



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103954383 A

(43) 申请公布日 2014. 07. 30

(21) 申请号 201410174072. 8

(22) 申请日 2014. 04. 28

(71) 申请人 西北工业大学

地址 710072 陕西省西安市友谊西路 127 号

(72) 发明人 马炳和 马骋宇 邓进军

(74) 专利代理机构 西北工业大学专利中心

61204

代理人 吕湘连

(51) Int. Cl.

G01L 1/20(2006. 01)

B81C 1/00(2006. 01)

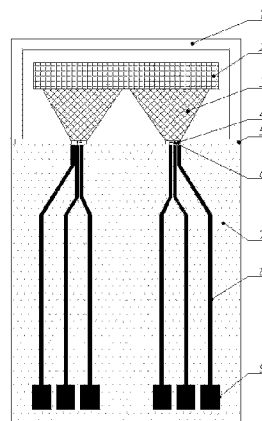
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种可用于高温环境下壁面剪应力测量的底层隔板微传感器及其制造方法

(57) 摘要

本发明公开了一种可用于高温环境下壁面剪应力测量的底层隔板微传感器及其制造方法,属于传感器技术领域。该微传感器主要包括凸出隔板 2、悬臂梁 3、梁根部 4、U 型环凹槽 5、力敏电阻 6、基体 7、导线 8 和焊盘 9;该底层隔板微传感器的制备材料为器件层厚度小于 1 微米的 SOI 硅片,微传感器的敏感电阻制备在绝缘层上,保持相互独立且仅通过耐高温金属薄膜连接,能够有效降低由于高温引起的敏感电阻及金属引线失效问题,实现类似于发动机进气道、燃烧室等的冷流高温环境下的壁面剪应力测量;且传感器量程不受制于 SOI 硅片器件层厚度;工艺简化、难度低;悬臂敏感梁正向和反向挠曲时传感器输出一致性强;结构鲁棒性强。



1. 一种可用于高温环境下壁面剪应力测量的底层隔板微传感器,其特征在于:包括凸出隔板 2、悬臂梁 3、梁根部 4、U 型环凹槽 5、力敏电阻 6、基体 7、导线 8 和焊盘 9;所述凸出隔板 2 通过多个悬臂梁 3 及其梁根部 4 支撑于基体 7 上;凸出隔板 2 与来流方向垂直,且凸出隔板 2 部分凸出于待测流场壁面;基体 7、凸出隔板 2、悬臂梁 3、梁根部 4 的材料均为 SOI 硅片基底层硅;且基体 7 的硅材料表面沉积有二氧化硅层和氮化硅层;

所述力敏电阻 6 通过绝缘材料置于悬臂梁 3 最下端的梁根部 4 表面;

布有力敏电阻 6 的梁根部 4 表面依次沉积有二氧化硅层和氮化硅层;

力敏电阻 6 两端的电信号通过穿透二氧化硅层和氮化硅层的导线 8 引出至基体 7 表面的氮化硅层上。

2. 一种如权利要求 1 所述的可用于高温环境下壁面剪应力测量的底层隔板微传感器,其特征在于:还有一个 U 型环 1 置于基体 7 上方,且在凸出隔板 2 和悬臂梁 3 外围形成保护环;U 型环 1 与基体 7 之间形成 U 型环凹槽 5;所述 U 型环 1 前端面与凸出隔板 2 前端面在同一平面。

3. 一种如权利要求 1 所述的可用于高温环境下壁面剪应力测量的底层隔板微传感器,其特征在于:所述悬臂梁 3 截面为上宽下窄的梯形。

4. 一种如权利要求 1 所述的微传感器的制造方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤 1:在 SOI 硅片器件层制作相互独立的力敏电阻 6;

步骤 2:在绝缘层上制作导线 8 和焊盘 9;

步骤 3:由 SOI 硅片器件层方向刻蚀 SOI 硅片基底层,形成 U 型环 1、凸出隔板 2、悬臂梁 3、梁根部 4 以及 U 型环凹槽 5 的锥形结构;

步骤 4:由 SOI 硅片基底层方向背腔刻蚀硅直至释放 U 型环 1、凸出隔板 2、悬臂梁 3、梁根部 4、U 型环凹槽 5。

5. 一种如权利要求 4 所述的微传感器的制造方法,其特征在于,所述步骤一中制作力敏电阻 6 的方式为:先在器件层表面进行扩散或离子注入,再通过硅刻蚀得到相互独立的力敏电阻 6。

