



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110412118 B

(45) 授权公告日 2024. 04. 26

(21) 申请号 201910817744.5

(22) 申请日 2019.08.30

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110412118 A

(43) 申请公布日 2019.11.05

(73) 专利权人 江苏多维科技有限公司
地址 215634 江苏省苏州市张家港市保税
区广东路7号E栋

(72) 发明人 詹姆斯·G·迪克 周志敏

(74) 专利代理机构 北京品源专利代理有限公司
11332
专利代理师 孟金喆

(51) Int. Cl.

G01N 27/74 (2006.01)

G01R 33/09 (2006.01)

G01R 33/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 102298932 A, 2011.12.28

CN 103558253 A, 2014.02.05

CN 104677952 A, 2015.06.03

CN 109283228 A, 2019.01.29

CN 210572104 U, 2020.05.19

JP 2008111822 A, 2008.05.15

TW I632368 B, 2018.08.11

US 6265222 B1, 2001.07.24

akamaru satoshi et al..Hydrogen sensing ability of Cu particles coated with ferromagnetic Pd-Co layer.

《INTERNATIONAL JOURNAL OF HYDROGEN ENERGY, ELSEVIER, AMSTERDAM》.2017,第42卷(第25期),第16306-16312页.

倪敏 等.新型磁电阻效应实验仪研制及应用.《实验技术与管理》.2012,第29卷(第5期),第76-79页.

审查员 唐仕军

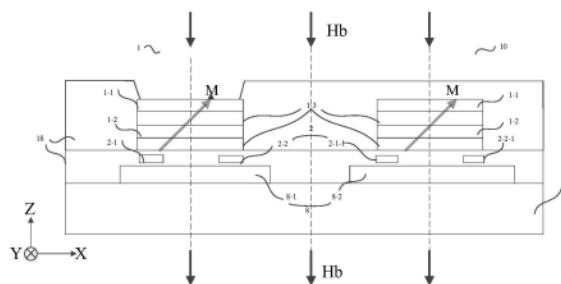
权利要求书3页 说明书15页 附图22页

(54) 发明名称

一种基于电隔离隧道磁阻敏感元件的氢气传感器

(57) 摘要

本发明实施例公开了一种基于电隔离隧道磁阻敏感元件的氢气传感器,包括:位于X-Y平面的衬底,位于衬底上的隧道磁阻传感器以及位于隧道磁阻传感器上的氢敏感层,氢敏感层和隧道磁阻传感器之间相互电隔离,氢敏感层包含[钌金属层/铁磁层] n 的多层薄膜结构,其中, n 为大于或等于1的整数;钌金属层用于吸附空气中的氢气以引起铁磁层的各向异性磁场在X-Z平面内X轴方向的偏转角的变化,隧道磁阻传感器用于感测氢敏感层的磁场信号并根据该磁场信号确定氢气浓度信息。本发明实施例的氢气传感器,保证了测量安全性。



1. 一种基于电隔离隧道磁阻敏感元件的氢气传感器,其特征在于,包括:

位于X-Y平面的衬底,位于所述衬底上的隧道磁阻传感器以及位于所述隧道磁阻传感器上的氢敏感层,所述氢敏感层和所述隧道磁阻传感器之间相互电隔离,所述氢敏感层包含[钯金属层/铁磁层] n 的多层薄膜结构,其中, n 为大于或等于1的整数;

所述钯金属层用于吸附空气中的氢气以引起所述铁磁层的各向异性磁场在X-Z平面内X轴方向的偏转角的变化,所述隧道磁阻传感器用于感测所述氢敏感层的磁场信号并根据该磁场信号确定氢气浓度信息。

2. 根据权利要求1所述的氢气传感器,其特征在于,还包括:非氢敏感层,所述非氢敏感层位于所述隧道磁阻传感器上,所述氢敏感层、所述非氢敏感层和所述隧道磁阻传感器之间相互电隔离;

所述非氢敏感层为[非钯金属层/铁磁层] n 的多层薄膜结构,或者,所述非氢敏感层包括[钯金属层/铁磁层] n 的多层薄膜结构以及覆盖该多层薄膜结构的钝化层。

3. 根据权利要求2所述的氢气传感器,其特征在于,所述隧道磁阻传感器为参考桥式传感器,所述隧道磁阻传感器包括敏感桥臂和参考桥臂,所述敏感桥臂包括敏感磁电阻传感单元串,所述参考桥臂包括参考磁电阻传感单元串,所述敏感磁电阻传感单元串和所述参考磁电阻传感单元串的磁场敏感方向同为X轴方向;

所述氢敏感层和所述非氢敏感层均为长条形形状,该长条形的长轴为Y轴方向,该长条形的短轴为X轴方向;

在X-Y平面,所述敏感磁电阻传感单元串的正投影位于所述氢敏感层的长条形内的Y轴中心线上,和/或,所述敏感磁电阻传感单元串的正投影位于所述氢敏感层的长条形内的Y轴中心线的两侧的相同位置;在X-Y平面,所述参考磁电阻传感单元串的正投影位于所述非氢敏感层的长条形内的Y轴中心线上,和/或,所述参考磁电阻传感单元串的正投影位于所述非氢敏感层的长条形内的Y轴中心线的两侧的相同位置;其中,所述敏感磁电阻传感单元串和所述参考磁电阻传感单元串的设置方式相同;

所述氢敏感层和所述敏感桥臂磁耦合并与所述参考桥臂磁隔离,所述非氢敏感层与所述敏感桥臂磁隔离并与所述参考桥臂磁耦合。

4. 根据权利要求1所述的氢气传感器,其特征在于,所述氢敏感层包括:同层电隔离设置的推氢敏感层和挽氢敏感层,所述推氢敏感层在没有外加磁场时具有正X轴方向的磁矩,所述挽氢敏感层在没有外加磁场时具有负X轴方向的磁矩;

所述推氢敏感层的正X轴方向磁矩和所述挽氢敏感层的负X轴方向磁矩的写入方法包括:激光热磁写入、写磁头写入、写入线圈写入和永磁块写入中的任意一种写入方式;

所述写入线圈位于所述衬底和所述氢敏感层之间,其中,所述写入线圈包括沿所述推氢敏感层的Y轴中心线方向且具有正Y轴电流方向的第一写入导线和沿所述挽氢敏感层的Y轴中心线方向且具有负Y轴电流方向的第二写入导线;

所述永磁块具有条形形状以及所述永磁块位于所述衬底的背离所述氢敏感层的一侧表面,所述永磁块具有Z轴方向的磁化方向,所述推氢敏感层和所述挽氢敏感层分别位于所述永磁块的Z轴中心线两侧区域且该两侧区域具有对称相反的X轴方向磁场分量。

5. 根据权利要求4所述的氢气传感器,其特征在于,还包括:位于所述氢敏感层上的磁屏蔽层,所述磁屏蔽层包括至少一个通孔,所述推氢敏感层的钯金属层和所述挽氢敏感层

的钯金属层通过所述至少一个通孔与空气直接接触。

6. 根据权利要求4所述的氢气传感器,其特征在于,所述隧道磁阻传感器为推挽桥式传感器,所述隧道磁阻传感器包括推臂和挽臂,所述推臂包括推磁电阻传感单元串,所述挽臂包括挽磁电阻传感单元串,所述推磁电阻传感单元串和所述挽磁电阻传感单元串的磁场敏感方向同为X轴方向;

所述推氢敏感层和所述挽氢敏感层均为长条形形状,该长条形的长轴为Y轴方向,该长条形的短轴为X轴方向;

在X-Y平面,所述推磁电阻传感单元串的正投影位于所述推氢敏感层的长条形内的Y轴中心线上,和/或,所述推磁电阻传感单元串的正投影位于所述推氢敏感层的长条形内的Y轴中心线的两侧的相同位置;在X-Y平面,所述挽磁电阻传感单元串的正投影位于所述挽氢敏感层的长条形内的Y轴中心线上,和/或,所述挽磁电阻传感单元串的正投影位于所述挽氢敏感层的长条形内的Y轴中心线的两侧的相同位置;其中,所述推磁电阻传感单元串与所述挽磁电阻传感单元串的设置方式相同;

所述推氢敏感层和所述推臂磁耦合并与所述挽臂磁隔离,所述挽氢敏感层与所述挽臂磁耦合并与所述推臂磁隔离。

7. 根据权利要求2所述的氢气传感器,其特征在于,还包括:偏置线圈,所述偏置线圈所在膜层位于所述衬底和所述氢敏感层之间,并且所述偏置线圈位于所述隧道磁阻传感器的正上方或者正下方,所述偏置线圈为螺旋线圈;

对于X轴方向或Y轴方向偏置磁场,所述偏置线圈所在平面包含第一偏置区和第二偏置区,所述第一偏置区和所述第二偏置区分别设置平行排列的且具有相同电流方向的N个直线段,其中N为大于等于1的整数,所述第一偏置区和所述第二偏置区的直线段的电流同向或者反向,所述氢敏感层均匀分布于所述第一偏置区,所述非氢敏感层均匀分布于所述第二偏置区;

对于Z轴方向偏置磁场,所述偏置线圈所在平面包含中心偏置区,所述中心偏置区设置数量相同且对称设置以及电流方向对称相反的2M个直线段,其中M为大于等于1的整数,所述氢敏感层和所述非氢敏感层设置于所述中心偏置区并对称设置,与所述氢敏感层对应设置的直线段的电流方向对称相反,与所述非氢敏感层对应设置的直线段的电流方向对称相反,且电流方向都垂直于Y轴中心线。

8. 根据权利要求2所述的氢气传感器,其特征在于,还包括:永磁偏置层;

对于X轴方向或Y轴方向偏置磁场,所述永磁偏置层包括至少两个平行排列的永磁条,所述永磁条位于所述氢敏感层的两侧和所述非氢敏感层的两侧,相邻所述永磁条之间产生X轴方向偏置磁场或者Y轴方向偏置磁场;

对于Z轴方向偏置磁场,所述永磁偏置层包括一个永磁条,所述永磁条位于所述衬底下方位置,所述氢敏感层和所述非氢敏感层分别位于所述永磁条的具有相同Z轴方向磁场分量的两个区域内,所述氢敏感层和所述非氢敏感层分别位于所述永磁条的具有对称相反Y轴方向磁场分量的两个区域内。

9. 根据权利要求4所述的氢气传感器,其特征在于,还包括:偏置线圈,所述偏置线圈所在膜层位于所述衬底和所述氢敏感层之间,并且所述偏置线圈位于所述隧道磁阻传感器的正上方或者正下方,所述偏置线圈为螺旋线圈;

对于Y轴方向偏置磁场,所述偏置线圈所在平面包含第三偏置区和第四偏置区,所述第三偏置区和所述第四偏置区分别设置平行排列的且具有相同电流方向的P个直线段,其中P为大于等于1的整数,所述第三偏置区和所述第四偏置区的直线段的电流同向或者反向,所述推氢敏感层均匀分布于所述第三偏置区,所述挽氢敏感层均匀分布于所述第四偏置区;

对于Z轴方向偏置磁场,所述偏置线圈所在平面包含中心偏置区,所述中心偏置区设置数量相同且对称设置以及电流方向对称相反的2Q个直线段,其中Q为大于等于1的整数,所述推氢敏感层和所述挽氢敏感层设置于所述中心偏置区并对称设置,与所述推氢敏感层对应设置的直线段的电流方向对称相反,与所述挽氢敏感层对应设置的直线段的电流方向对称相反,且电流方向都垂直于Y轴中心线。

10. 根据权利要求4所述的氢气传感器,其特征在于,还包括:永磁偏置层;

对于Y轴方向偏置磁场,所述永磁偏置层包括至少两个平行排列的永磁条,所述永磁条位于所述推氢敏感层的两侧和所述挽氢敏感层的两侧,相邻所述永磁条之间产生Y轴方向偏置磁场;

对于Z轴方向偏置磁场,所述永磁偏置层包括一个永磁条,所述永磁条位于所述衬底下位置,所述推氢敏感层和所述挽氢敏感层分别位于所述永磁条的具有相同Z轴方向磁场分量的两个区域内,所述推氢敏感层和所述挽氢敏感层分别位于所述永磁条的具有对称相反Y轴方向磁场分量的两个区域内。

11. 根据权利要求2或4所述的氢气传感器,其特征在于,还包括:微带,所述微带为单带或双带结构,所述微带位于所述衬底和所述隧道磁阻传感器之间,所述微带的两端连接微波端口并与微波激励电源相连以使偏置磁场为Z轴方向或者为Y轴方向。

12. 根据权利要求11所述的氢气传感器,其特征在于,所述隧道磁阻传感器为参考桥式传感器时,所述微带为平行或者垂直于Y轴中心线方向;

所述隧道磁阻传感器为推挽桥式传感器时,所述微带垂直于Y轴中心线方向。

13. 根据权利要求1所述的氢气传感器,其特征在于,所述氢敏感层还包括:种子层和隔离层,所述隔离层位于所述种子层和[钽金属层/铁磁层]n的多层薄膜结构之间,所述铁磁层的磁化强度偏转角在 $10^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 范围内变化。

一种基于电隔离隧道磁阻敏感元件的氢气传感器

技术领域

[0001] 本发明涉及气体传感器技术领域,特别涉及一种基于电隔离隧道磁阻敏感元件的氢气传感器。

背景技术

[0002] 氢气作为替代化石能源的一种可再生、无有害排放的新能源,近年来在全球范围内吸引了越来越多的目光,并得到了快速发展。目前,世界主要经济体,如美国、欧盟、日本等都在不遗余力地推进氢气作为未来车辆与家用的新能源与新燃料。

[0003] 氢气不能被人体感官所感知,但其本身却是高度可燃和易爆的,氢气在空气中的可燃性阈值在4%左右。为了保证使用氢气作为能源的设备的安全,需要可靠的、高灵敏度的氢气传感器对氢气浓度进行检测。

[0004] 传统的氢气传感器种类繁多。如基于表面等离子体共振的光学传感器,通过光谱仪监测金属纳米棒阵列表面反射光光谱的表面等离子体共振峰的峰位及强度变化,实现了对环境中氢气的实时传感。如电阻型薄膜氢气传感器,利用金属钯吸收氢气这一性质,通过检测金属钯电阻值的变化即可达到探测氢气浓度的目的。

[0005] 然而,现有氢气传感器在实际工作时,敏感单元中均需要通过电流,如果空气中氢气的浓度到达爆炸极限,敏感单元中的电路有可能点燃氢气并引起爆炸。

发明内容

[0006] 为了解决上述技术中的不足,本发明实施例提出了一种基于电隔离隧道磁阻敏感元件的氢气传感器,包括:

[0007] 位于X-Y平面的衬底,位于所述衬底上的隧道磁阻传感器以及位于所述隧道磁阻传感器上的氢敏感层,所述氢敏感层和所述隧道磁阻传感器之间相互电隔离,所述氢敏感层包含[钯金属层/铁磁层] n 的多层薄膜结构,其中, n 为大于或等于1的整数;

[0008] 所述钯金属层用于吸附空气中的氢气以引起所述铁磁层的各向异性磁场在X-Z平面内X轴方向的偏转角的变化,所述隧道磁阻传感器用于感测所述氢敏感层的磁场信号并根据该磁场信号确定氢气浓度信息。

[0009] 本发明实施例中,氢敏感层和隧道磁阻传感器之间采用电隔离,氢敏感层吸收氢气并产生相应的偏转角度变化,隧道磁阻传感器获取磁场信号并以此实现对氢气浓度的检测。本发明实施例中,氢敏感层中不通过电流和电压,因此即使空气中氢气的浓度到达爆炸极限,氢敏感层也不会引起爆炸;氢敏感层和隧道磁阻传感器之间实现了电隔离,隧道磁阻传感器中的电流或电压不会通过氢敏感层与空气中的氢气发生反应,隧道磁阻传感器也不可能点燃氢气引起爆炸。与现有技术相比,保证了测试安全性。

附图说明

[0010] 图1是本发明实施例提供的一种氢气传感器的示意图;

- [0011] 图2是本发明实施例提供的氢敏感层的各向异性磁场偏角角度示意图；
- [0012] 图3是本发明实施例提供的非氢敏感层和参考磁电阻传感单元串的位置关系示意图；
- [0013] 图4是本发明实施例提供的氢敏感层和敏感磁电阻传感单元串的位置关系示意图；
- [0014] 图5是本发明实施例提供的一种氢气传感器的示意图；
- [0015] 图6是本发明实施例提供的氢敏感层和敏感磁电阻传感单元串的俯视图；
- [0016] 图7是本发明实施例提供的隧道磁阻传感器的参考半桥桥式结构图；
- [0017] 图8是本发明实施例提供的隧道磁阻传感器的参考全桥桥式结构图；
- [0018] 图9是本发明实施例提供的氢敏感层和非氢敏感层及其隧道磁阻传感器的第二结构示意图；
- [0019] 图10是本发明实施例提供的一种氢气传感器的示意图；
- [0020] 图11是本发明实施例提供的一种氢气传感器的示意图；
- [0021] 图12是本发明实施例提供的一种氢敏感层的示意图；
- [0022] 图13是本发明实施例中氢敏感层在隧道磁阻传感器位置处静磁场随磁矩X轴的偏转角度关系的线性转换图；
- [0023] 图14是本发明实施例中螺旋线圈及隧道磁阻传感器的分布示意图；
- [0024] 图15是本发明实施例中螺旋线圈及敏感磁电阻传感单元串的分布示意图；
- [0025] 图16是本发明实施例中螺旋线圈及参考磁电阻传感单元串的分布示意图；
- [0026] 图17是本发明实施例中Y轴方向偏置的螺旋线圈在隧道磁阻传感器中的偏置磁场分布图；
- [0027] 图18是本发明实施例中螺旋线圈及隧道磁阻传感器的分布示意图；
- [0028] 图19是本发明实施例中螺旋线圈及隧道磁阻传感器的分布示意图；
- [0029] 图20是本发明实施例中螺旋线圈及隧道磁阻传感器的分布示意图；
- [0030] 图21是本发明实施例中螺旋线圈及参考桥式隧道磁阻传感器的示意图；
- [0031] 图22是本发明实施例中静磁场参考磁电阻传感单元电桥氢气测量示意图；
- [0032] 图23是本发明实施例中偏置线圈参考磁电阻传感单元电桥氢气测量图；
- [0033] 图24a是本发明实施例中X轴方向偏置磁场的磁矩偏转图；
- [0034] 图24b是本发明实施例中X轴方向偏置磁场的永磁条的分布示意图；
- [0035] 图25a是本发明实施例中Y轴方向偏置磁场的磁矩偏转图；
- [0036] 图25b是本发明实施例中Y轴方向偏置磁场的永磁条的分布示意图；
- [0037] 图26a是本发明实施例中Z轴方向磁场偏置的磁矩偏转图；
- [0038] 图26b是本发明实施例中Z轴方向磁场偏置的永磁条的分布示意图；
- [0039] 图27a是本发明实施例中包含铁磁共振微带的参考磁电阻传感单元电桥结构的正视图；
- [0040] 图27b是本发明实施例中Y轴方向微波激励磁场俯视图；
- [0041] 图27c是本发明实施例中X轴方向微波激励磁场俯视图；
- [0042] 图28是本发明实施例铁磁共振方法参考磁电阻传感单元电桥氢气测量图；
- [0043] 图29是本发明实施例中磁导率随偏置磁场的变化图；

