

(此處由本局於收  
文時黏貼條碼)

# 發明專利說明書

公告本

(本申請書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：94127887

※申請日期：94年08月16日

※IPC分類：H01L 21/205, 29/205, 33/00

## 一、發明名稱：

(中) 半導體基材及在該半導體基材上藉由磊晶生長所製造之半導體裝置

(英) Semiconductor substrate and semiconductor device manufactured by epitaxial growth on the semiconductor substrate

## 二、申請人：(共 1 人)

1. 姓名：(中) 東芝股份有限公司

(英) KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA

代表人：(中) 1. 西田厚聰

(英) 1. NISHIDA, ATSUTOSHI

地址：(中) 日本國東京都港區芝浦一丁目一番一號

(英) 1-1, Shibaura 1-chome, Minato-ku, Tokyo 105-8001, Japan

國籍：(中英) 日本 JAPAN

## 三、發明人：(共 4 人)

1. 姓名：(中) 橘浩一

(英) TACHIBANA, KOICHI

國籍：(中) 日本

(英) JAPAN

2. 姓名：(中) 本鄉智惠

(英) HONGO, CHIE

國籍：(中) 日本

(英) JAPAN

3. 姓名：(中) 布上真也

(英) NUNOUE, SHINYA

國籍：(中) 日本

(英) JAPAN

4. 姓名：(中) 小野村正明

國籍：(英) ONOMURA, MASAOKI  
(中) 日本  
(英) JAPAN

四、聲明事項：

◎本案申請前已向下列國家（地區）申請專利  主張國際優先權：

【格式請依：受理國家（地區）；申請日；申請案號數 順序註記】

1. 日本 ; 2004/08/24 ; 2004-244072  有主張優先權

國籍：(英) ONOMURA, MASAOKI  
(中) 日本  
(英) JAPAN

四、聲明事項：

◎本案申請前已向下列國家（地區）申請專利  主張國際優先權：

【格式請依：受理國家（地區）；申請日；申請案號數 順序註記】

1. 日本 ; 2004/08/24 ; 2004-244072  有主張優先權

(1)

## 九、發明說明

與相關申請案之相互參照並以參考的方式併入

本申請案申請專利範圍得益於 2004 年 8 月 24 日申請的日本專利案編號 P2004-244072 根據 35 USC 119 的優先權，在此將其全文併入以供參考。

### 【發明所屬之技術領域】

本發明係關於一種半導體基材，或磊晶基材，其包括 GaN 基材及在該塊體 GaN 基材上的磊晶生長層，及在該半導體基材上藉由磊晶生長而提供的半導體裝置。在此，該半導體裝置包括例如半導體發光裝置等不同的半導體光學裝置及例如電晶體等不同的半導體電氣裝置。

### 【先前技術】

例如氮化鎵 (GaN) 等第 III 至 V 族氮化物半導體都具有寬能帶間隙。利用該寬能帶間隙半導體的性質及特性，已經研究並開發出高亮度紫外線的藍/綠色發光二極體 (LEDs) 及藍-紫色雷射二極體等。再者，已經根據該寬能帶間隙半導體的性質及特性製造高頻/高能第 III 至 V 族氮化物半導體場效電晶體 (FETs) 等。

因為在研發早期沒有能依第 III 至 V 族氮化物半導體的晶體生長進行晶格機械加工的基材，所以經由使用充當基材之藍寶石 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )、碳化矽 (SiC) 等的晶體生長而製造半導體裝置。使用兩階段生長法供使用  $\text{Al}_2\text{O}_3$  基材之

(2)

第 III 至 V 族氮化物半導體的晶體生長之用。然而，利用此方法將助於該  $\text{Al}_2\text{O}_3$  與該第 III 至 V 族氮化物半導體之間的晶格常數與熱膨脹係數差異，於是產生大量的穿透位錯（threading dislocation）及缺陷。這些穿透位錯及缺陷為實際使用期間的主要問題，其中它們將造成縮短的雷射二極體壽命，舉例來說，不良的可靠度。

因此，提供塊體 GaN 基材，上面可達到同質磊晶生長的目的，給市場已成為長久等待的願望。由於晶體生長技術最近的進展，已可得到塊體 GaN 基材，並導致頃已記載製造以 InGaN/GaN/AlGaIn 為底的雷射二極體之原型（參見 S. Nakamura 等人在 Applied Physics Letters，第 72 卷，第 2 冊，第 2014 至 2016 頁，1998 年，4 月 20 日，InGaIn/GaN/AlGaIn 為底的雷射二極體）。

然而，關於塊體 GaN 基材本身或在該塊體 GaN 基材上的同質磊晶生長有一點學問，且尚未建立使用第 III 至 V 族氮化物半導體之例如高效能半導體光學裝置或高效能半導體電子裝置的半導體裝置之製造方法。

#### 【發明內容】

有鑑於這些情況，本發明的目的在於提供一種半導體基材或磊晶基材，其包含一種塊體 GaN 基材（後文稱為「GaN 基材」），在該塊體 GaN 基材上的磊晶生長層，該磊晶生長層具有半導體裝置尺寸所需之改良的表面平坦度（藉由在該半導體基材（磊晶基材）上進行磊晶生長所

(3)

提供之高效能的半導體裝置)。

爲了達到上述的目的，本發明之一形態可存在於一種半導體基材，其包含一種 GaN 基材，其具有表面，該表面的取向係由下列所定義：由 {0001} 平面朝 <1-100> 方向的表面傾斜角絕對值在 0.12 度至 0.35 度的範圍內，且由 {0001} 平面朝 <11-20> 方向的表面傾斜角絕對值在 0.00 度至 0.06 度的範圍內；及在該 GaN 基材之表面上藉由磊晶方式生長的第 III 至 V 族氮化物半導體所形成的單晶層。

本發明的另一個形態可存在於一種半導體發光裝置，其包含：一種 GaN 基材，其具有表面，該表面的取向係由下列所定義：由 {0001} 平面朝 <1-100> 方向的表面傾斜角絕對值在 0.12 度至 0.35 度的範圍內，且由 {0001} 平面朝 <11-20> 方向的表面傾斜角絕對值在 0.00 度至 0.06 度的範圍內；在該 GaN 基材之表面上藉由磊晶方式生長的第 III 至 V 族氮化物半導體所形成的單晶層；及由該單晶層上提供的第 III 至 V 族氮化物半導體所形成的發光層。

本發明又另一個形態可存在於一種半導體裝置，其包含：一種 GaN 基材，其具有表面，該表面的取向係由下列所定義：由 {0001} 平面朝 <1-100> 方向的表面傾斜角絕對值在 0.12 度至 0.35 度的範圍內，且由 {0001} 平面朝 <11-20> 方向的表面傾斜角絕對值在 0.00 度至 0.06 度的範圍內；及由該 GaN 基材上提供之磊晶方式生長的第 III 至 V 族氮化物半導體所形成的裝置結構部分。

(4)

## 【實施方式】

在下列說明中有說明具體的詳細內容，例如指定的材料、方法及裝置以提供本發明的通盤瞭解。然而，顯然可見對於熟於此藝之士而言可實現本發明而不需這些具體的詳細內容。其他例子中，並未詳細地說明眾所周知的製造材料、方法及裝置以免不必要的贅述本發明。

申請人將在對照圖形進行各具體例之詳細說明之前，先總結本發明的主要考量內容。換言之，儘管本發明者已記載在 GaN 基材上試製第 III 至 V 族氮化物半導體，但有些例子中並未獲得高性能第 III 至 V 族氮化物半導體原先預期的裝置特性。舉例來說，當進行在 GaN 基材上的第 III 至 V 族氮化物半導體之雷射結構晶體生長時，有些例子中透過使用 Nomarski 顯微鏡觀察生長層的表面形態學可發現有數十至數百微米等級的巨大步階。

在此種具有不良表面形態學的第 III 至 V 族氮化物半導體上使用一系列形成過程試製第 III 至 V 族氮化物半導體藍-紫雷射二極體時，有些例子中閾電流提高，由於光傳導之介面的平坦度波動發展而成提高的能量損失及擴張的晶粒分布而放射。換句話說，透露出在 GaN 基材上製造第 III 至 V 族氮化物半導體時，只要未採取對抗該第 III 至 V 族氮化物半導體的晶體生長層表面上之數十至數百微米等級的巨大步階發展的對策，就無法獲得第 III 至 V 族氮化物半導體的預期裝置特性。

本發明的不同具體例將對照附圖做說明以供防止第

(5)

III 至 V 族氮化物半導體的晶體生長層表面上的晶粒步階發展而達到本發明第一個、第二個及第三個具體例中說明的改良平坦度及高效能裝置。要注意的是整個圖形當中，相同或相似的參考編號應用於相同或相似的部件及元件，並刪除或簡化相同或相似部件及元件的說明。一般且照表示半導體裝置及半導體發光裝置的習慣，將會瞭解不同的圖形並不會描繪由一個圖形放大成另一個或指定圖形的內部，特別是任意地描繪層厚度以促進圖形的閱讀。

要注意的是由下列第一個、第二個及第三個具體的說明，「裝置結構部分」並不一定表示半導體電子裝置或半導體光學裝置的整個裝置結構，只要其包括帶有該半導體電子裝置或半導體光學裝置的主要結構部分即可，例如雷射二極體或 LED 中的發光層及發光層的周圍結構、可控制在異質接面雙極電晶體 (HBT) 的射極與集極區域之間流動的主電流之基極區域附件的結構，及可控制在高電子移動電晶體 (HEMT) 的源極與汲極區域之間流動的主電流之通道層附件的結構。

要瞭解的是圖形中的標誌「+」指示較強的摻雜而圖形中的標誌「-」指示較弱的摻雜。介系詞，例如「在...上」、「蓋在...上」、「在...之下」、「在...下方」及「正交」乃相對於該基材的平面而定義，無關該基材實際上固定的取向。縱使有中介層也可以說一層在另一層上。

(第一個具體例)

(6)

如第 1 圖所示，在含 n-型 GaN 基材 11 及長在該 n-型 GaN 基材 11 上之 n-型 GaN 層 12 的半導體基材（11、12）上製造根據本發明第一個具體例的半導體裝置，該 n-型 GaN 層 12 摻有例如矽（Si）原子等 n-型雜質原子。

要注意 n-型 GaN 層 12 僅為一實施例。更普遍地，該 n-型 GaN 層可為例如  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{Al}_y\text{N}$  層等另一個第 III 至 V 族氮化物半導體的 n-型單晶層。該 n-型 GaN 基材 11 具有表面取向，其係藉由 {0001} 平面朝  $\langle 1-100 \rangle$  方向的表面傾斜角  $\Delta\theta_{1-100}$  絕對值及由 {0001} 平面朝  $\langle 11-20 \rangle$  方向的表面傾斜角  $\Delta\theta_{11-20}$  絕對值而定義，其中該等絕對值藉下列表面：

$$0.12 \text{ 度} \leq |\Delta\theta_{1-100}| \leq 0.35 \text{ 度} \quad \dots \quad (1)$$

$$0.00 \text{ 度} \leq |\Delta\theta_{11-20}| \leq 0.06 \text{ 度} \quad \dots \quad (2)$$

在此， $\langle 1-100 \rangle$  方向表示例如依六角對稱的 [1-100]、[10-10]、[-1100]、[-1010]、[01-10]、[0-110] 方向等等效方向的完整組合， $\langle 11-20 \rangle$  方向表示例如依六角對稱的 [11-20]、[1-210]、[-2100]、[-1-120]、[-12-10]、[2-1-10] 方向等等效方向的完整組合。如此技藝眾所周知的，Miller 指數表示式當中，若平面具有負截取，就藉由指數上的「線段」表示。不使用指數上的「線段」，我們就在標的指數前面標示「-」。舉例來說， $\langle 1-100 \rangle$  發「一、線段一、零、零」的音。在含 n-型 GaN 基材 11 及長在該 n-型 GaN 基材 11 上的 n-型 GaN 層 12 的第一堆疊結構（11、12）上形成雷射二極體的裝置結構部分。在第一個具體

(7)

例中，該第一堆疊結構（11、12）稱為「半導體基材（11、12）」，一般可稱為「磊晶基材（11、12）」，並經由磊晶的方式在半導體基材（11、12）上連續地生長該裝置結構部分。

該裝置結構部分藉由充當含下列的基底結構之第二堆疊結構（13、14、15、16、17、18、19、20）而提供：n-型包被層 13、在該 n-型包被層 13 上的 n-型 GaN 光導層 14、在該 n-型 GaN 光導層 14 上的 n-型活性層（發光層）15、在該 n-型活性層（發光層）15 上的第一 p-型 GaN 光導層 16、在該第一 p-型 GaN 光導層 16 上的溢流防止層 17、在該溢流防止層 17 上的第二 p-型 GaN 光導層 18、在該第二 p-型 GaN 光導層 18 上的 p-型包被層 19 及在該 p-型包被層 19 上的 p-型 GaN 接觸層 20；其中該 n-型包被層 13 或最低層與該半導體基材（11、12）的 n-型 GaN 層 12 頂面接觸。要注意的是根據第一個具體例的半導體裝置中，該「裝置結構部分」表示承擔雷射二極體主要操作的主結構，其係藉由充當基底結構之第 1 圖所示的第二堆疊結構（13、14、15、16、17、18、19、20）而提供，且不包括第一堆疊結構（11、12）。換句話說，如先前說明的「裝置結構部分」並不一定表示光學半導體的整個裝置結構，只要其包括承擔該半導體光學裝置的主要操作之主要部分即可。

該 n-型包被層 13 為由未經摻雜的  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  層與摻雜將近  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  之例如矽原子等 n-型雜質原子的

(8)

GaN 層所組成的超晶格，但不限於該超晶格，且可為，舉例來說，由  $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  層等所組成之 n-型第 III 至 V 族氮化物半導體的單層膜（將近 1.5 微米的厚度）。此外，所用為由未經摻雜的  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  層與摻雜將近  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  之 n-型雜質原子的 GaN 層所組成的超晶格；然而，即使該  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  層與 GaN 層都摻雜例如矽原子等 n-型雜質原子，本發明的功效也不會改變。該 n-型 GaN 光導層 14 為摻雜將近  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  之例如矽原子等 n-型雜質原子之將近 0.1 微米厚的 GaN 層；然而，更普遍地，其可為  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{Al}_y\text{N}$  等的 n-型第 III 至 V 族氮化物半導體層。

該活性層（發光層）15 係藉由三個量子井（QW）層所組成的多重量子井（MQW）及交錯堆疊並夾雜該量子井的阻障層提供，該等量子井係由將近 3.5 奈米厚之未經摻雜的  $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  層所組成，該等阻障層係分別地由將近 7 奈米厚之未經摻雜的  $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$  層所組成。提供 MQW 之  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  層的錮莫耳分率  $x$  僅為實施例，且即使使用另一個數值，只要 QW 層的莫耳分率  $x$  大於阻障層的莫耳分率  $x$ ，本發明的功效就不會改變。舉例來說， $\text{In}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$  層可用於 QW 層，且  $\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$  層等可用於阻障層。

在該 n-型活性層（發光層）15 上的第一 p-型 GaN 光導層 16 應該形成約 0.03 微米的厚度。

該溢流防止層 17 為防止電子溢流且由將近 10 奈米厚

(9)

之摻雜將近  $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  之例如鎂 (Mg) 原子等 p-型雜質原子的  $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  層組成。該第二 p-型 GaN 光導層 18 為將近 0.1 奈米厚之摻雜將近  $5$  至  $10 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  之例如鎂原子等 p-型雜質原子的 GaN 層；然而，更普遍地，其可為  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{Al}_y\text{N}$  等之 p-型第 III 至 V 族氮化物半導體層。

