[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl[7]
H04B 10/158
G02B 6/34
H04J 14/02

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 03812457.2

[43] 公开日 2005 年 8 月 17 日

[11] 公开号 CN 1656716A

[22] 申请日 2003.5.30 [21] 申请号 03812457.2
[30] 优先权
[32] 2002. 5.30 [33] US [31] 10/160,924
[86] 国际申请 PCT/US2003/017433 2003.5.30
[87] 国际公布 WO2003/103192 英 2003.12.11
[85] 进入国家阶段日期 2004.11.30
[71] 申请人 纳幕尔杜邦公司
地址 美国特拉华州威尔明顿
[72] 发明人 R·布洛姆奎斯特 G·布多希安
L·埃尔达达 M·J·麦克法兰
L·W·沙克莱特

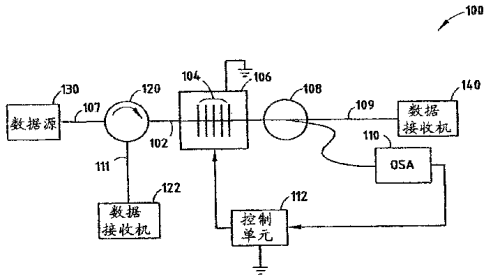
[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
代理人 程天正 王忠忠

权利要求书 5 页 说明书 13 页 附图 8 页

[54] 发明名称 可调光学波长滤波器的闭环控制

[57] 摘要

用于锁定到 ITU 网格中选定波长的波长选择光学设备，包括第一波导、第二波导、加热元件和控制单元。 第一波导包括在第一波导中形成的可调滤波器，第二波导包括在第二波导中形成的基准滤波器。 加热元件与可调滤波器和基准滤波器热接触，且控制单元耦合到加热元件和基准滤波器。 控制单元响应于由基准滤波器提供的指示信号改变加热元件的温度以调整可调滤波器的选定信道。



ISSN1008-4274

1．一种用于锁定到ITU网格中选定波长的波长选择光学设备，包括：

第一可调滤波器，该可调滤波器从接收的波分复用（WDM）信号中反射选定信道；

第二可调基准滤波器，在第一可调滤波器的附近形成，该基准滤波器接收基准信号并提供指示信号；

加热元件，与可调滤波器和基准滤波器热接触；和

控制单元，耦合到加热元件和基准滤波器，其中该控制单元响应于由基准滤波器提供的指示信号来改变加热元件的温度，以调整可调滤波器的选定信道。

2．权利要求1的设备，其中可调滤波器是布拉格光栅。

3．权利要求1的设备，其中可调滤波器和基准滤波器是布拉格光栅。

4．权利要求3的设备，其中可调滤波器在第一波导内形成，基准滤波器在第二波导内形成。

5．权利要求1的设备，其中基准信号是接收的WDM信号的一部分，指示信号至少是通过基准滤波器的透射信号的一部分。

6．权利要求1的设备，其中基准信号由基准源提供，独立于所接收的WDM信号。

7．权利要求6的设备，其中基准滤波器包括多个串联耦合的阶梯光栅，每一个阶梯光栅有不同周期，且指示信号至少是通过基准滤波器的透射信号的一部分。

8．权利要求6的设备，其中基准滤波器包括多个串联耦合的阶梯光栅，每一个阶梯光栅有不同周期，且指示信号至少是由基准滤波器反射的反射信号的一部分。

9．权利要求8的设备，其中多个串联耦合的阶梯光栅中的每一个跨越不同马赫-曾德尔干涉仪的臂形成。

10．权利要求4的设备，其中基准源是宽带源，且其中指示信号至少是由基准滤波器反射的反射信号的一部分。

11．权利要求10的设备，进一步包括：

监控波导，包括基准光栅和多个串联耦合的阶梯光栅，这些阶梯光栅中的每一个有不同周期，其中指示信号被提供到该多个串联耦合的阶梯光栅的输入端；

基准源，向基准光栅提供另一个基准信号；

第二加热元件，与基准光栅和该多个串联耦合的阶梯光栅热接触，其中第二加热元件耦合到控制单元，且第二加热元件的温度由控制单元响应于第二指示信号来控制，第二指示信号至少是由基准光栅反射的另一反射信号的一部分，且其中串联耦合的阶梯光栅中的每一个向控制单元提供光栅指示信号，控制单元利用该指示信号来确定由在第二波导内形成的基准滤波器反射的信号的波长。

12．权利要求 1 的设备，其中加热元件包括用于改变可调滤波器的温度和特性的第一加热元件和用于改变基准滤波器的温度和特性的第二加热元件，其中第一和第二加热元件是可分开控制的。

13．一种光学系统，包括：

波长选择光学设备，用于锁定到 ITU 网格中的选定信道上，包括：

第一波导，包括在第一波导内形成的可调滤波器，该可调滤波器从接收的波分复用（WDM）信号中反射选定信道；

第二波导，包括在第二波导中形成的基准滤波器，该基准滤波器接收基准信号并提供指示信号；

加热元件，与可调滤波器以及基准滤波器热接触；

控制单元，耦合到加热元件和基准滤波器，其中该控制单元响应于由基准滤波器提供的指示信号来改变加热元件的温度，以调整可调滤波器的选定信道；

光学数据源，耦合到该波长选择光学设备的输入端，该光学数据源向该波长选择光学设备的输入端提供 WDM 信号；和

光学数据接收机，耦合到该波长选择光学设备的输出端，用于接收由光学数据源发送的 WDM 信号的至少一个信道。

14．权利要求 13 的系统，其中可调滤波器是布拉格光栅。

15．权利要求 13 的系统，其中可调滤波器和基准滤波器是布拉格光栅。

16．权利要求 13 的系统，其中基准信号是接收的 WDM 信号的一部分，

指示信号至少是通过基准滤波器的透射信号的一部分。

17. 权利要求 13 的系统，其中基准信号由基准源提供，独立于接收的 WDM 信号。

18. 权利要求 17 的系统，其中基准滤波器包括多个串联耦合的阶梯光栅，每一个阶梯光栅有不同周期，且指示信号至少是通过基准滤波器的透射信号的一部分。

19. 权利要求 17 的系统，其中基准滤波器包括多个串联耦合的阶梯光栅，每一个阶梯光栅有不同周期，且指示信号至少是由基准滤波器反射的反射信号的一部分。

20. 权利要求 19 的系统，其中该多个串联耦合的阶梯光栅中的每一个跨越不同马赫-曾德尔干涉仪的臂形成。

21. 权利要求 13 的系统，其中基准源是宽带源，且其中指示信号至少是由基准滤波器反射的反射信号的一部分。

22. 权利要求 21 的系统，其中波长选择光学设备进一步包括：

监控波导，包括基准光栅和多个串联耦合的阶梯光栅，这些阶梯光栅中的每一个有不同周期，其中指示信号被提供到该多个串联耦合的阶梯光栅的输入端；

基准源，向基准光栅提供另一个基准信号；

第二加热元件，与基准光栅以及多个串联耦合的阶梯光栅热接触，其中第二加热元件耦合到控制单元，且第二加热元件的温度由控制单元响应于第二指示信号来控制，第二指示信号至少是由基准光栅反射的另一反射信号的一部分，且其中串联耦合的阶梯光栅中的每一个向控制单元提供光栅指示信号，控制单元利用该指示信号确定由在第二波导内形成的基准滤波器反射的信号的波长。

23. 权利要求 13 的系统，其中加热元件包括用于改变可调滤波器的温度和特性的第一加热元件和用于改变基准滤波器的温度和特性的第二加热元件，且其中第一和第二加热元件是可分开控制的。

24. 一种用于锁定到 ITU 网格中选定波长的波长选择光学设备，包括：

第一波导，包括在第一波导内形成的可调滤波器，该可调滤波器从接收的波分复用（WDM）信号中反射选定的信道；

第二波导，包括在第二波导中形成的基准滤波器，该基准滤波器接收基准信号并提供指示信号；

加热元件，与可调滤波器和基准滤波器热接触；和

控制单元，耦合到加热元件和基准滤波器，其中该控制单元响应于由基准滤波器提供的指示信号来改变加热元件的温度，以调整可调滤波器的选定信道，且其中可调滤波器和基准滤波器是布拉格光栅。

