(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
2016 年 8 月 25 日 (25.08.2016)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2016/131400 A1

(51) 国际专利分类号:
H01L 31/0232 (2014.01) *H01L 31/18* (2006.01)
H01L 31/11 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2016/073655

(22) 国际申请日: 2016 年 2 月 5 日 (05.02.2016)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201510084876.3 2015 年 2 月 16 日 (16.02.2015) CN

(71) 申请人: 上海交通大学 (SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国上海市闵行区东川路 800 号, Shanghai 200240 (CN)。

(72) 发明人: 但亚平 (DAN, Yaping); 中国上海市东川路 800 号上海交通大学密西根学院, Shanghai 200240 (CN)。 赵兴岩 (ZHAO, Xingyan); 中国上海市东川路 800 号上海交通大学密西根学院, Shanghai 200240 (CN)。 王昂 (WANG, Ang); 中国上海市东川路 800 号上海交通大学密西根学院, Shanghai 200240 (CN)。

(74) 代理人: 上海旭诚知识产权代理有限公司 (SUN-RAY INTELLECTUAL PROPERTY ATTORNEYS); 中国上海市浦东新区东方路 710 号汤臣金融大厦 1212 室, 郑立, Shanghai 200122 (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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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))。

(54) Title: HIGHLY SENSITIVE NANO PHOTO-TRANSISTOR AND MANUFACTURING METHOD THEREFOR, AND PHOTO-COMMUNICATION DEVICE AND SPECTRUM SPLITTER DEVICE USING SAME

(54) 发明名称 : 高灵敏度的纳米光晶体管及其制作方法和应用其的光通信器件及光谱分光器件

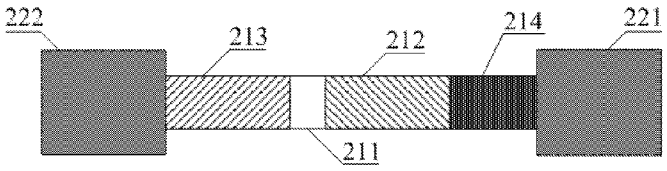

图 8

(57) Abstract: A photo-transistor, comprising a collector region (212), a base region (211) and an emitter region (213).There is a first PN junction between the collector region and the base region, and a second PN junction between the emitter region and the base region. The collector region, the base region and the emitter region are formed on a strip nano-structure, and the first PN junction and the second PN junction are formed on cross sections of the nano-structure, the junction areas of which are equal to the areas of the cross sections. Furthermore, by designing the length (L2) of the base region and the length (L1) of the collector region, arranging a transition region (214) on the nano-structure, arranging a passivation layer on the surface of the nano-structure and arranging a plurality of metal nano-particles (315) on the surface of the nano-structure, especially the surface of the collector region, the frequency response characteristic and the photoelectric conversion efficiency of the photo-transistor are effectively improved, and the silicon-based photo transistor is enabled to have a very high absorption rate for light in photo-communication wavebands. Also disclosed is a manufacturing method for a photo-transistor, a photo-communication device and a spectrum splitter device using same.

(57) 摘要:

[见续页]

WO 2016/131400 A1

一种光晶体管，包括集电区（212）、基区（211）和发射区（213）。其中，集电区和基区之间具有第一 PN 结，发射区和基区之间具有第二 PN 结，集电区、基区和发射区形成在呈条状的纳米结构上，第一 PN 结和第二 PN 结形成在纳米结构的横截面上，其结面积等于横截面的面积。并且，通过设计基区的长度（L2）和集电区的长度（L1）、在纳米结构上布置过渡区（214）、在纳米结构的表面布置钝化层，以及在纳米结构表面、尤其是集电区的表面布置多个金属纳米颗粒（315），有效提高了光晶体管的频率响应特性、光电转换效率，并使硅基的光晶体管对光通信波段的光也有很高的吸收率。还公开了光晶体管的制作方法、应用其的光通信器件和光谱分光器件。

高灵敏度的纳米光晶体管及其制作方法和应用其的光通信器件及光谱分光器件

技术领域

本发明涉及纳米器件，尤其涉及一种高灵敏度的纳米光晶体管、其制作方法和应用其的光通信器件及光谱分光器件。

背景技术

光晶体管（phototransistor），又称光敏三极管、光电三极管，是一种光电转换器件，其基本原理是光照到 PN 结上时，吸收光能并转变为电能。光晶体管的结构和普通三极管的结构相类似，具有基区 1、发射区 2 和集电区 3 这三个分区。根据三个分区的掺杂，其也分为 NPN 型和 PNP 型，如图 1、2 示出的为 NPN 型的光晶体管。

对于传统的光晶体管，为适应光电转换的要求，往往把基区面积做得较大，发射区面积做得较小，入射光主要被基区吸收。当光晶体管的具有光敏特性的 PN 结受到光辐射时，形成光电流，由此产生的光生电流由基区进入发射区，从而在集电区回路中得到一个放大了相当于 β 倍的信号电流。因此，其与光敏二极管相比，具有很大的光电流放大作用，即很高的灵敏度。

但是，传统的光晶体管这一结构（参见图 2）必然会引起基区-集电区间的形成大的结电容，而这一大的结电容将直接地限制光晶体管的截止频率，由此影响光晶体管的频响特性，限制其应用。

随着纳米技术的发展，各种纳米尺度的纳米器件纷纷出现，这些纳米器件或者制作于诸如纳米线、纳米带、纳米柱等的纳米结构上，或者其功能部分的结构尺寸在纳米尺度，通过利用材料在纳米尺度下的优异特性，而获得优于普通器件的性能。例如制作在单晶硅纳米线上的电致发光器件、纳米尺度的金属-氧化物-半导体场效应晶体管以及其他的半导体器件。但是，纳米尺度的光晶体管（纳米光晶体管）尚未见诸报道。

因此，本领域的技术人员致力于开发一种高灵敏度的纳米光晶体管，改善光晶体管的性能，提升其应用前景。

发明内容

有鉴于现有技术的上述缺陷，本发明所要解决的技术问题在第一个方面是提供

一种光晶体管，通过使用纳米结构，降低基区-集电区之间结电容，提高其频响特性。

为实现上述目的，本发明提供了一种光晶体管，包括集电区、基区和发射区，所述集电区和所述基区之间具有第一 PN 结，所述发射区和所述基区之间具有第二 PN 结，其特征在于，所述集电区、所述基区和所述发射区形成在呈条状的纳米结构上，所述第一 PN 结形成在所述纳米结构的第一横截面上；所述第一 PN 结和所述第二 PN 结为同质结或异质结。

进一步地，所述第一 PN 结的结面积等于所述第一横截面的面积。

可选地，所述纳米结构为纳米线、纳米棒、纳米柱或纳米带。

进一步地，所述第二 PN 结形成在所述纳米结构的第二横截面上，所述第二 PN 结的结面积等于所述第二横截面的面积。

进一步地，在所述纳米结构上，所述基区在所述第一横截面和所述第二横截面之间，所述集电区在所述第一横截面远离所述第二横截面的一侧，所述发射区在所述第二横截面远离所述第一横截面的一侧。

可选地，所述纳米结构为直的条状或弯曲的条状。

可选地，所述第一横截面和所述第二横截面为四边形、三角形或圆形。

进一步地，所述光晶体管还包括与所述集电区电连接的第一电极和与所述发射区电连接的第二电极。

进一步地，所述纳米结构在所述第一电极和所述第二电极之间均匀地延伸。

进一步地，所述光晶体管包括多个所述纳米结构，所述多个纳米结构并联在所述第一电极和所述第二电极之间，每个所述纳米结构的所述集电区皆与所述第一电极电连接，每个所述纳米结构的所述发射区皆与所述第二电极电连接。

进一步地，所述多个纳米结构在所述第一电极和所述第二电极之间均匀地延伸

进一步地，所述多个纳米结构彼此平行，任意两个相邻的所述纳米结构之间的间距为 100nm-500nm，所述多个纳米结构的个数为 2-50。

进一步地，所述第一 PN 结的结面积在 10nm×10nm 到 5μm×5μm 之间。

进一步地，所述第二 PN 结的结面积在 10nm×10nm 到 5μm×5μm 之间。

本发明所要解决的技术问题在第二个方面是提供一种光晶体管，通过设计纳米结构上的基区和集电区，将集电区作为主要的光吸收区，提高其光电转换效率。

为实现上述目的，所述光晶体管的所述基区的长度不大于所述集电区的长度。

进一步地，所述集电区的长度在 0.5μm 至 2μm 之间。

进一步地，所述基区的长度在 30nm 至 500nm 之间。

进一步地，所述光晶体管为 PNP 型或 NPN 型。

可选地，所述光晶体管为 PNP 型，所述集电区的材料为轻掺杂的 P 型的半导体材料，所述基区的材料为 N 型的所述半导体材料，所述发射区的材料为重掺杂

的 P 型的所述半导体材料。

进一步地，所述重掺杂的掺杂浓度为 10^{18} 至 10^{20} cm^{-3} ，所述轻掺杂的掺杂浓度为 10^{16} 至 10^{10} cm^{-3}。

可选地，所述光晶体管为 NPN 型，所述集电区的材料为轻掺杂的 N 型的半导体材料，所述基区的材料为 P 型的所述半导体材料，所述发射区的材料为重掺杂的 N 型的所述半导体材料。

进一步地，所述重掺杂的掺杂浓度为 10^{18} 至 10^{20} cm^{-3}，所述轻掺杂的掺杂浓度为 10^{16} 至 10^{10} cm^{-3}。

进一步地，所述第一电极和所述第二电极由与所述发射区的所述半导体材料的掺杂浓度相同的所述半导体材料形成。

本发明所要解决的技术问题在第三个方面是提供一种光晶体管，通过在纳米结构的集电区和与其电连接的电极之间设置过渡区，降低接触电阻并抑制厄利效应（Early effect）。

为实现上述目的，所述光晶体管在所述纳米结构上还具有材料与所述第一电极的材料相同的过渡区，所述过渡区在所述集电区和所述第一电极之间，所述集电区通过所述过渡区与所述第一电极电连接。

进一步地，所述第一电极和所述第二电极的表面具有金属层，用于引出导线。

本发明所要解决的技术问题在第四个方面是提供一种光晶体管，通过钝化纳米结构的表面，降低其暗电流。

为实现上述目的，所述光晶体管的所述纳米结构的表面具有钝化层，所述钝化层的厚度为 5 至 30nm。

可选地，所述纳米结构的材料是硅、锗、磷化铟或铟化砷镓。

进一步地，所述钝化层为氧化硅层、氮化硅层、氧化铝层或氧化铪层。

进一步地，本发明还提供了一种光晶体管的制备方法，用于制备上述的光晶体管，其特征在于，所述纳米结构的材料是单晶硅，所述制备方法包括步骤：

刻蚀 SOI 硅片的顶层硅层至埋层氧化硅层，在所述埋层氧化硅层上形成单晶硅的所述纳米结构；

对所述纳米结构掺杂，形成所述集电区、所述基区和所述发射区。

本发明所要解决的技术问题在第五个方面是提供一种光晶体管，通过在硅基的光晶体管的光吸收区的表面放置多个金属纳米颗粒，利用表面等离激元增强效应，使该光晶体管也适用于光通信波段的光。

为实现上述目的，所述光晶体管的所述集电区的表面上具有金属纳米颗粒，所述颗粒和所述集电区之间具有绝缘层。

进一步地，所述绝缘层的厚度为 3 至 50nm，所述绝缘层的折射率为 1.4 至 5。

进一步地，所述颗粒的粒径为 10 至 200nm。

进一步地，所述颗粒的材料为金或银。

进一步地，所述颗粒呈周期性排布，所述颗粒的分布密度为 2×10^{9} cm^{-2} 至 $1\times10^{12}cm^{-2}$。

可选地，所述绝缘层在所述颗粒的表面，所述集电区表面具有钝化层，所述钝化层的厚度为 5-30nm。

可选地，所述绝缘层形成在所述集电区表面，并用于钝化所述集电区的表面。

进一步地，所述纳米结构的材料是单晶硅，所述绝缘层为氮化硅层、氧化铝层或氧化铪层。

进一步地，本发明还提供了一种光通信器件，其特征在于，包括上述的光晶体管，还包括光波导；所述光波导将光信号传送到所述光晶体管的所述集电区，所述光晶体管输出相应的电信号。

进一步地，所述光波导为光纤。

进一步地，所述光通信器件还包括天线，所述天线为一对锥形或方形的条状结构，沿垂直于所述纳米结构的延伸方向的方向，向所述纳米结构延伸，所述一对锥形或方形的条状结构的一对顶端分别在所述纳米结构两侧并指向所述纳米结构。

进一步地，所述一对顶端分别指向所述集电区。

进一步地，本发明还提供了一种光谱分光器件，用于确定照射到其受光面上的入射光中 n 个连续的波长 λ_1、λ_2、…、λ_n 的光各自的相对光功率 P_1、P_2、…、P_n，包括如权利要求 8-12、16-22 和 24 中任何一个所述的光晶体管，其特征在于，m 个所述光晶体管分布在所述受光面上，在所述入射光的照射下，所述 m 个光晶体管分别从其所述第一电极、所述第二电极输出光电流 I_1、I_2、…、I_m；所述 m 个光晶体管的所述纳米结构的厚度和/或宽度彼此不同；

所述入射光的相对光功率矩阵

$$P=\begin{bmatrix}P_1\\P_2\\\vdots\\P_n\end{bmatrix}=M^{-1}\,I=\begin{bmatrix}M_{11}&M_{12}&\cdots&M_{1n}\\M_{21}&M_{22}&\cdots&M_{2n}\\\vdots&\vdots&\ddots&\vdots\\M_{m1}&M_{m2}&\cdots&M_{mn}\end{bmatrix}^{-1}\begin{bmatrix}I_1\\I_2\\\vdots\\I_m\end{bmatrix},$$

其中，已知所述 m 个光晶体管对所述 n 个连续的波长 λ_1、λ_2、…、λ_n 的光的光电响应矩阵

$$M=\begin{bmatrix}M_{11}&M_{12}&\cdots&M_{1n}\\M_{21}&M_{22}&\cdots&M_{2n}\\\vdots&\vdots&\ddots&\vdots\\M_{m1}&M_{m2}&\cdots&M_{mn}\end{bmatrix}$$，其中已知第 i 个所述光晶体管对第 j 个波长 λ_j 的光的光电响应 M_{ij}；

其中，所述 m 不小于所述 n，i=1、…、m 以及 j=1、…、n。

进一步地，通过实验测量所述第 i 个光晶体管对所述第 j 个波长 λ_j 的光的光电响应 M_{ij}；在所述实验中，用具有光功率 P0 和波长 λ_j 的均匀光束照射所述第 i 个光晶体管，测量其输出的光电流 $I0_i$，所述光电响应 $M_{ij}= I0_i/ P0$。

进一步地，所述 n 个连续的波长 λ_1、λ_2、…、λ_n 的光各自具有延展的波长范围 $\Delta\lambda_1$、$\Delta\lambda_2$、…、$\Delta\lambda_n$。

