

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2022 年 1 月 20 日 (20.01.2022)



(10) 国际公布号
WO 2022/011701 A1

(51) 国际专利分类号:
H01L 27/144 (2006.01) **H01L 31/107** (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2020/102783

(22) 国际申请日: 2020 年 7 月 17 日 (17.07.2020)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(71) 申请人: 华为技术有限公司 (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.) [CN/CN]; 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。

(72) 发明人: 杨玉怀 (YANG, Yuhuai); 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。高桥秀和 (HIDEKAZU, Takahashi); 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼,

Guangdong 518129 (CN)。何志宏 (HO, Chihon); 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。谢承志 (XIE, Chengzhi); 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。

(74) 代理人: 深圳市深佳知识产权代理事务所 (普通合伙) (SHENPAT INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY); 中国广东省深圳市罗湖区南湖街道春风路庐山大厦 B 座 18C2、18D、18E、18E2, Guangdong 518001 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK,

(54) Title: SINGLE PHOTON AVALANCHE DIODE AND MANUFACTURING METHOD THEREFOR, AND PHOTON DETECTION DEVICE AND SYSTEM

(54) 发明名称: 一种单光子雪崩二极管及其制造方法、光检测器件及系统

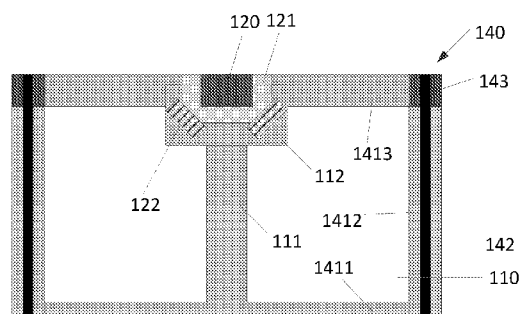


图 4

(57) Abstract: Provided are a single photon avalanche diode and a manufacturing method therefor, and a photon detection device and a system. A first doped structure is formed on a horizontal surface and a side wall of one side of a second doped structure; adjacent areas of the first doped structure and the second doped structure are used for forming an avalanche area; and high field areas of adjacent corner areas of the second doped structure and the first doped structure are more likely to form an avalanche area, that is, an avalanche effect occurs at edge areas of the second doped structure and the first doped structure, and therefore, the probability of generating an avalanche effect is relatively high. Moreover, a covering material can provide an electric field that causes photons in a first doped material layer to move from an edge to the center, thereby facilitating the movement of photo-generated carriers in the first doped material layer to an avalanche area, and thus improving the charge collection efficiency to some extent, so that the device has a relatively high quantum efficiency, and thus can have a relatively high photon detection efficiency.

LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,
PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM,
AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

(57) 摘要: 本申请实施例提供一种单光子雪崩二极管及其制造方法、光检测器件及系统, 第一掺杂结构形成于第二掺杂结构的一侧水平表面以及侧壁, 第一掺杂结构与第二掺杂结构相邻近的区域用于形成雪崩区, 而第二掺杂结构和第一掺杂结构相邻近的拐角区域的高场区更容易形成雪崩区, 即雪崩效应发生在第二掺杂结构和第一掺杂结构的边缘区, 因此产生雪崩效应的概率较大, 而覆盖材料能够提供使第一掺杂材料层中的多子从边缘向中心运动的电场, 利于第一掺杂材料层中的光生载流子向雪崩区移动, 因此在一定程度上提高电荷收集效率, 因此该器件具有较高的量子效率, 从而可以具有较高的光探测效率。

一种单光子雪崩二极管及其制造方法、光检测器件及系统

技术领域

本申请涉及半导体制造技术领域，尤其涉及一种单光子雪崩二极管及其制造方法、光检测器件及系统。

背景技术

目前，在很多场景中都有光检测器的应用，光检测器可以接收光信号，光信号在光检测器内部激发出光电子并被收集，即光检测器可以基于光信号产生相应的电信号，实现从光信号到电信号的转换。

例如在激光雷达（light detection and ranging, Lidar）系统中，可以利用飞行时间测距（time of flight, ToF）的方式对待测物体进行探测，具体的，由雷达发射系统发射激光信号，激光信号经待测物体反射后被光检测器接收，利用激光信号的发射时间和接收时间得到激光信号的飞行（往返）时间，从而可以确定激光雷达系统与待测物体之间的距离（即待测物体的深度信息），进而得到待测物体的位置信息。激光雷达系统可以应用在车辆中，随着汽车自动驾驶技术的不断演进，自动驾驶级别需求不断提高，对车辆的感知能力的需求也不断提高，因此需要激光雷达系统中更高性能的光检测器。此外，其他具有光电转换功能的终端、穿戴设备中也可以设置光检测器。

单光子雪崩二极管（single photon avalanche diode, SPAD）作为一种光检测器的组成部分，其工作原理是通过光电效应在光信号的作用下产生的光生载流子（电子空穴对），在高电场区（PN结的反向电压）运动时被迅速加速，运动过程中可能发生一次或多次碰撞，通过碰撞电离效应产生二次、三次新的电子空穴对，产生雪崩倍增效应，使载流子数量迅速增加，从而形成比较大的光生电流。因此，单光子雪崩二极管可以探测非常微弱的光子（达到单光子的量级），对成像目标的光场在时间和空间上进行采样和计算。

单光子雪崩二极管是很多光电器件的基础器件，其性能影响光电器件的性能。例如在直接测量飞行时间（direct time of flight, DToF）系统中，单光子雪崩二极管对光子的响应能力，即光探测效率（photon detection efficiency, PDE）对DToF系统的性能至关重要，然而目前的单光子雪崩二极管的光检测效率较低，其原因在于，雪崩概率（avalanche probability）较大的器件中，量子效率（quantum efficiency, QE）往往较低，而量子效率较高的器件中，雪崩概率往往较低。因此，为了实现更优性能的光电器件性能，迫切需要对单光子雪崩二极管的性能进行提升。

发明内容

有鉴于此，本申请的第一方面提供了一种单光子雪崩二极管及其制造方法、光检测器件及系统，能够提高光探测效率。

本申请实施例的第一方面，提供了一种单光子雪崩二极管，包括第一掺杂材料层、第二掺杂结构、第一掺杂结构和覆盖材料；其中，第一掺杂材料层和第二掺杂结构在纵向上堆叠，且第二掺杂结构的横截面小于第一掺杂材料层，第一掺杂材料层和第二掺杂结构的

-2-

掺杂类型一致，且第二掺杂结构的掺杂浓度高于第一掺杂材料层，第一掺杂结构覆盖第二掺杂结构朝向第一掺杂材料层的表面且覆盖第二掺杂结构的侧壁，第一掺杂结构的掺杂类型与所述第二掺杂结构相反，第一掺杂结构与第二掺杂结构相邻近的区域用于形成雪崩区，覆盖材料覆盖所述第一掺杂材料层表面，用于提供使所述第一掺杂材料层中的多子从边缘向中心运动的电场。

也就是说，本申请实施例中，第一掺杂结构形成于第二掺杂结构的一侧水平表面以及侧壁，第一掺杂结构与第二掺杂结构相邻近的区域用于形成雪崩区，而第二掺杂结构和第一掺杂结构相邻近的拐角区域的高场区更容易形成雪崩区，即雪崩效应发生在第二掺杂结构和第一掺杂结构的边缘区，因此产生雪崩效应的概率较大，而覆盖材料能够提供使第一掺杂材料层中的多子从边缘向中心运动的电场，利于第一掺杂材料层中的光生载流子向雪崩区移动，因此在一定程度上提高电荷收集效率，因此该器件具有较高的量子效率，从而可以具有较高的光探测效率。

作为一种可能的实施方式，所述单光子雪崩二极管还包括第三掺杂结构；

所述第一掺杂结构覆盖所述第二掺杂结构的靠近所述第一掺杂材料层的部分侧壁时，所述第三掺杂结构位于所述第二掺杂结构的未被所述第一掺杂结构覆盖的部分侧壁，或，所述第三掺杂结构位于所述第二掺杂材料层和所述第三掺杂材料层之间，以及所述第二掺杂结构的未被所述第一掺杂结构覆盖的部分侧壁；

所述第三掺杂结构的掺杂类型与所述第二掺杂结构一致，且掺杂浓度低于所述第二掺杂结构。

本申请实施例中，可以形成第三掺杂结构，覆盖第二掺杂结构的远离第一掺杂材料层的部分侧壁，且第三掺杂结构的掺杂类型与第二掺杂结构一致，且掺杂浓度低于第二掺杂结构，这样，在第一掺杂材料层形成有第二掺杂结构的表面形成有覆盖材料时，第三掺杂结构可以形成与第二掺杂结构的侧壁，从而可以作为第二掺杂结构和覆盖材料之间的缓冲层，降低第二掺杂结构和覆盖材料构成的器件平面的表面电势，降低器件平面处的暗电流。

作为一种可能的实施方式，所述第一掺杂结构纵向贯穿所述第一掺杂材料层。

本申请实施例中，第一掺杂结构可以纵向贯穿第一掺杂材料层，这样第一掺杂结构产生的电场可以令第一掺杂材料层中的光生载流子远离第一掺杂结构，从而将光生载流子向第一掺杂结构和填充材料之间的中央位置聚集，从而提高量子效率。

作为一种可能的实施方式，所述覆盖材料为第四掺杂结构和/或介质层，所述介质层带有电荷；所述第四掺杂结构的掺杂类型与所述第一掺杂材料层相反，所述介质层的带电类型与所述第一掺杂材料层中的多子的带电类型相同。

本申请实施例中，覆盖材料可以为第三掺杂结构和/或介质层，介质层可以带有电荷，这样可以利用第三掺杂材料结构和/或介质层产生的电场促使载流子向第一掺杂材料层的中心运动，提高电荷收集效率。

作为一种可能的实施方式，所述覆盖材料与第一引出端连接，第一引出端和所述第二掺杂结构用于分别连接不同的偏压。

本申请实施例中，可以令覆盖材料和第一引出端连接，第一引出端可以和第二掺杂结

—3—

构分别连接不同的偏压，从而在促进电荷收集的同时为单光子雪崩二极管提供控制电压。

作为一种可能的实施方式，所述第二掺杂结构位于所述第一掺杂材料层的中部，或所述第二掺杂结构沿着所述第一掺杂材料层的边缘设置，或所述第二掺杂结构位于所述第一掺杂材料层的顶角位置。

5 本申请实施例中，第二掺杂结构可以位于第一掺杂材料层的不同位置，从而使单光子雪崩二极管的结构有所不同，更加能够适应不同的场景。

作为一种可能的实施方式，所述单光子雪崩二极管还包括衬底；

所述衬底上由下至上依次设置有第一掺杂材料层和第二掺杂结构。

10 本申请实施例中，单光子雪崩二极管可以形成于正照式的光检测器件中，则衬底上可以由下至上依次设置有第一掺杂材料层和第二掺杂结构，有利于第二掺杂结构的连接。

作为一种可能的实施方式，所述单光子雪崩二极管还包括衬底；

所述衬底上由下至上依次设置有第二掺杂结构和第一掺杂材料层。

15 本申请实施例中，单光子雪崩二极管可以形成于背照式的光检测器件中，则衬底上可以由下至上依次设置有第二掺杂结构和第一掺杂材料层，这样光可以由上至下直接照射到第一掺杂材料层，而不被遮挡，有利于提高光吸收效率。

作为一种可能的实施方式，所述单光子雪崩二极管还包括微透镜层；

所述微透镜层位于远离所述衬底的一侧表面；所述微透镜层的聚焦在所述第一掺杂材料层的边缘与所述第二掺杂结构之间。

20 本申请实施例中，单光子雪崩二极管还可以包括微透镜层，微透镜层可以位于远离衬底的一侧表面，微透镜层可以聚焦在第一掺杂材料层的边缘与第二掺杂结构之间，这样光可以经过微透镜层到达第一掺杂材料层并经过聚焦，从而提高光转换效率。

作为一种可能的实施方式，所述微透镜层为阵列排布的微透镜，所述微透镜包括凸透镜和/或菲涅尔透镜。

25 本申请实施例中，微透镜层可以阵列排布的微透镜，微透镜可以为凸透镜和/或菲涅尔透镜，从而实现光束的聚焦，其中，菲涅尔透镜可以与凸透镜实现一致的聚焦作用的同时，可以具有较小的纵向尺寸，有利于缩小器件尺寸。

