

一种小型化FAIMS测控系统

申请号：[201220189404.6](#)

申请日：2012-04-28

申请(专利权)人 [中国科学院合肥物质科学研究院](#)
地址 [230031 安徽省合肥市西郊董铺岛1130号信箱智能所](#)
发明(设计)人 [刘友江](#) [王焕钦](#) [陈然](#) [孔德义](#) [陈池来](#) [王电令](#) [赵聪](#) [高钧](#)
[殷世平](#)
主分类号 [G05B19/418\(2006.01\)I](#)
分类号 [G05B19/418\(2006.01\)I](#)
公开(公告)号 [202600451U](#)
公开(公告)日 [2012-12-12](#)
专利代理机构 [合肥天明专利事务所 34115](#)
代理人 [奚华保](#)



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 202600451 U

(45) 授权公告日 2012. 12. 12

(21) 申请号 201220189404. 6

(ESM) 同样的发明创造已同日申请发明专利

(22) 申请日 2012. 04. 28

(66) 本国优先权数据

201120530035. 8 2011. 12. 19 CN

(73) 专利权人 中国科学院合肥物质科学研究院

地址 230031 安徽省合肥市西郊董铺岛

1130 号信箱智能所

(72) 发明人 刘友江 王焕钦 陈然 孔德义

陈池来 王电令 赵聪 高钧

殷世平

(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.

G05B 19/418 (2006. 01)

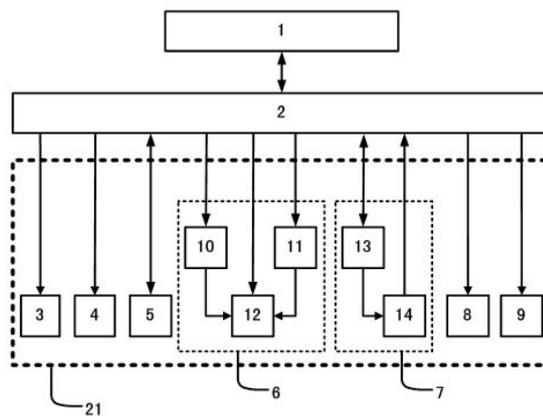
权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 3 页

(54) 实用新型名称

一种小型化 FAIMS 测控系统

(57) 摘要

本实用新型公开了一种小型化 FAIMS 测控系统,包括人机交互模块、上位机系统和测量控制电路模块。其中,测量控制电路模块包括若干子电路模块;操作人员通过上位机系统和人机交互模块提供的友好的仪器操作界面发出操作指令并观察检测结果;上位机系统与测量控制电路模块中的各子电路模块相连;各子电路模块与高场不对称波形离子迁移管中相应的器件相连,产生高场不对称波形离子迁移管用于物质成分检测所需的各种测量信号,同时高精度地检测高场不对称波形离子迁移管输出的信号。本实用新型适用于由各种工艺制作的不同尺寸的高场不对称波形离子迁移管,具有低的噪声、高的集成度、可靠性、抗干扰能力和操作快速简洁等优点。



1. 一种小型化 FAIMS 测控系统,包括人机交互模块(1)、上位机系统(2),其特征在于:所述上位机系统(2)与测量控制电路模块(31)相连接;所述测量控制电路模块(31)由若干个子模块构成,所述子模块包括常压解吸附载气流速控制电路模块(3)、常压解吸附激励电路模块(4)、温度控制电路模块(5)、射频高压产生电路模块(6)、离子电荷检测电路模块(7)、直流偏转电压产生电路模块(8)和迁移管载气流速控制电路模块(9);所述测量控制电路模块(31)的各子模块分别与常压解吸附离子源和高场不对称波形离子迁移管中相对应的器件连接;所述人机交互模块(1)通过上位机系统(2)实现对测控系统的操作,并观察检测结果。

2. 根据权利要求1所述的一种小型化 FAIMS 测控系统,其特征在于:所述的射频高压产生电路模块(6)包括射频高压幅度调节电路(10)、直流扫描电压产生电路(11)和射频升压电路(12);所述的射频升压电路(12)包括振荡器(63)、分频电路(64)、驱动电路 I (65)、反激开关电路(66)和高频功率升压变压器(67);所述的射频高压幅度调节电路(10)由数模转换电路 I (60)、放大电路 I (61)和驱动电路 II (62)构成;所述直流扫描电压产生电路(11)由数模转换电路 II (68)和放大电路 II (69)构成;所述振荡器(63)产生初始标准振荡信号,所述上位机系统(2)控制分频电路(64)进行分频,得到合适频率的方波信号,所述方波信号依次经过驱动电路 I (65)、反激开关电路(66)、高频功率升压变压器(67)产生波形不对称的射频高压信号;来自于上位机系统(2)的信号经过数模转换电路 I (60)、放大电路 I (61)、驱动电路 II (62)加载到高频功率升压变压器(67)的初级线圈上来控制波形不对称射频高压信号的幅度;来自于上位机系统(2)的信号经过数模转换电路 II (68)和放大电路 II (69)后,产生直流扫描电压,并直接加载到高频功率升压变压器(67)的次级线圈上,与波形不对称射频高压信号叠加,然后输出至高场不对称波形离子迁移管中迁移区的分离电极。

3. 根据权利要求1所述的一种小型化 FAIMS 测控系统,其特征在于:所述的离子电荷检测电路模块(7)包括精密温度补偿电路(13)和电荷检测放大电路(14);所述的精密温度补偿电路(13)包括高精度温度传感器(74)和多级精密分压电路(75);所述的电荷检测放大电路(14)包括超低噪声电流放大电路(71)、电压放大电路(72)和双向接口电路(73);来自于高场不对称波形离子迁移管中的检测电极的微弱电荷信号依次经过超低噪声电流放大电路(71)、电压放大电路(72)、双向接口电路(73)输入上位机系统(2);来自于高精度温度传感器(74)的信号经过双向接口电路(73)输入到上位机系统(2),由上位机系统(2)发出的温度控制信号经过双向接口电路(73)和多级精密分压电路(75)后加载到超低噪声电流放大电路(71),进行温度补偿;所述超低噪声电流放大电路(71)的输入偏置电流低于 25fA,噪声水平低于 $50 \text{ nV} \cdot \text{Hz}^{-1/2} @1 \text{ kHz}$,输入阻抗高于 $1 \text{ T}\Omega$ 。

