



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103812573 B

(45)授权公告日 2016.08.17

(21)申请号 201210447820.6

书[0040]-[0050],附图1-3,9.

(22)申请日 2012.11.09

CN 102638430 A,2012.08.15,全文.

(73)专利权人 菲尼萨公司

审查员 袁晨

地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 李惠萍 陈小林 陈凡 兰发华

(74)专利代理机构 北京弘权知识产权代理事务
所(普通合伙) 11363

代理人 周涛 许伟群

(51)Int.Cl.

H04B 10/556(2013.01)

H04B 10/67(2013.01)

(56)对比文件

US 6781754 B2,2004.08.24,参见说明书第
6栏32行-第9栏36行.

US 2002085252 A1,2002.07.04,参见说明

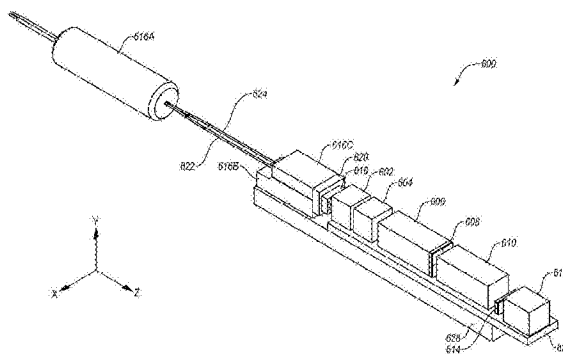
权利要求书2页 说明书15页 附图12页

(54)发明名称

双偏振正交相移键控解调器

(57)摘要

本发明公开了一种解调器,包括第一、第二、第三、第四以及第五移束器、半波片以及四分之一波片。第二移束器被定位成接收来自第一移束器的输出。第三移束器被定位成接收来自第二移束器的输出。半波片被定位成接收来自第三移束器的输出。第四移束器被定位成接收来自半波片的输出。第五移束器被定位成接收来自第四移束器的输出。四分之一波片被定位在第四移束器与第五移束器之间。



1. 一种解调器,包括:

第一移束器;

第二移束器,所述第二移束器被定位成接收来自所述第一移束器的输出;

第三移束器,所述第三移束器被定位成接收来自所述第二移束器的输出;

第一半波片,所述第一半波片被定位成接收来自所述第三移束器的输出;

第四移束器,所述第四移束器被定位成接收来自所述第一半波片的输出;

第五移束器,所述第五移束器被定位成接收来自所述第四移束器的输出;

四分之一波片,所述四分之一波片被定位在所述第四移束器与所述第五移束器之间;

第六移束器,所述第六移束器被定位在所述第一半波片与所述第四移束器之间;

半波片堆,所述半波片堆被定位在所述第六移束器与所述第四移束器之间;

第七移束器,所述第七移束器被定位在所述半波片堆与所述第四移束器之间;以及

第二半波片,所述第二半波片被定位在所述第七移束器与所述第四移束器之间。

2. 如权利要求1所述的解调器,其中,所述第一半波片包括四个部分,所述四个部分包括定向在大约45度的第一部分、定向在大约0度的第二部分,定向在大约0度的第三部分,以及定向在大约45度的第四部分。

3. 如权利要求1所述的解调器,其中,所述第一半波片与所述第三移束器耦合。

4. 如权利要求1所述的解调器,其中:

所述第一移束器被配置成接收光信号S和本地振荡器信号L作为输入;

所述第二移束器的输出包括所述光信号S的两个正交偏振的分量 S_x 和 S_y ,以及所述本地振荡器信号L的两个正交偏振的分量 L_x 和 L_y ;

所述第三移束器的输出包括分量 S_x 的第一子分量 S_{x1} 和第二子分量 S_{x2} 、分量 S_y 的第一子分量 S_{y1} 和第二子分量 S_{y2} 、分量 L_x 的第一子分量 L_{x1} 和第二子分量 L_{x2} 、以及分量 L_y 的第一子分量 L_{y1} 和第二子分量 L_{y2} ;

所述第四移束器的输出包括:

第一信号对,所述第一信号对包括所述第一子分量 S_{x1} 和所述第一子分量 L_{x1} ;

第二信号对,所述第二信号对包括所述第二子分量 S_{x2} 和所述第二子分量 L_{x2} ;

第三信号对,所述第三信号对包括所述第一子分量 S_{y1} 和所述第二子分量 L_{y1} ;以及

第四信号对,所述第四信号对包括所述第二子分量 S_{y2} 和所述第二子分量 L_{y2} ;以及

所述四分之一波片被配置成在所述第一信号对与所述第二信号对之间产生90度相位差,还被配置成在所述第三信号对与所述第四信号对之间产生90度相位差。

5. 如权利要求1所述的解调器,还包括第八移束器,所述第八移束器被定位在所述四分之一波片与所述第五移束器之间。

6. 如权利要求1所述的解调器,其中,所述第二半波片定向在大约45度。

7. 如权利要求1所述的解调器,其中,所述半波片堆包括石英。

8. 如权利要求1所述的解调器,还包括:

具有馈通的光纤阵列;

透镜阵列,所述透镜阵列被定位在所述具有馈通的光纤阵列与所述第一移束器之间;

间隔件,所述间隔件位于所述具有馈通的光纤阵列与所述透镜阵列之间;

第一衬底,所述第一衬底上安装有所述第一半波片、所述四分之一波片、以及所述第一

移束器、所述第二移束器、所述第三移束器、所述第四移束器和第五移束器；以及第二衬底，所述第二衬底上安装有所述具有馈通的光纤阵列和所述第一衬底的一部分。

9. 如权利要求1所述的解调器，其中，所述解调器是完全无源的解调器。

10. 一种光接收器，包括：

权利要求1所述的解调器；以及

四对平衡光电转换器，所述四对平衡光电转换器被定位成接收由所述第五移束器输出的八个光信号。

11. 一种光电模块，包括：

双偏振正交相移键控解调器，包括：

第一移束器；

第二移束器，所述第二移束器被定位成接收来自所述第一移束器的输出；

第三移束器，所述第三移束器被定位成接收来自所述第二移束器的输出；

第一半波片，所述第一半波片被定位成接收来自所述第三移束器的输出；

第四移束器，所述第四移束器被定位成接收来自所述第一半波片的输出；

第五移束器，所述第五移束器被定位成接收来自所述第四移束器的输出；

四分之一波片，所述四分之一波片被定位在所述第四移束器与所述第五移束器之间；

第六移束器，所述第六移束器被定位在所述第一半波片与所述第四移束器之间；

半波片堆，所述半波片堆被定位在所述第六移束器与所述第四移束器之间；

第七移束器，所述第七移束器被定位在所述半波片堆与所述第四移束器之间；以及

第二半波片，所述第二半波片被定位在所述第七移束器与所述第四移束器之间；

多个光检测器，所述多个光检测器被定位成接收由所述双偏振正交相移键控解调器输出的多个光信号，并且被配置成将所述多个光信号转换成多个电信号；以及

数字信号处理器，所述数字信号处理器与所述多个光检测器的相应的输出电耦合。

12. 如权利要求11所述的光电模块，其中，所述多个光检测器包括多对平衡光电转换器。

13. 如权利要求11所述的光电模块，所述双偏振正交相移键控解调器还包括第八移束器，所述第八移束器被定位在所述四分之一波片与所述第五移束器之间。

双偏振正交相移键控解调器

技术领域

[0001] 本发明的示例性实施例涉及一种双偏振正交相移键控(DP-QPSK)解调器。

背景技术

[0002] 目前,用于以太网光学链路应用的100G单模光纤(“SMF”)和多模光纤(“MMF”)标准正在发展之中。然而,一般而言,目前构思在发送侧这样高速的发送器将包括媒体访问控制(“MAC”)元件,其以电的方式将数据提供给光发送器。然而,由于100千兆比特每秒对于现有的互补金属氧化物半导体(“CMOS”)电I/O技术来说太快,因此将在若干个独立的电通道中提供100千兆比特的电数据。

[0003] 例如,可能是从MAC元件将10个10千兆比特每秒数据的通道提供给发送器。如果存在用于编码或纠错的额外开销,则可能要增加每个通道的数据速率和/或可能要增加通道的数目。例如,已经构思使用66B/64B编码对每个10千兆比特每秒的通道编码。这将导致10个通道的电通信量中的每个处于10.3125千兆比特每秒的实际数据速率。

[0004] 在发送器中,10个通道的电通信量串行化成可能为4个通道的光数据,每个处于25.78125千兆比特每秒的数据速率,这包括用于66B/64B编码的开销。然后可以利用波分复用(“WDM”)将这4个通道的光数据多路复用到单个光纤上。

[0005] 以太网数据可以借助于密集波分复用(“DWDM”)系统在较长的距离上传输。目前,正在研究用于定义传输100G以太网数据的DWDM技术的使用的标准。所述标准被称作OTU4,其将以太网数据封装在有效负载中,该有效负载接着被前向纠错(“FEC”)编码。所得的光纤数据速率大约是112千兆比特每秒。

[0006] 上述系统(在下文中被称作“100G DWDM OTU4系统”)被构思为包括两个主要部件,能够前向纠错的MAC层(在下文中称作“OTU4/FEC处理器”)和能够100G DWDM的应答器。在发送通道和接收通道每一者中,具有10个11千兆比特每秒数据的通道,它们利用OIF SFI-S接口规范进行通信。还具有第十一去歪斜(de-skew)通道,其将全部的10个数据通道对齐用于串行数据传输。

[0007] 在这个100G DWDM OTU4系统中考虑的调制技术之一是双偏振正交相移键控(简称“DP-QPSK”)。112千兆比特每秒数据流构思成被划分为四个28Gb/s数据流,并且对两个正交偏振的光载波的I相位和Q相位进行调制,所述两个正交偏振的光载波具有作为单个DP-QPSK信号传送的相同波长。

[0008] 在接收侧,进入的DP-QPSK信号被分成两个正交偏振的光载波,它们由DP-QPSK解调器进行处理,以提取所述正交偏振的光信号中的每个的I相位和Q相位的调制。

[0009] 本发明的主题不局限于解决任何缺点的实施例或仅在诸如上述环境中操作的实施例。确切地说,提供此背景仅用于说明可以实践本发明所述的一些实施例的一个示例性技术领域。

发明内容

[0010] 本发明所述的一些示例性实施例总体而言涉及解调器,诸如DP-QPSK解调器。

[0011] 提供发明内容是为了以简化的形式引入一系列概念,这些概念将在以下的具体实施方式中进一步描述。发明内容不意在确定本发明主题的关键特征或必要特性,也不意在用作帮助确定本发明主题的范围。

[0012] 在一个实施例中,一种解调器包括第一、第二、第三、第四以及第五移束器、半波片以及四分之一波片。第二移束器被定位成接收来自第一移束器的输出。第三移束器被定位成接收来自第二移束器的输出。半波片被定位成接收来自第三移束器的输出。第四移束器被定位成接收来自半波片的输出。第五移束器被定位成接收来自第四移束器的输出。四分之一波片被定位在第四移束器与第五移束器之间。

[0013] 在另一个实施例中,一种光电模块包括:DP-QPSK解调器、多个光检测器、以及数字信号处理器。DP-QPSK解调器包括:第一、第二、第三、第四以及第五移束器、半波片以及四分之一波片。第二移束器被定位成接收来自第一移束器的输出。第三移束器被定位成接收来自第二移束器的输出。半波片被定位成接收来自第三移束器的输出。第四移束器被定位成接收来自半波片的输出。第五移束器被定位成接收来自第四移束器的输出。四分之一波片被定位在第四移束器与第五移束器之间。光检测器被定位成接收由DP-QPSK解调器输出的光信号,并且被配置成将光信号转换成电信号。数字信号处理器与光检测器的相应的输出电耦合。

[0014] 在以下描述中将列举本发明额外的特征和优点,部分将从描述中明了,或可以通过实践本发明习得。借助于在所附权利要求中特别指出的手段和组合,可以实现并获得本发明的特征和优点。本发明的这些和其他的特征将从以下的描述和所附权利要求变得更加明显,或可以通过下文所列举的对本发明的实践而习得。

附图说明

[0015] 为了使本发明的上述和其他优点及特点更加清楚,将参照在附图中示出的本发明的具体实施例来提供对本发明的更具体描述。可以理解的是,这些附图仅描述本发明的典型实施例,因此不应被认为是限定本发明的范围。将利用附图来描述和说明本发明额外的特点和细节。

[0016] 图1示出根据一些实施例的包括双通道DP-QPSK调制器和双通道DP-QPSK解调器的应答器系统;

[0017] 图2示出根据一些实施例的用于图1的应答器系统的双通道DP-QPSK调制器的示例性概念化模型;

[0018] 图3示出根据一些实施例的所得四符号IQ星座图;

[0019] 图4示出根据一些实施例的用于图1的应答器系统的双通道DP-QPSK解调器的示例性概念化模型;

[0020] 图5A至图5B示出根据一些实施例的包括DP-QPSK解调器的接收系统的方面;

[0021] 图6A示出可以在诸如图1的应答器系统中实施的示例性DP-QPSK解调器的立体图;

[0022] 图6B示出图6A的DP-QPSK解调器的俯视图;

[0023] 图6C示出图6A的DP-QPSK解调器的侧视图;

[0024] 图6D示出在通过图6A至6C的DP-QPSK解调器期间与各个点处的各个信号有关的各

个偏振状态；

[0025] 图7A示出可以在诸如图1的应答器系统中实施的另一个示例性DP-QPSK解调器的立体图；

[0026] 图7B示出图7A的DP-QPSK解调器的俯视图；

[0027] 图7C示出图7A的DP-QPSK解调器的侧视图；以及

[0028] 图7D示出在通过图7B至图7C的DP-QPSK的解调器期间与各个点处的各个信号有关的各个偏振状态。

具体实施方式

[0029] 将参考附图来描述本发明示例性实施例的各个方面。要理解的是，附图是这些示例性实施例的图示性和示意性表示，而不是对本发明的限制，也不一定是按比例绘制的。

