



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106461890 A

(43)申请公布日 2017.02.22

(21)申请号 201580033546.X

(22)申请日 2015.05.15

(30)优先权数据

61/994,097 2014.05.15 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2016.12.21

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2015/031260 2015.05.15

(87)PCT国际申请的公布数据

W02015/176049 EN 2015.11.19

(71)申请人 纳米精密产品股份有限公司

地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 S.李 R.R.瓦兰斯

(74)专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 陈钊 张邦帅

(51)Int.Cl.

G02B 6/42(2006.01)

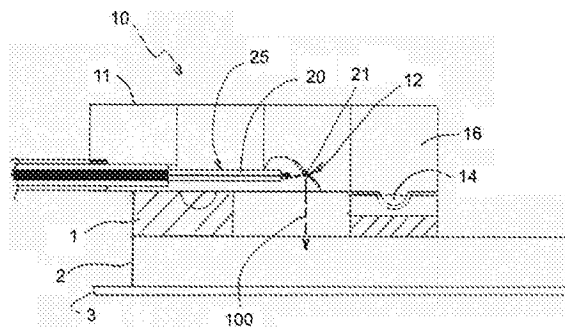
权利要求书1页 说明书6页 附图7页

(54)发明名称

用于光电装置的可拆卸光连接器

(57)摘要

一种在支撑光纤的光具座与光子集成电路(PIC)之间的可重新连接的连接件,包括基座和连接器,连接器配置并构造成可移除地附接以重新连接到与其对准的基座。基座可对准至PIC中的光电元件。基座可相对于光电装置永久附接。光具座可移除地附接到基座。基座和连接器之间的对准通过动态耦合、准动态耦合或弹性平均耦合实现。



1. 一种光具座和光电装置之间的连接结构,包括:
光具座,具有带第一组对准特征的第一本体;
基座,设置在光电装置上,具有带第二组对准特征的第二本体,其中,第一和第二组对准特征形成被动对准耦合,从而允许光具座可移除地附接到光电装置。
2. 如权利要求1所述的连接结构,其中,所述光具座的第一本体通过压印形成,包括压印第一组对准特征。
3. 如权利要求2所述的连接结构,其中,所述基座的第二本体也通过压印形成,包括压印第二组对准特征。
4. 如权利要求1所述的连接结构,其中,所述光具座包括结构反射表面,并支撑与结构反射表面对准的光纤,其中,光学路径经由结构化反射表面限定在光纤和光电装置之间,并且其中,所述被动对准耦合将光具座对准至光电装置,以在连接器到基座的脱离和重新附接期间维持所述光学路径。
5. 如权利要求4所述的连接结构,其中,所述光电装置是光子集成电路。
6. 如权利要求1所述的连接结构,其中,所述被动对准耦合包括动态耦合、准动态耦合和弹性平均耦合中的至少一个。
7. 如权利要求1所述的连接结构,其中,所述基座是光电装置的一体部分。
8. 一种用于提供光具座和光电装置之间的连接的方法,包括:
在光具座的第一本体上提供第一组对准特征;
在光电装置上提供基座;
在基座的第二本体上提供第二组对准特征,其中,第一和第二组对准特征形成被动对准耦合,从而允许光具座可移除地附接到光电装置。
9. 如权利要求8所述的方法,其中,所述光具座的第一本体通过压印形成,包括压印第一组对准特征。
10. 如权利要求9所述的方法,其中,所述基座的第二本体通过压印形成,包括压印第二组对准特征。
11. 如权利要求8所述的方法,其中,所述光具座包括结构反射表面,并支撑与结构反射表面对准的光纤,其中,光学路径经由结构化反射表面限定在光纤和光电装置之间,并且其中,所述被动对准耦合将光具座对准至光电装置,以在连接器到基座的脱离和重新附接期间维持所述光学路径。
12. 如权利要求11所述的方法,其中,所述光电装置是光子集成电路。
13. 如权利要求8所述的方法,其中,所述被动对准耦合包括动态耦合、准动态耦合和弹性平均耦合中的至少一个。
14. 如权利要求8所述的方法,其中,所述基座是光电装置的一体部分。

用于光电装置的可拆卸光连接器

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于2014年5月15日提交的美国临时专利申请No. 61/994097的优先权。该申请的全部内容作为引用并入本文。下面提及的所有出版物作为引用并入本文。

技术领域

[0003] 本发明涉及将光耦合进和耦合出光电装置(例如光子集成电路(PIC)),更具体地涉及光纤到PIC的光学连接。

背景技术

[0004] 光子集成电路将多个电光装置集成进单个芯片中,电光装置是比如激光器、光电二极管、调制器和波导。这些PIC有必要具有到其它PIC的光学连接,通常是光信号通信的组织网络形式。连接距离可从几毫米(芯片到芯片通信)到几千米(长距离应用)。光纤可提供有效连接方法,因为光可在光纤内以十分高的数据传输速率(>25Gbps)在长距离(由于低损失光纤)内通过。

[0005] 光子网络中的最昂贵的部件之一是光纤连接器。对于正确操作,PIC通常需要在外部光纤和片装波导中的一个或多个之间有效地耦合光。大多数PIC要求单模光连接,单模光连接要求光纤和PIC之间严格的对准公差,通常小于1微米。这是有挑战性的,使用主动对准方式将十分多的光纤对准到PIC上的元件,在主动对准方式中,通过机器调节光纤的位置和方位直到在纤维和PIC之间传输的光量最大为止。这是耗时的过程,通常在PIC从晶片切掉并安装在封装件内之后来完成。这将纤维光学连接推迟到生产过程的结尾。一旦完成连接,其是永久的,并且对于将光纤再次安装到PIC的任何愿望在不破坏连接的整体性的情况下,不可拆卸、分离或脱离。换言之,光纤不可移除地附接到PIC和纤维连接,分离是破坏性的且不可逆(即不可重新连接)。

[0006] 有利地,纤维光学连接可以在从晶片切掉分立的PIC之前进行,这通常称为晶片水平附接。集成电路和PIC的制造者通常具有能够进行亚微米对准的昂贵的资本设备(例如测试集成电路的晶片探测器和处理机),而封装芯片的公司一般具有不太能干的机器(通常为几微米对准公差,对于单模装置是不适合的),并经常使用手动操作。然而,在切掉之前将光纤永久附接到PIC是不现实的,因为光纤会变得缠结,在切掉操作和封装过程期间会碍事,并且在PIC被拾放到印刷电路板上然后以高温焊接到PCB时实际上不可能操纵。

[0007] 现有技术试图使用聚合物连接器部件实现严格的对准公差,但是聚合物具有若干功能缺点。首先,它们是弹性适应的,使得它们在外部施加负荷下容易变形。第二,它们的尺寸不稳定,尤其当受到高温(比如存在于计算和网络硬件中的)时会改变尺寸和形状。第三,聚合物的热膨胀系数(CTE)远大于一般用在PIC中的材料的CTE。因此,温度循环导致光纤和PIC上的装置之间的失准。在一些情况下,聚合物不能承受在将PIC焊接在印刷电路板上时使用的处理温度。

