(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 3 月 31 日 (31.03.2022)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2022/062974 A1

(51) 国际专利分类号:
H01L 21/02 (2006.01) *H01L 29/06* (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2021/118342

(22) 国际申请日: 2021 年 9 月 14 日 (14.09.2021)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202011025013.6 2020年9月25日 (25.09.2020) CN

(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: 陈智斌 (**CHEN, Zhibin**); 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。 罗睿宏 (**LUO, Ruihong**); 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: 广州三环专利商标代理有限公司 (**SCIHEAD IP LAW FIRM**); 中国广东省广州市越秀区先烈中路 80 号汇华商贸大厦 1508 室, Guangdong 510070 (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,

(54) **Title:** NITRIDE EPITAXIAL STRUCTURE AND SEMICONDUCTOR DEVICE

(54) 发明名称: 氮化物外延结构和半导体器件

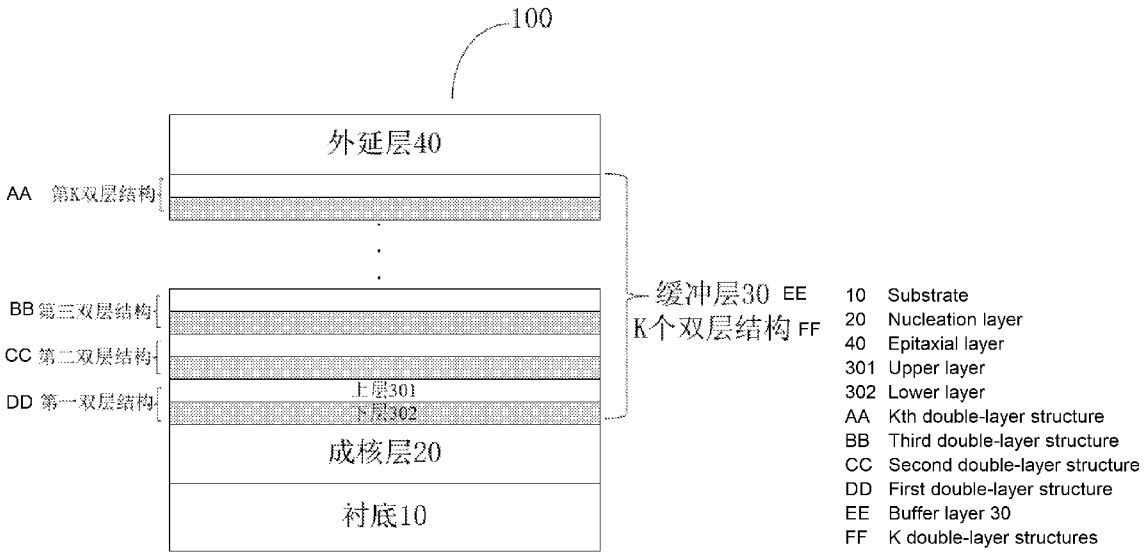


图 2

(57) **Abstract:** Provided in the embodiments of the present application is a nitride epitaxial structure, comprising: a substrate; a nucleation layer formed on the substrate, the nucleation layer being an aluminum nitride layer or a gallium nitride layer; a buffer layer formed on the nucleation layer, comprising K group III nitride double-layer structures that are stacked, wherein $K \geq 3$, each double-layer structure comprises an upper layer and a lower layer that are stacked, the band gap difference of each double-layer structure is the difference between the width of forbidden band of an upper layer material and the width of forbidden band of a lower layer material, and the band gap differences of the K double-layer structures show a gradual trend along the thickness direction of the buffer layer as a whole; and an epitaxial layer formed on the buffer layer, the material of the epitaxial layer comprising a group III nitride. By means of providing a buffer layer that has a plurality of double-layer structures having band gap difference gradients, the lattice mismatch

WO 2022/062974 A1

[见续页]

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))。

between the substrate and the epitaxial layer may be effectively alleviated, and the crystal quality and withstand voltage performance may be well balanced, thereby effectively improving the performance of the semiconductor device. Also provided in the embodiments of the present application is a semiconductor device comprising the nitride epitaxial structure.

(57) 摘要：本申请实施例提供一种氮化物外延结构，包括：衬底；成核层，形成于衬底上，成核层为氮化铝层或氮化镓层；缓冲层，形成于成核层上，包括K个堆叠的第Ⅲ族氮化物双层结构，K≥3；每一双层结构均包括层叠的上层和下层，每一双层结构的带隙差为上层材质的禁带宽度与下层材质的禁带宽度的差值；K个双层结构的带隙差沿缓冲层的厚度方向整体呈渐变趋势；外延层，形成于缓冲层上，外延层的材质包括第Ⅲ族氮化物。通过设置具有多个带隙差渐变的双层结构的缓冲层，可有效缓解衬底与外延层的晶格失配，而且可以很好地平衡晶体质量与耐电压性能，从而有效提升半导体器件的性能。本申请实施例还提供了包含该氮化物外延结构的半导体器件。

氮化物外延结构和半导体器件

本申请要求于2020年9月25日提交中国专利局、申请号为202011025013.6、申请名称为“氮化物外延结构和半导体器件”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

本申请涉及半导体技术领域，尤其涉及一种氮化物外延结构和半导体器件。

背景技术

氮化镓（GaN）材料由于禁带宽度大、迁移率高等优势，被广泛用于电力电子器件、射频器件和光电器件中，其中，最广泛应用的是高电子迁移率晶体管（High Electron Mobility Transistor，HEMT）。氮化镓材料通常是在硅衬底上外延生长得到。然而，由于GaN与硅之间存在超过17%的大晶格失配和热膨胀系数失配，因此在硅基氮化镓中会存在巨大应力，这些应力会导致外延中产生翘曲，从而影响GaN外延片的均匀性和可靠性。而且随着衬底尺寸的增大，翘曲的影响也越加显著。目前，现有技术主要通过渐变AlGaN结构和超晶格结构来调控应力。然而渐变AlGaN结构存在动态性能较差，且晶体质量不好的缺点。而超晶格结构的应力控制能力和晶体质量虽优于渐变AlGaN结构，但难以平衡耐电压性能和晶体质量。

发明内容

鉴于此，本申请实施例提供一种氮化物外延结构和半导体器件，通过在衬底与外延层之间设置特定结构的缓冲层，可有效缓解释放衬底和外延层之间由于晶格失配和热失配产生的应力，降低外延过程中和外延后翘曲，提升氮化物外延结构的均匀性和可靠性；还可以提高外延层晶体质量和耐电压性能，从而有效提升半导体器件的性能。

具体地，本申请实施例第一方面提供一种氮化物外延结构，包括：

衬底；

成核层，形成于所述衬底上，所述成核层为氮化铝层或氮化镓层；

缓冲层，形成于所述成核层上，所述缓冲层包括K个堆叠的第III族氮化物双层结构，所述K≥3；每一所述双层结构均包括层叠的上层和下层，所述上层材质的禁带宽度大于所述下层材质的禁带宽度；每一所述双层结构的带隙差为所述上层材质的禁带宽度与所述下层材质的禁带宽度的差值；所述K个双层结构的带隙差沿所述缓冲层的厚度方向整体呈渐变趋势；

外延层，形成于所述缓冲层上，所述外延层的材质包括第III族氮化物。

其中，成核层可为后续生长氮化物外延层提供成核中心，缓解衬底与外延层的晶格失配，同时还可以有效阻挡衬底带来的杂质对后续氮化物外延层的生长产生的影响，提高外延层的晶体质量。缓冲层设置在衬底与外延层之间，可以有效缓解释放衬底和外延层之间由于晶格失配和热失配产生的应力，降低外延过程中和外延后翘曲，提升氮化物外延结构的均匀性和可靠性。且缓冲层通过设置为多个渐变带隙差的第III族氮化物双层结构的堆叠，动态性能较好，可以有效地平衡晶体质量与耐电压性能，降低漏电风险，从而有效提升半导体器件的性能。而且，通过在不同位置适应性地采用不同带隙差的双层结构可以同时兼顾过滤位错和提

升耐压性能的优势，根据实际需要找到两种性能的平衡。其中，动态性能一般指增加电应力后晶体管的恢复能力，可以用 Dron（动态电阻）等指标衡量。

本申请实施方式中，每一双层结构中，所述上层和所述下层的材质分别选自 GaN、AlN、InN 或其组合 AlGaN、InGaN、InAlN、InAlGaN 中的一种。具体地，所述双层结构的上层/下层材质组成可为 AlN/GaN、AlGaN/GaN、AlN/AlGaN 或 AlGaN/AlGaN。

本申请实施方式中，所述下层的厚度大于两倍所述上层的厚度。通过设置相对较厚的下层和相对较厚的上层可以有效避免晶格驰豫。对于异质外延，上层的厚度较小时，材料处于应变状态，即上层材料的晶格常数被下层材料拉伸或压缩后和下层材料保持一致，从而能够有效发挥作用；而上层的厚度较大时，材料会恢复到自身的晶格常数，产生晶格驰豫。

本申请实施方式中，所述 K 个双层结构的带隙差自所述成核层一侧向所述外延层一侧逐渐减小。当带隙差较大时，由于双层结构的材料之间的晶格常数差异较大，有利于过滤位错，但同时由于极化效应较强，容易导致漏电；相反，当带隙差较小时则有利于降低漏电，但不利于过滤位错。通过将带隙差较大的双层结构设置在靠近成核层一侧有利于在外延初期湮灭位错，并减小漏电的影响；而将带隙差较小的双层结构设置在靠近外延层一侧则有利于减小漏电，提升耐压性能。

