



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118502017 A

(43) 申请公布日 2024. 08. 16

(21) 申请号 202410560930.6

(22) 申请日 2020.08.19

(30) 优先权数据

62/889,065 2019.08.20 US

(62) 分案原申请数据

202080054024.9 2020.08.19

(71) 申请人 OAM光电有限公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 凯姆·外·加利福德·婵

钟的·翁

(74) 专利代理机构 北京高沃律师事务所 11569

专利代理师 韩雪梅

(51) Int. Cl.

G02B 6/12 (2006.01)

G01J 1/44 (2006.01)

G02B 6/122 (2006.01)

G02B 1/00 (2006.01)

G02B 6/24 (2006.01)

G02B 6/26 (2006.01)

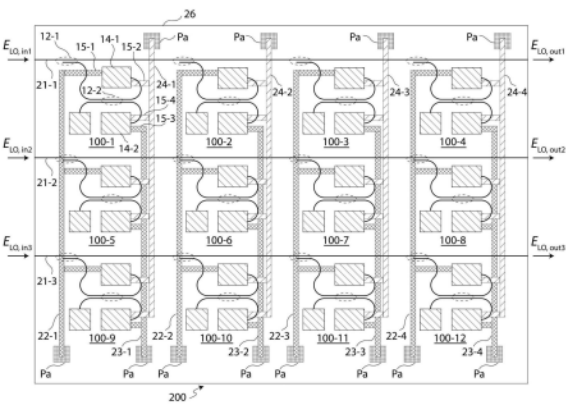
权利要求书3页 说明书32页 附图26页

(54) 发明名称

光子相干检测阵列

(57) 摘要

本发明涉及相干检测阵列以及用于相干检测阵列的信号读出的多路复用的方法。相干检测阵列可以在光子集成电路 (PIC) 上实现。它可以包括与连接波导和导电路径耦合的多个相干检测单元,其中,导电路径可以表现为用于多路复用电信号的读出通道。检测单元可以被配置为包括自由空间到波导耦合器、光耦合器和光电检测器。相干检测阵列实现可以利用相干检测阵列的额外自由度的多路复用方法。这些方法可以包括由本地振荡器实现的那些方法和与基于PIC的检测阵列的组件的特性和响应相关的那些方法。



1. 一种相干检测设备,包括:

相干检测阵列,所述相干检测阵列包括多个相干检测单元以接收来自自由空间的输入光信号;

多个编码波导,每个编码波导光耦合到所述相干检测单元的第一子集;

多个读出通道,每个读出通道电连接到所述相干检测单元的第二子集;

光学输入电路,所述光学输入电路通过所述编码波导中的一个将本地振荡器 (LO) 信号引入到所述相干检测单元的相应的第一子集,LO信号和所述输入光信号在所述第一子集中的各个相干检测单元中被光混合并转换成输出电信号;以及

读出电路,所述读出电路电连接到所述读出通道;

其中,所述读出电路被配置为:

从所述读出通道接收电读出信号;以及

基于所述第一子集和所述第二子集中的所述相干检测单元的重叠的一个的检测单元信息,从所述电读出信号的交叉分量中提取信号信息,所述信号信息与所述相干检测单元的所述重叠的一个接收的所述输入光信号相关联。

2. 根据权利要求1所述的设备,其中,所述电读出信号基于分别从所述第二子集中的所述相干检测单元生成的输出电信号。

3. 根据权利要求1所述的设备,其中,所述交叉分量与所述输入光信号的电场和所述LO信号的电场的乘积相关。

4. 根据权利要求1所述的设备,其中,所述检测单元信息包括与所述LO信号被引入的所述第一子集的所述相干检测单元的位置相关的信息。

5. 根据权利要求4所述的设备,其中,所述检测单元信息还包括与所述LO信号的振幅、频率、相对相位以及应用时间和持续时间中的至少一个相关的信息。

6. 根据权利要求1所述的设备,其中,各个相干检测单元包括高通滤波器,以滤除所述输出电信号的直流分量。

7. 根据权利要求1所述的设备,其中,各个相干检测单元包括:

光耦合器,所述光耦合器混合所述输入光信号和所述LO信号,并将混合的光信号分成第一输出光信号和第二输出光信号;以及

第一光电检测器和第二光电检测器,所述第一光电检测器和所述第二光电检测器将第一输出光信号和第二输出光信号分别转换成第一输出电信号和第二输出电信号。

8. 根据权利要求7所述的设备,其中,取第一输出电信号和第二输出电信号的差以生成差分输出电信号;以及

其中,所述读出电路被配置为基于分别从所述第二子集中的所述相干检测单元生成的差分输出电信号来接收所述电读出信号。

9. 根据权利要求7所述的设备,其中,各个读出通道包括:

第一读出通道,所述第一读出通道电连接到所述第二子集中的所述相干检测单元;以及

第二读出通道,所述第二读出通道电连接到所述第二子集中的所述相干检测单元;以及

其中,所述读出电路被配置为:

分别从所述第一读出通道和所述第二读出通道接收第一电读出信号和第二电读出信号,所述第一电读出信号和所述第二电读出信号分别基于从所述第二子集中的所述相干检测单元生成的所述第一输出电信号和所述第二输出电信号;以及

通过取所述第一电读出信号和所述第二电读出信号的差来提取与所述输入光信号相关联的所述信号信息。

10. 根据权利要求1所述的设备,还包括多个编码通道,每个编码通道电连接到所述相干检测单元的第三子集;以及

其中,所述读出电路被配置为:

从所述读出通道接收电读出信号;以及

基于所述第一子集、所述第二子集和所述第三子集中的所述相干检测单元的重叠的一个的检测单元信息,从所述电读出信号的交叉分量中提取信号信息,所述信号信息与由所述相干检测单元的所述重叠的一个接收的所述输入光信号相关联。

11. 根据权利要求10所述的设备,其中,所述检测单元信息包括与所述第三子集的所述相干检测单元的位置相关的信息。

12. 根据权利要求10所述的设备,其中,所述相干检测单元的一个或多个所述第三子集中的光电检测器通过所述第三子集的相应的编码通道被接通,其中,所述相干检测单元的所述第三子集的另外的一个或多个中的所述光电检测器通过所述第三子集的相应的编码通道被关断。

13. 根据权利要求12所述的设备,其中,所述电读出信号基于分别从所述第二子集和所述第三子集中的重叠的相干检测单元生成的输出电信号,其中,所述第三子集的所述光电检测器被接通。

14. 根据权利要求10所述的设备,其中,所述第三子集中的所述相干检测单元的所述光电检测器的响应度被有限的频率偏移调制,使得由所述相干检测单元生成的所述输出电信号被移位到不同的频带。

15. 一种光学相干检测方法,包括:

使用相干检测阵列的相干检测单元的第一子集从自由空间接收输入光信号;

通过光波导将本地振荡器 (LO) 信号引入所述相干检测单元的第二子集,其中,所述第二子集与所述第一子集重叠;

在所述第一子集和所述第二子集中的所述各个重叠的相干检测单元中,通过光耦合器光混合所述输入光信号和LO信号,以从所述光耦合器生成输出光信号;

在所述相干检测单元的所述第三子集中的各个相干检测单元中,通过光电检测器将所述输出光信号转换成输出电信号,其中,所述第三子集与所述第一子集和所述第二子集重叠;

基于分别从电连接到所述第三子集中的读出通道的相干检测单元生成的输出电信号,通过读出通道输出电读出信号;以及

基于所述第一子集、所述第二子集和所述第三子集中的所述相干检测单元的重叠的一个的检测单元信息,从所述电读出信号的交叉分量中提取信号信息,所述信号信息与由所述相干检测单元的所述重叠的一个接收的所述输入光信号相关联。

16. 根据权利要求15所述的方法,其中,所述交叉分量与所述输入光信号的电场和所述

L0信号的电场的乘积相关。

17. 根据权利要求15所述的方法, 其中, 所述检测单元信息包括与所述L0信号被引入的所述第二子集的所述相干检测单元的位置相关的信息。

18. 根据权利要求17所述的方法, 其中, 所述检测单元信息还包括与所述L0信号的振幅、频率、相对相位以及应用时间和持续时间中的至少一个相关的信息。

19. 根据权利要求15所述的方法, 其中, 所述检测单元信息包括与所述第三子集的所述相干检测单元的位置相关的信息。

20. 根据权利要求15所述的方法, 还包括使用高通滤波器滤除所述输出电信号的直流分量以获得所述交叉分量。

21. 根据权利要求15所述的方法, 在光混合所述输入光信号和所述L0信号之后, 还包括在所述第一子集和所述第二子集中的所述各个重叠的相干检测单元中将所述输出光信号分成第一输出光信号和第二输出光信号; 以及

其中, 转换所述输出光信号包括:

由所述第三子集中的所述各个相干检测单元中的第一光电检测器将第一输出光信号转换成所述第一输出电信号; 以及

由所述第三子集中的所述各个相干检测单元中的第二光电检测器将第二输出光信号转换成所述第二输出电信号。

22. 根据权利要求21所述的方法, 在将所述第一输出光信号和所述第二输出光信号分别转换成所述第一输出电信号和所述第二输出电信号之后, 还包括取所述第一输出电信号和所述第二输出电信号的差, 以在所述第三子集中的所述各个相干检测单元中生成差分输出电信号; 以及

其中, 基于分别从电连接到所述第三子集中的所述读出通道的所述相干检测单元生成的差分输出电信号来输出所述电读出信号。

23. 根据权利要求21所述的方法, 其中, 输出所述读出电信号包括:

基于分别从电连接到所述第三子集中的所述第一读出通道的所述相干检测单元生成的所述第一输出电信号, 通过第一读出通道输出第一电读出信号; 以及

基于分别从电连接到所述第三子集中的所述第二读出通道的所述相干检测单元生成的所述第二输出电信号, 通过第二读出通道输出第二电读出信号; 以及

其中, 提取与所述输入光信号相关联的所述信号信息包括取所述第一电读出信号和所述第二电读出信号的差。

24. 根据权利要求15所述的方法, 其中, 将所述输出光信号转换成所述输出电信号包括移位所述输出电信号的频率。

25. 根据权利要求24所述的方法, 其中, 移位所述输出电信号的所述频率包括通过有限的频率偏移来调制所述相干检测单元的所述第三子集中的所述光电检测器的响应度, 使得由所述第三子集中的所述光电检测器生成的所述输出电信号被移位到不同的频带。

## 光子相干检测阵列

[0001] 本申请是在2020年8月19日提交的发明名称为“光子相干检测阵列”、申请号为202080054024.9的分案申请,该母案申请是2020年8月19日提交到国际知识产权局的国际申请号为PCT/US2020/047065的进中国国家阶段的申请,要求于2019年8月20日提交的美国临时专利申请No.62/889,065的权益,该申请的全部内容通过引用并入本文。

### 技术领域

[0002] 本发明涉及光相干检测,尤其涉及用于光相干检测的检测阵列。

### 背景技术

[0003] 光相干检测(也称为光外差检测)能够测量光信号相对于参考光信号(通常称为本地振荡器(local oscillator,LO)的场振幅和相位两者,而直接光检测仅测量光信号的光强度。相干检测的优点包括近散粒噪声限制的光学放大、背景光的抑制和通过相位提供附加信息。

[0004] 当在成像系统的焦平面处使用时,通常被称为焦平面阵列(focal plane array, FPA)的检测阵列是通过利用空间并行性来提供场景的快速信号采集的检测单元的阵列。诸如CCD和CMOS图像传感器的传统检测阵列技术仅在直接光学检测模式下操作。为了实现并行空间相干检测,直接检测阵列需要被设置在干涉测量配置中,其中,需要自由空间体光学器件来将信号光与检测阵列上的LO相干组合。然而,此配置是笨重的且引起传入信号波束与LO波束的空间模式匹配的问题,这可能会影响相干检测的效率。

[0005] 一种基于光子集成电路(photonic integrated circuit,PIC)技术的相干检测阵列,通过对光子芯片进行光学干涉,大大简化了相干成像系统,其中,信号光和LO光通常表现为相同的波导模式,从而使模式匹配问题自然解决。基于PIC的相干检测阵列的已知形式是由非专利文献[Firooz Aflatouni,Behrooz Abiri,Angad Rekhi,和Ali Hajimiri,“Nanophotonic coherent imager(纳米光子相干成像仪),”Optics Express 23,5117-5125(2015)]中描述的纳米光子相干成像仪(Nanophotons Coherent Imager,NCI)。在NCI中,相干检测阵列被配置为使得每个检测像素的光学天线(光栅耦合器)利用波导单独地连接到感测区域之外的定向耦合器和光电检测器。NCI的像素间距随着像素的数量线性增加以容纳路由波导的空间,因此所得到的PIC芯片的尺寸随着像素的数量平方地增加。结果,在尺寸和成本很高的情况下,所描述的NCI方案可以限于几个像素。

[0006] 此外,对于受益于实时检测的某些相干感测应用,期望相干检测阵列以高帧速率操作。这些应用包括调频连续波(frequency-modulated continuous-wave,FMCW)光检测和测距(LIDAR)以及光学相干断层扫描(optical coherence tomography,OCT)。现代高像素计数直接检测阵列通过在像素阵列的每列上或者甚至在每个像素处结合模数电路(analog-to-digital circuit,ADC)以实现并行读出和转换来实现高帧速率。然而,这些检测阵列仍然需要将像素信号逐行传送到列寻址电路的水平寄存器。使用原位帧存储实现的最先进的基于CMOS的直接检测阵列能够以非常高的采样速率操作,但是帧存储电路基本上

限制了检测阵列中的像素数量。通常,相干或直接检测阵列的现有设计及其操作会遭遇像素计数与帧速率之间的权衡。

## 发明内容

[0007] 本发明的实施例描述了在光子集成电路 (photonic integrated circuit, PIC) 上实现的相干检测阵列以及利用检测阵列的特性读出相干检测信号的多路复用方法。相干检测阵列可以包括与连接波导和导电路径耦合的多个相干检测单元,其中,本地振荡器 (LO) 光通过连接波导被引入到相干检测单元中。检测单元可以被配置为包括:自由空间到波导耦合器、光耦合器以及光电检测器,自由空间到波导耦合器用于将来自介质 (包括但不限于自由空间) 的入射信号光接收到检测单元中;光耦合器将信号光与 LO 光混合;光电检测器测量混合的信号 LO 光。导电路径可以表现为用于多路复用电信号的读出通道,其中,读出通道可以促进检测单元的堆叠和相干检测阵列的可扩展性,而无需复杂的波导路由或光交换。相干检测阵列还实现可以利用相干检测阵列的额外自由度的多路复用方法。这些方法可以包括由本地振荡器实现的那些方法和与基于 PIC 的检测阵列的组件的特性和响应相关的那些方法。相干检测阵列的可缩放设计以及可应用于阵列的多路复用方法可以使相干检测阵列能够同时实现高像素计数和高帧速率操作。

## 附图说明

[0008] 技术人员将理解,附图主要用于说明性目的并且不旨在限制本文描述的本发明主题的范围。附图不一定按比例绘制;在一些情况下,本文中所公开的发明主题的各方面可以在附图中被夸大或放大地示出,以便于对不同特征的理解。

[0009] 图1示出了根据本发明的第一优选实施例的相干检测单元的配置的示例,其中,采用了两个光电检测器。

[0010] 图2和图3示出了根据本发明的第二优选实施例的相干检测阵列的配置的示例,其中,采用了图1的实施例。图3是图2的修改示例,其中,相干检测单元的光电检测器的一个或更多个电极可以通过跨不同列而不是跨不同行的导电路径来连接。

[0011] 图4和图5示出了根据本发明的第三优选实施例的相干检测单元的另一配置的示例。图4是采用单个光电检测器的实施例。图5是图4的修改示例,其中,可以移除一个或更多个波导和/或光耦合器来简化检测单元。

[0012] 图6、图7、图8和图9示出了根据本发明的第四优选实施例的相干检测阵列的配置的示例,其中,可以在每个检测单元处采用单个光电检测器。图6是采用图4的实施例的相干检测阵列。图7是图6的第一修改示例,其中,检测单元的光电检测器的一个或更多个电极可以通过跨不同列而不是跨不同行的导电路径连接。图8是采用图5的实施例的图6的第二修改示例。图9是图6的第三修改示例,其中,结合了根据图7和图8对图6的修改。

[0013] 图10、图11、图12和图13示出了根据本发明的第五优选实施例的相干检测单元的配置的示例,其中,可以在检测单元处单独地检测输入光的两个偏振。图10是输入光可以通过分离自由空间到波导耦合器的偏振光耦合到检测单元并且单个光电检测器可以用于检测光的每个偏振的实施例。图11是图10的第一修改示例,其中,单个本地振荡器源可用于干涉输入光的两个偏振。图12是图10的第二修改示例,其中,可以移除一个或更多个波导以简

化相干检测单元。图13是图10的第三修改示例,其中,结合了根据图11和图12对图10的修改。

[0014] 图14、图15、图16、图17、图18、图19、图20和图21示出了根据本发明的第六优选实施例的相干检测阵列的配置的示例,其中,可以在阵列的检测单元处单独地检测输入光的两个偏振。图14是采用图10的实施例的相干检测阵列。图15是图14的第一修改示例,其中,检测单元的光电检测器的一个或更多个电极可以通过跨不同列而不是跨不同行的导电路径来连接。图16是采用了图11的实施例的图14的第二修改示例。图17是图14的第三修改示例,其中,结合了根据图15和图16对图14的修改。图18是采用图12的实施例的图14的第四修改示例。图19是图14的第五修改示例,其中,结合了根据图15和图18对图14的修改。图20是采用图13的实施例的图14的第六修改示例。图21是图14的第七修改示例,其中,结合了根据图15和图20对图14的修改。

[0015] 图22和图23示出了根据本发明的第七优选实施例的相干检测单元的另一配置的示例,其中,可以在检测单元处单独地检测输入光的两个偏振。图22是输入光可以通过分离自由空间到波导耦合器的偏振光耦合至检测单元并且两个光电检测器可用于检测光的每个偏振的实施例。图23是图22的修改示例,其中,单个本地振荡器源可用于干涉输入光的两个偏振。

[0016] 图24、图25、图26和图27示出了根据本发明的第八优选实施例的相干检测阵列的另一配置的示例,其中,可以在阵列的检测单元处单独地检测输入光的两个偏振。图24是采用图22的实施例的相干检测阵列。图25是图24的第一修改示例,其中,检测单元的光电检测器的一个或更多个电极可以通过跨不同列而不是跨不同行的导电路径来连接。图26是采用图23的实施例的图24的第二修改示例。图27是图24的第三修改示例,其中,结合了根据图25和图26对图24的修改。

[0017] 图28示出了包括相干检测阵列、光学输入电路、电多路复用电路和电读出电路的相干检测设备的概念设置。

[0018] 图29A和图29B以图形方式示出了利用用于本发明的相干检测阵列的本地振荡器的多路复用方法的实施例的概念。图29A是示出在不使用本地振荡器中的频率偏移的情况下,相干检测阵列中连接的检测单元的组的光电流或信号的频谱的示例的曲线图。图29B是示出了在本地振荡器中应用频率偏移的情况下,相干检测阵列中连接的检测单元的组的光电流或信号的频谱的示例的曲线图。

[0019] 图30A至图30C以图形方式示出了利用本发明的相干检测阵列的光电检测器响应度的多路复用方法的实施例的概念。图30A是示出了在不使用对光电检测器响应度进行调制的情况下,相干检测阵列中连接的检测单元的组的光电流或者信号的频谱的示例的曲线图。图30B是示出了在对光电检测器响应度进行调制的情况下,相干检测阵列中连接的检测单元的组的光电流或信号的频谱的示例的曲线图。图30C是示出了在对光电检测器响应度进行调制的平衡配置的情况下,在相干检测阵列中连接的检测单元的组的光电流或信号差的频谱的示例的曲线图。

## 具体实施方式

[0020] 为了实现具有高像素计数的相干检测阵列,期望阵列像素元件的设计应当允许可

扩展性而无需额外的复杂度。此外,通常使用利用时分多路复用和空分多路复用的信号读出方案的检测阵列的现有设计规定像素计数与帧速率之间的权衡。因此,可能期望多路复用信号的额外自由度。

[0021] 本主题技术提供了一种相干检测阵列的方法,该方法使得能够实现像素数量的高可扩展性。除了时域和空间域中的自由度之外,它还使得阵列的额外自由度能够用于读出中多路复用信号。这里,相干检测阵列的像素通常被称为相干检测阵列的相干检测单元,或简称为检测单元。

[0022] 为了实现高像素计数设计的可扩展性,相干检测阵列被配置为在像素(即,相干检测单元)处执行光学干涉和检测。在一些方面,可以使用PIC技术在光子芯片上实现相干检测阵列,其中,相干检测阵列的每个检测单元可以被配置为包括:波导、自由空间到波导耦合器、光耦合器以及片上光电检测器;波导用于将LO光引入到单元中,自由空间到波导耦合器用于将信号光耦合到PIC芯片中,光耦合器用于将LO和信号光混合,片上光电检测器用于测量混合的光。检测单元可以通过连接波导和导电路径来连接,以形成相干探测阵列,从而通过多路复用方法使得能够读出检测单元的信号。

[0023] 对于信号多路复用,额外的自由度可以被分类到光学域和电学域中。额外的自由度可能包括由本地振荡器启用的那些以及与基于PIC的相干检测阵列的组件的特性和响应相关的那些。

[0024] 以下将参照附图详细描述本发明的优选实施例,以示出相干检测单元、相干检测阵列以及多路复用方法的设计。

[0025] 相干检测单元和相干焦平面阵列

[0026] 第一优选实施例

[0027] 将参照示出相干检测单元100的平面图的图1描述根据本优选实施例的相干检测单元100。图1中示出的相干检测单元100被配置为包括:自由空间到波导耦合器11;光耦合器12-1和12-2;波导13-1、13-2、13-3、13-4和13-5;光电检测器14-1和14-2;以及电极15-1、15-2、15-3和15-4。相干检测单元100还可以被配置为包括附加组件,诸如一个或更多个调制器和/或加热器,附加组件可用于调制或修改相干检测单元的特性。这些附加组件未在图1中示出。可以使用光波导技术将相干检测单元100集成在衬底16上。

[0028] 波导13-1是光波导,该光波导具有一端(传入端)以及另一端(传出端),可以通过该一端(传入端)引入本地振荡器光 $E_{LO,in}$ ,可以通过另一端(传出端)传输本地振荡器光 $E_{LO,out}$ 。光耦合器12-1可以将本地振荡器光 $E_{LO,in}$ 的一部分从波导13-1分离至波导13-2。波导13-2可以将本地振荡器光传递到光耦合器12-2。光耦合器12-1的示例包括但不限于Y接头、定向耦合器和多模干涉仪。

[0029] 自由空间到波导耦合器11是信号光 $E_{Sig,in}$ 可以被耦合到相干检测单元100中的部位。信号光 $E_{Sig,in}$ 可以在垂直于光子芯片的平面方向上传入或与光子芯片的平面成角度的方向上传入,自由空间到波导耦合器11在光子芯片的平面上实现。由自由空间到波导耦合器11所接收的光可以穿过波导13-3到光耦合器12-2。自由空间到波导耦合器11通常是将来自自由空间或介质的光耦合到光子芯片中的光学天线。自由空间到波导耦合器的示例包括但不限于新型光子微米/纳米结构和PIC设计中常用的光栅耦合器。

[0030] 光耦合器12-2是包括作为输入端口的波导13-2和13-3以及作为输出端口的波导

13-4和13-5的耦合器。来自输入波导13-2的本地振荡器光和来自输入波导13-3的信号光可以在光耦合器12-2处被混合和干涉。光耦合器12-2被构造,使得输入波导13-2中的光可以在某些部分处在输出波导13-4和13-5之间分离,并且类似地,使得输入波导13-3中的光也可以在某些部分处在输出波导13-4和13-5之间分离。部分可以是或可以不是固定的,这也可以取决于或不取决于输入到光耦合器的光的特性(诸如但不限于波长)、光耦合器的特性和条件(诸如但不限于温度)、以及其他未指定的因素。光耦合器12-2的示例包括但不限于定向耦合器和多模干涉仪。

[0031] 在诸如平衡配置的一些方面,其中,光耦合器12-2是50/50耦合器,输入波导13-2中的光可以在输出波导13-4和13-5之间在幅度上均等地分离,以及输入波导13-3中的光可以在输出波导13-4和13-5之间在幅度上均等地分离。

[0032] 光电检测器14-1检测从波导13-4输入的光。当光电检测器14-1检测到来自波导13-4的光时,可能生成光电流并且在电极15-1和15-2中流动。类似地,光电检测器14-2检测从波导13-5输入的光。当光电检测器14-2检测到来自波导13-5的光时,可能生成光电流并且在电极15-3和15-4中流动。在一些方面,电极15-1和15-2中的一个可以表示阳极,且另一电极可以表示阴极。类似地,电极15-3和15-4中的一个可以表示阳极,而另一电极可以表示阴极。

[0033] 在一些方面,由光电检测器14-1和14-2生成的光电流中的每个均可以包括直接分量和交叉分量,其中,还可能存在噪声分量。直接分量与信号光和本地振荡器光的平均强度成比例。交叉分量与信号光和本地振荡器光的电场的乘积(即, $\langle E_{L0,in}(t)E_{Sig,in}(t) \rangle$ ,其中, $t$ 表示时间,以及 $\langle \cdot \rangle$ 表示在可能与光电检测器的带宽成反比的持续时间上的时间平均)成比例。为了简化描述,噪声分量可以包括在光电流的直接分量中。

[0034] 在一些方面,交叉分量可以表现出信号光与本地振荡器光的拍频(beat),其中,拍频等于信号光与本地振荡器光的频率的总和或差。和拍频通常是非常高的,因此,相应的光电流分量可以在时间上被平均掉或由于光电检测器的有限响应而被抑制。差拍频通常为中频,且相应的光电流分量可以在时间上被分解以供进一步处理。

[0035] 在一些方面,诸如在光耦合器12-2为50/50耦合器的平衡配置的情况下,通过获取光电检测器14-1和14-2的光电流之间的差异,除了可能的残余噪声分量之外,可以消除光电流的直接分量,而光电流的交叉分量可以根据光电检测器14-1和14-2的光电流的交叉分量之间的相位差相加。

[0036] 在其他方面,可以通过调制光电检测器的响应度来调制由光电检测器14-1和14-2生成的光电流。

[0037] 第二优选实施例

[0038] 将参考图2和图3描述根据本优选实施例的相干检测阵列200和210的两个示例。

[0039] 图2示出了相干检测阵列200的平面图。相干检测阵列200被配置为包括根据图1所示的实施例的多个相干检测单元100。在一些方面,相干检测阵列200可以包括相干检测单元的其他实施例。在一些方面,可以通过以直线配置连接多个相干检测单元100来构造相干检测阵列200。在其他方面,可以通过以不同于直线配置的几何结构连接多个相干检测单元100来构造相干检测阵列的实施例。可以使用光波导技术将相干检测阵列200集成在衬底26上。

