



[12] 发 明 专 利 说 明 书

[21] ZL 专利号 99812273.4

[45] 授权公告日 2005 年 6 月 15 日

[11] 授权公告号 CN 1206744C

[22] 申请日 1999.9.16 [21] 申请号 99812273.4

[30] 优先权

[32] 1998.9.16 [33] US [31] 09/154,363

[86] 国际申请 PCT/US1999/021362 1999.9.16

[87] 国际公布 WO2000/021144 英 2000.4.13

[85] 进入国家阶段日期 2001.4.17

[71] 专利权人 克里公司

地址 美国北卡罗莱纳

[72] 发明人 K·M·多佛斯派克

J·A·埃德蒙 H-S·孔

H·M·迪尔林格

D·B·小斯拉特

审查员 曲宝壮

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
商标事务所

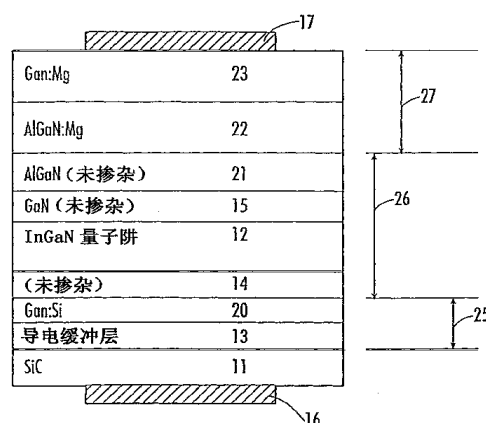
代理人 龙传红

权利要求书 2 页 说明书 11 页 附图 4 页

[54] 发明名称 垂直结构 InGaN 发光二极管

[57] 摘要

公开了一种能发射电磁波谱中红光、绿光、蓝光、紫光和紫外光部分的垂直结构发光二极管。所述发光二极管包括导电的碳化硅衬底、氮化镓量子阱、在衬底和量子阱之间的导电缓冲层、以及在量子阱每个表面上的各自未掺杂氮化镓层和在垂直结构方向上的欧姆性触点。



1. 一种垂直结构发光二极管, 其能发射出电磁波谱中的红光、绿光、蓝光、紫光和紫外光部分, 所述发光二极管包括:

导电的 N 型碳化硅衬底(11);

InGaN 量子阱(12);

位于所述衬底和所述量子阱之间的 N 型导电缓冲层(13); 以及

在所述量子阱每个表面上的各未掺杂氮化镓层(14, 15);

其特征在于, 该发光二极管还包括:

位于所述导电缓冲层和所述未掺杂氮化镓层之间的 N 型氮化镓层(20);

位于所述未掺杂氮化镓层表面上的氮镓铝未掺杂层(21), 所述未掺杂氮化镓层位于所述衬底和所述导电缓冲层背面的所述量子阱上; 以及

在所述未掺杂氮镓铝层上的 P 型氮镓铝层(22);

位于所述 P 型氮镓铝层上的 P 型氮化镓层;

位于所述衬底上与所述导电缓冲层相背的表面上的第一欧姆性触点(16); 以及

位于所述 P 型氮化镓层上与所述未掺杂氮镓铝层相背的表面上的第二欧姆性触点(17)。

2. 根据权利要求 1 的垂直结构发光二极管, 其中: 所述衬底上的所述欧姆性触点包括镍, 所述 P 型氮化镓层上的所述欧姆性触点为铂。

3. 根据权利要求 1 的垂直结构发光二极管, 其中: 所述导电缓冲层为 N 型氮镓铝。

4. 根据权利要求 1 的垂直结构发光二极管, 其中: 所述量子阱是固有的 N 型。

5. 根据权利要求 1 或 2 的垂直结构发光二极管, 其中: 所述量子阱为多量子阱。

6. 根据权利要求 1 的垂直结构发光二极管, 其中: 所述 N 型氮化镓层是掺杂硅的。

7. 根据权利要求1的垂直结构发光二极管, 其中: 所述P型氮化镓层和所述P型氮镓铝层是掺杂镁的。

8. 根据权利要求1或2的垂直结构发光二极管, 其特征在于具有从下面的组中选择的发射峰和半高宽的组合:

- (1)470 纳米和 25 纳米或更小的半高宽,
- (2)505 纳米和 29 纳米或更小的半高宽,
- (3)525 纳米和 35 纳米或更小的半高宽。

9. 根据权利要求1的垂直结构发光二极管, 其特征在于具有从下面的组中选择的主波长和正向电流的组合:

- (1)正向电流为 2 毫安时主波长为 531 纳米,
- (2)正向电流为 5 毫安时主波长为 529 纳米,
- (3)正向电流为 10 毫安时主波长为 527 纳米,
- (4)正向电流为 20 毫安时主波长为 525 纳米,
- (5)正向电流为 30 毫安时主波长为 523 纳米。

10. 一种包含根据权利要求1或2的垂直结构发光二极管的像素。

11. 一种包含根据权利要求10的多个像素的显示器。

垂直结构 InGaN 发光二极管

技术领域

本发明涉及由第Ⅲ族(即元素周期表中的Ⅲ族)氮化物形成的发光二极管(LED),特别涉及用氮镓铟(InGaN)化合物量子阱作为有源部分以输出电磁波谱中红光至紫外光部分、尤其从绿光到紫外光部分的LED。

