



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110277300 A

(43)申请公布日 2019.09.24

(21)申请号 201910570256.9

(22)申请日 2019.06.27

(71)申请人 中国人民解放军国防科技大学

地址 410073 湖南省长沙市开福区德雅路
109号

(72)发明人 吴伟 秦青青 欧保全 陈婷
谢艺 陈平形

(74)专利代理机构 长沙轩荣专利代理有限公司
43235

代理人 张勇

(51)Int.Cl.

H01J 49/02(2006.01)

H01J 49/10(2006.01)

F25B 9/14(2006.01)

G01N 27/62(2006.01)

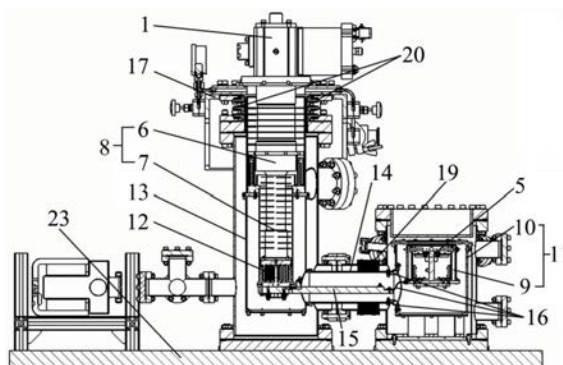
权利要求书2页 说明书4页 附图3页

(54)发明名称

用于量子模拟和计算芯片离子阱实验的超低温隔振系统

(57)摘要

本发明申请提供了一种用于量子模拟和计算芯片离子阱实验的超低温隔振系统,包括芯片离子阱、制冷机、主腔体、副腔体、真空离子泵、换热器、样品室、支撑部、转接部、导热部、第一平台、第二平台和软连接部件,主腔体和副腔体由转接部连接,真空离子泵与主腔体法兰连接,支撑部固定于第二平台,制冷机由支撑部固定支撑,制冷机冷头悬置于主腔体内,冷头端部设置换热器,换热器通过液氦与冷头交换热量,将冷量通过导热部传递给样品室内的芯片离子阱,为了隔振,导热部与样品室之间,转接部和副腔体之间均设置软连接,且样品室的软连接部件具有良热传导性。



1. 一种用于量子模拟和计算芯片离子阱实验的超低温隔振系统,包括芯片离子阱、制冷机、主腔体、副腔体、真空离子泵、换热器、样品室、支撑部、转接部、导热部、第一平台、第二平台和软连接部件;

所述主腔体、副腔体及所述真空离子泵固定于第一平台,所述主腔体与所述副腔体经所述转接部连接,所述转接部为中空,所述主腔体和所述副腔体彼此联通构成密闭腔室,所述真空离子泵与所述主腔体五通法兰连接,用于实现所述密闭腔室的真空环境;

所述支撑部固定于第二平台,所述制冷机由所述支撑部固定支撑,所述制冷机包括冷头和机头,所述冷头由所述支撑部悬置于所述主腔体内,所述冷头端部设置所述换热器;

所述副腔体内设置所述样品室,所述芯片离子阱置于所述样品室内,所述换热器经所述导热部与所述样品室连接;

所述转接部与所述副腔体之间,所述导热部与所述样品室之间,均设置软连接部件,用于隔振;

所述导热部与所述样品室之间的软连接部件具有良好的热传导性,用于传递所述冷头的冷量至所述样品室内的芯片离子阱。

2. 根据权利要求1用于量子计算与量子模拟的芯片离子阱实验的超低温隔振系统,其特征在于,所述制冷机选用G-M循环制冷机,所述G-M循环制冷机冷头包括一级冷头和二级冷头,所述换热器设置于所述二级冷头端部,所述换热器选用冷齿换热器。

3. 根据权利要求2用于量子计算与量子模拟的芯片离子阱实验的超低温隔振系统,其特征在于,还包括恒温腔,所述恒温腔设于所述密闭腔室内侧,包环在所述二级冷头、所述冷齿换热器、所述导热部、所述软连接部件和所述样品室外侧,所述恒温腔大小仅次于所述密闭腔室,所述恒温腔一端开口,与所述一级冷头连接,所述恒温腔由一级冷头提供冷量,用于维持腔内的超低温环境。