25．权利要求 24 的设备，其中基准信号是接收的 WDM 信号的一部分，指示信号至少是通过基准滤波器的透射信号的一部分。

26. 权利要求24 的设备，其中基准信号由基准源提供，独立于接收的 WDM 信号。

27．权利要求 26 的设备，其中基准滤波器包括多个串联耦合的阶梯光栅，每一个阶梯光栅有不同周期，且指示信号至少是通过基准滤波器的透射信号的一部分。

28．权利要求 26 的设备，其中基准滤波器包括多个串联耦合的阶梯光栅，每一个阶梯光栅有不同周期，且指示信号至少是由基准滤波器反射的反射信号的一部分。

29．权利要求 28 的设备，其中多个串联耦合的阶梯光栅中的每一个跨越不同马赫-曾德尔干涉仪的臂形成。

30．权利要求 24 的设备，其中基准源是宽带源，其中指示信号至少是由基准滤波器反射的反射信号的一部分。

31．权利要求 30 的设备，进一步包括：

监控波导，包括基准光栅和多个串联耦合的阶梯光栅，这些阶梯光栅中的每一个有不同周期，其中，指示信号被提供到该多个串联耦合的阶梯光栅的输入端；

基准源，向基准光栅提供另一个基准信号；

第二加热元件，与基准光栅以及该多个串联耦合的阶梯光栅热接触，其中第二加热元件耦合到控制单元，且第二加热元件的温度由控制单元响应于第二指示信号来控制，第二指示信号至少是由基准光栅反射的另一反射信号的一部分，且其中串联耦合的阶梯光栅中的每一个向控制单元提供光栅指示信号，控制单元利用该指示信号确定由在第二波导内形成的基准滤波器反射的信号的波

长。

32．权利要求 24 的设备，其中加热元件包括用于改变可调滤波器的温度和特性的第一加热元件和用于改变基准滤波器的温度和特性的第二加热元件，其中第一和第二加热元件是可分开控制的。

可调光学波长滤波器的闭环控制

发明背景

技术领域

本发明涉及可调波长滤波器，更具体地，本发明涉及可调波长滤波器的闭环控制。

背景技术

在许多光学系统中已经利用例如光纤布拉格光栅（FBG）的可调滤波器以在波分复用（WDM）光学系统中的适当位置上选择性地插入和/或分离波长（即信道）。对本领域的一个普通技术人员所熟知的是，可调 FBG 是能调谐到或偏离国际电信联盟（ITU）标准波长以便信道可以被 FBG 反射或通过 FBG 透射的窄带反射元件。这样，FBG 起到可选择陷波带阻滤波器的作用，基本反射在一波长范围内的接收到的信号并且基体上使不在该波长范围内的信号通过。理想的 FBG 反射 WDM 信号的一个信道并使剩余的信道基本上无衰减地通过。

在典型的光学系统中，由控制器来实现信道（即波长的特定范围）的加或减，该控制器将指定 FBG 控制在透射和反射状态之一。在这样的系统中，已经典型地有用于 WDM 信号的每一个信道的 FBG，这些 FBG 已经以许多种方式在透射和反射状态之间被激励。例如，通过使用像压电器件一样的传动器施加物理压力到光纤上可以改变光栅的周期。这样，通过控制器调整施加到压电器件上的功率引起由相关光栅反射的波长范围改变。

或者，可以热调谐光纤波导的有效折射率以使由光栅反射的波长范围随着温度改变。这样，通过在与光栅进行热接触的通常由电阻性涂层制成的加热器上施加适当量的功率来调整光栅的温度。在这样的系统中，每个光栅通常已经被校准以便指定的光栅在指定的温度上反射指定的信道。然而在这样的系统中，将光栅从一个波长切换到另一个波长的能力是有限的。在玻璃光纤的情况下，拉伸光纤的能力以及随着温度改变它的折射率的能力都是有限的。对切换（调谐）速度也有限制。在温度控制系统中，切换速度的限制通常可归因于与光栅相关联的热电偶，该热电偶位于光栅附近来感应光栅的温度。耦合到该热

电偶的控制器监控由热电偶报告的温度，并据此调整传送到相关联的加热器的功率。然而由热电偶报告的温度通常不同于（至少在最初的改变之后）加热器的温度。这样，在稳定到想要的温度之前，控制器可能使加热器的温度超过或低于想要的加热器温度多次，因此在锁定到想要的信道的过程中经历困难。

因此，需要能够保持可调波长滤波器锁定到期望波长的实际闭环控制系统。同样也期望这样的系统，该系统能够以可靠且相对有效的方式将可调波长滤波器从一个信道切换到另一个信道、覆盖宽的波长范围并在一段可接受的短时间段内执行波长切换。

发明内容

本发明涉及波长选择光学设备，用于锁定到 ITU 网格中选择的信道上。该波长选择光学设备包括第一光栅、第二光栅、一个或多个加热元件和控制单元。

第一光栅包括从接收的波分复用（WDM）信号中反射选择信道的可调滤波器。第二光栅包括接收基准信号并提供指示信号的基准滤波器。加热元件与可调滤波器和基准滤波器热接触，控制单元耦合到一个或多个加热元件和基准滤波器。控制单元响应于由基准滤波器提供的指示信号来改变所述一个或多个加热元件的温度，以调整可调滤波器的选择信道。

第一和第二光栅可以是在体材料中、平面一维或二维波导中或在光纤中形成的独立的光栅。构成材料可以是包括硅石、掺杂的玻璃纤维和聚合物的任何适合的透光材料。

本发明另外的特征和优点将在随后的详细描述中阐明，并且从该描述中本发明另外的特征和优点对于本领域普通技术人员来说将是明显的，或者通过实施在随后的连同权利要求和附图的描述中描述的本发明，将认识到本发明的另外的特征和优点。

要理解的是前述的描述仅仅是本发明的示例，并且意在提供用于理解由权利要求限定的本发明性质和特征的本发明的概述。包含的附图用于提供对本发明的进一步理解，并且并入和构成这个说明书的一部分。附图图示本发明的多种特征和实施例，连同它们的描述一起用于解释本发明的原理和操作。

附图说明

图 1 是包括带有热调谐光栅的平面型波导和带有可调谐基准光栅的相关联

波导的光学系统的示例性示意图；

图 2 是根据本发明实施例的包括一对带有热调谐光栅的平面型波导的光学系统的示例性示意图；

图 3A 是根据本发明一个实施例的光学系统的示例性示意图，该系统包括一对平面型波导：带有包括热调谐光栅的主波导和带有多个每个有不同周期的串联耦合的阶梯光栅（step grating）的基准波导；

图 3B-3C 分别是与图 3A 的基准波导相关联的基准信号的反射强度和透射强度与温度之间函数关系的曲线图。

图 4 是根据本发明另一实施例的光学系统的示例性示意图，该系统包括带有热调谐光栅和带有基准光栅的监控波导的一对平面型波导，其中基准光栅具有串联耦合的多个分别有不同周期的阶梯光栅；

图 5 是根据本发明另一实施例的光学系统的示例性示意图，该系统包括一对平面型波导：包括热调谐光栅的主波导和带有多个串联耦合的阶梯光栅的基准波导，每一个阶梯光栅跨越马赫-曾德尔干涉仪的臂形成且有不同周期。

具体实施方式

本发明针对用于锁定到国际电信联盟（ITU）网格中选定波长的波长选择光学器件，该器件采取在体材料的层中、在衬底上的波导中或在光纤中形成的布拉格光栅的形式。在一个实施例中，波长选择光学器件包括第一光栅、第二光栅、一个或多个加热元件和控制单元。第一光栅包括从接收的波分复用（WDM）信号中反射选定信道的可调滤波器。第二光栅包括接收基准信号并提供指示信号的基准滤波器。加热元件与可调滤波器和基准滤波器热接触，且控制单元耦合到加热元件和基准滤波器上。加热元件以传统的方式形成，例如，把电阻涂覆层沉积到波导的适当部分上。控制单元响应于由基准滤波器提供的指示信号来改变加热元件的温度，以调整可调滤波器所选择的信道。这允许该系统锁定到选定信道上并能应用在信道可选择配置中。

这里使用的术语“控制单元”可以包括例如微控制器、带有相关联的存储器和外围设备的微处理器、现场可编程门阵列（FPGA）、可编程逻辑阵列（PLA）或切换阵列。此外，这里使用的术语“可调滤波器”可以采用各种形式，例如，可调布拉格光栅。应该理解的是，通过在主波导的输出端和数据接收机之间耦合插入循环器的两个端口，而用插入循环器的剩余端口接收来自插入数据源的

