



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111650700 A

(43)申请公布日 2020.09.11

(21)申请号 202010547604.3

(22)申请日 2020.06.16

(71)申请人 上海交通大学

地址 200240 上海市闵行区东川路800号

(72)发明人 杨学成 李康林 杜江兵 何祖源

(74)专利代理机构 上海伯瑞杰知识产权代理有限公司 31227

代理人 孟旭彤

(51)Int.Cl.

G02B 6/42(2006.01)

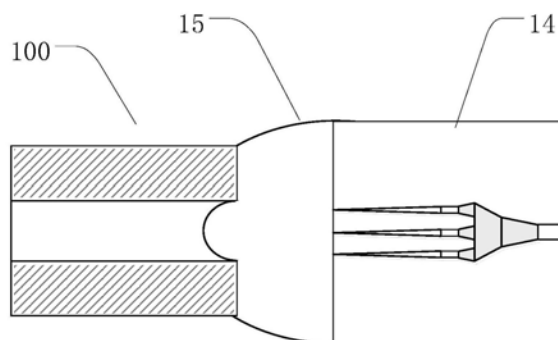
权利要求书1页 说明书5页 附图5页

(54)发明名称

一种光芯片接口封装结构及方法

(57)摘要

一种光芯片接口封装结构,包括,少模光纤,该光纤的纤芯端面具有凹形曲面;光芯片接口波导端面;透明胶,被填充于所述光纤纤芯端面与光芯片接口的波导端面之间,所述透明胶的折射率高于所述光纤纤芯的折射率。所述光纤的纤芯端面被设置于所述光芯片的基板上,连同光芯片接口波导被氧化物包层包覆封装于光芯片基板上。所述光芯片接口是两模端面耦合器。



1. 一种光芯片接口封装结构,包括,
  - 光纤,该光纤的纤芯端面具有凹形曲面;
  - 光芯片接口波导端面;
  - 透明胶,被填充于所述光纤纤芯端面与光芯片接口波导端面之间,所述透明胶的折射率高于所述光纤纤芯的折射率。
2. 根据权利要求1所述的光芯片接口封装结构,其特征在于,所述光纤是少模光纤。
3. 根据权利要求1所述的光芯片接口封装结构,其特征在于,所述光纤的纤芯端面被设置于所述光芯片的基板上,连同光芯片接口波导被氧化物包层包覆封装于光芯片基板上。
4. 根据权利要求1所述的光芯片接口封装结构,其特征在于,所述光芯片接口采用两模端面耦合器。
5. 根据权利要求1所述的光芯片接口封装结构,其特征在于,所述透明胶是紫外光固化胶。
6. 根据权利要求5所述的光芯片接口封装结构,其特征在于,所述紫外光固化胶的折射率为1.55-1.65。
7. 一种光芯片接口封装方法,包括步骤,
  - 对光纤的纤芯端面进行腐蚀处理,在纤芯端面形成凹形曲面;
  - 将所述纤芯端面和待耦合的光芯片接口波导放置在基板上;
  - 将所述光纤的纤芯端面对准光芯片接口波导端面,在所述纤芯端面与光芯片接口波导端面之间填入透明紫外光固化胶;
  - 调整并确定所述纤芯端面与所述光芯片接口波导端面的耦合距离,对透明紫外光固化胶进行固化处理以完成耦合封装。
8. 根据权利要求7所述的光芯片接口封装方法,其特征在于,所述光纤纤芯的腐蚀处理包括有以下步骤:
  - 将所述光纤一端的涂覆层剥离;
  - 将涂覆层被剥离的被包层包裹的纤芯垂直浸没于氢氟酸溶液中进行腐蚀,完成腐蚀处理;
  - 对完成腐蚀处理后的光纤纤芯端面进行清洗。
9. 根据权利要求8所述的光芯片接口封装方式,其特征在于,
  - 氢氟酸溶液浓度为90%~100%,氢氟酸溶液温度为25℃~28℃,腐蚀过程的时长为10~20分钟。

## 一种光芯片接口封装结构及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及光通信技术领域,特别涉及一种光芯片接口封装结构及方法。

### 背景技术

[0002] 随着光纤通信领域的高速发展,光互连技术正逐渐取代传统电磁通信技术成为主要的通信互连手段。而大体积、低密度、高功耗的传统光模块已逐渐无法满足交换机对于更大数据容量的需求,未来通信设备的升级换代,依赖于新型高速、高密度光电集成互连技术的支撑。光电共装的芯片出光技术有极大潜力替代现有的光模块方案,大幅提高芯片集成密度和数据容量,是下一代光通信设备的主要演进方向。基于上述应用背景,高速、高密度光芯片接口及封装方式尤为关键。

