

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102047163 A

(43) 申请公布日 2011. 05. 04

(21) 申请号 200980120904. 5

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2009. 05. 14

G02B 6/42 (2006. 01)

(30) 优先权数据

61/130, 482 2008. 05. 30 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010. 11. 29

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2009/002989 2009. 05. 14

(87) PCT申请的公布数据

W02009/148492 EN 2009. 12. 10

(71) 申请人 康宁股份有限公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 B·R·赫曼维 K·W·科奇

J·G·伦弗罗

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公

司 31100

代理人 张宜红

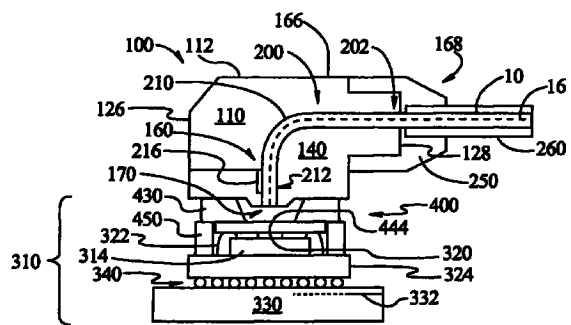
权利要求书 3 页 说明书 10 页 附图 8 页

(54) 发明名称

使用光子带隙光纤的光纤组件

(57) 摘要

一种光纤组件具有至少一个光子带隙光纤和光电子设备，它们被耦合到任一末端处的至少一个光纤。光电子设备用作电光 (EO) 和光电 (OE) 转换器，并且向各个电子设备提供工业标准电学接口。光子带隙光纤具有中空的芯，使得光穿过空气而非玻璃穿行着，由此提供了比用于连接电子设备的基于玻璃的光纤组件更佳的诸多优点。也揭示了一种弯曲的光纤耦合器，用于上述光纤组件中。



1. 一种光纤组件,用于光学地连接第一和第二电学设备,所述光纤组件包括:
至少一个光子带隙光纤;

第一和第二光电子设备,所述第一和第二光电子设备在其各个末端处分别耦合到所述至少一个光子带隙光纤,并且被配置成执行电光 (EO) 和 / 或光电 (OE) 转换;以及

第一和第二电学接口,所述第一和第二电学接口可操作地相对于第一和第二光电子设备而设置,并且被配置成向第一和第二电学设备提供各个电连接。

2. 如权利要求 1 所述的光纤组件,其特征在于,
所述至少一个光子带隙光纤包括排列在条带中的多个光子带隙光纤。

3. 如权利要求 1 所述的光纤组件,其特征在于,
所述至少一个光子带隙光纤具有中空的芯。

4. 如权利要求 1 所述的光纤组件,其特征在于,
所述至少一个光子带隙光纤的至少一个末端包括具有弯曲的光纤耦合器。

5. 如权利要求 4 所述的光纤组件,其特征在于,
所述弯曲是直角弯曲。

6. 如权利要求 4 所述的光纤组件,其特征在于,所述光纤耦合器包括:
具有凹面的上光纤对准构件;

下光纤对准构件,所述下光纤对准构件具有用于定义耦合器输出末端的底面以及凸面,下光纤对准构件和上光纤对准构件被安排成形成第一光纤引导通道,所述第一光纤引导通道定义了第一耦合器输入 / 输出 (I/O) 末端、通道末端以及由所述凸面和凹面限定的中心曲线;以及

其中,所述至少一个光子带隙光纤的末端部分具有近端端面,同时所述至少一个光子带隙光纤的至少一部分被固定在所述第一光纤引导通道之内,以便在与所述中心曲线相对应的至少一个光子带隙光纤中形成一中心弯曲,并且使光纤端面定位于下光纤对准构件的底面处或附近从而定义第二耦合器 (I/O) 末端。

7. 如权利要求 6 所述的光纤组件,其特征在于,

下光纤对准构件包括第二光纤引导通道,所述第二光纤引导通道位于第一光纤引导通道末端附近并且朝着底面打开,还被配置成固定光纤末端部分。

8. 如权利要求 1 所述的光纤组件,其特征在于,
第一和第二光电子设备中的至少一个包括垂直腔面发射激光器 (VCSEL)。

9. 如权利要求 1 所述的光纤组件,其特征在于,

第一和第二光电子设备中的至少一个包括至少一个有效表面,并且还包括:

对准结构,所述对准结构被设置在光纤光缆与所述至少一个有效表面之间,还被配置成提供在所述至少一个光子带隙光纤和所述至少一个有效表面之间的光学对准。

10. 一种弯曲的光纤耦合器,包括:具有凹面的上光纤对准构件;

下光纤对准构件,所述下光纤对准构件具有用于定义耦合器输出末端的底面以及凸面,下光纤对准构件和上光纤对准构件被安排成形成第一光纤引导通道,所述第一光纤引导通道定义了第一耦合器输入 / 输出 (I/O) 末端、通道末端以及由所述凸面和凹面限定的中心曲线;以及

至少一个光子带隙光纤,这种光纤的末端部分具有近端端面,至少一个光子带隙光纤

的至少一部分被固定在第一光纤引导通道之内,以便在与所述中心曲线相对应的至少一个光子带隙光纤中形成一种弯曲,并且使光纤端面定位于下光纤对准构件的底面处或附近从而定义第二耦合器 I/O 末端。

11. 如权利要求 10 所述的耦合器,其特征在于,

下光纤对准构件包括第二光纤引导通道,所述第二光纤引导通道位于第一光纤引导通道末端附近并且朝着底面打开,还被配置成固定光纤末端部分。

12. 如权利要求 10 所述的耦合器,其特征在于,
所述凸面和凹面中的至少一个包括直角弯曲。

13. 如权利要求 10 所述的耦合器,其特征在于,

所述至少一个光子带隙光纤被一外套围绕着,所述耦合器还包括:

应变消除构件,所述应变消除构件被安排在第一耦合器 I/O 末端处以便围绕着所述外套,从而向所述至少一个光子带隙光纤提供应变消除。

14. 如权利要求 10 所述的耦合器,其特征在于,

上光纤对准构件包括模制的基板和固化的粘合剂中的至少一个。

15. 如权利要求 10 所述的耦合器,其特征在于,

下光纤对准构件包括模制的基板。

16. 如权利要求 8 所述的光纤组件,其特征在于,

所述至少一个光子带隙光纤具有一直径,并且,其中,所述至少一个光子带隙光纤中的弯曲所具有的最小中心弯曲半径是所述直径的四倍。

17. 如权利要求 10 所述的耦合器,还包括:

划分器构件,所述划分器构件被安排在第一光纤引导通道内以将其划分成多个通道,所述多个通道中的每一个包含至少一个光子带隙光纤。

18. 一种用于形成光学耦合器的方法,包括:

提供至少一个光子带隙光纤,这种光纤的末端部分具有近端端面;

使至少一个光子带隙光纤固定在上光纤对准引导件和下光纤对准引导件的各个凹面和凸面之间,从而在至少一个光子带隙光纤中形成一种弯曲。

19. 如权利要求 18 所述的方法,其特征在于,

所述弯曲并不引起大于 1dB 的衰减。

20. 如权利要求 18 所述的方法,还包括:

使下对准引导件的凹面之上的至少一个光子带隙光纤弯曲;

将可固化的粘合剂层施加到所述凹面和至少一个光子带隙光纤以形成上对准构件;以

及

使可固化的粘合剂层固化。

21. 如权利要求 18 所述的方法,还包括:

使光纤近端端面光学地耦合到第一光电子设备。

22. 如权利要求 21 所述的方法,其特征在于,

所述至少一个光子带隙光纤具有远端端面,并且所述方法还包括使所述远端端面光学地耦合到第二光电子设备。

23. 一种用于光学地连接第一和第二电学设备的方法,包括:

提供至少一个光子带隙光纤,这种光纤具有中空的芯以及第一和第二末端;

将第一和第二光电子设备连接到至少一个光子带隙光纤的第一和第二末端,其中,第一和第二光电子设备被配置成执行电光(EO)和/或光电(OE)转换;以及

相对于第一和第二光电子设备而可操作地放置第一和第二电学接口,以便提供在第一和第二光电子设备以及第一和第二电学设备之间的各个电连接。

24. 如权利要求 23 所述的方法,其特征在于,

所述连接包括提供至少一个连接器,这种连接器被配置成固定所述至少一个光子带隙光纤,使得所述至少一个光子带隙光纤具有一种弯曲。

25. 如权利要求 23 所述的方法,还包括:

提供多个光子带隙光纤,这些光子带隙光纤被安排在光纤缆线中或被安排在一排或多排光纤带中。

使用光子带隙光纤的光纤组件

[0001] 有关申请的交叉参照

[0002] 本申请要求 2008 年 5 月 30 日提交的美国专利申请 61/130,482 的优先权,其内容与本文相关且全部引用在此作为参考。

技术领域

[0003] 本发明一般涉及光纤组件,尤其涉及使用一个或多个光子带隙光纤的光纤组件。

背景技术

[0004] 在过去,各种电子设备通过电连接与其它电子设备进行通信。因为需要向电通信链路提供更大的速度和带宽,所以已开发了不同类型的高速、高带宽电缆,比如同轴电缆。

