



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 116423384 B

(45) 授权公告日 2024.06.21

(21) 申请号 202310307906.7

C25F 3/30 (2006.01)

(22) 申请日 2023.03.27

H01L 21/306 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

B24B 37/10 (2012.01)

申请公布号 CN 116423384 A

B24B 7/22 (2006.01)

(43) 申请公布日 2023.07.14

(56) 对比文件

US 2004134792 A1, 2004.07.15

(73) 专利权人 苏州大学

审查员 卢羽佳

地址 215000 江苏省苏州市相城区经济学路8号

(72) 发明人 王子睿 王永光 刘庆升 丁钊

朱睿 成锋 师晓曼 彭超

(74) 专利代理机构 苏州市中南伟业知识产权代

理事务所(普通合伙) 32257

专利代理师 殷海霞

(51) Int. Cl.

B24B 37/30 (2012.01)

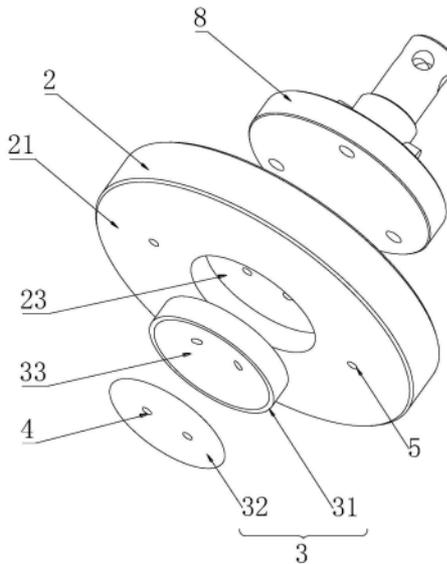
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

一种电化学机械抛光头及抛光装置

(57) 摘要

本发明涉及一种电化学机械抛光头及抛光装置,所述电化学机械抛光头包括抛光头主体和固定于其内部的工作电极;所述工作电极包括紧密贴合的第一分体和第二分体,所述第一分体内部设置有安装槽;所述第二分体具有与所述安装槽相仿形的结构并嵌设于所述安装槽内;所述第二分体安装至所述安装槽、且所述工作电极安装至所述避让槽后,所述抛光头主体、所述第一分体、所述第二分体的表面平齐;本发明将电化学反应中的工作电极设置为分体结构,能够控制压力与电势互补分布,平衡电化学反应程度和机械加工强度,在阳极氧化和磨粒机械去除的共同作用下实现半导体晶圆的高效抛光,提升材料的去除均匀性、去除速率,产品表面形貌优势明显。



1. 一种电化学机械抛光头,其特征在于,包括,

抛光头主体,所述抛光头主体的其中一个表面的中心设置有避让槽;

工作电极,所述工作电极固定于所述避让槽内;所述工作电极包括紧密贴合的第一分体和第二分体,所述第一分体设置为电极金属,所述第二分体设置为绝缘材料;所述第一分体内部设置有安装槽,所述安装槽的槽口方向与所述避让槽的槽口方向相同;所述第二分体具有与所述安装槽相仿形的结构并嵌设于所述安装槽内;所述第二分体安装至所述安装槽、且所述工作电极安装至所述避让槽后,所述抛光头主体、所述第一分体、所述第二分体三者的表面平齐;

所述抛光头主体设置为柱状结构,所述抛光头主体包括沿轴线方向相对设置的第一端面和第二端面,所述第一端面设置有所述避让槽,所述避让槽设置为柱形槽,所述工作电极设置为与所述避让槽相仿形的柱体;

所述第二分体设置为圆锥结构,所述安装槽设置为与所述第二分体的锥面相仿形的锥形槽,所述抛光头主体、所述第一分体和所述第二分体同轴设置;

所述电化学机械抛光头平行于其轴线方向设置有固定孔,所述固定孔内穿设有紧固件,所述紧固件用于连通并固定所述抛光头主体、所述第一分体和所述第二分体,所述紧固件具有导电性;

所述抛光头主体平行于其轴线方向设置有至少两个探针孔,所述探针孔设置于所述抛光头主体内部且位于所述避让槽以外的区域,所述探针孔内设有金属探针或导电螺丝;

