证书号第1021751号

发明专利证书

发 明 名 称：应变传感器

发　明　人：郑庆祥;钞晨;竺云

专　利　号：ZL 2009 1 0252377.5

专利申请日：2009年11月27日

专 利 权 人：香港理工大学

授权公告日：2012年08月15日

本发明经过本局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发本证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。

本专利的专利权期限为二十年，自申请日起算。专利权人应当依照专利法及其实施细则规定缴纳年费。本专利的年费应当在每年11月27日前缴纳。未按照规定缴纳年费的，专利权自应当缴纳年费期满之日起终止。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。

局长 田力普

中华人民共和国国家知识产权局

2012年08月15日

(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 101839703 B
(45)授权公告日 2012.08.15

(21)申请号 200910252377.5
(22)申请日 2009.11.27
(30)优先权数据
12/325,129 2008.11.28 US
(73)专利权人 香港理工大学
地址 中国香港九龙红磡
(72)发明人 郑庆祥 钞晨 竺云
(74)专利代理机构 深圳市顺天达专利商标代理有限公司 44217
代理人 郭伟刚
(51)Int.Cl.
G01B 13/24(2006.01)
(56)对比文件
JP 昭58-139475 A,1983.08.18,
JP 昭63-225103 A,1988.09.20,
GB 2445760 A,2008.07.23,
US 3803485 A,1974.04.09,

审查员 贾奇峰

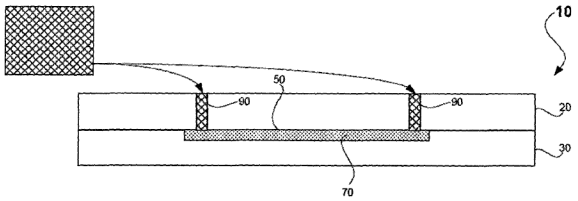
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 8 页

(54)发明名称

应变传感器

(57)摘要

本发明涉及一种用于测量大于10%的应变值的应变传感器(10)及其制造方法。所述传感器(10)包括:上PDMS基板(20),具有延伸穿过所述上PDMS基板的测量电极(90);下PDMS基板(30),与所述上PDMS基板(20)的下表面结合,且所述下PDMS基板(30)的上表面具有布线图案部分(50);以及导电液(70),容纳所述布线图案部分内并与所述测量电极(90)相接触。



CN 101839703 B

1. 一种应变传感器，用于测量大于 10％的应变值，其特征在于，所述传感器包括：

上 PDMS 基板，具有延伸穿过所述上 PDMS 基板的测量电极；

下 PDMS 基板，与所述上 PDMS 基板的下表面结合，且所述下 PDMS 基板的上表面具有布线图案部分；以及

导电液，容纳在所述布线图案部分内并与所述测量电极相接触。

2. 根据权利要求 1 所述的传感器，其特征在于，所述导电液为用作压阻式测量材料的室温离子液体，或者为至少包括镓和铟的共晶合金。

3. 根据权利要求 1 所述的传感器，其特征在于，所述传感器进一步包括由弹性体制成的覆层。

4. 根据权利要求 3 所述的传感器，其特征在于，所述覆层由 PDMS 制成。

5. 根据权利要求 1 所述的传感器，其特征在于，所述测量电极为掺杂碳纳米管的 PDMS。

6. 根据权利要求 5 所述的传感器，其特征在于，所述碳纳米管为多壁碳纳米管。

7. 根据权利要求 1 所述的传感器，其特征在于，所述测量电极为漆包线或碳纤维。

8. 根据权利要求 1 所述的传感器，其特征在于，所述 PDMS 基板在经氧等离子体处理后彼此结合在一起。

9. 一种用于测量大于 10％的应变值的应变传感器的制造方法，其特征在于，所述方法包括：

将上 PDMS 基板与下 PDMS 基板结合起来；

通过上 PDMS 基板上的孔将导电液注入并使其容纳在下 PDMS 基板的布线图案部分中；以及

将测量电极装入上 PDMS 基板的孔里以使其与导电液相接触。

10. 根据权利要求 9 所述的方法，其特征在于，所述导电液为室温离子液体。

11. 根据权利要求 9 所述的方法，其特征在于，所述孔用掺杂碳纳米管的 PDMS 进行密封，从而构成测量电极。

12. 根据权利要求 9 所述的方法，其特征在于，将漆包线或碳纤维插入孔中，从而构成测量电极。

13. 根据权利要求 9 所述的方法，其特征在于，所述方法还包括穿透所述上 PDMS 基板打两个孔的初始步骤。

14. 根据权利要求 9 所述的方法，其特征在于，所述方法还包括插入两根金属模具从而在上 PDMS 基板上形成孔的初始步骤，所述导电液通过这两个孔注入。

15. 根据权利要求 9 所述的方法，其特征在于，所述方法还包括使用 SU-8 槽模在下 PDMS 基板上制作布线图案，从而形成用于容纳导电液的布线图案部分的初始步骤。

16. 根据权利要求 9 所述的方法，其特征在于，所述方法还包括在将两块 PDMS 基板结合起来之前对 PDMS 基板进行氧等离子体处理的初始步骤。

应变传感器

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于测量大于 10％的应变值的应变传感器，以及该应变传感器的制造方法。

背景技术

[0002] 传统金属线应变计或箔片型应变计在测量大应变值时受到限制，因为它们通常只能测量约百分之几的应变值。例如，铂的应变值为 -8％。钨具有约 ±0.3％的应变范围，而铜镍合金具有高达 ±5％的应变值范围。

[0003] 具有导电聚合物镀层的商业织物制作的应变传感器可以检测较大的应变变形，然而，其可重复性和可靠性有限。在频繁使用后，尤其是在循环变形后，该应变传感器的性能将逐渐下降，这是因为聚合物的机械性能变差、发生老化且粘附力下降。