插入信号，这里公开的系统可以容易地修改成插入传递到光学数据接收机的信号，并以这种形式作为分/插多路复用器（ADM）。

第一和第二光栅可以是在体材料中、平面一维或二维波导中或在光纤中形成的独立的光栅。构成材料可以是包括硅石、掺杂的玻璃和聚合物的任何适合的光透射材料。这里使用的术语“体材料”指的是不包括波导装置的材料结构，且其与典型的单模波导比较通常是厚的（厚度>>10 微米）。这样的体材料例如可以包括在衬底上的厚的聚合物层或者厚的玻璃板。通常优选的厚度为大约为300 微米～1000 微米。同样，这里使用的二维波导（也是通常所说的平板波导）通常包括在衬底上的多层结构，其中，最底层（经常称为缓冲层或下包层）与上面的层比较折射率较低，在二维平面内引导光的中间层或顶层（经常称为芯层）的折射率比缓冲层或下包层的高。最顶层可以包括折射率比芯层或空气更低的第三种材料。

同样，这里使用的术语“一维波导”指的是在其中光被限制成以一维传播的波导。这样的波导由顶部、底部和侧面来限定。这样的波导的典型例子是信道和脊形波导。从这点向前，术语“平板波导”将指的是二维波导，术语“平面型波导”将指的是一维波导。平面型波导的特别优选的形式是掩埋信道波导。

掩埋信道波导的优选形式包括在衬底上制造的单模光学波导，其用在衬底表面上设置的缓冲层限定一个表面。该缓冲层限定一个表面并且有折射率n_b。薄的下包层位于该缓冲层的表面上，该下包层限定一个表面并有折射率n_u。透光单模式纤芯位于下包层的表面上，且该纤芯限定顶表面和侧壁并有折射率n_c。外包层位于纤芯的顶表面上和纤芯的侧壁上以及下包层的一部分上并有折射率n_o。纤芯的折射率n_c大于外包层的折射率n_o，也大于下包层的折射率n_u。在该波导中，$\Delta n = n_c - n_o$，并且通常$n_u \approx n_o$，且n_c与缓冲层的折射率n_b之间的差至少是Δn的大约 1.5 倍，且Δn的值与纤芯的尺寸结合以产生在光通信波长上的单模波导。

构造的材料可以是包括硅石、掺杂的玻璃和聚合物的任何适合的光透射材料。聚合物在这个发明的实施中是特别有用的，因为这样的材料形成高度可调布拉格光栅的基础，该高度可调的布拉格光栅能够覆盖标准通信频带的相当大的部分。优选的聚合物是那些光敏（photoreactive）的，例如在美国专利NO.6,306,563 中描述的那些，它的全部内容在此引入作为参考。

图 1 描述一种典型的光学系统 100，该系统包括平面型波导 102a，该平面型波导 102a 包括以传统方式在该波导 102a 内形成的光栅 104a。与光栅 104a 相邻的是基准光栅 104b。光栅 104b 可以与光栅 104a 基本上相同或不同，并且可以由单个光栅或许多较短的光栅串联组成。可以顺序制造光栅 104a 和 104b，但是在最优选的方法中，使用例如单相位掩模同时制造它们。优选地，两个光栅是平行的且位于彼此直接相对或者彼此并排的位置。主光栅 104a 与基准 104b 之间的距离或者波导 102a 和 102b（或 109a 和 109b）之间的距离必须足够大以避免一个光栅或波导中的光耦合到到相邻的光栅或波导，但是要足够密切的接近以维持几乎同样的热环境。优选地，波导或光栅之间的串扰低于-40dB。波导之间的距离或两光栅中心之间的距离优选为大约 20～大约 1000 微米，更优选为大约 30～大约 300 微米，最优选为大约 50～大约 100 微米。

基准光栅通过波导 102b 连接到基准源 150。基准源可以选择性地是宽带或窄带源。通过使用耦合装置 108 把反射光发送到基准单元。耦合装置可以是各种类型，例如 Y 形分支、定向耦合器或循环器。基准单元 A 和 B、160 和 134，可以分别包括光电探测器以及选择性地包括滤光器或其它元件以提供识别波长或抑制背景噪声的能力。控制单元 112 监控由光栅 104b 反射或透射的信号以确定合适的信道是否被分离。波导 102a 和 102b、109a 和 109b 可以由例如聚合物制成，且光栅 104a 和 104b 可以是例如可调布拉格光栅。如果不使用波导，布拉格光栅 104a 和 104b 可以在诸如光敏聚合物或玻璃的体材料中形成。可以用例如连接在光纤端部的诸如 GRIN 透镜或 Edison 透镜的平行光学元件来替换波导 102a 和 102b。在这种情况下，光栅之间的中心到中心的距离优选为大约 300 微米～1000 微米。耦合器 108 不是必需的，并且能由两个定向到稍微不同角度（大约 0.1～大约 3 度的角度差）的有透镜的光纤来替换。

加热元件 106 与光栅 104 热接触并耦合到控制单元 112，其温度由控制单元 112 控制，控制单元 112 通过改变传送到加热元件 106 的功率来改变加热元件 106 的温度。可选地，加热元件 106 由两个分离的元件 106a 和 106b 组成，这两个分离的元件能由控制单元 112 分开控制。光学数据源 130 经由波导 107 把波分复用（WDM）信号发送到三端口循环器 120 的第一端口。循环器 120 的第二端口耦合到波导 102a 的输入端，波导 102a 的输出端经由波导 109a 耦合到光学数据接收机 140。通过光栅 104a 的这个路径表示器件的主通道，该通道

传送波长多路复用数据流。特定波长从光栅 104a 的反射允许单一波长载波（或信道）从数据流分离并转向接收机 122。由光栅 104a 反射的这个信道提供到循环器 120 的第二端口，并被循环器 120 路由到循环器 120 的第三端口（即分离端口），该第三端口经由波导 111 耦合到光学数据接收机 122。

该器件的适当运行需要把光栅 104a 精确地调谐到要分离的信道的波长。进一步希望把该光栅调谐到在这样的波长带内的许多 ITU 波长。同时，非常希望限制在主路径内任何对数据输运的干扰，因此本发明利用第二个光栅来提供确定该器件锁定到哪个波长所必需的信息并维持该锁定一定时间。布拉格光栅的特征反射的中心波长是光栅周期Λ、光栅和波导（如果出现）的介质有效折射率 n_{eff} 的函数。该关系由表达式 $\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda$ 给出。n_{eff} 和Λ的值都是温度和机械应力的函数，这些影响的任何一种或者两种都能用于在一定波长范围调谐光栅。本发明的原理基于或者保持光栅 104a 和 104b 具有几乎同样的热和应力分布，或者具有精确已知差别的两个热和应力分布。

在一个代表性的例子中，波导和光栅可以在键合到刚性的低 CTE（热膨胀系数）衬底的聚合物材料中形成。在这种情况下，应力将保持相对恒定，且该器件将通过在光栅区域中聚合物波导有效折射率的温度变化的影响而被调谐。通过控制加热器 106a 和 106b 的温度，控制单元 112 能够控制在两个光栅 104a 和 104b 的区域中的有效折射率，并因此控制两个光栅的反射波长的差值。基准源 150、基准检测器 134 和 160、基准光栅 104b 和控制单元 112 一起形成传感器，其能够间接测量和控制主光栅 104a 被调谐到的波长。通常，基准检测器单元 160 和 134 不会同时出现。通常，检测器单元 134 将寻找基准信号中的最小值，而检测器单元 160 将寻找反射的基准信号中的最大值。当基准源 150 发送宽带波长时，需要检测器单元 134 和 160 来识别波长。在一些实施例中，基准源可以是数据流本身的一部分，其可以通过在波导 102a 中放置抽头来访问。由于数据流可能以不可预知的方式改变且抽头代表有害的数据流扰动，因此这个方案较为不优选。检测器单元 134 和 160 的输出是控制单元 112 使用的反馈回路的一部分，该部分用以调整光栅 104a 和 104b 的温度。控制单元 112 响应于检测器 134 和 160 之一的输出把适当的信号施加到加热元件 106（或 106a 和 106b）。即基于检测器 160 或 134 的输出，控制单元 112 维持加热元件 106（或加热元件 106a 和 106b）的温度，或者增加或减小施加到加热元件 106 的