[0008] 需要的是一种改进的方法来将光纤的输入/输出光学耦合到PIC,其以减少的成本

改进了公差、可制造性、易用性、功能性和可靠性。

发明内容

[0009] 本发明通过在光具座(例如支撑光纤)和光电装置(例如光子集成电路(PIC)的光栅耦合器)之间提供一种可拆卸/可分离的且可重新连接的连接而克服了现有技术的缺点。新颖连接包括基座和连接器,连接器配置并构造成可移除地附接以重新连接到与其对准的基座。基座可以是光电装置的一体部分(例如PIC封装件的一部分)或附接到光电装置的分离部件。

[0010] 根据本发明的一个实施例,基座一开始附接到光电装置(例如PIC)支撑件(例如壳体)。该基座可以对准至装置中的电光元件。基座可以相对于光电装置永久附接。光具座(例如支撑光纤)经由“可分离的”或“可拆卸的”或“可脱离”的动作可移除地附接到基座,该动作沿期望光学路径将光具座中的光学部件/元件精确地光学对准至光电装置。根据本发明,可拆卸的连接器支撑光具座或是光具座的一部分。对于每次连接、断开和重新连接,为了维持光学对准,该连接器需要精确地和准确地对准至基座。在本发明的一个实施例中,连接器和基座使用由两个本体上的几何特征构成的被动机械对准彼此对准。

[0011] 在另一实施例中,本发明提供了一种用于使用动态耦合(kinematic coupling)、准动态耦合(quasi-kinematic coupling)或弹性平均耦合(elastic-averaging coupling)的被动对准的结构和方法。一个方法是连接器和基座之间六个接触点的动态耦合。六个点是刚性体静力平衡所必要的最小值,并且因此提供了本体之间确定性的和可重复的对准。在界面处提供额外刚度并减少对连接器的弯曲刚度的依赖性的替代方法是使用准动态方法,其添加额外接触点或用接触线代替接触点。额外接触点和接触线以可重复性的最适度降低增加了界面的刚度。在该实施例中,接触在两个本体之间的更大区域上扩展,并使连接器的弯曲模式变硬。第三实施例使用许多(可能几百或几千)接触点或在尽可能多的区域上扩展的小表面(例如四面的)最大化了界面的刚度。这要求精确定位匹配表面以及表面的形状和尺寸的更严格的公差。然而,这可以超高精度压印完成。

[0012] 在本发明的另一方面中,基座和连接器上的被动对准特征可以通过精确压印一体地/同时形成,这允许以大体积或小体积经济地生产部件,同时改进公差、可制造性、易用性、功能性和可靠性。另外,基座和连接器(例如微光具座(MOB))中的任一或两者可以通过高精度压印精确地形成。基座和/或光具座部件应当由可压印材料制成,比如韧性金属,诸如Kovar、Invar、不锈钢、铝。光具座和基座应当具有类似的热膨胀系数(CTE),使得在温度循环期间不会发生失准,且不会产生应力/应变。

附图说明

[0013] 为了全面理解本发明的属性和优点以及优选实施例,结合附图参考下面的详细描述。在附图中,相同的参考标号表示附图中的相同或类似的零件。

[0014] 图1A和1B示出根据本发明的一个实施例的光连接器。

[0015] 图2A至2D示出将光连接器耦合到光电装置的基座。

[0016] 图3A至3C示出被动对准耦合的各实施例。

[0017] 图4A至4G示出连接器直接被动对准耦合至光电装置的封装件的替代实施例。

具体实施方式

[0018] 下面参考附图关于各实施例来描述本发明。尽管在实施本发明的目的的最佳实施方式方面描述了本发明,但是本领域技术人员应明白,在不脱离本发明的精神或范围的情况下,考虑到这些教导,可以完成变型例。

[0019] 本发明提供了一种新颖方法来在光具座(例如支撑光纤)和光电装置(例如光子集成电路(PIC)的光栅耦合器)之间耦合光。该新颖连接包括基座和连接器,连接器配置并构造造成可移除地附接以重新连接到与其对准的基座。

[0020] 参考PIC作为光电装置、光具座作为光耦合装置(连接器)的示例来讨论本发明的理念,以将支撑在光具座上的光学部件(例如光纤)的输入/输出端与光电装置光学耦合。本发明可用于提供在其它领域中使用的可移除的/可重新连接的形式结构和元件。

[0021] 图1A-1B示出光连接器10形式的光学耦合装置,其合并了与光纤形式的光学部件连接的微光具座11。光纤缆线22具有由保护缓冲和护套层23保护的四个光纤20。连接器10包括基底16,其限定出结构化特征,该结构化特征包括对准结构,该对准结构包括敞开沟槽25和结构化反射表面12(即四个反射器),敞开沟槽用于保持光纤20的裸露部分(使覆层暴露,不具有保护缓冲和护套层23),结构化反射表面具有关于基底16的较大平面以一角度倾斜的平面。每个结构化反射表面12可具有平坦的凹形或凸形表面轮廓和/或具有对应于下列等同光学元件中的至少一个的光学特性:反射镜、聚焦透镜、发散透镜、衍射光栅或其组合。结构反射表面12可具有复合轮廓,其限定出对应于不同等同光学元件的多于一个的区域(例如由发散的环形区域围绕的聚焦的中心区域)。在一个实施例中,结构反射表面12可具有凹的非球面反射表面轮廓,其充当反射和再成形(例如准直或聚焦)发散入射光的两个功能,而不需要透镜。相应地,每个结构化反射表面12充当通过来自/到光纤20的输出/输入端21的反射沿限定光学路径100(图1C中示意性示出)将光引导至外部光学部件(在该情况下是光电部件,比如光子集成电路(PIC)2)或引导来自外部光学部件的光的光学元件,限定光学路径对准到各光学部件和元件(即,光纤20、结构化反射表面12和PIC 2)的光轴。

[0022] 敞开沟槽25的尺寸做成接收光纤20的端部,并定位成沿光学路径100相对于结构化反射表面12对准地精确定位光纤20的端部。每个光纤20的端面21(输入/输出端)相对于对应结构化反射表面12维持在预定距离处。

