

十一、圖式：

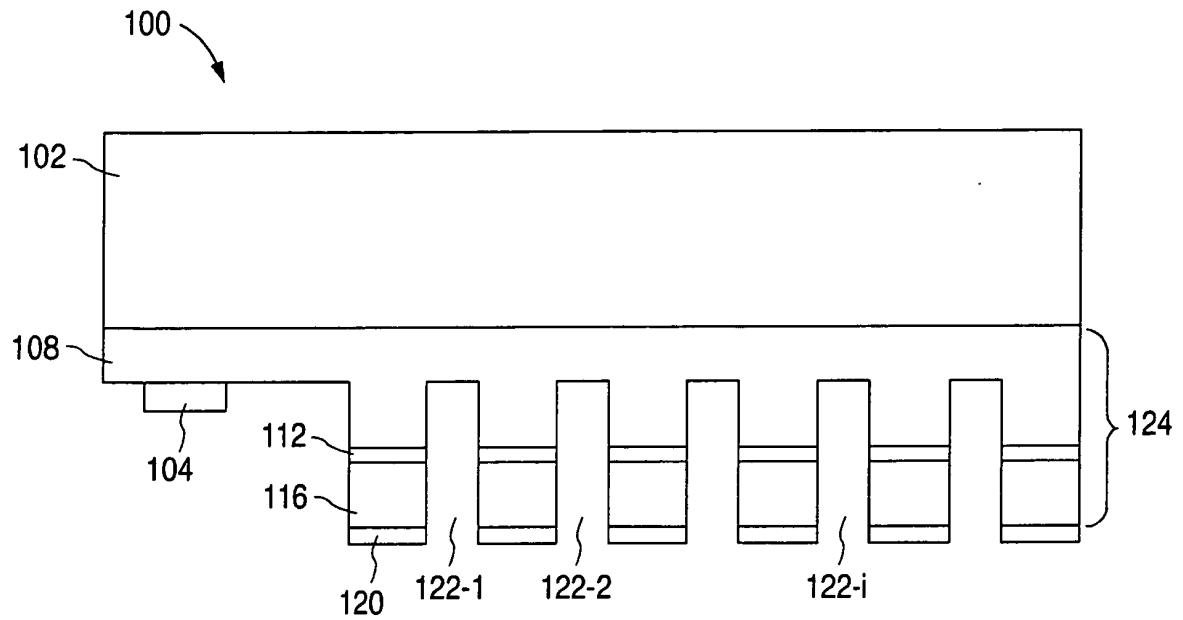


圖 1

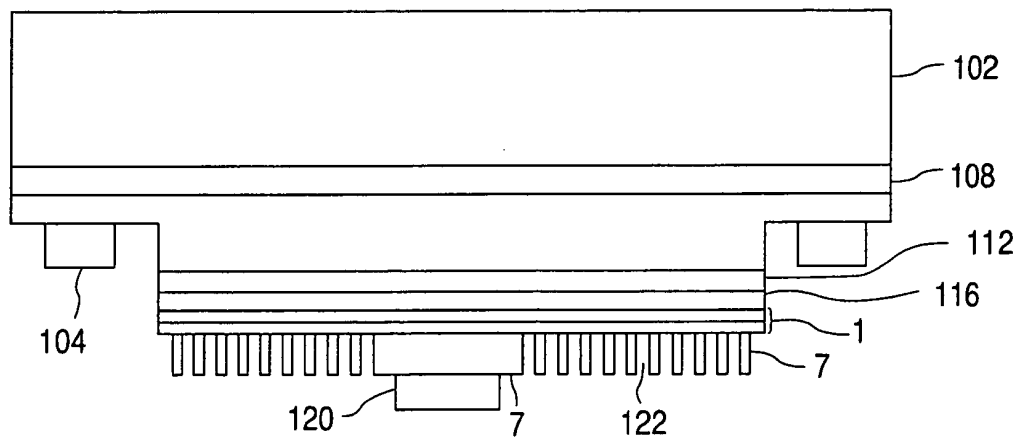


圖 5

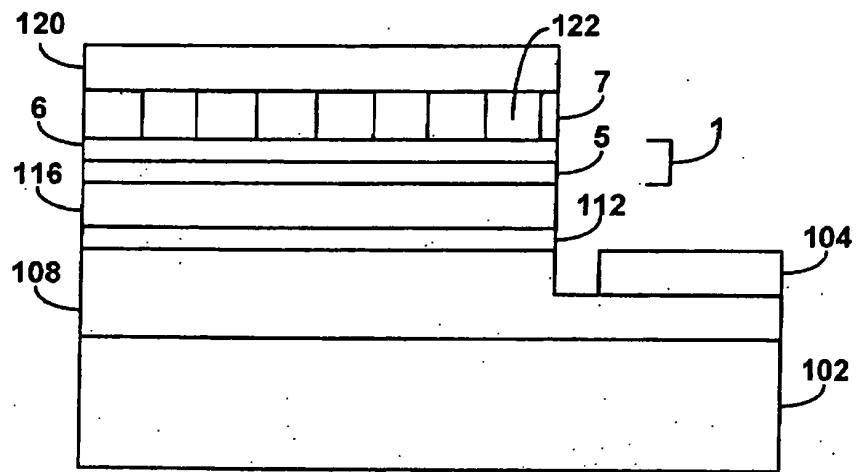


圖 2

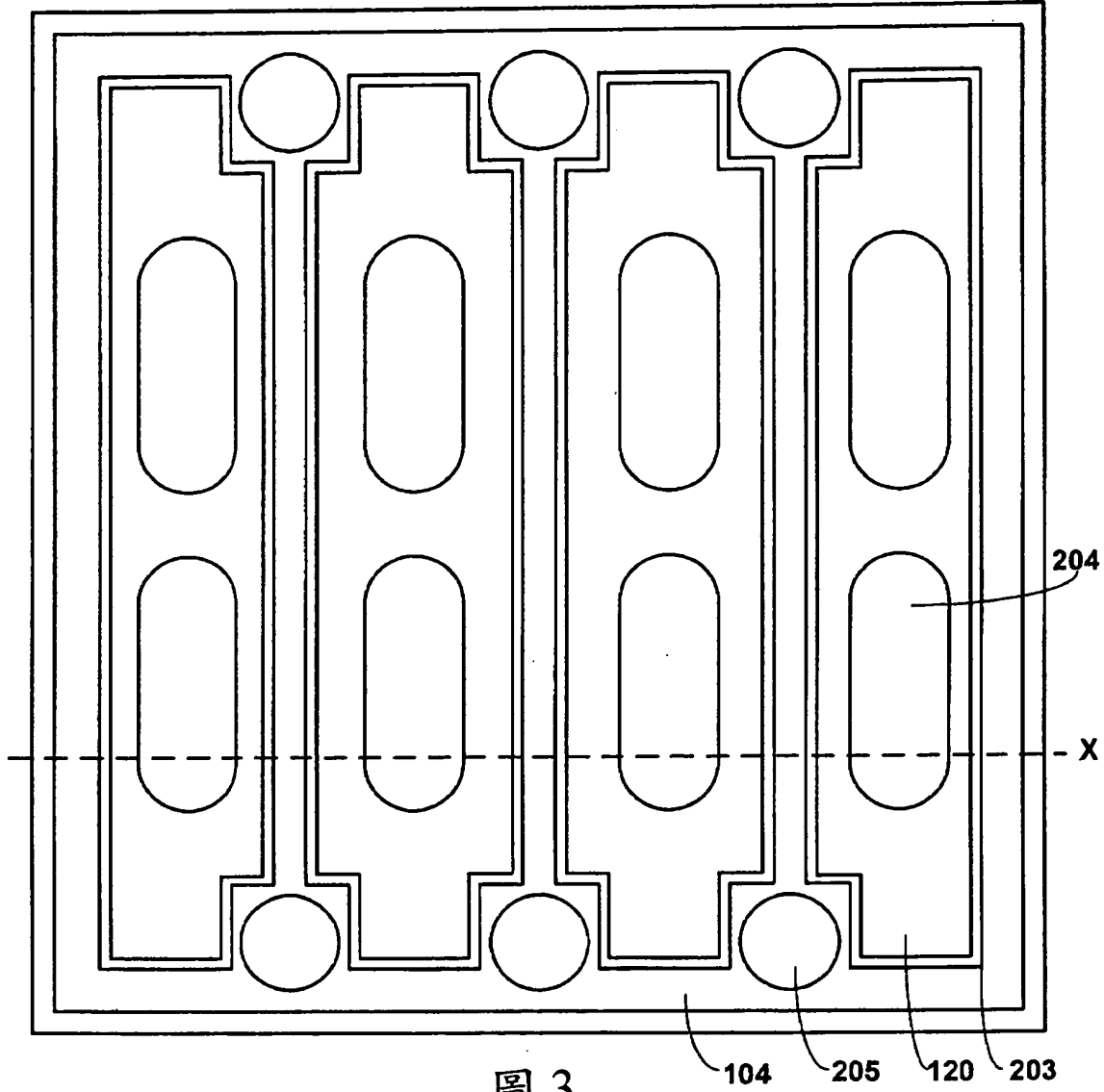


圖 3

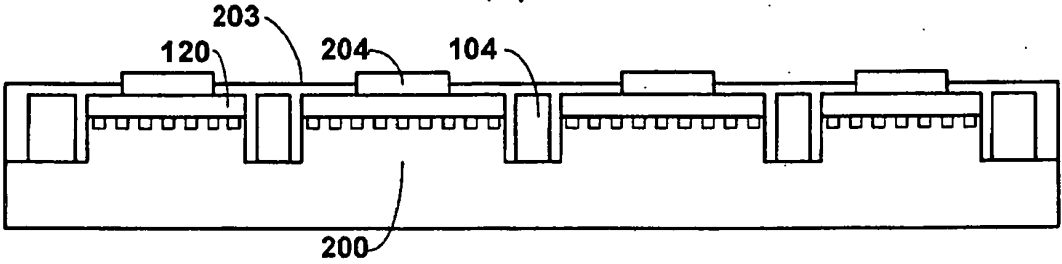


圖 4

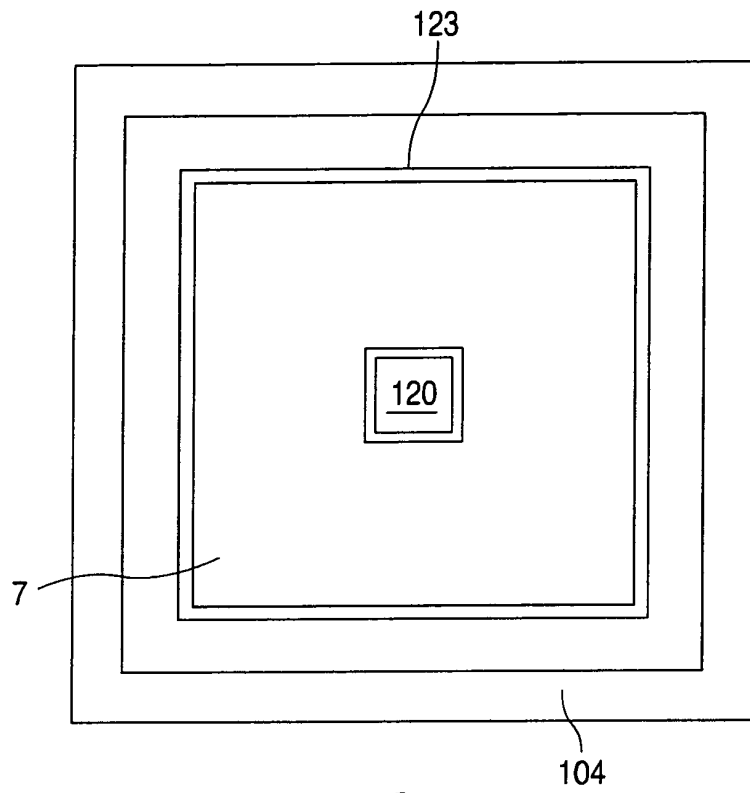


圖 6

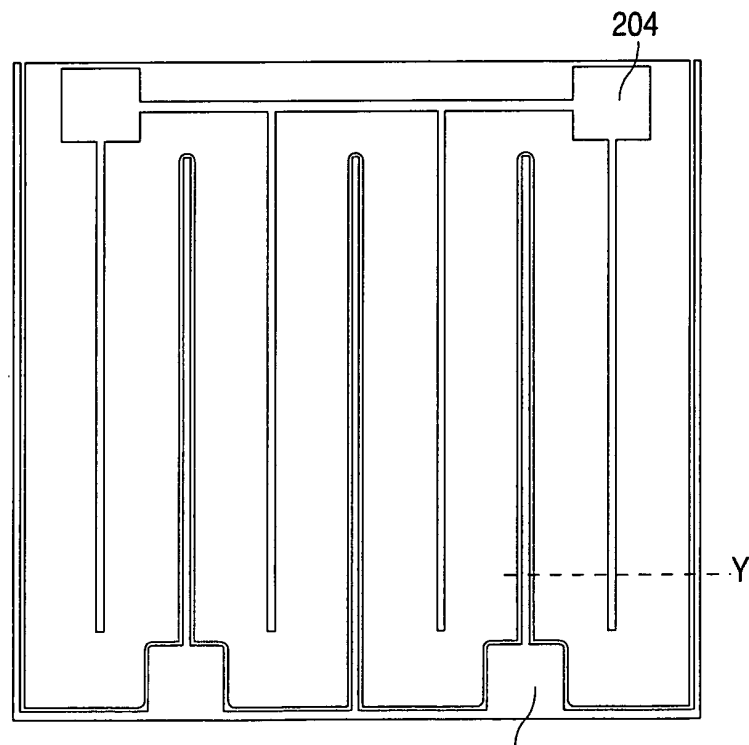


圖 7

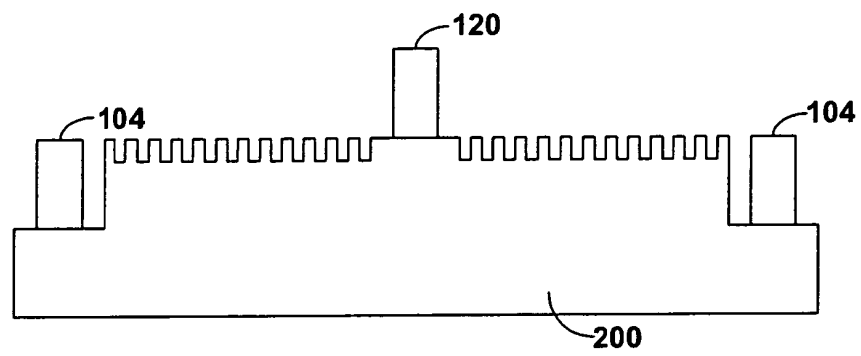


圖 8

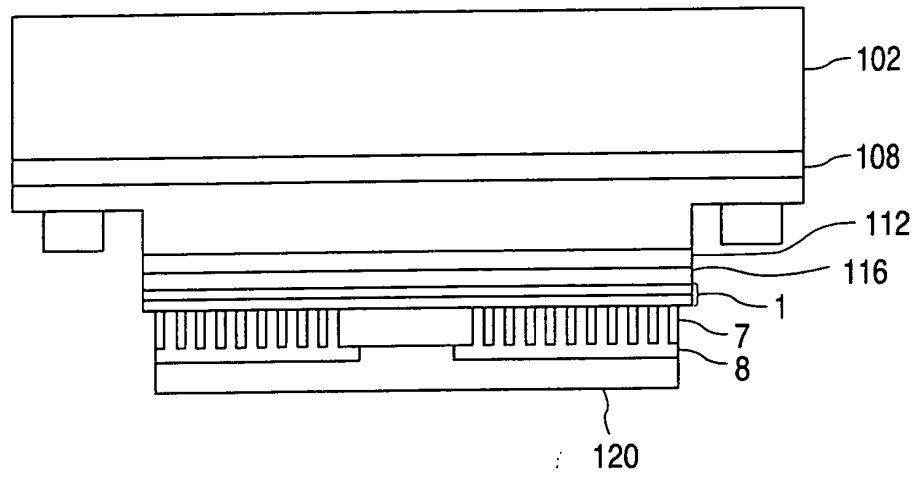


圖 9

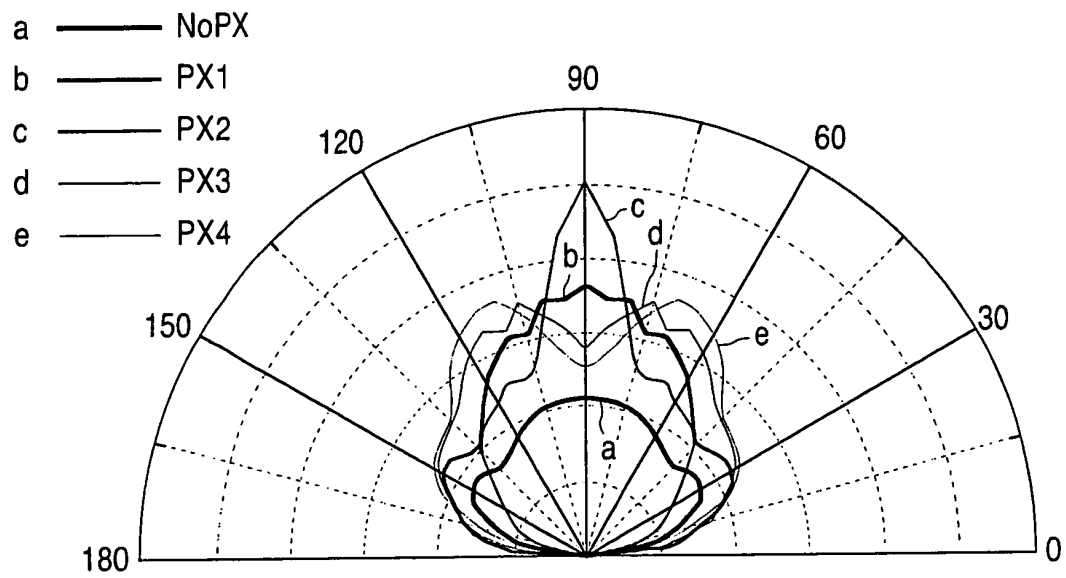


圖 10

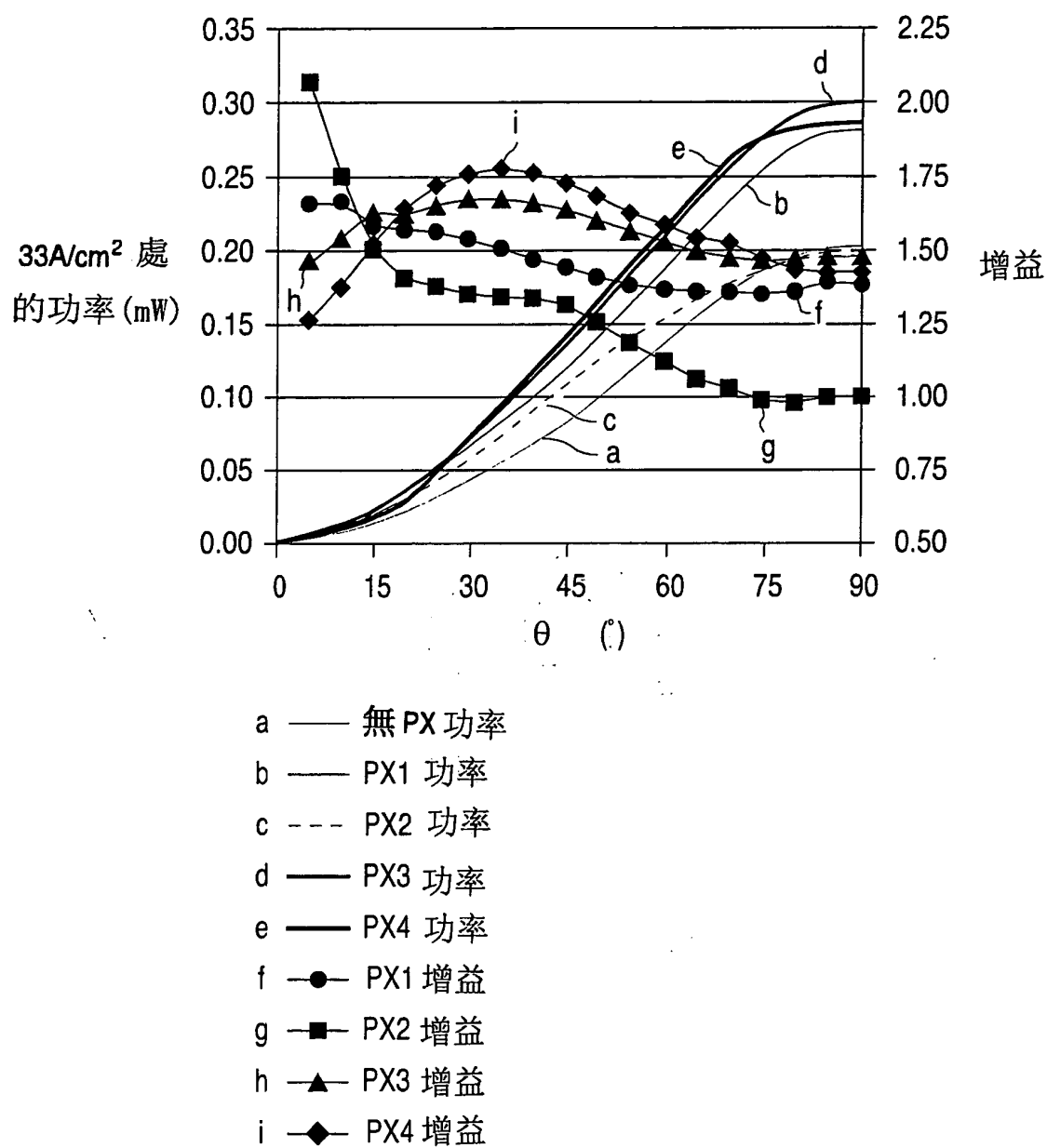


圖 11

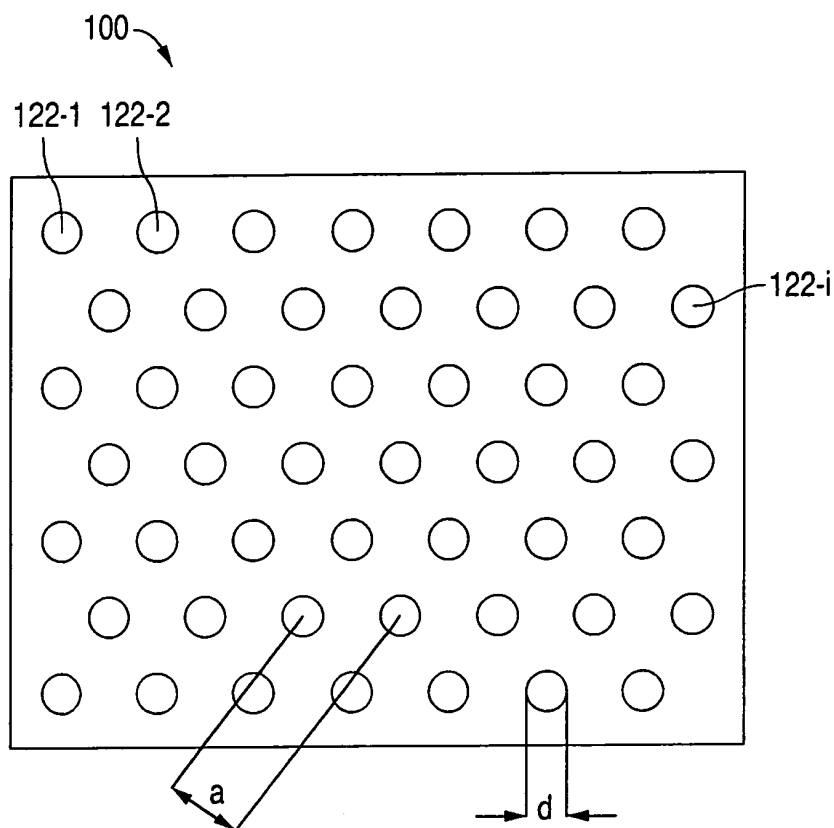


圖 12

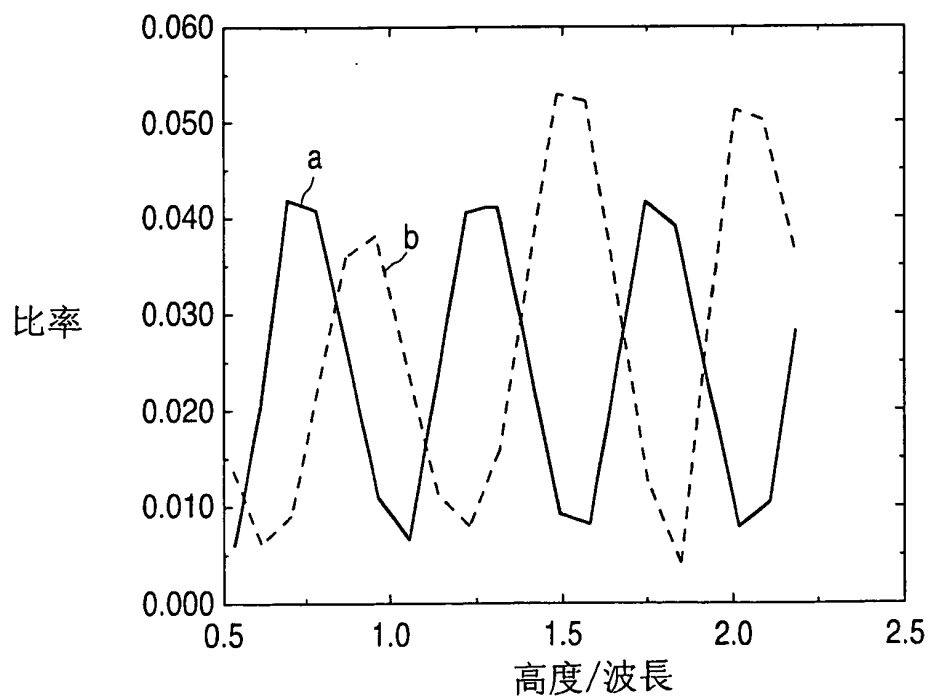


圖 13

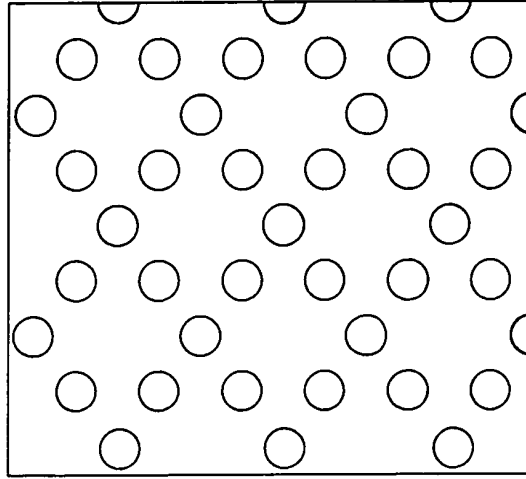


圖 14

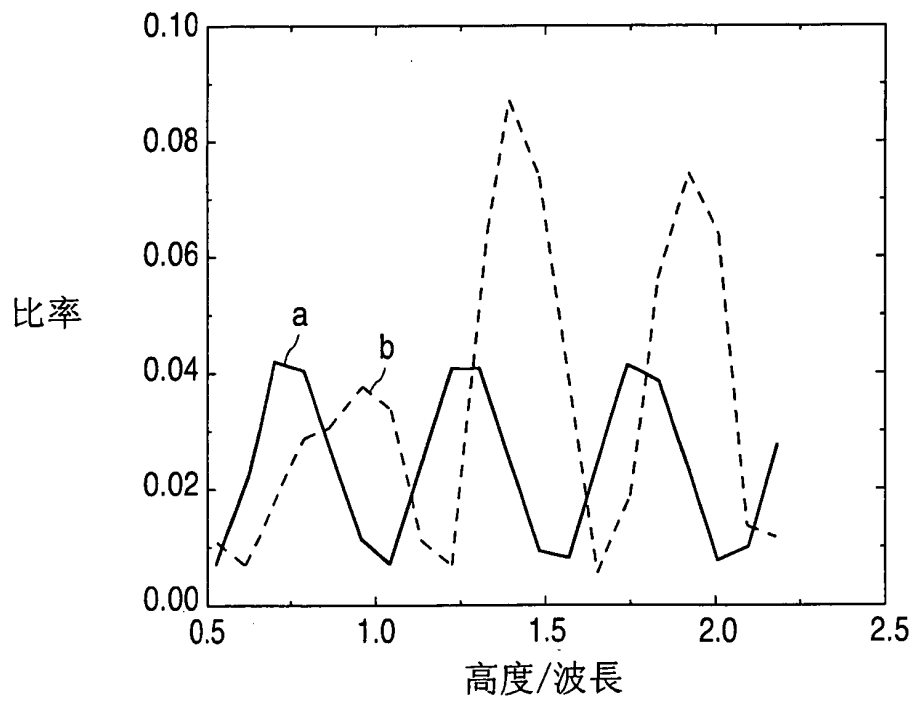