[0040] 在直线配置的一些方面,相干检测阵列可以被配置为具有 $M \times N$ 个相干检测单元的 $M$ 行和 $N$ 列,其中, $M$ 和 $N$ 是正整数。作为示例,图2中所示的相干检测阵列200的实施例包括12个相干检测单元100-1、100-2、100-3、100-4、100-5、100-6、100-7、100-8、100-9、100-10、100-11和100-12,相干检测单元100-1、100-2、100-3、100-4、100-5、100-6、100-7、100-8、100-9、100-10、100-11和100-12都是以3行和4列的格式布置的相干检测单元100。

[0041] 可以通过使用波导13-1连接一系列相干检测单元100(见图1)来构造相干检测阵列200的每行。在一些方面,根据本优选实施例的相干检测阵列可以被构造成,使得相干检测单元100的波导13-1的传出端可以连接至下一个相干检测单元100的波导13-1的传入端,从而使得检测单元的所传输的L0光 $E_{L0,out}$ 可以是下一个连接单元的传入L0光 $E_{L0,in}$ 。因此,行中的一系列波导13-1构成该行的连接波导,也称为该行的行编码波导,以表示波导的作用。连接波导中的L0光可以通过光耦合器12-1(见图1和图2)耦合到连接的相干检测单元100。在此配置中,相干检测阵列的同一行上的检测单元可以共享同本地振荡器光,其中,行中的每个单元从连接波导分接出本地振荡器光的一部分。由行上的不同相干检测单元分离出的本地振荡器光的部分可相同或不同。

[0042] 连接波导可以连接单行中的相干检测单元或连接多于一行中的相干检测单元。连接波导可能不需要连接单行中的所有相干检测单元。根据相干检测阵列中的相干检测单元的配置和布置,行可以是直的或可以不是直的。

[0043] 参考图2,行编码波导21-1、21-2和21-3各自具有一端以及另一端,可以通过该一端引入本地振荡器光 $E_{L0,inm}$ ,其中 $m=1,2,3$ ,并且可以通过该另一端传输本地振荡器光 $E_{L0,outm}$ ,其中 $m=1,2,3$ 。对于包括 $M$ 行的相干检测阵列,索引 $m$ 的范围从1到 $M$ 。在图2中,行编码波导21-1中的本地振荡器光通过光耦合器12-1耦合至相干检测单元100-1、100-2、100-3和100-4。类似地,行编码波导21-2中的本地振荡器光通过光耦合器12-1耦合到相干检测单元100-5、100-6、100-7和100-8,以及行编码波导21-3中的本地振荡器光通过光耦合器12-1耦合到相干检测单元100-9、100-10、100-11和100-12。相干检测单元100-1、100-2、100-3、100-4、100-5、100-6、100-7、100-8、100-9、100-10、100-11和100-12中的光耦合器12-1可以通过光耦合器12-1的适当设计将相同或不同部分的光分成单元。

[0044] 本地振荡器光 $E_{L0,inm}$ 可以具有相同或不同的光频率、相同或不同的幅度(包括零振幅)、以及相同或不同的相对相位,其中, $m=1,2,\dots,M$ , $M$ 是相干检测阵列的行数,其中图2中 $M=3$ 。还可以在相同或不同时间以相同或不同持续时间应用本地振荡器光 $E_{L0,inm}$ 。本地振荡器光 $E_{L0,inm}$ 可以从相同或不同的光源被引入到相干检测单元的阵列中,光源可以是片上光源或光子芯片外的外部光源。可以由与光子衬底26上的相干检测阵列共置或不共置的一些光开关和网络来控制这些光源。光源和光开关和网络未在图2中示出。

[0045] 在一些方面,为了形成具有多路复用读出的检测阵列,可以通过导电路径(也称为列读出布线)串联多行相干检测单元,从而使得检测阵列的每列上的相干检测单元可以共享相同的电插座,电插座可以连接至位于相干检测阵列的外围处的读出电路。这些导电路径可以表现为用于多路复用的读出通道。为了简单命名,导电路径在下文中也称为布线。

[0046] 连接多个相干检测单元的导电路径可以连接单列中的相干检测单元或连接多于一列中的相干检测单元。导电路径可能不需要连接单列中的所有相干检测单元。根据相干检测阵列中的相干检测单元的配置和布置,列可以是直的或可以不是直的。

[0047] 在一些方面,根据图2中所示出的本优选实施例的相干检测阵列可以被构造,使得对于每列中的相干检测单元,光电检测器14-1的电极15-1可以连接至列读出布线,光电检测器14-2的电极15-3可以连接至列读出布线,以及光电检测器14-1的电极15-2和光电检测器14-2的电极15-4均可以连接至共同的列读出布线。在其他方面,光电检测器14-1的电极15-2和光电检测器14-2的电极15-4均可以连接到单独的列读出布线而不是共同的列读出布线。从连接至同一导电路径的检测单元产生的电信号(根据信号的符号或方向,求和或者求差的)被组合并且共同地被传送到可以连接至外围读出电路的输出端子。相干检测阵列的外围读出电路未在图2中示出。

[0048] 图2中的相干检测阵列200的实施例示出了包括3行的配置,其中每行包括4个相干检测单元100,其中,在4列的不同行上的光电检测器的电极由列读出布线连接。对于图2中示出的第1列中的相干检测单元100-1、100-5和100-9,光电检测器14-1的电极15-1连接到列读出布线22-1,光电检测器14-2的电极15-3连接到列读出布线23-1,以及光电检测器14-1的电极15-2和光电检测器14-2的电极15-4均连接到列读出布线24-1。列读出布线22-1的输出端处的电流包括来自光电检测器14-1的光电流的总和,列读出布线23-1的输出端处的电流包括来自光电检测器14-2的光电流的总和,并且根据光电流的方向,列读出布线24-1的输出端处的电流包括来自光电检测器14-1和14-2的光电流的总和或差。

[0049] 类似地,对于第2列中的相干检测单元100-2、100-6和100-10,光电检测器14-1的电极15-1连接至列读出布线22-2,光电检测器14-2的电极15-3连接至列读出布线23-2,以及光电检测器14-1的电极15-2和光电检测器14-2的电极15-4均连接至列读出布线24-2。列读出布线22-2的输出端处的电流包括来自光电检测器14-1的光电流的总和,列读出布线23-2的输出端处的电流包括来自光电检测器14-2的光电流的总和,并且根据光电流的方向,列读出布线24-2的输出端处的电流包括来自光电检测器14-1和14-2的光电流的总和或差。

[0050] 类似地,对于第3列中的相干检测单元100-3、100-7和100-11,光电检测器14-1的电极15-1连接至列读出布线22-3,光电检测器14-2的电极15-3连接至列读出布线23-3,以及光电检测器14-1的电极15-2和光电检测器14-2的电极15-4均连接至列读出布线24-3。列读出布线22-3的输出端处的电流包括来自光电检测器14-1的光电流的总和,列读出布线23-3的输出端处的电流包括来自光电检测器14-2的光电流的总和,并且根据光电流的方向,列读出布线24-3的输出端处的电流包括来自光电检测器14-1和14-2的光电流的总和或差。

[0051] 类似地,对于第4列中的相干检测单元100-4、100-8和100-12,光电检测器14-1的电极15-1连接至列读出布线22-4,光电检测器14-2的电极15-3连接至列读出布线23-4,以及光电检测器14-1的电极15-2和光电检测器14-2的电极15-4均连接至列读出布线24-4。列读出布线22-4的输出端处的电流包括来自光电检测器14-1的光电流的总和,列读出布线23-4的输出端处的电流包括来自光电检测器14-2的光电流的总和,并且根据光电流的方向,列读出布线24-4的输出端处的电流包括来自光电检测器14-1和14-2的光电流的总和或差。

[0052] 在图2中,焊盘Pa是可以连接至外围读出电路的列读出布线的输出端子。

[0053] 在图2中,相干检测阵列的相干检测单元可以被视为通过导电路径(即,列读出布

线)被分组为4个不同的子集(列),其中,阵列的每个相干检测单元均被包括在通过导电路径分组的单个子集中。或者,相干检测阵列的相干检测单元也可以被视为通过连接波导(即,行编码波导)被分组为3个不同的子集(行),其中,每个相干检测单元均被包括在通过连接波导分组的单个子集中。相干检测阵列的每个相干检测单元都可以通过行编码波导和列读出布线指定。

[0054] 第二优选实施例的修改示例

[0055] 图3示出了相干检测阵列210的平面图。相干检测阵列210是根据图2中示出的实施例的相干检测阵列200的修改示例。类似于相干检测阵列200,相干检测阵列210可以被配置为包括根据图1所示的实施例的多个相干检测单元100。可以通过使用波导13-1连接一系列相干检测单元100(见图1)来构造相干检测阵列210的每行。可以通过导电路径串联多行相干检测单元100以形成检测阵列。作为示例,图3中所示的相干检测阵列210的实施例包括12个相干检测单元100-1、100-2、100-3、100-4、100-5、100-6、100-7、100-8、100-9、100-10、100-11和100-12,相干检测单元100-1、100-2、100-3、100-4、100-5、100-6、100-7、100-8、100-9、100-10、100-11和100-12都是以3行和4列的格式布置的相干检测单元100。

[0056] 类似于相干检测阵列200,根据本优选实施例的相干检测阵列210可以被配置,使得对于每列中的相干检测单元,光电检测器14-1的电极15-1或电极15-2可以连接至列读出布线,并且类似地,光电检测器14-2的电极15-3或电极15-4可以连接至列读出布线。

[0057] 不同于相干检测阵列200,根据本优选实施例的相干检测阵列210可以被配置,使得相干检测单元的光电检测器的其他电极可以通过导电路径(也称为行编码布线)跨不同列连接,而不是通过列读出布线跨不同行连接。在一些方面,对于相干检测阵列210的每行中的相干检测单元,光电检测器14-1的电极15-1或电极15-2可以连接到行编码布线,并且类似地,光电检测器14-2的电极15-3或电极15-4可以连接到行编码布线。在其他方面,两条行编码布线可以被组合成共同的布线而不是单独的布线。行编码布线可以用于多路复用相干检测阵列的信号,其作用类似于或不同于检测阵列的行编码波导的作用。

[0058] 参考图3中所示的相干检测阵列210。一方面,对于第1列中的相干检测单元100-1、100-5和100-9,光电检测器14-1的电极15-1连接到列读出布线22-1,以及光电检测器14-2的电极15-3连接到列读出布线23-1。

[0059] 类似地,对于第2列中的相干检测单元100-2、100-6和100-10,光电检测器14-1的电极15-1连接至列读出布线22-2,以及光电检测器14-2的电极15-3连接至列读出布线23-2。

[0060] 类似地,对于第3列中的相干检测单元100-3、100-7和100-11,光电检测器14-1的电极15-1连接至列读出布线22-3,以及光电检测器14-2的电极15-3连接至列读出布线23-3。

[0061] 类似地,对于第4列中的相干检测单元100-4、100-8和100-12,光电检测器14-1的电极15-1连接至列读出布线22-4,以及光电检测器14-2的电极15-3连接至列读出布线23-4。

[0062] 另一方面,对于相干检测阵列210的第1行中的相干检测单元100-1、100-2、100-3和100-4,光电检测器14-1的电极15-2连接到行编码布线27-1,以及光电检测器14-2的电极15-4连接到行编码布线28-1。

[0063] 类似地,对于第2行中的相干检测单元100-5、100-6、100-7和100-8,光电检测器14-1的电极15-2连接到行编码布线27-2,以及光电检测器14-2的电极15-4连接到行编码布线28-2。

[0064] 类似地,对于第3行中的相干检测单元100-9、100-10、100-11和100-12,光电检测器14-1的电极15-2连接到行编码布线27-3,以及光电检测器14-2的电极15-4连接到行编码布线28-3。

[0065] 图3中的焊盘Pa是可以连接至外围电路的列读出布线和行编码布线的端子。

[0066] 在图3中,相干检测阵列的相干检测单元可以被视为通过一些导电路径(即,列读出布线)被分组成4个不同的子集(列)并且通过其他导电路径(即,行编码布线)被分组成3个不同的子集(行),其中,阵列的每个相干检测单元被包括在如通过导电路径分组的两个子集(1列和1行)中。相干检测阵列的每个相干检测单元均可以通过行编码布线和列读出布线指定。或者,相干检测阵列的相干检测单元也可以被视为通过连接波导(即,行编码波导)被分组成3个不同的子集(行),其中,每个相干检测单元均被包括在通过连接波导分组的单个子集中。相干检测阵列的每个相干检测单元均可以通过行编码波导和列读出布线指定。

[0067] 第三优选实施例

[0068] 将参考图4和图5描述根据本优选实施例的相干检测单元300和310的两个示例。

[0069] 图4示出了相干检测单元300的平面图。图4中示出的相干检测单元300被配置为包括自由空间到波导耦合器31、光耦合器32-1和32-2、波导33-1、33-2、33-3和33-4、光电检测器34以及电极35-1和35-2。相干检测单元300还可以被配置为包括附加组件,诸如一个或更多个调制器和/或加热器,附加组件可用于调制或修改相干检测单元的特性。这些附加组件未在图4中示出。可以使用光波导技术将相干检测单元300集成在衬底36上。

[0070] 相干检测单元300是图1中所示的相干检测单元100的修改版本。结合以下描述,可以参考根据图1中示出的实施例的相干检测单元100来理解相干检测单元300。

[0071] 图1和图4中所示的相干检测单元的两个实施例之间的本质区别是在相干检测单元300中使用一个光电检测器34,而不是在相干检测单元100中使用两个光电检测器14-1和14-2。此外,相干检测单元300中的光耦合器32-2是包括作为输入端口的波导33-2和33-3以及作为输出端口的波导33-4的耦合器。光耦合器32-2可以通过具有合适的终止的(terminated)自由输出端口、Y接头或与至少两个输入端口和一个输出端口混合光的任何其他形式的 $2 \times 2$ 定向耦合器来实现。

[0072] 在一些方面,由光电检测器34生成的光电流可以包括随时间缓慢变化的直接分量和随时间快速变化的交叉分量,其中,也可能存在噪声分量。在相干检测单元300中仅使用一个光电检测器的情况下,由光电检测器34生成的光电流可能需要通过合适的滤波器进行滤波以抑制光电流的直接分量。滤波器可以安装在检测单元处或不安装在检测单元处。滤波器未在图4中示出。

[0073] 第三优选实施例的修改示例

[0074] 图5示出了相干检测单元310的平面图。图5中示出的相干检测单元310是根据图4中示出的实施例的相干检测单元300的修改示例。

[0075] 图5中示出的相干检测单元310与图4中示出的相干检测单元300类似,其中本质区别在于,为了简化,图5中示出的相干检测单元310移除了波导33-2以及将光耦合器32-1和

32-2组合成单个光耦合器32-3。图5中的相干检测310的光耦合器32-3起到图4中的相干检测单元300的光耦合器32-1和32-2两者的作用。对于相干检测单元310,光耦合器32-3可以直接将波导33-1中的本地振荡器光与波导33-3中的信号光混合。混合光可以被传送至波导33-1的传出段和波导33-4。

[0076] 在一些方面,相干检测单元310的光耦合器32-3可以被构造,使得光耦合器32-3可以将来自波导33-3的信号光的大部分传送至波导33-4,以及将来自波导33-3的信号光的小部分传送至波导33-1的传出段。光耦合器32-3的分光比的示例是999:1。

[0077] 第四优选实施例

[0078] 将参考图6、图7、图8和图9描述根据本优选实施例的相干检测阵列400、410、420和430的四个示例。

[0079] 图6示出了相干检测阵列400的平面图。相干检测阵列400被配置为包括根据图4中所示的实施例的多个相干检测单元300。在一些方面,相干检测阵列400可以包括相干检测单元的其他实施例。在一些方面,可以通过以直线配置连接多个相干检测单元300来构造相干检测阵列400。在其他方面,可以通过以不同于直线配置的几何结构连接多个相干检测单元300来构造相干检测阵列的实施例。可以使用光波导技术将相干检测阵列400集成在衬底46上。

[0080] 图6中示出的相干检测阵列400与图2中示出的相干检测阵列200类似,其中本质区别在于,图6中示出的相干检测阵列400采用了根据图4中示出的实施例的相干检测单元300作为检测阵列的构建块,而不是采用在相干检测阵列200中使用的相干检测单元100。在直线配置的一些方面,相干检测阵列可以被配置为具有 $M \times N$ 个相干检测单元的M行和N列。作为示例,图6所示的相干检测阵列400的实施例包括12个相干检测单元300-1、300-2、300-3、300-4、300-5、300-6、300-7、300-8、300-9、300-10、300-11和300-12,相干检测单元300-1、300-2、300-3、300-4、300-5、300-6、300-7、300-8、300-9、300-10、300-11和300-12都是以3行和4列的格式布置的相干检测单元300。

[0081] 结合以下描述,可以参考根据图2中所示的实施例的相干检测阵列200来理解相干检测阵列400。

[0082] 可以通过使用波导33-1连接一系列相干检测单元300(见图4)来构建相干检测阵列400的每行。在一些方面,根据本优选实施例的相干检测阵列可以被构造,使得相干检测单元300的波导33-1的传出端可以连接至下一个相干检测单元300的波导33-1的传入端,从而使得检测单元所传输的L0光 $E_{L0,out}$ 可以是下一个连接单元的传入L0光 $E_{L0,in}$ 。行中的一系列波导33-1构成该行的连接波导,也称为该行的行编码波导。连接波导中的L0光可以通过光耦合器32-1(参见图4和图6)耦合到连接的相干检测单元300。

[0083] 对于图6中所示的相干检测阵列400,行编码波导是波导41-1、41-2和41-3。行编码波导41-1中的L0光通过光耦合器32-1耦合至相干检测单元300-1、300-2、300-3和300-4。类似地,行编码波导41-2中的L0光通过光耦合器32-1耦合到相干检测单元300-5、300-6、300-7和300-8,以及行编码波导41-3中的L0光通过光耦合器32-1耦合到相干检测单元300-9、300-10、300-11和300-12。相干检测单元300-1、300-2、300-3、300-4、300-5、300-6、300-7、300-8、300-9、300-10、300-11和300-12中的光耦合器32-1可以通过光耦合器32-1的适当设计将相同或不同部分的光分离到单元。

[0084] 可以通过导电路径(也称为列读出布线)串联多行相干检测单元。由每列读出布线连接的相干检测单元可以共享相同的电插座,电插座可以连接到位于相干检测阵列的外围处的读出电路。在一些方面,根据本优选实施例的相干检测阵列可以被构造,使得对于每列中的相干检测单元,光电检测器34的电极35-1可以连接到列读出布线,并且类似地,光电检测器34的电极35-2可以连接到列读出布线。

[0085] 对于图6中所示的第1列中的相干检测单元300-1、300-5和300-9,光电检测器34的电极35-1连接至列读出布线42-1,以及光电检测器34的电极35-2连接至列读出布线43-1。类似地,对于第2列中的相干检测单元300-2、300-6和300-10,光电检测器34的电极35-1连接到列读出布线42-2,以及光电检测器34的电极35-2连接到列读出布线43-2。类似地,对于第3列中的相干检测单元300-3、300-7和300-11,光电检测器34的电极35-1连接到列读出布线42-3,以及光电检测器34的电极35-2连接到列读出布线43-3。类似地,对于第4列中的相干检测单元300-4、300-8和300-12,光电检测器34的电极35-1连接到列读出布线42-4,以及光电检测器34的电极35-2连接到列读出布线43-4。

[0086] 类似于图2,图6中的焊盘Pa是可以连接至外围读出电路的列读出布线的输出端子。

[0087] 第四优选实施例的第一修改示例

[0088] 图7示出了相干检测阵列410的平面图。相干检测阵列410是根据图6中示出的实施例的相干检测阵列400的修改示例。类似于相干检测阵列400,相干检测阵列410可以被配置为包括根据图4中所示的实施例的多个相干检测单元300。可以通过使用波导33-1连接一系列相干检测单元300(见图4)来构造相干检测阵列410的每行。可以通过导电路径串联多行相干检测单元300以形成检测阵列。作为示例,图7中所示的相干检测阵列410的实施例包括12个相干检测单元300-1、300-2、300-3、300-4、300-5、300-6、300-7、300-8、300-9、300-10、300-11和300-12,相干检测单元300-1、300-2、300-3、300-4、300-5、300-6、300-7、300-8、300-9、300-10、300-11和300-12都是以3行和4列的格式布置的相干检测单元300。

[0089] 类似于相干检测阵列400,根据本优选实施例的相干检测阵列410可以被配置,使得对于每列中的相干检测单元,光电检测器34的电极35-1或电极35-2可以连接至列读出布线。

[0090] 不同于相干检测阵列400,根据本优选实施例的相干检测阵列410可以被配置,使得相干检测单元的光电检测器的其他电极可以通过导电路径(也称为行编码布线)跨不同列连接,而不是通过列读出布线跨不同行连接。对于相干检测阵列410的每行中的相干检测单元300,光电检测器34的电极35-1或电极35-2可以连接至行编码配线。

[0091] 参考图7中所示的相干检测阵列410。一方面,第1列中的相干检测单元300-1、300-5和300-9的光电检测器34的电极35-2连接至列读出布线43-1。类似地,第2列中的相干检测单元300-2、300-6和300-10的光电检测器34的电极35-2连接至列读出布线43-2,第3列中的相干检测单元300-3、300-7和300-11的光电检测器34的电极35-2连接至列读出布线43-3,以及第4列中的相干检测单元300-4、300-8和300-12的光电检测器34的电极35-2连接至列读出布线43-4。

[0092] 另一方面,第1行中的相干检测单元300-1、300-2、300-3和300-4的光电检测器34的电极35-1连接至行编码布线44-1。类似地,第2行中的相干检测单元300-5、300-6、300-7

和300-8的光电检测器34的电极35-1连接到行编码布线44-2,以及第3行中的相干检测单元300-9、300-10、300-11和300-12的光电检测器34的电极35-1连接到行编码布线44-3。

[0093] 图7中的焊盘Pa是可以连接至外围电路的列读出布线和行编码布线的端子。

[0094] 第四优选实施例的第二修改示例

[0095] 图8示出了相干检测阵列420的平面图。相干检测阵列420是根据图6中示出的实施例的相干检测阵列400的另一修改示例。

[0096] 图8中示出的相干检测阵列420类似于图6中示出的相干检测阵列400,其中本质区别在于,图8中示出的相干检测阵列420采用了根据图5中示出的实施例的相干检测单元310作为检测阵列的构建块,而不是采用在相干检测阵列400中使用的相干检测单元300。在直线配置的一些方面,相干检测阵列可以被配置为具有 $M \times N$ 个相干检测单元的M行和N列。作为示例,图8中示出的相干检测阵列420的实施例包括12个相干检测单元310-1、310-2、310-3、310-4、310-5、310-6、310-7、310-8、310-9、310-10、310-11和310-12,相干检测单元310-1、310-2、310-3、310-4、310-5、310-6、310-7、310-8、310-9、310-10、310-11和310-12都是以3行和4列的格式布置的相干检测单元310。

[0097] 第四优选实施例的第三修改示例

[0098] 图9示出了相干检测阵列430的平面图。相干检测阵列430是根据图6中示出的实施例的相干检测阵列400的另一修改示例。

[0099] 相干检测阵列430根据图7中的相干检测阵列410和图8中的相干检测阵列420,将对相干检测阵列400做出的修改进行组合。结合以下描述,可以参考根据图7和图8中所示的实施例的相干检测阵列410和420来理解相干检测阵列430。

[0100] 一方面,类似于相干检测阵列420,相干检测阵列430采用了根据图5中示出的实施例的相干检测单元310作为检测阵列的构建块,而不是采用在相干检测阵列400和410中使用的相干检测单元300。另一方面,类似于相干检测阵列410,相干检测阵列430可以被配置,使得检测阵列的每列中的相干检测单元310的光电检测器34的电极35-1或电极35-2可以连接到跨该列中的行的列读出布线,而检测阵列的每行中的相干检测单元310的光电检测器34的其他电极可连接到跨该行中的列的行编码布线。

[0101] 参考图9中所示的相干检测阵列430。一方面,第1列中的相干检测单元310-1、310-5和310-9的光电检测器34的电极35-2连接至列读出布线43-1。类似地,第2列中的相干检测单元310-2、310-6和310-10的光电检测器34的电极35-2连接至列读出布线43-2,第3列中的相干检测单元310-3、310-7和310-11的光电检测器34的电极35-2连接至列读出布线43-3,以及第4列中的相干检测单元310-4、310-8和310-12的光电检测器34的电极35-2连接至列读出布线43-4。

[0102] 另一方面,第1行中的相干检测单元310-1、310-2、310-3和310-4的光电检测器34的电极35-1连接至行编码布线44-1。类似地,第2行中的相干检测单元310-5、310-6、310-7和310-8的光电检测器34的电极35-1连接到行编码布线44-2,以及第3行中的相干检测单元310-9、310-10、310-11和310-12的光电检测器34的电极35-1连接到行编码布线44-3。

[0103] 第五优选实施例

[0104] 将参考图10、图11、图12和图13描述根据本优选实施例的相干检测单元500、510、520和530的四个示例。

[0105] 图10示出了相干检测单元500的平面图。图10中所示的相干检测单元500被配置为包括：偏振光分离自由空间到波导耦合器51；光耦合器52-1、52-2、52-3和52-4；波导53-1、53-2、53-3、53-4、53-5、53-6、53-7和53-8；光电检测器54-1和54-2；以及电极55-1、55-2、55-3和55-4。相干检测单元500还可以被配置为包括附加组件，诸如一个或多个调制器和/或加热器，附加组件可用于调制或修改相干检测单元的特性。这些附加组件未在图10中示出。可以使用光波导技术将相干检测单元500集成在衬底56上。

[0106] 相干检测单元500是图4中示出的相干检测单元300的修改版本。相干检测单元500被配置为检测传入信号光，传入信号光可以在x和y方向上用偏振多路复用，使得两个偏振分量可以被单独地测量，其中，x和y方向是由偏振光分离自由空间到波导耦合器51的设计所限定的光偏振的正交基础的示例。结合以下描述，可以参考根据图4中示出的实施例的相干检测单元300来理解相干检测单元500。

[0107] 通过将相干检测子单元301和302（见图10）与替代相干检测单元300的自由空间到波导耦合器31的偏振光分离自由空间到波导耦合器51相组合来构造相干检测单元500，其中，相干检测子单元301和302中的每个都类似于相干检测单元300。相干检测子单元301被配置为包括：偏振光分离自由空间到波导耦合器51；光耦合器52-1和52-2；波导53-1、53-2、53-3和53-4；光电检测器54-1；以及电极55-1和55-2。相干检测子单元302被配置为包括相同的偏振光分离自由空间到波导耦合器51；光耦合器52-3和52-4；波导53-5、53-6、53-7和53-8；光电检测器54-2；以及电极55-3和55-4。在此配置中，偏振光分离自由空间到波导耦合器51是两个相干检测子单元301和302的共同组件。

