

# 实现痕量物质全谱扫描的高场不对称波形离子迁移谱仪

申请号：[201210135669.2](#)

申请日：2012-05-04

**申请(专利权)人** [中国科学院合肥物质科学研究院](#)  
**地址** [230039 安徽省合肥市科学岛合肥智能机械研究所](#)  
**发明(设计)人** [陈池来 陈然 刘有江 赵聪 王电令 孔德义](#)  
**主分类号** [H01J49/04\(2006.01\)I](#)  
**分类号** [H01J49/04\(2006.01\)I](#) [H01J49/00\(2006.01\)I](#)  
[G01N27/68\(2006.01\)I](#)  
**公开(公告)号** [102683150A](#)  
**公开(公告)日** [2012-09-19](#)  
**专利代理机构** [合肥天明专利事务所 34115](#)  
**代理人** [奚华保](#)



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102683150 A

(43) 申请公布日 2012. 09. 19

(21) 申请号 201210135669. 2

(22) 申请日 2012. 05. 04

(71) 申请人 中国科学院合肥物质科学研究院  
地址 230039 安徽省合肥市科学岛合肥智能  
机械研究所

(72) 发明人 陈池来 陈然 刘有江 赵聪  
王电令 孔德义

(74) 专利代理机构 合肥天明专利事务所 34115  
代理人 奚华保

(51) Int. Cl.  
H01J 49/04 (2006. 01)  
H01J 49/00 (2006. 01)  
G01N 27/68 (2006. 01)

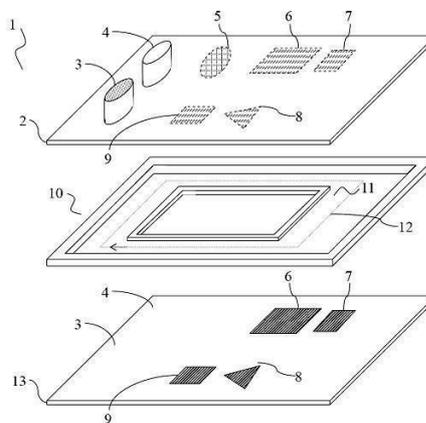
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 2 页

(54) 发明名称

实现痕量物质全谱扫描的高场不对称波形离子迁移谱仪

(57) 摘要

本发明涉及实现痕量物质全谱扫描的高场不对称波形离子迁移谱仪 (FAIMS), 包括循环式离子迁移管和测控系统, 循环式离子迁移管由包括制作了进样口、气口、离子源、分离电极、检测电极、放电电极、牵引电极的两片与内、外支撑梁密闭组合并组成环形气流通道的基片组成, 测控系统包括分离电路、检测电路、离子风电路和总控系统。待测痕量物质在进样口内气化, 经过由放电电极、牵引电极和离子风电路组成的气路系统推动沿环形气流通道做循环运动, 在离子源作用下成为离子团, 经过分离电极分离和检测电极检测, 得到完整谱图。该结构 FAIMS 能实现对痕量物质循环检测, 得到完整谱图, 满足了 FAIMS 高集成的需求、高稳定需求以及单独使用精确性需求。



1. 实现痕量物质全谱扫描的高场不对称波形离子迁移谱仪,包括测控系统和离子迁移管,其特征在于:所述离子迁移管为循环式离子迁移管,由两片镀有电极、包含离子源、气口、进样口且与支撑梁密闭连接的第一基板和第二基板组成;所述支撑梁由外支撑梁和内支撑梁构成,前者支撑于第一基板和第二基板周边,后者支撑于第一基板和第二基板中部,外支撑梁和内支撑梁之间形成环形气流通道;所述电极包括分离电极、检测电极、离子风电极;所述离子风电极包括放电电极和牵引电极,所述测控系统包括总控系统、分离检测电路、离子风电路、信号输出显示系统,所述分离检测电路、分离电极、检测电极组成分离检测系统,所述气流通道、离子风电路、离子风电极组成气路系统;所述分离电极包括大小相同方向相对的第一分离电极和第二分离电极,所述检测电极包括大小相同方向相对的第一检测电极和第二检测电极,所述放电电极包括大小相同方向相对的第一放电电极和第二放电电极,所述牵引电极包括大小相同方向相对的第一牵引电极和第二牵引电极,所述放电电极在面向牵引电极的一端为尖端状;所述第一分离电极、第一检测电极、第一放电电极和第一牵引电极镀于第一基板,所述第二分离电极、第二检测电极、第二放电电极和第二牵引电极镀于第二基板,所有电极位于气流通道之内;所述分离检测电路在分离电极、检测电极上施加分离电压、检测电压,产生分离电场、检测电场,所述离子风电路在放电电极、牵引电极上施加放电电压、牵引电压,产生放电电场、牵引电场。