进一步地，各个所述波长范围 $\Delta\lambda_1$、$\Delta\lambda_2$、…、$\Delta\lambda_n$ 彼此相等。

由此可见，本发明提供了一种光晶体管，通过将集电区、基区和发射区形成在呈条状的纳米结构上，将集电区、基区和发射区之间的 PN 结形成在纳米结构的横截面上，大大地减小了结电容，有效地提高了光晶体管的频响特性；本发明的光晶体管通过确认集电区为最有效的光吸收区域，合理设计基区和集电区的布局，即基区和集电区的长度，有效地提高了光晶体管的光电转换效率；本发明的光晶体管通过在纳米结构上引入集电区和电极之间的过渡区，有效地提高了集电区和电极的电连接并能抑制厄利效应；本发明的光晶体管通过确认纳米结构的表面复合速度对光晶体管的光电流的影响，在纳米结构的表面布置钝化层，有效地增加了光晶体管产生的光电流；对于硅基的本发明的光晶体管，通过在纳米结构表面，尤其是集电区的表面，布置多个金属纳米颗粒，有效地增强了其对光通信波段的光的吸收率；本发明相应地提供了制作上述的光晶体管的方法。另外，本发明提供了应用上述的光晶体管，尤其是带有金属纳米颗粒的硅基光晶体管的光通信器件，由于该硅基光晶体管制作较为方便且对光通信波段的光的吸收率也能具有很高的吸收率和光电转换效率，这一光通信器件具有很好的应用前景；并且，通过在该光通信器件上设置天线，还能进一步地提高其光吸收效率和光电转换效率。另外，本发明还提供了光晶体管的一种应用，即光谱分光器件，其具有受光面和布置在受光面上的多个具有不同结构参数的纳米结构的光晶体管，入射光照射到受光面上时，这些光晶体管分别输出各自的光电流。通过使用这些光晶体管，在已知它们对多个连续波长的光电响应的情况下，本发明的光谱分光器件能够获得该入射光中所含上述多个连续波长的光各自的相对光功率。因此，本发明的光谱分光器件能够对光束中所含波长及其组分（相对光功率）进行分析，在光学检测上有很好的应用前景。

以下将结合附图对本发明的构思、具体结构及产生的技术效果作进一步说明，以充分地了解本发明的目的、特征和效果。

附图说明

图 1 是现有技术的光晶体管（NPN 型）的示意图。

图 2 是图 1 所示的光晶体管的剖面结构图。

图 3 是在一个较佳实施例中，本发明的光晶体管的上视示意图。

图 4 是图 3 所示的光晶体管的侧视示意图。

图 5 显示了图 4 所示的光晶体管的电极上具有金属层的结构。

图 6 示意性地描绘了本发明的光晶体管的两个 PN 结的形成位置。

图 7 显示了图 4 所示的光晶体管的集电区长度 L1 和基区长度 L2。

图 8 是在第二个较佳实施例中，本发明的光晶体管的上视示意图。

图 9 是图 8 所示的光晶体管的侧视示意图。

图 10 显示了图 8 所示的光晶体管的制作流程。

图 11 是一个 PNP 型的图 8 所示的光晶体管的 SEM 照片。

图 12 是一个 NPN 型的图 8 所示的光晶体管的立体示意图。

图 13 显示了图 8 所示的光晶体管的各部分接受光照而产生的光电流-电压关系。

图 14 显示了图 3 所示的光晶体管的各部分接受光照而产生的光电流-电压关系。

图 15 显示了具有不同基区长度的图 8 所示的光晶体管的光电流-电压关系。

图 16 显示了具有不同基区长度的图 8 所示的光晶体管的暗电流-电压关系。

图 17 显示了具有不同表面复合速度的图 8 所示的光晶体管的光电流-电压关系。

图 18 显示了具有不同表面复合速度的图 8 所示的光晶体管的暗电流-电压关系。

图 19 显示了具有不同基区长度的 NPN 型的图 8 所示的光晶体管的频响特性。

图 20 是在第三个较佳实施例中，本发明的光晶体管的上视示意图。

图 21 是图 20 所示的光晶体管的侧视示意图。

图 22 是在一个较佳实施例中，本发明的光通信器件的上视示意图。

图 23 是图 22 所示的光通信器件的侧视示意图。

图 24 是在第二个较佳实施例中，本发明的光通信器件的侧视示意图。

图 25 是在第三个较佳实施例中，本发明的光通信器件的上视示意图，其中未显示光波导。

图 26 是图 25 所示的光通信器件的侧视示意图，其中显示了光波导。

图 27 是在第四个较佳实施例中，本发明的光通信器件的上视示意图。

图 28 显示了在一个示例中，本发明的光晶体管对波长范围在 400nm-1200nm 之间的光的吸收截面和相应的光电响应，该光晶体管的结构是 NPN 型或 PNP 型。

图 29 显示了在另一个示例中，本发明的光晶体管对波长范围在 400nm-1200nm 之间的光的吸收截面和相应的光电响应，该光晶体管的结构是 NPN 型或 PNP 型。

图 30 是在第五个较佳实施例中，本发明的光谱分光器件的结构示意图。

图 31 显示了在一个示例中，用于本发明的光谱分光器件的五个光晶体管对波长范围在 400nm-1600nm 之间的光的吸收率，这五个光晶体管的结构分别是 NPN

型或 PNP 型。

具体实施方式

如图 3-5 所示，在第一个较佳的实施例中，本发明的光晶体管包括形成在呈条状的半导体材料的纳米结构上的集电区 112、基区 111 和发射区 113。该光晶体管可以是 PNP 型也可以是 NPN 型，即集电区 112 为纳米结构上的 P 型掺杂区域、基区 111 为纳米结构上的 N 型掺杂区域以及发射区 113 为纳米结构上的 P 型掺杂区域，或者集电区 112 为纳米结构上的 N 型掺杂区域、基区 111 为纳米结构上的 P 型掺杂区域以及发射区 113 为纳米结构上的 N 型掺杂区域。

集电区 112、基区 111 和发射区 113 顺序地沿该纳米结构的延伸方向排列，如图 3 所示地为从右向左排列，并在它们之间的界面上形成两个 PN 结。根据形成纳米结构上的集电区 112、基区 111 和发射区 113 的半导体材料是否相同，这两个 PN 结可以是同质结或异质结。较佳地，它们之间的界面是纳米结构的横截面，即垂直于该纳米结构的延伸方向的截面。优选地，PN 结的结面积等于其所在的纳米结构的横截面的面积。即在集电区 112、基区 111 和发射区 113 的纳米结构是被整体地掺杂来形成这三个区的，且这三个区的交界面皆垂直与该纳米结构的延伸方向。

参见图 6，集电区 112 和基区 111 之间的第一 PN 结形成在纳米结构的横截面 141 上。由于该纳米结构至少在垂直于其延伸方向的两个互相垂直的方向之一上具有纳米尺度的尺寸，较佳地，其在上述两个方向上皆具有纳米尺度的尺寸，因此可知横截面 141 的面积是很小的，这样第一 PN 结的结面积很小，由此结电容很小。现有技术的光晶体管的基区-集电区之间的大的结电容对其性能所带来的不良影响将被消除。

类似地，发射区 113 和基区 111 之间的第二 PN 结形成在纳米结构的横截面 142 上。由于横截面 142 的面积很小，第二 PN 结的结面积很小，由此结电容很小。

较佳地，第一 PN 结的结面积在 10nm×10nm 到 5μm×5μm 之间，第二 PN 结的结面积在 10nm×10nm 到 5μm×5μm 之间。

本发明采用的纳米结构可以是纳米线、纳米棒、纳米柱或纳米带，等；它们可以是直的条状，或弯曲的条状；它们可以是均匀地沿其延伸方向延伸（即其各处的横截面皆相同），也可以是不均匀地沿其延伸方向延伸（即其各处的横截面有差异）；对于均匀延伸的纳米结构，其横截面可以是多边形，例如四边形或三角形，也可以是圆形，或不规则图形；对于不均匀延伸的纳米结构，其各处的横截面可以变化形状。

集电区 112 和发射区 113 分别与第一电极 121 和第二电极 122 电连接，本实施例中，第一电极 121 和第二电极 122 也为掺杂的半导体材料，其分别地与集电区 112 和发射区 113 相接触由此实现电连接。较佳地，第一电极 121 和第二电极 122

上具有金属层 131 和 132，用于引出导线，例如，铝层。需要说明的是，第一电极和第二电极上的金属层并不是必须的，尤其在集成光学器件中。

如后文中将详述地，制作在纳米结构上的光晶体管，对于集电区吸收的光具有更高的光电转换效率。因此较佳地，光晶体管的基区 111 的长度 L2 不大于集电区 112 的长度 L1。参见图 7，这里的基区和集电区的长度是指该区对应的纳米结构的部分在纳米结构的延伸方向上的长度。优选地，集电区 112 的长度 L1 在 0.5μm 到 2μm 之间，基区 111 的长度 L2 在 30nm 到 500nm 之间。

较佳地，本实施例中集电区 112、基区 111、发射区 113、第一电极 121 和第二电极 122 的掺杂情况为：集电区 112 为轻掺杂、基区 111 为掺杂、发射区 113、第一电极 121 和第二电极 122 为重掺杂。具体地，对于 PNP 型的本发明的光晶体管，集电区 112 为 P 型轻掺杂，掺杂浓度为 10^{16} cm^{-3} 到 10^{10} cm^{-3} ；基区 111 为 N 型掺杂，掺杂浓度为 $10^{16}cm^{-3}$ 至 $10^{18}cm^{-3}$ ；发射区 113 为 P 型重掺杂，掺杂浓度为 10^{18} cm^{-3} 到 10^{20} cm^{-3}；第一电极 121 和第二电极 122 与发射区 113 相同，为 P 型重掺杂，掺杂浓度为 10^{18} cm^{-3} 到 10^{20} cm^{-3}。对于 NPN 型的本发明的光晶体管，集电区 112 为 N 型轻掺杂，掺杂浓度为 10^{16} cm^{-3} 到 10^{10} cm^{-3}；基区 111 为 P 型掺杂，掺杂浓度为 $10^{16}cm^{-3}$ 至 $10^{18}cm^{-3}$；发射区 113 为 N 型重掺杂，掺杂浓度为 $10^{18}cm^{-3}$ 到 10^{20} cm^{-3}；第一电极 121 和第二电极 122 与发射区 113 相同，为 N 型重掺杂，掺杂浓度为 10^{18} cm^{-3} 到 10^{20} cm^{-3}。

图 8、9 示出了第二个较佳的实施例中的本发明的光晶体管，由于之前的实施例中集电区 112 和与其相连的第一电极 121 具有不同的掺杂浓度，其接触处会发生由于不同掺杂浓度导致的接触问题，例如电阻较大，从而影响光晶体管的性能。因此在本实施例中，纳米结构上在集电区 212 和第一电极 221 之间存在一个过渡区 214，过渡区 214 的掺杂与第一电极 221 相同。即，对于 PNP 型的本发明的光晶体管，过渡区 214 为 P 型重掺杂，掺杂浓度为 10^{18} cm^{-3} 到 10^{20} cm^{-3}；对于 NPN 型的本发明的光晶体管，过渡区 214 为 N 型重掺杂，掺杂浓度为 10^{18} cm^{-3} 到 10^{20} cm^{-3}。

并且通过布置该过渡区 214，还能减轻、抑制厄利效应。

本实施例中的光晶体管的其他部分，例如基区 211、发射区 213 和第二电极 222 皆与前一实施例中的相同，在此不赘述。

本发明的光晶体管的纳米结构的材料可以是诸如硅、锗、磷化铟或铟化砷镓等的半导体，较佳地为单晶硅。图 10 示出了制作材料为单晶硅的本实施例中的光晶体管的流程图，其中左栏显示的是制作光晶体管的侧视图，右栏是上视图。其主要具体地包括以下步骤：

1、 根据设计的光晶体管的尺寸参数选用 SOI 硅片，主要是选择具有合适的顶层硅厚度的 SOI 硅片，例如具有 10nm-200nm 的顶层硅的 SOI 硅片，光晶体管将通过刻蚀顶层硅而被制作在埋层氧化硅之上。对硅片进行清

洗，较佳地应该去除顶层硅表面的自然氧化层。

2、 对 SOI 硅片的顶层硅进行光刻，并继而进行刻蚀，以在埋层氧化硅上形成条状的单晶硅的纳米结构和其两端的用于形成第一、二电极的结构。刻蚀可以为干法刻蚀或湿法刻蚀，另外，根据需要的光晶体管的尺寸，还可以使用电子束直写替代光刻。

3、 对前一步中在埋层氧化硅上形成的结构进行选区掺杂，可以使用离子注入或扩散的掺杂方式，在结构上形成光晶体管的集电区 212、基区 211、发射区 213、过渡区 214、第一电极 221 和第二电极 222。在本步骤中，可以根据工艺条件设计注入的次序，在每一次注入时，通过一次或多次的光刻（或电子束直写）形成光刻胶掩膜的窗口用于离子注入；或者通过沉积金属层、氧化硅层或氮化硅层，并继而通过一次或多次的光刻（或电子束直写）以及刻蚀的步骤在金属层、氧化硅层或氮化硅层形成掩膜窗口，以用于离子注入。

需要说明的是，上述的步骤 2 和 3 可以互换，即先选区掺杂再刻蚀形成光晶体管的结构。最后，在第一电极 221 和第二电极 222 上形成用于引出导线的金属层，或者为了节省工艺步骤，可以先沉积金属层再进行掺杂，以利用该金属层作为离子注入时的掩膜。另外，还可以选用顶层硅掺杂浓度与光晶体管需要的集电区的掺杂浓度相同的 SOI 硅片，这样在后续的掺杂工艺中就可以省略对集电区的掺杂步骤。本领域的技术人员可以理解，使用 SOI 硅片，根据需要形成的光晶体管的结构来设计的工艺步骤可以有多种变化，本说明书在此描述的仅作为提供一种实现的可能，而非对其工艺流程的限制。

另外，前一个实施例的光晶体管也可以用类似的工艺流程制作，只要省略制作过渡区的步骤即可。

较佳地，还可以对完成掺杂的纳米结构进行表面钝化处理，以减小表面复合速度 S，从而进一步地提高其形成的光晶体管的性能。本实施例中，采用在纳米结构的表面形成钝化层的方式进行钝化处理，对于单晶硅的纳米结构可以通过干法氧化在其表面形成 5 到 30nm 的氧化层，或者通过原子层沉积（ALD）或者化学气相沉积工艺在其表面沉积上述厚度的钝化层。在本发明的其他实施例中，还可以在纳米结构的表面，尤其是集电区的表面形成 5 到 30nm 的氮化硅层、氧化铝层或氧化铪层作为钝化层。

图 11 给出了应用如上的工艺流程制作的本实施例中的光晶体管的一个实例，其为 PNP 型，其中的纳米结构为长度为 3 至 5μm，宽度为 200nm、厚度为 200nm 的单晶硅纳米线。其中，集电区的长度为 1μm，掺杂浓度为 1×10^{15} cm^{-3} ；基区的长度为 100 至 500 纳米，掺杂浓度为 5×10^{17} cm^{-3} ；发射区的长度为 1μm，掺杂浓度为 5×10^{19} cm^{-3}；过渡区的长度为 1μm，掺杂浓度为 5×10^{19} cm^{-3}；第一电极和第二

