



(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 I434436 B

(45)公告日：中華民國 103 (2014) 年 04 月 11 日

(21)申請案號：100129041

(22)申請日：中華民國 100 (2011) 年 08 月 15 日

(51)Int. Cl. : *H01L33/30 (2010.01)*

(30)優先權：2010/08/18 日本 2010-183212

(71)申請人：昭和電工股份有限公司 (日本) SHOWA DENKO K. K. (JP)
日本

(72)發明人：瀨尾則善 SEO, NORIYOSHI (JP)；松村篤 MATSUMURA, ATSUSHI (JP)

(74)代理人：何金塗；丁國隆

(56)參考文獻：

TW I236158

JP 2002-217450A

US 2004/0217692A1

審查人員：林士淵

申請專利範圍項數：20 項 圖式數：15 共 0 頁

(54)名稱

發光二極體及發光二極體燈

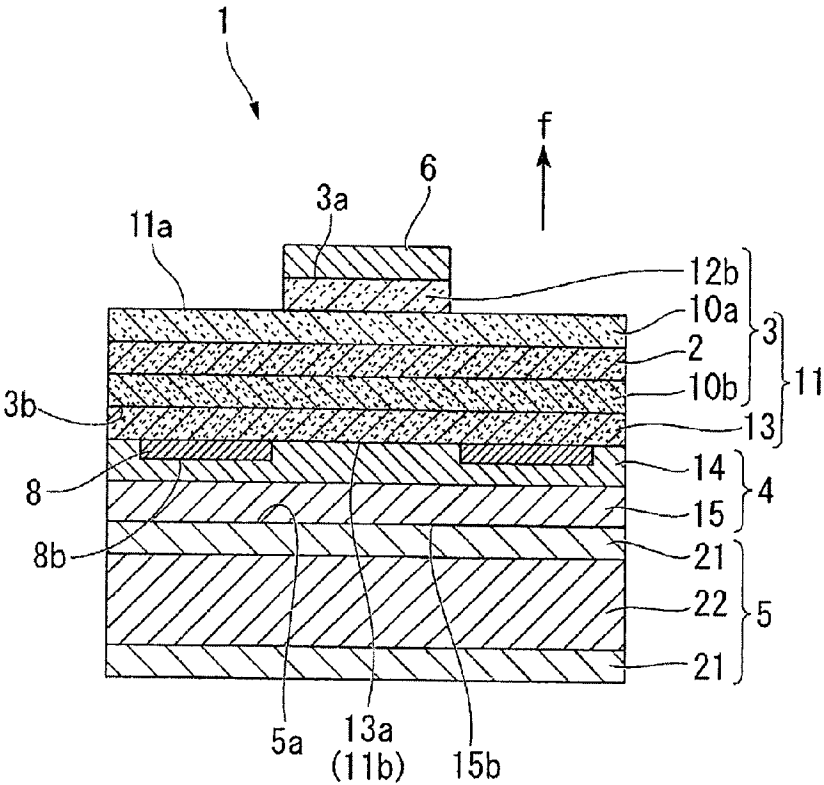
LIGHT-EMITTING DIODE AND LIGHT-EMITTING DIODE LAMP

(57)摘要

提供一種具有 655nm 以上的發光波長、單色性優異，並且為高輸出・高亮度・高效率、響應速度快，且在光取出面放射的光當中與光取出面正交之方向上的光強度具有強指向性，並可將熱效率地釋放至外部之發光二極體及發光二極體燈。具備化合物半導體層(11)，其至少包含 pn 接合型發光部(3)和積層於發光部(3)的變形調整層(13)；發光部(3)具有變形發光層與阻障層的積層構造，而該變形發光層包含組成式 $(Al_X Ga_{1-X})_Y In_{1-Y} P$ ($0 \leq X \leq 0.1$, $0.37 \leq Y \leq 0.46$)；變形調整層(13)可讓發光部(3)的光透過，且具有比變形發光層及阻障層的晶格常數還小的晶格常數；又具有功能性基板(5)，其透過反射構造體(4)而接合於位在光取出面(11a)的相反側之化合物半導體層(11)的面(11b)上。

