



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101208810 B

(45) 授权公告日 2010.05.12

(21) 申请号 200580049629.4

H01L 29/15(2006.01)

(22) 申请日 2005.03.24

(56) 对比文件

(85) PCT申请进入国家阶段日
2007.10.26

US 2002/0136932 A1, 2002.09.26, 全文.
JP 特开 2004-207610 A, 2004.07.22, 全文.
US 6645885 B2, 2003.11.11, 全文.
CN 1595670 A, 2005.03.16, 全文.

(86) PCT申请的申请数据
PCT/SG2005/000099 2005.03.24

审查员 彭丽娟

(87) PCT申请的公布数据
W02006/101452 EN 2006.09.28

(73) 专利权人 科技研究局
地址 新加坡新加坡
专利权人 住友电气工业株式会社

(72) 发明人 蔡树仁 陈鹏 高须贺英良

(74) 专利代理机构 北京英赛嘉华知识产权代理
有限责任公司 11204
代理人 余滕 方挺

(51) Int. Cl.
H01L 33/00(2006.01)
H01L 21/20(2006.01)

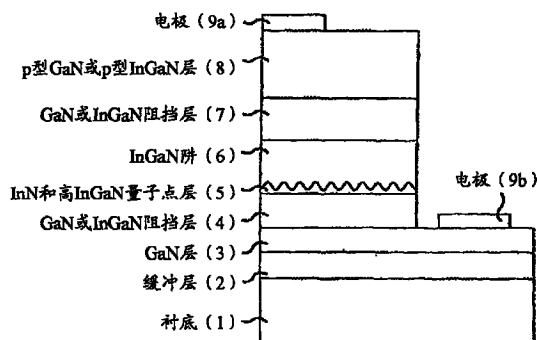
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 2 页

(54) 发明名称

III族氮化物白光发光二极管

(57) 摘要

一种由金属有机化学气相沉积 (MOCVD) 制备的白光发光二极管, 可通过在单重或多重 $In_xGa_{1-x}N/In_yGa_{1-y}N$ 量子阱 (QW) 内覆盖氮化铟 (InN) 量子点 (QD) 和富铟的氮化铟镓 (InGaN) 量子点而产生覆盖所有可见光谱区的宽带发射光, 量子点的覆盖是通过引入作为用于在 QW 内生长 QD 的核子的三甲基铟 (TMIn)、三乙基铟 (TEIn) 和乙基二甲基铟 (EDMIn) 中的至少一种的释放而实现的。因此, 该二极管可通过调整 In 释放参数发射出在 400nm 至 750nm 范围内的白光。