[0004] 基于盐水的应变传感器可以测量较大应变值，并且不存在老化问题。然而，水分的蒸发以及电极的腐蚀是会遇到的显著问题。

[0005] 基于水银的应变传感器可以测量较大应变值。然而，使用水银对环境不友好。

[0006] 因此，需要对上面概述的现有应变计的至少一些相关问题进行改进。

发明内容

[0007] 在第一优选的方面中，提供了一种应变传感器，用于测量大于 10％的应变值，所述传感器包括：

[0008] 上聚二甲基硅氧烷 (polydimethylsiloxane，PDMS) 基板，具有延伸穿过所述上 PDMS 基板的测量电极；

[0009] 下 PDMS 基板，与所述上 PDMS 基板的下表面结合，且所述下 PDMS 基板的上表面具有布线图案部分；以及

[0010] 导电液，容纳在所述布线图案部分内并与所述测量电极相接触。

[0011] 所述导电液可以为用作压阻式测量材料的室温离子液体，或者为至少包括镓和铟的共晶合金。

[0012] 所述传感器可以进一步包括由聚合物或弹性体制成的覆层。

[0013] 所述覆层可以由 PDMS 制成。

[0014] 所述测量电极可以为掺杂碳纳米管的 PDMS。

[0015] 所述碳纳米管可以是多壁碳纳米管。

[0016] 所述测量电极可以为漆包线或碳纤维。

[0017] 所述 PDMS 基板可以在经氧等离子体处理后彼此结合在一起。

[0018] 在第二方面中，提供了一种用于测量大于 10％的应变值的应变传感器制造方法，所述方法包括：

[0019] 将上 PDMS 基板与下 PDMS 基板结合起来；

[0020] 通过上 PDMS 基板上的孔将导电液注入并使其容纳在下 PDMS 基板的布线图案部分

中；以及

[0021] 将测量电极装入上 PDMS 基板的孔里以使其与导电液相接触。

[0022] 所述导电液可以为室温离子液体。

[0023] 所述孔可以用掺杂碳纳米管的 PDMS 进行密封，从而构成测量电极。

[0024] 可以将漆包线或碳纤维插入孔中，从而构成测量电极。

[0025] 所述方法可以进一步包括穿透所述上 PDMS 基板打两个孔的初始步骤。

[0026] 所述方法可以进一步包括插入两根金属模具从而在上 PDMS 基板上形成孔的初始步骤，所述导电液可以通过这两个孔注入。

[0027] 所述方法可以进一步包括使用 SU-8 槽模在下 PDMS 基板上制作布线图案，从而形成用于容纳导电液的布线图案部分的初始步骤。

[0028] 所述方法可以进一步包括在将两块 PDMS 基板结合起来之前对 PDMS 基板进行氧等离子体处理的初始步骤。

附图说明

[0029] 下面将参照附图对本发明的实施例进行描述，附图中：

[0030] 图 1 为依照本发明的优选的实施例制备两个用于制造应变传感器的 PDMS 基板的侧视图；

[0031] 图 2 为对图 1 中制备好的 PDMS 基板采用氧等离子体处理的侧视图；

[0032] 图 3 为向图 2 中结合好的 PDMS 基板注入离子液体的侧视图；

[0033] 图 4 为采用导电聚合物对图 3 中的应变传感器进行密封的侧视图；

[0034] 图 5 为在图 4 中的应变传感器的平面内进行拉伸变形的侧视图；

[0035] 图 6 为对图 4 中的应变传感器进行弯曲变形的侧视图；

[0036] 图 7 为在不同频率下测得的应变传感器的 Z_{re} 和外加应变 ε 的关系图；

[0037] 图 8 为应变传感器的循环测量结果图；

[0038] 图 9 为根据本发明的一个实施例的用于刻画容纳应变传感器中导电液的槽道的掩膜图；

[0039] 图 10 为具有碳纤维电极的应变传感器的示意图；

[0040] 图 11 为对图 4 的应变传感器的刻画的槽道进行挤压的侧视图；

[0041] 图 12 所示为图 11 中应变传感器的电阻 - 推力测量图；

[0042] 图 13 为根据本发明的实施例通过丝网印刷导电聚合物来作为应变传感器焊盘的侧视图；

[0043] 图 14 为通过丝网印刷第一弹性体来作为图 13 中应变传感器的覆层的侧视图；

[0044] 图 15 为通过丝网印刷导电液来作为图 13 中应变传感器传感材料的侧视图；

[0045] 图 16 为通过旋涂第二弹性体来作为图 13 中应变传感器的覆层的侧视图；

[0046] 图 17 为将封装的应变传感器从基板上剥离，从而成为最终产品的侧视图；以及

[0047] 图 18 为通过银浆或环氧树脂焊接到焊盘上的引线的侧视图。

具体实施方式

[0048] 请参照附图，提供了一种用于测量大于 10％应变值的应变传感器 10。该传感器 10

一般包括：两个聚二甲基硅氧烷（polydimethylsiloxane，PDMS）基板 20 和 30，以及导电液 70。这两个 PDMS 基板包括上 PDMS 基板 20 和下 PDMS 基板 30。上 PDMS 基板 20 上设有延伸穿过其的测量电极 90，下 PDMS 基板 30 与上 PDMS 基板 20 的下表面结合。在下 PDMS 基板 30 的上表面具有布线图案部分 50。导电液 70 被装在这些与测量电极 90 接触的布线图案 50 内。

[0049] 优选地，导电液为室温离子液体 70，因为其具备诸多优点。离子液体 70 被用作应变传感器 10 的压阻测量材料。离子液体 70 具备优良的性能，其中包括：良好的导电性、“零”蒸气压、低粘度系数、良好的热稳定性和化学稳定性、以及温度范围宽等。液态测量材料可以测量超过 55％的应变值。基于离子液体的应变传感器 10 与基于水银的应变传感器 10 相比更加环保，因为其不需要含有水银或有毒重金属。离子液体 70 在较宽的温度范围内几乎不挥发，因此与基于盐水的应变传感器 10 相比，由于其测量液体不会挥发从而可以长久使用。离子液体 70 具有较高的电势窗，根据其种类从 4 至 6 伏不等，因此具有较大的工作电压范围。离子液体 70 的折射率（即 1.42）接近 PDMS 基板 20 和 30 的折射率（即 1.4），刻画的槽道 50 在注入离子液体 70 后变为不可见，如图 9 所示。其具有在隐形器件和光学器件研究中应用的潜力。

[0050] 测量电极 90 可以采用两种方法制备。一种使用混合多壁碳纳米管（multiwalled carbon nanotubes，MWCNTs）的 PDMS 作为柔性电极。另一种使用传统漆包线 88 或碳纤维（见图 10）。在一个实施例中，在应变传感器 10 中使用掺杂碳纳米管（carbon nanotubes，CNTs）的 PDMS 作为测量电极 90。当碳纳米管的重量百分比超过 8％时，该混合物显示出良好的导电性。这种柔性电极 90 可以很好地对导电通道 50 进行密封，并且与 PDMS 基板 20 在强应变作用下紧密结合。相对金属电极 /PDMS 基板系统来说，使用这种电极 90 解决了连接点的脱落或滑落问题。此外，CNT 和 PDMS 的混合物是防腐蚀的，是一种非常适合的电极材料。如果这种柔性电极 90 的电阻率相应地减小，它将提供广泛的应用。碳纤维电极 90 则结合了上述两种电极材料的优点，因为其具有良好的导电性和防腐蚀性。

[0051] 应变传感器 10 的覆层可以由聚合物或弹性体制成，从而达到较大的应变。在一个实施例中，使用压阻应变传感器 10 来实现较大应变值的测定。其中，通过较大的变形测得实际的应变值 $\varepsilon = \ln(L/L_0)$（L_0 为传感器 10 的原长度，L 为传感器 10 的最终长度）。因为覆层仅为封装材料，封装材料的老化不属于传感器 10 的问题。如果使用 PDMS 作为覆层，可以根据需要通过改变 PDMS 预聚物与固化剂的比例将其调整为具有不同的弹性。

[0052] 图 1 至 4 详细描述了应变传感器 10 的微加工过程。回到图 1，制备了 2 片 PDMS 基板 20 和 30。这两片 PDMS 基板 20 和 30 为 500μm 厚的 PDMS 基板（型号为 Dow Corning Sylgard 184，固化剂与弹性基质的比例为 1 ： 10w/w，在 70℃的烘箱中固化 1 小时）。上基板 20 的表面光滑。两个接入孔穿过上基板 20 到达液相和测量电极 90。该穿凿过程是在对上 PDMS 基板 20 进行固化后形成的。另一种构造接入孔的方法是在上 PDMS 基板 20 固化期间插入两根金属模具 40。下基板 30 使用 SU-8 槽道模具 50 来布置用于装导电液 70 的槽道 50。50μm 厚的槽道模具是使用 SU-850 光致抗蚀剂利用单步光刻法制造的。使用光学制版工艺，将模具 50 在掩模对准器上暴露在紫外线下照射 60 秒。我们对一个具有单行微通道（$13\times1.5\times0.05mm^3$）的应变传感器的样品进行了测量，结果如图 7 所示。

[0053] 参照图 2，在制备了 PDMS 基板 20 和 30 后，在 PDMS 基板 20 和 30 上均进行氧等离

子体处理 60。

[0054] 参照图 3,两个 PDMS 基板 20 和 30 被结合在一起。移开金属模具 40 并插入两个空心金属管 80。离子液体 1- 正丁基 -3- 甲基咪唑四氟硼酸 [Bmim][BF_4]70 通过金属空心管 80 注入到下基板 30 的布线图案部分 70。

