202347817

(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本 (11)公開編號：TW 202347817 A

(43)公開日： 中華民國 112 (2023) 年 12 月 01 日

(21)申請案號：112105702 (22)申請日： 中華民國 112 (2023) 年 02 月 17 日

(51)Int. Cl.： *H01L33/04 (2010.01)* *H01L33/14 (2010.01)*
H01S5/183 (2006.01) *H01S5/32 (2006.01)*

(30)優先權：2022/02/18 歐洲專利局 22157544.2

(71)申請人：瑞典商艾皮諾科技公司 (瑞典) EPINOVATECH AB (SE)
瑞典

(72)發明人：奧爾森 馬丁・安德里亞斯 OLSSON, MARTIN ANDREAS (SE)

(74)代理人：李彥慶；林宗武

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：15 項 圖式數：11 共 39 頁

(54)名稱

發光裝置和發光裝置的製造方法

(57)摘要

一種發光裝置（1），該裝置（1）包括：襯底（2）；佈置在襯底（2）上的基極層（4）；佈置在基極層（4）上的二極體層結構（10），該二極體層結構（10）包括夾置在 n 摻雜半導體層（12）與 p 摻雜半導體層（14）之間的量子阱層結構（30）；該量子阱層結構（30）包括第一量子阱（41）和第二量子阱（42）、第一近端阻障層（51）和第二近端阻障層（52）以及第一遠端阻障層（61）和第二遠端阻障層（62），其中第一量子阱（41）和第二量子阱（42）以及第一近端阻障層（51）和第二近端阻障層（52）夾置在第一遠端阻障層（61）與第二遠端阻障層（62）之間。

A device (1) for emitting light, the device (1) comprising: a substrate (2); a base layer (4) arranged on the substrate (2); a diode layer structure (10) arranged on the base layer (4), the diode layer structure (10) comprising a quantum well layer structure (30) sandwiched between an n-doped semiconductor layer (12) and a p-doped semiconductor layer (14); the quantum well layer structure (30) comprising a first (41) and second (42) quantum well, a first (51) and a second (52) proximal barrier layer, and a first (61) and a second (62) distal barrier layer, wherein the first (41) and second (42) quantum wells and the first (51) and second (52) proximal barrier layers are sandwiched between the first (61) and second (62) distal barrier layers.

指定代表圖：

TW 202347817 A

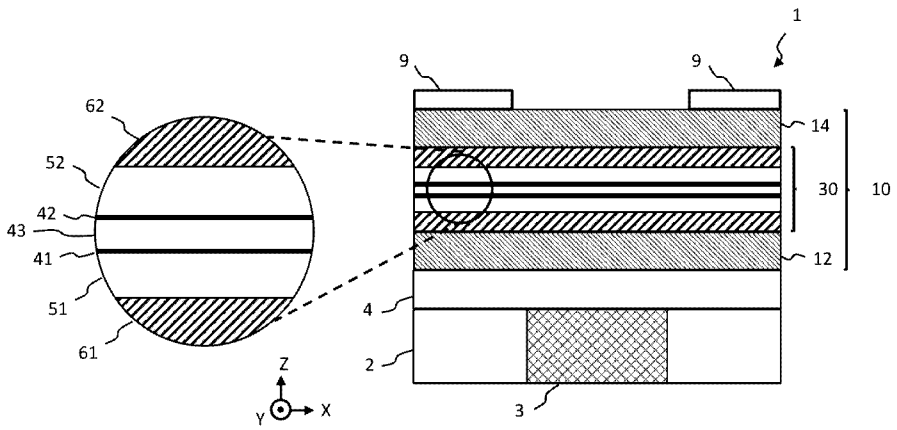

圖1

符號簡單說明：

1:裝置

2:襯底

3:通孔

4:基極層

9:頂部接觸件

10:二極體層結構

12:n 摻雜半導體層

14:p 摻雜半導體層

30:量子阱層結構

41:第一量子阱

42:第二量子阱

43:阻障層

51:第一近端阻障層

52:第二近端阻障層

61:第一遠端阻障層

62:第二遠端阻障層

202347817

【發明摘要】

【中文發明名稱】發光裝置和發光裝置的製造方法

【英文發明名稱】A device for emitting light and a method for producing a light-emitting device

【中文】

一種發光裝置（1），該裝置（1）包括：襯底（2）；佈置在襯底（2）上的基極層（4）；佈置在基極層（4）上的二極體層結構（10），該二極體層結構（10）包括夾置在 n 摻雜半導體層（12）與 p 摻雜半導體層（14）之間的量子阱層結構（30）；該量子阱層結構（30）包括第一量子阱（41）和第二量子阱（42）、第一近端阻障層（51）和第二近端阻障層（52）以及第一遠端阻障層（61）和第二遠端阻障層（62），其中第一量子阱（41）和第二量子阱（42）以及第一近端阻障層（51）和第二近端阻障層（52）夾置在第一遠端阻障層（61）與第二遠端阻障層（62）之間。

【英文】

A device (1) for emitting light, the device (1) comprising: a substrate (2); a base layer (4) arranged on the substrate (2); a diode layer structure (10) arranged on the base layer (4), the diode layer structure (10) comprising a quantum well layer structure (30) sandwiched between an n-doped semiconductor layer (12) and a p-doped semiconductor layer (14); the quantum well layer structure (30) comprising a first (41) and second (42) quantum well, a first (51) and a second (52) proximal barrier layer, and

a first (61) and a second (62) distal barrier layer, wherein the first (41) and second (42) quantum wells and the first (51) and second (52) proximal barrier layers are sandwiched between the first (61) and second (62) distal barrier layers.

【指定代表圖】圖1

【代表圖之符號簡單說明】

1: 裝置

2: 襯底

3: 通孔

4: 基極層

9: 頂部接觸件

10: 二極體層結構

12: n摻雜半導體層

14: p摻雜半導體層

30: 量子阱層結構

41: 第一量子阱

42: 第二量子阱

43: 阻障層

51: 第一近端阻障層

52: 第二近端阻障層

61: 第一遠端阻障層

62: 第二遠端阻障層

【發明說明書】

【中文發明名稱】發光裝置和發光裝置的製造方法

【英文發明名稱】A device for emitting light and a method for producing a light-emitting device

【技術領域】

【0001】本發明概念大體上涉及一種發光裝置和發光裝置的製造方法。

【先前技術】

【0002】半導體二極體（諸如發光二極體（LED）或雷射二極體）可形成發光裝置。這種發光裝置用於各種應用（例如，三維（3D）列印）。

【發明內容】

【0003】本發明概念的目的是提供一種具有高輸出功率的發光裝置。本發明概念的又一目的是提供一種發射紫外（UV）光的發光裝置。本發明概念的另一目的是增加發光 GaN 裝置中用於發光的電子和電洞載流子注入。

【0004】本發明概念的這些目的和其他目的至少部分地由獨立請求項中所定義的本發明來滿足。在附屬請求項中闡述優選實施例。

【0005】在一些實施例中，提供高功率雷射器。二氧化碳雷射器使用起來仍然很昂貴，因此替代發光二極體異質結構雷射二極體是感興趣的替代品，可大規模批量生產。然而，用於 3D 列印的雷射二極體目前僅限於小於 100 W 的功率。基於氮化物的雷射二極體技術在發展的最開始便受到了構成這些裝置的有源區域的外延層的不良結晶質量問題的阻礙。該問題與缺乏在晶格參數和熱膨脹係數方面與 GaN 匹配的合適的襯底材料有關。

【0006】根據第一方面，提供一種發光裝置，所述裝置包括：

襯底；

佈置在所述襯底上的基極層，所述基極層包含 Al(x)Ga(1-x)N，其中 $0 < x \leq 1$；

佈置在所述基極層上的二極體層結構，所述二極體層結構包括夾置在 n 摻雜半導體層與 p 摻雜半導體層之間的量子阱層結構；

所述量子阱層結構包括第一量子阱和第二量子阱、第一近端阻障層和第二近端阻障層以及第一遠端阻障層和第二遠端阻障層，

其中所述第一量子阱和所述第二量子阱各自具有低於 5 nm 的厚度以及比所述第一近端阻障層和所述第二近端阻障層的帶隙小的帶隙；

其中所述第一近端阻障層和所述第二近端阻障層各自包含本質摻雜的 GaN，其中所述第一量子阱和所述第二量子阱夾置在所述第一近端阻障層與所述第二近端阻障層之間，

其中所述第一遠端阻障層和所述第二遠端阻障層各自包含 Al(a)Ga(1-a)N，其中 $0 \leq a \leq 0.3$，其中所述第一量子阱和所述第二量子阱以及所述第一近端阻障層和所述第二近端阻障層夾置在所述第一遠端阻障層與所述第二遠端阻障層之間；

其中所述 n 摻雜半導體層被配置成將電子注入到所述量子阱層結構中；

其中所述 p 摻雜半導體層被配置成將電洞注入到所述量子阱層結構中，優選地，其中所述基極層是厚度為 100 nm 至 500 nm 的 AlN。

【0007】根據以上所述，所述裝置在被正向偏置時會發光。n 摻雜半導體層可被配置成在二極體層結構被正向偏置時將電子注入到量子阱層結構中。n 摻雜半導體層可具有高於 1×10^{10} cm^{-3} 的摻雜水平。n 摻雜半導體層可包括 Al(y)Ga(1-y)N 層，其中 $0 \leq y \leq 0.5$。p 摻雜半導體層可被配置成在二極體層

結構被正向偏置時將電洞注入到量子阱層結構中。p 摻雜半導體層可具有高於 $1\times 10^{15}\ cm^{-3}$ 的摻雜水平。注入到量子阱層結構的電子與電洞在量子阱層結構的第一量子阱和第二量子阱中複合，由此裝置發光。

【0008】第一量子阱和第二量子阱可為 InGaN 量子阱，且因此可具有比 GaN 近端阻障層的帶隙小的帶隙。因此，電荷載流子（即，電子和電洞）可被近端阻障層限制在第一量子阱和第二量子阱中。電荷載流子還可被遠端阻障層限制在第一量子阱和第二量子阱中。遠端阻障層可具有比近端阻障層大的帶隙。此外，遠端阻障層可具有比 n 摻雜半導體層和 p 摻雜半導體層大的帶隙。因此，遠端阻障層可充當量子阱與注入電荷載流子的層之間的阻障（諸如隧道阻障）。

【0009】此外，避免量子阱附近的摻雜劑是有利的。這種摻雜劑可充當或產生第一量子阱和第二量子阱中電荷載流子的非輻射路徑。因此，將第一量子阱和第二量子阱夾置在本質摻雜的 GaN 的近端阻障層之間是有利的。用語“本質摻雜的 GaN”是指未被有意摻雜的 GaN（例如被 n 型 GaN 的矽施主原子或 p 型 GaN 的鎂受主原子摻雜），諸如室溫下電子和電洞載流子濃度二者均低於 $5\times 10^{16}\ cm^{-3}$ 的 GaN。GaN 的有意摻雜可在 GaN 生長期間原位執行。此外，遠端阻障層可將第一量子阱和第二量子阱中的電荷載流子與 n 摻雜半導體層和 p 摻雜半導體層中的摻雜劑分隔開。因此，電荷載流子可例如通過隧穿遠端阻障層而被注入到第一量子阱和第二量子阱中並且被陷獲在第一量子阱和第二量子阱中，其中防止電荷載流子返回到 n 摻雜半導體層的施主原子或 p 摻雜半導體層的受主原子。然而，量子阱層結構可被配置成允許電荷載流子在第一量子阱與第二量子阱之間隧穿。舉例來說，第一量子阱與第二量子阱可由足夠薄以允許隧穿的阻障層（例如，GaN 阻障層）分隔開。第一量子阱與第二量子阱之間的阻障層可具有低於 30 nm

的厚度，優選地低於 10 nm。因此，第一量子阱與第二量子阱可進行量子機械耦合（例如，隧道耦合）。這種量子阱可強烈發射，使得該裝置具有高輸出功率。另外，可存在其他優點。作為一個示例，發射光譜可通過第一量子阱與第二量子阱之間的阻障厚度來定制。作為另一示例，可通過施加在第一量子阱與第二量子阱之間的電場來對發射波長進行調諧。

[0010] 進一步認識到，電荷載流子到第一量子阱和第二量子阱的高傳導率使得能夠實現高輸出功率。電流連續性方程式是以下方程式：

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{1}{q}\frac{dJ}{dt} - U(n,p)$$

其中 n 是電荷載流子濃度，q 是基本電荷，J 是電流密度，並且 U(n,p)是淨複合率。因此，進入第一量子阱和第二量子阱的電荷必須在另一側出現、被俘獲或通過複合被中和。因此，當實現高電導率（諸如高注入遷移率）時，複合以及發光或功率變高。通過近端阻障層將第一量子阱和第二量子阱與 n 摻雜半導體層和 p 摻雜半導體層分離開會實現高注入遷移率。舉例來說，在近端阻障層（例如，本質摻雜的近端阻障層）中摻雜劑原子的濃度低的情況下，電荷載流子可以彈道方式（即，不具有散射）行進穿過近端阻障層。因此，電荷載流子可非常快速地行進穿過近端阻障層，從而實現高輸出功率。

[0011] 此外，該裝置可被配置成使得 n 摻雜半導體層的導帶邊緣具有比 n 摻雜半導體層可其注入電子的近端阻障層的導帶邊緣高的能量。因此，可將能量差轉換成注入電子的動能，該注入電子隨後更快地行進到第一量子阱和第二量子阱。

[0012] 此外，該裝置可被配置成使得 p 摻雜半導體層的價帶邊緣具有比 p 摻雜半導體層可其注入電洞的近端阻障層的價帶邊緣低的能量。因此，可

將能量差轉換成注入電洞的動能，該注入電洞隨後更快地行進到第一量子阱和第二量子阱。

【0013】由於高結晶質量促成少的非輻射複合中心和/或裝置的高量子效率，因此第一量子阱和第二量子阱的高結晶質量能夠實現高輸出功率。通過近端阻障層和遠端阻障層將第一量子阱和第二量子阱與 n 摻雜半導體層和 p 摻雜半導體層分隔開，能夠實現第一量子阱和第二量子阱的高結晶質量。此外，在襯底與二極體層結構之間使用基極層能夠實現二極體層結構的高結晶質量，特別是第一量子阱和第二量子阱的高結晶質量。由於基於氮化物的襯底是昂貴的，因此襯底可與二極體層結構晶格失配。因此，襯底可為矽襯底、藍寶石襯底或碳化矽襯底。在本文中基極層可防止或減少可充當非輻射複合中心的位錯的形成。基極層可防止位錯擴散到二極體層結構中，特別是防止位錯擴散到第一量子阱或第二量子阱中。在本文中，如果基極層包括 AlN 層（例如，直接位於襯底上的 AlN 層），則特別有利。所述 AlN 層可包括經濺射的 AlN，這對於降低位錯的風險特別有利。基極層可包括基極層支柱，基極層支柱是垂直於襯底佈置的支柱。基極層支柱可包含 AlN（例如，經濺射的 AlN）。發明人認識到，金屬有機化學氣相沉積（MOCVD）中的 AlN 處理（如針對例如矽襯底或藍寶石襯底上的 GaN 緩衝層使用）是 InGaN 量子阱的嚴重污染過程。因此，可在 MOCVD 工藝的外部提供基極層。基極層支柱可具有小於 500 nm（例如小於 100 nm）的直徑。基極層支柱可側向包封在基極層包封材料（諸如 $Al_xGa_{1-x}N$，其中 $0\leq x\leq 0.95$）中。側向包封基極層支柱的 $Al_xGa_{1-x}N$ 可包括從基極層支柱側向傳播的位錯。因此，基極層可通過優先從基極層支柱側向傳播的位錯來鎖定位錯，使得位錯不會到達二極體層結構。

【0014】量子阱層結構可被配置成實質上由遠端 n 摻雜半導體層和遠端 p 摻雜半導體層摻雜而成，以通過由於相鄰層的帶隙差異而導致的能帶彎曲來實現電子與電洞的複合。在室溫下，AlN 的帶隙為 6.015 eV 並且 GaN 的帶隙為 3.4 V。遠端阻障的帶隙可被配置成將施主原子與電子分隔開並且將受主原子與電子電洞分隔開。遠端阻障可為 AlGaN 合金，其被提供作為勢能阻障，以用於通過防止從量子阱隧穿來將電荷載流子限制到量子阱，而近端阻障可被配置成允許在量子阱之間進行大量隧穿。由於形成勢能阱，電荷載流子可被限制在異質結構界面處的二維氣體中，該異質結構界面可隧穿到相鄰的量子阱。遠端阻障的厚度及其鋁濃度二者均可被配置用於優化量子阱層結構的電致發光。通過遠端層對量子阱層結構進行摻雜是有利的，因為摻雜劑可從量子阱層結構中分離出來，從而降低庫侖電勢，以免改變由量子阱層結構提供的勢能阱。

【0015】用於對量子阱層結構進行摻雜的遠端 n 摻雜半導體層可為被配置成將電子注入到量子阱層結構中的 n 摻雜半導體層。因此，該層既可對量子阱層結構進行摻雜，又可將電子注入到量子阱層結構中。可選地，用於對量子阱層結構進行摻雜的遠端 n 摻雜半導體層可不同于被配置成將電子注入到量子阱層結構中的 n 摻雜半導體層。

【0016】用於對量子阱層結構進行摻雜的遠端 p 摻雜半導體層可為被配置成將電洞注入到量子阱層結構中的 p 摻雜半導體層。因此，該層既可對量子阱層結構進行摻雜，又可將電洞注入到量子阱層結構中。可選地，用於對量子阱層結構進行摻雜的遠端 p 摻雜半導體層可不同于被配置成將電洞注入到量子阱層結構的 p 摻雜半導體層。

