



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107271704 A  
(43)申请公布日 2017. 10. 20

(21)申请号 201710505254.2

(22)申请日 2015.11.13

(62)分案原申请数据

201510776873.6 2015.11.13

(71)申请人 大连民族大学

地址 116600 辽宁省大连市开发区辽河西路18号

(72)发明人 杜海英

(74)专利代理机构 大连智高专利事务所(特殊普通合伙) 21235

代理人 刘斌

(51)Int.Cl.

G01N 35/00(2006.01)

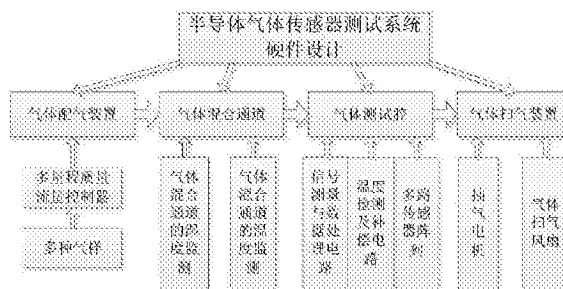
权利要求书1页 说明书12页 附图3页

(54)发明名称

半导体气体传感器测试系统

(57)摘要

本分案申请主要涉及一种半导体气体传感器测试系统,属于元件测试领域,用于解决现有半导体气敏元件测试方法不完善的问题,技术要点是:用于对不同气体在给定浓度下进行动态配气及使多支传感器阵列在气体通入时对气敏元件表面电导率的变化进行实时监测。



1. 一种半导体气体传感器测试系统,其特征在于,用于对不同气体在给定浓度下进行动态配气及使多支传感器阵列在气体通入时对气敏元件表面电导率的变化进行实时监测;

所述半导体气体传感器测试系统包括:自动进行样品气体浓度配比的进样装置、气体传感器加热与测温装置、用于与进样装置协调动作,并在不同的气样环境下自动采集4~6路气体传感器测量信号的信号测量与数据采集电路、对采集的测量信号进行数据处理的数据处理电路;和对进气过程和室温变化所引起的温度变化进行补偿的温度补偿电路;

气体传感器阵列安装在气室中,气体传感器所测得的气体浓度变化是气室中气体的变化,气室为内腔形状圆滑且近似方形的干燥的有机玻璃腔;

所述气体传感器加热与测温装置对气敏元件进行加热,并实时测量气体传感器的工作温度;当传感器的工作温度因环境温度或气流影响发生变化时,温度补偿电路实时进行温度补偿控制,使传感器的工作温度保持不变;所述信号测量与数据采集电路用于对信号调节和AD采样,信号调节为用于将气体传感器对测试气样的响应转变为电信号,AD采样将模拟信号通过数据处理电路将模拟信号转变为数字信号,并将采集到的4~6路传感器信号经过归一化处理,转变为BP神经网络所需要的标准信号;

标准气样输出被分成二路或多路,各自由一个质量流量控制器控制,并接入测试装置,载气和待测气体分别在质量流量控制器的控制下进入干燥罐充分混合,配成目标测试气样并进入测试装置中的测试腔中,气体传感器测试系统在计算机的控制下对所设定的目标浓度气体进行配气,将一种或多种标准浓度的目标气样和标准的载气按照比例进行配比,并在质量流量控制器控制下通入混合通道内进行充分混合,当混合后的测试气样通入测试腔时,对气室内气体传感器阵列的4~6路响应信号进行采集,并将获得的气体传感器阵列对样品气体的响应信息传送到计算机上进行数据处理和数据分析,使测试气体进气、响应信号采集和数据处理顺序进行;当温度监测系统发现半导体气敏元件工作温度发生变化时,温度补偿电路实时进行元件工作温度补偿,调节电阻丝的加热电压,使元件的工作温度保持不变。

## 半导体气体传感器测试系统

[0001] 本申请为申请号201510776873.6、申请日2015年11月13日、发明名称“半导体气敏元件的测试方法”的分案申请。

### 技术领域

[0002] 本发明属于半导体敏感元件测试领域,尤其涉及一种半导体气敏元件的测试方法。

### 背景技术

[0003] 当半导体气体传感器技术的发展如火如荼之时,半导体气敏元件测试技术的发展并未跟上气体传感器技术发展的速度。人类对客观世界的认识和改造活动,往往以测试工作为基础。工程测试技术就是利用现代测试手段对工程中的各种信号,特别是随时间变化的动态物理信号进行检测、试验、分析,并从中提取有用信息的一门新兴技术。其测量和分析的结果客观地描述了研究对象的状态、变化和特征,并为进一步改造和控制研究对象提供了可靠的依据。同样,传感器技术的研究进展也离不开其测试手段的提高。目前,限制半导体气体传感器的研究进展和规模化生产的一个重要因素是检测手段落后,测试环境复杂、测试效率、精度低,同时由于缺少完善的测试设备,得不到气体传感器各种特性的完整参数和曲线,也限制了半导体气体传感器的进一步研究和应用,因此,无论对于生产和科学研究,都急需一套完善的半导体气体传感器性能参数测试系统。

