

公告本

101年7月30日修正替換頁

替換頁

(此處由本局於收  
文時黏貼條碼)

MAR 30 2012

**發明專利說明書**

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※ 申請案號：094132244

※ 申請日期：94/09/19

※ IPC 分類：

H1L 33/00  
H1S 5/323, 5/343

一、發明名稱：(中文/英文)

半導體異結構體 / SEMICONDUCTOR HETEROSTRUCTURE

二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

歐普多 GaN 公司 / OptoGaN Oy

代表人：(中文/英文)

瓦笛士拉夫 波庫羅夫 / BOUGROV, Vladislav

住居所或營業所地址：(中文/英文)

芬蘭赫爾辛基市郵政信箱 455 號

PO Box 455 00101 Helsinki Finland

國籍：(中文/英文)

芬蘭 / Finland

三、發明人：(共 2 人)

姓名：(中文/英文)

1. 麥西米歐諾布柳托夫 / ODNOLYUDOV, Maxim

2. 瓦笛士拉夫波庫羅夫 / BOUGROV, Vladislav

國籍：(中文/英文)

1.~2. 蘇聯 / RU

#### 四、聲明事項：

主張專利法第二十二條第二項  第一款或  第二款規定之事實，其事實發生日期為： 年 月 日。

申請前已向下列國家（地區）申請專利：

【格式請依：受理國家（地區）、申請日、申請案號 順序註記】

有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

芬蘭 2004/9/17 FI-20041213

無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】

主張專利法第三十條生物材料：

須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼 順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼 順序註記】

不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

## 五、中文發明摘要：

本發明揭示一種應變半導體異質結構體(10)，包含一注入區域，該注入區域包含具有 p 型導電性的一第一射極層(11)和具有 n 型導電性的一第二射極層(12)、和位在該第一射極層(11)和該第二射極層(12)之間的一光發生層(13)。一電子捕捉區域(14)是位在該光發生層(13)和該第二射極層(12)之間，該電子捕捉區域包含相鄰該第二射極層的一捕捉層(16)、與相鄰該電子捕捉層的一限制層(15)。根據本發明，該等限制與捕捉層(15、16)的寬度和材料可選擇，以在該捕捉層(16)的電子局部能量位準之一與該第二射極層(12)的傳導帶底部之間提供等於光學聲子能量的能量差。

## 六、英文發明摘要：

A strained semiconductor heterostructure (10) comprises an injection region comprising a first emitter layer (11) having p-type conductivity and a second emitter layer (12) having n-type conductivity, and a light generation layer (13) positioned between the first emitter layer (11) and the second emitter layer (12). An electron capture region (14) is positioned between the light generation layer (13) and the second emitter layer (12), said electron capture region comprising a capture layer (16) adjacent to the second emitter layer, and a confining layer (15) adjacent to said electron capture layer. According to the present invention, the widths and materials of the confining and capture layers (15, 16) are selected to provide energy difference between one of localized energy levels for electrons in the capture layer (16) and the conduction band bottom of the second emitter layer (12) equal to the energy of the optical phonon.

七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 ( 2 ) 圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

1、2 標示

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

## 九、發明說明：

### 【發明所屬之技術領域】

本發明有關用於光發射裝置的一半導體異質結構體，更明確而言，有關由晶格不匹配半導體材料形成的一結構。該異質結構體包含由兩射極、一光發生層、和一電子捕捉區域所組成的一注入區域。特別是，該異質結構體是被熱電材料製成，特別是 III 族金屬及其合金的氮化物。該異質結構體亦可由 III 族金屬的砷化物和磷化物的氮製成。

### 【先前技術】

在此稱為 LED 的一光發射二極體的外部量子效率可如下式定義：

$$\eta_{\text{ext}} = \gamma \cdot \eta_{\text{cap}} \cdot \eta_{\text{int}} \cdot \eta_{\text{out}}$$

其中  $\gamma$  是注入效率， $\eta_{\text{cap}}$  是載子捕捉到光發生區域之效率， $\eta_{\text{int}}$  是通過在光發生區域內的載子輻射重組所提供的輻射效率， $\eta_{\text{out}}$  是光取出效率。最大 LED 效率可通過使所有這些參數最大化而獲得。最初三個因素是重疊，且最好是在一 LED 結構設計期間同時處理它們。

第一處理因素是載子捕捉到光發生區域的效率。在裝置層間的晶格不匹配情況中，在電子和電洞重組的層厚度應該相當小，以保護材料品質，並避免經由晶核位錯的應力鬆弛。然而，當減少層厚度時，捕捉到光發生層的載子會明顯減少。捕捉的特徵如下關係式所示：

$$q_+ - q_- = -n \frac{d}{\tau}$$

其中  $q_+$  和  $q_-$  是載子通量(與光發生層及其上傳送有關)， $n$  是在一射極中的載子濃度， $d$  是光發生窄帶隙層的寬度， $\gamma$  是捕捉時間，此通常是由電子-光學聲子互作用決定。關係式顯示載子通量的捕捉部份會隨著減少光發生層寬度而減少，並與捕捉時間成反比。對於光發生層的固定寬度而言，載子的捕捉的電子效率會低於電洞，此是由於降低電子有效質量的值；結果，導致較長的能量鬆弛時間  $\gamma$ 。減少載子捕捉進入窄帶隙區域的另一固有機構是來自該區域的電子或電洞波的部分反映。因此，在窄帶隙區域中的載子機率會減少，此造成與窄帶隙層中局部域狀態的無效率耦合，並增加捕捉時間  $\gamma$ 。在結果，裝置的捕捉效率會降低，且效率  $\eta_{\text{ext}}$  與注入電流比較的最大值是位在遠低於典型的裝置工作電流。許多結構是提議解決此問題。其中之一解決是在光發生區域的電洞注入端上使用一額外寬帶隙層，以避免電子在此區域溢值。此解決可適用於以氮化物為主之光發射裝置的情況，此已由長濱等人在美國專利案號 6,677,619 中提出，其在此併入本文供參考。然而，此障礙的出現會增加電子與電洞反射，使此解決不是最佳化。若要避免載子從光發生區域跳脫，中村等人在美國專利案號 2004/0101012 建議從光發生區域的兩端插入兩個障礙。大體上，由於此解決會從障礙導致高的載子反射，所以

作者建議使障礙儘可能薄，以增加載子經由他們隧通的可能性。然而，此解決的一缺點是在此情況的載子隧通是不會共鳴；因此，對於任何合理的障礙厚度而言，來自障礙的載子反射會明顯減少進入光發生區域的載子捕捉效率。由王等人在英國專利案號 2,352,326 揭示 CART 結構，其中電子是被收集在 n 型部份結構的初步儲器，且他們會共鳴穿隧到光發生區域。儲器應該足夠厚，以有效地收集載子。事實上，在晶格不匹配半導體材料的基礎上是不容易實施厚的高品質層。

第二因素是注入效率。由於光是在一薄光發生層中產生，且該薄光發生層是放置接近 p-n 介面，所以在此介面上提供最大注入效率是想要的。一般的解決方法是儘可能摻雜射極。然而，對於在該等射極之一者中主動摻雜中心濃度是受材料基本性質限制，對另一射極的過度摻雜會破壞光發生層的電子與電洞注入電流的平衡，造成注入效率的降低。