This invention provides a light-emitting diode and light-emitting diode lamp which can emit the heat outside efficiently, and has an emission wavelength over 655nm, together with excellent monochromatic, fast response, high brightness, high efficiency, and high output. The light-emitting diode also has a strong directional light intensity in the light extraction direction perpendicular to the plane. The light-emitting diode includes at least a compound semiconductor layer (11) having the pn junction typed light-emitting part (3) and strain-adjusting layer (13) formed on the light-emitting part (3). The light-emitting part (3) has a layered structure including a barrier layer and a strain light-emitting layer composed of the material represented by formula $(Al_X Ga_{1-X})_Y In_{1-Y} P$ ($0 \leq X \leq 0.1$, $0.37 \leq Y \leq 0.46$). The strain-adjusting layer (13) has a smaller lattice constant than that of the strain light-emitting layer and barrier layer.

圖 1



- 1 . . . 發光二極體
- 2 . . . 發光層
- 3 . . . 發光部
- 3a、3b、8b、11b、13a、15b . . . 面
- 4 . . . 反射構造體
- 5 . . . 功能性基板
- 5a . . . 接合面
- 6 . . . 第 1 電極
- 8 . . . 第 2 電極
- 10a . . . 上部披覆層
- 10b . . . 下部披覆層
- 11 . . . 化合物半導體層
- 11a . . . 光取出面
- 12b . . . 接觸層
- 13 . . . 變形調整層
- 14 . . . 透明電極膜
- 15 . . . 反射層
- 21 . . . 第 1 金屬層
- 22 . . . 第 2 金屬層
- f . . . 正面方向

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：100/29041

※申請日：100. 8. 15

※IPC 分類：

H01L 31/30 (2010.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

發光二極體及發光二極體燈

LIGHT-EMITTING DIODE AND LIGHT-EMITTING DIODE LAMP

二、中文發明摘要：

提供一種具有 655nm 以上的發光波長、單色性優異，並且為高輸出、高亮度、高效率、響應速度快，且在光取出面放射的光當中與光取出面正交之方向上的光強度具有強指向性，並可將熱效率地釋放至外部之發光二極體及發光二極體燈。具備化合物半導體層(11)，其至少包含 pn 接合型發光部(3)和積層於發光部(3)的變形調整層(13)；發光部(3)具有變形發光層與阻障層的積層構造，而該變形發光層包含組成式 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ ($0 \leq x \leq 0.1$, $0.37 \leq y \leq 0.46$)；變形調整層(13)可讓發光部(3)的光透過，且具有比變形發光層及阻障層的晶格常數還小的晶格常數；又具有功能性基板(5)，其透過反射構造體(4)而接合於位在光取出面(11a)的相反側之化合物半導體層(11)的面(11b)上。

三、英文發明摘要：

This invention provides a light-emitting diode and light-emitting diode lamp which can emit the heat outside efficiently, and has an emission wavelength over 655nm, together with excellent monochromatic, fast response, high brightness, high efficiency, and high output. The light-emitting diode also has a strong directional light intensity in the light extraction direction perpendicular to the plane. The light-emitting diode includes at least a compound semiconductor layer (11) having the pn junction typed light-emitting part (3) and strain-adjusting layer (13) formed on the light-emitting part (3). The light-emitting part (3) has a layered structure including a barrier layer and a strain light-emitting layer composed of the material represented by formula $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ ($0 \leq X \leq 0.1$, $0.37 \leq Y \leq 0.46$). The strain-adjusting layer (13) has a smaller lattice constant than that of the strain light-emitting layer and barrier layer.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：圖 1。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

