

[19]中华人民共和国专利局

[51]Int.Cl⁶

H01G 7/00

G01L 7/08 G01L 9/12



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 95197303.7

[43]公开日 1998年2月4日

[11] 公开号 CN 1172547A

[22]申请日 95.11.9

[30]优先权

[32]94.11.22[33]US[31]08/343,712

[86]国际申请 PCT/US95/14770 95.11.9

[87]国际公布 WO96/16418 英 96.5.30

[85]进入国家阶段日期 97.7.11

[71]申请人 卡斯西部储备大学

地址 美国俄亥俄州

[72]发明人 W·H·科

[74]专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

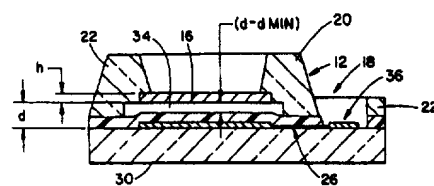
代理人 王勇 傅康

权利要求书 3 页 说明书 8 页 附图页数 5 页

[54]发明名称 电容性绝对压力传感器及其制造方法

[57]摘要

电容性绝对压力传感器(10)包括其上沉积有电极(24)的衬底(14)和设置于衬底(14)上的隔膜组件(12)。随着压力的增大,隔膜(16)偏移,接触电极(24)(按触摸模式),并改变传感器(10)的电容量。检测变化的电容以测出压力变化。用埋入的引线测出隔膜(16)下面的腔(34)中的电容变化,由此确定测出的压力。适当选择检测电极和绝缘层(32)的厚度,对其进行热循环,并使隔膜组件(12)密封粘接到衬底(14),以保持腔(34)中的真空。



权 利 要 求 书

1. 电容性压力传感器，包括：

衬底，它有（1）设置于其上的电极，（2）由电极跨越的第1和第2部分，（3）只在第1部分中的电极上设置的绝缘层；

5 衬底上的隔膜组件，包括框架结构和确定第1部分的分割壁，其上设置有隔膜，和第2开口区；和

10 设置于衬底上的第1和第2区，使（1）衬底的第1部分对准第1区和隔膜，因此，隔膜，衬底，分割壁和相应的框架结构确定第1区，构成一个抽空的腔；（2）衬底的第2部分与第2开口区对准，以便于连接电极；

分割壁通常分隔第1和第2区，并接触第1部分中电极上的绝缘层；绝缘层和电极有预定厚度，绝缘层在电极周围变形，以密封和保持抽空的腔内的真空状态。

15 2. 按权利要求1的传感器，其特征是，框架结构和分割壁的尺寸确定为应使传感器能承受大的外力，压力和极高的温度，以使其保持稳定。

3. 按权利要求1的传感器，其特征是，绝缘层的预定厚度约为0.3-3.0 μm 。

20 4. 按权利要求1的传感器，其特征是，电极的预定厚度约为0.1-0.3 μm 。

5. 按权利要求1的传感器，其特征是，抽空的腔具有电容。

6. 按权利要求5的传感器，其特征是，电容量随隔膜上的压力变化。

7. 按权利要求6的传感器，其特征是，压力使隔膜接触绝缘层。

25 8. 按权利要求1的传感器，其特征是，电极包括铬和铂，因此，与绝缘层有良好的粘接。

9. 按权利要求1的传感器，其特征是，隔膜按加于其上的压力而呈函数偏移，触摸绝缘层，由此实现接触模式工作。

10. 按权利要求9的传感器，其特征是，传感器在接触区内有线性工作范围。

30 11. 按权利要求10的传感器，其特征是，传感器承受过压而产生偏移，触摸绝缘层。

12.按权利要求 11 的传感器,其特征是,抑制非线性区中的输出电压,使线性工作区相当于要求的压力区。

13.电容性压力传感器的制造方法,包括下列步骤:

5 腐蚀硅晶片第 1 边上的第 1 和第 2 间隙,用分割壁分开第 1 和第 2 间隙;

在间隙中用扩散工艺形成 P^+ 层;

衬底表面上按电极和焊盘形状淀积金属,衬底上有第 1 和第 2 部分,电极跨越第 1 部分和第 2 部分,焊盘处于第 2 部分中;

表面和电极上溅射玻璃;

10 使玻璃在电极周围变形;

硅晶片焊接到衬底上,使第 1 间隙与衬底第 1 部分对准,第 2 间隙对准衬底的第 2 部分,第 1 间隙和第 1 部分确定一个腔;

腐蚀与晶片第 1 边相对的晶片第 2 边,形成 (1) 与第 1 间隙和第 1 部分对准的隔膜, (2) 与第 2 间隙和第 2 部分对准的帽; 和

15 除去帽和电极上玻璃的相应部分,露出电极,

由于电极周围的玻璃变形和焊接而密封腔。

14.按权利要求 13 的方法,还包括将玻璃厚度选择成使其能在电极周围变形。

15.按权利要求 14 的方法,其特征是,选择包括选择玻璃厚度为
20 $0.3-3\mu\text{m}$.