### 发明内容

[0003] 本发明提供了一种光芯片接口封装结构及方法,目的在于解决现有硅光芯片模分复用场景下,光接口耦合封装要求高、难度大、成本高、效率低的问题,

[0004] 本发明实施例之一,一种光芯片接口封装结构,包括,

[0005] 一少模光纤,该光纤的纤芯端面具有凹形曲面;

[0006] 一光芯片接口波导端面;

[0007] 一透明胶,被填充于所述光纤纤芯端面与光芯片接口波导端面之间,所述透明胶的折射率高于所述光纤纤芯的折射率。

[0008] 本发明的实施例的有益效果之一包括,可以实现从少模光纤到硅光芯片的模分复用方案的直接耦合封装,耦合效率高、成本低、耦合容限提升;简化了从光纤到硅光芯片耦合封装的步骤,降低封装成本,提升封装效率。可同时支持两种模式从片上光波导到少模光纤的高效耦合,结构简单,工艺兼容,能有效解决片上模分复用系统无法与少模光纤进行耦合传输的关键问题,为多模光发射/接收模块的实现奠定基础。

### 附图说明

[0009] 通过参考附图阅读下文的详细描述,本发明示例性实施方式的上述以及其他目的、特征和优点将变得易于理解。在附图中,以示例性而非限制性的方式示出了本发明的若干实施方式,其中:

[0010] 图1为本发明实施例之一的少模光纤的腐蚀处理示意图。

[0011] 图2为本发明实施例之一的少模光纤纤芯腐蚀后清洁结构示意图。

[0012] 图3为本发明实施例之一的片上两模端面耦合器俯视图。

[0013] 图4为本发明实施例之一的片上两模端面耦合器波导端面侧视图。

[0014] 图5为本发明实施例之一的少模光纤和片上波导两模端面耦合器点胶固化示意图。

[0015] 图6为本发明实施例之一的少模光纤耦合到芯片上两模端面耦合器的封装结构示

意图。

[0016] 图7为本发明实施例之一的少模光纤基模出光光场图。

[0017] 图8为本发明实施例之一的少模光纤基模耦合到两模波导光场图。

[0018] 图9为本发明实施例之一的少模光纤LP11模出光光场图。

[0019] 图10为本发明实施例之一的少模光纤LP11模耦合到两模波导光场图。

[0020] 其中,100——少模光纤,1——纤芯;2——包层;3——涂覆层;4——氢氟酸溶液;5——凹陷曲面;6——端面清洗液;7——两模输入波导;8——拉锥波导;9——多模干涉仪;10——上路逆向拉锥波导;11——中路逆向拉锥波导;12——下路逆向拉锥波导;13——氧化物包层;14——硅基板;15——透明胶黏剂;16——紫外光;17——容器。

### 具体实施方式

[0021] 光芯片集成波导与光纤间的模式尺寸差异巨大,这种尺寸上的不匹配会带来极大的耦合损耗,故高效率、低损耗的特殊耦合匹配结构的需求十分迫切。光纤透镜是在光纤或光学系统中进行模式转换和光路改变的一种结构,通过在光纤端面处形成特定形状的透镜从而实现光纤与波导间的低损耗耦合。常见的光纤透镜为锥形、楔形、球面形和斜面形,其常用的制作方法包括熔融拉伸法、刻蚀法,以及研磨抛光法。但研磨抛光技术对于研磨机的精度要求较高,且研磨易使光纤受力发生形变,从而使得光纤透镜发生偏差,并对透镜结构的对称性造成不利影响。而熔融拉伸法则仅能用于制造锥形透镜,具有一定局限性。相对前两种方法,刻蚀法工艺更加简单,成本更低,通过化学刻蚀形成指定形状的光纤透镜端面,并可同时支撑高速光信号传输。

[0022] 光接口封装是保证光芯片波导与光纤之间耦合性能的另一项重要技术。一般的光纤耦合封装方式,采用低折射率树脂化封装,但该方法在用于精密器件时,则需对锥形光纤透镜做金属化焊接处理,固定到待耦合光芯片侧,从而防止光信号的泄露与散射。这种光接口封装方案对光纤透镜端面到光芯片集成波导的间距精度要求极高,耦合容限在2微米以内,这显然增加了封装难度与成本,并且缺乏可扩展性,无法适应多种不同类型的光纤耦合封装应用场景。当前,光引擎、光电共装芯片等高速、密集光电集成应用,对于高密度光接口及封装技术提出了更高要求,光芯片出光需要更高密度与耦合精度的光纤阵列。于是新型光接口耦合与封装技术,需要更加高效率、低成本且具有可扩展性的解决方案。

