

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
H01L 33/00 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02803773.1

[45] 授权公告日 2006年9月6日

[11] 授权公告号 CN 1274035C

[22] 申请日 2002.1.12 [21] 申请号 02803773.1

[30] 优先权

[32] 2001. 1. 16 [33] US [31] 09/760,635

[86] 国际申请 PCT/US2002/000716 2002.1.12

[87] 国际公布 WO2002/063699 英 2002.8.15

[85] 进入国家阶段日期 2003.7.16

[71] 专利权人 克里公司

地址 美国北卡罗莱纳

[72] 发明人 J·A·埃得蒙德

K·M·多沃斯派克 孔华双

M·J·博格曼

审查员 赵百令

[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 任宗华

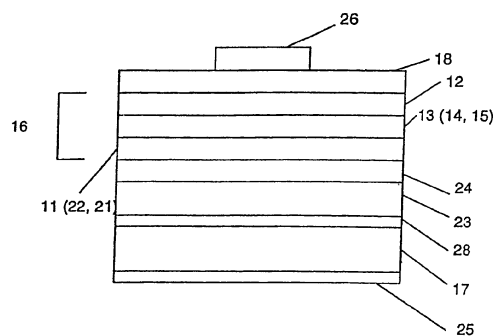
权利要求书 5 页 说明书 17 页 附图 7 页

[54] 发明名称

具有未掺杂覆盖层的第III族氮化物 LED

[57] 摘要

本发明是一种发光装置用的半导体结构体，所述发光装置可发射在电磁光谱中红到紫外部分的光。该半导体结构体包括位于第一 n - 型第III族氮化物覆盖层(11)和第二 n - 型第III族氮化物覆盖层(12)之间的第III族氮化物活性层(13)，第一和第二 n - 型覆盖层各自具有的带隙大于活性层的带隙。该半导体结构体进一步包括 p - 型第III族氮化物层(18)，其位于半导体结构体内，使得第二 n - 型覆盖层(12)处于 p - 型层(18)与活性层(13)之间。



1. 一种发光装置用的半导体结构体(10), 所述发光装置可发射在电磁光谱中红到紫外部分的光, 所述结构体包括:

碳化硅衬底(17);

导电缓冲层(23);

$\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 的第一 n-型覆盖层(11), 其中 $0 \leq x \leq 1$ 和 $0 \leq y < 1$ 和 $(x+y) \leq 1$;

$\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 的第二 n-型覆盖层(12), 其中 $0 \leq x \leq 1$ 和 $0 \leq y < 1$ 和 $(x+y) \leq 1$, 其中第二 n-型覆盖层的特征进一步在于基本上不存在镁;

$\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 的活性层(13), 其中 $0 \leq x < 1$ 和 $0 \leq y \leq 1$ 和 $(x+y) \leq 1$, 其中所述活性层是 n-型, 且位于所述第一 n-型覆盖层与所述第二 n-型覆盖层之间; 和

第 III 族氮化物的 p-型层(18), 其中所述第二 n-型覆盖层(12)处在所述 p-型层(18)与所述活性层(13)之间;

其中所述第一 n-型覆盖层(11)具有第一表面(21)和第二表面(22), 所述第一 n-型覆盖层(11)的所述第一表面(21)与所述导电缓冲层(23)接触, 和所述第一 n-型覆盖层(11)的所述第二表面(22)与所述活性层(13)接触;

其中所述第一与所述第二 n-型覆盖层(11, 12)各自分别具有的带隙大于所述活性层(13)的带隙。

2. 权利要求 1 的半导体结构体(10), 其中所述活性层(13)具有第一表面(14)和第二表面(15), 所述活性层的所述第一表面与所述第一 n-型覆盖层(11)接触, 和所述活性层的所述第二表面与所述第二 n-型覆盖层(12)接触。

3. 权利要求 1 的半导体结构体(10), 其中所述导电缓冲层(23)具有第一表面和第二表面, 其中所述导电缓冲层(23)的所述第一表面与所述碳化硅衬底(17)接触, 和所述导电缓冲层的所述第二表面与所述第一 n-型覆盖层(11)接触。

4. 权利要求 1 的半导体结构体(10), 其中所述导电缓冲层(23)基本上由分子式为 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 的氮化铝镓组成, 其中 $0 < x < 1$ 。

5. 权利要求 1 的半导体结构体(10), 进一步包括第 III 族氮化物的 n-型过渡层(24), 所述过渡层(24)位于所述导电缓冲层(23)与所述第一 n-型覆盖层(11)之间。

6. 权利要求 1 的半导体结构体(10), 进一步包括选自氮化镓和氮化铟镓的离散晶体部分(28), 所述离散晶体部分(28)位于所述导电缓冲层(23)与所述碳化硅衬底(17)之间, 所述离散晶体部分的存在量足以降低所述导电缓冲层与所述碳化硅衬底之间的屏蔽, 但小于将有害地影响在所述碳化硅衬底上形成的任何所得发光装置的功能的量。

7. 权利要求 1 的半导体结构体(10), 其中所述第二 n-型覆盖层(12)具有第一表面和第二表面, 所述第二 n-型覆盖层的所述第一表面与所述活性层(13)接触, 和所述第二 n-型覆盖层的所述第二表面与所述 p-型层(18)接触, 其中所述第二 n-型覆盖层(12)的组成渐进式渐变, 使得在第二 n-型覆盖层的所述第一表面处的晶格更紧密地匹配所述活性层(13)的晶格, 和在所述第二 n-型覆盖层(12)的所述第二表面处的晶格更紧密地匹配所述 p-型层的晶格。

8. 权利要求 1 的半导体结构体(10), 其中所述 p-型层(18)与所述第二 n-型覆盖层(12)接触, 与所述活性层(13)相对。

9. 权利要求 1 的半导体结构体(10), 其中所述第二 n-型覆盖层(12)基本上由 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 组成, 其中 $0 < x < 1$ 。

10. 权利要求 1 的半导体结构体(10), 其中所述活性层(13)基本上由 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 组成, 其中 $0 < y < 1$ 。

11. 权利要求 1 的半导体结构体(10), 其中所述 p-型层(18)是镁掺杂的氮化镓。

12. 权利要求 1 的半导体结构体(10), 其中所述第二 n-型覆盖层(12)介于 20 至 50Å 厚, 以阻止镁从所述 p-型层(18)到所述活性层(13)的迁移, 并且促进在所述活性层内的重组。

13. 权利要求 1 的半导体结构体(10), 其中所述 p-型层(18)是氮

化铟。

14. 权利要求 1 的半导体结构体(10), 其中所述 p-型层(18)是 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$, 其中 $0 < x < 1$ 。

15. 权利要求 1 的半导体结构体(10), 其中所述 p-型层(18)包括由多个第 III 族氮化物层形成的超晶格, 其中所述氮化物层选自氮化镓、氮化铟和 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$, 其中 $0 < x < 1$ 。

16. 权利要求 15 的半导体结构体(10), 其中由两种第 III 族氮化物层的交替层形成所述超晶格, 其中所述氮化物层选自氮化镓、氮化铟和 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$, 其中 $0 < x < 1$ 。

17. 权利要求 1 的半导体结构体(10), 进一步包括 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 的第三 n-型层(19), 其中 $0 \leq x \leq 1$ 和 $0 \leq y < 1$ 和 $(x+y) \leq 1$; 其中所述第三 n-型层(19)位于所述第二 n-型覆盖层(12)与所述 p-型层(18)之间。

18. 权利要求 17 的半导体结构体(10), 其中所述第三 n-型层(19)具有第一表面和第二表面, 其中所述第三 n-型层(19)的所述第一表面与所述 p-型层(18)接触, 和所述第三 n-型层(19)的所述第二表面与所述第二 n-型覆盖层(12)接触。

19. 一种发光装置用半导体结构体(10), 所述发光装置可发射在电磁光谱中红到紫外部分的光, 所述结构体包括:

选自 3C、4H、6H 和 15R 中的多型体的 n-型单晶碳化硅衬底(17);

由至少一种第 III 族氮化物形成的 p-型层(18), 所述氮化物选自氮化镓、氮化铟和 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$, 其中 $0 < x < 1$;

$\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 的活性层(13), 其中 $0 \leq x < 1$ 和 $0 \leq y \leq 1$ 和 $(x+y) \leq 1$, 其中所述活性层(13)是 n-型, 且位于所述碳化硅衬底(17)与所述 p-型层(18)之间; 和

$\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 的第一 n-型覆盖层(11), 其中 $0 \leq x \leq 1$ 和 $0 \leq y < 1$ 和 $(x+y) \leq 1$, 其中所述第一 n-型覆盖层(11)位于所述碳化硅衬底(17)与所述活性层(13)之间;

$\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 的第二 n-型覆盖层(12), 其中 $0 \leq x \leq 1$ 和 $0 \leq y < 1$ 和