发明背景

在多年来光电子领域已得到成长发展的情况下,发光二极管(LED)是被发现有多方面用途的P-N结结构。发射电磁波谱中可见光部分的装置已被用作单一状态指示器、动态电平指示图(dynamic power level bar graphs)和被应用于很多领域的文字数字显示器,例如:音响、汽车、家用电子装置和计算机系统等等。红外装置被用作光隔离器中的与光谱匹配的光电晶体管、手持远端控制器、中断、反射装置以及光纤传感装置。

LED工作基于半导体中电子与空穴的复合。当导带中的电子载流子与价带中的空穴复合时,它将以发射光子即光的方式失去相当于带隙的能量。对于实用装置来说,平衡状态下电子载流子与空穴复合的数目是不够的,但是可以通过增加少数载流子密度的方法来增加。

在LED中,少数载流子的密度将随着对二极管施加正向偏压而增长。注入的少数载流子在P-N结边缘的非常小的扩散长度内与多数载流子复合。每次复合都产生电磁辐射,即光子。因为能量损失与半导体材料中的带隙有关,所以人们越来越认识到LED材料带隙性能的重要性。

许多电子装置急需更高效的LED,尤其是用低功率就能发出强光的LED。例如,更高亮度的LED对于工作在各种高温环境中的显示器和状态指示器是非常有用的。在LED的输出强度和驱动LED所需的功率之间也存在着一定的关系。例如,低功率LED对于各种便携式电子应用装置用途显著。通过用于可见光谱中红光部分的LED中的砷镓铝LED技

术的发展,可以看到尝试满足这种高强度低电压、更高效的 LED 要求的例子。可以看出对能发出可见光谱中绿光、蓝光和紫外线的 LED 的相同持续的需求。例如,因为蓝色是基本色,它的存在是产生全色显示和纯白光所需要甚至必需的。

该专利申请的共同受让人是成功将发射可见光和蓝色光的 LED 在该领域内实现工业化的第一人。这些 LED 由碳化硅形成;在 Edmond 的每个题目为“由碳化硅形成的蓝色 LED(Blue Light Emitting Diode Formed in Silicon Carbide)”、美国专利号为 US 4918497 和 US 5027168 的专利中给出了例证。

另一些蓝色 LED 的例证来自于 Nakamura 等的题目为“P 型复合半导体的制造方法(Method of Manufacturing P-Type Compound Semiconductor)”、美国专利号为 US 5306662 和 Nakamura 的题目为“用晶体生长法制造氮化镓基复合二极管(Crystal Growth Method for Gallium Nitride-Based Compound Semiconductor)”、美国专利号为 US 5290393 的专利。同时,在 Hatano 等的美国专利号为 US 5273933、题目为“制造半导体过程中的气相成膜法(Vapor Phase Growth Method of Forming Film in Process of Manufacturing Semiconductor Device)”的专利中也说明了 LED 的例子,该 LED 由在碳化硅(SiC)衬底上掺杂 GaInAlN 和在砷化镓(GaAs)衬底上掺杂硒化锌(ZnSe)而形成。

日本专利申请文摘公布号 10-145006(1998 年 5 月 29 日公布,对应申请号 09-206362,1997 年 7 月 31 日提交)公开了一种半导体激光器,包括纤锌矿结构的碳化硅衬底,氮镓铝(AlGa_N)和碳化硅的混合晶体的过渡层, N 型氮镓铝层,未掺杂氮化镓层,氮镓铟(InGa_N)有源层,未掺杂氮化镓层, P 型氮镓铝层,和 P 型氮化镓层。通过在碳化硅衬底和 n 型氮镓铝层之间提供一个氮镓铝和碳化硅的混合晶体过渡层,减缓了晶格常数间的差异并防止了间格缺陷的产生。

Doverspike 等人在“材料研究协会论文集(Mat. Res. Soc. Symp. Proc.)”, Vol.482,1169 页(1998 年)中描叙了一种利用金属有机化合物化学汽相淀积在单晶 6H-SiC 衬底上生长具有 AlN-InN-GaN 系统组成的单晶

薄膜的方法。由此制得了兰色发光二极管以及激光二极管结构。该导电缓冲层发光二极管使用了 AlGa_N 缓冲层, 该缓冲层在碳化硅和有源区之间提供了导电通路。还制备了紫色和兰色激光二极管, 它包括 8 个 InGa_N-Ga_N 多量子阱有源区域, 这些区域处于分开限制的杂化结构中。在使用绝缘缓冲层和导电缓冲层的结构中均获得了激光。

关于 LED 的基本论述来自于 Dorf 的《电子工程手册》(The Electrical Engineering Handbook), 第二版(1997, CRC 出版社), 1915 至 1925 页, 83.1 节, “发光二极管(Light Emitting Diodes)”, 和来自于 Sze 的《半导体装置物理学》(Physics of Semiconductor Devices), 681ff 页, 第 12 章, “LED 和半导体激光(LED and Semiconductor Lasers)” (1981, John Wiley & Sons, 公司)。

正如熟悉诸如 LED 的光子装置的人们所知道的, 由所给的半导体材料产生的电磁辐射(即光子)的频率是材料带隙的函数。小的带隙产生低能量、长波长的光子, 而要求宽的带隙材料产生高能量、短波长的光子。例如, 一般用于激光器的半导体即为采用磷铝镓铟(InGaAlP)。由于该材料的带隙(实际上是取决于分子的重量或每种存在元素的分子碰撞的带隙范围), InGaAlP 产生的光限定在可见光谱中的红光部分, 即, 大约 600 ~ 700 纳米(nm)。