[0005] 现在,随着更高的数据和视频传输速度标准的出现(比如 10Gb/s 以太网、无穷大频带、高分辨率多媒体接口(HDMI)和 USB 3.0),越来越需要使用光纤光缆在各电子设备之间进行通信。使用这种缆线就需要在缆线的每个末端处进行电光(EO)和光电(OE)转换,以对这种 EO/OE 系统的任一末端处的用户保留纯粹的电学接口。

[0006] 尽管常规的光纤具有比电缆大的带宽,但是它们也具有许多缺点。第一个缺点是:它们具有固体玻璃芯,这种玻璃芯会产生一个或多个玻璃-空气界面,这种界面会引起反射。这种反射会引入光损耗,也会产生不想要的光反馈。当使光纤与用于执行 EO 或 OE 转换的光电器件相接时,玻璃-空气界面通常也需要耦合光学器件。

[0007] 第二个缺点是:它们不是特别能耐受弯曲,即,它们在经受严重的弯曲(比如使其弯曲半径为 2" 或更小)时可能被破坏和/或可能使在光纤中穿行的光信号发生显著的衰减。这是很不方便的,特别是在内部空间极为宝贵的设备里的电路板之中或之上形成 EO 和 OE 设备的时候。常规的光纤及其连接器并不允许很容易地接入并连接到大多数光学和光电子设备严密的边界内所包含的电路板,因为它需要在光纤中引入显著的弯曲损耗。这一点在需要用足够严密的半径以直角来形成上述连接且同时保持低损耗和高可靠性的情况下尤其是真实的。

[0008] 需要一种光纤组件,它能够在 EO 和 OE 设备之间提供坚固的通信链路且不具有上述与常规光纤相关联的诸多缺点。

发明内容

[0009] 本发明的第一方面是一种光纤组件,用于使第一和第二电子设备光学地连接起来。该组件包括至少一个光子带隙光纤。第一和第二光电子设备被分别耦合到至少一个光子带隙光纤的各个末端,并且被配置成执行电光(EO)和/或光电(OE)转换。相对于第一和第二光电子设备可操作地设置第一和第二电学接口,并且配置成向第一和第二电子设备提供各个工业标准电连接。

[0010] 本发明的第二方面是一种弯曲的光纤耦合器,它包括上对准构件和下对准构件。上光纤对准构件具有凹面,下光纤对准构件具有用于定义耦合器输出末端的底面以及凸

面。将下光纤对准构件和上光纤对准构件安排成形成第一光纤引导通道,所述第一光纤引导通道定义了第一耦合器输入/输出(I/O)末端、通道末端以及由所述凸面和凹面限定的中心曲线。该耦合器也包括至少一个光子带隙光纤,这种光纤的末端部分具有近端端面。在第一光纤引导通道之内固定至少一个光子带隙光纤的至少一部分,以便在与上述中心曲线相对应的至少一个光子带隙光纤中形成一种弯曲,并且使光纤端面定位于下光纤对准构件的底面处或附近从而定义第二耦合器 I/O 末端。

[0011] 本发明的第三方面是一种用于形成光耦合器的方法。该方法包括:提供至少一个光子带隙光纤,这种光纤的末端部分具有近端端面;以及使至少一个光子带隙光纤固定在上光纤对准引导件和下光纤对准引导件的各个凹面和凸面之间,从而在至少一个光子带隙光纤中形成一种弯曲。在示例实施方式中,这种弯曲是直角弯曲。

[0012] 本发明的第四方面是一种用于使第一和第二电学设备光学地连接起来的方法。该方法包括提供至少一个光子带隙光纤,这种光纤具有中空的芯以及第一和第二末端。该方法也包括:将第一和第二光电子设备连接到至少一个光子带隙光纤的第一和第二末端,其中,第一和第二光电子设备被配置成执行电光(EO)和/或光电(OE)转换。该方法还包括:相对于第一和第二光电子设备,可操作地放置第一和第二电学接口,以便提供在第一和第二光电子设备以及第一和第二电学设备之间的各个电连接。

[0013] 将在下面的详细描述中阐明本发明的其它特征和优点,并且本领域技术人员从说明书中将很容易看得出或通过按详细描述、权利要求书和附图所描述的那样来实施本发明而认识到这些特征和优点。应该理解,上面的一般性描述和下面的详细描述都呈现出本发明的各种实施方式,并且旨在对权利要求书所限定的本发明的本质和特征作概要或框架式的理解。所包括的附图提供了对本发明的进一步理解,并入说明书中且构成其一部分。这些图示出了本发明的各种实施方式,与详细说明书一起用于解释本发明的原理和操作。

附图说明

[0014] 结合附图,阅读下面的详细描述,就可以更好地理解本发明的这些和其它特征、方面和优点,其中:

[0015] 图 1 是一段光子带隙光纤的侧视图;

[0016] 图 2 是沿着线 2-2 截取图 1 的光子带隙光纤的横截面示意图;

[0017] 图 3 是具有不同节距和孔洞尺寸的两个光子带隙结构的横截面示意图;

[0018] 图 4 是用于制造本发明的示例光子带隙光纤的示例方法的横截面示意图;

[0019] 图 5 是耦合到光源的光子带隙光纤的末端的局部放大图,该光纤的数值孔径(NA)大于光源的数值孔径;

[0020] 图 6 是根据本发明使用一个或多个光子带隙光纤的示例弯曲的光纤耦合器的示意性横截面分解图;

[0021] 图 7 是相似但未分解的横截面图,并且也包括在输入/输出(I/O)末端之一处的应变消除元件,还包括安排在另一个 I/O 末端处的光电子设备;

[0022] 图 8 是一种光子带隙光纤的示意性侧面图,该图示出了在该光纤中以四分之一圆弯曲为形式的直角弯曲的概念;

[0023] 图 9 是包括本发明的光纤耦合器的光电子组件的示意图;

[0024] 图 10 相似于图 9, 并且示出了以 VCSEL 组件为形式的示例光电子设备;

[0025] 图 11 是上对准构件和下对准构件的局部放大分解图, 示出了被安排在凹面和凸面之间的划分器构件, 用于将弯曲的光纤引导通道划分成多个通道, 每个通道包括一排光子带隙光纤;

[0026] 图 12A 示出了在制造过程中的耦合器的示例实施方式, 示出了下对准构件和未弯曲的光子带隙光纤, 其末端部分被插入到下对准构件中的光纤引导件之中;

[0027] 图 12B 示出了在示例制造过程中的下一步, 其中, 光纤的末端部分被插入到下对准构件光纤引导件中, 同时光纤从中垂直地延伸出来;

[0028] 图 12C 示出了在示例制造过程中的下一步, 其中, 光纤是弯曲的以符合下对准构件的凸面部分;

[0029] 图 12D 示出了示例制造过程中的下一步, 其中, 上对准构件采用一种可固化粘合剂的形式, 该粘合剂被涂到下对准构件和其上的光子带隙光纤上以便形成耦合器主体;

[0030] 图 13A 是一种对准结构的示例实施方式的示意性分解侧面图, 用该对准结构使耦合器与光电子组件中的光电子设备相对准;

[0031] 图 13B 示出了图 13A 的对准结构被安排在以 VCSEL 组件为形式的光电子设备之上;

[0032] 图 14A 是通信系统的示例实施方式的示意图, 该通信系统使用了根据本发明的光子带隙光纤组件; 以及

[0033] 图 14B 相似于图 14A, 但示出了包括图 7 的弯曲的光纤耦合器的系统的示例实施方式。

[0034] 具体实施方式现在参照本发明的较佳实施方式, 其示例可以在附图中示出。在可能的情况下, 所有附图中相同的标号将指代相同或相似的部件。在下面的描述中, 术语“上”、“下”、“前”、“后”、“顶部”、“底部”、“垂直”、“水平”等都是相对的术语, 是为了描述而没有限定的意思。