16.按权利要求 13 的方法,其特征是,腐蚀形成第 1 和第 2 间隙,隔膜和帽确定框架结构的尺寸,使传感器能承受大的外力和高的温度,以保持其稳定性。

17.按权利要求 13 的方法,其特征是,还包括抽空第 1 间隙,并同
25 时焊接晶片和衬底。

18.按权利要求 13 的方法,其特征是,变形并焊接包括对衬底和硅晶片进行选定的热循环。

19.按权利要求 18 的方法,其特征是,选择的热循环包括:

30 玻璃衬底,淀积的金属电极和溅射的玻璃置于第 1 温度中约半小时;

玻璃衬底,淀积的金属电极和溅射的玻璃和硅晶片置于第 2 温度中约半小时,使硅晶片粘到衬底上; 和

衬底，淀积的金属电极，溅射的玻璃和焊接的硅晶片缓慢冷却约 1 小时。

20.按权利要求 19 的方法，其特征是，第 1 温度约为 500 ℃。

21.按权利要求 19 的方法，其特征是，第 2 温度为 350 ℃至 400 ℃，
5 以减小传感器的剩余应力。

说明书

电容性绝对压力传感器及其制造方法

发明背景

5 本发明涉及工业用压力检测装置，特别涉及电容性绝对压力传感器，它具有良好稳定性，低功耗，坚固的结构，大的过压保护范围，采用消零时有良好的线性和大的灵敏度。

10 尽管本发明还特别涉及电容性绝对压力传感器技术，并将对其进行具体说明，但是应了解，本发明可用于其它领域，如用于加速器，力传感器和隔膜型致动装置。

本发明优选接触模式工作。触摸式传感器是已知的，例如，1990年11月25日召开的1990年ASME冬季年会 Ding 等人的文章“触摸式硅电容性压力传感器”所公开的。

15 触摸式传感器简述如下。例如，使用某些类型隔膜的电容性传感器（是或不是触摸式传感器），压力加到隔膜上时，隔膜偏移。偏移必然使隔膜下的间隙变化。间隙变化引起测出的电容量变化，并用它确定压力测量。在接触模式，隔膜偏移从而实际接触其下的表面。接触的面积是电容量变化大小的一个因素。

20 但是，所公开的传感器不具有本发明的有用特性，如真空密封间隙，或用埋入的电极结构连接隔膜下面的区域，以实现便于检测操作的电引线。而且，公开的传感器还有稳定性和滞后等问题，而本发明已克服了这些缺陷。

25 而且，Zanini-Fister 等人的美国专利 5264075 还公开了硅/玻璃电容性绝对压力传感器的制造方法。但是，公开的制造方法非常复杂，并会造成结构不同的传感器。

30 总的说来，常规电容性绝对压力传感器的工作温度范围大致限于-50℃至+100℃。而且，没有哪种已知的传感器能同时承受规定的工作温度和压力和极高（通常是工作指标的许多倍）的制造温度和压力。例如，将传感器模压进一轮胎中，便是常规传感器无法满足这些要求的指标的一个实例。而且，大多数价格低廉或价格适中的市售传感器在使用中存在基线随时间漂移的问题。因此，如果不加以校正，则使用一年以

上的精度比 $\pm 1\%$ 差。

对绝对电容性压力传感器而言，最困难的问题之一是，从密封参考腔到能方便地用于检测的区域之间的电引线的设计和制造。因此，电引线的低价格，可靠性和晶片级制造技术对于传感器的制造和封装显得越来越重要。

5 现已开发了几种电引线结构。这些措施之一是采用 PN 结引线的真空密封。该技术中，用 N 型硅构成上传感器/隔膜结构。上电极是 P⁺硅隔膜。但是，下电极是用玻璃衬底晶片上两个分开的金属结构形成的。在 N 型硅上制成扩散的 P⁺引线，并用于在氧化（静电）焊接工艺中连接这两部分。因而，用该技术能在晶片级过程中制成有多个引线的密封腔。

10 但是，该引线结构有与 PN 结相关的问题。由于结噪声和反向漏电流使其不能适当保护结，从而损坏传感器性能。除结的保护之外，为减小扩散造成的表面台阶，必须进行离子注入来形成 P⁺引线。因此，为制成高性能压力传感器，需要进行大量的改进。

15 已开发了处理工艺和/或操作缺陷有很多不完善之处的其它方法。一种方法中，在硅的分割壁中腐蚀出电引线通道。用静电焊接（氧化）法连接硅隔膜组件和玻璃衬底在一起之后，衬底电极从腔内伸出经小沟道达到外部的连接焊盘。为实现绝对电容性压力传感器的密封腔，将引线通道的该小孔密封。用玻璃原料作为用于此目的的密封材料。

20 在真空炉内进行直接真空密封。采用适当组成的玻璃原料来密封通道的装置放入真空炉内加热到使玻璃原料熔化的规定的温度一时间曲线。然后，炉子冷至室温，因此密封了电引线。

25 用晶片级处理密封参考腔的另一较不完善的措施是在沟道开口上溅射硼硅酸玻璃膜进行真空密封。为简化密封工艺，在硅中腐蚀 1 μm 深的沟。制成硅掩模以遮挡器件除了沟道区外的大部分面积，该掩模与器件晶片对准并固定在一起。之后，组合晶片送入溅射机内。溅射淀积 3 μm 的玻璃膜或其它绝缘膜，密封 1 μm 深的沟。

30 本发明提出了一种新的改进了的电容性绝对压力传感器，它克服了上述的和其它的困难。

发明概要

实现了高可靠性的，坚固的电容性绝对压力传感器。该传感器包括

其上沉积有电极的衬底，和密封连接到衬底上的隔膜组件。优选地随着压力增大，隔膜偏移并接触电极（触摸式工作），因此，引起隔膜下的电容量变化。用埋入引线技术使衬底上的电极从隔膜下伸出，以测量电容量变化并由此确定检测的压力。

5 本发明的另一方面，密封传感器，将传感器的从隔膜下至传感器的易接触部分的电极贯通区域密封。

10 本发明的另一方面，传感器的制造方法包括腐蚀硅晶片第1边上的第1和第2间隙，用分割壁将这些间隙隔开，构成传感器腔和电极腔。之后，分开的玻璃上，硅或其它合适的衬底上淀积金属电极，并在金属上淀积玻璃膜。晶片与分开的玻璃衬底粘接在一起。之后，腐蚀对着晶片第1边的晶片的第2边，构成隔膜和传感器上的检测区。电极从分割壁下引出至电极腔的区域并被密封。