然后, 为了产生具有波谱中蓝光和紫外光波长的光子, 要求半导体材料有相应较大的带隙。典型的候选材料包括碳化硅和第 III 族氮化物, 特别是氮化镓(GaN), 和三元或四元第 III 族氮化物, 如氮镓铝化合物(AlGa_N)、氮镓铟化合物(InGa_N)、氮镓铟铝化合物(AlInGa_N)。

除了彩色外, 短波 LED 还有许多优点。具体而言, 当用于光学存储装置时(即, CD-ROM 或光盘), 短的波长可使该装置按比例存储较多的信息。例如, 一个蓝光存储装置在相同的空间内所存储的信息量大约是红光存储装置的 4 倍。

但是, 因为第 III 族氮化物的相应较高的带隙(即氮化镓在室温是 3.36eV), 且因为它们是非直接带隙材料而不是非直接带隙材料, 所以它们是作为可发射绿光、蓝光和紫外光频率的 LED 的具有吸引力的候选材料。正

如熟悉半导体特性的人们所知道的，直带隙材料是一种不需要改变电子的结晶动量(crystal momentum)就可以使电子从价带向传导带跃迁的材料。在非直接半导体中，出现了其它情况，即，电子从价带向传导带跃迁需要改变电子的结晶动量。硅和碳化硅就是这种非直接半导体的例子。

一般说来，因为从直接跃迁来的电子比从间接跃迁来的保留了更多的能量，因此由直带隙材料构成的 LED 较由非直带隙材料构成的 LED 具有更高的效率。

然而，第 III 族氮化物存在不同的缺点：至今没有用于制造第 III 族氮化物的大块单晶的实用技术，该大块单晶体可形成第 III 族光子装置的适当衬底。正如熟悉半导体装置的人们所知道的，它们都需要某种结构衬底。典型地，由同样材料作为装置的有源区形成的衬底可以显示重要的优点，特别是对于晶体的生长和匹配。可是，由于第 III 族氮化物尚未形成大块晶体，第 III 族氮化物的光子装置必须在第 III 族氮化物以外的不同衬底上形成外延层。

然而，采用不同的衬底，会产生额外的问题，绝大部分存在于晶格匹配和热膨胀系数(TCEs)方面。在几乎所有情况下，不同材料具有不同的晶格常数和热膨胀系数(TCEs)。结果，当第 III 族氮化物外延层在不同衬底上生长时，将会出现某些晶格失配现象，必定导致外延层受拉或受压。这些晶格失配和产生的应力，带来潜在的晶格缺陷，反过来影响晶体和结的电子特性，因此必定降低甚至丧失光子装置的性能。在较高功率结构中这些缺陷问题会更严重。

迄今为止，第 III 族氮化物装置的通用衬底是蓝宝石，即三氧化二铝(Al_2O_3)。在可见光和紫外光区域，蓝宝石是透光的，但不幸的是，它是绝缘体，而不是导体，这将给(例如)氮化镓带来 16%的晶格失配。缺少导体衬底，就不能形成垂直装置(那些在反面接触的装置)，从而使得装置的制造和使用复杂化。

作为值得注意的缺点，诸如在蓝宝石上形成第 III 族氮化物层时所要求的水平结构(具有在装置同侧的接触的结构)，也会产生水平电流，因此通过该层的电流密度将会得到显著增长。这种水平电流将会在已存在应

力的结构(例如在氮化镓和蓝宝石之间 16%的晶格失配)施加一个附加的应力,并加速结合区(junction)乃至整个装置的失效。

氮化镓与氮化铝结合会带来 2.4%的晶格失配,与碳化硅结合会带来 3.5%的晶格失配。碳化硅会给氮化铝带来较少的失配(大约只有 1%)。

发明的目的和概述

因此,本发明的目的是利用碳化硅衬底和氮镓铟化合物结合发光的特性来改进发光二极管的亮度。

本发明利用可以发出电磁光谱中红光、绿光、蓝光、紫光和紫外光部分的垂直结构发光二极管来满足这种目的。发光二极管包含碳化硅导体衬底、氮镓铟化合物的量子阱、在衬底和量子阱之间的导电缓冲层、在量子阱每个表面分别不掺杂的氮化镓和在垂直结构方向上与装置的欧姆性触点。

另一方面,本发明为垂直结构发光二极管,该发光二极管由包含: N 型的碳化硅衬底,衬底上的导电缓冲层,在 N 型导电缓冲层上的第一氮化镓层,在第一氮化镓层上的不掺杂的第二氮化镓层,在第二氮化镓层上的氮镓铟化合物量子阱,在量子阱上的不掺杂的第三氮化镓层,在第三氮化镓层上的不掺杂的第一氮镓铝层,在第一氮镓铝层上的 P 型第二氮镓铝层,在第二氮镓铝层上的 P 型第四氮化镓层,对衬底的欧姆性触点,和对第四氮化镓层的欧姆性触点。

结合详述及附图,本发明的上述及其它目的和优点将变得更加清楚。

附图简述

图 1 为本发明中发光二极管的切面图;

图 2 为本发明与现有装置的二极管的量子效率的比较图;

图 3 为与本发明的发光二极管与现有蓝宝石衬底的发光二极管的正向电流与主波长的对应关系比较图;

图 4 为本发明的发光二极管与现有形成于蓝宝石衬底上的发光二极管的波长和半高宽的对应关系比较图;