[0023] 因此,急需一种新的光芯片接口及封装方法,在降低耦合与封装成本、工艺和操作难度的同时,进一步提高耦合效率与容限,从而适用于新一代高速高密度光电集成互连的芯片出光技术,能够同时支持多个模式的高效耦合,从而实现片上“多模出光”,也为集成模式复用器件在模分复用系统中的实际应用提供关键支撑。

[0024] 根据一个或者多个实施例,如图6所示,一种光芯片接口封装结构,包括有少模光纤端面透镜和高阶模片上波导,所述光纤为少模渐变折射率光纤,该光纤包括有输出端,所述输出端于纤芯端面呈凹陷曲面设置,所述片上波导为高阶模波导,还包括有固化前填充于凹陷曲面与片上波导之间用于连接耦合的透明紫外光固胶,所述透明紫外光固胶的折射率高于所述光纤纤芯的折射率。

[0025] 作为优选,所述透明胶黏剂填充于所述少模光纤纤芯的凹陷曲面且覆盖于所述片上波导端面。光芯片接口是两模端面耦合器,少模光纤纤芯端面与两模端面耦合器波导端

面耦合封装在光芯片的基板上。这里的两模包括基模和高阶模。

[0026] 作为优选,所述透明胶黏剂为紫外光固化胶水,所述光固化胶水的折射率为1.55-1.65。

[0027] 作为优选,所述透明胶黏剂为光固性环氧树脂。

[0028] 如图1及图2所示,少模渐变折射率光纤包括有纤芯1、包层2及涂覆层3,光纤具有一端输入端和一端腐蚀后的输出端,光纤的输入端是正常的光纤端面,输出端是腐蚀后的带有凹陷曲面5的光纤端面。腐蚀形成的凹陷曲面5根据腐蚀操作的腐蚀液的浓度、腐蚀时间及温度的控制以得到所需规格的凹陷曲面5。

[0029] 光纤可以采用为普通的商用掺锗少模渐变折射率光纤,纤芯1为锗材料掺杂、包层2无掺杂的全内反射型石英光纤。少模渐变光纤纤芯1掺锗,直径为几十 $\mu\text{m}$ 不等,包层2为纯二氧化硅,直径125 $\mu\text{m}$ 折射率从包层2到纤芯1逐渐增高,1550波段包层2折射率为1.444,纤芯1处最高折射率为1.454。

[0030] 透明胶黏剂15填充在纤芯1的输出端,且填充满凹陷曲面5,且透明胶黏剂15的折射率高于纤芯1设置,使得纤芯1端面的凹陷曲面5与透明胶黏剂15形成对透过纤芯1进入透明胶黏剂15内的光进行折射汇聚的透镜,减小了光斑的有效直径。透明胶黏剂15可以为光敏胶水,光敏胶水的折射率选取为1.55~1.65,也可以根据需要定制更高折射率光敏胶。光敏胶水可以选用市场商用光敏胶,可以是液体状态,或半液体状态,或部分液体状态,或胶体状态,或半胶体状态,或部分胶体状态,通过紫外光照射可对光敏胶进行固化。如图5所示。

[0031] 根据一个或者多个实施例,一种光芯片接口封装结构,包括有少模光纤端面透镜和片上两模端面耦合器。所述光纤为少模渐变折射率光纤,包括有输出端,所述输出端于纤芯端面呈凹陷曲面设置,所述片上两模端面耦合器为光芯片上波导输出端,还包括有固化填充于凹陷曲面与片上波导之间用于连接耦合的透明胶黏剂,所述透明胶黏剂的折射率高于所述光纤纤芯的折射率。

[0032] 所述透明胶黏剂填充于所述光纤纤芯的凹陷曲面且覆盖于所述片上波导端面耦合器的端面,少模光纤端面透镜可以同时基模和高阶模进行光斑聚焦。

[0033] 所述两模端面耦合器为三叉戟形状,可以进行基模和高阶模的传输。

[0034] 根据一个或多个实施例,本发明的一种光纤耦合封装方法,包括有以下步骤:

[0035] 如图1及图2所示,在光纤的输出端进行腐蚀处理,在纤芯1端面形成凹陷曲面5;

[0036] 将纤芯1带有凹陷曲面5的光纤和待耦合的片上两模端面耦合器放置在基板上;

[0037] 将光纤的输出端对准两模端面耦合器的端面,在光纤的输出端和两模耦合器的端面间填入透明胶黏剂15;

[0038] 调整并确定耦合距离,对透明胶黏剂15进行固化处理以完成耦合封装。

[0039] 其中,对光纤纤芯1的腐蚀处理具体包括有以下操作:

[0040] 将光纤输出端一端的涂覆层3剥离,用切割刀将端面切割整齐干净;

