



(19) 中華民國智慧財產局

(12) 發明說明書公告本

(11) 證書號數：TW I419427 B

(45) 公告日：中華民國 102 (2013) 年 12 月 11 日

(21) 申請案號：098128338

(22) 申請日：中華民國 98 (2009) 年 08 月 21 日

(51) Int. Cl. : **H01S5/18 (2006.01)**(71) 申請人：國立交通大學 (中華民國) NATIONAL CHIAO TUNG UNIVERSITY (TW)
新竹市大學路 1001 號

(72) 發明人：陳士偉 CHEN, SHIH WEI (TW)；盧廷昌 LU, TIEN CHANG (TW)；郭浩中 KUO, HAO CHUNG (TW)；王興宗 WANG, SHING CHUNG (TW)

(74) 代理人：高玉駿；楊祺雄

(56) 參考文獻：

TW 200741354

Hong-Gyu Park et. al., Characteristics of Modified Single-Defect Two-Dimensional Photonic Crystal Lasers, IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, VOL. 38, NO. 10, OCTOBER 2002, p.1353-1565.

審查人員：詹利澤

申請專利範圍項數：15 項 圖式數：9 共 0 頁

(54) 名稱

能帶邊緣型光子晶體雷射二極體

PHOTONIC CRYSTAL BAND-EDGE LASER DIODE

(57) 摘要

本發明提供一種能帶邊緣型光子晶體雷射二極體，包含：一低折射率 n_L 之膜層結構、一形成於該低折射率之膜層結構上的發光膜層結構，及一形成於該發光膜層結構中的二維光子晶體。該發光膜層結構具有一高折射率 n_H 、一中心波長 λ_0 及一膜層厚度；其中， $n_H - n_L > 0.15$ ，且該發光膜層結構之膜層厚度是至少小於 $10\lambda_0 / n_H$ 。

This invention provides a photonic crystal band-edge laser diode, which comprises a low refractive index layered structure having a low refractive index of n_L , a light emitting layered structure formed on the low refractive index layered structure, and a two-dimensional photonic crystal formed in the light emitting layered structure. The light emitting layered structure has a high refractive index of n_H , a central wavelength of λ_0 , and a layer thickness. The difference in refractive index between n_H and n_L is greater than 0.15, and the layer thickness of the light emitting layered structure is at least thinner than $10\lambda_0 / n_H$.

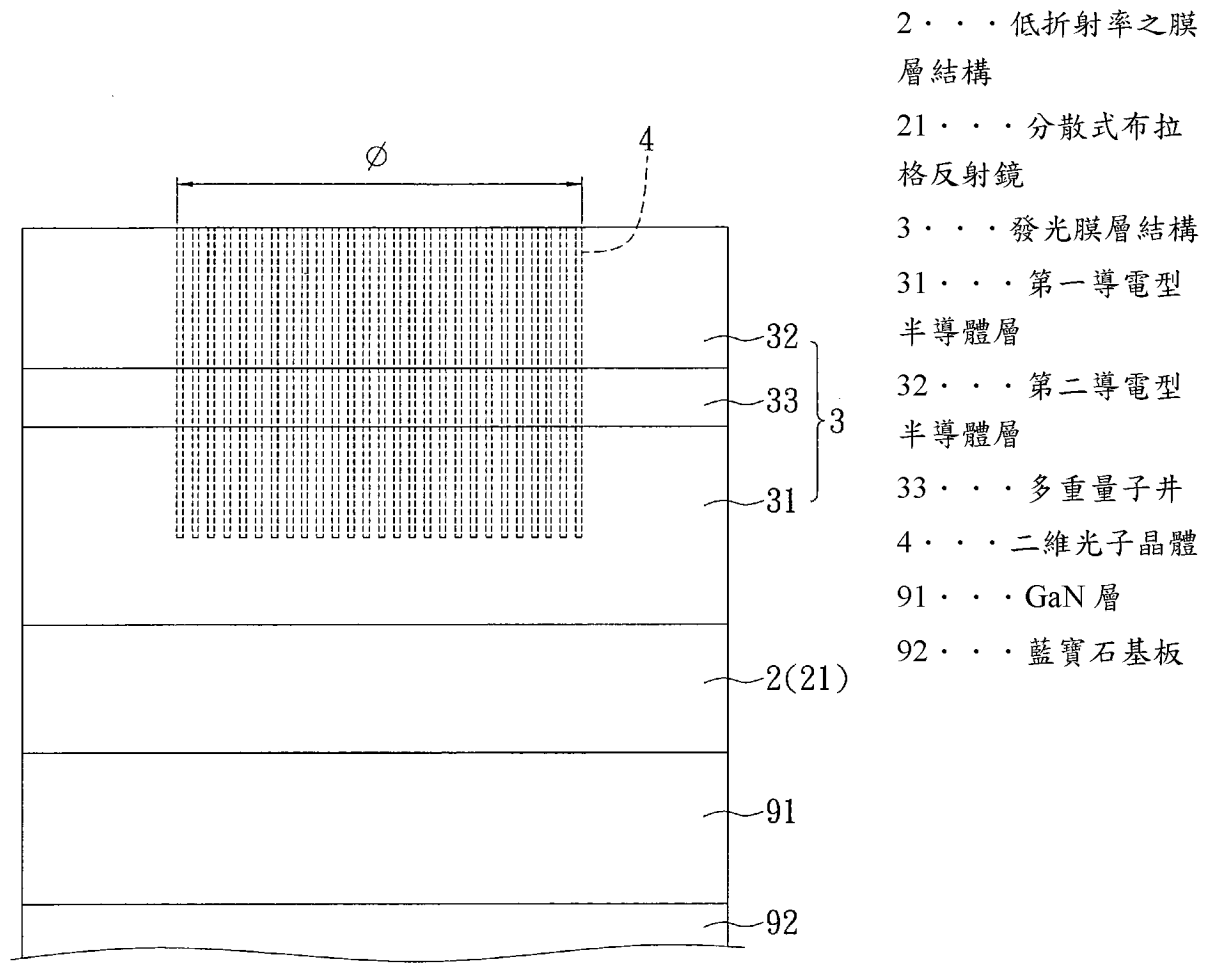


圖2

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：98128338

※ 申請日：98.8.21

※ IPC 分類：H01S 5/18 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

能帶邊緣型光子晶體雷射二極體/Photonic crystal band-edge laser diode

二、中文發明摘要：

本發明提供一種能帶邊緣型光子晶體雷射二極體，包含：一低折射率 n_L 之膜層結構、一形成於該低折射率之膜層結構上的發光膜層結構，及一形成於該發光膜層結構中的二維光子晶體。該發光膜層結構具有一高折射率 n_H 、一中心波長 λ_0 及一膜層厚度；其中， $n_H - n_L > 0.15$ ，且該發光膜層結構之膜層厚度是至少小於 $10\lambda_0/n_H$ 。

三、英文發明摘要：

This invention provides a photonic crystal band-edge laser diode, which comprises a low refractive index layered structure having a low refractive index of n_L , a light emitting layered structure formed on the low refractive index layered structure, and a two-dimensional photonic crystal formed in the light emitting layered structure. The light emitting layered structure has a high refractive index of n_H , a central wavelength of λ_0 , and a layer thickness. The difference in refractive index between n_H and n_L is greater than 0.15, and the layer thickness of the light emitting layered structure is at least thinner than $10\lambda_0/n_H$.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：圖 (2)。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

(20.0505) 低折射率之膜層結構	33	多重量子井
21 分散式布拉格反射鏡	4	二維光子晶體
3 發光膜層結構	91	GaN 層
31 第一導電型半導體層	92	藍寶石基板
32 第二導電型半導體層		

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

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明是有關於一種面射型雷射二極體 (surface emitting laser diode)，特別是指一種能帶邊緣型光子晶體雷射二極體 (photonic crystal band-edge laser diode)。