[0055] 参照图 4,移除空心金属管 80。使用导电聚合物 (掺杂碳纳米管的 PDMS)90 对传感器 10 进行密封。其采用掺杂碳纳米管的 PDMS90 填充冲孔或空心金属管 80 留下的孔洞。该掺杂碳纳米管的 PDMS 为测量电极 90。

[0056] 在另一种情况下,即应变传感器 10 使用漆包线 88 或碳纤维 90 作为测量电极时,其微加工过程的区别在于,在空心金属管 80 留下的孔洞内插入两根漆包线或碳纤维,同时在接合处使用瞬间胶密封。

[0057] 参照图 5 和 6,可以在流体压阻应变传感器 10 的两端施加作用力 (或通过接触界面从物体传递到计量器上)。随着应变传感器 10 的覆层发生形变,应变传感器 10 上密封的测量材料的电阻也会发生改变。有两种变形模式。在图 5 中,是在平面内拉伸变形。在图 6 中,是进行弯曲变形。该应力传递的机制可以是通过在应变传感器的 10 两端直接施加张力,或者通过将传感器 10 贴附到某一变形体表面来实现界面应力传递。

[0058] 图 7 所示的测量结果表明了在不同频率 (100Hz-1kHz) 下测得的应变传感器 10 的 Z_{re} 和外加应变 ε 的关系。示出了在不同外加频率下实际测得的应变传感器 10 针对外加应变 ε 的阻抗 (Z_{re}) 的实部变化。为了降低制造的成本以实现更多的应用,我们设计了一种离子液体的批量封装方法。

[0059] 在循环测量的试验中,应变传感器 10 呈现出良好的稳定性以及长使用寿命。为了了解其可重复性,环路测量被用来研究其迟滞性。图 8 示出了阻抗 Z_{re} 的实部与应变传感器 10 的外加应变 ε 的相关性,频率分别为 40Hz,400Hz 和 1kHz,外加电压为 500mV。结果表明,在 10 次循环形变后,回缩曲线几乎与最初的伸长曲线重合,仅在低频段出现微小的偏移。该偏移源自离子极化引起的极化电阻的变化。当频率增加时,离子极化的影响下降,偏移逐渐消失。经过更多次循环测量没有观察到迟滞现象。良好的可重复性使得应变传感器 10 在实际运用中更具吸引力。

[0060] 参照图 8,示出了阻抗 Z_{re} 与应变传感器 10 的外加应变 ε 在不同频率 (40Hz,400Hz 和 1kHz) 时的相关性,且外加电压为 500mV。实心标记代表随 ε 增大时的测量结果。空心标记代表在 10 个伸长和收缩的循环后,随 ε 减小时的结果。

[0061] 参照图 9,是用于刻画容纳应变传感器 10 中导电液 70 的槽道 50 的掩膜图像。掩膜图像有不同的形状和大小,包括狗骨形 91、蛇形 92、十字形 95、单线形 93、多线形 94 等,以适合不同的应用。电极 90 用混合多壁碳纳米管的 PDMS 制成。其它实施例中使用漆包线或碳纤维作为电极。由于离子液体与 PDMS 基板 20 和 30 的折射率接近,布线图案通道 50 变为不可见。

[0062] 回到图 5 和 6,是应变传感器 10 的样本,其使用 PDMS 作为覆层、[Bmim][BF_4] 作为压阻测量材料、掺杂 MWCNT 的 PDMS 作为电极。然而,也可以采用漆包线 (由直径为 0.21 毫米的铜制成) 或碳纤维作为电极。所用电极材料的重量比 (MWCNT ∶ PDMS) 为 1 ∶ 10。参照图 10,在递增的外加应变下利用电化学阻抗分析法通过移动平台 110 对具有碳纤维电极 90 的应变传感器 10 进行了测试。相应的结果如图 7 所示。对该测量进行了电化学阻抗谱

分析。

[0063] 在另一个实施例中，采用液态金属合金来替代离子液体作为导电液 70。液态金属合金是替代汞的一种合适材料，因为它对人类和环境的毒性低。Geratherm医药公司生产的 Galinstan™ 就是这样一种液态金属合金。Galinstan™ 是镓 (Ga)、铟 (In) 和锡 (Sn) 的共晶合金（镓 :68.5％，铟 :21.5％，锡 :10％），其在室温下为液体，通常在 -19℃ (-2.2° F) 凝固。其他适用的液态金属合金包括 :镓 - 铟（镓 :75.5％，铟 :24.5％），镓 - 铟 - 锡（镓 : 62.5％，铟 :21.5％，锡 :16.0％），或镓 - 铟 - 锡 - 锌（镓 :61％，铟 :25％，锡 :13％，锌 : 1％）。由于其金属成分毒性低且环保，这些液态金属合金是液态水银或 NaK（钠钾合金）的无毒替代品。其成分为 68.5％镓、21.5％铟以及 10％的锡。液态金属合金可以使用简单的直流电路像测量金属线一样检测其纯电阻，例如使用惠斯通电桥 (Wheatstone bridge)。然而，它的电阻很低，类似于连接引线 88，所以需要使用细长的蛇形线图案来增加其电阻，类似于常规的应变计。导电液 70 被制成一定的布线图案 50，使该传感器 10 与传统的固体金属应变计量器相比差别很小。该布线图案 50 也可以设计成不同的形状以适应不同的应用，如图 9 所示的掩膜设计。

[0064] 但是，如果使用离子液体 70 而不是液态金属合金，离子液体的电阻远远高于液态金属合金，所以大部分的压降将跨接在应变传感器 10 上，而不需要考虑连接引线 88 的串联电阻。由于其电阻较高，焦耳热效应相应降低，其消耗的功率也将低得多。然而，离子液体 70 的阻抗需要使用具有振荡频率的交流电路来检测，因为它是由离子导电的，在阻抗中同时包含电阻和电容分量。使用交流电也可以防止在使用直流电驱动时在离子液体 70 和接触垫 90 之间的界面上形成双电荷层。

[0065] 参照图 11 和图 12，所示为向液体 - 金属 - 合金应变传感器 10 的中心施加外力的示意图和曲线图。施加外力是为了测定其电阻的增长值。当压缩应变施加到整个液体 - 金属 - 合金填充的槽道 50 时，将减小槽道 50 的截面积，从而增加传感材料 70 的电阻。可以用以下方程进行描述 :

[0066] $$R = \rho \frac{L}{A}$$

[0067] 在此，R 为电阻，ρ 为电阻系数，L 为长度，A 为截面积。

[0068] 参照图 13 至图 18，描述了大规模生产制造的过程，其向弹性体覆层内批量填充导电液 70。首先，用 PDMS 填充基于碳纳米管 (CNT) 或炭黑 (CB) 的导电聚合物，并通过丝网印刷在基材 19 上刻画图案，然后进行硫化使弹性体固化。丝网印刷导电聚合物作为焊盘 90，该焊盘 90 用来在随后实现导电液 70 与键合线 88 之间的电连接。由 PDMS 制成的第一弹性体 20 被丝网印刷并固化在焊盘 90 上，并在焊盘 90 上留下开口以便于电连接。丝网印刷的第一弹性体 20 被用作覆层，封装液体导体 70。导电液（离子液体或液态金属合金）70 被丝网印刷在第一弹性体覆层 20 上，并与焊盘 90 电连接。丝网印刷的导电液，例如离子液体或液态金属合金 70，被用作应变传感材料。由 PDMS 制成的第二弹性体 30 被旋涂覆盖在液态导电体 70 上。这完全封装了应变传感材料 70 并被用作覆层。封装的应变传感器 10 从基板 19 上剥落成为最终产品。最后，通过银浆或环氧树脂将键合线 88 连接到焊盘 90 来提供与检测电路的电连接。

