

[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

[21] 申请号 200710056339.3

[51] Int. Cl.

G02B 26/08 (2006.01)

G03F 7/00 (2006.01)

B81C 1/00 (2006.01)

H01F 41/04 (2006.01)

[43] 公开日 2008 年 4 月 9 日

[11] 公开号 CN 101158747A

[22] 申请日 2007.11.23

[21] 申请号 200710056339.3

[71] 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130033 吉林省长春市东南湖大路 16 号

[72] 发明人 梁静秋 钟砚超 梁中翥 陈 斌
孙德贵

[74] 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所
代理人 南小平

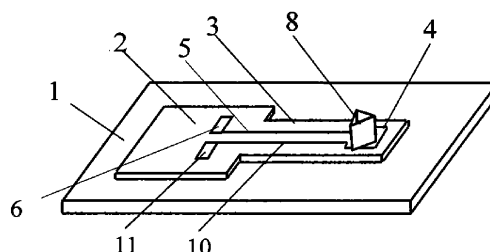
权利要求书 4 页 说明书 8 页 附图 2 页

[54] 发明名称

柔性悬臂微机械光开关制作方法

[57] 摘要

本发明属于光电器件技术领域，是一种柔性悬臂微机械光开关的制作方法。制作过程包括：基片处理，制作牺牲层，制作聚酰亚胺底层，制作第一层线圈，制作线圈连接柱，制作第二层线圈，制作上保护层及悬臂释放，粘接永磁体，安装棱柱形微反射镜。本发明引入聚酰亚胺材料制作悬臂，在其上制作平面线圈绕组，有效解决了磁扰问题，且具有性能稳定，制作简单等优点。



1、一种柔性悬臂微机械光开关的制作方法，其特征是包括以下步骤：

(A) 基片制备：对双面抛光硅片进行清洁处理，在上下表面制备低应力氮化硅薄膜，通过第一次光刻和腐蚀氮化硅薄膜在下表面开出窗口，最后，以未被腐蚀的氮化硅为掩蔽膜腐蚀硅，形成下表面带凹坑的基片结构；

(B) 牺牲层制作：在基片上表面生长一层二氧化硅薄膜，然后在薄膜上涂覆光刻胶，进行前烘、曝光、显影和坚膜，使位于悬臂正下方位置的光刻胶保留，其他部分的光刻胶被去除，此为第二次光刻；将没有被光刻胶覆盖的二氧化硅薄膜腐蚀掉，光刻胶下面的二氧化硅因有光刻胶的保护而保留下来，这部分二氧化硅薄膜即为牺牲层；最后，去除牺牲层上表面的光刻胶；

(C) 制作聚酰亚胺底层：在上表面涂覆一层聚酰亚胺涂料，初步固化，在其上进行第三次光刻，即涂覆光刻胶，前烘，曝光，显影，在光刻胶保护下腐蚀聚酰亚胺使聚酰亚胺层形成开关固定端和悬臂组成的形状，腐蚀后进行后烘，最后去除光刻胶；

(D) 制作第一层线圈：在制作第一层线圈时，首先制备一层金属薄膜作为电铸阴极，然后进行第四次光刻，即涂覆光刻胶，前烘，曝光，显影，坚膜，形成第一层线圈、线圈第一引线及第一个引线压点的胶模结构，最后，电铸制成第一层线圈、线圈第一引线及第一个引线压点；

(E) 制作线圈连接柱：进行第五次光刻，光刻步骤为涂覆光刻胶，前烘，曝光，显影，坚膜，光刻后露出A点处的第一层线圈上表面和第一个引线压点的上表面，其他部分被光刻胶覆盖；进行第二次电铸，形成高出第一层线圈的线圈连接柱及第一个引线压点；去除第四次光刻及第五次光刻保留的光刻胶及被光刻胶覆盖的电铸阴极；