本申请实施方式中，所述 K 个双层结构中，最大带隙差与最小带隙差的差值大于构成所述双层结构的禁带宽度最大的第III族氮化物与禁带宽度最小的第III族氮化物的禁带宽度差值的 20%。通过将整个缓冲层的 K 个双层结构的最大带隙差与最小带隙差的差值控制在较适合的范围，可以更好地平衡调节晶体质量与耐电压性能。

本申请实施方式中，所述 K 个双层结构由 GaN 和 AlN 两种第III族氮化物构成，每一所述双层结构中的平均 Al 组分含量为 5%-50%。平均 Al 组分含量是指在每一双层结构中，Al 元素占第 III 族金属元素的平均摩尔百分比。将每一双层结构的 Al 组分含量控制在适合的范围，可以保证缓冲层具有较好的晶体质量。

本申请实施方式中，每一所述双层结构中的平均 Al 组分含量相同。通过保持 Al 组分不变，可以使得在设计高温翘曲的预补偿时只需要考虑膜层厚度影响而不用考虑 Al 组分变化影响，简化参数设计。

本申请实施方式中，所述 K 个双层结构的平均 Al 组分含量沿所述缓冲层的厚度方向呈渐变趋势。将多个双层结构的平均 Al 组分含量设计成渐变，有利于应力调控。

本申请实施方式中，所述 K 个双层结构中，可以是任意相邻两个双层结构都具有不同带隙差，也可以是部分相邻的双层结构具有相同带隙差。其中，相邻层叠在一起的具有相同带隙差的双层结构的重复周期可以是 1-10。

本申请实施方式中，为避免驰豫发生，每一所述双层结构的厚度设置在小于 100nm。

本申请实施方式中，所述外延层的材质包括 GaN、AlN、InN、AlGaN、InGaN、InAlN、InAlGaN 中的一种或多种。

本申请实施方式中，所述外延层的厚度大于或等于 300nm。现有氮化镓外延层的厚度受应力所限一般厚度较小，而本申请实施例的氮化物外延片可以很好地消除应力，因此理论上可以做到无限厚度。在本申请一些实施方式中，外延层的厚度可以是大于或等于 5μm，也可以是大于或等于 10 μm。

本申请实施方式中，所述衬底包括硅衬底、蓝宝石衬底、绝缘体上硅衬底（SOI 衬底）、氮化镓衬底、砷化镓衬底、磷化铟衬底、氮化铝衬底、碳化硅衬底、石英衬底或金刚石衬底。

本申请实施方式中，所述成核层的厚度为 10nm-300nm。

本申请实施方式中，所述的氮化物外延结构还包括设置于所述成核层与所述外延层之间的过渡层，所述过渡层的材质为 AlGaN。本申请实施方式中，所述过渡层与所述成核层的材质相同。本申请实施方式中，所述过渡层的厚度为 10nm-300nm。

本申请实施方式中，所述的氮化物外延结构还包括设置于所述外延层上的其他功能层，其他功能层可以根据实际应用需要设置，具体可以是包括 AlN 插入层、AlGaN 阻挡层、P 型 GaN 层等。

第二方面，本申请实施例还提供了一种半导体器件，包括本申请实施例第一方面所述的氮化物外延结构。所述半导体器件可以是功率器件、射频器件或光电器件。具体例如为场效应晶体管、发光二极管、激光二极管等。

本申请实施例提供的氮化物外延结构，通过在衬底上设置成核层，并在成核层上设置缓冲层，能够有效缓解释放衬底和外延层之间由于晶格失配和热失配产生的应力，降低外延过程中和外延后翘曲，提升氮化物外延结构的均匀性和可靠性，进而提升半导体器件的性能。本申请实施例提供的半导体器件，由于采用本申请实施例提供的氮化物外延结构，可以获得大尺寸，厚氮化物外延层器件，可有效降低器件成本，提高器件性能。

附图说明

图 1 是本申请一实施方式中提供的氮化物外延结构的结构示意图；

图 2 是本申请另一实施方式中提供的氮化物外延结构的结构示意图；

图 3 是本申请又一实施方式中提供的氮化物外延结构的结构示意图；

图 4 是本申请一实施方式中缓冲层的结构示意图；

图 5 是本申请一实施方式中提供的氮化物外延结构的结构示意图；

图 6 是本申请实施方式中提供的氮化物外延结构的制备工艺流程图；

图 7A 为实施例二的氮化物外延结构中缓冲层靠近衬底一侧的双层结构的 TEM (Transmission Electron Microscope, 透射电子显微镜)图谱；

图 7B 为实施例二的氮化物外延结构中缓冲层靠近衬底一侧的双层结构的 EDS（Energy Dispersive Spectroscopy，能量色散光谱）图谱；

图 8A 为实施例二的氮化物外延结构中缓冲层靠近外延层一侧的双层结构的 TEM 图谱；

图 8B 为实施例二的氮化物外延结构中缓冲层靠近外延层一侧的双层结构的 EDS 图谱。

具体实施方式

下面将结合本申请实施例中的附图，对本申请实施例进行说明。

参见图 1 和图 2，本申请实施例提供一种氮化物外延结构 100，包括衬底 10、成核层 20、缓冲层 30、以及外延层 40，成核层 20 为 AlN 层或 GaN 层，形成于衬底 10 上，缓冲层 30 形成于成核层 20 上，外延层 40 形成于缓冲层 30 上，外延层 40 的材质包括第Ⅲ族氮化物。其中，缓冲层 30 包括 K 个堆叠的第Ⅲ族氮化物双层结构 200，K≥3；每一双层结构 300 均包括下层 301 和上层 302，上层 302 材质的禁带宽度大于下层 301 材质的禁带宽度，从而形成带隙差；每一双层结构 300 的带隙差为上层 302 材质的禁带宽度与下层 301 材质的禁带宽度的差值；K 个双层结构的带隙差沿缓冲层 30 的厚度方向整体呈渐变趋势。本申请实施例提供的氮化物外延结构，外延层均匀性好、晶体质量高，可应用于半导体器件中，以提高器件性能。该氮化物外延结构可具有 6 英寸以上大尺寸、5 微米及以上厚度的氮化物外延层，满足大尺寸外延结构需求。

需要说明的是，本申请的双层结构中的上层和下层，其中，“上”、“下”不代表具体的方位。本领域中，对于超晶格双层结构，一般将禁带宽度大的写上面，禁带宽度小的写下面，即使实际生长中两层顺序互换也不会在书写时换过来。

本申请实施方式中，衬底 10 可以是硅衬底、蓝宝石衬底、绝缘体上硅衬底（SOI 衬底）、氮化镓衬底、砷化镓衬底、磷化铟衬底、氮化铝衬底、碳化硅衬底、石英衬底或金刚石衬底，还可以是现有已知的任意一种可用于制备第III族氮化物薄膜的衬底。其中，硅衬底的晶体取向不限，例如可以是（111）晶面指数的硅衬底，也可以是（100）晶面指数的硅衬底，还可以是其他晶面指数的硅衬底。

本申请实施方式中，成核层 20 为一层氮化铝或氮化镓薄膜，成核层 20 完全覆盖衬底 10，成核层 20 一方面可为后续生长氮化物外延层提供成核中心，另一方面可以缓解衬底 10 与外延层 40 之间由于晶格失配产生的应力，同时还可以有效阻挡衬底 10 带来的杂质给后续氮化物外延层的生长产生的影响，减少晶格缺陷，降低位错密度，提高氮化物外延层的晶体质量。另外，成核层 20 较薄，为单晶、准单晶，因此可缓解衬底 10 与外延层 40 之间晶格失配产生的应力，不会给后续氮化物外延层的晶体质量带来影响，还可以有效控制成本。本申请一些实施方式中，成核层 20 的厚度可以为 10nm-300nm。本申请另一些实施方式中，成核层 20 的厚度可以为 20nm-200nm。本申请其他一些实施方式中，成核层 20 的厚度也可以为 50nm-150nm。

本申请实施方式中，成核层 20 可以是采用金属有机化学气相沉积的方式或分子束外延方式制备得到。其中，金属有机化学气相沉积 (MOCVD, Metal-organic Chemical Vapor Deposition) 是一种利用有机金属化合物热分解反应进行气相外延生长薄膜的化学气相沉积技术，具体地可将金属有机化合物以III族、II族元素的有机化合物和 V、VI族元素的氢化物等作为晶体生长源材料，以热分解反应方式在衬底上生长III-V 族、II-VI族化合物薄膜。其中，金属有机化学气相沉积的方式可以提升后续外延层氮化物的晶体质量。

本申请实施方式中，缓冲层 30 包括 K 个堆叠的第III族氮化物双层结构 300，在一些实施方式中，K 的取值可以是 3-100。在另一些实施方式中，K 的取值可以是 10-60。在其他一些实施方式中，K 的取值还可以是 20-50。每一双层结构中，上层 302 和下层 301 的材质可分别选自 GaN、AlN、InN 或其组合 AlGaN、InGaN、InAlN、InAlGaN 中的一种。其中，AlGaN 是由 GaN、AlN 两种第III族氮化物组合而成，InGaN 是由 GaN、InN 两种第III族氮化物组合而成，InAlN 是由 AlN、InN 两种第III族氮化物组合而成，InAlGaN 是由 GaN、AlN、InN 三种第III族氮化物组合而成。其中，GaN 的禁带宽度为 3.4eV，AlN 的禁带宽度为 6.2eV，InN 的禁带宽度为 0.7eV，具体地，双层结构 300 的上层/下层材质组成可以是 AlN/GaN、AlGaN/GaN、AlN/AlGaN 或 AlGaN/AlGaN。