所述抛光头主体还设置有导电槽,所述导电槽在所述第二端面连通所述探针孔和所述固定孔,所述导电槽为沿所述第二端面的径线方向设置的直线槽。

2. 根据权利要求1所述的一种电化学机械抛光头,其特征在于:所述第二端面设置有安装螺孔,所述抛光头主体通过所述安装螺孔连接抛光轴连接件。

3. 根据权利要求1所述的一种电化学机械抛光头,其特征在于:所述第一分体的材质设置为铜,所述第二分体的材质设置为聚四氟乙烯。

4. 一种电化学机械抛光装置,其特征在于,包括如权利要求1~3中任意一项所述的电化学机械抛光头,待抛光晶圆位于所述电化学机械抛光头设有所述避让槽的一侧表面。

5. 根据权利要求4所述的一种电化学机械抛光装置,其特征在于:包括直流稳压电源和对电极,所述工作电极连接至所述直流稳压电源的正极,所述对电极连接所述直流稳压电源的负极并固定有抛光垫;所述工作电极和所述对电极在电解液中正对设置,所述电化学机械抛光头施加压力使所述待抛光晶圆接触所述抛光垫。

一种电化学机械抛光头及抛光装置

技术领域

[0001] 本发明涉及超精密抛光技术领域,尤其是指一种电化学机械抛光头及抛光装置。

背景技术

[0002] 氮化镓(GaN)、碳化硅(SiC)等第三代半导体材料,因其带隙宽、击穿电场强度高、导热率高等优点被广泛应用于集成电路制造、精密光学、航空航天、通讯及汽车等尖端科学领域的半导体器件制造,上述领域对半导体材料的晶体加工表面缺陷、表面粗糙度、亚表层或表层损伤、残余应力、晶格完整性和面型精度等参数均提出了极高的要求,然而此类材料硬度高、脆性大、抗冲击性能较差、加工难度高;因此,如何提高加工质量和效率,获得超光滑及无损伤的原子级表面是半导体器件制造中亟待解决的问题;其中,超光滑表面通常认为是表面无破损划痕、亚表层无破坏、无表层应力,表面粗糙度的均方根值小于1nm的表面。

[0003] 化学机械抛光CMP(chemical mechanical polishing)在半导体晶圆的表面用抛光垫不断旋转,并添加含有研磨颗粒的抛光液磨料。随着应用领域对晶圆加工的更高要求,很多物理手段被用于与CMP结合改进抛光工艺,电化学机械抛光ECMP(electro-chemical mechanical polishing)便是其中一种,其利用电化学反应对阳极表面进行刻蚀,并去除材料表面的氧化层;此种抛光方式中,电极结构的设置将直接影响晶圆加工的效率 and 抛光效果。

发明内容

[0004] 为此,本发明所要解决的技术问题在于克服现有技术中电化学机械抛光ECMP中抛光头电极结构的设置影响加工效率和效果的技术难点,提供一种电化学机械抛光头及抛光装置,控制抛光头电极电势与压力互补分布,提升加工效率和抛光效果。

[0005] 第一方面,为解决上述技术问题,本发明提供了一种电化学机械抛光头,其包括,

[0006] 抛光头主体,所述抛光头主体的其中一个表面的中心设置有避让槽

[0007] 工作电极,所述工作电极固定于所述避让槽内;所述工作电极包括紧密贴合的第一分体和第二分体,所述第一分体设置为电极金属,所述第二分体设置为绝缘材料;所述第一分体内部设置有安装槽,所述安装槽的槽口方向与所述避让槽的槽口方向相同;所述第二分体具有与所述安装槽相仿形的结构并嵌设于所述安装槽内;所述第二分体安装至所述安装槽、且所述工作电极安装至所述避让槽后,所述抛光头主体、所述第一分体、所述第二分体三者的表面平齐。

[0008] 在本发明的一个实施例中,所述抛光头主体设置为柱状结构,所述抛光头主体包括沿轴线方向相对设置的第一端面和第二端面,所述第一端面设置有所述避让槽,所述避让槽设置为柱形槽,所述工作电极设置为与所述避让槽相仿形的柱体。

[0009] 在本发明的一个实施例中,所述第二分体设置为圆锥结构,所述安装槽设置为与所述第二分体的锥面相仿形的锥形槽,所述抛光头主体、所述第一分体和所述第二分体同轴设置。

[0010] 在本发明的一个实施例中,所述电化学机械抛光头平行于其轴线方向设置有固定孔,所述固定孔内穿设有紧固件,所述紧固件用于连通并固定所述抛光头主体、所述第一分体和所述第二分体,所述紧固件具有导电性。

[0011] 在本发明的一个实施例中,所述抛光头主体平行于其轴线方向设置有至少两个探针孔,所述探针孔设置于所述抛光头主体内部且位于所述避让槽以外的区域,所述探针孔内设有金属探针或导电螺丝。