图 5 和图 6 分别为本发明的两种发光二极管的电流与电压特性的关系图。

发明详述

本发明是可以发出电磁波谱中红光、绿光、蓝光、紫光和紫外光部分的垂直结构发光二极管。这里用的“垂直结构”指的是装置的欧姆性触点可以被置于结构两个相对表面的特性。这种结构与传统的阳极与阴极必须置于装置同一表面结构不同，相对于阳极与阴极必须置于装置同一表面的结构，该结构使得装置更容易制造适当的金属触点和引线(包括微处理器和印刷电路板中的引线)。图 1 描述了本发明的二极管装置，在该装置的最大范围内包括：导电碳化硅衬底 11、氮镓铟化合物量子阱 12、在衬底 11 和量子阱 12 之间的导电缓冲层、在量子阱的每个表面上的各自未掺杂氮化镓层 14 和 15 以及在垂直结构方向上的欧姆性触点 16 和 17。

优选地，碳化硅衬底 11 从 3C、4H、6H 和 15R 多型体中选择。最优选为 6H 多型体。衬底最优选按照共同受让的(或许可的)美国专利中提出的生长技术形成，该美国专利号为 Re 34861(4866005)。

导电缓冲层 13 优选按照共同未决的和共同受让未决的、题目为“具有导电缓冲夹层结构的碳化硅衬底上的第Ⅲ族氮化物光子装置”的专利中提出的结构和方法，该专利申请号为 PCT/US98/21160(国际公布号 WO99/18617)。

如上所述，碳化硅衬底与第Ⅲ族氮化物较蓝宝石有较好的晶格匹配。此外，第Ⅲ族氮化物在碳化硅上受拉，然而在蓝宝石上受压。本技术中所用的“受拉”是指外延层的热膨胀系数高于衬底的状态。“受压”是指外延层的热膨胀系数低于衬底的状态。在第Ⅲ族氮化物和碳化硅衬底之间，晶格常数的差异(氮化物的晶格常数高于碳化硅的)使压力增加，但总的拉力由各自的热膨胀系数决定。在这点上，几乎没有在受拉情况下的外层(epilayer)上生长的 InGaN 的报道。

正如熟悉电子结构的人们所知道的，量子阱一般由具有非常薄的有源

层的一层或几层半导体材料层形成。特别是当有源层的厚度减小到载流子的德布罗意波长的量级时，结果是会出现一系列具有限定量子阱边界状态能的不连续的能级。参见 Sze 《半导体装置物理学》(Physics of Semiconductor Devices), 2d Ed.(1981), 127 页和 729 页。正如熟悉这种装置的人们所公认的，单个或多个量子阱的应用增加了欲跃迁的电子密度，并且增加了产品的最终发射的亮度。

在更细的方面，碳化硅衬底 11 是 N 型，典型掺杂硅的第一层 N 型氮化镓 20 是在导电缓冲层 13 和上面提到的第二个氮化镓未掺杂层边界之上。

优选的结构还包括在总体上为第三层氮化镓层的另一个未掺杂的氮化镓层 15 上的第一个未掺杂的氮镓铝化合物层 21。第二个 P 型氮镓铝层 22(优选掺杂镁)在第一个未掺杂层 21 之上。总体上为第四个氮化镓层的 P 型氮化镓层 23 完成了该装置并且优选与镁掺杂。正如图 1 所示，欧姆性触点 16 被制成与导电碳化硅衬底接触，另一个欧姆性触点 17 被制成与 P 型氮化镓层 23 接触。在优选的实施例中，与衬底 11 接触的欧姆性触点 16 包括镍(Ni)，另一个与 P 型氮化镓层 23 接触的欧姆性触点由铂(Pt)形成。当然，倘若其他金属具有与它们接触的层相适当的欧姆特性，并且它们可以提供与各自层的适当的化学和物理结合，这些金属也可用作欧姆性触点。

在优选的实施例中，氮镓铝化合物量子阱 12 是本征 N 型，并可包含单量子阱(SQW)和多量子阱(MQW)。

本发明的整体结构中的每一层都有特殊的优点。如上所述，N 型碳化硅衬底比蓝宝石有更高的热传导特性，提供比蓝宝石更好与第 III 族氮化物的晶格匹配。它的导电特性使它成为垂直装置的理想选择。

如上所述，导电缓冲层 13 是为了满足 WO 99/18617 中提出的目的。在它的基本功能中，导电缓冲层 13 提供了从碳化硅衬底到氮化镓层 20 和 14 的晶体转换优势，并且，它的导电特性使装置的垂直结构得到完善并得以实现。

第一氮化镓层 20 加上导电缓冲层 13 的总厚度为大约 1.8 微米。导电

缓冲层 13 和氮化镓层 20 优选在氢气气氛、大约 1040℃、优选的环境中生长。N 型氮化镓层 20 应足够厚，以减小由碳化硅衬底 11 和导电缓冲层 13 之间的界面传播出的缺陷，并使全部表面成为接触面。如果层太薄，可能会影响装置波长的单一性。

优选实施例中的未掺杂氮化镓层 14 在总体上为第二个氮化镓层，已被证明可以增加装置的亮度并使之均匀发射。尽管它至今为止仍是一个经验上的结果，而且申请人不希望被任何特殊的理论所束缚，显然，未掺杂氮化镓层 14(在氮气气氛中生长)趋于捕获或吸收氮以至于它后来不会对必须与氢气隔离的 InGaN 量子阱产生影响。未掺杂氮化镓层 14 的使用还可以消除任何生长停顿，由于它在 InGaN 量子阱后来生长的相同气氛中生长，另一方面也需要该生长停顿。当在这种装置的生产中设计了生长停顿，停顿前后生长层间的界面的性能趋于下降。

