



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111568418 A

(43)申请公布日 2020.08.25

(21)申请号 202010491935.X

(22)申请日 2020.06.03

(71)申请人 中北大学

地址 030051 山西省太原市尖草坪区学院路3号

(72)发明人 马宗敏 刘俊 秦丽 张晓明  
郑斗斗 石云波 唐军 郭浩  
王孝成

(74)专利代理机构 太原科卫专利事务所(普通合伙) 14100

代理人 朱源

(51)Int.Cl.

A61B 5/05(2006.01)

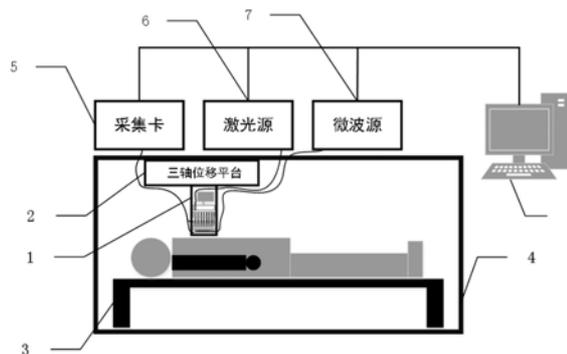
权利要求书1页 说明书5页 附图6页

(54)发明名称

一种基于金刚石NV色心用于心磁测量的磁强计及心磁测量系统

(57)摘要

本发明涉及一种长方体型基于金刚石NV色心用于心磁测量的高荧光收集效率的磁强计及心磁测量系统,由磁屏蔽室、无磁床、心磁测量阵列探头、三轴位移平台、高速率数据采集卡、光纤激光源、微波源、计算机构成。其中,心磁测量阵列探头由无磁外壳、步进电机、多孔旋转式光纤耦合装置、光纤束集、特制光电探测器(PD)、滤波片、环状天线、特制金刚石组成。具有维护成本低,灵敏度高,可调节性强的特点,是新一代的高精度高效率低成本的心磁图仪系统。



1. 一种基于金刚石NV色心用于心磁测量的磁强计,其特征在于:包括心磁测量阵列探头(1)、光纤激光源(6)和微波源(7),其中心磁测量阵列探头(1)包括无磁外壳(1-1)和位于无磁外壳(1-1)内的步进电机(1-2)、多孔旋转式光纤耦合装置、光纤束集(1-5)、特制光电探测器(1-6)、环状天线(1-8)和特制金刚石(1-9),多孔旋转式光纤耦合装置包括旋转盘(1-3)和底盘(1-4),其中旋转盘(1-3)采用无磁材质制作,旋转盘(1-3)上设有一个激光器通孔(1-3-1)用于接入激光器光纤,旋转盘(1-3)连接在步进电机(1-2)输出轴上;底盘(1-4)采用无磁材质制作,底盘(1-4)上设有围成一个圆周的m个通孔(1-4-1),m个通孔(1-4-1)等间距分布,通孔(1-4-1)的位置对应旋转盘(1-3)上激光器通孔(1-3-1)的位置,m个通孔(1-4-1)用于分别连接光纤束集(1-5)中的m个光纤的一端;特制金刚石(1-9)是将其划分为共m个小单元块(1-9-1),在金刚石正面上覆盖一层镀膜并在每个小单元块(1-9-1)的中心挖孔使得每个小单元块中心被氮原子注入而产生NV色心,所述的特制光电探测器(1-6)包括贴在特制金刚石(1-9)各个面上的光电探测器,其中贴在特制金刚石(1-9)正面的光电探测器(1-6-1)上开有m个孔,每个孔对应一个金刚石氮原子注入位置,m个光纤的另一端通过正面的光电探测器(1-6-1)上的m个孔分别和m个小单元块接触,其余光电探测器中有一个光电探测器的表面贴有环状天线(1-8),环状天线(1-8)与微波源(7)相连。

2. 根据权利要求1所述的一种基于金刚石NV色心用于心磁测量的磁强计,其特征在于:心磁测量阵列探头(1)中还包括滤波片(1-7),特制光电探测器(1-6)中每个光电探测器的和金刚石的接触的一面都贴有一层滤波片(1-7),其中正面的滤波片(1-7)上也开有m个孔。

3. 根据权利要求2所述的一种基于金刚石NV色心用于心磁测量的磁强计,其特征在于:在每个金刚石小单元块(1-9-1)上都设有光纤准直器(1-5-1),m个光纤的另一端连接在光纤准直器(1-5-1)上。

4. 根据权利要求3所述的一种基于金刚石NV色心用于心磁测量的磁强计,其特征在于:在光纤准直器(1-5-1)里设有凸透镜(1-5-2)。

5. 根据权利要求3所述的一种基于金刚石NV色心用于心磁测量的磁强计,其特征在于:旋转盘(1-3)底面设置有凸点,底盘(1-4)顶面设置有和凸点配合的凹点。

6. 一种心磁测量系统,包括三轴位移平台(2)、无磁床(3)、磁屏蔽室(4)、高速率数据采集卡(5)和计算机(8),其特征在于:还包括如权利要求1-5所述的磁强计,

磁强计中的特制光电探测器(1-6)和采集卡(5)连接,采集卡(5)和计算机(8)连接。

## 一种基于金刚石NV色心用于心磁测量的磁强计及心磁测量系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及生物医疗仪器领域,具体为一种基于金刚石NV色心用于心磁测量的磁强计及心磁测量系统。

