



(21) 申请号 202011294845.8

(22) 申请日 2020.11.18

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114114539 A

(43) 申请公布日 2022.03.01

(30) 优先权数据
17/006,366 2020.08.28 US

(73) 专利权人 无盖灯光电公司
地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 E·J·诺伯格 梁睿 B·M·柯廷
J·鲍特斯

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所
11256
专利代理师 马明月

(51) Int.Cl.
G02B 6/13 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 111211183 A, 2020.05.29
US 2007002924 A1, 2007.01.04
US 2006151784 A1, 2006.07.13
CN 110824332 A, 2020.02.21
CN 110678791 A, 2020.01.10
US 2019162628 A1, 2019.05.30

审查员 高慧敏

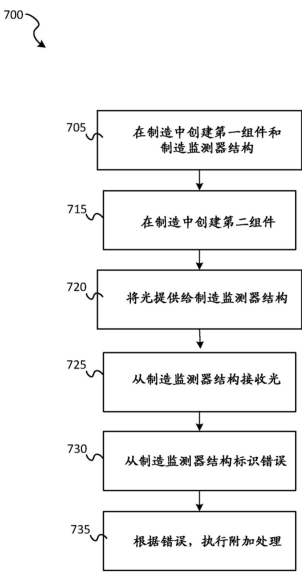
权利要求书3页 说明书11页 附图7页

(54) 发明名称

光子电路制造中的损耗监测

(57) 摘要

本公开的实施例涉及光子电路制造中的损耗监测。光学制造监测器结构可以被包括在由掩模或制造光罩在晶片上进行制造的设计中。第一组件集合可以在初始制造周期中被形成,其中第一组件集合包括功能性组件和监测器结构。第二组件集合可以通过后续制造过程形成,后续制造过程可能潜在地导致第一组件集合的错误或损坏。监测器结构可以在制造期间(例如,在洁净室中)被实现,以在不会拉出或报废晶片的情况下,检测制造错误。



1. 一种用于在光子集成电路的制造期间检测光学组件错误的方法,所述方法包括:

在制造环境中,使用初始制造周期在所述光子集成电路的硅层上制造多个光学组件,所述多个光学组件包括功能性光学组件和一个或多个制造波导监测器结构,所述功能性光学组件用于处理所述光子集成电路中的光,所述一个或多个制造波导监测器结构用于检测对所述光子集成电路的一个或多个区的损坏,所述一个或多个区易受到由用于形成所述光子集成电路的后续制造周期过程造成的损坏,所述一个或多个制造波导监测器结构包括马赫曾德尔干涉仪,所述马赫曾德尔干涉仪具有上臂和下臂,所述上臂在所述光子集成电路外部的区域中,所述下臂延伸穿过易于受到来自所述后续制造周期的损坏的所述区中的至少一个区;

在所述制造环境中,使用所述后续制造周期在所述光子集成电路的另一层中制造多个附加光学组件,所述多个附加光学组件被包括在易受到来自所述后续制造周期的损坏的所述一个或多个区中;以及

在所述制造环境中,标识由所述后续制造周期造成的对所述硅层的所述一个或多个区的损坏,所述损坏从传播通过所述马赫曾德尔干涉仪的光而被检测。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中根据所述光子集成电路的设计,所述一个或多个制造波导监测器结构与处理光的所述功能性光学组件分离。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中所述一个或多个制造波导监测器结构中的每个制造波导监测器结构包括集成光源和光电检测器,所述集成光源和所述光电检测器由一个或多个波导连接。

4. 根据权利要求1所述的方法,其中所述一个或多个制造波导监测器结构中的每个制造波导监测器结构包括输入耦合器和输出耦合器,所述输入耦合器和所述输出耦合器用于在单片化之前在晶片级接收和输出光。

5. 根据权利要求4所述的方法,其中所述输入耦合器是输入光栅耦合器,并且所述输出耦合器是输出光栅耦合器。

6. 根据权利要求1所述的方法,其中所述光子集成电路由晶片形成;并且

其中所述一个或多个制造波导监测器结构中的一个或多个制造波导监测器结构经由所述初始制造周期,被形成在将与所述晶片分离的光子集成电路区域外部的区域中。

7. 根据权利要求6所述的方法,其中第一制造波导监测器结构具有位于所述外部区域中的耦合器,并且具有穿过易于损坏的所述一个或多个区中的区的波导路径。

8. 根据权利要求7所述的方法,其中第二制造波导监测器结构具有位于所述光子集成电路内的耦合器,并且具有第二波导,所述第二波导穿来自易于损坏的所述一个或多个区的所述区。

9. 根据权利要求8所述的方法,其中所述第一制造波导监测器结构是校准制造波导监测器结构,针对所述校准制造波导监测器结构,所述第二制造波导监测器结构的光学损耗能够被测量以检测对所述一个或多个区中的所述区的损坏。

10. 根据权利要求6所述的方法,其中所述一个或多个制造波导监测器结构中的一个制造波导监测器结构是外部制造波导监测器结构,所述外部制造波导监测器结构包括输入耦合器和输出耦合器以及健康波导,所述输入耦合器和所述输出耦合器以及所述健康波导被包括在所述外部区域内并且从所述光子集成电路被排除。

11. 根据权利要求10所述的方法, 其中所述后续制造周期被应用于所述光子集成电路的一部分、并且还被应用于所述光子集成电路外部的所述外部区域中的另一部分。

12. 根据权利要求11所述的方法, 其中所述外部制造波导监测器结构通过所述后续制造周期的应用而被损坏, 并且对所述光子集成电路的所述损坏经由输入并且测量传播通过所述外部制造波导监测器结构的损坏部分的光而被检测。

13. 根据权利要求1所述的方法, 其中损坏基于被输入到所述马赫曾德尔干涉仪的光的错误消光比而被检测, 所述错误消光比是由对所述下臂的损坏造成的消光比, 所述下臂延伸穿过易于损坏的所述区中的所述至少一个区。

14. 根据权利要求1所述的方法, 其中使用光纤聚焦器, 光被输入到所述一个或多个制造波导监测器结构中。

15. 根据权利要求1所述的方法, 其中所述制造环境是用于晶片的制造的制造洁净室, 所述晶片包括从制造光罩形成的多个光子集成电路。

16. 根据权利要求15所述的方法, 其中对所述一个或多个区的所述损坏在所述制造洁净室中在线地、并且在没有从所述制造洁净室移除所述光子集成电路的情况下被执行。

17. 根据权利要求1所述的方法, 还包括:

基于来自所述制造环境中的所述后续制造周期的、对所述一个或多个区造成的所述损坏, 丢弃所述光子集成电路。

18. 根据权利要求1所述的方法, 其中所述多个光学组件包括波导和光学耦合器; 并且其中所述多个附加光学组件包括激光器和调制器。

19. 一种晶片上的光子集成电路, 所述晶片包括一个或多个制造波导监测器结构, 所述晶片包括:

包括多个光学组件的光子集成电路, 所述多个光学组件在制造环境中, 使用初始制造周期而被形成在所述晶片的硅层中, 所述多个光学组件包括功能性硅光学组件和所述一个或多个制造波导监测器结构, 所述功能性硅光学组件用于处理所述光子集成电路中的光, 所述一个或多个制造波导监测器结构用于检测对所述晶片中易受到由后续制造过程造成的损坏的一个或多个区的损坏, 以在所述光子集成电路中形成多个附加光学组件, 其中所述多个附加光学组件在所述制造环境中, 使用后续制造周期而被形成在所述光子集成电路的附加层中, 所述多个附加光学组件被包括在易于受到来自所述后续制造周期的损坏的所述一个或多个区中, 所述一个或多个制造波导监测器结构包括马赫曾德尔干涉仪, 所述马赫曾德尔干涉仪具有上臂和下臂, 所述上臂在所述光子集成电路外部的区域中, 所述下臂延伸穿过易于受到来自所述后续制造周期的损坏的所述区中的至少一个区; 以及

在所述光子集成电路外部的过剩区, 所述过剩区通过将所述晶片单片化而与所述光子集成电路分离, 所述制造波导监测器结构中的至少一个制造波导监测器结构使用所述初始制造周期而被形成在所述光子集成电路和所述过剩区中, 使得所述光子集成电路包括所述制造波导监测器结构中的所述至少一个制造波导监测器结构的一部分, 所述制造波导监测器结构包括波导, 所述波导用于使光传播通过所述一个或多个区来标识由所述后续制造周期造成的损坏。

20. 根据权利要求19所述的所述晶片上的光子集成电路, 其中损坏基于被输入到所述马赫曾德尔干涉仪的光的错误消光比而被检测, 所述错误消光比是由对所述下臂的损坏造

成的消光比,所述下臂延伸穿过易于损坏的所述区中的所述至少一个区。

光子电路制造中的损耗监测

技术领域

[0001] 本公开总体上涉及光学电路,并且更具体地涉及电路的光学测试。

背景技术

[0002] 在硅光子的开发和制造期间,铸造厂可以使用在线(in-line)电气测量和电气监测器结构来表征制造过程,以确保所交付的材料具有良好的质量。单个晶片可以被制造为包括多个光子集成电路,多个光子集成电路然后被单片化(singulate)为进行最终测试的单独管芯。通常,管芯的一部分具有制造过程中产生的错误,并且在最终测试之后被报废。对于光学组件的处理,使用现有的过程控制机制来确定晶片的质量目前是具有挑战性的或不切实际的。