[0004] 由于半导体气体传感器在现实中的重要意义和气体传感器测试的重要性,国内外的科研人员都对半导体气体传感器的测试系统做了大量的深入研究工作,他们采用不同的方式组建了功能各异的半导体气体传感器测试系统,对传感器性能测试及其标定技术的发展发挥了重要的作用。纵观这些测试系统,基本上都是由计算机、仪器硬件、传感器测试腔等几个部分组成,目前,国外的L.Harvey,G.s.v,coles,Hildegard D.Jander,Wolfgang Gottler等学者先后研究设计出了一套自动测试系统,它能够在纯净空气中、单一气体中、混合气体中对气体传感器进行测试,同时考虑到了环境温度、湿度对其性能参数的影响,但许多操作都需要手工的进行,使测试者无法远离有毒的测试环境,需进一步提高其自动化程度,同时能够测试的参数种类也较少,对被测试半导体气体传感器的形状也有限制;国内的管玉国、彭忠名、林永兵等学者也先后研制出了一套自动测试系统,集测试腔、检测系统为一体,为新产品开发提供了可靠的数据,但是自动化程度还不够高,采集的参数单一、使用硬件过多、可靠性不高,各种纯气体难以在高动态、低浓度范围内混合而且难以满足所需要的浓度和精度要求。同时也存在实现气敏元件的检验和分档的困难。很多生产厂家以手工测试为主,测试效率低、精度低,远远满足不了生产发展的需要,更为重要的是手工测试无法实现动态测量,从而不能准确的测得气敏元件的某些参数,如响应时间曲线、恢复时间曲线等。不能得到气敏元件各种特性的完整参数的不足,限制了气敏元件的进一步研究和应用。为满足企业生产和研究的需要,气体传感器的研制需要一整套完善的测试系统。

[0005] 在半导体气体传感器的研制过程中需要研究传感器在不同环境和工作条件下的

气体响应特性,衡量传感器的优劣,总结摸索出最佳的工作状态,而这离不开良好的测试设备。

[0006] 目前研究半导体气体传感器的气体响应特性有静态和流光两种测试方式,将传感器安装在气室中,在气室里注入已知浓度的某种气体,通过采集传感器的响应信号,可以获得该传感器对这种气体的气敏响应特性。通常情况下进行静态测试的系统采用密闭的大容量气室,通过注入样品气体并在容器中均匀混合成一定体积的测试气体,这种测试方法的设备较为简单,但气室中器件上样品气体的脱附时间较长,不适合进行大量的气体测试。而采用流光的方式是在较小容量气室中通入流量恒定的气流,在一个时间段内通过一定浓度的样品气体,并采集这时间段的传感器响应数据。这种方式中由于气室较小,清洗残留气体时间较短,传感器器件可以很快恢复到初始状态,可以快速进行重复性实验,尤其是在进行传感器阵列的气敏特性研究时是很有利的。

## 发明内容

[0007] 为了解决上述技术问题,本发明采用的技术方案是:

[0008] 一种半导体气敏元件的测试方法,具有:

[0009] 半导体气体传感器测试系统组建与测试的步骤,及对半导体气体传感器测试系统及半导体气敏元件性能分析的步骤。

[0010] 进一步的,所述半导体气体传感器测试系统组建与测试的步骤中,半导体气体传感器测试系统用于对不同气体在给定浓度下进行动态配气及使多支传感器阵列在气体通入时对气敏元件表面电导率的变化进行实时监测;

[0011] 所述半导体气体传感器测试系统包括:自动进行样品气体浓度配比的进样装置、气体传感器加热与测温装置、用于与进样装置协调动作,并在不同的气样环境下自动采集4~6路气体传感器测量信号的信号测量与数据采集电路、对采集的测量信号进行数据处理的数据处理电路;和对进气过程和室温变化所引起的温度变化进行补偿的温度补偿电路;

[0012] 气体传感器阵列安装在气室中,气体传感器所测得的气体浓度变化是气室中气体的变化,气室为内腔形状圆滑且近似方形的干燥的有机玻璃腔;

[0013] 所述气体传感器加热与测温装置对气敏元件进行加热,并实时测量气体传感器的工作温度;当传感器的工作温度因环境温度或气流影响发生变化时,温度补偿电路实时进行温度补偿控制,使传感器的工作温度保持不变;所述信号测量与数据采集电路用于对信号调节和AD采样,信号调节为用于将气体传感器对测试气样的响应转变为电信号,AD采样将模拟信号通过数据处理电路将模拟信号转变为数字信号,并将采集到的4~6路传感器信号经过归一化处理,转变为BP神经网络所需要的标准信号;

[0014] 标准气样输出被分成二路或多路,各自由一个质量流量控制器控制,并接入测试装置,载气和待测气体分别在质量流量控制器的控制下进入干燥罐充分混合,配成目标测试气样并进入测试装置中的测试腔中,气体传感器测试系统在计算机的控制下对所设定的目标浓度气体进行配气,将一种或多种标准浓度的目标气样和标准的载气按照比例进行配比,并在质量流量控制器控制下通入混合通道内进行充分混合,当混合后的测试气样通入测试腔时,对气室内气体传感器阵列的4~6路响应信号进行采集,并将获得的气体传感器阵列对样品气体的响应信息传送到计算机上进行数据处理和数据分析,使测试气体进气、

