(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 113841241 B
(45)授权公告日 2025.03.18

(21)申请号 202080029171.0
(22)申请日 2020.04.14
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113841241 A
(43)申请公布日 2021.12.24
(30)优先权数据
16/387,011 2019.04.17 US
16/429,158 2019.06.03 US
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2021.10.15
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2020/060382 2020.04.14
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2020/212303 EN 2020.10.22

(73)专利权人 阿克特莱特股份公司
地址 瑞士洛桑
(72)发明人 塞盖·奥霍尼恩
马克西姆·谷列夫 丹尼斯·萨林
(74)专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责任公司 11219
专利代理师 李兰 孙志湧

(51)Int.Cl.
H10F 39/18(2025.01)
(56)对比文件
US 2012313155 A1,2012.12.13
US 2018247968 A1,2018.08.30
审查员 金凌

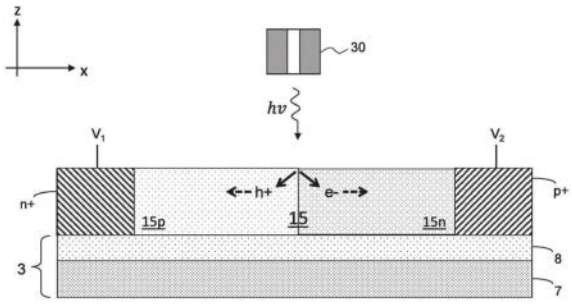
权利要求书3页 说明书8页 附图18页

(54)发明名称

光探测器

(57)摘要

一种光探测器器件,该光探测器器件包括被布置成形成pn结的n型光吸收区(15n)和p型光吸收区(15p)以及连接到相应的接触(VI、V2)的n+接触区(n+)和p+接触区(p+)。光吸收区和接触区以n+pn p+顺序布置,使得在将n+接触与p+接触之间施加的电压从反向偏置切换为正向偏置之后,响应于光子吸收而在光吸收区中产生的电子和空穴分别朝向p+接触区和n+接触区漂移,这使电流在与入射光强度成反比的时间延迟之后开始在接触之间流动。



CN 113841241 B

1.一种光探测器器件,包括:

第一光吸收区和第二光吸收区,所述第一光吸收区和所述第二光吸收区由半导体材料构成,分别被掺杂n型和p型,其中,所述第一光吸收区和所述第二光吸收区被形成为在衬底上方被布置在彼此之上的相应的外延层,其中所述光吸收区被配置成当光入射在所述器件上时响应于光子的吸收而产生电子和空穴对;

第一接触区和第二接触区,所述第一接触区和所述第二接触区由半导体材料构成并且分别被掺杂p型和n型,其中,所述接触区具有比所述光吸收区更高的掺杂浓度,并且分别被标记为p+和n+;以及

第一接触和第二接触,所述第一接触和所述第二接触分别被连接到所述第一接触区和所述第二接触区,

其中,所述第一光吸收区和所述第二光吸收区以及所述第二接触区和所述第一接触区以n+p n p+连续顺序被布置在所述衬底上方,使得在将所述第二接触与所述第一接触之间施加的电压被切换成使所述n+p n p+连续顺序的结从反向偏置变为为正向偏置之后,响应于光子吸收而在所述光吸收区中产生的电子和空穴分别朝向所述第一接触区和所述第二接触区漂移,这使电流在与入射的所述光的强度成反比的时间延迟之后开始在所述接触之间流动。

2.根据权利要求1所述的器件,还包括绝缘沟槽,所述绝缘沟槽垂直地延伸通过所述光吸收区和所述接触区中的至少一个接触区以便将所述光探测器细分成被独立地接触的像素的阵列。

3.根据权利要求2所述的器件,还包括被布置在形成所述第一接触区和所述第二接触区中的一个的所述外延层上的半导体电路层,所述电路层包括利用过孔被电连接到所述像素的、用于所述光探测器的像素阵列的读出传感器的阵列。

4.根据权利要求2所述的器件,其中,每个像素被另外的绝缘沟槽细分成子像素的阵列,对于每个像素,所述另外的绝缘沟槽被横向地设置在限定像素的所述绝缘沟槽的内部并且垂直地延伸通过所述接触区中的一个接触区和所述光吸收区中的至少一个光吸收区,但是不远至所述接触区中的另一个接触区,使得任一个像素的所述子像素保持接触。

5.根据权利要求1所述的器件,其中,所述第一光吸收区和所述第二光吸收区被布置为使得所述第一光吸收区和所述第二光吸收区中的一个被形成为所述衬底上的外延层,或者与所述衬底一体地形成,而所述第一光吸收区和所述第二光吸收区中的另一个被形成为所述外延层内的嵌入区。

6.根据权利要求1所述的器件,其中,所述第一光吸收区和所述第二光吸收区被布置为使得所述第一光吸收区和所述第二光吸收区中的一个作为所述衬底上的外延层或者与所述衬底一体地被形成在第一部分中,并且作为所述外延层或所述衬底内的嵌入区被形成在第二部分中,并且其中,所述第一光吸收区和所述第二光吸收区中的另一个被形成为所述外延层内的另外的嵌入区。

7.根据权利要求6所述的器件,其中,所述嵌入区和所述另外的嵌入区被所述外延层或所述衬底的一部分横向地分离。

8.根据权利要求6所述的器件,其中,所述第一接触区和所述第二接触区中的一个分别被形成为所述第一光吸收区或所述第二光吸收区的所述嵌入区内的再另外的嵌入区。

9.根据权利要求6所述的器件,其中,所述第一接触区和所述第二接触区分别被形成为所述第一光吸收区和第二光吸收区的所述嵌入区内的相应的再另外的嵌入区。

10.根据权利要求1所述的器件,其中,所述第一接触区和所述第二接触区中的一个被形成为所述衬底上的外延层,并且所述第一光吸收区和所述第二光吸收区中的至少一个被至少部分地形成为所述第一接触区和所述第二接触区中的所述一个的所述外延层上的另外的外延层。

11.根据权利要求1所述的器件,其中,所述第一接触区和所述第二接触区中的至少一个分别被形成为外延层内的嵌入区,所述外延层形成所述第一光吸收区和所述第二光吸收区的至少一部分。

12.根据权利要求1所述的器件,其中,所述第一接触区和所述第二接触区分别被形成为外延层内的相应的横向地间隔开的第一嵌入区和第二嵌入区,所述外延层形成所述第一光吸收区和所述第二光吸收区的至少一部分。

13.根据权利要求1所述的器件,其中,所述第一接触区和所述第二接触区中的一个分别被形成为形成在外延层内的横向地间隔开的第一嵌入区和第二嵌入区,所述外延层形成所述第一光吸收区和第二光吸收区中的一个的至少一部分。

14.一种制造光探测器器件的方法,所述方法包括:

使用分别被掺杂n型和p型的半导体材料来制作第一光吸收区和第二光吸收区,其中,所述第一光吸收区和所述第二光吸收区被制作为在衬底上方被布置在彼此之上的相应的外延层,其中所述光吸收区被配置成当光入射在所述器件上时响应于光子的吸收而产生电子和空穴对;

制作由半导体材料构成并且分别被掺杂p型和n型的第一接触区和第二接触区,其中,所述接触区具有比所述光吸收区更高的掺杂浓度,并且分别被标记为p+和n+;以及

提供分别被连接到所述第一接触区和所述第二接触区的第一接触和第二接触,

其中,所述第一光吸收区和所述第二光吸收区以及所述第二接触区和所述第一接触区以n+p n p+连续顺序被布置在所述衬底上方,使得在将所述第二接触与第一接触之间施加的电压被切换成使所述n+pn p+连续顺序的结从反向偏置变为正向偏置之后,响应于光子吸收而在所述光吸收区中产生的电子和空穴分别朝向所述第一接触区和所述第二接触区漂移,这使电流在与入射的所述光的强度成反比的时间延迟之后开始在所述接触之间流动。

15.根据权利要求14所述的方法,还包括制作绝缘沟槽,所述绝缘沟槽垂直地延伸通过所述光吸收区和所述接触区中的至少一个接触区以便将所述光探测器细分成被独立地接触的像素的阵列。

16.一种操作光探测器器件的方法,所述方法包括:

提供光探测器器件,所述光探测器器件具有:

第一光吸收区和第二光吸收区,所述第一光吸收区和所述第二光吸收区由半导体材料构成,分别被掺杂n型和p型,其中,所述第一光吸收区和所述第二光吸收区被制作为在衬底上方被布置在彼此之上的相应的外延层,其中所述光吸收区被配置成当光入射在所述器件上时响应于光子的吸收而产生电子和空穴对;

第一接触区和第二接触区,所述第一接触区和所述第二接触区由半导体材料构成并且

分别被掺杂p型和n型,其中,所述接触区具有比所述光吸收区更高的掺杂浓度,并且分别被标记为p+和n+;以及

第一接触和第二接触,所述第一接触和所述第二接触分别被连接到所述第一接触区和所述第二接触区,其中,所述第一光吸收区和所述第二光吸收区以及所述第二接触区和所述第一接触区以n+p n p+连续顺序被布置在所述衬底上方;并且

通过重复以下来操作所述光探测器器件:

施加电压以反向偏置所述第二接触和所述第一接触;

将所述反向偏置电压切换为正向偏置电压以使所述n+p n p+连续顺序的结从反向偏置变为正向偏置,使得在所述切换之后,响应于光子吸收而在所述光吸收区中产生的电子和空穴分别朝向所述第一接触区和所述第二接触区漂移;以及

感测在所述第一接触与所述第二接触之间的电流流动的开始并且测量在所述切换与所述开始之间的时间延迟,其中,所述时间延迟与入射的所述光的强度成反比。

光探测器

技术领域

[0001] 本公开涉及一种光探测器。

背景技术

[0002] 传统的pn或pin光探测器通过被保持在恒定反向偏置电压来操作。入射光子在光吸收区中被吸收以产生电子-空穴对,这些电子-空穴对被扫到接触,使得光电流的大小与入射在光电二极管上的光的强度成比例。

[0003] 在US 2012/313155 A1中公开了一种非传统类型的光探测器,其使用从反向偏置切换为正向偏置的脉冲电压来操作。切换为正向偏置感生光电流以跨器件结构流动。然而,光电流的流动的开始不是瞬时的,而是在从光入射开始的一定时间延迟之后发生。此时间延迟被称为触发时间。触发时间与光强度的倒数成比例,所以触发时间被用作入射光的强度的量度。

[0004] 图1A和图1B分别是如US 2012/313155 A1中公开的光探测器1的截面图和平面图中的示意表示。生长方向(即与晶片的平面正交的方向)被标记为z方向。保持在电压VG1和VG2下的第一栅极G1和第二栅极G2在y方向上延伸。与其中电子和空穴被扫出的栅极正交的方向是x方向。图1A的截面AA在如图1B所指示的xz平面中。栅极G1、G2被布置在光吸收层15的任何一侧,光吸收层15的中央部分开放以便接收入射光子。光吸收层15可以是本征半导体或掺杂半导体,诸如适合于吸收待探测波长范围的传入光子的硅或锗。高度掺杂的n+和p+区被布置在体区15的任何一侧超过栅极并且用作用于读出光信号的输出端。光探测器1的各层被外延地制作在包括硅晶片和缓冲层7的绝缘体上半导体(SOI)衬底3上,在所述缓冲层7上沉积了绝缘体层8。栅极G1、G2由导电材料(例如金属、硅化物或半导体)制成。栅极G1、G2经由绝缘体或电介质材料4(例如氧化硅或氮化硅)与光吸收层15隔开。光探测器1用以下偏置电压操作。负电压VG1被施加到栅极G1(例如,-2V),负电压或零电压V1被施加到n+区,正电压VG2被施加到栅极G2(例如,2V)并且正电压V2被施加到p+区(例如,1V)。光探测器的触发时间是光吸收层15中的电场的函数,并且因此可通过调整栅极电压调谐。在这些偏置条件下,例如从光纤器件30入射到栅极之间的光吸收区15上的光子被吸收,从而产生电子-空穴对,这些电子-空穴对然后被通过偏置电压感生的电场扫出,所以被探测为在n+区与p+区之间流动的电流。