[0023] 在本发明的另一方面中,光连接器中的反射镜/结构化反射表面和光纤对准结构可以通过精确压印原材料(例如金属坯或条)一体地/同时形成,这允许以大体积或小体积经济地生产连接器部件,同时改进公差、可制造性、易用性、功能性和可靠性。通过在相同的单个最终压印操作中同时形成结构反射表面、被动对准特征(下面讨论)和光纤对准结构,可以在最终压印步骤中维持要求在相同工件/零件上对准的所有特征的尺寸关系。代替利用冲床的单个冲击以在光具座上形成所有特征的冲压操作,可设想的是,可以实施多次冲击以在光具座上逐步预形成某些特征,利用最终冲击同时限定光具座上的各结构化特征的最终尺寸、几何形状和/或光洁度,包括需要保证(在保证方面有重要作用)相应部件/结构沿设计光学路径的恰当对准的反射镜、光纤对准结构/沟槽等。

[0024] 本发明的受让人nanoPrecision Products, Inc.开发了各种拥有的光学耦合/连接装置,具有与光学数据传输一起使用的光具座。更确切地,本发明涉及将光纤可拆卸地/

可重新连接地耦合到PIC中的光栅耦合器,同时采用压印光具座的类似理念,包括在较早光学耦合装置中实施的压印的反射镜。

[0025] 例如,US2013/0322818A1公开了一种具有用于发送光学数据信号的压印结构化表面的光学耦合装置,尤其是一种用于发送光学信号的光学耦合装置,包括基底;限定在基底上的结构化表面,其中,结构化表面具有再成形和/或反射入射光的表面轮廓;以及限定在基底上的对准结构,构造有表面特征以便于与结构化表面对准地将光学部件定位在基底上,以允许光沿结构化表面和光学部件之间的限定路径传输,其中,结构化表面和对准结构通过压印基底的可选材料一体地限定在基底上。

[0026] US2013/0294732A1还公开了一种具有集成光学元件的密封光纤对准组件,尤其是一种包括套圈部分的密封光纤对准组件,套圈部分具有接收光纤的端部的多个沟槽,其中,沟槽相对于套圈部分限定出端部的位置和方位。该组件包括用于将光纤的输入/输出耦合至光电模块中的光电装置的集成光学元件。光学元件可以是结构化反射表面的形式。光纤的末端位于结构化反射表面的限定距离处,并与结构化反射表面对准。结构化反射表面和纤维对准沟槽可以通过压印形成。

[0027] 美国专利申请No.14/695,008还公开了一种光学通信模块中使用的发送光学信号的光学耦合装置,尤其是一种在基底上限定结构化表面和限定在基底上的对准结构的光学耦合装置,结构化表面具有再成形和/或反射入射光的表面轮廓,对准结构构造有表面特征以便于与结构化表面光学对准地将光学部件定位在基底上,以允许光沿结构化表面和光学部件之间的限定路径传输。结构化表面和对准结构通过压印基底的可选材料一体地限定在基底上。对准结构便于与结构化表面的光学对准被动对准基底上的光学部件,以允许光沿结构化表面和光学部件之间的限定路径传输。结构化表面具有反射和/或再成形入射光的反射表面轮廓。

[0028] 美国专利No.7,343,770公开了一种新颖的精密压印系统,用于制造小公差零件。这种创造性压印系统可在各种压印过程中实施,以生产上述nanoPrecision专利文件中公开的装置,并可类似地实施以生产本文公开的结构(包括用于上面讨论的光具座11的结构,以及下面讨论的基座1的结构)。这些压印过程涉及压印松散材料(例如金属坯或原材料)以在紧(即小)公差下形成最终表面特征,包括与其它限定表面特征精确对准的具有期望几何形状的表面。

[0029] 本质上,对于光连接器10,基底16限定光具座11,用于相对于结构化反射表面12对准光纤20。与试图基于限定在分离零件或结构上的特征实现类似对准相比,通过在还限定出结构化反射表面12的相同的单个结构上包含沟槽25,可以通过单个最终压印以相对更小的公差精确地实现光纤20的端部21到结构化反射表面12的对准,以同时在单个零件上限定最终结构。通过在相同的单个最终压印操作中同时形成结构反射表面12和光纤对准结构/沟槽25,可以在最终压印步骤中维持要求(或提供)在相同工件/零件上对准的所有特征/部件的尺寸关系。

[0030] 光具座11的总体功能结构一般类似于nanoPrecision的上面较早专利文件公开的光具座实施例的一些结构(即,与结构化反射表面对准的纤维对准沟槽,以及额外特征以便于恰当光学对准)。然而,在本发明中,光具座压印被动对准特征。在图1A和1B的视图中,机械基准或对准特征14形成在基底16的平面表面15上,这便于相对于PIC 2对准和/或精确定

位光具座11,如下面稍后解释的。

[0031] 图2A至2D示出基座1的存在,充当与光连接器10中的光具座11机械耦合的连接器本体,以使光具座11与PIC 2光学对准。基座1在精确的位置处附接至PIC 2的顶表面,使得当连接器10连接到基座1时,光具座11会与下面的PIC 2中的电光部件光学对准。优选地,在切掉过程之前,基座1在晶片高度处一开始附接到PIC 2。基座1可以使用精密机器对准至PIC 2上的元件,然后经由环氧树脂或焊料永久连接到PIC。基座1在切掉和封装过程期间保持附接到PIC 2。然后,封装的模子使用常规PC组装方法(例如拾取和波动焊接)安装在印刷电路板3(PCB)上。这要求基座在焊接操作期间能够承受高温。

[0032] 基座具有沟槽,匹配/补充连接器10下的对准特征14。这方面会在下面参考附图3A至3C关于被动对准方法来讨论。

[0033] 参见图2B,在板上组装PCB 3之后(其它项目未在图2A中标出),由光连接器10支撑的光纤缆线24可经由“可分离的”、“可拆卸的”、“可脱离的”或“可重新附接的”动作可移除地附接至基座1或从永久安装在PIC 2上的基座1脱离,该动作使光纤末端与PIC 2上的有源电光元件精确地对准。图2D是示出图2C的状态的剖面图,其中,连接器10附接到支撑在PCB 3上的PIC 2上的基座1。基座1和光具座11可以通过恰当的偏置装置维持在耦合状态,以保持光具座11/连接器10抵靠基座1。例如见图4A至4G的实施例。

[0034] 本发明可使用不同实施例来将连接器(光具座)对准至基座。根据本发明,连接器10和基座1使用由两个本体中的几何特征构成的被动机械对准彼此对准。本发明提供了一种用于使用动态耦合、准动态耦合或弹性平均耦合的对准的结构和方法,每个耦合具有不同构造的互补的被动对准特征。图3A至3C示出采用各种耦合方法的被动对准的各实施例。

[0035] 图3A示出第一方法,其是在光具座11和基座1之间具有六个接触点的动态耦合。图3A类似于图1和2所示的实施例。在表面15上有三个半圆形突起14,在基座1的顶表面上有三个互补沟槽6(可具有大致V形横截面)。沟槽6在从基座1的中心放射的方向上。六个点是刚性体静力平衡所必要的最小值,并且因此提供了本体之间确定性的和可重复的对准。由于仅有六个接触点,所以有最小的可能性使光具座11和基座1的匹配表面之间的颗粒影响对准。缺点是,两个本体之间的界面的刚度取决于六个点处的赫兹接触。而且,光具座11的未直接接近接触点的部分仅通过光具座11的弯曲刚度而变硬。

