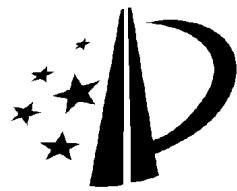


[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[51] Int. Cl.

G01N 27/22 (2006.01)

G01N 27/12 (2006.01)

[21] 申请号 200580017844.6

[43] 公开日 2007 年 5 月 9 日

[11] 公开号 CN 1961209A

[22] 申请日 2005.3.30

[21] 申请号 200580017844.6

[30] 优先权

[32] 2004.4.2 [33] US [31] 60/558,565

[86] 国际申请 PCT/IE2005/000033 2005.3.30

[87] 国际公布 WO2005/095936 英 2005.10.13

[85] 进入国家阶段日期 2006.12.1

[71] 申请人 蒂莫西·卡明斯

地址 爱尔兰克莱尔郡

[72] 发明人 蒂莫西·卡明斯

[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

代理人 王英

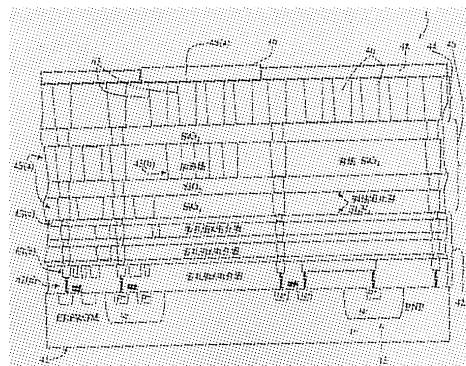
权利要求书 5 页 说明书 15 页 附图 10 页

[54] 发明名称

集成电子传感器

[57] 摘要

一种集成传感器及其制造所述器件的方法，该器件包括在半导体衬底中的 MOS 电路，具有互连导体和绝缘电介质的互连级，所述级在衬底上并互连 MOS 电路，互连级包含具有嵌入互连电介质中的电极的传感器，以及 MOS 电路包括用于处理来自传感器电极的信号的处理器。



1、一种集成传感器器件，包括：

在半导体衬底中的MOS电路，

具有互连导体和绝缘电介质的互连级，所述级在该衬底上并对所述MOS电路进行互连，

所述互连级包含具有嵌入该互连电介质中的电极的传感器，并且

所述 MOS 电路包括用于处理来自该传感器电极的信号的处理器。

2、如权利要求 1 所述的集成传感器器件，其中该传感器包括用于使被检测的气体或者湿气进入的多孔氧化物。

3、如权利要求 2 所述的集成传感器器件，其中该多孔氧化物是掺杂了碳的 SiO₂。

4、如前述任一权利要求所述的集成传感器器件，其中该传感器是电容性传感器。

5、如权利要求 4 所述的集成传感器器件，其中该传感器包括在该传感器电极上的钝化层。

6、如权利要求 5 所述的集成传感器器件，其中该多孔氧化物沉积在该钝化层上，并且所述 MOS 电路检测所述电极之间的边缘场的变化。

7、如权利要求 5 或者 6 所述的集成传感器器件，包括在所述互连级之间的刻蚀阻止层，并且所述钝化层具有和该刻蚀阻止材料相同的组成物。

8、如权利要求 7 所述的集成传感器器件，其中该钝化层具有 Si_3N_4 组成物。

9、如权利要求 5 至 8 中的任一项所述的集成传感器器件，其中该钝化层在该检测电极上凹进。

10、如权利要求 9 所述的集成传感器器件，其中在凹槽中存在多孔氧化物膜。

11、如权利要求 1 至 4 中的任一项所述的集成传感器器件，其中该多孔氧化物处于所述电极之间并被暴露出来。

12、如前述任一权利要求所述的集成传感器器件，其中所述 MOS 电路在垂直维度上直接位于该传感器下面。

13、如前述任一权利要求所述的集成传感器器件，其中所述 MOS 电路包括温度传感器。

14、如权利要求 13 所述的集成传感器器件，其中该温度传感器包括 PNP 晶体管。

15、如权利要求 13 或者 14 所述的集成传感器器件，其中所述 MOS 电路包括微控制器，用于处理来自气体或者湿度传感器的气体或者湿度信号和来自该温度传感器的温度信号，以提供增强的输出。

16、如权利要求 15 所述的集成传感器器件，其中所述增强的输出是校正了温度的气体或者湿度的读数。

17、如权利要求 1 所述的集成传感器器件，其中该传感器包括沉积在所述传感器电极上的聚酰亚胺。

18、如前述任一权利要求所述的集成传感器器件，其中所述 MOS 电路包括连接在所述传感器电极和所述处理器之间的 AD 转换器。

19、如权利要求 18 所述的集成传感器器件，其中该 AD 转换器包括具有围绕有效的 AD 转换器电容器的恒定布局的虚拟电容器的阵列。

20、如前述任一权利要求所述的集成传感器器件，还包括发光二极管。

21、如权利要求 20 所述的集成传感器器件，其中在深入到该传感器电极的较低横向互连级的沟槽中形成所述二极管。

22、如前述任一权利要求所述的集成传感器器件，其中该器件包括光电检测器二极管。

23、如权利要求 22 所述的集成传感器器件，其中所述二极管位于该传感器电极的较低横向互连级中的深沟槽中。

24、如前述任一权利要求所述的集成传感器器件，其中所述 MOS 电路包括无线收发机。

25、如权利要求 24 所述的集成传感器器件，其中该无线收发机用于和网络中的其它节点通信，并且它包括用于当检测到干扰时根据低频信道切换方案来切换信道频率的装置。

26、如权利要求 24 或者 25 所述的集成传感器器件，其中互连级包括低噪声放大器。

27、如权利要求 26 所述的集成传感器器件，其中该低噪声放大器包括在导体下面的应变硅区。

28、如权利要求 27 所述的集成传感器器件，其中该应变硅处在该衬底上面的第五或者第六互连级中。

29、如前述任一权利要求所述的集成传感器器件，其中该传感器包括连接在该器件的上表面上的焊盘之间的检测元件。

30、如权利要求 29 所述的集成传感器器件，其中该元件是检测气体的薄膜。

31、如权利要求 30 所述的集成传感器器件，其中该元件是氧化锌的组分物。

32、如权利要求 29 所述的集成传感器器件，其中所述元件检测声音，并且所述 MOS 电路包括用于处理来自该元件的信号的音频处理器。

33、一种制造前述任一权利要求所述的传感器器件的方法，该方法包括以下步骤：

 在该衬底中制造所述 MOS 电路，

 根据互连设计在相继的制造周期中制造互连级，以互连所述 MOS 电路，和

在最后的互连级中制造所述传感器电极和电介质。

34、如权利要求 33 所述的方法，还包括在该顶部互连级上沉积钝化层的步骤。

35、如权利要求 34 所述的方法，包括在所述互连级中的每层电介质上沉积刻蚀阻止层，以及在该顶部互连级电介质上沉积刻蚀阻止材料以提供该钝化层的步骤。

36、如权利要求 33 到 35 中的任一项所述的方法，其中设置多孔氧化物作为较低互连级中的电介质，并使用常规的氧化物作为较高互连级中的电介质。

37、如权利要求33到36中的任一项所述的方法，其中在较高互连级中沉积应变的低噪声放大器，所述放大器包括应变的硅区域。

集成电子传感器

发明领域

本发明涉及电子传感器。

现有技术

在电子工业中一个主要的驱动力是希望获得更大的功能集成，使得生产更自动化并降低每单位的成本。当然，附加的优点是减小的尺寸以及由此更高的电路密度。更重要的是，对于电池应用来说，由于降低的寄生电容，所以更高的集成通常导致更低的能耗。

然而，在传感器领域中，尤其是在无线传感器领域中，由于在将微控制器、A-D 转换器（ADC）、存储器、RF 收发机和传感器元件集成到一个集成的传感器器件中碰到的困难，所以已经减慢了更高的集成。由于对于各种元件的材料处理的不兼容性，所以这些困难已经出现了。例如，通常在陶瓷或者玻璃衬底上制造传感器元件，并且传感器元件不可能容易地集成在硅上。RF 收发机典型地由双极晶体管构成，它们难以和其它技术例如 CMOS 集成在一起。而且，很多 CMOS 的高分辨率 ADC 是利用多晶—多晶电容器制成，它们遭受着衬底寄生效应、应力和失配效应的影响。而且，在 IC 处理中使用的铝金属化容易腐蚀，因此限制了对于某些类传感器应用的有效性。

US6724612 和 US6690569 介绍了具有电子和传感部件的传感器器件，所述传感部件是电容性的电极。然而，电极需要铂或者金涂覆以及聚合物的沉积作为检测湿度的电介质。这种处理不受大容量半导体处理的影响。