$(x+y) \leq 1$ ，其中所述第二 n-型覆盖层(12)位于所述活性层(13)与所述 p-型层(18)之间；

选自氮化镓和氮化铟镓的离散晶体部分(28)，所述离散晶体部分位于所述第一 n-型覆盖层(11)与所述碳化硅衬底(17)之间，所述离散晶体部分(28)的存在量足以降低所述第一 n-型覆盖层(11)与所述碳化硅衬底(17)之间的屏蔽，但小于将有害地影响在所述碳化硅衬底上形成的任何所得发光装置的功能的量；

其中所述第一 n-型覆盖层(11)具有第一表面(21)和第二表面(22)，所述第一 n-型覆盖层(11)的所述第一表面(21)与所述离散晶体部分(28)接触，和所述第一 n-型覆盖层(11)的所述第二表面与所述活性层(13)接触；

其中所述第一和第二 n-型覆盖层(11, 12)各自分别具有的带隙大于所述活性层的带隙。

20. 权利要求 19 的半导体结构体(10)，其中所述第一 n-型覆盖层(11)的组成渐进式渐变，使得在第一 n-型覆盖层(11)的所述第一表面(21)处的晶格更紧密地匹配所述碳化硅衬底(17)的晶格，和在所述第一 n-型覆盖层(11)的所述第二表面(22)处的晶格更紧密地匹配所述活性层(13)的晶格。

21. 权利要求 19 的半导体结构体(10)，其中所述第二 n-型覆盖层(12)具有第一表面和第二表面，所述第二 n-型覆盖层的所述第一表面与所述活性层(13)接触，和所述第二 n-型覆盖层的所述第二表面与所述 p-型层(18)接触，其中所述第二 n-型覆盖层(12)的组成渐进式渐变，使得在所述第二 n-型覆盖层(12)的所述第一表面处的晶格更紧密地匹配所述活性层(13)的晶格，和在所述第二 n-型覆盖层(12)的所述第二表面处的晶格更紧密地匹配所述 p-型层(18)的晶格。

22. 权利要求 19 的半导体结构体(10)，其中所述 p-型层(18)是镁掺杂的氮化镓。

23. 权利要求 19 的半导体结构体(10)，其中所述第二 n-型覆盖层(12)介于 20 至 50Å 厚，以阻止镁从所述 p-型层(18)到所述活性层

(13)的迁移，并且促进在活性层(13)内的重组。

24. 权利要求 19 的半导体结构体(10)，其中所述 p-型层(18)包括由两种第 III 族氮化物层的交替层形成所述超晶格，其中所述氮化物层选自氮化镓、氮化铟和 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ，其中 $0 < x < 1$ 。

25. 权利要求 19 的半导体结构体(10)，进一步包括 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 的第三 n-型层(19)，其中 $0 \leq x \leq 1$ 和 $0 \leq y < 1$ 和 $(x+y) \leq 1$ ；其中所述第三 n-型层(19)位于所述第二 n-型覆盖层(12)与所述 p-型层(18)之间。

26. 权利要求 25 的半导体结构体(10)，所述第三 n-型层(19)具有第一表面和第二表面，其中所述第三 n-型层的所述第一表面与所述 p-型层(18)接触，和所述第三 n-型层(19)的所述第二表面与所述第二 n-型覆盖层(12)接触。

27. 权利要求 19 的半导体结构体(10)，进一步包括基本上由分子式为 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 的氮化铟镓组成的导电缓冲层(23)，其中 $0 \leq x \leq 1$ ；所述导电缓冲层(23)位于所述碳化硅衬底(17)与所述离散晶体部分(28)之间。

28. 权利要求 27 的半导体结构体(10)，进一步包括第 III 族氮化物的 n-型过渡层(24)，所述过渡层(24)位于所述导电缓冲层(23)与所述离散晶体部分(28)之间，且具有与所述第一 n-型覆盖层(11)相同的电导类型。

具有未掺杂覆盖层的第 III 族氮化物 LED

发明领域

本发明涉及发光装置的半导体结构体，特别地涉及由第 III 族氮化物形成的发光二极管和激光二极管的半导体结构体，所述发光装置能发出电磁光谱中红到紫外部分的光。

发明背景

光子半导体装置分成三类：将电能转化为光辐射的装置(例如发光二极管和激光二极管)；检测光信号的装置(例如光电探测器)；和将光辐射转化成电能的装置(例如光生伏打装置和太阳能电池)。尽管所有三类装置都具有有用的用途，但发光二极管由于应用到各种消费产品和领域中，从而其可能是最为人所熟知的。

发光装置(例如发光二极管和激光二极管，此处被称为 LED)是将电能转化成发光的光子、p-n 结半导体装置。可能最常见地，LED 形成在电磁光谱中的可见光部分的光源，该光源用于各种信号、指示器、计量器和在消费品中使用的显示器(例如音频系统、汽车、家用电器和计算机系统)。因为 LED 通常长的使用寿命、低的功率要求和高的可靠性，所以 LED 作为光输出装置是理想的。

尽管其具有广泛的用途，但 LED 在功能上受到一些限制，因为给定的 LED 可能产生的颜色受到制造该 LED 所使用的半导体材料的本性的限制。本领域和相关领域的技术人员公知，LED 所产生的光被称为“电致发光”，它表示在外加电压下电流流过材料而产生光。产生电致发光的任何特定组合物倾向于在相对窄的波长范围内如此发光。

给定的 LED 材料可能发出的光的波长(即其颜色)受到该材料的物理特征，具体地其带隙能量的限制。带隙能量是在半导体中分开较低能量的价带和较高能量的导带所需的能量。根据量子力学的公知原

理，能带是载流子(电子或空穴)可停留的能量状态。“带隙”是导带与价带之间的能量区域，该区域对载流子来说是被禁止的(即载流子不可能存在于这些能量状态)。在某些情况下，当电子和空穴越过带隙并重组(recombine)时，它们将以光的形式放出能量。换句话说，给定的半导体材料可能产生的电磁辐射频率(即颜色)是该材料带隙能量的函数。

在这方面，较窄的带隙产生较低的能量、较长波长的光子。相反，较宽的带隙产生较高的能量、较短波长的光子。蓝光比在可见光谱内的大多数其它颜色具有较短的波长，因此具有较高的频率。因此，必须由比产生绿、黄、橘黄或红光的那些跃迁能量大的跃迁来产生蓝光。产生波长在可见光谱中的蓝或紫外部分范围内的光子要求具有相对大的带隙的半导体材料。

整个可见光谱从在或约 390nm 的紫色变为在约 780nm 处的红色。依次地，可认为可见光谱的蓝色部分的波长从约 425 延伸至 480nm。约 425nm(接近紫色)和 480nm(接近绿色)的波长分别依次代表约 2.9eV 和约 2.6eV 的能量跃迁。因此，只有具有至少约 2.6eV 带隙的材料可产生蓝光。

较短波长的装置除了提供颜色之外，还提供许多优点。特别地，当在光存储和记忆装置如 CD-ROM 光盘中使用时，较短的波长能使这种存储装置保留显著更多的信息。例如，在与使用红光的空间相同的空间内，使用蓝光存储信息的光学装置可以保留显著更多的信息。

发光二极管操作的基本机理是本领域公知的，例如在 Sze 的 *Physics of Semiconductor Devices*, 第 2 版(1981)第 681 - 703 页中被列出。

本发明的共同受让人是本领域中成功开发商业上可的 LED 的第一人，该 LED 发出蓝色光谱范围内的光，且可大量地从商业上获得。这些 LED 在碳化硅，即一种宽带隙半导体材料上形成。在授予 Edmond 的美国专利 No.4918497 和 5027168(各自的标题为“Blue Light Emitting Diode Formed in Silicon Carbide”)中公开了这种蓝色

LED 的实例。在共同转让的美国专利 No.5523589、5592501 和 5739554 中公开了第 III 族氮化物 LED 结构体和激光结构体的其它实例。

除了碳化硅之外，发蓝光装置的候选材料是氮化镓(GaN)和其相关的第 III 族(即周期表中的第 III 族)氮化物化合物如氮化铝镓(AlGaN)、氮化铟镓(InGaN)和氮化铝铟镓(AlInGaN)。这些物质是特别有吸引力的，因为它们在室温下提供带隙介于约 1.9 至约 6.2eV 的直接能量跃迁。更常见的半导体物质如硅、磷化镓或砷化镓不适于产生蓝光，因为它们的带隙为大约 2.26eV 或更低，在硅的情况下，其是间接的半导体和无效率的光发射器。