[0036] 图3B示出在界面处提供额外刚度并减少对光具座11'的弯曲刚度的依赖性的替代方法。该方法使用准动态耦合,其添加额外的接触点或用接触线代替接触点。在该实施例中,更多的半圆形突起设置在光具座11'的表面15'上,更多的V沟槽6'设置在基座1的顶表面上。额外的接触点和接触线以可重复性的最适度降低增加了界面的刚度。在该实施例中,接触在两个本体之间的更大区域上扩展,并使光具座11'的弯曲模式变硬。

[0037] 图3C是第三实施例,弹性平均耦合,其使用许多(可能几百或几千)接触点或在尽可能多的区域上扩展的小表面(例如四面的)最大化了界面的刚度。该实施例要求精确定位匹配表面以及表面的形状和尺寸的更严格的公差。然而,这可利用超高精度压印基座1"的顶表面(具有许多接触点(例如四面的))和光具座11"的顶表面15"(具有接触点(例如四面的))来完成。

[0038] 基座和连接器(例如光具座)任一或两者(包括被动对准特征)可以通过高精度压印而精确地形成。基座和/或光具座部件应当由可压印材料制成,比如韧性金属,诸如

Kovar、Invar、不锈钢、铝。如果环氧树脂用于附接至PIC的基座，则随后的处理温度不应当超过环氧树脂的温度极限。基座到光具座的焊料附接可提供更高的处理温度。光具座和基座应当具有类似的热膨胀系数(CTE)，使得在温度循环期间不会发生失准，且不会产生应力/应变。

[0039] 根据本发明，压印是成本有效的手段以对于PIC的商用而言必要的大体积经济地制造这些耦合的几何特征。

[0040] 本发明的预期商业用途之一在光电收发器的领域。

[0041] 图4A至4G示出光具座直接可移除地/可重新连接地耦合到基座的另一实施例(涉及被动对准)，基座是PIC封装件的一体部分(即，封装件包括表面对准特征，因此类似于上述实施例中的“基座”发挥作用)。

[0042] 图4A示出连接到具有盖152的大外壳155内的SiPIC封装件102的两个跳线光纤缆线。图4B示出光具座/连接器和SiPIC封装件在外壳155内的组装结构，部件由夹具保持在一起。图4C示出与PIC壳体分离的连接器110之一。图4D和4E示出连接器110，在其中限定有光具座111。光纤20通过连接器110中的光具座11支撑和对准。

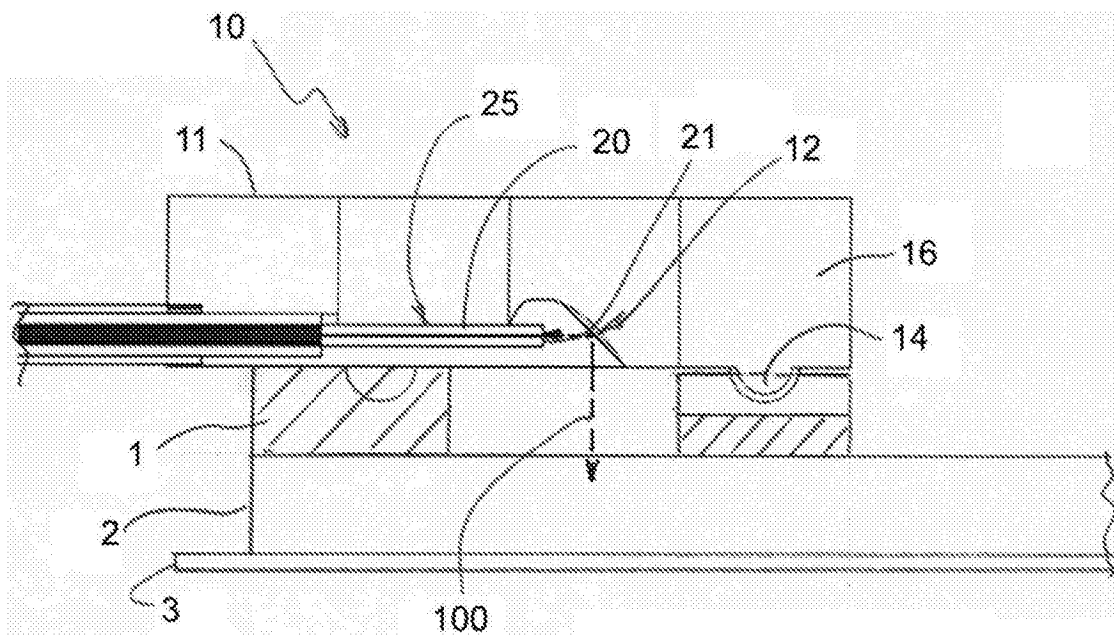
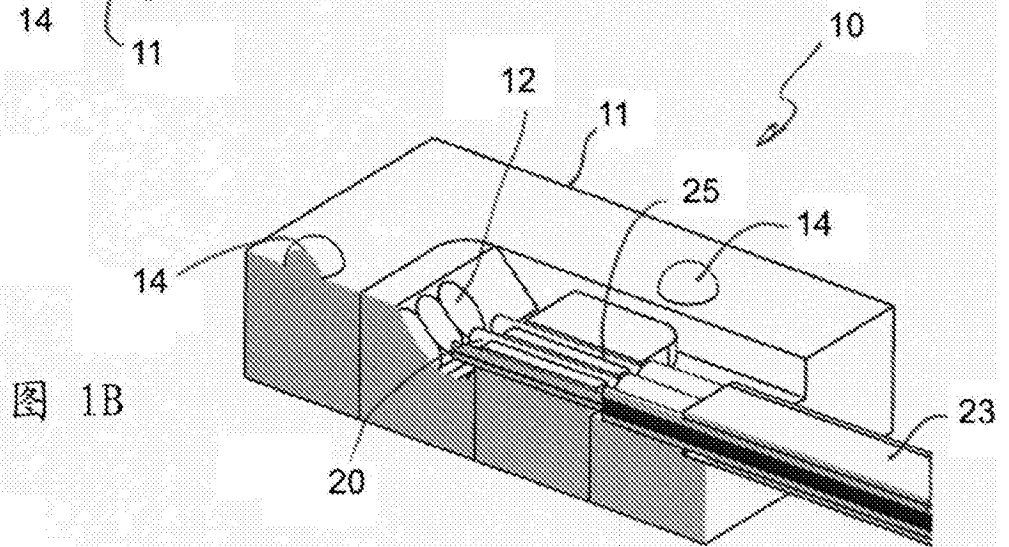
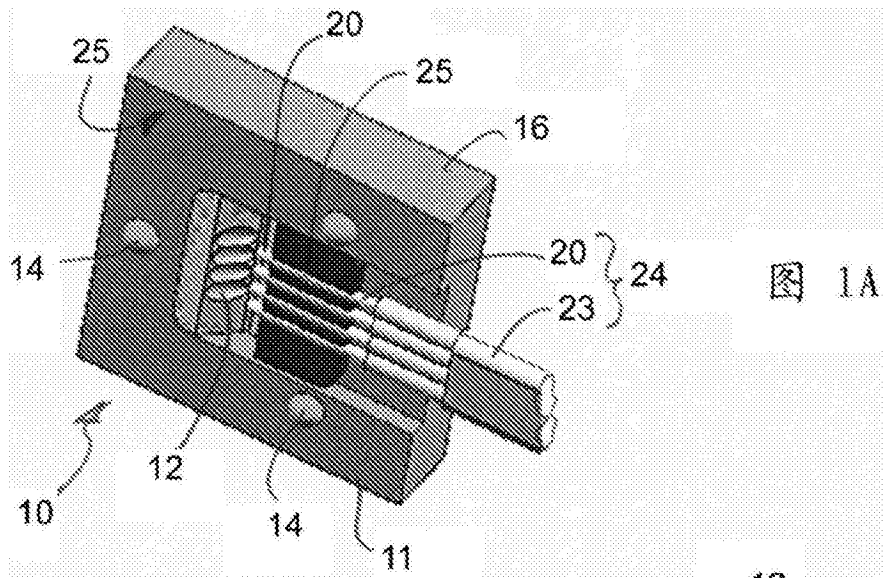
[0043] 参见图4F和4G，SiPIC封装件102包括用于光栅耦合器70的区域。对准特征包括在SiPIC封装件102上邻近前边缘光栅耦合器区70的齿排51，充当S位置对准。三个止动件52(凹陷)以三角形方式分布在顶表面115上，靠近光栅耦合器区70的横向边缘和后边缘，充当Y位置对准。两个凹口53(位于SiPIC封装件102的两侧)充当Z位置对准。参见图4D和4E，连接件110上的互补对准特征包括X位置控制齿61、三个Y位置控制垫62和两个Z位置控制卡扣件63(例如弹簧夹)。可通过将连接器110夹持和卡扣到图4G所示区域而将连接器110耦合到SiPIC封装件102，其中，控制垫62会装配在止动件52中，控制齿61啮合在齿51上，卡扣件63的延伸顶端在凹口中卡扣到位。这在连接器110和SiPIC封装件102之间形成可移除/可重新连接的耦合，这依靠上述对准特征的被动对准。