### 背景技术

[0002] 心磁图在临床诊断中具有十分重要的意义,在诊断心率失常、冠心病心肌缺血、高血压左室肥厚、胎儿心肌肥厚的监测等方面都有广泛应用,其在心脏病发病风险分级、普查、介入诊疗效果评估、预激综合征旁道的定位等方面有着较为突出的优势。

[0003] 对于目前医疗领域中使用的心磁图仪系统SQUID(超导量子干涉仪)系统而言,虽然低温SQUID系统的灵敏度可达10fT精度足够测量心磁,但是其缺点在于SQUID系统必须在超低温环境下才能工作。现在阶段使用的降温方式是使用一个杜瓦瓶灌装液氮进行冷却,因为液氮会随着使用不断挥发,所以必须不断地补充价格不菲的液氮这使得SQUID系统的运行维护成本较高。并且由于低温的环境和SQUID系统的相对固定的结构使得它不能紧贴皮肤进行测量心磁的测量。

[0004] 目前,基于金刚石NV色心的磁强计的灵敏度已经达到aT级别,同时不需要如SQUID的液氮环境。同时金刚石NV色心的磁强计也正在向集成化、微型化发展,应用前景广泛。因此,产生新的高灵敏度同时低运行成本并且可以实现紧贴式测量的心磁图仪系统成为可能。

### 发明内容

[0005] 本发明技术解决问题:克服现有技术的不足,提供一种基于金刚石NV色心用于心磁测量的磁强计及心磁测量系统,其具有维护成本低,灵敏度高,可调节性强的特点是新一代的高精度高效率低成本的心磁图仪系统。

[0006] 本发明是采用如下的技术方案实现的:一种基于金刚石NV色心用于心磁测量的磁强计,包括心磁测量阵列探头、光纤激光源和微波源,心磁测量阵列探头包括无磁外壳、步进电机、多孔旋转式光纤耦合装置、光纤束集、特制光电探测器、滤波片、环状天线、特制金刚石。

[0007] 多孔旋转式光纤耦合装置包括旋转盘、底盘,其中旋转盘采用无磁材质制作,旋转盘上设有一个激光器通孔用于接入激光器光纤,旋转盘连接在步进电机输出轴上;底盘采用无磁材质制作,底盘上设有围成一个圆周的m个通孔, m个通孔等间距分布,通孔的位置对应旋转盘上激光器通孔的位置,m个通孔用于连接光纤束集中的m个光纤的一端;多孔旋转式光纤耦合装置用于探头固定后通过步进电机驱动旋转转盘周期性转动,通孔内的激光源光纤与通孔内的光纤接触,使得激光源光纤与不同光纤束耦合,从而使得金刚石的m个小单元块依次激发测量对应位置处的磁场最后达到探头固定下的扫描检测效果。特制金刚石是一块状金刚石,将其划分为共m个小单元块,在金刚石正面上覆盖一层镀膜并在每个小单

元块的中心挖孔使得每个小单元块只有中心被氮原子注入而产生NV色心。所述的特制光电探测器包括贴在特制金刚石各个面上的光电探测器,其中贴在特制金刚石正面的光电探测器上开有m个孔,每个孔对应一个金刚石氮原子注入位置处,m个光纤的另一端通过正面的光电探测器上的m个孔分别和m个小单元块接触,其余光电探测器中有一个光电探测器的表面贴有环状天线,环状天线与微波源相连,用于均匀辐射的电磁波从而在532nm激光光照下激发金刚石NV色心产生637nm荧光并且发生赛曼劈裂;光电探测器紧贴金刚石各个面将金刚石包裹,用于将金刚石所激发出的荧光尽可能全部采集吸收从而大幅提高收集效率,并将收集到的光信号转化为电信号传送出去。

[0008] 上述的一种基于金刚石NV色心用于心磁测量的磁强计,心磁测量阵列探头中还包括滤波片,特制光电探测器中每个光电探测器的和金刚石的接触的一面都贴有一层滤波片,其中正面的滤波片上也开有m个孔。靠近金刚石的一面都贴有一层滤波片用于过滤637nm波长以外的光,从而让PD只采集637nm荧光。

[0009] 上述的一种基于金刚石NV色心用于心磁测量的磁强计,在每个金刚石小单元块上都设有光纤准直器,m个光纤的另一端连接在光纤准直器上,用于将激光对准每个单元的NV色心。

[0010] 上述的一种基于金刚石NV色心用于心磁测量的磁强计,在光纤准直器里设有凸透镜,经过凸透镜聚焦提高激光在单位面积的光强以此来提高金刚石NV色心的激发强度从而提升测量效果。

[0011] 上述的一种基于金刚石NV色心用于心磁测量的磁强计,旋转盘底面设置有凸点,底盘顶面设置有和凸点配合的凹点,旋转盘和底盘通过凹凸点配合,提高稳定性。

[0012] 一种心磁测量系统,包括三轴位移平台、无磁床、磁屏蔽室、高速率数据采集卡和计算机,还包括上述的磁强计,磁强计中的特制光电探测器和采集卡连接,采集卡和计算机连接。光电探测器的电信号传输给数据采集卡,再由数据采集卡传送至计算机中,最后通过计算机进行数据处理,对收集到的电信号进行模拟分析放大滤波后,将每个位置对应测量到的电信号在计算机中按照对应位置根据信号的强弱绘制出所测心磁的强度图。