- [0044] 图30是本发明实施例中氢敏感层和推挽式隧道磁阻传感器的结构图；
- [0045] 图31a是本发明实施例提供的推挽式隧道磁阻传感器的半桥桥式结构图；
- [0046] 图31b是本发明实施例提供的推挽式隧道磁阻传感器的全桥桥式结构图；
- [0047] 图32a是本发明实施例中推氢敏感层磁矩的写入示意图；
- [0048] 图32b是本发明实施例中挽氢敏感层磁矩的写入示意图；
- [0049] 图33a是本发明实施例中推氢敏感层磁矩的写入示意图；
- [0050] 图33b是本发明实施例中挽氢敏感层磁矩的写入示意图；
- [0051] 图34a是本发明实施例中推氢敏感层磁矩的写入示意图；
- [0052] 图34b是本发明实施例中挽氢敏感层磁矩的写入示意图；
- [0053] 图35是本发明实施例中推氢敏感层磁矩和挽氢敏感层磁矩的写入示意图；
- [0054] 图36是本发明实施例带磁屏蔽层的氢敏感层和隧道磁阻传感器的结构图；
- [0055] 图37是本发明实施例中Y轴方向偏置的螺旋线圈及推挽式隧道磁阻传感器的分布图；
- [0056] 图38是本发明实施例中Y轴方向偏置的螺旋线圈及推挽式隧道磁阻传感器的分布图；
- [0057] 图39是本发明实施例中Z轴方向偏置的螺旋线圈及推挽式隧道磁阻传感器的分布图；
- [0058] 图40a是本发明实施例中Y轴方向偏置磁场的磁矩偏转图；
- [0059] 图40b是本发明实施例中Y轴方向磁场偏置的永磁条分布图；
- [0060] 图41是本发明实施例中Z轴方向永磁条的磁场分布图；
- [0061] 图42是本发明实施例中静磁场推挽磁电阻传感单元电桥氢气测量示意图；
- [0062] 图43是本发明实施例中激发线圈推挽磁电阻传感单元电桥氢气测量图；
- [0063] 图44a是本发明实施例中包含铁磁共振微带的推挽磁电阻传感单元电桥结构的正视图；
- [0064] 图44b是本发明实施例中Y轴向微波激励磁场俯视图；
- [0065] 图45是本发明实施例铁磁共振方法推挽磁电阻传感单元电桥氢气测量图；
- [0066] 图46是本发明实施例中隧道磁阻传感器的输出及氢气的线性关系图。

具体实施方式

[0067] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,以下将参照本发明实施例中的附图,通过实施方式清楚、完整地描述本发明的技术方案,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0068] 参考图1所示,为本发明实施例提供的一种基于电隔离隧道磁阻敏感元件的氢气传感器的示意图。本实施例提供的氢气传感器包括位于X-Y平面的衬底9,位于衬底9上的隧道磁阻传感器2以及位于隧道磁阻传感器2上的氢敏感层1,氢敏感层1和隧道磁阻传感器2之间相互电隔离,氢敏感层1包含[钯金属层/铁磁层] n 的多层薄膜结构,其中, n 为大于或等于1的整数;钯金属层用于吸附空气中的氢气以引起铁磁层的各向异性磁场在X-Z平面内X轴方向的偏转角的变化,隧道磁阻传感器2用于感测氢敏感层1的磁场信号并根据该磁场信

号确定氢气浓度信息。

[0069] 本实施例中,以两两垂直的X轴、Y轴和Z轴建立的XYZ空间坐标系为依据,与X轴和Y轴所构成的平面平行的平面即为X-Y平面,与X轴和Z轴所构成的平面平行的平面即为X-Z平面,与Z轴和Y轴所构成的平面平行的平面即为Y-Z平面。

[0070] 本实施例中,氢气传感器包括衬底9、隧道磁阻传感器2和氢敏感层1。氢敏感层1和隧道磁阻传感器2之间相互电隔离,可以理解,氢敏感层1和隧道磁阻传感器2之间设置有电隔离层18。电隔离层18位于氢敏感层1和隧道磁阻传感器2之间,从而实现氢气环境和电源环境的隔离,避免发生不必要的爆炸。

[0071] 本实施例中,氢敏感层1包含[钽金属层/铁磁层] n 的多层薄膜结构,其中 n 为大于等于1的正整数,例如,可选 $n=2$,则氢敏感层1包含4层薄膜结构且第一层和第三层均为铁磁层以及第二层和第四层均为钽金属层。钽金属层用于吸附氢气,因此氢敏感层1的多层薄膜结构中其中一层钽金属层为帽层以直接与空气接触并吸附氢气,剩余钽金属层均为中间层且不与空气直接接触,将作为帽层的钽金属层标记为1-1,将作为中间层的钽金属层标记为1-2,铁磁层标记为1-3,后续所述的吸附氢气的钽金属层包括1-1和1-2。铁磁层具有各向异性磁场,钽金属层吸附氢气会引起铁磁层各向异性磁场在X-Z平面内X轴方向偏转角的变化。

[0072] 本实施例中,隧道磁阻传感器2可以感受到氢敏感层1的磁场变化,根据氢敏感层1的磁场变换最终实现对氢气浓度测量。具体的,如图2所示在氢气作用下,铁磁层的磁矩 M 在X-Z平面内发生偏转,其X-Z平面内X轴方向的偏转角度标记为 Ω 。由于铁磁层为纳米厚度,可以看成是单畴结构,因此氢敏感层1可以看成具有磁矩 M 的磁体,在周围空间产生静磁场分布。氢敏感层1的底部设置有隧道磁阻传感器2,能够感测到氢敏感层1的磁场信号以实现静磁场的测试,则根据磁场信号可推导出磁矩 M 的偏转角度,进而根据磁矩 M 的偏转角度与氢气浓度的对应关系最终测量出氢气浓度。

[0073] 本实施例中,氢敏感层和隧道磁阻传感器之间采用电隔离,氢敏感层吸收氢气并产生相应的偏转角度变化,隧道磁阻传感器获取磁场信号并以此实现对氢气浓度的检测。本实施例中,氢敏感层中不通过电流和电压,因此即使空气中氢气的浓度到达爆炸极限,与空气接触的氢敏感层也不会引起爆炸;氢敏感层和隧道磁阻传感器之间实现了电隔离,隧道磁阻传感器中的电流或电压不会通过氢敏感层与空气中的氢气发生反应,因此隧道磁阻传感器也不可能点燃氢气引起爆炸。与现有技术相比,保证了测试安全性。

[0074] 示例性的,在上述技术方案的基础上,可选氢气传感器还包括:非氢敏感层10,非氢敏感层10位于隧道磁阻传感器2上,氢敏感层1、非氢敏感层10和隧道磁阻传感器2之间相互电隔离;非氢敏感层10为[非钽金属层/铁磁层] n 的多层薄膜结构,或者,非氢敏感层10包括[钽金属层/铁磁层] n 的多层薄膜结构以及覆盖该多层薄膜结构的钝化层。

[0075] 本实施例中,电隔离层18位于氢敏感层1、非氢敏感层10和隧道磁阻传感器2之间,从而实现氢气环境和隧道磁阻传感器的电源环境之间的隔离,避免发生不必要的爆炸。由于实际工作时,氢气传感器处于环境产生的背景磁场中,例如由于电源线产生的背景磁场,背景磁场 H_b 也会对氢敏感层1的磁矩 M 的偏转角产生额外的偏转作用,因此需要消除背景磁场 H_b 对氢敏感层1影响。

[0076] 如图1所示可选氢敏感层1和非氢敏感层10均包括[钽金属层/铁磁层] n 的多层薄

膜结构,则非氢敏感层10还包含覆盖[钯金属层/铁磁层] n 的多层薄膜结构的钝化层。本实施例中,非氢敏感层10包含[钯金属层/铁磁层] n 的多层薄膜结构,因此非氢敏感层10提供背景磁场引起的磁矩偏转角度变化,可以理解,氢敏感层1在未吸收氢气时也体现出背景磁场引起的磁矩偏转角度变化。

[0077] 为了消除背景磁场,非氢敏感层10还包含覆盖[钯金属层/铁磁层] n 的多层薄膜结构的钝化层,钝化层隔离了非氢敏感层10中的钯金属层与空气中的氢气的接触,可以避免非氢敏感层10吸附氢气,则非氢敏感层10的铁磁层表征的磁矩 M 的偏转角度不与氢气相关,仅与背景磁场 H_b 相关。而氢敏感层1的钯金属层与氢气接触,则氢敏感层1提供背景磁场和氢气引起的磁矩偏转角度变化。如此隧道磁阻传感器2用于感测氢敏感层1的磁场信号和非氢敏感层10的磁场信号以得到吸收氢气导致的氢敏感层1的磁场变化量以及背景磁场导致的非氢敏感层10的磁场变化量,根据这两个磁场变化量确定氢气浓度信息,去除了背景磁场对氢气浓度的影响,提高了检测准确性。

[0078] 如图3所示为非氢敏感层的磁场示意图。非氢敏感层10包括钝化层1-7,钝化层1-7隔离了氢气与[钯金属层/铁磁层] n 的多层薄膜结构1',使非氢敏感层10不与氢气发生反应,在此情况下,非氢敏感层10的铁磁层提供了偏转角度为 b 的各向异性磁场,即背景磁场引起的铁磁层偏转角度为 $\Omega(b)$,不受氢气影响。可选的钝化层1-7的材料可以为光刻胶、 Al_2O_3 、SiN、 SiO_2 或者SiC。

[0079] 如图4所示为氢敏感层的磁场示意图。氢敏感层1的钯金属层吸附氢气,引起了铁磁层的磁矩的偏转角度变化,同时背景磁场也会引起铁磁层的磁矩的偏转角度变化,最终导致铁磁层的偏转角度为 $\Omega(b+H)$,该 H 即为氢气因素引起的铁磁层的各向异性磁场变化。基于此,隧道磁阻传感器2根据背景磁场和受氢气影响的磁场的信号,可消除背景磁场信号,进而计算得出氢气浓度,该氢气浓度不受背景磁场影响,提高了测试准确性和灵敏性高。

[0080] 如图5所示可选非氢敏感层10为[非钯金属层/铁磁层] n 的多层薄膜结构。本实施例中,可选非钯金属层为铜金属层、钛金属层或钽金属层,非钯金属层中的金属均不能吸附氢气,因此非氢敏感层10的磁矩的偏转角度仅受背景磁场影响,其中,非钯金属层可以与空气接触。可以理解,氢敏感层1在未吸收氢气时也体现出背景磁场引起的磁矩偏转角度变化。本实施例中,非钯金属层可以避免非氢敏感层10吸附氢气,如此隧道磁阻传感器2用于感测氢敏感层1的磁场信号和非氢敏感层10的磁场信号以得到吸收氢气导致的氢敏感层1的磁场变化量,根据该磁场变化量确定氢气浓度信息。以此去除背景磁场对氢气浓度的影响,提高检测准确性。

[0081] 如图6~图8所示可选隧道磁阻传感器2为参考桥式传感器,隧道磁阻传感器2包括敏感桥臂和参考桥臂,敏感桥臂包括敏感磁电阻传感单元串,参考桥臂包括参考磁电阻传感单元串,敏感磁电阻传感单元串和参考磁电阻传感单元串的磁场敏感方向同为 X 轴方向;氢敏感层1和非氢敏感层10均为长条形形状,该长条形的长轴为 Y 轴方向,该长条形的短轴为 X 轴方向;在 X - Y 平面,敏感磁电阻传感单元串的正投影位于氢敏感层的长条形内的 Y 轴中心线上,和/或,敏感磁电阻传感单元串的正投影位于氢敏感层的长条形内的 Y 轴中心线的两侧的相同位置;在 X - Y 平面,参考磁电阻传感单元串的正投影位于非氢敏感层的长条形内的 Y 轴中心线上,和/或,参考磁电阻传感单元串的正投影位于非氢敏感层的长条形内的 Y 轴

中心线的两侧的相同位置;其中,敏感磁电阻传感单元串和参考磁电阻传感单元串的设置方式相同;氢敏感层和敏感桥臂磁耦合并与参考桥臂磁隔离,非氢敏感层与敏感桥臂磁隔离并与参考桥臂磁耦合。

[0082] 如图1~图5所示,隧道磁阻传感器2包括敏感桥臂和参考桥臂,敏感桥臂包括敏感磁电阻传感单元串,参考桥臂包括参考磁电阻传感单元串,敏感磁电阻传感单元串包括敏感磁电阻传感单元2-1、2-2和2-3,参考磁电阻传感单元串包括参考磁电阻传感单元2-1-1、2-2-1和2-3-1。敏感磁电阻传感单元串位于衬底9和氢敏感层1之间,参考磁电阻传感单元串位于衬底9和非氢敏感层10之间。

[0083] 如图6所示,氢敏感层1和非氢敏感层10均为长条形形状,该长条形的长轴为Y轴方向,该长条形的短轴为X轴方向。具体的,氢敏感层1和非氢敏感层10所在平面为X-Y平面,具有长条形形状,在X-Y平面长条形的长边延伸方向即长轴方向为Y轴方向,短边延伸方向即短轴方向为X轴方向。在此敏感磁电阻传感单元串和参考磁电阻传感单元串的磁场敏感方向同为X轴方向。在图6中仅示出了氢敏感层1与敏感磁电阻传感单元串的相对位置关系,其中,敏感磁电阻传感单元串在X-Y平面的正投影位于氢敏感层1在X-Y平面的正投影内,敏感磁电阻传感单元的长轴方向为Y轴方向且短轴方向为X方向。可以理解,非氢敏感层与参考磁电阻传感单元串的相对位置关系与图6类此,在此不再赘述。

[0084] 如图6所示,将敏感磁电阻传感单元串和氢敏感层1均映射到同一X-Y平面内,则在该X-Y平面内敏感磁电阻传感单元串位于氢敏感层1内。可选在该X-Y平面内,敏感磁电阻传感单元串位于氢敏感层1内Y轴中心线1-6上,和/或,还可选在该X-Y平面内,敏感磁电阻传感单元串位于氢敏感层1内且以Y轴中心线1-6为对称轴对称设置。在其他实施例中,将参考磁电阻传感单元串和非氢敏感层10均映射到同一X-Y平面内,则在该X-Y平面内参考磁电阻传感单元串位于非氢敏感层10内,可选在该X-Y平面内,敏感磁电阻传感单元串位于氢敏感层1内Y轴中心线上,和/或,还可选在该X-Y平面内,敏感磁电阻传感单元串位于氢敏感层1内且以Y轴中心线为对称轴对称设置。

[0085] 需要说明的是,如图7所示在该X-Y平面内敏感磁电阻传感单元串可位于氢敏感层1的Y轴中心线,同时,在该X-Y平面内参考磁电阻传感单元串可位于非氢敏感层10的Y轴中心线。或者,如图8所示在该X-Y平面内敏感磁电阻传感单元串可位于氢敏感层1的Y轴中心线的左侧,同时,在该X-Y平面内参考磁电阻传感单元串可位于非氢敏感层10的Y轴中心线的左侧的相同位置;以及,如图8所示在该X-Y平面内敏感磁电阻传感单元串可位于氢敏感层1的Y轴中心线的右侧,同时,在该X-Y平面内参考磁电阻传感单元串可位于非氢敏感层10的Y轴中心线的右侧的相同位置。

[0086] 本实施例中,可选敏感磁电阻传感单元串和参考磁电阻传感单元串的磁电阻传感单元均依次包括钉扎层/绝缘层/自由层/偏置层,钉扎层为反铁磁层/铁磁层或者为反铁磁层/铁磁层/金属导电层/铁磁层,偏置层为反铁磁层或者反铁磁/铁磁层/金属层/铁磁层,或者为永磁层。

[0087] 氢敏感层1和非氢敏感层10在相互对应位置如Y轴中心线1-6位置分别包含敏感磁电阻传感单元2-3和参考磁电阻传感单元2-3-1,在左侧位置分别包含敏感磁电阻传感单元2-2和参考磁电阻传感单元2-2-1,在右侧位置分别包含敏感磁电阻传感单元2-1和参考磁电阻传感单元2-1-1。在背景磁场的作用下和氢气的共同作用下,非氢敏感层10磁化角度仅

