(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 101809763 B
(45)授权公告日 2012.05.23

(21)申请号 200880108858.2
(22)申请日 2008.08.28
(30)优先权数据
251167/2007 2007.09.27 JP
(85)PCT申请进入国家阶段日
2010.03.26
(86)PCT申请的申请数据
PCT/JP2008/065914 2008.08.28
(87)PCT申请的公布数据
WO2009/041237 JA 2009.04.02
(73)专利权人 昭和电工株式会社
地址 日本东京都
(72)发明人 菊池友 宇田川隆
(74)专利代理机构 北京市中咨律师事务所 11247
代理人 段承恩 陈海红
(51)Int.Cl.
H01L 33/00(2006.01)

(56)对比文件
JP 2006074010 A,2006.03.16,
JP 10022525 A,1998.01.23,
JP 2001156328 A,2001.06.08,
JP 2007184346 A,2007.07.19,
US 2004056258 A1,2004.03.25,
JP 2001028458 A,2001.01.30,

审查员 周江

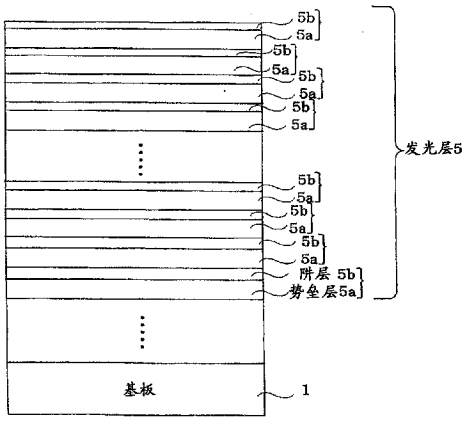
权利要求书 1 页 说明书 11 页 附图 5 页

(54)发明名称

III族氮化物半导体发光元件

(57)摘要

一种III族氮化物半导体发光元件，具有基板(1)和在该基板的表面上设置的具有由含有镓的III族氮化物半导体材料形成的势垒层(5a)和阱层(5b)的多量子阱结构的发光层(5)，其中，形成所述多量子阱结构的各阱层由添加有受主杂质且层厚相互不同的呈与势垒层相同的传导类型的III族氮化物半导体层构成，不需要进行荧光体的微妙的组成调整等，能够以简单的结构简易地形成光度高且现色性也高的III族氮化物半导体白色系发光元件。



CN 101809763 B

1. 一种 III 族氮化物半导体发光元件，是具有基板 (1) 和在该基板的表面上设置的具有由含有镓的 III 族氮化物半导体材料形成的势垒层 (5a) 和阱层 (5b) 的多量子阱结构的发光层 (5) 的 III 族氮化物半导体发光元件 (10)，其特征在于，形成所述多量子阱结构的各阱层由呈与势垒层相同的传导类型的 III 族氮化物半导体层构成，且添加有受主杂质，层厚相互不同，所述各阱层单独发射波长不同的多个光。

2. 根据权利要求 1 所述的 III 族氮化物半导体发光元件，其中，形成所述多量子阱结构的各阱层，从基板的表面侧朝向取出来自发光层的发光的方向，层厚依次变薄。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的 III 族氮化物半导体发光元件，其中，形成所述多量子阱结构的各阱层，其受主杂质的原子浓度相互不同。

4. 根据权利要求 1 ～ 3 的任一项所述的 III 族氮化物半导体发光元件，其中，所述基板由硅单晶构成，形成所述多量子阱结构的各阱层有意地添加有镁来作为受主杂质。

III 族氮化物半导体发光元件

技术领域

[0001] 本发明涉及具有基板和在该基板的表面上设置的具有由含有镓的 III 族氮化物半导体材料形成的势垒层和阱层的多量子阱结构的发光层的 III 族氮化物半导体发光元件。

背景技术

[0002] 一直以来，氮化镓铟 (GaInN) 等的 III 族氮化物半导体材料为了构成白色或蓝色等的短波长的发光二极管（英文简称 :LED) 和 / 或激光二极管（英文简称 :LD) 的发光层而被应用（例如参照日本特公昭 55-3834 号公报）。另外，氮化铝镓 (AlGaN) 被用作为用于构成近紫外 LED 或紫外 LED 的发光层的材料（例如参照日本特开 2001-60719 号公报）。

[0003] 以往的一种白色 LED，是将分别射出光的 3 原色（红 (R)、绿 (G) 和蓝 (B)) 的各色光的芯片 (chip) 状或灯状的红色 LED、绿色 LED 和蓝色 LED 以与它们的发光强度的相对的比率相应的个数集积、排列于同一基体上，作为总体通过混色而发出白色光的 LED（例如参照日本特开平 06-314824 号公报、日本特开平 07-7223 号公报、日本特开平 07-15044 号公报、日本特开平 07-235624 号公报、日本特开平 07-288341 号公报、日本特开平 07-283438 号公报、日本特开平 07-335942 号公报）。可以说是排列型（组件 ;module) 白色 LED。

[0004] 另外，以往的另一种白色 LED，是利用在一个基板上分别地形成的分别射出红色光或绿色光或蓝色光的例如由 III 族氮化物半导体形成的发光层来构成的（例如参照日本特开平 06-53549 号公报和日本特开平 07-183576 号公报）。是通过使从各个发光层射出的与光的 3 原色（红 (R)、绿 (G) 和蓝 (B)) 相应的发光混色而呈白色的所谓的 RGB 型白色 LED。

[0005] 另外，以往的又一种白色 LED，是将射出存在补色的关系的颜色的光的发光层在单一的基板上分别设置而构成的白色 LED。例如，是在同一基板上分别形成射出蓝色光的 III 族氮化物半导体发光层和射出黄色光的发光层，将由该各个发光层射出的不同的两波长的两色（例如蓝色和黄色）的光混色而成的白色 LED（例如参照日本特开 2001-257379 号公报）。是应用了如果将具有补色关系的两色（两波长）的光混色则可视认为白色的现象的所谓的补色型白色 LED。

[0006] 另外，与上述的 3 种类型的 LED 不同，是利用从 III 族氮化物半导体发光层射出的光，激励发出与从该发光层射出的光不同的波长的荧光的荧光体，使发光波长变换的 LED（例如参照日本特开平 07-99345 号公报）。例如，是作为利用从 III 族氮化物半导体发光层射出的蓝色光或紫外光激励荧光体从而发出白色光的 LED 的所谓的荧光型白色 LED（例如参照日本专利第 2900928 号公报、日本专利第 3724490 号公报、日本专利第 3724498 号公报）。作为由蓝色光或紫外光激励而呈白色的荧光体，使用了钇铝石榴石 ($Y_3Al_5O_{12}$) 等（例如参照日本专利第 2927279 号公报、日本专利第 3503139 号公报、日本专利第 3700502 号公报）。

[0007] 可是，在上述的排列型白色 LED 中，例如，与集积、排列红色或绿色或蓝色 LED 的芯片或灯所需要的安装平面积比较，这些射出各色的发光层的平面积格外地小（参照上述的

日本特开平 06-314824 号公报、日本特开平 07-15044 号公报或日本特开平 07-335942 号公报）。

[0008] 即，相对于为装设灯而需要的平面积，带来发光的发光层占有的平面积极小，因此不利于得到高的光度（流明 / 面积）的发光元件。

[0009] 例如在形成为将一边为 0.3mm 的大致正方形的 LED 芯片用树脂围绕，将垂直截面设为炮弹型、将水平截面设为圆形的一般形状的灯的情况下，该灯的外径（直径）一般为 3mm ～ 5mm（参照上述的日本特开平 06-314824 号公报的段落 (0007)）。因此如果以外径设为 5mm 的灯的情况为例，则与该灯的平面积（约 20mm^2）比较，即使发光层存在于芯片的整个平面，其平面积也格外小，为 0.09mm^2。因此在得到更高光度的发光元件方面决没有成为优势。

[0010] 另外，在上述的 RGB 型白色 LED 中，需要分开地设置可各自射出红色 (R) 或绿色 (B) 或蓝色 (B) 的发光层。除了需要设置多个发光层以外，为了在发光层中封入载流子 (carrier ；电子和空穴），并且封入由它们的放射再结合所带来的发光，还需要附带于发光层对上述的各发光层设置覆盖 (clad) 层等。因此需要在单一的基板上设置多个发光层以及更优选与各个发光层异质（异种）接合地设置覆盖层等，上述等等的用于形成 RGB 型白色 LED 的工序烦杂且冗长。在该情况下，需要相应于每个射出不同色的光的发光层设置 p 型和 n 型用的电极，为了在对应的电传导型的覆盖层等上设置电极，发光层将被切削，各发光的光度也会恶化。