[0013] 本发明采用金刚石NV色心在532nm激光下,通过微波天线接受2.87GHz的电磁波会产生637nm的荧光,在此条件下如果周围有磁场(心磁)则会发生赛曼劈裂,通过劈裂大小判断磁场(心磁)大小;整个现象可以在常温下进行,因而可以舍弃SQUID系统的液氮制冷从而节省成本;与此同时常温的设备可以贴近皮肤测量因此可以获得更好的精确度;通过特制的掩膜注入的金刚石和多孔旋转式光纤耦合装置可以在探头不动的情况下实现扫描式测量提高精确度;光电探测器紧贴金刚石各个面将金刚石包裹,用于将金刚石所激发出的荧光尽可能全部采集吸收从而大幅提高收集效率,并将收集到的光信号转化为电信号传送给高速采集卡中再由采集卡传送至计算机中,最后通过计算机进行数据处理,对收集到的电信号进行模拟分析放大滤波后,将每个位置对应测量到的电信号在计算机中按照对应位置根据信号的强弱绘制出所测心磁的强度图。

[0014] 与现有技术相比,本发明的有益效果体现在以下几个方面:

(1) 传统的基于SQUID系统的心磁图仪在低温环境下工作,需要液氮进行冷却,液氮在使用过程中会不断蒸发,并且液氮价格不菲,因此其运行维护成本较高;而基于金刚石NV磁强计的心磁测量及心磁图生成系统工作时不需要液氮冷却,运行维护成本低。

[0015] (2)传统的SQUID系统由于冷却系统的原因,探头不能紧贴身体,而磁场的大小与距离平方成反比,故其测量的心磁信号较弱;而基于金刚石NV色心的磁强计的心磁图仪系统的多通道心磁测量阵列能够实现紧贴式测量,因而测得的信号信噪比更高,测量结果也越精准。

[0016] (3)传统的SQUID系统结构固定,不能很好的适应于不同个体,同时体积庞大而笨重,使用不便;而单个基于金刚石NV色心的磁强计体积较小,并且仍然有小型化的发展空间,可自由的针对不同个体进行个性化的阵列式布置,在未来应用方面更具有优势。

[0017] (4)多孔光纤耦合装置通过旋转耦合孔来变相调节光路,减少了探头平移次数从而提高相对精度和检测效率。

[0018] (5)金刚石六个面全包裹覆盖的荧光收集装置仅有多孔光电探测器开孔处荧光无法收集,这样使得荧光手收集效率在理论值上接近百分百,高效的收集会使得检测更加精确有效。

## 附图说明

[0019] 图1为本发明提供的一种长方体型基于金刚石NV色心用于心磁测量的高荧光收集效率的磁强计及心磁测量系统示意图。

[0020] 图2为心磁测量阵列探头结构示意图。

[0021] 图3为从多孔旋转式光纤耦合装置结构示意图。

[0022] 图4为光纤束集与金刚石连接的结构示意图。

[0023] 图5为特制光电探测器(PD)结构示意图。

[0024] 图6为特制金刚石结构示意图。

[0025] 图7为一种长方体型基于金刚石NV色心用于心磁测量的高荧光收集效率的磁强计及心磁测量系统工作流程图。

[0026] 附图标号说明

1-心磁测量阵列探头;2-三轴位移平台;3-无磁床;4-磁屏蔽室;5-数据采集卡;6-光纤激光器;7-微波源;8-计算机。

[0027] 1-1-无磁外壳;1-2-步进电机;1-3-旋转盘;1-4-底盘;1-5-光纤束集;1-6-特制光电探测器;1-7-滤波片;1-8-环状天线;1-9-特制金刚石。

[0028] 1-3-1-激光器通孔。

[0029] 1-4-1-通孔。

[0030] 1-5-1-光纤准直器;1-5-2-凸透镜。

[0031] 1-6-1-多孔光电探测器(8mm\*8mm);1-6-2-左侧光电探测器(8mm\*1mm);1-6-3-前侧光电探测器(8mm\*1mm);1-6-4-底面光电探测器(8mm\*8mm);1-6-5-右侧光电探测器(8mm\*1mm);1-6-6-后侧光电探测器(8mm\*1mm)。

[0032] 1-9-1-小单元块(1mm\*1mm\*1mm);1-9-2-金刚石NV色心。

## 具体实施方式

[0033] 下面对本发明的实施例作详细说明,本实施例在以本发明技术方案为前提下进行实施,给出了详细的实施方式和具体的操作过程,但本发明的保护范围不限于下述的实施

例。

[0034] 参照图1,本发明提供一种长方体型基于金刚石NV色心用于心磁测量的高荧光收集效率的磁强计及心磁测量系统。该装置包括:心磁测量阵列探头1、三轴位移平台2、无磁床3、磁屏蔽室4、数据采集卡5、光纤激光源6、微波源7、计算机8。

[0035] 参照图2,所述的心磁测量阵列探头1由无磁外壳1-1、步进电机1-2、多孔旋转式光纤耦合装置、光纤束集1-5、特制光电探测器(PD)1-6、滤波片1-7、环状天线1-8、特制金刚石1-9组成,多孔旋转式光纤耦合装置由旋转盘1-3、底盘1-4组成,步进电机1-2、多孔旋转式光纤耦合装置、光纤束集1-5、特制光电探测器(PD)1-6、滤波片1-7、环状天线1-8、特制金刚石1-9都位于无磁外壳1-1内,其中步进电机1-2位于最上方,步进电机1-2输出轴上连接旋转盘1-3,其中无磁外壳1-1内在步进电机1-2、底盘1-4、特制光电探测器(PD)1-6、金刚石1-9对应位置处设有卡口用来固定内部器件,使其相对位置不发生改变。