本发明解决了这些问题。

发明内容

根据本发明，提供了一种集成传感器器件，包括：

在半导体衬底中的 MOS 电路，

具有互连导体和绝缘电介质的互连级，所述级在衬底上面并互联 MOS 电路，

互连级包含具有嵌入互连电介质中的电极的传感器，以及 MOS 电路包括处理来自传感器电极的信号的处理器。

在一个实施例中，传感器包括多孔氧化物，用于导入被检测的气体或者湿度。

在另一个实施例中，多孔氧化物是掺杂了碳的 SiO₂。

在再一个实施例中，传感器是电容性传感器。

在一个实施例中，传感器包括在传感器电极上的钝化层。

在另一个实施例中，多孔氧化物沉积在钝化层上，并且 MOS 电路检测电极之间的边缘场的变化。

在再一个实施例中，包括在互连级之间的刻蚀阻止层，并且钝化层是和刻蚀阻止材料相同的组成物。

在一个实施例中，钝化层是 Si₃N₄ 的组成物。

在另一个实施例中，钝化层在检测电极上凹进。

在再一个实施例中，在凹槽中有多孔氧化物膜。

在一个实施例中，多孔氧化物位于电极之间并且被暴露出来。

在另一个实施例中，MOS 电路在垂直维度上直接位于传感器之下。

在再一个实施例中，MOS 电路包括温度传感器。

在一个实施例中，温度传感器包括 PNP 晶体管。

在另一个实施例中，MOS 电路包括微控制器，用于处理气体或者来自该气体或湿度传感器的湿度信号和来自温度传感器的温度信号，以提供增强的输出。

在再一个实施例中，增强的输出是校正了温度的气体或者湿度的读数。

在一个实施例中，传感器包括沉积在传感器电极上的聚酰亚胺。

在另一实施例中，MOS 电路包括连接在传感器电极和处理器之间的 AD 转换器。

在再一个实施例中，AD 转换器包括具有围绕有效的（active）AD 转换器电容器的恒定布局（topography）的虚拟电容器的阵列。

在一个实施例中，还包括发光二极管。

在另一个实施例中，在深入到传感器电极的较低横向互连级中的沟槽中形成所述二极管。

在再一个实施例中，该器件包括光电检测二极管。

在一个实施例中，所述二极管位于传感器电极的较低横向互连级中的深沟槽中。

在另一个实施例中，MOS 电路包括无线收发机。

在再一个实施例中，无线收发机用于和网络中的其它节点通信，并且它包括当检测到干扰时根据低频信道切换方案切换信道频率的装置。

在一个实施例中，互连级包括低噪声放大器。

在另一个实施例中，低噪声放大器包括在导体下面的应变硅区。

在再一个实施例中，应变硅在衬底上面的第五或者第六互连级中。

在一个实施例中，传感器包括连接在器件的上表面上的焊盘之间的检测元件。

在另一个实施例中，元件是检测气体的薄膜。

在再一个实施例中，元件是氧化锌的组成物。

在一个实施例中，所述元件检测声音，并且 MOS 电路包括用于处理来自元件的信号的音频处理器。

在本发明的另一个方案中，提供了一种制造上述实施例中的任何一个的传感器器件的方法，该方法包括以下步骤：

在衬底中制造 MOS 电路，

根据互连设计在相继的制造周期中制造互连级，以互连 MOS 电路，以及

在最后的互连级中制造传感器电极和电介质。

在一个实施例中，该方法还包括在顶部互连级上沉积钝化层的步骤。

在另一实施例中，该方法包括在互连级中的每层电介质上沉积刻蚀阻止层以及在顶部互连级电介质上沉积刻蚀阻止材料以提供钝化层的步骤。

在再一个实施例中，提供多孔氧化物作为较低互连级中的电介质，并使用通常的氧化物作为较高互连级中的电介质。

在一个实施例中，在较高互连级中沉积应变的低噪声放大器，所述放大器包括应变的硅区域。

本发明的具体描述

附图的简要说明

从仅仅参考附图借助于例子给出的其一些实施例的下述描述可以更清楚地理解本发明，其中：

图 1 是本发明的单芯片无线传感器器件的方框图；

图 2 是表示用于制造该器件的工艺的流程图；

图 3 (a) 是器件的横截面图，图 3 (b) 是检测电极的平面图；而图 3 (c) 是示出了电极之间的边缘场的范围的图；

图 4 是器件的 AD 转换器的示意图；

图 5 是示出了替换实施例的传感器部件的图；

图 6 和 7 是替换传感器部件的横截面图；

图 8 是用于最终封装的密封 (potting) 装置的图；

图 9 是传感器器件的 12 位 SAR AD 转换器的电路图；

图 10 是用于 SAR 转换器的电容器阵列的布局图；

图 11 是器件的微控制器的方框图；

图 12 是示出了在器件的应变硅晶体管中的子表面电流流动路径的横截面图；

图 13 是表示无线收发机的频率选择的图；

图 14 示出了用于本发明的器件的通信方案；

图 15 是气体检测器件的横截面图；

图 16 是音频传感器的示意性横截面图；以及

图 17 是一个实施例中器件的 LED 和光电二极管的横截面图。

具体实施方式

气体 / 湿度传感器实施例

参考图 1，单芯片无线传感器 1 包括通过传送 / 接收接口 3 连接到无线天线 4 的微控制器 2。微控制器 2 还连接到 8kB 的 RAM5、USB 接口 6、RS232 接口 8、64kB 的闪存存储器 9 和 32kHz 的晶体 10。在这个实施例中，器件 1 检测湿度和温度，并且湿度传感器 11 通过 18 位 $\Sigma\Delta$ AD 转换器 12 连接到微控制器 2，以及温度传感器 13 通过 12 位的 SAR AD 转换器 14 连接到微控制器 2。

器件 1 是在单个工艺中制造的单个集成芯片，其中在该单个工艺中使用标准 CMOS 处理技术制造电子和传感器部件，应用该技术以在集成工艺中获得电子和检测部件。

现在参考图 2、3 (a)、3 (b) 和 3 (c) 更具体地描述制造工艺 20，并且其包括步骤 21 到 27。

21，前端处理

用 CMOS 阵、隔离氧化、多晶硅和注入处理硅衬底 41，以形成 MOS 元件，如在 CMOS 处理中公知的。而且，在衬底中形成对温度敏感的 PNP 晶体管，以提供传感器 13。

22，较低互连和电介质沉积

形成第一、第二和第三互连级 42。这包括多孔低 K 二氧化硅电介质 42 (a) 的化学汽相沉积 (CVD)，以及刻蚀和镀铜操作三个周期，以提供互

连轨迹 42 (b)。为了限制下一周期中刻蚀的范围，每个周期都在刻蚀阻止层 42 (c) 的沉积中完成。刻蚀阻止材料是氮化硅 Si_3N_4 。每个周期的二氧化硅、互连金属和刻蚀阻止形成第一互连的三级堆栈 42。对于部件之间更快的信号传输来说，使用低 K 电介质允许了低电容。

23, 较高互连和 CVD 电介质沉积

形成第四和第五互连级 43。还存在电介质沉积和电镀金属互连两个周期。然而，在这两个周期中，为了使结构强度更好，电介质是“常规的” SiO_2 （非多孔）43 (a)，以抵消较低级 42 中的多孔电介质的较弱的机械强度。此外，这些周期包括标准 CMOS 技术。

第五级包括具有内部温度监控器的加热元件 43 (b)，用于以即时的温度监控来对湿度传感器 11 进行即时的加热和清洁。而且，作为形成第四和第五级的一部分，该工艺增加了用于电容器顶端金属 (CTM) 的薄金属板，在它们之间具有薄层 ($0.04\mu\text{m}$) 的 SiO_2 电介质，以形成用于这两个 AD 转换器的混合信号的金属-绝缘体-金属 (MIM) 电容器。

24, SiO_2 的 CVD 沉积，检测级

形成互连 / 检测层 44。这只是前面的互连和电镀周期之后的下一次重复或者循环，并且实际上电介质是和用于之前紧邻的周期的“常规” SiO_2 相同。然而，作为电镀顶部互连层 44 的完整部分，形成检测湿度的电容性的互相交叉的指（电极）45 和参考电容性的互相交叉的指（电极）46。选择指的尺寸和间隔以适应应用。在这个实施例中，指 45 和 46 具有 $0.5\mu\text{m}$ 的间隔。在图 3 (b) 中更清楚地示出了该设置。使用介电常数 K_{ox} 为 3.9 的氧化物，这产生的电容为：

$$\text{C}_{\text{ox}} = \frac{k_{\text{ox}} e_0}{T_{\text{ox}}} = \frac{3.9 * 8.85 \times 10^{-12}}{0.5 \times 10^{-6}} = 0.000069 \text{F/m}^2 = 0.069 \text{fF}/\mu\text{m}^2$$

