



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 105992962 A

(43)申请公布日 2016. 10. 05

(21)申请号 201480075861.4

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

(22)申请日 2014.10.16

代理人 杜娟娟 刘春元

(30)优先权数据

14/133264 2013.12.18 US

(51)Int.Cl.

G02B 6/36(2006.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2016.08.18

H01S 3/067(2006.01)

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2014/060872 2014.10.16

(87)PCT国际申请的公布数据

W02015/094467 EN 2015.06.25

(71)申请人 雷神公司

地址 美国马萨诸塞州

(72)发明人 J.L.皮库尔斯基 M.尤辛斯基

F.P.斯特罗肯德尔 C.W.汤森

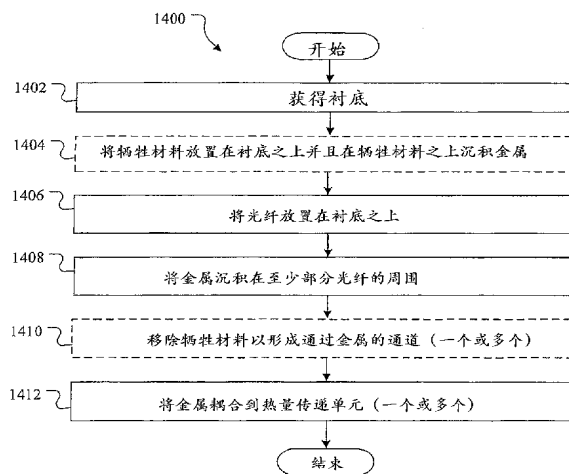
权利要求书3页 说明书11页 附图7页

## (54)发明名称

用于高功率光纤的热管理

## (57)摘要

一种方法包括获得(1402)具有至少一个暴露金属表面的衬底(102、202)。该方法还包括将金属电沉积(1408)到该衬底的至少一个暴露的金属表面上并且在光纤(104、204)的至少一部分周围金属(108、208b)以便将光纤固定到衬底。该衬底和电沉积的金属被配置成从光纤移除热量。该方法还可以包括在牺牲材料(203)周围电沉积(1404)金属(208a)以及移除(1410)牺牲材料来形成通过电沉积的金属的至少一个冷却通道(210)。该光纤可以包括聚合物涂层(506),其中在光纤的端部处的聚合物涂层的一部分(508)被移除。在该光纤的输入端(402)处和该光纤的输出端(404)处衬底和电沉积的金属可以被小面化。光纤可以在衬底上具有盘旋布置。



1. 一种方法,包括:  
获得包括至少一个暴露的金属表面的衬底;以及  
将金属电沉积到该衬底的至少一个暴露的金属表面上且在光纤的至少一部分周围从而将光纤固定到衬底;  
其中该衬底和电沉积的金属被配置成从光纤移除热量。
2. 根据权利要求1所述的方法,还包括:  
在牺牲材料周围电沉积金属;以及  
移除牺牲材料以形成通过电沉积金属的至少一个冷却通道。
3. 根据权利要求1所述的方法,其中:  
该光纤包括聚合物涂层;  
将金属电沉积包括将金属电沉积在该光纤的聚合物涂层周围;以及  
该方法还包括移除聚合物涂层在该光纤的端部处的一部分。
4. 根据权利要求1所述的方法,其中所述衬底和该电沉积的金属共同具有超过光纤的热质量至少大约三个数量级的热质量。
5. 根据权利要求1所述的方法,还包括:  
使该光纤的输入端处和该光纤的输出端处的衬底和电沉积的金属小面化。
6. 根据权利要求1所述的方法,其中将金属电沉积包括以室温电沉积金属。
7. 根据权利要求1所述的方法,还包括:  
形成端口以便光纤的一部分保持通过电沉积的金属暴露。
8. 根据权利要求1所述的方法,其中所述光纤在衬底上具有盘绕布置使得该光纤在反转行进方向之前在一个方向遵循平面内盘绕路径并且然后在另一方向遵循平面内盘绕路径。
9. 根据权利要求1所述的方法,其中将金属电沉积包括将该光纤完全包裹在电沉积的金属中。
10. 根据权利要求1所述的方法,其中将金属电沉积包括仅在光纤的端部处的光纤的一部分周围电沉积金属。
11. 一种装置,包括:  
衬底;  
光纤;以及  
热耦合到衬底且在光纤的至少一部分周围的电沉积的金属;  
其中衬底和电沉积的金属被配置成从光纤移除热量。
12. 根据权利要求11所述的装置,其中:  
该光纤包括在接头或熔融的光纤耦合器处接合的多个节段;以及  
该衬底和电沉积的金属包围接头或熔融的光纤耦合器。
13. 根据权利要求11所述的装置,其中:  
该衬底包括核以及沉积在该核上的金属;以及  
该电沉积的金属位于所述衬底的金属上。
14. 根据权利要求11所述的装置,还包括:  
包围光纤的至少一部分的材料,该电沉积的金属位于该材料的至少一部分周围;

其中该材料比该电沉积的金属软。

15. 根据权利要求11所述的装置, 其中:

该光纤包括包覆; 以及

该装置还包括光纤在其处终止的端盖, 该端盖至少部分被衬底和该电沉积的金属包裹。

16. 根据权利要求11所述的装置, 还包括:

通过电沉积的金属的至少一个冷却通道。

17. 根据权利要求11所述的装置, 还包括:

位于光纤的暴露部分之上以及电沉积的金属的一部分之上的光学膜。

18. 根据权利要求11所述的装置, 其中该衬底和电沉积的金属共同具有超过光纤的热质量至少大约三个数量级的热质量。

19. 一种系统, 包括:

被配置成生成光学信号的激光器; 以及

被配置成传输光学信号的装置, 该装置包括:

衬底;

被配置成传输光学信号的光纤; 以及

热耦合到衬底且在光纤的至少一部分周围的电沉积的金属;

其中衬底和电沉积的金属被配置成从光纤移除热量。

20. 根据权利要求19所述的系统, 还包括:

热耦合到衬底和电沉积的金属的热量传递单元, 该热量传递单元被配置成从所述装置移除热量。

21. 根据权利要求19所述的系统, 还包括:

至少一个冷却环路, 其被配置成通过所述装置中的至少一个冷却通道传输冷却流体以便从所述装置移除热量。

22. 一种方法, 包括:

获得包括至少一个暴露的金属表面的衬底; 以及

将金属沉积到该衬底的至少一个暴露的金属表面上并且在光纤的至少一部分周围, 以便将光纤固定到该衬底;

其中该衬底和沉积的金属被配置成从光纤移除热量。

23. 根据权利要求22所述的方法, 其中将金属沉积包括使用以下各项中的至少一个来沉积金属: 电沉积技术、金属气相沉积技术、溅射技术和化学气相沉积技术。

24. 根据权利要求22所述的方法, 还包括:

在牺牲材料周围沉积金属; 以及

移除该牺牲材料以形成通过沉积的金属的至少一个冷却通道。

25. 根据权利要求22所述的方法, 其中:

该光纤包括聚合物涂层;

将金属沉积包括在该光纤的聚合物涂层周围沉积金属; 以及

该方法还包括移除在该光纤的端部处的聚合物涂层的一部分。

26. 根据权利要求22所述的方法, 其中沉积金属包括以室温沉积金属。

27. 根据权利要求22所述的方法,还包括:

形成端口以便该光纤的一部分保持通过所沉积的金属暴露。

28. 根据权利要求22所述的方法,其中该光纤在衬底上具有盘绕布置以使得该光纤在反转行进方向之前在一个方向遵循平面内盘绕路径并且然后在另一方向遵循平面内盘绕路径。

## 用于高功率光纤的热管理

### 技术领域

[0001] 本公开总体上针对热管理技术。更具体地,本公开针对用于高功率光纤的热管理。

### 背景技术

[0002] 各种类型的设备使用光纤来生成、放大和/或传输高功率信号。例如,高功率泵浦激光器可以被用来激发光纤核中的活性离子并沉积能量,然后通过信号束来提取该能量。能量从泵传递到信号自然不是完美的,并且因而生成热量。热量通过诸如与温度有关的折射率以及因温度梯度引起的机械应力之类的机制成为主要的性能限制。这些特性中的两者使基于激光器的设备产生各种问题。