【0017】二極體層結構的量子阱層結構可包括多個量子阱，其中所述多個量子阱中相鄰的量子阱被厚度小於 10 nm 的阻障層分隔開。層的量子化垂

直於 GaN 的生長方向，該方向可為矽（111）晶圓上的 C 方向。舉例來說，量子阱層結構可足夠薄以將電荷載流子限制到作為二維氣體的量子狀態，並且包括多於兩個量子阱（例如 5 個量子阱或 10 個量子阱）。分割的阻障的厚度對於所有的相鄰量子阱對而言可為相同的，或者對於不同的相鄰量子阱對而言可為不同的，所述量子阱各自具有 1 nm 至 5 nm 的厚度。

【0018】所述多個量子阱可例如通過隧道耦合而彼此進行量子耦合。因此，所述多個量子阱可形成能級的微帶。這種微帶可發射強光，使得該裝置具有高輸出功率。此外，發射光譜可通過相鄰量子阱之間的阻障厚度來定制。

【0019】p 摻雜半導體層可包括 GaN 層與 Al(z)Ga(1-z)N 層的超晶格，其中 $0 < z \leq 1$，其中所述超晶格的 Al(z)Ga(1-z)N 層是 p 摻雜的。

【0020】認識到超晶格可增強將電洞注入到量子阱層結構中的 p 摻雜半導體層中的摻雜。可選地，超晶格可消除或減少對將電洞注入到量子阱層結構中的 p 摻雜半導體層的生長後退火的需要。

【0021】在 GaN 基材料中可能難以實現 p 摻雜。用於 p 摻雜的摻雜原子（諸如 Mg）通常被氫雜質或氮空位鈍化。因此，即使摻雜濃度為高，自由電洞濃度也可為低。為了消除鈍化（或激活摻雜原子），可使用後生長退火（例如，在低氫濃度的氣氛中的後生長退火）。

【0022】超晶格可通過價帶邊緣的變化來增強 p-摻雜，如科左多依（Kozodoy）等人在應用物理雜誌（1999）75，2444 中所述。價帶邊緣的變化在本文中是由超晶格中 Al 含量的變化引起的，其中超晶格的 Al(z)Ga(1-z)N 層具有比超晶格的 GaN 層高的 Al 含量。在能帶邊緣遠低於費米能級的地方，受主可被電離並且產生的電洞可在能帶邊緣接近費米能級的地方積累。價帶邊緣在本文中可在垂直於超晶格層的方向上變化。由於價帶邊緣的變化，電洞濃度也可能變化。然而，平均電洞濃度可高於價

帶邊緣不變的體膜中的平均電洞濃度。應理解，價帶邊緣的變化可能是由於超晶格中變化的帶隙以及由於能帶彎曲引起的極化效應。超晶格也可提高電洞遷移率，如科左多依等人在應用物理雜誌（1999）75，2444-2446 中進一步所述。

【0023】p 摻雜半導體層的超晶格的 GaN 層可有利地被本質摻雜。可選地，p 摻雜半導體層的超晶格的 GaN 層可為 p 摻雜的。

【0024】相似地，n 摻雜半導體層包括 GaN 層與 Al(z)Ga(1-z)N 層的超晶格，其中 $0 < z \leq 1$，其中所述超晶格的 Al(z)Ga(1-z)N 層是 n 摻雜。

【0025】認識到通過使用超晶格，對於 n 摻雜半導體層而言可實現與 p 摻雜半導體層相似的增強效果。

【0026】n 摻雜半導體層的超晶格的 GaN 層可有利地被本質摻雜。可選地，n 摻雜半導體層的超晶格的 GaN 層可為 n 摻雜的。

【0027】所述裝置還可包括通孔，所述通孔是金屬接觸件，所述金屬接觸件穿過所述襯底並且電連接到二極體層結構的 n 摻雜半導體層或 p 摻雜半導體層。

【0028】因此，如果底部電荷載流子注入層是 n 摻雜半導體層並且頂部電荷載流子注入層是 p 摻雜半導體層（即，如果 n 摻雜半導體層比 p 摻雜半導體層更靠近襯底），則 n 摻雜半導體層可通過通孔進行電接觸並且 p 摻雜半導體層可通過頂部接觸件進行電接觸。

【0029】相似地，如果底部電荷載流子注入層是 p 摻雜半導體層並且頂部電荷載流子注入層是 n 摻雜半導體層（即，如果 p 摻雜半導體層比 n 摻雜半導體層更靠近襯底），則 p 摻雜半導體層可通過通孔進行電接觸並且 n 摻雜半導體層可通過頂部接觸件進行電接觸。

【0030】因此，可避免流向底部電荷載流子注入層的側向電流。此外，如果多個裝置佈置在同一芯片上，當使用到底部電荷載流子注入層的通孔時，所述多個裝置可密集封裝。

【0031】所述裝置還可被配置成使得：

所述 n 摻雜半導體層包括支柱層，所述 n 摻雜半導體層的所述支柱層包括嵌入在支撐材料中的至少一個 n 摻雜半導體支柱，其中所述至少一個 n 摻雜半導體支柱被配置成形成穿過所述 n 摻雜半導體層的所述支柱層到達所述量子阱層結構的電子傳輸溝道；並且/或者

所述 p 摻雜半導體層包括支柱層，所述 p 摻雜半導體層的所述支柱層包括嵌入在支撐材料中的至少一個 p 摻雜半導體支柱，其中所述至少一個 p 摻雜半導體支柱被配置成形成穿過所述 p 摻雜半導體層的所述支柱層到達所述量子阱層結構的電洞傳輸溝道。

n 摻雜半導體支柱可為例如 n 摻雜 GaN 支柱，例如 n 摻雜 GaN 納米線。p 摻雜半導體支柱可為例如 p 摻雜的 GaN 支柱，例如 p 摻雜 GaN 納米線。

認識到半導體支柱可將電荷載流子有效地引導到量子阱層結構。因此，對於注入的電荷載流子而言，可實現高電導率。表現出量子限制的半導體支柱可能特別有用，因為它可實現電荷載流子到量子阱層結構的彈道傳輸。因此，所述至少一個半導體支柱可具有小於 500 nm 的直徑。具體來說，所述至少一個半導體支柱可具有小於 100 nm 的直徑。具體來說，所述至少一個半導體支柱可為納米線。如前所述，電荷載流子的彈道傳輸可使電荷載流子行進得非常快，從而實現高輸出功率並減少電荷載流子的散射。

【0032】對於所述裝置的一個或多個支柱層而言，所述支撐材料是具有與嵌入在所述支撐材料中的所述半導體支柱的摻雜相反的摻雜的半導體材料。

【0033】因此，對於 n 摻雜半導體層而言，支柱層的半導體支柱可為 n 摻雜的並且支撐材料可為 p 摻雜的。因此，由 n 型摻雜半導體層注入的電子可能被迫行進穿過 n 型摻雜半導體支柱。

【0034】因此，對於 p 摻雜半導體層而言，支柱層的半導體支柱可為 p 摻雜的並且支撐材料可為 n 摻雜的。因此，由 p 摻雜半導體層注入的電洞可能被迫行進穿過 p 摻雜半導體支柱。

【0035】支撐材料可為經鐵摻雜或經碳摻雜的 GaN，例如在支柱層的半導體支柱是 n 摻雜的情況下。鐵或碳摻雜劑可充當深受主摻雜劑，從而對 GaN 中不希望的淺施主和殘留雜質進行補償。使用經鐵摻雜或經碳摻雜的 GaN 支撐材料使得在支柱層之上或之後生長質量提高的材料成為可能，例如在支柱層之後生長的量子阱層結構中。

【0036】可選地或附加地，對於裝置的一個或多個支柱層而言，支撐材料可為氧化鎵或原位 Si_3N_4。

【0037】氧化鎵可為例如 Ga_2O 或 Ga_2O_3。氧化鎵具有大的帶隙並且因此可促進電荷載流子對半導體支柱的有效限制。

【0038】此外，對於所述裝置的一個或多個支柱層而言，所述半導體支柱的直徑可為 10 nm 至 500 nm，並且所述半導體支柱的節距可為 200 nm 至 500 nm。這種配置能夠將電荷載流子很好地限制在半導體支柱中，並且同時通過支柱層而具有足夠的電流密度。

【0039】可通過應變在 p 摻雜半導體層中提供輕電洞的電荷載流子濃度。舉例來說，應變可將輕電洞帶能量提高到重電洞帶能量之上。因此，可促進主要通過輕電洞的傳導，這可實現電洞的快速注入，從而實現高輸出功率。舉例來說，p 摻雜半導體層可包括支柱層，其中支柱層的半導體支柱由

支撐材料應變，使得半導體支柱的輕電洞帶具有比半導體支柱的重電洞帶高的能量。

【0040】所述裝置可為垂直腔面發射雷射器（VCSEL），所述垂直腔面發射雷射器包括位於所述第一量子阱和所述第二量子阱下方的底部反射器以及位於所述第一量子阱和所述第二量子阱上方的頂部反射器，所述頂部反射器與所述底部反射器形成用於由所述第一量子阱和所述第二量子阱發射的光的光學諧振器。

【0041】底部反射器和頂部反射器可分別是分布式布拉格反射器（DBR）。DBR 可包括交替的高折射率層與低折射率層。層的厚度可被配置成對應於發射波長的四分之一，例如由量子阱層結構的量子阱發射的光的波長的四分之一。

【0042】如果 p 摻雜半導體層包括 GaN 層和 Al(z)Ga(1-z)N 層的超晶格，所述超晶格也可形成 VCSEL 的 DBR 的一部分。

【0043】如果 n 摻雜半導體層包括 GaN 層 Al(z)Ga(1-z)N 層的超晶格，所述超晶格也可形成 VCSEL 的 DBR 的一部分。

【0044】用於由第一量子阱和第二量子阱發射的光的光學諧振器可由頂部反射器和底部反射器形成，該頂部反射器和底部反射器具有對應於諧振波長的間隔，該諧振波長與來自第一量子阱和第二量子阱的發射波長相似。光學諧振器的所述諧振波長可處於來自第一量子阱和第二量子阱的發射波長的 20%以內。

【0045】如上所述，當電荷載流子（即，電子和電洞）被近端阻障層和遠端阻障層限制在量子阱中時，這可能是特別有利的。舉例來說，當第一遠端阻障層和第二遠端阻障層具有比第一近端阻障層和第二近端阻障層大的帶隙時。在這種情況下，遠端阻障層可在夾置在遠端阻障層之間的區的兩

側形成電洞的能量阻障。相似地，在這種情況下，遠端阻障層可在夾置在遠端阻障層之間的區的兩側形成電子的能量阻障。因此，電子和電洞二者均可被限制在兩級結構中。電子和電洞可首先被近端阻障層限制在量子阱中。其次，電子和電洞可被遠端阻障層限制在夾置在遠端阻障層之間的區中。通過遠端阻障層限制電子和電洞的這種結構會有利地改善電致發光。

【0046】如上所述，近端阻障層中的鋁含量比遠端阻障層中的鋁含量低可能是特別有利的，因為這可防止鋁擴散到量子阱中，鋁擴散到量子阱可能會使性能劣化。

【0047】在下文中，給出第一遠端阻障層和第二遠端阻障層二者均具有比第一近端阻障層和第二近端阻障層大的帶隙的結構的進一步示例。第一遠端阻障層和第二遠端阻障層可各自具有比 GaN 帶隙大的帶隙。因此，第一遠端阻障層和第二遠端阻障層可各自包含 Al(a)Ga(1-a)N，其中 $0 < a \leq 0.3$，例如 $0.1 < a \leq 0.3$。此外，第一近端阻障層和第二近端阻障層可各自具有低於 50 nm 的厚度，例如低於 10 nm 的厚度。這種厚度可在近端阻障層與遠端阻障層的限制之間提供有利的關係。該結構的量子阱部分（包括夾置在第一近端阻障層與第二近端阻障層之間的量子阱，例如從第一個到最後一個量子阱的厚度）可具有低於 20 nm 至 100 nm 的厚度。

【0048】有利的結構可為（從底部到頂部描述的層）：

- 襯底；
- 包含 Al(x)Ga(1-x)N 的基極層，其中 $0 < x \leq 1$；
- n 摻雜層，例如 n 摻雜 GaN；
- Al(a)Ga(1-a)N 的第一遠端阻障層，其中 $0 < a \leq 0.3$，例如 $0.1 < a \leq 0.3$。第一遠端阻障層可為本質的，可選地可為摻雜的。第一遠端阻障層的厚度可低於 10 nm；

- 本質摻雜 GaN 的第一近端阻障層。第一遠端阻障層的厚度可低於 50 nm（例如低於 10 nm）；
- 第一量子阱和第二量子阱，各自具有低於 5 nm 的厚度。量子阱可由例如厚度低於 20 nm（例如低於 5 nm）的 GaN 阻障層分隔開；
- 本質摻雜 GaN 的第二近端阻障層。第二遠端阻障層的厚度可低於 10 nm（例如低於 5 nm）；
- Al(a)Ga(1-a)N 的第二遠端阻障層，其中 $0 < a \leq 0.3$，例如 $0.1 < a \leq 0.3$。第二遠端阻障層可為本質的，可選地可為摻雜的。第一遠端阻障層的厚度可低於 20 nm（例如低於 10 nm）；
- p 摻雜層，例如 p 摻雜 GaN；

具體來說，有利的結構可為（從底部到頂部描述的層）：

- 襯底；
- 包含 Al(x)Ga(1-x)N 的基極層，其中 $0 < x \leq 1$；
- n 摻雜 GaN 的 n 摻雜層；
- 小於 10 nm 的 Al(a)Ga(1-a)N 的第一遠端阻障層，其中 $0 < a \leq 0.3$；
- 本質摻雜 GaN 的第一近端阻障層。第一遠端阻障層的厚度可低於 50 nm（例如低於 10 nm）；
- InGaN 的第一量子阱和第二量子阱，各自具有低於 5 nm 的厚度。量子阱可由例如厚度低於 30 nm（例如低於 10 nm）的 GaN 阻障層分隔開；
- 本質摻雜 GaN 的第二近端阻障層。第二遠端阻障層的厚度可低於 50 nm（例如低於 10 nm）；
- 小於 10 nm 的 Al(a)Ga(1-a)N 的第二遠端阻障層，其中 $0 < a \leq 0.3$；
- p 摻雜 GaN 的 p 摻雜層；

在以上結構中，n 摻雜層與 p 摻雜層可互換位置。

【0049】在以上結構中，在第一近端阻障層與第二近端阻障層之間可存在多於兩個的量子阱。

【0050】根據第二方面，提供一種發光裝置的製造方法，所述方法包括：

提供襯底；

通過物理氣相將基極層沉積在所述襯底上，所述基極層包含 Al(x)Ga(1-x)N；

形成位於所述基極層上的二極體層結構，所述二極體層結構包括夾置在 n 摻雜半導體層與 p 摻雜半導體層之間的量子阱層結構，

所述量子阱層結構包括第一量子阱和第二量子阱、第一近端阻障層和第二近端阻障層以及第一遠端阻障層和第二遠端阻障層，

其中所述第一量子阱和所述第二量子阱各自具有低於 5 nm 的厚度以及比所述第一近端阻障層和所述第二近端阻障層的帶隙小的帶隙；

其中所述第一近端阻障層和所述第二近端阻障層各自包含本質摻雜的 GaN，其中所述第一量子阱和所述第二量子阱夾置在所述第一近端阻障層與所述第二近端阻障層之間，

其中所述第一遠端阻障層和所述第二遠端阻障層各自包含 Al(a)Ga(1-a)N，其中 $0 \leq a \leq 0.3$，其中所述第一量子阱和所述第二量子阱以及所述第一近端阻障層和所述第二近端阻障層夾置在所述第一遠端阻障層與所述第二遠端阻障層之間；

其中所述 n 摻雜半導體層被配置成將電子注入到所述量子阱層結構中；

其中所述 p 摻雜半導體層被配置成將電洞注入到所述量子阱層結構中，優選地，其中所述基極層是厚度為 100 nm 至 500 nm 的 AlN。

【0051】因此，通過物理氣相沉積（例如通過濺射）來沉積基極層。然後可通過在基極層上外延生長來形成二極體層結構的層。

【0052】根據第二方面製造的發光裝置可具有與根據第一方面的裝置相同的優點或相似的優點，並且可能是未來分案申請的主題。

【0053】所述方法可還包括：

通過反應性離子蝕刻蝕刻出穿過所述襯底的孔洞；以及

將金屬沉積在穿過所述襯底的所述孔洞中，使得形成金屬接觸件，所述金屬接觸件穿過所述襯底並且電連接到所述二極體層結構的所述 n 摻雜半導體層或所述 p 摻雜半導體層。

【0054】因此，可形成通孔。反應性離子蝕刻可能特別適合於蝕刻出深孔洞，例如穿過襯底的孔洞。反應性離子蝕刻可為氯反應性離子蝕刻。

【0055】可基於以光譜方式檢測到氯化鋁或氟化鋁的分子物質來結束所述通過反應性離子蝕刻而蝕刻出穿過所述襯底的所述孔洞。

【0056】當蝕刻出深孔洞（例如穿過襯底的孔洞）時，可能難以知曉精確的蝕刻深度。認識到氯化鋁或氟化鋁的光譜信號可指示反應性離子蝕刻已經穿過襯底（例如穿過矽襯底）並且到達基極層的 Al(x)Ga(1-x)N。可例如通過紫外-可見光譜對分子物質進行光譜檢測。

【0057】光譜信號可用作對蝕刻的觸發，所述蝕刻在達到蝕刻完成（即，穿透AlN或含鋁的Al(x)Ga(1-x)N基極層）時停止，由此來自AlN的信號強度降低。等離子體蝕刻可用ICP等離子體蝕刻來執行。該方法的優點在於，可使用與用於界定裝置漏極接觸件的溝槽相同的基極層在矽上生長高質量的GaN。