将额外偏转 Ω (b), 而氢敏感层1除了偏转 Ω (b) 角度之外, 还将因氢气作用偏转 Ω (H) 角度, 总共偏转 Ω (b+H) 角度。本实施例中, 可以选择采用参考桥式结构实现背景磁场 Ω (b) 效果的消除。

[0088] 针对上述背景磁场消除方法所对应的隧道磁阻传感器结构图, 图7为半桥结构, 包含氢敏感层1和非氢敏感层10在相同位置敏感磁电阻传感单元2-3和参考磁电阻传感单元2-3-1所构成的半桥结构。图8为全桥结构, 包含氢敏感层1和非氢敏感层10在相同位置所对应的两个敏感磁电阻传感单元2-1、2-2及两个参考磁电阻传感单元2-1-1、2-2-1所构成的全桥结构。可以理解, 只要满足敏感磁电阻传感单元在氢敏感层1的相同位置和参考磁电阻传感单元在非氢敏感层10的相同位置的要求, 隧道磁阻传感器可以是准桥结构、半桥结构或者全桥结构。

[0089] 如图9所示, 氢敏感层1和非氢敏感层10, 其中氢敏感层1包括钌金属层和铁磁层1-3, 钌金属层包括位于帽层的钌金属层1-1和位于中间层的钌金属层1-2。而非氢敏感层10的结构与氢敏感层1结构不同的是, 非氢敏感层10包括非钌金属层, 其中非钌金属层为采用Cu、Ti和Ta等不与氢气反应的金属构成的膜层, 钌金属层与非钌金属层同层。可以理解, 氢敏感层1和非氢敏感层10具有相同几何尺寸, 包括各层厚度和层数, 以保证两者铁磁层受背景磁场即环境磁场影响引起的偏转角度一致, 此外, 氢敏感层1和非氢敏感层10在相同位置如中间位置、左侧位置、右侧位置处所对应的敏感磁电阻传感单元串和参考磁电阻传感单元串的连接构成的参考桥式结构类似于图7和图8, 此处不再重复说明。

[0090] 示例性的, 在上述技术方案的基础上, 如图10所示可选氢敏感层包括: 同层电隔离设置的推氢敏感层1和挽氢敏感层100, 推氢敏感层1在没有外加磁场时具有正X轴方向的磁矩, 挽氢敏感层100在没有外加磁场时具有负X轴方向的磁矩。

[0091] 如图11所示, 还包括: 位于氢敏感层上的磁屏蔽层300, 磁屏蔽层300包括至少一个通孔301, 推氢敏感层1的钌金属层和挽氢敏感层100的钌金属层通过至少一个通孔301与空气直接接触。本实施例中, 磁屏蔽层300的作用在于消除背景磁场的干扰作用, 同时允许 H_2 和钌金属层之间的吸附反应, 磁屏蔽层300为包含Fe、Co或Ni的软磁合金材料。其中, 位于帽层的钌金属层可标记为1-1, 位于中间层的钌金属层可标记为1-2, 铁磁层标记为1-3。

[0092] 可选隧道磁阻传感器2为推挽桥式传感器, 隧道磁阻传感器2包括推臂和挽臂, 推臂包括推磁电阻传感单元串, 挽臂包括挽磁电阻传感单元串, 推磁电阻传感单元串和挽磁电阻传感单元串的磁场敏感方向同为X轴方向; 推氢敏感层和挽氢敏感层均为长条形形状, 该长条形的长轴为Y轴方向, 该长条形的短轴为X轴方向; 在X-Y平面, 推磁电阻传感单元串的正投影位于推氢敏感层的长条形内的Y轴中心线, 和/或, 推磁电阻传感单元串的正投影位于推氢敏感层的长条形内的Y轴中心线的两侧的不同位置; 在X-Y平面, 挽磁电阻传感单元串的正投影位于挽氢敏感层的长条形内的Y轴中心线上, 和/或, 挽磁电阻传感单元串的正投影位于挽氢敏感层的长条形内的Y轴中心线的两侧的不同位置; 其中, 推磁电阻传感单元串与挽磁电阻传感单元串的设置方式相同; 推氢敏感层和推臂磁耦合并与挽臂磁隔离, 挽氢敏感层与挽臂磁耦合并与推臂磁隔离。

[0093] 本实施例中, 推氢敏感层1与推磁电阻传感单元串的相对位置关系可参考图6所示, 挽氢敏感层100与挽磁电阻传感单元串的相对位置关系与之类似。其中, 推磁电阻传感单元串包括2-1和2-2, 挽磁电阻传感单元串包括2-1-1和2-2-1, 推氢敏感层1位于推磁电阻

传感单元串2-1和2-2之上,以及挽氢敏感层100位于挽磁电阻传感单元串2-1-1、2-2-1之上。电隔离层18位于推氢敏感层1、挽氢敏感层100和隧道磁阻传感器2之间,从而实现氢气环境和电源环境的隔离,避免发生不必要的爆炸,需要指出的是推氢敏感层1和挽氢敏感层100表面均暴露于空气中。

[0094] 实际工作时,由于背景磁场 H_b 的存在,以及 H_2 和推氢敏感层1和挽氢敏感层100中的钽所产生的磁矩的偏置,使得推挽桥式磁电阻传感器2采集到推氢敏感层1和挽氢敏感层100的磁场信号并产生输出信号,消除掉背景磁场的信息,实现对 H_2 浓度的测量,并保证 H_2 环境和电环境的物理隔离。

[0095] 对于上述任意实施例所述的氢敏感层,可选如图12所示氢敏感层还包括:种子层1-5和隔离层1-4,隔离层1-4位于种子层1-5和[钽金属层/铁磁层] n 的多层薄膜结构之间,铁磁层磁化强度偏转角在 $10^\circ \sim 80^\circ$ 范围内变化。其中,隔离层1-4为PMA (Perpendicular Magnetic Anisotropy垂直磁各向异性)层。可选 $n=3$,则钽金属层包括设定为帽层的钽金属层1-1和设定为中间层的钽金属层1-2,将钽金属层1-1设定为帽层可以增加氢气和钽反应的接触面积,铁磁层1-3位于钽金属层之间。

[0096] 本实施例中,在 H_2 的作用下,铁磁层1-3的磁矩 M 在 $X-Z$ 平面内发生偏转,其 X 轴方向的偏转角度为 Ω ,由于铁磁层1-3为纳米厚度,可以看成是单畴结构,因此推氢敏感层1和挽氢敏感层100均可以看成具有磁矩 M 的磁体,在周围空间产生静磁场分布,可以通过在氢敏感层底部的 Y 轴中心线位置以及左侧位置和右侧位置分别放置磁电阻传感单元串2-3、2-2、2-1,以实现静磁场的测试,并推导出磁矩 M 取向角度,最终测量出 H_2 浓度。

[0097] 如图13示出了氢敏感层1在磁矩 M 取向角 Ω 在 0 到 90° 范围内变化时, Y 轴中心线中间位置、左边位置、右边位置处的静磁场沿 X 轴方向分量,以及左右位置处 X 轴方向静磁场差值 $R-L$ 随取向角 Ω 的变化。可以看出,静磁场随取向角 Ω 变化曲线有线性段以及非线性段,其中非线性段出现在磁场随取向角 Ω 靠近 0 位置或者靠近 90° 位置处,可以通过算法进行补偿,实现在全范围内线性化,从而实现磁场取向角度 Ω 和隧道磁阻传感器的线性结果,实现隧道磁阻传感器对 H_2 浓度的测量。

[0098] 对于上述实施例所述的包含氢敏感层和非氢敏感层的氢气传感器。

[0099] 可选还包括:偏置线圈,偏置线圈所在膜层位于衬底和氢敏感层之间,并且偏置线圈位于隧道磁阻传感器的正上方或正下方,偏置线圈为螺旋线圈;对于 X 轴方向或 Y 轴方向偏置磁场,偏置线圈所在平面包含第一偏置区和第二偏置区,第一偏置区和第二偏置区分别设置平行排列的且具有相同电流方向的 N 个直线段,其中 N 为大于等于1的整数,第一偏置区和第二偏置区的直线段的电流同向或者反向,氢敏感层均匀分布于第一偏置区,非氢敏感层均匀分布于第二偏置区;对于 Z 轴方向偏置磁场,偏置线圈所在平面包含中心偏置区,中心偏置区设置数量相同且对称设置以及电流方向对称相反的 $2M$ 个直线段,其中 M 为大于等于1的整数,氢敏感层和非氢敏感层设置于中心偏置区并对称设置,与氢敏感层对应设置的直线段的电流方向对称相反,与非氢敏感层对应设置的直线段的电流方向对称相反,且电流方向都垂直于 Y 轴中心线。

[0100] 可选还包括:永磁偏置层;对于 X 轴方向或 Y 轴方向偏置磁场,永磁偏置层包括至少两个平行排列的永磁条,永磁条位于氢敏感层的两侧和非氢敏感层的两侧,相邻永磁条之间产生 X 轴方向偏置磁场或者 Y 轴方向偏置磁场;对于 Z 轴方向偏置磁场,永磁偏置层包括一

个永磁条,永磁条位于衬底下方位置,氢敏感层和非氢敏感层分别位于永磁条的具有相同Z轴方向磁场分量的两个区域,氢敏感层和非氢敏感层分别位于永磁条的具有对称相反Y轴方向磁场分量的两个区域内。

[0101] 如上所述的氢气传感器,其中存在磁畴而导致氢敏感层和非氢敏感层的磁矩分散。本实施例中通过偏置磁场消除磁畴导致的磁矩分散,或者在铁磁共振条件下用于饱和氢敏感层和非氢敏感层以改变共振频率。其中,设置偏置线圈和永磁条均为解决方案。

[0102] 对于设置偏置线圈消除磁畴导致的磁矩分散的方案。偏置线圈可用于产生偏置磁场,进而动态激发磁场以及微波激励信号。

[0103] 参考图14所示,采用螺旋线圈8来实现偏置磁场,图中示出了为Y轴方向偏置磁场 H_y 时,氢敏感层1和非氢敏感层10在螺旋线圈8上面的分布方式,其中,氢敏感层1沿Y轴方向延伸且多个氢敏感层1沿X轴方向排布,非氢敏感层10沿Y轴方向延伸且多个非氢敏感层10沿X轴方向排布,氢敏感层1和非氢敏感层10沿Y轴方向排布。螺旋线圈8包括沿Y轴方向延伸的多个直线段和由X轴方向延伸的多个直线段,其中,沿Y轴方向延伸的多个直线段不与氢敏感层1和非氢敏感层10交叠,X轴方向延伸的多个直线段与氢敏感层1和非氢敏感层10交叠,沿Y轴方向延伸的多个直线段和由X轴方向延伸的多个直线段电连接构成螺旋状的偏置线圈。具体的,螺旋线圈8包括两个平行直线段区域8-1(即第一偏置区)和8-2(即第二偏置区),该第一、第二偏置区分别由等距排列的3个平行直线段组成,其中,第一偏置区包括3个直线段8-1-1,第二偏置区包括3个直线段8-2-1,该两个偏置区的电流方向相反,氢敏感层1的和非氢敏感层10的Y轴中心线1-6均垂直于电流方向。具体的,氢敏感层1均布于平行直线段区域8-1,非氢敏感层10均布于平行直线段区域8-2。

[0104] 图15为螺旋线圈和氢敏感层1的截面图,图16为螺旋线圈和非氢敏感层10的截面图。显然,螺旋线圈的直线段8-1-1和8-2-1的电流方向相反,其中一个偏置区的电流方向为+X方向,另一个偏置区的电路方向为-X方向,其中第一偏置区8-1的直线段位于氢敏感层1的正下方,第二偏置区8-2的直线段位于非氢敏感层10的正下方。图17所示为螺旋线圈8所产生的Y轴方向偏置磁场,可以看出在氢敏感层1和非氢敏感层10中Y轴方向的偏置磁场分布具有幅度相同、方向相反的特点。

[0105] 如图18所示,氢敏感层1沿Y轴方向延伸且多个氢敏感层1沿X轴方向排布,非氢敏感层10沿Y轴方向延伸且多个非氢敏感层10沿X轴方向排布,氢敏感层1和非氢敏感层10沿X轴方向排布。螺旋线圈8包括沿Y轴方向延伸的多个直线段和由X轴方向延伸的多个直线段,其中,沿Y轴方向延伸的多个直线段不与氢敏感层1和非氢敏感层10交叠,X轴方向延伸的至少部分直线段与氢敏感层1和非氢敏感层10交叠,沿Y轴方向延伸的多个直线段和由X轴方向延伸的多个直线段电连接构成螺旋状的偏置线圈。本实施例中,将氢敏感层1和非氢敏感层10分别放置在两个平行直线段区域8-1和8-2中,该两个平行直线段区域8-1和8-2由相同的等距排列的3个平行直线段组成,即相同的等距排列的3个平行直线段与氢敏感层1交叠的区域为第一偏置区8-1以及该相同的等距排列的3个平行直线段与非氢敏感层10交叠的区域为第二偏置区8-2,因此该3条平行直线段8-1-1和8-2-1分别具有相同的电流方向,且电流方向垂直于Y轴中心线1-6。

[0106] 如图19所示,为偏置磁场为X轴方向的螺旋线圈8和氢敏感层1以及非氢敏感层10的分布图,氢敏感层1沿Y轴方向延伸且多个氢敏感层1沿X轴方向排布,非氢敏感层10沿Y轴

方向延伸且多个非氢敏感层10沿X轴方向排布,氢敏感层1和非氢敏感层10沿Y轴方向排布。螺旋线圈8包括沿Y轴方向延伸的多个直线段和由X轴方向延伸的多个直线段,其中,沿X轴方向延伸的多个直线段不与氢敏感层1和非氢敏感层10交叠,沿Y轴方向延伸的至少部分直线段与氢敏感层1和非氢敏感层10交叠,沿Y轴方向延伸的多个直线段和由X轴方向延伸的多个直线段电连接构成螺旋状的偏置线圈。本实施例中,与偏置磁场为Y轴方向的区别在于,将氢敏感层1和非氢敏感层10旋转了 90° ,这样,氢敏感层1和非氢敏感层10分别放置在两个平行直线段区域8-1和8-2中,其平行直线段8-1-1和8-2-1电流方向平行于Y轴中心线1-6,该两个平行直线段区域8-1和8-2由相同的等距排列的3个平行直线段组成,即相同的等距排列的3个平行直线段与氢敏感层1交叠的区域为第一偏置区8-1以及该相同的等距排列的3个平行直线段与非氢敏感层10交叠的区域为第二偏置区8-2。

[0107] 如图20所示,为偏置磁场为Z轴方向的螺旋线圈8和氢敏感层1以及非氢敏感层10的分布图,氢敏感层1沿Y轴方向延伸且多个氢敏感层1沿X轴方向排布,非氢敏感层10沿Y轴方向延伸且多个非氢敏感层10沿X轴方向排布,氢敏感层1和非氢敏感层10沿X轴方向排布。螺旋线圈8包括沿Y轴方向延伸的多个直线段和由X轴方向延伸的多个直线段,其中,沿Y轴方向延伸的多个直线段不与氢敏感层1和非氢敏感层10交叠,沿X轴方向延伸的至少部分直线段与氢敏感层1和非氢敏感层10交叠,沿Y轴方向延伸的多个直线段和由X轴方向延伸的多个直线段电连接构成螺旋状的偏置线圈。本实施例中,与偏置磁场为X或Y轴方向的区别在于,氢敏感层1和非氢敏感层10位于螺旋线圈8的中间区域8-4(即中心偏置区)。该中间区域8-4包含相同2个正X轴方向电流直线段和2个负X轴方向电流直线段,氢敏感层1和非氢敏感层10的Y轴中心线1-6均垂直于电流方向,且对称跨越4个直线段区,以使得螺旋线圈8能够产生Z轴向磁场分量大于其他方向如Y轴方向磁场分量。

[0108] 如图21所示,为基于参考桥式隧道磁阻传感器的氢气传感器的示意图。在螺旋线圈8中,平行直线段区域8-1所对应的氢敏感层1的敏感磁电阻传感单元串2-1和2-2和平行直线段区域8-2所对应的非氢敏感层10的参考磁电阻传感单元串2-1-1和2-2-1电连接成参考全桥结构,并连接到VCC、GND、V+以及V-四个引脚。

[0109] 如图22所示,基于上述实施例的氢气传感器测量氢气的原理是,氢敏感层1感受 H_2 和背景磁场 H_b ,非氢敏感层10仅仅感受背景磁场 H_b ,采用螺旋线圈8施加偏置磁场,氢敏感层1所对应的敏感磁电阻传感单元串2-1、2-2以及非氢敏感层10所对应的参考磁电阻传感单元串2-1-2、2-2-1构成了一个参考桥式结构,其输出端可以直接输出或者通过模拟前端电路输出。

[0110] 如图23所示,采用线圈驱动电路给螺旋线圈8提供电源,螺旋线圈8对氢敏感层1和非氢敏感层10同时进行动态激发,参考桥式隧道磁阻传感器的电桥输出电压可以直接输出或者通过模拟前端电路输出,采集到与激发信号具有频率和相位对应的感应电压,因此线圈驱动电路和参考桥式隧道磁阻传感器的电桥输出电压共同连接到数字控制和分析电路,以对螺旋线圈电源激发磁场信号 H_e 以及隧道磁阻传感器响应信号的关系进行分析和处理,并输出与 H_2 浓度有关的电压信号。其中,激发磁场信号 H_e 和隧道磁阻传感器测量的氢敏感层和非氢敏感层中的铁磁层的磁通量B的变化可以形成B-H曲线,通过提取剩磁 B_r ,或者矫顽力 H_c ,磁导率 μ 、饱和磁感应强度 B_s ,饱和磁场 H_s 等参数来作为实现对 H_2 浓度的测量。

