



(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 201201403 A1

(43)公開日：中華民國 101 (2012) 年 01 月 01 日

(21)申請案號：099143213

(22)申請日：中華民國 99 (2010) 年 12 月 10 日

(51)Int. Cl. : H01L33/04 (2010.01)

(30)優先權：2010/06/25 美國 12/824,097

(71)申請人：亞威朗(美國)公司(美國) INVENLUX CORPORATION (US)
美國

(72)發明人：閻春輝 YAN, CHUNHUI (CN)；張劍平 ZHANG, JIANPING (CN)；劉穎 LIU, YING (CA)；趙方海 ZHAO, FANGHAI (CN)

(74)代理人：陳翠華

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：37 項 圖式數：8 共 59 頁

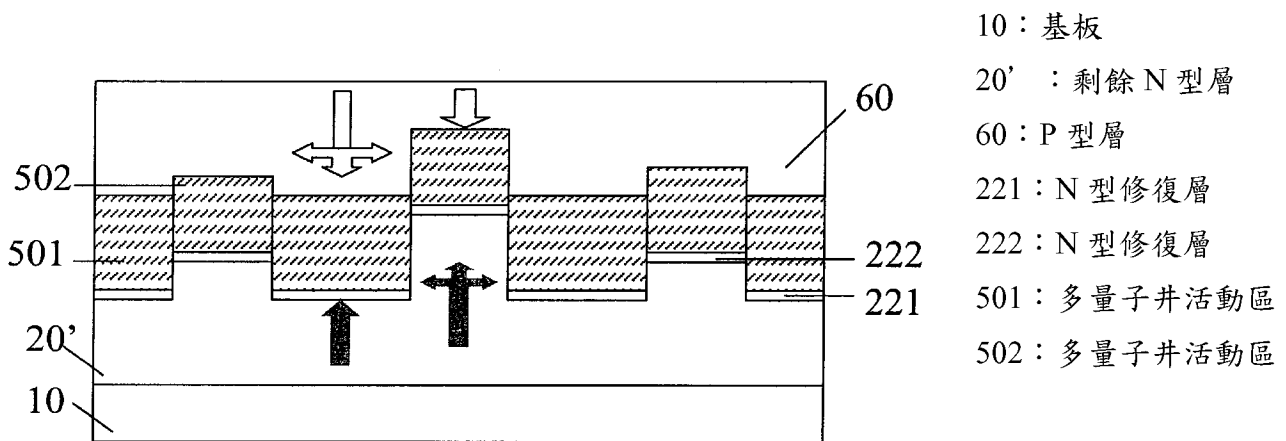
(54)名稱

發光元件及其製造方法

LIGHT-EMITTING DEVICE AND MANUFACTURING METHOD FOR THE SAME

(57)摘要

一種發光元件包括夾在 N 型層和 P 型層之間的活動區，其允許向活動區中橫向注入載流子，以降低活動區中的熱生成，並將與帶隙非連續性相關的額外正向電壓的增加最小化。在一些實施例中，活動區是一個垂直錯置的多量子井(MQW)活動區。本發明並包括發光元件之製作方法。





(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 201201403 A1

(43)公開日：中華民國 101 (2012) 年 01 月 01 日

(21)申請案號：099143213

(22)申請日：中華民國 99 (2010) 年 12 月 10 日

(51)Int. Cl. : **H01L33/04 (2010.01)**

(30)優先權：2010/06/25 美國 12/824,097

(71)申請人：亞威朗(美國)公司(美國) INVENLUX CORPORATION (US)
美國

(72)發明人：閻春輝 YAN, CHUNHUI (CN)；張劍平 ZHANG, JIANPING (CN)；劉穎 LIU, YING (CA)；趙方海 ZHAO, FANGHAI (CN)

(74)代理人：陳翠華

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：37 項 圖式數：8 共 59 頁

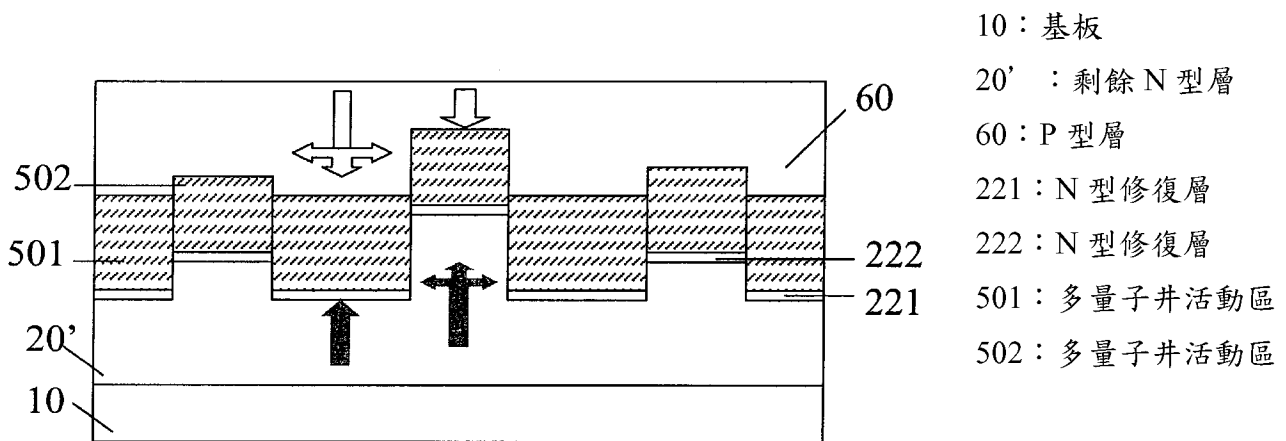
(54)名稱

發光元件及其製造方法

LIGHT-EMITTING DEVICE AND MANUFACTURING METHOD FOR THE SAME

(57)摘要

一種發光元件包括夾在 N 型層和 P 型層之間的活動區，其允許向活動區中橫向注入載流子，以降低活動區中的熱生成，並將與帶隙非連續性相關的額外正向電壓的增加最小化。在一些實施例中，活動區是一個垂直錯置的多量子井(MQW)活動區。本發明並包括發光元件之製作方法。



六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明一般涉及發光元件，特別是涉及具有增強載流子注入、降低熱生成和光吸收的發光元件。

【先前技術】

非平衡電子和電洞被注入到活動區 (active-region) 進行輻射複合以產生光，因此，在發光元件中最重要的層就是夾在電子供給層 (N型層) 和電洞供給層 (P型層) 之間的活動區。注入的載流子 (電子和電洞) 將受到極性相反的載流子的吸引力和極性相同的載流子的排斥力。吸引力才有助於形成電子電洞對 (e-h) 和增強電子電洞對的複合機率。因此，有必要將注入的載流子限制在一定區域/容積內以獲得較好的發光效率。在過去的幾十年中，活動區已由三維 (3D) 發展到二維 (2D)，甚至到一維和零維 (1D, 0D)。三維活動區是由準體 (quasi bulk) 材料製成，沒有任何量子限制效應，載流子在其中可以三維地擴散，電子電洞的複合機率較低。二維活動區一般在載流子注入方向上具有量子限制效應，通常為多量子井 (MQW) 結構。一維和零維活動區則在其他更多的方向上引入了量子限制，以量子線和量子點活動區為代表。

與三維活動區相比，二維多量子井活動區具有較高電子電洞複合機率，而沒有增加製造程序的複雜性。因此，多量子井是現代發光元件中最多採用的活動區。

一個多量子井包括複數個交替量子障壁 (quantum barrier) (在本說明書中也被稱為障壁) 和量子井 (quantum well) (在本說明

書中也被稱為井)，其中量子障壁具有較大的帶隙能。當夾持在量子井兩側時，這些障壁對注入到量子井裏的載流子提供量子限制，從而獲得很高的輻射複合效率。圖 1 示出了示範性 GaN/InGaN 多量子井 LED 能帶圖。如圖所示，GaN 障壁和 InGaN 井的交接處存在導帶和價帶的不連續性。通常，導帶中的不連續性更為顯著，對井中電子形成位能障壁 (potential barrier)。價帶的不連續性提供位能障壁以約束量子井中的電洞。因此，注入井的非平衡電子和電洞在垂直於量子井層的方向上被限制在量子井中。在現有技術中該量子限制方向與發光元件的載流子注入方向一致。這種量子限制大大增強了電子電洞的諧振強度 (oscillation strength)，從而增加了電子電洞的複合機率。

然而，發明者也指出了在現有技術中用多量子井作活動區的一些缺陷。參考圖 1 (電洞由空心圓圈表示)，當載流子從量子障壁被驅動到量子井中時，會損失載流子的位能。這部分位能首先會被轉換成載流子的動能，然後通過與晶格的作用發射聲子將多餘的動能全部轉換成熱能。由於導帶的不連續性大於價帶的不連續性，現有技術多量子井 LED 中電子注入產生的熱量較電洞注入產生的熱量更顯著。

例如，在商用藍/綠光 LED 中，GaN 和 InGaN 被分別用於多量子井中的量子障壁和量子井的材料。量子障壁和量子井之間有 0.5 到 0.8 eV 的帶隙非連續性。根據發明者的發現，當這些商用 LED 在 1 A 的電流驅動下用於通用照明時，由於垂直於量子井的載流子的注入和在此方向上的帶隙非連續性，在多量子井活動區中會

產生 0.5 到 0.8 瓦的熱量。與 MQW 帶隙非連續性有關的、正好在發光區內產生的這種熱能，預期會對電光功率轉換效率產生不利影響。特別是在大電流注入的情況下，這種熱生成可能是通常所見的效率衰減的根本原因（效率衰減在美國專利申請公開號 2009/0050924 中有所闡述，在此整體地將其內容引入作為參考）。

現有多量子井結構的另一個缺陷，就是為了到達最遠端的量子井，載流子被反復從量子井泵進量子障壁。參考圖 1，首先被注入到量子井 1（第一量子井）的電子，必須被泵進額外的障壁中，以到達量子井 2（第二量子井）和量子井 3（第三量子井）。這將增加器件的電阻，從而增加器件的正向電壓。Ni 等人（Reduction of efficiency droop in InGaN light emitting diodes by coupled quantum wells, Appl. Phys. Lett. 93, 171113(2008)）提出採用薄量子障壁以利於載流子隧穿傳輸。然而，隧穿障壁會不可避免具有較小的量子約束效果，以至於有較低的輻射複合機率。

在此整體地將其內容引入作為參考的美國專利 7,611,917，闡述了一種在外延層中利用穿透位錯生長凹坑的方法，並設想發光活動區能伸展進這些凹坑區域，以提高電洞的注入。同樣，在此整體地將其內容引入作為參考的美國專利申請 2009/0191658，也提出提高電洞注入的生長凹坑。而且，美國專利申請 2009/0191658 並進一步建議用離子注入或擴散作為後生長製程方法（post-growth approach）來形成穿入活動區的 P 型區。該專利申請還提出選擇性刻蝕活動區，並實施 P 型層再生長以填滿被刻蝕掉的活動區。所有這些途徑通常會改善電洞的注入。然而，利用

穿透位錯形成凹坑的方法會犧牲器件結構的品質，其他後生長製程方法也會損壞活動區。這意味著，美國專利 7,611,917 和美國專利申請 2009/0191658 建議的方法會導致器件性能降低，如器件較大的漏電流，較差的反向持續電壓及較低的抗靜電能力。

簡言之，採用異質結構的現代發光元件大大提高了發光效率。然而，與異質結構所相關的帶隙非連續性將不可避免地垂直於異質結構介面（異質介面）的方向上，對載流子的注入產生障礙。這種對載流子注入的障礙在載流子具有較大有效品質的寬頻隙半導體中尤其嚴重。並且，當載流子從寬頻隙層注入到窄帶隙層時，載流子會通過發射聲子來轉換位能。這種載流子晶格相互作用過程會產生熱能降低發光效率。

【發明內容】

本發明公開新的載流子注入方法，用以降低或避免多量子井中產生熱能，以及降低或去除與帶隙非連續性有關的額外正向電壓的增加。

本發明的一個方面提供一種包括 N 型層、P 型層以及活動區的發光元件，其中 N 型層在基本與活動區垂直的第一接觸區與活動區接觸，以將電子橫向注入活動區。

較佳地，P 型層也在基本與活動區垂直的第二接觸區與活動區接觸，以將電洞橫向注入活動區。較佳地，活動區由複數個障壁層和井層製成。在一些實施例中，活動區含有 20-50 對井層和障壁層。

在一些實施例中，活動區的整個厚度在 400 奈米-1000 奈米的範

圍內。每個障壁層的厚度在 10 奈米-300 奈米的範圍內。在一些實施例中，至少兩個井層發射不同波長的光，其峰值的波長差至少為 10 奈米。

用於容放 N 型層、P 型層和活動區的基板能夠選自下述組中，該組包括 GaN、藍寶石、矽、碳化矽、氧化鋅、石英、玻璃以及砷化鎵。

本發明的另一個方面提供包括 N 型層、P 型層以及夾在 N 型層和 P 型層之間的垂直錯置活動區的發光元件。

該活動區包括複數個容積單元，每個容積單元由頂面、底表面和側壁限定。相鄰容積單元垂直地錯置，使得相鄰容積單元的頂面不在同一平面內，或者底表面不在同一平面內；容積單元的側壁被分成兩組，第一組側壁暴露於 N 型層以接收從 N 型層橫向注入的電子，第二組側壁暴露於 P 型層以接收從 P 型層橫向注入的電洞，每組側壁會暴露一個以上的量子井層。

在一些實施例中，容積單元的頂面基本上分別位於兩個垂直隔開的平面內或位於兩個以上垂直隔開的平面內。

在一些實施例中，所有容積單元具有同等數量的量子井層和基本同樣的高度，相鄰容積單元共有一個包含至少一個井層的垂直重疊部分。

在一些實施例中，N 型層和容積單元的第一組側壁之間的接觸表面積，與 P 型層和容積單元的第二組側壁之間的接觸表面積之比在 0.5 到 2 的範圍內。

本發明的另一個方面提供具有包括 N 型層、P 型層及夾在 N 型層和 P 型層之間的發光活動區的發光元件，其中該活動區具有複數個凸向 N 型層的第一凸起單元，第一凸起側壁暴露於 N 型層且能夠接受從 N 型層橫向注入的電子。

在一些實施例中，活動區還具有複數個凸向 P 型層的第二凸起，第二凸起的側壁暴露於 P 型層且能夠接受從 P 型層橫向注入的電洞。

較佳地，活動區包括複數個井層和障壁層，第一種凸起的側壁暴露一個以上井層。

在一些實施例中，第一種凸起包括彼此之間隔開的凸起。而在另一些實施例中，第一種凸起包括彼此連接本發明的另一方面提供包括帶有複數個第一凸起的 N 型層、P 型層及夾在 N 型層和的凸起以形成連續結構。P 型層之間具有複數個井層和障壁層的發光活動區的發光元件。該活動區具有複數個對應於 N 型層的第一凸起的第一凹陷，每個第一凹陷容放一個第一凸起，第一凹陷的側壁暴露一個以上井層且能接受從 N 型層的第一凸起橫向注入的電子。

在一些實施例中，活動區也具有複數個第二凹陷，P 型層具有複數個第二凸起，每個第二凹陷容放一個第二凸起，第二凹陷的側壁暴露一個以上井層且能接受從 P 型層的第二凸起橫向注入的電洞。

在一些實施例中，第一凹陷穿過整個活動區，並部分被 P 型材

料和用於分隔 P 型材料和第一凸起的絕緣材料所填充，這部分 P 型材料與 P 型層相連。

在一些實施例中，第一凸起包括彼此分開的凸起。在一些實施例中，第一凸起包括彼此連接的凸起以形成連續結構。

在一些實施例中，第二凹陷單元穿過整個活動區，並部分被一種絕緣材料所填充用以分隔第二凸起與 N 型層。在一些實施例中，第一凹陷穿過整個活動區，並部分被另一種絕緣材料所填充用以分隔第一凸起與 P 型層。