4. 根据权利要求1所述的一种小型化 FAIMS 测控系统,其特征在于:所述离子电荷检测电路模块(7)的电流检测下限为 0.1pA。

5. 根据权利要求1所述的一种小型化 FAIMS 测控系统,其特征在于:所述离子电荷检测电路模块(7)整体外加金属屏蔽罩,所述屏蔽罩材料为铁磁性材料、不锈钢材料、铜或铝;所述屏蔽罩需要将所述离子电荷检测电路模块(7)整体包围,其形状采用立方体壳、圆形壳或椭圆形的封闭壳形结构;所述屏蔽罩的厚度范围为 0.1 毫米~10 毫米;所述离子电荷检测电路模块(7)中的输入信号引脚处的 PCB 板采用割板隔离。

6. 根据权利要求 1 所述的一种小型化 FAIMS 测控系统,其特征在于:所述上位机系统(2)可以采用 ARM 嵌入式平台、台式 PC 机、便携式笔记本电脑或基于通用可编程 DSP 芯片、高性能 FPGA/CPLD 芯片、专用 DSP 芯片设计的微处理器平台。

一种小型化 FAIMS 测控系统

技术领域

[0001] 本实用新型涉及对生化物质进行现场快速测定的仪器系统,具体为适用于对物质成分进行现场检测的高场不对称波形离子迁移管的小型化测控系统,属于物质成分快速检测仪器技术领域。

背景技术

[0002] 现场快速检测有毒、有害物质对医疗、环保、抢险救援以及安防等领域都具有十分重要的意义。例如:在美国 9·11 恐怖袭击以后,对各种爆炸物、生化物质和挥发性环境污染物的检测在各国引起了广泛的关注;同时,由于毒品交易和走私活动的日益猖獗,许多国家的研究机构都在积极研究对毒品的高灵敏度探测技术;另一方面,农药残留现场检测作为食品安全检测的重要组成部分,关系到人民的日常饮食安全和生命健康,但是近年来在世界范围内爆发的一系列农药残留引发的食品安全问题,如:印度毒可乐事件、香港毒菜事件、欧盟毒茶叶事件、海南毒豇豆事件等,给农药残留检测问题敲响了警钟。这些突出安全问题都使得各国对现场快速检测有毒有害物质技术提出了更加迫切的需求。

[0003] 离子迁移谱是一种大气压下离子广谱检测方法,也被称为离子淌度谱或者大气压下质谱,是利用不同物质离子在电场作用下的运动行为差别来对不同物质进行分离检测的仪器,广泛用于公共安全中的爆炸物、毒品、生化试剂的检测,工业中的挥发性气体监测,环境监测等领域。

[0004] 离子迁移谱仪按照检测原理大体分为三类,常规离子迁移谱(IMS, Ion Mobility Spectrometry),吸气式离子迁移谱(AIMS, Aspiration Ion Mobility Spectrometry)和高场不对称离子迁移谱(FAIMS, High-field Asymmetric Waveform Ion Mobility Spectrometry)。

[0005] 其中,常规离子迁移谱仪和吸气式离子迁移谱仪都是利用不同物质离子在低电场下离子迁移率不同的原理实现对不同离子的分离和鉴别。但是,常规离子迁移谱仪核心部件难以采用 MEMS 工艺制作,体积较大,阻碍了其进一步小型化的可能,且严重的离子损耗问题使得其灵敏度的进一步提高变得非常困难。吸气式离子迁移谱仪虽然结构简单,易于采用 MEMS 工艺制作,但其缺点是分辨能力相对较低,因此也一直未受到足够的重视。

[0006] 高场不对称波形离子迁移谱仪是根据不同离子在高场强(大于 10000V/cm)作用下离子迁移率的非线性变化特性不同的特性,在离子前进的方向的纵向加上一个非对称的高频、高场强交变电场,利用不同离子在该交变电场下迁移率的不同来对不同离子进行分离,同时在离子迁移管上加一个一定范围的直流扫描电压就可以获得不同离子的迁移谱图。其优点是分辨能力相对较高、与其他物质分离方法正交性高且结构简单易于微型化,将现有 MEMS 或厚膜制作工艺引入高场不对称离子迁移谱仪的研究后,研制的核心部件最小体积可达 1cm^3 ,有助于实现检测系统的小型化。

[0007] 高场不对称波形离子迁移谱仪作为一种现场快速检测技术,与传统的离子迁移谱仪相比,具有许多独特的优势,但是其现阶段存在着一些问题严重制约了其在现场检测方

面的应用。例如,常见的高场不对称波形离子迁移谱仪中的测控系统结构复杂,体积庞大,集成度低、机动性差,且其性能严重影响了高场不对称波形离子迁移谱仪的分辨能力和灵敏度。若能在保证较高分辨能力的基础上,进一步优化与高场不对称波形离子迁移管相配套的测控系统的性能、提高整个检测系统的集成度和易用性,将更有利于其成为主流的现场快速物质检测技术。

[0008] 目前,虽然高场不对称波形离子迁移谱仪的核心器件—高场不对称波形离子迁移管可用 MEMS 或厚膜工艺加工制造,具有体积小、灵敏度高等优点。然而,其正常运行必须配套有众多笨重且体积庞大的测控系统,包括离子源、高场不对称波形离子迁移管温控模块、高场不对称波形离子迁移管中迁移区波形不对称高压产生模块、微弱电流检测模块等,这不仅使得高场不对称波形离子迁移谱仪在温控精度、功率消耗和器件维护等方面存在诸多问题,同时也使得整个仪器的体积和重量难以进一步减小,严重阻碍其在现场快速检测领域的应用。