熟知 LED 和电子跃迁的技术人员公知，当价带最大值和导带最小值具有相同的动量状态时，在半导体中发生直接的跃迁。这意味着在电子与空穴的重组(recombination)中结晶动量容易守恒，结果由跃迁所产生的能量大多数且有效地进入光子(即产生光，而不是热)。当导带最小值和价带最大值不具有相同的动量状态时，则要求光子(即振动能量的量子)结晶动量守恒和这种跃迁被称为“间接”。需要第三粒子，即光子，使得间接的辐射跃迁不太可能，从而降低装置的发光效率。

一般而言，在直接带隙物质中形成的 LED 比在间接带隙物质中形成的 LED 更有效。因此，与间接材料如碳化硅的发射相比，第 III 族氮化物的直接跃迁特征提供了更亮和更有效的发射，和因此更亮和更有效的 LED 可能性。因此，过去十年来的主要兴趣也集中于用氮化镓和相关的第 III 族氮化物产生发光二极管。

尽管第 III 族氮化物在宽的带隙能量范围内提供直接跃迁，但该物质存在一系列特定的技术制造问题。特别地，尚未出现商业上可行的技术来生产大块的氮化镓(GaN)单晶，该单晶能充当氮化镓外延层(epitaxial layer)用的合适衬底，而在该衬底上将形成光子装置。

所有半导体装置要求某种类型的结构衬底。典型地，用与活性区域相同的材料形成的衬底提供显著的优点，特别地在晶体生长和晶格

匹配性(matching)方面。由于氮化镓还必须在这种大块晶体内形成,所以必须在非 GaN 衬底上的外延层内形成氮化镓光子装置。

在第 III 族氮化物衬底领域中最近的工作包括共同转让的美国专利 No.6296956(题为“Growth of Bulk Single Crystals of Aluminum Nitride”); 6066205(题为“Growth of Bulk Single Crystals of Aluminum Nitride from a Melt”); 6045612(题为“Growth of Bulk Single Crystals of Aluminum Nitride”); 和 6048813(题为“Simulated Diamond Gemstones Formed of Aluminum Nitride and Aluminum Nitride: Silicon Carbide Alloys”)

然而,使用不同的衬底引起一系列额外的问题,主要地在晶格匹配性方面。在几乎所有的情况下,不同材料具有不同的晶格参数。结果,当氮化镓外延层在不同衬底上生长时,会发生某些晶格失配(mismatching)和热膨胀系数失配。所得外延层因这种失配被认为产生“应变(strain)”。晶格失配和它们产生的应变引入晶体缺陷的可能性。这反过来影响晶体和接点的电子特征,并因此倾向于降低光子装置的性能。这类缺陷在高功率结构体中甚至更是问题。

在早期的第 III 族氮化物 LED 中,氮化镓装置用的最常见衬底是蓝宝石(即氧化铝 Al_2O_3)。一些当今的第 III 族氮化物装置继续使用它。

蓝宝石在可见与紫外光范围内是光学透明的,但与氮化镓有约 16% 的晶格失配。此外,蓝宝石绝缘而不导电,和不适于电导掺杂。因此,必须经过 LED 产生发光的电流不可能直接流过蓝宝石衬底。因此必须制造其它类与 LED 的连接。

一般地,具有垂直几何形状的 LED 采用导电衬底,以便可在该装置的反向端处放置欧姆接触点。由于许多理由优选这种垂直 LED,其中包括与非垂直的装置相比,它们比较容易制造和比较简单地加装入最终使用的装置内。但在不存在导电衬底情况下,不可能形成垂直装置。

与蓝宝石相反,氮化镓与氮化铝(AlN)仅具有约 2.4% 的晶格失

配，与碳化硅仅具有约 3.5% 的失配。碳化硅与氮化铝具有稍微较少的失配，仅约 1%。

也已证明第 III 族三元和四元氮化物(例如氮化镓和氮化铝镓)具有相对宽的带隙。因此，这种第 III 族氮化物固体溶液也提供蓝色和紫外半导体激光和 LED 的可能性。但这些化合物存在与氮化镓相同的问题，即不含全同的单晶衬底。因此，它们各自典型地以在不同衬底上生长的外延层形式被使用。在晶体缺陷和有关的电子问题方面，这存在相同的可能性。

因此，本发明的受让人开发出使用碳化硅衬底用于氮化镓和其它第 III 族装置作为解决蓝宝石作为衬底的电导问题的手段。由于碳化硅可被电导掺杂，所以可形成垂直的 LED。正如所述的，垂直结构体既有助于 LED 的制造，又有助于将它们加装入电路和最终用途的装置内。

熟知第 III 族氮化物的技术人员公知，基于本发明第 III 族元素(例如镓、铝、镓)的本性和摩尔分数，它们的性能不同。例如，增加铝的摩尔分数倾向于增加带隙，而降低铝的用量则倾向于增加折射率。类似地，较大比例的镓将降低材料的带隙，进而使得带隙可能被调节或“调整”到产生所需频率的光子。改变这些方案中的摩尔比例也改变了晶格间距。因此，尽管在这一领域内作出了许多努力，但仍然存在对下述装置的需求，该装置可掺入垂直的几何形状，且能利用当所需地调节第 III 族氮化物光子装置中活性层、覆盖层和缓冲层内镓、铝和镓的比例时所产生的特征。

本发明进一步的方面提供发光装置，其具有降低的非辐射重组和改进的效率。

发明目的与概述

因此，本发明的目的是以可利用其有利性能的方式由第 III 族氮化物制造发光二极管和激光二极管。

通过下述半导体结构体，本发明可满足这些目的，所述半导体结构体包括位于第一 n-型第 III 族氮化物覆盖层和第二 n-型第 III 族氮

化物覆盖层之间的第 III 族氮化物活性层。活性层的带隙小于第一和第二 n-型覆盖层各自的带隙。该半导体结构体进一步包括 p-型第 III 族氮化物层，其处于该半导体结构体内，使得第二 n-型覆盖层处在 p-型层与活性层之间。

在另一实施方案中，第二 n-型第 III 族氮化物覆盖层具有渐变的组成，使得在与 p-型第 III 族氮化物层的接点处，它基本上与 p-型第 III 族氮化物层是晶格匹配的。

在另一实施方案中，结构体包括位于第二 n-型第 III 族氮化物覆盖层和 p-型第 III 族氮化物层之间的第三 n-型第 III 族氮化物层。第三 n-型第 III 族氮化物层优选包括与 p-型第 III 族氮化物层相同的材料结构，使得在第三 n-型第 III 族氮化物层与 p-型第 III 族氮化物层之间形成 p-n 同质结。

在下述详细的说明和其附图内进一步详举了本发明前述以及其它目的和优点和实现它们的方式。

附图的简要说明

图 1 是本发明的发光装置用半导体结构体的正面剖视简图；

图 2 是铝、镉和镓的第 III 族氮化物合金的带隙能量对晶格参数的曲线图(假定线性内插)；

图 3 是半导体结构体实施方案的剖视简图；

图 4 是半导体结构体实施方案的剖视简图；

图 5 是半导体结构体实施方案的剖视简图；

图 6 是半导体结构体实施方案的剖视简图；

图 7 是半导体结构体实施方案的剖视简图；

图 8 和 9 是对应某些现有技术装置的带隙示意图；

图 10 - 12 是本发明装置的带隙示意图。

发明的详细说明

本发明是一种发光装置用的半导体结构体，其可发射在电磁光谱中红到紫外部分的光。该结构体包括位于第一 n-型第 III 族氮化物覆盖层和第二 n-型第 III 族氮化物覆盖层之间的第 III 族氮化物活性

层。第二 n-型覆盖层的特征在于基本上不存在镁(即, 可存在镁, 但其量仅小到以致于对半导体装置的功能没有影响)。该半导体结构体本身的特征进一步在于 p-型第 III 族氮化物层, 其处在半导体结构体内, 使得第二 n-型覆盖层处在 p-型层与活性层之间。另外, 活性层的带隙小于第一和第二 n-型覆盖层各自分别的带隙。此处所使用的术语“层”通常是指单晶外延层。

特定的导电类型(即 n-型或 p-型)可以是非故意的, 但更常见地是使用合适的给体或受体原子特定地掺杂第 III 族氮化物的结果。所需地包括导电类型相反的层, 以便在装置内形成 p-n 结。在正向偏压之下, 穿过 p-n 结注入的少数载流子重组, 产生所需的光发射。第 III 族氮化物的适当掺杂是本领域公知的, 在此不进一步讨论, 除非需要它来描述本发明。

一般地, 活性层和覆盖层包括第 III 族氮化物化合物。在这种化合物内的第 III 族元素可以是铝、镓、铟或两种或更多种这些元素的结合。

本领域的技术人员将理解, 在活性层、第一 n-型覆盖层和第二 n-型覆盖层内的铝、镓和铟的摩尔分数通常可用下述分子式表达: $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$, 其中 $0 \leq x \leq 1$ 和 $0 \leq y < 1$ 和 $(x+y) \leq 1$ 。在这方面, 各层的铝、镓和铟的相对浓度可变。但本领域的技术人员将理解, 覆盖层不可能是氮化铟(即 $y=1$), 因为 InN 具有所有可能组合中的最低带隙, 并且活性层不可能是氮化铝(即 $x=1$), 因为 AlN 具有所有可能组合中的最高带隙。应理解, 在这些实施方案中, 覆盖层具有比活性层大的能带间隙。