(F) 制作第二层线圈：涂覆绝缘支撑体材料并固化，然后进行第六次光刻，再以光刻胶作保护层腐蚀线圈支撑材料，使之一是充满第一层线圈间隙，二是同时在第一层线圈上表面形成绝缘层以实现与第二层线圈的绝缘，除 A 点外，三是露出线圈连接柱及第一个引线压点；然后，去除光刻胶；第二次制备电铸阴极；进行第七次光刻，形成第二层线圈、线圈第二引线、第一个引线压点及第二个引线压点的胶模结构，最后，电铸完成第二层线圈、线圈第二引线及第二个引线压点，第一个引线压点同时电铸以达到最终高度；去除第七次光刻保留的光刻胶及其所覆盖的电铸阴极，完成第二层线圈制作；

(G) 制作上保护层及悬臂释放：涂覆上保护层，进行第八次光刻，在光刻胶保护下腐蚀上保护层后露出第一个引线压点和第二个引线压点；去除光刻胶，然后湿法腐蚀去除牺牲层，使悬臂与衬底分离；

(H) 粘接永磁体：将永磁体片粘于基片下表面的凹坑中，双层线圈的正下方；

(I) 安装棱柱形微反射镜：将棱柱形微反射镜置于悬臂上表面，在光路中对其进行位置校准，然后将其固定。

2、根据权利要求 1 所述的柔性悬臂微机械光开关的制作方法，其特征是：

步骤(A) 所用的基片(1)采用双面抛光的单晶硅片，清洁处理的步骤为：

- a、以甲苯、丙酮、乙醇等去除油污等有机物；
- b、用王水煮沸去除金属离子；
- c、用去离子水超声清洗，无水乙醇脱水后烘干；

单晶硅基片下表面凹坑的形成采用湿法腐蚀或干法刻蚀，氮化硅薄膜用 PECVD 或 LPCVD 技术生长，膜厚在 500nm—1mm 之间。

3、根据权利要求 1 所述的柔性悬臂微机械光开关的制作方法，其特征是：

步骤(B) 在制作牺牲层时，二氧化硅薄膜是采用热氧化或氢氧

合成或 CVD 方法生长的，氧化层厚度在 100nm—2000nm 之间；第二次光刻可采用集成电路工艺通用的薄膜光刻胶，可以是正性光刻胶，也可以用负性光刻胶；二氧化硅薄膜的腐蚀用湿法腐蚀或干法刻蚀；正性光刻胶的去除采用去胶剂或丙酮，负性光刻胶用去胶剂去除。

4、根据权利要求 1 所述的柔性悬臂微机械光开关的制作方法，其特征是：

步骤(C) 制备聚酰亚胺底层时，所用的涂料为聚酰胺酸，初步固化即薄膜未完全亚胺化；第三次光刻的光刻胶选择范围及去胶方法与第二次光刻相同。

5、根据权利要求 1 所述的柔性悬臂微机械光开关的制作方法，其特征是：

步骤(D) 制作第一层线圈时，电铸阴极材料选用铜或金，可以溅射或蒸发制备；薄膜厚度为 100nm—1000nm；第四次光刻选用正性厚型光刻胶，胶膜厚度略高于所设计的第一层线圈厚度，第一层线圈厚度在 $1\mu\text{m}$ — $500\mu\text{m}$ 之间；线圈材料为铜，采用脉冲电铸的方法制备。

6、根据权利要求 1 所述的柔性悬臂微机械光开关的制作方法，其特征是：

步骤(E) 在制作线圈连接柱中，第五次光刻选用正性光刻胶，胶厚控制在高出第一层线圈 3 微米-10 微米，第二次电铸材料和方法与第一次电铸相同，第三次与第五次光刻胶用去胶剂或丙酮去胶；电铸阴极用干法刻蚀或湿法腐蚀工艺去除。

7、根据权利要求 1 所述的柔性悬臂微机械光开关的制作方法，其特征是：

步骤(F) 在制作第二层线圈时，绝缘支撑体材料采用聚酰亚胺，其光刻腐蚀方法与步骤是：在上表面涂覆一层聚酰胺酸涂料，初步亚胺化；然后在其上进行第六次光刻，即涂覆光刻胶，前烘，曝光，显