第三因素是光輻射效率。如果一裝置是從熱電材料製成，受到應力所感應的自發極化與應極化會存在結構，進而引起內建電場，將在光發生區域中的電子和電洞予以空間分開。結果，非直接的光學轉變對於輻射複合是需要的。此非直接的複合會導致裝置輻射分配量效率降低。此現象是在許多刊物中討論，包括 Bernardini 等人之標題 "*Spontaneous polarization and piezoelectric constants of III-V nitrides*"，American Physical Society

Journal, Physics Review B, Vol. 56, No. 16, 1997, 第 R10024-R10027 頁；竹內等人之標題 "*Quantum-Confined Stark Effect due to Piezoelectric Fields in GaInN Strained Quantum Wells*" , Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 36, Part 2, No. 4, 1997, 第 L382-L385 頁；及 Ambacher 等人之標題 "Pyroelectric properties of Al(In)GaN/GaN hetero- and quantum well structures" , Journal of Physics: Condensed Matter, Vol. 14, 2002, 第 3399-3434 頁。對某種程度，內建極化的效果可通過使用非常薄的光發生層而減少。然而，此如前述的小厚度會造成非有效的載子捕捉。此外，光發生層的寬度可能變成相當的厚度變動。這些變動會在充當非輻射復合中心的光發生層中導致"電洞"形成；如此，額外降低裝置效率。結果，極化感應的內建電場會限制輻射效率和捕捉率。Ibbetson 等人在美國專利案號 6,515,313 中揭示數種技術，以減少極化感應電荷效應：選擇性摻雜，以提供雜質電荷，其可補償極化感應電荷；具漸變組成的披覆層；具漸變或混合組成的主動區域；反轉極化。另一解決是將晶格匹配半導體混合物當作光發生區域的材料使用。然而，在熱電材料中，自發極化亦存在，其甚至在鬆弛的晶格匹配層不是零。例如，在 III 族金屬的氮化物中自發極化值是類似從壓電效果發生。減少壓電極化的數種其他技術是由竹內等人在美國專利案號 6,569,704、及由 Goetz 等人在美國專利案號 6,630,692 揭示。



從前述可瞭解，一高度有效率光發射結構的發展在最好所有前述問題的一致性解決的情況是更有效。

### 【發明內容】

本發明的目的是要免除前述的缺點。

本發明的一目的是揭示具增強總體光發生能力的一新型應變半導體異質結構體，該異質結構體是由例如 III 族金屬的氮化物及其合金的熱電半導體材料、或由 III 族金屬的砷化物和磷化物的氮所形成。

本發明的一目的亦揭示利用應變半導體異質結構體的一新類型光發射二極體。

本發明的應變半導體異質結構體的特徵如申請專利範圍第 1 項所述。

本發明的半導體異質結構體包括：一注入區域，其包含 p 型導電性的一第一射極層與 n 型導電性的一第二射極層；一光發生層，其是放置在該等射極層之間；及一電子捕捉區域，其是在該第二射極層和該光發生層之間插入。該電子捕捉區域包含與該第二射極層相鄰的一捕捉層、和與該捕捉層相鄰的一限制層。如在此的使用，術語"應變異質結構體"通常可視為由個別層所組成的異質結構體，其中至少一層的平面晶格參數是不同於它的平衡值，且術語"層"通常可視為單晶的晶膜層。電子捕捉區域的目的是提供電子能量的鬆弛，及減少在該光發生層上的電子溢值。該光發生層的帶隙能量小於射極層和限制層的帶隙能量。該捕捉層的帶隙能量小於限制層

的帶隙能量。此外，在捕捉層的電子最低能量位準的能量位置高於在光發生層的能量位準。

根據本發明，捕捉層和限制層的寬度和材料可選取，以在捕捉層中電子局部能量位準之一與第二射極層的傳導帶底部之間提供等於光學聲子能量的能量差。術語"光學聲子能量"通常可視為在零波動向量值附近的光學類型晶格震動能量。因為在前述情況，在電子向下轉變期間視為聲子的動量會是幾乎零，所以由於與縱光學(LO)聲子的互作用，進入窄帶隙捕捉層的電子捕捉將會被提高與任意放置位準的捕捉相比較。主要由於在適度溫度上的光學聲子的自然發射，所以鬆弛會發生。由於聲子的吸收，所以從窄帶隙捕捉層到射極層的反載子熱發射會發生；因此，將會受到因素  $N_q/(1+N_q)$  抑制，其中  $N_q$  是通過浦郎克(Planck)分布提供的聲子數量。例如，在 III 族金屬的氮化物情況中，光學聲子能量是大約 100 meV；因此，相較於在室溫大約 40 倍的捕捉率，發射率將可被抑制。載子能量的進一步鬆弛會經由在捕捉層中的較低能量位準發生，然後到相鄰窄帶隙光發生層或直接對光發生層。因此，相較於先前技術結構，根據本發明的捕捉層已明顯提高電子捕捉效率。

根據本發明的一可取的實施例，在第二射極層中的電子濃度可調整到等於下列的乘積：(1)第一射極層的電洞濃度；(2)第二射極的電洞擴散係數與第一射極層的電子擴散係數比；及(3)第一射極層的電子擴散長度與第二

射極層的電洞擴散長度比。隨著此實施的情況，在注入區域的電洞和電子濃度是匹配，並在光發生層中提供注入流平衡，造成最大的注入效率。此電子濃度調整背後的理論是在下面簡短說明。

既然光是在放置接近 p-n 介面的一薄光發生層中產生，所比想要在此介面提供最大的注入效率。在假設於空間電荷區域中復合且對應典型 LED 工作電流的 Shockley-Noyce-Sah 模型訊框中，復合率是與電子和電洞注入電流密度的乘積成比例，但不是與射極的多數載子濃度的乘積。對於熟諳此技者而言，可清楚知道理由是在順向偏壓下的 p-n 接合中，注入的載子濃度是因少數載子濃度與應用的電壓而定，而不是取決於多數載子濃度。因此，注入效率是最大，假設電子與電洞流密度在 p-n 介面是相等，由於總電流密度等於這兩電流密度的總數，且在結構中是常數。對於一特定 p 射極電洞濃度  $P_p$  而言，電子和電洞電流密度將 n 射極電子濃度  $n_n$  的條件設定如下：

$$n_n \approx \frac{D_p L_n}{D_n L_p} \cdot P_p$$

其中  $D_p$  和  $D_n$  是擴散係數，且  $L_p$  與  $L_n$  是分別在 n 和 p 射極的少數載子擴散長度。如此在的使用，術語"擴散係數"和"擴散長度"的定義可例如在由 N.W. 艾希克羅和 N.D.梅爾敏的 1976 年 Saunders 學院出版的第 602-604 頁