[0011] 另外，在上述的补色型白色 LED 中，为了射出具有补色关系的颜色的光，仍需要两个或其以上的多个的发光层。而且，为了得到高强度的发光，与上述的 RGB 型白色 LED 的情况同样，对于各发光层，需要接合覆盖层，形成单 (single) 异质（英文简称 ：SH) 或双 (double) 异质（英文简称 ：DH) 结结构的发光部。因此，为了形成补色型白色 LED，与 RGB 型白色 LED 的情况同样需要烦杂且冗长的工序。

[0012] 另外，在使分别发出具有补色的关系的颜色例如蓝色和黄色的光的 LED 接近而配置，构成白色 LED 的情况下（「宽禁带半导体光电子器件」（参照 2006 年 3 月 31 日，森北出版（株）发行，第 1 版第 1 次印刷），173 ～ 174 页），与配置 LED 所需要的平面积比较，射出蓝色或黄色的光的发光层的合计的平面积也小，因此在得到高光度的发光元件方面未必能够成为优势。

[0013] 而且，在补色型白色 LED 中，存在下述问题 ：依赖于为得到白色光而混色的具有补色的关系的两色的光的波长，所归结的白色光的色调微妙地变化。即，在补色型白色 LED 中，进行混色的通常至多是两波长的光，因此无论怎样，对于稳定地得到带来高且一定的现色性的白色 LED 而言是伴有技术上的困难的。

[0014] 另外，在上述的荧光型白色 LED 中，在激励荧光体稳定地得到色调一定的白色光方面，伴有必须使成为激励光的来自发光层的发光的波长再现良好地一定的技术上的困难。另外，需要根据来自发光层的发光的波长的偏差，人为地细细地调整作为荧光体使用的添加了稀土类 (rare-earth) 元素的 $Y_3Al_5O_{12}$ 等的组成。

[0015] 本发明是鉴于上述情况而提出的，其目的是提供能够以简单的结构简易地形成、能够提高光度、并且现色性也高且能够稳定为一定、而且不需要进行荧光体的微妙的组成调整的 III 族氮化物半导体发光元件。

发明内容

[0016] 为了达到上述目的，

[0017] (1) 第 1 发明是一种 III 族氮化物半导体发光元件，其具有基板和在该基板的表面上设置的具有由含有镓的 III 族氮化物半导体材料形成的势垒层和阱层的多量子阱结构的发光层，该 III 族氮化物半导体发光元件的特征在于，形成上述多量子阱结构的各阱层由呈与势垒层相同的传导类型 (conductivity type) 的 III 族氮化物半导体层构成，且添加有受主杂质，层厚相互不同。

[0018] (2) 第 2 发明，在上述的 (1) 项所述的发明的构成的基础上，形成上述多量子阱结构的各阱层，从基板的表面侧朝向取出来自发光层的发光的方向，层厚依次变薄。

[0019] (3) 第 3 发明，在上述的 (1) 项或 (2) 项所述的发明的构成的基础上，形成上述多量子阱结构的各阱层，其受主杂质的原子浓度相互不同。

[0020] (4) 第 4 发明，在上述的 (1) 项～ (3) 项的任一项所述的发明的构成的基础上，上述基板由硅单晶构成，形成上述多量子阱结构的各阱层有意地添加有镁来作为受主杂质。

[0021] 根据本发明的第 1 发明，由于发光层为势垒层和阱层的多量子阱结构，因此能够以简单的结构简易地形成白色系发光元件，由于装设面积也与发光层的平面积大致相同，因此光度可提高。另外，由于使用尽管在数量上单一但带来多波长的发光的多量子阱结构的发光层，因此只对该唯一的发光层设置 p 型和 n 型用的电极即可，与以往的 RGB 型白色 LED 的情况比较，能够大幅度降低必须切削发光层的区域，能够改善发光效率。

[0022] 特别地，由层厚不同的多个阱层构成了阱层，因此能够重叠呈多色发光的各阱层带来的多个的发光波长，能够使白色发光的现色性高且稳定为一定，另外，由于即使不应用荧光材料也能够得到白色光，因此也不需要荧光体的微妙的组成调整。

[0023] 另外，由于在各阱层中有意地添加了受主杂质，因此能够构成即使单独也带来波长不同的多色的发光的阱层，能够带来尽管在数量上单一但呈多色发光的多量子阱结构的发光层，因此能够使白色发光的现色性高且稳定为一定，另外由于即使不应用荧光材料也能够得到白色光，因此也不需要荧光体的微妙的组成调整。

[0024] 而且，由于由呈与势垒层相同的传导类型的层构成了阱层，因此能够避免在阱层和势垒层之间形成 pn 结，因此能够构成导通性优异的多量子阱结构的发光层。

[0025] 根据本发明的第 2 发明，配置从基板的表面侧朝向取出来自发光层的发光的方向层厚更薄的 III 族氮化物半导体层构成的阱层，构成了多量子阱结构的发光层，因此能够高效率地沿视野方向取出从形成多量子阱结构的各阱层射出的发光。

[0026] 短波长的发光会被进行长波长的发光的阱层吸收，但在本发明的第 2 发明的构成下，在基板的表面侧配置阱层宽度较宽地形成的带来量子能级低且含有长波长的发光成分的多波长的发光的阱层，在发光的取出方向配置阱层宽度较窄地形成的带来量子能级高且含有更短波长的发光成分的多波长的发光的阱层，构成了多量子阱结构的发光层。即，形成为不使短波长的发光通过进行更长波长的发光的阱层的构成。因此，在本发明的第 2 发明的构成下，从在基板表面侧配置的阱层射出的发光，不会被沿发光的取出方向配置的阱层吸收，能够沿外部视野方向取出发光，能够高效率地沿视野方向取出从各阱层射出的发光。另外，能够使现色性优异，并且能够实现高辉度的白色 LED。

[0027] 根据本发明的第 3 发明，使用多层的所添加的受主杂质的原子浓度相互不同的呈波长不同的多种发光的阱层，构成了多量子阱结构的发光层，因此可得到尽管在数量上单一但呈多波长的发光的发光层，例如，与使具有补色关系的两种不同的波长的光混色而形成为白色光的所谓的上述的补色型白色 LED 比较，能够提供现色性更优异的白色 LED。

附图说明

[0028] 第 1 图是概略地表示本发明的 III 族氮化物半导体发光元件的截面结构的模式图。

[0029] 第 2 图是来自本发明涉及的多量子阱结构发光层的多波长发光光谱例。

[0030] 第 3 图是第 1 实施例涉及的 LED 的截面模式图。

[0031] 第 4 图是来自第 1 实施例中记载的叠层结构体的多波长发光的光谱。

[0032] 第 5 图是第 2 实施例中记载的多量子阱结构发光层的截面模式图。

[0033] 第 6 图是来自第 2 实施例中记载的叠层结构体的多波长发光的光谱。

[0034] 第 7 图是第 3 实施例中记载的多量子阱结构发光层的截面模式图。

[0035] 第 8 图是来自第 3 实施例中记载的叠层结构体的多波长发光的光谱。

[0036] 第 9 图是第 3 实施例涉及的 LED 的平面模式图。

具体实施方式

[0037] 基于附图来详细说明本发明的实施方式。

[0038] 第 1 图是概略地表示本发明的 III 族氮化物半导体发光元件的截面结构的模式图。本发明的 III 族氮化物半导体发光元件，如第 1 图所示，是具有基板 1 和在该基板 1 的表面上设置的由具有由含有镓的 III 族氮化物半导体材料形成的势垒层 5a 和阱层 5b 的多量子阱结构构成的发光层 5 的白色发光元件，形成多量子阱结构的各阱层 5b 由呈与势垒层 5a 相同的传导类型的 III 族氮化物半导体层构成，且添加有受主杂质，并使层厚相互不同而构成。

[0039] 作为基板 1，可例举由以极性或无极性的晶面为表面的蓝宝石（α -Al_2O_3 单晶）和氧化锌 (ZnO) 等的绝缘性或导电性氧化物晶体、6H 或 4H 或 3C 型碳化硅 (SiC) 等的碳化物晶体、硅 (Si) 的半导体晶体形成的基板。特别是呈 n 型或 p 型的传导性且表面为 {111} 晶面的硅单晶，可很好地用作为用于在其表面上形成本发明所涉及的多量子阱结构的基板。

[0040] 在基板 1 的表面上形成的构成多量子阱结构的阱层 5b，在本发明中，由单独可同时射出波长不同的多个波长的发光的材料构成。如果考虑来自 LED 的发光的现色性，则优选从阱层 5b 射出的多种（多波长）的发光分散于宽的波长范围。为了得到宽的波长范围的多波长的发光，在多量子阱结构中，优选由禁带宽度能量大的半导体材料形成阱层 5b，作为这样的带隙能量大的半导体材料，可举出含有镓 (Ga) 的 III 族氮化物半导体材料。例如，可优选由氮化镓 (GaN) 或作为其与氮化铟 (InN) 的混晶的 $Ga_XIn_{1-X}N$($0 < x < 1$) 等的宽带隙半导体材料构成。