[0003] 就与温度有关的折射率而言,在高功率激光器设备中,高射束质量常常是极为重要的。为了获得最佳射束质量,所有激光器功率理想地是被承载在单模式中,在这种情况下振幅和相位横跨射束的横截面而意义明确,使得可以利用比如透镜之类的简单光学元件来操控射束的行为。遗憾的是,在生成高功率射束中使用的常规设备常常允许不止一种模式存在。例如,大模式面积(LMA)光纤可以引导不止一种模式。高功率激光器系统的设计者常常格外用心地避免模式耦合,这发生在单模式射束裂解成若干个模式时。与温度有关的折射率在产生模式耦合时是主要因素。

[0004] 就机械应力而言,从长远看这些应力会导致机械故障。然而,在机械故障发生之前,机械应力还会引起透镜化和应力引发的双折射,这些是引起模式耦合以及因此的射束裂解的额外机制。

[0005] 因此,热量的管理常常是高功率激光器设备的重要挑战。一种常规热管理技术涉及在光纤之上沉积薄金属层。金属层的厚度会根据光纤的直径而变化。例如,金属层的厚度可以在5微米至60微米之间变化。金属层通常被焊接到另一结构(诸如具有大热质量的无源器件)上。金属层将热量传输得远离光纤到大热质量。

[0006] 遗憾的是,该方法具有各种各样的缺点。例如,金属层通常包括限制将热量传输得远离光纤的空隙。而且,较厚的金属层可能遭遇增大的剥离应力,这会导致设备出现故障。此外,常常存在归因于光纤的玻璃包覆和金属层的不同热膨胀系数的光纤长度限制,并且在高温焊接时可在光纤中产生热应力。总的来说,该技术遭受许多限制以及会使设备性能降级的二次影响。

### 发明内容

[0007] 本公开提供用于高功率光纤的热管理。

[0008] 在第一实施例中,方法包括获得具有至少一个暴露的金属表面的衬底。该方法还包括将金属电沉积到衬底的至少一个暴露的金属表面上并且在光纤的至少一部分周围以便将光纤固定到衬底。衬底和电沉积的金属被配置成从光纤移除热量。

[0009] 在第二实施例中,一种装置包括衬底、光纤和热耦合到衬底且在光纤的至少一部分周围的电沉积的金属。衬底和电沉积的金属被配置成从光纤移除热量。

[0010] 在第三实施例中,一种系统包括被配置成生成光学信号的激光器和被配置成传输光学信号的装置。该装置包括衬底、被配置成传输光学信号的光纤、和热耦合到衬底且在光纤的至少一部分周围的电沉积的金属。衬底和电沉积的金属被配置成从光纤移除热量。

[0011] 在第四实施例中,一种方法包括获得具有至少一个暴露的金属表面的衬底。该方法还包括将金属沉积到衬底的至少一个暴露的金属表面上并且在光纤的至少一部分周围以便将光纤固定到衬底。衬底和沉积的金属被配置成从光纤移除热量。在特定实施例中,使用电沉积技术、金属气相沉积技术、溅射技术或化学气相沉积技术来沉积金属。

[0012] 根据下面的图、描述和权利要求,其它技术特征对本领域技术人员来说将是显而易见的。

### 附图说明

[0013] 为了更完整地理解本公开及其特征,现在结合附图参考下面的描述,在附图中:

图1A一直到图1G图示根据本公开的用于为光纤提供热管理的示例技术;

图2A一直到图2F图示根据本公开的用于为光纤提供热管理的另一示例技术;

图3图示根据本公开的在为光纤制造热管理解决方案中使用的示例系统;

图4A和图4B图示根据本公开的示例光纤布局;

图5一直到图13图示根据本公开的可利用光纤实施的示例特征;以及

图14图示根据本公开的用于为光纤提供热管理的示例方法。

### 具体实施方式

[0014] 下文描述的图1A一直到图14以及用来在该专利文档中描述本发明原理的各个实施例仅是示意性说明的方式并且不应以限制本发明范围的任何方式来解释它们。本领域技术人员将会理解可以在任何类型的适当布置的设备或系统中实施本发明的原理。

[0015] 图1A一直到图1G图示了根据本公开的用于为光纤提供热管理的示例技术。如图1A中所示,提供衬底102,并且光纤104被放置在衬底102上或之上。当光纤104被使用时(诸如在高功率激光系统中),衬底102可以引导热量远离光纤104。可以由至少一种金属来形成衬底102,附加金属可被沉积到该至少一种金属上以便部分或全部地包裹光纤104。衬底102可以包括任何适当的金属(一种或多种),诸如铜衬底或涂覆有铜的铍或钼衬底。衬底102还可以具有任何适当的尺寸、形状和维度,诸如大约1/8英寸(大约3.175mm)的厚度。

[0016] 可以使用任何适当类型的光纤104。例如,可以使用具有一个或多个核的光纤104。而且,光纤104可以表示诸如通过使用接头而连接在一起的单个光纤或多个光纤。所使用的特定类型的光纤104可以包括熔融石英和磷掺杂或其它掺杂的光纤。

[0017] 光纤104最初可以通过支撑结构106保持在衬底102上或之上的适当位置。支撑结构106表示可以将光纤104保持在衬底102上或附近以使得金属的后续沉积将光纤104连接到衬底102的任何适当的结构。例如,支撑结构106可以包括由柔韧的惰性硅酮弹性体、管子工或电镀工胶带形成的透明焊盘。

[0018] 如图1B一直到图1E中所示,在光纤104的一部分周围,附加金属108被沉积到衬底102上。附加金属108可以表示诸如铜的任何适当的金属(一种或多种)。而且,可以使用任何适当的沉积技术(诸如电沉积技术、金属气相沉积技术、溅射技术或化学气相沉积技术)将

附加金属108沉积到衬底102上。作为一个特定示例,在电沉积技术期间衬底102和光纤104可以被浸没在包含硫酸铜和硫酸的溶液中。

[0019] 附加金属108可以被沉积到衬底102之上或光纤104之上的任何适当高度。例如,在一些实施例中,附加金属108可以被沉积直到它部分包裹光纤104为止,诸如图1D或图1E中所示。可以获得任何适当的部分量的包裹,诸如当光纤104的至少大约50%被金属覆盖时。在其它实施例中,附加金属108可以被沉积,直到它完全包裹光纤104为止,诸如图1F和图1G中示出的。在这些实施例中,一旦获得了期望水平的部分包裹且光纤104被适当地固定到衬底102,就可以从光纤104移除支撑结构106。然后可以重新开始并继续沉积附加金属108直到附加金属108在衬底102或光纤104上面具有期望的高度为止。

[0020] 以这种方式,衬底102和附加金属108形成至少部分包裹光纤104的结构。该结构在传输热量使其远离光纤104方面非常有效,同时避免与常规方法有关联的一个、一些或所有问题。一个或多个无源或有源冷却器件可以被耦合到该结构以便将热量从衬底102和附加金属108传输出去。一旦光纤104以这种方式被部分或全部包裹,任何附加处理操作都可发生。例如,光纤104的端部可以被抛光,并且可以形成附加结构来将光纤104耦合到器件或系统的其它部件。

[0021] 图2A一直到图2F图示根据本公开的用于为光纤提供热管理的另一示例技术。如图2A中所示,将遮蔽材料201和牺牲材料203形成或以其它方式放置在衬底202上。牺牲材料203位于由遮蔽材料201限定的空间中,并且遮蔽材料201被用来限定附加金属被沉积到衬底202上的空间。然而,遮蔽材料201的使用是可选的。牺牲材料203表示可以被包裹在沉积的金属中且稍后被移除的材料。可以使用任何适当的牺牲材料203,诸如蜡预制件或镓预制件(诸如具有大约30°C熔点的一个)。牺牲材料203还可以具有任何适当的尺寸、形状和维度。

[0022] 如图2B中所示,附加金属208a被沉积在遮蔽材料201和牺牲材料203之间以及在牺牲材料203之上。可以在牺牲材料203之上沉积任何适量的附加金属208a。附加金属208a可以表示诸如铜的任何适当的金属(一种或多种)。还可以以任何适当的方式来沉积附加金属208a,诸如通过使用电沉积技术、金属气相沉积技术、溅射技术或化学气相沉积技术。

[0023] 如图2C中所示,光纤204被放置在该结构上或之上并使用支撑结构206来保持在适当位置。这些部件可以与图1A一直到图1G中的对应部件104-106相同或相似。然后继续该沉积以便如图2D中所示在光纤204周围沉积附加金属208b。尽管附加金属208b在这里完全覆盖光纤204,但是附加金属208b可以仅部分地覆盖光纤204。可以以任何适当的方式来沉积附加金属208b,诸如通过使用电沉积技术、金属气相沉积技术、溅射技术或化学气相沉积技术。