参考图 1, 可实现本发明的理解, 而图 1 是本发明的 LED 用半导体结构体的剖视简图。通常标记为 10 的半导体结构体包括 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 的第一 n-型覆盖层 11, 其中 $0 \leq x \leq 1$ 和 $0 \leq y < 1$ 和 $(x+y) \leq 1$ 。

半导体结构体 10 也包括 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 的第二 n-型覆盖层, 其中 $0 \leq x \leq 1$ 和 $0 \leq y < 1$ 和 $(x+y) \leq 1$, 或在更具体的实施方案中, 包括不含

铟的氮化铝镓 n-型覆盖层 12, 其具有分子式 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$, 其中 $0 < x < 1$ 。在这方面, 变量 x 的范围不包括 0 和 1, 本领域的技术人员将理解为这要求存在铝和镓二者(即铝和镓的合金)。正如所述的, 第二 n-型覆盖层 12 特别地排除镁, 和可被掺杂或不被掺杂。覆盖层可以是非故意的 n-型, 即不被掺杂。

具有分子式 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ (其中 $0 \leq x < 1$ 和 $0 \leq y \leq 1$ 和 $(x+y) \leq 1$)的 n-型活性层 13 位于第一 n-型覆盖层 11 和第二 n-型覆盖层之间 12 之间。在更具体的实施方案中, 活性层 13 不含铝, 其基本上由具有分子式 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 的氮化铟镓组成, 其中 $0 < y < 1$ 。在这方面, 变量 y 的范围不包括 0 和 1, 本领域的技术人员将理解为这要求存在铟和镓二者(即铟和镓的合金)。

半导体结构体的特征进一步在于 p-型第 III 族氮化物层 18, 如前所述, 其处在半导体结构体内, 使得第二 n-型覆盖层 12 处在 p-型层 18 与活性层 13 之间。在优选的实施方案中, p-型层由氮化镓(优选镁-掺杂的氮化镓)、氮化铟、或分子式为 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 的氮化铟镓制造, 其中 $0 < x < 1$ 。

注意到, 在 p-型层 18 由镁-掺杂的氮化镓制造的实施方案中, 第二 n-型覆盖层 12 应当足够厚, 以阻止镁从 p-型层 18 到活性层 13 的迁移, 然而又足够薄, 以促进活性层 13 内电子和空穴的重组。这有助于从活性层 13 中的发射最大化。而且, 因为在 InGaN 层与 AlGaN 层间的界面处不形成 p-n 结, 即避免形成 InGaN/AlGaN p-n 结, 所以该界面应当具有降低的界面状态密度。界面状态的这种降低应当导致活性层内载流子更有效的重组, 同时整个装置效率相应增加。

在另一实施方案中, p-型层包括由选择掺杂的 p-型第 III 族氮化物层形成的 p-型超晶格, 所述选择掺杂的 p-型第 III 族氮化物层选自氮化镓、氮化铟、或分子式 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 的氮化铟镓, 其中 $0 < x < 1$ 。特别地, 由这些第 III 族氮化物层中的任何两种的交替层最佳地形成超晶格。在这种超晶格中, 最优选氮化镓和氮化铟镓的交替层。

活性层 13 可被掺杂或不被掺杂。熟知第 III 族氮化物性能的技术

人员公知，未掺杂的材料通常是非故意的 n-型，而第二 n-型覆盖层 12 就是如此。特别地，第一 n-型覆盖层 11 和第二 n-型覆盖层 12 各自分别具有的带隙大于活性层 13 的带隙。

可选择第 III 族的摩尔分数，以提供这些特征。例如，图 2 在理论上描述了带隙能量对晶格参数的曲线图。图 2 的三角形区域代表铝、镉和镓的第 III 族氮化物可获得的带隙能量范围。图 2 表明对于任何特定的晶格参数，排除镓使带隙能量最大化(即由 AlN-InN 部分定义氮化铝镉的带隙)。

熟知半导体结构体，特别是激光结构体的技术人员公知，活性层必须具有比相邻的 n-型覆盖层低的带隙，且比相邻的覆盖层高的折射率。这一结构体对激光效力来说产生两种重要的优势。第一，若活性层具有最低的带隙，则它可形成量子阱，而载流子会倾向于落入其中，这有助于提高装置的效率。第二，在材料中会出现波导(waveguiding)，而该材料在结构体内具有最高的折射率。因此，当活性层的带隙小于相邻层的带隙且其折射率大于相邻层的折射率时，装置的激光效力被提高。

而且，本领域的技术人员公知，三元和四元第 III 族氮化物的组成既可影响其折射率，又影响其带隙。一般而言，较大比例的铝增加带隙和降低折射率。因此，在优选的实施方案中，为了使覆盖层 11 和 12 具有大于活性层 13 的带隙和小于活性层 13 的折射率，则与活性层 13 相比，覆盖层 11 和 12 优选具有较高分数的铝或镓。覆盖层 11 和 12 的较大带隙促使载流子局限在活性层 13 内，从而增加装置的效率。类似地，异质结构(heterostructure)层 11 和 12 的较低折射率促使光更优选地沿着(即局限于)活性层 13 导引。

如前所述，列举的变量(即 x 和 y)是指它们描述的结构层。也就是说，相对于一层的变量值与相对于另一层的变量值无关。例如，在描述半导体结构体时，变量 x 可具有相对于第一 n-型覆盖层 11 的一个数值和相对于第二 n-型覆盖层 12 的另一数值。本领域的技术人员也会理解，在表达式 $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$ 中的限定 $0 \leq (x + y) \leq 1$ 简单地要

求第 III 族元素与氮化物应当以 1:1 摩尔比存在。

在优选实施方案中，活性层 13 包括铟的摩尔分数为约 0.05 至 0.55 的 InGa_xN 层。参考图 1 和图 3，层 12 优选铝的摩尔分数为约 0.14 至 0.24 的 Al_xGa_{1-x}N 层，而层 11 优选铝的摩尔分数为约 0 至 0.15 的 Al_xGa_{1-x}N 层。参考图 3，层 19 优选铝的摩尔分数为约 0 至 0.15 的 Al_xGa_{1-x}N 层。

本领域的技术人员应当理解，此处所使用的一层在其它两层“之间”的概念并不必须暗含这三层邻接(即紧密接触)。相反，此处所使用的一层在其它两层之间的概念是描述该半导体结构体内各层的相对位置。类似地，此处所使用的第一层与第二层接触，与第三层“相对”的概念仅仅描述该半导体结构体内第一层与第二层的相对位置。

认为，在半导体结构体的优选实施方案中，活性层 13 具有邻接第一 n-型覆盖层 11 的第一表面 14 和邻接第二 n-型覆盖层 12 的第二表面 15。换句话说，在这种实施方案中，活性层 13 直接夹在第一 n-型覆盖层 11 和第二 n-型覆盖层 12 之间，而没有其余的层干扰这种三层同型异质结构(即所有材料具有相同电导类型的异质结构)，其在括号内标记为 16。在另一优选实施方案中，p-型层 18 与所述第二 n-型覆盖层 12 接触，与所述活性层 13 相对。

以本领域公知的方式使用结构名称“异质结构”。例如在 Sze, *Physics of Semiconductor Devices*, 第 2 版(1981)708 - 710 页讨论了这些结构体的各方面。尽管所引证的 Sze 的论文涉及激光，但它阐述了同质结构(homostucture)、单一异质结构和二元异质结构装置的本质和它们之间的区别。Hartman 等在美国专利 No.4313125 中讨论了同型异质结构。

半导体装置也可包括额外的 Al_xIn_yGa_{1-x-y}N 的 n-型层，其中 $0 \leq x < 1$ 和 $0 \leq y < 1$ 和 $(x+y) \leq 1$ 。在图 3 所述的实施方案中，第三 n-型层 19 位于第二 n-型覆盖层 12 和 p-型层 18 之间。第三 n-型层 19 优选具有与 p-型层 18 接触的第一表面和与第二 n-型覆盖层 12 接触的第二表面。

第三 n-型层 19 与 p-型层 18 晶格匹配。第三 n-型层 19 优选与 p-型层 18 形成 p-n 同质结。具有 p-n 同质结降低在接点处界面状态的数量。由于这种状态可导致非辐射的重组，降低这种状态的数量会改进重组效率，因此改进了总的装置效率。