發明的另一方面提供一種發光元件的製作方法。該方法包括：在基板上澱積 N 型層；圖案化該 N 型層以形成複數個限定第一組表面、與第一組表面垂直錯置的第二組表面的凹陷；再在 N 型層的表面上澱積與其共形的活動區，使得活動區的第一部分形成於第一組表面上，活動區的第二部分形成於第二組表面上，其中活動區的第一部分與活動區的第二部分垂直錯置；再在活動區上澱積與其共形的 P 型層。

較佳地，澱積活動區的步驟包括交替地澱積複數個井層和障壁層。與 N 型層接觸的活動區第一部分的側壁暴露至少一個井層，與 P 型層接觸的活動區第二部分的側壁暴露至少一個井層。

在一些實施例中，該方法包括：在澱積活動區之前，還在 N 型層上澱積 N 型修復層，該 N 型修復層層覆蓋 N 型層的第一組表面和第二組表面。

在一些實施例中，該方法包括：在澱積活動區之前，還在 N 型

層上澱積絕緣層，該絕緣層覆蓋 N 型層的第一組表面和第二組表面，但不覆蓋連接第一組表面和第二組表面的側壁。

本發明的另一個方面提供一種發光元件的製作方法。該方法包括：

在基板上澱積 N 型層，在該 N 型層上形成絕緣層；

圖案化絕緣層，以去掉該絕緣層的暴露部分和在該絕緣層的暴露部分下面的 N 型層的一部分，以形成剩餘絕緣層的第一組表面和與該第一組表面垂直錯置的剩餘 N 型層的第二組表面；

澱積活動區，這樣活動區的第一部分形成於第一組表面上，活動區的第二部分形成於第二組表面上；

去掉活動區的第一部分以剩餘絕緣層；

在活動區上澱積 P 型層以覆蓋活動區的頂部表面，其中 P 型層的一部分填充被活動區的去掉的第一部分佔據的空間，以形成複數個電洞注入塞；

圖案化和刻蝕 P 型層，以去掉部分電洞注入塞及其下面的絕緣層，直到露出 N 型層，以形成複數個電子注入塞空洞；以及

將另一 N 型層澱積入複數個電子注入空洞，以形成複數個電子注入塞；

在複數個電子注入塞上澱積另一絕緣層，以將複數個電子注入塞與 P 型層絕緣。

較佳地，澱積活動區的步驟包括交替地澱積複數個井層和障壁

層。電洞注入塞與至少一個井層接觸，並且電子注入塞和至少一個井層接觸。

在一些實施例中，該方法包括：在澱積活動區之前，還在 N 型層上澱積修復 N 型層，該修復 N 型層覆蓋第一組表面和第二組表面。

本發明的另一個方法提供一種發光元件的製作方法。該方法包括：

● 提供在基板上澱積的 N 型層、絕緣層和 P 型層；

圖案化和刻蝕 P 型層和絕緣層，直到露出 N 型層，以形成複數個含有 P 型層的剩餘部分和絕緣層的剩餘部分的凸起；

在 N 型層上澱積帶有複數個井層和障壁層的活動區，使得凸起穿過活動區，並且將 P 型層的剩餘部分暴露於一個以上井層。

在一些實施例中，圖案化和刻蝕 P 型層和絕緣層的步驟，將 N 型層刻蝕預定的厚度。

● 【實施方式】

本領域普通技術人員基於本說明書的教導，能夠將本發明的原理應用於發光元件如發光二極體、鐳射二極體，也能應用於光探測器二極體。為了方便和簡要，本發明人以氮化鎵為基礎的發光二極體為例，來闡述本發明的實施例。但是，應當理解，本發明決不局限於以氮化鎵為基礎的發光二極體。

根據本發明的一個方面，提供能夠在與多量子井層平行的方向上注入電洞或能夠將電洞橫向注入量子井的發光元件或發光二極

體。本發明公開此種發光元件的結構和製作程序。該製作程序包括以下步驟：

提供範本，該範本包括在基板上澱積的厚 N 型半導體層、在 N 型層上澱積的絕緣半導體層以及在絕緣層上澱積的 P 型半導體型層；

將該範本成型，包括在範本上形成掩膜，通過刻蝕以穿過未被掩膜覆蓋的部分以達到 N 型層，從而形成兩組垂直錯置的表面，再去掉掩膜；

在成型的範本上恢復 LED 的生長，包括澱積薄 N 型層以修復表面，然後在修復表面上澱積多量子井活動區，再在多量子井活動區上澱積 P 型層。

根據本發明的另一個方面，提供可以橫向注入電洞和電子的發光二極體。該製作程序包括以下的步驟：

提供範本，該範本包括在基板上澱積的厚 N 型半導體層；

將該範本成型，包括在範本上形成掩膜，通過刻蝕掉未被掩膜覆蓋的部分，以達到 N 型層，以形成兩組垂直錯置的表面，再去掉掩膜；

在成型的範本上恢復 LED 的生長，包括澱積薄 N 型層以修復表面，然後在修復表面上澱積多量子井活動區，再在多量子井活動區上澱積 P 型層。

根據本發明的再一個方面，提供能夠橫向注入電子的發光二極體。該製作程序包括以下步驟：

提供範本，該範本包括在基板上澱積的厚 N 型半導體層、在 N 型層上澱積的絕緣半導體層；

將該範本成型，包括在範本上形成掩膜，通過刻蝕以穿過未被掩膜覆蓋的部分以達到 N 型層，從而形成兩組垂直錯置的表面，再去掉掩膜；

在成型的範本上恢復 LED 的生長，包括澱積薄 N 型層或絕緣層以修復表面，然後在修復表面上澱積多量子井活動區，再在多量子井活動區上澱積 P 型層。

根據本發明的再另一方面，提供可以向相同多量子井活動區同時橫向注入電子和電洞的發光二極體。該製作程序包括以下的步驟：

提供範本，該範本包括在基板上澱積的厚 N 型半導體層、在 N 型層上澱積的絕緣半導體層；

將該範本成型，包括在範本上形成掩膜，通過刻蝕穿過未被掩膜覆蓋的部分以達到 N 型層，從而形成兩組垂直錯置的表面，去掉掩膜；

在成型的範本上恢復外延生長，包括澱積薄 N 型層或絕緣層以修復表面，然後在該修復表面上澱積多量子井活動區；

第二次形成覆蓋/保護凹陷的多量子井區的掩膜；

第二次刻蝕以去掉未被掩膜覆蓋的多量子井區，直達絕緣層半導體；

去掉第二掩膜，恢復 P 型層的生長；

第三次形成掩膜，刻蝕直到 N 型層；

恢復 N 型層和絕緣層的外延生長，其中使該 N 型層首先在基板上的底部 N 型層相接觸生長。

圖 2A-圖 2D 示出向多量子井活動區橫向注入電洞的本發明發光二極體實施例的結構和製作程序。參考圖 2A，N 型層 20 澱積在基板 10 上。該 N 型層 20 可以是跟基板 10 相同的材料製成，也可以是由與其不同的材料製成。也就是 N 型層 20 可以在基板 10 上作同質外延或異質外延生長。作異質外延生長時，在 N 型層 20 和基板 10 之間可能有其他層，比如舒緩 N 型層 20 和基板 10 之間晶格不匹配的緩衝層。在以氮化鎵為基礎的發光二極體中，N 型層 20 可以是矽摻雜的氮化鎵、矽摻雜 AlGa₃N、或矽摻雜的 InGa₃N 層。基板 10 可能是氮化鎵、藍寶石、矽、碳化矽、石英、氧化鋅、玻璃和砷化鎵及相關領域裏的類似材料。在 N 型層 20 的頂部上形成絕緣層 30，接著是 P 型層 40。絕緣層 30 可以是絕緣的氮化鎵，例如本質氮化鎵 (Intrinsic GaN)、鐵摻雜的氮化鎵或高補償摻雜的氮化鎵層，或絕緣的鋁鎵氮 (AlGa₃N) 或氮化鋁 (AlN) 層。絕緣層 30 是用於作電隔離，因此電阻率優選要比較高，較佳為高於 100 Ω.cm，最好為高於 1000 Ω.cm，P 型層 40 可以是 P 型氮化物如鎂摻雜的氮化鎵 (Ga₃N)、銦鎵氮 (InGa₃N) 或鋁鎵氮 (AlGa₃N) 層。

參考圖 2A 和圖 2B，掩膜 15 用於限定刻蝕圖案。刻蝕深度要等於或大於絕緣層 30 的厚度 d_3 和 P 型層 40 的厚度 d_4 之和，以露出 N 型層 20，允許隨後形成的活動區完全接觸 N 型層 20。絕緣層

30 的厚度 d_3 最好在 0.1 到 0.5 微米之間的範圍內，P 型層 40 的厚度 d_4 最好在 0.2 到 0.6 微米之間的範圍內，但 d_3 和 d_4 不限於上述厚度範圍。

刻蝕之後，去掉掩膜 15，以露出剩餘 P 型層 40' 的上表面 401 和部分 N 型層 20 的上表面 201。兩組表面 401 和 201 垂直錯置，如圖 2B 所示，以便於接著的 LED 結構生長。該 LED 結構生長始於澱積可選的 N 型修復層 22，用以修復/翻新 N 型層 20 的已刻蝕表面，以利於後面多量子井活動區的生長。N 型修復層 22 可以是氮化鎵 (GaN)、銦鎵氮 (InGaN) 或鋁鎵氮 (AlGaN) 層，厚度在 0.1 到幾微米如 3 微米。修復層的厚度最好在 0.1-0.5 微米的範圍內。參考圖 2C，N 型修復層 22 包括兩部分：分別修復表面 201 和 401 的層 221 和 222。層 221 的厚度要小於剩餘絕緣層 30' 的厚度和刻蝕進 N 型層 20 的厚度之和，這樣層 221 不會和剩餘 P 型層 40' 直接相接觸。多量子井活動區 50 (包括在層 221 上形成的活動區 501 和層 222 上形成的活動區 502) 被澱積在 N 型修復層 221 和 222 上。多量子井活動區 50 通常是由交替的鋁銦鎵氮 (AlInGaN) 量子井和鋁銦鎵氮 (AlInGaN) 量子障壁製成，特別是氮化鎵 (GaN) 或銦鎵氮 (InGaN) 障壁和銦鎵氮 (InGaN) 井。最後，P 型層 60 澱積在多量子井活動區 50 之上以完成該結構。根據刻蝕深度和再生長厚度，P 型層 60 可以具有平整表面 (圖 2C) 或不平整表面 (圖 2D)。在 P 型層 60 的表面不平整的情況下，可以用不同折射率的材料來填充以使不平整表面平整。如圖 2D，P 型層 60 的不平整表面通過填充材料 70 而變平整。材料 70 可以是電介質如二氧化矽、氮化矽或透明導電氧化物如 ITO。

如圖 2C 和 2D 中所示結構，可實現向多量子井活動區 501 橫向注入電洞。在圖 2C 和 2D 中，電洞電流和電子電流分別以空心箭頭和實心箭頭表示。從圖中可看到，除了傳統的垂直電洞注入，還有通過剩餘 P 型層 40' 的側壁向多量子井活動區 501 中顯著的橫向電洞注入。由於多量子井活動區 501 跨過剩餘絕緣層 30' 的側壁和剩餘 P 型層 40' 的側壁，因此可以將電洞橫向注入多量子井活動區 501 的側壁，並無從剩餘 P 型層 40' 到 N 型修復層 221 的漏電之虞。

在澱積 P 型層 60 之前，可以選擇性地移去多量子井活動區 502 和/或 N 型修復層 222。可以選擇性地在 P 型層 60 和多量子井活動區 501 之間澱積帶隙能比 P 型層 60 更大的其他 P 型層。

根據掩膜 15 限定的刻蝕圖案，可以調整橫向注入的電洞電流分量。刻蝕圖案可以是一維或二維圖案。一個簡單的一維圖案就是一組平行線條，一個簡單的二維圖案可以由兩組互相交叉的平行線條形成。如圖 6 就是一個如此形成的二維圖案，即由兩組互相垂直的平行線條所構成的方形網格。參考圖 2B 和圖 6，當圖 6 被看做是圖 2B 中示例結構的俯視圖時，則向上凸起的長條具有上表面 401，由剩餘 P 型層 40'、剩餘絕緣層 30' 和 N 型層 20 的一部分疊加而成（如果刻蝕 P 型層 40 和絕緣層 30 部分刻蝕了 N 型層 20）。長條圍著的凹陷的方塊是暴露 N 型層 20 的上表面 201，用來接納 N 型修復層 221 或用於活動區 501 的直接生長。凹陷的方塊可以用其他規則或不規則形狀來代替，如三角形，多邊形，圓形或不同形狀的組合。

在圖 2 和圖 6 所例示的情況下，橫向注入的電洞電流分量正比於 $(2d \cdot a / (a^2 + 2d \cdot a))$ (不考慮由剩餘 P 型層 40' 所引起的額外電阻)，這裏 d 和 a 分別是長條 (或側壁) 的寬度和凹陷方塊的邊長。在一些實施例中，長條寬度 d 在 1-10 微米之間的範圍內，方塊的邊長 a 在 5-50 微米之間的範圍內。由於在剩餘 P 型層 40' 上生長的多量子井活動區 502 對發光沒有貢獻，因此 d 不要太寬。而另一方面，由於橫向注入的電洞電流幾乎正比於 d ，因此 d 又要足夠大。

圖 7 中所示的是另一個具有方形點陣的二維圖案。圖 7 可以看作是圖 2B 的另一個例示結構的俯視圖。當 d 小於 $a/2$ ，例如小於 $a/4$ 或 $a/8$ 時，直徑為 d 的圓圈代表向上凸起的橫向電洞注入柱體，其中 a 是二維方形點陣的點陣晶格常數。這裏向上凸起的橫向電洞注入柱體具有上表面 401，是由剩餘 P 型層 40'、剩餘絕緣層 30' 和 N 型層 20 的一部分疊加組成 (如果刻蝕 P 型層 40 和絕緣層 30 時部分刻蝕了 N 型層 20)。凹陷區而不是向上凸起的橫向電洞注入柱體暴露了 N 型層 20 的上表面 201，用來接納 N 型修復層 221 或活動區 501 的外延生長。這種情況下，橫向注入的電洞電流正比於 $(d/a)^2$ 。除了圓形，向上凸起的橫向電洞注入柱體的橫截面可以是其他規則或不規則形狀。

其他適合的一維或二維圖案也可用於這些實施例中。

可以選擇性地在 P 型層 60 和多量子井活動區 501 之間澱積薄絕緣層 (沒有在圖 2C 和圖 2D 中顯示)，該絕緣層直接與多量子井活動區 501 接觸，這樣就禁止了向多量子井活動區 501 的垂直電洞注入，只有橫向電洞注入的路徑是開放的，從而實現完全橫向電

洞注入。如果需要，P型層 60 可以與多量子井活動區 501 部分接觸，例如薄絕緣層只覆蓋多量子井活動區 501 的一部分，而多量子井活動區 501 的其餘部分則暴露於 P 型層 60。如前所述，橫向電洞注入可以降低多量子井活動區中的熱生成，在活動區中得到更均勻的電洞分佈。

