



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114649431 B

(45) 授权公告日 2025.06.20

(21) 申请号 202210256628.2

(74) 专利代理机构 中国贸促会专利商标事务所

(22) 申请日 2017.10.13

有限公司 11038

(65) 同一申请的已公布的文献号

专利代理人 汪晶晶

申请公布号 CN 114649431 A

(51) Int.CI.

(43) 申请公布日 2022.06.21

H10F 77/14 (2025.01)

(30) 优先权数据

H10F 30/225 (2025.01)

2016-202052 2016.10.13 JP

H10F 39/18 (2025.01)

2017-146724 2017.07.28 JP

(56) 对比文件

(62) 分案原申请数据

US 2009121306 A1, 2009.05.14

201710949673.5 2017.10.13

US 2010271108 A1, 2010.10.28

(73) 专利权人 佳能株式会社

审查员 黄毅敏

地址 日本东京

(72) 发明人 森本和浩 篠原真人

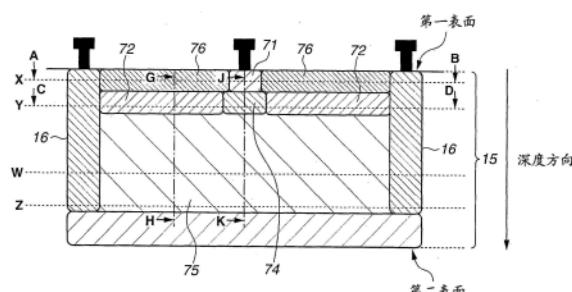
权利要求书2页 说明书18页 附图21页

(54) 发明名称

光检测装置及光检测系统

(57) 摘要

本发明公开一种光检测装置及光检测系统，在该装置中，在平面图中，第一导电类型的第一半导体区域与第三半导体区域的至少一部分重叠，第二半导体区域与第二导电类型的第四半导体区域的至少一部分重叠，第三半导体区域的关于第一导电类型的电荷的电位的高度低于第四半导体区域的电位的高度，并且第一半导体区域的电位的高度与第三半导体区域的电位的高度之间的差大于第二半导体区域的电位的高度与第四半导体区域的电位的高度之间的差。



1.一种装置，包括：

具有第一表面和与第一表面相对的第二表面的半导体衬底；以及

具有多个像素的像素单元，所述多个像素中的每个像素包括雪崩二极管，所述多个像素布置在半导体衬底上，

其中，雪崩二极管包括：

雪崩放大区域，包括第一导电类型的第一半导体区域和第二导电类型的第二半导体区域，第一半导体区域布置在第一深度中，并且第二半导体区域布置在相对于第一表面大于第一深度的第二深度中；

第一导电类型的第三半导体区域，布置在相对于第一表面大于第二深度的第三深度中，所述第三半导体区域被布置成在平面图中与所述第一半导体区域的中心重叠；以及

第二导电类型的第四半导体区域，布置在所述多个像素的第三半导体区域中的每个第三半导体区域之间，

其中，在平面图中，第一半导体区域和第二半导体区域彼此重叠的区域的面积小于第三半导体区域的面积，以及

第四半导体区域电连接到第二半导体区域。

2.根据权利要求1所述的装置，

其中，在第三半导体区域中产生的电荷被收集到雪崩放大区域中。

3.根据权利要求1所述的装置，

其中，在平面图中，第一半导体区域与第二半导体区域完全重叠。

4.根据权利要求1所述的装置，

其中，第一半导体区域的杂质浓度为 $6.0 \times 10^{18} [\text{atms/cm}^3]$ 以上，以及

第二半导体区域的杂质浓度为 $1.0 \times 10^{17} [\text{atms/cm}^3]$ 以下。

5.根据权利要求1所述的装置，

其中，第三半导体区域的杂质浓度低于第一半导体区域的杂质浓度。

6.根据权利要求1所述的装置，

其中，对于第一导电类型的电荷，第三半导体区域的电位高度在相对于第一表面的浅位置处比在相对于第一表面的深位置处低。

7.根据权利要求5所述的装置，

其中，对于第一导电类型的电荷，在第三半导体区域中，在平行于第一表面的方向上，距离第四半导体区域较远的区域的电位高度低于靠近第四半导体区域的区域的电位高度。

8.根据权利要求1所述的装置，

其中，在平面图中，第一半导体区域和第二半导体区域彼此重叠的所述区域的面积小于第二半导体区域的面积。

9.根据权利要求1所述的装置，

其中，第一导电类型为N型，第二导电类型为P型。

10.根据权利要求3所述的装置，还包括第二导电类型的第五半导体区域，所述第五半导体区域布置在相对于第一表面比第三半导体区域更深的第四深度中，

其中，第四半导体区域与第五半导体区域接触。

11.根据权利要求1所述的装置，还包括与所述半导体衬底不同的不同半导体衬底，

其中,被配置为控制供应给第一半导体区域的电位的控制单元布置在所述不同半导体衬底上,

其中,所述半导体衬底和所述不同半导体衬底是堆叠的,并且

其中,第一半导体区域与控制单元经由导线电连接。

12.根据权利要求1所述的装置,还包括微透镜,

其中,微透镜被布置成使得微透镜的光轴与第二半导体区域重叠。

13.一种包括根据权利要求1所述的装置的光检测系统,包括:

波长转换单元,被配置为将第一波长范围的光转换为与第一波长范围不同的第二波长范围的光;第二波长范围的光被从波长转换单元发射出并进入所述装置;以及

信号处理单元,被配置为执行从多个数字信号获得的多个图像的组合处理,所述多个数字信号对应于所述第二波长范围并且被保持在所述装置中。

14.一种包括根据权利要求1所述的装置的光检测系统,包括:

发光单元,被配置为发射要由所述装置检测的光;以及

距离计算单元,被配置为使用与由所述装置检测的光对应并保持在所述装置中的数字信号来计算距离。

15.一种移动体,包括:

根据权利要求1所述的装置;

距离计算单元,被配置为基于来自所述装置的信号获取指示到目标物体的距离的距离信息;以及

控制单元,被配置为基于距离信息来控制移动体。

16.一种光检测系统,包括根据权利要求1所述的装置,所述光检测系统包括:

信号处理单元,被配置为处理来自所述装置的信号。

光检测装置及光检测系统

[0001] 本申请是申请日为2017年10月13日、申请号为201710949673.5、发明名称为“光检测装置及光检测系统”的发明专利申请的分案申请。

技术领域

[0002] 各实施例的方面涉及一种执行光电转换的光检测装置和光检测系统。

背景技术

[0003] 传统上,已知使用雪崩(电子雪崩)加倍能够检测单个光子水平的微弱光的光检测装置。

[0004] 在美国专利No.9,209,336的说明书中,讨论了单光子雪崩二极管(SPAD),其中源自单个光子的光载流子引起构成光电转换器的半导体区域的PN结区域中的雪崩放大。

[0005] 在美国专利No.9,209,336的说明书中讨论的SPAD中,在半导体衬底的表面上布置有高杂质浓度的P型半导体区域,并且在P型半导体区域的下方布置有N型半导体区域。N型半导体区域被布置成被包括在N型外延层中。P型半导体区域和N型半导体区域构成PN结,并且高反向偏置电压被施加到PN结。

[0006] 在美国专利No.9,209,336的说明书中讨论的SPAD中,检测到电荷的区域是PN结区域。在检测到电荷的区域中产生强电场,因此在PN结中存在通过强电场产生隧道效应的可能性。通过在检测到电荷的区域中被检测为伪信号,由隧道效应产生的电荷可能变成噪声。由隧道效应产生的电荷与检测到电荷的区域的面积成比例地增加。

[0007] 另一方面,如果检测到电荷的区域的面积减小,则可以抑制由隧道效应产生的电荷。然而,如果检测到电荷的区域的面积减小,则存在降低光检测效率的可能性。

发明内容

[0008] 根据实施例的一个方面,一种装置包括具有第一表面和与第一表面相对的第二表面的半导体衬底,以及布置在半导体衬底上的具有包括雪崩二极管的多个像素的像素单元,其中,雪崩二极管包括:布置在第一深度中的第一导电类型的第一半导体区域;布置成与第一半导体区域接触的第二半导体区域;相对于第一表面布置在比第一深度深的第二深度中的第三半导体区域;布置成与第三半导体区域接触的第二导电类型的第四半导体区域,该第二导电类型是与第一导电类型相反的导电类型;以及相对于第一表面布置在比第二深度深的第三深度中的第五半导体区域,并且其中,在平面图中,第一半导体区域与第三半导体区域的至少一部分重叠,第二半导体区域与第四半导体区域的至少一部分重叠,并且第三半导体区域和第四半导体区域与第五半导体区域重叠,第三半导体区域的关于第一导电类型的电荷的电位的高度低于第四半导体区域的关于第一导电类型的电荷的电位的高度,并且第一半导体区域的关于第一导电类型的电荷的电位的高度与第三半导体区域的关于第一导电类型的电荷的电位的高度之间的差大于第二半导体区域的关于第一导电类型的电荷的电位的高度与第四半导体区域的关于第一导电类型的电荷的电位的高度之间

的差。

[0009] 根据下面参照附图对示例性实施例的描述,本公开的另外的特征将变得清楚。

附图说明

- [0010] 图1是雪崩二极管的示意性截面图。
- [0011] 图2A和2B是雪崩二极管的示意性平面图。
- [0012] 图3是雪崩二极管的电位图。
- [0013] 图4是光检测装置的框图。
- [0014] 图5是包括等效电路的像素的框图。
- [0015] 图6是雪崩二极管的示意性截面图。
- [0016] 图7A至7C是雪崩二极管的示意性平面图。
- [0017] 图8A至8D示出制造雪崩二极管的方法。
- [0018] 图9A和9B是等效电路图。
- [0019] 图10是雪崩二极管的示意性截面图。
- [0020] 图11是雪崩二极管的示意性截面图。
- [0021] 图12是雪崩二极管的示意性截面图。
- [0022] 图13A和13B是雪崩二极管的示意性平面图。
- [0023] 图14是雪崩二极管的示意性截面图。
- [0024] 图15A和15B是雪崩二极管的示意性平面图。
- [0025] 图16是雪崩二极管的示意性截面图。
- [0026] 图17是光检测系统的框图。
- [0027] 图18是光检测系统的框图。
- [0028] 图19A和19B是光检测系统的框图。
- [0029] 图20是雪崩二极管的示意性截面图。

具体实施方式

[0030] 下面将参照附图详细地描述本公开的各种示例性实施例、特征和方面。

[0031] 将参照图1至图3描述根据示例性实施例的光检测装置。根据本示例性实施例的光检测装置具有包括雪崩二极管的像素。雪崩二极管中产生的一对电荷中的用作信号电荷的电荷的导电类型被称为第一导电类型。第一导电类型的相反导电类型被称为第二导电类型。

[0032] 图1是根据本示例性实施例的雪崩二极管的示意性截面图。本示例性实施例中的雪崩二极管布置在半导体衬底15中。半导体衬底15具有第一表面和与第一表面相对的第二表面。例如,第一表面是半导体衬底15的正面,并且,第二表面是半导体衬底15的背面。在本示例性实施例中,深度方向被定义为从第一表面朝向第二表面的方向。晶体管的栅电极和多层互连结构布置在半导体衬底15的正面上。

[0033] 在图1中,第一导电类型的第一半导体区域71,第二半导体区域76,第三半导体区域74,第二导电类型的第四半导体区域72,以及第五半导体区域75布置在被隔离部分16包围的区域中。

[0034] 第一半导体区域71和第二半导体区域76布置在第一深度X中。第一半导体区域71和第二半导体区域76接触。第二半导体区域76布置在第一半导体区域71和隔离部分16之间。这里,第一半导体区域71和第二半导体区域76布置在第一深度X中的意思是,例如,最高注入杂质浓度(峰值)的区域布置在第一深度X中。然而,该峰值不必一定需要布置在第一深度X中,并且允许设计误差或制造误差。

[0035] 第三半导体区域74和第四半导体区域72相对于第一表面被布置在比第一深度X深的第二深度Y中。第三半导体区域74和第四半导体区域72接触。

[0036] 第一半导体区域71与第三半导体区域74的至少一部分重叠,并且,第二半导体区域76与第四半导体区域72的至少一部分重叠。第四半导体区域72布置在第三半导体区域74和隔离部分16之间。

[0037] 第五半导体区域75相对于第一表面布置在比第二深度Y深的第三深度Z中。第三半导体区域74和第四半导体区域72与第五半导体区域75重叠。

[0038] 图2A和2B是示意性平面图。图2A示出第一深度X中的示意性平面图,图2B示出第二深度Y中的示意性平面图。

[0039] 如图2A所示,第一半导体区域71被包括在第一深度X中的第二半导体区域76中。第二半导体区域76被包括在隔离部分16中。

[0040] 如图2B所示,第三半导体区域74被包括在第二深度Y中的第四半导体区域72中。第四半导体区域72被包括在隔离部分16中。从图1至2B可以看出,第一半导体区域71与第三半导体区域74的至少一部分重叠,并且第三半导体区域74和第四半导体区域72在平面图中与第五半导体区域75重叠。此外,第二半导体区域76与第四半导体区域72的至少一部分重叠。

[0041] 图3示出雪崩二极管的电位图。图3示出图1所示的截面图的线段JK和线段GH的电位分布的示例。虚线20示出线段GH的电位分布,并且,实线21示出线段JK的电位分布。这里,示出从作为信号电荷的电子观看到的电位。如果信号电荷由空穴组成,则电位电平的关系相反。

[0042] 此外,在图3中,深度X,Y,Z和W对应于图1所示的每个深度,并且,深度W是深度Y和深度Z之间的任何深度。

[0043] XH电平的电位电平示出第四半导体区域72的电位电平。H电平的电位电平示出第三半导体区域74的电位电平。M电平的电位电平示出第二半导体区域76的电位电平。L电平的电位电平示出第一半导体区域71的电位电平。这里,假设第二半导体区域76的电位电平低于第三半导体区域74的电位电平,但该关系可以相反。

[0044] 虚线20示出深度Z中的XH电平和H电平之间的电位电平。随着深度从深度Z接近深度W,电位逐渐下降。然后,随着深度从深度W接近深度Y,电位逐渐上升以达到深度Y中的XH电平。随着深度从深度Y接近深度X,电位逐渐下降。在深度X中达到M电平的电位。

[0045] 实线21示出深度Z中的XH电平和H电平之间的电位电平。在深度从深度Z接近深度Y之前,电位逐渐下降。当深度接近深度Y时,电位的电平开始急剧下降以达到深度Y中H电平的电位电平。在深度从深度Y接近深度X之前,电位电平急剧下降。然后,电位电平在深度X中达到L电平。

[0046] 虚线20和实线21的电位在深度Z上具有几乎相同的电平,并且在由线段GH和线段JK所指示的区域中具有朝向半导体衬底15的第一表面侧逐渐下降的电位梯度。因此,在光

检测装置中产生的电荷由于逐渐的电位梯度而移动到第一表面侧。

[0047] 随着深度从深度W接近深度Y, 实线21具有逐渐下降的电位梯度, 并且电荷移动到第一表面侧。另一方面, 虚线20形成充当向第一表面移动的电荷的势垒的电位梯度。势垒(第四半导体区域72)抑制电荷从第五半导体区域75移动到第二半导体区域76。由于从线段GH向线段JK移动的方向上的电位低于势垒, 所以从深度W到深度Y, 存在于线段GH上的电荷可以在向第一表面移动的过程中容易地移动到线段JK附近。

[0048] 已经移动到由线段JK指示的区域附近的电荷被陡峭的电位梯度(即从深度Y到深度X的强电场)加速, 并且加速的电荷到达第一半导体区域71。在从深度Y到深度X的区域中产生雪崩放大。在由线段GH指示的区域中, 相反, 相比于在由线段JK指示的区域(或者特别是线段JK的从深度Y到深度X的区域)中, 电位分布使得不产生雪崩击穿或雪崩击穿不太可能产生。作为实现这种结构的示例, 采用以下这样的结构, 其中, 第一半导体区域71的电位电平与第三半导体区域74的电位电平之间的差大于第二半导体区域76的电位电平和第四半导体区域72的电位电平之间的差。

[0049] 通过采用这样的电位结构, 当与贯穿雪崩二极管发生雪崩击穿的常规结构相比时, 可以降低由上述隧道效应产生的噪声电荷。此外, 根据本示例性实施例中的雪崩二极管, 不会导致灵敏度的劣化。这是因为电位结构使得存在于与第四半导体区域72重叠的第五半导体区域75的区域中的信号电荷可以经由第三半导体区域74容易地移动到第一半导体区域。