发明内容

[0003] 根据一些实施例,提供了一种用于在光子集成电路的制造期间测量光学组件错误的方法,方法包括:在制造环境中,使用初始制造周期在光子集成电路的硅层上制造多个光学组件,多个光学组件包括功能性光学组件和制造波导监测器结构,功能性光学组件用于处理光子集成电路中的光,制造波导监测器结构用于测量对光子集成电路的一个或多个区的损坏,一个或多个区易受到由用于形成光子集成电路的后续制造周期过程造成的损坏;在制造环境中,使用后续制造周期在光子集成电路的另一层中制造多个附加光学组件,多个附加光学组件被包括在易受到来自后续制造周期的损坏的一个或多个区中;以及在制造环境中,标识由后续制造周期造成的对硅层的一个或多个区的损坏,损坏从传播通过从初始制造周期形成的制造波导监测器结构中的一个制造波导监测器结构的光而被测量。

[0004] 根据一些实施例,提供了一种晶片上的光子集成电路,晶片包括一个或多个制造波导监测器结构,晶片包括:包括多个光学组件的光子集成电路,多个光学组件在制造环境中,使用初始制造周期而被形成在晶片的硅层中,多个光学组件包括功能性硅光学组件和制造波导监测器结构,功能性硅光学组件用于处理光子集成电路中的光,制造波导监测器结构用于测量对晶片中易受到由后续制造过程造成的损坏的一个或多个区的损坏,以在光子集成电路中形成多个附加光学组件,其中多个附加光学组件在制造环境中,使用后续制造周期而被形成在光子集成电路的附加层中,多个附加光学组件被包括在易于受到来自后续制造周期的损坏的一个或多个区中;以及在光子集成电路外部的过剩区,过剩区通过将晶片单片化而与光子集成电路分离,制造波导监测器结构中的至少一个制造波导监测器结构使用初始制造周期而被形成在光子集成电路和过剩区中,使得光子集成电路包括制造波导监测器结构中的至少一个制造波导监测器结构的一部分,制造波导监测器结构包括波导,波导用于使光传播通过一个或多个区来标识由后续制造周期造成的损坏。

附图说明

[0005] 以下描述包括对附图的讨论,附图具有通过本公开的实施例的实现的示例给出的

图示。应通过示例而非限制的方式来理解附图。如本文所使用的,对一个或多个“实施例”的引用应理解为描述在本发明主题的至少一个实现中包括的特定特征、结构或特性。因此,本文中出现的诸如“在一个实施例中”或“在一个备选实施例中”的短语描述了本发明主题的各种实施例和实现,并且不一定均指代同一实施例。然而,它们也不一定相互排斥。为了容易地标识对任何特定元素或动作的讨论,附图标记中的一个或多个最高有效数字指代首先引入该元素或动作的附图(“图”)编号。

[0006] 图1是图示了根据一些示例实施例的用于传输和接收光信号的示例光学收发器的框图。

[0007] 图2是根据一些示例实施例的光电器件的图示。

[0008] 图3示出了根据一些示例实施例的光电器件的内部架构。

[0009] 图4示出了根据一些示例实施例的示例光学制造监测器架构。

[0010] 图5示出了根据一些示例实施例的示例光学制造监测器架构。

[0011] 图6示出了根据一些示例实施例的示例光学制造监测器架构。

[0012] 图7示出了根据一些示例实施例的用于实现光学制造测试结构的方法的流程图。

[0013] 以下是对某些细节和实现的描述,描述包括对可以描绘以下描述的一些或全部实施例的附图的描述,并且讨论本文呈现的发明构思的其他可能的实施例或实现。下文提供本公开的实施例的概述,随后是参考附图的更详细的描述。

具体实施方式

[0014] 在以下描述中,出于解释的目的,阐述了许多具体细节来提供对本发明主题的各种实施例的理解。然而,对于本领域技术人员明显的是,可以在没有这些具体细节的情况下实践本发明主题的实施例。通常,不一定详细示出众所周知的指令实例、结构和技术。

[0015] 在硅光子制造开发和光子电路制造期间,一个或多个光学组件可能被制造周期(例如,蚀刻)损坏,并且直到最终制造阶段才可能检测到所产生的错误。光子制造的一个挑战是,创建光子设计的制造光罩(reticle)中存在许多不同的区(region),并且某些过程可能仅对某些区的光波导健康有问题。由于光学器件测试结构通常被放置在远离可能对光波导健康有问题的区的位置处,因此这可能使得监测光学健康成为一个挑战。

[0016] 附加地,在监测由Si-III-V异质晶片形成的电路的光学健康状况时可能会遇到挑战。该困难至少部分由于底层硅(Si)或绝缘体上硅(SOI)载体晶片在III-V材料和由其形成的有源组件(例如,激光器、放大器)的集成和处理期间易于损坏。监测底层Si材料(通常在III-V层下方,可以具有不同厚度)的损坏非常困难。同样很难监测III-V材料边界中底层Si材料的错误,因为这些通常是非常狭窄和/或很小的区,使用在线检查技术很难达到。此外,仅将光学测试结构放置在电路外部或“无源”区域(area)中可能不足以指示光子电路的III-V或“有源”区的健康状况,因此不会检测到问题。如此处所使用的,无源区和组件是其中不使用光子材料的电控制来实现所述无源组件的光学功能的无源区和组件(例如,波导、耦合器)。此外,如此处所使用的,有源区和组件通常是被施加电控制,以引起组件或区的光学效应的有源区和组件(例如,激光二极管、电吸收调制器等)。

[0017] 线端测试方法的另一挑战包括难以使用光子电路的端口进行在线测试,因为这些器件的端口通常被配置用于特定的非测试相关目的(例如,用于光学器件的操作功能性),

并且可能无法在制造周期中用于在线晶片级测试。例如,在具有片上激光器的传输器光子电路中,以晶片形状因数来测试从激光器到芯片输出的波导是不切实际的,并且在制造过程期间无法对其进行在线测试,因为要求激光器被偏置(例如,电偏置),这在在线制造(例如,在洁净室中)期间是不可行的。同样,对于接收器光子电路,出于相似的原因,测试从芯片输入到光电检测器的波导的完整性也不容易。附加地,在晶片级,器件端口(例如,在管芯单片化形成晶片之后才可访问的光子集成电路(PIC)一侧上的输入/输出端口)的物理配置可以在晶片处是可访问的。

[0018] 一个方法是从制造中将晶片拉出(例如,从而将其报废或丢弃)并进行光学无源测量(使用晶片级可访问耦合器进行光进出),以便监测性能/健康状况,但是在这些方法中,一旦晶片被拉出,晶片就不能被引入制造设施(例如,在线、洁净室)。此外,使用常规的传统互补金属氧化物半导体(CMOS)在线或电测试结构来检测光学组件错误非常困难或不可能。附加地,在给定集成光子制造流程中生产光学晶片的交付时间可能会很长,并且如果仅在制造结束时才检测到问题,则用于改进和开发过程的反馈时间增加,这会转化为较长的开发交付时间和更昂贵的开发。

[0019] 为此,光学制造监测结构可以被实现为评估光子晶片的健康状况,并且进一步使得在线(而不是线端处)的处理步骤符合质量要求,从而节省了现代光学器件(例如,高速光学收发器)的设计、开发和制造的时间和金钱。

[0020] 具有增加的错误风险的区的一个示例包括具有大形貌的界面,因为这样的界面区倾向于比其他区蚀刻得更快,这可能导致“开槽(trenching)”,从而损坏底层中的组件(例如,波导层、硅波导或在初始层中形成的其他组件)。可以被监测的另一区包括在载体晶片顶部上的异质键合材料的下方和周围(例如,键合材料包括IIIIV、LiNbO₃、键合电介质等)。由于键合材料可能需要特殊处理才能与载体晶片集成,因此可以产生错误,并且特殊处理有时可能会损坏底层材料。可以被监测的另一区包括添加了植入物的区,其中植入物可能会损坏光波导或增加光波导的损耗。

[0021] 在一些示例实施例中,光学制造监测结构可以被包括在光子设计中,以使得能够在晶片级进行在线测试来评估制造洁净室环境内部的光学健康状况。通过使用光学制造监测结构,光学设计可以经由在线测量来测试,并且晶片的处理可以在不会离开洁净室并且不被污染的情况下继续进行。

[0022] 在一些示例实施例中,光波导结构包括输入和输出耦合器,输入和输出耦合器通过波导连接,波导被布线穿过特定制造所关注的单个或多个区(例如,易受损坏或扰动的区)。在一些示例实施例中,测试结构使用通过无源波导耦合的光栅耦合器来形成。在一些示例实施例中,附加光学制造测试结构被布线穿过相同区,以针对完全包括在给定光子集成电路内的那些光学监测制造测试结构提供相同的校准结构插入损耗测量。

[0023] 在一些示例实施例中,光学制造光栅耦合器位于具有布线波导的光子电路内部,以监测所关注区中电路内部的一个或多个部分。在一些示例实施例中,光学制造测试结构完全位于光子电路外部,但是在与电路内部的制造相同、或模仿电路内部看到的过程、并且经受相同或相似的可能损坏和错误的区中。