本發明的另一個實施例可以對活動區橫向注入電子。圖 3A-圖 3C 出示了該實施例中發光二極體的結構和製作程序流程圖。橫向電子注入與橫向電洞注入具有同樣的重要性，因為這樣可以將多量子井活動區中的熱電子的數目和電子溢出的可能性降至最低。就降低多量子井活動區中的熱量而言，由於帶隙非連續性大多分佈在導帶中（占 60-80%），因此，期望橫向電子注入在降低活動區熱生成上將扮演更重要的角色。如圖 3A，N 型層 20 澱積在基板 10 上。該 N 型層 20 可以是同質或異質外延澱積在基板 10 上。在異質生長的情況下，N 型層 20 可包括其他用作緩衝的層，以舒緩 N 型層 20 和基板 10 之間的晶格不匹配。在氮化鎵為基礎的發光二極體中，N 型層 20 可以由矽摻雜氮化鎵製成。N 型層 20 也可以是該領域裏其他傳統的任何合適的 N 型層。基板 10 可以是氮化鎵、藍寶石、碳化矽、砷化鎵和領域裏使用的類似的材料。在 N 型層 20 的頂部上形成絕緣層 30。絕緣層 30 可以是絕緣的氮化鎵，例如本質氮化鎵、鐵摻雜的氮化鎵、或高補償摻雜的氮化鎵層，或絕緣的鋁鎵氮或氮化鋁層。絕緣層 30 是用於電絕緣，因此電阻率要比較高，要高於 $100\Omega\cdot\text{cm}$ ，最好高於 $1000\Omega\cdot\text{cm}$ ，厚度要大於 0.1 微米，最好在 0.2 到 0.5 微米之間。

如前所述，掩膜 15 用來限定想要的一維或二維或不規則刻蝕圖案。刻蝕深度要足夠大以使得多量子井活動區 501 局部內置於剩餘 N 型層 20' 的凹陷區中（圖 3B 和圖 3C）。參考圖 3C，絕緣層 30 和 N 型層 20 合起來的刻蝕深度最好在 0.3 到 1.0 微米之間的範圍內。然後，多量子井活動區 501 和 502 則同時在剩餘 N 型層 20' 的暴露上表面 201 和剩餘絕緣層 30' 的上表面 301 上層層澱積。多量子井活動區 501 通常由交替的鋁銦鎵氮量子井和障壁製成，特例是，GaN 或 InGaN 障壁和 InGaN 量子井。最後，在多量子井活動區 501 和 502 上生長 P 型層 60 以完成該結構。根據刻蝕深度和再生長厚度，P 型層 60 可以是平整的表面（圖 3C）或不平整表面（未在圖中顯示）。在 P 型層 60 的表面不平整的情況下，其他不同折射率的材料可用來填充以使 P 型層的不平整表面平整，例如圖 2D 所示的填充材料 70。

當器件被加上正向偏壓時，電洞電流和電子電流被驅動進入多量子井活動區 501，如圖 3C 中分別以空心 and 實心箭頭所示。由於多量子井活動區 501 跨過剩餘 N 型層 20' 凸起部分的側壁和剩餘絕緣層 30' 的側壁的佈置，因此旁通過多量子井活動區 501 的漏電得以被抑制。

另外，參考圖 3C，修復層 221 和 222 可以做成類似於圖 2A-2D 中的 N 型修復層 22。並且此實施例中的修復層 221 和 222 可以是 N 型層或絕緣層。在修復層 221 是 N 型層的情況下，橫向注入的電子電流由剩餘 N 型層 20' 的凸起部分的側壁和被修復層 221 覆蓋的剩餘 N 型層 20' 的凹陷表面區域的剖面積之比調節。在修復層

221 是絕緣層的情況下，向多量子井活動區 501 的垂直電子注入被抑制，只有橫向注入途徑開放，從而實現完全橫向電子注入。如果需要，當修復層 221 是絕緣層時，絕緣層 221 可以做成只覆蓋剩餘 N 型層 20' 凹陷表面區域的一部分，從而允許部分垂直電子注入到多量子井活動區 501。

剩餘絕緣層 30' 是用來絕緣剩餘 N 型層 20' 和 P 型層 60。只要達到這個目的，那麼內置於多量子井活動區 501 中的剩餘絕緣層 30' 的一部分要做到越薄越好，這樣剩餘 N 型層 20' 的凸起部分可以和多量子井活動區 501 有更多接觸表面積，從而允許更多電子從剩餘 N 型層 20' 橫向注入到多量子井活動區 501。最好，活動區 501 的 50% 多的厚度內置於剩餘 N 型層 20' 的凹陷區中，例如活動區 501 的大於 60%、70% 或 80% 的厚度內置於剩餘 N 型層 20' 的凹陷區中。

應該注意的是，圖 3A-3C 的實施例中的各層可以相同或類似於圖 2A-2D 的實施例中的對應層，可以採用圖 2A-2D 中同樣或類似的製作程序來形成。

剩餘絕緣層 30' 和該剩餘絕緣層 30' 下的剩餘 N 型層 20' 對應的凸起部分可以具有任何適合的一維或二維圖案或任何適合的規則或不規則圖案，如圖 6 和 7 所示，或它們的組合。例如，當把圖 6 可看做是圖 3B 的例示結構的俯視圖時，向上凸起的長條具有上表面 301，由剩餘絕緣層 30' N 型層 20' 的一部分疊加而成。由長條圍起的凹陷方塊露出剩餘 N 型層 20' 的上表面 201，以接納 N 型修復層 221 或活動區 501 的直接外延生長。凹陷的方塊可用其他規

則或不規則形狀來代替，如三角形、多邊形、圓形或不同形狀的組合。在此例示中，長條尺寸與前所述相同。例如，在一些例示中，長條的寬度 d 在 1-10 微米之間的範圍內，比如 3 微米或 6 微米，方塊邊長 a 在 5-50 微米之間的範圍內，如 10 微米，20 微米，30 微米或 40 微米。

圖 7 可以看做是圖 3B 的另一個例示結構的俯視圖。當 d 小於 $a/2$ ，例如小於 $a/4$ 或 $a/8$ 時，直徑為 d 的圓圈代表向上凸起的橫向電子注入柱體，其中 a 是二維方形點陣的點陣晶格常數。在此例示中，向上凸起的橫向電子注入柱體具有上表面 301，由剩餘絕緣層 30' 和剩餘 N 型層 20' 的一部分疊加而成。凹陷區域而不是向上凸起的橫向電子注入柱體暴露剩餘 N 型層 20' 的上表面 201，以接納 N 型修復層 221 或直接接觸活動區 501 的外延生長。這裏，橫向注入的電子電流與 $(d/a)^2$ 成正比。向上凸起的橫向電子注入柱體可以具有圓形以外的其他規則或不規則剖面形狀。

圖 4A-圖 4D 示出另一個實施例。如圖 4A 中所示，在基板 10 上澱積 N 型層 20。N 型層 20 可以在基板 10 上同質或異質外延生長。在異質外延生長的情況下，N 型層 20 可包括其他用作緩衝的層，以舒緩 N 型層 20 和基板 10 之間的晶格不匹配。在以氮化鎵為基礎的發光二極體中，N 型層 20 可由矽摻雜的氮化鎵製成。N 型層 20 可以是領域裏傳統使用的任何適用的 N 型層。基板 10 可以是氮化鎵、藍寶石、碳化矽、砷化鎵及該領域裏類似的材料。在 N 型層 20 上形成掩膜 15 以限定刻蝕圖案。刻蝕到預定深度後，在剩餘 N 型層 20' 上形成具有基本垂直側壁的複數個凹陷，以形成隔

開間距為 d_2 的兩組垂直錯置的表面 201 和 202。間距 d_2 最好在 0.1 到 0.3 微米之間的範圍內。根據發光元件的特殊結構，間距 d_2 也可以小於 0.1 微米或大於 0.3 微米。接著，在剩餘 N 型層 20' 上選擇性澱積 N 型修復層 22，包括在表面 201 上形成的 N 型修復層 221 和在表面 202 上形成的 N 型修復層 222。然後，澱積活動區如多量子井活動區 50，其包括在 N 型修復層 221 上形成的多量子井活動區 501 和在 N 型修復層 222 上形成的多量子井活動區 502。在多量子井活動區 501 和多量子井活動區 502 上澱積 P 型層 60。如圖 4C 和圖 4D 所示，多量子井活動區 501 和多量子井活動區 502 具有垂直重疊部分，用來防止漏電流旁通過多量子井活動區 50。垂直重疊部分要至少包括一個量子井層，最好 2-6 個量子井層。多量子井活動區 501 和多量子井活動區 502 垂直錯置，是指：至少一些量子井層在多量子井活動區 501 和多量子井活動區 502 之間的交界處不連續。換句話說，也就是至少一些量子井層的邊緣被多量子井活動區 501 和多量子井活動區 502 的側壁暴露，這樣，電子或電洞能通過暴露的邊緣橫向注入到量子井層中。

在圖 4C-4D 所示的實施例中，多量子井活動區 501 和 502 的側壁是基本垂直的。不過，多量子井活動區 501 和 502 的非垂直側壁、傾斜側壁或其他形狀的側壁也可用在本發明中，只要至少一些量子井層的邊緣得以暴露，以接受載流子橫向注入即可。

在圖 4C-4D 所示的實施例中，P 型層 60 和 N 型層 20' 分別是單層。應該理解，P 型層 60 能包括複數個帶有相同或不同組分的 P 型層，N 型層 20' 能包括複數個帶有相同或不同組分的 N 型層。

在圖 4A-4B 所示的實施例中，所述此組表面 201 都在同一水平面上並且每一個都是一個平坦表面，所述此組表面 202 也都在同一水平面上並且每一個都是平坦表面，表面 201 和表面 202 之間的側壁基本垂直。但是，不同表面 201 能夠位於具有不同高度的不同平面內並且可以為非平坦表面，不同表面 202 也可以在不同高度的水平面上並且為非平坦表面，而且表面 201 和表面 202 之間的側壁可以是非垂直的、傾斜的或其他的形狀。因此，多量子井活動區 502 的上表面也可以在不同高度的平面上並且可以是非平坦表面，多量子井活動區 502 的下表面也可以在不同高度的水平面上並且可以是非平坦表面。如圖 4E 所示，上表面 202 位於不同平面上，從而多量子井 502 也位於不同平面上。

該實施例能夠橫向注入電子和電洞。電洞被橫向注入到多量子井活動區 502，而電子則被橫向注入到多量子井活動區 501。由於多量子井活動區 501 和多量子井活動區 502 都有助於發光，因此，最好選擇刻蝕圖案使得凸起和凹陷的區域具有相同或相近的面積。雖然可以採用任何適用的一維或二維圖案，但此僅以二維圖案為例，如圖 8 中所示的象棋棋盤狀構型就是圖 4B 的一個示例結構的俯視圖。如圖所示，向上凸起方塊具有上表面 202，長度 a_2 在 5-50 微米之間的範圍內，例如 a_2 可以是 10 微米，20 微米，30 微米或 40 微米。與凸起方塊交替佈置的凹陷方塊具有表面為 201，長度 a_1 在 5-50 微米之間的範圍內，例如長度 a_1 可以是 10 微米，20 微米，30 微米或 40 微米。上表面 202 和表面 201 分別接納 N 型修復層 222 和 221，或分別用於活動區 502 和 501 的直接外延生長。向上凸起方塊和凹陷方塊可以用其他規則或不規則

形狀如三角形，多邊形，圓形或不同形狀的混合來代替，向上凸起的面積可以等於，大於或小於凹陷區的面積。在圖 8 中的實施例中，向上凸起區和凹陷區的面積相等 ($a_1=a_2$)。

圖 6 可以看做是圖 4B 的另一個例示結構的俯視圖，向上凸起的長條具有上表面 202，由的剩餘 N 型層 20' 的凸起部分形成。由長條圍繞的凹陷方塊暴露剩餘 N 型層 20' 的表面 201。這裏凹陷的方塊可以用其他規則或不規則形狀如三角形，多邊形，圓形或不同形狀的混合替代。該實施例與圖 2A-2D 和 3A-3C 之間的一個顯著區別在於該實施例中的相鄰活動區 501 和 502 共用垂直重疊部分，其起防止旁通過多量子井活動區 50 的漏電流路徑而且包括至少一個量子井層，最好包括 2-6 個量子井層。在一些實施例中，相鄰活動區 501 和 502 的垂直重疊部分包括多於 6 個量子井層。

圖 7 可以看做是圖 4B 的另一個例示的俯視圖。當 d 小於 $a/2$ ，例如小於 $a/4$ 或 $a/8$ 時，直徑為 d 的圓圈代表向上凸起的橫向電子注入柱體，其中 a 是二維方形點陣的點陣晶格常數。這裏向上凸起的橫向電子注入柱體具有上表面 202，由的剩餘 N 型層 20' 的凸起部分形成。凹陷區而不是向上凸起的橫向電子注入柱體暴露剩餘 N 型層 20' 的表面 201。表面 202 和 201 分別接納 N 型修復層 222 和 221，或用於活動區 501 和 502 的直接外延生長。這裏橫向注入的電子電流與 $(d/a)^2$ 成正比。向上凸起的橫向電子注入柱體可以具有圓形以外的其他規則或不規則形狀的橫截面。

進一步參考圖 4C-4D，活動區 50 可以被描述為含有複數個體積單元，每個體積單元由上表面 5001、底表面 5002 及側壁 5003 限

定。每個體積單元包括複數個量子井層和障壁層。相鄰體積單元垂直錯置以使相鄰體積單元的上表面不在一個平面內，或相鄰體積單元的底表面不在一個平面上。體積單元的側壁被分成兩組。一組側壁暴露於 N 型層以接收從 N 型層橫向注入的電子。另一組側壁暴露於 P 型層以接收從 P 型層橫向注入的電洞。在圖 4C-4D 的示例中，活動區 501 包含暴露於 N 型層的側壁組，而活動區 502 包含暴露於 P 型層的側壁組。較佳地，每個側壁暴露一個以上的井層，更最好暴露超過所有井層的一半。通過調節活動區 501 和 502 的相對尺寸，剩餘 N 型層 20' 與活動區 501 的側壁之間的接觸表面積和 P 型層 60 與活動區 502 的側壁之間的接觸表面積之比，可以在如 0.5 到 2 之間，最好在 0.8 到 1.5 之間調節。在一些實施例中，這個比值大概是 1。而在另一些例示中，該比值小於 0.5，或大於 1.5。

進一步參考圖 4B 和圖 6-8，在圖 8 所示的實施例中，每個凸起方塊 202 和每個凹陷方塊 201 適合於容放一個體積單元。在圖 6 的實施例中，帶有表面 201 的每個凹陷方塊容放一個體積單元，而包圍凹陷方塊的上表面為 202 的長條則容放一個與長條形狀共形的長條體積單元。在圖 7 的實施例中，上表面為 202 的每個向上凸起的橫向電子注入柱體容放一個體積單元，而包圍向上凸起橫向電子注入柱體的表面為 201 的凹陷區則容放一個連續體積單元。

在圖 4C-4D 的例示中，所有體積單元具有相同數量的井層和障壁層，也具有基本相同高度。體積單元的上表面分別位於兩個垂

直隔開的平面上。體積單元的底表面也分別位於兩個垂直隔開的平面上。但是，本發明並不限於此結構。比如體積單元的上表面可以分別位於三個或三個以上垂直隔開的水平面上，體積單元的底表面也可以分別位於三個或三個以上垂直錯隔的水平面上，如圖 4E 所示。還可能所有體積單元不具有數量的井層和障壁層，也不具有相同的高度。體積單元的側壁可以是基本垂直的，或傾斜的，或其他形狀，只要至少一部分井層的邊緣被側壁露出以接收橫向注入的載流子。

在該實施例中，如果層 221 和 222 是絕緣層，多量子井活動區 501 是主要的發光區域，實現了完全橫向電子注入，而多量子井活動區 502 將對發光貢獻相對較少，因為多量子井活動區 502 是通過多量子井 501 電連接於 P 型層 60 和 N 型層 20' 之間。

根據刻蝕深度和再生長厚度，P 型層 60 可以有平坦表面(圖 4C)或非平整表面(圖 4D)。在 P 型層 60 的表面是非平整的情況下，其他具有不同折射率的材料可用來填充以使不平整表面變平整。如圖 4D 所示，P 型層 60 的非平整表面的用填充材料 70 使其變平整。材料 70 可以是介電材料如二氧化矽，氮化矽或透明導電氧化物像 ITO。材料 70 的適當選擇可增強出光效率。