圖 15

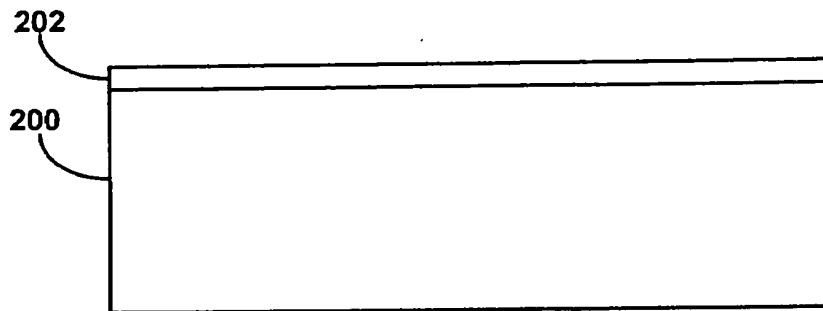


圖 16

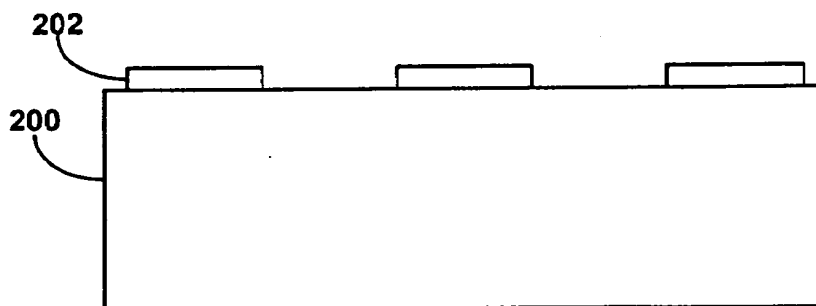


圖 17

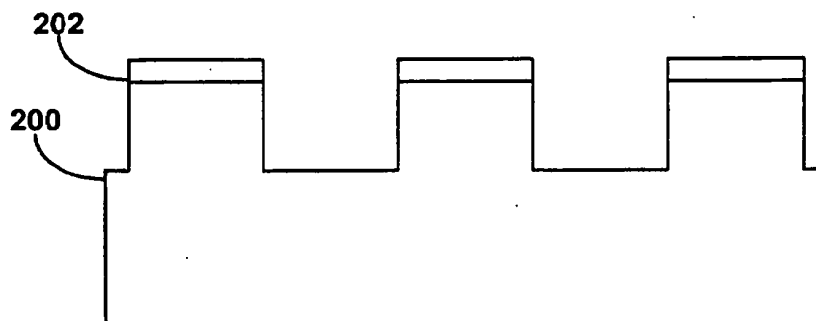


圖 18

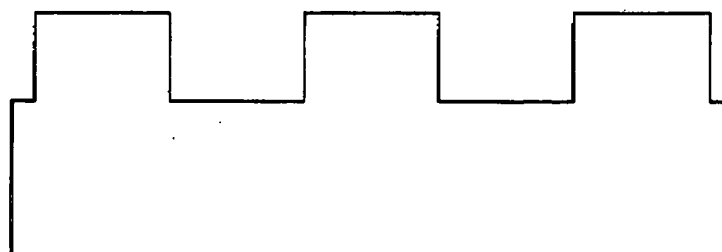


圖 19

公告本

發明專利說明書

中文說明書替換本(101年1月)

(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：093131556

※申請日期：93.10.18

※IPC 分類：H01L 33/00

(2010.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

光子晶體發光裝置

PHOTONIC CRYSTAL LIGHT EMITTING DEVICE

二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

美商飛利浦露明光學公司

PHILIPS LUMILEDS LIGHTING COMPANY, LLC

代表人：(中文/英文)

盧 達杜克

DADOK, LOU

住居所或營業所地址：(中文/英文)

美國加州山橋市西亭伯路370號

370 W. TRIMBLE ROAD, SAN JOSE, CA 95131-1008, U. S. A.

國 籍：(中文/英文)

美國 U.S.A.

