



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117772493 A

(43) 申请公布日 2024. 03. 29

(21) 申请号 202311810594.8

(22) 申请日 2023.12.27

(71) 申请人 浙江大学

地址 310000 浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号

申请人 浙江大学嘉兴研究院

(72) 发明人 高翔 姚龙超 蒋依蔚 郑成航
吴卫红 柳伟杰 周灿 张成健
杨洋 翁卫国

(74) 专利代理机构 北京国源中科知识产权代理
事务所(普通合伙) 16179
专利代理师 胡勋勋

(51) Int.Cl.

B05B 16/20 (2018.01)

G01N 27/12 (2006.01)

B01F 35/43 (2022.01)

B01F 35/45 (2022.01)

B01F 35/12 (2022.01)

B01F 35/71 (2022.01)

B01F 23/10 (2022.01)

B01F 23/40 (2022.01)

B01F 35/222 (2022.01)

B01L 9/02 (2006.01)

B05B 13/02 (2006.01)

B05D 3/02 (2006.01)

B05B 15/25 (2018.01)

G16C 60/00 (2019.01)

G16C 20/70 (2019.01)

G16C 20/80 (2019.01)

G16C 20/90 (2019.01)

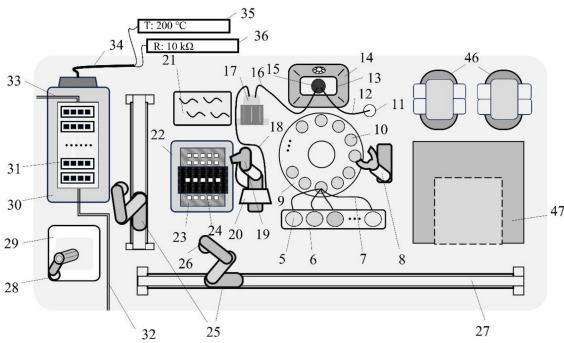
权利要求书2页 说明书9页 附图6页

(54) 发明名称

机器人辅助的气体传感材料全自动高通量筛选方法及系统

(57) 摘要

本发明公开了一种机器人辅助的气体传感材料全自动高通量筛选方法及系统,涉及气体传感技术领域。包括配液单元、喷涂老化单元、传送单元、表征测试单元和软件控制单元;该系统内部密闭,实验进程受程序控制,能在无人值守下进行自动化合成表征,批量制备不同形貌、掺杂剂、掺杂量、工作温度的气敏传感材料和传感元件,进一步对不同浓度、种类的气体进行气敏性能测试;该系统以功能模块化和平行测试的方式实现了多通道、高集成度的气体传感材料实验表征,不仅提高了工作效率,节省了时间与人力成本,还提供大批量测试环境统一的可重复实验结果,提高了实验结果的可靠性与科学性,为实现传感器的优化筛选和大规模气敏传感阵列构建提供基础。



1. 一种机器人辅助的气体传感材料全自动高通量筛选系统,包括仪器安装柜、自动化实验平台和通风系统,其特征在于:自动化实验平台包括配液单元、喷涂老化单元、传送单元、表征测试单元和软件控制单元,仪器安装柜用于安装表征测试单元所需的气体混合系统、多通道电源和多通道数据采集仪。

2. 根据权利要求1所述的机器人辅助的气体传感材料全自动高通量筛选系统,其特征在于:所述配液单元包括原料储存罐、储存罐支架、配液瓶、旋转传送盘、配液蠕动泵、原料输送管、混合瓶、旋转开合盖机构、旋涡振荡器和清洁器;所述原料储存罐为底部带旋转搅拌叶片的玻璃釜,旋转搅拌叶片用于搅拌液体防止沉淀,玻璃釜底部的阀门与对应的配液蠕动泵相连;所述配液蠕动泵为耐腐蚀的蠕动泵,液体控制精度 $\pm 0.01\text{ml}$,能够按照设置要求精确控制原液按比例混合;所述旋转传送盘能将混合瓶由配液位置传送至准备位置,也能在其它位置作为备用,具体情况能由软件进行控制;所述混合瓶置于旋涡振荡器上方,在喷涂之前对溶液再次进行搅拌。

3. 根据权利要求2所述的机器人辅助的气体传感材料全自动高通量筛选系统,其特征在于:所述配液单元首先将用于制备传感材料的液体导入若干个原料罐中,所述原料罐底部旋转搅拌叶片用于搅拌液体,防止沉淀;所述配液蠕动泵从原料罐中按照一定配比精确抽取液体至 5mL 配液瓶中,完成喷涂溶液配置,所述旋转开合盖机构自动将配液瓶子旋紧;所述旋转传送盘将待用喷涂溶液传送至准备位置,由旋转开合盖机构打开瓶盖,并将配液瓶中液体倾倒至混合瓶内,由旋涡振荡器进行搅拌混匀。

4. 根据权利要求1所述的机器人辅助的气体传感材料全自动高通量筛选系统,其特征在于:所述喷涂老化单元,包括进液导管、进液蠕动泵、出液导管、喷涂台架、丝杆模组、超声雾化器、高精度喷头、钢化玻璃窗、冲洗泵、清洁池、喷涂托片、喷涂盖板和控制电路;所述喷涂托片设置 $n \times m$ 个凹槽,用于放置待喷涂电极片或芯片;所述喷涂托片上方覆盖有喷涂盖板,根据喷涂速度进行移动,用于遮蔽除目标外的待喷涂电极片或芯片,保证每次喷涂的有效作用范围为一排;所述冲洗泵和清洁池用于每次更换喷涂溶液时对进出液导管、超声雾化器、高精度喷头进行清洗。

5. 根据权利要求4所述的机器人辅助的气体传感材料全自动高通量筛选系统,其特征在于:所述老化单元首先将混合瓶中的喷涂溶液由进出液导管输送至超声雾化器和高精度喷头进行雾化喷涂,待喷涂的芯片排布在喷涂托片的凹槽位置,喷涂托片上方有一层移动盖板,随喷涂进程进行移动,保证每次喷涂的有效范围为一排,喷涂完成后自动将连接管路转移至清水中,对管路和喷头进行三个周期的清洗,废液计入清洁池,整个过程由控制电路自动控制。

6. 根据权利要求1所述的机器人辅助的气体传感材料全自动高通量筛选系统,其特征在于:所述传送单元,包括空压机,六轴机器人,夹爪;所述空压机用于控制夹爪的开合、移动;所述六轴机器人能够进行一个自由度的移动以及三个自由度的旋转。

7. 根据权利要求6所述的机器人辅助的气体传感材料全自动高通量筛选系统,其特征在于:所述传送单元由夹爪取下喷涂盖板,并抓取喷涂完的喷涂托片及上面的电极片或芯片,平移至马弗炉中进行烘干老化,老化结束后将喷涂托片及上面的电极片或芯片传送至光学观测平台。