本发明的另一方面，密封包括适当选择电极和玻璃层厚度。

15 在发明的另一方面，密封包括对玻璃、硅或其它适当衬底上的电极和玻璃层进行热循环。

本发明的另一方面，构成的传感器有坚固的设计，因此，能承受与制造，安装和/或使用相关的苛刻环境。

本发明的一个优点是能以简单结构探测和检测压力。

20 本发明的另一优点是，由坚固的设计能实现稳定性，高性能和高可靠性。

本发明的另一优点是，经适当选择材料和选择的热循环，实现测量用电极的方便引线。

本发明的另一优点是，以优选的触摸模式，用清零法使传感器有优异的线性特性，过载保护和高灵敏度。

25 通过下面的详细描述将明白本发明的应用范围。但应了解，详细描述和具体实施例只代表本发明的优选实施例，只是用来说明发明，因此，在不脱离本发明精神和范围的前提下，对本领域的技术人员而言还会有各种变化和改型。

附图简述

30 以结合附图比上述内容更详细地描述装置的各种零部件的结构、安装、和结合，以实现本发明的所有目的，并用权利要求具体指出。附图中：

图 1 是本发明优选实施例的装配图；

图 2 是图 1 所示装置的顶视图；

图 3 是图 1 所示装置（沿图 2 中线 3 - 3）的剖视图；

图 4 是沿图 2 中线 4 - 4 的装置剖视图；

5 图 5 是沿图 2 中线 5 - 5 的装置剖视图；

图 6 是图 1 所示装置的局部剖视图，展示破坏密封的不希望有的间隙；

图 7 是图 1 所示装置的局部剖视图，展示优选的密封；

图 8(a)-8(i)展示图 1 所示装置的优选制造方法；

10 图 9 是按触摸模式工作的图 1 所示装置的剖视图；和

图 10 是图 1 所示装置的压力 - 电压特性曲线。

优选实施方案和方法的详细说明

按本发明的硅电容性绝对压力传感器的优点是，有良好的稳定性，低功耗，坚固的结构，大的过压允许，大范围和用消零技术提高线性度和灵敏度的内在的特性。本发明涉及硅绝对压力传感器的设计，制造和封装，本发明的传感器能用于工业，和其它要求在恶劣环境中在宽的测试范围内能稳定工作的领域。本发明传感器用消零特征优选地以触摸模式工作。但是，也可用非触摸模式工作。本发明的各种设计方法，封装技术，能获得独特的性能。

20 本发明电容性绝对压力传感器的性能数据概括于下：

工作温度： - 150 °C 至 200 °C

压力范围：能设计出的全量程是 10^{-4} 至 10^3 psi（磅/英寸²）

过载压力：全量程是 200 % 至 200000 % 或 500 psi（磅/英寸²）；

n 小时的制造压力高达 500 psi（磅/英寸²）；

25 n 小时的制造温度高达 300 °C；

在 5 - 10 年以上的全量程精度为 ±1.5 %；

5 至 10 年以上的滞后小于全量程 1 %；

供电功率： 3 至 30 伏（ 5 - 15 毫瓦）（用 CP - 10 电容 - 电压接口电路）。

30 现在，参见附图，附图只展示出本发明的优选实施例，但发明不限于此。图 1 和 2 展示了本发明的优选实施例的总图。传感器 10 包括两个主要部分，硅隔膜组件 12 和玻璃或硅衬底 14。

组件 12 优选是方形或矩形、并用 P⁺ 腐蚀填塞技术用掺硼的 (P⁺) 硅构成 (或用 P-N 结腐蚀填塞技术用 N 掺杂的硅构成)。隔膜组件 12 包括区域 15, 跨越区域 15 放置隔膜 16, 和有开口 18 的区域 17, 用较厚的分割壁 20 和较厚的框架 22 确定的区域。

5 电极 26 优选用三层金属层构成, 最外面层是铬层, 里边层是铂 (Cr-Pt-Cr 结构), 该电极在衬底 14 上构成。电极的铬层有好的焊接性, 而铂层导电性好。电极 24 实际上位于开口 18 下面的部分 28 中, 用来与隔膜 16 接触。而且, 如参见图 4 和 5 要描述的, 电极 24 不直接设置在衬底 14 上, 而是设置在衬底上的绝缘层上。电极 26 跨越与隔膜 10 16 对准的部分 28 和 30。

传感器的精确尺寸随传感器要承受的压力范围和最大温度/压力而呈函数变化。例如, 工作压力为 100psi (磅/英寸²), 最大压力为 400psi (磅/英寸²), 最大工作温度为 250 °C 的传感器的隔膜 16 的宽度为 250μm, 隔膜 16 的长度为 750μm, 壁 20 的厚度是 500μm, 壁 20 的高度是 300μm, 它是 75mm 硅晶片的厚度, 框架 22 的大小相当于壁 20 的厚度和高度。可以认为, 只要能实现本发明目的, 任何适当的尺寸均可以用。

显然, 从上述的优选尺寸发现, 壁 20 和框架 22 可以制成厚而坚固的结构。这种设计的优点是, 传感器 10 能承受制造, 安装和苛刻的工作温度及压力。传感器特别能适用于苛刻的环境, 如将传感器模压到汽车轮胎中并测量其压力的环境中。正如本领域技术人员将发现的, 在适当的电子仪器中用传感器作监测器, 可用传感器检测电容性 (电压) 变化。而且, 还可以利用电子仪器进行远距离监测。