[0024] 在一些示例实施例中,光学制造监测器结构可以被实现为具有不同长度的多个臂的不对称波导结构,诸如不对称马赫曾德尔干涉仪(AMZI)。在一些示例实施例中,AMZI的臂

中的一个被布线到所关注区域的外部(例如,作为校准臂),而另一臂则作为健康监测波导臂,健康监测波导臂被布线穿过制造区域或需要被监测的路径。在该方法中,影响健康监测波导臂的意外损耗将转化为所测得的AMZI光谱响应的消光比变化(例如,相位变化、消光比变化),以检测亚分贝的光学损耗。附加地,波导长度的变化可以指示区或路径中的错误。例如,光学路径长度的不期望变化(例如,在制造周期期间发生)将改变被供应给监测器结构的固定波长的FSR和/或中值功率。在这些示例实施例,根据一些示例实施例,经改变的FSR和中值功率可以指示与延迟有关的光学错误,其中光子电路与特定延迟和/或光学路径长度相关。

[0025] 光学制造监测结构因此可以利用在线测量来实现,以生成反馈信息(例如,检测不良零件,并且在生产周期的早期将其装箱(bin)或丢弃)和/或用于尽早将过程适配的前馈信息(例如,改变给定层的厚度、设计或设计中实现的组件)。光学制造监测器结构的益处包括显著改进制造产率、显著降低制造成本以及减少复杂光子设计的开发周期的时间。

[0026] 图1是图示了根据一些示例实施例的用于传输和接收光信号的示例光学收发器100的框图。光学收发器100是其中在在线制造期间难以或不可能检测光学错误的一个示例光子器件。在图1所示的示例中,光学收发器100处理来自诸如电气硬件器件150的电气器件的数据,将电数据转换为光学数据,并且利用诸如光学器件175的一个或多个光学器件来发送和接收光学数据。例如,电气硬件器件150可以是将光学收发器100“托管”为可插拔器件的主机板,可插拔器件向光学交换机网络发送和接收数据,其中例如,光学器件175可以是光学交换机网络的其他组件(例如,外部传输器177)。然而,应当理解,光学收发器100可以被实现为与其他类型的电气器件和光学器件接合。例如,根据一些示例实施例,光学收发器100可以被实现为混合“母板”上的单个芯片,混合“母板”使用光学网络(例如,波导、光纤)作为光学总线来将板载电芯片互连,板载电芯片在数据从光转换为二进制电数据之后处理数据。

[0027] 在一些示例实施例中,硬件器件150包括用于接收并与光学收发器100的电接口配合的电接口。光学收发器100是可以被硬件器件150物理地接收和从硬件器件150移除的可移除前端模块,硬件器件150在通信系统或器件内用作后端模块。例如,根据一些示例实施例,光学收发器100和硬件器件150可以是诸如波分复用(WDM)系统或并行光纤系统(例如,并行单光纤(PSM))的光学通信设备或系统(例如,网络设备)的组件。

[0028] 在所图示的示例中,光学收发器100包括微处理器102,微处理器102控制PIC 110的电路(例如,数据传输器105、数据接收器115)和光学组件。光学收发器100的数据传输器105可以接收电信号,电信号然后经由PIC 110的光学传输器组件(例如,调制器、加热器)而被转换为光信号。然后,PIC 110可以经由光链路(诸如,与PIC 110接合的光纤或波导)来输出光信号。所输出的光数据然后可以由其他组件(例如,交换机、端点服务器、单个嵌入式系统的其他嵌入式芯片)经由诸如广域网(WAN)、光学交换机网络、嵌入式系统中的光波导网络等的网络而被处理。

[0029] PIC 110(例如,光电检测器)可以经由到光学器件175的一个或多个光学链路来接收高数据速率的光信号。光信号由光学接收器组件从光转换为电信号,以供数据接收器115进一步处理,诸如,将数据解调为较低的数据速率而输出到诸如电气硬件器件150的其他器件。由光学收发器100使用的调制可以包括脉冲幅度调制(例如,4级PAM,诸如“PAM4”、PAM8

等)、正交相移键控(QPSK)、二进制相移键控(BPSK)、偏振复用BPSK、多进制(M-ary)正交振幅调制(M-QAM)等。

[0030] 图2是根据一些示例实施例的包括一个或多个光学器件的光电器件200的图示。在该实施例中,光电器件200是多结构芯片封装,多结构芯片封装包括印刷电路板(PCB)205、有机衬底260、专用集成电路215(ASIC)和PIC 220。在该示例中,PIC 220可以包括以下描述的一个或多个光学结构(例如,如图3所示)。

[0031] 在一些示例实施例中,PIC 220包括SOI或硅基(例如,氮化硅(SiN))器件,或者可以包括由硅和非硅材料两者形成的器件。所述非硅材料(备选地被称为“异质材料”)可以包括III-V族材料、磁光(MO)材料或晶体衬底材料中的一种。III-V族半导体具有在元素周期表的III族和V族中发现的元素(例如,砷化镓磷化物(InGaAsP)、氮化砷化镓(GaInAsN))。基于III-V的材料载流子扩散效应可能比硅基材料高得多,因为III-V半导体中的电子速度比硅中的电子速度快得多。附加地,III-V族材料具有直接带隙,使得能够从电泵有效地创建光。因此,III-V族半导体材料使得光子操作比硅具有更高的效率,从而既生成光又调制光的折射率。因此,III-V族半导体材料使得能够以更高的效率进行光子操作,以从电生成光并将光转换回电。

[0032] 因此,在以下描述的异质光学器件中,低光损耗和高质量的硅氧化物与III-V半导体的电光效率进行组合;在本公开的实施例中,所述异质器件利用器件的异质和纯硅波导之间的低损耗异质光波导过渡。MO材料允许异质PIC基于MO效应进行操作。这样的器件可以利用法拉第效应,在法拉第效应中,与电信号相关联的磁场对光束进行调制从而提供高带宽调制,并且旋转光模的电场并启用光隔离器。例如,所述MO材料可以包括诸如铁、钴或钕铁石榴石(YIG)的材料。此外,在一些示例实施例中,晶体衬底材料提供具有高机电耦合、线性电光系数、低传输损耗以及稳定的物理和化学性质的异质PIC。所述晶体衬底材料可以包括例如铌酸锂(LiNbO₃)或钽酸锂(LiTaO₃)。

[0033] 在所示的示例中,PIC 220经由棱镜225与光纤230交换光;根据一些示例实施例,所述棱镜225是耐失准器件,用于将光模耦合到一个或多个单模光纤(例如,将光传输到光学网络或从光学网络传输光)。在一些示例实施例中,PIC 220的光学器件至少部分地由ASIC 215中包括的控制电路来控制。ASIC 215和PIC 220均被示出为设置在铜柱214上,铜柱214被用于经由有机衬底260来将集成电路(IC)通信地耦合。PCB 205经由球栅阵列(BGA)互连216而被耦合到有机衬底260,并且可以用于将有机衬底260(以及ASIC 215和PIC 220)互连到光电器件200的其他未示出的组件,诸如互连模块、电源等。

[0034] 图3示出了根据一些示例实施例的光电器件302的内部架构300。如图所示,架构300显示可以发送和接收光学数据的光电器件302,诸如光学收发器100。光电器件302包括电子模块304和光子模块307。电子模块304包括电气组件(例如,导电路径/迹线、电路控制逻辑、ASIC、处理器、功率控制电路等),电气组件可以作为一个或多个电气结构或ASIC(诸如图2的ASIC 215)而被集成在封装芯片中。在所示的示例中,电子模块304包括传输器控制器306(例如,图1的数据传输器105),传输器控制器306接收用于光学调制的数据(例如,PAM4数据、QPSK数据)。在一些示例实施例中,硬件处理器305(例如,CPU、ASIC、微处理器)控制光电器件302的不同过程。电子模块304还包括接收器控制器310(例如,数据接收器115),接收器控制器310可以接收由光子模块307中的光学接收器组件生成的光学数据。电子模块

304可以进一步包括功率控制电路312,以针对包括电子模块304中的电子组件的光电器件302提供并控制电力;并且进一步将电力提供给光子模块307来为各种电控光子组件(例如,激光器、硅光学放大器、滤波器、调制器等)供电。

[0035] 在一些示例实施例中,光子模块307是波分复用收发器架构,其包括集成光子传输器结构314和集成光子接收器结构332。在一些示例实施例中,集成光子传输器结构314和集成光子接收器结构332是在以上讨论的诸如图2的PIC 220的PIC器件中制造的示例光学组件。集成光子传输器结构314是具有四个通道的波分复用传输器的示例,其中每个通道使用不同的光学组件来处理不同波长的光,不同的光学组件包括例如激光器350、电吸收调制器(EAM) 352以及第一传输器通道316中的MZI 355,并且其他通道可以包括相同或相似的组件来管理那些通道上的光学数据(例如,以不同的波分复用波长)。为了简洁起见,在所示的示例中,仅传输器的两个通道、包括第一传输器通道316和第四传输器通道318被图示;并且第二传输器通道和第三传输器通道被省略。

[0036] 集成光子接收器结构332是WDM接收器的一个示例,WDM接收器接收经调制的WDM光(例如,来自光学网络)并且通过以下来处理光:使用诸如复用器334、半导体光学放大器(SOA) 335的组件以及诸如光电检测器336(例如,光电二极管)的一个或多个检测器来对光进行滤波、放大并将其转换为电信号。

