

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl<sup>7</sup>

H04J 14/02

H04B 10/12 H04B 10/02

# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 00134467.6

[43] 公开日 2001 年 8 月 15 日

[11] 公开号 CN 1308432A

[22] 申请日 2000.12.1 [21] 申请号 00134467.6

[30] 优先权

[32] 1999.12.2 [33] US [31] 09/452,877

[32] 2000.5.8 [33] US [31] 09/566,392

[71] 申请人 JDS 尤尼费斯公司

地址 加拿大安大略

[72] 发明人 傅晓理 谢纪闽

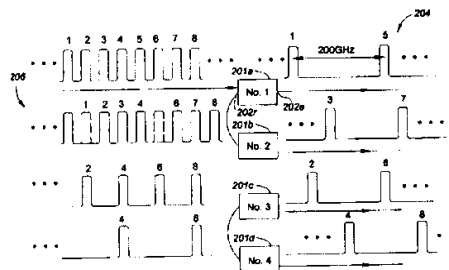
[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所  
代理人 王以平

权利要求书 2 页 说明书 18 页 附图页数 23 页

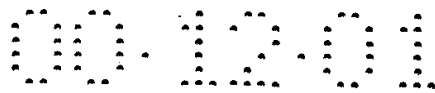
[54] 发明名称 多路复用/多路分路光线路

[57] 摘要

用于去交错或者交错具有预定的信道间频率间隔的多个信道光信号的线路使用多个顺序地耦合的类似的自由频谱范围的周期滤波器，例如基于 Fabry - Perot 校准器的交错器/去交错器。偏移连续的滤波器的频谱响应以便容纳不同的信道分组。每一个交错器的自由频谱范围是类似的并且该信道周期大于输入光信号的两个相邻的信道间的频率间隔。



ISSN 1008-4274



## 权 利 要 求 书

---

1. 用于交错或者去交错具有预定的信道间频率间隔的多个信道的输入光信号的一个交错器/去交错器光线路，包括多个子交错器/去交错器，每个子交错器/去交错器光学地耦合到至少一个另外的子交错器/去交错器，用于向其提供输出信号，或者用于从其接收输出信号，每一个子交错器/去交错器具有基本上相同的自由频谱范围和相对于另外的子交错器/去交错器的偏移频谱响应，用于交错或者去交错基本上不同的周期信道的组的每一个子交错器/去交错器具有不同的中心波长。

2. 根据权利要求 1 的交错器/去交错器光线路，其中，多个子交错器/去交错器包括：

多个滤波器，具有周期输出响应，顺序地耦合用于连续地去交错信号以便产生多个去交错的信道组，多个去交错的信道组与所述输入信号比较具有增加了的信道间的频率间隔，所述周期滤波器具有大于所述输入光信号的两个相邻的信道间频率间隔的自由频谱范围。

3. 根据权利要求 2 的光线路，其中，配置该周期滤波器使得周期滤波器的每一个光学地耦合以接收或者提供信号给另一个周期滤波器，周期滤波器具有基本上对称的输出响应。

4. 根据权利要求 3 的交错器/去交错器光线路，其中，多个周期滤波器中的至少一个周期滤波器具有双输出端口或者双输入端口，以及其中，所述双端口的每一个光学地耦合以向或自不同的子交错器分别提供或接收信号。

5. 根据权利要求 2 的线路，其中，所述周期滤波器是基于校准器的交错器/去交错器，它具有基本上相同的或者类似的自由频谱范围的校准器。

6. 根据权利要求书 5 的线路，其中，所述周期滤波器的自由频谱范围至少是所述输入信号的信道间隔的三倍。

7. 根据权利要求 1 的线路，其中，每个子交错器/去交错器包括至少一个校准器。

8. 根据权利要求 1 的线路, 其中, 每个子交错器/去交错器包括多个校准器。

9. 根据权利要求 7 的线路, 其中, 每个校准器具有一个通带和一个阻带, 该通带的宽度至少比该阻带宽度窄两倍。

10. 根据权利要求 7 的线路, 还包括用于调谐所述交错器/去交错器中的至少一些交错器/去交错器的中心波长的调谐装置。

11. 根据权利要求 10 的线路, 其中, 所述调谐装置是一个加热装置。

12. 一种去交错多信道光信号的方法, 包括步骤: 传递具有一个预定的间隔的多个信道的输入信号通过多个顺序地耦合的周期去交错滤波器, 每个去交错滤波器具有基本上相同的周期, 以及其中, 滤波器的峰值中心通带彼此偏移, 配置滤波器使得滤波器中的一个被光学地耦合以便接收或者提供信号给另一个滤波器, 以及其中, 滤波器的周期大于所述输入信号的两个相邻的信道间频率间隔。

13. 根据权利要求 12 的方法, 还包括调谐第二交错器和在该序列中随后的交错器/去交错器的中心波长的步骤。

14. 根据权利要求 13 的方法, 其中, 通过控制所述至少一个校准器的光程长度来完成所述调谐。

15. 根据权利要求 13 的方法, 其中, 通过控制输入信号的入射角度来完成所述调谐。



## 说 明 书

### 多路复用/多路分路光线路

本发明涉及多路复用和多路分路光信号的多路复用器/多路分路器。特别地，本发明涉及用于滤波或者分开紧密间隔的信号信道的方法和系统，这些信号信道不能由常规的光滤波器适当地滤波。

使用光信号作为携带信道信息的手段以高速度通过光路径，诸如光波导，即光纤传送，优于其他方案，诸如使用微波链路，同轴电缆和双绞铜线，因为在前者传播损耗是较低的。光系统不受电磁干扰(EMI)的影响和具有更高信道容量。高速光系统具有每秒几兆比特到每秒几十兆比特的信令速率。

光通信系统在通信网络中几乎是到处存在的。在此处“光通信系统”的表达涉及在两个点之间通过任何光路径使用任何波长的光信号传递信息的任何系统。光通信系统例如在 1993 年 Gower, Ed. *Optical Communication Systems* (Prentice Hall, NY) 中和 1993 年 P.E. Green, Jr. 在 “*Fiberoptic networks*” (Prentice Hall New Jersey) 中描述，引用在此处供参考。

随着通信容量进一步增加以便在光纤上发送不断增加的信息量，数据传输速率增加了且可用带宽变为稀罕的资源。

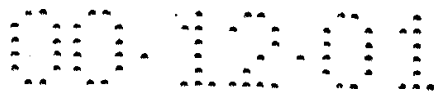
高速数据信号是多个信号，它们是由几个数据流的集合(或者多路复用)形成的，以便共享传输介质发送数据到远的位置。波分多路复用(WDM)通常在光通信系统中使用作为更有效地使用可用资源的手段。

在 WDM 中每个高速数据信道在单个光波导上以预分配的波长发送它的信息。在接收机端，不同波长的信道通常利用窄带滤波器分开，然后检测或者用于进一步处理。实际上，在 WDM 系统中单个光波导可以传送的信道的数量是由串音、光放大器的窄的工作带宽和/或光纤非线性限制的。此外这样的系统要求准确的频带选择，稳定的可调激光器或者滤波器，和光谱纯度，这增加了 WDM 系统的费用和增加了

它们的复杂性。

当前，国际上商定的高速光传输系统的信道间隔是 100 GHz，相当于 0.8nm，例如超过相当于相邻信道之间的 1.6 毫微米的 200 GHz 信道间隔。当然，由于相邻信道之间的波长间隔减少，增加了对超窄频带滤波器、没有串音的更精确的多路分路线路的要求。使用常规的分色滤光器分开以 0.4nm 或者更小的间隔而没有串音的信道是不可行的；如果不是不可能制造，这样的滤波器也是困难的。

在由美国光学协会 1998 年出版的 Benjamin B. Dingle 和 Masayuki Izutsu 的标题为 Multifunction optical filter with a Michelson-Gires-Turnois Interferometer for wave length-division-multiplexed network system applications 的论文中，此后称为 GT 设备的一个设备提供了由本发明提供的一些功能。例如，正如在图 1 中举例的 GT 设备用作窄带波长多路分路器；这个设备依赖于干涉由平面镜 16 反射的具有 E 场的反射 E 场。使用的校准器 10 具有一个 99.9% 反射的后反射器 12r 和具有大约 10% 的反射率的一个前反射器 12f；因此使用仅仅来自前反射器 12f 的输出信号。设置光束分离棱柱(BSP)18 接收入射光束和将入射光束导向校准器 10。BSP 18 进一步接收从该校准器返回的光并且提供一部分该光给平面镜 16 以及提供剩余部分给输出端口。虽然这个已知的 GT 设备看上去执行它的预定的作用，但是它显然具有某些限制：正如与本发明的设备相反，本发明的设备具有 0 和  $\pi$  弧度的透射（传送）和反射的 E 场之间的相位差，正如在图 1b 的图线中可以看到 GT 设备，在 0 和  $\pi$  弧度之间有一些相位变化。此外，在 GT 设备中，在干涉仪中要求有限的光程差以便产生输出响应，它模仿由本发明的设备提供的输出响应。典型地对于 50 GHz 自由频谱范围(FSR)，这个光程差是几个毫米；相反在本发明中，光相位差仅仅需要大约  $\lambda/4$ ，结果导致温度更稳定和温度不敏感的系统。GT 设备的另外的限制是它对校准器和干涉仪的稳定的明显的要求。然而 GT 设备的进一步缺点是要求光环行器提取加给信号衰耗的输出信号，并且该设备的增加了费用；以及已知的 BSP 要求有重大的极化相关的损耗。图 1a 表示



来自具有光程差的 GT 和反射镜的两个反射 E 场之间的相位差的具有线性曲线的曲线图。另外，该曲线图显示来自该 GT 的反射光的相位变化的线性曲线。还以对数曲线表示反射分布图，而直线斜率的虚线是具有有限的光程差的 GT 的线性曲线。

本发明的一个目的是提供用于分开具有紧密间隔的信道的光信号为至少两个光信号的方法和线路，其中相邻信道之间的信道间隔在至少两个光信号的每一个中是较大的，从而要求较小精度的滤波器以便多路分路由至少两个信号的每一个传送的信道。

本发明的一个目的是提供相对地便宜的光线路，用于交错或者解交错光信道。

本发明的一个目的是提供基于校准器的设备，其中从两个相对地放置的端口的输出信号可以可控制地干涉地组合以便得到期望的输出响应。

本发明的一个目的是提供一个去交错器/交错器线路，使用多个具有基本上类似的自由频谱范围(FSR)的周期设备。

根据本发明的一个方面，提供一个交错器/去交错器光线路，用于交错或者去交错具有预定的信道间频率间隔的多个信道的输入光信号，包括多个子交错器/去交错器，每个子交错器/去交错器光学地耦合到至少一个另外的子交错器/去交错器，用于给它提供输出信号，或者用于从那里接收输出信号，每一个子交错器/去交错器具有基本上相同的自由频谱范围和相对于其他的子交错器/去交错器的偏移频谱响应，用于交错或者去交错基本上不同的周期信道的组的每一个子交错器/去交错器，具有不同的中心波长。

根据本发明，另外提供去交错多信道光信号的方法，包括步骤：

具有预定的间隔的多个信道的输入信号通过多个顺序地耦合的周期去交错滤波器，每个去交错滤波器具有基本上相同的周期，以及其中，滤波器的峰值中心通带彼此偏移，安排这些滤波器使得滤波器中的一个被光学地耦合以便接收或者提供信号给另一个滤波器，以及其中，滤波器的周期大于所述输入信号的两个相邻的信道间频率间隔。

根据本发明的另一个方面，提供去交错光信号的方法，包括步骤：  
提供具有基本上相同的 FSR 和不同的中心峰值波长的三个周期滤波器。

将光信号传至具有一个输入端口和两个输出端口的三个滤波器中的第一滤波器；

将来自两个输出端口的部分地去交错的信号提供给三个滤波器的另外的两个滤波器的输入端口；以及

允许信号从两个另外的滤波器的输出端口传播。

本发明的一个方面为提供一个系统，用于去交错多个信道光信号，包括：

具有周期的输出响应的多个滤波器，每个滤波器具有周期  $T$ ，其中，这些滤波器的峰值中心通带彼此偏移一个预定的量，安排这些滤波器使得滤波器中的每一个被光学地耦合以便接收或者提供信号给另一个滤波器，这些滤波器具有基本上对称的输出响应。

有利地，具有  $n\Delta T$  ( $n > 2$ ) 输出信道间隔的交错器可用于交错由  $\Delta T$  间隔分开的信道。这个设备比使用串联馈送第一个去交错级的输出到两个顺序级和馈送第二个两级的输出给四个另外的去交错级等等的方法的体积更小。在现有技术方法中，每个下一级比前面的级具有两倍的自由频谱范围(FSR)(即当以 50 GHz 的输入信号信道间隔开始时，第一交错器间隔是 100 GHz，下一间隔是 200 GHz，然后 400 GHz 等)。

另一个优点是多个类似的设备可用于所有的交错级。

另一个优点是去交错信道的通带可以非常宽。

另一个优点是根据本发明的实施例的系统可用于去交错不规则间隔的信道，当相邻信道间隔小于 100 GHz 时，可以使用它们抑制在 WDM 传输系统中的四个波长混合。

当通过研究和开发光滤波器是理想的时，较好地可以使用该滤波器用于很多的应用，而不必针对每个不同的应用设计新的滤波器“积木框”。本发明允许通过互连基于相同的校准器的设备而重复地使用它们，角度调谐它们以便从每个基于校准器的交错器提供不同的输出

响应。这具有重大的费用和可靠性优点。此外不必要备有具有显著不同的自由频谱范围的不同的校准器。

现在结合附图描述本发明的示例的实施例，其中：

图 1 是现有技术 Michelson-Gires-Toumois 干涉仪的线路方框图；

图 1a 绘制了用于双输出 Michelson-Gires- Tournois 干涉仪的相位对波长的对数曲线图；

图 1b 是 Michelson-Gires-Tournois 干涉仪的模拟输出响应的曲线图；

图 2 是单个校准器干涉测量结构的线路方框图；

图 2a 绘制了双输出校准器的相位对波长的曲线图；

图 3 是图 2 所示的校准器的更详细的图；

图 4a 表示图 2 所示结构的可选的实施例的线路方框图，其中使用两个光传送块作为组合区域；

图 4b 是类似于图 4a 所示的线路方框图，其中该线路是工作于反向工作模式；

图 4c 是类似图 4a 和 4b 的线路方框图，其中加上第四端口；

图 5 是描述类似于表示在图 4a 到 4c 的优选实施例的详细的方框图；

图 6a 是用于图 6c 所示的多空腔校准器的相位对波长的输出响应的曲线图；

图 6b 是描述单个空腔校准器和多个空腔校准器的输出响应的曲线图；

图 6c 是可选的实施例的线路图，其中使用多空腔校准器；

图 7 是描述可选的实施例的线性化强度输出响应的曲线图；

图 8 是描述可选的实施例的输出响应的曲线图，其中选择反射率和相位以便提供带通滤波器；

图 9 是另一个实施例的线路图，其中使用平面型波导技术；

图 10 是在图 9 的线路中使用的 MMI 耦合器的更详细的示意图，其中根据这个图描述该耦合器的操作；

图 11 是图 9 所示的另一个实施例的线路图，其中通过在与相邻区域相比具有不同的折射率的平面型波导内提供区域而产生两个校准器；

图 12 是使用的环形谐振器的方框线路图并且功能等效于前面实施例所示的 Fabry-Perot 谐振器；

图 13 是另一个可选择的实施例的线路图，其中使用环形谐振器；

图 14 是传输对相对波长的曲线图，表示环形谐振器的两个输出  $a_r$  和  $a_t$  的频谱幅度响应，以及图 15 分别是该环形谐振器的两个输出的频谱相位响应的曲线图；