[0050] 更具体地说, 这是因为第三半导体区域74的电位电平低于第四半导体区域72的电位电平。也就是说, 第四半导体区域72用作第五半导体区域75中存在的信号电荷的势垒, 结果, 电荷可以容易地经由第三半导体区域74移动到第一半导体区域71。

[0051] 在图3中, 示出了当第三半导体区域74是P型半导体区域时的电位结构, 但是如果第三半导体区域74是N型半导体区域, 则作为电位电平, 在位置Y处虚线20仍然高于实线21。此外, 示出了当第二半导体区域76是N型半导体区域时的电位结构, 但是如果第二半导体区域76是P型半导体区域, 则作为电位电平, 在位置Y处虚线20仍然高于实线21。

[0052] 顺便提及, 平面图中的第一半导体区域71的整个区域与第三半导体区域74重叠。根据这种结构, 第一半导体区域71和第四半导体区域72不形成PN结。因此, 在第一半导体区域71和第四半导体区域72之间的PN结中产生雪崩放大, 从而可以抑制由隧道效应导致的噪声产生。

[0053] 在下文中, 将使用具体示例性实施例来描述本公开的示例性实施例。在每个示例性实施例中, 描述了其中信号电荷由电子构成的结构, 但是即使信号电荷由空穴组成, 每个示例性实施例也是适用的。然而, 在这种情况下, 各半导体区域和电位之间的关系相反。

[0054] 将参照图4至9B描述可应用本公开的光检测装置的第一示例性实施例。另外, 给具有与图1至图3相似的功能的单元附上相似的附图标记, 并省略其详细描述。

[0055] 图4是第一示例性实施例的光检测装置1010的框图。光检测装置1010包括像素单元106, 控制脉冲生成单元109, 水平扫描电路单元104, 列电路105, 信号线107和垂直扫描电路单元103。

[0056] 多个像素100在像素单元106中按矩阵形状布置。一个像素100包括光电转换元件101和像素信号处理单元102。光电转换元件101将光转换为电信号。像素信号处理单元102

将经转换的电信号输出到列电路105。

[0057] 垂直扫描电路单元103接收从控制脉冲生成单元109供应的控制脉冲,以将控制脉冲供应给每个像素100。诸如移位寄存器或地址解码器之类的逻辑电路被用作垂直扫描电路单元103。

[0058] 信号线107将由垂直扫描电路单元103选择的像素100输出的信号作为电位信号供应给像素100的后续电路。

[0059] 每个像素100的信号经由信号线107输入到列电路105,以执行预定的处理。该预定处理包括对输入信号的噪声去除和放大,以及到用于在传感器外部输出的形式的转换。例如,列电路包括并行-串行转换电路。

[0060] 水平扫描电路单元104向列电路105供应控制脉冲,以将经过列电路105处理之后的信号顺序输出到输出电路108。

[0061] 输出电路108包括缓冲放大器,差分放大器等,并将从列电路105输出的信号输出到光检测装置1010外的记录单元或信号处理单元。

[0062] 在图4中,可以将像素100—维地布置在像素单元106中,或者像素单元106可以仅包括单个像素。此外,多个像素列可以被划分为块,以在每个块中布置垂直扫描电路单元103、水平扫描电路单元104、列电路105和像素单元106。此外,垂直扫描电路单元103、水平扫描电路单元104、列电路105和像素单元106可以布置在每个像素列中。

[0063] 像素信号处理单元102的功能不必一定需要提供给所有像素100中的每一个,并且,例如,一个像素信号处理单元102可被多个像素100共享以顺序执行信号处理。为了增加光电转换元件101的开口率,像素信号处理单元102可以设置在与光电转换元件101不同的半导体衬底上。在这种情况下,光电转换元件101和像素信号处理单元102通过为每个像素提供的连接线而电连接。垂直扫描电路单元103、水平扫描电路单元104、信号线107和列电路105也可以如上所述设置在不同的半导体衬底上。

[0064] 图5示出包括根据本示例性实施例的等效电路的像素100的框图的示例。在图5中,一个像素100包括光电转换元件101和像素信号处理单元102。

[0065] 光电转换元件101包括光电转换单元201和控制单元202。

[0066] 光电转换单元201通过光电转换根据入射光产生一对电荷。对于光电转换单元201,使用雪崩二极管。

[0067] 基于比供应给阳极的电位VL高的电位VH的电位被供应给光电转换单元201的阴极。然后,将电位供应给光电转换单元201的阳极和阴极,使得施加反向偏压以允许光电转换单元201充当雪崩二极管。通过在供应反向偏压的这种电位的同时进行光电转换,由入射光产生的电荷引起雪崩放大,产生雪崩电流。

[0068] 如果当供应反向偏压的电位时,阳极和阴极之间的电位差大于击穿电压,则雪崩二极管执行盖革(Geiger)模式操作。使用盖革模式操作在高速下以单光子水平检测微弱信号的光电二极管是单光子雪崩二极管(SPAD)。

[0069] 如果光电转换单元201的阳极和阴极之间的电位差是在光电转换单元201中产生的电荷导致雪崩放大的电位差以上,并且等于或小于击穿电压,则雪崩二极管进入线性模式。在线性模式下执行光检测的雪崩二极管称为雪崩光电二极管(APD)。在本示例性实施例中,光电转换单元201可以以任何一种模式操作为雪崩二极管。导致雪崩放大的电位差将在

下面描述。

[0070] 控制单元202连接到光电转换单元201和供应高电位VH的电源电压。控制单元202具有用电压信号代替由光电转换单元201产生的雪崩电流的任何变化的功能。此外,控制单元202在通过雪崩放大进行的信号放大期间用作负载电路(骤冷电路),以通过抑制供应给光电转换单元201的电压(骤冷操作)来抑制雪崩放大。作为控制单元202,例如,使用通过检测雪崩电流的增加和进行反馈控制来主动抑制雪崩放大的电阻元件或有源骤冷电路。

[0071] 像素信号处理单元102包括波形整形单元203、计数器电路209和选择电路206。波形整形单元203对当检测到光子电平信号时获得的电压变化整形以输出脉冲信号。例如,使用逆变器电路作为波形整形单元203。示出使用一个逆变器的示例作为波形整形单元203,但是,也可以使用串联连接多个反相器的电路或具有波形整形效果的其他电路。

[0072] 从波形整形单元203输出的脉冲信号由计数器电路209计数。在N位计数器(N:正整数)的情况下,计数器电路209可以计数最大大约到单个光子的脉冲信号的2的N次幂。计数信号被保持为检测信号。当通过驱动线路207供应控制脉冲pRES时,重置保持在计数器电路209中的检测信号。

[0073] 控制脉冲pSEL经由驱动线208从图4中的垂直扫描电路单元103供应给选择电路206,以切换计数器电路209和信号线107之间的电连接和非连接。例如,作为选择电路206,使用将信号从像素输出的晶体管或缓冲电路。

[0074] 顺便提及,可以通过在控制单元202和光电转换单元201之间或在光电转换元件101和像素信号处理单元102之间布置诸如晶体管之类的开关来切换电连接。类似地,供应给控制单元202的高电位VH或供应给光电转换元件101的低电位VL的供应可以通过使用诸如晶体管之类的开关进行电切换。

[0075] 在多个像素100布置成矩阵形状的像素单元106中,可以通过滚动快门操作获取捕获图像,其中计数器电路209的计数对于每一行被顺序重置,并且保持在计数器电路209中的检测到的信号对于每一行被顺序输出。

[0076] 可替换地,捕获图像可以通过全局电子快门操作来获取,其中所有像素行的计数器电路209的计数被同时重置,并且针对每一行顺序输出保持在计数器电路209中的检测信号。当执行全局电子快门操作时,最好提供一个单元来在由计数器电路209进行计数的情况和不进行计数的情况之间切换。例如,要切换的单元是上述的开关。

[0077] 在本示例性实施例中,示出了通过使用计数器电路209获取捕获图像的结构。然而,代替计数器电路209,可以通过使用时间数字转换器(TDC)和存储器来配置获取脉冲检测定时的光检测装置1010。

[0078] 在这种情况下,从波形整形单元203输出的脉冲信号的产生定时被TDC转换成数字信号。控制脉冲pREF(参考信号)经由驱动线从图4中的垂直扫描电路单元103供应给TDC,以测量脉冲信号的定时。当经由波形整形单元203从每个像素输出的信号相对于控制脉冲pREF的输入定时被设置为相对时间时,TDC获取信号作为数字信号。

[0079] 例如,其中缓冲电路串联连接以产生延迟的延迟线系统或其中延迟线如环那样连接的环形TDC系统被用作TDC的电路。尽管可以使用其他系统,但是使用能够实现等于或高于光电转换单元201的时间分辨率的时间分辨率的电路系统。

[0080] 表示由TDC获得的脉冲检测定时的数字信号被存储在一个或多个存储器中。当布

置多个存储器时,可以通过当存储在存储器中的数字信号被输出到信号线107时向选择电路206供应多个信号来为每个存储器控制对信号线107的输出。

[0081] 将参照图6至图7C描述根据本示例性实施例的雪崩二极管的示意性截面图和示意性平面图。在图6中,在布置图1中的第一半导体区域71的区域中布置有N型半导体区域1,并且,在布置图1中的第二半导体区域76的区域内布置有N型半导体区域6。在图6中,在布置图1中的第三半导体区域74的区域中布置有N型半导体区域4,并且,在布置图1中的第四半导体区域72的区域内布置有P型半导体区域2。在图6中,在布置图1中的第五半导体区域75的区域中布置有N型半导体区域5。

[0082] 首先,将参照图6描述隔离部分16的截面结构和由隔离部分16包围的光电转换区域。

[0083] 分离多个像素100中的每一个的隔离部分16布置在其上布置有多个像素100的半导体衬底15上。

[0084] 隔离部分16由在深度方向上从第一表面布置的P型半导体区域形成。更具体地,P型半导体区域3和P型半导体区域7沿着深度方向从第一表面依次布置并且与隔离部分16接触。P型半导体区域3电连接到P型半导体区域7、下面描述的P型半导体区域8和下面描述的P型半导体区域2。

[0085] P型半导体区域3的杂质浓度高于P型半导体区域7、P型半导体区域8、和P型半导体区域2的杂质浓度。因此,例如,连接P型半导体区域3和接触插塞17可以使接触电阻低于连接P型半导体区域7和接触插塞17的接触电阻。

[0086] N型半导体区域1是杂质浓度高于下述的N型半导体区域6、N型半导体区域4和N型半导体区域5中的每一个的杂质浓度的区域。通过采用这样的杂质浓度,可以使在N型半导体区域1中产生的耗尽层的电场变强。顺便提及,作为相对于隔离部分16的反向偏压的电位被供应给N型半导体区域1。

[0087] N型半导体区域4的杂质浓度被设置为低于N型半导体区域1的杂质浓度。因此,使N型半导体区域4附近的电荷更容易移动到N型半导体区域1。

[0088] N型半导体区域6的杂质浓度被设置为低于N型半导体区域1的杂质浓度。例如,当N型半导体区域1的杂质浓度为 $6.0 \times 10^{18} [\text{atms}/\text{cm}^3]$ 以上时,N型半导体区域6的杂质浓度被设置为 $1.0 \times 10^{16} [\text{atms}/\text{cm}^3]$ 以上且 $1.0 \times 10^{18} [\text{atms}/\text{cm}^3]$ 以下。

[0089] 在图6中,示出了其中在图1中的第二半导体区域76中布置不具有杂质浓度梯度的N型半导体区域6的结构,但是,图1中的布置有第二半导体区域76的区域中布置的半导体区域是具有杂质浓度梯度的区域。通过采用其中N型半导体区域1和P型半导体区域3之间的区域具有杂质浓度梯度的结构,当与N型半导体区域6没有杂质浓度梯度的情况相比时,可以减弱在N型半导体区域1和P型半导体区域3之间可能产生的强电场。

[0090] 将描述具有杂质浓度梯度的区域的两个示例。第一示例是在N型半导体区域1附近的区域中布置有杂质浓度低于N型半导体区域1的杂质浓度的N型半导体区域,并且,在隔离部分16附近的区域中布置有杂质浓度低于上述N型半导体区域的杂质浓度的N型半导体区域的情况。第二示例是在N型半导体区域1附近的区域中布置有杂质浓度低于N型半导体区域1的杂质浓度的N型半导体区域,并且,在隔离部分16附近的区域中布置有杂质浓度低于P型半导体区域3的杂质浓度的P型半导体区域的情况。更具体地,如图20所示,在P型半导体

区域3和N型半导体区域6之间设置有杂质浓度低于P型半导体区域3的杂质浓度的P型半导体区域2000。

[0091] 接着,将P型半导体区域2的杂质浓度设置为P型半导体区域7的杂质浓度以下。P型半导体区域2和N型半导体区域4形成PN结。由于PN结,N型半导体区域4的整个区域成为耗尽层区域。此外,耗尽层区域扩展达到N型半导体区域1的一部分。在扩展的耗尽层区域中感应强电场。由于强电场,在扩展达到N型半导体区域1的所述部分的耗尽层区域中产生雪崩放大,并且从导线9输出基于放大电荷的电流。也就是说,在本示例性实施例中,光检测区域成为N型半导体区域1的所述部分中的耗尽层区域。

[0092] 在本示例性实施例中,N型半导体区域4由N型区域代替P型区域形成,因为由此可以通过将耗尽层更深地加宽到N型半导体区域5的深部来从较深的部分获取电荷。

[0093] 此外,如果N型半导体区域6应该是P型半导体区域,则可以在P型半导体区域和N型半导体区域1之间形成耗尽层区域,使得在P型半导体区域和N型半导体区域1之间可能出现雪崩放大。在本示例性实施例中,N型半导体区域1由N型形成,因为如果耗尽层区域被加宽以与半导体衬底15的第一表面接触,则噪声增加。

[0094] 此外,N型半导体区域1、N型半导体区域4和P型半导体区域2的杂质浓度被设定为使得:当供应导致在N型半导体区域1的一部分中产生的耗尽层区域中的雪崩放大的电位差时N型半导体区域1不会完全耗尽。这是因为如果耗尽层区域被加宽以与半导体衬底15的第一表面接触,则可能在半导体衬底15的第一表面上产生噪声。另一方面,杂质浓度被设置为使得N型半导体区域4完全耗尽。

[0095] 在式1中示出了N型半导体区域4完全耗尽的条件。在这种情况下,N型半导体区域4的杂质浓度是杂质浓度Nd,P型半导体区域2的杂质浓度是杂质浓度Na,基本电荷是基本电荷q。此外,半导体的介电常数为介电常数 ϵ ,N型半导体区域4与P型半导体区域2之间的PN结的电位差为电位差V,由P型半导体区域2包围的N型半导体区域4的长度是长度D。

[0096] [数学式1]

$$[0097] 2 \times \sqrt{\frac{2\epsilon NaV}{qNd(Nd+Na)}} > D \quad \dots (\text{式 1})$$

[0098] 假设不完全耗尽N型半导体区域1的杂质浓度例如为 $6.0 \times 10^{18} [\text{atms/cm}^3]$ 以上。在这种情况下,对于P型半导体区域2的杂质浓度,满足这种耗尽条件的杂质浓度为 $1.0 \times 10^{16} [\text{atms/cm}^3]$ 以上,对于N型半导体区域4的杂质浓度,满足这种耗尽条件的杂质浓度为 $1.0 \times 10^{17} [\text{atms/cm}^3]$ 以下。然而,杂质浓度不限于上述杂质浓度。

[0099] 然后,N型半导体区域1和隔离部分16之间的电位差被设置为使得在扩展的耗尽层中感应的深度方向上的电场足够大。这里,使电场充分大的电位差是受电场影响的电荷导致雪崩放大的电位差。也就是说,电位差是N型半导体区域1和P型半导体区域3之间的电位差,在该电位差处光电转换单元201作为雪崩二极管(APD或SPAD)进行操作。

[0100] 更具体地说,N型半导体区域1和P型半导体区域2之间的电位差为6V以上。在这种情况下,如上所述,与N型半导体区域1电连接的N型半导体区域4完全成为耗尽层区域,并且在扩展达到N型半导体区域1的一部分的耗尽层区域中产生可引起雪崩放大的强电场。

[0101] 在一个实施例中,如果考虑满足上述耗尽条件的杂质浓度,则N型半导体区域1与P型半导体区域3之间的电位差为10V以上且30V以下。此时,例如,向N型半导体区域1供应10V以上的电位,向P型半导体区域3供应0V以下的电位。但是,如果电位差为6V以上时,电位值不限于上述值。