影，再以光刻胶作保护层腐蚀绝缘支撑体材料，使之开出窗口，露出线圈连接柱及引线压点后，去除光刻胶；

第七次光刻方法与第四次相同，第二层线圈厚度在 1 微米—500 微米之间，电铸第二层线圈的工艺与电铸第一层时相同；去除第七次光刻保留的光刻胶及其所覆盖的电铸阴极的方法分别与去除第四次光刻及第五次光刻保留的光刻胶及光刻胶覆盖的电铸阴极工艺相同。

8、根据权利要求 1 所述的柔性悬臂微机械光开关的制作方法，其特征是：

步骤(G) 上保护层制作与步骤(F) 中制作绝缘支撑体所采用的材料均选用聚酰亚胺，步骤是：在上表面涂覆一层聚酰胺酸涂料，初步亚胺化；然后在其上进行第八次光刻，即涂覆光刻胶，前烘，曝光，显影，再以光刻胶作保护层腐蚀绝缘支撑体材料，使之开出窗口，露出引线压点后，去除光刻胶；用湿法腐蚀去除二氧化硅牺牲层。

柔性悬臂微机械光开关制作方法

技术领域

本发明属于光电器件技术领域，涉及一种微机械光开关的制作方法，具体地说是一种柔性悬臂微机械光开关的制作方法。

背景技术

微机械技术已经在很多领域得到广泛的应用。在光通信领域，采用微细加工技术将自由空间的光学系统微型化，可以提高器件间的耦合效率、降低器件的功耗，制作出真正意义上的集成化光学系统。与传统的波导调制型光开关相比，微机械光开关具有耦合损耗小、串音干扰低、与工作的波长和偏振态无关，以及不受通讯中所采用的数据格式的限制等优点。

目前，常见微机械光开关的功能部件是平面微反射镜，只有一个功能反射面，工作时，光束有直通或反射两个状态。这种光开关无法满足光路两次折转的要求。

本发明内容

本发明的目的是提供一种具有两个功能反射面的易于集成的柔性悬臂微机械光开关的制作方法。

柔性悬臂微机械光开关的制作方法包括以下步骤：

(A) 基片制备：对双面抛光硅片进行清洁处理，在上下表面制备低应力氮化硅薄膜，通过第一次光刻和腐蚀氮化硅薄膜在下表面开出窗口，最后，以未被腐蚀的氮化硅为掩蔽膜腐蚀硅，形成下表面带凹坑的基片结构；

(B) 牺牲层制作：在基片上表面生长一层二氧化硅薄膜，然后在薄膜上涂覆光刻胶，进行前烘、曝光、显影和坚膜，使位于悬臂正下方位置的光刻胶保留，其他部分的光刻胶被去除，此为第二次光刻；

将没有被光刻胶覆盖的二氧化硅薄膜腐蚀掉，光刻胶下面的二氧化硅因有光刻胶的保护而保留下来，这部分二氧化硅薄膜即为牺牲层；最后，去除牺牲层上表面的光刻胶；

(C) 制作聚酰亚胺底层：在上表面涂覆一层聚酰亚胺涂料，初步固化，在其上进行第三次光刻，即涂覆光刻胶，前烘，曝光，显影，在光刻胶保护下腐蚀聚酰亚胺使聚酰亚胺层形成开关固定端和悬臂组成的形状，腐蚀后进行后烘，最后去除光刻胶；

(D) 制作第一层线圈：在制作第一层线圈时，首先制备一层金属薄膜作为电铸阴极，然后进行第四次光刻，即涂覆光刻胶，前烘，曝光，显影，坚膜，形成第一层线圈、线圈第一引线及第一个引线压点的胶模结构，最后，电铸制成第一层线圈、线圈第一引线及第一个引线压点；

(E) 制作线圈连接柱：进行第五次光刻，光刻步骤为涂覆光刻胶，前烘，曝光，显影，坚膜，光刻后露出A点处的第一层线圈上表面和第一个引线压点的上表面，其他部分被光刻胶覆盖；进行第二次电铸，形成高出第一层线圈的线圈连接柱及第一个引线压点；去除第四次光刻及第五次光刻保留的光刻胶及被光刻胶覆盖的电铸阴极；