【圖式簡單說明】

【0058】

參考附圖，通過本發明概念的以下例示性且非限制性的詳細說明，將更好地理解本發明概念的上述以及其他目的、特徵及優點。在圖式中，除非另有說明，否則相同的附圖標記將用於相同的元件。

圖 1 示出一種發光裝置

圖 2 示出能帶結構

圖 3 示出量子阱層結構

圖 4 示出電荷載流子注入層

圖 5 示出電荷載流子注入層

圖 6 示出電荷載流子注入層

圖 7 示出電荷載流子注入層

圖 8 示出電荷載流子注入層

圖 9 示出基極層

圖 10 示出垂直腔面發射雷射器

圖 11 是一種方法的流程圖

【實施方式】

【0059】結合附圖，在下文中根據優選實施例描述本發明的技術內容和詳細說明，而不是用來限制請求項的範圍。本發明可以許多不同的形式實施並且不應該被解釋為局限于本文中闡述的實施例；確切來說，提供這些實施例是為了徹底和完整，並且向技術人員充分傳達本發明的範圍。

【0060】圖 1 示出發光裝置 1 的剖視圖。所述裝置包括襯底 2、佈置在襯底 2 上的基極層 4 和佈置在基極層 4 上的二極體層結構 10。

【0061】襯底 2 可為半導體晶圓或半導體晶圓的一部分。襯底 2 可為例如矽襯底 2、藍寶石襯底 2 或碳化矽襯底 2。由於成本低，矽襯底 2 是優選的。

襯底 2 可在一平面內延伸，該平面在下文中稱為 XY 平面。裝置 1 的不同層可在與 XY 平面正交的方向上一個接一個地佈置在襯底 2 的頂部上，所述方向在下文中稱為 Z 方向。應理解，本文中的裝置 1 的例示是示意性例示。裝置 1 通常在 XY 平面的 X 和 Y 方向上比在 Z 方向上具有大得多的尺寸。

【0062】基極層 4 和二極體層結構 10 可包含基於氮化物的半導體材料。

【0063】基極層 4 包含 Al(x)Ga(1-x)N，其中 $0 < x \leq 1$。優選地，基極層 4 包括 100 nm 至 500 nm 厚的 AlN 層，即 x=1 的層，即 Al 含量為 100%的層。所述 AlN 層優選地直接佈置在襯底 2 上，例如直接佈置在矽襯底 2 上。所述 AlN 層優選地包含通過物理氣相沉積沉積的 AlN。所述 AlN 層可例如包括經濺射的 AlN。可選地或附加地，基極層 4 可包括其他 Al 成分的濺射層。

【0064】基極層 4 可包括單層或多層。舉例來說，基極層可包括直接佈置在襯底 2 上的 AlN 層，隨後是具有較低 Al 含量（即 x<1）的一個或多個 Al(x)Ga(1-x)N 層。如下所述，基極層 4 還可包括基極層支柱 6。

【0065】基極層 4 可包括外延生長層。舉例來說，基極層 4 可包括位於濺射層與二極體層結構 10 之間的至少一個外延生長層。基極層 4 可防止或減少位錯的形成和/或防止位錯擴散到二極體層結構 10 中。

【0066】如上所述，二極體層結構 10 佈置在基極層 4 上。二極體層結構 10 可包含基於氮化物的半導體材料。二極體層結構包括夾置在 n 摻雜半導體層 12 與 p 摻雜半導體層 14 之間的量子阱層結構 30。在圖 1 中，二極體層結構 10 中的層的順序從基極層 4 開始在 Z 方向上是：n 摻雜半導體層 12，隨後是量子阱層結構 30，隨後是 p 摻雜半導體層 14。可選地，可對所述順序進行顛倒，即 p 摻雜半導體層 14，隨後是量子阱層結構 30，隨後是 n 摻雜半導體層 12。n 摻雜半導體層 12 充當電荷載流子注入層，當二極體層結構 10 被正向偏置時，電荷載流子注入層將電子注入到量子阱層結構 30 中。

相似地，p 摻雜半導體層 14 充當電荷載流子注入層，當二極體層結構 10 被正向偏置時，電荷載流子注入層將電洞注入到量子阱層結構 30 中。

【0067】量子阱層結構 30 包括第一量子阱 41 和第二量子阱 42、第一近端阻障層 51 和第二近端阻障層 52 以及第一遠端阻障層 61 和第二遠端阻障層 62。第一量子阱 41 與第二量子阱 42 可由阻障層 43 分隔開。第一量子阱 41 和第二量子阱 42 夾置在第一近端阻障層 51 與第二近端阻障層 52 之間。第一量子阱 41 和第二量子阱 42 以及第一近端阻障層 51 和第二近端阻障層 52 夾置在第一遠端阻障層 61 與第二遠端阻障層 62 之間。因此，量子阱層結構 30 中的層的順序可為（在 Z 方向上從底部電荷載流子注入層開始計數）：第一遠端阻障層 61、第一近端阻障層 51、第一量子阱 41、阻障層 43、第二量子阱 42、第二近端阻障層 52、第二遠端阻障層 62。

【0068】第一量子阱 41 和第二量子阱 42 各自具有低於 5 nm 的厚度以及比第一近端阻障層 51 和第二近端阻障層 52 的帶隙小的帶隙。第一量子阱 41 和第二量子阱 42 可為 InAlGaN 層或 InGaN 層。舉例來說，第一量子阱 41 和第二量子阱 42 可為 In(b)Al(c)Ga(1-b-c)N 層，其中 $0 \leq b \leq 1$ 並且 $0 \leq c \leq 1$。第一量子阱 41 與第二量子阱 42 可具有相同的成分或者不同的成分。第一量子阱 41 與第二量子阱 42 之間的阻障 43 的帶隙可大於第一量子阱 41 與第二量子阱 42 的帶隙。第一量子阱 41 與第二量子阱 42 之間的阻障 43 可為 GaN 層，例如本質摻雜的 GaN 層。第一量子阱 41 與第二量子阱 42 之間的阻障層 43 可具有低於 30 nm（優選地低於 10 nm）的厚度。

【0069】第一近端阻障層 51 和第二近端阻障層 52 各自包含本質摻雜的 GaN。第一遠端阻障層 61 與第二遠端阻障層 62 各自包含 Al(a)Ga(1-a)N，其中 $0 \leq a \leq 0.3$。優選地，第一遠端阻障層 61 和第二遠端阻障層 62 具有 0.3

$\leq a \leq 1$ 的組成。這為將第一量子阱 41 和第二量子阱 42 中的電荷載流子與 n 摻雜半導體層 12 和 p 摻雜半導體層 14 中的摻雜物分離提供了良好的阻障。

【0070】裝置 1 還可包括用於進行偏置和/或為二極體層結構 10 提供電荷載流子的電接觸件。如圖 1 中所示，裝置 1 可包括電連接到頂部電荷載流子注入層的頂部接觸件 9 和電連接到底部電荷載流子注入層的通孔 3。在圖 1 中，頂部接觸件 9 電連接到 p 摻雜半導體層 14，並且通孔 3 電連接到 n 摻雜半導體層 12。通孔 3 是穿過襯底 2 的金屬接觸件。

【0071】可例如通過與底部電荷載流子注入層形成歐姆接觸件而將通孔 3 電連接到底部電荷載流子注入層。因此，通孔 3 可延伸穿過襯底 2 並穿過基極層 4 到達底部電荷載流子注入層。

【0072】可選地，通孔 3 可通過一個或多個中間層電連接到底部載流子注入層。在通孔 3 與底部載流子注入層之間可存在一個或多個中間層，其中所述一個或多個中間層具有與底部載流子注入層相同的摻雜類型（n 型或 p 型）。因此，通孔可與底部中間層形成歐姆接觸件，從而通過中間層電連接到底部載流子注入層。圖 1 示出基極層 4 作為通孔 3 與底部電荷載流子注入層之間的中間層的情況，在這種情況下，底部電荷載流子注入層是 n 摻雜半導體層 12。

【0073】裝置 1 可被配置成在垂直方向（即，Z 方向）上發光。在本文中，可通過穿過頂部接觸件 9 的孔洞發光（如圖 1 中所示）或者通過半透明的頂部接觸件 9 發光。因此，裝置 1 可為 VCSEL 70。

【0074】可選地，裝置 1 可被配置成在側向方向（例如 X 或 Y 方向）上發光。在本文中，可在二極體層結構 10 的側向邊緣處發光。因此，裝置 1 可為邊緣發射雷射器。

【0075】在圖 2 中示出二極體層結構 10 的半導體能帶結構示例。如圖所示，遠端阻障層 61、62 可具有比與所述遠端阻障層 61、62 鄰接的電荷載流子注入層 12、14 大的帶隙。因此，遠端阻障層 61、62 可形成隧穿阻障，當電荷載流子被注入到量子阱層結構 30 中時，電荷載流子隧穿該隧穿阻障。形成隧穿阻障的遠端阻障層 61、62 可被配置成具有足夠薄的厚度以用於電荷載流子隧穿。舉例來說，這種隧穿阻障可薄於 30 nm（例如薄於 10 nm）。作為替代，遠端阻障層 61、62 可具有比與所述遠端阻障層 61、62 鄰接的電荷載流子注入層 12、14 小的帶隙。在這種情況下，可在不進行隧穿的情況下將電荷載流子注入到量子阱層結構 30 中。

【0076】量子阱層結構 30 可被配置成實質上由遠端 n 摻雜半導體層和遠端 p 摻雜半導體層進行摻雜，以實現電子與電洞的複合。舉例來說，用於對量子阱層結構 30 進行摻雜的遠端 n 摻雜半導體層可被佈置為距離量子阱層結構 30 的量子阱 41、42 小於 50 nm。相似地，用於對量子阱層結構 30 進行摻雜的遠端 p 摻雜半導體層可被佈置為距離量子阱層結構 30 的量子阱 41、42 小於 50 nm。

【0077】量子阱層結構 30 可包括多於兩個的量子阱 40。二極體層結構 10 的量子阱層結構 30 可包括多個量子阱 40，其中所述多個量子阱 40 的相鄰量子阱 40 被厚度小於 10 nm 的阻障層分隔開。圖 3 示出包括四個量子阱 40 的量子阱層結構 30 的剖視圖。

【0078】裝置 1 的電荷載流子注入層可包括超晶格 20。這可增強所述電荷載流子注入層的摻雜。

【0079】舉例來說，p 摻雜半導體層 14 可包括 GaN 層 22 和 Al(z)Ga(1-z)N 層 24 的超晶格 20，其中 $0 < z \leq 1$，其中超晶格 20 的 Al(z)Ga(1-z)N 層 24 是 p 摻雜的。

【0080】相似地，n 摻雜半導體層 12 可包括 GaN 層 22 和 Al(z)Ga(1-z)N 層 24 的超晶格 20，其中 $0 < z \leq 1$，其中超晶格 20 的 Al(z)Ga(1-z)N 層 24 是 n 摻雜的。

【0081】圖 4 示出電荷載流子注入層（在這種情況下是 p 摻雜半導體層 14）的剖視圖，包括 GaN 層 22 和 Al(z)Ga(1-z)N 層 24 的超晶格 20。在該圖和下面的圖中，每一層的摻雜都在每一層旁邊表示。在本文中，p 代表 p 摻雜，i 代表本質摻雜並且 n 代表 n 摻雜。如圖 4 中所示，GaN 層 22 可為本質摻雜的。這可適用於 p 摻雜半導體層 14 的超晶格 20 以及 n 摻雜半導體層 12 的超晶格 20。

【0082】優選地，Al(z)Ga(1-z)N 層 24 具有 $z>0.15$（例如 $0.2<z<0.4$）的成分。這可提供最高效的摻雜增強。

【0083】此外，裝置 1 的電荷載流子注入層可包括支柱層 15。這可促進電荷載流子注入層中的高電導率和/或遷移率。附加地或可選地，支柱層 15 可促進通過電荷載流子注入層的彈道傳輸。

【0084】舉例來說，p 摻雜半導體層 14 可包括支柱層 15，p 摻雜半導體層 14 的支柱層 15 包括嵌入在支撐材料 18 中的至少一個 p 摻雜半導體支柱 16。

【0085】圖 5 和 6 示出支柱層 15。在圖中，支柱層 15 形成 p 摻雜半導體層 14。然而，支柱層 15 可替代地形成 n 摻雜半導體層 12，例如在支柱層 15 的摻雜相反的情況下。圖 5 是從 Z 方向觀察的支柱層 15 的俯視圖。圖 6 是從 Y 方向觀察時支柱層 15 的剖視圖。

【0086】支柱層 15 的半導體支柱 16 可主要沿著垂直於襯底的軸線（即，在 Z 方向上）延伸。

【0087】如圖 5 中所示，半導體支柱 16 可具有圓形橫截面。可選地，半導體支柱 16 可具有非圓形橫截面。支柱層 15 的半導體支柱 16 可具有介於 10

nm 至 500 nm 範圍內的直徑 D。如果半導體支柱 16 具有非圓形橫截面，則直徑 D 是包含非圓形橫截面的最小圓的直徑。

【0088】支柱層 15 的半導體支柱 16 可具有介於 200 nm 至 500 nm 範圍內的節距 B。在本文中，節距 B 是半導體支柱 16 的週期性重複中相鄰的半導體支柱 16 之間的距離，如圖 5 中所示。

【0089】支柱層 15 的半導體支柱 16 可包含一種單一的半導體材料，例如 Al(x)Ga(1-x)N，其中 $0 \leq x \leq 1$。可選地，支柱層 15 的半導體支柱 16 可包括 GaN 層 22 和 Al(z)Ga(1-z)N 層 24 的超晶格 20，其中 $0 < z \leq 1$。圖 7 示出形成 n 摻雜半導體層 12 的支柱層 15 的剖視圖，如在 Y 方向上所觀察，其中半導體支柱 16 包括超晶格 20。圖 8 示出形成 p 摻雜半導體層 14 的支柱層 15 的剖視圖，如在 Y 方向上所觀察，其中半導體支柱 16 包括超晶格 20。

【0090】對支柱層 15 的半導體支柱 16 進行摻雜以形成電荷載流子的傳輸溝道。在支柱層 15 形成 n 摻雜半導體層 12 的一部分的情況下，對支柱層 15 的半導體支柱 16 進行 n 摻雜以形成穿過支柱層 15 的電子傳輸通道。在支柱層 15 形成 p 摻雜半導體層 14 的一部分的情況下，對支柱層 15 的半導體支柱 16 進行 p 摻雜以形成穿過支柱層 15 的電洞傳輸溝道。所述摻雜沿著半導體支柱 16 的軸線可為恒定的。可選地，所述摻雜可沿著半導體支柱 16 的軸線變化。具體來說，在半導體支柱 16 包括超晶格 20 的情況下，GaN 層 22 可為本質摻雜的，而 Al(z)Ga(1-z)N 層 24 或者是 p 摻雜的，使得半導體支柱 16 形成電洞傳輸溝道，或者是 n 摻雜的，使得半導體支柱 16 形成電子傳輸溝道。

【0091】可通過生長半導體層、對所述層進行圖案化、然後蝕刻掉半導體支柱 16 來形成支柱層 15。隨後可通過支撐材料 18 填充支柱之間的空間，

使得半導體支柱 16 被嵌入在（例如側向嵌入在）支撐材料 18 中。可通過其他方式外延生長或沉積支撐材料 18。

【0092】支撐材料 18 可為半導體材料，例如外延生長的半導體材料。支撐材料 18 可為具有與嵌入在所述支撐材料 18 中的半導體支柱 16 的摻雜相反的摻雜的半導體材料。因此，對於 n 摻雜半導體層 12 而言，支柱層 15 的半導體支柱 16 可為 n 摻雜的且支撐材料 18 可為 p 摻雜的。相似地，對於 p 摻雜的半導體層 14 而言，支柱層 15 的半導體支柱 16 可為 p 摻雜的且支撐材料 18 可為 n 摻雜的。

【0093】可選地或附加地，對於針對支撐材料 18 使用摻雜半導體材料而言，支撐材料 18 可為氧化物。舉例來說，支撐材料可為氧化鎵，例如 Ga_2O 或 Ga_2O_3。

【0094】可通過應變在 p 摻雜半導體層中提供輕電洞的電荷載流子濃度。因此，p 型摻雜半導體層 14 的至少一部分可與周圍環境晶格失配，使得 p 型摻雜半導體層 14 的所述部分發生應變。本文中的用語晶格失配是指與周圍相比具有不同的晶格常數。對於 p 摻雜半導體層 14 的所述部分而言，晶格失配可被配置成將輕電洞帶能量提高到重電洞帶能量之上。

【0095】在一個示例中，p 摻雜半導體層 14 與相鄰的層晶格失配。

【0096】在另一示例中，p 摻雜半導體層 14 的支柱層 15 的 p 摻雜半導體支柱 16 與支柱層 15 的支撐材料 18 晶格失配。

【0097】如前所述，基極層 4 包含 Al(x)Ga(1-x)N，其中 $0 < x \leq 1$。基極層 4 可例如包括一個或多個 Al(x)Ga(1-x)N 層。附加地或可選地，基極層 4 可包括側向包封在基極層封裝材料 8 中的基極層支柱 6。圖 9 示出從 Y 方向看到的這種基極層 4 的剖視圖。

【0098】基極層支柱 6 是主要沿著垂直於襯底的軸線（即，在 Z 方向上）延伸的支柱。

【0099】基極層支柱 6 可具有圓形橫截面。可選地，基極層支柱 6 可具有非圓形橫截面。基極層支柱 6 可具有小於 500 nm（例如小於 100 nm）的直徑。如果基極層支柱 6 具有非圓形橫截面，則直徑是包含非圓形橫截面的最小圓的直徑。