該 p-型包被層 19 由未經摻雜的  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  層與摻雜例如鎂原子等 p-型雜質原子的 GaN 層所組成的超晶格，但不限於該超晶格，且可為，舉例來說，由  $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  層等所組成之摻雜將近  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  鎂濃度的 p-型第 III 至 V 族氮化物半導體之單層膜（將近 0.6 微米的厚度）。此外，所用為由未經摻雜的  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  層與摻雜 p-型雜質原子的 GaN 層所組成的超晶格；然而，即使該  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  層與 GaN 層都摻雜例如鎂原子等 p-型雜質原子，本發明的功效也不會改變。該 p-型 GaN 接觸層 20 為摻雜將近  $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  之例如鎂原子等 p-型雜質原子之將近 0.05 微米厚的 GaN 層；然而，更普遍地，其可為  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{Al}_y\text{N}$  等的 p-型第 III 至 V 族氮化物半導體層。

注意使用金屬有機化學氣相沈積法 (MOCVD) 供磊晶的方式生長第 1 圖所示的第二堆疊結構 (13、14、15、16、17、18、19、20)。藉由充當裝置製程的蝕刻法，接著在第二堆疊結構 (13、14、15、16、17、18、19、20) 的頂端中形成 2 微米寬的脊結構，使該 p-型包被層 19 與 p-型 GaN 接觸層 20 的堆疊結構在提供脊結構的中心有一

(10)

個突出。該 p-型包被層 19 具有環繞著該中心處的突出之平坦部分以建立脊結構。換句話說，該 p-型包被層 19 本身具有由突出部分與作為突出部分的基底之平坦部分的反 T 型步階結構。接著在該 p-型包被層 19 所組成的突出頂端上提供 p-型 GaN 接觸層 20。由該堆疊突出所提供的脊結構，包含該 p-型包被層 19 與 p-型 GaN 接觸層 20，將垂直於紙平面而延伸。注意該脊結構並不限於具有含第 1 圖所示的垂直側壁之截面的矩形脊，且可形成依截面來看具有方山傾斜的梯形脊。

以絕緣膜 41 作為夾住在 p-型包被層 19 上的脊結構（突出）之「電流阻斷層」，形成一對環繞該突出的平坦部分，且該電流阻斷層防止橫向模式的雷射諧振。該電流阻斷層的厚度可根據雷射的設計任意地選擇在將近 0.3 微米至 0.8 微米的範圍內，且可設定於，舉例來說，將近 0.5 微米的值。該電流阻斷層可由例如 AlN 層或  $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$  層等高電阻率半導體層、質子放射半導體層、氧化矽膜（ $SiO_2$  膜）或氧化鋯膜（ $ZrO_2$  膜）組成。再者，其可為舉例來說， $SiO_2$  膜與  $ZrO_2$  膜所組成的多層膜。換句話說，具有比用於活性層（發光層）15 的第 III 至 V 族氮化物半導體更低的折射率之各種不同的材料都可用於該電流阻斷層。例如 n-型 GaN 或 n-型  $Al_yGa_{1-y}N$  等 n-型半導體層可作為電流阻斷層，代替使用對抗藉由 p-型包被層 19 與 p-型 GaN 接觸層 20 提供以建立 pn-接面絕緣的絕緣膜 41。

(11)

在 p-型 GaN 接觸層 20 上裝設，舉例來說，由鈀-鉑-金 (Pd/Pt/Au) 複合材料膜組成的 p-側電極 (陽極) 32。舉例來說，該鈀膜約 0.05 微米厚，該鉑膜約 0.05 微米厚度，且該金膜約 1 微米厚。在該 n-型 GaN 基材 11 的底表面上裝設由鈦-鉑-金 (Ti/Pt/Au) 複合材料膜組成的 n-側電極 (陰極) 31。舉例來說，該 n-側電極 (陰極) 31 可藉由約 0.05 微米厚的鈦膜、約 0.05 微米厚度的鉑膜及約 1 微米厚的金膜而提供。藉劈分 (cleaving) 形成雷射共振腔的端面。在背端面上施加高反射性塗膜，該背端面在發射雷射光的正端面之相反側。

注意提供裝置結構部分之 n-型包被層 13、n-型 GaN 光導層 14、活性層 (發光層) 15、第一 p-型 GaN 光導層 16、溢流防止層 17、第二 p-型 GaN 光導層 18、p-型包被層 19 及 p-型 GaN 接觸層 20 僅為實施例，且本發明並不限於這些材料。更普遍地，可根據設計選擇而使用例如  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{Al}_y\text{N}$  層之另一種第 III 至 V 族氮化物半導體的適合單晶層。因此，應該將上述  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  層的銦莫耳分率  $x$  及  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  層的鋁莫耳分率  $y$  理解作僅為實施例，並可自然地達到下列功效，即使使用其他莫耳分率值亦同。

第 2 圖顯示根據本發明第一個具體例，在攝氏 25 度連續諧振條件下該半導體裝置 (雷射二極體) 電流對光輸出電力特性，與相同條件下比較實施例的電流對光輸出電力特性作比較之圖形。第 2 圖的實線所示的電流對光輸出

(12)

電力特性為在具有滿足以傾斜角  $\Delta\theta_{1-100}$  及  $\Delta\theta_{11-20}$  表示之方程式(1)及(2)的關係式之表面取向的 GaN 基材 11 上併入如第 11 圖所示之  $\delta$ -摻雜層 10 的結構之結果。含  $\delta$ -摻雜層 10 的雷射二極體之平均閾電流將近 45 毫安培。第 2 圖的虛加點線所示的電流對光輸出電力特性為 GaN 基材 11 上未併入如第 11 圖所示之  $\delta$ -摻雜層 10 的結構之結果，但是該為 GaN 基材 11 具有滿足以傾斜角  $\Delta\theta_{1-100}$  及  $\Delta\theta_{11-20}$  表示之方程式(1)及(2)的關係式之表面取向。不含  $\delta$ -摻雜層 10 的雷射二極體之平均閾電流將近 55 毫安培。第 2 圖的虛線所示的比較實施例為藉由生長上述在不滿足以傾斜角  $\Delta\theta_{1-100}$  及  $\Delta\theta_{11-20}$  表示之方程式(1)及(2)的關係式之 {0001}-取向的 n-型 GaN 基材 11 上的雷射結構而製成的雷射二極體。由根據該比較實施例的雷射二極體之電流對光輸出電力特性見到的平均閾電流為 106 毫安培，比根據第一個具體例的半導體裝置更高。含比較實施例的結構之較高平均閾電流係由於光傳導的邊界表面的平坦度波動發生而引起。因此，咸瞭解比較實施例的結構比第一個具體例建立較寬廣的晶粒分布及提高的能量損失。

此外，透過 X-射線繞射的搖擺曲線 (rocking curve) 比較根據第一個具體例的半導體裝置 (雷射二極體) 之晶體生長之後的晶圓 (參見第 6 圖)。第 3A 及 3B 圖顯示橫跨 (0002) 平面的  $\omega/2\theta$  掃描結果。該光譜中，在 0 arcsec 的峰，示於第 3A 及 3B 圖的右端，對應於 GaN 層的繞射作用。因為 n-型包被層 13 為由 n-型  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$

(13)

層與 n-型 GaN 層組成的超晶格，且該 p-型包被層 19 為由 p-型  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  層與 p-型 GaN 層組成的超晶格，可在 0 級繞射下的峰之外也偵測，舉例來說，對應於超晶格的周期之負 1 級及正 1 級繞射下的伴峰 (satellite peak)。換言之，在第 3A 及 3B 圖中接近  $-3200 \text{ arcsec}$  看到的伴峰為歸屬  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}/\text{GaN}$  超晶格的負 1 級伴峰。

如第 3A 圖所示，含生長在 GaN 基材 11，其具有滿足以傾斜角  $\Delta\theta_{1-100}$  及  $\Delta\theta_{11-20}$  表示之方程式 (1) 及 (2) 的關係式之表面取向，上面之上述雷射結構的晶圓之伴峰的半高全寬 (FWHM) 為  $145 \text{ arcsec}$ 。另一方面，如第 3B 圖所示，含生長在  $\{0001\}$  取向的 GaN 基材 11，其不滿足以傾斜角  $\Delta\theta_{1-100}$  及  $\Delta\theta_{11-20}$  表示之方程式 (1) 及 (2) 的關係式，上面之雷射結構的晶圓之伴峰的半高全寬 (FWHM) 為  $367 \text{ arcsec}$ ，其係寬的。FWHM 係寬的表示在超晶格介面的陡峭度及該膜的表面平坦度，觀察包被層的整個面積，不良。

透過 Nomarski 顯微鏡觀察長成的晶圓之結果示於第 4 圖中。第 4 圖中，沿著橫座標繪製由  $\{0001\}$  平面朝  $[1-100]$  方向的傾斜角  $\Delta\theta_{1-100}$  絕對值，並沿著縱座標繪製由  $\{0001\}$  平面朝  $[11-20]$  方向的傾斜角  $\Delta\theta_{11-20}$  絕對值繪圖。在第 4 圖中，較佳平坦度在個別傾斜角  $\Delta\theta_{1-100}$  絕對值在  $0.12$  度至  $0.35$  度的範圍內且個別傾斜角  $\Delta\theta_{11-20}$  絕對值在  $0.00$  度至  $0.06$  度的範圍內並未見到巨大步階，如散開的圓 (○)、散開的三角 (△) 及散開的方塊 (□) 符號所

(14)

示。更佳為個別傾斜角  $\Delta\theta_{1-100}$  的絕對值在 0.12 度至 0.30 度的範圍內且個別傾斜角  $\Delta\theta_{11-20}$  的絕對值在 0.00 度至 0.06 度的範圍內，如散開的三角符號及散開的圓符號所示，因為 X-射線繞射搖擺曲線的 FWHM 介於 200 至 250 arcsec 的範圍內且可見到平坦的表面。又更佳為個別傾斜角  $\Delta\theta_{1-100}$  的絕對值在 0.14 度至 0.28 度的範圍內且個別傾斜角  $\Delta\theta_{11-20}$  的絕對值在 0.00 度至 0.06 度的範圍內，如散開的圓符號所示，因為 X-射線繞射搖擺曲線的 FWHM 變成接近 150 arcsec 且可獲得鏡面而沒有巨大步階。換句話說，儘管上述晶圓的表面形態學，其中如第 1 圖所示的雷射結構生長在 GaN 基材 11 上，具有滿足以傾斜角  $\Delta\theta_{1-100}$  及  $\Delta\theta_{11-20}$  表示之方程式 (1) 及 (2) 的關係式之晶體平面取向的 GaN 基材 11 可達到裝置尺寸所需之非常平滑的鏡面，該晶圓的表面形態學，其中雷射結構生長在不滿足以傾斜角  $\Delta\theta_{1-100}$  及  $\Delta\theta_{11-20}$  表示之方程式 (1) 及 (2) 的關係式之 GaN 基材 11 上，可建立數十至數百微米等級的巨大步階而形成不平的表面。

果真如此，因為根據第一個體例的半導體基材（磊晶基材）生長在該 GaN 基材 11 上，所以基本上該磊晶生長層會有例如穿透位錯及龜裂等缺陷之少許問題，該缺陷可歸屬於與基材的晶格錯配。另外，因為 GaN 基材 11 的晶體平面取向已最適化，所以可獲得有利的表面形態學及表面平坦度之第 III 至 V 族氮化物半導體的磊晶生長層。再者，使用具優異表面平坦度之根據第一個具體例的半導體

(15)

裝置（雷射二極體）可促成含少量光學損失的波導器之製造，及降低的閾電流、提高的操作壽命及改良的可靠度之提供。此外，根據與第一個具體例相關的半導體裝置（雷射二極體），可防止晶粒分布的空間膨脹，藉以提供高效率裝置。

〔裝置製造〕

參照第 5 至 11 圖說明根據本發明第一個具體例的半導體裝置（雷射二極體）之製法。注意即將說明的半導體裝置之製法僅為實施例，且本發明理所當然可使用包括不同修飾之其他不同製法而實施。舉例來說，用於根據第一個具體例的半導體裝置（雷射二極體）製法中的晶體生長爐說明的是 MOCVD 爐，但也可使用例如分子束磊晶（MBE）爐的另一種晶體生長爐之另一種方法製造。

（a）首先，製備如第 5A 圖所示的 GaN 基材 11，其具有滿足以傾斜角  $\Delta\theta_{1-100}$  及  $\Delta\theta_{11-20}$  表示之方程式（1）及（2）的關係式之表面取向。接著將 GaN 基材 11 裝設在 MOCVD 爐的收納室上。開始在包括氨（ $\text{NH}_3$ ）氣體的氣氛中熱處理，其係第 V 族元素的來源氣體。令例如三甲基鎵（ $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$ ）氣體或三乙基鎵（ $\text{Ga}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ ）氣體等金屬-有機鎵化合物與氫（ $\text{H}_2$ ）一起起泡，接著導入生長室中，其中在攝氏 1000 至 1100 度的基材溫度下加熱該 GaN 基材 11。如第 5B 圖所示，在該 GaN 基材 11 上生長 n-型 GaN 層 12，以提供半導體基材（11、12）。當 n-型

(16)

GaN 層 12 長在 GaN 基材 11 上時，較佳為數十或更大的高 V/III 比例。例如單矽烷 ( $\text{SiH}_4$ ) 氣體等矽氫化物或例如四甲基矽烷 ( $\text{Si}(\text{CH}_3)_4$ ) 氣體等有機矽化合物氣體可用作 n-型摻雜材料。

(b) 接下來，一旦將基材溫度設定於攝氏 1000 度與攝氏 1080 度之間，就在該半導體基材 (11、12) 的 n-型 GaN 層 12 上進行該雷射二極體的裝置結構部分之連續磊晶生長。換句話說，如第 5C 圖所示，透過在相同生長室 (反應管) 中的連續磊晶生長而在 n-型 GaN 層 12 上生長 n-型包被層 13。再者，接著該 n-型包被層 13，如第 6 圖所示，依接連的順序以磊晶的方式生長 n-型 GaN 光導層 14、活性層 (發光層) 15、第一 p-型 GaN 光導層 16、溢流防止層 17、第二 p-型 GaN 光導層 18、p-型包被層 19 及 p-型 GaN 接觸層 20，形成雙重異質結構。關於第 III 族材料，可取得例如三甲基鎵 ( $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$ ) 或三乙基鎵 ( $\text{Ga}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ ) 等金屬-有機鎵化合物、例如三甲基鋁 ( $\text{Al}(\text{CH}_3)_3$ ) 或三乙基鋁 ( $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ ) 等金屬-有機鋁化合物及例如三甲基銦 ( $\text{In}(\text{CH}_3)_3$ ) 或三乙基銦 ( $\text{In}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ ) 等金屬-有機銦化合物。當生長磊晶層 14、15、16、17、18、19 及 20 時，較佳為數十或更大的高 V/III 比例。該 n-型包被層 13 為含約  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  矽濃度之約 1.5 毫米厚的磊晶層，且該 n-型 GaN 光導層 14 為含約  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  矽濃度之約 0.1 毫米厚的磊晶層。在該 n-型 GaN 光導層 14 上的活性層 (發光層) 15 具有由交錯堆疊量子井

(17)

(QW) 層，其係由三個  $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  層組成，及阻障層，其係由五個  $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$  層組成，所形成的三層周期 MQW 結構。在該活性層（發光層）15 上的第一 p-型 GaN 光導層 16 為約 0.03 微米厚的磊晶層，該溢流防止層 17 為含約  $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  鎂濃度之約 10 奈米厚的磊晶層，該第二 p-型 GaN 光導層 18 為含約  $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  鎂濃度之約 0.1 奈米厚的磊晶層，該 p-型包被層 19 為含約  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  鎂濃度之約 0.6 奈米厚的磊晶層，且該 p-型 GaN 接觸層 20 為含約  $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  鎂濃度之約 0.05 奈米厚的磊晶層。例如雙環戊二烯基鎂（ $\text{Cp}_2\text{Mg}$  原子）或雙甲基環戊二烯基鎂（ $\text{M}_2\text{Cp}_2\text{Mg}$  原子）等金屬-有機鎂化合物可作為 p-型摻雜材料。