【先前技術】

傳統垂直共振腔面射型雷射 (vertical cavity surface emitting laser，簡稱 VESEL) 因上下形成有對數甚多的高低折射率層對的分散式布拉格反射鏡，因此，其元件的內部量子效率 (internal quantum efficiency) 則面臨到晶格不匹配度 (lattice mismatch) 所衍生的技術瓶頸。為改善上述製程上的瓶頸，因而演變了出能帶邊緣型光子晶體雷射二極體之面射型雷射。

參閱圖 1，Masahiro Imada、Alongkam Chutinan、Susumu Noda 與 Masamitsu Mochizuki 等人於 PHYSICAL REVIEW B, VOLUME 65, 195306 的 Multidirectionally distributed feedback photonic crystal lasers 一文中揭示出一種能帶邊緣型光子晶體雷射二極體 1，包含：一第一晶圓 11 及一第二晶圓 12。該等晶圓 11、12 是在氫氣氛圍內以 620 °C 加熱 30 分鐘的條件相互熔合 (fusing)。

該第一晶圓 11 具有一熔合於該第二晶圓 12 上的 n-InP 覆蓋層 111、一形成於該 n-InP 覆蓋層 111 的 p-InP 覆蓋層 112，及一夾置於該等覆蓋層 111、112 之間之由 InGaAsP 所構成且中心波長為 1.3 μm 的多重量子井 (multiple-

quantum-well，簡稱 MQW)。

該第二晶圓 12 具有一 n-InP 基材 121 及一形成於該 n-InP 基材 121 中並具有一 $0.462 \mu\text{m}$ 之晶格常數 (lattice constant) 的二維光子晶體 (2-D photonic crystal) 122。該二維光子晶體 122 是一呈三角形排列的圓洞陣列，且該圓洞陣列是一直徑約 $480 \mu\text{m}$ 的圓形圖案。

該能帶邊緣型光子晶體雷射二極體 1 主要是藉由該二維光子晶體 122 來侷限呈水平方向行進之自發性放射 (spontaneous emission) 的光子，並透過水平共振的作用以將自發性放射的光子擴大為受激性放射 (stimulated emission)，進而使得受激性放射的光子自該 p-InP 覆蓋層 112 的一上表面發射，並自該上表面離開該能帶邊緣型光子晶體離射二極體 1。

雖然呈面射型放射的能帶邊緣型光子晶體雷射可取代垂直共振腔面射型雷射 (VCSEL)；然而，目前能帶邊緣型光子晶體雷射仍面臨著臨界能量密度 (threshold energy density) 無法下降的瓶頸；因此，降低能帶邊緣型光子晶體雷射的臨界能量密度，乃是此技術領域者所需改進的課題。

【發明內容】

因此，本發明之目的，即在提供一種能帶邊緣型光子晶體雷射二極體。

於是，本發明之能帶邊緣型光子晶體雷射二極體，包含：一低折射率 (low refractive index) n_L 之膜層結構、一形成於該低折射率之膜層結構上的發光膜層結構，及一形成

於該發光膜層結構中的二維光子晶體。該發光膜層結構具有一高折射率 n_H 、一中心波長(center wavelength) λ_0 及一膜層厚度；其中， $n_H - n_L > 0.15$ ，且該發光膜層結構之膜層厚度是至少小於 $10\lambda_0 / n_H$ 。

本發明之功效在於，利用該低折射率之膜層結構與特定膜層厚度之發光膜層結構，來將光子侷限(confine)在該發光膜層結構中，藉以增加光子與該二維光子晶體的交互作用率，進而降低能帶邊緣型光子晶體雷射二極體的臨界能量密度。

【實施方式】

<發明詳細說明>

有關本發明之前述及其他技術內容、特點與功效，在以下配合參考圖式之四個較佳實施例、一個具體例與一個比較例的詳細說明中，將可清楚的呈現。

在本發明被詳細描述之前，要注意的是，在以下的說明內容中，類似的元件是以相同的編號來表示。

參閱圖 2 與圖 3，本發明之能帶邊緣型光子晶體雷射二極體的一第一較佳實施例，包含：一低折射率 n_L 之膜層結構 2、一形成於該低折射率之膜層結構 2 上的發光膜層結構 3，及一形成於該發光膜層結構 3 中的二維光子晶體 4。該發光膜層結構 3 具有一高折射率 n_H 、一中心波長 λ_0 及一膜層厚度；其中， $n_H - n_L > 0.15$ ，且該發光膜層結構 3 之膜層厚度是至少小於 $10\lambda_0 / n_H$ 。

此處值得一提的是，本發明主要是經由該低折射率之

膜層結構 2 來增加被其反射的光子量。另，經由降低該發光膜層結構 3 之膜層厚度的手段來提昇被反射之水平方向行進的光子與該二維光子晶體 4 之間的交互作用率(confined percentage)。

較佳地，該發光膜層結構 3 之膜層厚度是至小於 $5\lambda_0/n_H$ ； $0.15 < n_H - n_L < 1$ ； λ_0 是介於 380 nm ~ 1600 nm；該發光膜層結構 3 是由一 III-V 族化合物所構成；III 族元素是選自 B、Al、Ga、In，或此等之一組合；V 族元素是選自 N、P、As、Sb，或此等之一組合。更佳地，該發光膜層結構 3 是形成在一形成有一 2 μm 之 GaN 層 91 的藍寶石(sapphire)基板 92 上，且該發光膜層結構 3 是由以氮化鎵系為主(GaN-based)的 III-V 族化合物所構成； λ_0 是介於 380 nm ~ 460 nm。

較佳地，該發光膜層結構 3 具有一形成於該低折射率之膜層結構 2 上的第一導電型半導體層 31、一夾置於該低折射率之膜層結構 2 與該第一導電型半導體層 31 之間的第二導電型半導體層 32，及一夾置於該等導電型半導體層 31、32 之間的多重量子井(MQW)33。在本發明該第一較佳實施例中，該第一導電型半導體層 31、該第二導電型半導體層 32 與該多重量子井(MQW)33 分別是一 n-GaN、一 p-GaN 與一 $(\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}/\text{GaN})_{10}$ ；該多重量子井(MQW)33 之 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 的厚度與 GaN 的厚度分別是 2.5 nm 與 7.5 nm，且 λ_0 是 415 nm。

較佳地，該低折射率之膜層結構 2 具有一反射鏡。該

反射鏡是一帶有一第一低折射率 n_{L1} 之分散式布拉格反射鏡 (distributed Bragg reflector, 簡稱 DBR)21 或一金屬反射鏡 22。更佳地, 該反射鏡是一由兩不同折射率之 III-V 族化合物所構成的分散式布拉格反射鏡 (DBR)21。此處值得說明的是, 該分散式布拉格反射鏡 (DBR)21 主要是用來增加特定波段之光子的反射率, 且是由 m 對的一第一折射率層與一第二折射率層所構成。在本發明該第一較佳實施例中, 該分散式布拉格反射鏡 (DBR)21 是一 $(\text{AlN}/\text{GaN})_m$, 且 m 是至少大於 25。該 $(\text{AlN}/\text{GaN})_m$ 之每一對 (AlN/GaN) 的厚度為 d_{L1} , 且每一對 (AlN/GaN) 之 AlN 與 GaN 的厚度 d_{AlN} 與 d_{GaN} 分別是 $1/4$ 倍的光學膜厚 (optical thickness, λ_0/n), 即, 分別是 $4\lambda_0/n_{\text{AlN}}$ 與 $4\lambda_0/n_{\text{GaN}}$ 。此處須說明的是, 藉該 $(\text{AlN}/\text{GaN})_m$ 來大幅地反射 400 nm ~ 430 nm 特定波段之水平方向行進的光子。

本發明該第一較佳實施例之低折射率之膜層結構 2 所使用的分散式布拉格反射鏡 (DBR)21 的折射率 n_{L1} 與該發光膜層結構 3 之折射率, 是簡單地彙整於以下表 1。在本發明該第一較佳實施例中, $n_L = n_{L1}$ 。

表 1.