[0036] 参照图3,所述的多孔旋转式光纤耦合装置由旋转盘1-3、底盘1-4组成,其中旋转盘1-3采用无磁材质制作,旋转盘1-3上设有一个激光器通孔1-3-1用于接入激光器光纤,旋转盘1-3连接在步进电机1-2输出轴上;底盘1-4也采用无磁材质制作,底盘1-4上设有围成一个圆周的64个通孔1-4-1,64个通孔1-4-1等间距分布,通孔1-4-1的位置对应旋转盘1-3上激光器通孔1-3-1位置,64个通孔1-4-1用于连接光纤束集1-5中的64个光纤;旋转盘1-3和底盘1-4分别设有凹凸点,用于旋转后固定相对位置提高稳定性;多孔旋转式光纤耦合装置用于探头固定后通过步进电机1-2驱动旋转转盘1-3周期性转动,通孔1-3-1内的激光源光纤与通孔1-4-1内的光纤接触,使得激光源光纤与不同光纤束耦合,从而使得金刚石1-9的共计64个小单元依次激发测量对应位置处的磁场最后达到探头固定下的扫描检测效果。

[0037] 参照图4,在每个金刚石单元1-9-1上都设有光纤准直器1-5-1,光纤束集1-5中每个光纤连接在光纤准直器1-5-1上,在光纤准直器1-5-1里设有凸透镜1-5-2,用于将激光对准每个单元的NV色心1-9-2同时再经过凸透镜1-5-2聚焦提高激光在单位面积的光强以此来提高金刚石NV色心1-9-2的激发强度从而提升测量效果。

[0038] 参照图5,所述的特制光电探测器1-6由4块1mm\*8mm的左侧、前侧、右侧和后侧光电探测器分别为1-6-2、1-6-3、1-6-5、1-6-6、以及2块8mm\*8mm的多孔和底面光电探测器分别为1-6-1、1-6-4组成,其中正面的多孔光电探测器1-6-1上开有64个孔,每个孔对应一个金刚石氮原子注入位置处即金刚石NV色心1-9-2处,开孔直径为0.5mm;底面光电探测器1-6-4的表面贴有细制铜丝环状天线1-8,环状天线1-8与微波源7相连用于均匀辐射2.87GHz的电磁波从而在532nm激光光照下激发金刚石NV色心1-9-2产生637nm荧光并且发生赛曼劈裂;6块光电探测器靠近金刚石的一面都贴有一层滤波片1-7用于过滤637nm波长以外的光从而让PD只接受NV色心激发出来的637nm的荧光;6块光电探测器紧贴金刚石各个面将金刚石包裹,用于将金刚石所激发出的荧光尽可能全部采集吸收从而大幅提高收集效率,并将收集到的光信号转化为电信号传送给数据采集卡5中再由数据采集卡5传送至计算机8中,最后通过计算机8进行数据处理,对收集到的电信号进行模拟分析放大滤波后,将每个位置对应测量到的电信号在计算机中按照对应位置根据信号的强弱绘制出所测心磁的强度图。

[0039] 参照图6,所述的特制金刚石1-9是一块8mm\*8mm\*1mm的长方体状金刚石,将其划分为1mm\*1mm\*1mm共64个小单元块1-9-1,同时在金刚石NV色心制备过程使用掩膜注入的工艺即在金刚石正面上覆盖一层镀膜并在每个正方形小单元的中心挖圆形小孔(直径为0.2mm)

使得每个小单元只有中心被氮原子注入而产生NV色心1-9-2,用于心磁测量阵列探头的荧光激发。

[0040] 参照图7,为装置工作的流程图。首先待检测对象进入磁屏蔽室4躺在无磁床上3,将心磁阵列探头1通过三轴位移平台2移动至待测对象心脏区域左上角处紧贴皮肤,打开光纤激光源6和微波源7,初始化探头1,开始扫描设置步进电机1-2工作时间,每30个呼吸周期旋转至下一个通孔1-4-1直至64个通孔遍历结束,通过三轴位移平台2调节探头位置按照一条龙的方式对心脏区域进行遍历,将光电探测器1-6收集到的信号传入采集卡5,收集到的信号在计算机8上进行观察是否遍历所有心脏区域,若心脏区域的信号在计算机上完整显示则遍历结束,得到心磁强度图。

[0041] 尽管已经示出和描述了本发明的实施例,对于本领域的普通技术人员而言,可以理解在不脱离本发明的原理和精神的情况下可以对这些实施例进行多种变化、修改、替换和变型,本发明的范围由所附权利要求及其等同物限定。