[0111] 为了消除氢敏感层和非氢敏感层中的磁畴,使得铁磁层中磁矩M尽可能的转换为

隧道磁阻传感器的静磁场,还需要采用静磁偏置作用,所述静磁场可以沿X、Y、Z任一方向。如图24a所示为沿X轴方向偏置磁场 H_x ,实际制作时,可以采用在衬底上制作如图24b所示永磁条5-1、5-2和5-3来实现,并使其充磁方向为X轴方向。图25a为沿Y轴方向偏置磁场 H_y ,实际制作时,可以采用在衬底上制备如图25b所示永磁条6-1、6-2来实现,并使其充磁方向为Y轴方向。图26a为沿Z轴方向偏置磁场 H_z ,实际制作时,可以采用在衬底下表面制备如图26b所示永磁块7,其充磁方向为Z方向,并使氢敏感层1和非氢敏感层10分别对称的位于Z轴中心线的两侧,并且使得永磁水平磁场分量分别为正Y和负Y轴方向。

[0112] 可选的,氢气传感器还包括:微带,微带为单带或双带结构,微带位于衬底和隧道磁阻传感器之间,微带的两端连接微波端口并与微波激励电源相连以使偏置磁场为Z轴方向或者为Y轴方向。隧道磁阻传感器为参考桥式传感器时,微带为平行或者垂直于Y轴中心线方向。图27a~图27c,为铁磁共振(FMR)方法测量氢气浓度的传感器结构示意图。在氢敏感层1和非氢敏感层10下方,采用微带(microstrip)11来传送微波激发信号,其微带11可以为单带或者双带结构,且微带11为直接制作在衬底9上,本实施例中给出了双带和单带的情况。同时采用氢敏感层1和非氢敏感层10平面内或者垂直所在平面的磁场作为偏置磁场,本实施例中给出了垂直磁场 H_z 的情况,此外,图27b给出的微波激发磁场在氢敏感层1和非氢敏感层10中同为Y轴方向,图27c给出的氢敏感层1和非氢敏感层10中的微波激发磁场同为X轴方向。

[0113] 如图28所示,为铁磁共振方法(FMR)测量氢气浓度的原理图。与传统的分析微波传输带输入和输出信号的差别在于,采用位于氢敏感层1和非氢敏感层10所对应的敏感磁电阻传感单元串2-1、2-2和参考磁电阻传感单元串2-1-1、2-2-1构成的参考全桥结构来测量铁磁层中铁磁共振过程中磁导率变化所导致的磁通密度的变化。由于微波激励电源15提供的微波激励信号和磁电阻传感器输出的电压信号具有频率和相位之间的相互关系,因此,将传感器的输出和微波激励电源15输送到数字控制和分析电路16中进行处理,而后输出与氢含量有关的信息。如图29所示由于铁磁共振时,磁导率为复数形式,具有实部 μ' 和虚部 μ'' ,由于实际工作时,垂直偏置磁场 H_z 为在一定的范围内进行扫描,同时微波激励电源15在一定频率 f 范围内进行扫频,因此可以通过磁导率 μ'' 或者 μ' 的在偏置磁场 H_z 一定的情况下得到的磁谱,或者频率 f 一定的情况下的偏置磁场 H_z 的变化,通过将磁导率共振峰值 H_{peak} 或者将其半高宽 H (FWHM)作为参数,用来标定在不同氢气浓度的关系值。还可以采用磁导率随频率 f 的变化图,通过将磁导率共振峰值 f_{peak} 或者将其半高宽 f (FWHM)作为参数,用来标定在不同氢气浓度的关系值。

[0114] 对于上述实施例所述的包含推氢敏感层和挽氢敏感层的氢气传感器。

[0115] 可选还包括:偏置线圈,偏置线圈所在膜层位于衬底和氢敏感层之间,并且偏置线圈位于隧道磁阻传感器的正上方或者正下方,偏置线圈为螺旋线圈;对于Y轴方向偏置磁场,偏置线圈所在平面包含第三偏置区和第四偏置区,第三偏置区和第四偏置区分别设置平行排列的且具有相同电流方向的P个直线段,其中P为大于等于1的整数,第三偏置区和第四偏置区的直线段的电流同向或者反向,推氢敏感层均匀分布于第三偏置区,挽氢敏感层均匀分布于第四偏置区;对于Z轴方向偏置磁场,偏置线圈所在平面包含中心偏置区,中心偏置区设置数量相同且对称设置以及电流方向对称相反的2Q个直线段,其中Q为大于等于1的整数,推氢敏感层和挽氢敏感层设置于中心偏置区并对称设置,与推氢敏感层对应设置

的直线段的电流方向对称相反,与挽氢敏感层对应设置的直线段的电流方向对称相反,且电流方向都垂直于Y轴中心线。

[0116] 可选还包括:永磁偏置层;对于Y轴方向偏置磁场,永磁偏置层包括至少两个平行排列的永磁条,永磁条位于推氢敏感层的两侧和挽氢敏感层的两侧,相邻永磁条之间产生Y轴方向偏置磁场;对于Z轴方向偏置磁场,永磁偏置层包括一个永磁条,永磁条位于衬底下方位置,推氢敏感层和挽氢敏感层分别位于永磁条的具有相同Z轴方向磁场分量的两个区域内,推氢敏感层和挽氢敏感层分别位于永磁条的具有对称相反Y轴方向磁场分量的两个区域内。

[0117] 如上所述的氢气传感器,氢敏感层除了随氢气浓度增加而正X轴方向偏置的推氢敏感层1之外,还存在一个负X轴反向偏置的挽氢敏感层100。如图30所示与推氢敏感层1对应的推磁电阻传感单元串包括2-1、2-2和2-3,与挽氢敏感层100对应的挽磁电阻传感单元串包括2-1-1、2-2-2和2-3-1。假设在同样氢气浓度条件下,推氢敏感层1磁矩偏转 $+\Omega$ 角度,而挽氢敏感层100磁矩偏转 $-\Omega$ 角度,推磁电阻传感单元串2-1、2-2和2-3以及挽磁电阻传感单元串2-1-1、2-2-1和2-3-1具有相反的X轴向静磁场分量,此外,假设环境磁场 H_b 对于推氢敏感层1和挽氢敏感层100具有相同效应,因此通过推挽式磁电阻电桥结构,可以消除环境磁场 H_b ,同时放大氢气所导致的磁矩偏转和静磁场。

[0118] 图31a为推挽式磁电阻传感器半桥桥式结构图;图31b为推挽式磁电阻传感器全桥桥式结构图,此外还可以形成准桥结构,此处就不展开描述。

[0119] 可选推氢敏感层的正X轴方向磁矩和挽氢敏感层的负X轴方向磁矩的写入方法包括:激光热磁写入、写磁头写入、写入线圈写入和永磁块写入中的任意一种写入方式;写入线圈位于衬底和氢敏感层之间,其中,写入线圈包括沿推氢敏感层的Y轴中心线方向且具有正Y轴电流方向的第一写入导线和沿挽氢敏感层的Y轴中心线方向且具有负Y轴电流方向的第二写入导线;永磁块具有条形形状以及永磁块位于衬底的背离氢敏感层的一侧表面,永磁块具有Z轴方向的磁化方向,推氢敏感层和挽氢敏感层分别位于永磁块的Z轴中心线两侧区域且该两侧区域具有对称相反的X轴方向磁场分量。

[0120] 如图32a-图32b所示为氢敏感层磁矩的第一种写入方式。采用激光热磁写入方法来实现对磁矩的写入。具体的,在图32a中,包括激光光束200,磁场线圈201和202,激光光束200作用于推氢敏感层1上并使其加热到居里温度,磁场线圈201和202产生正X轴方向静磁场203。在图32b中,激光光束200作用于挽氢敏感层100上并使其加热到居里温度,磁场线圈201和202产生负X轴方向静磁场204。这样,推氢敏感层1和挽氢敏感层100通过激光热磁写入方法分别得到了正X轴方向磁矩和负X轴方向磁矩。

[0121] 如图33a-图33b所示为氢敏感层磁矩的第二种写入方式。采用写磁头直接写入磁矩,写磁头包括开口磁轭205和激发线圈206,如图33a所示写磁头在推氢敏感层1上方产生正X轴方向磁场,如图33b所示写磁头在挽氢敏感层100上方产生负X轴方向磁场,其方法是通过改变激发线圈106的电流方向来实现。

[0122] 如图34a-图34b所示为氢敏感层磁矩的第三种写入方式。采用在衬底上制作写入线圈的方法来实现对磁矩的写入。具体的,写入线圈位于衬底和氢敏感层之间,其中,写入线圈包括沿推氢敏感层的Y轴中心线方向且具有正Y轴电流方向的第一写入导线和沿挽氢敏感层的Y轴中心线方向且具有负Y轴电流方向的第二写入导线。如图所示,在推氢敏感层1

下方制作第一写入导线209,在挽氢敏感层10下方制作第二写入导线212,第一写入导线209和第二写入导线212分别平行于氢敏感层的Y轴中心线方向,第一写入导线209的电流方向210为正Y轴方向,第二写入导线212的电流方向为负Y轴方向。在此利用第一写入导线209的电流磁场211在推氢敏感层1形成正X轴方向磁场,利用第二写入导线212的电流磁场214在挽氢敏感层100形成负X轴方向磁场,从而完成推氢敏感层1和挽氢敏感层100的磁矩写入。

[0123] 如图35所示为氢敏感层磁矩的第四种写入方式。采用在衬底背面放置永磁块215的方法来实现对磁矩的写入。具体的,永磁块215具有条形形状以及永磁块215位于衬底的背离氢敏感层的一侧表面,永磁块215具有Z轴方向的磁化方向,推氢敏感层1和挽氢敏感层100分别位于永磁块215的Z轴中心线两侧区域且该两侧区域具有对称相反的X轴方向磁场分量。永磁块215的充磁方向为Z轴方向,推氢敏感层1和挽氢敏感层100对称的放置于永磁块215的Z轴中心线216两侧,这样永磁块215和位于其上方的推氢敏感层1之间形成封闭磁场218,永磁块215还和位于其上方的挽氢敏感层100之间形成封闭磁场217,并实现推氢敏感层1和挽氢敏感层100的磁矩写入。

[0124] 如图36所示为带磁屏蔽层300的推挽电桥式氢气传感器简图,在推氢敏感层1和挽氢敏感层100上方覆盖有磁屏蔽层300,且磁屏蔽层300开设有多个通孔301以使氢气进入推氢敏感层1和挽氢敏感层100的表面,磁屏蔽层300的作用在于消除背景磁场的干扰作用,同时允许 H_2 和钯金属层之间的反应,磁屏蔽层300为包含Fe、Co或Ni的软磁合金材料。

[0125] 如图37所示包含推氢敏感层1和挽氢敏感层100的氢气传感器,同样可以采用静磁场偏置来消除铁磁层的磁畴结构。由于推氢敏感层1和挽氢敏感层100具有沿正X和负X轴方向的磁化方向,因此如果单纯采用X磁场将会带来氢敏感层的推挽结构的破坏,由于隧道磁阻传感器具有相同的磁场敏感方向,即使采用正X和负X磁场,还会导致隧道磁阻传感器处于不正常工作状态,因此,只能选择Y轴方向磁场或者Z轴方向偏置磁场。

[0126] 如图37所示为Y轴方向偏置线圈及隧道磁阻传感器的第一分布图。该螺旋线圈包括第一偏置区8-1和第二偏置区8-2,每个偏置区域分别包括3个平行直线段,且在第一偏置区8-1和第二偏置区8-2的线圈直线段具有相反的电流方向。推氢敏感层1和推磁电阻传感单元串2-1和2-2放置于第一偏置区8-1中,推氢敏感层1的Y轴中心线1-6垂直于电流方向;挽氢敏感层100和挽磁电阻传感单元2-1-1和2-2-1放置于第二偏置区8-2中。

[0127] 如图38所示为Y轴方向偏置线圈及隧道磁阻传感器的第二分布图。该螺旋线圈包括第一偏置区8-1和第二偏置区8-2,与图37的区别在于,第一偏置区8-1的直线段8-1-1和第二偏置区8-2的直线段8-2-1具有相同的电流方向,氢敏感层的Y轴中心线1-6垂直于电流方向。

[0128] 如图39所示为Z方向偏置线圈及隧道磁阻传感器的分布图。推氢敏感层1和挽氢敏感层100分别位于螺旋线圈的中心偏置区8-4,中心偏置区8-4包含2个正X轴方向电流的直导线8-4和2个负X轴方向电流的直导线8-4-1,推氢敏感层1和挽氢敏感层100的Y轴中心线1-6垂直于电流方向,且对称的跨越正X轴方向直导线8-4和负X轴方向直导线8-4-1,这样中心偏置区8-4在推氢敏感层1和挽氢敏感层100中产生Z轴方向磁场和正Y轴和负Y轴方向磁场。

[0129] 本实施例中,还可选采用永磁条产生偏置磁场。具体的,如图40a所示,推氢敏感层1和挽氢敏感层100分别感受Y轴方向磁场,如图40b所示,两个平行的永磁条6-1和6-2之间

产生Y轴方向偏置磁场,且位于推氢敏感层1和挽氢敏感层100之间。如图41所示为永磁条偏置Z轴方向磁场及隧道磁阻传感器的分布图,其中,永磁条7位于隧道磁阻传感器的下方,其充磁方向为Z轴方向,推氢敏感层1和挽氢敏感层100分别对称的位于Z轴中心线两侧,从而形成两个封闭的磁路72和71。需要指出的是,永磁条7在推氢敏感层1和挽氢敏感层100出形成的磁路72和71在Y-Z平面上,除了Z分量之外,只能有Y分量。

[0130] 如图42所示为静磁场偏置的基于隧道磁阻传感器结构的氢气传感器。其测量原理是,推氢敏感层1和挽氢敏感层100分别和氢气反应,形成反向磁场。该反向磁场作用于隧道磁阻传感器的推磁电阻传感单元串2-1、2-2以及挽磁电阻传感单元串2-1-1、2-2-1,形成的推挽式磁电阻传感单元电桥输出端直接输出或者通过模拟前端电路输出于氢气相关的电压信号。此外,可以为仅依靠氢敏感层的磁矩或者同时施加偏置静磁场7来实现,偏置静磁场可以为螺旋线圈或者为永磁条或者两者同时存在。

[0131] 如图43所示为推挽桥式隧道磁阻传感器的电磁线圈动态氢气测量原理图。本实施例中,采用线圈驱动电路给螺旋线圈8提供电源,螺旋线圈8对推氢敏感层1和挽氢敏感层100同时进行动态激发,推挽桥式隧道磁阻传感器采集到与激发信号具有频率和相位对应的感应电压,其中推挽桥式隧道磁阻传感单元电桥输出电压可以直接输出或者通过模拟前端电路输出,因此线圈驱动电路和推挽桥式隧道磁阻传感器电桥输出电压共同连接到数字控制和分析电路,以对螺旋线圈电源激发磁场信号 H_e 以及隧道磁阻传感器响应信号的关系进行分析和处理,并输出与 H_2 浓度有关的电压信号。其中,激发磁场信号 H_e 和隧道磁阻TMR测量的氢敏感层和非氢敏感层中的铁磁层的磁通量 B 的变化可以形成 B - H 曲线,通过提取剩磁 B_r ,或者矫顽力 H_c ,磁导率 μ 、饱和磁感应强度 B_s ,饱和磁场 H_s 等参数来作为实现对 H_2 浓度的测量。该推挽桥式隧道磁阻传感器与参考桥式隧道磁阻传感器的区别在于,激发磁场 H_e 只能沿Y或者Z反向。

[0132] 可选的,氢气传感器还包括:微带,微带为单带或双带结构,微带位于衬底和隧道磁阻传感器之间,微带的两端连接微波端口并与微波激励电源相连以使偏置磁场为Z轴方向或者为Y轴方向。隧道磁阻传感器为推挽桥式传感器时,微带垂直于Y轴中心线方向。

[0133] 如图44a-图44b所示,在推氢敏感层1和挽氢敏感层100下方,采用的微带(microstrip)11来传送微波激发信号,其微带11可以为单带或双带结构,且微带11为直接制作在衬底9上。本实施例给出了双带的情况,如图44b所示,同时采用推氢敏感层1和挽氢敏感层100平面内或者垂直所在平面的磁场作为偏置磁场,本实施例给出了垂直磁场 H_z 的情况。此外,前述所示的微波激发磁场在推氢敏感层1和挽氢敏感层100中同为Y轴方向,不能为X轴方向。

[0134] 如图45所示为铁磁共振方法(FMR)测量氢气浓度的原理图,与传统的分析微波传输带输入和输出信号的差别的在于,本实施例采用位于推氢敏感层1和挽氢敏感层100所对应的推磁电阻传感单元串2-1、2-2和挽磁电阻传感单元串2-1-1、2-2-1构成的推挽全桥结构来测量铁磁层中铁磁共振过程中磁导率变化所导致的磁通密度的变化。由于微波激励电源15提供的微波激励信号和磁电阻传感器输出的电压信号具有频率和相位之间的相互关系,因此,同样将隧道磁阻传感器的输出和微波激励电源15输送到数字控制和分析电路16中进行处理,而后输出与氢含量有关的信息。由于铁磁共振时,磁导率为复数形式,具有实部 μ' 和虚部 μ'' ,实际工作时,垂直偏置磁场 H_z 在一定的范围内进行扫描,同时微波激励电源

15在一定频率 f 范围内进行扫频,因此可以通过磁导率 μ'' 或者 μ' 的在偏置磁场 H_z 一定的情况下得到的磁谱,或者频率 f 一定的情况下的偏置磁场 H_z 的变化图。图45给出了磁导率随偏置磁场 H_z 的变化图,通过将磁导率共振峰值 H_{peak} 或者将其半高宽 H (FWHM) 作为参数,用来标定在不同氢气浓度的关系值。同样还可以采用磁导率随频率 f 的变化图,通过将磁导率共振峰值 f_{peak} 或者将其半高宽 f (FWHM) 作为参数,用来标定在不同氢气浓度的关系值。