[0030] I. 示例性的操作环境

[0031] 图1示出应答器系统100(在下文中称为“系统100”)，其中可以实施本发明所公开的一些实施例。以下将以系统100为100G DWDM OTU4系统作为示例性实施方式进行讨论，要理解的是系统100不局限于100GDWDM OTU4系统的实施方式，而是也可以设计用于适合任何特定的网络标准、数据速率等。虽然将详细地描述系统100，但是系统100不意在对本发明进行限制，而是仅被提供作为可以实施一些实施例的系统实例。此外，在一些实施例中，系统100的元件可以封装为光电模块。

[0032] 在传送侧，系统100接收11个11千兆比特每秒数据的通道(共同地标记为111)，一个通道111A被接收进入SFI-S译码器112，而其余的10个通道被接收进入10:4串行化器113。SFI-S译码器112和串行化器113接收参考时钟信号REF_CLK以保持正确的定时。数据在被预编码器114正确地编码之后减少成四个28千兆比特每秒数据的通道(共同地标记为115)。双通道DP-QPSK调制器116对四个通道的数据施加DP-QPSK调制，以由此将全部四个通道的数据调制到单个光纤117上。利用光信号的X偏振和正交Y偏振这两者作为正交信息传输机制来完成调制，还利用每个偏振的同相部分和正交相部分来完成调制。

[0033] 在接收侧，来自光纤121的接收光信号(处于112千兆比特每秒数据速率)被接收进入双通道DP-QPSK解调器122。接收到的光信号可以由另一个网络节点以与DP-QPSK调制器116所传送的光信号相同的方式确定。双通道DP-QPSK解调器122提取光信号的如下四个分量：1)具有X偏振的信号的同相部分(标记为X-I)，2)具有X偏振的信号的正交相部分(标记为X-Q)，3)具有Y偏振的信号的同相部分(标记为Y-I)，以及4)具有Y偏振的信号的正交相部分(标记为Y-Q)。X偏振和Y偏振每个具有56千兆比特每秒的比特率以及28千兆符号每秒的符号率，所述每个符号表示2比特的信息。

[0034] 然后，四个解调的数据信号X-I、X-Q、Y-I以及Y-Q由一排四个模数转换器(“ADC”)123进行量化。每个ADC将相对应的解调的数据信号量化成n1比特数字信号，然后提供给双通道基带数字信号处理器(“DSP”)124。本地振荡器控制信号“LO控制”由DSP124提供给解调器122，由此将相干接收器结构使能。DSP 124针对X偏振和Y偏振的每个在IQ符号星座图中确定相对应的点，并针对每个点输出相对应的2比特序列。所述比特序列由译码器125译码，之后4:10并行化器126和SFI-S编码器127将比特并行化成11个通道(共同地标记为128)的SFI-S编码的数据，每个处于大约11千兆比特每秒。

[0035] 图2示出用于图1的双通道DP-QPSK调制器116的示例性概念化模型200。在图2中有两个偏振支路,由上部电路表示的X偏振支路以及由下部电路表示的Y偏振支路。由分布反馈(“DFB”)激光器201或其他本地振荡器源提供的本地振荡器(“LO”)信号的部分由功率分配器202馈送到每个偏振支路。

[0036] 对于X支路,来自DFB 201的连续波形被馈送到混合IQ电路211,所述混合IQ电路211大体上产生连续的同相波形以提供给同相调制器212A,以及所述连续波形的90度相移版本(即正交相波形)以提供给正交相调制器212B。不同的28千兆比特每秒信号被馈送到同相调制器212A和正交相调制器212B中的每个,引起光信号的适当相移键控。然后,由光学加法器213将同相键控光信号和正交相键控光信号相加。

[0037] Y支路包括混合IQ电路221、同相调制器222A、正交相调制器222B以及加法器223,它们与X支路的相应部件211、212A、212B以及213大体上相同。然而,Y支路接收其自己不同的一对28千兆比特每秒信号用于适当的相移键控。另外,提供X至Y旋转器224以表示由利用Y偏振的加法器223所输出的相加的键控光信号。然后,利用光学加法器203将X偏振信号和Y偏振信号相加,之后将相加的光信号传送到光纤上。

[0038] 图3示出由Y偏振信号和X偏振信号的每个所得的四符号星座IQ图300。IQ图300中示出四个符号点301-304。当针对某一偏振接收特定信号时,计算同相分量和正交分量的大小。基于这个信息,从IQ图300中选择最近的符号点。然后将相对应的2比特符号(本发明中 $m=2$)输出到译码器125。针对X偏振信号和Y偏振信号中的每个来进行此操作。

[0039] 图4示出用于图1的双通道解调器122的示例性概念化模型400。光信号被接收进入X Y分束器401,所述X Y分束器401将光信号的X偏振部分提供给I/Q混合的混合器411以开始X支路的解调。X Y分束器401还将光信号的Y偏振部分提供给Y至X旋转器402,所述Y至X旋转器402将光信号的Y偏振旋转成X偏振。该光信号被提供给I/Q混合的混合器421以开始Y支路的解调。

[0040] X偏振光信号和Y偏振光信号分别在I/Q混合器411和421中与经由功率分配器403由DFB激光器402提供的连续波形LO信号混合,所述连续波形的定时由“LO控制”信号控制。所得的混合信号然后被提供给相对应的光检测器412A、412B、422A以及422B。每个相对应的电信号由相应的可变增益放大器(“VGA”)413A、413B、423A以及423B调整成标准化的电平,之后经过时钟恢复414A、414B、424A以及424B。时钟恢复元件414A、414B、424A以及424B应仅被视为功能性变型,因为可以利用单个时钟恢复电路来提供针对所有通道的时钟恢复。由此产生图1中所示的信号X-I、X-Q、Y-I以及Y-Q。VGA和时钟恢复的性能可以利用来自相对应的双通道基带DSP、诸如图1的双通道基带DSP 124的误差信号来改善。

[0041] 图4的光检测器412A、412B、422A、422B中的每个可以实施为单端光学到电学(在下文中称为“光电”)转换器。合适的光电转换器的实例例如包括正-本征-负(“PIN”)光电二极管等。替代地,光检测器412A、412B、422A以及422B中的每个可以包括一对平衡光电转换器。

[0042] II. 示例性的接收系统

[0043] 图5A示出根据一些实施例的接收系统500。接收系统500可以在应答系统、诸如图1的系统100中实施。具体地,接收系统500可以对应于系统100的接收侧的至少一部分,包括双通道DP-QPSK解调器122、ADC 123以及双通道基带DSP 124。

[0044] 如图所示,接收系统500包括DP-QPSK解调器502、多个光检测器504、多个放大器

506、多个ADC 508以及DSP 510。光检测器504可以包括例如四个单端光电转换器、或成对布置的八个平衡光电转换器、或任何其他合适配置。

[0045] 在图5B中提供了与接收系统500的解调器502、光检测器504以及放大器506的示例性实施例有关的其他细节。如图5B所示,解调器502被配置成接收DP-QPSK光信号512,以及由诸如DFB激光器的本地振荡器516产生的L0光信号514。DP-QPSK光信号512和L0光信号514中的每个通过一个或更多个偏振分束器(“PBS”)518分成两个分量。

[0046] 具体地,DP-QPSK光信号512分成具有第一偏振状态(例如,X偏振)的第一分量512A和具有与第一偏振状态正交的第二偏振状态(例如,Y偏振)的第二分量512B。第一分量512A提供给90度混合的第一混合器522A。第二分量512B提供给90度混合的第二混合器522B。

[0047] L0光信号514也分成分别提供给90度混合的第一混合器522A和90度混合的第二混合器522B的第一分量514A和第二分量514B。

[0048] 一般而言,90度混合的第一混合器522A被配置成执行DP-QPSK光信号512的第一分量512A与L0光信号514的第一分量514A之间的四个90度相位步进式干涉。在所示的实施例中,90度混合的第一混合器522A被配置成输出四个干涉信号,包括两个同相信号 S_x+L_x 和 S_x-L_x 以及两个正交相信号 S_x+jL_x 和 S_x-jL_x 。下标“x”表示这些干涉信号与DP-QPSK光信号512的X偏振第一分量512A有关。

[0049] 由90度混合的第一混合器522A输出的干涉信号 S_x+L_x 、 S_x-L_x 、 S_x+jL_x 以及 S_x-jL_x 借助于光检测器504中所包括的两对平衡光电转换器504A、504B而转换成电信号。替代地,90度混合的第一混合器522A可以被配置成输出包括单个同相信号和单个正交相信号的两个干涉信号,并将这两个干涉信号提供给光检测器504中所包括的两个单端光电转换器(未示出)。

[0050] 类似地,90度混合的第二混合器522B被配置成执行DP-QPSK光信号512的第二分量512B与L0光信号514的第二分量514B之间的四个90度相位步进式干涉。在所示的实施例中,90度混合的第二混合器522B被配置成输出四个干涉信号,包括两个同相信号 S_y+L_y 和 S_y-L_y 以及两个正交相信号 S_y+jL_y 和 S_y-jL_y 。下标“y”表示这些干涉信号与DP-QPSK光信号512的Y偏振第二分量512B有关。

[0051] 由90度混合的第二混合器522B输出的干涉信号 S_y+L_y 、 S_y-L_y 、 S_y+jL_y 以及 S_y-jL_y 借助于光检测器504中所包括的两对平衡光电转换器504C和504D而转换成电信号。替代地,90度混合的第二混合器522B可以被配置成输出包括单个同相信号和单个正交相信号的两个干涉信号,并将这两个干涉信号提供给光检测器504中所包括的两个单端光电转换器(未示出)。

[0052] III. DP-QPSK解调器的第一实施例

[0053] 接着将参照图6A至6D来描述DP-QPSK解调器600的第一示例性实施例。图6A示出DP-QPSK解调器600(在下文中称为“解调器600”)的立体图,所述解调器可以在图1的应答器系统100和/或图5A至图5B的接收系统500中实施。例如,解调器600可以与图1的解调器122或图5A至5B的解调器502相对应。图6B示出图6A的解调器600的俯视图。图6C示出图6A的解调器600的侧视图。图6D示出在通过图6A至图6C的解调器600期间与各个点处的各个信号有关的各个偏振状态。

[0054] 在所示的实施例中,解调器600包括第一移束器(BD)(图6B至6D中的“BD1”)602、第

二BD(图6B至6D中的“BD2”)604、第三BD(图6B至6D中的“BD3”)606、半波片(HWP)608、第四BD(图6B至6D中的“BD4”)610、第五BD(图6B至6D中的“BD5”)612、以及四分之一波片(QWP)614。第二BD 604被定位成接收来自第一BD 602的输出。第三BD 606被定位成接收来自第二BD 604的输出。HWP 608被定位成接收来自第三BD 606的输出,并且在一些实施例中可以与第三BD 606耦合。第四BD 610被定位成接收来自HWP 608的输出。第五BD 612被定位成接收来自第四BD 610的输出。QWP 614被定位在第四BD 610和第五BD 612之间。

[0055] 图6A额外地包括一组任意定义的参考坐标轴 x 、 y 、 z 以提供参考系。在图6B至6D中也提供了参考坐标轴 x 、 y 、 z ,以帮助理解图6B至6D中所绘制的视图相对于图6A的视图的定向。

[0056] 在一些实施例中,第一BD 602、第二BD 604、第三BD 606、第四BD 610以及第五BD 612可以包括但不局限于诸如YVO4的双折射晶体。

[0057] 如图6A所示,解调器600还可以可选地包括各个元件616A至616C,所述各个元件616A至616C共同地形成具有馈通的光纤阵列(在下文中称为“具有馈通的光纤阵列616”)。具有馈通的光纤阵列616包括馈通管616A、V凹槽对准导引件616B以及盖616C。在一些实施例中,透镜阵列618可以被定位在具有馈通的光纤阵列616与第一BD 602之间,间隔件620可以被定位在具有馈通的光纤阵列616与透镜阵列618之间。从馈通管616A延伸的第一光纤622和第二光纤624可以分别提供输入DP-QPSK光信号 S (在下文中称为“光信号 S ”)和本地振荡器信号 L (在下文中称为“LO信号 L ”),这两个信号都可以经由间隔件620和透镜阵列618传送到第一BD 602。第一光纤622可以包括单模(SM)光纤。第二光纤624可以包括保偏(PM)光纤。具有馈通的光纤阵列616、间隔件620以及透镜阵列618可以共同地形成准直器,所述准直器用于从第一光纤622和第二光纤624接收的光信号 S 和LO信号 L 。

[0058] 可选地,解调器600还包括第一衬底626和第二衬底628。HWP 608、QWP 614以及第一、第二、第三、第四和第五BD 602、604、606、610和612可以被安装在第一衬底626上、形成在第一衬底626上、或者与第一衬底626耦合。具有馈通的光纤阵列616和第一衬底626的至少一部分可以被安装在第二衬底628上、形成在第二衬底628上、或者与第二衬底628耦合。第一衬底626和第二衬底628中的每个可以包括但不局限于熔融石英或其他合适的材料。

[0059] 从图6B至6C可以最好地看出,光信号 S 进入第一BD 602,接着是第二BD 604。第一BD 602和第二BD 604配合以将光信号 S 分成具有正交的 X 偏振状态和 Y 偏振状态的分量 S_x 和 S_y 。类似地,LO信号 L 进入第一BD 602,接着是第二BD 604,并被分成具有正交的 X 偏振状态和 Y 偏振状态的分量 L_x 和 L_y 。第二BD 604的输出处的分量 S_x 、 S_y 、 L_x 以及 L_y 的偏振状态在图6D中的“在BD2 604之后”处示出,并且出于简便而以与相对应的分量 S_x 、 S_y 、 L_x 以及 L_y 相同的标记“ S_x ”、“ S_y ”、“ L_x ”以及“ L_y ”来表示。同样地,解调器600的各个位置处的各个光信号的偏振状态或各个光信号的分量和/或部分的偏振状态在图6D中借助于与用于标识相应的光信号或其分量和/或部分相同的标记来表示。