[0024] 最初的衬底202和附加金属208a-208b在光纤104周围形成结构,这在传输热量使其远离光纤204方面再次非常有效,同时避免与常规方法有关联的一个、一些或所有问题。一个或多个无源或有源冷却器件可以被耦合到该结构以便将热量从衬底202和附加金属208a-208b中传输出去。

[0025] 一旦光纤204被以这种方式部分或全部包裹,任何附加处理操作都可发生。例如,光纤204的端部可以被抛光,并且可以形成附加结构来将光纤204耦合到器件或系统的其它部件。而且,在该过程期间的某一点处,可以移除遮蔽材料201,如图2E中所示的那样,并且

可以移除牺牲材料203以留下冷却通道210,如图2F中所示的那样。冷却通道210表示冷却液可以通过其传递以便从该结构移除热量的结构区。冷却通道210可以具有至少部分由牺牲材料203限定的任何适当的尺寸、形状和维度以及用于从包围的金属内移除牺牲材料203的技术。

[0026] 图1A一直到图2F中示出的方法可以根据实施方式提供各种优点。例如,部分或全部地将光纤104、204封装在金属中为光纤的热管理提供了改进的机制。而且,与光纤104、204相关联的封装以及端面几何形状可以被控制成支撑自由空间和光纤耦合的系统二者。此外,可以以这种方式封装具有非常长长度的光纤,从而减小了通常强加在常规系统中的长度限制。此外,与常规地跟光纤一起使用的金属层相比,以低应力方式沉积的金属(诸如经由电沉积、金属气相沉积、溅射或化学气相沉积)可具有明显更少的空隙,这增加了所沉积的金属的热量传递能力。不仅如此,可以使用各种方法(诸如电沉积)来以与焊接相比低得多的温度(诸如室温)沉积金属,这在光纤中引起更少的应力。此外,所沉积的金属可以被用来在耦合在一起的多个光纤周围形成气密密封。诸如下文描述的那些的附加优点也是可能的。

[0027] 尽管图1A一直到图2F图示了用于为光纤提供热管理的技术的示例,但是可以对图1A一直到图2F作出各种改变。例如,这些图中部件的相对尺寸、形状和维度仅用于说明。而且,图1A一直到图1G中示出的各种特征可以在图2A一直到图2F中使用并且反之亦然。例如,遮蔽材料201或牺牲材料203可以被用在图1A一直到图1G中。此外,尽管光纤104、204被示为放置到平坦衬底102、202或底层金属208a上,但是不需要衬底或底层金属是平坦的。例如,衬底102、202或底层金属208a可以是带槽的,并且光纤104、204可以被放置在槽中。这便于更容易地放置和保留光纤并利用金属包围一部分光纤(这可以缩短金属沉积时段)。除此之外,图1A一直到图2F中示出的操作的顺序可以根据实施方式而改变。此外,尽管上文已经描述在衬底102、202中使用铜并且将铜用作沉积的金属,但是还可以使用各种其它金属(包括金属合金),诸如任何高导电金属或包含高导电金属(比如镍银)的任何合金。最后,尽管在这里示出了光纤204下面的单个凹处203,但是结构在(一个或多个)任何适当位置中可包括任何数目的凹处203。

[0028] 图3图示根据本公开的在为光纤制造热管理解决方案中使用的示例系统300。如图3中所示,系统300包括容纳电铸溶液304的容器302。容器302表示被配置成容纳或留存电铸溶液的任何适当的结构。电铸溶液304表示可以被用来将诸如铜的金属电沉积到另一结构上的任何适当的溶液。作为一个特定示例,电铸溶液304可以在包含按重量计约10%到约12%的硫酸铜的溶液中包含硫酸铜。

[0029] 系统300还包括电耦合到阳极连接308和阴极连接310的电压或电流源306。电压或电流源306表示被配置成通过电铸溶液304生成电流的任何适当的结构。连接308-310表示系统300的其它部件可以被电耦合到的任何适当的结构。

[0030] 金属阳极312被耦合到阳极连接308并且可以被包含在阳极袋314内。可以由一种或多种金属(诸如铜)来形成金属阳极312。阳极袋314可以被用来收集金属阳极312周围的颗粒物质。电铸溶液304中的铜或其它金属(一种或多种)可以源自金属阳极312。

[0031] 在该示例中,固定装置316和翼型螺钉318可以被用来将组件320保持在适当位置。在这里组件320包括图1A一直到图1G的衬底102、光纤104和支撑结构106。组件320可以替代



地包括图2A一直到图2F的衬底202、光纤204和支撑结构206或者包含要被至少部分包裹的衬底和光纤的任何其它适当的结构。固定装置316可以具有任何适当的尺寸、形状和维度，并且可以由任何适当的材料(一种或多种)形成。翼型螺钉318可以由诸如尼龙的任何适当的材料(一种或多种)来形成。然而，要注意，任何其它适当的机构可以被用来将组件320保持在电铸溶液304内。

[0032] 组件320的金属衬底被电耦合到阴极连接310，并且金属衬底的一部分被覆盖在遮蔽材料322中。当电流流过电铸溶液304时，这促使金属被电沉积到金属衬底的不被遮蔽材料322覆盖的暴露表面(一个或多个)上。可以由任何适当的材料(一种或多种)来形成遮蔽材料322并且该遮蔽材料322覆盖金属衬底的任何适当的部分(一个或多个)，诸如除了金属衬底顶部之外的所有表面。

[0033] 可以在电沉积工艺期间以任何适当的方式搅动容器302内的电铸溶液304。例如，可以使用容器302外面的磁致动器326来移动容器302内的磁叶轮324。然而，可以在系统300中使用任何其它适当的搅动器。

[0034] 在电沉积工艺期间，可以使用翼型螺钉318将组件320固定到固定装置316，并且固定装置316和组件320可以被往下放到电铸溶液304中。使用电压或电流源306通过电铸溶液304来产生电流，这促使金属被沉积在组件320的暴露的金属表面(一个或多个)上。

[0035] 电沉积可以缓慢地将组件320中的光纤104、204包裹到期望水平。如果需要光纤的部分包裹，则金属在组件320上的沉积可以继续直到获得期望水平的包裹为止。那时，通过电铸溶液304的电流可以停止并且可以从容器302移除固定装置316和组件320。

[0036] 如果需要光纤的完全包裹，则金属在组件320上的沉积可以继续直到光纤被包裹期望的量为止，诸如至少大约50%。通过电铸溶液304的电流可以停止，可以从容器302中移除固定装置316和组件320，并且可以从固定装置316移除组件320。然后可以在没有支撑结构106、206的情况下将组件320固定到固定装置316，并且放回到电铸溶液304中，或者将没有固定结构316的组件320放回到电铸溶液304中。可以通过再次向电铸溶液304施加电流来完成光纤的包裹。

[0037] 可以基于不同的因素来选择用于电沉积工艺的金属(一种或多种)以及该(金属一种或多种)的厚度和密度。例如，可以基于期望水平的导热性并基于被至少部分包裹的光纤104、204来选择金属(一种或多种)、厚度和密度。能影响选择的光纤的特性包括光纤的绝缘参数、光纤和金属之间的热接触或界面阻力，光纤的玻璃包覆(一个或多个)和核的几何形状差异，在电铸之前光纤的玻璃包覆(一个或多个)的表面制备和活化，以及与光纤一起使用的任何光纤接头的材料和几何形状。光纤的包覆(一个或多个)和核的几何形状差异可以包括核和核光模式的直径以及包覆(一个或多个)的直径(一个或多个)，其对于不同类型的光纤可以不同。可以通过实验来确定涉及特定器件的电沉积工艺的具体选择，并且理想地这些状况可以降低或最小化电沉积的金属与光纤的界面处的微空隙。

[0038] 尽管图3图示了在为光纤制造热管理解决方案中使用的系统300的一个示例，但是可以对图3作出各种改变。例如，任何其它适当的系统可以被用于在光纤的至少一部分周围电沉积金属。而且，尽管常常被描述为电铸铜，但是可以使用各种各样的其它金属。此外，如上文所指出的，可以使用其它沉积技术来将金属沉积到衬底上以便部分或全部包裹光纤，诸如金属气相沉积、溅射或化学气相沉积。

[0039] 图4A和图4B图示了根据本公开的示例光纤布局400、450。光纤布局400、450表示光纤到衬底或底层金属上的可能布置,在这种情况下,然后使用金属沉积工艺将光纤部分或完全包裹在金属中。