[0009] 另外,虽然高场不对称波形离子迁移管具有高的灵敏度,但是基于高场不对称波形离子迁移管搭建的高场不对称离子迁移谱仪的分辨能力和检测灵敏度与所匹配使用的测控系统的诸多性能指标有关,例如离化效率,迁移管温度,微弱电流检测能力,分离载气流速、波形不对称高压信号的频率、幅度、占空比参数,系统的电磁屏蔽设计等因素。它们所产生的影响效果虽然各不相同,但都严重制约了高场不对称离子迁移谱系统的分辨能力和灵敏度的提高。

发明内容

[0010] 针对上述传统技术所存在的不足之处,本实用新型的目的是提供一种适用于各种工艺制作的不同尺寸的高场不对称波形离子迁移管的小型化测控系统,该小型化 FAIMS 测控系统具有高集成度、高可靠性、低噪声、高抗干扰能力、低功耗、操作快速简洁等优点。本实用新型提供的小型化 FAIMS 测控系统与高场不对称波形离子迁移管结合组成的便携式高场不对称波形离子迁移谱仪具有微型化、高灵敏度、高分辨能力、高可靠性、高抗干扰能力、操作快速简便等优点,适用于爆炸物及各种生化剂探测、毒品检测、药物提取、环境污染监测、物质成分分析等场合,其中特别适用于上述场合 / 环境的现场实时检测应用。

[0011] 为实现上述目的,本实用新型采用以下技术方案:

[0012] 一种小型化 FAIMS 测控系统,包括人机交互模块、上位机系统,其特征在于:所述上位机系统与测量控制电路模块相连接;所述测量控制电路模块由若干个子模块构成,所述子模块包括常压解吸附载气流速控制电路模块、常压解吸附激励电路模块、温度控制电路模块、射频高压产生电路模块、离子电荷检测电路模块、直流偏转电压产生电路模块和迁移管载气流速控制电路模块;所述测量控制电路模块的各子模块分别与常压解吸附离子源和高场不对称波形离子迁移管中相对应的器件连接;所述人机交互模块通过上位机系统实现对测控系统的操作,并观察检测结果。

[0013] 所述的射频高压产生电路模块包括射频高压幅度调节电路、直流扫描电压产生电路和射频升压电路;所述的射频升压电路包括振荡器、分频电路、驱动电路 I、反激开关电路和高频功率升压变压器;所述的射频高压幅度调节电路由数模转换电路 I、放大电路 I 和驱动电路 II 构成;所述直流扫描电压产生电路由数模转换电路 II 和放大电路 II 构成;所

述振荡器产生初始标准振荡信号,所述上位机系统控制分频电路进行分频,得到合适频率的方波信号,所述方波信号依次经过驱动电路 I、反激开关电路、高频功率升压变压器产生波形不对称的射频高压信号;来自于上位机系统的信号经过数模转换电路 I、放大电路 I、驱动电路 II 加载到高频功率升压变压器的初级线圈上来控制波形不对称射频高压信号的幅度;来自于上位机系统的信号经过数模转换电路 II 和放大电路 II 后,产生直流扫描电压,并直接加载到高频功率升压变压器的次级线圈上,与波形不对称射频高压信号叠加,然后输出至高场不对称波形离子迁移管中迁移区的分离电极。

[0014] 所述的离子电荷检测电路模块包括精密温度补偿电路和电荷检测放大电路;所述的精密温度补偿电路包括高精度温度传感器和多级精密分压电路;所述的电荷检测放大电路包括超低噪声电流放大电路、电压放大电路和双向接口电路;来自于高场不对称波形离子迁移管中的检测电极的微弱电荷信号依次经过超低噪声电流放大电路、电压放大电路、双向接口电路输入上位机系统;来自于高精度温度传感器的信号经过双向接口电路输入到上位机系统,由上位机系统发出的温度控制信号经过双向接口电路和多级精密分压电路后加载到超低噪声电流放大电路,进行温度补偿;所述超低噪声电流放大电路的输入偏置电流低于 25fA,噪声水平低于 $50 \text{ nV} \cdot \text{Hz}^{-1/2} @1 \text{ kHz}$,输入阻抗高于 $1 \text{ T}\Omega$ 。

[0015] 所述离子电荷检测电路模块的电流检测下限为 0.1pA。

[0016] 所述离子电荷检测电路模块整体外加金属屏蔽罩,所述屏蔽罩材料为铁磁性材料、不锈钢材料、铜或铝;所述屏蔽罩需要将所述离子电荷检测电路模块整体包围,其形状采用立方体壳、圆形壳或椭圆形的封闭壳形结构;所述屏蔽罩的厚度范围为 0.1 毫米~10 毫米;所述离子电荷检测电路模块中的输入信号引脚处的 PCB 板采用割板隔离。

[0017] 所述上位机系统可以采用 ARM 嵌入式平台、台式 PC 机、便携式笔记本电脑或基于通用可编程 DSP 芯片(如 TI 公司生产的 TMS320 系列)、高性能 FPGA/CPLD 芯片(如 Altera 公司生产的 Startix 系列,Xilinx 公司生产的 Virtex 系列)或者专用 DSP 芯片等设计的微处理器平台。

[0018] 与已有技术相比,本实用新型的有益效果体现在:

[0019] 1、本实用新型提供的小型化 FAIMS 测控系统适用于各种工艺制作的不同尺寸的高场不对称波形离子迁移管;

