



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112005507 B

(45) 授权公告日 2024. 05. 24

(21) 申请号 201980027497.7

(22) 申请日 2019.04.23

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112005507 A

(43) 申请公布日 2020.11.27

(30) 优先权数据
62/661,292 2018.04.23 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2020.10.22

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/IB2019/053353 2019.04.23

(87) PCT国际申请的公布数据
W02019/207487 EN 2019.10.31

(73) 专利权人 莱恩尼克斯国际有限责任公司
地址 荷兰恩斯赫德市

(72) 发明人 R·M·奥尔登伯温
C·G·H·勒洛夫则恩 C·塔代伊
R·G·海德曼

(74) 专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限公司
11287

专利代理师 林彦

(51) Int.Cl.
H04J 14/02 (2006.01)
G02B 6/293 (2006.01)
G02B 6/12 (2006.01)

(56) 对比文件
US 6961492 B2, 2005.11.01
CN 106371174 A, 2017.02.01
CN 101246239 A, 2008.08.20
CN 103499556 A, 2014.01.08
US 2010209038 A1, 2010.08.19
Daniele Melati. On-chip Continuously Tunable Optical Delay Line Based on Cascaded Mach-Zehnder Interferometers. 2018 Optical Fiber Communications Conference and Exposition (OFC). 2018, 正文第1-2页以及图1.

审查员 刘莹

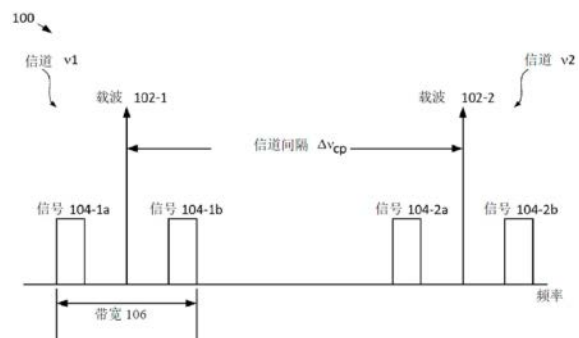
权利要求书5页 说明书9页 附图12页

(54) 发明名称

具有低功耗的可重新配置光分插多路复用器

(57) 摘要

本发明呈现一种实现例如OXC、WXC及ROADM等低功率高端口计数光交换系统的方法。根据本发明的光交换系统包含频率滤波器块布置,所述频率滤波器块中的每一者包含可调谐耦合器与可调谐马赫-曾德尔干涉仪MZI的级联布置,以为所述频率滤波器块提供基本上平顶的宽带传递函数。通过将例如应力光学相位控制器或液晶式相位控制器等低功率耗散相位控制器与装置的一个臂可操作地耦合从而使得能够控制所述装置的耦合系数,来达成这些装置的可调谐性。



1. 一种包括第一频率滤波器块的集成光学系统,所述频率滤波器块包含:
 - 第一输入端口及第二输入端口;
 - 第一输出端口及第二输出端口;
 - 第一马赫-曾德尔干涉仪MZI,其具有第一自由频谱范围FSR和第一耦合系数;
 - 第二MZI,其具有第二FSR和第二耦合系数,其中所述第一FSR和所述第二FSR具有从2:1和1:2组成的组中选择的比率;
 - 第一可调谐耦合器、第二可调谐耦合器及第三可调谐耦合器;及
 - 第一相位控制器、第二相位控制器、第三相位控制器、第四相位控制器及第五相位控制器;其中:
 - 所述第一相位控制器经配置以控制所述第一耦合系数;
 - 所述第二相位控制器经配置以控制所述第二耦合系数;
 - 所述第一可调谐耦合器具有第三耦合系数;
 - 所述第三相位控制器经配置以控制所述第三耦合系数;
 - 所述第二可调谐耦合器具有第四耦合系数;
 - 所述第四相位控制器经配置以控制所述第四耦合系数;
 - 所述第三可调谐耦合器具有第五耦合系数;及
 - 所述第五相位控制器经配置以控制所述第五耦合系数;
 - 其中每个相位控制器与MZI或可调谐耦合器的一个臂可操作地耦合;
 - 其中所述第一MZI、所述第二MZI以及所述第一可调谐耦合器、所述第二可调谐耦合器及所述第三可调谐耦合器光学耦合且单片集成在衬底上,且经布置以使得所述第一MZI位于所述第一可调谐耦合器与所述第二可调谐耦合器之间,且所述第二MZI位于所述第二可调谐耦合器与所述第三可调谐耦合器之间;
 - 其中所述第一频率滤波器块是针对第一多个波长信号中的每一波长信号的平顶响应;
 - 所述第一相位控制器、所述第二相位控制器、所述第三相位控制器、所述第四相位控制器及所述第五相位控制器共同地经配置以启用从所述第一输入端口及所述第二输入端口中的任一者到所述第一输出端口及所述第二输出端口中的任一者的所述第一多个波长信号中的每一者的传播的独立控制;及
 - 所述第一相位控制器、所述第二相位控制器、所述第三相位控制器、所述第四相位控制器及所述第五相位控制器中的至少一者是低功率相位控制器。
2. 根据权利要求1所述的系统,其特征进一步在于:
 - 所述第一MZI和所述第二MZI中的每一者包含:
 - 第一臂;
 - 第二臂;及
 - 针对所述第一MZI和所述第二MZI中的每一者,其相应第一相位控制器或相应第二相位控制器经配置以控制传播穿过其相应第一臂的光学信号的相位;及
 - 所述第一可调谐耦合器、所述第二可调谐耦合器及所述第三可调谐耦合器中的每一者包含:
 - 第三臂;
 - 第四臂;及

针对所述第一可调谐耦合器、所述第二可调谐耦合器及所述第三可调谐耦合器中的每一者,相应第一相位控制器、相应第二相位控制器或相应第三相位控制器经配置以控制所述第三臂和所述第四臂之间的耦合比率。

3. 根据权利要求2所述的系统,其特征进一步在于:

所述第一MZI的特征在于其相应的第一臂与第二臂之间存在第一路径长度差;

所述第二MZI的特征在于其相应的第一臂与第二臂之间存在第二路径长度差;及

所述第一路径长度差不同于所述第二路径长度差。

4. 根据权利要求2所述的系统,其特征进一步在于:

所述第一相位控制器包括安置在所述第一MZI的所述第一臂上的第一相位控制元件,所述第一相位控制元件包含:

第一电极;

第二电极;及

第一压电层,其位于所述第一电极与所述第二电极之间;

其中所述第一相位控制元件可操作以控制所述第一臂中的所述第一MZI的应力以在传播穿过所述第一MZI的所述第一臂的光信号上引发相移,所述相移处于0弧度到 2π 弧度的范围内。

5. 根据权利要求2所述的系统,其特征进一步在于:

所述第二相位控制器包括安置在所述第二MZI的所述第一臂上的第二相位控制元件,

所述第二相位控制元件包含:

第三电极;

第四电极;及

第二压电层,其位于所述第三电极与所述第四电极之间;

其中所述第二相位控制元件可操作以控制所述第二MZI的所述第一臂中的应力以在传播穿过所述第二MZI的所述第一臂的光信号上引发相移,所述相移处于0弧度到 2π 弧度的范围内。

6. 根据权利要求5所述的系统,其特征进一步在于:

所述第一MZI的所述第一臂包含:(1)下部包层,其具有底座;(2)芯,其安置在所述底座上;及(3)上部包层,其与所述下部包层及所述芯共形以界定凸起及场区,其中所述第一相位控制元件安置在所述凸起及所述场区上以界定位于所述芯的特征处或下方的至少一个应力集中点。

7. 根据权利要求2所述的系统,其特征进一步在于:

所述第一相位控制器包括液晶元件,所述液晶元件被配置为所述第一MZI的所述第一臂的上部包层的一部分,其中所述液晶元件可操作以在传播穿过所述第一MZI的所述第一臂的光信号上引发相移,所述相移处于0弧度到 2π 弧度的范围内。

8. 根据权利要求1所述的系统,其特征进一步在于:

所述系统包含多个频率滤波器块,所述多个频率滤波器块包含所述第一频率滤波器块,所述多个频率滤波器块光学耦合且单片集成在所述衬底上,其中所述多个频率滤波器块经布置以共同地界定可重新配置光分插多路复用器,所述可重新配置光分插多路复用器包括:

第三输入端口,其经配置以接收第二多个波长信号;
多个分出端口;
多个添加端口;及
直通端口;

其中所述可重新配置光分插多路复用器经配置以将第二多个波长信号中的每一者从所述第三输入端口独立地引导到从由所述多个分出端口及所述直通端口组成的群组选择的任何端口。

9. 一种方法,其包括:

(1) 提供第一频率滤波器块,所述第一频率滤波器块包含:

第一输入端口及第二输入端口;

第一输出端口及第二输出端口;

第一马赫-曾德尔干涉仪MZI,其具有第一自由频谱范围FSR和第一耦合系数;

第二MZI,其具有第二FSR和第二耦合系数,其中所述第一FSR和所述第二FSR具有从2:1和1:2组成的组中选择的比率;

第一可调谐耦合器、第二可调谐耦合器及第三可调谐耦合器;及

第一相位控制器、第二相位控制器、第三相位控制器、第四相位控制器及第五相位控制器;其中:

所述第一相位控制器经配置以控制所述第一耦合系数;

所述第二相位控制器经配置以控制所述第二耦合系数;

所述第一可调谐耦合器具有第三耦合系数;

所述第三相位控制器经配置以控制所述第三耦合系数;

所述第二可调谐耦合器具有第四耦合系数;

所述第四相位控制器经配置以控制所述第四耦合系数;

所述第三可调谐耦合器具有第五耦合系数;及

所述第五相位控制器经配置以控制所述第五耦合系数;

其中每个相位控制器与MZI或可调谐耦合器的一个臂可操作地耦合;