[0102] 此外,形成在P型半导体区域2和N型半导体区域6之间的耗尽层可以扩展达到N型半导体区域1以引起雪崩放大。在这种情况下,如果N型半导体区域1完全耗尽,则可能产生噪声。因此,N型半导体区域1的杂质浓度被设置为使得N型半导体区域1未完全耗尽。

[0103] 顺便提及,根据本示例性实施例,在N型半导体区域5中产生电荷并在N型半导体区域1中收集和读取该电荷。也就是说,在第一导电类型的半导体区域中产生的电荷被从第一导电类型的半导体区域读取。

[0104] 相反,在美国专利No.9,209,336的说明书中讨论的设备在N型外延层2和p型阳极区域14之间的界面处雪崩放大后从p型阳极区域14读取在N型外延层2中产生的电荷。也就是说,从第二导电类型的半导体区域读取在第一导电类型的半导体区域中产生的电荷。此外,在这方面,本示例性实施例与美国专利No.9,209,336的说明书中讨论的设备不同。

[0105] 在图6中,假设杂质浓度低于N型半导体区域1的杂质浓度的N型半导体区域5被布置在具有高杂质浓度的N型半导体区域1的正下方而没有设置P型半导体区域2和N型半导体区域4。在这种情况下,可以在N型半导体区域5中产生电荷并从N型半导体区域1读取电荷,但是在与本示例性实施例的电压条件等同的电压条件下难以实现雪崩放大。这是因为施加在N型半导体区域1和P型半导体区域3之间的大部分电位差被施加到N型半导体区域5的耗尽层区域,因此施加到N型半导体区域1附近的雪崩放大区域的电位差变得较小。另一方面,在本示例性实施例中,N型半导体区域5除了与N型半导体区域4接触的位置以外在各方向被P型半导体区域围绕,因此N型半导体区域5的电位比N型半导体区域1的电位更靠近周围的P型半导体区域的电平。也就是说,通过抑制耗尽层过度膨胀到P型半导体区域2中的衬底的较深部分,上述施加的电位差的大部分可以集中在N型半导体区域1附近的雪崩放大区域上。结果,可以在较低的电压下对光载流子进行雪崩放大。

[0106] 接下来,N型半导体区域5的杂质浓度等于或小于N型半导体区域4的杂质浓度。例如,N型半导体区域5的杂质浓度为 1.0×10^{17} [atms/cm³]以下。由于“等于或小于”,N型半导体区域5和N型半导体区域4的杂质浓度可以相等。此外,至少,N型半导体区域5的杂质浓度应小于N型半导体区域1的杂质浓度。

[0107] 在图6中,示出了相同杂质浓度的区域作为N型半导体区域5的示例。然而,N型半导体区域5具有杂质浓度梯度更好,使得实现使电荷可以移动到半导体衬底15的第一表面侧的电位结构。通过采用这样的杂质浓度梯度,可以容易地将电荷移动到N型半导体区域1。

[0108] 如果杂质浓度梯度使得实现使电荷可以移动到半导体衬底15的第一表面侧的电位结构,则在布置有N型半导体区域5的区域中,第一表面侧可以是N型半导体区域,并且第二表面侧可以是P型半导体区域。

[0109] 可替换地,可以布置杂质浓度低于P型半导体区域2的杂质浓度的P型半导体区域来代替N型半导体区域5。此外,在这种情况下,具有杂质浓度梯度更好,使得实现使电荷可以移动到半导体衬底15的第一表面侧的电位结构。

[0110] 例如,P型半导体区域具有第一区域,相对于第一表面布置在比第一区域更深的位

置处的第二区域,以及相对于第一表面布置在比第二区域更深的位置处的第三区域。然后,如果第一区域具有第一杂质浓度,则第二区域具有第二杂质浓度,并且第三区域具有第三杂质浓度,则可以设置第一杂质浓度<第二杂质浓度<第三杂质浓度。顺便提及,第一杂质浓度低于P型半导体区域2的杂质浓度。这里,代替N型半导体区域5布置的P型半导体区域被划分为三个区域,但是本示例性实施例不限于这样的示例。

[0111] P型半导体区域8布置在比N型半导体区域5更深的位置,并且限定光电转换区域的深度。N型半导体区域5与P型半导体区域2、P型半导体区域7和P型半导体区域8中的每一个形成PN结。P型半导体区域8的杂质浓度被设置为高于P型半导体区域2的杂质浓度。因此,在P型半导体区域8附近产生的电荷可以容易地在第一表面上的方向上移动。

[0112] 接触插塞18连接到N型半导体区域1,并且导线9连接到接触插塞18。此外,接触插塞17连接到P型半导体区域3,并且导线10连接到接触插塞17。然后,将导线9或导线10连接到诸如电阻元件之类的控制单元202,以执行骤冷操作。在下文中,假设控制单元202连接到导线9。

[0113] 在图6中,假设接触插塞17和导线10布置在第一表面侧。然而,接触插塞17和导线10也可以布置在第二表面侧。

[0114] 在一个实施例中,当接触插塞17和导线10布置在第二表面侧时,P型半导体区域8的布置有接触插塞17的区域的杂质浓度高于P型半导体区域7的杂质浓度。也就是说,该区域成为P型半导体区域3。在这种情况下,接触插塞17不连接到布置在第一表面侧的P型半导体区域3,因此,将杂质浓度设置为P型半导体区域7的相当电平更好。因此,可以减弱P型半导体区域3与N型半导体区域1之间产生的电场。

[0115] 当隔离部分16在第一表面侧具有电介质隔离部分时,接触插塞17和导线10也布置在第二表面侧。在这种情况下,隔离部分16布置成使得电介质隔离部分、P型半导体区域7和P型半导体区域3沿着深度方向从第一表面开始依次放置在彼此的顶部。

[0116] 接下来,将参照图7A至7C描述图6中的截面结构的任何深度中的隔离部分16和由隔离部分16包围的光电转换区域的平面结构。在图7A至7C中,每个半导体区域的边界被描绘成圆形,但是边界不限于这样的示例。

[0117] 图7A示出了图6的深度X中的线段AB的示意性平面图。N型半导体区域1被包括在N型半导体区域6中。N型半导体区域6被包括在P型半导体区域3中。另外,N型半导体区域6的面积大于N型半导体区域1的面积。

[0118] 图7B示出了图6的深度Y中的线段CD的示意性平面图。N型半导体区域4被包括在P型半导体区域2中。P型半导体区域2被包括在P型半导体区域3中。

[0119] 图7C示出了图6的深度Z中的线段EF的示意性平面图。N型半导体区域5被包括在P型半导体区域7中。

[0120] 顺便提及,当图7B放置在图7C的顶部时,在平面图中N型半导体区域4和P型半导体区域2与N型半导体区域5重叠。

[0121] 此外,当图7A放置在图7B的顶部时,在平面图中,N型半导体区域1与N型半导体区域4的至少一部分重叠,并且N型半导体区域6与P型半导体区域2的至少一部分重叠。

[0122] 接下来,将参照图8A至8D描述在图6所示的示意性截面图中制造雪崩二极管的方法。没有具体提到顺序的工艺可以适当地互换。另外,关于在图8A至8D中省略其描述的工

艺,可以应用公知的制造方法。

[0123] 如图8A所示,从与半导体衬底15的第一表面垂直的方向在要作为N型半导体区域5的区域中进行P型杂质离子注入(以下简称为离子注入)。因此,P型半导体区域8被形成在距半导体衬底15的第一表面的深的位置处。

[0124] 接下来,如图8B所示,在半导体衬底15的第一表面上形成掩模77。掩模77具有开口30。然后,通过从与半导体衬底15的第一表面垂直的方向进行P型离子注入,P型半导体区域3和P型半导体区域7被形成为从第一表面依次布置。此时,P型半导体区域7和P型半导体区域8的一部分连接。此外,P型半导体区域3的杂质浓度被设置为高于P型半导体区域7的杂质浓度。更具体地,例如,可以使用用不同量的离子注入能量进行多次离子注入的方法。

[0125] 接下来,去除掩模77并布置掩模78。掩模78具有开口32。然后,如图8C所示,通过从与半导体衬底15的第一表面垂直的方向平行的方向进行P型离子注入,形成要作为P型半导体区域2的区域。然后,通过在比已经进行P型离子注入以形成要作为P型半导体区域2的区域的位置距离第一表面浅的位置处进行N型离子注入,来形成要作为N型半导体区域6的区域。这里,在形成要作为P型半导体区域2的区域之后形成要作为N型半导体区域6的区域,但是顺序可以相反。

[0126] 接下来,去除掩模78并布置掩模73。掩模73具有开口33。如图8D所示,通过在从与半导体衬底15的第一表面垂直的方向平行的方向布置要作为P型半导体区域2的区域的深度中进行N型离子注入,在要作为P型半导体区域2的区域的一部分中形成N型半导体区域4。

[0127] 然后,通过从与半导体衬底15的第一表面垂直的方向平行的方向在半导体衬底15的第一表面侧进行N型离子注入,形成N型半导体区域1。这里,首先形成N型半导体区域4,但也可以首先形成N型半导体区域1。

[0128] 因此,当使用相同导电类型的杂质离子进行离子注入时,在与作为入射平面的第一表面平行的方向上杂质离子的扩散,在相对于第一表面的深位置处进行离子注入时比在相对于第一表面的浅位置处进行离子注入时大。也就是说,当使用相同的掩模进行离子注入时,在平面图中N型半导体区域1被包括在N型半导体区域4中。

[0129] 可以使用具有不同热扩散系数的杂质离子作为被注入以形成N型半导体区域1和N型半导体区域4的杂质离子。根据这样的结构,提高了布置N型半导体区域1和N型半导体区域4的区域的电位设计的自由度。

[0130] 在图8D中,如果在形成N型半导体区域1和N型半导体区域4时使用不同的掩模进行离子注入,则可能产生位置偏移,从而可能由于产生不对称电场分布而产生隧道效应。另一方面,按照根据本示例性实施例的制造方法,使用同一掩模形成N型半导体区域1和N型半导体区域4,由此可以抑制两个半导体区域中的位置偏移,从而可以抑制由位置偏移可能会引起的隧道效应。

[0131] 接下来,将参照图9A和9B描述根据本示例性实施例的控制单元202。在本示例性实施例中,控制单元202具有两种结构。如图9A所示,第一结构是其中控制单元202布置在被供应光电转换单元201的高电位VH的阴极这一侧的结构。如图9B所示,第二结构是其中控制单元202布置在被供应光电转换单元201的低电位VL的阳极这一侧的结构。

[0132] 在图9A和图9B的结构中,在波形整形单元203的输入电位由于雪崩电流而改变之后,需要固定的时间来通过控制单元202的电压降返回到光电转换单元201的初始状态的偏

压。在检测到电荷一次后接着返回到能够检测电荷的偏压状态所需的期间称为死区时间。每单位时间可以计数的电荷数量增加，并且作为光检测装置的动态范围随着死区时间的减少而增加。

[0133] 作为示例，当控制单元202是电阻元件时，根据本示例性实施例的雪崩二极管的死区时间(τ_d [s])由输入端的电阻($R[\Omega]$)和电容($C[F]$)之积确定。在下式中，光电转换单元201的PN结电容表示为 C_{pd} ，光电转换单元201的阱的电容表示为 C_w ，并且，布线/扩散层的寄生电容表示为 C 。

[0134] 在图9A的情况下，死区时间由式2确定：

[0135] [数学式2]

[0136] $\tau_d = R(C_{pd} + C) \cdots (\text{式2})$

[0137] 在图9B的情况下，死区时间由式3确定：

[0138] [数学式3]

[0139] $\tau_d = R(C_{pd} + C_w + C) \cdots (\text{式3})$

[0140] 光电转换单元201的PN结电容 C_{pd} 是感应强电场以引起雪崩放大的光检测区域的PN结电容。因此，PN结电容 C_{pd} 与光检测区域的面积成比例地变化。也就是说，如果提高光检测区域的面积以提高光检测效率，则PN结电容 C_{pd} 增加，使得死区时间增加。结果，动态范围减小。

[0141] 换句话说，光检测效率和动态范围是权衡关系。另一方面，根据本示例性实施例中的像素结构，可以减小光检测区域的面积，同时确保光电转换区域的大面积。因此，可以减少 C_{pd} 并且可以减少死区时间。因此，可以同时实现高光检测效率和宽动态范围。

[0142] 由于根据本示例性实施例的像素结构引起的动态范围的改善效果在图9A的结构中比图9B更明显地示出。例如，如果根据本示例性实施例的SPAD结构的 C_{pd} 与常规SPAD结构的 C_{pd} 之比率是 $A(0 < A < 1)$ ，则图9A和图9B的电路系统中的动态范围的改善率 Δ 分别由式4和式5表示：

[0143] [数学式4]

[0144] $\Delta 1 = (1 - A) C_{pd} / (A C_{pd} + C) \cdots (\text{式4})$

[0145] [数学式5]

[0146] $\Delta 2 = (1 - A) C_{pd} / (A C_{pd} + C_w + C) \cdots (\text{式5})$

[0147] 在式4和式5中，使用动态范围与死区时间成反比的事实进行计算。从上式明显可知，满足 $\Delta 1 > \Delta 2$ 。

[0148] 从上述可以看出，当将图9A和图9B的结构应用于根据本示例性实施例的结构时动态范围的改善率在图9A中原则上比图9B更高。

[0149] 到此为止在假设控制单元202是电阻元件的情况下提供了描述，但是当控制单元202是有源骤冷电路时，也是如此。

[0150] 从上述可以看出，当根据本示例性实施例的用于像素的控制单元202被布置在光电转换单元201的阴极侧而不是阳极侧时，可以使动态范围的改善效果更大。

[0151] 根据本示例性实施例的结构，可以通过形成电荷移动的路径来抑制光检测效率的劣化。也就是说，可以降低噪声，同时抑制光检测效率的劣化。

[0152] 图10是根据第二示例性实施例的雪崩二极管的示意性截面图。图4、图5、图8A至8D

以及图9A和9B与第一示例性实施例中相同。此外,给具有与图1至图9B相似的功能的单元附上相似的附图标记,并且省略其详细描述。图10的不同之处在于,在图6中布置有N型半导体区域4的区域中布置P型半导体区域24。

[0153] 在图10中,N型半导体区域1和P型半导体区域24形成PN结。此外,P型半导体区域3经由P型半导体区域2与P型半导体区域24电连接。因此,P型半导体区域24的电位是N型半导体区域1的反向偏压电位。然后,在N型半导体区域1和P型半导体区域24的PN结区域中感应强电场。在PN结区域通过强电场引起雪崩放大,并且从导线9或导线10输出基于放大电荷的电流。也就是说,在本示例性实施例中,光检测区域是N型半导体区域1和P型半导体区域24的PN结区域。如果以这种方式配置,可以使得导致雪崩放大所需的电位差比第一示例性实施例中的要小。也就是说,可以使本示例性实施例中的N型半导体区域1和P型半导体区域3之间的电位差小于第一示例性实施例中的N型半导体区域1和P型半导体区域3之间的电位差。

[0154] 在图10中,P型半导体区域24的杂质浓度低于P型半导体区域2的杂质浓度和P型半导体区域7的杂质浓度。因此,如图3所示的上述电位关系也适用于本示例性实施例。

[0155] N型半导体区域1的杂质浓度被设置为使得当供应在PN结中产生雪崩放大的电位时,如上所述,N型半导体区域1不会完全耗尽。

[0156] 在本示例性实施例中,使N型半导体区域1不完全耗尽的杂质浓度是,例如,N型半导体区域1中的 $6.0 \times 10^{18} [\text{atms/cm}^3]$ 以上的杂质浓度。然后,P型半导体区域24的杂质浓度为 $1.0 \times 10^{17} [\text{atms/cm}^3]$ 以下。这是因为,如果耗尽层区域变宽以与半导体衬底15的第一表面接触,则在半导体衬底15的第一表面上可能产生噪声。然而,杂质浓度不限于上述示例。

[0157] 更具体地,当光电转换单元201作为雪崩二极管(APD或SPAD)进行操作时N型半导体区域1和P型半导体区域24之间的电位差为6V以上。

[0158] 在一个实施例中,如果考虑满足上述杂质浓度关系,则N型半导体区域1与P型半导体区域24之间的电位差为10V以上。在这种情况下,例如,向N型半导体区域1供应10V以上的电位,并且,经由P型半导体区域2向P型半导体区域24供应0V以下的电位。然而,如果电位差为6V以上,则电位不限于上述值。

[0159] 当在本示例性实施例中应用图8A至8D所示的制造方法时,通过进行N型离子注入形成P型半导体区域24,使得在图8D中要作为P型半导体区域2的区域的一部分中的杂质浓度局部减小。

