括连接到第 1 和第 2 引线上的读出电路。

9、权利要求 1 所述的磁头，其特征是：该衬底是第 1 导电性磁屏蔽，第 1 引线形成在第 1 屏蔽上边，其中在第 1 屏蔽和第 1 引线之间提供一个导电性的路径。

10、权利要求 9 所述的磁头，其特征是：还包括一个形成在第 2 引线上的第 2 导电性磁屏蔽，以此来提供一个从第 1 屏蔽到第 1 引线和通过隧道势垒层到第 2 引线和第 2 屏蔽的导电性的路径。

11、权利要求 1 所述的磁头，其特征是：该磁头是用来从磁记录磁

盘中读出数据的那种类型的磁头，还包括一个具有一个在来自磁盘的数据用磁头和垂直于 ABS 的跟踪末端表面读出时面朝磁盘的表面的空气-轴承表面 (ABS) 的空气-轴承浮动块，该浮动块跟踪末端表面是在其上边形成第 1 电引线的衬底，浮动块 ABS 是磁头的读出表面。

12、权利要求 1 所述的磁头，其特征是：还具有一个与固定铁磁体层接触的反铁磁体层，用于采用界面间交换耦合的办法固定固定铁磁体层的磁化方向，该反铁磁体层具有与读出表面是共面的前面边沿。

13、权利要求 12 所述的磁头，其特征是：第 1 电引线直接形成在衬底上，反铁磁体层位于第 1 电引线和固定铁磁体层之间，固定铁磁体层直接形成在反铁磁体层上边并和反铁磁体层接触，从而固定铁磁体层的磁化方向用和反铁磁体层进行界面间交换的办法固定。

14、权利要求 1 所述的磁头，其特征是：用如下的位置关系特征代替权利要求 1 中的隧道势垒层、固定铁磁体层和读出铁磁体层三者的位置关系特征，即隧道势垒层的后面边沿与固定铁磁体层的后面边沿是共面的，读出铁磁体层的后面边沿被定位于比隧道势垒层和固定铁磁体层的共面的后面边沿距读出表面更远。

15、权利要求 14 所述的磁头，其特征是：还具有一个与固定铁磁体层接触的反铁磁体层，用于采用界面间交换耦合的办法固定固定铁磁体层的磁化方向，该反铁磁体层具有与读出表面是共面的前面边沿，并且该反铁磁体层，固定铁磁体层，和隧道势垒层的后面边沿是共面的。

16、一种用来在连接到读出电路上时，读出以磁性方式记录在媒体上的数据的磁性隧道结磁电阻读出磁头，该磁头具有平面的读出表面，在磁记录数据被读出时，该读出表面被安排为平行于媒体表面，上述读出磁头的特征是具有：

一个具有形成读出表面的一部分的边沿的衬底；

一个形成在该衬底上的第 1 导电性引线；

一个形成在第 1 引线上且具有与读出表面共面的前面边沿和位于比前面边沿距读出表面更远的后面边沿的固定铁磁体层；

一个反铁磁体层,该反铁磁体层和固定铁磁体层接触,用来采用界面间交换耦合的办法沿着一个优选方向固定固定铁磁体层的磁化方向使得它在存在着来自媒体的外加磁场的情况下不能旋转,该反铁磁体层具有一个与读出表面共面的前面边沿;

一个读出铁磁体层,具有一个与读出表面共面的读出边沿和一个后面边沿,读出铁磁体层的磁化方向被定向为垂直于固定铁磁体层的磁化方向,并且在不存在外加磁场的情况下,平行于读出表面,而在存在着来自媒体的外加磁场的情况下磁化方向自由旋转;

一个绝缘隧道势垒层,定位于固定及读出铁磁体层之间并与之接触,用来允许隧道化电流在垂直于固定和读出铁磁体层的方向上流动,该隧道势垒层具有一个与读出表面是共面的前面边沿和一个后面边沿,后面边沿被定位于比前面边沿距读出表面更远;

一个形成在读出铁磁体层上边的第2导电性引线;并且

其中,隧道势垒层、固定铁磁体层和读出铁磁体层三者的位置关系是:如果隧道势垒层的后面边沿比固定铁磁体层的后面边沿更靠近读出表面,则读出铁磁体层的后面边沿定位为比隧道势垒层的后面边沿距读出表面更远,如果固定铁磁体层的后面边沿比隧道势垒层的后面边沿距读出表面更近,则读出铁磁体层的后面边沿定位为比固定铁磁体层的后面边沿距读出表面更远。

17、权利要求16所述的磁头,其特征是:第1电引线直接形成在衬底上,反铁磁体层位于第1电引线和固定铁磁体层之间,固定铁磁体层直接形成在反铁磁体层上边并与反铁磁体层接触。

18、权利要求16所述的磁头,其特征是还包括有下述部分:

一个偏置铁磁体层,用于在不存在外加磁场的情况下把读出铁磁体层的磁化方向纵向偏置到垂直于固定铁磁体层的磁化方向;和

一个位于偏置和读出铁磁体层之间,用于使偏置层和读出层电绝缘的电绝缘层;其中电引线与偏置层用该绝缘层绝缘,因此当一个读出电流在固定铁磁体层和读出铁磁体层之间通过时,它垂直地通过隧道势垒层而不会流入偏置层中。

19、权利要求 16 所述的磁头，其特征是：该读出磁头是下述类型的集成化读 / 写磁头的一部分：其中，读出磁头被进行了磁屏蔽，上述衬底是供读出磁头用的第 1 磁屏蔽。

20、权利要求 19 所述的磁头，其特征是：还包括一个形成于第 1 屏蔽上边的电绝缘性间隙材料层，并且第 1 电引线层形成在间隙材料层上边。

21、权利要求 16 所述的磁头，其特征是：还包括一个连接到第 1 和第 2 引线上的读出电路。

22、权利要求 16 所述的磁头，其特征是：衬底是第 1 导电性磁屏蔽，第 1 引线形成于该第 1 屏蔽上边；还包括一个形成在第 2 引线上的第 2 导电性磁屏蔽，以此来提供一个从第 1 屏蔽到第 1 引线和通过隧道势垒层到达第 2 引线和第 2 屏蔽的导电性的路径。

23、权利要求 16 所述的磁头，其特征是：该磁头是用来从磁记录磁盘中读出数据的那种类型的磁头，还包括一个具有一个在来自磁盘的数据用磁头和垂直于 ABS 的跟踪末端表面读出时面朝磁盘的表面的空气-轴承表面 (ABS) 的空气-轴承浮动块，该浮动块跟踪末端表面是在其上边形成第 1 电引线的衬底，浮动块 ABS 是磁头的读出表面。

24、权利要求 16 所述的磁头，其特征是：用如下的位置关系特征代替权利要求 16 中的隧道势垒层、固定铁磁体层和读出铁磁体层三者的位置关系特征，即隧道势垒层的后面边沿与固定铁磁体层的后面边沿是共面的，读出铁磁体层的后面边沿被定位于比隧道势垒层和固定铁磁体层的后面边沿距读出表面更远。

## 具有作为后方磁通引导读出层的磁性隧道结磁电阻读出磁头

本申请涉及同时提出的两个系列申请。一个申请的编号为08/957699, 名称为“MAGNETIC TUNNEL JUNCTION MAGNETORESISTIVE READ HEAD WITH SENSING LAYER AS FLUX GUIDE”(‘具有作为磁通引导的读出层的磁性隧道结磁电阻读出磁头’)。另一个申请的编号为08/957787, 名称为“MAGNETIC TUNNEL JUNCTION MAGNETORESISTIVE READ HEAD (‘屏蔽式磁性隧道结磁电阻读出磁头’)”。

### 技术领域

本发明涉及磁性隧道结(MTJ)设备, 特别是涉及用作供读取磁记录式数据用的磁电阻(MR)磁头的MTJ设备。

### 技术背景

一个磁性隧道结设备由被一个薄的绝缘隧道势垒层分隔开的两个铁磁体层构成, 且以旋转极化电子隧道现象为基础。铁磁体层之一在外加磁场的的一个方向上有比另一铁磁体层高的(典型地说是由其较高的磁矫顽力引起的)饱和磁场。该绝缘隧道势垒层足够地薄, 使得在铁磁体层之间存在着量子力学隧道。隧道现象是取决于电子旋转的, 使得MTJ的磁响应成为两个铁磁体层的相对取向和旋转极化的函数。

MTJ设备已被推荐为主要用作固态存储器的存储单元。MTJ存储单元的状态由当读出电流从一个铁磁体层到另一个铁磁体层垂直地通过MTJ时测量MTJ的电阻来决定。电荷载流子形成隧道穿过绝缘隧道势垒层的概率取决于两个铁磁体层的磁矩(磁化方向)的相对取向。隧道电流被旋转极化, 这意味着从一个铁磁体层(例如, 其磁矩是固定的或防止转动的层)通过的电流, 主要由一种旋转类型的(顺时针旋转或逆时针旋转, 取决于铁磁体层的磁矩的方向)的电子组成。隧道电流的旋转极化的程度由在铁磁体层和隧道势垒层的交界处组成铁磁体

层的磁性材料的电子能带构造决定。第 1 铁磁体层例如用作旋转滤波器。电荷载流子形成隧道的概率取决于和在第 2 铁磁体层中电子电流的旋转极化相同的旋转极化的电子状态的可利用性。通常，当第 2 铁磁体层的磁矩和第 1 铁磁体层的磁矩平行的时候，将比第 2 铁磁体层的磁矩被排列为和第 1 铁磁体层的磁矩反向平行时有更多的可用的电子状态。因此，在两个层的磁矩平行时，电荷载流子形成隧道的概率最高，而当两个磁矩反向平行时最低。在磁矩既不是平行也不是反向平行时，形成隧道的概率取中间值。因此 MTJ 存储单元的电阻取决于两个铁磁体层中的电流的旋转极化和电子状态。结果是，其磁化方向是不固定的铁磁体层的两个可能的磁化方向独特地定义存储单元的两个可能的位状态（0 或 1）。

一个磁电阻 (MR) 传感器通过由磁性材料制作的敏感元件的电阻的变化，作为被敏感元件感知的磁通量的强度和方向的函数，检测磁场信号。现有的 MR 传感器，诸如那些在磁记录式磁盘驱动器中用作供读取数据用的 MR 读出磁头，它的工作是以大部分磁性材料（典型的是透磁合金 ( $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ ) 的各向异性磁电阻 (AMR) 效应为基础的。读取元件电阻的一个分量，随着读取元件中的磁化方向和通过读取元件的读出电流的方向之间的角度余弦的平方而变化。由于来自已进行了记录的磁性媒体（信号场）的外部磁场可在读取元件的磁化方向上引起一个变化，而这一变化又反过来在读取元件的电阻中产生一个变化，以及在已读出的电流或电压中的相应的变化，故已记录的数据可以从一个磁性媒体（诸如磁盘驱动器中的磁盘）中读出来。在现有的 MR 读出磁头中，与 MTJ 设备比较，读出电流是在平行于读出元件的铁磁体层的方向上。

就如在美国专利 5390061 中所述，提出了应用一种 MTJ 设备作为供磁性记录用的磁电阻读出磁头。在该 MTJ 读出磁头中，自由和固定铁磁体层具有并不伸出到绝缘隧道势垒的横向周界线之外的横向周界线。在磁隧道记录装置中，读出磁头从小的磁化区域或已写入到在其上边已悬上磁头的薄膜磁性媒体中去的磁位中读出磁通。用更高磁位