(F) 制作第二层线圈：涂覆绝缘支撑体材料并固化，然后进行第六次光刻，再以光刻胶作保护层腐蚀线圈支撑材料，使之一是充满第一层线圈间隙，二是同时在第一层线圈上表面形成绝缘层以实现与第二层线圈的绝缘，除A点外，三是露出线圈连接柱及第一个引线压点；然后，去除光刻胶；第二次制备电铸阴极；进行第七次光刻，形成第二层线圈、线圈第二引线、第一个引线压点及第二个引线压点的胶模结构，最后，电铸完成第二层线圈、线圈第二引线及第二个引线压点，第一个引线压点同时电铸以达到最终高度；去除第七次光刻保留的光刻胶及其所覆盖的电铸阴极，完成第二层线圈制作；

(G) 制作上保护层及悬臂释放：涂覆上保护层，进行第八次光刻，在光刻胶保护下腐蚀上保护层后露出第一个引线压点和第二个引线压点；去除光刻胶，然后湿法腐蚀去除牺牲层，使悬臂与衬底分离；

(H) 粘接永磁体：将永磁体片粘于基片下表面的凹坑中，双层线圈的正下方；

(I) 安装棱柱形微反射镜：将棱柱形微反射镜置于悬臂上表面，在光路中对其进行位置校准，然后将其固定。

本发明优点是：传统电磁驱动光开关由于电磁干扰不利于集成制作，本发明引入聚酰亚胺材料制作悬臂，在其上制作平面线圈绕组，有效解决了磁扰问题，且具有性能稳定，制作简单等优点。这种开关可以广泛用于集成化波分复用系统或其他微小光学系统中。

附图说明：

图 1 是本发明的结构示意图；

图 1a 为自然状态下的结构；

图 1b 为分解图；

图 2 是线圈、引线及压点结构图；

图 2a 为第一层线圈、线圈第一引线和第一引线压点的结构图；

图 2b 为第二层线圈、线圈第二引线和第二引线压点的结构图；

图 3 为本发明的过程图；

图 3a 为光束折转状态；

图 3b 为光束直通状态；

图 4 为本发明的制作过程图；

图 4 (a) 为下表面带凹坑的基片结构图；

图 4 (b) 为在基片上表面生长一层二氧化硅薄膜后的结构图；

图 4 (c) 为第二次光刻后的结构图；

图 4 (d) 为牺牲层制作完成后的结构图；

图 4 (e) 为聚酰亚胺底层制作完成后的结构图；

图 4 (f) 为电铸阴极制作完成后的结构图；

图 4 (g) 为第一层线圈、线圈第一引线及第一个引线压点的胶模结构图；

图 4 (h) 为第一层线圈、线圈第一引线及第一个引线压点制作

完成后的结构图；

图 4 (i) 为进行第二次电铸后的结构图；

图 4 (j) 为第一层线圈连接柱制作完成后的结构图；

图 4 (k) 为第二次电铸阴极制作完成后的结构图；

图 4 (l) 为电铸完成第二层线圈、线圈第二引线及第二个引线压点后的结构图；

图 4 (m) 为第二层线圈制作完成后的结构图；

图 4 (n) 为上保护层制作完成及悬臂释放后的结构图；

图 4 (o) 为粘接永磁体后的结构图；

图 4 (p) 为本发明的全部制作完成后的结构图；

具体实施方式

本发明柔性悬臂微机械光开关如图 1、图 1a、图 1b 所示，它由基片 1、开关固定端 2、悬臂 3、线圈 4、线圈第一引线 5、第一个引线压点 6、线圈第二引线 10、第二个引线压点 11、永磁体 7、棱柱形微反射镜 8 组成。图 3a 中的标号 9 为本发明以外的光学元件。开关固定端 2 与悬臂 3 为同种材料，二者连为一体，位于基片 1 上表面。开关固定端 2 的下表面与基片 1 上表面相接触并粘合，线圈 4 位于悬臂 3 的上表面、线圈第一引线 5 和线圈第二引线 10 位于悬臂 3、开关固定端 2 的上表面，并与之粘合，第一个引线压点 6、第二个引线压点 11 位于开关固定端 2 上表面，与之接触并粘合。永磁体 7 位于线圈 4 的正下方，基片 1 下表面的凹坑中，并与基片 1 接触固定。棱柱形微反射镜 8 固定于线圈 4 的上方。光开关在自然状态时，悬臂 3 下表面与基片 1 上表面接触。图 3a 中 (9) 为光学元件。