[0108] 在图10中，波导53-1具有一端以及另一端，可以通过该一端引入本地振荡器光 $E_{L0,inx}$ 并且可以通过该另一端传输本地振荡器光 $E_{L0,outx}$ ，以及波导53-5具有一端以及另一端，可以通过该一端引入本地振荡器光 $E_{L0,iny}$ 并且可以通过该另一端传输本地振荡器光 $E_{L0,outy}$ 。在一些方面，在波导53-1和53-5中， $E_{L0,inx}$ 和 $E_{L0,iny}$ （以及相应地 $E_{L0,outx}$ 和 $E_{L0,outy}$ ）可以表现为相同的波导模式，即，在光子集成电路中通常考虑的用于最佳传播和耦合效率的基本TE模式。在其他方面，就诸如振幅、频率和相位等特性而言， $E_{L0,inx}$ 可与 $E_{L0,iny}$ 相同或不同。

[0109] 相干检测单元500使用偏振光分离自由空间到波导耦合器51来接收信号光 $E_{Sig,in}$ ，信号光 $E_{Sig,in}$ 可以包括多路复用的x偏振光和y偏振光。信号光 $E_{Sig,in}$ 可以被偏振光分离自由空间到波导耦合器51接收并分离成x偏振光和y偏振光。一方面，x偏振光可以通过波导53-1被携带到相干检测子单元301中，并且当被光电检测器54-1检测到时可以在电极55-1和55-2中产生光电流。另一方面，y偏振光可以通过波导53-5被携带到相干检测子单元302中，并且当被光电检测器54-2检测到时可以在电极55-3和55-4中产生光电流。

[0110] 在一些方面，由光电检测器54-1和54-2中的每个生成的光电流可以包括随时间缓慢变化的直接分量和随时间快速变化的交叉分量，其中，也可能存在噪声分量。在相干检测单元500中使用每个偏振一个光电检测器的情况下，由光电检测器54-1和54-2生成的光电流可能需要通过合适的滤波器进行滤波以抑制光电流的直接分量。滤波器可以安装在检测单元处或不安装在检测单元处。滤波器未在图10中示出。

[0111] 第五优选实施例的第一修改示例

[0112] 图11示出了相干检测单元510的平面图。图11中示出的相干检测单元510是根据图

10中示出的实施例的相干检测单元500的修改示例。

[0113] 图11中的相干检测单元510与图10中的相干检测单元500类似,其中本质区别在于,图11中的相干检测单元510将光耦合器52-3移动至波导53-1以将与耦合至波导53-2的本地振荡器光相同的本地振荡器光从波导53-1耦合至波导53-6。以这种方式,耦合到检测单元510中的信号光的x偏振分量和y偏振分量可以与同一本地振荡器光 $E_{L0,in}$ 混合。因此,可以移除波导53-5。

[0114] 第五优选实施例的第二修改示例

[0115] 图12示出了相干检测单元520的平面图。图12中示出的相干检测单元520是根据图10中示出的实施例的相干检测单元500的另一修改示例。

[0116] 图12中所示的相干检测单元520类似于图10中所示的相干检测单元500,其中,通过组合相干检测子单元311和312来构造相干检测单元520,相干检测子单元311和312类似于图10中的相干检测子单元301和302,其中本质区别在于,为了简化,相干检测子单元311和312移除了波导53-2和53-6以及将光耦合器52-1和52-2组合成光耦合器52-5并且将光耦合器52-3和52-4组合成光耦合器52-6。

[0117] 图12中的相干检测单元520的光耦合器52-5起到图10中的相干检测单元500的光耦合器52-1和52-2两者的作用,并且类似地,相干检测单元520的光耦合器52-6起到相干检测单元500的光耦合器52-3和52-4两者的作用。对于相干检测单元520,光耦合器52-5可以直接将波导53-1中的本地振荡器光与波导53-3中的信号光混合。混合光可以被传送至波导53-1的传出段和波导53-4。类似地,光耦合器52-6可以直接将波导53-5中的本地振荡器光与波导53-7中的信号光混合。混合光可以被传送至波导53-5的传出段和波导53-8。

[0118] 在一些方面,相干检测单元520的光耦合器52-5可以被构造,使得光耦合器52-5可以将来自波导53-3的信号光的大部分传送至波导53-4,以及将来自波导53-3的信号光的小部分传送至波导53-1的传出段。类似地,相干检测单元520的光耦合器52-6可以被构造,使得光耦合器52-6可以将来自波导53-7的信号光的大部分传送至波导53-8,以及将来自波导53-7的信号光的小部分传送至波导53-5的传出段。光耦合器52-5和52-6的分光比的示例是999:1。

[0119] 第五优选实施例的第三修改示例

[0120] 图13示出了相干检测单元530的平面图。图13中示出的相干检测单元530是根据图10中示出的实施例的相干检测单元500的另一修改示例。

[0121] 相干检测单元530根据图11中的相干检测单元510和图12中的相干检测单元520,将对相干检测单元500做出的修改进行组合。结合以下描述,可以参考根据图11和图12中示出的实施例的相干检测单元510和520来理解相干检测单元530。

[0122] 一方面,为了简化,类似于相干检测单元520,相干检测单元530具有:将光耦合器52-1和52-2组合成单个光耦合器52-5以及从相干检测单元500(见图10)移除的波导53-2。另一方面,类似于相干检测单元510,相干检测单元530将光耦合器52-3移动至波导53-1,以将与耦合至波导53-4的本地振荡器光相同的本地振荡器光从波导53-1耦合至波导53-6。以这种方式,耦合到检测单元530中的信号光的x偏振分量和y偏振分量可以与同一本地振荡器光 $E_{L0,in}$ 混合。因此,可以移除波导53-5。

[0123] 第六优选实施例

[0124] 将参考图14、图15、图16、图17、图18、图19、图20和图21描述根据本优选实施例的相干检测阵列600、610、620、630、640、650、660和670的八个示例。

[0125] 图14示出了相干检测阵列600的平面图。相干检测阵列600被配置为包括根据图10中示出的实施例的多个相干检测单元500。在一些方面,相干检测阵列600可以包括相干检测单元的其他实施例。在一些方面,可以通过以直线配置连接多个相干检测单元500来构造相干检测阵列600。在其他方面,可以通过以不同于直线配置的几何结构连接多个相干检测单元500来构造相干检测阵列的实施例。可以使用光波导技术将相干检测阵列600集成在衬底66上。

[0126] 图14中示出的相干检测阵列600类似于图2中示出的相干检测阵列200,其中本质区别在于,相干检测阵列600采用了根据图10中示出的实施例的相干检测单元500作为检测阵列的构建块,而不是采用在相干检测阵列200中使用的相干检测单元100。在直线配置的一些方面,相干检测阵列可以被配置为具有 $M \times N$ 个相干检测单元的M行和N列。作为示例,图14中所示的相干检测阵列600的实施例包括12个相干检测单元500-1、500-2、500-3、500-4、500-5、500-6、500-7、500-8、500-9、500-10、500-11和500-12,相干检测单元500-1、500-2、500-3、500-4、500-5、500-6、500-7、500-8、500-9、500-10、500-11和500-12都是以3行和4列的格式布置的相干检测单元500。

[0127] 结合以下描述,可以参考根据图2中所示的实施例的相干检测阵列200来理解相干检测阵列600。

[0128] 在一些方面,在相干检测单元500被配置为检测可以在x和y方向上用偏振多路复用的传入信号光的情况下,相干检测阵列600的每行可以被配置为包括用于x偏振光的行编码波导和用于y偏振光的行编码波导,其中,单独的L0光被引入到每个行编码波导。相干检测阵列600中的行连接的相干检测单元500中的一系列波导53-1和53-5构成该行的行编码波导(见图10和图14)。用于x偏振的行编码波导中的L0光可以通过光耦合器52-1耦合到连接的相干检测单元500,以及用于y偏振的行编码波导中的L0光可以通过光耦合器52-3耦合到连接的相干检测单元500(见图10和图14)。

[0129] 引入到相干检测阵列的行编码波导中的L0光的电场是 $E_{L0, inmx}$ 和 $E_{L0, inmy}$ ,其中, $m=1, 2, \dots, M$ ,其中,M是检测阵列的行数。从波导输出的相应的所传输的L0场是 $E_{L0, outmx}$ 和 $E_{L0, outmy}$ 。针对不同m的L0场 $E_{L0, inmx}$ 和 $E_{L0, inmy}$ 可以具有相同或不同的光频率、相同或不同的幅度、以及相同或不同的相对相位。

[0130] 对于图14中示出的相干检测阵列600,将L0场 $E_{L0, in1x}$ 和 $E_{L0, in1y}$ 分别引入第1行中的行编码波导61-1和61-2中,将L0场 $E_{L0, in2x}$ 和 $E_{L0, in2y}$ 分别引入第2行中的行编码波导61-3和61-4中,以及将L0场 $E_{L0, in3x}$ 和 $E_{L0, in3y}$ 分别引入第3行中的行编码波导61-5和61-6中。

[0131] 在一些方面,根据本优选实施例的相干检测阵列可以被构造,使得对于每列中的相干检测单元,光电检测器54-1的电极55-1和55-2以及光电检测器54-2的电极55-3和55-4可以连接至单独的列读出布线。在其他方面,光电检测器54-1的电极55-1或电极55-2以及光电检测器54-2的电极55-3或电极55-4可以连接到共同的列读出布线而不是单独的列读出布线。

[0132] 对于图14中示出的第1列中的相干检测单元500-1、500-5和500-9,光电检测器54-1的电极55-1和55-2分别连接到列读出布线62-1和63-1,以及光电检测器54-2的电极55-3

和55-4分别连接到列读出布线64-1和65-1。类似地,对于第2列中的相干检测单元500-2、500-6和500-10,光电检测器54-1的电极55-1和55-2分别连接到列读出布线62-2和63-2,以及光电检测器54-2的电极55-3和55-4分别连接到列读出布线64-2和65-2。类似地,对于第3列中的相干检测单元500-3、500-7和500-11,光电检测器54-1的电极55-1和55-2分别连接到列读出布线62-3和63-3,以及光电检测器54-2的电极55-3和55-4分别连接到列读出布线64-3和65-3。类似地,对于第4列中的相干检测单元500-4、500-8和500-12,光电检测器54-1的电极55-1和55-2分别连接到列读出布线62-4和63-4,以及光电检测器54-2的电极55-3和55-4分别连接到列读出布线64-4和65-4。

[0133] 类似于图2,图14中的焊盘Pa是可以连接至外围读出电路的列读出布线的输出端子。

[0134] 第六优选实施例的第一修改示例

[0135] 图15示出了相干检测阵列610的平面图。相干检测阵列610是根据图14中示出的实施例的相干检测阵列600的修改示例。类似于相干检测阵列600,相干检测阵列610可以被配置为包括根据图10中所示的实施例的多个相干检测单元500。可以通过使用波导53-1连接一系列相干检测单元500(见图10)来构造相干检测阵列610的每行。可以通过导电路径串联多行相干检测单元500以形成检测阵列。作为示例,图15中所示的相干检测阵列610的实施例包括12个相干检测单元500-1、500-2、500-3、500-4、500-5、500-6、500-7、500-8、500-9、500-10、500-11和500-12,相干检测单元500-1、500-2、500-3、500-4、500-5、500-6、500-7、500-8、500-9、500-10、500-11和500-12都是以3行和4列的格式布置的相干检测单元500。

[0136] 类似于相干检测阵列600,根据本优选实施例的相干检测阵列610可以被配置,使得对于每列中的相干检测单元,光电检测器54-1的电极55-1或电极55-2可以连接到列读出布线,并且类似地,光电检测器54-2的电极55-3或电极55-4可以连接到列读出布线。

[0137] 与相干检测阵列600不同,根据本优选实施例的相干检测阵列610可以被配置,使得相干检测单元的光电检测器的其他电极可以通过行编码布线跨不同列连接,而不是通过列读出布线跨不同行连接。对于相干检测阵列610的每行中的相干检测单元500,光电检测器54-1的电极55-1或电极55-2可以连接到行编码布线,并且类似地,光电检测器54-2的电极55-3或电极55-4可以连接到行编码布线。在一些方面,可以组合一些行编码布线以简化布局。

[0138] 参考图15中示出的相干检测阵列610。一方面,对于第1列中的相干检测单元500-1、500-5和500-9,光电检测器54-1的电极55-2连接到列读出布线63-1,以及光电检测器54-2的电极55-3连接到列读出布线64-1。

[0139] 类似地,对于第2列中的相干检测单元500-2、500-6和500-10,光电检测器54-1的电极55-2连接到列读出布线63-2,以及光电检测器54-2的电极55-3连接到列读出布线64-2。

[0140] 类似地,对于第3列中的相干检测单元500-3、500-7和500-11,光电检测器54-1的电极55-2连接到列读出布线63-3,以及光电检测器54-2的电极55-3连接到列读出布线64-3。

[0141] 类似地,对于第4列中的相干检测单元500-4、500-8和500-12,光电检测器54-1的电极55-2连接到列读出布线63-4,以及光电检测器54-2的电极55-3连接到列读出布线64-

4。

[0142] 另一方面,对于第1行中的相干检测单元500-1、500-2、500-3和500-4,光电检测器54-1的电极55-1连接到行编码布线67-1,以及光电检测器54-2的电极55-4连接到行编码布线68-1。

[0143] 类似地,对于第2行中的相干检测单元500-5、500-6、500-7和500-8,光电检测器54-1的电极55-1连接到行编码布线67-2,以及光电检测器54-2的电极55-4连接到行编码布线68-2。

[0144] 类似地,对于第3行中的相干检测单元500-9、500-10、500-11和500-12,光电检测器54-1的电极55-1连接到行编码布线67-3,以及光电检测器54-2的电极55-4连接到行编码布线68-3。

[0145] 图15中的焊盘Pa是可以连接至外围电路的列读出布线和行编码布线的端子。

[0146] 第六优选实施例的第二修改示例

[0147] 图16示出了相干检测阵列620的平面图。相干检测阵列620是根据图14中示出的实施例的相干检测阵列600的另一修改示例。

[0148] 图16中示出的相干检测阵列620类似于图14中示出的相干检测阵列600,其中本质区别在于,相干检测阵列620采用了根据在图11中示出的实施例的相干检测单元510作为检测阵列的构建块,而不是采用在相干检测阵列600中使用的相干检测单元500。在直线配置的一些方面,相干检测阵列可以被配置为具有 $M \times N$ 个相干检测单元的M行和N列。作为示例,图16中所示的相干检测阵列620的实施例包括12个相干检测单元510-1、510-2、510-3、510-4、510-5、510-6、510-7、510-8、510-9、510-10、510-11和510-12,相干检测单元510-1、510-2、510-3、510-4、510-5、510-6、510-7、510-8、510-9、510-10、510-11和510-12都是以3行和4列的格式布置的相干检测单元510。

[0149] 利用所采用的相干检测单元510,可以将用于x偏振光和y偏振光的行编码波导组合成一个,并且同一个本地振荡器光 $E_{L0, inm}$ 可以用于两个偏振,其中, $m=1, 2, \dots, M$ ,其中,M是行数。

[0150] 对于图16中示出的相干检测阵列620,将L0光 $E_{L0, in1}$ 引入第1行中的行编码波导61-1中,将L0光 $E_{L0, in2}$ 引入第2行中的行编码波导61-3中,以及将L0光 $E_{L0, in3}$ 引入第3行中的行编码波导61-5中。

[0151] 第六优选实施例的第三修改示例

[0152] 图17示出了相干检测阵列630的平面图。相干检测阵列630是根据图14中示出的实施例的相干检测阵列600的另一修改示例。

[0153] 相干检测阵列630根据图15中的相干检测阵列610和图16中的相干检测阵列620,将对相干检测阵列600做出的修改进行组合。结合以下描述,可以参考根据图15和图16中示出的实施例的相干检测阵列610和620来理解相干检测阵列630。

[0154] 一方面,类似于相干检测阵列620,相干检测阵列630采用了根据图11中所示的实施例的相干检测单元510作为检测阵列的构建块,而不是采用在相干检测阵列600和610中使用的相干检测单元500。

[0155] 利用所采用的相干检测单元510,可以将用于x偏振光和y偏振光的行编码波导组合成一个,并且同一个本地振荡器光 $E_{L0, inm}$ 可以用于两个偏振,其中, $m=1, 2, \dots, M$ ,其中,M

是行数。

[0156] 对于图17中示出的相干检测阵列630,将L0光 $E_{L0,in1}$ 引入第1行中的行编码波导61-1中,将L0光 $E_{L0,in2}$ 引入第2行中的行编码波导61-3中,以及将L0光 $E_{L0,in3}$ 引入第3行中的行编码波导61-5中。

[0157] 另一方面,类似于相干检测阵列610,相干检测阵列630可以被配置,使得对于检测阵列的每列中的相干检测单元510,光电检测器54-1的电极55-1或电极55-2可以连接到跨该列的行的列读出布线,以及光电检测器54-2的电极55-3或电极55-4可以连接到跨该列的行的列读出布线,而检测阵列的每行中的相干检测单元510的光电检测器54-1和54-2的其他电极可以连接至跨该行中的列的行编码布线或者共同行编码布线。

[0158] 参考图17中所示的相干检测阵列630。一方面,对于第1列中的相干检测单元510-1、510-5和510-9,光电检测器54-1的电极55-2连接到列读出布线63-1,以及光电检测器54-2的电极55-3连接到列读出布线64-1。

[0159] 类似地,对于第2列中的相干检测单元510-2、510-6和510-10,光电检测器54-1的电极55-2连接到列读出布线63-2,以及光电检测器54-2的电极55-3连接到列读出布线64-2。

[0160] 类似地,对于第3列中的相干检测单元510-3、510-7和510-11,光电检测器54-1的电极55-2连接到列读出布线63-3,以及光电检测器54-2的电极55-3连接到列读出布线64-3。

[0161] 类似地,对于第4列中的相干检测单元510-4、510-8和510-12,光电检测器54-1的电极55-2连接到列读出布线63-4,以及光电检测器54-2的电极55-3连接到列读出布线64-4。

[0162] 另一方面,对于第1行中的相干检测单元510-1、510-2、510-3和510-4,光电检测器54-1的电极55-1连接到行编码布线67-1,以及光电检测器54-2的电极55-4连接到行编码布线68-1。

[0163] 类似地,对于第2行中的相干检测单元510-5、510-6、510-7和510-8,光电检测器54-1的电极55-1连接到行编码布线67-2,以及光电检测器54-2的电极55-4连接到行编码布线68-2。

[0164] 类似地,对于第3行中的相干检测单元510-9、510-10、510-11和510-12,光电检测器54-1的电极55-1连接到行编码布线67-3,以及光电检测器54-2的电极55-4连接到行编码布线68-3。

[0165] 第六优选实施例的第四修改示例

[0166] 图18示出了相干检测阵列640的平面图。相干检测阵列640是根据图14中示出的实施例的相干检测阵列600的另一修改示例。

[0167] 图18中所示的相干检测阵列640类似于图14中所示的相干检测阵列600,其中本质区别在于,相干检测阵列640采用了根据图12中所示的实施例的相干检测单元520作为检测阵列的构建块,而不是采用在相干检测阵列600中使用的相干检测单元500。在直线配置的一些方面,相干检测阵列可以被配置为具有 $M \times N$ 个相干检测单元的M行和N列。作为示例,图18中所示的相干检测阵列640的实施例包括12个相干检测单元520-1、520-2、520-3、520-4、520-5、520-6、520-7、520-8、520-9、520-10、520-11和520-12,相干检测单元520-1、520-2、

520-3、520-4、520-5、520-6、520-7、520-8、520-9、520-10、520-11和520-12都是以3行和4列的格式布置的相干检测单元520。

[0168] 第六优选实施例的第五修改示例

[0169] 图19示出了相干检测阵列650的平面图。相干检测阵列650是根据图14中所示的实施例的相干检测阵列600的另一修改示例。

[0170] 相干检测阵列650根据图15中的相干检测阵列610和图18中的相干检测阵列640,将对相干检测阵列600做出的修改进行组合。结合以下描述,可以参考根据图15和图18中示出的实施例的相干检测阵列610和640来理解相干检测阵列650。

[0171] 一方面,类似于相干检测阵列640,相干检测阵列650采用了根据图12中示出的实施例的相干检测单元520作为检测阵列的构建块,而不是采用在相干检测阵列600和610中使用的相干检测单元500。

[0172] 另一方面,类似于相干检测阵列610,相干检测阵列650可以被配置,使得对于检测阵列的每列中的相干检测单元520,光电检测器54-1的电极55-1或电极55-2可以连接到跨该列的行的列读出布线,以及光电检测器54-2的电极55-3或电极55-4可以连接到跨该列的行的列读出布线,而检测阵列的每行中的相干检测单元520的光电检测器54-1和54-2的其他电极可以连接至跨该行的列的行编码布线或者共同行编码布线。

[0173] 参考图19中示出的相干检测阵列650。一方面,对于第1列中的相干检测单元520-1、520-5和520-9,光电检测器54-1的电极55-2连接到列读出布线63-1,以及光电检测器54-2的电极55-3连接到列读出布线64-1。

[0174] 类似地,对于第2列中的相干检测单元520-2、520-6和520-10,光电检测器54-1的电极55-2连接到列读出布线63-2,以及光电检测器54-2的电极55-3连接到列读出布线64-2。

[0175] 类似地,对于第3列中的相干检测单元520-3、520-7和520-11,光电检测器54-1的电极55-2连接到列读出布线63-3,以及光电检测器54-2的电极55-3连接到列读出布线64-3。

[0176] 类似地,对于第4列中的相干检测单元520-4、520-8和520-12,光电检测器54-1的电极55-2连接到列读出布线63-4,以及光电检测器54-2的电极55-3连接到列读出布线64-4。

[0177] 另一方面,对于第1行中的相干检测单元520-1、520-2、520-3和520-4,光电检测器54-1的电极55-1连接到行编码布线67-1,以及光电检测器54-2的电极55-4连接到行编码布线68-1。

[0178] 类似地,对于第2行中的相干检测单元520-5、520-6、520-7和520-8,光电检测器54-1的电极55-1连接到行编码布线67-2,以及光电检测器54-2的电极55-4连接到行编码布线68-2。

[0179] 类似地,对于第3行中的相干检测单元520-9、520-10、520-11和520-12,光电检测器54-1的电极55-1连接到行编码布线67-3,以及光电检测器54-2的电极55-4连接到行编码布线68-3。

[0180] 第六优选实施例的第六修改示例

[0181] 图20示出了相干检测阵列660的平面图。相干检测阵列660是根据图14中示出的实

施例的相干检测阵列600的另一修改示例。

[0182] 图20中所示的相干检测阵列660类似于图14中所示的相干检测阵列600,其中本质区别在于,相干检测阵列660采用了根据图13中所示的实施例的相干检测单元530作为检测阵列的构建块,而不是采用在相干检测阵列600中使用的相干检测单元500。在直线配置的一些方面,相干检测阵列可以被配置为具有 $M \times N$ 个相干检测单元的M行和N列。作为示例,图20中所示的相干检测阵列660的实施例包括12个相干检测单元530-1、530-2、530-3、530-4、530-5、530-6、530-7、530-8、530-9、530-10、530-11以及530-12,相干检测单元530-1、530-2、530-3、530-4、530-5、530-6、530-7、530-8、530-9、530-10、530-11以及530-12均是以3行和4列的格式布置的相干检测单元530。

[0183] 利用所采用的相干检测单元530,可以将用于x偏振光和y偏振光的行编码波导组合成一个,并且同一个本地振荡器光 $E_{L0,im}$ 可以用于两个偏振,其中, $m=1,2,\dots,M$ ,其中,M是行数。

[0184] 对于图20中示出的相干检测阵列660,将L0光 $E_{L0,in1}$ 引入第1行中的行编码波导61-1中,将L0光 $E_{L0,in2}$ 引入第2行中的行编码波导61-3中,以及将L0光 $E_{L0,in3}$ 引入第3行中的行编码波导61-5中。

[0185] 第六优选实施例的第七修改示例

[0186] 图21示出了相干检测阵列670的平面图。相干检测阵列670是根据在图14中示出的实施例的相干检测阵列600的另一修改示例。

[0187] 相干检测阵列670根据图15中的相干检测阵列610和图20中的相干检测阵列660,将对相干检测阵列600做出的修改进行组合。结合以下描述,可以参考根据图15和图20中示出的实施例的相干检测阵列610和660来理解相干检测阵列670。

[0188] 一方面,类似于相干检测阵列660,相干检测阵列670采用了根据图13中示出的实施例的相干检测单元530作为检测阵列的构建块,而不是采用在相干检测阵列600和610中使用的相干检测单元500。

[0189] 利用所采用的相干检测单元530,可以将用于x偏振光和y偏振光的行编码波导组合成一个,并且同一个本地振荡器光 $E_{L0,im}$ 可以用于两个偏振,其中, $m=1,2,\dots,M$ ,其中,M是行数。

[0190] 对于图21中示出的相干检测阵列670,将L0光 $E_{L0,in1}$ 引入第1行中的行编码波导61-1中,将L0光 $E_{L0,in2}$ 引入第2行中的行编码波导61-3中,以及将L0光 $E_{L0,in3}$ 引入第3行中的行编码波导61-5中。

[0191] 另一方面,类似于相干检测阵列610,相干检测阵列670可以被配置,使得对于检测阵列的每列中的相干检测单元530,光电检测器54-1的电极55-1或电极55-2可以连接到跨该列的行的列读出布线,以及光电检测器54-2的电极55-3或电极55-4可以连接到跨该列的行的列读出布线,而检测阵列的每行中的相干检测单元530的光电检测器54-1和54-2的其他电极可以连接至跨该行的列的行编码布线或者共同行编码布线。

[0192] 参考图21中所示的相干检测阵列670。一方面,对于第1列中的相干检测单元530-1、530-5和530-9,光电检测器54-1的电极55-2连接到列读出布线63-1,以及光电检测器54-2的电极55-3连接到列读出布线64-1。

[0193] 类似地,对于第2列中的相干检测单元530-2、530-6和530-10,光电检测器54-1的

电极55-2连接至列读出布线63-2,以及光电检测器54-2的电极55-3连接至列读出布线64-2。

[0194] 类似地,对于第3列中的相干检测单元530-3、530-7和530-11,光电检测器54-1的电极55-2连接至列读出布线63-3,以及光电检测器54-2的电极55-3连接至列读出布线64-3。