[0060] 分量 S_x 、 S_y 、 L_x 以及 L_y 中的单独一个在图6C的侧视图中的第二BD 604的输出处可见。然而,可以理解,借助于本发明,全部四个分量 S_x 、 S_y 、 L_x 以及 L_y 在与 x - z 平面基本平行的相同平面离开第二BD 604,使得分量 S_x 、 S_y 、 L_x 以及 L_y 中仅一个在图6C的视图中的第二BD 604的输出处可见。示出为离开第二BD 604的分量在图6C中标记为 S_x 、 S_y 、 L_x 以及 L_y ,以表明全部的四个分量 S_x 、 S_y 、 L_x 以及 L_y 在沿 y 方向大约相同的高度离开第二BD 604,虽然如图6B

所示它们大体沿x方向彼此间隔开。

[0061] 在图6B和6C中也使用了相似的标记约定,其中由于相对应的附图的平面相对于多个分量或子分量所在的平面的定向的缘故,例如,由于附图的平面与多个分量或子分量所在的平面垂直的缘故,多个分量或子分量中仅一个可见。具体地,每当在图6B或6C中用由逗号隔开的一串附图标记(例如, S_x, S_y, L_x, L_y 等)来标记分量或子分量时,其表示由逗号隔开的这些附图标记所标识的分量或子分量处于与图6B的x-z平面基本垂直的平面上,或处于与图6C的y-z平面基本垂直的平面上。

[0062] 继续参照图6B至6D,第二BD 604输出的分量 S_x, S_y, L_x 以及 L_y 进入第三BD 606。第三BD 606被配置成将分量 S_x, S_y, L_x 以及 L_y 中的每个分成两个正交偏振的子分量。具体地,结合地参照图6B至图6D,第三BD 606将分量 S_x 分成正交偏振的子分量 S_{x1} 和 S_{x2} ;将分量 S_y 分成正交偏振的子分量 S_{y1} 和 S_{y2} ;将分量 L_x 分成正交偏振的子分量 L_{x1} 和 L_{x2} ;以及将分量 L_y 分成正交偏振的子分量 L_{y1} 和 L_{y2} 。分量 S_x, S_y, L_x 以及 L_y 中的每个因此离开第二BD 604并在具有如图6D中所示的对角线偏振的情况下进入第三BD 606,并且被分成具有如图6D所示的垂直偏振(对于 S_{x1}, S_{y1}, L_{x1} 和 L_{x2})或水平偏振(对于 S_{x2}, S_{y2}, L_{x2} 以及 L_{y2})的两个分量 S_{x1} 和 S_{x2}, S_{y1} 和 S_{y2}, L_{x1} 和 L_{x2} 以及 L_{y1} 和 L_{y2} 。

[0063] 在一些实施例中,垂直偏振指的是沿与y轴基本平行的方向定向的偏振,而水平偏振指的是沿与x轴基本平行的方向定向的偏振。因而,尽管图6D中的 S_{x1}, S_{y1}, L_{x1} 以及 L_{y2} 的偏振的定向在图6D的视图被定向为侧到侧,但是这些偏振在与y轴基本平行的范围内被称作是垂直偏振。相似地,尽管图6D中的 S_{x2}, S_{y2}, L_{x2} 以及 L_{y2} 的偏振方向在图6D的视图被定向为从上到下,但是这些偏振在与x轴基本平行的范围内被称作是水平偏振。对角线偏振指的是从平行于x轴的线起定向在大约正负45度的与x-y平面平行的任何偏振。前述的相对于图6A至图6D中任意定义的坐标轴x、y、z而言的垂直偏振、水平偏振以及对角线偏振的命名约定同样也适用于图7A至图7D。

[0064] 第三BD 606输出的子分量 $S_{x1}, S_{x2}, S_{y1}, S_{y2}, L_{x1}, L_{x2}, L_{y1}$ 以及 L_{y2} 经由HWP 608传送。HWP 608可以具有四个部分,包括通过其传送子分量 S_{x1} 和 S_{y1} 的第一部分,通过其传送子分量 S_{x2} 和 S_{y2} 的第二部分,通过其传送子分量 L_{x1} 和 L_{y1} 的第三部分,以及通过其传送 L_{x2} 和 L_{y2} 的第四部分。HWP 608的第一部分和第四部分可以定向在大约45度,而HWP 608的第二部分和第三部分可以定向在大约0度。如本发明所使用的,应用于诸如HWP 608的波片的术语“定向在”指的是相对应的波片晶体相对于水平线的光轴角的定向。

[0065] HWP 608的第一部分可以被配置成将具有垂直偏振的信号、诸如子分量 S_{x1} 和 S_{y1} 的偏振旋转到水平偏振,而HWP 608的第二部分可以不旋转具有水平偏振的信号、诸如子分量 S_{x2} 和 S_{y2} 的偏振。在图6D中示出了在HWP 608之后的子分量 S_{x1}, S_{x2}, S_{y1} 以及 S_{y2} 的水平偏振。HWP 608的第四部分可以被配置成将具有水平偏振的信号、诸如子分量 L_{x2} 和 L_{y2} 的偏振旋转成垂直偏振,而HWP 608的第三部分可以不旋转具有垂直偏振的信号、诸如分量 L_{x1} 和 L_{y1} 的偏振。在图6D中示出了在HWP 608之后的子分量 L_{x1}, L_{x2}, L_{y1} 以及 L_{y2} 的垂直偏振。因此,在HWP 608之后,光信号S的全部的子分量 S_{x1}, S_{x2}, S_{y1} 以及 S_{y2} 水平偏振,而L0信号L的全部的子分量 L_{x1}, L_{x2}, L_{y1} 以及 L_{y2} 垂直偏振。

[0066] HWP 608输出的子分量 $S_{x1}, S_{x2}, S_{y1}, S_{y2}, L_{x1}, L_{x2}, L_{y1}$ 以及 L_{y2} 进入第四BD 610。第四BD 610被配置成将光信号S的子分量 $S_{x1}, S_{x2}, S_{y1}, S_{y2}$ 中的每个与L0信号L的子分量

Lx1、Lx2、Ly1以及Ly2中的相对应的一个配对,使得第四BD 610的输出包括四个信号对,包括Sx1/Lx1、Sx2/Lx2、Sy1/Ly1以及Sy2/Ly2。在所示的实施例中,可以通过将子分量Sx1、Sx2、Sy1以及Sy2中的每个的信号路径重新定向以在第四BD 610的输出处与子分量Lx1、Lx2、Ly1以及Ly2中的相对应的一个的信号路径一致来实现配对。在另一个实施例中,可以通过将子分量Lx1、Lx2、Ly1以及Ly2中的每个的信号路径重新定向以在第四BD 610的输出处与子分量Sx1、Sx2、Sy1以及Sy2中的相对应的一个的信号路径一致来实现配对,或必要时通过将一对中的每一半的信号路径重新定向以使得它们在第四BD 610的输出处一致来实现配对。

[0067] 更具体地,在所示的实施例中,第四BD 610将子分量Sx1的信号路径重新定向以在第四BD 610的输出处与子分量Lx1的信号路径一致,从而产生第一信号对Sx1/Lx1。此外,第四BD 610将子分量Sx2的信号路径重新定向以在第四BD 610的输出处与子分量Lx2的信号路径一致,从而产生第二信号对Sx2/Lx2。此外,第四BD 610将子分量Sy1的信号路径重新定向以在第四BD 610的输出处与子分量Ly1的信号路径一致,从而产生第三信号对Sy1/Ly1。此外,第四BD 610将子分量Sy2的信号路径重新定向以在第四BD 610的输出处与子分量Ly2的信号路径一致,从而产生第四信号对Sy2/Ly2。

[0068] 在第四BD 610之后,第二信号对Sx2/Lx2通过QWP 614。第四信号对Sy2/Ly2也通过QWP 614,然而第一信号对Sx1/Lx1和第三信号对Sy1/Ly1不通过QWP 614。在至少一些示例性实施例中,QWP 614定向在大约0度。因此,QWP 614可以被配置成在第一信号对Sx1/Lx1与第二信号对Sx2/Lx2之间引入90度相位差,并且还可以被配置成在第三信号对Sy1/Ly1与第四信号对Sy2/Ly2之间引入90度相位差。

[0069] 接着,信号对Sx1/Lx1、Sx2/Lx2、Sy1/Ly1以及Sy2/Ly2进入第五BD 612。第五BD 612将子分量Sx1在具有彼此正交的对角线偏振的单独信号路径上分成第一部分和第二部分。子分量Sx1的第一部分和第二部分在一些实施例中可以具有基本相同的功率。相似地,第五BD 612将在与子分量Sx1相同的信号路径上行进的子分量Lx1分成具有彼此正交的对角线偏振的第一部分和第二部分。子分量Lx1的第一部分和第二部分在与子分量Sx1的第一部分和第二部分相同的单独信号路径上传播,并且在一些实施例中可以具有基本相同的功率。

[0070] 子分量Sx1的第一部分可以在第五BD 612中与行进在与子分量Sx1的第一部分相同的信号路径上的子分量Lx1的第一部分相长干涉,以产生同相信号Sx1+Lx1。子分量Sx1的第二部分可以在第五BD 612中与行进在与子分量Sx1的第二部分相同的信号路径上的子分量Lx1的第二部分相消干涉,以产生同相信号Sx1-Lx1。可以将与图5B中的同相信号Sx+Lx和Sx-Lx相对应的同相信号Sx1+Lx1和Sx1-Lx1提供给一对平衡光电转换器,诸如图5B的一对平衡光电转换器504A。

[0071] 以类似的方式,第五BD 612将子分量Sx2、Sy1以及Sy2中的每个分成两个部分,所述两个部分具有彼此正交且位于单独信号路径上的对角线偏振。第五BD 612也可以将子分量Lx2、Ly1以及Ly2中的每个分成两个部分,所述两个部分具有彼此正交且分别位于与子分量Sx2、Sy1以及Sy2的相对应部分相同的单独信号路径上。然后子分量Sx2、Sy1以及Sy2的各部分与子分量Lx2、Ly1以及Ly2的各部分相长干涉和相消干涉。

[0072] 具体地,子分量Sx2的第一部分可以在第五BD 612中与行进在与子分量Sx2的第一

部分相同的信号路径上的子分量 L_{x2} 的第一部分相长干涉,以产生正交相信号 $S_{x2+L_{x2}}$ 。此外,子分量 S_{x2} 的第二部分可以在第五BD 612中与行进在与子分量 S_{x2} 的第二部分相同的信号路径上的子分量 L_{x2} 的第二部分相消干涉,以产生正交相信号 $S_{x2-L_{x2}}$ 。可以将与图5B中的正交相信号 S_x+jL_x 和 S_x-jL_x 相对应的正交相信号 $S_{x2+L_{x2}}$ 和 $S_{x2-L_{x2}}$ 提供给一对平衡光电转换器,诸如图5B的一对平衡光电转换器504B。

[0073] 类似地,子分量 S_{y1} 的第一部分可以在第五BD 612中与行进在与子分量 S_{y1} 的第一部分相同的信号路径上的子分量 L_{y1} 的第一部分相长干涉,以产生同相信号 $S_{y1+L_{y1}}$ 。此外,子分量 S_{y1} 的第二部分可以在第五BD 612中与行进在与子分量 S_{y1} 的第二部分相同的信号路径上的子分量 L_{y1} 的第二部分相消干涉,以产生同相信号 $S_{y1-L_{y1}}$ 。可以将与图5B中的同相信号 S_y+L_y 和 S_y-L_y 相对应的同相信号 $S_{y1+L_{y1}}$ 和 $S_{y1-L_{y1}}$ 提供给一对平衡光电转换器,诸如图5B的一对平衡光电转换器504C。

[0074] 类似地,子分量 S_{y2} 的第一部分可以在第五BD 612中与行进在与子分量 S_{y2} 的第一部分相同的信号路径上的子分量 L_{y2} 的第一部分相长干涉,以产生正交相信号 $S_{y2+L_{y2}}$ 。此外,子分量 S_{y2} 的第二部分可以在第五BD 612中与行进在与子分量 S_{y2} 的第二部分相同的信号路径上的子分量 L_{y2} 的第二部分相消干涉,以产生正交相信号 $S_{y2-L_{y2}}$ 。可以将与图5B中的正交相信号 S_y+jL_y 和 S_y-jL_y 相对应的正交相信号 $S_{y2+L_{y2}}$ 和 $S_{y2-L_{y2}}$ 提供给一对平衡光电转换器,诸如图5B的一对平衡光电转换器504D。

[0075] IV. DP-QPSK解调器的第二实施例

[0076] 接着将参照图7A至图7D来描述DP-QPSK解调器700的第二示例性实施例。图7A示出DP-QPSK解调器700(在下文中称为“解调器700”)的立体图,所述解调器可以在图1的应答器系统100和/或图5A至5B的接收系统500中实施。例如,解调器700可以与图1的解调器122或图5A至图5B的解调器502相对应。图7B示出图7A的解调器700的俯视图。图7C示出图7A的解调器700的侧视图。图7D示出在通过图7A至图7C的解调器700期间与各个点处的各个信号有关的各个偏振状态。

