



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110571311 B

(45) 授权公告日 2021.12.14

(21) 申请号 201910699756.2

H01L 33/32 (2010.01)

(22) 申请日 2019.07.30

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 104393136 A, 2015.03.04

申请公布号 CN 110571311 A

CN 102332515 A, 2012.01.25

CN 103824915 A, 2014.05.28

(43) 申请公布日 2019.12.13

Leszczynski, M., et al., "Secrets of

(73) 专利权人 中国科学技术大学

GaN substrate properties for high  
luminosity of InGaN quantum wells".《  
Proceedings of SPIE》.2008,第 0196卷

地址 230026 安徽省合肥市包河区金寨路  
96号

Kataoka, K., et al., "Deep-

(72) 发明人 孙海定 龙世兵 刘明

ultraviolet polychromatic emission from  
three-dimensionally structured AlGaN  
quantum wells".《 APPLIED PHYSICS

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任  
公司 11021

EXPRESS》.2017,第10卷(第3期),

代理人 周天宇

审查员 贾枫

(51) Int. Cl.

H01L 33/06 (2010.01)

H01L 33/24 (2010.01)

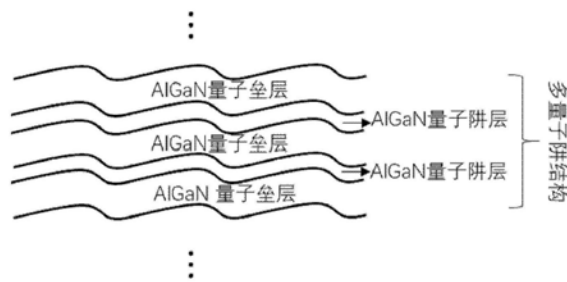
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

一种多量子阱结构、光电器件外延片及光电器件

(57) 摘要

一种多量子阱结构、光电器件外延片及光电器件,其中,多量子阱结构由交替生长的量子阱层和量子垒层组成,每一量子阱层和量子垒层为不平整结构。通过将多量子阱结构的量子阱层和量子垒层设置为组分不均匀、结构不平整的结构,提高了载流子的光复合效率、内量子效率、发光效率,并将其应用于光电器件外延片及光电器件中,实现了大功率发光二极管、大功率发光激光器、大功率发光探测器器件的制备。



1. 一种多量子阱结构,由交替生长的量子阱层和量子垒层组成,其中,每一所述量子阱层和量子垒层为连续波浪形不平整结构;

所述多量子阱结构由在具有 $1^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 斜切角的衬底上外延所述量子阱层和量子垒层得到。

2. 根据权利要求1所述的多量子阱结构,其中,所述量子阱层和量子垒层与垂直于其生长方向的水平面之间的夹角为 $1^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 。

3. 根据权利要求1所述的多量子阱结构,其中,所述量子阱层为 $B_xAl_yGa_{1-x-y}N$ 量子阱或 $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ 量子阱中的一种, $0\leq x<1,0\leq y\leq 1$ ,所述量子垒层为 $B_mAl_nGa_{1-m-n}N$ 量子垒或 $In_mAl_nGa_{1-m-n}N$ 量子垒中的一种, $0\leq m<1,0\leq n\leq 1$ 。

4. 根据权利要求3所述的多量子阱结构,其中,所述 $B_xAl_yGa_{1-x-y}N$ 量子阱和 $B_mAl_nGa_{1-m-n}N$ 量子垒中,B组分、Al组分和Ga组分分布不均匀,所述 $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ 量子阱和 $In_mAl_nGa_{1-m-n}N$ 量子垒中,In组分、Al组分和Ga组分分布不均匀。

5. 根据权利要求1所述的多量子阱结构,其中,所述连续波浪形不平整结构为厚度相同的波浪形结构、不对称的三角波浪线结构或厚度不相同的结构。

6. 一种光电器件外延片,包括如权利要求1至5任一项所述的多量子阱结构。

7. 根据权利要求6所述的光电器件外延片,其中,还包括有衬底,所述衬底的一表面为倾斜表面或刻蚀有预设图形的表面,或者所述表面为具有 $1^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 斜切角的表面,所述表面上依次生长有所述外延片的其它结构以及所述多量子阱结构。