CN 101208810 B

1. 一种用于发射白光的二极管,包括:
衬底;
缓冲层,形成在所述衬底上,所述缓冲层被分为第一部分和第二部分;
至少一个量子阱结构,包括围绕 InN 量子点和富镓的 InGaN 量子点的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 量子阱/阻挡层双层,所述量子阱结构形成在所述缓冲层的所述第一部分上,其中所述量子阱结构呈现出具有从 400nm 至 750nm 的发光波长范围的光致发光谱,所述发光波长范围包括了用于产生白光的主要颜色蓝、绿和红。
2. 如权利要求 1 所述的二极管,其中首先通过使三甲基镓、三乙基镓和乙基二甲基镓中的至少一种以第一流速在第一时间内流动,以形成核子,然后使三甲基镓、三乙基镓和乙基二甲基镓中的至少一种与三甲基镓和氨以第二流速流动,以使所述核子生长并被覆盖在所述量子阱内,从而形成所述量子点。
3. 如权利要求 1 所述的二极管,其中具有 1 至 30 个所述量子阱结构。
4. 如权利要求 1 所述的二极管,其中所述 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 量子阱层的厚度为 1 至 10nm,并且所述 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 量子阻挡层的厚度为 5 至 30nm。
5. 如权利要求 1 所述的二极管,其中 $1 > x > y > 0$ 或者 $y = 0$ 。
6. 如权利要求 1 所述的二极管,其中所述衬底为蓝宝石、SiC 或 ZnO。
7. 如权利要求 1 所述的二极管,其中双环戊二烯基镁、二乙基锌和硅烷中的至少一种被用作掺杂物。
8. 一种发射白光的量子阱结构,包括:
 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 量子阱层;
嵌入在所述 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 量子阱层内的 InN 量子点和富镓的 InGaN 量子点;以及
在所述量子点和所述量子阱层之上的 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 量子阻挡层,其中所述量子阱结构呈现出具有从 400nm 至 750nm 的发光波长范围的光致发光谱,所述发光波长范围包括了用于产生白光的主要颜色蓝、绿和红。
9. 如权利要求 8 所述的量子阱结构,其中首先通过使三甲基镓、三乙基镓和乙基二甲基镓中的至少一种以第一流速在第一时间内流动,以形成核子,然后使三甲基镓、三乙基镓和乙基二甲基镓中的至少一种与三甲基镓和氨以第二流速流动,以使所述核子生长并被覆盖在所述量子阱内,从而形成所述量子点。
10. 如权利要求 8 所述的量子阱结构,其中所述 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 量子阱层的厚度为 1 至 10nm,并且所述 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 量子阻挡层的厚度为 5 至 30nm。
11. 如权利要求 8 所述的量子阱结构,其中 $1 > x > y > 0$ 或者 $y = 0$ 。
12. 一种形成用于发射白光的二极管的方法,所述方法包括以下步骤:
提供衬底;
在所述衬底上形成缓冲层,所述缓冲层被分为第一部分和第二部分;
形成至少一个量子阱结构,所述量子阱结构包括围绕 InN 量子点和富镓的 InGaN 量子点的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 量子阱/阻挡层双层,所述量子阱结构在所述缓冲层的所述第一部分上形成,所述量子阱结构呈现出具有从 400nm 至 750nm 的发光波长范围的光致发光谱,所述发光波长范围包括了用于产生白光的主要颜色蓝、绿和红。
13. 如权利要求 12 所述的方法,其中通过以下步骤形成所述量子点:

使三甲基镓、三乙基镓和乙基二甲基镓中的至少一种以第一流速在第一时间内流动，以形成核子；并且

使三甲基镓、三乙基镓和乙基二甲基镓中的至少一种与三甲基镓和氨以第二流速流动，以使所述核子生长并被覆盖在所述量子阱内。

14. 如权利要求 13 所述的方法，其中三甲基镓、三乙基镓或乙基二甲基镓的不同流速产生大小不同的量子点。

15. 如权利要求 12 所述的二极管，其中具有 1 至 30 个所述量子阱结构。

16. 如权利要求 12 所述的二极管，其中所述 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 量子阱层的厚度为 1 至 10nm，并且所述 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 量子阻挡层的厚度为 5 至 30nm。

17. 如权利要求 12 所述的二极管，其中 $1 > x > y > 0$ 或者 $y = 0$ 。

18. 如权利要求 12 所述的二极管，其中所述衬底为蓝宝石、SiC 或 ZnO。

19. 如权利要求 12 所述的二极管，其中双环戊二烯基镁、二乙基锌和硅烷中的至少一种被用作掺杂物。

III 族氮化物白光发光二极管

技术领域

[0001] 本发明涉及光电子器件和制备方法,特别涉及白光发光二极管。

背景技术

[0002] 发光二极管(LED)被广泛地应用于光学显示器、交通灯、数据存储、通信和一般的应用。白光发光二极管目前的应用包括机动车辆的仪表板和液晶显示器(LCD)的背后照明。因为LED更小、具有更高的效率并且寿命相当于传统灯泡的大约50倍,所以对于白光发光二极管而言,一个重要的目的是提高发光度水平,从而替代白炽灯。

[0003] 通常根据两种方法制备传统的白光发光二极管。在一种方法中,在单个LED本体中装入三个分离的LED芯片,其中红光芯片、蓝绿光芯片和蓝光芯片所发出的光相结合,以产生白光。