区域密度部分地可以增加磁盘驱动器的容量。因此，每一磁区的面积或位必须减少，但是，因而将产生减小了的磁通。因而，对于具有更高的性能和更高容量的磁记录磁盘驱动器要求可以读出减小后的具有更大输出信号的磁记录磁头。采用寻找具有较高磁电阻系数的 MTJ 构造的办法，可以得到经过改进的磁记录磁头。但是，MR 系数决定于组成 MTJ 的材料的固有的电和磁性质。

### 发明内容

本发明提供一种供磁记录系统用的 MTJ MR 读出磁头，这种磁头对于相同的输入磁通量比那些用相同的一组电和磁材料构成但其他方面不同的 MTJ 磁头能给出更大的输出信号。

本发明提供了一种磁性记录系统用的 MTJ MR 读出磁头，其中，自由铁磁体层也用作一个后方磁通引导装置以使磁通从磁记录媒体通到隧道结。在一个磁记录磁盘驱动器的实施例中，固定铁磁体层，隧道势垒层，自由铁磁体层都具有自己的在空气-轴承表面 (ABS) 上露出来的边沿。固定和自由铁磁体层两者都和隧道势垒层的相对的表面接触，但是自由铁磁体层则伸出到隧道势垒层或固定铁磁体层之外，不论哪一个的后边沿都更为靠近读出表面。这将保证在隧道结区域内磁通为非零。固定铁磁体层的磁化方向一般被固定在垂直于 ABS 因而也垂直于磁盘表面的方向，最好是采用和反铁磁体层进行界面间交换耦合的办法。自由铁磁体层的磁化方向，在没有外加磁场时通常被排列在平行于 ABS 的表面的方向，而在有来自磁记录磁盘的外加磁场时则其磁化方向自由旋转。一个与自由铁磁体层的侧面相邻的高矫顽力硬磁材料层纵向地把自由铁磁体层的磁化方向偏置向优选方向。

该 MTJ MR 读出磁头可以形成集成化读 / 些磁头构造的一部分，在该构造中有定位于 MTJ MR 读出磁头的两侧的导电性的磁屏蔽。供读出电路用的电引线形成在两个屏蔽上，使得提供一个从屏蔽通过该引线到隧道结的固定和自由铁磁体层的通电路径。

根据本发明第一方面，提供一种用来在连接到读出电路上时，读出以磁性方式记录在媒体上的数据的磁性隧道结磁电阻读出磁头，该磁

头具有平面的读出表面，在磁记录数据被读出时，该读出表面被安排为平行于媒体表面，上述读出磁头的特征是具有：一个具有形成读出表面的一部分的边沿的衬底；一个形成在该衬底上的第1导电性引线；一个形成在第1引线上且具有和读出表面共面的前面边沿和位于比前面边沿距读出表面更远的后面边沿的固定铁磁体层，固定铁磁体层的磁化方向被固定为沿着优选方向，使得在存在有来自媒体的外加磁场的情况下，可以防止转动；一个读出铁磁体层，具有一个与读出表面共面的读出边沿和一个后面边沿，读出铁磁体层的磁化方向被定向为在不存在着外加磁场的情况下垂直于固定铁磁体层的磁化方向，而在存在来自媒体的外加磁场的情况下磁化方向自由旋转；一个绝缘隧道势垒层，定位于固定和读出铁磁层之间并和固定及读出铁磁体层接触，用来允许隧道化电流在垂直于固定和读出铁磁体层的方向上流动，该隧道势垒层具有一个与读出表面共面的前面边沿和后面边沿，后面边沿被定位为比前面边沿距读出表面更远；一个形成在读出铁磁体层上边的第2导电性引线；并且其中，隧道势垒层、固定铁磁体层和读出铁磁体层三者的位置关系是：如果隧道势垒层的后面边沿比固定铁磁体层的后面边沿更靠近读出表面，则读出铁磁体层的后面边沿定位为比隧道势垒层的后面边沿距读出表面更远，如果固定铁磁体层的后面边沿比隧道势垒层的后面边沿距读出表面更近，则读出铁磁体层的后面边沿定位为比固定铁磁体层的后面边沿距读出表面更远。

根据本发明第二方面，用如下的位置关系特征代替本发明第一方面的上述隧道势垒层、固定铁磁体层和读出铁磁体层三者的位置关系特征，即隧道势垒层的后面边沿与固定铁磁体层的后面边沿是共面的，读出铁磁体层的后面边沿被定位于比隧道势垒层和固定铁磁体层的共面的后面边沿距读出表面更远。

根据本发明第三方面，提供一种用来在连接到读出电路上时，读出以磁性方式记录在媒体上的数据的磁性隧道结磁电阻读出磁头，该磁头具有平面的读出表面，在磁记录数据被读出时，该读出表面被安排为平行于媒体表面，上述读出磁头的特征是具有：一个具有形成读出

表面的一部分的边沿的衬底；一个形成在该衬底上的第1导电性引线；一个形成在第1引线上且具有与读出表面共面的前面边沿和位于比前面边沿距读出表面更远的后面边沿的固定铁磁体层；一个反铁磁体层，该反铁磁体层和固定铁磁体层接触，用来采用界面间交换耦合的办法沿着一个优选方向固定固定铁磁体层的磁化方向使得它在存在着来自媒体的外加磁场的情况下不能旋转，该反铁磁体层具有一个与读出表面共面的前面边沿；一个读出铁磁体层，具有一个与读出表面共面的读出边沿和一个后面边沿，读出铁磁体层的磁化方向被定向为垂直于固定铁磁体层的磁化方向，并且在不存在外加磁场的情况下，平行于读出表面，而在存在着来自媒体的外加磁场的情况下磁化方向自由旋转；一个绝缘隧道势垒层，定位于固定及读出铁磁体层之间并与之接触，用来允许隧道化电流在垂直于固定和读出铁磁体层的方向上流动，该隧道势垒层具有一个与读出表面是共面的前面边沿和一个后面边沿，后面边沿被定位于比前面边沿距读出表面更远；一个形成在读出铁磁体层上边的第2导电性引线；并且其中，隧道势垒层、固定铁磁体层和读出铁磁体层三者的位置关系是：如果隧道势垒层的后面边沿比固定铁磁体层的后面边沿更靠近读出表面，则读出铁磁体层的后面边沿定位为比隧道势垒层的后面边沿距读出表面更远，如果固定铁磁体层的后面边沿比隧道势垒层的后面边沿距读出表面更近，则读出铁磁体层的后面边沿定位为比固定铁磁体层的后面边沿距读出表面更远。

根据本发明第四方面，用如下的位置关系特征代替上述第三方面中的隧道势垒层、固定铁磁体层和读出铁磁体层三者的位置关系特征，即隧道势垒层的后面边沿与固定铁磁体层的后面边沿是共面的，读出铁磁体层的后面边沿被定位于比隧道势垒层和固定铁磁体层的后面边沿距读出表面更远。

为了更为完整了解本发明的性质和优点，应当在参照附图的同时，参考下述详细的说明。

附图说明

图 1 是供与本发明的凹进式 MTJ MR 读出磁头一起使用的现有的磁性记录磁盘驱动器的简化框图。

图 2 是拿掉机壳的图 1 的盘驱动器的顶视图。

图 3 是现有的集成化电感式写入磁头 /MR 读出磁头的纵剖面图，其中 MR 读出磁头定位于屏蔽之间并与供说明本发明的 MTJ MR 读出磁头应该定位于何处的电感式磁头相邻。

图 4 是通过本发明的 MTJ MR 读出磁头的隧道结剖开的剖面图，用于说明通过隧道结流动的电流的垂直方向。

图 5 是后方磁通引导式 MTJ MR 读出磁头的剖面图，说明了各种层相对于磁头（空气-轴承表面）读出边沿的位置。

图 6A-6N 说明了本发明的后方磁通引导式 MTJ MR 的制造步骤。

图 7 是读出表面的视图，该图画出了读出铁磁体层的前面边沿和纵向偏置铁磁体层的边沿。

#### 具体实施方式

参照图 1。图中示出了应用一个 MR 传感器的现有的磁盘驱动器的剖面图。该磁盘驱动器由一个基座 10，在其上边固定有一个磁盘驱动电机 12 和一个执行器 14，和一个罩子 11。基座 10 和罩子 11 给驱动器提供了一个基本上已密封起来的机壳。一般在基座 10 和罩子 11 之间有一个垫圈 13 和一个小的通气口（未画出来），以平衡磁盘驱动器内部和外部环境之间的压力。磁性记录磁盘 16 通过轂盘 18 连接到驱动电机 12 上，磁盘连接到轂盘 18 之上是为了用驱动电机 12 使它转动。磁盘 16 的表面上有一层薄的润滑膜 50。一个读 / 写磁头或者变换器 25 形成在磁头支架（例如空气轴承浮动块 20）的尾端。就如将在图 3 中说明的那样，变换器 25 是一由电感式写入磁头部分和 MR 读出磁头部分构成的读 / 写磁头。浮动块 20 利用一个刚性臂 22 和一个悬臂 24 连接到执行器 14 上。悬臂 24 提供一个偏置力，把浮动块 20 推到记录磁盘 16 的表面上。在磁盘驱动器工作期间，驱动电机 12 以恒定的速度转动磁盘 16，而一般是一线性或旋转语音线圈电机的执行器 14，通常在径向方向上移动浮动块 20 使之穿过磁盘 16 的表面，使得读 / 写

磁头 25 可以访问磁盘 16 上边的不同的磁道。

图 2 是拿掉罩子 11 的磁盘驱动器的内部的顶视图，该图并且更好地说明对浮动块 20 提供一个力以把磁盘 16 往前推的悬臂 24。该悬臂可以是现有类型的悬臂，诸如 IBM 公司在美国专利 4167765 中所述的那种人们所熟悉的 Watrous 悬臂。这种类型的悬臂还提供一种浮动块的万向接头式的附加物，它使得浮动块在它被放到空气轴承上的时候可以倾斜和旋转。用变换器 25 从磁盘 16 上检测到的数据，借助于定位在臂 22 上的集成电路芯片 15 中的信号放大和处理电路被加工成数据回读信号。来自变换器 25 的信号通过柔软电缆 17 被送往芯片 15，芯片 15 把其输出信号通过电缆 19 送往磁盘驱动器电子电路（未画出来）。