(c) 接下來，如第 7 圖所示，藉著使用光阻劑 51 充當光罩對 p-型包被層 19 及 p-型 GaN 接觸層 20 施行反應性離子蝕刻（RIE）而選擇性地形成溝槽 50a 及 50b，留下由溝槽 50a 及 50b 所環繞的突出。由 p-型包被層 19 及 p-型 GaN 接觸層 20 所形成的梯形突出使得該脊結構，垂直延伸到紙平面。在 p-型包被層 19 及 p-型 GaN 接觸層 20 的厚度分別地為約 0.6 微米及約 0.05 微米的例子中，溝槽 50a 及 50b 各自的厚度應該將近 0.5 微米。

(d) 接下來，如第 8 圖所示，一旦移除光阻劑，就填滿溝槽 50a 及 50b，接著橫跨整個表面沈積約 0.6 至 1 微米厚的絕緣膜 41 以夾住 p-型包被層 19 及 p-型 GaN 接觸層 20 所形成的銷（突出）。對於絕緣膜 41，可以磊晶

(18)

的方式生長例如 AlN 層等高電阻率的半導體層或透過 CVD 沈積二氧化矽膜 (SiO<sub>2</sub> 膜)。如第 9 圖所示，接著僅蝕刻在 p-型 GaN 接觸層 20 上的絕緣膜 41 直到該 p-型 GaN 接觸層 20 的頂表面裸露為止。

(e) 接下來，如第 10 圖所示，使用掀起 (lift-off) 法在 p-型 GaN 接觸層 20 上畫出由鈀-鉑-金 (Pd/Pt/Au) 複合材料膜組成的 p-側電極 (陽極) 32 的輪廓。換句話說，等光阻膜具有在 p-型 GaN 接觸層 20 上及該 p-型 GaN 接觸層 20 兩側上的絕緣膜 41 上形成對應 p-側電極 (陽極) 32 的圖案之視窗之後，透過真空蒸鍍或濺鍍連續地沈積約 0.05 微米厚的鈀膜、約 0.05 微米厚的鉑膜及約 1.0 微米厚的金膜，接著洗滌該光阻劑膜而留下視窗位置處的 p-側電極 (陽極) 32。再者，透過 CVD 沈積例如氧化矽膜 (SiO<sub>2</sub> 膜)、氮化矽膜 (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 膜) 或聚醯亞胺膜以覆蓋該 p-側電極 (陽極) 32 及絕緣膜 41。接著使用第 1 圖所示之背蝕刻法連續地移除鈍化膜 42 的一部分使得見得到該 p-側電極 (陽極) 32 的頂表面。接著，透過真空蒸鍍或濺鍍在 GaN 基材 11 的底表面上沈積鈦-鉑-金 (Ti/Pt/Au) 複合材料膜。舉例來說，連續地沈積約 0.05 微米厚的鈦膜、約 0.05 微米厚的鉑膜及約 1.0 微米厚的金膜。接著，藉由熱處理 (鍛燒)，降低 p-側電極 (陽極) 32 及 n-側電極 (陰極) 31 的接觸電阻。藉由劈分或藉使用例如鑽石刀片等切割裝置提供所需要的大小，完成第 1 圖所示的半導體裝置 (雷射二極體)。

(19)

如以上說明的，因為磊晶層長在 GaN 基材 11 上，所以根據本發明第一個具體例的半導體裝置製造方法，基本上該磊晶生長層會有與磊晶生長的層及基材之間的晶格錯配有關之例如穿透位錯及龜裂等缺陷之少許問題。另外，因為 GaN 基材 11 的晶體平面取向已最適化，所以可獲得有利的表面形態學及表面平坦度。結果，高結晶品質之第 III 至 V 族氮化物半導體的磊晶層均勻地長在該 n-型 GaN 基材 11 上。因此，可提供具優異產量及低成本之高效能的第 III 至 V 族氮化物半導體裝置。

[ 第一個具體例的修飾例 ]

如第 11 圖所示，根據本發明第一個具體例的修飾例之半導體裝置（雷射二極體）與第 1 圖所示之根據本發明第一個具體例的半導體裝置，其中 n-型 GaN 層 12 之堆疊結構（11、10、12）進一步包含  $\delta$ -摻雜層 10，不同。該  $\delta$ -摻雜層 10 長在 GaN 基材 11 上，該基材具有表面，其取向滿足以傾斜角  $\Delta\theta_{1-100}$  及  $\Delta\theta_{11-20}$  表示之方程式（1）及（2）的關係式。且 n-型 GaN 層 12 透過  $\delta$ -摻雜層 10 而長在該 GaN 基材 11 上。例如雷射二極體的裝置結構部分之其他結構及材料，其係藉由依序含 n-型包被層 13、n-型 GaN 光導層 14、活性層（發光層）15、第一 p-型 GaN 光導層 16、溢流防止層 17、第二 p-型 GaN 光導層 18、p-型包被層 19 及 p-型 GaN 接觸層 20 的堆疊結構而提供，該堆疊結構形成在 n-型 GaN 層 12 上，對照第 1 圖，脊結構

(20)

及電極等結構與已在第一個具體例解釋過的結構與材料相似，且第一個具體例的修飾例中可刪除重複或冗長的說明。

該 $\delta$ -摻雜層 10 為摻雜至少約  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  又不高於約  $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  之濃度的例如矽原子等 n-型雜質原子之將近 200 奈米厚或更薄的 GaN 層，較佳為至少約  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  又不高於約  $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ，又更佳為至少約  $4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  又不高於約  $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 。 $\delta$ -摻雜層 10 的厚度下限相當於原子層厚度或將近 0.3 奈米。 $\delta$ -摻雜層 10 的厚度較佳地應該落在原子層厚度與約 150 奈米的範圍內，更佳地介於約 5 奈米及約 150 奈米之間。若 $\delta$ -摻雜層 10 的雜質濃度超過約  $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ，長在 $\delta$ -摻雜層 10 上的 n-型 GaN 層 12 頂表面將變得粗糙。

換句話說，若形成 $\delta$ -摻雜層 10 摻雜至少約  $4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  又不高於約  $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  之例如矽原子等 n-型雜質原子而具有介於原子層厚度與約 200 奈米之間之有利形式的厚度，可加速向基材表面內部的側向晶體生長速度，改良磊晶生長層頂表面之平坦度。然而，當雜質濃度降到約  $4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  以下時，側向晶體生長的效應就不顯著。當雜質濃度降到約  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  以下時，該效應將進一步降低，又當雜質濃度降到約  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  以下時，側向晶體生長速度的加速及表面平坦度的改良將更難達到。

果真如此，根據第一個具體例的修飾例有關的半導體裝置（雷射二極體）， $\delta$ -摻雜層 10 設在 n-型 GaN 層 12

(21)

與 n-型 GaN 基材 11 之間，藉以加速沿著向 n-型 GaN 基材 11 表面內部的側向晶體生長速度。比起根據第 1 圖所示之第一個具體例之不具  $\delta$ -摻雜層 10 的半導體裝置，側向晶體生長的加速促成所得的長成晶圓表面形態學之改良平坦度。結果，根據第一個具體例的修飾例之半導體裝置（雷射二極體）的平均閾電流，如第 2 圖所示，降至 45 毫安培，延長操作壽命，並進一步改良可靠度。

根據第一個具體例的修飾例，藉由該半導體裝置（雷射二極體）製造方法，如第 12 圖所示，經由  $\delta$ -摻雜層 10 將 n-型 GaN 層 12 沈積在具有滿足以傾斜角  $\Delta\theta_{1-100}$  及  $\Delta\theta_{11-20}$  表示之方程式（1）及（2）的關係式之表面取向的 GaN 基材 11 上，又接著連續地以磊晶的方式生長 n-型包被層 13、n-型 GaN 光導層 14、活性層（發光層）15、第一 p-型 GaN 光導層 16、溢流防止層 17、第二 p-型 GaN 光導層 18、p-型包被層 19 及 p-型 GaN 接觸層 20，之後步驟與第 7 至 10 圖所示的程序實質上相同，並刪除重複的說明內容。

（第二個具體例）

如第 13 圖所示，根據本發明第二個具體例的半導體裝置與第一個具體例已經解釋過的半導體裝置相同，其中半導體裝置在第一堆疊基材（11、12）上形成，該第一堆疊基材（11、12）係藉一方法提供使 n-型 GaN 層 12 長在 GaN 基材 11 上，該 GaN 基材 11 滿足以傾斜角  $\Delta\theta_{1-100}$  及

(22)

$\Delta\theta_{11-20}$  表示之方程式 (1) 及 (2) 的關係式。

然而，在根據第二個具體例的半導體裝置中，在第一堆疊結構 (11、12) 上形成提供發光二極體 (LED) 的裝置結構部分。如第一個具體例所說明的，n-型 GaN 層 12 僅為一實施例。更普遍地，其自然可為例如  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{Al}_y\text{N}$  層等另一個第 III 至 V 族氮化物半導體的 n-型單晶層。

換句話說，如第 13 圖所示，將摻雜砷的  $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  層組成之 n-型包被層 13 直接地長在該 n-型 GaN 層 12 或第一堆疊結構 (11、12) 頂層上，並依序將  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  層組成的活性層 (發光層) 21、摻雜鎂的  $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  層組成的 p-型包被層 19 及由摻雜鎂的 GaN 層組成的 p-型 GaN 接觸層 20 連續地堆疊在 n-型包被層 13 上。再者，在 p-型 GaN 接觸層 20 上形成提供 p-側電極 (陽極) 33 的透明電極。

例如發光二極體 (LED) 的 n-型包被層 13、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  活性層 21、p-型包被層 19 及 p-型 GaN 接觸層 20 等裝置結構部分之詳細內容基本上與第一個具體例已經解釋過的半導體裝置都相同，而刪去其各別說明。再者，在根據第二個具體例的半導體裝置中，「裝置結構部分」表示承擔 LED 主要操作的主要結構，其係藉由充當基底結構之第 13 圖所示的第二堆疊結構 (13、21、19、20) 而提供，且不包括作為裝置結構部分下方之 n-型接觸層的第一堆疊結構 (11、12)。換句話說「裝置結構部分」並不一定表示光學半導體的整個裝置結構，只要該裝置結構部分包

(23)

括承擔該半導體光學裝置的主要操作之主要部分即可，其與第一個具體例中解釋過的半導體裝置的裝置結構部分相同。

如第一個具體例說明的，形成裝置結構部分的 n-型包被層 13、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  活性層 21、p-型包被層 19 及 p-型 GaN 接觸層 20 僅為實施例，且本發明並不限於這些材料。換句話說，更普遍地，可以例如  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{Al}_y\text{N}$  層等另一種第 III 至 V 族氮化物半導體層的單晶層供各層形成裝置結構部分之用。

因為根據第二個體例的半導體基材（磊晶基材）具有該 GaN 基材 11，所以基本上會有例如起因於該磊晶生長層與 GaN 基材 11 之間的晶格錯配而引起的穿透位錯及龜裂等缺陷之少許問題。另外，因為 GaN 基材 11 的晶體平面取向已最適化，所以可獲得有利的表面形態學及表面平坦度之第 III 至 V 族氮化物半導體的磊晶生長層。再者，根據第二個具體例的半導體裝置（LED）使用具優異表面平坦度，因此可達到例如低操作電壓之使用、高亮度及高發光效率等特性改良。

儘管自圖形中刪除，但即使該半導體裝置（LED），根據本發明第二個具體例，如第 11 圖所示，較佳為 n-型 GaN 層 12 經由  $\delta$ -摻雜層 10 長在 n-型 GaN 基材 11 上。如第一個具體例說明的，該  $\delta$ -摻雜層 10 為摻雜至少約  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  又不高於約  $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  之濃度的 n-型雜質原子之將近 200 奈米厚或更薄的 GaN 層，較佳為至少約  $1 \times$

(24)

$10^{18} \text{ cm}^{-3}$  又不高於約  $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ，又更佳為至少約  $4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  又不高於約  $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 。 $\delta$ -摻雜層 10 的厚度較佳地應該落在原子層厚度與約 150 奈米的範圍內，更佳地介於約 5 奈米及約 150 奈米之間。若  $\delta$ -摻雜層 10 的雜質濃度超過約  $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ，長在  $\delta$ -摻雜層 10 上的 n-型 GaN 層 12 頂表面將變得粗糙，因此造成不利。若形成  $\delta$ -摻雜層 10 摻雜至少約  $4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  又不高於約  $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  之 n-型雜質原子而具有介於原子層厚度與約 200 奈米之間之有利形式的厚度，可加速沿著向基材表面內部的側向晶體生長速度，改良磊晶生長層頂表面之平坦度。當雜質濃度降到約  $4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  以下時，側向晶體生長的效應就不顯著。當雜質濃度降到約  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  以下時，該效應將進一步降低，又當雜質濃度降到約  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  以下時，側向晶體生長速度的加速及表面平坦度的改良將更難達到。果真如此，根據第一個具體例的修飾例有關的半導體裝置（雷射二極體），將促成表面形態學及表面平坦度進一步的改良，提供例如根據第二個具體例的半導體裝置（LED）在低操作電壓下操作、高亮度及高發光效率等進一步的特性改良。

[ 裝置製造 ]

半導體裝置製法，根據本發明第二個具體例，基本上與第 5A 至 5C、6、7、8、9 及 10 圖所示的第一個具體例中已解釋過的半導體裝置製法相同，但是簡化了。

(25)

(a) 首先，如第 14 圖所示，將摻雜矽的  $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  層組成之 n-型包被層 13 直接地長在該 n-型 GaN 層 12 或第一堆疊結構 (11、12) 頂層上，以該第一堆疊結構 (11、12) 作為半導體基材或磊晶基材。接著，依序將  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  活性層 (發光層) 21、p-型包被層 19 及 p-型 GaN 接觸層 20 連續地以磊晶的方式生長在 n-型包被層 13 上。

(b) 再者，在 p-型 GaN 接觸層 20 上形成由例如摻錫 (Sn) 的氧化銦 ( $\text{In}_2\text{O}_3$ ) 膜 (ITO)、摻銦 (In) 的氧化鋅 (ZnO) 膜 (IZO)、摻鎵 (Ga) 的氧化鋅 (ZO) 膜 (GZO) 及氧化錫 ( $\text{SnO}_2$ ) 膜等透明電極組成的 p-側電極 (陽極) 33。或者，該透明電極可為金 (Au) 或鎳 (Ni) 等金屬薄膜，薄薄地沈積彼以保持光學透明性。

(c) 接下來，如第 13 圖所示，透過真空蒸鍍或濺鍍在 n-型 GaN 基材 11 的底表面上沈積 Ti/Pt/Au 複合材料膜。舉例來說，連續地沈積約 0.05 微米厚的鈦膜、約 0.05 微米厚的鉑膜及約 1.0 微米厚的金膜。接著，進行熱處理 (鍛燒) 以降低 n-側電極 (陰極) 31 的接觸電阻。藉由劈分或藉使用例如鑽石刀片等切割裝置提供所想要的大小，完成第 13 圖所示的半導體裝置 (發光二極體 (LED))。

如以上說明的，因為根據半導體製造方法而使用 GaN 基材 11，所以根據本發明第二個具體例，基本上會有例如穿透位錯及龜裂等缺陷之少許問題，其起因於磊晶生長

(26)