本申请实施方式中，缓冲层 30 的厚度可以根据耐压等级进行设置，如耐压等级 100V 一般缓冲层需要设置为 2μm-3μm，耐压等级 600V 则缓冲层需要设置为 5μm 以上。本申请一些实施方式中，缓冲层 30 的厚度大于 300nm。其中，每一双层结构的厚度小于 100nm，具体地，每一双层结构的厚度可以是 10nm-80nm，20nm-60nm。适合的双层结构厚度有利于避免驰豫现象的发生。每一双层结构 300 中，下层 301 的厚度大于两倍上层 302 的厚度。通过设置相对较厚的下层和相对较厚的上层可以有效避免晶格驰豫。对于异质外延，上层的厚度较小时，材料处于应变状态，即上层材料的晶格常数被下层材料拉伸或压缩后和下层材料保持一致，从而能够有效发挥超晶格作用；而上层的厚度较大时，材料会恢复到自身的晶格常数，产生晶格驰豫。K 个双层结构 300 中，各上层的厚度可以是相等，各下层的厚度可以是相等。

本申请一些实施方式中，K 个双层结构 300 的带隙差自成核层 200 一侧向外延层 400 一侧逐渐减小。当带隙差较大时，由于双层结构的材料之间的晶格常数差异较大，有利于过滤位错，但同时由于极化效应较强，容易导致漏电；相反，当带隙差较小时则有利于降低漏电，但不利于过滤位错。通过将带隙差较大的双层结构设置在靠近成核层一侧有利于过滤位错，同时由于其离 AlGaN 势垒层和沟道层较远，漏电造成的不利影响较小；而将带隙差较小的双层结构设置在靠近外延层一侧则有利于降低极化效应，提升耐压性能。在其他一些实施方式中，也可以是根据需要将 K 个双层结构 300 按照带隙差自成核层 200 一侧向外延层 400 一侧逐渐增大进行排布。

本申请实施方式中， K 个双层结构中，最大带隙差与最小带隙差的差值大于构成双层结构的禁带宽度最大的第III族氮化物与禁带宽度最小的第III族氮化物的禁带宽度差值的 20%。例如，在 K 个 AlGaN/AlGaN 双层结构中，构成双层结构的第III族氮化物包括 GaN 和 AlN，其中 GaN 的禁带宽度为 3.4eV，AlN 的禁带宽度为 6.2eV，则构成双层结构的禁带宽度最大的第 III 族氮化物与禁带宽度最小的第 III 族氮化物的禁带宽度差值的 20%即为 20%×(6.2-3.4)eV。又例如，在 K 个 InAlGaN/InAlGaN 双层结构中，构成双层结构的第III族氮化物包括 InN、GaN 和 AlN，其中 InN 的禁带宽度为 0.7eV，GaN 的禁带宽度为 3.4eV，AlN 的禁带宽度为 6.2eV，则构成双层结构的禁带宽度最大的第III族氮化物与禁带宽度最小的第III族氮化物的禁带宽度差值的 20%即为 20%×(6.2-0.7)eV。

本申请一些实施方式中，K 个双层结构 200 由 GaN 和 AlN 两种第III族氮化物构成，双层结构上层/下层的组成可表示为 $Al_xGa_{1-x}N/Al_yGa_{1-y}N$（$0<x\leq1$，$y>0$）。该组成的双层结构，由于带隙差的渐变趋势可等价于 Al 组分含量差值的渐变趋势。由于禁带宽度变化趋势与 AlGaN 中的 Al 组分含量近似为线性关系，即 AlGaN 中 Al 组分含量越高禁带宽度越大，因此双层结构的带隙差的渐变趋势可等价于双层结构的 Al 组分含量差值的渐变趋势。需要说明的是，本申请中 Al 组分含量是指 Al 元素占第 III 族金属元素的摩尔百分比。对于 $Al_xGa_{1-x}N$，其禁带宽度可近似等于[6.2x+(1-x) 3.4] eV。因此，通过控制各双层结构中上层和下层的 Al 组分含量，使得双层结构的 Al 组分含量差值呈渐变趋势，即可实现 K 个双层结构的带隙差渐变。例如，如图 2 和图 3 所示，K 个双层结构 200 包括第一双层结构 $Al_{x1}Ga_{1-x1}N/Al_{y1}Ga_{1-y1}N$，第二双层结构 $Al_{x2}Ga_{1-x2}N/Al_{y2}Ga_{1-y2}N$，第三双层结构 $Al_{x3}Ga_{1-x3}N/Al_{y3}Ga_{1-y3}N$……和第 K 双层结构 $Al_{xk}Ga_{1-xk}N/Al_{yk}Ga_{1-yk}N$。若由第一双层结构向第 K 双层结构带隙差逐渐减小，则 x1-y1> x2-y2> x3-y3>…>xk-yk，即由第一双层结构向第 K 双层结构 Al 组分含量差值逐渐减小。该实施方式中，任意相邻两个双层结构都具有不同带隙差。具体地，任意相邻两个双层结构具有不同组分构成。在本申请另一些实施方式中，K 个双层结构中，也可以是部分相邻的双层结构具有相同带隙差。其中，相邻层叠在一起的具有相同带隙差的双层结构的重复周期可以是 1-10。对于不同带隙差的双层结构的重复周期可以是相同，也可以是不相同，例如，如图 4 所示，在 $Al_xGa_{1-x}N/Al_yGa_{1-y}N$ 组成的缓冲层中，不同带隙差的双层结构的重复周期相同，均为 2，即可以是第一双层结构带隙差=第二双层结构带隙差>第三双层结构带隙差=第四双层结构带隙差…>第 K 双层结构带隙差。不同带隙差的双层结构的重复周期不相同，例如，第一双层结构带隙差=第二双层结构带隙差=第三双层结构带隙差>第四双层结构带隙差=第五双层结构带隙差>第六双层结构带隙差…>第 K 双层结构带隙差。

本申请实施方式中，K 个双层结构由 GaN 和 AlN 两种第III族氮化物构成，每一双层结构中的平均 Al 组分含量可为 5%-50%。在一些实施方式中，每一双层结构中的平均 Al 组分含量为 8%-38%。在另一些实施方式中，每一双层结构中的平均 Al 组分含量为 15%-30%。在其

他一些实施方式中，每一第III族氮化物双层结构中的平均 Al 组分含量为 20%-25%。平均 Al 组分含量是指在每一双层结构中，Al 元素占第 III 族金属元素的平均摩尔百分比。将每一双层结构的平均 Al 组分含量控制在适合的范围，可以保证缓冲层具有较好的晶体质量。对于 $Al_xGa_{1-x}N/Al_yGa_{1-y}N$ 双层结构，每一双层结构中的平均 Al 组分含量可表示为[（$T_{上}\times x+T_{下}\times y$）/（$T_{上}+T_{下}$）]×100%，其中，$T_{上}$和 $T_{下}$分别表示双层结构的上层与下层的厚度，x 和 y 分别表示上层与下层的 Al 组分含量。本申请一些实施方式中，每一双层结构中的平均 Al 组分含量相同，通过保持 Al 组分不变，可以使得在设计高温翘曲的预补偿时只需要考虑膜层厚度影响而不用考虑 Al 组分变化影响，简化参数设计。本申请另一些实施方式中，K 个双层结构的平均 Al 组分含量沿缓冲层的厚度方向呈渐变趋势。将多个双层结构的平均 Al 组分含量设计成渐变，有利于应力调控。

另外，本申请中 K 个双层结构的带隙差沿缓冲层的厚度方向整体呈渐变趋势，可以是沿缓冲层的厚度方向呈严格的逐渐增大或逐渐减小变化，也可以是整体上呈逐渐增大或逐渐减小变化，但存在少量特殊的与整体渐变趋势相反的变化情况，例如在带隙差整体呈逐渐增大的缓冲层中存在少量带隙差减小的双层结构。

本申请实施方式中，外延层的材质包括 GaN、AlN、InN、AlGaN、InGaN、InAlN、InAlGaN 中的一种或多种。本申请实施方式中，外延层 40 的材质包括第III族氮化物，具体地例如可以是 GaN、AlN、InN、AlGaN、InGaN、InAlN、InAlGaN 中的一种或多种。外延层 40 的厚度大于或等于 300nm。现有氮化镓外延层的厚度受应力所限一般厚度较小，而本申请实施例的氮化物外延结构可以很好地消除应力，因此可适用于厚膜外延层的制备，理论上可以无限厚度。在本申请一些实施方式中，外延层的厚度可以是大于或等于 5μm，也可以是大于或等于 10μm，例如 15 μm-100μm。外延层 40 可以是完全覆盖成核层 20，也可以是部分覆盖成核层 20。

本申请实施方式中，不同氮化物外延层可以适用不同半导体器件，如 GaN、AlGaN、AlN 可适用功率器件，而含 In 的氮化物外延层可适用于光电器件。

本申请实施方式中，为配合使用性能要求，外延层 40 中也可掺入其他元素，例如为了提升绝缘性，可掺入碳，形成高电阻，提高耐压性能。

如图 5 所示，氮化物外延结构 100 还包括设置于成核层 30 与外延层 40 之间的过渡层 50，过渡层 50 可以是 AlGaN 层。过渡层的厚度可以是 10nm-300nm。过渡层 50 的设置有利于调控外延结构应力。