作为一种可能的实施方式，所述单光子雪崩二极管还包括倒金字塔结构；所述倒金字塔结构位于远离所述衬底的一侧。

30 本申请实施例中，单光子雪崩二极管还可以包括倒金字塔结构，倒金字塔结构可以位于远离衬底的一侧，倒金字塔结构中具有不平行于衬底表面的表面，光束在经过倒金字塔结构时会经过折射，因此入射到第一掺杂材料层时不再仅仅是纵向的光束，而是相对倾斜的，因此可以增加光束在第一掺杂材料层中的传输路径长度，提高光激发的可能性，提高光转换效率。

35 本申请实施例的第二方面，提供了一种单光子雪崩二极管的制造方法，包括：
提供衬底；

在所述衬底上由下至上依次形成第二掺杂结构、第一掺杂结构和第一掺杂材料层；或，在所述衬底上由下至上依次形成第一掺杂材料层、第一掺杂结构和第二掺杂结构；

—4—

其中，所述第二掺杂结构的横截面小于所述第一掺杂材料层；所述第一掺杂材料层和所述第二掺杂结构的掺杂类型一致，且所述第二掺杂结构的掺杂浓度高于所述第一掺杂材料层；所述第一掺杂结构覆盖所述第二掺杂结构朝向所述第一掺杂材料层的表面，且覆盖所述第二掺杂结构的侧壁；所述第一掺杂结构的掺杂类型与所述第二掺杂结构相反，所述
5 第一掺杂结构与所述第二掺杂结构相邻近的区域用于形成雪崩区；所述第一掺杂材料层的表面形成有覆盖材料，用于提供使所述第一掺杂材料层中的多子从边缘向中心运动的电场。

作为一种可能的实施方式，所述方法还包括：

形成第三掺杂结构；

所述第三掺杂结构覆盖所述第二掺杂结构的靠近所述第一掺杂材料层的部分侧壁时，
10 所述第三掺杂结构位于所述第二掺杂结构的未被所述第一掺杂结构覆盖的部分侧壁，或，所述第三掺杂结构位于所述第二掺杂材料层和所述第三掺杂材料层之间，以及所述第二掺杂结构的未被所述第一掺杂结构覆盖的部分侧壁；

所述第三掺杂结构的掺杂类型与所述第二掺杂结构一致，且掺杂浓度低于所述第二掺杂结构。

15 作为一种可能的实施方式，所述第一掺杂结构纵向贯穿所述第一掺杂材料层。

作为一种可能的实施方式，所述覆盖材料为第四掺杂结构和/或介质层，所述介质层带有电荷；所述第四掺杂结构的掺杂类型与所述第一掺杂材料层相反，所述介质层的带电类型与所述第一掺杂材料层中的多子的带电类型相同。

20 作为一种可能的实施方式，所述覆盖材料与第一引出端连接，第一引出端和所述第二掺杂结构用于分别连接不同的偏压。

作为一种可能的实施方式，所述第二掺杂结构位于所述第一掺杂材料层的中部，或所述第二掺杂结构沿着所述第一掺杂材料层的边缘设置，或所述第二掺杂结构位于所述第一掺杂材料层的顶角位置。

作为一种可能的实施方式，所述方法还包括微透镜层；

25 所述微透镜层位于远离所述衬底的一侧表面；所述微透镜层的聚焦在所述第一掺杂材料层的边缘与所述第二掺杂结构之间。

作为一种可能的实施方式，所述微透镜层为阵列排布的微透镜，所述微透镜包括凸透镜和/或菲涅尔透镜。

30 作为一种可能的实施方式，所述方法还包括倒金字塔结构；所述倒金字塔结构位于远离所述衬底的一侧。

本申请实施例的第三方面，提供了一种光检测器器件，包括多个光检测单元；所述光检测单元包括逻辑电路层和本申请实施例第一方面提供的所述的单光子雪崩二极管；所述逻辑电路层与所述单光子雪崩二极管电连接。

35 作为一种可能的实施方式，不同检测单元中的所述单光子雪崩二极管之间利用隔离沟槽隔离。

作为一种可能的实施方式，所述隔离沟槽中填充有绝缘材料；或所述隔离沟槽侧壁形成有介质层，所述隔离沟槽中还填充有金属填充层。

—5—

本申请实施例的第四方面，提供了一种光检测系统，包括光发射器件和本申请实施例的第三方面提供的所述的光检测器件；

所述光发射器件用于向待测物体发射光信号；

所述光检测器件用于基于所述待测物体反射的光信号产生雪崩电流。

5

从以上技术方案可以看出，本申请实施例具有以下优点：

本申请实施例提供一种单光子雪崩二极管及其制造方法、光检测器件及系统，其中，单光子雪崩二极管包括第一掺杂材料层、第二掺杂结构、第一掺杂结构和覆盖材料，其中第一掺杂材料层和第二掺杂结构在纵向上堆叠，且第二掺杂结构的横截面小于第一掺杂材料层，第一掺杂材料层和第二掺杂结构的掺杂类型一致，且第二掺杂结构的掺杂浓度高于
10 第一掺杂材料层，第一掺杂结构位于第二掺杂结构和第一掺杂材料层之间，且覆盖所述第二掺杂结构的侧壁，第一掺杂结构的掺杂类型与第二掺杂结构相反，且第一掺杂结构和第二掺杂结构相邻近的区域用于形成雪崩区，覆盖材料形成于第一掺杂材料层表面，用于提供使第一掺杂材料层中的多子从边缘向中心运动的电场。

也就是说，本申请实施例中，第一掺杂结构形成于第二掺杂结构的一侧水平表面以及侧壁，第一掺杂结构与第二掺杂结构相邻近的区域用于形成雪崩区，而第二掺杂结构和第一掺杂结构相邻近的拐角区域的高场区更容易形成雪崩区，即雪崩效应发生在第二掺杂结构和第一掺杂结构的边缘区，因此产生雪崩效应的概率较大，而覆盖材料能够提供使第一掺杂材料层中的多子从边缘向中心运动的电场，利于第一掺杂材料层中的光生载流子向雪
20 崩区移动，因此在一定程度上提高电荷收集效率，因此该器件具有较高的量子效率，从而可以具有较高的光探测效率。

附图说明

为了清楚地理解本申请的具体实施方式，下面将描述本申请具体实施方式时用到的附图做一简要说明。显而易见地，这些附图仅是本申请的部分实施例。

25

图1为目前的一种单光子雪崩二极管的结构示意图；

图2为本申请实施例提供的一种光检测系统的结构示意图；

图3为本申请实施例提供的一种光检测单元的结构示意图；

图4为本申请实施例提供的一种单光子雪崩二极管的结构示意图；

30

图5为本申请实施例提供的另一种单光子雪崩二极管的示意图；

图6为本申请实施例中第二掺杂结构和第一掺杂结构在水平面内的投影示意图；

图7为本申请实施例提供的一种等势线的示意图；

图8为本申请实施例提供的另一种单光子雪崩二极管的结构示意图；

图9为本申请实施例中又一种单光子雪崩二极管的结构示意图；

35

图10为图9中各部件在水平面内的投影示意图；

图11为本申请实施例提供的又一种单光子雪崩二极管的结构示意图；

图12为本申请实施例提供的又一种单光子雪崩二极管的结构示意图；

图 13 为本申请实施例提供的一种单光子雪崩二极管的制造方法的流程图。

具体实施方式

本申请实施例提供了一种半导体器件及其制造方法、光检测器件及系统，能够提高光探测效率。

本申请的说明书和权利要求书及上述附图中的术语“第一”、“第二”、“第三”、“第四”等（如果存在）是用于区别类似的对象，而不必用于描述特定的顺序或先后次序。应该理解这样使用的数据在适当情况下可以互换，以便这里描述的实施例能够以除了在这里图示或描述的内容以外的顺序实施。此外，术语“包括”和“具有”以及他们的任何变形，意图在于覆盖不排除他的包含，例如，包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备不必限于清楚地列出的那些步骤或单元，而是可包括没有清楚地列出的或对于这些过程、方法、产品或设备固有的其它步骤或单元。

本申请结合示意图进行详细描述，在详述本申请实施例时，为便于说明，表示器件结构的剖面图会不依一般比例作局部放大，而且所述示意图只是示例，其在此不应限制本申请保护的范围。此外，在实际制作中应包含长度、宽度及深度的三维空间尺寸。

目前，单光子雪崩二极管作为一种光检测器的组成部分，其工作原理是通过光电效应在光信号的作用下产生光生载流子，在高电场区运动时被迅速加速，运动过程中可能发生一次或多次碰撞，通过碰撞电离效应产生二次、三次新的电子空穴对，产生雪崩倍增效应，使载流子数量迅速增加，从而产生比较大的光生电流。

发明人经过研究发现，单光子雪崩二极管的光探测效率由其对目标光子的量子效率以及其本身的雪崩概率共同决定，而单光子雪崩二极管对目标光子的量子效率通常等比于其高场区的尺寸，目前的单光子雪崩二极管的量子效率和雪崩概率之间存在权衡，二者无法同时实现最佳化，导致光探测效率受到限制。

具体的，目前的单光子雪崩二极管利用了 PN 结的雪崩击穿，这种击穿可能发生在 PN 结的边缘或中心平坦区，若雪崩击穿发生在边缘，则雪崩概率较高，但是高场区面积小，若雪崩击穿发生在中心平坦区，则高场区面积较大，但是雪崩概率较低。

参考图 1 所示，为目前的一种单光子雪崩二极管的结构示意图，P 型阱的上表面设置有 N+阱区，P 型阱和 N+阱区的接触区域作为高场区，也是雪崩效应发生的区域，通常来说，雪崩效应会先发生在边缘位置，很明显此时量子效率较低，因此为了保证足够大的高场区面积以实现高的量子效率，可以设计有 N+阱区周围的保护环 N-阱，避免单光子雪崩二极管在 PN 结的边缘发生击穿，从而利用 PN 结的中心平坦区进行雪崩，中心平坦区的尺寸相对较大，P 型阱中产生的光生载流子有较高的概率运动到中心平坦区，从而在中心平坦区产生雪崩效应。其中，P 型阱的上表面还可以设置有 P+阱区，P+阱区和 N+阱区可以被施加偏压，以促进雪崩效应的发生。

基于以上技术问题，本申请实施例提供了一种单光子雪崩二极管及其制造方法、光检测器件及系统，其中，单光子雪崩二极管可以包括第一掺杂材料层、第二掺杂结构、第一掺杂结构和覆盖材料，其中第一掺杂材料层和第二掺杂结构在纵向上堆叠，且第二掺杂结

—7—

构的横截面小于第一掺杂材料层，第一掺杂材料层和第二掺杂结构的掺杂类型一致，且第二掺杂结构的掺杂浓度高于第一掺杂材料层，第一掺杂结构位于第二掺杂结构和第一掺杂材料层之间，且覆盖所述第二掺杂结构的侧壁，第一掺杂结构的掺杂类型与第二掺杂结构相反，且第一掺杂结构和第二掺杂结构相邻近的区域用于形成雪崩区，覆盖材料形成于第一掺杂材料层表面，用于提供使第一掺杂材料层中的多子从边缘向中心运动的电场。

也就是说，本申请实施例中，第一掺杂结构形成于第二掺杂结构的一侧水平表面以及侧壁，第一掺杂结构与第二掺杂结构相邻近的区域用于形成雪崩区，而第二掺杂结构和第一掺杂结构相邻近的拐角区域的高场区更容易形成雪崩区，即雪崩效应发生在第二掺杂结构和第一掺杂结构的边缘区，因此产生雪崩效应的概率较大，而覆盖材料能够提供使第一掺杂材料层中的多子从边缘向中心运动的电场，利于第一掺杂材料层中的光生载流子向雪崩区移动，因此在一定程度上提高电荷收集效率，因此该器件具有较高的量子效率，从而可以具有较高的光探测效率。

为使本申请的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂，下面结合附图对本申请的具体实施方式做详细的说明。

参考图 2 所示，为本申请实施例提供的一种光检测系统的结构示意图，其中，光检测系统可以包括光发射器件和光检测器件，其中光发射器件用于向待测物体发射光信号，光检测器件可以用于基于待测物体反射的光信号产生雪崩电流。利用向待测物体发射光信号的时间点和产生雪崩电流的时间点可以确定出光信号的飞行时间，因此可以计算得到待测物体与光检测系统的距离。

光发射器件可以为激光阵列，与待测物体之间可以具有准直透镜；光检测器件可以包括多个光检测单元，光检测单元可以阵列排布，光检测器件与待测物体之间可以具有滤光片，滤波片可以透过指定波长的光，例如可以透过红外光。