[0135] 如图46所示为典型的输出参数电压与氢气浓度的变化,这些输出参数可以为隧道磁阻传感器桥式电路输出电压信号,也可以为对应激发线圈电磁信号的B-H回线所对应的 B_r 、 H_c 、 u 、 B_s 或 H_s 值,也可以为铁磁共振所对应的磁导率的共振频率的峰值 H_{peak} 位移或者半高宽 H (FWHM) 值。

[0136] 注意,上述仅为本发明的较佳实施例及所运用技术原理。本领域技术人员会理解,本发明不限于这里所述的特定实施例,对本领域技术人员来说能够进行各种明显的变化、重新调整、相互结合和替代而不会脱离本发明的保护范围。因此,虽然通过以上实施例对本发明进行了较为详细的说明,但是本发明不仅仅限于以上实施例,在不脱离本发明构思的情况下,还可以包括更多其他等效实施例,而本发明的范围由所附的权利要求范围决定。

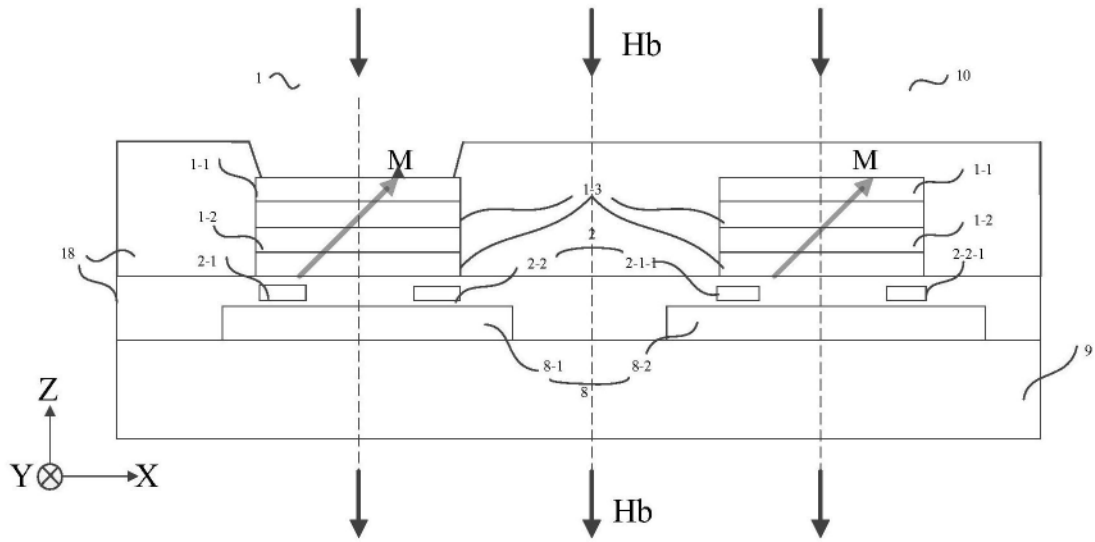


图1

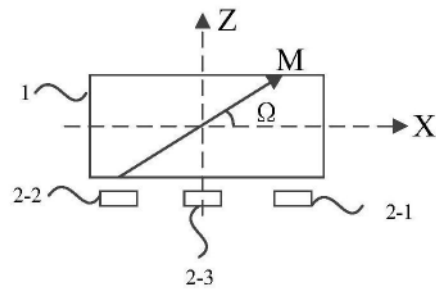


图2

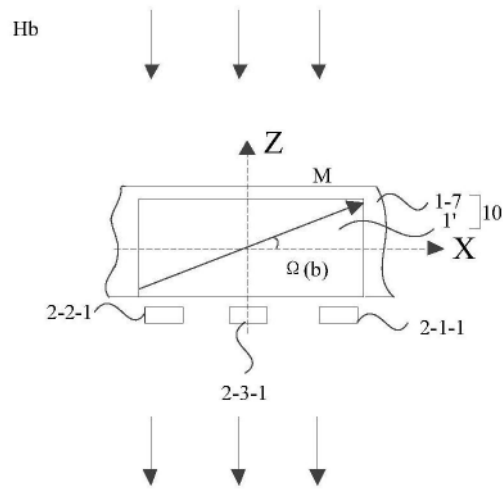


图3

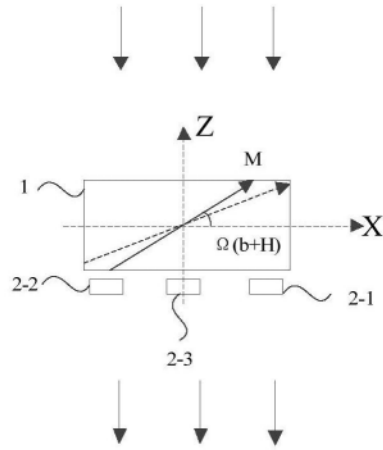


图4

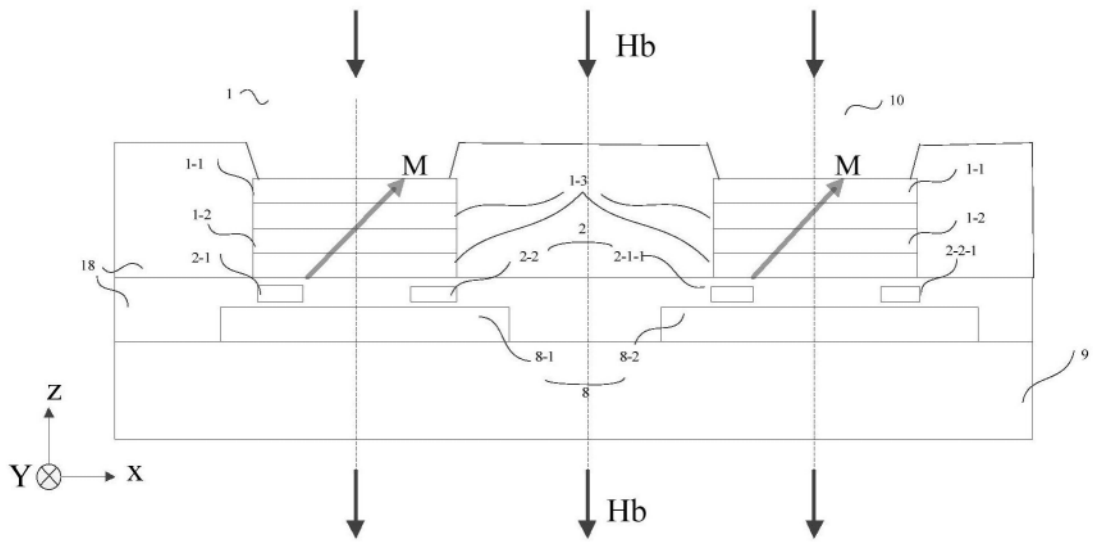


图5

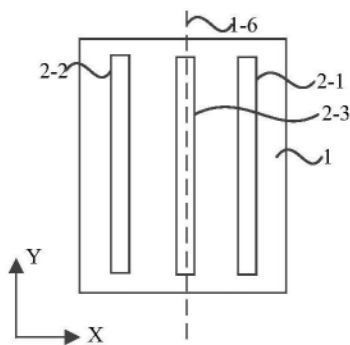


图6

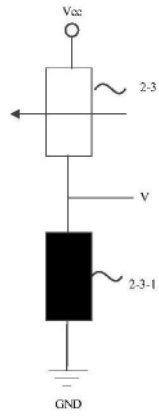


图7

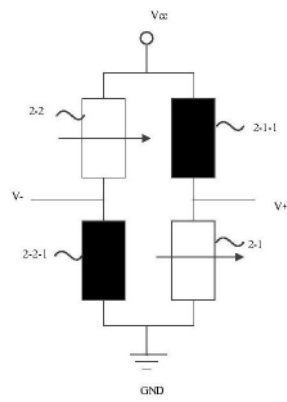


图8

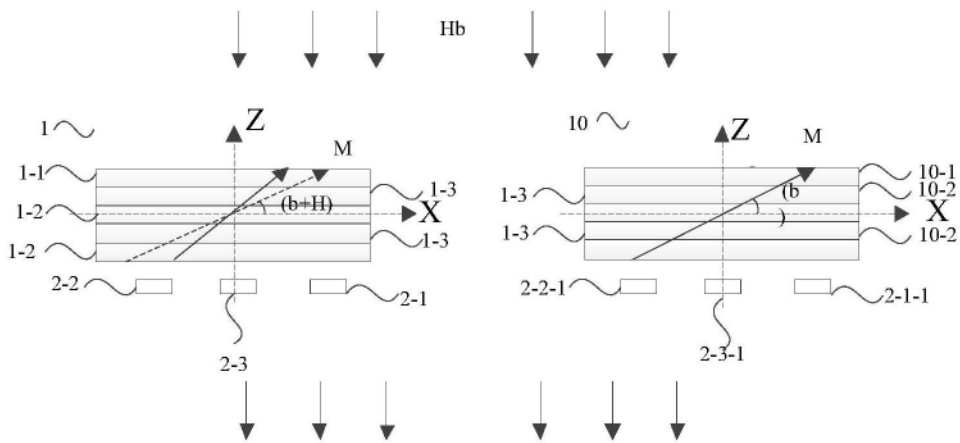


