



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101684550 B

(45) 授权公告日 2012.04.11

(21) 申请号 200910170785.6

第 49-67 行以及附图 2B-2C.

(22) 申请日 2005.06.27

审查员 周倩

(30) 优先权数据

60/583,854 2004.06.28 US

60/652,541 2005.02.14 US

(62) 分案原申请数据

200580025921.2 2005.06.27

(73) 专利权人 剑桥纳米科技公司

地址 美国马萨诸塞州

(72) 发明人 道韦·J·蒙斯马 吉尔·S·贝克

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司

11227

代理人 杨献智 田军锋

(51) Int. Cl.

C23C 16/455(2006.01)

(56) 对比文件

US 2003/0164326 A1, 2003.09.04, 说明书第 6-7 段以及附图 5、11、12.

US 6354241 B1, 2002.03.12, 说明书第 7 栏

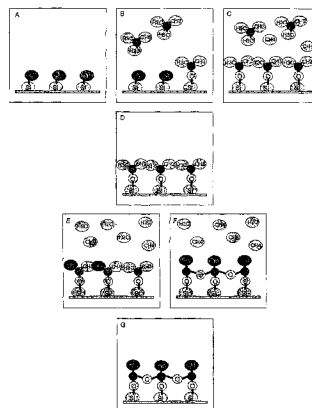
权利要求书 1 页 说明书 14 页 附图 28 页

(54) 发明名称

设计为用于气相沉积系统中的阱

(57) 摘要

本发明提供了气相沉积系统和与该系统相关的方法。所述系统可设计成包括如下特征：能够促进高质量的沉积；简化制造、改进和使用；以及减少所述系统的占地面积，以及其它优点。



1. 一种设计为用于气相沉积系统中的阱,以捕获前体,其中所述前体与所述阱的表面起反应以沉积涂层,所述阱的多数表面区域基本上平行于通过该阱的气态物质流,并且所述阱由无孔金属薄片形成。

2. 如权利要求 1 所述的阱,其中所述阱包括波状表面。

3. 如权利要求 2 所述的阱,其中所述阱是卷绕组件,包括与波状薄片部分装配在一起的平薄片部分。

4. 如权利要求 1 所述的阱,其中所述阱设计成使得沿着所述阱的长度的前体沉积距离可以由用户通过眼睛确定,并且所述沉积距离与前体的过度剂量有关。

5. 如权利要求 1 所述的阱,其中所述阱的至少 75% 的表面区域基本上平行于通过所述阱的气态物质流。

6. 如权利要求 1 所述的阱,其中所述阱的至少 95% 的表面区域基本上平行于通过所述阱的气态物质流。

7. 如权利要求 1 所述的阱,其中所述阱的基本上所有表面区域基本上平行于通过所述阱的气态物质流。

8. 如权利要求 1 所述的阱,其中所述阱设计成定位在所述沉积系统的出口和真空计之间。

9. 如权利要求 1 所述的阱,其中所述系统是原子层沉积系统。

10. 如权利要求 1 所述的阱,其中所述阱设计成捕获未反应的前体。

设计为用于气相沉积系统中的阱

[0001] 本发明是申请日为 2005 年 6 月 27 日、申请号为 200580025921.2、发明名称为“气相沉积系统和方法”的发明专利申请的分案申请。

技术领域

[0002] 本发明大体涉及气相沉积系统和方法,更具体地,涉及原子层沉积系统和方法。

背景技术

[0003] 原子层沉积 (ALD) 是一种允许薄膜以原子层逐层生长的技术。该技术可通过 Al_2O_3 从水和三甲基铝 (TMA) 前体的沉积来说明,但不限于此。可在文献中发现许多其它生产绝缘体、金属和半导体的材料的配方。图 1 概略示出了 Al_2O_3 从水和 (TMA) 的生长。一般的步骤包括:(a) 将通过空气羟基化的基板插入真空腔,(b, c) TMA 前体以脉冲方式送入并且 TMA 将与在表面上的 OH 起反应。TMA 不会与自身和形成的单层起反应,由此具有钝化作用。(d) 未反应的 TMA 分子通过排空和 / 或利用氮气或氩气等惰性气体清除而去除。(e, f) 水以脉冲方式注入反应器。这将去除 CH_3 基团,形成 Al-O-Al 桥并且以 Al-OH 钝化所述表面。 CH_4 (甲烷) 形成为气体的副产品。(g) 未起反应的 H_2O 和 CH_4 通过排空和 / 或利用氮气清除而去除。(a-g) 称为一个循环并且每个循环产生大约 1.1 埃的 Al_2O_3 。从而,100 个循环产生 110 埃的 Al_2O_3 。

[0004] ALD 系统的设计遵循不同的途径,其中一些基于用于其它沉积技术(例如化学气相沉积)的沉积系统。

[0005] 一种途径是层流管式炉,如图 3 所示。在此情况下,基板 28 通过入口 36 插入管 24。所述基板利用管式炉加热器 26 加热并且在管 24 内的反应腔利用泵 34 排空。通过真空计 30 测量压力。连续的惰性气体流(运载气体)供自缸 10 并且利用惰性气体管线 12 注入前体管线。前体利用烘箱 14 加热。前体蒸气利用电控阀 18 和 22 从前体容器 16 和 20 以脉动方式送入。这种类型的反应器经常在研究环境中使用并且一般更适于小基板以便保持足够的温度均匀性,因为大基板显著增加了管式炉的在直径和长度方面的尺寸。该设计基于 CVD 系统,其中通常使用非常高的温度并且低温 O 形环入口从管式炉加热器上去掉。

[0006] 同样源于 CVD 技术的第二种 ALD 系统设计示于图 4。在此情况下,喷淋头 42 用来供应前体,目的是在表面上均匀分布化学物质。在这些设计中,基板加热器一般位于真空空间内部。尽管喷淋头蒸气喷射设计在 CVD 系统中会是有效的——如果喷射的气体或蒸气仅在高的基板温度位置起反应并且均匀的气体分布对于均匀的薄膜厚度很重要,但是这种设计会导致 ALD 系统中的阻塞——如果前体残留物会在喷淋头温度下彼此发生反应。此外,与某些 CVD 过程相反,由于过程的自我限制特性,ALD 通常不需要非常均匀的前体分布。此外,为了防止前体的凝结,喷淋头和系统的其它部件一般加热到 100 至 200 摄氏度的温度范围,这对于例如喷淋头等复杂几何构造会变得复杂。最后,由于大的表面区域和小的空腔,在沉积循环中排空和清除前体可能是困难的。

[0007] 为了形成 ALD 系统,通常沉积台结合在一组工具装置中。晶片架插入到负载锁定

装置 (load lock) 中,通过裂口阀装置在传送室中传送。机械臂将基板移动到沉积台,在此通过竖直移动机器人使所述基板与其它基板竖直叠置。在沉积之后,基板通过无负载锁定装置移走。

[0008] 单一单元系统通常的特征在于水平前体气体流和前方的水平入口(裂口阀)。单一单元的高度限定了内部反应器的容积和前体流的速度,并且针对快速流动和气体利用以及针对一个特定的基板类型、厚度和直径(通常为硅晶片)而优化。

[0009] 由于对于一种特定类型的基板需要复杂的设计来获得大的产量,改进、升级、清洁和维修会非常费时,并且该系统本身不是用于研发目的。

[0010] 迄今,尽管 ALD 技术可用来涂敷复杂 3D 结构,例如电容器槽、纳米管、塑料、反蛋白石、催化床、光子晶体、发动机部件、工具、光学部件等,但是多数 ALD 系统致力于在例如硅晶片等平基板上沉积,或者在管式炉情况下,在晶片上沉积。由于 ALD 技术能够高度放大到大尺寸样品上,在半导体工业以外的领域内研究此技术是需要的,并且容易适应于多种样品几何形状的工具是有利的。

发明内容

[0011] 提供了气相沉积系统和方法,以及在这种系统和方法中使用的部件。

[0012] 在一方面,本发明提供了一种原子层沉积系统。该系统包括设计成封闭基板的反应腔。反应腔具有顶面、底面和顶面和底面之间的侧壁。第一前体供应装置连接到形成在底面内的前体口。第二前体供应装置连接到形成在底面内的前体口。出口形成在底面内。

[0013] 在另一方面,本发明提供了一种原子层沉积系统。该系统包括设计成封闭基板的反应腔。反应腔具有顶面、底面和顶面和底面之间的侧壁。第一前体供应装置和第二前体供应装置连接到形成在底面内的前体口。

[0014] 在另一方面,本发明提供了一种原子层沉积过程。该过程包括在反应腔内定位基板,反应腔具有顶面、底面和顶面和底面之间的侧壁。该过程还包括通过形成在底面内的前体口将第一前体引入反应腔以及通过形成在底面内的出口去除气态物质。该过程还包括通过形成在底面内的前体口将第二前体引入反应腔以及通过形成在底面内的出口去除气态物质。

[0015] 在另一方面,本发明提供了一种用于气相沉积系统中捕获气态物质的阱。阱的大多数表面区域基本上平行于通过阱的气态物质流。

[0016] 从本发明的以下详细描述并参考附图,本发明的其它方面、实施方式和特征将变得更清楚。附图是示意性的并且没有按比例绘制。在附图中,在不同的图中示出的每个相同或者基本类似的部件可由单个数字或标识表示(尽管不总是这样)。为清楚起见,不是每个部件在每个图中都有标记。如果对于本领域的技术人员理解本发明来说是不必要示出的,则不是本发明的每个实施方式的每个部件都示出。这里通过参引号引入的所有专利申请和专利的全文结合到本文以供参考。在产生冲突的情况下以本说明书——包括定义——为准。

附图说明

[0017] 图 1 示出了原子层沉积过程。

- [0018] 图 2A 是用于 ALD 阀脉冲过程的典型时间图。
- [0019] 图 2B 是用于 ALD 气体脉冲 - 泵出过程的典型时间图。
- [0020] 图 2C 是用于 ALD 气体脉冲 - 清除过程的典型时间图。
- [0021] 图 2D 是用于截止阀协助的 ALD 气体脉冲 - 泵出过程的典型时间图。
- [0022] 图 3 是具有水平的层式气流的 ALD 管式炉反应器系统的示例。
- [0023] 图 4 是具有喷淋头气体喷射的 ALD 沉积系统的示例。
- [0024] 图 5 是根据本发明实施方式的 ALD 机壳和反应器组件的组合物件的立体图。
- [0025] 图 6 是根据本发明实施方式的反应器组件的立体图。
- [0026] 图 7A 是根据本发明实施方式的反应器组件的分解立体图。
- [0027] 图 7B 是示出根据本发明实施方式的气体直列式三通管的反应器组件的立体图。
- [0028] 图 8 是根据本发明实施方式的反应器的底部立体图。
- [0029] 图 9 是根据本发明实施方式的具有前体管线组件、泵出管线组件、泵（部分视图）、RTD（电阻器温度探测器）温度传感器和反应器供给和固定孔的机壳的立体图。
- [0030] 图 10 是根据本发明实施方式的 ALD 反应器的顶部立体图。
- [0031] 图 11A 是根据本发明实施方式的反应器的俯视图，具有剖面线标记（“C”）。
- [0032] 图 11B 是沿着图 11A 中剖面线“C”的根据本发明实施方式的反应器的剖面图。
- [0033] 图 12A 是根据本发明实施方式的具有用于较厚基板的扩展的腔的顶盖。
- [0034] 图 12B 是根据本发明实施方式的顶盖，具有用于较薄基板或减少的前体消耗或更均匀蒸气流气的突出盖。
- [0035] 图 13 是编程于“Labview”中的控制软件的截屏图，该软件用于本发明的实施方式中以控制 ALD 系统。
- [0036] 图 14 示出根据本发明的方法在 4 英寸硅晶片上进行的示例性 Al_2O_3 原子层沉积的厚度分布结果，厚度以埃为单位，用椭圆偏振计测量。
- [0037] 图 15 示出了根据本发明实施方式的 NW 三通管与反应器、量表和截止阀的连接。
- [0038] 图 16 示出了根据本发明实施方式的加热器部件与三通管的连接。
- [0039] 图 17 示出了根据本发明实施方式的两个反射器板在泵出管线部分中的连接。
- [0040] 图 18 示出根据本发明实施方式的泵出管线和脉冲阀加热组件。
- [0041] 图 19 示出根据本发明实施方式的泵出管线加热套。
- [0042] 图 20 示出根据本发明实施方式用于扩展前体管线数量的歧管。
- [0043] 图 21 示出根据本发明实施方式的歧管加热器部件的一半。
- [0044] 图 22 示出根据本发明实施方式的歧管加热器部件组件。
- [0045] 图 23 示出根据本发明实施方式的 O 形环槽设计。
- [0046] 图 24 示出根据本发明实施方式的包括单一前体端口的反应器组件的立体图。
- [0047] 图 25 是根据本发明实施方式的包括单一前体端口的反应器的俯视图。
- [0048] 图 26 是根据本发明实施方式的包括位于出口内的阱材料的反应器组件的剖视图。
- [0049] 图 27 示出了根据本发明实施方式的阱材料。
- [0050] 附图中特征的列表
- [0051] 50、52 前体阀脉冲宽度

- [0052] 54、56、58 抽空
- [0053] 55 第一前体脉冲之后的压力
- [0054] 57 第二前体脉冲之后的压力
- [0055] 60、62、64 惰性气体流（清除）
- [0056] 61 惰性气体流 + 第一前体脉冲
- [0057] 63 惰性气体流 + 第二前体脉冲
- [0058] 66、68、70 截止阀打开（泵出）
- [0059] 70 第一前体阀脉冲之后
- [0060] 69 第二前体阀脉冲之后
- [0061] 10 惰性气体供应
- [0062] 12 惰性气体供应管线
- [0063] 14 前体加热器
- [0064] 16 第一前体
- [0065] 18 第一前体脉冲阀
- [0066] 20 第二前体
- [0067] 22 第二前体脉冲阀
- [0068] 24 反应器管
- [0069] 26 管式炉加热器
- [0070] 28 基板
- [0071] 30 真空计
- [0072] 32 泵出管线
- [0073] 34 真空泵
- [0074] 36 基板入口
- [0075] 38 基板加热器
- [0076] 40 真空室
- [0077] 42 喷淋头前体蒸气供应装置
- [0078] 100 反应器组件
- [0079] 102 不锈钢反应器基体
- [0080] 105 铝反应器盖
- [0081] 106 手柄
- [0082] 108 手柄橡胶
- [0083] 110 铰链
- [0084] 112 晶片空间
- [0085] 1140 形环槽
- [0086] 1160 形环
- [0087] 118 第一前体口
- [0088] 120 第二前体口
- [0089] 122 输出（泵出管线）口
- [0090] 124 基板加热器

- [0091] 125 保持基板加热器的螺母
- [0092] 126 外部管状加热器
- [0093] 128 双功能螺栓 :将管状加热器和反应器固定到机壳上
- [0094] 130RTD 中心温度孔
- [0095] 132RTD 中心
- [0096] 134RTD 壁温度孔
- [0097] 136RTD 壁
- [0098] 138 薄反应器体轮廓
- [0099] 140 反应器空间
- [0100] 142 扩展的反应器盖
- [0101] 144 扩展区
- [0102] 146 向反应腔突出的盖
- [0103] 148 突起
- [0104] 202 第一前体缸
- [0105] 204 手控阀
- [0106] 206 用于第一前体的脉冲阀
- [0107] 208 用于第一前体管线的 VCR 接头
- [0108] 210 第二前体缸
- [0109] 212 用于第二前体的脉冲阀
- [0110] 214 用于第二前体的 VCR 接头
- [0111] 302 真空泵
- [0112] 304 波纹管
- [0113] 306 电磁截止阀
- [0114] 308KF 十字形管
- [0115] 310 电磁排放阀
- [0116] 312 真空计
- [0117] 402 机壳进出门
- [0118] 404 机壳顶
- [0119] 406 左侧板
- [0120] 408 右侧板
- [0121] 412 底部
- [0122] 414 框架
- [0123] 416 用于第一前体口的孔
- [0124] 417 用于第二前体口的孔
- [0125] 418 用于泵出口的孔
- [0126] 420 用于固定螺栓的四个孔
- [0127] 422 安装到机壳顶的外部 RTD
- [0128] 423 安装到机壳顶的内部 RTD
- [0129] 424 用于外部（管状）加热器的孔

- [0130] 426 用于基板加热器的电线连通孔
- [0131] 502 用于第一前体的三口脉冲阀
- [0132] 504 前体输入口
- [0133] 506 前体 + 惰性气体输出口
- [0134] 508 惰性气体输入口
- [0135] 512 用于第二前体的三口脉冲阀
- [0136] 514 前体输入口
- [0137] 516 前体 + 惰性气体输出口
- [0138] 518 惰性气体输入口
- [0139] 520NW 三通管
- [0140] 522 铝加热器左半部件、泵出管线组件
- [0141] 524 铝加热器右半部件、泵出管线组件
- [0142] 526 加热器模块孔
- [0143] 528 位于加热器的两半之内的螺纹孔,其用于将加热器的两半安装起来,
- [0144] 形成三通管或交叉加热器部件
- [0145] 530 泵出管线组件热反射板,右侧
- [0146] 532 泵出管线组件热反射板,左侧
- [0147] 540 前体阀加热器左半部件
- [0148] 542 前体阀加热器右半部件
- [0149] 544 左侧前体阀加热器反射板
- [0150] 546 右侧前体阀加热器反射板
- [0151] 550 泵出管线加热套
- [0152] 600 前体管线焊接的歧管
- [0153] 602 前体管线歧管加热部件,左半部件
- [0154] 604 前体管线歧管加热部件,右半部件
- [0155] 606 前体管线歧管加热部件反射板,右侧
- [0156] 608 前体管线歧管加热部件反射板,左侧
- [0157] 620 单一前体口
- [0158] 622 根据本发明实施方式的反应器腔的底面
- [0159] 624 反应器腔的出口
- [0160] 625a、625b 歧管入口
- [0161] 626 歧管
- [0162] 628 歧管出口
- [0163] 630 阱

具体实施方式

[0164] 本发明提供了原子层气相沉积系统以及与其相关的方法。该系统包括封闭一个基板（或多个基板）的反应腔。前体（例如活性物质）供应装置通过一个口（或多个口）连接到反应腔以将合适的前体引入腔内。在一些情况下,多个前体供应装置连接到单一的