现参见图 3, 参见图 1 和 2 发现, 要构成电容性压力传感器 10, 25 应将隔膜组件 12 静电焊接到衬底 14 上。用隔膜 16 (a × b) 和电极 26 的面积, 隔膜下的间隙高度(d-d_{min})和空气或真空的介电常数确定传感器 10 的电容量, 用下式表示电容量:

$$C = \iint \frac{\epsilon_0 dx dy}{(d - d_{\min} \frac{\epsilon_g - \epsilon_0}{\epsilon_g})} \quad [1]$$

30 式中 dx dy = dA - 隔膜上的基本面积;

ϵ_0 = 空气或真空介电常数

ϵ_g = 玻璃介电常数 (即层 32 的介电常数)

d = 隔膜与衬底间距离;

因此, 接触面积 (接触摸模式) 中, $d=d_{\min}$,

所以

$$(d-d_{\min} \frac{\epsilon_g - \epsilon_0}{\epsilon_g}) = d_{\min} \frac{\epsilon_0}{\epsilon_g}$$

5

$$C = \iint \frac{\epsilon_g}{d_{\min}} dx dy \quad [2]$$

用硅腐蚀形成间隙 d (如参见图 8(a)至 8(i)所述), d_{\min} 是电极 26 上绝缘层 32 的所述厚度。即, d_{\min} 是绝缘层顶与衬底之间的距离。如图 10 所示, d_{\min} 的任何变化, 例如图 3 中电极上的绝缘层的曲率, 可以忽略不计。由于最好用 P^+ 腐蚀填塞技术构成硅隔膜, 隔膜的厚度 h 取决于 P^+ 层厚度, P^+ 层厚度可精确控制。在全部相关范围内 d_{\min} 优选为 0.3 至 3.0 μm 。但是, 和所有其它元件一样, 可选择合适的 d_{\min} 的大小, 只要能达到本发明的优点。

隔膜 16 下面构成真空密封腔 34。电极 26 在壁 20 下延伸并连接电极 26 的焊盘 36 (位于开口 18 中) 至密封真空腔 34 中的电极 26。因而, 能很好地检测隔膜 16 上的压力变化引起的膜 34 的电容变化。

图 2、4 和 5 展示出电极 24 和 26 的相对位置。电极 26 上淀积有绝缘层 32。电极 24 位于绝缘层 32 上, 使得绝缘层 32 位于电极之间, 使电极分开/层叠, 如图 4 所示。如图 5 所示, 电极 24 还在分割壁 20 20 下部分延伸, 但不穿过腔 34, 因此, 经过壁 20 与隔膜 16 接触并保持腔 34 的真空状态。

如图 3 和 4 所示, 电极 26 在分割壁 20 下从腔 34 到开口 18 延伸。这样的设置要保持腔 34 的真空状态是困难的。特别是作为本领域技术人员将会发现, 例如, 在分隔壁 20 与绝缘层 32 之间出现的间隙 38 和 25 40 是由电极 26 的边缘在分割壁 20 下的绝缘层中 (图 6) 出现的小隆起或凸起而造成的。这些间隙 38 和 40 妨碍了腔 34 实现可靠的真空态。为克服该困难, 在如图 7 所示的优选实施例中, 仔细选择电极 26 和绝缘层 32 的厚度, 即 d_{\min} , 并设计焊接和/或热处理过程, 使绝缘层 32 符合或变形以密封间隙 38 和 40, 在壁 20 下面的区域中, 优选的电极 26 的 30 厚度约 0.1-0.3 μm , 绝缘层 32 的厚度约 0.3-3.0 μm 。因此, 在分割壁 20 与绝缘层 32 的接口和在电极 26 与绝缘层 32 的接口保持真空密封。

具有埋入引线的传感器 10 的制造方法展示于图 8(a) - 8(i) 中。如图

所示，用{100}P型硅晶片42开始制造过程（图8(a)），用KOH(或任何其它合适的腐蚀液)腐蚀硅晶片，在晶片42中获得要求的间隙44、46（图8(b)）。之后，进行硼扩散，确定P⁺层隔膜厚度h（图8(c)）。

静电焊接到晶片42上之前制备玻璃衬底14。溅射电极26（图8(d)），之后，电极26埋入溅射的7740型玻璃或等价玻璃组合物绝缘层32下（图8(e)），当隔膜接触腔34的底部时，绝缘层32最终使电极26与隔膜16隔离。用玻璃作掩模腐蚀去掉焊盘36上的绝缘层（图3）。电极24最后溅射到绝缘层32上与晶片42（隔膜16）接触。

优选地将衬底14，电极26和绝缘层32的组合物进行热循环。首先，组合物加热到500℃至550℃约半小时，使绝缘层32在电极26周围变形。其次，施加350℃-400℃的温度约半小时。使组合物中的玻璃松弛并均匀，产生要求的温度系数。之后，硅晶片42在350℃-400℃静电焊接到玻璃衬底14上（图8(f)）。最后，缓慢冷却组合物约1小时。

之后，用EDP（或用KOH或其它合适的腐蚀液）对晶片42进行深硅腐蚀，构成隔膜16和电极开口帽48（图8(g)）。切割之后，电极帽48开口（图8(h)）。在连到电极26（电极焊盘36）之前除去帽48下焊盘36上的绝缘层（图8(i)）。之后对制成的装置引线 and 封装。

按该结构，P型硅中不制造单独的引线通道。位于氧化焊接区下的薄金属引线，即，电极26制在玻璃衬底14上。与硅隔膜组件12氧化焊接之前，在玻璃衬底14上和玻璃衬底14的电极区上除焊盘区36外溅射淀积硼硅酸玻璃膜绝缘层32。该绝缘层32用作触摸式工作的氧化焊接用的中间层和底电极的绝缘层。