[0037] 光子模块307可以通过多种过程来制造,包括首先制造(例如,使用掩模或光罩)一个或多个硅组件,然后从III-V层制造有源组件(例如,使用另一掩模或光罩)。例如,将光子模块307中的各个组件连接的波导(例如,如箭头所示)可以从硅被蚀刻,并且诸如MZI355和MZI 333的其他组件同样可以从硅被蚀刻;而其他组件,诸如激光器(例如,激光器328、350)、监测器光电二极管(例如,监测器光电二极管364)和光电检测器336随后可以在随后的制造周期中,从硅组件之后的III-V材料制造(例如,波导被蚀刻)。在一些情况下,在制造后续组件(例如,有源组件)时,较早形成的组件(例如,Si组件)中的一个或多个可能被损坏,这可能会导致组件或整个光子模块307故障。因此,如下进一步所述,一个或多个光学制造监测器结构可以在制造过程中在线使用来测试光子模块307是否具有损坏的区。

[0038] 图4示出了根据一些示例实施例的示例光学制造监测器架构400。制造光罩402被实现为一次或多次在晶片上形成光子布局设计407,以在晶片上创建光子设计。所创建的光子设计的各部分然后被单片化为分离的光子集成电路(诸如光子集成电路412)和晶片的过剩部分420。例如,光子集成电路412是光子模块307或PIC 220的一个示例实现,其中组件的一部分使用第一制造过程(例如,硅蚀刻而在光子模块307中形成波导)来制造,并且其中第二制造过程形成附加组件(例如,光子模块307中的有源层组件由III-V材料制造),其中附加组件的制造可能引起第一组件的错误(例如,开槽、损坏的波导、键合界面损坏)。

[0039] 为了在制造期间在线监测和检测错误,一个或多个光学制造监测器结构被包括在布局设计中并且由制造光罩402连同波导以及用于蚀刻的初始层(例如,硅层)中形成的其他组件来制造。特别地,例如,区A和区B可以是易于损坏或发生制造错误的区。例如,区A可以包括在III-V层中制造的组件(例如,激光器328、激光器350),而区B可以包括由III-V层制造的其他组件(例如,EAM 330、EAM 352),其中区A和区B中的组件的制造可能会损坏区A和区B内或附近的现有组件(例如,耦合到激光器或EAM的硅蚀刻波导;或损坏硅层中其他先前创建的组件,诸如MZI 333、355)。

[0040] 根据一些示例实施例,光学制造监测器结构405、410、415可以被包括在布局设计中,以在不报废晶片或光子电路的情况下,在在线制造期间检测错误。例如,根据一些示例实施例,为了在制造期间监测区A,光学制造监测器结构405以及附加地,光学制造监测器结构410可以将光布线穿过区A来检测由制造损坏过程引起的光学损耗。在一些示例实施例中,光被耦合到给定光学制造波导监测器结构中并且经由光纤、棱镜、光纤聚焦器、透镜或具有输入机制和输出机制的模块(例如,具有将光耦合到波导的光纤的探针卡,以及接收波导输出的光的输出光栅和检测器)中的一个或多个而在线地(例如,在不从制造系统中移除晶片的情况下)从结构中接收。

[0041] 在所示的示例中,光学制造监测器结构405包括两个耦合器405A和405B(例如,光栅耦合器),两个耦合器405A和405B经由无源硅波导(例如,如通过将耦合器405A和405B连接的实线所指示的,与器件的功能组件分离的健康波导)而被耦合。在单片化之后,分离的单独PIC 412(例如,PIC 220)将包括光学制造监测器结构405。在一些示例实施例中,光学制造监测器结构的一部分可以在单片化之后被分离,使得结构的该部分不被经单片化的光子集成电路412包括。例如,光学制造监测器结构410包括两个耦合器410A和410B,两个耦合器410A和410B通过从光子集成电路412外部开始并延伸到区A中的波导进行连接,以检测区A内或附近发生的制造过程的可能损坏或错误。在光子集成电路412的单片化之后,光栅耦合器410A和410B与光子集成电路412分离,并且仅波导(实线)保留在光子集成电路412中,从而节省光子集成电路412内的布局空间。附加地并且根据一些示例实施例,将结构的一部分放置在光子集成电路412外部使得结构能够用作测试参考,以确保测试结构本身不会造成损失并且不正确地导致错误的测试读数。例如,光学制造监测器结构405可以接收和输出光,并且损耗可以针对光学制造监测器结构410表现出的损耗来测量和评估,光学制造监测器结构410用作校准制造波导监测器结构。在光学制造监测器结构405表现出显著损耗并且光学制造监测器结构410没有表现出显著损耗的情况下,损耗则可以归因于测试结构本身的一个或多个组件(例如,光学耦合器405A中不正确形成的光栅耦合器)。

[0042] 在一些示例实施例中,光学制造监测器结构中的一些或全部被制造为使得它位于光子集成电路412的外部,但仍处在经历可能会在光子集成电路412内造成损坏的过程的区中。例如,区B可以是在制造过程期间遭受损坏的可能性增加的区,其中区B经历潜在损坏性制造过程的一部分位于光子集成电路412的外部。如图所示,光学制造监测器结构415被设计为布局的一部分,使得它完全在光子集成电路412的外部,但是具有将耦合器415A和415B连接的波导,使得如果区B中的一个或多个组件受到损坏,则光学制造监测器结构415中的波导也承受损坏。例如,通过将光输入到光学耦合器415A、传播通过波导、到达光学耦合器415B并测量损耗(例如,损耗大于基于光输入而预期的损耗),损害可以通过光损耗来指示。值得注意的是,在光子集成电路412的单片化之后,光学制造监测器结构415在光子集成电路412的外部,并且不被包括在最终单片化的管芯中。

[0043] 在一些示例实施例中,光学制造监测器结构中的一个或多个被制造为具有集成的光源和检测器,以生成光并以独立的方式检测光(例如,不必将光输入到耦合器中并从另一耦合器接收光)。例如,耦合器410A可以用集成激光器(例如,部分由III-V材料形成的混合激光器)来替换,并且耦合器410B可以用集成光电二极管来替换,以检测由集成激光器生成的光,光经由光学制造监测器结构410的健康波导而传播通过监测区(例如,区A)。

[0044] 根据一些示例实施例,为了发起对独立光学制造监测器结构的测试,激光器和检测器可以经由电探测来探测,这可以使得制造铸造厂更容易使用在线标准电子PCM电探测测试来进行测试。此外,如以上参考图3所讨论的,如同基于耦合器的光学制造监测器结构(例如,其中光经由光栅耦合器注入并输出),独立的光学制造监测器结构不需要附加的制造工作,因为它们形成为同一设计的一部分,作为光子设计的功能性光学组件,诸如光子传输器结构314的收发器组件(例如,激光器、MZI、EAM)和光子接收器结构332的接收器组件(例如,SOA、检测器等)。

[0045] 图5示出了根据一些示例实施例的示例光学制造监测器架构500。制造光罩505被实现为在晶片上一次或多次形成光子布局设计515,以在晶片上创建光子设计。所创建的光子设计的各部分然后被单片化为分离的光子集成电路,诸如光子集成电路510。例如,光子集成电路510是光子模块307或PIC 220的一个示例实现,其中组件中的一部分使用第一制造过程(例如,硅刻蚀,以在光子模块307中形成波导)来制造,并且其中第二制造过程形成附加组件(例如,光子模块307中由III-V材料制造的有源层组件),其中附加组件的制造可能会在第一组件中引起错误(例如,开槽、损坏的波导、键合界面损坏)。

[0046] 在图5的示例中,光学制造监测结构520是主要在光子集成电路510外部的制造光罩区中被蚀刻的MZI。如图所示,光学制造监测结构520包括输入耦合器525(例如,光栅耦合器,光栅耦合器将光耦合到耦合器530(例如,T形结、1x2耦合器),耦合器530将光耦合到耦合器535(例如,T形结、2x1耦合器))。耦合器535然后将光耦合到输出耦合器540(例如,光栅耦合器),以进行基于相位或基于消光比的错误测量。在这些示例实施例中,光学制造监测结构520可以通过从初始相位变化中检测相位变化(在创建AMZI之后并且在进一步制造周期之前进行测量)或者检测由于下臂545的损坏而导致的消光比变化来提供亚分贝级的制造错误检测,下臂545延伸到光子集成电路510的区A的易损坏区域中。在光子集成电路510的单片化之后,大部分光学制造监测结构520被分离,并且仅下臂545被包括在经分离的光子集成电路510中。此外,如上面参考图4所讨论的,在一些示例实施例中,图5的光学制造监测结构中的一个或多个被实现为独立的光学制造监测器结构,其中集成光源和/或检测器被包括在监测器结构布局中。

[0047] 图6示出了根据一些示例实施例的示例光学制造监测器架构600。制造光罩602被实现为在晶片上一次或多次形成光子布局设计607,以在晶片上创建光子设计。所创建的光子设计的各部分然后被单片化为分离的光子集成电路,诸如光子集成电路612。例如,光子集成电路612是光子模块307或PIC 220的一个示例实现,其中组件中的一部分使用第一制造过程(例如,硅刻蚀,以在光子模块307中形成波导)来制造,并且其中第二制造过程形成附加组件(例如,光子模块307中由III-V材料制造的有源层组件),其中制造附加组件可能会在第一组件中引起错误(例如,开槽、损坏的波导、键合界面损坏)。