[0012] 在本发明的一个实施例中,所述抛光头主体还设置有导电槽,所述导电槽在所述第二端面连通所述探针孔和所述固定孔,所述导电槽为沿所述第二端面的径线方向设置的直线槽。

[0013] 在本发明的一个实施例中,所述第二端面设置有安装螺孔,所述抛光头主体通过所述安装螺孔连接抛光轴连接件。

[0014] 在本发明的一个实施例中,所述第一分体的材质设置为铜,所述第二分体的材质设置为聚四氟乙烯。

[0015] 第二方面,本发明还提供一种电化学机械抛光装置,包括上述实施例所述的电化学机械抛光头,待抛光晶圆位于所述电化学机械抛光头设有所述避让槽的一侧表面。

[0016] 在本发明的一个实施例中,所述电化学机械抛光装置包括直流稳压电源和对电极,所述工作电极连接至所述直流稳压电源的正极,所述对电极连接所述直流稳压电源的负极并固定有抛光垫;所述工作电极和所述对电极在电解液中正对设置,所述电化学机械抛光头施加压力使所述待抛光晶圆接触所述抛光垫。

[0017] 本发明的上述技术方案相比现有技术具有以下优点:

[0018] 本发明所述的一种电化学机械抛光头及抛光装置,使用导体材料与绝缘材料紧密贴合,将电化学反应中的工作电极设置为分体结构,相较于现有的金属电极而言,能够更好的控制压力与电势分布,使施力较大的区域电势相对较低,施力较小的区域电势相对较高,形成电化学反应程度和机械加工强度的优势互补,在阳极氧化和磨粒机械去除的共同作用下实现半导体晶圆的高效抛光,提升材料的去除均匀性、去除速率,产品的表面形貌优势明显。

附图说明

[0019] 为了使本发明的内容更容易被清楚的理解,下面根据本发明的具体实施例并结合附图,对本发明作进一步详细的说明,其中:

[0020] 图1是本发明实施例一中电化学机械抛光头的结构示意图;

[0021] 图2是本发明实施例一中电化学机械抛光头的等轴测剖面视图;

[0022] 图3是本发明实施例一中电化学机械抛光头与抛光轴连接件连接的结构示意图;

[0023] 图4是图3所示电化学机械抛光头与抛光轴连接件的爆炸视图;

[0024] 图5是本发明实施例二中晶圆的表面粗糙度测量点位示意图;

[0025] 图6是本发明实施例二中对比例1~4抛光后的晶圆表面形貌图。

[0026] 说明书附图标记说明:1、电化学机械抛光头;2、抛光头主体;21、第一端面;22、第二端面;23、避让槽;3、工作电极;31、第一分体;32、第二分体;33、安装槽;4、固定孔;5、探针孔;6、导电槽;7、安装螺孔;8、抛光轴连接件。

具体实施方式

[0027] 下面结合附图和具体实施例对本发明作进一步说明,以使本领域的技术人员可以更好地理解本发明并能予以实施,但所举实施例不作为对本发明的限定。

[0028] 实施例一

[0029] 参照图1~图4所示,本发明提供一种电化学机械抛光头1,用于电化学机械抛光(ECMP)装置的反应阳极,对位于阳极固定的半导体晶圆施加压力并提供电势,对晶圆表面进行抛光。

[0030] 在使用化学机械抛光CMP装置时,由抛光头对半导体晶圆施加压力使之与抛光垫接触打磨,因此抛光头表面的压力分布会直接影响晶圆表面的材料去除均匀性,施加压力较大时极易损伤晶圆造成缺陷,施加压力较小时无法达到理想抛光效果,压力的控制对抛光过程较为重要;随着半导体晶圆尺寸的增大,压力加载的不均匀性问题更加突出;Yanwu等学者使用分区加压技术使抛光头上的压力均匀分布,但分区加压结构必须是多腔室气动加压并精准控制各腔室的实时压力,对抛光头本身的结构要求较高;另有学者设计了控制系统以自动校准各分区腔室的压力,提高了设计难度和制造成本。本案发明人经研究发现,利用ECMP装置进行晶圆抛光时,同样存在压力分布不均对抛光效果的影响问题,同时ECMP一体化装置的抛光头表面电势也并非均匀分布,据此,本发明提供一种电化学机械抛光头1,通过分体结构设置使电极表面的电势与压力强弱互补,电势较低的区域对晶圆施加压力相对较大,电势较高的区域对晶圆施加压力相对较小,同时解决压力分布不均匀和电势分布不均匀的问题,提升材料去除的均匀性。