[0020] 2、本实用新型提供的小型化 FAIMS 测控系统中的离子电荷检测电路模块包含超低噪声电流放大电路,它具有超低输入偏置电流、超低噪声、超大输入阻抗的特征。使得该测控系统中的离子电荷检测电路模块的电流检测下限达到 0.1pA。

[0021] 3、本实用新型提供的小型化 FAIMS 测控系统中的射频高压产生电路模块能产生峰峰值在 1800V 左右,占空比为 30%,频率为 1MHz 的波形非对称高压信号,使得仪器的分辨能力和灵敏度均得到较大幅度提高。同时,该波形非对称高压信号的峰峰值、占空比、频率参数均可以在一定范围内进行调节,可以针对不同的应用环境随时调节仪器的分辨能力和灵敏度。

[0022] 4、本实用新型提供的小型化 FAIMS 测控系统中的迁移管气体流速控制电路模块控制的迁移管分离载气发生器一方面为携带被测物质离子的分离载气在高场不对称波形离子迁移管中运动提供动力,另一方面控制携带被测物质离子的分离载气保持恒定的流速,提高仪器的分辨能力和灵敏度。

[0023] 5、本实用新型提供的小型化 FAIMS 测控系统具有完善的温度控制设计,离子电荷检测电路模块的精密的温度补偿电路有效地提高了仪器的检测精度;温度控制电路模块通过闭环反馈控制有效地保持高场不对称波形离子迁移管温度恒定。

[0024] 6、本实用新型提供的小型化 FAIMS 测控系统具有完善的电磁屏蔽设计,离子电荷检测电路模块采用金属壳进行屏蔽,同时测控系统中的接地端与高场不对称波形离子迁移管中的所有屏蔽电极相连,能够减少迁移区加载的高频高压电场和外界电磁场对检测区的干扰,可有效地提高谱仪的检测能力。

[0025] 7、本实用新型提供的小型化 FAIMS 测控系统可与离化效率高的常压解吸附离子源配套使用,易于实现大气压环境下凝聚态物质的快速离子化和检测。

[0026] 8、本实用新型提供的小型化 FAIMS 测控系统与高场不对称离子迁移管相结合所组成的便携式高场不对称离子迁移谱仪具有高度集成化的特点,仪器总体积仅 300 mm × 200 mm × 200 mm,具有明显的体积小、重量轻,便于携带优势。

[0027] 9、在操作控制上,本实用新型提供的小型化 FAIMS 测控系统利用上位机系统和人际交互模块实现友好的操作界面,可供操作人员选择各种功能和设置各种参数,并实时显示系统状态和检测结果。

[0028] 10、本实用新型提供的小型化 FAIMS 测控系统与高场不对称波形离子迁移管结合组成的便携式高场不对称波形离子迁移谱仪能满足各种现场快速物质检测需求,具有微型化、高灵敏度、高分辨能力、高可靠性、高抗干扰能力、操作快速简便等优点。

附图说明

[0029] 图 1 为本实用新型的结构示意图;

[0030] 图 2 为本实用新型与一种高场不对称波形离子迁移管结合组成的便携式高场不对称波形离子迁移谱仪的实施例结构示意图;

[0031] 图 3 为本实用新型中的射频高压产生电路模块示意图;

[0032] 图 4 为本实用新型中的离子电荷检测电路模块结构示意图。

[0033] 图中标号:1、人机交互模块;2、上位机系统;3、常压解吸附载气流速控制电路模块;4、常压解吸附激励电路模块;5、温度控制电路模块;6、射频高压产生电路模块;7、离子电荷检测电路模块;8、直流偏转电压产生电路模块;9、迁移管载气流速控制电路模块;10、射频高压幅度调节电路;11、直流扫描电压产生电路;12、射频升压电路;13、精密温度补偿电路;14、电荷检测放大电路;21、常压解吸附载气发生器;22、常压解吸附激励;24、温度调节执行器;25a、迁移区上分离电极;25b、迁移区下分离电极;26a、上屏蔽电极;26b、下屏蔽电极;26c、上基板外侧屏蔽电极;26d、下基板外侧屏蔽电极;27a、上检测电极;27b、下检测电极;28、迁移管分离载气发生器;31、测量控制电路模块;32、常压解吸附离子源;33、高场不对称波形离子迁移管;41、解吸附载气;42、解吸附气;43、凝聚态被测物质;44、携带被测物质离子流的分离载气;45、分离载气;51、常压解吸附离子源上基板;52、常压解吸附离子源下基板;53、高场不对称波形离子迁移管上基板;54、高场不对称波形离子迁移管下基板;60、数模转换电路 I;61、放大电路 I;62、驱动电路 II;63、振荡器;64、分频电路;65、驱动电路 I;66、反激开关电路;67、高频功率升压变压器;68、数模转换电路 II;69、放大电路 II;71、超低噪声电流放大电路;72、电压放大电路;73、双向接口电路;74、高精

度温度传感器；75、多级精密分压电路。

具体实施方式

[0034] 下面结合具体实施例，对本实用新型进行详细描述。

[0035] 如图 1 所示的一种小型化 FAIMS 测控系统的结构示意图，主要由人机交互模块 1、上位机系统 2 和测量控制电路模块 31 构成；所述测量控制电路模块 31 由七个子模块组成，分别为：常压解吸附载气流速控制电路模块 3、常压解吸附激励电路模块 4、温度控制电路模块 5、射频高压产生电路模块 6、离子电荷检测电路模块 7、直流偏转电压产生电路模块 8 和迁移管载气流速控制电路模块 9；各模块均与所述上位机系统 2 相连接，操作人员通过上位机系统 2 和人机交互模块 1 提供的友好的仪器操作界面发出操作指令并观察检查结果。