名稱"*Solid State Physics*"的書中找到。在層中提供所需電子和電洞濃度的處理對於熟諳此技者是已知。對於半導體材料的假設群(例如，在 III 族金屬的氮化物)而言，典型上在 n 射極中的電子濃度是數倍高於在 p 射極的電洞濃度。在此情況，在空間電荷區域內的電子注入電流是高於電洞注入電流，相較於最大的可能效率，此造成注入效率降低。在此情況中，提高光發生能力的最明顯解決是增加在 p 射極中的電洞濃度。然而，p 型摻雜會受到材料的基本屬性限制。在本發明的目前具體實施例的異質結構體中，在電子與電洞注入電流間的平衡是通過在 p-n 接合中的適當 n 射極設計而提供。在此情況，中央摻雜 n 射極是放置在 n 接觸層與電子捕捉區域之間。

在本發明的一實施例中，應變半導體異質結構體是由熱電半導體材料製成，且光發生層具有一合成與厚度，其中受到自發焦電極化感應的電場具有實質相等的大小，且方向實質與應變感應壓電場的對應一些相反。如在此的使用，術語"熱電極化"和"壓電極化"的定義可例如在由 N.W. 艾希克羅和 N.D. 梅爾敏的 1976 年 Saunders 學院出版的第 555 頁名稱"*Solid State Physics*"的書中找到。觀念是在射極層與光發生層之間提供的一固定晶格不匹配，所以通過壓電極化電荷的重疊所感應的電場  $E_{piezo}$  將可補償由自發極化電荷的重疊所感應的電場  $E_{sp}$ ：

$$E_{sp} \approx E_{piezo}$$

在此情況，載子在光發生層中不是空間分開，且它會造成提高的光發射效率。例如，在 AlInGaN 層壓電和自發極化可在相反的方向上進行，此取決於合成。因此，光發生材和相鄰層的料層可選擇，以提供由等於內建壓電場大小的自發(熱電)極化所感應的內建場大小，且受到自發(熱電)極化所感應的內建場方向是與內建壓電場的方向相反。熱電層材料可為例如群 III 金屬的氮化物及其合金。該等射極層之至少一者包括  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ，其中  $0 \leq x \leq 1$ 。光發生層、限制層、與捕捉層之至少一者包括  $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ，其中  $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq x+y \leq 1$ 。

本發明結構的較佳非熱電材料是氮，其包含群 III 金屬的砷化物和磷化物。例如，射極層、光發生層、限制層與捕捉層之至少一者包括  $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{As}_a\text{N}_b\text{P}_{1-a-b}$ ，其中  $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq x+y \leq 1$  且  $0 \leq a \leq 1$ 、 $0 < b \leq 0.1$ 、 $0 \leq a+b \leq 1$ 。

如本發明的一可取的實施例，如想要，進一步提高的載子鬆弛可通過將額外層插入結構而提供。根據此實施例，至少一對的寬與窄帶隙層是在限制層和光發生層之間插入，該層是與限制層相鄰，且此限制層是一窄帶隙層。寬帶隙層的帶隙能量大於窄帶隙層的帶隙能量、與光發生層的帶隙能量。窄和寬帶隙層可選擇，以提供在任何窄帶隙層中的電子最低能量位準高於在光發生層的電子最低能量位準，低於捕捉層的電子最低能量位準，且低於位在考慮的窄帶隙層與限制層之間的窄帶隙

層的電子最低能量位準。此外，該等合成和寬度可選擇，以在捕捉層(16)中的電子最低局部能量位準與在窄帶隙層的電子最低局部能量位準之間提供能量差，其中該窄帶隙層是相鄰於等於光學聲子能量的限制層。此調整到聲子能量可提供，且在每對的相鄰窄帶隙層之間。在此種類結構中的向下能量鬆弛會經由聲子協助的鬆弛處理順序發生；因此，將可進一步增強。

而且，包含該等額外寬和窄帶隙層的結構可由熱電材料製成。在此情況中，該等射極層之至少一者包括  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ，其中  $0 \leq x \leq 1$ 。光發生層、限制層、和捕捉層之至少一者包括  $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ，其中  $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq x+y \leq 1$ 。該等額外層包含例如交互的  $\text{Al}_{m_i}\text{In}_{n_i}\text{Ga}_{1-m_i-n_i}\text{N}$  寬帶隙與  $\text{Al}_{k_i}\text{In}_{l_i}\text{Ga}_{1-k_i-l_i}\text{N}$  窄帶隙層，其中  $i$  是有理數對， $0 \leq m_i \leq 1$ 、 $0 \leq n_i \leq 1$ 、 $0 \leq m_i+n_i \leq 1$ 、 $0 \leq k_i \leq 1$ 、 $0 \leq l_i \leq 1$ 、 $0 \leq k_i+l_i \leq 1$ 。

在根據本發明的具有前述熱電層材料的結構中， $n$  型導電性的一額外低電阻區域可增加且相鄰於該第二射極層，該低電阻區域包含由複數對交互的  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  和  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  層所形成的側電流展佈超晶格，其中  $0 \leq x \leq 1$  和  $0 \leq y \leq 1$ 。

在捕捉區域中具額外寬和窄帶隙層的一非熱電結構中，射極層、光發生層、限制層和捕捉層之至少一者包括  $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{As}_a\text{N}_b\text{P}_{1-a-b}$ ，其中， $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq x+y \leq 1$  和  $0 \leq a \leq 1$ 、 $0 < b \leq 0.1$ 、 $0 \leq a+b \leq 1$ 。額外層包含例如交互  $\text{Al}_{m_i}\text{In}_{n_i}\text{Ga}_{1-m_i-n_i}\text{As}_{p_i}\text{N}_{q_i}\text{P}_{1-p_i-q_i}$  寬帶隙和  $\text{Al}_{k_i}\text{In}_{l_i}\text{Ga}_{1-k_i-l_i}\text{As}_{r_i}$

$N_{si}P_{1-r_1-s_1}$  窄帶隙層，其中  $I$  有理數對， $0 \leq m_i \leq 1$ 、 $0 \leq n_i \leq 1$ 、 $0 \leq m_i + n_i \leq 1$ 、和  $0 \leq p_i \leq 1$ 、 $0 < q_i \leq 0.1$ 、 $0 \leq p_i + q_i \leq 1$ 、和  $0 \leq k_i \leq 1$ 、 $0 \leq l_i \leq 1$ 、 $0 \leq k_i + l_i \leq 1$ 、和  $0 \leq r_i \leq 1$ 、 $0 < s_i \leq 0.1$ 、 $0 \leq r_i + s_i \leq 1$ 。

根據本發明的光發射二極體(LED)的特徵為如申請專利範圍第 11 項之描述。光發射二極體包含前述的應變半導體異質結構體。如此，相較於先前技術裝置，已明顯提高光發射效率。整個裝置是設計用於在高電流密度工作期間的提高光發生能力。本發明可取的實施例的所有描述觀點，即是聲子能量調整、額外捕捉區域層、電子濃度調整與壓電場補償可重疊，且他們可同時達成最佳裝置效能。例如，在電子捕捉區域的光發生層、窄帶隙層與射極層可選擇，以提供(a)在光發生層中的平坦區域輪廓；(b)等於光學聲子能量的轉變能量；(c)需要發射波長。摻雜位準是通過前述的平衡電流注入情況提供。

根據本發明的光發射二極體(KED)的特徵為如申請專利範圍第 12 項之描述。光發射二極體具如申請專利範圍第 5 或 10 項之半導體異質結構體，其已在本文的前面描述。根據本發明，該異質結構體是在一材料上生長，其基材是 Gap、GaAs 或 InP。此外，射極層是晶格匹配基材。換句話說，射極層的晶格常數是實質與基材的晶格常數相同。