材料	折射率 ^{&}
p-GaN	2.5
$\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$	2.6
n-GaN	2.5
GaN	2.5
AlN	2.1

$$^{\&} n_{L1} = [(n_{\text{AlN}} \times d_{\text{AlN}}) + (n_{\text{GaN}} \times d_{\text{GaN}})] / (d_{\text{AlN}} + d_{\text{GaN}}) = 2.28。$$

較佳地，該二維光子晶體 4 是一如圖 3 所示之呈蜂窩狀(honeycomb)排列的圓洞陣列(circular cavity array)；該二維光子晶體 4 具有一介於 190 nm ~ 300 nm 的晶格常數 a ；該圓洞陣列之圓洞具有一半徑 r ；該二維光子晶體 4 的 r/a 是介於 0.11 ~ 0.45。在本發明該第一較佳實施例中，該二維光子晶體 4 的晶格常數 a 是 234 nm，該圓洞陣列之圓洞的半徑 r 為 50 nm。

較佳地，該二維光子晶體 4 之圓洞陣列的深度是自該等導電型半導體層 31、32 其中一者向該等導電型半導體層 31、32 其中另一者的方向延伸，並至少部分跨及該多重量子井 33。在本發明該第一較佳實施例中，該二維光子晶體 4 之圓洞陣列的深度是 400 nm。

較佳地，該二維光子晶體 4 具有一圓形圖案面積，該圓形圖案面積的直徑 ϕ 是介於 50 μm ~ 100 μm 。

在本發明該第一較佳實施例中，有關於被該分散式布拉格反射鏡(DBR)21 所反射的光子與該二維光子晶體 4 間的交互作用率，是經由光學模擬軟體取得並簡單地彙整於下列表 2. 中。

表 2. * \times

光學膜厚 [*]	發光膜層結構之膜層厚度(nm)			交互作用率(%)
	n-GaN	(In _{0.2} Ga _{0.8} N/GaN) ₁₀	p-GaN	
3 λ	198	100	200	95.0
4 λ	364	100	200	83.9
5 λ	530	100	200	71.4
6 λ	696	100	200	64.6
7 λ	862	100	200	59.2

10λ	1360	100	200	50.1
-----	------	-----	-----	------

* 光學膜厚(λ)等於 λ_0/n_H ； λ_0 等於 415 nm； n_H 等於 2.5。

該分散式布拉格反射鏡(DBR)21 為(AIN/GaN)₂₅。

¥ 該二維光子晶體 41 的晶格常數 a 與圓洞半徑 r 分別為 234 nm 與 50 nm；該二維光子晶體 4 之圓洞陣列的深度是 400 nm。

經上述表 2. 的模擬結果可知，當該發光膜層結構 3 之膜層厚度小於 $10\lambda_0/n_H$ 時，被該分散式布拉格反射鏡(DBR)21 所反射之水平方向行進的光子與該二維光子晶體 4 間的交互作用率皆可大於 50%。因此，可輔助光子在該二維光子晶體 4 中的水平共振。

參閱圖 4，本發明之能帶邊緣型光子晶體雷射二極體的第一較佳實施例，大致上是相同於該第一較佳實施例，其不同處是在於，更包含一覆蓋該發光膜層結構 3 並裸露出該二維光子晶體 4 的電流侷限層(passivation layer)5、分別電性連接該第一導電型半導體層 31 與該第二導電型半導體層 32 的第一電極 61 與一第二電極 62，及一覆蓋該二維光子晶體 4 並與該第二電極 62 電性連接的電流擴散層(current spreading layer)7；該低折射率之膜層結構 2 更帶有一第一低折射率 n_{L1} 並夾置於該分散式布拉格反射鏡(DBR)21 與該發光膜層結構 3 之間的低折射率層 23。

較佳地， $n_{L2} < n_{L1}$ ，該低折射率層 23 具有一小於 200 nm 的膜層厚度 d_{L2} ，且該低折射率層 23 是由該 III-V 族化合物所構成。在本發明該第二較佳實施例中，該低折射率層 23 是由一膜層厚度 d_{L2} 為 200 nm 的 AlN(即， n_{L2} 等於 2.1) 所構成； $n_L = [(n_{L1} \times d_{L1} \times m) + (n_{L2} \times$

$d_{L2}]/[(d_{L1} \times m) + d_{L2}]] = 2.27$ ；該電流侷限層 5 是 SiO_2 或 SiN_x ；該電流擴散層 7 是透明導電層，如，氧化銦錫 (ITO)。本發明該第二較佳實施例可藉該低折射率層 (AlN) 23 來侷限該特定波段 (即，400 nm ~ 430 nm) 外之水平方向行進的光子。

參閱圖 5，本發明之能帶邊緣型光子晶體雷射二極體的第一第三較佳實施例，大致上是相同於該第二較佳實施例，其不同處是在於，該發光膜層結構 3、該分散式布拉格反射鏡 (DBR) 21 與該低折射率層 23 是使用一金屬鍵合層 (bonding layer) 93 經由晶圓鍵合 (wafer bonding) 技術被鍵合至一基板 94 上。於完成晶圓鍵合技術後的第一導電型半導體層 31 與第二導電型半導體層 32 分別是一 p-GaN、一 n-GaN；該低折射率層 23 之膜層厚度 d_{L2} 是不限於低於 200 nm；且該二維光子晶體 4 之圓洞陣列的深度是 298 nm ~ 1460 nm。

較佳地，該分散式布拉格反射鏡 (DBR) 21 是由選自下列所構成之群組的兩介電材料 (dielectrics) 所構成：氧化矽 (SiO_2)、氮化矽 (SiN_x)、氧化鉭 (Ta_2O_5) 及氧化鈦 (TiO_2)；該低折射率層 23 是由氧化銦錫 (ITO)、氧化矽或氮化矽所構成。在本發明該第三較佳實施例中，該分散式布拉格反射鏡 (DBR) 21 與該低折率層 23 分別是一 $(\text{SiO}_2/\text{TiO}_2)_m$ 與一 n_{L2} 為 1.9 且膜層厚度 d_{L2} 為 200 nm 的 ITO 層，且 m 是至少大於 6。該 $(\text{SiO}_2/\text{TiO}_2)_m$ 之每一對 ($\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$) 的厚度為 d_{L1} ，且每一對 ($\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$) 之 SiO_2 與 TiO_2 的厚度 d_{SiO_2} 與 d_{TiO_2} 分別是

1/4 倍的光學膜厚，即，分別是 $4\lambda_0/n_{\text{SiO}_2}$ 與 $4\lambda_0/n_{\text{TiO}_2}$ 。

本發明該第三較佳實施例之低折射率之膜層結構 2 所使用的分散式布拉格反射鏡(DBR)21 的折射率 n_{L1} 與該發光膜層結構 3 之折射率，是簡單地彙整於以下表 3。在本發明該第三較佳實施例中， $n_L = [(n_{L1} \times d_{L1} \times m) + n_{L2} \times d_{L2}] / [(d_{L1} \times m) + d_{L2}] = [(1.88 \times 110.5 \times 6) + (1.9 \times 210)] / [(110.5 \times 6) + 210] = 1.88$ 。

表 3.