8. 根据权利要求1所述的机器人辅助的气体传感材料全自动高通量筛选系统,其特征

在于:表征测试单元包括单向阀、流量控制器、总控电磁阀、微米气体过滤器、气体混合器、三通阀、气路钢管、多位测试探针台、冷却系统、电极片安装基座、光学相机、光学观测平台;所述表征测试单元中各气路输出的气体在气体混合器中进行混合,并进一步通入多位测试探针台;所述多位测试探针台上设置有 $n*m$ 个通道,每一个通道连接有独立的电阻丝和热电偶接头,其引脚连接多通道供电电源,能分别控制每一路传感器的加热电压并监测实际加热温度;所述多位测试探针台上的每一个通道都有信号采集接口,连接多通道信号采集器,能分别采集每一路传感器的电阻、电压、电流信号;所述多位测试探针台上装有若干个插拔式电极片安装基座,该插拔式电极片安装基座有叉指电极片用和热板芯片用两种不同型号,能安装 $n*1$ 个电极片或微热板芯片,用于连接芯片或电极片的测量接头与多位测试探针台上通道留出的接头;所述多位测试探针台台盖与台体采用螺钉固定连接,台盖上设置有钢化玻璃窗,能够观测内部电极片的状态;所述冷却系统用于快速给探针台上的传感器降温;配气过程中每一路气体由单独的微米气体过滤器、单向阀、质量流量计监测与控制,能根据设定浓度值精确计算并控制每一路气体输出的流量,输出的气体首先在气体混合器中进行均匀混合后输出进入多位测试探针台。

9. 根据权利要求8所述的机器人辅助的气体传感材料全自动高通量筛选系统,其特征在于:所述表征测试单元首先由光学相机进行自动对焦,并对光学观测平台上的电极片进行观测与拍照记录,并由机械爪夹传送至多位探针台,进一步由机械夹爪盖上喷涂盖板,不同气路的阀门根据设定的浓度控制气体流量,气体在气体混合器中进行均匀混合后通入多位探针台,各通道传感器的响应数据由多通道数据采集仪进行采集。

10. 根据权利要求1所述的机器人辅助的气体传感材料全自动高通量筛选系统,其特征在于:软件控制单元能够对配液单元、喷涂老化单元、传送单元、表征测试单元各模块的功能进行分别控制和集中控制,并将实时进程和采集到的数据集中到可视化界面上;所述软件控制单元能够清晰直观地显示所有设定值和工艺值,且能够标记跟踪每一个配方对应的喷涂电极片或芯片,并标识其测试数据;所述软件控制单元能够对采集曲线的稳态值、响应时间、恢复时间、选定曲线积分气敏传感器标识性特征进行计算存储;所述软件控制单元具有初步数据分析功能,具有降维可视化和特征排序的基础功能,具体来说嵌入主成分分析、线性判别分析、t-SNE和Umap模块能对多维度数据进行降维,并可视化展示聚类效果,嵌入SHAP值分析、PSO、GA模块能对选定特征进行排序和筛选,用于构建高性能传感器阵列;所述软件控制单元具有数据存储和数据库构建功能,能够保存元件状态、设定值与工艺值、在线分析结果所有数据;所述软件控制单元能够将各单元工作进行联动,保证配液、喷涂、传送、表征测试部分能够自动化、连贯进行;所述软件控制单元提供警报管理功能,在运行故障时以鸣笛与图形警示方法提醒操作员;所述软件控制单元提供用户权限管理功能,提供管理员、操作员、访客三种不同权限的操作模式,保证系统操作安全。

机器人辅助的气体传感材料全自动高通量筛选方法及系统

技术领域

[0001] 本发明属于气体传感技术领域,具体来说,特别涉及机器人辅助的气体传感材料全自动高通量筛选方法及系统。

背景技术

[0002] 嗅觉对于人类的生存、生活和享受至关重要。因此,实现能够替代或超越人类嗅觉的健壮的人工嗅觉电子鼻越来越受到关注。随着文明的进步,气体传感器的数量趋于增加,以便嗅出更复杂的气味。与哺乳动物嗅觉一样,更多的传感器和更多的信号处理对于加强人工嗅觉至关重要。由于计算能力和机器学习算法的快速进步,一旦提供多样化和多功能的气体传感材料,可以超越人类嗅觉的按需高性能人工嗅觉成为必然。

[0003] 高性能的传感材料需要满足响应值高、响应-恢复时间快、选择性好、稳定性高等多维度的需求。而为了进一步设计高性能人工嗅觉电子鼻以提供不同化学物质的独特气体传感关系,我们需要更多的传感器和更多样化的传感材料。目前的气体传感器材料常采用金属氧化物半导体材料体系,近年来涌现出的诸多新兴材料体系如碳纳米管、石墨烯基材料、TMD和MXenes也受到了广泛研究。然而,传感材料的多样性仍然不足以实现具有新功能和按需功能的人工嗅觉。以经验指导为主的传统传感材料研发模式由于筛选效率低、开发周期长和易陷入局部最优解等缺点,严重制约了高性能的研发,应建立新的传感材料设计与筛选策略。

[0004] 为此,本文提出一种传感材料合成与筛选的新策略,以简单、可重复、快速、自动化的方式制备各种成分可控性高的传感材料,并通过合理的评价标准筛选出响应特征具有正交性或偏选择性的气体传感器。

发明内容

[0005] 为了克服传统传感材料研发模式的缺点,本发明建立了一种机器人辅助的气体传感材料全自动高通量筛选方法及系统,采用模块化设计思路,集成传感材料全自动制备、气敏膜微观形貌表征、温度可调气敏测试、响应数据存储分析等功能,搭建多通道、高均一性、高集成度的气敏材料实验平台,建立多种气体与响应特征数据库,筛选适用于不同应用场景的气体传感阵列。

[0006] 为了实现上述目的,本发明采用机器人辅助的气体传感材料全自动高通量筛选方法及系统。

[0007] 所述机器人辅助的气体传感材料全自动高通量筛选系统包括配液单元、喷涂老化单元、传送单元、表征测试单元和软件控制单元。

[0008] 所述机器人辅助的气体传感材料全自动高通量筛选系统自下而上包括仪器安装柜、自动化实验平台和通风系统,所述仪器安装柜用于安装表征测试单元所需的气体混合系统、多通道电源和多通道数据采集仪;

[0009] 所述自动化实验平台主要由原料储存罐、储存罐支架、原料输送管、旋转开合盖机

构、旋转传送盘、配液瓶、清洗瓶、超声雾化器、稳定器、漩涡混匀器、混合瓶、进液导管、进液蠕动泵、出液导管、高精度喷头、超声雾化器、废液池、喷涂台、喷涂托片、喷涂盖板、六轴机器人、夹爪、导轨、光学相机、光学观测平台、多位测试探针台、电极片安装基座、混合气体进气管、混合气体出气管、采集串口、多通道电源、多通道数据采集仪、空压机和马弗炉组成；自动化实验平台四周设置密闭玻璃橱窗，能通过滑动开闭；