图 16 是环形谐振器的两个输出  $a_r$  和  $a_t$  之间的相位差对相对波长的曲线图，显示在等于该环形谐振器的 FSR 的连续的波长信道上在  $-\pi/2$  和  $+\pi/2$  之间交替的相位差；

图 17 是描述在耦合器干涉仪的各自的输出端的两个交错信号  $a_{out1}$  和  $a_{out2}$  的频谱传输的传输对相对波长的曲线图；

图 18 是图 11 中所示的基本线路的线路图，其中第一耦合器和第三耦合器之间的波导区域被掺杂而变得对光更敏感，使得通过光源照射而产生受控的折射率变化；

图 19 是表示提供一个去交错器/交错器功能的线路的线路图；

图 20a 是图 19 所示的线路的一部分的线路图；

图 20b 和 20c 是图 19 所示的线路的一部分的线路图；

图 21 是示意通带和阻带之间差异的本发明交错器的频谱响应(传送/反射)的简略表示；

图 22 是具有四个去交错器的本发明的线路的简略表示；

图 23 是具有调谐装置的基于 Fabry-Perot 校准器的交错器的简略视图；

图 24 是现有技术的交错/去交错线路的简略视图；

图 25 是一个 200 GHz 交错/去交错线路的简略视图；

图 26 是根据本发明的一个实施例的交错器的简略视图，其中三个对称的交错器光学地耦合提供去交错 50 GHz 间隔的信道的输入数据

流为四个 200 GHz 间隔的信道的数据流;

图 27 是根据本发明的可选择的实施例的交错器的简略视图, 其中该输出可以是对称的或者不对称的, 并且其中带宽是可以调整的; 以及

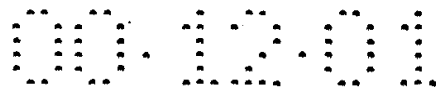
图 28 是图 27 所示的交错器的实施例的简略视图, 其中提供不对称的输出。

以下所示和描述的基本交错器线路, 描述于 1999 年 3 月 25 日提交的、普通转让的待审查的美国专利申请序号 09/275,962, 1999 年 6 月 23 日提交的、专利申请序号 09/338,925, 1999 年 7 月 22 日提交的、序号 09/358,445 和 1998 年 12 月 23 日提交的加拿大专利申请序号 2,256,963 中。

一般地讲, 校准器滤波器的频谱特性是由该镜面或者反射表面的反射率和间隙间隔确定的。Fabry-Perot 原理允许滤波宽频带光束, 从而仅仅周期的频谱通带基本上传送出该滤波器。相反地, 如果适当地选择该镜面或者反射地面的反射率, 偏移  $d$  毫微米的周期频谱通带基本上从输入镜面往回反射。在可调节的 Fabry-Perot 设备中, 诸如在以 Ip 的名字转让给 JDS Fitel 有限公司的在美国专利号 5,283,845 中公开的设备, 典型地通过改变有效的空腔长度(间隔)获得频谱通带的中心波长的调谐。

现在参见图 2, 表示一个光线路, 用于将一个信道光信号, 即一个包括多路复用的紧密间隔信道的信号多路分路为多个较不密集的信道信号, 每个信道信号包括多个多路复用的较不密集地间隔的信道。以第一方向操作该线路, 其中该线路在进入该线路一端的多个信道上执行多路复用功能, 它是一个交错器线路, 而在相反方向中, 其中该线路在相反端进入的复合信号上执行多路分路功能, 以便提供多个多路分路信道, 它用作去交错器线路。但是, 术语交错器线路此后用于表示这个交错器/去交错器线路。在以 Cohen 名义的美国专利 No. 5,680,490 中一个这样的交错器线路公开为梳状分离滤波器。

现在参见图 2, 表示一个光交错器线路, 包括以 Fabry-Perot 校准



器滤波器 110 形式的一个 3 端口光腔(在图 3 中更详细地表示), 具有第一部分反射端面 110a 和第二部分反射端面 110b。Fabry- Perot 校准器在端面 110b 有一个输入端口 101, 在 Fabry- Perot 校准器滤波器反射端面 110 有第二端口 102, 和耦合到传送端面 110a 作为输出端口的第三端口 103。Fabry-Perot 校准器滤波器 110 具有两个部分反射镜面或者表面, 彼此相对并且由一定的固定的间隙分开, 形式一个空腔。

用于可控制地延迟通过的光信号的移相器是与在 Fabry-Perot 校准器 110 的一端的第三端口 103 光学地耦合。在移相器 117 输出端和 Fabry-Perot 校准器 110 的第二端口 102 之间放置一个 50/50 分离器 119, 并且与其光学地耦合。虽然图解表示为具有波导, 例如用于引导信号从该校准器到移相器 117 和分离器 119 的光纤, 但是, 使用镜面或者反射器的较不优选的自由空间实施方法是本专业技术人员能作的。当然耦合透镜(未表示), 诸如 GRIN 透镜最好用于耦合来自和/或到出自特定部件的光纤的光。

现在注意到, 在一定的情况下来自校准器, 例如校准器 110 的反射与透射(传送)的 E 场相位之间的相位差保持恒定。此外, 当输入光进入校准器的输入端口 101 时, 出自端表面 103 的结果信号和出自端表面 102 的结果信号之间的相位差或者是 0 或者是  $\pi$  弧度, 并且按每个频谱的传输谐振变化。这在图 2a 中示出, 其中画出相位对波长的曲线。由于在校准器内多重干涉效果, 出现透射和反射 E 场之间的相位差的锁定。

本发明的一个实施例以举例的方式通过干涉两个结果信号而使用这个特性, 以便可以实现平坦的频谱通带滤波器。通过调节出自 Fabry-Perot 校准器 110 的相反的端面的两个信号之间的相位关系, 和随后干涉这些信号, 可以实现各种期望的输出响应。当然, 选择地, 可以加上附加的控制以便衰减或者放大两个信号的一个信号或者两个信号。由于校准器 110 的端口 2 和 50/50 分离器 119 之间与校准器 110 的端口 3 和 50/50 分离器之间的路径长度差可能不是零, 或者是校准器的自由频谱范围的准确倍数, 移相器 117 确保调节由于路径长度差

引起的不希望或者期望的相位差。

如果在干涉仪的两个臂之间即在校准器 110 和分离器 119 之间的路径之间没有产生固有的相位差，将获得下面的输出。

$$\text{从端口 3 输出: } E_R e^{j\theta_R} + E_T e^{j(\theta_T - \pi/2)}$$

$$\text{从端口 2 输出: } E_T e^{j\theta_T} + E_R e^{j(\theta_R - \pi/2)}$$

其中  $\theta_R$  与  $\theta_T$  是由校准器产生的反射和透射相位。干涉测量的输出由一般的表示式给出：

$$I_{Res} = 1/2(E_R^2 + E_T^2 + 2E_R E_T \cos(\Delta\theta))$$

其中  $\Delta\theta$  表示两个 E 场之间的相位差。如果  $\theta_R = \theta_T$ ，则两个输出的相位差将是  $\pi/2$ 。而且如果  $\theta_R - \theta_T = \pi$ ，则两个输出的相位差还是  $\pi/2$ 。因此，不存在期望的干涉测量反应。

但是，如果在干涉测量的臂中提供  $\pi/2$  相位差，则两个输出由下式给出：

$$\text{从端口 3 输出: } E_R e^{j\theta_R} + E_T e^{j\theta_T}$$

$$\text{从端口 2 输出: } E_T e^{j(\theta_T + \pi/2)} + E_R e^{j(\theta_R - \pi/2)}$$

正如从上面可以看到的，这时干涉仪的输出具有  $\pi$  相移，它表示可能存在两个信号之间的有用的或者期望的干涉测量反应。在端口 3 输出和在端口 2 输出的相位差分别是  $\theta_R - \theta_T$  和  $\theta_R - \theta_T - \pi$ 。如果  $\theta_R = \theta_T$ ，则在端口 3 和 2 的输出的相位差分别是 0 和  $\pi$ 。对于  $\theta_R - \theta_T = \pi$ ，则在端口 3 和 2 的输出分别具有  $\pi$  和 0 的相位差。因此可以实现信道选择。

该线路可以作为去交错器滤波器操作，提供在分离器的一个输出的奇数信道和在该分离器的第二个输出的偶数信道的分离。

通过改变馈送给分离器的该线路的两臂中的信号之间的相位关系和通过改变该校准器的端面的反射率，例如具有 60% 和 1% 反射率，则交错功能消失，并且该线路操作提供线性化输出。在诸如波长锁定这样的应用中，这样的线性化输出信号是有用的，其中期望线性斜坡信号。此外，如果两个输出信号彼此相减，由于没有引入信号损耗，效果进一步增强了。

现在翻到图 4a 至 4c，表示根据本发明实现自由空间设备的一个

光学器件，其中未引导的平行光在该设备中传播。所示的交错器/去交错器具有两个玻璃干涉测量端板 42，在端板 42 之间放置隔离物。两个干涉测量的端板 42 之间的隔离物区域具有一个 50/50 涂层(如图所示)，除了虚线所示的以外。这个虚线表示板极 42 之间的区域，其中两个至少部分地反射面形成该校准器(未详细表示)，在之间具有一个空气隙，有 $>5\lambda$ 的预定的尺寸，定义该校准器的自由频谱范围。图 4A 和 4B 中的渐变折射率(GRIN)透镜 40a 至 40e 用于提供通过和在端板极 42 之间的平行光，并且在输出端口用作聚焦透镜。镜面 41a 和 41b 放置在板极 42 的两端以便引导光束到特定的端口。例如，进入透镜 40a 的输入端口的光引导到板极之间的校准器。大约 50%的光透射(传送)通过校准器的前端并且遵循光入射于镜面 41a 的路径，并且随后引导到透镜 41b; 剩余光透射(传送)通过校准器的背侧并且照射镜面 41b，随后引导到透镜 40c 的端口。如图所示的，当具有中心波长 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \dots, \lambda_n$ 的信道进入透镜 40a 的端口时，该信道在透镜 40b 和 40e 的端口分别去交错为信道组 $\lambda_1, \lambda_3, \lambda_5$  和  $\lambda_2, \lambda_4, \lambda_6$ .;从而提供两个去交错组。图 4b 说明图 4a 的相同的线路如何逆向使用以交错被去交错的信道。此外，图 4c 说明在 GRIN 透镜 40d 可以加上附加的输入端口而且通过适当地调节和控制相位，该线路可用于转换输入信道到任一输出端口。

现在参见图 5，表示实现自由空间的设备的一个光学器件，其中未引导的平行光在该设备中传播。所示的交错器/去交错器具有两个玻璃干涉测量的端板 42，在端板 42 之间放置隔离物。端板极和该隔离物是通过光学接触连接的。这些接触面同时地和在相同的方向抛光，以便在装配时保持它们的表面在 10 弧度秒内平行。干涉测量组合器的通孔的轴和在每一个干涉测量端极板上的涂层 B 的轴在 0.1 毫米内是同心的。通过 50/50 涂层便利地实现干涉测量组合器。校准器没有该涂层。为了清楚起见，图 5 中未表示图 4 所示的对准/聚焦 GRIN 透镜。温度传感器 52 显示在板极 52 的端部以便确定两个干涉测量端板 42 之间的相对温度差。加热器 42a 和 42b 与温度传感器 52 一起使用以便控

制通过校准器的相反两端的透射和反射光信号之间的相位关系，加热器 42a 和 42b 便利地回绕端板极 42。

在另一个实施例中，以迄今描述的单个校准器相同的方式使用奇数整数个多空腔校准器。因此从多空腔校准器结构的最外的相反端口捕获和组合光。使用多个空腔，即三个校准器，获得图 6a 所示的分布图，其中在该曲线图的某些部分 62 的相位增加了，导致较陡峭的输出响应。此外，通过提供更多的校准器表面，即在三空腔校准器的例子中至少四个反射表面，能够变化每个表面的反射率以提供更多的控制。图 6b 示意两条曲线，一条曲线用虚线，它表示单个空腔校准器的输出频谱的一部分，和一条实线，它表示根据本发明的三空腔校准器设备的输出频谱的相同的部分。图 6c 示出根据本发明的线路，具有耦合到一个组合器的多空腔校准器。

在前面几个实施例中，移相器保证一个有效的相位差  $\pi/2$ ，以使通过 50/50 分离器引入的相移已经被补偿。然后允许在干涉仪输出出现完全的建设性的和破坏性干涉。但是，如果使用不同的相位差，然后通过该校准器的两个平面的反射率的一定的组合，可以实现如图 7 的曲线所示的线性化强度随波长的变化。在这个例子中，反射系数是 0.01 和 0.6，而相位差是 0。

图 8 说明一个可选择的实施例，使用正确的相位差和反射率提供一个平坦的滤波器通带。

现在翻到图 9，提供一个替换实施例，它在功能上类似于图 2 所示的实施例。交错器线路 900 显示出使用平面型波导技术可以便利地制作。在这里例如波导可以放置在玻璃中。波导区域可以掺杂，离子注入或者移植。例如核心光波导区域可以是一个光透射的聚合物。在第一端具有输入端口 1 和输出端口 2 的第一 MMI 50/50 耦合器 910 利用放置在之间的波导 912 和 914 光学地耦合到第二个相同的 MMI 50/50 耦合器 920。两个薄的部分反射板 E 和 E' 放置在切波导 912 和 914 的槽中。板极 E，放置在之间的波导 912 和板极 E' 形成第一 Fabry-Perot 校准器。类似地，板极 E，放置在之间的波导 914 和板极 E' 形成第二

Fabry-Perot 校准器。第一 MMI 耦合器 910 的输出端口 2 和第二 MMI 耦合器 920 的输出端口 2 耦合到第三 MMI 50/50 耦合器 930 的输入端口 1 和 2，第三 MMI 50/50 耦合器 930 具有用于分别传递信号  $a_{out1}$  和  $a_{out2}$  的输出端口 3 和 4。

在描述交错器/去交错器线路 900 的操作之前，图 10 用作描述四端口 3dB 耦合器的功能，该耦合器类似于表示在图 9 中的耦合器。提供给耦合器 940 的端口 1 的输入信号  $a_1$  在端口 2 和 3 之间相等地划分。在由所示的镜面反向反射该信号之后，它们组合到耦合器的端口 4 而不是端口 1。以这种方式，该反射信号从该输入信号分开，而不要求光环行器。当然图 9 所示的 MMI 耦合器可以以 3dB 耦合器替换。

图 9 线路的操作类似于图 2 所示的去交错器/交错器的操作。在图 9 中输入信号  $a_{in}$  进入端口 1 而且分别在耦合器 910 的端口 3 和 4 相等地划分为在波导 912 和 914 上的两个去交错信号。从耦合器 910 与 920 之间的校准器传送和反射的传送信号  $a_t$  和反射信号  $a_r$  输入到 MMI 耦合器 930 的端口 1 和 2 并且提供作为两个去交错输出信号。当然，可以提供每个去交错输出数据流给另一个类似的去交错线路，用于进一步去交错该信道化的信号。例如，在第一级，诸如参考图 9 描述的第一级，信道 1, 3, 5, 7, ... 为在  $a_{out1}$  输出，而信道 2, 4, 6, 8, ... 为在  $a_{out2}$  输出。信道 1, 3, 5, 7, 9 可以馈送给一个类似线路 900 的线路，其中该校准器具有一个更大的 FSR，因此两个另外的数据流 1, 5, 9 和 3, 7, 11 可以进一步多路分路。