发明内容

[0005] 根据本公开的一个方面,提供了一种光探测器器件,该光探测器器件包括:第一光吸收区和第二光吸收区,该第一光吸收区和该第二光吸收区由半导体材料构成并且分别是n型和p型掺杂的,光吸收区被配置成当光入射在器件上时响应于光子的吸收而产生电子和空穴对;第一接触区和第二接触区,该第一接触区和该第二接触区由半导体材料构成并且分别是p型和n型掺杂的,其中,接触区具有比光吸收区更高的掺杂浓度,并且被分别标记为p+和n+;以及第一接触和第二接触,该第一接触和该第二接触分别连接到第一接触区和第

二接触区。n型光吸收区和p型光吸收区以及n+接触区和p+接触区以n+p n p+顺序布置,使得在将n+接触与p+接触之间施加的电压从反向偏置切换为正向偏置之后,响应于光子吸收而在光吸收区中产生的电子和空穴分别朝向p+接触区和n+接触区漂移,这使电流在与入射光强度成反比的时间延迟之后开始在接触之间流动。

[0006] 在一些实施例中,第一光吸收区和第二光吸收区相对于衬底并排布置。第一接触区和第二接触区可以被布置为在第一光吸收区和第二光吸收区的任何一侧横向地间隔开。

[0007] 在一些实施例中,第一光吸收区和第二光吸收区被形成为相对于衬底布置在彼此之上的相应的外延层。该器件还可以包括垂直地延伸通过结构以限定像素的光探测器阵列的绝缘沟槽。沟槽延伸通过光吸收区和接触区中的至少一个接触区,以便将光探测器细分成独立地接触的像素的阵列,所以能够由合适的电子仪器单独地读出。光探测器还可以包括例如在硅CMOS技术中布置在形成第一接触区和第二接触区之一的外延层上的半导体电路层,该半导体电路层包括利用过孔电连接到像素的、用于光探测器的像素阵列的读出传感器的阵列。在光探测器阵列的细化中,像素各自被另外的绝缘沟槽细分成子像素的阵列。用于每个像素的另外的沟槽横向地设置在限定像素的绝缘沟槽内部。另外的沟槽垂直地延伸通过接触区中的一个接触区和光吸收区中的至少一个光吸收区,但是不远至接触区中的另一个接触区,使得任何一个像素的子像素保持通常接触,所以任何一个组的子像素被偏置并且作为单个像素单元读出。

[0008] 在一些实施例中,第一光吸收区和第二光吸收区被布置为使得第一光吸收区和第二光吸收区中的一个被形成为衬底上的外延层,或者与衬底一体地形成,而第一光吸收区和第二光吸收区中的另一个被形成为外延层内的嵌入区。

[0009] 在一些实施例中,第一光吸收区和第二光吸收区被布置为使得第一光吸收区和第二光吸收区中的一个作为衬底上的外延层或者与衬底一体地形成在第一部分中,并且作为外延层或衬底内的嵌入区形成在第二部分中,并且其中,第一光吸收区和第二光吸收区中的另一个被形成为外延层内的另外的嵌入区。嵌入区和另外的嵌入区可以被外延层或衬底的一部分横向地分离。第一接触区和第二接触区中的一个分别可以被形成为第一光吸收区或第二光吸收区的嵌入区内的再另外的嵌入区。第一接触区和第二接触区分别可以被形成为第一光吸收区和第二光吸收区的嵌入区内的相应的再另外的嵌入区。

[0010] 在一些实施例中,第一接触区和第二接触区中的一个被形成为衬底上的外延层,并且第一光吸收区和第二光吸收区中的至少一个被至少部分地形成为第一接触区和第二接触区中的所述一个接触区的外延层上的另外的外延层。

[0011] 在一些实施例中,第一接触区和第二接触区中的至少一个分别被形成为外延层内的嵌入区,所述外延层形成第一光吸收区和第二光吸收区的至少一部分。

[0012] 在一些实施例中,第一接触区和第二接触区分别被形成为外延层内的相应的横向地间隔开的第一嵌入区和第二嵌入区,所述外延层形成第一光吸收区和第二光吸收区的至少一部分。

[0013] 在一些实施例中,其中,第一接触区和第二接触区中的一个分别被形成为形成在外延层内的横向地间隔开的第一嵌入区和第二嵌入区,所述外延层形成第一光吸收区和第二光吸收区中的一个的至少一部分。

[0014] 应理解,光吸收区由其制成的半导体材料是注意其带隙来选择的,以便光子的带

间吸收发生在如光探测器所要求的期望能量范围之上以满足规范。两个光吸收区的半导体材料可以是相同的,使得p型区与n型区之间的pn结是同质结,或者能选取两种不同的半导体材料,使得pn结是异质结。在异质结的情况下,两种不同的材料可以在相同的材料系统中,所以能够彼此形成合金,例如SiGeC材料系统或GaAlInAsP材料系统。

[0015] 根据本公开的另一方面,提供了一种制造光探测器器件的方法,该方法包括:制作由半导体材料构成并且分别是n型和p型掺杂的第一光吸收区和第二光吸收区,光吸收区被配置成当光入射在器件上时响应于光子的吸收而产生电子和空穴对;制作由半导体材料组成并且分别是p型和n型掺杂的第一接触区和第二接触区,其中,接触区具有比光吸收区更高的掺杂浓度,并且被分别标记为p+和n+;以及提供分别连接到第一接触区和第二接触区的第一接触和第二接触。n型光吸收区和p型光吸收区以及n+接触区和p+接触区以n+p n p+顺序布置,使得在将n+接触与p+接触之间施加的电压从反向偏置切换为正向偏置之后,响应于光子吸收而在光吸收区中产生的电子和空穴分别朝向p+接触区和n+接触区漂移,这使电流在与入射光强度成反比的时间延迟之后开始在接触之间流动。

[0016] 在上述方法中,可以将第一光吸收区和第二光吸收区制作为相对于衬底布置在彼此之上的相应的外延层。此外,该方法还可以包括制作垂直地延伸通过光吸收区和接触区中的至少一个接触区以便将光探测器细分成独立地接触的像素的阵列的绝缘沟槽。可以提供另外的绝缘沟槽,使得每个像素被另外的绝缘沟槽细分成子像素的阵列,对于每个像素,所述另外的绝缘沟槽横向地设置在限定像素的绝缘沟槽内部并且垂直地延伸通过接触区中的一个接触区和光吸收区中的至少一个光吸收区,但是不远至接触区中的另一个接触区,使得任何一个像素的子像素保持通常接触。

[0017] 根据本公开的另一方面,提供了一种如上面所指定的那样操作光探测器器件的方法。该方法包括通过重复以下来操作光探测器器件:施加电压以反向偏置n+接触和p+接触;将反向偏置电压切换为正向偏置电压,使得在所述切换之后,响应于光子吸收而在光吸收区中产生的电子和空穴分别朝向p+接触区和n+接触区漂移;以及感测在第一接触与第二接触之间的电流流动的开始。测量在所述切换与所述开始之间的时间延迟,该时间延迟与入射光强度成反比。然后重复此反向到正向偏置序列。

[0018] 总之,我们提出一种光探测器器件和用于光探测器的对应制造方法,该光探测器包括被布置成形成pn结的n型光吸收区和p型光吸收区以及连接到相应的接触的n+接触区和p+接触区。光吸收区和接触区以n+p n p+顺序布置,使得在将n+接触与p+接触之间施加的电压从反向偏置切换为正向偏置之后,响应于光子吸收而在光吸收区中产生的电子和空穴分别朝向p+接触区和n+接触区漂移,这使电流在与入射光强度成反比的时间延迟之后开始在接触之间流动。

附图说明

[0019] 在下面,将参照各图中图示的示例性实施例仅通过示例进一步描述本发明。

[0020] 图1A和图1B分别是如US 2012/313155 A1中公开的现有技术的光探测器的截面图和平面图中的示意表示。

[0021] 图2A和图2B分别是根据本发明的第一实施例的光探测器的截面图和平面图中的示意表示。

[0022] 图3A、图3B和图3C是示出根据第一实施例的光探测器的能带图,其中光探测器分别处于反向偏置状态、处于正向偏置导通状态和正向偏置非导通状态。

[0023] 图4是在具有(“开启”)和没有(“关闭”)入射光(即分别为图3C和图3B的正向偏置导通状态和非导通状态)的情况下根据图2A和图2B的第一实施例的光探测器的作为偏置电压的函数的输出电流的曲线图。

[0024] 图5A和图5B分别示出在没有光和有光的情况下施加的电压V_d和输出电流I的示波器范围屏幕截图。

[0025] 图6是将倒数触发时间1/t标绘为吸收光功率A的函数的曲线图。

[0026] 图7是根据本发明的第二实施例的光探测器的示意截面。

[0027] 图8是根据本发明的第三实施例的光探测器的示意截面。

[0028] 图9是根据本发明的第四实施例的光探测器的示意截面。

[0029] 图10是根据本发明的第五实施例的光探测器的示意截面。

[0030] 图11是根据本发明的第六实施例的光探测器的示意截面。

[0031] 图12是根据本发明的第七实施例的光探测器的示意截面。

[0032] 图13是根据本发明的第八实施例的光探测器的示意截面。

[0033] 图14是根据本发明的第九实施例的光探测器的示意截面。

[0034] 图15是根据本发明的第十实施例的光探测器的示意截面。

[0035] 图16图示包括光传感器的二维(2D)阵列的探测器阵列,该阵列的每个光传感器是如上所述的光探测器。

[0036] 图17示出作为高速光电转换器操作的根据上述实施例中的任何一个的光探测器。

具体实施方式

[0037] 在以下详细描述中,出于说明而非限制的目的,阐述特定细节以便提供对本公开的更好理解。对本领域的技术人员而言将显而易见的是,可以在脱离这些特定细节的其他实施例中实践本公开。

[0038] 图2A和图2B分别是根据本发明的第一实施例的光探测器的截面图和平面图中的示意表示。

[0039] 生长方向(即与晶片的平面正交的方向)被标记为z方向。分别为n+和p+掺杂的半导体区的第一接触区和第二接触区在y方向上延伸。图2A的截面AA在图2B所指示的xz平面中。接触区被布置在体区15的任何一侧,该体区被形成在两个部分,即与n+接触区相邻的p掺杂半导体子区15p和与p+接触区相邻的n掺杂半导体区15n中,其中n型子区和p型子区在它们相遇的地方具有公共界面。在x方向上,该结构因此在x方向上具有n+p n p+的顺序。体子区15p和15n可以由诸如硅或锗或碳化硅或其合适的合金的合适的半导体材料制成,其中带隙被选取为适合于吸收待探测波长范围的传入光子hv。高度掺杂的n+和p+区被布置在超过栅极的体区15的任何一侧并且用作用于读出光电流的输出。光探测器的层被外延地制作在由硅晶片7和绝缘体层8形成的绝缘体上半导体(SOI)衬底3上。

[0040] 光探测器能够用以下偏置电压操作。负或零电压V1(例如,0或-1V)被施加到n+区并且正电压V2(例如,+1V)被施加到p+区。体区的n型和p型子区未偏置。光探测器的触发时间是体区的电场的函数,并且因此可通过调整偏置电压V1和V2调谐。在这些偏置条件下,例

如从光纤器件30入射到光吸收区上的光子hv被吸收,从而产生电子-空穴对,这些电子-空穴对然后被通过偏置电压感生的电场扫出,所以被探测为在n+区与p+区之间流动的电流。