[0010] 所述通风系统用于更新密闭玻璃橱窗内的气体，配混合气体出气管输送的废气，保护操作员人身安全。

[0011] 所述配液单元包括原料储存罐、储存罐支架、配液瓶、旋转传送盘、配液蠕动泵、原料输送管、混合瓶、旋转开合盖机构、漩涡振荡器和清洁器；

[0012] 作为优选，所述原料储存罐为底部带旋转搅拌叶片的玻璃釜，旋转搅拌叶片用于搅拌液体防止沉淀，玻璃釜底部的阀门与对应的配液蠕动泵相连；

[0013] 作为优选，所述配液蠕动泵为耐腐蚀的蠕动泵，液体控制精度 $\pm 0.01\text{ml}$ ，能够按照设置要求精确控制原液按比例混合；

[0014] 作为优选，所述配液瓶和混合瓶材质为透明玻璃，要求耐酸碱、抗腐蚀；

[0015] 作为优选，所述软件界面中能完成对原料储存罐中搅拌器的单独启停；

[0016] 作为优选，所述旋转传送盘能将混合瓶由配液位置传送至准备位置，也能在其它位置作为备用，具体情况能由软件进行控制；

[0017] 作为优选，所述混合瓶置于漩涡振荡器上方，在喷涂之前对溶液再次进行搅拌；

[0018] 作为优选，所述配液过程首先将用于制备传感材料的液体导入若干个原料罐中，所述原料罐底部旋转搅拌叶片用于搅拌液体，防止沉淀；所述配液蠕动泵从原料罐中按照一定配比精确抽取液体至 5mL 配液瓶中，完成喷涂溶液配置，所述旋转开合盖机构自动将配液瓶盖子旋紧；所述旋转传送盘将待用喷涂溶液传送至准备位置，由旋转开合盖机构打开瓶盖，并将配液瓶中液体倾倒至混合瓶内，由漩涡振荡器进行搅拌混匀。

[0019] 所述喷涂老化单元，包括进液导管、进液蠕动泵、出液导管、喷涂台架、丝杆模组、超声雾化器、高精密喷头、钢化玻璃窗、冲洗泵、清洁池、喷涂托片、喷涂盖板和控制电路；

[0020] 作为优选，所述喷涂托片设置 $n \times m$ 个凹槽，用于放置待喷涂电极片或芯片；

[0021] 作为优选，所述喷涂托片上方覆盖有喷涂盖板，根据喷涂速度进行移动，用于遮蔽除目标外的待喷涂电极片或芯片，保证每次喷涂的有效作用范围为一排；

[0022] 作为优选，所述冲洗泵和清洁池用于每次更换喷涂溶液时对进出液导管、超声雾化器、高精密喷头进行清洗；

[0023] 作为优选，所述喷涂老化单元首先将混合瓶中的喷涂溶液由进出液导管输送至超声雾化器和高精密喷头进行雾化喷涂，待喷涂的芯片排布在喷涂托片的凹槽位置，喷涂托片上方有一层移动盖板，随喷涂进程进行移动，保证每次喷涂的有效范围为一排，喷涂完成后自动将连接管路转移至清水中，对管路和喷头进行三个周期的清洗，废液计入清洁池，整个过程由控制电路自动控制。

[0024] 所述传送单元，包括空压机，六轴机器人，夹爪；

[0025] 作为优选，所述空压机用于控制夹爪的开合、移动；

[0026] 作为优选，所述六轴机器人能够进行一个自由度的移动以及三个自由度的旋转；

[0027] 作为优选，所述传送单元由夹爪取下喷涂盖板，并抓取喷涂完的喷涂托片及上面

的电极片或芯片,平移至马弗炉中进行烘干老化,老化结束后将喷涂托片及上面的电极片或芯片传送至光学观测平台。

[0028] 所述表征测试单元,包括单向阀、流量控制器、总控电磁阀、微米气体过滤器、气体混合器、三通阀、气路钢管、多位测试探针台、冷却系统、电极片安装基座、光学相机、光学观测平台;

[0029] 作为优选,所述表征测试单元中各气路输出的气体在气体混合器中进行混合,并进一步通入多位测试探针台;

[0030] 作为优选,所述多位测试探针台上设置有 $n*m$ 个通道,每一个通道连接有独立的电阻丝和热电偶接头,其引脚连接多通道供电电源,能分别控制每一路传感器的加热电压并监测实际加热温度;

[0031] 作为优选,所述多位测试探针台上的每一个通道都有信号采集接口,连接多通道信号采集器,能分别采集每一路传感器的电阻、电压、电流信号;

[0032] 作为优选,所述多位测试探针台上装有若干个插拔式电极片安装基座,该基座有叉指电极片用和热板芯片用两种不同型号,能安装 $n*1$ 个电极片或微热板芯片,用于连接芯片或电极片的测量接头与多位测试探针台上通道留出的接头;

[0033] 作为优选,所述多位探针台台盖与台体采用螺钉固定连接,台盖上设置有钢化玻璃窗,能够观测内部电极片的状态;

[0034] 作为优选,所述冷却系统用于快速给多位测试探针台上的传感器降温;

[0035] 作为优选,所述配气单元中每一路气体由单独的微米气体过滤器、单向阀、质量流量计监测与控制,能根据设定浓度值精确计算并控制每一路气体输出的流量,输出的气体首先在气体混合器中进行均匀混合后输出进入多位测试探针台;

[0036] 作为优选,所述表征测试单元首先由光学相机进行自动对焦,并对光学观测平台上的电极片进行观测与拍照记录,并由机械爪夹传送至多位探针台,进一步由机械夹爪盖上喷涂盖板,不同气路的阀门根据设定的浓度控制气体流量,气体在气体混合器中进行均匀混合后通入多位探针台,各通道传感器的响应数据由多通道数据采集仪进行采集。

[0037] 所述软件控制单元能够对配液单元、喷涂老化单元、传送单元、表征测试单元各模块的功能进行分别控制和集中控制,并将实时进程和采集到的数据集中到可视化界面上;

[0038] 作为优选,所述软件控制单元能够清晰直观地显示所有设定值和工艺值,且能够标记跟踪每一个配方(配液方案)对应的喷涂电极片或芯片,并标识其测试数据;

[0039] 作为优选,所述软件控制单元能够对采集曲线的稳态值、响应时间、恢复时间、选定曲线积分气敏传感器标识性特征进行计算存储;

[0040] 作为优选,所述软件控制单元具有初步数据分析功能,具有降维可视化和特征排序的基础功能,具体来说嵌入主成分分析、线性判别分析、t-SNE和Umap模块能对多维度数据进行降维,并可视化展示聚类效果,嵌入SHAP值分析、PSO、GA模块能对选定特征进行排序和筛选,用于构建高性能传感器阵列;

[0041] 作为优选,所述软件控制单元具有数据存储和数据库构建功能,能够保存元件状态、设定值与工艺值、在线分析结果所有数据;

[0042] 作为优选,所述软件控制单元能够将各单元工作进行联动,保证配液、喷涂、传送、表征测试部分能够自动化、连贯进行;

[0043] 作为优选,所述软件控制单元提供警报管理功能,在运行故障时以鸣笛与图形警示方法提醒操作员;