材料	折射率 ^{&}
p-GaN	2.5
In _{0.2} Ga _{0.8} N	2.6
n-GaN	2.5
SiO ₂	1.5
TiO ₂	2.5

$$^{\&} n_{L1} = [(n_{\text{SiO}_2} \times d_{\text{SiO}_2}) + (n_{\text{TiO}_2} \times d_{\text{TiO}_2})] / (d_{\text{SiO}_2} + d_{\text{TiO}_2}) = 1.88。$$

在本發明該第三較佳實施例中，有關於被該分散式布拉格反射鏡(DBR)21 所反射的光子與該二維光子晶體 4 間的交互作用率，是經由光學模擬軟體取得並簡單地彙整於下列表 4. 中。

表 4. ^{* &}

光學膜厚 [*]	發光膜層結構之膜層厚度 (nm)			交互作用率 (%)
	n-GaN	(In _{0.2} Ga _{0.8} N/GaN) ₁₀	p-GaN	
3λ	198	100	200	70.2
4λ	364	100	200	77.9
5λ	530	100	200	81.5
6λ	696	100	200	84.0
7λ	862	100	200	84.6

10 λ	1360	100	200	86.0
--------------	------	-----	-----	------

* 光學膜厚(λ)等於 λ_0/n_H ； λ_0 等於 415 nm； n_H 等於 2.5。

* 該分散式布拉格反射鏡(DBR)21 為 $(\text{SiO}_2/\text{TiO}_2)_6$ 。

† 該二維光子晶體 41 的晶格常數 a 與圓洞半徑 r 分別為 234 nm 與 50 nm；該二維光子晶體 4 之圓洞陣列的深度是 298 nm ~ 1460 nm (即，n-GaN 與 $(\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}/\text{GaN})_{10}$ 的總厚度)。

參閱圖 6，本發明之能帶邊緣型光子晶體雷射二極體的一第四較佳實施例，大致上是相同於該第三較佳實施例，其不同處是在於，該低折射率之膜層結構 2 的反射鏡是一由 Ag 或 Al 所構成的金屬反射鏡 22。

<具體例>

本發明之能帶邊緣型光子晶體雷射二極體的一具體例大致上是相同於如圖 2 與圖 3 所描繪之第一較佳實施例，其不同處是在於，該低折射率之膜層結構 2 的分散式布拉格反射鏡(DBR)21 是一 $(\text{AlN}/\text{GaN})_{35}$ ；該發光膜層結構 3 的膜層厚度是 $5\lambda_0/n_H$ (參表 2.)；且該二維光子晶體 4 之圓形圖案面積的直徑 ϕ 是 50 μm 。

<比較例>

再參圖 2 與圖 3，本發明之能帶邊緣型光子晶體雷射二極體的一比較例大致上是相同該具體例，其不同處是在於，該比較例不包含該分散式布拉格反射鏡(DBR)21。

<分析數據>

參閱圖 7，由本發明該具體例之掃描式電子顯微鏡(scanning electron microscope, 簡稱 SEM)的影像圖顯示可知，本發明該具體例之二維光子晶體的晶格常數 a 與圓洞陣

列之圓洞半徑 r 分別為 234 nm 與 50 nm。

本發明該具體例是使用一脈衝寬度(pulsewidth)約為 0.5 ns 及發光波長為 355 nm 的 Nd:YVO₄ 脈衝式雷射(pulsed laser)，在一 1 kHz 之反覆速率(repetition rate)的條件下來對該具體例執行光激發光(optical pumping)；其中，該脈衝式雷射是以 50 μm 之光點大小(spot size)的激發雷射光束垂直地入射在該二維光子晶體的表面，並覆蓋整體圓洞陣列的圖案區域。本發明該具體例之能帶邊緣型光子晶體雷射二極體經由該脈衝式雷射光激發光後的特性分析，是經由一 Wissenschaftliche Instrumente und Technologie GmbH (WITec) 所產之型號為 Alpha SNOM 的顯微鏡系統(microscopy system，圖未示)來量測。

參閱圖 8，由光輸出強度對光激發能量密度(pumping energy density)關係圖顯示可知，本發明該具體例之能帶邊緣型光子晶體雷射二極體的臨界能量(threshold energy, E_{th})與臨界能量密度分別僅 165 nJ 與 2.7 mJ/cm²。本發明該具體例藉由該分散式布拉格反射鏡(DBR)21 與 $5\lambda_0/n_H$ 之膜層厚度的發光膜層結構 3 來提昇被反射之水平方向行進的光子量；因此，不僅大幅地提昇了光子與該二維光子晶體間的交互作用率，也因此降低了該具體例之雷射二極體的臨界能量密度。反觀該比較例，在相同的光激發光條件下，該比較例的放射現象無法由自發性放射被放大為受激發性放射(圖未示)；因此，無法產生雷射現象。

參閱圖 9，由光輸出強度對波長關係圖顯示可知，本發

明該具體例之能帶邊緣型光子晶體雷射二極體的光子在經過該二維光子晶體的水平共振後所得之主峰(dominant peak)為 401.8 nm，且在激發能量為 $1.5 E_{th}$ 的條件下所取得的半高寬(full width at half maximum, FWHM)為 0.16 nm。此外，本發明該具體例經該顯微鏡系統(圖未示)所測得之五個測量距離之雷射光的平均發散角(average divergence angle)是小於 6° 。

綜上所述，本發明之能帶邊緣型光子晶體雷射二極體所使用的低折射率之膜層結構可大幅地降低雷射二極體的臨界能量密度，故確實能達成本發明之目的。

惟以上所述者，僅為本發明之較佳實施例與具體例而已，當不能以此限定本發明實施之範圍，即大凡依本發明申請專利範圍及發明說明內容所作之簡單的等效變化與修飾，皆仍屬本發明專利涵蓋之範圍內。

【圖式簡單說明】

圖 1 是一立體示意圖，說明由 Masahiro Imada、Alongkam Chutinan、Susumu Noda 與 Masamitsu Mochizuki 等人所揭示之能帶邊緣型光子晶體雷射二極體；

圖 2 是一正視示意圖，說明本發明之能帶邊緣型光子晶體雷射二極體的一第一較佳實施例；

圖 3 是一俯視示意圖，說明該第一較佳實施例之一二維光子晶體的晶格結構；

圖 4 是一正視示意圖，說明本發明之能帶邊緣型光子晶體雷射二極體的一第二較佳實施例；

圖 5 是一正視示意圖，說明本發明之能帶邊緣型光子晶體雷射二極體的一第三較佳實施例；

圖 6 是一正視示意圖，說明本發明之能帶邊緣型光子晶體雷射二極體的一第四較佳實施例；

圖 7 是一 SEM 表面影像圖，說明本發明能帶邊緣型光子晶體雷射二極體之一具體例的二維光子晶體的表面形貌；

圖 8 是一光輸出強度對激發能量密度關係圖，說明本發明該具體例之臨界能量密度；及

圖 9 是一光輸出強度對波長關係圖，說明本發明該具體例之雷射光的主峰位置與半高寬。

【主要元件符號說明】

2	低折射率之膜層結構	33	多重量子井
21	分散式布拉格反射鏡	4	二維光子晶體
22	金屬反射鏡	91	GaN 層
23	低折射率層	92	藍寶石基板
3	發光膜層結構	93	金屬鍵合層
31	第一導電型半導體層	94	基板
32	第二導電型半導體層		

101年12月25日修正

第 098128338 號專利申請案補充、修正後之說明書替換頁

修正日期：101 年 12 月 25 日

七、申請專利範圍：

1. 一種能帶邊緣型光子晶體雷射二極體，包含：

一低折射率 n_L 之膜層結構，該低折射率之膜層結構具有一反射鏡，該反射鏡是一帶有一第一低折射率 n_{L1} 之分散式布拉格反射鏡或一金屬反射鏡；

一形成於該低折射率之膜層結構上的發光膜層結構，具有一高折射率 n_H 、一中心波長 λ_0 及一膜層厚度；
及

一形成於該發光膜層結構中的二維光子晶體；

其中， $n_H - n_L > 0.15$ ，且該發光膜層結構之膜層厚度是至少小於 $10\lambda_0 / n_H$ 。

2. 依據申請專利範圍第 1 項所述之能帶邊緣型光子晶體雷射二極體，其中，該發光膜層結構之膜層厚度至小於 $5\lambda_0 / n_H$ ； $0.15 < n_H - n_L < 1$ ； λ_0 是介於 380 nm ~ 1600 nm；該發光膜層結構是由一 III-V 族化合物所構成；III 族元素是選自 B、Al、Ga、In，或此等之一組合；V 族元素是選自 N、P、As、Sb，或此等之一組合。
3. 依據申請專利範圍第 1 項所述之能帶邊緣型光子晶體雷射二極體，其中，該反射鏡是一分散式布拉格反射鏡。
4. 依據申請專利範圍第 3 項所述之能帶邊緣型光子晶體雷射二極體，其中，該分散式布拉格反射鏡是由兩不同折射率之 III-V 族化合物所構成。
5. 依據申請專利範圍第 4 項所述之能帶邊緣型光子晶體雷射二極體，其中，該低折射率之膜層結構更具有一帶有一