2. 根据权利要求1所述的实现痕量物质全谱扫描的高场不对称波形离子迁移谱仪,其特征是:所述进样口与气口采用分开设置或合一设置。

3. 根据权利要求1所述的实现痕量物质全谱扫描的高场不对称波形离子迁移谱仪,其特征是:所述循环离子迁移管的载气包括空气、氮气、氦气二氧化碳。

4. 根据权利要求1所述的实现痕量物质全谱扫描的高场不对称波形离子迁移谱仪,其特征是:所述第一基板和第二基板的制作材料采用陶瓷、硅或玻璃,所述支撑梁制作材料采用陶瓷、硅或玻璃,所述电极为镀于基板上的金属薄层。

## 实现痕量物质全谱扫描的高场不对称波形离子迁移谱仪

[0001]

### 技术领域

[0002] 本发明涉及分析检测仪器领域,尤其涉及高场不对称波形离子迁移谱仪(FAIMS)。

### 背景技术

[0003] 高场不对称波形离子迁移谱仪(High-Field Asymmetry Ion Mobility Spectrometry, FAIMS),也被称为差分式离子迁移谱仪(Differential Mobility Spectrometry, DMS),是依据不同物质离子在高电场下离子迁移率的非线性变化不同的特性,在物质离子前进方向的纵向加上一个高低不对称波形高频电场(高场  $>10000\text{V/cm}$ , 频率  $0.5\text{MHz}\sim 20\text{MHz}$ , 高场占空比  $<0.5$ ),利用该电场对物质离子不同差分作用而将其分离的离子分离检测仪器。在分离电场上叠加一个低频变化的低电场,就可以实现对目标离子的筛选,产生该电场的电压称为补偿电压,补偿电压与离子流强度之间的关系图就是 FAIMS 谱图。实现离子分离的器件成为 FAIMS 迁移管,产生离子的器件称为离子源。FAIMS 仪器具有核心器件体积小、离子损耗小、有大的分辨率提高空间、灵敏度高、易于与其他离子检测技术联用等优点,从而在检测分析领域具有广阔的应用前景。

[0004] FAIMS 谱图的获得需要完整的补偿电压扫描,因离子通过 FAIMS 迁移管的时间一般在毫秒量级甚至更低,而补偿电压扫描时间在秒量级甚至更高,因此在进行检测时,需要有连续长时间的稳定离子流。

[0005] 痕量物质检测是包括 FAIMS 在内的所有离子迁移谱主要用途所在,而因 FAIMS 对目标检测物质的导入是通过气流带动的方式,所以痕量物质在检测时在 FAIMS 迁移管前端以及内部存在时间短,远小于 FAIMS 全谱扫描所需要的时间,因此容易出现假阴性结果。

[0006] 专利 US6815668B2 为了得到完整 FAIMS 谱图,在 FAIMS 前端加上了色谱,因色谱峰存在时间较长,在数秒至数分钟量级,大于 FAIMS 全谱扫描所需时间,因此可实现痕量物质 FAIMS 全谱扫描,这种方法是现有 FAIMS 仪器全谱扫描最常用方法。该方法有如下缺点:其一,检测时间过长。离子迁移谱优点之一在于检测时间短,一般仅数秒,而该方法中 FAIMS 全谱扫描时间与色谱对所有物质分离完时间相同,一般需要十数分钟甚至更多的时间,这牺牲了 FAIMS 的快速优点;其二,色谱本身具有分离检测功能,FAIMS 与其联用仅起到尾端分离作用,整个系统功能提高有限;其三,体积增加过大。FAIMS 优点之一在于体积小,适用于现场检测,而与色谱联用体积大大增加,牺牲了便携式优点。