本申请实施方式中，如图 5 所示，氮化物外延结构 100 还包括设置于外延层 40 上的其他功能层 60，其他功能层 60 的具体结构组成可以根据实际应用需要设置。本申请一实施方式中，具体可以是包括依次设置在外延层 40 上的 AlN 插入层 61、AlGaN 阻挡层 62、P 型 GaN 层 63。在其他一些实施方式中，其他功能层 60 也可以是具有其他结构组成。

如图 6 所示，本申请实施例还提供一种氮化物外延结构的制备方法，包括：

S01、在衬底上形成成核层，成核层为 AlN 层或 GaN 层。

其中，具体可以是采用金属有机化学气相沉积或分子束外延的方式在衬底 10 上制备成核层 20。在制备成核层 20 之前，可以先对衬底 10 进行常规的清洁处理。

本申请一具体实施方式中，采用金属有机化学气相沉积的方式在衬底 10 上制备成核层 20，具体地可以是，将衬底 10 置于金属有机化学气相沉积反应室中，于 900-1100℃的温度和 30-60Torr 的压力下，通入氢气和氨气 3min-5min，得到处理后的衬底 10，然后通入氢气、氨气、以及铝源或镓源，在处理后的衬底 10 上沉积得到氮化铝或氮化镓，即得到成核层 20。

本申请实施方式中，沉积过程中的各参数并不局限于上述范围。镓源包括但不限于为三甲基镓、三乙基镓。铝源包括但不限于为三甲基铝、三乙基铝。

S02、在成核层上形成缓冲层。

本申请实施方式中，缓冲层 30 可以是通过金属有机化学气相沉积的方式制备得到。具体地，将经步骤 S01 后获得的具有成核层的衬底置于金属有机化学气相沉积反应室中，于 900-1100℃的温度和 30-60Torr 的压力下，然后通入氢气、氨气、以及第三主族金属源，在缓冲层 30 上外延生长得到第III族氮化物，得到缓冲层 30。第三主族金属源为含第三主族金属元素的有机化合物，如三甲基镓、三乙基镓、三甲基铝、三乙基铝等。通过改变第三主族金属源的通入量可以改变缓冲层中各第III族氮化物的含量，通过控制沉积时间可以获得不同厚度的氮化物层。

S03、在缓冲层上外延生长第III族氮化物，形成外延层。

本申请实施方式中，外延层 40 可以是通过金属有机化学气相沉积的方式制备得到。具体地，将经步骤 S02 后获得的衬底 10 置于金属有机化学气相沉积反应室中，于 900-1100℃的温度和 30-60Torr 的压力下，通入氢气和氨气 3-5min，得到处理后的衬底 10，然后通入氢气、氨气、以及第三主族金属源，在缓冲层 30 上外延生长得到第III族氮化物，形成外延层 40。其中，第III族氮化物具体地例如可以是 GaN、AlN、InN、AlGaN、InGaN、InAlN、InAlGaN 中的一种或多种。第三主族金属源为含第三主族金属元素的有机化合物，如三甲基镓、三乙基镓、三甲基铝、三乙基铝等。

本申请实施方式中，上述制备方法还可以包括在缓冲层 30 与外延层 40 之间形成过渡层 50。即在步骤 S03 之前，先在缓冲层 30 上制备一层过渡层 50，再在过渡层 50 上生长外延层 40。过渡层 50 的材质可为 Al GaN 层。

本申请实施例还提供一种半导体器件，包括本申请实施例上述提供的氮化物外延结构，本申请实施例氮化物外延结构可以直接作为半导体器件的一部分，也可以是将剥离下来应用于半导体器件中。该半导体器件包括但不限于为功率器件（即电力电子器件）、射频器件或光电器件。其中功率器件、射频器件可以是晶体管，具体可为场效应晶体管，如高电子迁移率晶体管（High Electron Mobility Transistor, HEMT）。光电器件例如为发光二极管（Light Emitting Diode，LED），激光二极管（Laser diode，LD）。具体可为氮化物基发光二极管，氮化物基量子阱激光二极管。

下面分多个实施例对本申请实施例进行进一步的说明。

实施例一

一种氮化物外延结构，包括衬底，以及依次设置在衬底上的成核层、缓冲层、外延层和其他功能层。衬底采用 Si、蓝宝石、GaN、SiC、金刚石、SOI 等材料；成核层为 AlN 成核层，厚度在 50nm-400nm 之间；缓冲层为渐变带隙差结构层，包括 11 个上层/下层为 $Al_xGa_{1-x}N/Al_yGa_{1-y}N$ 的双层结构，每一双层结构的平均 Al 组分含量均为 20%，每一个双层结构中 x、y 取值和厚度 $T_{上}$、$T_{下}$如表 1 所示。外延层为 GaN 层，可包含碳掺杂的 GaN 或 AlGaN 等结构，厚度为 100nm-3μm。其他功能层可包括依次设置在外延层上的 AlN 插入层，厚度为 1nm；AlGaN 阻挡层层，Al 组分范围 10%-30%，厚度为 10-30nm；p-GaN 层，P 型杂质通过 Mg 掺杂实现，厚度范围为 30nm-120 nm。

表 1 实施例一的缓冲层参数

双层结构序号	x	y	Al 组分含量差值	$T_{上}$（nm）	$T_{下}$（nm）	平均 Al 组分含量	周期数
1	0.5	0.17	0.33	2	20	20%	5
2	0.55	0.165	0.385	2	20	20%	5
3	0.6	0.16	0.44	2	20	20%	5
4	0.65	0.155	0.495	2	20	20%	5
5	0.7	0.15	0.55	2	20	20%	5
6	0.75	0.145	0.605	2	20	20%	5
7	0.8	0.14	0.66	2	20	20%	5
8	0.85	0.135	0.715	2	20	20%	5
9	0.9	0.13	0.77	2	20	20%	5
10	0.95	0.125	0.825	2	20	20%	5
11	1.0	0.12	0.88	2	20	20%	5

其中，序号为 1-11 的双层结构依次层叠设置，序号为 1 的双层结构靠近外延层设置，序号为 11 的双层结构靠近成核层设置。表 1 中的周期数 5 是指每个序号的双层结构均重复 5 次，即不同带隙差的双层结构的重复周期相同，形成 11 组双层结构，每一组为 5 个相同的双层结构堆叠。即缓冲层包括 5 个堆叠的 $Al_{0.5}Ga_{0.5}N/Al_{0.17}Ga_{0.83}N$ 双层结构、5 个堆叠的 $Al_{0.55}Ga_{0.45}N/Al_{0.165}Ga_{0.835}N$ 双层结构……依此类推。由表 1 可以获知，实施例一的氮化物外延结构，缓冲层的 11 组双层结构的 Al 组分含量差值由成核层一侧向外延层一侧逐渐减小，也即 11 组双层结构的带隙差由成核层一侧向外延层一侧逐渐减小。另外，实施例一的每一组双层结构的平均 Al 组分含量相同，均为 20%。

实施例二

与实施例一的区别仅在于，缓冲层包括 51 个上层/下层为 $Al_xGa_{1-x}N/Al_yGa_{1-y}N$ 的双层结构，每一个双层结构中 x、y 取值、上层厚度 $T_{上}$、下层厚度 $T_{下}$如表 2 所示。

表2 实施例二的缓冲层参数

双层结构序号	x	y	Al 组分含量差值	T 上（nm）	T 下（nm）	平均 Al 组分含量	周期数
1	0.5	0.170	0.330	2	20	20%	1
2	0.51	0.169	0.341	2	20	20%	1
3	0.52	0.168	0.352	2	20	20%	1
4	0.53	0.167	0.363	2	20	20%	1
5	0.54	0.166	0.374	2	20	20%	1
6	0.55	0.165	0.385	2	20	20%	1
7	0.56	0.164	0.396	2	20	20%	1
8	0.57	0.163	0.407	2	20	20%	1
9	0.58	0.162	0.418	2	20	20%	1
10	0.59	0.161	0.429	2	20	20%	1
11	0.6	0.160	0.440	2	20	20%	1
12	0.61	0.159	0.451	2	20	20%	1
13	0.62	0.158	0.462	2	20	20%	1
14	0.63	0.157	0.473	2	20	20%	1