响应信号采集和数据处理顺序进行；当温度监测系统发现半导体气敏元件工作温度发生变化时，温度补偿电路实时进行元件工作温度补偿，调节电阻丝的加热电压，使元件的工作温度保持不变。

[0015] 进一步的，所述气体传感器测试系统的软件部分包括气路控制模块、电压采样模块、温度补偿模块、数据处理模块和显示功能模块，其中：

[0016] 气路控制模块对控制参数设置，所述参数包括通气前时间、通气时间、停气后时间、数据采集时间间隔、混合气体种类、各种气体浓度和载气控制电压，气路控制模块对参数设置以控制多路气样输出量实现配气，配气过程中，气体流量和元件的工作温度在整个测试过程中保持不变；

[0017] 电压采样模块对电压采样开始、采样中断与采样结束进行相应控制；

[0018] 数据处理模块进行数据采集、数据保存、图像保存、图像打印、历史数据提取处理。

[0019] 进一步的，数据采集模块完成在采样时间间隔内的数据跟踪采集，对提供的实验数据在对本次实验结束后自动保存为两种格式的六个文件，分别为4~6路传感器的电压、电阻、响应灵敏度数字量及动态变化曲线，同时对保存的图像即时打印和对历史数据按时间提取；数据采集过程中，根据不同需求在显示模块中实时显示4~6路传感器的标准电压、电阻及响应灵敏度随时间的动态变化曲线。

[0020] 进一步的，所述对气体传感器测试系统及气敏元件性能分析的步骤，包括对气体传感器测试系统的各种误差分析，对测量电阻的灵敏度、电阻温度特性、灵敏度-温度特性、灵敏度-浓度特性进行分析以及掺杂对元件性能影响的分析。

[0021] 将传感器采用的4~6路标准信号进行数据的归一化处理，并将数据处理成BP神经网络获得所需要的标准数据源，进行BP神经网络气体分析的步骤如下：

[0022] 定量分析：

[0023] 选择单一甲醛气体以检测样品，进行定量检测，由4~6个传感器组成传感器阵列对甲醛气体、氨气、苯等混合气体定量识别，神经网络的输入神经元个数为6，输出神经元个数为1，动态改变隐含层个数并求取其相对应的训练误差，以确定最佳隐含层神经元数；

[0024] 使用newff函数创建一个两层网络，将网络的隐含层神经元数设定为S(i)，其范围是3-13个，将网络的训练函数设为Trainbr，设网络的权值和阈值是特殊分布的随机变量，用统计学方法估算出网络权值和阈值，将输入向量P作为训练过的神经网络的输入，利用train函数对网络进行训练，将30组不同浓度的甲醛气体作为输入进行定量检测，得到定量检测的输出结果和相应实验误差；

[0025] 定性分析：

[0026] 由4~6个传感器组成的传感器阵列对甲醛、氨气、苯三种气体特征量进行定性识别，网络的输入神经元个数为6，输出神经元个数为3，通过误差对比来确定最佳的隐含层数，动态改变隐含层数；

[0027] 使用newff函数创建一个三层网络，将网络隐含层神经元个数设定为一个动态变量S(i)，其范围是3-13，通过10次训练，得到训练误差最小的一组神经元个数即为最佳神经元个数，设网络的权值和阈值是特殊分布的随机变量，用统计学方法估算出网络权值和阈值；训练直至实验误差满足要求停止；将奇数组作为训练过的神经网络输入。

[0028] 有益效果：

[0029] 1. 本发明能够高精度的实现常见测试气体在常规测试浓度范围内的配气;可同时测试多支传感器或气体传感器阵列。

[0030] 2. 本发明能实现多参数测量:由于该测试系统是模块化的,可以同时连接多个测量模块,每个测量模块又可实现多通道测量,容易实现多个、多种类参数的同时测试。

[0031] 3. 本发明制备并测试了多种掺杂技术的敏感元件,使半导体气敏元件对挥发性有机气体的检测具有进展。

[0032] 4. 本发明将气体传感器阵列与人工神经网络技术相技术,并基于BP算法实现了多种气体的定性识别及单一气体的定量识别。

## 附图说明

[0033] 图1为本发明实施例1的方法的流程图;

[0034] 图2为本发明实施例2的半导体气体传感器测试系统闭环流程的示意图;

[0035] 图3为本发明实施例2的半导体气体传感器测试系统的结构框图;

[0036] 图4为本发明实施例3的软件功能框图;

[0037] 图5为本发明实施例5中的半导体气体传感器测试系统的测量电路;

[0038] 图6.1为本发明实施例6中的定量识别的BP神经网络结构的示意图;

[0039] 图6.2为本发明实施例6中的气体定量检测的训练过程的示意图;

[0040] 图6.3为本发明实施例6中的定性识别的BP神经网络结构的示意图;

[0041] 图6.4为为本发明实施例6中的定性分析训练结果的示意图。

## 具体实施方式

[0042] 实施例1:

[0043] 一种半导体气敏元件的测试方法,其特征在于,具有:半导体气体传感器测试系统组建与测试的步骤,及对半导体气体传感器测试系统及半导体气敏元件性能分析的步骤。

[0044] 实施例2:

[0045] 具有与实施例1相同的技术方案,更为具体的是:所述半导体气体传感器测试系统组建与测试的步骤中,半导体气体传感器测试系统用于对不同气体在给定浓度下进行动态配气及使多支传感器阵列在气体通入时对气敏元件表面电导率的变化进行实时监测;

