



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110161084 B

(45) 授权公告日 2022.07.22

(21) 申请号 201810148567.1

CN 105928567 A, 2016.09.07

(22) 申请日 2018.02.13

CN 204694669 U, 2015.10.07

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 106744652 A, 2017.05.31

申请公布号 CN 110161084 A

CN 104089981 A, 2014.10.08

(43) 申请公布日 2019.08.23

CN 104181203 A, 2014.12.03

(73) 专利权人 中国石油化工股份有限公司

CN 105158297 A, 2015.12.16

地址 100728 北京市朝阳区朝阳门北大街  
22号

US 2007062812 A1, 2007.03.22

专利权人 中石化安全工程研究院有限公司  
中国科学院物理研究所

CN 104297303 A, 2015.01.21

俞守华 等. 猪舍有害气体NH<sub>3</sub>、H<sub>2</sub>S的电子鼻  
定量识别.《农业工程学报》.2009, 第25卷(第7  
期),

(72) 发明人 赵宇鑫 牟善军 梁文杰 刘全桢  
霍子扬 苏悦 王林

王岩 等. 基于FastICA和神经网络的电子鼻  
模式识别.《传感技术学报》.2007, 第20卷(第1  
期),

(74) 专利代理机构 北京润平知识产权代理有限  
公司 11283

Yuning Yang et al.. Identification and  
Quantification of Mixed Air Pollutants  
Based on Homotopy Method for Gas Sensor  
Array.《2012 Annual International  
Conference of the IEEE Engineering in  
Medicine and Biology Society》.2012,

专利代理师 戴香芸 刘兵

审查员 杜洋

(51) Int. Cl.

G01N 27/12 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 104297303 A, 2015.01.21

权利要求书2页 说明书12页 附图3页

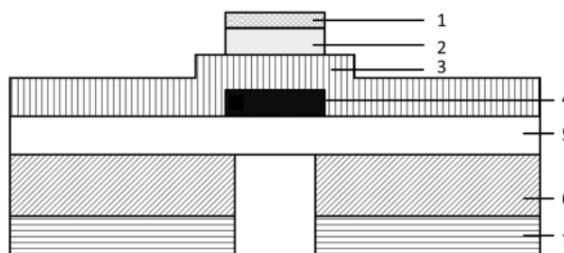
(54) 发明名称

微传感芯片及其制备方法、气体检测方法和  
应用

类、NO<sub>x</sub>、CO、H<sub>2</sub>S等多种气体浓度,有利于改善气  
体传感器的选择性。

(57) 摘要

本发明涉及气体传感器技术领域,具体涉及  
一种微传感芯片及其制备方法、气体检测方法和  
应用。该微传感芯片上设置有一个以上传感单  
元,所述传感单元包括依次层叠的传感层、电极  
层、绝缘层、加热层、支撑层、悬空层和衬底层,其  
中,所述传感层由响应一种以上气体信号的气敏  
传感材料构成;所述加热层用于加热所述电极层  
和所述传感层;在所述悬空层和所述衬底层上的  
与所述加热层对应的区域具有通孔。本发明提供  
的低功耗微悬加热板和过渡金属氧化物气敏材  
料阵列的微传感芯片具有低功耗、高可靠性、高  
响应灵敏性、响应时间短等优点,可用于测试苯



CN 110161084 B

1. 一种气体检测方法,其特征在于,使用微传感芯片进行检测,所述气体为2种以上气体的混合气体;

其中,使用具有n个以上传感层的微传感芯片在一次检测中同时完成n次检测;

针对含有n种气体的混合气体进行检测时,用具有不同的气敏传感材料的微传感芯片进行n次检测,所述气敏传感材料可响应n种以上气体信号,n次检测中得到的响应分别为 $S_1$ 、 $S_2$ ... $S_n$ ,所述混合气体中的n种气体的浓度 $C_1$ 、 $C_2$ ... $C_n$ 可以通过下式求出,

$$\begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ C_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ A_{n1} & A_{n2} & \dots & A_{nn} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ S_n \end{pmatrix}$$

其中,所述气敏传感材料对混合气体中的第n种气体的响应常数为 $A_{nn}$ ;

所述微传感芯片上设置有多个传感单元,所述传感单元包括依次层叠的传感层、电极层、绝缘层、加热层、支撑层、悬空层和衬底层,

其中,所述传感层由响应2种以上气体信号的纳米气敏传感材料构成,所述纳米气敏传感材料为掺杂有Pd的纳米氧化钨颗粒,所述多个传感单元包括不同Pd掺杂量的纳米氧化钨颗粒的传感层,所述纳米氧化钨颗粒的Pd掺杂量为1质量%、2质量%和5质量%;

所述加热层用于加热所述电极层和所述传感层,所述加热层包括加热电极和加热丝;

所述电极层的传感电极的尺寸不超过对应的所述加热丝;

所述绝缘层为二氧化硅层,所述支撑层、所述悬空层和所述衬底层由两面均为二氧化硅的硅片形成;

在所述悬空层和所述衬底层上的与所述加热层对应的区域具有通孔。

2. 根据权利要求1所述的气体检测方法,其中,所述支撑层的厚度为300-700nm,所述悬空层的厚度为300-700 $\mu$ m,所述衬底层的厚度为300-700nm。

3. 根据权利要求1所述的气体检测方法,其中,所述硅片为P型单晶硅片。

4. 根据权利要求1所述的气体检测方法,其中,所述加热电极和加热丝的材料为Cr/Au或者Ti/Pt。

5. 根据权利要求1所述的气体检测方法,其中,所述绝缘层的厚度为500-700nm。

6. 根据权利要求1所述气体检测方法,其中,所述电极层包括传感电极。

7. 根据权利要求1所述的气体检测方法,其中,所述电极层的材料为Cr/Au。

8. 根据权利要求1所述的气体检测方法,其中,所述电极层的厚度为5-300nm。

9. 根据权利要求1所述的气体检测方法,其中,所述传感层的厚度为1-3 $\mu$ m。

10. 根据权利要求1-9中任意一项所述的气体检测方法,其中,所述微传感芯片的制备方法包括分别利用如下步骤形成多个传感单元:

1) 在支撑层、悬空层和衬底层上形成加热丝和加热电极作为加热层;

2) 在步骤1)得到的芯片上形成绝缘层;

- 3) 在步骤2)得到的绝缘层上形成电极层;
- 4) 去除加热电极表面的绝缘层;
- 5) 在所述悬空层和所述衬底层上与所述加热层对应的区域形成通孔;
- 6) 用响应2种以上气体信号的纳米气敏传感材料在所述电极层上形成传感层;

其中,步骤1)中,将两面均具有二氧化硅层的硅片作为支撑层、悬空层和衬底层;通过先光刻再蒸镀的方法形成所述加热层,所述加热层包括加热电极和加热丝;

步骤3)中,所述电极层包括传感电极,所述电极层的传感电极的尺寸不超过对应的所述加热丝;

步骤4)中,所述绝缘层为二氧化硅层;

步骤6)中,所述纳米气敏传感材料为掺杂有Pd的纳米氧化钨颗粒,所述多个传感单元包括不同Pd掺杂量的纳米氧化钨颗粒的传感层,所述纳米氧化钨颗粒的Pd掺杂量为1质量%、2质量%和5质量%。

11. 根据权利要求10所述的气体检测方法,其中,所述支撑层的厚度为300-700nm,所述悬空层的厚度为300-700 $\mu$ m,所述衬底层的厚度为300-700nm。