电极的掺杂浓度为 5×10^{19} cm^{-3}。

图 12 给出了应用如上的工艺流程制作的本实施例中的光晶体管的一个立体示意图，其为 NPN 型。

下表给出了本发明制备的或模拟的具有类似于图 11、12 的结构的光晶体管。

样品	类型	集电区长度(μ m)	集电区掺杂浓度(cm^{-3})	基区长度(nm)	基区掺杂浓度(cm^{-3})	发射区长度(μ m)	发射区掺杂浓度(cm^{-3})	表面复合速度(cm/s)	纳米结构宽度(nm)	纳米结构厚度(nm)
1	NPN	0.5	1×10^{15}	40	1×10^{17}	1	5×10^{19}	10	100	100
2	NPN	0.5	1×10^{15}	50	1×10^{17}	1	5×10^{19}	10	100	100
3	NPN	0.5	1×10^{15}	60	1×10^{17}	1	5×10^{19}	10	100	100
4	NPN	1	1×10^{15}	40	1×10^{17}	1	5×10^{19}	10	100	100
5	NPN	1	1×10^{15}	50	1×10^{17}	1	5×10^{19}	10	100	100
6	NPN	1	1×10^{15}	60	1×10^{17}	1	5×10^{19}	10	100	100
7	NPN	0.5	1×10^{15}	40	1×10^{17}	1	5×10^{19}	100	100	100
8	NPN	0.5	1×10^{15}	50	1×10^{17}	1	5×10^{19}	100	100	100
9	NPN	0.5	1×10^{15}	60	1×10^{17}	1	5×10^{19}	100	100	100
10	NPN	1	1×10^{15}	40	1×10^{17}	1	5×10^{19}	100	100	100
11	NPN	1	1×10^{15}	50	1×10^{17}	1	5×10^{19}	100	100	100
12	NPN	1	1×10^{15}	60	1×10^{17}	1	5×10^{19}	100	100	100
13	NP	0.5	1×10^{15}	40	1×10^{17}	1	5×10^{19}	1000	100	100

	N									
14	NPN	0.5	1×10^{15}	50	1×10^{17}	1	5×10^{19}	1000	100	100
15	NPN	0.5	1×10^{15}	60	1×10^{17}	1	5×10^{19}	1000	100	100
16	NPN	1	1×10^{15}	40	1×10^{17}	1	5×10^{19}	1000	100	100
17	NPN	1	1×10^{15}	50	1×10^{17}	1	5×10^{19}	1000	100	100
18	NPN	1	1×10^{15}	60	1×10^{17}	1	5×10^{19}	1000	100	100
19	PNP	0.5	1×10^{15}	40	1×10^{17}	1	5×10^{19}	10	100	100
20	PNP	0.5	1×10^{15}	50	5×10^{17}	1	5×10^{19}	10	100	100
21	PNP	0.5	1×10^{15}	60	5×10^{17}	1	5×10^{19}	10	100	100
22	PNP	1	1×10^{15}	40	5×10^{17}	1	5×10^{19}	10	100	100
23	PNP	1	1×10^{15}	50	5×10^{17}	1	5×10^{19}	10	100	100
24	PNP	1	1×10^{15}	60	5×10^{17}	1	5×10^{19}	10	100	100
25	PNP	0.5	1×10^{15}	40	5×10^{17}	1	5×10^{19}	100	100	100
26	PNP	0.5	1×10^{15}	50	5×10^{17}	1	5×10^{19}	100	100	100
27	PNP	0.5	1×10^{15}	60	5×10^{17}	1	5×10^{19}	100	100	100
28	PNP	1	1×10^{15}	40	5×10^{17}	1	5×10^{19}	100	100	100
29	PNP	1	1×10^{15}	50	5×10^{17}	1	5×10^{19}	100	100	100
30	PNP	1	1×10^{15}	60	5×10^{17}	1	5×10^{19}	100	100	100
31	PNP	0.5	1×10^{15}	40	5×10^{17}	1	5×10^{19}	1000	100	100
32	PNP	0.5	1×10^{15}	50	5×10^{17}	1	5×10^{19}	1000	100	100
33	PNP	0.5	1×10^{15}	60	5×10^{17}	1	5×10^{19}	1000	100	100
34	PNP	1	1×10^{15}	40	5×10^{17}	1	5×10^{19}	1000	100	100
35	PNP	1	1×10^{15}	50	5×10^{17}	1	5×10^{19}	1000	100	100
36	PNP	1	1×10^{15}	60	5×10^{17}	1	5×10^{19}	1000	100	100

图 13-19 示出了对上述不同结构参数的光晶体管的性能的模拟结果。其中，图 13 显示了 PNP 型光晶体管的各部分接受光照而产生的光电流-电压关系，图 14 显示了 NPN 型光晶体管的各部分接受光照而产生的光电流-电压关系，图中 I_c 为集电区光电流，V_c 为集电区电压偏置；图 15 显示了具有不同基区长度的 PNP 型光晶体

管的光电流-电压关系，图中 I_{ph} 指光电流，V_E 为发射区电压偏置；图 16 显示了具有不同基区长度的 PNP 型光晶体管的暗电流-电压关系，图中 I_{dark} 指暗电流，V_E 为发射区电压偏置；图 17 显示了具有不同表面复合速度的 PNP 型光晶体管的光电流-电压关系；图 18 显示了具有不同表面复合速度的 PNP 型光晶体管的暗电流-电压关系；图 19 显示了具有不同基区长度的 NPN 型的光晶体管的频响特性。

从上述的模拟结果可以看出，PNP 型或 NPN 型本发明的光晶体管的各部分在接收光子产生电信号的过程中其主要作用的是集电区，其光电转换效率比基区的大一个数量级还要多，即使考虑到样品中两者的受光面积差异，其也远大于基区。基区长度对光电流有影响，基区越长，光电流越小；基区长度对暗电流影响较小；表面符合速度 S 对光电流有影响，S 越大，光电流越小；表面复合速度 S 也对暗电流有影响，S 越长，暗电流越小。集电区长度对频响特性有影响，集电区越短，截止频率越高。

由于单晶硅材料对光通信波段的光的吸收效率低，其并不适合用作光通信器件。因此在本发明的第三个较佳的实施例中，如图 20、21 所示，在硅基的光晶体管 300 的光吸收区的表面，主要是集电区 312 的表面上放置多个金属纳米颗粒 315，通过利用表面等离激元增强效应，使该光晶体管能增强吸收光通信波段的光。而对于其他对光通信波段的光的吸收效率不低的材料制作的光晶体管，也可以在其集电区表面放置多个金属纳米颗粒，以进一步地增加其对光通信波段的光的吸收效率。

金属纳米颗粒 315 可以是金纳米颗粒或银纳米颗粒，它们的粒径较佳地为 10 至 200nm，均匀地或大致均匀地散布在集电区 312 的表面，较佳地其在集电区 312 的表面上为周期性排布，分布密度为 2×10^{9} cm^{-2} 至 $1\times10^{12}cm^{-2}$。多个金属纳米颗粒 315 和集电区之间具有绝缘层 316，较佳地绝缘层 316 的厚度为 5 至 30nm。该绝缘层可以如图 21 所示地，分布在集电区 312 的表面，也可以分布在各个金属纳米颗粒 315 的表面。绝缘层的作用一方面是是保证各个金属纳米颗粒 315 以及集电区 312 之间的绝缘，另外更重要的是，其应该具有与各个金属纳米颗粒 315 以及集电区 312 的折射率相匹配的折射率，以保证各个金属纳米颗粒 315 激发的光波能低损耗地进入集电区 312。较佳地，绝缘层 316 的折射率为 1.4 至 5，对于硅基的光晶体管，较佳地采用氮化硅或氧化铪材料的绝缘层 316。

对于绝缘层形成于金属纳米颗粒的表面的情况，可以在集电区的表面形成前述的钝化层，降低表面复合速率，提高光晶体管的性能。对于绝缘层形成于集电区的表面的情况，该绝缘层可以同时起到前述的钝化层的作用，因此不需要在集电区的表面上额外地形成钝化层了。

本实施例中的光晶体管的其他部分与之前的实施例相同，具有基区 311、发射区 313 和过渡区 314，电极未图示。在制作方法上，可以在制作完成前一实施例的光晶体管后，在集电区的表面上放置金属纳米颗粒。

图 22、23 示出了应用光晶体管 300 的光通信器件的一种结构，其包括光晶体管 300 和光纤 10。光晶体管 300 的第一电极和第二电极上的金属层 331、332 引出导线 361、362。光纤 10 在集电区 312 的上方横越集电区 312，其中的光耦合进入集电区 312。集电区 312 的表面上的金属纳米颗粒 315 通过表面等离激元增强效应，使光晶体管 300 增强吸收光通信波段的光，即提高耦合效率。需要说明的是，实际使用的光纤的尺寸一般远大于本发明的光晶体管，本说明书附图中绘制的光纤仅作为示意其与光晶体管的位置关系，而不表示两者的尺寸关系。另外，还可以使用其他光波导传输光并将光信号耦合进入光晶体管 300 中，例如平面介质光波导或条形介质光波导。

光纤 10 还可以在集电区 312 的上方沿集电区 312 延伸的方向延伸，如图 24 所示，同样光纤 10 中的光耦合进入集电区 312。

在本发明的光通信器件的其他实施例中，还可以用其他的方式布置光纤，使光纤中的光直接耦合进入光晶体管的集电区；另外，还可以使用耦合器将光纤中的光耦合到光晶体管中。另外，还可以将本发明的光晶体管直接制作在光纤上。

图 25、26 示出了应用光晶体管 300 的第三种光通信器件的结构，其还包括天线，用于进一步地增强集电区 312 的光吸收效率。如图 25 所示，该天线为一对锥形的条状结构 21、22，条状结构 21、22 沿垂直于该纳米结构的延伸方向的方向，向该纳米结构延伸，其一对顶端分别在该纳米结构两侧并指向该纳米结构，尤其是指向集电区 312，各个顶端到集电区 312 的最近距离为 50nm。该条状结构 21、22 的材料为单晶硅，可以在 SOI 硅片上刻蚀形成该纳米结构的同时形成。另外，也可以采用矩形的条状结构，或其他形状的条状结构。本实施例中的光通信器件采用条形介质光波导 11，其具有方形的横截面。光波导 11 与光晶体管 300 的相对位置关系与第一种结构的光通信器件（图 22、23）相同，为了显示清楚条状结构 21、22，图 25 中未示出光波导 11。同样地，光波导 11 还可以按其他的方式布置，例如图 24 示出的方式，使光纤中的光直接耦合进入光晶体管的集电区；另外，还可以使用耦合器将光纤中的光耦合到光晶体管中。另外，还可以将光晶体管和一对条状结构直接制作在光纤上。

由于实际使用中，单个纳米结构形成的本发明的光晶体管的光吸收效率较低，较佳地，本发明的光晶体管包括多个如前所述的纳米结构，每个纳米结构上包括集电区、基区和发射区，优选地还包括过渡区、钝化层和金属纳米颗粒。这些纳米结构并联在第一电极和第二电极之间，每个纳米结构的集电区皆与第一电极电连接（两者直接相连或通过过渡区相连），每个纳米结构的发射区皆与第二电极电连接。较佳地，这些纳米结构在第一电极和第二电极之间均匀地延伸，彼此平行。较佳地，任意两个相邻的纳米结构之间的间距为 100nm-500nm，这些纳米结构的个数为 2-50。

图 27 示出了应用上述光晶体管的光通信器件的一个实例，如光晶体管 300 的纳米结构的 n 个纳米结构 401、402、…、40n 并联在第一电极 431 和第二电极 432 之间，形成光晶体管 400。光纤 10 横越过这 n 个纳米结构 301、302、…、30n 的集电区，将光信号耦合进入这 n 个集电区。

如前面各个实施例中所描述的各种结构的光晶体管在被光照射后产生光电流，将光电流从第一、二电极引出后还可以用于检测，这是由于不同结构参数（如其纳米机构宽度、宽度等）的光晶体管对不同波长的光的吸收能力不同，而产生的光电流的大小与该吸收能力相关，一般吸收能力越大，产生的光电流越大。这个吸收能力可以用吸收截面、吸收率等参数描述，光晶体管产生的光电流与其对入射光的吸收截面或吸收率近似地成正比。

在图 28、29 示出的两个示例中，用 Lumerical 仿真软件的 FDTD 模块模拟了两个结构如图 11、12 所示的光晶体管对波长范围在 400nm-1200nm 之间的光的吸收截面，并用 Lumerical 仿真软件的 DEVICE 模块模拟了它们相应的光电响应。其中，图 28 的示例中的光晶体管的结构是横截面积 100nm×100nm，总长 3μm，基区长度 100nm，发射区 1μm，集电区 1μm，过渡区 900nm；图 29 的示例中的光晶体管的结构是纳米线厚度 200nm、宽度 240nm、总长 3μm、基区长度 40nm、发射区 1μm、集电区 1μm、过度区 960nm。

从图 28 可以看出，这个具有厚度为 100nm 的纳米结构的光晶体管对不同波长的光具有不同的吸收截面，其在 400nm-1200nm 之间具有两个吸收峰，分别是在 420nm 和 600nm 处。相应地，当被这两个波长的光照射时，其将产生较大的光电流。如图中所示地，对于波长为 420nm 的入射光，该光晶体管的光电响应约为 40A/W，即其当被光功率为 1W、波长为 420nm 的入射光照射时，其产生的光电流为 40A。类似地可知，对于波长为 600nm 的入射光，该光晶体管的光电响应约为 10A/W。另外，从图中可见，光电响应与吸收截面近似地成正比，即光晶体管产生的光电流与其对入射光的吸收截面近似地成正比。

同样地，从图 29 可以看出，这个具有厚度为 200nm 的纳米结构的光晶体管对不同波长的光具有不同的吸收截面，其在 600nm-1200nm 之间具有两个吸收峰，分别是在 600nm 和 680nm 处。相应地，当被这两个波长的光照射时，其将产生较大的光电流。如图中所示地，对于波长为 600nm 的入射光，该光晶体管的光电响应约为 300A/W，对于波长为 680nm 的入射光，该光晶体管的光电响应约为 250A/W。

由于具有不同结构参数，例如具有不同厚度，的纳米结构的多个光晶体管对各个波长的吸收截面不同，光电响应也不同，可以据此设计一种光谱分光器件，来分析入射光中所包含的光的波长，以及获取各个波长的光的光功率在整个入射光的光功率中所占的份额，或者各个波长的光的相对光功率。因此，在本发明的第五个较佳实施例中，提供了这样一种光谱分光器件，其具有受光面，具有不同结构参数的

纳米结构的多个光晶体管分布在该受光面上。当待检测的光照射到该受光面上，这多个光晶体管将分别地输出其光电流。

图 30 描绘了使用四个光晶体管的示例，具体地，该光谱分光器件包括衬底和分布在衬底的上表面的四个光晶体管 51、52、53 和 54，该衬底的上表面作为受光面。待检测的光从上向下照射到受光面上，部分地被四个光晶体管 51、52、53 和 54 吸收，四个光晶体管 51、52、53 和 54 于是从其第一、第二电极输出各自的光电流 I_1、I_2、I_3 和 I_4 以供分析。确切地说，光电流 I_1、I_2、I_3 和 I_4 分别地从四个光晶体管 51、52、53 和 54 的第一电极流出，并流入第二电极；或者光电流 I_1、I_2、I_3 和 I_4 分别地从四个光晶体管 51、52、53 和 54 的第二电极流出，并流入第一电极。