[0046] 所述半导体气体传感器测试系统包括:自动进行样品气体浓度配比的进样装置、气体传感器加热与测温装置、用于与进样装置协调动作,并在不同的气样环境下自动采集4~6路气体传感器测量信号的信号测量与数据采集电路、对采集的测量信号进行数据处理的数据处理电路;和对进气过程和室温变化所引起的温度变化进行补偿的温度补偿电路;所述与进样装置协调动作是指,信号采集与进样同步或者对应,从而使得进样与采集可以实现时间顺序上的协调。

[0047] 气体传感器阵列安装在气室中,气体传感器所测得的气体浓度变化是气室中气体的变化,气室为内腔形状圆滑且近似方形的干燥的有机玻璃腔;

[0048] 所述气体传感器加热与测温装置对气敏元件进行加热,并实时测量气体传感器的工作温度;当传感器的工作温度因环境温度或气流影响发生变化时,温度补偿电路实时进行温度补偿控制,使传感器的工作温度保持不变;所述信号测量与数据采集电路用于对信

号调节和AD采样,信号调节为用于将气体传感器对测试气样的响应转变为电信号,AD采样将模拟信号通过数据处理电路将模拟信号转变为数字信号,并将采集到的4~6路传感器信号经过归一化处理,转变为BP神经网络所需要的标准信号;

[0049] 标准气样输出被分成二路或多路,各自由一个质量流量控制器控制,并接入测试装置,载气和待测气体分别在质量流量控制器的控制下进入干燥罐充分混合,配成目标测试气样并进入测试装置中的测试腔中,气体传感器测试系统在计算机的控制下对所设定的目标浓度气体进行配气,将一种或多种标准浓度的目标气样和标准的载气按照比例进行配比,并在质量流量控制器控制下通入混合通道内进行充分混合,当混合后的测试气样通入测试腔时,对气室内气体传感器阵列的4~6路响应信号进行采集,并将获得的气体传感器阵列对样品气体的响应信息传送到计算机上进行数据处理和数据分析,使测试气体进气、响应信号采集和数据处理顺序进行;当温度监测系统发现半导体气敏元件工作温度发生变化时,温度补偿电路实时进行元件工作温度补偿,调节电阻丝的加热电压,使元件的工作温度保持不变。

[0050] 其中:由于半导体气敏元件工作特性和温度有关,所以需要对半导体气敏元件进行加热,气敏元件的工作温度直接影响传感器灵敏度,同时需要温度传感器,实时测量气体传感器的工作温度,因而本实施例中的测试系统具有气体传感器加热与、测温装置及工作温度补偿电路。

[0051] 测试中,选择加热电阻丝为镍铬合金,电阻为30欧姆,采用直流电源控制加热电压,实现对气敏元件的工作温度控制。用于测温的热电偶温度传感器探测陶瓷管表面的温度,但由于温度均是通过热电偶直接探测元件的表面得到的,而接触元件表面不仅表面积小,而且表面材料接触后极易损坏的,同时测温时会使元件表面温度降低,给测量带来一定的偏差,为此,在实验前用电压粗略的标定元件表面温度,在以后的测试中,直接用加热电压来表示元件表面温度,下表为气敏元件表面温度与加热电压的关系。

[0052]

加热电压	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
温度(°C)	26	55	89	137	179	225	268	302	343	377	416

[0053] 标准气样输出被分成二路或多路,各自由一个质量流量控制器控制,并接入测试装置,载气和待测气体(如甲醛,氨气,苯,一氧化碳,氧气等)分别在质量流量控制器的控制下进入干燥罐充分混合,配成测试气样并进入测试装置中的测试腔中,气体传感器测试系统在计算机的控制下对所设定的目标浓度气体进行配气,将一种或多种标准浓度的目标气样和标准的载气按照比例进行配比,并在质量流量控制器控制下通入混合通道内进行充分混合,当混合后的测试气样通入气室时,对气室内气体传感器阵列的响应信号进行采集,并将获得的气体传感器阵列对样品气体的响应信息传送到计算机上进行数据分析,使测试气体进气、响应信号采集和数据处理顺序进行;当温度监测系统发现半导体气敏元件工作温度发生变化时,温度补偿电路实时进行元件工作温度补偿,调节电阻丝的加热电压,使元件的工作温度保持不变。克服了传统的测试方法不仅要消耗过多的人力,而且手工操作有许多的不稳定因素,使得测量附加有较大偏差值。

[0054] 为了直观地观测响应过程,计算机上相应的应用软件具有图形界面,能够实时显示出传感器阵列的响应曲线,该系统包括了自动配气装置、数据采集、控制电路以及相应计

算机控制、应用处理软件这几部分,各部分通过数据总线与计算机相连接,结合计算机软件的实时处理控制,可以使测试气体进气、响应信号采集和数据处理顺序进行,组成完整的测试过程。

[0055] 实施例3:

[0056] 具有与实施例1或2相同的技术方案,更为具体的是:所述气体传感器测试系统的软件部分包括气路控制模块、电压采样模块、温度补偿模块、数据处理模块和显示功能模块,其中:

[0057] 气路控制模块对控制参数设置,所述参数包括通气前时间、通气时间、停气后时间、数据采集时间间隔、混合气体种类、各种气体浓度和载气控制电压,气路控制模块对参数设置以控制多路气样输出量实现配气,配气过程中,气体流量和元件的工作温度在整个测试过程中保持不变;

[0058] 电压采样模块对电压采样开始、采样中断与采样结束进行相应控制;

[0059] 数据处理模块进行数据采集、数据保存、图像保存、图像打印、历史数据提取处理。

[0060] 实施例4:

[0061] 具有与实施例1或2或3相同的技术方案,更为具体的是:数据采集模块完成在采样时间间隔内的数据跟踪采集,对提供的实验数据在对本次实验结束后自动保存为两种格式的六个文件,分别为4~6路传感器的电压、电阻、响应灵敏度数字量及动态变化曲线,同时对保存的图像即时打印和对历史数据按时间提取;数据采集过程中,根据不同需求在显示模块中实时显示4~6路传感器的标准电压、电阻及响应灵敏度随时间的动态变化曲线。

[0062] 实施例5:

[0063] 具有与实施例1或2或3或4相同的技术方案,更为具体的是:所述对气体传感器测试系统及气敏元件性能分析的步骤,包括对气体传感器测试系统的各种误差分析,对测量电阻的灵敏度、电阻温度特性、灵敏度-温度特性、灵敏度-浓度特性进行分析以及掺杂对元件性能影响的分析。

[0064] 实施例6:

[0065] 具有与实施例1或2或3或4或5相同的技术方案,更为具体的是:BP神经网络获得所需要的数字信号,进行BP神经网络气体分析的步骤如下:包括定量分析和定性分析。

[0066] 定量分析

[0067] 选择单一甲醛气体以检测样品,进行定量检测,为实现由4~6路传感器组成的传感器阵列对甲醛、氨气等气体的定量识别,设计网络的输入神经元个数为6,输出神经元个数为1。动态改变隐含层个数并求取其相对应的训练误差,以确定最佳隐含层神经元数,其网络结构如图6.1所示。参照权利要求书

[0068] 使用newff函数创建一个两层网络,将网络的隐含层神经元数设定为是 $S(i)$ ,其范围是3-13个。为了使网络对于新的输入具有良的泛化能力,将网络的训练函数设为Trainbr,该函数使用了Bavesian框架结构。假设网络的权值和阈值是特殊分布的随机变量,用统计学方法估算出网络权值和阈值。

[0069] 不同神经元个数下的训练误差及训练次数如表6.1所示。可以看出,当隐含层神经元个数为13时,训练误差最小,为3.14%,训练次数减少为76次。实验结果表明,采用隐含层个数为13的BP神经网络实现了甲醛气体定量识别的最佳网络结构。



[0070] 表6.1隐含层神经元数与实验误差关系

隐含层神经元数	训练误差	训练次数
3	0.1202	6759
4	0.0877	20000
5	0.1366	20000
6	0.0315	402
7	0.0316	2095
8	0.0606	20000
9	0.0580	20000
10	0.0562	20000
11	0.0315	187
12	0.0501	20000
13	0.0314	76

[0072] 将输入向量P作为训练过的神经网络的输入,利用train函数对网络进行训练,在MATLAB命令中将实时地显示网络的训练状态,定量检测的训练过程如图6.2所示。

[0073] 将30组不同浓度的甲醛气体作为输入进行定量检测,定量检测的输出结果和相应实验误差如表4所示,实验误差TEST\_P的计算公式如式6.1所示。

$$[0074] \quad TEST\_P = \frac{|C_{real} - C_{test}|}{C_{real}} \times 100\% \quad (6.1)$$

[0075] 式中: $C_{real}$ 和 $C_{test}$ 分别表示浓度的真实值与预测值。

[0076] 表6.2气体定量检测的输出结果

待测气体	实际输出	实验误差
200ppmHCHO	199.3ppmHCHO	0.350%
400ppmHCHO	400.3ppmHCHO	0.075%
600ppmHCHO	599.4ppmHCHO	0.100%
800ppmHCHO	795.8ppmHCHO	0.525%
1000ppmHCHO	1000.94ppmHCHO	0.094%
1200ppmHCHO	1212.0ppmHCHO	1.000%
[0077] 1400ppmHCHO	1365.2ppmHCHO	2.480%
1600ppmHCHO	1609.4ppmHCHO	0.588%
1800ppmHCHO	1871.8ppmHCHO	3.990%
2000ppmHCHO	2029.9ppmHCHO	1.495%
2200ppmHCHO	2222.3ppmHCHO	1.010%
2400ppmHCHO	2309.5ppmHCHO	3.770%
2600ppmHCHO	2561.9ppmHCHO	1.470%

