



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118166328 A

(43) 申请公布日 2024.06.11

(21) 申请号 202410321357.3

(22) 申请日 2024.03.20

(71) 申请人 无锡尚积半导体科技有限公司

地址 214000 江苏省无锡市新吴区长江南路35-312号厂房

(72) 发明人 许磊 宋永辉 刘超 姜颖

(74) 专利代理机构 南京众联专利代理有限公司

32206

专利代理师 叶涓涓

(51) Int. Cl.

G23C 14/54 (2006.01)

G23C 14/35 (2006.01)

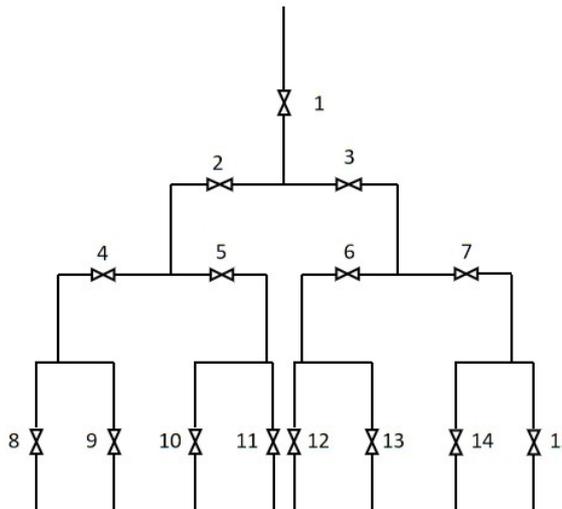
权利要求书1页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

一种用于反应磁控溅射的反应气体控制系统及调试方法

(57) 摘要

本发明公开了一种用于反应磁控溅射的反应气体控制系统及调试方法,属于半导体制造技术领域。用于反应磁控溅射的反应气体控制系统,包括多管路气体流量控制系统和反应气体分流器;多管路气体流量控制系统包括管路和n级阀门,反应气体分流器包括 $2^{n-1}$ 根通入磁控溅射腔体的气体管路,n级阀门逐级分流气体至气体管路,向磁控溅射腔体内通入气体。本发明采用n级阀门,通过均匀分布的多路气体分流器将气体送入腔体内,结合调试方法中反应后对薄膜多点电阻值的测量和计算,独立控制各阀门送出气体的流量,能够有效改善和保证薄膜成分均匀性。



1. 用于反应磁控溅射的反应气体控制系统的调试方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤1, 设定多管路气体流量控制系统中各阀门气体流量初始值;

步骤2, 通过多管路气体流量控制系统、反应气体分流器向磁控溅射腔体内通入气体; 所述多管路气体流量控制系统包括管路和n级阀门, n为自然数且 $n \geq 4$ ; 反应气体分流器包括 $2^{n-1}$ 根通入磁控溅射腔体的气体管路, n级阀门逐级分流气体至气体管路;

步骤3, 待反应完成后在薄膜表面取若干测量点, 测试获得这些测量点的电阻值;

步骤4, 计算步骤3获得的若干测量点的电阻值的方差, 再将方差除以若干测量点的电阻值的均值, 得到用于表示薄膜均匀性的数值;

步骤5, 判断步骤4得到的数值是否大于阈值, 当大于阈值时, 表示需要调整部分气体管路的流量, 进入步骤6; 如不大于阈值, 则结束调试;

步骤6, 获得偏离各测量点电阻值均值一定范围的测量点, 对流经该处的氧气流量进行补偿调节, 调节该处对应气管中的气体流量; 重复执行步骤2-5。

2. 根据权利要求1所述的用于反应磁控溅射的反应气体控制系统的调试方法, 其特征在于, 所述测量点均匀分布在薄膜表面。

3. 用于反应磁控溅射的反应气体控制系统, 其特征在于, 包括多管路气体流量控制系统和反应气体分流器;

所述多管路气体流量控制系统包括管路和n级阀门, 所述n级阀门包括一个第1级阀门、两个第2级阀门, 四个第3级阀门…… $2^{n-1}$ 个第n级阀门, 所述第1级阀门用于向多管路气体流量控制系统通入气体; 从第2级阀门起, 当前级阀门中每两个阀门分别与一个上一级阀门通过管路连接, 用于分流从上一级阀门通入的气体;