图8(a)至8(i)所示装置有许多优点，如，低成本，晶片级密封和高性能。可用两步玻璃溅射工艺，而且进一步提高传感器的灵敏度：一步将Si(42)粘到玻璃（14）上，一步确定电极（26）顶上的d_{min}。

电容性压力传感器10的优选工作模式是触摸模式。在一些监测规定范围内的压力的工业应用中，按该触摸式工作的传感器的性能比常规电容性传感器的性能好很多。经适当设计和制造的图9所示的传感器10，用隔膜16经绝缘层32接触电极26。接触区的变化是所加压力的线性函数。因此可用公式（1）和（2）确定电容量变化，而且，在接触区电容量随压力几乎成线性变化。

典型的传感器特性示于图 10 中，图 4 标出三个工作区，区 I 是非线性，非接触区，即隔膜与绝缘层不接触。展示出电容量与压力之间典型的非线性关系。区 II 示出传感器 10 的隔膜 16 开始接触电极 26 的绝缘层 32 时的过渡特性。曲线上存在小的峰值，是接触区和非接触区的组合电容产生的。区 III 中，观察到电容量与压力之间的近似线性关系。这种性能主要是由随压力增大而增大的接触面积造成的。该线性工作区提供了前所未有的显著的操作优点。

就触摸式压力传感器 10 而言，可调节设计参数来调节接触点的位置，使传感器在需要的压力范围内有线性特性。这为传感器的设计提供了很大的自由度，只改少许工艺以适用于各种不同的应用。例如，客车轮胎的感兴趣的压力范围是约 50psi(磅/英寸²)，而卡车轮胎的感兴趣的压力范围是约 100 psi(磅/英寸²)，传感器制造中只需少许变化的是 P⁺ 扩散时间。

这里所述的发明有显著的优良特征。首先，金属电极 26 (优选是 Cr-Pt-Cr 结构的引线，所述厚度为 0.1 至 0.3 μm ，用所选厚度 0.3 至 3.0 μm 的玻璃层 32 覆盖，并经选定热循环，使抽空的腔 34 易于可靠地密封，并能连接电极用于检测。

第 2，传感器结构坚固，具有稳定性，高性能和高可靠性。特别是，选择框架 22 和壁 20 的尺寸使传感器能承受制造和使用中的苛刻环境。

第 3，按优选的触摸式工作时，使用清零及内在的过载保护，大大提高灵敏度，通过线性操作提高性能，线性度与隔膜厚度、隔膜下的间隙和其它尺寸因素有关。用任何适当的测试电路实现线性操作的清零。而且，由于隔膜只接触衬底，可保护传感器，防止过压，当压力增大时不会使传感器断裂或短路。过压只会使接触面积增大。同样，由于电容有等于最小的 d_{min} 的等价间隙，接触模式可使传感器灵敏度增大。