[0004] 生产白光发光二极管的另一种广为使用的方法需要使用涂有荧光物质或有机染料的单个高亮的蓝光发光二极管芯片或基于GaN的紫外LED芯片。然而,荧光材料的使用带来了可靠性的问题和来自于蓝光光子转化为黄光光子的能量损失。而且,为了提供LED的颜色特性和质量的生产一致性,封装步骤变得至关重要。

[0005] Chen等人已对传统的生产白光发光二极管的方法进行了研究(第6,163,038号美国专利)。该专利描述了一种白光发光二极管和一种制备该白光发光二极管的方法,该白光发光二极管可通过占有至少两个LED结构内的能带隙自身发射出白光。然而,该项技术只利用了多量子阱(MQW)以获得白色发射光。Chen等人只提及了通过调整生长参数来生长发出不同颜色光的MQW,而没有详细说明如何实现。Chen等人没能生产出发射覆盖所有可见光谱区的光的MQW。也就是说,Chen等人仅利用了单个LED芯片,从而产生处于光谱的多个峰位的光,这些光然后被组合。因此,必须利用特定波长的光(如370-500nm)作为基准。

[0006] 用于生产增强的LED的相关技术已被Chua等人提出(第6,645,885号美国专利),其涉及形成通过金属有机气相外延生长的氮化铟(InN)量子点和氮化铟镓(InGaN)量子点。该专利描述了嵌入在单重和多重 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 量子阱(QW)中的氮化铟(InN)量子点和富铟的氮化铟镓(InGaN)量子点,所述量子阱是在MOCVD生长过程中通过利用作为反表面活性剂的三甲基铟(TMIn)、三乙基铟(TEIn)和乙基二甲基铟(EDMIn)中的至少一种而形成的,并且来自于这些量子点的光致发光波长在480nm至530nm的范围内。如同随后的氮流和TMIn流,受控的TMIn和/或其他铟前体的量在促使形成无位错量子点中是很重要的。该方法可被用于生长蓝光发光二极管和绿光发光二极管的有源层。然而,该技术不能生产出产生白光的二极管。白光需要400至750nm的范围。然而,Chua等人的技术只能覆盖较小的波长范围(480nm至530nm),并且不能被用于产生白光。

[0007] 因此,现代半导体和显示技术需要容易构造、具有高发光度并且在严格的应用中(如用于液晶显示装置的光源)具有必要的可靠性的新型白光发光二极管。

发明内容

[0008] 因此,在此公开了一种基本上消除了由相关技术的局限性和缺点所带来的一个或多个问题的白光发光二极管。

[0009] 可提供一种将所有发光均并入一个芯片内的 LED。

[0010] 根据本发明的第一个方面,提供了一种用于发射白光的二极管,其包括:衬底;形成在所述衬底上的缓冲层,所述缓冲层被分为第一部分和第二部分;至少一个量子阱结构,包括围绕 InN 量子点和富铟的 InGaN 量子点的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 量子阱/阻挡层双层,所述量子阱结构形成在所述缓冲层的所述第一部分上,其中所述量子阱结构呈现出具有从 400nm 至 750nm 的发光波长范围的光致发光谱,所述发光波长范围包括了用于产生白光的主要颜色蓝、绿和红。

[0011] 可首先通过使三甲基铟、三乙基铟和乙基二甲基铟中的至少一种以第一流速在第一时间流动,以形成核子,然后使三甲基铟、三乙基铟和乙基二甲基铟中的至少一种与三甲基镓和氨以第二流速流动,以使所述核子生长并被覆盖在所述量子阱内,从而形成量子点。可有大约 1 至 30 个所述量子阱结构。并且,所述 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 量子阱层的厚度可为大约 1 至 10nm,所述 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 量子阻挡层的厚度为大约 5 至 30nm,且 $1 > x > y > 0$ 或者 $y = 0$ 。所述衬底可为蓝宝石、SiC 或 ZnO。双环戊二烯基镁、二乙基锌和硅烷中的至少一种可被用作掺杂物。所述二极管可具有覆盖约 400nm 至 750nm 波长范围的光致发光谱。