12. 根据权利要求10所述的气体检测方法,其中,所述硅片为P型单晶硅片。

13. 根据权利要求10所述的气体检测方法,其中,步骤1)中,所述加热电极和加热丝的材料为Cr/Au或者Ti/Pt。

14. 根据权利要求10所述的气体检测方法,其中,步骤2)中,通过气相沉积形成所述绝缘层。

15. 根据权利要求14所述的气体检测方法,其中,步骤2)中,所述气相沉积为等离子体增强化学气相沉积。

16. 根据权利要求10所述的气体检测方法,其中,步骤2)中,所述绝缘层的厚度为500-700nm。

17. 根据权利要求10所述的气体检测方法,其中,步骤3)中,通过先光刻再蒸镀的方法形成所述电极层。

18. 根据权利要求10所述的气体检测方法,其中,步骤3)中,所述电极层的材料为Cr/Au。

19. 根据权利要求10所述的气体检测方法,其中,步骤3)中,所述电极层的厚度为5-300nm。

20. 根据权利要求10所述的气体检测方法,其中,步骤4)中,使用化学蚀刻法去除加热电极表面的绝缘层。

21. 根据权利要求10所述的气体检测方法,其中,步骤5)中,用化学蚀刻法在所述悬空层和所述衬底层上与所述加热层对应的区域形成通孔。

22. 根据权利要求21所述的气体检测方法,其中,步骤5)中,用HF溶液蚀刻所述衬底层,用四甲基氢氧化铵的水溶液蚀刻所述悬空层。

23. 根据权利要求10所述的气体检测方法,其中,步骤6)中,所述传感层的厚度为1-3 $\mu$ m。

24. 权利要求1-23中任意一项所述的气体检测方法在石油化工、食品领域的应用。

## 微传感芯片及其制备方法、气体检测方法和应用

### 技术领域

[0001] 本发明涉及气体传感器技术领域,具体涉及一种微传感芯片及其制备方法、气体检测方法和应用。

### 背景技术

[0002] 近年来,国内外石化行业发生了多起重大火灾爆炸事故,如邦斯菲尔德油库火灾爆炸、腾龙芳烃储罐区火灾事故等,这些事故的发生,都是第一时间没有监测到可燃物料的泄漏导致事故的进一步扩大。随着国家和企业对各种有毒、有害气体的探测重视,对气体传感器的探测广度和精度都提出了更高的要求。目前,在石油、化工等领域普遍使用的传统气体检测仪的核心传感元件,主要存在便携性差、集成扩展能力弱、灵敏度不佳、稳定性差、检测气体种类单一以及响应迟滞等问题,由此造成复杂工况环境中气体泄漏事件不能及时发现,容易导致重大事故,如腾龙芳烃“4·6”爆炸着火事故,就是因为输送物料管线焊口开裂造成物料泄漏,但现场气体报警器却没有及时报警,泄漏出的物料扩散后被引风机吸入加热炉炉膛,遇明火引爆,爆炸冲击波撕裂储罐并引燃罐内物料,造成群罐火灾事故。

[0003] 针对上述问题,中国实用新型专利CN104931540A公开了一种气体传感器阵列及其制备方法,它采用了单种半导体金属氧化物纳米材料构建的气体传感器阵列,来提高气体传感器的选择性。但其采用的仍为传统的陶瓷管为主体的旁热式气敏元件,体积较大,功耗较大。此外,中国实用新型专利CN105223237A公开了一种气敏传感器制备方法,它提供了一种电子聚合物气体传感器阵列及其制备方法,它是将电子聚合物气体传感器阵列单元组成阵列,并设计制作在同一个芯片上,利用电子聚合物气体传感器阵列单元对含氮氧化物进行气敏检测。但其只可检测氮氧化物气体,适用范围较窄。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是为了克服现有技术存在的传统危险/可燃气体传感设备功能单一、信息分散、便携性不佳等问题,提供一种微传感芯片及其制备方法、气体检测方法和应用,该微传感芯片具有功率小、体积小、响应快、制备方法简便、准确性与可靠性高等优点,弥补了传统气体检测仪器在即时探测、交叉校准等功能方面的缺失,同时可以实现罐区、危化品仓库等密闭空间场所有毒有害气体浓度、环境温湿度多维参数的稳定灵敏响应。

[0005] 为了实现上述目的,本发明一方面提供一种气体基于低功耗微悬加热板和过渡金属氧化物气敏材料阵列的微传感芯片,该种气体传感芯片不仅能克服传统气敏传感器检测气体单一的缺点,还具有低功耗、高可靠性、高响应灵敏性、响应时间短等优点。

[0006] 本发明一方面提供一种微传感芯片,该微传感芯片上设置有一个以上传感单元,所述传感单元包括依次层叠的传感层、电极层、绝缘层、加热层、支撑层、悬空层和衬底层,其中,所述传感层由响应一种以上气体信号的气敏传感材料构成;所述加热层用于加热所述电极层和所述传感层;在所述悬空层和所述衬底层上的与所述加热层对应的区域具有通孔。

- [0007] 优选地,所述支撑层为二氧化硅层,所述悬空层为硅层,所述衬底层为二氧化硅层;
- [0008] 优选地,所述支撑层的厚度为300-700nm,所述悬空层的厚度为300-700 $\mu$ m,所述衬底层的厚度为300-700nm;
- [0009] 优选地,所述支撑层、所述悬空层和所述衬底层由两面均为二氧化硅的硅片形成;
- [0010] 优选地,所述硅片为P型单晶硅片。
- [0011] 优选地,所述加热层包括加热电极和加热丝;
- [0012] 优选地,所述加热电极和加热丝的材料为Cr/Au或者Ti/Pt;
- [0013] 优选地,所述电极层的传感电极的尺寸不超过对应的所述加热丝。
- [0014] 优选地,所述绝缘层为二氧化硅层;
- [0015] 优选地,所述绝缘层的厚度为500-700nm。
- [0016] 优选地,所述电极层包括传感电极;
- [0017] 优选地,所述电极层的材料为Cr/Au;
- [0018] 优选地,所述电极层的厚度为5-300nm。
- [0019] 优选地,所述气敏传感材料为响应2种以上气体信号的气敏传感材料;
- [0020] 优选地,所述气敏传感材料为纳米气敏传感材料;
- [0021] 优选地,所述纳米气敏传感材料含有WO<sub>3</sub>和/或SnO<sub>2</sub>;
- [0022] 优选地,所述传感层的厚度为1-3 $\mu$ m。
- [0023] 本发明另一方面提供一种微传感芯片的制备方法,该方法包括:
- [0024] 1) 在支撑层、悬空层和衬底层上形成加热丝和加热电极作为加热层;
- [0025] 2) 在步骤1)得到的芯片上形成绝缘层;
- [0026] 3) 在步骤2)得到的绝缘层上形成电极层;
- [0027] 4) 去除加热电极表面的绝缘层;
- [0028] 5) 在所述悬空层和所述衬底层上与所述加热层对应的区域形成通孔;
- [0029] 6) 用响应一种以上气体信号的气敏传感材料在所述电极层上形成传感层。
- [0030] 优选地,步骤1)中,将两面均具有二氧化硅层的硅片作为支撑层、悬空层和衬底层;
- [0031] 优选地,所述支撑层的厚度为300-700nm,所述悬空层的厚度为300-700 $\mu$ m,所述衬底层的厚度为300-700nm;
- [0032] 优选地,所述硅片为P型单晶硅片。
- [0033] 优选地,步骤1)中,通过先光刻再蒸镀的方法形成所述加热层,所述加热层包括加热电极和加热丝;
- [0034] 优选地,所述加热电极和加热丝的材料为Cr/Au或者Ti/Pt。
- [0035] 优选地,步骤2)中,通过气相沉积形成所述绝缘层;
- [0036] 优选地,所述气相沉积为等离子体增强化学气相沉积;
- [0037] 优选地,所述绝缘层为二氧化硅层;
- [0038] 优选地,所述绝缘层的厚度为500-700nm。
- [0039] 优选地,步骤3)中,通过先光刻再蒸镀的方法形成所述电极层;
- [0040] 优选地,所述电极层包括传感电极;