[0044] SiPIC封装件的上述对准特征可以通过硅蚀刻形成。连接器110/光具座111可以通过压印形成，如上面的实施例所讨论的。

[0045] 讨论的光具座具有用于光学对准的结构化特征，可以通过压印形成。与试图基于限定在分离元件或结构上的特征实现类似对准相比，通过在相同的单个结构(还限定出光具座上的结构化反射表面12)上包含上面讨论的被动对准特征(14、14' 或14'')，可以通过单个最终压印同时在单个元件上限定最终结构以相对更小的公差更加精确地实现光纤20的端部21到PIC 2和SiPIC 102的光学对准。通过在相同的单个最终压印操作中在光具座上与结构化特征的其余部分同时形成对准特征，可以在最终压印步骤中维持要求(或者在提供方面有重要作用)在相同工件/元件上对准的所有特征/部件的尺寸关系。

[0046] 被动对准耦合允许连接器经由基准可脱离地耦合到PIC。连接器可从基座脱离，并可重新附接到基座，而不会损害光学对准。

[0047] 尽管参考优选实施例示出和描述了本发明，但是本领域技术人员应理解，在不脱离本发明的精神、范围和教导的情况下，可以进行各种形式和细节的改变。相应地，公开的发明仅考虑为示例性的，其范围仅由权利要求书中指定的限定。