[0012] 根据本发明的第二个方面,提供了一种发射白光的量子阱结构,其包括: $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 量子阱层;嵌入在所述 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 量子阱层内的 InN 量子点和富铟的 InGaN 量子点;以及在所述量子点和所述量子阱层之上的 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 量子阻挡层,其中所述量子阱结构呈现出具有从 400nm 至 750nm 的发光波长范围的光致发光谱,所述发光波长范围包括了用于产生白光的主要颜色蓝、绿和红。

[0013] 根据本发明的第三个方面,提供了一种形成用于发射白光的二极管的方法,所述方法包括以下步骤:提供衬底;在所述衬底上形成缓冲层,所述缓冲层被分为第一部分和第二部分;形成至少一个量子阱结构,所述量子阱结构包括围绕 InN 量子点和富铟的 InGaN 量子点的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 量子阱/阻挡层双层,所述量子阱结构在所述缓冲层的所述第一部分上形成,所述量子阱结构呈现出具有从 400nm 至 750nm 的发光波长范围的光致发光谱,所述发光波长范围包括了用于产生白光的主要颜色蓝、绿和红。

[0014] 可通过以下步骤形成所述量子点:使三甲基铟、三乙基铟和乙基二甲基铟中的至少一种以第一流速在第一时间流动,以形成核子;并且使三甲基铟、三乙基铟和乙基二甲基铟中的至少一种与三甲基镓和氨以第二流速流动,以使所述核子生长并被覆盖在所述量子阱内。并且,三甲基铟、三乙基铟或乙基二甲基铟的不同流速可产生大小不同的量子点。

[0015] 本发明的另外的特征和优点将在下面的描述中阐述,并将部分地由下面的描述明显看出,或者可通过本发明的实践而被认识到。本发明的目的和其他优点将通过在本发明的说明书和权利要求以及附图中特别指出的结构而实现或得到。

[0016] 可以理解,本发明的上述一般描述和以下具体描述仅是示例性和说明性的,并且旨在对本发明进行进一步的解释说明。

附图说明

[0017] 有助于进一步理解本发明而且合并于本申请并构成本申请一部分的附图示出了本发明的实施方案,并与说明书一起用于对本发明的原理进行解释。

[0018] 在附图中:

[0019] 图 1 为根据本发明的白光发光二极管的示意图,所述白光发光二极管在有源层具有覆盖量子点的 MQW;

[0020] 图 2 示出了根据本发明的白光发光二极管的室温光致发光谱;以及

[0021] 图 3 为根据本发明的一个实施方案的白光发光二极管的示意图,所述白光发光二极管在有源层具有覆盖量子点的 MQW。

具体实施方式

[0022] 下面将参照附图中所示的实例,对本发明的优选实施方案进行详细描述。

[0023] 本发明利用外延技术制备二极管。本发明的二极管利用了量子点,从而由 PN 结产生具有 400nm 至 750nm 宽峰的电致发光。

[0024] 量子点可被定义为极小的物质,其非常之小以至于一个电子的增加或消除都会以某种有效的方式改变其性质。可选择地,量子点可被视为约束(即,限制在其内)少量(比如仅有一个)自由电子的很小的装置。量子点典型地具有纳米量级的尺度。也就是说,量子点的大小范围可在 5 至 200nm 之间,在许多应用中,其典型为 20 至 80nm。

[0025] 利用外延生长工艺,量子点可在周围材料内的高带隙在所有三个维度上提供约束的情况下生长。在光刻限定的量子点中,量子阱沿生长方向提供约束势,同时静电感应势垒提供横向约束。

[0026] 氮化物或氧化物薄膜或量子点的外延生长可利用金属有机化学气相沉积(MOCVD)完成。MOCVD 利用包含了金属有机前体的稀释混合物的载气流。对于传统 III-V 族材料,气体混合物流入真空度为 50-500torr 的反应腔,同时衬底处于 500-1200°C 的温度下。氨(NH₃) 可用作用于形成氮化物(如 GaN 或 GaIn) 的氮源。根据需要,反应气体分解并沉积几纳米至几微米厚的 III-V 族材料(如 AlGa_xN_{1-x}、InGaInN、InGa_xN_{1-x} 等)的薄外延层。