圖 4C-4D 所示的是覆蓋多量子井活動區 501 和 502 的 P 型層 60。選擇地，在 P 型層 60 和多量子井活動區 501 及 502 的上表面之間可以澱積薄絕緣層(圖中未顯示)，比如與多量子井活動區 501 和 502 直接接觸，這樣阻止電洞垂直注入到多量子井活動區 501 和 502，而只允許橫向電洞注入。如果需要，P 型層 60 可以被製

成有一部分與多量子井活動區 501 和 502 接觸，比如薄絕緣層只覆蓋多量子井活動區 501 和 502 的一部分，而多量子井活動區 501 和 502 的其餘部分則暴露於 P 型層 60。如果需要，也可以在 P 型層 60 和多量子井活動區 501 和 502 的上表面之間形成一個其他層如帶隙比 P 型層 60 更寬的 P 型層。

在另一個實施例中實現將電子和電洞橫向注入到同一個多量子井活動區中。如圖 5A-5J 所示，在基板 10 上澱積 N 型層 20。N 型層 20 可以在基板 10 上同質或異質外延生長。在異質外延生長的情況下，N 型層 20 可包括其他用作緩衝的層，以舒緩 N 型層 20 和基板 10 之間的晶格不匹配。在以氮化鎵為基礎的發光二極體中，N 型層 20 可由矽摻雜的氮化鎵製成，N 型層 20 可以是領域裏傳統使用的任何適用的 N 型層。基板 10 可以是氮化鎵，藍寶石，矽，碳化矽，石英，氧化鋅，玻璃和砷化鎵及領域裏類似的材料。在 N 型層 20 上澱積絕緣層 30。在絕緣層 30 上形成第一掩膜 15 以限定刻蝕圖案。在刻蝕後，去掉第一掩膜 15 以露出剩餘絕緣層 30' 的上表面 301 和剩餘 N 型層 20' 的一部分的上表面 201。兩組表面 301 和 201 垂直錯置，如圖 5B 所示，以用於隨後的二極體結構生長。其由澱積可以先選擇性生長一個 N 型修復層 22，以修復/更新 N 型層 20 的刻蝕過的表面，以利於其後的多量子井活動區的生長。該 N 型修復層 22 包括在剩餘 N 型層 20' 的上表面 201 上形成的 N 型修復層 221 和在剩餘絕緣層 30' 的表面 301 上形成的 N 型修復層 222。然後，澱積多量子井活動區 50，包括在 N 型修復層 221 上形成的多量子井活動區 501 和在 N 型修復層 222 上形成的多量子井活動區 502。接著形成第二掩膜 152 覆蓋多量子井活

動區 501，但暴露多量子井活動區 502。進行刻蝕以部分或全部去掉在表面 301 或 N 型修復層 222 上澱積的多量子井活動區 502，使得暴露多量子井活動區 501 的側壁（圖 5D-圖 5E）。去掉掩膜 152。再生長 P 型層 60（圖 5F）。如圖 5F 所示，P 型層 60 覆蓋多量子井活動區 501 的上表面和側壁。選擇地，可以在 P 型層 60 和活動區 501 的上表面之間澱積薄絕緣層（圖中未顯示），比如與多量子井活動區 501 直接接觸，這樣得以阻止電洞向多量子井活動區 501 垂直注入，而只有橫向注入路徑開放，實現電洞完全橫向注入。如果需要，P 型層 60 可以有一部分與多量子井活動區 501 接觸，比如薄絕緣層只覆蓋多量子井活動區 501 的一部分，而多量子井活動區 501 的其餘部分則暴露給 P 型層 60。如果需要，也可以在 P 型層 60 和多量子井活動區 501 上表面之間澱積其他層，如帶隙能比 P 型層 60 高的 P 型層。可以選擇性地留下一定厚度的未刻蝕的活動區 502，但同時多量子井活動區 501 的側壁要暴露於 P 型層 60。

在 P 型層 60 上澱積掩膜 153，露出先前為去掉的活動區 502 的區域對齊的部分並進行刻蝕，直到露出剩餘 N 型層 20' 及露出的剩餘 N 型層 20' 上的多量子井活動區 501 的側壁（圖 5G-圖 5H）。在第三掩膜 153 就位時，在露出的剩餘 N 型層 20' 上澱積 N 型層 223，與多量子井活動區 501 的露出側壁相接觸，在 N 型層 223 上澱積絕緣層 302，以隔開 N 型層 223 和 P 型層 60'（圖 5I）。非平整區域（如果存在）可用光學材料 70 來填充。最後，去掉掩膜 153 和其上的任何澱積物，以得到如圖 5J 所示的最終元件結構。

為了調節橫向電洞和電子注入的比例，可以調節由 N 型層 223 和絕緣層 302 形成的電子注入塞的數量及由在多量子井活動區 501 之間形成的 P 型層 60 的一部分形成的電洞注入塞的數量。例如，電子注入塞與電洞注入塞的數量之比可以在 0.1 到 2 之間，最好在 0.5 到 1 之間。或者，可以調節電子注入塞和多量子井活動區 501 側壁之間的接觸表面積與電洞注入塞和多量子井活動區 501 側壁之間的接觸表面積之比，例如在 0.1 到 2 之間，最好在 0.5 到 1 之間。

如圖 5J 所示，電洞和電子都可以被橫向注入到多量子井活動區 501 的同一個區域。另外，如果用絕緣層取代 N 型修復層 221，則可實現電子的完全橫向注入。另一方面，如果在 P 型層 60 和多量子井活動區 501 的上表面之間澱積薄絕緣層（在圖 5F-圖 5J 中未顯示），例如與多量子井活動區 501 直接接觸，則可阻止向多量子井活動區 501 的垂直注入電洞，而只有橫向注入路徑開放，實現電洞的完全橫向注入。因此，在絕緣層 221 和在 P 型層 60 和多量子井活動區 501 的上表面之間澱積的薄絕緣層存在的情況下，就可以實現向同一個多量子井活動區 501 的完全橫向電子和電洞注入。這將最大程度最小化量子井中的熱生成，及在量子井中獲得最均勻載流子分佈。如果需要，也可以在 P 型層 60 和多量子井活動區 501 的上表面之間澱積其他層，如帶隙能比 P 型層 60 大的 P 型層。

另外，在以上例示中，用在基板一側澱積的 N 型層闡述本發明原理。應該理解，同樣的原理也可以應用於在基板一側澱積 P 型

層的發光二極體。例如，在圖 4A-4D 中，層 20 (20') 和 22 (221 和 222) 可以是 P 型層，及層 60 可以是 N 型層。由於垂直錯位的量子井結構，電洞和電子得以橫向注入到量子井中。

參考圖 1，橫向載流子注入可以降低或避免與異質介面能帶非連續性有關的量子井中的熱生成。這將有利於發光二極體的內部量子效率 (internal quantum efficiency)。另外，根據本發明，橫向載流子注入意味著，多量子井中的所有量子井層或至少部分量子井層在電學上是並聯的。在現有發光二極體中，多量子井中的量子井在電學上都是串聯的。並聯意味著比串聯較小的電阻，而這是發光二極體所需要的。此外，如圖 1 所示，在以 c 平面氮化物 (c-plane nitride) 為基礎的發光二極體中，量子障壁內的極化場在垂直方向，並且在載流子垂直注入量子井的情況下，抵制載流子的注入。根據本發明，由於現在載流子不是逆著極化場注入，因此橫向載流子注入會大大降低熱生成。

本發明中所用的多量子井可以發射單色光，也可以構型成發射多色光。為了發射多色光，多量子井的量子井可以具有不同帶隙能，也就是不同的組分。在現有發光二極體中，由於很難得到沿量子井生長方向上的非平衡電子/電洞的均勻分佈，因此實際上很難實現多色發光二極體。而本發明不是用垂直注入而是在垂直注入之外利用錯置量子井構型來實現電子/電洞的橫向注入，因此可以實現在整個活動區的注入的載流子均勻分佈，從而實現製造多色發光二極體。一個多色發光二極體的例子就是一個可以發射被混合來形成高品質白光的紅、綠和藍光二極體。

本發明錯置活動區的設計可以用來製作大功率二極體所需的非常厚的活動區。在現有技術中，由於增高的正向電壓和光的自吸收，很難實現較厚的活動區，如井/障壁對 (pair) 超過 20 個的多量子井。根據本發明，錯置活動區一方面可以大大降低光在活動區中的自吸收；另一方面，允許載流子橫向注入活動區以得到載流子在整個活動區的均勻分佈。活動區越厚，活動區暴露的側壁區域越大，電流橫向注入的部分就越高。這使載流子在活動區的分佈就會越均勻，發光區就越大。本發明可以採用 20 個以上的井/障壁對，最好多於 50 對，例如多於 100 對。對於一個 100 對多量子井活動區設計，用來錯置凹陷和凸起的多量子井 501 和 502 的刻蝕深度，如圖 4B 中的 d_2 ，最好要大於 2 微米。

本發明可以允許帶有非常厚的障壁的量子井。在現有技術中，由於注入的少數載流子擴散長度有限的原因，量子井障壁層的厚度限於 100 奈米以下。根據本發明的一個方面，電子供應層和電洞供應層可以從橫向側與活動區接觸。這意味著：載流子可以直接注入到量子井中，不需要穿過量子障壁。因此，根據本發明，可以採用非常厚的障壁。根據本發明的單個量子障壁層的厚度可以在 5 到 1000 奈米之間，例如 10-500 奈米，10-300 奈米或 100-200 奈米。

根據本發明，每一單個井層的厚度可以在 1-5 奈米之間。活動區的整個厚度可以在 200 奈米到 5000 奈米之間，例如 400 奈米到 1000 奈米，或 500 奈米到 900 奈米。多量子井活動區可以包括 2-200 對井層和障壁層，例如 10-100 對，或 20-50 對。在一些例示中，

至少兩個井層發射不同波長的光，峰值波長差至少為 10 奈米，或至少 20 奈米，或至少 50 奈米。

雖然本說明書的附圖是從基板上的 N 型層開始，但是可以理解：本發明的原理也適用於從基板上的 P 型層開始。

已用例示性實施例對本發明進行了描述。然而，可以理解，本發明的範圍並不局限在上述公開的實施例中。而是與其相反，儘量覆蓋各種變型或類似設置或等同物。因此，權利要求書的範圍應該是以最寬解釋以涵蓋所有此種變型或類似設置或等同物。

【圖式簡單說明】

圖 1 計算了在零偏壓下 GaN / InGaN 多量子井發光二極體的能帶結構；

圖 2A-圖 2D 為根據本發明的一個實施例的結構和製作程序流程圖；

圖 3A-圖 3C 為根據本發明的一個實施例的結構和製作程序流程圖；

圖 4A-圖 4E 為根據本發明的一個實施例的結構和製作程序流程圖；

圖 5A-圖 5J 為根據本發明的一個實施例的結構和製作程序流程圖；

圖 6 為一個二維刻蝕圖形方形網格的示意圖；

圖 7 為一個二維刻蝕圖形方形圓圈點陣的示意圖；以及

圖 8 為一個二維刻蝕圖形象棋棋盤的示意圖。

【主要元件符號說明】

10 基板	15 掩膜
152 掩膜	153 掩膜
20 N 型層	20' 剩餘 N 型層
201 上表面	202 上表面
22 N 型修復層	221 N 型修復層
222 N 型修復層	223 N 型層
30 絕緣層	30' 剩餘絕緣層
301 上表面	302 絕緣層
40 P 型層	40' 剩餘 P 型層
401 上表面	50 多量子井活動區
501 多量子井活動區	502 多量子井活動區
5001 上表面	5002 底表面
5003 側壁	60 P 型層
60' P 型層	70 填充材料
a 邊長	a ₁ 長度
a ₂ 長度	d 寬度
d ₂ 間距	d ₃ 絕緣層厚度

201201403

d₄ P 型層厚度

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：

A 914323

※申請日：

99.12.10

※IPC 分類：

H01L 37/04

(2010.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

發光元件及其製造方法 / LIGHT-EMITTING DEVICE AND
MANUFACTURING METHOD FOR THE SAME

二、中文發明摘要：

一種發光元件包括夾在 N 型層和 P 型層之間的活動區，其允許向活動區中橫向注入載流子，以降低活動區中的熱生成，並將與帶隙非連續性相關的額外正向電壓的增加最小化。在一些實施例中，活動區是一個垂直錯置的多量子井 (MQW) 活動區。本發明並包括發光元件之製作方法。

三、英文發明摘要：

A light-emitting device comprises an active-region sandwiched between an n-type layer and a p-type layer, that allows lateral carrier injection into the active-region so as to reduce heat generation in the active-region and to minimize additional forward voltage increase associated with bandgap discontinuity. In some embodiments, the active-region is a vertically displaced multiple-quantum-well (MQW) active-region. A method for fabricating the same is also provided.

七、申請專利範圍：

1. 一種發光元件，包括：
 - N 型層，
 - P 型層，和
 - 活動區，其中該 N 型層與該活動區在與該活動區垂直的一第一接觸區相接觸，以將電子橫向注入到該活動區。
2. 依請求項 1 所述的發光元件，其中該 P 型層與該活動區在與該活動區垂直的一第二接觸區相接觸，以將複數個電洞橫向注入到該活動區。
3. 依請求項 2 所述的發光元件，其中該活動區的一總厚度在 400 奈米到 1000 奈米之間的一範圍內。
4. 依請求項 2 所述的發光元件，其中該活動區由複數個井層和複數個障壁層構成，且包括 20-50 對 (pair) 井層和障壁層。
5. 依請求項 4 所述的發光元件，其中每一該障壁層的厚度在 10 奈米到 300 奈米之間的一範圍內。
6. 依請求項 4 所述的發光元件，其中至少兩個由該些井層發射不同波長的光，不同波長間之峰值波長差至少為 10 奈米。
7. 依請求項 2 所述的發光元件，還包括容放該 N 型層、該 P 型層和該活動區的一基板，其中該基板選自以下群組：氮化鎵、藍寶石、矽、碳化矽、石英、氧化鋅、玻璃和砷化鎵。
8. 一種發光元件，包括：
 - N 型層，
 - P 型層，和
 - 夾在該 N 型層和該 P 型層之間垂直錯置的活動區，

其中該活動區包括複數個體積單元，每一該些體積單元由一上表面、一底表面和一側壁限定；相鄰該些體積單元垂直錯置，以使相鄰的該些體積單元的該些上表面不在一水平面或相鄰的該些體積單元的該些底表面不在一水平面；該些體積單元的該些側壁被分成二組：一第一組側壁暴露於該 N 型層以接收從該 N 型層橫向注入的複數個電子，一第二組側壁暴露於該 P 型層以接收從該 P 型層橫向注入的複數個電洞；每一該側壁暴露於至少一井層。

9. 依請求項 8 所述的發光元件，其中該些體積單元的該些上表面實質上分別地位於垂直隔開的二平面內。
10. 依請求項 8 所述的發光元件，其中該些體積單元的該些上表面實質上分別地位於垂直隔開的二個以上之平面內。
11. 依請求項 8 所述的發光元件，其中所有該些體積單元具有相同數量的井層且實質上具有相同高度。
12. 依請求項 8 所述的發光元件，其中該些相鄰體積單元共用一垂直重疊部分，該垂直重疊部分包括至少一井層。
13. 依請求項 8 所述的發光元件，其中該 N 型層、該第一組側壁之間的一接觸表面積與該 P 型層、該第二組側壁之間的一接觸表面積的比在 0.5 到 2 之間的範圍內。
14. 依請求項 8 所述的發光元件，其中該活動區由複數個井層和複數個障壁層製成且包括 20-50 對 (pair) 該些量子井層和該些量子障壁層。
15. 依請求項 14 所述的發光元件，其中每一該些量子障壁層的厚度在 10 奈米到 300 奈米之間的一範圍內。