图 3 是由 MR 读出磁头部分和电感式写入磁头部分组成的集成化读/写磁头 25 的剖面图。磁头 25 重叠起来以形成一个空气-轴承表面（ABS），该 ABS 借助于前边讨论过的空气轴承与旋转磁盘 16（图 1）的表面分隔开来。读出磁头包括一个夹在第 1 和第 2 间隙层 G1 和 G2 之间的 MR 传感器 40，G1 和 G2 又依次被夹在第 1 和第 2 磁屏蔽层 S1 和 S2 之间。在普通的磁盘驱动器中，MR 传感器 40 是一个 AMR 传感器。写入磁头包括一个线圈层 C 和被夹在绝缘层 I1 和 I3 之间的绝缘层 I2，I1 和 I3 又依次被夹在第 1 和第 2 磁极片 P1 和 P2 之间。在磁极顶端上邻近 ABS 的第 1 和第 2 磁极片 P1、P2 之间夹有一个间隙层 G3，为的是提供一个磁间隙。在写入期间信号电流通过线圈层 C 传导，而在第 1 和第 2 磁极层 P1、P2 中感应出磁通，使得磁通在 ABS 上穗状地穿过磁极顶端。在写入操作期间，磁通使旋转磁盘 16 上边的圆形磁道磁化。在读出操作期间，旋转磁盘 16 上边的已磁化区把磁通引进到读出磁头的 MR 传感器 40 中去，使得 MR 传感器 40 中电阻变化。这些电阻变化，用检测 MR 传感器 40 上的电压变化的办法进行检测。用芯片 15（图 2）和驱动器电子电路对该电压变化进行处理并变换成用户数据。示于图 3 的组合式磁头 25 是一个‘结合式’磁头，在该磁头中，读出磁头的第 2 屏蔽层 S2 被用作写入磁头的第 1 磁极片 P1。在背负式磁头（没有画

出来)中,第2屏蔽层S2和第1磁极片P1是分开的层。

对具有 AMR 读出磁头的典型的磁性记录磁盘驱动器的上述叙述以及附图 1~3 仅仅为了进行说明。磁盘驱动器可以包括许多的磁盘和执行器,而且每一执行器都可以支持许多浮动块。此外,不用空气轴承浮动块而代之以用这样的磁头支架,该支架例如象在液体轴承和其他接触和近乎接触记录磁盘驱动器中那样,保持磁头与磁盘接触或近乎接触。

本发明是一种具有 MTJ 传感器的 MR 读出磁头,用来代替图 3 的读/写磁头 25 中的 MR 传感器 40。

图 4 是本发明的一个实施例的 MTJ MR 读出磁头的剖面图,如果通过一个其边沿在图 3 中被画成线 42 的平面来剖开并从磁盘表面看过去,就是这样的图。因此,图 4 的纸面是一平行于 ABS 的平面而且基本上通过有效读出区,即通过 MTJ MR 读出磁头的隧道结,以展现出形成磁头的那些层。

参看图 4。MTJ MR 读出磁头包括一个形成于第 1 间隙层 G1 上的电引线层 102,在间隙层 G2 的下边的电引线层 104,和作为一个层的叠层形成于电引线层 102、104 之间的 MTJ 100。

MTJ 100 包括一个第 1 电极多层叠层 110,一个绝缘隧道势垒层 120,和一个顶部电极叠层 130。每一电极包括一个直接与隧道势垒层 120 接触的铁磁体层,即铁磁体层 118 和 132。

形成在电引线层 102 上边的基底电极层叠层 110 包括一个在电引线 102 上边的种子(seed)层或者‘模板(template)’层 112,在模板层 112 上的反铁磁体材料层 116 和一个形成在上边且与在下边的反铁磁体层 116 形成为交换耦合式的‘固定’的铁磁体层 118。该铁磁体层 118 被称作固定层,因为其磁矩或者磁化方向,在感兴趣的范围内加上磁场时保持为不转动。顶部电极叠层 130 包括一个‘自由’或‘读出’铁磁体层 132,和形成在读出层 132 上边的保护性的层或覆盖层 134。读出铁磁体层 132 被非交换耦合到一个反铁磁体层上,因此其磁化方向在加上所希望的范围的磁场时是自由旋转的。读出铁磁体层

132 被制造为使得把它的磁矩或磁化方向（用箭头 133 表示）通常定向为与 ABS 平行（ABS 是一平行于图 4 的纸面），而且，在未加磁场时通常垂直于固定铁磁体层 118 的磁化方向。在电极叠层 110 中，正好位于隧道势垒层 120 下边的固定铁磁体层 118，其磁化方向借助于与下边紧挨着的反铁磁体层 116 进行界面交换耦合进行固定，反铁磁体层 116 也形成底部电极叠层 110 的一部分。固定铁磁体层 118 的磁化方向通常被定向为与 ABS 垂直，即在图 4 中从纸面中出来或者进入纸面（如箭尾 119 所示）。

在图 4 中，还示出了一个用于对读出铁磁体层 132 的磁化进行纵向偏置的偏置铁磁体层 150，一个使读出铁磁体层 132 和偏置层 150 分开并绝缘的绝缘层 160，和 MTJ 100 的其他的层。偏置铁磁体层 150 是一种硬磁材料，例如 CoPtCr 合金，在未加磁场的情况下，其磁矩（用箭头 151 表示）被排列在与读出铁磁体层 132 的磁矩 133 相同的方向上。绝缘层 160，最好是氧化铝（ $Al_2O_3$ ）或二氧化硅（ $SiO_2$ ），具有足够使偏置铁磁体层 150 与 MTJ 100 和电引线层 102、104 电绝缘的厚度，但是该厚度又足够地薄使得可以与读出铁磁体层 132 进行静磁耦合（用虚线箭头 153 表示）。偏置铁磁体层 150 的乘积  $M \cdot t$ （其中， $M$  是在铁磁体层中材料的单位面积的磁矩， $t$  是铁磁体层的厚度）必须大于或等于读出铁磁体层 132 的  $M \cdot t$ ，以确保稳定的纵向偏置。由于一般被用在读出铁磁体层 132 中的  $Ni_{(100-x)} - Fe_{(x)}$ （ $x$  近似等于 19）的磁矩大约是适合于用作偏置铁磁体层 150 的典型的硬磁材料（诸如  $Co_{75}Pt_{13}Cr_{12}$ ）的 2 倍，故偏置铁磁体层 150 的厚度至少是读出铁磁体层 132 的近乎两倍。

读出电流  $I$  从第一导电引线 102 垂直地通过反铁磁体层 116、固定铁磁体层 118、隧道势垒层 120 和读出铁磁体层 132，然后通过第 2 电引线 104 输出。如上所述，通过隧道势垒层 120 的隧道电流是与隧道势垒层 120 相邻并与隧道势垒层接触的固定和读出铁磁体层 118、132 的相对方向的函数。来自记录数据的磁场使读出铁磁体层 132 的磁化方向旋转偏离方向 133，即或者是从图 4 的纸面进去或者出来。这将

改变铁磁体层 118、132 的磁距的相对方向,因此,改变隧道电流的量,该电流量反映了 MTJ 100 的电阻的改变。电阻的这一改变用磁盘驱动电子电路进行检测并加工成为来自磁盘的数据回读。借助于电绝缘层 160,读出电流不能达到偏置铁磁体层 150。电绝缘层 160 还使电引线 102、104 与偏置铁磁体层 150 绝缘。

现在说明供 MTJ 100 (图 4) 用的有代表性的材料的配置。MTJ 100 的所有的层都在加上与衬底平行的磁场的情况下生长。该磁场用于给所有的铁磁体层的易磁化的轴定向。一个 5nm 的 Ta 种子层(未画出来)首先形成于一个用作电引线 102 的 10-50nm Au 层上。种子层由促进面心立方 (fcc)  $Ni_{81}Fe_{19}$  模板层 112 的 (111) 生长的材料组成。模板铁磁体层 112 促进反铁磁体层 116 的生长。合适的种子层材料包括诸如 Cu 和 Ta 之类的 fcc 材料或诸如 3-5nmTa / 3-5nmCu 之类的组合材料。MTJ 基底电极叠层 110 由生长在 10-20nm Au 层 102 上边的 Ta 种子层上边的 4nm  $Ni_{81}Fe_{19}$  / 10nm $Fe_{50}Mn_{50}$  / 8nm  $Ni_{81}Fe_{19}$  (分别为层 112, 116, 118) 的叠层构成。用作衬底的 Au 引线层 102 直接形成于铝间隙材料 G1 上边。其次,隧道势垒层 120 由淀积法形成,接着等离子体氧化一个 0.5-2nm 的 Al 层。这将形成  $Al_2O_3$  绝缘隧道势垒层 120。顶部电极叠层 130 是一个 5nm Ni-Fe / 10 nmTa 叠层(分别为层 132, 134)。Ta 层 134 用作保护性覆盖层。顶部电极叠层 130 通过一个用作电引线层 104 的 20nm Au 层进行接触。

注意,由于在 MTJ 100 中电流垂直通过多个层,故 MTJ 设备的电阻将因隧道势垒层 120 而处于主要地位。因此,导电引线 102、104 的每一单位面积的电阻可以大大高于通常的电流平行于那些层流动的 MR 读出磁头的电阻。因此,引线 102、104 可以作得比在通常的 MR 磁头构造中更薄和 / 或更窄,和 / 或可以用从本质上说更为电阻性的材料,诸如合金或元素的组合来制作。

重要的是在底部电极叠层 110 中的那些层应当平滑,并且  $Al_2O_3$  绝缘隧道势垒层 120 没有使结电短路的针孔。例如,用熟悉的溅射技术来进行生长以求在金属多层叠层中产生良好的巨大的磁电阻效应是能

够胜任的。

一种替代的读出铁磁体层 132 可以在读出铁磁体层 132 和隧道势垒层 120 之间的界面上由薄的  $\text{Co}$  或  $\text{Co}_{(100-x)}\text{Fe}_{(x)}$  或  $\text{Ni}_{(100-x)}\text{Fe}_{(x)}$  ( $x$  近似为 60) 层和具有低的磁致伸缩 (例如  $\text{Ni}_{(100-x)}\text{Fe}_{(x)}$  ( $x$  近似为 19)) 的层 132 的体组成。具有一个薄的  $\text{Co}$  或  $\text{Co}_{(100-x)}\text{Fe}_{(x)}$  或  $\text{Ni}_{(100-x)}\text{Fe}_{(x)}$  ( $x$  近似为 60) 的界面层的这种类型的读出层的净磁致伸缩, 采用稍微改变层 132 的组分的办法, 被安排为具有接近于 0 的值。一个替代的固定铁磁体层 118 可以在具有隧道势垒层 120 的界面上, 主要地由具有一个薄的  $\text{Co}$  或  $\text{Co}_{(100-x)}\text{Fe}_{(x)}$  或  $\text{Ni}_{(100-x)}\text{Fe}_{(x)}$  ( $x$  近似为 60) 层的体  $\text{Ni}_{(100-x)}\text{Fe}_{(x)}$  层构成。用  $\text{Co}$  或者具有最高极化率的  $\text{Ni}_{(100-x)}\text{Fe}_{(x)}$  ( $x$  近似为 60) 或者  $\text{Co}_{(100-x)}\text{Fe}_{(x)}$  合金 ( $x$  近似为 70) 可以得到最大的信号。界面层最好是约 1-2nm 厚。组合层的净磁致伸缩采用使组分进行微小变化的办法, 被安排为接近于 0。如果层 118 的主体是 Ni-Fe, 那么组分就是 Ni 81 Fe19, 对于该组分, 体 Ni-Fe 具有 0 磁致伸缩。