概括而言，相較於先前技術的數個優點可由本發明達成。特別是，具描述的聲子能量調整的電子捕捉區域可提供電子能量的有效鬆弛及抑制在光發生層的電子溢

值。如同進一步優點，在注入區域的電洞與電子濃度可符合，以在光發生層中提供注入電流的平衡。如另一進一步優點，如果異質結構體是由焦電半導體材料製成，光發生層可具有一合成，其中在此層的電場是大約等於零。結果，根據利用本發明異質結構體的一光發射二極體的總外部量子效率將可高度提升。整個裝置是設計用於高電流密度工作期間提高光發生能力。

### 【實施方式】

茲佐以附圖詳細說明本發明之可取實施例如下：

圖 1 顯示半導體異質結構體的截面圖。以 10 概括的表示的異質結構體包含由一第一射極層 11 和一第二射極層 12、一光發生層 13、和一電子捕捉區域 14 所組成之注入區域，其中該電子捕捉區域 14 是由一捕捉層和一限制層所組成。

圖 2 為圖 1 所示的異質結構體的能量帶圖。捕捉區域是與第二射極層相鄰的一窄帶隙層。在捕捉和光發生層之間具寬帶隙的層是限制層。捕捉和限制層的寬度和組成可被調整，以捕捉層的局部電子能量位準之一與在電子射極的傳導帶底部之間提供等於光學聲子能量的能量差。由於與標示 1 的縱光學(LO)聲子互作用，所以進入窄帶隙捕捉層的電子捕捉會發生。結果，相較於任意放置位準的捕捉，捕捉效率會提高。標示 2 的載子能量的進一步鬆弛會先經由在相同窄帶隙捕捉層中的較低能量位準發生，然後到相鄰的窄帶隙光發生層。



圖 3 為具有在限制層和光發生層之間增加一對寬和窄帶隙層的異質結構體頻帶圖。插入層的合成與寬度可被調整，以在窄帶隙層中提供最低的能量位準，其中此能量位準是高於在光發生層的能量位準，且較低於捕捉層的能量位準。此外，該等插入層可被調整，以在相鄰捕捉和窄帶隙層的最低能量位準之間提供等於光學聲子能量的能量差。由於與標示 1 的縱光學(LO)聲子互作用，所以進入窄帶隙捕捉層的電子的捕捉會如圖 2 的情況發生。在此結構中的向下能量鬆弛會經由標示 2 和 3 的處理順序發生，後者是一聲子輔助處理。由於協助第 3 步驟的額外聲子，所以將較於沒有額外層的情況，將可進一步提高能量鬆弛。

圖 4 和圖 5 係比較清楚地說明本發明的電子濃度調整效果。在圖 5 的結構中，電子濃度可滿足下列條件：

$$n_n \approx \frac{D_p L_n}{D_n L_p} P_p$$

其中  $D_p$  和  $D_n$  是擴散係數， $L_p$  和  $L_n$  是分別在 n-和 p-射極的多數載子的擴散長度。在此情況，電子和電洞流密度在 p-n 介面是相等；如此，對照於圖 4 的 n 射極電子濃度超過 p 射極電洞濃度的情況，注入效率是最大。

圖 6 是根據本發明提供由 III 族金屬的氮化物製成的光發射二極體的半導體異質結構體範例。以 10 概括的表示的異質結構體包含：一注入區域，其是由具有  $5 \times 10^{17}$

$\text{cm}^{-3}$  電洞濃度和 0.5 微米厚度的 p 傳導類型的 GaN 製成；及一第二射極層 12，其是由具有  $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$  電子濃度和 0.5 微米厚度的 n 傳導類型的 GaN 製成；一光發生層 13，其是由具有 0.003 微米厚度的純  $\text{Al}_{0.2}\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$  製成；一電子捕捉區域，其是由具有 0.0015 微米厚度的純  $\text{Al}_{0.2}\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$  製成的一限制層 15 與由具有 0.006 微米厚度的純  $\text{In}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$  製成的一電子捕捉層 16 所組成；及一低電阻區域 17，其是由 GaN 製成，並具且  $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$  電子濃度與 2 微米厚度的 n 傳導類型。

本發明並不侷限於前述的範例；相反地，在申請專利範圍的範圍內可作許多變化。

#### 【圖式簡單說明】

圖 1 是本發明之半導體異質結構體之一實施範例的截面示意圖；

圖 2 是描述圖 1 之半導體異質結構體的光發生層和捕捉區域的能量帶；

圖 3 顯示本發明之在限制層和光發生層之間插入有一對寬和窄帶隙層的半導體異質結構體能量帶；

圖 4a 顯示在 n 型射極的電子濃度超過 p 型射極的電洞濃度時之使用於光發射二極體的 p-n 接合系半導體異質結構體；

圖 4b 顯示上述結構體上的電子和電洞濃度的分佈；

圖 4c 顯示上述結構體上的電子和電洞流密度的分

佈；

圖 5a 顯示本發明之光發射二極體的 p-n 接合系之注入平衡半導體異質結構體；

圖 5b 顯示上述結構體上的電子和電洞的濃度分佈；

圖 5c 顯示上述結構體上的電子和電洞流的密度分佈；及

圖 6 是本發明之由 III 族金屬的氮化物製成之光發射二極體的半導體異質結構體截面示意圖。

【主要元件符號說明】

- |    |          |
|----|----------|
| 10 | 半導體異質結構體 |
| 11 | 第一射極層    |
| 12 | 第二射極層    |
| 13 | 光發生層     |
| 14 | 電子捕捉區域   |
| 15 | 限制層      |
| 16 | 捕捉層      |

## 十、申請專利範圍：

1. 一種應變半導體異質結構體(10)，包含：

一注入區域，其包含具有 p 型導電性的一第一射極層(11)、和具有 n 型導電性的一第二射極層(12)；

一光發生層(13)，其放置在該第一射極層(11)和該第二射極層(12)之間，該光發生層的帶隙能量小於該等第一和第二射極層的帶隙能量；

一電子捕捉區域(14)，其放置在該光發生層(13)和該第二射極層(12)之間，該電子捕捉區域包含相鄰該第二射極層之一捕捉層(16)、和相鄰該電子捕捉層之一限制層(15)，該限制層的帶隙能量大於該光發生層的帶隙能量，該捕捉層的帶隙能量小於該限制層的帶隙能量，且該捕捉層的電子最低能量位準大於該光發生層的電子最低能量位準；其特徵為：