16. 依請求項 14 所述的發光元件，其中至少二由該些井層發射不同波長的光，不同波長間之峰值波長差至少為 10 奈米。
17. 一種發光元件，其包括：
 - 一 N 型層，
 - 一 P 型層，和
 - 一夾在該 N 型層和該 P 型層之間的發光活動區，其中該發光活動區包括複數個凸向該 N 型層的第一凸起，該些第一凸起的複數個側壁暴露於該 N 型層且能接收從該 N 型層橫向注入的複數個電子。
18. 依請求項 17 所述的發光元件，其中該發光活動區還包括複數個凸向該 P 型層的第二凸起，該些第二凸起的該些側壁暴露於該 P 型層且能接收從該 P 型層橫向注入的複數個電洞。
19. 依請求項 17 所述的發光元件，其中該發光活動區包括複數個井層和複數個障壁層，該些第一凸起的該些側壁暴露於至少一井層。
20. 依請求項 17 所述的發光元件，其中該些第一凸起係彼此分開的複數個凸起。
21. 依請求項 17 所述的發光元件，其中該些第一凸起包括彼此連接以形成連續結構的複數個凸起。
22. 一種發光元件，包括：
 - 一具有複數個第一凸起之 N 型層，
 - 一 P 型層，和
 - 一夾在該 N 型層和該 P 型層之間具有複數個井層和複數個障壁層之發光活動區，

其中該活動區具有對應於該 N 型層的該些第一凸起的複數個第一凹陷。每一該些第一凹陷容放一該些第一凸起，該些第一凹陷的複數個側壁暴露於至少一該些井層且能接收從該 N 型層的該些第一凸起橫向注入的複數個電子。

23. 依請求項 22 所述的發光元件，其中該活動區具有複數個第二凹陷部，該 P 型層具有複數個第二凸起。每一該些第二凹陷容放一個該些第二凸起，該些第二凹陷的複數個側壁暴露於至少一該些井層且能接收從該 P 型層的該些第二凸起橫向注入的複數個電洞。
24. 依請求項 22 所述的發光元件，其中該些第一凹陷穿過整個該活動區，並且部分被一 P 型材料和用以隔離該 P 型材料與該些第一凸起的一絕緣材料填充，該 P 型材料與該 P 型層連接。
25. 依請求項 22 所述的發光元件，其中該些第一凸起包括彼此分開的複數個凸起。
26. 依請求項 22 所述的發光元件，其中該些第一凸起包括彼此連接以形成連續結構的複數個凸起。
27. 依請求項 23 所述的發光元件，其中該些第二凹陷穿過整個該活動區，並且部分被該絕緣材料填充用以隔離該些第二凸起與該 N 型層。
28. 依請求項 27 所述的發光元件，其中該些第一凹陷穿過整個該活動區，並且部分被另一絕緣材料填充用以隔離該些第一凸起與該 P 型層。
29. 一種製作發光元件的方法，其包括：
提供在一基板上澱積的一 N 型層；

圖案化該 N 型層以形成複數個凹陷，該些凹陷限定一第一組表面和與該第一組表面垂直錯置的一第二組表面；

在該 N 型層的一表面上澱積與該 N 型層的該表面共形的一活動區，使得該活動區的一第一部分形成於該第一組表面上而該活動區的一第二部分形成於該第二組表面上，其中該活動區的該第一部分與該活動區的該第二部分垂直錯置；和

在該活動區上澱積與該活動區共形的的一 P 型層。

30. 依請求項 29 所述的製作一發光元件的方法，其中澱積該活動區的步驟包括交替地澱積複數個井層和複數個障壁層，與該 N 型層接觸的該活動區的該第一部分的該些側壁暴露於至少一該些井層，與該 P 型層接觸的該活動區的該第二部分的該些側壁暴露至少一個該些井層。
31. 依請求項 29 所述的製作一發光元件的方法，其中在澱積該活動區之前，還在該 N 型層上澱積一 N 型修復層，該 N 型修復層覆蓋該 N 型層的該第一組表面和該第二組表面。
32. 依請求項 29 所述的製作一發光元件的方法，其中在澱積該活動區之前，還在該 N 型層上澱積一絕緣層，該絕緣層覆蓋該 N 型層的該第一組表面和該第二組表面，但是不覆蓋連接該第一組表面的該些側壁和該第二組表面的該些側壁。
33. 一種製作一發光元件的方法，其包括：
 - 提供在一基板上澱積的一 N 型層；
 - 在該 N 型層上形成一絕緣層；
 - 圖案化該絕緣層以去掉該絕緣層的一暴露部分及該絕緣層的該暴露部分下的一部分 N 型層，得到一剩餘絕緣層的一

第一組表面和一剩餘 N 型層的與該第一組表面垂直錯置的一第二組表面；

澱積一活動區，使得該活動區的一第一部分形成於該第一組表面上而該活動區的一第二部分形成於該第二組表面上；

去掉該活動區的該第一部分以暴露於該剩餘絕緣層；

在該活動區上澱積一 P 型層，以覆蓋該活動區的一上表面，其中該 P 型層的一部分用以填充被該活動區的上述所去掉的該第一部分佔據的一空間，以形成複數個電洞注入塞；

圖案化並光刻該 P 型層，以去掉部分該些電洞注入塞和其下的該剩餘絕緣層，直到露出該 N 型層，以形成複數個電子注入塞洞；和

將另一 N 型層澱積入該些電子注入塞洞，以形成複數個電子注入塞；和

在該些電子注入塞上澱積另一絕緣層，以將該些電子注入塞與該 P 型層絕緣。

34. 依請求項 33 所述的製作一發光元件的方法，其中所述澱積該活動區的步驟包括交替地澱積複數個井層和複數個障壁層，該些電洞注入塞與至少一該些井層接觸，該些電子注入塞與至少一該些井層接觸。
35. 依請求項 33 所述的製作一發光元件的方法，其中在澱積該活動區之前，還在該 N 型層上澱積一修復 N 型層，該修復 N 型層覆蓋該第一組表面和該第二組表面。
36. 一種製作一發光元件的方法，其包括：