所述反应气体分流器包括 $2^{n-1}$ 根分别与 $2^{n-1}$ 个第n级阀门连接的气体管路, 所述气体管路通入磁控溅射腔体中。

4. 根据权利要求3所述的用于反应磁控溅射的反应气体控制系统, 其特征在于,  $2^{n-1}$ 根气体管路的出气口均匀分布。

5. 根据权利要求3所述的用于反应磁控溅射的反应气体控制系统, 其特征在于, 所述反应气体分流器还包括固定圈, 所述固定圈安装在磁控溅射腔体内,  $2^{n-1}$ 根气体管路安装在固定圈上。

6. 根据权利要求3所述的用于反应磁控溅射的反应气体控制系统, 其特征在于, 1级阀门前和/或n级阀门后分别设置有电磁阀。

7. 根据权利要求3所述的用于反应磁控溅射的反应气体控制系统, 其特征在于, 所述n级阀门采用手动阀或质量流量计。

8. 根据权利要求7所述的用于反应磁控溅射的反应气体控制系统, 其特征在于, 当n级阀门采用质量流量计时, 质量流量计通过PLC控制。

## 一种用于反应磁控溅射的反应气体控制系统及调试方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于半导体制造技术领域,具体涉及一种用于反应磁控溅射的反应气体控制系统及调试方法。

### 背景技术

[0002] 反应磁控溅射是一种改进的磁控溅射技术,它在传统磁控溅射的基础上引入了反应气体。在溅射过程中添加反应气体可以改变薄膜的成分和性质,实现对薄膜的精确调节。

[0003] 反应磁控溅射的过程和传统磁控溅射类似,但在气体注入环节有所不同。传统磁控溅射中使用惰性气体(如氩气)来维持稳定的溅射过程,而反应磁控溅射中会添加含有可反应成分的气体,使得溅射过程中发生化学反应。

[0004] 通过添加反应气体,可以实现以下几种功能:

合金薄膜制备:通过添加含有合金成分的气体,使靶材和反应气体发生反应,从而在基底上形成合金薄膜。

[0005] 化合物薄膜制备:通过添加含有化合物成分的气体,使靶材和反应气体发生化学反应,并在基底上形成化合物薄膜。

[0006] 氧化物薄膜制备:通过添加含氧气体,使靶材中的金属元素与氧气反应,形成金属氧化物薄膜。

[0007] 通过反应磁控溅射,可以实现对薄膜成分和结构的精确控制,扩展了薄膜制备的应用范围,并在材料科学、电子器件、光学薄膜等领域具有重要的应用价值。

[0008] 反应气体可以与靶材表面被溅射的金属原子或离子发生化学反应,形成化合物薄膜。常用的反应气体包括氮气、氧气、氩气、甲烷等。不同的反应气体会引入不同的化学元素,从而影响薄膜的化学组成和结构。

[0009] 反应气体的浓度和流量对薄膜成分的控制非常重要。增加反应气体的流量可以增加化学反应的速率,增加沉积薄膜中的化合物含量。然而,过高的反应气体流量可能会导致过度的化学反应,产生非理想的薄膜性能。

[0010] 反应气体分布对薄膜均匀性的影响是非常重要的。均匀的薄膜沉积可以确保薄膜在整个基底表面具有一致的厚度和组成,从而保证薄膜的性能和功能的一致性。

[0011] 反应气体分布不均匀可能导致以下问题:

1. 厚度不均匀性:如果反应气体分布不均匀,部分区域的气体浓度更高,而其他区域的气体浓度较低,这将导致薄膜沉积速率在不同区域有所差异,最终形成厚度不均匀的薄膜。

[0012] 2. 成分不均匀性:反应气体分布不均匀还会导致薄膜成分的不均匀。在部分区域,反应气体浓度较高,导致更多的化学反应发生,形成不同的沉积物成分。这将导致薄膜组成在不同区域存在差异。

[0013] 3. 结构不均匀性:反应气体分布的不均匀性还会影响薄膜的结构。例如,在氧化反应中,氧气浓度不均匀会导致氧化物相的形成不均匀,从而影响薄膜的晶体结构和性能。