[0160] 此外,在本示例性实施例中,实现了与第一示例性实施例中类似的效果。

[0161] 图11是根据第三示例性实施例的雪崩二极管的示意性截面图。给具有与图1至图10相似的功能的单元附上相似的附图标记,并省略其详细描述。

[0162] 图11与图6中布置有N型半导体区域5的区域中的电位不同之处在于,沿着平行于第一表面的方向更远离隔离部分16的区域的电位的高度低于更靠近隔离部分16的区域的电位的高度。

[0163] 在图11中,N型半导体区域28布置在沿着平行于第一表面的方向更靠近隔离部分16的区域中,并且N型半导体区域27布置在更远离隔离部分16的区域中。

[0164] 在本示例性实施例中,通过产生其中N型半导体区域27中的电位高度低于N型半导体区域28中的电位高度的杂质浓度关系,使电荷更加可从N型半导体区域28移动到N型半导

体区域27。

[0165] 换句话说,在沿着平行于第一表面的方向更远离隔离部分16的区域(N型半导体区域27)中的电位高度低于更靠近隔离部分16的区域(N型半导体区域28)中的电位高度。

[0166] 因此,N型半导体区域28的杂质浓度比N型半导体区域27的杂质浓度低。然后,使N型半导体区域27的杂质浓度比N型半导体区域4的杂质浓度低,以给光检测区域形成电位梯度。

[0167] 如果代替N型半导体区域27布置了P型半导体区域,则代替N型半导体区域28来布置杂质浓度高于该代替布置的P型半导体区域的杂质浓度的P型半导体区域。

[0168] 根据这样的结构,如果将从布置隔离部分16的位置朝向布置N型半导体区域27的位置的方向定义为面内方向,则通过采用使电荷可以在面内方向上移动的杂质分布来感应面内方向上的电场。半导体衬底15内部深度产生的电荷通过该电场在面内方向上移动。

[0169] 根据这样的结构,例如,可以减少半导体衬底15内部深度产生的电荷移动到光检测区域所需的时间。

[0170] 此外,如上所述,采用使电荷可以容易地从半导体衬底15的第一表面的深位置移动到浅位置的电位。通过采用这样的电位关系,电荷移动到光检测区域所需的时间可以进一步降低。

[0171] 本示例性实施例可以应用于所有示例性实施例。

[0172] 图12是根据第四示例性实施例的雪崩二极管的示意性截面图。给具有与图1至图11相似的功能的单元附上相似的附图标记,并省略其详细描述。

[0173] 图12与图6中的P型半导体区域2不同之处在于,配置具有不同深度的P型半导体区域2B和P型半导体区域2A。

[0174] 在图12中,P型半导体区域2包括P型半导体区域2B和P型半导体区域2A。P型半导体区域2A布置在第一深度X中的N型半导体区域6与构成隔离部分16的P型半导体区域3之间。P型半导体区域2B布置在第二深度Y中的N型半导体区域5和N型半导体区域4之间。P型半导体区域2A的一部分与N型半导体区域5接触,并且,P型半导体区域2A的其他区域与P型半导体区域2B接触。

[0175] 接下来,将参照图13A和13B描述图12中的截面结构的任何深度中的隔离部分16和由隔离部分16包围的光电转换区域的平面结构。在图13A和13B中,每个半导体区域的边界被描绘成圆形,但是边界不限于这样的示例。顺便提及,深度Z中的线段EF的示意性平面图类似于图7C,因此省略。

[0176] 图13A示出了图12的第一深度X中的线段AB的示意性平面图。N型半导体区域1被包括在N型半导体区域6中。N型半导体区域6被包括在P型半导体区域2A中。P型半导体区域2A被包括在P型半导体区域3中。

[0177] 图13B示出了图12的第二深度Y中的线段CD的示意性平面图。N型半导体区域4被包括在P型半导体区域2B中。P型半导体区域2B被包括在N型半导体区域5中。N型半导体区域5被包括在P型半导体区域3中。

[0178] 当图13A放置在图13B的顶部时,P型半导体区域2A与P型半导体区域2B和N型半导体区域5重叠。

[0179] 根据本示例性实施例的结构,可以将在图6的第二深度Y中布置P型半导体区域2的

区域的一部分改变为N型半导体区域5。因此,特别是当采用前侧照明型,可以提高短波长光的光检测效率。

[0180] 本示例性实施例可以应用于所有示例性实施例。

[0181] 图14是根据第五示例性实施例的雪崩二极管的示意性截面图。给具有与图1至图13B相似的功能的单元附上相似的附图标记,并省略其详细描述。图14与图6的不同之处在于,布置有多个N型半导体区域1和多个N型半导体区域4。

[0182] 图14示出了布置N型半导体区域1和N型半导体区域4中的每一对的结构,但是只要设置多于一个的区域,区域的数量不限于两个。

[0183] N型半导体区域1A被N型半导体区域6包围。类似地,N型半导体区域1B被N型半导体区域6包围。

[0184] N型半导体区域4A被P型半导体区域2包围。类似地,N型半导体区域4B被P型半导体区域2包围。

[0185] 接下来,将参照图15A和15B描述图14中的截面结构的任何深度中的隔离部分16和由隔离部分16包围的光电转换区域的平面结构。在图15A和15B中,每个半导体区域的边界被描绘成圆形,但是边界不限于这样的示例。顺便提及,深度Z中的线段EF的示意性平面图类似于图7C,因此省略。

[0186] 图15A示出了在图14的深度X中的线段AB的示意性平面图。N型半导体区域1A和N型半导体区域1B均被包括在N型半导体区域6中。N型半导体区域6被包括在P型半导体区域3中。N型半导体区域6的面积大于N型半导体区域1A或N型半导体区域1B的面积。

[0187] 图15B示出了图14的深度Y中的线段CD的示意性平面图。N型半导体区域4A和N型半导体区域4B均被包括在P型半导体区域2中。P型半导体区域2被包括在P型半导体区域7中。

[0188] 当图15B放置在图7C的顶部时,N型半导体区域4A、N型半导体区域4B和P型半导体区域2与N型半导体区域5重叠。

[0189] 此外,当图15A放置在图15B的顶部时,N型半导体区域1A在平面图中与N型半导体区域4A的至少一部分重叠。N型半导体区域1B在平面图中与N型半导体区域4B的至少一部分重叠。如上所述,在平面图中N型半导体区域1中的所有区域与N型半导体区域4重叠,如同被包括在其中一样。

[0190] 当图15A放置在图15B的顶部时,N型半导体区域6与P型半导体区域2的至少一部分重叠。

[0191] 根据本示例性实施例中的结构,通过每一个都布置在多个位置的N型半导体区域1和N型半导体区域4,可以缩短在光电转换区域中产生的电荷到光检测区域的平均移动距离。因此,可以减少在光电转换区域的深位置处产生的电荷的电荷检测所需的时间。

[0192] 本示例性实施例可以应用于所有示例性实施例。

[0193] 图16是根据第六示例性实施例的雪崩二极管和控制单元的示意性截面图。给具有与图1至图15B相似的功能的单元附上相似的附图标记,并省略其详细描述。

[0194] 在图16中,光电转换单元201和控制单元202被布置在不同的半导体衬底上。构成光电转换单元201的雪崩二极管的结构类似于第一示例性实施例中的结构。光电转换单元201的多个单元布置在半导体衬底15上。这里,作为示例,示出了布置两个雪崩二极管的结构。控制单元202和连接到控制单元202的导线1107被布置在半导体衬底1102上。这里,示出

了控制单元202和导线1107布置在半导体衬底1102上的结构,但是也可以布置其他电路。

[0195] 根据本示例性实施例的雪崩二极管被配置为背侧照明型。光从N型半导体区域5朝向N型半导体区域1的方向进入。在这种情况下,光通过微透镜1103和滤色器1104而进入N型半导体区域5。

[0196] 如上所述,在N型半导体区域5中发生光电转换,并且所产生的电荷通过N型半导体区域4移动到N型半导体区域1。由N型半导体区域1与在P型半导体区域2和N型半导体区域4之间产生的耗尽层之间的电场引起雪崩放大,使得电流流向导线9。

[0197] 导线9连接到设置在经由连接部分1105单独产生的半导体衬底1102上的控制单元202。

[0198] 对于每个雪崩二极管检测到的信号由设置在半导体衬底1102的像素区域的外围中的扫描电路等进行处理。顺便提及,扫描电路也可以布置在与半导体衬底15和半导体衬底1102不同的半导体衬底上。

[0199] 根据本示例性实施例中的结构,与其上布置有雪崩二极管的半导体衬底15不同的半导体衬底1102堆叠在半导体衬底15上。然后,通过在堆叠的半导体衬底1102上布置诸如控制单元202之类的处理电路,可以通过增加雪崩二极管的开口率来提高光检测效率。

[0200] 当在本示例性实施例中将微透镜1103布置在每个雪崩二极管上时,采用使得在平面图中将微透镜1103的光轴包括在N型半导体区域4中的位置关系。如果例如垂直光进入光电转换元件101的中心区域,则N型半导体区域5内的信号电荷的产生概率的分布在微透镜1103的光轴附近是最大的。这里,微透镜1103的光轴是在平面图中穿过微透镜1103的中心并且垂直于半导体衬底15的轴线。

[0201] 根据本示例性实施例的结构,如果微透镜1103的光轴被二维地包括在N型半导体区域4中,则在平面图中靠近N型半导体区域4的N型半导体区域5的位置更容易产生电荷。然后,可以减少在二维更远的位置产生的电荷的产生概率,从而可以通过在离半导体衬底15的第一表面的浅位置产生的电荷和在其深位置产生的电荷来抑制在光检测区域中检测到电荷之前的时间分辨率的劣化。

[0202] 在本示例性实施例中,配置了背侧照明型光电二极管,但是前侧照明型也可以实现根据本示例性实施例的效果,即,同时实现高光检测效率和低直流电阻(DCR)。然而,在本示例性实施例中,由于光电转换单元被配置为形成在背侧,所以背侧照明型可以比前侧照明型更有效检测在衬底的最上表面(光入射侧)附近产生的电荷。也就是说,从能够在从短波长到长波长的宽波长范围内实现高光检测效率的观点来看,对于本示例性实施例的光电转换单元201,采用背侧照明型。

[0203] 本示例性实施例可以应用于所有示例性实施例。

[0204] 在第七示例性实施例中,将描述使用根据每个示例性实施例的光检测装置1010的光检测系统的示例。将参照图17描述作为光检测系统的示例的不可见光检测系统和诸如正电子发射断层摄影(PET)之类的医学诊断系统。给具有与图1至图16相似的功能的单元附上相似的附图标记,并省略其详细描述。顺便提及,根据本示例性实施例的像素100包括TDC和存储器,而不是图5中的计数器电路209。这里,假设TDC是TDC 204并且存储器是存储器205,提供描述。

[0205] 图17示出了不可见光检测系统的结构的框图。不可见光检测系统包括波长转换

单元1201和数据处理单元1207以及多个光检测装置1010。

[0206] 照射源物体1200将波长范围的光发射为不可见光。波长转换单元1201接收从照射源物体1200发射的不可见光的波长范围的光并发射可见光。

[0207] 从波长转换单元1201发射的可见光已经进入的光电转换单元201执行光电转换，并且，光检测装置1010经由控制单元202、波形整形单元203和TDC 204将基于根据光电转换后的电荷的信号的数字信号保持在存储器205中。多个光检测装置1010可以形成为所布置的一个装置或多个装置。

[0208] 保持在存储器205中的多个光检测装置1010的多个数字信号由数据处理单元1207进行信号处理。这里，作为信号处理单元，进行从多个数字信号获得的多个图像的组合处理。

[0209] 接下来，作为不可见光检测系统的具体例子，将描述诸如PET之类的医疗诊断系统的结构。

[0210] 作为照射源物体1200的对象从身体内部发射放射线对。当从对象发射的放射线对进入时，波长转换单元1201构成闪烁体，并且闪烁体发射可见光。

[0211] 从闪烁体发射的可见光已经进入的光电转换单元201执行光电转换，并且，光检测装置1010经由控制单元202、波形整形单元203和TDC 204将基于根据光电转换后的电荷的信号的数字信号保持在存储器205中。也就是说，光检测装置1010被布置为检测从物体发射的放射线对的到达时间，并且检测从闪烁体发射的可见光并将数字信号保持在存储器205中。

[0212] 保持在存储器205中的多个光检测装置1010的数字信号由数据处理单元1207进行信号处理。这里，作为信号处理单元，使用从多个数字信号获得的多个图像进行诸如图像重构之类的组合处理，以形成对象体内的图像。

[0213] 在第八示例性实施例中，将描述使用根据每个示例性实施例的光检测装置1010的光检测系统的示例。给具有与图1至图16相似的功能的单元附上相似的附图标记，并省略其详细描述。

[0214] 在图18中将描述作为光检测系统的示例的距离检测系统。顺便提及，根据本示例性实施例的像素100包括TDC和存储器，而不是图5中的计数器电路209。这里，假设TDC是TDC 204并且存储器是存储器205，提供描述。

[0215] 将参照图18描述根据本示例性实施例的距离检测系统的框图的示例。距离检测系统包括光源控制单元1301，发光单元1302，光学构件1303，光检测装置1010和距离计算单元1309。

[0216] 光源控制单元1301控制发光单元1302的驱动。当从光源控制单元1301接收到信号时，发光单元1302在拍摄方向上发射短脉冲(连串)的光。

[0217] 从发光单元1302发射的光被被摄体1304反射。反射光被光检测装置1010的光电转换单元201通过光学构件1303接收，并且基于光电转换后的电荷的信号经由波形整形单元203输入到TDC 204。

[0218] TDC 204比较从光源控制单元1301获得的信号和从波形整形单元203输入的信号。然后，TDC 204以高精度对从发光单元1302发射脉冲光到接收由被摄体1304反射的反射光的时间进行数字转换。从TDC 204输出的数字信号保持在存储器205中。

[0219] 距离计算单元1309基于来自保持在存储器205中的多个测量的数字信号,计算从光检测装置1010到被摄体1304的距离。距离检测系统可以应用为例如车载系统。

[0220] 接下来,图19A和19B中示出了用图5中的计数器电路209的光检测系统的示例。在图19A和19B中,示出了作为光检测系统的示例的与车载照相机相关的光检测系统。

[0221] 光检测系统1000是包括根据本公开的聚焦像素和成像像素的光检测系统。光检测系统1000包括对由光检测装置1010获取的多个数字信号执行图像处理的图像处理单元1030。此外,光检测系统1000包括视差计算单元1040,其根据由图像处理单元1030所获取的多个图像数据计算视差(视差图像之间的相位差)。

[0222] 光检测系统1000还包括:距离测量单元1050,其基于计算的视差来计算到目标对象的距离;以及碰撞确定单元1060,其基于计算出的距离来确定是否可能发生碰撞。这里,视差计算单元1040和距离测量单元1050是获取到目标对象的距离信息的距离信息获取单元的示例。也就是说,距离信息是关于视差、散焦量、到目标对象的距离等的信息。

[0223] 碰撞确定单元1060可以使用任何上述信息来确定碰撞可能性。距离信息获取单元可以由专门设计的硬件、软件模块或其组合来实现。距离信息获取单元还可以由现场可编程门阵列(FPGA)或专用集成电路(ASIC)或其组合来实现。

[0224] 光检测系统1000连接到车辆信息获取装置1310,并且可以获取诸如车辆速度、横摆角速度(yaw rate)、方向舵角度(rudder angle)之类的车辆信息。光检测系统1000还连接到作为控制装置的控制电子控制单元(ECU)1410,以基于碰撞确定单元1060的确定结果输出使车辆产生制动力的控制信号。

[0225] 光检测系统1000还连接到警报设备1420,该警报设备1420基于碰撞确定单元1060的确定结果向驾驶员发出警报。例如,如果作为碰撞确定单元1060的确定结果,碰撞可能性高,则控制ECU 1410通过应用制动器、释放加速器或控制发动机输出来进行避免碰撞的车辆控制以减轻损坏。警报设备1420通过产生诸如声音之类的警报,在汽车导航系统等的屏幕上显示警报信息、或在安全带或方向盘中产生振动来发出警报。

[0226] 在本示例性实施例中,车辆的周围环境(例如前方或后方)由光检测系统1000成像。在图19B中,示出了当车辆前方成像时的光检测系统。上面描述了防止与其他车辆碰撞的控制,但是本示例性实施例也可以应用于通过跟随另一车辆来控制自动驾驶或者通过防止车辆偏离车道来控制自动驾驶。此外,光检测系统1000不仅可以应用于诸如本地车辆之类的车辆,还可以应用于例如船舶、飞机或工业机器人的移动体(移动装置)。除了移动体之外,光检测系统1000也可以应用于广泛地使用诸如智能传输系统(ITS)之类的物体识别的设备。