[0041] 与阱层 5b 一同构成多量子阱结构的势垒层 5a，由禁带宽度能量比阱层 5b 的禁带宽度能量大的例如 III 族氮化物半导体材料构成。例如，对于由 $Ga_{0.85}In_{0.15}N$ 混晶形成的阱层 5b，由 GaN 形成势垒层 5a。形成多量子阱结构的势垒层 5a 和阱层 5b 由呈相同的传导类

型的层构成。例如，由 n 型的阱层 5b 和同样为 n 型的势垒层 5a 形成作为整体为 n 型的多量子阱结构。由此，能够避免在阱层 5b 和势垒层 5a 之间形成 pn 结，因此能够构成导通性优异的多量子阱结构的发光层 5。

[0042] 由于使阱层 5b 和势垒层 5a 为相同的传导型的层，因此并不必须在阱层 5b 中添加杂质。例如，在没有有意添加杂质的所谓无掺杂 (undope) 的状态下，或如果由于从用于形成阱层 5b 的生长环境无意图而由过失引起的杂质污染，载流子浓度在 $5\times10^{17}cm^{-3}$ ～ $5\times10^{19}cm^{-3}$ 的范围，则能够作为本发明涉及的阱层 5b 应用。

[0043] 在本发明中，特别地由添加了受主杂质的含有 Ga 的 III 族氮化物半导体层构成形成多量子阱结构的阱层 5b。例如，由保持与势垒层 5a 相同的 n 型的传导类型且添加有受主杂质的 n 型的 $Ga_{0.75}In_{0.25}N$ 混晶构成阱层 5b。具有与势垒层 5a 相同的传导类型、并且含有受主杂质的阱层 5b，尽管是单独的，但通过混色，带来对得到白色光便利的波长不同的多波长的发光。

[0044] 曾公开了添加锌 (Zn) 来作为受主杂质，形成由 GaInN 构成的发光层 5 的技术（参照日本特公昭 55-3834 号）。可是，只添加 Zn 来作为受主杂质的阱层 5b 电阻大，不至于稳定地形成充分具有导电性的阱层 5b。另一方面，在形成本发明涉及的阱层 5b 时，关于 III 族氮化物半导体，在可成为受主的第 II 族杂质之中，可优选使用镁 (Mg)。

[0045] 本发明涉及的多量子阱结构的发光层 5，例如，可采用有机金属气相沉积（简称为 MOCVD 或 MOVPE 等）法、分子束外延 (MBE) 法、氢化物 (hydride) 法、卤化物 (halyde) 法等的气相生长法来形成。特别是 MBE 法，与上述的其他的气相生长法比较，可在更低温下形成势垒层 5a 和阱层 5b。因此，例如，对于抑制为形成本发明涉及的阱层 5b 而使用的 Mg 向势垒层 5a 的热扩散，成为具有优势的生长手段。

[0046] 含有 Mg 来作为受主杂质的阱层 5b，优选其层厚为 1nm ～ 20nm。小于 1nm 的极端薄的阱层 5b，缺少层（膜）的二维连续性，因此作为结果，与向发光元件流通工作电流、特别是向水平（横）方向的电流扩散有关的电阻增大，或者发光区域减少，因此不适合。另一方面，即使作为阱层 5b 使用大于 20nm 的厚膜，也不至于充分形成能量水平不同的多个量子能级，因此存在不能较多地得到基于各种的量子能级间的迁移的波长相互不同的发光的不良情况。

[0047] 另外，MBE 法一般可在不含氢的真空环境下生长 III 族氮化物半导体层，因此例如，具有能够简易地形成大量地含有已电活化（受主化）的 Mg 的低电阻的 p 型 $Ga_XIn_{1-X}N(0 \leqslant X \leqslant 1)$ 层等的优点。例如，根据使用氮 (N_2) 等离子体来作为氮源的 MBE 法，层内的 Mg 原子的浓度为 $1.5\times10^{19}cm^{-3}$ 时，可形成使载流子浓度为 $8.0\times10^{18}cm^{-3}$ 的低电阻的 p 型 GaN 层。因此 Mg 的电活化率（为方便，用除去了 Mg 的原子浓度的值（百分率值）表示载流子浓度。），在原生长 (as-grown) 状态下为 53％。如本例那样，根据 MBE 法具有如由 MOCVD 法生长出的掺杂 Mg 的 GaN 层那样，由该层不需要脱氢处理可容易地形成使电活性率为 50％以上的 p 型 $Ga_XIn_{1-X}N(0 \leqslant X \leqslant 1)$ 层等的优点。

[0048] 在以由含有 Mg 等的受主杂质的一个阱层 5b 与呈与阱层 5b 相同的传导类型的一个势垒层 5a 的接合结构构成的一对 (one pair) 的结构单元构成多量子阱结构时，构成该多量子阱结构的结构单元的对数优选为 3 对～ 40 对。本发明涉及的阱层 5b 即使是一层，也能够放射多波长的发光，因此为了得到现色性更优异的发光，优选对数为 4 以上。例如，

将由 MBE 法生长出的由掺杂 Mg 的 n 型 $Ga_{0.85}In_{0.15}N$ 混晶构成的阱层 5b 和同样由 MBE 法生长出的 GaN 势垒层 5a 组合 30 对（将一个势垒层 5a 与一个阱层 5b 的接合体作为一对）而构成的多量子阱结构发光层 5 的光致发光（英文简称 :PL）光谱的一例示于第 2 图。形成该多量子阱结构的阱层 5b 的层厚为 4nm，势垒层 5a 的厚度为 10nm。在第 2 图中，横轴表示发光波长（单位 :Å），纵轴表示发光强度（单位 :任意单位）。

[0049] 如第 2 图中例示的光致发光光谱所示，由具有本发明涉及的含有受主杂质的阱层 5b 的多量子阱结构的发光层 5，在 400nm(4000 埃）～ 500nm(5000 埃）的波长范围可射出波长不同的 3 条的发光（在第 2 图中用标号 λ_2 ～ λ_4 表示。）。与对应于带 (band) 端发光的发光（在第 2 图中用标号 λ_B 表示）不同，在该带端的发光的波长（本例中为 365nm）～ 650nm 的波长范围，可射出波长不同的合计 6 个的发光（在第 2 图中用标号 λ_1 ～ λ_6 表示。）。

[0050] 另外，与带端发光（λ_B）不同的波长的多数的发光（λ_1 ～ λ_6），其特征是 :相邻的发光（例如 λ_1 和 λ_2、λ_3 和 λ_4 等）的波长差异，在短波长侧的发光之间例如 λ_1 和 λ_2 的发光之间为 17.5nm，但具有随着发光的波长变为长波长，发光之间的波长差异逐渐变大的倾向，在 λ_5 和 λ_6 的发光之间变为 55.5nm。该多波长的发光峰的出现的方式，例如，来自由 MOCVD 法形成的共掺杂了 Si 和 Mg 的发光层 5 的主要的发光光谱的「肩」部产生的通称的肩峰，在发光之间的波长的间隔上也使出现的方式明显不同。推测即使阱层的层厚为一定也成为多波长的发光是因为由于受主的添加，可形成带来放射再结合的各种的能级的缘故。

[0051] 在使用尽管为单独但能够同时发出多波长的发光的本发明涉及的阱层 5b 构成多量子阱结构的发光层 5 时，若配置从基板 1 的表面侧朝向将来自发光层 5 的发光向外部取出的方向层厚更薄的含有受主杂质的阱层 5b，则对得到向外部取出发光的取出效率优异的白色 LED 较适合。由层厚薄的阱层 5b 可带来较多地含有短波长的发光成分的多波长发光。另一方面，由层厚厚的阱层 5b 可带来较多地含有长波长的发光成分的多波长发光。短波长的发光被得出长波长的发光的阱层 5b 吸收。因此若配置从基板 1 的表面侧朝向将来自发光层 5 的发光向外部取出的方向层厚更薄的阱层 5b，则可抑制来自位于基板 1 的表面侧的阱层 5b 的发光被吸收，适合于朝向外部视野方向使其透过。

[0052] 在使用层厚全部不同的阱层 5b 制作了多量子阱结构的情况下，由于可相应于层厚由各阱层 5b 射出相互波长不同的发光，并将这些发光重叠并向外部取出，因此能够提供现色性优异的白色 LED。例如，即使配置适合于主要带来红色或绿色或蓝色的某个带域的光的层厚的呈多波长发光的阱层 5b 也能够构成现色性优异的白色 LED。可举出配置多个射出视感度低的带域的光的相同层厚的阱层 5b，配置向其上方的向外部取出发光的方向使层厚依次减薄的阱层 5b，构成形成发光层 5 的多量子阱结构的例子。