前体口；而在其它情况下，每个前体供应装置可连接到独立的相应口。例如，还可在反应腔内设置出口，以在过程中在某些点去除气态物质（例如，未反应的前体、反应产物、惰性气体）。系统包括加热器装置，所述该加热器提供合适的温度条件以促进前体之间的反应，从而将材料层沉积在基板上。如下面进一步所述的，本发明的系统可设计为包括能够促进高质量沉积的特征；简化制造、改进和使用；并且减少了系统的占地面积，以及其它优点。

[0165] 在一些实施方式中，优选前体口形成在反应腔的底面上（例如，在外部管状加热器和基板部分之间）。在一些情况下，优选所有前体口（不管是单个口还是多个口）形成在底面上。在这些情况下，反应腔的顶面（例如盖）和侧壁可没有前体口。当前体口形成在底面上时，优选地所述口直接引入反应腔，如图示实施方式所示。

[0166] 如下进一步所述以及如某些附图所示，将前体口定位在反应腔的底面上可减少系统的占地面积，这可节约有价值的洁净室空间。通过使得口连接到前体供应装置可部分地减少占地面积。例如，前体供应装置可定位在机壳内、反应腔之下（例如，见图 5），并且使用具有简单设计的供应管线连接到口。在一些情况下，供应管线可竖直地延伸，大体沿直线从前体供应装置直接连接到相应的前体口（例如，在包括多个口的实施方式中）；而在其它情况下，供应管线可竖直地延伸，大体沿直线延伸到歧管（例如，在包括单个口的实施方式中），歧管可使用另一直线的供应管线进一步连接到前体口。前体管线的直的竖直几何形状允许它们简单地从反应腔悬垂，在此无需另外的支撑，并且直接接近前体供应装置。此外，前体管线的竖直附连和 / 或取向具有制造和装配方面的优点。例如，这能够利于将前体管线连接到口，以及将加热器套附连到前体管线以将管线保持在所需的升高的温度以防止前体冷凝。

[0167] 在一些实施方式中，系统的出口形成在反应腔的底面上。在一些实施方式中，前体口和出口可优选地都形成在底面上。在这些实施方式中，反应腔的顶面（例如盖）和侧壁可没有所有类型的口。在一些情况下，出口可相对于前体口定位，使得基板位于前体口和出口之间。例如，出口可相对于前体口设置在基板的大体相对侧上（例如，见图 11A 和 25）。

[0168] 与上面结合前体口所述的原因类似，将出口定位在反应腔的底面上可减少系统的占地面积。例如，占地面积可通过使得口连接到真空泵来减少。例如，真空泵可定位在机壳内、反应腔之下（例如，见图 5），并且使用具有简单设计的泵出管线连接到口。在一些情况下，泵出管线可大致沿直线竖直延伸真空和口之间的至少部分距离。管线的直的竖直几何形状可允许其简单地从反应腔悬垂，这里无需另外的支撑，并且直接接近真空。此外，泵出管线的竖直连接和取向可利于制造、装配和清洁。

[0169] 将前体口和出口定位在反应腔的底面可允许反应器基部的高度变得较小，同时提供相对大的出口开口。这种低的反应器高度和大的出口的组合减少了加热和抽空的时间并且提高了产出。

[0170] 本发明的气相沉积系统可设计为促进有利的加热条件。例如，如下面进一步所述，系统可包括独立的加热器，所述加热器独立加热基板区域和腔的其它区域（例如，O 形环、盖、侧壁）。这种设计使得基板的温度保持相对较高（例如，约 600 摄氏度），同时保持其它区域相对较低（例如，约 150 摄氏度）。基板可例如通过定位在反应腔的外侧（例如反应腔下方）的外部加热器（例如，盘式加热器）加热，该加热器通过热传导加热基板区域。腔的其它区域也可通过反应腔之外的管式加热器加热。由此，在一些实施方式中，可没有加热

器封闭在反应腔内。在基板区域和反应腔的其它区域之间的不同温度还可通过在支撑表面（例如机壳的顶面）上间隔反应器来增强，使用其间的空气空间作为隔热介质，该隔热介质阻止了从基板加热器至外侧 O 形环区域的热传导。

[0171] 在一些实施方式中，盖可由高热传导性的材料制成，例如由铝或铜制成，或者当需要透明时，由蓝宝石制成。一旦真空拖动盖与反应器基部机械接触，附连到反应器基部的外部管式加热器可通过热传导将盖加热到足够的温度。盖的高热传导促进了温度在整个盖内的均匀性，并且可消除对独立盖加热器的需要。由此，在一些实施方式中，盖上没有加热器，这可简化设计和维护，以及允许盖容易地更换（例如，为了允许不同的基板几何形状或为了引入某些流动方式的不同过程中）。

[0172] 图 5 示出了根据本发明一个实施方式的气相沉积系统。在图示实施方式中，蒸气沉积系统是原子层沉积 (ALD) 系统。然而，应当理解，本发明的某些实施方式不限于 ALD 并且可适用于包括化学气相沉积 (CVD) 系统的其它类型的气相沉积系统。

[0173] 在此图示实施方式中，机壳包括门 402、侧板 406 和 408、以及顶部 404。机壳提供了用于系统的各种部件的空间，这些部件包括：前体管线和泵出管线部件（下面进一步描述）、控制电子元件、真空泵 302、前体缸 202 和 210、以及它们的加热器套。机壳的底部 412 可打开以允许泵定位在底板上。这有利地限制了振动从泵 302 向机壳和反应器的传递。在此实施方式中，温度传感器（例如电阻温度设备 (RTD) 422 和 423 安装到机壳的顶部 404 上。如图所示，泵出管线和前体管线从反应器组件 100 竖直悬垂。控制电子元件可作为机壳内的封装定位并且通过通用串行总线 (USB) 接口连接到个人计算机。加热器套可环绕系统的下面进一步描述的不同部件，这些部件包括前体缸 202、204、前体电磁阀、输出十字形管和波纹管。温度传感器可设置在这些部件（例如阀和真空计）上以保证部件足够温暖，从而防止蒸气冷凝，但是仍然处于指定的温度范围内。

[0174] 图 6 和 7 示出了根据本发明一个实施方式的沉积系统（没有机壳和泵）的部件的不同视图。图 6 示出其中前体管线和泵出管线连接起来的视图，图 7A 示出了分解视图。系统的反应器基部 102 具有基板区域 112、O 形环槽 114、O 形环 116、铰链 110、盖 105 和手柄 106。在某些实施方式中，优选地反应器基部由例如不锈钢等低热传导性材料形成。还可优选地手柄由薄壁低热传导性材料（例如，不锈钢）形成以允许打开反应器——即使当反应器顶部处于升高的温度（例如 100-200 摄氏度）下。在一些情况下，手柄由绝热部分（例如由冷接触橡胶形成）108 部分环绕以与升高的温度绝热。

[0175] O 形环槽 114 在图 23 中更详细示出。在某些传统沉积系统中，可使用半燕尾槽设计来将 O 形环锁定在合适位置并且提供足够的空间用于膨胀。半燕尾槽在 O 形环槽之下的拐角内产生了空腔，该空腔成为实际的泄漏。特别是在原子层沉积中，在送入第二前体之前优选完全去除一种前体，限制这种空腔的存在是重要的。在某些实施方式中，系统包括改进的半燕尾槽设计。在本发明某些实施方式中使用的一种改进是槽底部的真空侧是圆弧的，具有相当于或略微小于 O 形环的半径。图 23 中示出了 0.070 英寸的半径，该半径可适于例如具有 1/8 英寸截面直径的 O 形环。在此设计中，在燕尾槽中，唯一的空腔处于 O 形环的底部的大气侧（右侧），但是由于该空腔处于大气侧，不会产生实际的泄漏。在本发明一些实施方式中使用的标准半燕尾槽的第二改进是：真空侧（图中的左侧）具有 O 形环支撑边缘，该支撑边缘略微低于（例如 0.010 英寸）反应器体的顶部。这利于快速排空气体。

[0176] 在图 23 中的尺寸以英寸为单位,并且适用于 1/8 英寸直径的 O 形环。然而,应当理解,在不同的系统中其它尺寸也是可能的。此外,在本发明的某些实施方式中其它的槽设计也可适用。

[0177] 图 6 和 7 的图示实施方式包括第一前体口 118 和第二前体口 120。在此实施方式中,第一前体供应装置(例如前体缸)202 连接到第一前体口,而第二前体供应装置(例如前体缸)210 连接到第二前体口。然而,应当理解,本发明的其它系统可包括第一前体供应装置和第二前体供应装置均连接到其上的单个前体口(例如使用具有两个入口和单个出口的歧管;见图 24 和 25)。此外,应当理解,可使用任何数量(例如 3、4、5 个)的前体供应装置,其中每个前体供应装置可连接到反应腔上的分别的口,或者所有的前体供应装置连接到单个口(例如,使用具有多个入口和单个出口的歧管)。

[0178] 如图 6 和 7 所示,前体供应装置 202 被填充以第一前体。在一些情况下,设置了手控阀 204 以允许从前体的化学物质制造商那里装运。如果需要(例如,当前体已经耗尽),在关闭手控阀 204 之后可拆下缸 202 并且换上另一个前体缸。在此实施方式中在前体侧处的连接是 VCR,附连到手控阀 204 的是高速电磁脉冲阀 206,该高速电磁脉冲阀允许前体在毫秒范围之内喷射前体。

[0179] 第二前体供应装置构造成类似于第一前体供应装置,只是用户可填充例如水等非侵蚀性前体并且可不包括手控阀 204。例如,缸 210 可在现场填充脱离子水,并且附连到没有手控阀的电磁阀 212。例如三甲基铝(TMA)等化学物质一般需要填充在手套式操作箱内并且需要以手控阀关闭以避免暴露于空气中。因此,其可连接到电磁阀 206,并且当系统被排空或填充以例如氮气的惰性气体时手控阀 204 可打开。

[0180] 典型的 ALD 过程需要惰性运载气体(例如其中的氮气、氩气、氙气)。运载气体可通过其中一个(或多个,若存在)前体口引入。在一些实施方式中,惰性运载气体供应装置连接到前体供应管线。在过程中的某些点,惰性气体可与前体混合,从而惰性气体-前体混合物引入腔内;然而,在过程中的其它点,惰性气体可单独引入腔内(例如,没有前体)。如图 7B 所示,惰性气体供应装置可使用合适的阀组件连接到前体供应管线。如图所示,来自惰性气体供应装置的管线可连接到三口脉冲阀 502 和 512 的入口,三口脉冲阀 502 和 512 还连接到前体供应装置。该构造使得系统可以在下面进一步讨论的 ALD 模式 2 下操作。如下面进一步描述的,阀的操作可受到控制,从而控制惰性气体和/或前体向腔内的引入。

[0181] 这些惰性气体供应管线可包括其它阀和/或质量流控制器。例如,质量流控制器可用于惰性气体供应装置。然而,安装了许多阀,质量流控制器的输出被分到所述阀,使得每个阀接收相同的流量。三口脉冲阀 502 具有连接到前体供应装置的底部输入口 504,使得阀能够以脉冲方式送入前体。在内部,在某些 ALD 过程中来自脉冲阀输出 506 的惰性气体输入管线 508 的流动路径可总是保持打开。在此种过程中,阀通常关闭,意味着当阀没有受到驱动时入口 504 关闭,而同时,路径 508 至 506 总是打开。当阀脉动时,管线 504 通往管线 508 和 506,但是由于惰性气体从质量流控制器进入 508,所以惰性气体-前体混合物被引入反应腔。该“惰性气体协助”过程阻止了来自一个脉冲阀的一种前体进入第二脉冲阀,防止或最小化在所有阀内的沉积。如图 7B 所示,对于反应器上的两个输入口,两个前体脉冲阀可直接安装到 VCR 连接器,该 VCR 连接器焊接到反应器。在图 7A 中的排放阀 310 可去除,并且十字形管 308 由三通管替换,因为系统可在使用氮气供应气体沉积后排放。

[0182] 如图 8 所示, KF 接头 122 焊接到反应器基部 102 以部分地限定形成在反应器底面上的泵出口。十字形管 308、排放阀 310、真空计 312 和截止阀 306 可连接到该接头。通向竖直地位于反应器之下的泵的是泵出管线波纹管 304。当使用惰性气体协助操作时, 和三口阀 504 和 502, 系统的排放可通过使用惰性气体进行, 并且不需要独立的排放阀。该构造示于图 15。在此实施方式中, 三口阀 502 连接到所述出口、真空计 312 和截止阀 306。

[0183] 阀 502 可通过加热器加热。如图 16 所示, 加热器可包括加热器部件 (其可由例如铝的传导材料制成), 加热器部件包括两半 522 和 524。一侧具有孔 526 以安装加热器模块。所述两半使用孔 528 内的螺栓保持在一起。加热器被机加工, 使得其环绕标准 NW 十字形管和环绕标准 NW 三通管安装。所述两半紧密接触, 使得来自单个模块的热量扩散到两半中。安装温度传感器的螺钉也设置在加热器部件上。

[0184] 图 17 示出了两半反射器 530 和 532, 它们环绕加热器 524、量表 312 的非电子部分和阀 206 的非电子部分。所述两半可通过粘接到每一半的边缘的磁体保持在一起。这允许容易地安装这些反射器板。反射器板的目的是将热量反射回待加热部件并且将热量保持在机壳内的电子部件和其它部件之外。

[0185] 图 18 示出了用于两个前体输入口构造的加热器部件。这里, 两半铝制的加热器部件 540 和 542 夹持在 VCR 接头周围。在一半铝制的加热器部件上设置了孔以安装加热器模块。金属反射器板 544 和 546 从铝加热器部件间隔开 (例如约 1/4 英寸), 并且将热量保持在铝加热器部件内。用于脉冲阀的温度传感器可螺纹连接到阀本身。为此目的可在脉冲阀内设置螺纹。

[0186] 图 19 示出了标准的柔性加热器套 550, 该加热器套 550 可用来加热泵出管线波纹管 304。应当理解类似的加热器套还可用来加热前体供应管线和阀组件。

[0187] 在图 20 中, 绘出了多个前体的歧管 600。如图所示, 歧管包括来自分别的前体供应装置的多个入口。应当理解, 任意合适数量 (例如 2、3、4、5 个等) 的前体供应装置可与歧管一起使用。焊接的 VCR 片段可用来允许前体的数量从两个扩展到所需数量 (例如 3、4、5 个)。在此实施方式中, 歧管包括两个出口, 它们分别连接到第一前体供应装置和第二前体供应装置。然而, 在其它实施方式中, 歧管可包括单个出口, 该出口可连接到单个前体口。

[0188] 在一些实施方式中, 可优选地加热歧管 600。图 21 示出了与歧管相连的加热器。示出了一半加热器部件 602。加热器部件可由例如铝等导热材料制成。加热器部件具有机加工的槽以允许装配歧管和 VCR 连接装置。图 22 示出了歧管加热器组件 600 的俯视图。这里示出半加热器部件 602 和 604 紧密接触。再一次使用了片状金属反射器板 606 和 608 以将热量保持在内部。

[0189] 在图 7A 中示出了 RTD 温度传感器 136。该传感器测量反应器基壁的温度, 但是由于传感末端与 O 形环的紧密接近以及盖和反应器基部之间的直接机械接触, 传感器可指示壁、O 形环和顶盖的温度。在盖由高热传导性材料 (例如铝) 制成的实施方式中, 盖的温度可与壁的温度处于热平衡, 并且均匀地分布来自管式壁加热器 126 的热量。在某些实施方式中该构造可以是优选的。

[0190] 图 8 和 9 示出了根据本发明的一个实施方式如何将反应器基部连接到机壳顶部。管式加热器 126 利用四个螺栓 128 固定到反应器底部的切口部。如图所示, 相同的四个螺栓 128 用来将反应器固定到机壳; 螺栓 128 匹配孔 420 并且反应器高出机壳的高度可通过

改变螺母在螺栓 128 上的位置来调节。反应器 102 和机壳顶部 404 之间的垂直分离在反应器底部和机壳顶部之间提供了绝热,并且允许热量散发而不传递到机壳内部,这可有利地保持内部的泵和电子元件较凉。保持螺栓 128 可由低导热性材料(例如不锈钢)制成并且具有相对小的截面,以限制热量从反应器传递到机壳。

[0191] RTD 温度传感器 422 和 423 固定到机壳。当为了清洁或其它目的从机壳上拆下反应器时,RTD 从其配合孔 134 和 130 滑动。这利于分解系统。

[0192] 如图 8 所示,反应器的加热通过基板加热器 124 和壁-盖管式加热器 126 控制。如上所述,这些加热器可定位在反应腔的外侧。例如,基板加热器 124 安装在反应腔的外侧以避免污染反应空间内部并且防止对于真空电线通路的需要。在包括由低导热性材料(例如不锈钢)制成的薄反应器底部的实施方式中,从腔的中心至侧壁的热传递受到限制,反之亦然,允许单独控制两部分。在反应器的剖面图 11B 中更清楚示出基板加热器和壁加热器部分之间的薄反应器底部 140。

[0193] 对于其中所需的沉积温度没有超过容许的反应器 O 形环温度的反应器,可避免使用独立的基板加热器和管式壁加热器对反应器进行差别加热,并且一个相同的加热器可安装到反应器底部。在这些实施方式中,反应器的底部可更厚,并且在需要时可由高导热性材料制成。

[0194] 图 10 和 11B 示出了在此实施方式中两个前体口和泵出管线口(即,出口)的位置。基板区域位于其中。除了上述优点,由于前体和出口位于反应器 102 的底部而没有位于侧部,所以反应器空间 140 的高度可非常小。在没有使制造或装配变得复杂的情况下,这改善了气流并且允许低的蒸气剂量。对于非常厚的样品,顶盖可容易地由具有竖直上升腔 144 的盖 142 替换,如图 12A 所示。若需要,反应腔还可以通过使用具有突入反应腔的表面的盖减少容积(图 12B)。

[0195] 图 13 示出了在进行沉积过程中控制软件的截屏图。如图所示,基板温度(300 摄氏度)独立于壁-盖温度(130 摄氏度)受到控制。独立的压力脉冲在 ALD 操作模式 1 中看到,这将在下面进一步描述。