層與 GaN 基材 11 之間的晶格錯配。另外，因為 GaN 基材 11 的晶體平面取向已最適化，所以可獲得有利的表面形態學及表面平坦度。結果，高結晶品質之第 III 至 V 族氮化物半導體的磊晶層均勻地長在該 n-型 GaN 基材 11 上。因此，可提供具優異產量及低成本之高效能的第 III 至 V 族氮化物半導體裝置。

(第三個具體例)

如第 15 圖所示，半導體裝置，根據本發明第三個具體例，如第 15 圖所示，藉由裝置結構部分 (26、25、24) 提供異質接面雙極電晶體 (HBT)，裝置結構部分 (26、25、24) 係在 GaN 基材 11 上連續地堆疊由摻雜矽的 GaN 層組成之 n-型漂移層 24、由摻雜鎂的  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{Al}_y\text{N}$  層組成 p-型基底層 25 及由摻雜矽的層組成的 n-型射極層 26 而形成，該 GaN 基材 11 滿足以傾斜角  $\Delta\theta_{1-100}$  及  $\Delta\theta_{11-20}$  表示之方程式 (1) 及 (2) 的關係式。該 n-型 GaN 基材 11 作為集極層 (集極接觸層)。

n-型漂移層 24 為約 0.3 至 1.5 微米厚的第 III 至 V 族氮化物半導體且摻雜約  $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$  至  $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  之濃度的矽原子之單晶層。儘管 p-型基底層 25 的鎂濃及厚度可由操作頻率及 HBT 的擊穿電壓 (breakdown voltage) 之考量而測定，但鎂濃度該選擇落在約  $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  至  $7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  之間且厚度落在約 5 至 80 nm 之間。該 n-型射極層 26 為約 0.2 至 0.5 微米厚的第 III 至 V 族氮化物半導

(27)

體且摻雜約  $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  至  $6 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  之濃度的矽原子之單晶層。如第 15 圖所示，在 n-型射極層 26 上提供由鈦-鉑-金 (Ti/Pt/Au) 複合材料膜所組成的射極 45。舉例來說，該射極 45 可由約 0.04 微米厚的鈦膜、約 0.04 微米厚的鉑膜及約 0.5 微米厚的金膜形成。再者，通過該 n-型射極層 26 並暴露該 p-型基底層 25 的頂表面之一部分而形成基極引出溝槽 (extracting groove)。基極 44 與基極引出溝槽底部的 p-型基底層 25 之間有歐姆接觸。舉例來說，基極 44 係由鈀-鉑-金 (Pd/Pt/Au) 複合材料膜組成，其中可使用約 0.05 微米厚的鈀膜、約 0.05 微米厚的鉑膜及約 0.2 微米厚的金膜。

集極 43 由鈦-鉑-金 (Ti/Pt/Au) 複合材料膜所組成的集極 43 係沈積於 n-型 GaN 基材 11 的底表面上。該集極 43，如同射極 45，可由約 0.04 微米厚的鈦膜、約 0.04 微米厚的鉑膜及約 0.5 微米厚的金膜之組合形成。

果真如此，因為根據第三個體例的半導體基材 (磊晶基材) 具有該 GaN 基材 11，所以基本上會有例如與該磊晶生長層及 GaN 基材 11 之間的晶格錯配有關的穿透位錯及龜裂等缺陷之少許問題。另外，因為 GaN 基材 11 的晶體平面取向已最適化，所以可提供具有利的表面形態學及表面平坦度之第 III 至 V 族氮化物半導體的磊晶生長層。

再者，因為根據第三個具體例的半導體裝置 (HBT) 係藉由具優異表面平坦度的半導體基材 (磊晶基材) 而提供，所以可提高電流增益  $\beta$ ，改善高頻特性，並改善電流

(28)

切斷頻率  $f_T$ 。

注意如第一個及第二個具體例說明的，n-型漂移層 24、p-型基底層 25 及 n-型射極層 26 各別的材料皆僅為實施例。更普遍地，可選擇例如  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{Al}_y\text{N}$  層等另一種第 III 至 V 族氮化物半導體的單晶層，以滿足 HBT 所需的禁帶隙 (forbidden bandgap) 關係。換句話說，若選擇 n-型射極層 26 的能帶間隙以滿足比 p-型基底層 25 的能帶間隙更寬的「寬帶隙射極」條件，各別的層 24、25 及 26 就可選擇不同的第 III 至 V 族氮化物半導體之單晶層。舉例來說，可在 n-型 GaN 基材 11 上提供由 GaN 層所組成的 n-型漂移層 24、GaN 層所組成的 p-型基底層 25 及由  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  層所組成的 n-型射極層 26。

注意根據本發明第三個具體例的半導體裝置中，該「裝置結構部分」表示 n-型漂移層 24、p-型基底層 25 及 n-型射極層 26，且不包括作為集極層 (集極接觸層) 的 n-型 GaN 基材 11。換句話說，根據第三個具體例，該半導體裝置的「裝置結構部分」並不一定表示半導體裝置的整個裝置結構，只要其包括承擔該半導體電子裝置的主要操作之主要部分即可，其與根據第一個及第二個具體例的半導體裝置說明的相同。

儘管自圖形中刪除，但即使該半導體裝置 (HBT)，根據本發明第三個具體例，如第 11 圖所示，較佳為 n-型漂移層 24 經由  $\delta$ -摻雜層 10 長在 n-型 GaN 基材 11 上。如第三個具體例說明的，該  $\delta$ -摻雜層 10 為摻雜至少約  $5 \times$

(29)

$10^{17} \text{ cm}^{-3}$  又不高於約  $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  之濃度的 n-型雜質原子之將近 200 奈米厚或更薄的 GaN 層，較佳為至少約  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  又不高於約  $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ，又更佳為至少約  $4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  又不高於約  $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 。δ-摻雜層 10 的厚度較佳地應該落在原子層厚度與約 150 奈米的範圍內，更佳地介於約 5 奈米及約 150 奈米之間。δ-摻雜層 10 的使用允許進一步的表面形態學及表面平坦度，因此根據第三個具體例的半導體裝置 (HBT) 之電流增益  $\beta$  能進一步提高，另外也可進一步改善高頻特性。

[ 裝置製造 ]

半導體裝置製法，根據本發明第三個具體例，基本上與第一個及第二個具體例的半導體裝置製法相同。

(a) 首先，n-型 GaN 基材 11 係置於 MOCVD 爐中，且如根據第二個具體例的半導體裝置製法所說明的，如第 16 圖所示依序將摻雜矽的 GaN 層組成之 n-型漂移層 24、由摻雜鎂的  $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  層組成 p-型基底層 25 及由摻雜矽的層組成的 n-型射極層 26 以磊晶的方式連續地長在 n-型 GaN 基材 11 上。長在該 n-型 GaN 基材 11 上之含 n-型 GaN 基材 11 和 n-型漂移層 24 的堆疊結構 (11、24) 可對應於第一個及第二個具體例的半導體基材 (11、12)。然而，由 n-型 GaN 基材 11、n-型漂移層 24、p-型基底層 25 及 n-型射極層 26 所組成的整個堆疊結構 (11、24、25、26) 可稱之為「半導體基材 (磊晶基材)」。連續的磊

(30)

晶生長基本上與對照第 14 圖所說明之根據第二個具體例的半導體裝置製法相同，並刪除其重複的說明。

(b) 接下來，透過光刻法在 n-型射極層 26 頂表面上繪製供基極引出溝槽形成用之光阻劑膜的圖案，並使用該光阻劑膜充當蝕刻遮罩，透過例如 RIE 等蝕刻法形成基極引出溝槽，其通過 n-型射極層 26 並暴露該 p-型基底層 25 的頂表面之一部分。

(c) 在 n-型射極層 26 上沈積由鈦-鉑-金 (Ti/Pt/Au) 複合材料膜所組成的射極 45，並在 n-型 GaN 基材 11 底表面上繪製由鈦-鉑-金 (Ti/Pt/Au) 複合材料膜所組成的集極 43 的圖案。接著，在熱處理 (鍛燒) 之後，射極 45 與集極 43 之間的接觸電阻將會降低。

(d) 再者，如第 15 圖所示，使用掀起法在 p-型基底層 25 上繪製 Pd/Pt/Au 複合材料膜所組成的基極 44 的圖案。換句話說，在具有對應 p-側電極 (陽極) 44 的圖案之視窗的光阻劑膜形成之後，透過真空蒸鍍或濺鍍連續地沈積約 0.04 微米厚的鈦膜、約 0.04 微米厚的鉑膜及約 0.5 微米厚的金膜，接著洗滌該光阻劑膜而留下視窗位置處的基極 44。

如以上說明的，因為根據半導體製造方法而使用 GaN 基材 11，所以根據本發明第三個具體例，基本上會有與磊晶生長層及 GaN 基材 11 之間的晶格錯配有關之例如穿透位錯及龜裂等缺陷之少許問題。另外，因為 GaN 基材 11 的晶體平面取向已最適化，所以可獲得有利的表面形

(31)

態學及表面平坦度。結果，高結晶品質之第 III 至 V 族氮化物半導體的磊晶層均勻地長在該 n-型 GaN 基材 11 上。因此，可提供具優異產量及低成本之高效能的第 III 至 V 族氮化物半導體裝置。

(其他具體例)

在接受本揭示內容的教旨之後對熟於此藝之士而言不同的修飾將變得可能而不會悖離其範疇。舉例來說，本發明不限於第一個、第二個及第三個具體例說明的雷射二極體、LED 或 HBT，並可選擇性地應用於包括例如高電子移動電晶體 (HEMT)、接面場效電晶體 (FET)、Schottky 閘極 FET (MESFET) 或靜態感應電晶體 (SIT) 等不同半導體電子裝置或例如半導體光偵測器等半導體光學裝置之不同半導體裝置。

關於此半導體電子裝置的實施例，第 17 圖顯示 HEMT 的概略結構，由裝置結構部分 (62、63、64、65、66) 提供。裝置結構部分 (62、63、64、65、66) 係在 GaN 基材 61 上連續地堆疊非故意摻雜的 GaN 層 (第一單晶層) 62 及非故意摻雜的  $Al_xGa_{1-x}N$  層 (第二單晶層) 63 而形成，該 GaN 基材 61 為高電阻率基材或半絕緣基材，其滿足以傾斜角  $\Delta\theta_{1-100}$  及  $\Delta\theta_{11-20}$  表示之方程式 (1) 及 (2) 的關係式。該非故意摻雜的 GaN 層 62 為具有約 0.8 至 4.5 微米的厚度且非故意摻雜雜質原子的單晶層。該非故意摻雜的  $Al_xGa_{1-x}N$  層 63 為具有約 60 至 150 奈米的厚度且非

(32)

故意摻雜雜質原子的單晶層。由於經摻雜的 GaN 層 62 有較大的電子親和力，所以非故意摻雜的 GaN 層 62 頂表面會形成二維電極氣體 64。由該非故意摻雜的  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  層 63 穿透到非故意摻雜的 GaN 層 62 中形成 n-型源極區 65 及 n-型汲極區 66。該源極區 65 及汲極區 66 係濃密地摻雜，舉例來說，至少約  $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  又不高於約  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  之濃度的例如矽原子等 n-型雜質原子。如第 17 圖所示，分別地在該 n-型源極區 65 及 n-型汲極區 66 上形成由鈦-鋁 (Ti/Al) 複合材料膜所組成的源極 71 及汲極 72。形成由鉑-金 (Pt/Au) 複合材料膜所組成的 T-型閘極 73 以在該 n-型源極區 65 及 n-型汲極區 66 之間的非故意摻雜的  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  層 63 上提供 Schottky 阻障閘極。該非故意摻雜的  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  層 63 完全耗盡接近異質界面界面的移動電荷並作為 MOSFET 的閘極氧化物。在 Pt/Au 的 Schottky 阻障閘極 73 存在的情況下，在該 Pt/Au 的 Schottky 阻障閘極 73 的下方形成消耗層。負偏壓施於該 Schottky 阻障閘極 73 將使閘極消耗區延伸到異質界面界面，其將阻障物提升到電子流下並藉以去除汲-源電流（主電流）。

利用此結構，因為根據其他具體例的半導體基材（63、62、61）具有該 GaN 基材 61，所以基本上會有例如與該磊晶生長層 62、63 及 GaN 基材 61 之間的晶格錯配有關的穿透位錯及龜裂等缺陷之少許問題。另外，因為 GaN 基材 61 的晶體平面取向已最適化，所以可提供具有利的

(33)

表面形態學及表面平坦度之以磊晶的方式生長的非故意摻雜的 GaN 層 62 及非故意摻雜的  $Al_xGa_{1-x}N$  層 63。再者，因為根據其他具體例的 HEMT 係藉由具優異表面平坦度的半導體基材（63、62、61）而提供，所以可提高跨導  $g_m$ ，改善高頻特性，並改善電流切斷頻率  $f_T$ 。

注意如第一個至第三個具體例說明的，第一單晶層（非故意摻雜的 GaN 層）62 及第一單晶層（非故意摻雜的  $Al_xGa_{1-x}N$  層）63 各別的材料皆僅為實施例。舉例來說，可使用由厚度 6 奈米的 AlN 膜及厚度 100 至 250 奈米的 GaN 膜所組成的複合材料膜代替該  $Al_xGa_{1-x}N$  層 63。更普遍地，就禁帶隙的關係來看可選擇例如  $In_xGa_{1-x-y}Al_yN$  層等另一種第 III 至 V 族氮化物半導體的第一及第二單晶層，以提供第一與第二單晶層之間的異質界面，其係 HEMT 所需者。

注意根據本發明其他具體例的半導體裝置中，該「裝置結構部分」表示非故意摻雜的 GaN 層（第一單晶層）62、非故意摻雜的  $Al_xGa_{1-x}N$  層 63（第二單晶層）、n-型源極區 65 及 n-型汲極區 66，且不包括 n-型 GaN 基材 61。換句話說，根據其他具體例，該半導體裝置的「裝置結構部分」並不一定表示半導體裝置的整個裝置結構，只要其包括承擔該半導體電子裝置的主要操作之主要部分即可，其與根據第一個至第三個具體例的半導體裝置說明的相同。儘管自圖形中刪除，但即使 HEMT，根據本發明其他具體例，如第 11 圖所示，較佳為非故意摻雜的 GaN 層 62

(34)

經由  $\delta$ -摻雜層 10 長在 n-型 GaN 基材 61 上。

根據本發明其他具體例，HEMT 的製造方法基本上與第一個至第三個具體例已經解釋過的製造方法相同。也就是說，首先，將 n-型 GaN 基材 61 置於 MOCVD 爐中，並依序將非故意摻雜的 GaN 層（第一單晶層）62 及非故意摻雜的  $Al_xGa_{1-x}N$  層（第二單晶層）63 以磊晶的方式連續地生長在 GaN 基材 61 上，如第 18 圖所示。長在該 n-型 GaN 基材 61 上之含 n-型 GaN 基材 11 和非故意摻雜的 GaN 層 62 的堆疊結構（61、62）可對應於第一個至第三個具體例的半導體基材（11、12）。然而，由 n-型 GaN 基材 11、非故意摻雜的 GaN 層 62 所組成的整個堆疊結構（61、62、63）可稱之為「半導體基材」。連續的磊晶生長基本上與根據第一個至第三個具體例的製法相同，並刪除其重複的說明。接下來，使用光阻劑膜的圖案充當植入光罩選擇性地植入例如矽離子之 n-型雜質離子。移除植入光罩之後，使堆疊結構（61、62、63）以形成 n-型源極區 65 及汲極區 66。接著，使用掀起法在該 n-型源極區 65 及 n-型汲極區 66 上選擇性地沈積由鈦-鋁（Ti/Al）複合材料膜所組成的源極 71 及汲極 72。然後，在熱處理（鍛燒）之後，源極 71 及汲極 72 之間的接觸電阻將降低。接下來，使用掀起法在該 n-型源極區 65 及 n-型汲極區 66 之間的非故意摻雜的  $Al_xGa_{1-x}N$  層 63 上形成由鉑-金（Pt/Au）複合材料膜所組成的 T-型閘極 73，如第 17 圖所示。