[0069] 应变传感器 10 在测量较大应变值方面非常有用，如实际应变值高达 55％。通过使

用离子液体可以实现稳定的应变测定。应变传感器 10 可以应用在生物医学领域，用来测定组织的形变。因此，在实际应用中更具竞争力。此外，所述传感器 10 对外加应变或应力非常敏感，可以被考虑作为软开关或者其它接触式装置使用。

[0070] 本领域技术人员应该理解，可以在不脱离本发明的范围和实质的情况下对本发明进行多种变换或修改，如说明书中所示。因此，这些实施例在所有方面都被认为是说明性的而非限制性的。

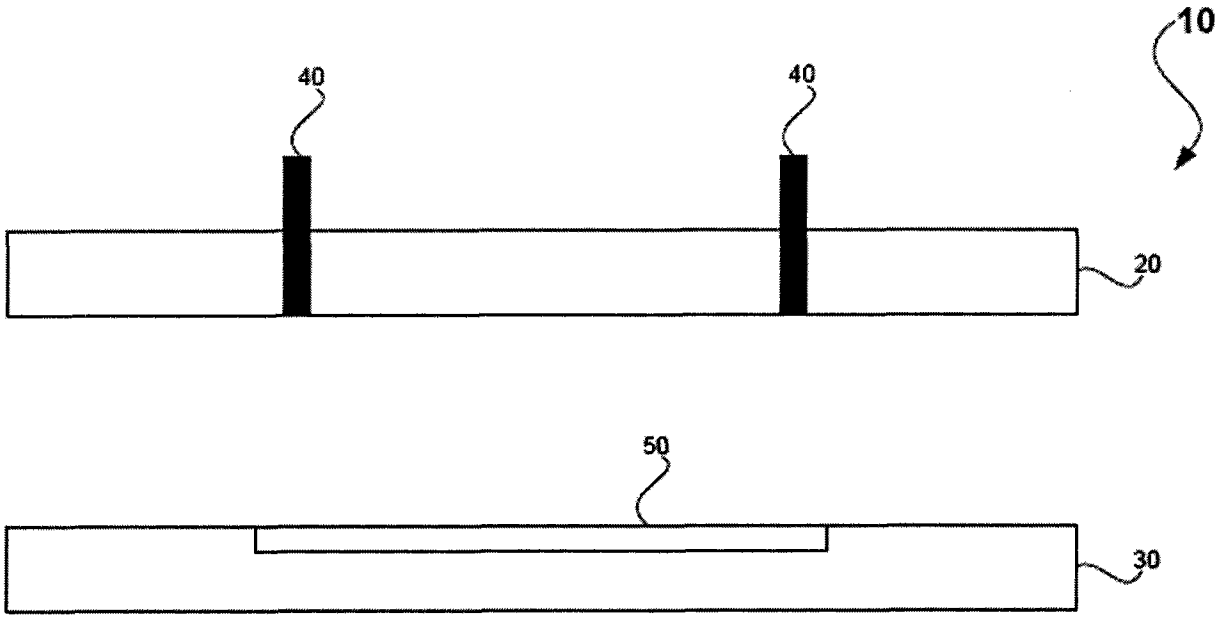


图 1

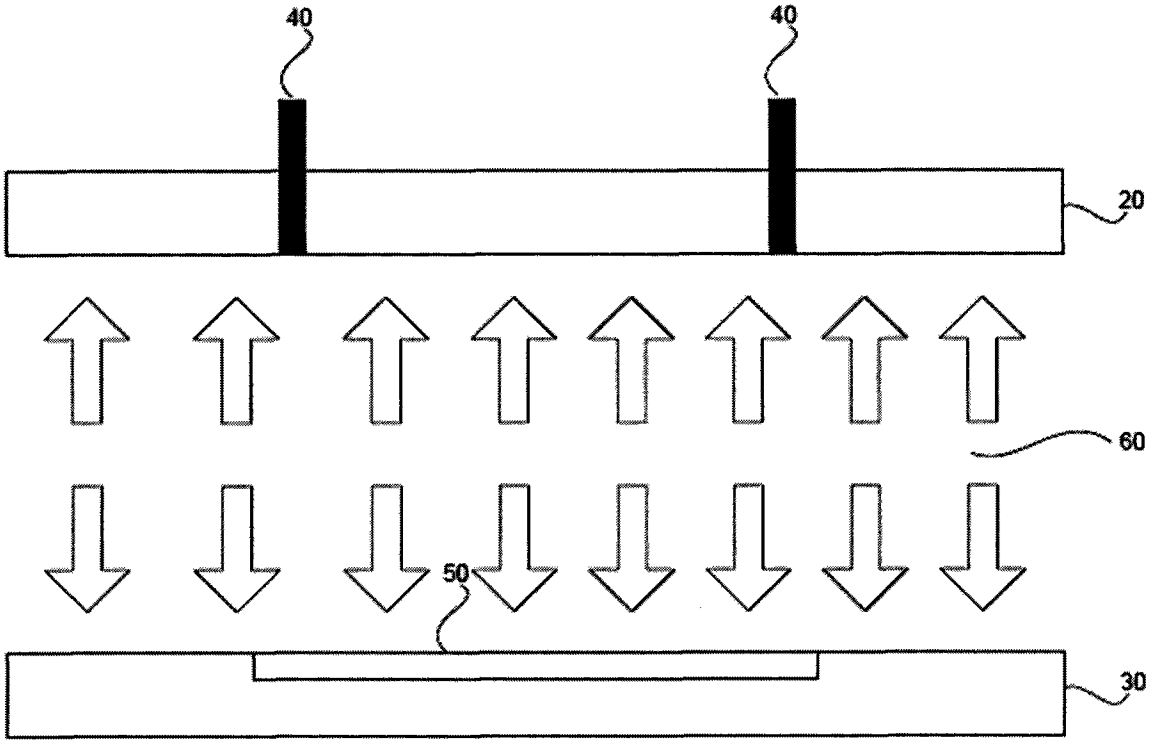


图 2