[0077] 与解调器600相似,解调器700包括第一BD(图7B至图7D中的“BD1”)702、第二BD(图7B至图7D中的“BD2”)704、第三BD(图7B至图7D中的“BD3”)706、HWP 708、第四BD(图7B至图7D中的“BD4”)710、第五BD(图7B至图7D中的“BD5”)712、以及四分之一波片(QWP)714。第二BD 704被定位成接收来自第一BD 702的输出。第三BD 706被定位成接收来自第二BD 704的输出。HWP 708被定位成接收来自第三BD 706的输出,并且在一些实施例中可以与第三BD 706耦合。尽管在以下将要更加详细描述图7A至图7C中示出了额外的中间元件,但第四BD 710被定位成接收来自HWP 708的输出。第五BD 712被定位成接收来自第四BD 710的输出。QWP 714被定位在第四BD 710与第五BD 712之间。

[0078] 图7A额外地包括一组任意定义的参考坐标轴 x 、 y 、 z 以提供参考系。在图7B至图7D中也提供参考坐标轴 x 、 y 、 z ,以帮助理解图7B至图7D中所绘制的视图相对于图7A的视图的定向。

[0079] 与解调器600相似,解调器700还可以可选地包括各个元件716A至716C,所述各个元件716A至716C共同地形成具有馈通的光纤阵列(在下文中称为“具有馈通的光纤阵列716”)。具有馈通的光纤阵列716包括馈通管716A、V凹槽对准导引件716B以及盖716C。在一些实施例中,透镜阵列718可以被定位在具有馈通的光纤阵列716与第一BD 702之间,间隔

件720可以被定位在具有馈通的光纤阵列716与透镜阵列718之间。从馈通管716A延伸的第一光纤722和第二光纤724可以分别提供输入DP-QPSK光信号S(在下文中称为“光信号S”)和本地振荡器信号L(在下文中称为“LO信号L”),这两个信号都可以经由间隔件720和透镜阵列718传送到第一BD 702。第一光纤722可以包括单模(SM)光纤。第二光纤724可以包括保偏(PM)光纤。具有馈通的光纤阵列716、间隔件720以及透镜阵列718可以共同地形成准直器,所述准直器用于从第一光纤722和第二光纤724接收的光信号S和LO信号L。

[0080] 如所示的,解调器700还包括第六BD(图7B至图7D中的“BD6”)726、HWP堆728、第七BD(图7B至图7D中的“BD7”)730、第二HWP 732、以及第八BD(图7B至图7D中的“BD8”)734。第六BD被定位在HWP 708与第四BD 710之间。HWP堆728被定位在第六BD 726与第四BD 710之间。第七BD 730被定位在HWP堆728与第四BD 710之间。第二HWP 732被定位在第七BD 730与第四BD 710之间。第八BD 734被定位在QWP 714与第五BD 712之间。

[0081] 在一些实施例中,第一BD 702、第二BD 704、第三BD 706、第四BD 710、第五BD 712、第六BD 726、第七BD 730以及第八BD 734中的每个可以包括但不限于诸如YV04的双折射晶体。

[0082] 可选地,解调器700还包括第一衬底736和第二衬底738。HWP 708、QWP 714、HWP堆728、第二HWP 732以及第一、第二、第三、第四、第五、第六、第七和第八BD 702、704、706、710、712、726、730和734可以被安装在第一衬底736上、形成在第一衬底736上、或者与第一衬底736耦合。具有馈通的光纤阵列716和第一衬底736的至少一部分可以安装在第二衬底738上、形成在第二衬底738上、或者与第二衬底738耦合。第一衬底736和第二衬底738中的每个可以包括但不限于熔融石英或其他合适的材料。

[0083] 从图7B至7C可以最好地看出,光信号S进入第一BD 702,接着是第二BD 704。第一BD 702和第二BD 704配合以将光信号S分成具有正交的X偏振状态和Y偏振状态的分量 S_x 和 S_y 。类似地,LO信号L进入第一BD 702,接着是第二BD 704,并且被分成具有正交的X偏振状态和Y偏振状态的分量 L_x 和 L_y 。第二BD 704的输出处的分量 S_x 、 S_y 、 L_x 以及 L_y 的偏振状态在图7D中的“在BD2704之后”处示出,并且出于简便而以与相对应的分量 S_x 、 S_y 、 L_x 以及 L_y 相同的标记“ S_x ”、“ S_y ”、“ L_x ”以及“ L_y ”来表示。同样地,解调器700的各个位置处的各个光信号的偏振状态或各个光信号的分量和/部分的偏振状态在图7D中借助于与用于标识相对应的光信号或光信号的分量和/或部分相同的标记来表示。

[0084] 分量 S_x 、 S_y 、 L_x 以及 L_y 中的单独一个在图7C的侧视图中的第二BD 604的输出处可见。然而,可以理解,借助于本发明,全部的四个分量 S_x 、 S_y 、 L_x 以及 L_y 在与x-z平面基本平行的相同平面上离开第二BD 704,使得分量 S_x 、 S_y 、 L_x 以及 L_y 中仅一个在图7C的视图中的第二BD 704的输出处可见。示出为离开第二BD 704的分量在图7C中标记为“ S_x 、 S_y 、 L_x 以及 L_y ”,以表明全部的四个分量 S_x 、 S_y 、 L_x 以及 L_y 在沿y方向大约相同的高度离开第二BD 704,虽然如图7B所示它们大体沿x方向彼此间隔开。

[0085] 在图7B和7C中也使用了相似的标记约定,其中由于相对应的附图的平面相对于多个分量或子分量所处的平面的定向的缘故,例如,由于附图的平面与多个分量或子分量所处的平面垂直的缘故,多个分量或子分量中仅一个可见。具体地,每当在图7B或7C中用由逗号隔开的一串附图标记(例如 S_x 、 S_y 、 L_x 、 L_y 等)来标记分量或子分量时,其表示由逗号隔开的这些附图标记所标识的分量或子分量处于与图7B的x-z平面基本垂直的平面上,或处于

与图7C的y-z平面基本垂直的平面上。

[0086] 继续参照图7B至7D,第二BD 704输出的分量 S_x 、 S_y 、 L_x 以及 L_y 进入第三BD 706。第三BD 706被配置成将分量 S_x 、 S_y 、 L_x 以及 L_y 中的每个分成两个正交偏振的子分量。具体地,结合地参照图7B至图7D,第三BD 706将分量 S_x 分成正交偏振的子分量 S_{x1} 和 S_{x2} ;将分量 S_y 分成正交偏振的子分量 S_{y1} 和 S_{y2} ;将分量 L_x 分成正交偏振的子分量 L_{x1} 和 L_{x2} ;以及将分量 L_y 分成正交偏振的子分量 L_{y1} 和 L_{y2} 。然后,分量 S_x 、 S_y 、 L_x 以及 L_y 中的每个由此离开第二BD 704,并在具有如图7D中“在BD2 704之后”所示的对角线偏振的情况下进入第三BD 706,并且被分成具有如图7D中“在BD3 706之后”所示的垂直偏振(对于 S_{x2} 、 S_{y2} 、 L_{x2} 和 L_{y2})或水平偏振(对于 S_{x1} 、 S_{y1} 、 L_{x1} 以及 L_{y1})的两个分量 S_{x1} 和 S_{x2} 、 S_{y1} 和 S_{y2} 、 L_{x1} 和 L_{x2} 以及 L_{y1} 和 L_{y2} 。

[0087] 在一些实施例中,垂直偏振指的是沿与y轴基本平行的方向定向的偏振,而水平偏振指的是沿与x轴基本平行的方向定向的偏振。因而,尽管在图7D中 S_{x2} 、 S_{y2} 、 L_{x2} 以及 L_{y2} 的偏振的定向在图7D的视图被定向成侧到侧,但是这些偏振被称作是与y轴基本平行的垂直偏振。相似地,尽管在图7D中 S_{x1} 、 S_{y1} 、 L_{x1} 以及 L_{y1} 的偏振的定向在图7D的视图被定向成从上到下,但是这些偏振被称作是与x轴基本平行的水平偏振。对角线偏振指的是从平行于x轴的线起定向在大约正负45度的与x-y平面平行的任何偏振。

[0088] 由第三BD 706输出的子分量 S_{x1} 、 S_{x2} 、 S_{y1} 、 S_{y2} 、 L_{x1} 、 L_{x2} 、 L_{y1} 以及 L_{y2} 经由HWP 708传送。HWP 708可以定向在大约45度。HWP 708可以被配置成将子分量 S_{x1} 、 S_{x2} 、 S_{y1} 、 S_{y2} 、 L_{x1} 、 L_{x2} 、 L_{y1} 以及 L_{y2} 中的每个的偏振旋转90度,使得在HWP 708的输出处子分量 S_{x2} 、 S_{y2} 、 L_{x2} 以及 L_{y2} 中的每个具有水平偏振而子分量 S_{x1} 、 S_{y1} 、 L_{x1} 以及 L_{y1} 中的每个具有垂直偏振,如图7D中的“在HWP 708之后”所表示的。

[0089] 由HWP 708输出的子分量 S_{x1} 、 S_{x2} 、 S_{y1} 、 S_{y2} 、 L_{x1} 、 L_{x2} 、 L_{y1} 以及 L_{y2} 经由第六BD 726传送。如图7D中的“在BD6726之后”所表示的,第六BD 726不影响子分量 S_{x1} 、 S_{x2} 、 S_{y1} 、 S_{y2} 、 L_{x1} 、 L_{x2} 、 L_{y1} 以及 L_{y2} 的偏振。在图7C中最好地看出,第六BD 726被配置成增加垂直间隔,例如,子分量 S_{x1} 、 S_{y1} 、 L_{x1} 以及 L_{y1} 与相应的子分量 S_{x2} 、 S_{y2} 、 L_{x2} 以及 L_{y2} 之间沿y方向的距离。垂直间隔的增加在图7D中未反映出来。

[0090] 由第六BD 726输出的子分量 S_{x1} 、 S_{x2} 、 S_{y1} 、 S_{y2} 、 L_{x1} 、 L_{x2} 、 L_{y1} 以及 L_{y2} 经由HWP堆728传送。HWP堆728可以包括但不局限于石英。HWP堆728可以具有四个部分,包括传送子分量 S_{x1} 和 S_{y1} 的第一部分728A(图7D)、传送子分量 S_{x2} 和 S_{y2} 的第二部分728B(图7D)、传送子分量 L_{x1} 和 L_{y1} 的第三部分728C(图7D)以及传送子分量 L_{x2} 和 L_{y2} 的第四部分728D(图7D)。第一部分可以定向在大约45度,第二部分可以定向在大约0度,第三部分可以定向在大约0度,第四部分可以定向在大约45度。

[0091] 第一部分728A可以被配置成将具有垂直偏振的信号、诸如子分量 S_{x1} 和 S_{y1} 的偏振旋转成水平偏振。第二部分728B可以被配置成不旋转具有水平偏振的信号、诸如子分量 S_{x2} 和 S_{y2} 的偏振。第三部分728C可以被配置成不旋转具有垂直偏振的信号、诸如子分量 L_{x1} 和 L_{y1} 的偏振。第四部分728D可以被配置成将具有水平偏振的信号、诸如子分量 L_{x2} 和 L_{y2} 的偏振旋转成垂直偏振。子分量 S_{x1} 、 S_{x2} 、 S_{y1} 、 S_{y2} 、 L_{x1} 、 L_{x2} 、 L_{y1} 以及 L_{y2} 在通过HWP堆728的各个部分728A至728D之后的偏振被表示在图7D中的“在HWP堆728之后”处。

[0092] 由HWP堆728输出的子分量 S_{x1} 、 S_{x2} 、 S_{y1} 、 S_{y2} 、 L_{x1} 、 L_{x2} 、 L_{y1} 以及 L_{y2} 经由第七BD 730、第二HWP 732以及第四BD 710传送。第七BD 730和第四BD 710被配置成配合以将光信

号S的子分量 S_{x1} 、 S_{x2} 、 S_{y1} 以及 S_{y2} 中的每个与L0信号L的子分量 L_{x1} 、 L_{x2} 、 L_{y1} 以及 L_{y2} 中的相对应的一个配对,使得第四BD 710的输出包括四个信号对,包括第一信号对 S_{x1}/L_{x1} 、第二信号对 S_{x2}/L_{x2} 、第三信号对 S_{y1}/L_{y1} 、以及第四信号对 S_{y2}/L_{y2} 。

[0093] 具体地,第七BD 730将子分量 S_{x1} 、 S_{x2} 、 S_{y1} 以及 S_{y2} 中的每个的信号路径重新定向,使得 S_{y1} 和 L_{x1} 在第七BD 730的输出处位于同一信号路径,并且 S_{y2} 和 L_{x2} 在第七BD 730的输出处也位于同一信号路径,如在图7D中最好地看出的。图7D额外地绘出了各个子分量在第七BD 730的输出处的偏振状态,如“在BD7730之后”所表示的。如图7D所示,第七BD 730不影响通过的子分量 S_{x1} 、 S_{x2} 、 S_{y1} 、 S_{y2} 、 L_{x1} 、 L_{x2} 、 L_{y1} 以及 L_{y2} 的偏振。

[0094] 由于子分量 S_{x1} 、 S_{x2} 、 S_{y1} 、 S_{y2} 、 L_{x1} 、 L_{x2} 、 L_{y1} 以及 L_{y2} 经由第七BD 730、第二HWP 732以及第四BD 710传送,所以子分量 S_{x1} 、 S_{x2} 、 S_{y1} 、 S_{y2} 、 L_{x1} 、 L_{x2} 、 L_{y1} 以及 L_{y2} 中的每个的偏振由第二HWP 732改变。具体地,第二HWP 732旋转子分量 S_{x1} 、 S_{x2} 、 S_{y1} 、 S_{y2} 、 L_{x1} 、 L_{x2} 、 L_{y1} 以及 L_{y2} 中的每个的偏振,使得在第二HWP 732的输出处子分量 S_{x1} 、 S_{x2} 、 S_{y1} 以及 S_{y2} 具有垂直偏振而子分量 L_{x1} 、 L_{x2} 、 L_{y1} 以及 L_{y2} 具有水平偏振,如图7D中的“在HWP2 732之后”所表示的。在一些实施例中第二HWP732定向在大约45度。