每个实际的电容性结构大概是焊接盘的尺寸，允许每个指具有 $4000\mu\text{m}$ 的总长度。对于 $1\mu\text{m}$ 的金属厚度，这给出了传感器的电容为 0.276 pF 。然

而，由于边缘分量（fringing component），所以两个紧密间隔的狭窄导体之间的电容可能比简单平行板的计算值大 10% 到 30%。

25, Si₃N₄钝化层的沉积

以类似于常规刻蚀阻止层的方式通过 CVD 沉积钝化层 48，因为其也为 Si₃N₄。然而，钝化层 48 大约 3—5μm 厚，以提供对器件 1 的物理保护和防潮层。

26, 在检测电极上刻蚀钝化层

将检测电极 45 上的钝化层 48 的那个部分刻蚀到 90% 的深度，以在检测电极上留下大约 0.1μm 深度的薄 Si₃N₄ 层 48 (a)。

27, 多孔氧化物的 CVD 沉积

现在通过 CVD 在步骤 26 中形成的凹槽中沉积与在前三个级中用作电介质的材料相同的材料。这是具有大比表面积的检测湿度的膜 49。气体或者湿气的进入导致多孔电介质的介电常数的变化。这导致下面的检测电极 45 电容的变化。

从上面可以理解的是，使用标准深亚微米 CMOS 处理技术，由此获得完全集成的产品。使用相同的电介质和互连金属层，和芯片的其余部分同时地制成了该传感器。对于该传感器 1 的大批量可制造性，这种‘标准 CMOS’方法非常有益。

显然至今还没有尝试这种方法，这是由于这样的感受，即这种传感器将需要聚合物以及镀金或镀铂和 / 或将被认为是现代 CMOS 晶片制造工厂中的污染物的其它非标准材料。为了获得减小的电容而进行的基于 SiO₂ 的组成物的研发打破了内部晶格结构。这使得它们多孔并经受湿气或者气体渗透。而且，在传感器结构中使用 CMOS 处理的氮化硅 (Si₃N₄) 以获得刻蚀阻止层，来担当保护集成器件的阻挡层。在上述实施例中，Si₃N₄ 层在检

测部件上面，并且当在非常潮湿的环境中这种渗透可能腐蚀电极时，它对于被检测湿气的进入担当阻挡物的作用。因此检测是基于利用弹簧(spring)效应，这在下面阐述。

器件 1 的使用

在使用中，湿气进入到膜 49 中，使得它影响其介电常数，以及由此影响检测指 45 之间的边缘场。这在图 3 (c) 中用线 55 表示。即使通过层 48 的薄部分 48 (a) 阻止湿气进入检测指 45 之间的间隔，这也会发生。

传感器 1 依赖于电极之间的场的这个边缘分量 55。对于所述的 $4000\mu\text{m}$ 、 0.27pF 的结构，边缘分量大约是 25 到 50fF 。由于 18 位 $\Sigma\Delta\text{AD}$ 转换器的紧密接近(直接位于传感器下方)，所以可以检测非常小的电容变化，即使在边缘场。在图 4 中示出这个转换器，其中检测指 45 是 C_s ，而参考指 46 是 C_r 。这些电容形成第二级过采样希格玛德耳塔调制器的微分前端，表示传感器和转换器部件之间的集成等级。 V_r 和 V_s 提供比例和偏移补偿。通过使用抽取(decimation) 滤波器来对每秒的采样数量和过采样比例进行折中而获得了非常高的分辨率。

参考图 5，在该实施例中，在钝化层 51 的顶部沉积(或者印制)多孔材料 50，消除了多余的刻蚀步骤。然而，如果钝化层的厚度大约是例如 $3\mu\text{m}$ ，那么传感器电容器指 45 的间隔必须增加到大约大于等于 $5\mu\text{m}$ ，以使得边缘电容分量仍表示总电容的可测量比例。对于 $4000\mu\text{m}$ 的传感器结构，现在将总电容降低为大约 27fF ，现在可变的边缘分量在 3 到 5fF 的区域内。现在 1% 或者 2% 的湿度变化产生了小于千万亿分之一法拉的电容变化，通过该高度过采样的微分希格玛德耳塔高分辨率的转换器仍然可以检测该变化。18 位的分辨率还提供了非常大的动态范围，能够使转换器容易地应对晶片和晶片以及批量和批量之间不同氧化物和不同孔尺寸的高度可变的和非线性的电容相对于湿度的特性。

参考图 6，在这个实施例中，使用标准 CMOS 处理，而不需要多余的

处理步骤。通常使用聚酰亚胺作为硅芯片上的‘减轻应力’的涂层。通常用稍微大尺寸形式的焊盘掩模来确定聚酰亚胺的设置。在这个例子中，聚酰亚胺掩模包括从参考电容器上消除聚酰胺 60 的额外开口。由于聚酰亚胺是多孔的，所以现在检测电容器上的部分经历了电容相对于湿度的微小变化。

参考图 7，在这个实施例中，在器件的所有互连级中使用多孔的低 K 氧化物电介质，使得传感器器件在电容性的互相交叉的指 71 之间具有多孔的低 K 电介质 70。通过在传感器结构上放置‘虚拟的’焊盘钝化层开口，露出检测指 71 上面的表面 72，用于在焊盘刻蚀的过程中使湿气进入到指之间的电介质中。这在除了检测电容指 71 之外的整个区域上剩下了钝化层 73。这个实施例具有这样的优点，即使用标准 CMOS 工艺，而不需要额外的掩模。然而，它允许了湿气靠近电容指 71。然而，对于很多的应用来说这不是问题，例如对于传感器每几分钟只经受一次几毫秒的几毫伏的低湿度办公环境。

图 8 示出了用于封入单芯片无线传感器的简单密封装置。传感器 1 通过导电粘接剂 81 粘接到电池，并存在封装 82。使用模型（former）以保持检测部件上的区域清楚。用封装 82 包围所有的其它区域，该封装提供物理保护，以及如果连续暴露于非常潮湿的环境中，也保护芯片和电池端子使其不腐蚀或者不电解退化。除了 RF 天线导线 83 之外，任何地方都没有露出金属。

或者，如果物理保护不太重要和 / 或如果对温度变化的响应时间更重要，则可以没有封装。

温度传感器

除了上述的金属加热器温度传感器 43 (b) 之外，还可以形成衬底 PNP 温度传感器 13 作为衬底 41 的完整部分，如图 3 (a) 所示的。这依赖于基极发射结的公知的 $-2.2\text{mV} / ^\circ\text{C}$ V_{be} 特性。通过使湿度和温度传感器组合在

一个器件中，可能存在通过微控制器计算的增强读数，也就是露点。这些和微控制器 2 和闪存存储器 9 一起，允许使用标度（scaling）和刻度（calibration）的查找表，以实现精度在 0.5°C 内。

参考图 9，示出了 12 位的 SAR 转换器 14。该转换器测量 PNP 的 V_{be} 电压或者在如所示的桥结构中的金属加热器的监控器的与温度有关的电阻。如下所述，在没有任何校准电路的情况下，转换器实现 12 位的分辨率。参考图 10，用于转换器 14 的电容器阵列处于级的中心，并且它被八个类似的虚拟阵列 90 围绕，以保证转换器 14 中的关键阵列电容器的恒定形状和良好的匹配。通过耦合电容器 C_c 将阵列分割成 7 个上面的位和 5 位子 DAC。这和 $7 \times 7 \mu\text{m}$ 的小单元电容器尺寸一起保持整个阵列电容 (C_s) 大约在 8 pF，足够小的电容使得可以用所示的芯片上的缓冲放大器来有效地驱动它，并且足够小的电容还使得由于氧化物厚度的梯度或者其它工艺参数而引起的整体的不匹配最小化。在 100KHz 的采样频率时，kT/C 噪声图是 140nV，远远低于 12 位 LSB 尺寸。在金属 5 (第五级) 上，对于衬底来说电容器具有非常小的寄生电容，简化了成比例的电容器的匹配。这些电容器的金属-绝缘体-金属 (MIM) 结构导致低的电压和温度系数以及寄生电阻。