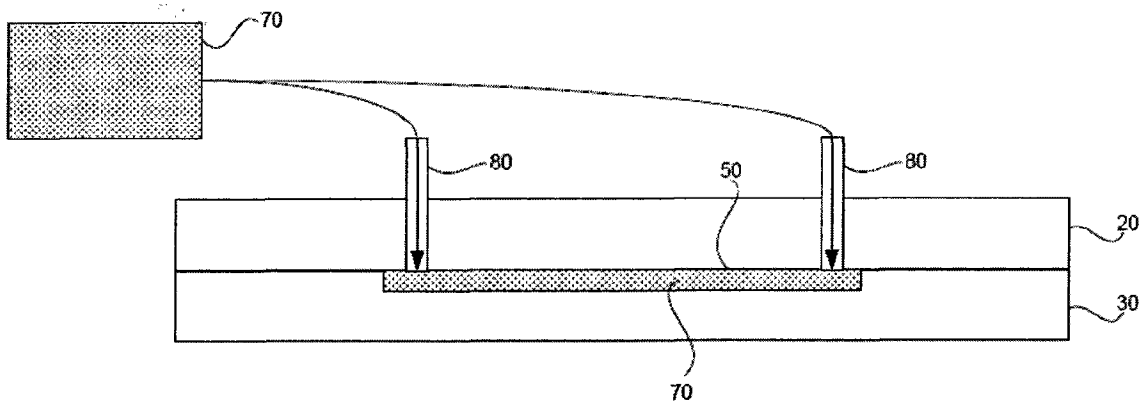


图 3

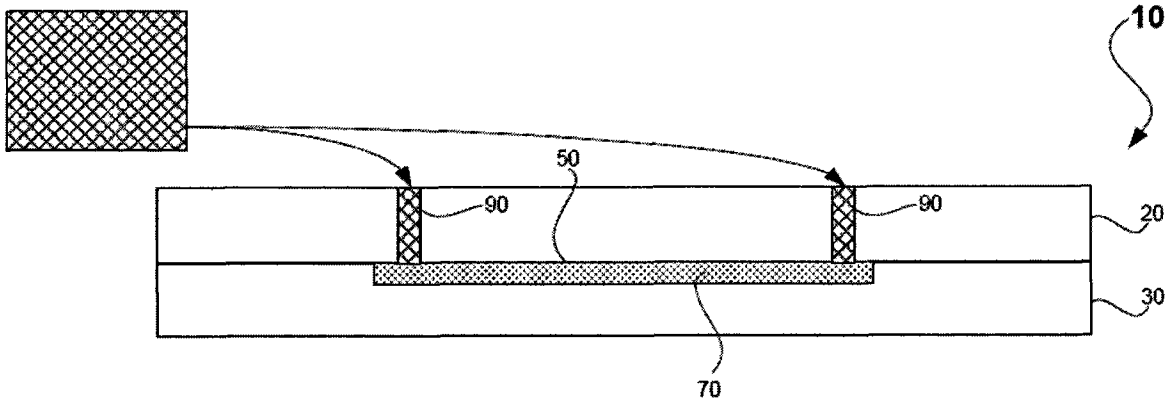


图 4

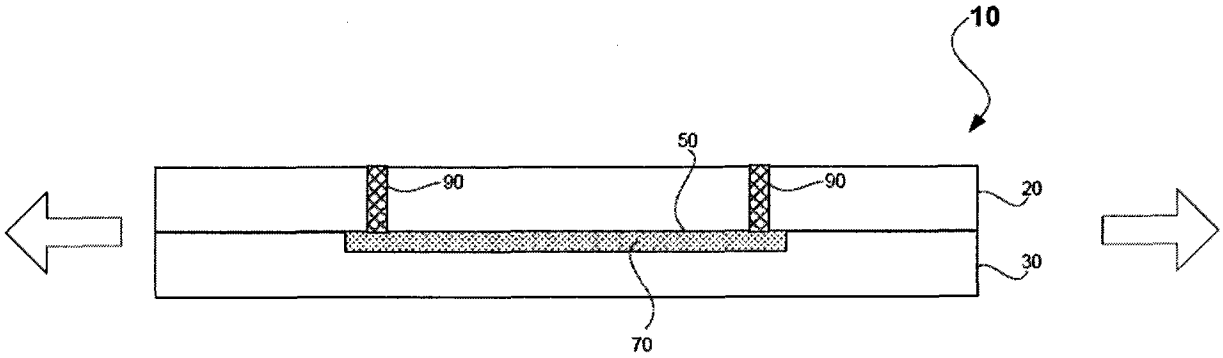


图 5

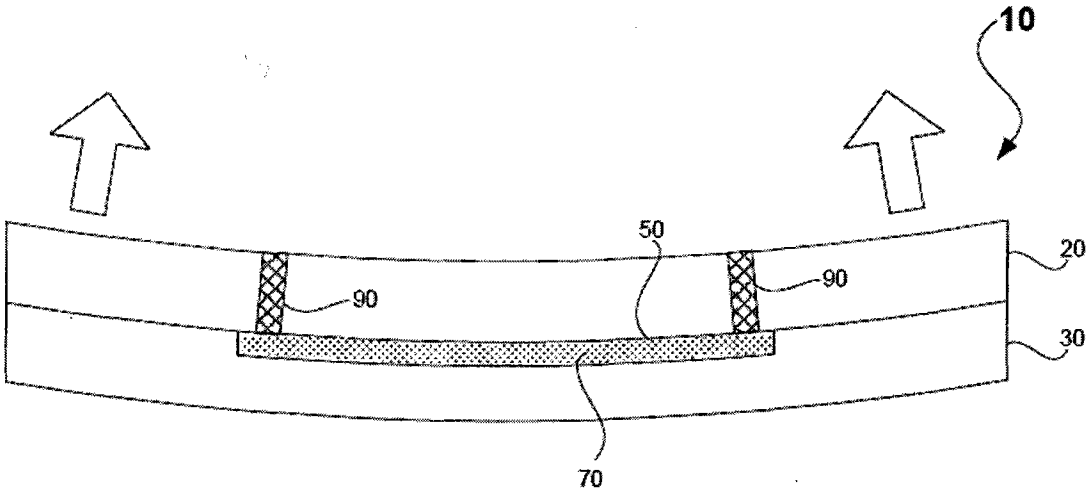

10
50
20
90
90
30
70

图 6

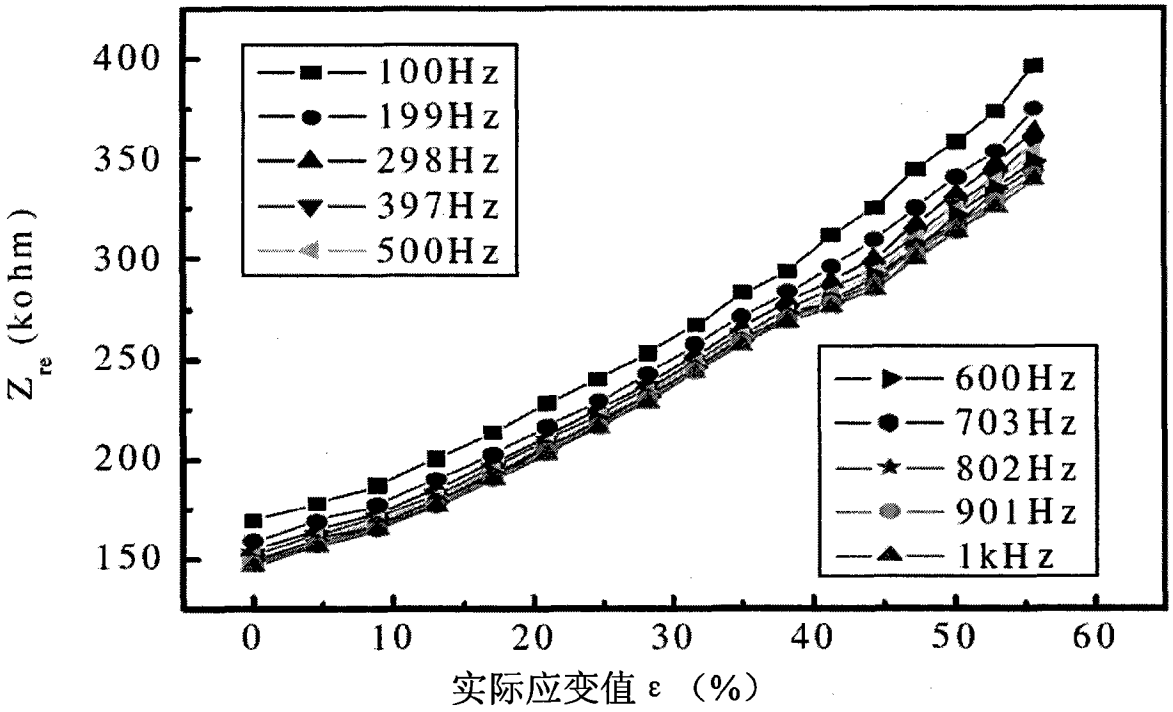

400
350
300
250
200
150
Z_{re} (kohm)
100Hz
199Hz
298Hz
397Hz
500Hz
600Hz
703Hz
802Hz
901Hz
1kHz
0
10
20
30
40
50
60
实际应变值 ε （%）