未掺杂氮化镓层 14 也可以简单帮助释放在碳化硅衬底和第Ⅲ族氮化物层之间产生的应力。如上所述，未掺杂氮化镓层 14 在氮气气氛中生长(与在氢气气氛中生长的 N 型原氮化镓层相反)，并且在 750℃~800℃的优选温度下达到 200 埃的总厚度。

氮镓铟化合物量子阱 12 可以为单量子阱或多量子阱，并且可以在与未掺杂氮化镓层 14 相同的氮气气氛中，在 750~800℃的温度下典型生长成大约 20~30 埃的厚度。当然，量子阱为装置的有源层并能产生所需的输出。从功能的观点上看，量子阱 12 应该是“不规则的”或“亚稳的”，即足够薄以避免在其它相似或相同材料的较厚层中易于出现的晶体缺陷。

正如熟悉第Ⅲ族氮化物的人们知道的，带结构和量子阱的发射不同在于三元化合物中铟的量，参见如美国专利号为 5684309 的专利中的表 10 和 11，和第 7 栏，19-42 行，说明但并未限定这种特性。对于蓝色 LED，铟的摩尔分数大约是 35%，然而对于绿色 LED，铟的摩尔分数稍高，优选为约 50~55%。因此可以通过控制三元 InGaIn 化合物中铟的摩尔分数(或摩尔百分数)将该装置设计成发射特定波长。然而，大分数的铟比小分数的更不稳定，因此在选择量子阱所需的或最适宜的成分时需特别考虑

这种特性。

整个第三个氮化镓层 15 是量子阱相邻并作为防止 InGaN 量子阱 12 在晶体生长进程中暴露在氢气和高温中的另一个未掺杂氮化镓层。同样，上面的氮化镓层 15 在氮气气氛中生长也是为了防止 InGaN 量子阱 12 暴露在氢气中。此外，氮化镓层 15 防止 InGaN 量子阱 12 暴露在高温中，InGaN 已被认定会在约 950℃ 以上的温度下分解。

未掺杂氮镓铝层 21 通常比掺杂 AlGaN 具有更高的晶体特性，并且和未掺杂氮化镓层 15 一同帮助防止 InGaN 量子阱 12 暴露在比要求温度更高的温度或氢气中。未掺杂氮镓铝层 21 生长于氮气气氛中。

通常，氢气气氛产生高性能的 GaN 和 AlGaN 层，但是会对 InGaN 产生不利影响。因此，在可能的情况下，在氢气气氛中完成生长，换成氮气气氛以成功生长 InGaN 量子阱和它的邻近层。

未掺杂氮化镓层 15 和未掺杂氮镓铝层 21 两者都相对较薄。氮化镓层 15 厚约为 20-30 埃的量级，在 750~800℃ 的温度下生长。未掺杂氮镓铝层 21 具有约 30~50 埃的厚度，在约 800~850℃ 的温度下生长。

P 型氮镓铝层 22 较厚一些，约 200 埃左右，并且在约 900℃ 以上的温度下在氢气气氛中生长。它为整个结构提供了高性能的晶体层和注入量子阱中以产生所需发射的空穴。最终，P 型氮化镓层 23 为欧姆性触点 17 提供了更方便的材料。正如熟悉这些材料的人们所知道的，为氮镓铝制造一个适宜的欧姆性触点至少是困难的，且在很多情况下是不可能的。

用于不同的层的生长气体是明了的，使用硅烷(SiH_4)、三甲基镓($(\text{CH}_3)_3\text{Ga}$)和氨气(NH_3)以形成 N 型氮化镓层 20。可以根据需要用三乙基镓($(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{Ga}$)代替三甲基镓。同样的，用三甲基铟($(\text{CH}_3)_3\text{In}$)或三甲基铝($(\text{CH}_3)_3\text{Al}$)为源气体提供铟和铝。对于每个层氨气也用作优选源气体。

如上所述，在优选实施例 1 中，导电缓冲层 13 和第一个 GaN 层 20 在有利于它们生长并有利于得到所需特性的氢气气氛中生长。图 1 中的箭头 25 标明了氢气下的生长。然后，第二个 GaN 层 14、InGaN 量子阱 12、第三个 GaN 层 15 和第一个 AlGaN 层 21 在氮气气氛下生长并且优选不出现生长停顿。最终，第二个 AlGaN 层 22 和第四个 GaN 层 23 在

氢气气氛下生长,并且仍然优选不出现生长停顿。在这种方式中,InGaN量子阱12连同它的邻近层全都生长而不出现生长停顿,因为从氢气向氮气气氛的转换发生在未掺杂的GaN层14,并且相应的从氮气向氢气气氛的转换发生在掺杂的AlGaIn层21之后。正如熟悉晶体生长技术和特定的CVD取向生长技术的人们所知到的,连续生长进程较含有停顿的生长进程趋于在外延层间产生明显较好的界面。在这种方式下,根据本发明的LED结构提高了生长技术和连续生长技术并提高了LED的最终性能。

在优选实施例中,碳化硅衬底是“背面注入”的。需要930℃(至少)的温度作为背景,以得到在LED中在 $6E17 \sim 2E18$ 之间典型掺杂的N型碳化硅上的欧姆性触点。这样的温度通常不会对氮化镓产生负面影响,但是趋于降低氮镓量子阱12的功能或毁坏氮镓量子阱12。因此,为了在低温下得到好的与碳化硅的欧姆性触点,碳化硅衬底11在背面高度掺杂,类似的可以得到能在800℃的低温下乃至在750℃的低温下获得适宜的欧姆性触点的技术。