本发明光开关工作过程如图 3、图 3a 、图 3b 所示，当线圈 4 加某一方向电流时，电磁引力将悬臂 3 保持在图 3a 的位置，即自然状态，入射光束 R 经过棱柱形微反射镜 8 的一面反射后到达光学元件 9，而从光学元件 9 返回的光束经棱柱形微反射镜 8 的另一面反射后出射，为反射光束 F；当线圈 4 加相反方向电流时，电磁斥力将悬臂 3 推离基底 1，悬臂 3 向上翘起，带动棱柱形微反射镜 8 离开基片 1 上表面一段距离，呈图 3b 状态，此时入射光束 R 直接通过，不发生偏

转，即不经过光学元件 9，未产生反射光束 F。

柔性悬臂微机械光开关的制作方法包括如下步骤：

(A) 基片 1 制备：基片 1 材料为硅片，对硅片进行清洁处理，在上下表面制备低应力氮化硅薄膜，通过第一次光刻和腐蚀氮化硅薄膜在下表面开出窗口，最后，以未被腐蚀的氮化硅为掩蔽膜腐蚀硅，形成下表面带凹坑的基片结构，如图 4 (a)；

(B) 牺牲层制作：① 在基片 1 上表面生长一层二氧化硅薄膜，如图 4 (b)。然后在薄膜上涂覆光刻胶，进行前烘、对准、曝光、显影和坚膜，使位于悬臂 3 正下方位置的光刻胶保留，其他部分的光刻胶被去除，此为第二次光刻，如图 4 (c)。② 将没有被光刻胶覆盖的二氧化硅薄膜腐蚀掉，光刻胶下面的二氧化硅因有光刻胶的保护而保留下来。这部分二氧化硅薄膜即为牺牲层。牺牲层的作用是在工艺完成后释放悬臂 3，使悬臂 3 与基底隔离。③ 去除牺牲层上表面的光刻胶，如图 4 (d)；

(C) 制作聚酰亚胺底层：① 在上表面涂覆一层聚酰亚胺涂料，初步固化。② 在其上进行第三次光刻，即涂覆光刻胶，前烘，曝光，显影，在光刻胶保护下腐蚀聚酰亚胺使聚酰亚胺层形成图 1 中开关固定端 2 和悬臂 3 组成的形状，腐蚀后进行后烘。③ 去除光刻胶，如图 4 (e)。

(D) 制作第一层线圈：

本发明的线圈 4 采用双层结构，如图 2、图 2a、图 2b，两层线圈由线圈连接柱在线圈螺旋线中心的 A 点连接在一起。在 A 点，第一层线圈上表面与线圈连接柱的下表面相连接，线圈连接柱的上表面与第二层线圈的下表面相连接。第一层线圈与第二层线圈的绕向相反。

在制作第一层线圈时，① 制备一层金属薄膜作为电铸阴极，如图 4 (f)。② 进行第四次光刻，即涂覆光刻胶，前烘，曝光，显影，坚膜，形成第一层线圈、线圈第一引线 5 及第一个引线压点 6 的胶模结构，如图 4 (g)。③ 电铸制成第一层线圈、线圈第一引线 6 及第

一个引线压点 6，如图 4 (h)。

(E) 制作线圈连接柱：① 进行第五次光刻，光刻步骤为涂覆光刻胶，前烘，曝光，显影，坚膜，光刻后露出 A 点处的第一层线圈上表面和第一个引线压点 6 的上表面，其他部分被光刻胶覆盖。② 进行第二次电铸，形成高出第一层线圈的线圈连接柱及第一个引线压点 6，如图 4 (i)。③ 去除第四次光刻及第五次光刻保留的光刻胶及被光刻胶覆盖的电铸阴极，如图 4 (j)。