[0027] 图 1 为示出了根据本发明的白光发光二极管的示意图。

[0028] 图 1 示出了可为蓝宝石衬底、碳化硅(SiC)衬底、氧化锌(ZnO)衬底或其他衬底的衬底 1。缓冲层 2 为低温 GaN 缓冲层,并且层 3 由在大约 1000°C 生长的、未掺杂的 GaN 或掺 Si 的 GaN 形成。层 4 为 GaN 或 InGa_xN_{1-x} 阻挡层。在阻挡层 4 生长之后,使 TMIn 和氨流过,以形成用于生长富铟的量子点 5 的“萌芽”。层 6 为具有较高铟含量的量子阱,在其上为另一个 GaN 或 InGa_xN_{1-x} 阻挡层 7。层 8 由在大约 1000°C 生长的掺 Mg 的 GaN 或在大约 750°C ±100°C 的温度范围内生长的掺 Mg 的 InGa_xN_{1-x} 形成。在 p 型 GaN 或 p 型 InGa_xN_{1-x} 层 8 之上形成第一电极 9a。在 n 型 GaN 层 3 之上形成第二电极 9b。

[0029] 在图 1 中,层 1 可为任意适于生长 GaN 的材料,如蓝宝石、SiC、ZnO、GaN 和其他可供选择的材料。低温缓冲层 2 也可多层 AlGa_xN_{1-x}/GaN 缓冲。层 3 可为未掺杂的 GaN、掺 Si 的 GaN 或掺 Mg 的 GaN。层 4 和层 7 可为具有较低铟含量的 InGa_xN_{1-x},而代替 GaN。层 8 为在高温下生长的掺 Mg 的 GaN、掺 Mg 的 InGa_xN_{1-x}、掺 Zn 的 GaN 或掺 Zn 的 InGa_xN_{1-x}。

[0030] 低温(LT)GaN 或 InGa_xN_{1-x} 层(图 1 所示的层 4)的相对粗糙的表面可有助于保持来

自于 TMI_n 前体的裂化（分解）的冲击镉原子，使其长时间停留在表面上，从而提高镉的掺入量，这还将导致发射的红移。

[0031] 尽管常使用三甲基镉（TMI_n）作为前体，但也可使用其他镉的有机金属化合物，如三乙基镉（TEI_n）和乙基二甲基镉（EDMI_n）。这些有机金属化合物可被单独使用或混合使用。

[0032] 本发明技术上的一个方面被称为 In 释放（burst）。在本发明中，In 释放形成富镉的量子点，量子点被覆盖在 In_xGa_{1-x}N/GaN 或 In_xGa_{1-x}N/In_yGa_{1-y}N 的单量子阱或多量子阱内，并通常发出较长波长的光（黄光和红光）。量子点由作为核子的流动的 TMI_n 或其他镉前体感生。可通过改变发光分布的波长和强度得到白光的发射，这可通过调整外延生长参数来实现，如温度、反应压强、NH₃ 流量、In 流量以及 In 释放过程和 InGa_n 量子阱生长过程的持续时间。也就是说，通过改变这些参数，可形成镉含量不同和大小不同的量子点。

[0033] 当形成富镉的量子点时，主要关注两方面的问题。首先，作为核子的 TMI_n 的量和 TMI_n 流的持续时间是重要的。过多的流动将产生镉滴，这将影响富镉量子点的形成。量子点的量子约束效应是量子点在室温下具有很高的发光效率的原因。其次，随后的 TMI_n 流、TMGa 流和氨流对于量子点的形成和其内覆盖有量子点的量子阱的形成也是非常重要的。通常，生长应在氨分压力较高的条件下进行。