以上仅描述了本发明的一个特定优选实施例，但发明不限于此。即本发明不限于上述实施例，对本领域的技术人员而言，不脱离本发明范围的前提下还会有各种改型实施方案。

说明书附图

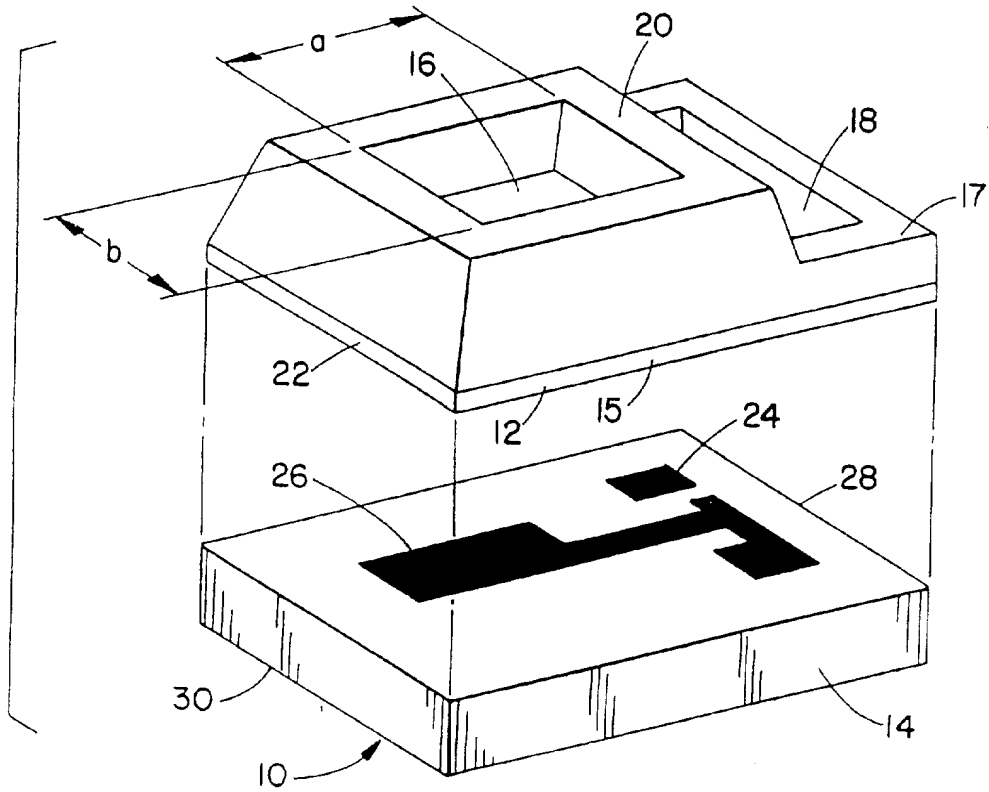


图 1

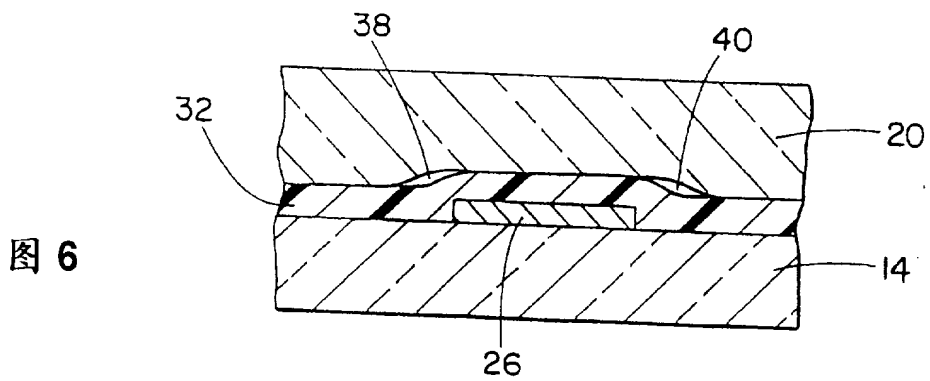


图 6

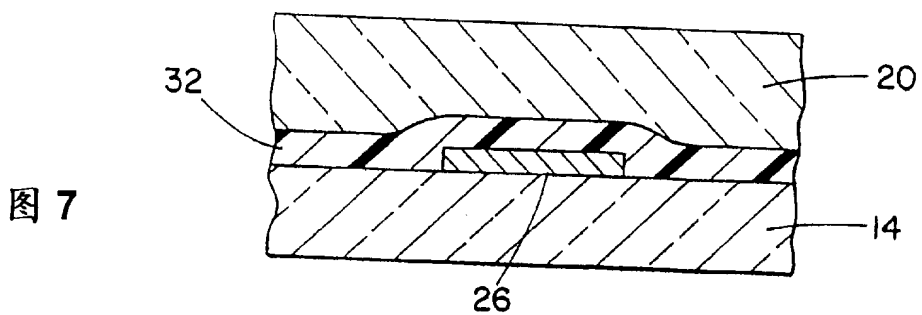


图 7

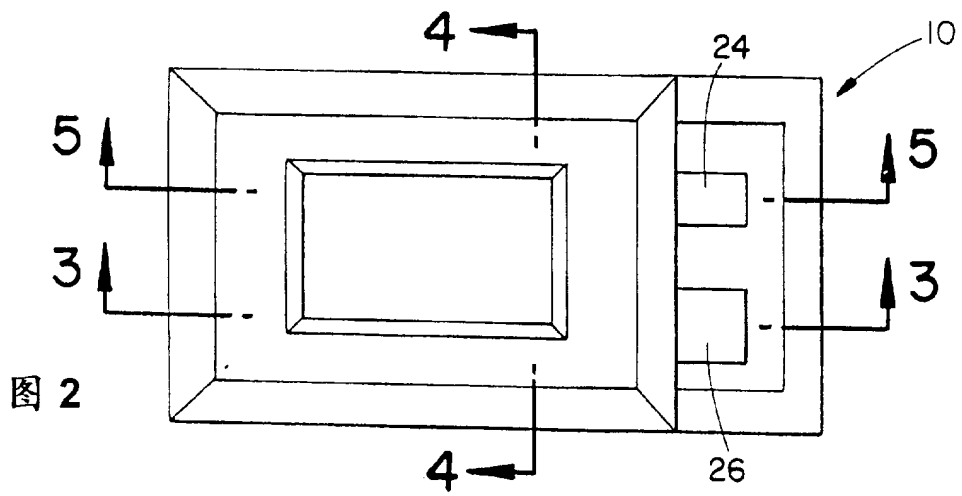


图 2

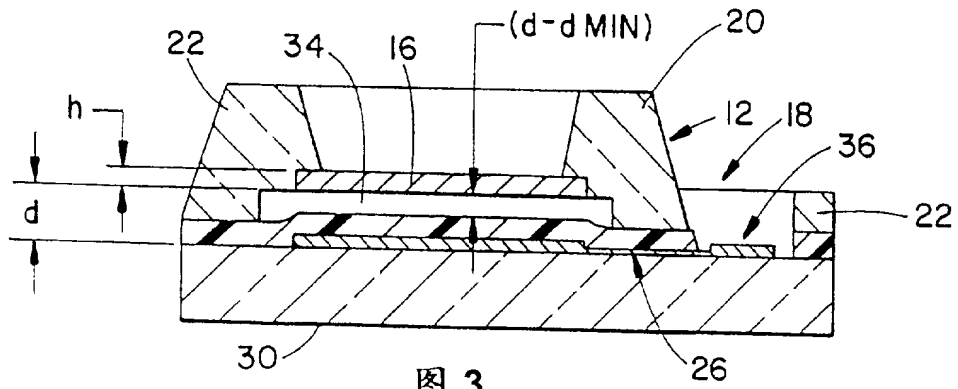


图 3