图9

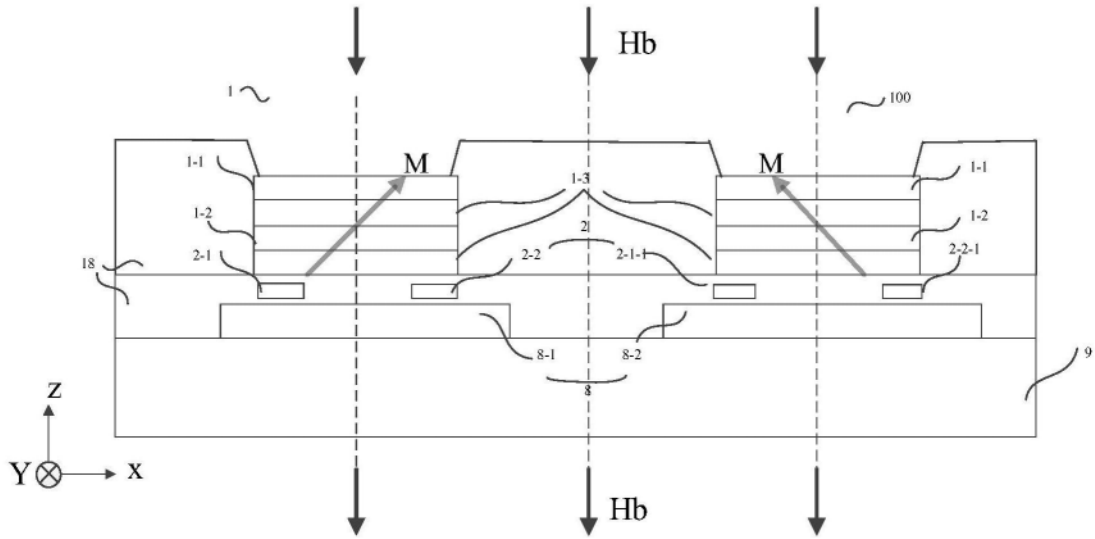


图10

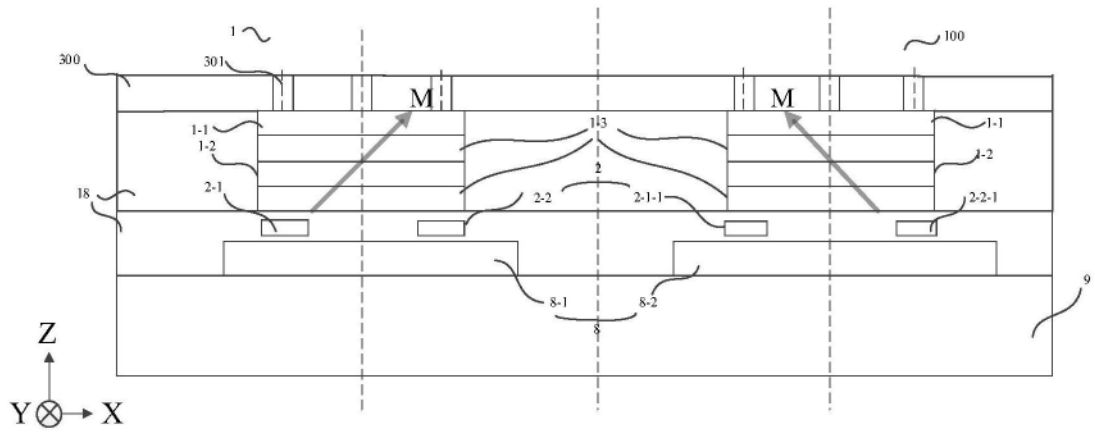


图11

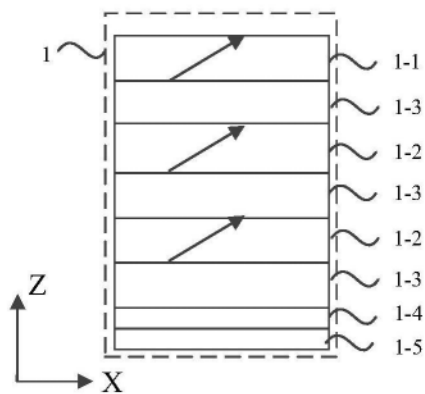


图12

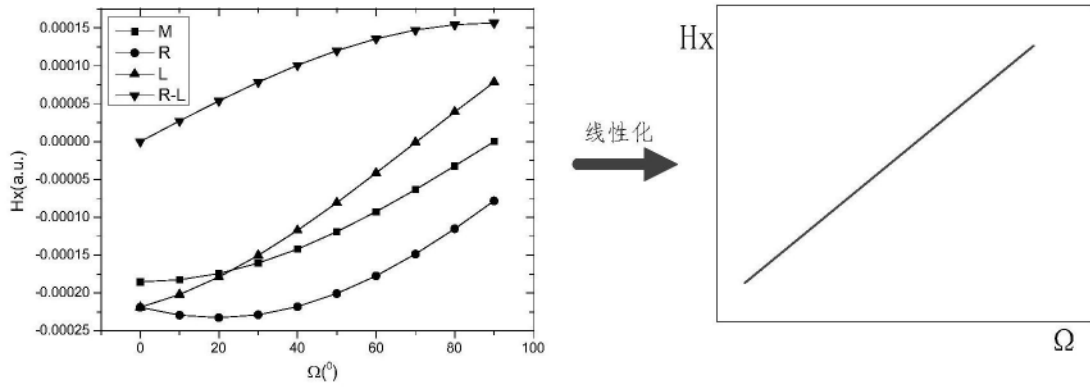


图13

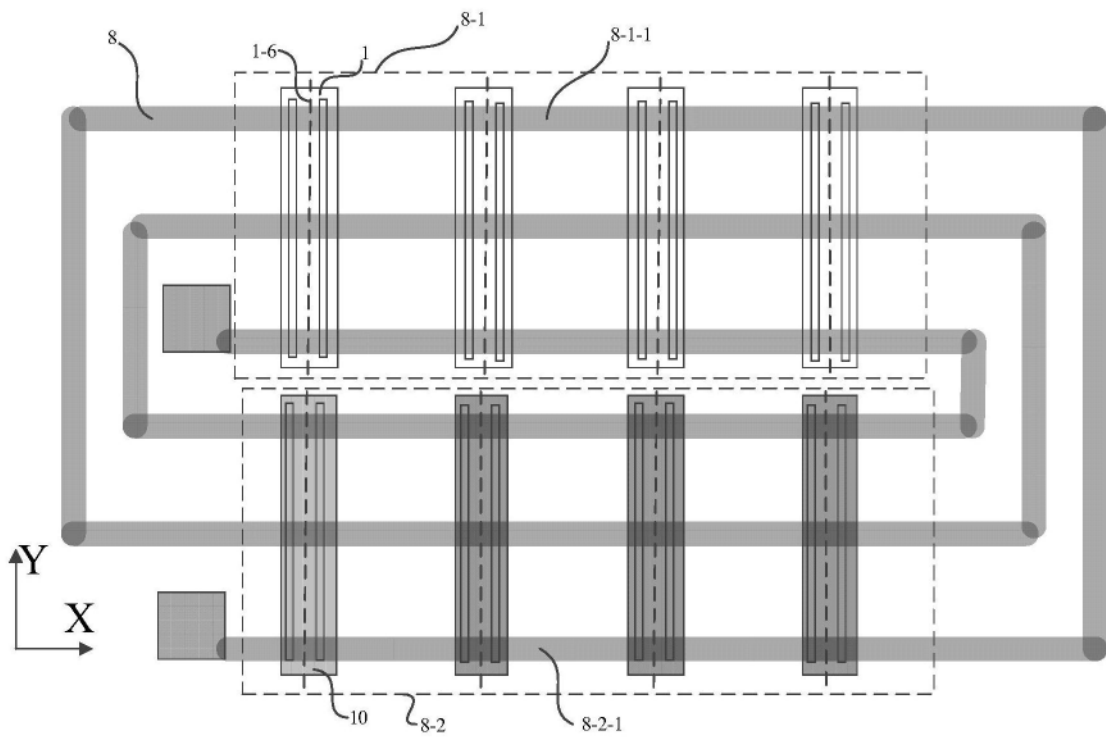


图14

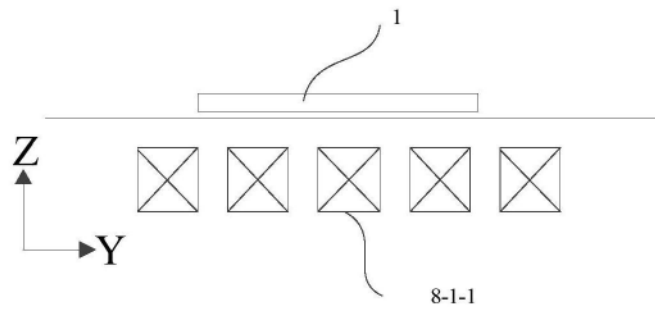


图15

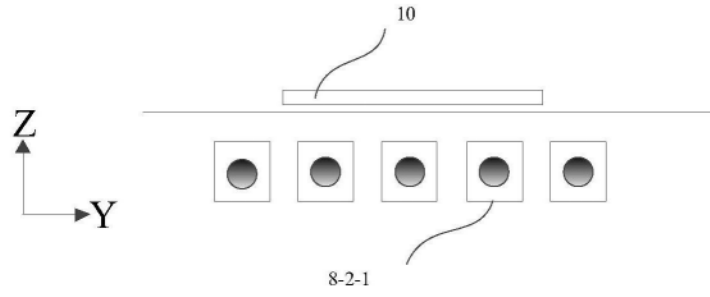


图16

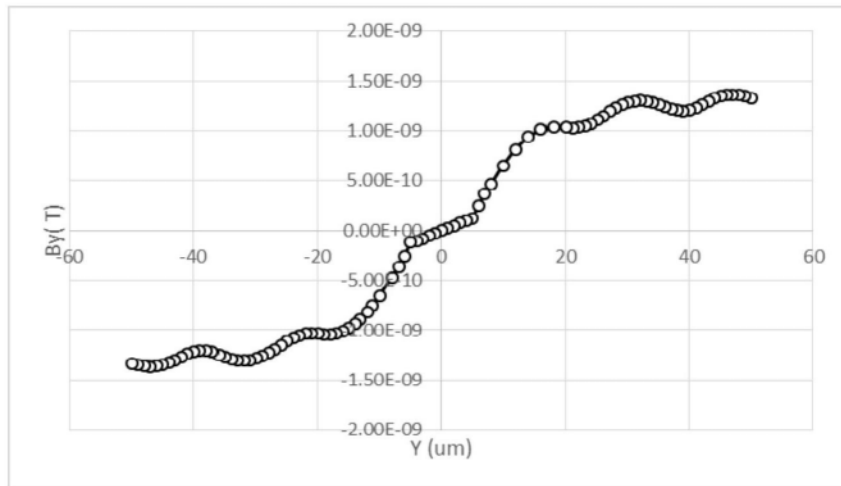


图17

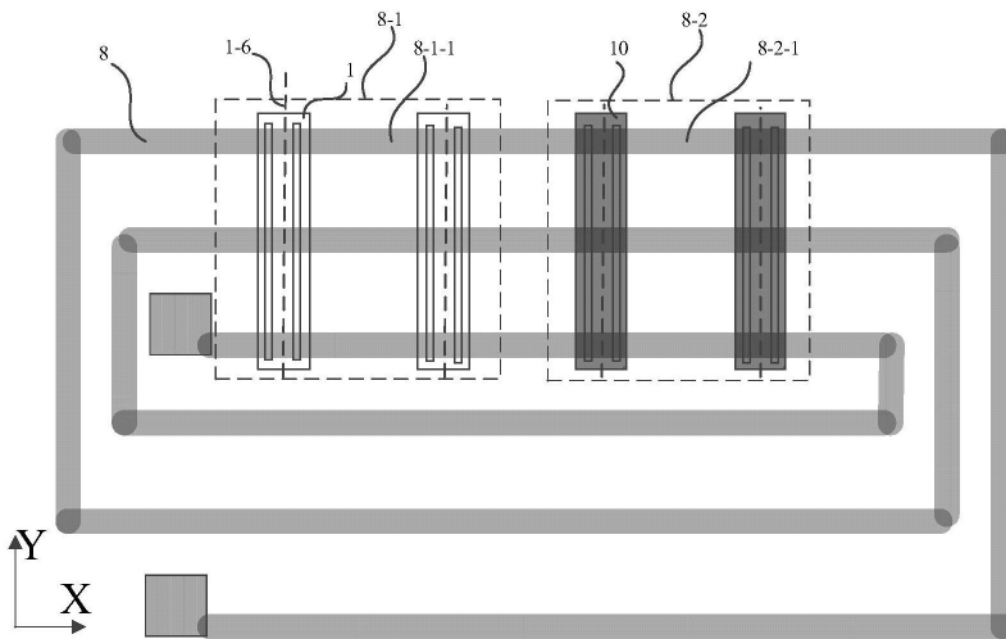


图18

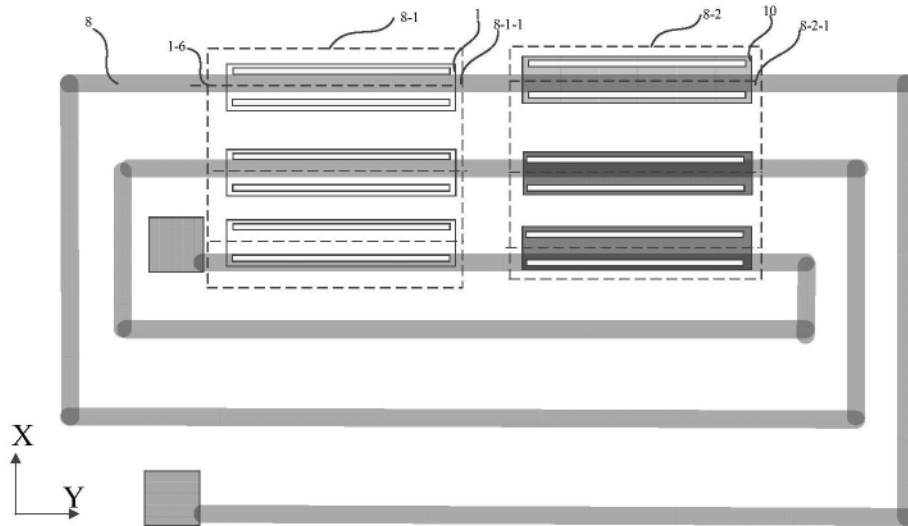


图19

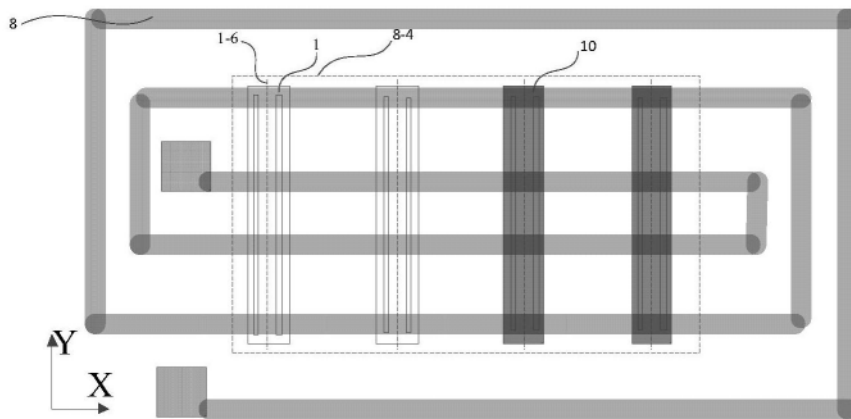


图20

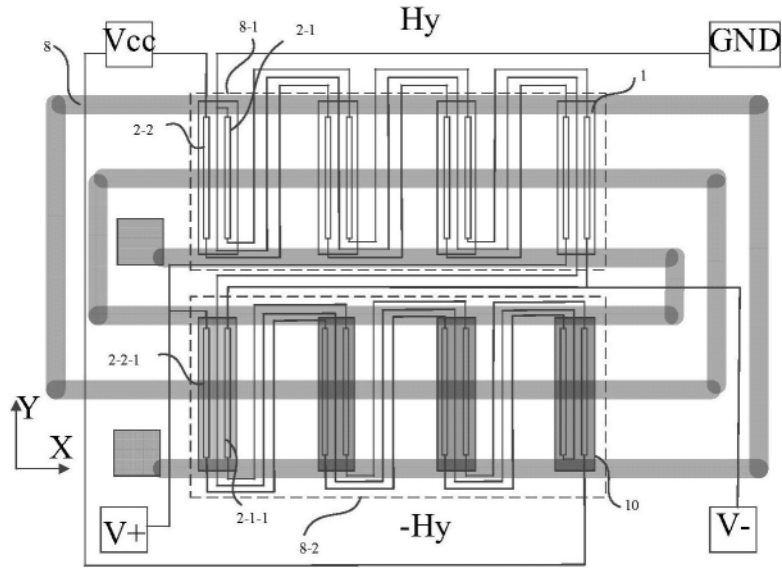


图21

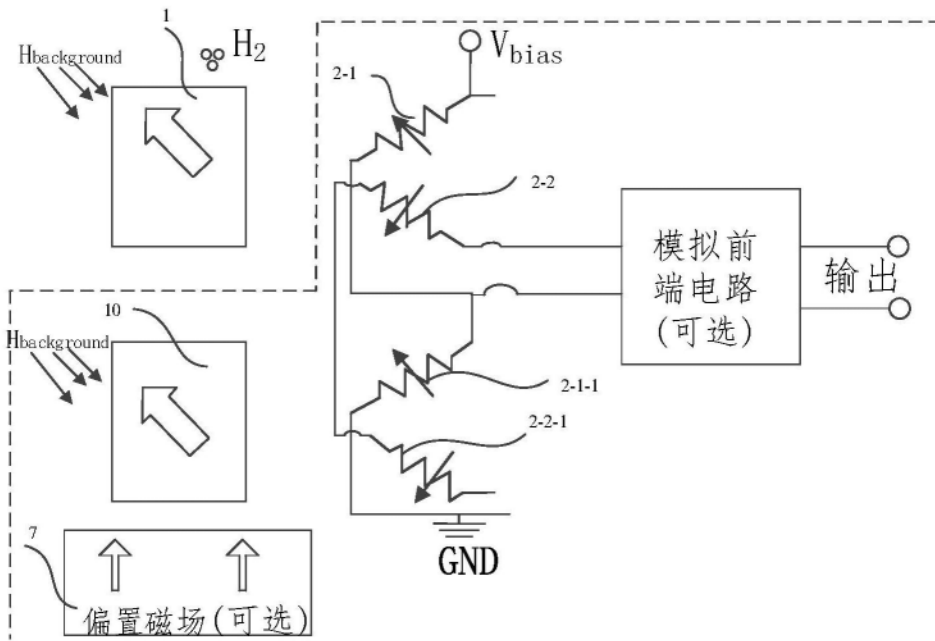


图22

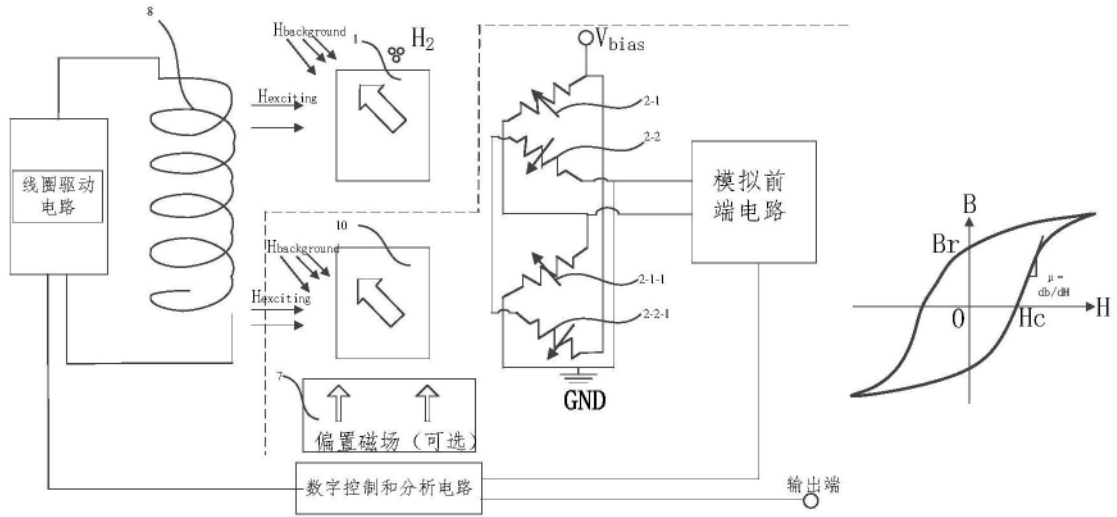


图23

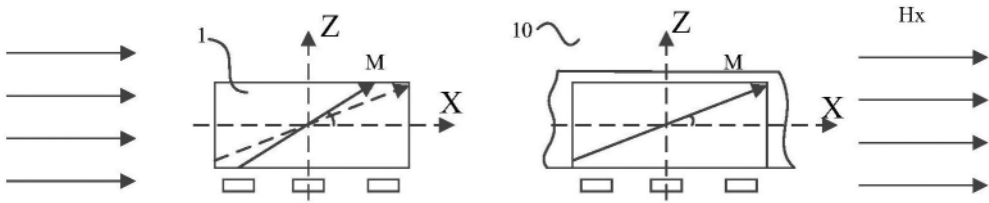


图24a

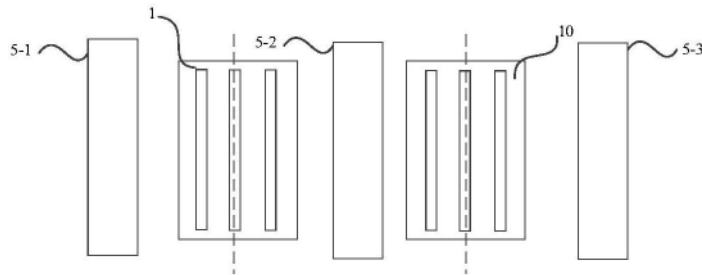