[0040] 如图4A中所示,布局400包括以盘绕方式放置在衬底102、202中的光纤104、204。光纤104、204的一端部402表示输入,并且光纤104、204的另一端部404表示输出。在光纤104、204的端部402-404处的衬底102、202可以成角度,诸如大约 $5^{\circ}$ 。然而,可以支持任何适当的一个或多个端面几何形状。而且,可以以任何适当的方式(诸如通过抛光)来形成一个或多个端面几何形状。

[0041] 从输入端402移动到输出端404,光纤104、204在围绕衬底102、202的中部406反转行进方向之前在一个方向(在该示例中为逆时针)遵循平面内盘旋路径。光纤104、204然后在到达输出端404之前沿着另一方向(在该示例中顺时针)遵循平面内盘旋路径。

[0042] 图4B中的布局450具有类似的布置。然而,图4B中的光纤104、204更长并且包括更多数目的盘绕,并且盘绕被更紧密地放置在一起。给定衬底上的光纤的盘绕的最大数目可基于光纤的制造商所推荐的最小弯曲半径。保持光纤104、204的弯曲半径大于最小弯曲半径可以帮助降低微弯曲损耗或使微弯曲损耗最小化。

[0043] 在图4B中,衬底102、202包括多个安装孔452。这些孔452表示在那里可以使用螺栓或其它连接机构将衬底102、202安装在期望位置中的区域。每个孔452可以具有任何适当的尺寸、形状和维度。还可以以任何适当的方式(诸如通过钻孔)来形成每个孔452。此外,可以在衬底中在任何适当的位置(一个或多个)处提供任何数目的安装孔452。然而,要注意,安装孔452的使用是可选的,并且可以使用其它机构来将衬底固定在期望位置。

[0044] 在图4A和图4B二者中,底层衬底102、202(或底层金属208a)可以被蚀刻以形成限定光纤104、204的盘旋路径的一个或多个凹处。然后可以在金属沉积工艺之前将光纤104、204放置在凹处(一个或多个)内。在一些实施例中,可以通过胶带或其它连接器将光纤104、204的一小部分固定到底层衬底或金属,并且金属沉积可以发生以便将光纤固定到底层衬底或金属。然后可以移除胶带或其它连接器以使得光纤的先前覆盖部分可以被覆盖在金属中并且金属沉积工艺可被完成。

[0045] 以这种方式盘旋光纤104、204可以具有许多优点。例如,盘旋光纤104、204可以允许将相当长的光纤放置在衬底102、202上。这帮助降低底层衬底102、202的尺寸,这样可以显著降低使用光纤的器件或系统的整体尺寸和重量。然而,具有较长长度的光纤不是可以在这里使用的仅有的光纤。可受益于金属中封装的其它类型的光纤可以包括与具有较高脉冲能量和较短脉冲的信号一起使用的短的高吸收光纤。而且,具有聚合物涂层的光纤可以被直接嵌入在沉积金属内。

[0046] 尽管图4A和4B图示光纤布局400、450的示例,但是可以对图4A和图4B作出各种改变。例如,至少部分被包裹在金属中的光纤可以具有任何其它适当的盘旋或非盘旋布局。示例可以包括裸光纤、厚板波导以及规则或不规则盘旋的几何形状。

[0047] 图5一直到图13图示根据本公开的利用光纤实施的示例特征。例如,可以与图1A一直到图2F中示出的器件一起使用这些特征中的任一个或这些特征的任何组合。

[0048] 如图5中所示,光纤104、204的一个示例实施例包括核502、玻璃包覆504和聚合物包覆506。聚合物包覆506可以充当弹性界面以适应光纤和周围金属之间的CTE失配。而且,

与聚合物包覆506的使用有关的问题被显著减少,因为聚合物包覆506可以被完全嵌入在周围金属内。

[0049] 还如图5中所示,在该结构的小端面510附近的区域中,聚合物包覆506的一部分508已经被移除。可以移除聚合物包覆506的任何适当部分508,诸如一直到聚合物包覆的大约40 $\mu\text{m}$ 或更多。聚合物包覆506的该部分508的移除可以帮助避免在信号514进入光纤104、204的位置处燃烧或熔化聚合物包覆506。如在这里可以看到的,聚合物包覆506被周围的金属完全封装,所以金属可在聚合物包覆506的部分508已被移除了的区域周围形成密封。

[0050] 该结构的小端面510被覆盖在光学膜512中。光学膜512可以促进信号514到光纤104、204中的耦合。光学膜512包括诸如抗反射涂层的任何适当的膜(一种或多种)。

[0051] 光学膜512还在光纤104、204被设置在其中的缝隙(或光纤的暴露部分)以外延伸并且延伸到周围的金属上。这可以是有益的,因为这样往往更容易连同光学膜一起涂覆玻璃与金属区两者。此外,具有大的玻璃和金属的复合小面会简化随后的清洁程序,因为与使用带悬臂的光纤尖头的几何结构相比,光纤体被完全机械支撑。

[0052] 小端面510可以以任何适当角度且以任何适当方式小面化,诸如通过抛光和清洁该结构。在经过小面化的小端面510附近没有聚合物包覆506帮助增大抛光和清洁小端面510的容易性。此外,使聚合物材料从小端面510凹进在高功率操作期间可以有帮助,因为聚合物的排气、熔化或燃烧会污染小面的高功率区并导致小面故障。使聚合物凹进会帮助大大地改进小面的可靠性。

[0053] 信号514可以由任何适当的源来提供,诸如泵浦激光器。在这里信号514由实线和虚线二者表示。实线可表示信号514中的进入光纤104、204的包覆504的一部分,而虚线可表示信号514在包覆504外部的溢出。该溢出能被容易地接纳,因为它碰到直接连接到散热器的底座的金属部分。因此,它可能使光纤104、204产生少量热量或没有热量并且不会使聚合物包覆506燃烧。

[0054] 在光纤104、204周围使用沉积的金属帮助大大地简化端面制备。沉积的金属可以提供一直到小端面510的有效散热能力。此外,沉积的金属提供结实的机械底座,这可以简化结构的抛光以形成小端面510。此外,在抛光之后,在光纤104、204以及周围的金属之间存在冲洗界面,这可以简化该结构的清洁。小端面510的使用也是有益的。例如,可以在小端面510处产生锋利边缘,这帮助降低或避免来自会散射光的非预期斜面的不良影响。这能找到利用尾纤泵浦二极管、尾纤阵列或其它相似类型的系统的特定应用。

[0055] 而且,小端面510可以充分倾斜以使得所反射的信号光能够穿透到聚合物包覆506中。小面角和包覆506的折射率可以被协调以支持该功能。如果小面角太小,则所反射的光可以被玻璃包覆504和聚合物包覆506的界面全内反射。对于玻璃和聚合物包覆的给定折射率值,聚合物穿透开始时阈值小面角的计算是直接的。活性光纤通常对于玻璃包覆具有特定的光学数值孔径(NA)。然后通过 $\text{asin}(\text{NA})/n$ 来给出所提到的阈值小面角,其中 $n$ 是玻璃包覆504的折射率。

[0056] 小端面510还帮助避免产生寄生模式,该寄生模式是不期望的光激射模式。例如,放大器根本不应该发出激光,但是如果光纤的增益足够高则激光环可以出现,这抢夺来自增益介质的能量。通过使用成角度的小端面来抑制激光环。为了获得最大抑制,小面角被做成足够大以便发生到聚合物包覆506中的穿透。针对该目的的聚合物包覆506的相关性质是

其折射率、吸收性以及从活性增益介质发射的荧光的扩散散射。在完全优化的系统中,这三个特性连同聚合物的厚度及其弹性性质是设计参数。

[0057] 如图6中所示,光纤104、204具有与图5中的光纤相同的结构。然而,在该示例中,邻近光纤104、204的端部形成端盖616。该端盖616表示光纤104、204在那里终止的材料区(诸如无掺杂的玻璃)。端盖616可以具有任何适当的尺寸、形状和维度,诸如至少大约1mm的长度。

[0058] 端盖616可以形成对光纤104、204的密封。而且,从端盖616到光纤104、204的应力过渡区可以被保护,因为它被周围的金属完全封装并且可以使用周围的金属来完全散热。在该示例中,信号614可以通过端盖616进入光纤104、204的玻璃包覆504,同时信号618可以通过端盖616离开光纤104、204的核502并且扩大。因此超大号的端盖616可以被用来将泵浦激光器耦合到光纤的包覆504中。可发生远离器件主体中的小面的泵浦能量以及相关热生成的任何溢出。