4. 根据权利要求3用于量子计算与量子模拟的芯片离子阱实验的超低温隔振系统,其特征在于,所述恒温腔包括源部冷屏、端部冷屏和转接冷屏,分别设置于主腔体、副腔体和转接部内部,所述源部冷屏一端与所述一级冷头连接,另一端与所述转接冷屏连接,所述转接冷屏与所述端部冷屏通过铜辫软连接。

5. 根据权利要求4用于量子计算与量子模拟的芯片离子阱实验的超低温隔振系统,其特征在于,所述二级冷头与所述冷齿换热器,所述一级冷头与所述源部冷屏之间通过工作物质液氮交换冷量。

6. 根据权利要求1-5其中任一项权利要求所述的用于量子计算与量子模拟的芯片离子阱实验的超低温隔振系统,其特征在于,所述转接部与副腔体之间的所述软连接部件为金属波纹管,所述导热部和所述样品室之间的软连接部件为铜辫。

7. 根据权利要求1-5其中任一项权利要求所述的用于量子计算与量子模拟的芯片离子阱实验的超低温隔振系统,其特征在于,所述制冷机机头与所述主腔体之间设有橡胶波纹管,用于将所述冷头密封于主腔体内,并减缓制冷机振动。

8. 根据权利要求1-5其中任一项权利要求所述的用于量子计算与量子模拟的芯片离子阱实验的超低温隔振系统,其特征在于,所述支撑部包括支撑柱和支撑底座,所述支撑柱竖直固定于所述第二平台,所述支撑底座固定于所述支撑柱上部,所述制冷机机头固定于所述支撑底座上。

9. 根据权利要求1-5其中任一项权利要求所述的用于量子计算与量子模拟的芯片离子阱实验的超低温隔振系统,其特征在于,所述第一平台选用光学平台,所述第二平台选用地面。

10. 根据权利要求1-5其中任一项权利要求所述的用于量子计算与量子模拟的芯片离子阱实验的超低温隔振系统,其特征在于,所述导热部选用无氧铜材质。

用于量子模拟和计算芯片离子阱实验的超低温隔振系统

技术领域

[0001] 本发明申请涉及一种超低温隔振系统,特别涉及一种用于量子模拟和计算芯片离子阱实验的超低温隔振系统。

背景技术

[0002] 随着计算机芯片加工工艺不断提高,单位面积晶体管数量不断增加,7nm制造工艺的芯片逐步问世,进一步验证了摩尔定律的预见性与正确性。但是加工到亚纳米微小尺度之后,遵循量子力学规律,量子衍射特性和测不准原理效果开始凸显,芯片加工精度难以提升。此时人们期待具有解决量子计算问题先天优势和具有更强并行计算性能优势的量子计算机的诞生。自费曼提出量子计算机概念以来,各国科学家与工程师想尽一切办法实现量子计算机。量子计算机的实现,依赖于量子比特的制备和操控。量子比特制备方法有很多种,例如N—V色心、超导约瑟夫森结、里德堡态中性冷原子、光子芯片和囚禁离子等。

[0003] 芯片离子阱系统是使用囚禁离子方法来实现量子比特操作的系统。低温芯片离子阱系统相对于常温芯片离子阱系统更容易实现高真空,因此能有效降低空间对离子的加热率,获取更长的量子比特相干时间。目前芯片离子阱系统保持超低温度的方式主要有两种,一种是液氦浸泡式,这种方式静音高效,但是液氦消耗量大,成本高;另一种是循环制冷换热的方式,这种方式下,制冷机工作时不可避免带来振动,对芯片离子阱操作具有一定影响。设计一种用于芯片离子阱实验的低温隔振系统非常必要,能为开展量子计算机的物理基础实验研究提供关键的技术平台。

发明内容

[0004] 传统低温芯片离子阱系统的制冷机振动问题是一个严重影响芯片离子阱量子比特操作的重要因素,为了解决这一问题,本发明申请提出一种用于量子模拟和计算芯片离子阱实验的超低温隔振系统,通过独立固定制冷机、铜辫软连接以及波纹管隔振的方式,将芯片离子阱的振动降到 $\pm 100\text{nm}$ 范围以内,从而解决该问题。