闪存微控制器

在和传感器相同的芯片上具有 8 位微控制器 2 和 64KB 闪存存储器 9 能够使得在精度和功能上有显著的改进。这是因为实现了在各种温度条件上的实时连续校准或者现场校准。这些数量的存储器也足够适应整个 IEEE802.15.4 协议和 Zigbee 软件栈以执行信标 (beacon)、对等、星形和网状网络连接、现代无线传感器网络的关键需求。片上调节器产生 1.2V，其给在薄氧化物最小几何形状器件上制造的微控制器、存储器块和无线 RF 收发机中的大部分供电。

为了有助于更低的功率，在厚氧化物的 3.3V 晶体管上实现时间间隔的计数器和微控制器的中断逻辑的一部分，如图 11 所示。这意味着，当芯片

在睡眠状态或者断电模式时可以关闭调节器，消除调节器的 DC 偏置电流。这和 3V 晶体管的几乎为零的亚阈值泄漏一起导致显著的电能节约和电池寿命的延长。当从断电醒来时，通过依次操作传感器、转换器和无线收发机，微控制器还实现了噪声和衬底串扰的减少。

现在转到无线收发机 3，并且尤其是它的低噪声放大器(LNA)，将 LNA 设计成具有超低功率和低噪声操作。参见图 12，对于前端 LNA，通过在第五或第六级上的铜电感器以及使用应变硅 MOS 器件能够实现这一点。该图示出了硅锗的薄层 100，在其上面有薄应变硅层 101，其具有比常规硅更高的载流子迁移率。多晶硅栅 102 在应变硅区域中产生沟道。然而，由于锗的迁移率更高，所以晶体管电流中的大部分在子表面 SiGe 区域中流动，从而给出更低的噪声操作和更高的增益。因此对于相同的增益，LNA 可以在更低的电流下偏置，从而节省电池电能。铜比铝具有更低的电阻，从而给出更高的 Q 因数（导致更高的接收器增益）。第五或者第六级铜也更厚（更低的电阻），并更远离衬底（更少的寄生电容）。

参考图 13，示出了对于 RF 收发机 3 的频率选择。器件 1 在节点的无线网络中形成节点。这可能是简单的点对点链路或者星形或者网状网络。所有的节点使用固定的频率，并且无线接口 3 提供慢跳频方案来防止干扰。其通过最初所有的节点使用相同的频率来进行操作。当传输故障表示可能的干扰时，节点根据图 13 中所示的算法而移动到不同的频率。接着是所有节点的同步。

为了跳频方案能工作，用跳频序列预编程所有的节点。而且，它们必须都被初始化到相同的信道中，使得它们可以“一起跳频”，这通常是在安装之后或者换电池之后。

更具体而言，当安装时（或者换电池时），例如，安装者通过按压按钮来手动将节点放在“初始化”模式中。然后节点将它的接收机打开并“听”例如信道 0 上的附近的节点传输（或者主信号）。如果在适当时间例如几秒或者几分钟（因为当前信道可能堵塞）之后它什么都没有接收到，则它步

进到序列中的下一信道，并再次等候和收听。最后，借助于这种方式，它应当从相邻的节点接收信标或者数据包；然后它可以再次使它的计时器同步、请求跳频间隔定时、加入序列并进入睡眠，一直到下一次跳频和传输周期。

这种初始化方法意味着，在安装的时候节点仅必须保持一次“开启”在全功率接收模式下；然后它在电池的 1 到 3 年寿命的 99.9% 的时间（如 802.15.4 标准所定义的）中可以回到睡眠模式。由于 802.15.4 标准允许高达 4 分钟的睡眠周期，所以在这个持续时间中节点可以处于全功率接收模式。然而，实际上这是不可能的，因为安装者将知道这个周期。使用频谱分析器（或者手持无线“检漏头（sniffer）”），他可以粗略地预测下一信标传输时间什么时候到，并刚刚在该时间之前按压‘初始化’按钮。

参考图 14，该图示出了使用慢跳频方案的例子。它用在两个建筑物 120 和 125 之间的长距离（200m）链路 115 上（在和计算机 127 连接的网关节点 126 上使用定向的 14dBi 的天线）。在第一建筑物 120 中实现节点 121 的标准 802.15.4 Zigbee 固定信道星形网络。这使得多供给方的能共同使用的节点安装在星形网设施的监控应用中，而在更容易受到干扰的长距离关键链路（critical link）上采用慢跳频算法。

测试和校准

对于湿度传感器这通常是困难的，连同特殊包装控制以及电连接一起，需要湿度受控制的特殊腔室。

在本发明中，由于以标准 CMOS 工艺制造整个湿度传感器，所以可以在晶片发货之前在通常的晶片级测试时测试和校准该湿度传感器。这利用了这样的事实，即晶片探针和工厂测试区域通常运行在精确的湿度等级时，例如 40% 的相对湿度。可以将这种已知值存储在片上闪存 EEPROM 存储器中，以便随后由微控制器在软件控制下精确地校准输出值时使用，或者它可以用在芯片的非闪存 EEPROM 形式中，以在 40% 的 RH 时熔断多状态保

险丝 (poly fuse) 来校准传感器。该 1 点校准对于很多应用可能足够了，例如设置点周围的办公空调控制，通常为 40%。如果在更宽范围湿度上需要更高的精度，那么可能需要第二校准点。这通过例如在 85%RH 时的密闭腔室中或者在干氮干燥剂腔室 (0.001%RH) 中进行“第二通道 (second-pass)”晶片探针来实现。尽管第二通道晶片测试增加了一些额外的成本，但是它显著地低于基于封装的测试。

气体检测

在另一个实施例中，如图 15 所示，在钝化层 131 上、在 18 位 $\Sigma\Delta$ AD 转换器 12 的微分电容器 132 之一的位置处沉积氧化锌和氧化铁的薄膜 130。通过溶胶凝胶工艺合成这些氧化物，将其加热到大约 120°C 到 200°C，然后通过混合喷墨沉积来进行沉积。薄膜意味着可以在传感器结构中使用小的指间隔，并且高分辨率 AD 转换器意味着可以使用小传感器结构，并仍然导致电容可检测的微小变化，甚至在室温操作时也是如此。

图 16 示出了替换实施例，其中在顶部氧化物或者钝化层 141 上沉积氧化铁 / 氧化锌 140，但是其直接连接到顶部金属层中的电极 142，形成电阻器，其值通过 18 位转换器可以作为桥式电路的一部分来确定。

利用代替图 15 的氧化物 130 的不同材料，可以使器件结构和生产工艺适应于检测不同的气体，例如使用用于检测氢气的钯，用于 SO₂、H₂S 的氧化锆，或者用于 NO₂ 的增塑聚乙烯氯化物，以及用于异丁烷的 WO₃。在每一种情况下，通过注入气体、通过吸附或者物理吸附或者化学吸附改变检测材料的导电率和介电常数。因此，交替使用 15-电容性的和 16-电阻性的实施例或者和片上紧密集成的高分辨率转换器一起使用，以获得非常低的 ppm 气体浓度测量。

音频传感器

或者，为了声音的灵敏性，可以在图 16 所示的结构中应用压电聚合物。

转换主要基于导电率的变化。在这种情况下，在 MOS 电路级，采用具有驱动 18 位 AD 转换器的缓冲器的桥式电路，以捕获音频信号。

音频传感器（麦克风）是远程无线节点上有用的特征，例如，用于“听”电机是否在运行、警铃是否在响。由于 IEEE 802.15.4 的 0.1% 的占空比，所以需要用于该音频的设置；在 802.15.4 的 2.4GHz 频带中的 250Kb/s 的最大数据速率对应于 0.1% 占空比时 250b/s 的恒定不变的数据速率。采用可变比特率的音频压缩器块（VBR）以获得 15：1 或者更好的压缩比例，实现 3.75Kb/S 的有效比特速率，这对于很多工业的低级音频需求是足够的。

光学传感器

参考图 17，该器件还可包括光发射器 150 和检测器 151。在通常处理的最后应用高度定向的深各向异性刻蚀，以完全刻蚀掉所有的六或者七层电介质，以露出光电二极管的光传感器 151、 $200\mu\text{m} \times 500\mu\text{m}$ 的大 PN 结，其收集光子并产生相应的电流。