Fe-Mn 反铁磁体层 116 可以用 Ni-Mn 层或其他合适的反铁磁体层代替, 这些层交换偏置在固定层 118 中的铁磁体材料, 且具有实质上小于  $\text{Al}_2\text{O}_3$  势垒层 120 的电阻的电阻。此外, 虽然在优选实施例中, 固定铁磁体层的磁矩已被界面上的交换耦合用一个反铁磁体层固定, 该固定铁磁体层可以用从磁性上说‘硬的’高矫顽力材料形成, 以避免需要一个反铁磁体层。因此, 硬固定铁磁体层可以由各种铁磁体材料, 诸如  $\text{Co}$  和一个或多个元素的合金, 包括  $\text{Co-Pt-Cr}$  合金,  $\text{Co-Cr-Ta}$  合金,  $\text{Co-Cr}$  合金,  $\text{Co-Sm}$  合金,  $\text{Co-Re}$  合金,  $\text{Co-Ru}$  合金和  $\text{Co-Ni-X}$  ( $X=\text{Pt}$ ,  $\text{Pd}$ , 或  $\text{Cr}$ ) 合金, 以及诸如  $\text{Co-Ni-Cr-Pt}$  和  $\text{Co-Pt-Cr-B}$  之类的各种四元素合金形成。

虽然已经说明并示于图 4 的 MTJ 设备在 MTJ 100 的底部上边具有固定铁磁体层, 该设备也可以用首先淀积读出铁磁体层, 接着淀积隧道势垒层, 然后淀积固定铁磁体层和反铁磁体层的办法形成。于是, 这样一种 MTJ 设备将具有本质上与示于图 4 的 MTJ 100 颠倒过来的层。

现在参照图 5。图 5 以垂直于图 4 的视图的剖面的形式示出了本发

明的后方磁通引导装置式 MTJ MR 磁头, 该磁头在右边具有读出表面 200 或 ABS。为便于说明, 没有画出偏置铁磁体层 150, 而且在 MTJ 100 中仅仅示出了铁磁体层、反铁磁体层和隧道势垒层。读出铁磁体层 132 具有一个读出边沿 202 和一个后面边沿 203, 读出边沿 202 基本上和读出表面 200 或 ABS 在同一平面上。固定铁磁体层 118 具有一个基本上与读出表面 200 或 ABS 共面的前面边沿 206 和后面边沿 208。反铁磁体层 116 具有和固定铁磁体层 118 相连的边沿。隧道势垒层 120 具有一个也基本上与读出表面 200 或 ABS 共面的前面边沿 210 和一个后面边沿 212, 前面边沿 210 实质上 and 固定铁磁体层 118 的前面边沿 206 在一个平面上。读出铁磁体层 203 的后面边沿伸出到隧道势垒层 212 或者固定铁磁体层 208 的外边, 不论哪个后面边沿都更靠近读出表面 200。引线 102 形成在 G1 间隙层并且间隙层 G2 使引线 104 与磁屏蔽 S2 分开。G1 和 G2 及在后面边沿 202、206 和 212 的后边的区域上的材料是电绝缘材料, 理想的是氧化铝。就像人们在磁盘接触中保护磁头的技术中所熟知的那样, 读出表面 200 或 ABS 在其上边可以具有一个保护性的覆盖层, 诸如无定形金刚石类 (diamoni-like) 炭。

示于图 3 的 MR 传感器, 诸如传感器 40, 被放置在可渗透的磁屏蔽 S1 和 S2 之间。在 MTJ 读出磁头位于该区域时, 如图 5 所示, 被检测的磁通就在空气-轴承表面 200 上进入自由铁磁体层 132 的前面边沿 202 且向着该层的后方边沿衰减。在该层的后方边沿 203 上磁通被限制成为零。某些入射磁通漏泄到磁屏蔽 S1 和 S2。这种漏泄由屏蔽间隙宽度  $g$ , 导磁率  $\mu$  和在本发明中也用作磁通引导装置的自由铁磁体层厚度  $t$  决定。磁通随着特征长度  $(\mu t g / 2)^{0.5}$  而衰退。对于典型的参数  $5\text{Gbit} / \text{in}^2$ , 传感器是  $g=200\text{nm}$ ,  $t=5\text{nm}$  和  $\mu=1000$ 。这将得到 0.7 微米的衰退长度  $\lambda$ 。

在较早的说明供磁记录读出磁头用的 MTJ 装置的的美国专利 5,390,061 中, 自由铁磁体层的后方边沿与固定铁磁体层的后方边沿相连或者比固定铁磁体层的后方边沿更靠近 ABS。因此, 在那些其中传感器的高度是可以与  $\lambda$  比较的或者小于  $\lambda$  (例如, 在  $5\text{Gbit} / \text{in}^2$  传感

器中,传感器的高度是400nm)的高密度记录应用中,在传感器的工作区中(在ABS 200和隧道势垒层120的后方边沿212或固定铁磁体层118的后方边沿208之间的区域,不论哪个边沿都更靠近ABS 200)磁通被限制成为零。采用把自由铁磁体层132扩展到传感器的工作区之外的办法,借助于把一个磁通引导装置附加到自由铁磁体层的后方边沿上,那么磁通将仅仅在后方磁通引导装置上被限制成为零。因此,在传感器的工作区中磁通的量增加到超出在不存在诸如后方磁通引导时的量。因此,具有后方磁通引导的MTJ传感器的输出信号在传感器的工作区增强了一个额外的磁通量。

由于电流垂直于隧道结流动,因此对于形成隧道结的磁通引导装置的部分来说,电流不会被扩展到隧道结之外的自由铁磁体层的部分分流。虽然在图5的优选实施例中隧道势垒层210的后面边沿212、208,分别和固定铁磁体层118是共面的,但是它们并非一定要是共面的,只要自由铁磁层132的后面边沿212、208与读出表面200的距离较后面边沿212、208中任何一个距离读出表面200更远即可。这是因为垂直接流过隧道势垒层210的电流是由后面边沿212、208中的任何一个更靠近读出表面200的那个来确定的。因此,读出铁磁体层132的后面边沿203被定位为比隧道势垒层210的后面边沿212更远,如果后面边沿212比固定铁磁体层118的后面边沿208更靠近读出表面200的话。同样,读出铁磁体层132的后面边沿203被定位为比固定铁磁体118的后面边沿208更远,如果后面边沿208比隧道势垒层210的后面边沿212更靠近读出表面200的话。

虽然优选实施例是相对于图5来示出和说明的,第一引线120被画成具有扩展到反铁磁体层116和固定铁磁体层118的后面边沿之外的后面边沿,该第一引线102可以具有基本上与反铁磁体层116和固定铁磁体层118的后面边沿共面的后面边沿。还有,虽然第2引线104被画成为具有和自由铁磁体层132的后面边沿203共面的后面边沿,第2引线104可以具有伸出到自由铁磁体层132的后面边沿之外的后面边沿。同样,第2引线104可以具有比自由铁磁体层132的后面边沿更

靠近 ABS 200 的后面边沿，只要其后面边沿比传感器的工作区的后方边沿距 ABS 200 更远。

在一个可供选择的实施例中在其上边已形成了第 1 引线 102 的衬底是第 1 磁屏蔽 S1，而第 2 磁屏蔽 S2 则形成在第 2 引线 104 上。屏蔽 S1 和 S2 由 Ni-Fe 或者 Ni-Fe-Co 合金构成，且是导电性的。因此在本实施例中提供一条通过屏蔽 S1 到第 1 引线 102，且垂直地通过隧道结到第 2 引线 104 和第 2 屏蔽 S2 的导电路径。本实施例消除了绝缘间隙 G1、G2 的需要，尽管如图 5 所示绝缘材料在隧道结的前面和后面仍然是需要的。

#### 制造凹进式 MTJ MR 读出磁头的工艺

对于 AMR 或其中读出电流平行于传感器的层流动的旋转阀门传感器来说，由于磁通引导装置和传感器必须是电绝缘的，使得不分流来自传感器的电流，所以使磁通引导装置贴近传感器是困难的。而磁通引导装置和传感器还必须进行磁耦合。这可以采用使电解质层与传感器绝缘而后使磁通引导装置的形状对准到传感器上的办法来实现。对传感器的高效率的磁耦合需要 0.1 微米的对准精度，而电解质层的厚度是 5 微米到 10 微米，借助于用来制造 MR 磁头的现今的技术实现上述两点中的哪一点都是困难的。但是，如果应用一个磁隧道结传感器，其中电流垂直地流到传感器的层中去，则磁通引导装置不再需要与读出层电绝缘。后方磁通引导装置就象在图 5 中的优选实施例所表明的那样可以是自由铁磁体层的连续的扩展。

参照图 6，说明形成后方磁通引导装置式 MTJ MR 读出磁头的工艺。需要两个平版印刷图形步骤。一个定义固定铁磁体层 118 的后面边沿，一个定义自由铁磁体层 132 的后面边沿。该 MTJ MR 读出磁头是制造在一层绝缘体上，一般如图 5 所示是在氧化铝上，但是也可以直接制造在底磁屏蔽层 S1 上。

如图 6A 所示，工艺开始先淀积供引线层 102、反铁磁体层 116、固定铁磁体层 118 用的材料和诸如铝之类的最终被氧化以形成隧道势垒层 120 的材料。引线材料可以是各种导体材料，诸如 Ta, Al, Au, W 和

Pt 之类的材料，典型的厚度在 100 到 500 埃的范围之内。反铁磁体层 116 可以从许多熟悉的材料，诸如 Fe-Mn，Ni-Mn，Pt-Mn，Ir-Mn 和 Pd-Mn 和 Cr-Al 中选择。反铁磁体层 116 的典型厚度是在 7 到 300 埃的范围内。固定铁磁体层 118 最好是一种 Ni-Fe 合金或 Ni-Fe 合金与 Co 薄膜的双层。Ni-Fe 合金层的典型的厚度是 20 到 100 埃而 Co 层的典型厚度是 2 到 20 埃。用于隧道势垒氧化物层 120 的铝的厚度一般是 5 到 20 埃的范围。

在通常用离子束或者 RF 或 DC 磁控管溅射法淀积上这些层之后，用防蚀剂 230 使这些层图形化以定义示于图 6B 的所希望的形状，这是图 6A 的顶视图。接着，如图 6C 所示，进行离子铣蚀以去掉未被防蚀剂保护的材料。现在，在层 G1 上边，用图 6D 所示的形状，形成引线层 102、反铁磁体层 116、固定铁磁体层 118 和隧势垒层。防蚀剂层 230 一般是一个具有侧蚀的双层防蚀剂。在图 6C 的离子铣蚀步骤之后，用离子束或 RF 溅射淀积一层绝缘体 232，一般是淀积一层氧化铝或者  $\text{SiO}_2$  以对图形的边沿密封，之后，剥离防蚀剂层 230，得到示于图 6E-6F 的构造。在该第 1 平版图形化步骤中固定铁磁体层 118 的后方边沿 208 被设定为参考点。

在进行图形化以形成图 6E-6F 的构造之后，在其中将变成隧道势垒层 120 的铝在氧压为 100mTorr 和功率密度为  $25\text{W} / \text{cm}^2$  被等离子体氧化 30-240 秒。这样将形成氧化铝的绝缘隧道层 120。

其次，如图 6G-6H 所示，淀积自由铁磁体层 132 和引线层 104。自由铁磁体层 132 一般是 Ni-Fe 合金或者 Co 和 Ni-Fe 合金的双层，对于 Ni-Fe 合金厚度为 10 到 200 埃，对于 Co，厚度为 2 到 20 埃。引线 104 用与对引线 102 说明过的相同的材料和厚度形成。