- 一 第二低折射率 n_{L2} 之低折射率層，該低折射率層是夾置於該分散式布拉格反射鏡與該發光膜層結構之間，且 $n_{L2} < n_{L1}$ ；該低折射率層是由該 III-V 族化合物所構成。
6. 依據申請專利範圍第 5 項所述之能帶邊緣型光子晶體雷射二極體，其中，該低折射率層具有一小於 200 nm 的膜層厚度。
 7. 依據申請專利範圍第 3 項所述之能帶邊緣型光子晶體雷射二極體，其中，該分散式布拉格反射鏡是由選自下列所構成之群組的兩介電材料所構成：氧化矽、氮化矽、氧化鋇及氧化鈦。
 8. 依據申請專利範圍第 7 項所述之能帶邊緣型光子晶體雷射二極體，其中；該低折射率之膜層結構更具有一帶有一第二低折射率 n_{L2} 之低折射率層，該低折射率層是夾置於該分散式布拉格反射鏡與該發光膜層結構之間，且 $n_{L2} < n_{L1}$ ；該低折射率層是由氧化銻錫、氧化矽或氮化矽所構成。
 9. 依據申請專利範圍第 1 項所述之能帶邊緣型光子晶體雷射二極體，其中，該反射鏡是一由 Ag 或 Al 所構成的金屬反射鏡；該低折射率之膜層結構更具有一夾置於該金屬反射鏡與該發光膜層結構之間的低折射率層，且是由氧化銻錫、氧化矽或氮化矽所構成。
 10. 依據申請專利範圍第 2 項所述之能帶邊緣型光子晶體雷射二極體，其中，該發光膜層結構是由以氮化鎵系為主的 III-V 族化合物所構成； λ_0 是介於 380 nm ~ 460 nm；

該發光膜層結構具有一形成於該低折射率之膜層結構上的第一導電型半導體層、一夾置於該低折射率之膜層結構與該第一導電型半導體層之間的第二導電型半導體層，及一夾置於該等導電型半導體層之間的多重量子井。

11. 依據申請專利範圍第 10 項所述之能帶邊緣型光子晶體雷射二極體，其中，該二維光子晶體是一呈蜂窩狀排列的圓洞陣列；該二維光子晶體具有一介於 190 nm ~ 300 nm 的晶格常數 a ；該圓洞陣列之圓洞具有一半徑 r ；該二維光子晶體的 r/a 是介於 0.11 ~ 0.45。
12. 依據申請專利範圍第 11 項所述之能帶邊緣型光子晶體雷射二極體，其中，該二維光子晶體具有一圓形圖案面積，該圓形圖案面積的直徑是介於 50 μm ~ 100 μm 。
13. 依據申請專利範圍第 11 項所述之能帶邊緣型光子晶體雷射二極體，其中，該二維光子晶體之圓洞陣列的深度是自該等導電型半導體層其中一者向該等導電型半導體層其中另一者的方向延伸，並至少部分跨及該多重量子井。
14. 依據申請專利範圍第 10 項所述之能帶邊緣型光子晶體雷射二極體，更包含一覆蓋該發光膜層結構並裸露出該二維光子晶體的電流侷限層，及分別電性連接該第一導電型半導體層與該第二導電型半導體層的一第一電極與一第二電極。
15. 依據申請專利範圍第 14 項所述之能帶邊緣型光子晶體雷

