



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 204422787 U

(45) 授权公告日 2015. 06. 24

(21) 申请号 201420802229. 2

(22) 申请日 2014. 12. 16

(73) 专利权人 公安部沈阳消防研究所  
地址 110034 辽宁省沈阳市皇姑区文大路  
218-20 号甲

(72) 发明人 王勇俞 王力 潘刚

(74) 专利代理机构 沈阳东大知识产权代理有限公司 21109  
代理人 刘晓岚

(51) Int. Cl.  
G01V 8/20(2006. 01)

(ESM) 同样的发明创造已同日申请发明专利

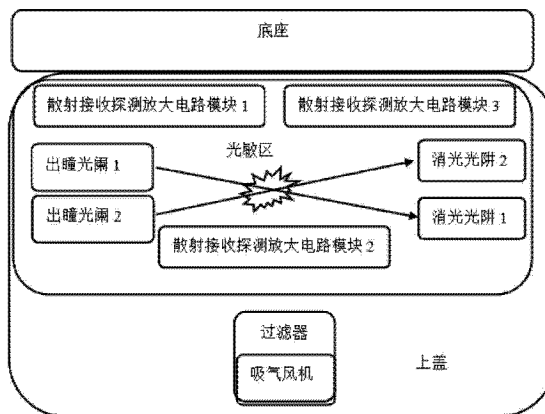
权利要求书1页 说明书7页 附图2页

(54) 实用新型名称

一种火灾征兆探测装置

(57) 摘要

本实用新型提供一种火灾征兆探测装置,包括:壳体、遮光罩、吸气风机、主控单元和探测组件;吸气风机、主控单元和探测组件均设置在壳体内,吸气风机位于上盖的吸气入口处,吸气风机的输入端连接主控单元的风机控制输出端;壳体内部空间内设置迷宫结构的探测室,探测室中设置探测组件包括光源模块和散射接收探测放大电路模块;光源模块包括两个发射管和两个准直透镜,两个发射管的输入端分别连接主控单元的光源控制输出端。通过采用多信息复合探测结合独特设计的下沉式探测光路结构以实现火灾孕育阶段热解过程中微小征兆信息的敏感探测,实现在早期征兆探测的同时大大提高探测器可靠性。



1. 一种火灾征兆探测装置,其特征在于,包括:壳体、遮光罩、吸气风机、主控单元和探测组件;

壳体包括上盖和底座,吸气风机、主控单元和探测组件均设置在上盖与底座扣合形成的壳体内,上盖中心开有吸气入口,上盖的吸气入口处安装遮光罩;

主控单元固定在底座处;吸气风机位于上盖的吸气入口处,吸气风机的输入端连接主控单元的风机控制输出端;

壳体内部空间内设置探测室,探测室中设置探测组件包括用于发射探测光束的光源模块和用于接收经探测光束照射产生的散射信号的散射接收探测放大电路模块;

光源模块包括两个发射管和两个准直透镜,两个发射管的输入端分别连接主控单元的光源控制输出端。

2. 根据权利要求 1 所述的火灾征兆探测装置,其特征在于,所述散射接收探测放大电路模块包括三个光敏传感器和三个探测放大电路;各光敏传感器的输出端分别连接各探测放大电路输入端,各探测放大电路输出端分别连接主控单元信号输入端。

3. 根据权利要求 1 所述的火灾征兆探测装置,其特征在于,所述光源模块与散射接收探测放大电路模块使用卡接固定方式安装在底座上。

4. 根据权利要求 1 所述的火灾征兆探测装置,其特征在于,所述探测室内设置有用于多次反射吸收未完全准直的旁轴杂光的多重出瞳光阑、光敏区和消光光阱;

多重出瞳光阑位于准直透镜之后;出瞳光阑采用尖锐角  $30^\circ$  设计;

光敏区即气体中的烟雾粒子通过探测室的通道与光源模块发出的光束相交的地方,光敏区呈圆柱形;光源模块、散射接收探测放大电路模块、消光光阱围绕光敏区分布在一个球面上;

消光光阱为光学陷阱,采用光学死腔的设计方式,光进入消光光阱后经过多次反射后进入死区;