[0048] 在图6的示例中,根据一些示例实施例,一个或多个光学制造测试结构可以被实现为对制造期间的光子集成电路612的传输器部分、制造期间的光子集成电路612的接收器部分或制造期间的光子集成电路612的整个传输器电路执行在线测试。

[0049] 在所示的示例中,传输器组件包括激光器605,激光器605被耦合到光学调制器610,光学调制器610被耦合到传输器的光学输出耦合器615。传输器光学制造测试结构可以检测传输器的损耗或损坏,传输器实现靠近光子集成电路612的传输器部分的波导。例如,

传输器光学制造测试结构可以包括通过硅波导而连接的测试耦合器620和625,硅波导被设计为布局的一部分,用于保持靠近传输器组件的传输器路径。在制造期间,传输器部分可以通过将光输入到耦合器620中并且通过耦合器625检测光和损耗来进行测试和监测,损耗指示对传输器的一个或多个组件的潜在损坏。

[0050] 在图6中,接收器组件包括输入耦合器640,输入耦合器将光耦合到放大器635,放大器635进一步类似地耦合到光电检测器630。接收器光学制造测试结构可以检测对传输器的损耗或损坏,传输器实现了靠近光子集成电路612的接收器部分的波导。例如,接收器光学制造测试结构可以包括通过硅波导而连接的测试耦合器642和644,硅波导被设计为布局的一部分,用于保持靠近接收器组件的接收器路径。在制造期间,通过将光输入到耦合器642中并且通过耦合器644检测光来检测损耗,接收器部分可以在不报废或从线中拉出的情况下被在线测试和监测,损耗指示对接收器的一个或多个组件的潜在损坏。

[0051] 此外,根据一些示例实施例,整个光子集成电路612可以在制造期间,使用收发器光学制造测试结构而被在线地监测,收发器光学制造测试结构包括通过无源硅波导连接的输入耦合器645和输出耦合器650,无源硅波导包围光子集成电路612的接收器和传输器部分。在制造期间,光子集成电路可以使用光学测试结构,通过将光输入到耦合器645中并且检测由耦合器650输出的光来检测损耗而被监测,损耗指示对收发器的一个或多个组件的潜在损坏。以这种方式,在制造复杂的高速光学收发器期间,在没有报废或污染的情况下,接收器可以被在线测试,传输器可以被在线测试,并且整个收发器可以被在线测试,从而使得能够提早实现零件装箱以及制造过程或光子布局的改变。

[0052] 此外,在一些示例实施例中,图6的光学制造监测结构中的一个或多个可以被实现为如参考图4所讨论的独立的光学制造监测器结构,在独立的光学制造监测器结构中,集成光源和/或检测器被包括在监测器结构布局中。

[0053] 图7示出了根据一些示例实施例的用于实现光学制造测试结构的方法700的流程图。在操作705处,光子集成电路的第一组件和一个或多个光学制造监测器结构在光子集成电路的制造期间被创建。例如,在操作705处,初始硅层被蚀刻来创建一个或多个光学组件(例如,诸如MZI的无源组件,和/或将光子集成电路的组件连接的波导)。此外,在初始硅蚀刻期间,一个或多个光学制造测试结构被包括,以在如上所述的洁净室中监测制造期间的光学组件。

[0054] 在操作715处,第二组件集合被创建在晶片上(例如,经由制造光罩)。如上所述,在创建第二组件时,在操作705期间创建的组件中的一个或多个组件可能被损坏。

[0055] 在操作720处,为了检测来自一个或多个制造周期的损坏,光被提供给制造监测器光学结构,然后在操作725处光被接收。在操作730处,如从光学制造测试结构接收的光所指示的,一个或多个错误被检测。例如,所接收的光可以指示在容易遭受制造损坏的一个或多个区内存在显著的光学损耗。此外,损坏可以基于MZI测试结构的消光比改变或增加(例如,所设计的或先前的MZI消光比增加)来检测。

[0056] 在操作735处,附加处理根据错误而被执行。例如,在一些示例实施例中,根据所检测到的错误或损坏的类型,晶片或光子电路可以被报废或以其他方式被丢弃。附加地,在一些示例实施例中,在操作735处,被实现来创建光子电路的制造技术可以被修改为避免在操作730处检测到进一步的错误。例如,掩膜的类型、蚀刻剂的类型、粘合剂的类型、光子电路

的布局或设计或者层的厚度可以被修改来避免(给定制造光罩或掩模的)给定布局设计的进一步制造错误。

[0057] 以下是示例实施例:

[0058] 示例1.一种用于在光子集成电路的制造期间测量光学组件错误的方法,方法包括:在制造环境中,使用初始制造周期在光子集成电路的硅层上制造多个光学组件,多个光学组件包括功能性光学组件和制造波导监测器结构,功能性光学组件用于处理光子集成电路中的光,制造波导监测器结构用于测量对光子集成电路的一个或多个区的损坏,一个或多个区易受到由用于形成光子集成电路的后续制造周期过程造成的损坏;在制造环境中,使用后续制造周期在光子集成电路的另一层中制造多个附加光学组件,多个附加光学组件被包括在易受到来自后续制造周期的损坏的一个或多个区中;以及在制造环境中,标识由后续制造周期造成的对硅层的一个或多个区的损坏,损坏从传播通过从初始制造周期形成的制造波导监测器结构中的一个制造波导监测器结构的光而被测量。

[0059] 示例2.根据示例1的方法,其中根据光子集成电路的设计,制造波导监测器结构与处理光的功能性光学组件分离。

[0060] 示例3.根据示例1或2中任一项的方法,其中制造波导监测器结构中的每个制造波导监测器结构包括集成光源和光电检测器,集成光源和光电检测器由一个或多个波导连接。

[0061] 示例4.根据示例1至3中任一项的方法,其中制造波导监测器结构中的每个制造波导监测器结构包括输入耦合器和输出耦合器,输入耦合器和输出耦合器用于在单片化之前在晶片级接收和输出光。

[0062] 示例5.根据示例1至4中任一项的方法,其中输入耦合器是输入光栅耦合器,并且输出耦合器是输出光栅耦合器。

[0063] 示例6.根据示例1至5中任一项的方法,其中光子集成电路由晶片形成;并且其中制造波导监测器结构中的一个或多个制造波导监测器结构经由初始制造周期,被形成在将与晶片分离的光子集成电路区域外部的区域中。

[0064] 示例7.根据示例1至6中任一项的方法,其中第一制造波导监测器结构具有位于外部区域中的耦合器,并且具有穿过易于损坏的一个或多个区中的区的波导路径。

[0065] 示例8.根据示例1至7中任一项的方法,其中第二制造波导监测器结构具有位于光子集成电路内的耦合器,并且具有第二波导,第二波导穿过来自易于损坏的一个或多个区的区。

[0066] 示例9.根据示例1至8中任一项的方法,其中第一制造波导监测器结构是校准制造波导监测器结构,针对校准制造波导监测器结构,第二制造波导监测器结构的光学损耗能够被测量来检测对一个或多个区中的区的损坏。

[0067] 示例10.根据示例1至9中任一项的方法,其中制造波导监测器结构中的一个制造波导监测器结构是外部制造波导监测器结构,外部制造波导监测器结构包括输入耦合器和输出耦合器以及健康波导,输入耦合器和输出耦合器以及健康波导被包括在外部区域内并且从光子集成电路被排除。

[0068] 示例11.根据示例1至10中任一项的方法,其中后续制造周期被应用于光子集成电路的一部分、并且还被应用于光子集成电路外部的区域中的另一部分。

[0069] 示例12.根据示例1至11中任一项的方法,其中外部制造波导监测器结构通过后续制造周期的应用而被损坏,并且对光子集成电路的损坏经由输入并且测量传播通过外部制造波导监测器结构的损坏部分的光而被测量。

[0070] 示例13.根据示例1至12中任一项的方法,其中制造波导监测器结构中的一个制造波导监测器结构是从初始制造周期形成的马赫曾德尔干涉仪,马赫曾德尔干涉仪具有上臂和下臂,上臂在光子集成电路外部的区域中,下臂延伸穿过易于受到来自后续制造周期的损坏的区中的至少一个区。

[0071] 示例14.根据示例1至13中任一项的方法,其中损坏基于被输入到马赫曾德尔干涉仪的光的错误消光比而被检测,错误消光比是由对下臂的损坏造成的消光比,下臂延伸穿过易于损坏的区中的至少一个区。