虽然也能够使用诸如激光退火或甚至薄的外延层(在多数情况下是不切实际的)的其它技术,但背面高度掺杂的碳化硅衬底11优选通过离子注入掺杂。作为例子而不是限制,碳化硅衬底11通常大约掺杂 $1.2E18(1.2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3})$,且注入部分的浓度达到大约 $1E20(1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3})$ 。

因此,在另一方面,本发明包括制造本发明中的垂直方向发光二极管的制造方法。在这方面,发明包括在氢气气氛下,在N型碳化硅衬底上连续生长导电缓冲层和N型氮化镓层。其后,在氮气气氛中,生长薄的未掺杂氮化镓、氮镓量子阱、第二个未掺杂氮化镓薄层和未掺杂氮镓铝薄层等连续层。通过后面在氢气气氛中的P型氮镓铝层和P型氮化镓层的连续生长完善了该技术。通过优选实施例,包括在用上述方式增加欧姆性触点部分增加碳化硅衬底的掺杂,即优选离子注入,欧姆性触点可以被加到P型氮化镓层和碳化硅衬底上。其源气体是上面所述的气体。

如源气体所显示的,这些层优选的生长技术为化学气相淀积(CVD)。在本发明中很好的理解了该技术。CVD和个别CVD设备的特性,不过

是单个气体流动速率、温度、反应器压力、时间周期和其它的通常在特定设备和环境中确定的过程参数。如果给出这里所述的层的组分，包括每层的厚度和优选的生长温度范围，则如果不用不适当的实验法，那些本发明中的一般技术就可以复制公开的过程和所得结构。

图 2~6 说明了根据本发明设计和制造的二极管的已被证明的优点。图 2 说明了根据本发明的 LED 的量子效率好于在蓝宝石衬底上的其他一些 LED。进一步讲，在产生同样输出的时候，垂直装置比相当的以蓝宝石为基础的装置提供小得多的芯片。例如，用途相当的以蓝宝石为基础的装置是 14 密耳×14 密耳(196 平方密耳)，然而根据本发明的装置(提供同样的亮度)是 10 密耳×10 密耳(100 平方密耳)；即后者大小上只有前者的 57%。

图 3 说明了根据本发明的 LED 比在蓝宝石上形成的 LED 在一定范围的正向电流上保持了更为一致的颜色。如图 3 所示，以蓝宝石为基础的 LED 在低正向电流上趋于发射波谱中的黄光或近黄光部分(例如，在 2 毫安为 544nm)，然而根据本发明的 LED 保持在绿光区域(在 2 毫安为 531nm)。

图 4 表明根据本发明的以 SiC 为基础的 LED 在要求的波长上表现出更窄的发射范围(更纯的颜色)，即在每个测量的波长上，以 SiC 为基础的 LED 的半高宽至少比以蓝宝石为基础的二极管的半高宽(FWHM)少 5nm。