(35)

再者，該半導體裝置並不限於第 15 及 17 圖所示的簡單結構，還有許多單元裝置可以叉合、柵格或彎曲的閘極幾何形狀，或者如電力半導體裝置普遍知道的多通道幾何形狀設置以達到高電流容量。

再者，該半導體電子裝置並非只可應用於獨立的裝置，也可用於積體電路。舉例來說，使用第三個具體例說明的 HBT、例如積體噴射邏輯（IIL）電路等不同邏輯電路或可集積在單一個 n-型 GaN 基材 11 上的不同記憶體，只要該 n-型 GaN 基材 11 滿足以傾斜角  $\Delta\theta_{1-100}$  及  $\Delta\theta_{11-20}$  表示之方程式（1）及（2）的關係式即可。

藉此，本發明理所當然包括以上未詳細說明的不同具體例及修飾等。因此，本發明的範圍將定義於下列申請專利範圍中。

#### 【圖式簡單說明】

第 1 圖為顯示根據本發明第一個具體例的半導體裝置（雷射二極體）之截面結構的概略圖；

第 2 圖為顯示根據本發明第一個具體例，在攝氏 25 度連續諧振條件下該半導體裝置（雷射二極體）電流對光輸出電力特性與相同條件下比較實施例的電流對光輸出電力特性作比較之圖形；

第 3A 圖顯示根據本發明第一個具體例，由用於該半導體裝置的堆疊結構橫跨（0002）平面的  $\omega/2\theta$  掃描所得之 X-射線繞射光譜，該堆疊結構連續地以磊晶的方式

(36)

生長在該 GaN 基材上，該光譜滿足傾斜角 (off angle)  $\Delta\theta_{1-100}$  及  $\Delta\theta_{11-20}$  所定義的指定表面取向；

第 3B 圖為顯示根據比較實施例，由對應的堆疊結構橫跨 (0002) 平面的  $\omega/2\theta$  掃描所得到之對應的 X-射線繞射光譜，該堆疊結構連續地以磊晶的方式生長在該 GaN 基材上，該光譜並未滿足指定的表面取向；

第 4 圖為顯示不同以磊晶方式生長的堆疊結構的表面形態學之圖形，藉由 {0001} 平面朝  $\langle 1-100 \rangle$  方向的傾斜角  $\Delta\theta_{1-100}$  絕對值及由 {0001} 平面朝  $\langle 11-20 \rangle$  方向的傾斜角  $\Delta\theta_{11-20}$  絕對值繪圖，使用多個具不同晶體平面方向的 GaN 基材，檢視該結構以決定根據本發明第一個具體例的半導體裝置之最適條件；

第 5A 圖為顯示根據本發明第一個具體例的半導體裝置中間產物之加工流程截面圖，該圖解釋根據第一個具體例的半導體裝置之製造方法；

第 5B 圖為顯示經過第 5A 圖所示的加工階段之後根據該第一個具體例的半導體裝置中間產物之後續加工流程截面圖，該圖解釋根據第一個具體例的半導體裝置之製造方法；

第 5C 圖為顯示經過第 5B 圖所示的加工階段之後根據該第一個具體例的半導體裝置中間產物之後續加工流程截面圖，以該中間產物作為該第一個具體例的指定半導體基材 (磊晶基材)，該圖解釋根據第一個具體例的半導體裝置之製造方法；

(37)

第 6 圖為顯示經過第 5C 圖所示的加工階段之後根據該第一個具體例的半導體裝置中間產物之進一步後續加工流程截面圖，其中在該指定的半導體基材（磊晶基材）上連續地生長多個磊晶層，該圖解釋根據第一個具體例的半導體裝置之製造方法；

第 7 圖為顯示經過第 6 圖所示的加工階段之後根據該第一個具體例的半導體裝置中間產物之又進一步後續加工流程截面圖，其中在該指定的半導體基材（磊晶基材）上連續地生長，在堆疊磊晶層頂端形成脊結構，該圖解釋根據第一個具體例的半導體裝置之製造方法；

第 8 圖為顯示經過第 7 圖所示的加工階段之後根據該第一個具體例的半導體裝置中間產物之又再進一步後續加工流程截面圖，該圖解釋根據第一個具體例的半導體裝置之製造方法；

第 9 圖為顯示經過第 8 圖所示的加工階段之後根據該第一個具體例的半導體裝置中間產物之又進一步後續加工流程截面圖，該圖解釋根據第一個具體例的半導體裝置之製造方法；

第 10 圖為顯示經過第 9 圖所示的加工階段之後根據該第一個具體例的半導體裝置中間產物之又進一步後續加工流程截面圖，該圖解釋根據第一個具體例的半導體裝置之製造方法；

第 11 圖為顯示根據本發明第一個具體例的修飾例，半導體裝置（雷射二極體）之截面結構的概略圖；

(38)

第 12 圖為顯示根據本發明第一個具體例的修飾例之半導體裝置中間產物的加工流程截面圖，其中在指定的半導體基材（磊晶基材）上連續地生長多個磊晶層，該圖解釋根據第一個具體例的修飾例的半導體裝置之製造方法；

第 13 圖為顯示根據本發明第二個具體例，半導體裝置（LED）的截面結構之概略圖；

第 14 圖為顯示根據第二個具體例之半導體裝置中間產物的加工流程截面圖，其中在指定的半導體基材（磊晶基材）上連續地生長多個磊晶層，該圖解釋根據第二個具體例的半導體裝置之製造方法；

第 15 圖為顯示根據本發明第三個具體例，半導體裝置（HBT）的截面結構之概略圖；

第 16 圖為顯示根據第三個具體例之半導體裝置中間產物的加工流程截面圖，其中在 GaN 基材上連續地生長多個磊晶層，該圖解釋根據第三個具體例的半導體裝置之製造方法；

第 17 圖為顯示根據本發明另一個具體例，半導體裝置（HEMT）的截面結構之概略圖；及

第 18 圖為顯示根據另一個具體例之半導體裝置中間產物的加工流程截面圖，其中在 GaN 基材上連續地生長多個磊晶層，該圖解釋根據另一個具體例的半導體裝置之製造方法。

【主要元件符號說明】

(39)

- 10 :  $\delta$ -摻雜層
- 11 : n-型 GaN 基材
- 12 : n-型 GaN 層
- 13 : n-型 包被層
- 14 : n-型 GaN 光導層
- 15 : n-型 活性層
- 16 : 第一 p-型 GaN 光導層
- 17 : 溢流防止層
- 18 : 第二 p-型 GaN 光導層
- 19 : p-型 包被層
- 20 : p-型 GaN 接觸層
- 21 : 活性層
- 24 : n-型 漂移層
- 25 : p-型 基底層
- 26 : n-型 射極層
- 31 : n-側 電極
- 32 : p-側 電極
- 33 : p-側 電極
- 41 : 絕緣膜
- 42 : 鈍化膜
- 43 : 集極
- 44 : 基極
- 45 : 射極
- 50a : 溝槽

(40)

50b : 溝槽

51 : 光阻劑

61 : GaN 基材

62 : 第一單晶層

63 : 第二單晶層

64 : 二維電子氣

65 : 源極區

66 : 汲極區

71 : 源極

72 : 汲極

73 : T-型閘極

五、中文發明摘要

發明之名稱：半導體基材及在該半導體基材上藉由磊晶生長所製造之半導體裝置

一種半導體基材，其包含 GaN 基材及在該 GaN 基材上藉由磊晶方式生長的第 III 至 V 族氮化物半導體所形成的單晶層。該 GaN 基材具有下列所定義的表面取向：由 {0001} 平面朝  $\langle 1-100 \rangle$  方向的表面傾斜角 (off-angle) 絕對值在 0.12 度至 0.35 度的範圍內，且由 {0001} 平面朝  $\langle 11-20 \rangle$  方向的表面傾斜角絕對值在 0.00 度至 0.06 度的範圍內。

六、英文發明摘要

發明之名稱：SEMICONDUCTOR SUBSTRATE AND SEMICONDUCTOR DEVICE MANUFACTURED BY EPITAXIAL GROWTH ON THE SEMICONDUCTOR SUBSTRATE

A semiconductor substrate encompasses a GaN substrate and a single-crystal layer formed of III-V nitride compound semiconductor epitaxially grown on the GaN substrate. The GaN substrate has a surface orientation defined by an absolute value of an off-angle of the surface from {0001} plane towards  $\langle 1-100 \rangle$  direction lying in a range of 0.12 degree to 0.35 degree and by an absolute value of an off-angle of the surface from {0001} plane towards  $\langle 11-20 \rangle$  direction lying in a range of 0.00 degree to 0.06 degree.

(1)

十、申請專利範圍

1. 一種半導體基材，其包含：

一種 GaN 基材，其具有表面，該表面的取向係由下列所定義：由 {0001} 平面朝 <1-100> 方向的表面傾斜角絕對值在 0.12 度至 0.35 度的範圍內，且由 {0001} 平面朝 <11-20> 方向的表面傾斜角絕對值在 0.00 度至 0.06 度的範圍內；及

在該 GaN 基材之表面上藉由磊晶方式生長的第 III 至 V 族氮化物半導體所形成的單晶層。

2. 如申請專利範圍第 1 項之半導體基材，其進一步包含介於該單晶層與 GaN 基材之間的摻雜層，摻雜雜質原子至濃度至少約  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  且不大於約  $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 。

3. 如申請專利範圍第 2 項之半導體基材，其中該摻雜層具有至少約 0.3 nm 且不大於約 200 nm 的厚度。

4. 如申請專利範圍第 2 項之半導體基材，其中該 GaN 基材為 n-型 GaN 基材，且該摻雜層包含充當雜質原子的 n-型雜質原子。

5. 如申請專利範圍第 1 項之半導體基材，其中由 {0001} 平面朝 <1-100> 方向的傾斜角絕對值在 0.12 度至 0.30 度的範圍內。

6. 如申請專利範圍第 5 項之半導體基材，其中由 {0001} 平面朝 <1-100> 方向的傾斜角絕對值在 0.14 度至 0.28 度的範圍內。

7. 一種半導體發光裝置，其包含：

(2)

一種 GaN 基材，其具有表面，該表面的取向係由下列所定義：由 {0001} 平面朝  $\langle 1-100 \rangle$  方向的表面傾斜角絕對值在 0.12 度至 0.35 度的範圍內，且由 {0001} 平面朝  $\langle 11-20 \rangle$  方向的表面傾斜角絕對值在 0.00 度至 0.06 度的範圍內；

在該 GaN 基材之表面上藉由磊晶方式生長的第 III 至 V 族氮化物半導體所形成的單晶層；及

由該單晶層上提供的第 III 至 V 族氮化物半導體所形成的發光層。

8. 如申請專利範圍第 7 項之半導體發光裝置，其中該 GaN 基材為 n-型 GaN 基材，且該單晶層為 n-型第 III 至 V 族氮化物半導體。

9. 如申請專利範圍第 8 項之半導體發光裝置，其進一步包含：

由嵌入於該單晶層與發光層之間之第 III 至 V 族氮化物半導體所形成的 n-型包被層；及

由該發光層上提供之第 III 至 V 族氮化物半導體所形成的 p-型包被層。

10. 如申請專利範圍第 9 項之半導體發光裝置，其進一步包含：

由嵌入於該 n-型包被層與發光層之間之第 III 至 V 族氮化物半導體所形成的 n-型光導層；及

由嵌入於該 p-型包被層與發光層之間之第 III 至 V 族氮化物半導體所形成的 p-型光導層。

(3)

11.如申請專利範圍第 7 項之半導體發光裝置，其進一步包含介於該單晶層與 GaN 基材之間的摻雜層，摻雜雜質原子至濃度至少約  $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$  且不大於約  $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 。

12.如申請專利範圍第 11 項之半導體發光裝置，其中該摻雜層具有至少約 0.3 nm 且不大於約 200 nm 的厚度。

13.如申請專利範圍第 11 項之半導體發光裝置，其中該 GaN 基材為 n-型 GaN 基材，且該摻雜層包含充當雜質原子的 n-型雜質原子。

14.如申請專利範圍第 7 項之半導體發光裝置，其中由 {0001} 平面朝 <1-100> 方向的傾斜角絕對值在 0.12 度至 0.30 度的範圍內。

15.如申請專利範圍第 14 項之半導體發光裝置，其中由 {0001} 平面朝 <1-100> 方向的傾斜角絕對值在 0.14 度至 0.28 度的範圍內。

16.一種半導體裝置，其包含：

一種 GaN 基材，其具有表面，該表面的取向係由下列所定義：由 {0001} 平面朝 <1-100> 方向的表面傾斜角絕對值在 0.12 度至 0.35 度的範圍內，且由 {0001} 平面朝 <11-20> 方向的表面傾斜角絕對值在 0.00 度至 0.06 度的範圍內；及

由該 GaN 基材上提供之磊晶方式生長的第 III 至 V 族氮化物半導體所形成的裝置結構部分。

17.如申請專利範圍第 16 項之半導體裝置，其中該裝

(4)

置結構部分包含發光層。

18.如申請專利範圍第 16 項之半導體裝置，其中該 GaN 基材為 n-型 GaN 基材，且該裝置結構部分包含：

由該 n-型 GaN 基材上提供之第 III 至 V 族氮化物半導體形成的 n-型漂移層；

由該 n-型漂移層上提供之第 III 至 V 族氮化物半導體形成的 p-型基層；及

由該 p-型基層上提供之第 III 至 V 族氮化物半導體形成的 n-型發射層。

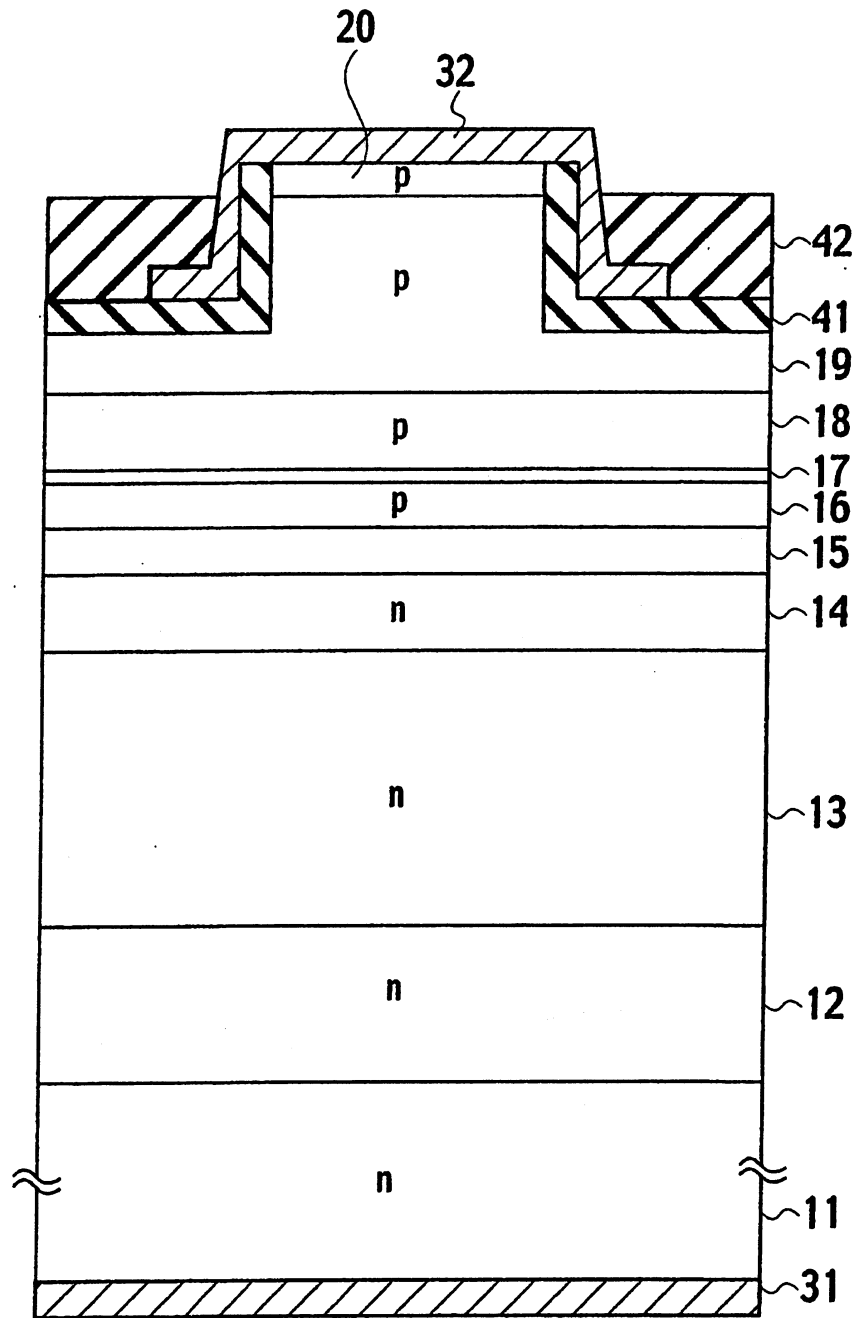
19.如申請專利範圍第 18 項之半導體裝置，其中該 n-型發射層具有比該 p-型基層更寬的能帶間隙。