[0196] 图 14 示出了使用本发明的 ALD 系统和方法在 4 英寸晶片上利用 TMA 和水前体进行 900 次循环之后的厚度结果。厚度以椭圆偏振计测量并且在整个四英寸晶片上的偏差小于 1%。尽管图 14 示出的示例用于 4 英寸晶片,但是应当理解,本发明可用于宽的样品种类范围,包括任意合适尺寸的晶片或者非晶片基板。

[0197] 本发明的一些实施方式可使用可编程逻辑控制器(PLC),该 PLC 根据定义包括用于自动过程控制的板处理器。然而,在一些实施方式中,阀脉冲之间的精确正时以及过程运行的精确起始和结束,仅有阀脉冲时间本身需要超出直接 PC 控制能力来控制:脉冲之间的泵出/清除时间在数秒的量级内,并且恰好落入具有固态继电器的逻辑卡的直接 USB PC 控制范围内,其通常为大约 20 毫秒。阀脉冲时间通常必须在大约 1-100 毫秒之间,并且需要精确控制。在非自动控制卡上的简单脉冲时间编码手段在本发明的一些实施方式中就足够了,并且可满足此需求而无需使用昂贵的 PLC。

[0198] 图 24 和 25 示出了根据本发明的实施方式的系统的部件,其包括形成在反应器腔的底面 622 内的单一前体口 620。如图所示,单一前体口定位在基板的与出口 624(其可连接到真空)相对的另一侧。在某些实施方式中,单一的前体口可以是优选的。例如,在一些

实施方式中,单一的前体口可增加前体流在系统内的均匀性。

[0199] 在此图示实施方式中,第一前体供应装置 16 和第二前体供应装置 18 连接到歧管 626 的分别的入口 625a、625b。在本发明的其它实施方式中,还能够有额外的前体供应装置连接到歧管的分别的入口。歧管包括连接到前体口 620 的单一出口 628。如上结合两个口的实施方式所述的,脉冲阀 206、208 可提供至惰性气体供应装置的连接。脉冲阀的操作类似于上面的描述。

[0200] 在本发明的一些实施方式中,阱材料可用来吸收从反应腔去除(例如通过引出泵)的未反应的前体。特别是,在 ALD 过程中,这种未反应的前体可沉积在系统部件(例如真空计、真空阀、真空管线、甚至真空泵)上,这会损坏性能(例如量表的浓度测量)并且需要清洁。

[0201] 阱材料可定位在反应腔和真空计之间的前体流动路径内。在一些实施方式中,优选地阱材料(至少部分地、并且在一些情况下完全地)定位在出口内。图 26 示出了根据本发明一个实施方式的定位在出口 624 内的阱 630。将阱定位在出口内可特别有利于阱的更换。

[0202] 在操作中,阱通常保持在升高的温度下。在一些实施方式中(例如,当阱至少部分地定位在出口内),阱通过来自反应腔(其例如由管式加热器加热)的热而被加热到足够的温度。由此,在这些实施方式中,阱不需具有单独的加热器。

[0203] 通常,可使用任意合适的阱,尽管如下面进一步所述的一些阱设计可以是优选的。典型的传统阱的例子包括不锈钢丝棉、铝丝棉、铜丝棉、活性炭和活性氧化铝等。阱材料所需的特征包括下列一个或多个:(a) 表面面积足够大不让过多的前体通过,但是足够小(或者没有过小的孔),不会捕获所有的化学物质和/或导致向回扩散到腔内(例如,5 至 100 倍于阱的上游的有效表面面积的表面面积,其中所述上游的有效表面面积包括(至少)基板表面面积和腔内的表面面积);(b) 小的流动阻力;(c) 允许相同的沉积过程如同在基板上那样发生在阱上;(d) 无阻碍地通过反应产物,使得能够测量反应产物(其与初始前体量相关,并且与沉积薄膜表面相关);(e) 由具有类似于沉积材料的膨胀系数的材料制成,特别是对于陶瓷涂层;(f) 允许多次沉积循环的涂覆而不会填满;(g) 能够以低成本制造;以及 (h) 不会产生会破坏真空泵的粉尘或破碎部分。

[0204] 在一些实施方式中,可优选阱的多数(例如大于 50%、大于 75%、大于 95%等)表面区域基本上平行于从中通过的气态物质流。在一些实施方式中,基本上阱的所有(即,大于 99%)表面区域平行于从中通过的气态物质流。这利于前体在阱表面上沉积,降低流动阻力并且可促进反应产物从中流过。在这些实施方式中的一部分中,阱的至少一部分包括具有波状表面。在一些情况下,阱可包括波状表面部分和平表面部分。波状表面部分可以是独立于平表面部分部件的部件,并且两个部件可装配在一起;或者,波状表面部分和平表面部分可以是同一部件的不同部分。

[0205] 在一些实施方式中,阱可由无孔材料形成。

[0206] 当波状表面部分和平表面部分为独立的部件时,阱可以是如图 27 所示的由波状薄片卷与平的薄片绕在一起构成的卷绕组件。这种阱的表面面积可通过调整元件的长度、直径和波纹来控制。这种阱的流动阻力会非常低,因为金属薄片表面非常光滑并且没有孔,并且其不具有任何垂直于流动的实质表面面积或线。此外,开口面积比例可非常大,因为金

属薄片的厚度可显著小于孔尺寸（波纹部）。通常薄片的厚度为大约 5-25 微米，并且孔尺寸为 100-1000 微米。通常，在原子层沉积过程中，膜在所有表面上生长，但是由于通过此波状阱薄片的表面的流动与其通过基板的方式很相似，典型的沉积特征将相同。由于阱薄片具有光滑表面，易挥发状态的反应产物一般不会粘到阱上，这与在 ALD 过程中这些反应产物不会结合到生长在样品表面上的膜中的方式很相似。由此，由于表面很大，前体可在阱的表面上起反应，一直到前体消耗完，并且使易挥发的反应产物通过而进入量表用于测量，然后到达真空泵以从腔内去除。

[0207] 由于薄片实际上可由任何金属制成，并且可选择金属使其热膨胀系数与沉积涂层相匹配，所以在加热和冷却过程中沉积的涂层从阱的分层和剥离可受到限制。对于典型的沉积陶瓷，它们本身具有低的柔性，例如科伐合金、因瓦合金和其它延展加工的合金等延展加工的金属可用作薄片。对于沉积 Al₂O₃ 的典型过程，钼可有效地用作薄片材料，因为其不起化学反应、强度高、并且具有与 Al₂O₃ 类似的热膨胀系数。图示的阱的孔尺寸通常为 100-1000 微米的量级，允许沉积至少该数量的一半。在一次 ALD 循环中通常沉积的涂层为 10-100 纳米的量级，在需要更换或腐蚀阱材料之前差不多允许 1000 次循环。薄金属片成本低、容易得到，并且可容易地切割、冲压和卷绕成合适的卷绕尺寸。与会形成粉尘和颗粒的陶瓷材料和细金属线相比，卷绕的薄片当焊接在端部时有稳定的形状并且将不会产生裂纹或断裂。

[0208] 在一些实施方式中，阱可设计为使得用户能够在使用过程中当将阱从系统中去除时可视地观察沉积在阱表面上的前体材料。沉积在阱上的前体没有在 ALD 过程中沉积在基板上，因此被认为是“过度剂量”的前体。用户可用眼睛确定沿着阱的长度沉积在阱表面上的前体的距离。该距离与过度剂量相关（例如，越大距离表示越大的过度剂量）。在这些实施方式中，特别优选其多数表面基本平行于从中通过的气态物质流的阱。该“过度剂量”信息可用来调节过程参数以保证过度剂量不会过大或过小。

[0209] 然而，应当理解，在本发明的某些实施方式中可使用本领域中已知的其它阱材料。

[0210] 应当理解，本发明的沉积系统可具有多种这里没有具体示出、描述的其它设计。变化对于本领域的普通技术人员将是已知的。例如，系统可包括输入和输出的任意组合（例如，5 个输入与一个输出，2 个输入与 2 个输出等）。除了独立的输入，还可使用输入歧管，其中数个输入组件，包括缸和阀，与歧管相组合，歧管的输出连接到反应器基部的底部。除了在一个反应器上使用两个输入，还能够仅使用一个输入，以及使用歧管而扩展到 2、3、4、5 等等根数的前体管线。

[0211] 不排除其它操作模式，例如多层和纳米沉积，为解释目的，ALD 操作可分组为四种沉积模式：1、以脉冲方式送入前体同时连续泵出；2、连续流入惰性气体同时以脉冲方式送入（添加）前体，并且连续泵出；3、以脉冲方式送入前体而截止阀关闭，并且在脉冲期间泵出；4、以脉冲方式送入前体并且以惰性气体清除/泵出。在该模式中，截止阀是将泵与反应腔隔离的阀，并且允许前体保持在反应腔内，直至反应完毕或者当打开截止阀时去除。截止阀也称为泵出阀或真空阀。

[0212] 图 2A 示出了具有两个前体阀脉冲 50 和 52 的沉积循环。脉冲宽度典型地为 5 毫秒，并且通常短于在脉冲之间的泵出时间。图 2B 以压力-时间简图示出了第一操作模式。当从腔内连续泵出时，以脉冲方式送入前体 1，给出峰值压力 55，随后是一段时间的排空。

第二前体脉冲给出第二压力上升,随后是第二排空。该顺序重复进行,直至获得需要的薄膜厚度。阀例如可以是例如parker 99系列阀的电磁阀,或者例如Swagelok ALD阀的液压阀。

[0213] 图 2C 以压力 - 时间简图示出了第二操作模式。当从腔内连续泵出、同时流入例如氮气等惰性气体时,在基板腔内产生底压 60。当以脉冲方式送入前体 1 时,产生压力 61,该压力包括惰性气体压力 + 前体分压。该脉冲之后是一段惰性气体流及其相应的压力 62。第二前体脉冲给出压力上升 63,之后是第二惰性气体排空过程 64。该顺序重复进行,直至获得期望的薄膜厚度。

[0214] 图 2D 以压力 - 时间简图示出了第三操作模式。当在时间 66 期间连续从腔内泵出之后,截止阀关闭。此后,以脉冲方式送入前体 1,给出峰值压力 70。在时间 - 压力 70 之后,截止阀打开并且去除未反应的前体部分并且排空腔,给出低压 68。此后关闭截止阀并且以脉冲方式送入第二前体,给出时间 - 压力 69。此后再一次打开截止阀并且排空反应腔,给出低压 70。由于其自我限制特性,厚度大体上独立于流动。结果是在例如沟槽和线等三维结构上产生优良的均匀性。

[0215] 利用本发明的系统和方法,很多种材料(和材料的组合)可在很多种不同的基板上沉积。这种有涂层的基板可在多种不同应用中使用。一种应用包括在例如金属、塑料和玻璃等的基板上形成的耐刮擦彩色涂层。该涂层可由例如TiO₂、Zr₃N₄、Cu 等形成。由彼此叠置的、具有不同折射率的不同材料构成的纳米叠层可增强该耐刮擦性能。ALD 对于耐刮擦彩色涂层特别有吸引力,因为 ALD 技术允许在低温下在复杂三维几何构造上沉积。

[0216] 由此已经描述了本发明至少一个实施方式的数个方面,应当理解,本领域的技术人员将容易想到各种改变、变化和改进。这些改变、变化和改进是此公开内容的一部分,并且在本发明的主旨和范围内。因此,前面的描述和附图仅仅是示例性的。

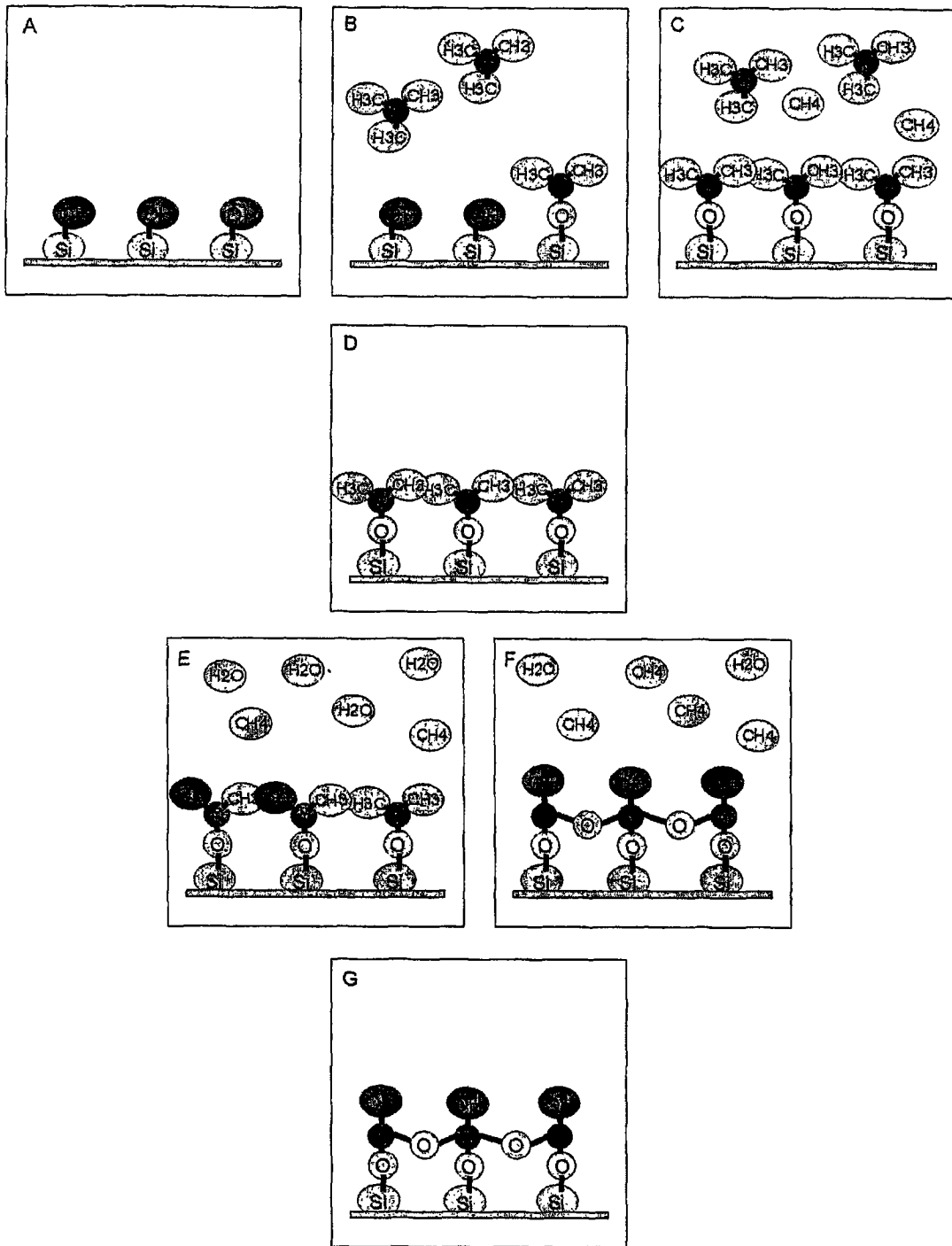


图 1

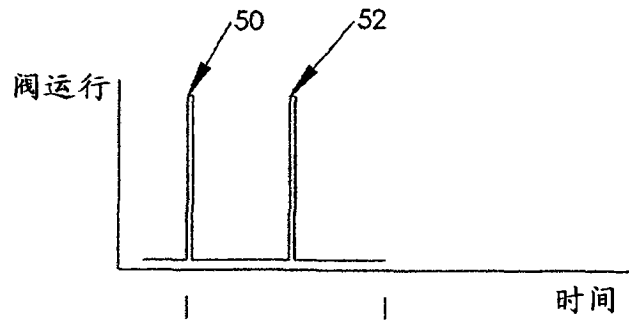


图 2A

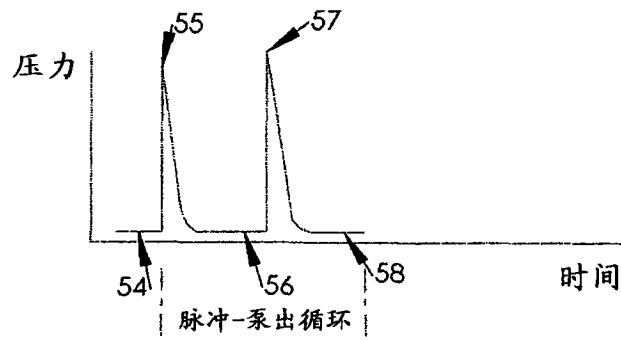


图 2B

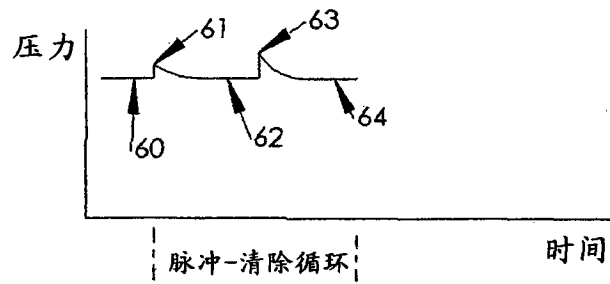


图 2C

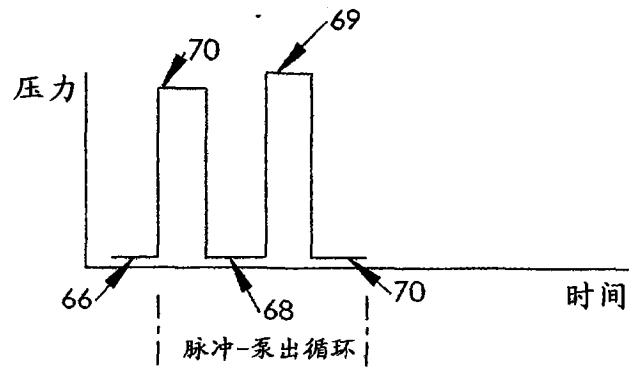


图 2D

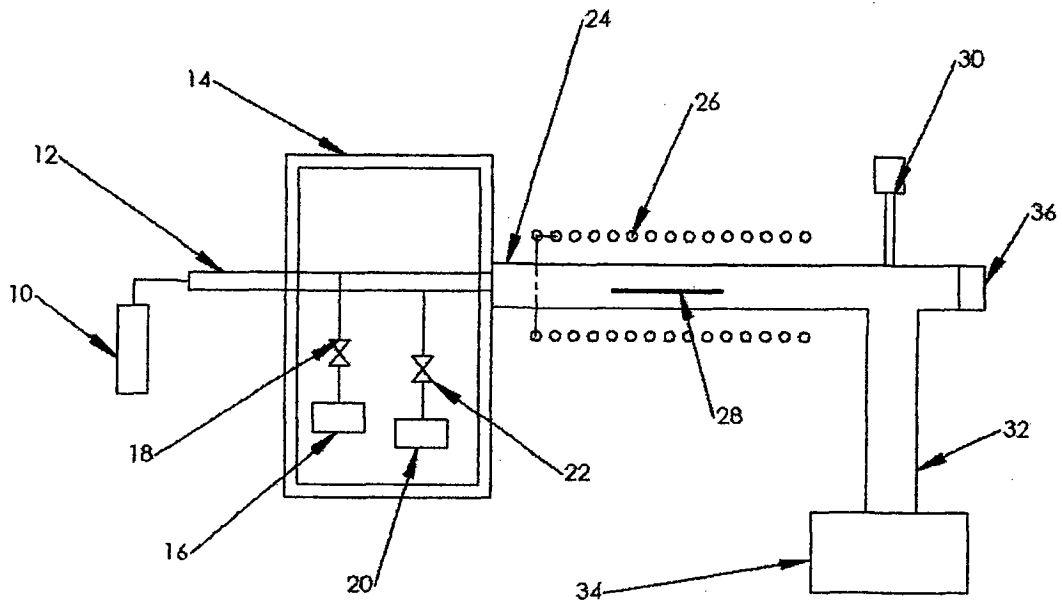


图 3(现有技术)