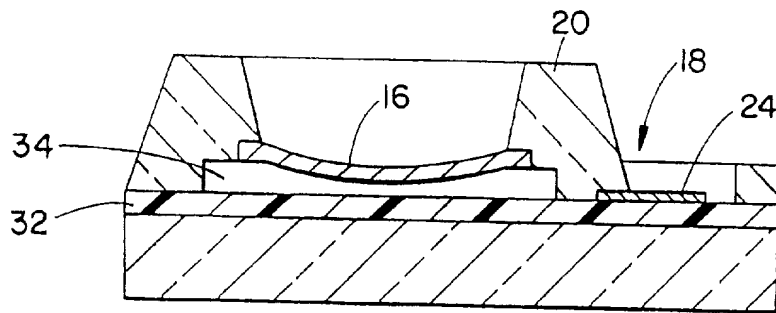


图 5

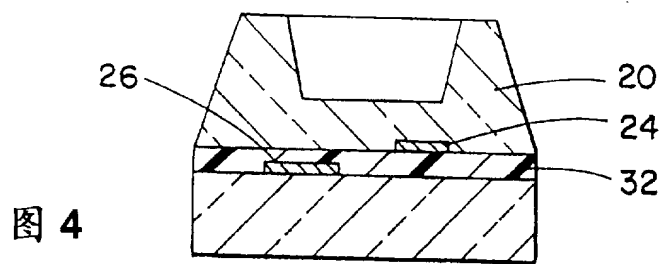


图 4

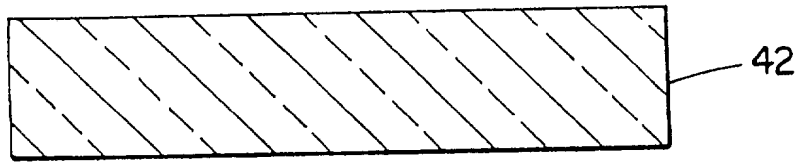


图 8 a

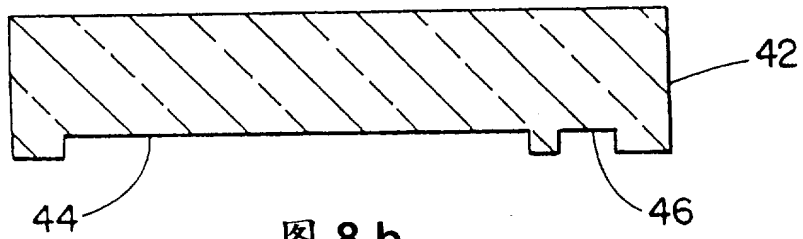


图 8 b

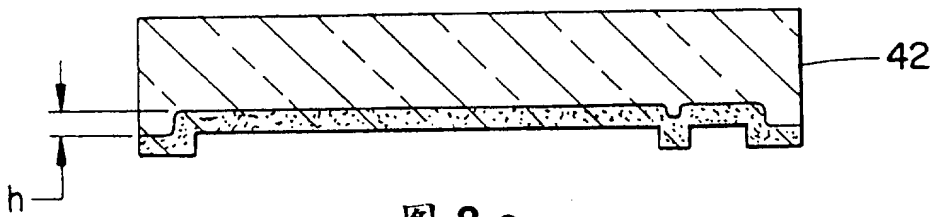


图 8 c

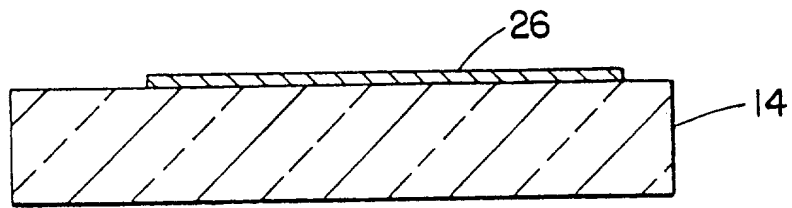


图 8 d

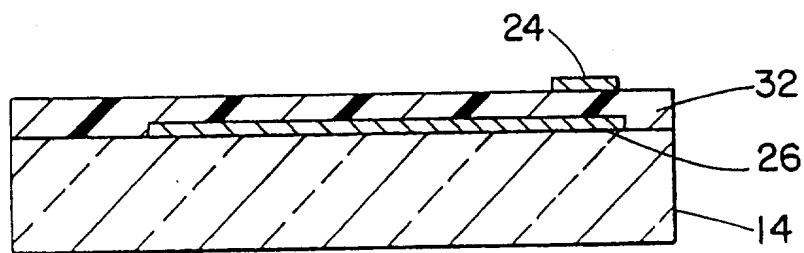


