



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113686783 A

(43) 申请公布日 2021. 11. 23

(21) 申请号 202110929415.7

(22) 申请日 2021.08.13

(71) 申请人 华东师范大学

地址 200241 上海市闵行区东川路500号

(72) 发明人 朱亮清 王军力

(74) 专利代理机构 上海蓝迪专利商标事务所

(普通合伙) 31215

代理人 徐筱梅 张翔

(51) Int. Cl.

G01N 21/01 (2006.01)

G01N 21/3563 (2014.01)

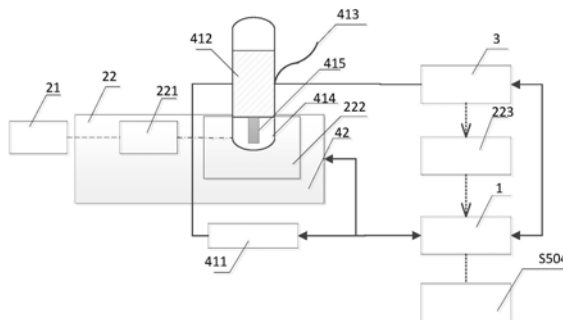
权利要求书1页 说明书4页 附图4页

(54) 发明名称

一种基于傅里叶红外光谱仪的光电流谱自动测试系统

(57) 摘要

本发明公开了一种基于傅里叶红外光谱仪的光电流谱自动测试系统,其特点是该测试系统包括光源组件、环境控制组件、测量模块及控制模块组成,测试半导体材料或器件在不同温度、不同电压或电流偏置下的光电性能,评估材料或器件在不同条件下的工作性能。本发明与现有技术相比具有高度自动化测试及自动分析处理数据特点,系统结构简单、方便,测量波长范围广,精度高,进一步提高了测试效率,实用性强,具有一定推广应用的前景。



1. 一种基于傅里叶红外光谱仪的光电流谱自动测试系统,其特征在于采用控制模块与光源组件、测量模块和环境控制组件构成的系统,测试材料或器件在不同温度、不同电压或电流偏置下的光电性能,评估材料或器件在不同条件下的工作性能,所述光源组件由红外光源和傅里叶红外光谱仪组成;所述傅里叶红外光谱仪包括:干涉仪、测试腔和数据转换模块;所述环境控制组件由温控装置和真空装置组成;所述温控装置包括:温控台和冷头;所述控制模块将样品的测试指令发送至各模块、组件;所述光源组件接收测试指令后控制切换红外光源以及改变傅里叶红外光谱仪的扫描范围和分辨率;所述傅里叶红外光谱仪由干涉仪将红外光源提供的1~100um红外波段光转变为干涉光,其光电流干涉信号由数据转换模块进行傅里叶变换,变换后的频域信号输入控制模块;所述测量模块接收测试指令后改变施加的偏压或偏流范围、扫描步长,并将采集的样品响应电信号输入控制模块和光源组件;所述环境控制组件接收测试命令后设置测试温度以及测试腔体的真空环境。

2. 根据权利要求1所述基于傅里叶红外光谱仪的光电流谱自动测试系统,其特征在于所述红外光源为钨丝灯或碘钨灯的近红外、硅碳棒的中红外和高压汞灯的远红外提供的1~100um红外波段光。

3. 根据权利要求1所述的基于傅里叶红外光谱仪的光电流谱自动测试系统,其特征在于所述干涉仪最高分辨率为 $1\text{cm}^{-1}$ 。

4. 根据权利要求1所述基于傅里叶红外光谱仪的光电流谱自动测试系统,其特征在于所述测量模块为施加10nA~7A的偏压或偏流的数字源表。

5. 根据权利要求1所述基于傅里叶红外光谱仪的光电流谱自动测试系统,其特征在于所述温控装置的冷头设置在傅里叶红外光谱仪的测试腔中,且冷头和测试腔均设置在真空装置,其温控范围为4~320K。