光源模块与消光光阱对称分布,形成光源平面,前向光敏传感器布置在消光光阱一侧,后向光敏传感器布置在光源模块一侧。

5. 根据权利要求 1 所述的火灾征兆探测装置,其特征在于,所述壳体采用 ABS 工程塑料,壳体的内表面敷屏蔽金属箔膜隔绝外界电磁干扰。

6. 根据权利要求 4 所述的火灾征兆探测装置,其特征在于,所述光敏传感器采用下沉式设计,其安装角度与发射光束成空间夹角,光敏传感器的安装平面低于光源平面。

7. 根据权利要求 4 所述的火灾征兆探测装置,其特征在于,在光敏区与吸气风机之间设置遮光片。

## 一种火灾征兆探测装置

### 技术领域

[0001] 本实用新型属于火灾征兆探测技术领域,具体涉及一种火灾征兆探测装置。

### 背景技术

[0002] 电气原因导致的火灾在历年火灾事故中所占比例高达四分之一,因此电气防火是消防安全中的重中之重,特别是各类配电柜、开关柜、控制柜等,承载着电能输配或信号决策等重要职能,对此类柜式电控设备进行火灾早期探测一直是安全生产中的切实需求,对预防火灾、保护人民生命财产、避免巨大经济损失意义重大。

[0003] 在各类柜式电控设备中,尽管已有过流或剩余电流监测保护装置预防故障发生,但由于发热隐患不仅是由过流或剩余电流造成,接触不良、线径错误匹配以及设备中仪表直流弱电部分短路等众多因素都能导致导体异常发热,故障类型的繁多使得现有电气火灾监控系统凸显出保护能力的不足,因此十分有必要从火灾探测报警的角度进行柜式电控设备的火灾早期征兆预警防范,研制为此类场所提供火灾孕育热解阶段针对性的保护。

[0004] 火灾孕育阶段热解过程的可能产物及现象包括烟、温、气三大类征兆类型,根据热解可燃物的不同,上述三类产物和现象或可能发生、抑或不发生,因此需要开展相关试验研究,确定目标保护场所有效的火灾征兆,并建立该有效火灾征兆的实验模拟方法,最后对探测该征兆的可能探测技术进行技术方向的评估,为征兆探测器的开发提供方向性的建议以及相关征兆特征规律数据的支持。

[0005] 研制火灾征兆探测器的目的在于提供火灾孕育阶段的预警保护能力,因此高灵敏探测方法是必须要首先建立的环节,以实现火灾孕育阶段热解过程中微小征兆信息的敏感探测。然而,由于征兆信息的微弱,因此很容易与环境中的干扰物淹没在一起,高灵敏探测则可能导致某些情况下征兆探测器的误报概率被提高,征兆探测器是高灵敏征兆特征属性识别探测技术的具体实现,关键器件的选型,识别算法的设计,电路系统的设计与改进,光路的优化及各结构部件的配合都需要在开发过程中不断的重复测试分析调整这一过程。

### 发明内容

[0006] 本实用新型的目的在于提供一种火灾征兆探测装置。

[0007] 本实用新型的技术方案是:

[0008] 一种火灾征兆探测装置,包括:壳体、遮光罩、吸气风机、主控单元和探测组件;

[0009] 壳体包括上盖和底座,吸气风机、主控单元和探测组件均设置在上盖与底座扣合形成的壳体内,上盖中心开有吸气入口,上盖的吸气入口处安装遮光罩;

[0010] 主控单元固定在底座处;吸气风机位于上盖的吸气入口处,吸气风机的输入端连接主控单元的风机控制输出端;

[0011] 壳体内部空间内设置探测室,探测室中设置探测组件包括用于发射探测光束的光源模块和用于接收经探测光束照射产生的散射信号的散射接收探测放大电路模块;

- [0012] 光源模块包括两个发射管和两个准直透镜,两个发射管的输入端分别连接主控单元的光源控制输出端。
- [0013] 所述散射接收探测放大电路模块包括三个光敏传感器和三个探测放大电路;各光敏传感器的输出端分别连接各探测放大电路输入端,各探测放大电路输出端分别连接主控单元信号输入端。
- [0014] 所述光源模块与散射接收探测放大电路模块使用卡接固定方式安装在底座上。
- [0015] 所述探测室内设置有用于多次反射吸收未完全准直的旁轴杂光的多重出瞳光阑、光敏区和消光光阱;
- [0016] 多重出瞳光阑位于准直透镜之后;出瞳光阑采用尖锐角 30° 设计;
- [0017] 光敏区即气体中的烟雾粒子通过探测室的通道与光源模块发出的光束相交的地方,光敏区呈圆柱形;光源模块、散射接收探测放大电路模块、消光光阱围绕光敏区分布在一个球面上;
- [0018] 消光光阱为光学陷阱,采用光学死腔的设计方式,光进入消光光阱后经过多次反射后进入死区;
- [0019] 光源模块与消光光阱对称分布,形成光源平面,前向光敏传感器布置在消光光阱一侧,后向光敏传感器布置在光源模块一侧。
- [0020] 所述壳体采用 ABS 工程塑料,壳体的内表面敷屏蔽金属箔膜隔绝外界电磁干扰。
- [0021] 所述光敏传感器采用下沉式设计,其安装角度与发射光束成空间夹角,光敏传感器的安装平面低于光源平面。
- [0022] 在光敏区与吸气风机之间设置遮光片。
- [0023] 有益效果:
- [0024] 通过采用多信息复合探测结合独特设计的下沉式探测光路结构以实现火灾孕育阶段热解过程中微小征兆信息的敏感探测,实现在早期征兆探测的同时大大提高探测器的可靠性。