提供在一基板上澱積的一 P 型層、一絕緣層和一 N 型層；

圖案化和光刻該 P 型層和該絕緣層，直到露出該 N 型層，以形成複數個包括該 P 型層的一剩餘部分和該絕緣層的一剩餘部分的凸起；

在該襯底上澱積帶有複數個井層和複數個障壁層的一活動區，使該些凸起穿過該活動區，並且將該 P 型層的該剩餘部分暴露於至少一該些井層。

37. 依請求項 36 所述的製作一發光元件的方法，其中所述圖案化和光刻該 P 型層和該絕緣層的步驟係刻進該 N 型層一預定厚度。

八、圖式

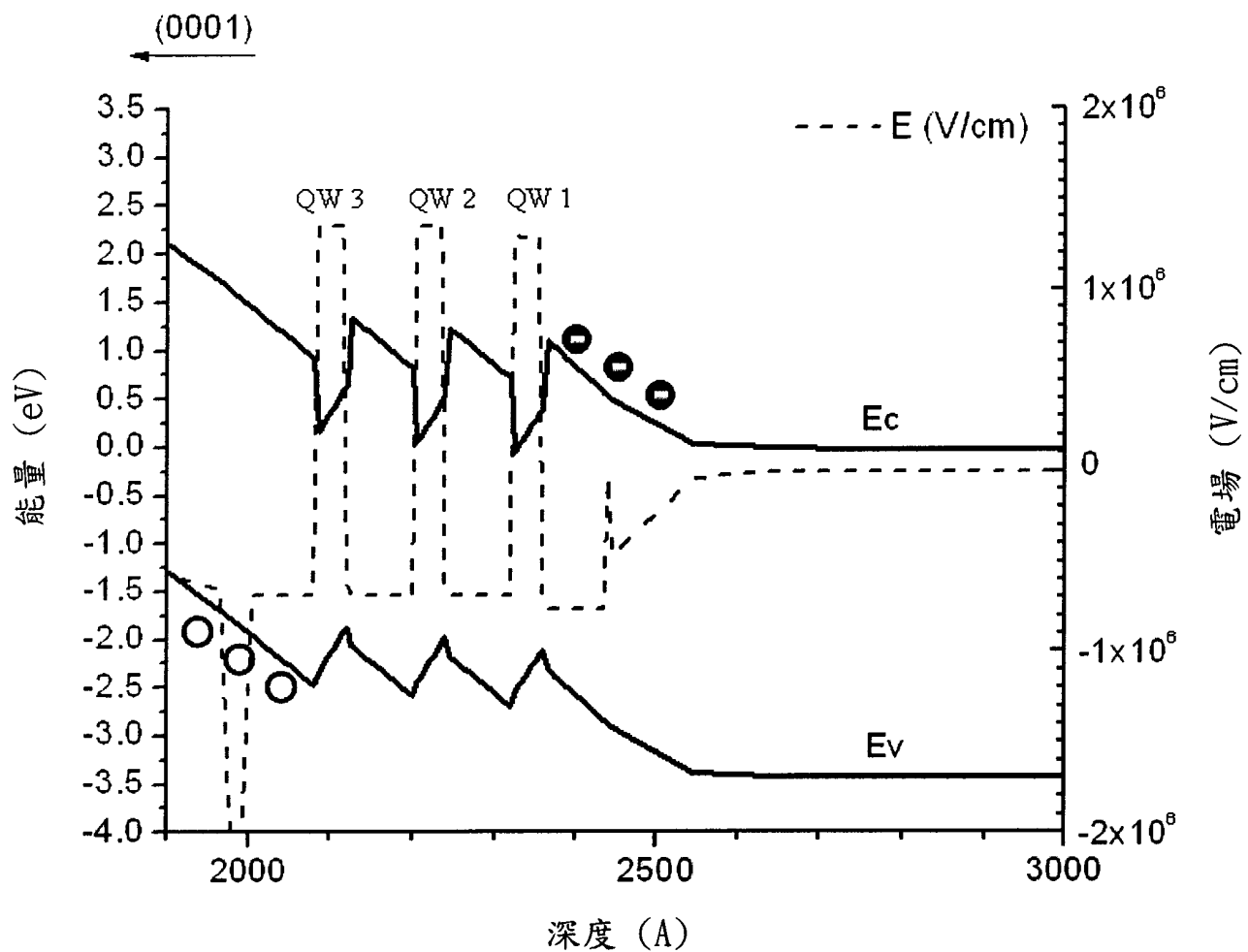


圖 1

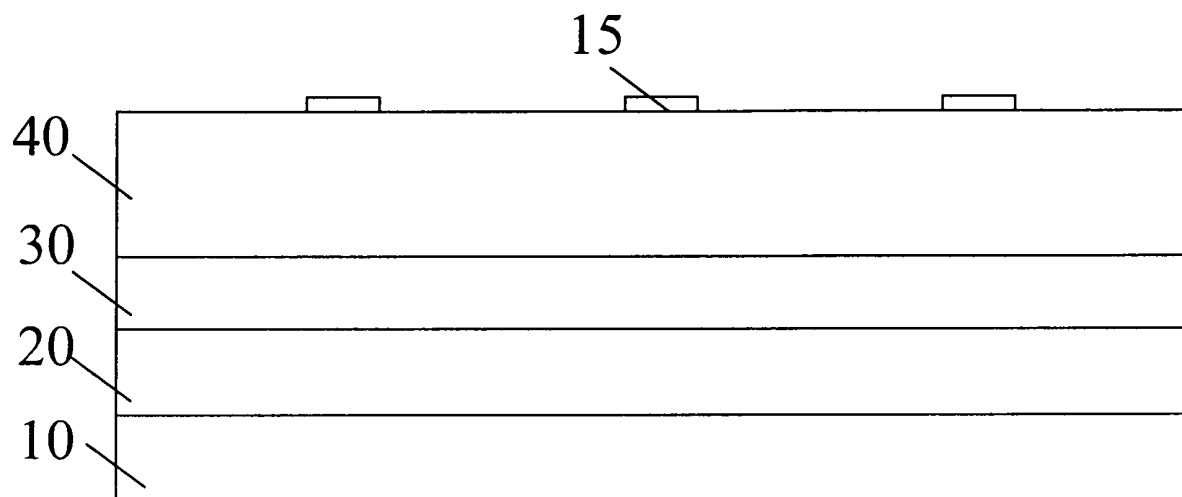


圖 2A

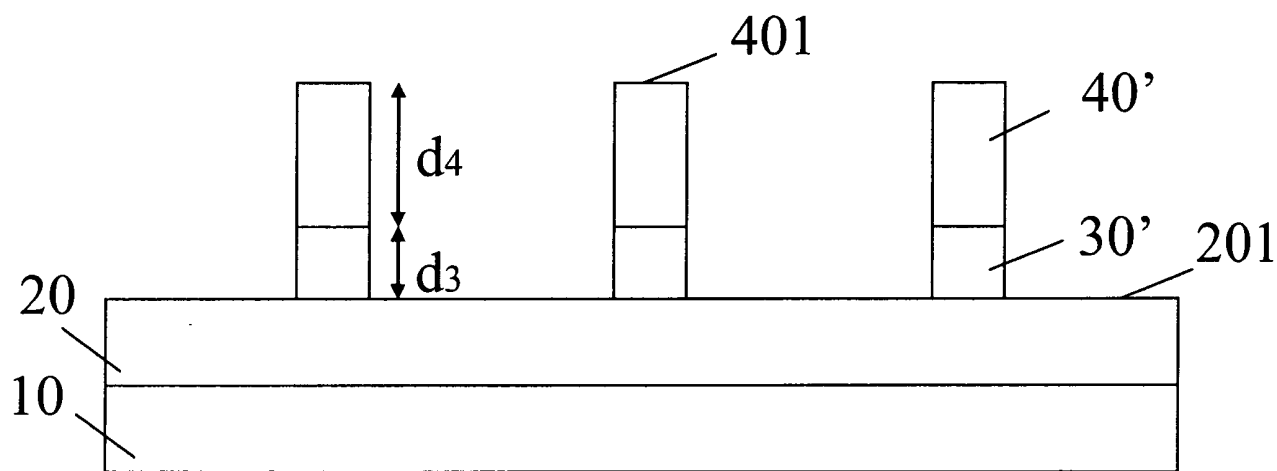


圖 2B

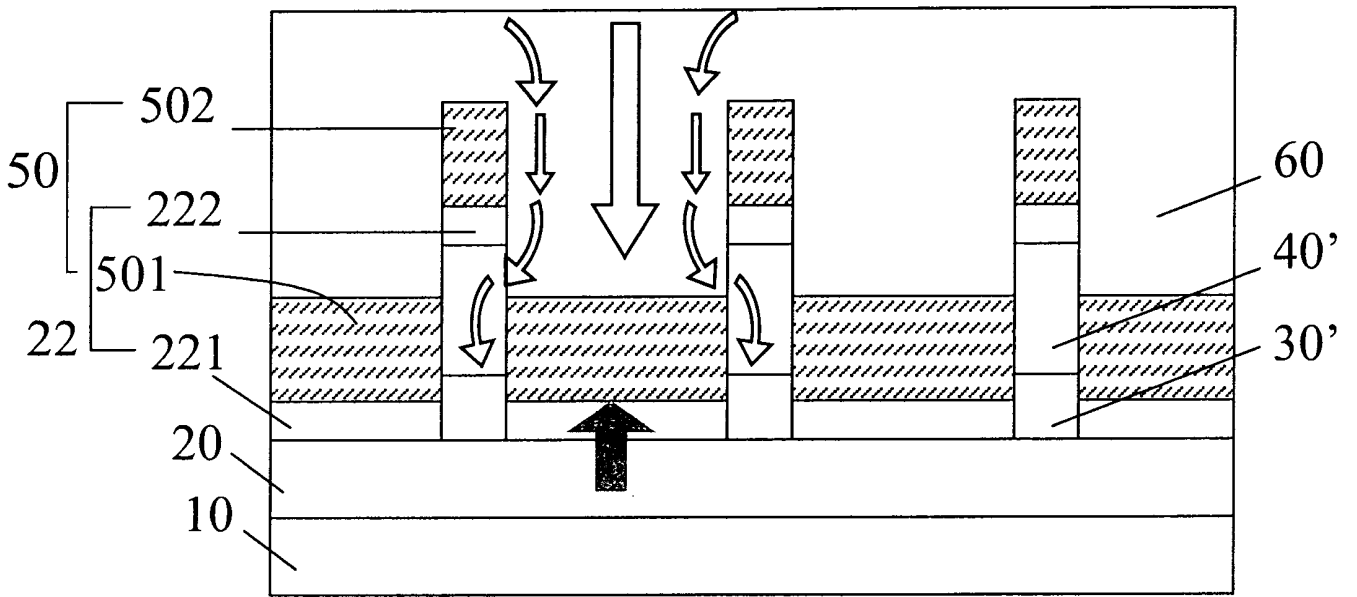


圖 2C

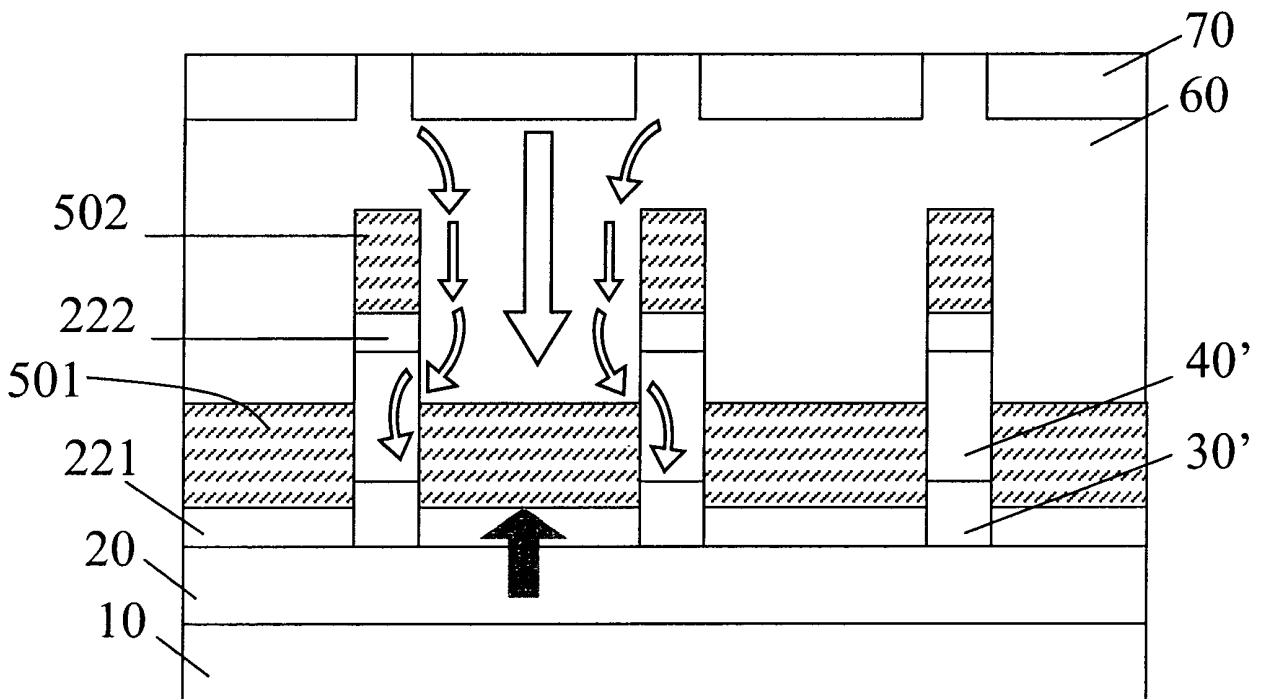


圖 2D

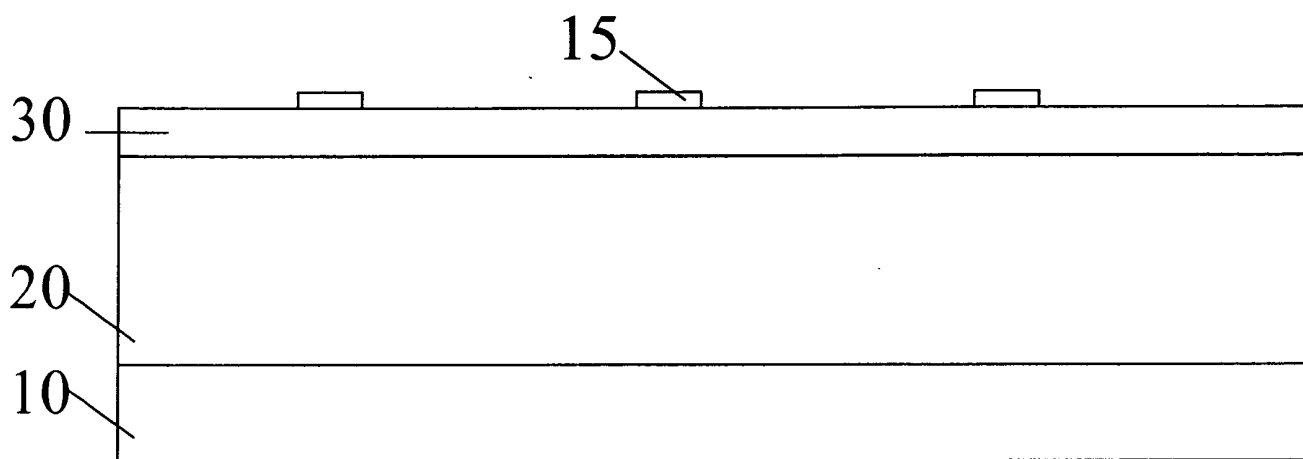


圖 3A

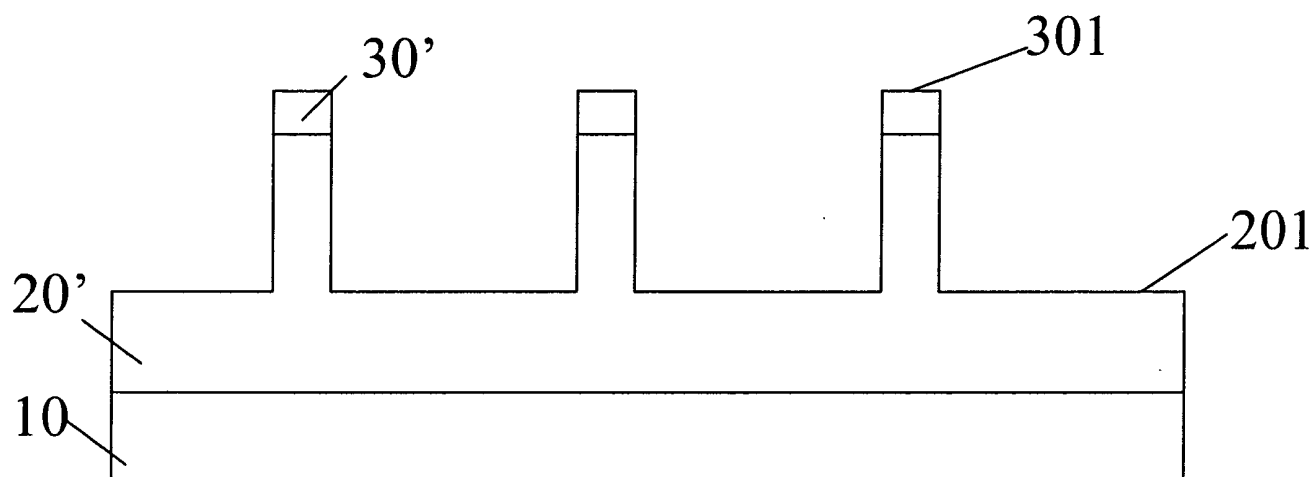


圖 3B