[0005] 本发明申请提供的具体方案如下:

[0006] 一种用于量子模拟和计算芯片离子阱实验的超低温隔振系统,包括芯片离子阱、制冷机、主腔体、副腔体、真空离子泵、换热器、样品腔、支撑部、转接部、导热部、第一平台、第二平台和软连接部件;

[0007] 主腔体、副腔体及真空离子泵固定于第一平台,主腔体与副腔体经转接部连接,转接部为中空,主腔体和副腔体彼此联通构成密闭腔室,真空离子泵与主腔体五通法兰连接,用于实现密闭腔室的真空环境;

[0008] 支撑部固定于第二平台,制冷机由支撑部固定支撑,制冷机包括冷头和机头,冷头由支撑部悬置于主腔体内,其端部设置换热器;

[0009] 副腔体内设置样品室,样品室内设置芯片离子阱,换热器经导热部与样品室连接;

[0010] 转接部与副腔体之间,导热部与样品室之间,均设置软连接部件,用于隔振;

[0011] 导热部与样品室之间的软连接部件具有良好的热传导性,用于传递冷头的冷量至样品室内的芯片离子阱。

[0012] 具体地,制冷机选用G-M循环制冷机,G-M循环制冷机冷头包括一级冷头和二级冷头,换热器选用冷齿换热器,设置于二级冷头端部。

[0013] 具体地,系统还包括恒温腔,该恒温腔设于密闭腔室内侧,包环在二级冷头、冷齿换热器、导热部、软连接部件和样品室外侧,其大小仅次于密闭腔室,恒温腔一端开口,与一级冷头连接,由一级冷头提供冷量,用于维持腔内的超低温环境。

[0014] 具体地,恒温腔包括源部冷屏、端部冷屏和转接冷屏,分别设置于主腔体、副腔体和转接部内部,源部冷屏一端与一级冷头连接,另一端与转接冷屏连接,转接冷屏与端部冷屏通过铜辫软连接。

[0015] 优选地,二级冷头与冷齿换热器之间,一级冷头与源部冷屏之间通过工作物质液氮交换冷量。

[0016] 优选地,转接部与副腔体之间的软连接部件为金属波纹管,导热部和样品室之间的软连接部件为铜辫。

[0017] 优选地,制冷机机头与主腔体之间设有橡胶波纹管,用于将冷头密封于主腔体内,并减缓制冷机振动。

[0018] 具体地,支撑部包括支撑柱和支撑底座,支撑柱竖直固定于第二平台,支撑底座固定于支撑柱上部,制冷机机头固定于支撑底座上。

[0019] 具体地,第一平台选用光学平台,第二平台选用地面。

[0020] 具体地,导热部选用无氧铜材质。

[0021] 与现有技术相比本发明申请的有益效果体现在:

[0022] 本发明申请的技术方案采用G-M循环制冷机提供冷量,通过独立固定制冷机以及设置软连接导热等方式,将芯片离子阱的振动降低在 $\pm 100\text{nm}$ 范围以内。不仅满足 $1.5\text{W}@4.2\text{K}$ 的制冷功率需求,在 4.2K 极低温环境下,极大降低空间对离子的加热率,增加量子比特相干时间,且在成本经济的条件下,大大降低芯片离子阱的振动,提高芯片离子阱操控性能。

[0023] 另外,本发明申请将样品所在的副腔体与冷源所在的主腔体分离,使该系统的安装和使用更加便捷,避免操作员在安装或使用过程中被低温冻伤,安全性更高。

附图说明

[0024] 图1是用于量子模拟和计算芯片离子阱实验的超低温隔振系统的立体外观示意图。

[0025] 图2是用于量子模拟和计算芯片离子阱实验的超低温隔振系统的正剖面示意图。

[0026] 图3是用于量子模拟和计算芯片离子阱实验的超低温隔振系统的正俯视示意图。

[0027] 图4是用于量子模拟和计算芯片离子阱实验的超低温隔振系统的侧视示意图。

[0028] 图5是用于量子模拟和计算芯片离子阱实验的超低温隔振系统的橡胶波纹管立体示意图;

[0029] 图中标号表示:

[0030] 1.G-M循环制冷机;2.真空离子泵;3.主腔体;4.副腔体;5.芯片离子阱;6.一级冷

头;7.二级冷头;8.冷头;9.样品室;10.端部冷屏;12.冷齿换热器;13.源部冷屏;14.转接冷屏;15.导热部;16.铜辫;17.支撑底座;18.支撑柱;19.金属波纹管;20.橡胶波纹管;21.五通法兰;23.光学平台。

具体实施方式

[0031] 下面结合实施例,对本申请的具体实施方式作进一步详细描述。以下实施例用于说明本发明,但不用来限制本发明的范围。

[0032] 如图1-5所示,一种用于量子模拟和计算芯片离子阱实验的超低温隔振系统,包括芯片离子阱5、G-M循环制冷机1、主腔体3、副腔体4、真空离子泵2、冷齿换热器12、样品室9、支撑部、转接部、导热部15、光学平台23和软连接部件。

[0033] 主腔体3、副腔体4及真空离子泵2固定于光学平台23,主腔体3与副腔体4经转接部连接,转接部为中空,主腔体3和副腔体4彼此联通构成密闭腔室,真空离子泵2与主腔体3经过五通法兰21连接,用于实现密闭腔室的真空环境。将主腔体3和副腔体4分离,是为了在副腔体4中更好地操作芯片离子阱。

[0034] 支撑部固定于地面,G-M循环制冷机1由支撑部固定支撑,G-M循环制冷机1包括冷头8和机头,冷头8由支撑部悬置于主腔体3内,其端部设置冷齿换热器12;

[0035] 副腔体4内设置样品室9,样品室9内设置芯片离子阱5,冷齿换热器12经导热部与样品室9连接;

[0036] 转接部与副腔体4之间,导热部15与样品室9之间,均设置软连接部件,用于隔振;

[0037] 导热部15与样品室9之间的软连接部件选用铜辫16,用于传递二级冷头7的冷量至样品室9内的芯片离子阱5。

[0038] 如图2用于量子模拟和计算芯片离子阱实验的超低温隔振系统的正剖面示意图所示,G-M循环制冷机1的一级冷头6下端固连源部冷屏13,转接冷屏14与端部冷屏10,导热部15与样品腔9均由铜辫16软连接,通过热的良导体铜传递冷量,维持芯片离子阱5的4K恒低温环境。主腔体3和副腔体4经转接部连接,转接部与副腔体4之间设置有金属波纹管19,用以减缓主腔体3的振动对副腔体4的影响。也就是说,所有与芯片离子阱5所在腔体的连接,都设置为软连接,最大限度降低G-M循环制冷机1的工作振动对样品室9中的芯片离子阱5的影响,而将软连接的材质选为热导性很好的金属铜,则是为了保持芯片离子阱5的4K低温环境。

[0039] 如图3俯视图和如图4侧视图所示,该系统还包括支撑柱18和支撑底座17,支撑柱18固定于地面,支撑底座17固定于支撑杆18上部,G-M循环制冷机1固定于支撑底座17上,系统其他部件固定在光学平台23上,这样,通过在物理上分离独立地固定G-M循环制冷机1,可以大大减少系统其他部件尤其是芯片离子阱5受到的振动影响。

[0040] 如图5所示,G-M循环制冷机与主腔体3之间经过橡胶波纹管20密封连接。由于制冷机冷头8需要密封于主腔体3之内,在G-M循环制冷机1和主腔体3的连接处使用橡胶波纹管20,可以进一步降低制冷机冷头8的振动,也提高了密封性能。

[0041] 采用G-M循环制冷机1提供冷量,通过独立固定制冷机以及设置软连接导热等方式,将芯片离子阱的振动降低在 $\pm 100\text{nm}$ 范围以内。不仅满足 $1.5\text{W}@4.2\text{K}$ 的制冷功率需求,在4.2K极低温环境下,极大降低环境空间对离子的加热率,增加量子比特相干时间,且从经济

的角度,在成本可控的条件下,极大地降低了G-M制冷机1传导的振动,同时有效地保持热传导,将芯片离子阱5维持在低温4K温度环境。

[0042] 以上内容是结合具体的优选实施方式对本发明所作的进一步详细说明,不能认为本发明的具体实施仅局限于这些说明。对于本发明所属技术领域的普通技术人员来说,不脱离本发明构思的前提下,还可以作出若干简单推演或替换,都应当视为属于本发明的保护范围。