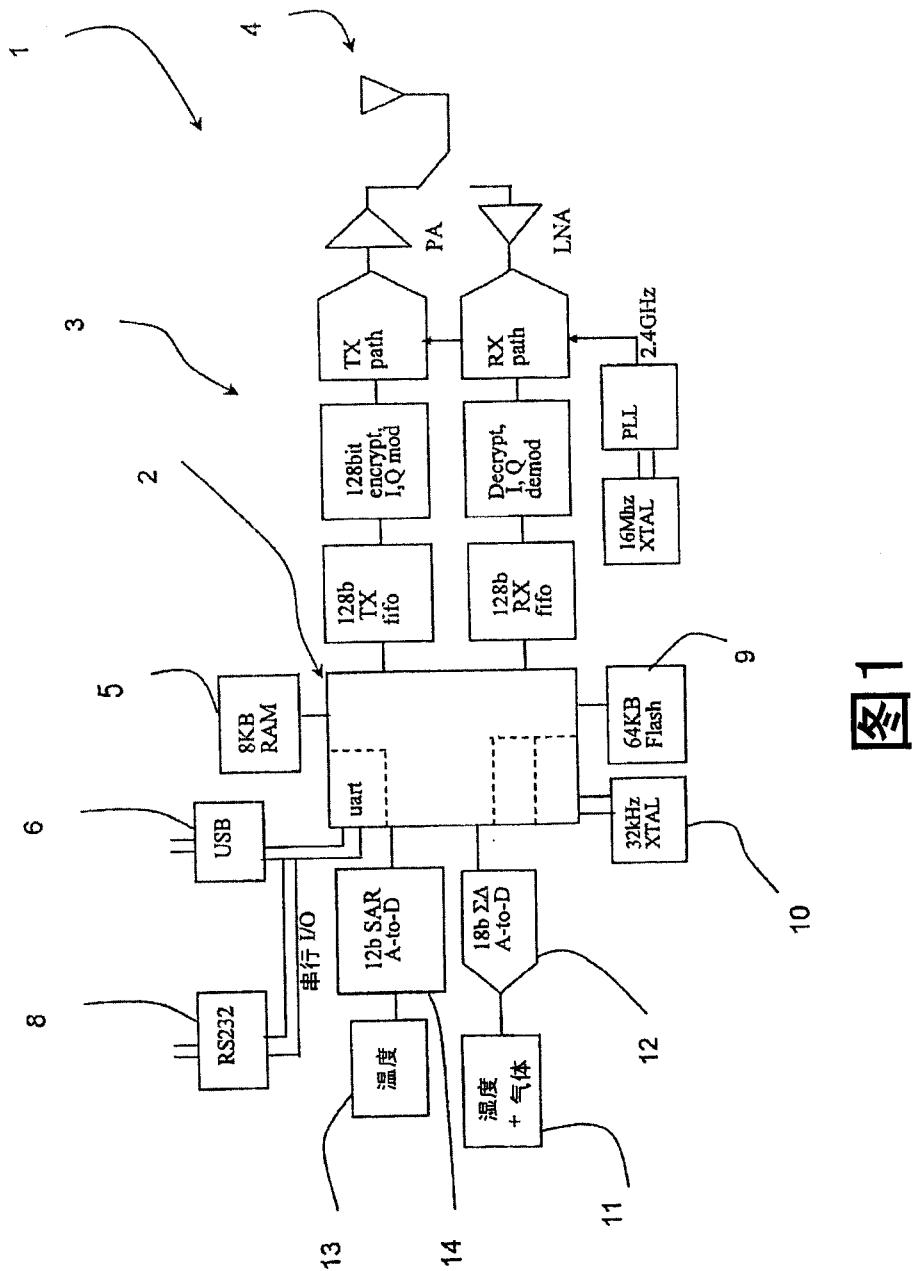
在本实施例中，刻蚀还露出了多孔硅区域 150，该区域是在工艺的开始时通过电化学刻蚀在该特殊区域中的衬底产生的。由于多孔硅的公知的发光特性，所以让电流流过该区域使得它起到发光二极管（LED）的作用。放置在多孔区域周围的隔离沟槽可以使泄漏到衬底的任何电流最小化，并且改善发光效率。

对于本领域技术人员来说电化学刻蚀形成多孔硅是公知的，并且在一些 CMOS 工艺上是可以利用的，但是对于大部分 CMOS 工艺是不标准的。替换的 LED 结构是掺杂的聚合物有机发光器件。使用混合喷墨印刷，以图 16 所示的方式直接将构图的发光掺杂聚合物膜，例如聚乙烯咔唑（PVK）膜沉积到电极上。

本发明不局限于所述的实施例，而是可以在结构和细节上变化。例如，除了铜之外可以使用其它的导体用于互连，例如铝。而且，传感器器件可以是不具有无线电或者微控制器或者闪存存储器的“拆开（stripped down）”

形式的传感器，“湿度到数字”传感器芯片。在这种情况下，通过在电压参考电路和电容器阵列中熔断各个多状态保险丝实现 AD 和传感器的校准。应当注意的是，测试不需要包括 AD 的每个编码，由此明显简化了测试，并降低了成本。而且，可以在上面的实施例中所述的之外的方法和器件中独立地或者组合地提供一些或者更多的下述特征：

- 使用应变硅作为低噪声放大器，
- 低频信道选择 / 跳频，
- 具有复制的电容器阵列的 SAR，
- 多孔硅 LED，
- 音频的压电聚合物麦克风传感器，
- 低占空比的音频压缩和传输，
- 微控制器特征。



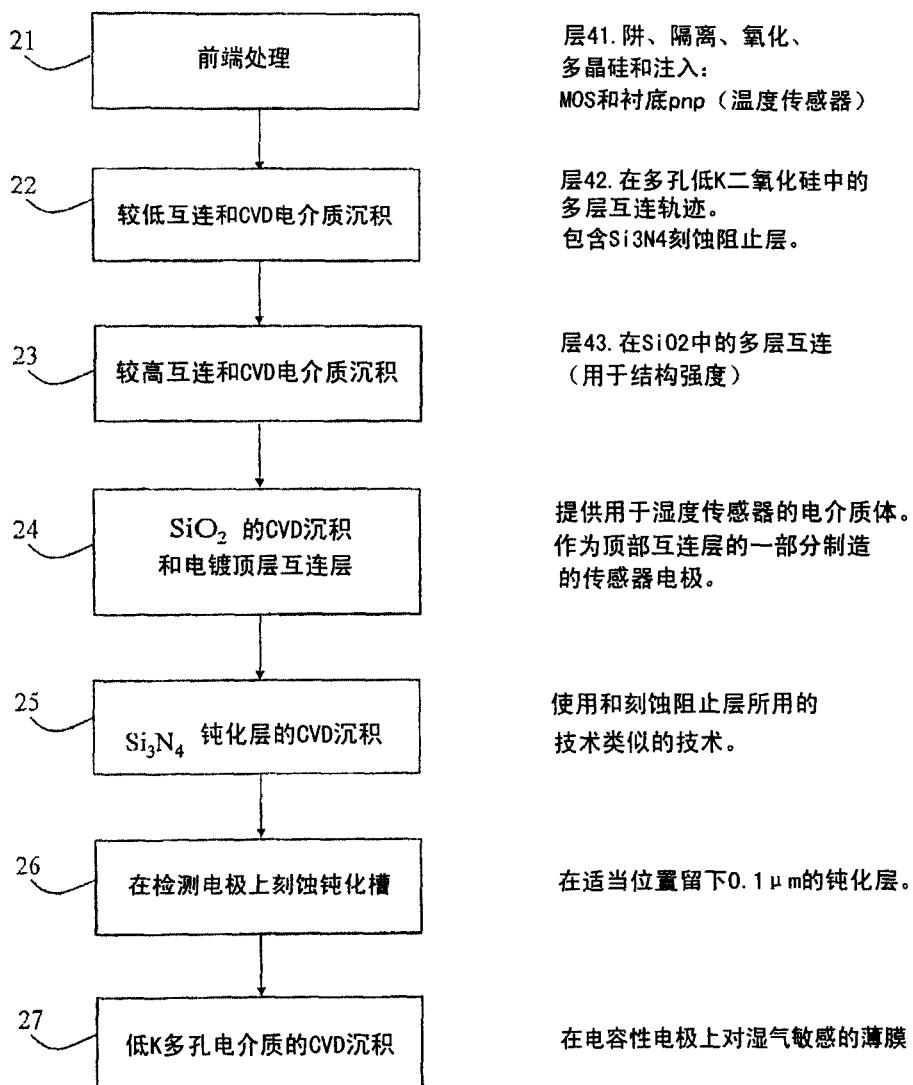
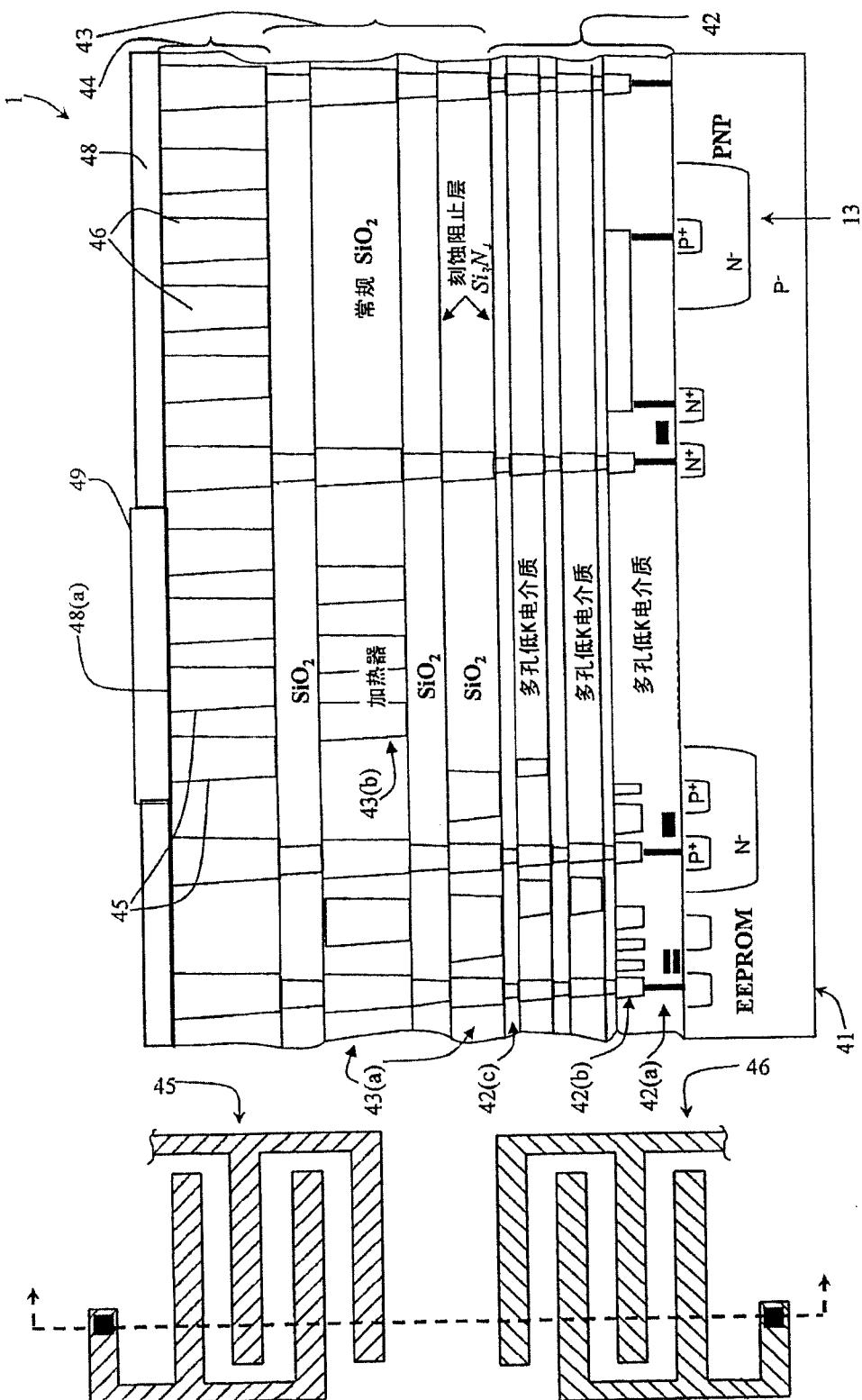