[0095] 第四BD 710将子分量 L_{x1} 、 L_{x2} 、 L_{y1} 以及 L_{y2} 中的每个的信号路径重新定向,使得 S_{x1} 和 L_{x1} 配对(例如,在相同的信号路径上), S_{x2} 和 L_{x2} 配对, S_{y1} 和 L_{y1} 配对,以及 S_{y2} 和 L_{y2} 配对。图7D示出在第四BD 710的输出处各个子分量的偏振状态,如“在BD4 710之后”所表示的。如图7D所示,第四BD 710不影响通过的子分量 S_{x1} 、 S_{x2} 、 S_{y1} 、 S_{y2} 、 L_{x1} 、 L_{x2} 、 L_{y1} 以及 L_{y2} 的偏振。

[0096] 图7D还示出了由于各个子分量经由第七BD 730、第二HWP 732以及第四BD 710传送,所以子分量 S_{x1} 、 S_{x2} 、 S_{y1} 以及 S_{y2} 大体具有与子分量 L_{x1} 、 L_{x2} 、 L_{y1} 以及 L_{y2} 的偏振正交的偏振。如此,所述子分量 S_{x1} 、 S_{x2} 、 S_{y1} 以及 S_{y2} 大体不与相对应的子分量 L_{x1} 、 L_{x2} 、 L_{y1} 以及 L_{y2} 干涉,在各个子分量经由第七BD 730、第二HWP 732以及第四BD 710传送时的任何阶段与所述子分量 L_{x1} 、 L_{x2} 、 L_{y1} 以及 L_{y2} 共用信号路径。

[0097] 在第四BD 710之后,第二信号对 S_{x2}/L_{x2} 通过QWP 714。第四信号对 S_{y2}/L_{y2} 也通过QWP 714,而第一信号对 S_{x1}/L_{x1} 和第三信号对 S_{y1}/L_{y1} 不通过QWP 714。在至少一些示例性实施例中,QWP 714定向在大约0度。因此,QWP 714可以被配置成在第一信号对 S_{x1}/L_{x1} 与第二信号对 S_{x2}/L_{x2} 之间引入90度相位差,还可以被配置成在第三信号对 S_{y1}/L_{y1} 与第四信号对 S_{y2}/L_{y2} 之间引入90度相位差。

[0098] 接着,信号对 S_{x1}/L_{x1} 、 S_{x2}/L_{x2} 、 S_{y1}/L_{y1} 以及 S_{y2}/L_{y2} 经由第八BD 734和第五BD 712传送。第八BD 734和第五BD 712配合以将子分量 S_{x1} 在具有彼此正交的对角线偏振的单独信号路径上分成第一部分和第二部分。子分量 S_{x1} 的第一部分和第二部分在一些实施例中具有基本相同的功率。相似地,第八BD 734和第五BD 712配合以将在与子分量 S_{x1} 相同的信号路径上行进的子分量 L_{x1} 分成具有彼此正交的对角线偏振的第一部分和第二部分。子分量 L_{x1} 的第一部分和第二部分在与子分量 S_{x1} 的第一部分和第二部分相同的单独信号路径行进,并且在一些实施例中可以具有基本相同的功率。

[0099] 子分量 S_{x1} 的第一部分可以在第八BD 734和/或第五BD 712中与行进在与子分量 S_{x1} 的第一部分相同的信号路径上的子分量 L_{x1} 的第一部分相长干涉,以产生同相信号 $S_{x1}+L_{x1}$ 。子分量 S_{x1} 的第二部分可以在第八BD 734和/或第五BD 712中与行进在与子分量 S_{x1} 的

第二部分相同的信号路径上的子分量 L_{x1} 的第二部分相消干涉,以产生同相信号 $S_{x1-L_{x1}}$ 。可与图5B中的同相信号 S_{x+L_x} 和 S_{x-L_x} 相对应的同相信号 $S_{x1+L_{x1}}$ 和 $S_{x1-L_{x1}}$ 可以提供给一对平衡光电转换器,诸如图5B的一对平衡光电转换器504A。

[0100] 以类似的方式,第八BD 734和第五BD 712配合以将子分量 S_{x2} 、 S_{y1} 以及 S_{y2} 中的每个分成两个部分,所述两个部分具有彼此正交且位于单独信号路径上的对角线偏振。第八BD 734和第五BD 712也配合以将子分量 L_{x2} 、 L_{y1} 以及 L_{y2} 中的每个分成两个部分,所述两个部分具有彼此正交且分别位于与子分量 S_{x2} 、 S_{y1} 以及 S_{y2} 的相对应部分相同的单独信号路径上的对角线偏振。然后子分量 S_{x2} 、 S_{y1} 以及 S_{y2} 的部分与在第八BD 734和/或第五BD 712中行进在相同信号路径上的子分量 L_{x2} 、 L_{y1} 以及 L_{y2} 的相应部分相长干涉和相消干涉。

[0101] 具体地,子分量 S_{x2} 的第一部分可以与行进在与子分量 S_{x2} 的第一部分相同的信号路径上的子分量 L_{x2} 的第一部分相长干涉,以产生正交相信号 $S_{x2+L_{x2}}$ 。另外,子分量 S_{x2} 的第二部分可以与行进在与子分量 S_{x2} 的第二部分相同的信号路径上的子分量 L_{x2} 的第二部分相消干涉,以产生正交相信号 $S_{x2-L_{x2}}$ 。可与图5B中的正交相信号 S_{x+jL_x} 和 S_{x-jL_x} 相对应的正交相信号 $S_{x2+L_{x2}}$ 和 $S_{x2-L_{x2}}$ 可以提供给一对平衡光电转换器,诸如图5B的一对平衡光电转换器504B。

[0102] 类似地,子分量 S_{y1} 的第一部分可以与行进在与子分量 S_{y1} 的第一部分相同的信号路径上的子分量 L_{y1} 的第一部分相长干涉,以产生同相信号 $S_{y1+L_{y1}}$ 。另外,子分量 S_{y1} 的第二部分可以与行进在与子分量 S_{y1} 的第二部分相同的信号路径上的子分量 L_{y1} 的第二部分相消干涉,以产生同相信号 $S_{y1-L_{y1}}$ 。可与图5B中的同相信号 S_{y+L_y} 和 S_{y-L_y} 相对应的同相信号 $S_{y1+L_{y1}}$ 和 $S_{y1-L_{y1}}$ 可以提供给一对平衡光电转换器,诸如图5B的一对平衡光电转换器504C。

[0103] 类似地,子分量 S_{y2} 的第一部分可以与行进在与子分量 S_{y2} 的第一部分相同的信号路径上的子分量 L_{y2} 的第一部分相长干涉,以产生正交相信号 $S_{y2+L_{y2}}$ 。另外,子分量 S_{y2} 的第二部分可以与行进在与子分量 S_{y2} 的第二部分相同的信号路径上的子分量 L_{y2} 的第二部分相消干涉,以产生正交相信号 $S_{y2-L_{y2}}$ 。可与图5B中的正交相信号 S_{y+jL_y} 和 S_{y-jL_y} 相对应的正交相信号 $S_{y2+L_{y2}}$ 和 $S_{y2-L_{y2}}$ 可以提供给一对平衡光电转换器,诸如图5B的一对平衡光电转换器504D。

[0104] 尽管将图7A至图7C的解调器700示出为在QWP 714之后包括第八BD 734和第五BD 712两者,但是在其他的实施例中,第八BD 734和第五BD 712可以由单个BD来代替,诸如由图6A至6C的第五BD 612来代替。替代地或附加地,可以将解调器600、700的每个实施为完全无源的解调器。

[0105] 在不脱离本发明的主旨或必要特征的情况下可以用其他的具体形式来实现。所描述的实施例在所有方面均被认为仅是说明性而不是限定性的。因此,本发明的范围由所附权利要求而不由前面的描述指明。在权利要求的等同含义和范围之内所有变化都包括在本发明的范围之内。

[0106] 可见,基于上述公开内容,本发明提供了如下方案:

[0107] 附记1.一种解调器,包括:

[0108] 第一移束器;

[0109] 第二移束器,所述第二移束器被定位成接收来自所述第一移束器的输出;

- [0110] 第三移束器,所述第三移束器被定位成接收来自所述第二移束器的输出;
- [0111] 半波片,所述半波片被定位成接收来自所述第三移束器的输出;
- [0112] 第四移束器,所述第四移束器被定位成接收来自所述半波片的输出;
- [0113] 第五移束器,所述第五移束器被定位成接收来自所述第四移束器的输出;以及
- [0114] 四分之一波片,所述四分之一波片被定位在所述第四移束器与所述第五移束器之间。
- [0115] 附记2.如附记1所述的解调器,其中,所述半波片包括四个部分,所述四个部分包括定向在大约45度的第一部分、定向在大约0度的第二部分,定向在大约0度的第三部分,以及定向在大约45度的第四部分。
- [0116] 附记3.如附记1所述的解调器,其中,所述半波片与所述第三移束器耦合。
- [0117] 附记4.如附记1所述的解调器,其中:
- [0118] 所述第一移束器被配置成接收光信号S和本地振荡器信号L作为输入;
- [0119] 所述第二移束器的输出包括所述光信号S的两个正交偏振的分量 S_x 和 S_y ,以及所述本地振荡器信号L的两个正交偏振的分量 L_x 和 L_y ;
- [0120] 所述第三移束器的输出包括分量 S_x 的第一子分量 S_{x1} 和第二子分量 S_{x2} 、分量 S_y 的第一子分量 S_{y1} 和第二子分量 S_{y2} 、分量 L_x 的第一子分量 L_{x1} 和第二子分量 L_{x2} 、以及分量 L_y 的第一子分量 L_{y1} 和第二子分量 L_{y2} ;
- [0121] 所述第四移束器的输出包括:
- [0122] 第一信号对,所述第一信号对包括所述第一子分量 S_{x1} 和所述第一子分量 L_{x1} ;
- [0123] 第二信号对,所述第二信号对包括所述第二子分量 S_{x2} 和所述第二子分量 L_{x2} ;
- [0124] 第三信号对,所述第三信号对包括所述第一子分量 S_{y1} 和所述第二子分量 L_{y1} ;以及
- [0125] 第四信号对,所述第四信号对包括所述第二子分量 S_{y2} 和所述第二子分量 L_{y2} ;以及
- [0126] 所述四分之一波片被配置成在所述第一信号对与所述第二信号对之间产生90度相位差,还被配置成在所述第三信号对与所述第四信号对之间产生90度相位差。
- [0127] 附记5.如附记1所述的解调器,其中,所述半波片包括第一半波片,所述解调器还包括:
- [0128] 第六移束器,所述第六移束器被定位在所述半波片与所述第四移束器之间;
- [0129] 半波片堆,所述半波片堆被定位在所述第六移束器与所述第四移束器之间;
- [0130] 第七移束器,所述第七移束器被定位在所述半波片堆与所述第四移束器之间;以及
- [0131] 第二半波片,所述第二半波片被定位在所述第七移束器与所述第四移束器之间。
- [0132] 附记6.如附记5所述的解调器,还包括第八移束器,所述第八移束器被定位在所述四分之一波片与所述第五移束器之间。
- [0133] 附记7.如附记5所述的解调器,其中,所述第二半波片定向在大约45度。
- [0134] 附记8.如附记5所述的解调器,其中,所述半波片堆包括石英。
- [0135] 附记9.如附记1所述的解调器,还包括:
- [0136] 具有馈通的光纤阵列;

- [0137] 透镜阵列,所述透镜阵列被定位在所述具有馈通的光纤阵列与所述第一移束器之间;
- [0138] 间隔件,所述间隔件位于所述具有馈通的光纤阵列与所述透镜阵列之间;
- [0139] 第一衬底,所述第一衬底上安装有所述半波片、所述四分之一波片、以及所述第一移束器、所述第二移束器、所述第三移束器、所述第四移束器和第五移束器;以及
- [0140] 第二衬底,所述第二衬底上安装有所述具有馈通的光纤阵列和所述第一衬底的一部分。
- [0141] 附记10.如附记1所述的解调器,其中,所述解调器是完全无源的解调器。
- [0142] 附记11.一种光接收器,包括:
- [0143] 附记1所述的解调器;以及
- [0144] 四对平衡光电转换器,所述四对平衡光电转换器被定位成接收由所述第五移束器输出的八个光信号。
- [0145] 附记12.一种光电模块,包括:
- [0146] 双偏振正交相移键控解调器,包括:
- [0147] 第一移束器;
- [0148] 第二移束器,所述第二移束器被定位成接收来自所述第一移束器的输出;
- [0149] 第三移束器,所述第三移束器被定位成接收来自所述第二移束器的输出;
- [0150] 半波片,所述半波片被定位成接收来自所述第三移束器的输出;
- [0151] 第四移束器,所述第四移束器被定位成接收来自所述半波片的输出;
- [0152] 第五移束器,所述第五移束器被定位成接收来自所述第四移束器的输出;
- [0153] 四分之一波片,所述四分之一波片被定位在所述第四移束器与所述第五移束器之间;
- [0154] 多个光检测器,所述多个光检测器被定位成接收由所述双偏振正交相移键控解调器输出的多个光信号,并且被配置成将所述多个光信号转换成多个电信号;以及
- [0155] 数字信号处理器,所述数字信号处理器与所述多个光检测器的相应的输出电耦合。
- [0156] 附记13.如附记12所述的光电模块,其中,所述多个光检测器包括多对平衡光电转换器。
- [0157] 附记14.如附记12所述的光电模块,其中,所述半波片包括第一半波片,所述双偏振正交相移键控解调器还包括:
- [0158] 第六移束器,所述第六移束器被定位在所述半波片与所述第四移束器之间;
- [0159] 半波片堆,所述半波片堆被定位在所述第六移束器与所述第四移束器之间;
- [0160] 第七移束器,所述第七移束器被定位在所述半波片堆与所述第四移束器之间;以及
- [0161] 第二半波片,所述第二半波片被定位在所述第七移束器与所述第四移束器之间。
- [0162] 附记15.如附记14所述的光电模块,所述双偏振正交相移键控解调器还包括第八移束器,所述第八移束器被定位在所述四分之一波片与所述第五移束器之间。