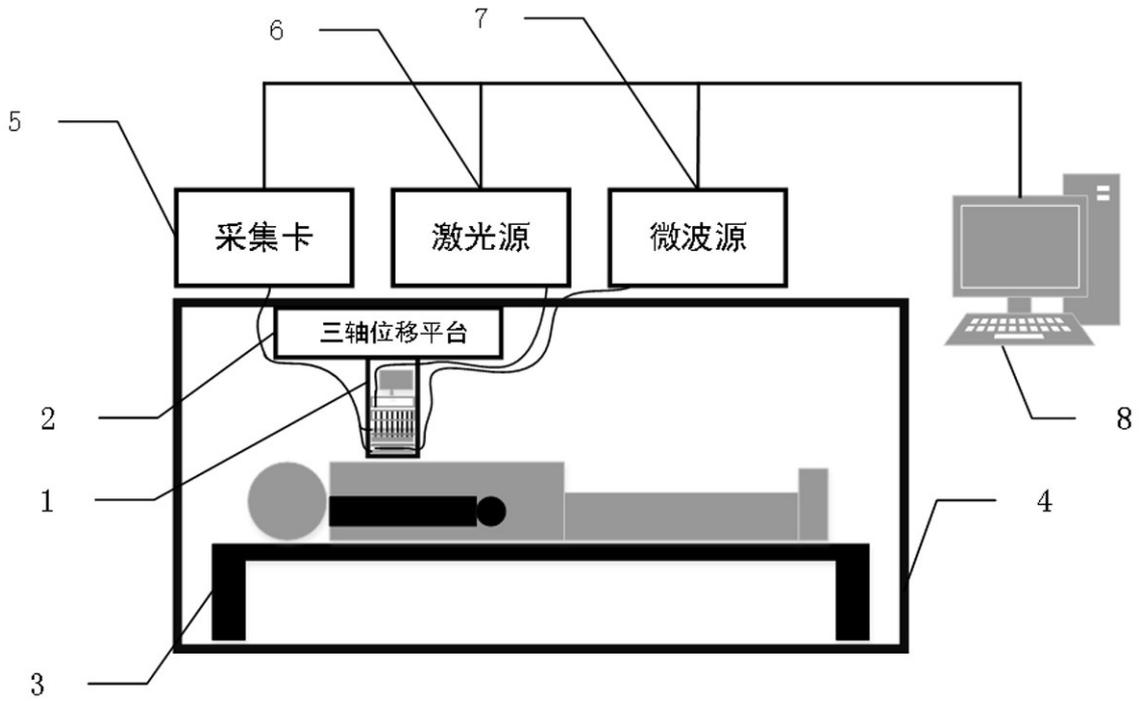


图1

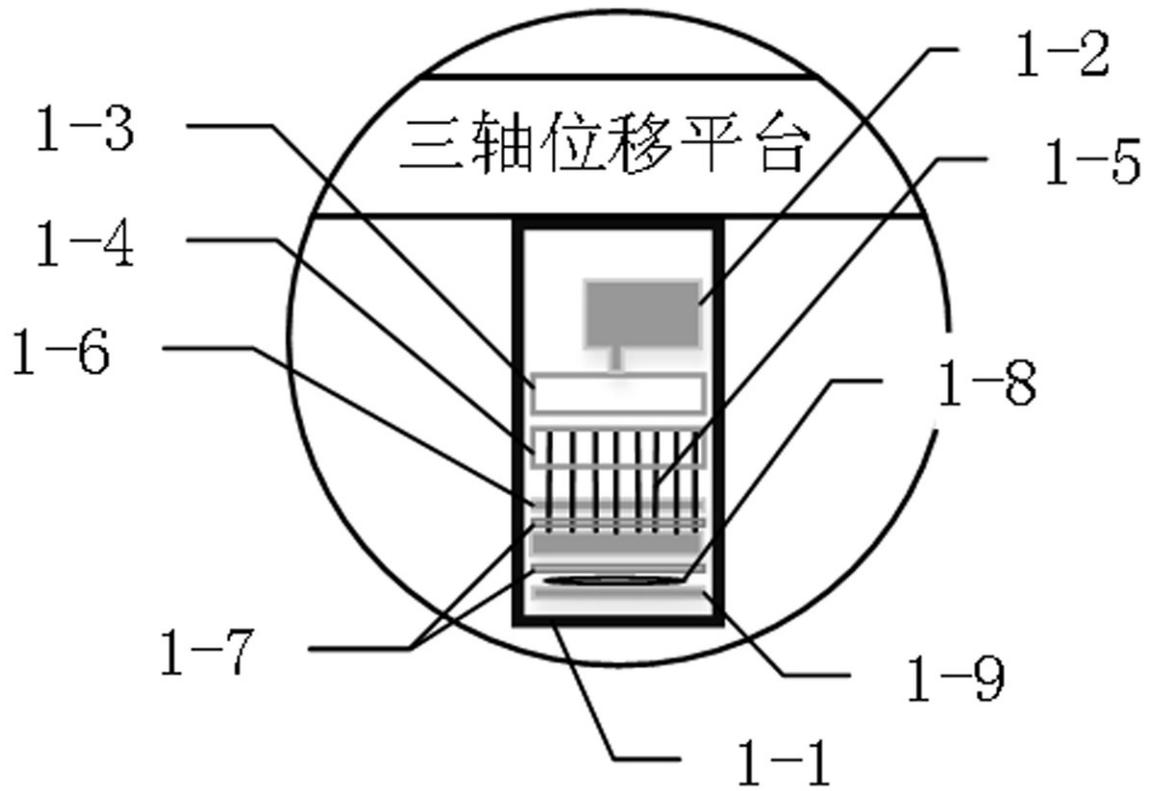