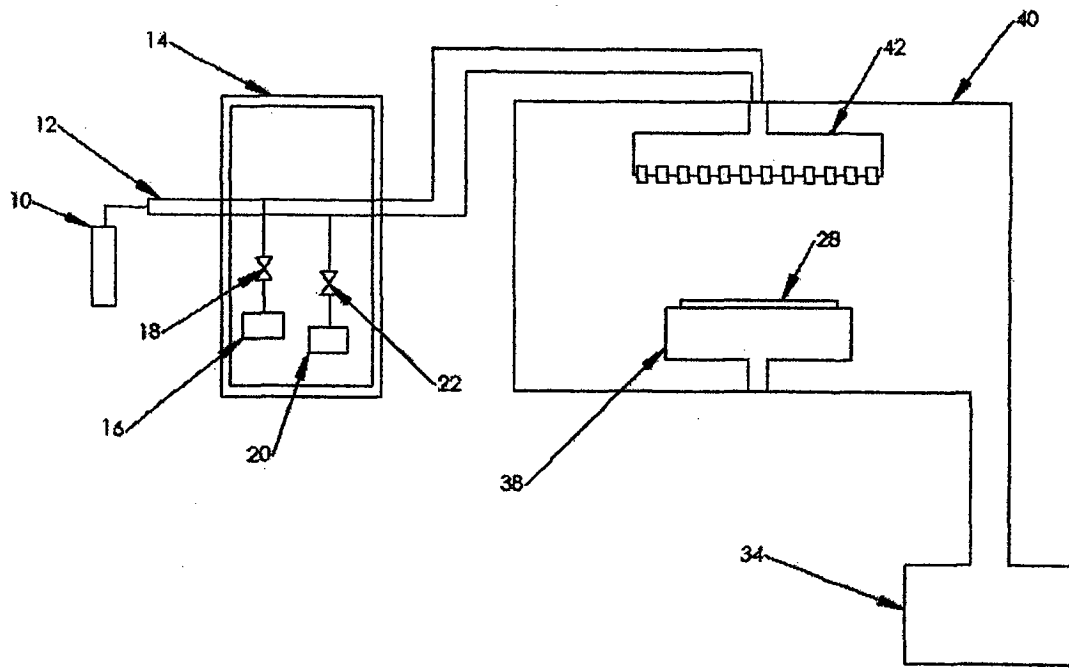


图 4(现有技术)