[0053] 带来红色或绿色或蓝色的某个带域的发光来作为主成分的各阱层 5b，例如，在由 $Ga_XIn_{1-X}N(0 < x < 1)$ 混晶构成的阱层 5b 中可使铟的组成 (1-X) 不同而形成。可是，在利用 MBE 法和 MOCVD 等的生长方法形成使 In 组成不同的阱层 5b 时，需要使生长温度和 / 或 Ga 和 In 的原料供给比率变化。因此，与在相同的生长温度和原料供给比率的条件下单纯地调整生长时间控制阱层 5b 的层厚的技术手段比较，不得已进行烦杂操作。

[0054] 另外，由受主杂质的原子浓度相互不同的各阱层 5b 射出的光的波长，对应于受主

杂质的原子浓度而不同。由此，即使在阱层 5b 的层厚为一定的情况下，通过使阱层 5b 的内部所含的受主杂质的原子浓度变化，也更有利于控制使多波长的光出现的波长范围。例如，在掺杂 Mg 的 n 型 $Ga_{0.75}In_{0.25}N$ 阱层 5b 的情况下，使用该阱层 5b 的内部的 Mg 原子的浓度不同且分别为 1×10^{19} 原子 /cm^3、8×10^{18} 原子 /cm^3 和 2×10^{18} 原子 /cm^3 的阱层 5b 形成了多重（3 重）的量子阱结构发光层 5 时，可在波长 400nm ～ 600nm 的范围出现多波长发光。

[0055] 如以上所述，在本发明中，发光层 5 为势垒层 5a 与阱层 5b 的多量子阱结构，因此能够以简单的结构简易地形成呈多波长的发光层，由于装设面积也与发光层 5 的平面积大致相同，因此光度也能够提高。另外，由于发光层 5 为单一，因此只对应于该发光层 5 设置 p 型和 n 型的电极即可，与 RGB 型白色 LED 和补色型白色 LED 的情况比较，能够大幅度降低削除发光层 5 的区域，能够改善发光效率。

[0056] 另外，由于由层厚不同的多个阱层 5b，5b，... 构成了阱层 5b，因此能够使各阱层 5b 带来的多个的发光为波长相互不同的多色发光，可使白色发光的现色性较高地稳定为一定，即使不利用荧光材料也能得到白色光，因此也不需要荧光体的微妙的组成调整。

[0057] 另外，由于在各阱层 5b 中有意添加了受主杂质，因此能够构成尽管在数量上单一但是带来波长不同的多色的发光的发光层 5，根据该多色发光特性，能够使白色发光的现色性较高地稳定为一定，另外，由于即使不利用荧光材料也能得到白色光，因此也不需要荧光体的微妙的组成调整。

[0058] 而且，由于由呈与势垒层 5a 相同的传导类型的层构成了阱层 5b，因此能够避免在其与势垒层 5a 之间形成 pn 结，因此能够构成导通性优异的多量子阱结构的发光层 5。

[0059] 另外，由于配置从基板 1 的表面侧朝向取出来自发光层 5 的发光的方向层厚更薄的由 III 族氮化物半导体层构成的阱层 5b，5b，...，构成了多量子阱结构的发光层 5，因此能够高效率地沿视野方向取出由形成多量子阱结构的各阱层 5b，5b，... 射出的发光。

[0060] 即，为了避免短波长的光被发出长波长的光的阱层吸收，在基板 1 的表面侧配置阱层宽度较宽地形成的带来量子能级低且含有长波长的发光成分的多波长的发光的阱层 5b，沿发光的取出方向配置阱层宽度窄地形成的带来量子能级高且含有更短波长的发光成分的多波长的发光的阱层 5b，构成了多量子阱结构的发光层 5。在该构成下，短波长的发光不通过进行更长波长的发光的阱层 5b。因此，由配置于基板表面侧的阱层 5b 射出的发光不会被在发光的取出方向配置的阱层 5b 吸收，能够在外部视野方向取出发光，能够高效率地沿视野方向取出由各阱层 5b 射出的发光。另外，能够使现色性优异，并且能够实现高辉度的白色 LED。

[0061] 另外，根据本发明，使用所添加的受主杂质的原子浓度相互地不同的、即使单独也呈波长不同的多个的发光的阱层 5b，构成了多量子阱结构的发光层 5，因此可得到来自各阱层 5b 的发光重叠了的呈多波长的发光的发光层 5，例如，与使具有补色关系的两个不同波长的发光混色而形成为白色光的所谓补色型白色 LED 比较，能够提供现色性更优异的白色 LED。

[0062] 以下参照附图来说明本发明的 III 族氮化物半导体发光元件的实施例。

[0063] 第 1 实施例

[0064] 第 3 图是表示第 1 实施例的具有多量子阱结构的发光层的 III 族氮化物半导体发光元件的结构的截面模式图。另外，第 4 图是由该多量子阱结构的发光层放射的光致发光

光谱。在第 4 图中，横轴表示发光波长（单位：Å），纵轴表示发光强度（单位：任意单位）。

[0065] 在形成用于制作 III 族氮化物半导体发光元件 10 的结构体时，作为基板 101，使用了 {111} 硅单晶（硅）。

[0066] 基板 101 的表面使用无机酸洗涤后，输送到分子束外延 (MBE) 生长装置的生长室中，将该生长室的内部排气成为超高真空。然后，一边维持生长室的真空度，一边将基板 101 的温度升温到 780℃，继续加热至基板 101 的表面 101a 呈 (7×7) 结构的再构成。

[0067] 在被清洁化使得呈 (7×7) 结构的再构成的基板 101 的表面 101a 上，利用以等离子体化了的氮为氮源的 MBE 生长法（氮等离子体 MBE 法）形成了无掺杂的氮化铝 (AlN) 层 102（层厚＝ 60nm）。在 AlN 层 102 上利用氮等离子体 MBE 法沉积了无掺杂氮化铝镓混晶 ($Al_XGa_{1-X}N$) 层 103（层厚＝ 300nm）。形成混晶层 103 的 $Al_XGa_{1-X}N$ 层的铝 (Al) 组成比 (X)，从其与下层的 AlN 层 102 的接合面朝向混晶层 103 的表面，从 0.25 连续地变化为 0（零）。

[0068] 在 $Al_XGa_{1-X}N$ 层 103 上，利用氮等离子体 MBE 法沉积了掺杂硅 (Si) 的 n 型 GaN 层 104（层厚＝ 1200nm）。载流子浓度为 $8\times10^{18}cm^{-3}$。

[0069] 在 n 型 GaN 层 104 上利用氮等离子体 MBE 法，使基板 101 的温度为 540℃，沉积了作为多量子阱结构的势垒层的 n 型 GaN 层 105a（层厚＝ 10nm）。接着，利用氮等离子体 MBE 法在 540℃下与该 n 型 GaN 势垒层 105a 接合地设置了由含有镁 (Mg) 的 n 型氮化镓铟混晶 ($Ga_{0.99}In_{0.01}N$) 形成的阱层（层厚＝ 2nm）105b。由该 n 型势垒层 105a 和 n 型阱层 105b 构成一对结构单元，将该结构单元层叠 4 对 (4pairs)，形成了作为整体呈 n 型的传导的多量子阱结构的发光层 105。阱层中所含的 Mg 的原子浓度，根据一般的二次离子质量分析法为 4×10^{17} 原子 $/cm^3$。

[0070] 由在实质上不含氢的 10^{-6} 帕斯卡 (Pa) 左右的高真空环境下生长出的上述的势垒层 105a 和阱层 105b 构成的多量子阱结构的发光层 105 得到的在室温下的光致发光光谱示于第 4 图。为了明示即使在数量上为单一的发光层也射出了波长不同的多数的发光，表 1 归纳了发光峰波长和在该波长下的强度。

[0071] 表 1

[0072]

发光峰波长（单位：nm）	发光强度（单位：mV）
366.5	103.93
372.5	90.23
381.5	61.23
394.0	35.74
409.0	19.48
422.5	9.74

447.0	4.61
537.0	2.64

[0073] 即使在数量上为单一的发光层，在波长比带 (band) 端的发光波长（波长＝366.5nm) 长且比波长 550nm 短的波长范围射出了合计 7 个的发光。相邻的发光峰间的波长的差异为 6nm ～ 90nm。显示出发光的波长越长则相邻的发光峰间的间隔（波长差）越大的倾向。另外，推测即使阱层的层厚一定、受主的原子浓度一定也可带来多波长的发光是因为，由于在完全可以说不含氢的高真空环境下形成了阱层，因此能使阱层内大量存在在电学上具有活性的 Mg，通过该在电学上具有活性的 Mg，可较多地形成了可有助于较多的放射再结合的能级。