图24b

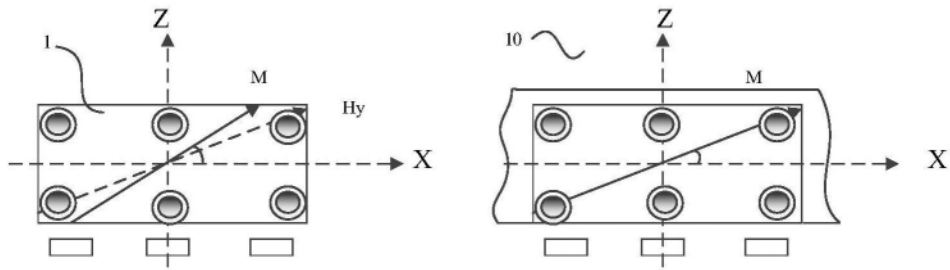


图25a

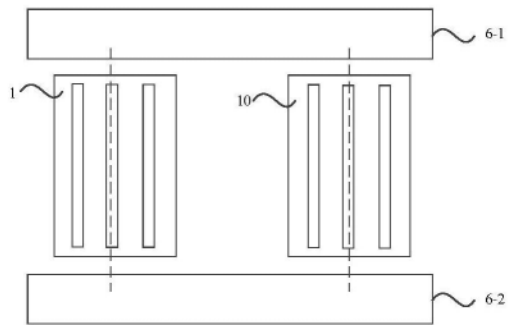


图25b

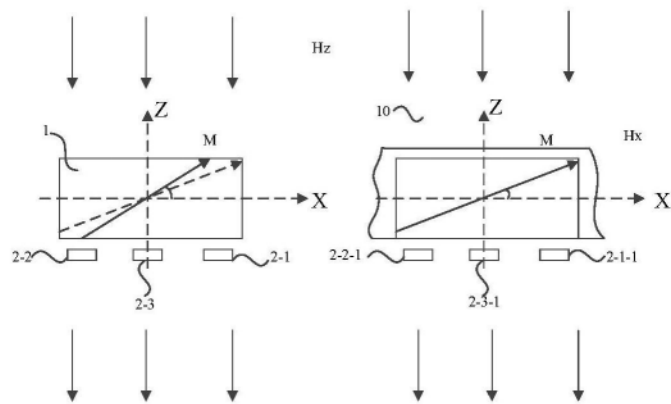


图26a

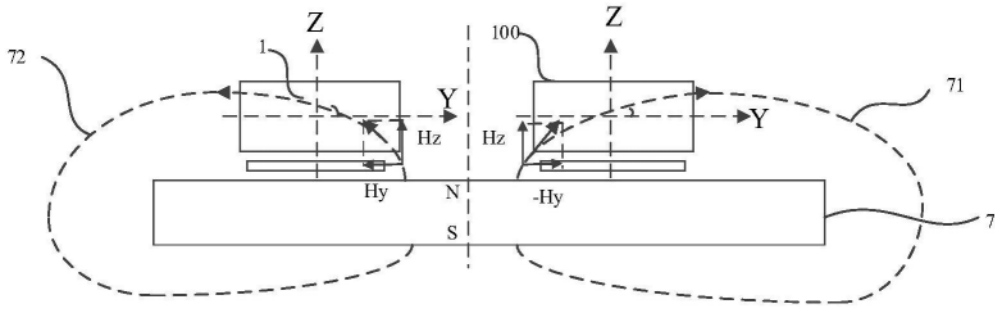


图26b

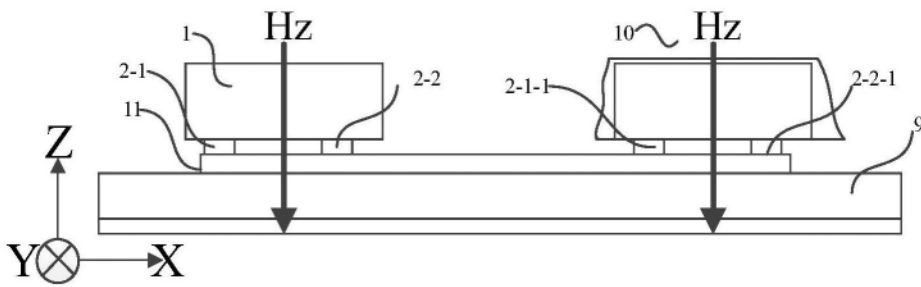


图27a

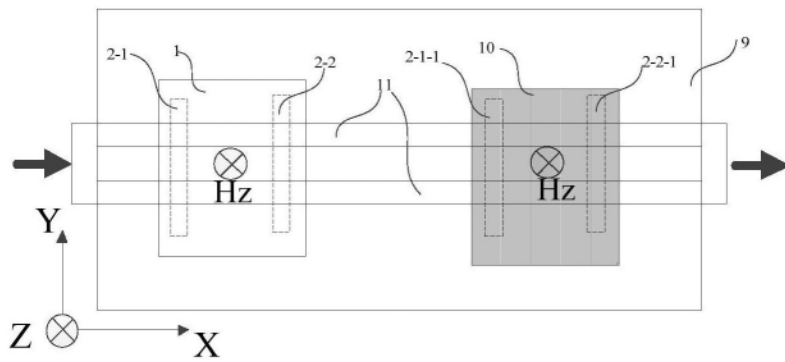


图27b

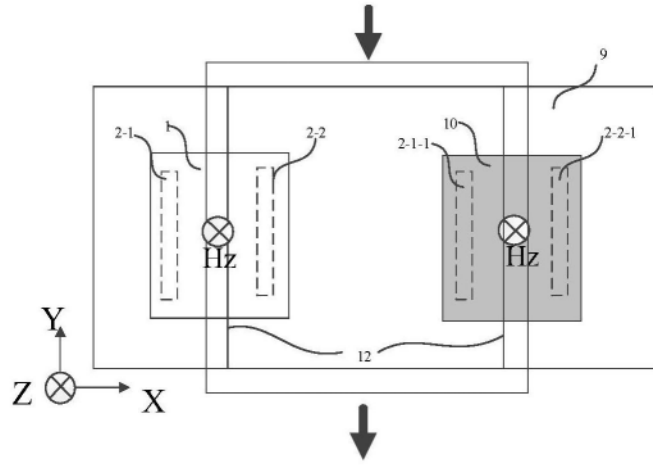


图27c

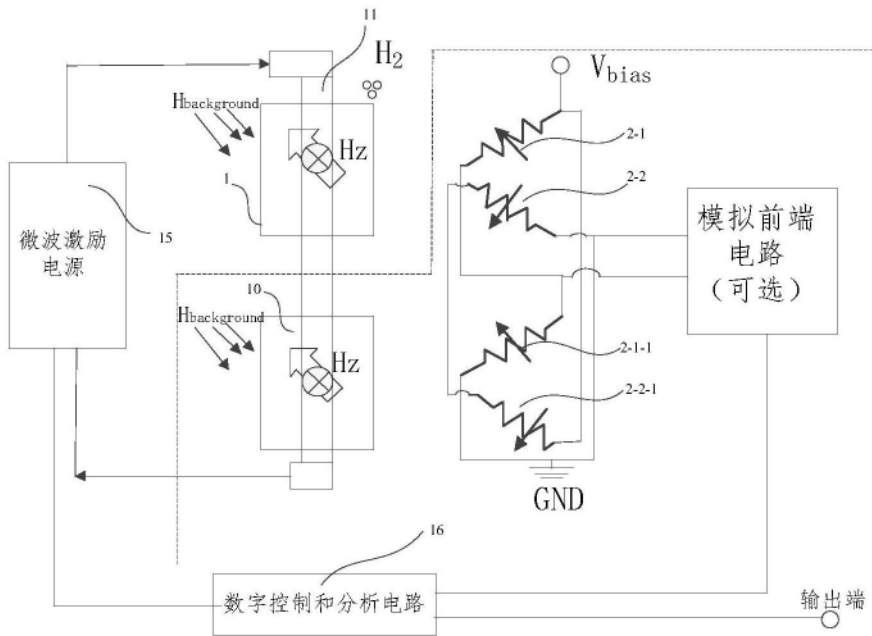


图28

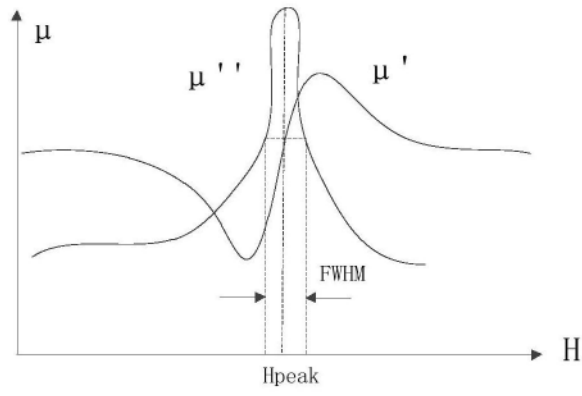


图29

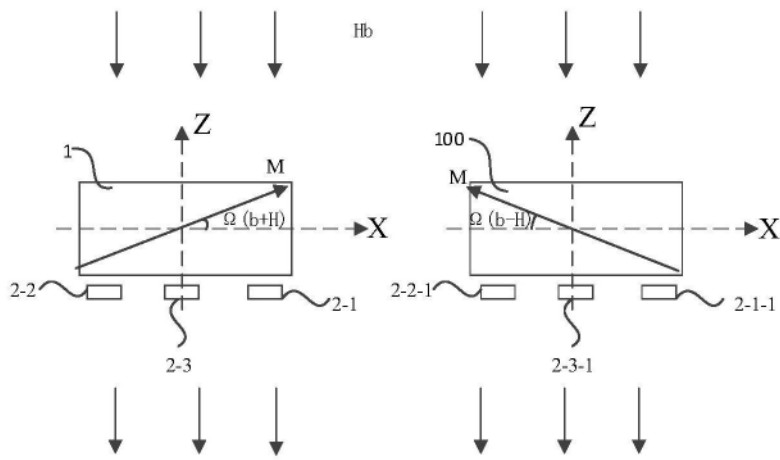


图30

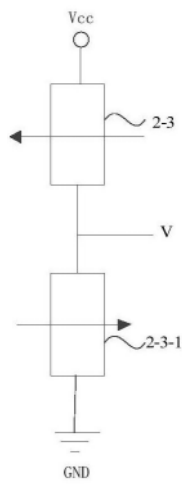


图31a

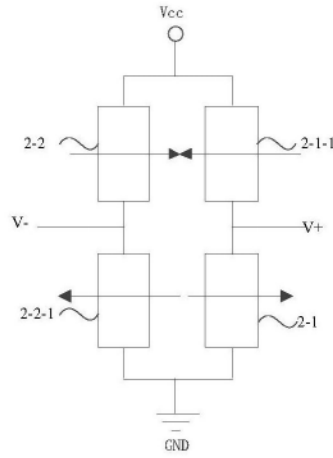


图31b

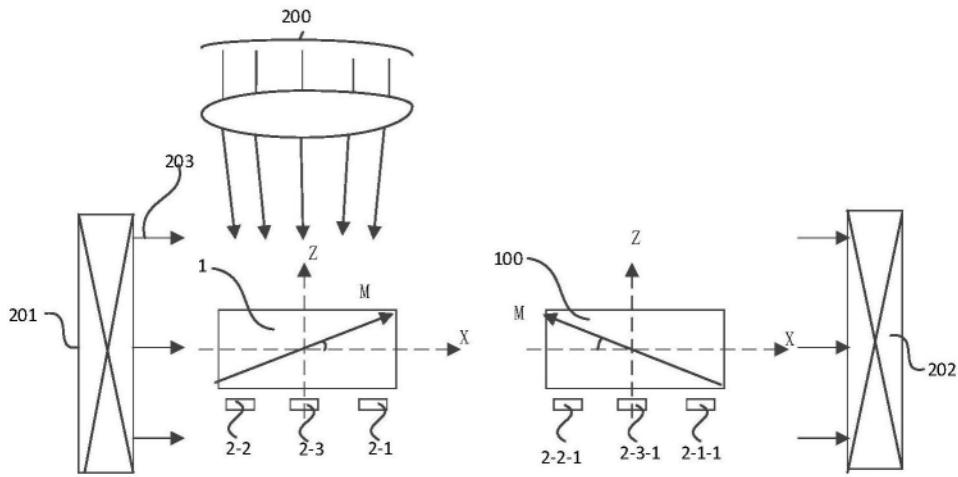


图32a

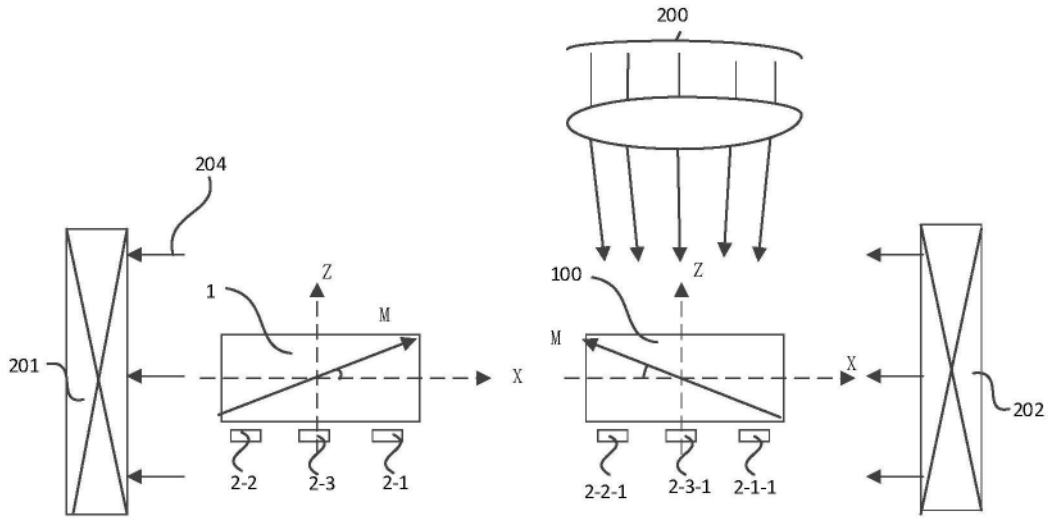


图32b

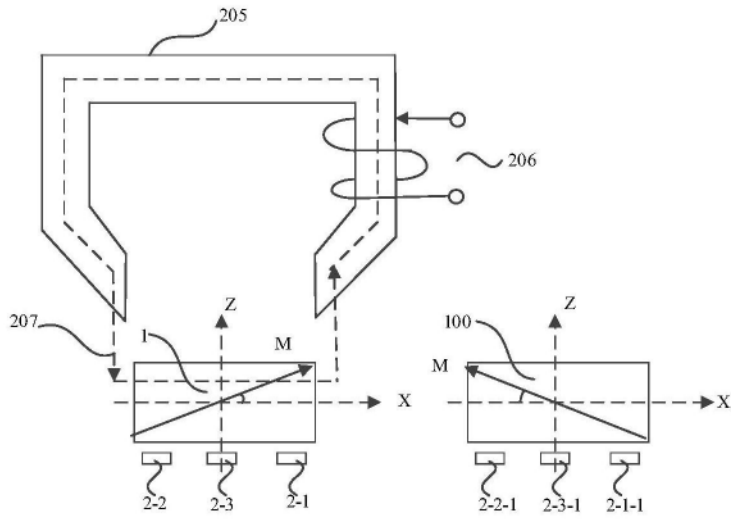


图33a

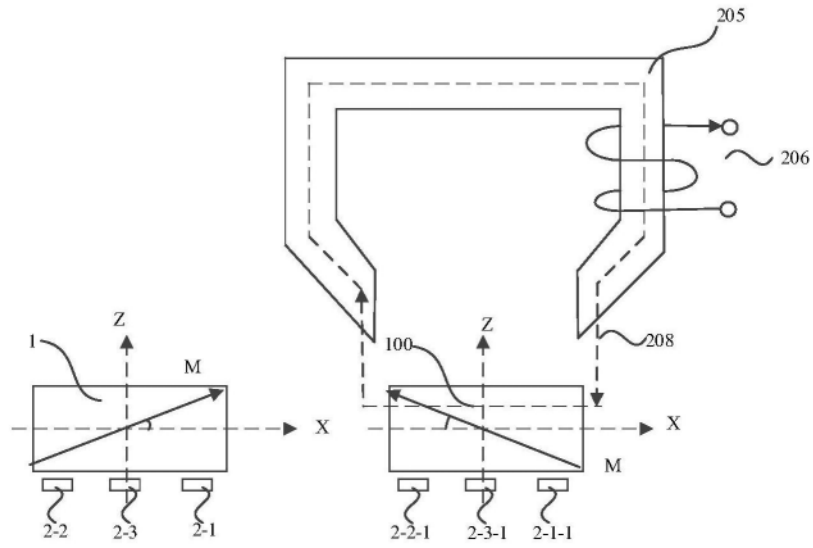