[0041] 图3A、图3B和图3C是沿着x方向的能带图。图3A示出处于反向偏置的光探测器。图3B和图3C都示出具有偏置电压V2-V1的处于正向偏置的光探测器。图3B示出当没有光入射时导致结构处于非导通状态的状况,并且图3C示出当光入射时导致结构处于导通状态的状况。在正向偏置中,当传感器未探测到任何光时,由于通过偏置电压V2-V1提供或引起的势垒,在p+区与n+区之间几乎没有电流流动。然而,当传感器探测到光时,入射光子被吸收以产生电子-空穴对并且传感器改变为导通状态。即,在通过偏置电压产生的电场下,空穴朝向n+接触区移动,并且电子朝向p+接触区移动。已迁移的空穴在p区的与n+接触区相邻的部分中积聚并且感生势垒的降低以防止来自n+区的电子移动和电子电流流动。类似地,已迁移的电子在n区的与p+接触区相邻的部分中积聚并且感生空穴势垒的降低和从p+区流动的空穴电流。在其导通状态下,传感器提供大的内部电流增益。另外,正反馈机制加速与n+接触区和p+接触区相邻的过量正负载流子的积聚,这又减小与此类区相对应的相关势垒,并且使电流在光传感器的p+区和n+区之间流动以及在探测到入射光时或响应于入射光而输出电流。

[0042] 图4是示出当入射光被探测到(“开启”)和未被探测到(“关闭”)(即分别为图3C和图3B的导通状态和非导通状态)时作为n+接触区与p+接触区之间的偏置电压V2-V1的函数的光探测器的输出电流的示意曲线图。应注意,在阈值偏置电压Vth以上,导通状态下的输出电流随着偏置电压变化或多或少是静态的,考虑到入射光强度是通过触发时间而不是光电流幅度测量的,这是优选的操作方式。

[0043] 图5A和图5B分别示出在没有光和有光的情况下施加的电压Vd＝V2-V1和输出电流I的示波器屏幕截图。触发时间t随着光强度增加而减小。图5A示出在没有光的情况下t0＝5.5μs的触发时间。图5B示出在35nW的吸收功率时在有光的情况下t1＝1.5μs的触发时间。从低电流状态切换为高电流状态非常突然地发生,这有利于延迟时间的精确测量。0.8mA的输出电流比能够在35nW的吸收功率时用常规光电二极管达到的输出电流高出多于四个数目级。

[0044] 图6是将倒数触发时间1/t标绘为吸收光功率A(以纳瓦为单位)的函数的曲线图。如能够看到的,在触发时间的倒数与吸收光功率之间存在线性关系。

[0045] 图7是根据本发明的第二实施例的垂直光探测器的示意截面。通过垂直,我们意指各层外延地形成在作为衬底的平面的xy平面中,所以层顺序在z方向上。该结构被填充有电介质材料的绝缘沟槽细分成一维行阵列或二维行列阵列中的个别像素,该电介质材料使相邻像素彼此电隔离。例如,电介质材料可以是在蚀刻之后沉积的材料,或在蚀刻之后通过氧化工艺产生的材料。不是用电介质材料填充沟槽,而是它们可能被留下未填充或者仅被涂布沟槽的侧面的氧化物或其他绝缘材料的薄层部分地填充。绝缘沟槽因此垂直地延伸通过光吸收区和接触区中的至少一个接触区,以便将光探测器细分成独立地接触的像素的阵列。

[0046] 半导体层被以如图示的p+n p n+顺序或以相反顺序沉积在合适的衬底上。视需要而定,可以在沉积时或通过诸如离子注入的后沉积工艺或两者的组合来实现每个层的掺杂。n型层和p型层形成探测器的光吸收区,并且n+层和p+层形成其接触区。n型层和p型层具

有形成pn结的界面。n型层和p型层具有适合于吸收指定波长(能量)范围的入射光光子hv的带隙并且产生电子和空穴对,当pn结在正向偏置下时,这些电子和空穴对分别朝向P+层和n+层漂移。当器件在正向偏置下时通过在p层(如示意性地图示的)中或在n层中吸收光子产生的电子-空穴对被正向偏置感生施加的电场分离,其中空穴朝向n+层漂移而电子朝向p+层漂移。衬底未被示出,但是可以提供合适的衬底,诸如用于欧姆接触p+层的像素的p+衬底。当结构在pn结方面被从反向偏置切换为正向偏置时,一旦足够数目的电子和空穴漂移以使势垒足够地减小,通过光子吸收产生的电子-空穴对就在接触之间发起电流流动。因此存在与入射光强度成反比的从反向至正向偏置切换事件到电流流动的开始的时间延迟。

[0047] 光探测器通过从反向偏置切换为正向偏置的重复循环来操作。即,操作通过以下步骤继续进行:施加电压以反向偏置n+接触和p+接触;将反向偏置电压切换为正向偏置电压。在切换之后,响应于光子吸收而在光吸收区中产生的电子和空穴分别朝向p+接触区和n+接触区漂移。该器件然后感测第一接触与第二接触之间的电流流动的开始。所述切换与所述开始之间的时间延迟被测量,该时间延迟与入射光强度成反比。然后重复此反向到正向偏置序列。驱动和读出的重复循环可以是周期性的或非周期性的。在周期性情况下,正向偏置和反向偏置段的持续时间是固定的。在非周期性情况下,反向偏置段具有固定持续时间,但是正向偏置持续时间响应于在最小值与最大值之间设置的时间窗口内的入射光强度而变化。在电流的开始已发生并且时间延迟已被测量之后,能够终止循环的正向偏置段。正向偏置持续时间然后在没有入射光时将具有最大值,因为将不存在电流的开始,而在入射光强度高时将具有最小值,因为时间延迟将短于最小值,但是在入射光强度使得用于电流的开始的时间延迟在窗口内时具有中间值。

[0048] 图8是根据本发明的第三实施例的垂直光探测器的示意截面,这将主要根据图7的先前讨论来理解。在第三实施例中,每个像素由一组子像素组成。如在第二实施例中一样,每个像素由延伸通过整个结构(即通过n+p n p+层)的电介质材料沟槽限定。给定像素的子像素被电介质材料沟槽,但是部分地而非整个地延伸通过结构(即至少通过顶部接触层(这里为n+)且至少部分地通过光吸收层的上部(这里为p)并且可能还部分地通过光吸收层的下部(这里为n)的沟槽)彼此分开。每个像素因此被另外的绝缘沟槽细分成子像素的一维或二维阵列,对于每个像素,该另外的绝缘沟槽横向地位于限定像素的绝缘沟槽内部并且垂直地延伸通过接触区中的一个接触区和光吸收区中的至少一个光吸收区,但是不远至接触区中的另一个接触区,使得任何一个像素的子像素保持通常接触。子像素结构可以用来降低内部电容并且因此提供更好的灵敏度。

[0049] 图9是根据本发明的第四实施例的垂直光探测器的示意截面。图7所示的光探测器结构与布置在上部接触区上的半导体电路层组合。电路层包括用于光探测器的像素阵列的读出传感器的阵列,其中传感器到像素连接利用过孔实现。特别地,电路层可以是利用硅通孔(TSV)使它电连接到像素的CMOS电路层。然后能够通过TSV对n+接触区和p+接触区施加偏置电压。此外,能够通过TSV连接在每像素基础上探测由入射光hv感生的信号电流。CMOS电路层被示出为布置在n+接触层上,但是替换地它能被布置在p+接触层上。图7的结构也可以以类似方式与CMOS电路层组合。

[0050] 图10是根据本发明的第五实施例的光探测器的示意截面。此实施例可以被理解为图7实施例的变体,因为外延层结构自下而上包括p+接触层、n型层和p型层,其中n型层和p

型层形成光吸收区。然而,不是将顶部接触形成为外延层,而是顶部接触与一个或多个嵌入区形成在p型外延层内。示出了两个相邻嵌入区,其中,相邻嵌入区的布置可以用来限定像素。替换地,可以如其他实施例中描述的那样使用电介质材料沟槽。也应注意,在如示意性地图示的一些实施例中,光hv可以从劈开侧表面入射。衬底未被示出,但是可以提供合适的衬底,诸如用于欧姆接触p+层的p+衬底。也应理解,能实现相反的结构,即如图示但其中n+--->p+,p-->n,n-->p并且p+-->n+。

[0051] 图11是根据本发明的第六实施例的光探测器的示意截面。在概念上与图2A/2B的结构有些类似的水平n+p n p+结构被使用。p型层被外延地沉积在衬底3上。在p型层中,形成嵌入n型区,并且在n型区内形成p+接触区。从n型区横向地偏移,在p型层中形成n+接触区。也将理解,能实现相反的结构。此外,衬底3不是器件的电有源部分,所以视需要而定,可以是例如n型、p型、半绝缘(SI)半导体、蓝宝石或绝缘体。

[0052] 图12是根据本发明的第七实施例的光探测器的示意截面。提供了p型或n型衬底3。在衬底的表面中,形成嵌入n型区,并且在n型区内形成p+接触区。从n型区横向地偏移,形成p型嵌入区,并且在那之内形成n+接触区。

[0053] 图13是根据本发明的第八实施例的光探测器的示意截面。这是图12实施例的变体,其中图12中的衬底的作用由外延层承担。衬底3因此不是器件的电有源部分,所以视需要而定,可以是例如n型、p型、半绝缘(SI)半导体、蓝宝石或绝缘体。

[0054] 图14是根据本发明的第九实施例的光探测器的示意截面。p型层被沉积在衬底上。在p型层中,形成嵌入n型区,并且在n型区内形成p型区,以及在p型区内形成p+接触区。从n型区横向地偏移,在p型层中形成n+接触区。也应理解,能实现相反的结构。此外,衬底3不是器件的电有源部分,所以视需要而定,可以是例如n型、p型、半绝缘(SI)半导体、蓝宝石或绝缘体。在此器件结构中,有源pn结在时间延迟的光感生电流方面是图中所指向的那个。

[0055] 图15是根据本发明的第十实施例的光探测器的示意截面。p型层被沉积在p+衬底3上。在p型层中,形成嵌入n型区,并且在n型区内形成p型区,以及在p型区内形成n+接触区。从n型区横向地偏移,在p型层中形成p+接触区。也应理解,能实现相反的结构。在此器件结构中,有源pn结在时间延迟的光感生电流方面是图中所指向的那个。

[0056] 图16图示包括光传感器5的二维(2D)阵列的探测器阵列,该阵列的每个光传感器是如上所述的光探测器。除了传感器的阵列之外,探测器阵列还可以包括控制电路系统25以通过输出合适的控制信号来管理阵列的光传感器的采集、捕获和/或感测操作。例如,控制电路系统(其可以被集成在与传感器相同的衬底上)可以以使得数据采集或感测与传输的数据速率相关的方式控制或启用/禁用传感器;探测器阵列可以耦合到多个光纤输出器件,其中,每个光纤器件与传感器中的一个或一组传感器相关联。可以以任何阵列架构以及与任何类型的集成电路系统相结合地配置和/或布置传感器。此外,可以采用任何制造技术来制作阵列。

[0057] 图17示出根据以上实施例中的任一个的光探测器耦合到任选的电流放大器。光探测器在操作中被图示为可操作来将入射光hv的光脉冲列或其他更复杂的信号转换成等效电脉冲列或其他更复杂的信号的高速光电转换器。上面示意性地图示的脉冲列示出由光纤30传送的光信号,并且在下面示意性地图示的脉冲列示出由已接收到光信号作为输入的光探测器输出的电信号。由于大的输出信号,光探测器不需要放大器并且能够直接连接到数

字电路。不需要放大器是有利的,因为放大器是噪声源。

[0058] 应该注意,术语“电路”可以尤其意指单个组件或多个组件(无论是以集成电路形式还是以其他方式),这些组件是有源的和/或无源的,并且被耦合一起以提供或执行期望的功能。术语“电路系统”可以尤其意指电路(无论是集成的还是以其他方式)、一组此类电路、一个或多个处理器、一个或多个状态机、实现软件的一个或多个处理器、一个或多个门阵列、可编程门阵列和/或现场可编程门阵列,或一个或多个电路(无论是集成的还是以其他方式)、一个或多个状态机、一个或多个处理器、实现软件的一个或多个处理器、一个或多个门阵列、可编程门阵列和/或现场可编程门阵列的组合。术语“数据”可以尤其意指无论是模拟形式还是数字形式的电流或电压信号,数字形式可以是单个位(或类似物)或多个位(或类似物)。