其中所述第一MZI、所述第二MZI以及所述第一可调谐耦合器、所述第二可调谐耦合器及所述第三可调谐耦合器光学耦合且单片集成在衬底上,且经布置以使得所述第一MZI位于所述第一可调谐耦合器与所述第二可调谐耦合器之间,且所述第二MZI位于所述第二可调谐耦合器与所述第三可调谐耦合器之间;且

所述第一相位控制器、所述第二相位控制器、所述第三相位控制器、所述第四相位控制器及所述第五相位控制器中的至少一者是低功率相位控制器;及

所述频率滤波器块的传递函数是针对第一多个波长信号中的每一波长信号的平顶响应;

(2) 控制所述第一相位控制器、所述第二相位控制器、所述第三相位控制器、所述第四相位控制器和所述第五相位控制器中的至少一者以为所述第一多个波长信号中的第一波长信号建立通过所述第一频率滤波器块的第一路径,其中所述第一路径包含所述第一输入端口及所述第二输入端口中的一者以及所述第一输出端口及所述第二输出端口中的一者;及

(3) 控制所述第一相位控制器、所述第二相位控制器、所述第三相位控制器、所述第四相位控制器和所述第五相位控制器中的至少一者以为所述第一多个波长信号中的第二波长信号建立通过所述第一频率滤波器块的第二路径,其中所述第二路径包含所述第一输入端口及所述第二输入端口中的一者以及所述第一输出端口及所述第二输出端口中的一者,其中所述第一路径与所述第二路径彼此独立。

10. 根据权利要求9所述的方法,其特征进一步在于:

所述第一MZI和所述第二MZI中的每一者包含:

(i) 第一臂;及

(ii) 第二臂;

(iii) 其中针对所述第一MZI和所述第二MZI中的每一者,其相应第一相位控制器或相应第二相位控制器经配置以控制传播穿过其相应第一臂的光学信号的相位;及

所述第一可调谐耦合器、所述第二可调谐耦合器及所述第三可调谐耦合器中的每一者包含:

(i) 第三臂;

(ii) 第四臂;及

(iii) 其中针对所述第一可调谐耦合器、所述第二可调谐耦合器及所述第三可调谐耦合器中的每一者,其相应相位控制器经配置以控制其相应第三臂和其相应第四臂之间的耦合比率。

11. 根据权利要求10所述的方法,其特征进一步在于:

所述第一相位控制器是包括相位控制元件的低功率相位控制器,所述相位控制元件安置在所述第一MZI的所述第一臂上,且其中所述相位控制元件包含:

(i) 第一电极;

(ii) 第二电极;及

(iii) 压电层,其位于所述第一电极与所述第二电极之间;

其中所述相位控制元件可操作以控制所述第一MZI的所述第一臂中的应力以在传播穿过其相应第一臂的光信号上引发相移,所述相移处于0弧度到 2π 弧度的范围内。

12. 根据权利要求11所述的方法,其特征进一步在于:

所述第一MZI的所述第一臂包含:(1) 下部包层,其具有底座;(2) 芯,其安置在所述底座上;及(3) 上部包层,其与所述下部包层及所述芯共形以界定凸起及场区,且其中所述第一相位控制元件安置在所述凸起及所述场区上以界定位于所述芯的特征处或下方的至少一个应力集中点。

13. 根据权利要求10所述的方法,其特征进一步在于:

所述第一相位控制器是包括液晶元件的低功率相位控制器,所述液晶元件被配置为所述第一MZI的所述第一臂的上部包层的一部分,且其中所述液晶元件可操作以在传播穿过所述第一MZI的所述第一臂的光信号上引发相移,所述相移处于0弧度到 2π 弧度的范围内。

14. 根据权利要求9所述的方法,其特征进一步在于:

(4) 提供包含多个频率滤波器块的集成光学交换系统,所述多个频率滤波器块包含所述第一频率滤波器块,其中所述多个频率滤波器块中的所述频率滤波器块光学耦合且单片集成在所述衬底上,且其中所述多个频率滤波器块经布置以共同地界定可重新配置光分插

多路复用器,所述可重新配置光分插多路复用器包括:

- (i) 第三输入端口,其经配置以接收第二多个波长信号;
- (ii) 多个分出端口;
- (iii) 多个添加端口;及
- (iv) 直通端口;
- (5) 在所述第三输入端口处接收所述第二多个波长信号;及
- (6) 将所述第二多个波长信号中的每一者从所述第三输入端口独立地引导到由所述多个分出端口及所述直通端口组成的群组选择的任何端口。

具有低功耗的可重新配置光分插多路复用器

[0001] 相关申请案的交叉参考

[0002] 本申请案主张2018年4月23日提出申请的标题为“具有低功耗的可重新配置光分插多路复用器 (Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer with Low Power Consumption)” (代理人卷宗:142-037PR1) 的序列号为62/661,292的美国临时申请案的权益,所述申请案并入本案供参考。如果本申请案与已并入供参考的可能影响对本案权利要求书的解释的案件中的一或多者之间在语言上存在任何矛盾或不一致,那么本案权利要求书应被解释为与本案中的语言一致。

技术领域

[0003] 本发明大体来说涉及集成光学器件,且更确切来说涉及基于集成光学器件的交换系统,例如可重新配置光分插多路复用器及交叉连接。

背景技术

[0004] 波分复用(WDM) 通信网络承载复合光信号通过低损耗的光纤网络,其中复合信号包含多个波长信号,每一波长信号承载不同的信息。此网络的聚合信息带宽取决于每一波长信号的数据速率及波长信号的总数目。过去,已通过增加更多波长信号及/或以较高的数据速率传输波长信号来达成WDM网络的聚合带宽的增大。遗憾的是,实践及技术障碍已致使继续以此方式增大网络带宽变得越来越困难及/或昂贵。

[0005] 增大WDM网络的聚合带宽的替代方法在带宽需求改变时通过在不同的信息信号及通过网络的通路当中重新配置波长信号来重新平衡网络容量,而不将波长信号从光域转换成电域及再次从电域转换成光域。此“全光学重新配置”是经由一或多个光路交换机(例如,光交叉连接(OXC)、波长选择性交叉连接(WXC)、可重新配置光分插多路复用器(ROADM)等)来实行,所述光路交换机经配置以分离信息信号中的波长信道,并视需要通过网络个别地重新路由所述信息信号。

[0006] 已研究了数种技术以用于WDM光路交换机中,例如自由空间MEMS镜阵列及硅基液晶(LCOS),所述数种技术中的每一者将复合信号分离成其波长信号分量并通过引导所述波长信号通过三维自由空间体积来将所述波长信号从M个输入端口中的任一者导向到N个输出端口中的任一者。遗憾的是,这些自由空间系统通常相当庞大、复杂且昂贵。

[0007] 集成光学技术是自由空间交换系统的一项有吸引力的替代技术,这是因为集成光学技术达成更紧凑且通常成本也较低的系统。集成光学系统包含形成在衬底的表面上的一或多个光波导。每一所谓的“表面波导”(在本文中也被简称为“波导”)包含被包层材料环绕的光导芯,所述包层材料基本上约束由表面波导递送到芯材料的光信号。表面波导可被组合成数种布置(通常被称为平面光波回路(PLC)),以达成极其复杂的光学功能性。

[0008] 可通过将相位控制元件(通常是加热器)添加到波导结构(例如,环形谐振器或马赫-曾德尔干涉仪(MZI)元件等)来在PLC中包含交换元件。遗憾的是,加热器元件的功耗高,这实际上限制基于集成光学的交换系统的使用,特别是大端口计数系统。

[0009] 此外,诸多交换应用需要宽带操作,在所述宽带操作中,必须以基本上均匀的低损耗来交换在宽频谱带内具有不同的波长的光信号。遗憾的是,环形谐振器元件具有非常窄的滤波带宽,这限制在宽带应用中的利用。MZI虽然可能适合于此宽带操作,但展现出与波长相关的传播损耗,而导致不均匀的传输频带。换句话说,常规MZI型系统的频率响应在所述系统的带宽内通常会明显偏离平均响应(例如,朝向通带的边缘下降的圆形频率响应、在其通带内的纹波等);因此,此系统不会展现出“平顶响应”(即,其不具有“平带区”)。因此,常规MZI型系统的特征通常是明显的不期望损耗。

[0010] 需要适合在宽带光交换应用中使用的基于集成光学的方法,而现有技术尚未满足此需要。

发明内容

[0011] 本发明达成摆脱了现有技术的一些成本及缺点的光交换系统。根据本发明的实施例采用(1)频率滤波器块,其具有级联在可调谐耦合器之间的可调谐MZI元件以实现平顶频率响应;及(2)调谐机构,其具有低电功率耗散。根据本发明的实施例十分适合用于例如OXC、WXC、ROADM等光交换系统中,且确切来说十分适合用于宽带通信系统中。

[0012] 说明性实施例是包括多个频率滤波器块的ROADM,其中每一块包含三个可调谐耦合器及两个可调谐MZI,且其中每一MZI位于一对可调谐耦合器之间。可调谐耦合器与MZI的级联结构为所述块提供基本上平顶的宽带传递函数。每一MZI及可调谐耦合器包含低功率耗散的应力光学相位控制器。相位控制器与MZI或可调谐耦合器的一个臂可操作地耦合,从而使得能够控制行进穿过所述臂的光的相位且因此,控制所述装置的耦合系数。因此,达成对WDM信号的每一波长穿过块的传播的完全独立控制,而不会造成与现有技术的基于集成光学的光交换系统相关联的高功率要求。

[0013] 通过将恰当设计的块互连,可达成能够管理任何实际数目个波长信号的传播的ROADM。另外,可根据本发明形成其它光交换系统(例如光交叉连接、波长交叉连接等)。