图2



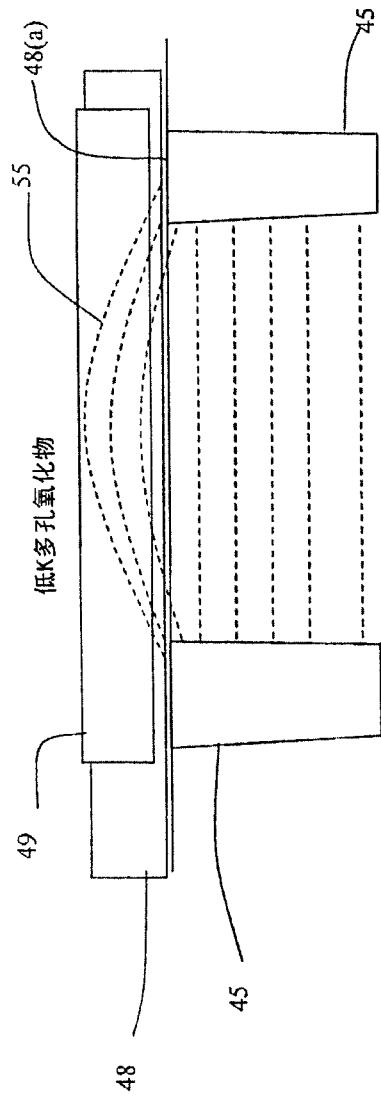
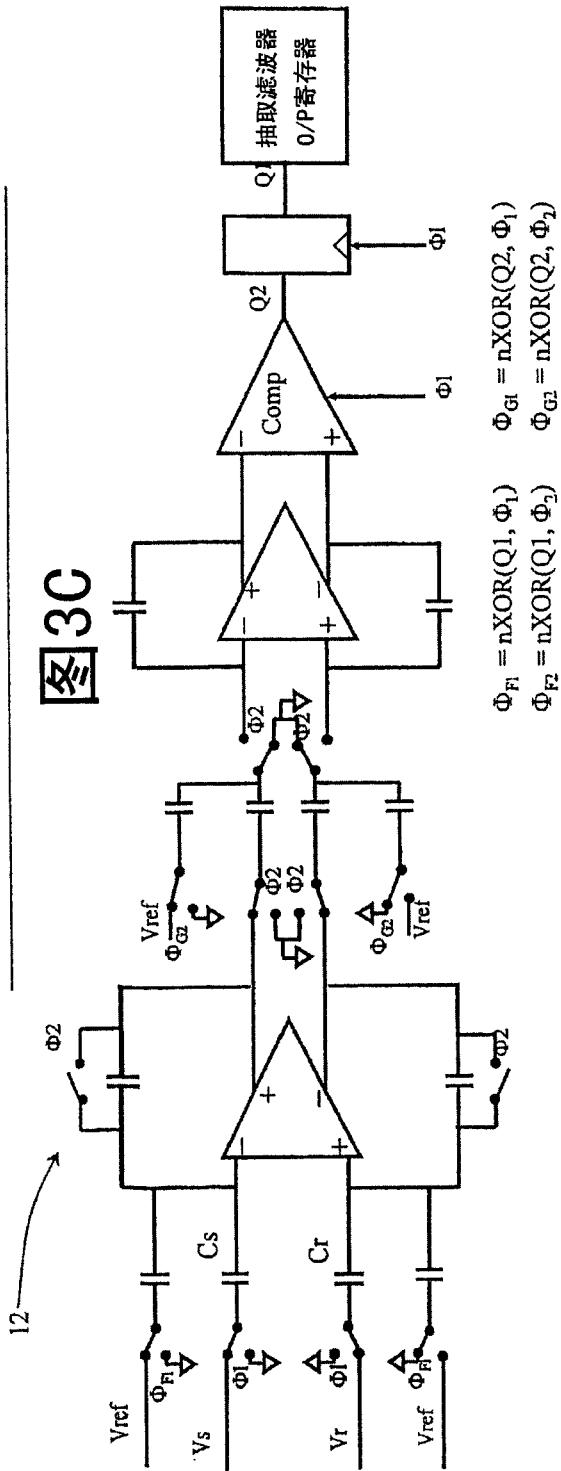