在用离子束或者 RF 或 DC 磁控管溅射淀积了层 132、104 之后，如图 6I-6J 所示，自由铁磁体层 132 和引线层 104 用防蚀剂 240 形成图形以确定所希望的形状。典型地说，防蚀剂 240 一般是一具有侧蚀 (undercut) 的双层防蚀剂。然后，如图 6K-6L 所示，离子铣蚀去掉没有用防蚀剂 240 保护的那些材料。在图 6K 的离子铣削步骤之后，用

离子束或RF溅射淀积一层绝缘体 242,一般是淀积一层氧化铝或者  $\text{SiO}_2$  以对图形的边沿密封,之后,剥离防蚀剂层 240,得到示于图 6M-6N 的构造。在该第 2 平版图形化中确定的一个重要的特点是自由铁磁体层 132 的宽度,即将要暴露在 ABS 上的宽度  $w$ 。这一步骤也确定后面边沿 203,使得自由铁磁体层 132 从 ABS 中伸出去并越过势垒层 120 的前面边沿 210 和后面边沿 212,在后面边沿 212 之外结束。如上所述,在传播中,这有助于使磁通有效地通过由隧道势垒层 120 和固定铁磁体层 118 和 ABS 200 的后面和前面边沿确定的整个有效隧道结区域。

以上的工艺也可以用于向还用作磁通引导装置的自由铁磁体层 132,提供纵向偏置或稳定化就像前边对图 4 所示的偏置铁磁体层 150 所说明的那样。特别是示于图 6K-N 的那些步骤被修改为使得不用淀积氧化铝层 242 和接下来剥离防蚀剂 240,而代之以连续的淀积氧化铝,硬偏置铁磁体材料,和另一层氧化铝,并接着进行剥离。所得到的构造示于图 7,这是读出表面 200 的视图。图 7 示出了在读出表面 200 上暴露前面边沿的读出铁磁体层 132 和第 2 引线 104。此外,还示出了偏置铁磁体层 150 的暴露出来的边沿。在硬偏置铁磁体层 150 和读出铁磁体层 132 之间的区域,用诸如氧化铝之类的绝缘材料形成了第 1 引线 102 (因为它从读出表面 200 凹了进去,故用虚线表示) 和第 2 引线 104。典型的氧化铝的厚度是在 100 到 500 埃的范围之内,硬偏置铁磁体材料通常是具有厚度可调整为提供自由铁磁体层 132 的 1 到 3 倍的磁矩的 Co-Pt 合金。第 1 氧化铝绝缘物覆盖读出铁磁体形状的边沿,第 2 氧化铝绝缘物覆盖硬偏置材料的顶部表面。在剥离之后,最后的图形化步骤被用于去掉不希望的硬偏置铁磁体材料的区域。

引线、自由和固定铁磁体层、隧道氧化物、和反铁磁体层的总的厚度受限于屏蔽 S1 和 S2 之间的总的间隔距离。对于  $5\text{Gbit}/\text{in}^2$  的传感器这一数字范围从 1000 到 2000 埃。在两个屏蔽之间有中心定位于该间隙中的自由铁磁体层 132 是有利的。该层可以用调整引线 104、102 的厚度之比的办法完成。

在引线 104 和自由铁磁体层 132 已经图形化和 MTJ MR 磁头构造实

质上已经完成但却剩下重叠步骤来形成 ABS200 之后，仍然需要把固定铁磁体层 118 的磁化方向（磁矩）调准到合适的方向。如果把 Fe-Mn 用作和固定铁磁体层 118 交换耦合的反铁磁体层 116，则就象已淀积的那样，它就是反铁磁体层。但是其磁化方向必须重新进行调整，使得可以在合适的方向上交换耦合固定铁磁体层 118。该构造被放置在一个退火炉中且温度被升到比 Fe-Mn 的成型温度高的约 180℃。在该温度下，Fe-Mn 层不再和固定铁磁体层 118 发生交换各向异性。铁磁体层 118 的交换各向异性采用在磁场中冷却一对层 116 和 118 的办法形成。固定铁磁体层 118 的磁化方向将沿着外加磁场的方向。因此在退火炉中外加磁场使得固定铁磁体层 118 的磁矩，如图 4 中箭头 119 所示，被固定为沿着所需的方向垂直于 ABS。这是在存在着铁磁体层 118 的情况下，冷却 Fe-Mn，在所需的方向上，用外加磁场磁化后的结果。因此，在低于 Fe-Mn 成型温度的温度下，在存在着来自记录媒体的外加磁场的情况下，固定铁磁体层 118 的磁化方向将基本上不旋转。

作为一个示于图 5 的实施例的可供选择的构造，引线 104 和自由铁磁体层 132 可以首先形成在 G1 衬底上，同时，在制造工艺期间，固定铁磁体层 118，反铁磁体层铁磁体层 116，和引线 102 在 MTJ 的“顶”上。

虽然参考优选实施例详细地示出并说明了本发明，本领域的人员将会明白在形式和细节上可以有各种变化而不会偏离本发明的精神和范围。因此，应当仅仅把所公布的发明看做是说明性的，而仅仅受限于权利要求中所指定的范围。

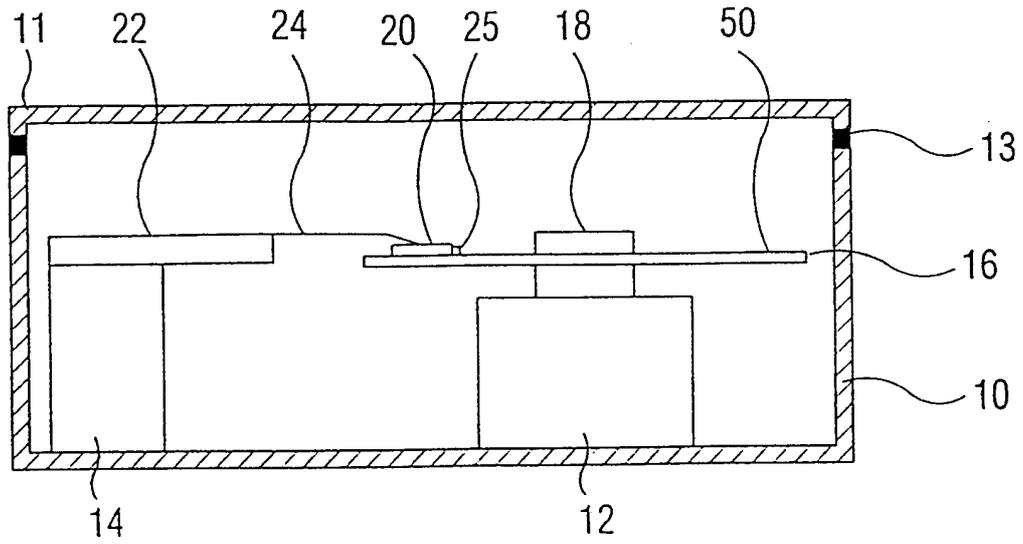


图 1 (现有技术)

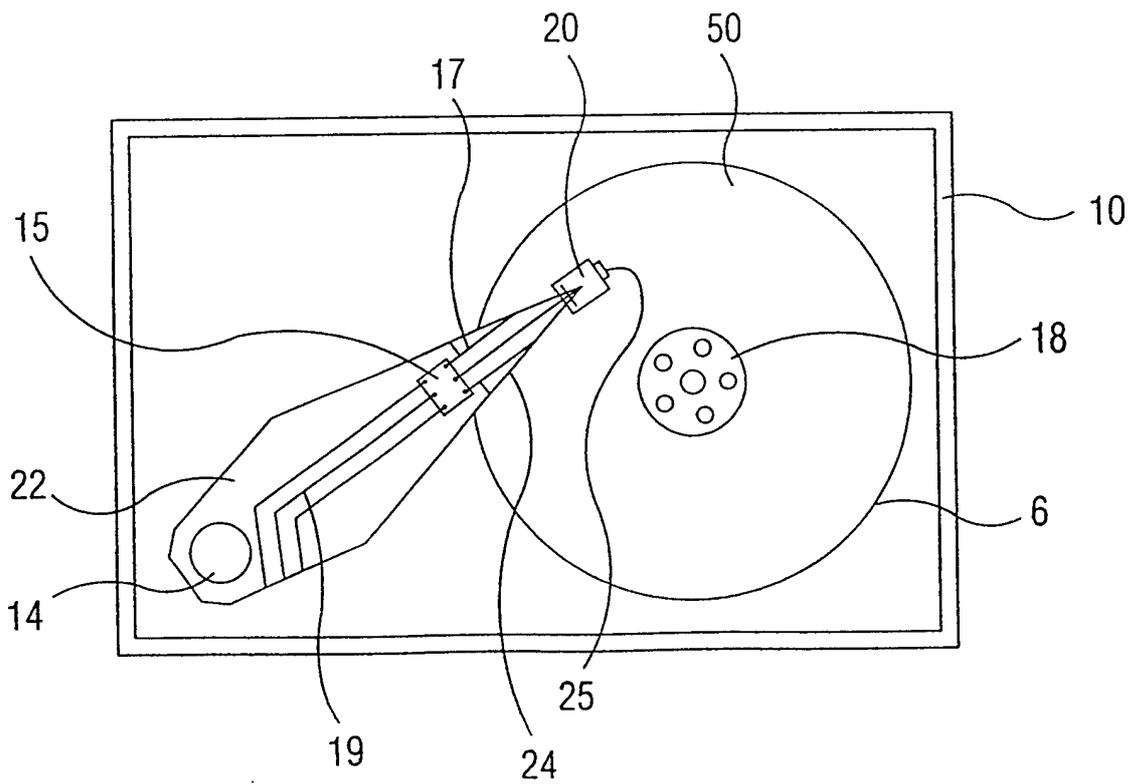


图 2 (现有技术)