[0031] 参照图2和图4所示,本发明提供的一种电化学机械抛光头1,其包括抛光头主体2和嵌设于所述抛光头主体2内的工作电极3;所述抛光头主体2的其中一个表面的中心设置有避让槽23,所述工作电极3固定于所述避让槽23内;所述工作电极3包括紧密贴合的第一分体31和第二分体32,所述第一分体31设置为电极金属,所述第二分体32设置为绝缘材料;所述第一分体31内部设置有安装槽33,所述安装槽33的槽口方向与所述避让槽23的槽口方向相同;所述第二分体32具有与所述安装槽33相仿形的结构并嵌设于所述安装槽33内;所述第二分体32安装至所述安装槽33、且所述工作电极3安装至所述避让槽23后,所述抛光头主体2、所述第一分体31、所述第二分体32三者的表面平齐;所述安装槽33的槽口的端面、所述第二分体32的远离所述安装槽33的表面、及所述抛光头主体2设置有所述避让槽23的表面平齐,便于与晶圆表面接触。

[0032] 具体的,参照图1和图4所示,在本发明的一些优选实施方式中,所述抛光头主体2设置为柱状结构,所述抛光头主体2包括沿轴线方向相对设置的第一端面21和第二端面22,所述第一端面21设置有所述避让槽23,所述避让槽23设置为柱形槽,所述工作电极3设置为与所述避让槽23相仿形的柱体;所述第二分体32设置为圆锥结构,所述安装槽33设置为与所述第二分体32的锥面相仿形的锥形槽;现有的ECMP装置使用圆柱状的纯铜材料作为工作电极3,存在电势分布不均的问题,本发明优选实施方式中所述工作电极3与所述抛光头主体2平齐的表面包括圆形金属外圈和内部的绝缘材料,与晶圆尺寸适配;所述抛光头主体2、所述第一分体31和所述第二分体32同轴设置施力更加均匀。

[0033] 具体的,参照图1和图2所示,所述电化学机械抛光头1平行于其轴线方向设置有固定孔4,所述固定孔4为通孔结构,所述固定孔4在其延伸方向上连通所述抛光头主体2、所述

第一分体31和所述第二分体32,所述固定孔4内穿设紧固件用于固定所述抛光头主体2与所述工作电极3;所述紧固件具有导电性,在一些实施例中所述紧固件可以为导电螺丝,其提供电势至所述工作电极3。其中一种实施方式中,所述电化学机械抛光头1设置有两个所述固定孔4,所述两个固定孔4在所述抛光头的横截面中心两侧对称设置,增加所述抛光头主体2与所述工作电极3的连接强度,均匀提供电势。在本实施例的其他实施方式中,所述固定孔4均在所述电化学机械抛光头1的横截面上绕中心对称设置,其数量和位置不限于此。

[0034] 进一步的,在一些实施方式中,参照图1和图2所示,当待抛光晶圆的电导率较低时,所述抛光头主体2平行于轴线方向还设置有至少两个探针孔5,所述探针孔5为通孔结构,其设置于所述抛光头主体2内部在所述避让槽23以外的区域,所述探针孔5连通所述第一端面21和所述第二端面22,所述探针孔5内设有金属探针或导电螺丝,增强电化学刻蚀程度;进一步的,参照图1所示,所述电化学机械抛光头设置所述探针孔5时,所述抛光头主体2还设置导电槽6连通所述探针孔5和所述固定孔4,所述导电槽6设置为位于所述第二端面22的盲槽结构,优选设计所述导电槽6沿所述第二端面22的径线方向设置为直线槽,增强导电性和电化学反应程度;所述探针孔5的数量可以根据待抛光材料的电导率调整,所述探针孔5均在所述电化学机械抛光头1的横截面上绕中心对称设置,不限于此;值得注意的是,当材料电导率较高时,电化学反应程度与抛光需求适配,则仅设置所述固定孔4和所述固定孔4之间的导电槽6提供电极电势,而不设置所述探针孔5和连通所述探针孔5与所述固定孔4的所述导电槽6。

[0035] 具体的,参照图1和图3所示,所述第二端面22设置有至少三个安装螺孔7,所述安装螺孔7位于所述工作电极3在所述第二端面22的投影外周,所述安装螺孔7设置为盲孔结构,其延伸方向的一端位于所述第二端面22,其延伸方向的另一端位于所述抛光头主体2的内部,且位于所述避让槽23以外的区域;所述抛光头主体2通过所述安装螺孔7安装固定螺丝进而连接抛光轴连接件8,并通过所述抛光轴连接件8连接其他装置。