图33b

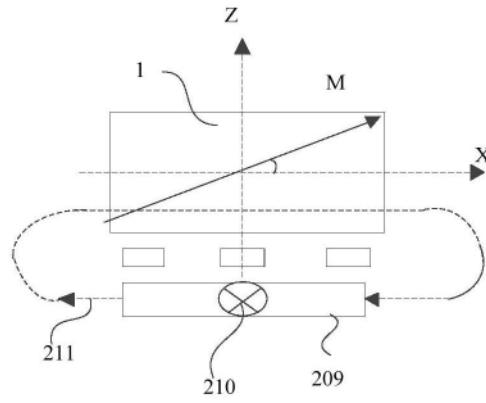


图34a

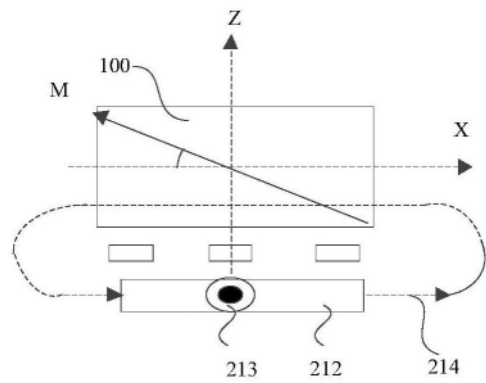


图34b

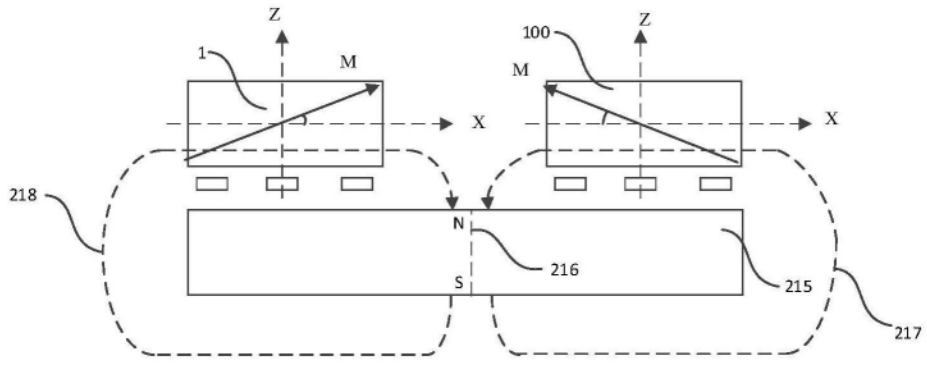


图35

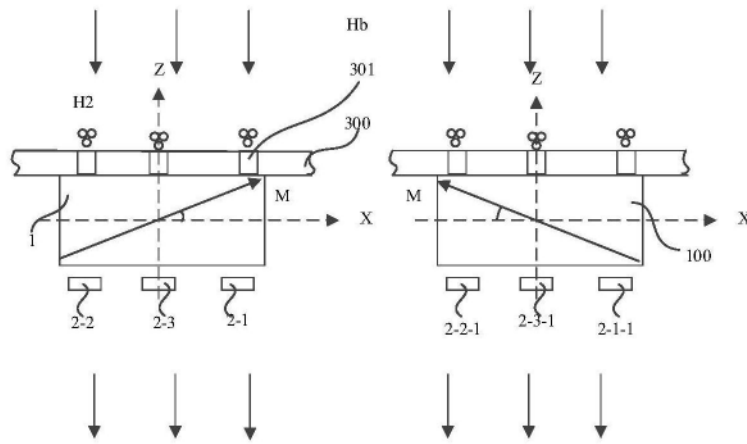


图36

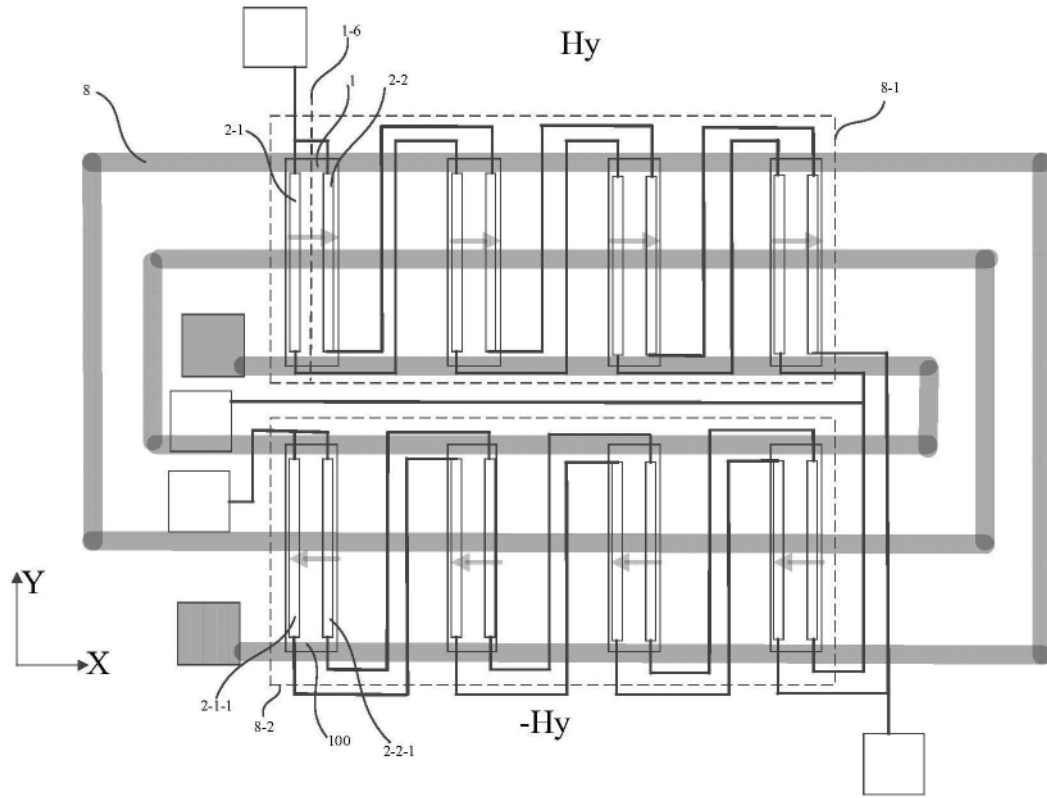


图37

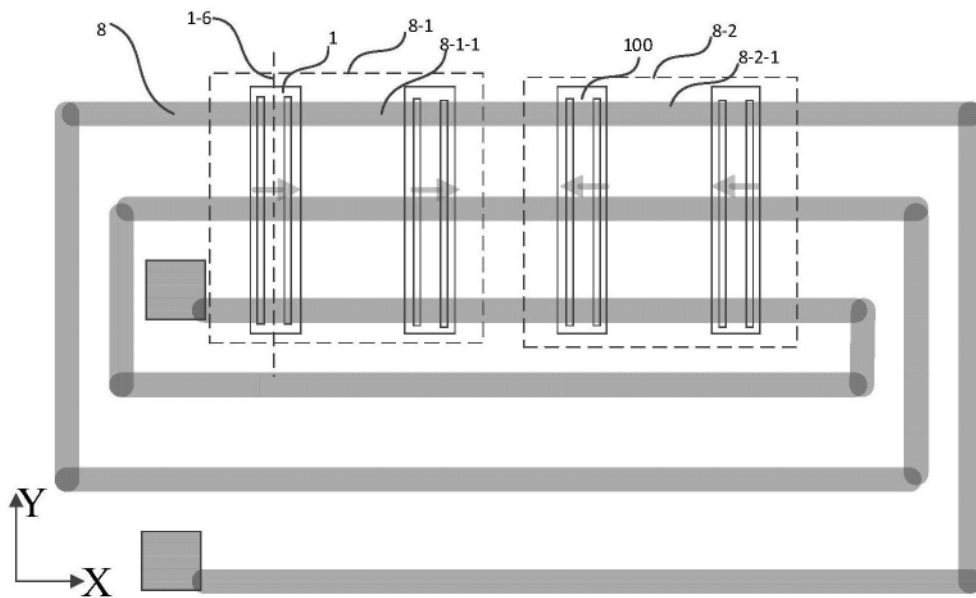


图38

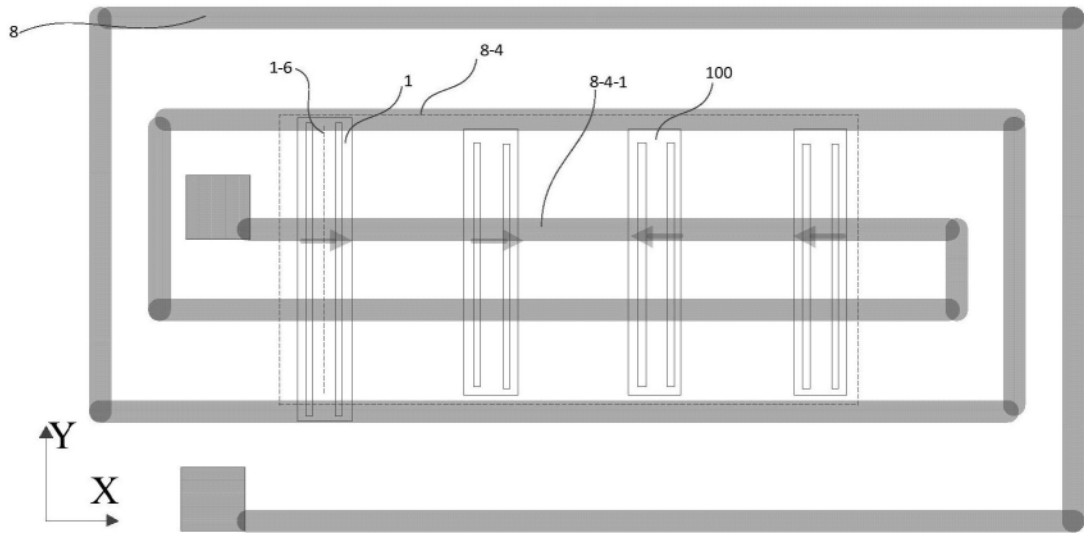


图39

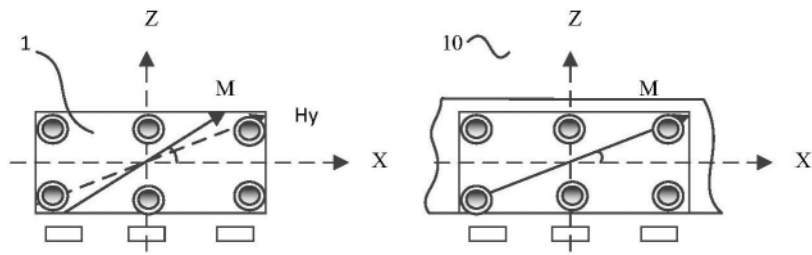


图40a

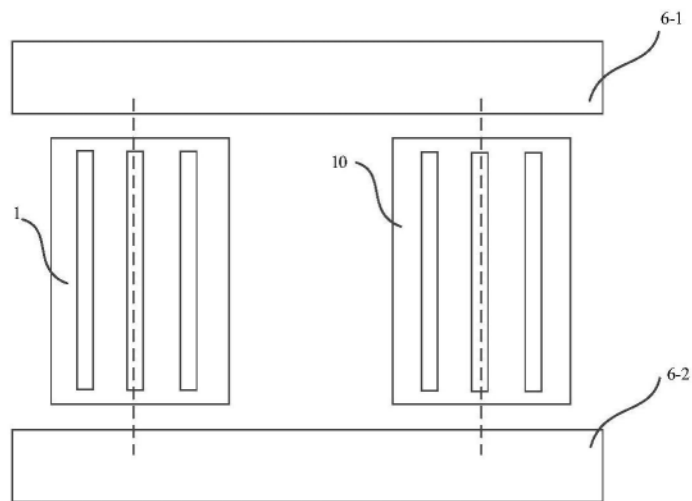


图40b

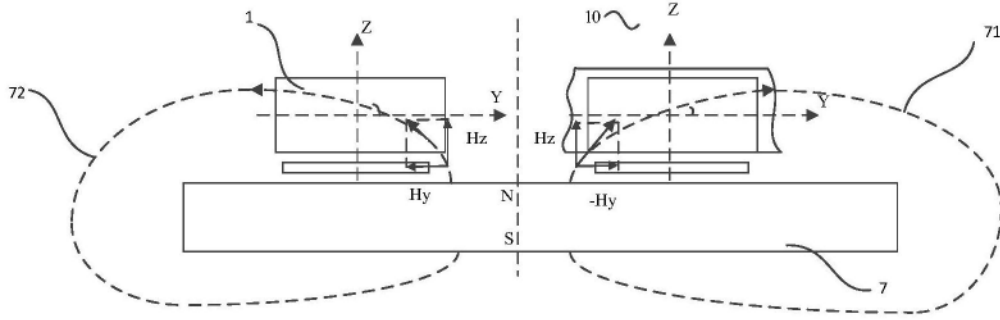


图41

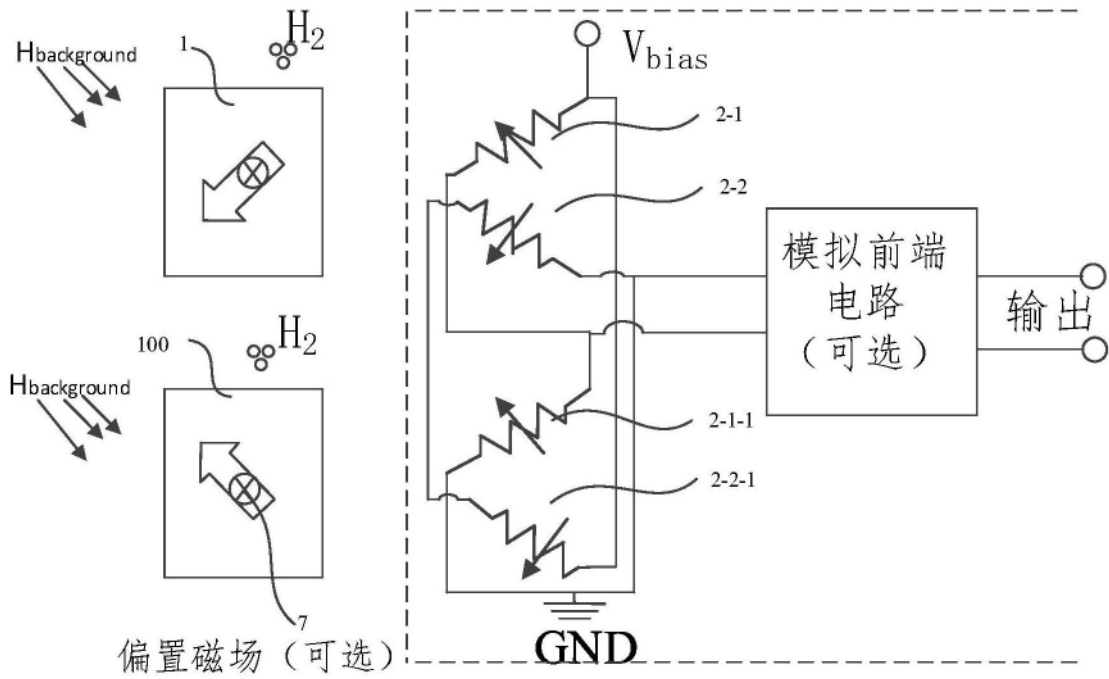


图42

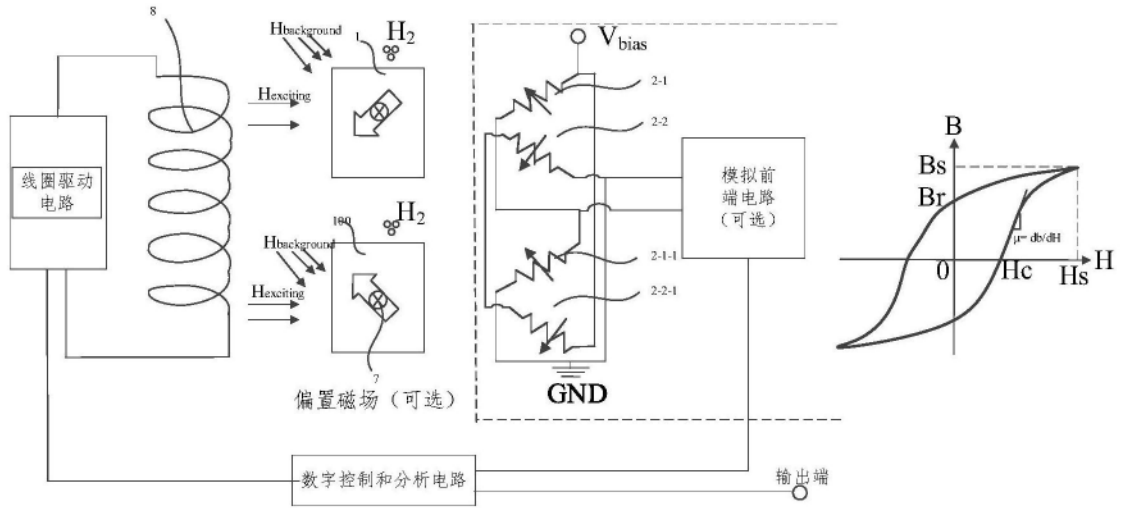


图43

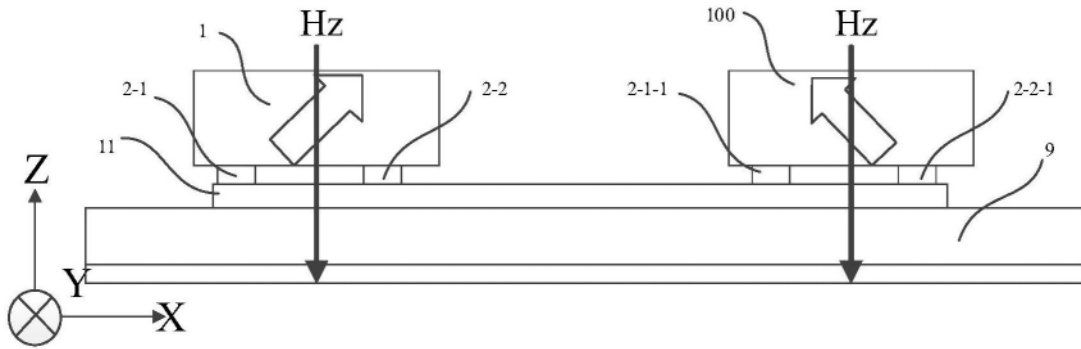


图44a

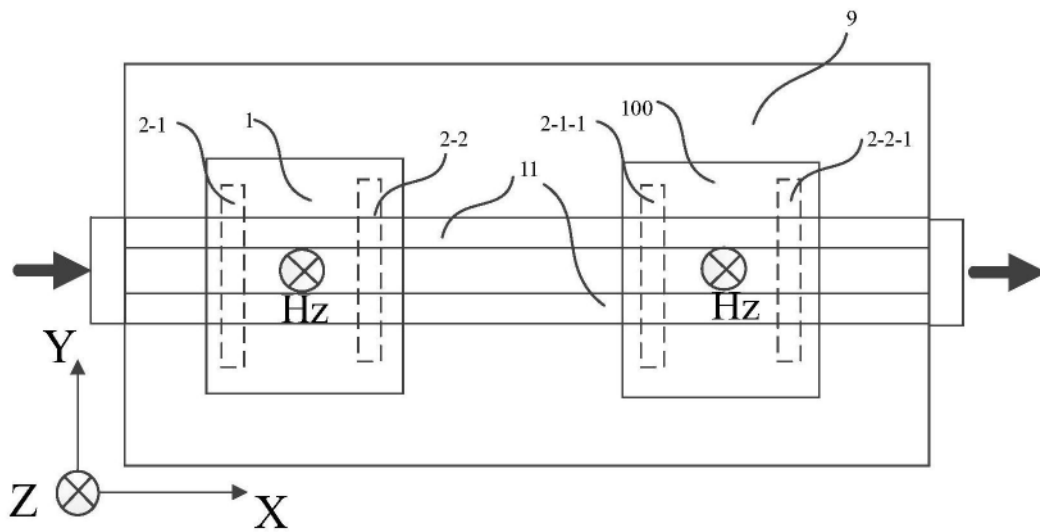


图44b

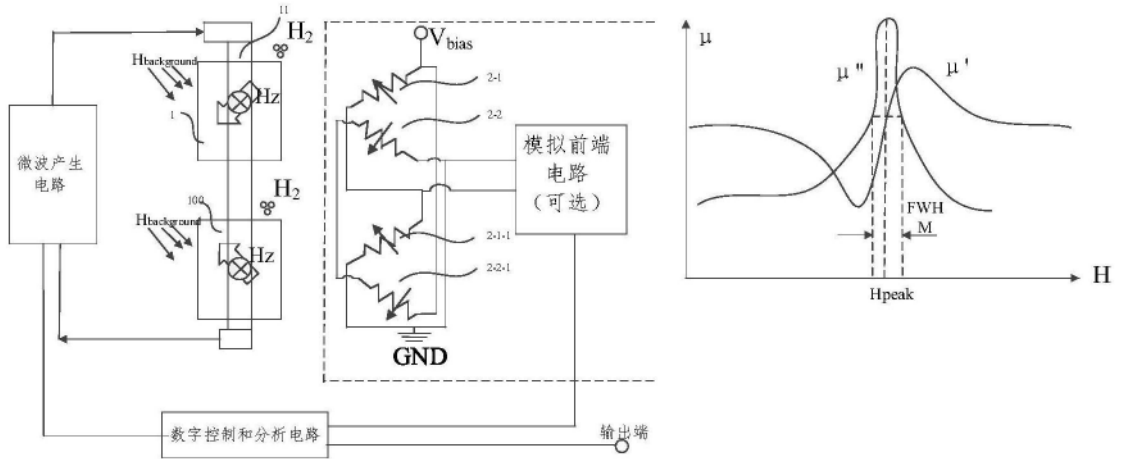


图45

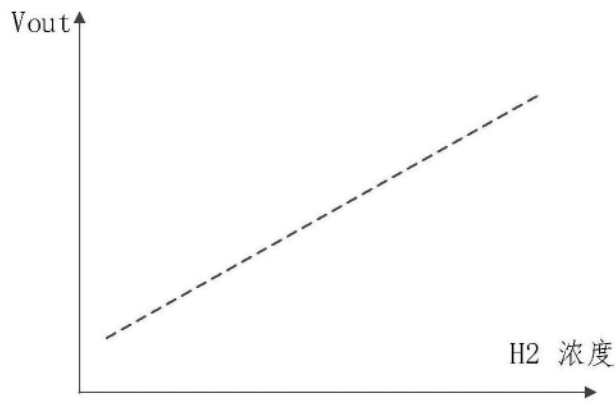


图46