- [0041] 优选地,所述电极层的传感电极的尺寸不超过对应的所述加热丝;
- [0042] 优选地,所述电极层的材料为Cr/Au;
- [0043] 优选地,所述电极层的厚度为5-300nm。
- [0044] 优选地,步骤4)中,使用化学蚀刻法去除加热电极表面的绝缘层。
- [0045] 优选地,步骤5)中,用化学蚀刻法在所述悬空层和所述衬底层上与所述加热层对应的区域形成通孔;
- [0046] 更优选地,用HF溶液蚀刻所述衬底层,用四甲基氢氧化铵的水溶液蚀刻所述悬空层。
- [0047] 优选地,步骤6)中,所述气敏传感材料为响应2种以上气体信号的气敏传感材料;
- [0048] 更优选地,所述气敏传感材料为纳米气敏传感材料;
- [0049] 更优选地,所述纳米气敏传感材料含有 $WO_3$ 和/或 $SnO_2$ ;
- [0050] 优选地,所述传感层的厚度为1-3 $\mu$ m。
- [0051] 本发明另一方面提供一种气体检测方法,其中,使用上述微传感芯片或者上述微传感芯片的制备方法制备的微传感芯片进行检测。
- [0052] 优选地,所述气体为2种以上气体的混合气体。
- [0053] 优选地,针对含有n种气体的混合气体进行检测时,用具有不同的气敏传感材料的微传感芯片进行n次检测,所述气敏传感材料可响应n种以上气体信号,n次检测中得到的响应分别为 $S_1$ 、 $S_2$ ... $S_n$ ,所述混合气体中的n种气体的浓度 $C_1$ 、 $C_2$ ... $C_n$ 可以通过下式求出,

$$[0054] \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ C_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ A_{n1} & A_{n2} & \dots & A_{nn} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ S_n \end{pmatrix}$$

- [0055] 其中,所述气敏传感材料对混合气体中的第n种气体的响应常数为 $A_{nn}$ ;
- [0056] 优选地,使用具有n个以上传感层的微传感芯片在一次检测中同时完成n次检测。
- [0057] 本发明另一方面提供上述微传感芯片、上述微传感芯片的制备方法制备的微传感芯片或者上述气体检测方法在石油化工、食品领域的应用。
- [0058] 通过上述技术方案,本发明的微传感芯片具有如下优点:
- [0059] 1) 将微热板设计为悬浮状态以减少散热降低功耗,加热到相同温度所需功率远小于市面上常见的微加热板所需功率;达到所需温度只需0.1-0.5s的响应时间,响应时间迅速;
- [0060] 2) 体积电导率根据气敏传感材料种类和负载量不同在0.1-500S/m范围内精细可控,其气体响应灵敏度可达1ppm $H_2S$ 气体电阻变化44倍,响应时间<0.5s,最低检测限<10ppb。
- [0061] 3) 体积小便于携带;
- [0062] 4) 通过在气敏单元上负载不同气敏传感材料来变换气敏阵列种类,基于该气体传感器单元阵列排布,使用牛顿迭代法计算可显著提高信号的可靠性;

[0063] 5) 检测信号由多个负载不同气敏传感材料的芯片交叉校准,避免出现由单个气敏芯片检测气体误报漏报情况的发生,提高信号的准确性与可靠性。

[0064] 本发明的制备方法高效简便,易于扩大生产。在制备过程中也可通过调节负载芯片上气敏传感材料种类与膜厚、反应时间与原料配比来调控芯片的形态结构和负载气敏阵列种类。在实际生产过程中,可根据具体情况按比例放大生产。本发明所述气体传感芯片具有广泛的用途,有望使其在复杂环境条件下的广谱气体传感和探测等领域获得应用。

[0065] 本发明的微传感芯片具有广谱气敏响应特性,可检测苯、氮氧化物、一氧化碳、硫化氢等石油化工领域常见的有毒有害、易燃易爆气体为防控生产装置、罐区、危化品仓库等高能聚集场所重大事故发生提供了一种有效工具,具有重大的社会效益和经济效益。

## 附图说明

[0066] 图1是本发明的微传感芯片的剖面图;

[0067] 图2是本发明的微传感芯片的光学显微镜图;

[0068] 图3是本发明的微传感芯片的温度与加热功率的关系;

[0069] 图4是本发明的微传感芯片对 $H_2S$ 随浓度变化的气敏响应图;

[0070] 图5是本发明的具有4个微传感模块的微传感芯片的结构示意图。

[0071] 附图标记说明

[0072] 1、传感层 2、电极层 3、绝缘层

[0073] 4、加热层 5、支撑层 6、悬空层

[0074] 7、衬底层

## 具体实施方式

[0075] 在本文中所披露的范围的端点和任何值都不限于该精确的范围或值,这些范围或值应当理解为包含接近这些范围或值的值。对于数值范围来说,各个范围的端点值之间、各个范围的端点值和单独的点值之间,以及单独的点值之间可以彼此组合而得到一个或多个新的数值范围,这些数值范围应被视为在本文中具体公开。

[0076] 在本发明中,在未作相反说明的情况下,使用的方位词如“上、下、左、右”通常是指附图中的上、下、左、右。

[0077] 本发明提供的微传感芯片,如图1所示,该微传感芯片上设置有一个以上传感单元,所述传感单元包括依次层叠的传感层、电极层、绝缘层、加热层、支撑层、悬空层和衬底层,其中,所述传感层由响应一种以上气体信号的气敏传感材料构成;所述加热层用于加热所述电极层和所述传感层;在所述悬空层和所述衬底层上的与所述加热层对应的区域具有通孔。

[0078] 在本发明中,通过在所述悬空层和所述衬底层具有通孔,能够减少加热层的能量耗散,降低微传感芯片的功率,加热到相同温度所需功率远小于市售的微加热板所需功率。

[0079] 在本发明中,所述支撑层、悬空层和衬底层用于支撑加热丝和电极及敏感材料。根据本发明的一个优选的实施方式,所述支撑层为二氧化硅层,所述悬空层为硅层,所述衬底层为二氧化硅层。更优选地,所述支撑层、所述悬空层和所述衬底层由两面均为二氧化硅的硅片形成;所述硅片为P型单晶硅片。该P型单晶硅片可以为市售品。

[0080] 优选地,所述支撑层的厚度为300-700nm,所述悬空层的厚度为300-700 $\mu\text{m}$ ,所述衬底层的厚度为300-700nm;更优选地,所述支撑层的厚度为400-600nm,所述悬空层的厚度为400-600 $\mu\text{m}$ ,所述衬底层的厚度为400-600nm;进一步优选地,所述支撑层的厚度为450-550nm,所述悬空层的厚度为450-550 $\mu\text{m}$ ,所述衬底层的厚度为450-550nm。