[0074] 在构成多量子阱结构的发光层 105 的最终端（最表层）的 $Ga_{0.80}In_{0.20}N$ 阱层 105b 上，利用氮等离子体 MBE 法设置掺杂 Mg 的 p 型 GaN 层 106（层厚＝ 100nm)，完成了结构体的形成。p 型 GaN 层 106 的内部的 Mg 的原子浓度为 $1\times10^{19}cm^{-3}$，该层 106 的载流子浓度为 $8\times10^{18}cm^{-3}$。即电活化率为 80％。

[0075] 利用一般的干蚀刻法除去待形成 n 型欧姆电极的区域，形成了 n 型欧姆电极 107。另外，在 p 型 GaN 层 106 的表面形成 p 型欧姆电极 108，制作了一边的长度设为 350μm 的正方形状的发光元件 (LED)10。

[0076] 发光元件 (LED)10 的正向电流设为 20mA 时的正向电压 (Vf) 是 3.5V。另外，在沿正向流通 50mA 的电流时，从芯片 (chip) 状态的 LED10 的发光层的整个面射出了目视为带绿色的白色的发光。由色度图上的坐标值表示流通 50mA 的正向电流时的发光的现色性，x 坐标值为 0.26、y 坐标值为 0.38，因此 z 坐标值为 0.36。

[0077] 第 2 实施例

[0078] 第 5 图是模式地表示第 2 实施例的 III 族氮化物半导体发光元件 (LED) 的多量子阱结构的发光层的构成的截面图。

[0079] 在上述的第 1 实施例所记载的 Si 基板上设置的 AlN 层、AlGaN 混晶层和 n 型 GaN 层（在第 5 图中，标号为「204」）所构成的叠层结构体上，利用氮等离子体 MBE 法如以下所记载的那样形成了第 5 图所示的多量子阱结构的发光层 205。

[0080] 在形成多量子阱结构的发光层 205 时，在 n 型 GaN 层 204 上首先利用氮等离子体 MBE 法设置了层厚为 16nm 的 n 型 GaN 势垒层 205a。接着，与该势垒层 205a 接合地设置了作为形成多量子阱结构的 n 型阱层 205b 的掺杂 Mg 的 $Ga_{0.80}In_{0.20}N$ 阱层。由该 n 型势垒层 205a 和 n 型阱层 205b 构成一对结构单元，将该结构单元层叠 10 对 (10pairs)，形成了作为整体呈 n 型的传导的多量子阱结构的发光层 305。

[0081] 构成层叠 10 对的结构单元而形成的多量子阱结构的 10 个阱层 205b 的层厚，从 n 型 GaN 层 204 侧朝向多量子阱结构的表面沿层叠方向减少。另外，在本实施例中，层叠方向和发光元件 (LED) 的发光的取出方向为同一方向。阱层 205b 的层厚，多量子阱结构的最下面的阱层为 12nm，从最下面数第 2 个阱层的层厚为 11nm、第 3 个阱层的层厚为 10nm，即，朝向多量子阱结构的最表层侧各减少 1nm，最表层的阱层的层厚为 3nm（参照第 5 图）。虽然各阱层 205b 的层厚变化了，但是在各阱层 205b 内以原子浓度大致恒定为 6×10^{17} 原子 $/cm^3$ 的方式掺杂了 Mg。

[0082] 在构成多量子阱结构的发光层 205 的最表层的掺杂 Mg 的 $Ga_{0.80}In_{0.20}N$ 阱层 205b(层厚＝ 3nm) 上,利用氮等离子体 MBE 法沉积层厚为 10nm 的掺杂 Mg 的 p 型 $Al_{0.03}Ga_{0.97}N$ 层,完成了发光元件 (LED) 用途的叠层结构体的形成。

[0083] 由包含上述的多量子阱结构的发光层 205 的叠层结构体得到的在室温下的光致发光光谱示于第 6 图。在第 6 图中,横轴表示发光波长 (单位 :Å),纵轴表示发光强度 (单位 :任意单位)。第 6 图所示的是作为来自上述的层厚不同的各阱层 205b 的多波长发光成分重叠后的结果的光谱。在波长从 400nm 到 800nm 的宽的波长范围,放射出合计 10 个的发光。相邻的发光之间的波长的差异为 17.5nm ～ 78.0nm,发光波长越长则该波长的间隔越大。另外,在将氦 - 镉 (He-Cd) 激光 (波长＝ 325nm) 作为激励光进行了照射时,所视认的来自叠层结构体的发光色为白色。

[0084] 与第 1 实施例中记载的同样,采用一般的干蚀刻法除去待形成 n 型欧姆电极的区域,形成了 n 型欧姆电极。另外,在上述的 p 型 $Al_{0.03}Ga_{0.97}N$ 层的表面形成 p 型欧姆电极,制作了发光元件 (LED)。

[0085] 发光元件 (LED) 的正向电流为 20mA 时的正向电压 (Vf) 为 3.4V。另外,在沿正向流通 20mA 的电流时,从芯片 (chip) 状态的 LED 射出了目视为白色的发光。

[0086] 第 3 实施例

[0087] 第 7 图是表示具有第 3 实施例的多量子阱结构的发光层的 III 族氮化物半导体发光元件的结构的截面模式图。第 8 图是关于具有第 3 实施例的多量子阱结构的发光层的 III 族氮化物半导体发光元件 (LED) 用途的叠层结构体的光致发光光谱。

[0088] 在上述的第 1 和第 2 实施例所记载的 Si 基板上设置的 AlN 层和 AlGaN 混晶层 (在第 7 图中,标号为「303」) 构成的叠层结构体上,利用氮等离子体 MBE 法如以下所记载的那样形成了多量子阱结构的发光层。

[0089] 在形成多量子阱结构的发光层时,在第 1 和第 2 实施例所记载的 AlGaN 混晶层 303 上首先利用氮等离子体 MBE 法设置了层厚为 10nm 的 n 型 GaN 势垒层 305a。接着,与该势垒层 305a 接合地设置了层厚为 3nm 的掺杂 Mg 的 n 型 $Ga_{0.75}In_{0.25}N$ 阱层 305b。由该 n 型势垒层 305a 和 n 型阱层 305b 构成一对结构单元,将该结构单元层叠 5 对 (5pairs),形成了作为整体呈 n 型的电传导的多量子阱结构的发光层 305。

[0090] 构成层叠 5 对的结构单元而形成的多量子阱结构的 5 个阱层 305b,305b,... 的内部的 Mg 的原子浓度,从 AlGaN 混晶层 303 侧朝向层叠方向 (与发光的取出方向相同的方向) 减少。阱层 305b 的内部的 Mg 的原子浓度,多量子阱结构的最下面的阱层为 1×10^{19} 原子 /cm^3,关于比其靠上方的阱层,使 Mg 的原子浓度依次减少为 8×10^{18} 原子 /cm^3、6×10^{18} 原子 /cm^3、4×10^{18} 原子 /cm^3 和 2×10^{18} 原子 /cm^3。由此形成了具有层厚一定且 Mg 的原子浓度不同的 5 个阱层 305b 的多量子阱结构的发光层 305。

[0091] 在形成多量子阱结构的发光层 305 的最表层的掺杂 Mg 的 GaN 阱层 (Mg 原子浓度＝ 2×10^{18} 原子 /cm^3) 上,利用氮等离子体 MBE 法沉积层厚为 10nm 的掺杂 Mg 的 p 型 GaN 层 306,完成了发光元件 (LED) 用途的叠层结构体的形成。

[0092] 由含有上述的多量子阱结构的发光层 305 的叠层结构体得到的在室温下的光致发光光谱示于第 8 图。在第 8 图中,横轴表示发光波长 (单位 :Å),纵轴表示发光强度 (单位 :任意单位)。第 8 图所示的是来自上述的层厚一定且 Mg 原子浓度不同的各阱层

305b 的多波长发光成分重叠而成的光谱。在波长 400nm ～ 600nm 的波长范围，确认出发光峰波长为 402.5nm、429.0nm、458.0nm、493.0nm、538.0nm 和 593.0nm 的合计 6 个的发光。在波长 400nm ～ 600nm 的波长范围出现的上述的发光中，相邻的发光之间的波长的差异为 26.5nm ～ 55.0nm，发光波长越长，则该波长的间隔越大。另外，在将氦 - 镉 (He-Cd) 激光 (波长＝ 325nm) 作为激励光进行了照射时所视认的来自叠层结构体的发光色为蓝白色。