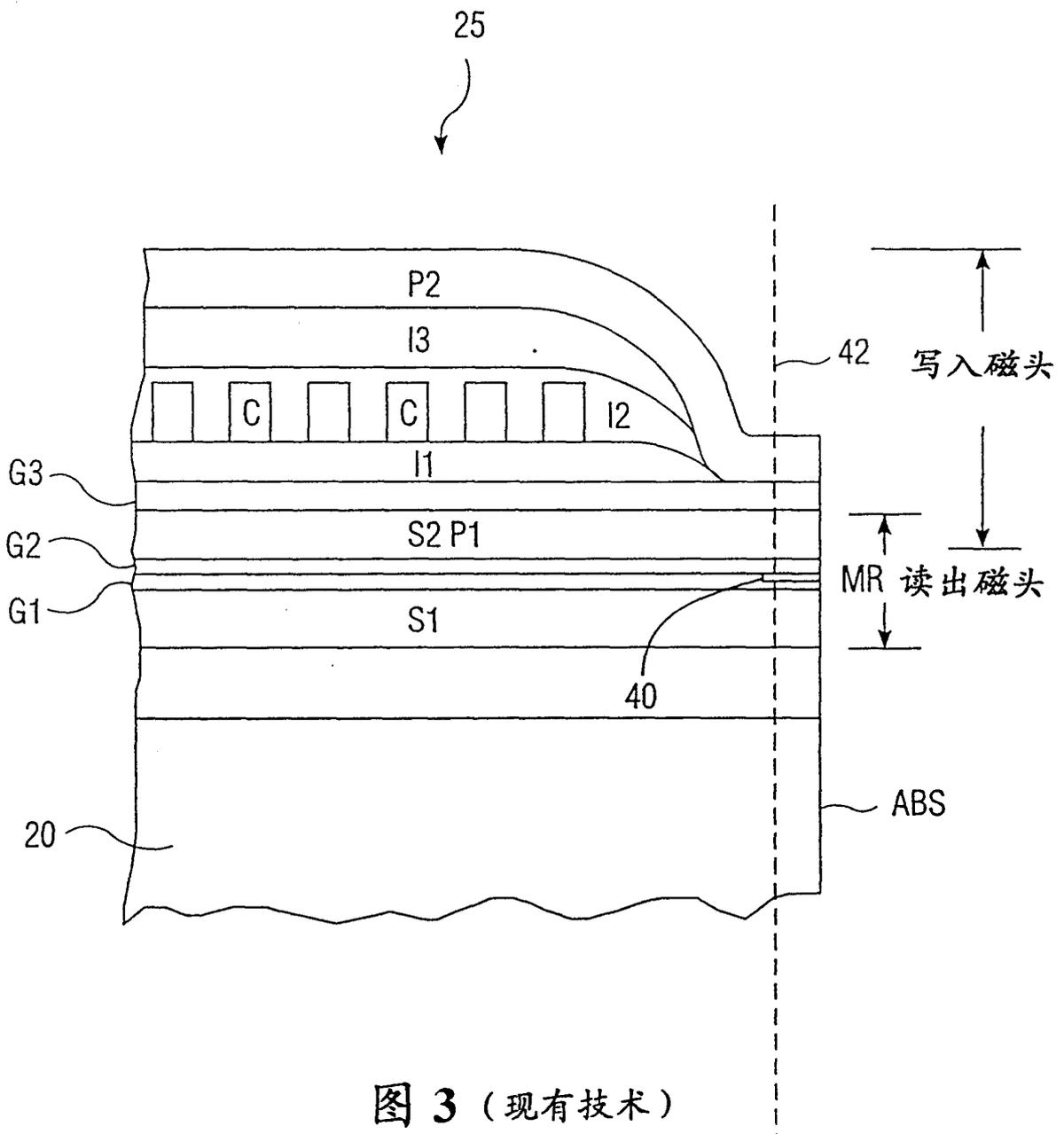


图 3 (现有技术)