[0081] 在本发明中,所述加热层用于气敏材料加热。所述加热层包括加热电极和加热丝,其中所述加热电极用于连接外部电路,所述加热丝用于加热,所述加热丝和所述加热电极相连。所述加热丝和所述加热电极形成的形状没有特别的限定,只要保证均匀供热即可。所述加热电极的材料没有特别的限定,所述加热电极和加热丝的材料优选为Cr/Au或者Ti/Pt。

[0082] 在本发明中,所述绝缘层用于使所述加热层和所述电极层绝缘,并且保证所述加热层均匀加热所述电极层。除了所述加热层的加热电极连接外部电路需要的部分,所述绝缘层优选覆盖整个加热层和支撑层,所述绝缘层的材料例如可以为氧化硅和/或氮化硅;优选地,所述绝缘层为二氧化硅层。在本发明中,所述绝缘层的厚度为500-700nm,优选为550-650nm,更优选为580-620nm。

[0083] 在本发明中,所述电极层用于测量材料的电阻变化,所述电极层包括传感电极,所述电极层的设置方式没有特别的限定,例如可以为叉指电极。所述传感层形成在所述叉指电极的表面。所述电极层的材料可以使用通常用于电极层的材料,例如Ni/Pt、Ni/Au、Cr/Pt中的一种或多种,更优选为Cr/Au。

[0084] 在本发明中,电极层的厚度为5-300nm,优选为50-200nm。所述电极层的尺寸可以配合需要的传感层进行设置。

[0085] 为了保证所述加热层的加热效果,优选使所述电极层的传感电极的尺寸不超过对应的所述加热丝(也就是对应的所述加热层),更优选使所述电极层的传感电极与所述加热丝具有相等的尺寸。

[0086] 在本发明中,所述传感层用于响应气体信号并相应输出电信号,所述气敏传感材料没有特别的限定,能达到相应气体信号的目的即可,为了同时检测更多的气体,所述气敏传感材料优选为响应2种以上气体信号的气敏传感材料,更优选为3种以上,例如3-4种。

[0087] 根据本发明的一种优选的实施方式,所述气敏传感材料为纳米气敏传感材料,更优选地,所述纳米气敏传感材料含有 $\text{WO}_3$ 和/或 $\text{SnO}_2$ 。所述气敏传感材料可以为未负载的 $\text{WO}_3$ 和/或 $\text{SnO}_2$ 材料,也可以将 $\text{WO}_3$ 和/或 $\text{SnO}_2$ 材料作为载体,并在该载体上进一步负载有其它金属,例如选自IB族和VIII族的金属元素中的一种或多种的贵金属,具体可以选自Ag、Au、Pd和Pt中的一种或多种。通过负载贵金属,可以进一步提高气敏传感材料的响应灵敏度。

[0088] 作为上述气敏传感材料的制备方法,例如可以采用水热法、溶胶-凝胶法等。作为水热法制备气敏传感材料,可以将金属化合物溶解制成溶液,将得到的溶液搅拌蒸干得到粉末,经过研磨烧结后得到气敏传感材料。

[0089] 作为将所述气敏传感材料负载在电极层上形成传感层的方法,可以将气敏传感材料用适当的溶剂溶解后滴加、喷淋等方式负载在电极层上,晾干即可。使用前,优选将负载有气敏传感材料的芯片进行热处理,例如可以在30-50 $^{\circ}\text{C}$ 条件下加热10-15小时,例如在40 $^{\circ}\text{C}$ 加热12小时。

[0090] 在本发明中所述传感层的厚度优选为1-3 $\mu\text{m}$ ,更优选为1.5-2.5 $\mu\text{m}$ 。所述传感层的

尺寸优选为(200-250)  $\mu\text{m}$   $\times$  (200-250)  $\mu\text{m}$ , 例如230 $\mu\text{m}$   $\times$  230 $\mu\text{m}$ 。

[0091] 在本发明中, 所述微传感芯片还可以包括驱动电极部、信号采集部等, 所述驱动电极部用于加热电极层和传感层, 所述信号采集部用于测量电信号。

[0092] 根据本发明, 所述传感层可以设置为一个以上, 优选为2个以上, 更优选为4个以上。通过设置多个用不同气敏传感材料的传感层, 从而可以在一个微传感芯片上设置多个微传感模块(每个微传感模块均包括上述的传感层、电极层、绝缘层、加热层、支撑层、悬空层和衬底层结构), 可以在一次检测中同时对多种气体产生响应信号, 从而用一次测定即可完成多种气体的检测。具有多个微传感模块的微传感芯片, 需要对应所述传感层分别设置所述电极层以及所述悬空层和所述衬底层上的通孔结构, 由此可以形成具有气敏阵列的微传感芯片, 例如图5中示出的具有4个微传感模块的气敏阵列的微传感芯片图, 每个微传感模块中除了上述的传感层、电极层、绝缘层、加热层、支撑层、悬空层和衬底层结构还分别与驱动电极部、信号采集部连接。

[0093] 本发明提供的微传感芯片的制备方法, 其中, 该方法包括:

[0094] 1) 在支撑层、悬空层和衬底层上形成加热丝和加热电极作为加热层;

[0095] 2) 在步骤1) 得到的芯片上形成绝缘层;

[0096] 3) 在步骤2) 得到的绝缘层上形成电极层;

[0097] 4) 去除加热电极表面的绝缘层;

[0098] 5) 在所述悬空层和所述衬底层上与所述加热层对应的区域形成通孔;

[0099] 6) 用响应一种以上气体信号的气敏传感材料在所述电极层上形成传感层。

[0100] 根据本发明, 步骤1) 中, 将两面均具有二氧化硅层的硅片作为支撑层、悬空层和衬底层。所述硅片为P型单晶硅片。该P型单晶硅片可以为市售品。

[0101] 优选地, 所述支撑层的厚度为300-700nm, 所述悬空层的厚度为300-700 $\mu\text{m}$ , 所述衬底层的厚度为300-700nm; 更优选地, 所述支撑层的厚度为400-600nm, 所述悬空层的厚度为400-600 $\mu\text{m}$ , 所述衬底层的厚度为400-600nm; 进一步优选地, 所述支撑层的厚度为450-550nm, 所述悬空层的厚度为450-550 $\mu\text{m}$ , 所述衬底层的厚度为450-550nm。

[0102] 根据本发明, 步骤1) 中, 通过先光刻再蒸镀的方法形成所述加热层, 所述加热层包括加热电极和加热丝。例如可以先用光刻胶在支撑层表面设定区域暴露出需要加工的加热丝和加热电极的图案, 再用金属蒸镀在图案处形成镀层, 然后去除光刻胶及其上的金属镀层, 从而形成加热丝的金属图案。作为用光刻胶形成图案的方法, 可以在支撑层上用旋涂法均匀的涂敷一层光刻胶, 再使用预先制备的掩模和紫外光刻技术在光刻胶上设定区域刻掉光刻胶暴露出加热丝和加热电极的图案。所述加热丝和所述加热电极形成的形状没有特别的限定, 只要保证均匀供热即可。作为金属蒸镀的方法, 可以在真空腔体中进行, 条件可以包括: 真空度为 $5 \times 10^{-7}$  m bar以下, Au的蒸镀速率为0.5-2A/s (例如1A/s), Cr的蒸镀速率为0.05-0.2A/s (例如0.1A/s)。所述加热电极的材料没有特别的限定, 所述加热电极和加热丝的材料优选为Cr/Au或者Ti/Pt。作为去除光刻胶及其上的金属镀层的方法, 可以在有机溶剂(例如丙酮)中溶解掉光刻胶并冲洗掉光刻胶上的金属材料。电极层的厚度可以为5-300nm。所述电极层的尺寸可以配合需要的传感层进行设置。