[0014] 在一些实施例中,相位控制器是低功率相位控制器,例如液晶式相位控制器或压电相位控制器。

[0015] 根据本发明的实施例是一种包括第一频率滤波器块的集成光学系统,所述频率滤波器块包含:第一输入端口及第二输入端口;第一输出端口及第二输出端口;第一马赫-曾德尔干涉仪(MZI);第二MZI;及第一可调谐耦合器、第二可调谐耦合器及第三可调谐耦合器;其中所述第一MZI、所述第二MZI以及所述第一可调谐耦合器、所述第二可调谐耦合器及所述第三可调谐耦合器光学耦合且单片集成在衬底上,且经布置以使得所述第一MZI位于所述第一可调谐耦合器与所述第二可调谐耦合器之间,且所述第二MZI位于所述第二可调谐耦合器与所述第三可调谐耦合器之间;其中所述第一频率滤波器块可操作以将第一多个波长信号中的每一者从第一输入端口及第二输入端口中的任一者独立地引导到第一输出端口及第二输出端口中的任一者;且其中频率滤波器块的传递函数所述第一多个波长信号中的每一波长信号具有平顶响应。

[0016] 根据本发明的另一实施例是一种方法,所述方法包括:(1)提供第一频率滤波器块,所述第一频率滤波器块包含:第一输入端口及第二输入端口;第一输出端口及第二输出端口;第一马赫-曾德尔干涉仪(MZI);第二MZI;及第一可调谐耦合器、第二可调谐耦合器及

第三可调谐耦合器;其中所述第一MZI、所述第二MZI以及所述第一可调谐耦合器、第二可调谐耦合器及所述第三可调谐耦合器光学耦合且单片集成在衬底上,且经布置以使得第一MZI位于所述第一可调谐耦合器与所述第二可调谐耦合器之间,且所述第二MZI位于所述第二可调谐耦合器与所述第三可调谐耦合器之间;且其中频率滤波器块的传递函数对所述第一多个波长信号中的每一波长信号具有平顶响应;(2)为第一多个波长信号中的第一波长信号建立通过第一频率滤波器块的第一路径,其中所述第一路径包含第一输入端口及第二输入端口中的一者及第一输出端口及第二输出端口中的一者;及(3)为所述第一多个波长信号中的第二波长信号建立通过第一频率滤波器块的第二路径,其中所述第二路径包含第一输入端口及第二输入端口中的一者及第一输出端口及第二输出端口中的一者,且其中所述第一路径与所述第二路径彼此独立。

附图说明

- [0017] 图1描绘宽带通信系统的频率响应的一部分的示意性曲线图。
- [0018] 图2A到2B描绘常规环形谐振器型滤波器、单个MZI滤波器及包括一对级联MZI的滤波器分别在多个自由频谱范围内及在单个自由频谱范围内的频率响应的曲线图。
- [0019] 图3描绘根据本发明的频率滤波器块的示意图。
- [0020] 图4A描绘根据本发明的代表性可调谐耦合器的示意图。
- [0021] 图4B描绘根据本发明的示范性不可调谐方向性耦合器的示意图。
- [0022] 图4C描绘根据本发明的示范性MZI结构的示意图。
- [0023] 图5描绘相位控制器306的横截面图的示意图。
- [0024] 图6描绘根据本发明的替代低功率相位控制器的示意图。
- [0025] 图7A到7D描绘根据本发明的不同尺度的集成光学交换系统的示意图。
- [0026] 图8描绘系统702的分插操作的示范性光流。
- [0027] 图9描绘4信道ROADM系统的替代布置。
- [0028] 图10展示在系统900的第一示范性路由配置下输入信号902中的波长信号的所测量插入损耗的曲线图。
- [0029] 图11展示在系统900的第二示范性路由配置下输入信号902中的波长信号的所测量插入损耗的曲线图。
- [0030] 图12展示在系统900的第三示范性路由配置下输入信号902中的波长信号的所测量插入损耗的曲线图。
- [0031] 图13展示在系统900的第四示范性路由配置下输入信号902中的波长信号的所测量插入损耗的曲线图。
- [0032] 图14展示在系统900的第五示范性路由配置下输入信号902中的波长信号的所测量插入损耗的曲线图。

具体实施方式

[0033] 图1描绘宽带通信系统的频率响应的一部分的示意性曲线图。曲线图100展示典型宽带信道频谱的两个邻近信道。信道v1包含载波信号102-1以及其相关联信息信号104-1a及104-1b。信道v2包含载波信号102-2以及其相关联信息信号104-2a及104-2b。

[0034] 所属领域的技术人员应明了,光信号的频率与波长内在相关。因此,在本发明通篇,就信号及信号/滤波带宽来说,术语“频率及波长”基本上可互换地使用。

[0035] 在典型宽带通信系统中,WDM网络的每一个别信道的带宽可高达信道间距的25%到30%。换句话说,带宽106可为信道间距 Δv_{cp} 的30%。此外,在诸多应用中,期望处理载波信号及其相关联信息信号(例如,载波信号102-1及信息信号102-1a及102-1b等)。因此,交换系统必须能够在光衰减很小且对不同信号的损耗差加以限制的情况下交换涵盖宽频谱范围的光信号。此要求对现有技术集成光学元件提出巨大的挑战,例如基于环形谐振器或单个MZI的集成光学元件。

[0036] 图2A到2B描绘常规环形谐振器型滤波器、单个MZI滤波器及包括一对级联MZI的滤波器分别在多个自由频谱范围内及在单个自由频谱范围内的频率响应的曲线图。

[0037] 曲线图200展示三个滤波器类型在多个自由频谱范围内的代表性频率响应。

[0038] 曲线图202展示不同的滤波器在单个谐振频率下的代表性频率响应的放大。

[0039] 通常,现有技术交换系统采用可调谐环形谐振器来在交换系统的端口之间耦合光,例如ROADM。遗憾的是,如曲线图200及202中所展示,环形谐振器的滤波带宽仅为数GHz,而宽带通信通常需要数十GHz的滤波带宽。

[0040] 此外,曲线图展示单个MZI不具有平顶响应且因此将会导致额外的不期望损耗。出于本说明书(包含随附权利要求书)的目的,将“平顶响应”定义为具有从其平均值偏离小于或等于2.5%(即,0.1dB)的通带的频率响应(例如,由于在通带边缘处的下降、通带内的纹波等)。然而,通过级联多个MZI元件,可获得更宽的复合频率响应。为获得基本上平顶响应,MZI的耦合器的路径长度差及耦合系数必须加以良好控制(准确性在小于1%内)。举例来说,如果级联组中的每一MZI的所期望耦合系数是0.92,那么一个MZI的仅0.01的变化将会导致集合滤波响应无法接受。遗憾的是,由于制作容差(即,变化)太大,因此利用当前可用波导平台无法达成此准确性。因此,现有技术环形谐振器型交换元件及MZI型交换元件已被视为不适合于诸多(若不是所有)宽带通信应用。

[0041] 然而,本发明的一方面是“可调谐耦合器”的使用可达成宽带操作所需的滤波响应。出于本发明(包含随附权利要求书)的目的,将“可调谐耦合器”定义为耦合系数可被调谐到在0与1范围内的特定值的等臂长MZI。此元件的耦合准确性仅受用于控制元件的相位控制器(例如,加热器、应力元件、液晶耦合区等)的驱动器的准确性限制。应注意,使用可调谐耦合器的额外益处是用户可视需要选择使用或不使用MZI滤波器(即,MZI滤波器可简单地通过所有频率或仅通过选定频率)。

[0042] 图3描绘根据本发明的频率滤波器块的示意图。频率滤波器块300(在后文中被称为“块300”)包含三个可调谐耦合器302、MZI 304-1及MZI 304-2,其中每一MZI位于一对可调谐耦合器之间。块300经配置以利用基本上平顶宽带传递函数来独立地控制在输入In1及In2中的任一者处接收到的任何波长信号与输出Out1及Out2中的任一者的光学耦合。

[0043] 图4A描绘根据本发明的代表性可调谐耦合器的示意图。可调谐耦合器302表面波导的布置,所述表面波导包含不可调谐方向性耦合器402A及402B、臂404A及404B以及相位控制器306。

[0044] 进入可调谐耦合器302的光信号被不可调谐方向性耦合器402A基本上相等地分离到臂404A及404B中,且在不可调谐方向性耦合器402B处重新组合。重新组合光信号的光功

率是基于光部分在其重新组合时的相对相位。

[0045] 臂404A及404B中的每一者具有相同长度(即,长度 L_1)的波导。

[0046] 相位控制器306与臂404B可操作地耦合,以使得响应于控制信号406,可赋予臂404B中的光信号部分所期望的相位延迟,以实现具有在0与1范围内的任何值的耦合系数。在下文且关于图5详细地描述相位控制器306。

[0047] 图4B描绘根据本发明的示范性不可调谐方向性耦合器的示意图。不可调谐方向性耦合器402是耦合系数固定的常规方向性耦合器。换句话说,不可调谐方向性耦合器402与可调谐耦合器302相似;然而,臂410A及410B中的任一者均不可与相位控制器操作地耦合。因此,注入到臂410A及410B中的任一者的光信号在耦合区CL内短暂地耦合到所述臂中的另一者中,以使得光信号的光学能量在穿过方向性耦合器之后在理论上基本上均等地分布在两个臂中。

[0048] 然而,所属领域的技术人员应明了,常规(即,不可调谐)方向性耦合器的臂中的光学能量的分布强烈到取决于臂的实际尺寸及其在耦合区CL内的离距。因此,由(举例来说)制作容差所致的变化而造成的其设计值的任何变化均会使光学能量在臂410A及410B中的均等分布降级,从而使得频率滤波器(例如块300)仅使用常规的不可调谐方向性耦合器不可行。

[0049] 然而,本发明的一方面是在MZI 304-1及MZI 304-2中的每一侧上包含可调谐耦合器302,以使得能够补偿不可调谐方向性耦合器402由制作所致的耦合系数变化,从而使得高性能的基于集成光学器件的频率滤波器块有实用性且可以实现。

[0050] 图4C描绘根据本发明的示范性MZI结构的示意图。MZI 304-i与可调谐耦合器302相似;然而,臂408A及408B是位于不可调谐方向性耦合器402之间的具有不同长度的波导。