功率以修改温度，并且因此维持或改变由光栅 104a 反射的信道。如现有技术中已知的，控制单元 112 能够在检测信号的峰值、倾斜或边缘进行控制。本发明典型的优点是通常需要控制单元回转它的输出以维持在反馈回路内的锁定。这个回转会产生小的温度震荡。当在本发明中使用两个加热器 106a 和 106b 时，这个温度震荡能限制到基准光栅 104b，并且完整的和平滑的控制信号能供给加热器 106a。

图 2 描述根据本发明实施例的典型光学系统 400，该系统包括一对平面型波导，即主波导 402a 和基准波导 402b，同时在波导 402a 和 402b 中形成并跨越波导 402a 和 402b 的光栅 404。加热元件 406b 控制光栅 404 跨越基准波导 402b 的部分的温度，且加热元件 406b 控制光栅 404 跨越主波导 402a 的部分的温度。或者，但是在这个例子中较不优选，可以使用单个加热元件 406 来加热横跨 402a 和 402b 两个波导的光栅 404。

提供 WDM 信号的数据源 430 经由波导 407 耦合到循环器 420 的第一端口，循环器 420 的第二端口耦合到主波导 402a 的输入端。主波导 402a 的输出端经由波导 409 耦合到光学数据接收机 440 的输入端。基准源 445 的输出端由波导 402b 通过光栅 404 的下部耦合到可选择的干扰滤波器 432，该滤波器的输出光学耦合到光电探测器 434 的输入端。当基准源 445 是宽带（如使用 LED）时，需要滤波器 432，但是当使用的基准源的特征是尖锐的波长分布（如使用温度补偿光纤布拉格光栅的反射）时，则不需要光纤 432。在一些情况下，在反射中而不是在透射中跟踪基准源 445 是优选的。光电探测器 434 的输出端耦合到控制单元 412 的输入端，控制单元 412 包括耦合到加热元件 406a 和 406b 的输出，这两个输出响应于从光电探测器 434 接收的信号单独地控制加热元件 406a 和 406b 的温度。如以上提到的，加热元件 406a 和 406b 可以组合成单个的加热器 406，其温度由控制器 412 的单个输出控制。

在操作中，控制单元 412 监控光电探测器 434 的输出以确定是否维持、增加或降低供应到加热元件 406b 的功率，以便光栅 404 的基准光栅部分保持调谐到滤波器 432 的基准波长或调谐到由窄带基准源提供的基准波长。如果系统 400 开始从基准波长漂移，则光电探测器 434 的输出改变。在这种情况下，控制单元 412 改变传送到加热元件 406b 的功率，以使光电探测器 434 的输出维持在最小值。控制单元 412 也被编程以向主波导 402a 的加热元件 406a 提供电

压（或功率），该电压（或功率）对应于基准波长与理想 ITU 波长之间的校准电压或功率）差，该理想 ITU 波长经由循环器 420 的第三个端口分离到数据接收机 422。在这个实施例中，基准信道用来为要提供到主加热元件 406a 的电压（或功率）提供稳定的基线。将保持该基线相对于周围温度的变化和该器件与任何贴附在该器件上的热量散热片之间的热接触的变化近似恒定。

图 3A 描述光学通信系统 500，其具有包括光栅（例如可调布拉格光栅）504a 的主波导 502a 和包括一系列分别有不同周期Λ_1、Λ_2和Λ_3的短光栅（即，光栅G_1,G_2和G_3）504b 的基准波导 502b。由可以包括宽带信号源 554（例如，发光二极管（LED））、循环器 552 和热补偿光纤布拉格光栅 556 的基准信号源 550 把基准信号提供到波导 502b 的输入端。源 554 的输出端耦合到循环器 552 的第一端口，循环器 552 的第二端口耦合到热补偿光纤布拉格光栅 556，光栅 556 把单个基准波长理想地反射回到循环器 552 的第二端口。循环器 552 在它的第三端口提供基准波长，该第三端口通过循环器 558 的第一和第二端口耦合到基准波导 502b 的输入端。

如图 3A 中所示，控制单元 512 耦合到加热元件 506a 和 506b。或者，可以组合加热元件 506a 和 506b 以形成单个的加热元件 506。为了把理想信道反射到耦合到循环器 520 第三端口的光学数据接收机 522，控制单元 512 向加热元件 506a 和 506b 或 506 供电以使波导 502a 的有效折射系数（n_{eff}）改变到适当值，以反射理想 ITU 波长。参照光栅 504b，当加热元件 506b 的功率增加时，波导 502b 的有效折射系数改变，直到光栅G_1反射由源 550 提供的基准信号。由于光栅G_1的周期是已知的，且基准信号的波长是已知的，假定波导 502a 和 502b 的折射系数是相同的，则能够确定波导 502a 的有效折射系数。随着温度的进一步增加，波导 502b 的有效折射系数改变，以致光栅G_1不再反射基准信号，结果允许基准信号继续前进到用于反射基准信号的第二光栅G_2。由于基准信号传播距离增加，反射光的量减少。类似，当波导 502b 的温度继续增加时，光栅G_2不再反射基准信号，基准信号传给光栅G_3并由光栅G_3反射。虽然只图示了三个光栅，但是应该理解根据应用可以使用更多或更少的光栅。

这样，在反射信号强度中的阶梯式损耗提供什么时候基准波导 502b 的有效折射率已经从适合反射一个 ITU 波长的值转变到适合另一个 ITU 波长的值的指示。图 3B 用图表表示与从波导 502b 反射的基准信号相关联的反射强度作

为增加的加热元件温度的函数。图 3C 图示通过波导 502b 的基准信号的透射强度作为增加的加热元件温度的函数。当使用两个加热器时，控制单元将用基本上使用与用于加热器 504b 的相同的电压（功率）电平来驱动加热器 504a，但是允许小的校准差值。那么主光栅和一系列基准光栅的有效折射系数将基本上是相同的。对于这种情况，当由于从第 m 个基准光栅的反射，反射的基准信号处于最大值或者透射的基准信号处于最小值时，从主光栅反射的波长将只是主光栅周期（Λ）和第 m 个基准光栅的周期（Λ_m）的函数。选择第 m 个基准光栅的周期值，使得第 m 个 ITU 波长值由 $\lambda_{ITU}^{(m)} = \lambda_0 \Lambda / \Lambda_m$ 给出，这里 λ_0 是滤波器带通或窄带基准源的中心波长。

图 4 描述包括主波导 602a 和基准波导 602b 示例性光学系统 600，包括在波导 602a 和 602b 中横跨波导 602a 和 602b 形成的周期为 Λ 的光栅 604。加热元件 606 与光栅 604 是热接触的，控制单元 612 响应于多个光电探测器 672、674、676、678 和 680 的输出来控制加热元件 606。光学数据源 630 发射 WDM 信号并经由波导 607 耦合到循环器 620 的第一端口，循环器 620 的第二端口耦合到波导 602a 的输入端。循环器 602a 的第三端口 （即分离端口）耦合到接收被分离信道的光学数据接收机 622，光学数据接收机 640 经由波导 609 光学耦合到波导 602a 的输出端。宽带数据源 654 向基准波导 602b 的输入端提供宽带信号，根据加热元件 606 的温度，光栅 604 与波导 602b 相关联的部分可以反射宽带信号的一部分。

第二波导 656a 经由定向耦合器 669 从基准源 662 接收信号。从波导 656a 的周期为 Λ_0 的光栅 G_0 反射的信号被提供到光电探测器 670 的输入端，光电探测器 670 的输出端耦合到控制单元 612 的输入端。响应于光电探测器 670 的输出，控制单元 612 控制加热元件 658 的温度以维持从光栅 G_0 反射的信号处于最大值。或者，光电探测器 670 的输出可以用于直接控制加热元件 658 的温度。

定向耦合器 608 把从光栅 604 与基准波导 602b 相关联的部分反射的信号提供到波导 656b，波导 656b 包括多个周期分别为 Λ_1、Λ_2、Λ_3、Λ_4 和 Λ_5 的光栅 G_1、G_2、G_3、G_4 和 G_5，这些光栅通过定向耦合器 671 与波导 656a 共享共同的热环境。耦合器 671 把光栅 G_1 反射开的信号提供到光电探测器 672 的输入端，光电探测器 672 的输出端耦合到控制单元 612 的第二输入端。定向耦合器 673 接收通过光栅 G_1 透射的信号并把从光栅 G_2 反射的信号提供到光电探测器