以下具体地说明应用上述的光谱分光器件分析入射光所包含的光的波长及其相对功率的分析方法，其中，设光谱分光器件使用了 m 个光晶体管。

首先，预先获取 m 个光晶体管对 n 个连续的波长 λ_1、λ_2、…、λ_n 的光的光电响应。这可以通过实验测量或者软件模拟的方法得到，为了获得较佳的实用性，应该通过实验测量。具体地如，通过使用一确定光功率 P0 的波长为第 j 个波长 λ_j 的均匀光束照射第 i 个光晶体管，测量其输出的光电流 $I0_i$，可以获得该第 i 个光晶体管对第 j 个波长 λ_j 的光的光电响应 $M_{ij}= I0_i/ P0$，遍历 i=1、…、m 以及 j=1、…、n，可以获得 m 个光晶体管对 n 个波长 λ_1、λ_2、…、λ_n 的光的光电响应矩阵：

$$M=\begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & \cdots & M_{1n} \\ M_{21} & M_{22} & \cdots & M_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{m1} & M_{m2} & \cdots & M_{mn} \end{bmatrix}。$$

然后，获取待检测的均匀入射光照射到这 m 个光晶体管后，这 m 个光晶体管输出的光电流矩阵：

$$I=\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_m \end{bmatrix}。$$

然后，计算入射光的相对光功率矩阵：

$$P=\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_n \end{bmatrix}。$$

其中，n 个波长 λ_1、λ_2、…、λ_n 的光的相对光功率分别为 P_1、P_2、…、P_n。$I=MP$，由此 $P=M^{-1} I$。

因此可见，为了能够根据以上的公式求解得到 n 个波长的光的相对光功率，本

发明的光谱分光器件使用的光晶体管的个数 m 应该不小于波长的个数 n；并且，使用的光晶体管中，应该没有两个以上的光晶体管对这 n 个波长的光具有相同的光电响应。

需要说明的是，实际使用中的 n 个连续的波长 λ_1、λ_2、…、λ_n 的光并不是波长恰好为 λ_1、λ_2、…、λ_n 的光，而是在该波长 λ 处延展一定波长范围 Δλ 的光，并且通过该延展的波长范围 Δλ 其与其两个相邻的波长的光相接，该波长范围 Δλ 可以是从该波长 λ 处向 λ 增加的方向延展，也可以是从该波长 λ 处向 λ 减小的方向延展，还可以是从该波长 λ 处分别向 λ 增加和减小的方向延展。例如，$\lambda_1+\Delta\lambda=\lambda_2$，$\lambda_2+\Delta\lambda=\lambda_3$，等等。即，$\lambda_{l-1}+\Delta\lambda=\lambda_l$，$\lambda_l+\Delta\lambda=\lambda_{l+1}$，其中 l=2、3、…、n-1。并且其中，对于波长范围 Δλ 从该波长 λ 处向 λ 增加的方向延展的情况，Δλ 取作正值；对于波长范围 Δλ 从该波长 λ 处向 λ 减小的方向延展的情况，Δλ 取作负值；对于波长范围 Δλ 部分地从该波长 λ 处向 λ 增加的方向延展，部分地从该波长 λ 处向 λ 减小的方向延展的情况，将 Δλ 分别取作正值（对应其向 λ 增加的方向延展的最大值）和负值（对应其向 λ 减少的方向延展的最大值）。

例如，对于 10 个波长分别为 500nm、510nm、…、590nm 的光，波长范围 Δλ=10nm，其中波长为 500nm 的光指的是波长范围从 500nm-510nm 的光，波长为 510nm 的光指的是波长范围从 510nm-520nm 的光，…，波长为 590nm 的光指的是波长范围从 590nm-600nm 的光；或者，其中波长为 500nm 的光指的是波长范围从 490nm-510nm 的光，波长为 510nm 的光指的是波长范围从 500nm-510nm 的光，…，波长为 590nm 的光指的是波长范围从 580nm-590nm 的光；或者，其中波长为 500nm 的光指的是波长范围从 495nm-505nm 的光，波长为 510nm 的光指的是波长范围从 505nm-515nm 的光，…，波长为 590nm 的光指的是波长范围从 585nm-595nm 的光；等等。

使用类似图 28、29 给出的光晶体管的光电响应曲线，对第 i 个光晶体管在波长范围$[\lambda_1, \lambda_n]$上模拟获取其对上述 n 个波长 λ_1、λ_2、…、λ_n 的光的光电响应时，在波长为 λ_j 处的光电响应值 M_{ij} 应该取作在波长范围 Δλ 内的光电响应对波长的积分，即该光电响应曲线在波长范围 Δλ 内的部分以下的面积。这是因为，该光晶体管输出的光电流是其对应各波长的光电流部分在波长范围$[\lambda_1, \lambda_n]$上累积的结果，而其对应第 j 个波长的光电流部分是在波长范围 Δλ 上累积的结果。

上述的根据实验测量获得 m 个光晶体管对 n 个波长 λ_1、λ_2、…、λ_n 的光的光电响应矩阵，再根据该光电响应矩阵计算 n 个波长 λ_1、λ_2、…、λ_n 的光的相对光功率的方法能够获得最为精确的结果。但是，对于测量光电响应不便、模拟光电响应不便的场合，还可以通过测量或模拟这 m 个光晶体管对 n 个波长 λ_1、λ_2、…、λ_n 的光的吸收截面的方法来处理，这是由于如前所述的一个光晶体管对 n 个波长 λ_1、λ_2、…、λ_n 的光的光电响应与其对这 n 个波长 λ_1、λ_2、…、λ_n 的光的吸收截面近似

地成正比。例如，对于第 i 个光晶体管，其对第 j 个波长 λ_j 的光的吸收截面 $\sigma_{ij}=a_iM_{ij}$。这样，只要再获取各个光晶体管的系数 a_i（i=1、2、…、m），也能够从吸收截面 σ_{ij} 近似地获得光电响应 M_{ij}。

另外，还可以使用吸收率替代上面描述的吸收截面。如图 31 示出了分别具有厚度分别为 100nm、140nm、180nm、220nm 和 260nm 的纳米结构的 5 个光晶体管在波长范围为 400nm-1600nm 内的吸收率曲线，其中，厚度为 100nm 的纳米结构的光晶体管的吸收率曲线以曲线 T100 表示，厚度为 140nm 的纳米结构的光晶体管的吸收率曲线以曲线 T140 表示，厚度为 180nm 的纳米结构的光晶体管的吸收率曲线以曲线 T180 表示，厚度为 220nm 的纳米结构的光晶体管的吸收率曲线以曲线 T220 表示，厚度为 260nm 的纳米结构的光晶体管的吸收率曲线以曲线 T260 表示。使用光晶体管的吸收率曲线获得其对 n 个波长 λ_1、λ_2、…、λ_n 的光的光电响应的方法与上述的使用吸收截面曲线是类似的，即对第 i 个光晶体管在波长范围$[\lambda_1, \lambda_n]$的模拟其对波长 λ 的光的吸收率时，在波长为 λ 处的吸收率值应该取作在波长范围 Δλ 内的吸收率对波长的积分，即该吸收率曲线在波长范围 Δλ 内的部分以下的面积，如图 31 中阴影部分表示的。由于一个光晶体管对 n 个波长 λ_1、λ_2、…、λ_n 的光的光电响应与其对这 n 个波长 λ_1、λ_2、…、λ_n 的光的吸收率近似地成正比，再获取这个比例系数后，就能够从吸收率近似地获得光电响应了。

另外，需要说明的是，以上描述中将 n 个波长 λ_1、λ_2、…、λ_n 的光的延展的波长范围 Δλ 设定为相等的值，但在其他实施例中，还可以根据需要将 n 个波长 λ_1、λ_2、…、λ_n 的光的延展的波长范围设定为不相等的值，如波长 λ_i 的光的延展的波长范围为 $\Delta\lambda_i$，只要满足该波长 λ_i 的光通过该延展的波长范围 $\Delta\lambda_i$ 其与其两个相邻的波长的光相接即可。即，$\lambda_{l-1}+\Delta\lambda_{l-1}=\lambda_l$，$\lambda_l+\Delta\lambda_l=\lambda_{l+1}$，其中 l=2、3、…、n-1。

以上详细描述了本发明的较佳具体实施例。应当理解，本领域的普通技术人员无需创造性劳动就可以根据本发明的构思做出诸多修改和变化。因此，凡本技术领域的技术人员依本发明的构思在现有技术的基础上通过逻辑分析、推理或者有限的实验可以得到的技术方案，皆应在由权利要求书所确定的保护范围内。

权 利 要 求 书

1、 一种光晶体管，包括集电区、基区和发射区，所述集电区和所述基区之间具有第一 PN 结，所述发射区和所述基区之间具有第二 PN 结，其特征在于，所述集电区、所述基区和所述发射区形成在呈条状的纳米结构上，所述第一 PN 结形成在所述纳米结构的第一横截面上；所述第一 PN 结和所述第二 PN 结为同质结或异质结。

2、 如权利要求 1 所述的光晶体管，其中所述第一 PN 结的结面积等于所述第一横截面的面积。

3、 如权利要求 2 所述的光晶体管，其中所述纳米结构为纳米线、纳米棒、纳米柱或纳米带。

4、 如权利要求 2 所述的光晶体管，其中所述第二 PN 结形成在所述纳米结构的第二横截面上，所述第二 PN 结的结面积等于所述第二横截面的面积。

5、 如权利要求 4 所述的光晶体管，其中在所述纳米结构上，所述基区在所述第一横截面和所述第二横截面之间，所述集电区在所述第一横截面远离所述第二横截面的一侧，所述发射区在所述第二横截面远离所述第一横截面的一侧。

6、 如权利要求 5 所述的光晶体管，其中所述纳米结构为直的条状或弯曲的条状。

7、 如权利要求 5 所述的光晶体管，其中所述第一横截面和所述第二横截面为四边形、三角形或圆形。

8、 如权利要求 5 所述的光晶体管，其中还包括与所述集电区电连接的第一电极和与所述发射区电连接的第二电极。

9、 如权利要求 8 所述的光晶体管，其中所述纳米结构在所述第一电极和所述第二电极之间均匀地延伸。

10、 如权利要求 8 所述的光晶体管，其中包括多个所述纳米结构，所述多个纳米结构并联在所述第一电极和所述第二电极之间，每个所述纳米结构的所述集电区皆与所述第一电极电连接，每个所述纳米结构的所述发射区皆与所述第二电极电连接。

11、 如权利要求 10 所述的光晶体管，其中所述多个纳米结构在所述第一电极和所述第二电极之间均匀地延伸。

12、 如权利要求 11 所述的光晶体管，其中所述多个纳米结构彼此平行，任意两个相邻的所述纳米结构之间的间距为 100nm-500nm，所述多个纳米结构的个数为 2-50。

13、 如权利要求 9 或 11 所述的光晶体管，其中所述第一 PN 结的结面积在 10nm×10nm 到 5μm×5μm 之间。

14、 如权利要求 9 或 11 所述的光晶体管，其中所述第二 PN 结的结面积在 10nm×10nm 到 5μm×5μm 之间。

15、 如权利要求 9 或 11 所述的光晶体管，其中所述基区的长度不大于所述集电区的长度。

16、 如权利要求 15 所述的光晶体管，其中所述集电区的长度在 0.5μm 至 2μm 之间。

17、 如权利要求 15 所述的光晶体管，其中所述基区的长度在 30nm 至 500nm 之间。

18、 如权利要求 15 所述的光晶体管，其中所述光晶体管为 PNP 型或 NPN 型。

19、 如权利要求 18 所述的光晶体管，其中所述光晶体管为 PNP 型，所述集电区由轻掺杂的 P 型的半导体材料形成，所述基区由 N 型的所述半导体材料形成，所述发射区由重掺杂的 P 型的所述半导体材料形成。

20、 如权利要求 19 所述的光晶体管，其中所述重掺杂的掺杂浓度为 10^{18} 至 10^{20} cm^{-3}，所述轻掺杂的掺杂浓度为 10^{16} 至 10^{10} cm^{-3}。

21、 如权利要求 19 所述的光晶体管，其中所述光晶体管为 NPN 型，所述集电区由轻掺杂的 N 型的半导体材料形成，所述基区由 P 型的所述半导体材料形成，所述发射区由重掺杂的 N 型的所述半导体材料形成。

22、 如权利要求 21 所述的光晶体管，其中所述重掺杂的掺杂浓度为 10^{18} 至 10^{20} cm^{-3}，所述轻掺杂的掺杂浓度为 10^{16} 至 10^{10} cm^{-3}。

23、 如权利要求 19-22 中任何一个所述的光晶体管，其中所述第一电极和所述第二电极由与所述发射区的所述半导体材料的掺杂浓度相同的所述半导体材料形成。

24、 如权利要求 23 所述的光晶体管，其中在所述纳米结构上还具有材料和掺杂浓度与所述第一电极的材料相同的过渡区，所述过渡区在所述集电区和所述第一电极之间，所述集电区通过所述过渡区与所述第一电极电连接。

25、 如权利要求 1-12、16-22 和 24 中任何一个所述的光晶体管，其中所述纳米结构的表面具有钝化层，所述钝化层的厚度为 5 至 30nm。

26、 如权利要求 1-12、16-22 和 24 中任何一个所述的光晶体管，其中所述纳米结构的材料是硅、锗、磷化铟或铟化砷镓。

27、 如权利要求 26 所述的光晶体管，其中所述钝化层为氧化硅层、氮化硅、氧化铝层或氧化铪层。

28、 一种光晶体管的制备方法，用于制备如权利要求 23 所述的光晶体管，其特征在于，所述纳米结构的材料是单晶硅，所述制备方法包括步骤：

刻蚀 SOI 硅片的顶层硅层至埋层氧化硅层，在所述埋层氧化硅层上形成单晶硅的所述纳米结构；

对所述纳米结构掺杂，形成所述集电区、所述基区和所述发射区。

29、 如权利要求 1-12、16-22 和 24 中任何一个所述的光晶体管，其中所述集电区的表面上具有金属纳米颗粒，所述颗粒和所述集电区之间具有绝缘层。

30、 如权利要求 29 所述的光晶体管，其中所述绝缘层的厚度为 3 至 50nm，所述绝缘层的折射率为 1.4 至 5。

31、 如权利要求 30 所述的光晶体管，其中所述颗粒的粒径为 10 至 200nm。

32、 如权利要求 30 所述的光晶体管，其中所述颗粒的材料为金或银。

33、 如权利要求 30 所述的光晶体管，其中所述颗粒呈周期性排布，所述颗粒的分布密度为 $2\times10^{9}\ cm^{-2}$ 至 $1\times10^{12}cm^{-2}$。

34、 如权利要求 30-33 中任何一个所述的光晶体管，其中所述绝缘层在所述颗粒的表面，所述集电区表面具有钝化层，所述钝化层的厚度为 5 至 30nm。

35、 如权利要求 30-33 中任何一个所述的光晶体管，其中所述绝缘层形成在所述集电区表面，并用于钝化所述集电区的表面。

36、 如权利要求 35 所述的光晶体管，其中所述纳米结构的材料是单晶硅，所述绝缘层为氮化硅层、氧化铝层或氧化铪层。

37、 一种光通信器件，包括如权利要求 1-12、16-22、24、27、30-33 和 36 中任何一个所述的光晶体管，其特征在于，还包括光波导；所述光波导将光信号传送到所述光晶体管的所述集电区，所述光晶体管输出相应的电信号。

38、 如权利要求 37 所述的光通信器件，其中所述光波导为光纤。

39、 如权利要求 37 所述的光通信器件，其中还包括天线，所述天线为一对锥形或方形的条状结构，沿垂直于所述纳米结构的延伸方向的方向，向所述纳米结构延伸，所述一对锥形或方形的条状结构的一对顶端分别在所述纳米结构两侧并指向所述纳米结构。