光检测单元之间可以通过隔离沟槽隔离，从而降低不同的单光子雪崩二极管之间的串扰 (cross talk, X-talk)。具体的，隔离沟槽可以为深沟槽，隔离方式可以为深沟槽隔离 (deep trench isolation, DTI) 工艺。具体的，隔离沟槽可以将光检测器件分为多个光吸收区，单光子雪崩二极管可以形成于光吸收区中，单光子雪崩二极管可以基于所属的光吸收区的光信号而产生雪崩电流，各个光吸收区可以阵列排布，光吸收区的形状可以根据实际情况而定，例如可以是能够紧密排布的多边形。

在隔离沟槽中，可以填充有绝缘材料，从而实现不同的单光子雪崩二极管的隔离；在隔离沟槽中，也可以在侧壁上形成介质层，再利用金属填充物进行隔离沟槽的填充，同样可以实现不同的单光子雪崩二极管的隔离。其中，介质层可以为高介电常数 (high K) 的材料，例如 Al_2O_3 、 TaO 、 HfO 等，金属填充层例如可以为金属钨等。

绝缘材料或介质层可以减小单光子雪崩二极管的暗计数，即减少在没有光信号的情况下产生的雪崩电流，同时可以减小单光子雪崩二极管的漏电。金属填充层通常为不透光材料，可以减少不同的单光子雪崩二极管之间的光信号的干扰。

参考图 3 所示，为本申请实施例提供的一种光检测单元的结构示意图，其中光检测单

元可以包括逻辑电路层和单光子雪崩二极管，逻辑电路层可以包括图像信号处理器（image signal processor, ISP）单元，可以对雪崩电流进行处理，例如可以根据雪崩电流的变化，来计算产生雪崩电流的光子的数量；单光子雪崩二极管可以在光的照射下发生光电效应，内部产生光生载流子，光生载流子在电场作用下进行运动和放大得到雪崩电流。

5 逻辑电路层和单光子雪崩二极管可以设置于同一衬底的不同层，例如逻辑电路层可以设置在衬底和单光子雪崩二极管之间，构成光检测器件的背照结构，参考图 3B 所示，逻辑电路层也可以设置于衬底之上，而与其上的单光子雪崩二极管设置于同一层，构成光检测器件的正照结构，参考图 3A 所示，其中带箭头的平行线条可以指示光照方向。

10 逻辑电路层还可以包括控制单元，控制单元可以对光检测单元的工作状态进行控制，例如控制光检测单元的输入电压。控制单元和图像信号处理器可以设置于同一层，也可以设置于不同层。

光发射器件还可以设置控制电路，用于控制光发射器件发射光信号。

下面结合附图对本申请实施例提供的单光子雪崩二极管进行介绍。

15 参考图 4 所示，为本申请实施例提供的一种单光子雪崩二极管的结构示意图，单光子雪崩二极管可以包括第一掺杂材料层 110、第二掺杂结构 120 和第一掺杂结构。

20 第一掺杂材料层 110 和第二掺杂结构 120 可以在纵向上堆叠，第二掺杂结构 120 的横截面可以小于第一掺杂材料层 110，当然，第一掺杂材料层 110 可以位于第二掺杂结构 120 的上方，也可以位于第二掺杂结构 120 的下方，图中以第二掺杂结构 120 在第一掺杂材料层 110 的上方为例进行说明。第一掺杂材料层 110 和第二掺杂结构 120 的掺杂类型一致，例如均为 P 型掺杂或均为 N 型掺杂，第二掺杂结构 120 的掺杂浓度高于第一掺杂材料层 110 的掺杂浓度。

25 为了便于描述，本申请实施例中，不同掺杂可以根据掺杂浓度的高低分为重掺杂、掺杂、轻掺杂，用于分别对应不同的掺杂浓度区间，其中，重掺杂可以利用 P+或 N+表示，掺杂可以通过 P 或 N 表示，轻掺杂可以利用 P-或 N-表示。具体的，第一掺杂材料层 110 可以为浅掺杂，掺杂类型可以利用 P-或 N-表示，第二掺杂结构 120 可以为重掺杂，掺杂类型可以利用 P+或 N+表示。

30 第一掺杂材料层 110 的横截面可以为多边形，例如可以为矩形、三角形、六边形等，第二掺杂结构 120 可以位于第一掺杂材料层 110 的中部，也可以沿着第一掺杂材料层的边缘设置，还可以位于第一掺杂材料层的顶角位置。

35 本申请实施例中，单光子雪崩二极管还可以包括第一掺杂结构，第一掺杂结构可以覆盖第二掺杂结构 120 朝向第一掺杂材料层 110 的表面，且覆盖第二掺杂结构 120 的侧壁，也就是说，在第一掺杂材料层 110 位于第二掺杂结构 120 的上方时，第一掺杂结构可以位于第二掺杂结构 120 的上表面和侧壁，在第一掺杂材料层 110 位于第二掺杂结构 120 的下方时，第一掺杂结构可以位于第二掺杂结构 120 的下表面和侧壁。第一掺杂结构的掺杂类型与第一掺杂材料层 110 相反，而第一掺杂材料层 110 和第二掺杂结构 120 的掺杂类型一致，则第一掺杂结构的掺杂类型不同于第二掺杂结构 120 和第一掺杂材料层 110。这样第一

掺杂材料层 110、第一掺杂结构和第二掺杂结构 120 可以构成 PNP 或 NPN 结构, 在第二掺杂结构 120 和第一掺杂结构的相邻近的拐角区域容易形成雪崩区 122, 载流子可以通过拐角区域的第一掺杂结构进入第二掺杂结构 120, 其中, 雪崩区 122 的区域大小根据实际情况而定, 附图中仅为其中一种示例。

5 具体的, 第一掺杂结构可以包括互相连接的第一部分 111 和第二部分 112, 第一部分 111 在第一掺杂材料层 110 中纵向延伸且与第二掺杂结构 120 正对, 第二部分 112 覆盖第二掺杂结构 120 的侧壁和第二掺杂结构 120 朝向第一掺杂材料层 110 的表面构成的拐角区域。

10 第一掺杂结构中的第二部分 112 可以覆盖第二掺杂结构 120 的整个侧壁, 也可以仅覆盖第二掺杂结构 120 的靠近第一掺杂材料层 110 的部分侧壁, 可以覆盖一侧侧壁, 也可以覆盖多侧侧壁, 可以覆盖第二掺杂结构 120 的靠近第一掺杂材料层 110 的整个水平表面, 也可以仅覆盖第二掺杂结构 120 的靠近第一掺杂材料层 110 的水平表面的边缘区域。

15 也就是说, 第一掺杂结构的第二部分 112 中可以具有凹槽, 该凹槽中内嵌有第二掺杂结构 120, 该凹槽可以是贯通的凹槽, 也可以是不贯通的凹槽。在第一掺杂结构的第二部分 112 中包括贯通的凹槽时, 第一掺杂结构的第一部分 111 可以嵌入第二部分 112 的凹槽中从而与第二部分 112 连接, 此时, 第一掺杂结构的第二部分 112 在水平面内的尺寸小于第一部分 111; 在第一掺杂结构的第二部分 112 包括不贯通的凹槽时, 第一掺杂结构的第一部分 111 可以在第一掺杂结构的远离第二掺杂结构 120 的一侧与第一掺杂结构的第二部分 112 连接, 此时, 第一掺杂结构的第二部分 112 在水平面内的尺寸可以小于第一部分 111, 也可以等于第一部分 111, 或者大于第一部分 111。

20 第一掺杂结构中的第一部分 111 的纵向延伸长度可以根据实际情况而定, 例如可以延伸至第一掺杂材料层 110 的中部, 也可以纵向贯穿第一掺杂材料层 110, 参考图 4 所示。第一掺杂结构中的第一部分 111 和第二部分 112 的掺杂浓度可以一致, 也可以不一致。

25 需要说明的是, 第一掺杂结构中的第一部分 111 与第一掺杂材料层 110 的掺杂类型不一致, 因此会改变第一掺杂材料层 110 内部的电场, 使第一掺杂材料层 110 中的光生载流子向远离第一掺杂结构 111 的方向移动, 有利于光生载流子向雪崩区的位置移动, 利于载流子收集。且第一部分 111 的纵向延伸长度越长, 对载流子的移动越有利。

30 本申请实施例中, 可以为第二掺杂结构 120 和第一掺杂材料层 110 施加电压, 使二者具有电压差。第二掺杂结构 120 可以作为第二引出端, 第一掺杂材料层 110 可以与第一引出端连接 143, 利用第一引出端 143 和第二引出端可以为单光子雪崩二极管施加偏差, 从而控制单光子雪崩二极管的工作状态, 例如通过设置第一引出端 143 和第二引出端的偏压, 使单光子雪崩二极管工作在盖革模式下, 从而在光的照射下发生雪崩效应。利用第二掺杂结构 120 还可以检测雪崩电流, 从而对雪崩电流进行分析, 例如利用雪崩电流分析引起雪崩电流的光信号。

35 举例来说, 参考图 5 所示, 为本申请实施例提供的另一种单光子雪崩二极管的示意图, 其中, 图 5A 为 NPN 结构, 即第一掺杂材料层 110 的掺杂类型为 N-, 第一掺杂结构的掺杂类型为 P, 第二掺杂结构 120 的掺杂类型为 N+, 第一掺杂材料层 110 中的多子为电子, 因此产生的光生载流子也基本是电子; 图 5B 为 PNP 结构, 即第一掺杂材料层 110 的掺杂类

型为 P-，第一掺杂结构的掺杂类型为 N，第二掺杂结构 120 的掺杂类型为 P+，第一掺杂材料层 110 中的多子为空穴，因此产生的光生载流子也基本是空穴。

具体的，第二掺杂结构 120 在横向上可以呈现为椭圆形、圆形、多边形等，相应的，第一掺杂结构的第二部分 112 在横向上可以体现为椭圆形环、圆环、多边形环等。参考图 6 所示，为本申请实施例中第二掺杂结构和第一掺杂结构在水平面内的投影示意图，如图 6A 所示，第二掺杂结构 120 在横向上构成圆形，第一掺杂结构在横向上呈现为圆环；参考图 6B 所示，第二掺杂结构 120 在横向上构成矩形，第一掺杂结构在横向上呈现为矩形环，其中矩形环可以包括棱角、圆角或斜切角；参考图 6C 所示，第二掺杂结构 120 在横向上可以构成三角形，第一掺杂结构在横向上呈现为三角形环，其中三角形环可以包括棱角、圆角或斜切角；参考图 6D 所示，第二掺杂结构 120 在横向上可以构成六边形，第一掺杂结构在横向上呈现为六边形环，其中六边形环可以包括棱角、圆角或斜切角。

本申请实施例中，单光子雪崩二极管还可以包括覆盖材料，覆盖材料形成于第一掺杂材料层 110 的表面，具体的，覆盖材料可以包括形成于第一掺杂材料层 110 远离第二掺杂结构 120 的表面的第一材料 1411，和/或，第一掺杂材料层 110 的侧壁的第二材料 1412，和/或，第二掺杂结构 120 的侧壁的第三材料 1413。其中，覆盖材料还可以提供使第一掺杂材料层 110 中的多子从边缘向中心运动的电场，因此覆盖材料可以促进边缘的载流子向中心移动，从而提高电荷收集效率。第一掺杂材料层 110 可以利用覆盖材料与第一引出端连接，从而为单光子雪崩二极管施加偏压。

参考图 7 所示，为本申请实施例提供的一种等势线的示意图，具体为图 5A 所示的单光子雪崩二极管内部的等势线的示意图，其中，上部中心位置为第二掺杂结构 120 所在位置，下部中心位置为第一掺杂结构的第一部分 111 所在位置，覆盖材料包括第一材料、第二材料和第三材料，从图中可以看出，等势线形成对称结构，等势线从外层向内，电势逐渐升高，因此电场线方向从第二掺杂结构 120 指向覆盖材料和第一掺杂结构的第一部分 111 的中心位置，再从该中心位置指向覆盖材料以及第一掺杂结构的第一部分 111（图中虚线箭头的反方向），因此第一掺杂材料层中的电子逆着电场线方向运动，参考图中虚线箭头方向，从而向第二掺杂结构 120 运动。

