

(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
2023 年 3 月 30 日 (30.03.2023)



(10) 国际公布号
WO 2023/045170 A1

(51) 国际专利分类号:
H01L 31/0232 (2014.01) **H01L 31/105** (2006.01)
H01L 31/0352 (2006.01) **H01L 31/18** (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2021/143370

(22) 国际申请日: 2021 年 12 月 30 日 (30.12.2021)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202111133836.5 2021 年 9 月 26 日 (26.09.2021) CN

(71) 申请人: 华南理工大学 (SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国广东省广州市天河区五山路 381 号, Guangdong 510640 (CN)。

(72) 发明人: 李国强(LI, Guoqiang); 中国广东省广州市天河区五山路 381 号, Guangdong 510640 (CN)。孔德麒(KONG, Deqi); 中国广东省广州市天河区五山路 381 号, Guangdong 510640 (CN)。王文樑(WANG, Wenliang); 中国广东省广州市天河

区五山路 381 号, Guangdong 510640 (CN)。 陈胜(CHEN, Sheng); 中国广东省广州市天河区五山路 381 号, Guangdong 510640 (CN)。

(74) 代理人: 广州市华学知识产权代理有限公司(GUANGZHOU HUAXUE INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY CO., LTD.); 中国广东省广州市天河区黄埔大道西 100 号之一富力盈泰广场 A 栋 16 楼 1601-1605、1609-1611 房, Guangdong 510627 (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, 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,

(54) Title: NIO/POROUS GAN RESONANT CAVITY INGAN BLUE LIGHT DETECTOR, AND PREPARATION METHOD THEREFOR

(54) 发明名称: 一种NiO/多孔GaN谐振腔InGaN蓝光探测器及其制备方法

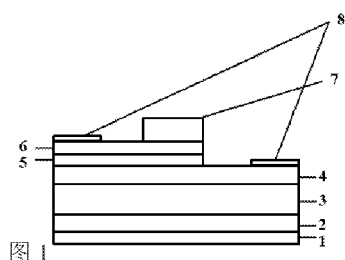


图 1

(57) Abstract: The present invention belongs to the technical field of blue light detectors. Disclosed are an NiO/porous GaN resonant cavity InGaN blue light detector, and a preparation method therefor. The detector comprises a substrate, a buffer layer, a porous GaN layer, an n-GaN layer and an InGaN layer, which are sequentially stacked, wherein part of the upper surface of the n-GaN layer is covered by the InGaN layer, and the other part is an exposed part; a p-GaN layer is arranged on the InGaN layer, an NiO layer is arranged on the p-GaN layer, part of the upper surface of the p-GaN layer is covered by the NiO layer, and the other part is an exposed part; and the exposed part of the upper surface of the n-GaN layer and the exposed part of the upper surface of the p-GaN layer are provided with electrode layers. Further disclosed in the present invention is a preparation method for a detector. By means of the detector of the present invention, the quantum efficiency of a blue light wave band is improved, the blue light resonance absorption is effectively enhanced, and high-sensitivity and high-bandwidth detection is realized.

(57) 摘要: 本发明属于蓝光探测器的技术领域, 公开了一种NiO/多孔GaN谐振腔InGaN蓝光探测器及其制备方法。所述探测器包括依次层叠的衬底、缓冲层、多孔GaN层、n-GaN层、InGaN层, 所述n-GaN层上表面部分被InGaN层覆盖, 另一部分为裸露部分; InGaN层上设有p-GaN层, p-GaN层上设有NiO层, p-GaN层上表面部分被NiO层覆盖, 另一部分为裸露部分; n-GaN层上表面的裸露部分和p-GaN层上表面的裸露部分设有电极层。本发明还公开了探测器的制备方法。本发明的探测器提升了蓝光波段的量子效率, 有效增强蓝光谐振吸收, 实现高灵敏度高带宽探测。

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)。

根据细则4.17的声明:

- 发明人资格 (细则4.17(iv))

本国际公布:

- 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

一种 NiO/多孔 GaN 谐振腔 InGaN 蓝光探测器及其制备方法

技术领域

本发明属于可见光探测器领域，具体涉及一种 NiO/多孔 GaN 谐振腔 InGaN 蓝光探测器及其制备方法。

背景技术

随着基于 GaN 的发光二极管(LED)的快速发展，可见光通信(VLC)引起了人们的广泛关注。对于 VLC 系统的光接收机，光电探测器的量子效率(QE)和时间响应也很重要，因为它们决定了数据传输的距离和速率。为了将光的发射和探测集成在单一芯片上的自由空间 VLC 系统的小型化和简化，需要具有与光源发射光谱匹配的高灵敏度和波长选择性的光电探测器。目前，基于硅的光电探测器通过实现蓝滤波技术来检测基于氮化镓的白光 LED 发出的蓝光。但该技术的缺点是透光率低，成本高，VLC 系统复杂。此外，硅基光电探测器的宽频带响应在被测信号和背景信号之间造成了不期望的干扰效应。

作为第三代半导体材料研究热点之一的 InGaN 材料具有良好的物理化学性质。其拥有高电子迁移率，热稳定性、化学稳定性优异。通过调整合金中 In 的组分，可以实现禁带宽度从 3.4 eV 到 0.7 eV 的连续调节，从而实现 InGaN 探测器能够实现覆盖整个可见光波段的连续探测。

虽然 InGaN 基探测器器件制备研究取得了一定研究进展，但是到目前为止还没有实现商品转化。制约 InGaN 探测器发展和应用的主要问题是器件结构设计与工艺问题。一方面，器件结构设计缺陷大大影响了器件的性能，导致器件响应度低，带宽窄，灵敏度低，量子效率低。同时，制备工艺不够完善也大大限制了器件性能与生产。