[0036] 图 2 为本实用新型与一种高场不对称波形离子迁移管结合组成的便携式高场不对称波形离子迁移谱仪的实施例结构示意图。本实施例中选用的高场不对称波形离子迁移管 33 包括温度调节执行器 24、迁移区上分离电极 25a、迁移区下分离电极 25b、上屏蔽电极 26a、下屏蔽电极 26b、上检测电极 27a、下检测电极 27b 和迁移管分离载气发生器 28；所述高场不对称波形离子迁移管 33 的离子源为常压解吸附离子源 32；所述常压解吸附离子源 32 由常压解吸附载气发生器 21 和常压解吸附激励 22 构成。

[0037] 在本实施例中，操作人员通过上位机系统 2 和人机交互模块 1 提供的友好的仪器操作界面发出操作指令，同时，上位机系统 2 控制测量控制电路模块 31 中的各个子模块执行如下操作：温度控制电路模块 5 控制高场不对称波形离子迁移管 33 中的温度调节执行器 24 以保持高场不对称波形离子迁移管 33 的温度恒定；常压解吸附载气流速控制电路模块 3 控制常压解吸附载气发生器 21 产生解吸附载气 41 并控制其流速；常压解吸附激励电路模块 4 控制常压解吸附激励 22 产生解吸附气 42；凝聚态被测物质 43 被解吸附气 42 离化后，随分离载气 45 一起合成携带被测物质离子流的分离载气 44，进入高场不对称离子迁移管 33，所述分离载气 45 在高场不对称离子迁移管 33 中运动的动力由迁移管分离载气发生器 28 提供；射频高压产生电路模块 6 输出叠加了直流扫描电压的波形不对称射频高压信号，然后加载到高场不对称波形离子迁移管 33 中的迁移区上分离电极 25a，迁移区下分离电极 25b 则接地，在迁移区形成分离电场，实现对离子的选择性分离；直流偏转电压产生电路模块 8 产生相应的直流偏转电压，并加载到高场不对称波形离子迁移管 33 中的上检测电极 27a，使得能通过迁移区的离子进入到检测极板区，并在直流偏转电压的作用下进入检测极板区；离子电荷检测电路模块 7 与高场不对称波形离子迁移管 33 中的下检测电极 27b 相连，检测到从迁移区渡越过来的离子电荷。检测结果发送到上位机系统 2；上位机系统中运行的 LabVIEW 软件对检测结果进行相应的处理，以图形化的形式在人机交互模块上实时显示，并存储检测结果的数据和谱图资料。

[0038] 所述的高场不对称波形离子迁移管 33 的制作工艺可以是 MEMS 工艺或厚膜工艺。在本实施例中，选用 MEMS 工艺制作的高场不对称离子迁移管 33 结合本实用新型提供的小型化 FAIMS 测控系统，组成一个便携式高场不对称波形离子迁移谱仪，其中集成有温度调节执行器 24、迁移区上分离电极 25a 和迁移区下分离电极 25b、上屏蔽电极 26a 和下屏蔽电极 26b、上检测电极 27a 和下检测电极 27b。该高场不对称波形离子迁移管 33 体积仅 95mm×75mm×2mm，其中，迁移区上分离电极 25a 和迁移区下分离电极 25b 长度约 15 毫米，

宽度 10 毫米,迁移区上分离电极 25a 和迁移区下分离电极 25b 间距为 0.5 毫米,形成的迁移区的长度约 15 毫米,宽度约 15 毫米,厚度约 0.5 毫米。

[0039] 如图 2 所示,在本实施例中所选用的高场不对称离子迁移管 33 有两个屏蔽电极,它能减少迁移区加载波形不对称高压信号产生的电场以及外界电磁场对检测电极的干扰;所述上屏蔽电极 26a 将迁移区上分离电极 25a 和上检测电极 27a 隔离开,下屏蔽电极 26b 将迁移区下分离电极 25b 和下检测电极 27b 隔离开;所有屏蔽电极均与所述的小型化 FAIMS 测控系统的地相连。

[0040] 所述的常压解吸附载气发生器 21 是解吸附载气产生装置,可以采用空气过滤器或小型气瓶。在本实施例中,采用小型气瓶产生解吸附载气 41。

[0041] 所述的常压解吸附激励 22 产生激励电场将解吸附载气 41 变为解吸附气 42,解吸附气 42 使凝聚态被测物质 43 离化,与分离载气 45 一起合成为携带被测物质离子流的分离载气 44,进入高场不对称波形离子迁移管 33。所述常压解吸附激励 22 可以是介质阻挡放电激励、电晕激励或射频激励。在本实施例中,采用介质阻挡放电激励作为常压解吸附激励 22。

[0042] 如图 3 所示,所述的射频高压产生电路模块 6 包括射频高压幅度调节电路 10、直流扫描电压产生电路 11 和射频升压电路 12,用于产生叠加有直流扫描电压的波形不对称射频高压信号。

[0043] 所述的射频高压产生电路模块 6 中的射频升压电路 12 产生波形不对称射频高压信号的方式如下:

[0044] 首先由振荡器 63 产生一定频率的初始标准振荡信号,然后将该标准振荡信号输入到分频电路 64,由上位机系统 2 控制分频电路 64 输出合适频率的方波信号;再将分频后的方波信号输入驱动电路 I 65,提高其幅值及带负载能力;最后将该方波信号施加到反激开关电路 66 上,控制其通断;反激开关电路 66 与高频功率升压变压器 67 相连,从高频功率升压变压器 67 输出波形不对称射频高压信号。所产生的波形不对称射频高压信号频率范围通常为 200kHz~2MHz,占空比范围为 20%~50%,峰峰值范围为 500V~2500V。