6. 一种如权利要求 4 所述的微传感器的制造方法,其特征在于,所述步骤一中使用的 SOI 硅片的器件层厚度小于 1 微米,通过仅一次恒定源扩散工艺和硅刻蚀形成相互独立的力敏电阻 6 及其欧姆接触区。

7. 一种如权利要求 4 所述的微传感器的制造方法,其特征在于,所述步骤二中导线 8、焊盘 9 的图形化工艺为金属剥离工艺或湿法腐蚀工艺。

一种可用于高温环境下壁面剪应力测量的底层隔板微传感器及其制造方法

[0001] 一、所属领域：

[0002] 本发明属于传感器技术领域，特别涉及一种可用于高温下壁面剪应力测量的底层隔板微传感器及其制造方法。

二、背景技术：

[0003] 近壁流动参数，尤其是壁面剪应力是研究、判断流场形态以及边界层状态等的重要参数，也是对飞行器以及水下航行器开展外形优化设计以及减阻降噪设计的重要参考依据。随着国防工业的持续发展，对爆震发动机、火箭冲压发动机等的进气道、燃烧室在冷流高温恶劣工作环境下的流场研究提出了越来越高的要求。现今，此类环境的壁面剪应力研究仍然依赖于数值仿真分析，相应的壁面剪应力传感器还未出现。

[0004] 采用 MEMS 技术加工的壁面剪应力传感器具有微型化、集成化优点，且在剪应力的动态、精密测量方面有独特优势，常规的流体壁面剪应力传感器由于工作原理及加工工艺所限，往往只适用于一般条件下的风洞试验研究，无法工作于高温环境。例如：文献《Piezoresistive shear stress sensor for turbulent boundary layer measurement》中提出了一种在弹性梁侧壁植入压敏电阻的微剪应力传感器，虽然该传感器在低速湍流剪应力测量有较好的表现，但由于其敏感电阻采用 PN 结隔离原理制备，故在非常温状态下，传感器的性能将大打折扣甚至因高温自身遭到损坏。文献《Wall shear stress sensor based on the optical resonances of dielectric microspheres》中制作了一种基于微米尺度光学球形回音壁模式谐振器的剪应力传感器，其工作原理是：支撑梁后端的致动膜片会挤压微球发生变形，导致球形谐振器的回音壁模式频率发生偏移，通过检测频率的偏移量计算所施加的剪应力的大小。若该传感器处于进气道、燃烧室冷流高温环境，致动膜片与微球的力传导性能将受到严重影响，铜金属膜片在高温环境下的局部过热也可能使得传感器内部结构遭到破坏。

三、发明内容：

[0005] 发明目的：

[0006] 为克服类似于发动机进气道、燃烧室等的冷流高温环境下的壁面剪应力测量难题，本发明提出了一种可用于高温环境下壁面剪应力测量的底层隔板微传感器及其制造方法。

[0007] 技术方案：

[0008] 本发明提出的底层隔板微传感器的制备材料为器件层厚度小于 1 微米的 SOI 硅片，微传感器的敏感电阻制备在绝缘层上，保持相互独立且仅通过耐高温金属薄膜连接，能够有效降低由于高温引起的敏感电阻及金属引线失效问题，实现类似于发动机进气道、燃烧室等的冷流高温环境下的壁面剪应力测量。

[0009] 参阅附图 1，一种可用于高温环境下壁面剪应力测量的底层隔板微传感器，包括凸

出隔板 2、悬臂梁 3、梁根部 4、U 型环凹槽 5、力敏电阻 6、基体 7、导线 8 和焊盘 9；所述凸出隔板 2 通过多个悬臂梁 3 及其梁根部 4 支撑于基体 7 上；凸出隔板 2 与来流方向垂直，且凸出隔板 2 部分凸出于待测流场壁面；基体 7、凸出隔板 2、悬臂梁 3、梁根部 4 的材料均为 SOI 硅片基层硅；且基体 7 的硅材料表面沉积有二氧化硅层和氮化硅层；