[0072] 示例15.根据示例1至14中任一项的方法,其中使用光纤聚焦器,光被输入到制造波导监测器结构中的一个或多个制造波导监测器结构中。

[0073] 示例16.根据示例1至15中任一项的方法,其中制造环境是用于晶片的制造的制造洁净室,晶片包括从制造光罩形成的多个光子集成电路。

[0074] 示例17.根据示例1至16中任一项的方法,其中对一个或多个区的损坏在制造洁净室中在线地、并且在没有从制造洁净室中移除光子集成电路的情况下被执行。

[0075] 示例18.根据示例1至17中任一项的方法,还包括:基于来自制造环境中的后续制造周期的、对一个或多个区造成的损坏,丢弃光子集成电路。

[0076] 示例19.根据示例1至18中任一项的方法,其中多个光学组件包括波导和光学耦合器;并且其中多个附加光学组件包括激光器和调制器。

[0077] 示例20.一种晶片上的光子集成电路,晶片包括一个或多个制造波导监测器结构,晶片包括:包括多个光学组件的光子集成电路,多个光学组件在制造环境中,使用初始制造周期而被形成在晶片的硅层中,多个光学组件包括功能性硅光学组件和制造波导监测器结构,功能性硅光学组件用于处理光子集成电路中的光,制造波导监测器结构用于测量对晶片中易受到由后续制造过程造成的损坏的一个或多个区的损坏,以在光子集成电路中形成多个附加光学组件,其中多个附加光学组件在制造环境中,使用后续制造周期而被形成在光子集成电路的附加层中,多个附加光学组件被包括在易于受到来自后续制造周期的损坏的一个或多个区中;以及在光子集成电路外部的过剩区,过剩区通过将晶片单片化而与光子集成电路分离,制造波导监测器结构中的至少一个制造波导监测器结构使用初始制造周期而被形成在光子集成电路和过剩区中,使得光子集成电路包括制造波导监测器结构中的至少一个制造波导监测器结构的一部分,制造波导监测器结构包括波导,波导用于使光传播通过一个或多个区来标识由后续制造周期造成的损坏。

[0078] 在前面的详细描述中,已参考本发明的特定示例性实施例描述了本发明主题的方法和装置。然而,将明显的是,在不脱离本发明主题的更广泛精神和范围的情况下,可以对其进行各种修改和改变。因此,本说明书和附图被认为是说明性的而不是限制性的。