其中，覆盖材料可以为第四掺杂结构，其中第四掺杂结构的掺杂类型与第一掺杂材料层 110 的掺杂类型相反，例如第一掺杂材料层 110 的掺杂类型为 N-，则第四掺杂结构的掺杂类型可以为 P，此时电场方向由第一掺杂材料层 110 指向第四掺杂结构，因此第一掺杂材料层 110 中的电子作为多子，边缘的电子在第四掺杂结构产生的电场的作用下，向第一掺杂材料层 110 的中部运动。而第一掺杂结构的掺杂类型与第一掺杂材料层 110 相反，则在第一掺杂材料层 110 的掺杂类型为 N- 时，第一掺杂结构的掺杂类型也可以为 P，此时电场方向由第一掺杂材料层 110 指向第一掺杂结构，第一掺杂结构周围的电子在电场的作用下会远离第一掺杂结构，因此，最终的电子会向第一掺杂结构和第四掺杂结构之间聚集。

其中，覆盖材料也可以为介质层，介质层上带有电荷，介质层的带电类型与第一掺杂材料层 110 中的多子的带电类型相同，例如第一掺杂材料层 110 的掺杂类型为 N-，其中的电子作为多子，则介质层可以带负电，产生由第一掺杂材料层 110 指向介质层的电场，因

此在带电的介质层产生的电场的作用下，位于边缘位置的第一掺杂材料层 110 中的电子向第一掺杂材料层 110 的中部运动。而第一掺杂结构产生的电场促使电子远离第一掺杂结构，则最终的电子会向第一掺杂结构和介质层之间聚集。

在实际操作中，覆盖材料也可以同时包括第四掺杂结构和介质层，其中介质层可以位于第四掺杂结构的外侧，带电的介质层也可以与第四掺杂结构位于同一层且二者相接，例如位于第一掺杂材料层 110 远离第二掺杂结构 120 的表面的第一材料 1411 为第四掺杂结构，而位于第一掺杂材料层 110 设置有第二掺杂结构 120 的表面的第三材料 1413，以及位于第一掺杂材料层 110 的侧壁的第二材料 1412 为介质层，或者，第一材料 1411 和第二材料 1412 为介质层，第三材料 1413 为第三掺杂结构。

覆盖材料可以包围第一掺杂材料层 110，其设置位置可以在第一掺杂材料层 110 表面，在多个光检测单元阵列分布时，单光子雪崩二极管中的第一掺杂材料层 110 也为阵列分布，不同单光子雪崩二极管中的第一掺杂材料层 110，可以被纵向的隔离沟槽分隔开，而覆盖材料位于第一掺杂材料层的表面，因此邻近于隔离沟槽，此时，覆盖材料可以形成于隔离沟槽内部侧壁，也可以包围隔离沟槽。即第四掺杂结构和/或介质层可以形成隔离沟槽 140 内部侧壁，也可以形成于隔离沟槽 140 外围。

举例来说，在隔离沟槽 140 中，可以在侧壁上形成介质层，再利用金属填充物 142 进行隔离沟槽 140 的填充，同样可以实现不同的单光子雪崩二极管的隔离。这里的介质层为带电的介质层，形成于第一掺杂材料层 110 的侧壁，带电的介质层还可以提供使第一掺杂材料层 110 中的多子从边缘向中心运动的电场，在隔离沟槽 140 侧壁上形成带电的介质层时，其可以作为覆盖材料，也可以与第四掺杂结构共同构成覆盖材料。

第一掺杂材料层 110 可以通过覆盖材料连接第一引出端 143，因此在实际操作中，可以将第一引出端 143 和第二引出端（即第二掺杂结构 120）设置在同一层，便于为二者施加偏压。第一引出端 143 可以为掺杂材料，其掺杂类型与第二掺杂结构 120 不同，其掺杂也为重掺杂，可以利用 P+ 或 N+ 表示。第一引出端 143 和第二引出端还可以连接有互连线 133，互连线 133 可以为金属材料，在光从设置有互连线 133 的一侧照射单光子雪崩二极管的场景中，互连线 133 可以为透明电极材料，从而提高光的透过率。互连线 133 可以设置于覆盖层 134 中，参考图 11 所示。

在覆盖材料位于第二掺杂结构 120 的侧壁时，由于覆盖材料往往和第二掺杂结构 120 具有相反类型的载流子，因此二者的接触面具有较大的电势差，此时，在第二掺杂结构 120 和覆盖材料之间形成有第三掺杂结构 121，可以降低第二掺杂结构 120 和第一掺杂结构所在的水平表面电势梯度，减小漏电。

因此，本申请实施例中，单光子雪崩二极管还可以包括第三掺杂结构 121，第三掺杂结构 121 的掺杂类型与第二掺杂结构 120 一致，且掺杂浓度低于第二掺杂结构 120。在第一掺杂结构的第二部分 112 位于第二掺杂结构 120 的靠近第一掺杂材料层 110 的部分侧壁时，第三掺杂结构 121 可以位于第二掺杂结构 120 未被第一掺杂结构覆盖的部分侧壁，此时，第二掺杂结构 120 和第一掺杂结构之间可以直接接触，参考图 8 所示，为本申请实施例提供的又一种单光子雪崩二极管的结构示意图，第三掺杂结构 121 的存在可以降低第二

掺杂结构 120 和第一掺杂结构所在的水平表面电势梯度，第三掺杂结构 121 也可以位于第二掺杂结构 120 和第一掺杂结构之间，作为第二掺杂结构 120 和第一掺杂结构之间的击穿保护层，当然，第三掺杂结构 121 可以同时位于第二掺杂结构 120 未被第一掺杂结构覆盖的部分侧壁，以及第二掺杂结构 120 和第一掺杂结构之间，即第三掺杂结构 121 可以覆盖第二掺杂结构 120 的整个侧壁，以及第二掺杂结构 120 靠近第一掺杂材料层 110 的水平表面，参考图 4 所示。

也就是说，第三掺杂结构 121 可以位于第二掺杂结构 120 的侧壁，也可以位于第二掺杂结构 120 的侧壁以及第二掺杂结构 120 和第一掺杂结构之间，此时不会因为第三掺杂结构 121 的存在而影响第二掺杂结构 120 和第一掺杂结构之间的雪崩区位置以及雪崩概率，其雪崩区依然位于第一掺杂结构和第二掺杂结构相邻近的拐角位置。

位于第二掺杂结构 120 的侧壁上的第三掺杂结构 121 的横向厚度可以根据实际情况而定。在第三掺杂结构 121 位于第二掺杂结构 120 未被第一掺杂结构覆盖的部分侧壁时，可以适度增大第三掺杂结构 121 的横向厚度，有效降低第二掺杂结构 120 和第一掺杂结构所在的水平表面电势梯度。

第一掺杂材料层 110 的横截面可以为多边形，例如可以为矩形、三角形、六边形等，第二掺杂结构 120 可以位于第一掺杂材料层 110 的中部，也可以沿着第一掺杂材料层的边缘设置，还可以位于第一掺杂材料层的顶角位置。参考图 4 所示，第二掺杂结构 120 位于第一掺杂材料层 110 的中部，参考图 9 和图 10 所示，第二掺杂结构 120 可以设置于第一掺杂材料层的顶角位置，其中，图 9 为本申请实施例中又一种单光子雪崩二极管的结构示意图，图 10 为图 9 中各部件在水平面内的投影示意图，具体的，第二掺杂结构和第一掺杂结构可以位于第一掺杂材料层的右上角，隔离沟槽 140 将不同的第一掺杂材料层分隔开，覆盖材料形成于隔离沟槽外围，且与第一引出端 143 连接，第二掺杂结构 120 的横截面为四分之一圆，第三掺杂结构 121 和第一掺杂结构为四分之一圆环，这样，覆盖材料产生的电场使第一掺杂材料层 110 中产生的光生载流子从边缘向中心移动，第二掺杂结构 120、第三掺杂结构 121、第一掺杂结构和第一掺杂材料层 110 之间的电场使光生载流子朝向第二掺杂结构 120 移动，并形成雪崩电流。

当然，第二掺杂结构 120 还可以沿矩形的第一掺杂材料层的其中一条边而设置，此时，第二掺杂结构 120 可以为二分之一圆，第三掺杂结构 121 和第一掺杂结构为二分之一圆环，在此不做举例说明。

在本申请实施例中，位于不同光检测单元中的第一掺杂材料层可以利用隔离沟槽隔离开，此时，还可以为隔离沟槽 140 中的金属填充层 142 施加偏压，从而加速光生载流子的收集。具体的，在第一掺杂材料层 110 的掺杂类型为 N-时，可以为金属填充层 142 施加负偏压，在第一掺杂材料层 110 的掺杂类型为 P-时，可以为金属填充层 142 施加正偏压。

本申请实施例中，单光子雪崩二极管还可以包括衬底 100，以上说明的第二掺杂结构 120、第一掺杂结构和第一掺杂材料层 110 可以设置于衬底 100 之上，由于光检测器件分为正照（FSI）和背照（BSI）两种形式，因此在衬底 100 上的堆叠方式也不同。通常来说，光检测器件可以包括单光子雪崩二极管和逻辑电路层，正照式器件中，逻辑电路层可以与

单光子雪崩二极管位于同一层，光从上方直接照射单光子雪崩二极管，逻辑电路层不会影响对光束构成遮挡，在背照式器件中，逻辑电路层位于单光子雪崩二极管下方，光直接照射单光子雪崩二极管，逻辑电路层也不会对光束构成遮挡。

5 具体来说，可以参考图 11 所示，为本申请实施例提供的又一种单光子雪崩二极管的结构示意图。其中，在正照式器件中，参考图 11A 所示，为了便于连接，可以将单光子雪崩二极管的第二掺杂结构 120 朝上设置，互连层 133 设置于第二掺杂结构 120 的上方，用于实现单光子雪崩二极管与逻辑电路层的互连，互连层 133 可以设置在介质层 134 中。因此光从上至下入射至第一掺杂材料层 110，不需要透过衬底 100，即衬底 100 上由下至上依次可以设置有第一掺杂材料层 110、第一掺杂结构和第二掺杂结构 120，此时，第二掺杂结构
10 120 上的互连层 133 可以为透明金属材料，以降低其对光的吸收。

而在背照式器件中，参考图 11B 所示，为了便于连接，可以将单光子雪崩二极管的第二掺杂结构 120 朝下设置，互连层 133 可以设置于第二掺杂结构 120 的下方，用于实现单光子雪崩二极管与逻辑电路层的互连，互连层 133 可以设置在介质层 134 中。光从上至下直接入射至第一掺杂材料层 110，不需要透过衬底 100，即衬底 100 上由下至上可以设置有
15 第二掺杂结构 120、第一掺杂结构和第一掺杂材料层 110。

其中，衬底 100 可以是绝缘衬底，也可以是半导体衬底，在衬底 100 为半导体衬底时，衬底 100 表面可以形成有一层绝缘层，从而将衬底 100 及其上的其他膜层隔离开，避免衬底 100 产生的载流子雪崩电流产生影响，因此可以降低暗计数。举例来说，衬底 100 为绝缘体，其上的第二掺杂结构 120、第一掺杂结构、第三掺杂结构 121 为掺杂的硅材料，从而构成绝缘体上硅（silicon on insulator, SOI）结构。
20

在本申请实施例中的单光子雪崩二极管中，还可以包括微透镜层 150，微透镜层 150 可以位于远离衬底 100 的一侧表面，微透镜层 150 可以用于对光信号进行聚焦，从而使光信号集中在容易发生雪崩效应的位置。参考图 12 所示，为本申请实施例提供的又一种单光子雪崩二极管的结构示意图，其中图 12A 为正照式结构，微透镜层 150 设置于第二掺杂结构 120 之上，图 12B 所示为背照式结构，微透镜层 150 设置于第一掺杂材料层 110 之上。
25 在图 11 中，衬底 100 为绝缘衬底。

具体的，微透镜层 150 的聚焦位置在所述第一掺杂材料层 110 的边缘与所述第二掺杂结构 120 之间的中部，这样可以将光束聚焦至第一掺杂结构和第一掺杂材料层 110 的边缘之间的位置，可以提高载流子收集效率。

30 具体的，微透镜层可以包括阵列排布的微透镜，微透镜可以为凸透镜和/或菲涅尔透镜，其中，菲涅尔透镜可以与凸透镜实现一致的聚焦作用的同时，可以具有较小的纵向尺寸，有利于缩小器件尺寸。其排布位置可以根据第二掺杂结构 120 的形状而确定，其排布数量可以根据实际情况确定。在微透镜层上，还可以设置有抗反射层，以增加对目标光的量子效率。

35 在本申请实施例中，单光子雪崩二极管还可以包括倒金字塔结构 151，倒金字塔结构 151 可以为倒金字塔结构阵列（inverted pyramid array, IPA），倒金字塔结构 151 位于远离衬底 100 的一侧，用于在光通过时发生折射，从而改变光的传输方向，这样光在第一掺杂