半导体装置 10 可进一步包括碳化硅衬底 17，其具有与第一 n-型覆盖层 11 相同的电导类型(即 n-型碳化硅衬底)。碳化硅衬底 17 优选具有 3C、4H、6H 或 15R 的多型体。第一 n-型覆盖层 11 位于碳化硅衬底 17 与活性层 13 之间。在本发明的一个实施方案中，碳化硅衬底 17 与第一 n-型覆盖层 11 接触，与活性层 13 相对(即在碳化硅衬底 17 与活性层 13 之间不存在插入层)。

碳化硅衬底 17 最优选单晶。本领域的技术人员公知，高质量的单晶衬底提供许多结构优点，这些优点进而提供显著的性能和使用寿命的优点。可通过美国专利 No.4866005(现为美国专利 No.RE34861)中所述的方法形成碳化硅衬底 17。碳化硅衬底 17 和第一 n-型覆盖层 11 优选为 n-型。

在图 4 所述的优选实施方案中，第一 n-型覆盖层 11 具有与碳化硅衬底 17 接触的第一表面 21 和与活性层 13 接触的第二表面 22。特别地，第一 n-型覆盖层 11 的组成是渐进式渐变的，以便在它的第一表面 21 处的晶格与碳化硅 17 的晶格更紧密地匹配，而它的第二表面 22 处的晶格与活性层 13 的晶格更紧密地匹配。充足摩尔分数的铟应当存在于第一 n-型覆盖层 11 中，以确保它在邻接碳化硅衬底 17 的它的第一表面 21 处保持导电性。

本领域的技术人员应当理解，渐进式渐变既包括阶梯渐变和线性渐变。因此，此处所使用的更紧密地匹配各晶格的概念并不暗含完美的匹配，而是其组成在成分上是渐进式渐变的层，以便在层界面处它的晶格与邻接层的晶格更相容。当制造装置时，必须平衡许多因素，其中之一是晶格匹配。若其它因素更重要，则完美或紧密的晶格匹配可能不那么重要，反之亦然。

在这方面，可选择地使 n-型覆盖层，特别是氮化铝铟 n-型覆盖

层与含镓的活性层，特别是氮化镓和氮化铟镓活性层晶格匹配，以便降低应变和缺陷。特别地，氮化铝铟是有用的，因为它们可与较低带隙的其它第 III 族氮化物晶格匹配，因此可用作覆盖层材料。参见图 2。

本领域的技术人员会理解，覆盖层与活性层的晶格匹配可以是一侧的晶格匹配(即晶格匹配发生在活性层的一侧上)或两侧的晶格匹配(即晶格匹配发生在活性层的两侧上)。

在图 5 所述的另一实施方案中，半导体结构体进一步包括位于碳化硅衬底 17 和第一 n-型覆盖层 11 之间的导电缓冲层 23。在这一实施方案的变通方案中，导电缓冲层 23 夹在碳化硅衬底 17 和第一 n-型覆盖层 11 之间，而没有插入层。导电缓冲层 23 优选基本上由分子式为 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 的氮化铝镓组成，其中 $0 < x < 1$ 。或者，若第一 n-型覆盖层 11 基本上由分子式为 $\text{Al}_x\text{In}_{1-x}\text{N}$ 的氮化铝铟组成，其中 $0 < x < 1$ 时，则导电缓冲层 23 优选基本上由分子式为 $\text{Al}_x\text{In}_{1-x}\text{N}$ 的氮化铝铟组成，其中 $0 < x < 1$ 。其它可接受的缓冲和缓冲结构体包括共同转让的美国专利 No.5523589、5393993 和 5592501 中所述的那些。

为了促进在第一 n-型覆盖层 11 与导电缓冲层 23 之间的过渡，半导体结构体可进一步包括第 III 族氮化物过渡层 24(其优选由氮化镓形成)，该层位于导电缓冲层 23 与第一 n-型覆盖层 11 之间，参见图 6。过渡层 24 具有与第一 n-型覆盖层 11 相同的电导类型(即 n-型过渡层)。

或者，如图 7 所述，导电缓冲层 23 与过渡层 24 可被离散晶体部分 28 替代，这在共同转让的美国专利 No.6201262 中更全面地被公开，其标题为“Group III Nitride Photonic Devices on Silicon Carbide Substrates with Conductive Buffer Interlayer Structure”，在此其全部引入作为参考。

在又一实施方案中，半导体结构体 10 进一步包括第一欧姆接触点 25 和第二欧姆接触点 26。如图 1 所示，第一欧姆接触点 25 位于半导体结构体内，使得碳化硅衬底 17 处在第一欧姆接触点 25 与第一

n-型覆盖层 11 之间。第二欧姆接触点 26 位于半导体结构体内，使得 p-型层 18 处在第二欧姆接触点 26 与第二 n-型覆盖层 12 之间。

第一欧姆接触点 25 优选直接放置在碳化硅衬底 17 上，与第一 n-型覆盖层 11 相对(或与导电缓冲层 23 或离散晶体部分 28 相对，这取决于特定的结构实施方案)，而第二欧姆接触点 26 直接放置在 p-型层 18 上，与第二 n-型覆盖层 12 相对。在这一实施方案的变通方案中，p-型层 18 夹在第二欧姆接触点 26 与第二 p-型层之间(未示出)。

本领域的技术人员熟知，导电缓冲层 23 提供碳化硅衬底 17 与第一 n-型覆盖层 11 间的物理和电子过渡。在许多情况下，导电缓冲层 23 的存在辅助减少物理应变，而物理应变可来自于碳化硅衬底 17 与第一 n-型覆盖层 11 之间的晶格差别。而且，为了保持装置的垂直功能，导电缓冲层 23 必须具有充足的导电性来携带所需或所要求的电流，以便操作半导体装置 10。同样，过渡层 24 充当类似的物理和电子过渡。

使本发明的有利垂直结构体完善的欧姆接触点 25 和 26 优选由金属如铝(Al)、镍(Ni)、钛(Ti)、金(Au)、铂(Pt)、钒(V)、合金或其共混物或两种或更多种这些金属的连续层形成，而且可由本领域技术人员公知的其它欧姆接触材料形成，前提是它们显示出欧姆特征和另外不干扰发光装置 10 的结构或功能。

第一欧姆接触点 25 朝碳化硅衬底 17 形成的程度使得本发明区别于使用蓝宝石的那些装置。蓝宝石不可能导电，因此不可能连接到欧姆接触点上。因此，蓝宝石基装置不可能形成最优选用于 LED 的这类垂直结构体。

因此，在一个优选实施方案中，本发明是一种发光装置用半导体结构体，其包括 3C、4H、6H 或 15R 多型体的 n-型单晶碳化硅衬底 17；由至少一种第 III 族氮化物形成的 p-型层 18，所述第 III 族氮化物选自氮化镓(优选镁-掺杂的氮化镓)、氮化铟和分子式为 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 的氮化铟镓组成，其中 $0 < x < 1$ ； $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 的未掺杂的活性层，其中 $0 \leq x < 1$ 和 $0 \leq y \leq 1$ 和 $(x+y) \leq 1$ ； $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 的第一 n-型覆盖层

11, 其中 $0 \leq x \leq 1$ 和 $0 \leq y < 1$ 和 $(x+y) \leq 1$; 和 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 的第二 n-型覆盖层 12, 其中 $0 \leq x \leq 1$ 和 $0 \leq y < 1$ 和 $(x+y) \leq 1$. p-型层 18 最优选包括由任何两种前述第 III 族氮化物的交替层形成的超晶格。

如前所述, 第一 n-型覆盖层 11 和第二 n-型覆盖层 12 各自具有的带隙分别大于活性层 13 的带隙。而且, 第一 n-型覆盖层 11 位于碳化硅衬底 17 与活性层 13 之间, 第二 n-型覆盖层 12 位于活性层 13 与 p-型层 18 之间, 和活性层 13 位于第一 n-型覆盖层 11 与第二 n-型覆盖层 12 之间。

可渐进式地渐变第一 n-型覆盖层 11 的组成, 以便在它的第一表面 21 处的晶格更紧密地匹配碳化硅 17 的晶格, 和在它的第二表面 22 处的晶格更紧密地匹配活性层 13 的晶格。类似地, 可渐进式地渐变第二 n-型覆盖层 12 的组成, 以便在它的第二表面处的晶格更紧密地匹配 p-型层 18 的晶格。如前所述, 在整个外延层内的渐进式地渐变包括阶梯渐变和连续渐变(即没有阶梯)。引起 n-型覆盖层 12 与 p-型层 18 基本上晶格匹配会降低在层间形成的 p-n 结处界面状态的数量。因为这种状态可导致非辐射的重组, 所以降低这种状态数量会改进重组效率, 进而改进活性层 13 内的整个装置效率。