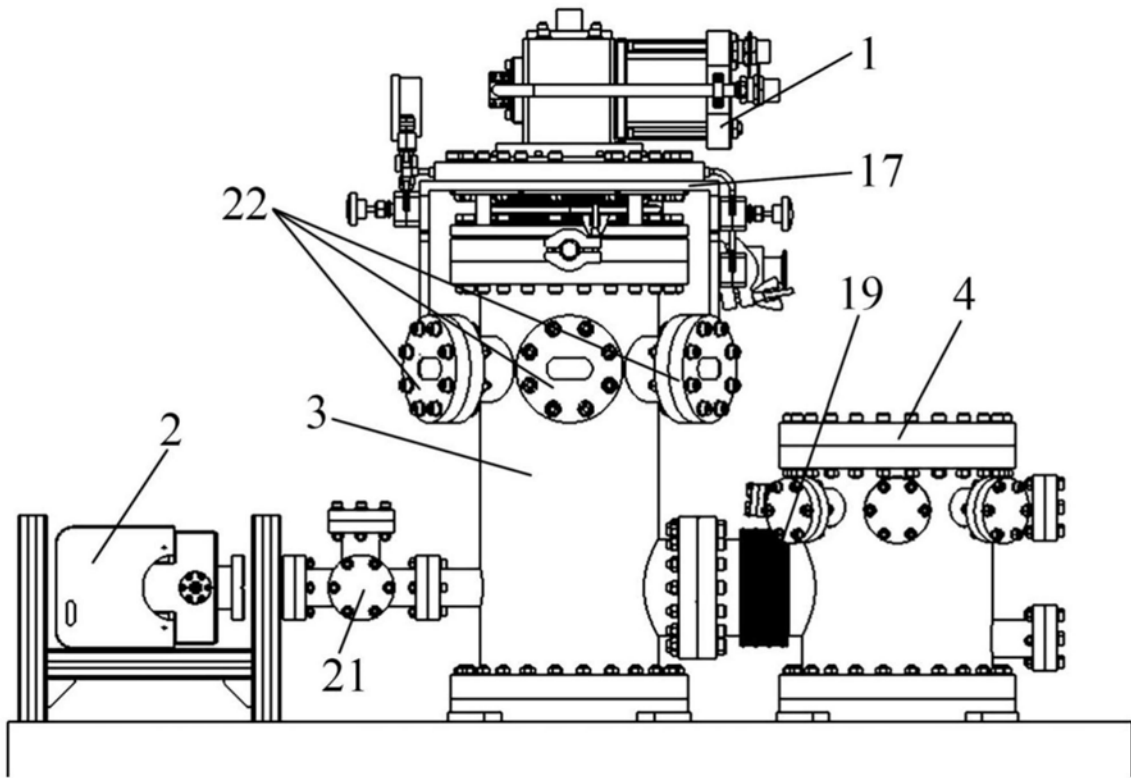


图1

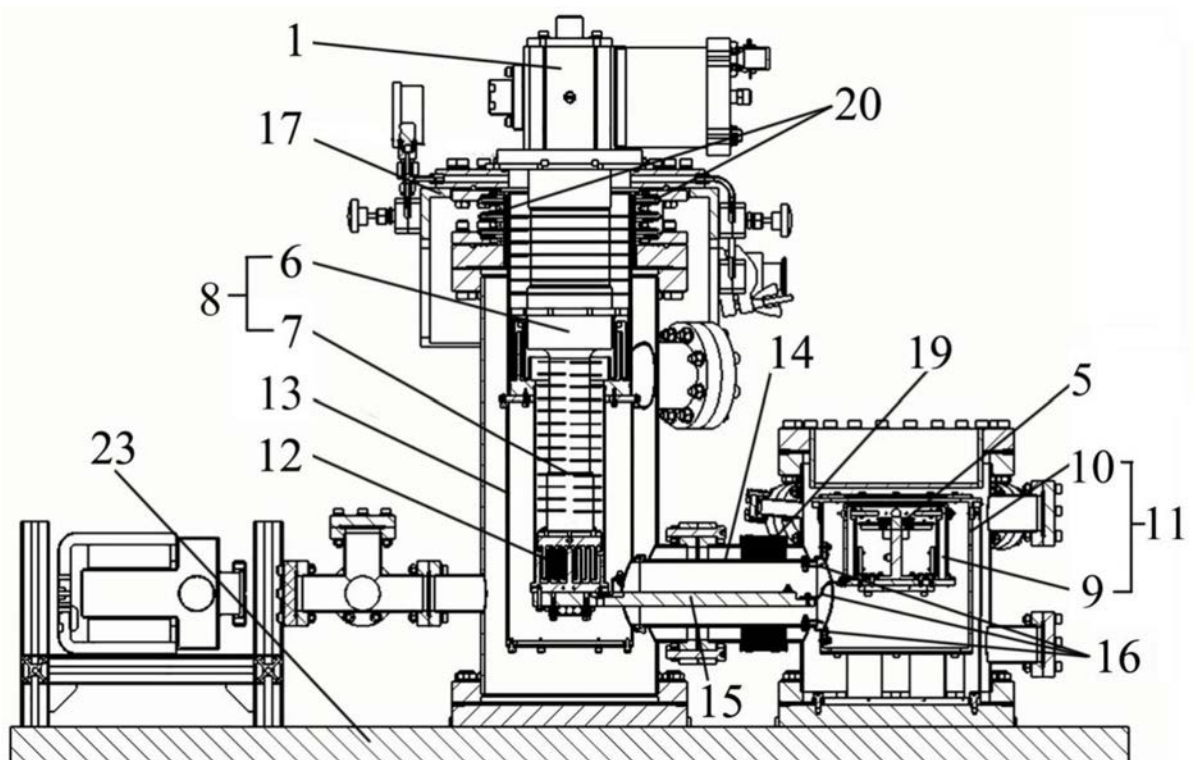