[0195] 类似地,对于第4列中的相干检测单元530-4、530-8和530-12,光电检测器54-1的电极55-2连接至列读出布线63-4,以及光电检测器54-2的电极55-3连接至列读出布线64-4。

[0196] 另一方面,对于第1行中的相干检测单元530-1、530-2、530-3和530-4,光电检测器54-1的电极55-1连接至行编码布线67-1,以及光电检测器54-2的电极55-4连接至行编码布线68-1。

[0197] 类似地,对于第2行中的相干检测单元530-5、530-6、530-7和530-8,光电检测器54-1的电极55-1连接到行编码布线67-2,以及光电检测器54-2的电极55-4连接到行编码布线68-2。

[0198] 类似地,对于第3行中的相干检测单元530-9、530-10、530-11和530-12,光电检测器54-1的电极55-1连接到行编码布线67-3,以及光电检测器54-2的电极55-4连接到行编码布线68-3。

[0199] 第七优选实施例

[0200] 将参考图22和图23描述根据本优选实施例的相干检测单元700和710的两个示例。

[0201] 图22示出了相干检测单元700的平面图。图22中所示的相干检测单元700被配置为包括:偏振光分离自由空间到波导耦合器71;光耦合器72-1、72-2、72-3和72-4;波导73-1、73-2、73-3、73-4、73-5、73-6、73-7、73-8、73-9和73-10;光电检测器74-1、74-2、74-3和74-4;以及电极75-1、75-2、75-3、75-4、75-5、75-6、75-7和75-8。相干检测单元700还可以被配置为包括附加组件,诸如一个或多个调制器和/或加热器,附加组件可用于调制或修改相干检测单元的特性。这些附加组件未在图22中示出。可以使用光波导技术将相干检测单元700集成在衬底76上。

[0202] 相干检测单元700是图1中所示的相干检测单元100的修改版本。相干检测单元700被配置为检测传入信号光,传入信号光可以在x和y方向上用偏振多路复用使得两个偏振分量可以被单独地测量。结合以下描述,可以参考根据图1中示出的实施例的相干检测单元100来理解相干检测单元700。

[0203] 通过将相干检测子单元101和102(见图22)与代替相干检测单元100的自由空间到波导耦合器11的偏振光分离自由空间到波导耦合器71相组合来构造相干检测单元700,其中,相干检测子单元101和102中的每个均类似于相干检测单元100。相干检测子单元101被配置为包括:偏振光分离自由空间到波导耦合器71;光耦合器72-1和72-2;波导73-1、73-2、73-3、73-4和73-5;光电检测器74-1和74-2;以及电极75-1、75-2、75-3和75-4。相干检测子单元102被配置为包括:相同的偏振光分离自由空间到波导耦合器71;光耦合器72-3和72-4;波导73-6、73-7、73-8、73-9和73-10;光电检测器74-3和74-4;以及电极75-5、75-6、75-7和75-8。在此配置中,偏振光分离自由空间到波导耦合器71是两个相干检测子单元101和102的共同组件。

[0204] 在图22中,波导73-1具有一端以及另一端,可以通过该一端引入本地振荡器光 $E_{L0,inx}$ 并且可以通过该另一端传输本地振荡器光 $E_{L0,outx}$ ,以及波导73-10具有一端以及另一端,可以通过该一端引入本地振荡器光 $E_{L0,iny}$ 并且可以通过该另一端传输本地振荡器光 $E_{L0,outy}$ 。

[0205] 相干检测单元700使用偏振光分离自由空间到波导耦合器71来接收信号光 $E_{Sig,in}$ ,该信号光 $E_{Sig,in}$ 可以包括多路复用的x偏振光和y偏振光。信号光 $E_{Sig,in}$ 可以被偏振光分离自由空间到波导耦合器71接收并分离成x偏振光和y偏振光。一方面,x偏振光可以通过波导73-3被携带到相干检测子单元101,并且当被光电检测器74-1和74-2检测到时可以在电极75-1、75-2、75-3和75-4中产生光电流。另一方面,y偏振光可以通过波导73-7被携带到相干检测子单元102中,并且当被光电检测器74-3和74-4检测时可以在电极75-5、75-6、75-7和75-8中产生光电流。

[0206] 第七优选实施例的修改示例

[0207] 图23示出了相干检测单元710的平面图。图23中所示的相干检测单元710是根据图22中所示的实施例的相干检测单元700的修改示例。

[0208] 图23中的相干检测单元710类似于图22中的相干检测单元700,其中本质区别在于,相干检测单元710将光耦合器72-3移动到波导73-1,以将与耦合到波导73-2的本地振荡器光相同的本地振荡器光从波导73-1耦合到波导73-6。以此方式,耦合到检测单元710中的信号光的x偏振分量和y偏振分量可以与同一本地振荡器光 $E_{L0,in}$ 混合。因此,可以移除波导73-10。

[0209] 第八优选实施例

[0210] 将参考图24、图25、图26和图27描述根据本优选实施例的相干检测阵列800、810、820和830的四个示例。

[0211] 图24示出了相干检测阵列800的平面图。相干检测阵列800被配置为包括根据图22中所示的实施例的多个相干检测单元700。在一些方面,相干检测阵列800可以包括相干检测单元的其他实施例。在一些方面,可以通过以直线配置连接多个相干检测单元700来构造相干检测阵列800。在其他方面,可以通过以不同于直线配置的几何结构连接多个相干检测单元700来构造相干检测阵列的实施例。可以使用光波导技术将相干检测阵列800集成在衬底86上。

[0212] 图24中所示的相干检测阵列800类似于图2中所示的相干检测阵列200,其中本质区别在于,相干检测阵列800采用了根据图22中所示实施例的相干检测单元700作为检测阵列的构建块,而不是采用在相干检测阵列200中使用的相干检测单元100。在直线配置的一些方面,相干检测阵列可以被配置为具有 $M \times N$ 个相干检测单元的M行和N列。作为示例,图24中所示的相干检测阵列800的实施例包括6个相干检测单元700-1、700-2、700-3、700-4、700-5和700-6,相干检测单元700-1、700-2、700-3、700-4、700-5和700-6都是以2行和3列的格式布置的相干检测单元700。

[0213] 结合以下描述,可以参考根据图2所示的实施例的相干检测阵列200来理解相干检测阵列800。

[0214] 在一些方面,在相干检测单元700被配置为检测可以在x和y方向上用偏振多路复用的传入信号光的情况下,相干检测阵列800的每行可以被配置为包括用于x偏振光的行编

码波导和用于y偏振光的行编码波导,其中,单独的L0光被引入到每个行编码波导。相干检测阵列800中的行连接的相干检测单元700中的一系列波导73-1和73-10构成该行的行编码波导(见图22和图24)。用于x偏振的行编码波导中的L0光可以通过光耦合器72-1耦合到连接的相干检测单元700,以及用于y偏振的行编码波导中的L0光可以通过光耦合器72-3耦合到连接的相干检测单元700(见图22和图24)。

[0215] 引入到相干检测阵列的行编码波导中的L0光的电场是 $E_{L0,inmx}$ 和 $E_{L0,inmy}$ ,其中, $m=1,2,\dots,M$ ,其中,M是检测阵列的行数。从波导输出的相应的所传输的L0场是 $E_{L0,outmx}$ 和 $E_{L0,outmy}$ 。针对不同m的L0场 $E_{L0,inmx}$ 和 $E_{L0,inmy}$ 可以具有相同或不同的光频率、相同或不同的幅度、以及相同或不同的相对相位。

[0216] 对于图24中所示的相干检测阵列800,将L0场 $E_{L0,inlx}$ 和 $E_{L0,inly}$ 分别引入第1行中的行编码波导81-1和81-2中,以及将L0场 $E_{L0,in2x}$ 和 $E_{L0,in2y}$ 分别引入第2行中的行编码波导81-3和81-4中。

[0217] 在一些方面,根据本优选实施例的相干检测阵列可以被构造,使得对于每列中的相干检测单元,光电检测器74-1的电极75-1和75-2、光电检测器74-2的电极75-3和75-4、光电检测器74-3的电极75-5和75-6、以及光电检测器74-4的电极75-7和75-8可以连接至单独的列读出布线。在其他方面,光电检测器74-1的电极75-1或电极75-2以及光电检测器74-2的电极75-3或电极75-4可以连接到共同列读出布线而不是单独的列读出布线,以及光电检测器74-3的电极75-5或电极75-6以及光电检测器74-4的电极75-7或电极75-8可以连接到共同列读出布线而不是单独的列读出布线。在其他方面,可以组合一些列读出布线以简化布局。

[0218] 对于图24中示出的第1列中的相干检测单元700-1和700-4,光电检测器74-1的电极75-1连接至列读出布线82-1,光电检测器74-2的电极75-3连接至列读出布线83-1,光电检测器74-3的电极75-5连接至列读出布线88-1,光电检测器74-4的电极75-7连接到列读出布线89-1,光电检测器74-1的电极75-2和光电检测器74-2的电极75-4连接到共同列读出布线84-1,以及光电检测器74-3的电极75-6和光电检测器74-4的电极75-8连接到共同列读出布线87-1。

[0219] 类似地,对于第2列中的相干检测单元700-2和700-5,光电检测器74-1的电极75-1连接至列读出布线82-2,光电检测器74-2的电极75-3连接至列读出布线83-2,光电检测器74-3的电极75-5连接至列读出布线88-2,光电检测器74-4的电极75-7连接到列读出布线89-2,光电检测器74-1的电极75-2和光电检测器74-2的电极75-4连接到共同列读出布线84-2,以及光电检测器74-3的电极75-6和光电检测器74-4的电极75-8连接到共同列读出布线87-2。

[0220] 类似地,对于第3列中的相干检测单元700-3和700-6,光电检测器74-1的电极75-1连接至列读出布线82-3,光电检测器74-2的电极75-3连接至列读出布线83-3,光电检测器74-3的电极75-5连接至列读出布线88-3,光电检测器74-4的电极75-7连接到列读出布线89-3,光电检测器74-1的电极75-2和光电检测器74-2的电极75-4连接到共同列读出布线84-3,以及光电检测器74-3的电极75-6和光电检测器74-4的电极75-8连接到共同列读出布线87-3。

[0221] 类似于图2,图24中的焊盘Pa是可以连接到外围读出电路的列读出布线的输出端

子。

[0222] 第八优选实施例的第一修改示例

[0223] 图25示出了相干检测阵列810的平面图。相干检测阵列810是根据图24中示出的实施例的相干检测阵列800的修改示例。类似于相干检测阵列800,相干检测阵列810可以被配置为包括根据图22中所示的实施例的多个相干检测单元700。可以通过使用波导73-1连接一系列相干检测单元700(见图22),来构造相干检测阵列810的每行。可以通过导电路径串联多行相干检测单元700以形成检测阵列。作为示例,图25中所示的相干检测阵列810的实施例包括6个相干检测单元700-1、700-2、700-3、700-4、700-5和700-6,相干检测单元700-1、700-2、700-3、700-4、700-5和700-6都是以2行和3列的格式布置的相干检测单元700。

[0224] 类似于相干检测阵列800,根据本优选实施例的相干检测阵列810可以被配置,使得对于每列中的相干检测单元,光电检测器74-1的电极75-1或电极75-2可以连接到列读出布线,光电检测器74-2的电极75-3或电极75-4可以连接到列读出布线,光电检测器74-3的电极75-5或电极75-6可以连接到列读出布线,以及光电检测器74-4的电极75-7或电极75-8可以连接到列读出布线。

[0225] 不同于相干检测阵列800,根据本优选实施例的相干检测阵列810可被配置,使得相干检测单元的光电检测器的其他电极可以通过行编码布线跨不同列连接,而不是通过列读出布线跨不同行连接。在一些方面,对于相干检测阵列810的每行中的相干检测单元700,光电检测器74-1的电极75-1或电极75-2可以连接到行编码布线,光电检测器74-2的电极75-3或电极75-4可以连接到行编码布线,光电检测器74-3的电极75-5或电极75-6可以连接到行编码布线,以及光电检测器74-4的电极75-7或电极75-8可以连接到行编码布线。在其他方面,光电检测器74-1的电极75-1或电极75-2以及光电检测器74-2的电极75-3或电极75-4可以连接到共同行编码布线而不是单独的行编码布线,以及光电检测器74-3的电极75-5或电极75-6和光电检测器74-4的电极75-7或电极75-8可以连接到共同行编码布线而不是单独的行编码布线。在其他方面,可以组合一些行编码布线和/或组合一些列读出布线以简化布局。

[0226] 参考图25中所示的相干检测阵列810。一方面,对于第1列中的相干检测单元700-1和700-4,光电检测器74-1的电极75-1连接到列读出布线82-1,光电检测器74-2的电极75-3连接到列读出布线83-1,光电检测器74-3的电极75-5连接到列读出布线88-1,以及光电检测器74-4的电极75-7连接到列读出布线89-1。

[0227] 类似地,对于第2列中的相干检测单元700-2和700-5,光电检测器74-1的电极75-1连接至列读出布线82-2,光电检测器74-2的电极75-3连接至列读出布线83-2,光电检测器74-3的电极75-5连接至列读出布线88-2,以及光电检测器74-4的电极75-7连接至列读出布线89-2。

[0228] 类似地,对于第3列中的相干检测单元700-3和700-6,光电检测器74-1的电极75-1连接至列读出布线82-3,光电检测器74-2的电极75-3连接至列读出布线83-3,光电检测器74-3的电极75-5连接至列读出布线88-3,以及光电检测器74-4的电极75-7连接至列读出布线89-3。

[0229] 另一方面,对于第1行中的相干检测单元700-1、700-2和700-3,光电检测器74-1的电极75-2和光电检测器74-2的电极75-4连接到共同行编码布线811-1,以及光电检测器74-

3的电极75-6和光电检测器74-4的电极75-8连接到共同行编码布线812-1。

[0230] 类似地,对于第2行中的相干检测单元700-4、700-5和700-6,光电检测器74-1的电极75-2和光电检测器74-2的电极75-4连接到共同行编码布线811-2,以及光电检测器74-3的电极75-6和光电检测器74-4的电极75-8连接到共同行编码布线812-2。

[0231] 图25中的焊盘Pa是可以连接至外围电路的列读出布线和行编码布线的端子。

[0232] 第八优选实施例的第二修改示例

[0233] 图26示出了相干检测阵列820的平面图。相干检测阵列820是根据图24中示出的实施例的相干检测阵列800的另一修改示例。

[0234] 图26中所示的相干检测阵列820类似于图24中所示的相干检测阵列800,其中本质区别在于,相干检测阵列820采用了根据在图23中所示的实施例的相干检测单元710作为检测阵列的构建块,而不是采用在相干检测阵列800中使用的相干检测单元700。在直线配置的一些方面,相干检测阵列可以被配置为具有 $M \times N$ 个相干检测单元的M行和N列。作为示例,图26中所示的相干检测阵列820的实施例包括6个相干检测单元710-1、710-2、710-3、710-4、710-5和710-6,相干检测单元710-1、710-2、710-3、710-4、710-5和710-6都是以2行和3列的格式布置的相干检测单元710。

[0235] 利用所采用的相干检测单元710,可以将用于x偏振光和y偏振光的行编码波导组合成一个,并且同一个本地振荡器光 $E_{L0,inm}$ 可以用于两个偏振,其中, $m=1,2,\dots,M$ ,其中,M是行数。

[0236] 对于图26中所示的相干检测阵列820,将L0光 $E_{L0,in1}$ 引入第1行中的行编码波导81-1中,以及将L0光 $E_{L0,in2}$ 引入第2行中的行编码波导81-3中。

[0237] 第八优选实施例的第三修改示例

[0238] 图27示出了相干检测阵列830的平面图。相干检测阵列830是根据图24中示出的实施例的相干检测阵列800的另一修改示例。

[0239] 相干检测阵列830根据图25中的相干检测阵列810和图26中的相干检测阵列820,将对相干检测阵列800做出的修改进行组合。结合以下描述,可以参考根据图25和图26中示出的实施例的相干检测阵列810和820来理解相干检测阵列830。

[0240] 一方面,类似于相干检测阵列820,相干检测阵列830采用根据图23中所示的实施例的相干检测单元710作为检测阵列的构建块,而不是采用相干检测阵列800和810中使用的相干检测单元700。

[0241] 利用所采用的相干检测单元710,可以将用于x偏振光和y偏振光的行编码波导组合成一个,并且同一个本地振荡器光 $E_{L0,inm}$ 可以用于两个偏振,其中, $m=1,2,\dots,M$ ,其中,M是行数。

[0242] 对于图27中所示的相干检测阵列830,将L0光 $E_{L0,in1}$ 引入第1行中的行编码波导81-1中,以及将L0光 $E_{L0,in2}$ 引入第2行中的行编码波导81-3中。

[0243] 另一方面,类似于相干检测阵列810,相干检测阵列830可以被配置,使得对于检测阵列的每列中的相干检测单元710,光电检测器74-1的电极75-1或电极75-2可以连接到列读出布线,光电检测器74-2的电极75-3或电极75-4可以连接到列读出布线,光电检测器74-3的电极75-5或电极75-6可以连接到列读出布线,以及光电检测器74-4的电极75-7或电极75-8可以连接到列读出布线,而检测阵列的每行中的相干检测单元710的光电检测器74-1、

74-2、74-3和74-4的其他电极可以连接到跨该行的列的行编码布线。在一些方面,可以组合一些行编码布线和/或可以组合一些列读出布线以简化布局。

[0244] 参考图27中所示的相干检测阵列830。一方面,对于第1列中的相干检测单元710-1和710-4,光电检测器74-1的电极75-1连接到列读出布线82-1,光电检测器74-2的电极75-3连接到列读出布线83-1,光电检测器74-3的电极75-5连接到列读出布线88-1,以及光电检测器74-4的电极75-7连接到列读出布线89-1。

[0245] 类似地,对于第2列中的相干检测单元710-2和710-5,光电检测器74-1的电极75-1连接至列读出布线82-2,光电检测器74-2的电极75-3连接至列读出布线83-2,光电检测器74-3的电极75-5连接至列读出布线88-2,以及光电检测器74-4的电极75-7连接至列读出布线89-2。

[0246] 类似地,对于第3列中的相干检测单元710-3和710-6,光电检测器74-1的电极75-1连接至列读出布线82-3,光电检测器74-2的电极75-3连接至列读出布线83-3,光电检测器74-3的电极75-5连接至列读出布线88-3,以及光电检测器74-4的电极75-7连接至列读出布线89-3。

[0247] 另一方面,对于第1行中的相干检测单元710-1、710-2和710-3,光电检测器74-1的电极75-2和光电检测器74-2的电极75-4连接到共同行编码布线811-1,以及光电检测器74-3的电极75-6和光电检测器74-4的电极75-8连接到共同行编码布线812-1。

[0248] 类似地,对于第2行中的相干检测单元710-4、710-5和710-6,光电检测器74-1的电极75-2和光电检测器74-2的电极75-4连接到共同行编码布线811-2,以及光电检测器74-3的电极75-6和光电检测器74-4的电极75-8连接到共同行编码布线812-2。

[0249] 多路复用方法

[0250] 下面将描述可以应用于本发明中相干检测阵列的信号多路复用方法。在一些方面,信号多路复用方法可以被应用于本发明中的相干检测阵列的配置的实施例。在其他方面,信号多路复用方法还可以应用于未提及的其他检测阵列配置和设计。

[0251] 信号多路复用方法包括利用相干检测阵列的额外自由度的方法。这些多路复用方法可以分为光域和电域。这些方法可以包括由本地振荡器实现的那些方法和与基于PIC的检测阵列的组件的特性和响应相关的那些方法。

[0252] 在光域中的多路复用可以包括对本地振荡器和检测阵列的光波导的特性的操纵。可以通过控制在检测阵列的每个检测单元或检测单元组处的LO光的振幅、频率和相位,来实现通过LO的多路复用。所生成的光电流可以被多路复用以形成多路复用的电读出信号。检测单元的LO的振幅、频率和相位也可以进行时间调制,使得多路复用的电读出信号可以相应地随时间变化。

[0253] 可以通过电地、热地或光学地控制检测阵列的波导的折射率,来实现通过检测阵列的波导的多路复用。电地控制波导的折射率的方法可以包括利用电光(electro-optic, EO)效应的那些方法。热地控制波导的折射率的方法可以包括利用热光(thermo-optic, TO)效应的那些方法。光学地控制波导的折射率的方法可以包括利用诸如交叉相位调制(cross-phase modulation, XPM)的非线性光学效应的那些方法。在一些方面,波导的折射率的操纵可以应用于引导本地振荡器光的波导。这可能导致类似于操纵LO的振幅、频率和相位的效果。在其他方面,波导的折射率的操纵可以应用于引导信号光的波导。

[0254] 在电域中的多路复用可以包括对相干检测阵列中的检测单元的组件的电响应或特性的操纵,诸如光电检测器的响应度。可以通过控制应用到检测阵列的每个检测单元或检测单元组处的光电检测器的电压的振幅、频率和相位,来实现基于光电检测器的响应度的多路复用。具有可由所应用的电压改变的响应度的光电检测器可以包括如非专利文献[William C.Ruff, John D.Bruno, Stephen W.Kennerly, Ken Ritter, Paul H.Shen, Barry L.Stann, Michael R.Stead, Zoltan G.Sztankay, Mary S.Tobin, “Self-mixing detector candidates for an FM/cw ladar architecture (用于FM/cw激光雷达架构的自混频检测器候选),” Proc.SPIE 4035, Laser Radar Technology and Applications V, (5September 2000)]中描述的自混频检测器。来自不同相干检测单元的调制光电流可以被多路复用,以形成多路复用的电读出信号。也可以对应用于检测单元的光电检测器的电压的振幅、频率和相位进行时间调制,使得多路复用的电读出信号可以在时间上相应地变化。

[0255] 时分多路复用方案、空分多路复用方案、利用L0的多路复用方案、利用检测阵列的波导的多路复用方案、以及利用光电检测器的响应度的多路复用方案的任何组合可以同时地或不同时地应用于相干检测阵列。可以将信号后处理应用于多路复用的电读出信号,以提取关于在检测单元处测量的信号光的信息。

[0256] 图28示出了包括相干检测阵列91、光学输入电路92、电多路复用电路93和电读出电路94的相干检测装置的概念设置,其中,可以应用时分多路复用方案、空分多路复用方案、利用L0的多路复用方案、利用检测阵列的波导的多路复用方案、以及利用光电检测器的响应度的多路复用方案的任何组合。

[0257] 对于在图2、图3、图6、图7、图8、图9、图14、图15、图16、图17、图18、图19、图20、图21、图24、图25、图26和图27中示出的本发明的相干检测阵列的实施例,在相干检测阵列的第n列上的列读出布线的输出端处的电流与以下成比例:

$$[0258] \quad I_{(n)}(t) = \sum_{m=1}^M R_{(m,n)}(t) [P_{0(m,n)} + \langle E_{LO,in(m)}(t) E_{Sig,in(m,n)}(t) \rangle], \quad (1)$$

[0259] 其中,t表示时间, $E_{LO,in(m)}(t)$ 是第m行上的L0光的电场, $E_{Sig,in(m,n)}(t)$ 是在第m行和第n列上的相干检测单元处耦合到自由空间到波导耦合器的信号光的电场,以及 $R_{(m,n)}(t)$ 是相应的光电检测器的响应度。指数 $m=1, 2, \dots, M$ 和 $n=1, 2, \dots, N$ ,其中,M和N分别表示相干检测阵列的行和列的数量。量 $P_{0(m,n)}$ 是与第m行和第n列上的相干检测单元处的信号光和本地振荡器光的平均强度成比例的直接分量。对于图2、图3、图6、图7、图8、图9、图14、图15、图16、图17、图18、图19、图20和图21中所示的相干检测阵列的实施例, $M=3$ 和 $N=4$ ,而对于图24、图25、图26和图27中所示的相干检测阵列的实施例, $M=2$ 和 $N=3$ 。对于图14、图15、图16、图17、图18、图19、图20、图21、图24、图25、图26和图27中所示的相干检测阵列的实施例,等式(1)中的本地振荡器光 $E_{LO,in(m)}(t)$ 和信号光 $E_{Sig,in(m,n)}(t)$ 的电场可以进一步由偏振来索引。光电检测器响应度 $R_{(m,n)}(t)$ 还可以由用于实现具有多于一个光电检测器的相干检测单元的检测器标签来索引。可以通过相干检测阵列的校准来确定光电检测器响应度 $R_{(m,n)}(t)$ 。为了简单起见,在等式(1)中已经忽略可能存在的噪声分量。

[0260] 以下将描述利用光域和电域中的额外自由度进行相干检测的多路复用方法的实施例,如通过L0和光电检测器响应度的操纵所体现的。

[0261] 本地振荡器的多路复用方法

[0262] 在下文中,描述了利用本发明的相干检测阵列的设计并利用本地振荡器的多路复用方法的原理和实施例。

[0263] 在一些方面,可以通过操纵LO来实现用于信号读出的多路复用。在这些情况下,光电检测器响应度 $R_{(m,n)}$ 可以被视为独立于时间或者在时间上缓慢变化。然后,可以通过在与交叉分量相比直流分量缓慢变化的情况下由适合的滤波器抑制电流的直流分量来提取等式(1)中的电流的交叉分量 $\langle E_{LO,in(m)}(t)E_{Sig,in(m,n)}(t) \rangle$ ,或者对于可以实现平衡配置的图2、图3、图24、图25、图26和图27中所示的相干检测阵列的实施例的情况由光电检测器获取光电流之间的差异来提取等式(1)中的电流的交叉分量 $\langle E_{LO,in(m)}(t)E_{Sig,in(m,n)}(t) \rangle$ 。然后,在相干检测阵列的第n列上的列读出布线的输出端处的电流的交叉分量与以下成比例:

$$[0264] \quad I_{ac(n)}(t) = \sum_{m=1}^M R_{(m,n)} \langle E_{LO,in(m)}(t)E_{Sig,in(m,n)}(t) \rangle. \quad (2)$$

[0265] 等式(2)表明,通过在第m行上的行编码波导中引入具有非零振幅的本地振荡器光 $E_{LO,in(m)}$ ,同时将其其他行中的本地振荡器光设置为零,第n列上的列读出布线的输出端处的电流的交叉分量与 $\langle E_{LO,in(m)}(t)E_{Sig,in(m,n)}(t) \rangle$ 成比例。结果,本地振荡器光可以用于选择相干检测阵列的特定行。

[0266] 在一些方面,可以鉴于等式(2)通过控制本地振荡器光来顺序地或非顺序地逐一选择相干检测阵列的行来实现所描述的用于信号多路复用的方法,从而使得可以在M个步骤中读出所有行。在其他方面中,可以通过将非零本地振荡器光同时引入到相干检测阵列的行的子集中来实现多路复用。另外,本地振荡器光可以在不同时间引入到相干检测阵列的行的不同子集中。而且,在检测阵列的不同列上的列读出布线的输出端处的电信号可以使用现有的共同读出方法来多路复用以输出到外部电路。此外,信号后处理可以应用于提取信号光的信息。

