[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl[7]
H04Q 11/00

[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 95192424.9

[43] 授权公告日 2003 年 5 月 14 日

[11] 授权公告号 CN 1108724C

[22] 申请日 1995.3.29 [21] 申请号 95192424.9

[30] 优先权

[32] 1994. 3.29 [33] GB [31] 9406265.0

[32] 1994. 6.29 [33] GB [31] 9413081.2

[86] 国际申请 PCT/GB95/00726 1995.3.29

[87] 国际公布 WO95/26592 英 1995.10.5

[85] 进入国家阶段日期 1996.10.3

[71] 专利权人 英国电讯有限公司

地址 英国伦敦

[72] 发明人 阿兰·迈克尔·希尔

[56] 参考文献

IEEE JOURNAL ON SELECTED AREASIN COMMONICATION(VOL 8 NO 6) 1990-08-01 K-W CHEVNG A COUSTOOPTIC TUNABLE FILTERS IN NORROW BAND WDM NETWORKS SYSTEM LSSUES AND NOTWORD APPLI

JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY(VOL.11,NO.5/6) 1993-05-01 S. B. ALEXANDER ET AL A Precompetetive Consortium on Wide-band All Optical

审查员 徐 刚

[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

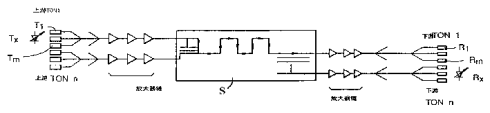
代理人 蹇 炜

权利要求书 2 页 说明书 17 页 附图 7 页

[54] 发明名称 光纤通信网

[57] 摘要

一个包含许多透明的无源光学网络(TONS)的光长途通信系统。每一个 TON 联接了相应的一组终端，每一个 TON 的端头连接到一个公共的中央开关结点上。每一个终端包含了选择了波长/时间通道来形成与相应 TON 内或另一 TON 里的另外一个终端之间的联结的装置。中央开关结点包含了一个光的空间/波长开关，该开关被设置来提连接到不同 TON 上的用户之间的开关。



ISSN1008-4274

1、一种光的长途通信系统，包括

a）多个透明无源光网络（ＴＯＮ）；

b）多个连接到各透明无源光网络的终端，各终端包括用于选择一波长通道或波长-及-时间通道且从而建立与所选择的另一终端的联接的装置；

c）一公共无源路由结点，被连接至多个透明无源光网络的端头且包括至少一伪端口。

2、根据权利要求 1 所述的系统，其中该路由结点包括一被配置以交叉连接多个ＴＯＮ的波长多路复用器，其中这些ＴＯＮ被连接至该路由结点。

3、根据权利要求 2 所述的系统，其中该路由结点的一伪端口被连接至一相应的波长转换器，且其中来自一被引导至所述伪端口的ＴＯＮ的输入波长上的信号被转换至不同的波长且被耦合至一不同的ＴＯＮ。

4、根据权利要求 1 所述的系统，其中该路由结点的一伪端口是一用于将来自一ＴＯＮ的输入光耦合回至同样的ＴＯＮ的反射端口。

5、根据权利要求 2 所述的系统，其中该多路复用器是一双面装置且该伪端口是一被连接至相应的波长转换器及被连接回该多路复用器的另一输入端口的输出端口。

6、根据权利要求 5 所述的系统，其中所述伪端口经一分裂器被连接至该波长转换器。

7、根据前面任一权利要求所述的系统，包括一通过一环回路径被连接至该多路复用器的另一输入端口的伪端口。

8、根据权利要求 1 至 6 中任一项所述的系统，其中该多路复用器是一单面ｎ一端口装置及其中各端口是一输入／输出端口。

9、根据权利要求 1 至 6 中任一项所述的系统，其中该多路复用器是一双面 n × n 端口装置。

10、一种操作光的长途通信系统的方法，该光的长途通信系统包括多个透明无源光网络（ＴＯＮ）；多个连接到各透明无源光网络的终端，各终端包括用于选择一波长通道或波长-及-时间通道且从而建立与所选择的另一终端的联接的装置；一公共无源路由结点，被连接至多个透明无源光网络的端头且包括至少一伪端口，该方法包括：

ａ）用一个终端选择用于与所选的其它终端的连接的波长通道或波长-及-时间通道；

ｂ）在路由结点，无源地输运在所选的波长通道或波长-及-时间通道上接收的信号并从而将该信号引导至发端ＴＯＮ或至被连接到该路由结眯的多个ＴＯＮ’ｓ中的另一个。

11、根据权利要求 10 所述的方法，其中在路由结点无源地输运信号的步骤是通过一波长多路复用器执行的，且其中在该波长多路复用器至少一些输入信号经伪端口被连接回一个或多个ＴＯＮ。

12、根据权利要求 11 所述的方法，其中至少一些经一伪端口被引导的信号被以波长转换。

光纤通信网

发明背景

本发明与光纤通信网和适用于该种网络的开关结构有关。

光学传输系统为超高容量的远程通信网络提供了潜在的基础。可以设想：这种高容量将被用于为大量的系统提供高带宽服务，比如：高比特率数据传输。点播电视节目（ＶＯＤ）或可视电话。然而，实际上在实现这样一个高容量网络时，合适的开关技术的设计，成了影响网络性能的最主要的限制。现有的技术中，开关结构是电子的（比如：ＡＴＭ开关），因此其容量被限制在远远低于在光学领域中所能达到的程度。开关功能的控制和管理也出现了进一步的困难，并且在中断处理，网络智能，网络管理和服务管理中需要将软件成本减至最小。

为了将有源开关的使用和前面讨论过的相关限制减到最小，曾提出过使用无源光网（ＰｏＮｓ）。然而至今为止，这样的ＰｏＮｓ一直被用于接口电路到某个局域开关结点的复接和合并，客户至客户间的连接依然由以节点为中心的交换提供。

发明概述：

本发明提供一种光的长途通信系统，包括多个透明无源光网络（ＴＯＮ）；多个连接到各透明无源光网络的终端，各终端包括用于选择一波长通道或波长-及-时间通道且从而建立与所选择的另一终端的联接的装置；及一公共无源路由结点，被连接至多个透明无源光网络的端头且包括至少一伪端口。

根据本发明的第一个方面，本发明给出了一个由多个透明的无源光学网络（ＴｏＮｓ）组成的光长途的通信系统，每个无源光学网络又提供了多个终端的连接。这些ＴｏＮｓ的端头被联接到公共的中心开关结点上，其特征在于：每一个终端，包括选择波长通道的装置，用于形成与该ＴｏＮ中或该组ＴｏＮｓ中其它一个中的用户站的连接；还在于中心开关结点包含一个光学空间／波长开关，用来提供被联接至不同ＴｏＮｓ的用户间的联接。

本发明使用放大了的ＰｏＮｓ（透明的ＰｏＮｓ或’ＴｏＮｓ’）为网络提供足够的容量用于进行分布式的开关操作。波长通道，和更为可取的时间空隙被动态地分配给各个客户到客户的连接。时间空隙的使用是优选的，不过当网络工作

于比较低容量时，可能被省略。这种分布式的开关功能，连同在联接多个ＴｏＮｓ的结点处的空间交叉开关提供了能覆盖整个地区或国家的系统。

可取的是该开关是一个时分和波分复用能重新安排的空间开关，更为可取的是它和光网总线有多级连接。一个可重组的开关并非自然而然地提供完全的无阻塞交叉联接，而是通过需要的时候重分配例如空间或波长通道给正在持续的联接来起到无阻塞开关的作用。

更为合适的是每一级包含一个 2×2 的光学切换开关阵列。最好所述切换开关阵可由空间光调制器（ＳＬＭ）阵列来提供，该调制器阵列排列于波长多路分解器和波长复用器及耦合器分解器之间。在该发明的这个方面的实施例中，开关操作以分布方式进行，在中央处理器的控制下，用户终端动态地给他们的发射器和接收器分配波长通道和时间空隙。一对发射和接收用户终端将被分配一用于它们连接的持续时间的公共的波长和时间空隙。这种分布式的通道分配用于同中心开关结点相结合，以在正确的时间和波长上与适当的空间纤维相连接。开关结点以如下方式使用空间光调制器：很多波长通道被同时选择并定线到期望的的输出端口。进一步的实施例使用一个类似于ＭＯＮＥＴ的结构中ＳＬＭＳ设置成时分及波分多级可重组空间开关。用户或终端的波长和时间空隙灵活性，与ＭＯＶＥＴ总线结构中的空间光调制器的结合，产生了一个可以由相对较少的开关硬件构成的超高容量的开关网络。多级可重组开关的网络结构甚至进一步减少了必要的开关硬件。