发明内容

为了解决以上问题，本发明提供了一种 NiO/多孔 GaN 谐振腔 InGaN 蓝光探测器及其制备方法。本发明的蓝光探测器中多孔 GaN 层（谐振腔底镜）/P-I-N

功能层/NiO 层（谐振腔顶镜）所形成的 NiO/多孔 GaN 谐振腔，有效增强蓝光谐振吸收，实现高灵敏度高带宽探测。

本发明的目的通过以下技术方案实现：

一种 NiO/多孔 GaN 谐振腔 InGaN 蓝光探测器，包括依次层叠的衬底、缓冲层、多孔 GaN 层（谐振腔底镜）、n-GaN 层、InGaN 层，所述 n-GaN 层上表面部分被 InGaN 层覆盖，另一部分为裸露部分；所述 InGaN 层上设有 p-GaN 层，所述 p-GaN 层上设有 NiO 层（谐振腔顶镜），p-GaN 层上表面部分被 NiO 层覆盖，另一部分为裸露部分；所述 n-GaN 层上表面的裸露部分和 p-GaN 层上表面的裸露部分设有电极层。

电极层与 NiO 层不接触，电极层与 InGaN 层不接触。

所述 n-GaN 层、InGaN 层以及 p-GaN 层形成 P-I-N 功能层。

所述 n-GaN 层上表面部分被 InGaN 层覆盖，另一部分为裸露部分是指 InGaN 层在 n-GaN 层上形成台阶状的水平台面；n-GaN 层上的台面设有电极层。

p-GaN 层上表面部分被 NiO 层覆盖，另一部分为裸露部分是指 NiO 层在 p-GaN 层上形成台阶状的水平台面；p-GaN 层上的台面设有电极层。

所述电极层为金属层电极，

所述缓冲层为从下到上依次层叠的 AlN 层、AlGaIn 层和 GaN 层，AlN 层设置于衬底上；

所述多孔 GaN 层的厚度为 2~4 μm 。

多孔 GaN 层的孔径为 50 ~ 60 nm，孔隙率为 90 ~ 95%。

P-I-N 功能层中，n-GaN、InGaIn、p-GaN 的厚度分别为 600~900 nm、150~200 nm、100~150 nm。

NiO 层厚度为 30~50 nm。

所述衬底为 Si 衬底。

缓冲层中，AlN 层、AlGaIn 层和 GaN 层的厚度分别为 300~400 nm、300~400 nm、3~4 μm 。

n-GaN 层与 p-GaN 上金属层电极各自为 Ni/Au 金属层，Ni 金属层的厚度为 100~110 nm，Au 金属层的厚度为 100~110 nm。

所述 Ni 设置在 n-GaN 层上。

所述 Ni 设置在 p-GaN 层上。

所述 NiO/多孔 GaN 谐振腔 InGaN 蓝光探测器的制备方法，包括以下步骤：

(1) 采用 MOCVD 方法在衬底上生长缓冲层，再在缓冲层上生长 GaN 层（谐振腔底镜）；

(2) 通过电化学刻蚀的方法将 GaN 层刻蚀成多孔 GaN 层，并在多孔 GaN 层上采用 MOCVD 方法生长 n-GaN 层、InGaN 层、p-GaN 层；

(3) 在 p-GaN 层上进行第一光刻，显影后，通过采用 ICP 刻蚀的方式刻蚀掉部分 p-GaN 层和 InGaN 层，将 n-GaN 暴露出来形成台面，并在 n-GaN 上蒸镀电极层；去除第一次光刻后的光刻胶，再进行第二次光刻显影，p-GaN 层上得到沉积电极的区域；然后在 p-GaN 上蒸镀制备电极；

(4) 去除第二次光刻的光刻胶，在 p-GaN 上光刻显影，获得沉积 NiO 层的区域；在沉积 NiO 层的区域蒸镀 Ni，退火，将 Ni 氧化成 NiO 得到 NiO 层（谐振腔顶镜）。

所述采用 MOCVD 方法在衬底上生长缓冲层是指采用 MOCVD 方法在衬底上生长缓冲层从下到上依次外延生长 AlN 层、AlGaIn 层和 GaN 层，生长 AlN 层、AlGaIn 层和 GaN 层的温度分别为 1200~1300℃、1200~1300℃ 和 1100~1250℃。

在缓冲层上生长 GaN 层是指采用 MOCVD 方法在缓冲层上生长 GaN 层（谐振腔底镜），生长 GaN 层的温度为 1100~1250℃。

所述电化学刻蚀的溶液为体积浓度为 49% 的 HF 酸与无水乙醇的混合溶液，体积比为 1:1。电化学刻蚀的条件：紫外灯的功率为 150W。电压在 10~20 V 下，刻蚀 20~30 min。

通过本发明的电化学刻蚀，多孔 GaN 层的孔径为 50 ~ 60 nm，孔隙率为 90 ~ 95%。

采用 MOCVD 方法在衬底上生长 P-I-N 功能层从下到上依次外延生长 n-GaN 层、InGaIn 层和 p-GaN 层，生长 n-GaN 层、InGaIn 层和 p-GaN 层的温度分别为 1100~1250℃、650~850℃ 和 1100~1250℃。