[0059] 应该进一步注意,本文公开的各种电路和电路系统可以使用计算机辅助设计工具来描述并且被表达(或表示)为例如以它们的行为、寄存器转移、逻辑组件、晶体管、布局几何形状和/或其他特性体现在各种计算机可读介质中的数据和/或指令。可以在其中实现此类电路表达的文件和其他对象的格式包括但不限于支持诸如C、Verilog和HLDL的行为语言的格式、支持像RTL一样的寄存器级描述语言的格式、以及支持诸如GDSII、GDSIII、GDSIV、CIF、MEBES的几何描述语言的格式以及任何其他合适的格式和语言。可以在其中体现此类格式化数据和/或指令的计算机可读介质包括但不限于各种形式的非易失性存储介质(例如,光、磁或半导体存储介质)以及可以用于通过无线、光或有线信号介质或其任何组合来转移此类格式化数据和/或指令的载波。通过载波对此类格式化数据和/或指令的转移的示例包括但不限于经由一种或多种数据转移协议(例如,HTTP、FTP、SMTP等)在因特网和/或其他计算机网络上的转移(上传、下载、电子邮件等)。本发明也针对本文描述的电路系统的这种表示和/或由此实现的技术,并且因此,旨在落在本发明的范围内。

[0060] 实际上,当经由一个或多个计算机可读介质在计算机系统内接收时,上述电路的基于此类数据和/或指令的表达可以由计算机系统内的处理实体(例如,一个或多个处理器)与包括但不限于网络表生成程序、布局和布线程序等的一个或多个其他计算机程序的执行相结合地处理,以生成此类电路的物理表现的表示或图像。此后可以在器件制作中使用这种表示或图像,例如,通过使得能够生成用于在器件制作过程中形成电路的各种组件的一个或多个掩模。

[0061] 此外,本文公开的各种电路和电路系统以及技术可以经由使用计算机辅助设计、模拟和/或测试工具的模拟和基于模拟指令的表达来表示。包括光探测器和/或由此实现的技术的本发明的电路系统的模拟可以由计算机系统实现,其中,这种电路系统以及由此实现的技术的特性和操作是经由计算机系统模拟、模仿、复制、分析和/或预测的。本发明也针对发明器件和/或电路系统和/或由此实现的技术的此类模拟和测试,并且因此,旨在落在本发明的范围内。与此类模拟和/或测试工具相对应的计算机可读介质和数据也旨在落在本发明的范围内。