[0044] 作为优选,所述软件控制单元提供用户权限管理功能,提供管理员、操作员、访客三种不同权限的操作模式,保证系统操作安全。

[0045] 所述机器人辅助的气体传感材料全自动高通量筛选方法,分为配液、材料喷涂老化、表征测试三部分,其中模块间的转移由传送模块实现;

[0046] 首先将原料溶液储存在原料储存罐中,由配液蠕动泵按比例将原料抽送至配液瓶中,由旋转开合盖机构将混合瓶瓶盖旋紧待用,防止溶剂蒸发,在需要取用时旋转开合盖机构将混合瓶瓶盖打开,将液体倒入混合瓶进行振荡;进一步地,将电极片或芯片放入喷涂托片上的凹槽内,并盖上喷涂盖板进行预备,并由蠕动泵将振荡瓶内液体抽取雾化,由超声精密喷头进行喷涂,喷涂完毕后由六轴机器人夹持放有电极片或芯片的喷涂托片,转移至马弗炉内烘干老化24h;老化完成后,六轴机器人从马弗炉中夹持放有电极片或芯片的喷涂托片至光学观测平台进行观测,根据实际情况记录视野信息,完毕后六轴机器人将喷涂托片上的电极片或芯片依次转移至电极片安装基座,此时电源按照设定值控制各通道加热温度,让芯片进行预热,待温度稳定后通入不同混合气体,并由数据采集仪自动采集各通道数据。

[0047] 相比于现有技术,本发明的有益效果在于:

[0048] 1、采用多腔体模块化设计思路,将传感材料全自动制备、喷涂、表征、测试等功能集成在一起并实现运行自动化,实现了多通道、高集成度的气体传感材料实验表征,减少实验人员的操作难度,节省人力资源,提高了工作效率。

[0049] 2、本发明采用计算机程序控制实验模块和转运机器人运行,降低了人工操作的随机性,且提供了均一可控的测试平台,可以提供大批量条件一致的可重复实验结果,减小实验误差,保证了实验结果的可靠性与科学性。

[0050] 3、集成了数据采集、数据分析、数据存储功能,添加常用数据分析方法模块便于对大规模数据进行对比分析,实现传感器的优化筛选,为构建大规模气敏传感阵列提供基础。

附图说明

[0051]

[0052] 图1为本发明提供的机器人辅助的气体传感材料全自动高通量筛选方法及系统的总体结构示意图;

[0053] 图2为本发明提供的机器人辅助的气体传感材料全自动高通量筛选方法及系统的主要设备布局图;

[0054] 图3为本发明提供的配液单元结构示意图;

[0055] 图4为本发明提供的配气功能实现方案示意图;

[0056] 图5为本发明提供的电极片基座结构图;

[0057] 图6为本发明提供的机器人辅助的气体传感材料全自动高通量筛选方法及系统的工作流程图;

[0058] 图7为本发明实施例2条件下采集到的不同传感器响应信号图;

[0059] 图8为本发明实施例2条件下对传感器的重要性评估排序图;

[0060] 图9为本发明实施例2条件下对传感器阵列响应数据进行降维后得到的可视化图；附图标记：

[0061] 1、通风系统；2、自动化实验平台；3、仪器安装柜；4、福马轮；5、原料储存罐；6、储存罐支架；7、原料输送管；8、旋转开合盖机构；9、旋转传送盘；10、配液瓶；11、清洗瓶；12、超声雾化器；13、稳定器；14、漩涡混匀器；15、混合瓶；16、进液导管；17、进液蠕动泵；18、出液导管；19、高精度喷头；20、超声雾化器；21、废液池；22、喷涂台；23、喷涂托片；24、喷涂盖板；25、六轴机器人；26、夹爪；27、导轨；28、光学相机；29、光学观测平台；30、多位测试探针台；31、电极片安装基座；32、混合气体进气管；33、混合气体出气管；34、采集串口；35、多通道电源；36、多通道数据采集仪；37、空气载气；38、目标气体1；39、目标气体2；40、目标气体3；41、电磁阀；42、微米气体过滤器；43、流量控制器；44、单向阀；45、气体混合器；46、空压机；47、马弗炉；48、配液蠕动泵；49、旋转搅拌叶片；50、配液导管；51、凹槽；52、电极片安装基座盖板；53、数据采集接口。

具体实施方式

[0062] 下面结合附图和具体实施例对本发明作进一步说明，但本发明所要保护的范围并不限于此。显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

[0063] 实施例1

[0064] 机器人辅助的气体传感材料全自动高通量筛选系统包括配液单元、喷涂老化单元、传送单元、表征测试单元和软件控制单元。

[0065] 参照图1，机器人辅助的气体传感材料全自动高通量筛选系统包括通风系统1、自动化实验平台2、仪器安装柜3和福马轮4。

[0066] 参照图2，自动化实验平台2主要由原料储存罐5、储存罐支架6、原料输送管7、旋转开合盖机构8、旋转传送盘9、配液瓶10、清洗瓶11、超声雾化器12、稳定器13、漩涡混匀器14、混合瓶15、进液导管16、进液蠕动泵17、出液导管18、高精度喷头19、超声雾化器20、废液池21、喷涂台22、喷涂托片23、喷涂盖板24、六轴机器人25、夹爪26、导轨27、光学相机28、光学观测平台29、多位测试探针台30、电极片安装基座31、混合气体进气管32、混合气体出气管33、采集串口34、多通道电源35、多通道数据采集仪36、空压机46和马弗炉47组成；自动化实验平台2四周设置密闭玻璃橱窗，能通过滑动开闭；

[0067] 所述仪器安装柜3用于安装所述表征测试单元所需的气体混合系统32/33、多通道电源35和多通道数据采集仪36；

[0068] 所述通风系统1用于更新密闭玻璃橱窗内的气体，配混合气体出气管33输送的废气，保护操作员人身安全。

[0069] 参照图2和图3，所述配液单元包括原液储存罐5、储存罐支架6、原料输送管7、旋转传送盘9、配液瓶10、配液蠕动泵48、旋转搅拌叶片49、配液导管50、混合瓶15、旋转开合盖机构8和漩涡振荡器14；

[0070] 作为优选，所述原料储存罐5为底部带旋转搅拌叶片49的玻璃釜，旋转搅拌叶片49用于搅拌液体防止沉淀，玻璃釜底部的阀门与对应的配液蠕动泵48相连；

[0071] 作为优选,所述配液蠕动泵48为耐腐蚀的蠕动泵,液体控制精度+0.01mL,能够按照设置要求精确控制原液按比例混合;

[0072] 作为优选,所述配液瓶10和混合瓶15材质为透明玻璃,要求耐酸碱、抗腐蚀;

[0073] 作为优选,所述软件界面中能完成对原料储存罐5中搅拌器的单独启停;

[0074] 作为优选,所述旋转传送盘9能将混合瓶15由配液位置传送至准备位置,也能在其它位置作为备用,具体情况能由软件进行控制;

[0075] 作为优选,所述混合瓶15置于漩涡振荡器14上方,在喷涂之前对溶液再次进行搅拌;