图 8 e
3

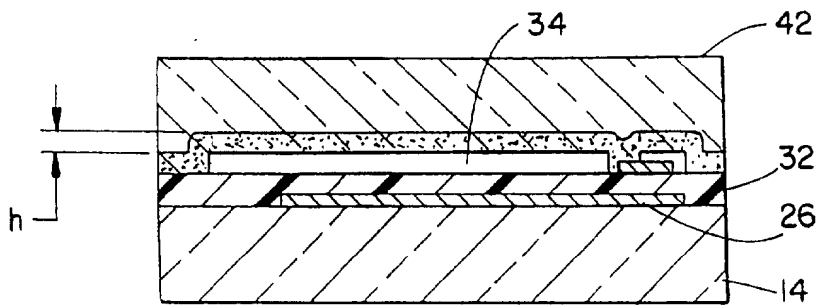


图 8 f

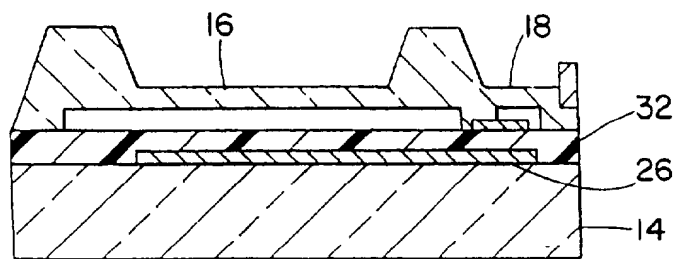


图 8 g

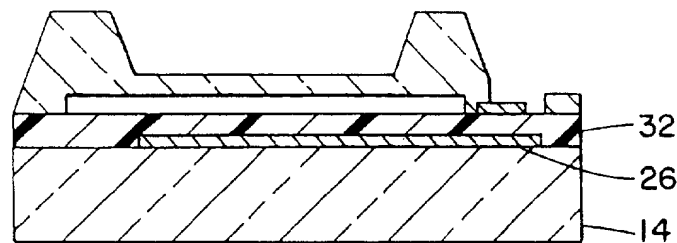


图 8 h

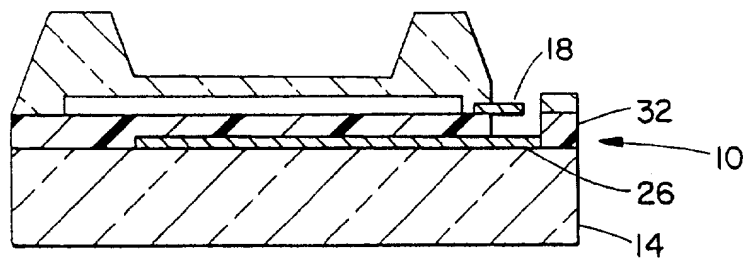


图 8 i

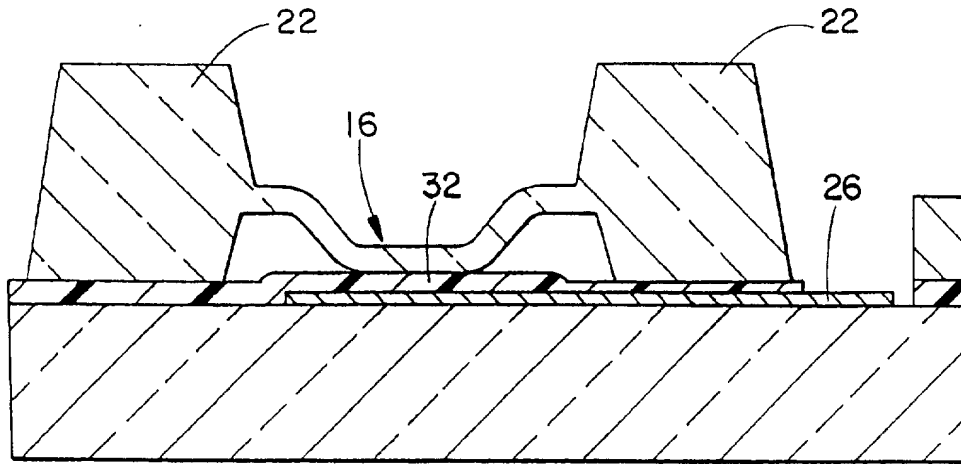


图 9

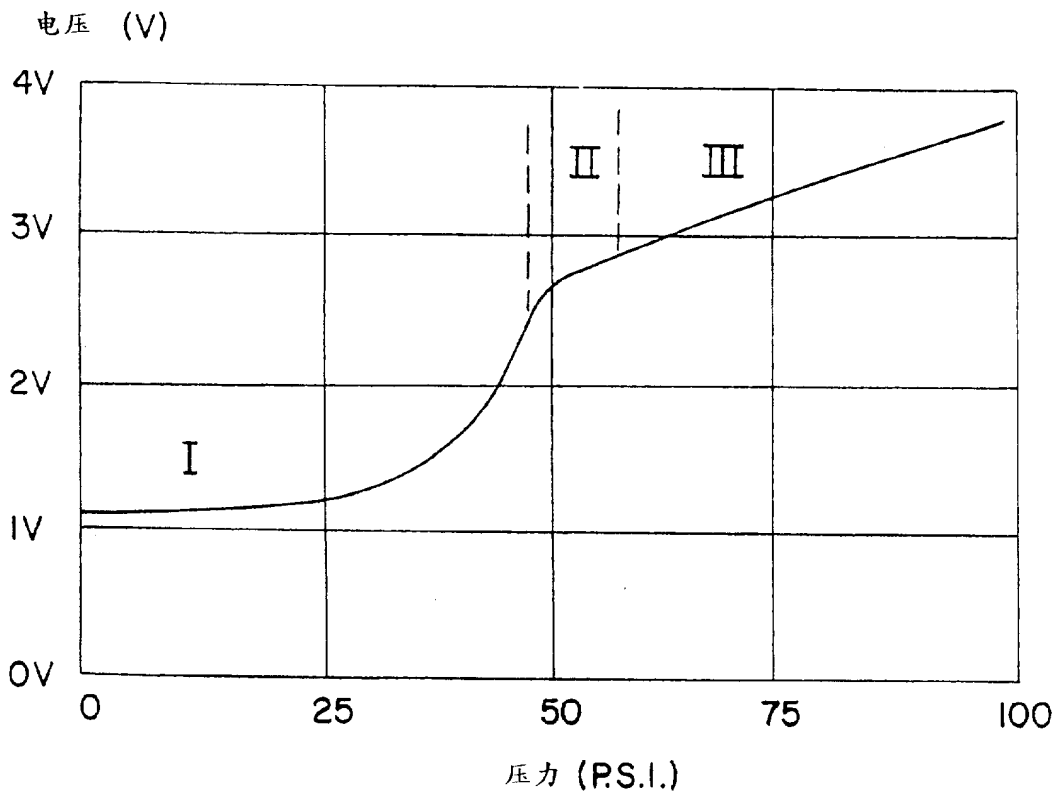


图 10

传感器特性曲线