[0062] 对本领域的技术人员而言将清楚的是,在不脱离本公开的范围的情况下,能够对前面的示例性实施例做出许多改进和修改。

现有技术

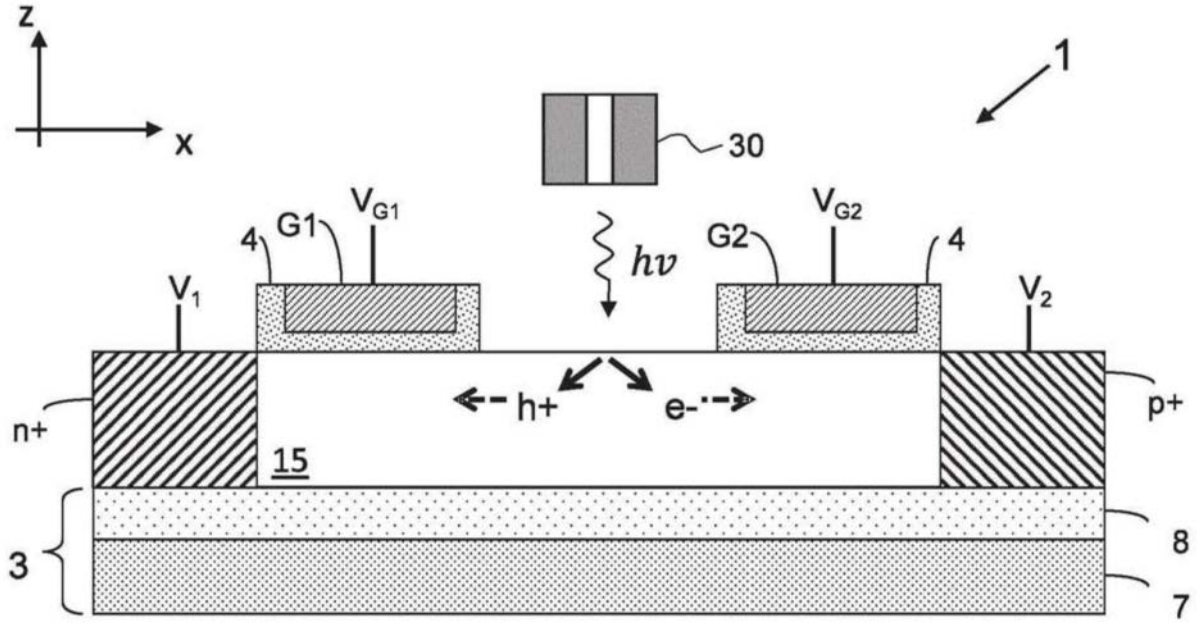


图1A

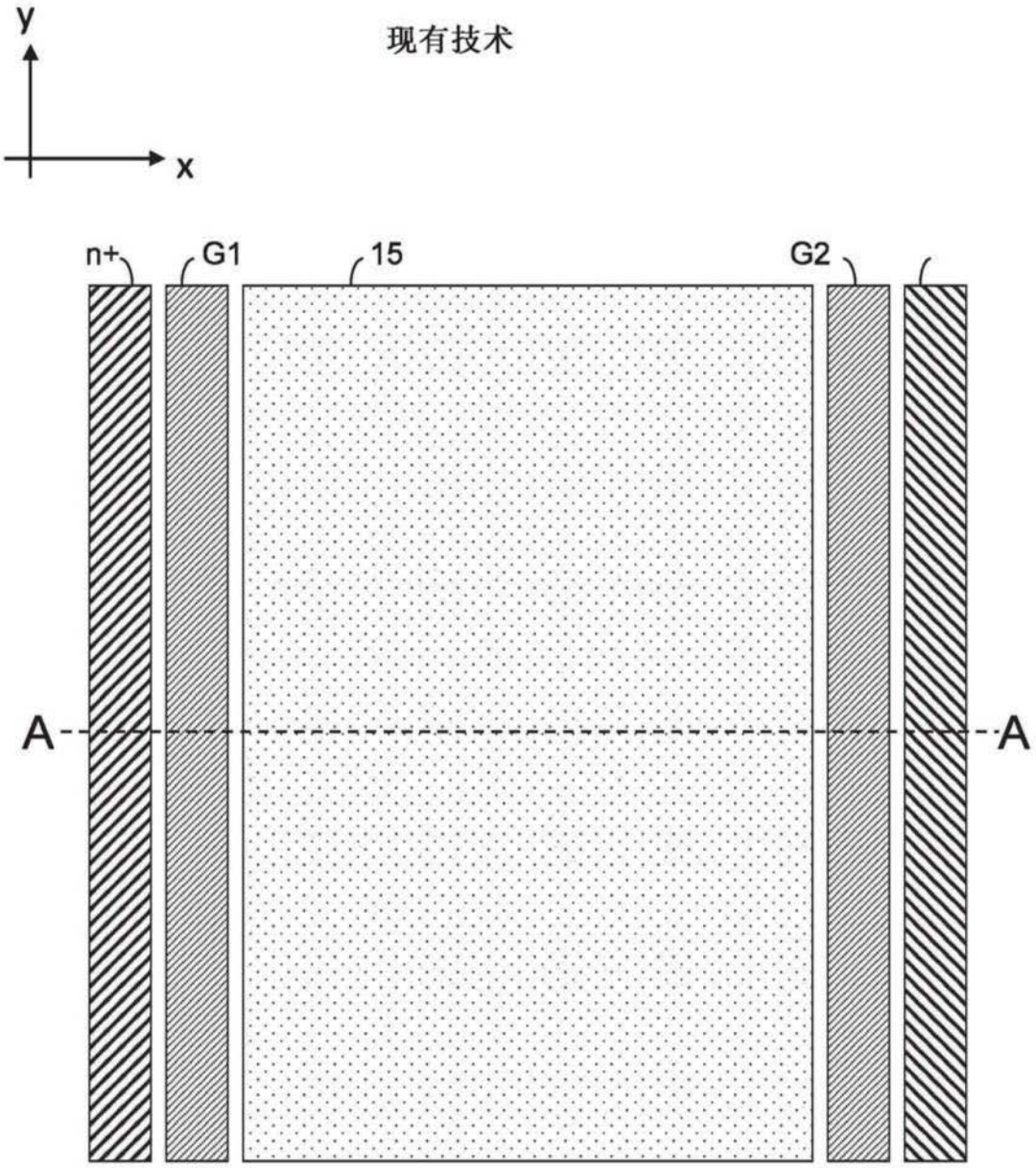


图1B

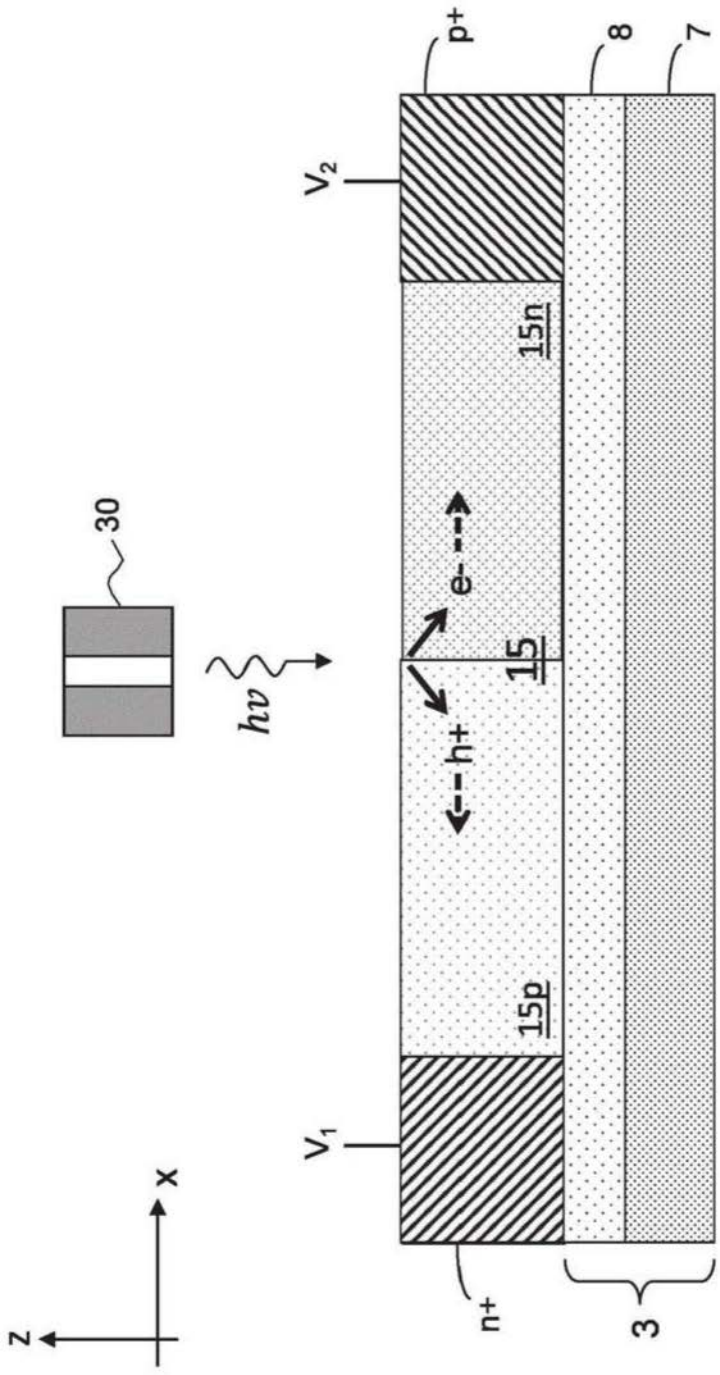


图2A

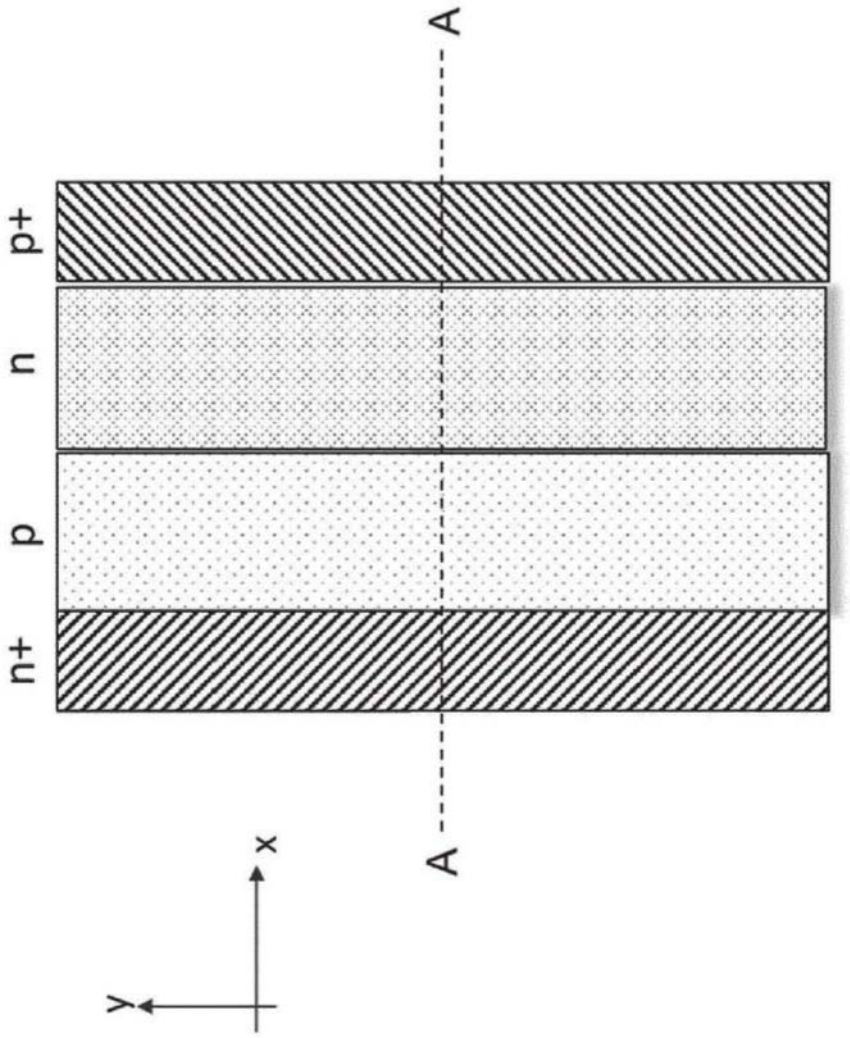


图2B

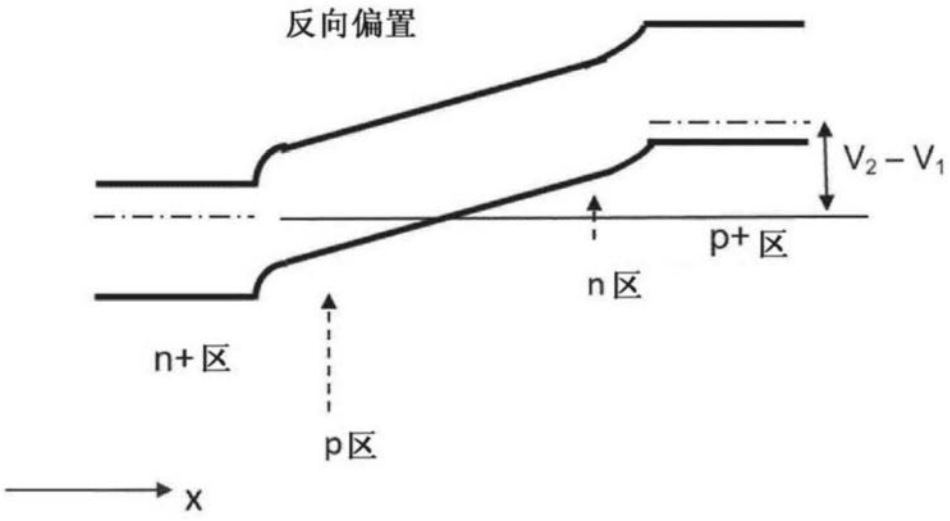


图3A

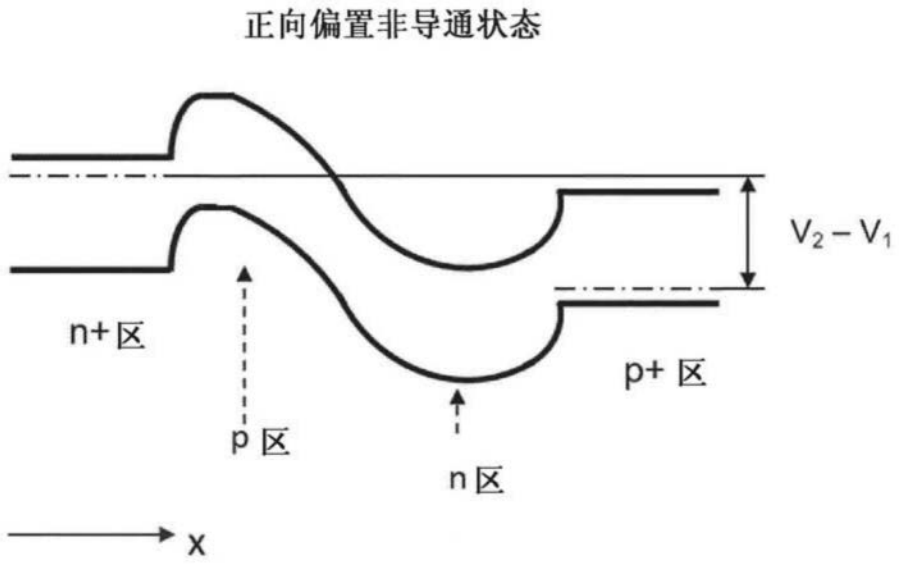


图3B