[0035] 光子带隙光纤

[0036] 本发明使用光子带隙光纤来形成光纤组件并启用一种弯曲的光纤耦合器。光子带隙光纤引导光的机理与常规光纤所使用的全内反射机理是根本不同的。光子带隙光纤 (PBGF) 具有一种形成于光纤包层中的光子带隙结构。例如, 光子带隙结构可以是一种周期性的孔洞阵列, 这些孔洞的间距具有光波长的量级。光子带隙结构具有被称为“带隙”的多种频率与传播常数的范围, 对于这些“带隙”而言, 禁止光在该光子带隙结构中传播。光纤的芯区域是由光子带隙结构包层中的缺陷构成的。例如, 该缺陷可以是与光子带隙结构的孔洞相比其尺寸和 / 或形状很不一样的孔洞。或者, 该缺陷可以是光子带隙结构之内所嵌入的固体结构。被引入到芯中的光将具有由光的频率和芯的结构所决定的传播常数。若在光纤的芯中传播的光的频率和传播常数落在光子带隙结构的带隙之内, 则该光将不会在光子带隙包层中传播, 因此将被限制在芯中。光子带隙光纤可以具有一种芯区域, 这种芯区域是由一种比围绕着的光子带隙结构的孔洞要大的孔洞构成的; 这种芯区域被称为“中空的芯”区域。在这种中空 - 芯光纤中, 基本上可以在中空的芯区域之内引导光。

[0037] 在下列文献中描述适合用于本发明的示例光子带隙光纤: 美国专利 6, 243, 522, 美国专利 6, 847, 771, 美国专利 6, 444, 133, 美国专利 6, 788, 862, 美国专利 6, 917, 741, 美国

专利申请公报 2004/0258381, 美国专利申请公报 2004/0228592, 以及 PCT 专利申请公报 WO 01/37008, 所有这些都引用在此作为参考。

[0038] 图 1 是一段光子带隙光纤 10 的示例实施方式的侧视图, 该光纤具有各个末端 12、14 以及中心轴 16。图 2 是适用于本发明的光子带隙光纤 10 的横截面示意图, 正如沿着图 1 的 2-2 所观察到的那样。光子带隙光纤 10 包括光子带隙结构 24。在图 2 所示的示例实施方式中, 光纤 10 具有光子带隙结构 24, 该结构包括形成于基质材料 28 中的周期性孔洞阵列 26。尽管将图 2 的孔洞 26 示意性地画成了横截面是圆形的, 但是本领域技术人员将会认识到, 这些孔洞可以具有多种差异很大的横截面形状中的任一种。

[0039] 光子带隙光纤 20 也包括芯区域 30, 包层区域 22 的光子带隙结构 24 围绕着该芯区域 30。在图 2 的示例中, 在基质材料 28 中, 芯区域 30 构成一个孔洞。用于定义芯区域 30 的孔洞比光子带隙结构的孔洞 26 大很多。这样, 芯区域 30 用作光子带隙结构 24 中的缺陷。芯区域 30 可以填充有氮或氩等惰性气体、空气、或液体。芯区域 30 也可以是基本上真空的区域 (比如, 约小于 20mm Hg)。尽管在下文所描述的本发明的光纤组件和弯曲的光纤耦合器的较佳实施方式中芯区域 30 可以是实心的, 但是芯区域 30 是中空的。

[0040] 在示例实施方式中, 本发明所使用的光子带隙光纤基本上在芯区域 30 之内引导着辐射。被引入到芯区域 30 中的辐射所具有的传播常数是由辐射的频率和芯的结构所决定的。在芯 30 中传播的、并且频率和传播常数落在光子带隙结构的带隙之内的辐射将不会在光子带隙结构中传播, 因此将被基本上限制在芯中。这样, 光子带隙结构充当上述芯区域的包层。在本发明的示例实施方式中, 本发明所使用的光子带隙光纤 10 基本上在芯区域之内引导着其频率处于光子带隙结构的带隙内的辐射。

[0041] 不像常规的光纤那样, 光子带隙光纤中的辐射的引导并不依赖于比包层的折射率要高的芯的折射率。结果, 在光能量的波长处, 芯区域 30 可以具有比包层区域更低的有效折射率。在本文中, 定义一个区域的有效折射率如下:

$$[0042] \quad n_{\text{eff}} = \sqrt{\sum_{i=1}^z f_i \cdot n_i^2}$$

[0043] 其中, n_{eff} 是有效折射率, z 是光子带隙结构中的不同的折射率 n_i 的总数, 并且 f_i 是折射率 n_i 的体积分数。因为基质材料 28 的存在, 包层区域 22 的有效折射率将高于芯区域 30 的有效折射率。当光波长比该结构的尺度大很多时, 使用有效折射率。

[0044] 如本领域技术人员将理解的那样, 光子带隙结构的带隙所跨越的精确的频率强烈地取决于其结构细节。本领域技术人员可以通过小心设计光子带隙结构来调节上述带隙。本领域技术人员所熟悉的计算方法可以有利地用于设计光子带隙结构。可以从 MIT 获得用于计算光子带隙结构的自由软件包 (MIT 光子带隙软件包, 互联网统一资源定位符 <http://ab-initio.mit.edu/mpb/>)。可以几何地定义具有期望的形状和折射率分布的电介质结构。通过麦克斯韦方程组的计算机解来计算给定电介质结构中的电磁模式的频率以及电场和磁场。通过将磁场表达为平面波之和且具有任意的 (随机数字) 系数, 来构建一个试探解。通过改变平面波系数, 对麦克斯韦方程组进行求解, 直到电磁能量达到最小。这通过预处理的共轭梯度最小化算法而变得更容易一些。由此, 计算出每个模式的模式频率、电场和强度分布。在 Johnson, S. J. 和 Joannopoulos, J. D. 的文章 "Block-Iterative frequency-domain methods for Maxwell's equations in a planewave basis" 中更详

细描述这种计算技术（参见 *Optics Express*, 8(3), 173-190, 2001）。

[0045] 本领域技术人员将会理解，带隙的波长范围随着光子带隙结构的缩放而缩放。例如，如图 3 所示，如果孔洞的三角形阵列 40 具有约为 $4.7\ \mu\text{m}$ 的节距 42、约为 $4.6\ \mu\text{m}$ 的孔洞尺寸 44 以及波长介于约 1400nm 到约 1800nm 的带隙，则一种经缩放的孔洞的三角形阵列 50 具有约为 $9.4\ \mu\text{m}$ 的节距 52、约为 $9.2\ \mu\text{m}$ 的孔洞尺寸 44，并且该阵列 50 具有波长介于约 2800nm 到约 3600nm 的带隙。

[0046] 可以用与制造常规光纤所使用的那些方法相类似的方法来制造下文详细描述的本发明的耦合器中所使用的示例光子带隙光纤 10。形成一种预制棒，其具有期望的芯与包层特征的排列，然后，使用热和张力的将该预制棒拉成光纤。

[0047] 图 4 以横截面的形式详细地示出了用于制造光子带隙光纤的合适的示例方法。通过用热和张力的来拉伸六角形 - 侧壁玻璃管 62 而制造中空的六角形毛细管 60。这些毛细管被层叠在一起以形成组件 64，该组件具有周期性的晶格结构。在组件 64 的中心处，除去了一个或多个毛细管 60。

[0048] 为了制造中空 - 芯光纤，可以任选地将薄管子 66 插入到通过除去中心毛细管而形成的孔洞中，正如图 4 所示那样。为了制造实心芯光纤，可以将实心的六角形棒插入到上述孔洞中。通过使用固体棒 70，将层叠的组件 64 放置到套管 68 之内，以将该组件固定在恰当的位置。用热和张力的重新拉伸带套管的组件 72，以减小其尺寸，从而形成基本上单块的主体 74。在重新拉伸步骤中，会期望在层叠的毛细管之间的空间拉出真空，以使毛细管的外表面之间的任何填隙空位闭合。然后，用 $\text{NH}_4\text{F} \cdot \text{HF}$ 对主体 74 进行蚀刻，以增大周期性阵列的孔洞的尺寸以及芯区域的孔洞的尺寸。例如，上述美国专利 6,444,133 中描述了重新拉伸和蚀刻过程。在蚀刻步骤中，除去了用于将芯区域的孔洞 76 与光子带隙结构的最里面的孔洞行列分开的那些侧壁，从而极大地增大了芯区域的孔洞的尺寸。通过使用本领域技术人员熟悉的方法，经重新拉伸且经蚀刻的主体 78 被拉伸成一种光子带隙光纤 80。在被拉伸成光纤之前，用外包层管子（未示出）将经重新拉伸且经蚀刻的主体 76 套住，以提供一种具有更大的外直径的光纤。光子带隙光纤 80 可以涂有主和次光纤涂层，这在光纤领域是很常见的。

[0049] 期望形成这样一种预制棒，使得该预制棒的内部材料的软化点高于该预制棒的外表材料的软化点，正如上述美国专利 6,847,771 所描述的那样。例如，软化点的差异可以约为 50°C 或更大、约 100°C 或更大、甚至约 150°C 或更大。实现这种差异的一种方式是将二氧化硅玻璃用于毛细管，并且将掺杂的二氧化硅管子（比如掺锗的、掺氟的、掺硼的）用作套管。或者，可以将具有共同的掺杂剂但浓度不同的多种玻璃用于预制棒的内部和外部。在使用特定形状的芯结构的情况下，期望用软化点更高的材料来形成芯结构（比如掺钽的二氧化硅）。这种软化点的差异允许预制棒的内部在拉伸时具有稍微更高一点的粘度，从而使该结构的内部的扭曲更少。