射二極體，更包含一覆蓋該二維光子晶體並與該第二電極電性連接的電流擴散層。

八、圖式

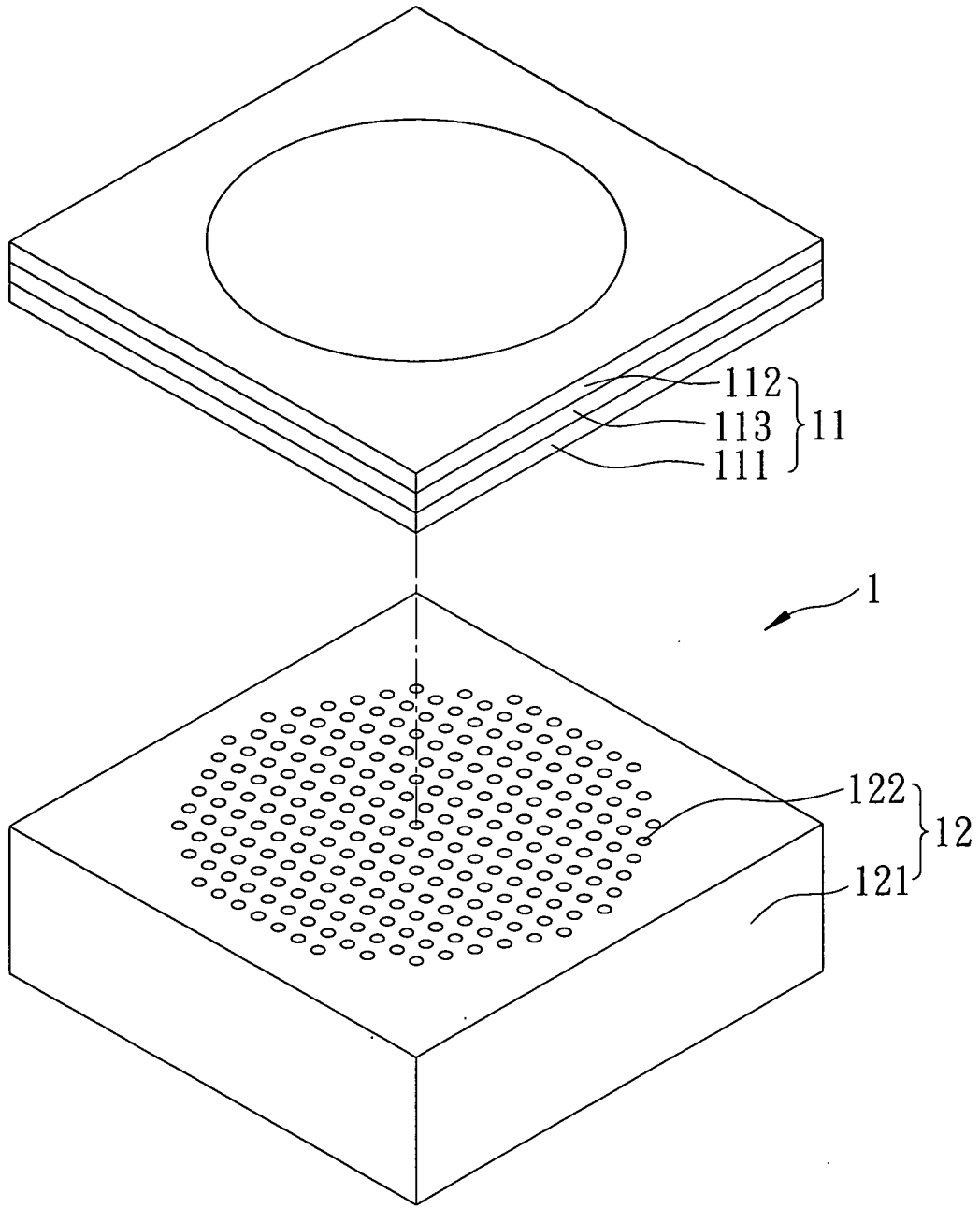


圖 1

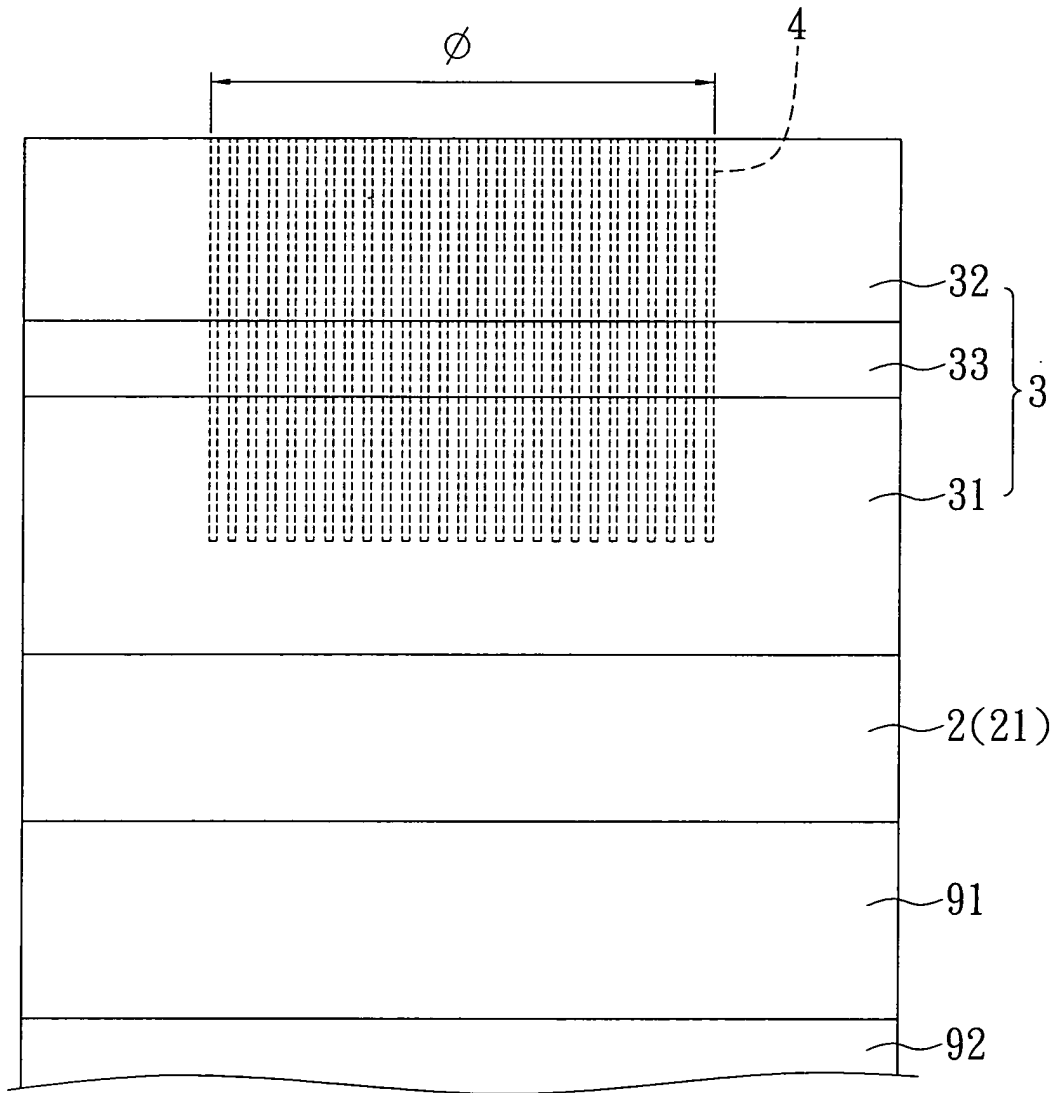


圖2