[0093] 第 9 图是使用第 7 图的叠层结构体制作的发光元件 (LED) 的平面截面图。利用一般的干蚀刻法除去存在于上述的叠层结构体的待形成 n 型欧姆电极 307 的区域 307a 的 p 型 GaN 层 306 和多量子阱结构的发光层 305，使发光层 305 的下方的 n 型 AlGaN 混晶层 303 的表面露出。然后，在该区域 307a 露出的 n 型 AlGaN 混晶层 303 的表面上，如第 9 图所示形成了 n 型欧姆电极 307。在上述的 p 型 GaN 层 306 的表面，形成了利用一般的光刻技术图形化了的平面格子状的 p 型欧姆电极 308。以格子状配置的宽度 4μm 的 p 型欧姆电极 308，由与 p 型 GaN 层 306 形成欧姆接触的铂 (Pt) 系金属构成。另外，在 p 型 GaN 层 306 的表面上的一端，与该格子状 p 型欧姆电极 308 电导通地设置连线 (接合) 用的台座 (焊盘) 电极 309，制作了发光元件 (LED)30。

[0094] 发光元件 (LED) 的正向电流为 20mA 时的正向电压 (Vf) 为 3.4V。另外，沿正向流通 20mA 的电流时，由一边的长度为 350μm 的正方形状的 LED 芯片 (chip) 射出了目视为白色的发光。

[0095] 产业上的利用可能性

[0096] 本发明的 III 族氮化物半导体发光元件，由于发光层为势垒层和阱层的多重阱结构，因此能够以简单的结构简易地形成白色系发光元件，由于装设面积也与发光层的平面积大致相同，因此能够提高光度，因此能够提供提高了产业上的可利用性的 III 族氮化物半导体发光元件。

[0097] 本发明中表示数值范围的“以上”和“以下”均包括本数。

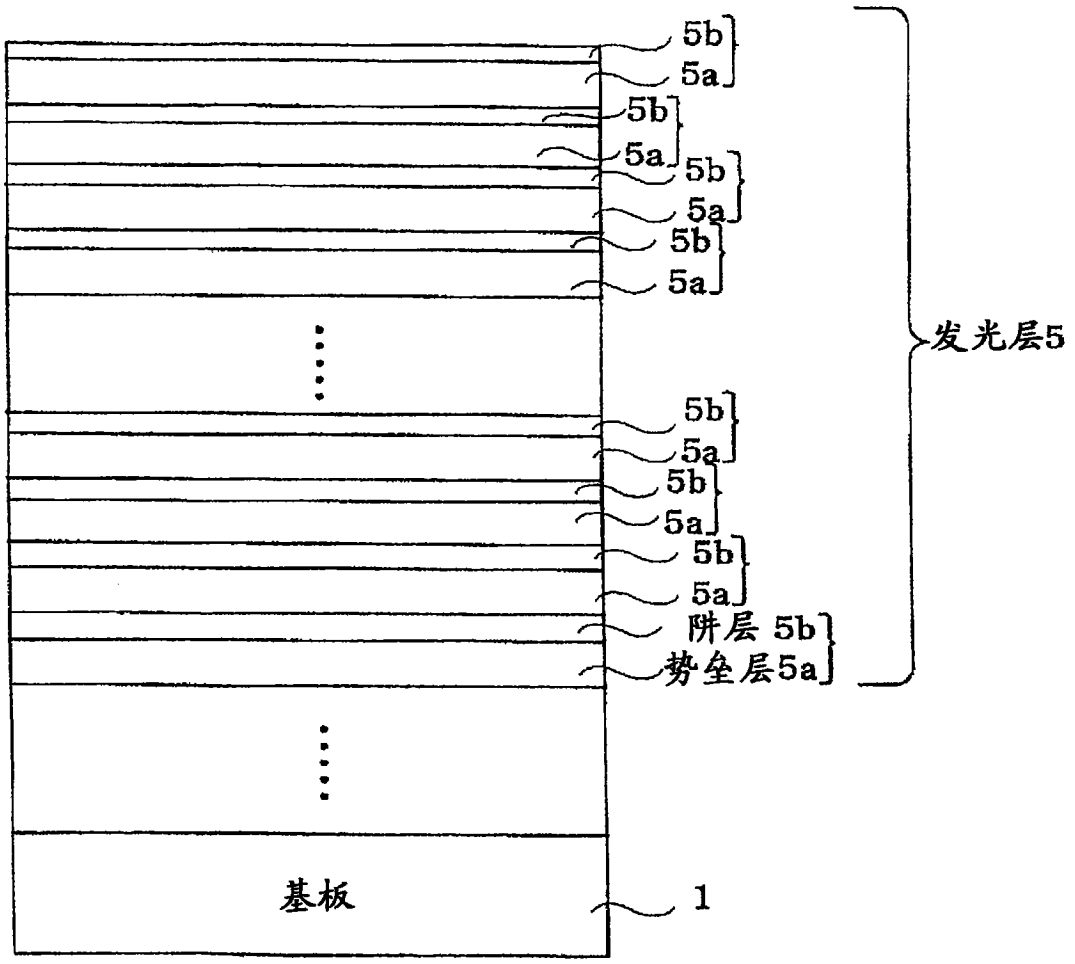

5b
5a
5b
5a
5b
5a
5b
5a
发光层5
5b
5a
5b
5a
5b
5a
阱层 5b
势垒层5a
基板
1

图 1

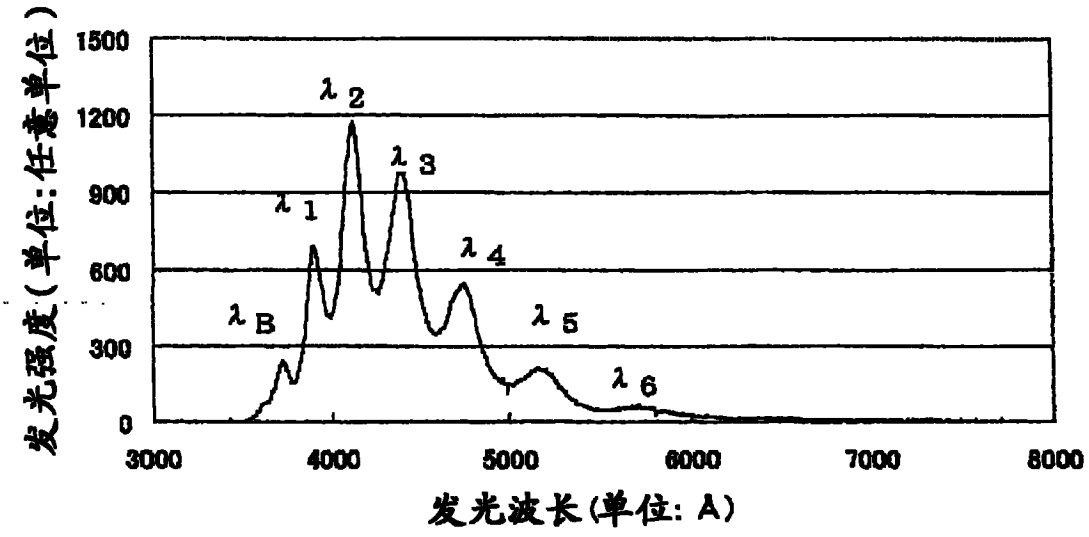

发光强度(单位:任意单位)
1500
1200
900
600
300
0
λ 2
λ 3
λ 1
λ 4
λ B
λ 5
λ 6
3000
4000
5000
6000
7000
8000
发光波长(单位: A)