[0036] 具体的,ECMP将电化学反应与机械加工技术结合共同作用于晶圆表面,利用氧化还原反应将待抛光晶圆表面锈蚀成为钝化膜,再通过机械加工将表面的氧化物磨除分解进行平坦化,重复多次进行钝化及去除,使晶圆表面粗糙度降低,ECMP不受材料硬度和韧性的限制,能够抛光多种晶片。由于电化学反应被引入抛光过程,工作电极3与晶圆表面的接触区域位于晶圆的边缘,导致整个晶圆表面的电势并不均匀,晶圆边缘的去除速率高于晶圆中心的去除速率;在本发明实施例中,所述第一分体31的材质设置为铜,导电性能和力学性能良好且成本较低,所述第二分体32的材质设置为聚四氟乙烯,具备电绝缘性,且化学稳定性和耐腐蚀性较好,对多数化学药品和溶剂表现出惰性。聚四氟乙烯的密度较低、动态冲击力性能较弱,铜材料相对密度较高,冲击力性能较强。在工作电极3与晶圆表面接触时,对晶圆施加一定压力,作为阳极材料,电势较低的区域对应的部分晶圆易被氧化形成钝化膜,该区域对应较高的施加压力和较高的机械加工强度;电势较高的区域对应的部分晶圆难以被氧化,该区域对应较低的施加压力和较低的机械加工强度,本发明使电势强弱和施力大小互补、均匀分布,进而使晶圆表面各区域的抛光效果趋于一致;且在本实施例的一些实施方式中,所述第二分体32呈圆锥状,在晶圆的径线方向上所述第一分体31和所述第二分体32的厚度均呈线性变化,使压力与电势大小也随之逐步变化,机械加工强度和电化学反应强度相互平衡;与晶圆中心距离相同的位置,其抛光效果也近似一致。利用本实施例所

述的电化学机械抛光头1,能够避免压力与电势的不平衡破坏晶圆表面,同时避免抛光效果不足,提升晶片材料表面的去除均匀性和去除速率,提高抛光效率。

[0037] 实施例二

[0038] 本发明实施例还提供一种电化学机械抛光装置,包括上述任一实施例所述的电化学机械抛光头1,将待抛光晶圆通过吸附垫吸附于所述电化学机械抛光头1设有所述避让槽23的一侧表面;所述电化学机械抛光装置还包括电解液槽、外接的直流稳压电源和对电极,所述工作电极3通过导线连接至所述直流稳压电源的正极,所述对电极通过导线连接所述直流稳压电源的负极,所述对电极上还固定有抛光垫;所述抛光垫、待抛光晶圆和所述对电极均浸入抛光电解液中,所述工作电极3和所述对电极在电解液中正对设置形成通路发生电化学反应,所述电化学机械抛光头1施加压力使所述待抛光晶圆以一定压力接触并压于所述抛光垫表面;所述电化学机械抛光头1由电机驱动,所述抛光垫设置为多孔材料,所述对电极的材质可以为石墨,也可以为其他满足反应实际需求的电极材料。

[0039] 本实施例所述的电化学机械抛光装置的工作原理如下:

[0040] 以2英寸氮化镓晶圆为例进行实验,抛光前使用质量分数为4wt%的硬磨粒碳化硅对晶圆进行处理,破坏其原有的表面结构。控制每次抛光时间皆为30min。抛光液由氧化剂过氧化氢 H_2O_2 、磨粒二氧化硅 SiO_2 和络合剂甘氨酸组成,用有机碱调节PH值至10.5。根据ECMP一体化装备的工作原理,在抛光液中加入质量分数为5wt%的电解质氯化钠NaCl,因为电化学腐蚀相较于常规的化学腐蚀更为强烈,因此加入适量腐蚀抑制剂PTA防止过度腐蚀。

[0041] 控制上述抛光时间、抛光电解液组分、晶圆尺寸及前处理步骤一致,使用纯铜材料的圆柱结构工作电极,将电化学机械抛光装置断电使用作为对比例1,模拟传统的CMP实验。

[0042] 设置与对比例1相同的实验条件,仅将对比例1中的ECMP装置通电使用,模拟现有的使用常规电极设置的ECMP实验,作为对比例2。

[0043] 设置与对比例2相同的实验条件,仅将对比例2中的工作电极由纯铜材料的圆柱结构更换为本发明实施例所提供的所述工作电极3,进行ECMP实验,作为对比例3。

[0044] 设置与对比例3相同的实验条件,并在对比例3的基础上在抛光电解液中加入阴离子表面活性剂并适应性调整部分设备参数,进行ECMP实验,作为对比例4。

[0045] 本实施例中使用本发明所述的电化学机械抛光装置,以样品表面粗糙度 R_a 、去除均匀性MRU(material removal uniformity),和去除速率指标MRR(material removal rate)来表征抛光效果。