8. 一种光电器件,包括如权利要求6至7任一项所述的光电器件外延片。

9. 根据权利要求8所述的光电器件,其中,所述光电器件为发光二极管、发光激光器、发光探测器中的一种。

## 一种多量子阱结构、光电器件外延片及光电器件

### 技术领域

[0001] 本公开涉及半导体技术领域,具体地,涉及一种多量子阱结构、光电器件外延片及光电器件。

### 背景技术

[0002] 紫外发光二极管(Ultraviolet Light Emitting Diode,UVLED)多采用第三代半导体材料制成,铟铝镓氮(InAlGaN)或硼铝镓氮(BAlGaN)材料具有禁带宽度宽、直接带隙等特点,InAlGaN或者BAlGaN基UVLED在杀菌、消毒、医疗和非视距光通信等领域具有广泛的应用前景。AlGaN基UVLED可以实现200nm-360nm范围内的发光波长连续可调,并且可以通过异质外延的方法在廉价的硅、蓝宝石、氮化镓,氮化铝和碳化硅衬底上实现大规模生产。

[0003] 现有AlGaN基UVLED往往采用组分均匀、结构平整的多量子阱结构作为器件的有源区(即发光区或电子空穴复合区),载流子在二维量子阱结构中的光子复合效率较低,从而导致器件的内量子效率、外量子效率及发光率偏低,发光二极管的电光转换效率较低。与发光二极管相同的是,其它光电器件如发光激光器、发光探测器都存在内量子效率、外量子效率、发光率以及电光转换效率低的问题。

### 发明内容

[0004] (一)要解决的技术问题

[0005] 本公开提供了一种多量子阱结构、光电器件外延片及光电器件,解决以上技术问题。

[0006] (二)技术方案

[0007] 本公开提供了一种多量子阱结构,由交替生长的量子阱层和量子垒层组成,其中,每一所述量子阱层和量子垒层为不平整结构。

[0008] 可选地,所述量子阱层和量子垒层与垂直于其生长方向的水平面之间的夹角为 $1^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 。

[0009] 可选地,所述量子阱层为 $B_xAl_yGa_{1-x-y}N$ 量子阱或 $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ 量子阱中的一种, $0 \leq x < 1, 0 \leq y \leq 1$ ,所述量子垒层为 $B_mAl_nGa_{1-m-n}N$ 量子垒或 $In_mAl_nGa_{1-m-n}N$ 量子垒中的一种, $0 \leq m < 1, 0 \leq n \leq 1$ 。

[0010] 可选地,所述 $B_xAl_yGa_{1-x-y}N$ 量子阱和 $B_mAl_nGa_{1-m-n}N$ 量子垒中,B组分、Al组分和Ga组分分布不均匀,所述 $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ 量子阱和 $In_mAl_nGa_{1-m-n}N$ 量子垒中,In组分、Al组分和Ga组分分布不均匀。

[0011] 可选地,所述不平整结构包括厚度相同的波浪形结构、不对称的三角波浪线结构和厚度不相同的结构。

[0012] 本公开还提供了一种光电器件外延片,包括上述多量子阱结构。

[0013] 可选地,所述外延片还包括有衬底,所述衬底的一表面为倾斜表面或刻蚀有预设图形的表面,或者所述表面为具有 $1^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 斜切角的表面,所述表面上依次生长有所述外延

片的其它结构以及所述多量子阱结构。

[0014] 本公开还提供了一种光电器件,包括上述光电器件外延片。

[0015] 可选地,所述光电器件为发光二极管、发光激光器、发光探测器中的一种。

[0016] (三)有益效果

[0017] 本公开提供的多量子阱结构、光电器件外延片及光电器件,具有以下有益效果:

[0018] (1) 将多量子阱结构设置为组分不均匀、结构不平整的AlGa<sub>N</sub>量子阱结构,通过Al、Ga组分在量子阱中的非均一分布,造成量子阱内势能非均一化,增强了载流子的局域化效应,有效限制了载流子在量子阱中的移动,实现载流子在三维尺度上的束缚;

[0019] (2) 提升了光电器件量子阱中的光复合效率,大幅提高了器件的内量子效率、外量子效率和光输出功率,实现了大功率发光二极管、大功率发光激光器、大功率发光探测器器件的制备。

## 附图说明

[0020] 图1示意性示出了本公开实施例提供的多量子阱结构的结构示意图;