[0267] 下面描述基于LO的频率或振幅的多路复用方法的实施例的两个其他示例。应当理解,这些示例是非穷尽的。在一些方面,其他多路复用方案可以利用本地振荡器光的振幅、频率和相位的任何组合。

[0268] 基于本地振荡器的频率偏移的多路复用方法

[0269] 在下文中,描述了利用本地振荡器的频率的多路复用方法的实施例。

[0270] 在一些方面,具有不同光学频率的本地振荡器光可以被引入到相干检测阵列的不同行中以便根据等式(2)多路复用列读出布线中的电流。在这方面,等式(2)中的总和的不同项可以表现出不同的拍频率,其中,可以应用信号处理来对不同行的信息进行解多路复用。

[0271] 利用LO的不同频率进行相干检测的多路复用方法的应用是扩展FMCW-LIDAR(见非专利文献[A.Dieckmann,“FMCW-LIDAR with tunable twin-guide laser diode(具有可调谐双导向激光二极管的FMCW-LIDAR),”Electronics Letters 30,308-309(1994)])以实现同时的全场3D FMCW-LIDAR。以使用具有在中心频率 $f_0$ 处啁啾的线性频率和频率调谐范围B、扫描周期 $T_s$ 的全场照明探测激光器,对目标应用3D FMCW-LIDAR为例。利用相干检测阵列,当第m行中的本地振荡器光 $E_{LO,inm}$ 从 $f_0$ 频率偏移 $\Omega_m$ (其中, $m=1, \dots, M$ )时,在第n列的列

读出布线的输出端处的FMCW光电流的交叉分量与以下成比例:

$$[0272] \quad I_{ac(n)}^{FMCW}(t) = \sum_{m=1}^M R_{(m,n)} |E_{LO,in(m)}| |E_{Sig,in(m,n)}| \cos \left( 2\pi \left( \frac{\tau_{mn}}{T_s} B + \Omega_m \right) t + \theta_{mn} \right), \quad (3)$$

[0273] 其中,相位因子

$$[0274] \quad \theta_{mn} = 2\pi\tau_{mn} \left( f_0 - \frac{\tau_{mn}}{T_s} B \right) + \Delta\Phi_{mn}(t, \tau),$$

[0275] 其中,  $\tau_{mn}$  是探测光束在第m行和第n列处传输至目标并从目标反射并且行进至相干检测单元的往返时间。相位差  $\Delta\Phi_{mn}(t, \tau)$  包括激光器的相位噪声。通过将频率偏移  $\Omega_m$  设定为足够大的值, 诸如但不限于  $\Omega_m = m \frac{\tau_c}{T_s} B$ , 其中,  $\tau_c$  是探测激光器的相干时间, 从而使得来自不同行m的FMCW光电流分量移位到不同的频带, 可以从FMCW光电流的频谱中唯一地确定用于所有m的往返时间  $\tau_{mn}$ 。结果, 可以利用本地振荡器场的频率来选择相干检测阵列的行的子集, 并且对行的信号的信息进行解多路复用。

[0276] 图29A和图29B分别示意性地描绘了不具有和具有LO频率偏移的FMCW光电流的交叉分量的频谱的示例。因为感兴趣的信号纯粹是真实的, 所以仅示出了正频率。图29A示出了对应于具有  $\Omega_m = 0$  的等式 (3) 的不具有频率偏移的频谱的情况的示例。考虑由来自列中的三个检测单元 (例如, 在第1列的第1、2和3行处的检测单元1、2、3) 的信号组成的光电流的示例, 其中, 检测单元1和3检测来自具有往返时间都等于  $\Delta T_s/B$  (即  $\tau_{11} = \tau_{31} = \Delta T_s/B$ ) 的探测波束的信号, 并且检测单元2检测来自具有往返时间  $\tau_{21} = \Delta' T_s/B$  的探测波束的信号。为了说明性目的, 假设三个检测单元处的信号具有相同的振幅和相位。由于在检测单元1和3处的往返时间相同, 所以来自检测单元1和3的光电流相加。因此, 在频率  $\Delta$  处的光电流的振幅是在频率  $\Delta'$  处的振幅的两倍, 如图29A所示。此外, 由于对来自三个检测单元的光电流进行求和, 因此没有办法将它们各自的贡献与组合的光电流进行区分。图29B示出了在频率偏移  $\Omega_m$  (其中,  $m=1, 2, 3$ ) 分别应用于检测单元1、2和3处的LO的频谱的情况。来自三个检测单元的光电流的频率可随后在不同的频带中分离, 使得可以单独地确定来自检测单元的贡献, 以及检测单元处的探测光束的往返时间信息。

[0277] 基于压缩感测的多路复用方法

[0278] 在下文中, 描述了利用本地振荡器的振幅的多路复用方法的实施例。

[0279] 在一些方面, 对相干检测阵列的行的子集的选择和信号后处理可以基于压缩感测 (CS) 的方法 (见非专利文献 [D.L. Donoho, "Compressed sensing (压缩感测)," IEEE Transactions on Information Theory 52, 1289 (2000)] )。为了说明多路复用方法的原理, 在以下描述中将入射信号光视为连续波 (CW) 信号, 虽然该方法通常用于任何入射信号光。

[0280] 在CS方法的一些实现中, 可以测量入射信号光K次, 其中, 每次测量可以持续持续时间  $T_k$ , 其中  $k=1, 2, \dots, K$ 。在根据等式 (2) 的第k次测量时, 相干检测阵列的第n列上的列读出布线的输出端处的电流的交叉分量与以下成比例:

$$[0281] \quad I_{ac(n)}^{(k)}(t_k) = \sum_{m=1}^M R_{(m,n)} |E_{LO,in(m)}^{(k)}| |E_{Sig,in(m,n)}| \cos (2\pi\Delta_{mn}t_k + \theta'_{mn}), \quad (4)$$

[0282] 其中,  $E_{\text{LO}, \text{in } m}^{(k)}(t_k)$  是在第k次测量中在第m行中的行编码波导处的本地振荡器光,  $|E_{\text{LO}, \text{in } m}^{(k)}|$  和  $|E_{\text{Sig}, \text{in}(m, n)}|$  分别是  $E_{\text{LO}, \text{in } m}^{(k)}(t_k)$  和  $E_{\text{Sig}, \text{in}(m, n)}(t_k)$  的幅值,  $\Delta_{mn}$  是在第m行和第n列上的检测单元处的信号光与本地振荡器光的拍频率, 以及  $\theta'_{mn}$  是相应的相移。时间  $t_k$  落入第k次测量的持续时间  $T_k$  内。为了说明的目的, 考虑  $\theta'_{mn}$  是确定性的情况, 即, 忽略等式 (2) 中的相位变化。在傅里叶域中, 等式 (4) 可以以矩阵形式书写:  $I_{ac(n)} = E_{\text{LO}} x_n$ , 其中, 向量  $x_n$  的元素是  $|E_{\text{Sig}, \text{in}(m, n)}| [e^{i\theta'_{mn}} \delta(f - \Delta_{mn}) + e^{-i\theta'_{mn}} \delta(f + \Delta_{mn})]$ , 其中  $\delta(f)$  是傅里叶域中的  $\delta$  函数。在此, 对于任意第n列,  $I_{ac(n)}$  是长度为K的向量,  $x_n$  是长度为M的向量, 以及  $E_{\text{LO}}$  是大小为  $K \times M$  的矩阵。本地振荡器光与如由  $\mathbf{E}_{\text{LO}} = R_{(m, n)} |E_{\text{LO}, \text{in}(m)}^{(k)}|$  表示的常数  $R_{(m, n)}$  一起在CS中起到感测矩阵的作用。当未知信号向量  $x_n$  根据CS理论是稀疏的时, 可以通过信号重构算法有效地恢复。

[0283] 光电检测器的多路复用方法

[0284] 在下文中, 描述了利用本发明的相干检测阵列的设计并利用光电检测器的特性的多路复用方法的原理和实施例。

[0285] 在一些方面, 在图3、图7、图9、图15、图17、图19、图21、图25和图27中所示的相干检测阵列的实施例中, 可以执行通过光电检测器的特性的操纵的多路复用, 其中, 实现了行编码布线。对于这些情况, 该光电检测器的响应度可以被书写成  $R_{(m, n)} f_{(m)}(t)$  的形式, 使得响应度的时间依赖性跨相干检测阵列的检测单元的行是相同的, 以及因子  $R_{(m, n)}$  解释了不同检测单元的不同光电检测器之间的响应度的变化。函数  $f_{(m)}(t)$  可以通过改变应用至检测阵列的第m行上的光电检测器的电压来临时控制。然后根据等式 (1), 相干检测阵列的第n列上的列读出布线的输出端处的电流可以写为

$$[0286] \quad I_{(n)}(t) = \sum_{m=1}^M R_{(m, n)} f_{(m)}(t) [P_{0(m, n)} + \langle E_{\text{LO}, \text{in}(m)}(t) E_{\text{Sig}, \text{in}(m, n)}(t) \rangle]. \quad (5)$$

[0287] 根据等式 (5), 可以实现时分多路复用方法以通过将非零值设定为  $f_{(m)}(t)$  同时断开其他行来选择第m行上的光电检测器输出。

[0288] 在一些方面, 函数  $f_{(m)}(t)$  可以用于提供频率偏移, 以便以与基于如等式 (3) 中所表现的本地振荡器的频率偏移的多路复用方法类似的方式对输出信号进行多路复用。作为说明, 考虑同步全场3D FMCW-LIDAR中的应用, 其中本地振荡器频率偏移设置为0, 并且响应度采用  $f_{(m)}(t) = C_m + A_m \cos 2\pi \Omega_m t$  的形式。然后, 等式 (5) 可以写为

$$[0289] \quad I_{(n)}^{\text{FMCW}}(t) = I_{(n)}^{\text{base}}(t) + I_{(n)}^{\text{shift}}(t), \quad (6)$$

[0290] 其中, 基带电流由下式给出:

$$[0291] \quad I_{(n)}^{\text{base}}(t) = \sum_{m=1}^M R_{(m, n)} C_m [P_{0(m, n)} + |E_{\text{LO}, \text{in}(m)}| |E_{\text{Sig}, \text{in}(m, n)}| \cos \left( 2\pi \frac{\tau_{mn}}{T_s} B t + \theta_{mn} \right)], \quad (7)$$

[0292] 以及带移电流由下式给出:

$$I_{(n)}^{\text{shift}}(t) = \sum_{m=1}^M R_{(m,n)} A_m \{ P_{0(m,n)} \cos 2\pi \Omega_m t$$

[0293]  $+ \frac{1}{2} |E_{\text{LO}, \text{in}(m)}| |E_{\text{Sig}, \text{in}(m,n)}| \left[ \cos \left( 2\pi \left( \frac{\tau_{mn}}{T_s} B + \Omega_m \right) t + \theta_{mn} \right) \right.$

$$\left. + \cos \left( 2\pi \left( \frac{\tau_{mn}}{T_s} B - \Omega_m \right) t + \theta_{mn} \right) \right] \}. \quad (8)$$

[0294] 一方面,等式(7)中的基带电流对应于不受通过光电检测器的响应度的时间调制的多路复用影响的信号分量。

[0295] 另一方面,类似于由等式(3)所表示的情况,根据等式(8)的在检测阵列的不同行处的带移电流的被加数被移位了光电检测器响应度的调制频率 $\Omega_m$ 。当调制频率 $\Omega_m$ 足够大时,包含具有不同 $m$ 的距离信息 $\tau_{mn}$ 的FMCW光电流分量可被移位至不同的频带。因此,应用于光电检测器响应度的频率调制可以用于选择相干检测阵列的行的子集,并且以与由LO频率偏移的多路复用方法类似的方式对行的信号的信息进行解多路复用。

[0296] 与等式(3)所表示的情况不同,带移电流中的距离信息可以表现为围绕以 $\Omega_m$ 为中心的所移位的平均功率项 $P_{0(m,n)}$ 的两个边带。因此,可能需要更复杂的信号后处理来提取此类信息。

[0297] 图30A-C示意性地描绘了当光电检测器响应度被正弦调制时的FMCW光电流的光谱的示例。考虑与图29A和图29B中相同的条件和参数。因为感兴趣的信号纯粹是真实的,所以仅示出了正频率。图30A示出了对应于具有 $A_m = 0$ 的等式(6)的不具有调制的频谱的情况的示例。除了存在对应于平均功率 $P_{0(m,n)}$ 的直接分量,图30A与图29A相同。图30B示出了在频率 $\Omega_m$  (其中, $m=1,2,3$ )处的正弦调制分别应用于检测单元1、2和3处的光电检测器时的频谱的情况。来自三个检测单元的光电流的频率在不同的频带中分离,尽管比图29B示出更复杂的模式。图30C示出了对于可以实现平衡配置的图2、图3、图24、图25、图26和图27中所示的相干检测阵列的实施例的情况,可以通过由光电检测器获取光电流之间的差异来抑制等式(5)、(7)和(8)中含有平均功率 $P_{0(m,n)}$ 的项的情况。

[0298] 所引用的参考文献

[0299] 其他出版物

[0300] Firooz Aflatouni, Behrooz Abiri, Angad Rekhi, and Ali Hajimiri, "Nanophotonic coherent imager (纳米光子相干成像仪)," Optics Express 23, 5117-5125 (2015)。

[0301] William C. Ruff, John D. Bruno, Stephen W. Kennerly, Ken Ritter, Paul H. Shen, Barry L. Stann, Michael R. Stead, Zoltan G. Sztankay, Mary S. Tobin, "Self-mixing detector candidates for an FM/cw lidar architecture (用于FM/cw激光雷达架构的自混频检测器候选)," Proc. SPIE 4035, Laser Radar Technology and Applications V, (5 September 2000)。

[0302] A. Dieckmann, "FMCW-LIDAR with tunable twin-guide laser diode (具有可调谐双导向激光二极管的FMCW-LIDAR)," Electronics Letters 30, 308-309 (1994)。

[0303] D.L.Donoho, “Compressed sensing (压缩感测),” IEEE Transactions on Information Theory 52,1289(2000)。