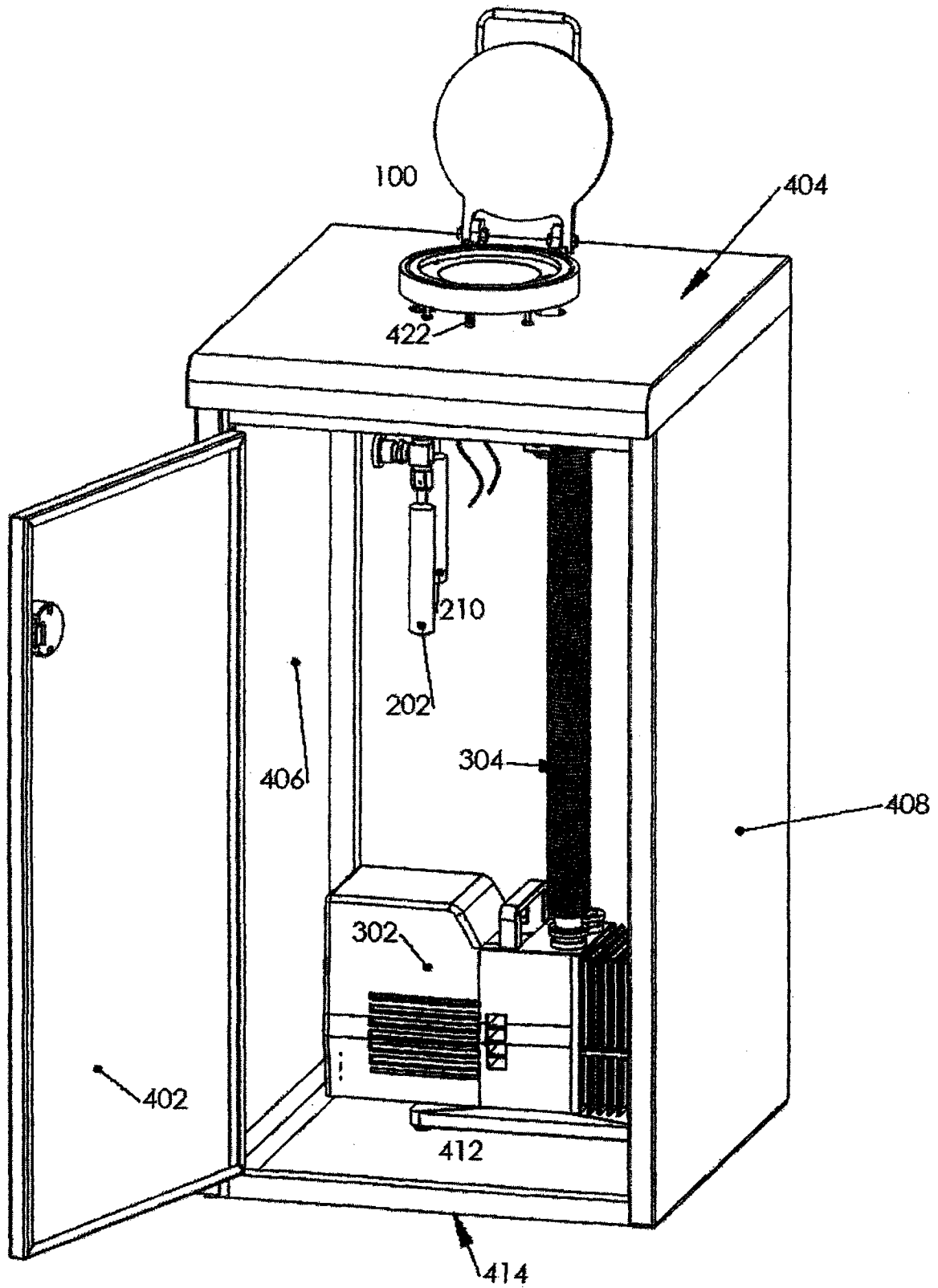


图 5

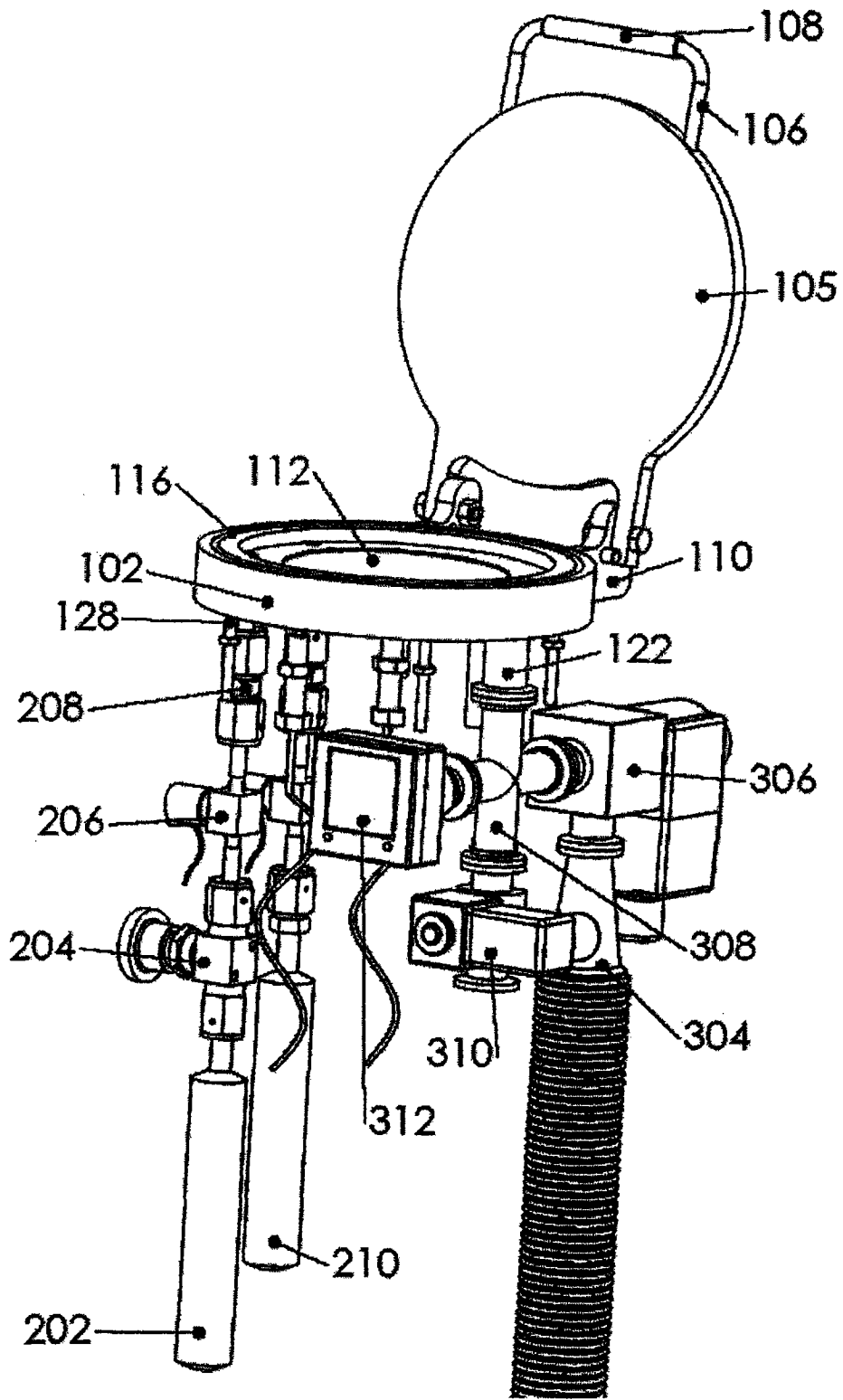


图 6

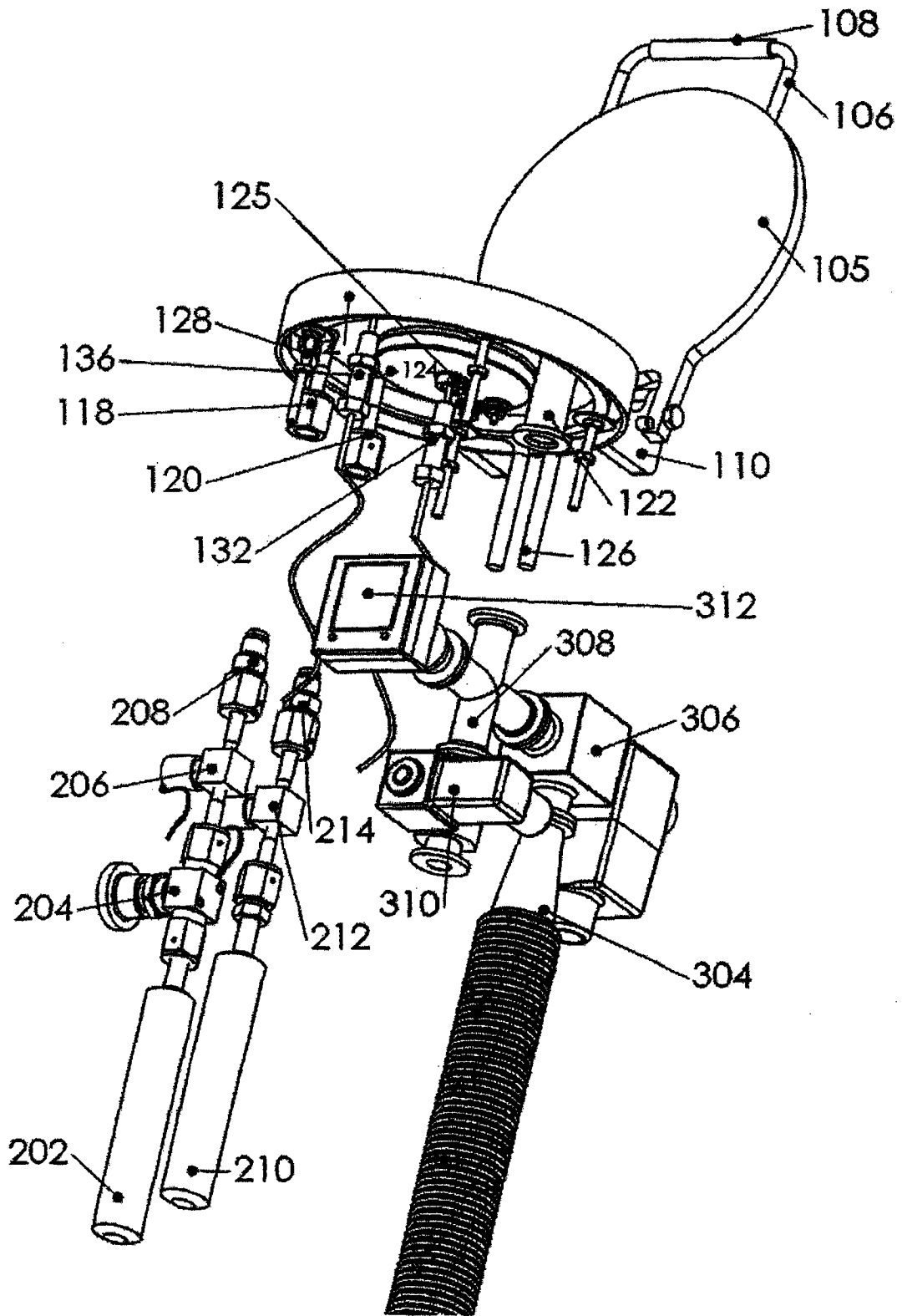


图 7A

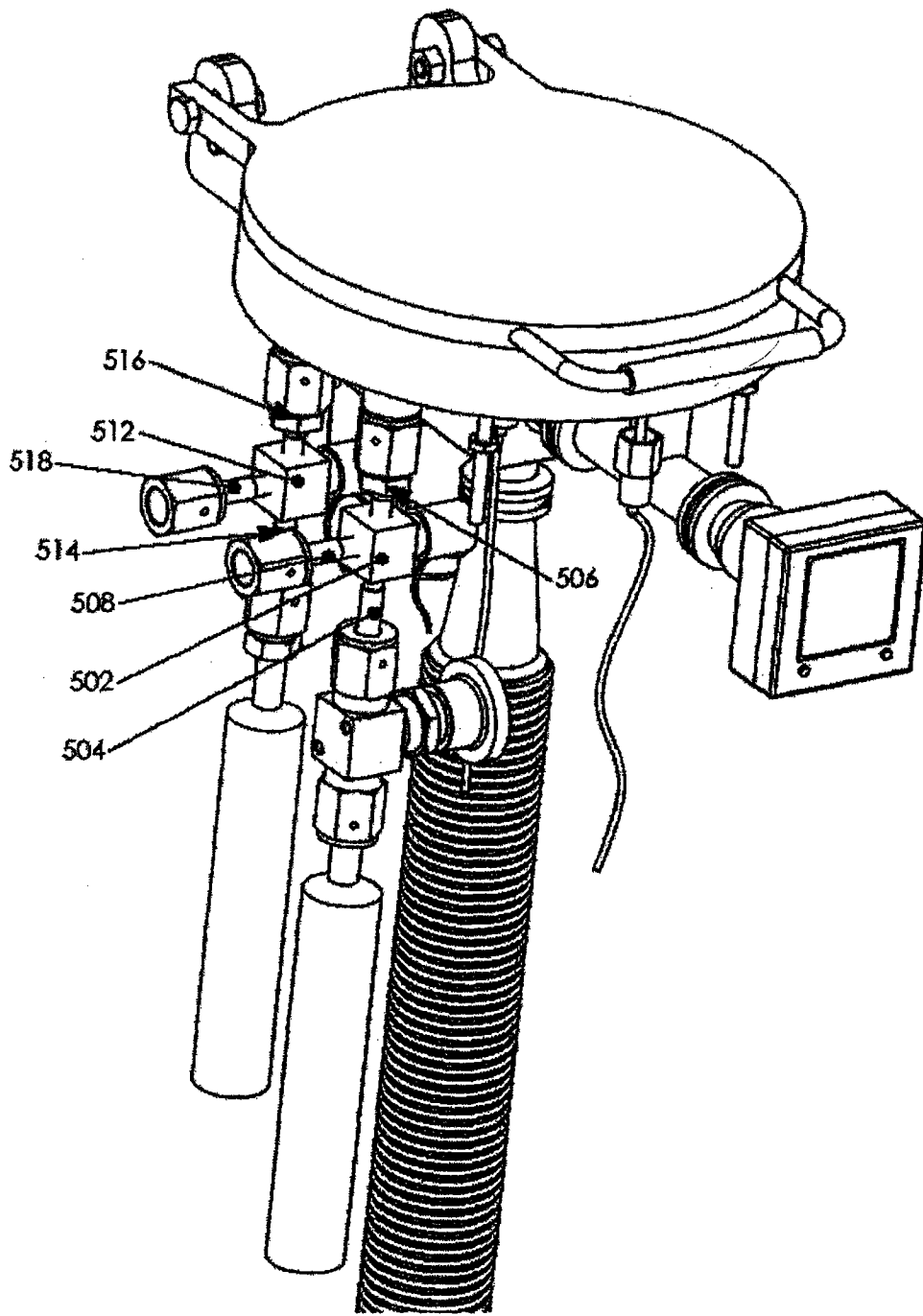


图 7B

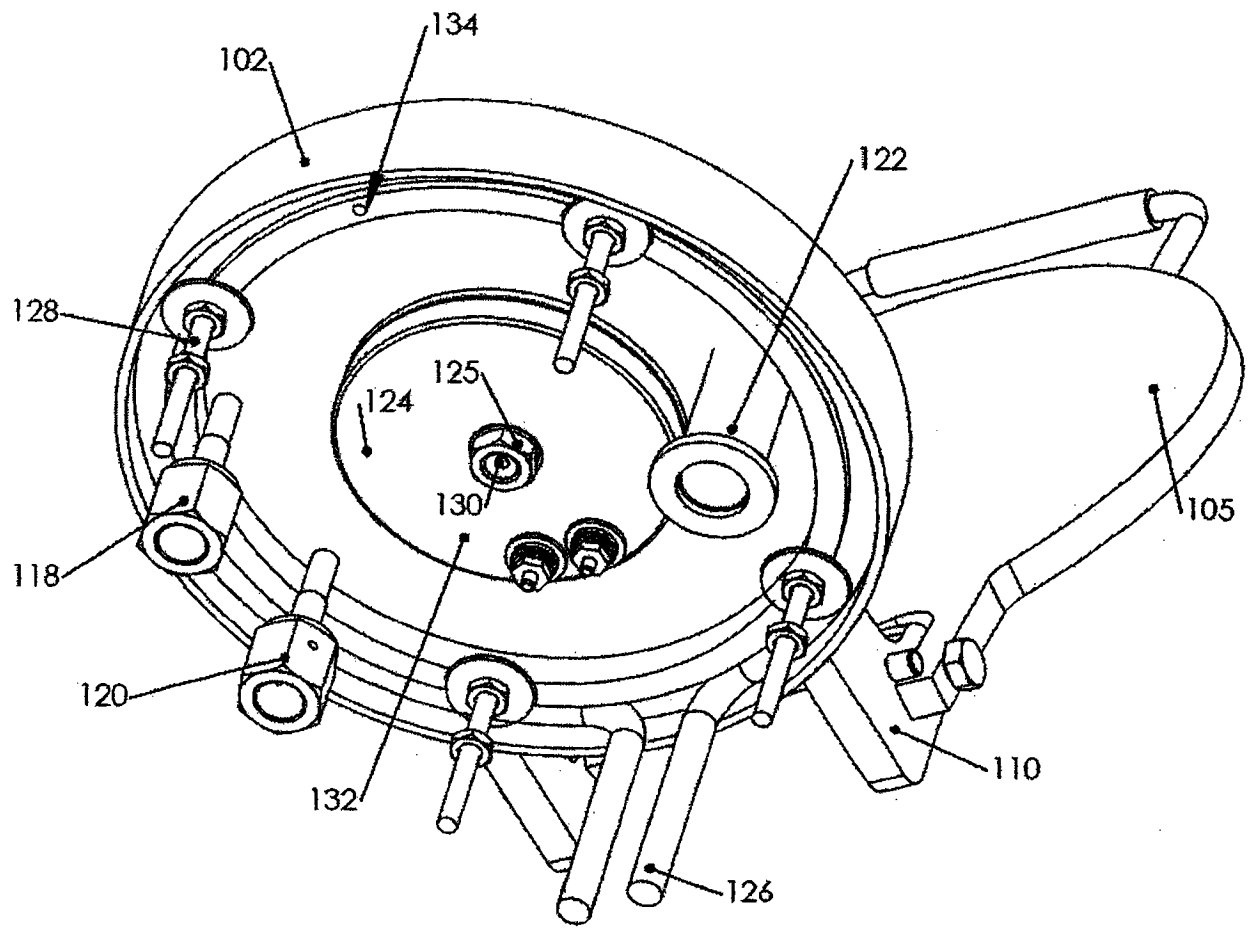


图 8

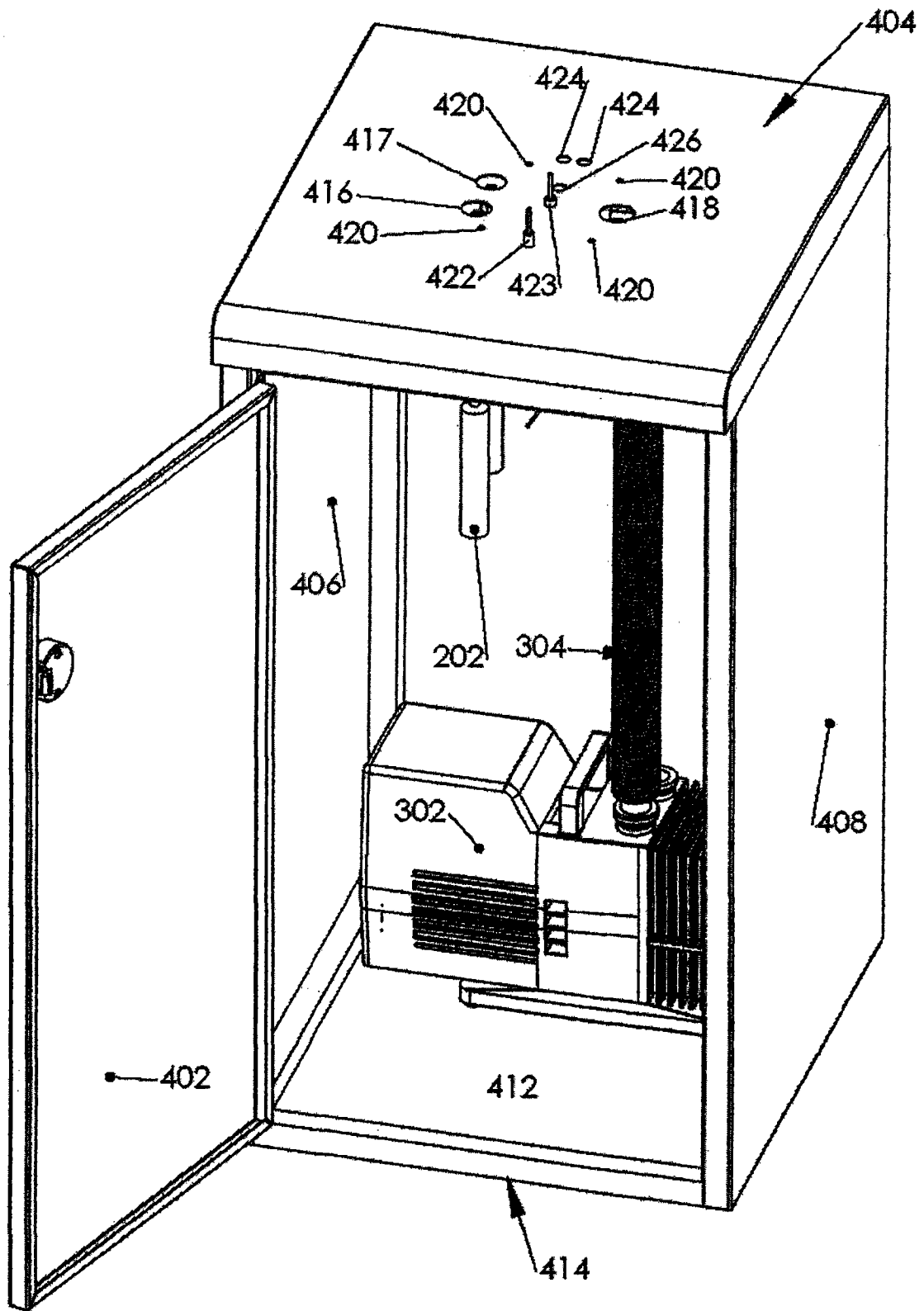


图 9

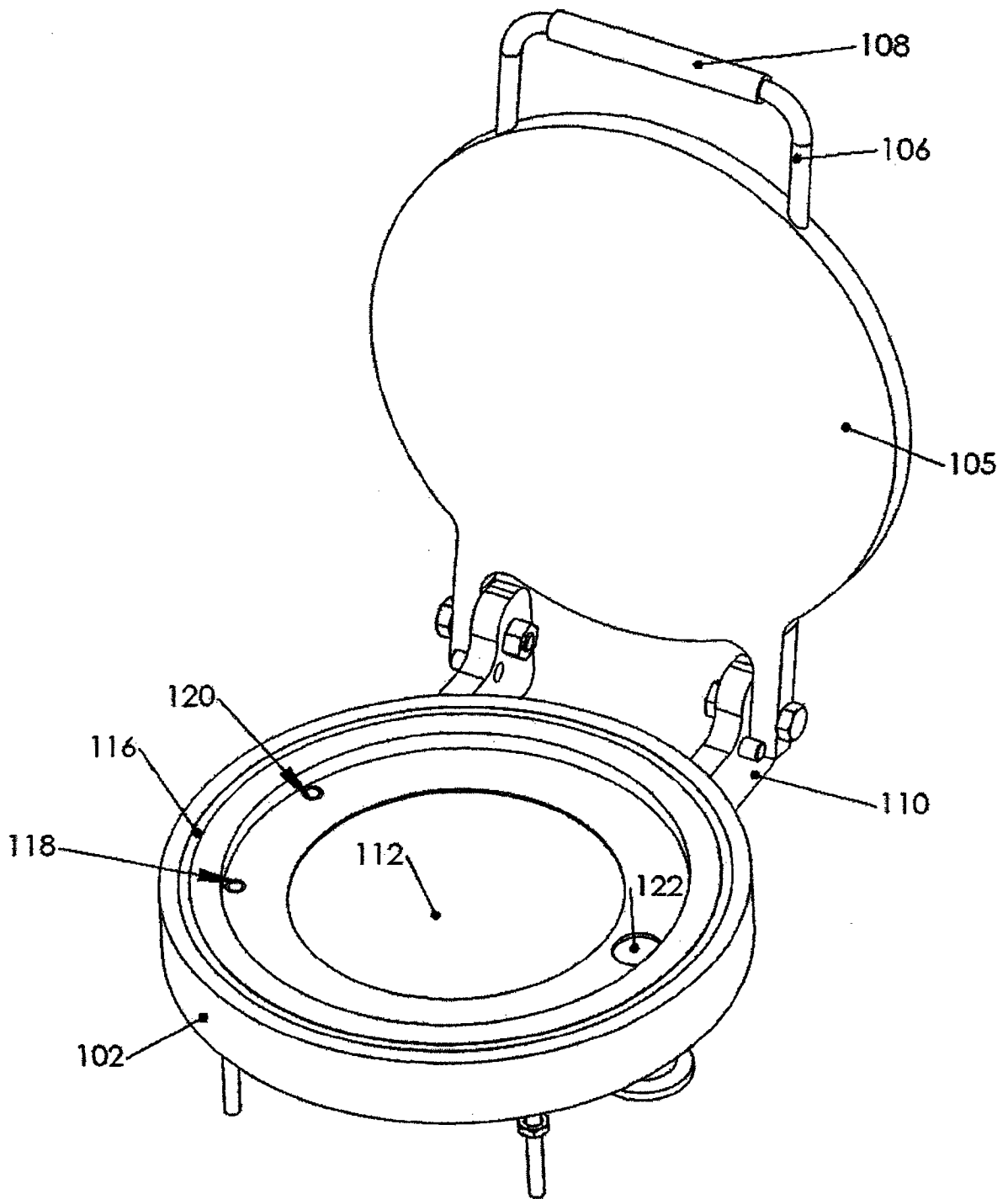