6. 根据权利要求1所述基于傅里叶红外光谱仪的光电流谱自动测试系统,其特征在于所述控制模块与各模块、组件之间通过GPIB IEEE 488.2协议进行通信。

7. 根据权利要求1所述基于傅里叶红外光谱仪的光电流谱自动测试系统,其特征在于所述冷头上设有窗体以及导线引向外部的电极。

8. 根据权利要求1或权利要求6所述基于傅里叶红外光谱仪的光电流谱自动测试,其特征在于所述控制模块包括:主测试单元、测试单元、数据显示单元和数据分析处理单元,所述主测试单元用于控制计算机与各个模块、组件之间的连接,显示仪器的连接状态及地址参数信息;所述测试单元包括电学测试单元和光电流谱测试单元,以及用于设置参数和发送命令至各模块;所述数据显示单元用于实时显示数据采集及数据转换模块传输的数据;所述数据分析处理单元将采集到的数据进行分析、处理并保存数据。

## 一种基于傅里叶红外光谱仪的光电流谱自动测试系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及光电性能测试技术领域,具体地说是一种基于傅里叶红外光谱仪的光电流谱自动测试系统。

### 背景技术

[0002] 半导体材料具有良好的光响应性能,如砷化镓(GaAs)、磷化铟(InP)等Ⅲ-V族化合物半导体,因此被广泛应用于光电探测器、光储能材料及太阳能电池等领域。半导体材料被施加光照时,会在材料的导带和禁带产生电子和空穴,这些附加的光生载流子会改变其电学性能。而材料对光的吸收与光的波长、温度及偏置有关,通过测量材料在不同条件下光响应的最佳波长范围,使材料应用在不同需求的光电器件上且具有良好的性能。

[0003] 现有技术的材料光电流谱表征,一般都采用光栅光谱仪测量不同波长下材料的光电流谱。由于光栅光谱仪测量波长范围小(300~2000nm)、精度不高及测试效率低等缺点,对研究半导体材料光电性能具有局限性。此外,材料的光电特性还与温度、偏置相关,在测试时均需要人工调整温控系统及测量仪表等仪器,导致测试效率大大降低。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是针对现有技术的不足而提供的一种基于傅里叶红外光谱仪的光电流谱自动测试系统,采用温控装置和真空装置组成的环境控制模块,为仪器及样品提供测试温度点以及真空环境,实现对材料在不同条件下光电性能的测量,具有高度自动化测试及自动分析处理数据特点,通过测试半导体材料或器件在不同温度、不同电压或电流偏置下的光电性能,评估材料或器件在不同条件下的工作性能,测试系统结构简单、方便,测量波长范围广,精度高,进一步提高了测试效率,实用性强,具有一定推广应用的前景。

[0005] 实现本发明目的的具体技术方案是:一种基于傅里叶红外光谱仪的光电流谱自动测试系统,其特点是该测试系统包括光源组件、环境控制组件、测量模块及控制模块组成,通过测试半导体材料或器件在不同温度、不同电压或电流偏置下的光电性能,评估材料或器件在不同条件下的工作性能,所述光源组件提供1~100um的红外光源经傅里叶红外光谱仪内干涉仪后产生干涉光;所述环境控制组件包括:温控装置和真空装置,温控装置用于提供样品测试温度,真空装置使测试仪器及样品环境形成特定的真空条件;所述测量模块用于施加偏压或偏流至测试样品以及采集测试样品信号,根据测量需求,测量模块将采集到的信号传输至控制模块和光源组件,并由傅里叶红外光谱仪内数据转换模块将采集到的光电流干涉信号进行傅里叶变换并将变换后的频域信号传递给控制模块;所述控制模块根据测量需求发送命令至各个模块和组件;所述光源组件接收命令后控制切换红外光源以及改变傅里叶红外光谱仪的扫描范围、分辨率等参数;所述测量模块接收命令后改变施加的偏压或偏流范围、扫描步长等参数以及采集样品响应电信号;所述环境控制组件接收命令后设置测试温度点以及测试腔体中真空环境;所述控制模块将测量模块以及光谱仪传输的数据进行显示并进一步分析处理数据。