三、發明人：(共 3 人)

姓 名：(中文/英文)

1. 強那森 J 威爾納 二世
WIERER, JONATHAN J. JR.
2. 邁可 R 克拉米
KRAMES, MICHAEL R.
3. 米海爾 M 西格拉
SIGALAS, MIHAIL M.

國 籍：(中文/英文)

- 1.-2.均美國 U.S.A.
- 3.希臘 GREECE

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：

1. 美國；2003年10月21日；10/691,026

2.

☐ 無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

1.

2.

☐ 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。

九、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係與包括光子晶體結構的半導體發光裝置有關。

【先前技術】

發光二極體(light emitting diodes; LED)係技術先進而且節省的固態光源。LED能夠可靠地提供高光亮度的光線，因此過去十年內，已經在許多的應用中扮演重要角色，包括平板顯示器、紅綠燈和光學通信等。一LED包括一正向偏壓p-n接面。當受到電流驅動時，電子和電洞被注入接面區域之內，其中二者再結合，並藉由發射光子釋放能量。LED品質的特色係，例如其擷取效率可測量在LED晶片內產生既定數量光子的發光強度。擷取效率會受到，例如所發射光子的限制，該等光子在高折射率的半導體介質壁上遭受多重的全內反射。因此，所發射的光子不會逃脫至自由空間內，而導致較差的擷取效率(通常低於30%)。