[0103] 根据本发明, 步骤2) 中, 通过气相沉积形成所述绝缘层, 优选地, 所述气相沉积为等离子体增强化学气相沉积(PECVD)。作为PECVD的具体方法, 可以将硅片放入PECVD腔体。

通入硅烷、一氧化二氮,在250-350℃(例如300℃)下生长二氧化硅层,硅烷、一氧化二氮的体积比例如为5:6。所述绝缘层的材料例如可以为氧化硅和/或氮化硅,优选地,所述绝缘层为二氧化硅层。在本发明中,所述绝缘层的厚度为500-700nm,优选为550-650nm,更优选为580-620nm。

[0104] 根据本发明,步骤3)中,通过先光刻再蒸镀的方法形成所述电极层。优选所述电极层包括传感电极(叉指电极);所述光刻和蒸镀的方法可以与形成所述加热层的方法相同。具体可以在绝缘层的表面涂敷光刻胶,通过叉指电极的掩模利用紫外曝光技术在加热丝的正上方暴露出叉指电极的图案;在真空腔体中给整个硅片表面蒸镀金属层;利用有机溶剂(如丙酮)溶掉光刻胶并冲洗掉光刻胶表面的金属层。由此只有正对在加热丝上的叉指电极图形及其电路连接线被保留在器件表面。所述电极层的材料可以使用通常用于电极层的材料,例如Cr/Pt、Ni/Pt、Ni/Au中的一种或多种,更优选为Cr/Au。电极层的厚度为5-300nm。

[0105] 所述电极层的尺寸可以配合需要的传感层进行设置。另外,为了保证所述加热层的加热效果,优选使所述电极层的传感电极的尺寸不超过其对应的所述加热丝(即所述加热层),更优选使所述电极层的传感电极与所述加热丝(即所述加热层)相等的尺寸。

[0106] 根据本发明,步骤4)中,使用化学蚀刻法去除加热电极表面的绝缘层。所述蚀刻例如可以采用HF水溶液进行。为了保证化学蚀刻仅去除所需部分的绝缘层,优选在进行化学蚀刻前,利用光刻法形成相应的蚀刻掩模。具体地,可以在绝缘层表面旋涂上光刻胶,使用紫外光刻方法在加热电极对应位置打开窗口,在HF水溶液中把暴露出来的氧化硅层腐蚀掉,暴露出加热电极,保证后续器件连接时电路可以连接到底层被埋起来的加热丝。

[0107] 根据本发明,步骤5)中,用化学蚀刻法在所述悬空层和所述衬底层上与所述加热层对应的区域形成通孔。优选地,用HF溶液蚀刻所述衬底层,用四甲基氢氧化铵的水溶液蚀刻所述悬空层。作为化学蚀刻的方法,具体可以为:浸泡在30-40℃(例如35℃)的HF溶液中100-200s(例如130s),然后在90-100℃(例如95℃)四甲基氢氧化铵的水溶液中刻蚀8-10小时。

[0108] 根据本发明,步骤6)中,用响应一种以上气体信号的气敏传感材料在所述电极层上形成传感层;为了同时检测更多的气体,所述气敏传感材料优选为响应2种以上气体信号的气敏传感材料,更优选为3种以上,例如3-4种。根据本发明的一种优选的实施方式,所述气敏传感材料为纳米气敏传感材料,更优选地,所述纳米气敏传感材料为 $WO_3$ 和/或 $SnO_2$ ;其中优选为 $WO_3$ 、 $SnO_2$ 中的一种。在本发明中所述传感层的厚度优选为1-3 $\mu m$ ,更优选为1.5-2.5 $\mu m$ 。所述传感层的尺寸优选为(200-250) $\mu m \times$  (200-250) $\mu m$ ,例如230 $\mu m \times$  230 $\mu m$ 。

[0109] 本发明的气体检测方法,其中,使用上述微传感芯片或者上述的制备方法制备的微传感芯片进行检测。优选地,所述气体为2种以上气体的混合气体。

[0110] 根据本发明,针对含有n种气体的混合气体进行检测时,用具有不同的气敏传感材料的微传感芯片进行n次检测,所述气敏传感材料可响应n种以上气体信号,n次检测中得到的响应分别为 $S_1$ 、 $S_2 \cdots S_n$ ,所述混合气体中的n种气体的浓度 $C_1$ 、 $C_2 \cdots C_n$ 可以通过下式求出,

$$[0111] \quad \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ C_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ A_{n1} & A_{n2} & \dots & A_{nn} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ S_n \end{pmatrix}$$

[0112] 其中,所述气敏传感材料对混合气体中的第n种气体的响应常数为 $A_{nn}$ ;

[0113] 优选地,使用具有n个以上传感层的微传感芯片在一次检测中同时完成n次检测。

[0114] 以检测CO、H<sub>2</sub>S、NO<sub>x</sub>、甲苯为例,现已知标号分别为1、2、3、4的四种不同的气敏材料对四种气体CO、H<sub>2</sub>S、NO<sub>x</sub>、甲苯的响应常数为 $A_{11}$ 、 $A_{21}$ 、 $A_{31}$ 、 $A_{41}$ ;  $A_{12}$ 、 $A_{22}$ 、 $A_{32}$ 、 $A_{42}$ ;  $A_{13}$ 、 $A_{23}$ 、 $A_{33}$ 、 $A_{43}$ ;  $A_{14}$ 、 $A_{24}$ 、 $A_{34}$ 、 $A_{44}$ 。假设在实际应用环境中测得CO、H<sub>2</sub>S、NO<sub>x</sub>、甲苯在标号为1、2、3、4的气敏材料上的响应分别为 $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 、 $S_4$ 。即可根据上述已知量列出下述矩阵行列式求得CO、H<sub>2</sub>S、NO<sub>x</sub>、甲苯的浓度 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 、 $C_4$ 。

$$[0115] \quad \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & A_{14} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} & A_{24} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} & A_{34} \\ A_{41} & A_{42} & A_{43} & A_{44} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \end{pmatrix}$$

[0116] 作为求出浓度的具体方法,可以采用牛顿迭代算法。

[0117] 通过矩阵算出n种气体分别在n种不同气敏传感材料上的浓度后,再将同种气体在不同气敏传感材料的浓度值相加取平均即可得到该气体在实际环境中的浓度值,由此可以简化测量过程,同时提高测量精度。

[0118] 本发明还提供了上述微传感芯片、上述的制备方法制备的微传感芯片或者上述气体检测方法在石油化工领域、食品领域等的应用。

[0119] 以下将通过实施例对本发明进行详细描述。以下实施例中,响应常数通过下述方法测得:

[0120] 实验测试仪器包括:项目组自建的测试腔体;中科科仪生产的型号为RVD-2的双级旋片真空泵;National Instruments公司的型号为NI.PCI-6289的数据采集卡;联想台式电脑;具体实验步骤:将气敏传感材料芯片插入自制测试电路板卡槽内放置于测试腔体内并将腔体密封后通入空气,将电路板与电脑通过蓝牙的方式连接,在电脑端将芯片微热板升温至300度,用针管抽取待测气体从进气口将气体打入测试腔体内,通过电脑端可以实时读取并记录的电阻变化,实验结束后用真空泵将废弃抽走。测试环境为湿度为40%的空气,测试温度为300度。

[0121] 所用厚度为500 $\mu$ m正反两面均有500nm氧化硅双面抛光的P型(100)单晶硅片为上海纳腾公司的市售品。

[0122] 实施例1

[0123] 采用如下方法制备具有3个微传感模块的微传感芯片:

[0124] 1) 在厚度为500 $\mu$ m正反两面均有500nm氧化硅双面抛光的P型(100)单晶硅片(其氧

化硅层、硅层、氧化硅层分别作为衬底层7、悬空层6和支撑层5) 正面通过光刻和真空蒸镀方式制备金属加热丝及连接加热丝的加热电极作为加热层4。光刻条件:使用AZ6130光刻胶,曝光时间为8秒;真空蒸镀条件:真空度为 $5 \times 10^{-7}$  m bar以下,Au的蒸镀速率为1A/s,Cr的蒸镀速率为0.1A/s。最终得到的加热层Cr/Au层(其中Cr作为粘附层,含量为99.9质量%),厚度为4nm;加热层4包括3个加热丝,分别对应3个微传感模块;

[0125] 2) 在步骤1) 得到的硅片上采用PECVD的方式生长 $\text{SiO}_2$ 作为绝缘层3。参与反应的气体为 $\text{SiH}_4$ 和 $\text{N}_2\text{O}$ ,反应温度为 $300^\circ\text{C}$ ,生长速度约为49nm/min,生长时间13min,最终生长氧化硅的厚度约为600nm;

[0126] 3) 在绝缘层3的上面再次使用光刻和真空蒸镀(光刻条件:使用AZ6130光刻胶,曝光时间8秒;真空蒸镀条件:真空度为 $5 \times 10^{-7}$  m bar以下,Au的蒸镀速率为1A/s,Cr的蒸镀速率为0.1A/s)的方式制备3个叉指电极分别作为3个微传感模块的电极层2,叉指电极的材料为Cr/Au,厚度为Cr 5nm、Au 100nm,尺寸为 $180\mu\text{m} \times 230\mu\text{m}$ ;

[0127] 4) 使用光刻曝光加热电极区域,光刻条件为:使用AZ6130光刻胶,曝光时间8秒。然后将硅片放 $35^\circ\text{C}$ 的BOE溶液(HF和 $\text{NH}_4\text{F}$ 比例为1:7)中蚀刻去掉加热电极表面的绝缘层,反应时间为145s;

[0128] 5) 用光刻的方法在硅片背面曝光加热丝对应的位置,继而将硅片放入 $35^\circ\text{C}$ 的BOE溶液(HF和 $\text{NH}_4\text{F}$ 比例为1:7)中去掉底层衬底层7(氧化硅层),反应时间为120s,从而在硅片的背面对应加热丝的位置的衬底层7形成通孔;

[0129] 6) 以上一步中的衬底层7通孔作为掩膜,将硅片放入 $95^\circ\text{C}$ 的四甲基氢氧化铵溶液中(5%的四甲基氢氧化铵的水溶液),水浴加热8h,刻蚀掉窗口中的悬空层6(硅层),使加热丝和叉指电极对应的部分悬空起来。

[0130] 基于以上芯片制备流程,在叉指电极上滴注气敏传感材料(掺杂Pd的纳米氧化锡颗粒)形成传感层的具体方法如下:

[0131] 1) 将83.3mg的 $\text{PdCl}_2$ 溶解在25ml的水中配置成溶液A;

[0132] 2) 在溶液A中取0.25ml溶液与100mg  $\text{SnO}_2$ 混合配置成溶液B;

[0133] 3) 将溶液B放入离心管中,放入磁力搅拌子和1ml乙醇,将离心管放入油浴锅 $80^\circ\text{C}$ 搅拌蒸干,得到Pd负载的 $\text{SnO}_2$ 粉末,然后将该粉末取出放入玛瑙研钵内研磨10分钟;

[0134] 4) 将研磨后的Pd负载的 $\text{SnO}_2$ 粉末放入坩埚内 $500^\circ\text{C}$ 烧结1小时;

[0135] 5) 将烧结后的Pd负载的 $\text{SnO}_2$ 粉末与松油醇以80mg:50 $\mu\text{l}$ 的比例混合配置成溶液C,将溶液C放入玛瑙研钵研磨10分钟,用移液枪抽取1 $\mu\text{l}$ 该溶液C滴注在芯片的叉指电极上,待溶液自然晾干;

[0136] 6) 将负载气敏传感材料的芯片置于热板上 $40^\circ\text{C}$ 加热12小时,得到厚度为 $2\mu\text{m}$ 的传感层1。

[0137] 从而形成剖面图如图1所示的具有3个微传感模块的微传感芯片。

[0138] 图2是本发明实施例1中微传感芯片的光学显微镜图(放大倍数75倍)。图中左侧两个浅色条状是加热层4的加热电极,右侧两个浅色条状是连接电极层2的电极,中部是气敏测试单元,因为上下遮挡,目视上加热层4与电极层2重叠在一起。实际上两层中间被绝缘层3绝缘,但可以良好传热。保证气敏测量在相应的温度下获得优秀的结果。图中灰色窗口是刻蚀通孔。

[0139] 图3是本发明的微传感芯片的温度与加热功率的关系,通过图3可以看出本发明的微传感芯片热效率高。

[0140] 实施例2

[0141] 使用实施例1的方法制备微传感芯片,并在三个微传感模块的电极层上分别负载使用水热法制备的三种水热法制备的纳米气敏颗粒,标号分别为1、2、3。其中,标号1是水热法制备的纳米氧化锡颗粒(制备方法按照实施例1中掺杂Pd的纳米氧化锡颗粒进行,不同的是不负载Pd);标号2是水热法制备的纳米氧化钨颗粒(制备方法按照实施例1中的掺杂Pd的纳米氧化锡颗粒进行,不同的是,不负载Pd,并用等质量的 $WO_3$ 代替 $SnO_2$ ),标号3是水热法制备的掺杂0.5质量%钼的纳米氧化钨颗粒(制备方法按照实施例1中的掺杂Pd的纳米氧化锡颗粒进行,不同的是,用等质量的 $WO_3$ 代替 $SnO_2$ )。

[0142] 已知两种气体CO、 $H_2S$ 在3个标号的纳米传感材料下的不同温度所对应的响应常数曲线。图4示出了本发明的微传感芯片对 $H_2S$ 随浓度变化的气敏响应图,其中 $R_0$ 为测量气体前的基线电阻, $R_x$ 为打气后的峰值电阻。 $R_0/R_x$ 给出气体敏感值。

[0143] 通过测得单位浓度下气体敏感值,实测标号为1、2、3的纳米气敏传感材料对两种气体CO、 $H_2S$ 的响应常数分别为0.029、0.168;0.0226、0.234;0.0316、0.236。

[0144] 在实际应用环境中测得CO、 $H_2S$ 在标号为1、2、3的纳米气敏传感材料上的响应分别为1.94、2.16、2.37。

[0145] 实际环境中测得的CO、 $H_2S$ 的浓度 $C_1$ 、 $C_2$ 可根据上述已知量列出下述矩阵行列式求得。

$$[0146] \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.029 & 0.168 & 0 & 0 \\ 0.0226 & 0.234 & 0 & 0 \\ 0.0316 & 0.236 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 1.94 \\ 2.16 \\ 2.37 \\ 0 \end{pmatrix}$$

[0147] 计算得在当前测试环境下CO、 $H_2S$ 的浓度结果如表1所示。

[0148] 实施例3

[0149] 采用实施例2中相同的方法制备微传感芯片和气敏传感材料并进行测定,不同的是,标号1是掺杂1质量%Pd的纳米氧化钨颗粒;标号2是掺杂2质量%Pd的纳米氧化钨颗粒,标号3是掺杂5质量%Pd的纳米氧化钨颗粒。