[0041] 将被包层2包裹的纤芯1垂直浸没于氢氟酸溶液4中,控制腐蚀操作温度及腐蚀时长,完成腐蚀处理;

[0042] 对完成腐蚀后的光纤放入清洗液6进行清洗,清洗过程可以分为几次进行,每一次清洗液可以依次为碱水、酒精、清水或者去离子水。

[0043] 其中,腐蚀处理的腐蚀液的氢氟酸浓度为90%~100%,操作温度为25℃~28℃,腐蚀时间为10~20分钟,可选择氢氟酸浓度是90%,腐蚀时间为15分钟,腐蚀温度设定为25℃。

[0044] 对于无空隙填充包裹在光纤和两模端面耦合器之间的透明胶黏剂15进行操作时,还可以通过以下步骤进行操作:

[0045] 将腐蚀处理后的光纤和两模端面耦合器放置于基板上,调整并控制好耦合距离,确定好纤芯1端面位置和两模端面耦合器端面的位置后,进行透明胶黏剂15的点胶及固化,完成耦合封装,耦合距离控制在80~100微米。

[0046] 对腐蚀处理后的光纤清洗处理具体包括有:经过碱水,清水和酒精的依次浸泡,采用超声和等离子水进行光纤端面微腔清洗,以防有残留余液继续反应。操作方法简单,成本低廉,耦合容差较大,可根据不同使用情况选择不同耦合方式。

[0047] 化学蚀刻是一种简单而廉价的方法来制造凹形或凸形光纤尖端,并且仍然允许高速光传输。光纤尖端的化学蚀刻是将光纤尖端浸入氢氟酸(HF)中。通过控制时间、温度和搅拌,可以形成凹面或锐化的光纤头。

[0048] 掺杂物的存在和组成影响了熔融石英在氟化氢中的溶解。在掺锗芯和硅包层2的光纤中,锗芯的刻蚀速度比硅基包层2快。锗原子和氧原子在锗氧根(Ge-O)中的键能和硅氧根中的(Si-O)的键能分别为662kJ/mol和799kJ/mol。也就是说,在同时与HF溶液发生反应时,锗氧根分离所需要的能量更小,更容易和HF发生反应。通过这样的原理,将渐变折射率光纤浸泡在HF溶液中一段时间,因为纤芯1掺锗浓度的不同,纤芯1处不同区域的反应速度有所区别,会形成一个规则的凹陷曲面5,这一点在文献【Tafulo等,“Fabry-Pérot cavities based on chemical etching for high temperature and strain measurement.”*Optics Communications* 285.6(2012):1159-1162.】和文献【Tuck等,“Low cost optical fibre based Fabry-Perot strain sensor production.”*Measurement Science and Technology* 17.8(2006):2206-2212.】中有所阐述。

[0049] 通过在纤芯1处设置的凹陷曲面5,实现大尺寸模斑少模光纤到小尺寸模斑光芯片波导的低损耗光耦合,提高少模光纤到硅光芯片耦合的效率和良率,可同时支持两种模式从片上光波导到多模光纤的高效耦合,结构简单,工艺兼容,能有效解决片上模分复用系统无法与多模光纤进行耦合传输的关键问题,为多模光发射/接收模块的实现奠定基础,也能广泛应用于片上高密度集成光互连系统。

[0050] 根据一个或者多个实施例,如图3和图4所示,片上两模端面耦合器包括有一个两模输入波导7,一个拉锥波导8,一个多模干涉仪9,三个逆向拉锥波导10,11,12,硅层基板14,基板上氧化层13,两模输入波导7通过拉锥波导8与多模干涉仪9相连,三个逆向拉锥波导10,11,12也分别与多模干涉仪9相连。图4所示的两模端面耦合器侧面那一端为两模端面耦合器输入端。两模端面耦合器,用于集成光波导与光纤之间的耦合,通过多模干涉仪和逆向拉锥波导组成多模端面耦合器,能同时支持两个光模式的高效耦合,解决了多模光发射/接收模块中的多模耦合问题。

[0051] 如图8和图10所示,多模干涉仪的工作原理是,多模干涉仪的两模输入波导1可支持TE基模和TE第一个高阶模LP11模传输。如图8,当两模输入波导1的输入模式为TE基模时,由于多模干涉仪3的长度取在首个单个自映像的位置,在中路输出拉锥波导11有基模输出。