15	0.64	0.156	0.484	2	20	20%	1
16	0.65	0.155	0.495	2	20	20%	1
17	0.66	0.154	0.506	2	20	20%	1
18	0.67	0.153	0.517	2	20	20%	1
19	0.68	0.152	0.528	2	20	20%	1
20	0.69	0.151	0.539	2	20	20%	1
21	0.7	0.150	0.550	2	20	20%	1
22	0.71	0.149	0.561	2	20	20%	1
23	0.72	0.148	0.572	2	20	20%	1
24	0.73	0.147	0.583	2	20	20%	1
25	0.74	0.146	0.594	2	20	20%	1
26	0.75	0.145	0.605	2	20	20%	1
27	0.76	0.144	0.616	2	20	20%	1
28	0.77	0.143	0.627	2	20	20%	1
29	0.78	0.142	0.638	2	20	20%	1
30	0.79	0.141	0.649	2	20	20%	1
31	0.80	0.140	0.660	2	20	20%	1
32	0.81	0.139	0.671	2	20	20%	1
33	0.82	0.138	0.682	2	20	20%	1
34	0.83	0.137	0.693	2	20	20%	1
35	0.84	0.136	0.704	2	20	20%	1
36	0.85	0.135	0.715	2	20	20%	1
37	0.86	0.134	0.726	2	20	20%	1
38	0.87	0.133	0.737	2	20	20%	1
39	0.88	0.132	0.748	2	20	20%	1
40	0.89	0.131	0.759	2	20	20%	1
41	0.90	0.130	0.770	2	20	20%	1
42	0.91	0.129	0.781	2	20	20%	1
43	0.92	0.128	0.792	2	20	20%	1
44	0.93	0.127	0.803	2	20	20%	1
45	0.94	0.126	0.814	2	20	20%	1
46	0.95	0.125	0.825	2	20	20%	1
47	0.96	0.124	0.836	2	20	20%	1
48	0.97	0.123	0.847	2	20	20%	1
49	0.98	0.122	0.858	2	20	20%	1
50	0.99	0.121	0.869	2	20	20%	1
51	1.00	0.120	0.880	2	20	20%	1

其中，序号为1-51的双层结构依次层叠设置，序号为1的双层结构靠近外延层设置，序号为51的双层结构靠近成核层设置。表2中的周期数1是指每个序号的双层结构只有一个。由表2可以获知，实施例二的氮化物外延结构，缓冲层的51个双层结构的Al组分含量差值由成核层一侧向外延层一侧逐渐减小，也即51个双层结构的带隙差由成核层一侧向外延层一侧逐渐减小。另外，实施例二的每一双层结构的平均Al组分含量相同，均为20%。相对于实施例一，实施例二的缓冲层的带隙差渐变间距更小，能更好地调节衬底与外延层之间的应力。

图7A为实施例二的氮化物外延结构中缓冲层靠近衬底一侧的双层结构的TEM图谱，图7B

为实施例二的氮化物外延结构中缓冲层靠近衬底一侧的双层结构的EDS图谱。图7B中的双层结构对应表2中序号为49-51的三个双层结构，由图7A和图7B可以获知，靠近衬底一侧的双层结构中带隙大的上层中Al组分接近100%，并向远离衬底一侧呈降低趋势。图8A为实施例二的氮化物外延结构中缓冲层靠近外延层一侧的双层结构的TEM图谱，图8B为实施例二的氮化物外延结构中缓冲层靠近外延层一侧的双层结构的EDS图谱。图8B中的双层结构对应表2中序号为1-3的三个双层结构，对比图7B和图8B可以看出，靠近衬底一侧的双层结构的Al含量差值比靠近外延层一侧的双层结构的Al含量差值大。

注：EDS图谱中有Ga、Al、N三种元素的曲线，N元素占比约50%，故Al元素曲线上各点对应的纵坐标值×2为Al组分含量，由于测量误差等因素，实测值与设计值可能存在一定差异。

实施例三

与实施例一的区别在于，缓冲层包括11组上层/下层为$Al_xGa_{1-x}N/Al_yGa_{1-y}N$的双层结构，每一组双层结构中x、y取值、上层厚度$T_{上}$、下层厚度$T_{下}$如表3所示。

表3 实施例三的缓冲层参数

双层结构序号	x	y	Al组分含量差值	$T_{上}$(nm)	$T_{下}$(nm)	平均Al组分含量	周期数
1	0.50	0.2	0.30	2	20	22.73%	5
2	0.55	0.2	0.35	2	20	23.18%	5
3	0.60	0.2	0.40	2	20	23.64%	5
4	0.65	0.2	0.45	2	20	24.09%	5
5	0.70	0.2	0.50	2	20	24.55%	5
6	0.75	0.2	0.55	2	20	25.00%	5
7	0.80	0.2	0.60	2	20	25.45%	5
8	0.85	0.2	0.65	2	20	25.91%	5
9	0.90	0.2	0.70	2	20	26.36%	5
10	0.95	0.2	0.75	2	20	26.82%	5
11	1.00	0.2	0.80	2	20	27.27%	5

其中，序号为1-11的双层结构依次层叠设置，序号为1的双层结构靠近外延层设置，序号为11的双层结构靠近成核层设置。表1中的周期数5是指每个序号的双层结构均重复5次，即不同带隙差的双层结构的重复周期相同，形成11组双层结构，每一组为5个相同的双层结构堆叠。由表3可以获知，实施例三的氮化物外延结构，缓冲层的11组双层结构的Al组分含量差值由成核层一侧向外延层一侧逐渐减小，也即11个双层结构的带隙差由成核层一侧向外延层一侧逐渐减小。另外，实施例三的11组双层结构的平均Al组分含量也由成核层一侧向外延层一侧逐渐减小。

权 利 要 求 书

1．一种氮化物外延结构，其特征在于，包括：

衬底；

成核层，形成于所述衬底上，所述成核层为氮化铝层或氮化镓层；

缓冲层，形成于所述成核层上，所述缓冲层包括 K 个堆叠的第III族氮化物双层结构，所述 K≥3；每一所述双层结构均包括层叠的上层和下层，所述上层材质的禁带宽度大于所述下层材质的禁带宽度；每一所述双层结构的带隙差为所述上层材质的禁带宽度与所述下层材质的禁带宽度的差值；所述 K 个双层结构的带隙差沿所述缓冲层的厚度方向整体呈渐变趋势；

外延层，形成于所述缓冲层上，所述外延层的材质包括第III族氮化物。

2．如权利要求 1 所述的氮化物外延结构，其特征在于，所述上层和所述下层的材质分别选自 GaN、AlN、InN 或其组合中的一种。

3．如权利要求 1 或 2 所述的氮化物外延结构，其特征在于，所述下层的厚度大于两倍所述上层的厚度。

4．如权利要求 1-3 任一项所述的氮化物外延结构，其特征在于，所述 K 个双层结构的带隙差自所述成核层一侧向所述外延层一侧逐渐减小。

5．如权利要求 1-4 任一项所述的氮化物外延结构，其特征在于，所述 K 个双层结构中，最大带隙差与最小带隙差的差值大于构成所述双层结构的禁带宽度最大的第III族氮化物与禁带宽度最小的第III族氮化物的禁带宽度差值的 20%。

6．如权利要求 1-5 任一项所述的氮化物外延结构，其特征在于，所述 K 个双层结构由 GaN 和 AlN 构成，每一所述双层结构中的平均 Al 组分含量为 5%-50%。

7．如权利要求 6 所述的氮化物外延结构，其特征在于，每一所述双层结构中的平均 Al 组分含量相同。

8．如权利要求 6 所述的氮化物外延结构，其特征在于，所述 K 个双层结构的平均 Al 组分含量沿所述缓冲层的厚度方向呈渐变趋势。

9．如权利要求 1-8 任一项所述的氮化物外延结构，其特征在于，每一所述双层结构的厚度小于 100nm。

10．如权利要求 1-9 任一项所述的氮化物外延结构，其特征在于，所述外延层的材质包括 GaN、AlN、InN、AlGaN、InGaN、InAlN、InAlGaN 中的一种或多种。

11．如权利要求 1-10 任一项所述的氮化物外延结构，其特征在于，所述外延层的厚度大于或等于 300nm。

12．如权利要求 1-11 任一项所述的氮化物外延结构，其特征在于，所述衬底包括硅衬底、蓝宝石衬底、绝缘体上硅衬底、氮化镓衬底、砷化镓衬底、磷化铟衬底、氮化铝衬底、碳化硅衬底、石英衬底或金刚石衬底。