【0100】基極層包封材料 8 在側向上包封基極層支柱 6。另外，基極層包封材料 8 可包封基極層支柱 6 的頂端，如圖 9 中所示。

【0101】基極層支柱 6 可為 AlN 支柱，基極層包封材料 8 可為 $Al_xGa_{1-x}N$，其中 $0 \leq x \leq 0.95$。

【0102】裝置 1 可為雷射器，例如垂直腔面發射雷射器（VCSEL）或邊緣發射雷射二極體 70。

【0103】圖 10 示出 VCSEL 70 形式的裝置 1 的剖視圖。所示的 VCSEL 70 包括位於第一量子阱 41 和第二量子阱 42 下方的底部反射器 72 以及位於第一量子阱 41 和第二量子阱 42 上方的頂部反射器 74，頂部反射器 74 和底部反射器 72 形成用於由第一量子阱 41 和第二量子阱 42 發光的光學諧振器。

【0104】如圖 10 中所示，底部反射器 72 和頂部反射器 74 可分別是分布式布拉格反射器（DBR）。DBR 可包括交替的高折射率層與低折射率層。層的厚度可被配置成對應於發射波長的四分之一，例如由量子阱層結構 30 的量子阱 41、42 發射的光的波長的四分之一。在圖 10 中，底部反射器 72 包括交替的高折射率與低折射率的四個週期，頂部反射器 74 包括交替的高折射率與低折射率的兩個週期。

【0105】圖 11 示出發光裝置 1 的製造方法 100 的流程圖。方法 100 包括提供 S101 襯底 2、沉積 S102 基極層 4 以及形成 S103 二極體層結構 10。

【0106】襯底 2 可被提供為例如矽襯底 2、藍寶石襯底 2 或碳化矽襯底 2。

【0107】可通過物理氣相沉積（例如通過濺射）來沉積 S102 包含 Al(x)Ga(1-x)N 的基極層 4。

【0108】通過順序形成底部電荷載流子注入層、第一遠端阻障層 61、第一近端阻障層 51、第一量子阱 41、阻障層 43、第二量子阱 42、第二近端阻障層 52、第二遠端阻障層 62 以及頂部電荷載流子注入層，可在基極層 4 上形成 S103 二極體層結構 10。可通過外延生長形成二極體層結構 10 的所述層。底部電荷載流子注入層可為 n 摻雜半導體層 12，並且頂部電荷載流子注入層可為 p 摻雜半導體層 14，反之亦然。

【0109】可選地，方法 100 可包括通過以下步驟形成通孔 3：

通過反應性離子蝕刻而蝕刻出穿過襯底 2 的孔洞；以及

將金屬沉積在穿過襯底 2 的孔中，從而形成金屬接觸件，該金屬接觸件穿過襯底並且電連接到底部載流子注入層。

【0110】可基於以光譜方式檢測到氯化鋁或氟化鋁的分子物質來結束所述通過反應性離子蝕刻而蝕刻出穿過襯底 2 的孔洞。可例如通過紫外-可見光譜對分子物質進行光譜檢測。穿過襯底 2 的孔洞進行的反應性離子蝕刻可包括產生蝕刻穿過襯底 2 的等離子體。等離子體可在蝕刻期間發光。部分光可能源自蝕刻氣體與蝕刻材料反應所產生的分子物質。因此，當蝕刻已經穿過襯底（例如穿過矽襯底 2）時，蝕刻氣體可與襯底上的層中的鋁發生反應。因此，蝕刻氣體可與例如基極層 4 中的鋁發生反應，以形成氯化鋁或氟化鋁物質，當被等離子體激發時，氯化鋁或氟化鋁物質可發射具有特徵光譜的光。

【0111】在上文中，主要參考有限數目的示例描述了本發明的概念。然而，如本領域中的技術人員容易理解的，除了以上公開的示例之外的其他示例同樣可處於由所附申請專利範圍界定的本發明概念的範圍內。

【符號說明】

【0112】

1: 裝置

2: 襯底

3: 通孔

4: 基極層

6: 基極層支柱

8: 封裝材料

9: 頂部接觸件

10: 二極體層結構

12: n摻雜半導體層

14: p摻雜半導體層

15: 支柱層

16: 半導體支柱

18: 支撐材料

20: 超晶格

22: GaN層

24: Al(z)Ga(1-z)N層

30: 量子阱層結構

40: 量子阱

41: 第一量子阱(量子阱)

42: 第二量子阱(量子阱)

43: 阻障層

51: 第一近端阻障層(近端阻障層)

52: 第二近端阻障層(近端阻障層)

61: 第一遠端阻障層(遠端阻障層)

62: 第二遠端阻障層(遠端阻障層)

70: VCSEL

D: 直徑

B: 節距

72: 底部反射器

74: 頂部反射器

100: 方法

【發明申請專利範圍】

【請求項1】一種發光裝置（1），所述裝置（1）包括：

襯底（2）；

佈置在所述襯底（2）上的基極層（4），所述基極層（4）包含 Al(x)Ga(1-x)N，其中 $0 < x \leq 1$；

佈置在所述基極層（4）上的二極體層結構（10），所述二極體層結構（10）包括夾置在 n 摻雜半導體層（12）與 p 摻雜半導體層（14）之間的量子阱層結構（30）；

所述量子阱層結構（30）包括第一量子阱（41）和第二量子阱（42）、第一近端阻障層（51）和第二近端阻障層（52）以及第一遠端阻障層（61）和第二遠端阻障層（62），

其中所述第一量子阱（41）和所述第二量子阱（42）各自具有低於 5 nm 的厚度以及比所述第一近端阻障層（51）和所述第二近端阻障層（52）的帶隙小的帶隙；

其中所述第一近端阻障層（51）和所述第二近端阻障層（52）各自包含本質摻雜的 GaN，其中所述第一量子阱（41）和所述第二量子阱（42）夾置在所述第一近端阻障層（51）與所述第二近端阻障層（52）之間，

其中所述第一遠端阻障層（61）和所述第二遠端阻障層（62）各自包含 Al(a)Ga(1-a)N，其中 $0 \leq a \leq 0.3$，其中所述第一遠端阻障層（61）和所述第二遠端阻障層（62）二者均具有比所述第一近端阻障層（51）和所述第二近端阻障層（52）大的帶隙，其中所述第一量子阱（41）和所述第二量子阱（42）以及所述第一近端阻障層（51）和所述第二近端阻障層（52）夾置在所述第一遠端阻障層（61）與所述第二遠端阻障層（62）之間；

其中所述 n 摻雜半導體層（12）被配置成將電子注入到所述量子阱層結構（30）中；

其中所述 p 摻雜半導體層（14）被配置成將電洞注入到所述量子阱層結構（30）中，優選地，其中所述基極層（4）是厚度為 100 nm 至 500 nm 的 AlN。

【請求項2】 如請求項1所述的裝置（1），其中所述量子阱層結構（30）被配置成實質上由遠端n摻雜半導體層與遠端p摻雜半導體層摻雜而成，以實現電子與電洞的複合。

【請求項3】 如請求項1或2所述的裝置（1），其中所述二極體層結構（10）的所述量子阱層結構（30）包括多個量子阱，其中所述多個量子阱中相鄰的量子阱被厚度小於10 nm的阻障層分隔開。

【請求項4】 如前述請求項中任一項所述的裝置（1），其中所述p摻雜半導體層（14）包括GaN層（22）與Al(z)Ga(1-z)N層（24）的超晶格（20），其中$0 < z \leq 1$，其中所述超晶格（20）的所述Al(z)Ga(1-z)N層（24）是p摻雜的。

【請求項5】 如前述請求項中任一項所述的裝置（1），其中所述n摻雜半導體層（12）包括GaN層（22）與Al(z)Ga(1-z)N層（24）的超晶格（20），其中$0 < z \leq 1$，其中所述超晶格（20）的所述Al(z)Ga(1-z)N層（24）是n摻雜的。

【請求項6】 如前述請求項中任一項所述的裝置（1），還包括通孔（3），所述通孔（3）是金屬接觸件，所述金屬接觸件穿過所述襯底（2）並且電連接到所述二極體層結構（10）的所述n摻雜半導體層（12）或所述p摻雜半導體層（14）。

【請求項7】 如前述請求項中任一項所述的裝置（1），其中

所述 n 摻雜半導體層（12）包括支柱層（15），所述 n 摻雜半導體層（12）的所述支柱層（15）包括嵌入在支撐材料（18）中的至少一個 n 摻雜半導體支柱（16），其中所述至少一個 n 摻雜半導體支柱（16）被配置成形成穿過所述 n 摻雜半導體層（12）的所述支柱層（15）到達所述量子阱層結構（30）的電子傳輸溝道；並且/或者

所述 p 摻雜半導體層（14）包括支柱層（15），所述 p 摻雜半導體層（14）的所述支柱層（15）包括嵌入在支撐材料（18）中的至少一個 p 摻雜半導體支柱（16），其中所述至少一個 p 摻雜半導體支柱（16）被配置成形成穿過所述 p 摻雜半導體層（14）的所述支柱層（15）到達所述量子阱層結構（30）的電洞傳輸溝道。

【請求項8】如請求項7所述的裝置（1），其中，對於所述裝置（1）的一個或多個支柱層（15）而言，所述支撐材料（18）是具有與嵌入在所述支撐材料（18）中的所述半導體支柱（16）的摻雜相反的摻雜的半導體材料。

【請求項9】如請求項7或8所述的裝置（1），其中，對於所述裝置（1）的一個或多個支柱層（15）而言，所述支撐材料（18）是氧化鎵。

【請求項10】如請求項7至9中任一項所述的裝置（1），其中，對於所述裝置（1）的一個或多個支柱層（15）而言，所述半導體支柱（16）的直徑（D）為10 nm至500 nm，並且所述半導體支柱（16）的節距（B）為200 nm至500 nm。

【請求項11】如前述請求項中任一項所述的裝置（1），其中通過應變在所述p摻雜半導體層（14）中提供輕電洞的電荷載流子濃度。

【請求項12】如前述請求項中任一項所述的裝置（1），其中所述裝置（1）是垂直腔面發射雷射器（70），所述垂直腔面發射雷射器包括位於所述第一量

子阱（41）和所述第二量子阱（42）下方的底部反射器（72）以及位於所述第一量子阱（41）和所述第二量子阱（42）上方的頂部反射器（74），所述頂部反射器（74）與所述底部反射器（72）形成用於由所述第一量子阱（41）和所述第二量子阱（42）發射的光的光學諧振器。

【請求項13】一種發光裝置（1）的製造方法（100），所述方法包括：

提供（S101）襯底（2）；

通過物理氣相將基極層（4）沉積（S102）在所述襯底（2）上，所述基極層（4）包含 Al(x)Ga(1-x)N；

形成（S103）位於所述基極層（4）上的二極體層結構（10），所述二極體層結構（10）包括夾置在 n 摻雜半導體層（12）與 p 摻雜半導體層（14）之間的量子阱層結構（30），

所述量子阱層結構（30）包括第一量子阱（41）和第二量子阱（42）、第一近端阻障層（51）和第二近端阻障層（52）以及第一遠端阻障層（61）和第二遠端阻障層（62），

其中所述第一量子阱（41）和所述第二量子阱（42）各自具有低於 5 nm 的厚度以及比所述第一近端阻障層（51）和所述第二近端阻障層（52）的帶隙小的帶隙；

其中所述第一近端阻障層（51）和所述第二近端阻障層（52）各自包含本質摻雜的 GaN，其中所述第一量子阱（41）和所述第二量子阱（42）夾置在所述第一近端阻障層（51）與所述第二近端阻障層（52）之間，

其中所述第一遠端阻障層（61）和所述第二遠端阻障層（62）各自包含 Al(a)Ga(1-a)N，其中 $0 \leq a \leq 0.3$，其中所述第一遠端阻障層（61）和所述第二遠

端阻障層（62）二者均具有比所述第一近端阻障層（51）和所述第二近端阻障層（52）大的帶隙，其中所述第一量子阱（41）和所述第二量子阱（42）以及所述第一近端阻障層（51）和所述第二近端阻障層（52）夾置在所述第一遠端阻障層（61）與所述第二遠端阻障層（62）之間；

其中所述 n 摻雜半導體層（12）被配置成將電子注入到所述量子阱層結構（30）中；

其中所述 p 摻雜半導體層（14）被配置成將電洞注入到所述量子阱層結構（30）中，優選地，其中所述基極層（4）是厚度為 100 nm 至 500 nm 的 AlN。

【請求項14】 如請求項13所述的方法，還包括：

通過反應性離子蝕刻蝕刻出穿過所述襯底（2）的孔洞；以及

將金屬沉積在穿過所述襯底（2）的所述孔洞中，使得形成金屬接觸件，所述金屬接觸件穿過所述襯底（2）並且電連接到所述二極體層結構（10）的所述 n 摻雜半導體層（12）或所述 p 摻雜半導體層（14）。

【請求項15】 如請求項14所述的方法，其中基於以光譜方式檢測到氯化鋁或氟化鋁的分子物質來結束所述通過反應性離子蝕刻而蝕刻出穿過所述襯底（2）的所述孔洞。

【發明圖式】

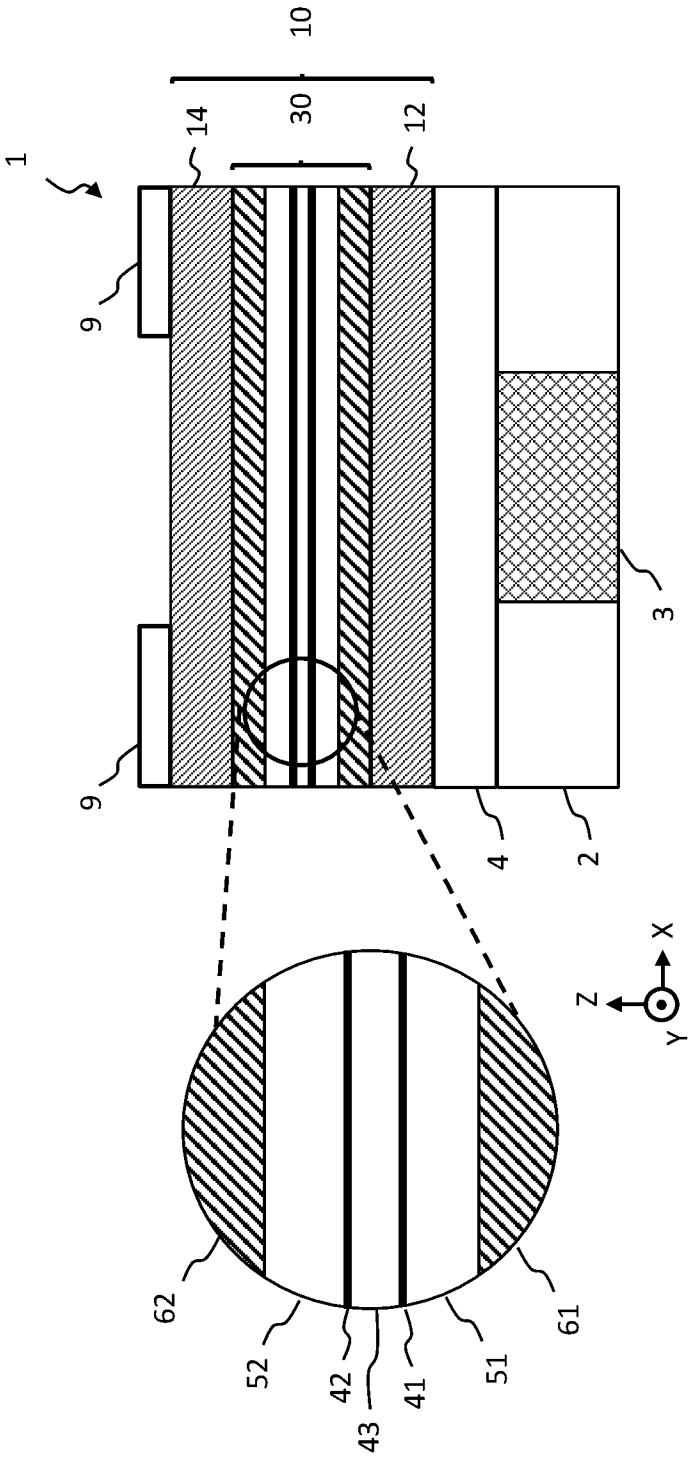

圖1

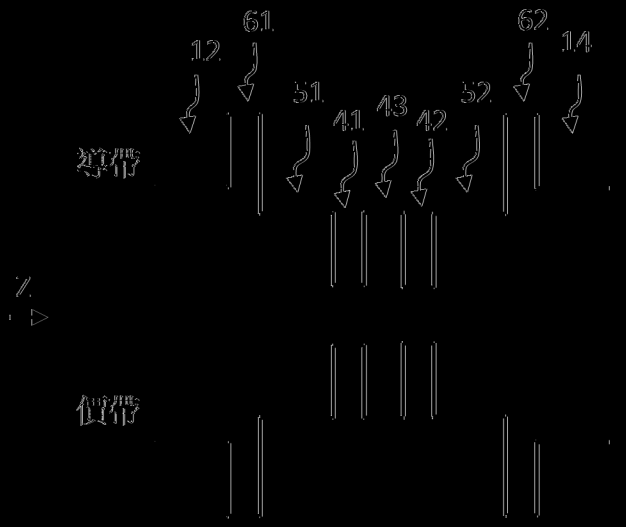
12
61
51
41
43
42
52
62
14
導帶
Z
價帶

圖2


14
40
40
40
40
12
30
Z
Y
X

圖3

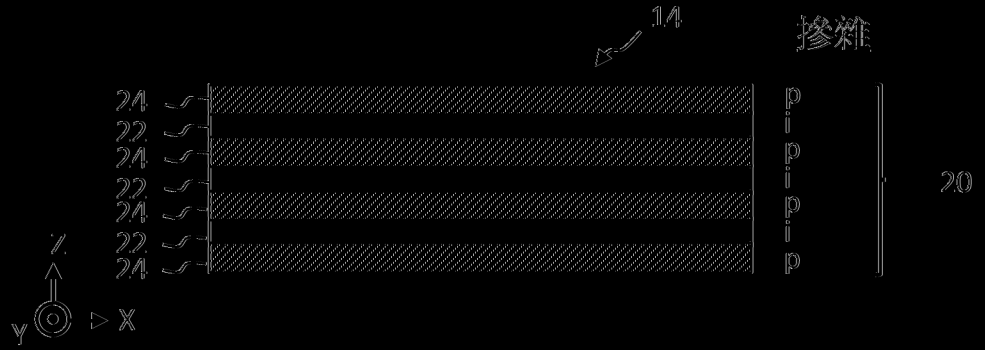
14
摻雜
24
22
24
22
24
22
24
p
i
p
i
p
i
p
20
Z
Y
X