[0021] 图2A示意性示出了现有光电器件中多量子阱结构的透射电子显微镜图;

[0022] 图2B示意性示出了本公开实施例提供的多量子阱结构的透射电子显微镜图;

[0023] 图3示意性示出了本公开实施例提供的发光二极管外延片的结构示意图。

[0024] 附图标记说明:

[0025] 1-衬底;2-N型导电层;3-多量子阱层;4-P型电子阻挡层;5-P型导电层。

## 具体实施方式

[0026] 为使本公开的目的、技术方案和优点更加清楚明白,以下结合具体实施例,并参照附图,对本公开进一步详细说明。

[0027] 图1示意性示出了本公开实施例提供的多量子阱结构的结构示意图。参阅图1,结合图2A和2B,对本公开多量子阱结构进行详细说明。

[0028] 多量子阱结构由交替生长的量子阱层和量子垒层组成,每一量子阱层和量子垒层为不平整结构。该不平整结构例如为厚度相同的波浪形结构,或者例如为厚度不相同的其它结构,或者例如为不对称的三角波浪线结构。

[0029] 优选地,该不平整结构的量子阱层和量子垒层与垂直于其生长方向的水平面之间的夹角为 $1^{\circ}\sim 10^{\circ}$ ,并且在该夹角范围内,不平整结构的波折越大,即上述夹角越大,基于该多量子阱结构形成的光电器件的光复合效率、内量子效率、发光效率越高。

[0030] 多量子阱结构中量子阱层和量子垒层的材料例如包括铝(Al)、镓(Ga)和氮(N),还可以包括其它元素如硼(B)或铟(In)等,量子阱层为 $B_xAl_yGa_{1-x-y}N$ 量子阱或 $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ 量子阱中的一种, $0\leq x<1,0\leq y\leq 1$ ,量子垒层为 $B_mAl_nGa_{1-m-n}N$ 量子垒或 $In_mAl_nGa_{1-m-n}N$ 量子垒中的一种, $0\leq m<1,0\leq n\leq 1$ 。多量子阱结构可以为 $B_xAl_yGa_{1-x-y}N$ 量子阱和 $B_mAl_nGa_{1-m-n}N$ 量子垒形成的交替结构,或者也可以为 $B_xAl_yGa_{1-x-y}N$ 量子阱和 $In_mAl_nGa_{1-m-n}N$ 量子垒形成的交替结构,或者为 $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ 量子阱和 $B_mAl_nGa_{1-m-n}N$ 量子垒形成的交替结构,或者为 $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ 量子阱和 $In_mAl_nGa_{1-m-n}N$ 量子垒形成的交替结构。

[0031] 由 $x,y,m,n$ 的取值范围可知,量子阱层和量子垒层可以为二元合金,如Ga<sub>N</sub>或Al<sub>N</sub>;

也可以为三元合金,如AlGaN、BGaN、InGaN、BaIn、InAlN;也可以为四元合金,如BaAlGaN、InAlGaN。本公开实施例中,量子阱层和量子垒层可以是上述二元合金、三元合金、四元合金的任意组合,例如量子阱层为二元合金GaN,量子垒层为四元合金InAlGaN等。上述二元合金、三元合金、四元合金中正离子的比例之和为100%。

[0032]  $B_xAl_yGa_{1-x-y}$ N量子阱和 $B_mAl_nGa_{1-m-n}$ N量子垒中,B组分、Al组分和Ga组分分布不均匀,或者 $In_xAl_yGa_{1-x-y}$ N量子阱和 $In_mAl_nGa_{1-m-n}$ N量子垒中,In组分、Al组分和Ga组分分布不均匀,使得量子势垒不平整。

[0033] 以多量子阱结构为AlGaN量子阱层和AlGaN量子垒层形成的交替结构为例,参阅图2A,图2A示出了现有光电器件中多量子阱结构的透射电子显微镜图,可以明显观察到平整的多量子阱结构中,Al、Ga元素分布均匀,其同一量子阱层和量子垒层的厚度在水平方向上保持一致。