图 11 表示图 9 的实施例的另一个类似的实施例，其中校准器 111 形成在两个 MMI 耦合器 910 和 920 之间，在每个波导 912 和 914 中提供一个区域，其中折射率不同于耦合到和相邻这个区域的波导的折射率，。该校准器区域可以是具有适当的折射率的一个聚合物。当然该校准器的长度和校准器区域与相邻区域之间的折射率的差必须是足够的，以便在不同的折射率区域之间的接口处提供期望的反射率。

图 12 描述与 Fabry-Perot 校准器在功能上类似的实施例。图 12 所示的线路使用一个环形谐振器。通过组合波导环形谐振器和所示的

两个定向耦合器可以获得 Fabry-Perot 谐振器的等效的转换功能。这是具有一个输入端口和两个输出端口的一个 3 端口设备。在该设备的输出端口的信号  $a_r$  和  $a_t$  等效于 Fabry-Perot 谐振器的反射和传送信号。该定向耦合器的耦合系数控制空腔的精巧性。周期频谱响应是通过下面等式由该环的总长度确定的。

$$FSR=c/\Delta L$$

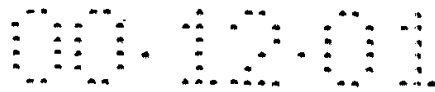
其中  $c$  是光速而  $\Delta L$  是通过该环的光程。

根据本发明的一个实施例表示在图 13 中。环形谐振器的两个输出发送给 3dB 耦合器以便获得两个交错信号  $a_{out1}$  和  $a_{out2}$ 。如果光程 AC 等于光程 BC，可以实现交错功能，其中光程是物理长度  $\times$  折射率。当然物理长度多少受可以容许的弯曲量限制。在一个优选的实施例中，为了交错，该耦合器是一个 50/50 耦合器。在 C 的耦合器可以是一个定向耦合器或者一个 MMI 耦合器。最好在 A 和 B 的耦合器是 17.1%/82.9%耦合器，使得 82.9%的光耦合到该环，和 17.1%的光通过相邻该环的波导。

图 14 和 15 显示环形谐振器的两个输出  $a_r$  和  $a_t$  的频谱幅度和相位响应。图 16 显示环形谐振器的两个输出  $a_r$  和  $a_t$  之间的相位差。该相位差在等于环形谐振器的 FSR 的连续的波长信道上在  $-\pi/2$  和  $+\pi/2$  之间交替。最后，图 17 显示在波导耦合器干涉仪的输出上的两个去交错信号  $a_{out1}$  和  $a_{out2}$  的频谱传输。

根据本发明，特别是图 9，11 和 13 所示的实施例描述的单片波导器件可以以这样的方式制作，通过永久性调谐该设备使得它们相对地温度稳定。在任何一个实施例中， $a_r$  或者  $a_t$  的一个臂例如可以以锗掺杂和随后以 UV 光曝光，以便变化该掺杂臂的特定部分的折射率。做为选择，使一个臂以适当强度和持续时间的光曝光可以在某些情况下得到要求的折射率变化以便永久性调谐该设备。这是表示在图 8 中的永久地调节两个臂  $a_r$  和  $a_t$  之间的相位关系的一个方便的方法，从而得到非常宽大的温度允许范围的设备。

一个可替代的实施例表示在图 19 中，其中显示一个去交错器/交



错器。在此情况下，表示位置 A 和 B 是 90 度分开的。位置 A, B 和 C 之间的关系如下：

$AB+BC-AC=L_{\text{ring}}/2$ ，式中  $L_{\text{ring}}$  是该环形谐振器的长度。

图 20a, 20b 和 20c 说明耦合器 A, B 和 C 中的近似功率耦合比。

迄今提供的详细的描述提供了交错器线路的不同的实施例的说明，它可以去交错输入信道的数据流为两个去交错数据流，或者相反地，它可以交错信道的两个输入数据流为单个多路复用交错数据流。

但是，为了重复地去交错信道数据流，可以使用具有一个较大的信道间间隔的连续的下行去交错器线路。例如，如果均等(50 GHz)间隔的信道 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 的输入数据流被去交错为四个数据流，可以首先如下去交错第一和第二组：组 1-信道 1, 3, 5, 7, 和组 2-信道 2, 4, 6, 8。于是组 1 和组 2 能单独地馈送到具有较大(200 GHz)间隔的去交错器，得到：组 1a 由信道 1 和 5 组成，而组 1b 由信道 3 和 7 组成；同时地在另一个去交错器中，组 2 可以被分成组 2a：由信道 2 和 6 组成，和组 2b 由信道 4 和 8 组成。明显地，交错器/去交错器线路去交错组 1(2)必须具有比去交错组 1a(2a)基本上不同的 FSR。更具体地说，第一交错器必须具有 100 GHz 的 FSR 而第二交错器必须具有 200GHz，而如果要求第三（和第四）级，将要求该交错器分别具有大约 400 和 800 GHz 的 FSR。当制造高公差精确的部件时，通常最好具有一个设备，提供多功能，而不是建立一个生产线或者许多生产线制造几个部件。

当单个设备能满足时，提供不同的设备执行不同的功能不是最佳的。除制造几个部件费用更大以外，每个需要单独固定，因此相信如果单个部件足够的话，将发生较小误差。

本发明提供一个解决方案，其中可使用单一的周期滤波器可避免使用具有 100 GHz, 200 GHz 和 400 GHz 信道间隔的滤波器。

现在翻到图 21，显示根据本发明的校准器的传送/反射频谱的幅度-波长( $A/\lambda$ )曲线。以 T 表示传送频谱；而以 R 表示反射频谱。设计该校准器使得反射频带(宽度)L2 是三倍的传送通带 L1；该中心波长可

以以 FSR 结果的微细变化进行调谐。

现在参见图 22, 显示一个去交错器/交错器系统, 其中四个去交错器/交错器 201a, 201b, 201c 和 201d 具有基本上相同的 FSR 的校准器。最好四个交错器是相同的和任何用以改变该校准器的相对响应的所需调谐通过主动调谐提供。主动调谐的形式可以是如图 23 中所示温度调谐的形式, 利用提供在校准器 210 上的加热器 208, 或者通过变化输入信号的角度 $\alpha$ 以一个小量来变化由传入信号穿过的光程长度。当然可以设想变化光程长度的其它装置。例如, 所有的校准器可以是可调谐的、具有压电传感器(未示出), 用于稍微变化该空腔内的间隙。因此, 校准器 201c 的输出响应偏移交错器 201a 的输出响应以便提供 50 GHz 的偏移; 交错器 201b 的输出响应偏移交错器 201 的输出响应 100 GHz; 而且, 交错器 201d 的输出响应偏移交错器 201a 的输出响应 150 GHz。因此, 通过使用具有基本上相同的 FSR 的校准器的四个交错器可以获得将八个信道去交错为两个信道的四个数据流。

在工作中, 如在图 22 中所示的八个 50 GHz 间隔的输入信道 ch1, ch2, ch3, ch4, ch5, ch6, ch7, ch8 馈送到具有反射和传送输出端口  $202_r$  和  $202_t$  的第一 200 GHz 周期去交错器/交错器 201a。划分来自该去交错器的两个输出数据流, 反射数据流和传送数据流, 使得如果需要的话, 传送传送数据流 204(ch1, ch5..)用于进一步处理, 同时传送反射数据流 206 到第二交错器 201b, 进行进一步的去交错。第二去交错器 201b 以相对于第一去交错器 210a 偏移 100 GHz 的频谱响应产生具有信道 ch3 和 ch7 的传送数据流。由于同样的原因, 第三交错器产生具有信道 ch2 和 ch6 的传送数据流以及具有信道 ch4 和 ch8 的反射数据流。应当注意, 如果在输出数据流中这样产生的 200 GHz 间隔是足够的, 则第四交错器是不需要的。但是如果要求的话, 可以用之“清除”由其他的滤波器产生的数据流。

将会懂得, 在该例子中应用的系数四(200 GHz 相比 50 GHz)不是必定的。如果该系数是三, 五或者更大, 该原理是适用的。但是很明显, 去交错每第四信道即在输出信号中提供了便利的和充分大的信道

间隔以用于进一步处理。

图 23 显示校准器的温度或者它们的输入信号的角度如何可以变化以便提供校准器的输出响应中的小的偏移。图 23 说明基于 Fabry-Perot 校准器的交错器，具有用于调谐目的的加热元件 208 的校准器 210。输入信号 209 显示以一个角度 $\alpha$ 通过校准器 210。在混合区域 215 组合反射波束 211 和发射波束 213，产生去交错的信号的两个“臂”或者组 217, 219。

上面的描述假定光信号的信道间频率间隔都是 50 GHz。在这种情况下，该交错器线路是一个所谓的对称线路。如果该信道间隔是不同的(但不是随机的)，该线路可以容易地适用。例如，如果信道 1 和 2, 2 和 3, 3 和 4, 5 和 6, 6 和 7...之间的信道间隔是 50 GHz，而信道 4 和 5, 8 和 9...之间的信道间隔是 60 GHz，则根据本发明的交错器将设计成用于 210 GHz( $3 \times 50 + 60$ )。可以看出，本发明的线路可以适合于具有不规则地间隔的信道的不同信号。

为了比较，图 24 图解地表示用于处理之间具有 50 GHz 间隔的八个信道 ch1,...ch8 的输入信号 225 的现有技术的线路。在一个布局中耦合三个交错器 221, 222 和 223，其中第一交错器 221 是一个 100 GHz 周期交错器，但是另外两个交错器 222,223 是 200 GHz 交错器/去交错器。明显的，如果需要另一个交错步骤，则其次四个交错器是必要的，每个交错器是 400 GHz 交错器/去交错器。在现有技术线路中需要多个不同的去交错器的缺点通过本发明消除了，本发明中全部交错器/去交错器是基本上相同的。

可以设想使用基于其它类型的谐振腔而不是校准器的交错器。该交错功能例如可以由一个环形谐振器提供。

现在翻到图 25，显示一个可替代的实施例，其中对称的交错器/去交错器具有一个输入端口和两个输出端口。在此情况下，通带带宽等于阻带带宽。

根据显示在图 26 的本发明的可选择的实施例，三个这样的交错器 300a, 300b 和 300c 耦合在一起，使得交错器 300b 将其输出端口耦合

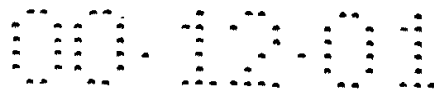
到交错器 300a 和 300c 的输入端口。每一个交错器由基本上相同的校准器组成，固有地具有基本上相同的 FSR，但是被角度调谐以便提供具有偏移 50 GHz 的中心波长的周期输出响应。应该懂得，该偏移便利地选择为 50 GHz，但是可以是不同的任意的值。对于交错器 300b 的两个输出的每一个端口以虚线的轮廓表示该交错器 300b 的输出响应。这与图 25 所示的交错器的输出响应对应。为了理解该线路的操作，交错器 300b 的一个输出端口馈送给交错器 300c。由于交错器 300c 的输出响应偏移 50 GHz，在端口 3 的输入信号以这样的方式滤波，使得仅仅传递被输出的一半。类似地，输入到交错器 300c 的输入端口的仅仅另外一半的信号在端口 4 输出。因此交错器 300c 的对称交错有效地切割该输入信号为两个子信号，在端口 3 的第一子信号包括信道 3, 7 和 11，而在端口 4 的第二子信号包括信道 4, 8 和 12。

在图 26 所示的示例性实施例中，显示信道具有 50 GHz 的带宽，但是这是任意的。信道带宽可以被调节为较小或者较大。

本发明的一个重要的优点是相同的校准器可用于交错器 300a, 300b 和 300c，其中在制造期间，使用角度调谐以便提供要求的信道偏移。由于提供通过该校准器的不同的光程长度引起的 FSR 的很小的变化是可忽略的；虽然这个变化提供了一个要求的信道偏移。使用如图所示的互连的基本上相同的校准器增加了可靠性和大大减少制造该设备的费用。这个实施例的另一个优点是可以提供宽的信道间隔。

在图 26 所示的示例性实施例中，紧密间隔 50 GHz 输入信道的数据流多路分路为四个 200 GHz 间隔的信道数据流，其中信道 1, 5 和 9 在端口 1 输出；信道 2, 6 和 10 在端口 2 输出；信道 3, 7 和 11 在端口 3 输出，而信道 4, 8 和 12 在端口 4 输出。

现在翻到图 27，表示一个交错器具有 50:50 波长独立的功率分配器 402，它具有连接到去交错器 400a 和 400b 的输入端口的输出端口。输出端口 400a 和 400b 馈送给基本上相同的交错器 400c, 400d, 400e 和 400g，具有彼此偏移的输出响应。在工作中，该功率分配器提供具有相等的功率输出的两个相同的数据流，并且包括提供给它的输入端



口的所有信道。通过调节第一级耦合器和第二级耦合器的相对中心安置，可以调整带宽并且可以调整输出为对称的或者不对称的。可以调整输出信道宽度为小于最窄的单个耦合器带宽的任何宽度。这个设计有利地提供输出信号带宽的灵活性，而且不同的输出端口之间的信道形状不需要是相同的。通过采用不对称的方案，不同的端口可用于具有不同的调制率的信号。