(F) 制作第二层线圈：为了支撑第二层线圈并使第二层线圈与第一层线圈（除 A 点外）绝缘，需要制备绝缘支撑体。① 涂覆绝缘支撑体材料并固化，② 进行第六次光刻，再以光刻胶作保护层腐蚀线圈支撑材料，使之 i. 充满第一层线圈间隙，ii. 同时在第一层线圈上表面形成绝缘层以实现与第二层线圈的绝缘，iii. 露出线圈连接柱及第一个引线压点 6。③ 去除光刻胶。④ 第二次制备电铸阴极，如图 4 (k)。⑤ 进行第七次光刻，形成第二层线圈、线圈第二引线、第一个引线压点 6 及第二个引线压点 10 的胶模结构，⑥ 电铸完成第二层线圈、线圈第二引线 10 及第二个引线压点 11，第一个引线压点 6 同时电铸以达到最终高度，如图 4 (l)。⑦ 去除第七次光刻保留的光刻胶及其所覆盖的电铸阴极，完成第二层线圈制作，如图 4 (m)。

(G) 制作上保护层及悬臂 3 释放：① 涂覆上保护层，进行第八次光刻，在光刻胶保护下腐蚀上保护层后露出第一个引线压点 6 和第二个引线压点 11。② 去除光刻胶，③ 湿法腐蚀去除牺牲层，使悬臂 3 与衬底分离，如图 4 (n)。

(H) 粘接永磁体 7：将永磁体 7 片置于基片 1 下表面的凹坑中并粘接固定，如图 4 (o)。

(I) 安装棱柱形微反射镜 8：将棱柱形微反射镜 8 置于悬臂 3 上表面，在光路中对其进行位置校准，然后将其固定。即完成本发明的全部制作，如图 4 (p)。

以下详细说明本发明的制作过程。

(A) 本发明所用的基片 1 采用双面抛光的单晶硅片, 清洁处理的步骤为:

- 1) 以甲苯、丙酮、乙醇等去除油污等有机物;
- 2) 用王水煮沸去除金属离子;
- 3) 用去离子水超声清洗, 无水乙醇脱水后烘干。

单晶硅基片 1 下表面凹坑的形成可采用湿法腐蚀或干法刻蚀。氮化硅薄膜可以用 PECVD 或 LPCVD 技术生长, 膜厚可以在 500nm—1 μ m 之间。

(B) 在制作牺牲层时, 二氧化硅薄膜是采用热氧化或氢氧合成或 CVD 方法生长的, 氧化层厚度在 100nm—2000nm 之间。第二次光刻可采用集成电路工艺通用的薄膜光刻胶, 可以是正性光刻胶, 也可以用负性光刻胶。二氧化硅薄膜的腐蚀可用湿法腐蚀或干法刻蚀。正性光刻胶的去除可采用去胶剂或丙酮, 负性光刻胶用去胶剂去除。

(C) 制备聚酰亚胺底层时, 所用的涂料为聚酰胺酸, 初步固化即薄膜未完全亚胺化。第三次光刻的光刻胶选择范围及去胶方法与第二次光刻相同。后烘的目的是使薄膜进一步亚胺化。

(D) 制作第一层线圈时, 电铸阴极材料选用铜或金, 可以溅射或蒸发制备。薄膜厚度为 100nm—1000nm。第四次光刻选用正性厚型光刻胶, 胶膜厚度略高于所设计的第一层线圈厚度, 第一层线圈厚度在 1 μ m—500 μ m 之间。线圈材料为铜, 采用脉冲电铸的方法制备。

(E) 在制作线圈连接柱中, 第五次光刻选用正性光刻胶, 胶厚控制在高出第一层线圈 3 μ m—10 μ m, 第二次电铸材料和方法与第一次电铸相同, 第三次与第五次光刻胶用去胶剂或丙酮去胶。电铸阴极用干法刻蚀或湿法腐蚀工艺去除。这一步骤应仔细操作, 防止损伤线圈下面的电铸阴极, 导致线圈与衬底粘附力降低。