图 7

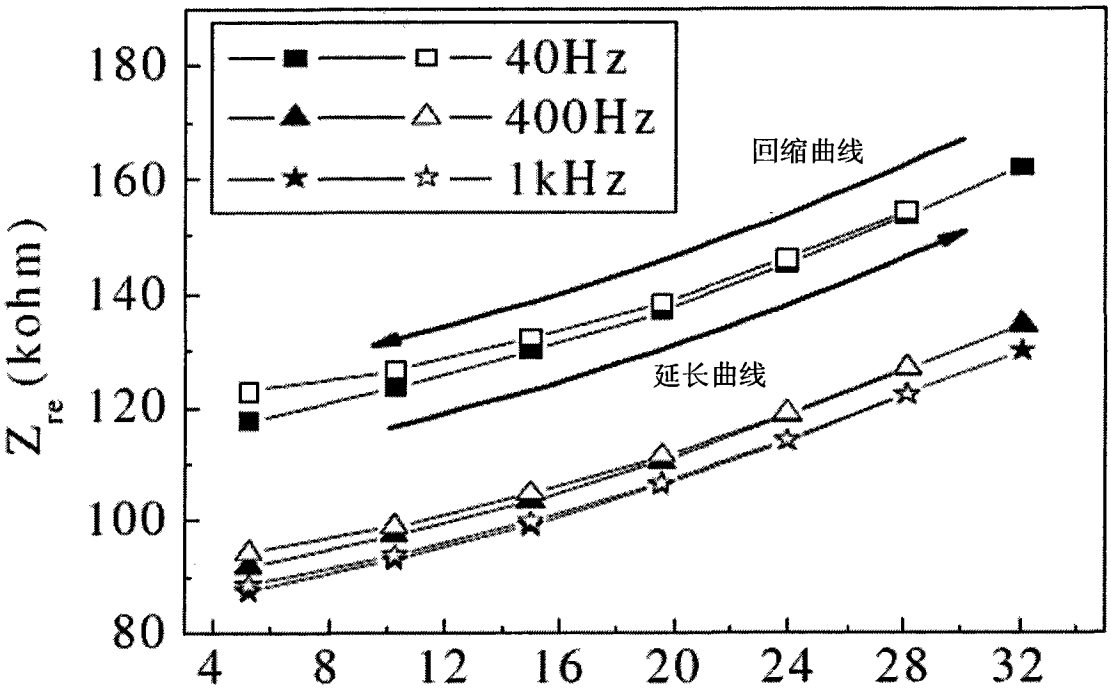

40Hz
400Hz
1kHz
回缩曲线
延长曲线
Z_{re} (kohm)
180
160
140
120
100
80
4
8
12
16
20
24
28
32