該等限制和捕捉層(15、16)的寬度和材料選擇是該捕捉層(16)的電子局部能量位準之一與該第二射極層(12)傳導帶底部之間提供等於光學聲子能量的能量差。

2. 如申請專利範圍第 1 項之應變半導體異質結構體(10)，其特徵為該第二射極層(12)的電子濃度可調整到等於下列生成物：

該第一射極層(11)的電洞濃度；

該第二射極層(12)的電洞擴散係數與該第一射極層(11)的電子擴散係數比；及

該第一射極層(11)的電子擴散長度與該第二射極層(12)的電洞擴散長度比。

3.如申請專利範圍第 1 或 2 項之應變半導體異質結構體(10)，其特徵為該應變半導體異質結構體是由焦電半導體材料形成；及

該光發生層(13)的寬度和材料可選擇以提供經由自發焦電極化所感應的一內建電場，其中該自發焦電極化具有實質相等大小、且方向是實質與該內建壓電場的對應一些電場相反。

4.如申請專利範圍第 3 項之應變半導體異質結構體(10)，其特徵為實施下列條件的至少之一；

該第一射極層(11)包含  $Al_{x1}Ga_{1-x1}N$ ，其中  $0 \leq x1 \leq 1$ ；

該第二射極層(12)包含  $Al_{x2}Ga_{1-x2}N$ ，其中  $0 \leq x2 \leq 1$ ；

該光發生層(13)包含  $Al_{x3}In_{y3}Ga_{1-x3-y3}N$ ，其中  $0 \leq x3 \leq 1$ 、 $0 \leq y3 \leq 1$ 、 $0 \leq x3+y3 \leq 1$ ；

該限制層(15)包含  $Al_{x4}In_{y4}Ga_{1-x4-y4}N$ ，其中  $0 \leq x4 \leq 1$ 、 $0 \leq y4 \leq 1$ 、 $0 \leq x4+y4 \leq 1$ ；及

該捕捉層(16)包含  $Al_{x5}In_{y5}Ga_{1-x5-y5}N$ ，其中  $0 \leq x5 \leq 1$ 、 $0 \leq y5 \leq 1$ 、 $0 \leq x5+y5 \leq 1$ 。

5.如申請專利範圍第 1 或 2 項之應變半導體異質結構體(10)，在特徵為實施下列條件的至少之一：

該第一射極(11)層包含  $\text{Al}_{x_1}\text{In}_{y_1}\text{Ga}_{1-x_1-y_1}\text{As}_{a_1}\text{N}_{b_1}\text{P}_{1-a_1-b_1}$ ，其中  $0 \leq x_1 \leq 1$ 、 $0 \leq y_1 \leq 1$ 、 $0 \leq x_1 + y_1 \leq 1$  和  $0 \leq a_1 \leq 1$ 、 $0 < b_1 \leq 0.1$ 、 $0 \leq a_1 + b_1 \leq 1$ ；

該第二射極層(12)包含  $\text{Al}_{x_2}\text{In}_{y_2}\text{Ga}_{1-x_2-y_2}\text{As}_{a_2}\text{N}_{b_2}\text{P}_{1-a_2-b_2}$ ，其中  $0 \leq x_2 \leq 1$ 、 $0 \leq y_2 \leq 1$ 、 $0 \leq x_2 + y_2 \leq 1$  和  $0 \leq a_2 \leq 1$ 、 $0 < b_2 \leq 0.1$ 、 $0 \leq a_2 + b_2 \leq 1$ ；

該光發生層(13)包含  $\text{Al}_{x_3}\text{In}_{y_3}\text{Ga}_{1-x_3-y_3}\text{As}_{a_3}\text{N}_{b_3}\text{P}_{2-a_3-b_3}$ ，其中  $0 \leq x_3 \leq 1$ 、 $0 \leq y_3 \leq 1$ 、 $0 \leq x_3 + y_3 \leq 1$  和  $0 \leq a_3 \leq 1$ 、 $0 < b_3 \leq 0.1$ 、 $0 \leq a_3 + b_3 \leq 1$ ；

該限制層(15)包含  $\text{Al}_{x_4}\text{In}_{y_4}\text{Ga}_{1-x_4-y_4}\text{As}_{a_4}\text{N}_{b_4}\text{P}_{1-a_4-b_4}$ ，其中  $0 \leq x_4 \leq 1$ 、 $0 \leq y_4 \leq 1$ 、 $0 \leq x_4 + y_4 \leq 1$  和  $0 \leq a_4 \leq 1$ 、 $0 < b_4 \leq 0.1$ 、 $0 \leq a_4 + b_4 \leq 1$ ；及

該捕捉層(16)包含  $\text{Al}_{x_5}\text{In}_{y_5}\text{Ga}_{1-x_5-y_5}\text{As}_{a_5}\text{N}_{b_5}\text{P}_{1-a_5-b_5}$ ，其中  $0 \leq x_5 \leq 1$ 、 $0 \leq y_5 \leq 1$ 、 $0 \leq x_5 + y_5 \leq 1$  和  $0 \leq a_5 \leq 1$ 、 $0 < b_5 \leq 0.1$ 、 $0 \leq a_5 + b_5 \leq 1$ 。

6.如申請專利範圍第1或2項之應變半導體異質結構體(10)，其特徵為：

該捕捉區域(16)包含在該限制層(15)和該光發生層(13)之間插入之至少一對的寬和窄帶隙層，該與限制層相鄰的層是該等窄帶隙層之一，該等寬帶隙層的帶隙能量大於該光發生層的帶隙能量，該等窄帶隙層的帶隙能量小於該等寬帶隙層的帶隙能量，且該等寬和窄帶隙層的寬度和材料可選擇以提供：

任何窄帶隙層的電子最低能量位準高於該光發生層(13)的電子最低能量位準；低於該捕捉層(16)的電子最低能量位準，且低於位在該考慮的窄帶隙層和該限制層(15)之間的窄帶隙層的電子最低能量位準；及

在相鄰該限制層的窄帶隙層的電子最低局部能量位準與該捕捉層(16)的電子最低局部能量位準之間的能量差等於該光學聲子的能量。

7.如申請專利範圍第6項之應變半導體異質結構體(10)，其特徵為該應變半導體異質結構體是由焦電半導體材料形成；及

該光發生層(13)的寬度和材料可選擇提供經由自發焦電極化所導致的一內建電場，其中該自發焦電極化具有一實質相等大小，且方向是實質與該內建壓電場的對應一些電場相反。

8.如申請專利範圍第7項之應變半導體異質結構體(10)，其特徵為實施該等下列條件的至少之一：

該第一射極層(11)包含  $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ ，其中  $0 \leq x_1 \leq 1$ ；

該第二射極層(12)包含  $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ ，其中  $0 \leq x_2 \leq 1$ ；

該光發生層(13)包含  $\text{Al}_{x_3}\text{In}_{y_3}\text{Ga}_{1-x_3-y_3}\text{N}$ ，其中  $0 \leq x_3 \leq 1$ 、 $0 \leq y_3 \leq 1$ 、 $0 \leq x_3 + y_3 \leq 1$ ；

該限制層(15)包含  $\text{Al}_{x_4}\text{In}_{y_4}\text{Ga}_{1-x_4-y_4}\text{N}$ ，其中  $0 \leq x_4 \leq 1$ 、 $0 \leq y_4 \leq 1$ 、 $0 \leq x_4 + y_4 \leq 1$ ；

該電子捕捉層(16)包含  $\text{Al}_{x5}\text{In}_{y5}\text{Ga}_{1-x5y5}\text{N}$ ，其中  $0 \leq x5 \leq 1$ 、 $0 \leq y5 \leq 1$ 、 $0 \leq x5 + y5 \leq 1$ ；及