[0045] 所述的振荡器 63 可以是有源晶振、无源晶振或其它标准振荡信号发生器;所述的反激开关电路 66 可以是晶闸管 (GTO)、功率晶体管 (GTR)、功率场效应管 (Power MOSFET) 或绝缘栅双极性晶体管 (IGBT) 等。所述的高频功率升压变压器 67 的磁芯可以是 P 型、环型、RM 型、PQ 型、EE 型、EI 型、EP 型、EC 型、ETD 型或 EER 型等;所述的高频功率升压变压器 67 的磁芯材料可以为锰-锌铁氧体、镍-锌铁氧体、铜-锌铁氧体、铁粉芯、铁硅铝粉芯、高磁通量粉芯、坡莫合金粉芯等;所述的高频功率升压变压器 67 的初次级线圈匝数比范围为 1:4 ~ 1:20。在本实施例中,所述的振荡器 63 采用频率为 4 MHz 的有源晶振;所述的反激开关电路 66 选用 N 沟道功率 MOS 管;所述的高频功率升压变压器 58 的磁芯为 P 型,磁芯材料为镍-锌铁氧体,初次级线圈匝数比为 1:10;所述的射频高压产生电路模块 6 最终产生的波形不对称射频高压信号的峰峰值在 1800V 左右,占空比为 30%,频率为 1MHz。

[0046] 波形不对称射频高压信号的幅度值可以通过射频高压幅度调节电路 10 调节,具体调节方法如下:

[0047] 数模转换电路 I 60 根据上位机系统 2 发出的指令,控制放大电路 I 61 输出可调电压,所述可调电压经驱动电路 II 62 增强其带负载能力后加载到高频功率升压变压器 67

的初级线圈上,实现对波形不对称射频高压信号幅值的调节。

[0048] 所述射频高压产生电路模块 6 中的直流扫描电压产生电路 11 产生直流扫描电压信号的方式如下:

[0049] 上位机系统 2 发出的控制信号控制数模转换电路 II 68 输出 $-10\text{V} \sim +10\text{V}$ 连续变化的直流电压,经放大电路 II 69 后信号幅度得到放大,即可产生范围为 $-30\text{V} \sim +30\text{V}$ 的直流扫描电压。

[0050] 直流扫描电压产生电路 11 输出的直流扫描电压信号与射频升压电路 12 输出的波形不对称射频高压信号叠加,并施加于高场不对称波形离子迁移管 33 的迁移区上分离电极 25a 上,在迁移区产生分离电场,实现对离子的选择性分离。

[0051] 如图 4 所示,所述的离子电荷检测电路模块 7 包括精密温度补偿电路 13 和电荷检测放大电路 14。所述的电荷检测放大电路 14 的工作过程为:来自于高场不对称波形离子迁移管 33 中的下检测电极 27b 的微弱电荷信号依次经过超低噪声电流放大电路 71、电压放大电路 72、双向接口电路 73 输入上位机系统 2;

[0052] 所述的离子电荷检测电路模块 7 中的超低噪声电流放大电路 71 具有超低输入偏置电流、超低噪声和超大输入阻抗的特点;在离子电荷检测电路模块 7 的印刷电路板(PCB)制作过程中,尤其要注意输入引脚信号的漏电流及串扰效应。在本实施例中,首先对所述的离子电荷检测电路模块 7 的输入信号引脚附近的 PCB 板进行割板隔离处理;在焊接完成后,还需要对所述的离子电荷检测电路模块 7 进行超声清洗,以清除焊接时留下的汗渍、松香等污渍,最大程度地降低漏电流及串扰效应对电路性能的影响;所述超低噪声电流放大电路 71 的输入偏置电流低于 25fA ,噪声水平低于 $50\text{ nV}\cdot\text{Hz}^{-1/2}$ @1 kHz,输入阻抗高于 $1\text{ T}\Omega$;所述离子电荷检测电路模块 7 的电流检测下限可达 0.1pA 。

[0053] 所述离子电荷检测电路模块 7 中的超低噪声电流放大电路 71 对温度变化极其敏感,应对其进行温度补偿。采用的温度补偿方法为:使用高精度温度传感器 74 实时监控该模块的温度,并将该温度信号发送至上位机系统 2,上位机系统 2 将相应的温度补偿电压值信号发送到多级精密分压电路 75,经逐级分压后得到准确的温度补偿电压值,然后将准确的温度补偿电压值反馈至超低噪声电流放大电路 71 进行温度补偿。所述的高精度温度传感器 74 可以是电量式测温传感器,如热电偶,铜、铂等热电阻;集成电路温度传感器,如 AD590、DS1820 等;也可以是光电式测温传感器,如光导管、光纤等。在本实施例中,采用 LM335 集成电路温度传感器检测离子电荷检测电路模块 7 的温度,所述的多级精密分压电路 75 选用 Vishay 公司生产的 MPM 系列薄膜分压电阻,其特征为:分压比例容限为 $\pm 0.01\%$,电阻温度系数 $\pm 2\text{PPM}/^\circ\text{C}$,分压稳定度 ($\pm 0.015\%$, 2000h, $+70^\circ\text{C}$)。

[0054] 所述离子电荷检测电路模块 7 易受外界电磁场的干扰,需要进行严格的电磁屏蔽设计。在本实施例中,所述离子电荷检测电路模块 7 外加金属屏蔽罩屏蔽外界电磁场,提高离子电荷检测电路模块 7 的检测能力。

[0055] 所述离子电荷检测电路模块 7 的屏蔽罩材料可以是铁磁性材料、不锈钢材料、铜、铝等金属材料;所述屏蔽罩需要将所述离子电荷检测电路模块 7 整体包围,其形状可以是立方体壳、圆形壳、椭圆形壳等封闭壳形结构;所述屏蔽罩壁厚范围为 $0.1\text{ 毫米} \sim 10\text{ 毫米}$ 。在本实施例中,整个离子电荷检测电路模块 7 被密封在用不锈钢材料加工成的立方体壳形金属屏蔽罩内,屏蔽罩壁厚 3 毫米 ,信号连接导线采用低噪声屏蔽电缆,并尽量缩短导线的