40、 如权利要求 39 所述的光通信器件，其中所述一对顶端分别指向所述集电区。

41、 一种光谱分光器件，用于确定照射到其受光面上的入射光中 n 个连续的波长 λ_1、λ_2、…、λ_n 的光各自的相对光功率 P_1、P_2、…、P_n，包括如权利要求 8-12、16-22 和 24 中任何一个所述的光晶体管，其特征在于，m 个所述光晶体管分布在所述受光面上，在所述入射光的照射下，所述 m 个光晶体管分别从其所述第一电极、所述第二电极输出光电流 I_1、I_2、…、I_m；所述 m 个光晶体管的所述纳米结构的厚度和/或宽度彼此不同；

所述入射光的相对光功率矩阵

$$P=\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_n \end{bmatrix}=M^{-1}\ I=\begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & \cdots & M_{1n} \\ M_{21} & M_{22} & \cdots & M_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{m1} & M_{m2} & \cdots & M_{mn} \end{bmatrix}^{-1}\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_m \end{bmatrix},$$

其中，已知所述 m 个光晶体管对所述 n 个连续的波长 λ_1、λ_2、…、λ_n 的光的光电响应矩阵

$$M=\begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & \cdots & M_{1n} \\ M_{21} & M_{22} & \cdots & M_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{m1} & M_{m2} & \cdots & M_{mn} \end{bmatrix}$$，其中已知第 i 个所述光晶体管对第 j 个波长 λ_j 的光的光电响应 M_{ij}；

其中，所述 m 不小于所述 n，i=1、…、m 以及 j=1、…、n。

42、 如权利要求 41 所述的光谱分光器件，其中通过实验测量所述第 i 个光晶体管对所述第 j 个波长 λ_j 的光的光电响应 M_{ij}；在所述实验中，用具有光功率 P0 和波长 λ_j 的均匀光束照射所述第 i 个光晶体管，测量其输出的光电流 $I0_i$，所述光电响应 $M_{ij}= I0_i/ P0$。

43、 如权利要求 41 或 42 所述的光谱分光器件，其中所述 n 个连续的波长 λ_1、λ_2、…、λ_n 的光各自具有延展的波长范围 $\Delta\lambda_1$、$\Delta\lambda_2$、…、$\Delta\lambda_n$。

44、 如权利要求 43 所述的光谱分光器件，其中各个所述波长范围 $\Delta\lambda_1$、$\Delta\lambda_2$、…、$\Delta\lambda_n$ 彼此相等。

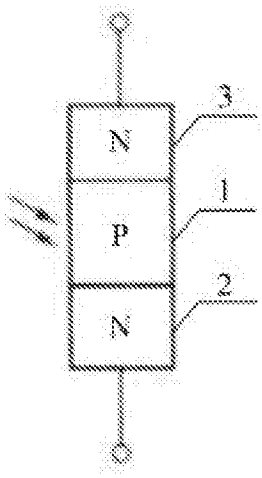

图 1

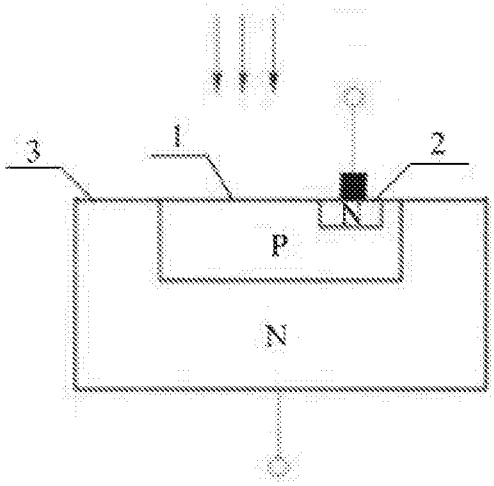

图 2

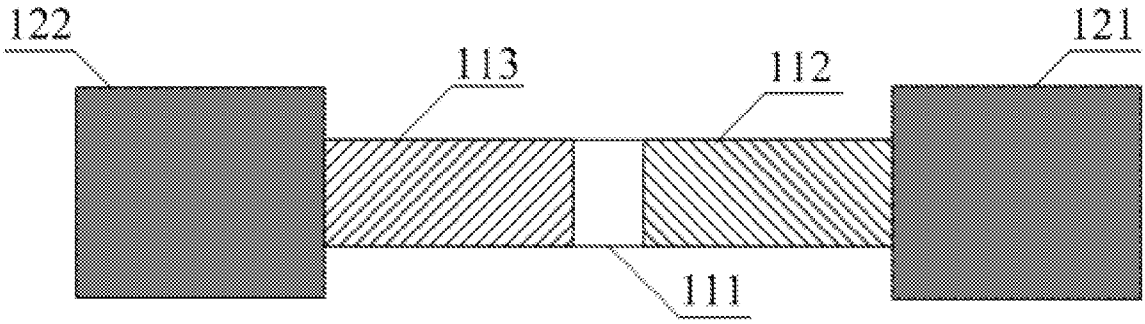

图 3

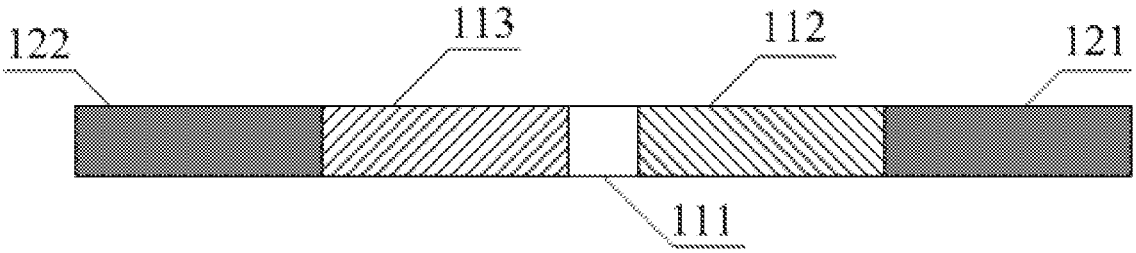

图 4

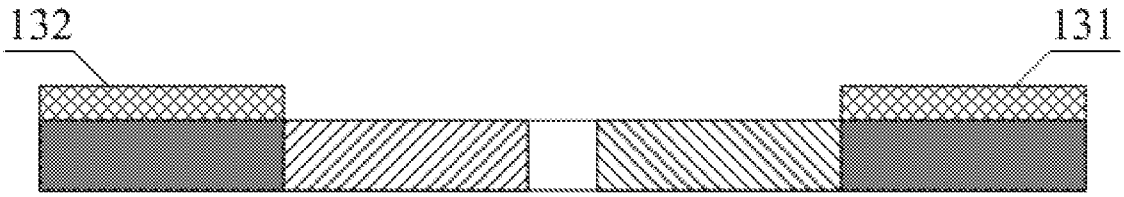

图 5

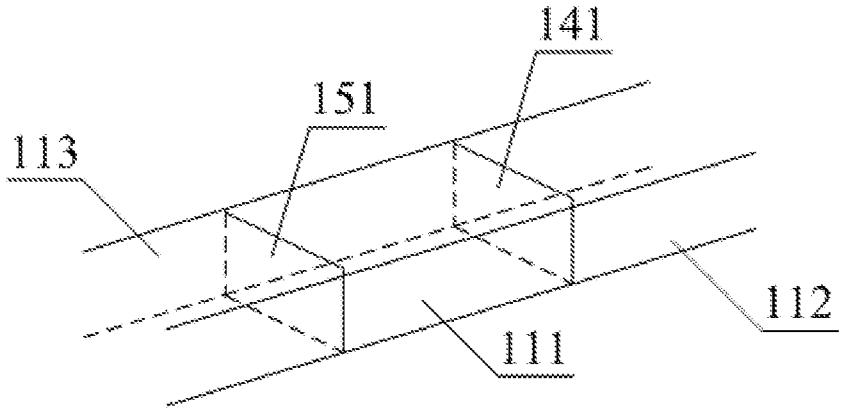
141
151
113
112
111

图 6

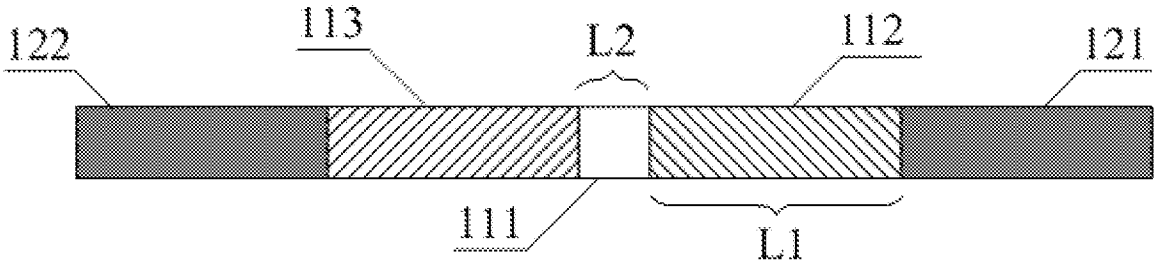
122
113
L2
112
121
111
L1

图 7

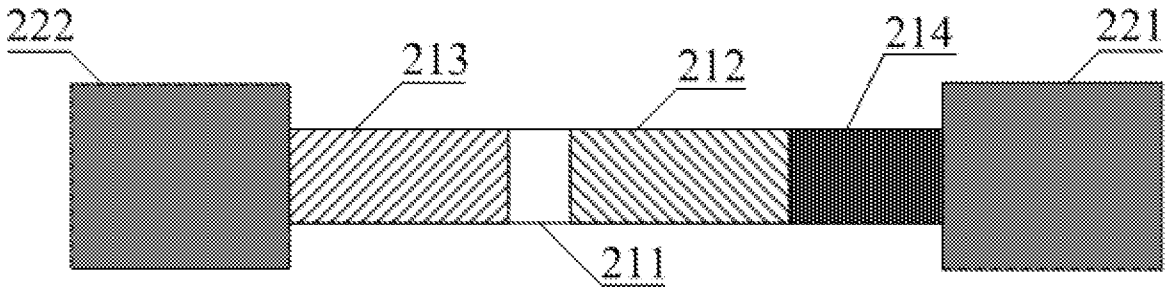
222
213
212
214
221
211

图 8

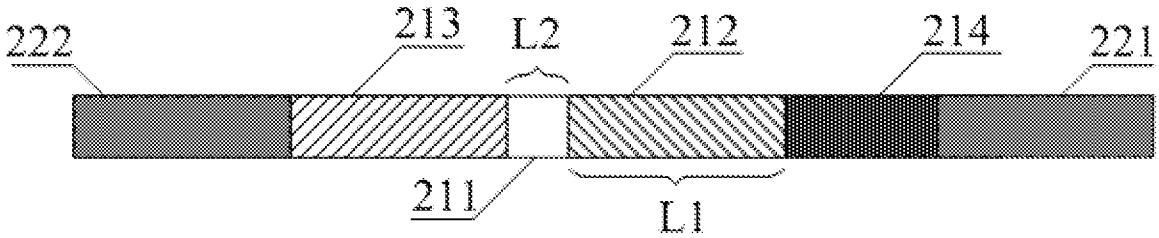
222
213
L2
212
214
221
211
L1

图 9

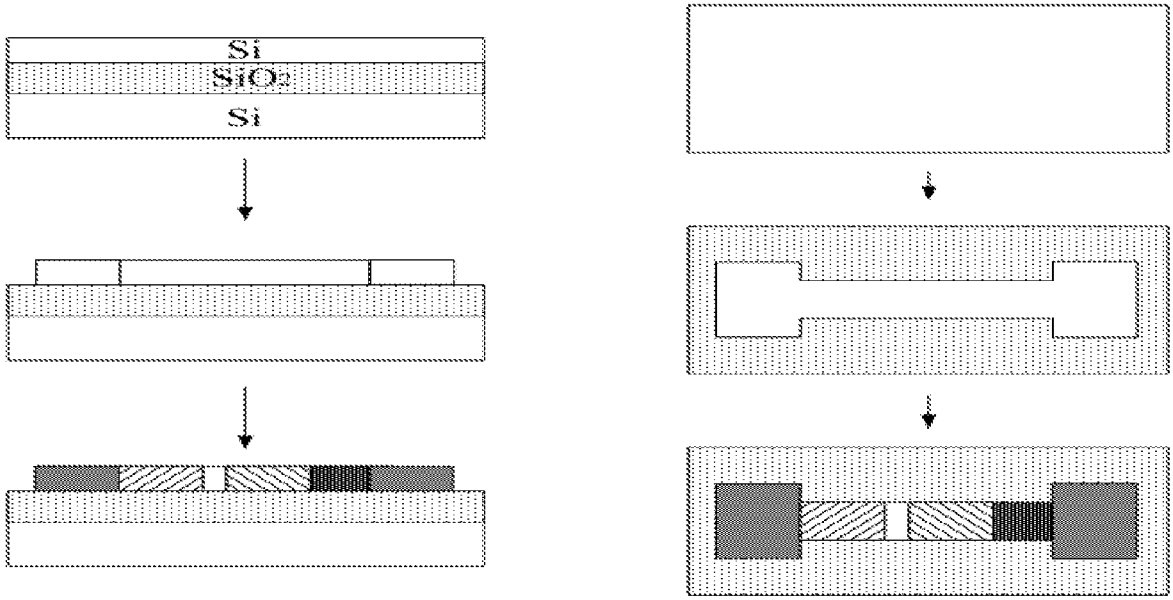

图 10

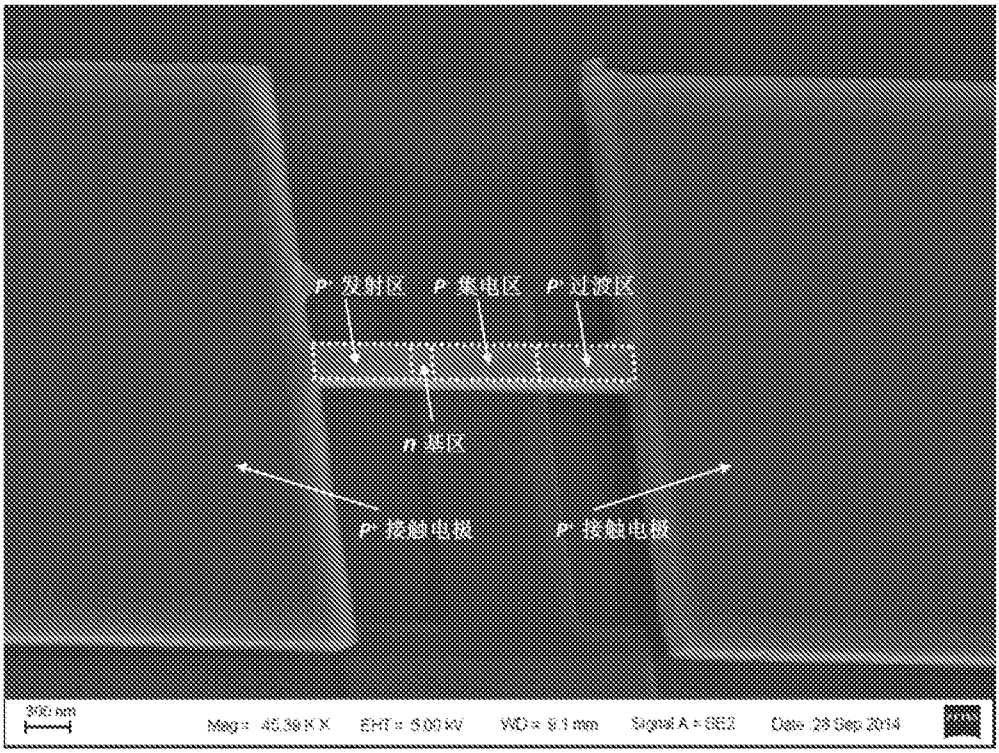
P+ 发射区
P+ 集电区
P+ 过渡区
n- 基区
P+ 接触电极
P+ 接触电极