[0034] 参阅图2B,图2B示出了本公开实施例光电器件中多量子阱结构的透射电子显微镜图,可以明显观察到不平整的多量子阱结构中,该多量子阱结构具有波纹,结构不均匀,其同一量子阱层和量子垒层的厚度在水平方向上不一致。这种组分不均匀、结构不平整的多量子阱结构可以更好地实现载流子的局域化效应和束缚效应,从而提高量子阱中载流子的光复合效率,提升了光电器件(如紫外发光二极管、光电探测器、光电激光器等)的内量子效率和发光效率,并可以实现大功率光电器件制备。

[0035] 本公开实施例还示出了一种光电器件外延片,包括图1所示实施例中的多量子阱结构。

[0036] 本公开实施例中,该光电器件外延片还包括有衬底,衬底为蓝宝石衬底、硅衬底、金属衬底、碳化硅、氮化镓、氮化铝等,这里不对衬底的材料做任何限制。衬底的一表面为具有一斜切角度的倾斜表面,或者为刻蚀有预设图形的表面,或者为具有 $1^\circ\sim 15^\circ$ 斜切角的表面(该表面可以不为平整表面),该表面上依次生长有光电器件外延片的其它结构,并且,在该倾斜衬底表面或刻蚀有预设图形的衬底表面或具有斜切角的表面上依次生长获得的多量子阱结构是不平整结构,本公开实施例中不对预设图形进行限制。

[0037] 可以理解的是,除了不平整的多量子阱结构之外,光电器件外延片的其它结构为现有结构,本公开实施例中不再赘述。

[0038] 仅以光电器件外延片为图3所示发光二极管外延片为例,自下往上依次包括衬底1、N型导电层2、多量子阱层层3、P型电子阻挡层4和P型导电层5,多量子阱3为本公开实施例提供的多量子阱结构。其中,N型导电层2外延生长在衬底1上,多量子阱层3外延生长在N型导电层2上,P型电子阻挡层4生长在多量子阱层3上,P型导电层5生长在P型电子阻挡层4上。并且,现有发光二极管外延片的N型导电层、P型电子阻挡层以及P型导电层的结构均适用于本公开实施例中N型导电层2、P型电子阻挡层4以及P型导电层5的结构。

[0039] 本公开实施例还示出了一种光电器件,包括上述实施例中的光电器件外延片。

[0040] 本公开实施例中,光电器件例如为发光二极管、发光激光器、发光探测器中的一种。可以将上述实施例中的光电器件外延片应用在光电器件中,例如在发光二极管外延片上制备电极,以封装形成发光二极管芯片等。由于光电器件中不平整结构的多量子阱层,具有较高的光复合效率、内量子效率、外量子效率,从而使得形成的光电器件为大功率光电器件,且具有较高的发光效率。

[0041] 本公开一实施例示出了一种光电器件外延片的制备方法,以制备包含有本公开实施例中的多量子阱结构的外延片,仍以制备发光二极管外延片为例,主要包括以下操作:

[0042] S1,在衬底1上制备N型导电层2。

[0043] S2,在N型导电层2上制备多量子阱层3,多量子阱层3为图1所示实施例中的多量子阱结构。

[0044] S3,在多量子阱层3上制备P型电子阻挡层4。

[0045] S4,在P型电子阻挡层4上制备P型导电层5。

[0046] 本公开实施例中,将清洗后的衬底1的一表面上刻蚀预设图形,或者将该表面刻蚀为具有一定斜切角度的倾斜表面,或者将表面抛光成具有 $1^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 斜切角的表面。然后可以利用分子束外延或金属有机化学沉积生长法在衬底1上依次制备N型导电层2、多量子阱层3、P型电子阻挡层4和P型导电层5,分子束外延或金属有机化学沉积生长法具有生长易于控制、可大规模生长等优点。本公开实施例中的分子束外延或金属有机化学沉积生长法与常规分子束外延或金属有机化学沉积生长法相同,此处不再赘述。

[0047] 至此,已对本公开多量子阱结构、光电器件外延片、光电器件进行了详细说明,通过将多量子阱结构设置为组分不均匀、结构不平整的结构,并将不平整的多量子阱结构应用于光电器件外延片及光电器件中,提高了外延片中载流子的光复合效率、内量子效率等,从而实现大功率光电器件的制备。

[0048] 以上所述的具体实施例,对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,所应理解的是,以上所述仅为本发明的具体实施例而已,并不用于限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