图3C



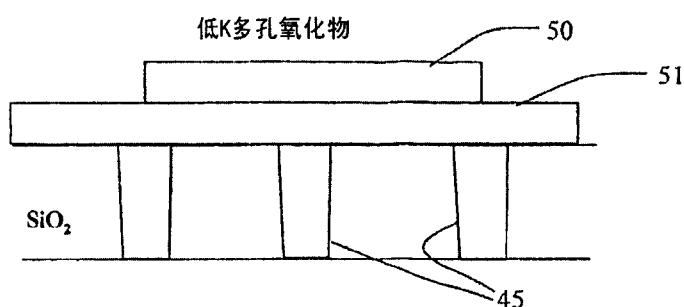


图5

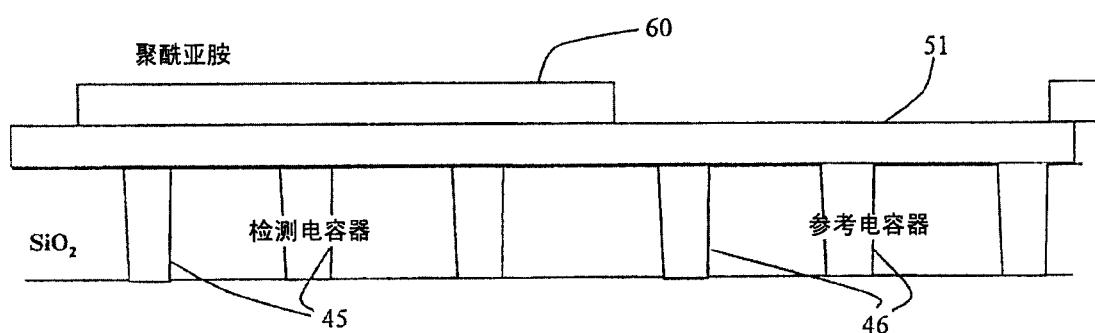


图6

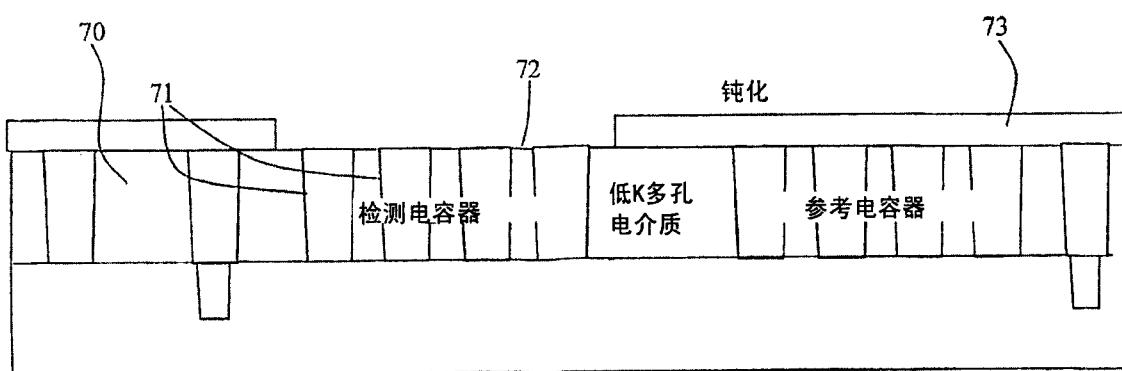
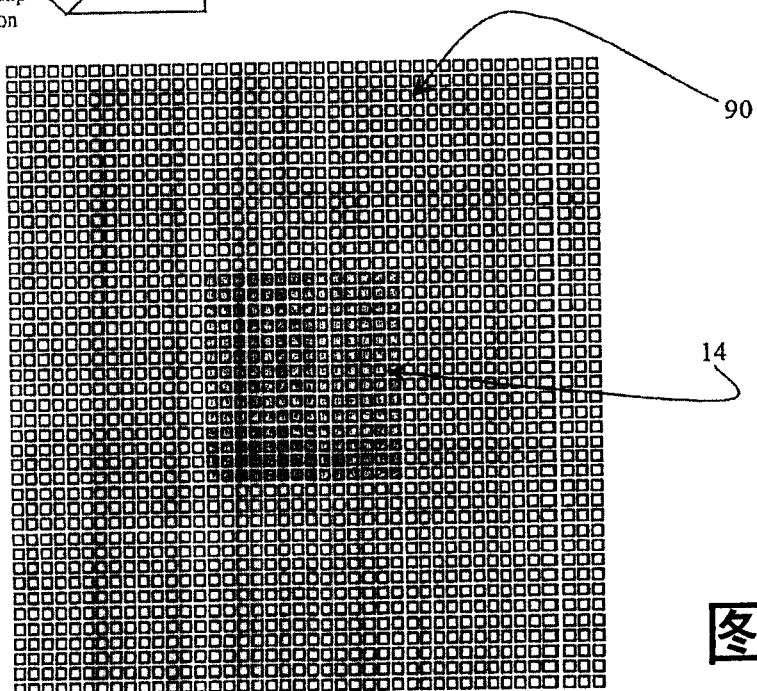
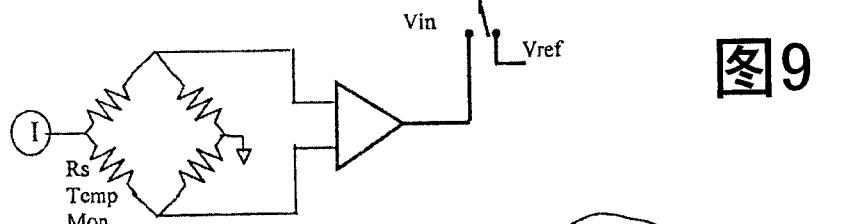
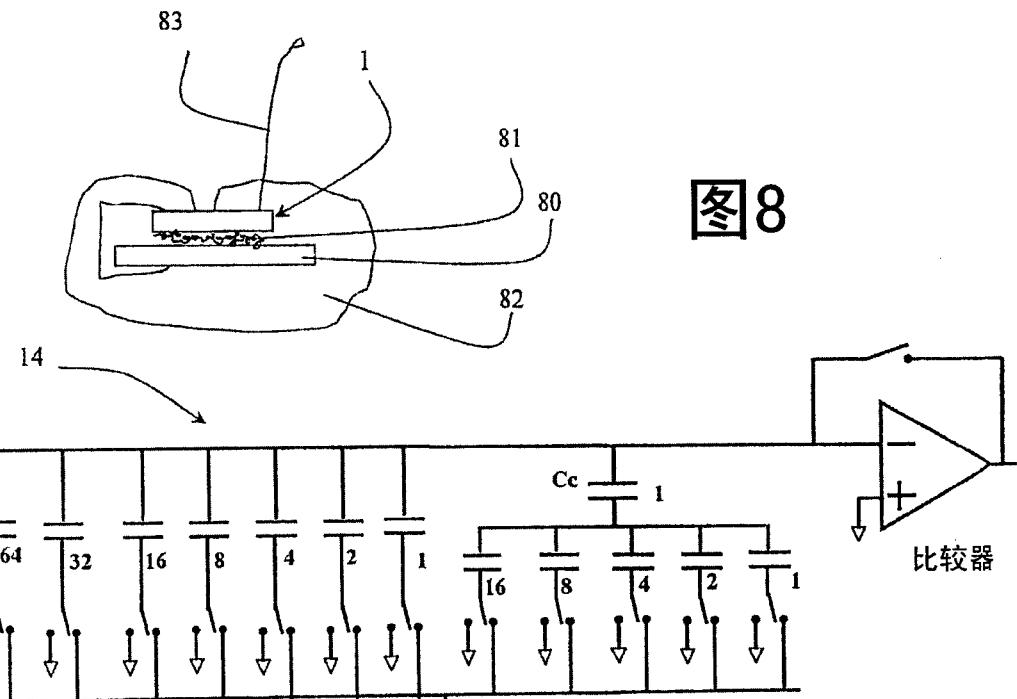