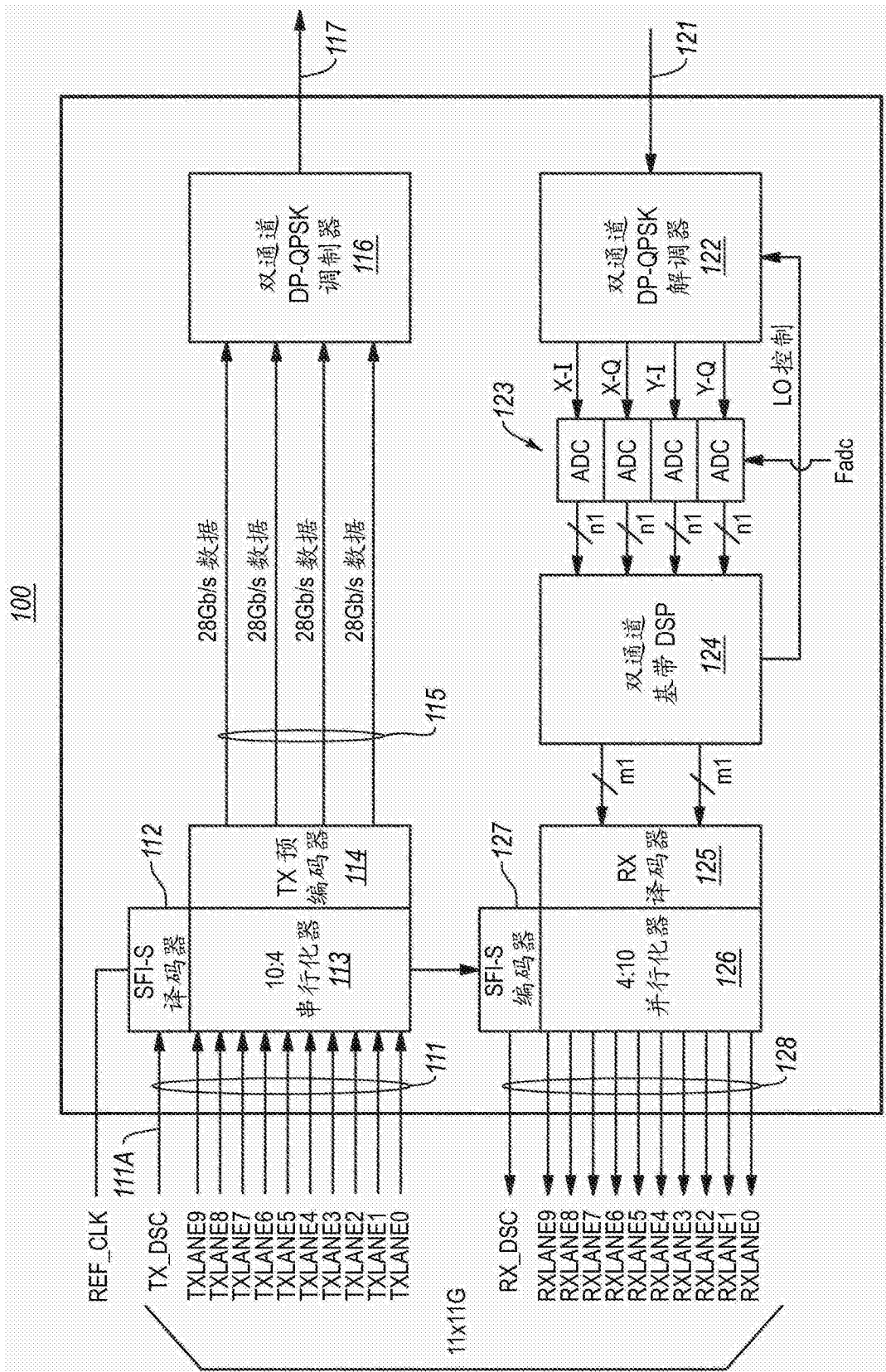


图1

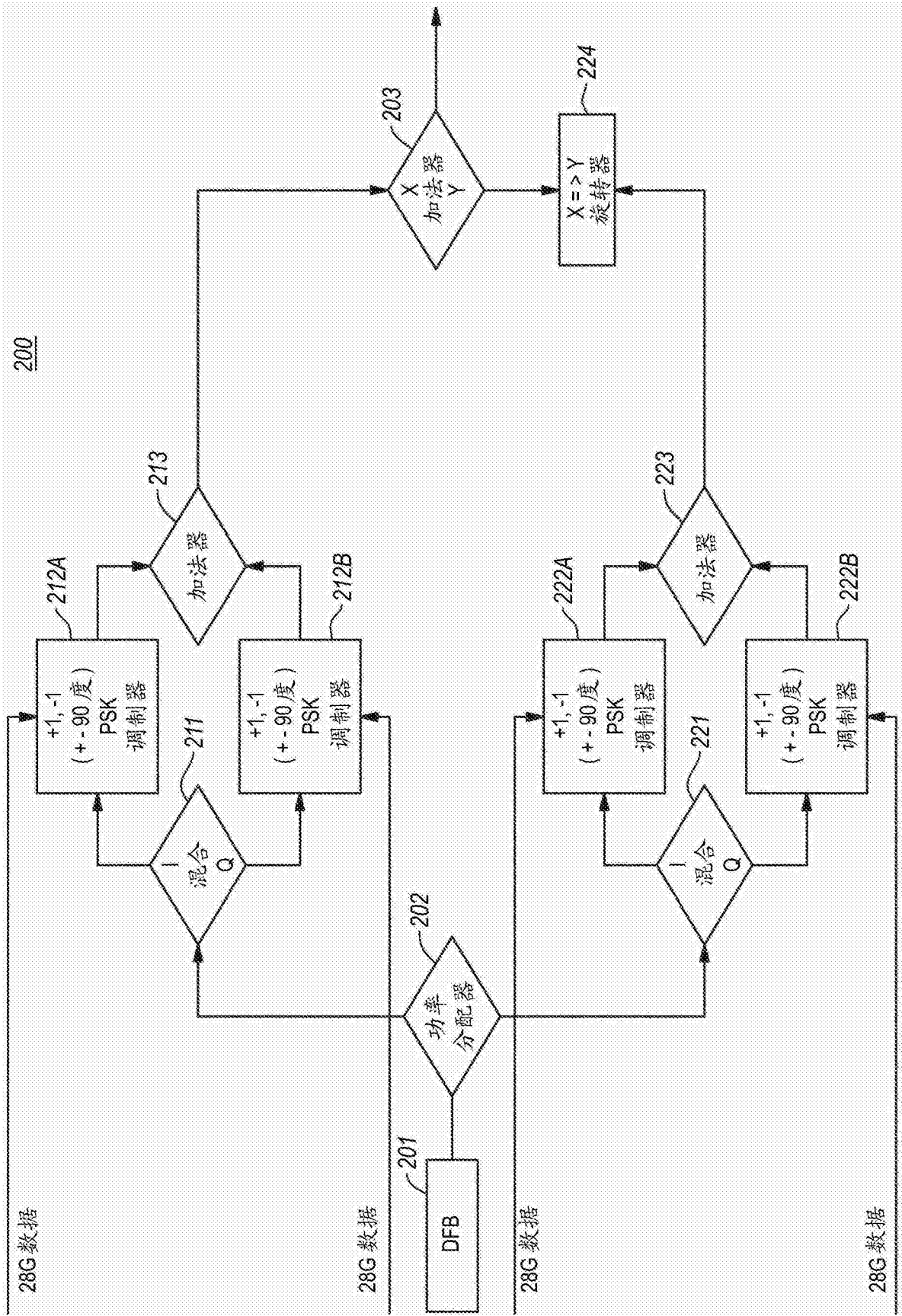


图2

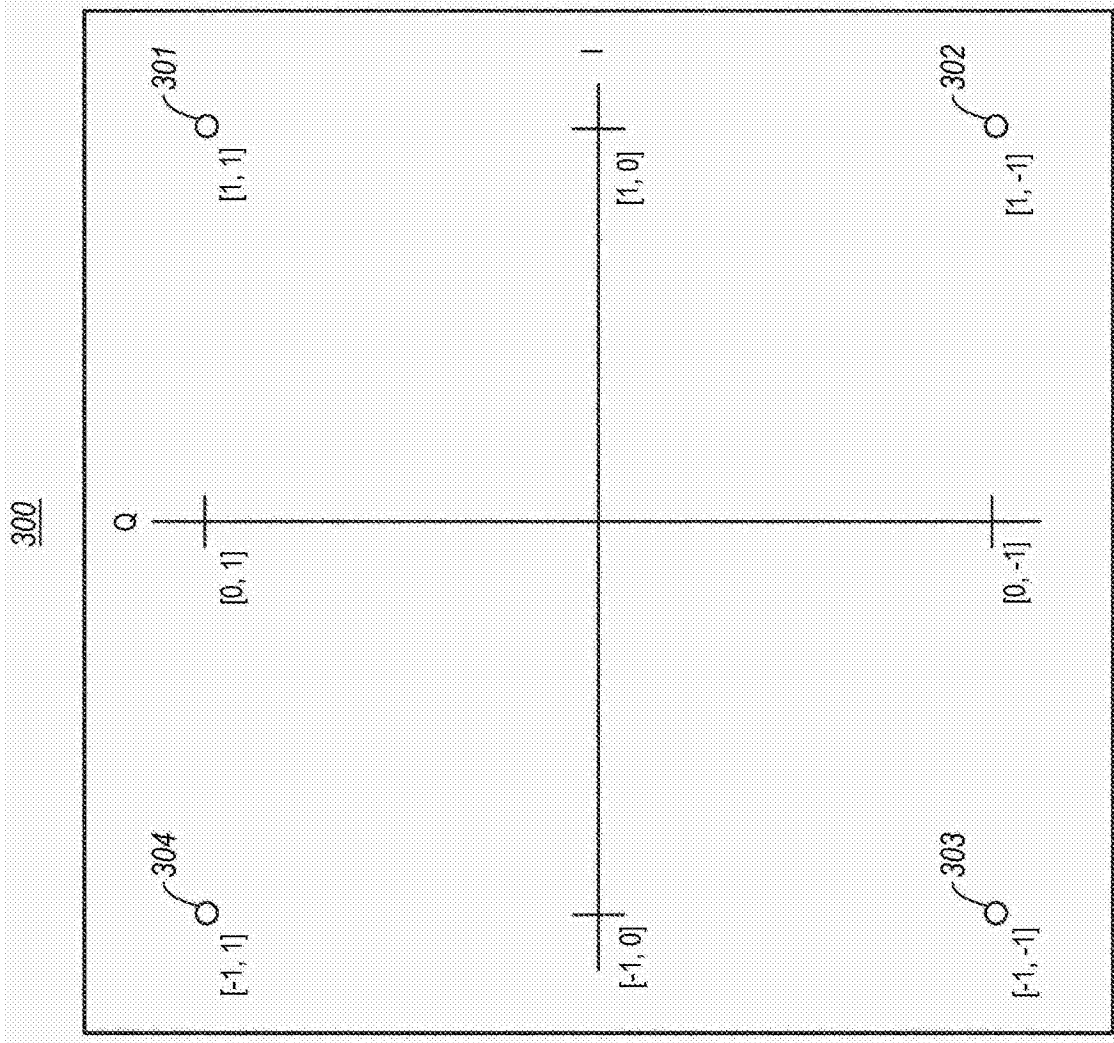


图3

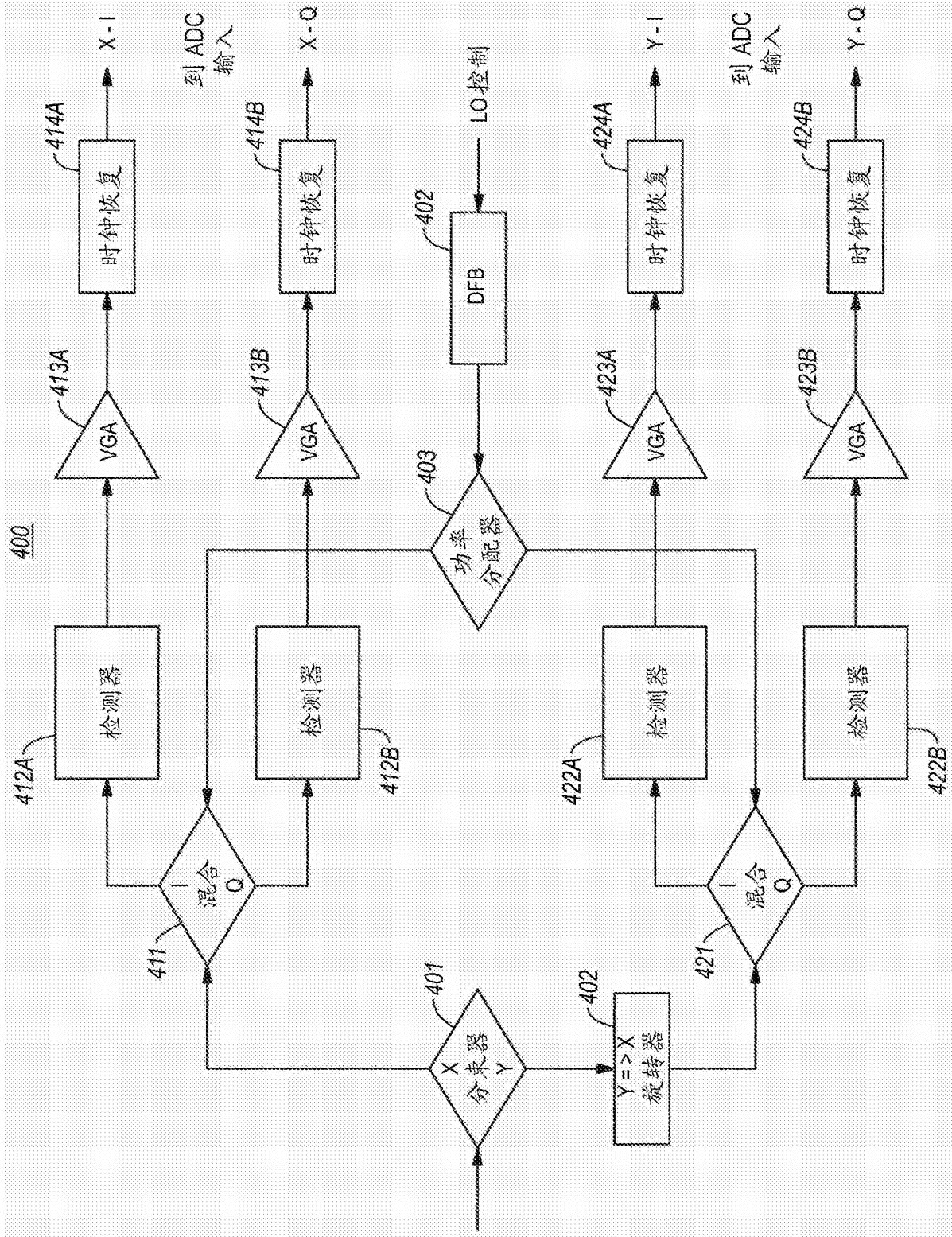


图4