[0150] 实测标号为1、2、3的纳米气敏传感材料对两种气体CO、 $H_2S$ 的响应常数分别为0.011、0.07;0.0069、0.175;0.0118、0.18。

[0151] 在实际应用环境中测得CO、 $H_2S$ 在标号为1、2、3的纳米气敏传感材料上的响应分别为3.08、6.635、7.14。

[0152] 实际环境中测得的CO、 $H_2S$ 的浓度 $C_1$ 、 $C_2$ 可根据上述已知量列出下述矩阵行列式求得。

$$[0153] \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.011 & 0.07 & 0 & 0 \\ 0.0069 & 0.175 & 0 & 0 \\ 0.0118 & 0.18 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 3.08 \\ 6.635 \\ 7.14 \\ 0 \end{pmatrix}$$

[0154] 计算得在当前测试环境下CO、H<sub>2</sub>S的浓度结果如表1所示。

[0155] 实施例4

[0156] 采用实施例2中相同的方法制备微传感芯片和气敏传感材料并进行测定,不同的是,标号1是掺杂0.5质量%Ag的纳米氧化锡颗粒;标号2是掺杂0.5质量%Au的纳米氧化锡颗粒,标号3是掺杂0.5质量%Pt的纳米氧化锡颗粒。

[0157] 实测标号为1、2、3的纳米气敏传感材料对两种气体CO、H<sub>2</sub>S的响应常数为0.0178、0.107;0.0123、0.2;0.019、0.2。

[0158] 在实际应用环境中测得CO、H<sub>2</sub>S在标号为1、2、3的纳米气敏传感材料上的响应分别为2.45、3.79、4.2。

[0159] 实际环境中测得的CO、H<sub>2</sub>S的含量C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>可根据上述已知量列出下述矩阵行列式求得。

$$[0160] \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.0178 & 0.107 & 0 & 0 \\ 0.0123 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.019 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 2.45 \\ 3.79 \\ 4.2 \\ 0 \end{pmatrix}$$

[0161] 计算得在当前测试环境下CO、H<sub>2</sub>S的浓度结果如表1所示。

[0162] 实施例5

[0163] 采用实施例2中的微传感芯片进行测定,不同的是,使用标号为4、5、6的三种不同掺杂的纳米气敏传感材料标号4是掺杂10质量%Ag的纳米氧化钨颗粒;标号5是掺杂10质量%Au的纳米氧化钨颗粒,标号6是掺杂10质量%Pt的纳米氧化钨颗粒。

[0164] 已知两种气体CO、H<sub>2</sub>S在不同标号的纳米气敏传感材料下的不同温度所对应的响应常数曲线。

[0165] 实测标号为4、5、6的纳米气敏传感材料对两种气体CO、H<sub>2</sub>S的响应常数为0.0189、0.012;0.0116、0.135;0.0155、0.147。

[0166] 在实际应用环境中测得CO、H<sub>2</sub>S在标号为4、5、6的纳米气敏传感材料上的响应分别为2.19、2.52、2.97。

[0167] 实际环境中测得的CO、H<sub>2</sub>S的含量C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>可根据上述已知量列出下述矩阵行列式求得。

$$[0168] \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.0189 & 0.12 & 0 & 0 \\ 0.0116 & 0.135 & 0 & 0 \\ 0.0155 & 0.147 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 2.19 \\ 2.52 \\ 2.97 \\ 0 \end{pmatrix}$$

[0169] 计算得在当前测试环境下CO、H<sub>2</sub>S的浓度结果如表1所示。

[0170] 表1

[0171]	CO (ppm)	H <sub>2</sub> S (ppm)
实施例2	29.4	6.2
实施例3	55.5	35.9
实施例4	42.9	15.56
实施例5	40.56	18.5

[0172] 如表1所示,实施例2、3、4在不同环境下测量实际环境中CO与H<sub>2</sub>S的浓度,实施例4、5是在不同种类的过渡金属氧化物气敏传感材料阵列下测得的CO与H<sub>2</sub>S的浓度。

[0173] 实施例2、3、4使用的CO/H<sub>2</sub>S混合气体中CO/H<sub>2</sub>S分别为30/5ppm、55/35ppm、40/15ppm,对比表1的测定结果可知在不同的测试环境下,微传感芯片可准确可靠的检测出环境中所需检测的气体浓度值。

[0174] 实施例4与实施例5使用的是不同种类的过渡金属氧化物气敏传感材料阵列,经对比可见在相同测试环境下,变更气敏传感材料依然可准确检测出环境中所需检测的气体浓度值,具有较强的复杂环境适应能力和设备可靠性。

[0175] 以上详细描述了本发明的优选实施方式,但是,本发明并不限于此。如基底材料在该发明中采用的是半导体金属氧化物气敏传感材料,当然也可以变更为碳纳米管、石墨烯、高分子材料等其他不同类别的气敏传感材料;目标气体也不仅仅局限于苯、硫化氢、一氧化碳、氮氧化物这四种有害气体,还可以是其他有害/可燃气等;一个微传感芯片上集成传感阵列微区数量也不局限于四个,可以是多个。在本发明的技术构思范围内,可以对本发明的技术方案进行多种简单变型,包括各个技术特征以任何其它的合适方式进行组合,这些简单变型和组合同样应当视为本发明所公开的内容,均属于本发明的保护范围。