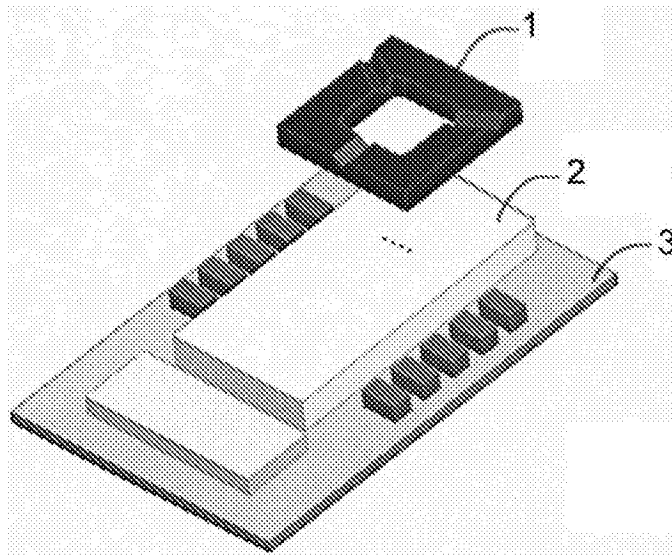


图2A

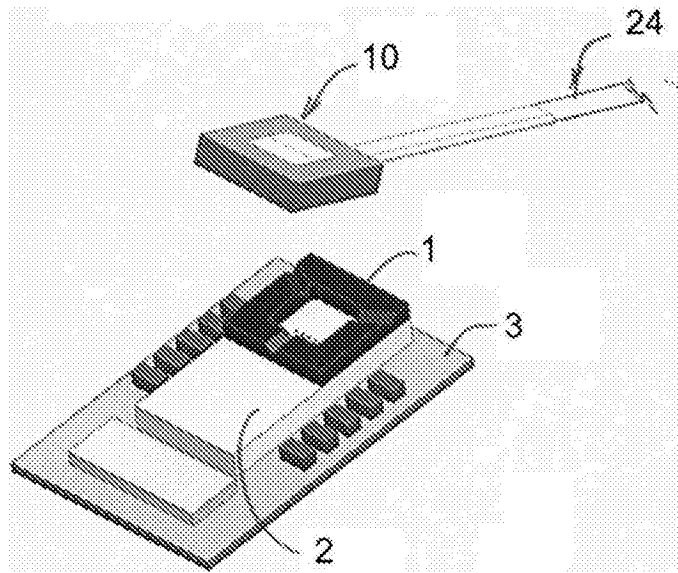


图2B

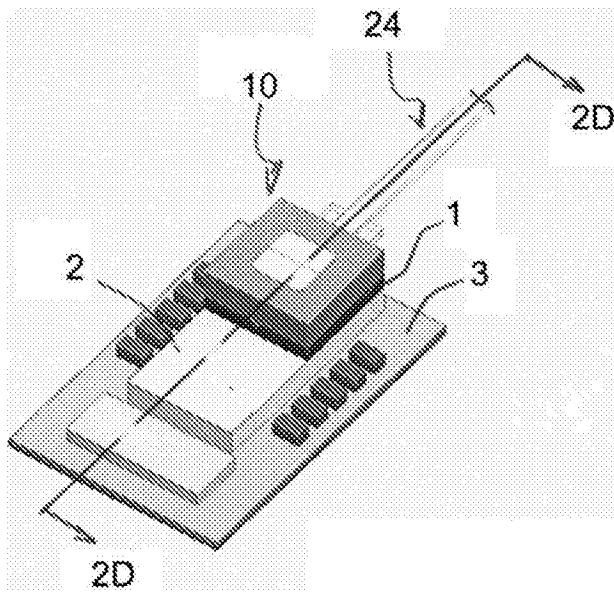


图2C

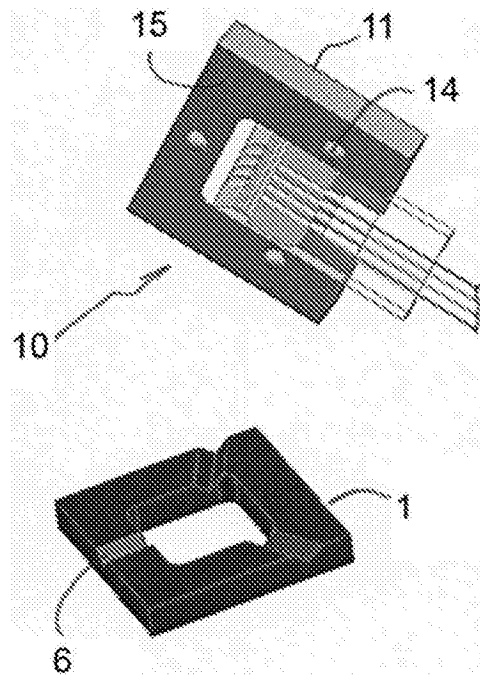


图3A