圖4

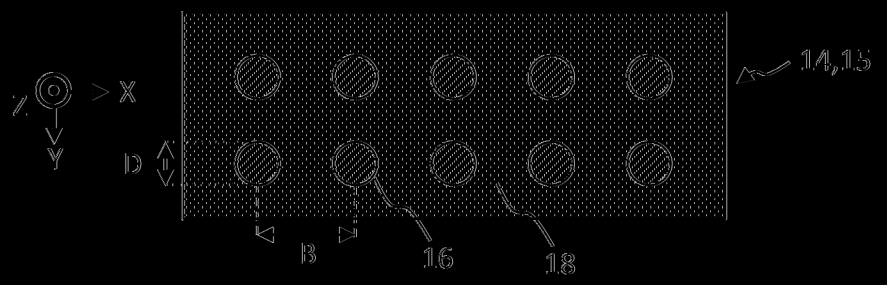
Z
X
Y
D
14,15
B
16
18

圖 5

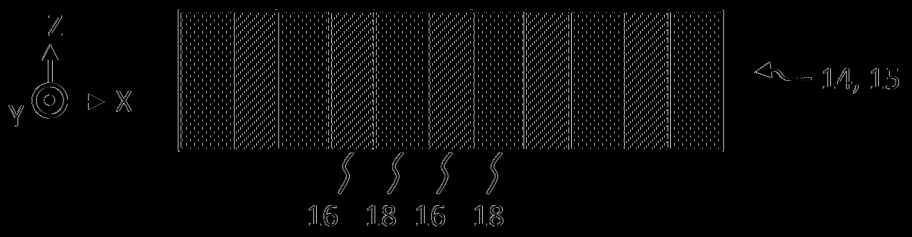
Z
Y
X
14, 15
16
18
16
18

圖 6

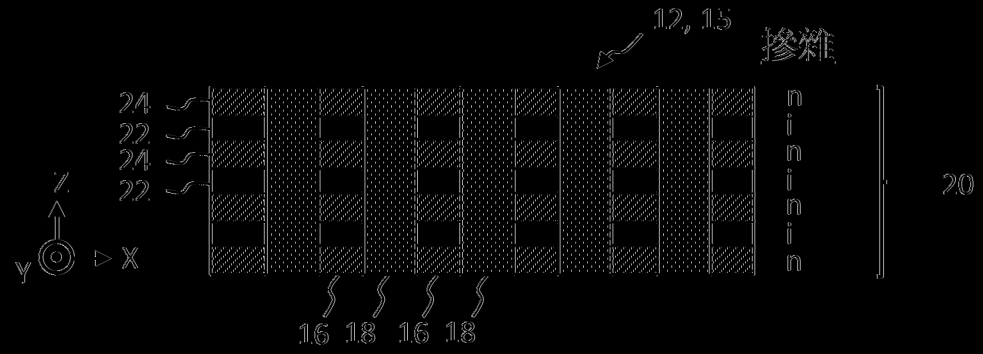
12, 15
摻雜
24
22
24
22
n
n
n
n
n
20
Z
Y
X
16
18
16
18

圖 7

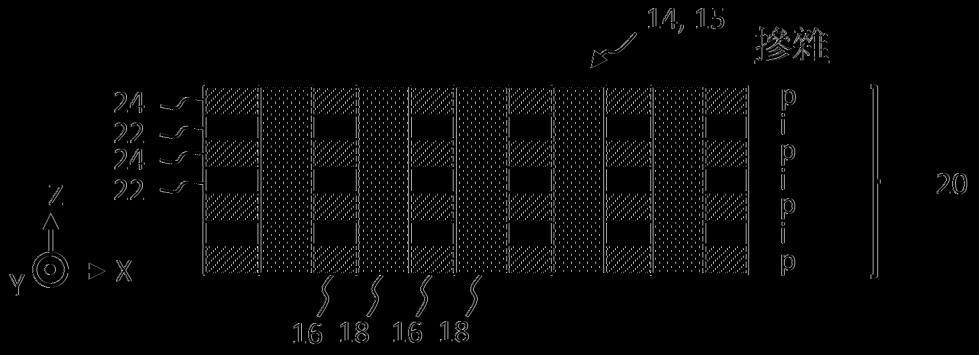
14, 15
摻雜
24
22
24
22
p
p
p
p
p
20
Z
Y
X
16
18
16
18

圖 8

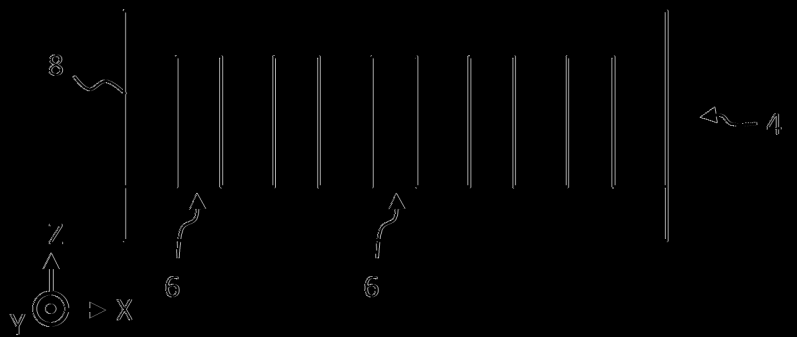

圖9

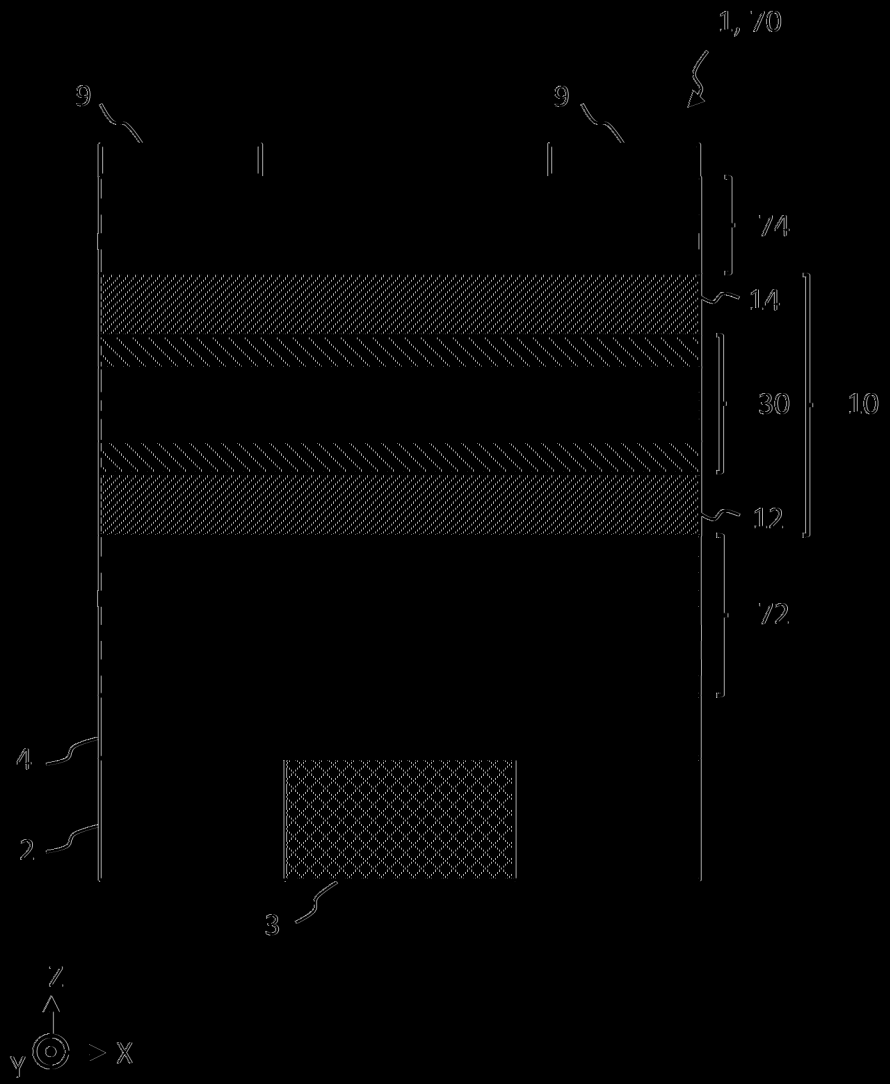

圖10

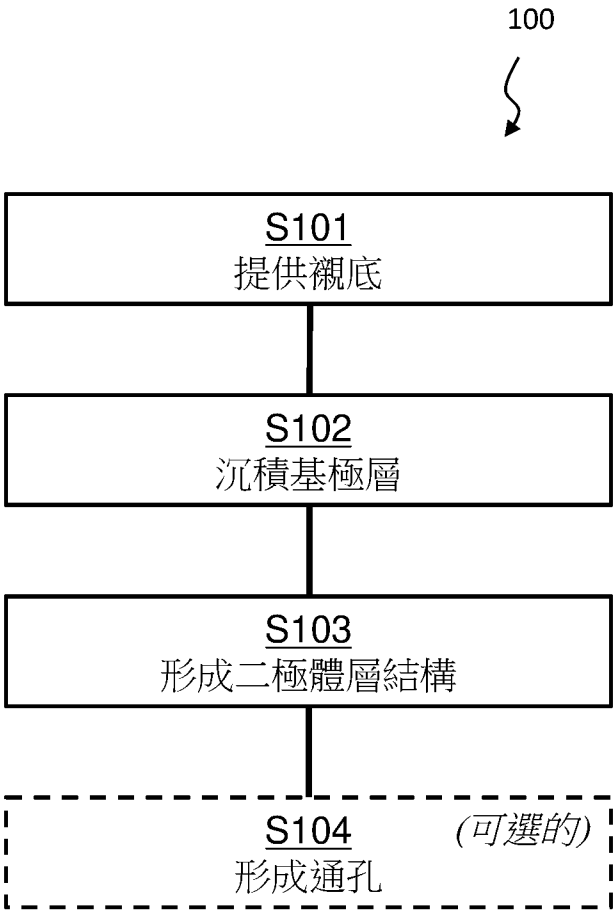

圖11

【發明摘要】

【中文發明名稱】發光裝置和發光裝置的製造方法

【英文發明名稱】A device for emitting light and a method for producing a light-emitting device

【中文】

一種發光裝置，該裝置包括：襯底；佈置在襯底上的基極層；佈置在基極層上的二極體層結構，該二極體層結構包括夾置在 n 摻雜半導體層與 p 摻雜半導體層之間的量子阱層結構；該量子阱層結構包括第一量子阱和第二量子阱、第一近端阻障層和第二近端阻障層以及第一遠端阻障層和第二遠端阻障層，其中第一量子阱和第二量子阱以及第一近端阻障層和第二近端阻障層夾置在第一遠端阻障層與第二遠端阻障層之間。

【英文】

A device for emitting light, the device comprising: a substrate; a base layer arranged on the substrate; a diode layer structure arranged on the base layer, the diode layer structure comprising a quantum well layer structure sandwiched between an n-doped semiconductor layer and a p-doped semiconductor layer; the quantum well layer structure comprising a first and second quantum well, a first and a second proximal barrier layer, and a first and a second distal barrier layer, wherein the first and second quantum wells and the first and second proximal barrier layers are sandwiched between the first and second distal barrier layers.

【指定代表圖】圖1

【代表圖之符號簡單說明】

1: 裝置

2: 襯底

3: 通孔

4: 基極層

9: 頂部接觸件

10: 二極體層結構

12: n摻雜半導體層

14: p摻雜半導體層

30: 量子阱層結構

41: 第一量子阱

42: 第二量子阱

43: 阻障層

51: 第一近端阻障層

52: 第二近端阻障層

61: 第一遠端阻障層

62: 第二遠端阻障層

112 年 05 月 16 日修正替換頁

【發明說明書】

【中文發明名稱】發光裝置和發光裝置的製造方法

【英文發明名稱】A device for emitting light and a method for producing a light-emitting device

【技術領域】

【0001】本發明概念大體上涉及一種發光裝置和發光裝置的製造方法。

【先前技術】

【0002】半導體二極體（諸如發光二極體（LED）或雷射二極體）可形成發光裝置。這種發光裝置用於各種應用（例如，三維（3D）列印）。

【發明內容】

【0003】本發明概念的目的是提供一種具有高輸出功率的發光裝置。本發明概念的又一目的是提供一種發射紫外（UV）光的發光裝置。本發明概念的另一目的是增加發光 GaN 裝置中用於發光的電子和電洞載流子注入。

【0004】本發明概念的這些目的和其他目的至少部分地由獨立請求項中所定義的本發明來滿足。在附屬請求項中闡述優選實施例。

【0005】在一些實施例中，提供高功率雷射器。二氧化碳雷射器使用起來仍然很昂貴，因此替代發光二極體異質結構雷射二極體是感興趣的替代品，可大規模批量生產。然而，用於 3D 列印的雷射二極體目前僅限於小於 100 W 的功率。基於氮化物的雷射二極體技術在發展的最開始便受到了構成這些裝置的有源區域的外延層的不良結晶質量問題的阻礙。該問題與缺乏在晶格參數和熱膨脹係數方面與 GaN 匹配的合適的襯底材料有關。

【0006】根據第一方面，提供一種發光裝置，所述裝置包括：

襯底；

佈置在所述襯底上的基極層，所述基極層包含 Al(x)Ga(1-x)N，其中 $0 < x \leq 1$；

佈置在所述基極層上的二極體層結構，所述二極體層結構包括夾置在 n 摻雜半導體層與 p 摻雜半導體層之間的量子阱層結構；

所述量子阱層結構包括第一量子阱和第二量子阱、第一近端阻障層和第二近端阻障層以及第一遠端阻障層和第二遠端阻障層，

其中所述第一量子阱和所述第二量子阱各自具有低於 5 nm 的厚度以及比所述第一近端阻障層和所述第二近端阻障層的帶隙小的帶隙；

其中所述第一近端阻障層和所述第二近端阻障層各自包含本質摻雜的 GaN，

其中所述第一量子阱和所述第二量子阱夾置在所述第一近端阻障層與所述第二近端阻障層之間，

其中所述第一遠端阻障層和所述第二遠端阻障層各自包含 Al(a)Ga(1-a)N，其中 $0 \leq a \leq 0.3$，其中所述第一量子阱和所述第二量子阱以及所述第一近端阻障層和所述第二近端阻障層夾置在所述第一遠端阻障層與所述第二遠端阻障層之間；

其中所述 n 摻雜半導體層被配置成將電子注入到所述量子阱層結構中；

其中所述 p 摻雜半導體層被配置成將電洞注入到所述量子阱層結構中，優選地，其中所述基極層是厚度為 100 nm 至 500 nm 的 AlN。

【0007】根據以上所述，所述裝置在被正向偏置時會發光。n 摻雜半導體層可被配置成在二極體層結構被正向偏置時將電子注入到量子阱層結構中。n 摻雜半導體層可具有高於 1×10^{10} cm^{-3} 的摻雜水平。n 摻雜半導體層可包括 Al(y)Ga(1-y)N 層，其中 $0 \leq y \leq 0.5$。p 摻雜半導體層可被配置成在二極體層

結構被正向偏置時將電洞注入到量子阱層結構中。p 摻雜半導體層可具有高於 $1\times 10^{15}\ cm^{-3}$ 的摻雜水平。注入到量子阱層結構的電子與電洞在量子阱層結構的第一量子阱和第二量子阱中複合，由此裝置發光。

【0008】第一量子阱和第二量子阱可為 InGaN 量子阱，且因此可具有比 GaN 近端阻障層的帶隙小的帶隙。因此，電荷載流子（即，電子和電洞）可被近端阻障層限制在第一量子阱和第二量子阱中。電荷載流子還可被遠端阻障層限制在第一量子阱和第二量子阱中。遠端阻障層可具有比近端阻障層大的帶隙。此外，遠端阻障層可具有比 n 摻雜半導體層和 p 摻雜半導體層大的帶隙。因此，遠端阻障層可充當量子阱與注入電荷載流子的層之間的阻障（諸如隧道阻障）。

【0009】此外，避免量子阱附近的摻雜劑是有利的。這種摻雜劑可充當或產生第一量子阱和第二量子阱中電荷載流子的非輻射路徑。因此，將第一量子阱和第二量子阱夾置在本質摻雜的 GaN 的近端阻障層之間是有利的。用語“本質摻雜的 GaN”是指未被有意摻雜的 GaN（例如被 n 型 GaN 的矽施主原子或 p 型 GaN 的鎂受主原子摻雜），諸如室溫下電子和電洞載流子濃度二者均低於 $5\times 10^{16}\ cm^{-3}$ 的 GaN。GaN 的有意摻雜可在 GaN 生長期間原位執行。此外，遠端阻障層可將第一量子阱和第二量子阱中的電荷載流子與 n 摻雜半導體層和 p 摻雜半導體層中的摻雜劑分隔開。因此，電荷載流子可例如通過隧穿遠端阻障層而被注入到第一量子阱和第二量子阱中並且被陷獲在第一量子阱和第二量子阱中，其中防止電荷載流子返回到 n 摻雜半導體層的施主原子或 p 摻雜半導體層的受主原子。然而，量子阱層結構可被配置成允許電荷載流子在第一量子阱與第二量子阱之間隧穿。舉例來說，第一量子阱與第二量子阱可由足夠薄以允許隧穿的阻障層（例如，GaN 阻障層）分隔開。第一量子阱與第二量子阱之間的阻障層可具有低於 30 nm