[0050] 为了减小拉伸过程中发生破损的可能性并降低拉伸的光纤中的衰减程度，期望提供这样一种预制棒，其污染物的量更少（比如粒子污染物、有机污染物、无机污染物）并且 OH 含量也更小（即表面 - 吸附水）。这样，期望在制造过程的各个阶段用含氯气体（比如氯和氢的混合物）清洗预制棒。如本领域技术人员认识到的那样，氯气可有效地除去许多类型的污染物。例如，氯气可以与水（比如采用表面 OH 的形式）以及许多无机污染物发生

反应以形成易挥发的物质,在后续的扫气循环期间除去这些易挥发的物质。氯也可以用于使各种有机物质发生氧化。也可以期望包括在清洁状况中暴露于氧,以便更充分地除去有机污染物。上述美国专利 6,917,741 详细描述了清洁处理过程。

[0051] 可以用本领域技术人员熟悉的其它方法制造在制造本发明的光纤中所使用的预制棒。例如,可以使用重新拉伸技术,以减小预制棒的直径。可以使用 SF_6 、 NF_3 或水性 NH_4F 、 HF 进行蚀刻,以增大这些孔洞的尺寸。例如,上述美国专利 6,444,133 中描述了重新拉伸和蚀刻过程。

[0052] 通过使用本领域技术人员熟悉的方法,可以将预制棒重新拉伸成微结构化的光纤。另外,在拉伸过程中可以对预制棒的孔洞施加压力,以使它们因表面张力而不会闭合。或者,在与拉伸一端相反的预制棒的一端,这些孔洞可能会闭合,以使预制棒的孔洞内部保持正压力,由此防止它们因表面张力而闭合。期望对预制棒的不同孔洞组施加不同的压力,正如共同拥有的美国专利申请 10/171,335 所描述的那样,该申请于 2002 年 6 月 12 日提交且标题为“METHODS AND PREFORMS FOR DRAWING MICROSTRUCTURED OPTICAL FIBERS”,其说明书引用在此作为参考。例如,光子带隙光纤的大的芯孔洞可以被耦合到第一压力系统,并且光子晶体结构的孔洞可以被耦合到第二压力系统。可以将第一压力系统设置到比第二压力系统更低的压力,使得内部芯孔洞不会相对于光子晶体结构的孔洞而膨胀。

[0053] 在示例实施方式中,光子带隙光纤 10 的数值孔径 (NA) 是由 $\text{NA}_{10} = n \sin \theta_{10}$ 给出的,并且最好大于光电子设备的数值孔径 $\text{NA}_{\text{LS}} = n \sin \theta_{\text{LS}}$,该光电子设备采用光源 LS 的形式,该光源 LS 光学地耦合到纳米-设计的光纤 10 的末端 12,正如图 5 所示那样。例如,光纤的 NA_{10} 最好大于垂直腔面发射激光源 (VCSEL) 的 NA。

[0054] 光子带隙光纤 10 的一个重要的性质是:与常规光纤甚至纳米-设计的对弯曲不敏感的光纤相比,它相对地对弯曲不敏感。换句话说,光子带隙光纤 10 可以具有其弯曲半径非常小的弯曲,并且在其中传播的光将不会遭受显著的衰减。例如,对于 5mm 的弯曲半径以及 1550nm 的波长而言,该衰减比其它类型的光纤要小 30-40dB。与其它类型的光纤相比,对于光子带隙光纤而言,辐射导致的损耗也是显著地更少的。

[0055] 弯曲的光纤耦合器

[0056] 本发明的一个方面是一种光纤耦合器,它使用一个或多个光子带隙光纤,其中,该耦合器具有严重的弯曲,使得可以在紧密的空间中做出各种连接。图 6 是使用一个或多个光子带隙光纤 10 的示例性弯曲的光纤耦合器 (“耦合器”) 100 的示意性横截面分解图。耦合器 100 包括上对准构件 110,上对准构件 110 具有:顶面 112;“内部”表面 114,它包括平整的部分 116;以及凹的弯曲的部分 118。在示例实施方式中,凹的弯曲的表面 118 包括四分之一圆的曲线。上对准构件 110 也具有平整的底面 120 以及前端 126 和后端 128。在示例实施方式中,上对准构件 110 包括预先形成的基板。

[0057] 耦合器 100 也包括下对准构件 140,下对准构件 140 具有:带有“内部”表面 144 的顶面 142,“内部”表面 144 包括平整的部分 146、凸的弯曲的部分 148、底面 150 以及前端 156 和后端 158。在示例实施方式中,凸的弯曲的表面 148 包括四分之一圆的曲线。在示例实施方式中,下对准构件 140 包括预先形成的基板。

[0058] 下对准构件 140 也包括光纤引导件 160,该光纤引导件 160 位于平整的表面部分 146 和弯曲的表面部分 148 相遇之处,并且用于将内表面 144 连接到底面 150。将光纤引导

件 160 配置成容纳一个或多个光子带隙光纤 10。在示例实施方式中, 光纤引导件 160 包括一个或多个锥形的通透孔, 用于使光纤 10 的插入更容易一些。

[0059] 现在参照图 7, 使上对准构件 110 和下对准构件 140 合并到一起, 以形成耦合器主体 166, 该主体 166 具有第一和第二输入 / 输出 (I/O) 末端 168 和 170, 这些末端处于正交的平面中。在形成耦合器主体 166 时, 上对准构件 110 和下对准构件 140 的平面部分 116 和 146 彼此接触, 并且邻接着放置各个弯曲的表面部分 118 和 148 从而限定一弯曲的光纤引导件 200。在第一 I/O 末端 168 处, 光纤引导件 200 具有第一末端 202。在示例实施方式中, 弯曲的光纤引导件 200 定义了中心弯曲半径为 RC 的直角弯曲 (例如, 四分之一圆的弯曲)。

[0060] 一般, 在光纤 10 中, 弯曲的光纤引导件 200 定义了相对较强的弯曲, 比如介于 45° 到 135° 之间。图 8 是一种光子带隙光纤 10 的示意性侧面图, 该图示出了在该光纤中以四分之一圆弯曲为形式的“直角弯曲”的概念。一般, 直角弯曲是这样一种弯曲, 其中, 到该曲线的两个切线 TL1 和 TL2 会相交从而形成直角 211。在本发明的较佳实施方式中, 将凹的和凸的弯曲的表面 118 和 148 配置成在光纤 10 中形成直角弯曲 210, 并且在示例实施方式中是四分之一圆曲线, 即一个圆的周长的 $1/4$ 。一般, 曲线 210 的曲线角度 211 的范围可以从 45° 到 135° , 示例性的直角弯曲范围从 85° 到 95° 。示出将耦合器 100 配置成在光纤 10 中形成了直角弯曲, 以便于说明。

[0061] 耦合器 100 也包括一个或多个光子带隙光纤 10 (此后, 为了便于说明, 简称为“光纤 10”), 光纤 10 位于上对准构件 110 和下对准构件 140 之间且在弯曲的光纤引导件 200 之内。这使光纤 10 具有相应的弯曲 210, 该弯曲 210 对应于中心弯曲半径 RC。光纤 10 具有与光纤端面 12 相关联的末端部分 212。光纤末端部分 212 被包含在光纤引导件 160 之内, 并且最好用粘合剂 216 将其固定在其中。在示例实施方式中, 光纤端面 12 与下对准构件 140 的底面 150 齐平。

[0062] 在一个示例实施方式中, 通过对弯曲的夹具 (在示例实施方式中, 该夹具可以包括下对准构件 140) 上的光纤 10 进行激光退火, 可以在耦合器 100 的组装之前执行光纤弯曲 210。这一方法使光纤应力达到最小, 以确保在耦合器 100 的使用寿命期间有高可靠性。在另一个示例实施方式中, 例如, 通过使光纤 10 在下对准构件 140 的弯曲表面部分 148 上进行弯曲, 然后, 将上对准构件 110 放置并固定在下对准构件上, 使得光纤 10 被固定在弯曲的光纤引导件 200 中, 这样, 就在耦合器 100 的组装过程中形成了光纤弯曲 210。在示例实施方式中, 凹槽或其它控制特征 (未示出) 形成了一个或两个弯曲的表面部分 118 和 148, 以帮助对准并控制处于光纤引导件 160 之内的光纤 10 的弯曲。在示例实施方式中, 光纤引导件 160 提供与光纤 10 的紧配合, 使得光纤牢固地固定在其中。