### 附图说明

- [0025] 图 1 为本实用新型具体实施方式的火灾征兆探测原理示意图;
- [0026] 图 2 为本实用新型具体实施方式的火灾征兆探测装置整体结构示意图,其中,1- 上盖,2- 探测组件,3- 底座;
- [0027] 图 3 为本实用新型具体实施方式的探测室内部结构简化示意图;
- [0028] 图 4 为本实用新型具体实施方式的出瞳光阑剖面三维结构示意图;
- [0029] 图 5 为本实用新型具体实施方式的消光光阱剖面三维结构示意图;
- [0030] 图 6 为本实用新型具体实施方式的的光敏传感器下沉式设计结构剖面图;
- [0031] 图 7 为本实用新型具体实施方式的探测放大电路原理图。

### 具体实施方式

- [0032] 下面结合附图对本实用新型的具体实施方式做详细说明。
- [0033] 由火灾征兆确定与探测技术选型研究的相应结论,目标保护场所典型可燃物的火灾早期征兆为热解粒子,热解粒子本身是一种气溶胶粒子,因此可以通过光散射技术来进

行探测。征兆探测原理如图 1 所示,通过一光源照射热解粒子导入区域,在没有热解粒子的情况下,光线直线传播,而当有热解粒子时,由于微粒对光的散射作用,使得除了直线传播方向以外的其他方向也有了散射光,通过对散射光进行收集感应分析,既能完成对征兆的探测。

[0034] 火灾征兆是一种微弱信息,因此需要高灵敏度的探测技术。基于光散射原理实现征兆探测的关键在于提高有热解粒子时的散射光强度与无热解粒子时光电转换器件接收到的背景光辐射强度之间的信噪比,同时保持不同类型粒子散射光特性的可区分性,以供属性识别。

[0035] 点型探测器在构成火灾自动报警系统时能够定位火灾发生位置,而对于旨在火灾孕育阶段发出预警的征兆探测器来讲,点型结构形式提供的定位能力有助于快速处理故障设备,避免隐患部位排查过程造成的处理不及时而导致更大损失的出现。吸气式结构能够提供更为稳定的进出烟性能,可有效降低点型结构受烟气自然扩散方式造成的信号不稳定影响。综上,为满足实际需求,本实施方式的探测器结构的最佳设计应为具备吸气能力的点型结构。

[0036] 根据散射理论,不同的单一粒子在对光线散射时产生的散射场是不同的,对于粒子群来讲,如果粒子之间的距离远大于粒子粒径,则粒子群的散射场近似于各个单一粒子散射场的叠加,因此可以通过测量粒子群的散射场来实现属性识别。

[0037] 一种火灾征兆探测装置,如图 2 所示,包括:壳体、遮光罩、吸气风机、主控单元和探测组件 2;

[0038] 壳体采用 ABS 工程塑料,壳体的内表面敷屏蔽金属箔膜隔绝外界电磁干扰。

[0039] 壳体包括上盖 1 和底座 3,吸气风机、主控单元和探测组件 2 均设置在上盖与底座扣合形成的壳体内,上盖中心开有吸气入口,上盖 1 的吸气入口处安装遮光罩。