[0034] 图 3 示出了本发明的另一个优选实施方案。

[0035] 在图 3 中，层 10 为衬底，其优选地为蓝宝石、SiC 或 ZnO。层 20 为在大约 450°C 至 600°C 条件下生长的低温缓冲层。层 30 可为未掺杂的 GaN 或掺 Si 的 GaN，其在大约 1030°C 的条件下生长。层 40 为在与阻挡层和阱相同的温度下生长的 GaN 或 InGa_n。层 50 为在大约 700°C 至 800°C 的条件下生长的 In_yGa_{1-y}N 阻挡层，其中 y 优选地处于 0.01 至 0.1 的范围内。在层 5 生长后，富镉的量子点 60 利用 In 释放而形成。在量子点上形成层 70，即 In_xGa_{1-x}N 量子阱，其中 x 大于 y。层 80 为另一个 In_yGa_{1-y}N 阻挡层，其典型地类似于层 50。层 90 为在 700°C 至 1100°C 的温度范围内生长的 p 型 GaN 或 p 型 InGa_n 覆盖层。

[0036] 在图 3 中，层 10 可为适于 GaN 生长的任何材料，如厚度为 200 μm 至 500 μm 的蓝宝石、SiC、ZnO 和其他可选择材料。20nm 至 100nm 厚的低温缓冲层 20 也可多层 AlGa_n/GaN 缓冲。层 30 可为未掺杂的 GaN、浓度为 2×10¹⁷cm⁻³ 至 9×10¹⁸cm⁻³ 的掺 Si 的 GaN 或浓度为 5×10¹⁷cm⁻³ 至 3×10²⁰cm⁻³ 的掺 Mg 的 GaN，并且层 30 的厚度在 1 μm 至 10 μm 的范围内。层 40 可为在与阱和阻挡层相同的温度下生长的 GaN、InGa_n 或 AlGa_n，其厚度为大约 5nm 至 30nm。层 50 和层 70 可为 GaN，以取代 InGa_n。10nm 至 1000nm 厚的覆盖层 90 也可 AlGa_n。

[0037] 图 3 中层 40 的插入对于扩展发光范围是很重要的。在不受本发明的任何理论约束的情况下，可以认为，低温 GaN 层（图 3 所示的层 40）部分地缓解 InGa_n 阱和阻挡层之间的压应变。所述压应变的缓解可导致发光的相移。根据 Kaprov 的理论（MRS Internet J NitrideSemicond. Res. 3, 16(1998)），压应变的缓解还可增强 InGa_n 的相分离，在 Kaprov 的理论中，压应变会抑制 InGa_n 的相分离。

[0038] 低温（LT）GaN 层（图 3 所示的层 40）的相对较粗糙的表面可有助于保持来自于 TMI_n 前体的裂化的冲击镉原子，使其停留在表面上更长时间，从而提高镉的掺入量，这还将导致发光的相移。

[0039] 以下将描述根据本发明优选实施方案的用于生长发白光 LED 的方法。

[0040] 首先，在蓝宝石衬底上生长低温缓冲层，然后生长高温 n 型 GaN 层，后者通常在大

约 1000°C 的条件下完成。再将温度降至大约 700°C 至 800°C, 以生长 GaN 或 InGaN 阻挡层。当将它们生长在蓝宝石衬底上时, 需要低温生长的缓冲。

[0041] 生长阻挡层后, 在有氨的情况下, 适当量的 TMIn 或其他金属镧的有机前体流入反应腔内。来自于 TMIn 的镧原子在 InGaN 阻挡层的原子表面聚集, 从而形成用于随后量子点的生长的“萌芽”。

[0042] 在本发明的优选实施方案中, 通过 MOCVD 在 (0001) 蓝宝石衬底上生长一个白光发光二极管。利用 TMG(三甲基镓)、TMIn(三甲基镧) 和 NH_3 (氨) 作为前体, 完成 MOCVD。为了生长白光发光二极管, 首先在 25nm 厚的 GaN 缓冲层上生长 2 μm 厚的未掺杂的体材料 GaN。用于 GaN 缓冲和体材料层的生长温度分别为 $530^\circ\text{C} \pm 30^\circ\text{C}$ 和 $1050^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$ 。在生长 GaN 体材料层之后, 生长温度被降至大约 $700^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$, 用于 GaN 或 InGaN 阻挡层和 InGaN 阱的沉积。InGaN 阻挡层内的镧含量小于阱内的镧含量。在生长 GaN 或 InGaN 阻挡层之后、生长具有较高镧含量的阱之前, 在一段较短的时间内 (在 2 至 5 秒之间变化) 流过 TMIn, 同时关闭 TMGa 流。这个过程被称为 In 释放。所述 In 释放将产生用于生长具有变化的大小和镧成分的 InGaN 量子点的萌芽。释放的持续时间可被改变, 用以在每一层内形成萌芽。阱的厚度约为 3nm。GaN 阻挡层、In 释放和 InGaN 阱的生长被再重复三次。