[0051] MZI 304-1及304-2经设计以使得其臂的长度差不相等(即, L_1 与 L_2-i 是不同的)。优选地,MZI 304-1及304-2中的臂的长度经选择,以使得所述长度使MZI的自由频谱范围(FSR)的相关因数为2。在所描绘的实例中,MZI 304-1的FSR是MZI 304-2的FSR的两倍。在一些替代实施例中,MZI 304-1的FSR是MZI 304-2的一半。此外,在一些实施例中,MZI 304-1及304-2中的任一者均不具有长度是可调谐耦合器302的臂的长度(即, L_1)的臂。

[0052] 由于块300中包含可调谐耦合器,因此MZI 304-1及MZI 304-2可被“关断”。在此状态中,注入到输入端口In1中的完整信道 v_i (即,载波103-i及其相关联信息信号104-ia及104i-b)将笔直地传播穿过块以出现在输出端口Out1处。换句话说,所述信道不交换到输出端口Out2。类似地,注入到输入端口In2中的替代信道 v_i' 也将笔直地传播穿过块以出现在输出端口Out2处,而不是被添加到出现在输出端口Out1处的输出信号。

[0053] 应注意,此项技术中已知的集成光学器件相移器通常基于热光效应。在此相位控制器中,向安置在波导结构上的加热器提供控制信号,所述控制信号产生流过加热器的电流。对电流的量值进行控制以控制位于加热器下方的波导部分的温度。光传播穿过经加热波导区的速度是温度的函数;因此,可通过将波导加热到适当的温度来赋予穿过与相位控制器可操作地耦合的波导的光信号所期望相位延迟。

[0054] 遗憾的是,此现有技术集成光学器件相移器耗散大量的电功率,这是因为必须维持电流来实现所期望的欧姆加热量。举例来说,块300包含包括“可调谐耦合器、MZI、可调谐耦合器、MZI、可调谐耦合器”序列的级联滤波器,其包含总共5个相位控制器306。对于包含

以TriPleX波导技术(美国专利第7,146,087号及第7,142,759号中详细地描述,所述美国专利中的每一者并入本案供参考)形成的波导的块300来说,举例来说,平均电功耗为大约2.5W。因此,功率耗散问题已限制了现有技术集成光学交换系统的实际大小。

[0055] 下表1列举随着波长交换系统的规模增大而需要的块300的数目n。

[0056] 从表1看到,就采用热光相移器的中等波长交换系统(例如32波长ROADM)来说,聚合功率耗散超过100W。

[0057] 当前可用的商用ROADM通常具备将添加/分出40个波长的范围。因此,采用热光相移器型块300的40波长交换系统将具有大约200W的聚合功耗。

n	#操作波长	#块	#加热器	热相移器 平均功率.总功率 (W)
1	2	2	10	2.5
2	4	8 (或6*)	40 (或30)	10 (或9)
3	8	20 (或18*)	100 (或90)	25 (或24)
4	16	42 (或40*)	210 (或200)	52.5 (或51.5)
5	32	88 (或86*)	440 (或430)	110 (或109)
n	2 ⁿ	$x = 2^{(n-1)} \cdot \left(2 + \sum_{m=0}^{n-1} \frac{2}{2^m} \right)$ 或* $y = x - 2$	$q = 5 \cdot x$ 或* $q = 5 \cdot y$	q · 0.25

[0060] 表1:基于热光相移器型交换元件的光频添/减系统的缩放及功率耗散随所交换的光波长的数目变化。(*)指示基于平行块布置的系统减少组件计数,如下文且关于图9所述。

[0061] 应注意,就基于以不同的波导技术形成的集成光学器件波导的交换元件来说,功率耗散可明显较低(低至0.25W/块);然而,任何合理大小的系统(例如,ROADM)的聚合功率耗散将仍然过高。

[0062] 然而,本发明的一方面是在块300中采用相对较低功率的相移器以使得能够实现实际的大型宽带交换系统。根据本发明的低功率集成光学器件相位控制器包含应力光学相位控制器、液晶集成光学器件相位控制器等。出于本发明(包含随附权利要求书)的目的,将“低功率相位控制器”定义为可在所耗散电功率不超过0.05W的同时使光信号展现出2π相移的相位控制器。因此,“低功率块300”所耗散的电功率总共不超过0.25W。

[0063] 图5描绘相位控制器306的横截面图的示意图。相位控制器306的视图是穿过图4A中所描绘的线a-a截取。相位控制器306是与美国专利第9,221,074号及美国专利申请案第15/875,340号中所描述的应力光学相位控制器相似的低功率应力光学相位控制器,上述美国专利中的每一者并入本案供参考。

[0064] 相位控制器306包含波导结构502及相位控制(PC)元件504。

[0065] 波导结构502是具有驻留在底座514上的芯510的TriPleX波导,底座514形成在下

部包层508中。芯510的特征从平面P1垂直延伸,其中其使底座514交会到平面P2。

[0066] 在所描绘的实例中,芯510是多层芯,其包含位于二氧化硅层上方及下方的两个氮化硅层(通常被称为“双条带”波导)。

[0067] 下部包层508是具有足够的厚度的二氧化硅层以减弱芯中的光与衬底506光的学耦合。

[0068] 上部包层512是共形地形成在底座514及芯510上的另一二氧化硅层,以界定凸起518及场区520。

[0069] 波导结构502的材料及几何形状经选择以使得其能够导引具有宽带通信系统的信道频谱的任何信道vi。应注意,波导结构502可包含各种材料中的任一种及/或具有不同的波导结构,而这并不背离本发明的范围。

[0070] PC元件504是包括压电层516以及电极514-1及514-2的应力引发元件,电极514-1及514-2驻留在压电层下方及上方。优选地,PC元件504的形状与传播穿过波导502的模场的形状基本上匹配,以使得其包含应力集中点SP1A、SP1B、SP2A及SP2B,所述应力集中点用于朝向芯308引导应力张量。应力集中点SP1A、SP1B、SP2A及SP2B形成在底座514与场区520之间的过渡区处,且优选地,应力集中点中的至少一者驻留在芯510的特征处或芯510的特征下方(即,至少一个应力集中点不会比平面P2更远离衬底506)。

[0071] 尽管说明性实施例包含具有界定双条带波导的多层芯的波导结构,但本发明适合与包含适合芯结构及/或材料的实质上任何波导结构搭配使用。适合用于本发明实施例中的其它波导结构包括但不限于:单层芯波导,其芯包含介电材料(例如,氮化硅、经掺杂或未经掺杂氧化硅、氮氧化硅等)、半导体或半导体化合物(例如,硅、化合物半导体、碳化硅、硅锗等)等;多层波导,其芯包括一或多种介电材料、一或多种半导体材料、介电材料与半导体材料的组合等。

[0072] 应注意,使用应力光学相位控制器在达成低功耗的同时可致使集成光学系统的所需占用面积增大,这是因为达成完整 2π 相移所需的交互长度可相当长(是加热器型相位控制器的交互长度的数倍)。然而,根据本发明的基于高对比度波导结构的实施例(例如, TriPlex™波导、硅芯波导等)可具有优于现有技术的额外优点,这是因为高对比度波导具有小的最小弯曲半径及高的最大包装密度,以达成可减小应力光学相位控制所需的占据面积的波导布局(例如,蜿蜒路径、螺旋形等)。另外, TriPlex™波导具有非常低的传播损耗,这能在不显著增加光损耗的情况下达成成长的交互长度。

[0073] 图6描绘根据本发明的替代低功率相位控制器的示意图。相位控制器600是包含部分波导602及液晶(LC)元件604的液晶式相位控制器。

[0074] 波导602与上文所描述的波导502相似;然而,下部包层608不包含底座。另外,任选地使衬底606导电,以使得其可用作液晶结构的下部电极。此外,由于LC元件604用作结构的上部包层,因此波导602中不包含常规上部包层。

[0075] 芯610与上文所描述的芯510相似。芯610驻留在平坦化层612内,平坦化层612是与芯具有相同厚度的二氧化硅层。

[0076] LC元件604是安置在芯610上的液晶结构。LC元件604包含LC对准层614-1及614-2,所述LC对准层614-1及614-2驻留在液晶层616下方及上方。

[0077] 电极618是安置在上部LC对准层614-2上的导电材料层。

[0078] 盖板620是安置在上部电极618上的常规玻璃片。

[0079] 响应于提供在电极618与衬底606之间的控制信号406,LC元件604做出响应以在传播穿过芯610的光信号中引发所期望相移。

[0080] 应注意,根据本发明相位控制器306及600仅是在波导中的光信号上引发相移的低功率相位控制器的两个实例。此外,在一些实施例中,频率滤波器块300包含以下相位控制器:

[0081] i.应力光学相位控制器;或

[0082] ii.液晶式相位控制器;或

[0083] iii.热光相位控制器;或

[0084] iv.i、ii及iii的任何组合。

[0085] 图7A到7D描绘根据本发明的不同的规模的集成光学交换系统的示意图。

[0086] 系统700、702、704及706分别是以2个、4个、6个及16个通信信道操作的ROADM的实例。块A、B、C及D中的每一者与块上文所描述的300相似;然而,块A、B、C及D中的每一者配置有适合于处理其特定系统所需的频谱范围的自由频谱范围。举例来说,块A具有等于 $2x \Delta v_{cp}$ (如图1中所展示)的FSR,块B具有等于 $4x \Delta v_{cp}$ 的FSR,块C具有等于 $8x \Delta v_{cp}$ 的FSR,且块D具有等于 $16x \Delta v_{cp}$ 的FSR。

[0087] 在操作中,系统700在输入端口In1处接收包括信道v1及v2的多波长信号。按照上文且关于块300所描述地控制块A1及A2以将信道v1及v2中的每一者独立地引导到端口Through1、Drop1及Drop2中的所期望端口。在所描绘的实例中,将控制信号406(未展示)提供到其相应的相位控制器306(未展示),以使得将信道v1引导到端口Drop1且将信道v2引导到端口Drop2。

[0088] 尽管未展示,系统700也可经配置以使得能够在端口Add1及Add2中的任一者处添加替换信道以替换信道v1及v2中的一者或两者。应注意,块A1的端口In1、Add1及Drop1分别与块300的端口In1、In2及Out2相似。类似地,块A2的端口Add2、Drop2及Through1分别与块300的端口In2、Out2及Out1相似。