[0040] 主控单元采用 C8051F410 芯片。C8051F410 是 C51 内核的模数混合级芯片,运用广泛。基于该芯片可方便的完成模拟量采集,报警运算,通信等功能,对简化电路设计既提高整个系统运行的稳定性方面非常有利。探测器上电后首先复位各项功能寄存器,并关闭中断。利用片上 flash 存储地址编码,除此之外,工作过程中的所需要的一些重要数据也存储在 flash 当中。不同的环境以及不同的工况造成的探测器工作环境各不相同,因此随着时间的变化,光敏传感器的散射光本底增量值可能有所起落,为此,需要阶段性的更新本底。考虑到环境工况不可能突变,光敏传感器模拟量的本底值变化周期要远大于因热解颗粒或其他干扰粒子造成的模拟量变化周期,因此本底跟随浮动定时器的中断周期设置为远大于探测定时器的中断周期。在一个本地跟随浮动周期中包含一系列探测周期。

[0041] 主控单元固定在底座 3 处;吸气风机位于上盖 1 的吸气入口处,吸气风机的输入端连接主控单元的风机控制输出端;

[0042] 壳体内部空间内设置探测室,探测室中设置探测组件包括用于发射探测光束的光源模块和用于接收经探测光束照射产生的散射信号的散射接收探测放大电路模块;光源模块与散射接收探测放大电路模块使用卡接固定方式安装在底座 3 上。

[0043] 光源模块包括两个发射管和两个准直透镜,两个发射管的输入端分别连接主控单元的光源控制输出端。

[0044] 散射接收探测放大电路模块包括三个光敏传感器和三个探测放大电路;各光敏传

传感器的输出端分别连接各探测放大电路输入端,各探测放大电路输出端分别连接主控单元信号输入端。

[0045] 尽可能的将非热解颗粒散射的杂散光滤除或隔绝在光敏传感器之外,是实现高信噪比探测的一个充要条件,也是实现高灵敏探测的一个技术难点。为此,本实施方式进行了针对光路的优化设计,最终获得了一个性能优良的探测室。如图3所示,探测室内设置有用与多次反射吸收未完全准直的旁轴杂光的多重出瞳光阑、光敏区和消光光阱;在光敏区与吸气风机之间设置遮光片,吸气风机前端固定有过滤器。

[0046] 鉴于半导体激光二极管的技术已非常成熟,且价格低廉,体积微小,因此本实施方式采用激光二极管作为发射管。半导体激光二极管所发出的激光为高斯光束,不同于氦氖激光器,其发散角较宽,典型的发散角在  $\theta_{\perp} = \pm 10^{\circ}$ 、 $\theta_{\parallel} = \pm 20^{\circ}$  左右,若直接用于探测器光路,有很大一部分无法进入光阱,而是在探测器内造成多次反射的杂散光,为此,在半导体激光束前设计了一准直透镜,半导体激光二极管的激光激发处设置在准直透镜的焦点处。准直透镜分为非球面透镜和球面透镜两种,其中非球面透镜的加工难度较高,标准化程度低,但可以将穿越自焦点的光线严格准直。而球面透镜有大量标准规格可供采购,加工难度低,价格低廉,但对于与光轴呈大角度的光线无法做到完全准直,从透镜出射后仍为发散状。考虑到工程加工制造的易行性,采用球面透镜准直方式,牺牲的一部分准直性能通过设计多重出瞳光阑来弥补。多重出瞳光阑位于准直透镜之后;出瞳光阑采用尖锐角  $30^{\circ}$  设计,如图4所示,未完全准直的旁轴杂光将被相邻的出瞳光阑多次反射吸收,光阑周边采用尖锐角设计,可以避免滤除杂光时造成的二次光污染,大大提高了出瞳激光光束的准直特性。

[0047] 光敏区即气体中的烟雾粒子通过探测室的通道与光源模块发出的光束相交的地方,光敏区呈圆柱形;光源模块、散射接收探测放大电路模块、消光光阱围绕光敏区分布在一个球面上。

[0048] 为了保证无热解颗粒的状态下,所有激光出瞳光束尽可能被吸收,使得光敏传感器接收到的探测室本底光强比较低,设计了图5所示的消光光阱,消光光阱为光学陷阱,采用光学死腔的设计方式,光进入消光光阱后经过多次反射后进入死区;光阱设计为小角度锥形,锥尖留有微小通孔,这样绝大多数平行光线在小角度锥形中经锥面多次反射后被吸收,少部分未被反射的光轴光线以及未完全吸收完的光线经由通孔射出,避免了因封闭孔而导致部分光线被反射回光敏区的问题。