此外且根据前述说明, 这一优选结构也可包括一种或多种下述层 - 第三 n-型覆盖层 19、导电缓冲层 23、第 III 族氮化物过渡层 24、离散晶体部分 28 和欧姆接触点 25 与 26。在这方面, 导电缓冲层 23 最优选分子式为 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 的氮化铝镓, 其中 $0 \leq x \leq 1$ 。

图 8、9、10、11 和 12 是包括本发明实施方案的各种结构体的带隙简图。所有带隙简图 8-12 代表在正向偏压下的带隙(即“平带”条件)。本领域的技术人员会理解, 带隙 8-12 实质上是示意图且不必按比例绘制。尽管它们阐述了本发明重要的方面, 但应理解实际的能带结构可略微不同于描述。在图 8-12 中, 只要有可能, 相同的数字标记是指简图中相同的部分。

图 8 是现有技术装置的带隙简图, 该装置显示出 n-型氮化镓覆盖层 30、氮化镓活性层 31 和 p-型氮化铝镓层 32。在这一装置中, p-

n 结用虚线 33 表示。

关于装置的物理结构和层间的界面质量，在相同材料间的界面最容易制造高质量。在第 III 族氮化物当中，氮化镓和氮化镓之间的界面最容易制造高质量，而氮化镓与氮化铝镓之间的界面比较困难，但比多数其它的界面容易。倒数第二的是氮化镓与氮化铟镓之间的界面，典型地证明氮化铟镓与氮化铝镓之间的界面质量最差。

此外，我们记得氮化铟镓的离解温度通常小于所有其它第 III 族氮化物。因此，一旦 InGaN 活性层已生长，则其余层的生长温度必须限制到避免氮化铟镓层非所需的离解或降解的温度。与之不同的叙述是，若不存在 InGaN 活性层，则 AlGaN 和 GaN 层可在较高温度下生长，而较高温度更有利于这些材料中高质量的外延层(其它因素相当)。

结果，在生长氮化铝镓层所使用的较低温度下，要求所述温度保护氮化铟镓层，所得氮化铝镓层的质量比较高温下使层生长时它具有的质量稍差。

因此，尽管认为在保护本发明所需的氮化铟镓活性层所要求的较低生长温度下，AlGaN-AlGaN 界面正常地会制造良好的同质结，但氮化铝镓层的质量差，且 p-型氮化铝镓层尤其差。结果，对于掺入氮化铟镓层活性层的装置来说，p-型氮化铝镓和 n-型氮化铝镓之间的界面和接点通常具有非常差的质量。因此，本发明的避免这种接点是违反直觉的，且产生了预料不到的更好装置。与之不同的叙述是，掺入图 8 结构体的现有技术装置要求第 III 族氮化物之间的界面，而该界面难以高质量地形成。

图 9 阐述了另一现有技术装置的带隙简图。正如图 8 所示，在 30 处标记 n-型氮化镓层，在 31 处标记氮化铟镓活性层，在 33 处标记 p-n 结和在 32 处标记 p-型氮化铝镓。但图 9 所示的装置还包括额外的 n-型氮化镓覆盖层 34，它提供与氮化铟镓活性层 31 略微较好的界面；即邻接的 GaN-InGaN 层比邻接的 AlGaN-InGaN 层倾向于提供更高质量界面的机率。图 9 也阐述了在第二氮化镓层 34 与 p-型氮

化铝镓层 32 之间的 n-型氮化铝镓层 35。最后，图 9 包括额外的 p-型氮化镓层 36 作为顶部接触层。这一装置提供具有 p-n 结 33 的优点，而 p-n 结 33 是在邻接的氮化铝镓层之间形成的，和与图 8 的 AlGaIn 层 32 相比，GaIn 层 34 同样提供与氮化镓活性层 31 略微较好的界面。

图 10 阐述了图 1 所示的本发明实施方案的带隙关系，其中 n-型氮化镓层 30(在图 1 中标记为 11)还是氮化镓活化层 31(在图 1 中标记为 13)用的覆盖层。相对的覆盖层 35 由 n-型氮化铝镓形成，和用 p-型氮化镓层 36 完成装置，由此定义在 n-型 AlGaIn 层 35 与 p-型氮化镓层 36 之间的 p-n 结 33。这在 n-型氮化铝镓层 35 与 p-型氮化镓层 36 之间的界面处提供具有 p-n 结的优点。如上所述，除了 GaIn-GaIn 结之外，AlGaIn-GaIn 结是在成功装置所要求的质量下最容易形成的一种。

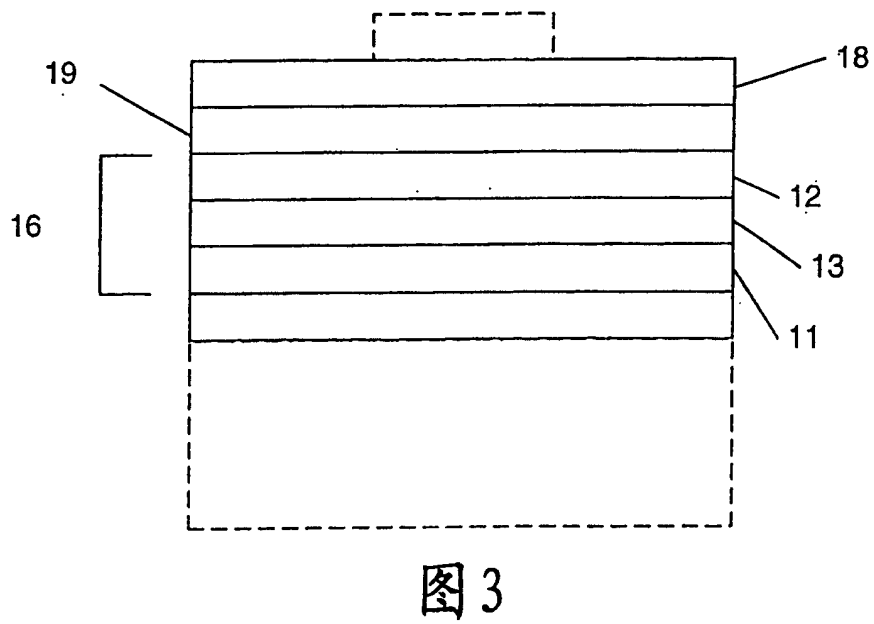
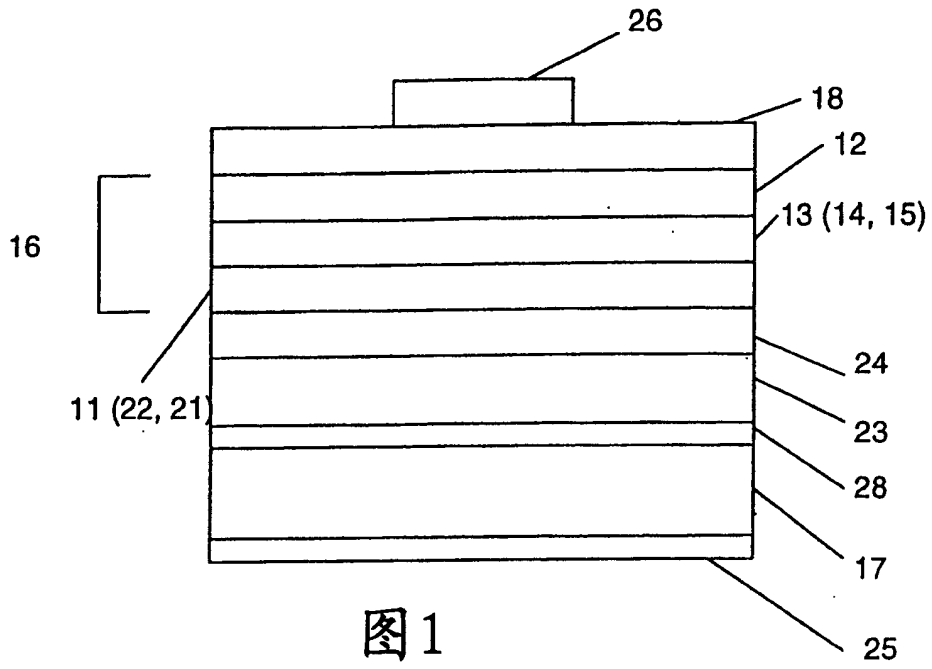
图 11 阐述了本发明的另一实施方案，其中第一覆盖层是 n-型氮化镓层 30，活性层是氮化镓 31，和第二覆盖层是 n-型氮化铝镓 35。但该实施方案包括邻接 n-型氮化铝镓层 35 的 n-型氮化镓 37 的额外层。结果在 n-型氮化镓 37 与 p-型氮化镓 36 之间形成 p-n 结，从而从结构观点考虑，得到提供最高质量的 GaIn-GaIn 界面。