如图10,当多模输入波导1的输入模式为TE第一个高阶模时,经过多模干涉仪3的干涉,在上路单模输出波导10和下路单模输出波导12分别有相位相反的两个基模输出。

[0052] 当两模端面耦合器的输入模式为TE基模时,多模干涉仪的中路两模输出波导有基模输出,经过中路逆向拉锥波导,条形波导中的基模逐渐泄露到上包层波导中,在上包层波导的端面输出,与多模光纤进行耦合,激发多模光纤中的基模LP01。当两模端面耦合器的输入模式为TE第一个高阶模时,多模干涉仪的上路单模输出波导和下路单模输出波导分别有相位相反的两个基模输出,经过上路逆向拉锥波导和下路逆向拉锥波导,条形波导中的基模逐渐泄露到上包层波导中,在上包层波导的端面输出,与多模光纤进行耦合,激发多模光纤中的第一个高阶模LP11。

[0053] 多模干涉仪的首个单个自映像位置对应的长度,可通过以下公式获得:

$$[0054] \quad L = \frac{3}{4}L_{\pi} = \frac{3}{4} \frac{\pi}{\beta_0 - \beta_1}$$

[0055] 式中 $\beta_0$ 和 $\beta_1$ 分别为TE基模和TE第一个高阶模在多模干涉仪中的传播常数。

[0056] 上述实施例中的结构是针对220nm厚SOI条形光波导设计的,器件也可以采用其他材料进行设计,工作原理不变,只需针对不同材料修改参数即可。

[0057] 上述实施例中,只有逆向拉锥波导部分被上包层覆盖,如果整个结构都被上包层覆盖,工作原理也是一样的,只需重新计算多模干涉仪的参数即可。上包层的材料折射率与多模光纤纤芯材料折射率需尽量接近,以保证较高的耦合效率。

[0058] 通过基于多模干涉仪和逆向拉锥波导组成的多模端面耦合器,用于集成芯片多模光波导与多模光纤之间的光耦合,可以同时支持两种模式的高效耦合,且采用端面耦合带宽大,可与波分复用结合,耦合效率对光偏振态不敏感,结构简单,尺寸小,与现有集成工艺兼容,方便低成本制造,能广泛应用于片上高密度集成光互连系统。

[0059] 综上所述,本发明具有以下有益效果:

[0060] 通过在纤芯处腐蚀形成凹陷曲面的设置,配合高于纤芯折射率的透明胶黏剂能够对光纤出光进行汇聚,实现从大模斑有效直径少模光纤到小模斑尺寸高阶光波导的高效率光耦合;

[0061] 通过本发明能同时实现两种模式从硅光芯片到光纤的耦合,耦合效率高,本发明采用端面耦合带宽大,可与波分复用结合。

[0062] 通过本申请少模光纤到芯片封装方法,操作步骤简单,成本低廉,与现有集成工艺兼容。对耦合偏移(水平、垂直)的容限更高,从而降低了封装难度,能满足硅光芯片上模分复用的应用需求;

[0063] 通过对若干光纤的腐蚀配合透明胶黏剂,能够装配成光纤阵列进行耦合封装,能够广泛应用于高密度集成光互连系统。

[0064] 以上所述,仅为本发明的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到各种等效的修改或替换,这些修改或替换都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此,本发明的保护范围应以权利要求要求的保护范围为准。