根据本发明的第二个方面，给出了另一种光长途的通信系统，包括多个ＴＯＮ，每个ＴＯＮ连接了多个终端。其特征在于终端均含有选择波长通道的装置以建立与另外选中的终端的联接。并在于多个ＴＯＮ均在它们的端头和一个公共的无源路由结点相连。

更为合适的是每个终端包含选择时间空隙的装置，连同选择的波长一起定义了用于联接的通道。

该发明的第二个方面完全消除了网络中的有源开关结点，而是完全依赖无源路由结点来实现不同ＴＯＮ之间的连接。

较好的是无源结点包括一波长复用器，其被配置成同与之相连的多个ＴＯＮ的交叉互联，更好的是至少该结点的某些端口被连接到各自的一组波长转换器上，一个自一ＴＯＭ被引导至所述端口之一的输入波长上的信号被转换成不同的波长并被耦合回同一ＴＯＮ。

使用一简单的无源波长多路器，仅有一个波长，各T O N 在该波长上能输出一可被发送回同样的T O N 的信号，然而，典型地对于电话业务，可能，来自于某一T O N 的业务中的3 0 %到7 0 %是希望保留在同一地理区域中，因此需要输送回同样的T O N 。本发明的第二方面通过使用伪端口来克服这个问题。为了实现T O N 内部的路由，这些伪端口可能包含一面镜子将信号反射回T O N 、其它的伪端口包含了波长转换器用来把信号从一个T O N 输运到其它的T O N 。波长的转换可以通过使用先进的全光学器件形式的波长转换器来实现，也可以简单地通过使用用户终端的替代物来选择波长通道，以光电的方式转换信号，然后用新的波长重新发射信号。

这一方面的较好的实施例是将波长路由技术应用于任何一对P O N 之间的业务需求。其实际做法是以简单的波长分解多路器的形式使用无源波长路由结点（P WR N）。这个装置有N ×N 个连接点，其中每一个P O N 能在N 个不同波长上和其它所有的P O N 同时连接，因为在所给的任意对端口之间只有一个可利用的波长，需要一组伪端口以在它们之间同时耦合在一个以上的波长。两种类型的伪端口是可能的。为了耦合同样的端口之间的多个波长（即保留在同样的P O M 中的业务）。伪端口只需提供以一反射镜形式的简单的反射。为了耦合不同端口之间的多个波长（即用于一P O N 与另一P O N 之间的业务），伪端口必须具有将输入波长转换为不同输出波长的功能。其形式可以是高级的波长转换器，也可以是简单地使用接收器，电子再发生器和可调整的发射器，就像主P O N 端口。这些镜子为一个P O N 内部的业务提供了一种开关结点旁路的方式，避免了波长转换的使用。虽然这种结构拓扑地同三级，波长/ 波长/ 波长的开关体系等价，但是一个单一的波长分解多路器的使用很大程度上减少了在其等价体系中所需要的波导内部连接的数目。同时也极大地减少了需要的多路器端口的总数目，这是因为多路器的三级在一个多路器装置中有效地结合。这些减少提供了巨大的开销节省。而且，根据电信业务统计，通过进行仅与高于一个波长容量的P O N －P O N 电信业务级别有关的波长转换，和应用镜系端口于一P O N 内部保留的业务，将有可能大规模在减少需要的波长转换的数量。

在传统的三级波长/ 波长/ 波长结构中，波长转换器可能必须将来自于不同的上游的P O N 中的上游波长转换成相同的波长。也就是来自于不同的上游P O N S 的脉冲流必须交叉合并。这将产生附加的技术困难、不同P O N 之间的测距列以及通道分配的额外的计算。通过允许上游和下游P O N S 之间的大约一个波长值的小容量连接，本发明避免或减小了上述额外的任务。对相对较大数量的P O N 端口，不同的P O N 的特定对间的业务级可以相对较小，有可能不超过单一波长通道的容量，这可以不需要波长转换来处理。

该发明也包括了根据第一和第二方面的系统的操作方法。

附图说明:

实现本发明的不同方面的系统实例将参考附图，仅通过实例，作出进一步的详细描述。

图1 给出了作为波长通道数目的函数的PON容量及分裂（split）的曲线。

图2 是一个时分、波分空间开关的原理图。

图3 是使用单边无源波长路由结点的宽带国家网的示意图。

图4 给出了作为图3 的网络及运行比特率的函数的多路器端口的总数的曲线。

图5 所示为图3 中的波长输运节点中使用的波长多路器。

图6 所示为包含图2 中的开关的国家光网络。

图7 给出了一种替代的网络设置。

图8 是用来说明在终端中及在中心开关上控制并给出信号的结构的示意图。

图9 给出了一个适当的开关网络，该网络采用通过一个双面无源波长输运结点的终端间的波长输运。

图10a 和图10b 说明了用于选通波长通道以增加PON分裂的设计。

图11a 和图11b 给出了应用波长多路分解，选通和再复用等的不同程度的集成的系统的示意图。

实施例的描述:

一个光长途的通信系统由多个透明的无源光网络TON1，TON2…TO

Nn （如图6 ）组成。这些TON在它们的下游端连接到多个终端上。每一个终端包含一个发射级：T1 …Tm，被配置以选择用于输出信号的时间和波长，还包含一个接收级：R1 …Rm，用来接收由特定的用户终端决定其特征的时间和波长空隙上的信号。在它们的上行末端，这些TON连接到公共的空间开关S 上。

终端可能设置在用户的住宅内，也可能在中间网络站被采用，这些站高于用户业务已经被集合和分解的网络之上。例如，终端可能安置在一个窄带或宽带PON系统端头或中继站上。在另一种情况中，终端在其发射级T1 、Tn 上都包含有一个可调的波长源。在这个例子中，该源可能是一个可调激光器，比如一个可调的DBR （分布式的布喇格反射器）或者一个辅助光栅垂直耦合器件。或者，该可调源可采用放大器和调制器的形式，例如在RACⅡ“MUNDI ”项目中所表明的那样（D. J. Pratt et al "Tunable Source Options for Race-2070 Project (Mundi)" cost 240 workshop Marcoussis，法国1993年10月25日）。这个设计使用了一个机械地可调的光滤波器，和半导体放大器/ 调制器来从一组参考波长中选出需要的波长通道，该组参照波长是由中心站点发射向多个用户终端的。这种方式缓解了终端所要求的调节精度。对于多点连接，电学可调器件更适合于提供波长间的快速调节。

每一个终端都将在一个或多个中央处理器的控制下分配给时间空隙和波长通道。相同的中央处理器还控制中央空间开关中的设置。除了终端上可能使用的缓冲存贮器外，在光开关结点上没有存贮元件。所以，波长通道和开关中的SLM象素的时间开关必须以电路开关操作的形式进行，使用用于在多级开关网络，比如Clos 网和使用中心控制处理器的置换排列网络中的电路开关操作的传统的路径设置算法。虽然这样的算法中的运算不能分布到PON外连，其原因在于在实质上为时间顺序中断建立算法中会产生长时间的延迟，尽管如此，多个处理器间的分布式处理仍然可以在开关结点上或其附近被采用。

终端和中央开关结点间的控制信号通过信号通道传送。这可以通过几种方式进行。例如：时间和波长通道的一个子集可以分配给信号通道。图8 所示终端被设置成以这样的方式起作用的终端。终端上可调的发射器8 1 和接收器8 2 由处理器8 3 控制。该处理器通过在光纤通道上多路复用带有用户信号数据的信号业务的方式和与开关节点相关联的中央处理器8 4 进行通信，并因此接选择用于连接的时间和波长通道。