的厚度，優選地低於 10 nm。因此，第一量子阱與第二量子阱可進行量子機械耦合（例如，隧道耦合）。這種量子阱可強烈發射，使得該裝置具有高輸出功率。另外，可存在其他優點。作為一個示例，發射光譜可通過第一量子阱與第二量子阱之間的阻障厚度來定制。作為另一示例，可通過施加在第一量子阱與第二量子阱之間的電場來對發射波長進行調諧。

【0010】進一步認識到，電荷載流子到第一量子阱和第二量子阱的高傳導率使得能夠實現高輸出功率。電流連續性方程式是以下方程是：

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{1}{q}\frac{dJ}{dt} - U(n,p)$$

其中 n 是電荷載流子濃度，q 是基本電荷，J 是電流密度，並且 U(n,p)是淨複合率。因此，進入第一量子阱和第二量子阱的電荷必須在另一側出現、被陷獲或通過複合被中和。因此，當實現高電導率（諸如高注入遷移率）時，複合以及發光或功率變高。通過近端阻障層將第一量子阱和第二量子阱與 n 摻雜半導體層和 p 摻雜半導體層分隔開會實現高注入遷移率。舉例來說，在近端阻障層（例如，本質摻雜的近端阻障層）中摻雜劑原子的濃度低的情況下，電荷載流子可以彈道方式（即，不具有散射）行進穿過近端阻障層。因此，電荷載流子可非常快速地行進穿過近端阻障層，從而實現高輸出功率。

【0011】此外，該裝置可被配置成使得 n 摻雜半導體層的導帶邊緣具有比 n 摻雜半導體層向其注入電子的近端阻障層的導帶邊緣高的能量。因此，可將能量差轉換成注入電子的動能，該注入電子隨後更快地行進到第一量子阱和第二量子阱。

【0012】此外，該裝置可被配置成使得 p 摻雜半導體層的價帶邊緣具有比 p 摻雜半導體層向其注入電洞的近端阻障層的價帶邊緣低的能量。因此，可

將能量差轉換成注入電洞的動能，該注入電洞隨後更快地行進到第一量子阱和第二量子阱。

【0013】由於高結晶質量促成少的非輻射複合中心和/或裝置的高量子效率，因此第一量子阱和第二量子阱的高結晶質量能夠實現高輸出功率。通過近端阻障層和遠端阻障層將第一量子阱和第二量子阱與 n 摻雜半導體層和 p 摻雜半導體層分隔開，能夠實現第一量子阱和第二量子阱的高結晶質量。此外，在襯底與二極體層結構之間使用基極層能夠實現二極體層結構的高結晶質量，特別是第一量子阱和第二量子阱的高結晶質量。由於基於氮化物的襯底是昂貴的，因此襯底可與二極體層結構晶格失配。因此，襯底可為矽襯底、藍寶石襯底或碳化矽襯底。在本文中基極層可防止或減少可充當非輻射複合中心的位錯的形成。基極層可防止位錯擴散到二極體層結構中，特別是防止位錯擴散到第一量子阱或第二量子阱中。在本文中，如果基極層包括 AlN 層（例如，直接位於襯底上的 AlN 層），則特別有利。所述 AlN 層可包括經濺射的 AlN，這對於降低位錯的風險特別有利。基極層可包括基極層支柱，基極層支柱是垂直於襯底佈置的支柱。基極層支柱可包含 AlN（例如，經濺射的 AlN）。發明人認識到，金屬有機化學氣相沉積（MOCVD）中的 AlN 處理（如針對例如矽襯底或藍寶石襯底上的 GaN 緩衝層使用）是 InGaN 量子阱的嚴重污染過程。因此，可在 MOCVD 工藝的外部提供基極層。基極層支柱可具有小於 500 nm（例如小於 100 nm）的直徑。基極層支柱可側向包封在基極層包封材料（諸如 $Al_xGa_{1-x}N$，其中 $0\leq x\leq 0.95$）中。側向包封基極層支柱的 $Al_xGa_{1-x}N$ 可包括從基極層支柱側向傳播的位錯。因此，基極層可通過優先從基極層支柱側向傳播的位錯來鎖定位錯，使得位錯不會到達二極體層結構。

【0014】量子阱層結構可被配置成實質上由遠端 n 摻雜半導體層和遠端 p 摻雜半導體層摻雜而成，以通過由於相鄰層的帶隙差異而導致的能帶彎曲來實現電子與電洞的複合。在室溫下，AlN 的帶隙為 6.015 eV 並且 GaN 的帶隙為 3.4 V。遠端阻障層的帶隙可被配置成將施主原子與電子分隔開並且將受主原子與電子電洞分隔開。遠端阻障層可為 AlGaN 合金，其被提供作為勢能阻障，以用於通過防止從量子阱隧穿來將電荷載流子限制到量子阱，而近端阻障層可被配置成允許在量子阱之間進行大量隧穿。由於形成勢能阱，電荷載流子可被限制在異質結構界面處的二維氣體中，該異質結構界面可隧穿到相鄰的量子阱。遠端阻障層的厚度及其鋁濃度二者均可被配置用於優化量子阱層結構的電致發光。通過遠端阻障層對量子阱層結構進行摻雜是有利的，因為摻雜劑可從量子阱層結構中分離出來，從而降低庫侖電勢，以免改變由量子阱層結構提供的勢能阱。

【0015】用於對量子阱層結構進行摻雜的遠端 n 摻雜半導體層可為被配置成將電子注入到量子阱層結構中的 n 摻雜半導體層。因此，該層既可對量子阱層結構進行摻雜，又可將電子注入到量子阱層結構中。可選地，用於對量子阱層結構進行摻雜的遠端 n 摻雜半導體層可不同于被配置成將電子注入到量子阱層結構中的 n 摻雜半導體層。

【0016】用於對量子阱層結構進行摻雜的遠端 p 摻雜半導體層可為被配置成將電洞注入到量子阱層結構中的 p 摻雜半導體層。因此，該層既可對量子阱層結構進行摻雜，又可將電洞注入到量子阱層結構中。可選地，用於對量子阱層結構進行摻雜的遠端 p 摻雜半導體層可不同于被配置成將電洞注入到量子阱層結構的 p 摻雜半導體層。

【0017】二極體層結構的量子阱層結構可包括多個量子阱，其中所述多個量子阱中相鄰的量子阱被厚度小於 10 nm 的阻障層分隔開。層的量子化垂

直於 GaN 的生長方向，該方向可為矽（111）晶圓上的 C 方向。舉例來說，量子阱層結構可足夠薄以將電荷載流子限制到作為二維氣體的量子狀態，並且包括多於兩個量子阱（例如 5 個量子阱或 10 個量子阱）。分割的阻障的厚度對於所有的相鄰量子阱對而言可為相同的，或者對於不同的相鄰量子阱對而言可為不同的，所述量子阱各自具有 1 nm 至 5 nm 的厚度。

【0018】所述多個量子阱可例如通過隧道耦合而彼此進行量子耦合。因此，所述多個量子阱可形成能級的微帶。這種微帶可發射強光，使得該裝置具有高輸出功率。此外，發射光譜可通過相鄰量子阱之間的阻障厚度來定制。

【0019】p 摻雜半導體層可包括 GaN 層與 Al(z)Ga(1-z)N 層的超晶格，其中 $0 < z \leq 1$，其中所述超晶格的 Al(z)Ga(1-z)N 層是 p 摻雜的。

【0020】認識到超晶格可增強將電洞注入到量子阱層結構中的 p 摻雜半導體層中的摻雜。可選地，超晶格可消除或減少對將電洞注入到量子阱層結構中的 p 摻雜半導體層的生長後退火的需要。

【0021】在 GaN 基材料中可能難以實現 p 摻雜。用於 p 摻雜的摻雜原子（諸如 Mg）通常被氫雜質或氮空位鈍化。因此，即使摻雜濃度為高，自由電洞濃度也可為低。為了消除鈍化（或激活摻雜原子），可使用後生長退火（例如，在低氫濃度的氣氛中的後生長退火）。

【0022】超晶格可通過價帶邊緣的變化來增強 p-摻雜，如科左多依（Kozodoy）等人在應用物理雜誌（1999）75，2444 中所述。價帶邊緣的變化在本文中是由超晶格中 Al 含量的變化引起的，其中超晶格的 Al(z)Ga(1-z)N 層具有比超晶格的 GaN 層高的 Al 含量。在能帶邊緣遠低於費米能級的地方，受主可被電離並且產生的電洞可在能帶邊緣接近費米能級的地方積累。價帶邊緣在本文中可在垂直於超晶格層的方向上變化。由於價帶邊緣的變化，電洞濃度也可能變化。然而，平均電洞濃度可高於價帶邊緣不變的體膜中的平

均電洞濃度。應理解，價帶邊緣的變化可能是由於超晶格中變化的帶隙以及由於能帶彎曲引起的極化效應。超晶格也可提高電洞遷移率，如科左多依等人在應用物理雜誌（1999）75，2444-2446 中進一步所述。

【0023】p 摻雜半導體層的超晶格的 GaN 層可有利地被本質摻雜。可選地，p 摻雜半導體層的超晶格的 GaN 層可為 p 摻雜的。

【0024】相似地，n 摻雜半導體層包括 GaN 層與 Al(z)Ga(1-z)N 層的超晶格，其中 $0 < z \leq 1$，其中所述超晶格的 Al(z)Ga(1-z)N 層是 n 摻雜。

【0025】認識到通過使用超晶格，對於 n 摻雜半導體層而言可實現與 p 摻雜半導體層相似的增強效果。

【0026】n 摻雜半導體層的超晶格的 GaN 層可有利地被本質摻雜。可選地，n 摻雜半導體層的超晶格的 GaN 層可為 n 摻雜的。

【0027】所述裝置還可包括通孔，所述通孔是金屬接觸件，所述金屬接觸件穿過所述襯底並且電連接到二極體層結構的 n 摻雜半導體層或 p 摻雜半導體層。

【0028】因此，如果底部電荷載流子注入層是 n 摻雜半導體層並且頂部電荷載流子注入層是 p 摻雜半導體層（即，如果 n 摻雜半導體層比 p 摻雜半導體層更靠近襯底），則 n 摻雜半導體層可通過通孔進行電接觸並且 p 摻雜半導體層可通過頂部接觸件進行電接觸。

【0029】相似地，如果底部電荷載流子注入層是 p 摻雜半導體層並且頂部電荷載流子注入層是 n 摻雜半導體層（即，如果 p 摻雜半導體層比 n 摻雜半導體層更靠近襯底），則 p 摻雜半導體層可通過通孔進行電接觸並且 n 摻雜半導體層可通過頂部接觸件進行電接觸。

【0030】因此，可避免流向底部電荷載流子注入層的側向電流。此外，如果多個裝置佈置在同一芯片上，當使用到底部電荷載流子注入層的通孔時，所述多個裝置可密集封裝。

【0031】所述裝置還可被配置成使得：

所述 n 摻雜半導體層包括支柱層，所述 n 摻雜半導體層的所述支柱層包括嵌入在支撐材料中的至少一個 n 摻雜半導體支柱，其中所述至少一個 n 摻雜半導體支柱被配置成形成穿過所述 n 摻雜半導體層的所述支柱層到達所述量子阱層結構的電子傳輸溝道；並且/或者

所述 p 摻雜半導體層包括支柱層，所述 p 摻雜半導體層的所述支柱層包括嵌入在支撐材料中的至少一個 p 摻雜半導體支柱，其中所述至少一個 p 摻雜半導體支柱被配置成形成穿過所述 p 摻雜半導體層的所述支柱層到達所述量子阱層結構的電洞傳輸溝道。

n 摻雜半導體支柱可為例如 n 摻雜 GaN 支柱，例如 n 摻雜 GaN 納米線。p 摻雜半導體支柱可為例如 p 摻雜的 GaN 支柱，例如 p 摻雜 GaN 納米線。認識到半導體支柱可將電荷載流子有效地引導到量子阱層結構。因此，對於注入的電荷載流子而言，可實現高電導率。表現出量子限制的半導體支柱可能特別有用，因為它可實現電荷載流子到量子阱層結構的彈道傳輸。因此，所述至少一個半導體支柱可具有小於 500 nm 的直徑。具體來說，所述至少一個半導體支柱可具有小於 100 nm 的直徑。具體來說，所述至少一個半導體支柱可為納米線。如前所述，電荷載流子的彈道傳輸可使電荷載流子行進得非常快，從而實現高輸出功率並減少電荷載流子的散射。

【0032】對於所述裝置的一個或多個支柱層而言，所述支撐材料是具有與嵌入在所述支撐材料中的所述半導體支柱的摻雜相反的摻雜的半導體材料。

【0033】因此，對於 n 摻雜半導體層而言，支柱層的半導體支柱可為 n 摻雜的並且支撐材料可為 p 摻雜的。因此，由 n 型摻雜半導體層注入的電子可能被迫行進穿過 n 型摻雜半導體支柱。

【0034】因此，對於 p 摻雜半導體層而言，支柱層的半導體支柱可為 p 摻雜的並且支撐材料可為 n 摻雜的。因此，由 p 摻雜半導體層注入的電洞可能被迫行進穿過 p 摻雜半導體支柱。

【0035】支撐材料可為經鐵摻雜或經碳摻雜的 GaN，例如在支柱層的半導體支柱是 n 摻雜的情況下。鐵或碳摻雜劑可充當深受主摻雜劑，從而對 GaN 中不希望的淺施主和殘留雜質進行補償。使用經鐵摻雜或經碳摻雜的 GaN 支撐材料使得在支柱層之上或之後生長質量提高的材料成為可能，例如在支柱層之後生長的量子阱層結構中。

【0036】可選地或附加地，對於裝置的一個或多個支柱層而言，支撐材料可為氧化鎵或原位 Si_3N_4。

【0037】氧化鎵可為例如 Ga_2O 或 Ga_2O_3。氧化鎵具有大的帶隙並且因此可促進電荷載流子對半導體支柱的有效限制。

【0038】此外，對於所述裝置的一個或多個支柱層而言，所述半導體支柱的直徑可為 10 nm 至 500 nm，並且所述半導體支柱的節距可為 200 nm 至 500 nm。這種配置能夠將電荷載流子很好地限制在半導體支柱中，並且同時通過支柱層而具有足夠的電流密度。

【0039】可通過應變在 p 摻雜半導體層中提供輕電洞的電荷載流子濃度。舉例來說，應變可將輕電洞帶能量提高到重電洞帶能量之上。因此，可促進主要通過輕電洞的傳導，這可實現電洞的快速注入，從而實現高輸出功率。舉例來說，p 摻雜半導體層可包括支柱層，其中支柱層的半導體支柱由

支撐材料應變，使得半導體支柱的輕電洞帶具有比半導體支柱的重電洞帶高的能量。

【0040】所述裝置可為垂直腔面發射雷射器（VCSEL），所述垂直腔面發射雷射器包括位於所述第一量子阱和所述第二量子阱下方的底部反射器以及位於所述第一量子阱和所述第二量子阱上方的頂部反射器，所述頂部反射器與所述底部反射器形成用於由所述第一量子阱和所述第二量子阱發射的光的光學諧振器。

【0041】底部反射器和頂部反射器可分別是分布式布拉格反射器（DBR）。DBR 可包括交替的高折射率層與低折射率層。層的厚度可被配置成對應於發射波長的四分之一，例如由量子阱層結構的量子阱發射的光的波長的四分之一。

【0042】如果 p 摻雜半導體層包括 GaN 層和 Al(z)Ga(1-z)N 層的超晶格，所述超晶格也可形成 VCSEL 的 DBR 的一部分。

【0043】如果 n 摻雜半導體層包括 GaN 層 Al(z)Ga(1-z)N 層的超晶格，所述超晶格也可形成 VCSEL 的 DBR 的一部分。

【0044】用於由第一量子阱和第二量子阱發射的光的光學諧振器可由頂部反射器和底部反射器形成，該頂部反射器和底部反射器具有對應於諧振波長的間隔，該諧振波長與來自第一量子阱和第二量子阱的發射波長相似。光學諧振器的所述諧振波長可處於來自第一量子阱和第二量子阱的發射波長的 20%以內。

【0045】如上所述，當電荷載流子（即，電子和電洞）被近端阻障層和遠端阻障層限制在量子阱中時，這可能是特別有利的。舉例來說，當第一遠端阻障層和第二遠端阻障層具有比第一近端阻障層和第二近端阻障層大的帶隙時。在這種情況下，遠端阻障層可在夾置在遠端阻障層之間的區的兩

側形成電洞的能量阻障。相似地，在這種情況下，遠端阻障層可在夾置在遠端阻障層之間的區的兩側形成電子的能量阻障。因此，電子和電洞二者均可被限制在兩級結構中。電子和電洞可首先被近端阻障層限制在量子阱中。其次，電子和電洞可被遠端阻障層限制在夾置在遠端阻障層之間的區中。通過遠端阻障層限制電子和電洞的這種結構會有利地改善電致發光。

【0046】如上所述，近端阻障層中的鋁含量比遠端阻障層中的鋁含量低可能是特別有利的，因為這可防止鋁擴散到量子阱中，鋁擴散到量子阱可能會使性能劣化。

【0047】在下文中，給出第一遠端阻障層和第二遠端阻障層二者均具有比第一近端阻障層和第二近端阻障層大的帶隙的結構的進一步示例。第一遠端阻障層和第二遠端阻障層可各自具有比 GaN 帶隙大的帶隙。因此，第一遠端阻障層和第二遠端阻障層可各自包含 Al(a)Ga(1-a)N，其中 $0 < a \leq 0.3$，例如 $0.1 < a \leq 0.3$。此外，第一近端阻障層和第二近端阻障層可各自具有低於 50 nm 的厚度，例如低於 10 nm 的厚度。這種厚度可在近端阻障層與遠端阻障層的限制之間提供有利的關係。該結構的量子阱部分（包括夾置在第一近端阻障層與第二近端阻障層之間的量子阱，例如從第一個到最後一個量子阱的厚度）可具有低於 20 nm 至 100 nm 的厚度。