图7



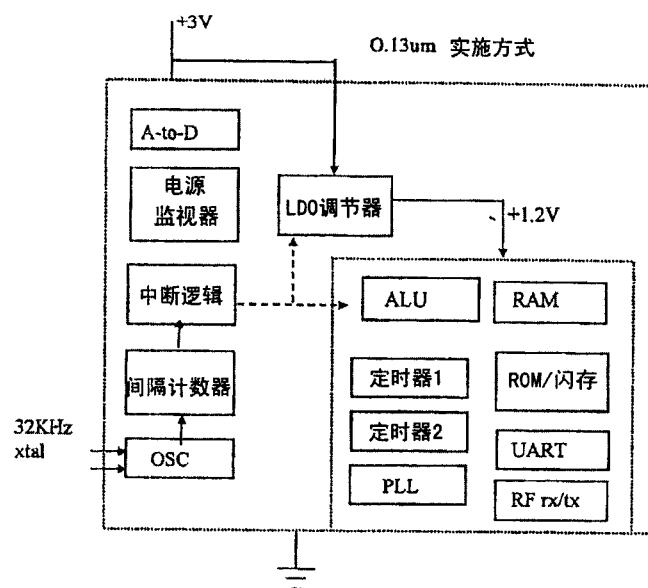


图 11

102

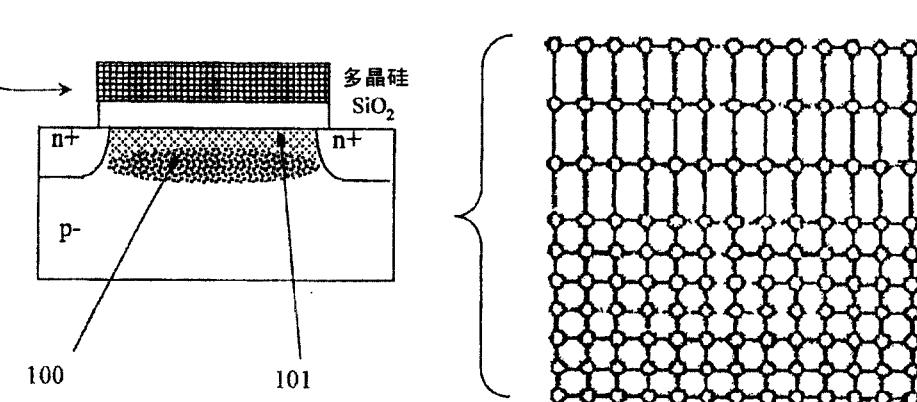


图 12

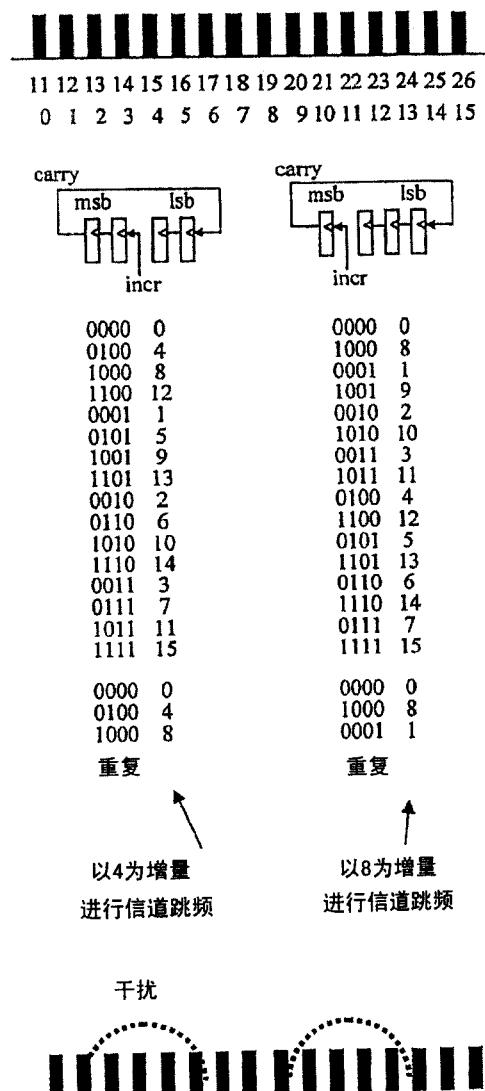


图13

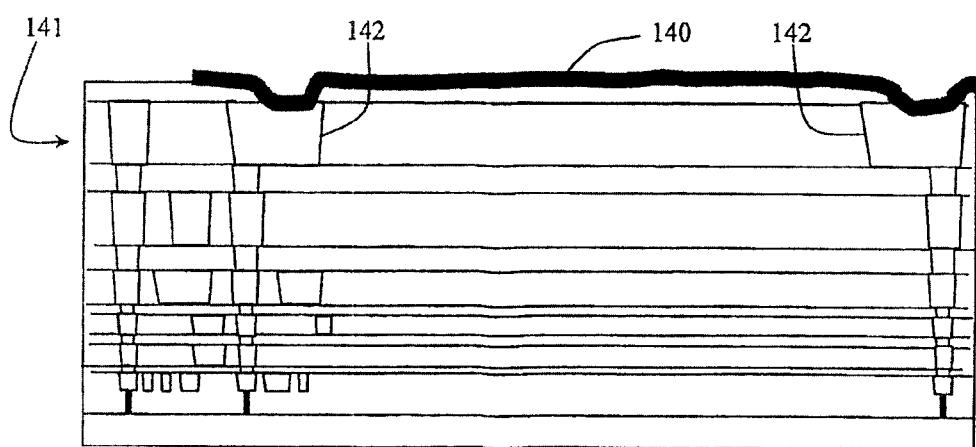
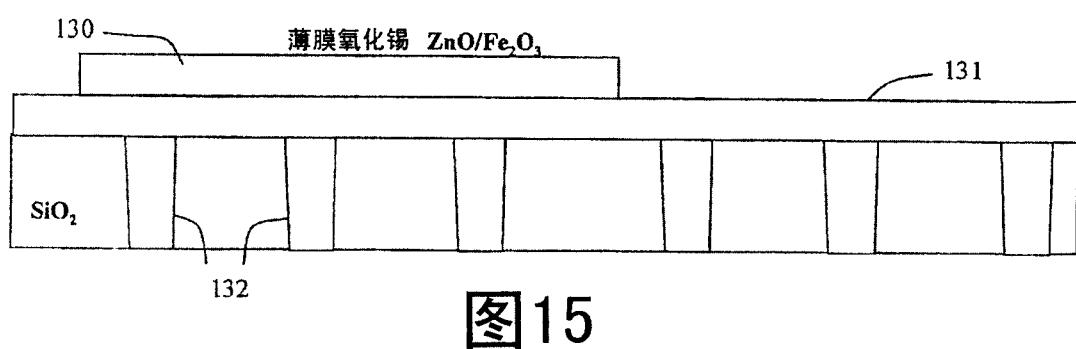
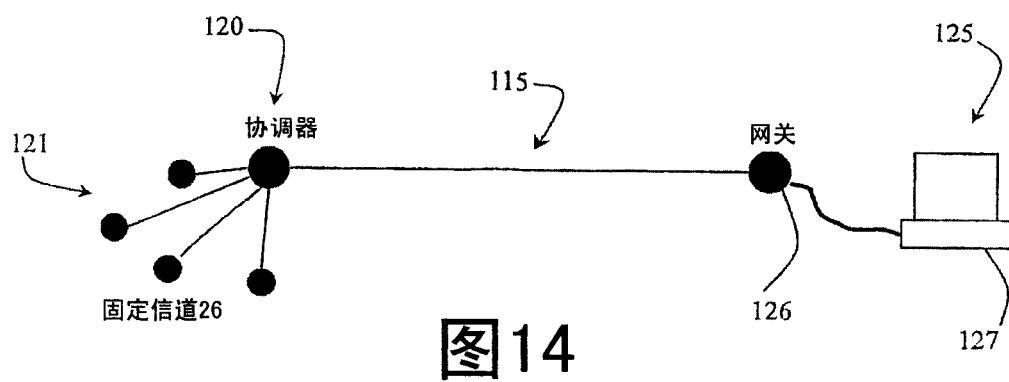


图 16

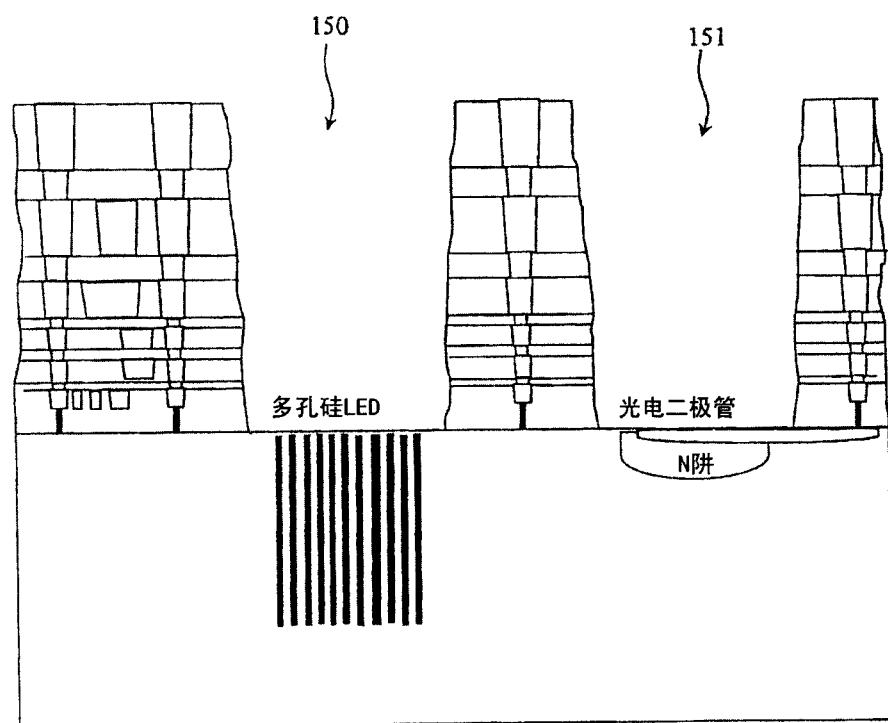


图17