過去三十年來，已提出各種不同的方法，以提高LED的擷取效率。增加擷取效率的方式包括，例如，藉由擴大空間角的方式，其中所發射的光子可以藉由開發適當的幾何圖形來逃脫，包括立方形、圓筒形和金字塔形和類似圓頂的形狀。但是，此等幾何圖形都不能完全消除全內反射的損失。

另一個造成損失的來源係因LED與周圍介質之間的折射率不匹配而造成的反射。雖然此等損失可以利用抗反射塗料來減少，但是反射的完全消除只有在特定光子能量和某

一入射角度時才能達成。

美國專利第5,955,749號「使用一週期性介電結構的發光裝置」(授予J. Joannopoulos等人)說明一種針對提高擷取效率之問題的方法。依據美國專利第5,955,749號，藉由在發光二極體的該等半導體層中形成一孔的晶格，可產生一光子晶體。孔的晶格以一週期調變的介電常數產生一介質，以影響光線傳播過介質的方式。發光二極體的光子之特色在於其光譜或散佈關係，該關係描述能量和該等光子波長之間的關係。可以標繪該關係，產生由能帶組成的一光子能帶圖，或由能隙分開的光子能帶。儘管光子能帶圖係類似於晶體晶格中電子的光譜(如電子能帶圖中所示)，但光子能帶圖與電子能帶圖無關。光子能隙中具有能量的光子不能夠在光子晶體中傳播。典型LED中之再結合程序以定義明確的能量發射光子。因此，若光子晶體在LED中形成，以致於所發射光子的能量落在光子晶體的光子能隙之內，則由於沒有引導光子可以此等能量存在，所有發射的光子都會作為輻射光子發射。由於所有輻射光子能夠從LED逃脫，故此設計可增加LED的擷取效率。