[0049] 绝大多数基于光散射原理的探测器,都在尽可能的扩大光敏传感器的收光范围,以使所有的散射光都被光敏传感器接收。但这样做使得粒子的光散射场能量被混合叠加在一起,不可能实现粒子属性的判别。另外,为收光搭配的反射镜也增加了受污染面积,长期运行下探测器响应性能会因镜面积尘出现漂移。为此,在探测室结构、光源、光敏传感器、探测放大电路配合优化以保证探测灵敏度的前提下,为光敏传感器设计了小角度收光通道。使得在收光角  $\theta \pm 10^{\circ}$  范围之外的其他角度散射光无法到达光敏传感器,保证了粒子属性识别时激光散射光角度定位的准确性。另外,尽管小角度的多重出瞳光阑使得到达光敏传感器的光线总量减小,但也抑制了无烟情况下来自其他侧壁的反射杂光,使得光敏传感器本底输出也相应的减小了,一定程度上弥补了收取散射光总量少的不足。另外,光敏传感器接收全部置于探测室下方,介于探测室与底座之间,这种下沉式设计,避免了在多角度接收

时多个光敏器件处在暗室之中阻挡烟气扩散的情况出现。

[0050] 光源模块与消光光阱对称分布,形成光源平面,前向光敏传感器布置在消光光阱一侧,后向光敏传感器布置在光源模块一侧。如图6所示,光敏传感器采用下沉式设计,其安装角度与发射光束成空间夹角,光敏传感器的安装平面低于光源平面。

[0051] 光敏传感器全部置于探测室2个发射管组成的平面下方,这种下沉式设计,避免了在多个光敏管同时接收散射光时多个光敏器件处在暗室之中阻挡烟气扩散导致形成不利探测角度,同时采用探测传感器斜朝下安装的角度保证了探测器正常工作时,空气中的粉尘粒子由于重力的影响不会落到传感器表面,大大提高了探测器的可靠性。

[0052] 本实施方式采用的光敏传感器为光敏二极管。光敏二极管在有光的情况下,会产生微弱电流,若光敏二极管被反偏,则该微弱电流也会被放大,并且微弱电流的大小与接收到的光功率成正比关系。因此,基于光敏二极管的散射光探测,就需要一个探测放大电路。通过实验发现,0.8% obs/m 以下浓度热解颗粒产生的散射光能量极其微小,在光敏传感器0.01sr 立体角收光情况下,接收到的光功率仅在 $10^{-10} \sim 10^{-9}$ W 级别,对于目前光电转换效率在 $10^{-1}$ A/W 量级的光敏传感器,其输出电流仅在 $10^{-11} \sim 10^{-10}$ A。一般情况下,电流信号都被转换为电压信号放大,为此,设计了前置跨阻放大器,实现I/V转换放大,如图7所示。但是,对于目前的AD转换器来说,至少需要放大至mV量级,才可能可靠测量,因此若使用一级前置放大器,则反馈电阻 $R_f$ 至少需要1G $\Omega$ 。但1G $\Omega$ 的反馈电阻带来的时间常数巨大,阶跃响应时间达到了秒级,为此,降低前级放大倍数,使用两级放大电路,最终的放大倍数为 $R_1R_6/R_5$ 。对于放大电路,运放的选择至关重要,对于小电流信号测量,运放的输入偏置电流与失调电压都必须非常小,OPA2340是一款精密运算放大器,其输入偏置电流典型值为0.2pA,低于光敏传感器的光电流输出,而失调电压更是小于2.5 $\mu$ V,应用其作为探测放大电路中的核心运放。

[0053] 利用火灾征兆探测装置进行火灾征兆探测的过程是:首先主控单元控制吸气风机对探测环境内气体进行吸气,气体经过吸气入口进入壳体的探测室内;此时主控单元控制两个发射管每隔固定时间间隔以不同发射模式顺序发出光束,光束经过准直透镜后进入光敏区,未完全准直的旁轴杂光被相邻的出瞳光阑多次反射吸收;光束经过光敏区过程中,若气体中含有火灾征兆粒子则发生散射;三个光敏传感器实时接收发生散射的光束,消光光阱吸收平行光束,未被消光光阱吸收的平行光束经消光光阱的通孔射出后被遮光罩吸收;三个光敏传感器接收火灾征兆粒子受到发射光束照射产生的散射光信号经光电探测放大电路放大后传至主控单元;主控单元计算不同发射模式下的三个光敏传感器接收的散射光本底增量;分别计算各发射模式下三个光敏传感器接收的各散射光本底增量之比 $K_{ij}$ ,获得 $K_{ij}$ 值的区间,将 $K_{ij}$ 值的区间与预先采样获得的不同种类火灾征兆粒子对应的 $K_{ij}$ 值的标准区间比对;若 $K_{ij}$ 值的区间落入某标准区间,则当前气体中含有该标准区间对应的火灾征兆粒子,根据该火灾征兆粒子确定当前探测环境是否存在火灾征兆。