【0048】有利的結構可為（從底部到頂部描述的層）：

- 襯底；
- 包含 Al(x)Ga(1-x)N 的基極層，其中 $0 < x \leq 1$；
- n 摻雜層，例如 n 摻雜 GaN；
- Al(a)Ga(1-a)N 的第一遠端阻障層，其中 $0 < a \leq 0.3$，例如 $0.1 < a \leq 0.3$。第一遠端阻障層可為本質的，可選地可為摻雜的。第一遠端阻障層的厚度可低於 10 nm；

- 本質摻雜 GaN 的第一近端阻障層。第一近端阻障層的厚度可低於 50 nm（例如低於 10 nm）；
- 第一量子阱和第二量子阱，各自具有低於 5 nm 的厚度。量子阱可由例如厚度低於 20 nm（例如低於 5 nm）的 GaN 阻障層分隔開；
- 本質摻雜 GaN 的第二近端阻障層。第二近端阻障層的厚度可低於 10 nm（例如低於 5 nm）；
- Al(a)Ga(1-a)N 的第二遠端阻障層，其中 $0 < a \leq 0.3$，例如 $0.1 < a \leq 0.3$。第二遠端阻障層可為本質的，可選地可為摻雜的。第二遠端阻障層的厚度可低於 20 nm（例如低於 10 nm）；
- p 摻雜層，例如 p 摻雜 GaN；

具體來說，有利的結構可為（從底部到頂部描述的層）：

- 襯底；
- 包含 Al(x)Ga(1-x)N 的基極層，其中 $0 < x \leq 1$；
- n 摻雜 GaN 的 n 摻雜層；
- 小於 10 nm 的 Al(a)Ga(1-a)N 的第一遠端阻障層，其中 $0 < a \leq 0.3$；
- 本質摻雜 GaN 的第一近端阻障層。第一近端阻障層的厚度可低於 50 nm（例如低於 10 nm）；
- InGaN 的第一量子阱和第二量子阱，各自具有低於 5 nm 的厚度。量子阱可由例如厚度低於 30 nm（例如低於 10 nm）的 GaN 阻障層分隔開；
- 本質摻雜 GaN 的第二近端阻障層。第二近端阻障層的厚度可低於 50 nm（例如低於 10 nm）；
- 小於 10 nm 的 Al(a)Ga(1-a)N 的第二遠端阻障層，其中 $0 < a \leq 0.3$；
- p 摻雜 GaN 的 p 摻雜層；

在以上結構中，n 摻雜層與 p 摻雜層可互換位置。

【0049】在以上結構中，在第一近端阻障層與第二近端阻障層之間可存在多於兩個的量子阱。

【0050】根據第二方面，提供一種發光裝置的製造方法，所述方法包括：

提供襯底；

通過物理氣相將基極層沉積在所述襯底上，所述基極層包含 Al(x)Ga(1-x)N；

形成位於所述基極層上的二極體層結構，所述二極體層結構包括夾置在 n 摻雜半導體層與 p 摻雜半導體層之間的量子阱層結構，

所述量子阱層結構包括第一量子阱和第二量子阱、第一近端阻障層和第二近端阻障層以及第一遠端阻障層和第二遠端阻障層，

其中所述第一量子阱和所述第二量子阱各自具有低於 5 nm 的厚度以及比所述第一近端阻障層和所述第二近端阻障層的帶隙小的帶隙；

其中所述第一近端阻障層和所述第二近端阻障層各自包含本質摻雜的 GaN，

其中所述第一量子阱和所述第二量子阱夾置在所述第一近端阻障層與所述第二近端阻障層之間，

其中所述第一遠端阻障層和所述第二遠端阻障層各自包含 Al(a)Ga(1-a)N，其中 $0 \leq a \leq 0.3$，其中所述第一量子阱和所述第二量子阱以及所述第一近端阻障層和所述第二近端阻障層夾置在所述第一遠端阻障層與所述第二遠端阻障層之間；

其中所述 n 摻雜半導體層被配置成將電子注入到所述量子阱層結構中；

其中所述 p 摻雜半導體層被配置成將電洞注入到所述量子阱層結構中，優選地，其中所述基極層是厚度為 100 nm 至 500 nm 的 AlN。

【0051】因此，通過物理氣相沉積（例如通過濺射）來沉積基極層。然後可通過在基極層上外延生長來形成二極體層結構的層。

【0052】根據第二方面製造的發光裝置可具有與根據第一方面的裝置相同的優點或相似的優點，並且可能是未來分案申請的主題。

【0053】所述方法可還包括：

通過反應性離子蝕刻蝕刻出穿過所述襯底的孔洞；以及

將金屬沉積在穿過所述襯底的所述孔洞中，使得形成金屬接觸件，所述金屬接觸件穿過所述襯底並且電連接到所述二極體層結構的所述 n 摻雜半導體層或所述 p 摻雜半導體層。

【0054】因此，可形成通孔。反應性離子蝕刻可能特別適合於蝕刻出深孔洞，例如穿過襯底的孔洞。反應性離子蝕刻可為氯反應性離子蝕刻。

【0055】可基於以光譜方式檢測到氯化鋁或氟化鋁的分子物質來結束所述通過反應性離子蝕刻而蝕刻出穿過所述襯底的所述孔洞。

【0056】當蝕刻出深孔洞（例如穿過襯底的孔洞）時，可能難以知曉精確的蝕刻深度。認識到氯化鋁或氟化鋁的光譜信號可指示反應性離子蝕刻已經穿過襯底（例如穿過矽襯底）並且到達基極層的 Al(x)Ga(1-x)N。可例如通過紫外-可見光譜對分子物質進行光譜檢測。

【0057】光譜信號可用作對蝕刻的觸發，所述蝕刻在達到蝕刻完成（即，穿透AlN或含鋁的Al(x)Ga(1-x)N基極層）時停止，由此來自AlN的信號強度降低。等離子體蝕刻可用ICP等離子體蝕刻來執行。該方法的優點在於，可使用與用於界定裝置漏極接觸件的溝槽相同的基極層在矽上生長高質量的GaN。

【圖式簡單說明】

【0058】

參考附圖，通過本發明概念的以下例示性且非限制性的詳細說明，將更好地理解本發明概念的上述以及其他目的、特徵及優點。在圖式中，除非另有說明，否則相同的附圖標記將用於相同的元件。

圖 1 示出一種發光裝置

圖 2 示出能帶結構

圖 3 示出量子阱層結構

圖 4 示出電荷載流子注入層

圖 5 示出電荷載流子注入層

圖 6 示出電荷載流子注入層

圖 7 示出電荷載流子注入層

圖 8 示出電荷載流子注入層

圖 9 示出基極層

圖 10 示出垂直腔面發射雷射器

圖 11 是一種方法的流程圖

【實施方式】

【0059】結合附圖，在下文中根據優選實施例描述本發明的技術內容和詳細說明，而不是用來限制請求項的範圍。本發明可以許多不同的形式實施並且不應該被解釋為局限于本文中闡述的實施例；確切來說，提供這些實施例是為了徹底和完整，並且向技術人員充分傳達本發明的範圍。

【0060】圖 1 示出發光裝置 1 的剖視圖。所述裝置包括襯底 2、佈置在襯底 2 上的基極層 4 和佈置在基極層 4 上的二極體層結構 10。

【0061】襯底 2 可為半導體晶圓或半導體晶圓的一部分。襯底 2 可為例如矽襯底 2、藍寶石襯底 2 或碳化矽襯底 2。由於成本低，矽襯底 2 是優選的。

襯底 2 可在一平面內延伸，該平面在下文中稱為 XY 平面。裝置 1 的不同層可在與 XY 平面正交的方向上一個接一個地佈置在襯底 2 的頂部上，所述方向在下文中稱為 Z 方向。應理解，本文中的裝置 1 的例示是示意性例示。裝置 1 通常在 XY 平面的 X 和 Y 方向上比在 Z 方向上具有大得多的尺寸。

【0062】基極層 4 和二極體層結構 10 可包含基於氮化物的半導體材料。

【0063】基極層 4 包含 Al(x)Ga(1-x)N，其中 $0 < x \leq 1$。優選地，基極層 4 包括 100 nm 至 500 nm 厚的 AlN 層，即 x=1 的層，即 Al 含量為 100%的層。所述 AlN 層優選地直接佈置在襯底 2 上，例如直接佈置在矽襯底 2 上。所述 AlN 層優選地包含通過物理氣相沉積沉積的 AlN。所述 AlN 層可例如包括經濺射的 AlN。可選地或附加地，基極層 4 可包括其他 Al 成分的濺射層。

【0064】基極層 4 可包括單層或多層。舉例來說，基極層可包括直接佈置在襯底 2 上的 AlN 層，隨後是具有較低 Al 含量（即 x<1）的一個或多個 Al(x)Ga(1-x)N 層。如下所述，基極層 4 還可包括基極層支柱 6。

【0065】基極層 4 可包括外延生長層。舉例來說，基極層 4 可包括位於濺射層與二極體層結構 10 之間的至少一個外延生長層。基極層 4 可防止或減少位錯的形成和/或防止位錯擴散到二極體層結構 10 中。

【0066】如上所述，二極體層結構 10 佈置在基極層 4 上。二極體層結構 10 可包含基於氮化物的半導體材料。二極體層結構包括夾置在 n 摻雜半導體層 12 與 p 摻雜半導體層 14 之間的量子阱層結構 30。在圖 1 中，二極體層結構 10 中的層的順序從基極層 4 開始在 Z 方向上是：n 摻雜半導體層 12，隨後是量子阱層結構 30，隨後是 p 摻雜半導體層 14。可選地，可對所述順序進行顛倒，即 p 摻雜半導體層 14，隨後是量子阱層結構 30，隨後是 n 摻雜半導體層 12。n 摻雜半導體層 12 充當電荷載流子注入層，當二極體層結構 10 被正向偏置時，電荷載流子注入層將電子注入到量子阱層結構 30 中。

相似地，p 摻雜半導體層 14 充當電荷載流子注入層，當二極體層結構 10 被正向偏置時，電荷載流子注入層將電洞注入到量子阱層結構 30 中。

【0067】量子阱層結構 30 包括第一量子阱 41 和第二量子阱 42、第一近端阻障層 51 和第二近端阻障層 52 以及第一遠端阻障層 61 和第二遠端阻障層 62。第一量子阱 41 與第二量子阱 42 可由阻障層 43 分隔開。第一量子阱 41 和第二量子阱 42 夾置在第一近端阻障層 51 與第二近端阻障層 52 之間。第一量子阱 41 和第二量子阱 42 以及第一近端阻障層 51 和第二近端阻障層 52 夾置在第一遠端阻障層 61 與第二遠端阻障層 62 之間。因此，量子阱層結構 30 中的層的順序可為(在 Z 方向上從底部電荷載流子注入層開始計數）：第一遠端阻障層 61、第一近端阻障層 51、第一量子阱 41、阻障層 43、第二量子阱 42、第二近端阻障層 52、第二遠端阻障層 62。

【0068】第一量子阱 41 和第二量子阱 42 各自具有低於 5 nm 的厚度以及比第一近端阻障層 51 和第二近端阻障層 52 的帶隙小的帶隙。第一量子阱 41 和第二量子阱 42 可為 InAlGaN 層或 InGaN 層。舉例來說，第一量子阱 41 和第二量子阱 42 可為 In(b)Al(c)Ga(1-b-c)N 層，其中 $0 \leq b \leq 1$ 並且 $0 \leq c \leq 1$。第一量子阱 41 與第二量子阱 42 可具有相同的成分或者不同的成分。第一量子阱 41 與第二量子阱 42 之間的阻障層 43 的帶隙可大於第一量子阱 41 與第二量子阱 42 的帶隙。第一量子阱 41 與第二量子阱 42 之間的阻障層 43 可為 GaN 層，例如本質摻雜的 GaN 層。第一量子阱 41 與第二量子阱 42 之間的阻障層 43 可具有低於 30 nm（優選地低於 10 nm）的厚度。

【0069】第一近端阻障層 51 和第二近端阻障層 52 各自包含本質摻雜的 GaN。第一遠端阻障層 61 與第二遠端阻障層 62 各自包含 Al(a)Ga(1-a)N，其中 $0 \leq a \leq 0.3$。優選地，第一遠端阻障層 61 和第二遠端阻障層 62 具有 $0.3 \leq a \leq 1$

的組成。這為將第一量子阱 41 和第二量子阱 42 中的電荷載流子與 n 摻雜半導體層 12 和 p 摻雜半導體層 14 中的摻雜物分離提供了良好的阻障。

【0070】裝置 1 還可包括用於進行偏置和/或為二極體層結構 10 提供電荷載流子的電接觸件。如圖 1 中所示，裝置 1 可包括電連接到頂部電荷載流子注入層的頂部接觸件 9 和電連接到底部電荷載流子注入層的通孔 3。在圖 1 中，頂部接觸件 9 電連接到 p 摻雜半導體層 14，並且通孔 3 電連接到 n 摻雜半導體層 12。通孔 3 是穿過襯底 2 的金屬接觸件。

【0071】可例如通過與底部電荷載流子注入層形成歐姆接觸件而將通孔 3 電連接到底部電荷載流子注入層。因此，通孔 3 可延伸穿過襯底 2 並穿過基極層 4 到達底部電荷載流子注入層。

【0072】可選地，通孔 3 可通過一個或多個中間層電連接到底部載流子注入層。在通孔 3 與底部載流子注入層之間可存在一個或多個中間層，其中所述一個或多個中間層具有與底部載流子注入層相同的摻雜類型（n 型或 p 型）。因此，通孔可與底部中間層形成歐姆接觸件，從而通過中間層電連接到底部載流子注入層。圖 1 示出基極層 4 作為通孔 3 與底部電荷載流子注入層之間的中間層的情況，在這種情況下，底部電荷載流子注入層是 n 摻雜半導體層 12。

【0073】裝置 1 可被配置成在垂直方向（即，Z 方向）上發光。在本文中，可通過穿過頂部接觸件 9 的孔洞發光（如圖 1 中所示）或者通過半透明的頂部接觸件 9 發光。因此，裝置 1 可為 VCSEL 70。

【0074】可選地，裝置 1 可被配置成在側向方向（例如 X 或 Y 方向）上發光。在本文中，可在二極體層結構 10 的側向邊緣處發光。因此，裝置 1 可為邊緣發射雷射器。

【0075】在圖 2 中示出二極體層結構 10 的半導體能帶結構示例。如圖所示，遠端阻障層 61、62 可具有比與所述遠端阻障層 61、62 鄰接的電荷載流子注入層（n 摻雜半導體層 12、p 摻雜半導體層 14）大的帶隙。因此，遠端阻障層 61、62 可形成隧穿阻障，當電荷載流子被注入到量子阱層結構 30 中時，電荷載流子隧穿該隧穿阻障。形成隧穿阻障的遠端阻障層 61、62 可被配置成具有足夠薄的厚度以用於電荷載流子隧穿。舉例來說，這種隧穿阻障可薄於 30 nm（例如薄於 10 nm）。作為替代，遠端阻障層 61、62 可具有比與所述遠端阻障層 61、62 鄰接的電荷載流子注入層（n 摻雜半導體層 12、p 摻雜半導體層 14）小的帶隙。在這種情況下，可在不進行隧穿的情況下將電荷載流子注入到量子阱層結構 30 中。

【0076】量子阱層結構 30 可被配置成實質上由遠端 n 摻雜半導體層和遠端 p 摻雜半導體層進行摻雜，以實現電子與電洞的複合。舉例來說，用於對量子阱層結構 30 進行摻雜的遠端 n 摻雜半導體層可被佈置為距離量子阱層結構 30 的量子阱 41、42 小於 50 nm。相似地，用於對量子阱層結構 30 進行摻雜的遠端 p 摻雜半導體層可被佈置為距離量子阱層結構 30 的量子阱 41、42 小於 50 nm。

【0077】量子阱層結構 30 可包括多於兩個的量子阱 40。二極體層結構 10 的量子阱層結構 30 可包括多個量子阱 40，其中所述多個量子阱 40 的相鄰量子阱 40 被厚度小於 10 nm 的阻障層分隔開。圖 3 示出包括四個量子阱 40 的量子阱層結構 30 的剖視圖。

【0078】裝置 1 的電荷載流子注入層可包括超晶格 20。這可增強所述電荷載流子注入層的摻雜。

【0079】舉例來說，p 摻雜半導體層 14 可包括 GaN 層 22 和 Al(z)Ga(1-z)N 層 24 的超晶格 20，其中 $0 < z \leq 1$，其中超晶格 20 的 Al(z)Ga(1-z)N 層 24 是 p 摻雜的。

【0080】相似地，n 摻雜半導體層 12 可包括 GaN 層 22 和 Al(z)Ga(1-z)N 層 24 的超晶格 20，其中 $0 < z \leq 1$，其中超晶格 20 的 Al(z)Ga(1-z)N 層 24 是 n 摻雜的。

【0081】圖 4 示出電荷載流子注入層（在這種情況下是 p 摻雜半導體層 14）的剖視圖，包括 GaN 層 22 和 Al(z)Ga(1-z)N 層 24 的超晶格 20。在該圖和下面的圖中，每一層的摻雜都在每一層旁邊表示。在本文中，p 代表 p 摻雜，i 代表本質摻雜並且 n 代表 n 摻雜。如圖 4 中所示，GaN 層 22 可為本質摻雜的。這可適用於 p 摻雜半導體層 14 的超晶格 20 以及 n 摻雜半導體層 12 的超晶格 20。