图 12 阐述了本发明的另一优选实施方案，其中 n-型氮化镓层 30 再次形成氮化镓活性层 31 用的一种覆盖层。类似地，顶部接触层是图 10 和 11 中的 p-型氮化镓层 36。图 12 包括在 InGaIn 活性层 31 的界面处的 n-型氮化铝镓与 p-型氮化镓层 36 的界面处的基本上全部的 n-型氮化镓之间组成上渐进式渐变的作为覆盖层和过渡层的部分 40。结果 p-n 结 33 再次以在渐变层 40 的 n-GaIn 部分与 p-GaIn 层 36 之间的同质结构形式制造。

活性层与 p-n 结之间的层厚影响装置的功能。太薄的层不能提供合适的限制(confinement)，而太厚的层使得重组可能太多，以致于不是在所需的活性层内，而是在厚层内发生重组。因此，按照图 1 所示的实施方案，覆盖层 12 应当介于约 30 至 70Å 厚，按照图 3 所示的

实施方案，覆盖层 12 应当介于约 20 至 50Å 厚，而层 19 应当介于约 30 至 50Å 厚。层 12 和 19 的总厚度应当优选不大于约 100Å。至于装置的效率，一个目的是使非辐射的重组电流(J_{nr})最小，而使辐射的重组电流(J_r)最大。在这方面，图 8 所示的结构体具有最大(即最小所需的)的非辐射重组电流。图 9 的装置的非辐射重组电流稍微小于图 8，但仍然大于图 10、11 或 12 的更有利的较低非辐射重组电流。