材料层 110 中不止沿竖直方向传输,因此增加了光的传输路径,增加了第一掺杂材料层 110 吸收光产生载流子的可能。倒金字塔结构 151 中的结构具有多个不平行于衬底表面的平面,且倒金字塔结构的折射率可以不同于其上或其下的膜层的折射率,以使光通过时发生折射从而改变光的传输方向。具体的,倒金字塔结构可以是通过对第一掺杂材料层进行刻蚀并填充得到的,也可以是对覆盖材料进行刻蚀并填充得到的。

倒金字塔结构 151 可以位于微透镜层 150 和其下的膜层之间,从而使光经过聚焦后进行折射,例如位于微透镜层 150 和第二掺杂结构 120 侧壁的第三材料 1413 之间,倒金字塔结构 151 可以是对其下的第三材料 1413 进行刻蚀并填充得到,在倒金字塔结构 151 上可以设置有平坦层 152,利于其上膜层的形成,参考图 12A 所示,或者倒金字塔结构 151 可以位于微透镜层 150 和第一掺杂材料层 110 之间,倒金字塔结构 151 可以是对其下的第一材料 1411 进行刻蚀并填充得到,在倒金字塔结构 151 上还可以形成平坦层 152,参考图 12B 所示。

需要说明的是,本申请实施例中,倒金字塔结构 151 位于覆盖材料中,若覆盖材料为带电的介质层,则可以先对第一掺杂材料层 110 进行刻蚀,得到倒金字塔结构,在倒金字塔结构上形成带电的介质层,则可以不对第一掺杂材料层 110 进行掺杂从而形成第四掺杂结构。

本申请实施例提供了一种单光子雪崩二极管,包括第一掺杂材料层、第二掺杂结构、第一掺杂结构和覆盖材料,其中第一掺杂材料层和第二掺杂结构在纵向上堆叠,且第二掺杂结构的横截面小于第一掺杂材料层,第一掺杂材料层和第二掺杂结构的掺杂类型一致,且第二掺杂结构的掺杂浓度高于第一掺杂材料层,第一掺杂结构位于第二掺杂结构和第一掺杂材料层之间,且覆盖所述第二掺杂结构的侧壁,第一掺杂结构的掺杂类型与第二掺杂结构相反,且第一掺杂结构和第二掺杂结构相邻近的区域用于形成雪崩区,覆盖材料形成于第一掺杂材料层表面,用于提供使第一掺杂材料层中的多子从边缘向中心运动的电场。

也就是说,本申请实施例中,第一掺杂结构形成于第二掺杂结构的一侧水平表面以及侧壁,第一掺杂结构与第二掺杂结构相邻近的区域用于形成雪崩区,而第二掺杂结构和第一掺杂结构相邻近的拐角区域的高场区更容易形成雪崩区,即雪崩效应发生在第二掺杂结构和第一掺杂结构的边缘区,因此产生雪崩效应的概率较大,而覆盖材料能够提供使第一掺杂材料层中的多子从边缘向中心运动的电场,利于第一掺杂材料层中的光生载流子向雪崩区移动,因此在一定程度上提高电荷收集效率,因此该器件具有较高的量子效率,从而可以具有较高的光探测效率。

基于以上实施例提供的单光子雪崩二极管,本申请实施例还提供了一种单光子雪崩二极管的制造方法,参考图 13 所示,为本申请实施例提供的一种单光子雪崩二极管的制造方法的流程图,具体的,该方法可以包括以下步骤:

S101, 提供衬底。

衬底可以是绝缘衬底,也可以是半导体衬底,在衬底为半导体衬底时,衬底表面可以形成有一层绝缘层,从而将衬底及其上的其他膜层隔离开,避免衬底产生的载流子雪崩电

流产生影响，因此可以降低暗计数。

S102，在衬底上由下至上依次形成第二掺杂结构、第一掺杂结构和第一掺杂材料层；或，在衬底上由下至上依次形成第一掺杂材料层、第一掺杂结构和第二掺杂结构。

其中，第二掺杂结构的横截面小于第一掺杂材料层，第一掺杂材料层和第二掺杂结构的掺杂类型一致，且第二掺杂结构的掺杂浓度高于第一掺杂材料层，第一掺杂结构位于第二掺杂结构和第一掺杂材料层之间，且覆盖第二掺杂结构的侧壁，第一掺杂结构的掺杂类型与第二掺杂结构相反，第一掺杂结构与第二掺杂结构相邻近的区域用于形成雪崩区，第一掺杂材料层的表面形成有覆盖材料，用于提供使第一掺杂材料层中的多子从边缘向中心运动的电场。

第一掺杂材料层、第一掺杂结构和第二掺杂结构可以为掺杂的硅材料。

作为一种可能的实施方式，可以在衬底上由下至上依次形成第二掺杂结构、第一掺杂结构和第一掺杂材料层。之后，可以在第二掺杂结构上形成与逻辑电路层实现互连的互连层，以及与单光子雪崩二极管位于同一层的逻辑电路，从而形成光检测单元，当然，逻辑电路也可以在单光子雪崩二极管之前形成。

具体的，可以在衬底上形成体结构，在体结构中依次掺杂形成第一掺杂材料层、第三掺杂材料和第二掺杂结构，体结构可以为本征层，也可以是轻掺杂层。轻掺杂层可以为第一掺杂材料层的体结构，通过在第一掺杂材料层的体结构中进行掺杂，形成第一掺杂结构和第二掺杂结构，轻掺杂层也可以是其他材料层，通过掺杂得到第一掺杂材料层、第一掺杂结构和第二掺杂结构。具体的，也可以通过外延生长的方式在衬底上依次形成第一掺杂材料层、第三掺杂材料和第二掺杂结构。

举例来说，参考图 11A 所示的单光子雪崩二极管中，可以先在衬底上形成第一掺杂材料层 110 的体结构，该体结构所在位置包括第一掺杂结构、第二掺杂结构 120、覆盖材料的位置。之后，可以对体结构的底部进行反掺杂，得到位于第一掺杂材料层 110 底表面的覆盖材料中的第一材料 1411，之后可以对体结构的侧壁进行反掺杂，得到位于第一掺杂材料层 110 侧壁的覆盖材料中的第二材料 1412，之后，可以在体结构的中部进行反掺杂，得到第一掺杂结构的第一部分 111 和第二部分 112，之后，可以在体结构的上部分进行掺杂，形成第二掺杂结构 130，并进行反掺杂形成覆盖材料中的第三材料 1413。

作为另一种可能的实施方式，可以在衬底上由下至上依次形成第二掺杂结构、第一掺杂结构和第一掺杂材料层。此时，衬底上可以已经形成有逻辑电路层以及覆盖逻辑电路层的介质层，第二掺杂结构可以形成与覆盖逻辑电路层的介质层之上。在形成第二掺杂结构之前，还可以形成与逻辑电路层互连的互连层，互连层用于连接第二掺杂结构和逻辑电路层。

具体的，可以在衬底上形成体结构，在体结构中依次掺杂形成第二掺杂结构、第一掺杂结构和第一掺杂材料层，体结构可以为本征层，也可以为轻掺杂层。轻掺杂层可以为第一掺杂材料层，通过在第一掺杂材料层中进行掺杂，形成第一掺杂结构和第二掺杂结构，轻掺杂层也可以是其他材料层，通过掺杂得到第一掺杂材料层、第一掺杂结构和第二掺杂结构。具体的，也可以通过外延生长的方式在衬底上依次形成第二掺杂结构、第一掺杂结

构和第一掺杂材料层。

举例来说，参考图 11B 所示的单光子雪崩二极管中，可以先在衬底上形成第一掺杂材料层 110 的体结构，该体结构所在位置包括第一掺杂结构、第二掺杂结构 120、覆盖材料的位置。之后，可以在体结构的底部重掺杂进行掺杂，形成第二掺杂结构 120，并进行反掺杂形成覆盖材料中的第三材料 1413；之后，可以在体结构的中部进行反掺杂，得到第一掺杂结构的第一部分 111 和第二部分 112，以及对体结构的侧壁进行反掺杂，得到位于第一掺杂材料层 110 侧壁的覆盖材料中的第二材料 1412；之后，可以对体结构的上部分进行反掺杂，得到位于第一掺杂材料层 110 底表面的覆盖材料中的第一材料 1411。

本申请实施例中，单光子雪崩二极管还可以包括覆盖材料，覆盖材料形成于第一掺杂材料层的表面，具体的，覆盖材料可以形成于第一掺杂材料层远离第二掺杂结构的表面，和/或，第一掺杂材料层的侧壁，和/或，第二掺杂材料的侧壁。其中，覆盖材料还可以提供使第一掺杂材料层中的多子从边缘向中心运动的电场，因此覆盖材料可以促进边缘的载流子从边缘向中心移动，从而提高电荷收集效率。第一掺杂材料层可以利用覆盖材料与第一引出端连接，从而为单光子雪崩二极管施加偏压。

其中，覆盖材料可以为第四掺杂结构，其中第四掺杂结构的掺杂类型与第一掺杂材料层的掺杂类型相反，例如第一掺杂材料层的掺杂类型为 N-，则第四掺杂结构的掺杂类型可以为 P，此时电场方向由第一掺杂材料层指向第四掺杂结构，因此第一掺杂材料层中的电子作为多子，边缘的电子在第四掺杂结构产生的电场的作用下，向第一掺杂材料层的中部运动。而第一掺杂结构的掺杂类型与第一掺杂材料层相反，则在第一掺杂材料层的掺杂类型为 N- 时，第一掺杂结构的掺杂类型也可以为 P，此时电场方向由第一掺杂材料层指向第一掺杂结构，第一掺杂结构周围的电子在电场的作用下会远离第一掺杂结构，因此，最终的电子会向第一掺杂结构和第四掺杂结构之间聚集。

其中，覆盖材料也可以为介质层，介质层上带有电荷，介质层的带电类型与第一掺杂材料层中的多子的带电类型相同，例如第一掺杂材料层的掺杂类型为 N-，其中的电子作为多子，则介质层可以带负电，产生由第一掺杂材料层指向介质层的电场，因此在带电的介质层产生的电场的作用下，位于边缘位置的第一掺杂材料层中的电子向第一掺杂材料层的中部运动。而第一掺杂结构产生的电场促使电子远离第一掺杂结构，则最终的电子会向第一掺杂结构和介质层之间聚集。

在实际操作中，覆盖材料也可以同时包括第四掺杂结构和介质层，其中介质层可以位于第四掺杂结构的外侧，带电的介质层也可以与第四掺杂结构位于同一层且二者相接，例如位于第一掺杂材料层 110 远离第二掺杂结构 120 的表面的第一材料 1411 为第四掺杂结构，而位于第一掺杂材料层 110 设置有第二掺杂结构 120 的表面的第三材料 1413，以及位于第一掺杂材料层 110 的侧壁的第二材料 1412 为介质层，或者，第一材料 1411 和第二材料 1412 为介质层，第三材料 1413 为第三掺杂结构。

覆盖材料可以包围第一掺杂材料层，其设置位置在第一掺杂材料层表面，在多个光检测单元阵列分布时，单光子雪崩二极管中的第一掺杂材料层也为阵列分布，不同单光子雪崩二极管中的第一掺杂材料层，可以被纵向的隔离沟槽分隔开，而覆盖材料位于第一掺杂

材料层的表面，因此邻近于隔离沟槽，此时，覆盖材料可以形成于隔离沟槽内部侧壁，也可以包围隔离沟槽。即第四掺杂结构和/或带电的介质层可以形成隔离沟槽内部侧壁，也可以形成于隔离沟槽外围。

形成覆盖材料的方式可以通过掺杂的方式，也可以是通过外延生长的方式。例如可以在第一掺杂材料层的边缘进行掺杂，得到包围剩余的第一掺杂材料层的第四掺杂结构，或者对第一掺杂材料层进行刻蚀，形成隔离沟槽，在隔离沟槽的侧壁外延形成带电的介质层。