674 的输入端，光电探测器 674 的输出端耦合到控制单元 612 的第三输入端。定向耦合器 675 的输入端接收通过光栅G_2透射的输入信号，并把该透射的信号提供到光栅G_3的输入端。

定向耦合器 675 接收从光栅G_3反射的信号并把该反射信号提供到光电探测器 676 的输入端，光电探测器 676 的输出端耦合到控制单元 612 的第四输入端。定向耦合器 677 的输入端接收通过光栅G_3透射的输入信号，并把该透射信号提供到光栅G_4的输入端。定向耦合器 677 接收从光栅G_4反射的信号并把该反射信号提供到光电探测器 678 的输入端，光电探测器 678 的输出端耦合到控制单元 612 的第五输入端。耦合到光栅G_4与G_5之间的定向耦合器 679，把通过光栅G_4透射的信号提供到光栅G_5，并把从光栅G_5反射的信号提供到光电探测器 680 的输入端，光电探测器 680 的输出端耦合到控制单元 612 的第六输入端。基于光电探测器 672-680 的输出，控制单元 612 控制加热元件 606，以使光栅 604 在主波导 602a 内的部分反射选定 ITU 波长并锁定到 ITU 选定波长上。

波导 656a 和 656b 与光栅G_0和G_1-G_5结合形成解复用器，通过把光电探测器 670 的输出直接提供到加热元件 658，或者通过将光电探测器 670 的输出提供到控制单元 612 的输入端来校准该解复用器，其中控制单元反过来控制供应到加热元件 658 的功率。图 4 中的设备 600 提供图 1 中描述方案的具体例子，其中解复用器的组件一起提供波长选择检测装置的例子，波长选择检测装置包含在基准探测器单元 160 的性能特征的范围内。由波导 656a 和 656b、耦合器 669—679 和光栅G_0—G_5组成的这个探测器单元的部分能与光栅 604 集成在同一衬底上，或者能与光栅 604 在分离的衬底（或芯片）上。如果该设备的两部分，主光栅 604 和解复用器，集成在同一衬底上，通过在波导和光栅的顶部提供加热器，主光栅 604 和解复用器能维持在不同的温度。如果该设备的这两部分在分离的衬底上，那么能够使用或者连接到衬底的加热器（或冷却器）或位于光栅顶部的加热器。

通过使波长λ_0从光栅G_0的反射最大化，与加热元件 658 热接触的波导 656a 的有效折射系数维持在由：

$$n_0 = \lambda_0 / 2\Lambda_0$$

给出的值。根据以下提出的公式：

$$\Delta\lambda_{ITU} = 2n_0(\Lambda_{n+1} - \Lambda_n)$$

可以选择别的光栅G_1－G_5以产生在连续 ITU 波长上的反射，这里第n个 ITU 波长可以由$\lambda_{ITU}^{(n)} = 2n_0\Lambda_n = \lambda_0\Lambda_n / \Lambda_0$来表示。这样，控制单元 612 配置成改变加热元件 606 的温度直到光电探测器 672-680 的输出满足想要的条件。应该理解在光电探测器 672-680 的输出端编码的数字字能解码为要显示的波长或频率，且也能用于编程例如电子开关以选择特定的输出端来为加热元件 606 提供控制信号。由于该器件 600 使用简单的定向耦合器，反射光的一部分将在沿着波导 656b 的光栅之前的所有光电检测器上出现。这样，例如相应于从光栅G_2反射的第 2ITU 波长的数字字会是 11000，或者第 3ITU 波长会是 11100 等等。也应该理解能在波导 656b 内实现任何数量的光栅。

图 5 描述包括有光栅 704 的波导 702a 和有多个马赫-曾德尔干涉仪 M-Z1、M-Z2 和 M-Z3 的基准波导 702b 的光学系统 700。如图 5 中所示的，马赫-曾德尔滤波器 M-Z1 包括周期为Λ_1的跨越两个臂的光栅G_1，马赫-曾德尔滤波器 M-Z2 包括周期为Λ_2的跨越两个臂的光栅G_2，且马赫-曾德尔滤波器 M-Z3 包括周期为Λ_3的跨越两个臂的光栅G_3。应该理解可以按需要实现更多或更少的马赫-曾德尔滤波器。循环器 720 耦合在光学数据源 730 的输出端与波导 702a 的输入端之间。由数据源 730 经由波导 707 提供到循环器 720 第一端口的 WDM 信号经由循环器 720 的第二端口传递到波导 702a 的输入端。从在波导 702a 中形成的光栅 704 反射的信号在循环器 720 的第二端口被接收并被提供到耦合到循环器 720 第三端口（即，分离端口）的光学数据接收机 722。公共的加热元件 706 与光栅 704 和马赫-曾德尔滤波器 M-Z1、M-Z2 和 M-Z3 的光栅G_1、G_2和G_3热接触。光学数据接收机 740 经由波导 709 耦合到波导 702a 的输出端并接收通过光栅 704 透射的信号。如以前讨论的，从光栅 704 反射的信号经由循环器 720 提供到数据接收机 722。

如图 5 中所示的，基准源 762 向基准波导 702b 提供基准信号。定向耦合器 771 耦合在源 762 与第一马赫-曾德尔滤波器 M-Z1 之间。从滤波器 M-Z1 的光栅反射的信号经由耦合器 771 提供到光电探测器 772 的输入端，光电探测器 772 的输出提供到控制单元 712 的第一输入端。滤波器 M-Z1 的输出端光学耦合到定向耦合器 772 的输入端，定向耦合器 772 的输出端耦合到滤波器 M-Z2 的输入端。从滤波器 M-Z2 的光栅反射的信号经由定向耦合器 772 提供到光电探测器 774 的输入端，光电探测器 774 的输出端耦合到控制单元 712 的第二输

入端。滤波器M-Z2的输出端耦合到定向耦合器773的输入端，定向耦合器773的输出端耦合到滤波器 M-Z3 的输入端。从滤波器 M-Z3 反射的信号由定向耦合器 773 接收并被提供到光电探测器 776 的输入端，光电探测器 776 的输出端耦合到控制单元 712 的第三输入端。优选地，定向耦合器 771、772 和 773 是 3-dB 耦合器，其允许反射光在相邻的分离端口被完全分离。例如，从 M-Z2 的光栅 G_2 反射的光的全部或大部分将被发送到探测器 774 等等。

基于从光电探测器 772、774 和 776 接收的输出信号，控制单元 712 控制加热元件 706 的温度以锁定到想要的 ITU 波长。这样，控制单元 712 能够跟踪由滤波器 M-Z1、M-Z2 和 M-Z3 反射的波长并选择性地确定正由光栅 704 反射的是哪个波长，并调整加热元件 706 的温度以便锁定到想要的波长并从光栅 704 反射想要的波长。

加热元件 706 可以是在上包层上的光栅 704 和 G_1、G_2 和 G_3 之上涂敷的薄膜加热器，或者它可以是与衬底直接进行热接触的加热器或热电冷却器（TEC）。由于在这两种情况中将为所有的光栅维持共同的温度，该设备为主数据路径和基准路径两者产生均匀且相同的有效折射系数。通过随着温度改变有效折射率来调谐该器件。作为一个例子，当控制单元 712 视从 M-Z2 反射的信号而锁定在探测器 774 的输出并使探测器 774 的输出最大化时，有效折射系数变为

$$n^{(2)} = \lambda_0 / 2\Lambda_2$$

那么在 722 接收的分离波长是：

$$\lambda_2 = 2n^{(2)}\Lambda_2 = \lambda_0\Lambda / \Lambda_2$$

通过合适地选择 λ_0、Λ 和 Λ_2 的值，使这个分离的波长与想要得到的 ITU 波长 $\lambda_{ITU}{}^{(2)}$ 相等。

因此，已经描述了许多锁定到 ITU 网格中选定波长上的波长选择光学设备。这些波长选择设备通常包括第一波导、第二波导、加热元件和控制单元。如上所述，第一波导包括在第一波导中形成的从接收的波分复用（WDM）信号反射选定信道的可调滤波器，第二波导包括在第二波导中形成的接收基准信号并提供指示信号的基准滤波器。加热元件或多个加热元件与可调滤波器和基准滤波器是热接触的，且控制单元耦合到加热元件和基准滤波器。控制单元响应于由基准滤波器提供的指示信号改变加热元件的温度以调整可调滤波器的选