該等對的寬和窄帶隙層包含交互的  $\text{Al}_{mi}\text{In}_{ni}\text{Ga}_{1-mi-ni}\text{N}$  寬帶隙和  $\text{Al}_{ki}\text{In}_{li}\text{Ga}_{1-ki-li}\text{N}$  窄帶隙層，其中  $i$  有理數對， $0 \leq mi \leq 1$ 、 $0 \leq ni \leq 1$ 、 $0 \leq mi + ni \leq 1$ 、 $0 \leq ki \leq 1$ 、 $0 \leq li \leq 1$ 、 $0 \leq ki + li \leq 1$ 。

9.如申請專利範圍第 4 或 8 項之應變半導體異質結構體(10)，其特徵為：

$n$  型導電性的一額外低電阻區域(17)加入相鄰該第二射極層(12)，該額外區域包含由複數對的交互  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  與  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  層所形成的橫向電流分佈超晶格，其中  $0 \leq x \leq 1$  和  $0 \leq y \leq 1$ 。

10.如申請專利範圍第 6 項之應變半導體異質結構體(10)，其特徵為實施該下列條件的至少之一：

該第一射極層(11)包含

$\text{Al}_{x1}\text{In}_{y1}\text{Ga}_{1-x1-y1}\text{As}_{a1}\text{N}_{b1}\text{P}_{1-a1-b1}$ ，其中  $0 \leq x1 \leq 1$ 、 $0 \leq y1 \leq 1$ 、 $0 \leq x1 + y1 \leq 1$  和  $0 \leq a1 \leq 1$ 、 $0 < b1 \leq 0.1$ 、 $0 \leq a1 + b1 \leq 1$ ；

該第二射極層(12)包含

$\text{Al}_{x2}\text{In}_{y2}\text{Ga}_{1-x2-y2}\text{As}_{a2}\text{N}_{b2}\text{P}_{1-a2-b2}$ ，其中  $0 \leq x2 \leq 1$ 、 $0 \leq y2 \leq 1$ 、 $0 \leq x2 + y2 \leq 1$  和  $0 \leq a2 \leq 1$ 、 $0 < b2 \leq 0.1$ 、 $0 \leq a2 + b2 \leq 1$ ；

該光發生層(13)包含  $\text{Al}_{x3}\text{In}_{y3}\text{Ga}_{1-x3-y3}\text{As}_{a3}\text{N}_{b3}\text{P}_{1-a3-b3}$ ，其中  $0 \leq x3 \leq 1$ 、 $0 \leq y3 \leq 1$ 、 $0 \leq x3 + y3 \leq 1$  和  $0 \leq a3 \leq 1$ 、



$0 < b_3 \leq 0.1$ 、 $0 \leq a_3 + b_3 \leq 1$ ；

該限制層(15)包含  $Al_{x_4}In_{y_4}Ga_{1-x_4-y_4}As_{a_4}N_{b_4}P_{1-a_4-b_4}$ ，其中  $0 \leq x_4 \leq 1$ 、 $0 \leq y_4 \leq 1$ 、 $0 \leq x_4 + y_4 \leq 1$  和  $0 \leq a_4 \leq 1$ 、 $0 < b_4 \leq 0.1$ 、 $0 \leq a_4 + b_4 \leq 1$ ；

該捕捉層(16)包含  $Al_{x_5}In_{y_5}Ga_{1-x_5-y_5}As_{a_5}N_{b_5}P_{1-a_5-b_5}$ ，其中  $0 \leq x_5 \leq 1$ 、 $0 \leq y_5 \leq 1$ 、 $0 \leq x_5 + y_5 \leq 1$  和  $0 \leq a_5 \leq 1$ 、 $0 < b_5 \leq 0.1$ 、 $0 \leq a_5 + b_5 \leq 1$ ；及

該等對的寬和窄帶隙層包含交互的  $Al_{m_i}In_{n_i}Ga_{1-m_i-n_i}As_{p_i}N_{q_i}P_{1-p_i-q_i}$  寬帶隙和  $Al_{k_i}In_{l_i}Ga_{1-k_i-l_i}As_{r_i}N_{s_i}P_{1-r_i-s_i}$  窄帶隙層，其中  $i$  有理數對， $0 \leq m_i \leq 1$ 、 $0 \leq n_i \leq 1$ 、 $0 \leq m_i + n_i \leq 1$ 、和  $0 \leq p_i \leq 1$ 、 $0 < q_i \leq 0.1$ 、 $0 \leq p_i + q_i \leq 1$ 、和  $0 \leq k_i \leq 1$ 、 $0 \leq l_i \leq 1$ 、 $0 \leq k_i + l_i \leq 1$ 、和  $0 \leq r_i \leq 1$ 、 $0 < s_i \leq 0.1$ 、 $0 \leq r_i + s_i \leq 1$ 。