[0046] 具体的,每个晶片以晶圆的缺口为中心进行定位,以所述缺口为一个测量点,并设置两组不同的测量距离,在经过所述缺口且正交的两条径线上,确定与所述缺口之间为该测量距离的八个测量点,共计九个测量点;优选的,参照图5所示,在本实施例中所述八个测量点均位于正交设置的半径的三等分点处,每一测量点处均测量 $10\mu m * 10\mu m$ 范围内的粗糙度,将最终得到的9个粗糙度数据 x_i 取平均值即为样品表面粗糙度 R_a 。

[0047] 将9个粗糙度数据 x_i 取标准差,表征多个数据与它们均值 R_a 的偏离程度,且与 R_a 能保持量纲一致,以此标准差描述材料的去除均匀性MRU,MRU的数值越低则表示材料表面的均匀性越好,去除均匀性MRU的计算公式为,

$$[0048] \quad MRU = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^9 (x_i - \bar{x})^2}{9}}$$

[0049] 对比例1~4的实验结果参照表1所示,材料表面形貌参照图6所示;通过对比例1和对比例2能够得出,ECMP相较于CMP的优势明显,无论是材料去除速率还是抛光后的材料表面质量都更高;通过对比例2和对比例3能够得出,本发明实施例使用分体结构的工作电极3相较于现有的纯铜金属抛光头电极,不仅在材料的去除速率上有所提升,抛光后材料表面形貌的优势更为显著,尤其在表面均匀性指标上表现良好。通过对比例4的补充可知,在使用本发明实施例所述的ECMP装置进行晶圆抛光时,阴离子表面活性剂和设备工艺参数的调整还能够进一步提升抛光效果。综上所述,本发明实施例所述的一种电化学机械抛光装置,通过电势与压力的相互补充能够较好的解决晶圆抛光一致性较差的技术问题,在去除速率和晶片表面形貌上均有较好的提升。

	去除速率指标	表面形貌指标	
	<i>MRR</i> (nm/h)	<i>Ra</i> (nm)	<i>MRU</i>
[0050] 对比例 1	565	1.234	7.330
对比例 2	706	1.141	5.164
对比例 3	787	0.835	1.10
对比例 4	926	0.118	0.013

[0051] 表1

[0052] 显然,上述实施例仅仅是为清楚地说明所作的举例,并非对实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说,在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式变化或变动。这里无需也无法对所有的实施方式予以穷举。而由此所引伸出的显而易见的变化或变动仍处于本发明创造的保护范围之内。