20.如申請專利範圍第 16 項之半導體裝置，其中該裝置結構部分包含：

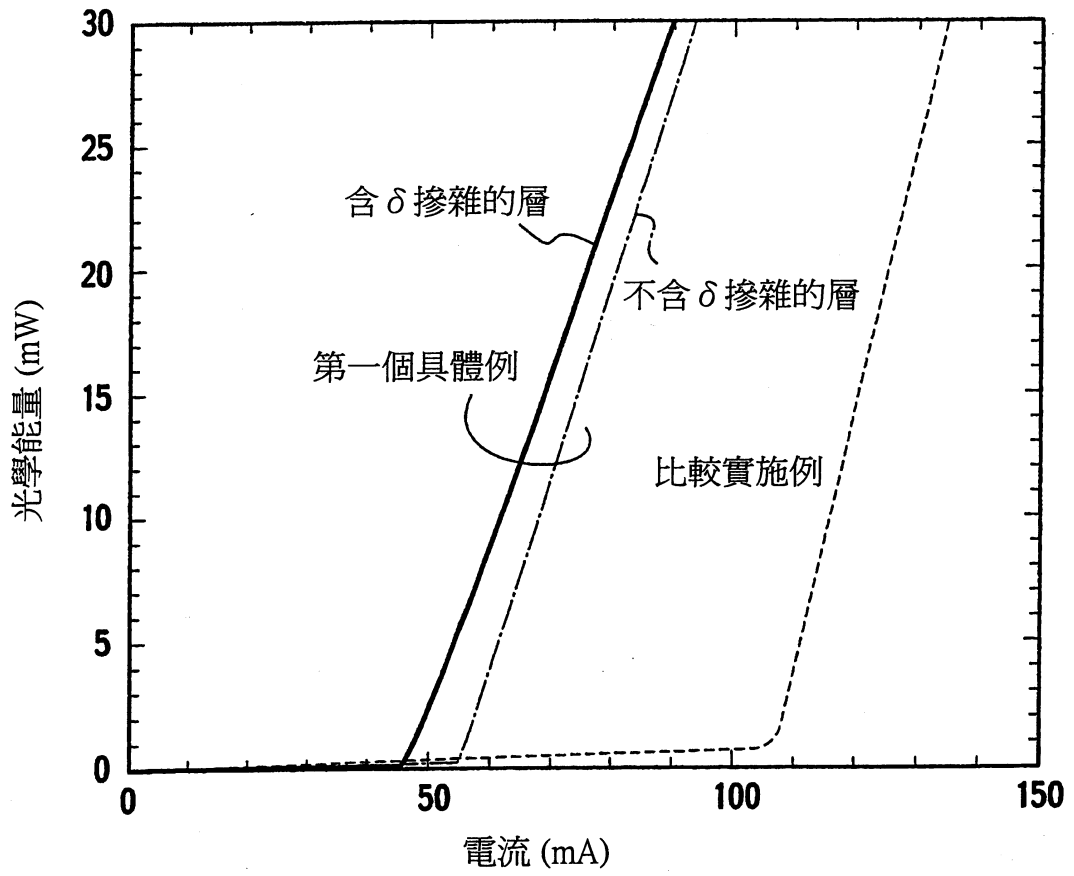
由該 n-型 GaN 基材上提供之第 III 至 V 族氮化物半導體形成的第一單晶層；及