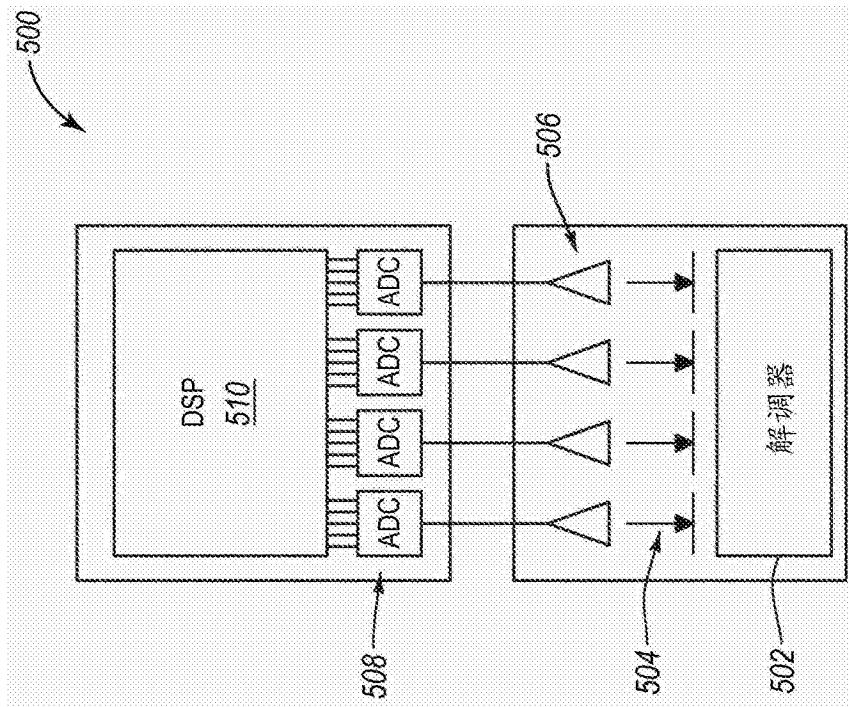


图5A

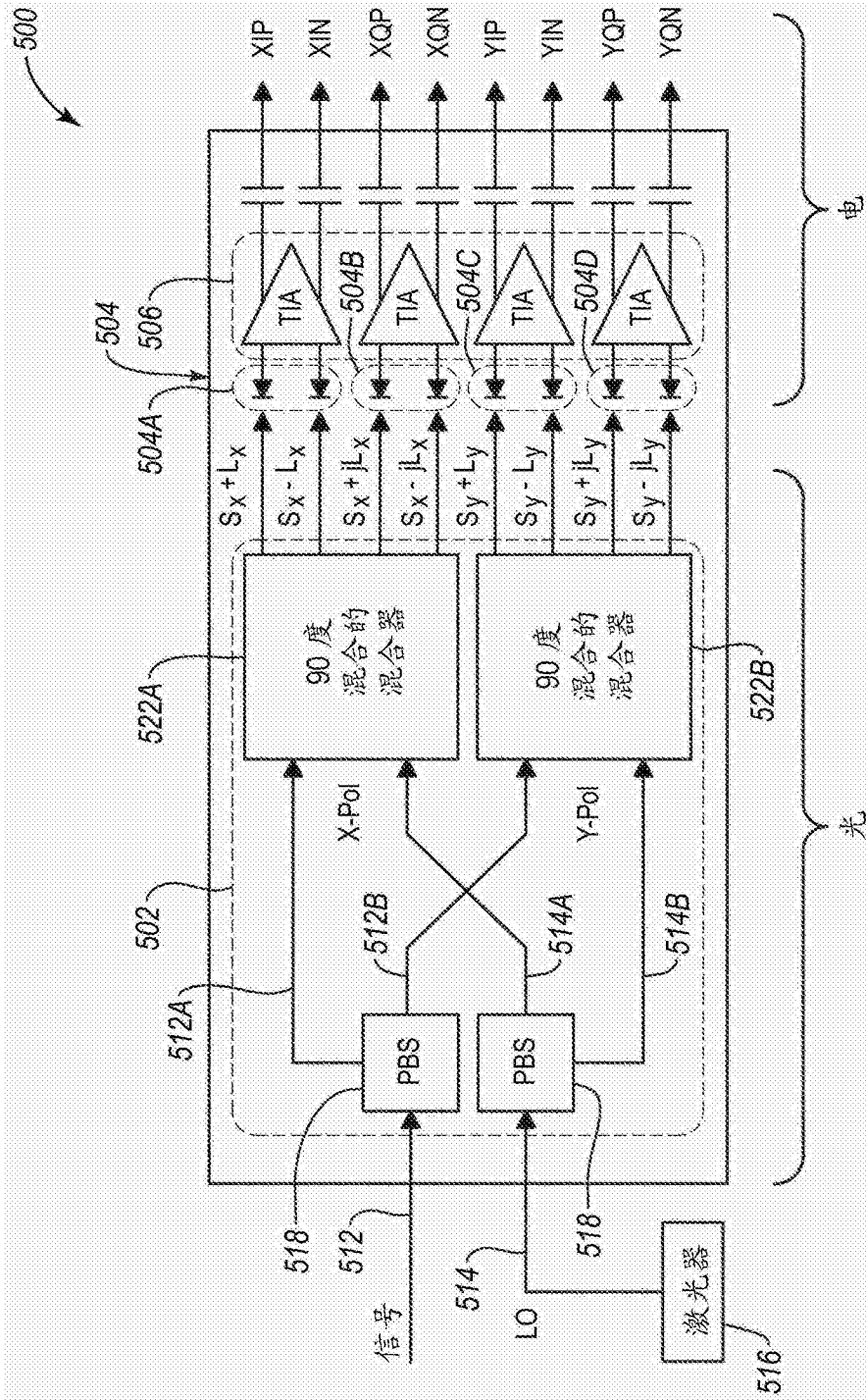


图5B

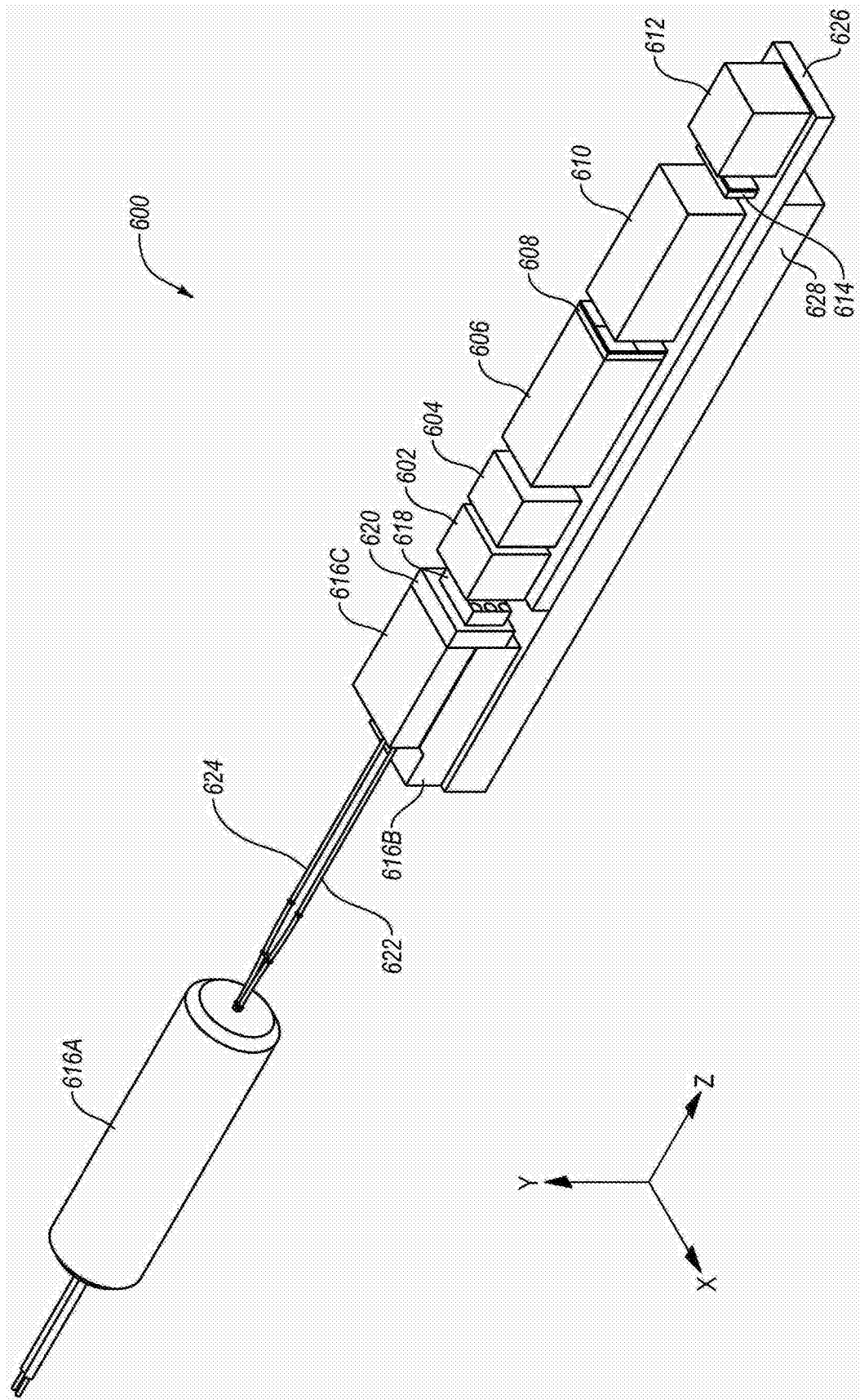


图6A

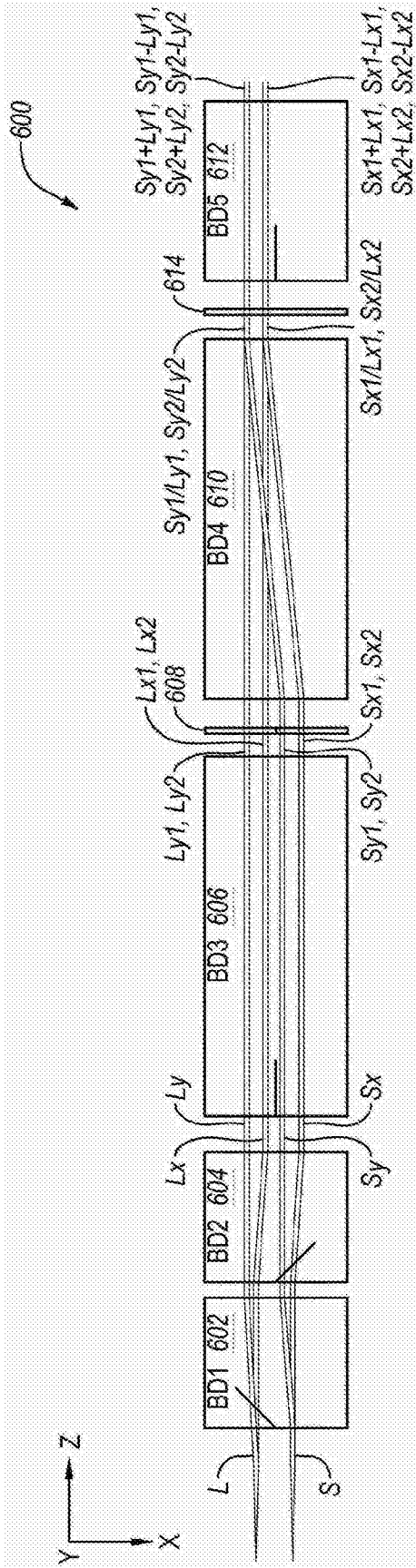


图6B

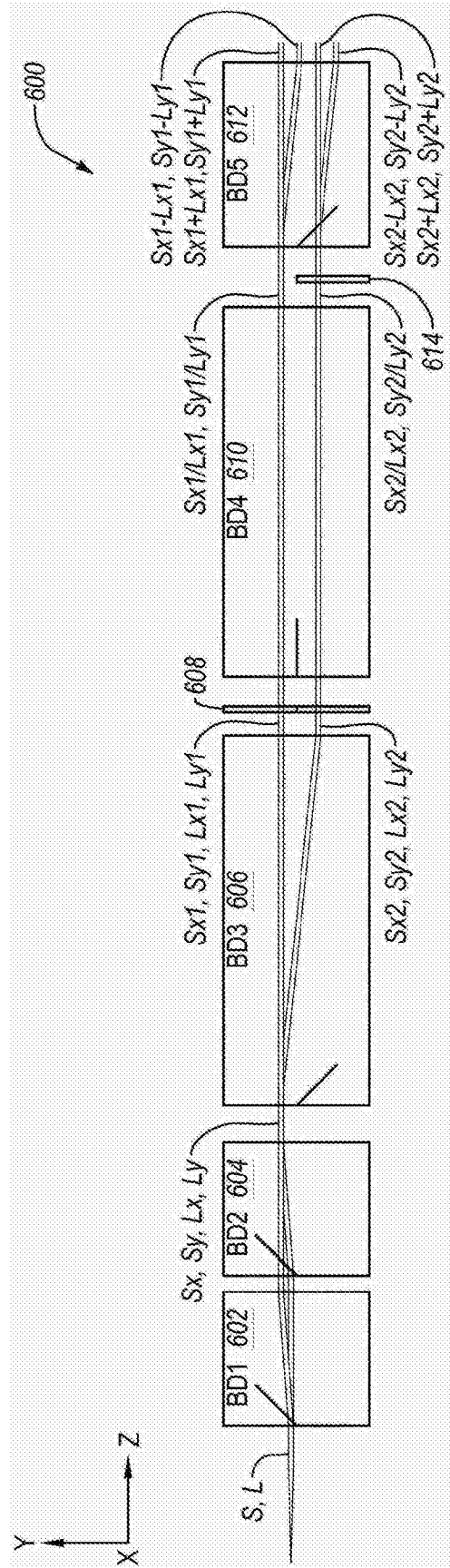