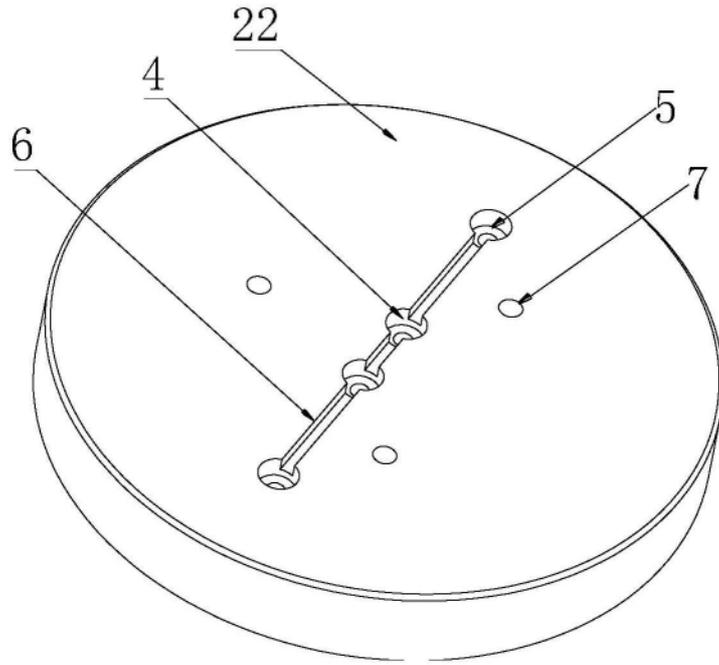


图1

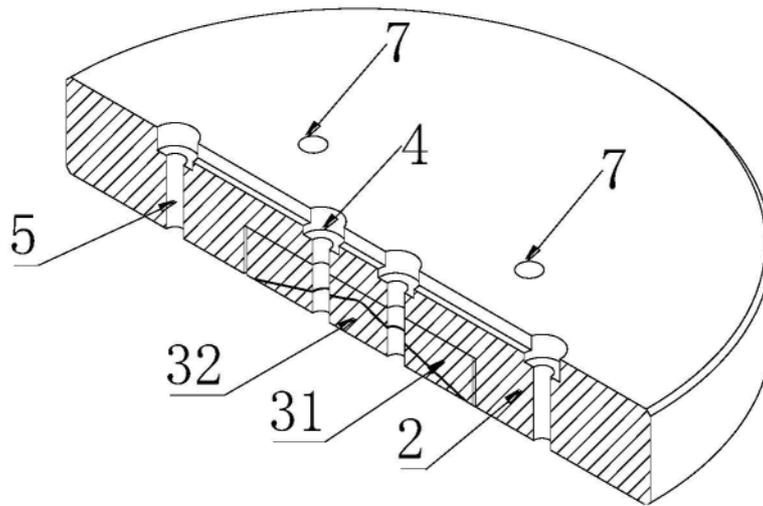


图2

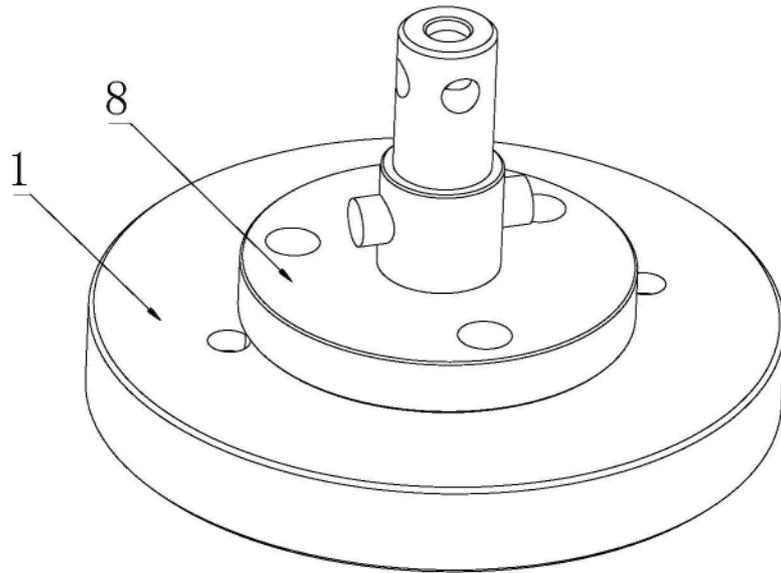


图3