[0063] 在示例实施方式中, 中心弯曲半径 RC 是在 $1\text{mm} \leq RC \leq 15\text{mm}$ 所定义的范围中, 而在另一个示例实施方式中则是在 $5\text{mm} \leq RC \leq 15\text{mm}$ 所定义的范围中, 并且在另一个示例实施方式中是在 $2\text{mm} \leq RC \leq 3\text{mm}$ 所定义的范围中。在示例实施方式中, 光纤弯曲半径 RC 能提供不大于 1dB 的衰减, 不大于 0.5dB 更佳, 不大于 0.1dB 最佳。在另一个示例实施方式中, 最小中心弯曲半径 RC 是光纤 10 的直径的四倍, 而在另一个示例实施方式中, 最小中心弯曲半径是包含光纤 10 的光纤外套 260 的直径的四倍。在另一个示例实施方式中, 选择弯曲半径 RC, 以确保在该产品的使用寿命内有高可靠性 (比如小于 100 FIT)。在示例实施方

式中,通过在下光纤对准构件内额外模制一个另外的元件(未示出),就实现了光纤 10 的对准。这种元件包括很小的硅 V 形沟槽基板或具有精确凹槽、沟槽、孔洞等的其它部件。

[0064] 继续参照图 7,在上对准构件 110 和下对准构件 140 接合到一起以将弯曲的光纤 10 包含在光纤引导件 200 中之后,在第一 I/O 末端 168 处将一个应变消除元件 250 附连于耦合器主体 166。这是为了防止在光纤 10 上有过大的轴向或侧面-拉伸负载的情况下对耦合器造成破损,光纤 10 在示例实施方式中被包括在光纤外套 260 中,光纤外套 260 终止于应变消除元件 250 之内。

[0065] 光电子组件

[0066] 图 9 是包括本发明的耦合器 100 的光电子组件 300 的示意图。光电子组件 300 的其它示例实施方式具有下文所讨论的“笔直的”耦合器,并且为了说明而用耦合器 100。

[0067] 光电子组件 300 包括光电子设备 310,比如光学发送器(比如光学发送器阵列、宽面发射器等)或光学检测器(比如光学检测器阵列、宽面检测器、垂直腔面发射激光器(VCSEL)、LED 等)。在示例实施方式中,光纤 10 在端面 12 处直接光学地耦合到光电子设备 310 而没有中间的耦合光学器件,这就是中空-芯光子带隙光纤的一个优点。光纤端面 12 可以位于光纤引导件 160 之内,使得它与底面 150 齐平。或者,可以允许光纤端面 12 从光纤引导件 160 中突出出来。

[0068] 在示例实施方式中,下对准构件 140 的底面 150 包括在第二 I/O 末端 170 处的突出物 151(也可以参见图 6)。在示例实施方式中,突出物 151 足够窄,以允许光纤端面 12 非常靠近光电子设备 310 而不干扰其它物件或部件,比如光电子设备中的导线接合。

[0069] 在上文提到的示例实施方式中,光电子设备 310 包括宽面光学检测器,它就像 VCSEL 那样是用平面制造工艺以普通方式实现的。也像 VCSEL 那样,可以优化检测器有效区域,以提供低损耗的光纤到检测器的耦合以及高设备数据速率。平面工艺能够实现一维或二维布局以及检测器放大电路的共同定位,以便于高速设备操作。

[0070] 典型的光电子设备 310 是用成熟的封装技术进行封装的。例如,设备基板是共用的,同时该基板平行于封装安装表面(比如印刷电路板)。对于光电子部件的有效热管理而言,这种配置是令人期望的,并且,它也能够实现标准低成本电互连方法(比如导线接合)。在光学设备的情况下,该配置也能够最终在最终组装之前实现相对简单的测试。在下文中讨论这种封装的示例。

[0071] 图 10 相似于图 9,并且示出了一种示例光电子设备 310,其形式是 VCSEL 组件(也被称为 310),例如,该光电子设备 310 被用作 E0 发送器。VCSELS 很适合于低损耗耦合到光子带隙光纤中,并且可以修改 VCSEL 的发射面积使耦合效率最大化,同时也平衡其它要求,比如最大数据速率和功率耗散。平面制造工艺能在一维(1D)或二维(2D)阵列中实现密集的 VCSEL 布局以及激光器驱动电路的共同定位,以便实现高性能操作。

[0072] VCSEL 组件 310 包括 VCSEL 基板 314,该基板 314 可操作地支撑 VCSEL 设备 320。封装基板 324 支撑着 VCSEL 基板 314,封装基板 324 包括含电通孔(未示出)的电结构,该电结构通过接合导线 322 而电连接到 VCSEL 设备 320。通过球形栅格阵列 340,带有电布线 332 的印刷电路板 330 连接到封装基板和电通孔(未示出)。在示例实施方式中用对准结构 400 来对准、并以其它方式可操作地耦合耦合器 100 和 VCSEL 组件 310。

[0073] 此处,注意到,这里表示的耦合器 100 的横截面视图描绘了一个或多个光纤 10 的

一维阵列来进行说明。本发明也可预想到二维阵列。参照图 11, 例如, 通过提供至少一个对准构件和 / 或间隔物 (“划分器构件”) 346 以使每一排一维的光纤 10 与相邻的排相比有偏移, 就可以形成这种实施方式。下对准构件 140 包括多个光纤引导件 160, 以容纳多排光纤 10。二维阵列图案可以包括不规则的光纤波导节距或二维图案, 同时有一些倾斜量以使与光电子设备 310 的光耦合达到最大。

[0074] 耦合器制造方法

[0075] 图 12A 示出了在制造过程中的耦合器 100 的示例性实施方式, 示出了下对准构件 140 和尚未弯曲的光子带隙光纤 10, 其末端部分 12 被插入到光纤引导件 160 之中。在图 12B 中, 光纤 10 的末端部分 12 插入到光纤引导件 160 之中, 并且光纤从中垂直地延伸出来。用粘合剂 370 (比如紫外 (UV) 可固化粘合剂) 将光纤 10 固定到光纤引导件 160 之内。

[0076] 图 12C 示出了在使光纤 10 发生弯曲 (参见图 12B 的箭头 376) 以便沿着下对准构件 140 的弯曲表面部分 148 而定位之后的光纤 10。参见图 12D, 将粘合剂 (比如 UV-可固化粘合剂) 施加到下对准构件 140 和由此支撑的光纤 10 上, 以便形成上对准构件 110 和弯曲的光纤引导件 200。然后, 将应变消除元件 250 任选地附接到 (比如用粘合剂) 耦合器主体 I/O 末端 168。

[0077] 图 13A 是一种对准结构 400 的示例实施方式的示意性分解侧面图, 用该对准结构 400 使耦合器 100 与光电子设备 310 相对准。对准结构 400 包括基板 410, 基板 410 具有上表面 412 和下表面 414 以及外围 416。在示例实施方式中, 基板 410 包括透明的中心部分 (或孔径) 420。对准结构包括至少一个对准构件 (比如盖子) 430, 430 被安排在基板上表面 412 之上 (比如通过粘合剂 434), 以便形成一开口 440, 开口 440 的大小用于接收耦合器 I/O 末端 170 并且使其中的光纤 10 与光电子设备 310 对准。

[0078] 图 13B 示出了安排在以 VCSEL 组件为形式的光电子设备 310 之上的对准结构 400。上文所讨论的图 10 示出了对准结构 400 位于 VCSEL 组件 310 上合适的位置, 还示出了与该对准结构啮合的耦合器 100。在示例实施方式中, 对准结构 400 是与光电子设备 310 对准的, 并且附接到光电子设备 310 上。上述对准过程可以是主动的或被动的, 这取决于对准的容限。注意到, 在图 13B 中, 通过连接到封装基板 324 的支撑元件 450, 将对准结构 400 集成到光电子组件 300 中。

[0079] 例如, 通过将预先形成的构件接合到基板 410 上, 可以形成对准构件 430。对准构件 430 可以是一个模制的部分, 或是由通过穿透晶片 KOH 蚀刻而制成的硅基板构成的。

[0080] 一旦相对于光电子设备 310 而恰当地安排对准结构 400 (如有必要, 将两者附接起来), 耦合器 100 就与对准结构相对准并且与之啮合。通过锁定元件 (未示出), 可以将耦合器 100 暂时地固定在合适的位置, 或者通过使用对准构件 430 中和 / 或周围的粘合剂薄层 460, 可以将耦合器 100 永久地固定在合适的位置。

[0081] 具有光子带隙光纤组件的通信系统

[0082] 图 14A 是通信系统 590 的示例实施方式的示意图, 该通信系统 590 使用了根据本发明的光子带隙 (PBG) 光纤组件 600, 并允许在两个电学设备 660 之间进行光学通信。PBG 光纤组件 600 包括一个或多个中空 - 芯光子带隙光纤 10, 在示例实施方式中, 该光纤 10 构成光纤光缆 606。在示例实施方式中, 将多个光子带隙光纤 10 安排成一种光纤带。