[0010] 所述力敏电阻 6 通过绝缘材料置于悬臂梁 3 最下端的梁根部 4 表面；

[0011] 布有力敏电阻 6 的梁根部 4 表面依次沉积有二氧化硅层和氮化硅层；

[0012] 力敏电阻 6 两端的电信号通过穿透二氧化硅层和氮化硅层的导线 8 引出至基体 7 表面的氮化硅层上。

[0013] 为了减少微传感器在使用前的破坏，该微传感器还有一个 U 型环 1 置于基体 7 上方，且在凸出隔板 2 和悬臂梁 3 外围形成保护环；U 型环 1 与基体 7 之间形成 U 型环凹槽 5；所述 U 型环 1 前端面与凸出隔板 2 前端面在同一平面。

[0014] 为了增大灵敏度，悬臂梁 3 截面为上宽下窄的梯形。

[0015] 工作时，将该传感器垂直安装在待测壁面，去除 U 型环 1 使凸出隔板 2 部分凸出于待测表面，参阅附图 2。当流体垂直流过凸出隔板 2 时，凸出隔板 2 受其两侧压差作用而产生挠曲，位于梁根部 4 的力敏电阻 6 的阻值随之改变，导线 8 和焊盘 9 与外部电路连接，将电阻变化量转化为传感器输出信号，最后结合标准剪应力输入环境，即可建立壁面剪应力与输出信号的关系。

[0016] 一种可用于高温环境下壁面剪应力测量的底层隔板微传感器的制造方法，包括如下步骤：

[0017] 步骤 1：在 SOI 硅片器件层制作相互独立的力敏电阻 6，参阅附图 3(a)；

[0018] 制作力敏电阻 6 的方式为：先在器件层表面进行扩散或离子注入，再通过硅刻蚀得到相互独立的力敏电阻 6。

[0019] 为了简化工艺，可以优选器件层厚度小于 1 微米的 SOI 硅片。由于器件层厚度小于 1 微米，可以通过仅一次恒定源扩散工艺和硅刻蚀，即可形成相互独立的力敏电阻 6 及其欧姆接触区。

[0020] 步骤 2：在绝缘层上制作导线 8 和焊盘 9，参阅附图 3(b)；

[0021] 导线 8、焊盘 9 的图形化工艺可根据条件选择不同方式，例如金属剥离工艺或湿法腐蚀工艺。

[0022] 步骤 3：由 SOI 硅片器件层方向刻蚀 SOI 硅片基层，形成 U 型环 1、凸出隔板 2、悬臂梁 3、梁根部 4 以及 U 型环凹槽 5 的雏形结构，参阅附图 3(c)；

[0023] 步骤 4：由 SOI 硅片基层方向背腔刻蚀硅直至释放 U 型环 1、凸出隔板 2、悬臂梁 3、梁根部 4、U 型环凹槽 5，参阅附图 3(d)。

[0024] U 型环 1、U 型环凹槽 5 厚度与 SOI 硅片基层厚度相同。

[0025] 凸出隔板 2、悬臂梁 3、梁根部 4 厚度可根据步骤 3 中基层硅刻蚀深度自主控制。

[0026] 有益效果：

[0027] 本发明的有益效果是：(1) 可在高温恶劣环境工作；力敏电阻 6 由 SOI 硅片器件层硅刻蚀形成且位于梁根部 4 之上，各力敏电阻 6 之间无硅材料相连且仅通过导线 8 和焊盘 9 实现电连接，避免了现有技术中采用 PN 结隔离的力敏电阻无法耐受高温的缺陷，导线 8、焊盘 9 由耐高温金属薄膜组成，进一步提高传感器在高温下的工作可靠性。(2) 传感器量