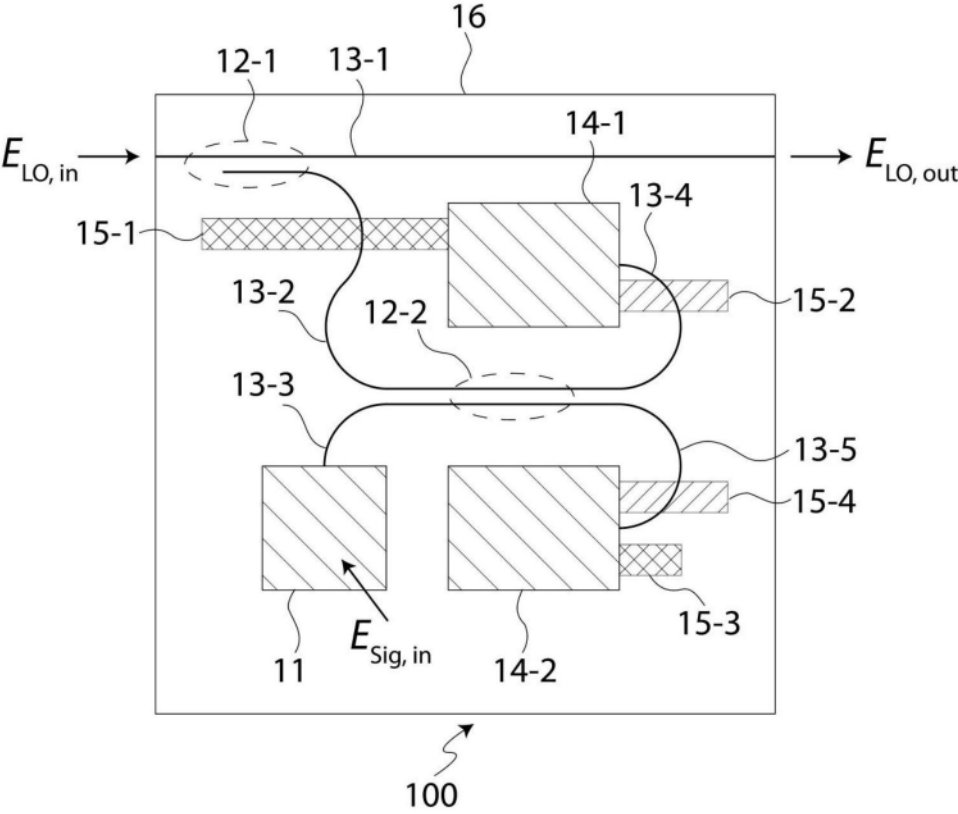


图1

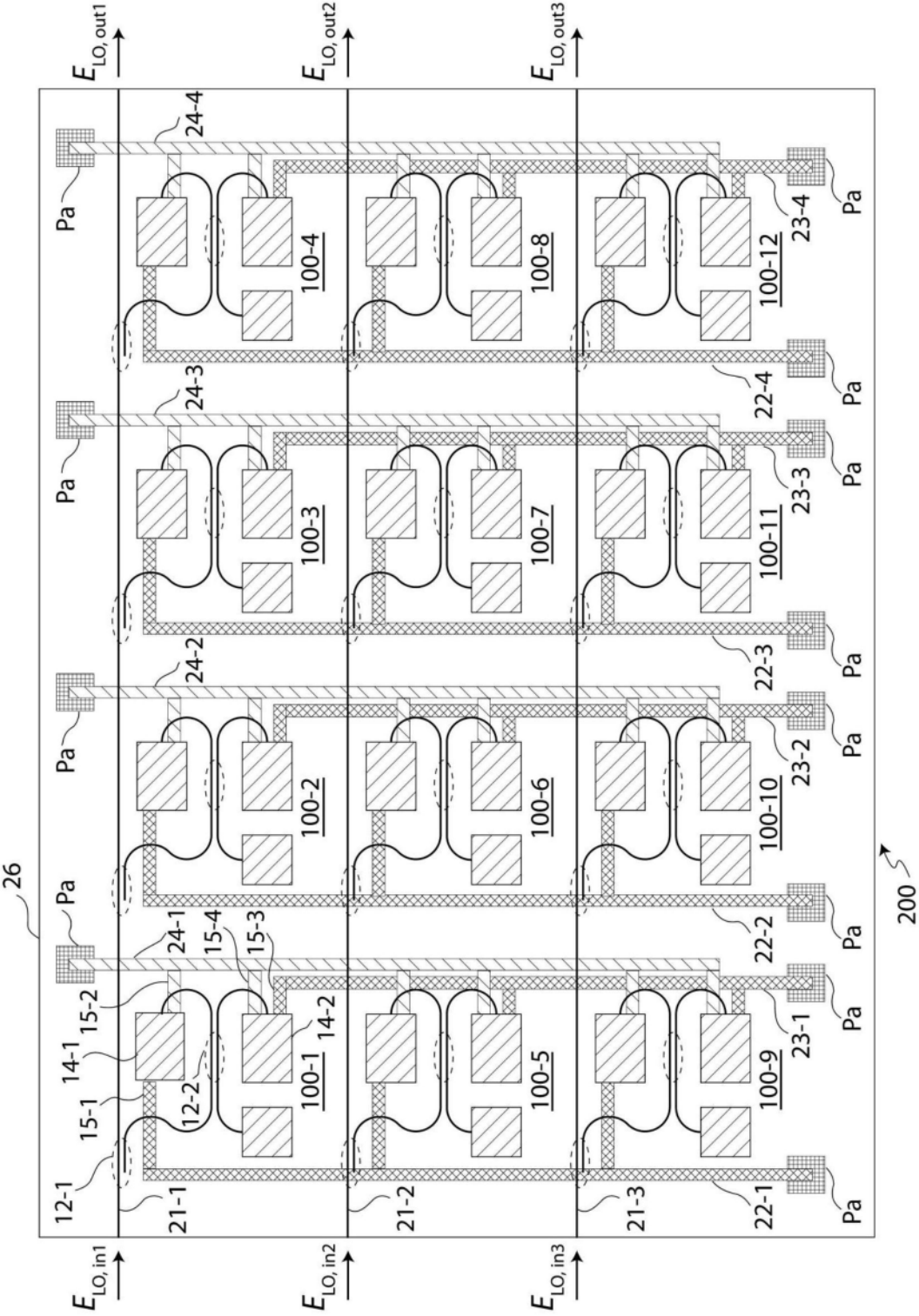


图2

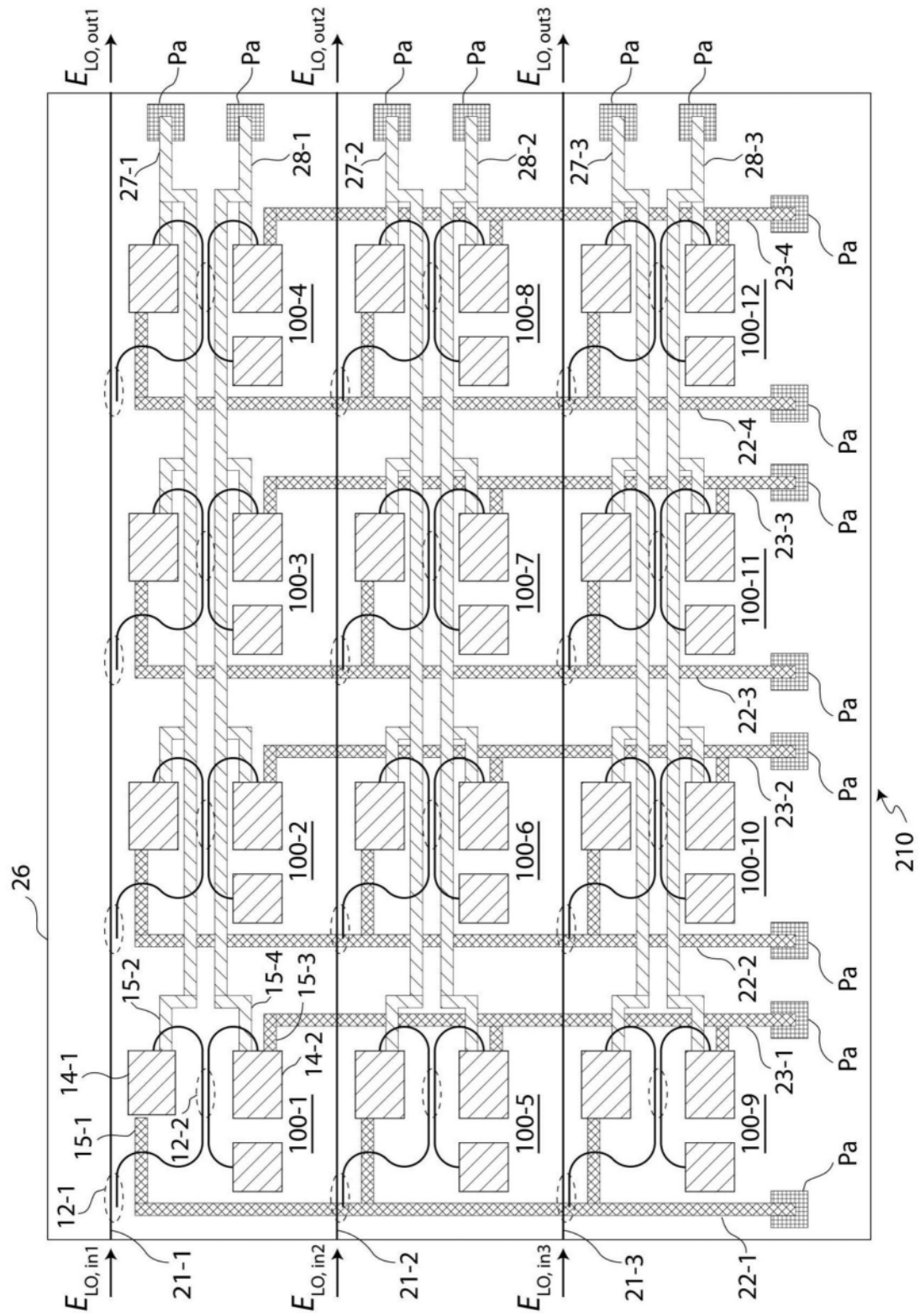


图3

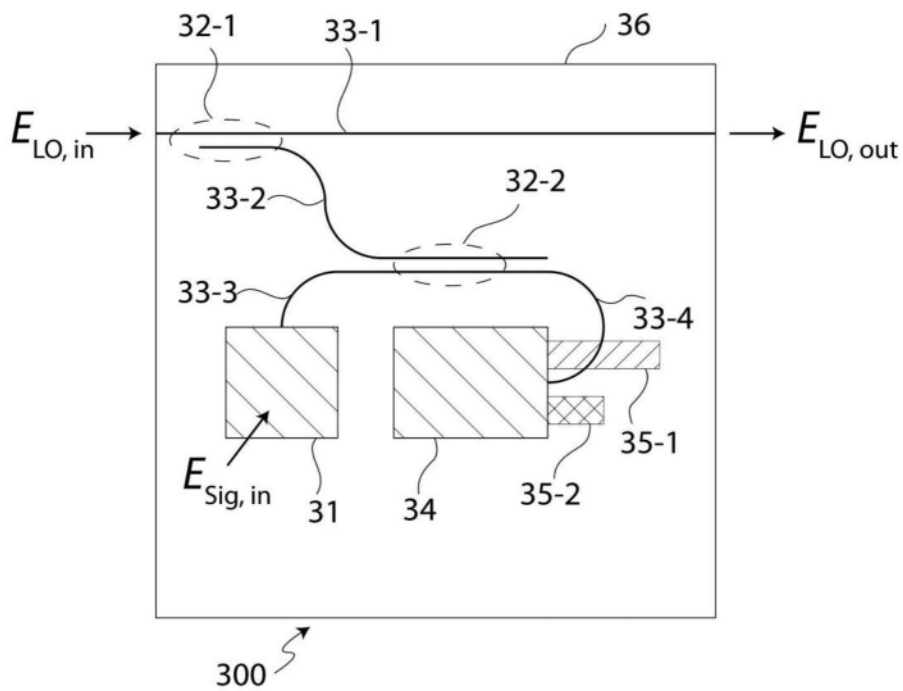


图4

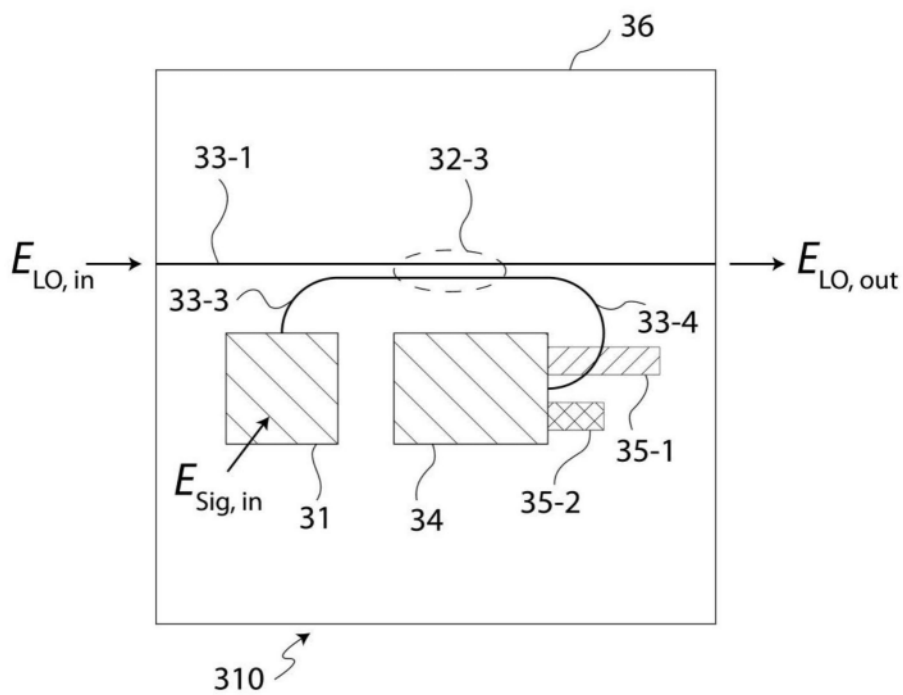


图5

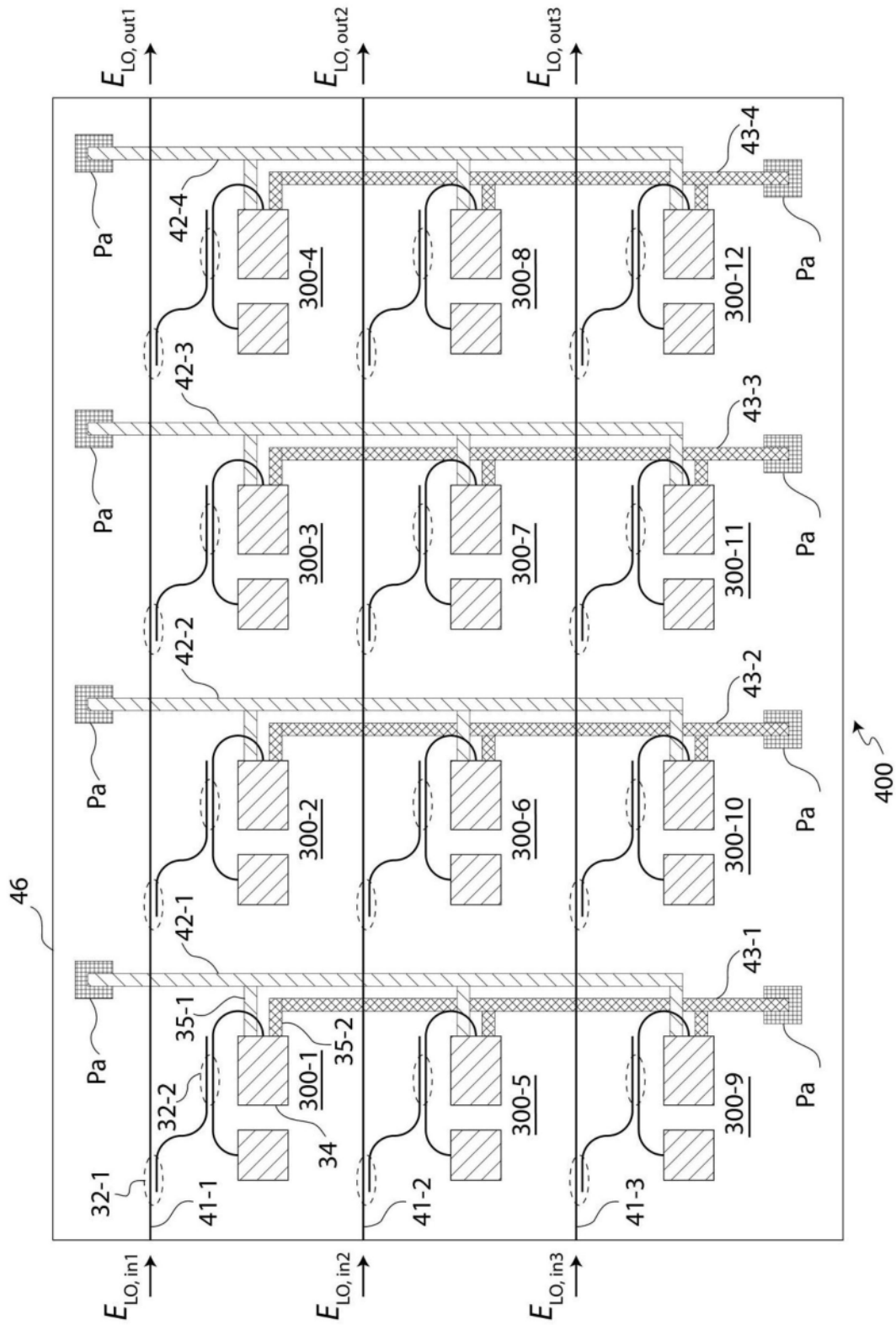


图6

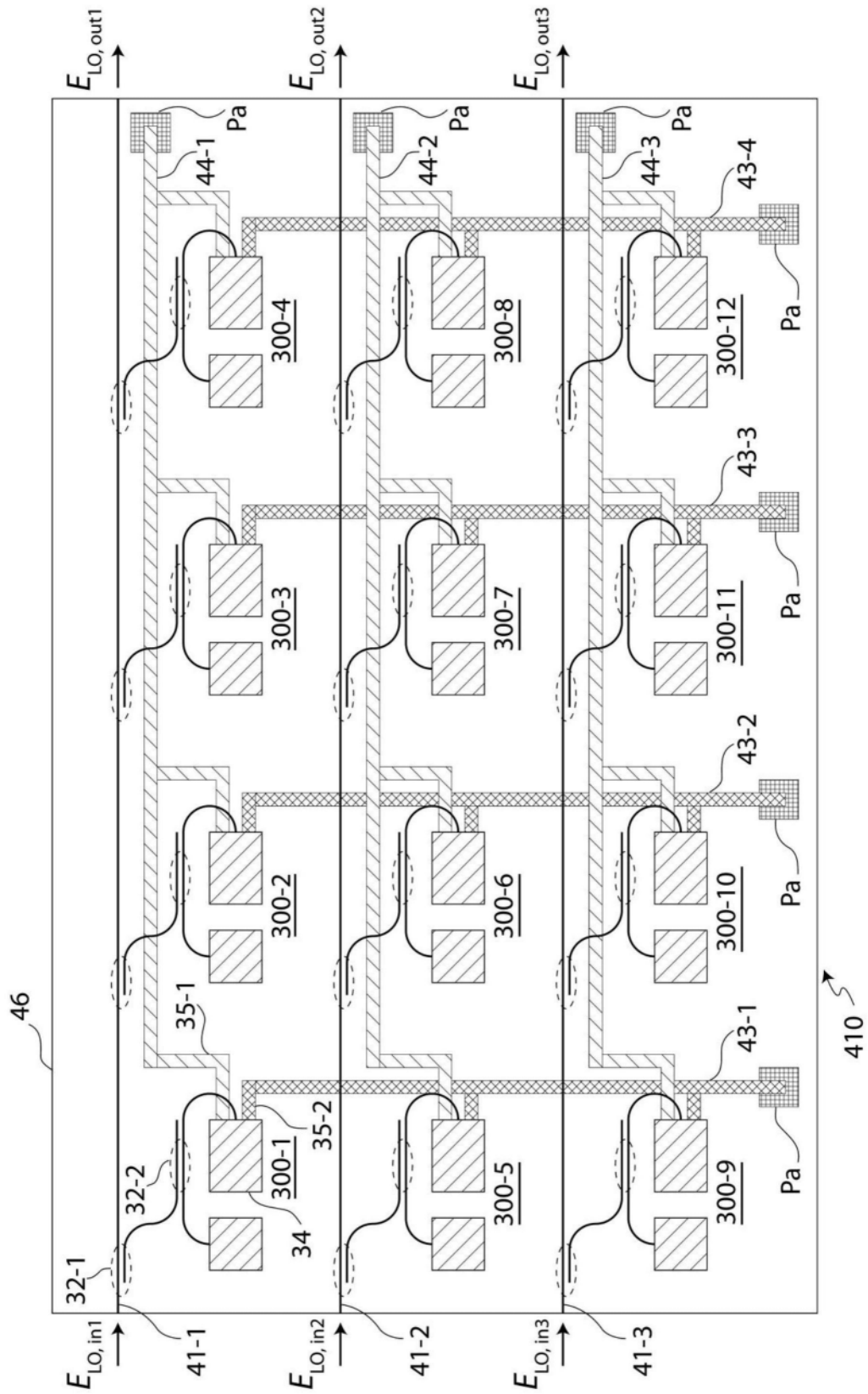


图7

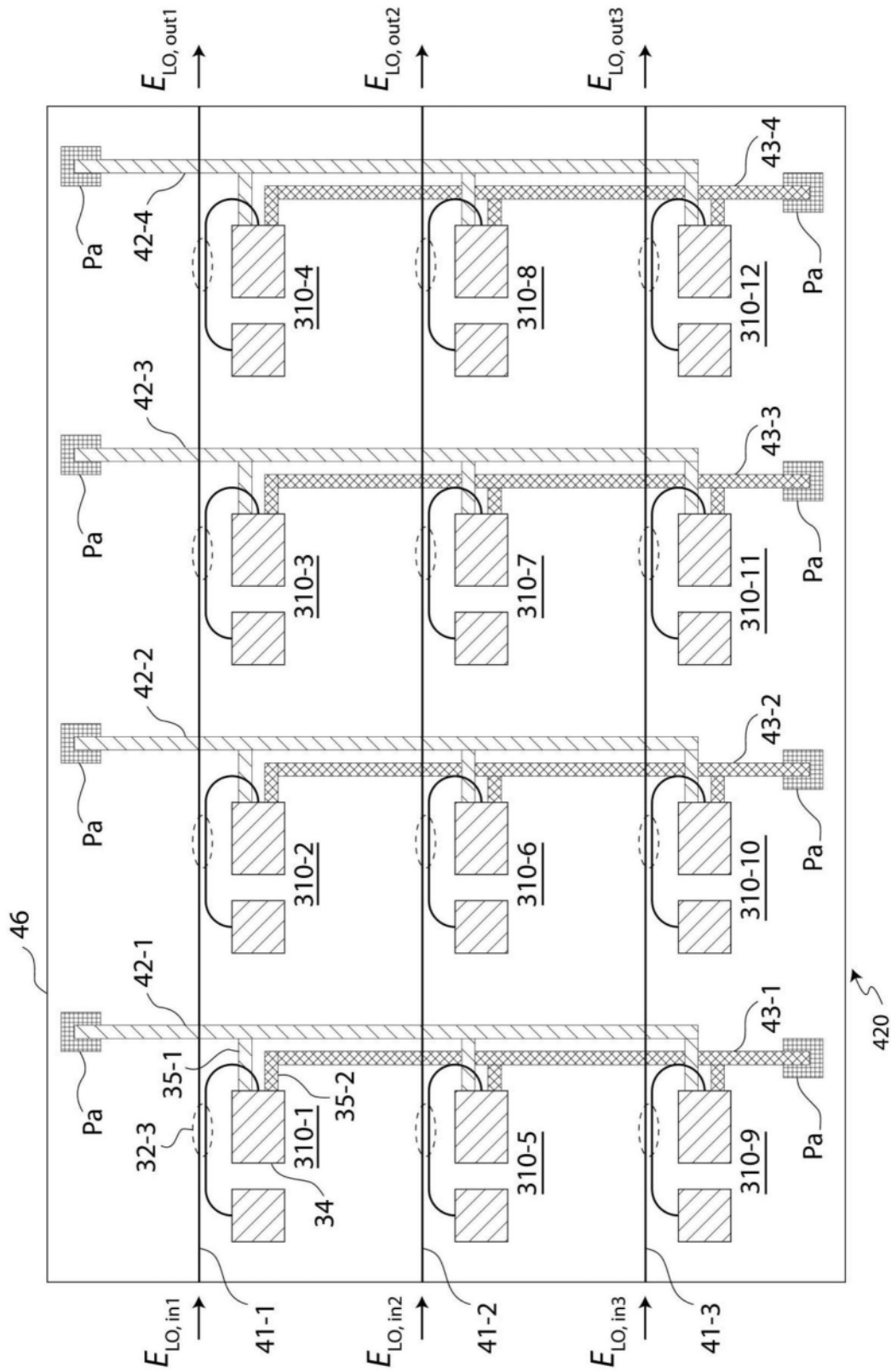


图8

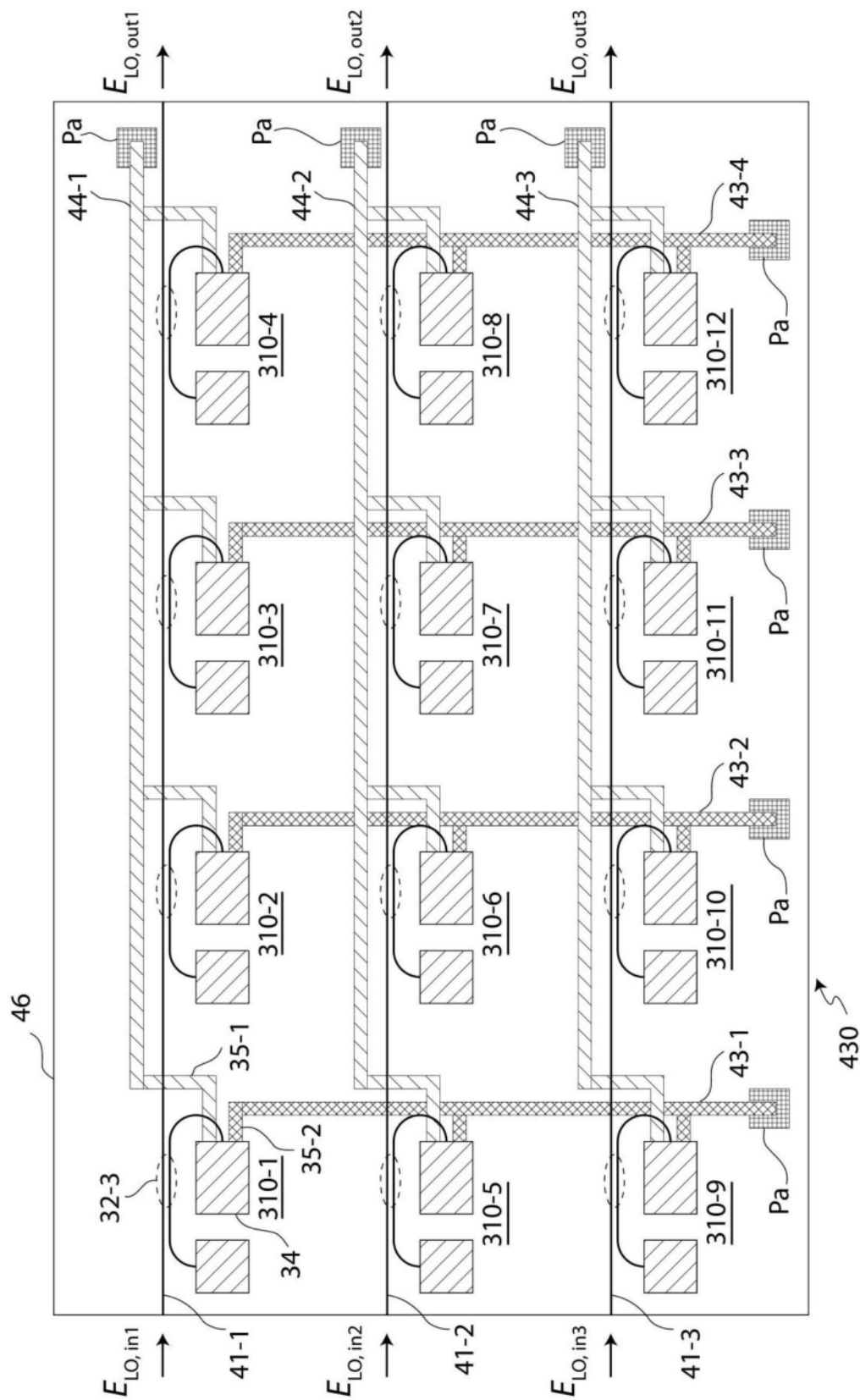


图9

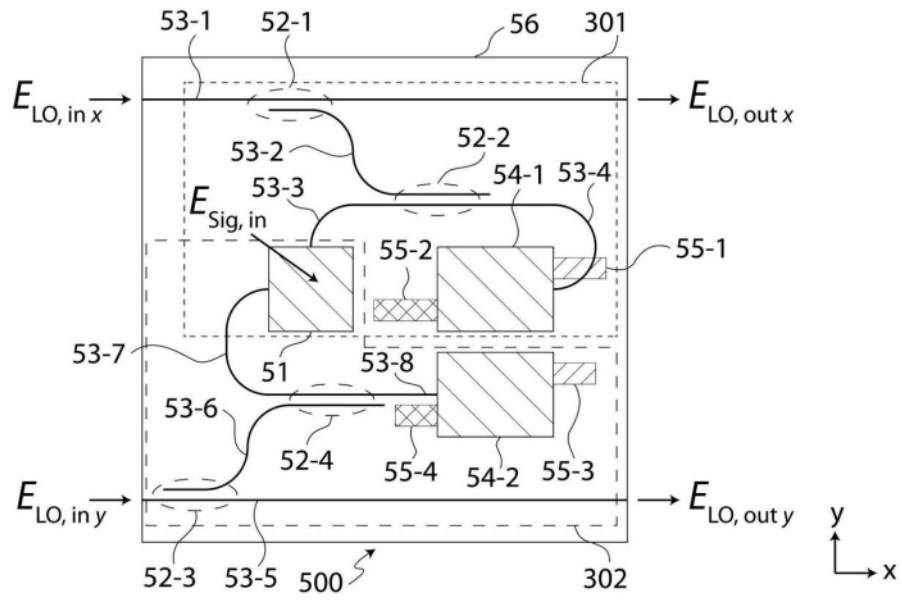


图10

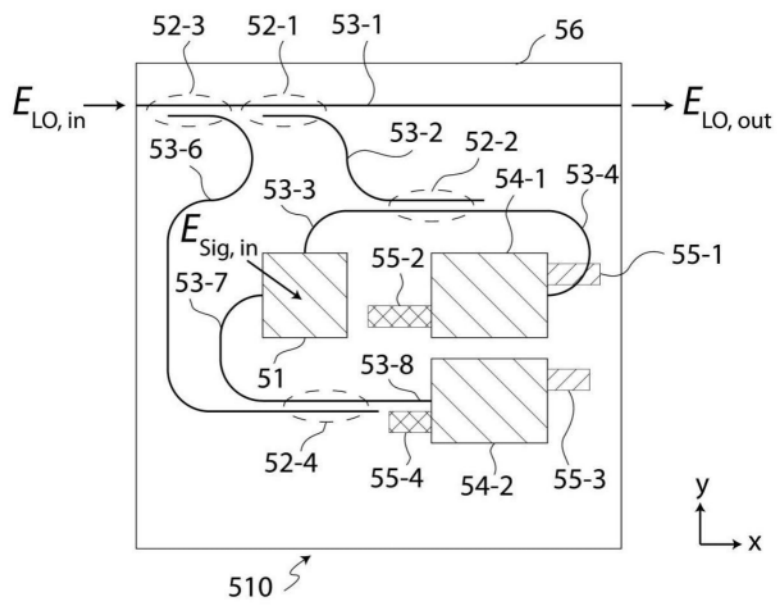


图11