13．如权利要求 1-12 任一项所述的氮化物外延结构，其特征在于，所述成核层的厚度为 10nm-300nm。

14．一种半导体器件，其特征在于，包括如权利要求 1-13 任一项所述的氮化物外延结构。

15．如权利要求 14 所述的半导体器件，其特征在于，所述半导体器件包括功率器件、射频器件或光电器件。

16．如权利要求 14 或 15 所述的半导体器件，其特征在于，所述半导体器件包括场效应晶体管、发光二极管或激光二极管。

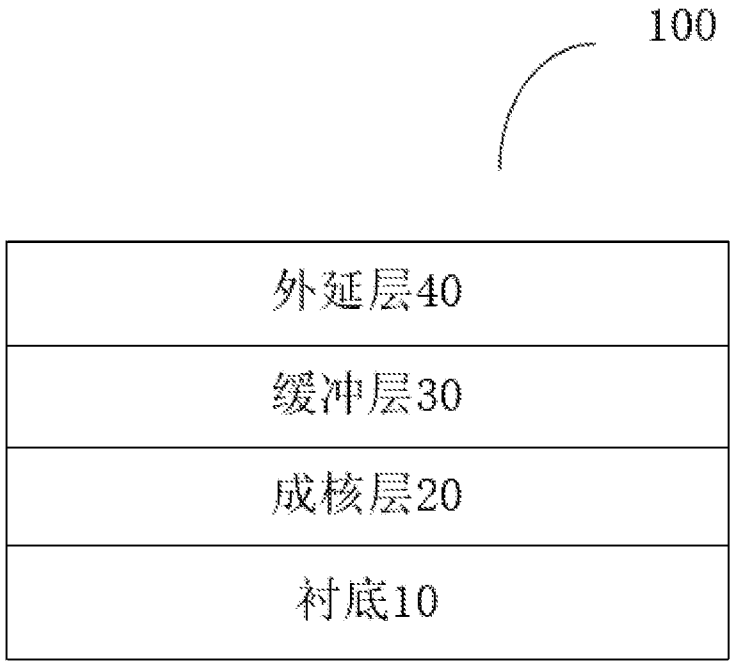

100
外延层40
缓冲层30
成核层20
衬底10

图 1

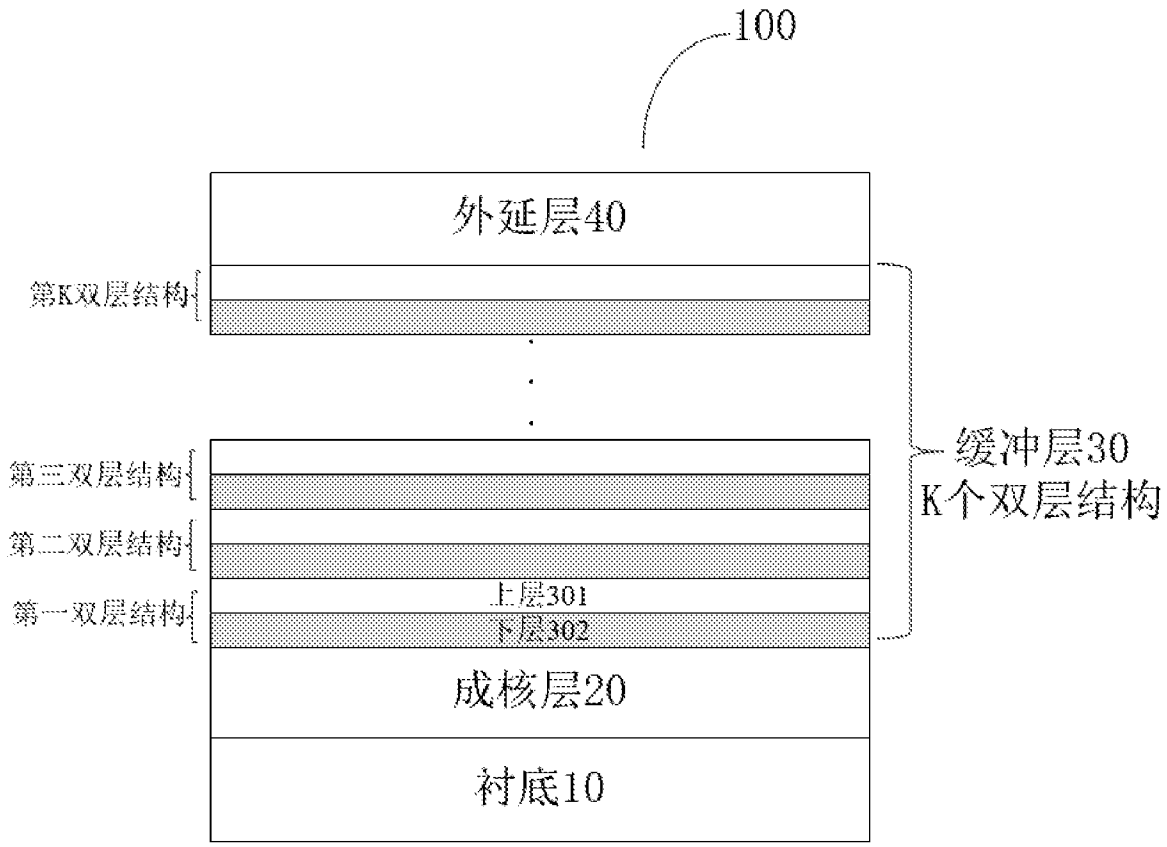

100
外延层40
第K双层结构
第三双层结构
第二双层结构
第一双层结构
上层301
下层302
缓冲层30
K个双层结构
成核层20
衬底10

图 2

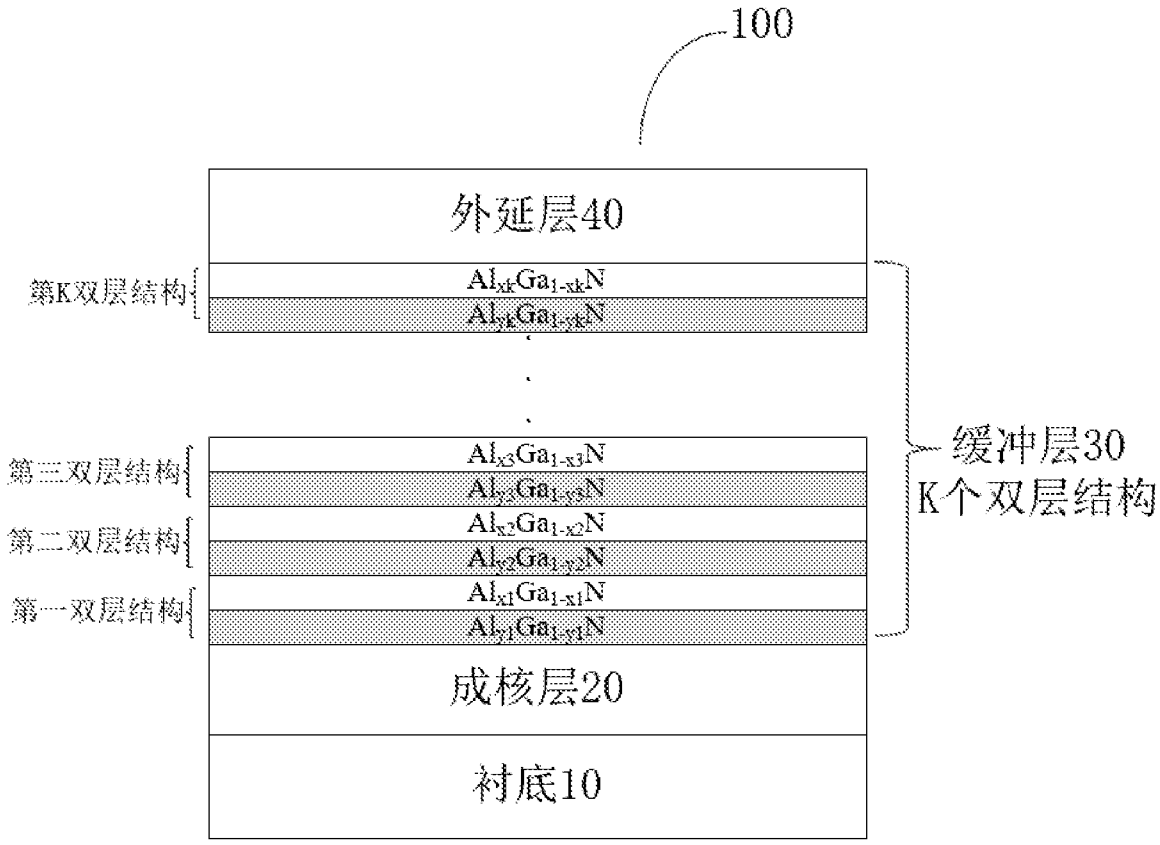

100
外延层40
第K双层结构
$Al_{xk}Ga_{1-xk}N$
$Al_{yk}Ga_{1-yk}N$
第三双层结构
$Al_{x3}Ga_{1-x3}N$
$Al_{y3}Ga_{1-y3}N$
第二双层结构
$Al_{x2}Ga_{1-x2}N$
$Al_{y2}Ga_{1-y2}N$
第一双层结构
$Al_{x1}Ga_{1-x1}N$
$Al_{y1}Ga_{1-y1}N$
缓冲层30
K个双层结构
成核层20
衬底10

图 3

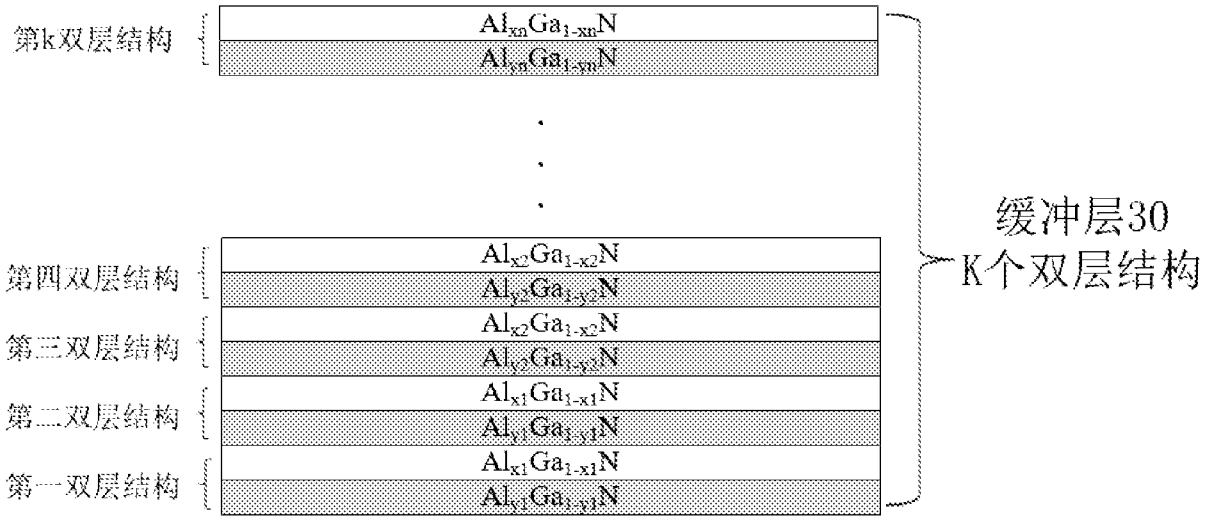

第k双层结构
$Al_{xn}Ga_{1-xn}N$
$Al_{yn}Ga_{1-yn}N$
第四双层结构
$Al_{x2}Ga_{1-x2}N$
$Al_{y3}Ga_{1-y2}N$
第三双层结构
$Al_{x2}Ga_{1-x2}N$
$Al_{y2}Ga_{1-y2}N$
第二双层结构
$Al_{x1}Ga_{1-x1}N$
$Al_{y1}Ga_{1-y1}N$
第一双层结构
$Al_{x1}Ga_{1-x1}N$
$Al_{y1}Ga_{1-y1}N$
缓冲层30
K个双层结构