[0076] 作为优选,所述配液过程首先将用于制备传感材料的液体导入若干个原料罐5中,所述原料罐5底部旋转搅拌叶片49用于搅拌液体,防止沉淀;所述配液蠕动泵48从原料罐5中按照一定配比精确抽取液体至5mL配液瓶10中,完成喷涂溶液配置,所述旋转开合盖机构8自动将配液瓶10盖子旋紧;所述旋转传送盘9将待用喷涂溶液传送至准备位置,由旋转开合盖机构8打开瓶盖,并将配液瓶10中液体倾倒入混合瓶15内,由漩涡振荡器14进行搅拌均匀。

[0077] 所述喷涂老化单元,包括进液导管16、进液蠕动泵17、出液导管18、喷涂台架22、丝杆模组、超声雾化器12、高精度喷头19、钢化玻璃窗、冲洗泵、清洁池、喷涂托片23、喷涂盖板24和控制电路;

[0078] 作为优选,所述喷涂托片23设置 $n*m$ 个凹槽,用于放置待喷涂电极片或芯片;

[0079] 作为优选,所述喷涂托片23上方覆盖有喷涂盖板24,根据喷涂速度进行移动,用于遮蔽除目标外的待喷涂电极片或芯片,保证每次喷涂的有效作用范围为一排;

[0080] 作为优选,所述清洗泵和清洁池用于每次更换喷涂溶液时对进液导管16、出液导管18、超声雾化器12、高精度喷头19进行清洗;

[0081] 作为优选,所述喷涂老化过程首先将混合瓶15中的喷涂溶液由进液导管16、出液导管18输送至超声雾化器12和高精度喷头19进行雾化喷涂,待喷涂的芯片排布在喷涂托片23的凹槽位置,喷涂托片23上方有一层移动改板,随喷涂进程进行移动,保证每次喷涂的有效范围为一排,喷涂完成后自动将连接管路转移至清水中,对管路和喷头进行三个周期的清洗,废液计入清洁池,整个过程由控制电路自动控制。

[0082] 所述传送单元,包括空压机46,六轴机器人25,夹爪26;

[0083] 作为优选,所述空压机46用于控制夹爪26的开合、移动;

[0084] 作为优选,所述六轴机器人25能够进行一个自由度的移动以及三个自由度的旋转;

[0085] 作为优选,所述传送过程由夹爪26夹取下喷涂盖板,并抓取喷涂完的喷涂托片23及上面的电极片或芯片,平移至马弗炉47中进行烘干老化,老化结束后将喷涂托片23及上面的电极片或芯片传送至光学观测平台29。

[0086] 所述表征测试单元,包括单向阀44、流量控制器43、总控电磁阀41、微米气体过滤器42、气体混合器45、多位测试探针台30、电极片安装基座31、光学相机28、光学观测平台29;

[0087] 参照图4,所述表征测试单元中空气载气37、目标气体138、目标气体239、目标气体340共计4路气路输出的气体在气体混合器45中进行混合,并进一步通入多位测试探针台

30;所述多位测试探针台30上设置有 $n*m$ 个通道,每一个通道连接有独立的电阻丝和热电偶接头,其引脚连接多通道供电电源35,能分别控制每一路传感器的加热电压并监测实际加热温度;所述多位测试探针台30上的每一个通道都有信号采集接口,连接多通道信号采集仪36,能分别采集每一路传感器的电阻、电压、电流信号;所述多位测试探针台30上装有若干个插拔式电极片安装基座31;所述多位探针台30台盖与台体采用螺钉固定连接,台盖上设置有钢化玻璃窗,能够观测内部电极片的状态;设置冷却系统用于快速给探针台上的传感器降温;

[0088] 参照图5,插拔式电极片安装基座31包含 $n*1$ 个凹槽51,和卡扣式电极片安装基座盖板52,针对每一个电极片都留有数据采集接口53;

[0089] 作为优选,所述配气过程中每一路气体由单独的微米气体过滤器42、单向阀44、流量控制器43监测与控制,能根据设定浓度值精确计算并控制每一路气体输出的流量,输出的气体首先在气体混合器45中进行均匀混合后输出进入多位探针台30;

[0090] 所述表征测试过程首先由光学相机28进行自动对焦,并对光学观测平台29上的电极片进行观测与拍照记录,并由机械爪夹26传送至多位探针台30,进一步由机械夹爪26盖上喷涂盖板24,不同气路的阀门根据设定的浓度控制气体流量,气体在气体混合器中进行均匀混合后通入多位探针台30,各通道传感器的响应数据由多通道数据采集仪36进行采集;

[0091] 参照图6,所述软件控制单元能够对配液单元、喷涂老化单元、传送单元、表征测试单元各模块的功能进行分别控制和集中控制,并将实时进程和采集到的数据集中到可视化界面上;

[0092] 作为优选,所述软件控制单元能够清晰直观地显示所有设定值和工艺值,且能够标记跟踪每一个配方(配液方案)对应的喷涂电极片或芯片,并标识其测试数据;

[0093] 作为优选,所述软件控制单元能够对采集曲线的稳态值、响应时间、恢复时间、选定曲线积分气敏传感器标识性特征进行计算存储;

[0094] 作为优选,所述软件控制单元具有初步数据分析功能,具有降维可视化和特征排序的基础功能,具体来说嵌入主成分分析、线性判别分析、t-SNE和Umap模块能对多维度数据进行降维,并可视化展示聚类效果,嵌入SHAP值分析、PSO、GA模块能对选定特征进行排序和筛选,用于构建高性能传感器阵列;

[0095] 作为优选,所述软件控制单元具有数据存储和数据库构建功能,能够保存元件状态、设定值与工艺值、在线分析结果所有数据;

[0096] 作为优选,所述软件控制单元能够将各单元工作进行联动,保证配液、喷涂、传送、表征测试部分能够自动化、连贯进行;

[0097] 作为优选,所述软件控制单元提供警报管理功能,在运行故障时以鸣笛与图形警示方法提醒操作员;

[0098] 作为优选,所述软件控制单元提供用户权限管理功能,提供管理员、操作员、访客三种不同权限的操作模式,保证系统操作安全。

[0099] 所述机器人辅助的气体传感材料全自动高通量筛选方法,分为配液、材料喷涂老化、表征测试三部分,其中模块间的转移由传送模块实现;

[0100] 首先将原料溶液储存在原料储存罐5中,由进样蠕动泵48按比例将原料抽送至配

液瓶10中,由旋转开合机构8将混合瓶15瓶盖旋紧待用,防止溶剂蒸发,在需要取用时旋转开合盖机构8将混合瓶15瓶盖打开,将液体倒入混合瓶15进行振荡;进一步地,将电极片或芯片放入喷涂托片23上的凹槽内,并盖上喷涂盖板24进行预备,并由进样蠕动泵将振荡瓶内液体抽取雾化,由超声精密喷头进行喷涂,喷涂完毕后由六轴机器人25夹持放有电极片或芯片的喷涂托片23,转移至马弗炉47内烘干老化24h;老化完成后,六轴机器人25从马弗炉47中将持放有电极片或芯片的喷涂托片23至光学观测平台29进行观测,根据实际情况记录视野信息,完毕后六轴机器人25将喷涂托片23上的电极片或芯片依次转移至电极片安装基座52,此时电源按照设定值控制各通道加热温度,让芯片进行预热,待温度稳定后通入不同混合气体,并由数据采集仪36自动采集各通道数据。