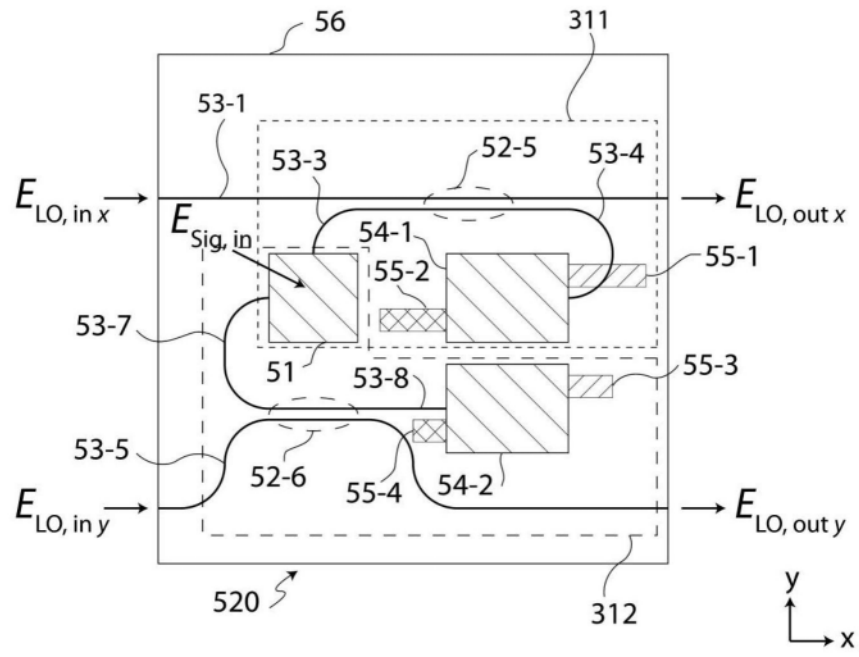


图12

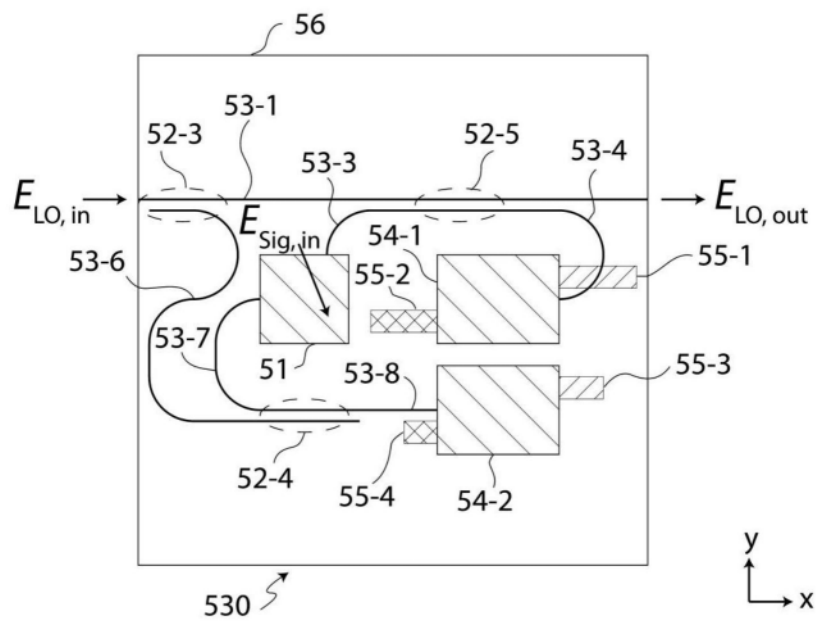


图13

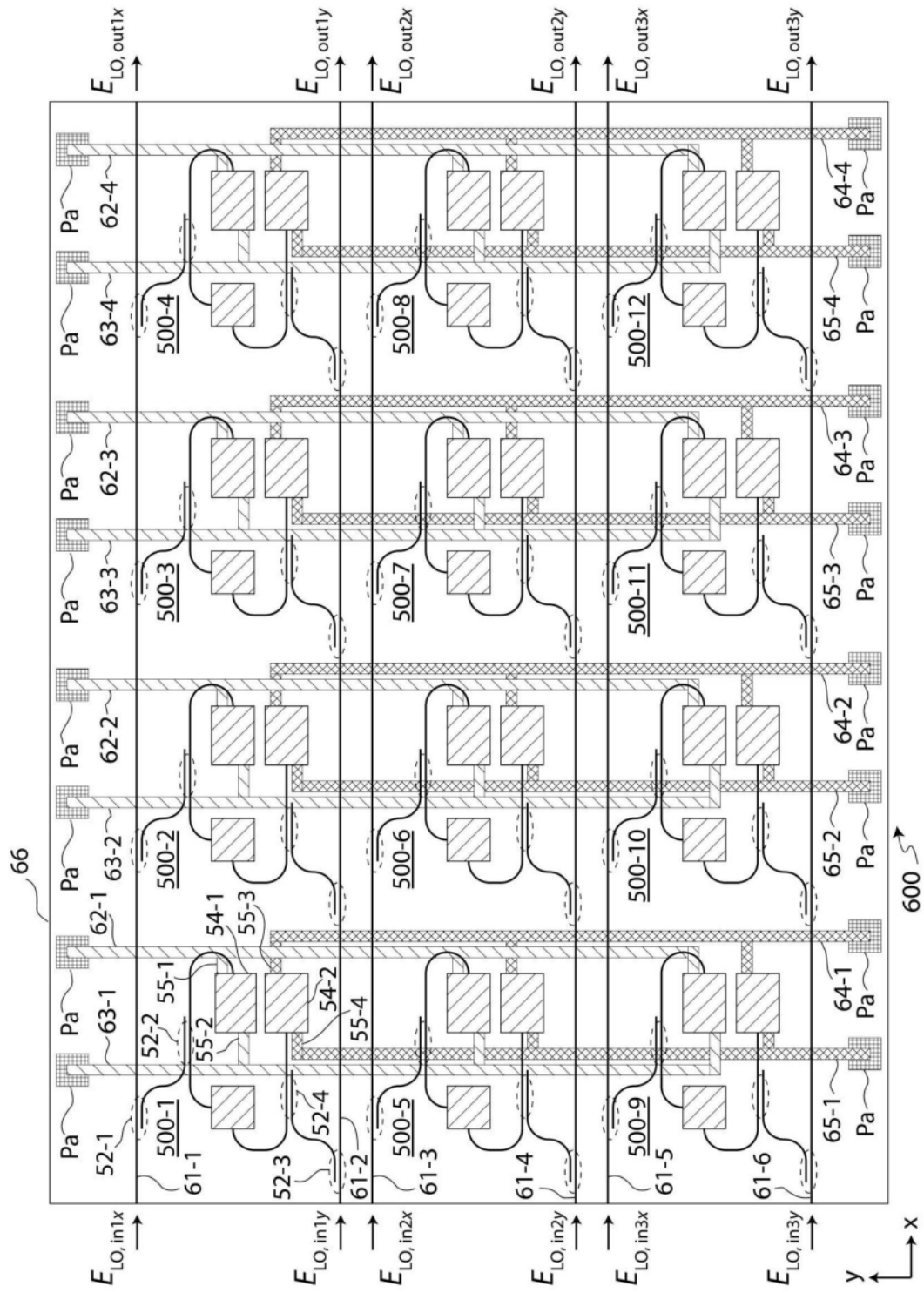


图14

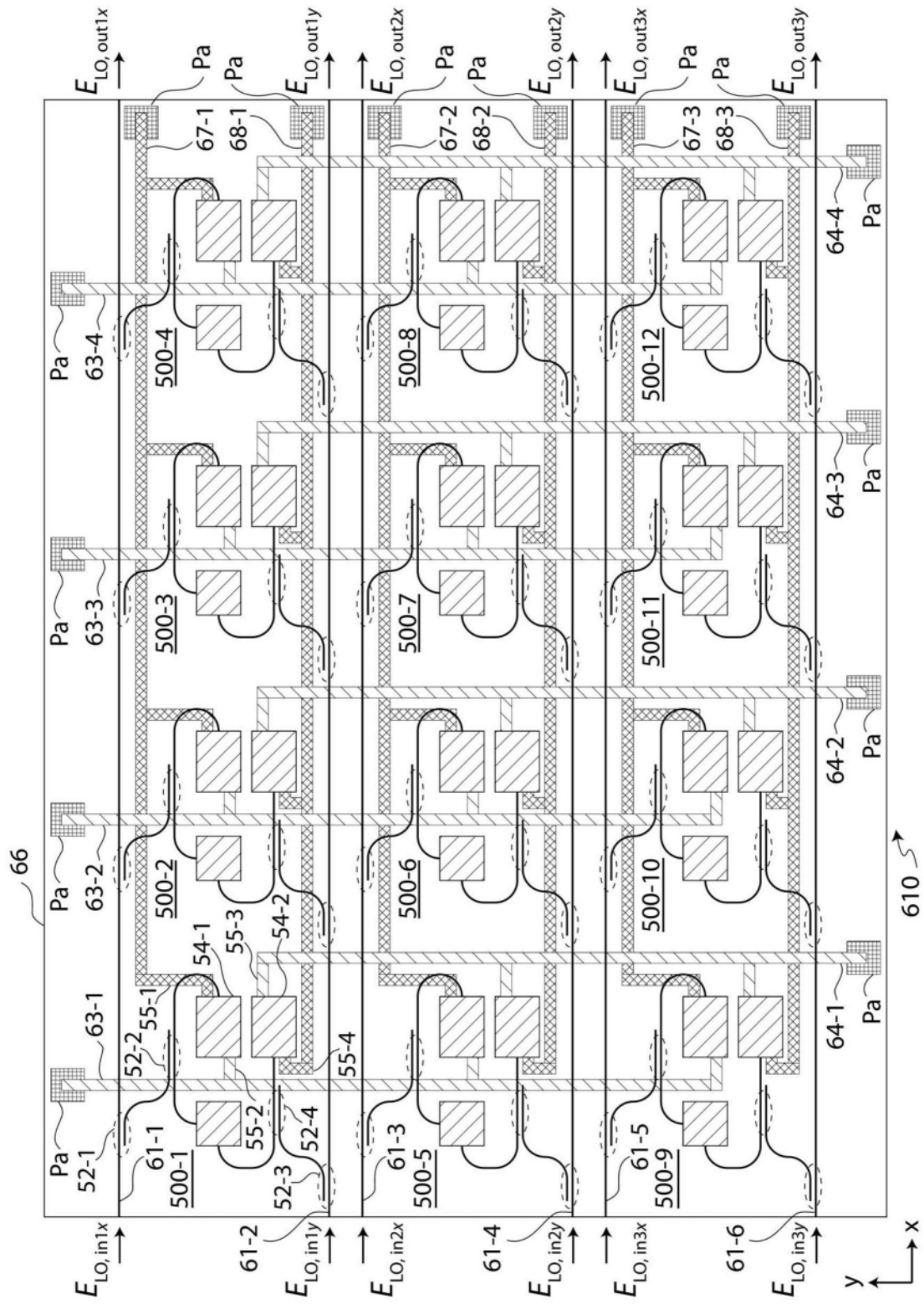


图15

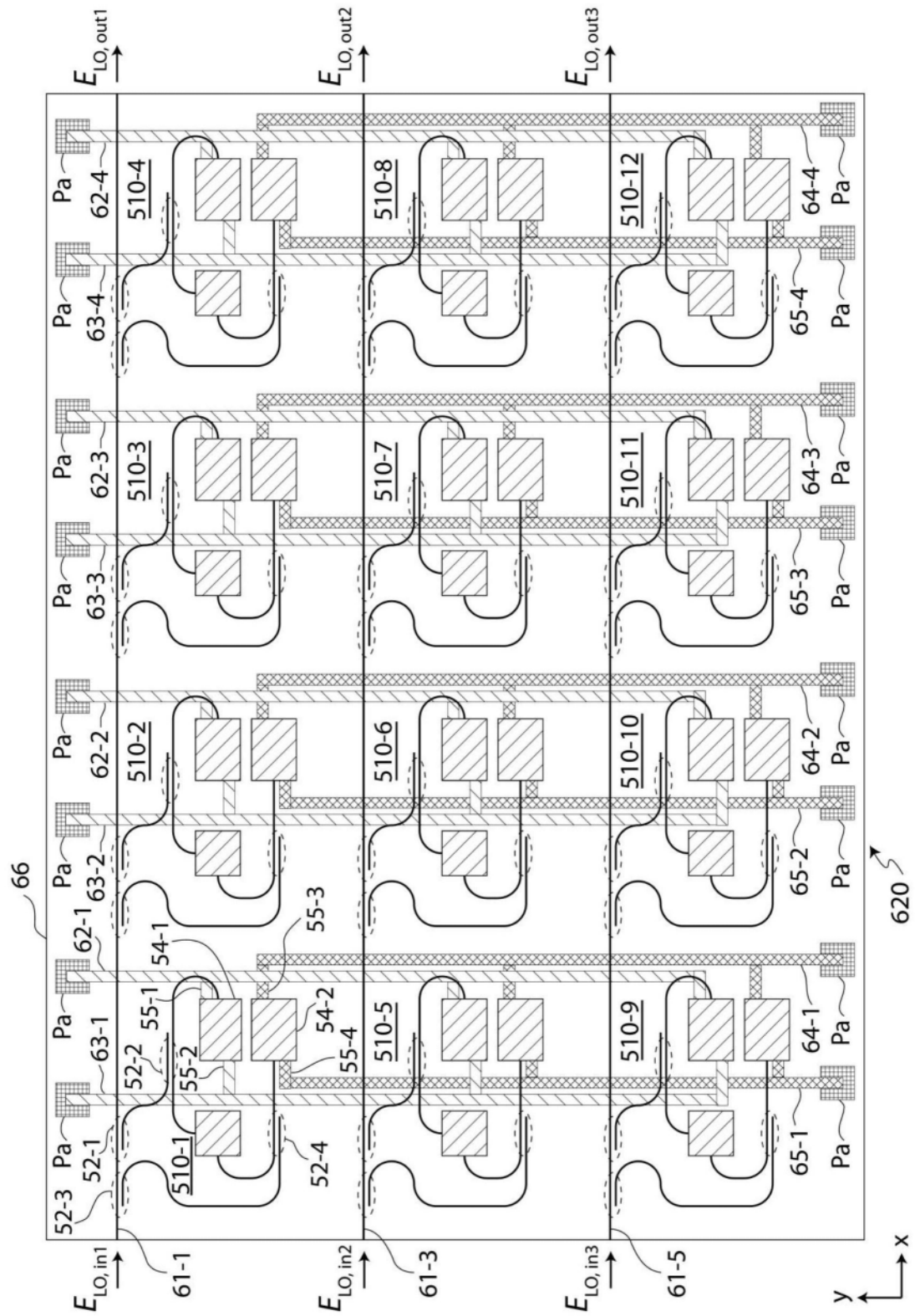


图16

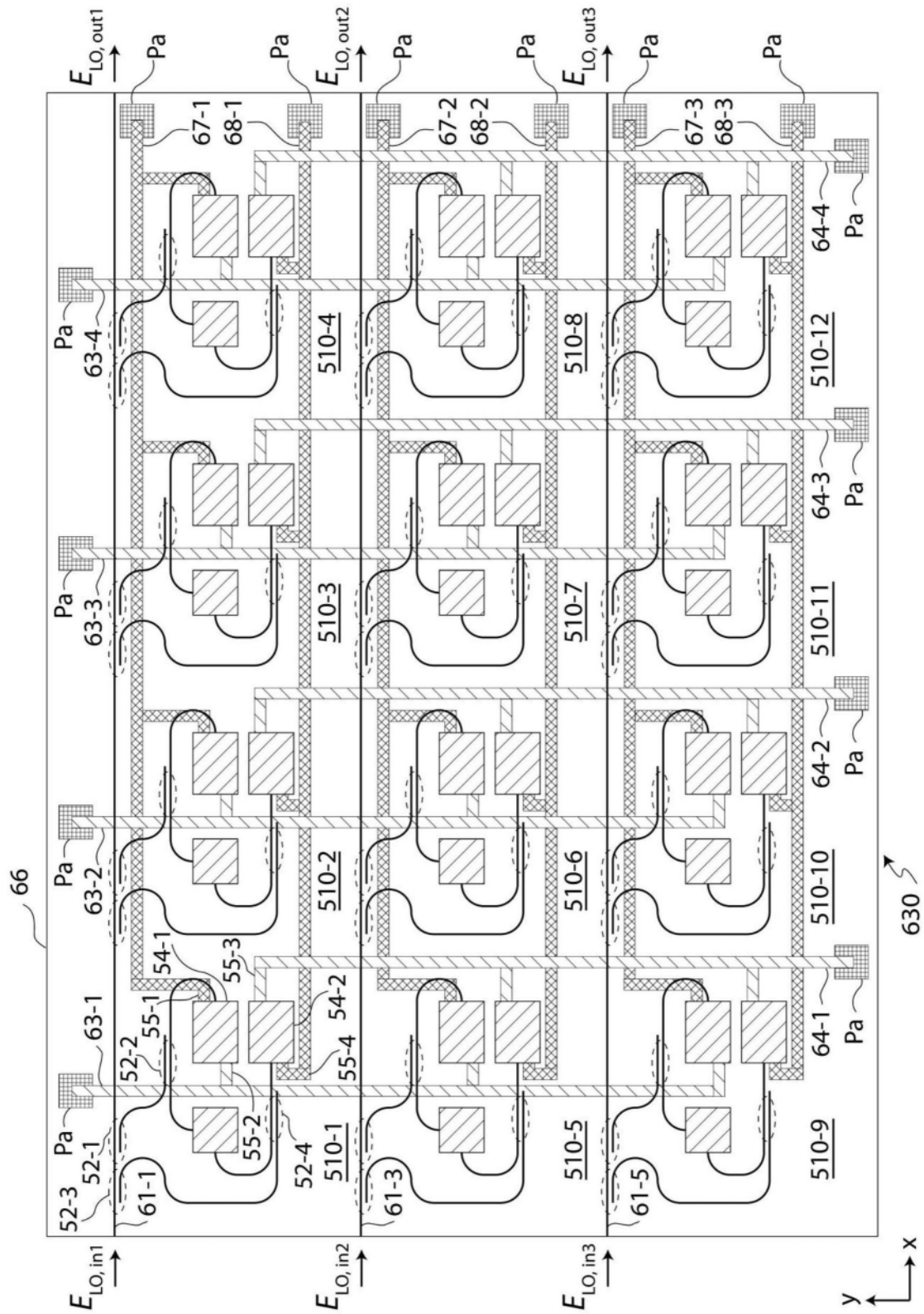


图17

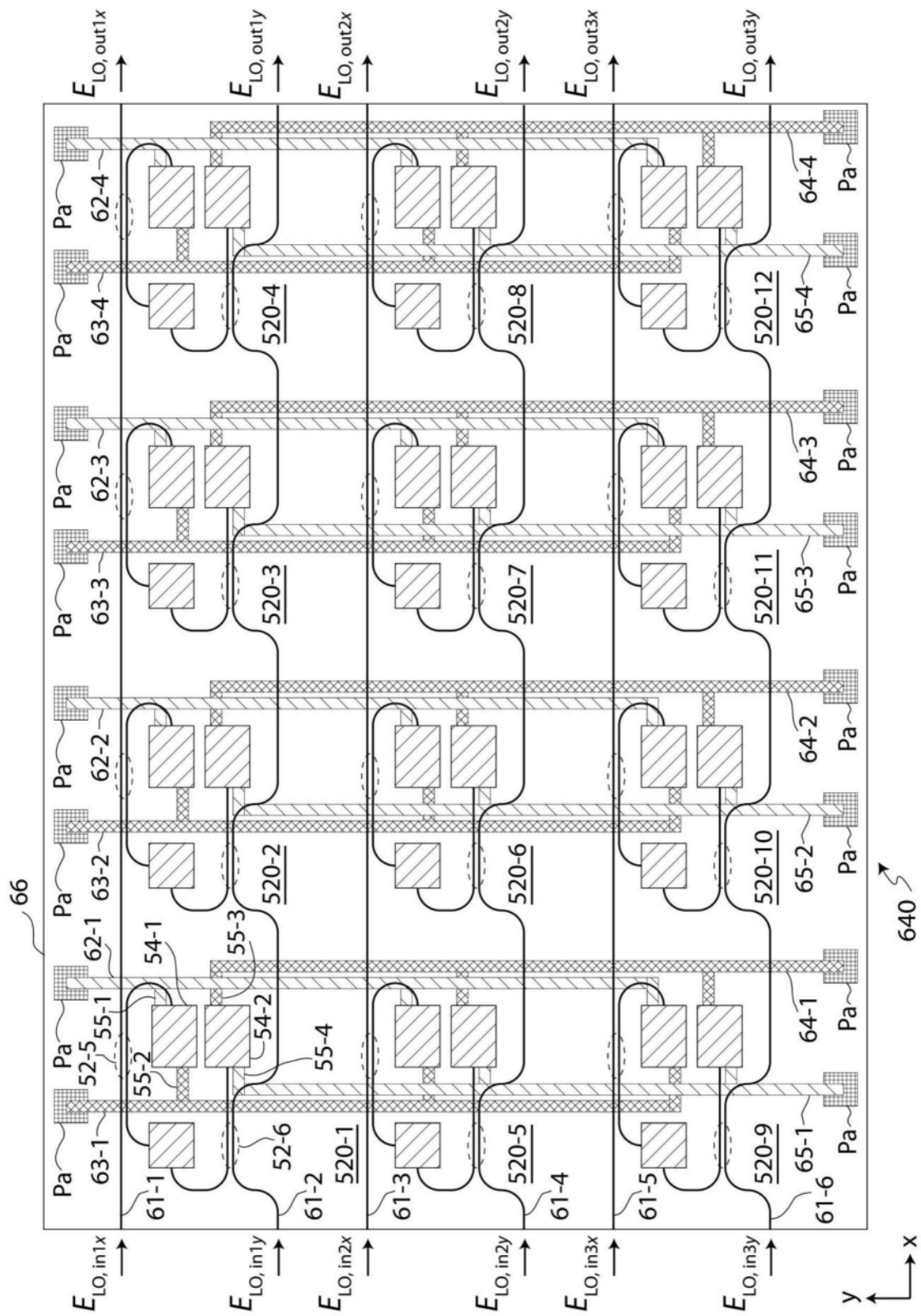


图18

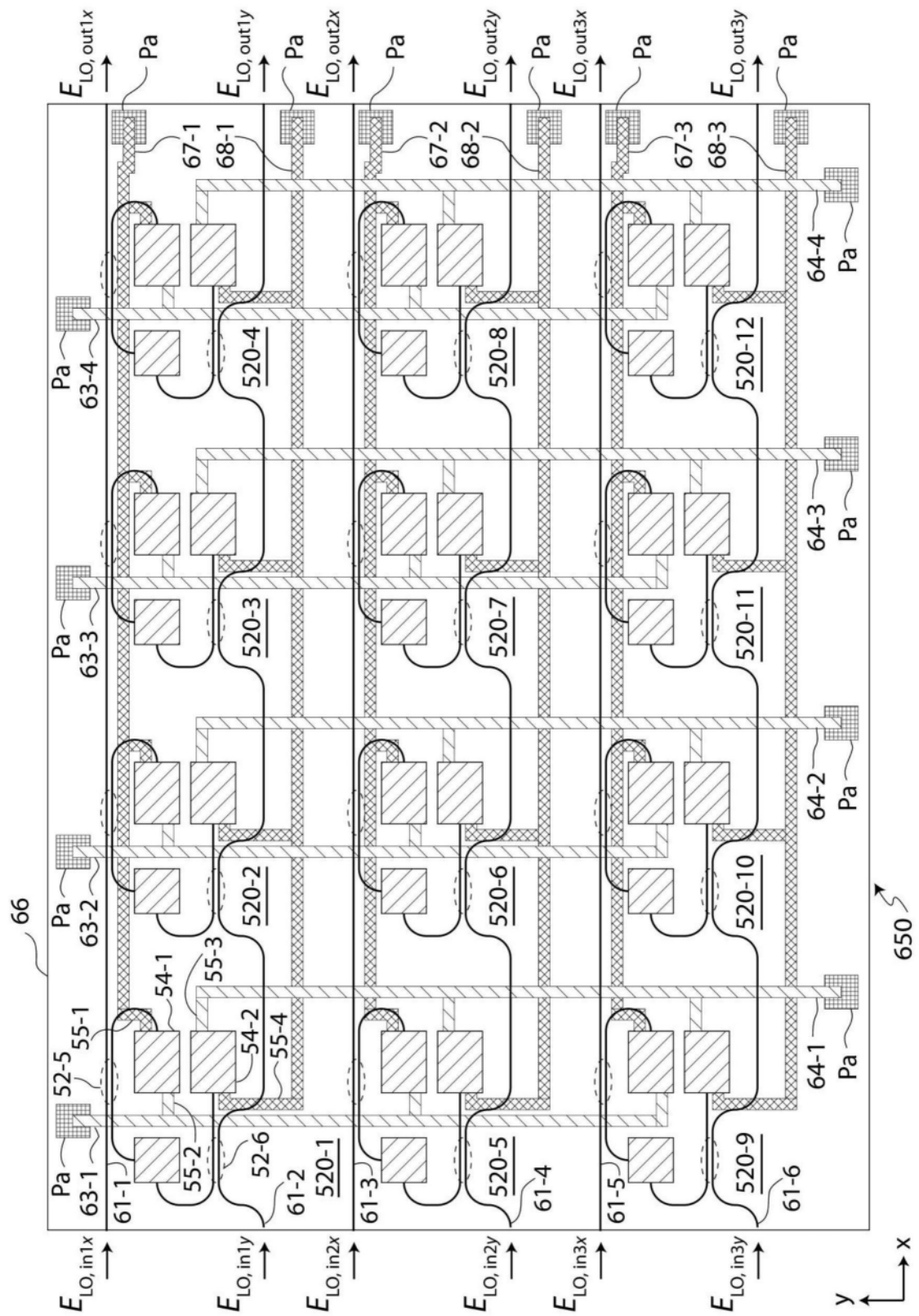


图19

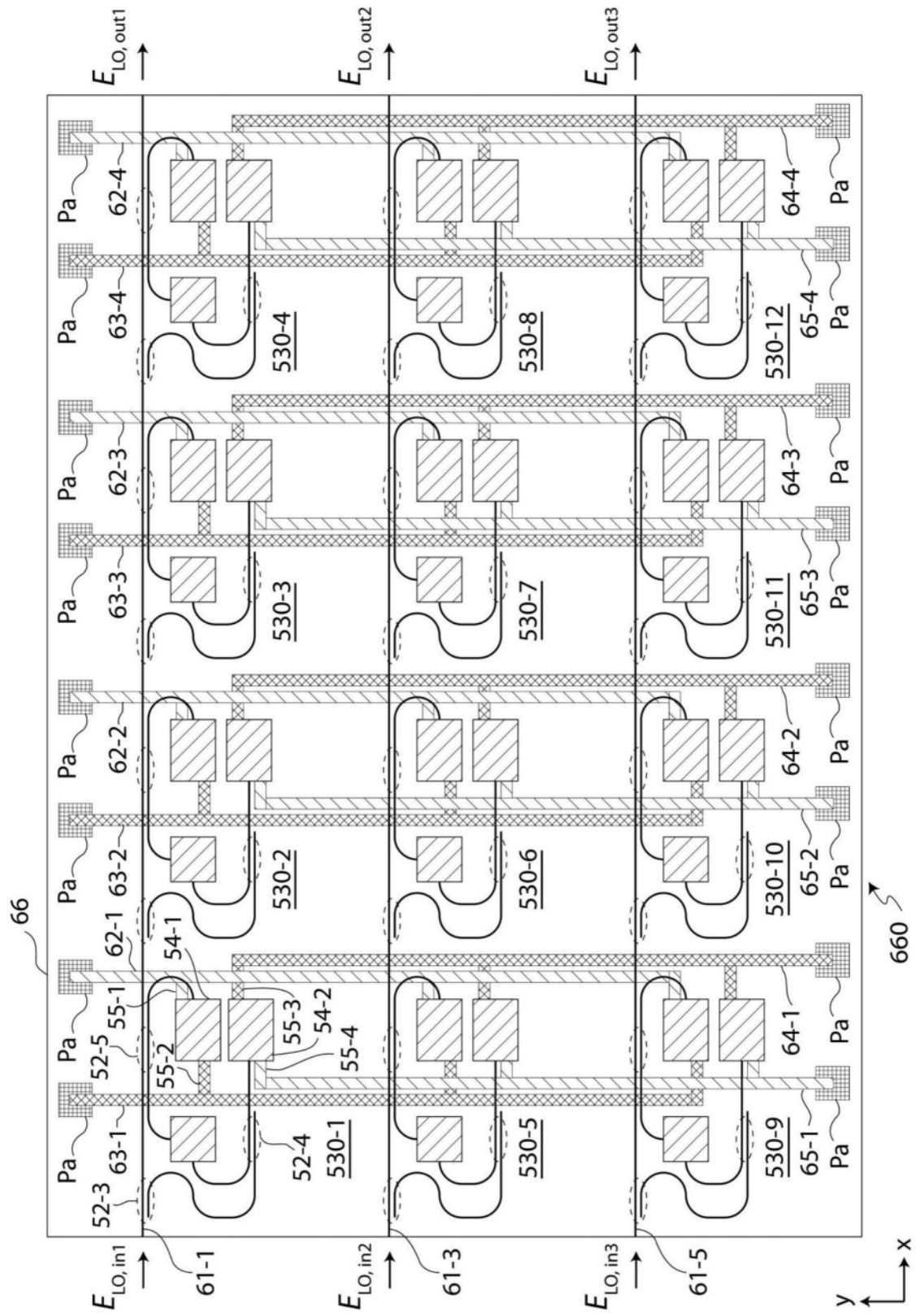


图20

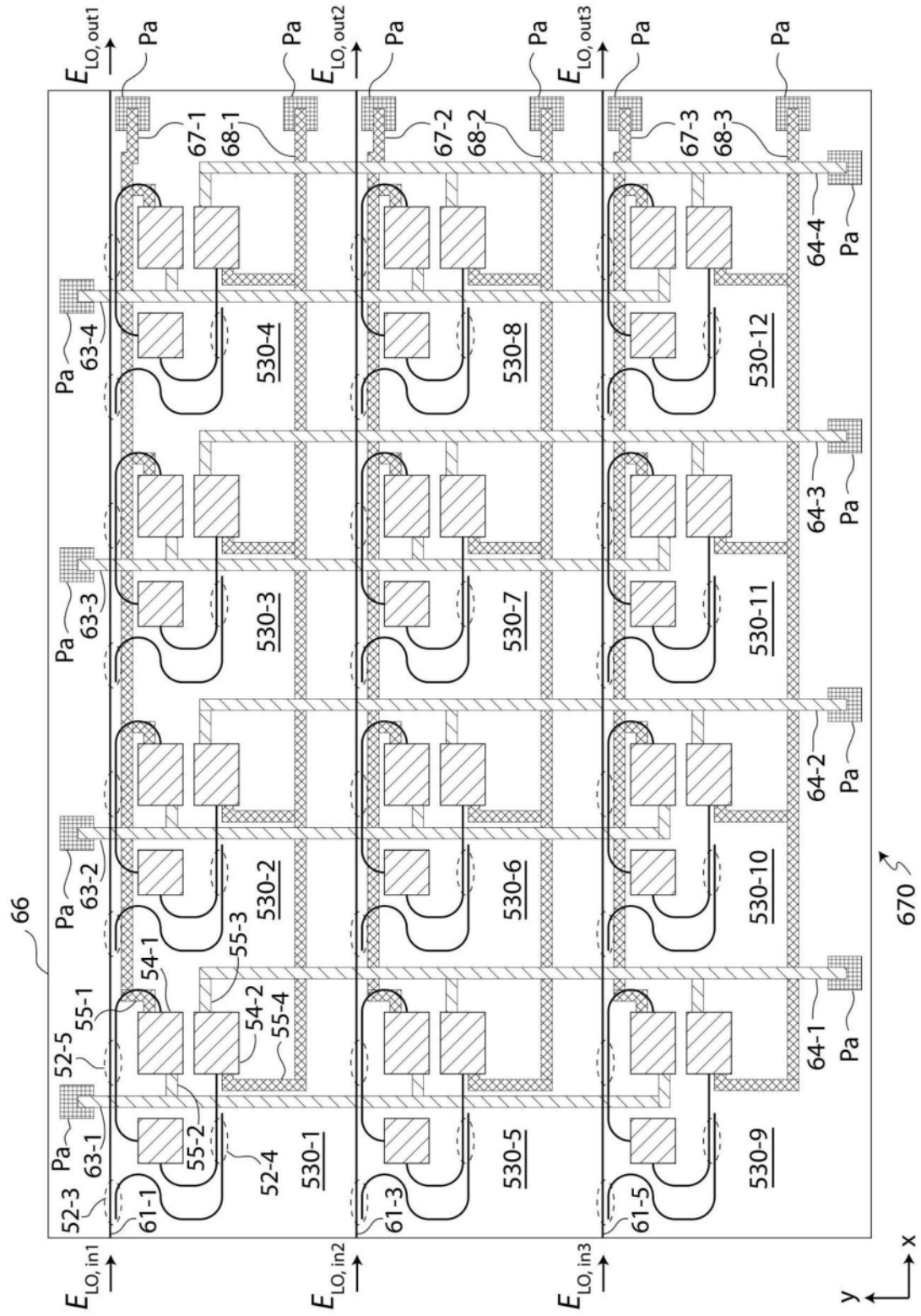


图21

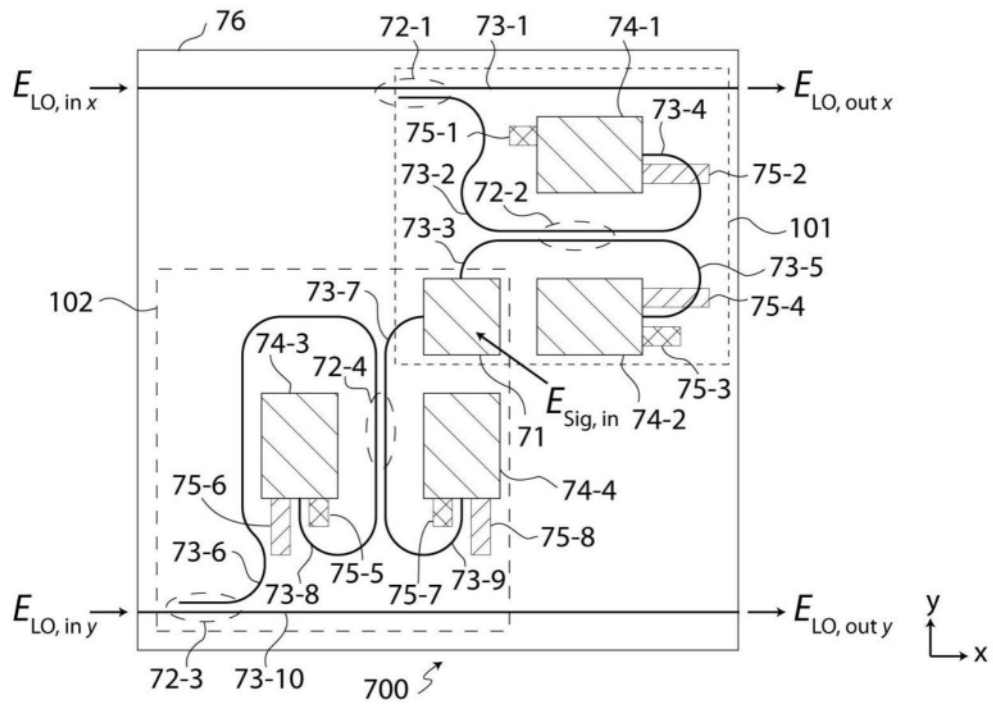


图22