[0089] 所属领域的技术人员在阅读本说明书之后应明了,系统702、704及706的操作以及其相应的块A、B、C及D的互连与上文关于系统700所提供的说明相似。

[0090] 系统700到706具有优于现有技术集成光交换系统的显著优点,这是因为不需要波导交叉,从而使得能够在光学损耗较低的情况下操作。另外,由于当分出信道(例如,v1)时,可添加在相同频率下的不同经调制信号,因此容易实现分插功能性。

[0091] 然而,应注意,优选地将通信信道均等地间隔开,例如国际电信联盟(ITU)网的标准通信信道。此外,图7A到7D中所指示的频率提供光流的指示;然而,所述系统并不限于所描绘的确切布局。举例来说,在系统702中,“分出”频率按v1、v3、v2、v4次序展示,但也可使用其它次序,例如v3、v1、v2、v4。

[0092] 图8描绘系统702的分插操作的示范性光流。

[0093] 图9描绘4信道ROADM系统的替代布置。系统900与系统702相似;然而,系统800被配置成块的串联布置,系统900的块被布置成需要更少的块来实现相同功能性的并联布置。

[0094] 图10展示在系统900的第一示范性路由配置下输入信号902中的波长信号的所测量插入损耗的曲线图。在系统900的端口In1处接收输入信号902。输入信号902是包括波长

信号v1、v3、v2及v4的四波长WDM信号。在端口Drop1、Drop2、Drop3及Drop4中的不同端口处分出每一波长信号,如所指示。具体来说,如在曲线图1000中看到,分别在端口Drop3、Drop2、Drop1及Drop4处分出波长信号v1、v3、v2及v4。此外,曲线图1000指示波长信号在行进穿过系统900时经受低传播损耗。此外,每一波长信号具有宽的平顶响应。

[0095] 图11展示在系统900的第二示范性路由配置下输入信号902中的波长信号的所测量插入损耗的曲线图。如在曲线图1100中看到,在第二示范性配置中,通过将波长信号v3路由到端口Drop1而从输入信号902仅分出所述波长信号v3,而将其余波长信号引导到端口Through1。

[0096] 图12展示在系统900的第三示范性路由配置下输入信号902中的波长信号的所测量插入损耗的曲线图。如在曲线图1200中看到,在第三示范性配置中,通过将波长信号v4路由到端口Drop4而从输入信号902仅分出所述波长信号v4,而将其余波长信号引导到端口Through1。

[0097] 图13展示在系统900的第四示范性路由配置下输入信号902中的波长信号的所测量插入损耗的曲线图。如在曲线图1300中看到,在第四示范性配置中,通过将波长信号v1及v2分别路由到端口Drop3及Drop2而从输入信号902分出所述波长信号v1及v2。将波长信号v3及v4引导到端口Through1。

[0098] 图14展示在系统900的第五示范性路由配置下输入信号902中的波长信号的所测量插入损耗的曲线图。如在曲线图1400中看到,在第五示范性配置中,通过将波长信号v1、v3及v4分别路由到端口Drop3、Drop1及Drop4而从输入信号902分出所述波长信号v1、v3及v4,而将波长信号v2引导到端口Through1。

[0099] 如曲线图1000、1100、1200、1300及1400所表明,可在无大的光学损耗或在不对每一波长信号的平顶响应造成有害效应的情况下实现对根据本发明的交换系统接收的WDM信号中的实质上任何或所有波长信号的路径的重新配置。

[0100] 应理解,本发明仅教示说明性实施例的一个实例且所属领域的技术人员在阅读本发明之后可容易想到根据本发明实施例的诸多变化,且本发明的范围是由随附权利要求书确定。