[0059] 要注意,端盖616常常与光纤104、204的剩余部分形状失配,并且通往端盖616的过渡区常常具有不规则形状。与常规技术相比,沉积的金属能更容易地多得适应这些不同的形状,这会简化制造工艺并改进散热能力。

[0060] 图7图示与图5中示出的结构相似的结构。然而,在图7中,光纤104、204之上的附加金属108、208b已经被修改以包括一个或多个端口702。根据实施方式该(一个或多个)端口702可以提供一个或多个作用。

[0061] 在一些实施例中,例如,聚合物包覆506可以合并到信号波长的损失并且可以引起散射或扩散。此外,该结构的小端面510可以具有大到足以将反射的经过引导的放大自发辐射(ASE)投入到玻璃包覆504或聚合物包覆506中的小面角。端口702允许由信号行进通过聚合物包覆506产生的荧光逸出。

[0062] 在其它实施例中,光纤104、204可缺少聚合物包覆506。因此,存在从玻璃包覆504和周围金属之间的界面反射出的寄生模式的可能性。通过使用端口702,光纤104、204的区段可以保持暴露(不会被完全包裹在金属中)以降低或最小化对该些寄生模式的反射率。

[0063] 可以以任何适当的方式来形成端口702中的每一个,诸如通过在金属沉积工艺期间遮蔽光纤104、204的一部分。而且,每个端口702可以具有任何适当的尺寸、形状和维度并且具有任何适当的布置,诸如横切光纤104、204或者在光纤104、204纵向。

[0064] 图8图示在其中光纤104、204被划分成在接头806处接合的多个节段802-804的示例结构。通常通过局部地熔化两个光纤片并且然后将它们熔融在一起来产生接头806。可以产生接头来接合具有共有或不同性质的光纤片,该光纤片诸如是用于掺杂的和无掺杂的节段、用于不同掺杂等级的节段、用于耦合到放大器光纤的泵浦光纤和信号光纤(被称为锥形光纤耦合器)束、用于模式滤波器、以及用于模式场适配器。该接头区倾向于比体光纤更易碎并且倾向于生成散射光以及可能的吸收性,这是产生热量的原因。

[0065] 接头806位于该结构的再涂覆区段808内,该区段808指代可以在光纤区段802-804被接合之后通过金属沉积技术或其它技术添加金属的区域。如这里示出的,存在在接头806处逸出光纤的一些散射光810,由此生成通过周围的金属移除的热量。周围的金属还起到终止散射光810的作用。顺应沉积的金属的性质会从结构和热量两方面保护接头806。

[0066] 在图9中,使用至少部分由金属层904包围的核902来实施衬底102、202。核902可以

表示诸如铍或钼的任何适当的材料(一种或多种)。核902可以具有低CTE和高导热性。金属层904包括可以在其上沉积其它金属(诸如铜)的任何适当的金属(一种或多种)。可以以任何适当的方式(诸如电沉积)来形成金属层904本身。

[0067] 还在图9中,不直接将金属沉积到光纤104、204上。相反,光纤104、204被软的材料层906包围,并且在材料层906周围沉积金属。材料层906可以包括具有高导热性的诸如银、铅、镓或铟的任何适当的材料(一种或多种)。作为一个特定示例,镀铅可以被用来增强与较软磷酸盐玻璃光纤或氟磷酸盐光纤一起使用的金属的延展性,并且不会引起基于它们的差异CTE的物理损坏。

[0068] 图10一直到图12图示可以使用图1A一直到图2F中示出的结构的示例系统。在图10中,泵浦激光器1002生成被提供给至少部分包裹在金属中的光纤104的信号。信号离开光纤104并且可以被提供给输出光学器件1004,其可以包括镜子、分光器、透镜或可以进一步改变或指引信号的其它光学元件。

[0069] 至少一个热量传递单元1006可以在一个或多个位置处热耦合到包围光纤104的金属。每个热量传递单元1006可以以任何适当方式从包围光纤104的金属移除热量。例如,热量传递单元1006可以表示被设计成驱散热量的无源或有源冷却系统,诸如一个或多个热管、金属撒布器、散热器、热电冷却器或送风机。

[0070] 在图11中,泵浦激光器1002生成被提供给至少部分包裹在金属中的光纤204的信号。信号离开光纤204并且可以被提供给输出光学器件1004。在该示例中,经由包括泵浦1102的冷却环路来提供冷却。泵浦1102可以将流体(诸如液体或气体)泵入形成在光纤204周围的金属中的冷却通道210中。流体可以被用来从光纤204周围的金属移除热量。可以使用任何适当的流体,并且泵浦1102表示产生流体流动的任何适当的结构。要注意,可以在图11的系统中使用一个或多个热量传递单元1006。

[0071] 在图12中,使用多个冷却环路来冷却光纤204。在该示例中,由泵浦1202通过冷却通道210将第一流体泵入包围光纤204的金属中。然后使用第二冷却环路1204来冷却第一冷却环路中的流体。在特定实施例中,第一冷却环路中的流体可以表示液体金属,并且泵浦1202表示电磁泵浦。然而,多环路冷却系统可以包括任何适当的流体(一种或多种)以及任何适当的泵浦(一个或多个)。还要注意,多环路冷却系统可以包括不止两个冷却环路。此外,要注意,在图12的系统中可以使用一个或多个热量传递单元1006。

[0072] 图13图示在整个光纤104、204之上沉积金属可能是没必要的。例如,在图13中,仅可以在光纤104、204的端部处或附近沉积附加金属108、208b,该端部处或附近表示最需要热量移除的区域。附加金属108、208b可以从根本上形成可固定到散热器或其它无源或有源热量传递设备的连接器片。然而,要注意可以在沿着光纤104、204的其它位置或额外位置中沉积附加金属108、208b。而且,要注意尽管没有在这里示出,但是至少一个凹处203可以被形成在包围光纤104、204的金属中。此外,要注意,底层衬底102、202或者底层金属208a不需要在光纤104、204下面连续并且可以相似地仅在特定位置处接触光纤104、204。

[0073] 尽管图5一直到图13图示可以利用光纤实施的特征的示例,但是可以对图5一直到图13作出各种改变。例如,图5一直到图13仅仅意指图示可以被合并到光纤至少部分被包裹在沉积的金属内的结构中的不同特征。可以不使用这些特征,使用这些特征中的一个或者多于一个。而且,可以使用没有在这里示出的额外特征。

[0074] 图14图示根据本公开的用于为光纤提供热管理的示例方法1400。如图14中所示，在步骤1402处获得衬底。这可以包括例如获得铜板、镀有铜的铍或钼衬底或者任何其它适当的衬底102、202。

[0075] 可选地，在步骤1404处可以将牺牲材料放置在衬底之上，并且可以在牺牲材料之上沉积金属。这可以包括例如将牺牲材料203形成到衬底202上或以其它方式将牺牲材料203放置到衬底上以及在牺牲材料203之上沉积金属208a。可以以任何适当的方式来沉积附加金属208a，诸如通过使用电沉积技术、金属气相沉积技术、溅射技术或化学气相沉积技术。

[0076] 在步骤1406处将光纤放置在衬底之上。这可以包括例如使用固定装置316或其它结构将光纤104、204保持在衬底102、202之上。这还可以包括使用弹性体或其它支撑结构106、206来在光纤104、204上扩展力。

[0077] 在步骤1408处在光纤的至少一部分周围沉积金属。这可以包括例如执行沉积工艺以便在光纤104、204的至少一部分周围沉积铜或其它金属(一种或多种)108、208b。这帮助将光纤104、204物理连接到底层衬底102、202或金属208a。可以使用任何适当的沉积技术，诸如电沉积技术、金属气相沉积技术、溅射技术或化学气相沉积技术。

[0078] 沉积工艺可以被控制以便以恒定速度或变化的速度来沉积金属。例如，沉积工艺最初可以沿着光纤104、204的较低部分更缓慢地沉积金属。一旦光纤104、204的较低部分的充分覆盖被实现从而将光纤固定到底层衬底102、202或金属208a，沉积工艺就可以更迅速地沉积金属以完成沉积工艺。而且，在电沉积工艺期间，经由电镀溶液304的电流可以在整个工艺期间保持足够低从而避免在沉积的金属内明显地形成空隙。

[0079] 可选地，在步骤1410处从金属移除牺牲材料。这可以包括例如通过钻孔或任何其它适当的工艺来移除牺牲材料203。这在金属中形成至少一个冷却通道210，冷却流体可以通过其流动。