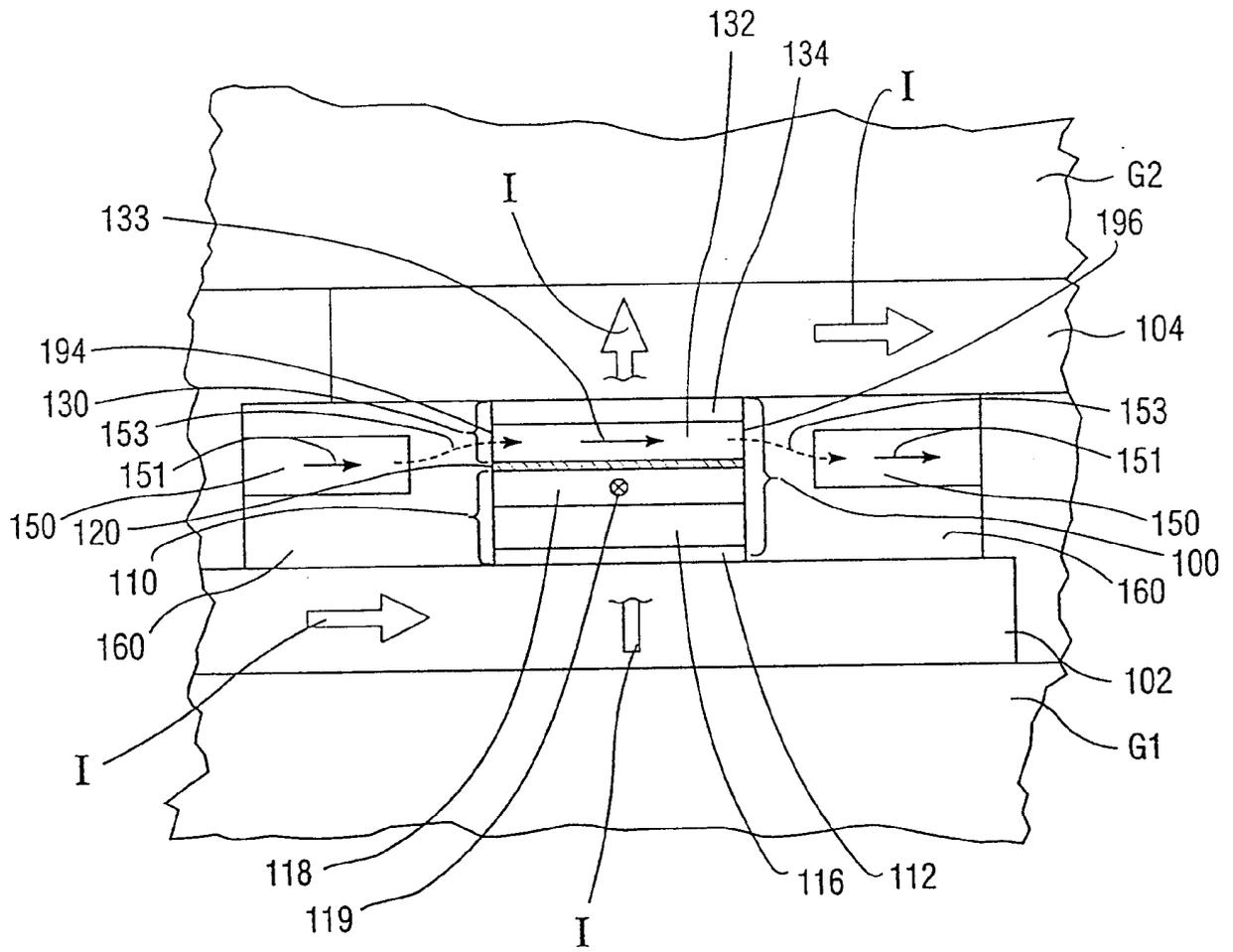


图 4

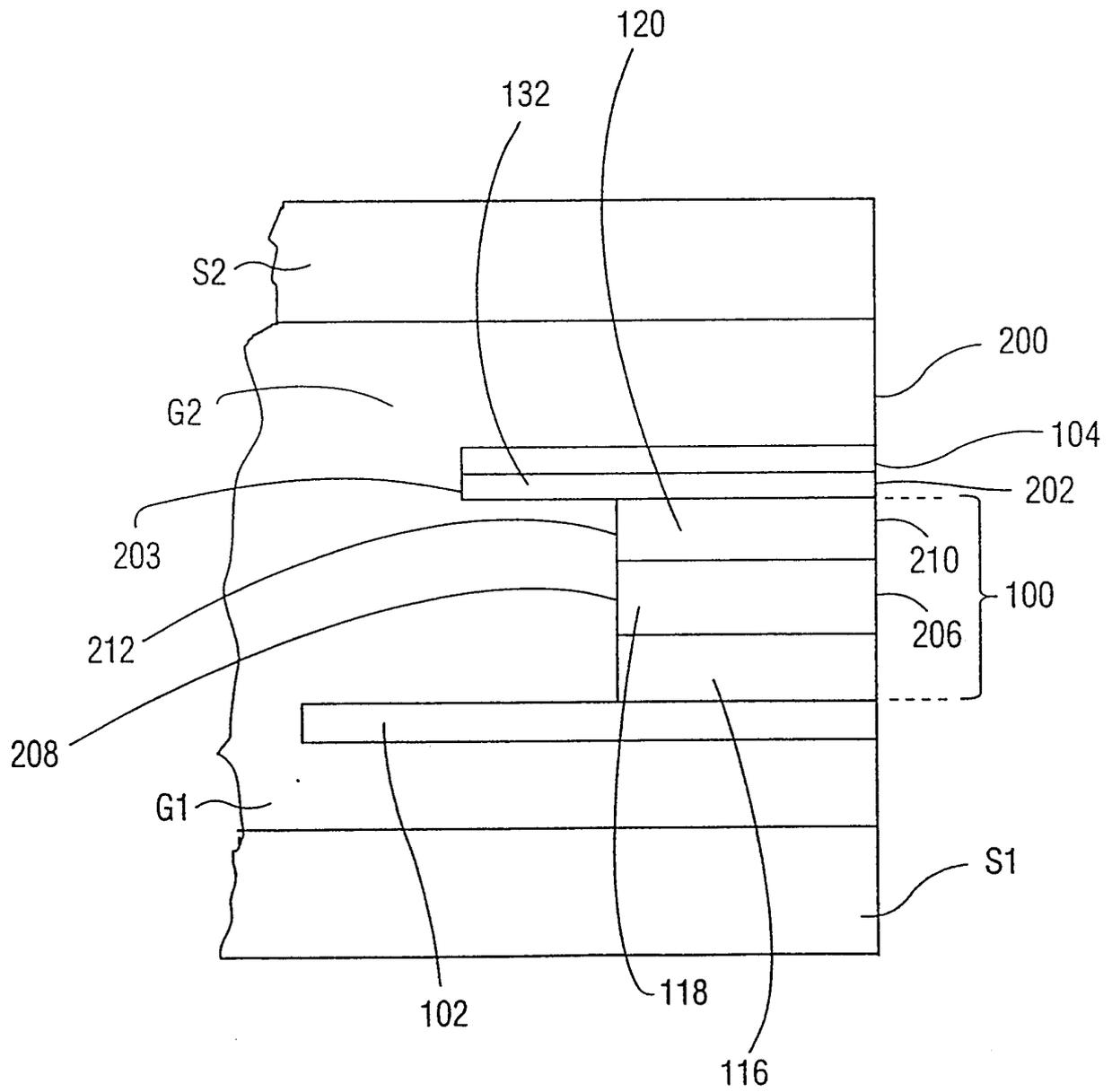


图 5

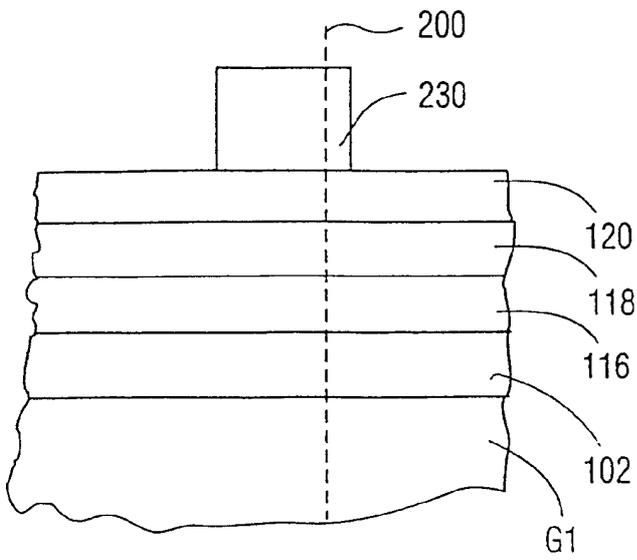


图 6A

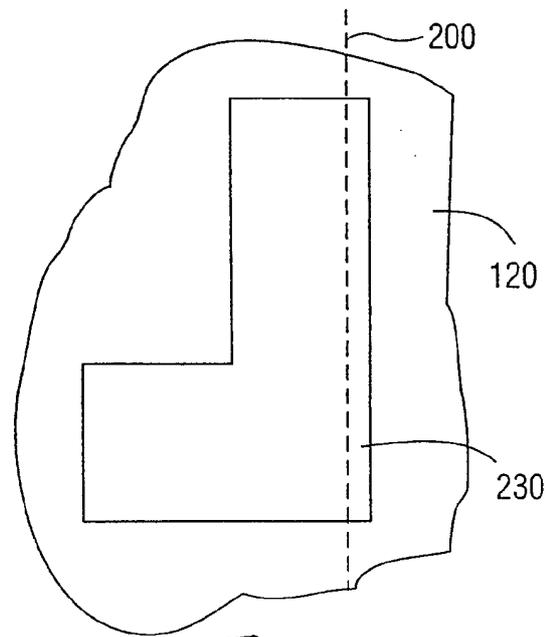


图 6B

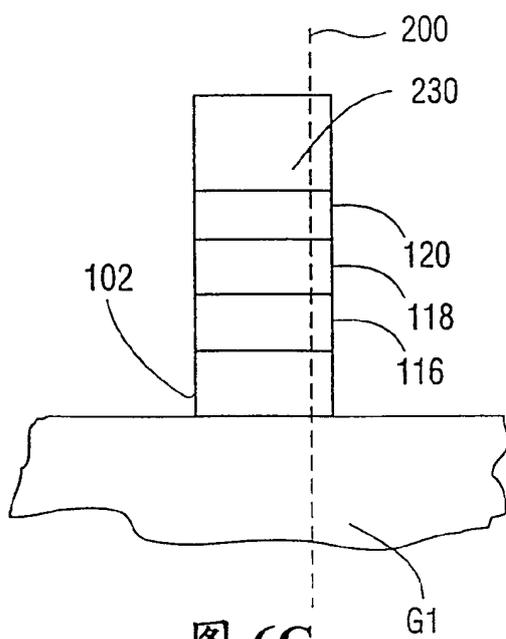


图 6C

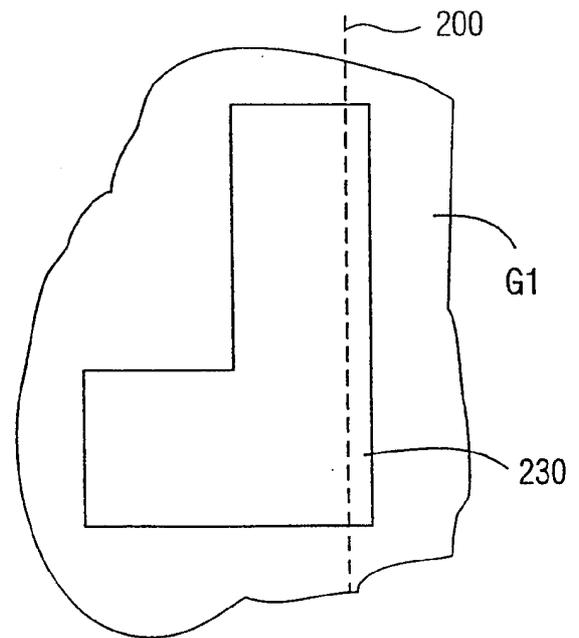


图 6D

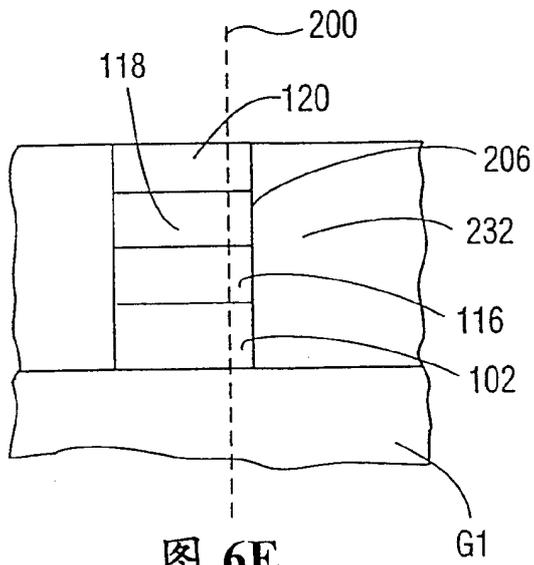


图 6E

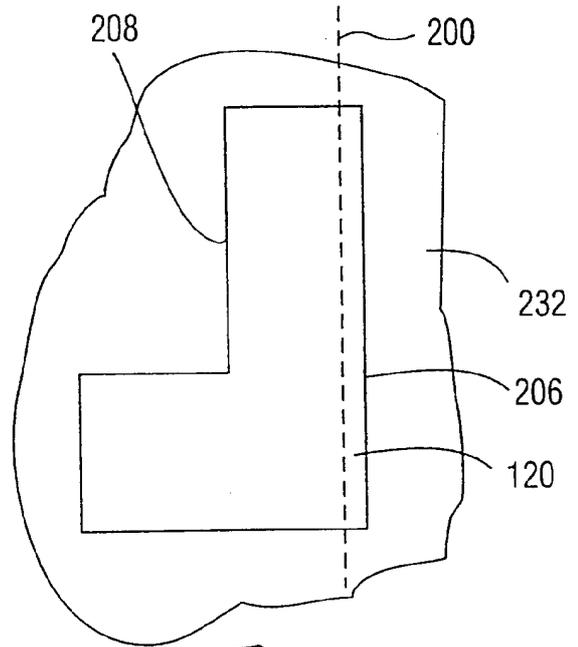


图 6F

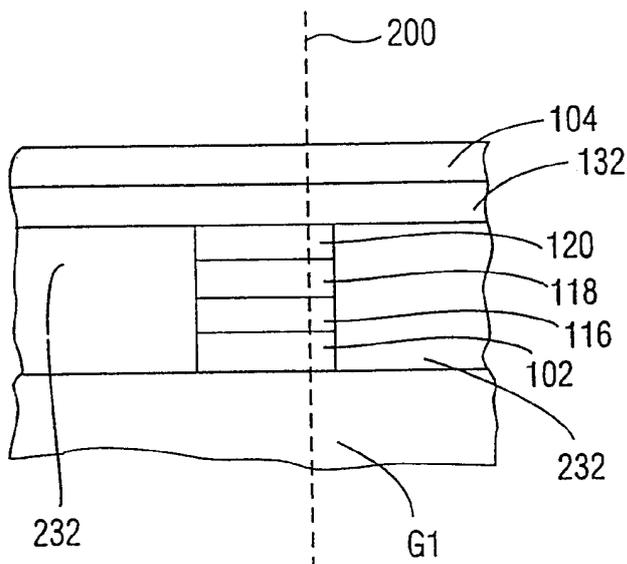