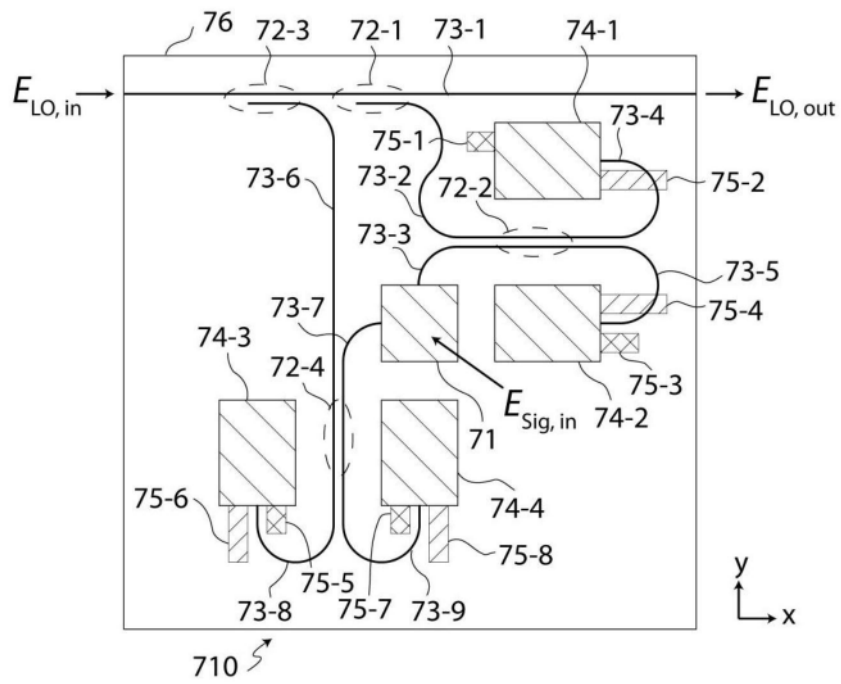


图23

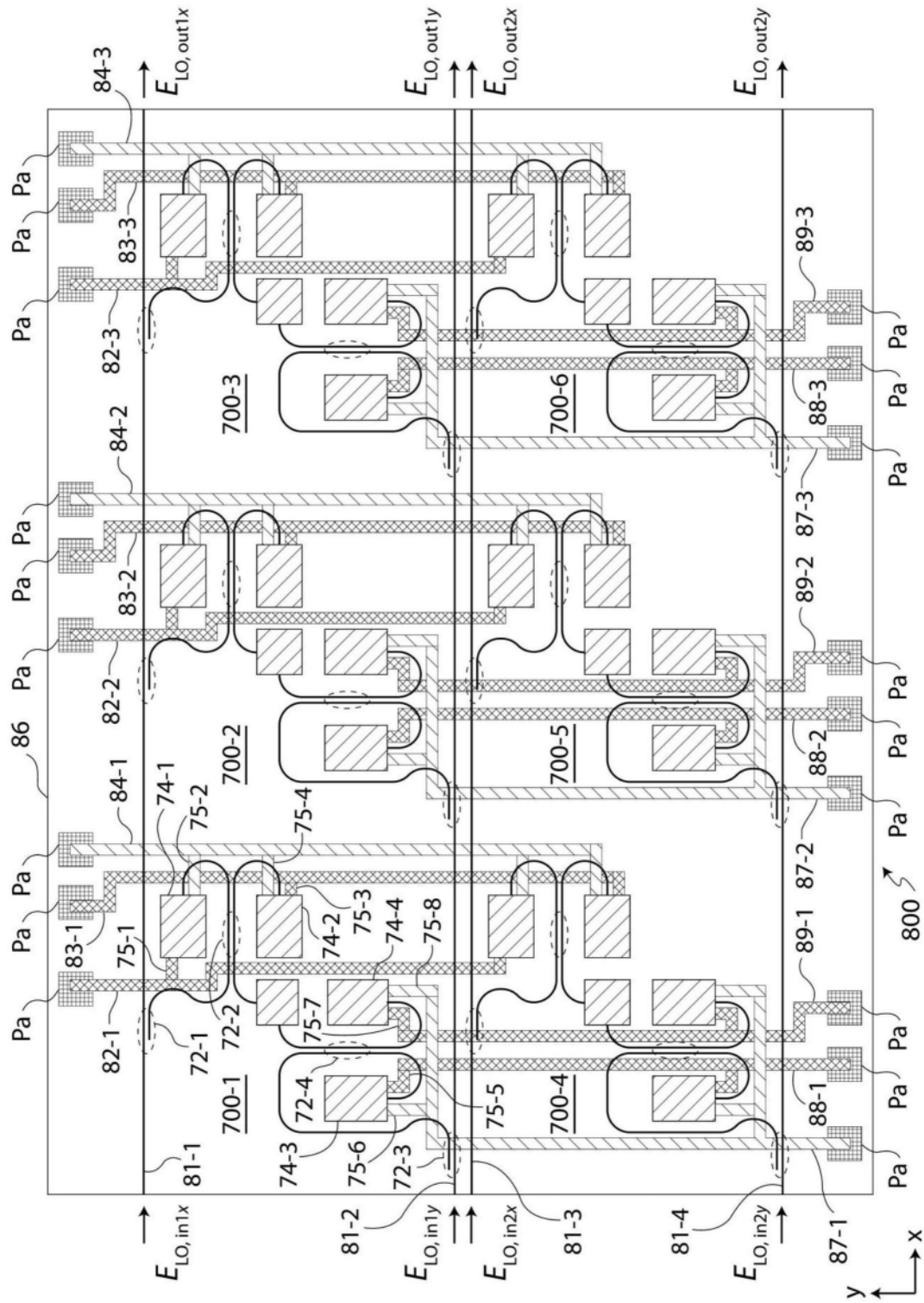


图24

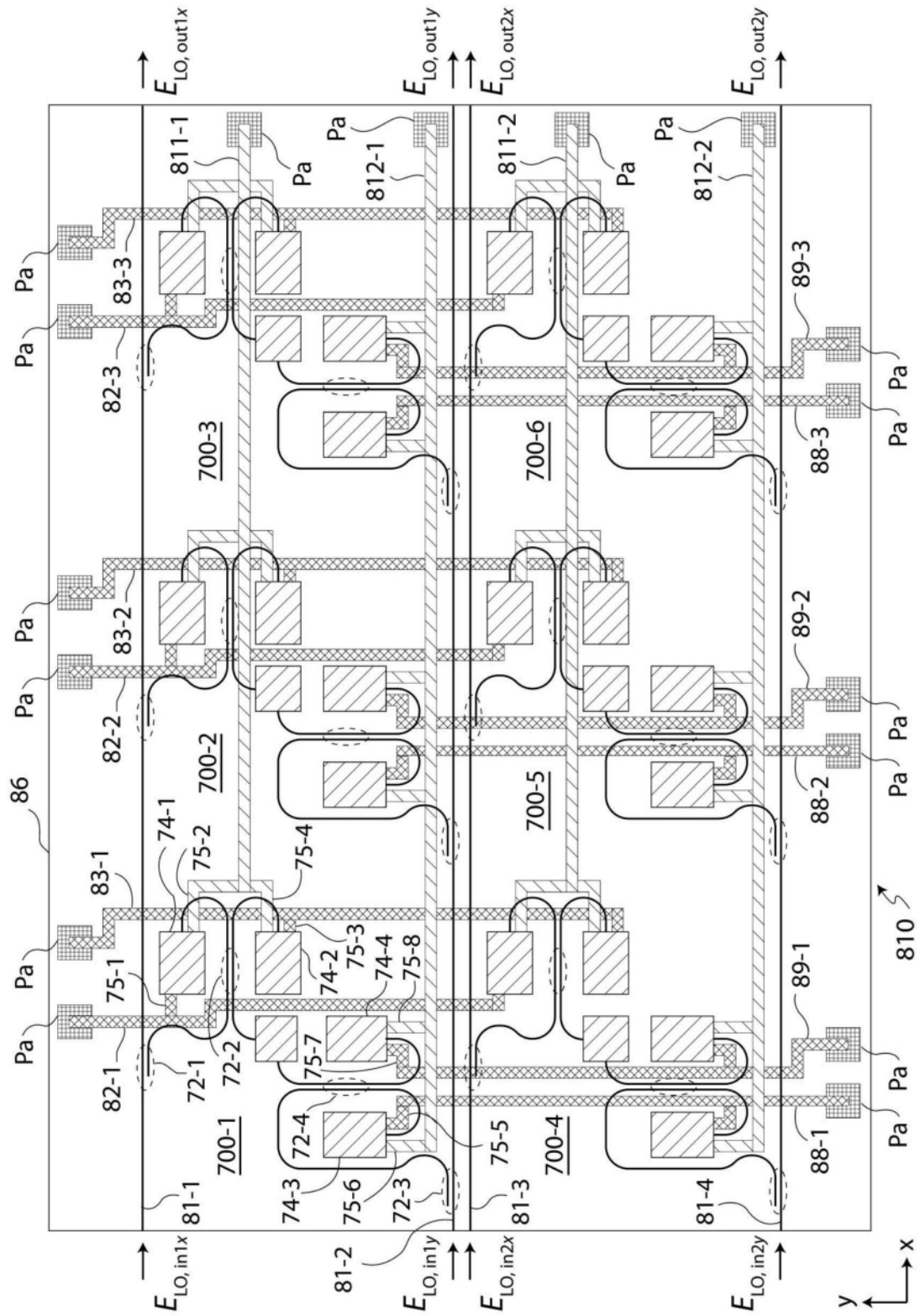


图25

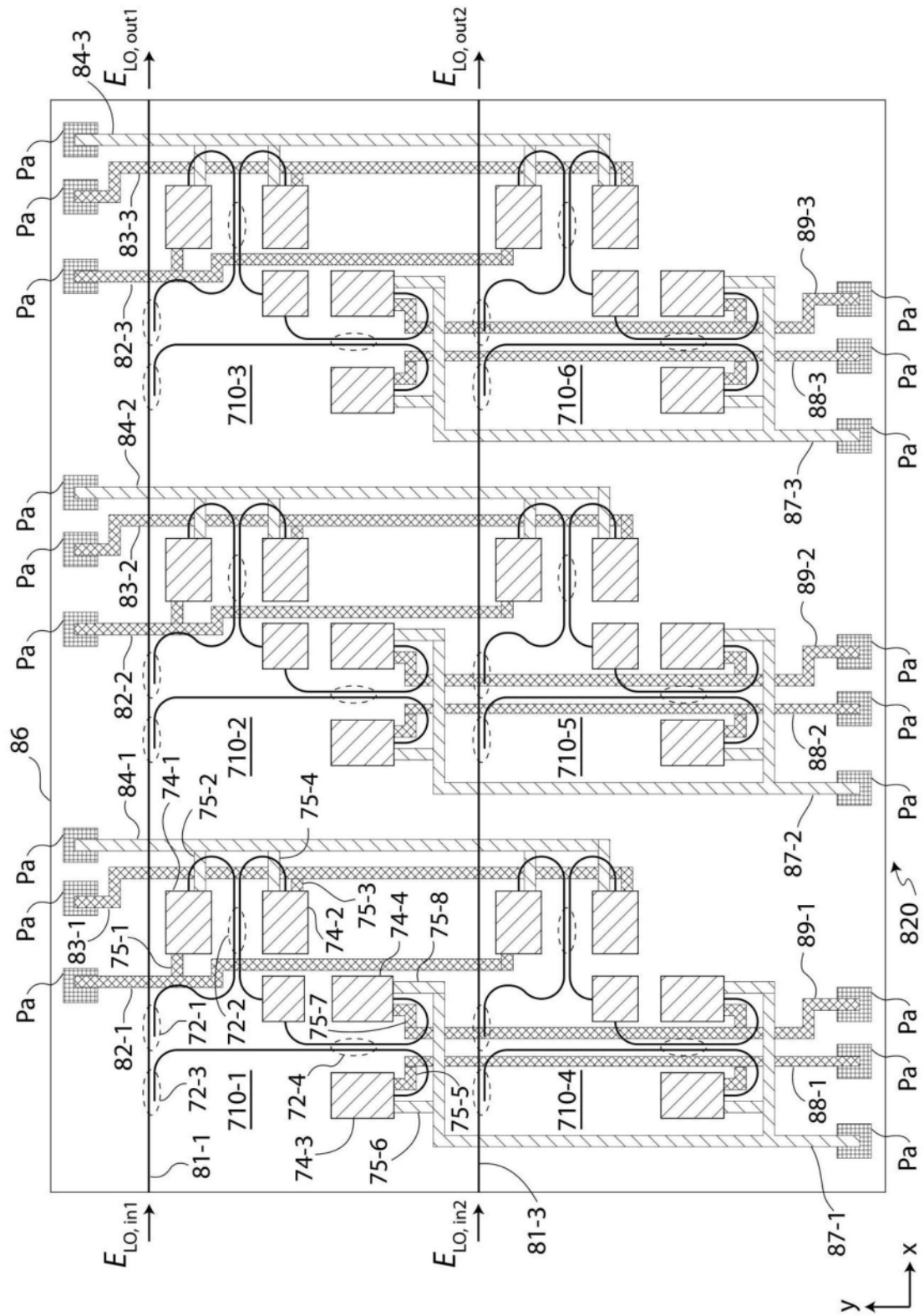


图26

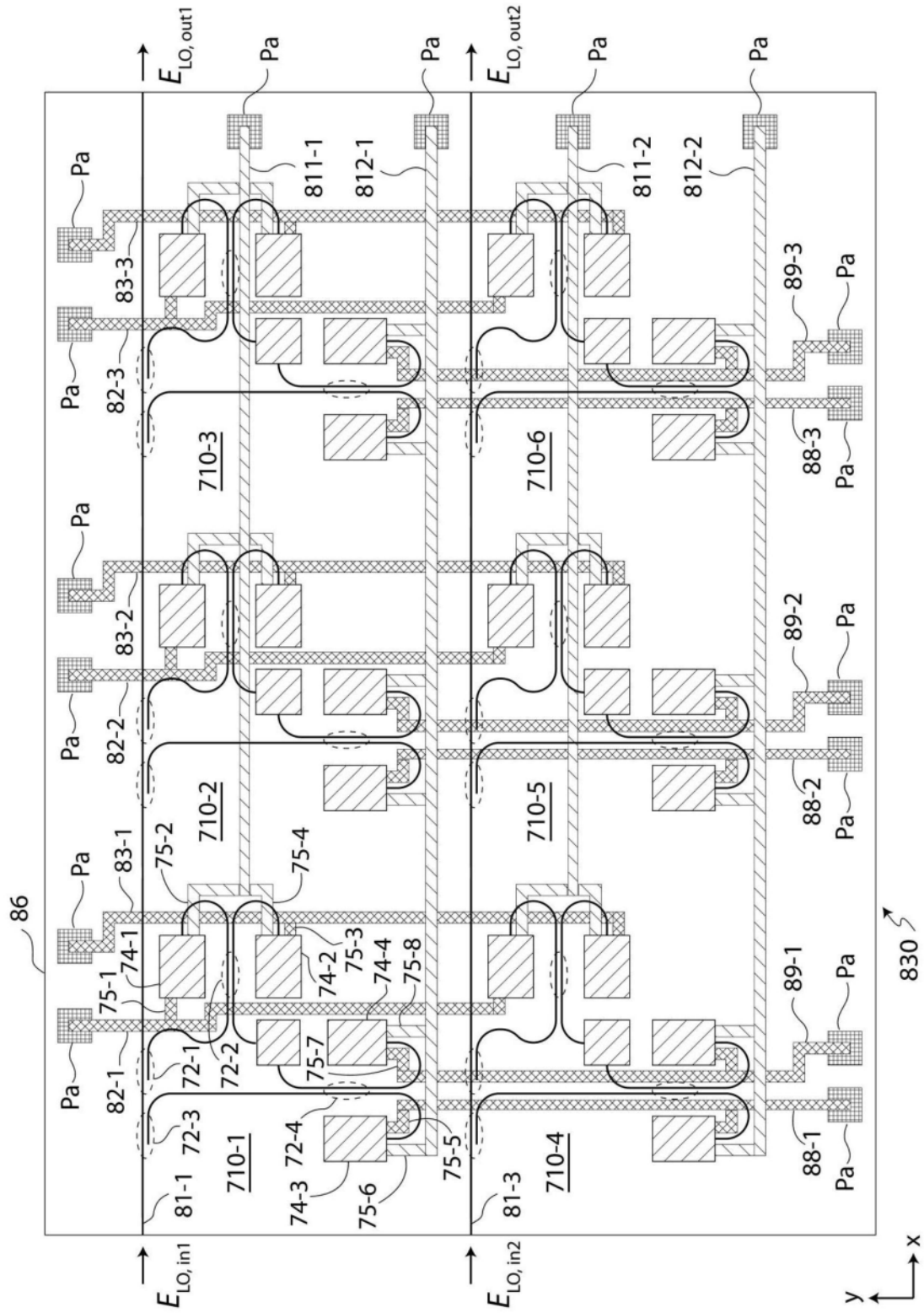


图27

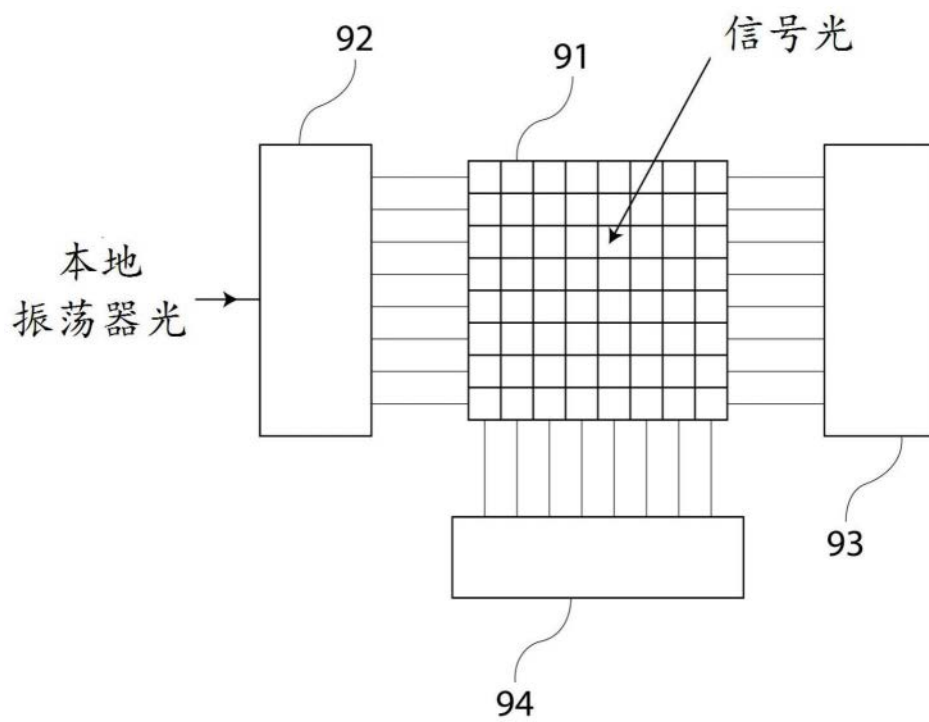


图28

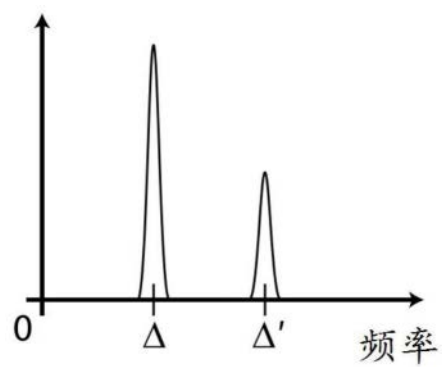


图29A

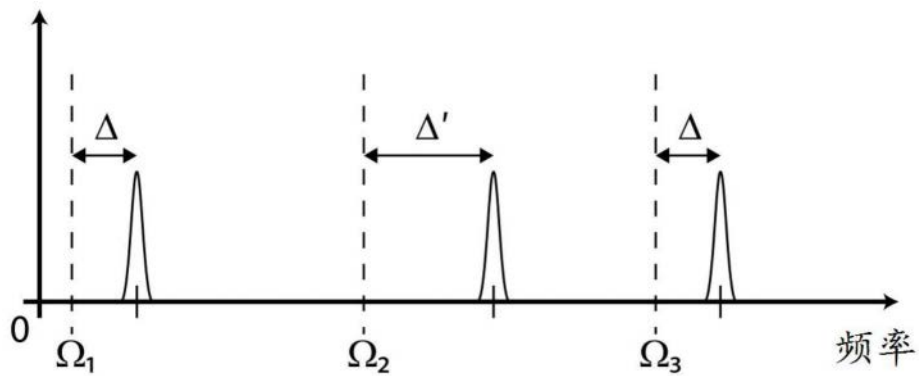


图29B

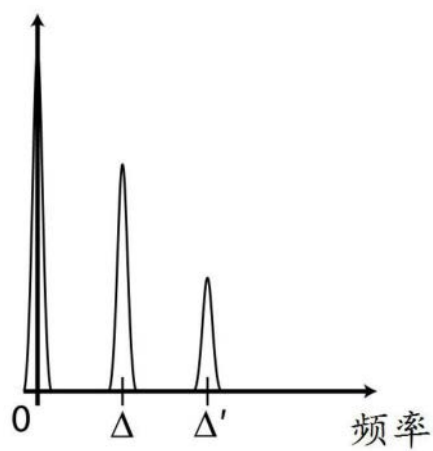


图30A

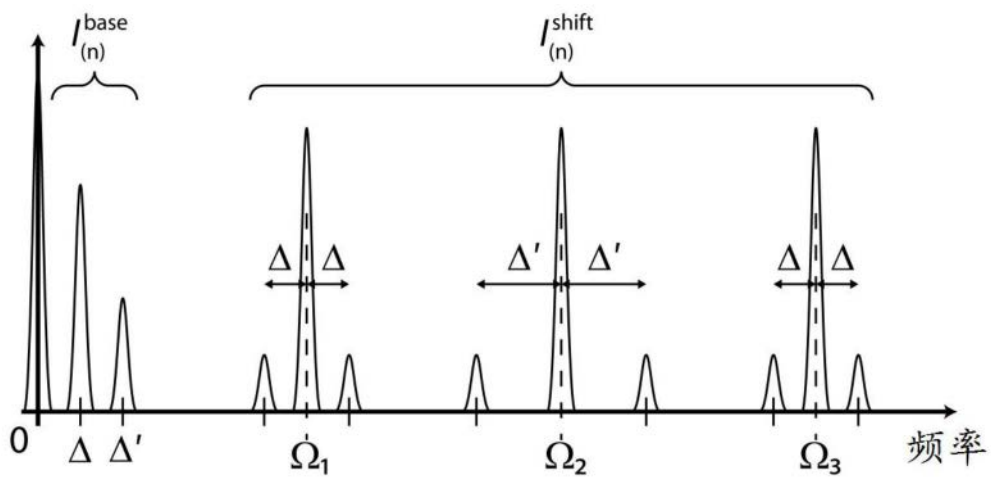


图30B

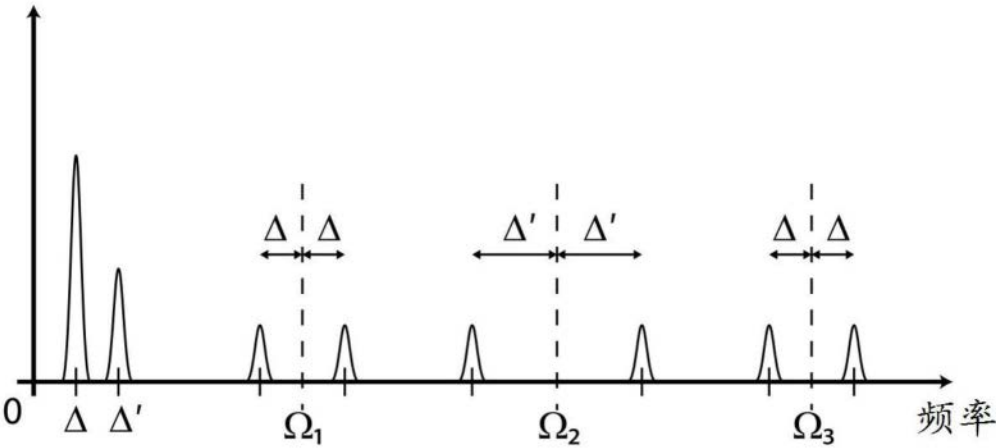


图30C