[0227] 虽然已经参考示例性实施例描述了本公开,但是应当理解,本公开不限于所公开的示例性实施例。所附权利要求的范围应当被赋予最宽的解释,以便涵盖所有这类修改以及等同的结构和功能。

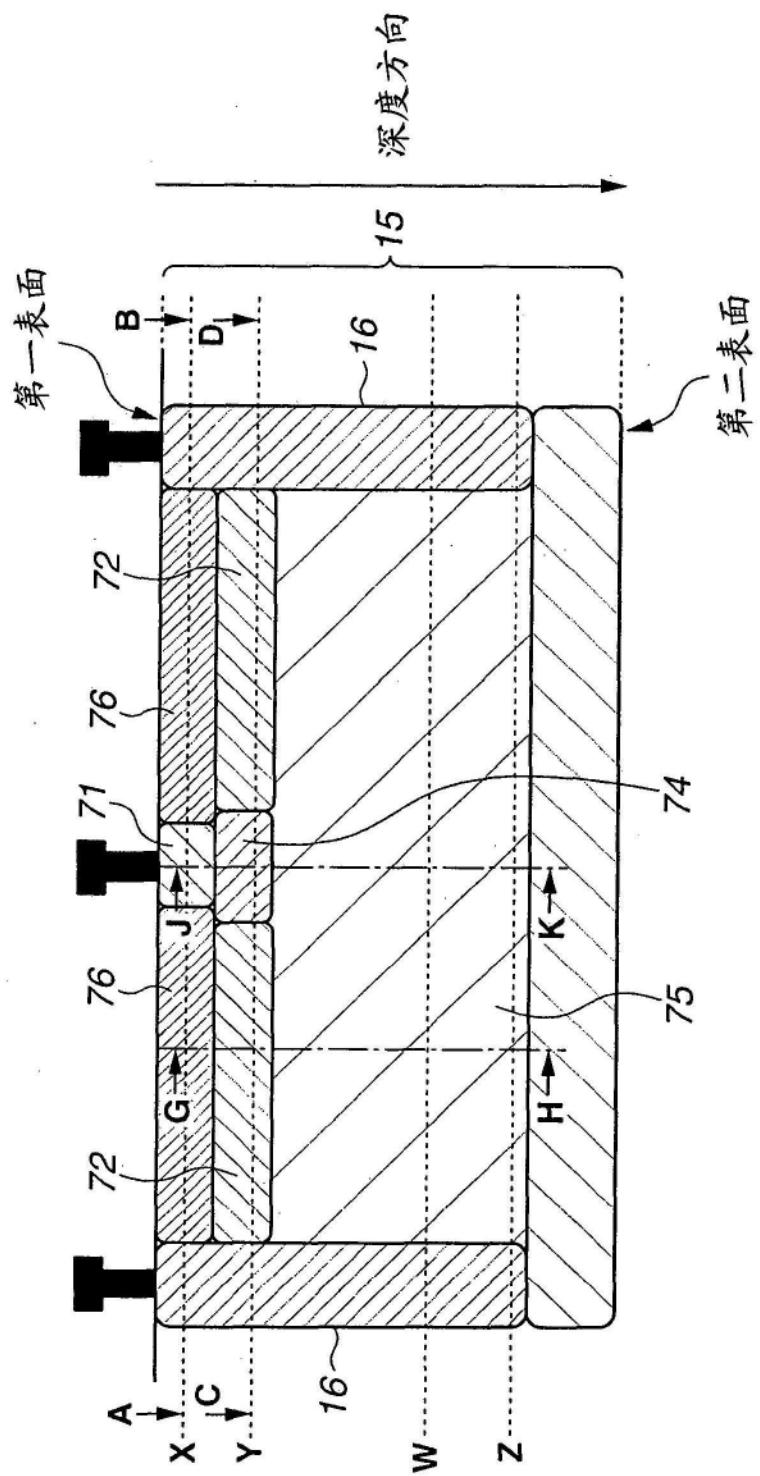


图1

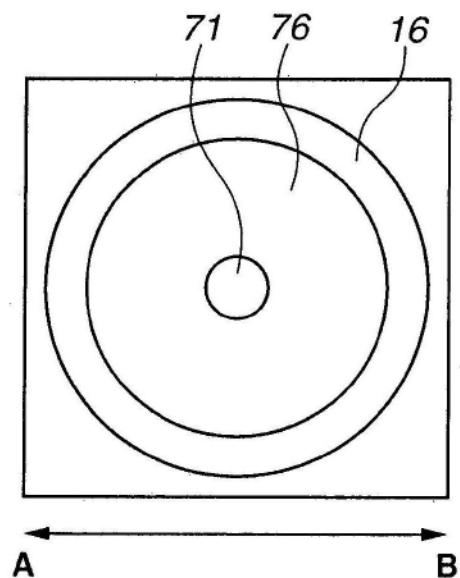


图2A

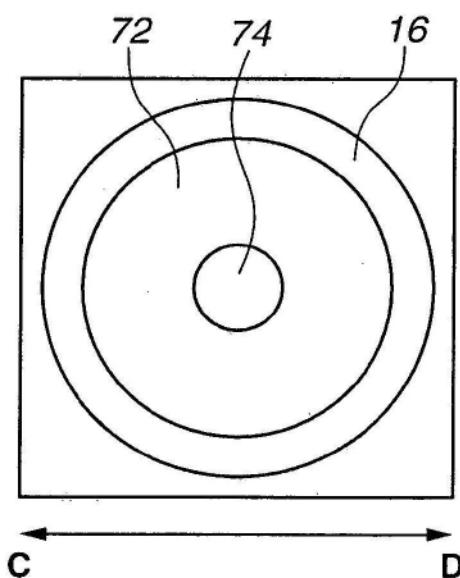


图2B

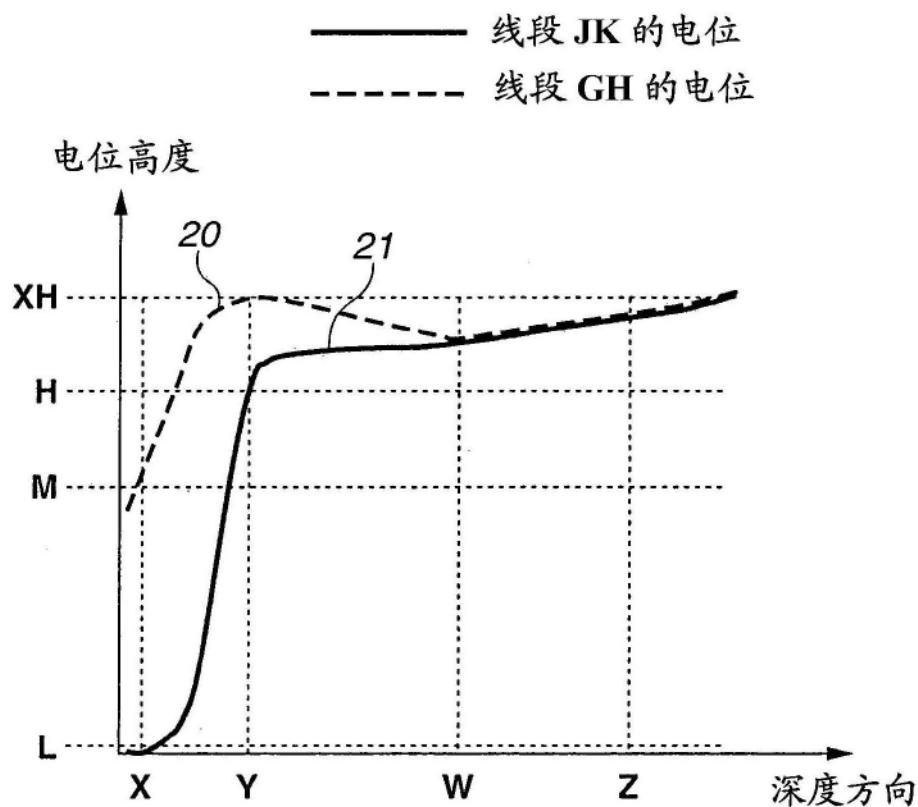


图3

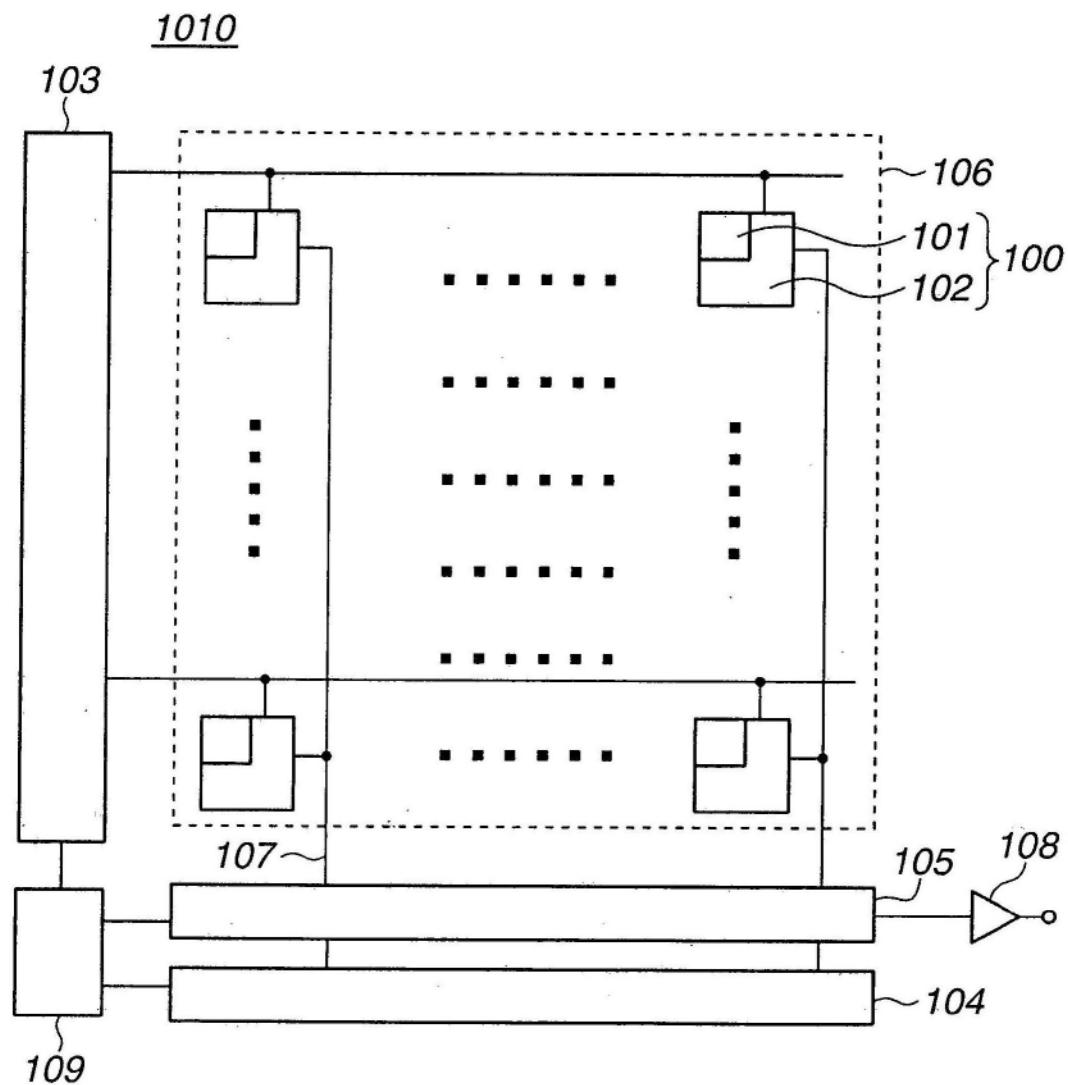


图4

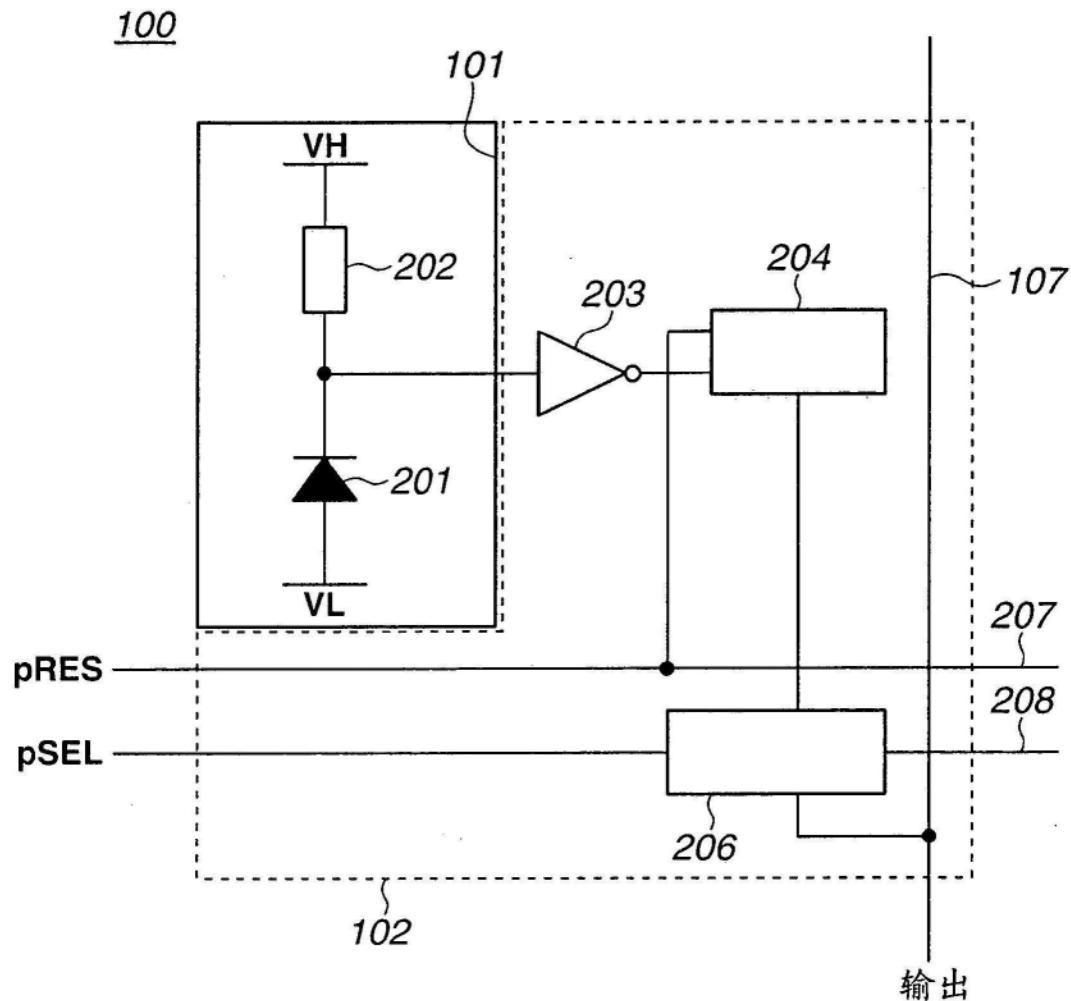


图5