[0101] 实施例2

[0102] 下面结合一种具体的金属氧化物气敏传感器作为筛选实例对实施例1所述的方法、系统及装置的操作过程与装置功能进行验证。

[0103] 气敏传感器的配方选用 WO_3 , In_2O_3 , SnO_2 纳米颗粒分别负载1wt%, 2wt%, 3wt%的Pt和1wt%, 2wt%, 3wt%的Ru。首先将配置好的纳米颗粒溶于乙醇中,并将配置好的 SnO_2 溶液、 WO_3 溶液、 In_2O_3 溶液、 H_2PtCl_6 溶液、 RuCl_3 溶液分别装入原料存储罐,根据计算配比输入软件平台,由配液蠕动泵将对应比例的液体依次输送入配液瓶中,旋转开合盖机构将瓶盖旋紧待用。旋转传送盘将配液瓶转至特定位置,旋转开合盖机构将瓶盖打开,依次抓取配液瓶,并将液体导入混合瓶中。漩涡振荡器带动稳定器快速振荡,将混合瓶中液体混匀。

[0104] 混匀后进样蠕动泵开始工作,混合瓶中液体经进出液导管进入超声雾化器物化。54个空白叉指电极片放在18*3的喷涂托片凹槽中,上面放有喷涂盖板。高精度喷头将液体准确地喷涂在第一行3个电极片上,即每种材料重复喷涂3个样品。由清洗泵抽取清水进入混合瓶振荡,并进入进出液导管与超声雾化器、高精度喷头循环清洗3次,清洗废液倒入清洗池。以此为一次液体喷涂进行循环。进一步抽取不同负载量和底物的液体,控制喷涂托片移动一行进行第2行、第3行直至第18行电极片的喷涂。

[0105] 完成54个电极片的喷涂后,由六轴机器人取下喷涂盖板,并夹取喷涂托片放入马弗炉内进行24h烘干老化。

[0106] 老化结束后,由六轴机器人夹取马弗炉中的喷涂托片并传送至光学观测平台进行观测,通过自动对焦功能观察54个电极片的喷涂情况。此时启动多位探针台的温度控制功能进行预热,设置同一种材料的3个电极片在200℃、250℃、300℃下工作。温度稳定后,由六轴机器人依次抓取电极片放入电极片安装基座,并盖上探针台台盖。在空气载气位置接入空气,在目标气体位置先后接入恶臭气体A、B、C、D,并分别配置混合气,通入多位探针台进行测试,获得每个通道传感器的响应信号。如图7所示是不同传感器针对浓度为10ppm气体A的稳态响应值,其中响应值定义为传感器在空气种的电阻与在待测气体中的电阻之比(R_a/R_g),分析可知,S13(1wt%Pt- WO_3 ;200℃)传感器对气体A的敏感性最强,达到了20,是最好的A气体传感器。

[0107] 运用软件上的数据分析功能,采用线性判别分析方法对得到的数据进行降维,可视化图片如图8所示,说明由18种不同材料在3种不同工作温度下组成的54个传感器阵列能够显著区分4种不同的恶臭气体,各气敏传感器具有良好的正交性。进一步采用遗传算法模块对传感器的性能进行评价,最终得到以选择次数为标准的重要性排序如图9所示,选择次

数最多的S13(1wt %Pt-WO₃;200℃),S36(3wt %Ru-WO₃;250℃),S32(2wt %Pt-WO₃;250℃),S2(2wt %Pt-SnO₂;200℃),S10(1wt %Ru-In₂O₃;200℃),S30(3wt %Ru-In₂O₃;250℃)传感器性能较优,由这些传感器组件形成的阵列能够对A、B、C、D四种恶臭气体起到非常好的区分作用。

[0108] 以上结合实施例对本发明进行了详细说明,但所述内容仅为本发明的具体实施方式,但并不能因此而理解为对本发明专利范围的限制。应当指出的是,对于本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,凡依本发明申请范围所做出的若干变形与改进等,均应仍属于本发明的专利涵盖范围之内。