程不受制于 SOI 硅片器件层厚度 ; 现有技术的底层隔板微传感器的悬臂敏感梁由 SOI 硅片器件层刻蚀形成, 敏感梁厚度与器件层厚度相同, 但敏感梁厚度直接影响传感器量程范围, 故在微加工版图尺寸一定的情况下, 用同一规格的 SOI 硅片只能制备出版图所设计的几种固定量程的底层隔板微传感器, 除非购买大量不同器件层厚度规格的 SOI 硅片材料, 否则无法满足不同流场环境所需的各种不同剪应力测量范围需求 ; 本发明的底层隔板微传感器的悬臂敏感梁由基底层硅形成, 因此敏感梁厚度可通过控制器件层方向刻蚀 SOI 硅片基底层的深度实现自主控制, 仅采用一种规格的 SOI 硅片材料就能制备出不同量程的底层隔板微传感器。(3) 工艺简化、难度低 ; 由于壁面剪应力测量范围需求和微传感器悬臂敏感梁强度要求, 现有技术在制备底层隔板微传感器时, 器件层厚度要求在几个乃至几十个微米量级, 电阻条及其欧姆接触区需两次掺杂过程分别完成, 电阻制备过程复杂且整体工艺十分繁琐, 划片前往往需近十次光刻, 制造难度很大 ; 本发明提出利用器件层厚度小于 1 微米的 SOI 硅片, 仅通过一次恒定源重掺杂扩散工艺, 即可实现电阻条及其欧姆接触区的制备。相应的, 器件整体工艺得到极大简化, 仅需 4 次套刻即可完成微传感器的制造, 降低了工艺难度。(4) 悬臂敏感梁正向和反向挠曲时传感器输出一致性强 ; 现今最成熟的 SOI 硅片制造方法为硅片直接键合与背面腐蚀 (BESOI) 方法, 该方法需对器件层硅进行机械化学抛光减薄, 这将引起器件层一定的残余应力。由于现有技术底层隔板微传感器的悬臂敏感梁由器件层形成, 这使得悬臂敏感梁在正向及反向挠曲时梁根部 4 的集中应力差异较大, 可能引起无法准确测量流场流向和角度的问题 ; 本发明的底层隔板微传感器的悬臂敏感梁由基底层硅形成, 由于基底层硅较厚, 机械化学抛光减薄过程中所引入的残余应力很小, 因此能有效提高悬臂敏感梁在正向和反向挠曲时传感器输出的一致性。(5) 结构鲁棒性强 ; 外围设计有 U 型环 1 结构, 在划片、安装、测试时可有效保护底层隔板微传感器的悬臂敏感梁结构, 且可被轻松折断而不影响微传感器的正常使用。

四、附图说明 :

[0028] 图 1. 是本发明提出的一种可用于高温环境下壁面剪应力测量的底层隔板微传感器示意图

[0029] 图 2. 是本发明提出的底层隔板微传感器垂直安装在待测壁面的工作示意图

[0030] 图 3. 是本发明提出的底层隔板微传感器的工艺步骤示意图

[0031] 图中 : 1-U 型环 ; 2- 凸出隔板 ; 3- 悬臂梁 ; 4- 梁根部 ; 5-U 型环凹槽 ; 6- 力敏电阻 ; 7- 基体 ; 8- 导线 ; 9- 焊盘 ;

五、具体实施方式 :

[0032] 实施例 :

[0033] 参照图 1、图 2, 本发明包括 U 型环 1、凸出隔板 2、悬臂梁 3、梁根部 4、U 型环凹槽 5、力敏电阻 6、基体 7、导线 8 和焊盘 9 ; 所述凸出隔板 2 通过两个悬臂梁 3 及其梁根部 4 支撑于基体 7 上 ; 凸出隔板 2 与来流方向垂直, 且凸出隔板 2 部分凸出于待测流场壁面 ; 基体 7、凸出隔板 2、悬臂梁 3、梁根部 4 的材料均为 SOI 硅片基底层硅 ; 且基体 7 的硅材料表面沉积有二氧化硅层和氮化硅层 ;

[0034] 所述力敏电阻 6 通过绝缘材料置于悬臂梁 3 最下端的梁根部 4 表面 ;