定信道。

对本领域普通技术人员将变得明显的是，在不偏离由附带的权利要求限定的本发明的精神和范围的情况下，能够对这里描述的本发明的优选实施例做出各种修改。

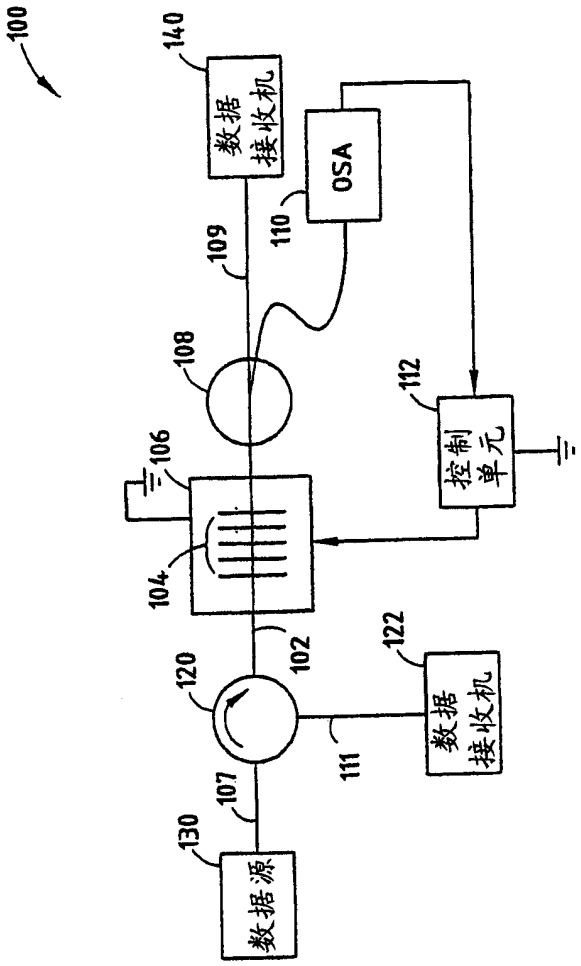

100
140
数据接收机
OSA
109
110
108
112
控制单元
106
104
102
120
122
数据接收机
111
107
130
数据源

图 1

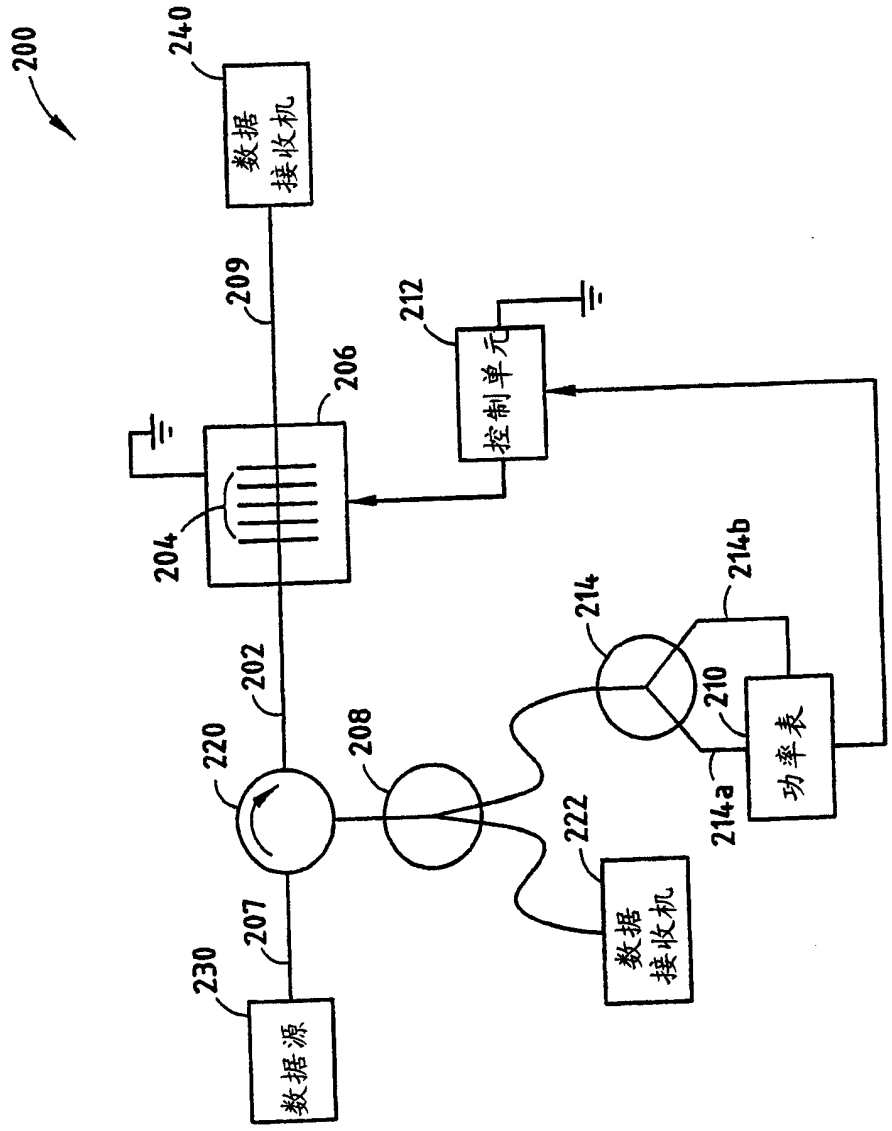

200
240
数据接收机
209
212
控制单元
206
204
202
220
208
214
214b
210
214a
功率表
222
数据接收机
207
230
数据源

图 2

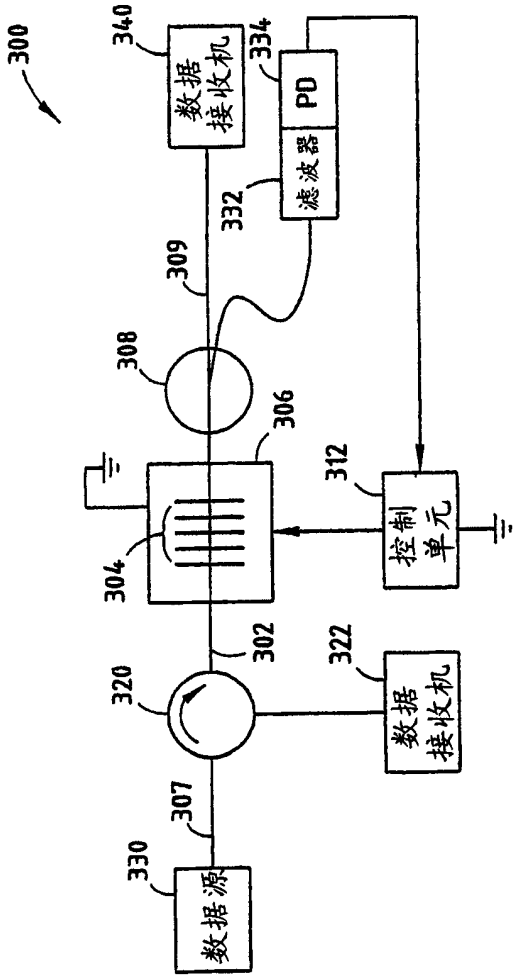

300
340
数据接收机
334
PD
滤波器
332
309
308
306
312
控制单元
304
302
322
数据接收机
320
307
330
数据源