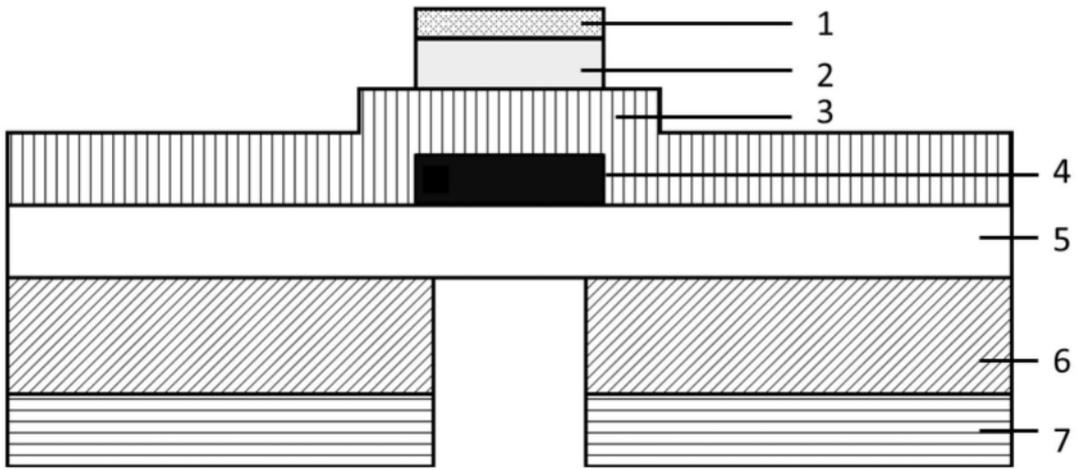


图1

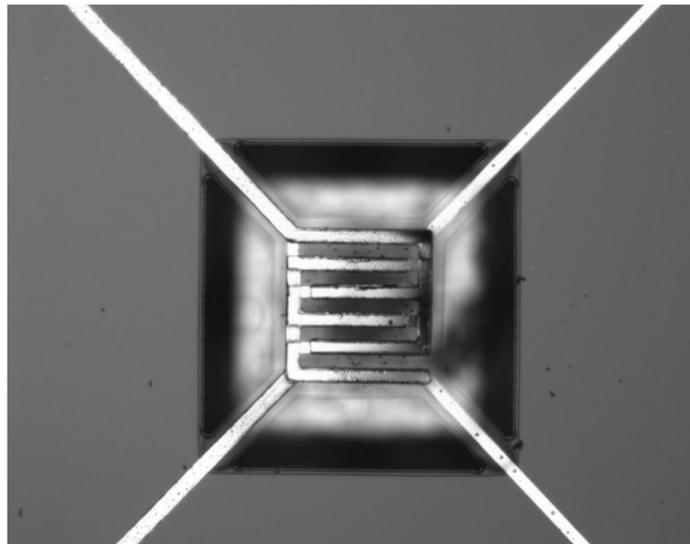


图2

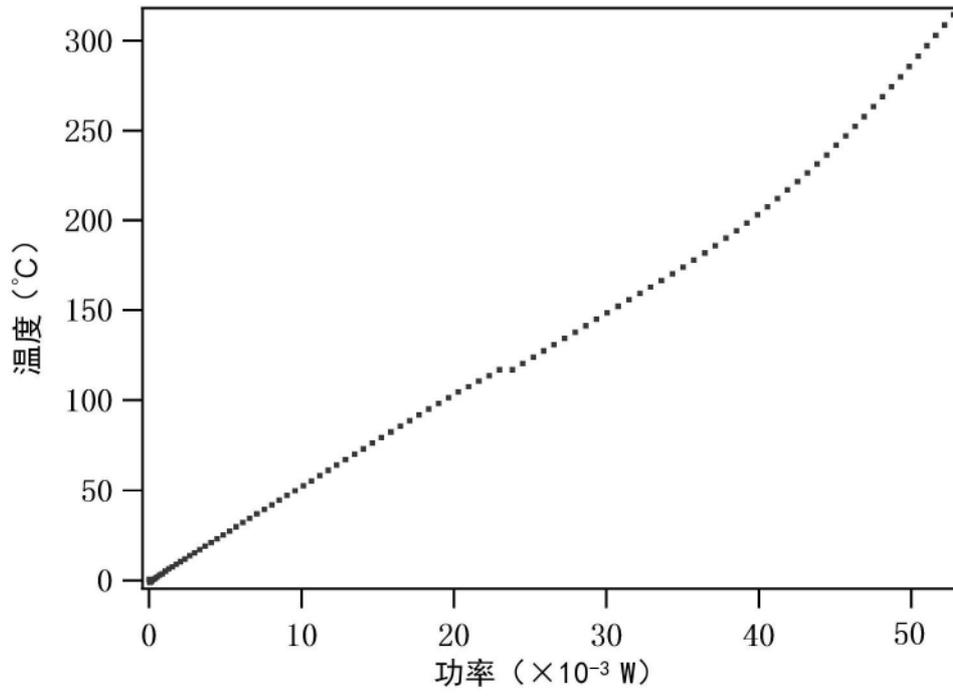


图3

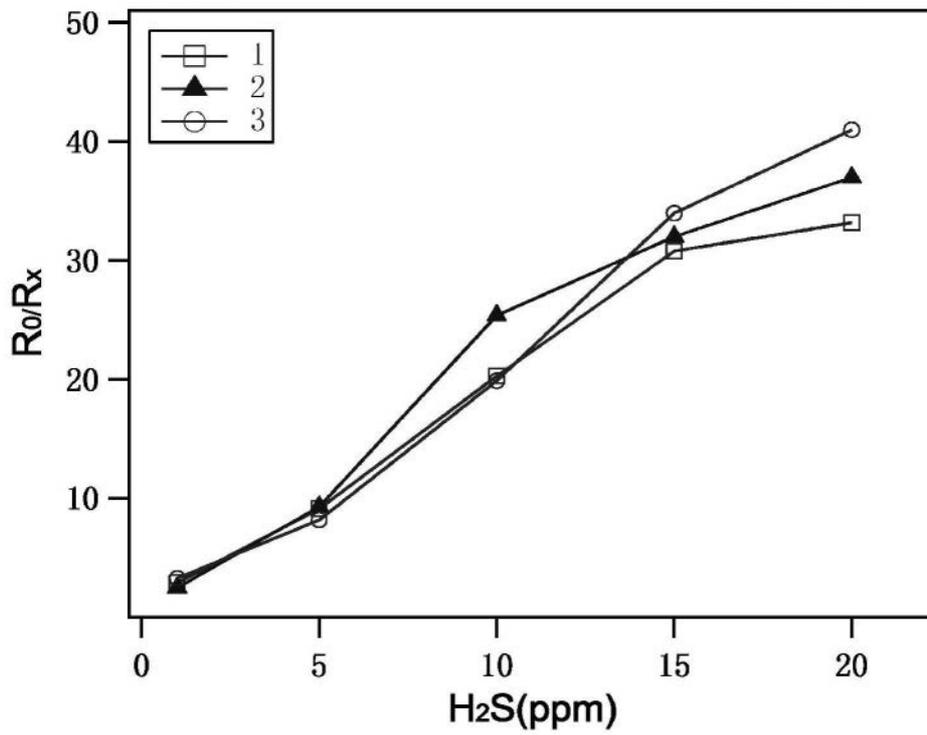


图4

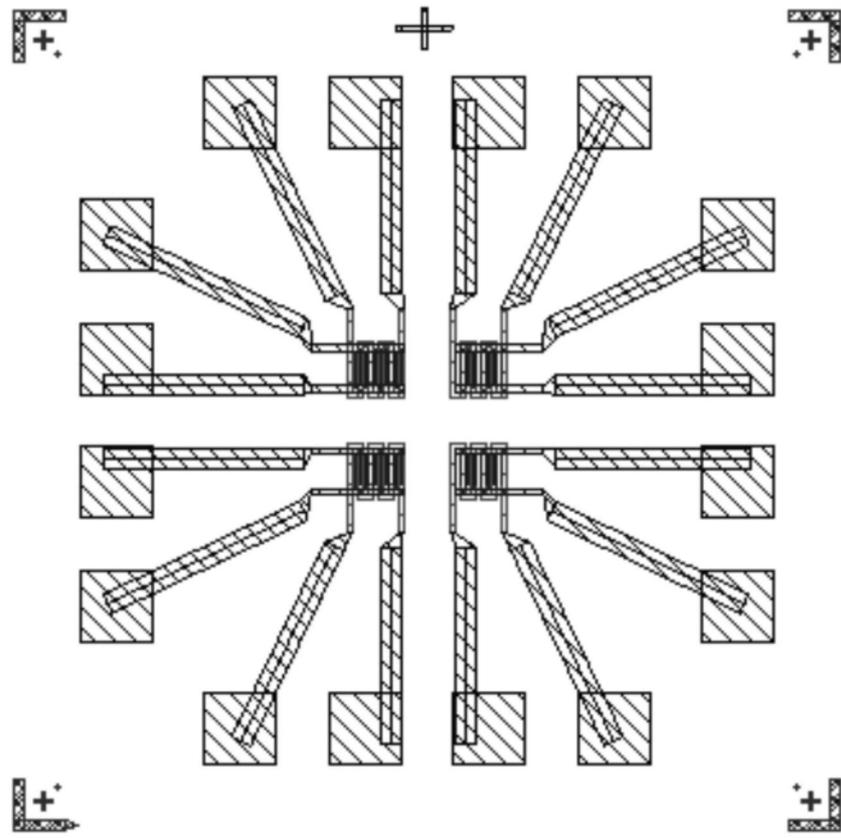


图5