图 28 示出根据图 27 中描述的实施例的一个不对称的交错器，其中提供两个 100 Ghz 间隔的输出信号数据流具有不同的带宽。

当然可使用其它的结构诸如基于波板 (waveplate) 的交错器代替校准器。也可以调谐这些设备以便变化它们的中心波长。

说明书附图

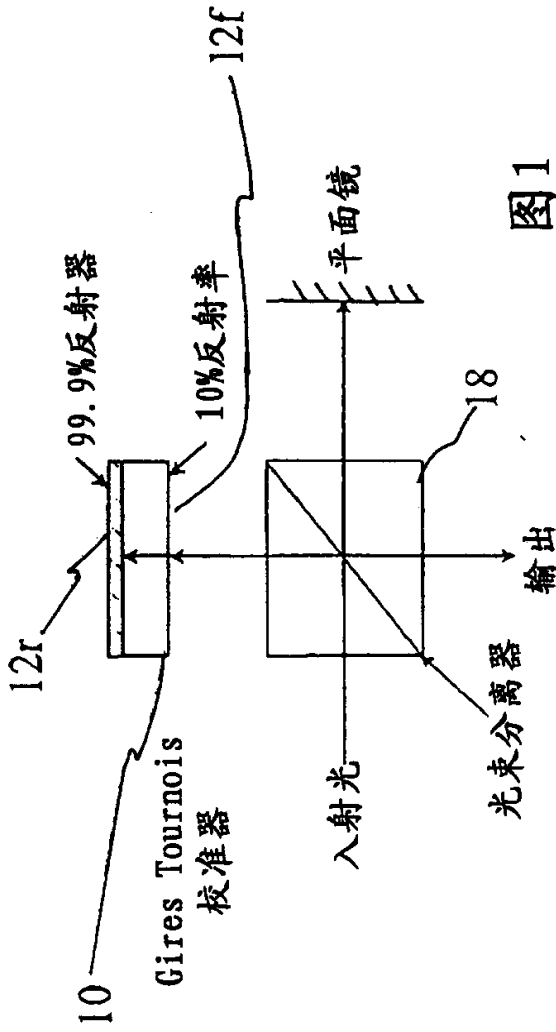


图1

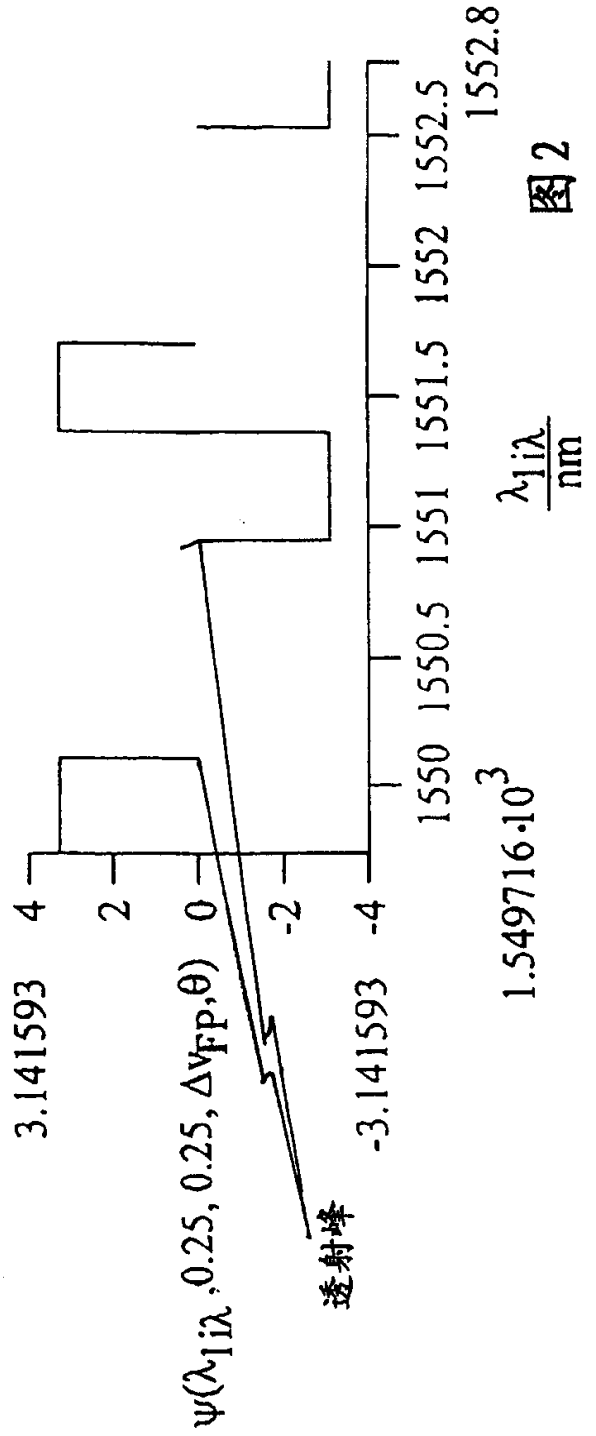
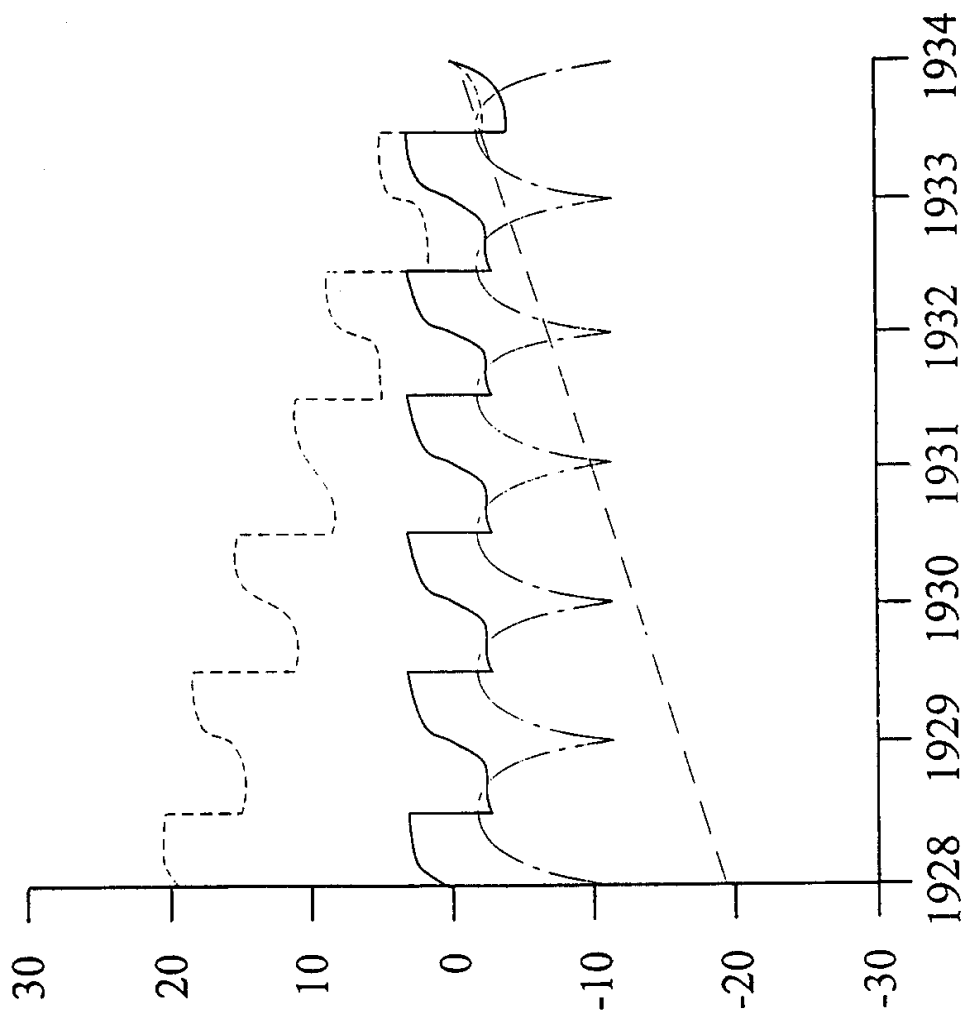


图2



$\theta R(\lambda_1 i \lambda, 0.99, 0.2, \Delta v_{FP}, \theta)$

$\phi(\lambda_1 i \lambda)$

$\theta R(\lambda_1 i \lambda, 0.99, 0.2, \Delta v_{FP}, \theta) - \phi(\lambda_1 i \lambda)$