图2

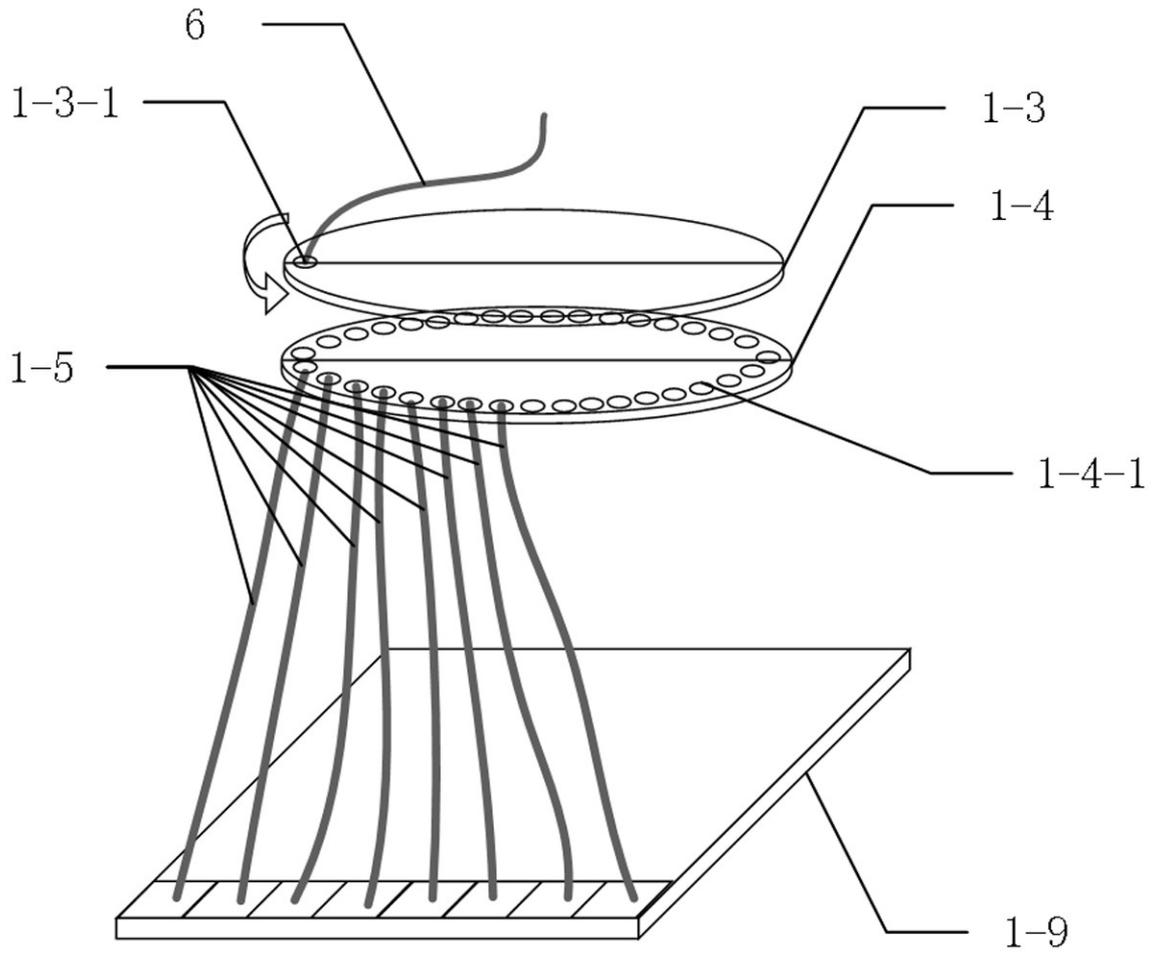


图3

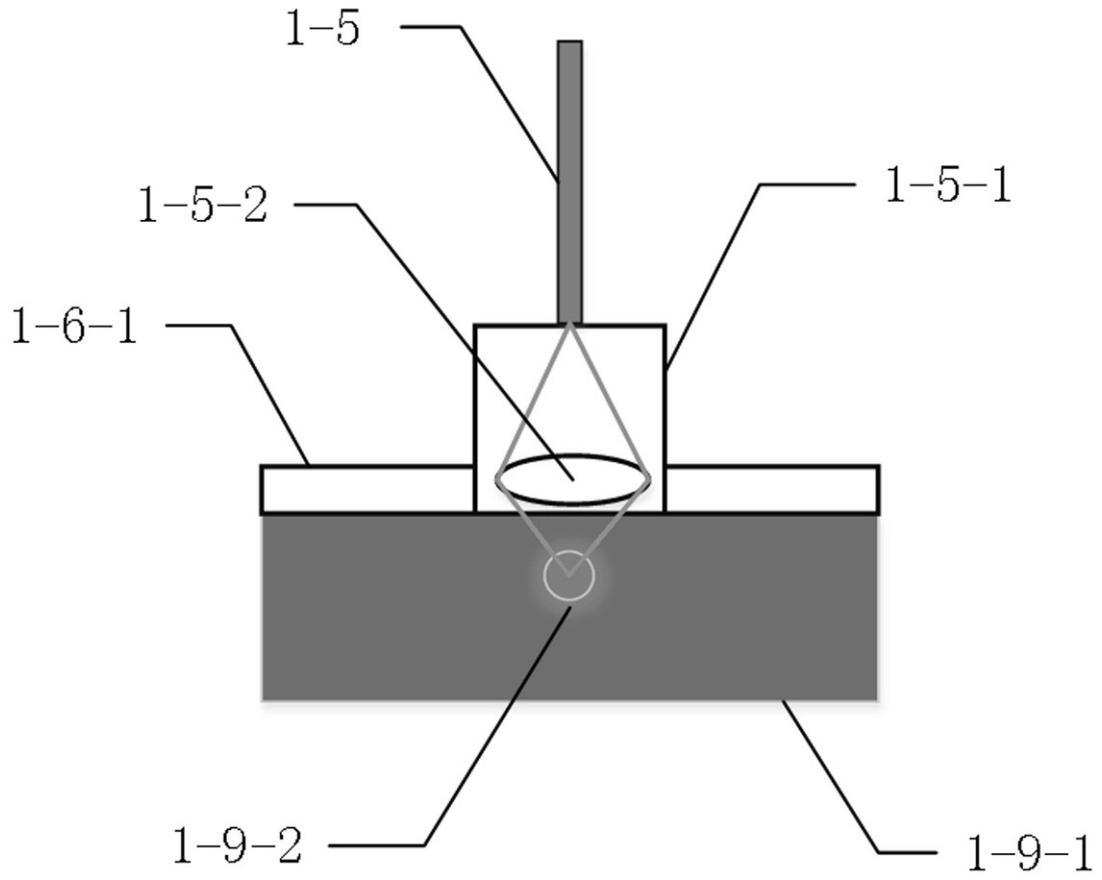