在探索用於產生光的光子晶體之有效性的成果中，美國專利第5,955,749號部分地說明一光子晶體裝置的理論結構。

美國專利第5,955,749號說明一n摻雜層、一作用層、一p摻雜層以及形成於此等層中的一孔之晶格。然而，美國專利第5,955,749號之裝置不適合操作，因此並非一LED。首

先，其中未說明電極，而電極係光子晶體LED(photonic crystal LED；PXLED)之成功操作所必須的。雖然一般LED中電極的製造方法在本技術中為已知，但就PXLED而言，電極的製造及其對PXLED操作的影響都不明顯。例如，適當地使電極層的光罩與孔的晶格對齊，可能需要新的製造技術。並且，當電極將所發射的一部分光子反射回LED內，並吸收另一部分所發出光線的時候，電極通常被視為會降低擷取效率。

其次，美國專利第5,955,749號提出要從GaAs中製造光子晶體發光裝置。對於製造一般的LED，GaAs的確係方便而且常用的材料。然而，如S. Tiwari在學術出版社「化合物半導體裝置物理學」(1992)之所述，GaAs具有約 10^6 cm/秒的較高表面再結合速度。該表面再結合速度表示二極體表面上電子與電洞的再結合速率。電子與電洞呈現於LED的接面區域內，其係分別來自n摻雜層與p摻雜層。當電子與電洞橫跨電子能隙再結合時，再結合能量會以光子的形式發射並且產生光線。然而，當電子與電洞透過電子能隙中的中間電子狀態再結合時，再結合能量係以熱而不是光子的形式發射，因此會降低LED的發光效率。在一理想的晶體中，電子能隙中應該沒有狀態。並且，在目前的高純度半導體晶體中，許多材料的電子能隙中只有很少的狀態。然而，在半導體的表面上通常有大量的表面狀態與缺陷狀態，其中的許多狀態係位於電子能隙內。因此，一大部分靠近表面的電子與電洞將透過此等表面狀態與缺陷狀態再

結合。此表面再結合產生熱而不是光線，使LED的效率大幅降低。

此問題不會造成一般LED結構在效率上的嚴重損失。然而，PXLED包括大量的電洞，因此PXLED具有較一般LED大得多的表面積。因此，表面再結合可能會使PXLED的效率降低，低於無光子晶體結構的相同LED的效率，因此使光子晶體結構的形成沒有意義。由於GaAs具有較高的表面再結合速度，故其並非製造光子晶體LED的候選材料。此問題的嚴重性在於如下事實，即迄今為止，就申請人的認識而言，尚無文獻報導在作用區域附近具有光子晶體以及使用GaAs的操作LED，並聲稱其具有提高的擷取或內部效率。特定言之，美國專利第5,955,749號未說明一光子晶體LED的成功操作。而且，美國專利第5,955,749號未說明光子晶體對發射程序的影響，該影響會損害LED的內部效率。

雖然光子晶體基於如上所描述的理由，極適合用於光線擷取，但存在設計上的問題。一些刊物對已經在半導體板中形成的孔晶格之實驗進行說明。在美國光學社團期刊B (2000) 第17卷之1438頁的文章「來自二維光子能隙晶體板之改良自發發射」中，R. K. Lee等人已報導提高光子能隙中光子能量擷取速度的一種辦法。R. K. Lee等人不僅顯示發光設計中光子晶體的擷取好處，而且顯示，光子晶格會影響自發發射。然而，Lee等人並未顯示怎樣使用此設計來形成並操作發光裝置。藉由包含電極，可自Lee等人的發光設計中形成光子晶體LED。然而，電極的加入實質上將影

響擷取及自發發射。由於此效果係未知的，故其在LED的設計中不能被忽視。由於Lee等人的設計並未包括此等電極，故不清楚由此設計形成的LED的全部特徵。其對Lee等人之設計的有效性提出質疑。

【發明內容】

依據本發明的具體實施例，於一III族氮化物發光裝置之n型層上形成一光子晶體結構。在某些具體實施例中，該光子晶體n型層形成於一穿隧接面上方。該裝置包括一第一導電型態的第一層、一第二導電型態的第一層以及夾置於一第一導電型態之層與一第二導電型態之層之間的一作用區域。該穿隧接面包括一第一導電型態的第二層與一第二導電型態的第二層，並將該第一導電型態之第一層與該第一導電型態之一第三層隔開。一光子晶體結構係形成於第一導電型態之第三層上。

【實施方式】

圖1顯示一III族氮化物光子晶體LED(PXLED)100，更詳細地說明於專利申請序號10/059,588「使用光子晶體結構之LED的效率」(於2002年1月28日提出專利申請)，此處以提及方式併入本文。

在圖1之PXLED 100中，一n型區域108形成於主體基板102上方，基板102可為(例如)藍寶石、SiC或GaN；一作用區域112形成於n型區域108上方；以及一p型區域116形成於作用區域112上方。區域108、112與116之每一區域可為相同或不同成分、厚度或摻雜濃度的一單層或多層。將p型區

域116及作用區域112之一部分蝕刻掉，以曝露一n型區域108之一部分，於是可在p型區域116上形成一p接點120，並在n型區域108之曝露部分上形成一n接點104。

作用區域112包括一接面區域，其中將來自n型區域108的電子與p型區域116的電洞結合，並以光子的形式發射再結合的能量。作用層112可包括一量子井結構，用以使光子的產生最佳化。例如，G. B. Stringfellow與M. George Craford在1997年由Associated Press出版的「高亮度發光二極體」文章中已說明許多不同的量子井結構。圖1之PXLED 100的光子晶體係藉由在LED中形成一週期性孔結構122-i而產生。

在圖1所示裝置中，製造一通常的III族氮化物結構時，首先於基板上形成n型區域，隨後形成該作用區域及p型區域。圖1所示的光子晶體裝置與美國專利第5,955,749號所述的該等裝置可能有幾項缺點。首先，圖1之裝置中的光子晶體結構可藉由(例如)乾式蝕刻進入該p型區域之中，以形成一週期性結構而形成。乾式蝕刻可為反應性離子、感應耦合電漿、聚焦的離子光束、噴濺蝕刻、電子迴旋加速器共振或化學輔助離子束蝕刻。由於蝕刻會損壞晶體，造成可引起n型施體的空位，故p型材料的乾式蝕刻存在問題。在p型區域116中，n型施體的出現會降低孔濃度，並且，在晶體嚴重受損的情況下會將區域116的導電型態改變至n型。發明者已經發現，由乾式蝕刻造成的損壞並不限於蝕刻區域周圍的局部區域，且其可透過晶體的非蝕刻區域縱向及

橫向傳播，於是有可能消除該p-n接面，並導致該裝置不適合電性操作。美國專利第5,955,749號所述的該等裝置也蝕刻穿過p型材料，因此可能遭受該等發明者所觀測到的同樣大範圍的損壞。其次，在圖1之裝置及美國專利第5,955,749號之該等裝置中，已移除部分作用層，用以形成光子晶體結構，減少作用區域材料的數量，並潛在地減少裝置中產生的光線數量。

依據本發明的具體實施例，於該裝置之一n型區域中，通常係在終止於一n型層之磊晶結構的最後磊晶層中，形成一光子晶體結構。在某些具體實施例中，終止於一n型層中的一磊晶結構係藉由首先生長p型區域，並隨後生長作用區域及n型區域來實現。隨後可在n型區域的表面上形成光子晶體。此設計可能受到置疑。首先，p型摻雜劑常常係Mg。除非採取艱難的預防措施，否則p型區域生長後，反應器中剩餘的殘留Mg會與作用區域混合為一體。作用區域中的Mg可能降低裝置的光線產生效率。其次，若該生長基板係一絕緣或導電能力差的基板(如藍寶石)，則二接點必須形成於磊晶表面上。此裝置結構只能依賴於該等p型層中的橫向電流，於是會在裝置中產生較高的電阻。為避免橫向電流分佈的問題，必須移除該基板。在摻雜層生長之前，藍寶石上的生長始於一或多個未摻雜層的生長。必須將該等未摻雜層蝕刻掉，以便到達該等p型層，以產生一接點。該蝕刻可能損壞p型晶體，從而可能造成其不能使用。或者，可使用一p型導電基板如SiC，而非一絕緣基板，用以避免橫向

電流問題，並避免移除該基板。然而，p型SiC常常具有電阻，於是需要額外的電壓來操作該裝置。

在本發明的其他具體實施例中，一光子晶體LED的光子晶體結構係在生長於一穿隧接面上的一n型裝置層中形成。圖2顯示本發明的第一項具體實施例。n型區域108、作用區域112以及p型區域116係如圖1之裝置中一樣形成於基板102上。隨後於p型區域116上形成一穿隧接面。一第二n型區域7形成於該穿隧接面上方。光子晶體結構形成於n型區域7之中。光子晶體結構係一裝置之折射率中的一週期性變化，一般藉由在n型區域7中形成一孔陣列122產生。該等孔可以空氣或不吸收光線的另一材料填充，並具有與n型區域7之折射率形成高對比的一折射率。一適當材料的一範例係一介電層。以下更詳細地說明光子晶體結構之結構。接點120與104係附著於n型區域7與n型區域108上。