图 10

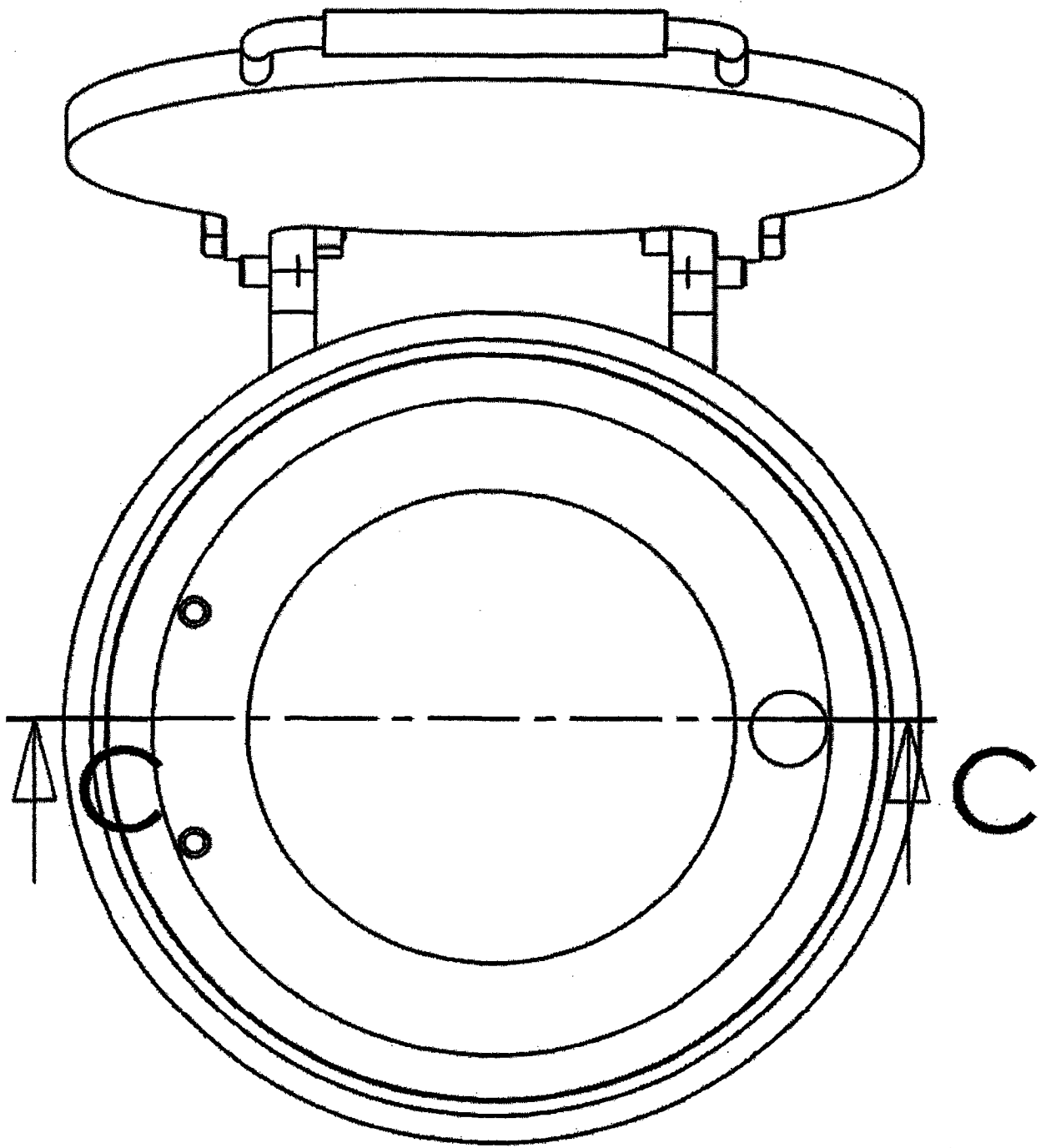


图 11A

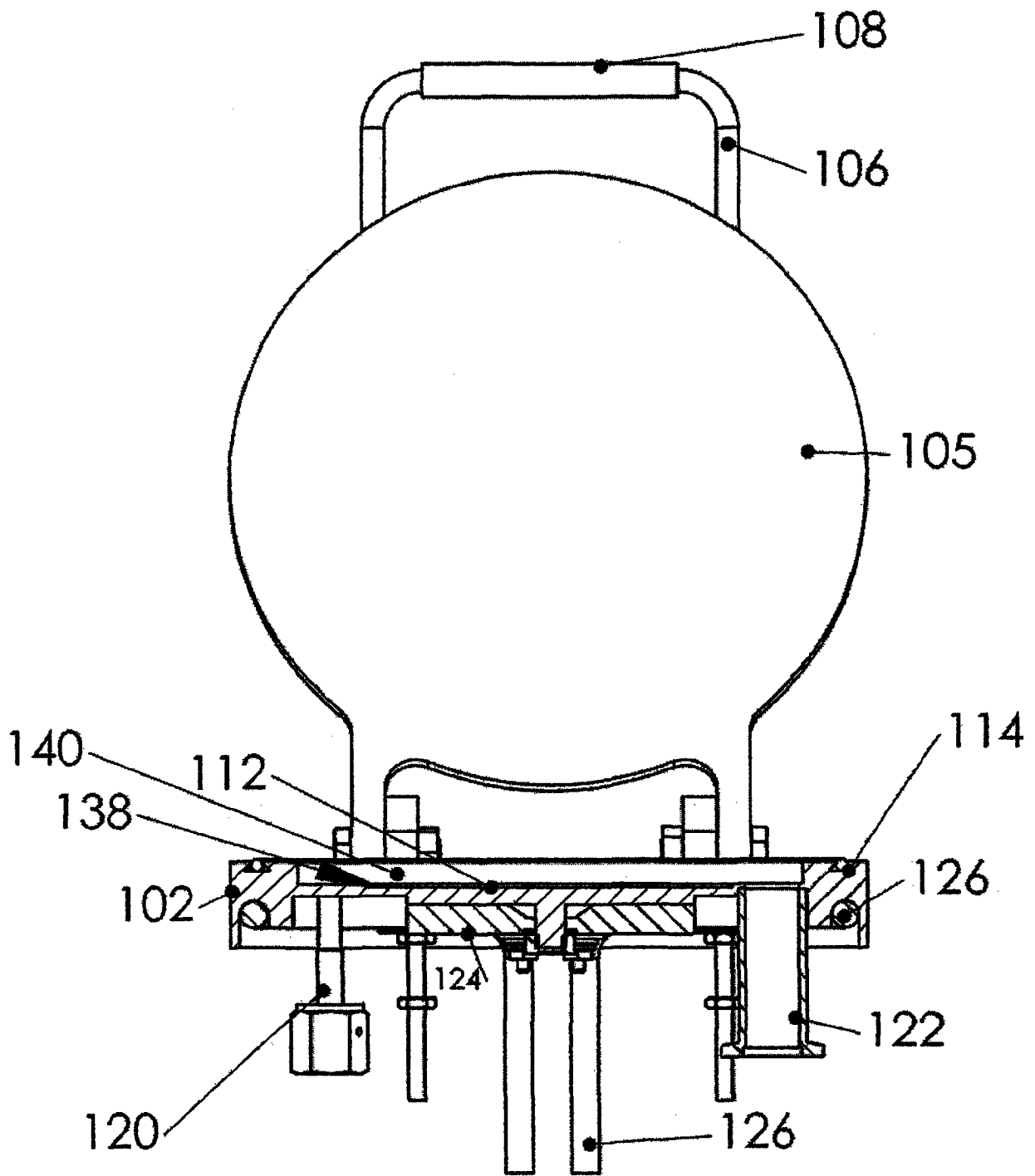


图 11B

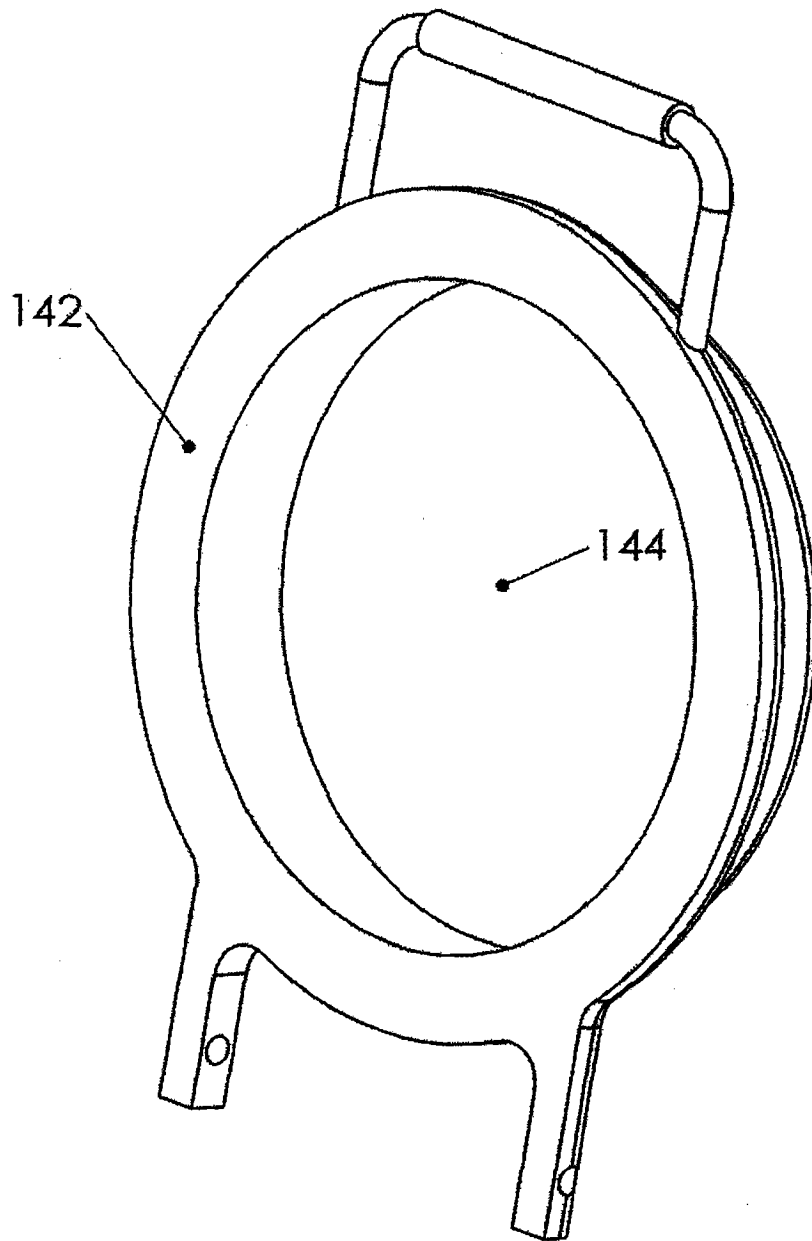


图 12A

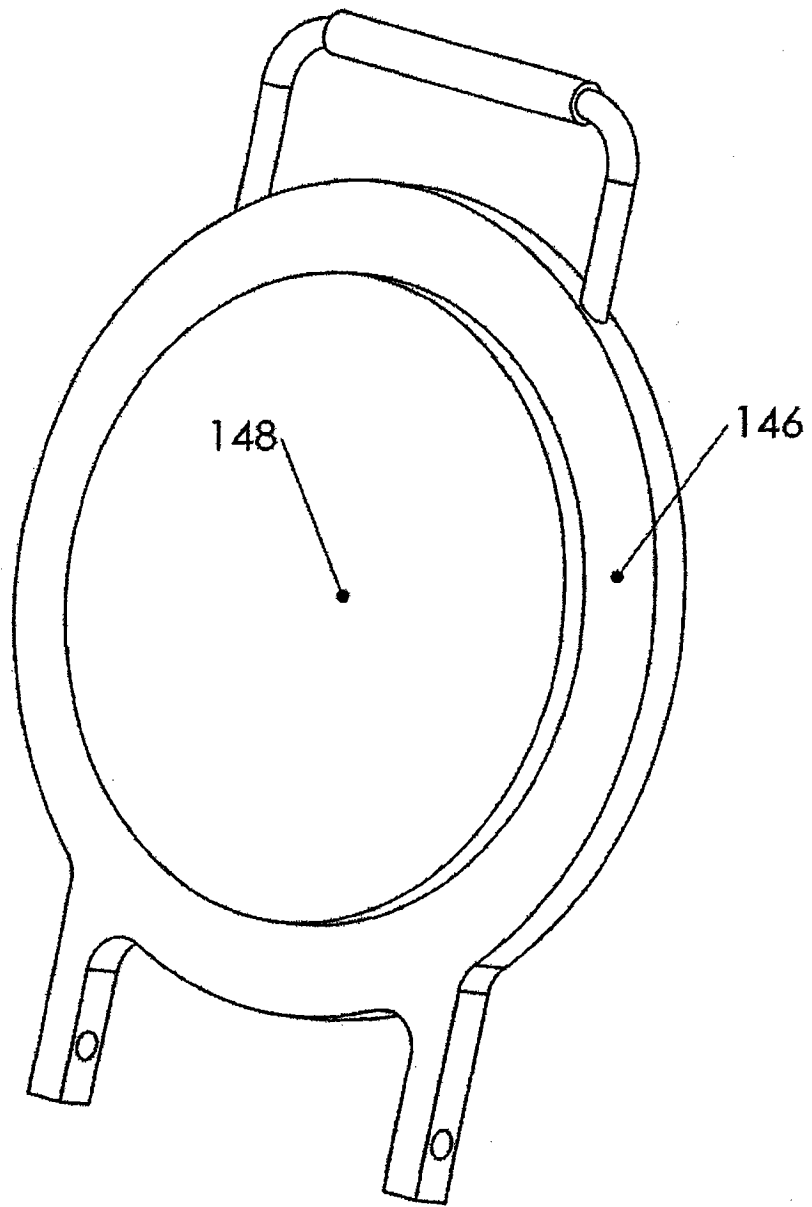


图 12B

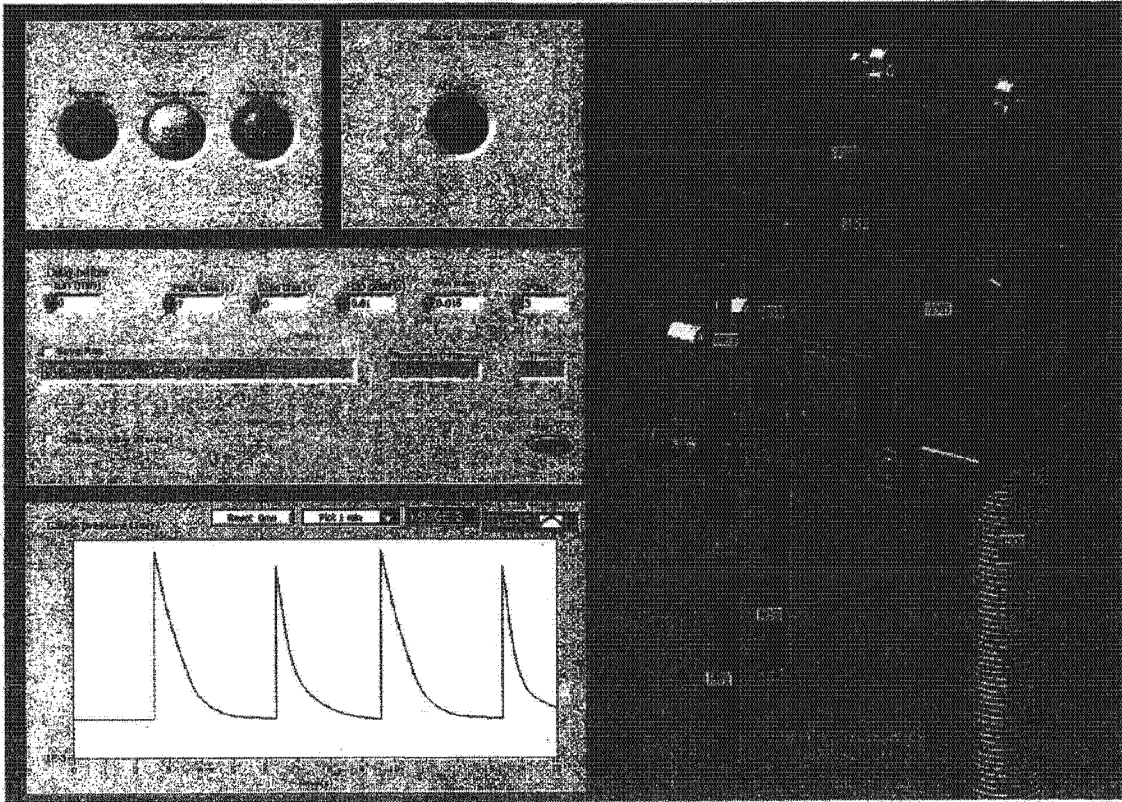


图 13

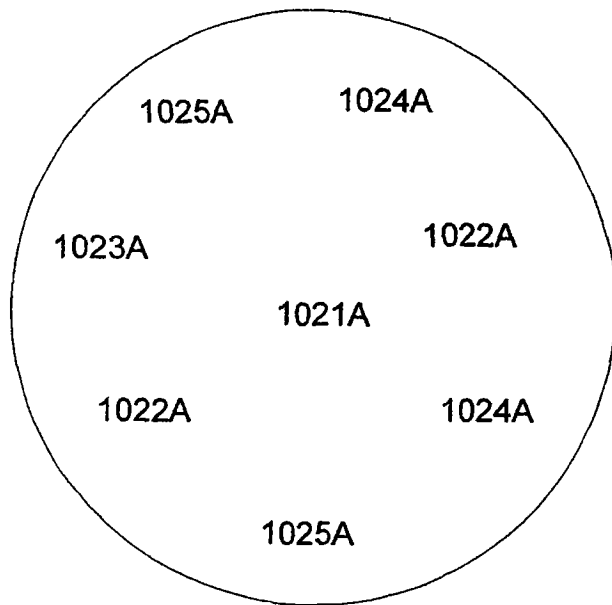


图 14