在这样一个全光的端到端的网络中，一个主要的问题是脉冲传播时间的差异

和变动。因为终端之间没有中间的电子再定时功能，纤维中的光谱色散和热效应能够产生大的变动。在英国，夏天和冬天的最大的传播延时差异可以达到每一千公理光纤链路接有5 微秒的差异，不过，由于光纤埋在地下，热变动发生得相对缓慢。测距协议因此能够处理传播延迟中的热变动。光谱色散较难处理。例如：跨过铒放大器的30nm频谱宽度的传播时间的范围在通过开关结点的50km的端到端联接中为25.5ns。但是，对于相距1000km的用户来说，其变动将为0.5 微秒。对于在联接期间不包括其它的终端的终端间的点到点联接，这样的变动可以通过在终端上使用不同的延迟线（也就是再次使用测距协议）来调节到可接受的程度。但是对于同时包含多于一个终端的多点联接，时间空隙间的波长的变动需要延迟线的变化，这将由于某些时间段的无法进入而导致阻塞问题。因此，为了同步的目的，最好使用长的时间空隙和它们之间的长的安全带，例如1 以量级是可取的。这就需要终端上的缓冲存储器，以脉冲串，即包或者单元形式计时输出储存的数据。ATM单元将是可行的，但是单元间的额外的时间安全带将导致修改了的ATM结构。这还将导致高的比特率来补偿由于安全带而降低的传输效率。为了调整不同波长上或来自不同TOM的脉冲到达时间的变动，终端必须使用脉冲串式的接收器。在每一个小包或单元的开始需要统一的比特，这也将同步修改基本的ATM的结构。（NB ATM仅仅是单元格式的一个有用的基础。它的异步特性不能用来作为开关的模式，因为光通路上存储单元的缺乏要求必须使用电路开关。）所有的终端和中央开关必须使它们的时间空隙能够足够准确地同步。但是由于时间空隙可能会持续若干微秒，这也可能会是相对草率的，也许会达到大约1 微秒的相同的量级（这也将加到时间空隙的长度上去）。

中央空间开关是一个时分及波分开关。每一个光学波导或总线包含了一组来自于上游TON中的用户的时分业务的波长。一个中央处理器或处理器组通过该开关控制了时间空隙、波长通道以及空间通路的分配。该开关在光学上是透明的。开关元件是空间光调制器像素（开/ 关门或闸）。适合的技术可以是MQW半导体光电子调制器，高速液晶（需要在合适的速度下演示），PLZT，电－光及磁－光的材料，等等。某些技术更好地应用于反射，而不是传输，就像已经表明的那样。这将简单地导致一个折叠的几何图形，而不是图中所展示的整齐的图象和发散光。图中给出了一个需要最小可能量的硬件的开关结构，这是通过使用多级的，可重组的网络结构（置换网络）来实现的。例如Waksman的（A：Waksman，“一个置换网络”，J．Assoc．Computing Machiery Vol．15，159－163（1968））和Goldstein与Lelbholz的（L．J．Goldstein和S W Leibholz“瞬态阻塞情况下的信号开关网络的综合，”IEEE Trans．Electron Comput．Vol EC－16，637－6

41 (1967)) 网络，使用2 ×2 的光学交叉点作为开关元件。其它的，具有较低的硬件效率的结构也可以使用。开关的每一级使用它自己的光学图象和散射系统。使用衍射光栅，这些将波长通道从每一个输入波导和总线中分出来，并将一个给定的波长从两个输入波导切换到两个输出波导（也就是一个2 ×2 切换开关）。该2 ×2 元件是通过在SLM中使用4 个闸，连同整块 (bulk) 光分裂器和耦合器（全息地产生或是通过需要的光栅结构的计算机生成之后的电子束产生，或从这样一个 中适当地复制而成）。分裂器在每一个波长下提供每一个输入波导的两份拷贝，闸选择由哪一个输出波导来接收光，耦合器允许两个输入中的任何一个光连接到一个输出波导或总线上去。波长通道使用一个衍射栅格也被再复用。然后输出波导或总线携载再复用的波长通道到达开关的下一级。

每一个TON的最大可能的分裂主要被上游容量所限制。一个非常大的客户基地可以由下游方向来服务。从一个单一的端头到数千万的用户的下游广播的可能性已经被证实超过5 -7 公里 [2]。实验论证了以1 nm 的通道间隙输运16 个波长通道间共用的40 Gbit/s 的容量的能力。对于，比如说：256 个没有压缩的视频通道，或者8000 个被压缩成5 Mbit/s 的通道，这已经足够了。在这样的网络中，通道选择是通过使用一个可调的光滤波器和电的时间空隙或ATM单元选择的组合，在用户终端上实现的。具有如此的容量，一个单独的CATV端头可以服务整个国家。计算机模型显示：在原则上，具有拉平的波长的光学放大器可以支持400 或更多的波长通道。这些通道横穿铒掺杂光纤放大器窗口，在2.5 Gbit/s 情况下，超500 km。准确的数目取决于放大器间隔。这给出了1 Tbit/s 的下行容量，能满足至少200，000 个压缩的视频通道。光纤中的非线性效应可能会轻微地减小该容量到大约0.5 Tbit/s [6]。一个单独的TON中的这样的容量可以有不同方式来使用。例如：通过参差的但却是同时的发射或成千部电影标题的多个拷贝来实现点播视频图书馆服务。如果整个国家的覆盖无需开关，这将可以由一个单独的服务器来提供。这么多通道的另一可能的应用，如果有足够低的穿透性和足够高的集中程度，可以从单一的国家服务器来推广全国范围内的Vod 服务。

如果相同的容量应用于电话技术，这将相当于一千三百万的电话通道。足够支持具有相对较低集中程度的英国全国的电话业务。如果在上游方向上能够支持相同数量的通道，那么整个的电话服务就可以由一个单一的环回TON来提供，而根本不需要任何中央开关结点。然而TONS 聚集来自大量客户的上游的业务的能力被严格限制了，无法和下游方向所能得到的分裂相匹配。

上游TON：

正如上面所述：上行TON的分裂和容量至今为止仍然是通向无开关网络的一个障碍。由于产生放大了的自发的发射的放大器中的量子过程，光学放大器造成了上游和下游TON之间的主要差异。存在一个在上游放大的TON中能够耦合在一起的最大的用户光纤数目。超过这个数目，由于信号和放大的自发发射间的打击噪声，更多的放大器输出的耦合将使信噪比坏到无法接受的程度。这严重地限制了业务量可以集中（上游分裂）的用户的最大数目和能够支持的相应的容量。

图1 给出了客户的可得到的分和容量。这些客户均被同时提供一平均的4．8 Mbit/s 的比特率－足够支持高质量的压缩的视频信息。仅用一个工作通道，功率安排便足够在2．5 Gbit/s 的集中速率上联接512 个客户。但是，集中的比特率如果减小的话，就可以支持更多的客户。较大的分裂降低功率预算。例如，在155 M/bit/s 上，大约5200 个客户光纤可被耦合在一起。但是为了保持相同的呼叫率和集中程度，需要160 个波长来携带附加的的容量和补偿比特率的减少。总的TON容量是25 Gbit/s，在每一个波长上为155 Mbit/s 的比特率下。

在限制的情况下，如果集中的比特率精确地等于客户的比特率，而且每一个客户联接均分配有它自己的波长（也有是没有采用电的复用），TON分裂可以各在4．8 Mbit/s 上支持94000 个用户，使用相同数目的波长。这样，虽然在限制的情况下上游TON容量能够达到下游TON的容量，其分束也能到达到百万的用户（除非对于非常低的窄带电话速率才有可能）。然而，将所有的用户都限制在象4．8 Mbit/s 这样低的最大速率下是不可取的，这是因为统计上的更高速度业务的多路复用将成为不可能。而且，象94000 个单独的波长这样高的波长密度也难于实现。一个实用的折衷的方案也许是在对于上游TON采用155 Mbit/s 的比特率和一个5200 路的分裂。

从上面可以看到，很明显，通过使用高密度波分复用（HDWDM），连同相对较低的工作比特率，上游TON中可以得到大的容量和分裂。上游和下游TON之间的不对称性显然造成了完全分布的开关的一个障碍。但是，图中所描述的系统能够通过如下方法来克服这一限制：将大量的TON连接到一个公共的开关结点上，这些结点提供了横跨开关操作来完成分布于客户终端之中的波长和时间开关功能。

在300 Mbits 的工作比特率下，使用208 ×208 象素的SLM′

s 图2 中所示的开关，连同在连接到T O N 之上的开关上的客户终端处的时间和波长通道的动态分配，以及图1 中的假设条件，潜在地具有提供大约1 3 T b i t / s 开关通过量的能力。假定网络上共有6 1 1，0 0 个客户，每一个有大约2 1 Mb i t / s 的连续的比特率，每一个T O N 可以为多达大约2 9 0 0 个客户服务。