本申请实施例中，还可以形成第三掺杂结构。第三掺杂结构 121 的掺杂类型与第二掺杂结构 120 一致，且掺杂浓度低于第二掺杂结构 120。在第一掺杂结构的第二部分 112 位于第二掺杂结构 120 的靠近第一掺杂材料层 110 的部分侧壁时，第三掺杂结构 121 可以位于第二掺杂结构 120 未被第一掺杂结构覆盖的部分侧壁，此时，第二掺杂结构 120 和第一掺杂结构之间可以直接接触，第三掺杂结构 121 的存在可以降低第二掺杂结构 120 和第一掺杂结构所在的水平表面电势梯度，第三掺杂结构 121 也可以位于第二掺杂结构 120 和第一掺杂结构之间，作为第二掺杂结构 120 和第一掺杂结构之间的击穿保护层，当然，第三掺杂结构 121 可以同时位于第二掺杂结构 120 未被第一掺杂结构覆盖的部分侧壁，以及第二掺杂结构 120 和第一掺杂结构之间，即第三掺杂结构 121 可以覆盖第二掺杂结构 120 的整个侧壁，以及第二掺杂结构 120 靠近第一掺杂材料层 110 的水平表面。

也就是说，第三掺杂结构 121 可以位于第二掺杂结构 120 的侧壁，也可以位于第二掺杂结构 120 的侧壁以及第二掺杂结构 120 和第一掺杂结构之间，此时不会因为第三掺杂结构 121 的存在而影响第二掺杂结构 120 和第一掺杂结构之间的雪崩区位置以及雪崩概率。

在本申请实施例中，还可以形成微透镜层，微透镜层可以位于远离衬底的一侧表面，微透镜层可以用于对光信号进行聚焦，从而使光信号集中在容易发生雪崩效应的位置。具体的，微透镜层的聚焦位置与第二掺杂结构在水平面上的投影具有重叠，这样可以将光束聚焦至第二掺杂结构正对的位置，从而提高载流子收集效率。具体的，微透镜层可以包括阵列排布的微透镜，微透镜可以为凸透镜和/或菲涅尔透镜。

微透镜层的形成方式可以为回流式 (reflow)、回刻蚀 (etching back) 等。其中，回流式可以具体为，在器件远离衬底的一侧表面上旋涂感光有机材料，之后通过曝光显影和加热回流，可以得到感光有机材料的微透镜层；回刻蚀可以具体为，在器件远离衬底的一侧表面上进行平坦层沉积，在平坦层上旋涂感光有机材料，之后通过曝光显影和加热回流，得到感光有机材料的掩模层，之后可以进行刻蚀工艺，将感光有机材料上的图形转移到平坦层。

在本申请实施例中，还可以形成倒金字塔结构，倒金字塔结构可以为倒金字塔结构阵列，倒金字塔结构位于远离衬底的一侧，用于在光通过时发生折射，从而改变光的传输方向，这样光在第一掺杂材料层中不止沿竖直方向传输，因此增加了光的传输路径，增加了第一掺杂材料层吸收光产生载流子的可能。倒金字塔结构可以位于微透镜层和其下的膜层之间，从而使光经过聚焦后进行折射。因此可以在形成微透镜层之前形成倒金字塔结构。

本申请实施例提供了一种单光子雪崩二极管的制造方法，具体的，可以在衬底上由下

至上依次形成第二掺杂结构、第一掺杂结构和第三掺杂结构，或右下之上依次形成第三掺杂结构、第一掺杂结构和第二掺杂结构，其中所述第二掺杂结构的横截面小于所述第一掺杂材料层；所述第一掺杂材料层和所述第二掺杂结构的掺杂类型一致，且所述第二掺杂结构的掺杂浓度高于所述第一掺杂材料层；所述第一掺杂结构位于所述第二掺杂结构和所述

5 第一掺杂材料层之间，且覆盖所述第二掺杂结构的侧壁；所述第一掺杂结构的掺杂类型与所述第二掺杂结构相反，其相邻近的区域用于形成雪崩区；所述第一掺杂材料层的表面形成有覆盖材料，用于提供使所述第一掺杂材料层中的多子从边缘向中心运动的电场。

也就是说，本申请实施例中，第一掺杂结构形成于第二掺杂结构的一侧水平表面以及侧壁，第一掺杂结构与第二掺杂结构相邻近的区域用于形成雪崩区，而第二掺杂结构和

10 第一掺杂结构相邻近的拐角区域的高场区更容易形成雪崩区，即雪崩效应发生在第二掺杂结构和第一掺杂结构的边缘区，因此产生雪崩效应的概率较大，而覆盖材料能够提供使第一掺杂材料层中的多子从边缘向中心运动的电场，利于第一掺杂材料层中的光生载流子向雪崩区移动，因此在一定程度上提高电荷收集效率，因此该器件具有较高的量子效率，从而可以具有较高的光探测效率。

15 本说明书中的各个实施例均采用递进的方式描述，各个实施例之间相同相似的部分互相参见即可，每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处。尤其，对于方法实施例而言，由于其基本相似于结构实施例，所以描述得比较简单，相关之处参见结构实施例的部分说明即可。

20 以上为本申请的具体实现方式。应当理解，以上所述实施例仅用以说明本申请的技术方案，而非对其限制；尽管参照前述实施例对本申请进行了详细的说明，本领域的普通技术人员应当理解：其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改，或者对其中部分技术特征进行等同替换；而这些修改或者替换，并不使相应技术方案的本质脱离本申请各实施例技术方案的范围。

25

权 利 要 求

1、一种单光子雪崩二极管，其特征在于，包括第一掺杂材料层、第二掺杂结构、第一掺杂结构和覆盖材料；

所述第一掺杂材料层和所述第二掺杂结构在纵向上堆叠，且所述第二掺杂结构的横截面小于所述第一掺杂材料层；所述第一掺杂材料层和所述第二掺杂结构的掺杂类型一致，且所述第二掺杂结构的掺杂浓度高于所述第一掺杂材料层；

所述第一掺杂结构覆盖所述第二掺杂结构朝向所述第一掺杂材料层的表面，且覆盖所述第二掺杂结构的侧壁；所述第一掺杂结构的掺杂类型与所述第二掺杂结构相反，所述第一掺杂结构与所述第二掺杂结构相邻近的区域用于形成雪崩区；

所述覆盖材料覆盖所述第一掺杂材料层表面，用于提供使所述第一掺杂材料层中的多子从边缘向中心运动的电场。

2、根据权利要求1所述的单光子雪崩二极管，其特征在于，还包括第三掺杂结构；

所述第一掺杂结构覆盖所述第二掺杂结构的靠近所述第一掺杂材料层的部分侧壁时，所述第三掺杂结构位于所述第二掺杂结构的未被所述第一掺杂结构覆盖的部分侧壁，或，所述第三掺杂结构位于所述第二掺杂材料层和所述第三掺杂材料层之间，以及所述第二掺杂结构的未被所述第一掺杂结构覆盖的部分侧壁；

所述第三掺杂结构的掺杂类型与所述第二掺杂结构一致，且掺杂浓度低于所述第二掺杂结构。

3、根据权利要求1所述的单光子雪崩二极管，其特征在于，所述第一掺杂结构纵向贯穿所述第一掺杂材料层。

4、根据权利要求1所述的单光子雪崩二极管，其特征在于，所述覆盖材料为第四掺杂结构和/或介质层，所述介质层带有电荷；所述第四掺杂结构的掺杂类型与所述第一掺杂材料层相反，所述介质层的带电类型与所述第一掺杂材料层中的多子的带电类型相同。

5、根据权利要求1所述的单光子雪崩二极管，其特征在于，所述覆盖材料与第一引出端连接，第一引出端和所述第二掺杂结构用于分别连接不同的偏压。

6、根据权利要求1所述的单光子雪崩二极管，其特征在于，所述第二掺杂结构位于所述第一掺杂材料层的中部，或所述第二掺杂结构沿着所述第一掺杂材料层的边缘设置，或所述第二掺杂结构位于所述第一掺杂材料层的顶角位置。

7、根据权利要求1-6任意一项所述的单光子雪崩二极管，其特征在于，还包括衬底；所述衬底上由下至上依次设置有第一掺杂材料层和第二掺杂结构。

8、根据权利要求1-6任意一项所述的单光子雪崩二极管，其特征在于，还包括衬底；所述衬底上由下至上依次设置有第二掺杂结构和第一掺杂材料层。

9、根据权利要求7或8所述的单光子雪崩二极管，其特征在于，还包括微透镜层；

所述微透镜层位于远离所述衬底的一侧表面；所述微透镜层的聚焦在所述第一掺杂材料层的边缘与所述第二掺杂结构之间。

10、根据权利要求9所述的单光子雪崩二极管，其特征在于，所述微透镜层为阵列排布的微透镜，所述微透镜包括凸透镜和/或菲涅尔透镜。

11、根据权利要求 7-10 任意一项所述的单光子雪崩二极管，其特征在于，还包括倒金字塔结构；所述倒金字塔结构位于远离所述衬底的一侧。

12、一种单光子雪崩二极管的制造方法，其特征在于，包括：

提供衬底；

5 在所述衬底上由下至上依次形成第二掺杂结构、第一掺杂结构和第一掺杂材料层；或，在所述衬底上由下至上依次形成第一掺杂材料层、第一掺杂结构和第二掺杂结构；

其中，所述第二掺杂结构的横截面小于所述第一掺杂材料层；所述第一掺杂材料层和所述第二掺杂结构的掺杂类型一致，且所述第二掺杂结构的掺杂浓度高于所述第一掺杂材料层；所述第一掺杂结构覆盖所述第二掺杂结构朝向所述第一掺杂材料层的表面，且覆盖
10 所述第二掺杂结构的侧壁；所述第一掺杂结构的掺杂类型与所述第二掺杂结构相反，所述第一掺杂结构与所述第二掺杂结构相邻近的区域用于形成雪崩区；所述第一掺杂材料层的表面形成有覆盖材料，用于提供使所述第一掺杂材料层中的多子从边缘向中心运动的电场。

13、根据权利要求 12 所述的方法，其特征在于，还包括：

形成第三掺杂结构；

15 所述第一掺杂结构覆盖所述第二掺杂结构的靠近所述第一掺杂材料层的部分侧壁时，所述第三掺杂结构位于所述第二掺杂结构的未被所述第一掺杂结构覆盖的部分侧壁，或，所述第三掺杂结构位于所述第二掺杂材料层和所述第三掺杂材料层之间，以及所述第二掺杂结构的未被所述第一掺杂结构覆盖的部分侧壁；

所述第三掺杂结构的掺杂类型与所述第二掺杂结构一致，且掺杂浓度低于所述第二掺杂结构。
20 掺杂结构。

14、根据权利要求 12 所述的方法，其特征在于，所述第一掺杂结构纵向贯穿所述第一掺杂材料层。

15、根据权利要求 12 所述的方法，其特征在于，所述第二掺杂结构位于所述第一掺杂材料层的中部，或所述第二掺杂结构沿着所述第一掺杂材料层的边缘设置，或所述第二掺杂结构位于所述第一掺杂材料层的顶角位置。
25 掺杂结构位于所述第一掺杂材料层的顶角位置。

16、一种光检测器件，其特征在于，包括多个光检测单元，所述光检测单元包括逻辑电路层和权利要求 1-11 任意一项所述的单光子雪崩二极管；所述逻辑电路层与所述单光子雪崩二极管电连接。