11. 一種光發射二極體，其包含如申請專利範圍第 1 至 10 項中任一項之應變半導體異質結構體。

12. 一種光發射二極體，其包含如申請專利範圍第 5 或 10 項之應變半導體異質結構體，其特徵為：

該應變半導體異質結構體是在一基材上生長，其材料是從 Gap、GaAs、InP 所組成的群中選取；及

該等第一和第二射極層(11、12)的材料可選擇以提供符合該基材的晶格。

圖 1

10  
↓

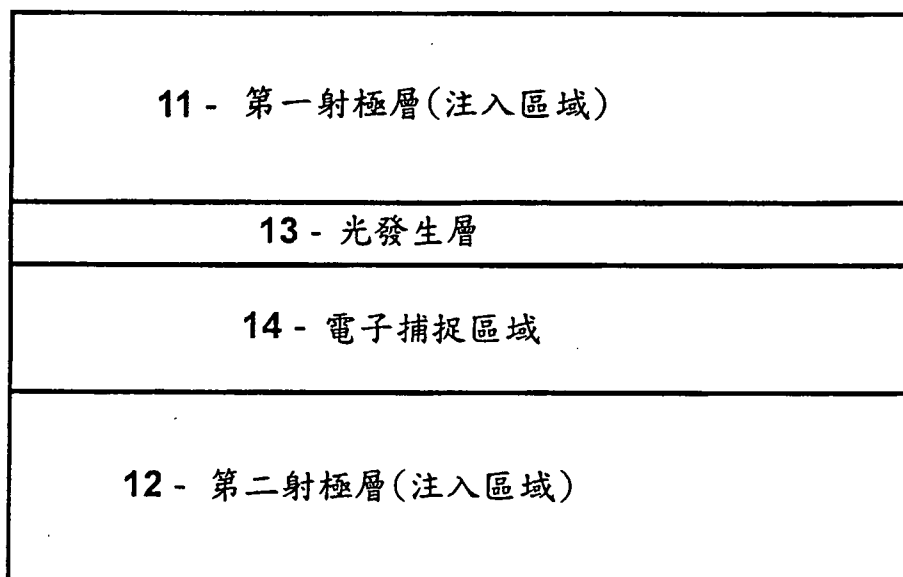


圖 2

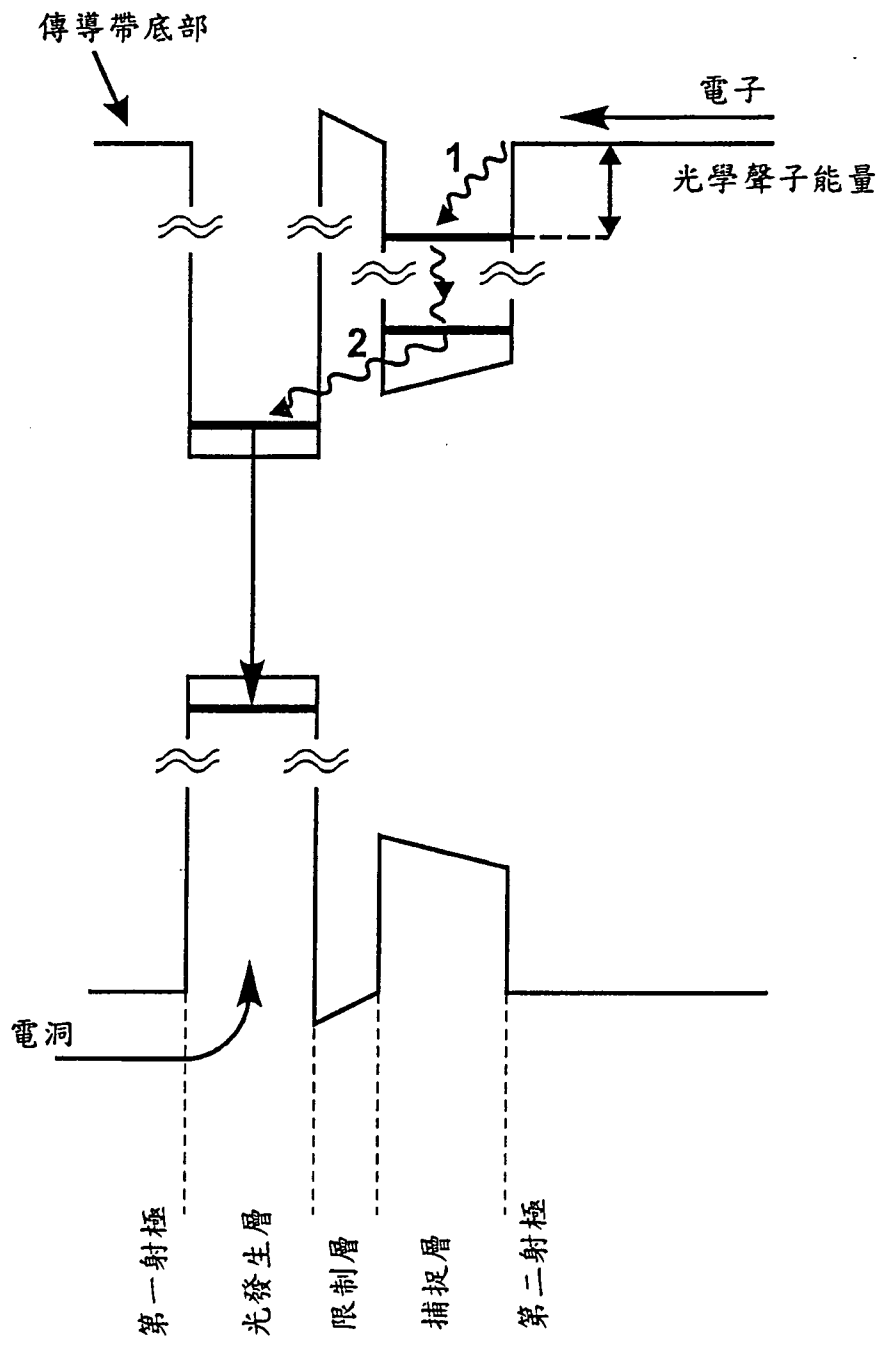


圖 3

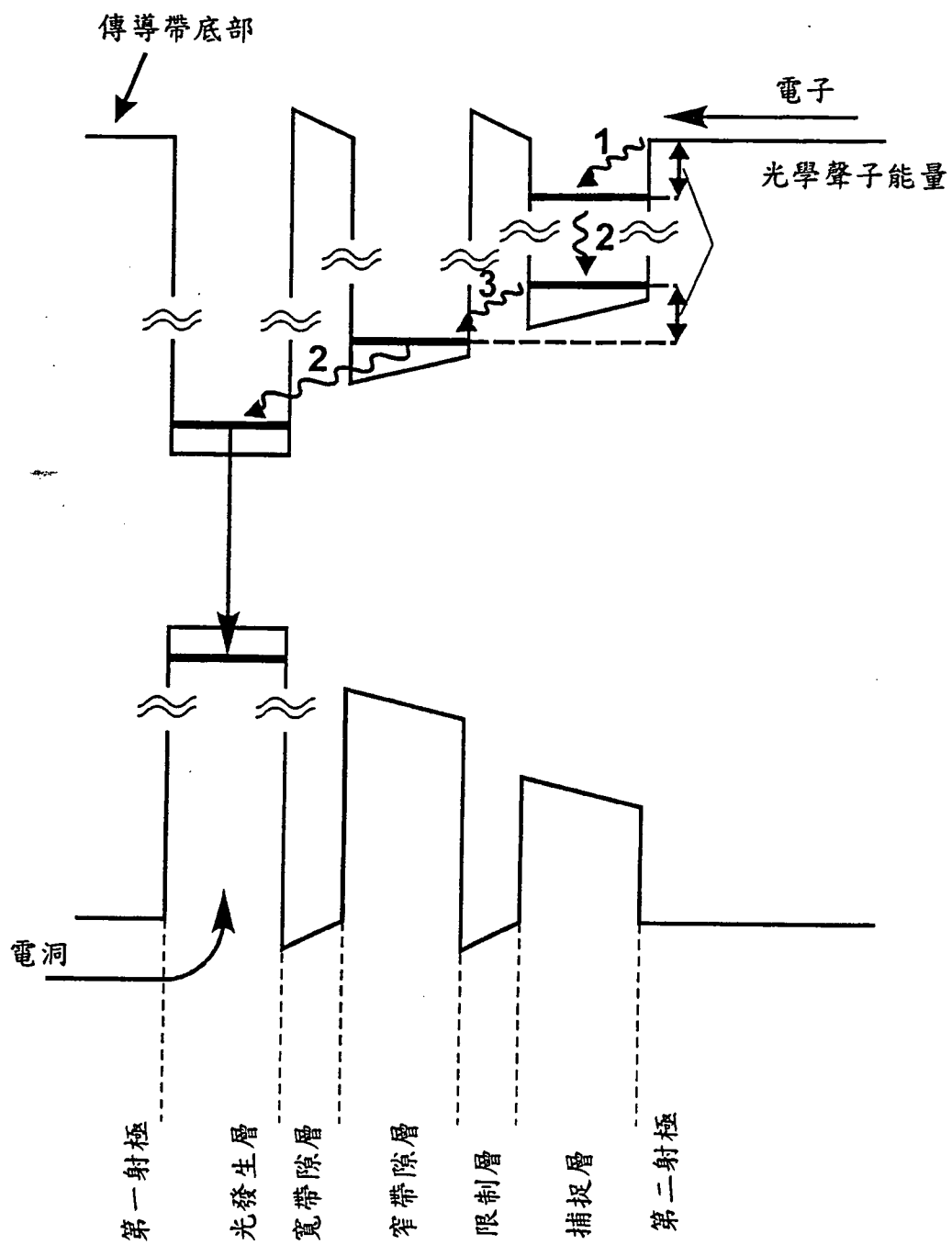


圖 4

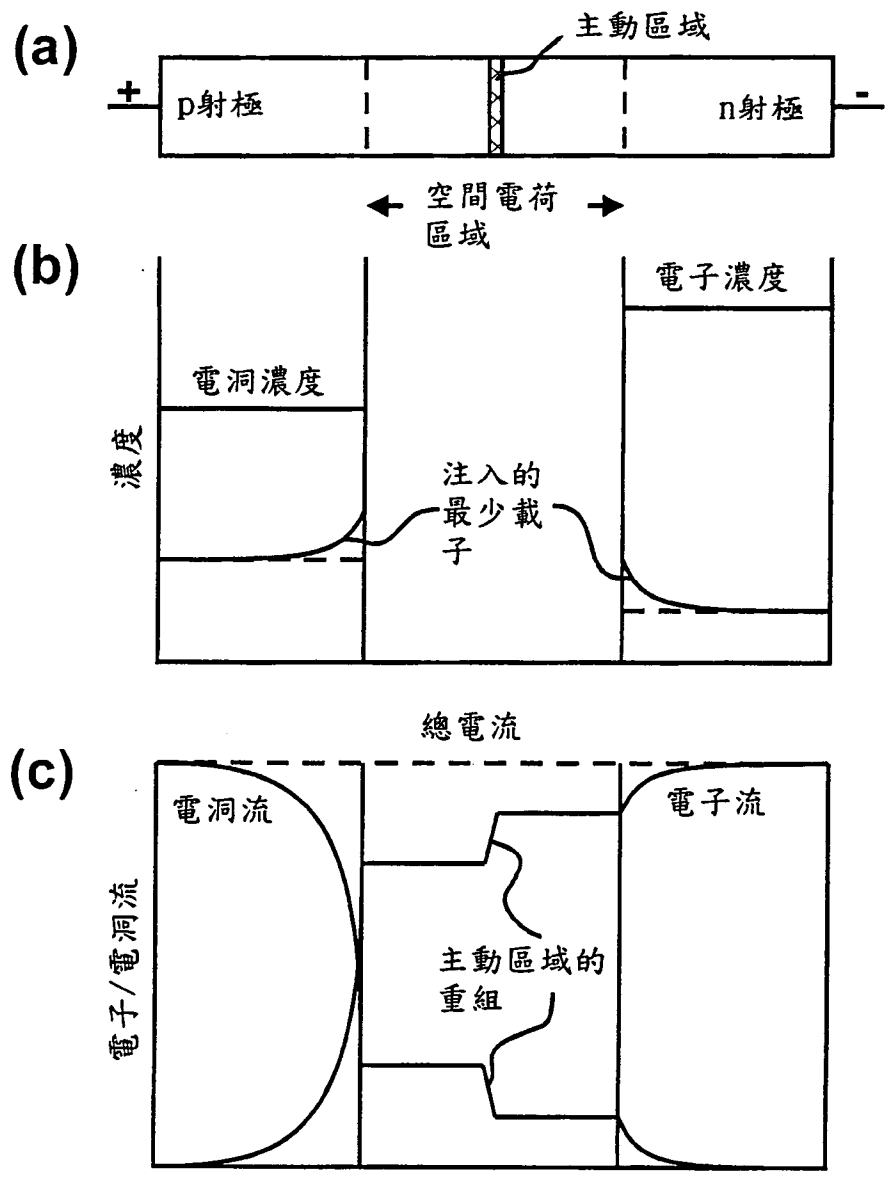


圖 5

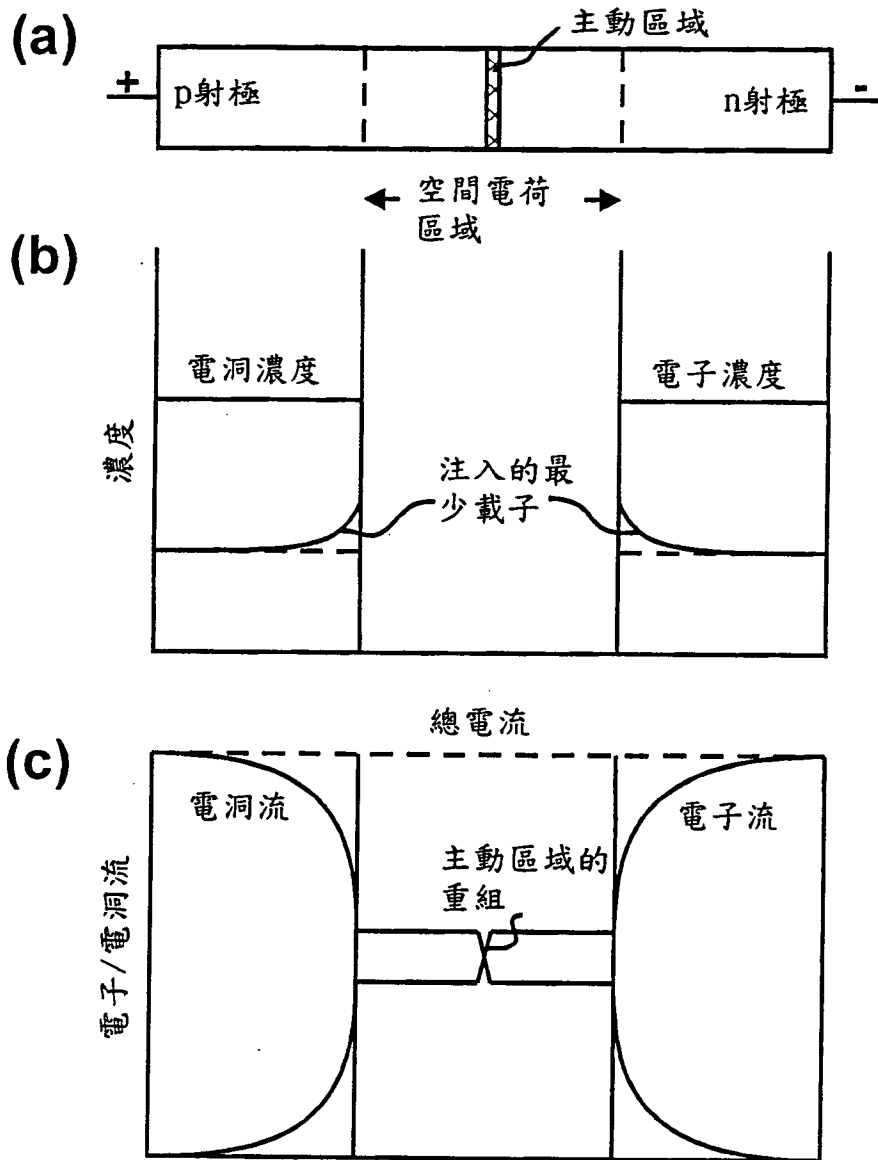


圖 6

10