客户群实际上可以通过两种不同途径可能地扩散到整个国家。第一种途径是使用包含可调发射器和可调接收器的终端，作为中介的网络站点，在多路客户信号和时间、波长的灵活的光T O N 系统之间起到介面作用。站点的客户侧其身可以是在其端头带有电子转换功能的P O N，也可以是通向每一个客户的单独的光纤，甚至还可以是通向每一个客户的电缆（双轴电缆或是铜的或铝的线对）。它们将为集中的客户业务分配时间空隙和波长通道。这可以在不同程度的灵活性下得到。在站点上使用电子开关和延迟线（例如：移位寄存器），便可获得完全的通道分配自由度。第二种途径扩展用户群的途径是增加T O N 的分裂尺寸。其一种实现方法已经出现在我们的欧洲专利申请中：“无源光学网”，9 5 年3 月2 4 日递交。这种方法使用了光学门（开－断开关），当一个时间空隙中没有信号出现时，关断来自于上游P O N 放大器的放大了的自发发射。 这样几个光学放大器的输出能够被耦合在一起，形成一个大的P O N，而不降低信噪比。这种方式下，给定的P O N 容量可以在更多的客户间分享。当然，光学门必须和时间空隙相同步。在P O N 支持WD M和动态波长分配情况下，这种基本的方法必须得到扩展，这样选通才会应用到将要顺序连接到一起的每一个上游P O N 中的每一个波长通道。图1 给出了两种选通波长的设计。它们的不同之处在于其P O N 连接（耦合）和波长再复用进行的次序不同。图1 1 给出了几种图1 0 b 中使用的多路复用器设计。其中的多路分解、再复用和选通功能可以通过改变程度来集成。它们都是通过使用穿过同一色散光学系统的两条通路来工作的。要么通过使用沿着相同的光学通道反射回，要么，像图1 1 c ）中给出的，通过使用带有联接输入输出端口对之间的光学开关的两个波导（比如光纤）阵列。设计b ）基本上与英国专利G B 2，1 5 2，3 1 7 B 中给出的一样。设计a 和设计b 可以被平面集成在Ⅲ－Ⅴ半导体光电器件中，可能使用一个弯曲的光栅摄谱仪，或是一个带有半导体光学放大器门（很可能是以衬底上的阵列形式）的“相量（p h a s o r ）”的结构。或者，整块镜片可以以在一个或多个衬底上以阵列形式集成的光电子半导体放大器/ 门提供给散射和成像。

通过在这个特定的例子中将客户群扩大4 3 倍，使用以上的任何一种方法，一个上游的P O N 能够收集来自大约1 2 6，0 0 个客户的业务。如此大的客户群现在允许例如2 6，0 0 0，0 0 0 个客户之间的整个宽带电信业务在一个单

一的开关结点内被互连。这种增加分裂的方法可以和没有开关的网络一起使用，例如图 7 中所示的网络。

空间开关的设计是基于参考文献 3 中所给出的ＭＯＮＥＴ结构上发展起来的一种背平面结构。空间光调制器ＳＬＭＳ被用作开关器件。开关起到时分及波分多级可重组空间开关功能，其中每一个空间光调制器阵列代表一级 2×2 的光开关。表 1 中给出了相关的开关参数。这个开关仅需要 15 个空间光调制器来提供 2，600，000 个客户间的，每个客户 5Ｍｂｉｔ／ｓ的同步联接（也就是 10：1 的集中程度）。总的流通量将为 13Ｔｂｉｔ／ｓ。这相当于大约 120 个ＡＴＭ开关的容量，每个具有 160Ｇｂｉｔ／ｓ的流通量，使用传统的结构来完成核心网络上的传输，而且假定来自一个结点上的大约 50％的电信业务将希望被连接到其它结点上。开关任务分布到整个网络上，并且在中心网点和客户终端之间被分担。于是整个网络将类似于单一的开关来工作。

应该可以理解：上面段落中引用的数字值仅仅是举例。其它的波长通道，时间空隙，波导总线，功率预算和客户群的数目的组合也是可能的。

在图 3 所示的第二种实现中，有源开关被从网络中完全去掉了。其输运客户终端或是中间网络站点来完成的波长-及-时间通道的选择的基础之上进行的。连接不同ＴＯＮ的网络中结点是一个无源的波分多路复用器件。

下面的分析是关于图 3 中的单面输运结点的。多路复用器上的ＴＯＮ端口数ｎ，依赖于网络上的全体客户数目Ｎ，和每一个ＴＯＮ的上游分裂数ｍ。这又依赖于每一个波长通道的操作的集中比特率Ｂ。端口连接任何一个ＴＯＮ和任何一个一个其它的ＴＯＮ所需要的波长数目是ｎ，即端口的数目。输送任何级别的电信业务，不管多么小，同时到所有的ＴＯＮ，这个波长通道的数目是必须的。但是仍有两个更进一步的标准必须要满足。首先，来自于一个独立的ＴＯＮ的电信业务的一定的比例希望保持在同一个地理区域内部。在电话网络中，也许是３０％－７０％。但是仅有一个波长能够耦合回到多路复用器内的同一光纤，没有任何地方近到足以保持如此高比例的电信业务。一组伪端口加到了多路复用器上。每一个附加的端口可以用来提供一个附加的波长，使用简单的反射，从一个ＴＯＮ回到它自身。其次，更多的伪端口可以用来提供不同的ＴＯＮ间的相同的功能，通过较小的电信业务的增加，提供不同的ＴＯＮ间容量的瞬时再组合。在这种情况下，伪端口将来自于某一ＴＯＮ的输入波长转化成一个不同的输出波长。这种转换允许需要的足够多的波长耦合回到同一个ＴＯＮ，各经一个不同的伪端口。波长转换功能可以通过使用先进的全光器件形式的波长转换器来实现。适合的器

件包括一个可饱和的吸收器连同一个DFB激光器（可以是可调的）或连同一个多重光栅腔激光器阵列，或者是一个安排来提供四波混合（FWM）的半导体光学放大器（SOA）或者简单地通过使用用户终端的等价物来选择波长通道，光电地转换信号，然后在一个新的波长上再发射。附加的端口将在整个网络上统计地共用，这样可以减少需要的波长转换的数目。

表2 给出了N =20，000，000 个用户时，多路复合器上所需要的端口数目，使用用于上游TON分裂数m 的原先的结果，作为工作的比特率B 的函数。伪端口的数目由下式给出:

$$d = pmb / B \qquad (1)$$

其中b 假定为4．8 Mbit/s 的用户比特率，这似乎对于高质量的压缩视频是足够了。p 是该比特率下的总的电信业务的比例，该比例的电信量要么期望保持在TON内部，要么被耦合到另一个TON上，被取为50 %。假定在这个比特率下没有集中。在这些非常充裕的电信业务假设下，在理想的50 Mbit/s 的操作比特率下，显然有一个最小的多路复合器端口数目2142 （见图4）。这对应着13，430 个客户的一上游分裂。这样，每一个上游TON端口都必须最少支持2，142 不同的波长通道。

表2 中同时给出了相应的总的网络容量；在50 Mbit/s 的操作比特率下160 Tbit/s 。在较高的比特率上工作是所期望的，尤其对于满足商业用户较高速的数据要求。为了更大程度的将来试验，它甚至能提供更大的潜在的网络容量。如果非线性特性和噪声积累允许工作在155 Mbit/s 的比特率下，令人惊异的2，351 Tbit/s 的容量对于长期的容量增长将是可用的（也就是20，000，000 个客户每个同时具有118 Mbit/s 的容量）。但是，由于有如此多的波长，要决定整个网络能够透明地支持的最大的工作比特率还有待于进一步的研究。如果早先描述的用来增加TON分裂大小的方法，也就是同无源的波长路由结点一同使用的各波长通道中使用选通，那么将有可能使用较少的波长通道和较少的PWPN端口便可得到给定的净容量（开关通过量）。

在透明的光学网络之间执行波长路由功能的无源波长多路复用器从原理上讲是一个非常简单的器件（见图5）它必须比存在的基于光栅的波长分解多路复用器大，后者已经构造出来了，其通道间距为约1 nm [7]，但应该与商用的光学摄谱仪和能在任何一个物理实验室中可发现的单色仪相同。它可以由一个曲面镜（假如抛物面的或球面的）或一个透镜，衍射光栅和光纤及不完全准直的微透

镜的线性阵列组成。光纤和微透镜阵列可以替换为使用平面工艺假如硅上的二氧化硅制成的波导阵列。

一个n ×n 的器件可以使用两单态的光纤阵列，每组有n 个光纤，其中的n ，比如可以等于3 2 。每一阵列可以通过将光纤固定在相应的V 型槽中来实现。这些槽是通过电子束曝光掩膜在硅上刻蚀出来的。硅的沟槽有一间距，比如说1 2 8 μm 厚。每一光纤阵列由一组微透镜中断。这是通过将玻璃衬底上形成的一层光致抗蚀剂构型成圆柱岛的形状来制成的。然后加热衬底，使光致抗蚀剂圆柱融化在表面积张力作用下形成球形表面。这个阵列然后对准并连接到光纤阵列的前表面上。可以用一个二氧化硅管来提供低的热膨胀以支持光纤/ 微透镜阵列和输出透镜。