图 2

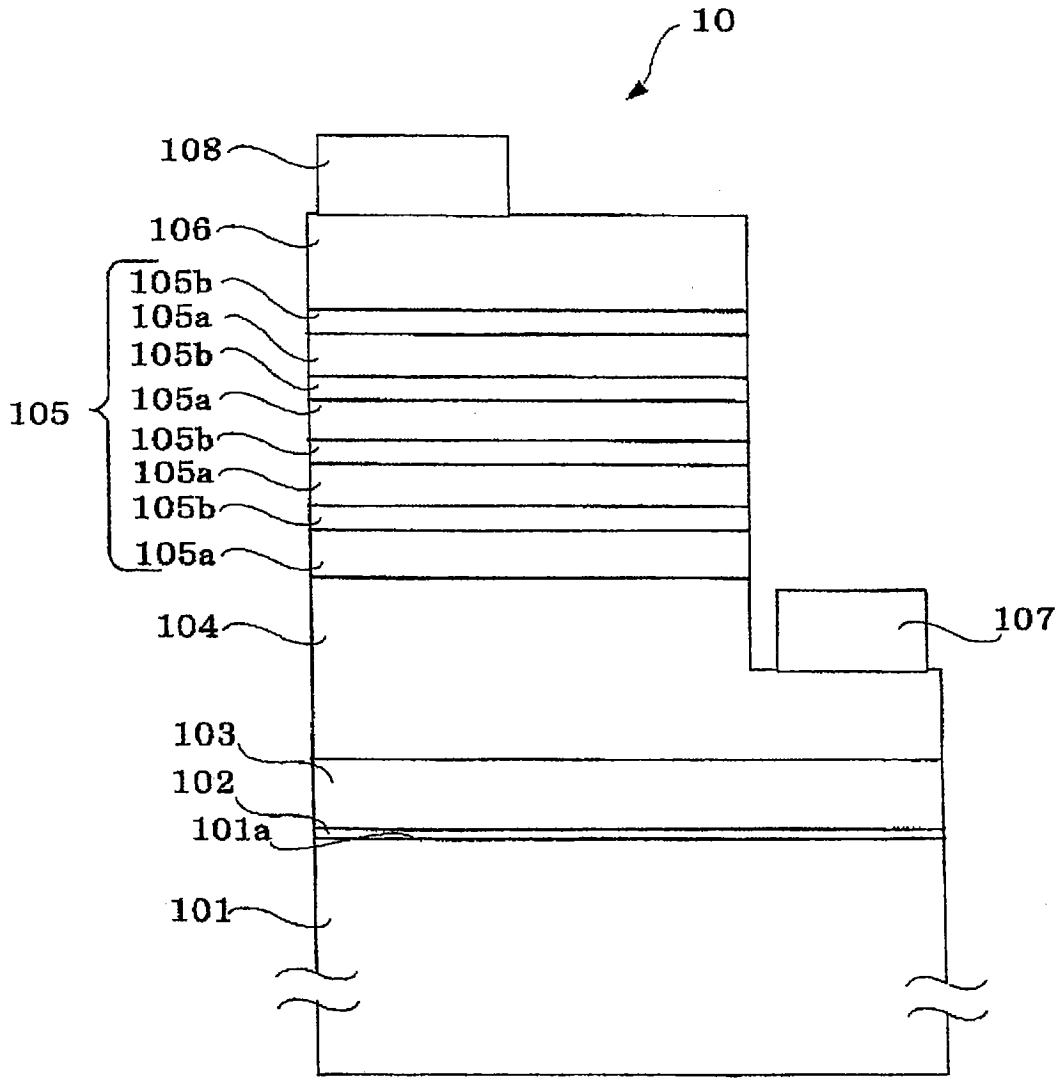

10
108
106
105b
105a
105b
105a
105b
105a
105b
105a
105
104
107
103
102
101a
101

图 3

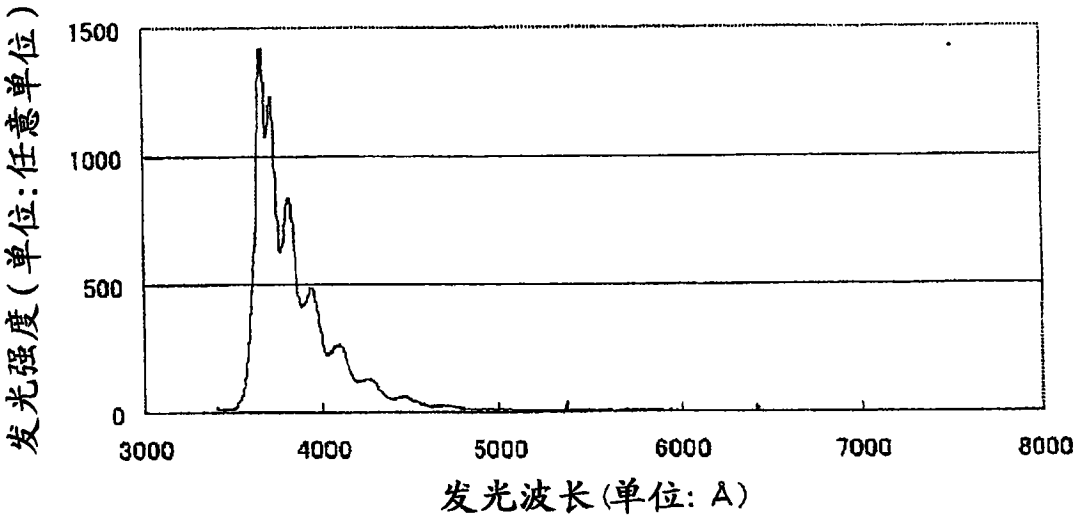

发光强度(单位:任意单位)
1500
1000
500
0
3000
4000
5000
6000
7000
8000
发光波长(单位: Å)

图 4

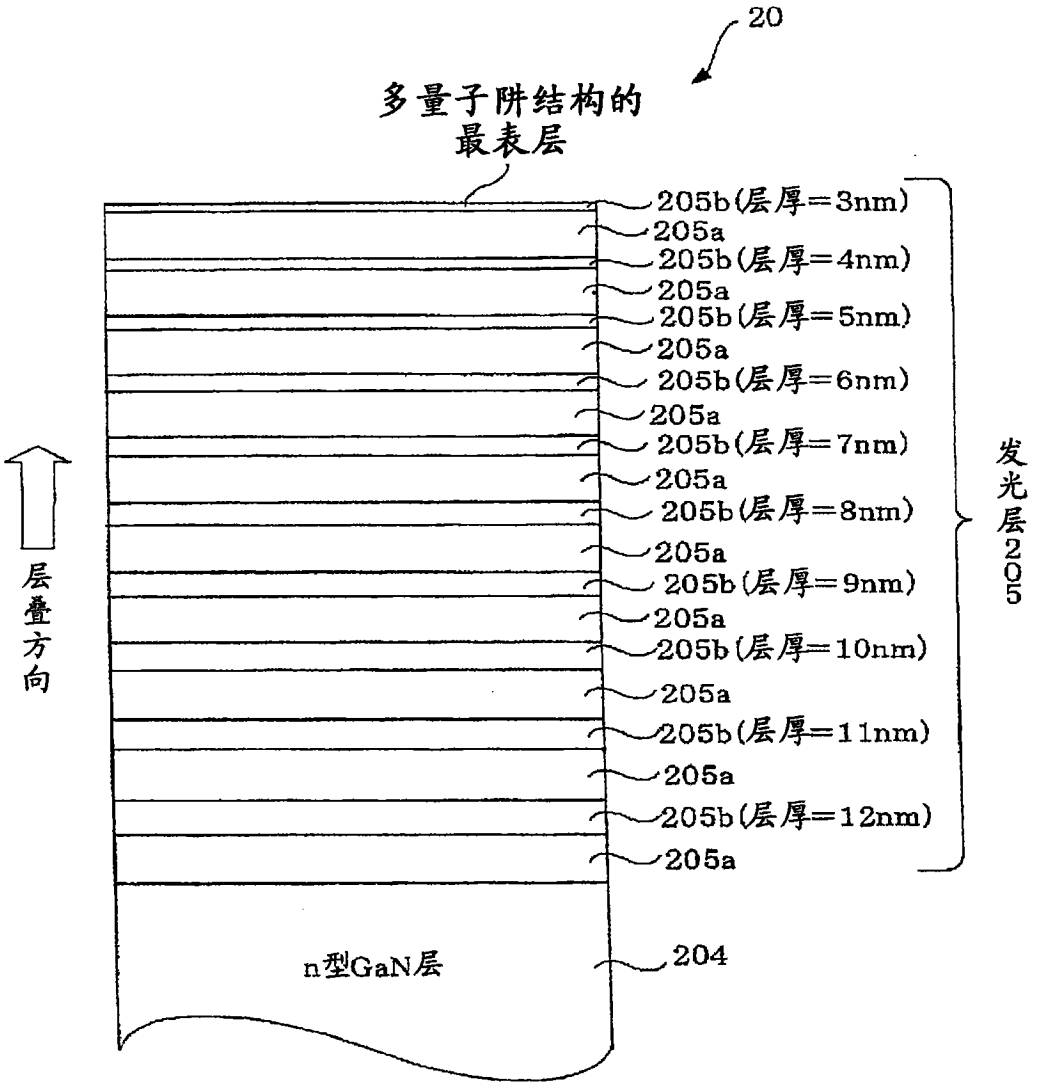

20
多量子阱结构的
最表层
205b(层厚=3nm)
205a
205b(层厚=4nm)
205a
205b(层厚=5nm)
205a
205b(层厚=6nm)
205a
205b(层厚=7nm)
205a
205b(层厚=8nm)
205a
205b(层厚=9nm)
205a
205b(层厚=10nm)
205a
205b(层厚=11nm)
205a
205b(层厚=12nm)
205a
发光层205
层叠方向
n型GaN层
204