穿隧接面1包括一高度摻雜的p型層5，亦稱為一p++層，以及一高度摻雜的n型層6，亦稱為一n++層。p++層5可為(例如)使用一受體如Mg或Zn摻雜為約 10^{18}cm^{-3} 至約 $5\times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ 之一濃度的AlGaIn、AlInGaIn、InGaIn或GaIn。在某些具體實施例中，p++層5係摻雜為約 $2\times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ 至約 $4\times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ 之一濃度。n++層6可為(例如)使用一施體如Si、Ge或Se摻雜一為約 10^{18}cm^{-3} 至約 $5\times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ 之濃度的AlGaIn、AlInGaIn、InGaIn或GaIn。在某些具體實施例中，n++層6係摻雜一為約 $7\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 至約 $9\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 的濃度。穿隧接面1通常係甚薄，例如穿隧接面1的總厚度範圍可為約2 nm至約100 nm，且每

一p++層5與n++層6的厚度範圍可為約1 nm至約50 nm。在某些具體實施例中，每一p++層5與n++層6的厚度範圍可為約25 nm至約35 nm。P++層5與n++層6的厚度無需相同。在一項具體實施例中，p++層5為15 nm厚的Mg摻雜InGa_N，而n++層6為30 nm厚的Si摻雜Ga_N。

P++層5與n++層6可具有梯度摻雜濃度。例如，接近下部層的一部分P++層5可具有一摻雜劑濃度，該濃度的級別係從下部p型層之摻雜劑濃度改變為P++層5中所需的摻雜劑濃度。與此類似，n++層6可具有一摻雜劑濃度，該濃度的級別係從接近P++層5的一最大值改變為接近n型層7的一最小值。

穿隧接面1係製造成充分薄並被充分摻雜，以使載子能夠穿過穿隧接面1，從而當傳導電流處於反向偏壓模式時，穿隧接面1顯示較低的串聯電壓降。在某些具體實施例中，橫跨穿隧接面1的電壓降係約0.1V至約1V。橫跨該穿隧接面的電壓降較佳係0V。製造穿隧接面1，使得當橫跨接點104與120施加一電壓降，使在作用區域112與p型區域116之間的p-n接面受到正向偏壓時，穿隧接面1會迅速崩潰，且在反向偏壓方向以最小電壓降傳導。穿隧接面1中的每一層無需具有相同的成分、厚度、或摻雜成分。穿隧接面1亦可包括p++層5與n++層6之間的一額外層，其包含p與n型摻雜劑。

由於接點120與104均形成於一n型區域上，即使沒有必要，其也可以為同一材料。通常，接點120與104可反射由作用區域112所發射的光線。適當接點材料之範例包括(例

如)Al、Rh及Ag。接點120與104可為多層結構。例如，接點120與104可包括鄰近該半導體的一鋁層及位於該鋁層上方的一鋁合金層。形成於光子晶體結構上的接點120可為一焊接於n型區域7上的一扁平材料薄片，以使接點120能夠呈現於形成光子晶體結構的該等孔122上方，如圖2所示。或者，接點120可於光子晶體結構形成之前形成於n型區域7上，以便在光子晶體結構形成時移除部分接點120。

圖3及4顯示用於圖2之裝置的接點配置。圖3係一平面圖，且圖4係一沿圖3之軸X的斷面圖。磊晶結構200的作用區域(其包括圖2之層108、112、116、5、6及7)係藉由其中形成接點104的三溝渠分隔成四區域。每一區域係藉由形成於接點120上的八個p型次安裝台連接204連接至一次安裝台。接點120可為如圖2所示之一焊接層。接點104環繞該等四作用區域。接點104係藉由六個n型次安裝台連接205連接至一個次安裝台。接點104與120可藉由一絕緣層203電絕緣。

穿隧接面1使裝置的光子晶體結構能夠形成於一n型區域7之中。在一n型區域而非一p型區域內蝕刻該光子晶體結構，以避免與p型III族氮化物有關的類型轉換問題，已如上所述。此外，由於n型區域7中的光子結構係與p型區域116及作用區域112隔開，故可以避免因蝕刻光子結構而造成此等區域受到損壞。此外，穿隧接面1使光子晶體結構能夠形成，而無需移除部分作用區域。

穿隧接面1亦用作一電洞分佈層，用以在n型區域116中分

配正電荷載子。n型III族氮化物材料中的載子具有比p型III族氮化物材料中之載子高許多的遷移率，因此，電流在n型層中之分佈比p型層更容易。由於分佈於p-n接面之p側上的電流出現於n型層7之中，故包括一穿隧接面的裝置比缺少穿隧接面之一裝置可具有更好的p側電流分佈。此外，由於n型可有效地將電流分佈於光子晶體區域，故可將接點120與光子晶體區域隔開，以減少光子晶體上接點120的吸收作用。

圖5至9顯示二光子晶體裝置，其利用分佈於n型材料7中的電流。圖5係本發明之一項具體實施例的斷面圖。圖6係圖5之裝置的平面圖。在圖5及6之裝置中，光子晶體結構形成於一部分n型區域7中。接點104形成於臺面123外側。接點120形成於一部分n型區域7上，該部分並未與光子晶體結構交織在一起。由於接點120係形成於n型區域7之平坦表面上，故可不必將接點120與n型區域7焊接，且可藉由諸如蒸發、噴濺或電鍍等技術沈積接點120，如此可產生比焊接接點更優質的接點。由於區域7係一n型區域，電流會遠離接點120而分佈於n型區域7中，於是能夠使用無需接觸n型區域7中所有或大部分半導體材料的接點。接點120可為反射型、透明型或半透明型。安裝圖5及6所示裝置，以便透過基板102擷取光線，即在一倒裝晶片配置中擷取光線，或透過接點104、120及n型區域7從裝置之磊晶側擷取光線。在從裝置之磊晶側擷取光線的具體實施例中，可於基板102的背部上形成一反射層，用以反射朝向發射表面的任何向

下的光線。

圖7與8顯示用於圖5之裝置之接點的一替代配置。圖7係該裝置的平面圖，且圖8係沿軸Y的該裝置之一部分的斷面圖。每一接點104與120具有指狀物，其係插入對立接點的指狀物。焊墊204與205藉由(例如)一焊線將裝置與一次安裝台或其他裝置電連接。

在圖9之裝置中，一部分n型區域7係與一光子晶體結構交織在一起，且一部分並未交織。一介電材料8形成於n型區域7上方，並可填充或可不填充光子晶體結構之孔。圖案化並蝕刻介電材料8，以曝露n型區域7之未交織部分，隨後沈積接點120。接點120延伸於介電材料8上方，並接觸n型區域7之已曝露的未交織部分。如圖5之裝置中，電流將遠離接點120而在n型區域7中分佈。由於接點120具有較大的表面區域，故圖9之裝置係容易在倒裝晶片配置中安裝。此外，藉由有效地將熱運輸至遠離圖9之裝置的作用區域，讓接點120可允許高電流操作。

雖然在圖2至9所示裝置中，穿隧接面1係在作用區域之後形成(即，位於圖2至9所示倒裝晶片配置中的作用區域之下)，然而在替代具體實施例中，穿隧接面1可在作用區域之前形成，以便按以下順序生長該等裝置層：n型區域108、穿隧接面層6、穿隧接面層5、p型區域116、作用區域112以及n型區域7。

該光子晶體結構可包括n型區域7之厚度的一週期性變化，具有交替的最大值與最小值。一範例係孔122的一平坦

晶格。該晶格之特徵係該等孔的直徑 d 、晶格常數 a ，其可測量最近相鄰孔之中心間的距離、孔深度 w 、以及置放於該等孔中之介電質的介電常數 ϵ_h 。參數 a 、 d 、 w 及 ϵ_h 會影響該等能帶之狀態的密度，特定言之，會影響位於光子晶體之光譜之能帶邊緣的狀態之密度。從而參數 a 、 d 、 w 及 ϵ_h 會影響藉由裝置所發射的輻射圖案，並可被選擇成用於提高裝置的擷取效率。

孔122-i可具有圓形、正方形、六邊型或其他斷面。在某些具體實施例中，晶格間隔 a 係位於約 0.1λ 與約 10λ 之間，較佳位於約 0.1λ 與約 4λ 之間，其中 λ 係裝置中藉由作用區域所發射的光線的波長。在某些具體實施例中，孔122可具有位於約 $0.1a$ 與約 $0.5a$ 之間的一直徑 d ，其中， a 係晶格常數，以及位於零與 n 型區域7(於其中形成光子晶體結構)之全部厚度之間的一深度 w 。在某些具體實施例中，孔122的深度為約 0.05λ 與約 5λ 之間。一般而言，孔122係完全形成於 n 型層7以內，且不會穿透穿隧接面之頂層。 n 型區域7係設計成足夠厚，用以形成孔並分佈電流，其通常係約0.1微米或更厚。選擇孔122的深度，用以將孔122的底部置放至盡可能接近作用區域，而不會穿透層，否則可能造成問題，如上述類型轉換問題。孔122-i可使用空氣或介電常數為 ϵ_h (通常位於約1至約16之間)的介電質來填充。可能的介電質包括二氧化矽。