第一次光刻时烘干时间为 40~50 s，曝光时间为 8~10 s，显影时间为 55~65 s；ICP 刻蚀的时间为 1~2h。

金属层电极的蒸镀速率为 0.20~0.25 nm/min。

第二次光刻时烘干时间为 40~50 s, 曝光时间为 8~10 s, 显影时间为 55~65 s。

金属层电极的蒸镀速率为 0.20~0.25 nm/min。

制备 NiO 层（谐振腔顶镜），Ni 层的蒸镀速率为 0.20~0.25 nm/min。并将 Ni 在 550~650℃ 下退火 1~2 h 成 NiO。

所述的 NiO/多孔 GaN 谐振腔 InGaN 蓝光探测器在蓝光探测中的应用。

本发明的探测器具有 NiO/多孔 GaN 谐振腔，有效增强蓝光谐振吸收，实现高灵敏度高带宽探测。本发明采用的 AlN/AlGaIn/GaN 缓冲层，减少了位错的产生，使材料缺陷密度由 10^9 减小到 10^5 ，使生长的多孔 GaN 层与 P-I-N 功能层材料质量更好。而且由于直接生长 InGaIn 较为困难，易发生相分离。本发明通过采用 p-GaN/InGaIn/n-GaN 器件结构，减少相分离，提高 InGaIn 材料的晶体质量，从而获得高性能（量子效率高，响应速度快和灵敏度高）蓝光探测器。另外，本发明通过蒸镀，退火工艺制作 NiO（谐振腔顶镜），形成形状规则，分布均匀，表面光滑，质量较好 NiO 微晶体，拥有极好的光约束与光学共振特征。而且通过电化学刻蚀法可以得到孔洞大小规则，排列分布均匀、质量较好的多孔 GaN 材料（谐振腔底镜），操作简单。

和现有技术相比，本发明具有以下有益效果和优点：

（1）本发明采用 MOCVD 高温外延方法结合 MOCVD 低温外延方法，通过高温法在 Si 衬底上生长 AlN/AlGaIn/GaN 缓冲层，再通过低温法生长 P-I-N 功能层。本发明的制备方法具有工艺简单、省时高效以及能耗低的特点，制得材料质量较好，有利于规模化生产。

（2）本发明通过电化学刻蚀得到优质多孔 GaN 层即谐振腔底镜，得到孔洞大小规则，排列分布均匀、质量较好的多孔 GaN 材料。该方法工艺简单，有利于规模化生产。

（3）本发明提出一种蒸镀结合退火得到 NiO 层制备谐振腔顶镜的方法，得到形状规则，分布均匀，表面光滑，质量较好 NiO 微晶体，拥有极好的光约束与光学共振特征。

（4）本发明的 NiO/多孔 GaN 谐振腔 InGaIn 蓝光探测器具有 NiO/多孔 GaN 谐振腔结构，可以大大增强蓝光谐振吸收，实现高灵敏度高带宽探测。

附图说明

图1为本发明提供的NiO/多孔GaN谐振腔InGaN蓝光探测器的结构剖面示意图；

图2为本发明提供的NiO/多孔GaN谐振腔InGaN蓝光探测器的俯视面示意图；

图3为实施例1制备的NiO/多孔GaN谐振腔InGaN蓝光探测器的I-V曲线图；

图4为实施例1制备的NiO/多孔GaN谐振腔InGaN蓝光探测器的光谱响应曲线图。

具体实施方式

下面结合实施例，对本发明作进一步地详细说明，但本发明的实施方式不限于此。

本发明的NiO/多孔GaN谐振腔InGaN蓝光探测器结构剖面示意图如图1所示，包括依次层叠的衬底1、缓冲层2、多孔GaN层3（谐振腔底镜）、n-GaN层4、InGaN层5，所述n-GaN层4上表面部分被InGaN层5覆盖，另一部分为裸露部分；所述InGaN层5上设有p-GaN层6，所述p-GaN层6上设有NiO层7（谐振腔顶镜），p-GaN层6上表面部分被NiO层7覆盖，另一部分为裸露部分；所述n-GaN层4上表面的裸露部分和p-GaN层6上表面的裸露部分设有电极层8；电极层8与NiO层7不接触。

电极层8与InGaN层5不接触。

所述n-GaN层4、InGaN层5以及p-GaN层6形成P-I-N功能层。

所述n-GaN层4上表面部分被InGaN层5覆盖，另一部分为裸露部分是指InGaN层5在n-GaN层4上形成台面；n-GaN层4上的台面设有电极层。

p-GaN层6上表面部分被NiO层7覆盖，另一部分为裸露部分是指NiO层7在p-GaN层6上形成台面；p-GaN层6上的台面设有电极层8。

所述电极层8为金属层电极，

所述缓冲层2为从下到上依次层叠的AlN层、AlGaIn层和GaInN层，AlN层设置于衬底1上；

所述多孔GaInN层3的厚度为2~4 μm。

多孔 GaN 层的孔径为 50 ~ 60 nm，孔隙率为 90 ~ 95%。

P-I-N 功能层中，n-GaN 层 4、InGaN 层 5、p-GaN 层 6 的厚度分别为 600~900 nm、150~200 nm、100~150 nm。

NiO 层 7 厚度为 30~50 nm。

所述衬底 1 为 Si 衬底。

缓冲层 2 中，AlN 层、AlGaIn 层和 GaN 层的厚度分别为 300~400 nm、300~400 nm、3~4 μm 。

n-GaN 层 4 与 p-GaN 层 6 上金属层电极各自为 Ni/Au 金属层，Ni 金属层的厚度为 100~110 nm，Au 金属层的厚度为 100~110 nm。所述 Ni 设置在 n-GaN 层上。所述 Ni 设置在 p-GaN 层上。

p-GaN 层掺杂剂为 Mg 元素，浓度为 $(0.8\sim1.5) \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 。n-GaN 层掺杂剂为 Si 元素，浓度为 $(0.8\sim1.5) \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 。