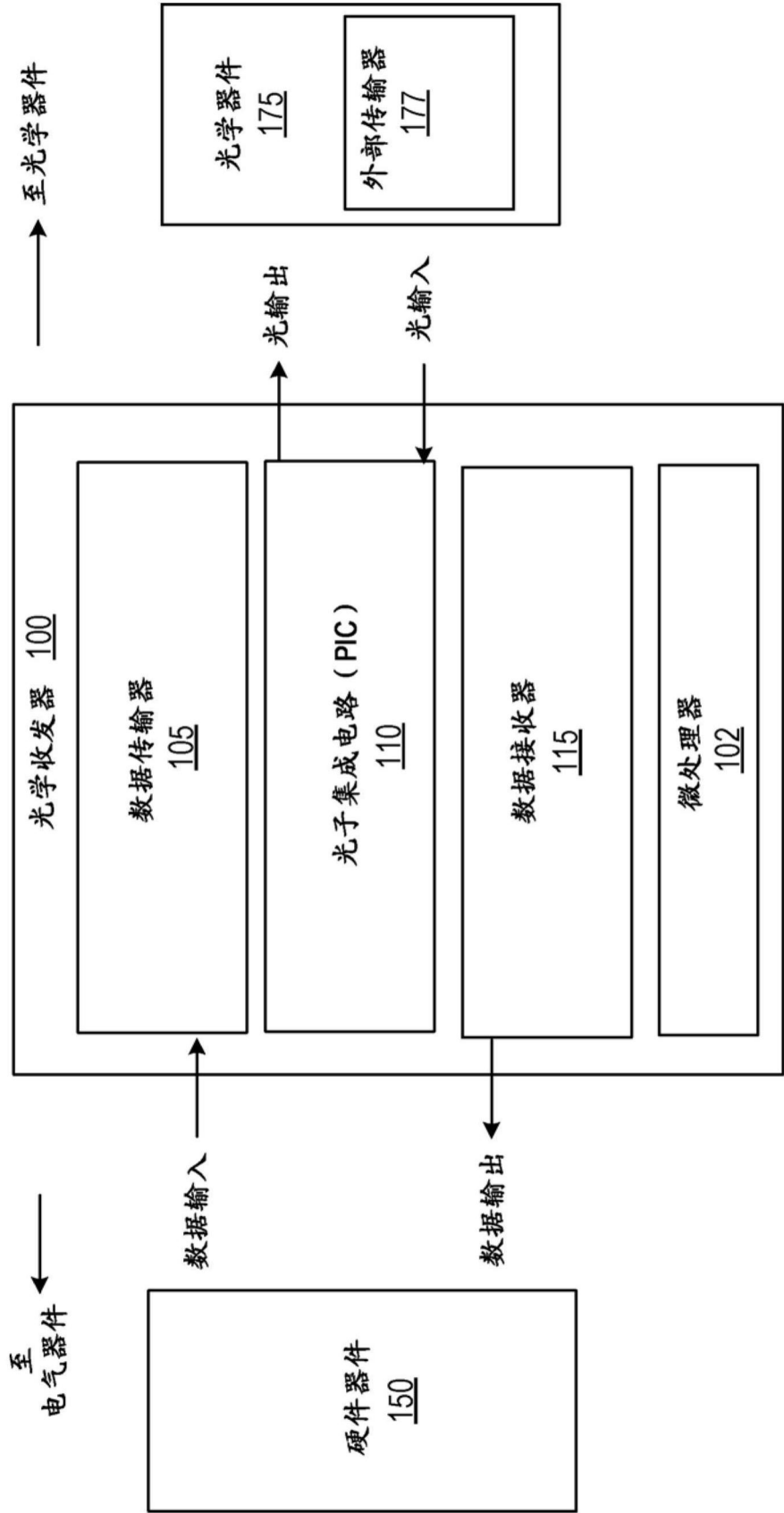


图1

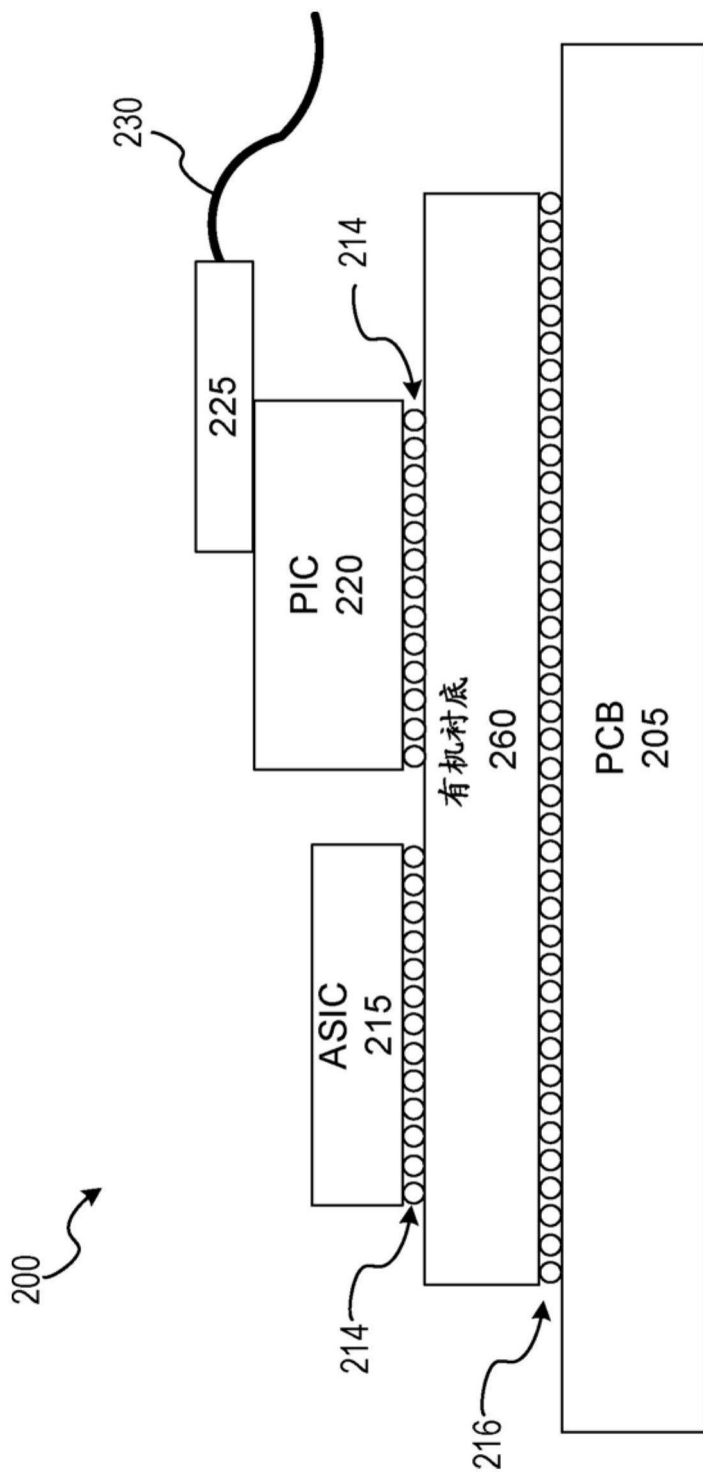


图2

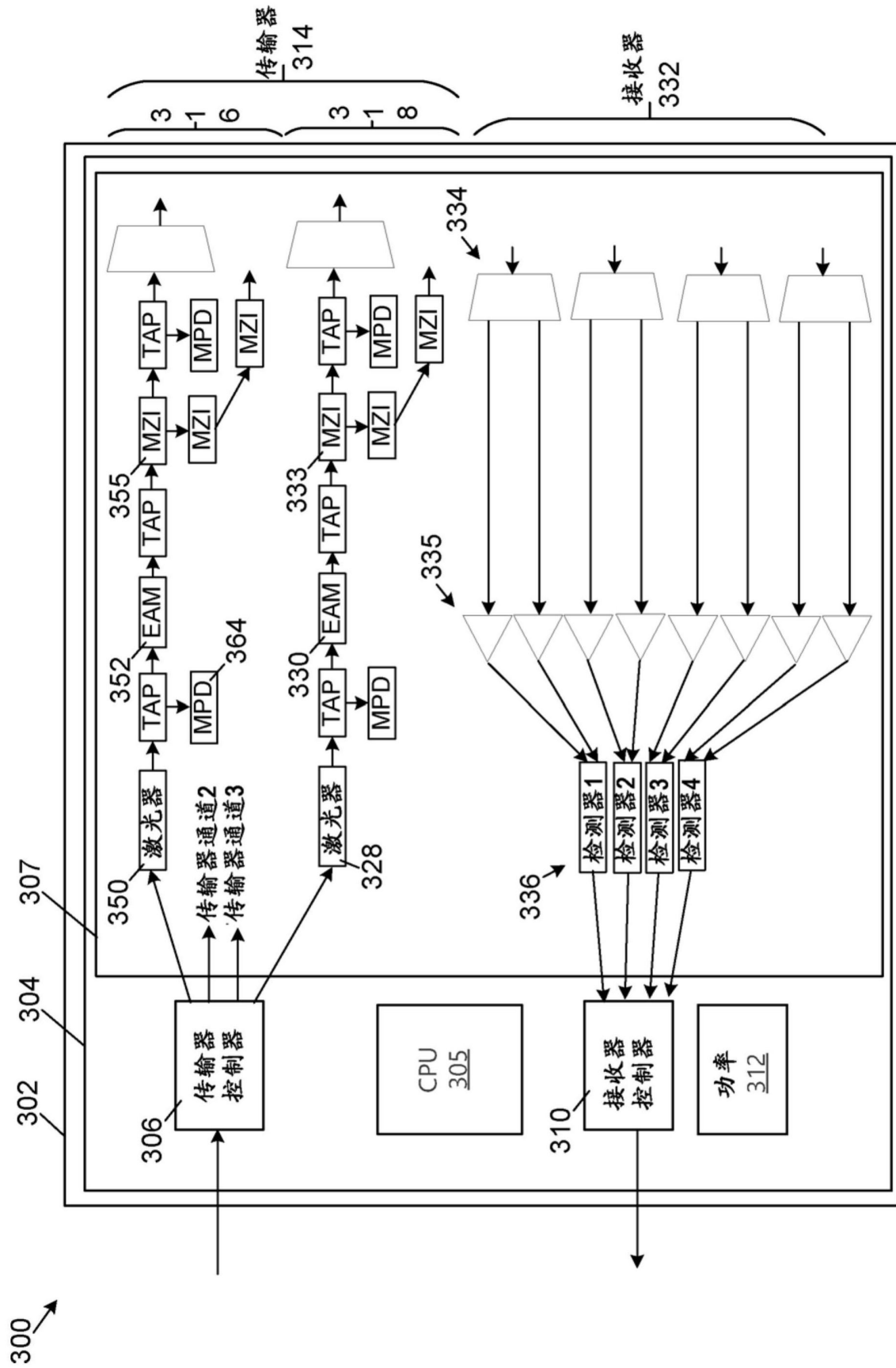


图3

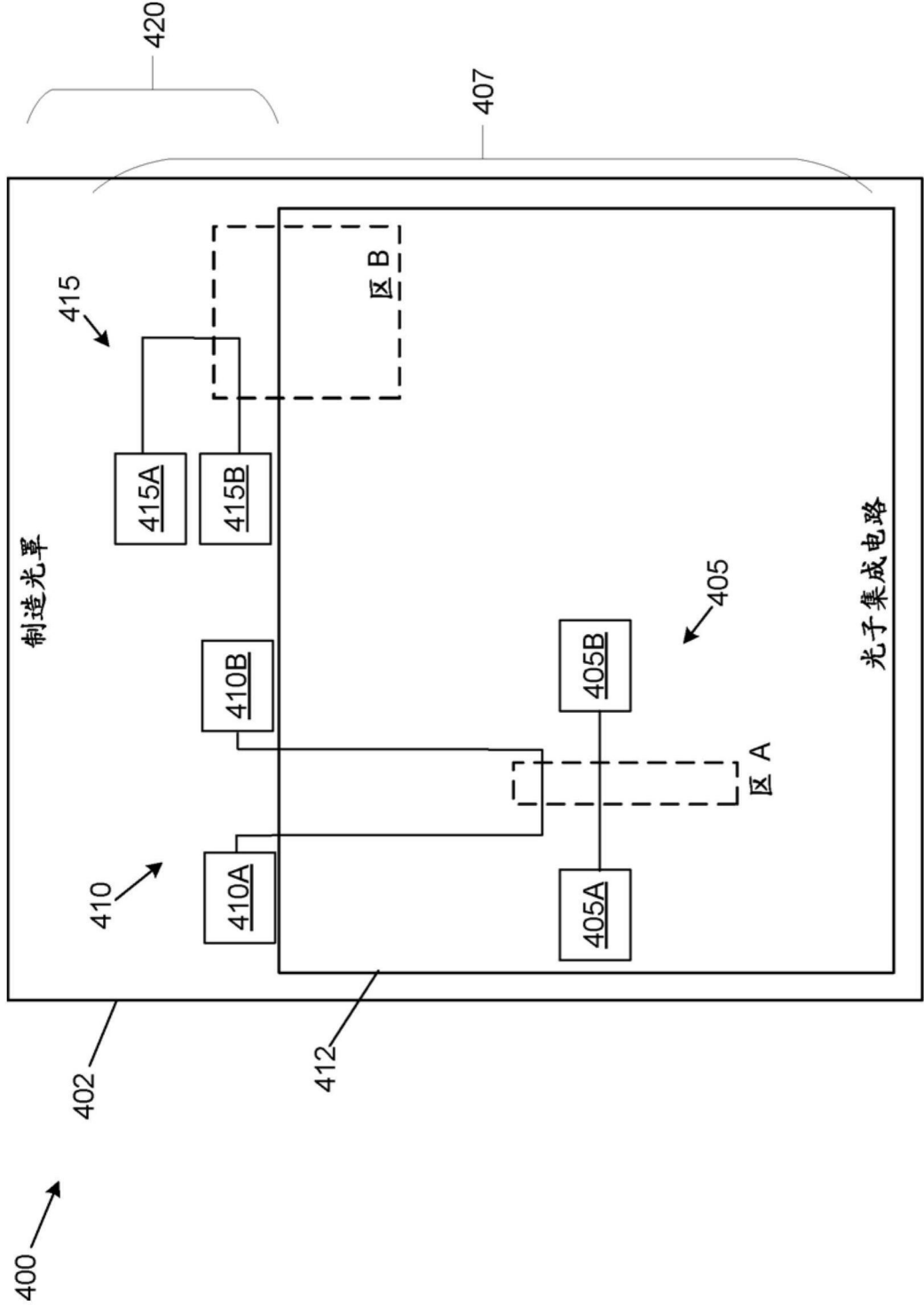