圖10顯示晶格參數 a 、直徑 d 及深度 w 對發射的輻射圖案之影響。圖11顯示晶格參數 a 、直徑 d 及深度 w 對擷取效率的影響。

響。從五裝置中觀測的資料係如圖10與11所示，其中，如圖5與6所示製造、無光子晶體結構的一裝置以及如圖5與6所示製造、有光子晶體結構的四裝置包括填充有空氣的一三角形孔晶格。晶格常數、直徑及深度係如下表所列：

裝置	晶格參數 a (nm)	直徑 d (nm)	深度 w (nm)
PX1	270	200	53
PX2	295	220	90
PX3	315	235	105
PX4	340	250	129

圖10中，90度代表從裝置頂部沿該等LED層之生長方向發射的光線。零與180度代表從裝置的側面發射的光線。如圖10所示，從該裝置發射的輻射圖案係依據晶格參數、孔直徑及孔深度而改變。缺少光子晶體結構的裝置(對應於曲線a)具有一典型的Lambertian輻射圖案，其中，一頂峰位於90，且二頂峰位於30及150，均由從臺面邊緣逃脫該裝置的光線造成。曲線b至e對應於光子晶體裝置PX1至PX4，且實質上不同於曲線a。例如，曲線b具有約7個頂峰、曲線c具有約3個頂峰、曲線d具有約6個頂峰且曲線a具有約4個頂峰。曲線b與c在90度處具有最大值，而曲線d與a在90處具有局部最小值，且頂峰位於約70至75度處及105至110度處。圖10顯示，一裝置中之光子晶體結構的存在及形狀會影響從該裝置中發射的光線的方向。藉由改變光子晶體的參數，可修改輻射圖案。例如，包括光子晶體參數為PX1及PX2之光子晶體的裝置可用於需要頂部發光(90度)的一

應用中，而包括光子晶體參數為PX3及PX4之光子晶體的裝置有利於需要更多側面發光的一應用。從圖10可清楚發現，在大多數角度處，任一所示該等光子晶體的存在均可改善自裝置輸出的光線的數量。

圖11顯示上列五裝置之功率(曲線a至e)，其係相對於角度整合，以便在90度處得出總功率。圖11所示該等結果係用於晶粒尺寸為170微米乘以170微米的裝置，並在 33 A/cm^2 的電流密度處操作，且無封裝地發射至空中。光子晶體裝置PX1、PX3與PX4輸出的功率比無光子晶體裝置多將近50%，光子晶體裝置的輸出功率係介於約0.28 mW與0.30 mW之間，而無光子晶體裝置的輸出功率係約0.20 mW。圖11亦列出該等四光子晶體裝置之增益(曲線f至i)，其係定義為光子晶體LED的輸出功率與無光子晶體之裝置的輸出功率之比。每一該等光子晶體裝置在較小角度處顯示重大的增益。與無光子晶體的裝置比較，光子晶體裝置PX-4在30度處具有約1.7x的增益，指示PX-4可用於需要近乎垂直於該裝置而發光的應用。光子晶體裝置PX-1、PX-3與PX-4之每一個具有約1.4的總增益。

孔122-i之晶格的晶格結構也會影響擷取。在不同的具體實施例中，孔122-i形成三角形、正方形、六邊形、蜂巢形及其他眾所周知的二維晶格類型。在某些具體實施例中，不同的晶格類型係形成於裝置的不同區域之中。圖12顯示一光子晶體結構，其係作為孔122-i的一三角形晶格形成。圖13顯示發射進入一12度出口錐形之輸出功率與總輸出功

率之比的一電腦模型，該比率係作為量子井深度(亦稱為偶極深度)除以波長之函數，該模型係針對依據圖2的一三角形晶格光子晶體裝置(曲線b)與無光子晶體的一裝置(曲線a)。偶極深度係一量子井與裝置之光子晶體表面的磊晶表面間的距離。孔深度與晶格常數 a 之比係1.25，孔半徑與晶格常數之比係0.36，且偶極深度與晶格常數之比係1.72。在偶極深度與波長之比係約1.6時，光子晶體裝置之光線輸出具有一最大值。在光線輸出之最大值處，一12度錐形中的輸出功率與光子晶體裝置之總輸出功率之比係比無光子晶體之裝置的光線輸出最大值大20%。

圖14顯示一光子晶體結構，其形成作為孔122-i的一蜂巢形晶格。圖15顯示發射進入一12度出口錐形之輸出功率與總輸出功率之比的一電腦模型，該比率係作為偶極深度除以波長之函數，該模型係針對依據圖2的一蜂巢形晶格光子晶體裝置(曲線b)與無光子晶體的一裝置(曲線a)。如圖13所示，孔深度與晶格常數 a 之比係1.25，孔半徑與晶格常數之比係0.36，且偶極深度與晶格常數之比係1.72。在偶極深度與波長之比係約1.4時，光子晶體裝置之光線輸出具有一最大值。在光線輸出之最大值處，一12度錐形中的輸出功率與光子晶體裝置之總輸出功率之比係比無光子晶體之裝置的光線輸出最大值還要大兩倍。

圖13與15顯示，晶格結構及作用區域與光子晶體之間的距離係可以被選擇成用以沿一所選方向較佳地發射光線。例如，在圖13與15中顯示的光子晶體裝置中，在藉由偶極

深度除以波長之數值係約1.5時，發射進入一12度出口錐形中的輸出功率與總輸出功率之比係處於最大值處，指示光線被較佳地發射進入一狹窄的頂部逃脫錐形之中。此外，圖15(蜂巢形晶格裝置)中的最大值係大於圖13(三角形晶格裝置)中的最大值，此指示，與具有相同結構之三角形晶格裝置比較，一蜂巢形晶格能夠向一狹窄的頂部逃脫錐形發射更大一部分光線。

在某些具體實施例中，週期性結構係一或多個選定半導體層之厚度的變化。該週期性結構可包括在半導體層平面內沿著一方向的厚度變化，但沿著沒有變化的第二方向延伸，基本上會形成一組平行的凹槽。厚度的二維週期性變化包括各種不同的凹陷晶格。

圖16至19說明製造圖1至5之光子晶體裝置的方法。磊晶區域200係藉由常規的沈積技術形成於一基板(未顯示)上方，該磊晶區域200可包括圖2至9中的區域108、112、5、6與7。一或多個光阻層、金屬層或介電層202形成於磊晶層的頂部表面上方，如圖16所示。將光阻層202圖案化，用以形成圖17中一開口之晶格，其係使用高解析度微影技術，如電子束微影、奈米印微影、深度X射線微影、干涉測量微影、熱壓紋或微觸印刷等。圖18中，採用已知的蝕刻技術蝕刻磊晶層200。可由後續短暫的濕式化學蝕刻、退火處理、二者之組合或其他表面鈍化技術來減少乾式蝕刻造成的損壞。隨後，在圖19中將剩餘的光阻層202移除。專利申請序號10/059,588「使用光子晶體結構之LED的效率」更詳

細地說明用於形成光子晶體的其他技術，如磊晶橫向過生長技術。

經對本發明作詳細說明，熟知技術人士應明白，根據本揭示內容，可對本發明作修改，而不致背離此處說明之本發明概念之精神。因此並不希望本發明之範疇限於所解釋及說明的特定具體實施例。

【圖式簡單說明】

圖1係一光子晶體發光二極體的斷面圖。

圖2係包括一穿隧接面之光子晶體發光裝置之一項具體實施例的斷面圖。

圖3係用於圖2所示裝置的一接點配置之範例的平面圖。

圖4係圖3之裝置的斷面圖。

圖5係包括一穿隧接面之光子晶體發光裝置之一項替代具體實施例的斷面圖。

圖6係圖5之裝置的平面圖。

圖7係用於圖5所示裝置之一替代接點配置的平面圖。

圖8係圖7之裝置之一部分的斷面圖。

圖9係包括一穿隧接面之光子晶體發光裝置之另一項替代具體實施例的斷面圖。

圖10顯示藉由無光子晶體之一裝置以及具有光子晶體結構之四裝置所發射的輻射圖案。

圖11顯示無光子晶體之一裝置以及具有光子晶體結構之四裝置的輸出功率。

圖12係一三角形晶格光子晶體的俯視圖。

圖 13 係發射進入一 12 度出口錐形之輸出功率與總輸出功率之比的一繪圖，該比率係作為偶極深度除以波長之函數，並且此圖係針對無光子晶體的一裝置及具有一三角形晶格光子晶體的一裝置。

圖 14 係一蜂巢形晶格光子晶體的俯視圖。

圖 15 係發射進入一 12 度出口錐形之輸出功率與總輸出功率之比的一繪圖，該比率係作為偶極深度除以波長之函數，並且此圖係針對無光子晶體的一裝置及具有一蜂巢形晶格光子晶體的一裝置。

圖 16 至 19 說明形成一光子晶體裝置的方法。

【主要元件符號說明】

1	穿隧接面
5	P++層
6	n++層
7	n型區域
8	介電材料
100	光子晶體LED
102	基板
104	n接點
108	n型區域
112	作用區域
116	p型區域
120	p接點
122	孔