图 11

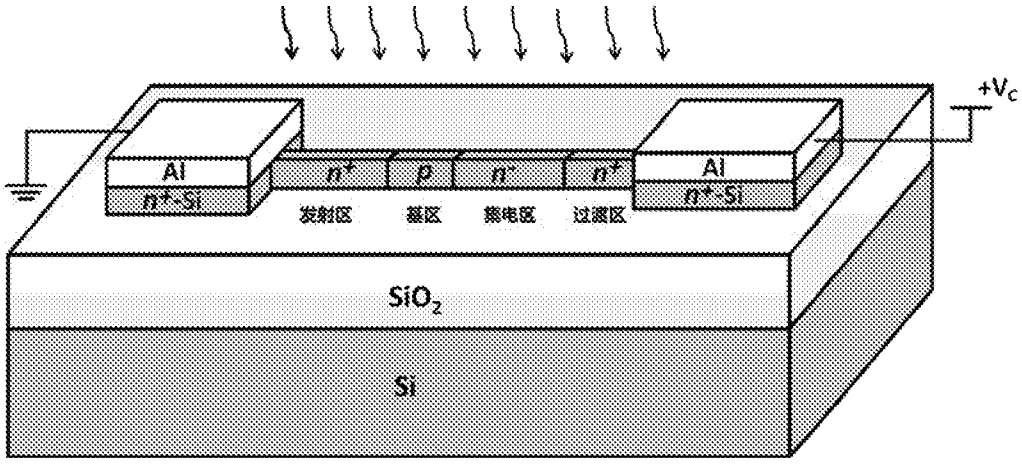
+Vc
Al
n+-Si
n+
p
n-
n+
Al
n+-Si
发射区
基区
集电区
过渡区
SiO2
Si

图 12

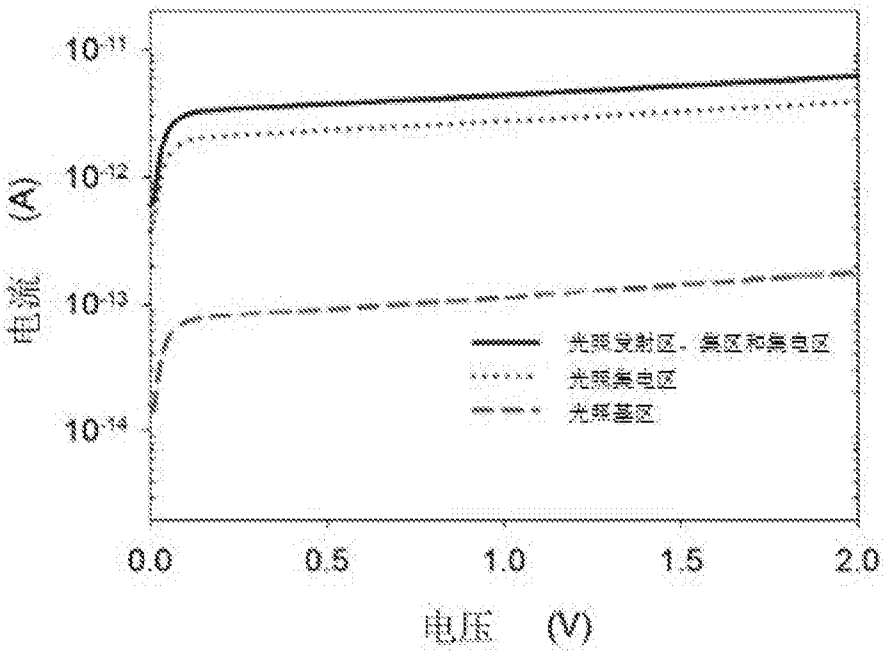
10-11
10-12
10-13
10-14
电流 (A)
光照发射区、集区和集电区
光照集电区
光照基区
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
电压 (V)

图 13

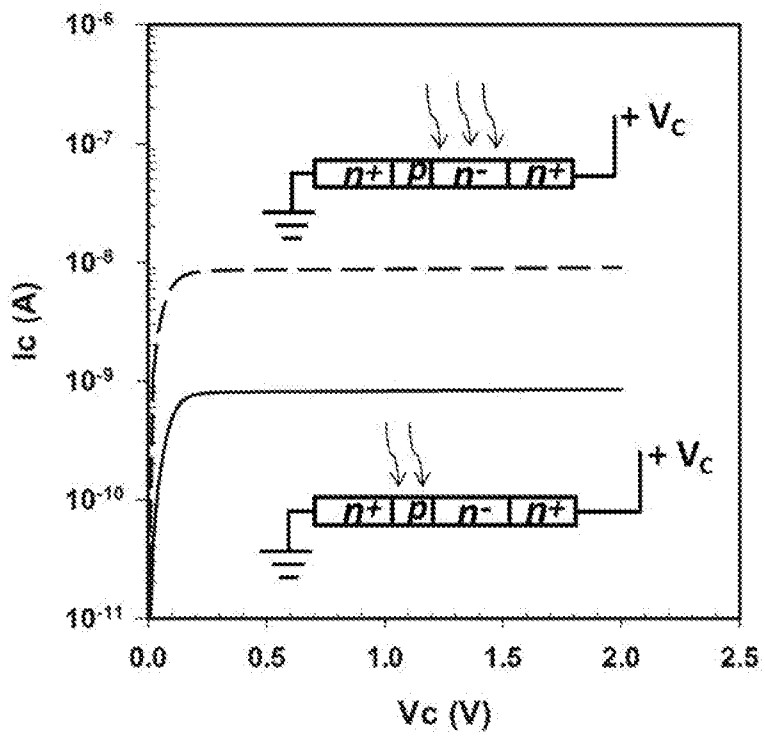
10-6
10-7
10-8
10-9
10-10
10-11
Ic (A)
+ Vc
n+ p n- n+
+ Vc
n+ p n- n+
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
Vc (V)

图 14

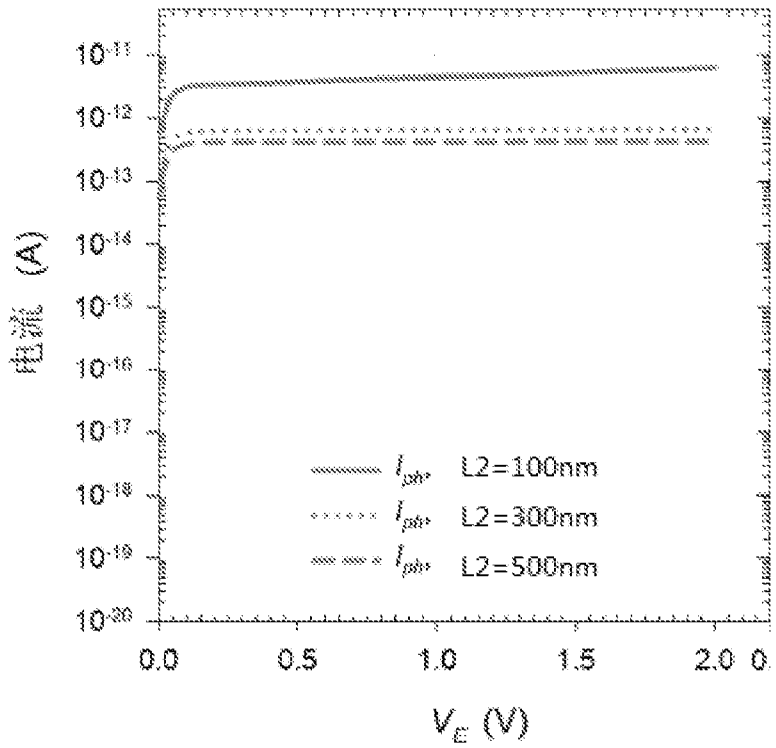
电流 (A)
10^{-11}
10^{-12}
10^{-13}
10^{-14}
10^{-15}
10^{-16}
10^{-17}
10^{-18}
10^{-19}
10^{-20}
I_{pho}, L2=100nm
I_{pho}, L2=300nm
I_{pho}, L2=500nm
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
V_E (V)

图 15

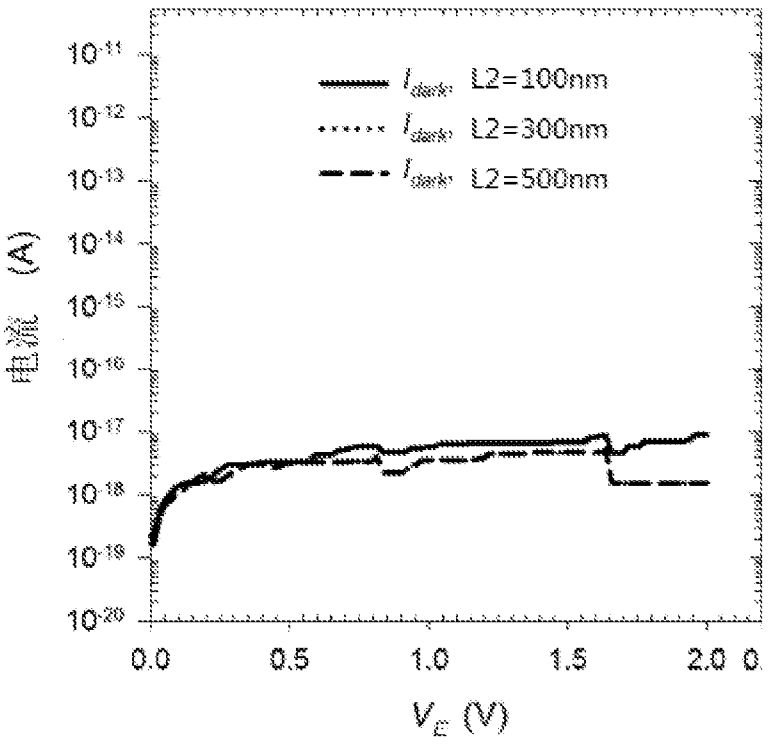
电流 (A)
10^{-11}
10^{-12}
10^{-13}
10^{-14}
10^{-15}
10^{-16}
10^{-17}
10^{-18}
10^{-19}
10^{-20}
I_{dark}, L2=100nm
I_{dark}, L2=300nm
I_{dark}, L2=500nm
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
V_E (V)

图 16

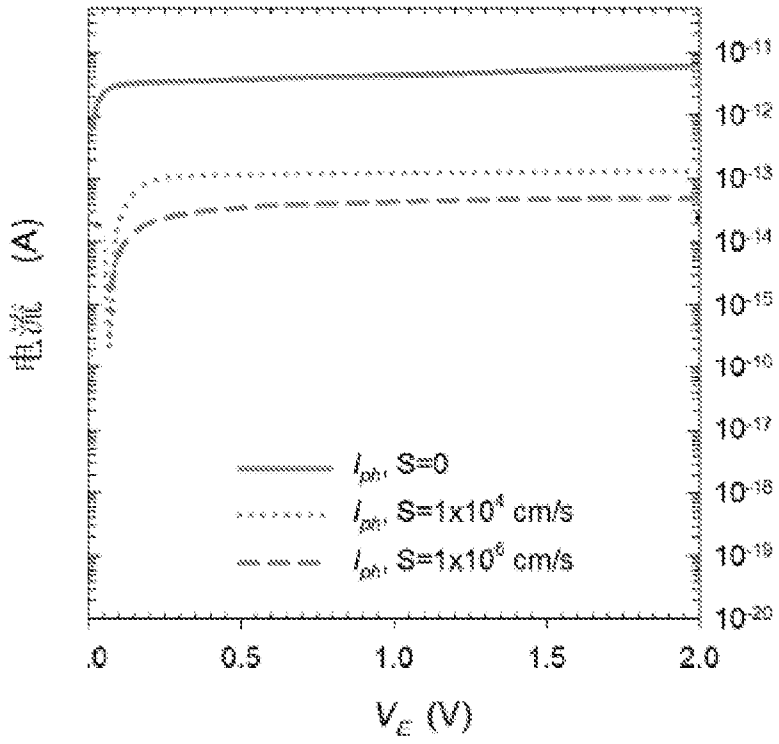
电流 (A)
10^{-11}
10^{-12}
10^{-13}
10^{-14}
10^{-15}
10^{-16}
10^{-17}
10^{-18}
10^{-19}
10^{-20}
I_{ph}, S=0
I_{ph}, S=1x10^{4} cm/s
I_{ph}, S=1x10^{6} cm/s
.0
0.5
1.0
1.5
2.0
V_E (V)

图 17

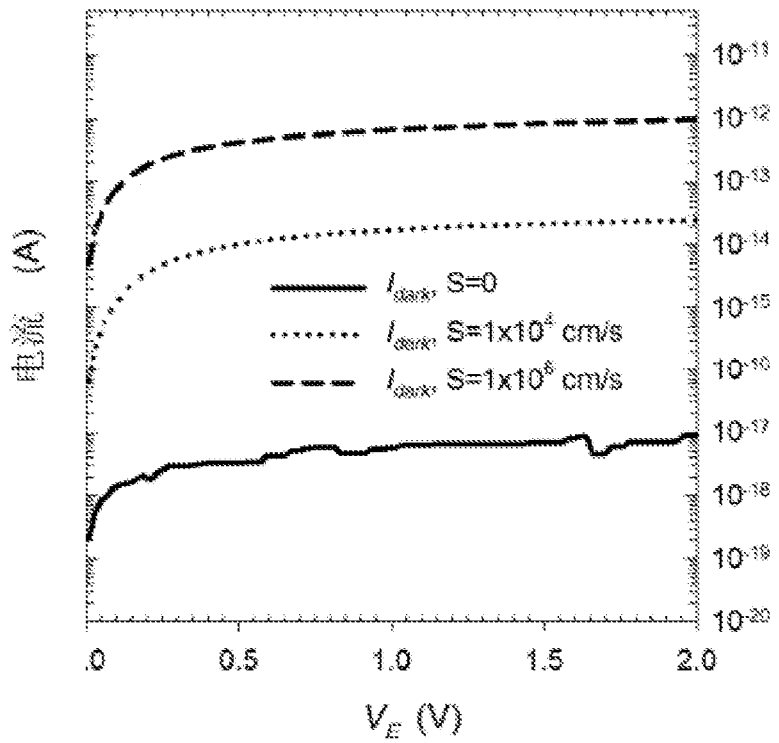
电流 (A)
10^{-11}
10^{-12}
10^{-13}
10^{-14}
10^{-15}
10^{-16}
10^{-17}
10^{-18}
10^{-19}
10^{-20}
I_{dark}, S=0
I_{dark}, S=1x10^{4} cm/s
I_{dark}, S=1x10^{6} cm/s
.0
0.5
1.0
1.5
2.0
V_E (V)