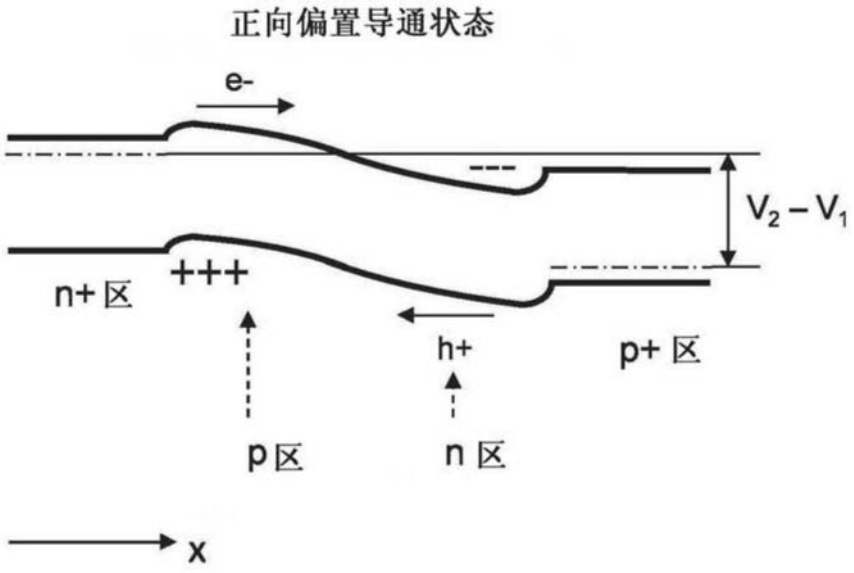


图3C

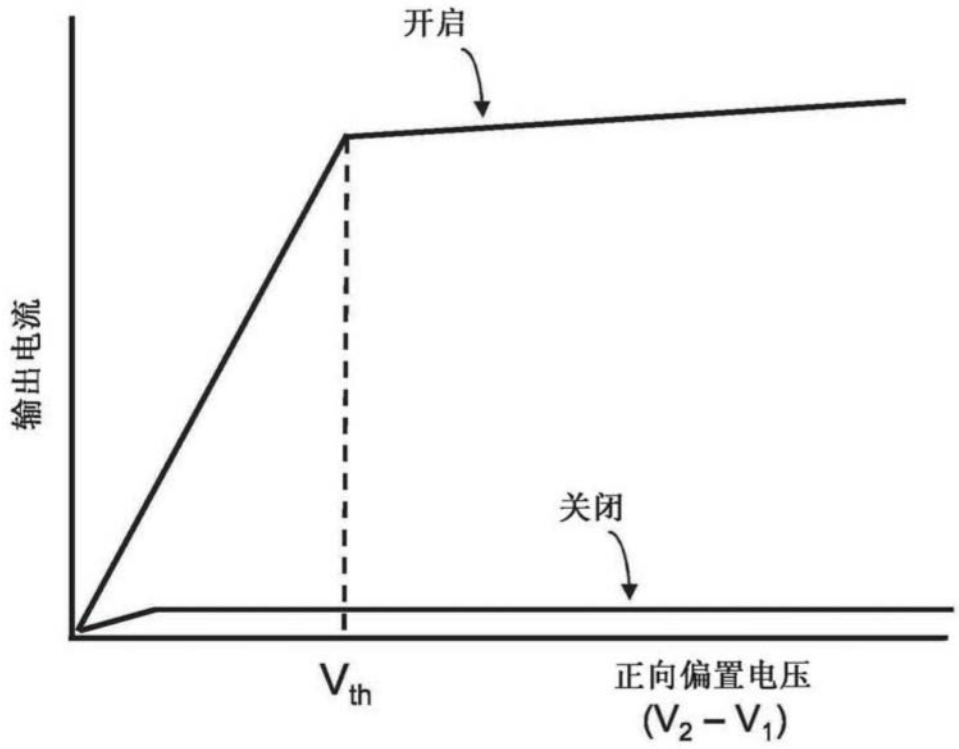


图4

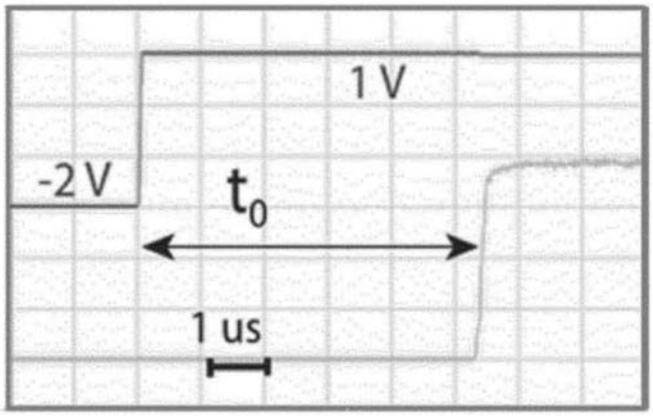


图5A

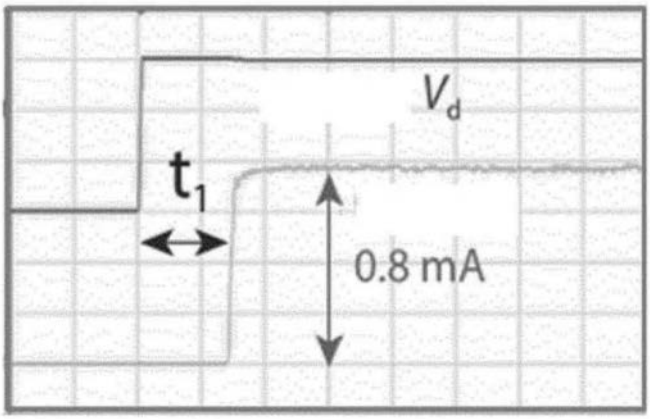

V_d
t_1
0.8 mA

图5B

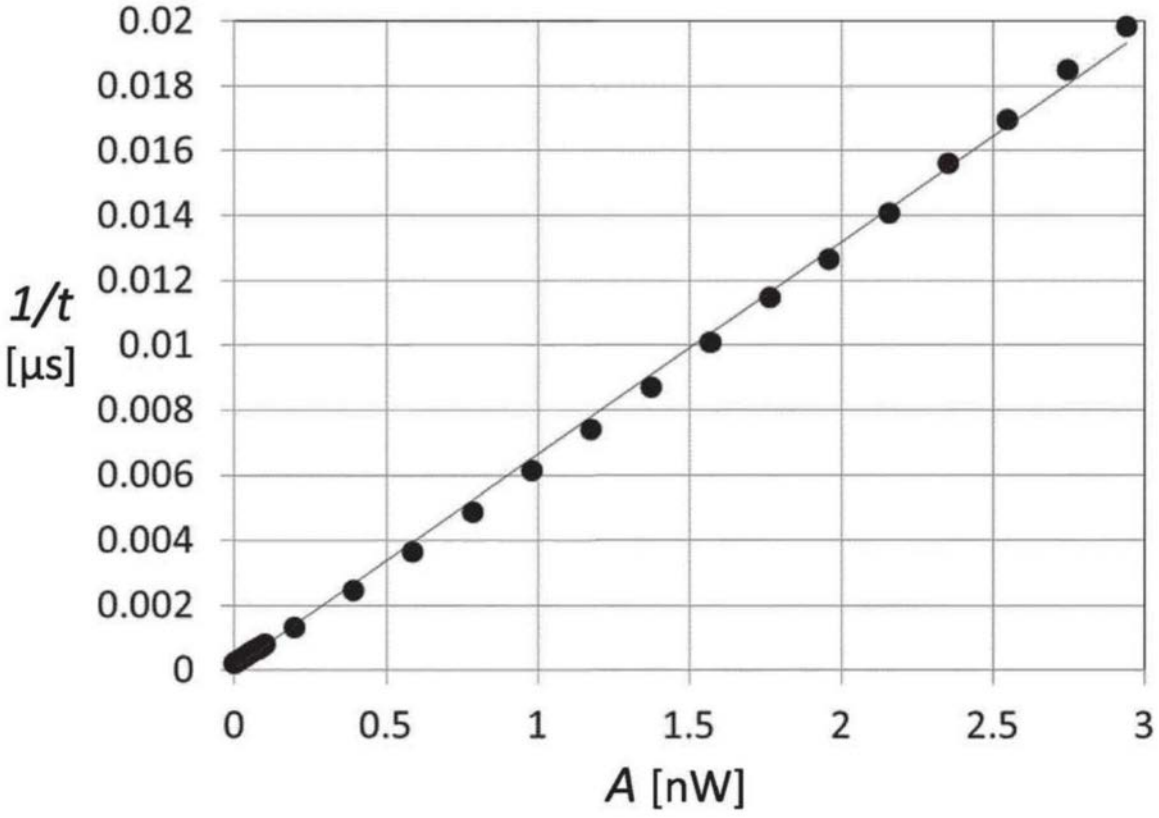

0.02
0.018
0.016
0.014
0.012
0.01
0.008
0.006
0.004
0.002
0
1/t
[µs]
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
A [nW]