122-i	孔
123	臺面
200	磊晶結構
202	光阻層
203	絕緣層
204	焊墊
205	焊墊
PX1至PX4	光子晶體裝置
a至e	曲線
a	晶格常數
d	孔直徑
sh	介電常數
w	孔深度
x	軸
y	軸

五、中文發明摘要：

本發明揭示一種光子晶體結構，其係形成於一III族氮化物發光裝置之n型層中。在某些具體實施例中，該光子晶體n型層係形成於一穿隧接面上。該裝置包括一第一導電型態的第一層、一第二導電型態的第一層以及分隔該第一導電型態之第一層與該第二導電型態之第一層的一作用區域。該穿隧接面包括一第一導電型態的第二層與一第二導電型態的第二層，並將該第一導電型態之第一層與該第一導電型態之一第三層隔開。一光子晶體結構係形成於該第一導電型態之該第三層之中。

六、英文發明摘要：

A photonic crystal structure is formed in an n-type layer of a III-nitride light emitting device. In some embodiments, the photonic crystal n-type layer is formed on a tunnel junction. The device includes a first layer of first conductivity type, a first layer of second conductivity type, and an active region separating the first layer of first conductivity type from the first layer of second conductivity type. The tunnel junction includes a second layer of first conductivity type and a second layer of second conductivity type and separates the first layer of first conductivity type from a third layer of first conductivity type. A photonic crystal structure is formed in the third layer of first conductivity type.

十、申請專利範圍：

101年6月6日修正本

1. 一種發光裝置，其包括：
 - 一III族氮化物半導體結構，其包括置放於一n型與一p型區域之間的一作用區域；以及
 - 一光子晶體結構，其係形成於一n型區域之中，
 - 其中，該p型區域實質上為平面的且該光子晶體結構未延伸至該p型區域。
2. 如請求項1之裝置，其中該光子晶體結構包括該n型區域之一厚度的週期性變化。
3. 如請求項1之裝置，其中該光子晶體結構包括一平坦的孔晶格。
4. 如請求項3之裝置，其中該晶格具有約 0.1λ 至 10λ 的一晶格常數a，其中 λ 係藉由該作用區域所發射之光線的一波長。
5. 如請求項3之裝置，其中該晶格具有一晶格常數a，且該等孔具有約 $0.1a$ 至 $0.5a$ 的一直徑。
6. 如請求項3之裝置，其中該等孔具有約 0.05λ 與約 5λ 之間的一深度，其中 λ 係藉由該作用區域所發射之光線的一波長。
7. 如請求項3之裝置，其中一晶格類型、晶格常數、孔直徑及孔深度係被選擇以產生一預定的輻射圖案。
8. 一種發光裝置，其包括：
 - 一第一導電型態之第一層；
 - 一第二導電型態之第一層；
 - 一作用層，其係置放於該第一導電型態之第一層與該

第二導電型態之第一層之間；

一穿隧接面，該穿隧接面包括：

一第一導電型態之第二層，其摻雜濃度大於該第一導電型態的第一層；以及

一第二導電型態之第二層，其摻雜濃度大於該第二導電型態之第一層；以及

一第一導電型態的第三層；

其中，該第一導電型態的第三層之一厚度係週期性變化；

其中，該穿隧接面係位於該第一導電型態之第一層與該第一導電型態之第三層之間。

9. 如請求項8之裝置，其中：

該第一導電型態之第二層具有一摻雜濃度，其範圍為從約 10^{18}cm^{-3} 至約 $5 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ ；以及

該第二導電型態之第二層具有一摻雜濃度，其範圍為從約 10^{18}cm^{-3} 至約 $5 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ 。

10. 如請求項8之裝置，其中該第二導電型態之第二層具有一

摻雜濃度，其範圍為從約 $2 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ 至約 $4 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ 。

11. 如請求項8之裝置，其中該第一導電型態之第二層具有一

摻雜濃度，其範圍為從約 $7 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 至約 $9 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 。

12. 如請求項8之裝置，其中當以反向偏壓模式操作時，該穿

隧接面具有一電壓降，其範圍在從約 0V 至約 1V 之間。

13. 如請求項8之裝置，其中當以反向偏壓模式操作時，該穿

隧接面具有一電壓降，其範圍在從約 0.1V 至約 1V 之間。

14. 如請求項8之裝置，其中：

該第一導電型態之第二層具有一厚度，其範圍為從約1 nm至約50 nm；以及

該第二導電型態之第二層具有一厚度，其範圍為從約1 nm至約50 nm。

15. 如請求項8之裝置，其中該穿隧接面具有一厚度，其範圍為從約2 nm至約100 nm。

16. 如請求項8之裝置，其中該作用區域包括III族氮化物材料。

17. 如請求項8之裝置，其中該厚度的週期性變化包括一平坦的孔晶格。

18. 如請求項17之裝置，其中該平坦晶格係選自由以下各項所組成之群組：一三角形晶格、一正方形晶格、一六邊形晶格以及一蜂巢形晶格。

19. 如請求項17之裝置，其中該平坦晶格包括不止一種的晶格類型。

20. 如請求項17之裝置，其中該晶格具有約 0.1λ 至 10λ 的一晶格常數 a ，其中 λ 係藉由該作用區域所發射之光線的一波長。

21. 如請求項17之裝置，其中該晶格具有約 0.1λ 至 4λ 的一晶格常數 a ，其中 λ 係藉由該作用區域所發射之光線的一波長。

22. 如請求項17之裝置，其中該晶格具有一晶格常數 a ，且該等孔具有約 $0.1a$ 至 $0.5a$ 的一直徑。

23. 如請求項17之裝置，其中該等孔具有約 0.05λ 至 5λ 的一深

度，其中 λ 係藉由該作用區域所發射之光線的一波長。

24. 如請求項17之裝置，其中該等孔係使用一介電質來填充。

25. 如請求項24之裝置，其中該介電質具有一位於約1與約16之間的介電常數。

26. 如請求項8之裝置，其中該第一導電型態之第三層具有至少約0.1微米的一厚度。

27. 如請求項8之裝置，其進一步包含：

一第一電極，其係電連接至該第一導電型態之第一層；
以及

一第二電極，其係電連接至該第一導電型態之第三層。

28. 如請求項27之裝置，其中該第二電極包括附著於該第一導電型態之第三層上的一薄片，其中該薄片僅接觸該第一導電型態之第三層的較厚部分。

29. 如請求項8之裝置，其中該厚度的週期性變化係形成於該第一導電型態之第三層的一第一部分上，該裝置進一步包括一電極，該電極係電連接至該第一導電型態之第三層的一第二部分上。

30. 如請求項8之裝置，其中該週期性變化之週期與藉由該作用區域在空氣中所發射之光線的一波長之比係約0.1至約5。

31. 如請求項8之裝置，其中：

該厚度的週期性變化包括一孔晶格；以及

一晶格類型、晶格常數、孔直徑及孔深度係被選擇成用以產生一預定的輻射圖案。

32. 一種製造發光裝置之方法，其包括：

形成一第一導電型態之第一層；

形成一第二導電型態之第一層；

形成一作用區域，其係位於該第一導電型態之第一層與該第二導電型態之第一層之間；

形成一穿隧接面，該穿隧接面包括：

一第一導電型態之第二層，其摻雜濃度大於該第一導電型態的第一層；以及

一第二導電型態之第二層，其摻雜濃度大於該第二導電型態的第一層；

形成一第一導電型態的第三層；以及

形成複數個孔，其形成於該第一導電型態的第三層之中；其中：

該穿隧接面係位於該第一導電型態之第一層與該第一導電型態之第三層之間；

該等複數個孔形成一晶格；以及

選擇一晶格類型、晶格常數、孔直徑及孔深度以產生一預定的輻射圖案。

33. 一種發光裝置，其包括：

一III族氮化物半導體結構，其包括置放於一n型與一p型區域之間的一作用區域；以及

一光子晶體結構，其係形成於一n型區域之中，該光子晶體結構包含一平面的孔晶格，每個孔具有一自一頂部開口延伸至一底部表面之深度，其中該等孔之頂部開口係位於形成該光子晶體結構之該n型區域之一表面上。

34. 如請求項33之裝置，其中該晶格具有約 0.1λ 至 10λ 的一晶格常數 a ，其中 λ 係藉由該作用區域所發射之光線的一波長。
35. 如請求項33之裝置，其中該晶格具有一晶格常數 a ，且該等孔具有約 $0.1a$ 至 $0.5a$ 的一直徑。
36. 如請求項33之裝置，其中該等孔具有約 0.05λ 至 5λ 的一深度，其中 λ 係藉由該作用區域所發射之光線的一波長。
37. 如請求項33之裝置，其中一晶格類型、晶格常數、孔直徑及孔深度係被選擇以產生一預定的輻射圖案。
38. 如請求項33之裝置，其中該等孔之底部表面係位於形成該光子晶體結構之該 n 型區域內。

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：

100	光子晶體LED
102	基板
104	n接點
108	n型區域
112	作用區域
116	p型區域
120	p接點
122	孔
122-i	孔

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)