长度以降低噪声。

[0056] 所述的人机交互模块 1 供操作人员发出操作指令并观察检测结果,人机交互模块 1 可以是台式 PC 机或便携式笔记本电脑的显示屏、键盘和鼠标,也可以是触摸显示屏。在本实施例中,采用群创公司生产的型号为 AT070TN83 的 7 寸触摸显示屏作为人机交互模块,实现了人机交互的功能,同时还省去了键盘和鼠标输入设备,减小了整个测控系统的体积。

[0057] 所述的上位机系统 2 具有高速、支持浮点运算的性能,支持实时操作系统。它负责从测量控制电路模块 31 采集数据并进行运算处理,同时还提供友好的人机交互界面。所述上位机系统 2 可以采用 ARM 嵌入式平台、台式 PC 机、便携式笔记本电脑或基于通用可编程 DSP 芯片(如 TI 公司生产的 TMS320 系列)、高性能 FPGA/CPLD 芯片(如 Altera 公司生产的 Startix 系列,Xilinx 公司生产的 Virtex 系列)或者专用 DSP 芯片等设计的微处理器平台。在本实施例中,所述上位机系统 2 是采用三星公司生产的基于 ARM 核心的 S3C2440 微处理器,运行频率为 400MHz,运行 WinCE 5.0 实时操作系统,上位机系统 2 提供的人机交互界面采用 NI 公司的 LabVIEW 软件编写,用于测控系统的控制、状态显示以及数据的采集和显示。

[0058] 本实用新型提供的小型化 FAIMS 测控系统高度集成化,其中的离子电荷检测电路模块 7 被封装在体积为 50 mm × 50 mm × 40 mm 的屏蔽壳内;射频高压产生电路模块 6 集成在一块面积为 160 mm × 110 mm 的 PCB 上;测量控制电路模块中剩余的其它子模块与上位机系统 2 一起集成在一块面积为 160 mm × 110 mm 的 PCB 上;人机交互模块采用 7 英寸触摸显示屏,并与上位机系统 2 的 PCB 板组合在一起。本实用新型提供的小型化 FAIMS 测控系统与本实施例中选用的高场不对称离子迁移管相结合所组成的便携式高场不对称离子迁移谱仪的体积仅 300 mm × 200 mm × 200 mm,具有体积小、重量轻,便于携带等优势。