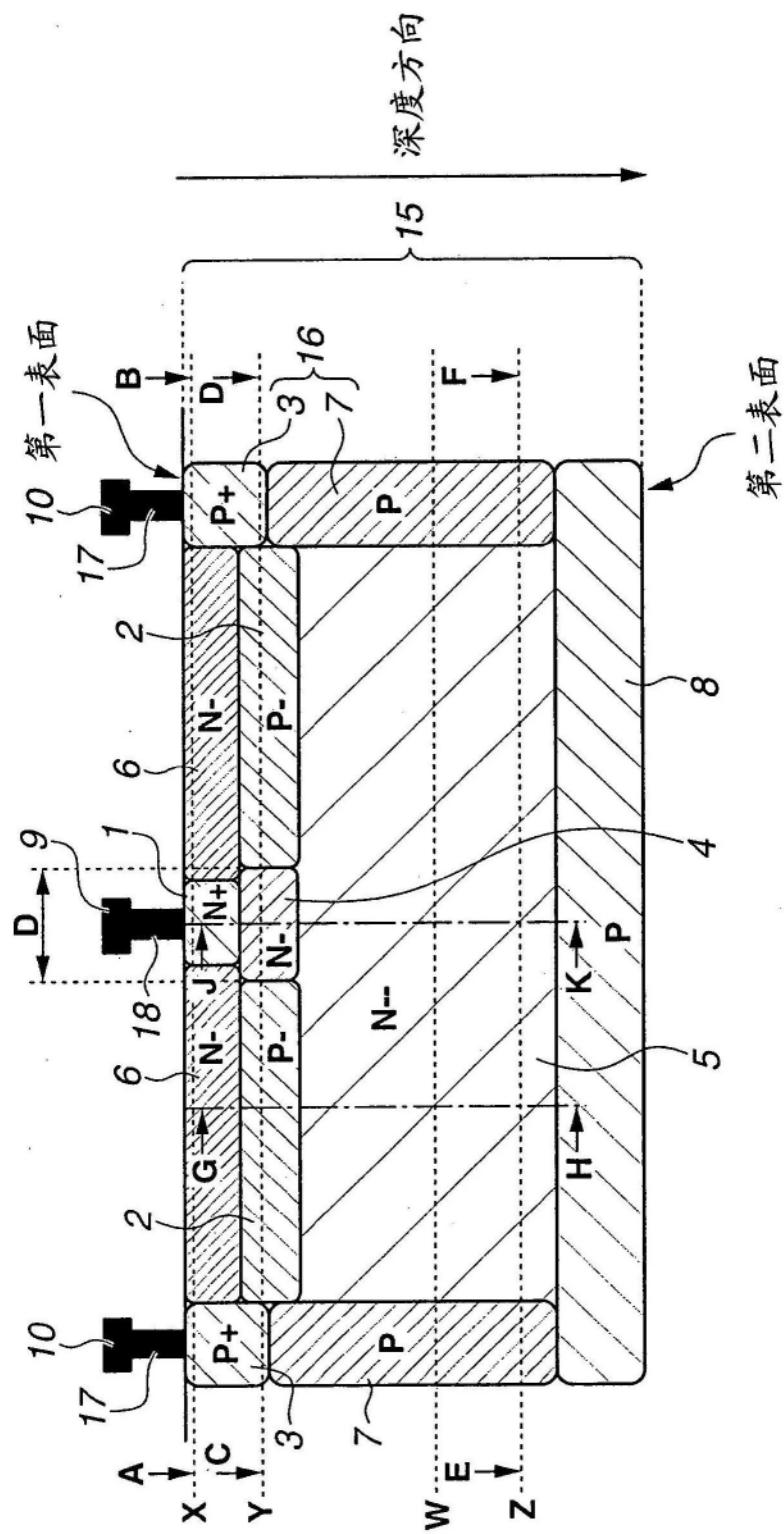


图6

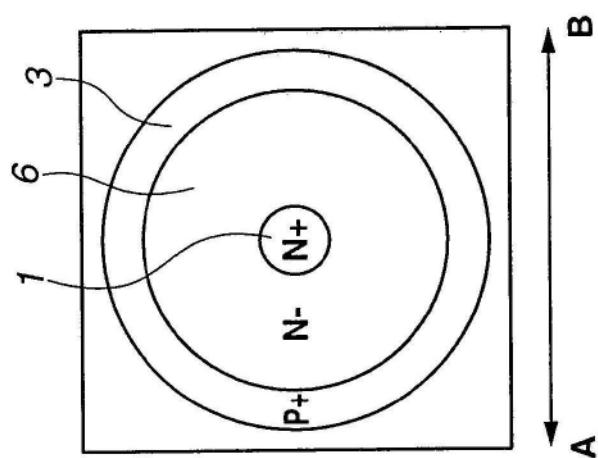


图7A

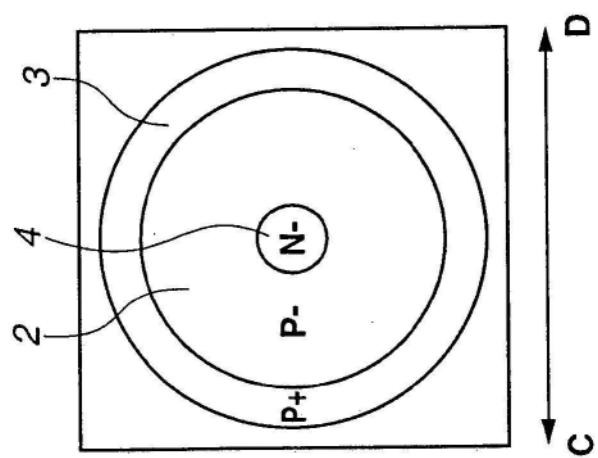


图7B

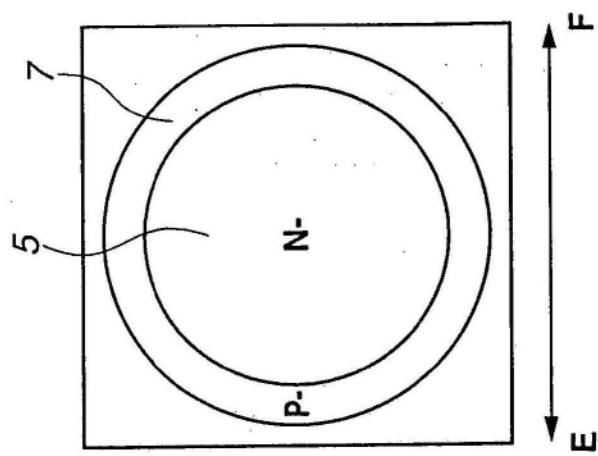


图7C

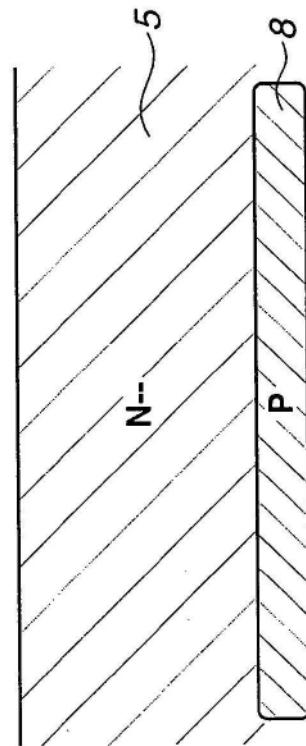


图8A

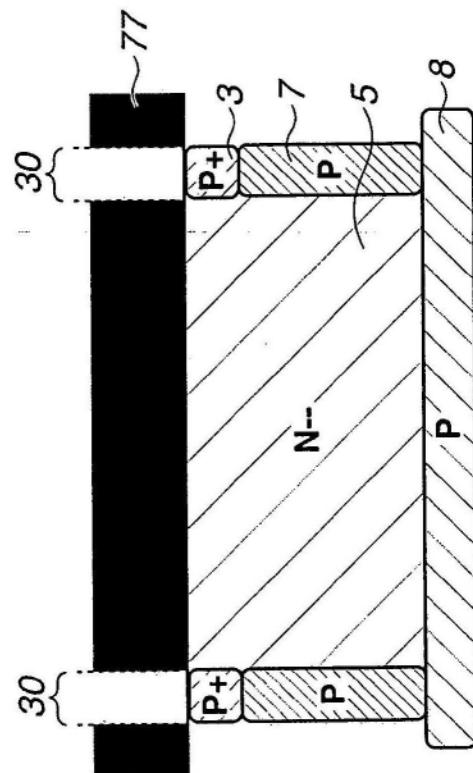


图8B

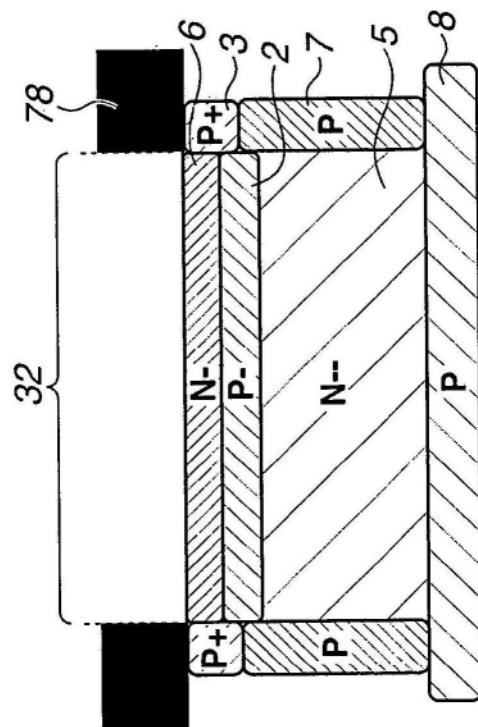


图8C

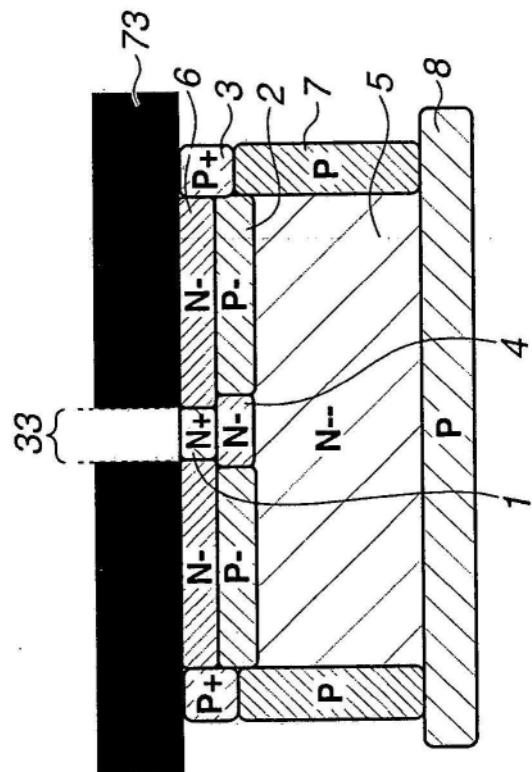


图8D