[0043] In 释放可进行任意适当的时间 (在 0.5 秒至 1 分钟或更长的时间内变化)。然而, 2 至 5 秒是优选的用于 In 释放的时间。在 In 释放的过程中, 镧的有机金属化合物的流速优选小于 $100 \mu\text{mol}/\text{min}$ 。阱的厚度可为约 1-10nm, 优选为 2-4nm, 最优选为约 3nm。

[0044] 然后, 在四个周期循环的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ MQW 的顶部上生长高温掺 Mg 的 GaN 层。用于 GaN 和 InGaN 的生长的运载气体分别为 H_2 和 N_2 。最后, 在 p 型半导体上形成第一电极, 并在掺 Si 的 GaN 层的一部分上形成第二电极。

[0045] 本发明不同的结构可采用不同的有机金属材料用于掺杂。双环戊二烯基镁 (CP_2Mg) 可被用于产生掺 Mg 的 GaN, 例如在图 1 所示的层 3 或层 8 内。二乙基锌 (DEZn) 也可被用于提供如层 8 内的 p 型掺杂。硅烷也可被用作为掺杂物, 例如形成层 3 内的掺 Si 的 GaN。

[0046] 优选实施方案的示例采用了四个量子阱结构。然而, 可采用任何适当数量的量子阱结构。在实践上可采用 1 至 60 个量子阱结构。优选地采用 1 至 30 个。

[0047] 在本发明中, $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 量子阱层的厚度在 0.5 至 20nm 的范围内, 并优选为 1 至 10nm。 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 阻挡层的厚度可处于 2 至 60nm 的范围内, 并优选为 5 至 30nm。在本发明的优选实施方案中, $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 量子阱层比 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 阻挡层具有更高的组分, 如 $1 > x > y > 0$ 或 $y = 0$ 。

[0048] 图 2 示出了根据本发明优选实施方案形成的白光发光二极管的光致发光谱。图 2 示出了从 400nm 至 750nm 的发光波长范围, 其覆盖了主要的颜色, 蓝、绿和红。因此, 该二极管产生白光。

[0049] 也就是说, 本发明的二极管可通过调整 In 释放参数 (如 In 前体的总量、释放的持续时间和温度) 放射出在大约 400nm 至 750nm 范围内的白光。白光发光二极管由其自身放射出白光, 而不需要结合多个单独的发光二极管, 也不需要利用发白光的荧光材料。因此, 本发明的发光二极管更加廉价、更便于制备、更加稳定并且具有更长的寿命。

[0050] 因此, 本发明表现出了优于传统技术发光装置的明确的优点, 传统技术发光装置具

有多个单独的发光中心,从而只能通过结合几个装置或通过利用荧光物质进行颜色变换而得到白光。相反地,本发明利用了不同大小的量子点,从而产生不同颜色的光,这些光在单个芯片上结合以产生白光。因此,本发明表现出了较好的紧密性、效率、发光度和较低的成本。

[0051] 对于本领域技术人员而言,在不脱离本发明的精神和范围的情况下对本发明的利用双光单元的液晶显示装置进行的各种修改和变化是显而易见的。因此,这意味着,本发明覆盖了权利要求及其等同物范围内的本发明的修改和变化。