图6

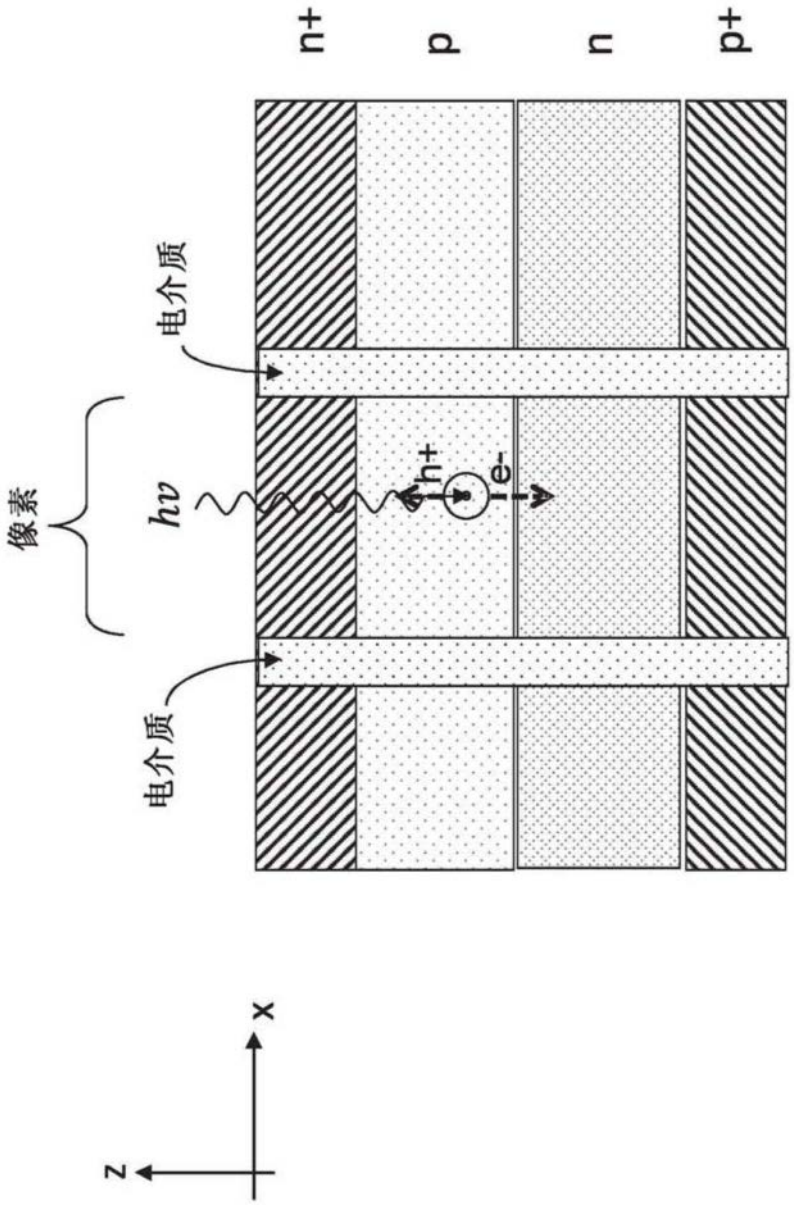


图7

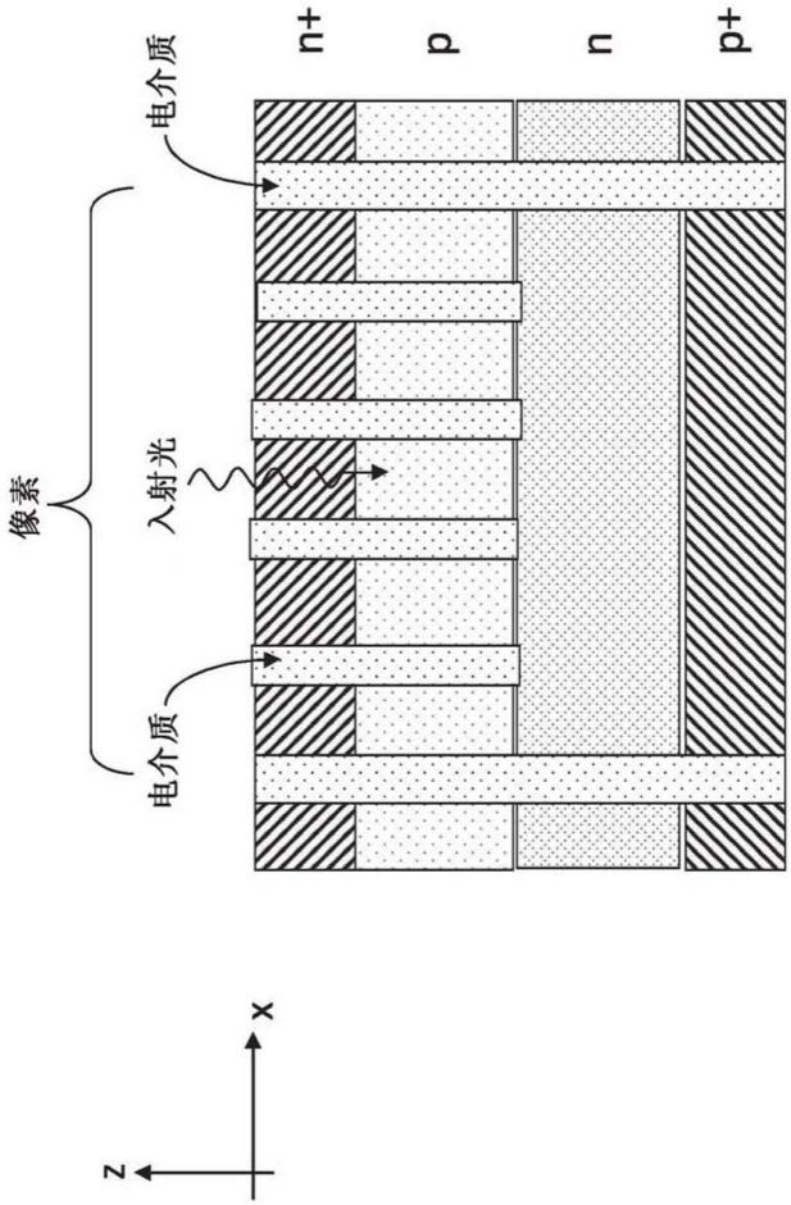


图8

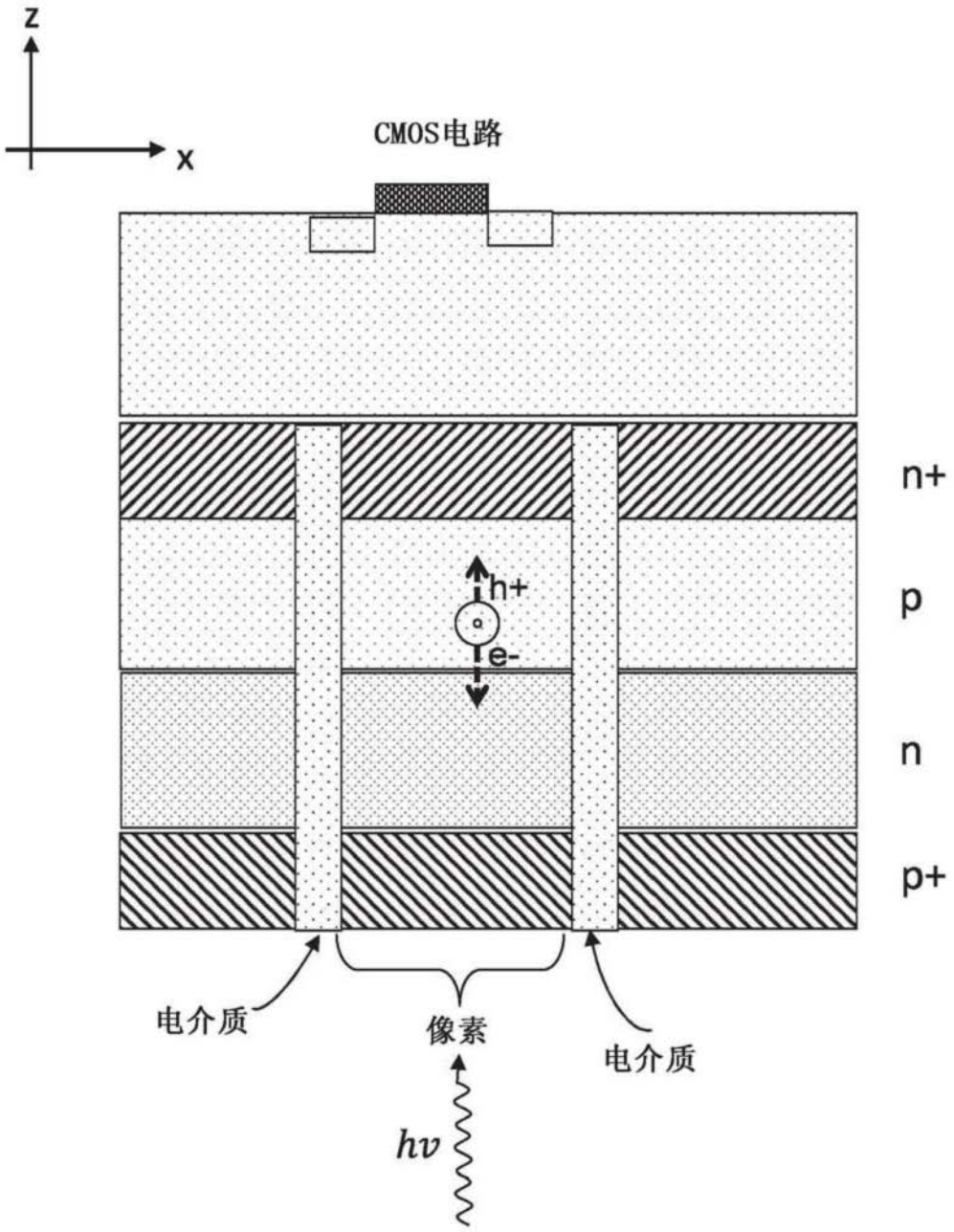


图9

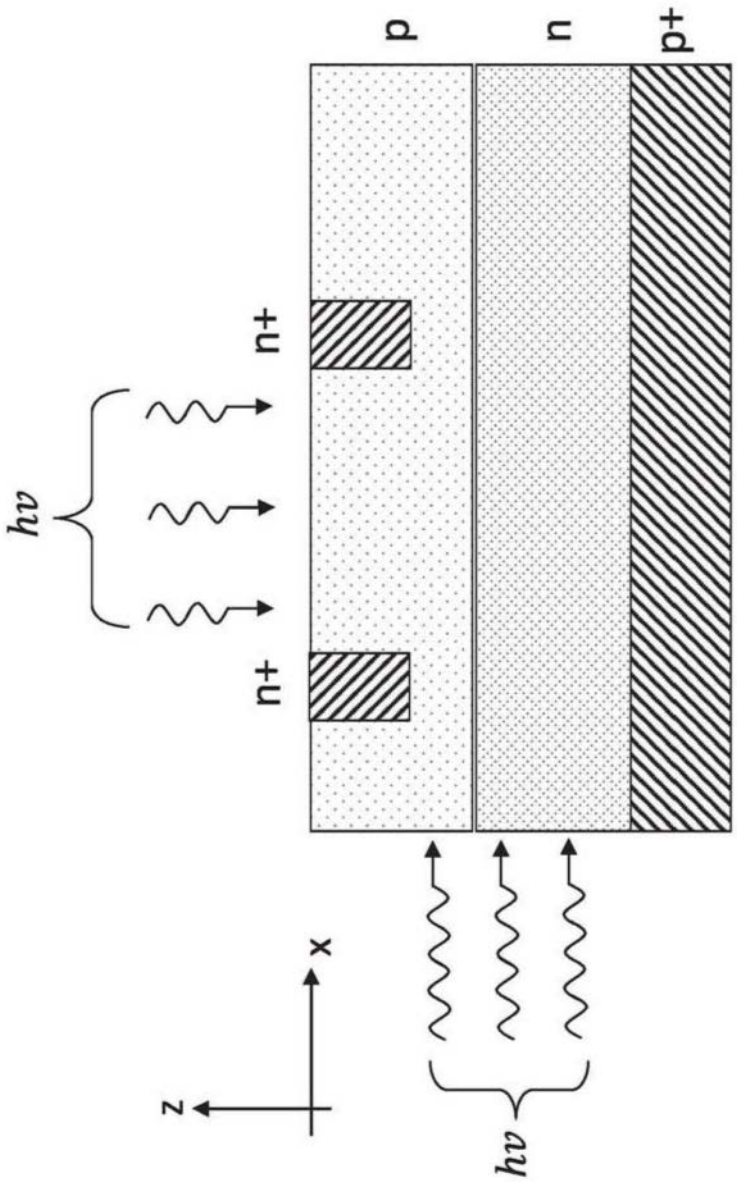


图10

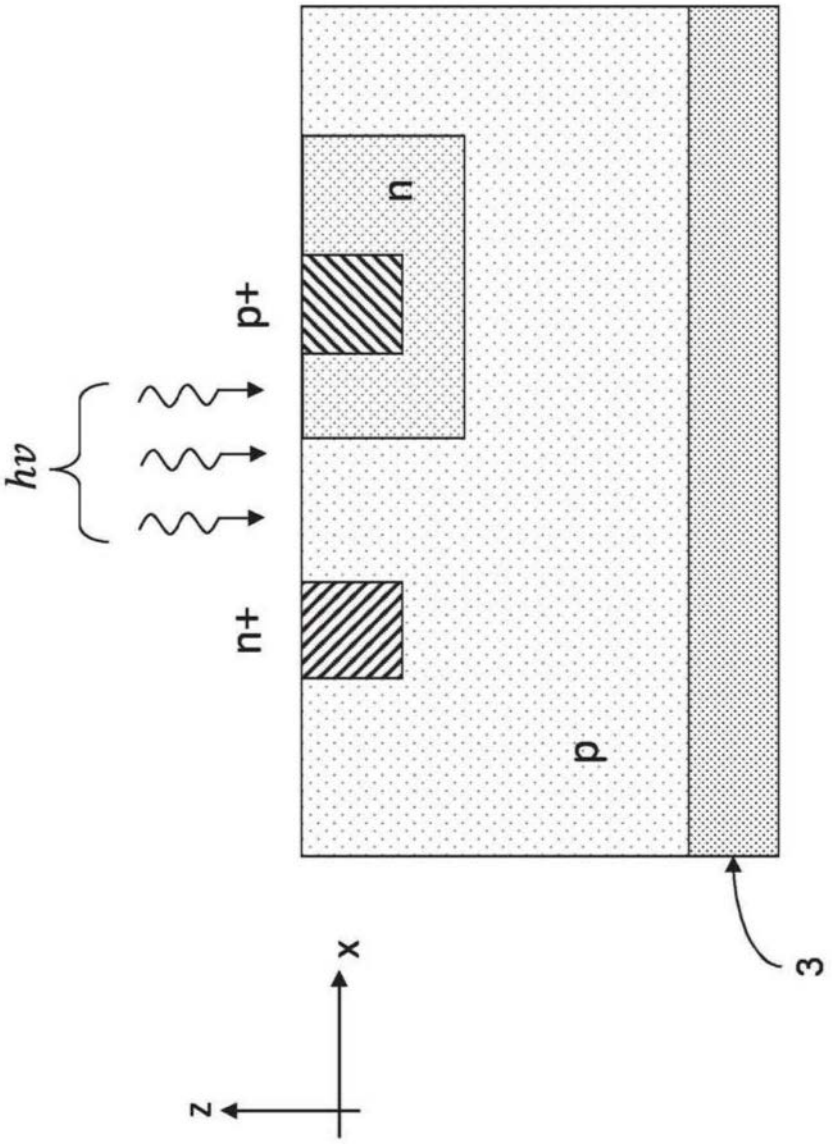


图11

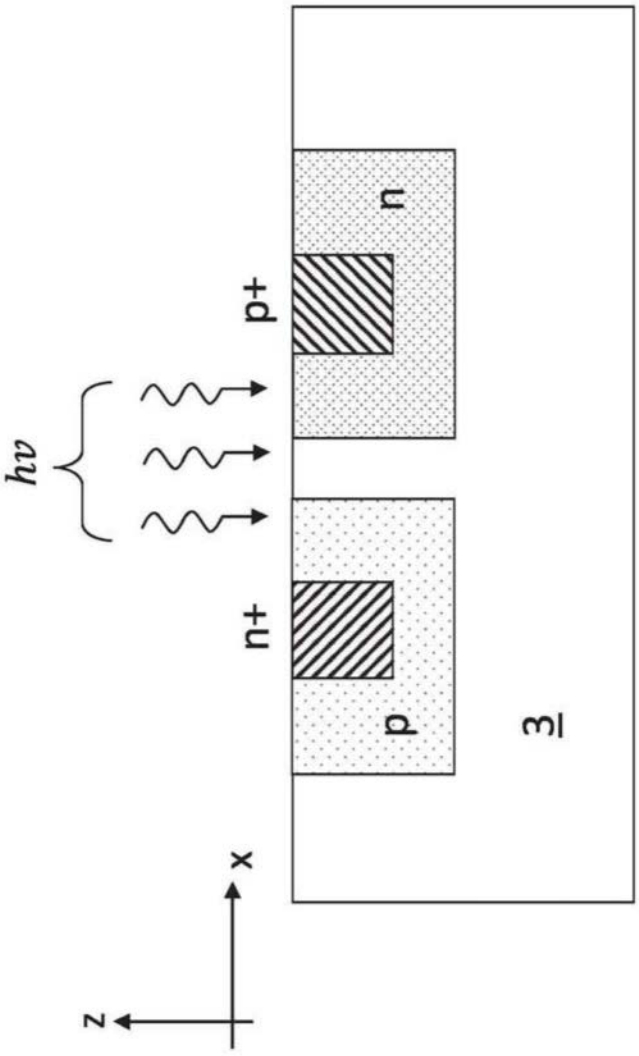