- [0035] 布有力敏电阻 6 的梁根部 4 表面依次沉积有二氧化硅层和氮化硅层；
- [0036] 力敏电阻 6 两端的电信号通过穿透二氧化硅层和氮化硅层的导线 8 引出至基体 7 表面的氮化硅层上；
- [0037] 为了减少微传感器在使用前的破坏,该实施例中微传感器还有一个 U 型环 1 置于基体 7 上方,且在凸出隔板 2 和悬臂梁 3 外围形成保护环;U 型环 1 与基体 7 之间形成 U 型环凹槽 5;所述 U 型环 1 前端面与凸出隔板 2 前端面在同一平面。
- [0038] 为了增大灵敏度,悬臂梁 3 截面为上宽下窄的梯形。
- [0039] U 型环 1、U 型环凹槽 5、基体 7 厚度与选用 SOI 硅片基底层厚度均为 400 微米。
- [0040] 凸出隔板 2、悬臂梁 3、梁根部 4 厚度可根据基底层上表面硅刻蚀深度自主控制,本实施例中凸出隔板 2、悬臂梁 3 和梁根部 4 厚度均为 20 微米
- [0041] 首先通过器件层整面恒定源重掺杂扩散硼并刻蚀器件层硅形成相互独立的力敏电阻,然后采用低压化学气相沉积 (LPCVD) 技术在 SOI 硅片上表面依次沉积二氧化硅和氮化硅薄膜,作为电绝缘层,利用反应离子刻蚀工艺和湿法腐蚀工艺,去除掉悬臂敏感梁区域的所有氮化硅和二氧化硅薄膜,并去除掉梁根部 4 部分区域的氮化硅和二氧化硅薄膜,形成引线孔结构;采用磁控溅射工艺,在 SOI 硅片上表面分别沉积 Ti、Pt、Au 金属薄膜,光刻后采用湿法腐蚀工艺对金属薄膜进行图形化,形成导线 8 和焊盘 9 结构,然后通过合金化工艺加强欧姆接触,由器件层方向对基底层硅进行电感耦合等离子体刻蚀,形成未释放的 U 型环 1、凸出隔板 2、悬臂梁 3、梁根部 4 以及 U 型环凹槽 5 结构,在 SOI 硅片下表面磁控溅射铝薄膜做为深硅刻蚀工艺的掩膜,背腔深硅刻蚀直至 U 型环 1、凸出隔板 2、悬臂梁 3、梁根部 4 以及 U 型环凹槽 5 结构释放,制成可用于高温环境下壁面剪应力测量的底层隔板微传感器。
- [0042] 本实施例中微传感器的制造方法主要步骤如下：
- [0043] 步骤 1：在 SOI 硅片器件层制作相互独立的力敏电阻 6,参阅附图 3(a)；
- [0044] 子步骤 1：RCA 清洗工艺；
- [0045] 子步骤 2：器件层整面恒定源重掺杂扩散硼；
- [0046] 子步骤 3：涂胶、软烘、光刻、显影和坚膜；
- [0047] 子步骤 4：刻蚀硅制作力敏电阻 6；
- [0048] 子步骤 5：去胶,硅片清洗。
- [0049] 步骤 2：在 SOI 硅片氧化埋层上制作导线 8 和焊盘 9,参阅附图 3(b)；
- [0050] 子步骤 1：沉积二氧化硅；
- [0051] 子步骤 2：沉积氮化硅；
- [0052] 子步骤 3：涂胶、软烘、光刻、显影和坚膜；
- [0053] 子步骤 4：刻蚀氮化硅；
- [0054] 子步骤 5：去除二氧化硅；
- [0055] 子步骤 6：去胶,硅片清洗；
- [0056] 子步骤 7：依次沉积 Ti、Pt、Au 金属薄膜；
- [0057] 子步骤 8：涂胶、软烘、光刻、显影和坚膜；
- [0058] 子步骤 9：湿法腐蚀金属薄膜、图形化；
- [0059] 子步骤 10：去胶,硅片清洗；
- [0060] 子步骤 11：合金化。

- [0061] 步骤 3 :由 SOI 硅片器件层方向刻蚀 SOI 硅片基层,参阅附图 3(c) ;
- [0062] 子步骤 1 :涂胶、软烘、光刻、显影和坚膜 ;
- [0063] 子步骤 2 :刻蚀硅 ;
- [0064] 子步骤 3 :去胶,硅片清洗。
- [0065] 步骤 4 :由 SOI 硅片基层方向背腔刻蚀硅直至释放 U 型环 1、凸出隔板 2、悬臂梁 3、梁根部 4、U 型环凹槽 5,参阅附图 3(d) ;
- [0066] 子步骤 1 :基层沉积铝薄膜 ;
- [0067] 子步骤 2 :正面涂厚胶 ;
- [0068] 子步骤 3 :涂胶、软烘、光刻、显影和坚膜 ;
- [0069] 子步骤 4 :刻蚀铝薄膜以形成背腔深硅刻蚀窗口 ;
- [0070] 子步骤 5 :去胶,硅片清洗 ;
- [0071] 子步骤 6 :刻蚀基层硅直至释放 U 型环 1、凸出隔板 2、悬臂梁 3、梁根部 4、U 型环凹槽 5 ;
- [0072] 子步骤 7 :划片。