【0082】優選地，Al(z)Ga(1-z)N 層 24 具有 $z>0.15$（例如 $0.2<z<0.4$）的成分。這可提供最高效的摻雜增強。

【0083】此外，裝置 1 的電荷載流子注入層可包括支柱層 15。這可促進電荷載流子注入層中的高電導率和/或遷移率。附加地或可選地，支柱層 15 可促進通過電荷載流子注入層的彈道傳輸。

【0084】舉例來說，p 摻雜半導體層 14 可包括支柱層 15，p 摻雜半導體層 14 的支柱層 15 包括嵌入在支撐材料 18 中的至少一個 p 摻雜半導體支柱 16。

【0085】圖 5 和 6 示出支柱層 15。在圖中，支柱層 15 形成 p 摻雜半導體層 14。然而，支柱層 15 可替代地形成 n 摻雜半導體層 12，例如在支柱層 15 的摻雜相反的情況下。圖 5 是從 Z 方向觀察的支柱層 15 的俯視圖。圖 6 是從 Y 方向觀察時支柱層 15 的剖視圖。

【0086】支柱層 15 的半導體支柱 16 可主要沿著垂直於襯底的軸線（即，在 Z 方向上）延伸。

【0087】如圖 5 中所示，半導體支柱 16 可具有圓形橫截面。可選地，半導體支柱 16 可具有非圓形橫截面。支柱層 15 的半導體支柱 16 可具有介於 10 nm 至 500 nm 範圍內的直徑 D。如果半導體支柱 16 具有非圓形橫截面，則直徑 D 是包含非圓形橫截面的最小圓的直徑。

【0088】支柱層 15 的半導體支柱 16 可具有介於 200 nm 至 500 nm 範圍內的節距 B。在本文中，節距 B 是半導體支柱 16 的週期性重複中相鄰的半導體支柱 16 之間的距離，如圖 5 中所示。

【0089】支柱層 15 的半導體支柱 16 可包含一種單一的半導體材料，例如 Al(x)Ga(1-x)N，其中 $0 \leq x \leq 1$。可選地，支柱層 15 的半導體支柱 16 可包括 GaN 層 22 和 Al(z)Ga(1-z)N 層 24 的超晶格 20，其中 $0 < z \leq 1$。圖 7 示出形成 n 摻雜半導體層 12 的支柱層 15 的剖視圖，如在 Y 方向上所觀察，其中半導體支柱 16 包括超晶格 20。圖 8 示出形成 p 摻雜半導體層 14 的支柱層 15 的剖視圖，如在 Y 方向上所觀察，其中半導體支柱 16 包括超晶格 20。

【0090】對支柱層 15 的半導體支柱 16 進行摻雜以形成電荷載流子的傳輸溝道。在支柱層 15 形成 n 摻雜半導體層 12 的一部分的情況下，對支柱層 15 的半導體支柱 16 進行 n 摻雜以形成穿過支柱層 15 的電子傳輸通道。在支柱層 15 形成 p 摻雜半導體層 14 的一部分的情況下，對支柱層 15 的半導體支柱 16 進行 p 摻雜以形成穿過支柱層 15 的電洞傳輸溝道。所述摻雜沿著半導體支柱 16 的軸線可為恒定的。可選地，所述摻雜可沿著半導體支柱 16 的軸線變化。具體來說，在半導體支柱 16 包括超晶格 20 的情況下，GaN 層 22 可為本質摻雜的，而 Al(z)Ga(1-z)N 層 24 或者是 p 摻雜的，使得半導

體支柱 16 形成電洞傳輸溝道，或者是 n 摻雜的，使得半導體支柱 16 形成電子傳輸溝道。

【0091】可通過生長半導體層、對所述層進行圖案化、然後蝕刻掉半導體支柱 16 來形成支柱層 15。隨後可通過支撐材料 18 填充支柱之間的空間，使得半導體支柱 16 被嵌入在（例如側向嵌入在）支撐材料 18 中。可通過其他方式外延生長或沉積支撐材料 18。

【0092】支撐材料 18 可為半導體材料，例如外延生長的半導體材料。支撐材料 18 可為具有與嵌入在所述支撐材料 18 中的半導體支柱 16 的摻雜相反的摻雜的半導體材料。因此，對於 n 摻雜半導體層 12 而言，支柱層 15 的半導體支柱 16 可為 n 摻雜的且支撐材料 18 可為 p 摻雜的。相似地，對於 p 摻雜的半導體層 14 而言，支柱層 15 的半導體支柱 16 可為 p 摻雜的且支撐材料 18 可為 n 摻雜的。

【0093】可選地或附加地，對於針對支撐材料 18 使用摻雜半導體材料而言，支撐材料 18 可為氧化物。舉例來說，支撐材料可為氧化鎵，例如 Ga_2O 或 Ga_2O_3。

【0094】可通過應變在 p 摻雜半導體層中提供輕電洞的電荷載流子濃度。因此，p 型摻雜半導體層 14 的至少一部分可與周圍環境晶格失配，使得 p 型摻雜半導體層 14 的所述部分發生應變。本文中的用語晶格失配是指與周圍相比具有不同的晶格常數。對於 p 摻雜半導體層 14 的所述部分而言，晶格失配可被配置成將輕電洞帶能量提高到重電洞帶能量之上。

【0095】在一個示例中，p 摻雜半導體層 14 與相鄰的層晶格失配。

【0096】在另一示例中，p 摻雜半導體層 14 的支柱層 15 的 p 摻雜半導體支柱 16 與支柱層 15 的支撐材料 18 晶格失配。

【0097】如前所述，基極層 4 包含 Al(x)Ga(1-x)N，其中 $0 < x \leq 1$。基極層 4 可例如包括一個或多個 Al(x)Ga(1-x)N 層。附加地或可選地，基極層 4 可包括側向包封在基極層封裝材料 8 中的基極層支柱 6。圖 9 示出從 Y 方向看到的這種基極層 4 的剖視圖。

【0098】基極層支柱 6 是主要沿著垂直於襯底的軸線（即，在 Z 方向上）延伸的支柱。

【0099】基極層支柱 6 可具有圓形橫截面。可選地，基極層支柱 6 可具有非圓形橫截面。基極層支柱 6 可具有小於 500 nm（例如小於 100 nm）的直徑。如果基極層支柱 6 具有非圓形橫截面，則直徑是包含非圓形橫截面的最小圓的直徑。

【0100】基極層包封材料 8 在側向上包封基極層支柱 6。另外，基極層包封材料 8 可包封基極層支柱 6 的頂端，如圖 9 中所示。

【0101】基極層支柱 6 可為 AlN 支柱，基極層包封材料 8 可為 $Al_xGa_{1-x}N$，其中 $0 \leq x \leq 0.95$。

【0102】裝置 1 可為雷射器，例如垂直腔面發射雷射器（VCSEL）或邊緣發射雷射二極體 70。

【0103】圖 10 示出 VCSEL 70 形式的裝置 1 的剖視圖。所示的 VCSEL 70 包括位於第一量子阱 41 和第二量子阱 42 下方的底部反射器 72 以及位於第一量子阱 41 和第二量子阱 42 上方的頂部反射器 74，頂部反射器 74 和底部反射器 72 形成用於由第一量子阱 41 和第二量子阱 42 發光的光學諧振器。

【0104】如圖 10 中所示，底部反射器 72 和頂部反射器 74 可分別是分布式布拉格反射器（DBR）。DBR 可包括交替的高折射率層與低折射率層。層的厚度可被配置成對應於發射波長的四分之一，例如由量子阱層結構 30 的量子阱 41、42 發射的光的波長的四分之一。在圖 10 中，底部反射器 72 包

括交替的高折射率與低折射率的四個週期，頂部反射器 74 包括交替的高折射率與低折射率的兩個週期。

【0105】圖 11 示出發光裝置 1 的製造方法 100 的流程圖。方法 100 包括提供 S101 襯底 2、沉積 S102 基極層 4 以及形成 S103 二極體層結構 10。

【0106】襯底 2 可被提供為例如矽襯底 2、藍寶石襯底 2 或碳化矽襯底 2。

【0107】可通過物理氣相沉積（例如通過濺射）來沉積 S102 包含 Al(x)Ga(1-x)N 的基極層 4。

【0108】通過順序形成底部電荷載流子注入層、第一遠端阻障層 61、第一近端阻障層 51、第一量子阱 41、阻障層 43、第二量子阱 42、第二近端阻障層 52、第二遠端阻障層 62 以及頂部電荷載流子注入層，可在基極層 4 上形成 S103 二極體層結構 10。可通過外延生長形成二極體層結構 10 的所述層。底部電荷載流子注入層可為 n 摻雜半導體層 12，並且頂部電荷載流子注入層可為 p 摻雜半導體層 14，反之亦然。

【0109】可選地，方法 100 可包括通過以下步驟形成通孔 3：

通過反應性離子蝕刻而蝕刻出穿過襯底 2 的孔洞；以及

將金屬沉積在穿過襯底 2 的孔中，從而形成金屬接觸件，該金屬接觸件穿過襯底並且電連接到底部載流子注入層。

【0110】可基於以光譜方式檢測到氯化鋁或氟化鋁的分子物質來結束所述通過反應性離子蝕刻而蝕刻出穿過襯底 2 的孔洞。可例如通過紫外-可見光譜對分子物質進行光譜檢測。穿過襯底 2 的孔洞進行的反應性離子蝕刻可包括產生蝕刻穿過襯底 2 的等離子體。等離子體可在蝕刻期間發光。部分光可能源自蝕刻氣體與蝕刻材料反應所產生的分子物質。因此，當蝕刻已經穿過襯底（例如穿過矽襯底 2）時，蝕刻氣體可與襯底上的層中的鋁發生反應。因此，蝕刻氣體可與例如基極層 4 中的鋁發生反應，以形成氯化鋁

或氟化鋁物質，當被等離子體激發時，氯化鋁或氟化鋁物質可發射具有特徵光譜的光。

【0111】在上文中，主要參考有限數目的示例描述了本發明的概念。然而，如本領域中的技術人員容易理解的，除了以上公開的示例之外的其他示例同樣可處於由所附申請專利範圍界定的本發明概念的範圍內。

【符號說明】

【0112】

1: 裝置

2: 襯底

3: 通孔

4: 基極層

6: 基極層支柱

8: 封裝材料

9: 頂部接觸件

10: 二極體層結構

12: n摻雜半導體層

14: p摻雜半導體層

15: 支柱層

16: 半導體支柱

18: 支撐材料

20: 超晶格

22: GaN層

24: Al(z)Ga(1-z)N層

30: 量子阱層結構

40: 量子阱

41: 第一量子阱(量子阱)

42: 第二量子阱(量子阱)

43: 阻障層

51: 第一近端阻障層(近端阻障層)

52: 第二近端阻障層(近端阻障層)

61: 第一遠端阻障層(遠端阻障層)

62: 第二遠端阻障層(遠端阻障層)

70: VCSEL

D: 直徑

B: 節距

72: 底部反射器

74: 頂部反射器

100: 方法

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種發光裝置，所述裝置包括：

襯底；

佈置在所述襯底上的基極層，所述基極層包含 Al(x)Ga(1-x)N，其中 $0 < x \leq 1$；

佈置在所述基極層上的二極體層結構，所述二極體層結構包括夾置在 n 摻雜半導體層與 p 摻雜半導體層之間的量子阱層結構；

所述量子阱層結構包括第一量子阱和第二量子阱、第一近端阻障層和第二近端阻障層以及第一遠端阻障層和第二遠端阻障層，

其中所述第一量子阱和所述第二量子阱各自具有低於 5 nm 的厚度以及比所述第一近端阻障層和所述第二近端阻障層的帶隙小的帶隙；

其中所述第一近端阻障層和所述第二近端阻障層各自包含本質摻雜的 GaN，其中所述第一量子阱和所述第二量子阱夾置在所述第一近端阻障層與所述第二近端阻障層之間，

其中所述第一遠端阻障層和所述第二遠端阻障層各自包含 Al(a)Ga(1-a)N，其中 $0 \leq a \leq 0.3$，其中所述第一遠端阻障層和所述第二遠端阻障層二者均具有比所述第一近端阻障層和所述第二近端阻障層大的帶隙，其中所述第一量子阱和所述第二量子阱以及所述第一近端阻障層和所述第二近端阻障層夾置在所述第一遠端阻障層與所述第二遠端阻障層之間；

其中所述 n 摻雜半導體層被配置成將電子注入到所述量子阱層結構中；

其中所述 p 摻雜半導體層被配置成將電洞注入到所述量子阱層結構中，優選地，其中所述基極層是厚度為 100 nm 至 500 nm 的 AlN。

【請求項2】 如請求項1所述的裝置，其中所述量子阱層結構被配置成實質上由遠端n摻雜半導體層與遠端p摻雜半導體層摻雜而成，以實現電子與電洞的複合。

【請求項3】 如請求項1或2所述的裝置，其中所述二極體層結構的所述量子阱層結構包括多個量子阱，其中所述多個量子阱中相鄰的量子阱被厚度小於10 nm的阻障層分隔開。

【請求項4】 如請求項1或2所述的裝置，其中所述p摻雜半導體層包括GaN層與Al(z)Ga(1-z)N層的超晶格，其中$0 < z \leq 1$，其中所述超晶格的所述Al(z)Ga(1-z)N層是p摻雜的。

【請求項5】 如請求項1或2所述的裝置，其中所述n摻雜半導體層包括GaN層與Al(z)Ga(1-z)N層的超晶格，其中$0 < z \leq 1$，其中所述超晶格的所述Al(z)Ga(1-z)N層是n摻雜的。

【請求項6】 如請求項1或2所述的裝置，還包括通孔，所述通孔是金屬接觸件，所述金屬接觸件穿過所述襯底並且電連接到所述二極體層結構的所述n摻雜半導體層或所述p摻雜半導體層。

【請求項7】 如請求項1或2所述的裝置，其中

所述 n 摻雜半導體層包括支柱層，所述 n 摻雜半導體層的所述支柱層包括嵌入在支撐材料中的至少一個 n 摻雜半導體支柱，其中所述至少一個 n 摻雜半導體支柱被配置成形成穿過所述 n 摻雜半導體層的所述支柱層到達所述量子阱層結構的電子傳輸溝道；並且/或者

所述 p 摻雜半導體層包括支柱層，所述 p 摻雜半導體層的所述支柱層包括嵌入在支撐材料中的至少一個 p 摻雜半導體支柱，其中所述至少一個 p 摻雜半導體

支柱被配置成形成穿過所述 p 摻雜半導體層的所述支柱層到達所述量子阱層結構的電洞傳輸溝道。

【請求項8】 如請求項7所述的裝置，其中，對於所述裝置的一個或多個支柱層而言，所述支撐材料是具有與嵌入在所述支撐材料中的所述半導體支柱的摻雜相反的摻雜的半導體材料。

【請求項9】 如請求項7所述的裝置，其中，對於所述裝置的一個或多個支柱層而言，所述支撐材料是氧化鎵。

【請求項10】 如請求項7所述的裝置，其中，對於所述裝置的一個或多個支柱層而言，所述半導體支柱的直徑為10 nm至500 nm，並且所述半導體支柱的節距為200 nm至500 nm。

【請求項11】 如請求項1或2所述的裝置，其中通過應變在所述p摻雜半導體層中提供輕電洞的電荷載流子濃度。

【請求項12】 如請求項1或2所述的裝置，其中所述裝置是垂直腔面發射雷射器，所述垂直腔面發射雷射器包括位於所述第一量子阱和所述第二量子阱下方的底部反射器以及位於所述第一量子阱和所述第二量子阱上方的頂部反射器，所述頂部反射器與所述底部反射器形成用於由所述第一量子阱和所述第二量子阱發射的光的光學諧振器。

【請求項13】 一種發光裝置的製造方法，所述方法包括：

提供襯底；

通過物理氣相將基極層沉積在所述襯底上，所述基極層包含Al(x)Ga(1-x)N；

形成位於所述基極層上的二極體層結構，所述二極體層結構包括夾置在 n 摻雜半導體層與 p 摻雜半導體層之間的量子阱層結構，

所述量子阱層結構包括第一量子阱和第二量子阱、第一近端阻障層和第二近端阻障層以及第一遠端阻障層和第二遠端阻障層，

其中所述第一量子阱和所述第二量子阱各自具有低於 5 nm 的厚度以及比所述第一近端阻障層和所述第二近端阻障層的帶隙小的帶隙；

其中所述第一近端阻障層和所述第二近端阻障層各自包含本質摻雜的 GaN，其中所述第一量子阱和所述第二量子阱夾置在所述第一近端阻障層與所述第二近端阻障層之間，

其中所述第一遠端阻障層和所述第二遠端阻障層各自包含 Al(a)Ga(1-a)N，其中 $0 \leq a \leq 0.3$，其中所述第一遠端阻障層和所述第二遠端阻障層二者均具有比所述第一近端阻障層和所述第二近端阻障層大的帶隙，其中所述第一量子阱和所述第二量子阱以及所述第一近端阻障層和所述第二近端阻障層夾置在所述第一遠端阻障層與所述第二遠端阻障層之間；

其中所述 n 摻雜半導體層被配置成將電子注入到所述量子阱層結構中；

其中所述 p 摻雜半導體層被配置成將電洞注入到所述量子阱層結構中，優選地，其中所述基極層是厚度為 100 nm 至 500 nm 的 AlN。

【請求項14】 如請求項13所述的方法，還包括：

通過反應性離子蝕刻蝕刻出穿過所述襯底的孔洞；以及

將金屬沉積在穿過所述襯底的所述孔洞中，使得形成金屬接觸件，所述金屬接觸件穿過所述襯底並且電連接到所述二極體層結構的所述 n 摻雜半導體層或所述 p 摻雜半導體層。

【請求項15】如請求項14所述的方法，其中基於以光譜方式檢測到氯化鋁或氟化鋁的分子物質來結束所述通過反應性離子蝕刻而蝕刻出穿過所述襯底的所述孔洞。