本发明提供的 NiO/多孔 GaN 谐振腔 InGaIn 蓝光探测器的俯视面示意图如图 2 所示。

实施例 1

本实施例提供了一种 NiO/多孔 GaN 谐振腔 InGaIn，包括从下到上依次排布的衬底，缓冲层，多孔 GaN 层（谐振腔底镜），P-I-N 功能层，NiO 层（谐振腔顶镜）以及金属层电极；缓冲层为从下到上依次排布的 AlN 层、AlGaIn 层和 GaN 层，AlN 层、AlGaIn 层和 GaN 层的厚度分别为 350 nm、350 nm、3.5 μm 。衬底为 Si 衬底；多孔 GaN 层（谐振腔底镜）厚度为 3.5 μm 。P-I-N 功能层为从下到上依次排布的 n-GaN 层、InGaIn 层和 p-GaN 层，n-GaN 层、InGaIn 层和 p-GaN 层的厚度分别为 800 nm、170 nm、125 nm。NiO 层厚度为 40 nm。金属层电极为 Ni/Au 金属层，Ni/Au 金属层为从下到上排布的 Ni 金属层和 Au 金属层，Ni 金属层的厚度为 105 nm，Au 金属层的厚度为 105 nm。InGaIn 层和 p-GaN 层在 n-GaN 层上形成台面；n-GaN 层上的台面设有电极层。NiO 层在 p-GaN 层上形成台面；p-GaN 层上的台面设有电极层。

本实施例还提供了制备所述 NiO/多孔 GaN 谐振腔 InGaIn 蓝光探测器的方法，包括以下步骤：

(1) 采用 MOCVD 方法在 Si 衬底上生长缓冲层，再在缓冲层上生长 GaN 层（谐振腔底镜）；

(2) 通过电化学刻蚀的方法将 GaN 层刻蚀成多孔 GaN 层，并在其上采用 MOCVD 方法生长 P-I-N 功能层；

(3) 在 p-GaN 层上进行第一次光刻，显影后，通过采用 ICP 刻蚀的方式将 n-GaN 暴露出来，并在上面蒸镀 Ni/Au 电极。再进行第二次光刻，显影后在 p-GaN 上蒸镀制备 Ni/Au 电极；

(4) 在 p-GaN 上光刻显影，并在上面蒸镀 Ni，再通过退火的方法，将 Ni 氧化成 NiO 得到 NiO 层（谐振腔顶镜）。

所述缓冲层是指采用 MOCVD 方法在衬底上从下到上依次外延生长 AlN 层、AlGaIn 层和 GaN 层，生长 AlN 层、AlGaIn 层和 GaN 层的温度分别为 1250℃、1250℃和 1200℃。

采用 MOCVD 方法在缓冲层上生长 GaN 层（谐振腔底镜）的温度为 1200℃。

所述 P-I-N 功能层是指采用 MOCVD 方法在多孔的 GaN 层上从下到上依次外延生长 n-GaN 层、InGaIn 层和 p-GaN 层，生长 n-GaN 层、InGaIn 层和 p-GaN 层的温度分别为 1250℃、700℃和 1250℃。p-GaN 层掺杂剂为 Mg 元素，浓度为 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 。n-GaN 层掺杂剂为 Si 元素，浓度为 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 。

电化学刻蚀的溶液为浓度为 49% 的 HF 酸与无水乙醇的混合溶液，体积比为 1:1。电化学刻蚀的条件：紫外灯的功率为 150W；电压在 15 V 下，刻蚀 25 min。多孔 GaN 层的孔径为 50 nm，孔隙率为 95%。

第一次光刻的条件为烘干时间为 45 s，曝光时间为 9 s，显影时间为 60 s。

金属层电极的蒸镀速率为 0.225nm/min。ICP 刻蚀的时间为 1.5 h。

Ni 层的蒸镀速率为 0.225 nm/min。并将 Ni 在 600℃下退火 1.5 h 成 NiO。

将本实施例制备的 NiO/多孔 GaN 谐振腔 InGaIn 蓝光探测器进行测试。

图 3 为本实施例所得 NiO/多孔 GaN 谐振腔 InGaIn 蓝光探测器的暗电流曲线，由图可见，制作电极为肖特基接触，在 2V 偏压下，暗电流达到 100 nA，光电流为 30 μA 。暗电流低，说明载流子注入效率高，该探测器外延在蓝光波段拥有高速的响应。

图 4，为本实施例所得 NiO/多孔 GaN 谐振腔 InGaIn 蓝光探测器的光谱响应

曲线。由曲线可看出，在 445 nm 处，响应度为 0.0492 A/W。说明该探测器在蓝光波段拥有更高的量子效率以及较高的灵敏度。

实施例 2

本实施例提供了一种 NiO/多孔 GaN 谐振腔 InGaN，包括从下到上依次排布的衬底、缓冲层，多孔 GaN 层（谐振腔底镜），P-I-N 功能层、NiO 层（谐振腔顶镜）以及金属层电极，缓冲层为从下到上依次排布的 AlN 层、AlGaIn 层和 GaN 层，AlN 层、AlGaIn 层和 GaN 层的厚度分别为 400 nm、400 nm、4 μm 。衬底为 Si 衬底；多孔 GaN 层（谐振腔底镜）厚度为 4 μm 。P-I-N 功能层为从下到上依次排布的 n-GaN 层、InGaIn 层和 p-GaN 层，n-GaN 层、InGaIn 层和 p-GaN 层的厚度分别为 900 nm、200 nm、150 nm。NiO 层厚度为 50 nm。金属层电极为 Ni/Au 金属层，Ni/Au 金属层为从下到上排布的 Ni 金属层和 Au 金属层，Ni 金属层的厚度为 110 nm，Au 金属层的厚度为 110 nm。InGaIn 层和 p-GaN 层在 n-GaN 层上形成台面；n-GaN 层上的台面设有电极层。NiO 层在 p-GaN 层上形成台面；p-GaN 层上的台面设有电极层。