	2800ppmHCHO	2861.1ppmHCHO	2.180%
	3000ppmHCHO	3038.9ppmHCHO	1.290%
	3200ppmHCHO	3209.2ppmHCHO	0.288%
	3400ppmHCHO	3414.0ppmHCHO	0.412%
	3600ppmHCHO	3580.0ppmHCHO	0.556%
	3800ppmHCHO	3771.2ppmHCHO	0.758%
	4000ppmHCHO	3973.7ppmHCHO	0.658%
	4200ppmHCHO	4206.6ppmHCHO	0.157%
[0078]	4400ppmHCHO	4424.8ppmHCHO	0.534%
	4600ppmHCHO	4642.7ppmHCHO	0.928%
	4800ppmHCHO	4792.6ppmHCHO	0.154%
	5000ppmHCHO	4982.9ppmHCHO	0.342%
	5200ppmHCHO	5212.4ppmHCHO	0.238%
	5400ppmHCHO	5427.9ppmHCHO	0.571%
	5600ppmHCHO	5650.1ppmHCHO	0.895%
	5800ppmHCHO	5820.3ppmHCHO	0.350%
	6000ppmHCHO	5939.2ppmHCHO	1.013%

[0079] 使用公式6.2和6.3,计算出定量识别甲醛气体的平均相对误差AVE\_P和最大相对误差MAX\_P分别为0.941%和3.99%。实验结果表明,采用13个隐神经元的BP神经网络,在收敛速度与实验误差方面均可以达到实验要求。

$$[0080] \quad AVE\_P = \frac{1}{M} \sum_{P_i=1}^M \frac{|C_{real}^{P_i} - C_{test}^{P_i}|}{C_{real}^{P_i}} \times 100\% = \frac{1}{30} \sum_{P_i=1}^M \frac{|C_{real}^{P_i} - C_{test}^{P_i}|}{C_{real}^{P_i}} \times 100\% = 0.941\% \quad (6.2)$$

$$[0081] \quad MAX\_P = \max_{P_i=1}^M \frac{|C_{real}^{P_i} - C_{test}^{P_i}|}{C_{real}^{P_i}} \times 100\% = \frac{|1871.8 - 1800|}{1800} \times 100\% = 3.99\% \quad (6.3)$$

[0082] 式中： $C_{\text{real}}$ 和 $C_{\text{test}}$ 分别表示浓度的真实值与预测值； $M$ 为样本数。

[0083] 实验中所产生的误差主要来自两个方面，一是传感器阵列，二是环境温度。因为性能相近的传感器组成的阵列很难不产生互不相关的测试模式，从而影响整个系统的测试精度。半导体气敏元件敏感原理是基于敏感体表面的吸附反应，易受环境温度和湿度的影响，所以气体传感器阵列的测量环境是产生误差的另一个主要原因。

[0084] 定性分析

[0085] 实验中，为实现由6个传感器组成的传感器阵列对甲醛、氨气、苯三种气体特征量的定性识别，设计网络的输入神经元个数为6，输出神经元个数为3。隐含层神经元个数的选择往往需要根据设计者的经验和多次实验来确定。实验采用动态改变隐含层数目，通过误差对比来确定最佳的隐含层数，以实现单一气体的定性分析，网络结构如图6.3所示。

[0086] 使用newff函数创建一个三层网络，将网络隐含层神经元个数设定为一个动态变量 $S(i)$ ，其范围是3-13，通过10次训练，得到训练误差最小的一组神经元个数即为最佳神经元个数。假设网络的权值和阈值是特殊分布的随机变量，用统计学方法估算出网络权值和阈值。

[0087] 经过1259次的训练后，实验误差满足要求，训练停止，训练结果如图6.4所示。

[0088] 由式6.4得到不同神经元个数下的训练误差 $TRI\_P$ 及训练次数如表6.3所示，可以看出，采用4个隐含层神经元，能使训练误差 $TRI\_P$ 达到最小，最小值为2.29%，训练次数为1259，训练时间满足实验要求，最佳隐含层神经元数是4。

$$[0089] \quad TRI\_P = \sqrt{\sum_{i=1}^M (C_{\text{real}} - C_{\text{test}})^2} \quad (6.4)$$

[0090] 式中： $C_{\text{real}}$ 与 $C_{\text{test}}$ 分别表示浓度的真实值与预测值； $M$ 为样本数。

[0091] 表6.3隐含层神经元数与实验误差关系

隐含层神经元数	训练误差	训练次数
3	3.31%	873
4	2.29%	1259
5	2.53%	1350
6	4.18%	1538
7	2.35%	1487
8	3.03%	1720
9	2.44%	1350
10	11.64%	1071
11	2.75%	1462
12	10.00%	1114
13	34.10%	1708

[0092]

[0093] 将奇数组作为训练过的神经网络输入, 气体训练的辨识结果如表6.4所示。

[0094] 表6.4训练气体辨识结果

气体	网络输出			辨识结果
200ppmNH <sub>3</sub>	0.9931	0.0026	0.0034	NH <sub>3</sub>
600ppm NH <sub>3</sub>	0.9942	0.0022	-0.0023	NH <sub>3</sub>
1000ppm NH <sub>3</sub>	0.9942	0.0018	-0.0029	NH <sub>3</sub>
1400ppm NH <sub>3</sub>	0.9943	-0.0010	0.0001	NH <sub>3</sub>
1800ppm NH <sub>3</sub>	0.9944	-0.0037	0.0031	NH <sub>3</sub>
200ppmHCHO	0.0049	0.9955	-0.0007	HCHO
600ppmHCHO	-0.0131	0.9958	0.0009	HCHO
1000ppmHCHO	0.0061	0.9956	-0.0040	HCHO
1400ppmHCHO	-0.0016	0.9953	-0.0006	HCHO
1800ppmHCHO	-0.0019	0.9950	0.0029	HCHO
200ppmC <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	-0.2431	0.2238	0.9940	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>
600ppm C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	0.0057	-0.0062	0.9978	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>
1000ppm C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	0.0745	-0.0051	0.9974	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>
1400ppm C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	-0.0206	0.0066	0.9962	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>
1800ppm C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	0.0170	-0.0172	0.9957	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>