由該第一單晶層上提供之第 III 至 V 族氮化物半導體形成且具有比該第一單晶層更寬之能帶間隙的第二單晶層。

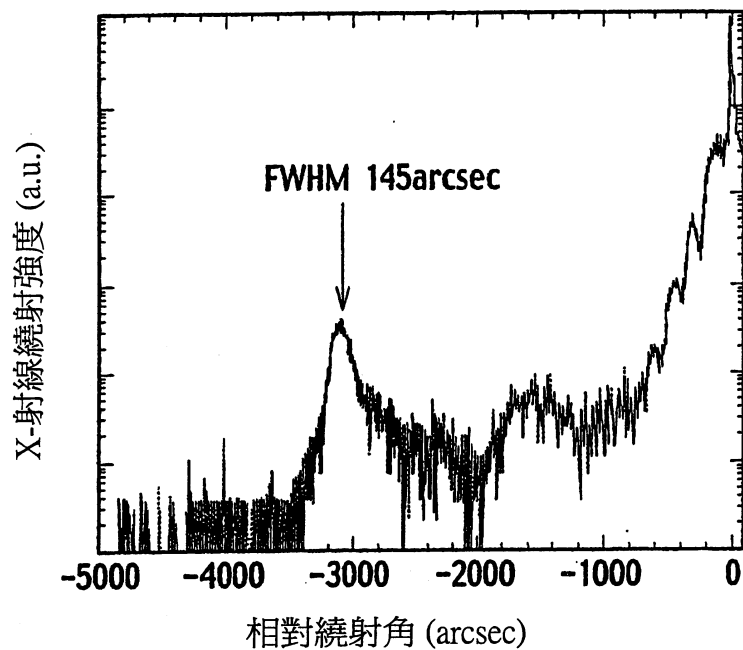
第1圖



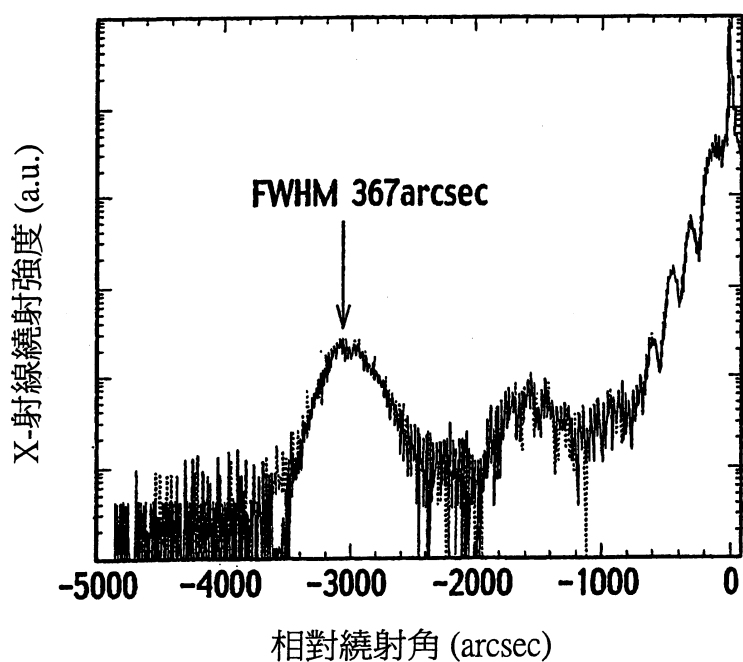
第2圖



第3A圖

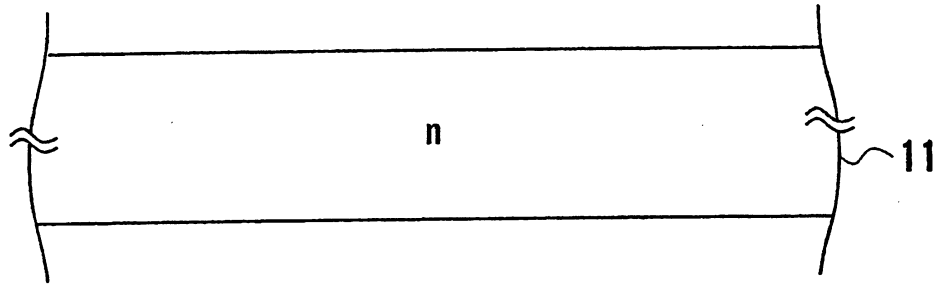


第3B圖

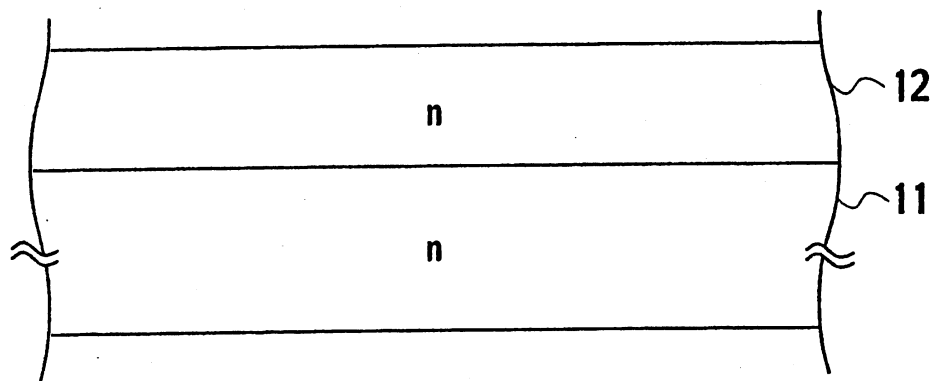




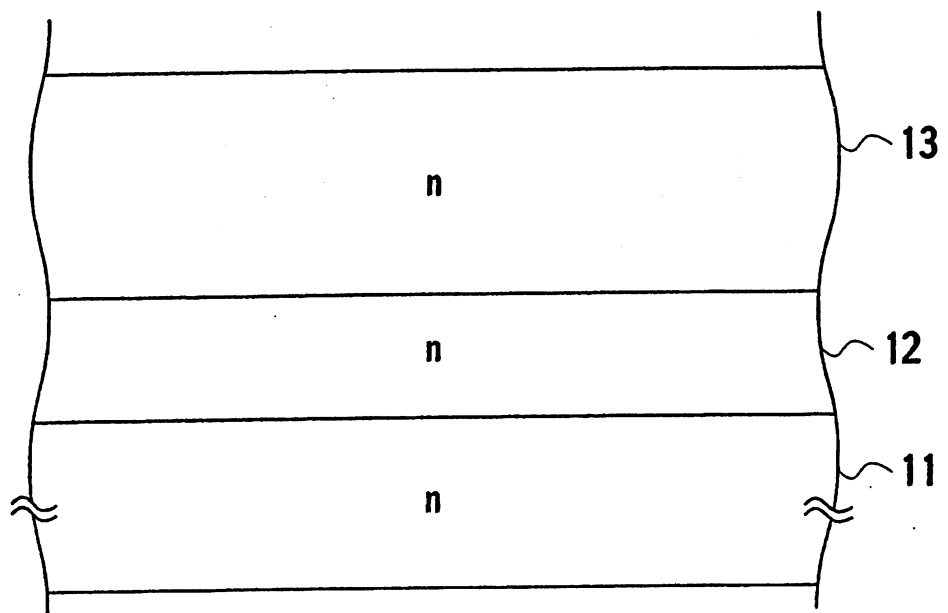
第5A圖



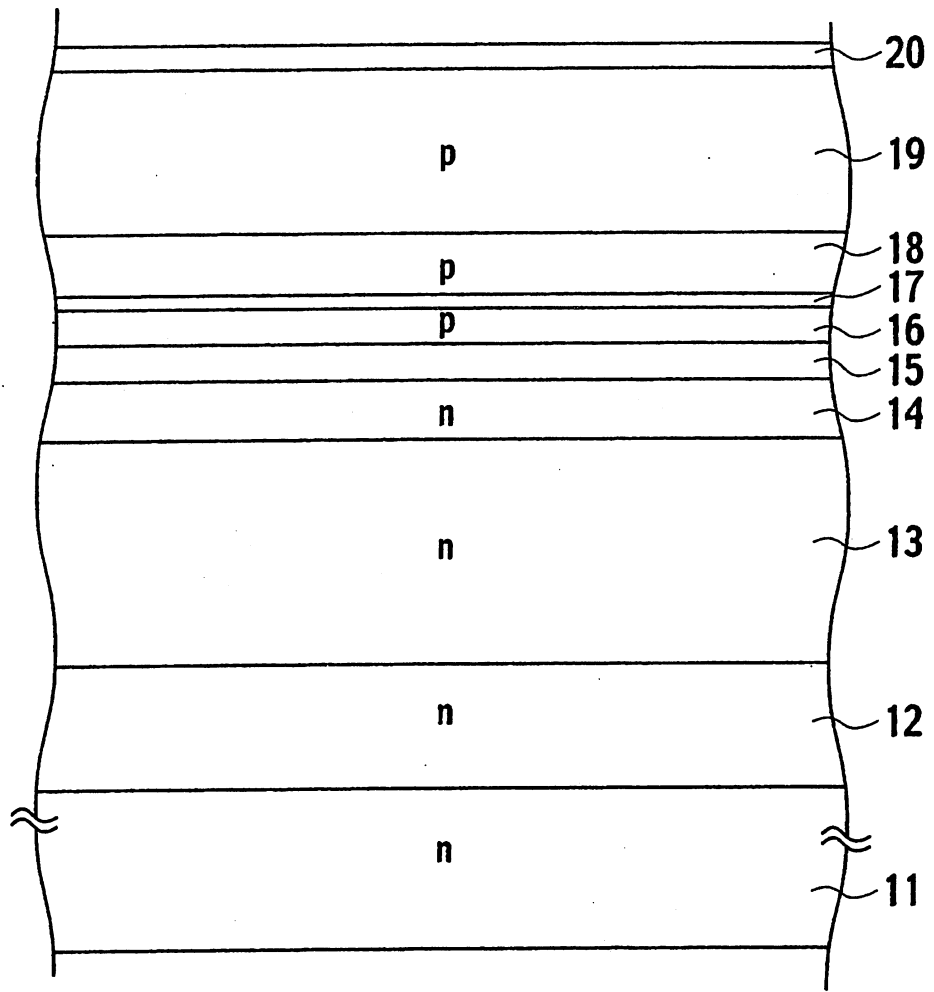
第5B圖



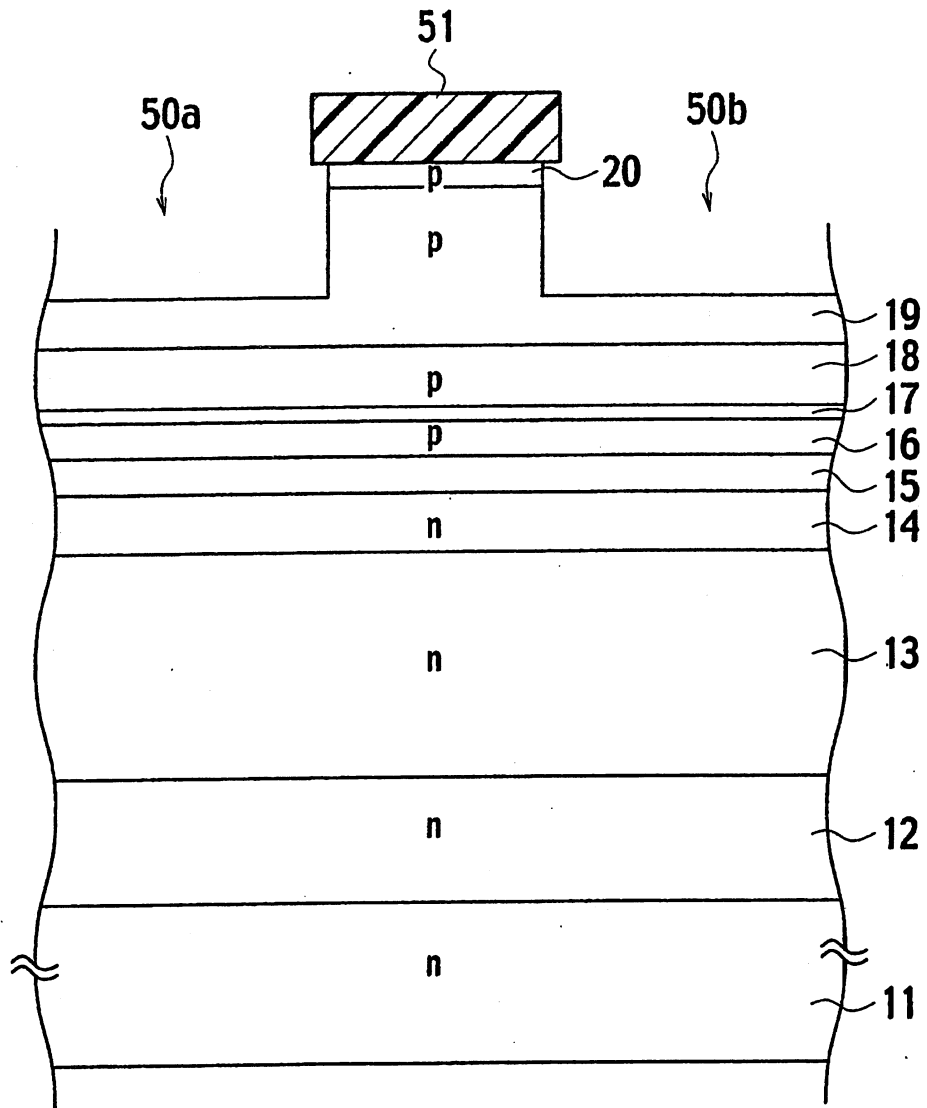
第5C圖



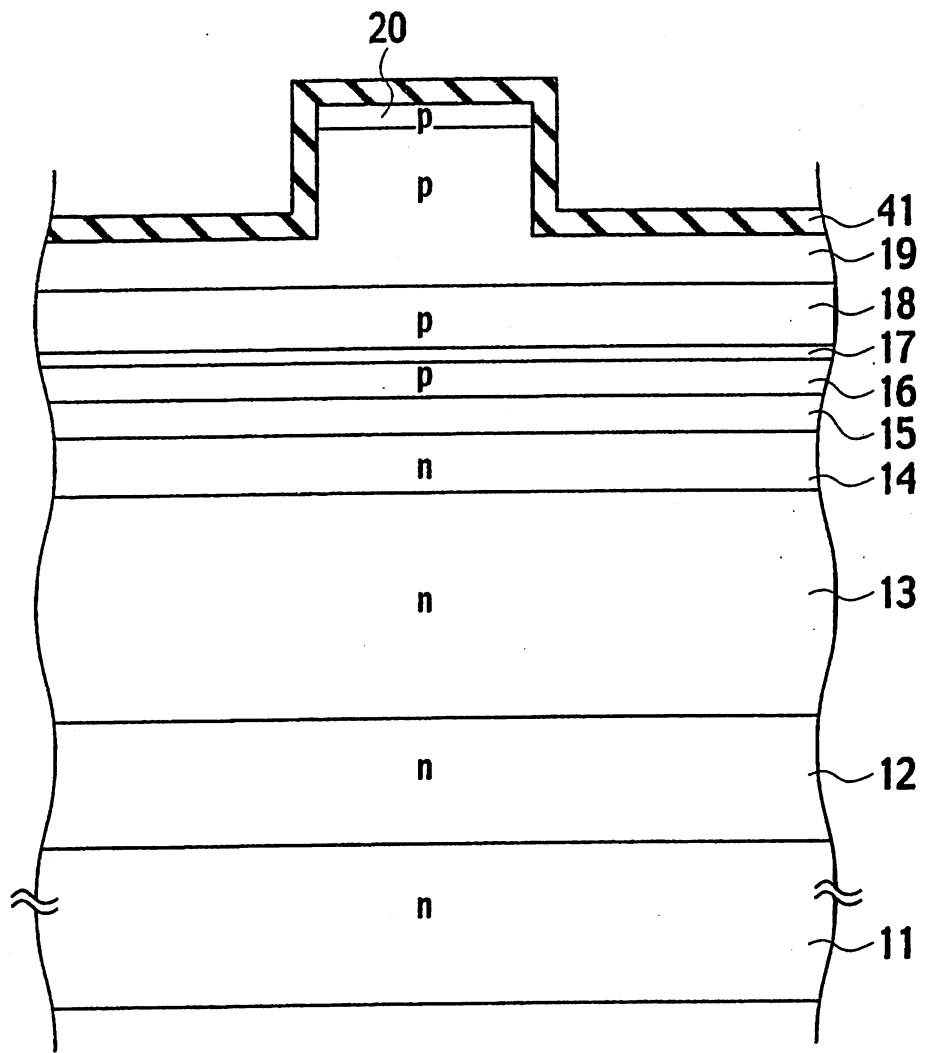
第6圖



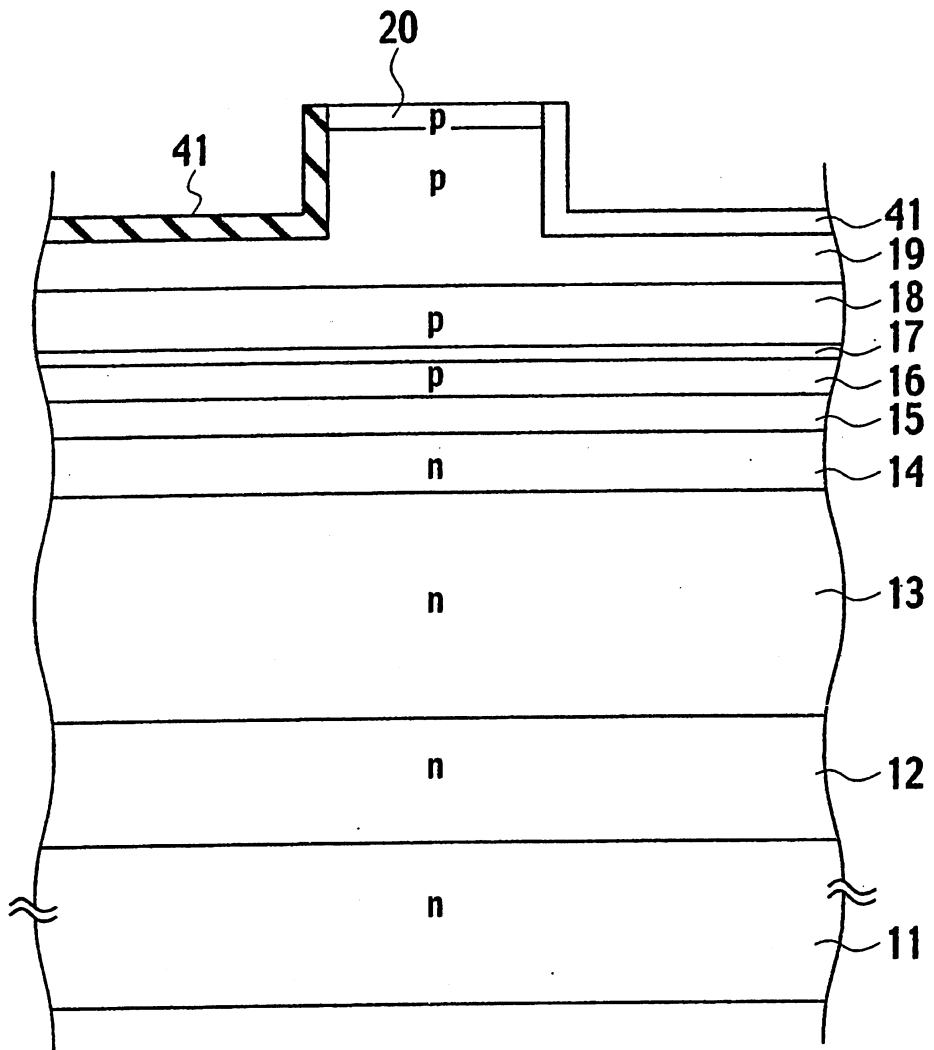
第7圖



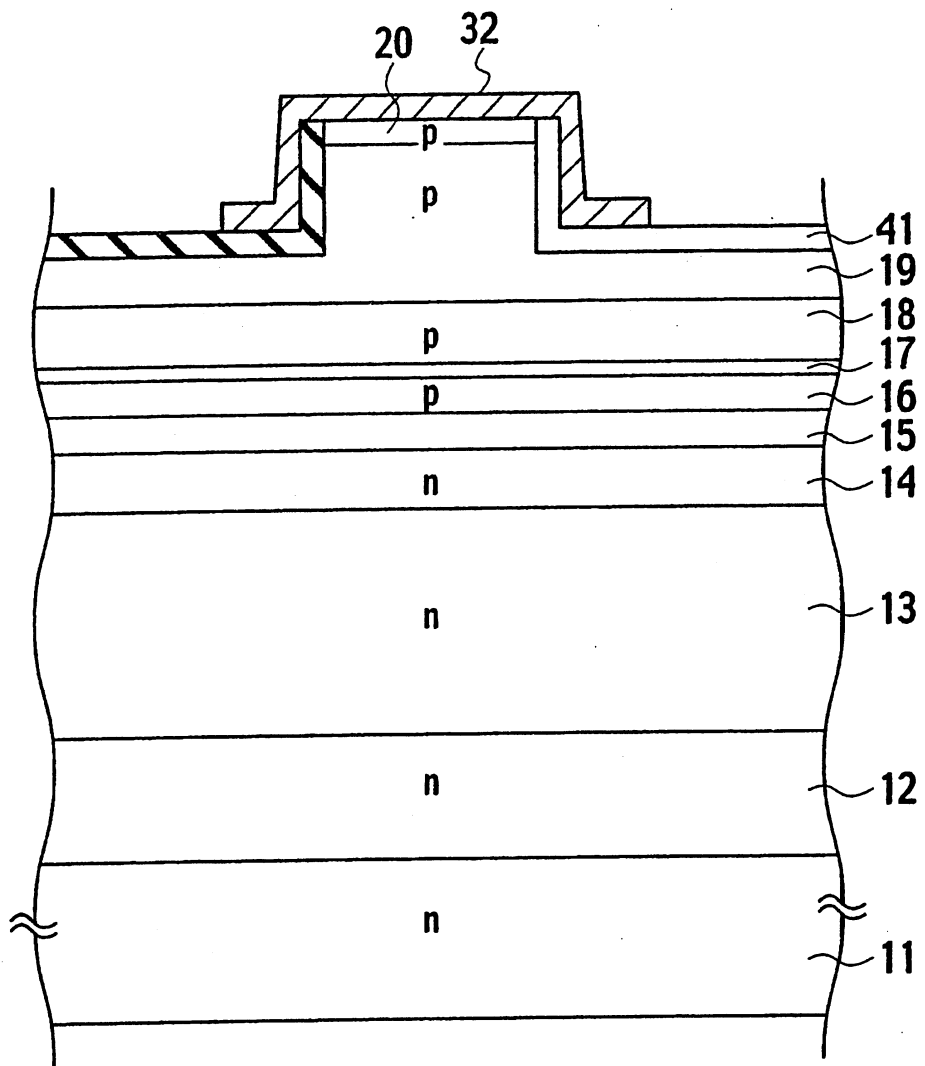
第8圖



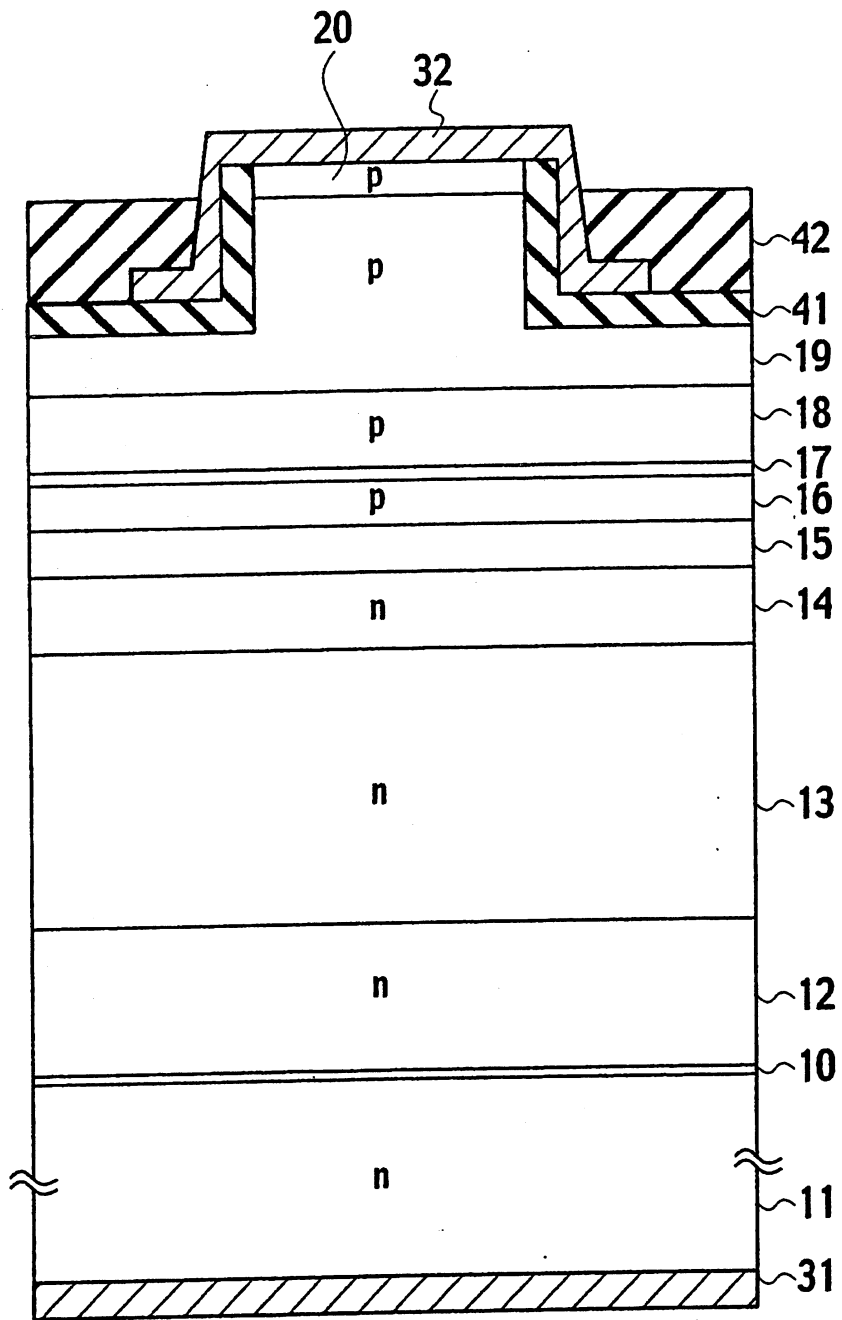
第9圖



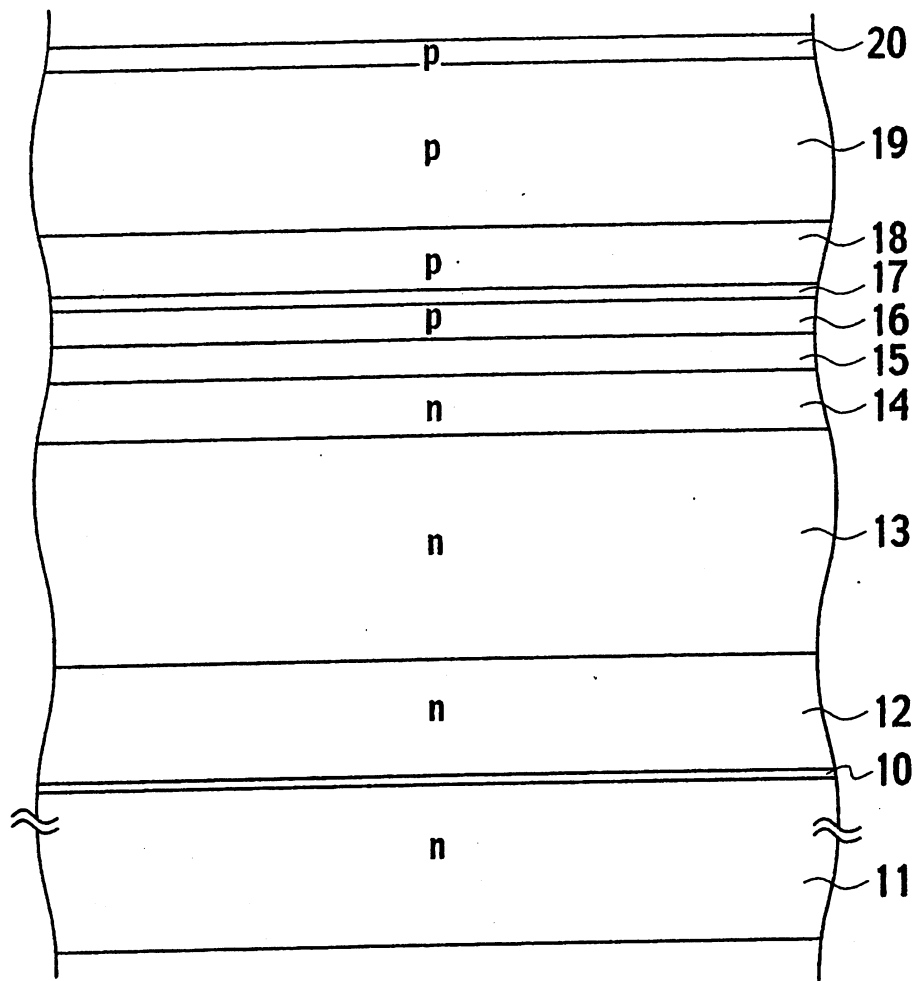