[0080] 如果需要，在步骤1412处沉积的金属被热耦合到一个或多个热量传递单元。这可以包括例如将封装的光纤104、204安装到一个或多个热管、金属撒布器、散热器、热电冷却器或送风机。这时候，所制造的结构可以被用来传输任何适当的信号。

[0081] 尽管图14图示用于为光纤提供热管理的方法1400的一个示例，但是可以对图14作出各种改变。例如，尽管被示为一系列步骤，但是图14中的各个步骤可以重叠，并行发生、以不同顺序发生或者发生多次。

[0082] 应该注意，用于至少部分在光纤周围沉积金属的不同技术可能根据如何实施这些技术而具有不同的益处。例如，电沉积技术可以被等同地适用于较短和较长的光纤互连，由此解决高功率和低到中功率放大选项二者。而且，电沉积技术可以与许多固态激光器设计(包括芯片类型、夹层类型和平面类型设计)一起使用。此外，电沉积技术可以被用来形成基本上无空隙的结构，并且衬底和沉积的金属可以是厚的且具有超过光纤的热质量的显著的量(诸如至少三个数量级)的热质量。除此之外，电沉积金属可以降低或最小化光纤的隔热玻璃和金属之间的界面热阻，并且提供经过改进的或最优化的热扩散和散热能力。此外，电沉积可以在具有不相似材料(诸如玻璃-铜组合的)组件中实现低残余应力形成。

[0083] 此外，电沉积可以被用来形成能支持热量传输的意义明确的形状，不只是随机的结构。例如，工程良好的金属散热器可以提供主要朝向其基底集中的热扩散模式，这可具有

占优势的热质量并且可具有提供期望热扩散的期望横截面。基于光纤的激光器腔然后可以具有带有降低的或最小寄生振荡的可预测光激射。图4A和4B中示出的螺旋图案是其的一个很好的示例,在其中通过与光纤自身的热质量相比更大的热质量来表征底层衬底(基底)。当与以螺旋布置定位的光纤适当集成时,各光纤环路之间的热梯度可以小到忽略不计,并且光纤环路内的热场可以是几乎均匀的。

[0084] 尽管电沉积技术确实具有许多好处,但是本公开不限于只有电沉积技术。其它沉积技术也可以被用来至少部分包裹光纤,诸如金属气相沉积、溅射或化学气相沉积。这些沉积技术中的每一个可以具有它们自己的优点。

[0085] 阐述遍及本专利文档所使用的某些词和短语的定义可能是有利的。术语“包括”和“包含”及其衍生意指包括而非限制。术语“或”是包括性的,意指和/或。短语“与……相关联”及其衍生可以意指包括、被包括在内、与……互连、包含、被包含在内、连接到或与……连接、耦合到或与……耦合、可与……通信、与……协作、交错、并置、接近、被绑定到或与……绑定、具有、具有……性质、与……有关系或与……有关等等。当短语“至少一个”与条目列表一起使用时,意指可以使用所列出的条目中的一个或多个的不同组合,并且可能需要列表中的仅一个条目。例如,“A、B和C中的至少一个”包括下述组合中的任一个:A,B,C,A和B,A和C,B和C,以及A和B和C。

[0086] 尽管本公开已经描述某些实施例和总体上相关联的方法,但是这些实施例和方法的改变和置换对本领域技术人员来说将是显而易见的。因此,示例实施例的上述描述不限定或约束本公开。在不偏离如由下面的权利要求所限定的本公开的精神和范围的情况下,其它变化、替换和更改也是可能的。