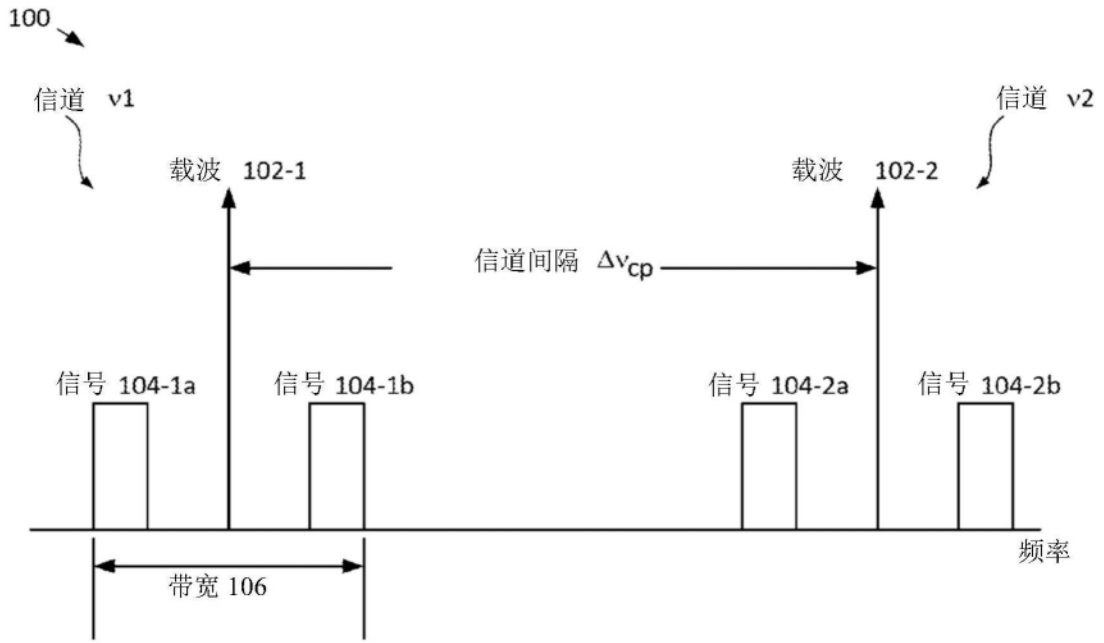


图1

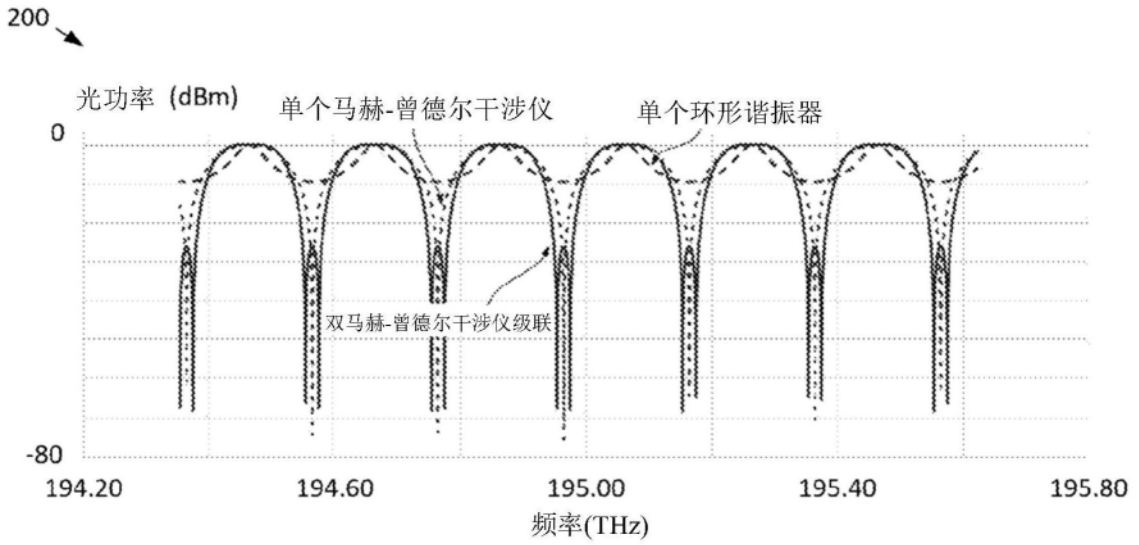


图2A

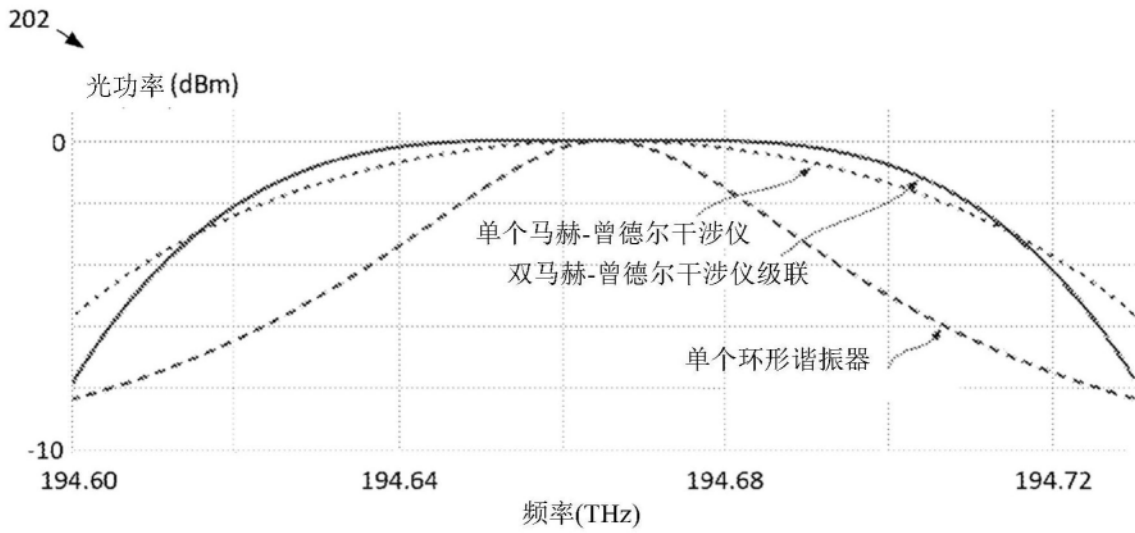


图2B

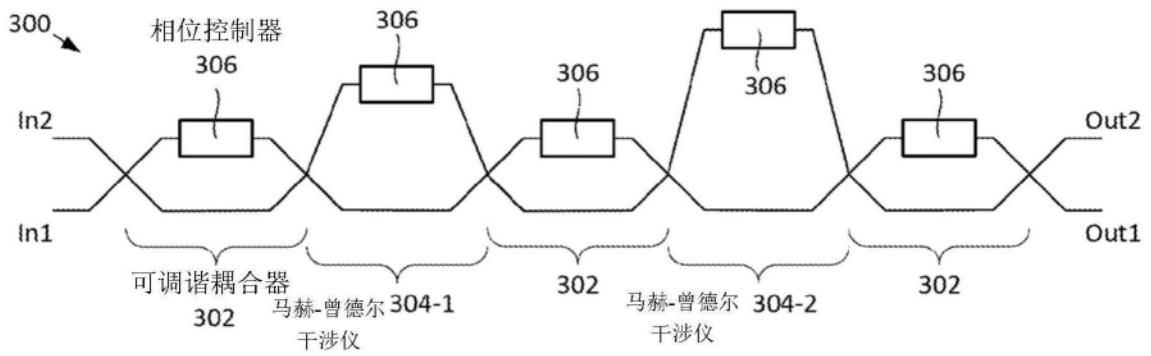


图3

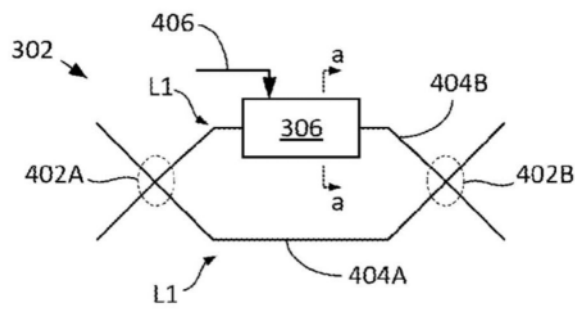


图4A

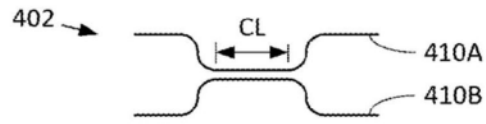


图4B

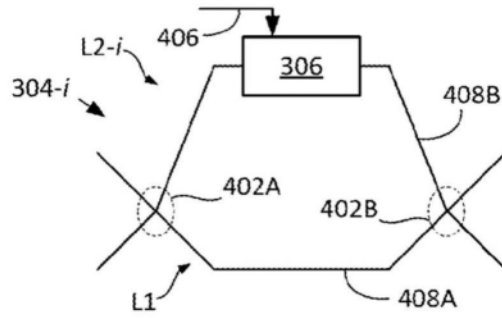
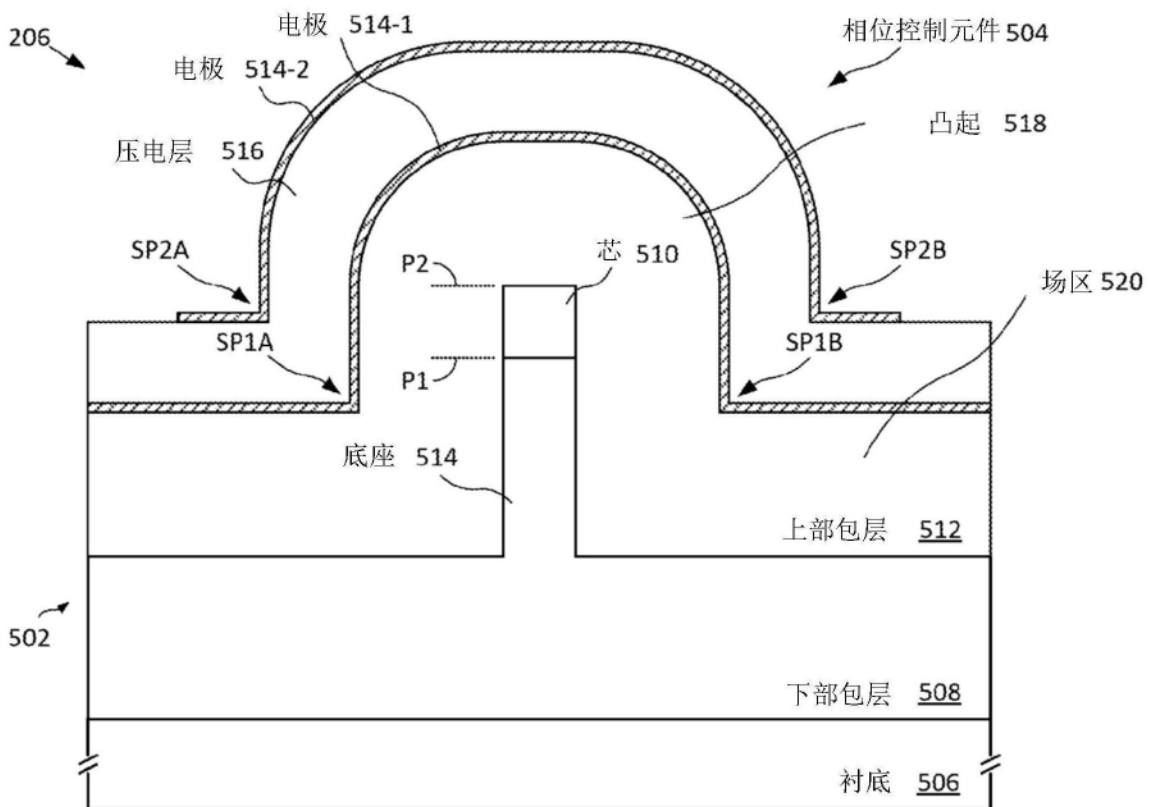