多路复用器的其它的设计可以使用一个单独的球面光栅来成像和散射。光栅可以用全息方法制成。

无源多路复用器件将以比传统的用于波长多路复用功能强大的多的方式得到应用。与只是将来自于多个输人光线的光接合到一个输出光纤中 (1 ×n) 联接不同，该器件将来自于所有输人光纤的光耦合到所有其它的光纤上 (n ×n 联接)。其作为一个简单多路复用器的容量被扩大了和光纤端口数目相同的倍数。就像已经讨论过的那样，这将导致一个简单的器件中非常巨大的通过量。

然而，多路复用器的详细的光学设计用来提供高的波长分辨率。由于光学放大器可以补偿其损失，波导之间的接合效率不需要非常高。而且，近来的多路复用器的设计使用附着于光纤末端的微透镜缓解了偏差的要求 [7 ，8] 。由于整个国家网络上仅需要一个器件，如果需要的话，相对较大的资源可以花在附加的偏差校正镜片上。

作为使用单一的波长多路复用器件的替代方法，波长路由结点的功能可以通过一组较小的波长多路复用器的互连接来实现，每一个小的复用器有较宽松的性能要求。

图9 给出了一个通过一个双面无源波长路由结点在终端之间采用波长路由的开关网络。其多路复用器是n ×n 双面器件，除了主T O N 端口外，还有两种附加的伪端口。类型a 的伪端口为与上游T O N 相同的倾向T O N 提供附加的波长通道；类型b 的伪端口为与上游T O N 不同的下游T O N 提供附加的波长通道。波长转换既可通过可调的R X S 和T X S 也可通过上面讨论过的波长转换器件所

影响。

图10a 和图10b 给出了选通每一个波长通道来得到更大的上游PON分裂的设计。图10a 在再复用之前将每一个波长的PON组合在一起，图10b 是在将PON组合在一起之前再复用波长。在图11c (i) 中，纸面内的第一个光纤阵列A1，通过环回联接被连到阵列A1 后边的第二阵列A2 上，也就是说与之平行但又在图11c (i) 的纸面外边。该装置的其它部分包括透镜1101 和反射衍射光栅1102。图11c (ii) 是阵列A1 和A2 在装置影响下的交叉互联的端视图。图11a，b 和c 解释了波长多路分解，选通，和再复用的不同可能程度的集成。

附表:

表1：用于英国的单一的13 Tbit/s 宽带开关的可能的设计参数，在一个可重组的开关网络结构中使用3 -D 空间光调制器 (SLM's)。其容量相当于约120 个160 Gbit/s 通过量的ATM开关。

客户量	26,000,000
同时的5 Mbit/s 宽带联接的数目 (10：1 集中程度)	2,600,000
客户ONU比特率	300Mbit/s
时分因子(时间空隙的数目)	60
波长数目	208
总线数目	208
空间/波长通道数目	43,264
闸阵列大小	208×208
3-D SLM光学开关数目	15

比特率 Mbit/s	PON分裂	TON多路复用器端口数 n	多路复用器伪端口数d	多路复用器总端口数	总网络容量Tbit/s
155.6	5199	3847	81	3928	2351
140	5678	3522	99	3621	1786
130	6041	3311	113	3424	1474
120	6459	3096	131	3227	1199
110	6946	2879	153	3033	960.5
100	**7523**	**2659**	**183**	**2841**	**755.4**
90	8215	2434	222	2656	582.0
80	9066	2206	275	2481	438.0
70	10136	1973	352	2325	321.1
60	11531	1734	467	2201	229.1
50	13430	1489	653	2142	159.5
40	16184	1236	983	2219	109.7
30	20586	972	1667	2639	76.9
20	28893	692	3510	4202	58.2
10	51581	388	12533	12920	50.1
4.86	94307	212	47154	47366	48.8

表2 ： 用于2 千万用户终端之间直接采用波长－路由技术的宽带国家网络的作为工作比特率的一函数的多路器端口数及总网络容量。

表3： 图7 所示网络的规格

200×200 端口PWRN

22 伪端口

10GHz 通道空间

1000 路PON分裂

178,00 个客户

每个客户155 Mbit/s

=2.8 Tbit/s 保证的开关通过量

=28 Tbit/s 标准电信业务的开关通过量

表4： 用于图1 的参数

客户比特率

b =4.8 Mbit/s,

每2 路分裂3.6 dB 损耗

n =1 时的参数

2.488 Gbit/s 速率;

0 dBm起动功率;

-34 dBm放大器1/P;

7 dB 噪声数;

2．1dB对于3km光纤;

512路分裂。

参考文献

1. J R Stern et al, "A passive optical network for telephony," Proc. ECOC Sept. 1988, Brighton, England.

2. D S Forrester et al, "39.81 Gbit/s, 43.8 million-way WDM broadcast network with 527 km range," Electron. Letts., vol.27, no.22, 051-2052 (1991).

3. P Healey et al, "Photonic switching and interconnect for future network nodes," BT Technology Journal, vol.9, no.4, 19-29 (1991).

4. G R Hill et al, "A transport network layer based on optical network elements," J. Lightwave Technol., vol. 11, no.5/6, 667-679 (1993).

5. A R Chraplyvy, "Limitations on lightwave communications imposed by optical-fibre nonlinearaties," J. Lightwave Technol, vol.,8, no.10, 1548-1557 (1990).

6. A R Chraplyvy and R W Tkach, "What is the actual capacity of single-mode fibres in amplified lightwave systems," IEEE Photonics Technology Letters, vol.5, no.6, 666-668 (1993).

7. D R Wisely, "32 channel WDM multiplexer with 1nm channel spacing and 0.7nm bandwidth," Electron Letters, vol.27, no.6, 520-521 (1991).

8. G R Chamberlin and A M Hill, "Designs for high channel density single-mode wavelength-division-multiplexers," Proc. SPIE Conf. O-E/FIBRES '87, San Diego, Aug.1987.

图1

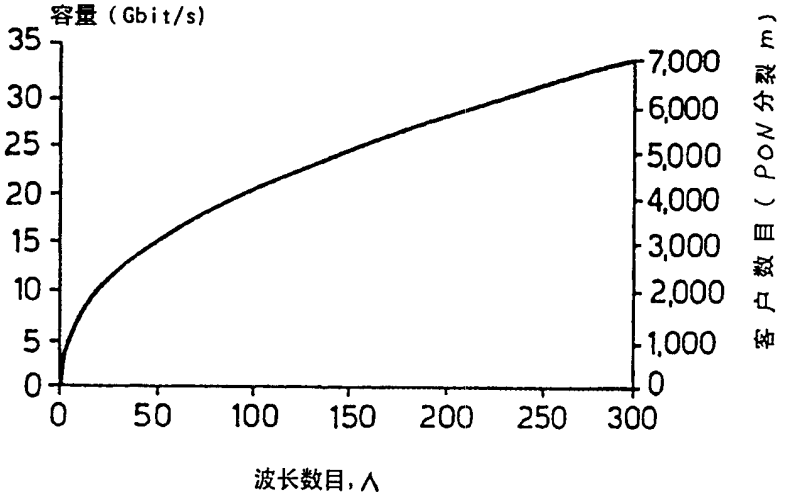
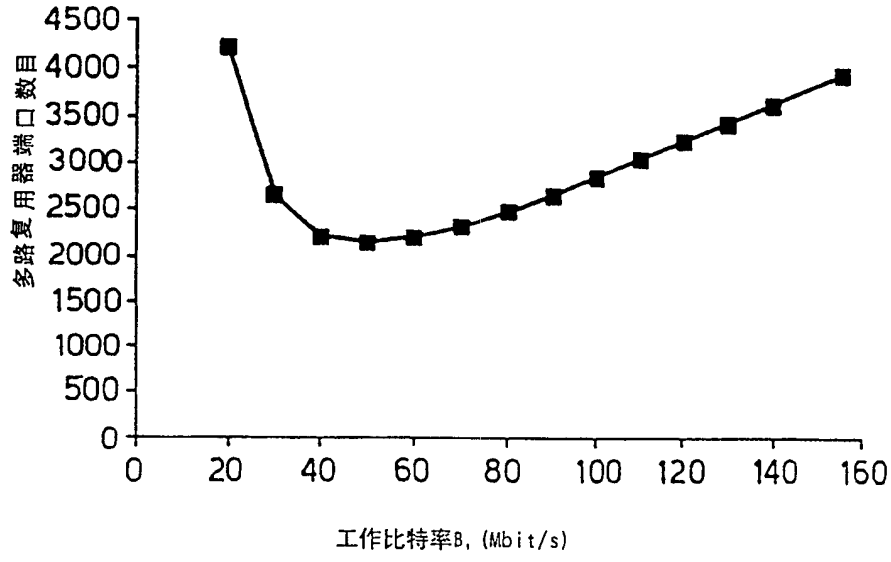