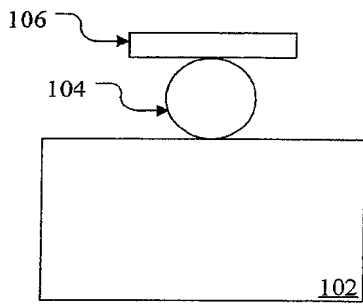


图 1A

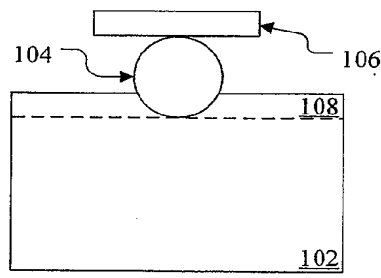


图 1B

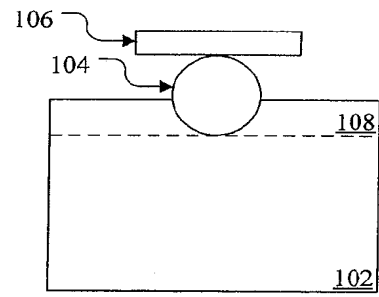


图 1C

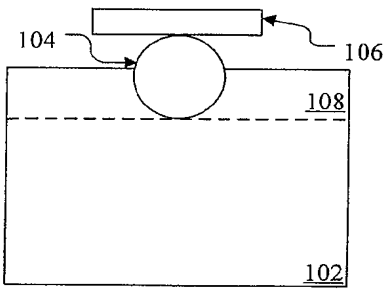


图 1D

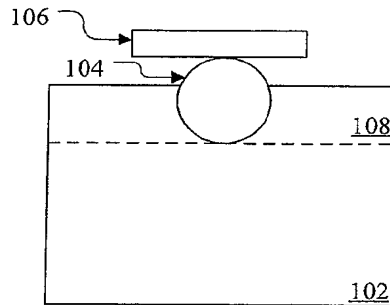


图 1E

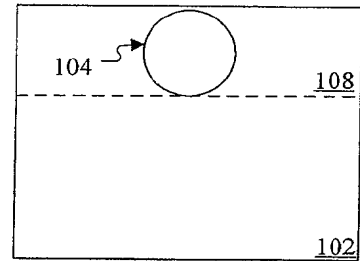


图 1F

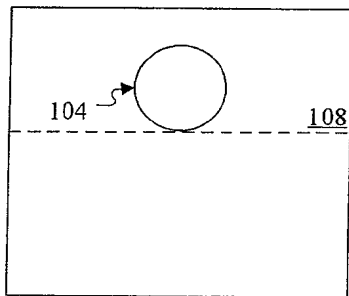


图 1G

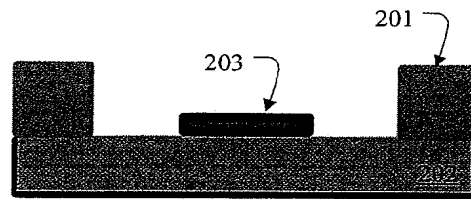


图 2A

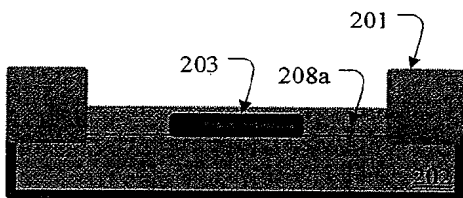


图 2B

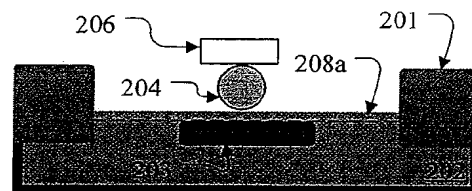


图 2C



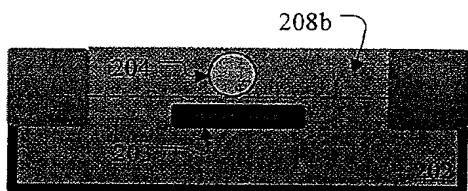


图 2D

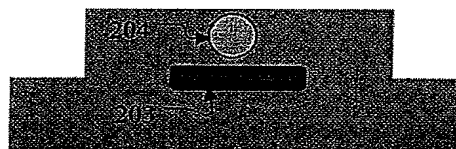


图 2E



图 2F