图4C



穿过线 a-a 的视图

图5

600



穿过线 a-a 的视图

图6

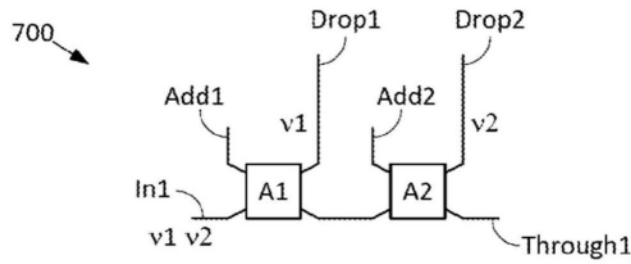


图7A

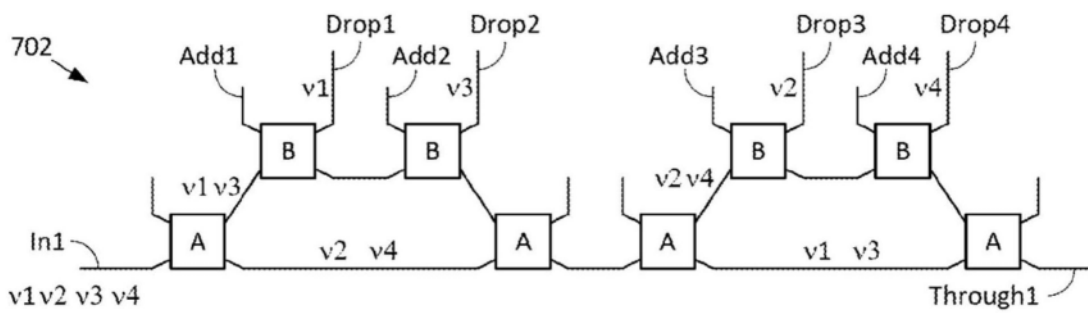


图7B

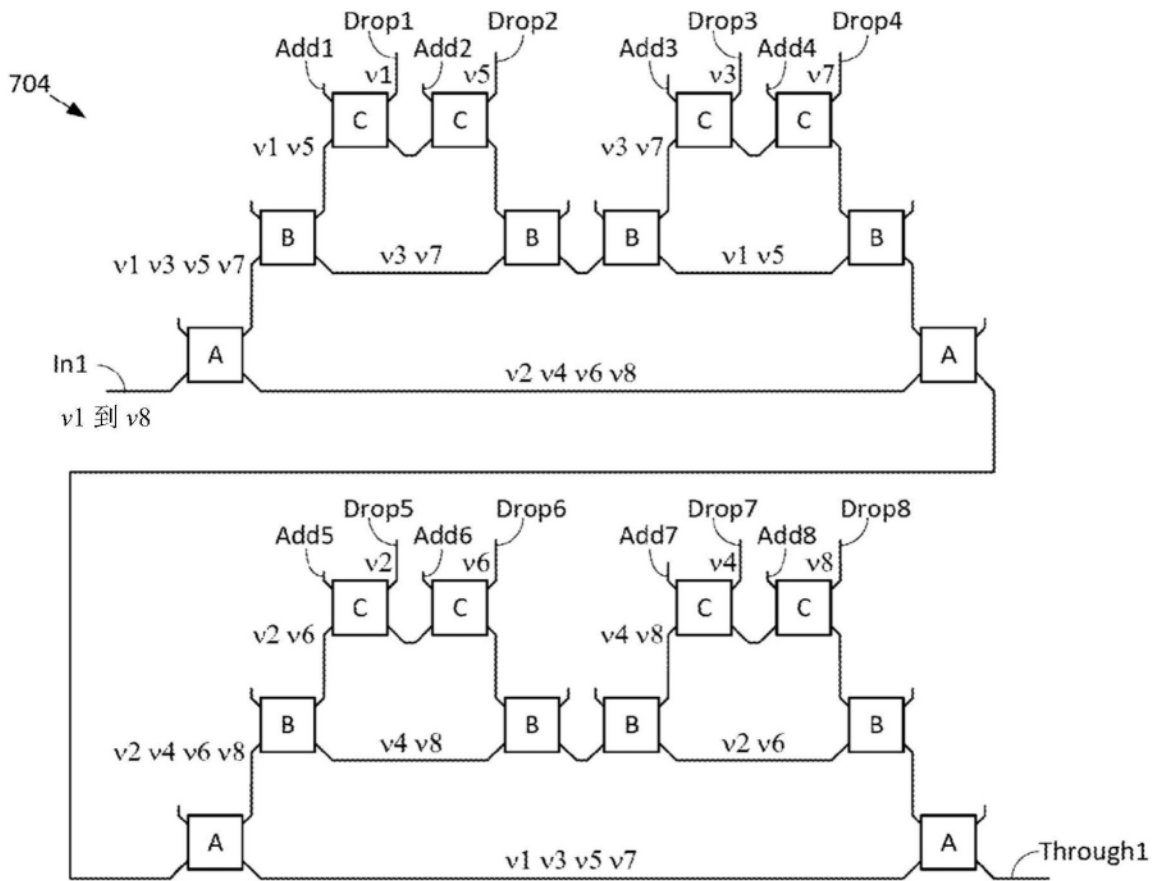


图7C

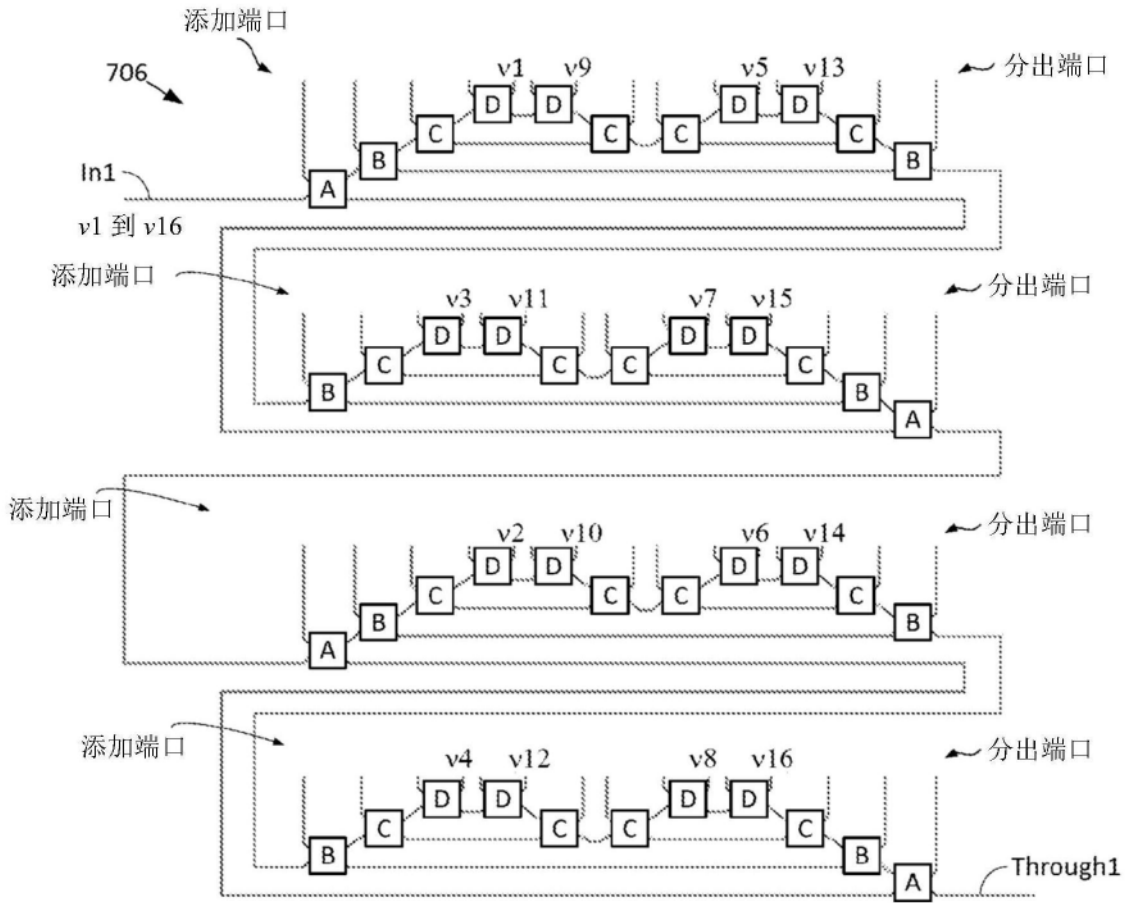


图7D