[0083] 缆线 606 包括在其相反的两端处的各个耦合器 (连接器) 612。PBG 光纤组件 600

包括光电子设备 310, 这些光电子设备 310 被安排在各个缆线末端处并且被配置成在其各个末端处用作 E0/OE 转换器 (即每个光电子设备 310 可以执行 E0 和 OE 转换)。在另一个示例实施方式中, 光电子设备 310 之一仅仅用作 E0 转换器, 而另一个用作 OE 转换器。连接器 612 和光电子设备 310 的组合构成了上述的光电子组件 300。在图 14B 所示的示例实施方式中, 连接器 612 之一是上文详细讨论的弯曲的光耦合器 100。

[0084] 在示例实施方式中, 一个或两个光电子组件 300 向 PBG 光纤组件 600 的一端或两端处的电子设备 660 提供工业标准铜连接 (接口) 650 (比如 SFP、MTF、USB 等)。在示例实施方式中, 接口 650 是固定的或可移除的。

[0085] 在通信系统 590 的操作过程中, 光电子设备 310 之一初始用作 E0 转换器, 并且通过接口 650 接收来自电子设备 660 的输入电子信号。然后, 这种光电子设备 310 将电子信号转换成输出光信号 622, 通过连接器 612 将该输出光信号 622 耦合到一个或多个光纤 10 的一个或多个中空芯 30 中。为了说明起见, 所示出的连接器 612 和发送器 310 是分开的; 它们也可以通过压缩配合、环氧树脂或其它固定手段而彼此接触。光纤光缆 606 中的一个或多个光纤 10 中的一个或多个中空芯 30 将光信号 622 引导至其它连接器 612 (比如图 14B 的耦合器 100), 其中, 光电子设备 310 接下来接收光信号。这种光电子设备 310 接下来用作一种 OE 转换器以将检测到的光信号转换成电信号, 然后再通过接口 650 将电信号提供给电子设备 660。在示例实施方式中, 光电子设备 310 使这一过程反过来而重复, 从而切换它们的 E0 和 OE 功能。

[0086] 与使用常规光纤的组件相比, PBG 光纤组件 600 提供了许多优点。首先, 中空芯区域中的光传播不再需要用常规缆线组件中的光学子部件使激光输出聚焦, 并使该激光输出从其自然的“处于空气中的”状态光束图案转换成适于固体玻璃光纤的光束图案, 反之亦然。这也减少了玻璃-空气界面的数目, 因常规缆线组件中的玻璃-空气界面处的反射的缘故, 这些界面引起了损耗和光学反馈。这也能够使用无隔离器的实现方式。

[0087] 此外, 因为使用了光子带隙光纤 10, 所以缆线 606 是更坚固耐用的, 特别是, 它可以严重地弯曲而不会导致破损或光损耗。这意味着这些缆线可以制造得具有更少的防护和总体积。另外, 与常规光纤相比, 光子带隙光纤 10 的使用提供了增强的光学隔离, 使得这些光纤可以被密集地捆扎起来。光子带隙光纤 10 的辐射耐受特征使 PBG 光纤组件 600 适用于许多严酷的环境中, 比如太空以及核反应器。

[0088] 最终, 光子带隙光纤 10 的弯曲-不敏感性允许弯曲的耦合器 100 向光纤施加很强的弯曲, 使得 PBG 缆线 606 可以被连接到紧密空间中的光电子设备。

[0089] 对于本领域的技术人员而言, 很明显, 在不背离本发明的精神和范围的情况下可以对本发明做出各种修改和变化。由此, 本发明旨在覆盖本发明的这些修改和变化, 只要它们落在所附的权利要求书及其等价方案中就可以。