图 5 和 6 表明根据本发明的绿色(525nm)和蓝色(470nm)LED 在正向偏压下都提供优异的电流特性。

在用途上，本发明的二极管可以用作提供包括红光、绿光和蓝光 LED 的像素和显示器。

已经在附图和说明书中公开了本发明的典型实施例，并且，虽然使用了特定的术语，他们只被用作一般的描述性意义而并非为了限制，本专利的范围在所附的权利要求中给出。

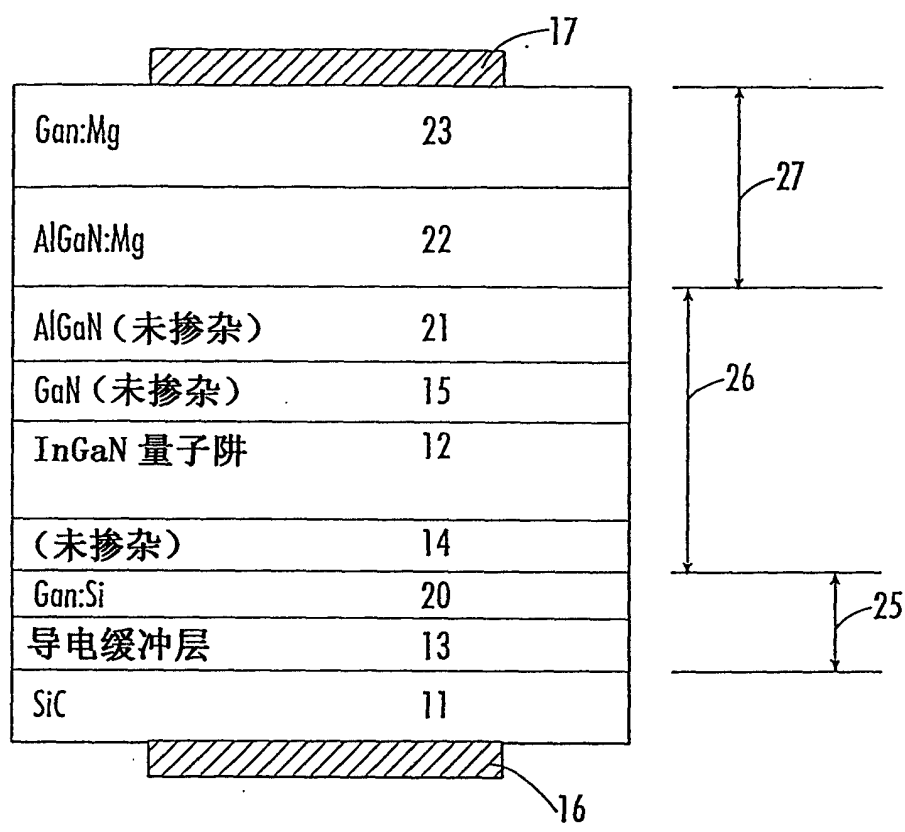


图 1