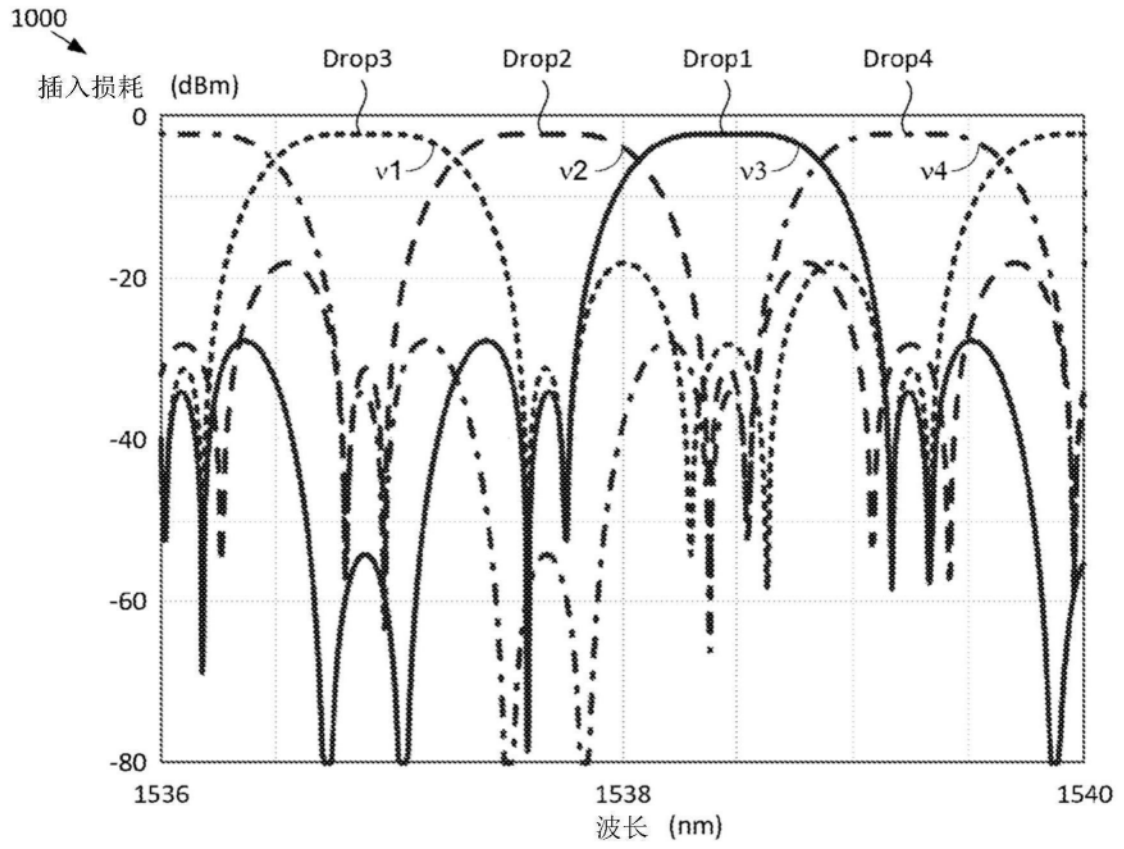


图10

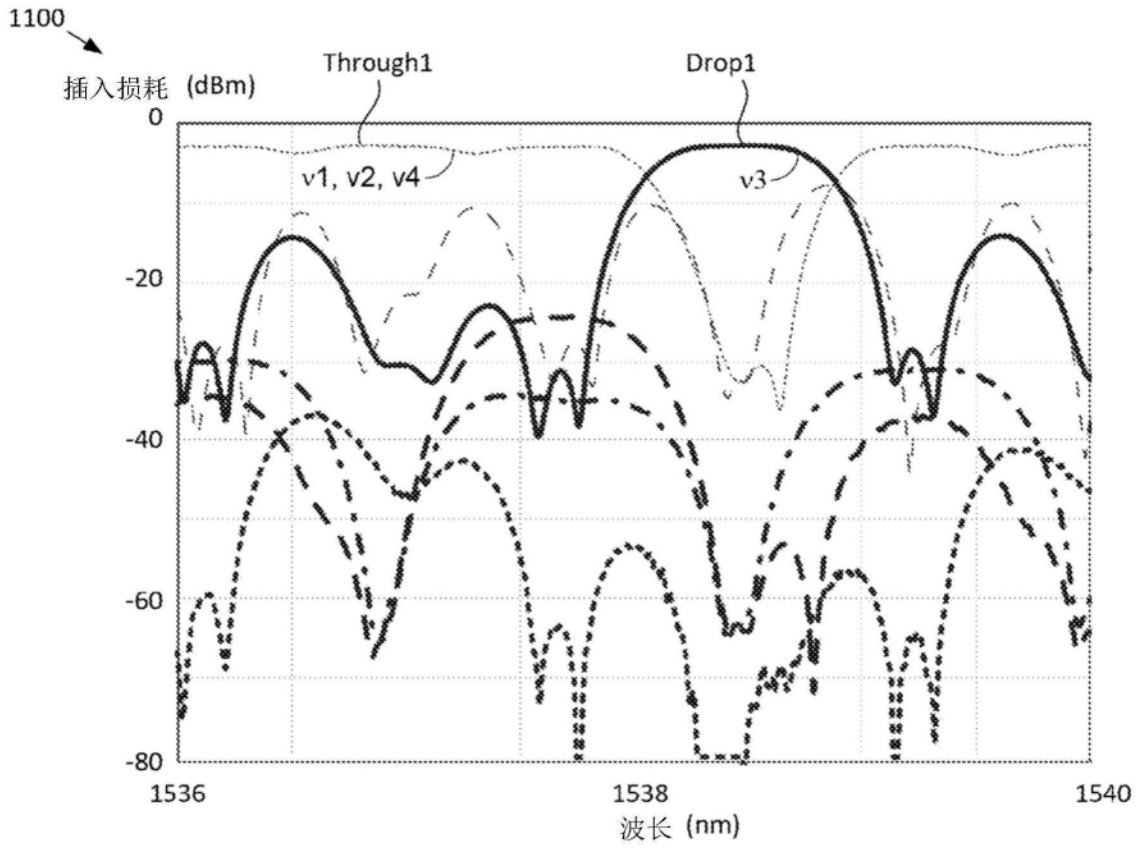


图11

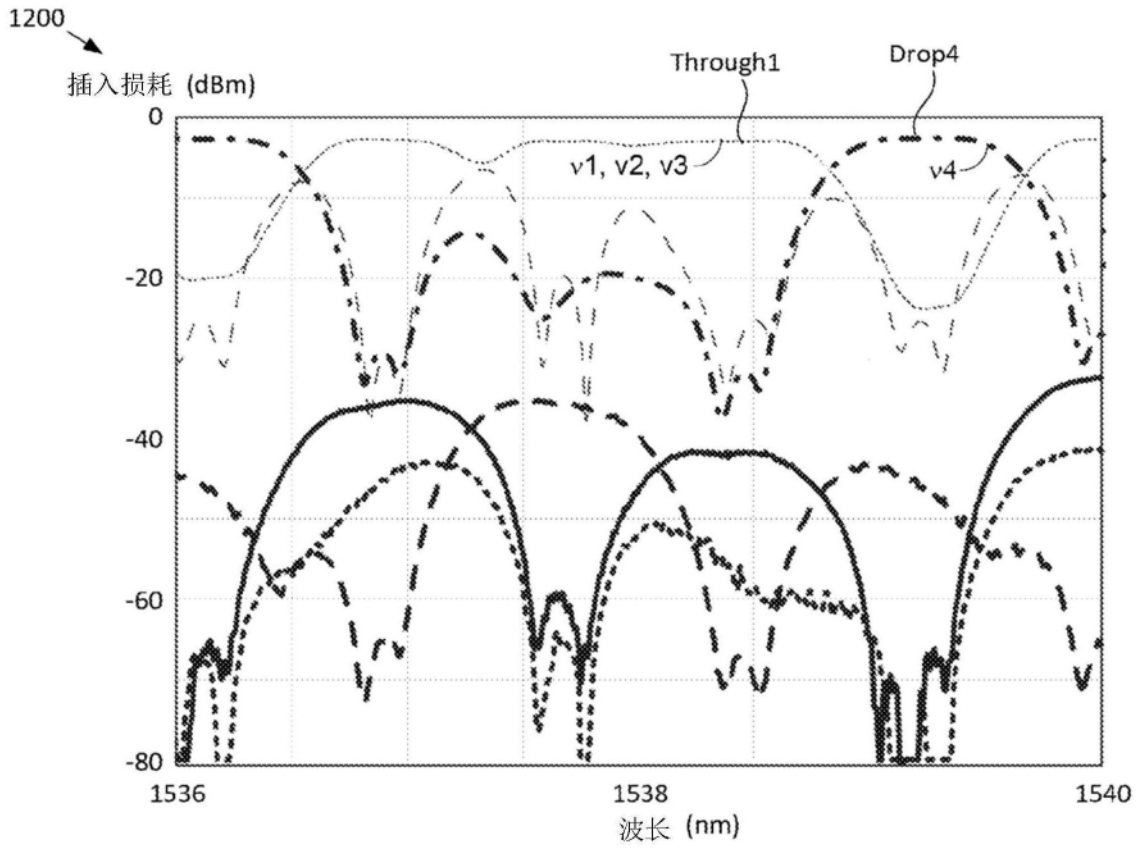


图12

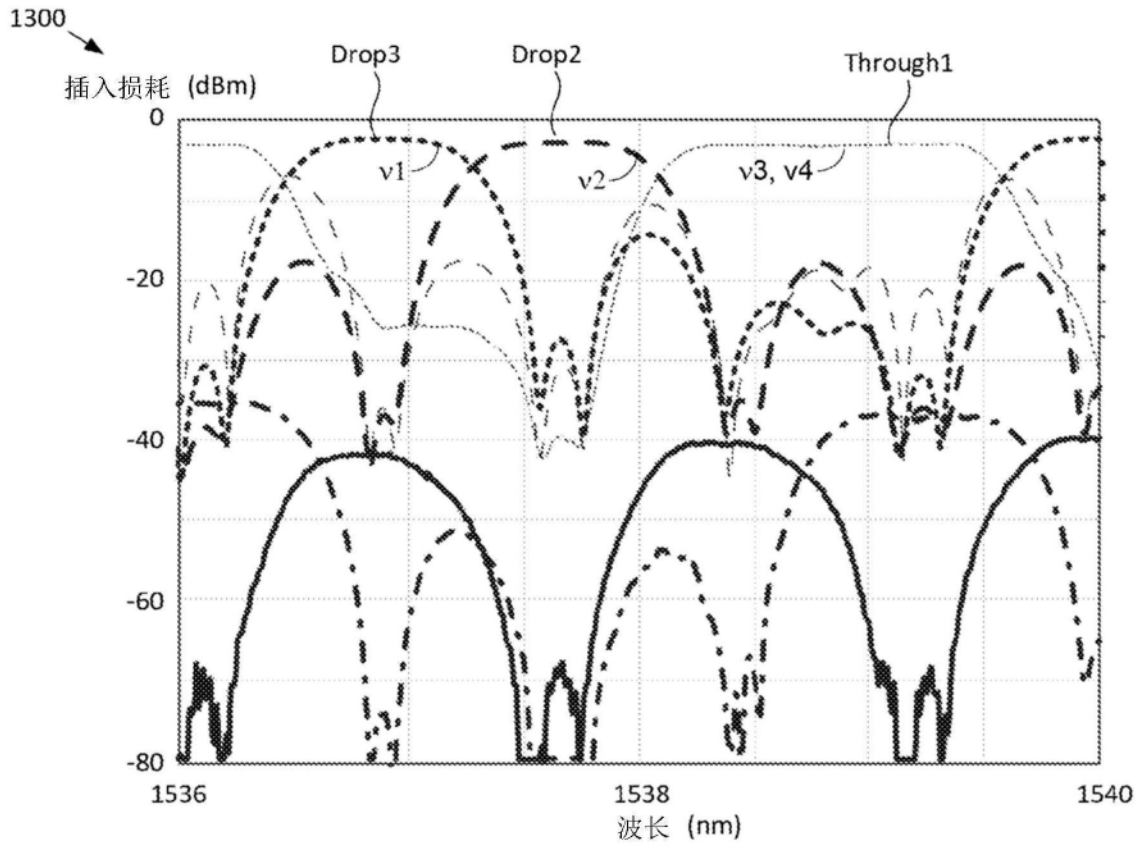


图13

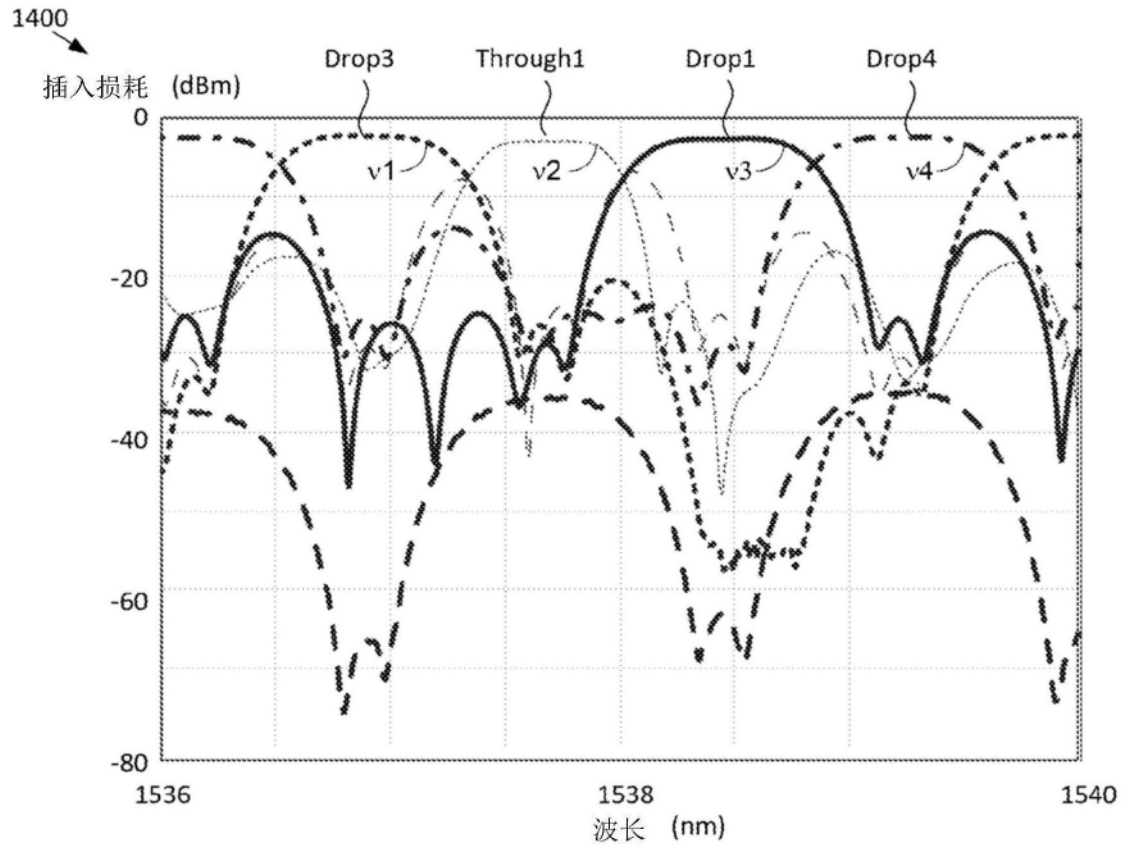


图14