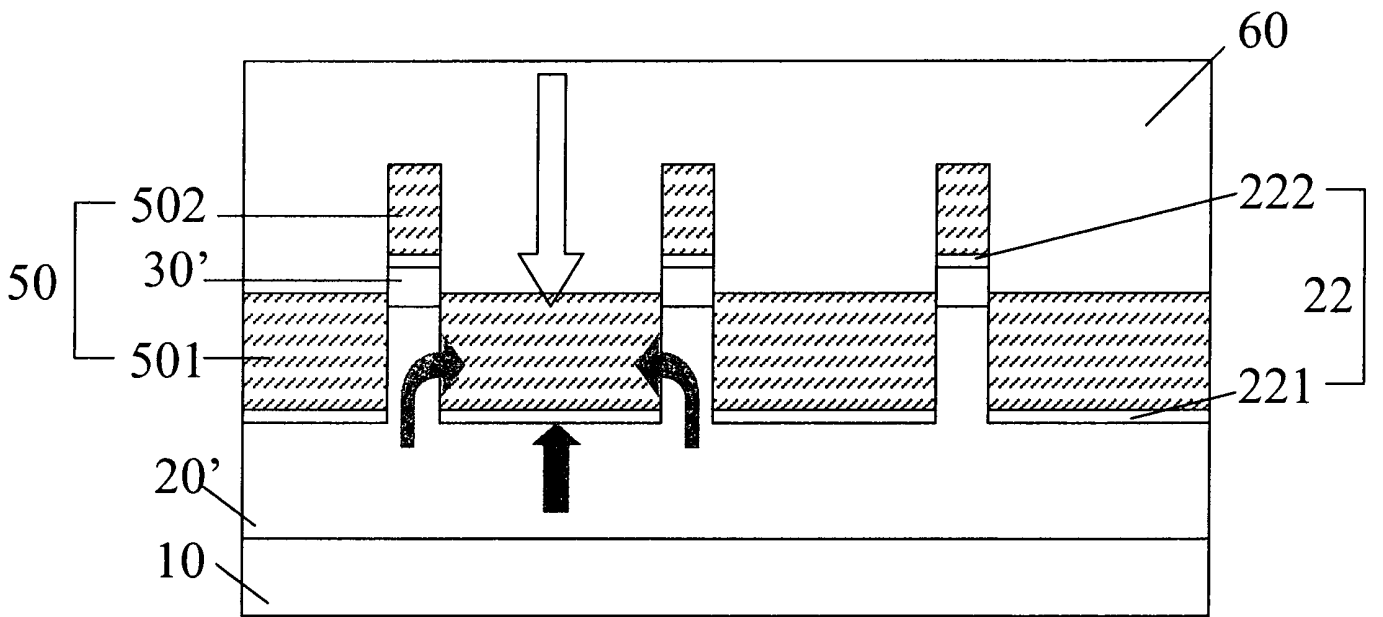


圖 3C

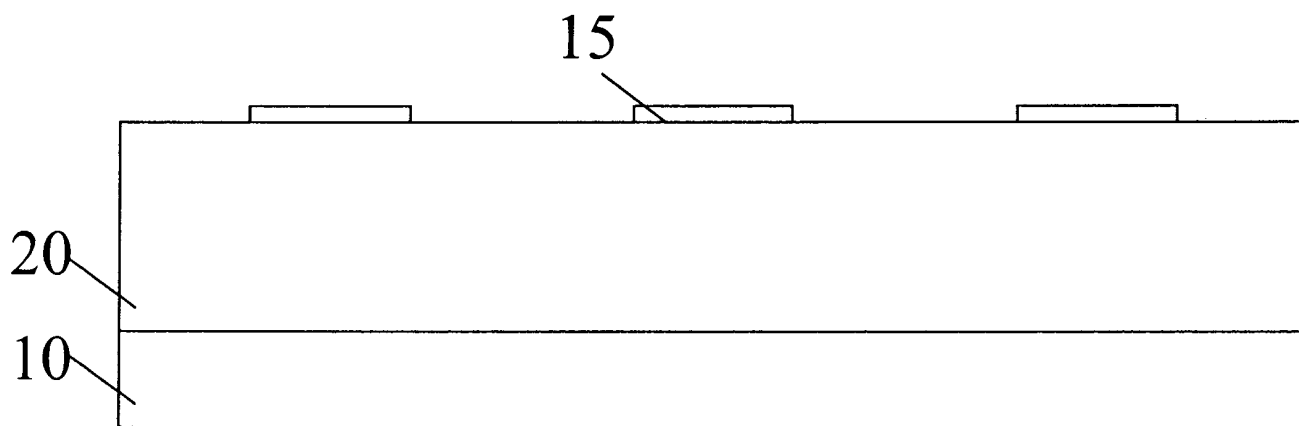


圖 4A

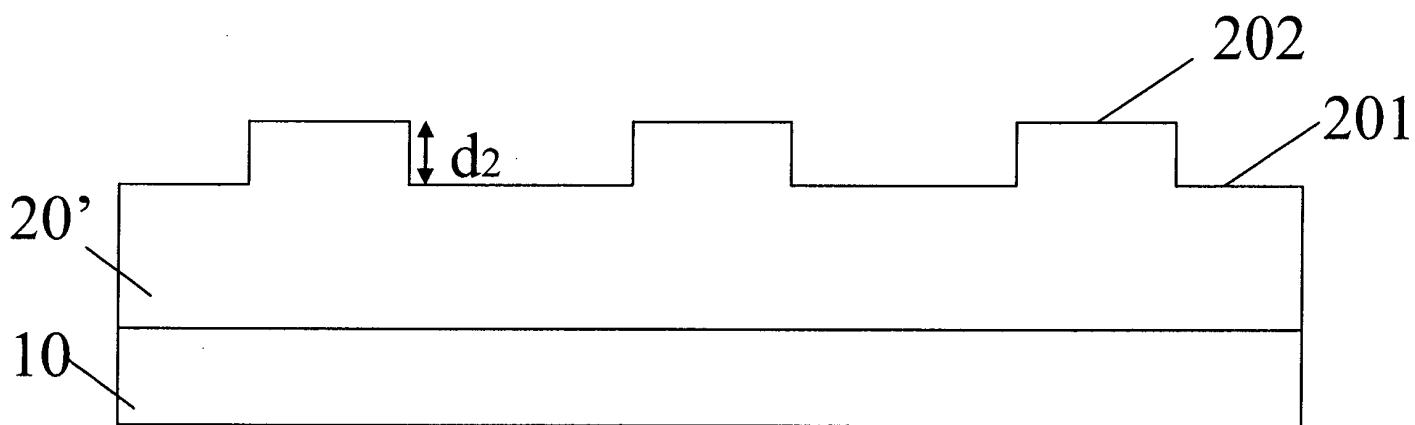


圖 4B

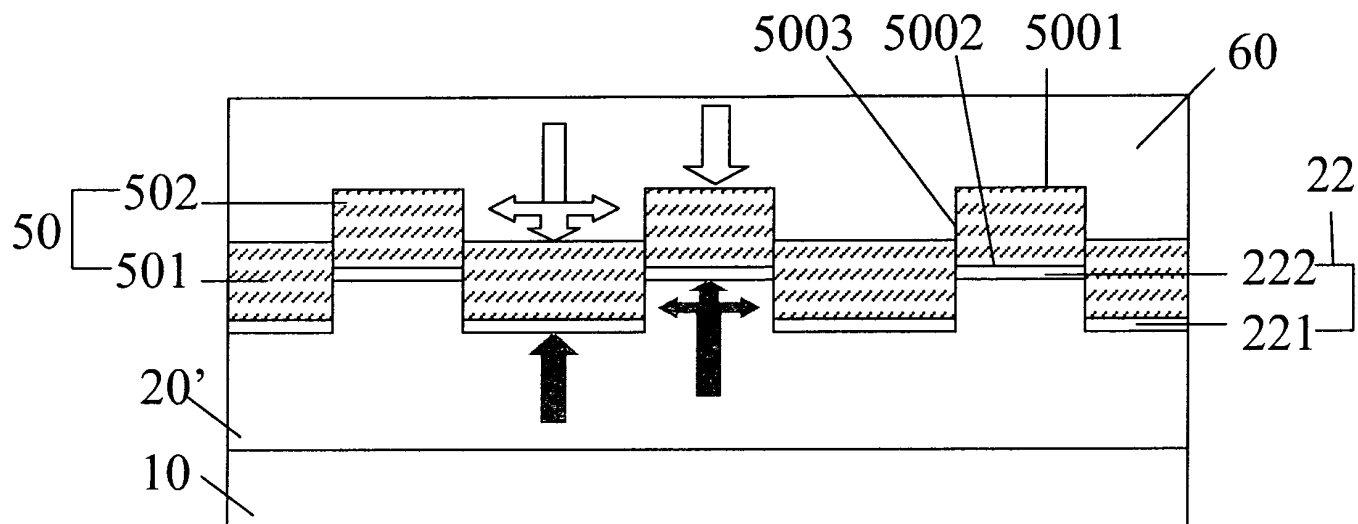


圖 4C

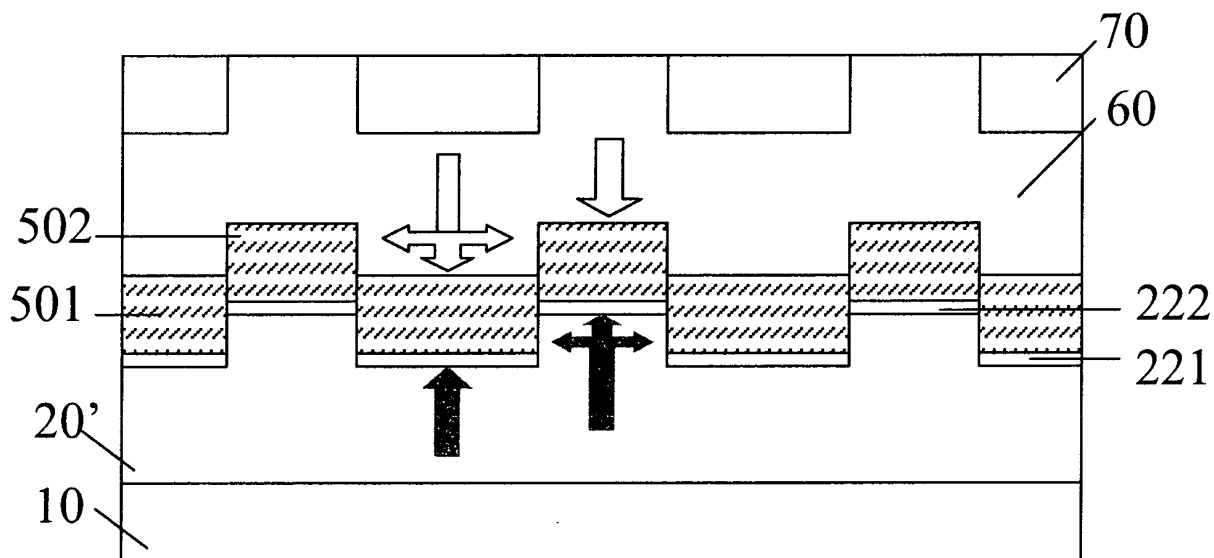


圖 4D

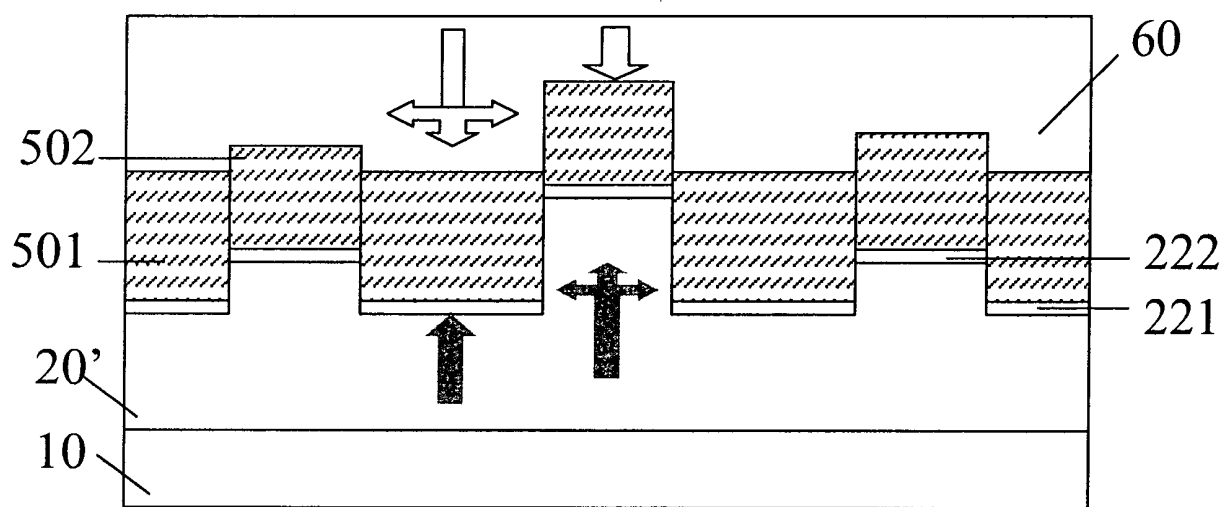


圖 4E

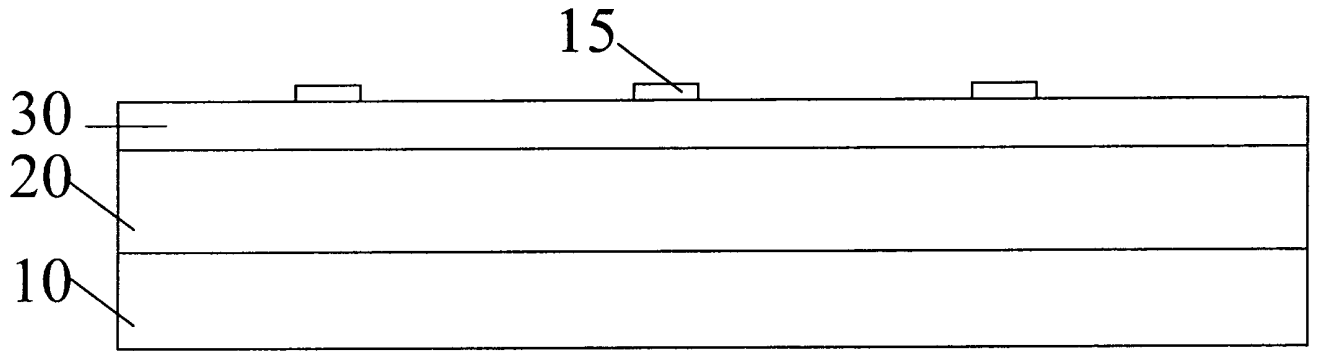


圖 5A

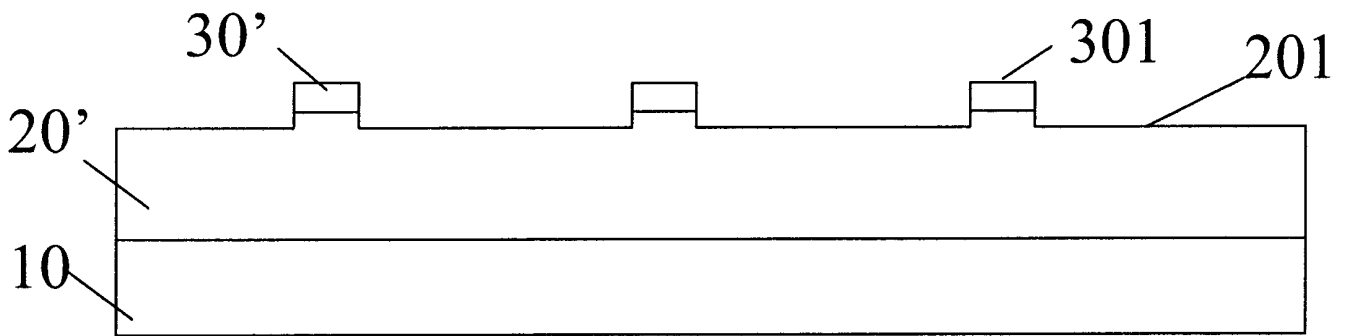


圖 5B

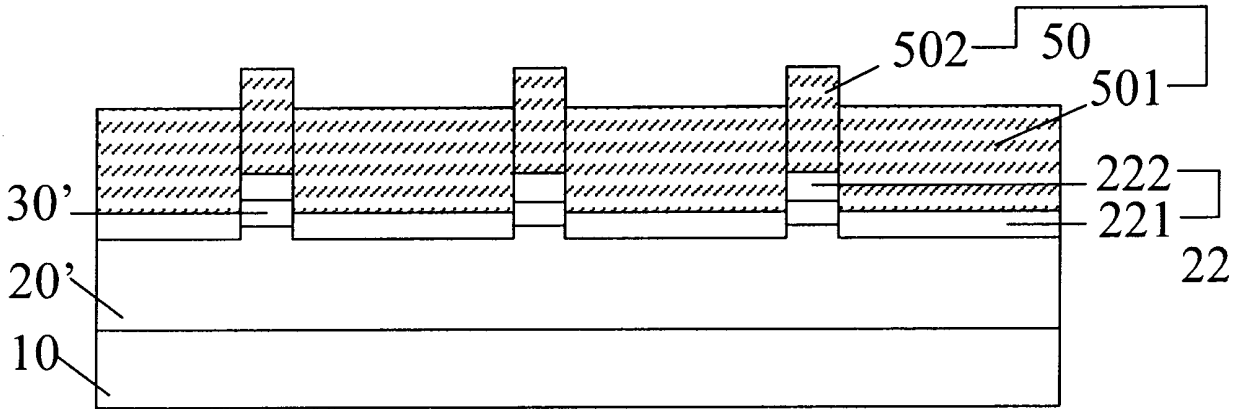


圖 5C

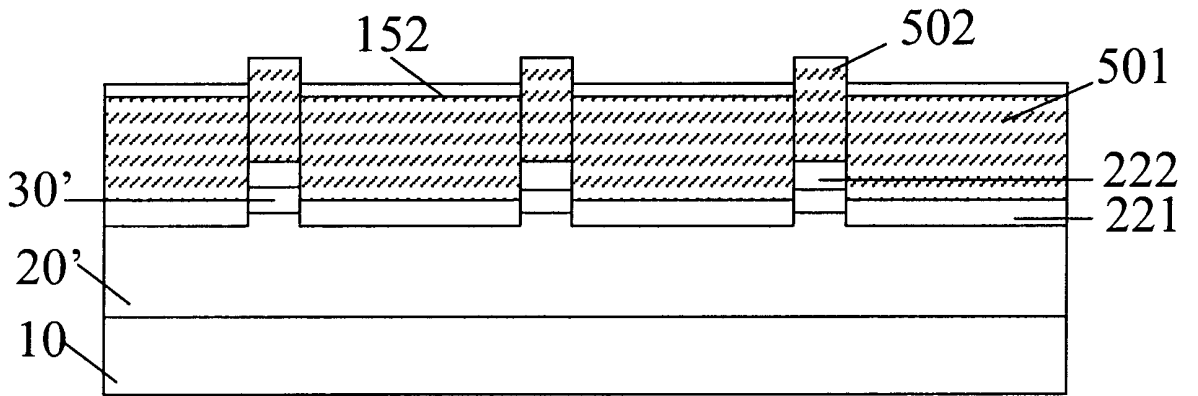


圖 5D

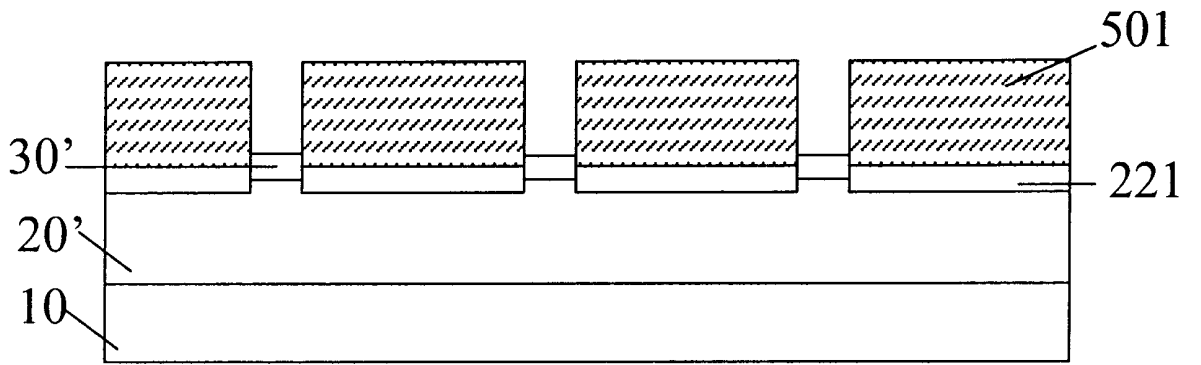


圖 5E

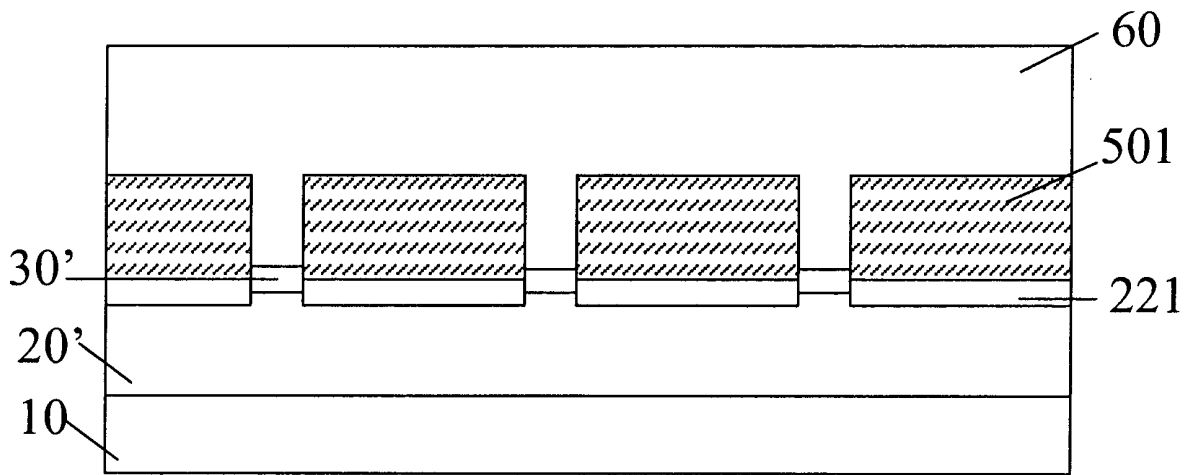


圖 5F