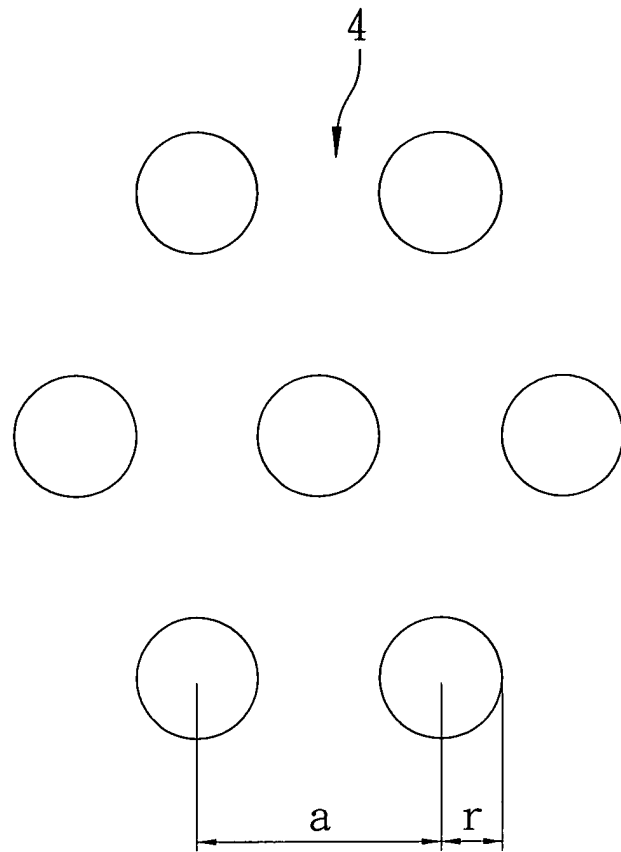


圖3

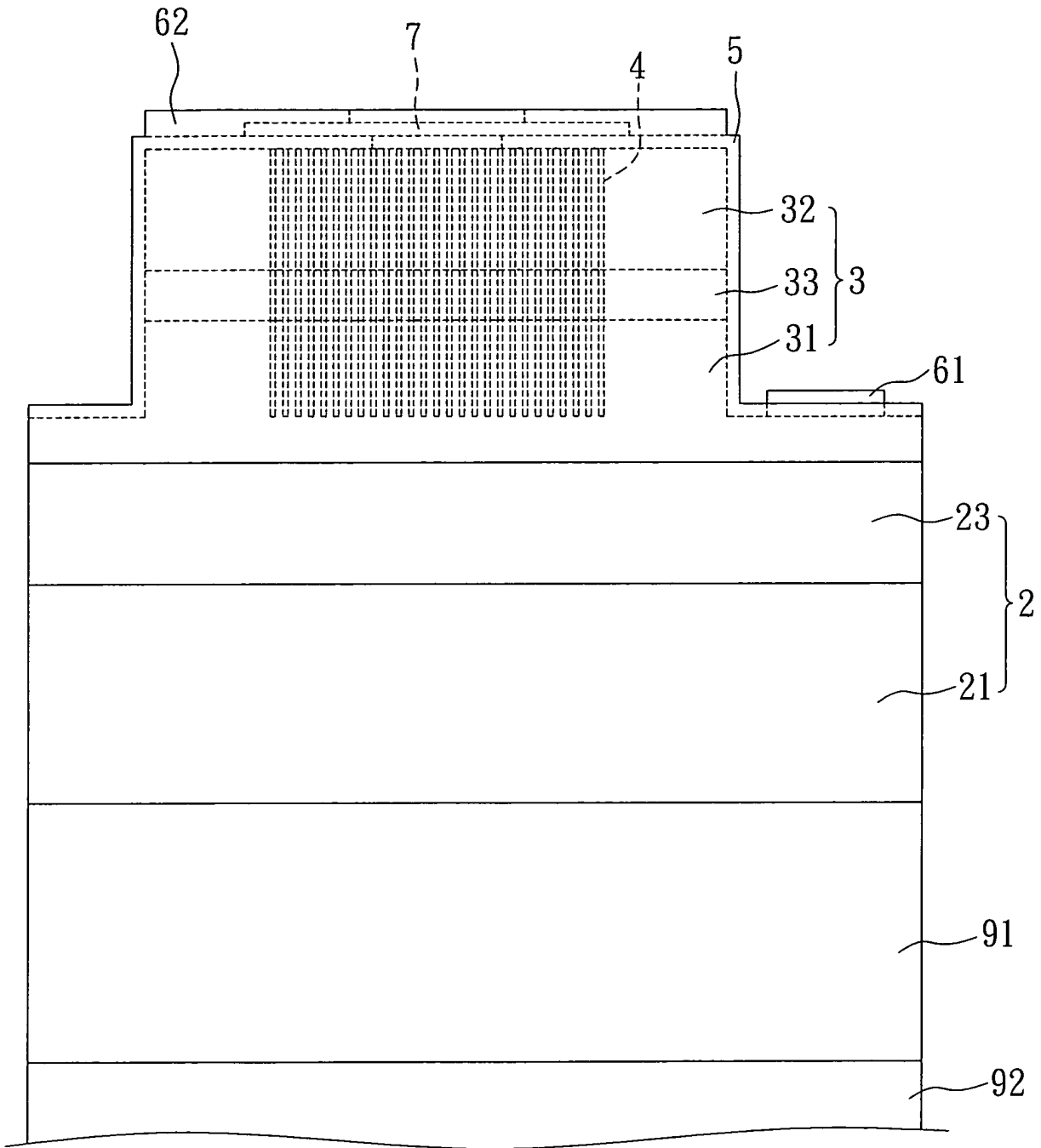


圖4

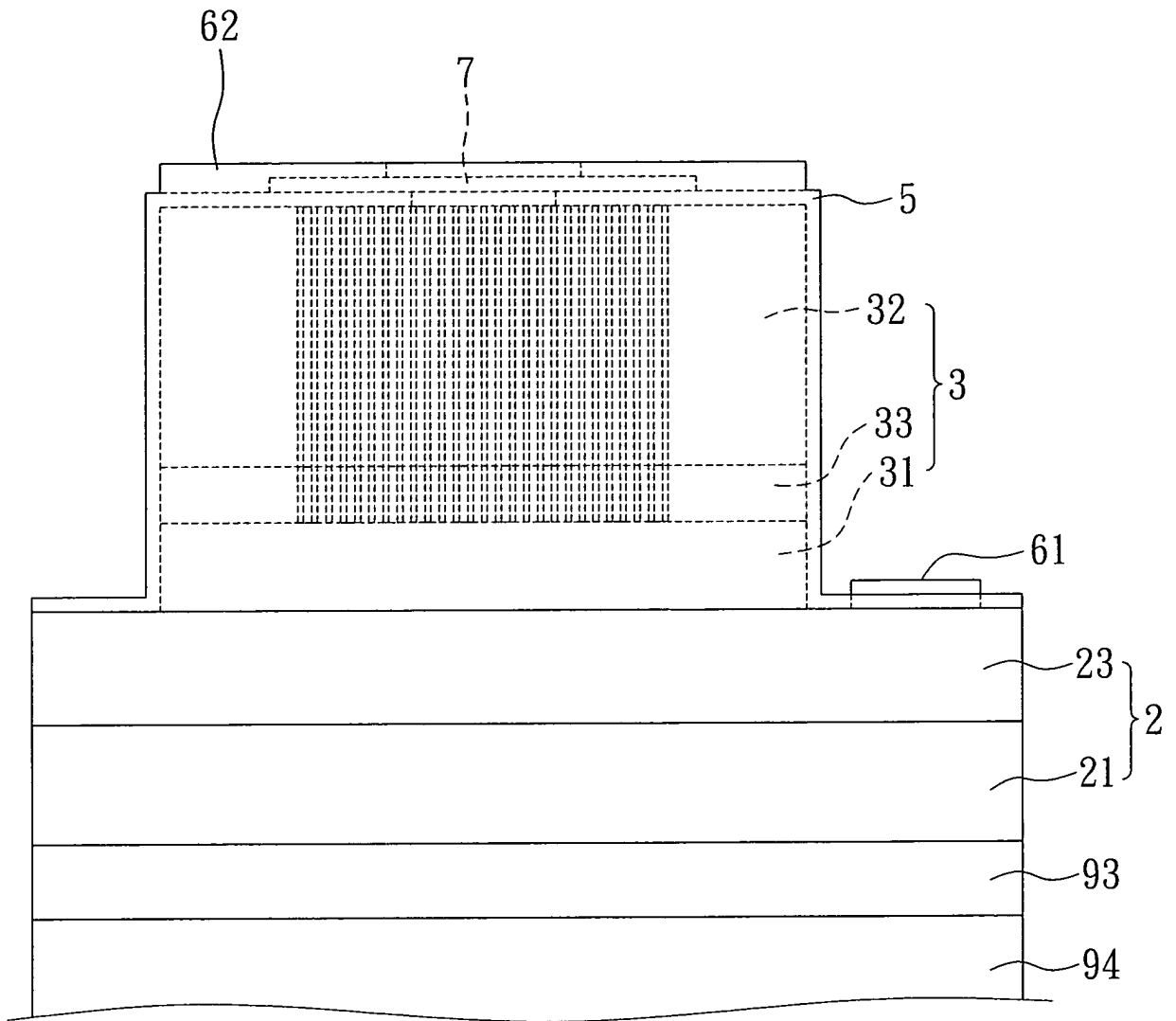


圖5

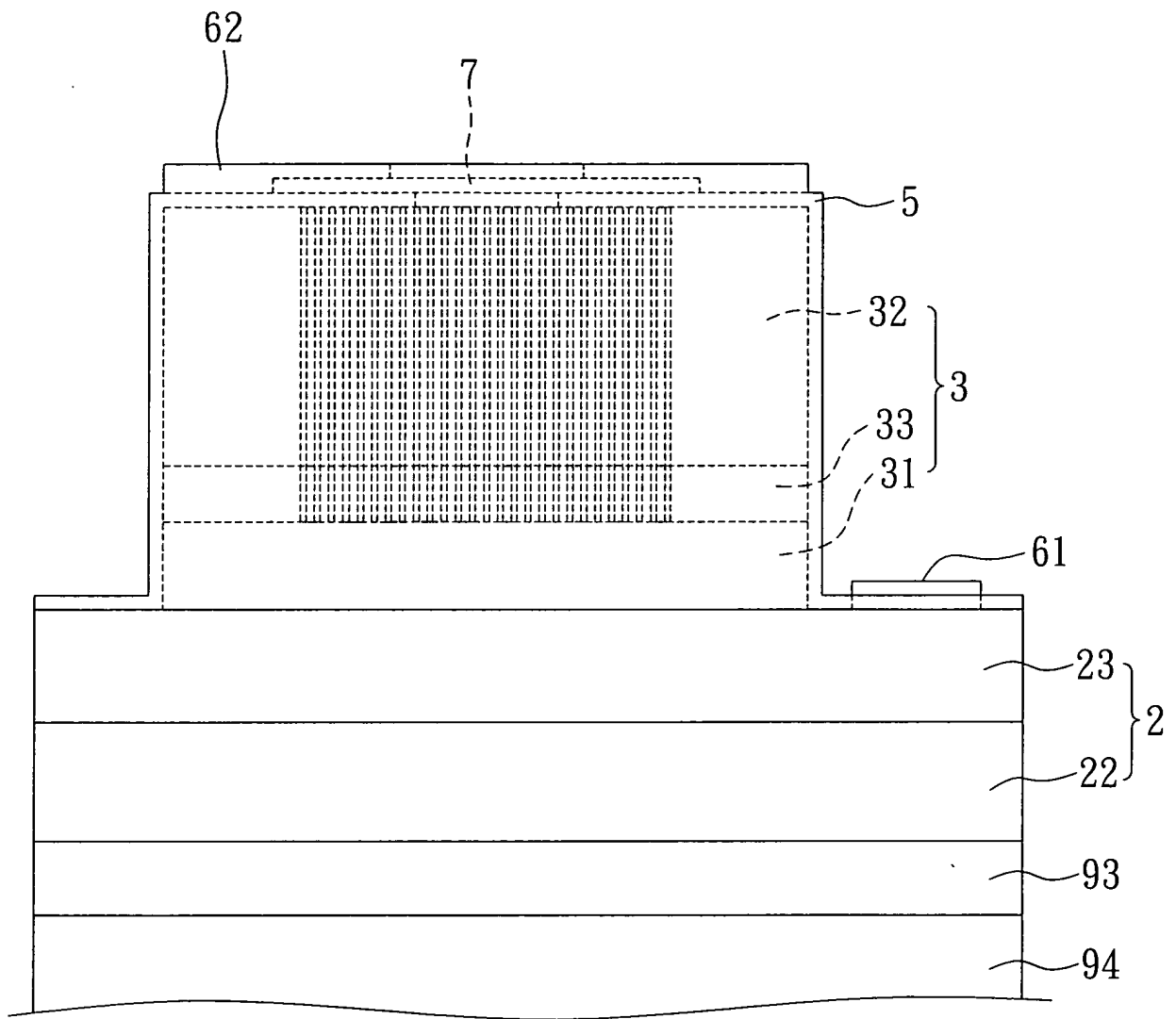