图 8

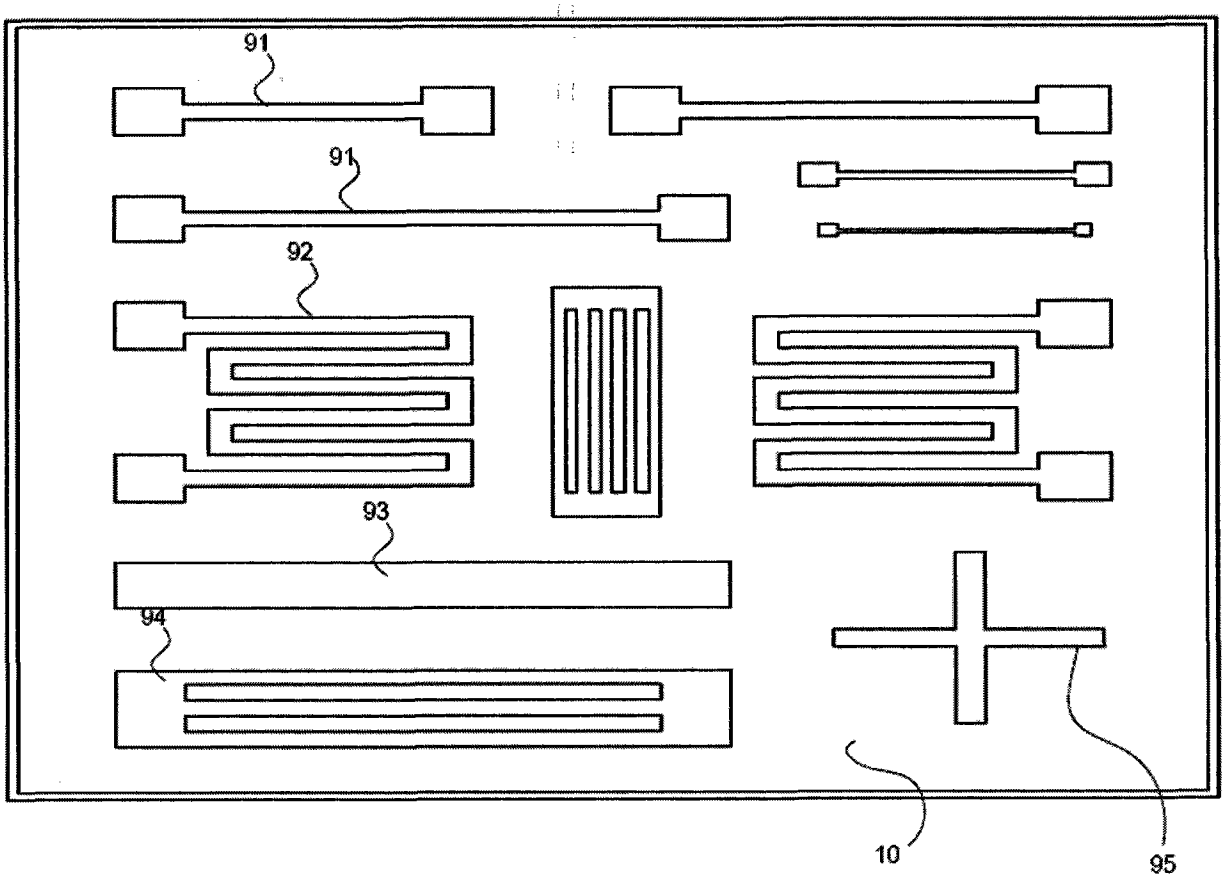

91
91
92
93
94
10
95

图 9

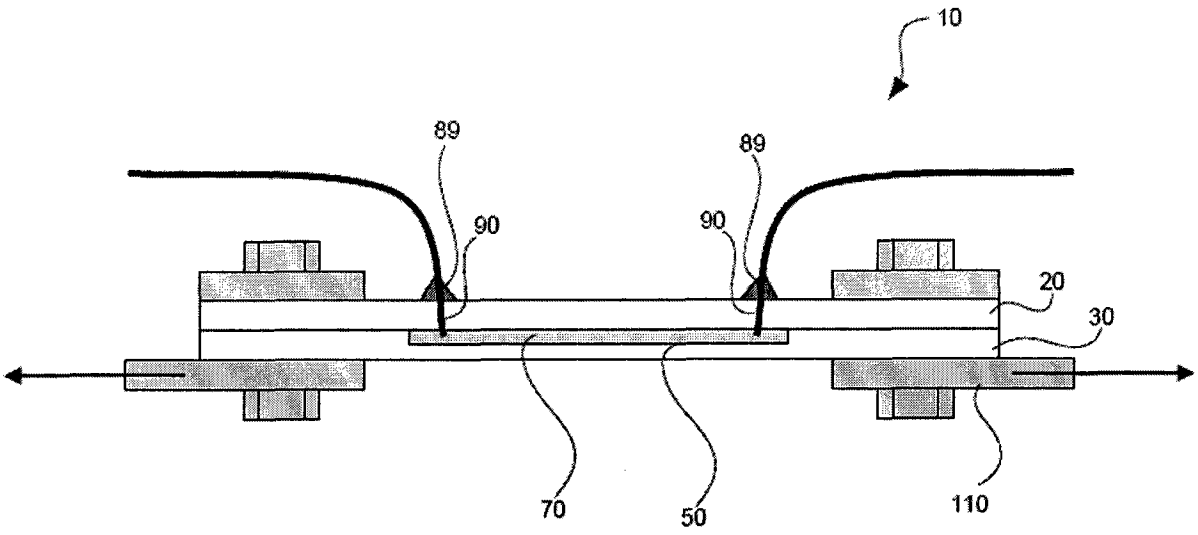


图 10

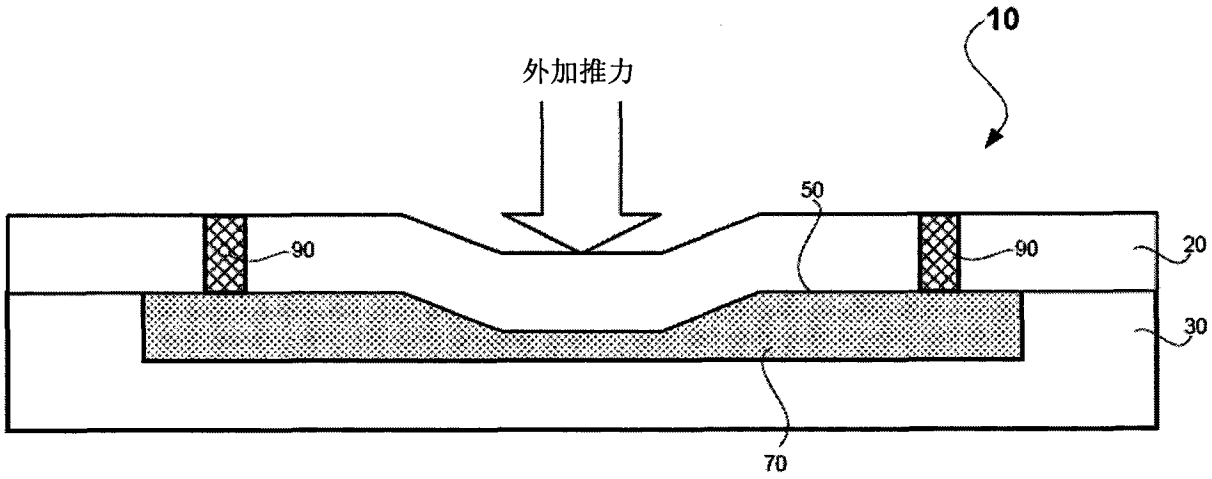


图 11

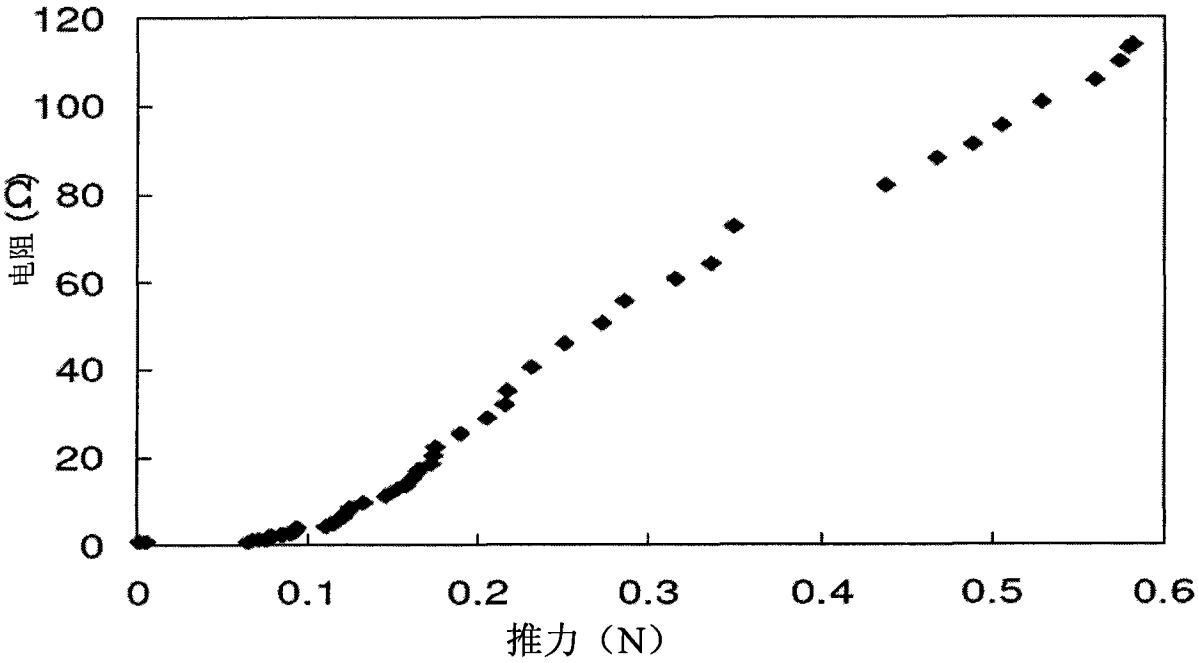


图 12

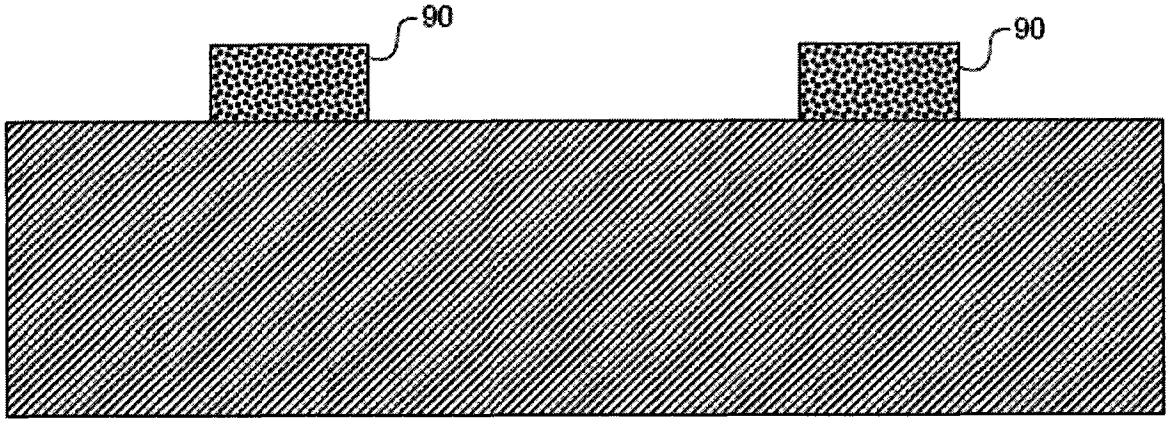