图 4

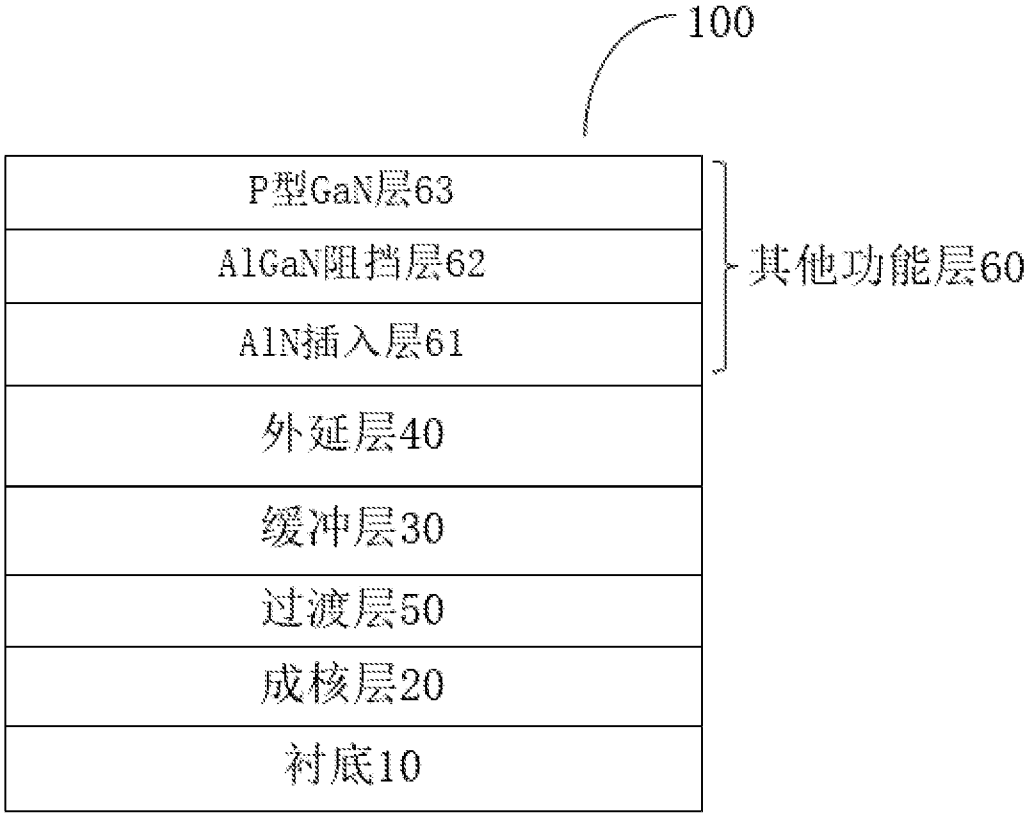

100
P型GaN层63
AlGaN阻挡层62
AlN插入层61
其他功能层60
外延层40
缓冲层30
过渡层50
成核层20
衬底10

图 5

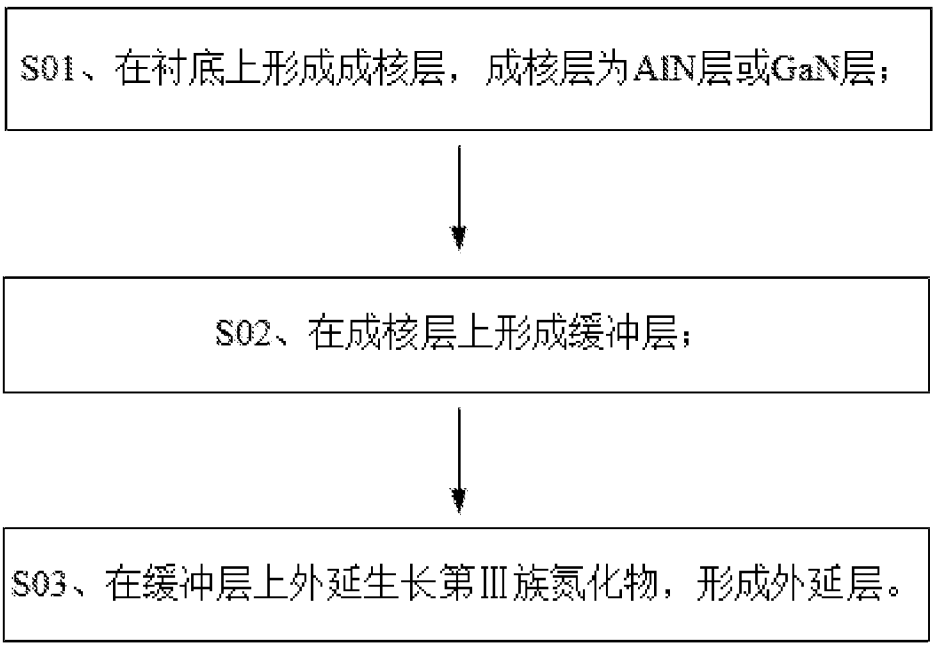

S01、在衬底上形成成核层，成核层为AlN层或GaN层；
S02、在成核层上形成缓冲层；
S03、在缓冲层上外延生长第Ⅲ族氮化物，形成外延层。

图 6

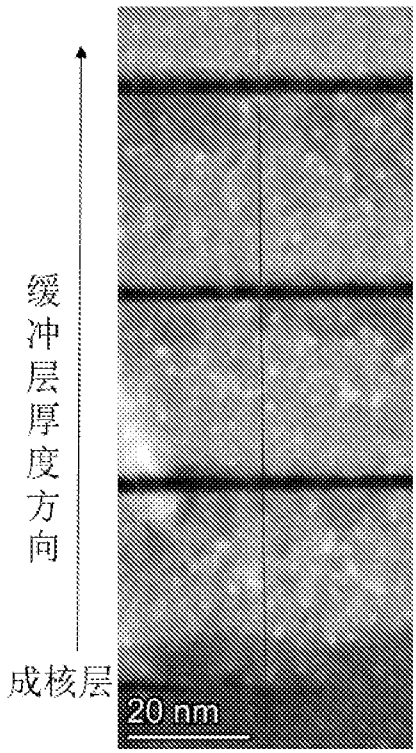

缓冲层厚度方向
成核层
20 nm

图 7A

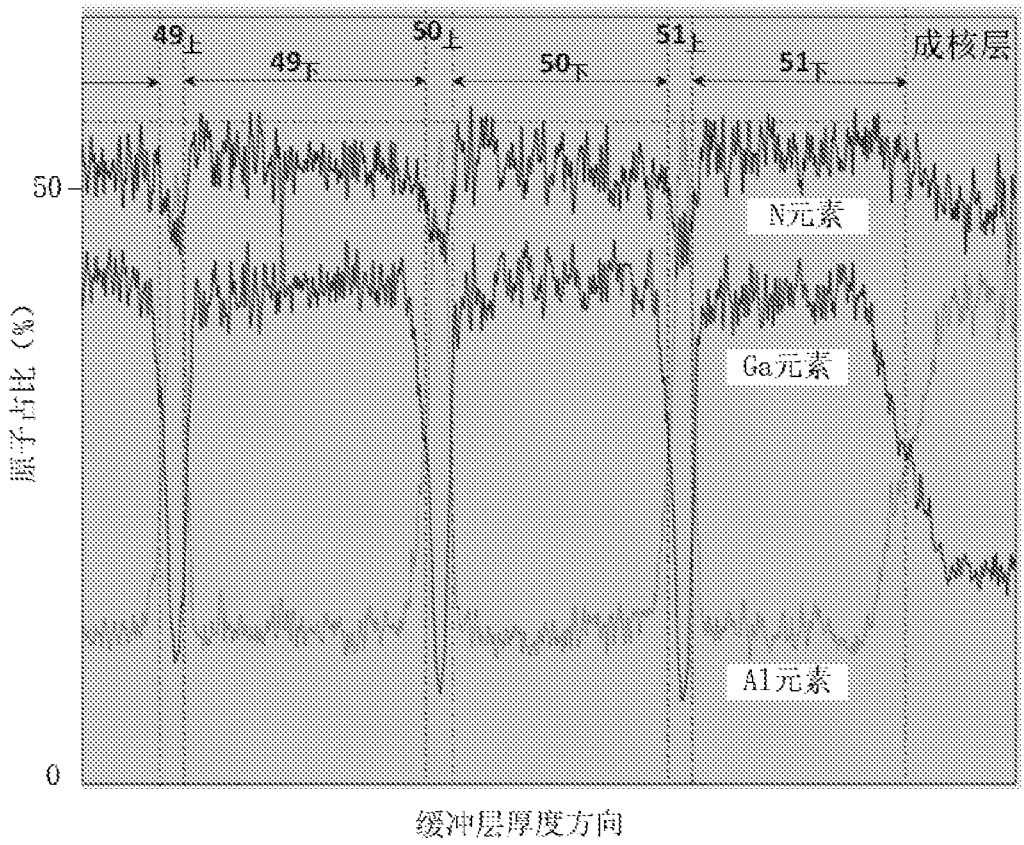

49上
49下
50上
50下
51上
51下
成核层
50
0
原子占比（%）
N元素
Ga元素
Al元素
缓冲层厚度方向

图 7B

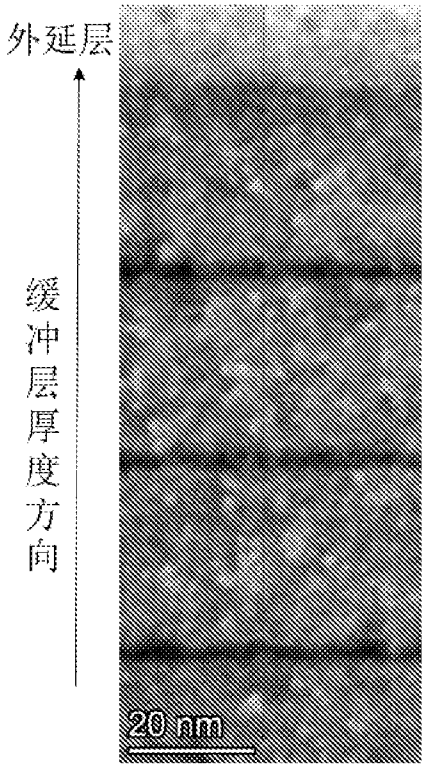

外延层
缓冲层厚度方向
20 nm

图 8A

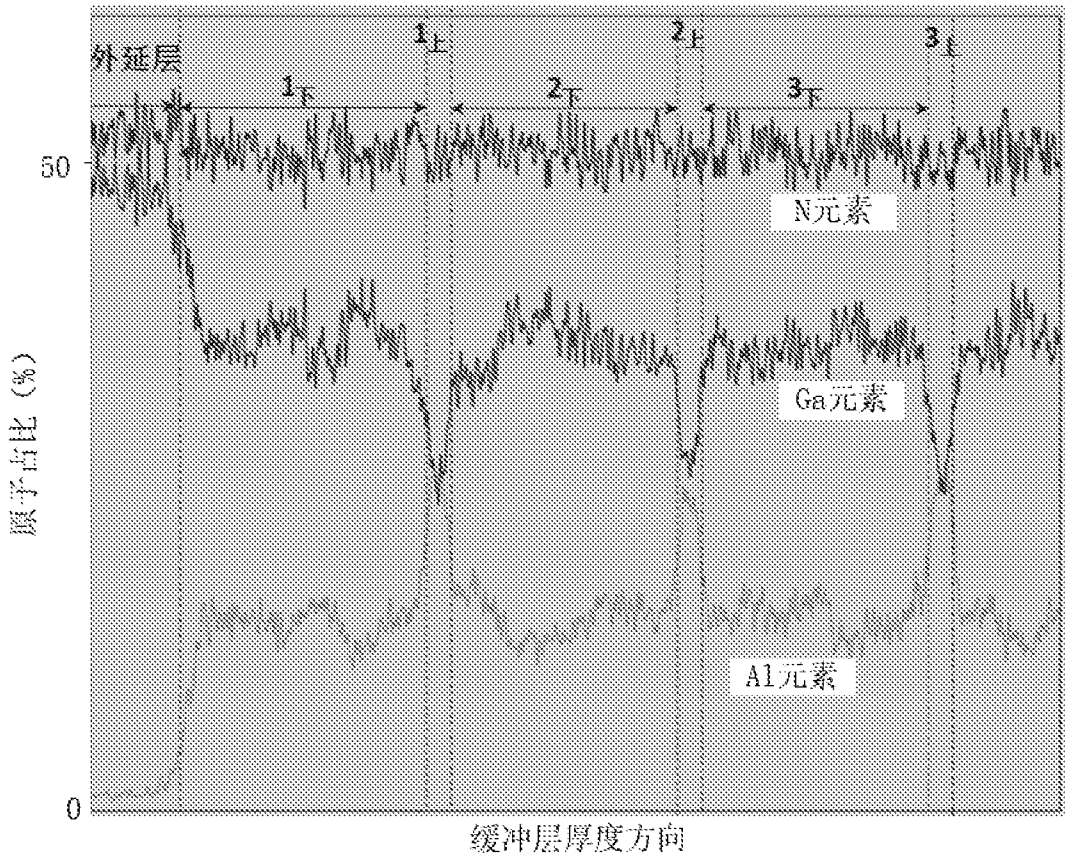

外延层
1上
2上
3上
1下
2下
3下
50
0
N元素
Ga元素
Al元素
原子占比（%）
缓冲层厚度方向

图 8B

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2021/118342

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L 21/02(2006.01)i; H01L 29/06(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)

WPI, EPODOC, CNPAT, CNKI, IEEE: 发光, 二极管, 缓冲层, 叠层, 堆叠, 超晶格, 组分, 渐变, 能带, 带隙, light, emit+, buffer, stack, superlattice, ingredient, grading, gradual, gap, energy

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 104885198 A (DOWA ELECTRONICS MATERIALS CO., LTD.) 02 September 2015 (2015-09-02) description, paragraphs [0010]-[0071], and figures 1-2	1-16
X	CN 109216520 A (GLOBAL WAFERS CO., LTD.) 15 January 2019 (2019-01-15) description, paragraphs [0025]-[0068], and figures 1-4	1-16
X	CN 103236477 A (ANHUI SANAN OPTOELECTRONICS CO., LTD.) 07 August 2013 (2013-08-07) description, paragraphs [0032]-[0030], and figures 1-2	1-16
X	CN 103806104 A (INSTITUTE OF SEMICONDUCTORS, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 21 May 2014 (2014-05-21) description, paragraphs [0024]-[0043], and figures 1-5	1-16
A	US 2013168691 A1 (TOYODA GOSEI CO., LTD.) 04 July 2013 (2013-07-04) entire document	1-16

☐ 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
12 November 2021	**08 December 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/CN2021/118342

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	104885198	A	02 September 2015	US	2015340230	A1	26 November 2015
				JP	5462377	B1	02 April 2014
				WO	2014106875	A1	10 July 2014
				JP	2014132607	A	17 July 2014
CN	109216520	A	15 January 2019	TW	I683372	B	21 January 2020
				US	10438794	B2	08 October 2019
				TW	201906018	A	01 February 2019