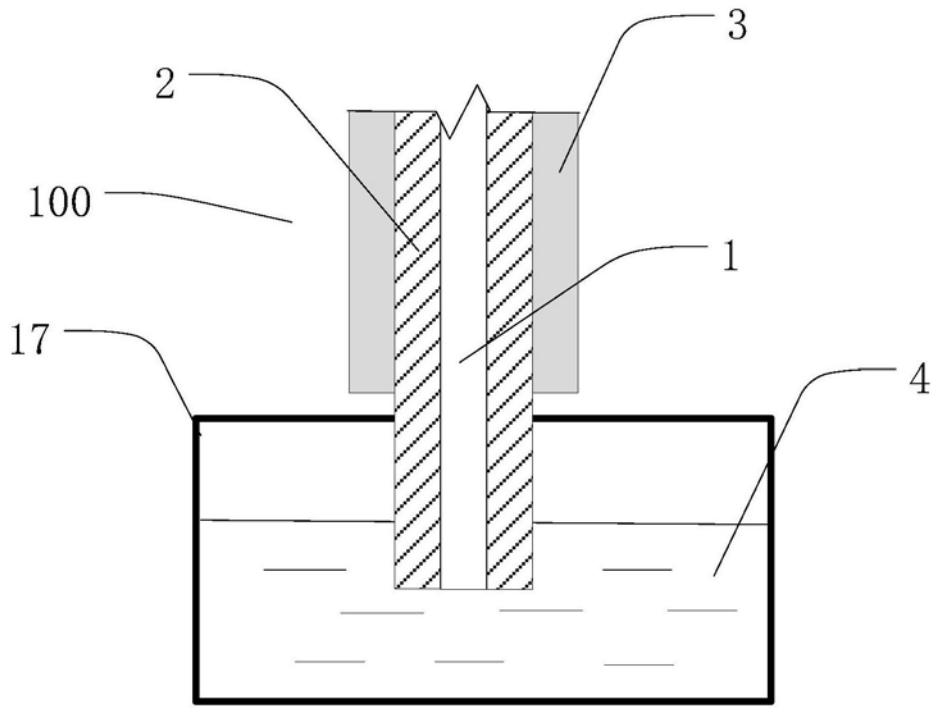


图1

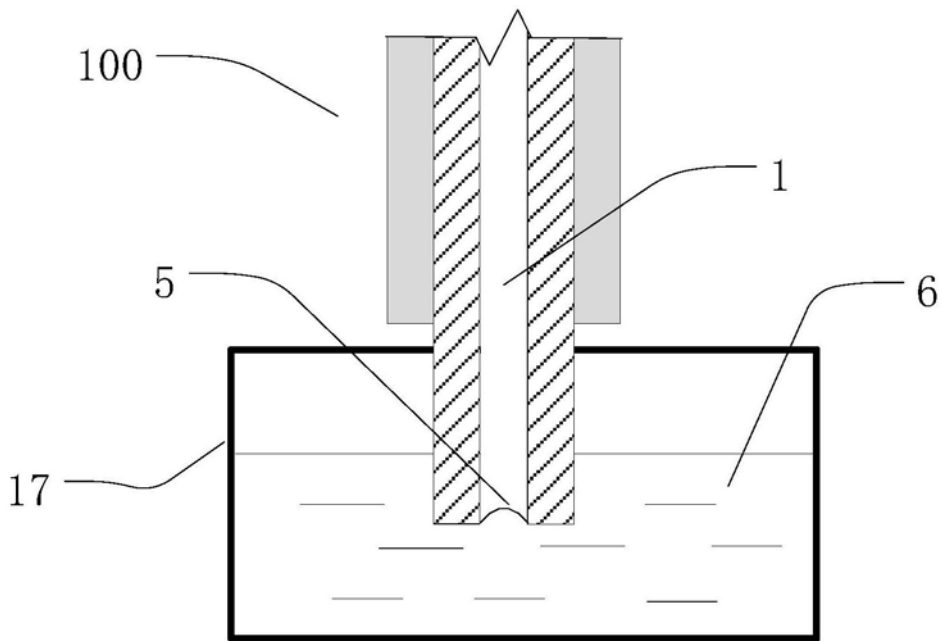


图2



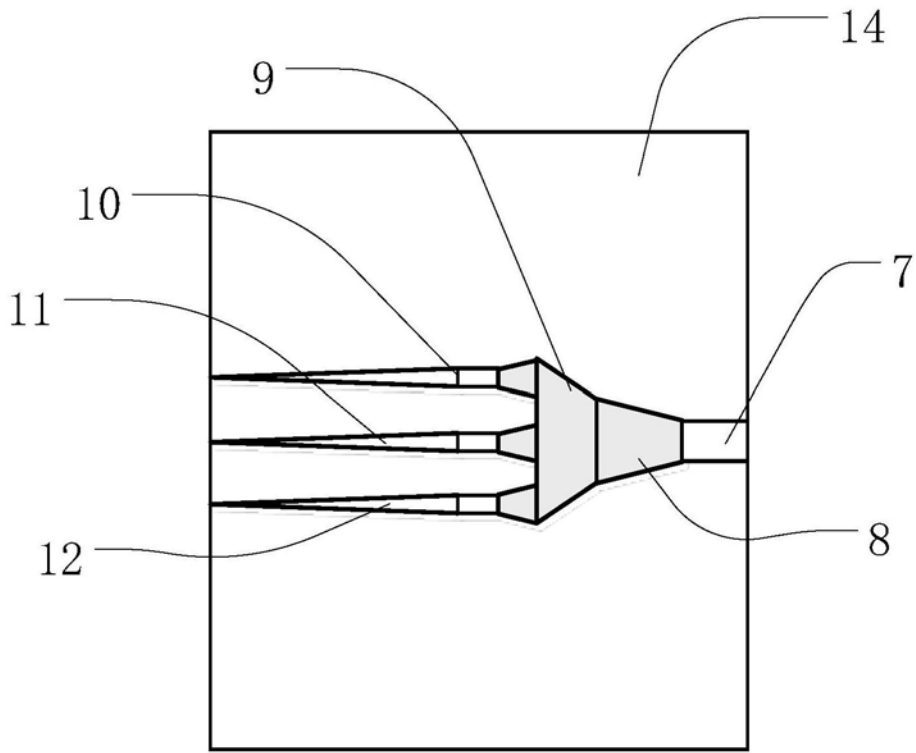


图3