图 18

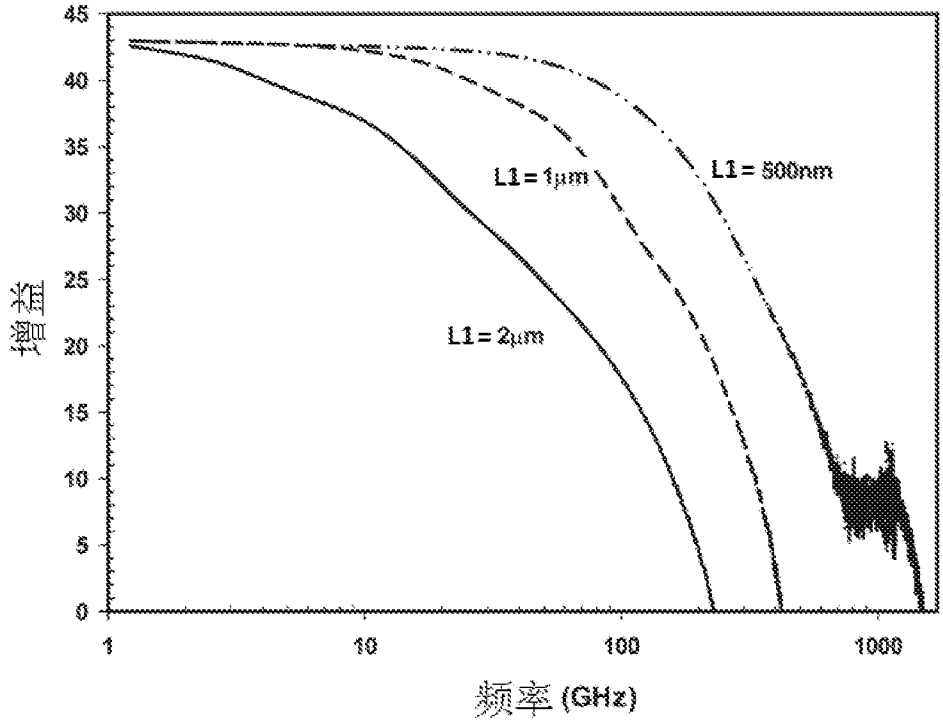
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
增益
L1 = 1μm
L1 = 500nm
L1 = 2μm
1
10
100
1000
频率 (GHz)

图 19

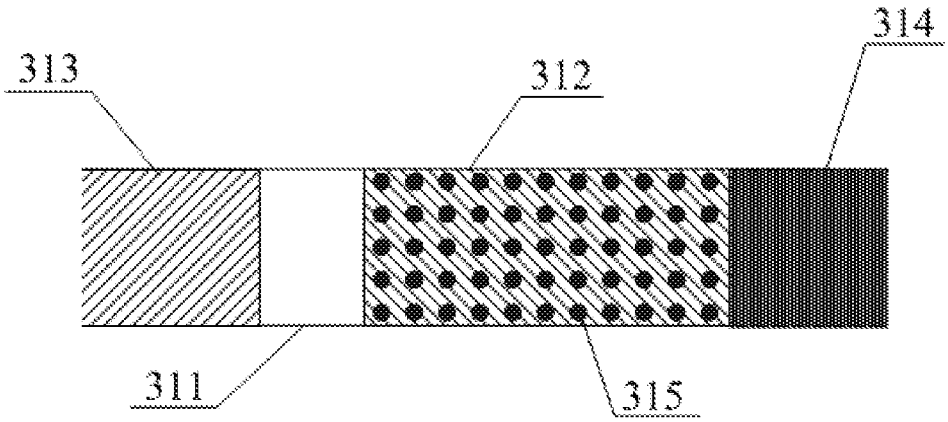
313
312
314
311
315

图 20

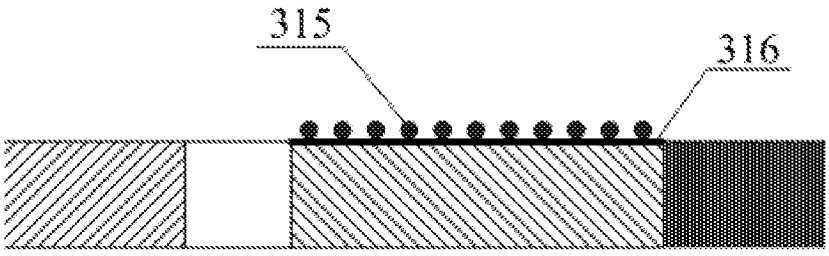
315
316

图 21

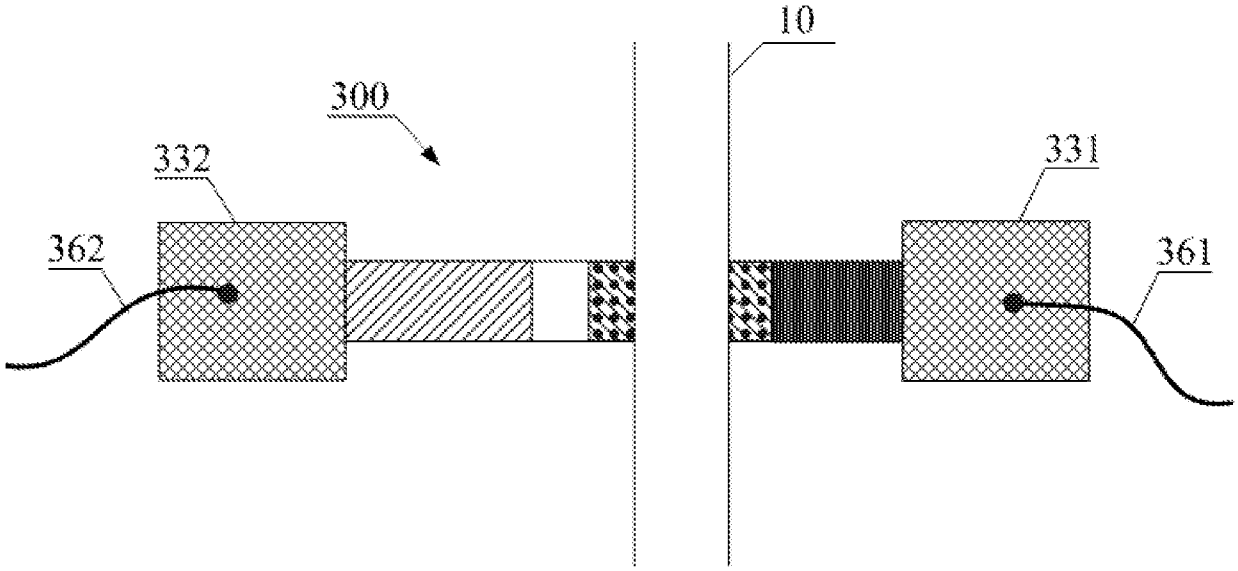

图 22

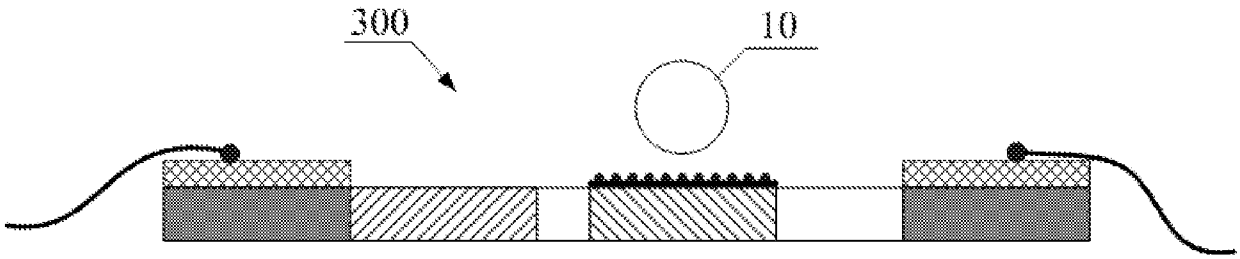

图 23

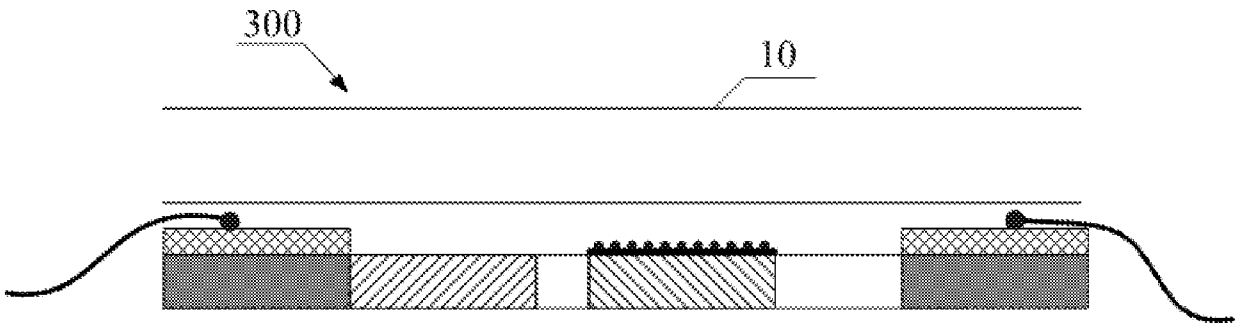

图 24

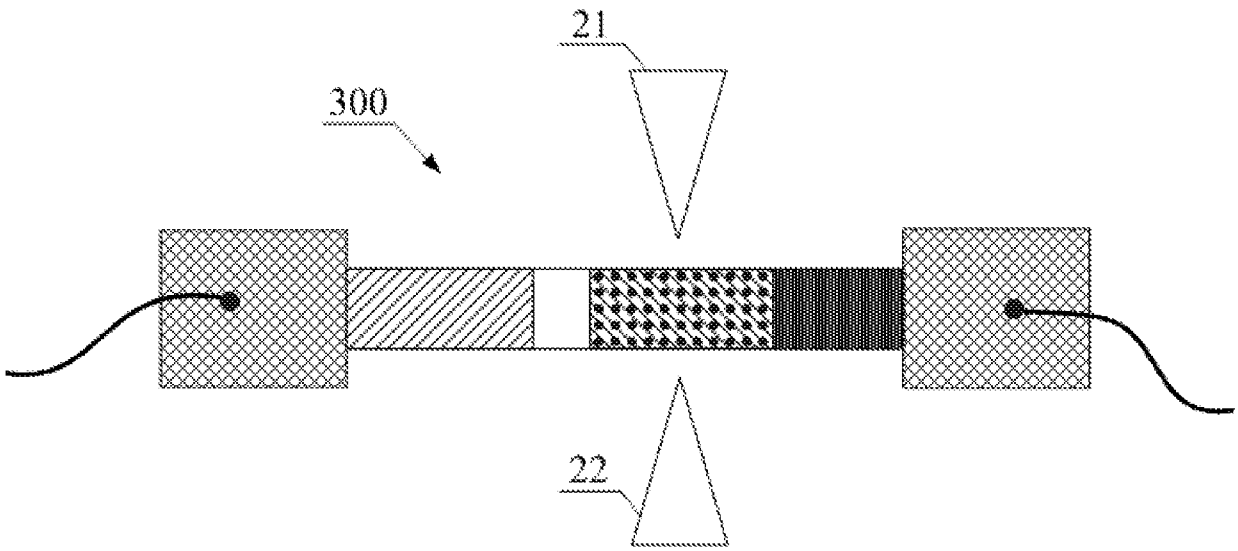

图 25

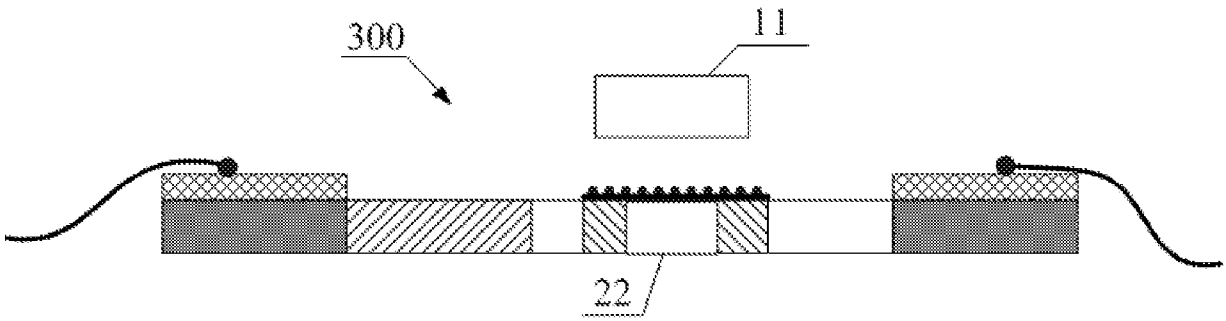

图 26

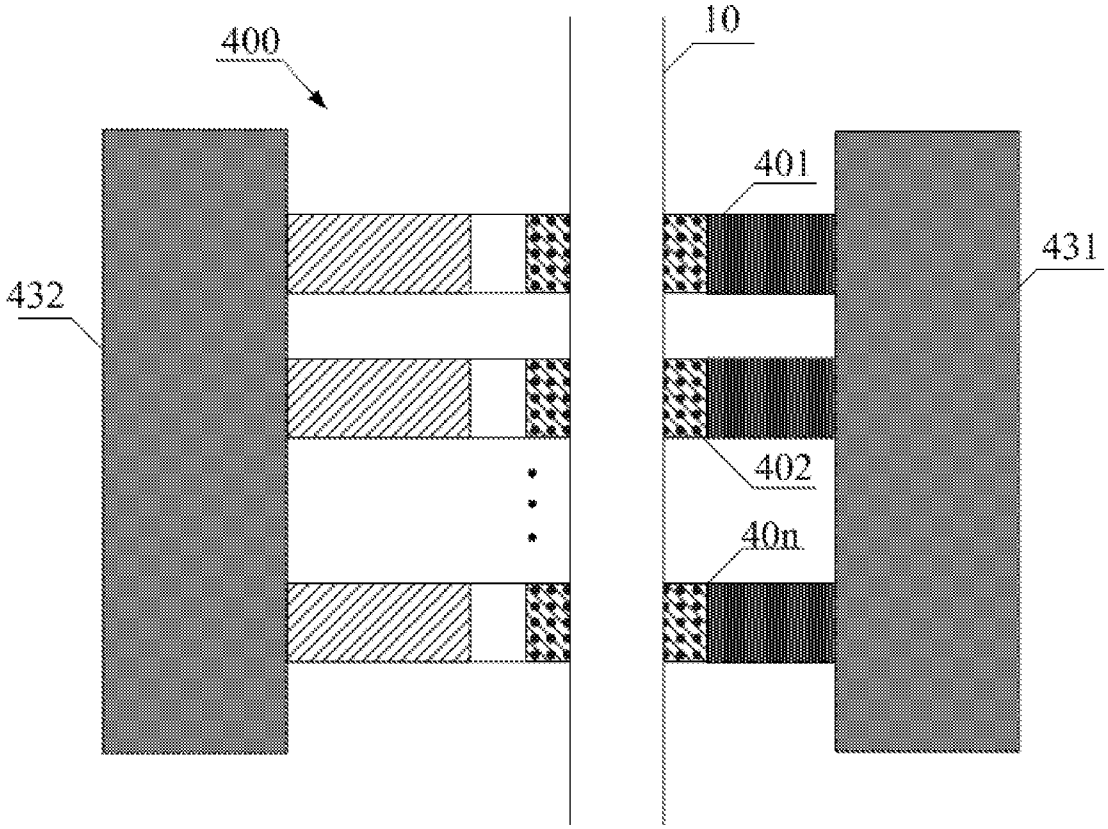
400
10
401
431
432
402
40n

图 27

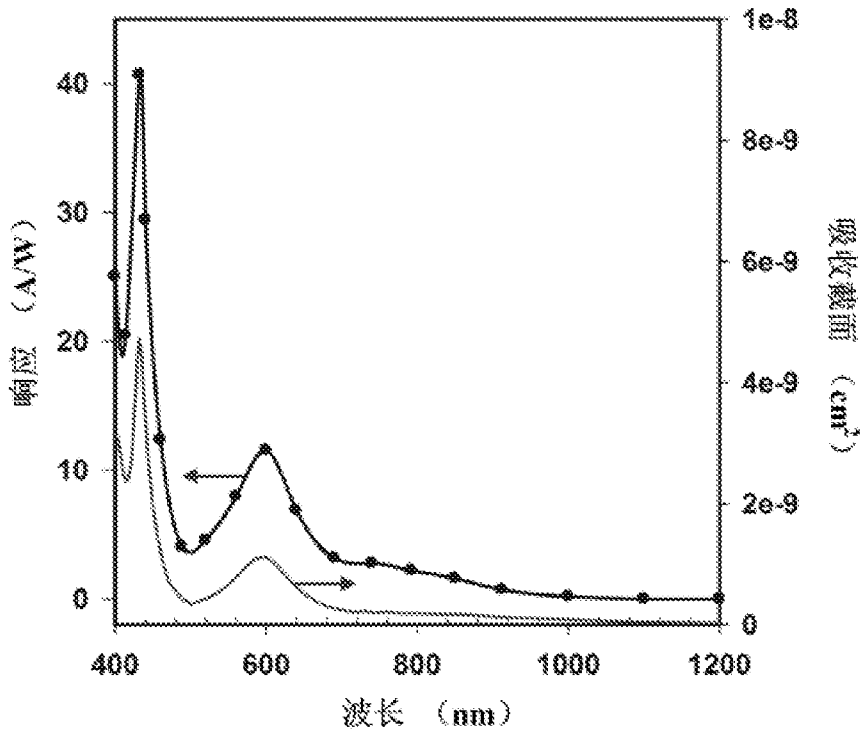
1e-8
40
8e-9
30
6e-9
20
4e-9
10
2e-9
0
0
400
600
800
1000
1200
响应（A/W）
吸收截面（cm²）
波长（nm）