(F) 在制作第二层线圈时, 绝缘支撑体材料采用聚酰亚胺, 其光刻腐蚀方法与步骤为: 在上表面涂覆一层聚酰胺酸涂料, 初步亚胺化。然后在其上进行第六次光刻, 即涂覆光刻胶, 前烘, 曝光, 显影, 再

以光刻胶作保护层腐蚀绝缘支撑体材料，使之开出窗口，露出线圈连接柱及引线压点后，去除光刻胶。

第七次光刻方法与第四次相同，第二层线圈厚度在 1 微米—500 微米之间，电铸第二层线圈的工艺与电铸第一层时相同。去除第七次光刻保留的光刻胶及其所覆盖的电铸阴极的方法分别与去除第四次光刻及第五次光刻保留的光刻胶及光刻胶覆盖的电铸阴极工艺相同。

(G) 上保护层制作与步骤 (F) 中制作绝缘支撑体所采用的材料均选用聚酰亚胺，步骤为：在上表面涂覆一层聚酰胺酸涂料，初步亚胺化。然后在其上进行第八次光刻，即涂覆光刻胶，前烘，曝光，显影，再以光刻胶作保护层腐蚀绝缘支撑体材料，使之开出窗口，露出引线压点后，去除光刻胶。用湿法腐蚀去除二氧化硅牺牲层。