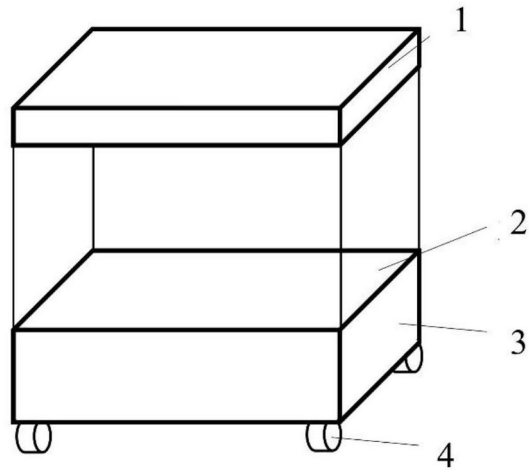


图1

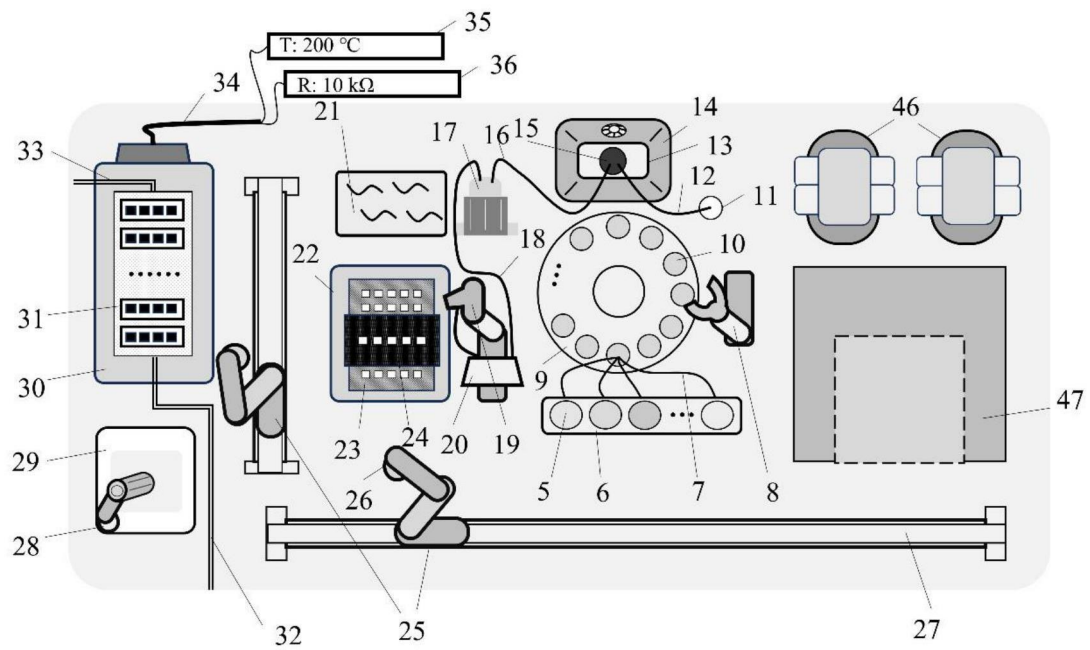


图2

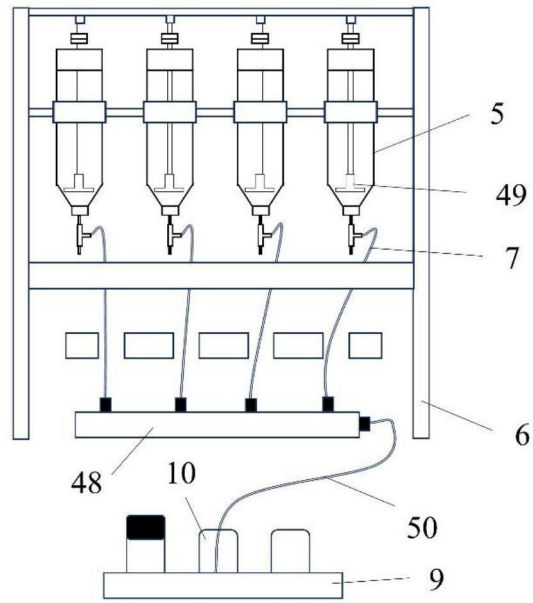


图3

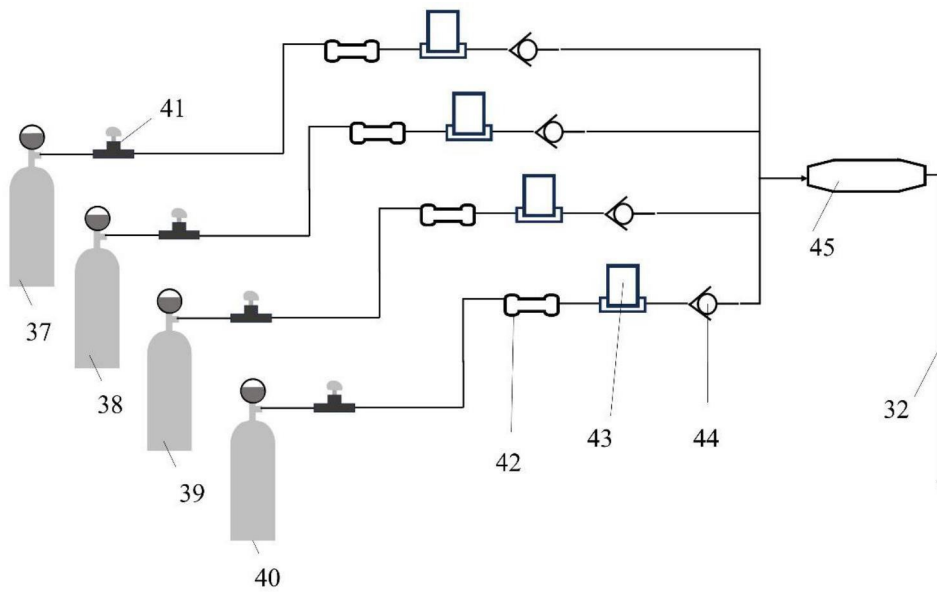


图4

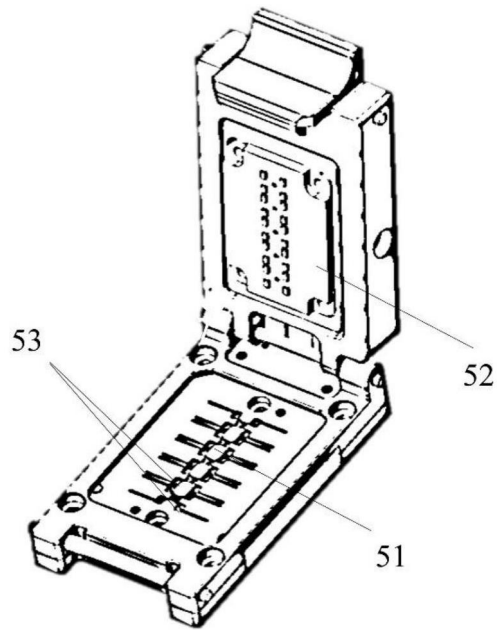