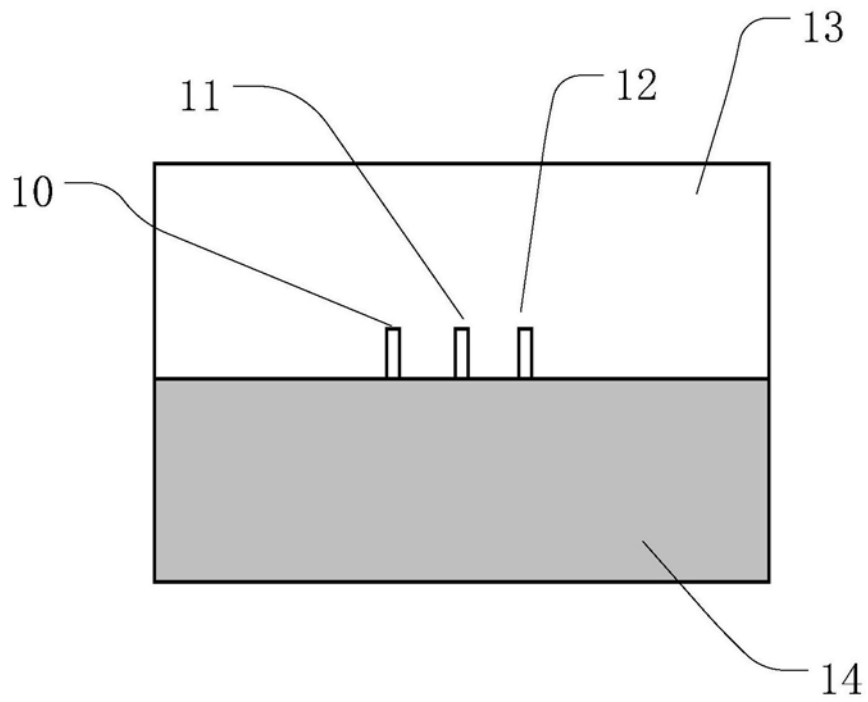


图4

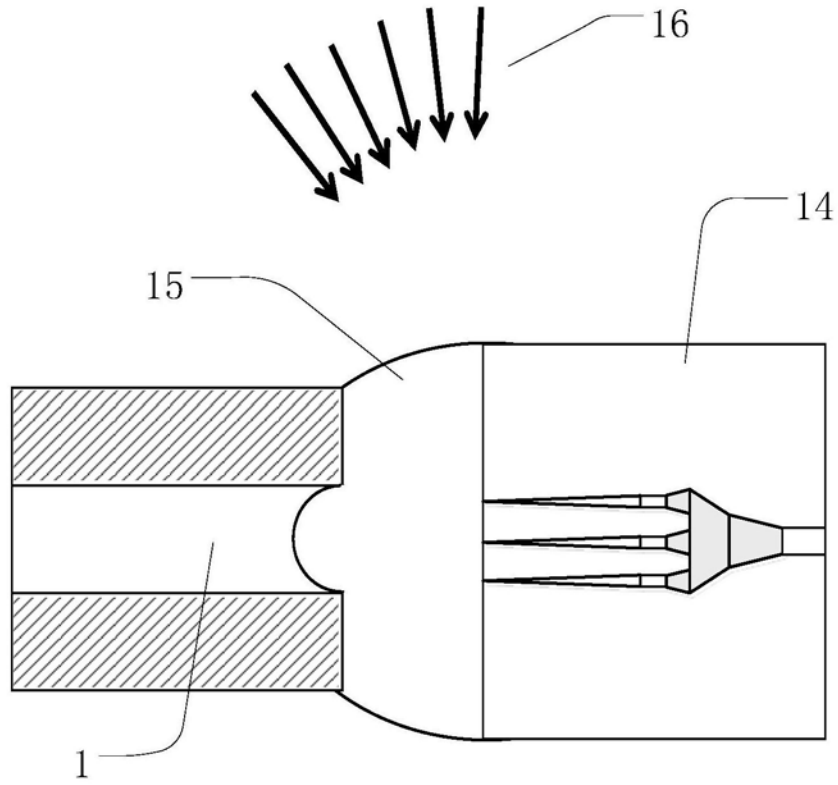


图5

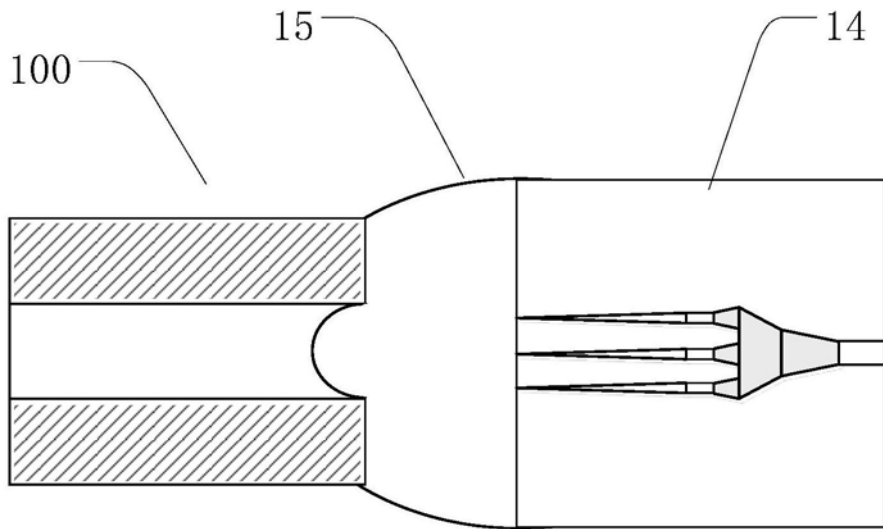


图6

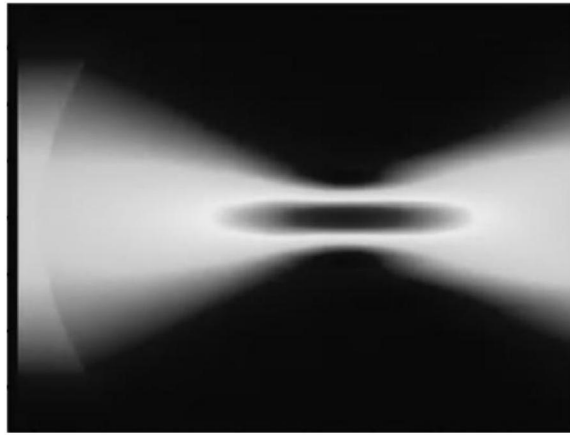