图2

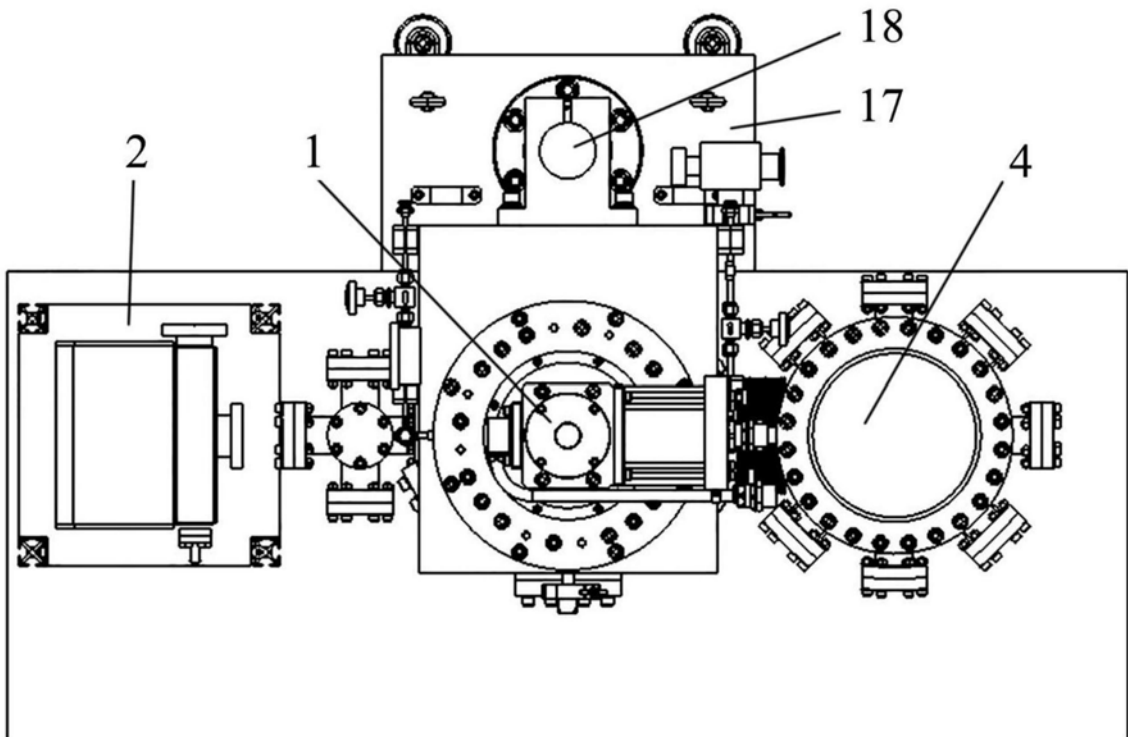


图3