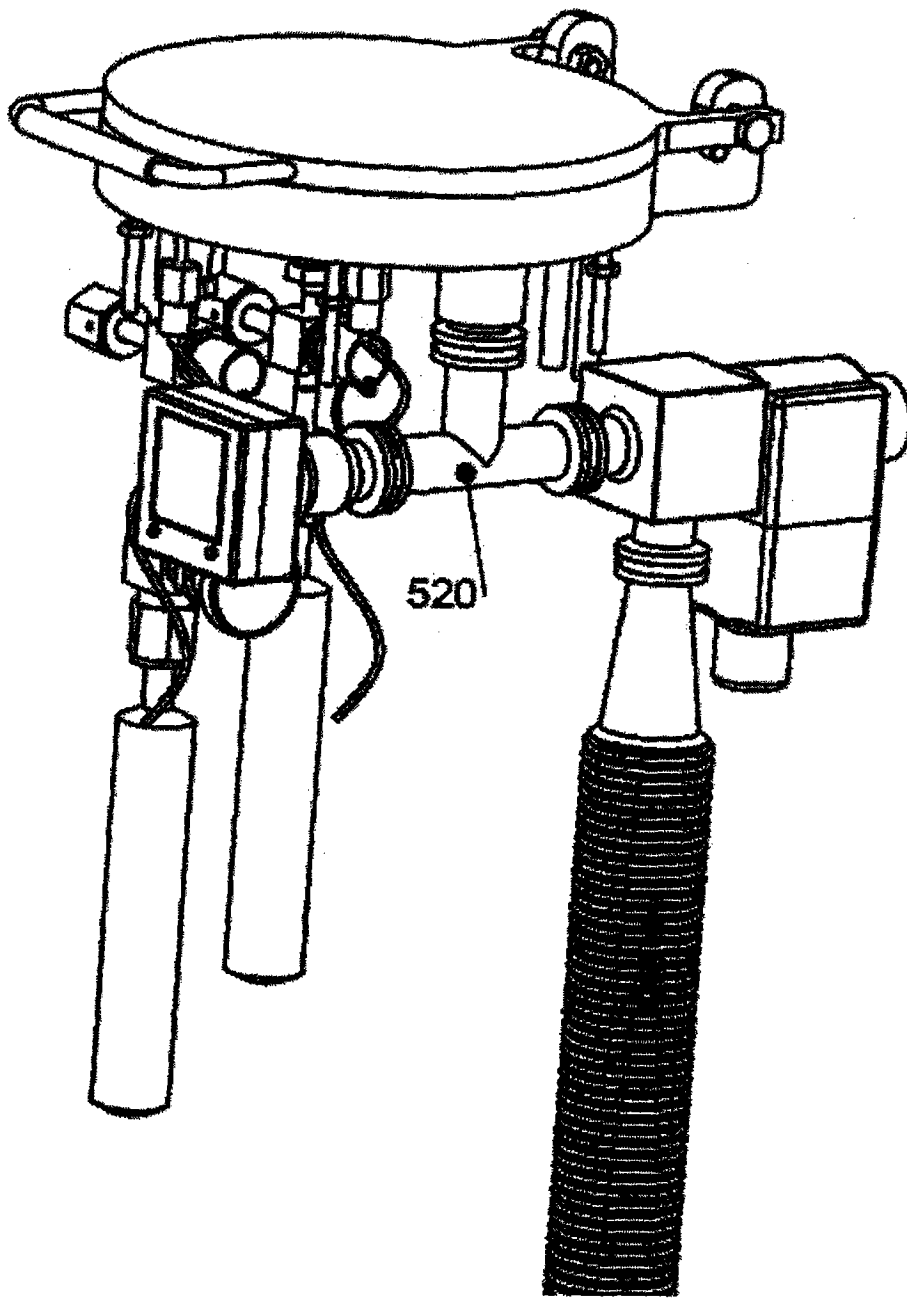


图 15

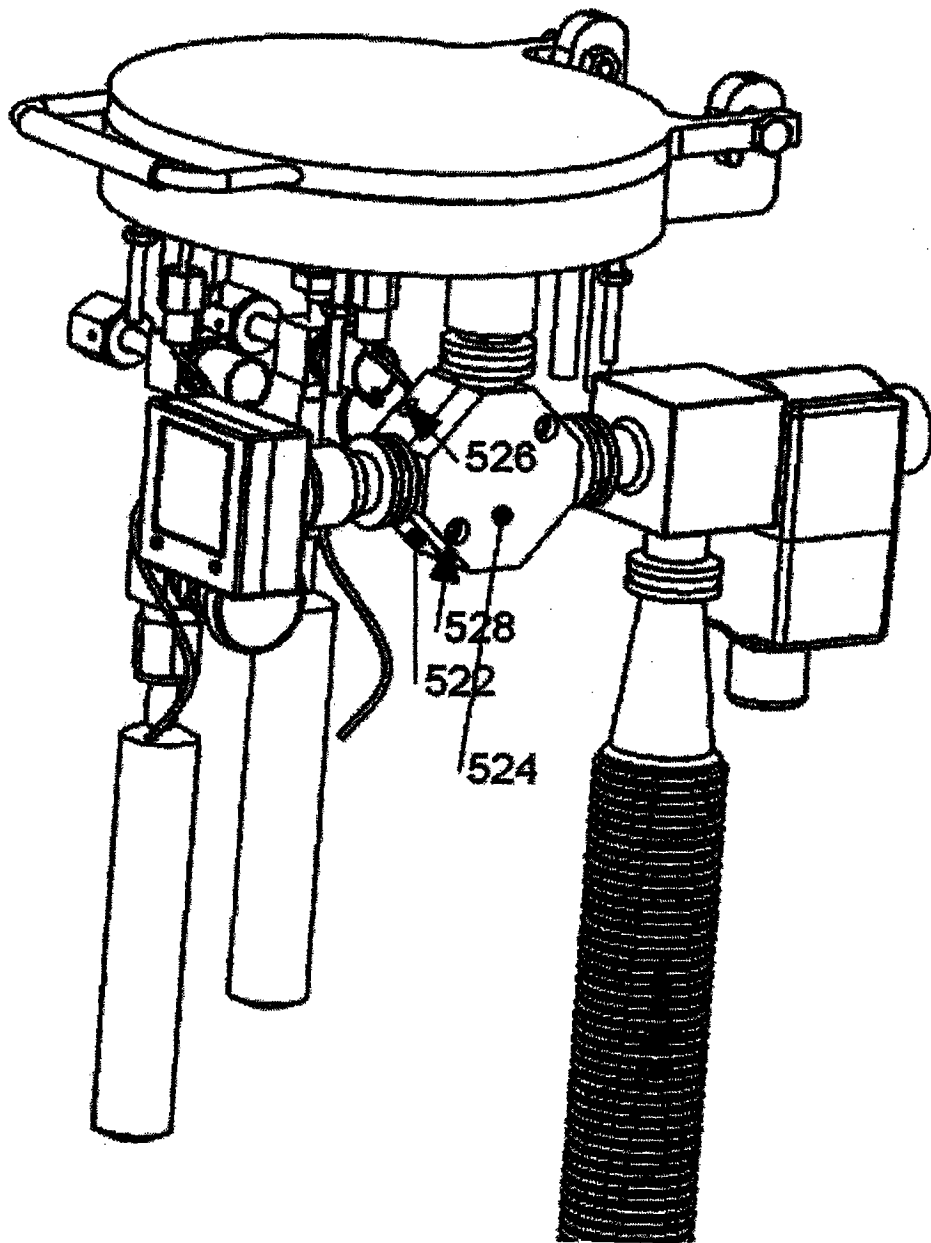


图 16

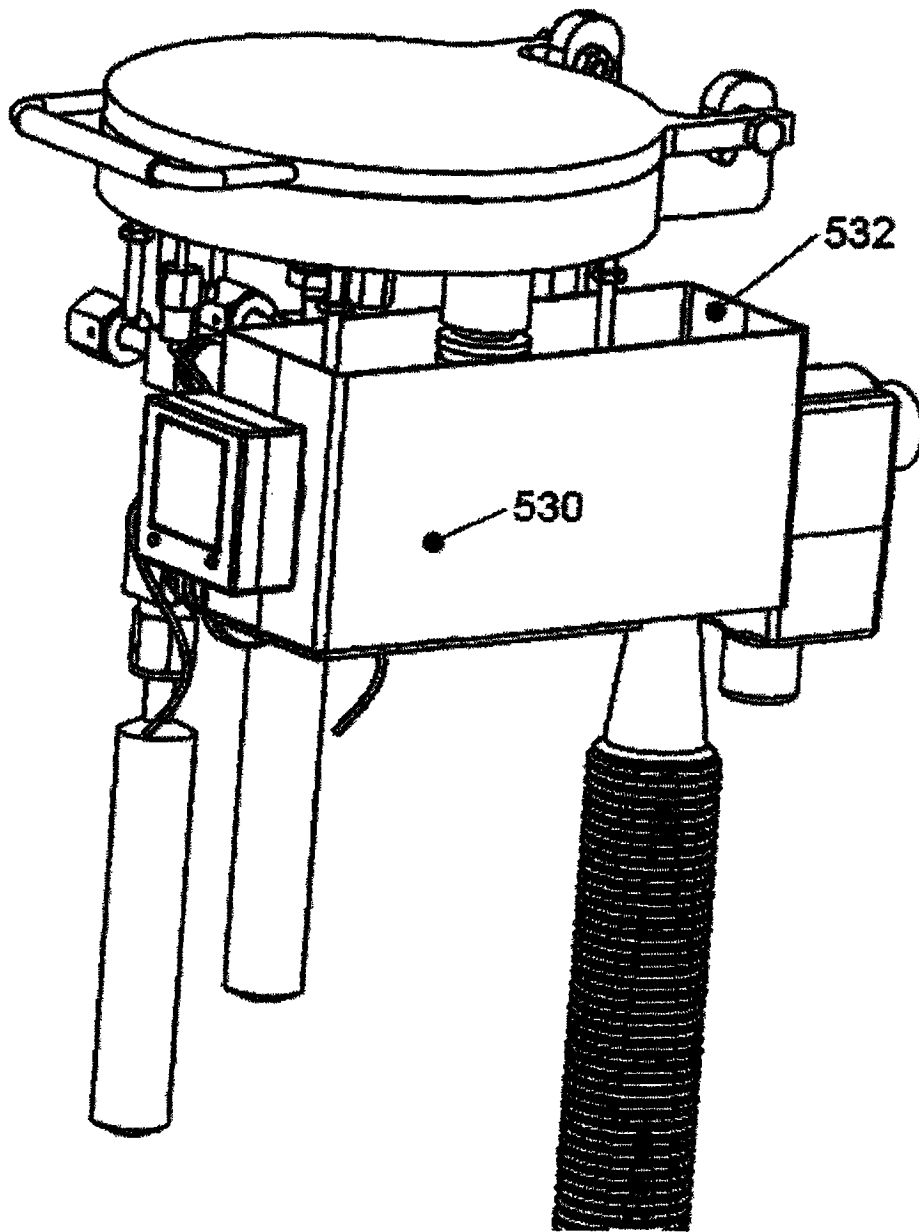


图 17

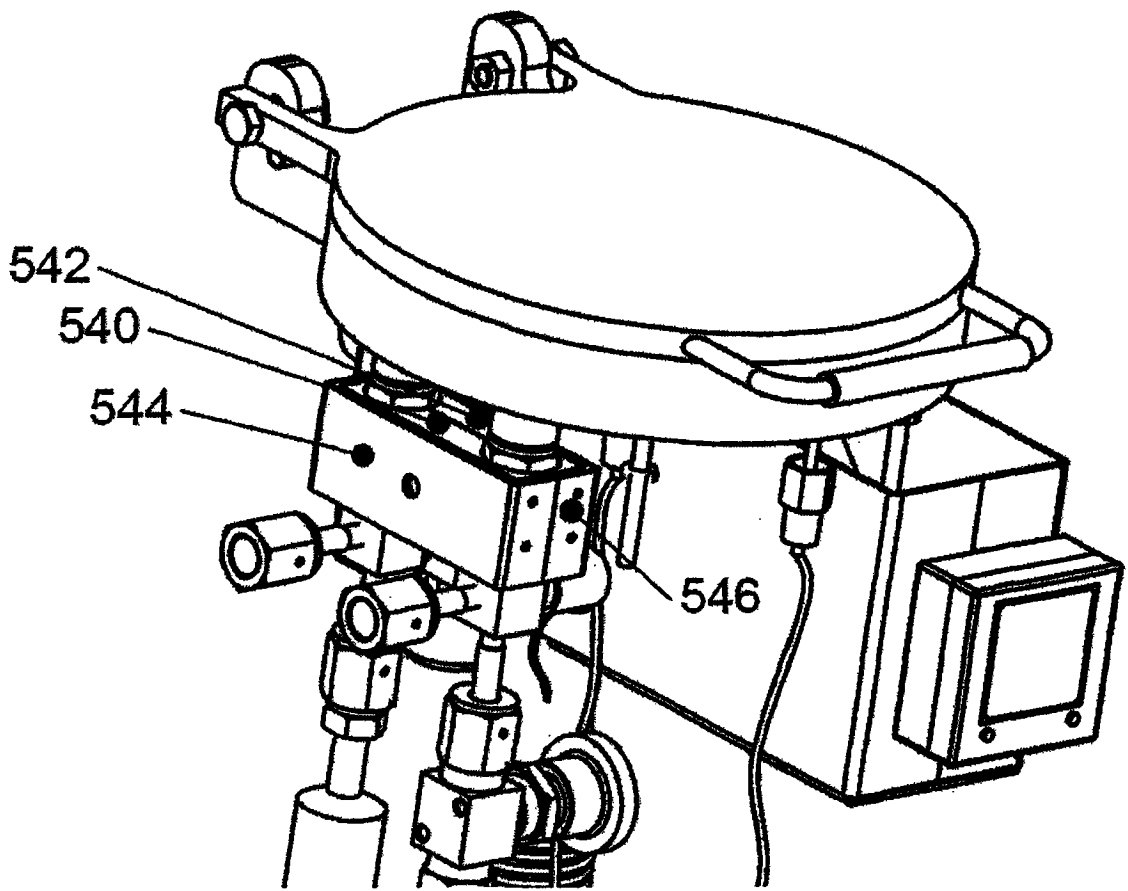


图 18

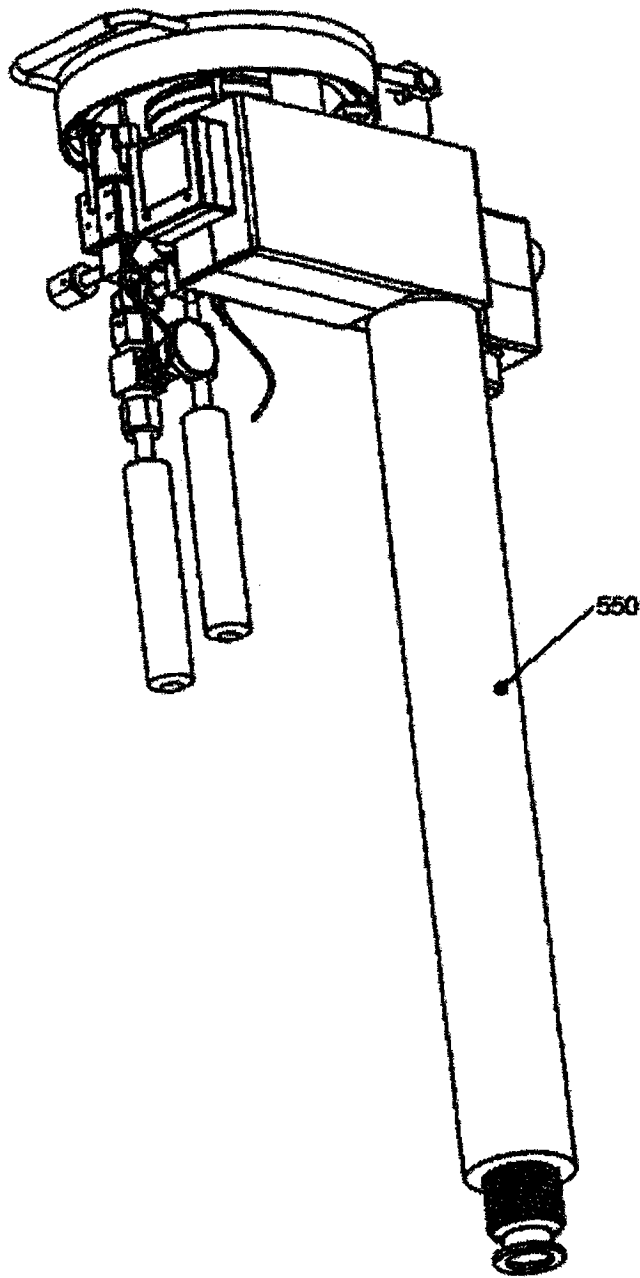


图 19

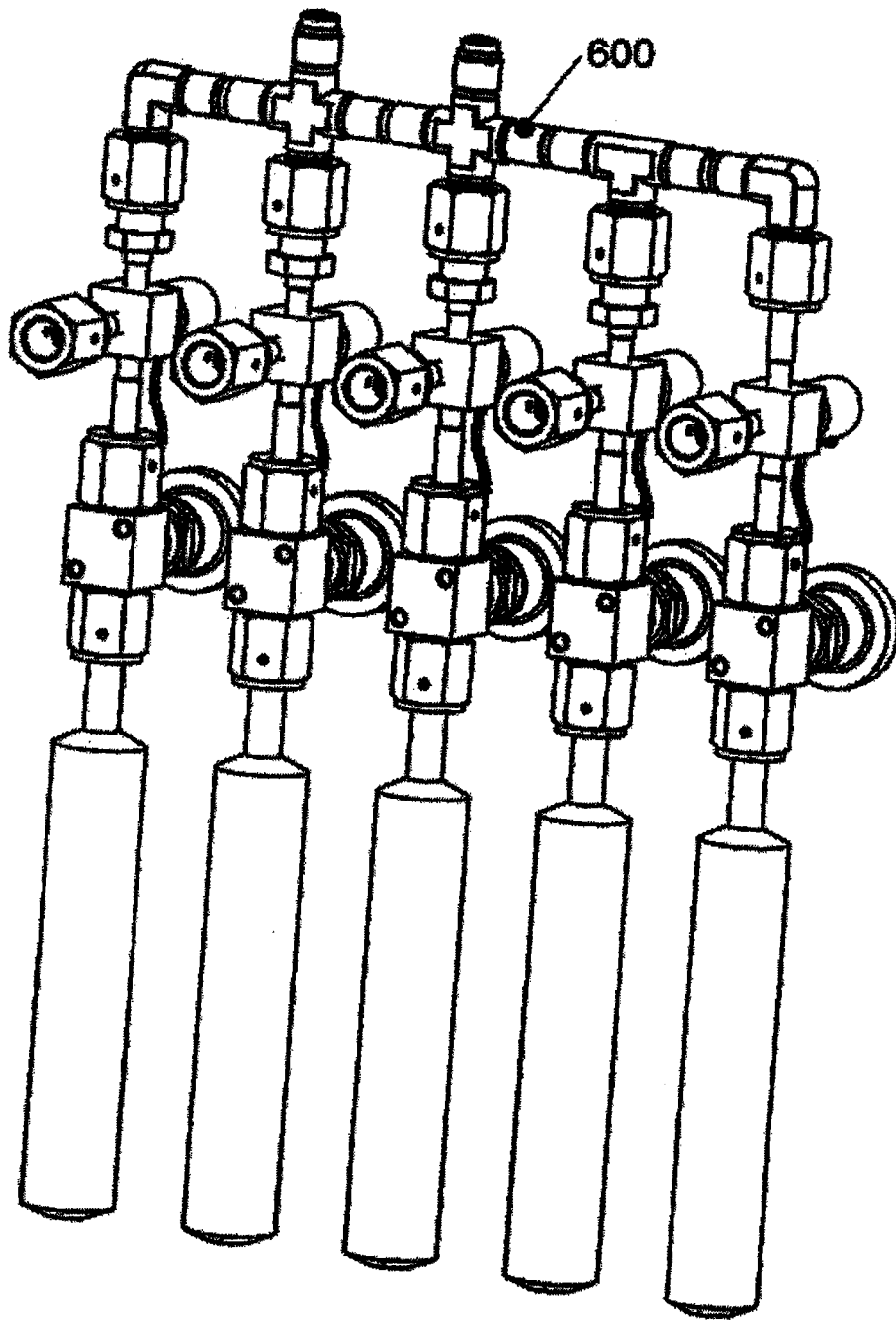


图 20

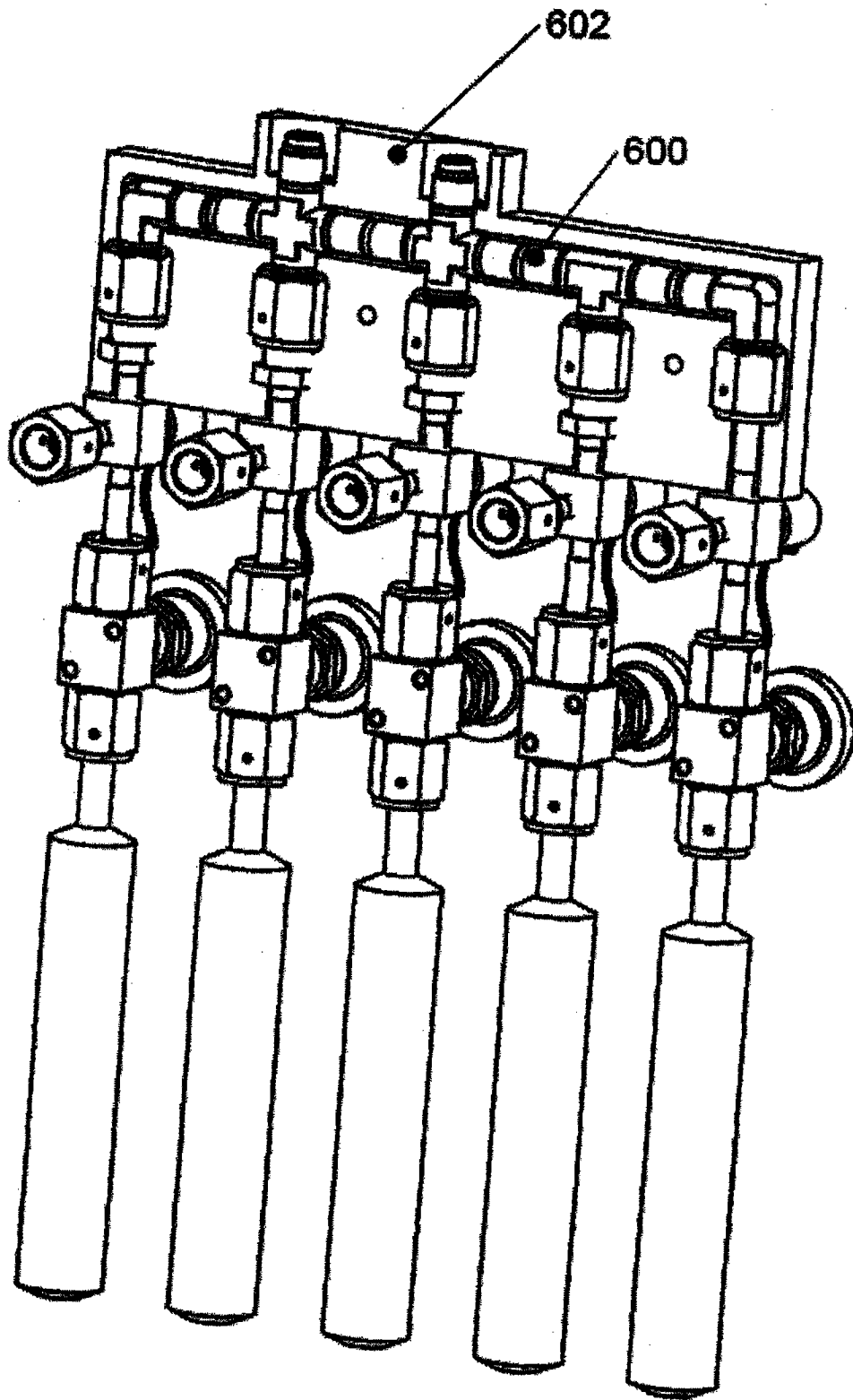