图 3

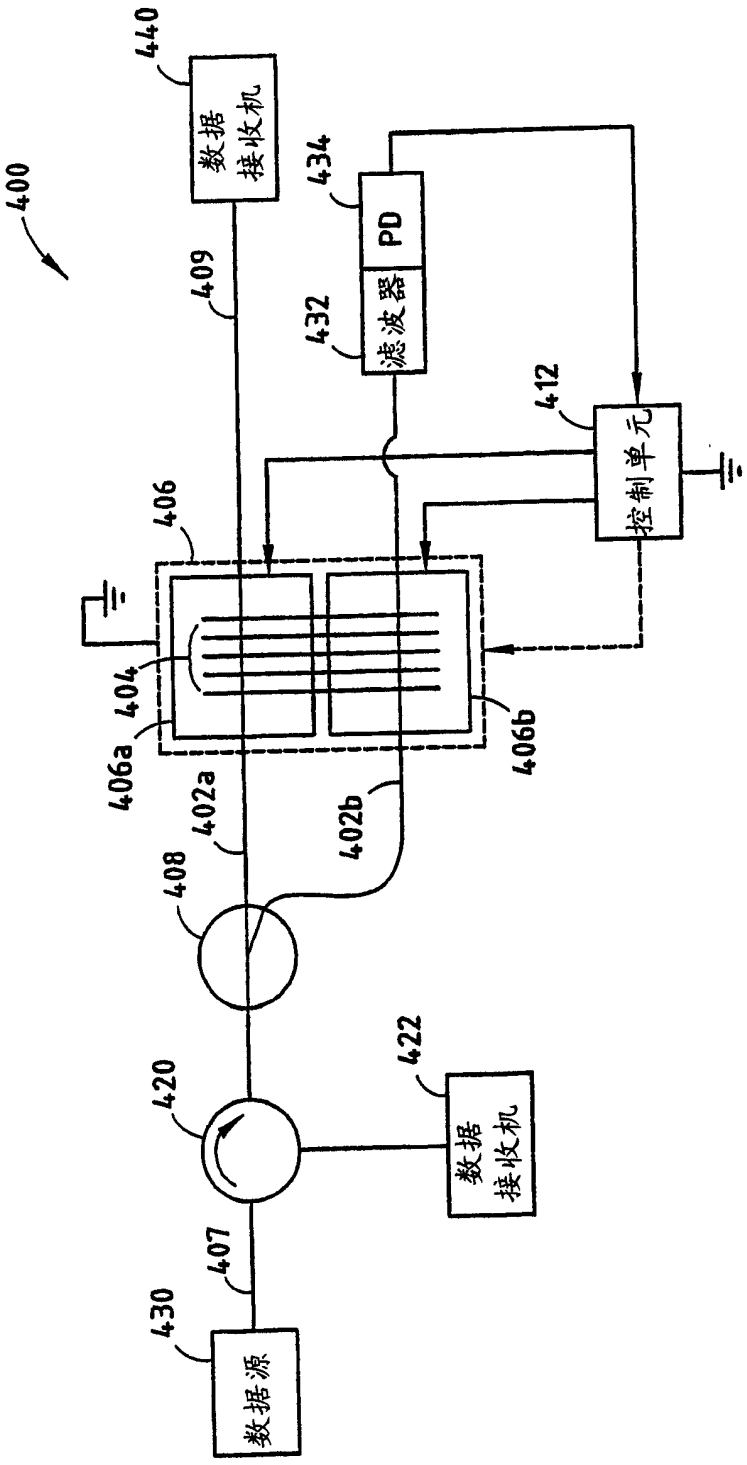

400
440
数据接收机
434
PD
滤波器
432
409
412
控制单元
406
404
406a
406b
402a
402b
408
420
422
数据接收机
407
430
数据源

图 4

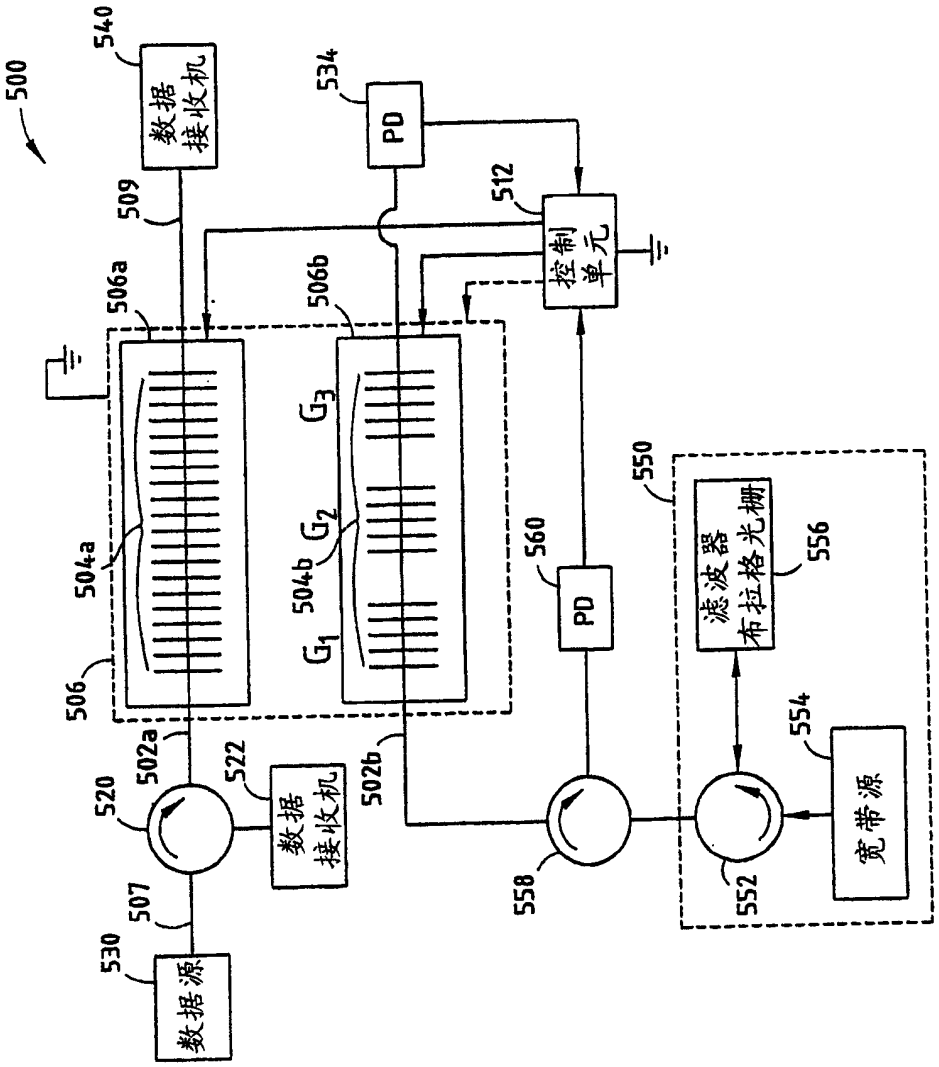

500
540
数据接收机
534
PD
509
512
控制单元
506a
506b
G_3
G_2
G_1
504a
504b
506
560
PD
550
滤波器布拉格光栅
556
554
宽带源
502a
502b
520
522
数据接收机
558
552
507
530
数据源