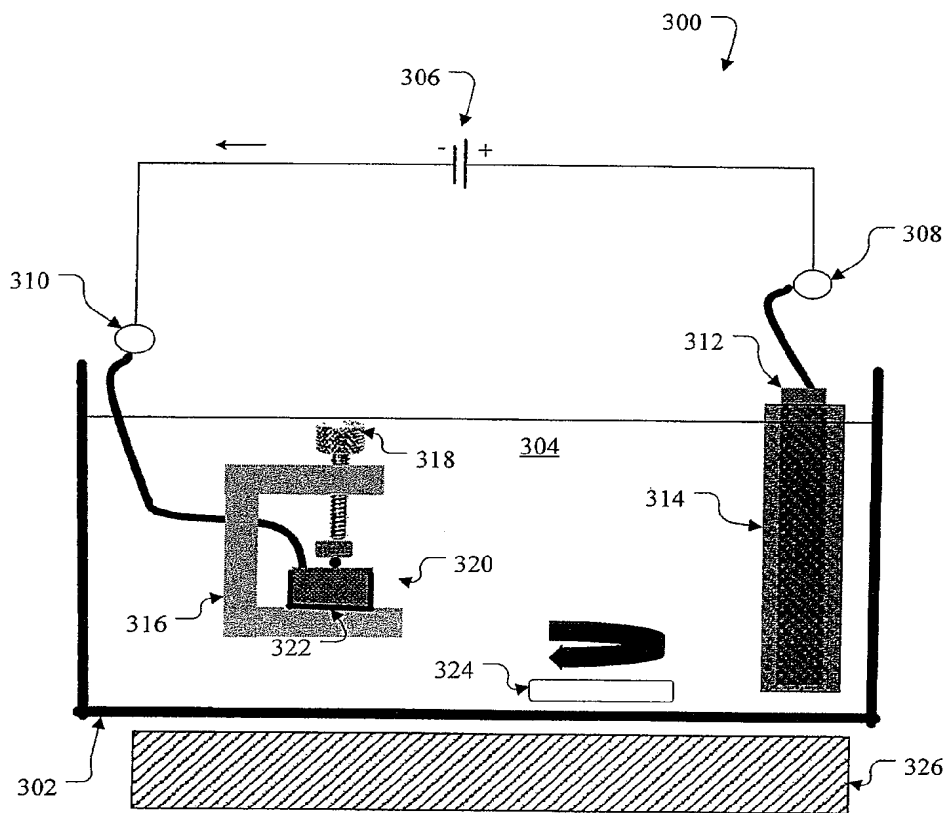


图 3

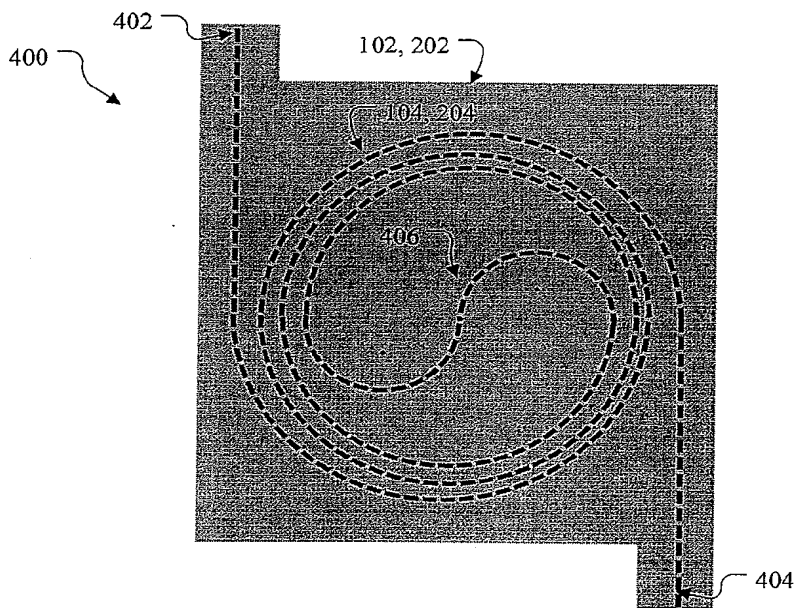


图 4A

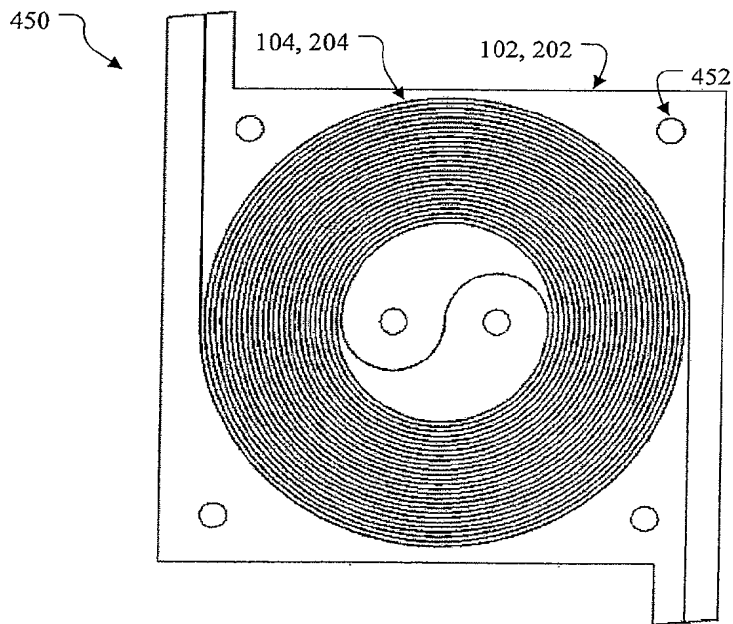


图 4B

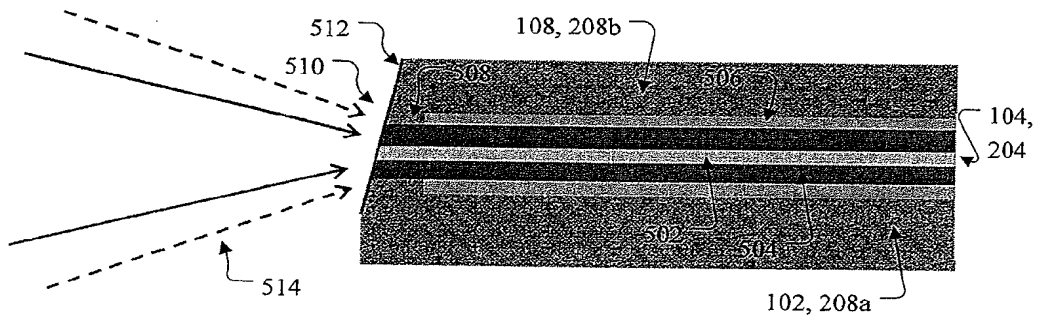


图 5

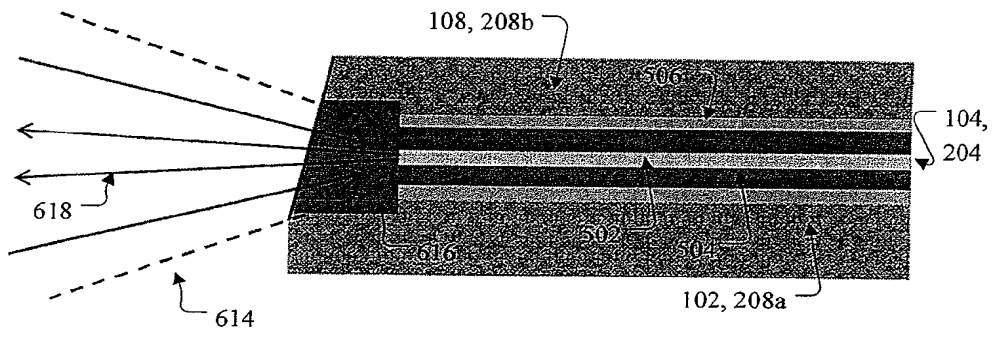


图 6

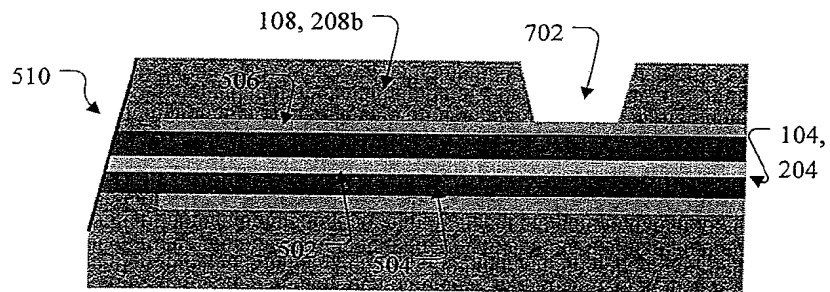


图 7

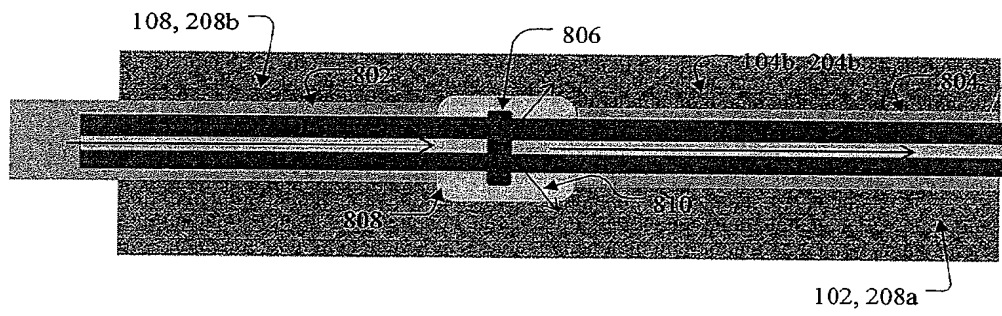


图 8

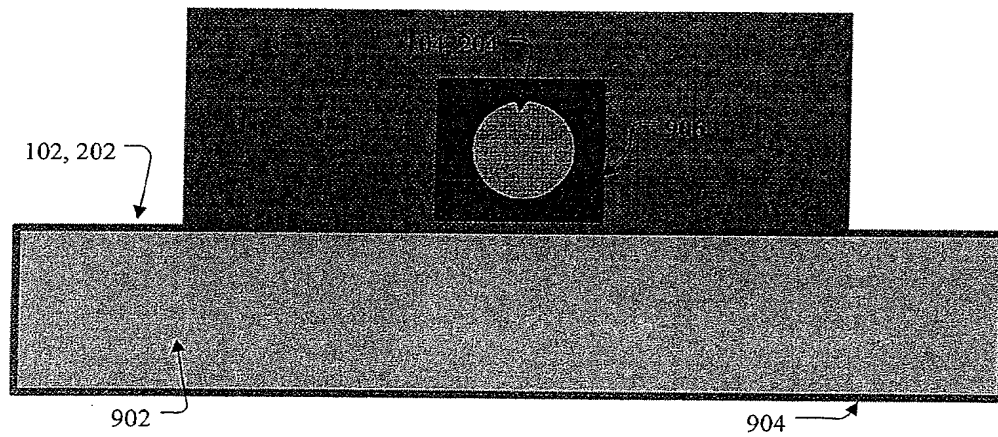


图 9

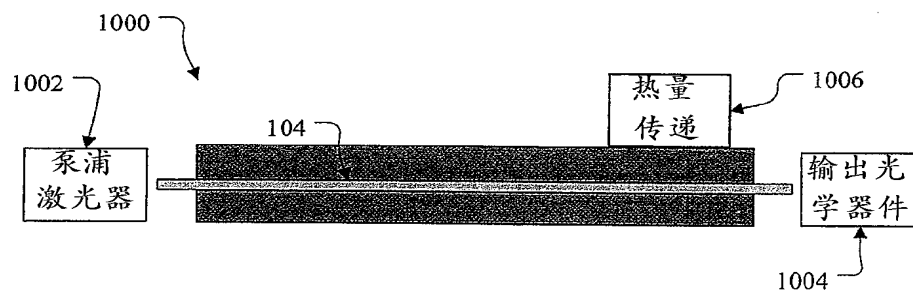


图 10

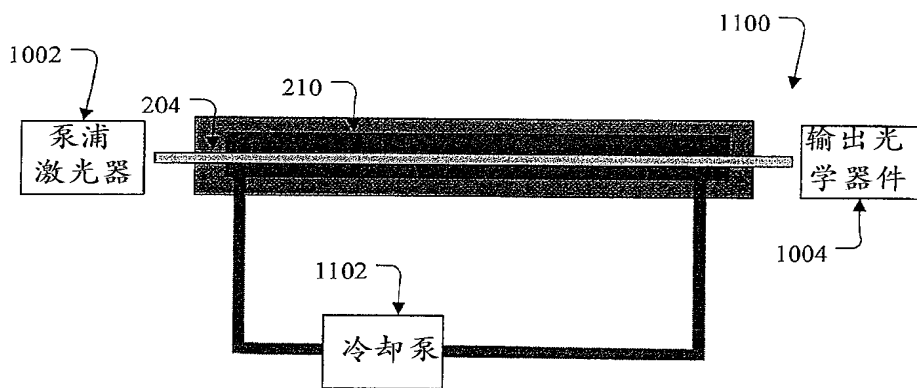


图 11

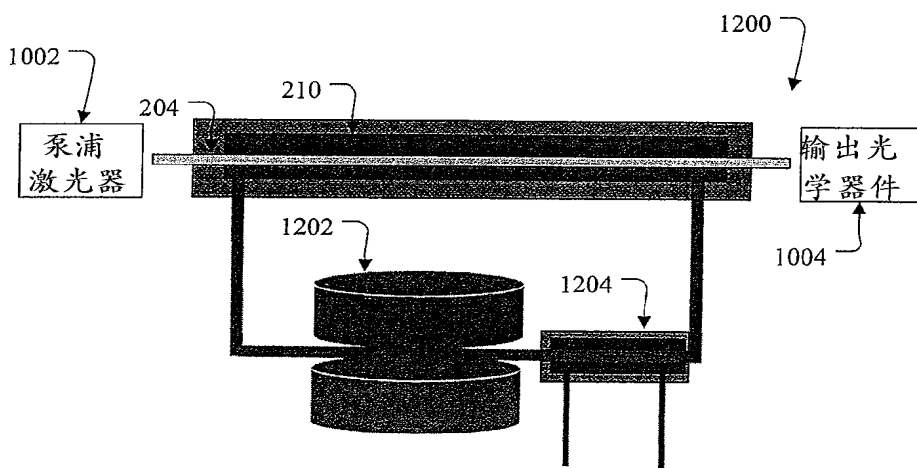


图 12

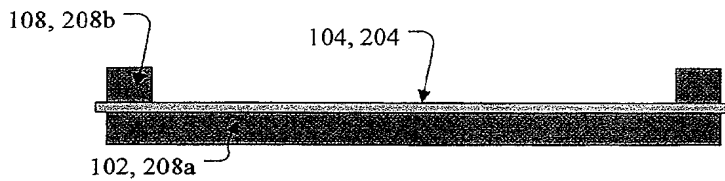


图 13

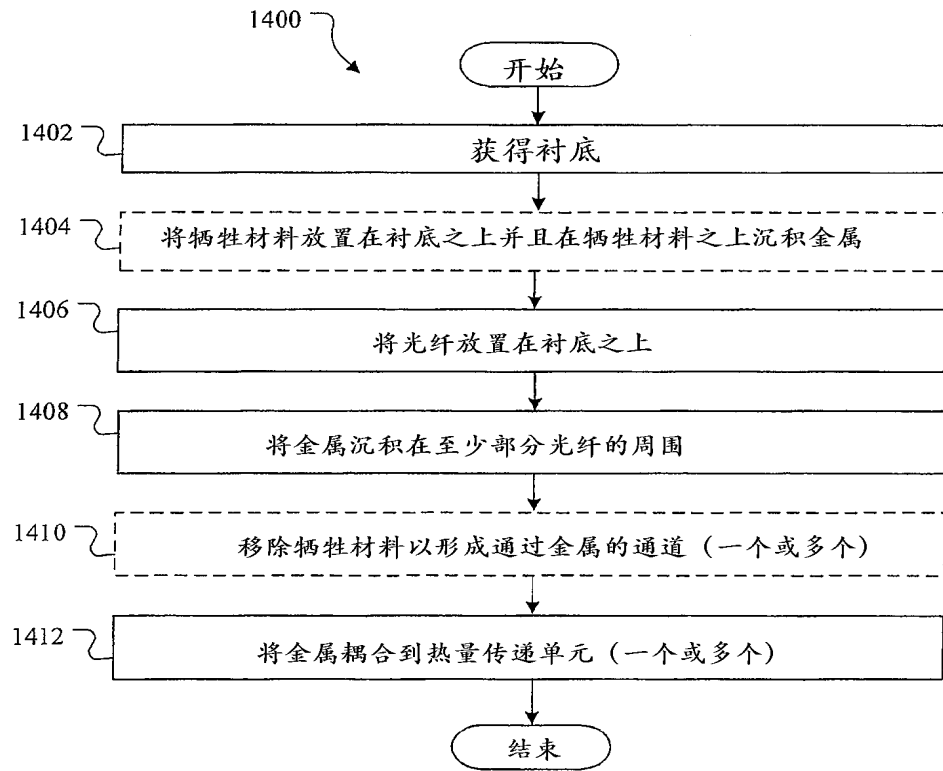


图 14