[0006] 所述红外光源为钨丝灯或碘钨灯(近红外)、硅碳棒(中红外)和高压汞灯(远红外)提供的1~100um红外波段光;所述内干涉仪最高分辨率可达 $1\text{cm}^{-1}$ 。

[0007] 所述测量模块为施加10nA~7A的偏压或偏流的数字源表;所述温控装置的冷头放置在傅里叶红外光谱仪的测试腔中,且冷头和测试腔均在真空环境中,其温控范围为4~320K;所述控制模块与光源组件、测量模块和环境控制组件之间通过GPIB IEEE488.2协议进行通信;所述冷头上设有窗体以及导线引向外部的电极;所述控制模块包括:主测试单元、测试单元、数据显示单元和数据分析处理单元;所述主测试单元用于显示控制模块与各模块、组件之间的连接状态,以及设备和端口信息;所述测试单元包括电学测试单元和光电流谱测试单元,以及用于设置参数和发送命令至各模块;所述数据显示单元用于实时显示数据采集及数据转换模块传输的数据;所述数据分析处理单元将采集到的数据进行分析、处理并保存数据。

[0008] 本发明与现有技术相比具有高度自动化测试及自动分析处理数据特点,涵盖了整个红外波段,通过测试半导体材料或器件在不同温度、不同电压或电流偏置下的光电性能,评估材料或器件在不同条件下的工作性能,按测量需求选择相应的测试项目及配置参数后即可自动完成测试和分析处理数据,通过生成的测试报告评估材料或器件的光电性能,测试系统结构简单、方便,测量波长范围广,精度高,进一步提高了测试效率,实用性强,具有一定推广应用的前景。

## 附图说明

- [0009] 图1为本发明结构示意图;
- [0010] 图2为本发明流程示意图;
- [0011] 图3为本发明电学测量示意图;
- [0012] 图4为本发明电流谱测量示意图;
- [0013] 图5为本发明控制模块的程序运行流程图;
- [0014] 图6为冷头结构示意图;
- [0015] 图7为窗体结构示意图;
- [0016] 图8为固定支架结构示意图。

## 具体实施方式

[0017] 参阅图1~图2,本发明由控制模块1、光源组件2、测量模块3、环境控制组件4和样品5组成,所述光源组件2包括:红外光源21、傅里叶红外光谱仪22以及数据转换模块,光源组件2的光源可根据需求选择钨丝灯或碘钨灯(近红外)、硅碳棒(中红外)及高压汞灯(远红外);所述红外光源21根据需求选择钨丝灯或碘钨灯(近红外)、硅碳棒(中红外)及高压汞灯(远红外)提供1~100um红外波段光,该波段光经傅里叶红外光谱仪22产生的干涉光照射至测试样品5;所述傅里叶红外光谱仪21最高分辨率可达 $1\text{cm}^{-1}$ ;所述测量模块3提供测量所需要的样品偏压或偏流(可提供电流偏置范围为10nA~7A),以及采集样品的光电流信号,采集到的信号经光源组件2中的数据转换模块223变为频域信号后传输至控制模块1;所述环境控制组件4提供测量所需要的温度及真空环境,其中温控装置41可控温度为4~320k。

[0018] 参阅图2,所述光源组件2由红外光源21和傅里叶光谱仪22连接构成,红外光源21

可根据需求选择不同波段的的光源,红外光经干涉仪221变成干涉光进入测试腔222。所述测试腔222提供放置冷头412的空间,冷头412下方有放置样品的固定支架,且经导线引向外部电极。在固定支架下方有四面径向的窗体414,可根据测试需求选择不同的窗片。在测量时,为提高测试准确性,真空装置42为测试腔222提供特定的真空环境,以减少环境气氛对光路的影响。