$\text{Re} \log(\lambda_1 i \lambda, 0.99, 0.2, \Delta v_{FP}, \theta) - 100$

$\frac{c}{\lambda_1 i \lambda} \cdot 10^{11}$

图 1a

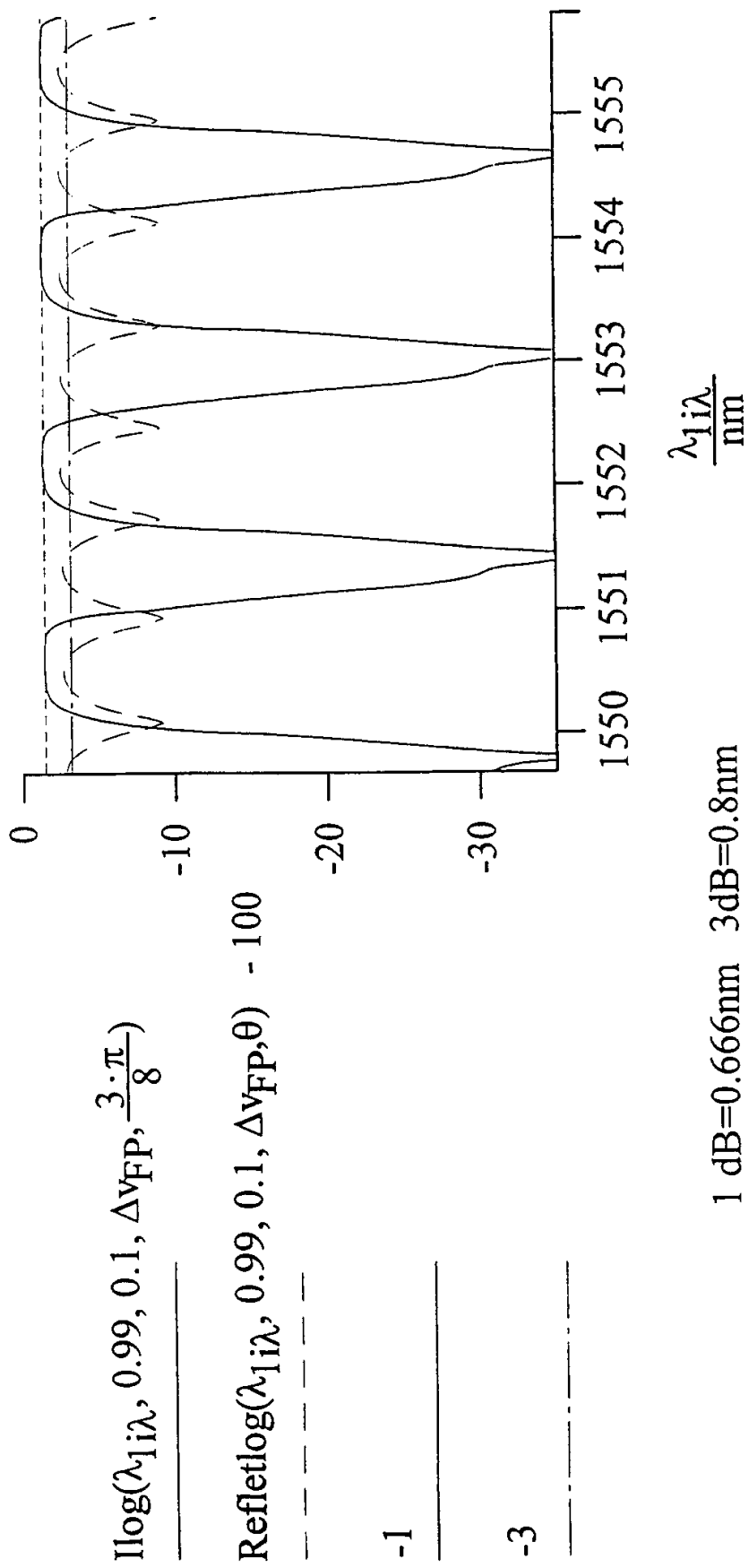


图 1b

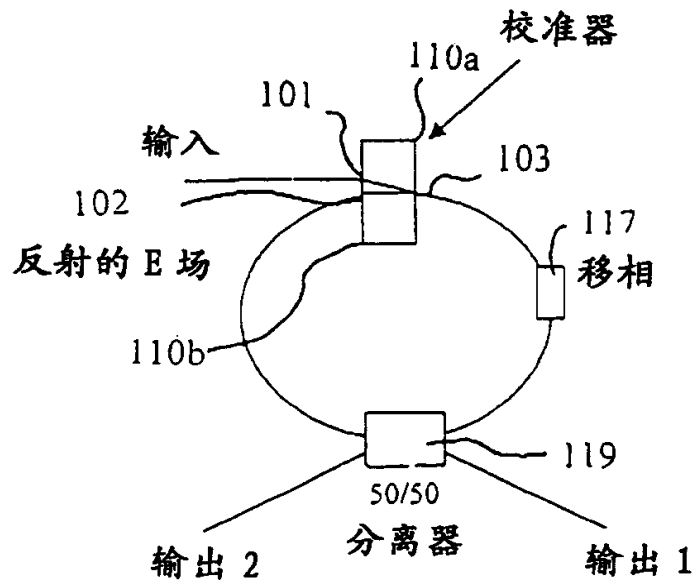


图 2

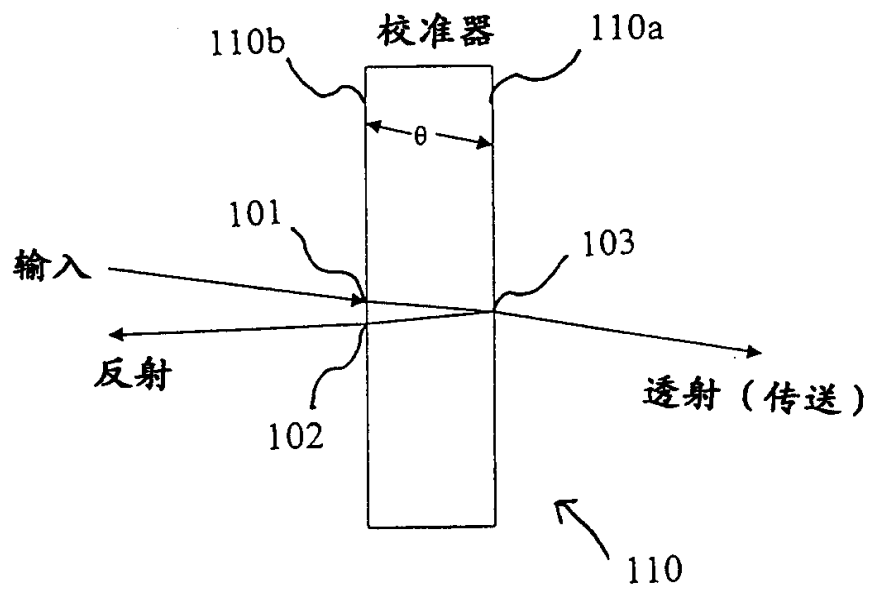


图 3

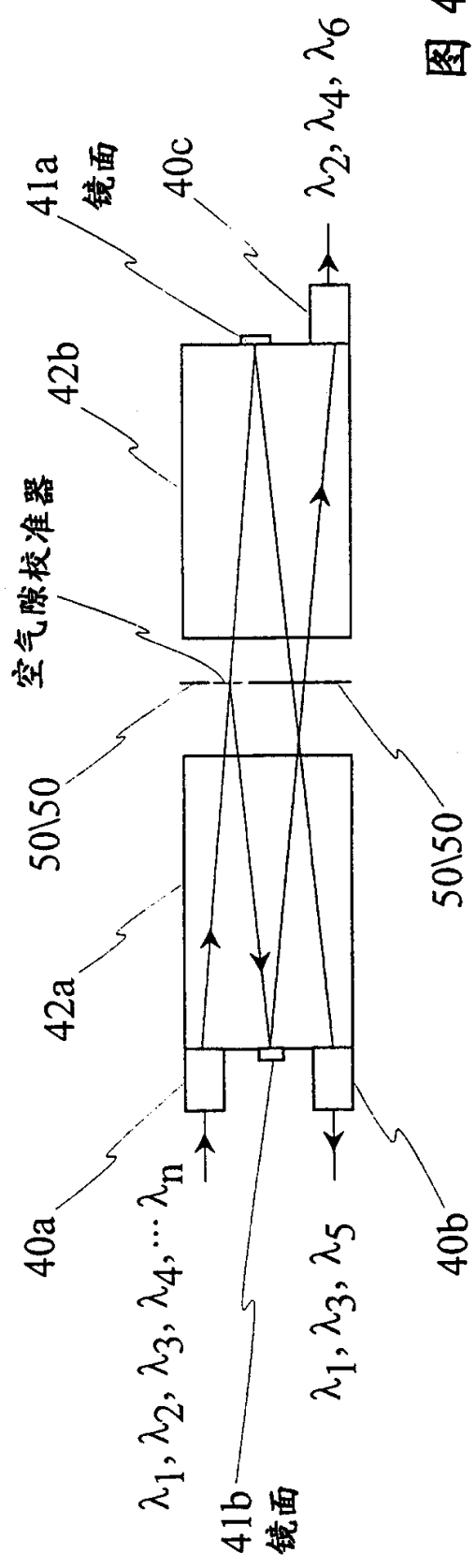


图 4a

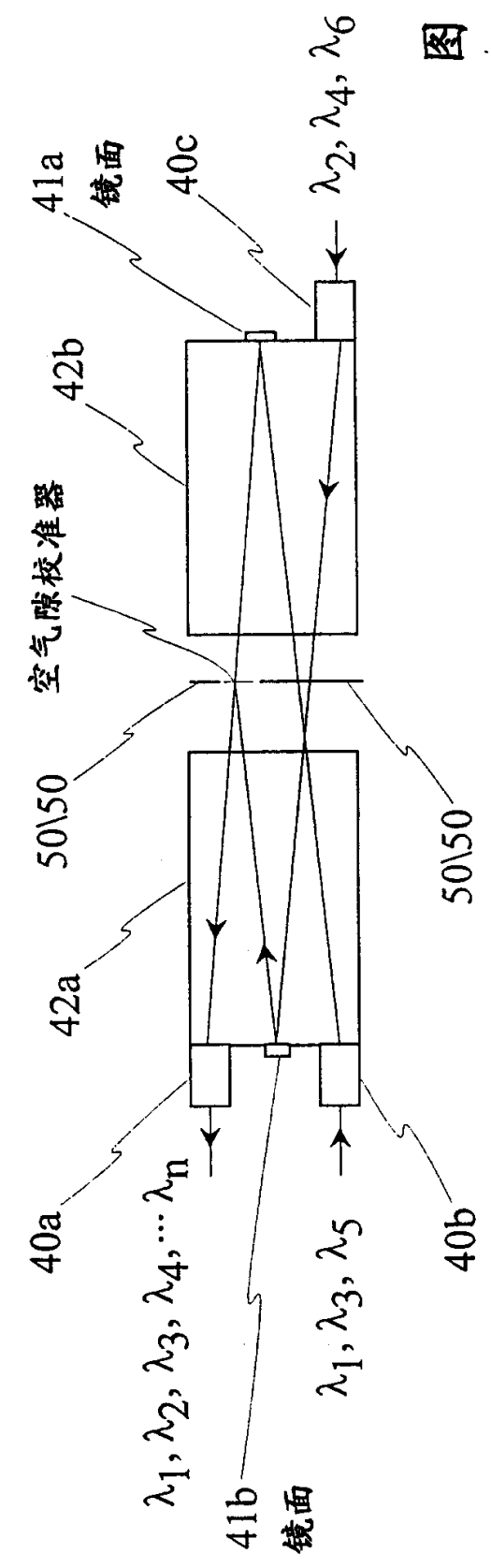


图 4b

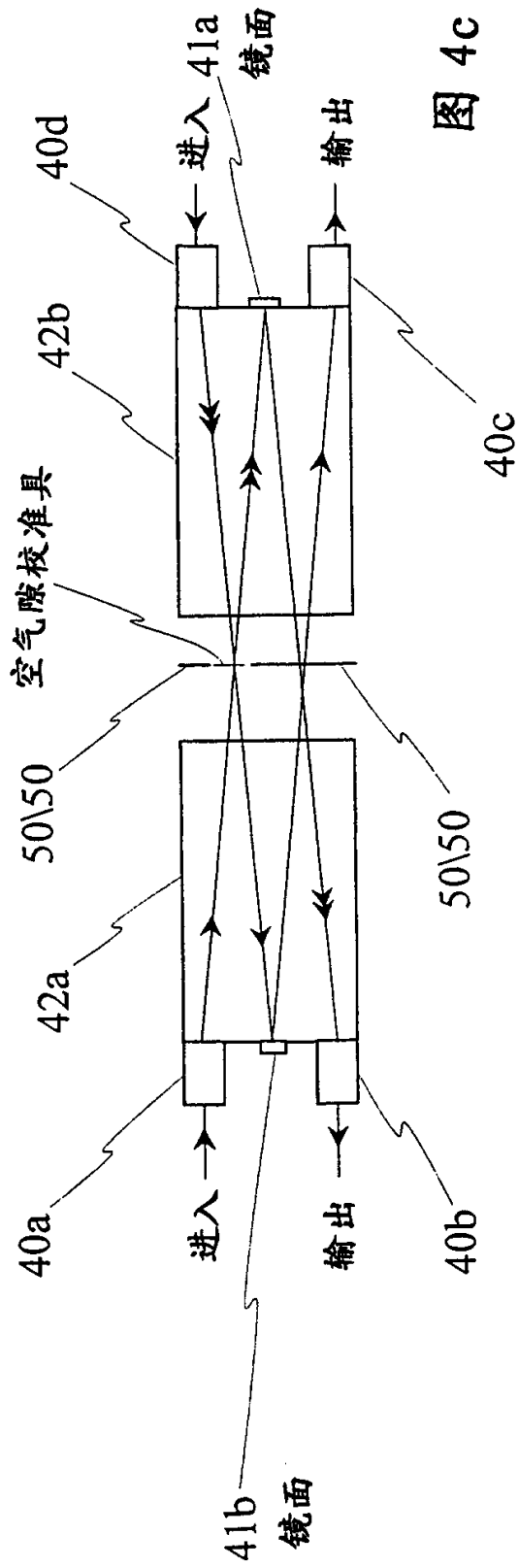


图 4C

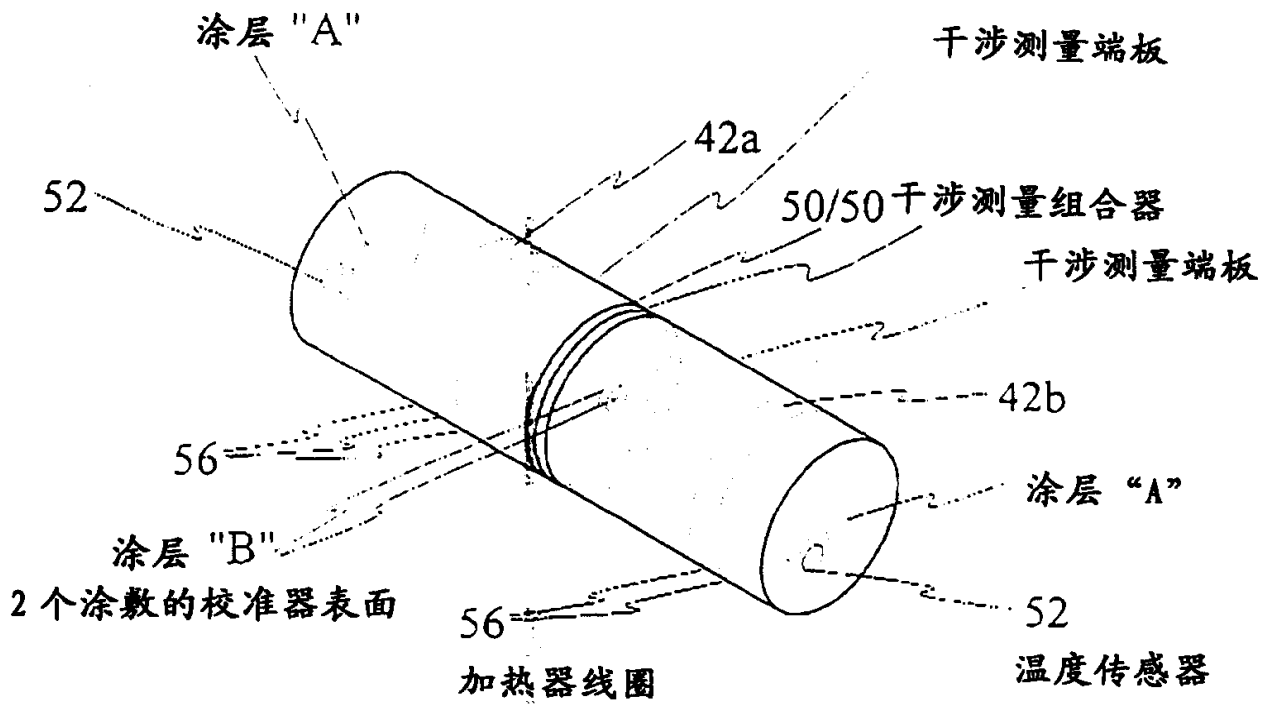


图 5

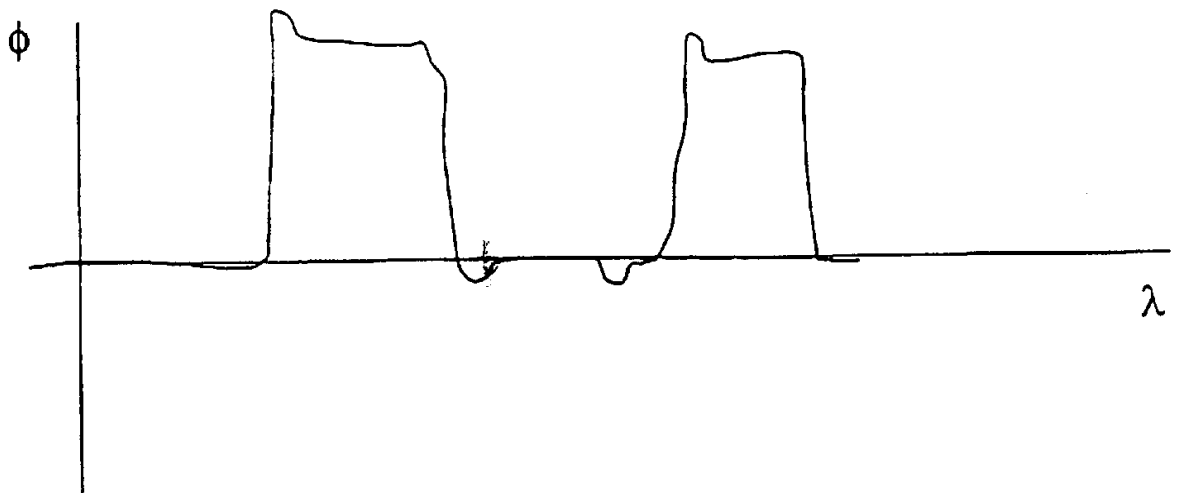