本实施例还提供了制备所述 NiO/多孔 GaN 谐振腔 InGaIn 蓝光探测器的方法，包括以下步骤：

(1) 采用 MOCVD 方法在 Si 衬底上生长缓冲层，再在缓冲层上生长 GaN 层（谐振腔底镜）；

(2) 通过电化学刻蚀的方法将 GaN 层刻蚀成多孔 GaN 层，并在其上采用 MOCVD 方法生长 P-I-N 功能层；

(3) 在 p-GaN 层上进行第一次光刻，显影后，通过采用 ICP 刻蚀的方式将 n-GaN 暴露出来，并在上面蒸镀 Ni/Au 电极；再进行第二次光刻，显影后在 p-GaN 上蒸镀制备 Ni/Au 电极；

(4) 在 p-GaN 上光刻显影，并在上面蒸镀 Ni，再通过退火的方法，将 Ni 氧化成 NiO 得到 NiO 层（谐振腔顶镜）。

所述缓冲层是指采用 MOCVD 方法在衬底上从下到上依次外延生长 AlN 层、AlGaIn 层和 GaN 层，生长 AlN 层、AlGaIn 层和 GaN 层的温度分别为 1300 $^{\circ}\text{C}$ 、1300 $^{\circ}\text{C}$ 和 1250 $^{\circ}\text{C}$ 。

采用 MOCVD 方法在缓冲层上生长 GaN 层(谐振腔底镜)的温度为 1250 °C。

所述 P-I-N 功能层是指采用 MOCVD 方法在多孔的 GaN 层上从下到上依次外延生长 n-GaN 层、InGaN 层和 p-GaN 层的温度分别为 1250°C、800°C 和 1250°C。p-GaN 层掺杂剂为 Mg 元素，浓度为 $1.2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 。n-GaN 层掺杂剂为 Si 元素，浓度为 $1.2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 。

电化学刻蚀的溶液为 49% 的 HF 酸与无水乙醇的混合溶液，体积比为 1:1。电化学刻蚀的条件：紫外灯的功率为 150W；电压在 20 V 下，刻蚀 30 min。多孔 GaN 层的孔径为 55 nm，孔隙率为 92.5%。

第一次光刻的条件：烘干时间为 50 s，曝光时间为 10 s，显影时间为 65 s。金属层电极的蒸镀速率为 0.25nm/min。ICP 刻蚀的时间为 2h。

Ni 层的蒸镀速率为 0.25 nm/min。并将 Ni 在 550°C 下退火 2 h 成 NiO。

将本实施例制备的 NiO/多孔 GaN 谐振腔 InGaN 蓝光探测器进行测试。

本实施例制备的 NiO/多孔 GaN 谐振腔 InGaN 蓝光探测器的相关性能和实施例 1 相似，相关性能参数可参照实施例 1 的相应附图。

实施例 3

本实施例提供了一种 NiO/多孔 GaN 谐振腔 InGaN，包括从下到上依次排布的衬底、缓冲层，多孔 GaN 层（谐振腔底镜），P-I-N 功能层、NiO 层（谐振腔顶镜）以及金属层电极，缓冲层为从下到上依次排布的 AlN 层、AlGaIn 层和 GaN 层，AlN 层、AlGaIn 层和 GaN 层的厚度分别为 300 nm、300 nm、3.0 μm。衬底为 Si 衬底；多孔 GaN 层（谐振腔底镜）厚度为 3.0 μm。P-I-N 功能层为从下到上依次排布的 n-GaN 层、InGaIn 层和 p-GaN 层，n-GaN 层、InGaIn 层和 p-GaN 层的厚度分别为 600 nm、150 nm、100 nm。NiO 层厚度为 30 nm。金属层电极为 Ni/Au 金属层，Ni/Au 金属层为从下到上排布的 Ni 金属层和 Au 金属层，Ni 金属层的厚度为 100 nm，Au 金属层的厚度为 100 nm。InGaIn 层和 p-GaN 层在 n-GaN 层上形成台面；n-GaN 层上的台面设有电极层。NiO 层在 p-GaN 层上形成台面；p-GaN 层上的台面设有电极层。

本实施例还提供了制备所述 NiO/多孔 GaN 谐振腔 InGaIn 蓝光探测器的方法，包括以下步骤：

(1) 采用 MOCVD 方法在 Si 衬底上生长缓冲层，再在缓冲层上生长 GaN 层（谐振腔底镜）；

(2) 通过电化学刻蚀的方法将 GaN 层刻蚀成多孔 GaN 层，并在其上采用 MOCVD 方法生长 P-I-N 功能层；

(3) 在 p-GaN 层上进行光刻，显影后，通过采用 ICP 刻蚀的方式将 n-GaN 暴露出来，并在上面蒸镀 Ni/Au 电极。再进行第二次光刻显影，在 p-GaN 上蒸镀制备 Ni/Au 电极；