[0019] 所述测量模块3为数字源表,经导线连接至冷头412的外部电极413,数字源表的作用是提供测量所需的偏压或偏流以及采集冷头412中样品的电信号,并对信号进行模数转换,并将转换后的光电流干涉信号传输至数据转换模块223进行傅里叶变换处理,再将处理后的光电流频域信号传输到控制模块1。

[0020] 所述控制模块1与各个模块、组件通过GPIB IEEE 488.2进行通信,采用计算机进行显示和控制。控制模块1发送指令控制红外光源21及傅里叶红外光谱仪22改变扫描范围以及分辨率,控制数字源表3产生测试需要的偏压或偏流,以及采集样品的电压或电流信号,并控制温控台411提供不同的温度点。同时,控制模块1将各个模块、组件的状态信息以及测试信息进行显示,并且对数据进行分析 and 处理。

[0021] 本发明在测试流程上分为电学测试和光电流谱测试,为了能够更清楚地理解本发明,下面结合具体测试流程进行阐述。

[0022] 实施例1

[0023] 参阅图3,本发明的电学测试是这样进行的:操作人员将测试试样放置于冷头412的固定支架415上,并将测量模块(数字源表)3的信号端连接至冷头412的外部电极413。然后,将冷头412下方四面径向的窗体414更换成不透光材料,以减少光照对测试试样的影响。最后,打开真空泵,将冷头412内部变为真空环境。

[0024] 在控制模块(计算机)1界面程序中设置数字源表3的电压扫描范围、电压扫描步长以及温控仪411的温度扫描范围、扫描步长等参数。设置完成后,系统会监控温控台411温度参数,到达温度点后数字源表3开始输出电压,并且采集试样电流信号并在计算机1实时显示,系统检测数据采集完毕后,温控仪411改变至下个温度点,重复上述过程。按下述步骤进行数据的拟合和分析:

[0025] a、拟合数据方式根据测试试样分为电阻一元线性 $y=kx+b$ 拟合以及二极管伏安特性理论模型 $I = I_s(e^{U/U_T} - 1)$ 拟合。对于掺杂的半导体材料,其电阻率与温度关系可以表示

正比于 $\frac{1}{AT^{3/2} + \frac{BN_i}{T^{3/2}}}$ 。其中, $N_i$ 为载流子浓度,而对于光电二极管,其电流大小可由表达式 $I_d = I_s(e^{qv/nkT} - 1)$ 得出; $I_d$ 为流过二极管电流, $I_s$ 为反向饱和电流。

[0026] b、当所有温度点测试完成后,系统根据上述的拟合数据,生成材料的电阻-温度曲线以及器件的变温伏安特性曲线。进一步分析得到材料的激活能和电阻温度系数,以及器件的暗电流、截止电压等参数。

[0027] 参阅图4,本发明的光电流谱测试是这样进行的:操作人员将测试试样放置于冷头412的固定支架上,并将冷头412放置于红外光谱仪22的测试腔222中,并将数字源表3的信号端连接至冷头412的外部电极413。将冷头412下方径向的窗体414根据测试需求更换成不同材料的窗片,以适应不同波段的光,并调整窗体414使光路最佳。然后,打开真空泵,将测试腔222以及冷头412内变为真空环境。

[0028] 在计算机1界面程序中设置光谱仪波长扫描范围、波长扫描步长,温控台411温度扫描范围、步长以及数字源表3施加偏流或偏压范围等参数。设置完成后,系统会监控温控台411的温度参数,到达温度点后数字源表3开始输出电压,红外光谱仪22开始扫描,系统采集试样光电流信号,数据采集完毕后,温控仪411改变至下个温度点,重复上述过程。分析及处理数据,系统将得到的数据生成变温光电流谱、偏压/偏流光电流谱以及温度-偏压-光电流谱,进一步的得到样品峰值波长,再由光电流谱截止波长(峰值波长的50%处)得到半高宽等参数。