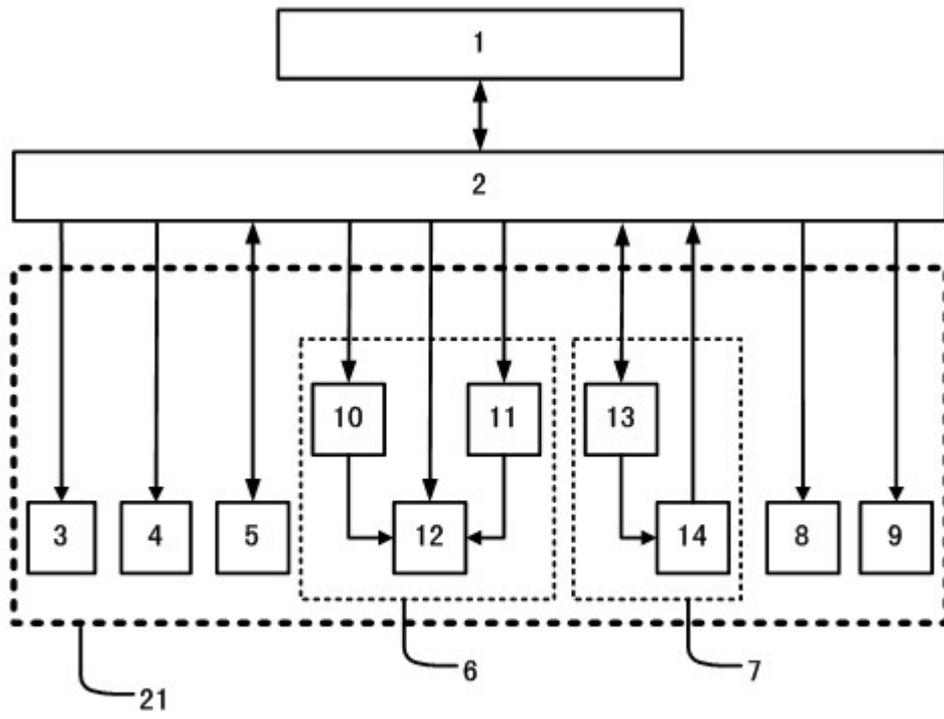


图 1

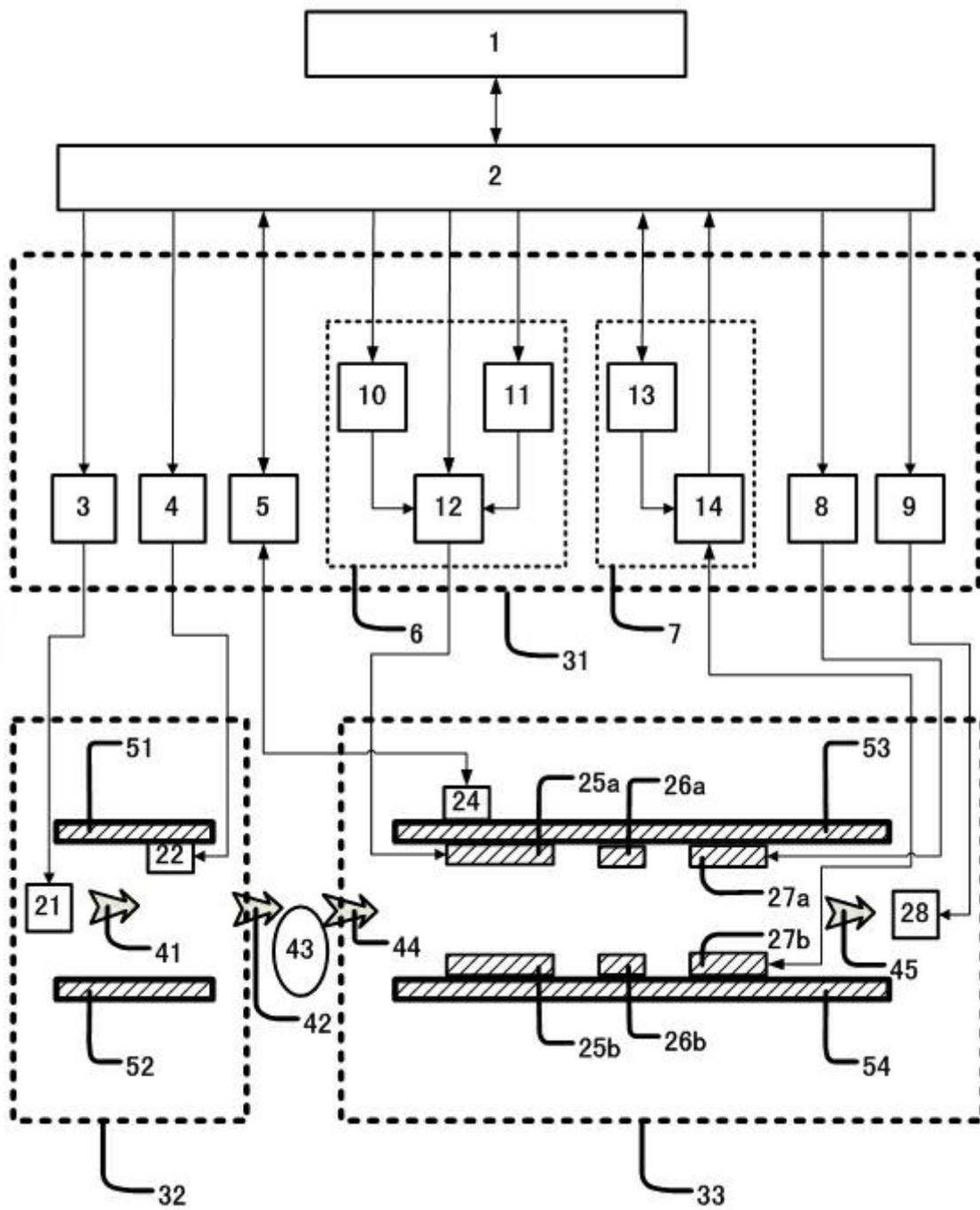


图 2

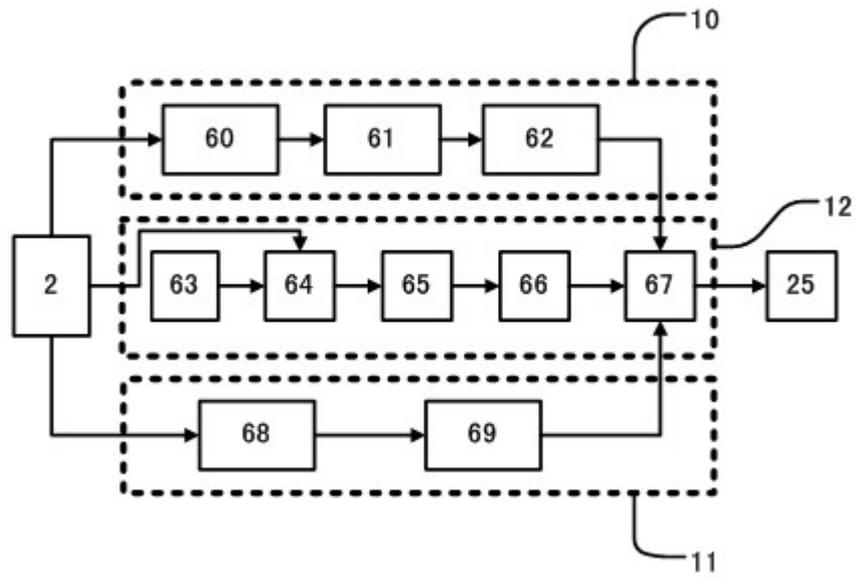


图 3

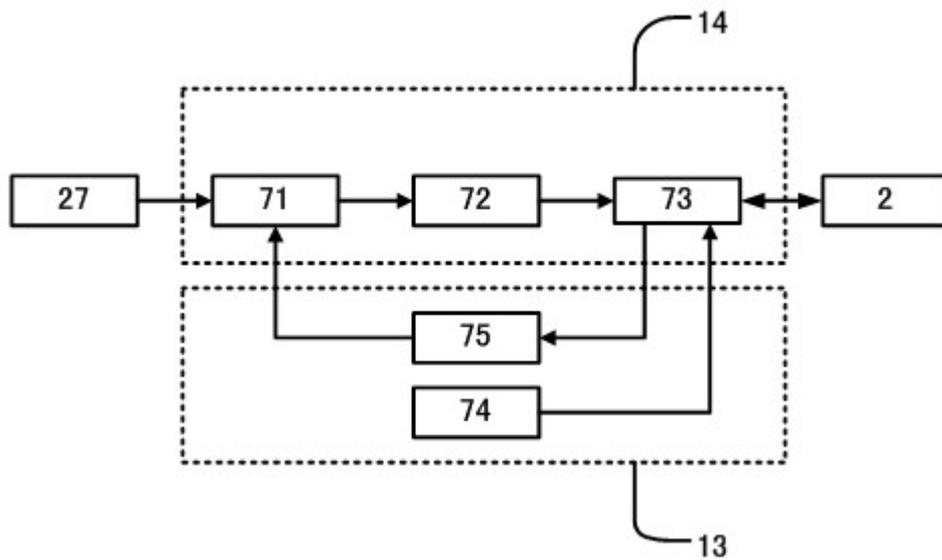


图 4