圖6

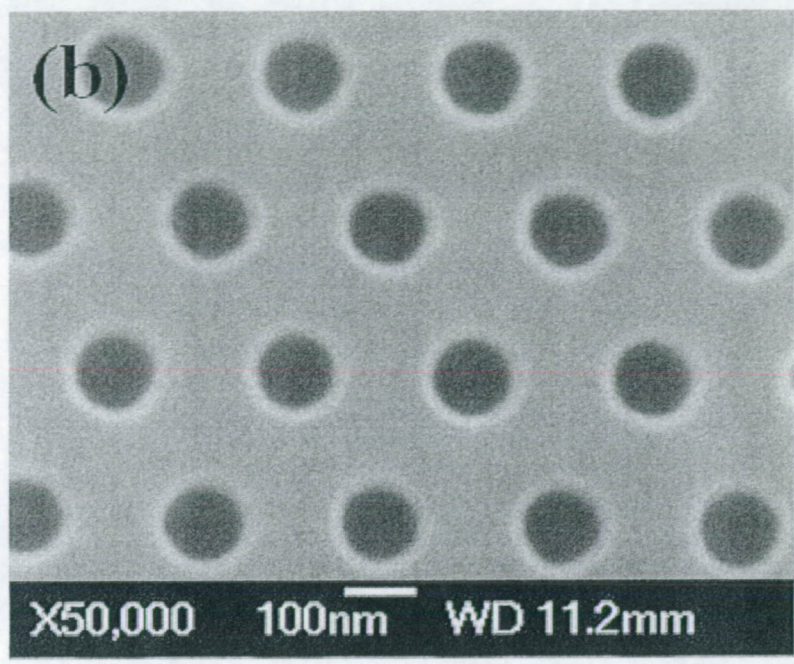


圖 7

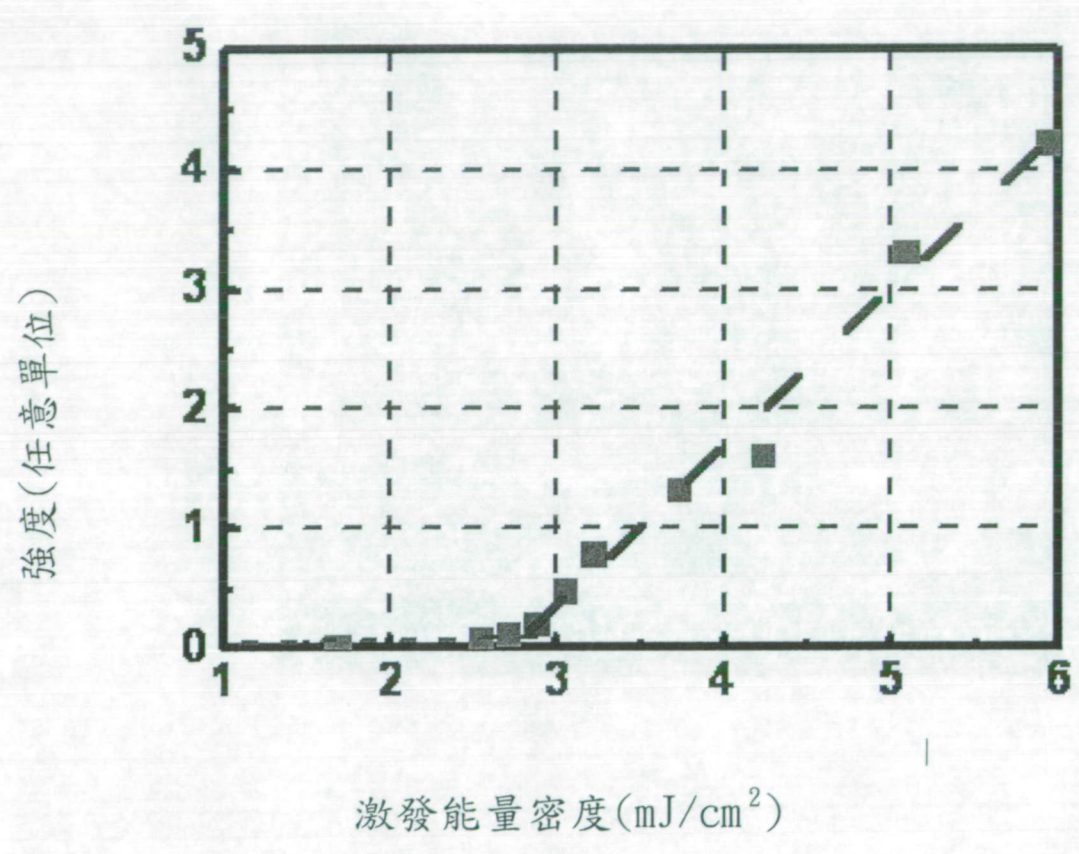


圖 8

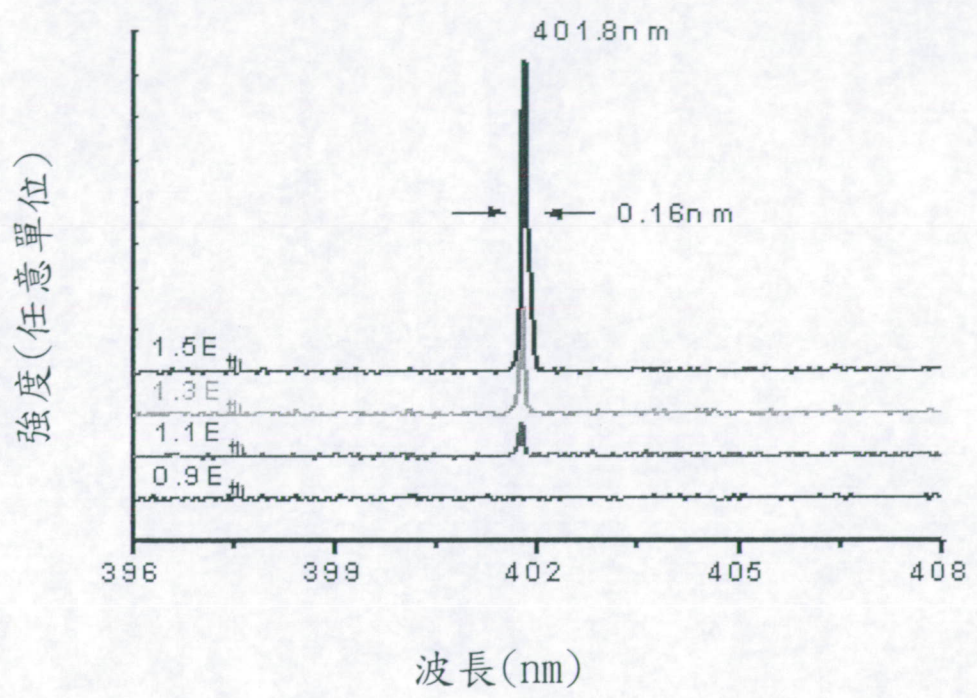


圖9