1	發 光 二 極 體
2	發 光 層
3	發 光 部
3 a 、 3 b 、 8 b 、 11 b 、 13 a 、 15 b	面
4	反 射 構 造 體
5	功 能 性 基 板
5 a	接 合 面
6	第 1 電 極
8	第 2 電 極
10 a	上 部 披 覆 層
10 b	下 部 披 覆 層
11	化 合 物 半 導 體 層
11 a	光 取 出 面
12 b	接 觸 層
13	變 形 調 整 層
14	透 明 電 極 膜
15	反 射 層
21	第 1 金 屬 層
22	第 2 金 屬 層
f	正 面 方 向

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】

本發明係關於發光二極體及發光二極體燈，特別是關於高輸出的紅色發光二極體及使用該紅色發光二極體的發光二極體燈。

本申請案係依據2010年8月18日於日本申請的特願2010-183212號，主張優先權並將其內容引用於此。

【先前技術】

近年來，在研究利用人工光源來進行植物生長。特別是，使用利用單色性優異、節能、壽命長且可小型化之發光二極體(英文簡稱 LED)的照明所進行的栽培方法備受矚目。又，到目前為止的研究，作為適合於植物生長(光合作用)用光源的發光波長之一而言，波長600~700nm區域左右的紅色光之效果已被確認。

特別是，波長660~670nm左右的光對於光合作用的反應效率高，是理想光源。對於此波長，在習知的紅色發光二極體中，已有探討研究包含AlGaAs或InGaNP等之發光層，但尚未達成高輸出化(例如，參照專利文獻1~3)。

另一方面，已知有具備包含磷化鋁・鎵・銦(組成式 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ ； $0 \leq x \leq 1$ ， $0 < y \leq 1$)的發光層之化合物半導體LED。於此LED中，具有 $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ 組成之發光層的波長最長，於此發光層獲得的峰值波長為650nm左右。因此，在比655nm長波長的區域，難以實用化、高亮度化。

又，一般來說，具備包含 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ ($0 \leq X \leq 1$, $0 < Y \leq 1$) 之發光層的發光部，對於由發光層所射出的發光是光學上不透明的，且形成於機械強度沒有那麼強的砷化鎵 (GaAs) 單晶基板上。

因此，以用於獲得更高亮度的可視 LED 且更加提升元件的機械強度為目的的研究正在推展著。

亦即，揭示一種構成所謂的接合型 LED 之技術，其係在去除如 GaAs 般的不透明基板材料後，重新再接合支持體層，其中該支持體層可讓發光透過並且包含機械強度比習知構成更強之優異的透明材料 (例如，參照專利文獻 4)。

另一方面，針對發光機制不同的雷射元件中有變形的發光層作檢討研究。然而目前的狀況為，發光二極體中有變形的發光層尚未被實用化 (例如，參照專利文獻 5)。

又，針對將量子阱構造應用於發光二極體的發光部進行探討研究。然而，應用量子阱構造所得之量子效應會使發光波長短波長化，所以會有無法應用於長波長化的技術之問題 (例如，參照專利文獻 6)。

先前技術文獻

專利文獻

專利文獻 1 日本特開平 9-37648 號公報

專利文獻 2 日本特開 2002-27831 號公報

專利文獻 3 日本特開 2004-221042 號公報

專利文獻 4 日本專利第 3230638 號公報

專利文獻 5 日本特開 2000-151024 號公報

專利文獻 6 日本專利第 3373561 號公報

【發明內容】

〔發明欲解決之課題〕

植物生長用照明的光源為了實用化，就節能、成本面考量，必須使用發光效率高的 LED 來減少使用電力及 LED 的使用數量。

特別是，為了植物生長用 LED 照明的實用化，強烈期望使用電力的降低、小型化(compact)、成本降低，且對於習知的 660nm 之波長帶的發光二極體之 AlGaAs 系的 LED，期望高輸出化、高效率化、波長的偏差降低、高速化等特性的提升。

此外，關於點燈方法，亦探討研究利用高速脈衝方式來減少使用電力，對此，需要響應速度快的發光二極體。依近年來的研究，確認植物生長用的照明可藉由在照射光後於光合作用的反應時間中熄燈來節能。然而，需要具有可因應高速脈衝通電之響應速度的發光二極體。具體而言，發光二極體的響應速度為 1000ns 以下，較佳為 100ns 以下。