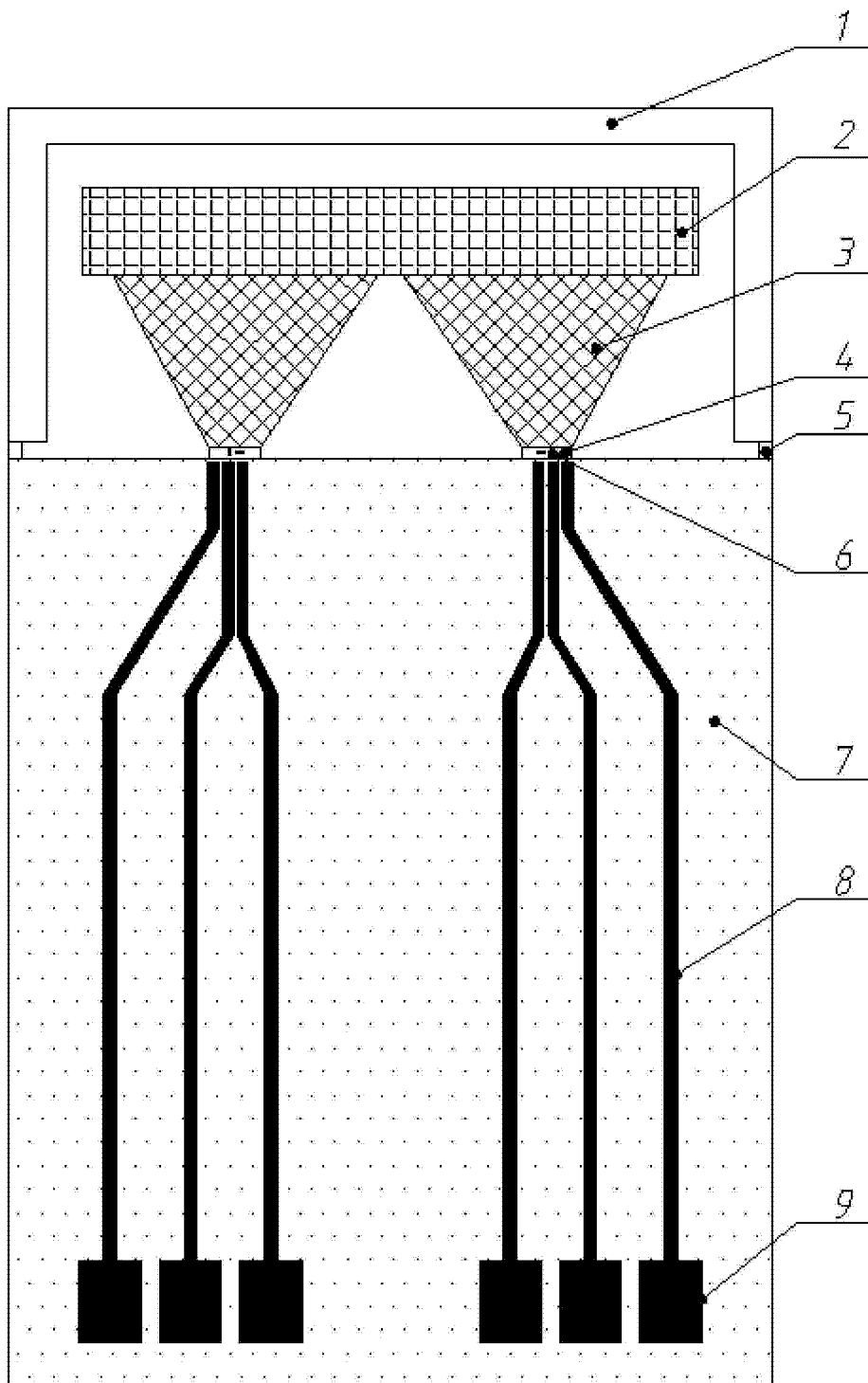


图 1

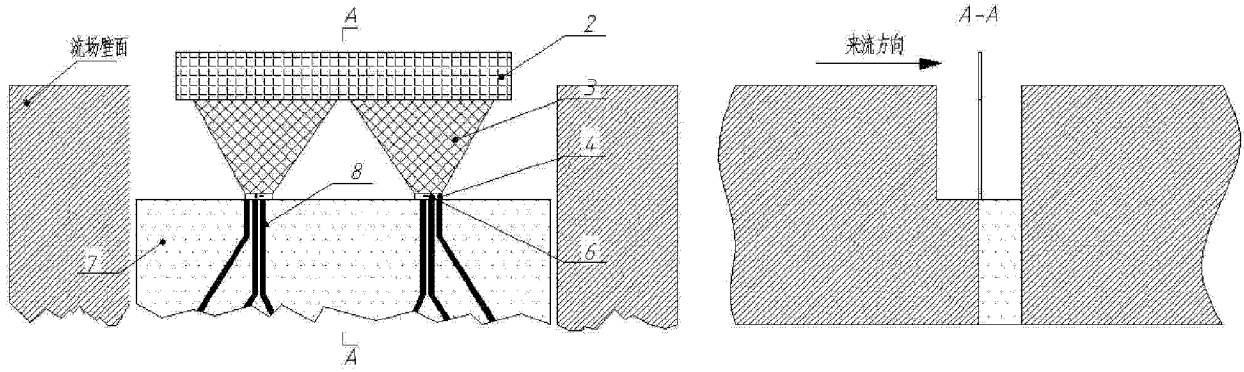