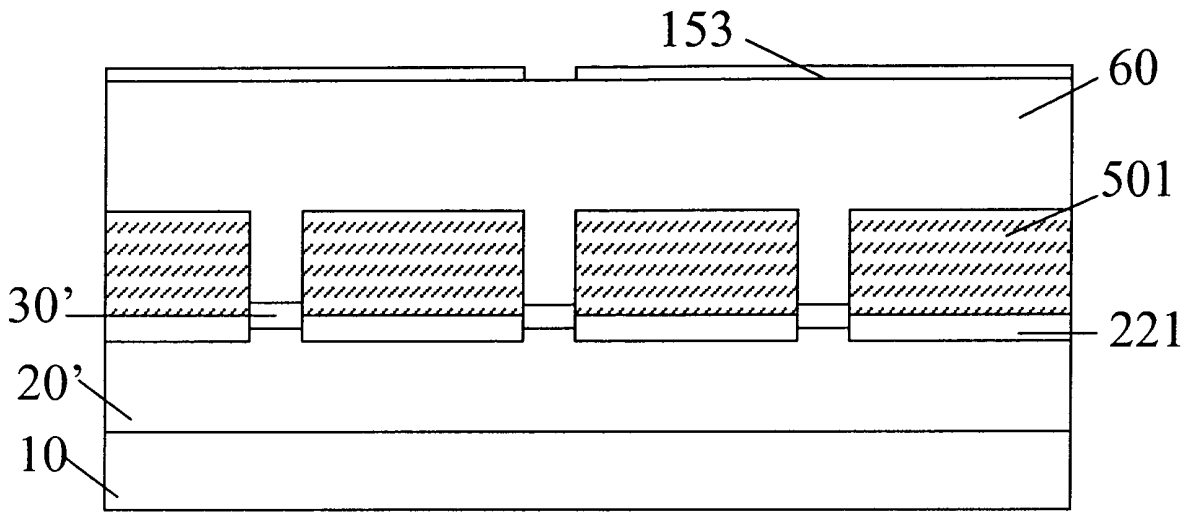


圖 5G

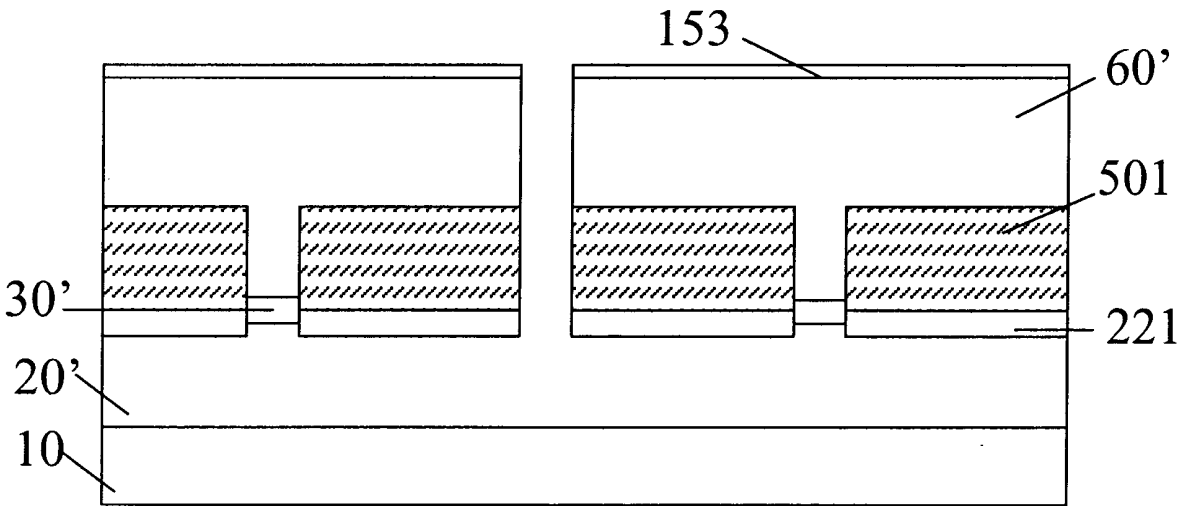


圖 5H

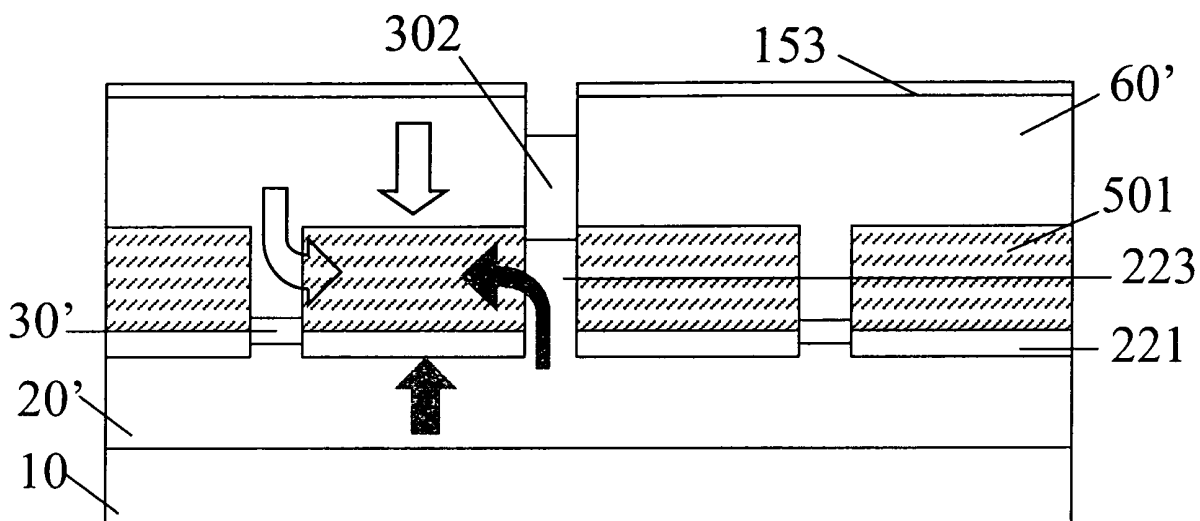


圖 5I

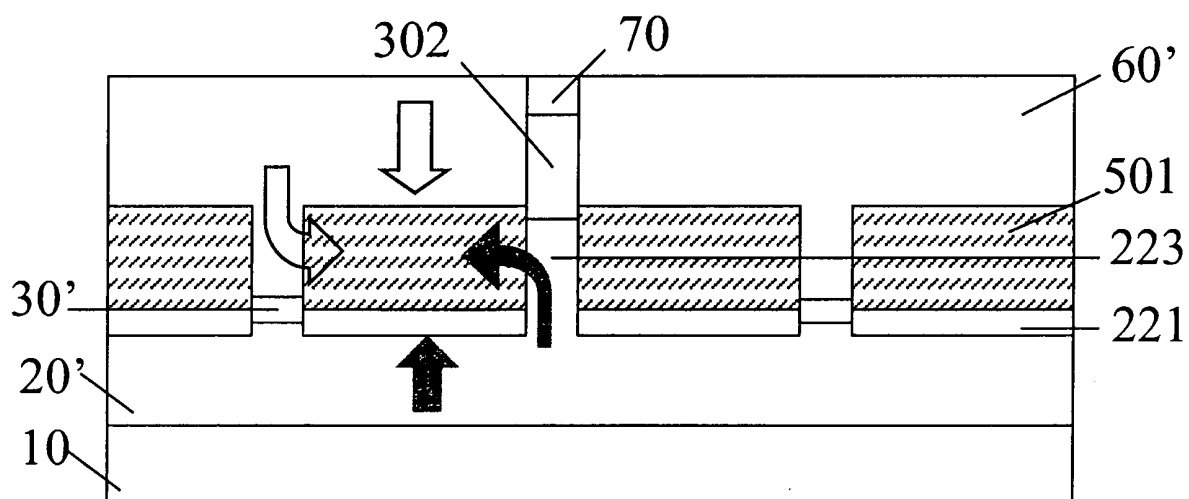


圖 5J

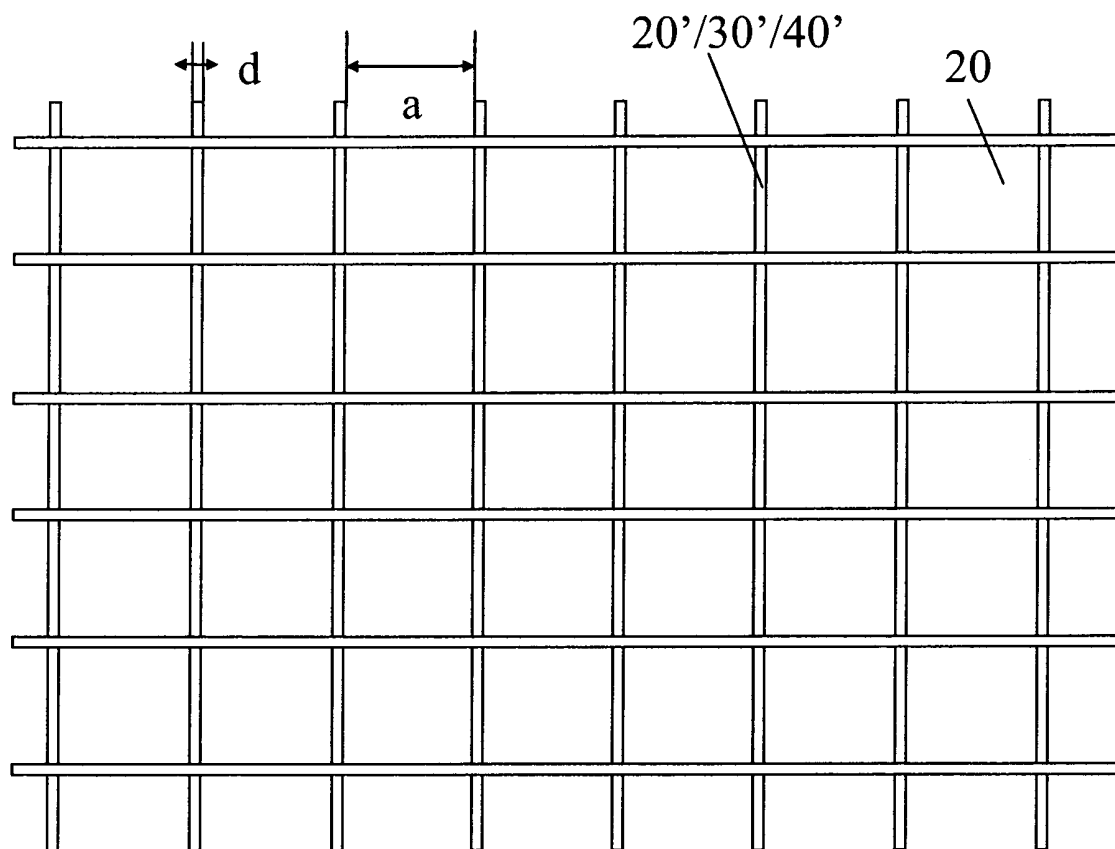


圖 6

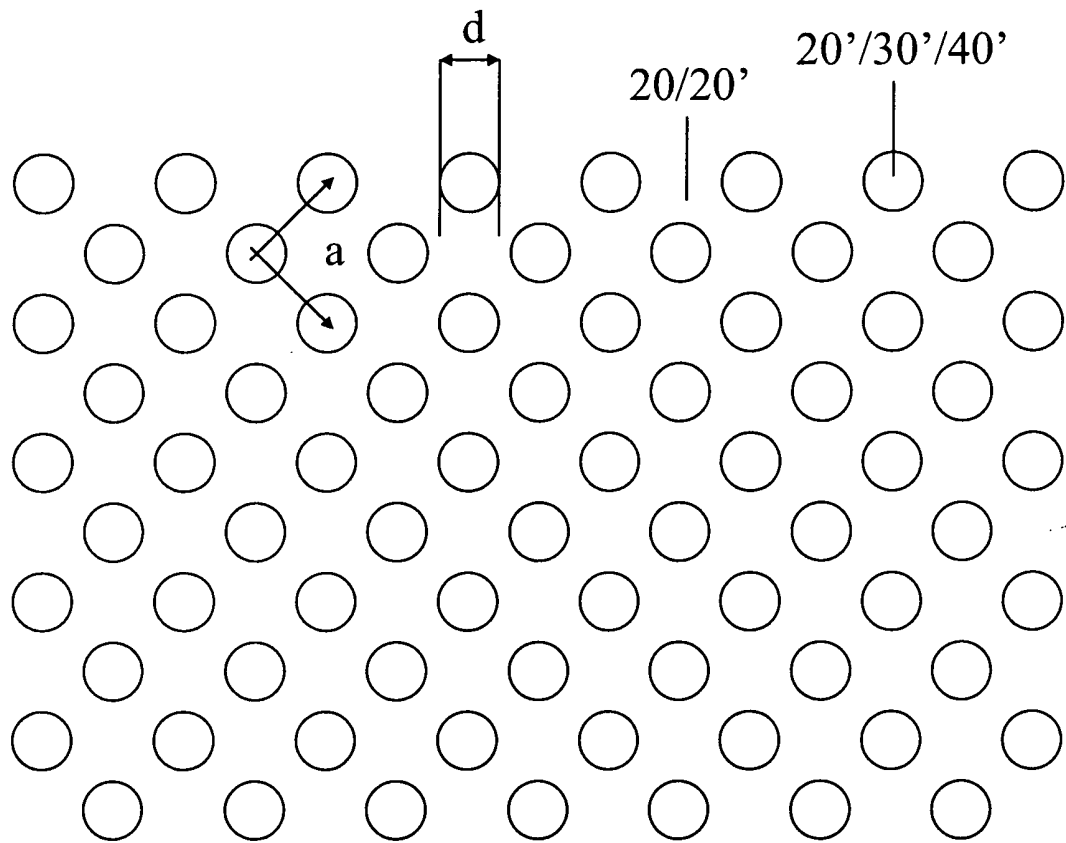


圖 7

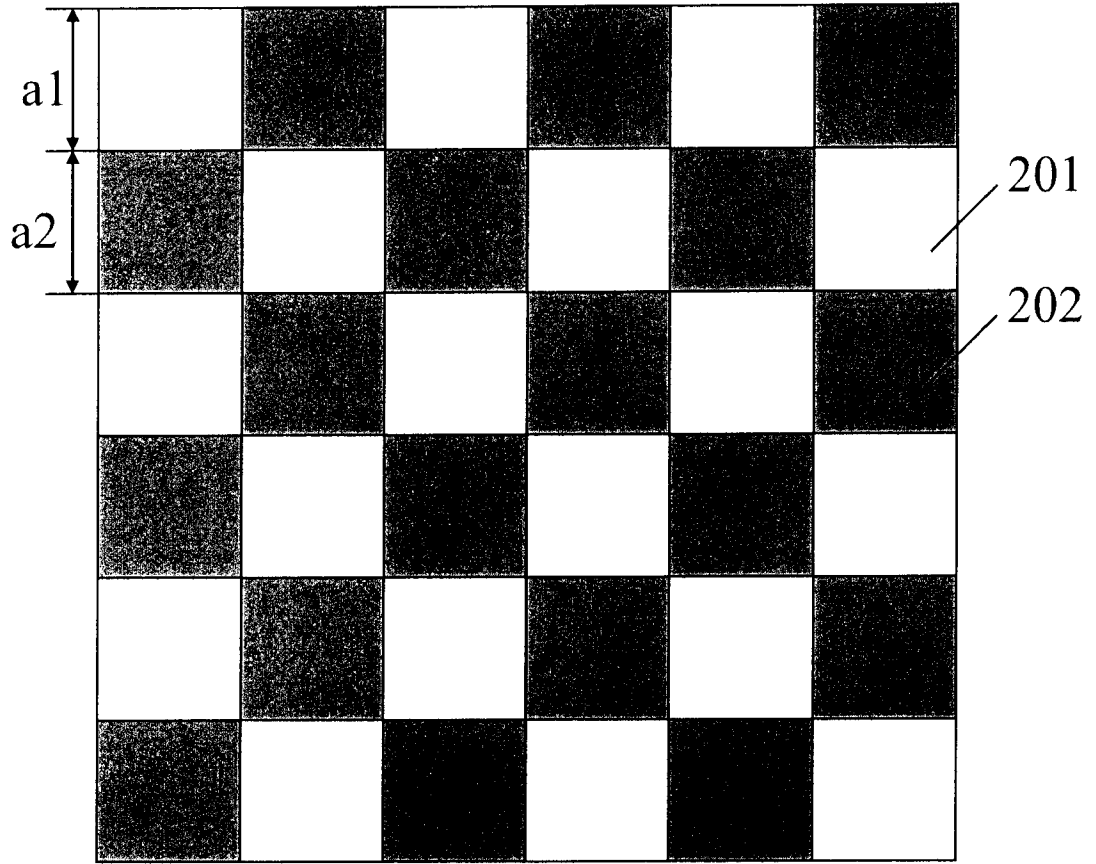


圖 8

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第(4E)圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

10 基板

20' 剩餘 N 型層

221 N 型修復層

222 N 型修復層

501 多量子井活動區

502 多量子井活動區

60 P 型層

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

無