[0029] 参阅图5,所述控制模块(1)包括:主测试单元S501、测试单元S502、数据显示单元S503和数据分析处理单元S504,所述主测试单元S501用于控制计算机与各个模块、组件之间的连接,显示与仪器的连接状态及仪器地址参数信息;所述测试单元S502包括电学测试和光电流谱测试,用于配置参数及发送命令至各个仪器,结合上述测试流程,主要配置参数包括温控仪温度范围、数字源表输出电压或电流范围、傅里叶红外光谱仪扫描波长范围及分辨率等参数,测试界面实时显示当前测试状态信息,提高测试程序的稳定性;所述数据显示单元S503用于将采集到的数据实时显示,包括温控仪传输的温度参数、数字源表传输的电流或电压参数以及傅里叶红外光谱仪传输的光电流-波长参数;所述数据分析处理单元S504包括电学分析和光电流谱分析,在电学分析中根据测试需求对采集的数据进行线性拟合或二极管伏安特性理论模型拟合,根据拟合曲线进一步分析得到样品电阻温度系数,以及器件的暗电流、截止电压等参数,在光电流谱分析中根据生成的变温光电流谱、偏压/偏流光电流谱以及温度-偏压-光电流谱,进一步的得到样品峰值波长、半高宽等参数。

[0030] 参阅图6,所述冷头412包括:窗体414和固定支架415。

[0031] 参阅图7,所述窗体414由四面可滤光的窗片416组成。

[0032] 参阅图8,所述固定支架415为矩形框,其框边缘上焊接12根探针417。

[0033] 参阅图6~图8,固定支架415的具体操作步骤如下;