(4) 在 p-GaN 上光刻显影，并在上面蒸镀 Ni，再通过退火的方法，将 Ni 氧化成 NiO 得到 NiO 层（谐振腔顶镜）。

所述缓冲层是指采用 MOCVD 方法在衬底上从下到上依次外延生长 AlN 层、AlGaIn 层和 GaN 层，生长 AlN 层、AlGaIn 层和 GaN 层的温度分别为 1200℃、1200℃和 1100℃。

采用 MOCVD 方法在缓冲层上生长 GaN 层（谐振腔底镜）的温度为 1100℃。

所述 P-I-N 功能层是指采用 MOCVD 方法在多孔的 GaN 层上从下到上依次外延生长 n-GaN 层、InGaIn 层和 p-GaN 层的温度分别为 1100℃、650℃和 1100℃。p-GaN 层掺杂剂为 Mg 元素，浓度为 $0.8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 。n-GaN 层掺杂剂为 Si 元素，浓度为 $0.8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 。

电化学刻蚀的溶液为 49% 的 HF 酸与无水乙醇的混合溶液，体积比为 1:1。电化学刻蚀的条件：紫外灯的功率为 150W；电压在 10 V 下，刻蚀 20 min。多孔 GaN 层的孔径为 60 nm，孔隙率为 90%。

光刻的条件：烘干时间为 40 s，曝光时间为 8 s，显影时间为 55 s，氧离子处理时间为 2 min。金属层电极的蒸镀速率为 0.200nm/min。ICP 刻蚀的时间为 1 h。

Ni 层的蒸镀速率为 0.200 nm/min。并将 Ni 在 650℃下退火 1 h 成 NiO。

将本实施例制备的 NiO/多孔 GaN 谐振腔 InGaIn 蓝光探测器进行测试。

上述实施例为本发明较佳的实施方式，但本发明的实施方式并不受所述实施例的限制，其他的任何未背离本发明的精神实质与原理下所作的改变、修饰、替代、组合、简化，均应为等效的置换方式，都包含在本发明的保护范围之内。

权利要求书

1、一种 NiO/多孔 GaN 谐振腔 InGaN 蓝光探测器，其特征在于：包括依次层叠的衬底、缓冲层、多孔 GaN 层、n-GaN 层、InGaN 层，所述 n-GaN 层上表面部分被 InGaN 层覆盖，另一部分为裸露部分；所述 InGaN 层上设有 p-GaN 层，所述 p-GaN 层上设有 NiO 层，p-GaN 层上表面部分被 NiO 层覆盖，另一部分为裸露部分；所述 n-GaN 层上表面的裸露部分和 p-GaN 层上表面的裸露部分设有电极层。

2、根据权利要求 1 所述 NiO/多孔 GaN 谐振腔 InGaN 蓝光探测器，其特征在于：电极层与 NiO 层不接触；

所述缓冲层为从下到上依次层叠的 AlN 层、AlGaIn 层和 GaN 层，AlN 层设置于衬底上；

所述多孔 GaN 层的厚度为 2~4 μm ；多孔 GaN 层的孔径为 50 ~ 60 nm，孔隙率为 90 ~ 95%；

所述 n-GaN 层、InGaIn 层以及 p-GaN 层形成 P-I-N 功能层；

P-I-N 功能层中，n-GaN 层、InGaIn 层、p-GaN 层的厚度分别为 600~900 nm、150~200 nm、100~150 nm；

所述 NiO 层的厚度为 30~50 nm。

3、根据权利要求 2 所述 NiO/多孔 GaN 谐振腔 InGaIn 蓝光探测器，其特征在于：缓冲层中，AlN 层、AlGaIn 层和 GaN 层的厚度分别为 300~400 nm、300~400 nm、3~4 μm 。

4、根据权利要求 1 所述 NiO/多孔 GaN 谐振腔 InGaIn 蓝光探测器，其特征在于：所述衬底为 Si 衬底；

n-GaN 层上的金属层电极为 Ni/Au 金属层，Ni 金属层的厚度为 100~110 nm，Au 金属层的厚度为 100~110 nm；Ni 设置在 n-GaN 层上；

p-GaN 层上的金属层电极为 Ni/Au 金属层，Ni 金属层的厚度为 100~110 nm，Au 金属层的厚度为 100~110 nm；Ni 设置在 p-GaN 层上。

5、根据权利要求 1 所述 NiO/多孔 GaN 谐振腔 InGaIn 蓝光探测器，其特征在于：所述 n-GaN 层上表面部分被 InGaIn 层覆盖，另一部分为裸露部分是指 InGaIn 层在 n-GaN 层上形成台阶状的水平台面；n-GaN 层上的台面设有电极层；

p-GaN 层上表面部分被 NiO 层覆盖，另一部分为裸露部分是指 NiO 层在 p-GaN 层上形成台阶状的水平台面；p-GaN 层上的台面设有电极层。

6、根据权利要求 1~5 任一项所述 NiO/多孔 GaN 谐振腔 InGaN 蓝光探测器的制备方法，其特征在于：包括以下步骤：

(1) 采用 MOCVD 方法在衬底上生长缓冲层，再在缓冲层上生长 GaN 层；

(2) 通过电化学刻蚀的方法将 GaN 层刻蚀成多孔 GaN 层，并在多孔 GaN 层上采用 MOCVD 方法依次生长 n-GaN 层、InGaN 层、p-GaN 层；

(3) 在 p-GaN 层上进行第一光刻，显影后，通过采用 ICP 刻蚀的方式刻蚀掉部分 p-GaN 层和 InGaN 层，将 n-GaN 暴露出来形成台面，并在 n-GaN 上蒸镀电极层；去除第一次光刻后的光刻胶，再进行第二次光刻显影，p-GaN 层上得到沉积电极的区域；然后在 p-GaN 层上蒸镀制备电极；