[0007] 专利 US20070029477 为了得到完整 FAIMS 谱图,在 FAIMS 前端后端采用了气体循环-过滤系统,通过气泵、滤膜等器件实现了 FAIMS 对痕量物质的循环检测,获得完整谱图。该方法的缺点非常明显:其一,集成程度低。气泵、滤膜、气路接口等器件与 FAIMS 迁移管相互独立,导致了体积难以进一步减小;其二,条件控制困难。FAIMS 迁移管工作时需要温度气流控制,气泵、滤膜等器件按需更换以及隔热问题导致其很难实现低功耗的有效温控,而气泵对气流的控制很难做到非常平稳,且气泵振动在离子流检测时极易带入噪声,影

响检测精度；其三，气泵、滤膜长期使用易受污染，会导致 FAIMS 谱图出现干扰峰影响检测精度；其四，在检测毒品、爆炸物等凝聚态痕量物质的时候，FAIMS 迁移管需要工作于高温下，而气泵等外部器件在此条件下工作时极易损坏且挥发出各类气体，同样会出现大量干扰峰，影响甚至掩盖目标物质谱图峰。

## 发明内容

[0008] 本发明针对现有 FAIMS 痕量物质检测全谱扫描无法做到高集成、小体积、高稳定以及短时间的缺点，提出环式 FAIMS 迁移管结构，采用离子风作为气体驱动器件，实现痕量物质的循环检测，满足 FAIMS 对痕量物质全谱扫描的需求，满足 FAIMS 高集成、小体积、高稳定、快速检测的要求。

[0009] 本发明为实现其目的所采取的技术方案：实现痕量物质全谱扫描的高场不对称波形离子迁移谱仪，包括测控系统和离子迁移管，所述离子迁移管为循环式离子迁移管，由两片镀有电极、包含离子源、气口、进样口且与支撑梁密闭连接的第一基板和第二基板组成；所述支撑梁由外支撑梁和内支撑梁构成，前者支撑于第一基板和第二基板周边，后者支撑于第一基板和第二基板中部，外支撑梁和内支撑梁之间形成环形气流通道；所述电极包括分离电极、检测电极、离子风电极；所述离子风电极包括放电电极和牵引电极，所述测控系统包括总控系统、分离检测电路、离子风电路、信号输出显示系统，所述分离检测电路、分离电极、检测电极组成分离检测系统，所述气流通道、离子风电路、离子风电极组成气路系统；所述分离电极包括大小相同方向相对的第一分离电极和第二分离电极，所述检测电极包括大小相同方向相对的第一检测电极和第二检测电极，所述放电电极包括大小相同方向相对的第一放电电极和第二放电电极，所述牵引电极包括大小相同方向相对的第一牵引电极和第二牵引电极，所述放电电极在面向牵引电极的一端为尖端状；所述第一分离电极、第一检测电极、第一放电电极和第一牵引电极镀于第一基板，所述第二分离电极、第二检测电极、第二放电电极和第二牵引电极镀于第二基板，所有电极位于气流通道之内；所述分离检测电路在分离电极、检测电极上施加分离电压、检测电压，产生分离电场、检测电场，所述离子风电路在放电电极、牵引电极上施加放电电压、牵引电压，产生放电电场、牵引电场。

[0010] 所述进样口与气口采用分开设置或合一设置。

[0011] 所述循环离子迁移管的载气包括空气、氮气、氦气二氧化碳。

[0012] 所述第一基板和第二基板的制作材料采用陶瓷、硅或玻璃，所述支撑梁制作材料采用陶瓷、硅或玻璃，所述电极为镀于基板上的金属薄层。

[0013] 本发明的工作原理：离子风电极在离子风电路作用下产生定向离子电子流，带动气体分子定向运动，在气流通道内产生运动气流，起到气泵的作用，气态样品或者经过进样口气化的固态样品，在气路系统带动下进入循环离子迁移管，气口关闭，样品在循环离子迁移管内循环运动，在离子源作用下产生目标离子，目标离子经过分离检测系统分离检测，获得完整 FAIMS 谱图。

[0014] 本发明提出循环离子迁移管结构，用循环方式实现 FAIMS 全谱扫描，具有以下有益效果：

1. 可实现凝聚态痕量物质的全谱扫描检测，高场不对称波形离子迁移谱仪在检测凝聚态痕量物质时因被测物质通过离子迁移管的时间远小于全谱扫描检测时间，所以需要循

环检测,而气泵抽气系统因本身的结构复杂、体积大、难以高温下工作从而无法实现循环检测,本发明中基于离子风抽气系统的凝聚态痕量物质全谱扫描检测方法利用离子风抽气系统的结构简单、高集成度可实现气流循环,从而实现凝聚态痕量物质全谱扫描检测。