图 28

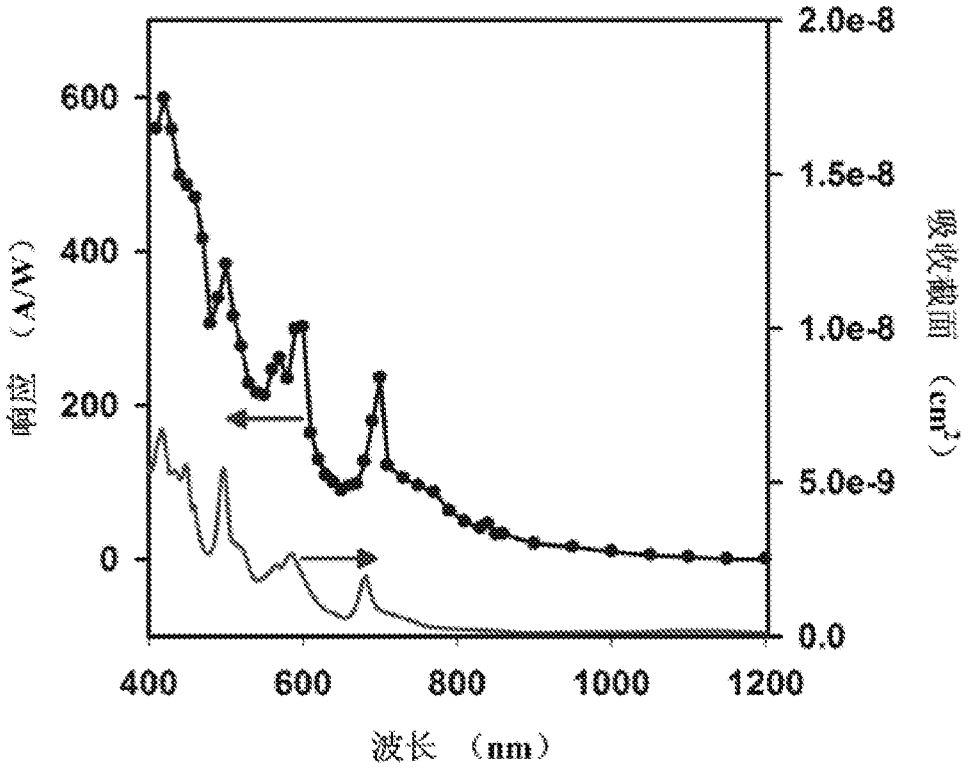
2.0e-8
1.5e-8
1.0e-8
5.0e-9
0.0
600
400
200
0
响应（A/W）
吸收截面（cm²）
400
600
800
1000
1200
波长（nm）

图 29

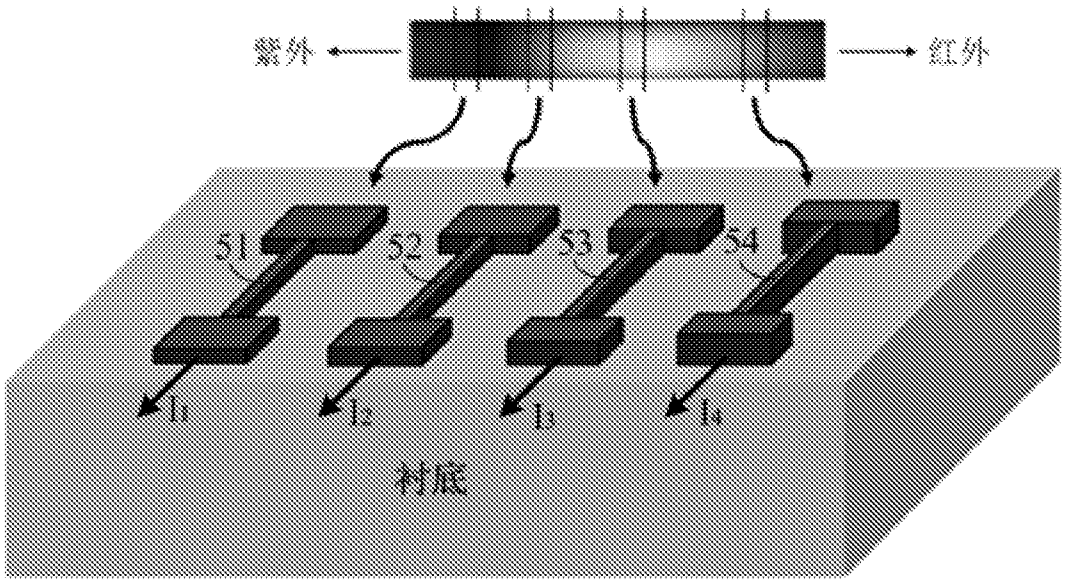
紫外
红外
51
52
53
54
I1
I2
I3
I4
衬底

图 30

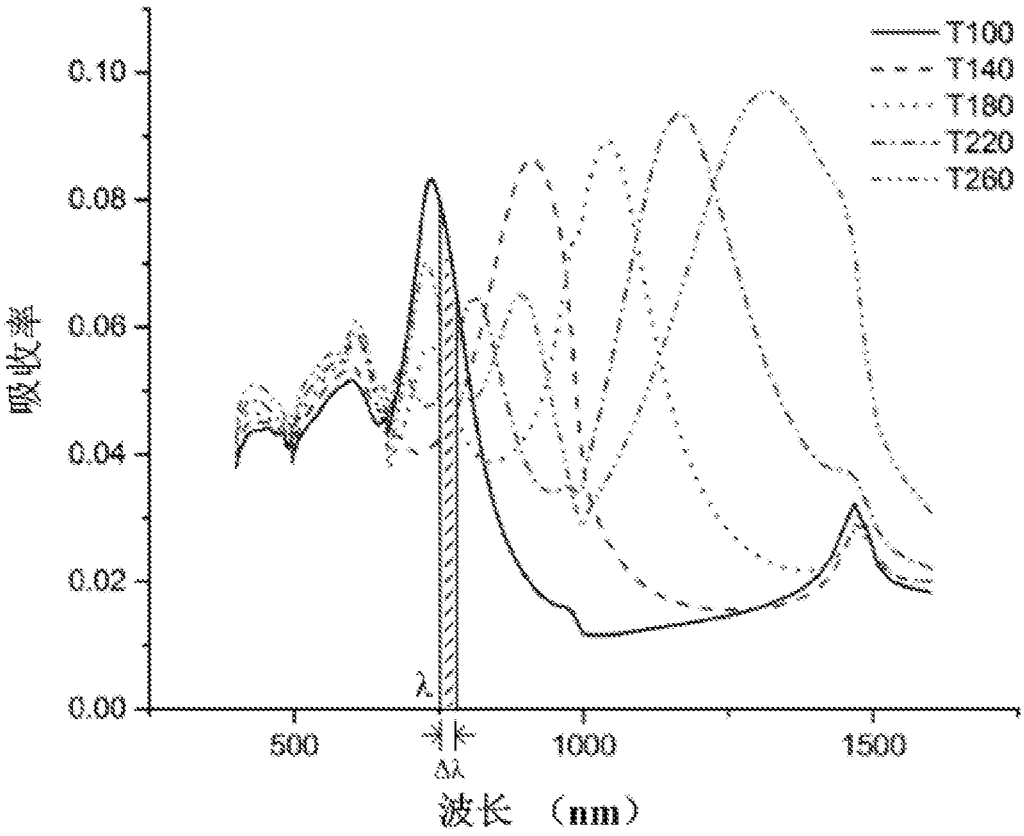
T100
T140
T180
T220
T260
0.10
0.08
0.06
0.04
0.02
0.00
吸收率
500
1000
1500
λ
Δλ
波长 （nm）

图 31

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2016/073655

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L 31/0232 (2014.01) i; H01L 31/11 (2006.01) i; H01L 31/18 (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 31

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; VEN: base region, antenna, trans+, base electrode, NW, NPN, H01L31/02, PNP, emission, BIP0LAR+, waveguide, respon+, nanowire, buffer+, fiber, passiv+, COLLECTOR, H01L 31/0352, H01L 31/11, H01L 31/0232, collector, nano-structure, fibre, H01L 31/0236, H01L 31/0216, H01L 31/18, bipolar, NANO+, wave, optical fiber, guide

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 104124154 A (SEMICONDUCTOR MANUFACTURING INTERNATIONAL (SHANGHAI) CORPORATION), 29 October 2014 (29.10.2014), description, paragraphs [0073]-[0134], and figures 8A-18B	1-23, 25-28, 37-40
Y	CN 104124154 A (SEMICONDUCTOR MANUFACTURING INTERNATIONAL (SHANGHAI) CORPORATION), 29 October 2014 (29.10.2014), description, paragraphs [0073]-[0134], and figures 8A-18B	24, 29-36
Y	CN 103545398 A (BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY), 29 January 2014 (29.01.2014), description, paragraphs [0024]-[0035], and figure 1	24
Y	CN 101866961 A (INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERING, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES), 20 October 2010 (20.10.2010), description, paragraph [0030], and figure 1	29-36
A	CN 1805156 A (TSINGHUA UNIVERSITY), 19 July 2006 (19.07.2006), description, page 4, line 2 to page 5, line 15, and figure 3	1-44
A	CN 103943715 A (INSTITUTE OF SEMICONDUCTORS, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES), 23 July 2014 (23.07.2014), description, paragraph [0024], and figure 1	1-44

☒ 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	Date of mailing of the international search report
30 March 2016 (30.03.2016)	**13 April 2016 (13.04.2016)**
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer **LIU, Le** Telephone No.: (86-10) **62411579**

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2009)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2016/073655

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 104091837 A (NANJING UNIVERSITY), 08 October 2014 (08.10.2014), description, paragraph [0003], and figure 1	1-44
A	CN 102201483 A (INSTITUTE OF SEMICONDUCTORS, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES), 28 September 2011 (28.09.2011), the whole document	1-44
A	CN 102376817 A (WANG, Hao), 14 March 2012 (14.03.2012), the whole document	1-44

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2016/073655

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 104124154 A	29 October 2014	None	
CN 103545398 A	29 January 2014	None	
CN 101866961 A	20 October 2010	None	
CN 1805156 A	19 July 2006	CN 100428500 C	22 October 2008
CN 103943715 A	23 July 2014	None	
CN 104091837 A	08 October 2014	WO 2015188634 A1	17 December 2015
		WO 2015188608 A1	17 December 2015
CN 102201483 A	28 September 2011	CN 102201483 B	03 October 2012
CN 102376817 A	14 March 2012	None	

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2016/073655

A. 主题的分类

H01L 31/0232(2014.01)i；H01L 31/11(2006.01)i；H01L 31/18(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)

H01L31

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;VEN:基区，antenna，trans+，基极，NW，NPN，H01L31/02，PNP，发射，BIPOLAR+，钝化，波导，respon+，纳米线，响应，buffer+，fiber，passiv+，COLLECTOR，H01L31/0352，H01L31/11，H01L31/0232，集电，纳米结构，fibre，H01L31/0236，H01L31/0216，H01L31/18，双极，天线，NANO+，wave，过渡，光纤，guide，缓冲

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
X	CN 104124154 A (中芯国际集成电路制造上海有限公司) 2014年 10月 29日 (2014-10-29) 说明书[0073]-[0134]段，附图8A-18B	1-23，25-28，37-40
Y	CN 104124154 A (中芯国际集成电路制造上海有限公司) 2014年 10月 29日 (2014-10-29) 说明书[0073]-[0134]段，附图8A-18B	24，29-36
Y	CN 103545398 A (北京工业大学) 2014年 1月 29日 (2014-01-29) 说明书[0024]-[0035]段，附图1	24
Y	CN 101866961 A (中国科学院电工研究所) 2010年 10月 20日 (2010-10-20) 说明书[0030]段，附图1	29-36
A	CN 1805156 A (清华大学) 2006年 7月 19日 (2006-07-19) 说明书第4页第2行至第5页第15行，附图3	1-44
A	CN 103943715 A (中国科学院半导体研究所) 2014年 7月 23日 (2014-07-23) 说明书[0024]段，附图1	1-44

☑ 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	国际检索报告邮寄日期
2016年 3月 30日	2016年 4月 13日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局(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	受权官员 刘乐 电话号码 (86-10)62411579

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2016/073655

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
A	CN 104091837 A (南京大学) 2014年 10月 8日 (2014 - 10 - 08) 说明书[0003]段，附图1	1-44
A	CN 102201483 A (中国科学院半导体研究所) 2011年 9月 28日 (2011 - 09 - 28) 全文	1-44
A	CN 102376817 A (王浩) 2012年 3月 14日 (2012 - 03 - 14) 全文	1-44

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2016/073655

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	104124154	A	2014年 10月 29日	无			
CN	103545398	A	2014年 1月 29日	无			
CN	101866961	A	2010年 10月 20日	无			
CN	1805156	A	2006年 7月 19日	CN	100428500	C	2008年 10月 22日
CN	103943715	A	2014年 7月 23日	无			
CN	104091837	A	2014年 10月 8日	WO	2015188634	A1	2015年 12月 17日
				WO	2015188608	A1	2015年 12月 17日
CN	102201483	A	2011年 9月 28日	CN	102201483	B	2012年 10月 3日
CN	102376817	A	2012年 3月 14日	无			