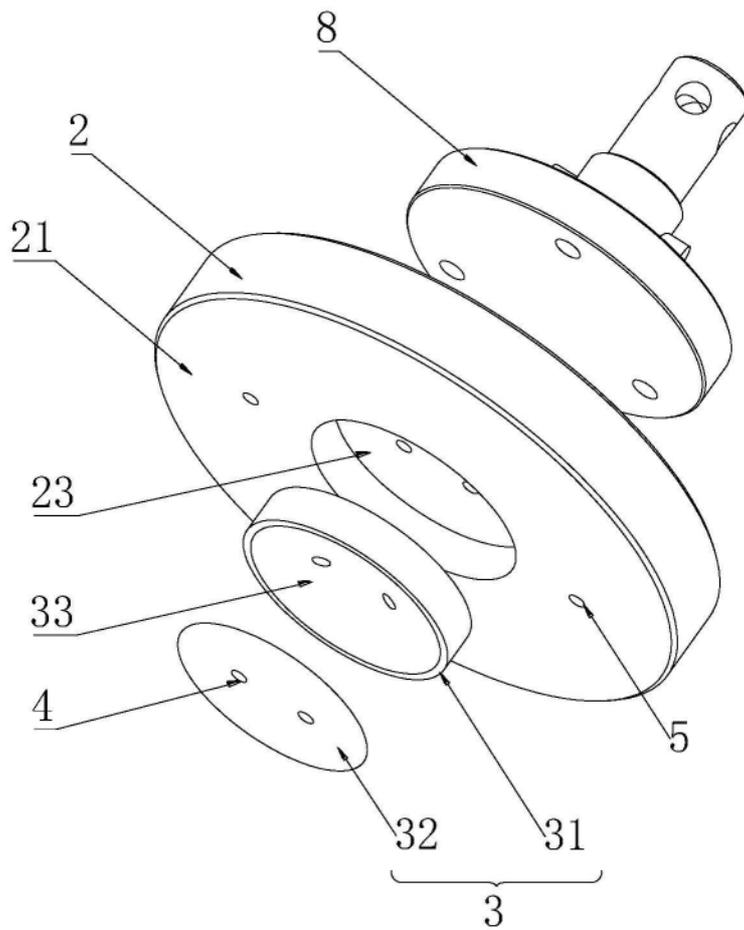


图4

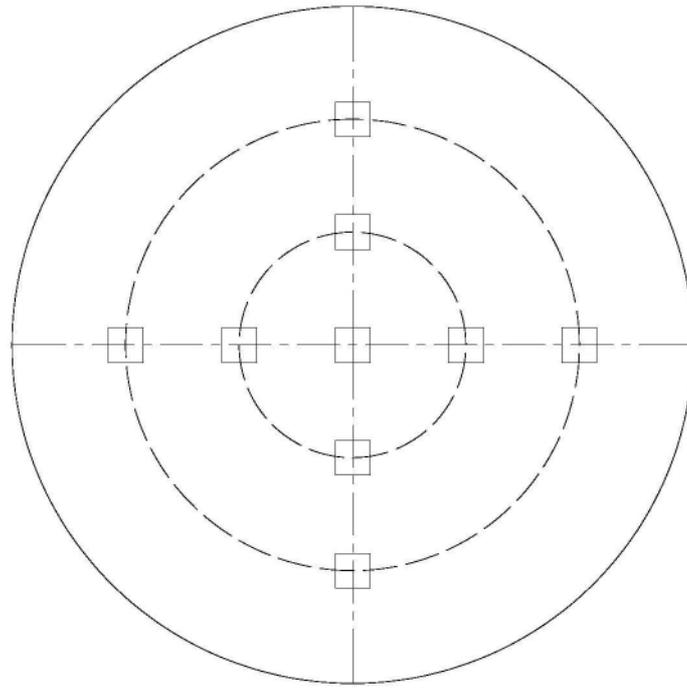


图5

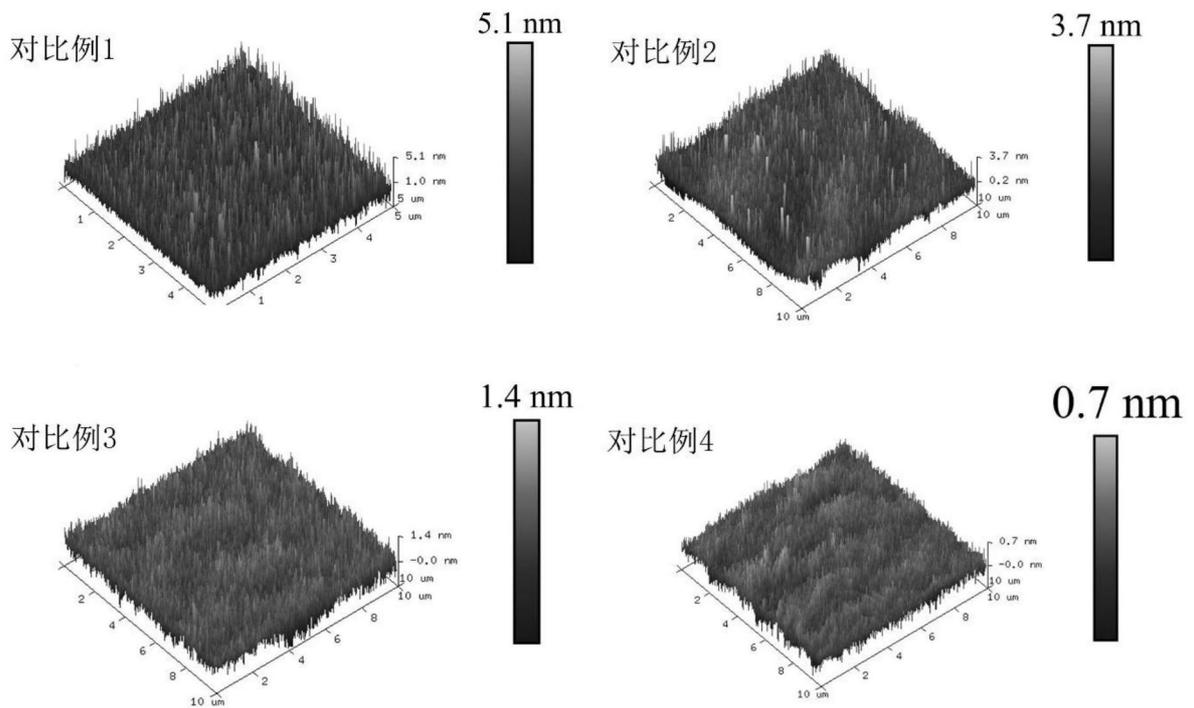


图6