[0015] 2. 具有高的集成度和稳定性,本发明用离子风替代气泵抽气系统,将气路系统集成于循环离子迁移管,一方面极大减小了 FAIMS 整机体积,另一方面消除了气泵振动导致的弱电流检测噪音,提高了 FAIMS 稳定性。

[0016] 3. 可实现 FAIMS 单独使用的高精确性,不与色谱联用的 FAIMS 在对痕量物质进行检测时,会因扫描检测时间远大于痕量物质在离子迁移管内停留时间而导致假阴性,本发明可实现 FAIMS 对痕量物质的循环检测,从而实现 FAIMS 全谱扫描,避免了假阴性,提高了 FAIMS 单独使用的精确性。

### 附图说明

[0017] 图 1 为本发明的循环式离子迁移管爆炸示意图;

图 2 为本发明完整剖面结构示意图;

图 3 为本发明的循环式离子迁移管俯视示意图;

### 具体实施方式

[0018] 下面结合附图对本发明的实施例作进一步解释。

[0019] 参见图 1-3,图中,1 为循环离子迁移管;2 为第一基板;3 为进样口;4 为气口;5 为离子源;6 为分离电极;7 为检测电极;8 为放电电极;9 为牵引电极;10 为外支撑梁;11 为内支撑梁;12 为气流通道;13 为第二基板;14 为分离电路;15 为检测电路;16 为离子风电路;17 为总控系统;18 为痕量待测物质。

[0020] 第一基板 2 和第二基板 13 材料包括陶瓷、玻璃、硅片;外支撑梁 10 和内支撑梁 11 材料包括陶瓷、玻璃、硅片,二者厚度相同,厚度从 50 微米到 2 毫米;第一基板 2、第二基板 13、外支撑梁 10 和内支撑梁 11 通过键合、机械压迫、粘合等方式形成环形气流通道 12;进样口 3 为痕量待测物质 18 接入口,具有开关及加热气化功能;气口 4 为气道进出口,具有开关功能,可连接环境空气、洁净空气、氮气、二氧化碳、氦气等;离子源 5 包括放电离子源、辐射离子源、光离子源;分离电极 6、检测电极 7、放电电极 8、牵引电极 9 皆为一对对称电极,包括制作于第一基板 2 上的第一分离电极、第一检测电极、第一放电电极、第一牵引电极和制作于第二基板 13 上的第二分离电极、第二检测电极、第二放电电极、第二牵引电极,分离电极 6 上由分离电路 14 加有分离电压,在其中产生分离电场,分离电场峰值大小从 10000V/cm 到 40000V/cm,检测电极 7 由检测电路 15 加有检测电压,并产生弱电流由检测电路 15 检测到,放电电极 8 和牵引电极 9 上有离子风电路 16 加有高电压,该电压导致电极放电并产生离子定向运动,电场大小大于 40000V/cm,分离电极 6、检测电极 7、分离电路 14、检测电路 15 构成分离检测系统,实现对物质离子的分离检测,放电电极 8、牵引电极 9、离子风电路 16 构成气路系统,实现环形气流通道的气流运动;总控系统 17 实现对分离电路 14、检测电路 15、离子风电路 16 的整体控制。

[0021] 载气种类与循环离子迁移管工作模式有关,采用环境空气时,待测痕量物质 18 在进样口 3 作用下成为气态物质,进样口 3 关闭,气口 4 关闭,气路系统开始运行,携带痕量物