图12

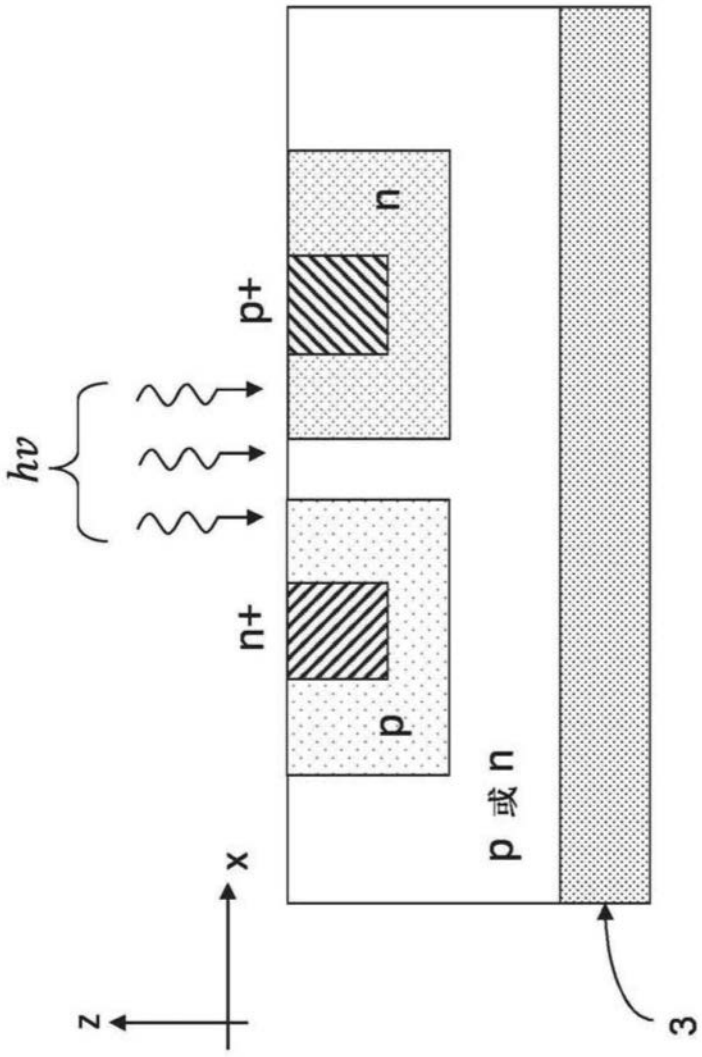


图13

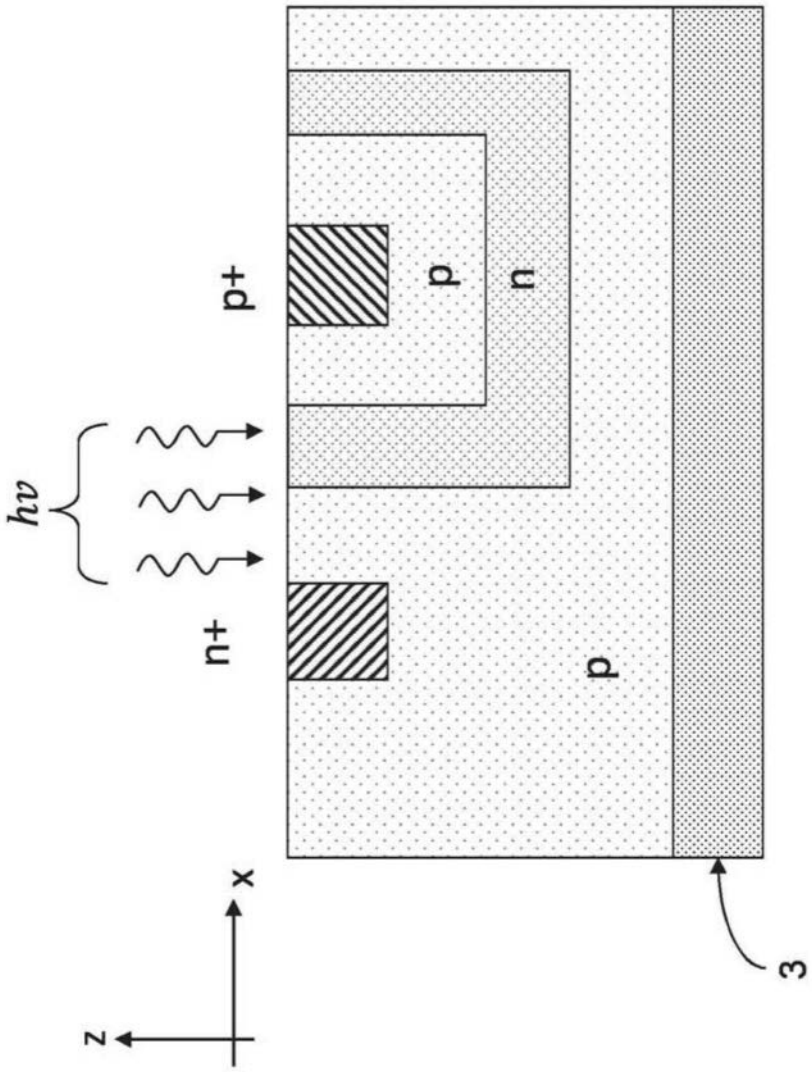


图14

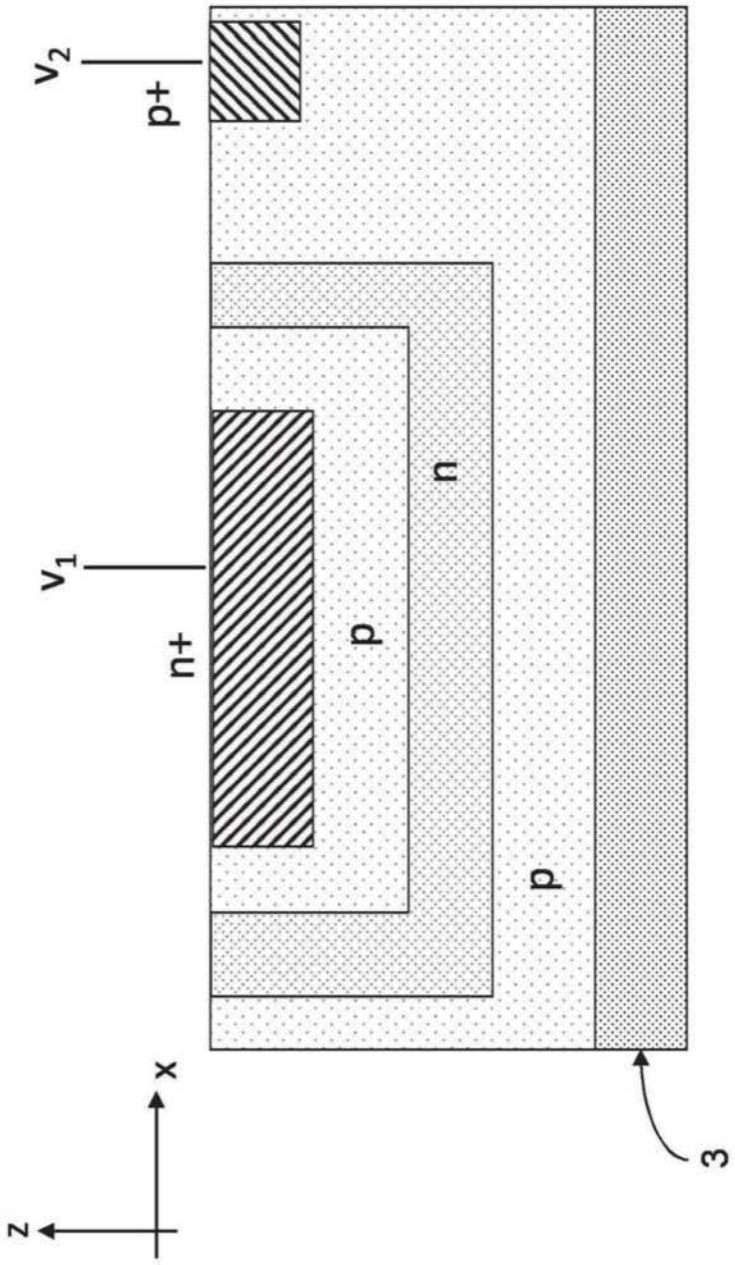


图15

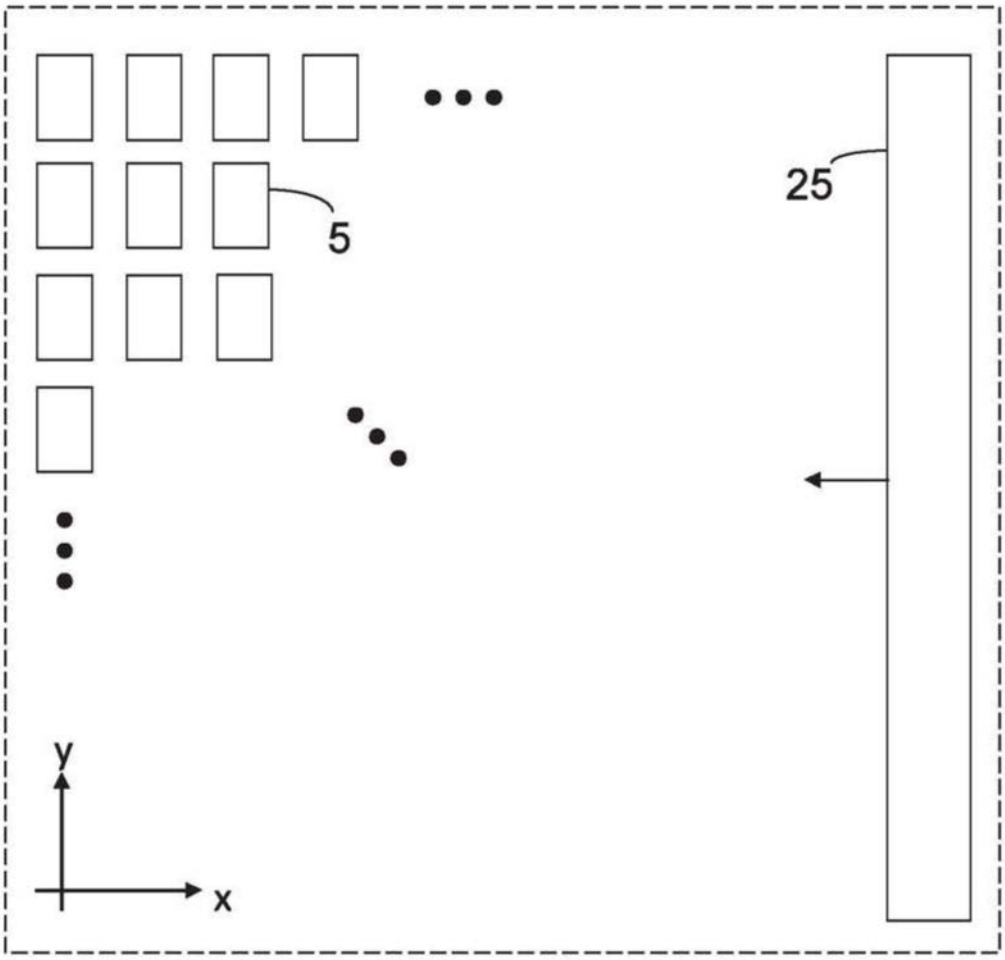


图16

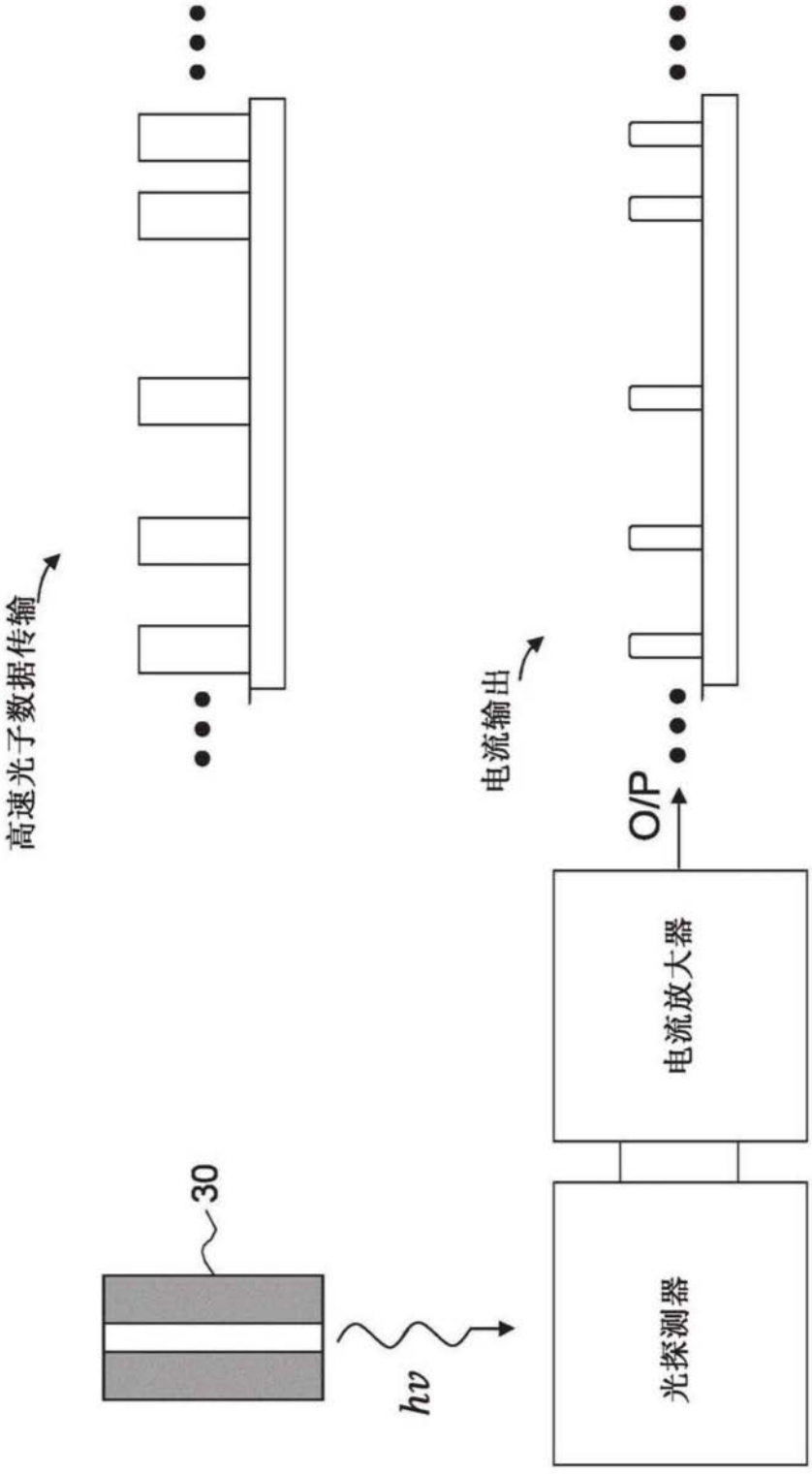


图17