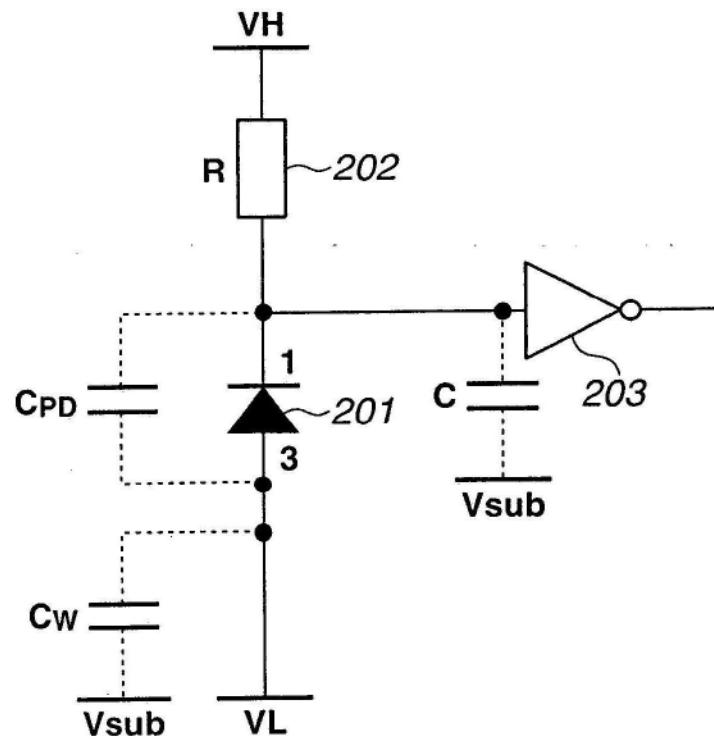


图9A

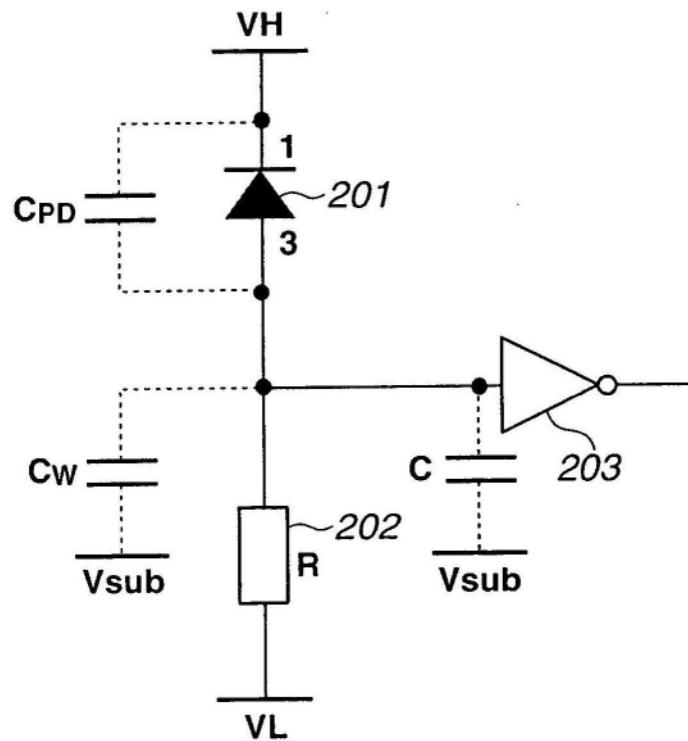


图9B

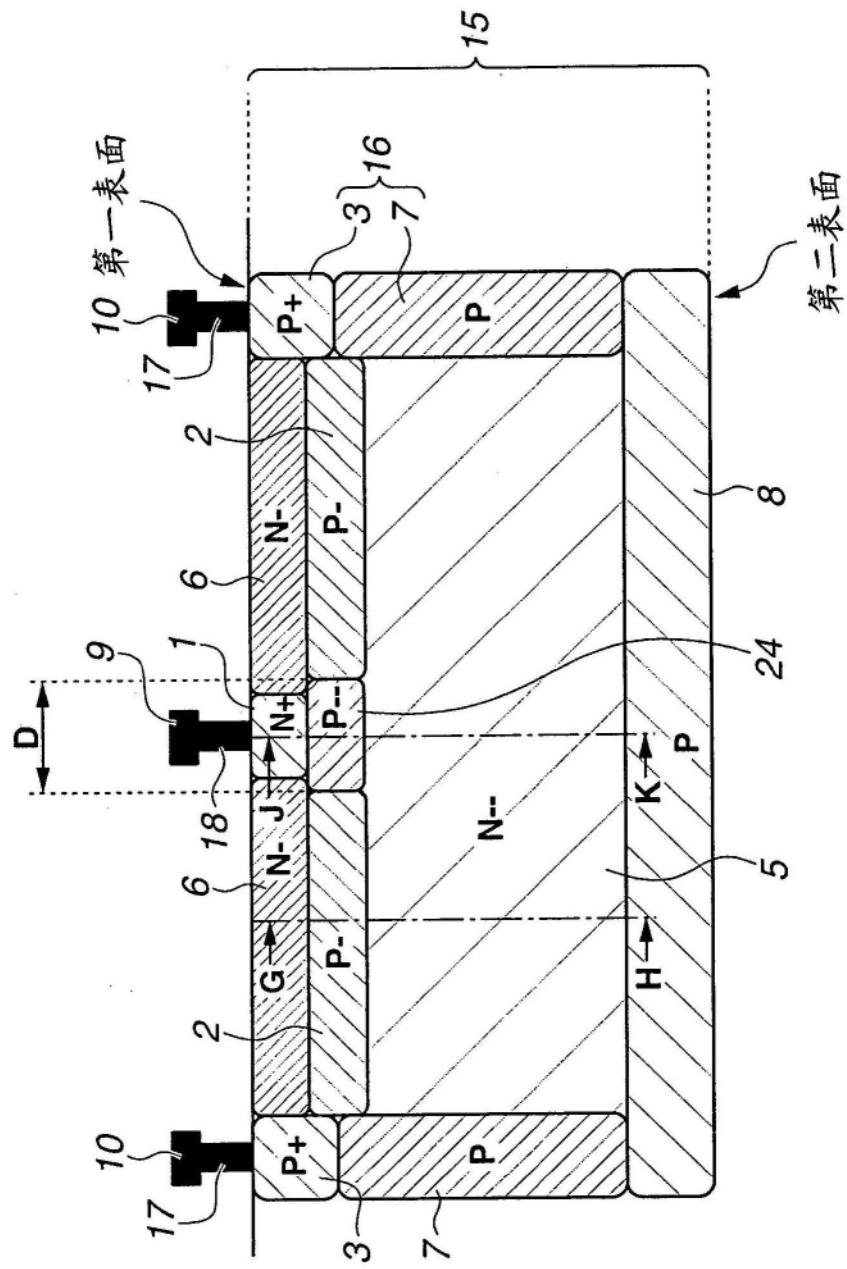


图10

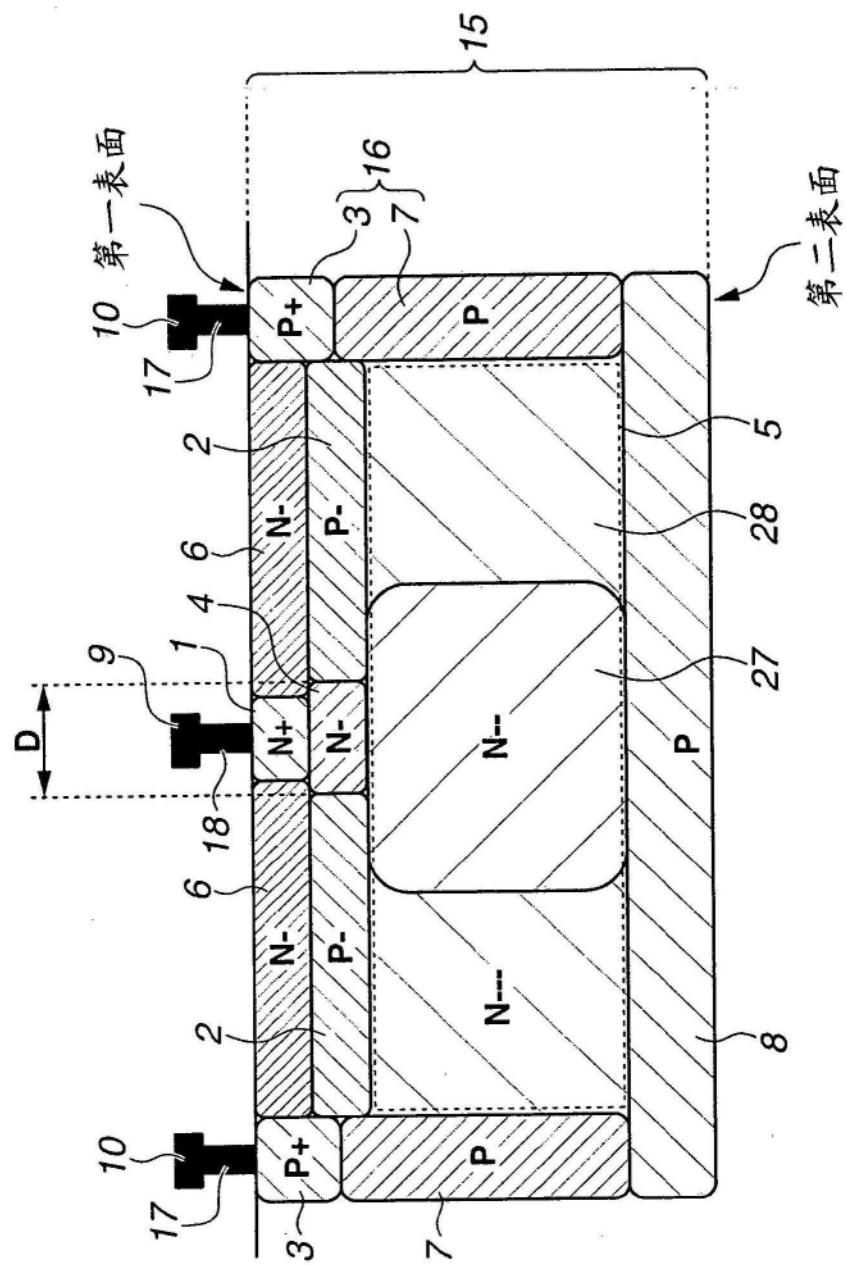


图11

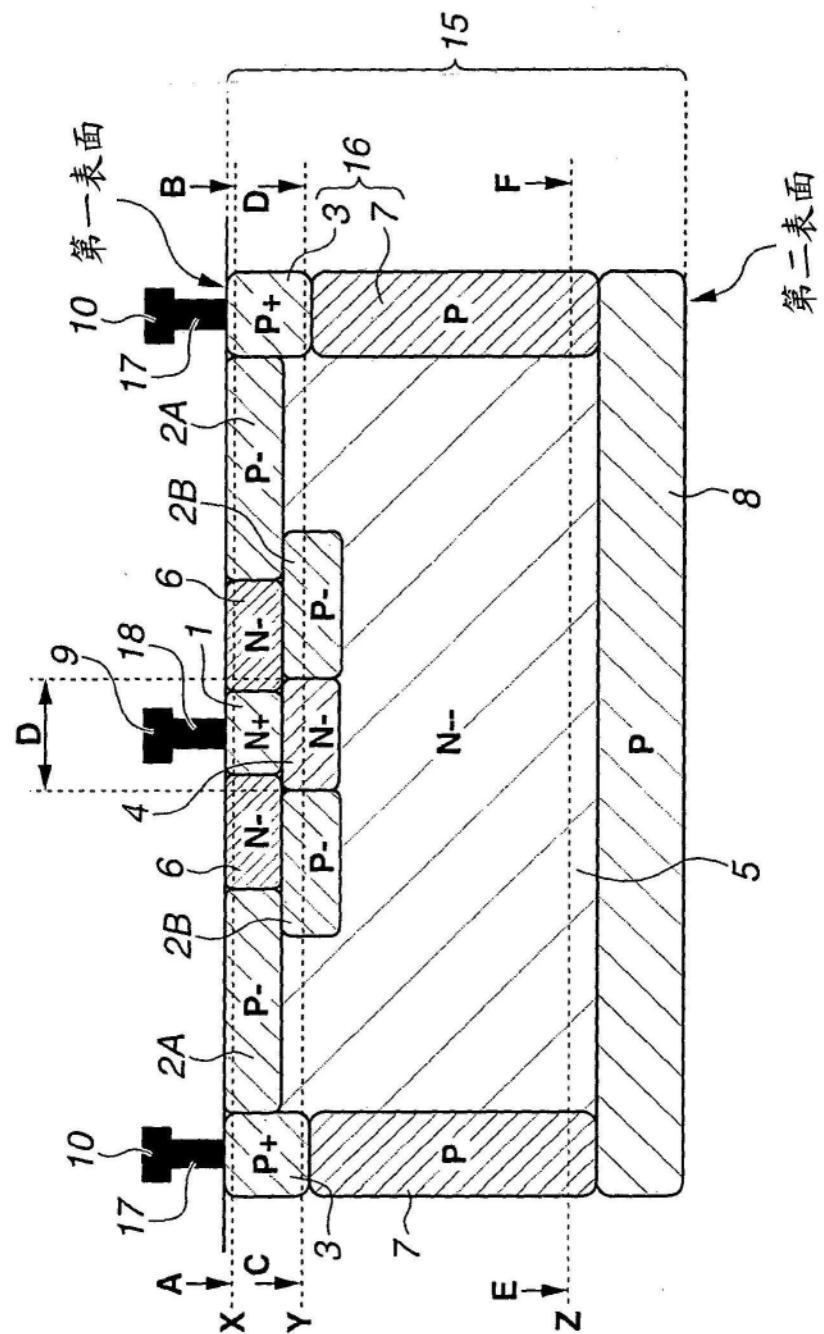


图12

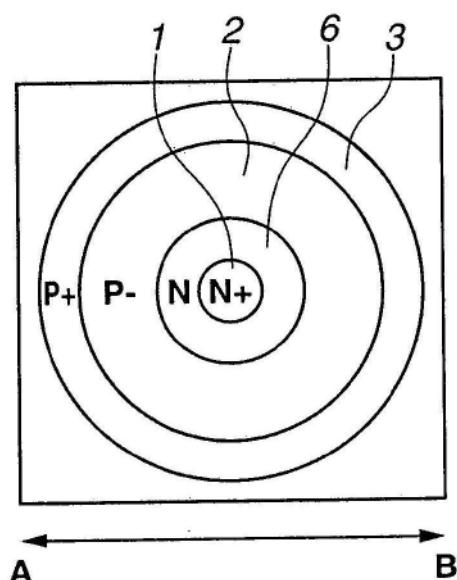


图13A

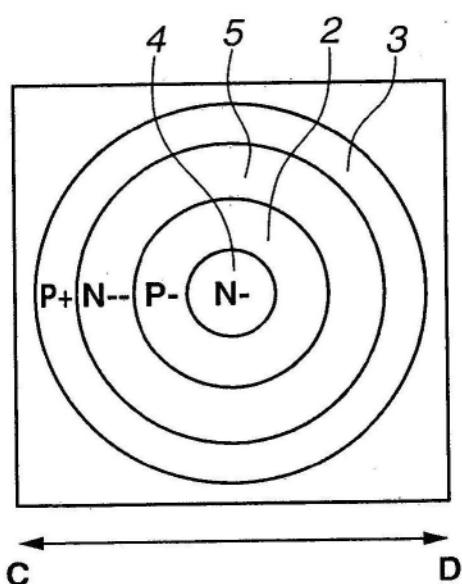


图13B

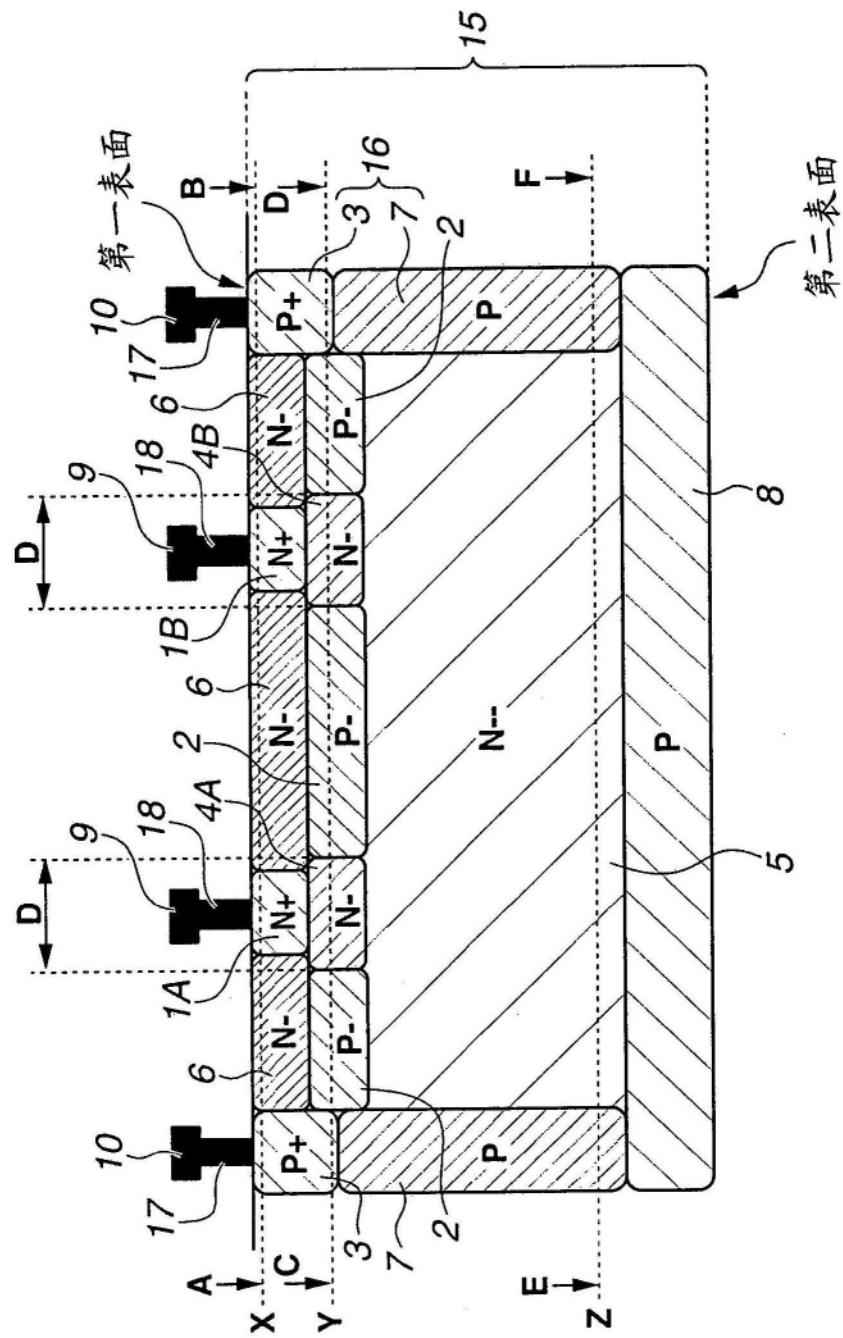


图14