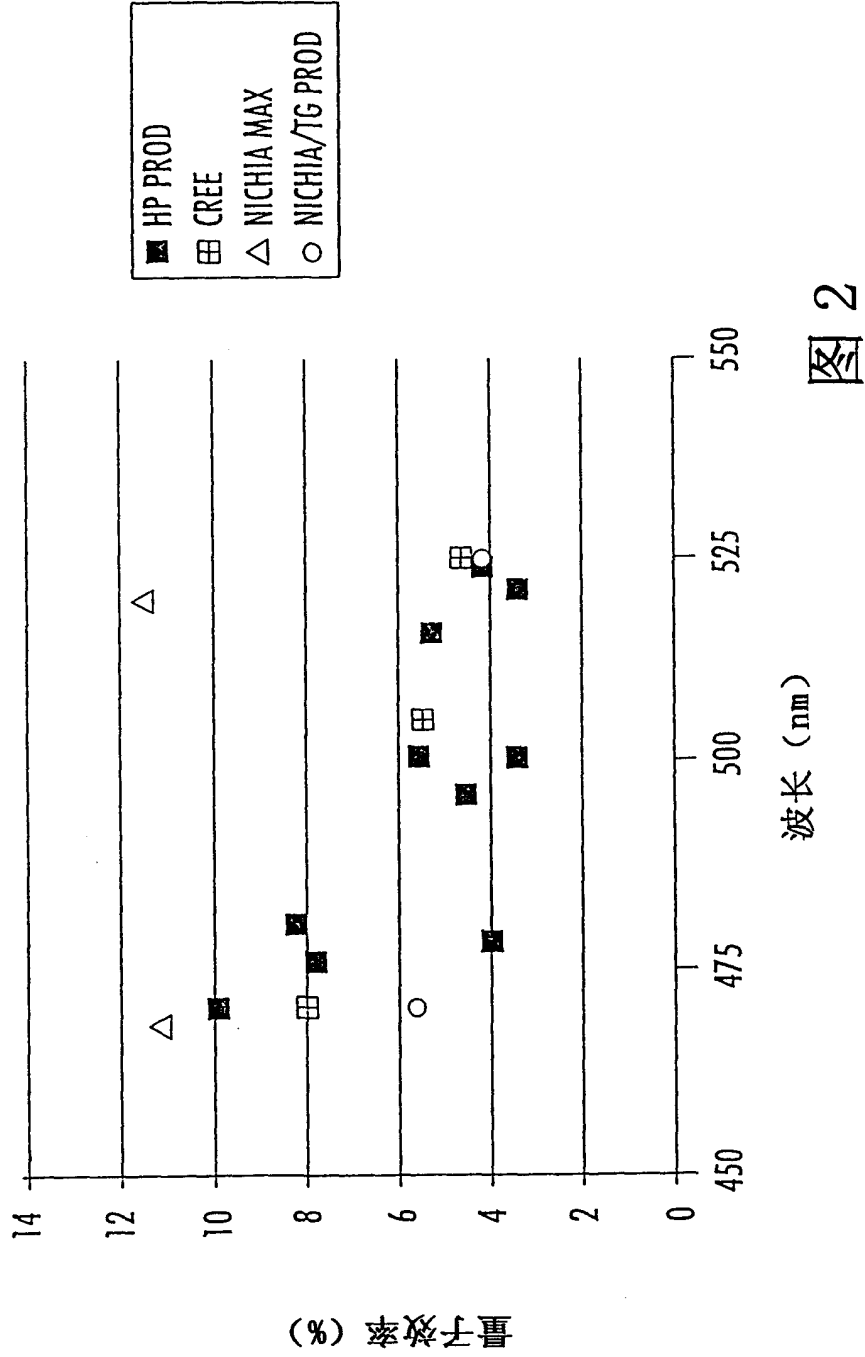


图 2

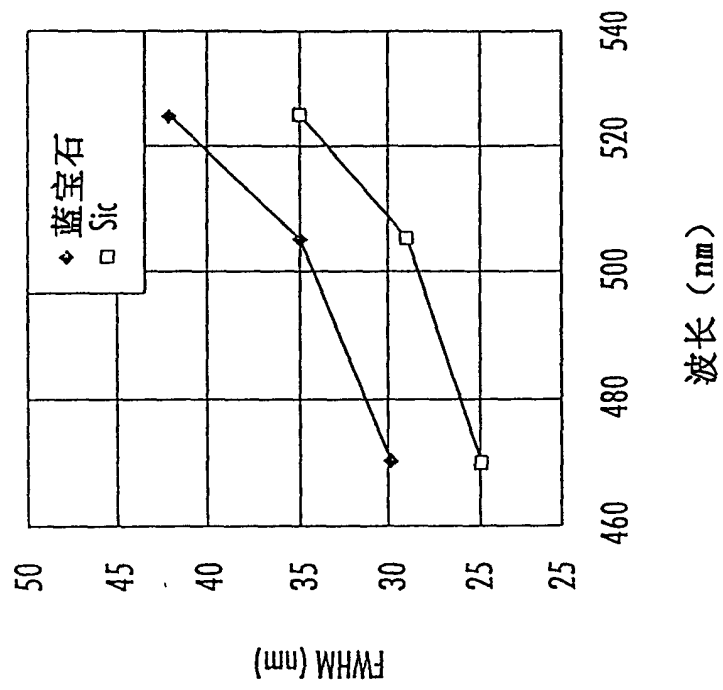


图 3

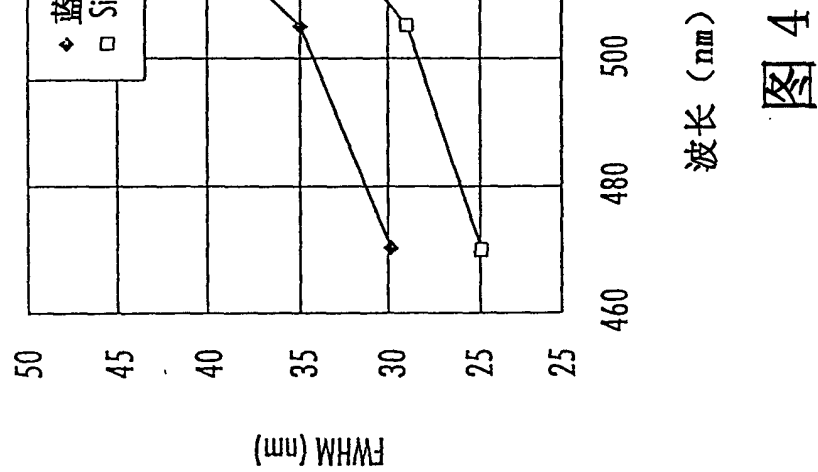


图 4

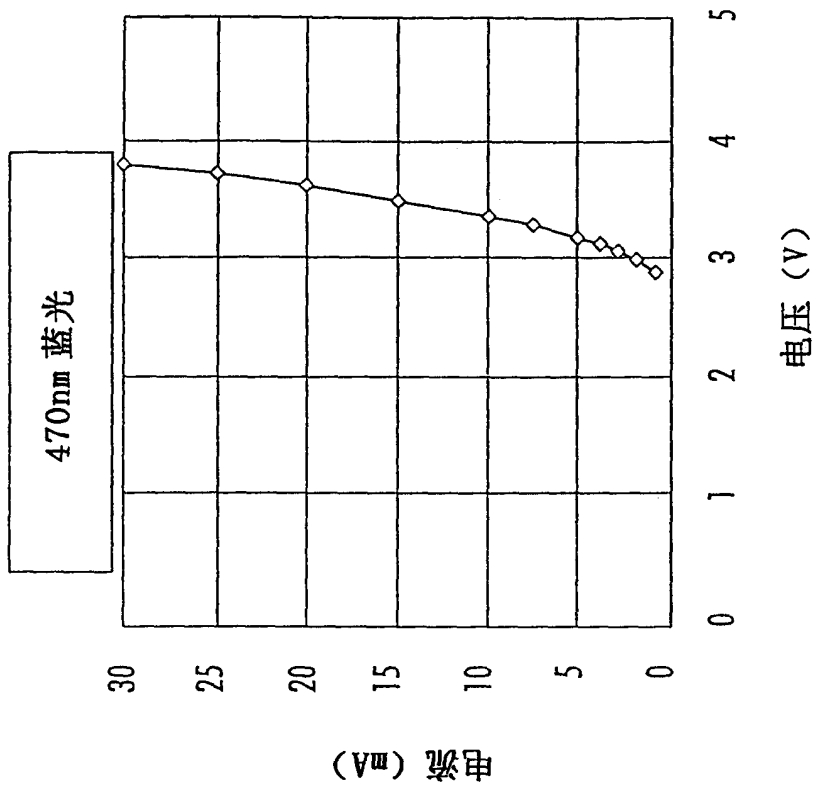


图 6

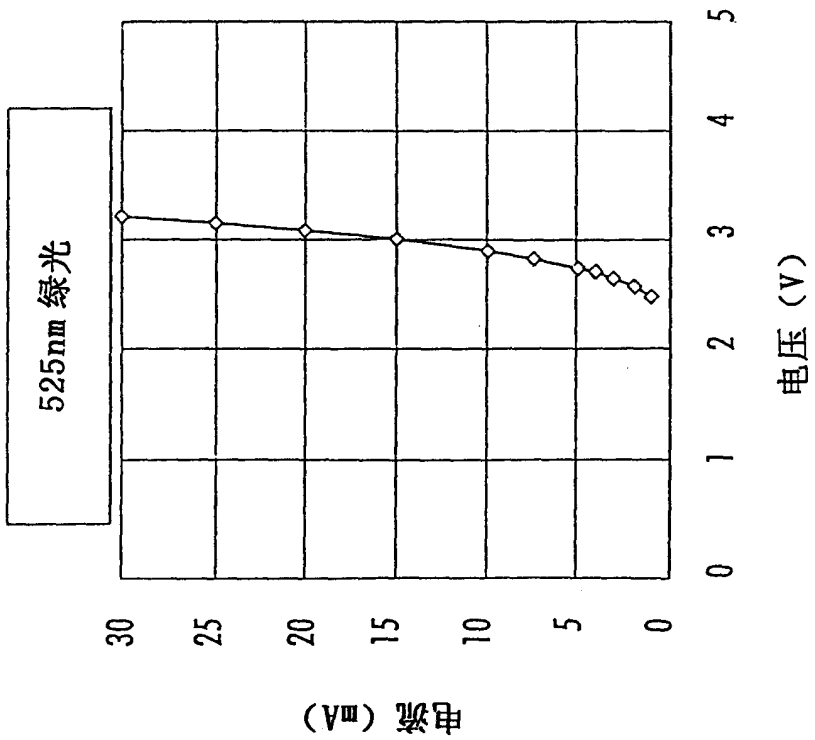


图 5