图 5

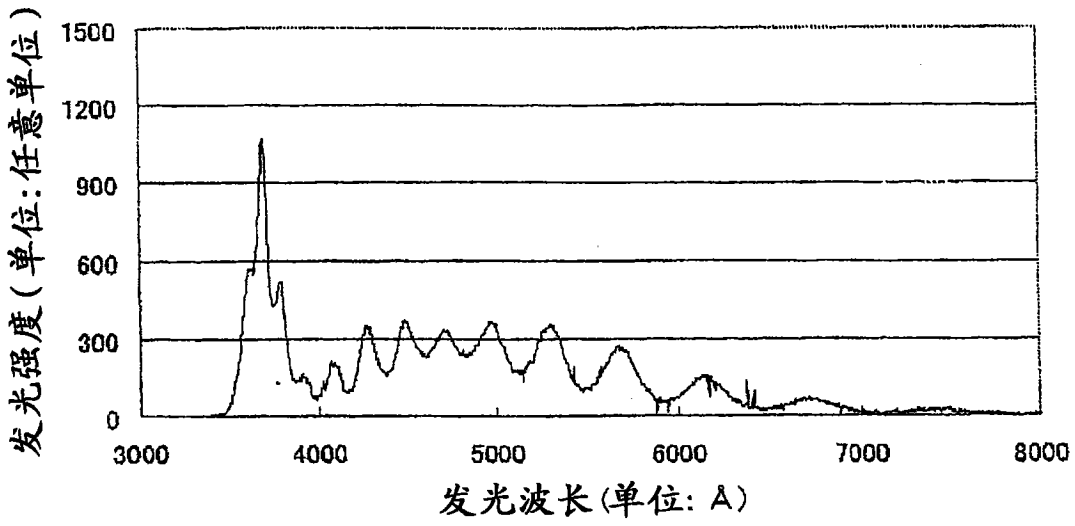

发光强度(单位:任意单位)
1500
1200
900
600
300
0
3000
4000
5000
6000
7000
8000
发光波长(单位: Å)

图 6

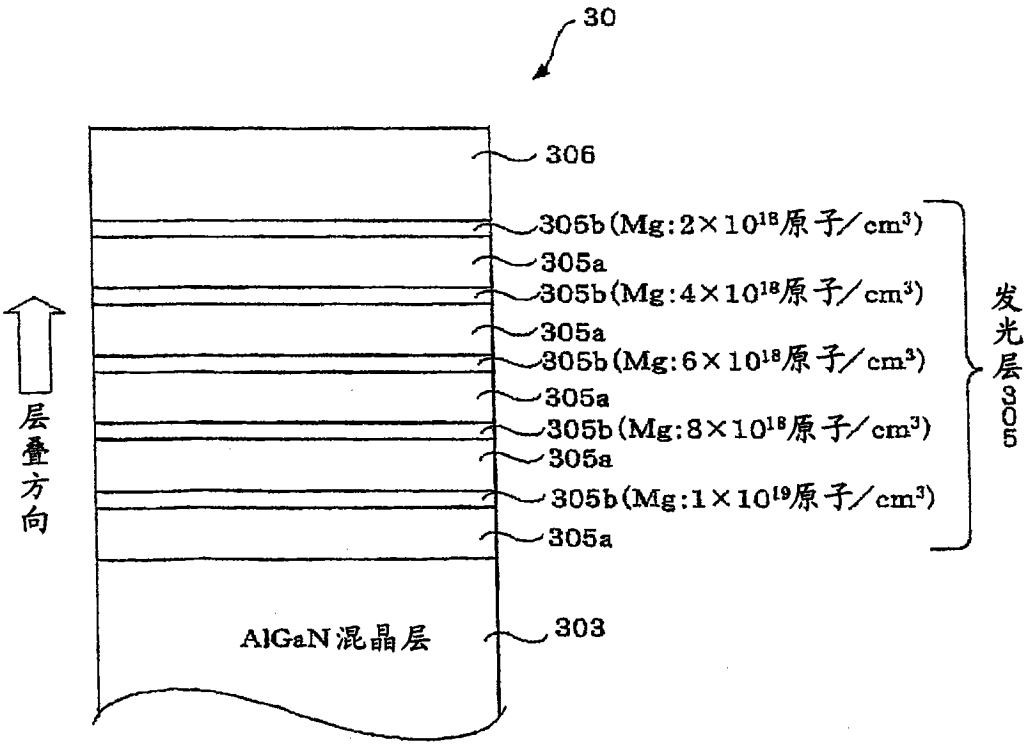

30
306
305b(Mg:2×10¹⁸原子/cm³)
305a
305b(Mg:4×10¹⁸原子/cm³)
305a
305b(Mg:6×10¹⁸原子/cm³)
305a
305b(Mg:8×10¹⁸原子/cm³)
305a
305b(Mg:1×10¹⁹原子/cm³)
305a
发光层305
层叠方向
AlGaN混晶层
303

图 7

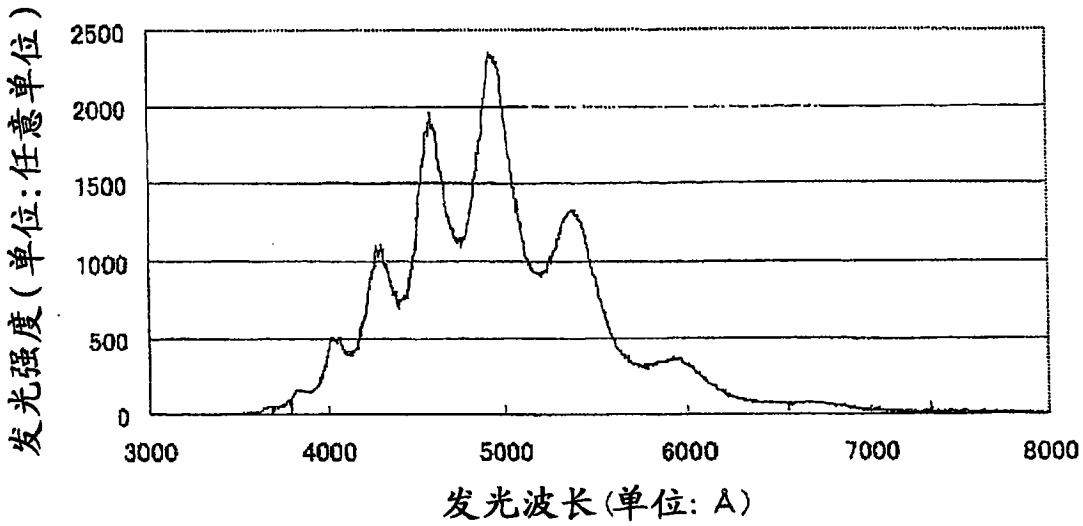

发光强度(单位:任意单位)
2500
2000
1500
1000
500
0
3000
4000
5000
6000
7000
8000
发光波长(单位: Å)

图 8

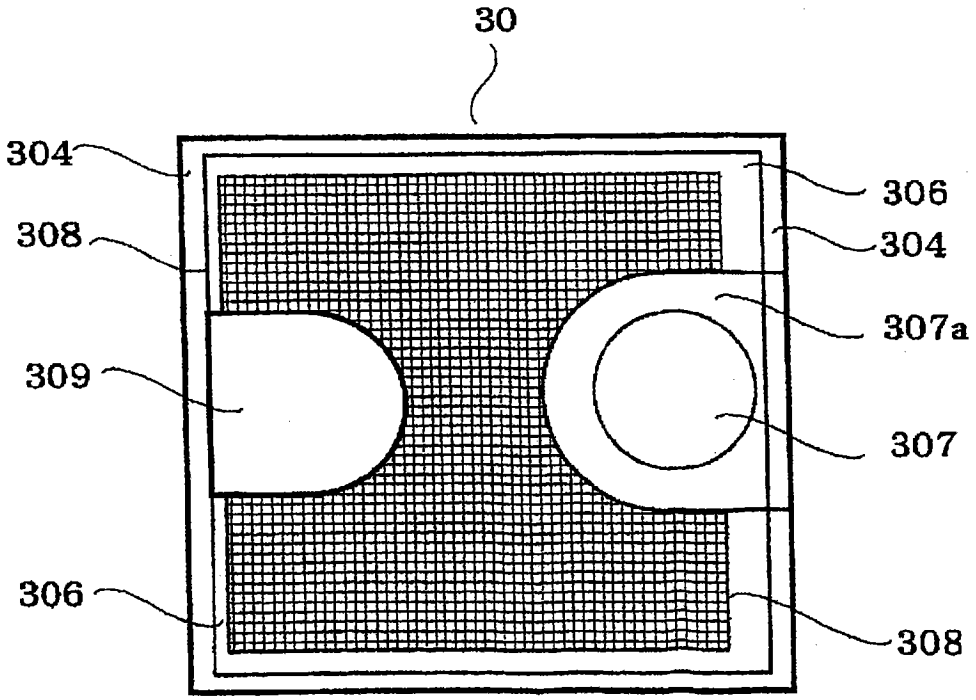


图 9