图4

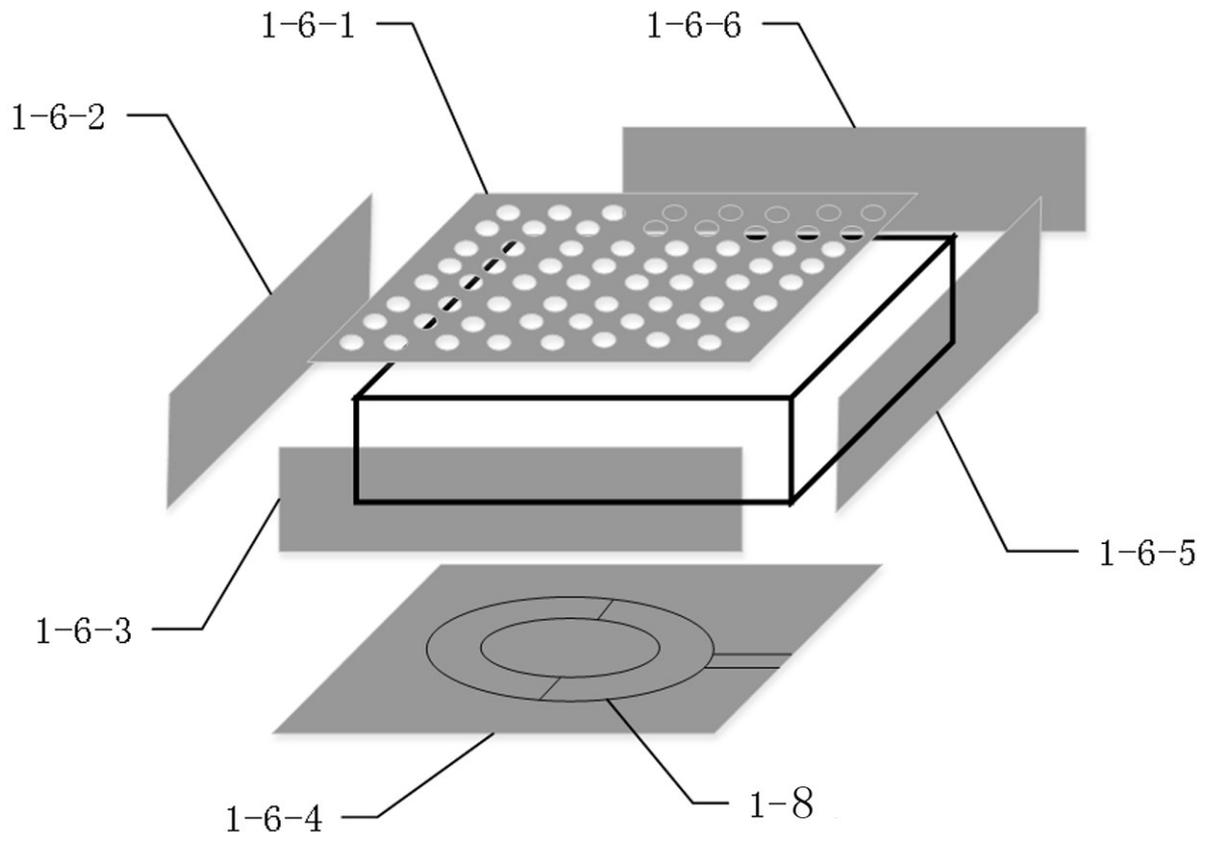


图5