图 13

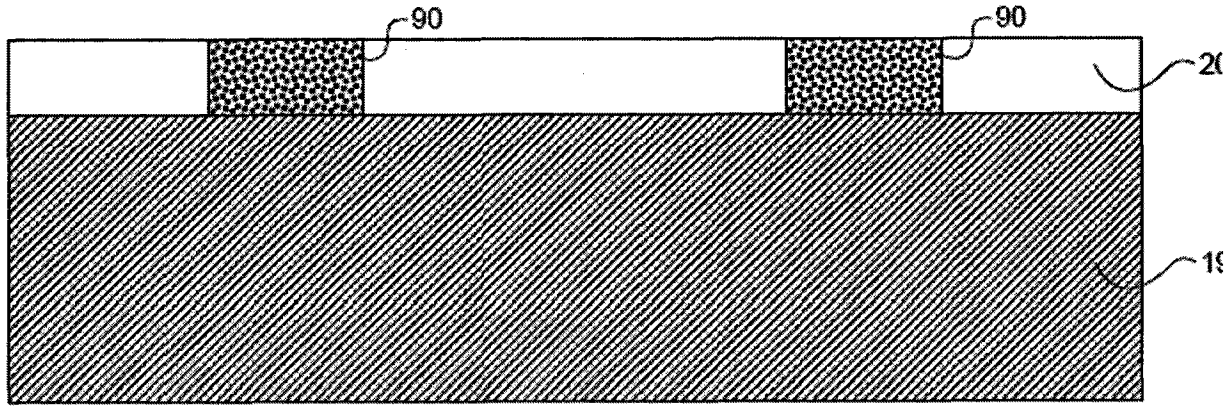


图 14

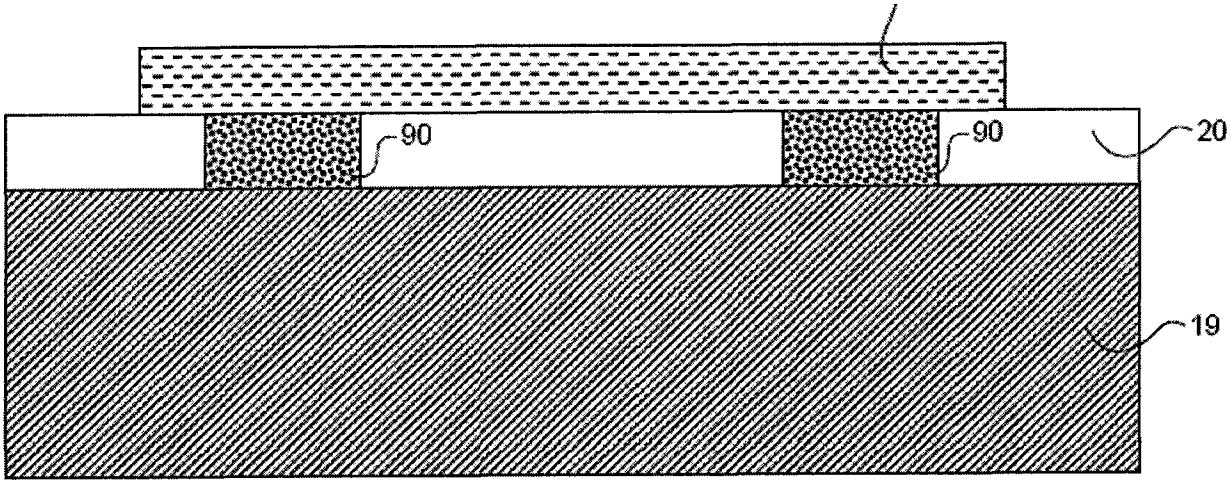


图 15

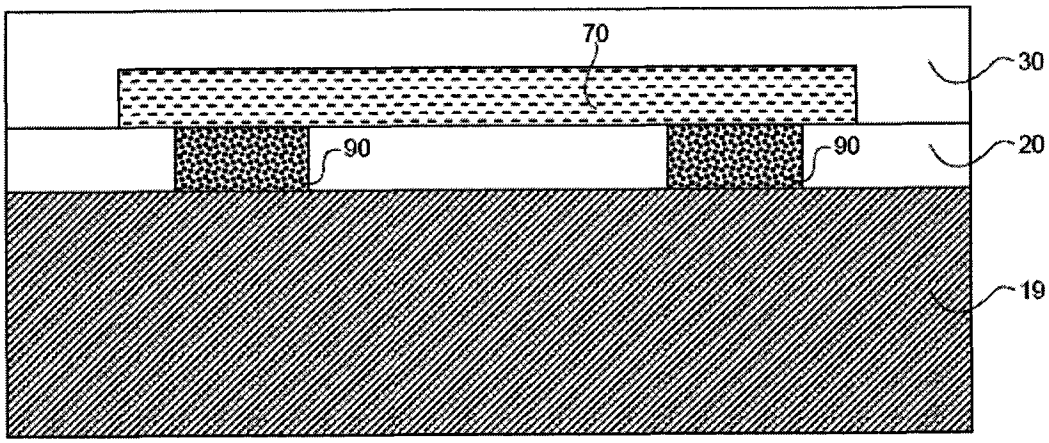


图 16

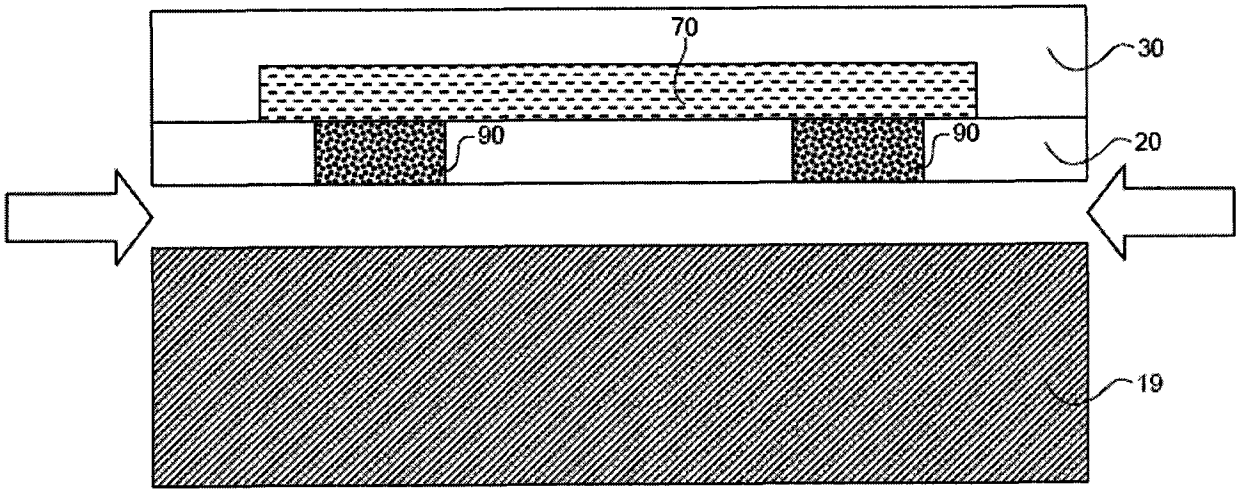


图 17

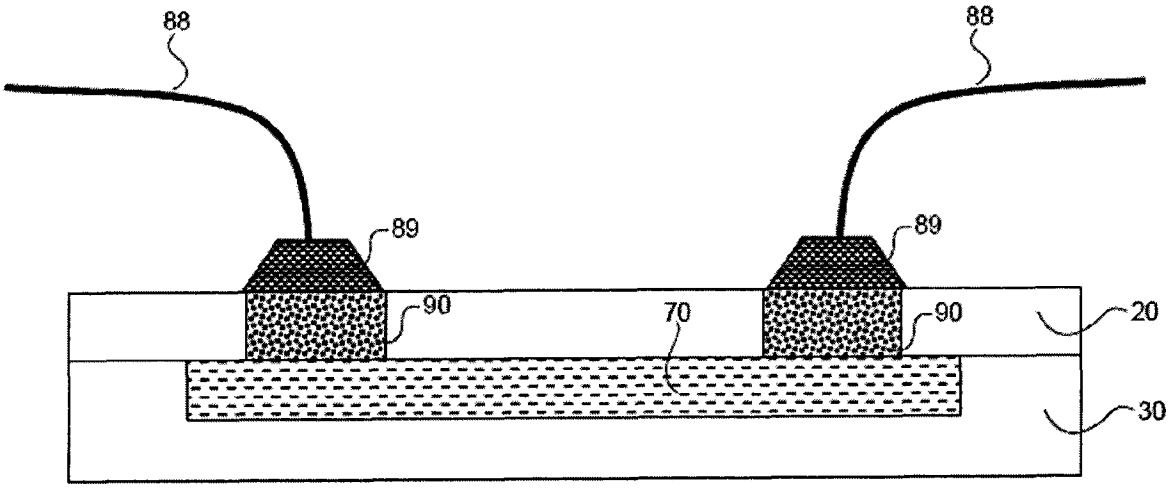


图 18