图 6a

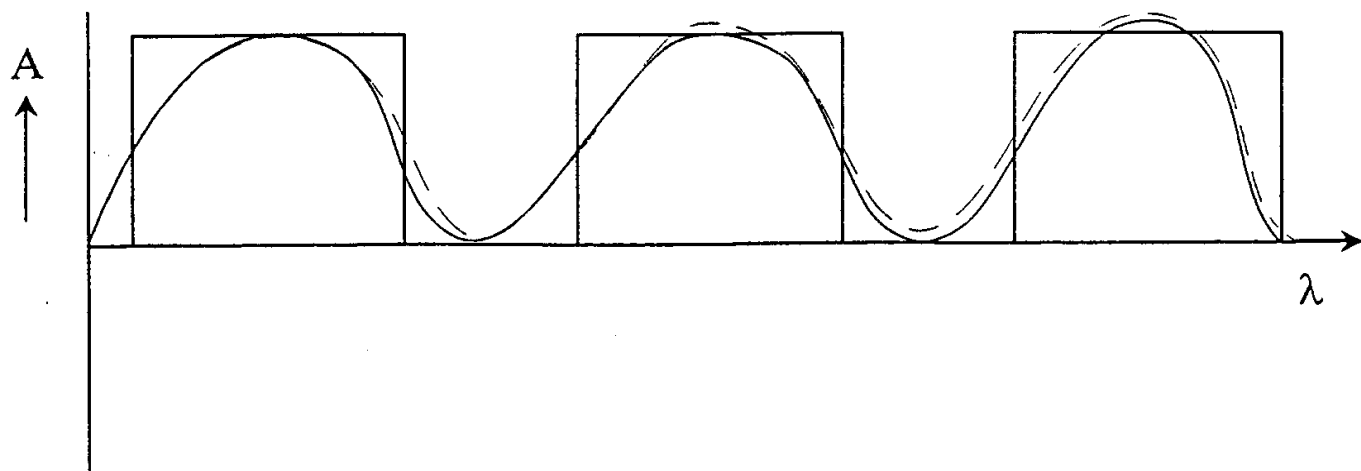


图 6b

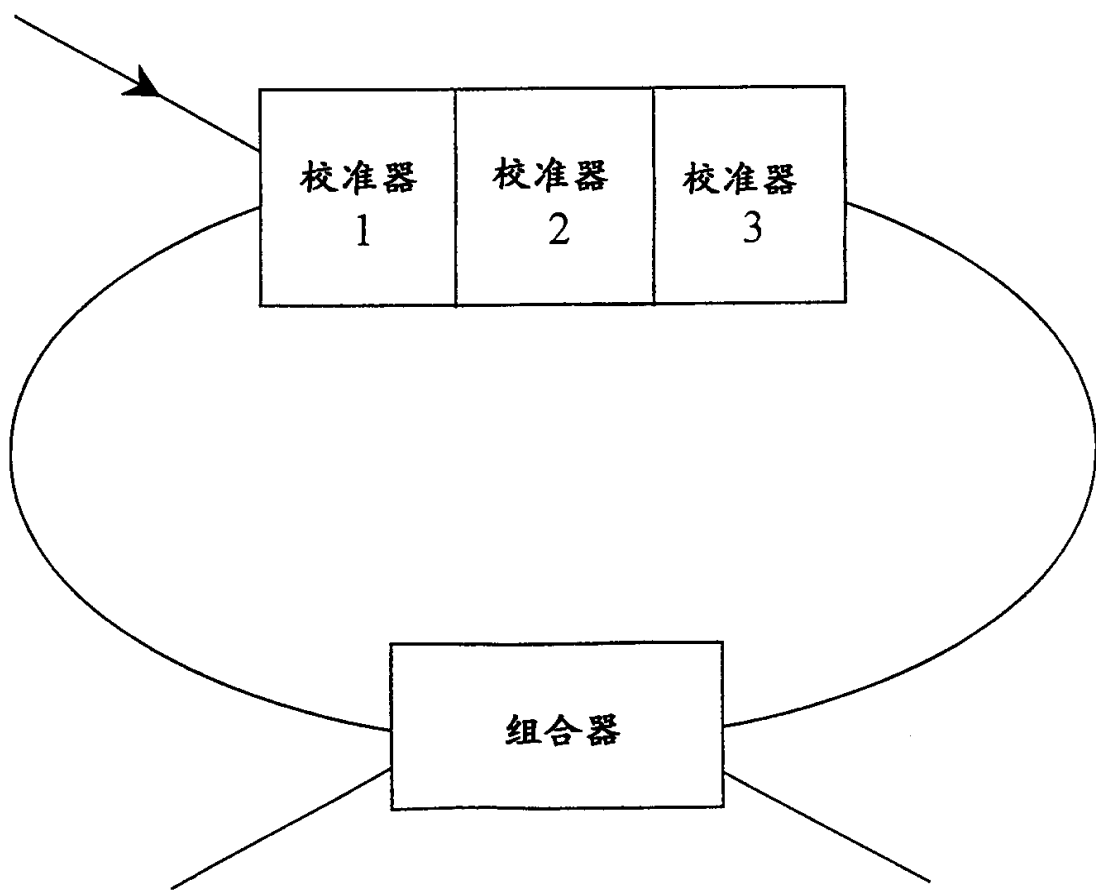


图 6c

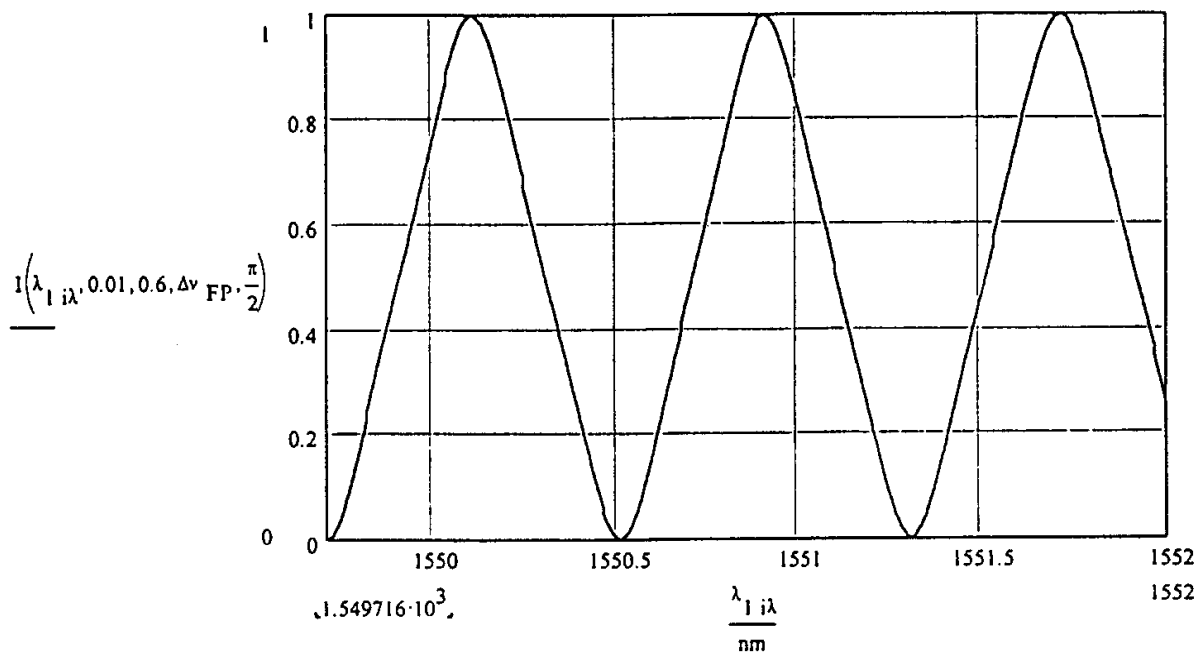


图 7

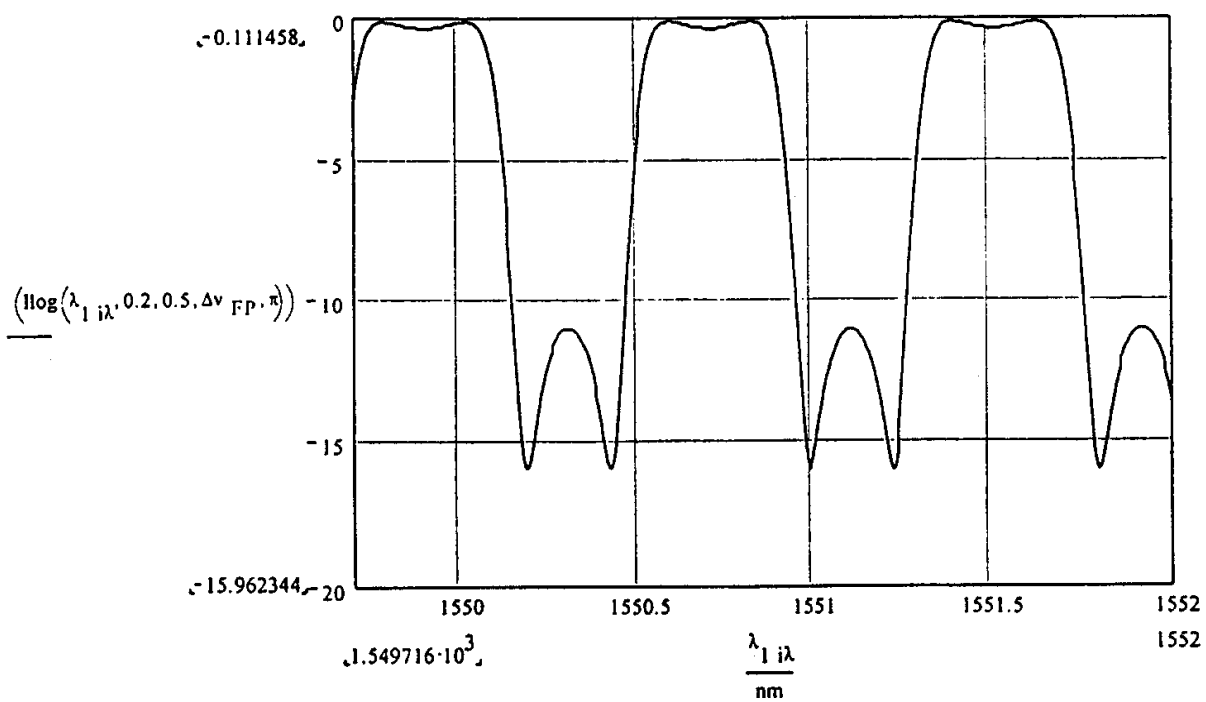


图 8

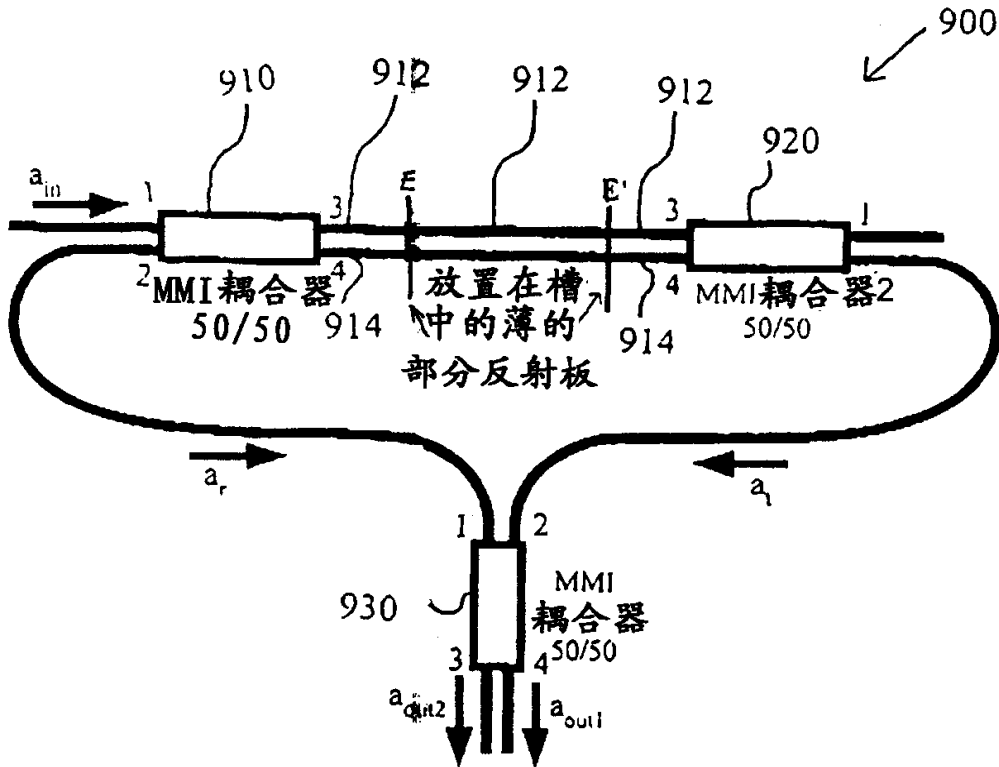


图 9

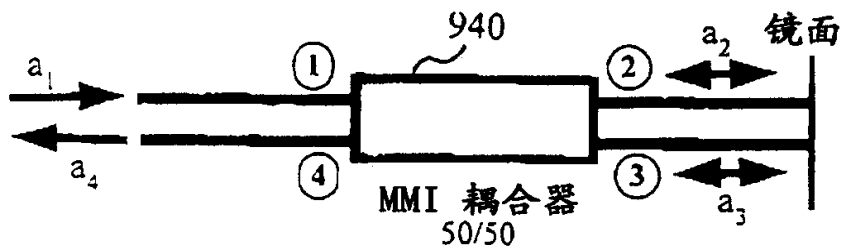


图 10

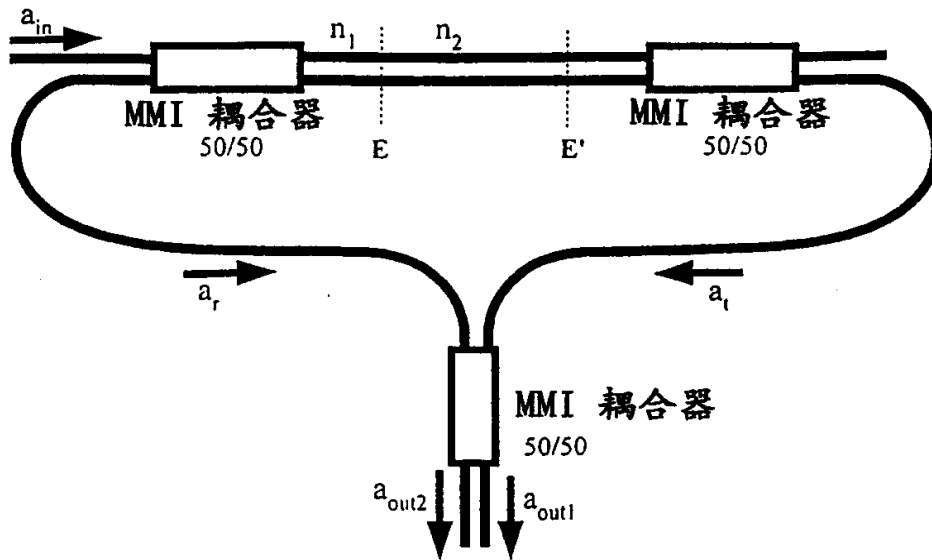


图 11

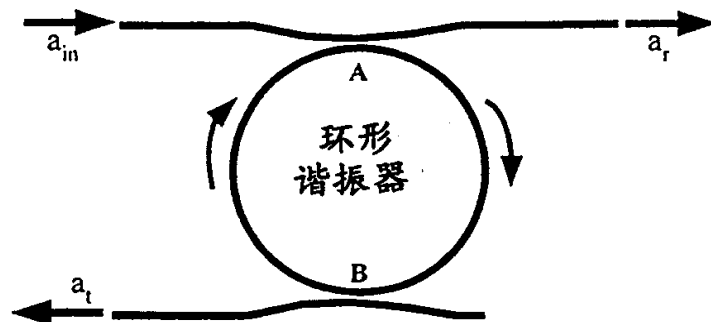


图 12

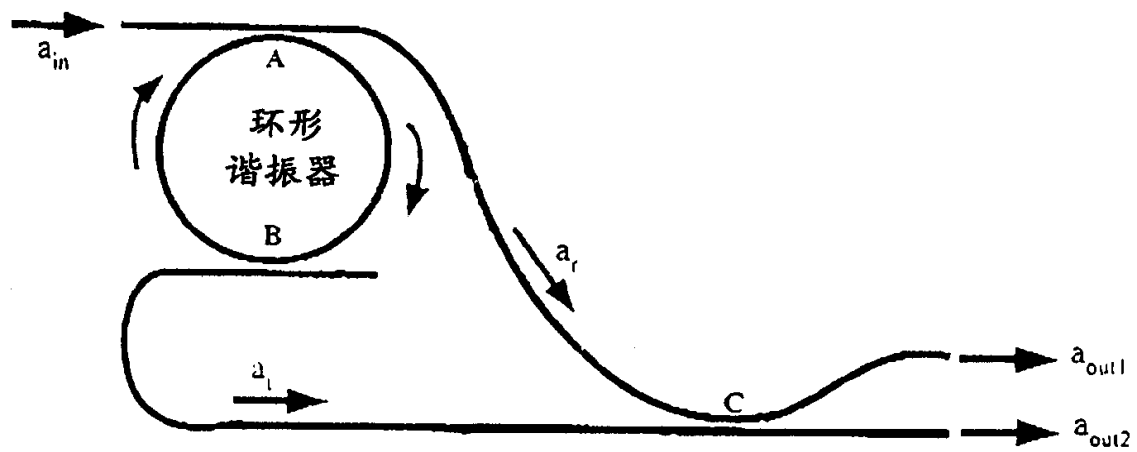


图 13

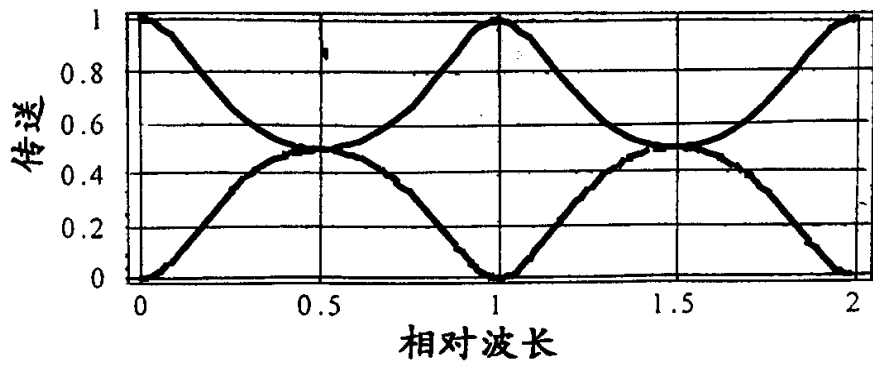


图 14