[0034] a、将样品焊接在基底上,所述基底正面为样品的放置空间,背部由12根边缘焊接的探针417,且基底材料吸光性能良好,减少基底反射产生的误差。

[0035] b、将窗体414取下,将焊接好的样品放置固定支架415上,需保证探针417与外部电极413的接触良好,以减少接触产生的误差。

[0036] c、根据测试需求选择窗体414,安装时要保证光透过窗片416直射至样品上,以减少光路的影响。

[0037] 以上只是对本发明作进一步的说明,并非用以限制本专利,凡为本发明等效实施,均应包含于本专利的权利要求范围之内。

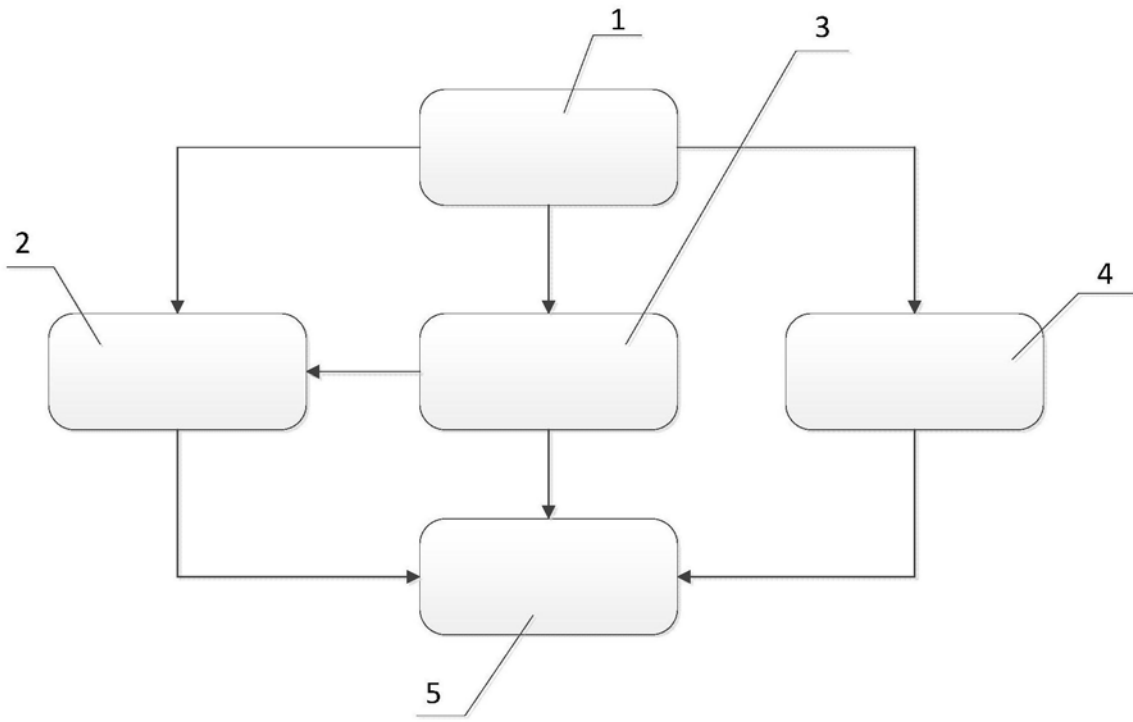


图1

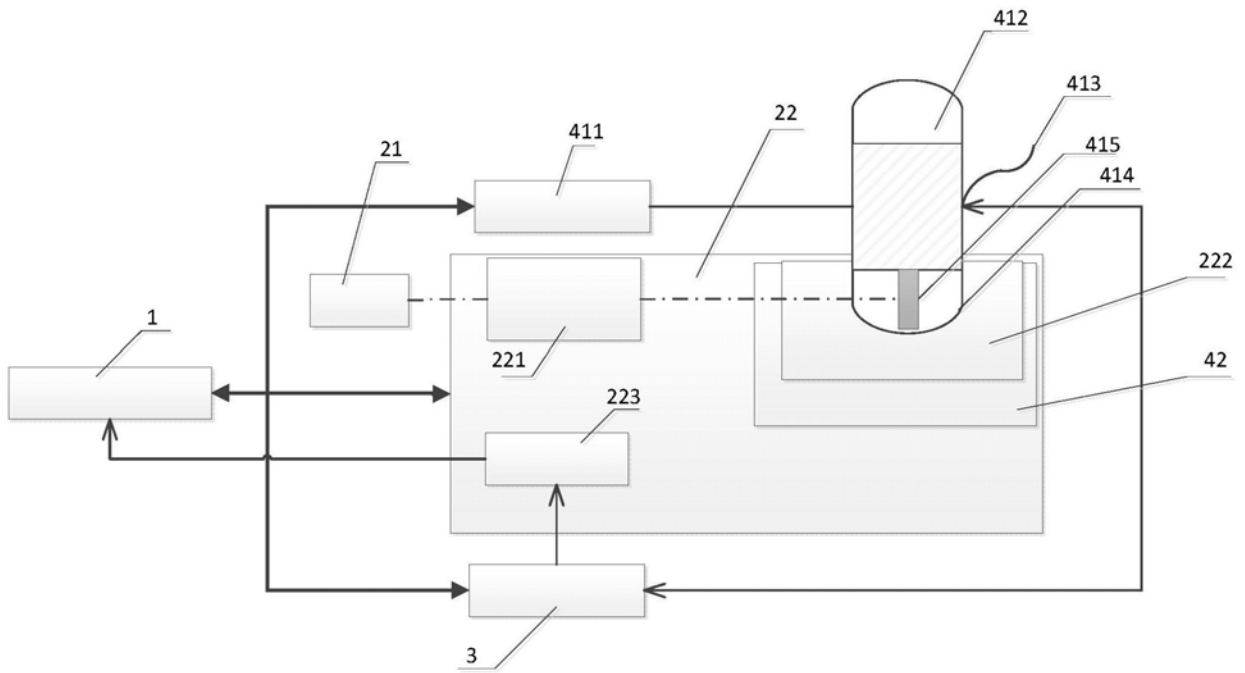


图2

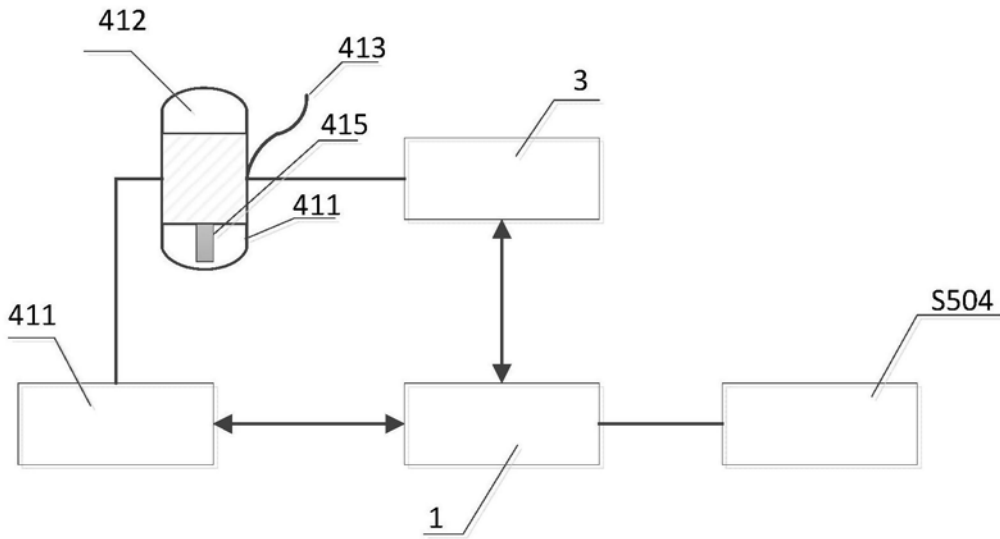


图3