[0054] 三种不同发射模式如下:

[0055] 发射模式1:一个发射管发射50毫秒光束;

[0056] 发射模式2:另一发射管发射50毫秒光束;

[0057] 发射模式3:两个发射管同时发射50毫秒光束;

[0058] 固定时间间隔为 $T_0 = 30$ (ms) 毫秒

- [0059] 发射时序为,1 ;T0 ;2 ;T0 ;3 ;T0 ;760(ms) 毫秒的延时间隔 ;
- [0060] 1 ;T0 ;2 ;T0 ;3 ;T0 ;760(ms) 毫秒的延时间隔。
- [0061] 每一次发射都能接收到 3 个采样对应散射光本底增量值分别为 :
- [0062] 发射模式 1 :AD11 ;AD12 ;AD13 ;
- [0063] 发射模式 2 :AD21 ;AD22 ;AD23 ;
- [0064] 发射模式 3 :AD31 ;AD32 ;AD33 ;
- [0065] 计算各发射模式下三个光敏传感器接收的各散射光本底增量之比  $K_{ij}$  如下 :
- [0066]  $AD12/AD11 = K121$  ;
- [0067]  $AD13/AD11 = K131$  ;
- [0068]  $AD22/AD21 = K221$  ;
- [0069]  $AD23/AD21 = K231$  ;
- [0070]  $AD32/AD31 = K321$  ;
- [0071]  $AD33/AD31 = K331$  ;
- [0072] 火灾征兆粒子为灰尘、水蒸气粒子、柴油粒子、PVC 热解粒子或木材热解粒子。
- [0073] 预先采样获得的不同种类火灾征兆粒子对应的  $K_{ij}$  值如下 :
- [0074] 灰尘 :
- [0075]  $AD12/AD11 = K121(2)$  ;
- [0076]  $AD13/AD11 = K131(5)$  ;
- [0077]  $AD22/AD21 = K221(8)$  ;
- [0078]  $AD23/AD21 = K231(1.2)$  ;
- [0079]  $AD32/AD31 = K321(7)$  ;
- [0080]  $AD33/AD31 = K331(6)$  。
- [0081] 灰尘对应的  $K_{ij}$  值的标准区间为 :[1.2, 8]。
- [0082] 水蒸气粒子 :
- [0083]  $AD12/AD11 = K121(6)$  ;
- [0084]  $AD13/AD11 = K131(3)$  ;
- [0085]  $AD22/AD21 = K221(4)$  ;
- [0086]  $AD23/AD21 = K231(3)$  ;
- [0087]  $AD32/AD31 = K321(4)$  ;
- [0088]  $AD33/AD31 = K331(1)$  。
- [0089] 水蒸气粒子对应的  $K_{ij}$  值的标准区间为 :[1, 6]。
- [0090] 柴油粒子 :
- [0091]  $AD12/AD11 = K121(11)$  ;
- [0092]  $AD13/AD11 = K131(5)$  ;
- [0093]  $AD22/AD21 = K221(5)$  ;
- [0094]  $AD23/AD21 = K231(6)$  ;
- [0095]  $AD32/AD31 = K321(7)$  ;
- [0096]  $AD33/AD31 = K331(9)$  。
- [0097] 柴油粒子对应的  $K_{ij}$  值的标准区间为 :[5, 11]。



- [0098] PVC 热解粒子：
- [0099] AD12/AD11 = K121 (1) ；
- [0100] AD13/AD11 = K131 (5) ；
- [0101] AD22/AD21 = K221 (2) ；
- [0102] AD23/AD21 = K231 (6) ；
- [0103] AD32/AD31 = K321 (2) ；
- [0104] AD33/AD31 = K331 (3) 。
- [0105] PVC 热解粒子对应的  $K_{ij}$  值的标准区间为：[1, 6]。
- [0106] 木材热解粒子：
- [0107] AD12/AD11 = K121 (2) ；
- [0108] AD13/AD11 = K131 (3) ；
- [0109] AD22/AD21 = K221 (2) ；
- [0110] AD23/AD21 = K231 (4) ；
- [0111] AD32/AD31 = K321 (7) ；
- [0112] AD33/AD31 = K331 (3) 。
- [0113] 木材热解粒子对应的  $K_{ij}$  值的标准区间为：[2, 7]。