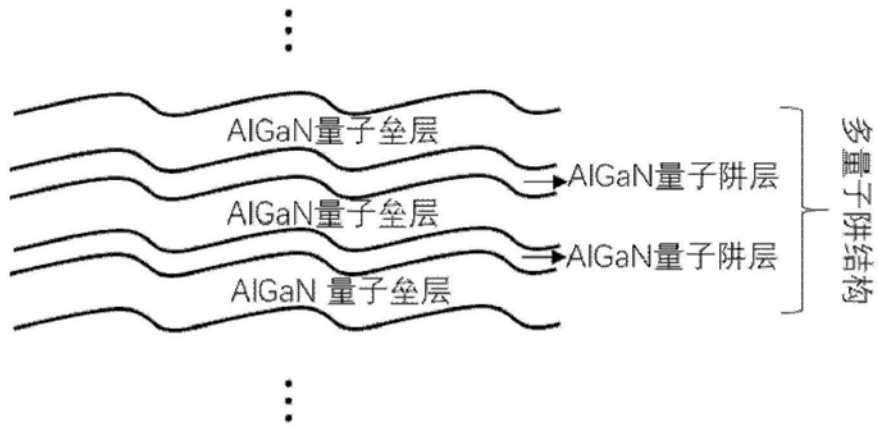


图1

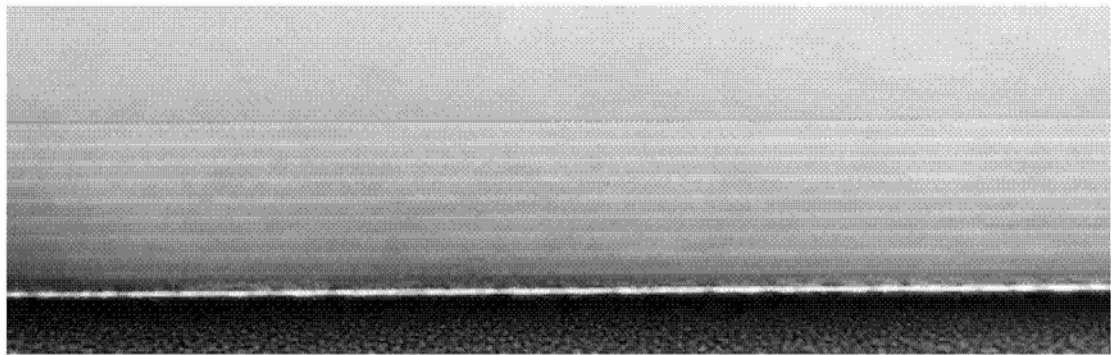


图2A

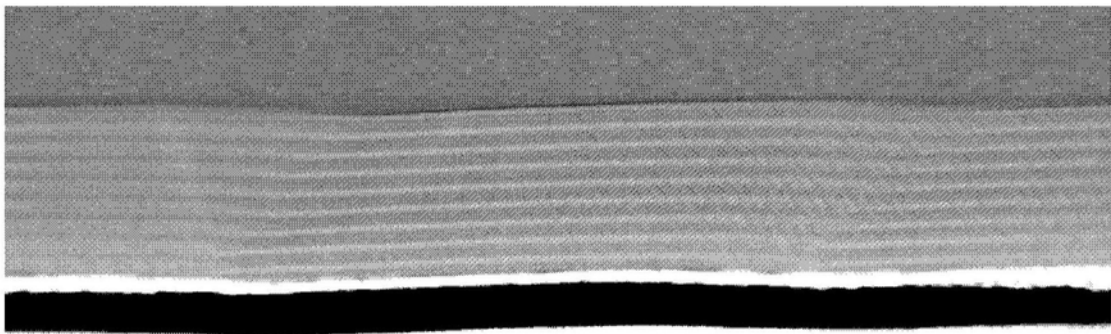


图2B

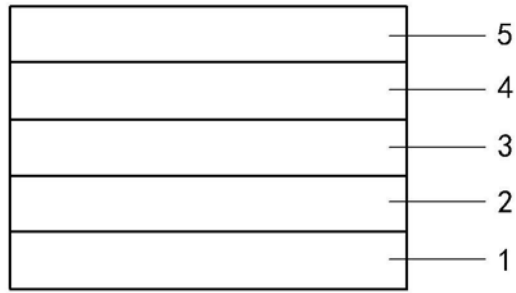


图3