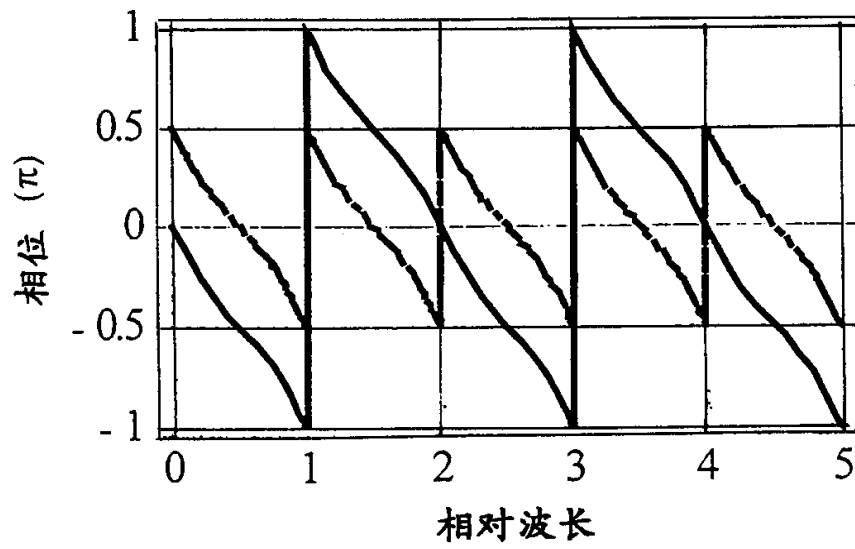


图 15

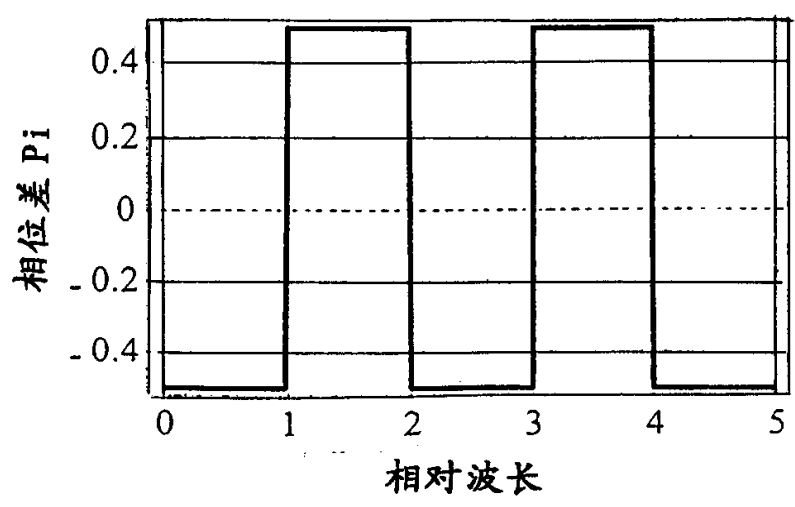


图 16

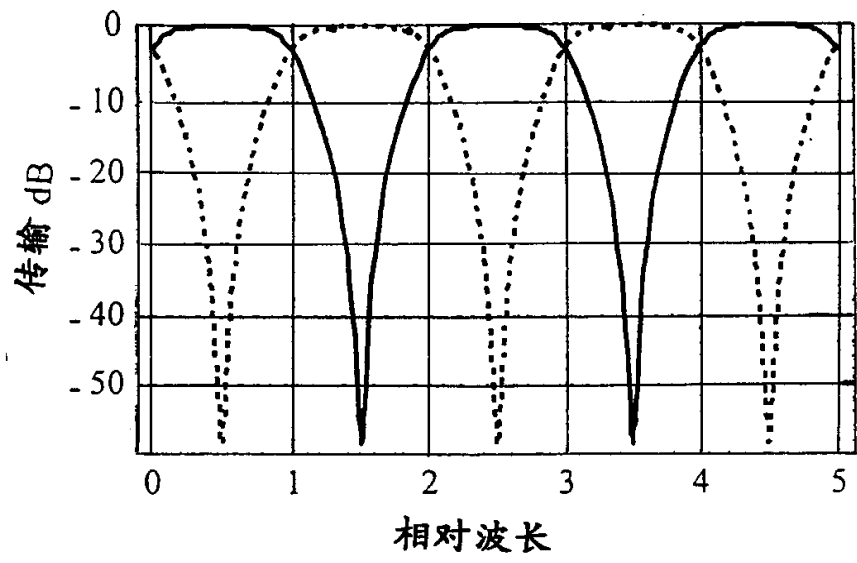


图 17

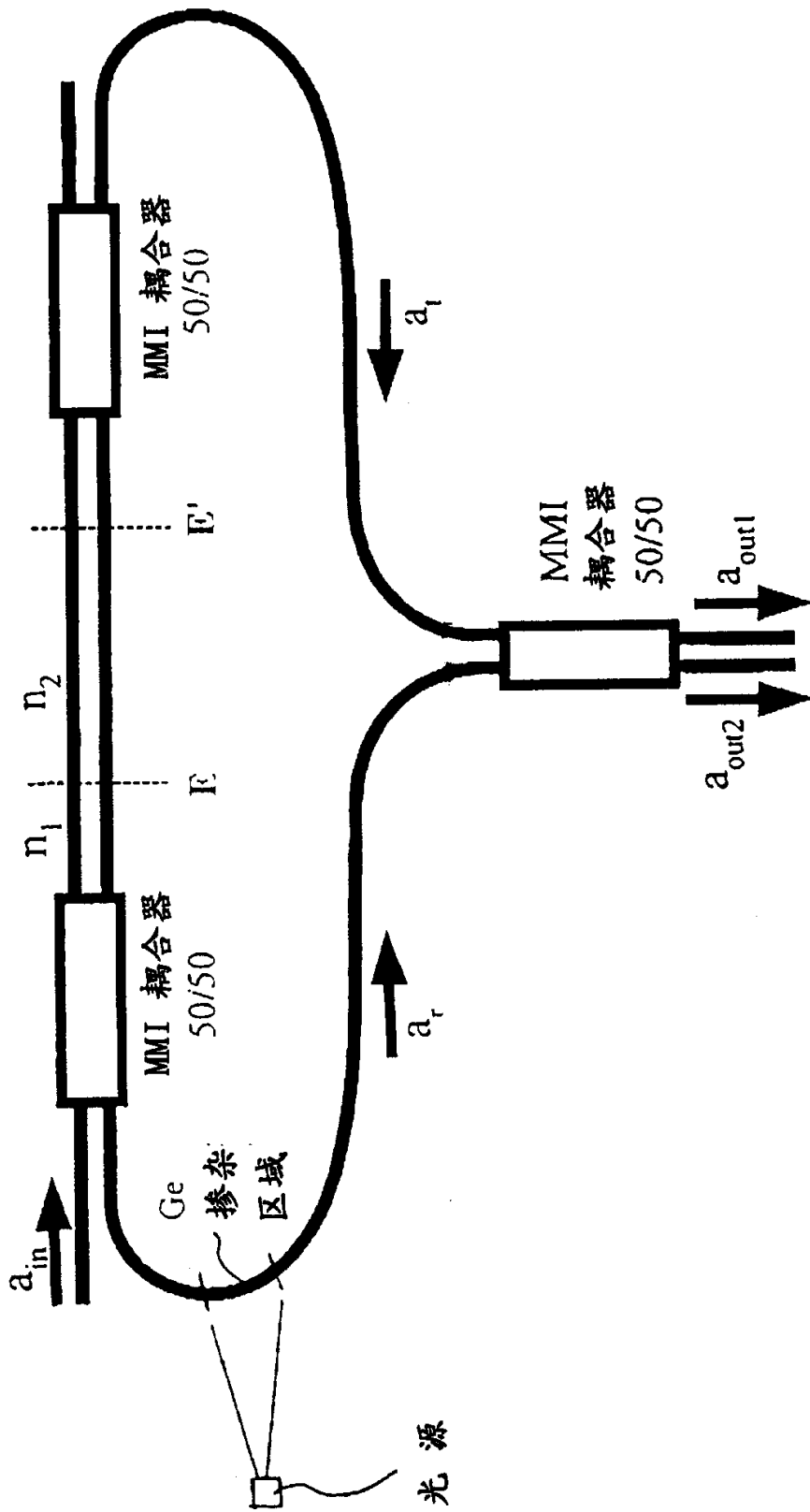


图 18

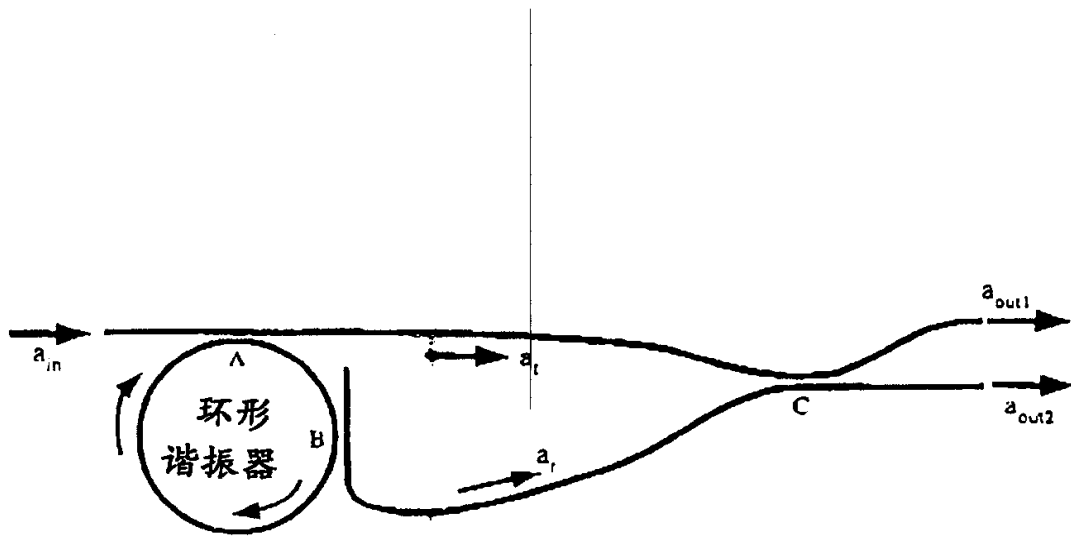


图 19

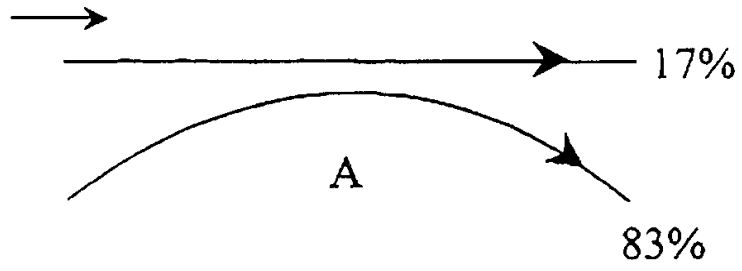


图 20a

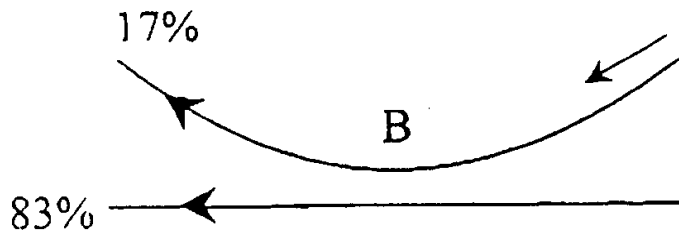


图 20b

or

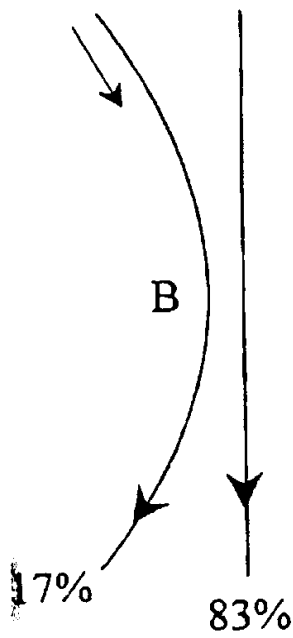


图 20c

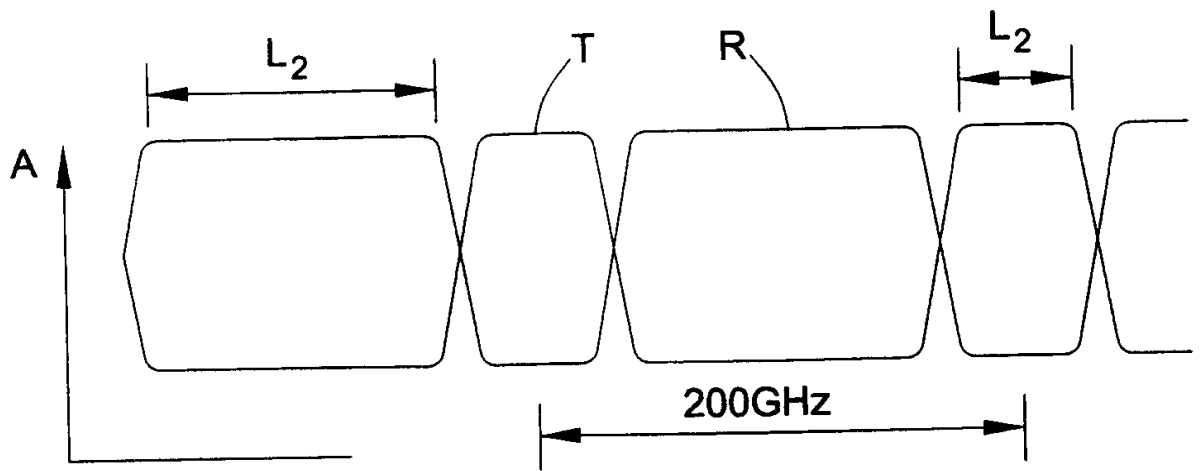


图 21

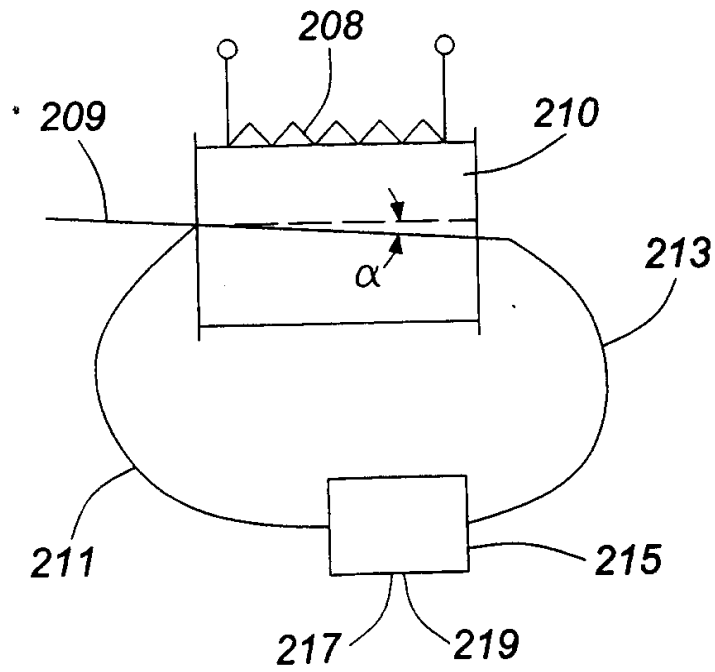
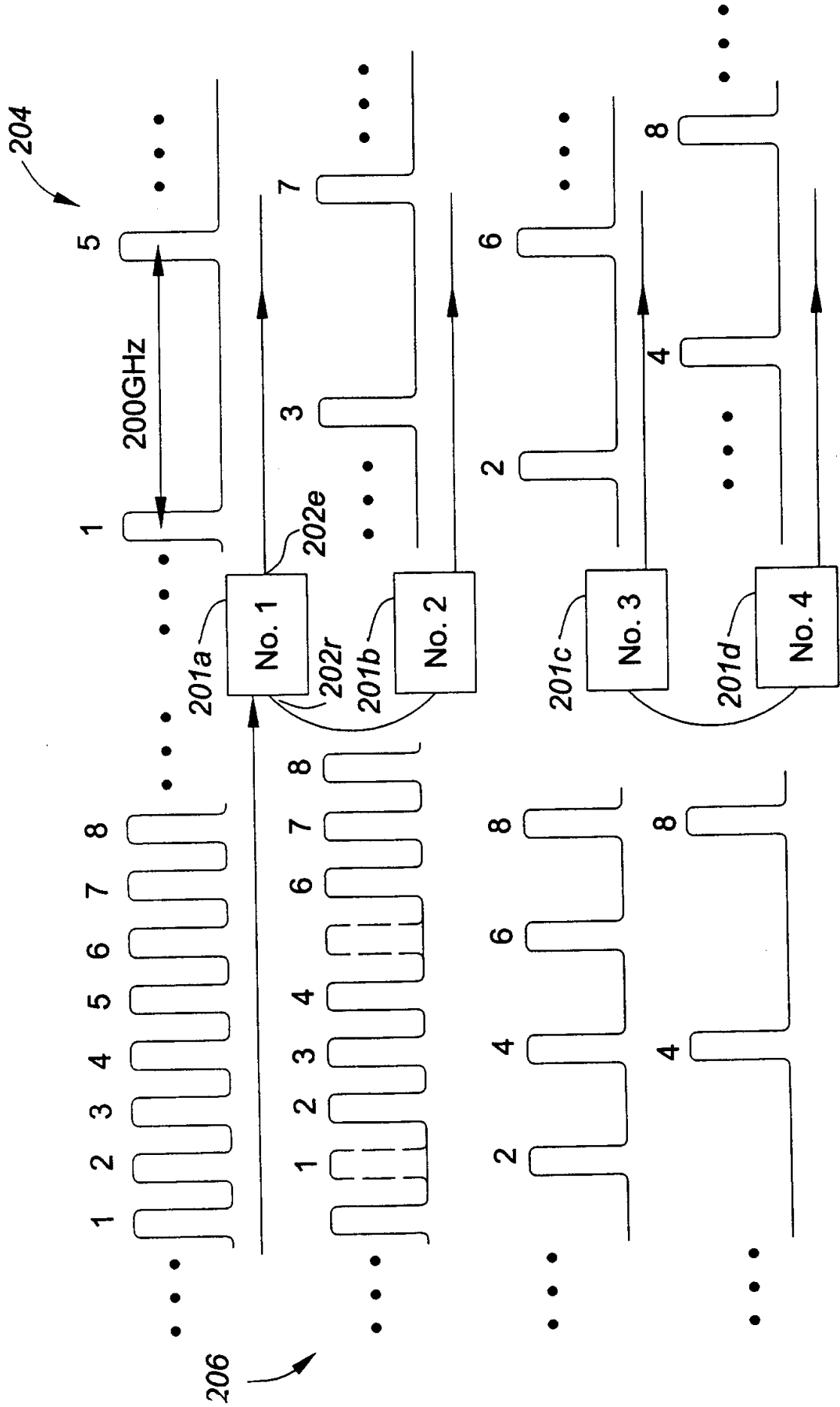