容量（Gbit/s）
35
30
25
20
15
10
5
0
0
50
100
150
200
250
300
7,000
6,000
5,000
4,000
3,000
2,000
1,000
0
客户数目（PON分裂 m）
波长数目，Λ

图4


多路复用器端口数目
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
0
20
40
60
80
100
120
140
160
工作比特率B，(Mbit/s)

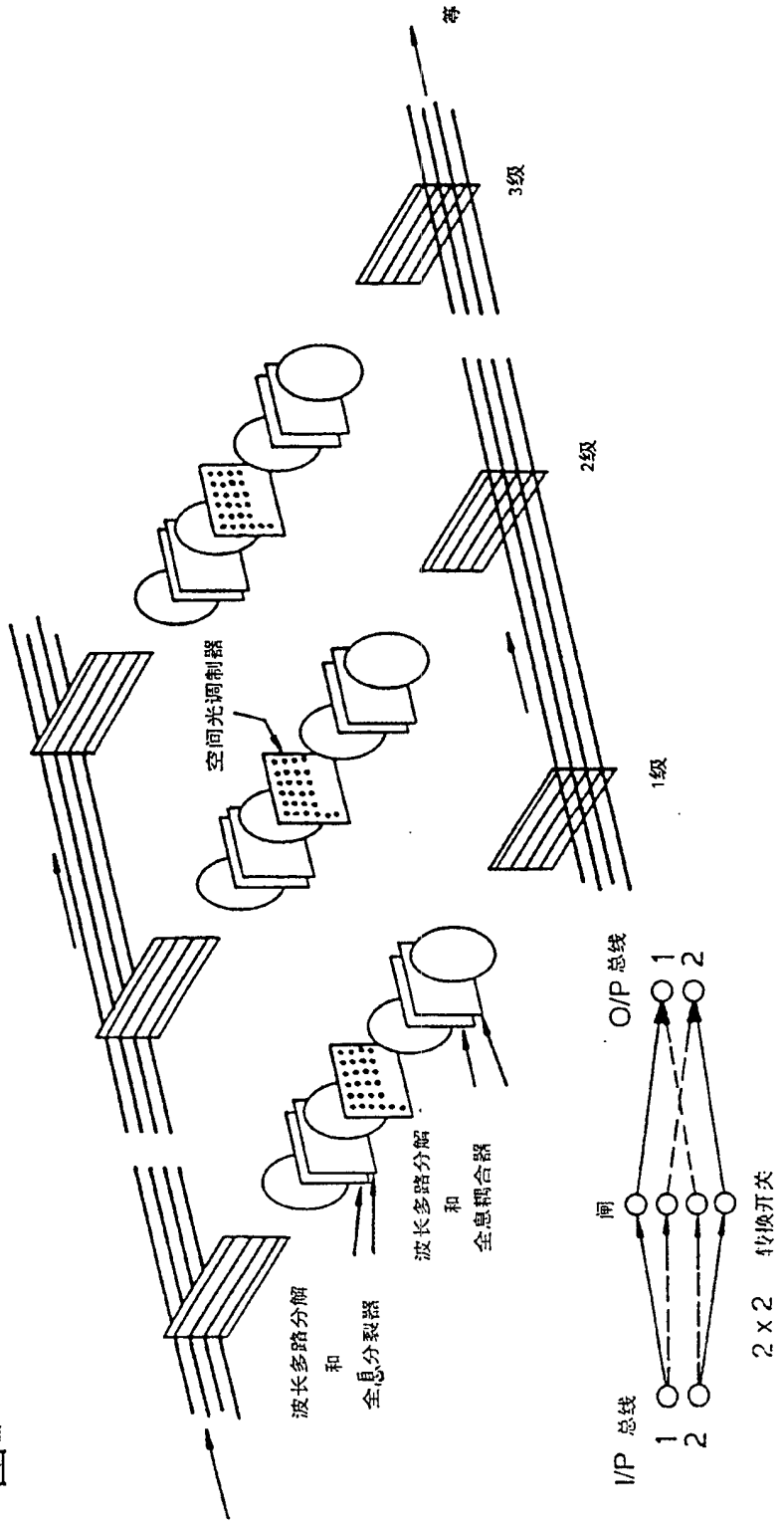

等
3级
2级
1级
空间光调制器
波长多路分解
和
全息分裂器
波长多路分解
和
全息耦合器
I/P 总线
1
2
闸
O/P 总线
1
2
2 x 2 转换开关

图2

图3

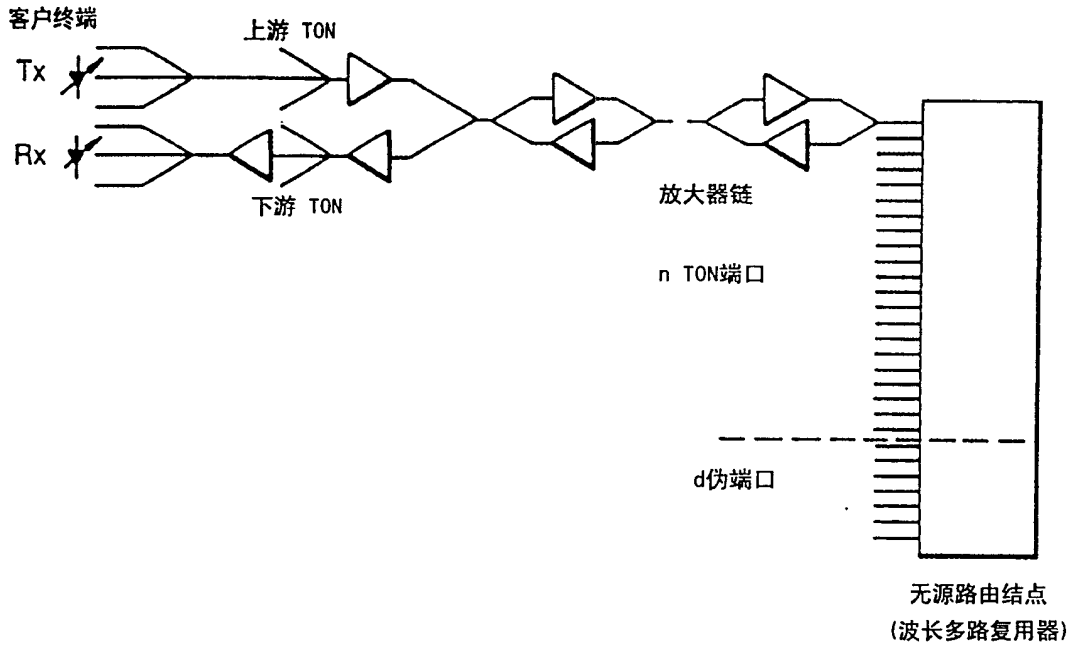

客户终端
上游 TON
Tx
Rx
下游 TON
放大器链
n TON端口
d伪端口
无源路由结点
(波长多路复用器)