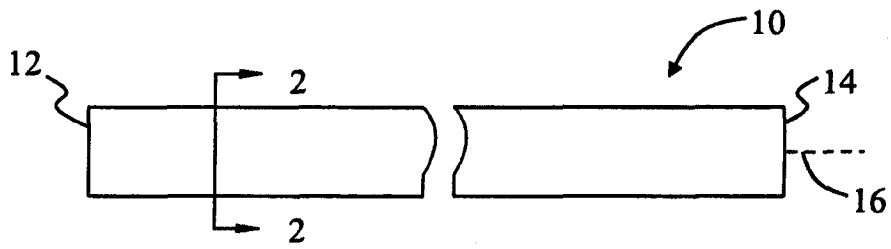


图 1

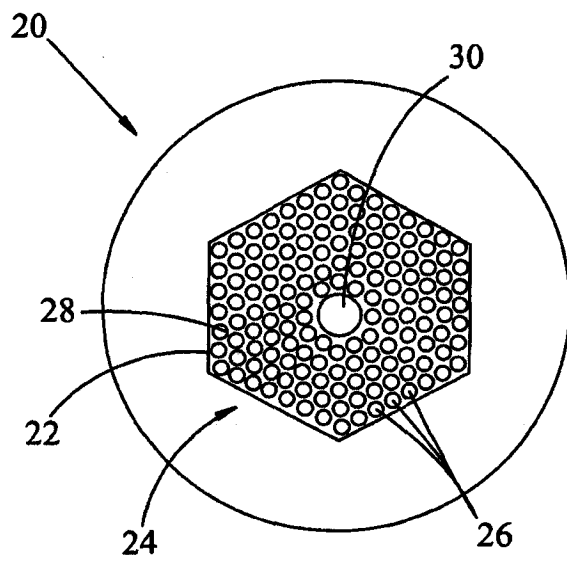


图 2

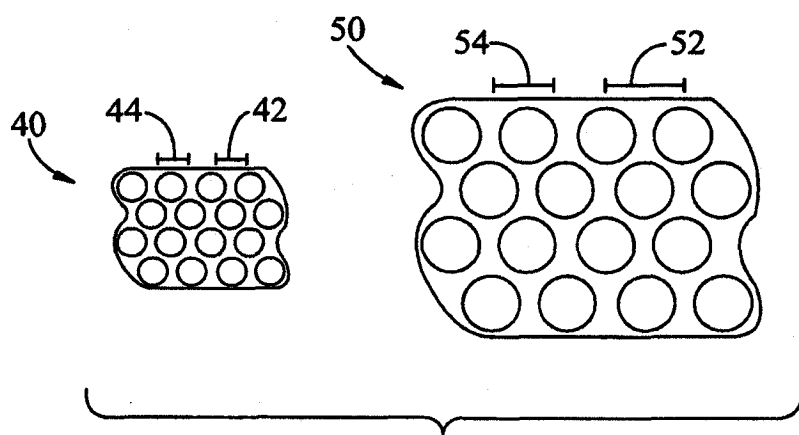


图 3

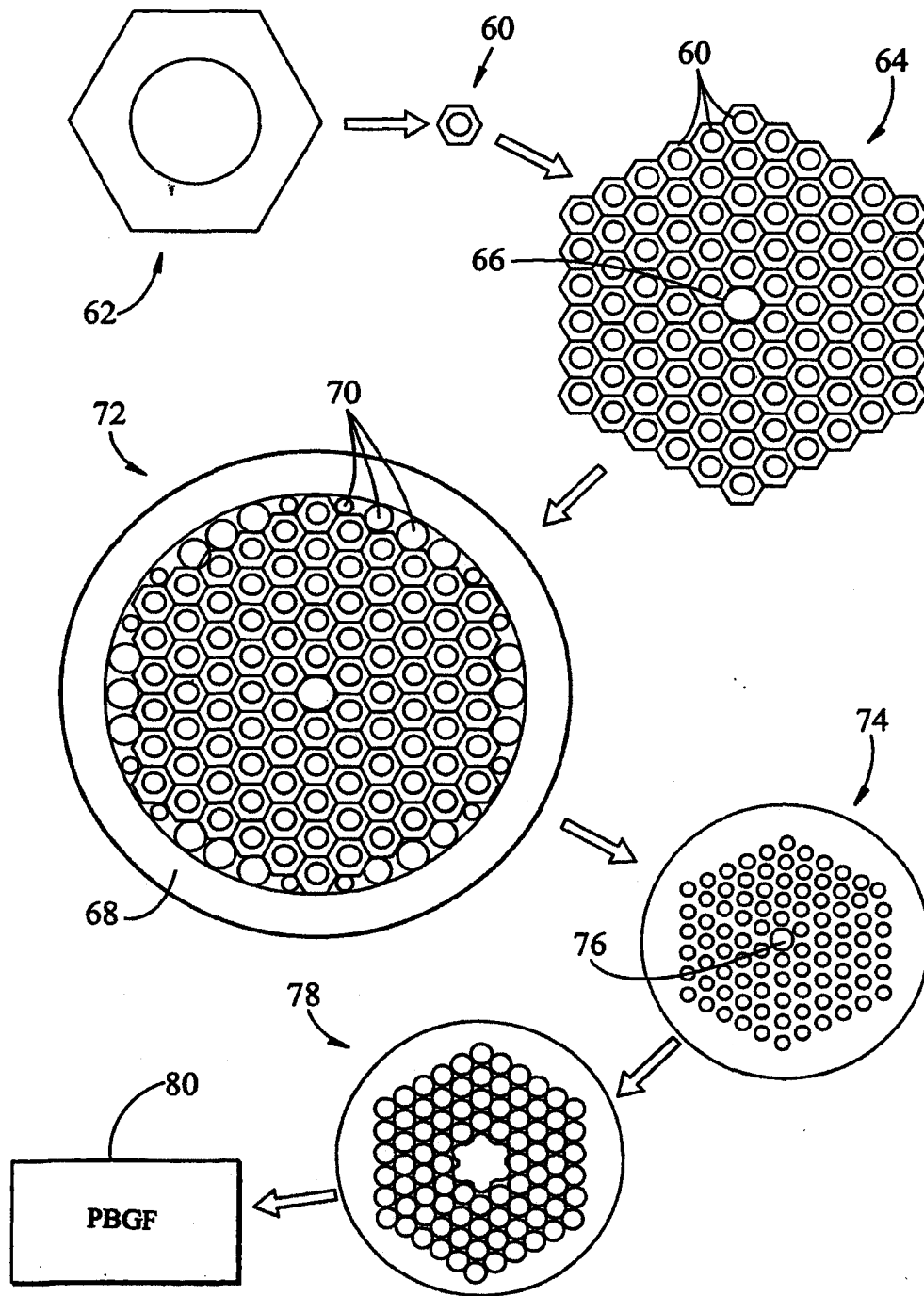


图 4

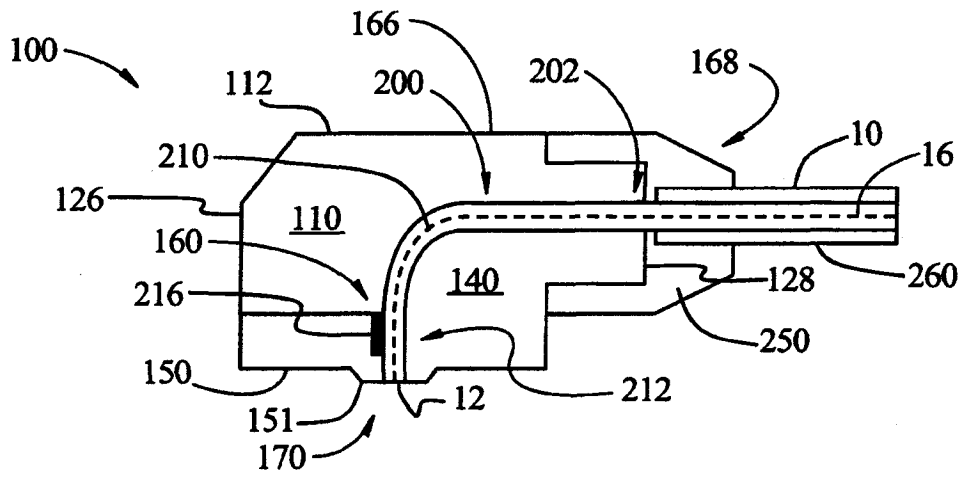


图 7

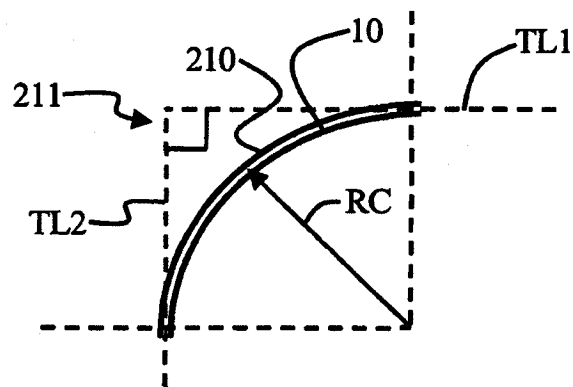


图 8

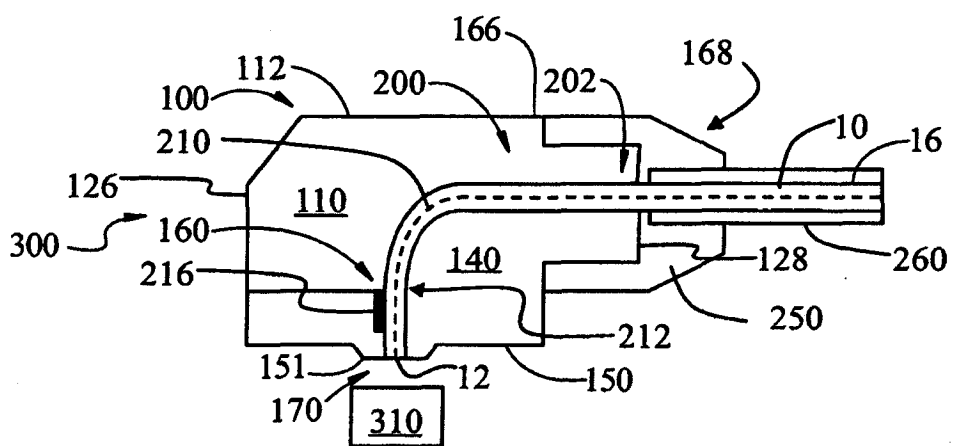


图 9

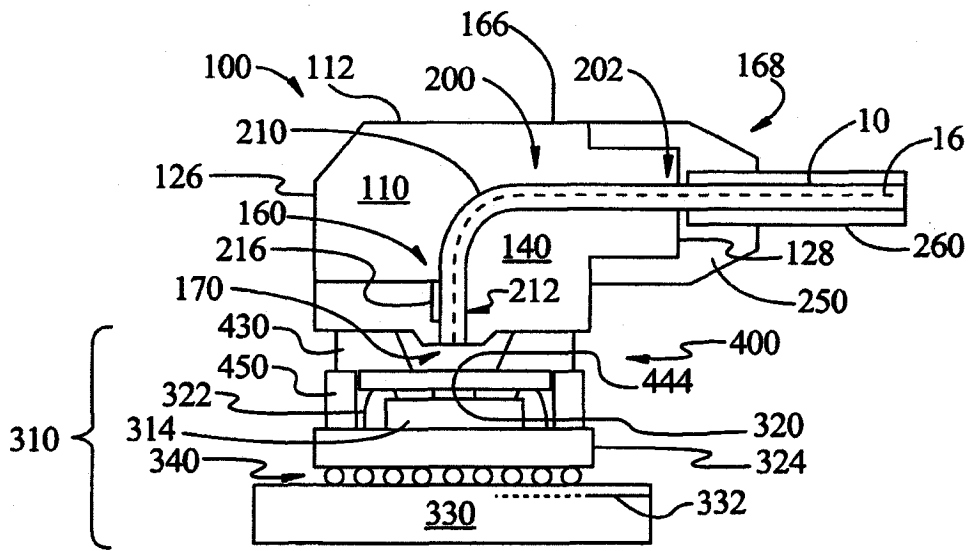


图 10

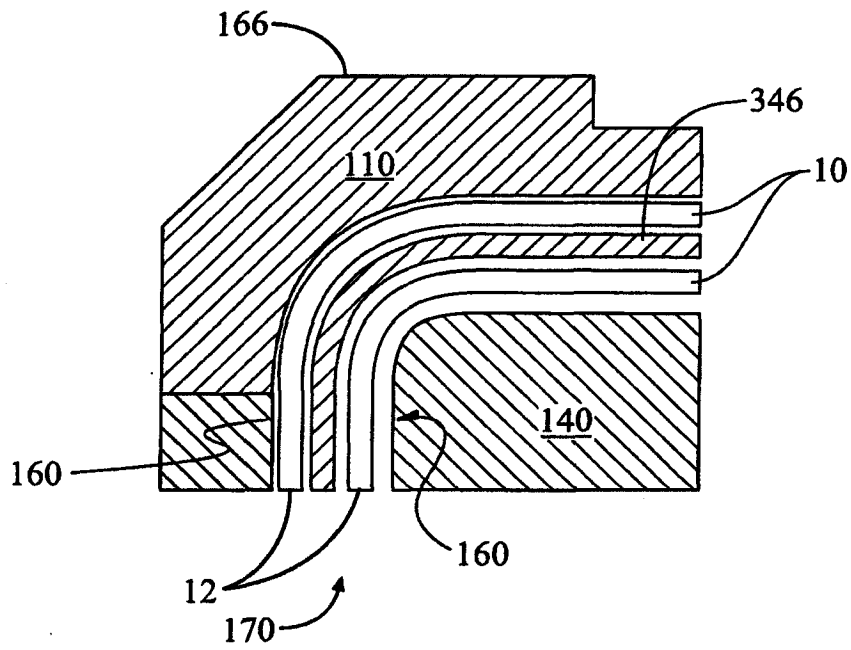