质 18 的载气在循环离子迁移管内循环流动,流动速度由离子风电路控制,离子源 5 和分检测系统开始工作,实现对待测物质 18 的离子化,分离检测系统开始工作,实现对目标离子的分离检测,获取完整 FAIMS 谱图,同时分离电路 14 对分离电压进行改变,获取不同分离电压下的 FAIMS 谱图,寻找最优化分离检测条件,总控系统 17 通过 FAIMS 谱图实现对待测痕量物质 18 的检测分析。采用洁净空气、氮气、氦气、二氧化碳等气体时,待测痕量物质 18 进入进样口 3,从气口 4 入气,从进样口 3 出气,将残留环境气体排空后进样口 3、气口 4 关闭,气路系统开始运行,携带痕量物质 18 的载气在循环离子迁移管内循环流动,流动速度由离子风电路控制,离子源 5 和分检测系统开始工作,实现对待测物质 18 的离子化,分离检测系统开始工作,实现对目标离子的分离检测,获取完整 FAIMS 谱图,同时分离电路 14 对分离电压进行改变,获取不同分离电压下的 FAIMS 谱图,寻找最优化分离检测条件,总控系统 17 通过 FAIMS 谱图实现对待测痕量物质 18 的检测分析。

[0022] 采用环境气体作为载气时,气口 4 和进样口 3 可以合二为一,待测痕量物质 18 进入进样口 3,完成后关闭,气路系统开始运行,携带痕量物质 18 的载气在循环离子迁移管内循环流动,流动速度由离子风电路控制,离子源 5 和分检测系统开始工作,实现对待测物质 18 的离子化,分离检测系统开始工作,实现对目标离子的分离检测,获取完整 FAIMS 谱图,同时分离电路 14 对分离电压进行改变,获取不同分离电压下的 FAIMS 谱图,寻找最优化分离检测条件,总控系统 17 通过 FAIMS 谱图实现对待测痕量物质 18 的检测分析。