[0014] 为了确保薄膜的均匀性,就需要设计合适的气体喷射系统,通过合理设计气体供应系统,确保反应气体均匀地喷射到靶材上。现有技术中尚无能够满足以上需求的系统结构。

### 发明内容

[0015] 为解决上述问题,本发明公开了一种用于反应磁控溅射的反应气体控制系统及调试方法,采用可控制流量且均匀分布的管路向磁控溅射腔体内通入气体,能够改善薄膜的均匀性。

[0016] 为达到上述目的,本发明的技术方案如下:

用于反应磁控溅射的反应气体控制系统的调试方法,包括如下步骤:

步骤1,设定多管路气体流量控制系统中各阀门气体流量初始值;

步骤2,通过多管路气体流量控制系统、反应气体分流器向磁控溅射腔体内通入气体;所述多管路气体流量控制系统包括管路和 $n$ 级阀门, $n$ 为自然数且 $n \geq 4$ ;反应气体分流器包括 $2^{n-1}$ 根通入磁控溅射腔体的气体管路, $n$ 级阀门逐级分流气体至气体管路;

步骤3,待反应完成后在薄膜表面取若干测量点,测试获得这些测量点的电阻值;

步骤4,计算步骤3获得的若干测量点的电阻值的方差,再将方差除以若干测量点的电阻值的均值,得到用于表示薄膜均匀性的数值;

步骤5,判断步骤4得到的数值是否大于阈值,当大于阈值时,表示需要调整部分气体管路的流量,进入步骤6;如不大于阈值,则结束调试;

步骤6,获得偏离各测量点电阻值均值一定范围的测量点,对流经该处的氧气流量进行补偿调节,调节该处对应气管中的气体流量;重复执行步骤2-5。

[0017] 进一步的,所述测量点均匀分布在薄膜表面。

[0018] 用于反应磁控溅射的反应气体控制系统,包括多管路气体流量控制系统和反应气体分流器;

所述多管路气体流量控制系统包括管路和 $n$ 级阀门,所述 $n$ 级阀门包括一个第1级阀门、两个第2级阀门,四个第3级阀门…… $2^{n-1}$ 个第 $n$ 级阀门,所述第1级阀门用于向多管路气体流量控制系统通入气体;从第2级阀门起,当前级阀门中每两个阀门分别与一个上一级阀门通过管路连接,用于分流从上一级阀门通入的气体;

所述反应气体分流器包括 $2^{n-1}$ 根分别与 $2^{n-1}$ 个第 $n$ 级阀门连接的气体管路,所述气体管路通入磁控溅射腔体中。

[0019] 进一步的, $2^{n-1}$ 根气体管路的出气口均匀分布。

[0020] 进一步的,所述反应气体分流器还包括固定圈,所述固定圈安装在磁控溅射腔体内, $2^{n-1}$ 根气体管路安装在固定圈上。

[0021] 进一步的,1级阀门前和 $n$ 级阀门后分别设置有电磁阀。

[0022] 进一步的,所述 $n$ 级阀门采用手动阀或质量流量计。

[0023] 进一步的,当 $n$ 级阀门采用质量流量计时,质量流量计通过PLC控制。

[0024] 本发明的有益效果为:

本发明提供的用于反应磁控溅射的反应气体控制系统采用多级阀门,通过均匀分布的多路气体分流器将气体送入腔体内,结合调试方法中反应后对薄膜多点电阻值的测量

和计算,独立控制各阀门送出气体的流量,能够有效改善和保证薄膜成分均匀性。采用本发明提供的系统和方法能够直接从反应气体控制系统向磁控溅射腔体内分散通入气体,不需要开腔操作,减少操作步骤,减少工艺的调试时间。

### 附图说明

[0025] 图1为用于反应磁控溅射的反应气体控制系统中多管路气体流量控制系统结构示意图。

[0026] 图2为磁控溅射腔体结构示意图。

[0027] 图3为用于反应磁控溅射的反应气体控制系统中反应气体分流器俯视图。

[0028] 图4为用于反应磁控溅射的反应气体控制系统中反应气体分流器剖视图。

[0029] 图5为薄膜表面测量点位示意图。

[0030] 附图标记说明:

1:第1级阀门;2-3:第2级阀门;4-7:第3级阀门;8-15:第4级阀门;101:晶圆片载台;102:靶材;103:磁铁;104:反应气体分流器;105:固定圈;106:气体管路;107:Vcr接头;108:晶圆片。

### 具体实施方式

[0031] 以下将结合具体实施例对本发明提供的技术方案进行详细说明,应理解下述具体实施方式仅用于说明本发明而不适用于限制本发明的范围。

[0032] 本发明设计了用于反应磁控溅射的反应气体控制系统,包括多管路气体流量控制系统和反应气体分流器。

[0033] 其中,多管路气体流量控制系统整体结构示意图如图1所示,包括管路和4级阀门。其中第1级阀门包括:阀门1。其气体流量控制范围0-500sccm。第2级阀门包括:阀门2、阀门3。各第2级阀门气体流量控制范围0-250sccm。第3级阀门包括:阀门4、阀门5、阀门6、阀门7。各第3级阀门气体流量控制范围0-100sccm。第4级阀门包括:阀门8、阀门9、阀门10、阀门11、阀门12、阀门13、阀门14、阀门15。各第4级阀门气体流量控制范围0-50sccm。

[0034] 阀门1通过管路分别与阀门2、阀门3连接,从而控制流经阀门2、阀门3的气体流量。阀门2通过管路分别与阀门4、阀门5连接,从而控制流经阀门4、阀门5的气体流量;阀门3通过管路分别与阀门6、阀门7连接,从而控制流经阀门6、阀门7的气体流量。同样的,阀门4通过管路分别与阀门8、阀门9连接,从而控制流经阀门8、阀门9的气体流量;阀门5通过管路分别与阀门10、阀门11连接,从而控制流经阀门10、阀门11的气体流量;阀门6通过管路分别与阀门12、阀门13连接,从而控制流经阀门12、阀门13的气体流量;阀门7通过管路分别与阀门14、阀门15连接,从而控制流经阀门14、阀门15的气体流量。以上所有阀门,既可以为通过目视刻度调节的手动阀,也可以为带有PLC控制系统通过系统设定值调节的质量流量计。

[0035] 1级阀门前(以气体流入方向为前,气体流出方向为后)和4级阀门后还分别接有电磁阀,电磁阀在启动后,能够控制多管路气体流量控制系统的整体气体通断。根据不同应用场景,也可以单独在1级阀门前接电磁阀或单独在4级阀门后设置电磁阀,以满足控制需要。

[0036] 气体从阀门1通入,因此控制阀门1即可实现对通入磁控溅射腔体内反应气体总量的控制。进气总量一定时,通过调节各阀门流量大小可以分别实现2路第2

级气体管道(2级阀门所在管道)、4路第3级气体管道(3级阀门所在管道)、8路第4级气体管道(3级阀门所在管道)的单一流量控制。

[0037] 多管路气体流量控制系统安装在磁控溅射腔体外部,反应气体分流器安装在磁控溅射腔体中。磁控溅射腔体结构如图2所示,腔体内设置有晶圆片载台101、靶材102、腔体上方设置有磁铁103。反应气体分流器104安装在磁控溅射腔体内部,其俯视结构图如图3所示,包括与腔体形状相适应的环形固定圈105,以及与环形固定圈连接的八根均匀分布的气体管路106。八根气体管路一端固定在环形固定圈上,另一端伸入磁控溅射腔体内。每根气体管路固定在环形固定圈上的接口分别与多管路气体流量控制系统中的一个第4级阀门通过管路连接。八根气管根部固定在环形固定圈上的接口可密封安装1/4英寸Vcr接头107后再通过气体管路与第4级阀门相连。八根气体管路可做乱序连接,但基于设备调试便利性,固定起始点后依次连接。反应气体分流器104的剖视图如图4所示。气体管路的尺寸应根据腔体和晶圆的尺寸进行设计,结合调试方法,使得通入腔体内部的气体分布均匀。

[0038] 反应气体流经多管路气体流量控制系统后,进入反应气体分流器,最后进入腔体内部。经主动扩散后,在腔体内形成均匀分布。

[0039] 为了让磁控溅射氧化物薄膜成分均匀,并在理想范围内,我们在对腔体调试阶段需要对从不同方位进气的反应气体流量做补偿调整,即在上述4级阀门中不同位置选择不同流量,以控制氧化物薄膜成分。