第10圖



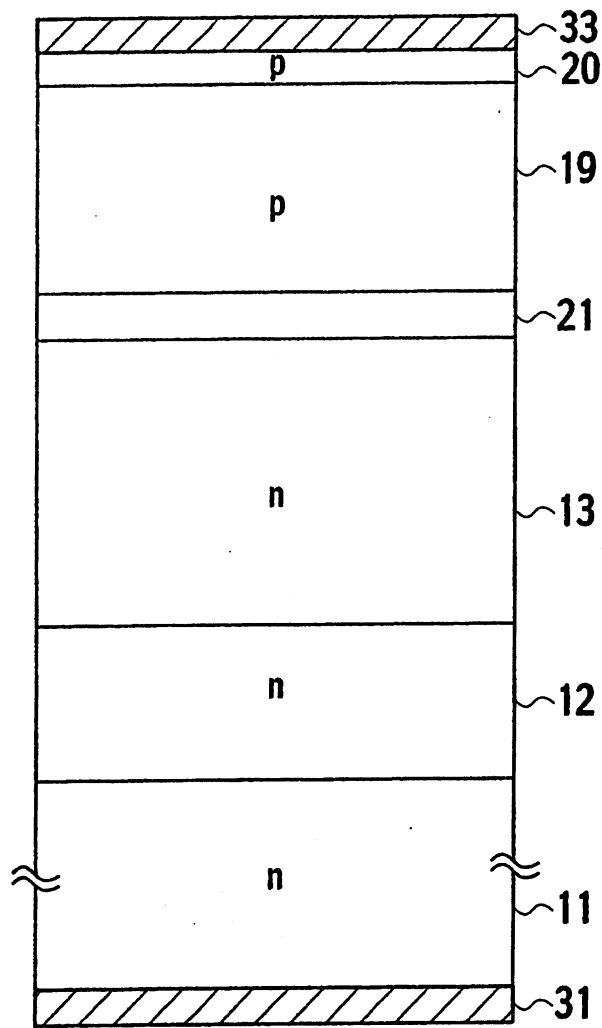
第11圖



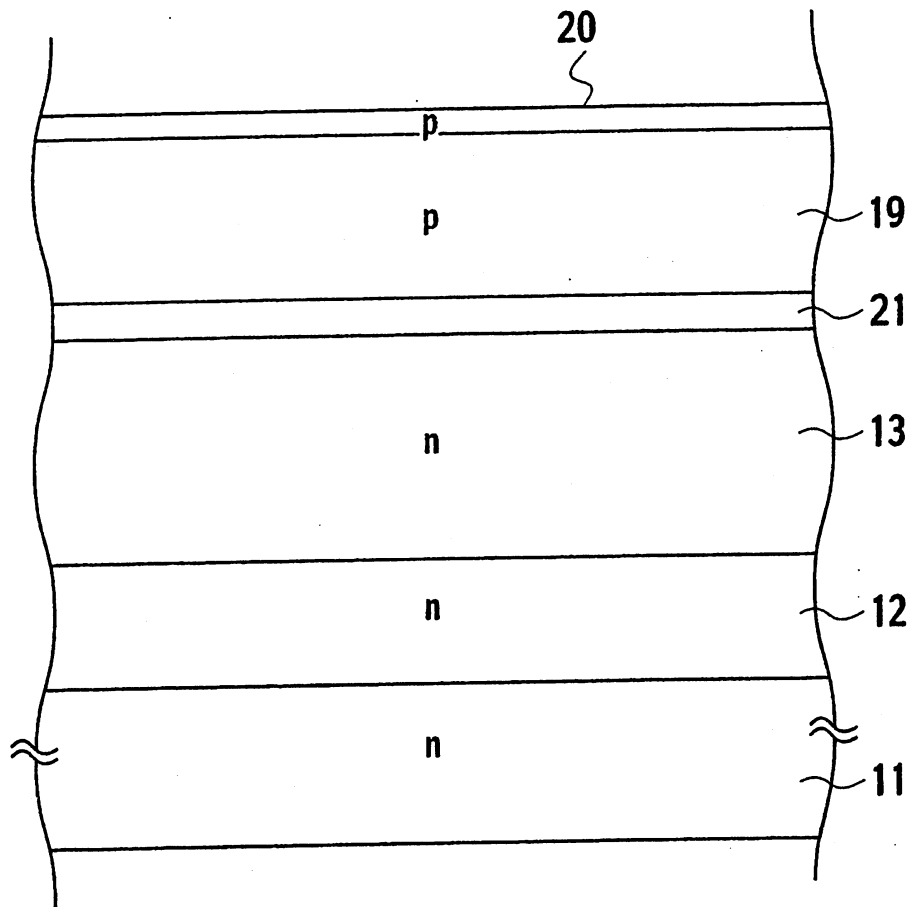
第12圖



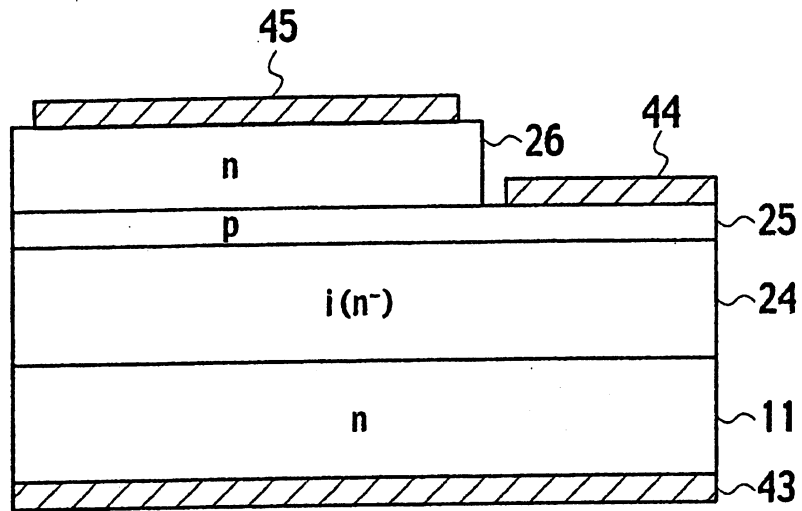
第13圖



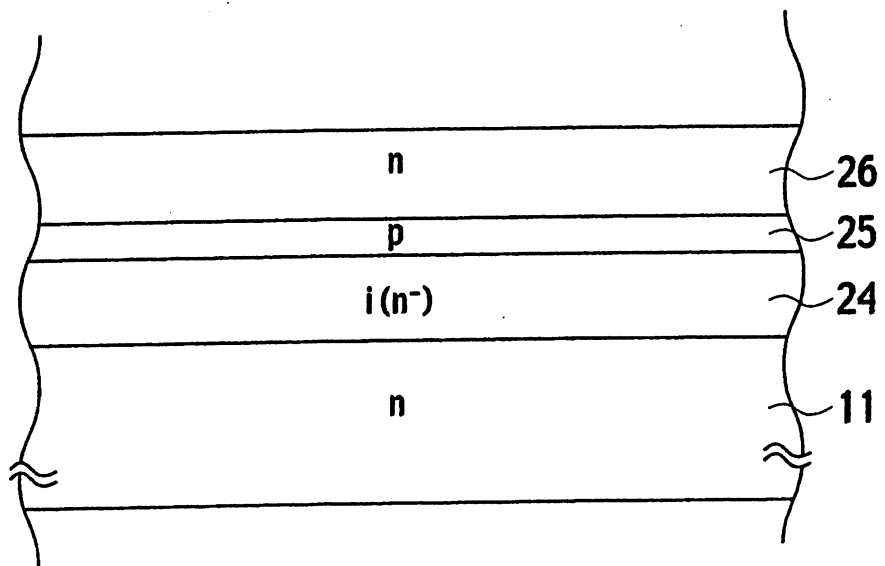
第14圖



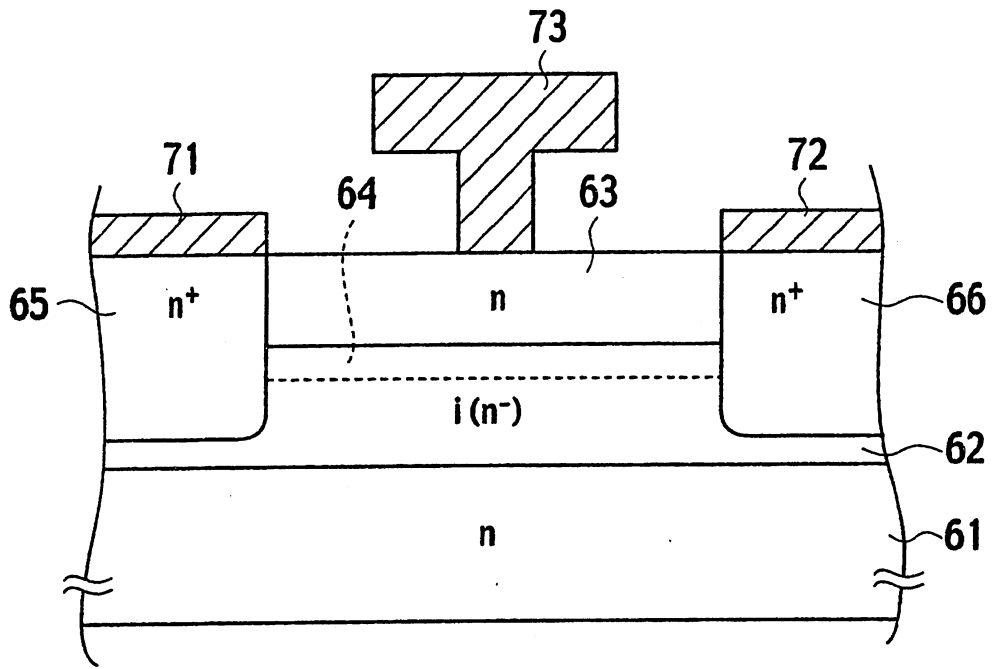
第15圖



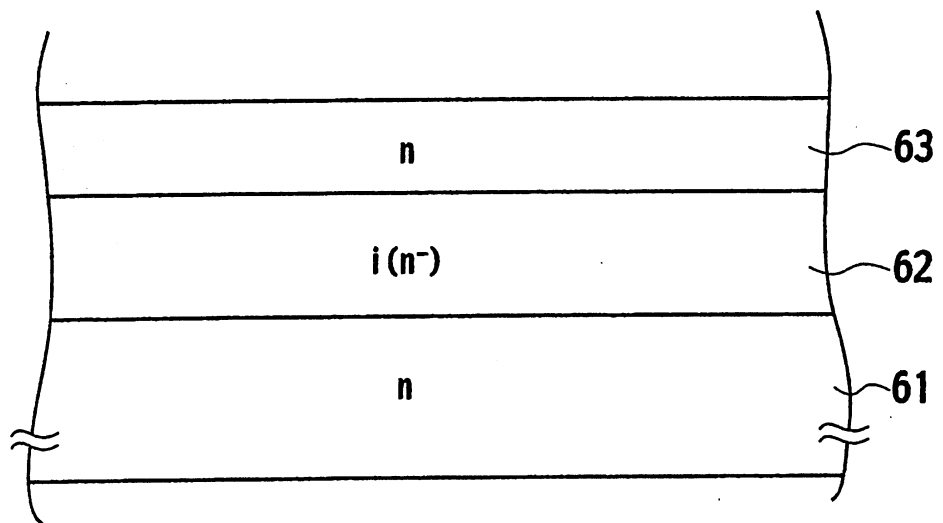
第16圖



第17圖



第18圖



七、指定代表圖：

(一) 本案指定代表圖為：第(1)圖

(二) 本代表圖之元件符號簡單說明：

- 11：n-型 GaN 基材
- 12：n-型 GaN 層
- 13：n-型 包被層
- 14：n-型 GaN 光導層
- 15：n-型 活性層
- 16：第一 p-型 GaN 光導層
- 17：溢流防止層
- 18：第二 p-型 GaN 光導層
- 19：p-型 包被層
- 20：p-型 GaN 接觸層
- 31：n-側電極
- 32：p-側電極
- 41：絕緣膜
- 42：鈍化膜

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：無