图 6G

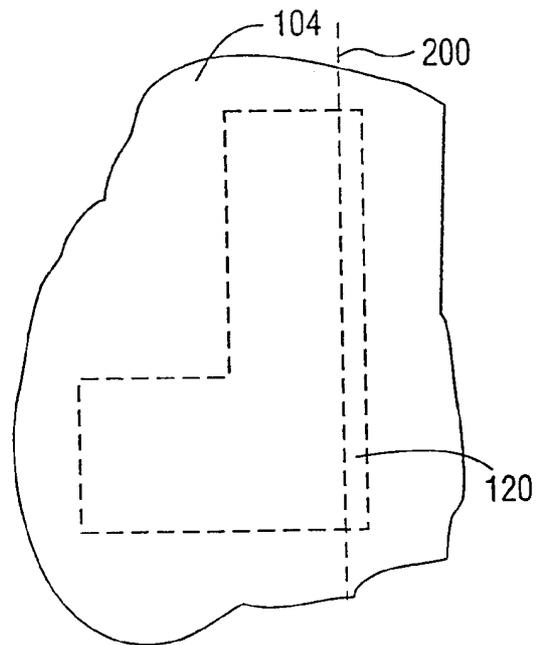


图 6H

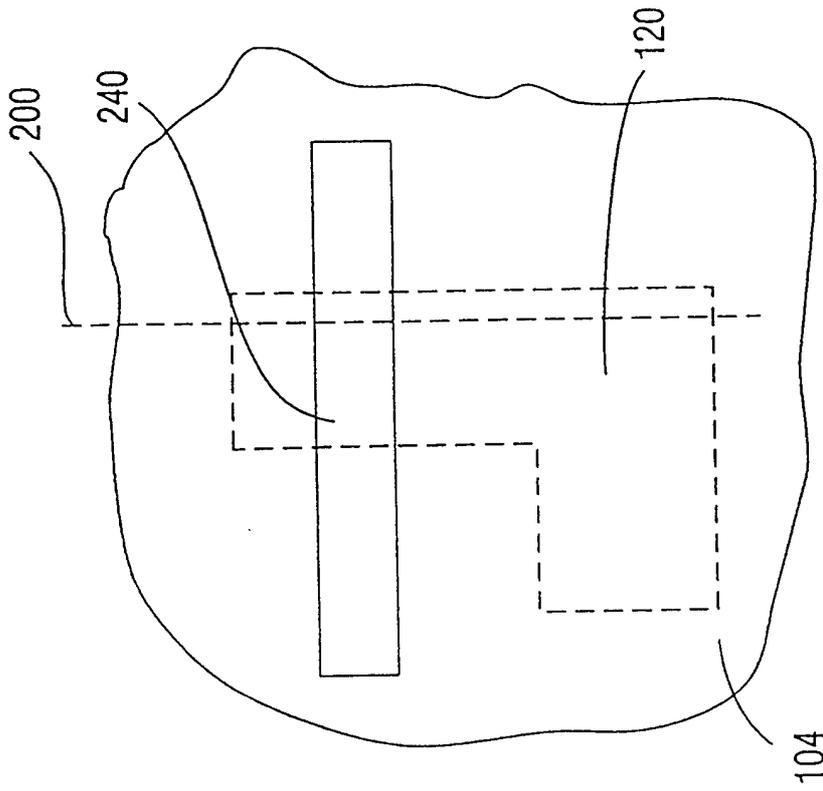


图 6J

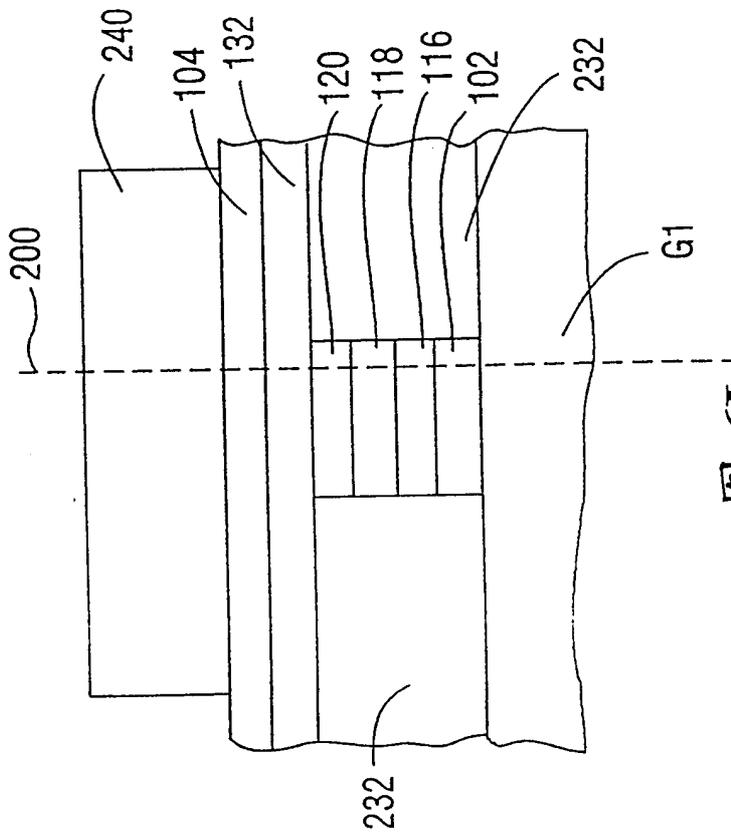


图 6I

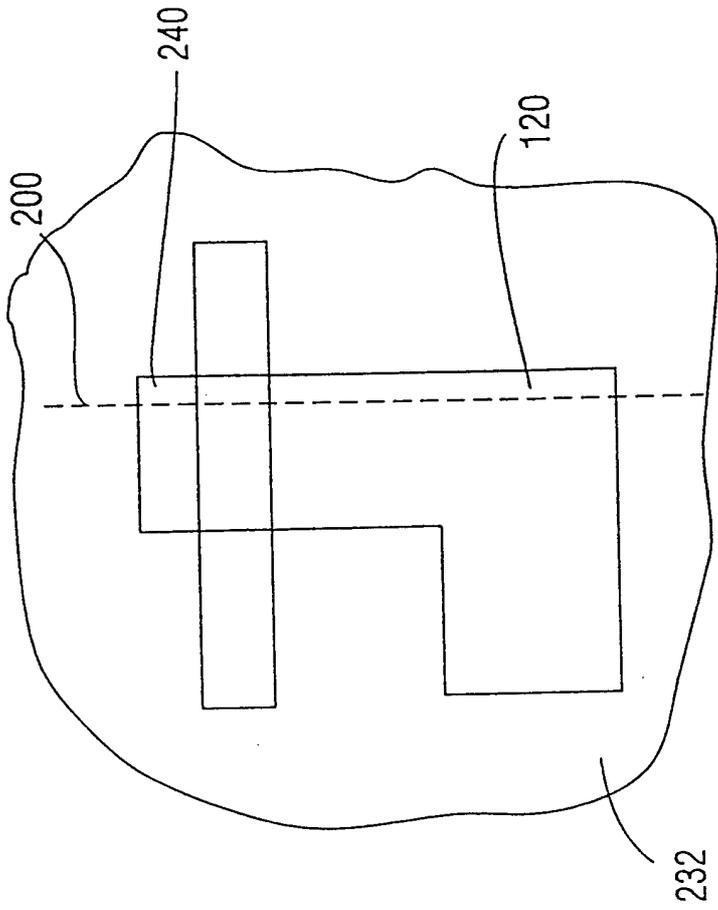


图 6L

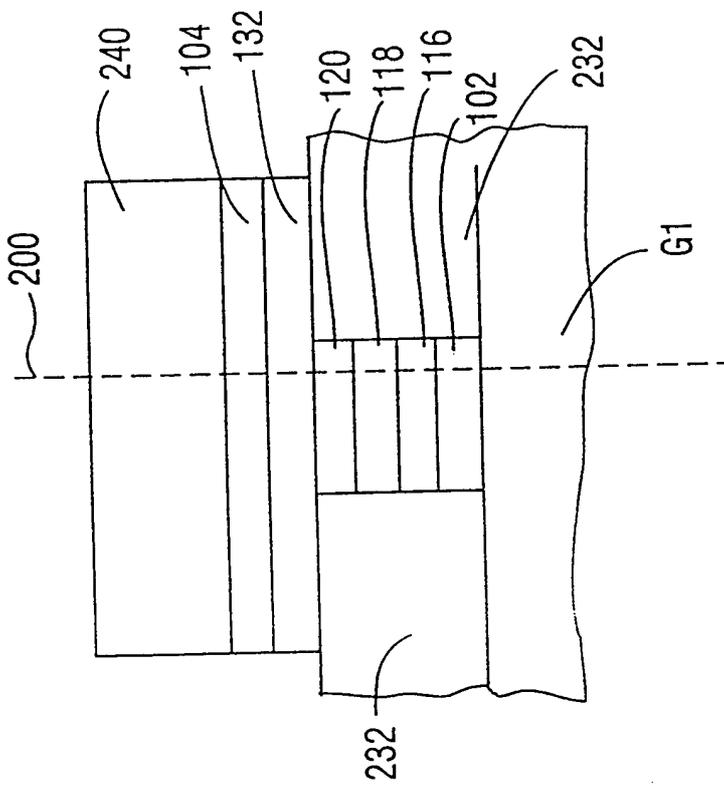


图 6K

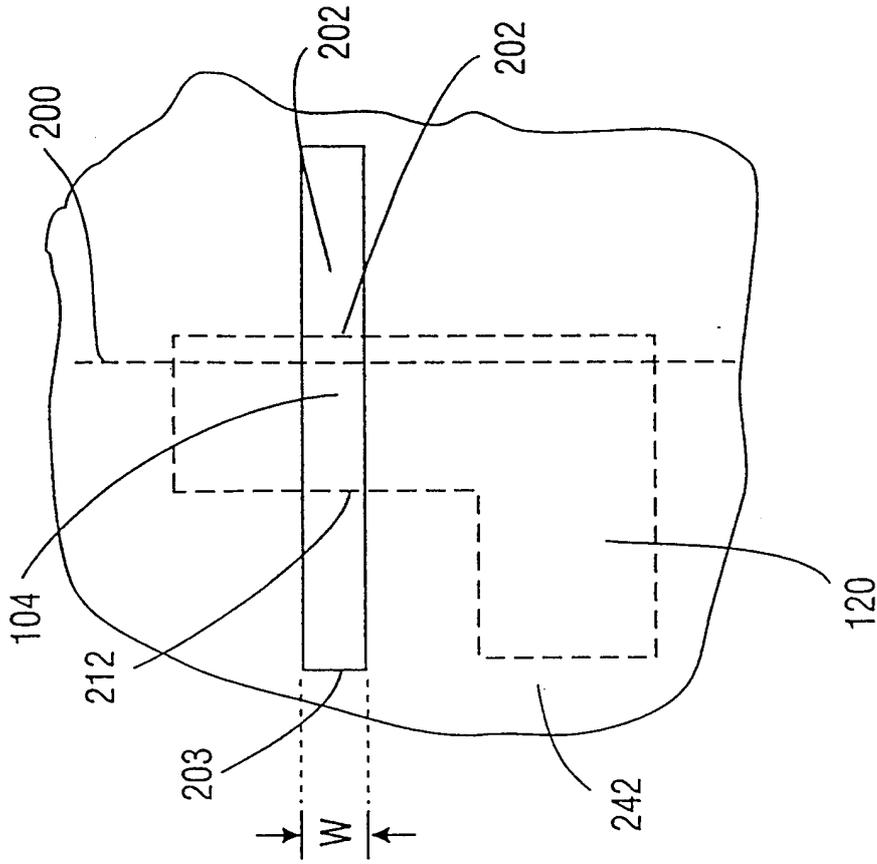


图 6N

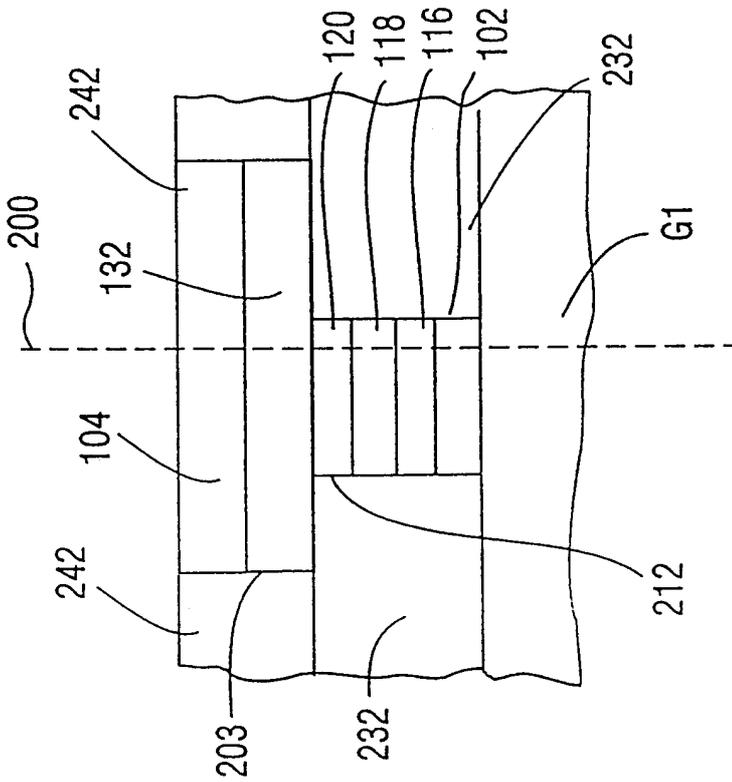


图 6M

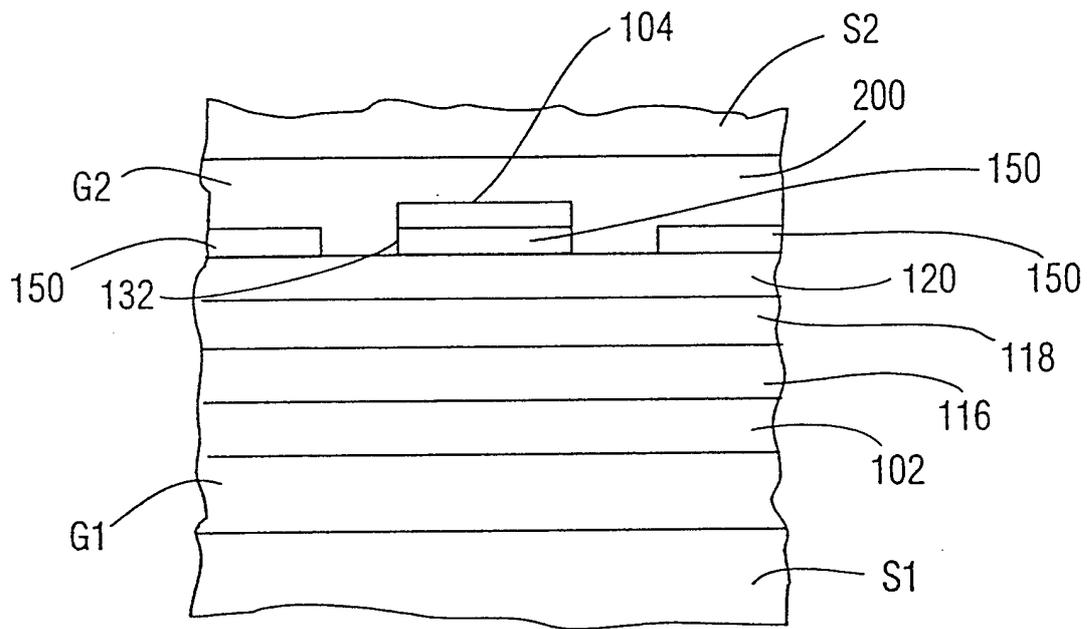


图 7