图4

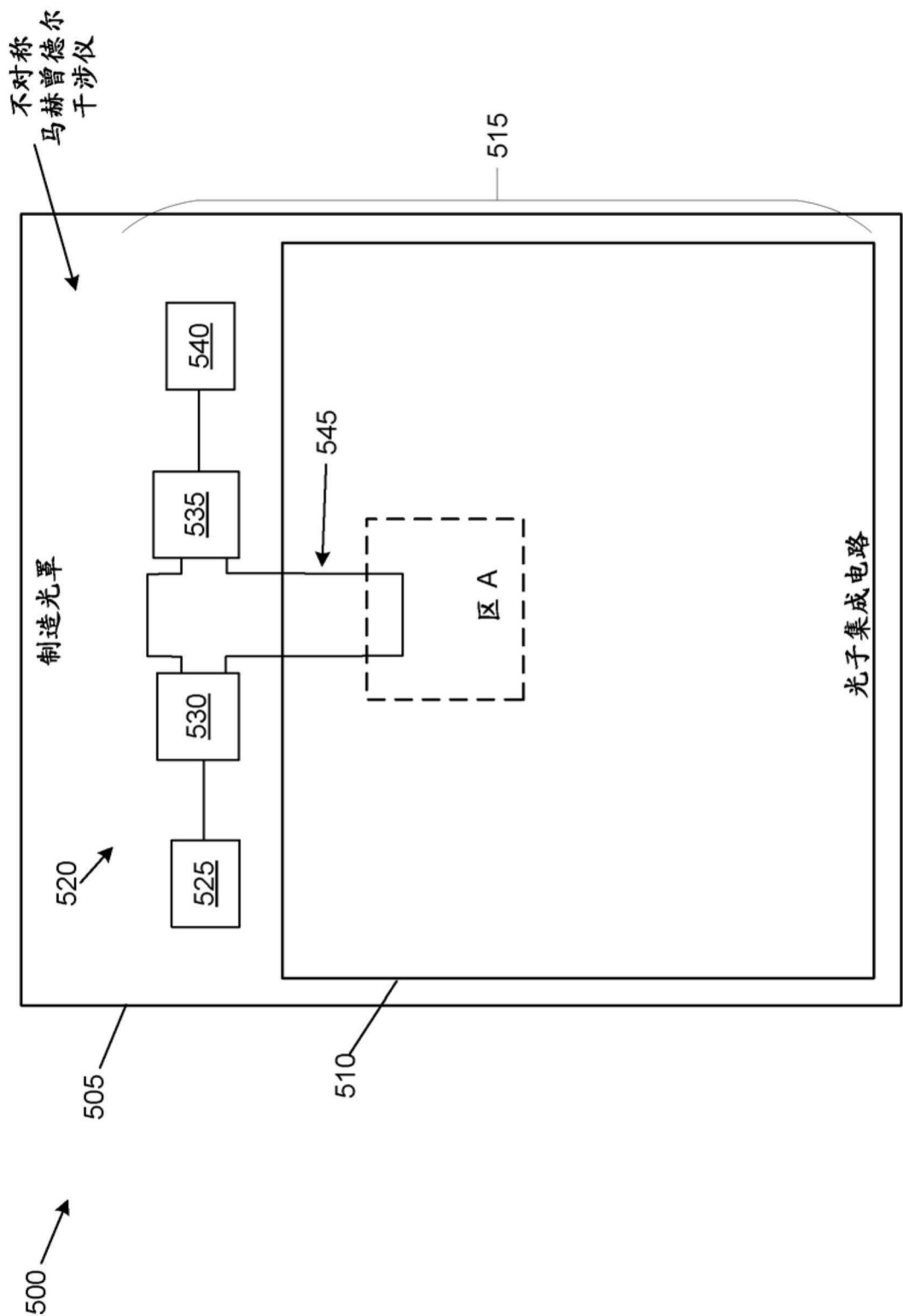


图5

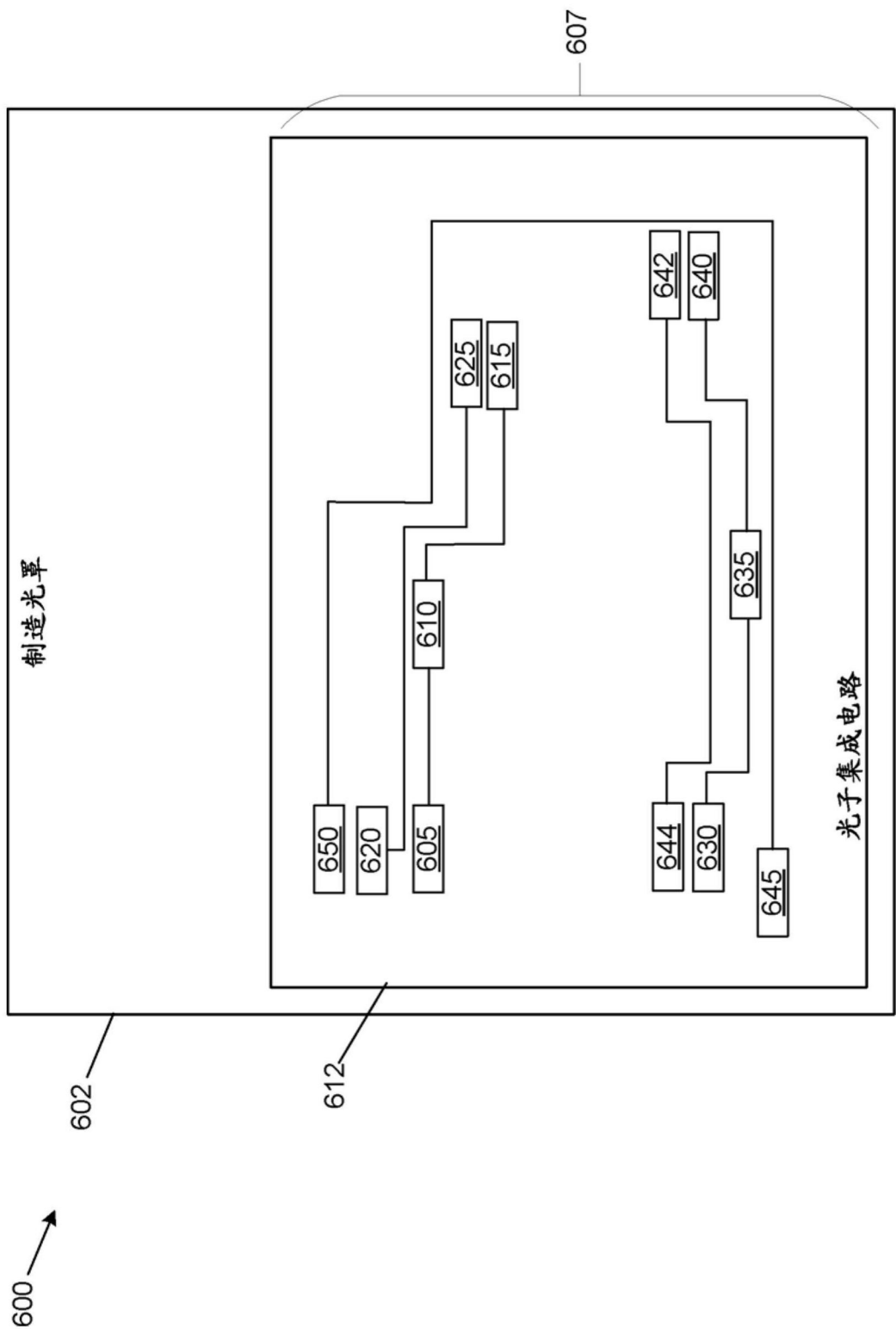


图6

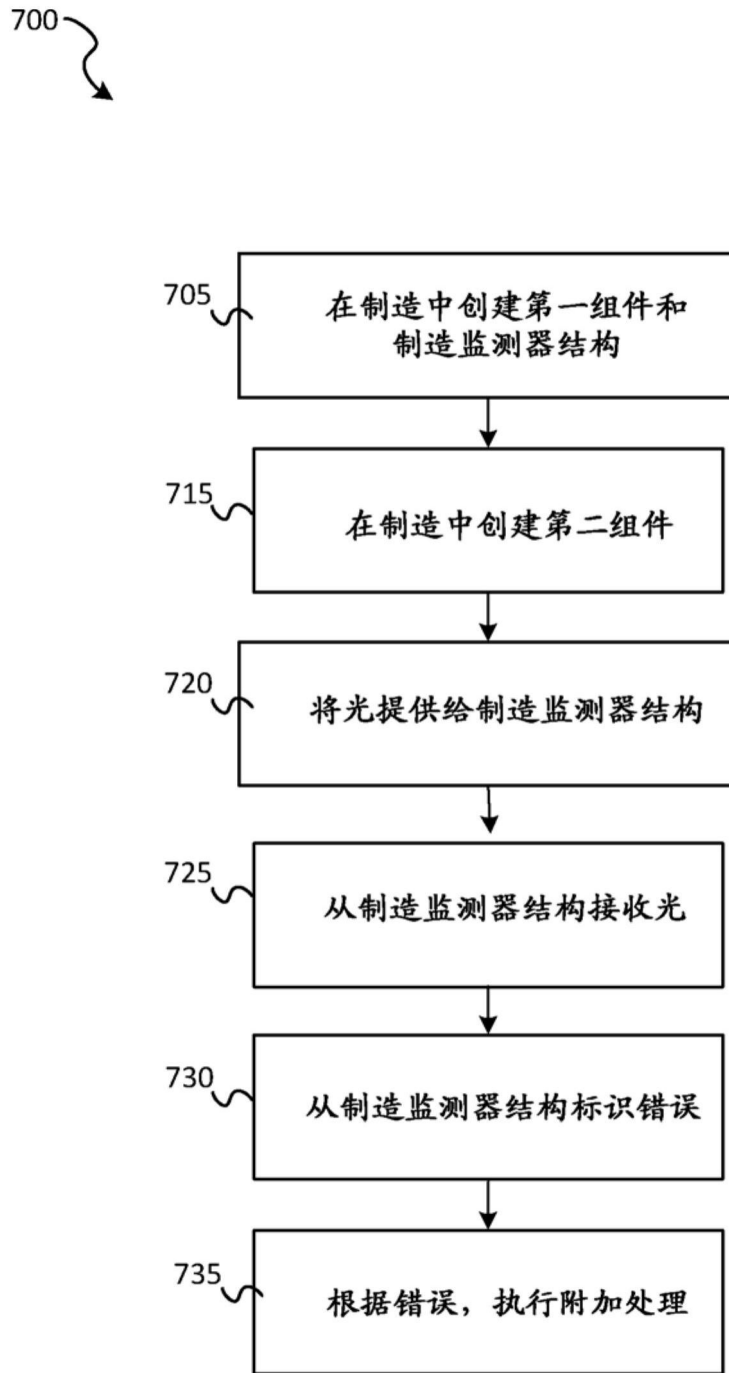


图7