图5

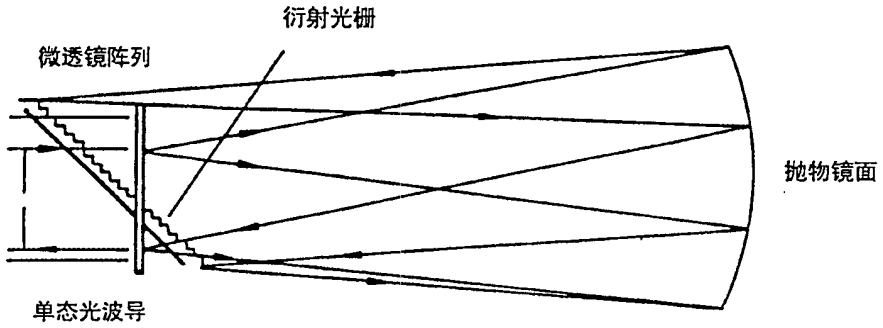

衍射光栅
微透镜阵列
抛物镜面
单态光波导

图6

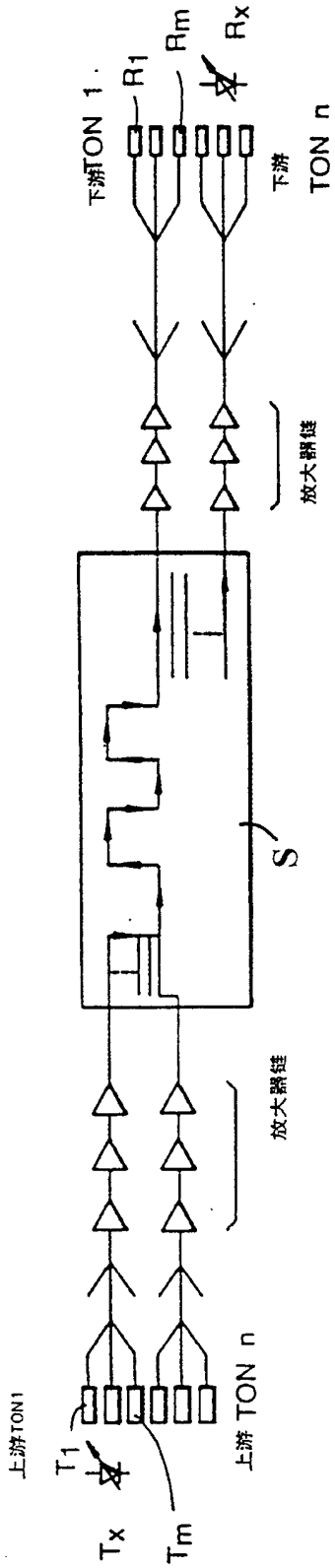

下游TON 1
R1
Rm
Rx
下游
TON n
放大器链
S
放大器链
上游TON1
T1
上游 TON n
Tx
Tm

图7

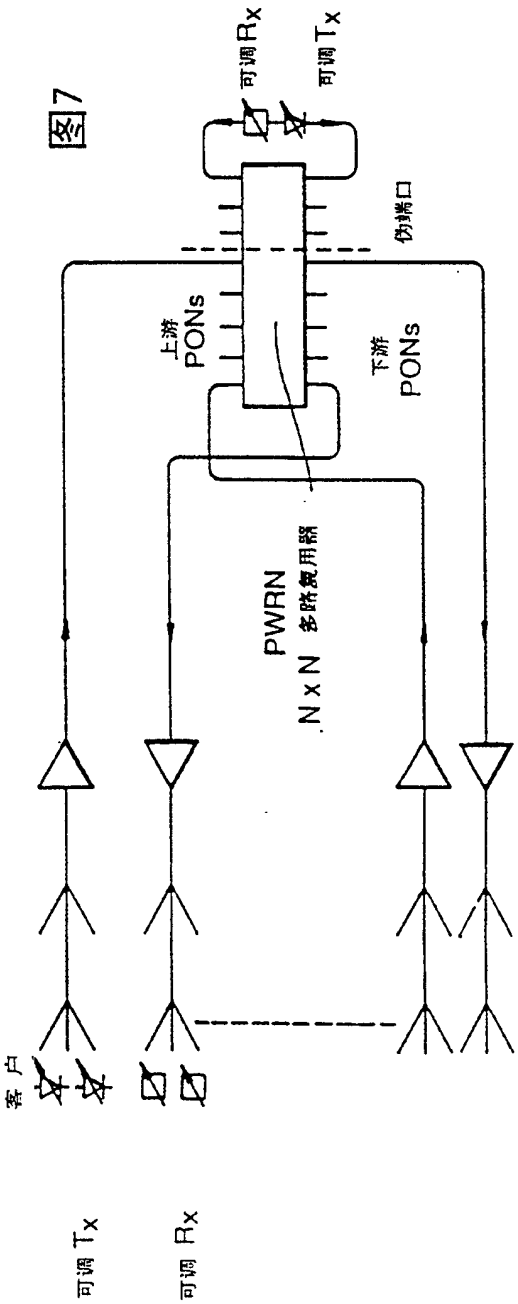

可调Rx
可调Tx
伪端口
上游
PONs
下游
PONs
PWRN
N x N 多路复用器
客户
可调 Tx
可调 Rx

图8

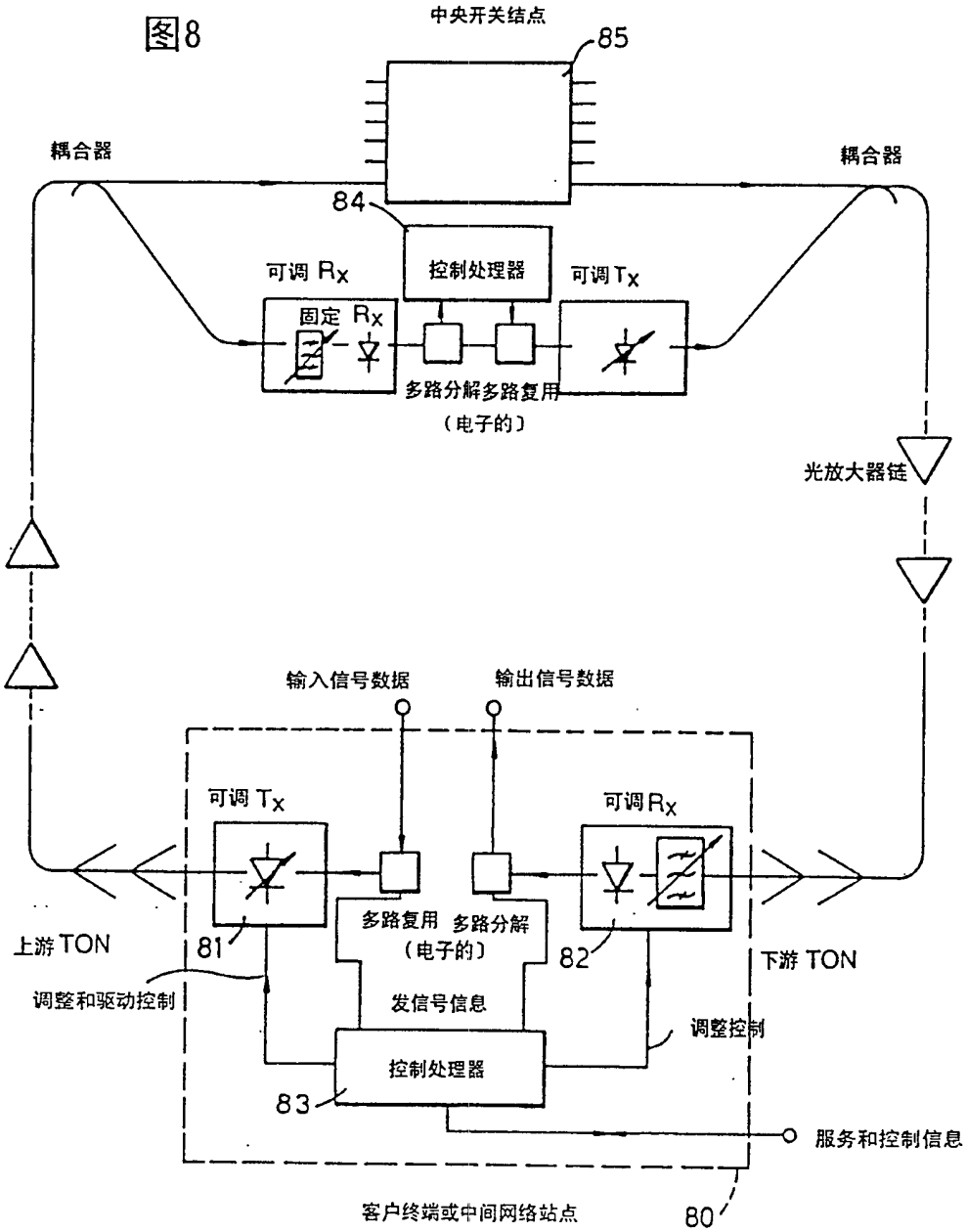

中央开关结点
85
耦合器
耦合器
84
控制处理器
可调 Rx
可调 Tx
固定 Rx
多路分解多路复用
（电子的）
光放大器链
输入信号数据
输出信号数据
可调 Tx
可调 Rx
多路复用 多路分解
（电子的）
上游 TON
81
82
下游 TON
调整和驱动控制
发信号信息
调整控制
控制处理器
83
服务和控制信息
客户终端或中间网络站点
80