				US	2019006178	A1	03 January 2019
				CN	109216520	B	23 June 2020
CN	103236477	A	07 August 2013	WO	2014169719	A1	23 October 2014
				US	2015318448	A1	05 November 2015
				US	9520538	B2	13 December 2016
				CN	103236477	B	12 August 2015
CN	103806104	A	21 May 2014	None			
US	2013168691	A1	04 July 2013	JP	2012009695	A	12 January 2012
				TW	I455352	B	01 October 2014
				WO	2011162332	A1	29 December 2011
				US	8785227	B2	22 July 2014
				TW	201205860	A	01 February 2012

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2021/118342

A. 主题的分类

H01L 21/02(2006.01)i; H01L 29/06(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）)

WPI, EPODOC, CNPAT, CNKI, IEEE: 发光，二极管，缓冲层，叠层，堆叠，超晶格，组分，渐变，能带，带隙，light, emit+, buffer, stack, superlattice, ingredient, grading, gradual, gap, energy

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 104885198 A (同和电子科技有限公司) 2015年9月2日 (2015-09-02) 说明书第[0010]-[0071]段，图1-2	1-16
X	CN 109216520 A (环球晶圆股份有限公司) 2019年1月15日 (2019-01-15) 说明书第[0025]-[0068]段，图1-4	1-16
X	CN 103236477 A (安徽三安光电有限公司) 2013年8月7日 (2013-08-07) 说明书第[0032]-[0030]段，图1-2	1-16
X	CN 103806104 A (中国科学院半导体研究所) 2014年5月21日 (2014-05-21) 说明书第[0024]-[0043]段，图1-5	1-16
A	US 2013168691 A1 (TOYODA GOSEI CO., LTD.) 2013年7月4日 (2013-07-04) 全文	1-16

☐ 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
2021年11月12日	2021年12月8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 罗晓雅 电话号码 86-(10)-53961230

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2021/118342

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	104885198	A	2015年9月2日	US	2015340230	A1	2015年11月26日
				JP	5462377	B1	2014年4月2日
				WO	2014106875	A1	2014年7月10日
				JP	2014132607	A	2014年7月17日
CN	109216520	A	2019年1月15日	TW	I683372	B	2020年1月21日
				US	10438794	B2	2019年10月8日
				TW	201906018	A	2019年2月1日
				US	2019006178	A1	2019年1月3日
				CN	109216520	B	2020年6月23日
CN	103236477	A	2013年8月7日	WO	2014169719	A1	2014年10月23日
				US	2015318448	A1	2015年11月5日
				US	9520538	B2	2016年12月13日
				CN	103236477	B	2015年8月12日
CN	103806104	A	2014年5月21日		无		
US	2013168691	A1	2013年7月4日	JP	2012009695	A	2012年1月12日
				TW	I455352	B	2014年10月1日
				WO	2011162332	A1	2011年12月29日
				US	8785227	B2	2014年7月22日
				TW	201205860	A	2012年2月1日