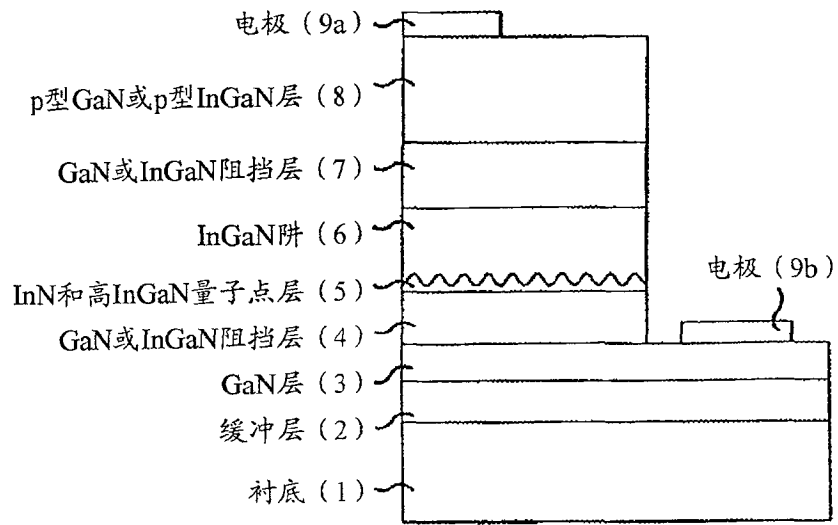


图 1

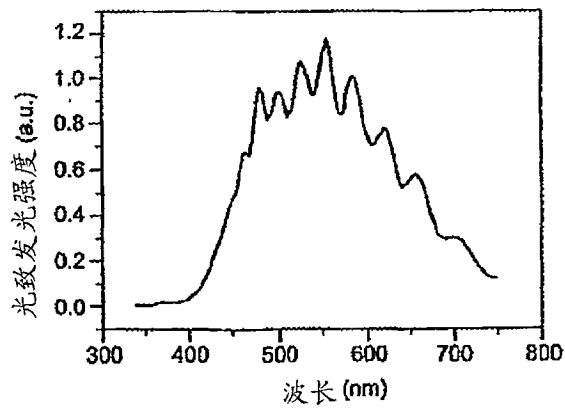


图 2

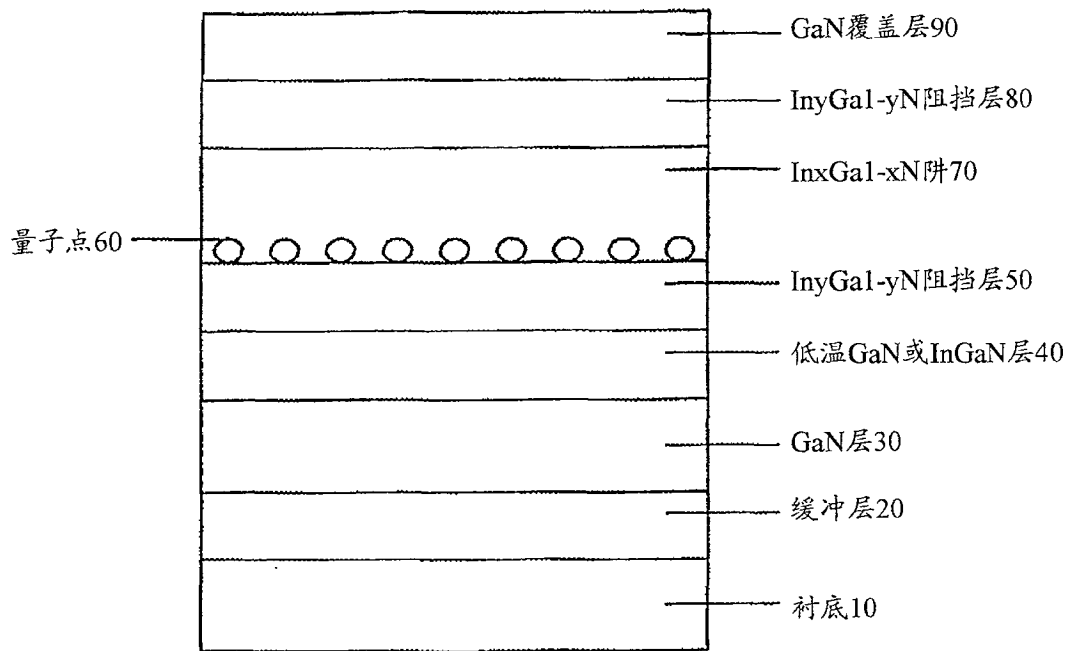


图 3