图 11

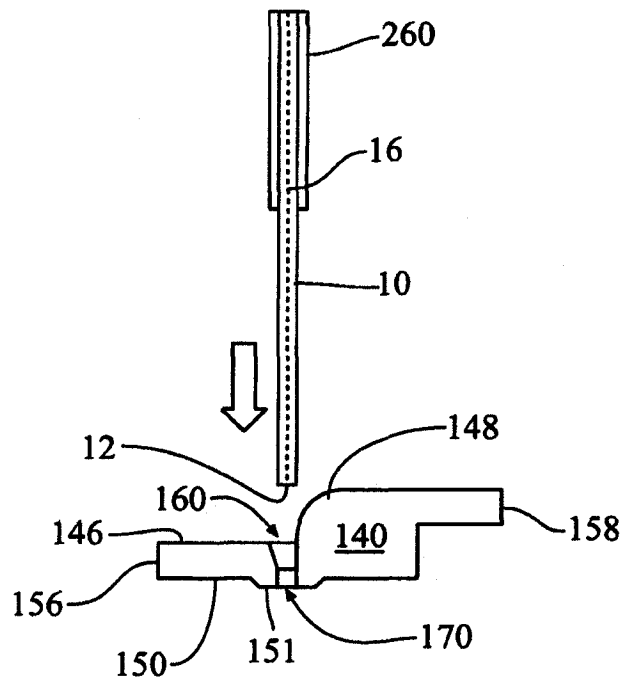


图 12A

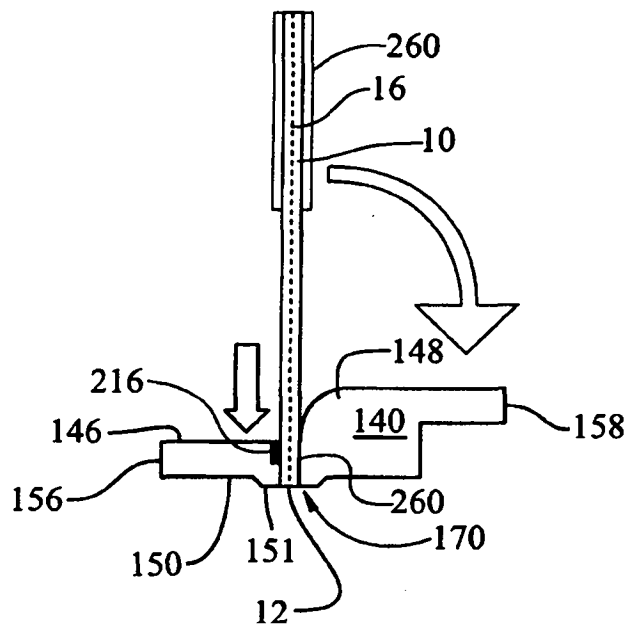


图 12B

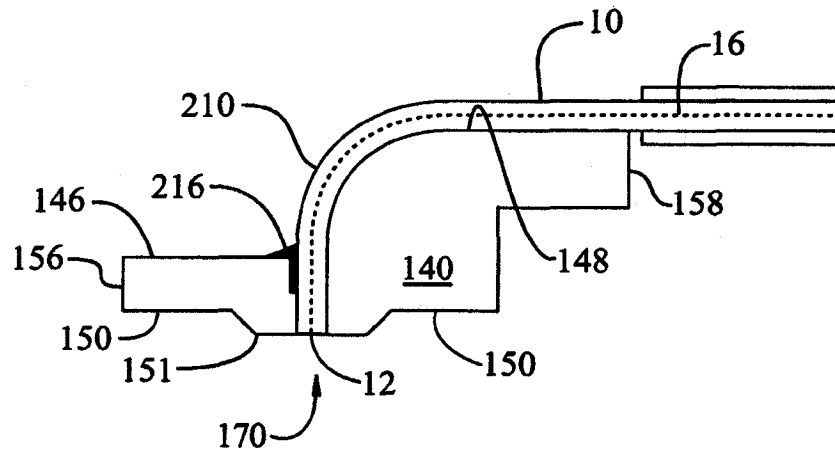


图 12C

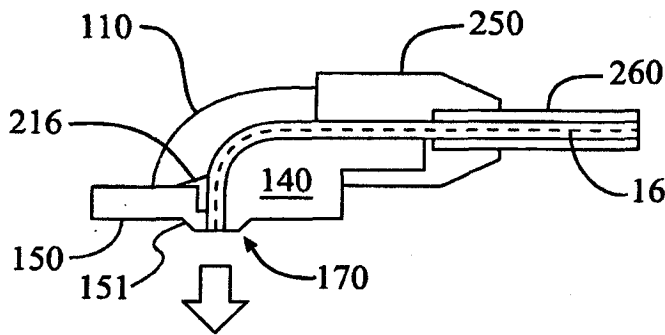


图 12D

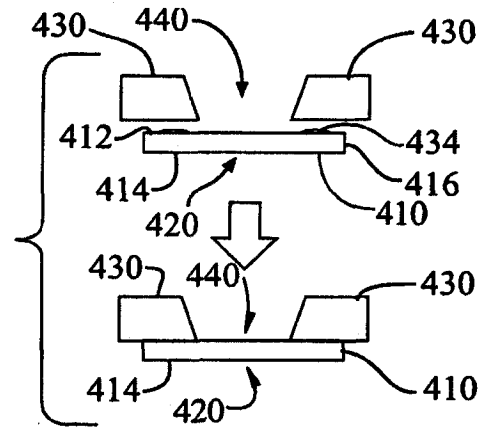


图 13A

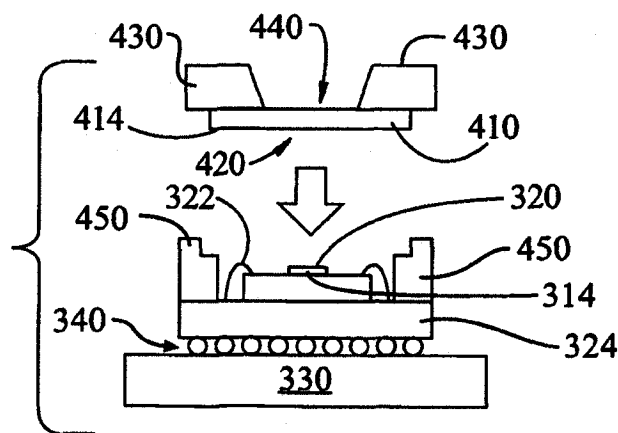


图 13B

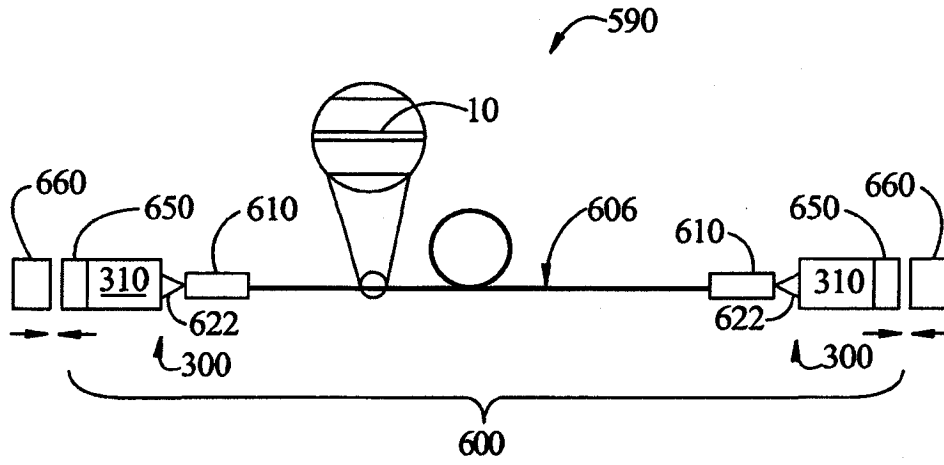


图 14A

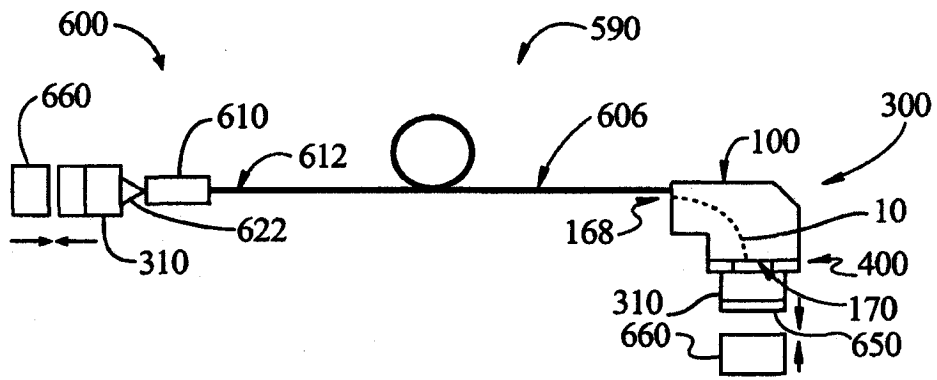


图 14B