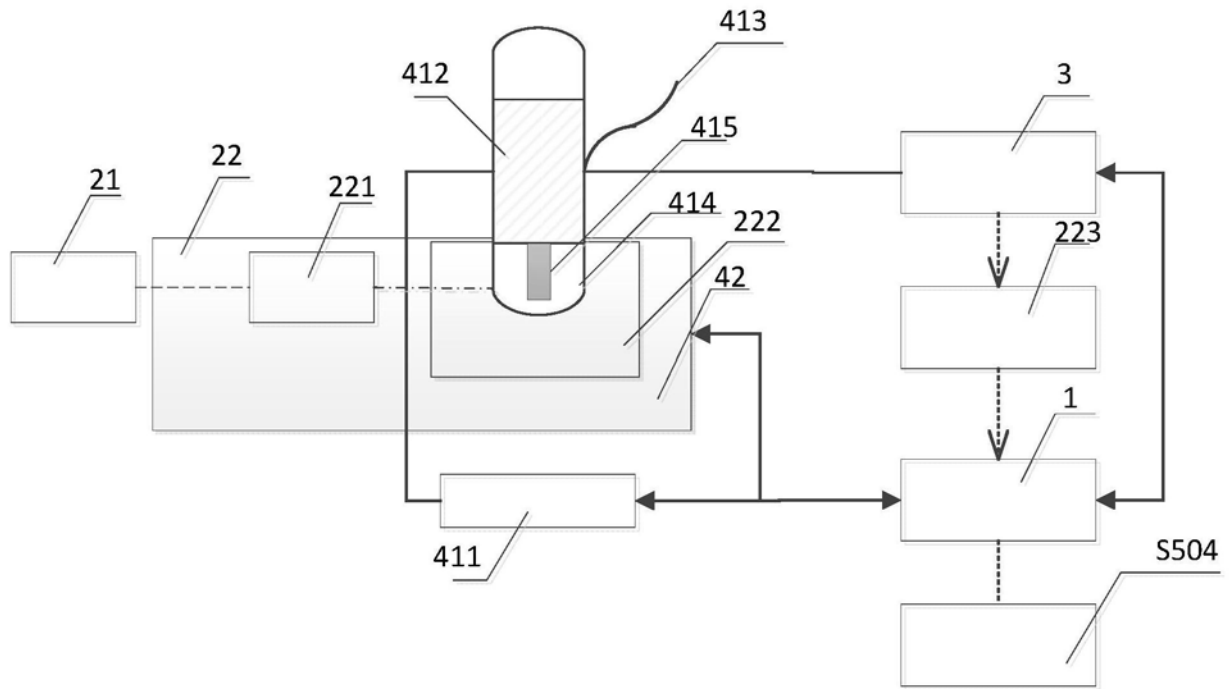


图4

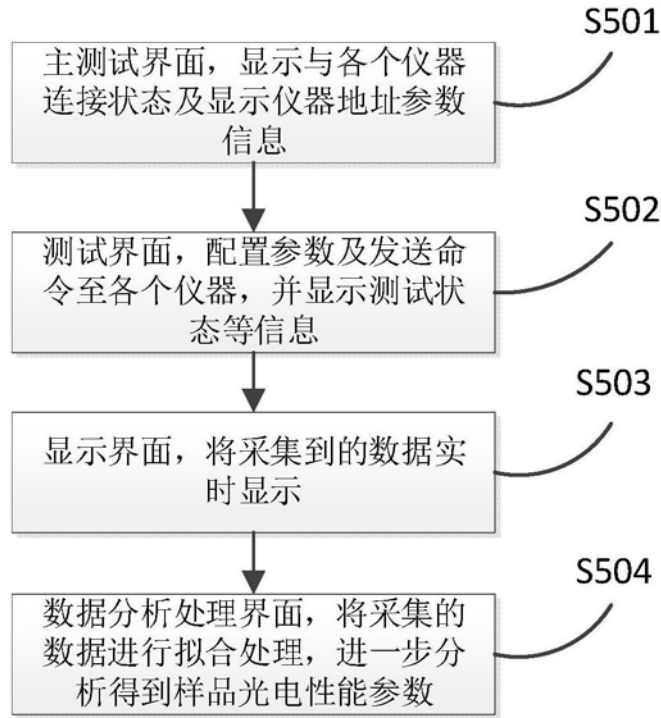


图5

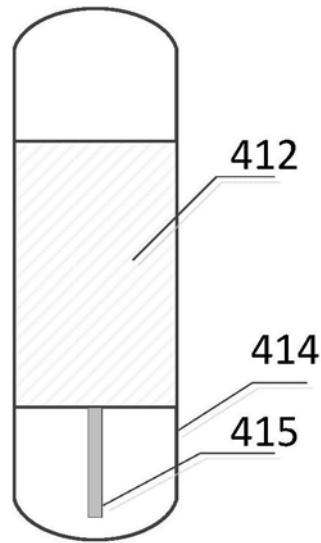


图6

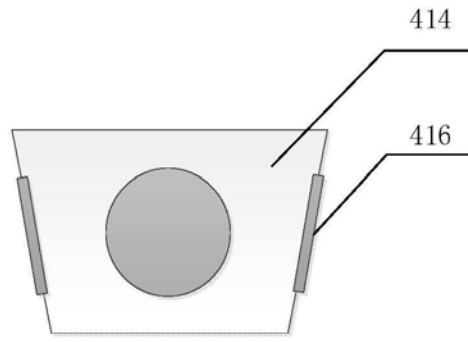


图7

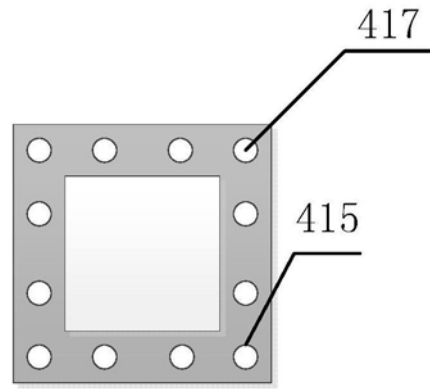


图8