图 5A

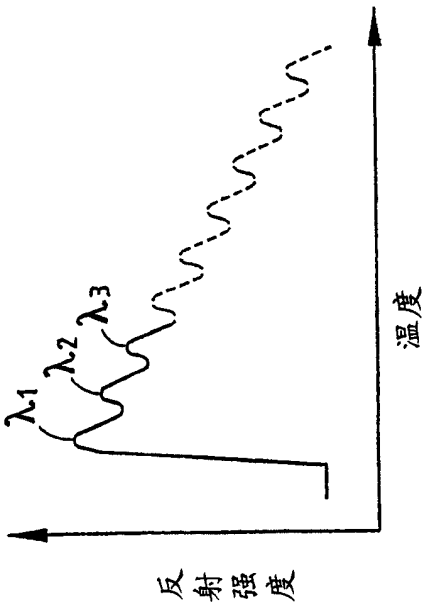


图 5B

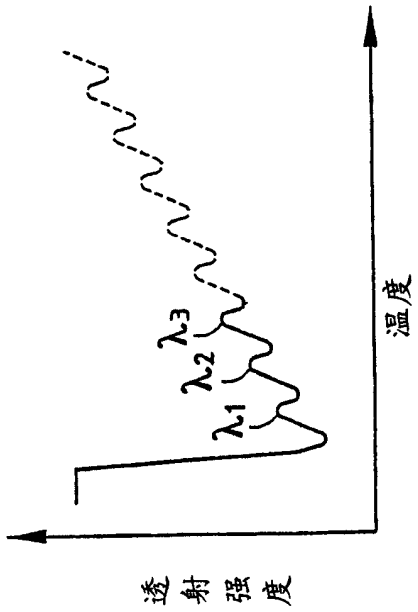


图 5C

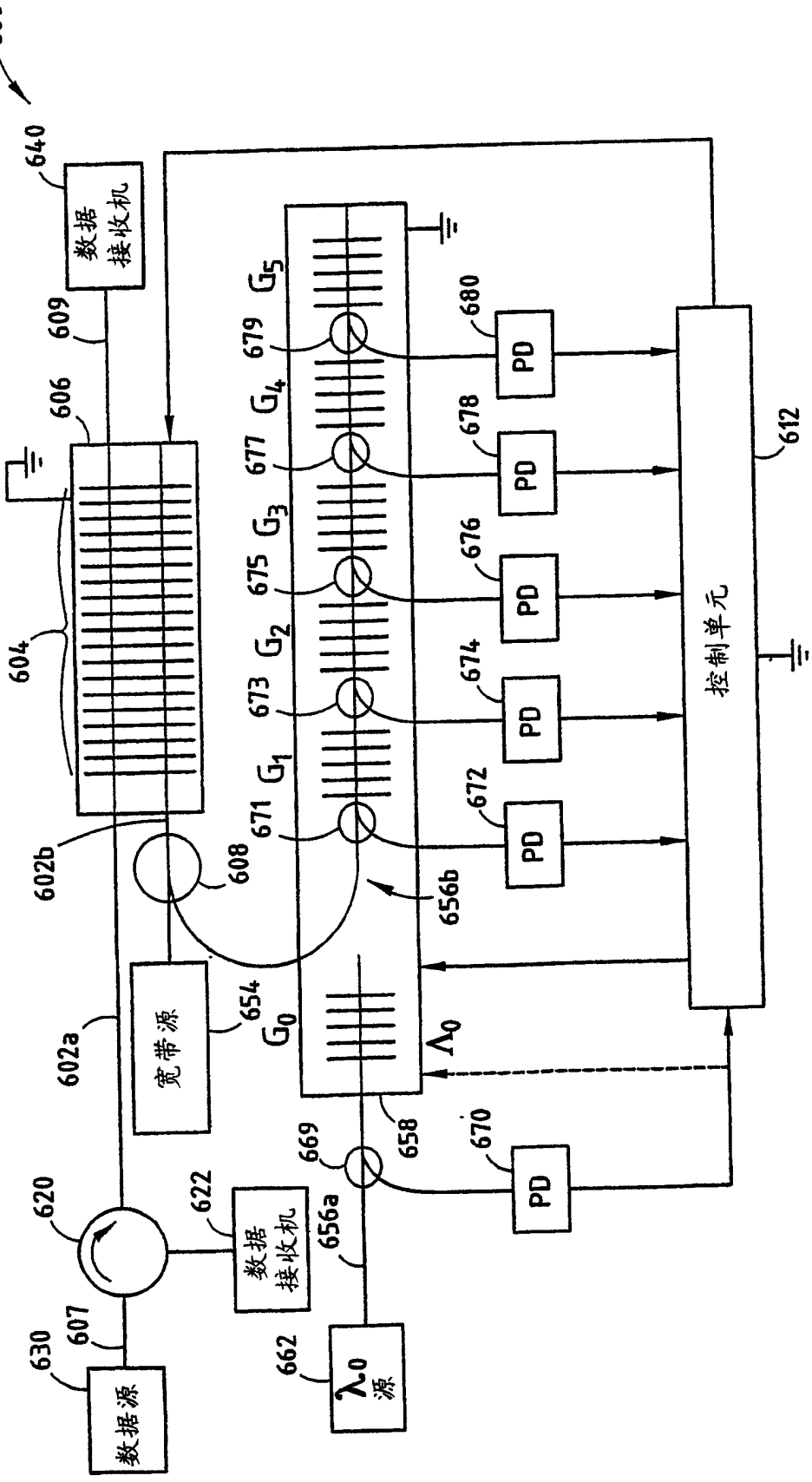

600
640
数据接收机
609
606
604
602b
608
602a
宽带源
654
620
622
数据接收机
656a
607
630
数据源
662
λ0源
G0
G1
G2
G3
G4
G5
671
673
675
677
679
656b
658
669
λ0
672
674
676
678
680
PD
612
控制单元

图 6

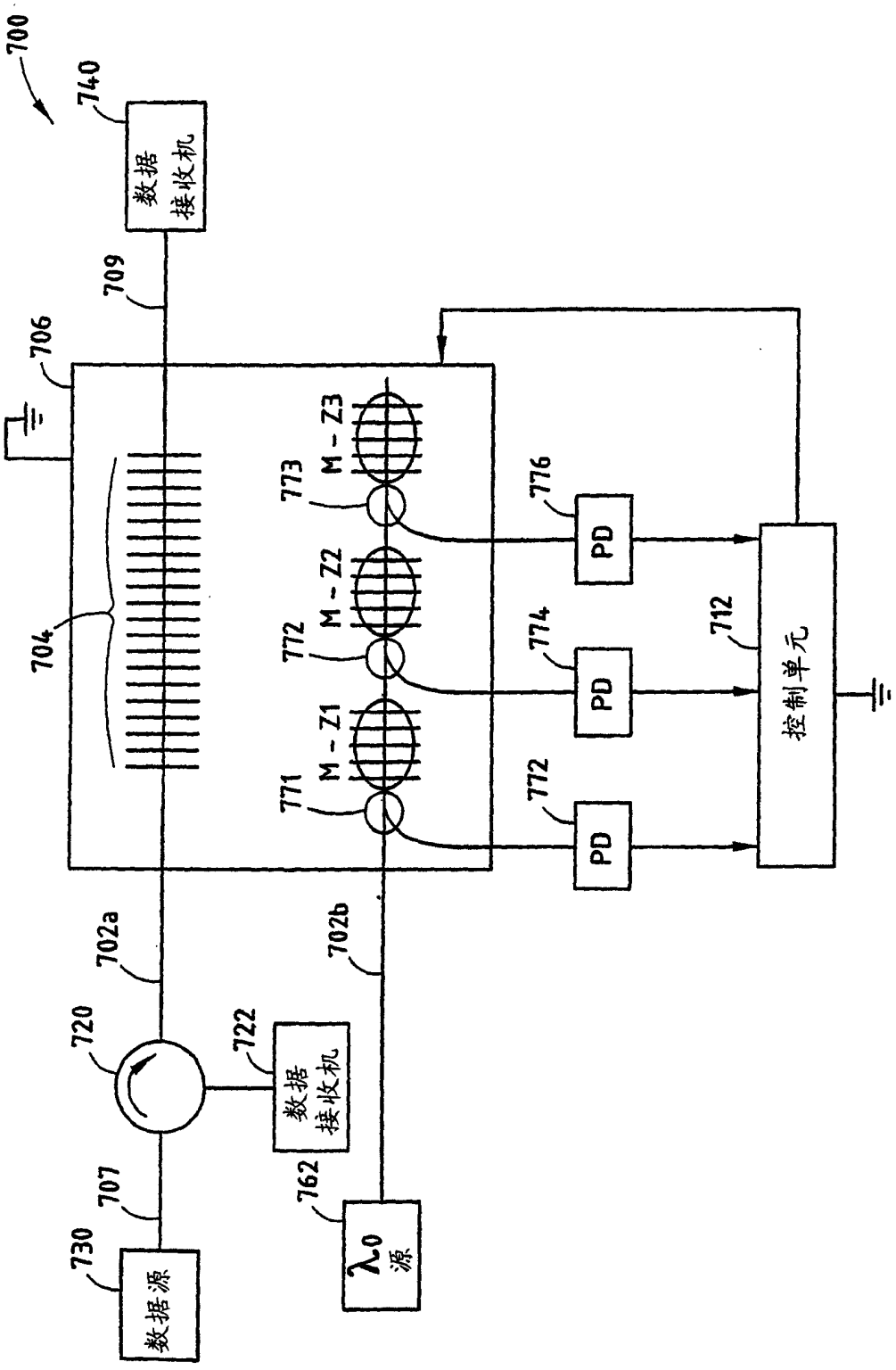

700
740
数据接收机
709
706
704
773
M-Z3
772
M-Z2
771
M-Z1
776
774
772
PD
PD
PD
712
控制单元
702a
702b
720
722
数据接收机
707
762
730
数据源
λ0源

图 7