[0023] 本发明采用环式 FAIMS 迁移管结构,满足 FAIMS 对痕量物质全谱扫描的需求,满足 FAIMS 高集成、小体积、高稳定、快速检测的要求。

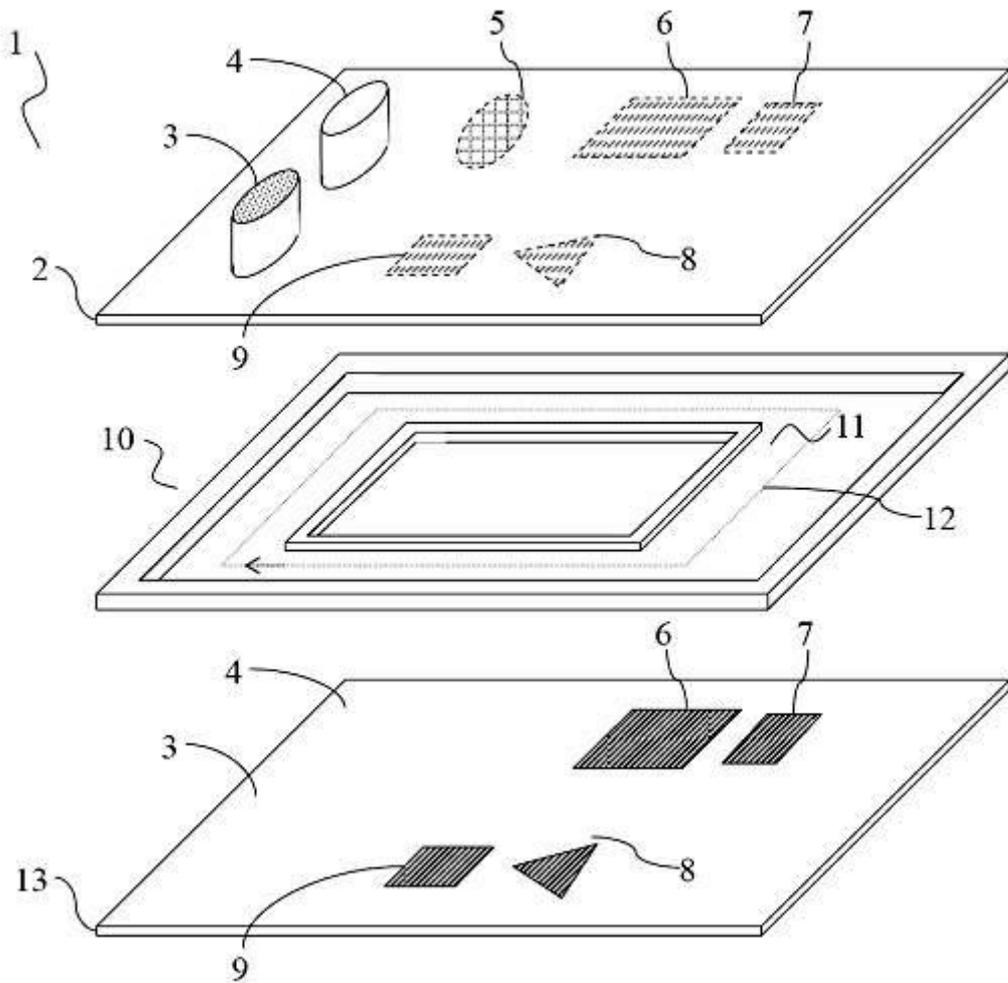


图 1

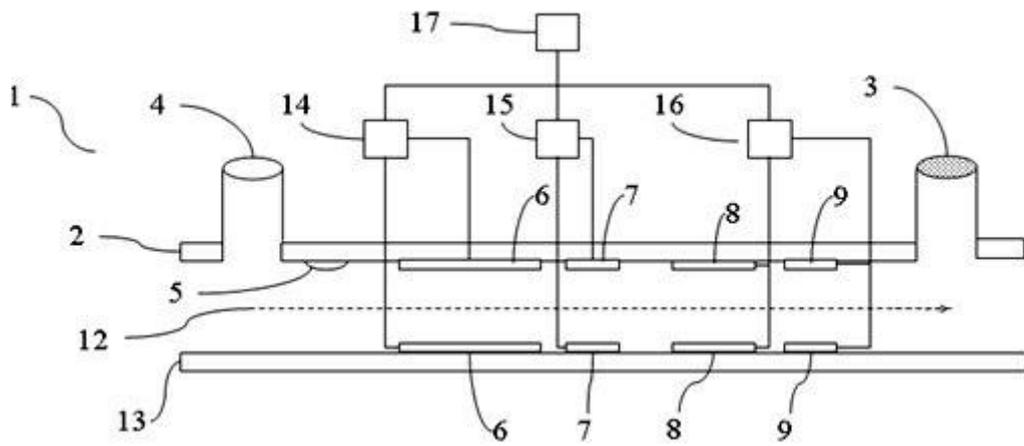


图 2

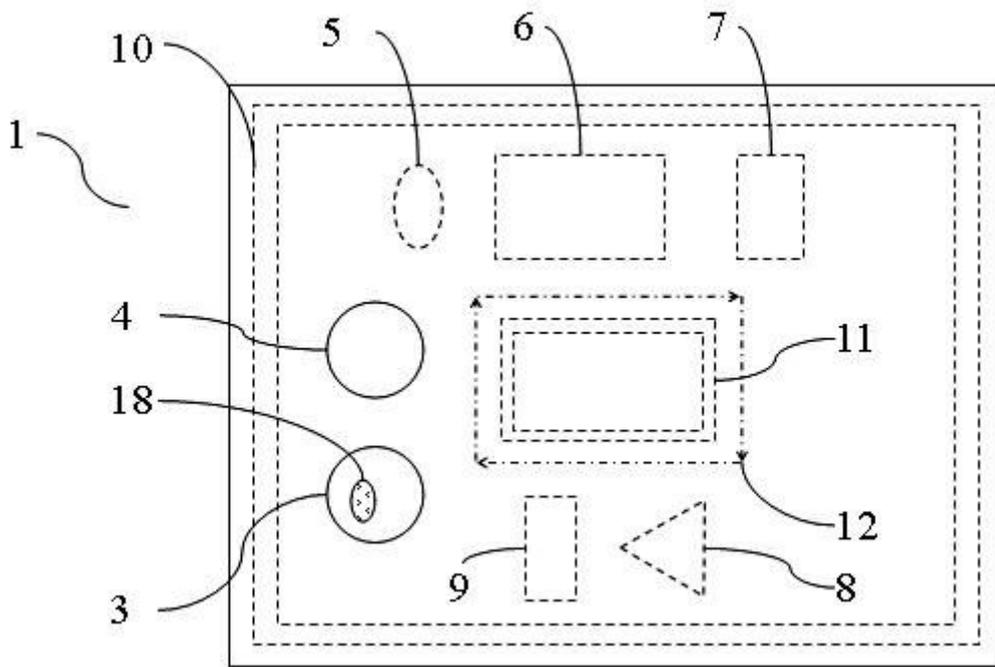


图 3