17、根据权利要求 16 所述的光检测器件，其特征在于，不同检测单元中的所述单光子雪崩二极管之间利用隔离沟槽隔离。
30 雪崩二极管之间利用隔离沟槽隔离。

18、根据权利要求 17 所述的光检测器件，其特征在于，所述隔离沟槽中填充有绝缘材料；或所述隔离沟槽侧壁形成有介质层，所述隔离沟槽中还填充有金属填充层。

19、一种光检测系统，其特征在于，包括光发射器件和权利要求 16-18 任意一项所述的光检测器件；

35 所述光发射器件用于向待测物体发射光信号；

所述光检测器件用于基于所述待测物体反射的光信号产生雪崩电流。

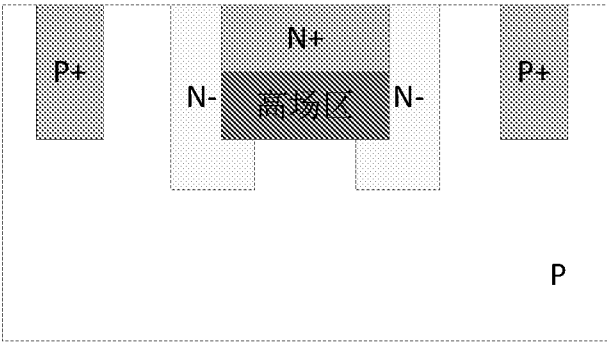


图 1

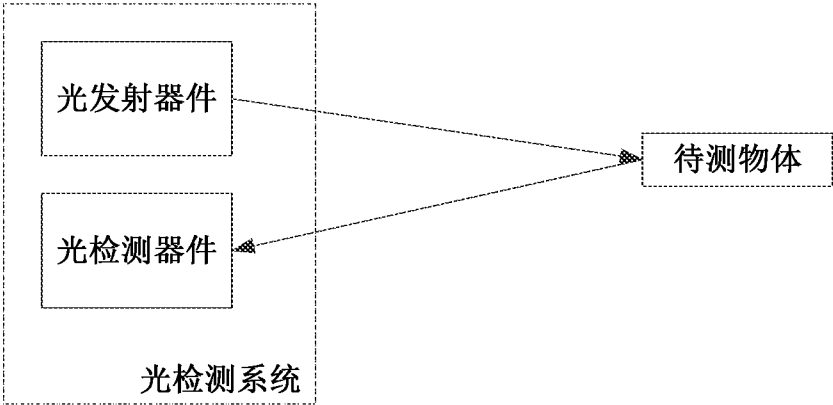


图 2

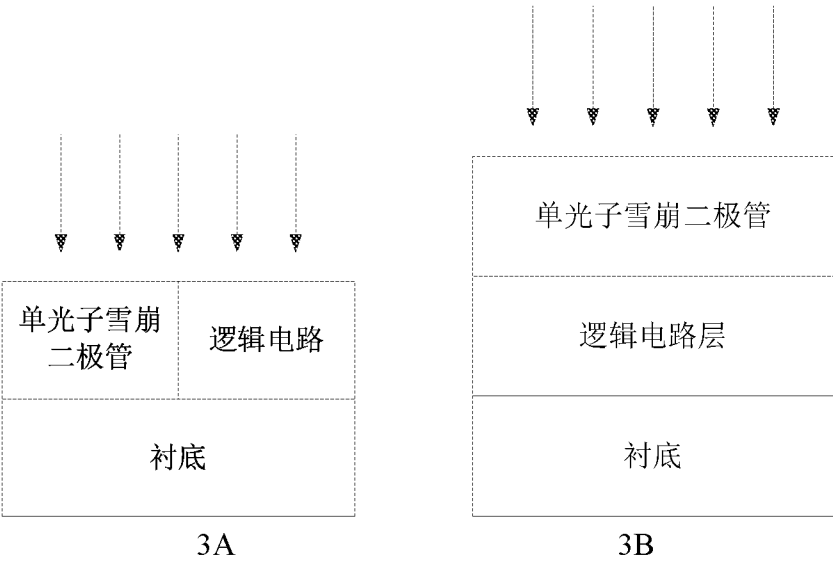


图 3

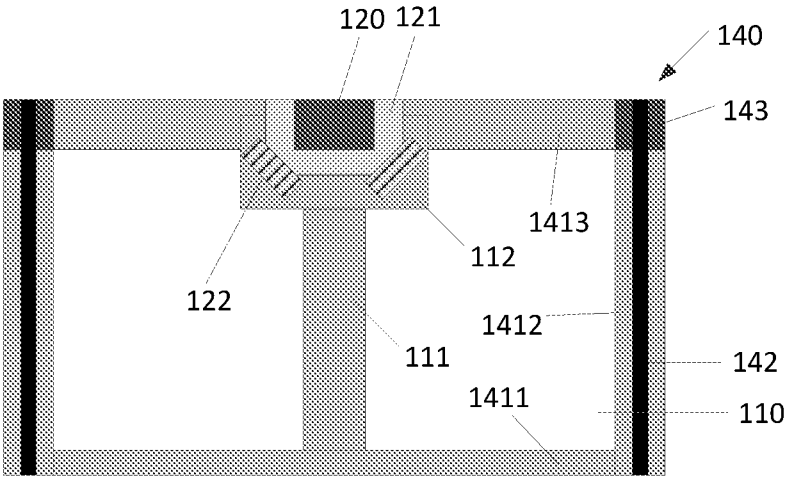


图 4

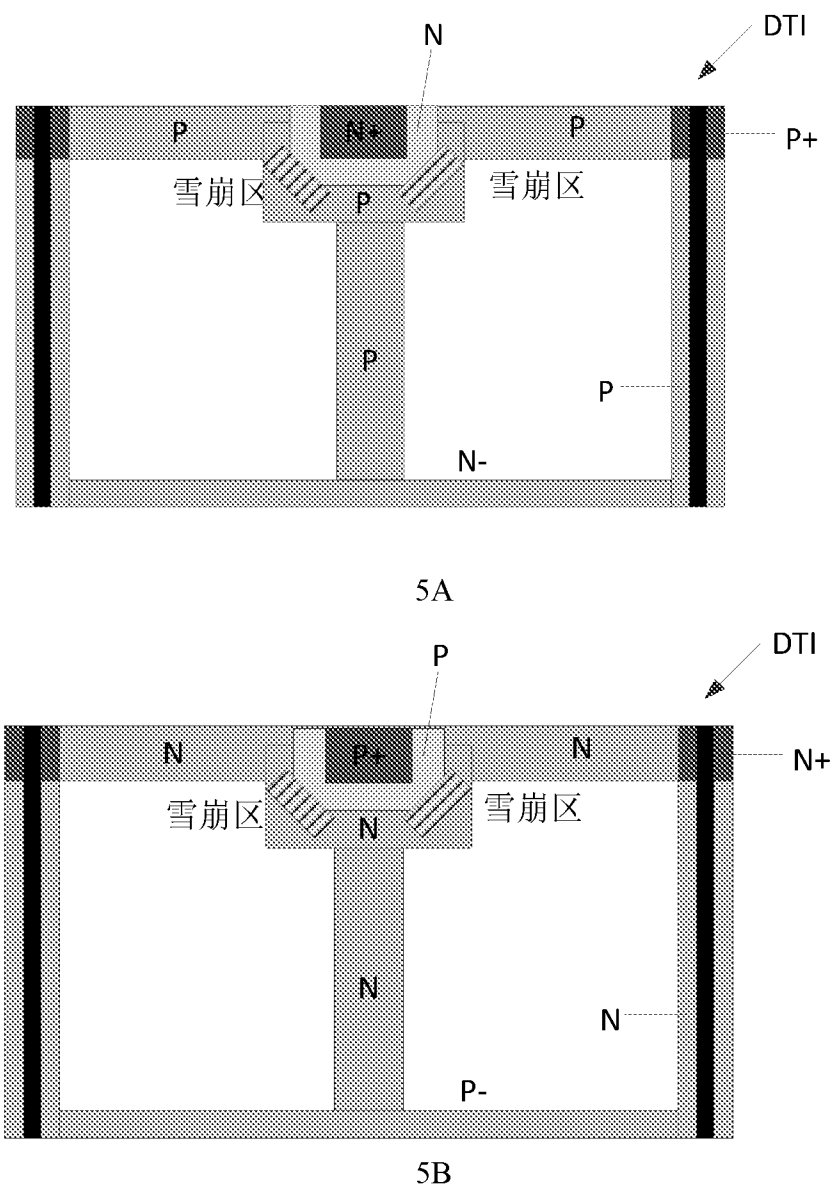


图 5

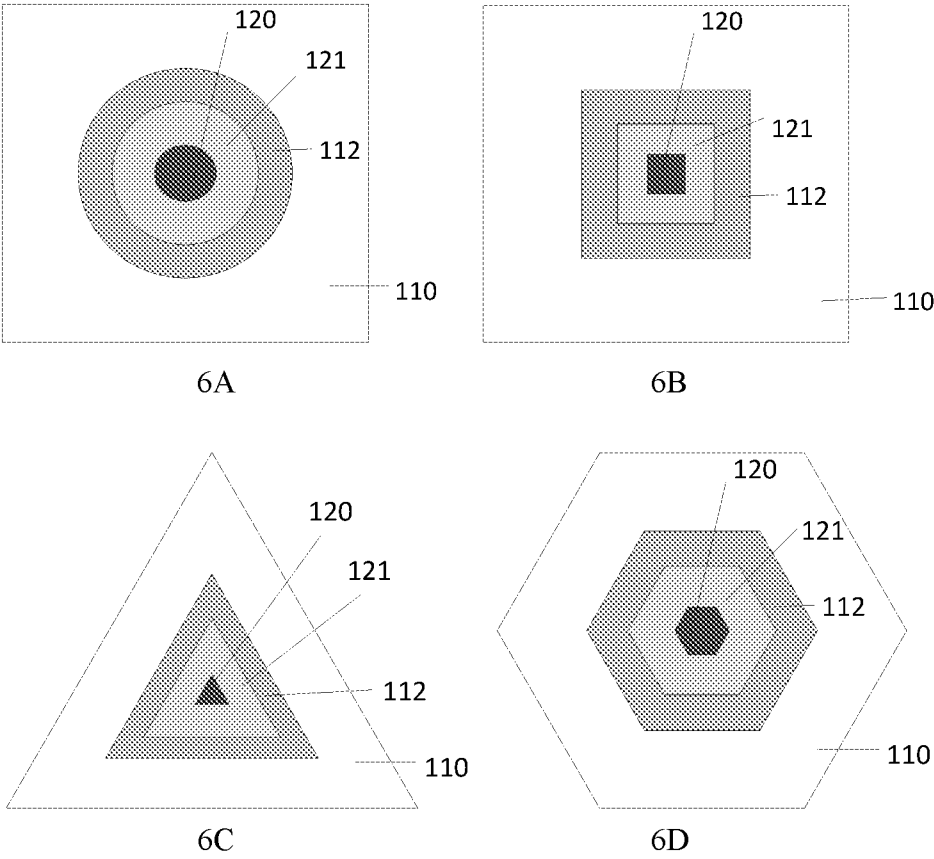


图 6

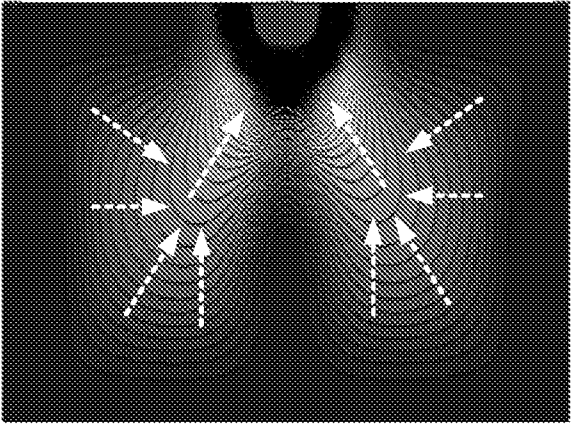


图 7

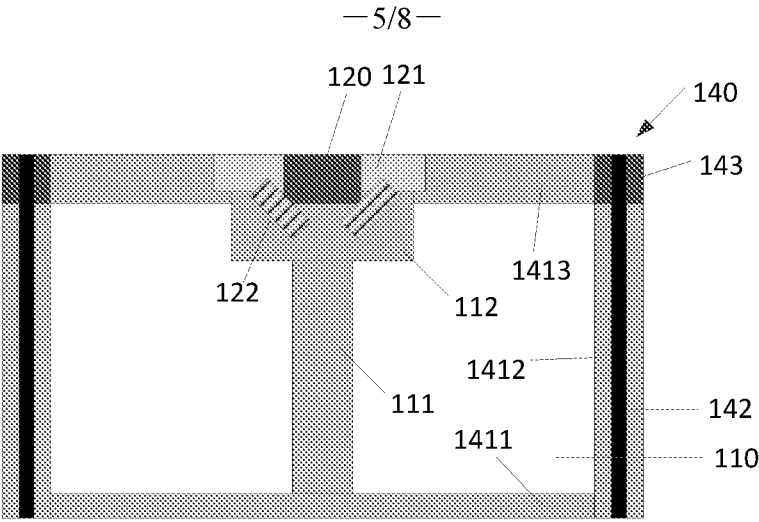


图 8

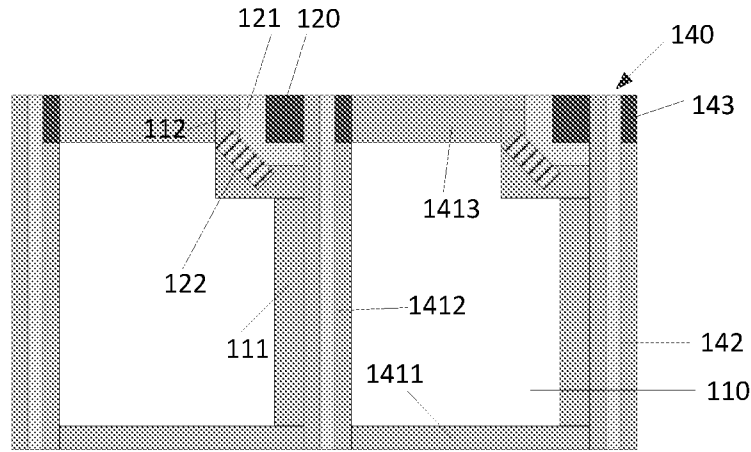


图 9

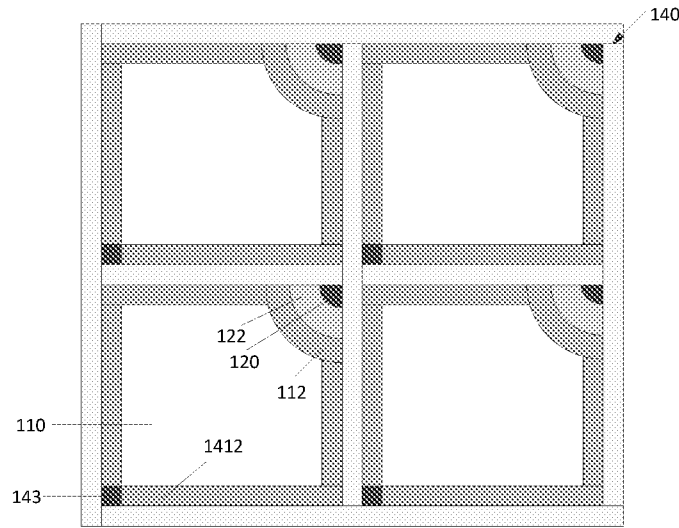
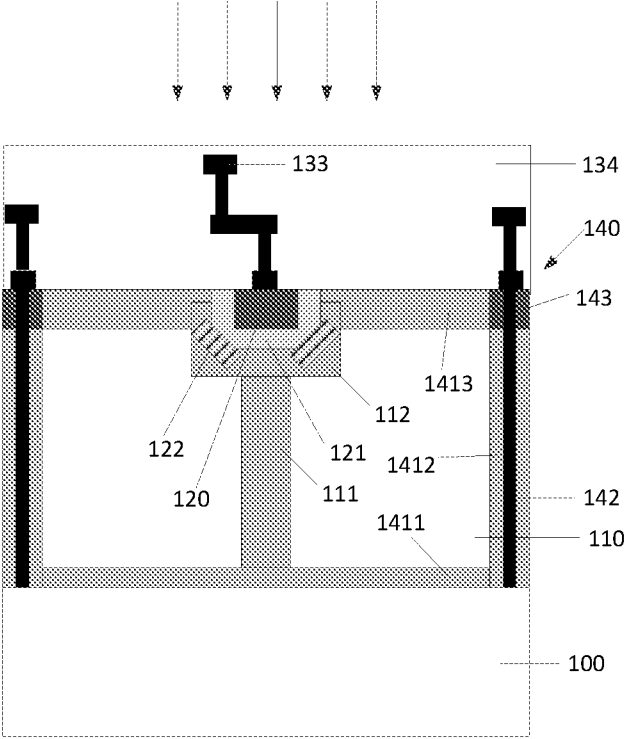
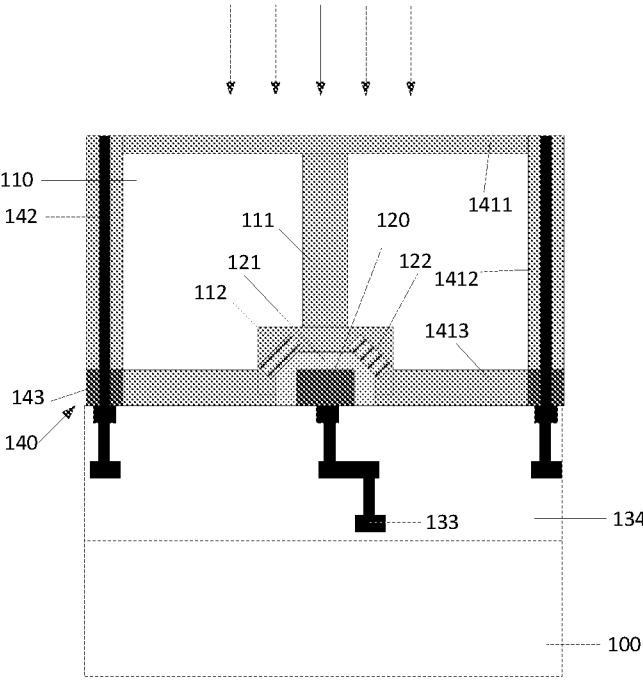


图 10

—6/8—



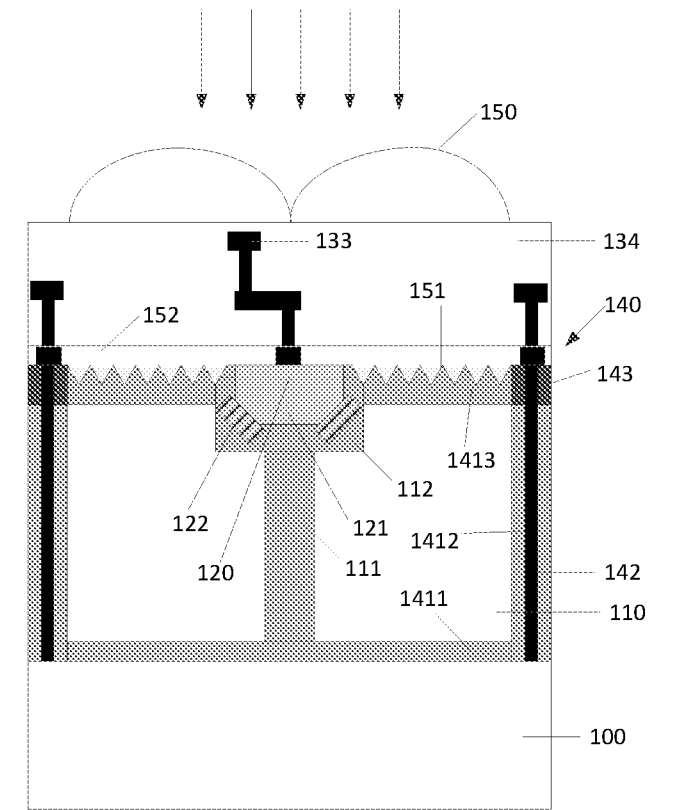
11A



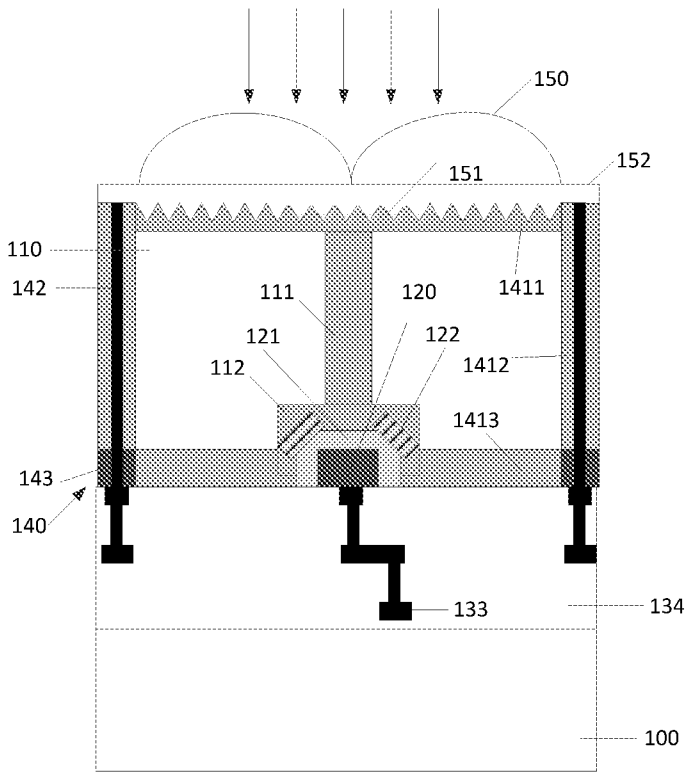
11B

图 11

— 7/8 —



12A



12B

图 12

—8/8—

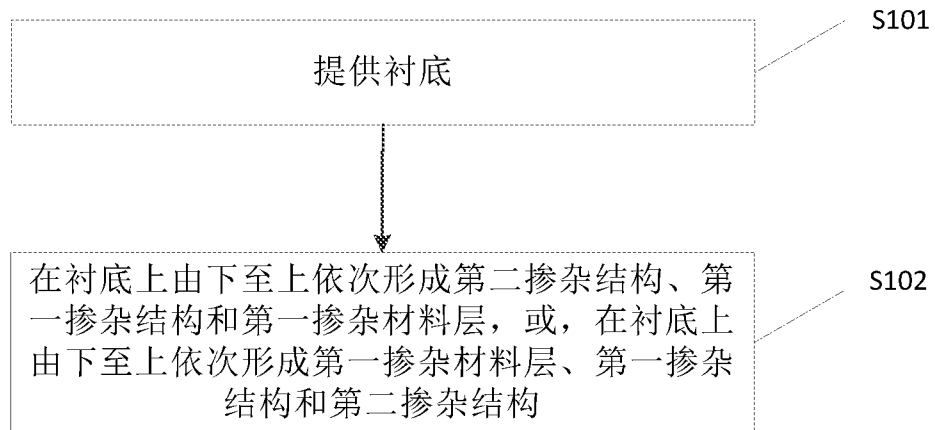


图 13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/102783

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L 27/144(2006.01)i; H01L 31/107(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS, SIPOABS, DWPI, IEEE, CNKI: 第二掺杂, 单光子雪崩二极管, 第一掺杂, 掺杂, 多子, 电场, 电子, 空穴, 雪崩, dope, single w photon w avalanche w diode, SPAD

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 106298816 A (TIANJIN UNIVERSITY) 04 January 2017 (2017-01-04) description, paragraphs 16-19, figure 2	1-19
Y	CN 108550592 A (CHONGQING UNIVERSITY OF POSTS AND TELECOMMUNICATIONS) 18 September 2018 (2018-09-18) description, paragraphs 24-27, figure 2	1-19
Y	CN 107946389 A (CHONGQING UNIVERSITY OF POSTS AND TELECOMMUNICATIONS) 20 April 2018 (2018-04-20) description, paragraphs 24-30, figure 1	1-19
A	US 7105798 B2 (FUJITSU QUANTUM DEVICES LTD) 12 September 2006 (2006-09-12) entire document	1-19