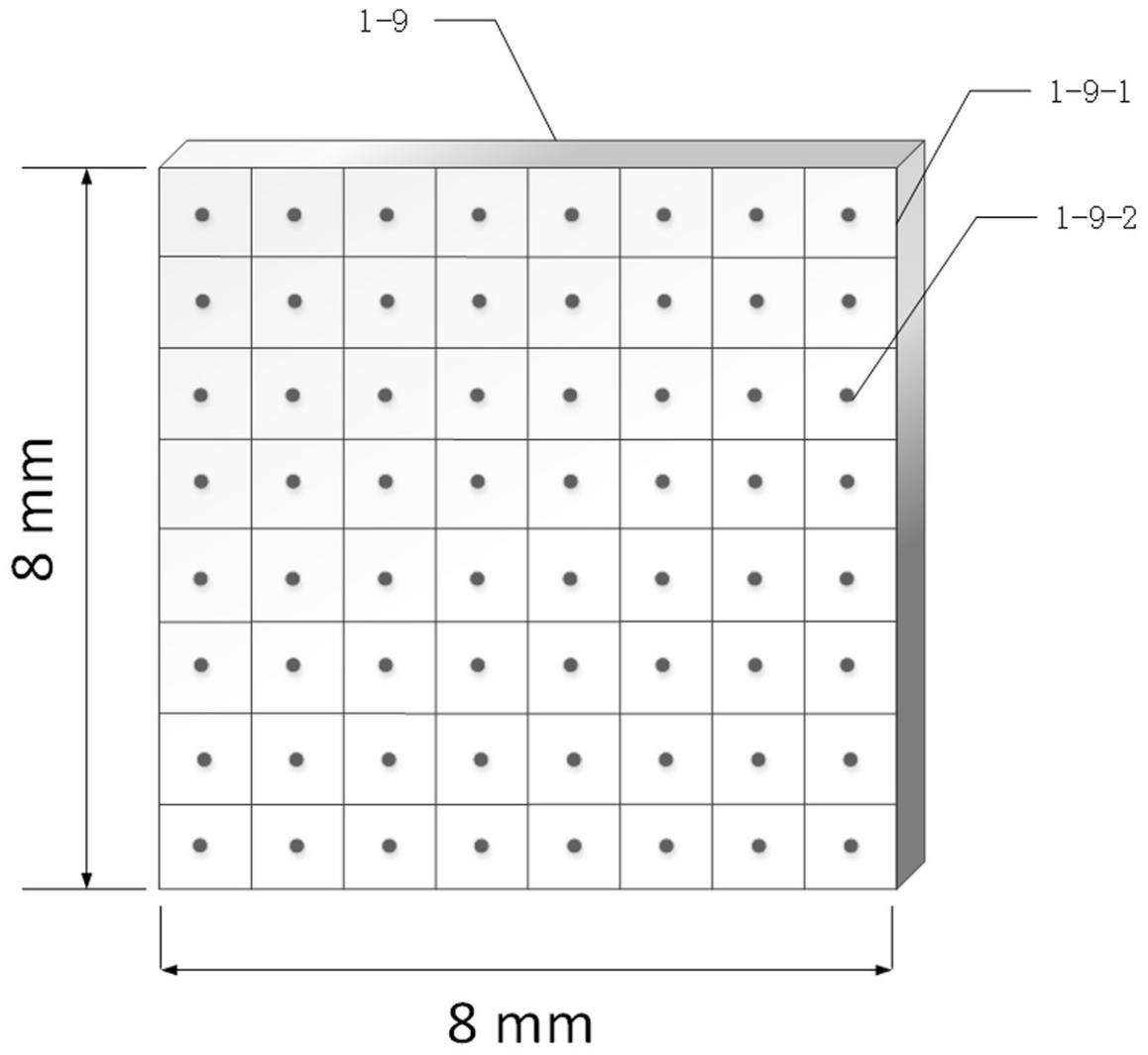


图6

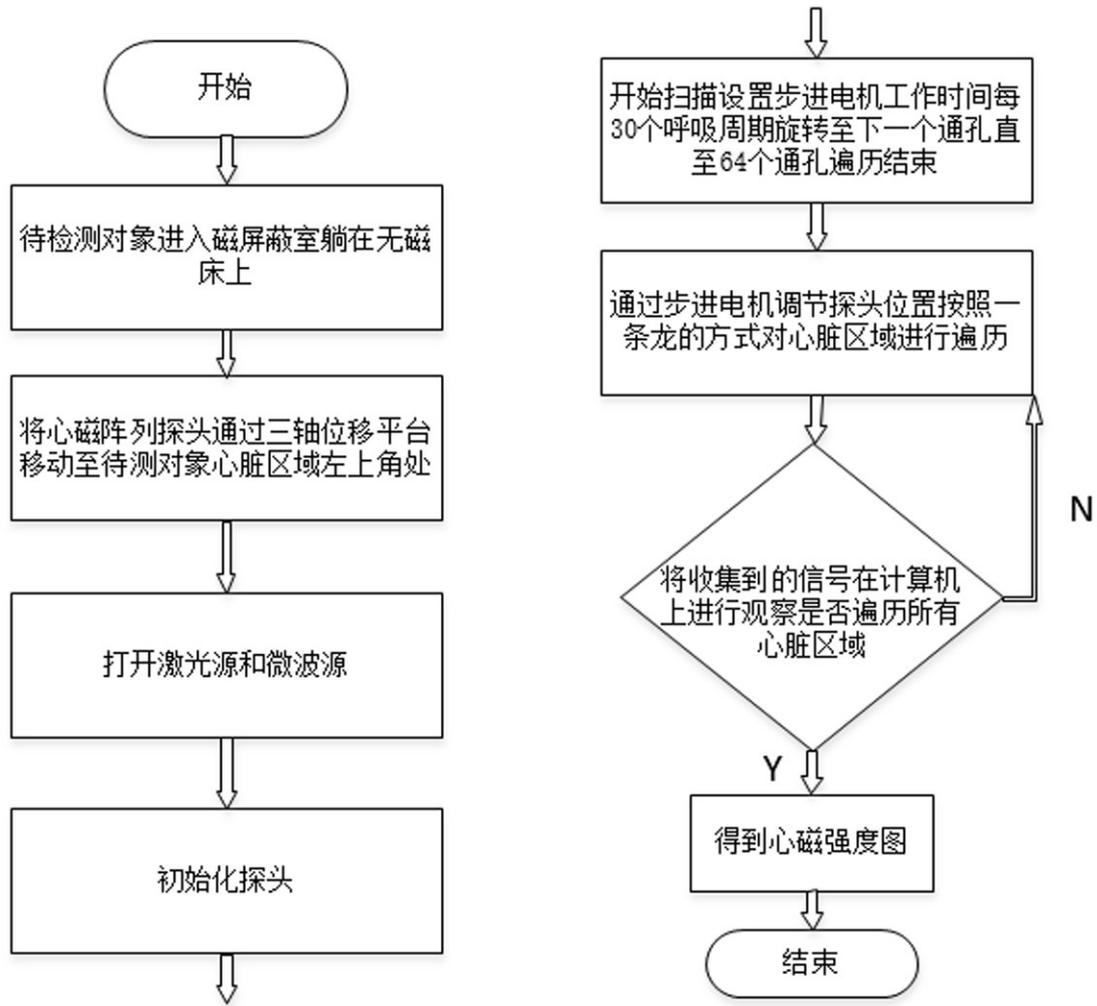


图7