(4) 去除第二次光刻的光刻胶，在 p-GaN 层上光刻，获得沉积 NiO 层的区域；在沉积 NiO 层的区域蒸镀 Ni，退火，将 Ni 氧化成 NiO 得到 NiO 层。

7、根据权利要求 6 所述 NiO/多孔 GaN 谐振腔 InGaN 蓝光探测器的制备方法，其特征在于：所述采用 MOCVD 方法在衬底上生长缓冲层是指采用 MOCVD 方法在衬底上生长缓冲层从下到上依次外延生长 AlN 层、AlGaIn 层和 GaN 层，生长 AlN 层、AlGaIn 层和 GaN 层的温度分别为 1200~1300℃、1200~1300℃和 1100~1250℃；

在缓冲层上生长 GaN 层是指采用 MOCVD 方法在缓冲层上生长 GaN 层，生长 GaN 层的温度为 1100~1250℃。

8、根据权利要求 6 所述 NiO/多孔 GaN 谐振腔 InGaN 蓝光探测器的制备方法，其特征在于：所述电化学刻蚀的溶液为体积浓度为 49% 的 HF 酸与无水乙醇的混合溶液，体积比为 1:1；电化学刻蚀的条件：紫外灯的功率为 150W，电压在 10~20 V 下，刻蚀 20~30 min；

在多孔 GaN 层上采用 MOCVD 方法依次生长 n-GaN 层、InGaIn 层、p-GaN 层，生长 n-GaN 层、InGaIn 层和 p-GaN 层的温度分别为 1100~1250℃、650~850℃和 1100~1250℃。

9、根据权利要求 6 所述 NiO/多孔 GaN 谐振腔 InGaIn 蓝光探测器的制备方法，其特征在于：在 n-GaN 上蒸镀电极层时，电极的蒸镀速率为 0.20~0.25

nm/min;

在 p-GaN 层上蒸镀制备电极时, 电极的蒸镀速率为 0.20~0.25 nm/min;