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

16 December 2020

Date of mailing of the international search report

26 January 2021

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2020/102783

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	106298816	A	04 January 2017	None			
CN	108550592	A	18 September 2018	CN	108550592	B	04 August 2020
CN	107946389	A	20 April 2018	None			
US	7105798	B2	12 September 2006	JP	4034153	B2	16 January 2008
				JP	2004111762	A	08 April 2004
				US	2004056179	A1	25 March 2004
				JP	2007300133	A	15 November 2007

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2020/102783

A. 主题的分类

H01L 27/144(2006.01)i; H01L 31/107(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

H01L

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNABS, SIPOABS, DWPI, IEEE, CNKI:第二掺杂, 单光子雪崩二极管, 第一掺杂, 掺杂, 多子, 电场, 电子, 空穴, 雪崩, dope, single w photon w avalanche w diode, SPAD

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
Y	CN 106298816 A (天津大学) 2017年 1月 4日 (2017 - 01 - 04) 说明书16-19段, 图2	1-19
Y	CN 108550592 A (重庆邮电大学) 2018年 9月 18日 (2018 - 09 - 18) 说明书24-27段, 图2	1-19
Y	CN 107946389 A (重庆邮电大学) 2018年 4月 20日 (2018 - 04 - 20) 说明书24-30段, 图1	1-19
A	US 7105798 B2 (FUJITSU QUANTUM DEVICES LTD) 2006年 9月 12日 (2006 - 09 - 12) 全文	1-19

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2020年 12月 16日

国际检索报告邮寄日期

2021年 1月 26日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局(ISA/CN)

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

授权官员

刘佳秋

电话号码 62411895

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2020/102783

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	106298816	A	2017年 1月 4日	无	
CN	108550592	A	2018年 9月 18日	CN	108550592 B 2020年 8月 4日
CN	107946389	A	2018年 4月 20日	无	
US	7105798	B2	2006年 9月 12日	JP	4034153 B2 2008年 1月 16日
				JP	2004111762 A 2004年 4月 8日
				US	2004056179 A1 2004年 3月 25日
				JP	2007300133 A 2007年 11月 15日