图 21

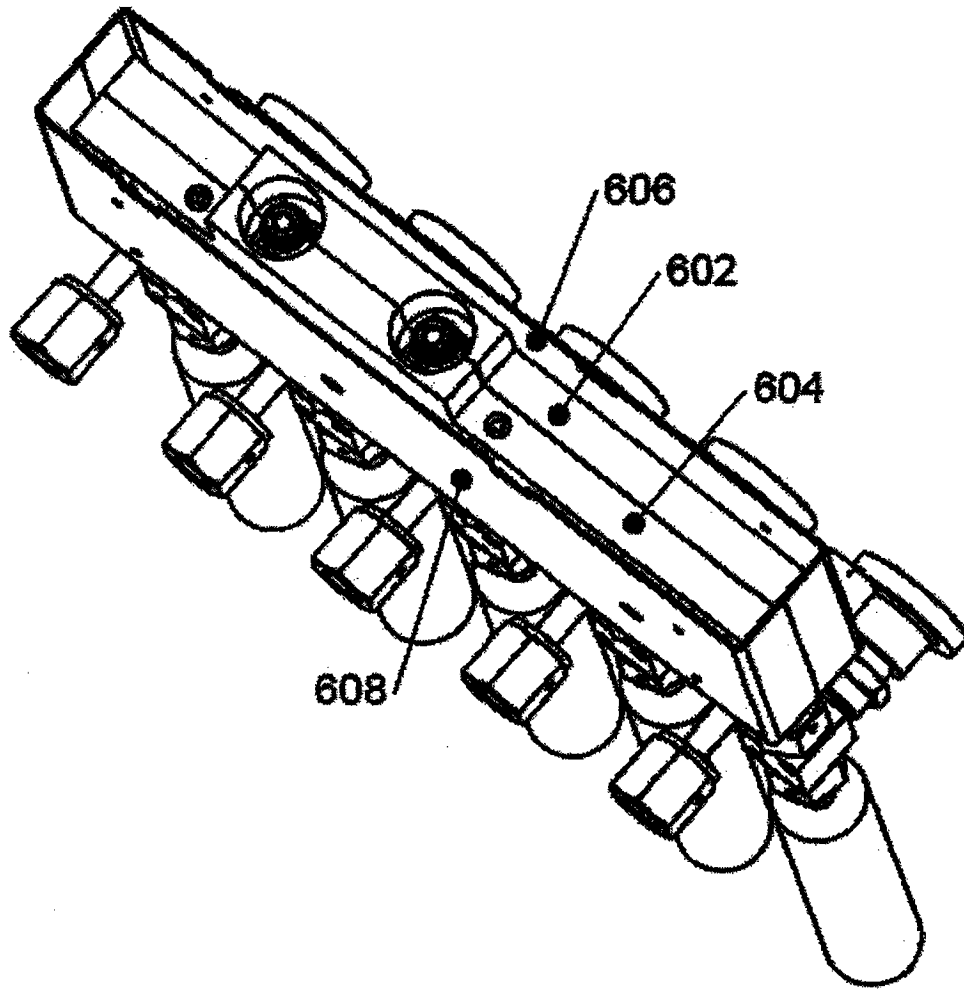


图 22

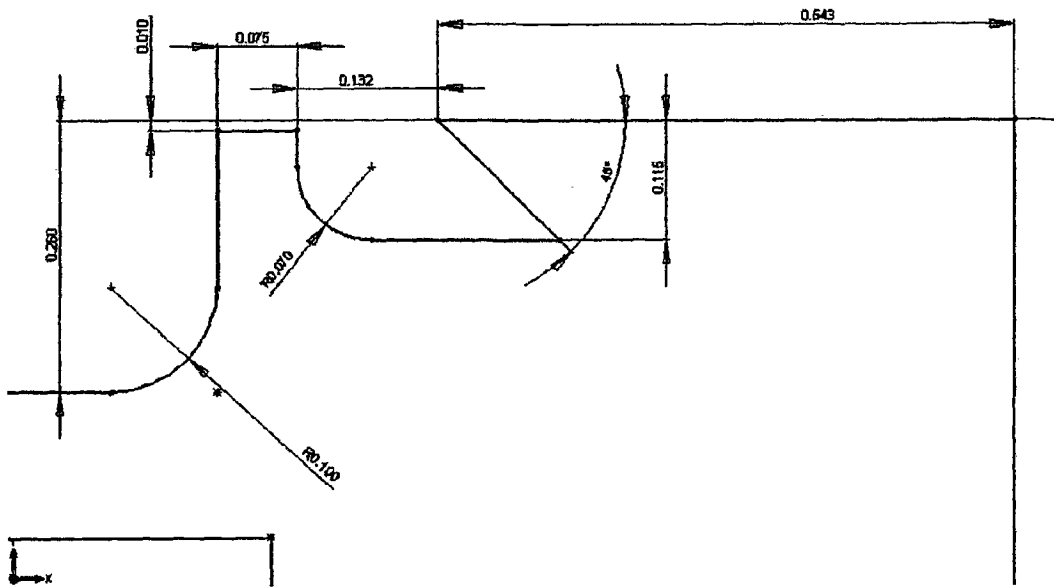


图 23

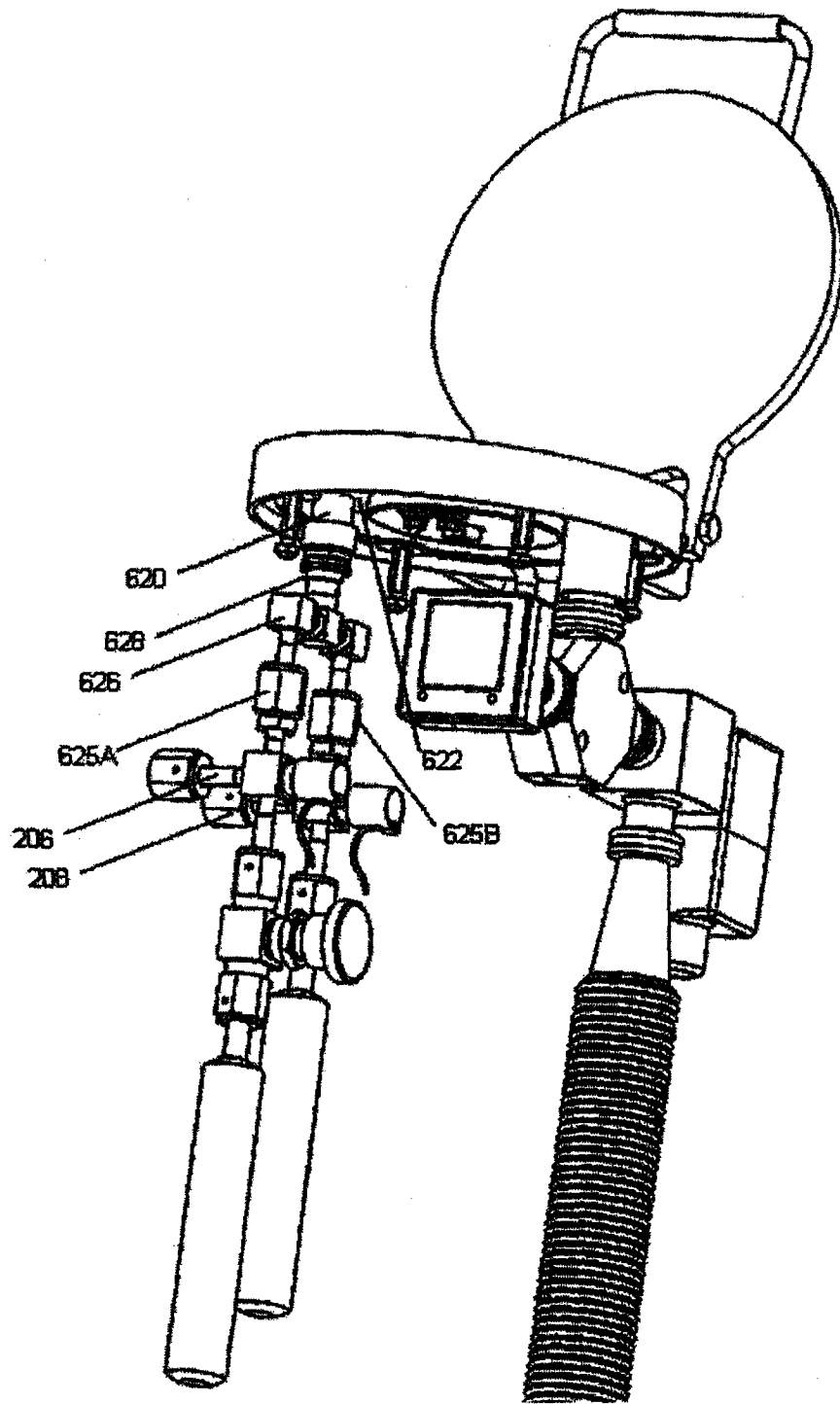


图 24

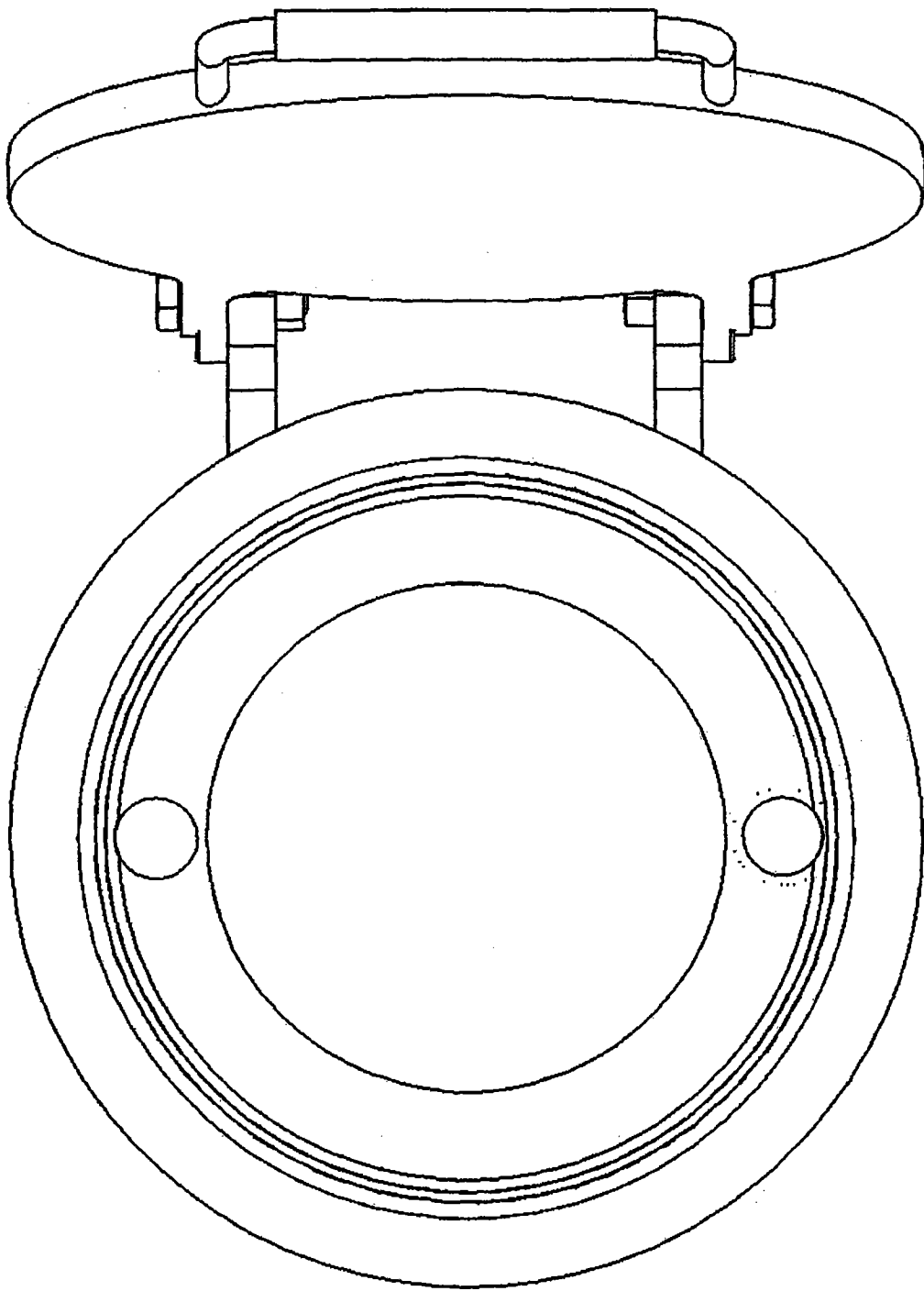


图 25

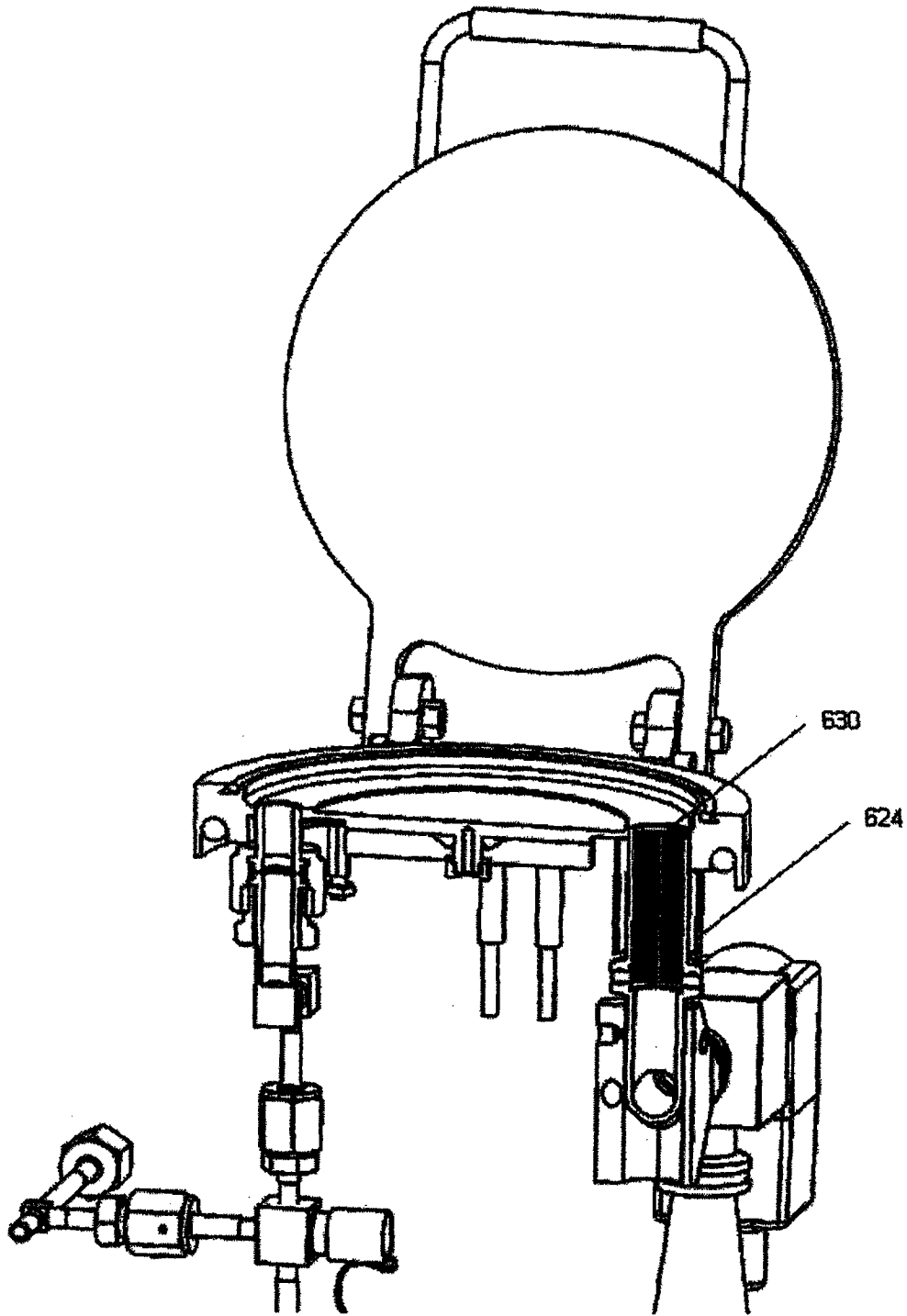


图 26

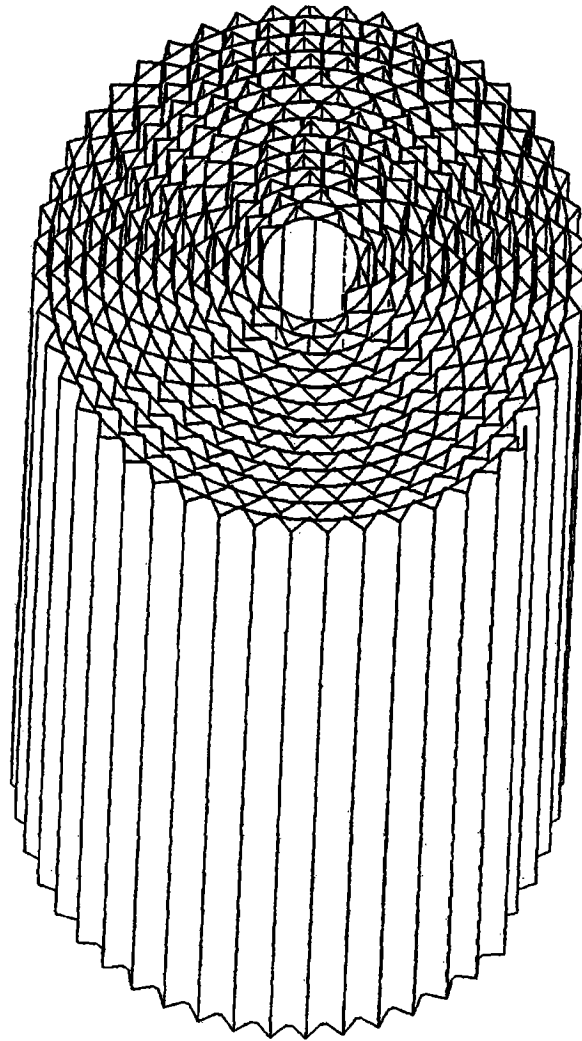


图 27