图9

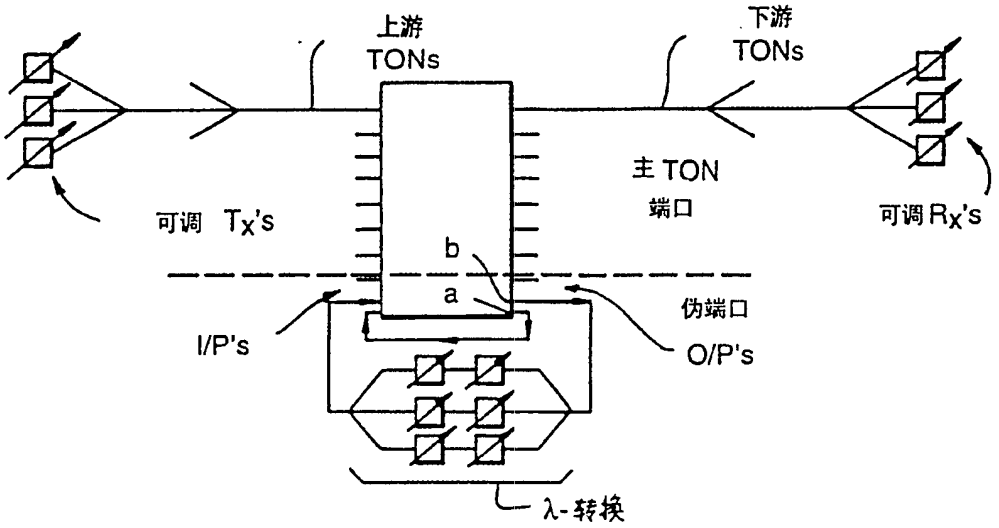
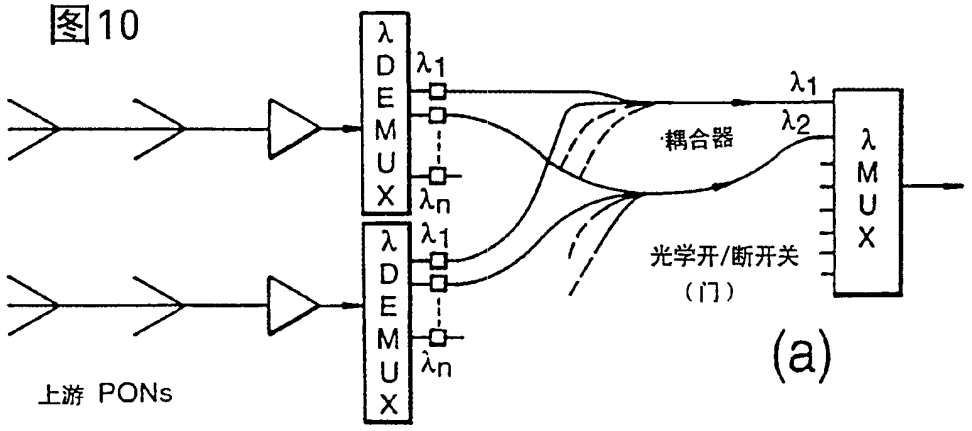

上游
TONs
下游
TONs
主 TON
端口
可调 Tx's
可调 Rx's
b
a
伪端口
I/P's
O/P's
λ-转换

图10


λ DEMUX
λ1
λn
耦合器
λ MUX
光学开/断开关
(门)
(a)
上游 PONs

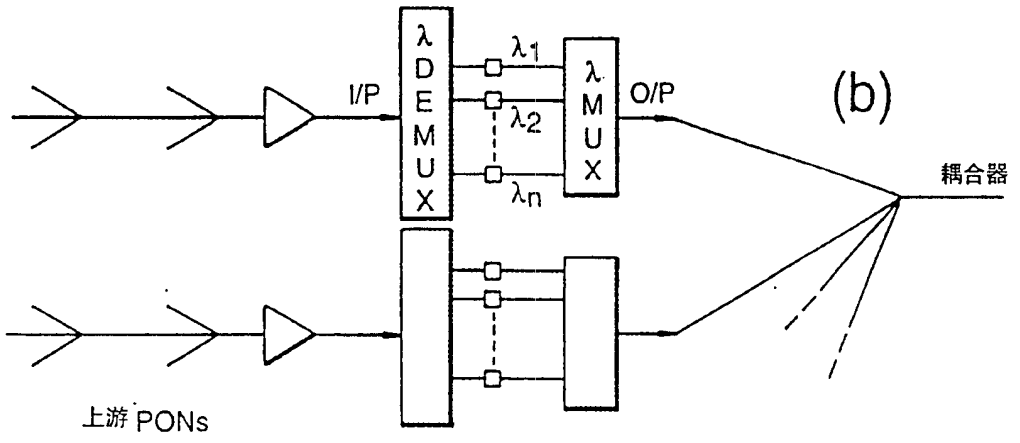
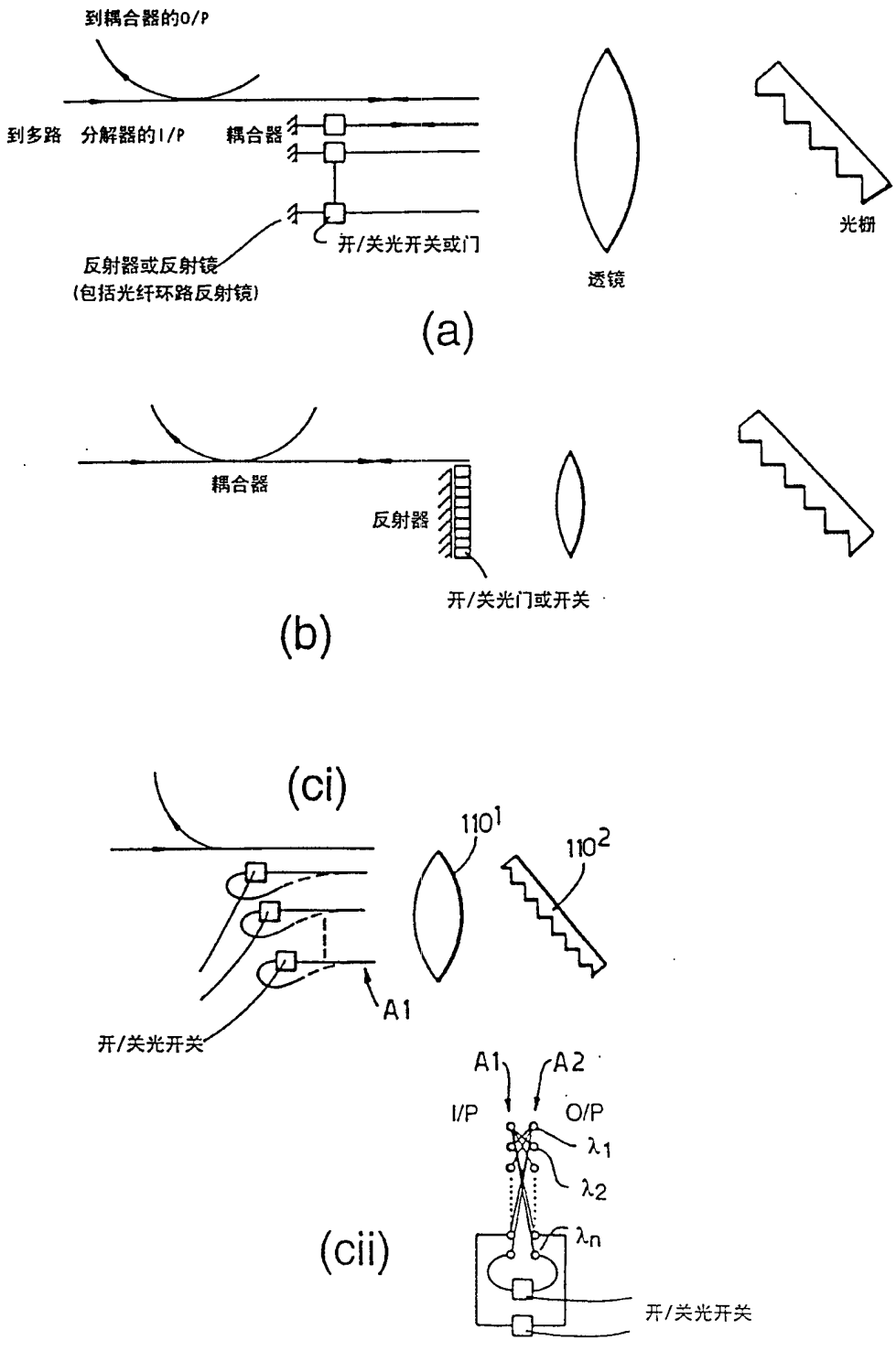

I/P
λ DEMUX
λ1
λ2
λn
λ MUX
O/P
(b)
耦合器
上游 PONs

图11


到耦合器的O/P
到多路 分解器的I/P
耦合器
开/关光开关或门
反射器或反射镜
(包括光纤环路反射镜)
透镜
光栅
(a)
耦合器
反射器
开/关光门或开关
(b)
(ci)
110^1
110^2
A1
开/关光开关
A1
A2
I/P
O/P
λ_1
λ_2
λ_n
开/关光开关
(cii)