图 2

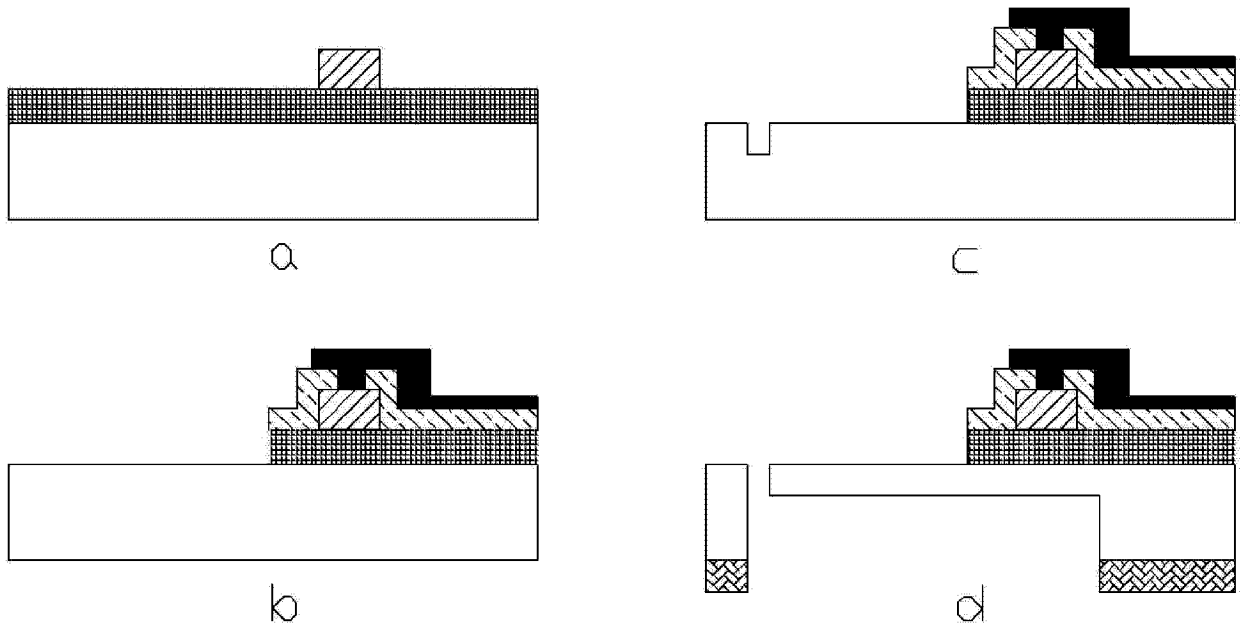


图 3