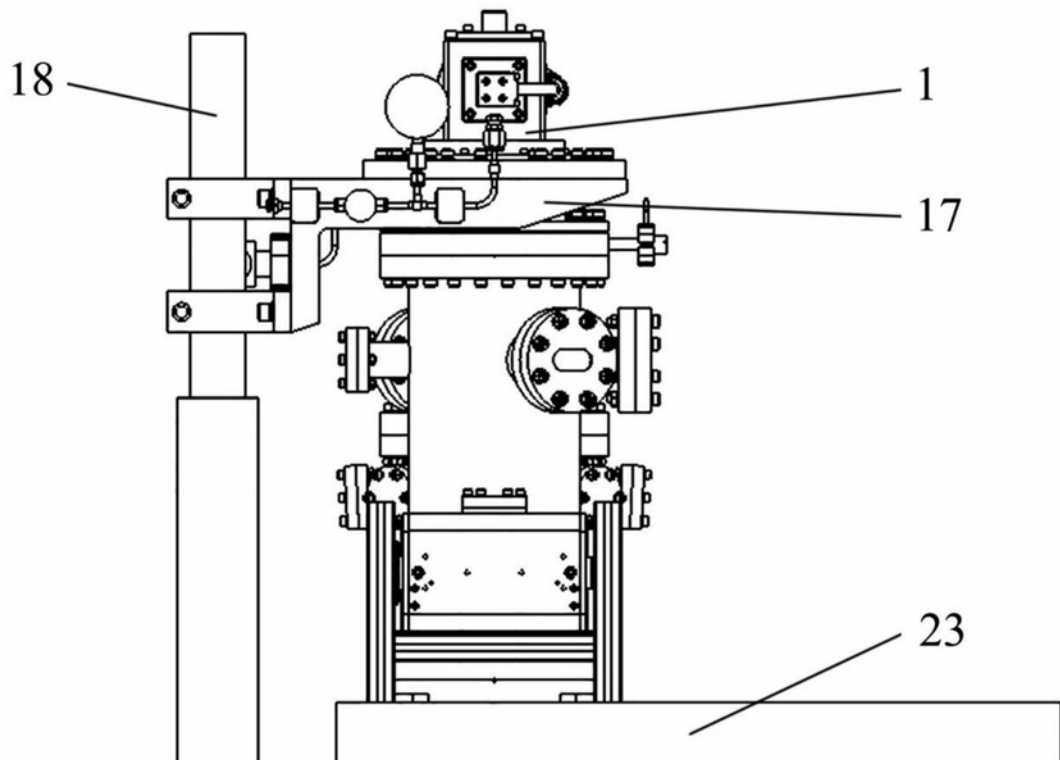


图4

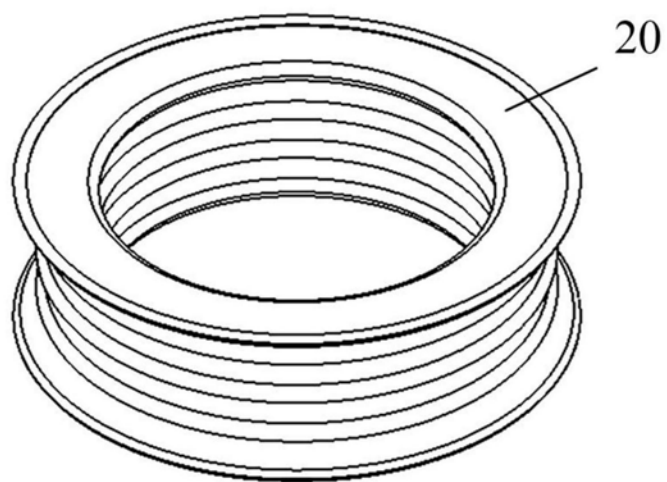


图5