蒸镀 Ni 时, Ni 层的蒸镀速率为 0.20~0.25 nm/min; 退火的条件: 在 550~650°C 下退火 1~2 h。

10、根据权利要求 1~5 任一项所述 NiO/多孔 GaN 谐振腔 InGaN 蓝光探测器在蓝光探测中的应用。

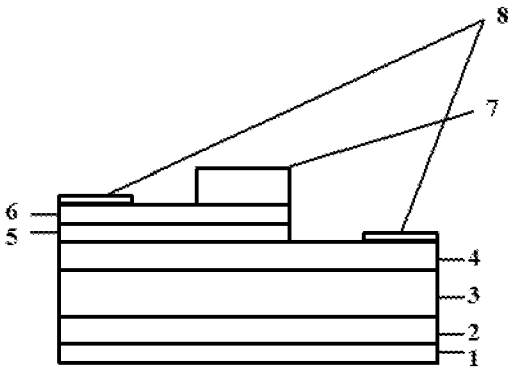


图 1

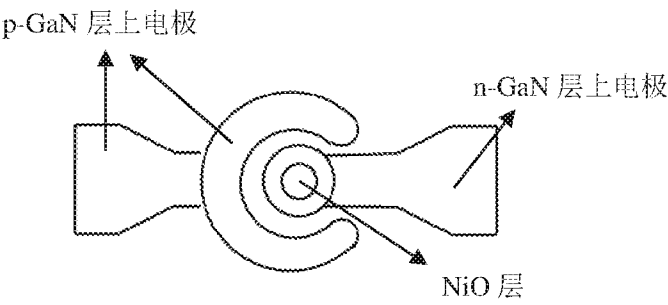


图 2

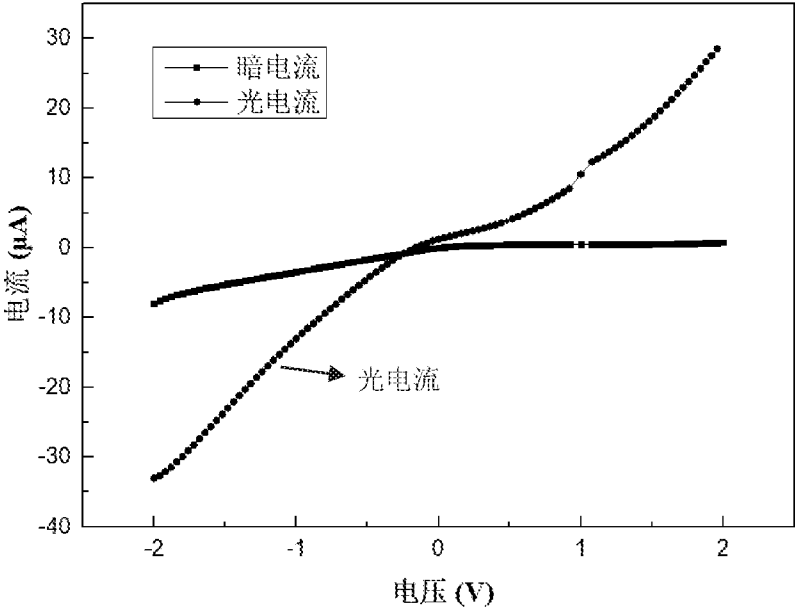


图 3

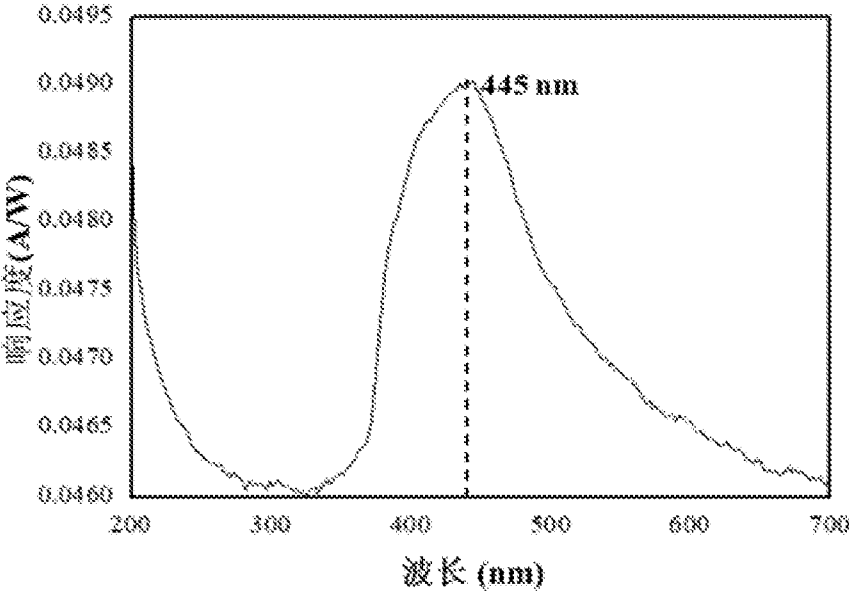


图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/143370

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L 31/0232(2014.01)i; H01L 31/0352(2006.01)i; H01L 31/105(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

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; CNTXT; CNKI; VEN; WOTXT; EPTXT; USTXT: 探测器, 谐振腔, 共振腔, 氧化镍, 多孔, 反射镜, detector, resonant cavity, nickel oxide, NiO, porous, reflector, mirror

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 107046071 A (INSTITUTE OF SEMICONDUCTORS, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 15 August 2017 (2017-08-15) description, paragraphs [0023]-[0035], and figures 1-3	1-10
Y	M. Taeno et al. "Resonant cavity modes in nickel oxide microcrystals" <i>MATERIALS LETTERS</i> , No. 287, 01 January 2021 (2021-01-01), ISSN: 0167-577X, pp. 1-4	1-10
A	CN 101005105 A (NANJING UNIVERSITY) 25 July 2007 (2007-07-25) entire document	1-10
A	CN 113206446 A (XIAMEN UNIVERSITY) 03 August 2021 (2021-08-03) entire document	1-10



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

29 March 2022

Date of mailing of the international search report

26 April 2022

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/CN2021/143370

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	107046071	A	15 August 2017	WO	2018184287	A1	11 October 2018
				US	2020035843	A1	30 January 2020
				US	10964829	B2	30 March 2021
CN	101005105	A	25 July 2007	CN	100433374	C	12 November 2008
CN	113206446	A	03 August 2021	None			

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2021/143370

A. 主题的分类 H01L 31/0232(2014.01)i; H01L 31/0352(2006.01)i; H01L 31/105(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) 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;CNTXT;CNKI;VEN;WOTXT;EPTXT;USTXT; 探测器, 谐振腔, 共振腔, 氧化镍, 多孔, 反射镜, detector, resonant cavity, nickel oxide, NiO, porous, reflector, mirror																	
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>CN 107046071 A (中国科学院半导体研究所) 2017年8月15日 (2017 - 08 - 15) 说明书第[0023]-[0035]段, 附图1-3</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>M. Taeno 等. "Resonant cavity modes in nickel oxide microcrystals" MATERIALS LETTERS, 第287期, 2021年1月1日 (2021 - 01 - 01), ISSN: 0167-577X, 第1-4页</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 101005105 A (南京大学) 2007年7月25日 (2007 - 07 - 25) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 113206446 A (厦门大学) 2021年8月3日 (2021 - 08 - 03) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	Y	CN 107046071 A (中国科学院半导体研究所) 2017年8月15日 (2017 - 08 - 15) 说明书第[0023]-[0035]段, 附图1-3	1-10	Y	M. Taeno 等. "Resonant cavity modes in nickel oxide microcrystals" MATERIALS LETTERS, 第287期, 2021年1月1日 (2021 - 01 - 01), ISSN: 0167-577X, 第1-4页	1-10	A	CN 101005105 A (南京大学) 2007年7月25日 (2007 - 07 - 25) 全文	1-10	A	CN 113206446 A (厦门大学) 2021年8月3日 (2021 - 08 - 03) 全文	1-10
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求															
Y	CN 107046071 A (中国科学院半导体研究所) 2017年8月15日 (2017 - 08 - 15) 说明书第[0023]-[0035]段, 附图1-3	1-10															
Y	M. Taeno 等. "Resonant cavity modes in nickel oxide microcrystals" MATERIALS LETTERS, 第287期, 2021年1月1日 (2021 - 01 - 01), ISSN: 0167-577X, 第1-4页	1-10															
A	CN 101005105 A (南京大学) 2007年7月25日 (2007 - 07 - 25) 全文	1-10															
A	CN 113206446 A (厦门大学) 2021年8月3日 (2021 - 08 - 03) 全文	1-10															
☐ 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 2022年3月29日		国际检索报告邮寄日期 2022年4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		受权官员 孙丽 电话号码 (86-512) 88995647															

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2021/143370

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	107046071	A	2017年8月15日	WO	2018184287	A1	2018年10月11日
				US	2020035843	A1	2020年1月30日
				US	10964829	B2	2021年3月30日
CN	101005105	A	2007年7月25日	CN	100433374	C	2008年11月12日
CN	113206446	A	2021年8月3日	无			