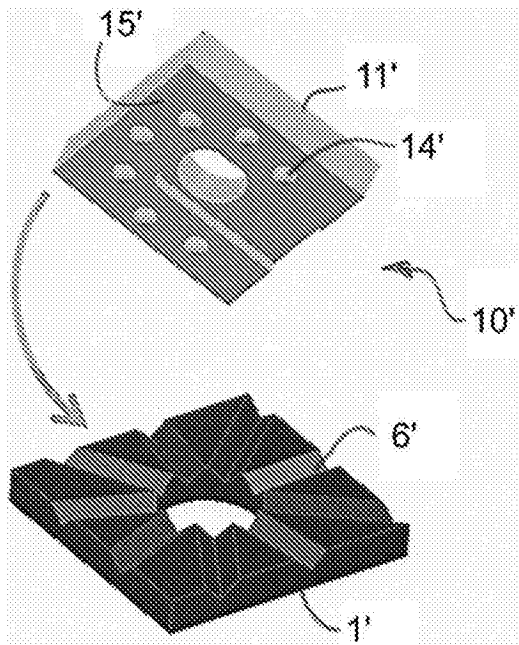


图3B

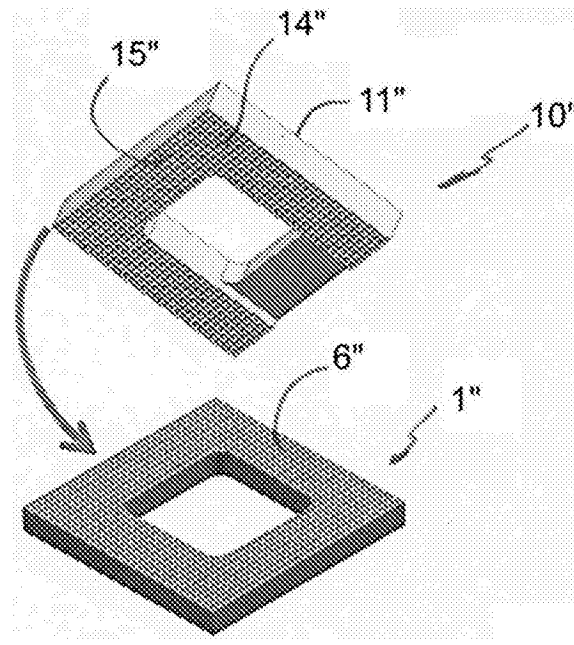


图3C

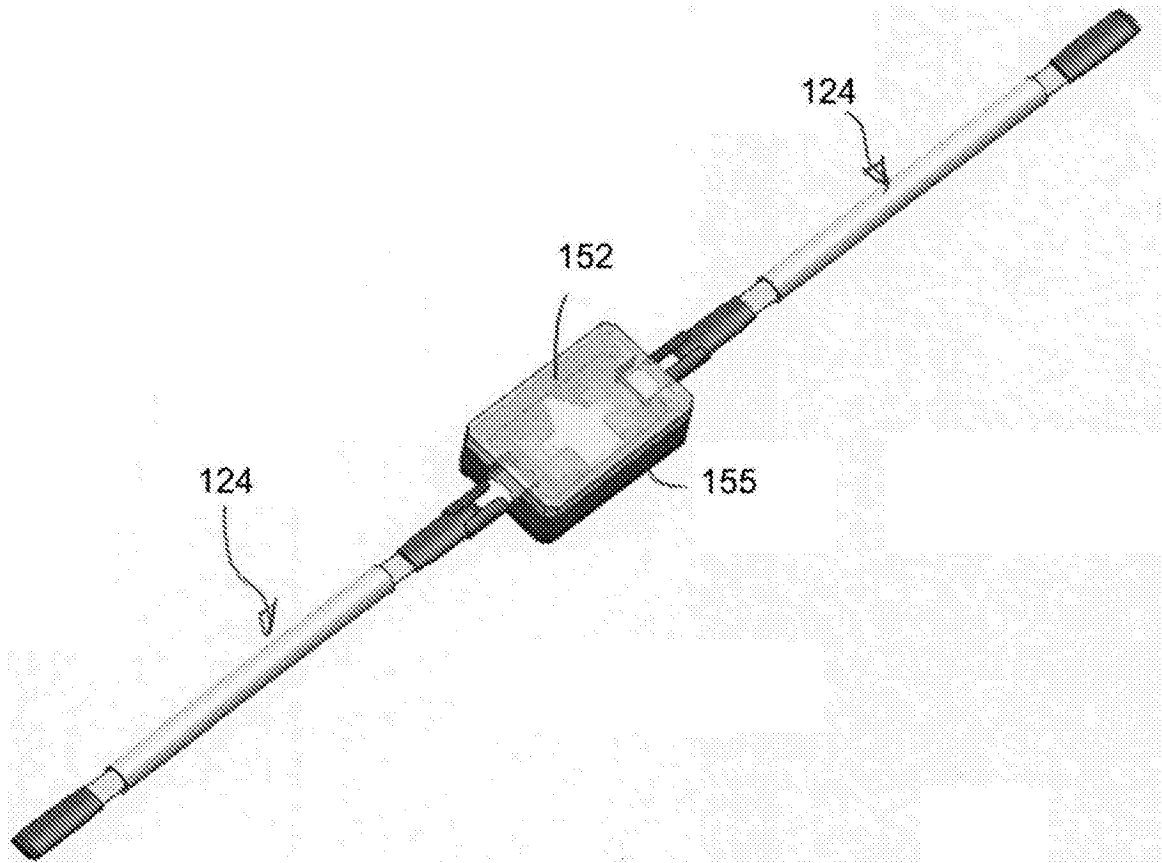


图4A

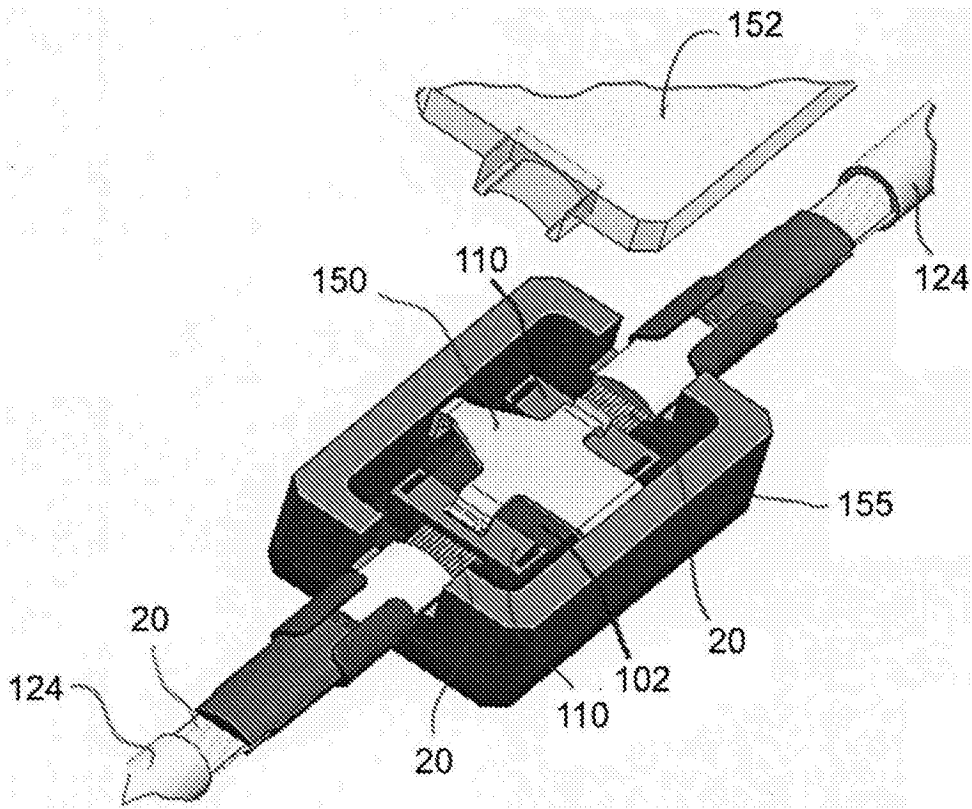


图4B

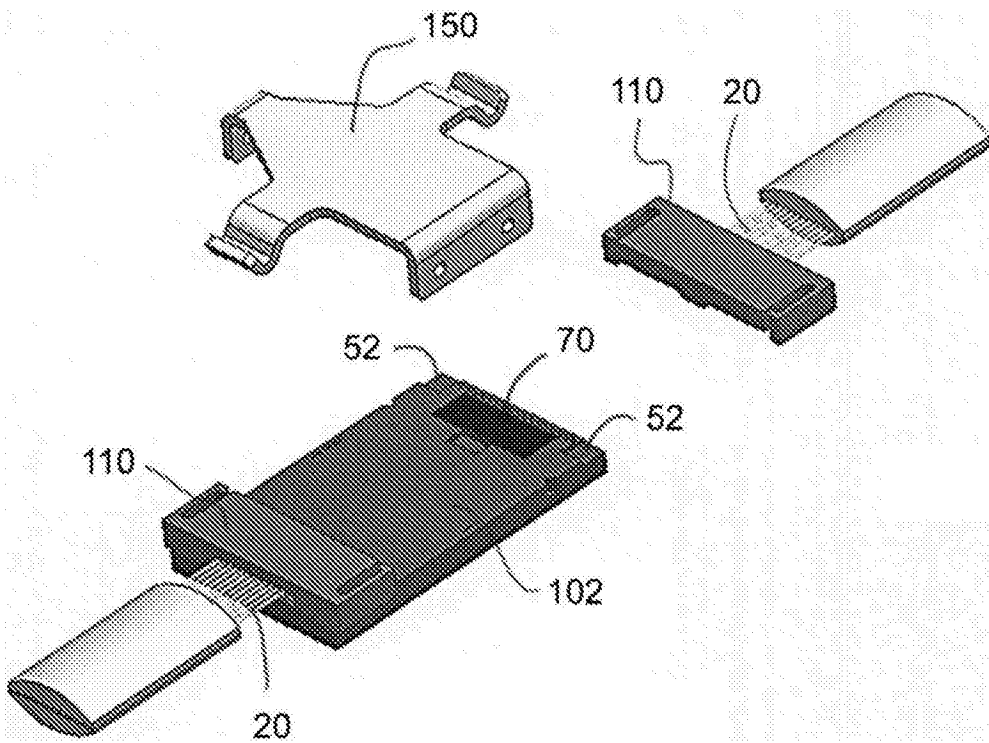