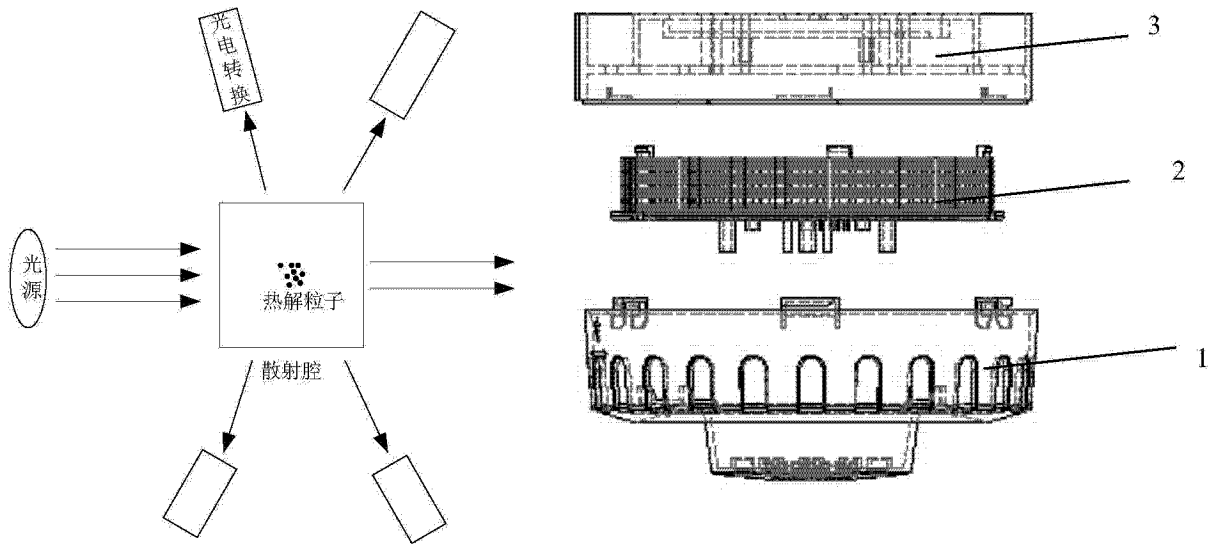


图 1

图 2

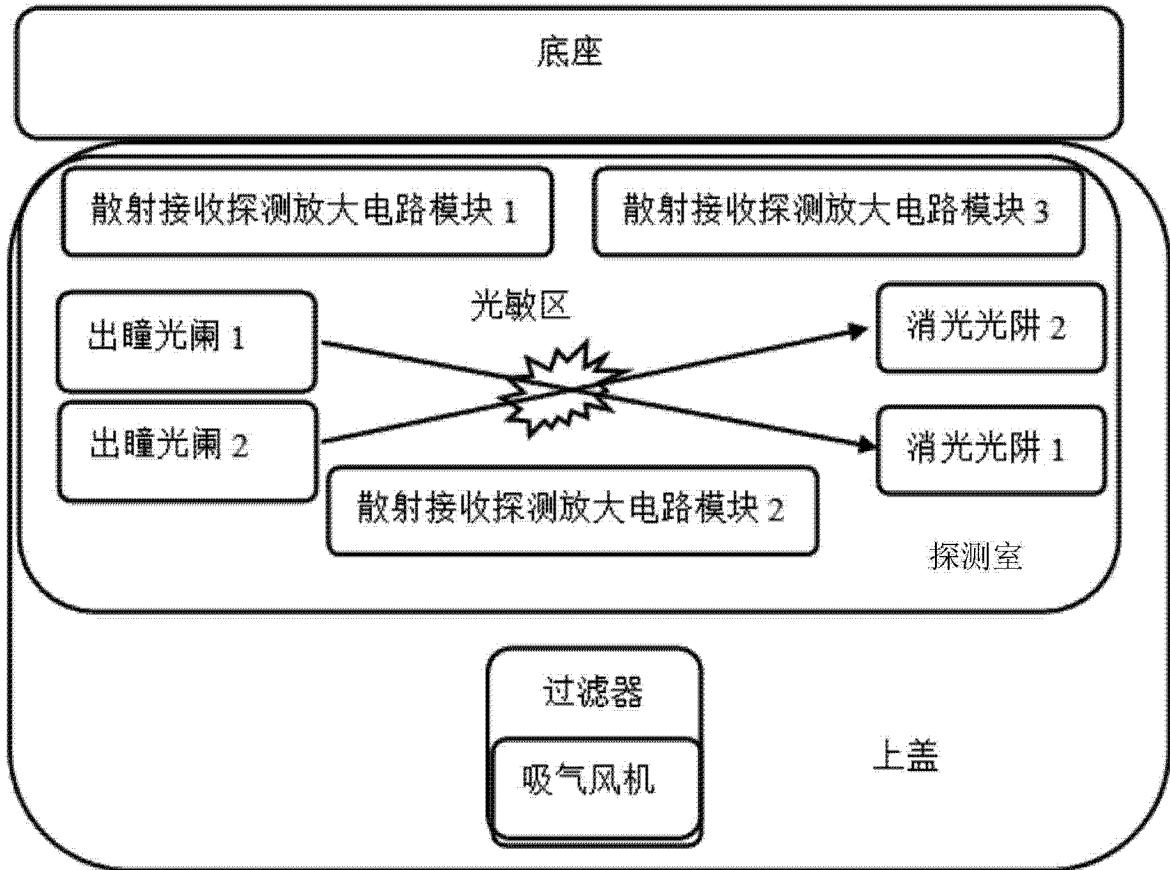


图 3

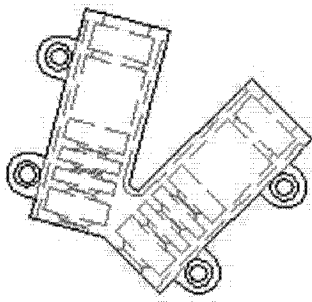