图6C

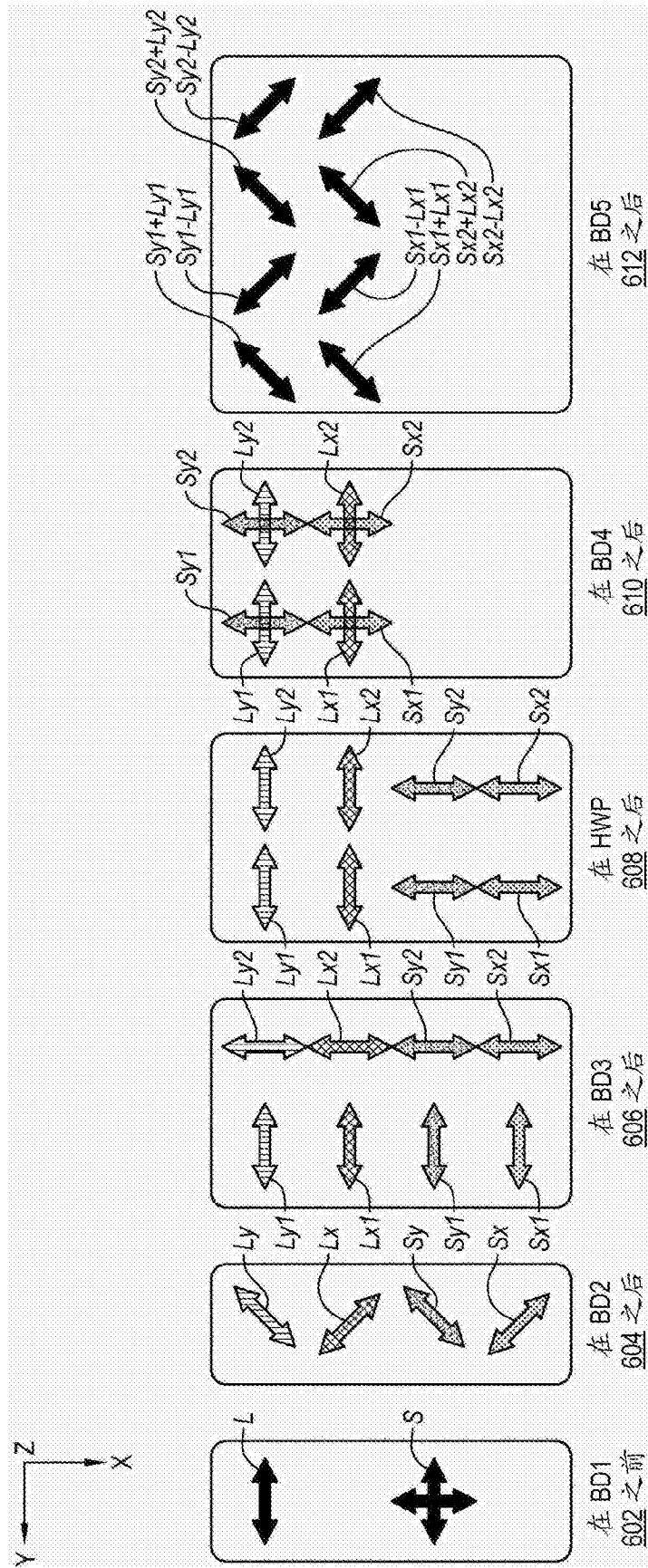


图6D

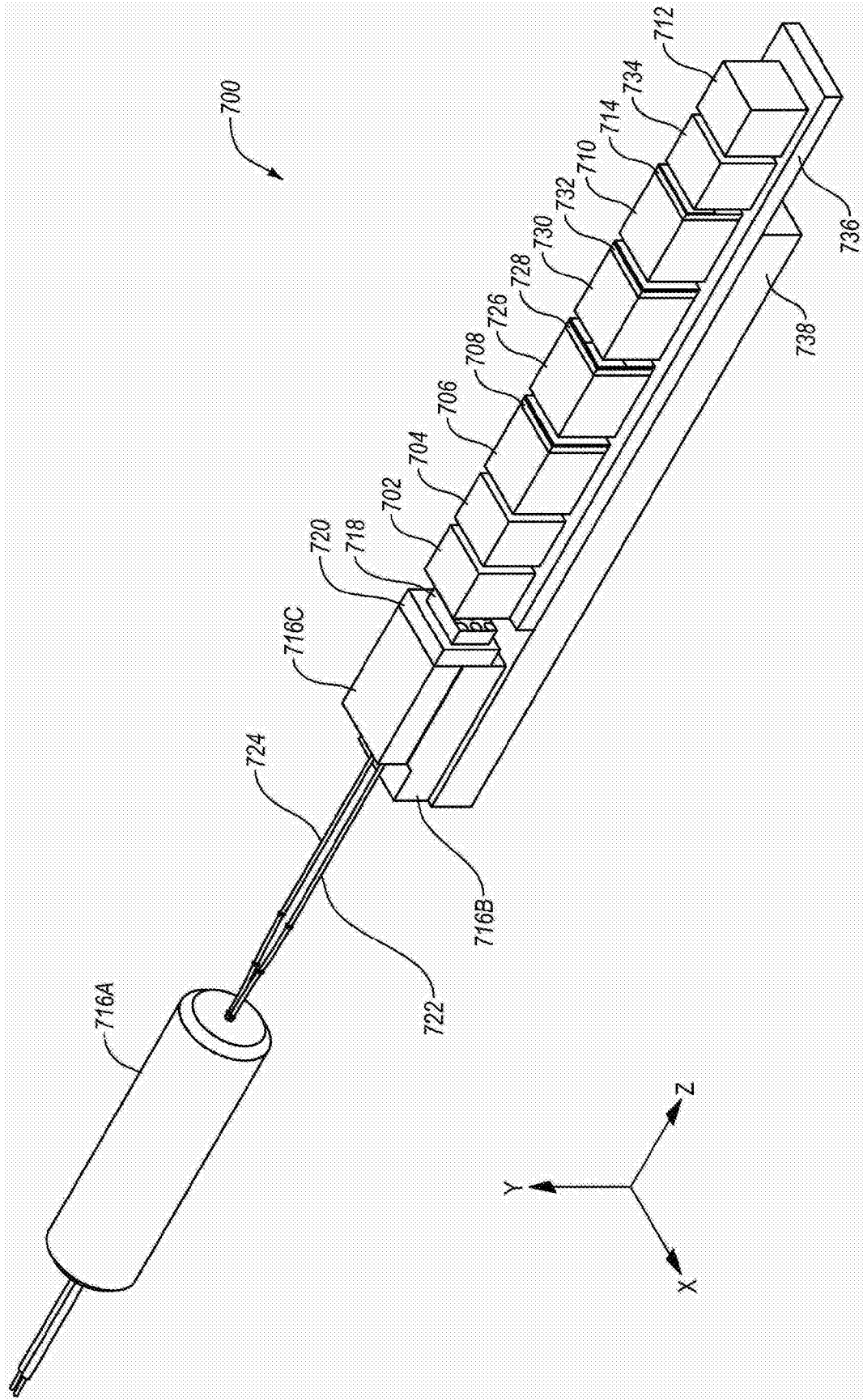


图7A

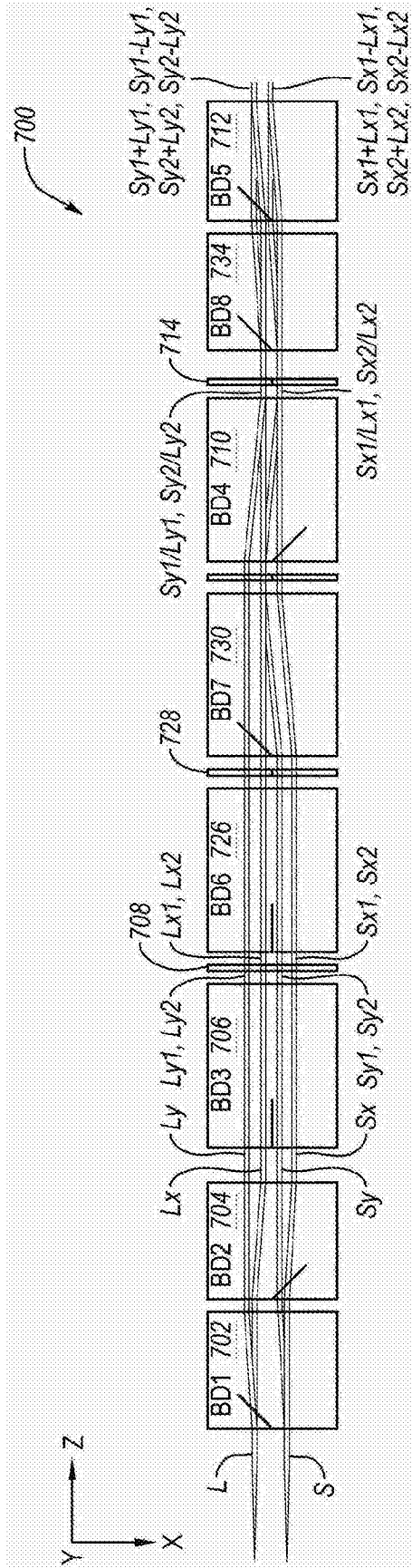


图7B

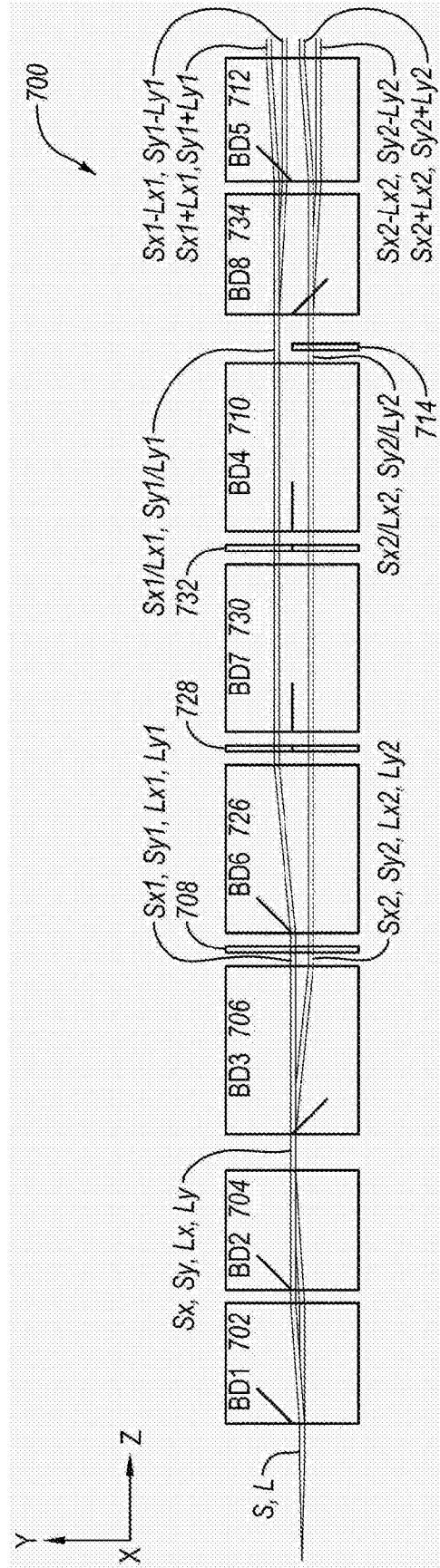


图7C