图7

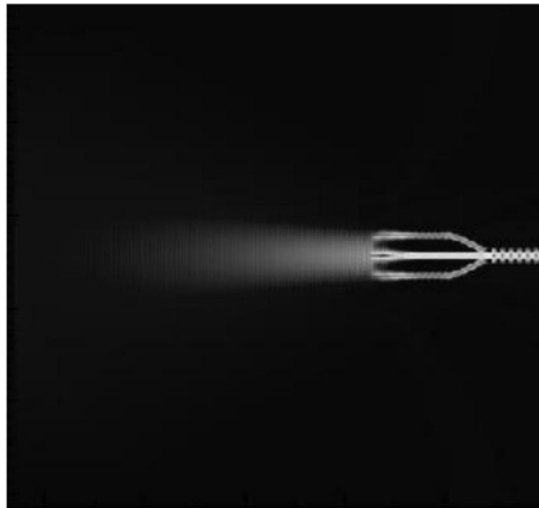


图8

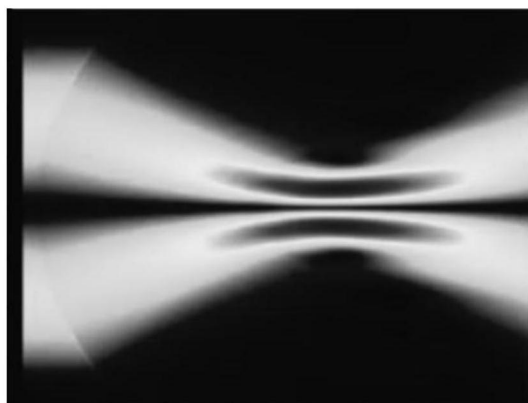


图9

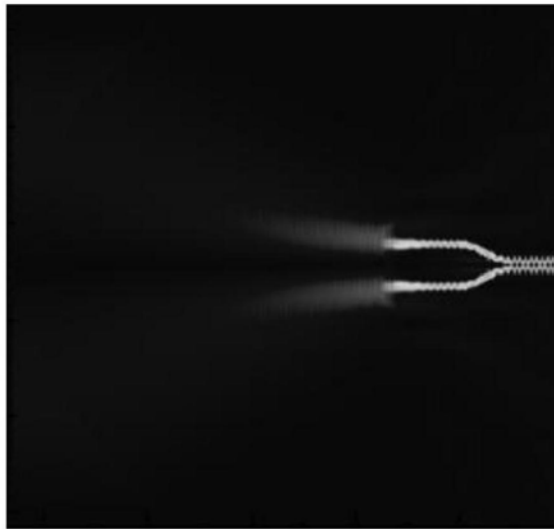


图10