[0095] 实验结果表明当输出大于0.7时即可识别,采用动态隐神经元BP人工神经网络能对多种气体进行定性识别,由式1.4得出该网络结构识别正确率RATE<sub>P</sub>为100%。

$$[0097] \quad RATE\_P = \frac{m}{M} = \frac{15}{15} \times 100\% = 100\% \quad (6.5)$$

[0098] 式中:m为预测正确样本数;M为实际样本数。

[0099] 以上所述,仅为本发明较佳的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明披露的技术范围内,根据本发明的技术方案及其发明构思加以等同替换或改变,都应涵盖在本发明的保护范围之内。



图1

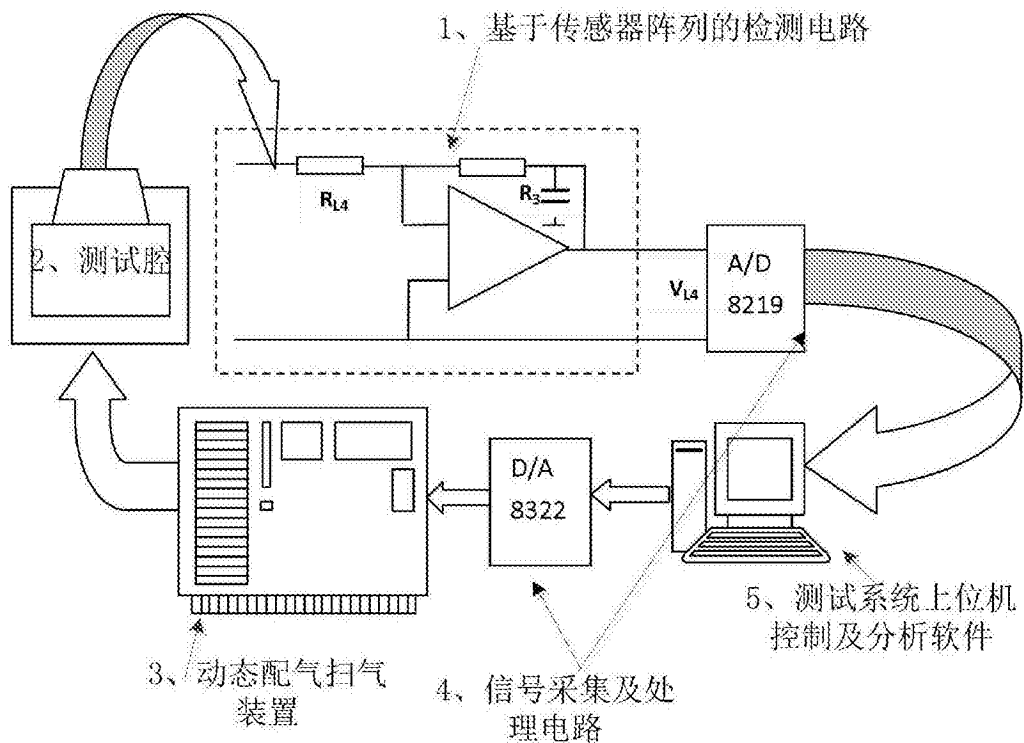


图2

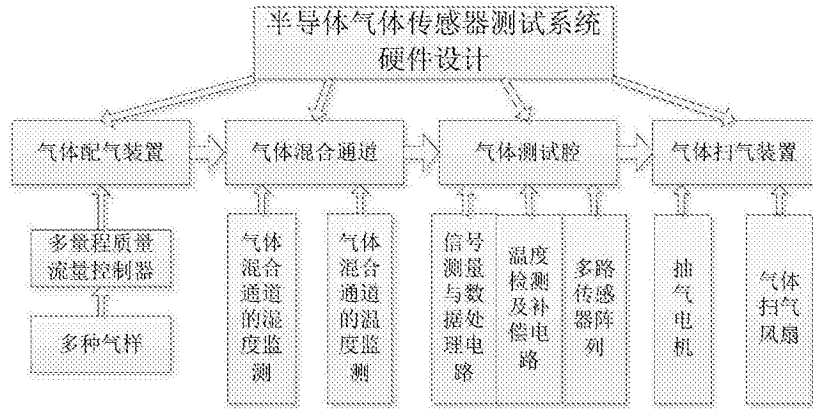


图3

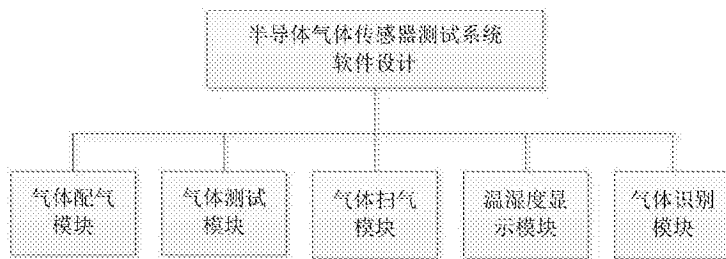


图4

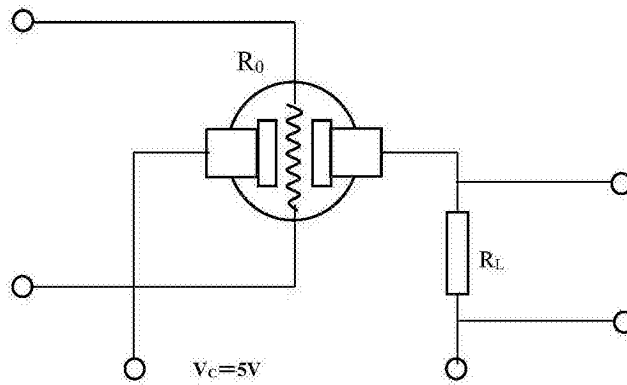


图5

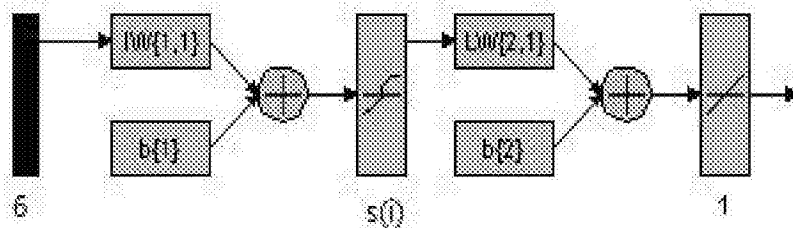


图6.1



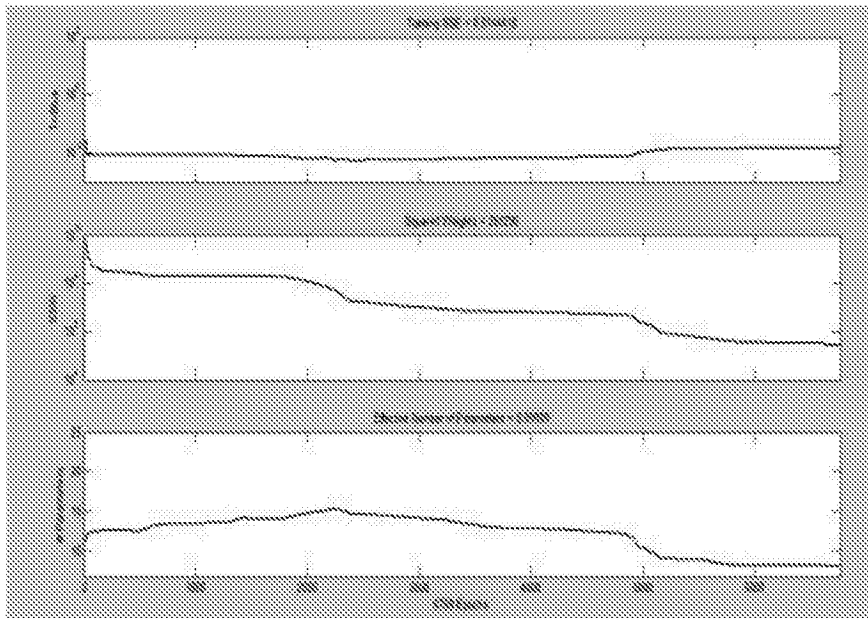


图6.2

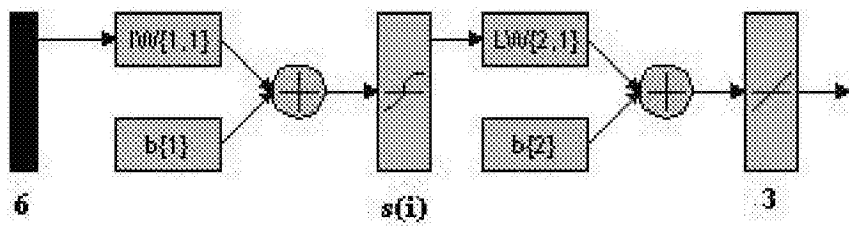


图6.3

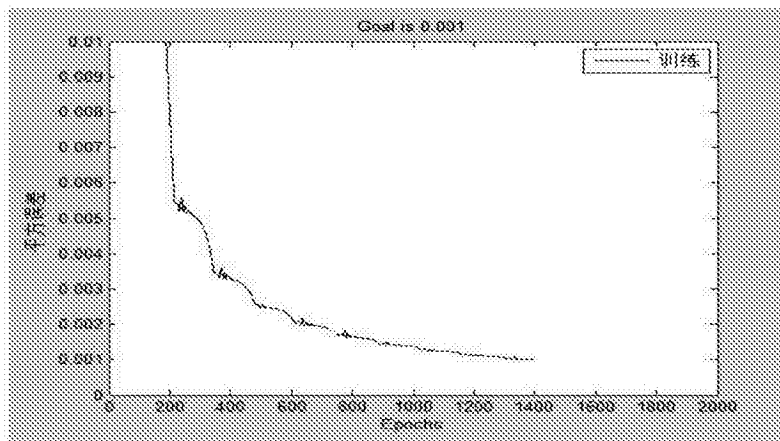


图6.4