图 23



9 0 0 0 8

图 22

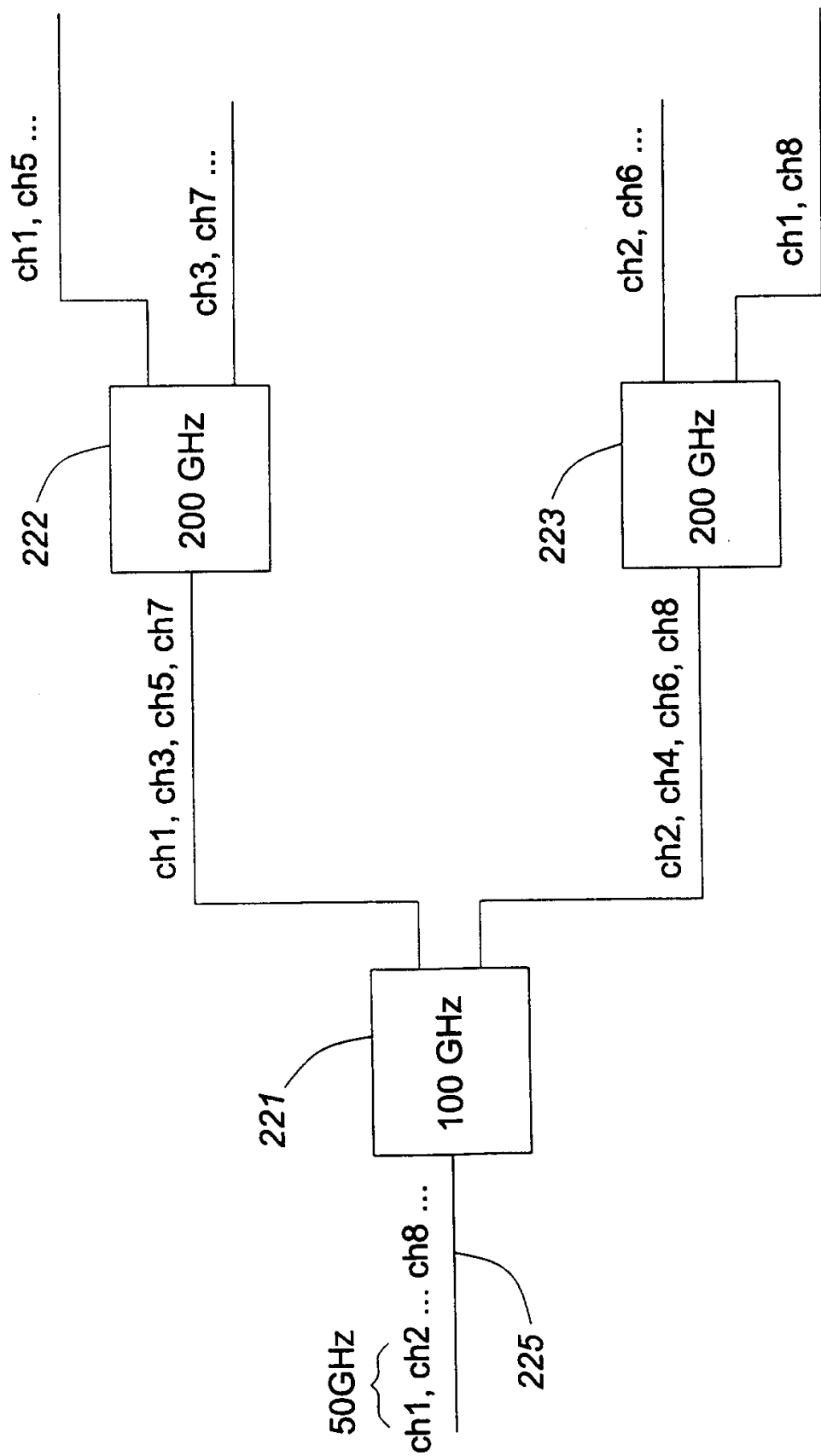


图 24  
现有技术

0.000

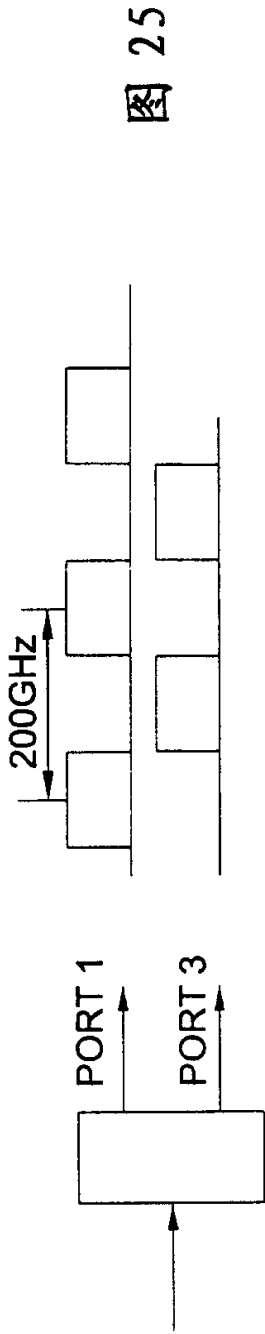


图 25

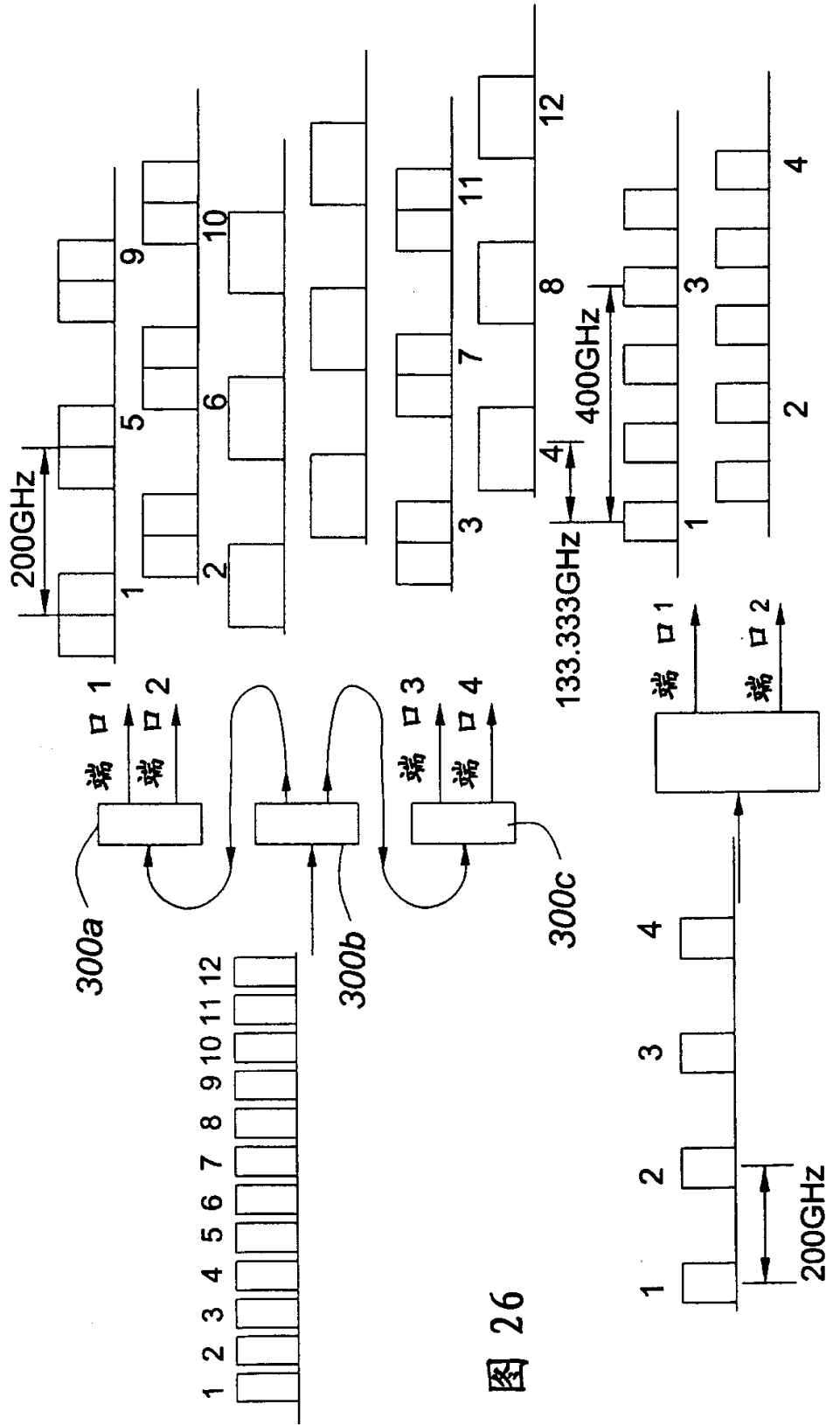


图 26

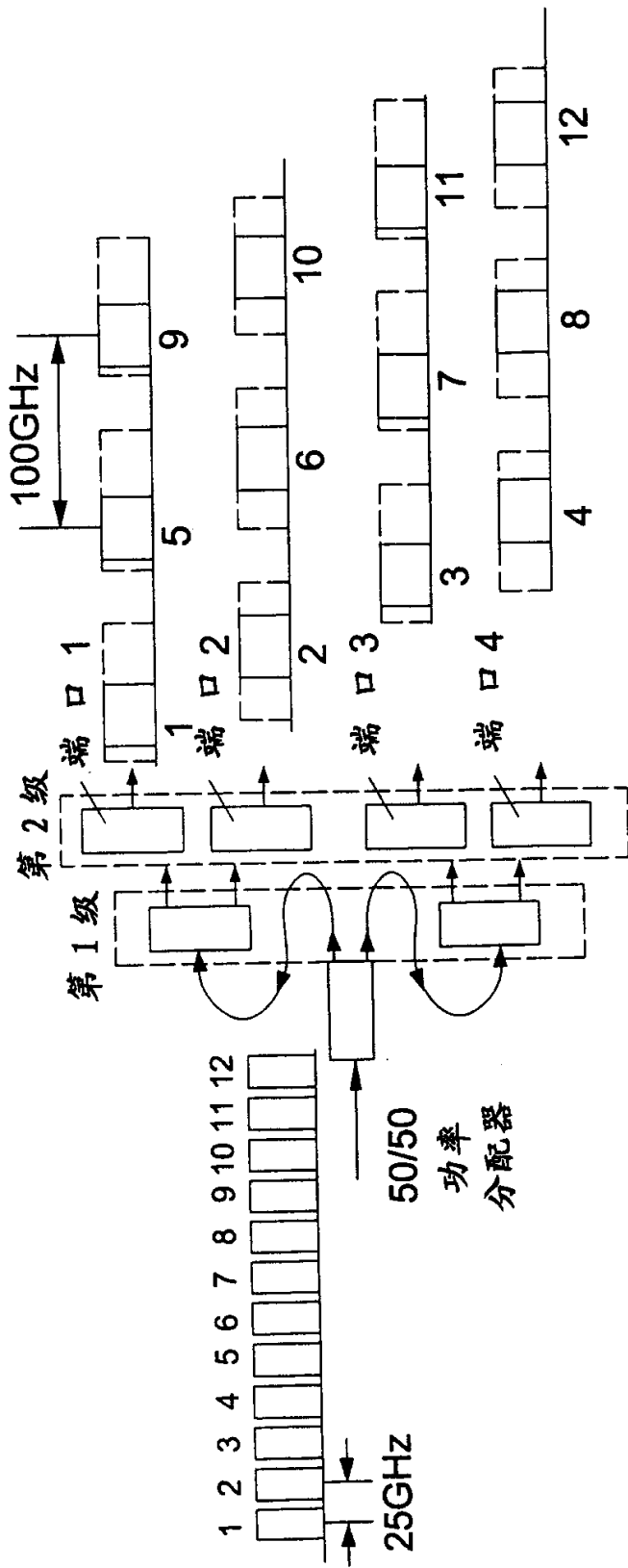


图 27

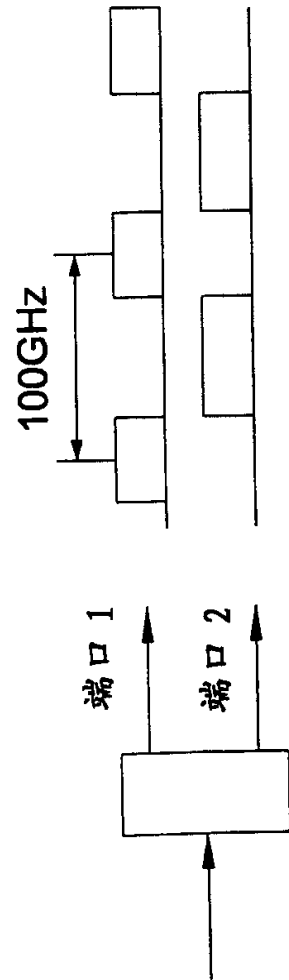


图 28