图5

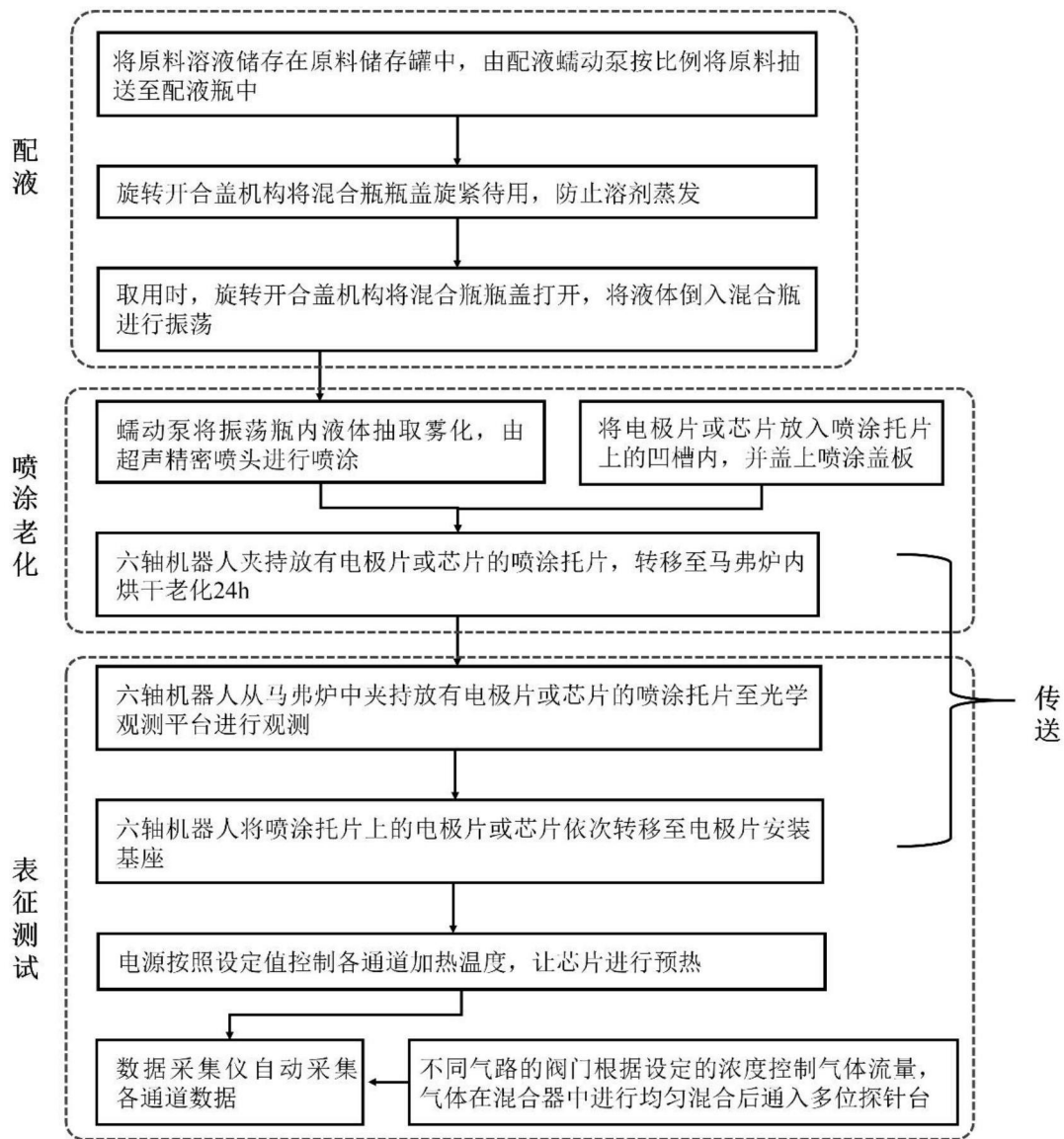


图6

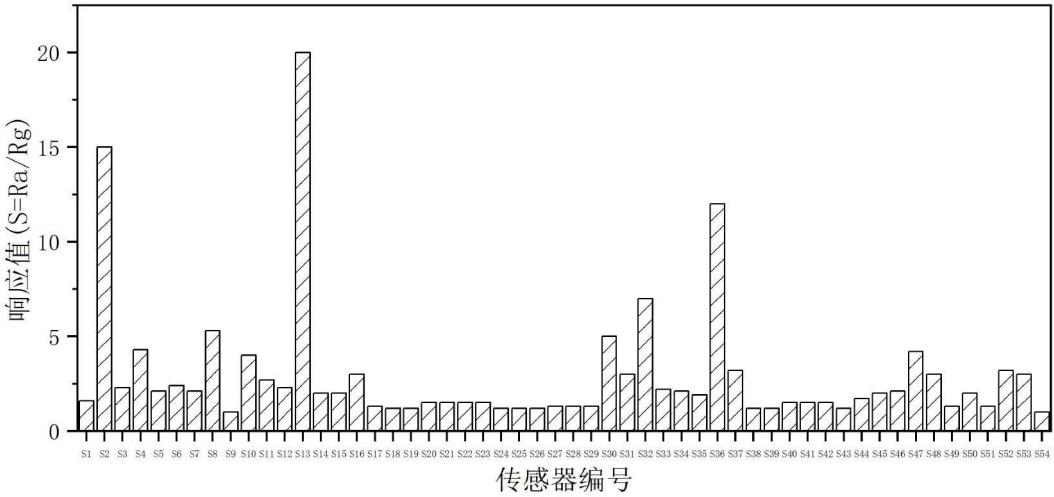


图7

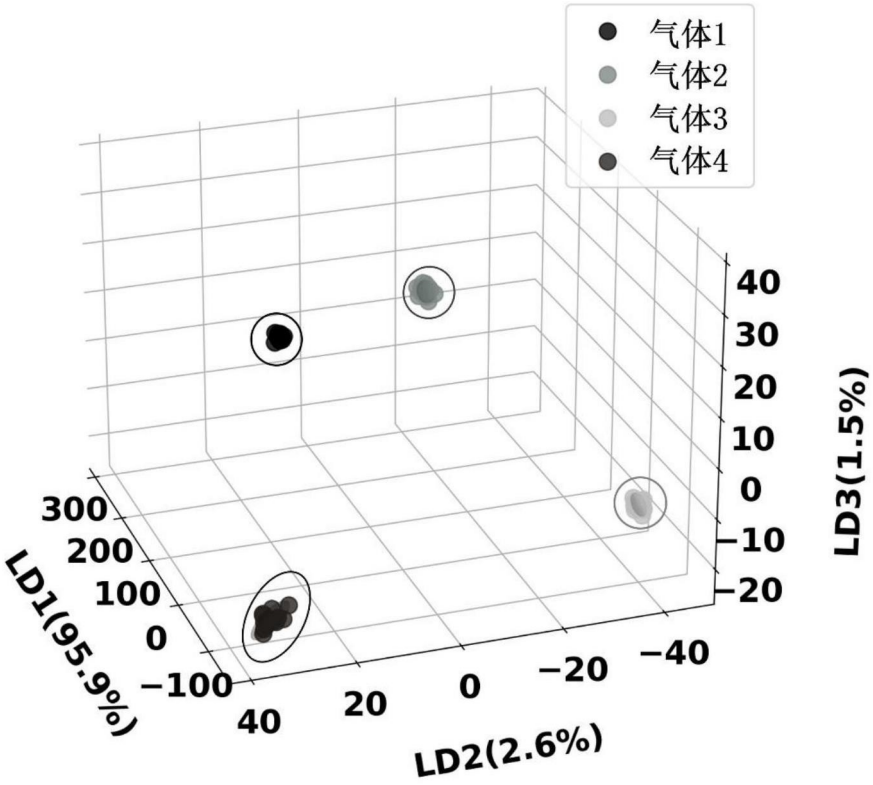


图8

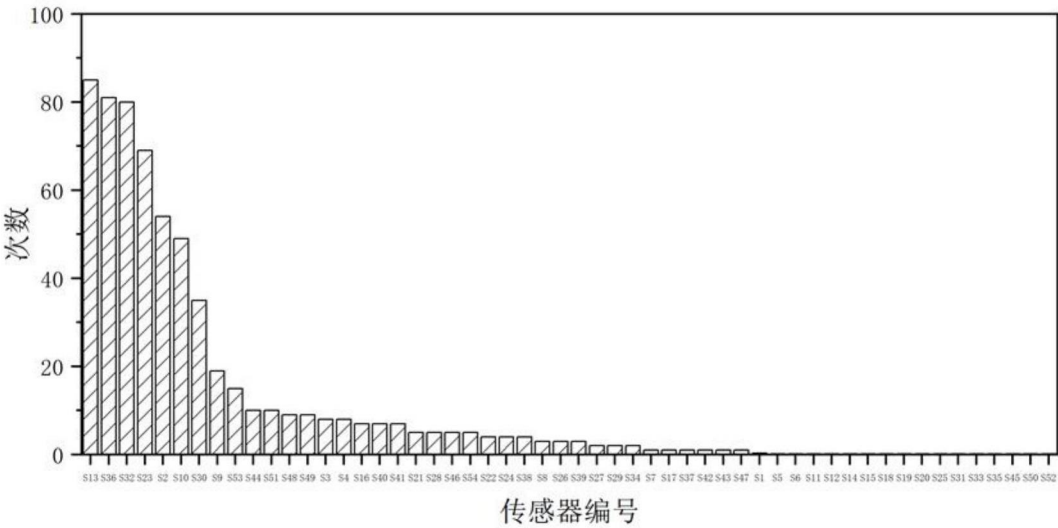


图9