[0040] 需要说明的是,4级阀门仅为示例,本领域内普通技术人员可以根据需要调整阀门级数,以大于或等于4级为佳。例如,可采用5级阀门,即在8路第4级气体管道之后再分为16路管道,并再各路管道上设置一个阀门,共计接入16个阀门,从而形成第5级阀门。增加级数能够增加最终流入腔体的气体管路数量,从而提高控制精准度,但随之而来会导致成本的提高。本领域内普通技术人员应根据需要选择合适级数的多级管路与阀门。

[0041] 用于反应磁控溅射的反应气体控制系统具体的调试方法为:

步骤1,设定多管路气体流量控制系统中各阀门气体流量初始值;下表1为一个具体的实施例中各阀门初始流量,该例中,靶材材料为Ti,通入的反应气体为 $O_2$ 。需要说明的是,本例中初始流量均匀分布,但其不应作为本发明的限制,本领域内普通技术人员可以根据需要调整各阀门初始流量值。

[0042]

靶材材料	Ti
阀门编号/质量流量计编号	反应气体流量/ $O_2$
1	50sccm
2	25sccm
3	25sccm
4	10sccm
5	10sccm
6	10sccm
7	10sccm
8	5sccm
9	5sccm
10	5sccm

11	5sccm
12	5sccm
13	5sccm
14	5sccm
15	5sccm

表1

从上表可知,第2级气体流量之和大于第3级气体流量之和,从而保证前级压力大于后级压力,避免产生返流。

[0043] 步骤2,通过多管路气体流量控制系统、反应气体分流器向磁控溅射腔体内通入气体。

[0044] 步骤3,待反应完成后在薄膜表面取若干测量点,测试这些测量点的电阻值。如图5所示,本例中在晶圆片108表面得到的TiO<sub>2</sub>薄膜表面较分散地取了9个点(点位数量根据需要调整),各测点点位测得的电阻值如表2所示:

点位	电阻 K $\Omega$
1	150
2	142
3	148
4	149
5	144
6	155
7	153
8	171
9	165

表2

图5中测量点位数量和位置仅做示例,在实际调试时可根据需要调整测量点的数量和具体位置,以均匀分布为佳。

[0045] 步骤4,计算步骤3获得的若干测量点的电阻值的方差,再将方差除以若干测量点的电阻值的均值;得到TiO<sub>2</sub>薄膜均匀性为6.23%。该数值越低,代表薄膜均匀性越好。

[0046] 步骤5,判断步骤4得到的结果是否大于阈值,当大于阈值时,则表示需要调整部分气体管路的流量,本例中预先设置阈值为3%(可根据需要调整),TiO<sub>2</sub>薄膜均匀性为6.23%显然大于阈值,则需要调整流量,进入步骤6。如不大于阈值,则表示各气体管路流量适中,结束调试。

[0047] 步骤6,获得偏离各测量点电阻值均值一定范围的测量点,本例中电阻均值为153K $\Omega$ ,其中点位⑧、⑨电阻较大,分别为171K $\Omega$ 和165K $\Omega$ ,超出均值10K $\Omega$ 以上,这表示点位⑧、⑨对应位置的薄膜氧元素比例较大,需要对流经该处的氧气流量进行补偿调节,即减小该处对应气体管路中的氧气流量。本例中,由于电阻高于均值的点位数量多于电阻低于均值的点位数量,因此选择偏离较大的高电阻点位作为调节点位,减小这些调节点位处的氧气流量。若电阻低于均值的点位数量多于电阻高于均值的点位数量,则应选择偏离较大的低电阻点位作为调节点位,增加调节点位附近处对应气体管路中的氧气流量。通过以上调节

方式,能够减少需要调整流量的管路数量,节约操作步骤和成本。调节点位处对应气体管路的获取方式为:分别计算各气体管路出口与点位⑧、⑨的距离,距离小于调整阈值范围的则为需要调整流量的气体管路。与各气体管路连接的第4级阀门序号均已标示在图5中,其中,与阀门8、阀门9、阀门10、阀门15对应连接的气体管路出口距离点位⑧、⑨较近,如下表3所示调整它们的流量:

靶材材料	Ti
阀门编号/质量流量计编号	反应气体流量/02
1	50sccm
2	25sccm
3	25sccm
4	10sccm
5	10sccm
6	10sccm
7	10sccm
8	4.5sccm
9	4.5sccm
10	5.2sccm
11	5sccm
12	5sccm
13	5sccm
14	5sccm
15	5.2sccm

表3

再次执行步骤2至步骤5,依然测量图5中的9个点位,阻值如下表4所示:

点位	电阻 K $\Omega$
1	147
2	144
3	149
4	148
5	145
6	154
7	153
8	153
9	154

表4

经过步骤4计算得到TiO<sub>2</sub>薄膜均匀性明显改善,由6.23%降低为2.63%,低于阈值,调试结束。

[0048] 需要说明的是,以上内容仅仅说明了本发明的技术思想,不能以此限定本发明的保护范围,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做

出若干改进和润饰,这些改进和润饰均落入本发明权利要求书的保护范围之内。

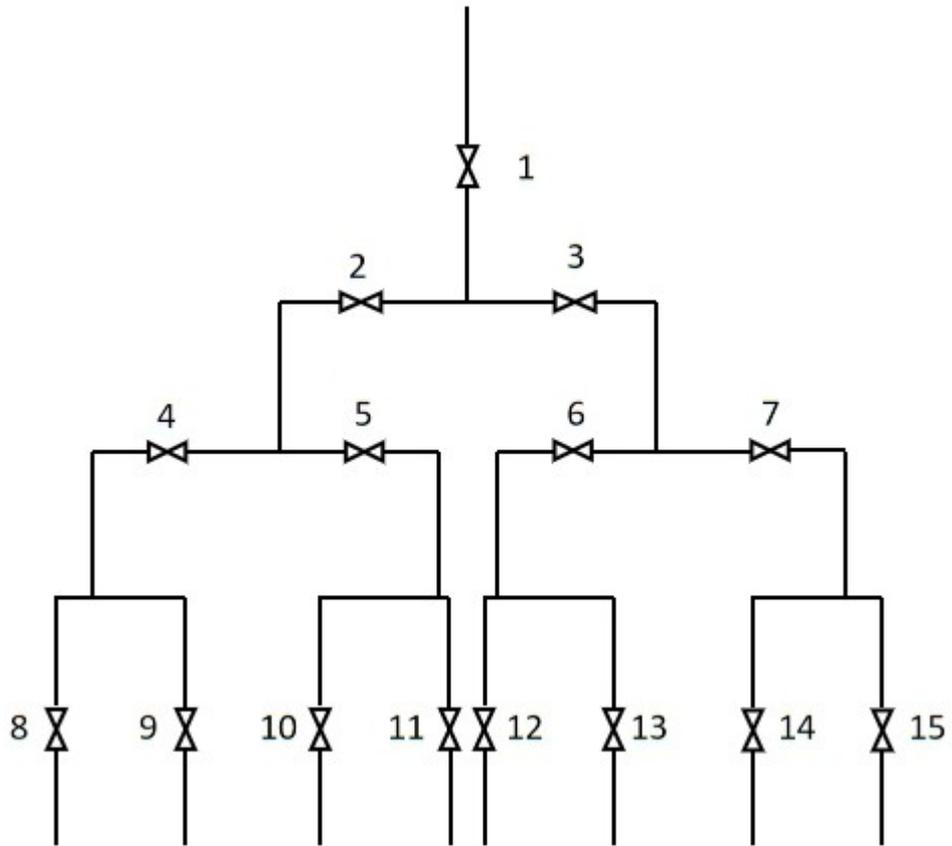


图1

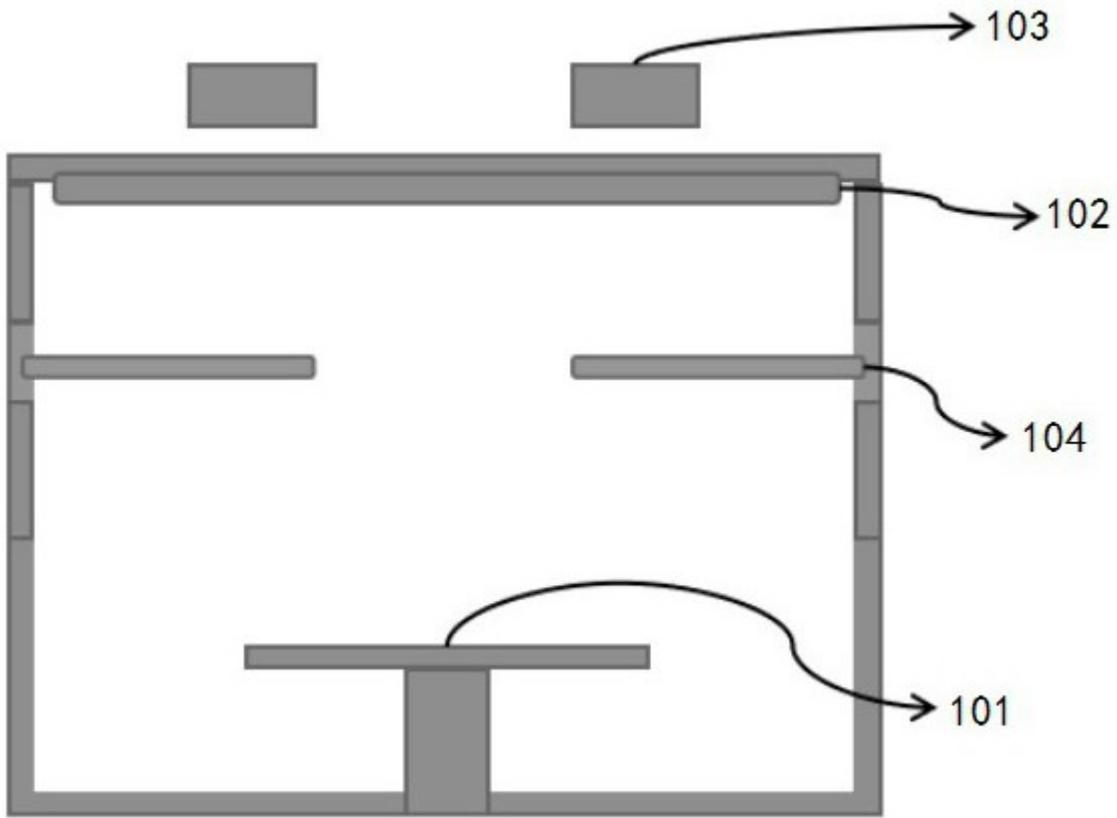


图2

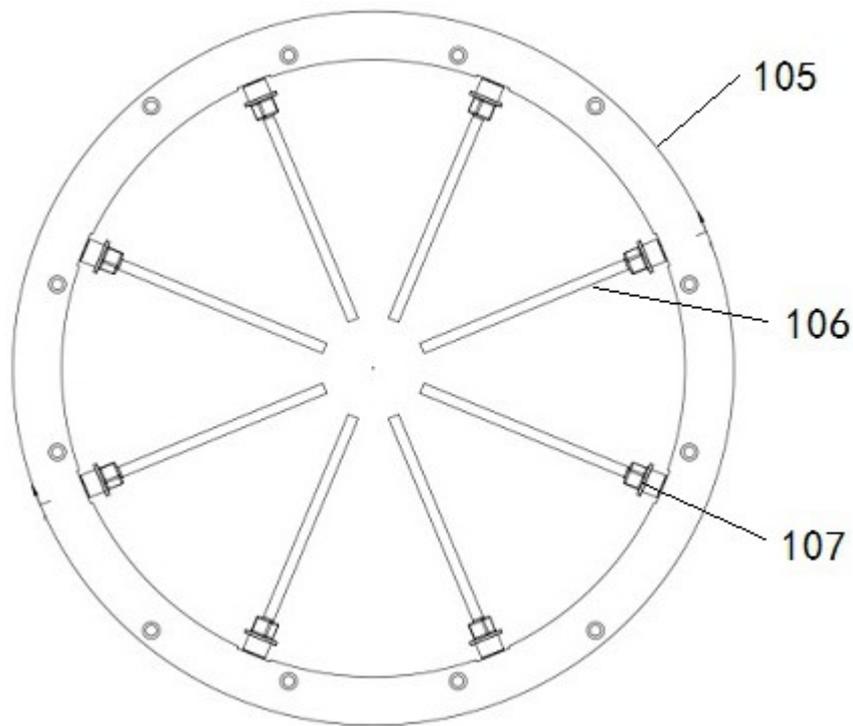


图3

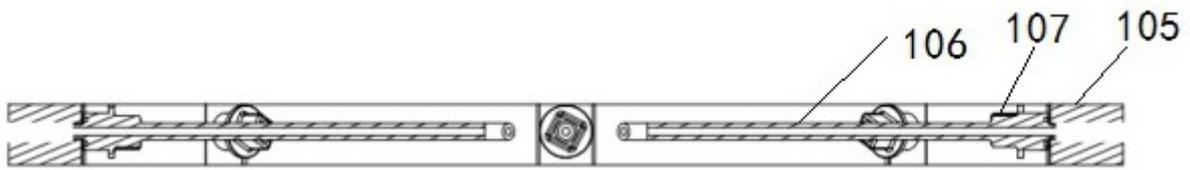


图4

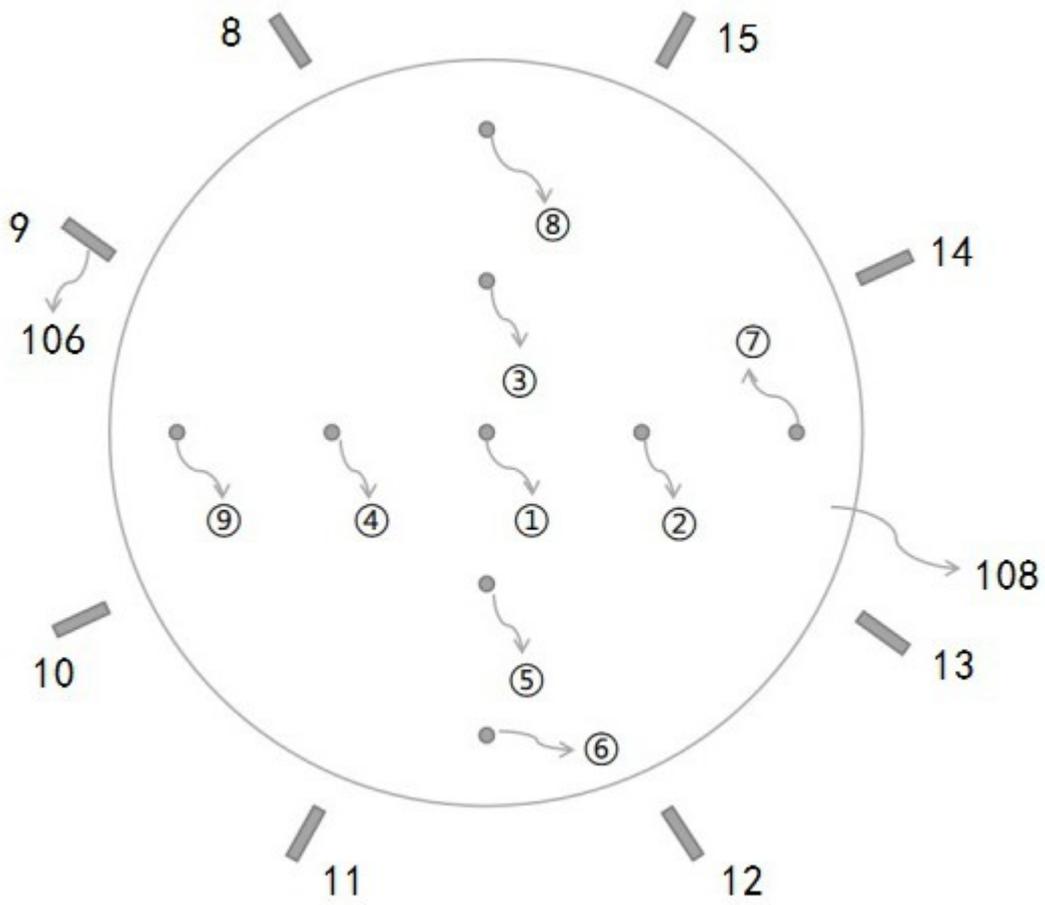


图5