在附图与说明书中，已公开了本发明的典型实施方案。仅在通用和描述的意义上使用具体的术语，而不是为了限制目的。在下述权利要求中列出了本发明的范围。



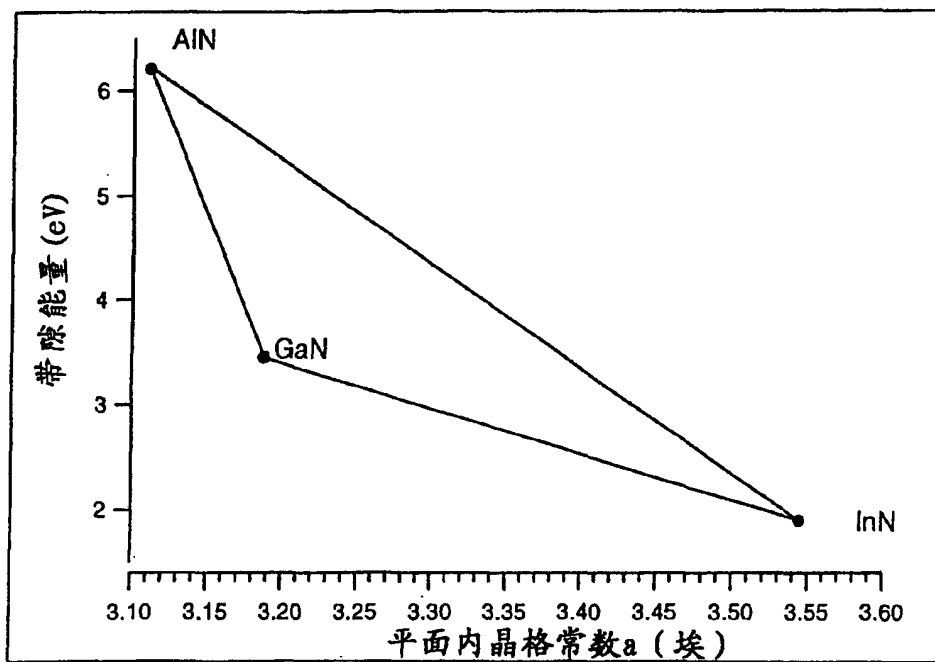


图2

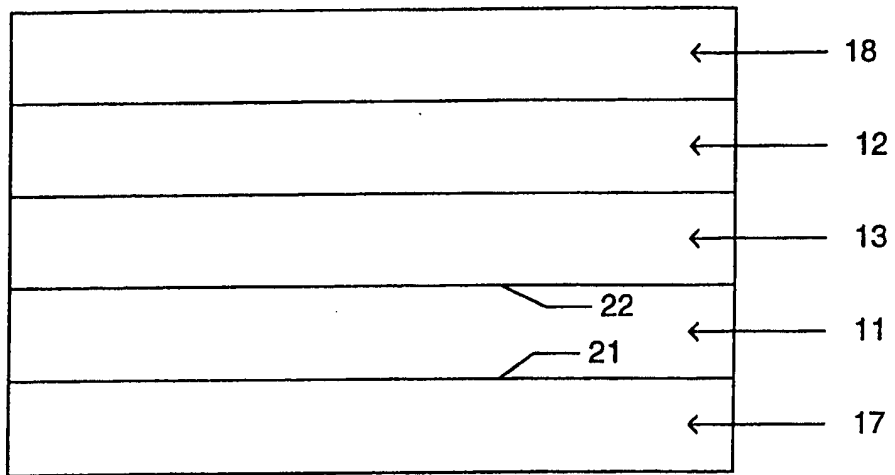


图4

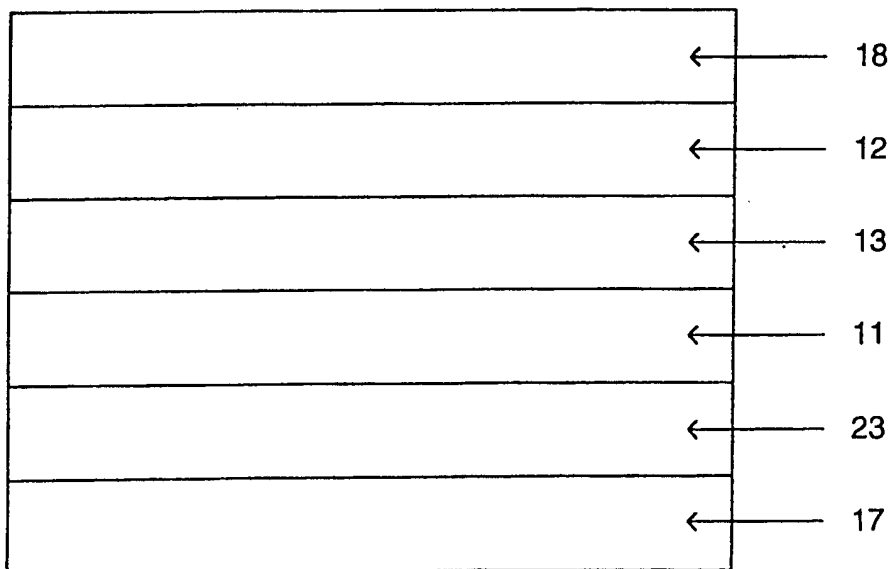


图5

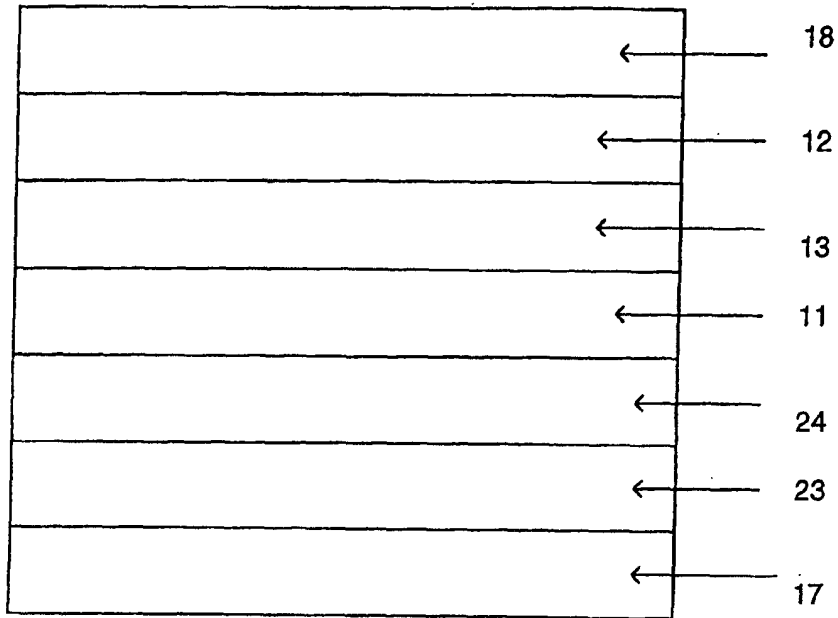


图6

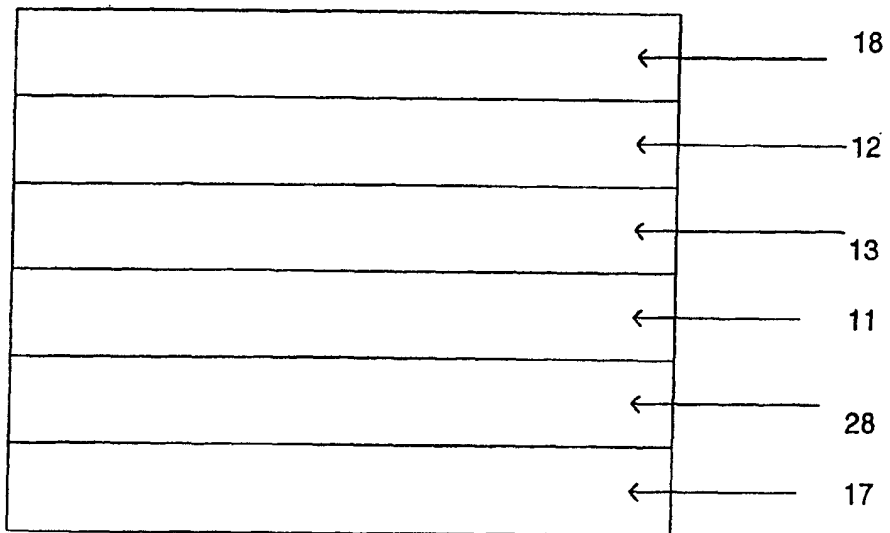


图7

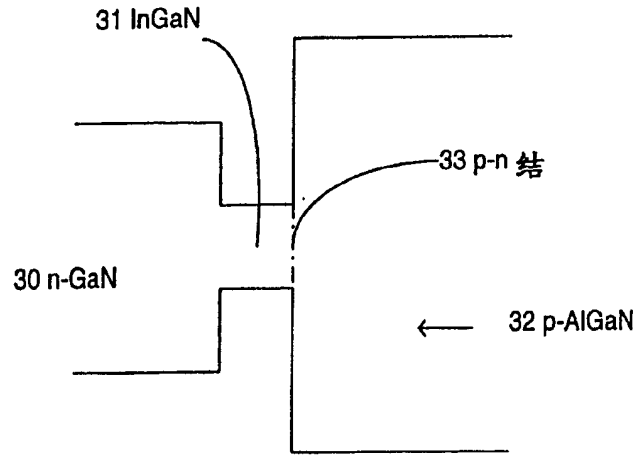


图8
(现有技术)

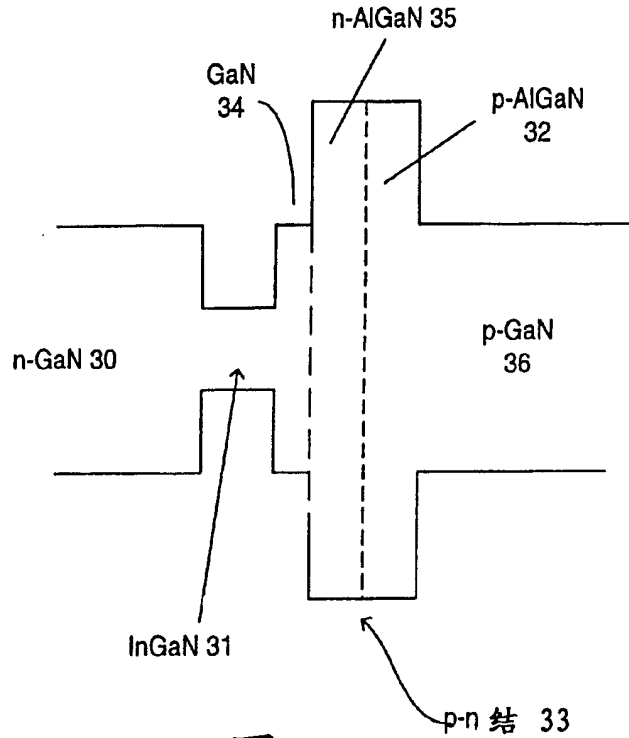


图9

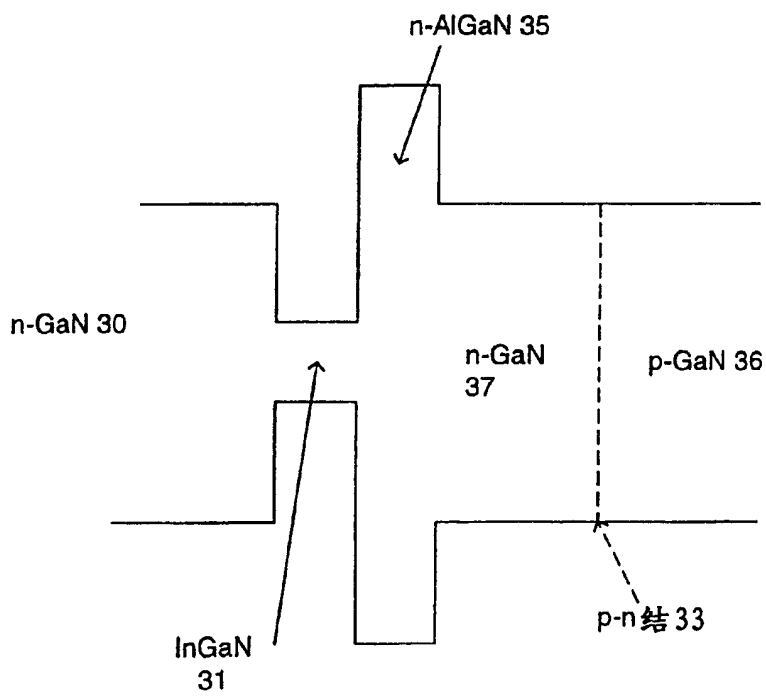
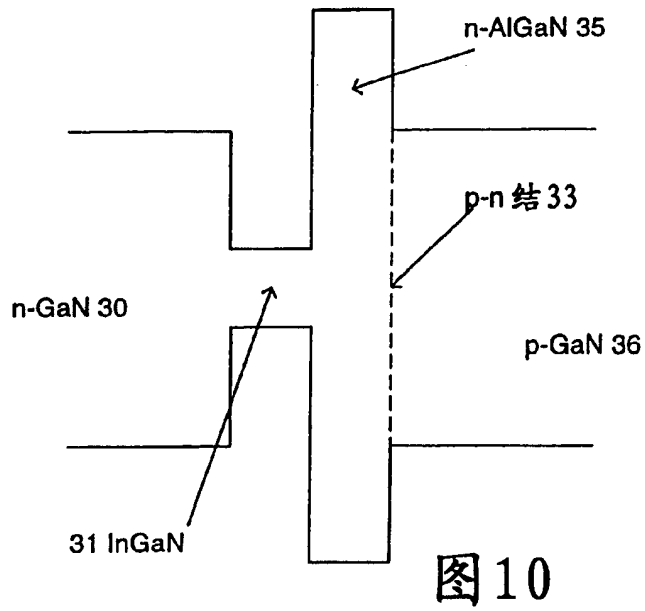


图 11

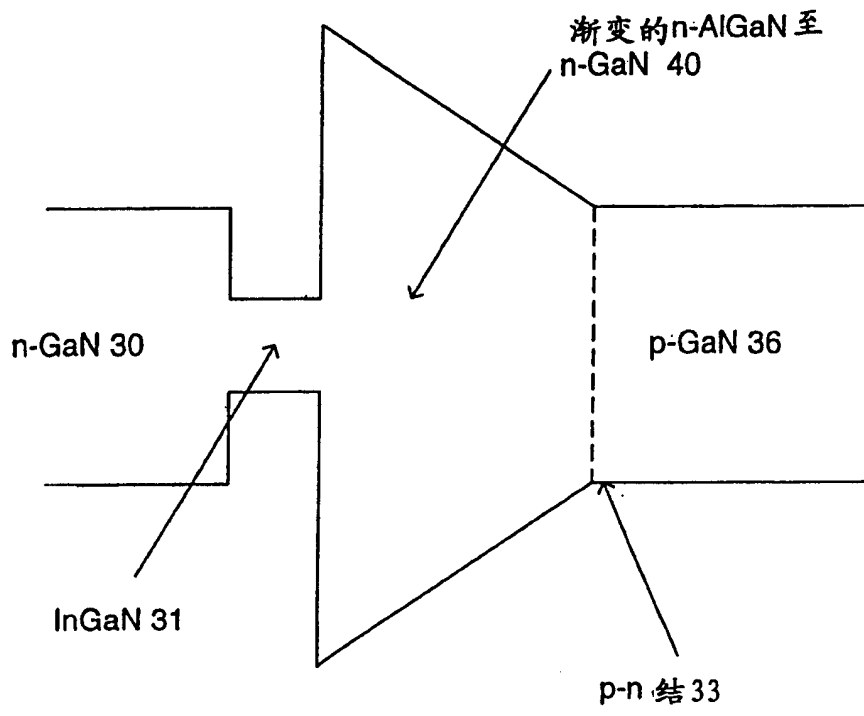


图12