(H) 棱柱形微反射镜的结构如图 1 所示，棱柱形微反射镜 8 两反射面即为棱柱的两个面，两反射面的夹角可以按照需求设定。

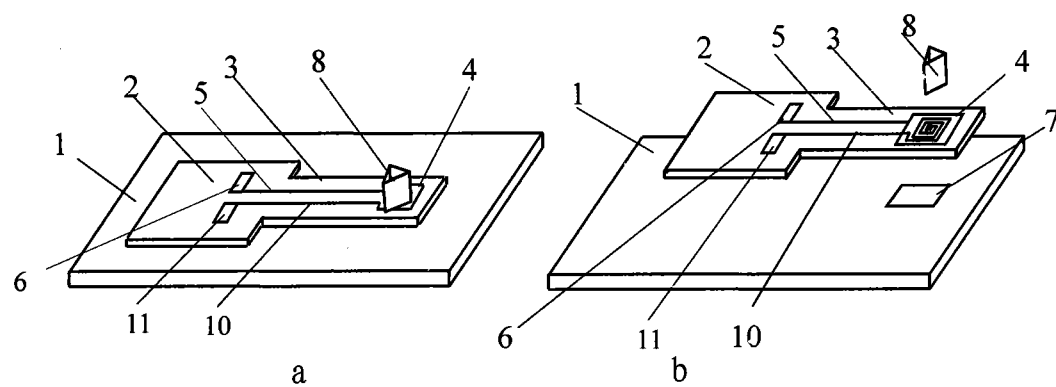


图 1

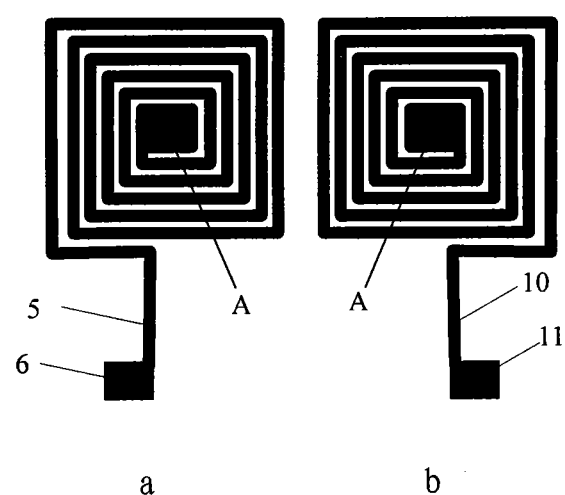


图 2

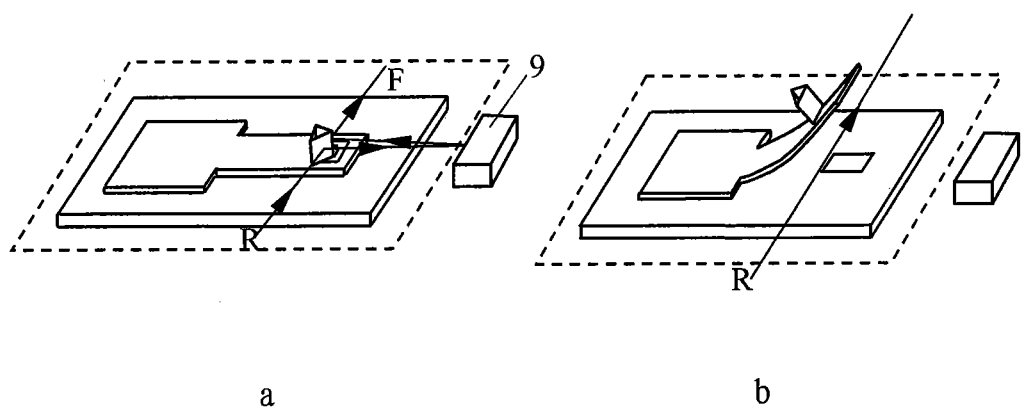


图 3

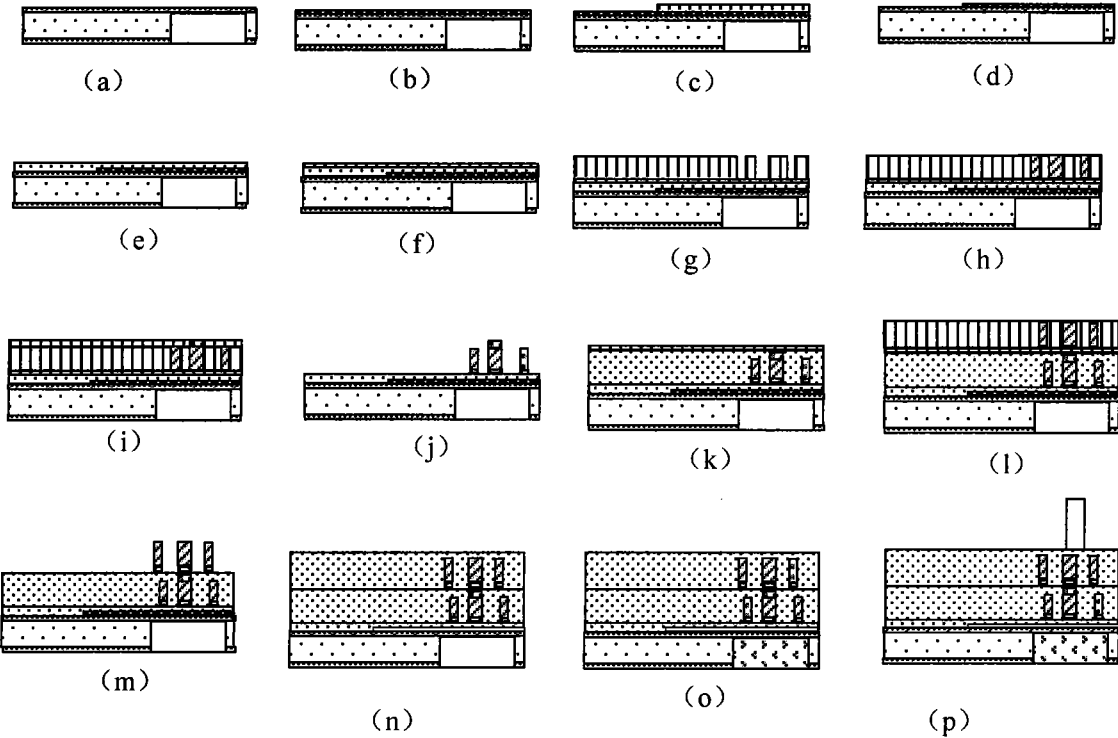


图 4