图4C

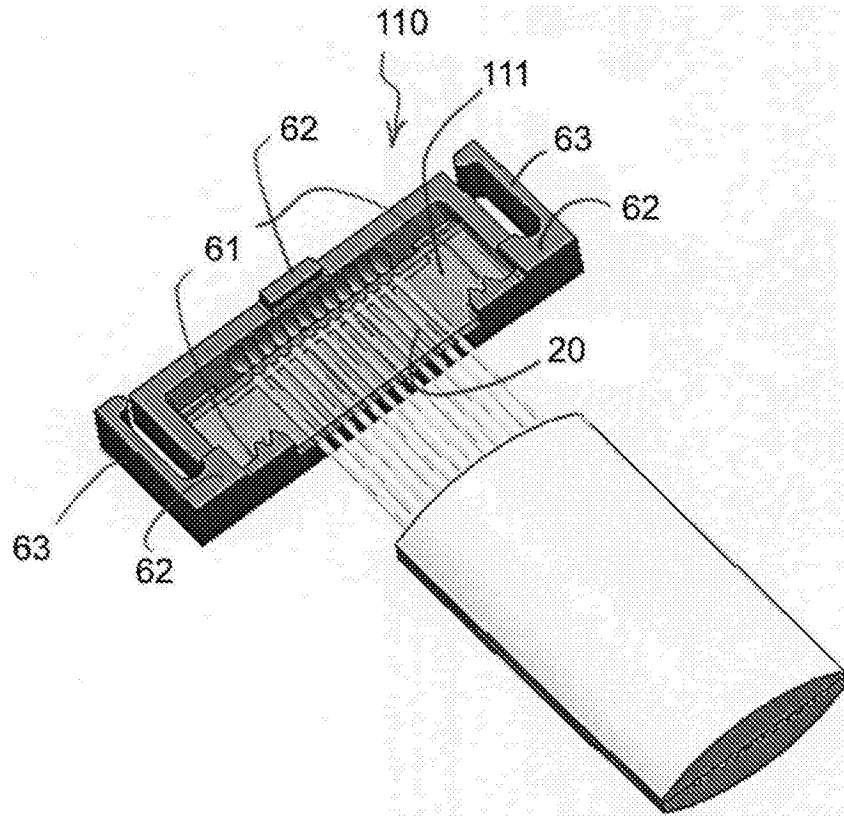


图4D

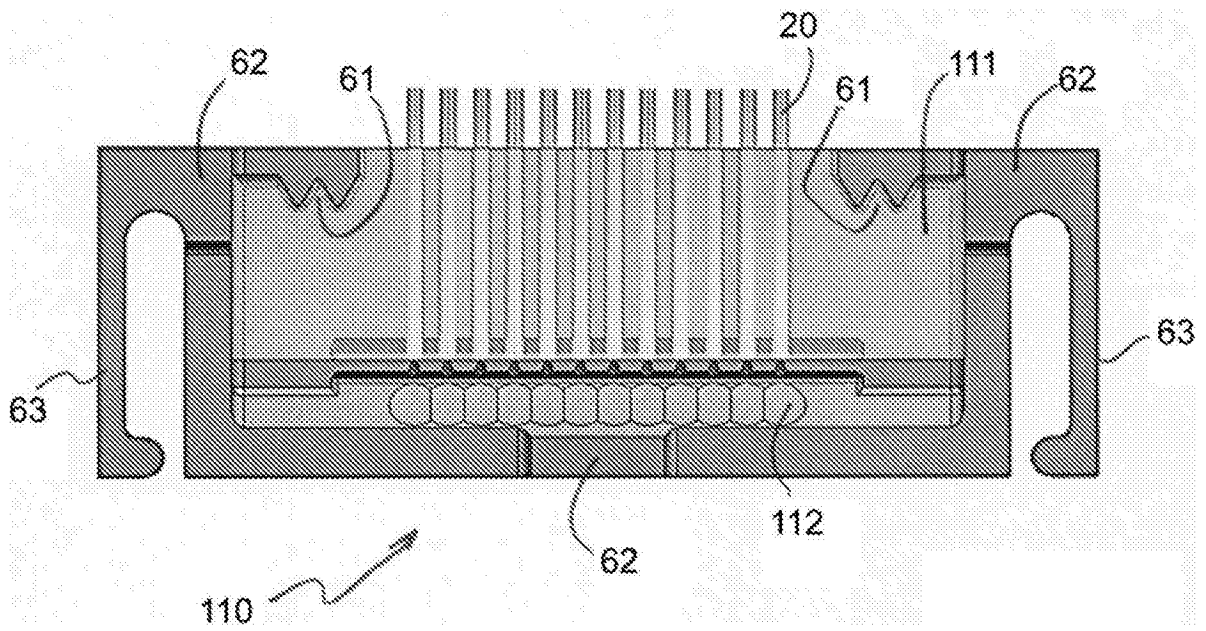


图4E

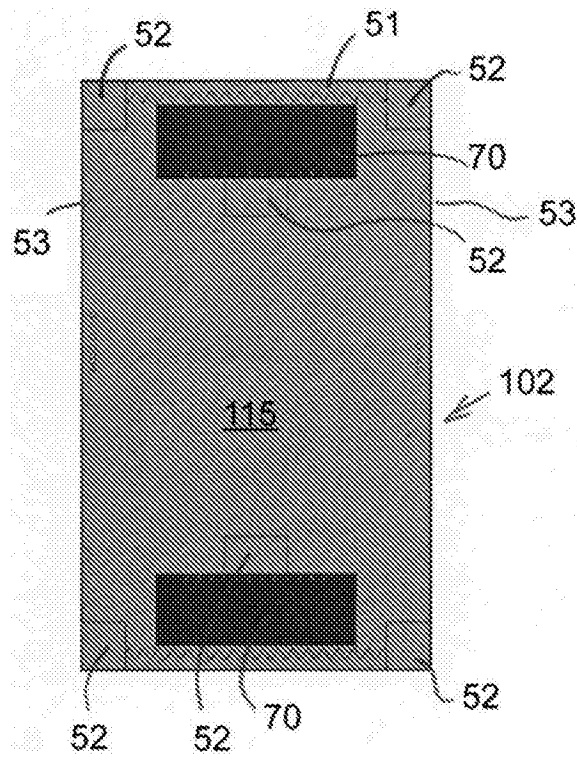


图4F

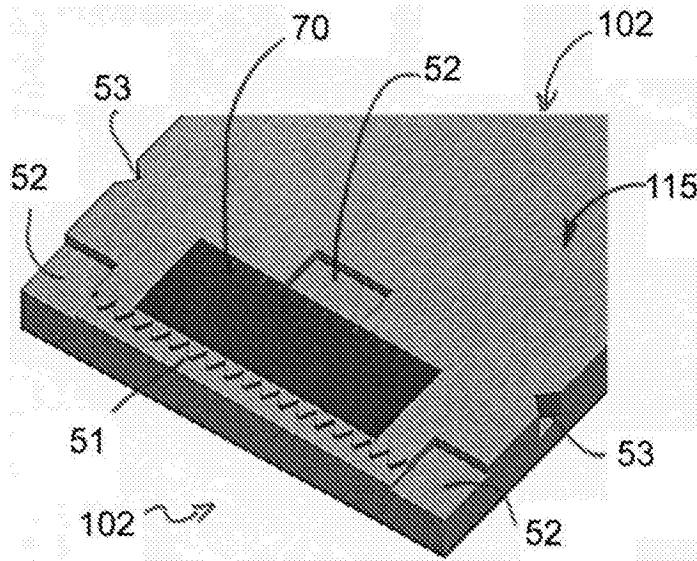


图4G