图 4

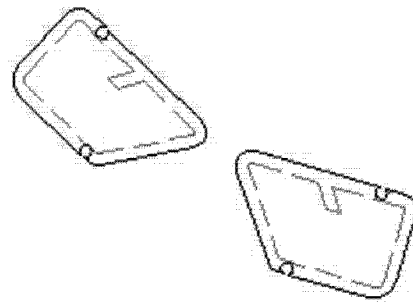


图 5

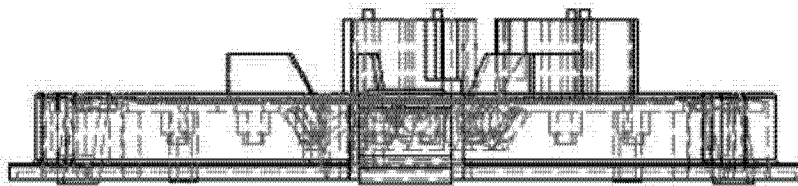


图 6

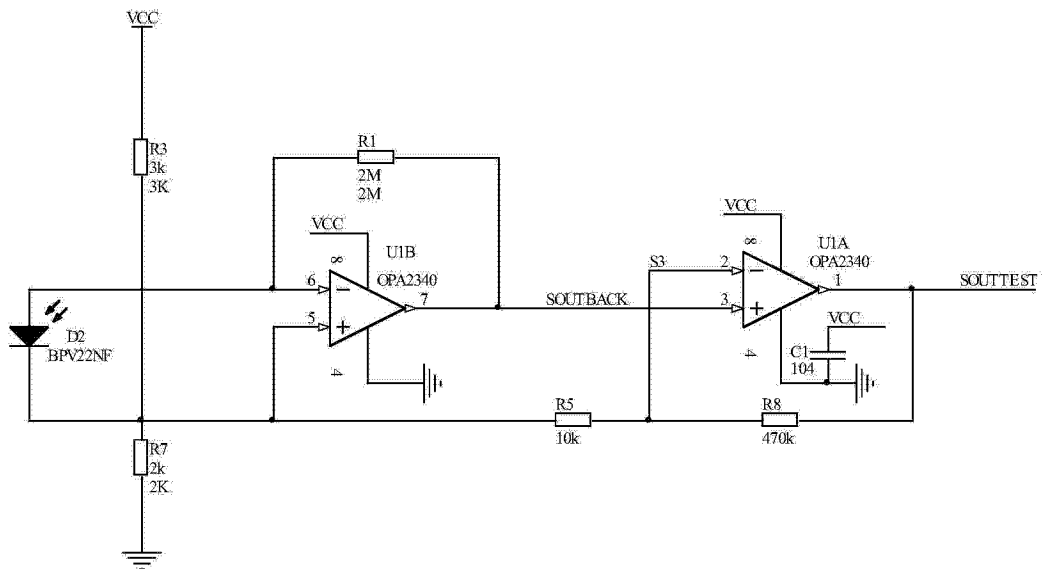


图 7