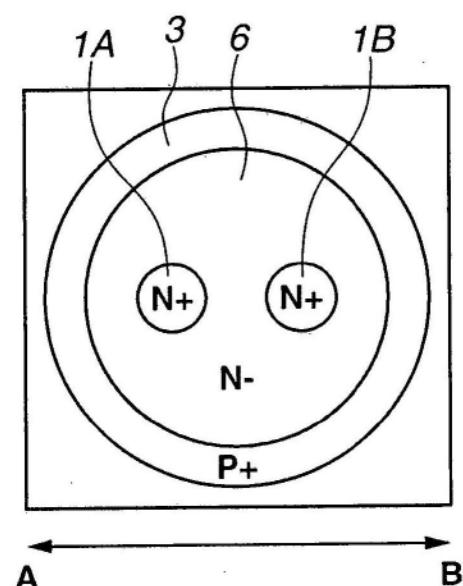


图15A

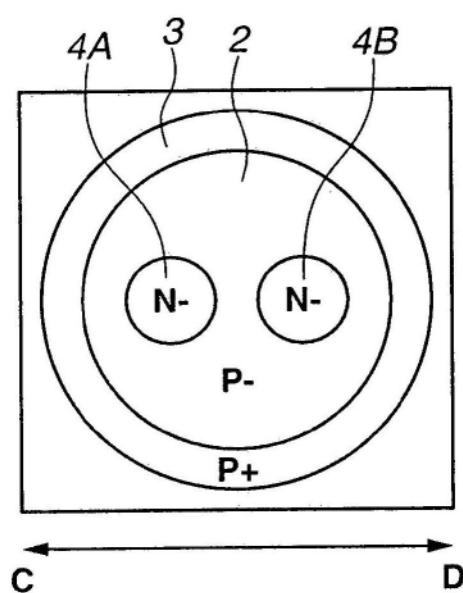


图15B

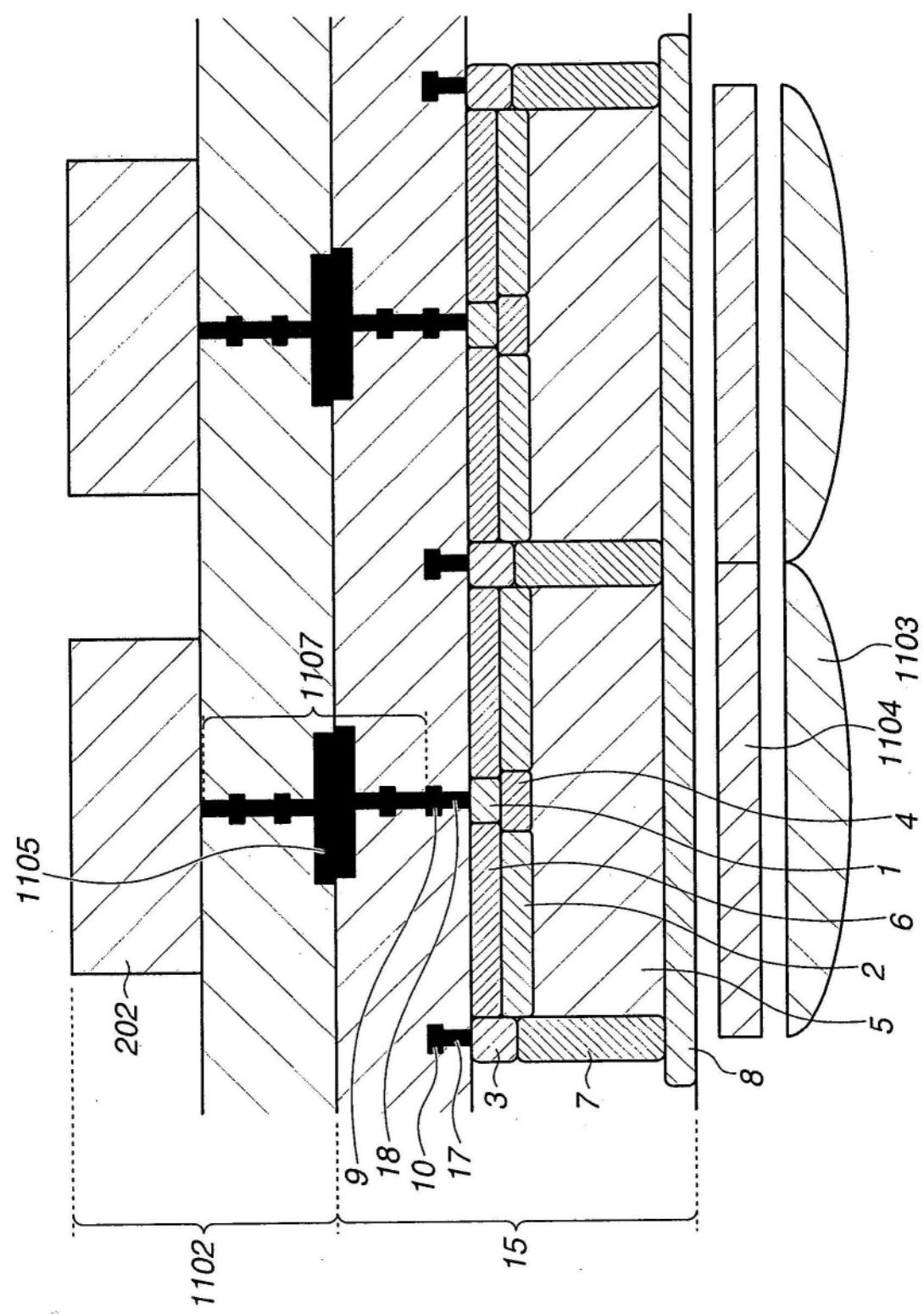


图16

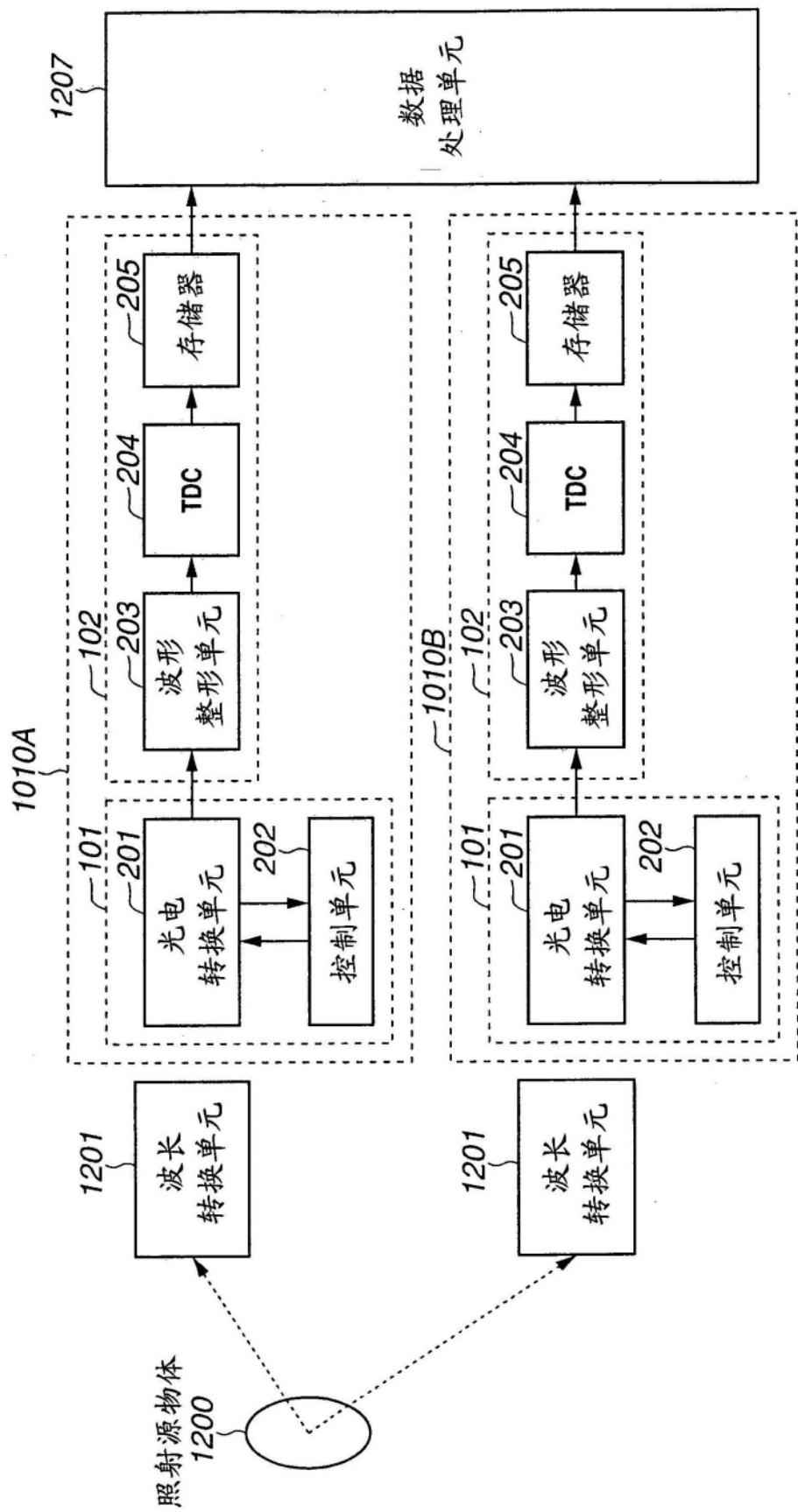


图17

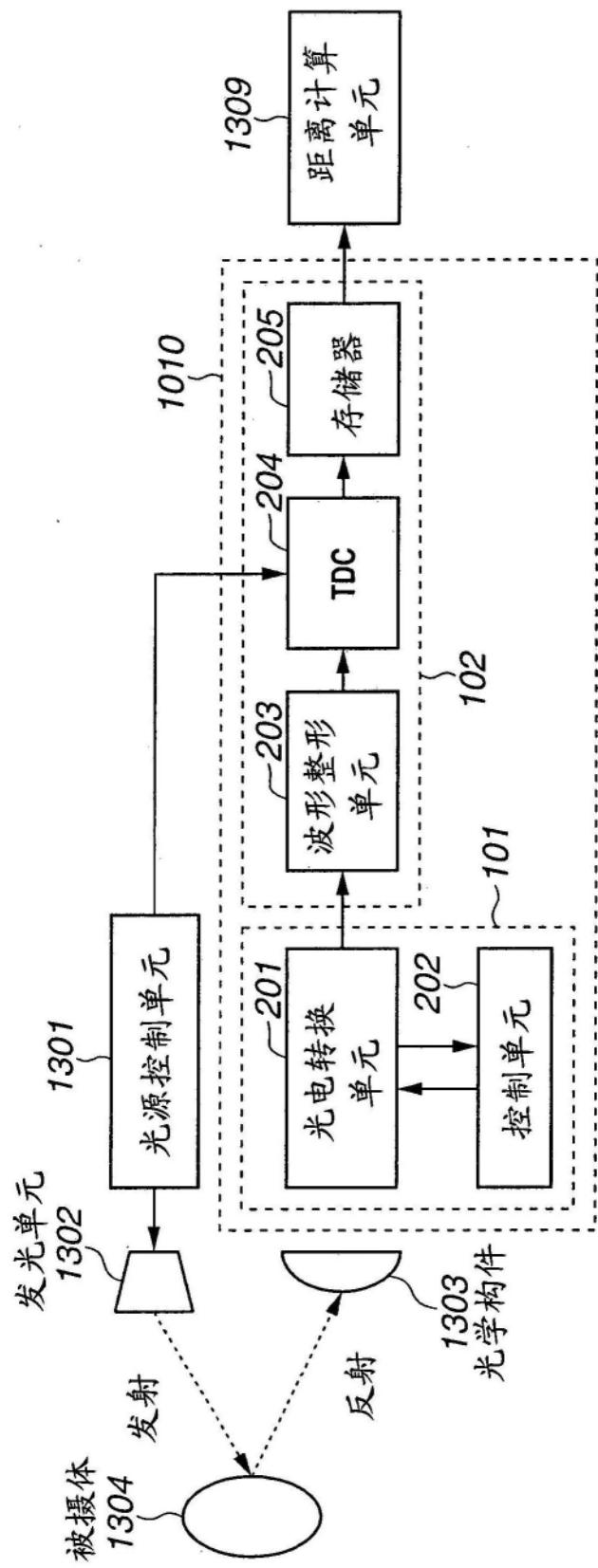


图18

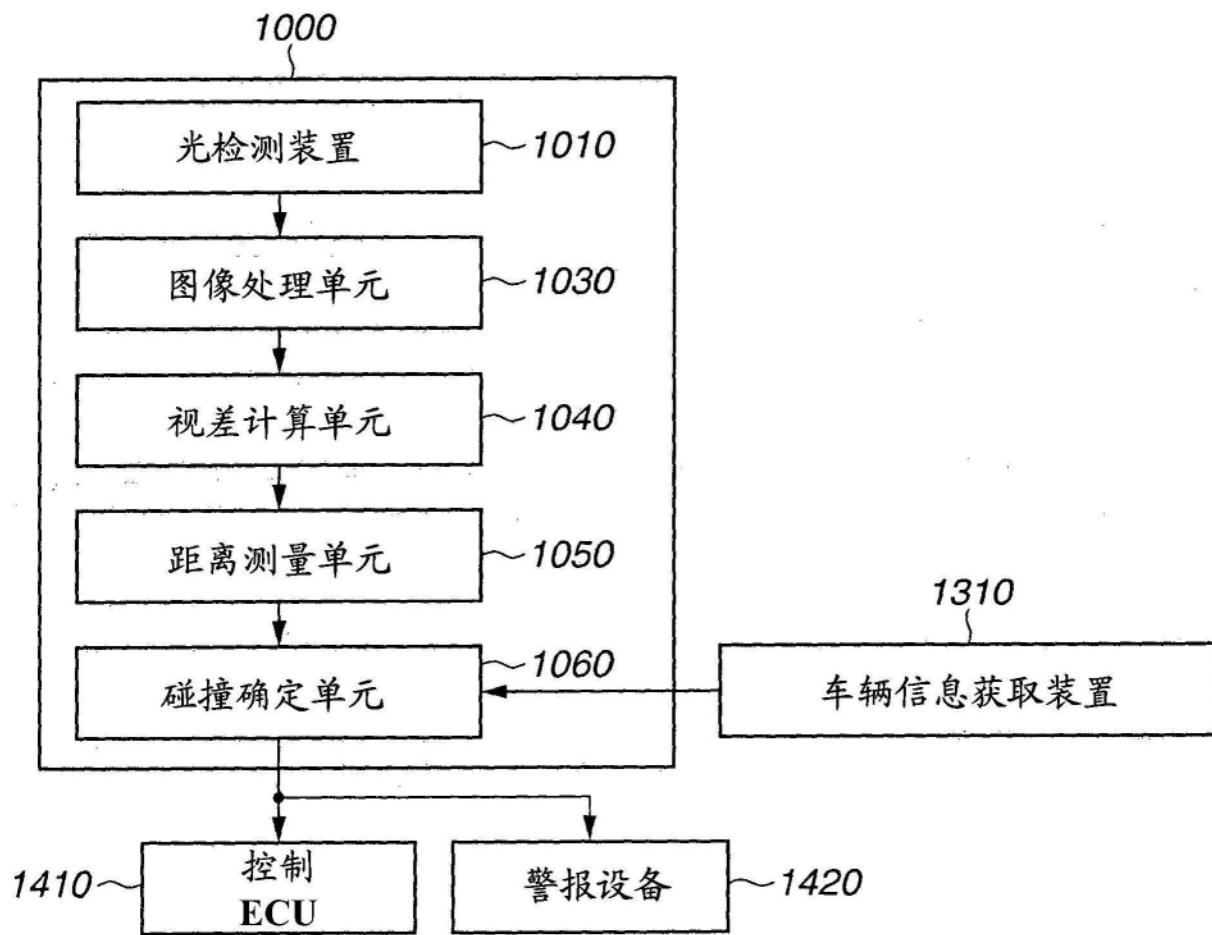


图19A

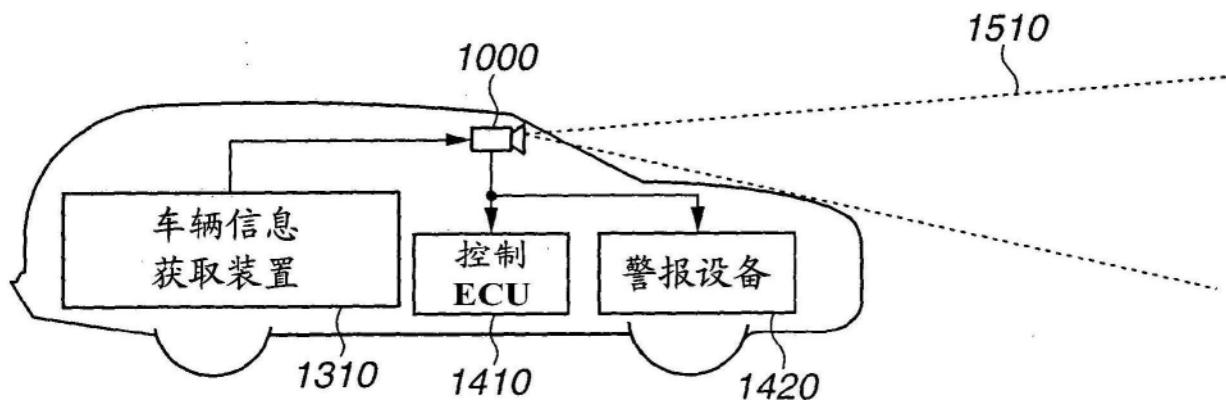


图19B

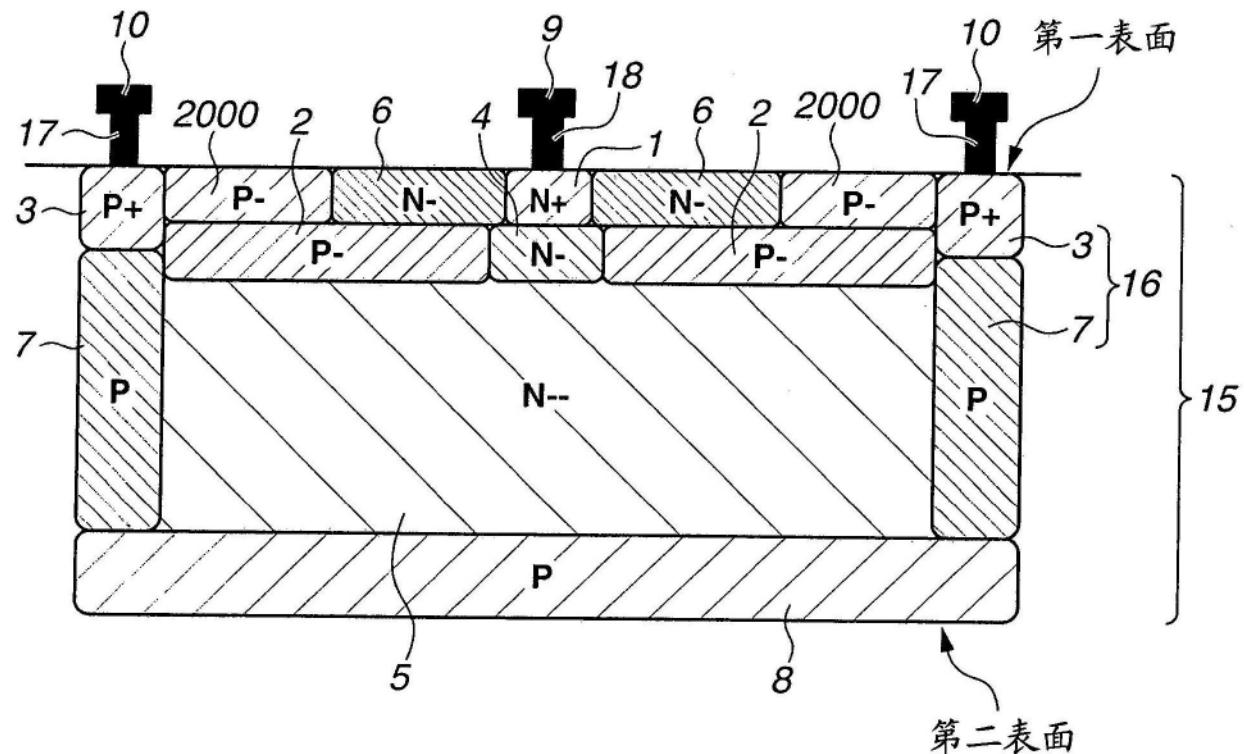


图20