在包含發光效率高的 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 < y \leq 1$) 的發光層中，與用於磊晶成長之 GaAs 基板的晶格常數整合之最長波長(帶隙小)的發光層的組成爲 $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ 。

此發光層的發光波長為 650nm，無法達成 650nm 以上的長波長化。如此，由於發光層之 650nm 以上的長波

長化存有技術的問題，所以無法實用化・高效率化。特別是具有 655nm 以上之長波長的 LED，有無法確保高輸出化的技術之問題。

又，以發光二極體而言，為了提高發光二極體的發光效率，提高所發出之光的利用效率，較佳為從光取出面放射至發光二極體外部的光當中與光取出面正交之方向的光強度是強的。

使用發光二極體作為植物生長的照明時，較佳為可將發光部發光時熱有效率地放出至發光二極體的外部。

再者，在植物生長用照明中，發光波長 700nm 以上的光會有抑制植物生長之效果的情形。因此，較佳為發光波長 660nm 左右之單色性優異的紅色光。因此，作為植物生長用照明，較佳為 700nm 的發光強度對於峰值發光波長強度具有未滿 10% 的發光光譜

本發明係鑒於上述情事而完成者，目的在於提供一種發光二極體，其具有 655nm 以上的發光波長、單色性優異，並且高輸出・高亮度・高效率、響應速度快，且從光取出面所放射的光當中與光取出面正交的方向上之光強度具有強指向性，並可將熱有效率地釋放至外部。又，其特徵為，提供一種適於植物生長用照明的發光二極體燈。

[用以解決課題之手段]

亦即，本發明係如下述：

(1) 一種發光二極體，其特徵為：

具備化合物半導體層，其至少包含 pn 接合型發光部、和積層於前述發光部的變形調整層，

前述發光部具有變形發光層與阻障層的積層構造，而該變形發光層包含組成式 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$ ($0 \leq X \leq 0.1$, $0.37 \leq Y \leq 0.46$)，

前述變形調整層對於發光波長是透明的，並且具有比前述變形發光層及前述阻障層的晶格常數還小的晶格常數，

在前述化合物半導體層之與光取出面相反側的面上，透過反射構造體接合有功能性基板。

(2)如前項(1)記載的發光二極體，其中前述功能性基板為金屬基板。

(3)如前項(2)記載的發光二極體，其中前述金屬基板係由積層的複數個金屬層所構成。

(4)如前項(1)記載的發光二極體，其中前述功能性基板的材料係 GaP、Si、Ge 的任一者。

(5)如前項(1)至(4)中任一項記載的發光二極體，其中與前述光取出面成 90° 之角度的方向上所放射的放射照度係為在與前述光取出面成 45° 之角度的方向上所放射之放射照度的 1.0 倍以上。

(6)如前項(1)至(5)中任一項記載的發光二極體，其中前述變形發光層的組成式為 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}$ ($0.37 \leq X \leq 0.46$)。

(7)如前項(1)至(6)中任一項記載的發光二極體，其中前述變形發光層的厚度係在 8~30nm 的範圍。

(8)如前項(1)至(7)中任一項記載的發光二極體，其中前述變形發光層包含8~40層。

(9)如前項(1)至(8)中任一項記載的發光二極體，其中前述阻障層的組成式為 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ ($0.3 \leq X \leq 0.7$ ， $0.48 \leq Y \leq 0.52$)。

(10)如前項(1)至(9)中任一項記載的發光二極體，其中前述發光部係在前述變形發光層的上部及下部之一者或兩者具有披覆層，前述披覆層的組成式為 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ ($0.5 \leq X \leq 1$ ， $0.48 \leq Y \leq 0.52$)。

(11)如前項(1)至(10)中任一項記載的發光二極體，其中將前述變形調整層的組成式設成 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ ($0 \leq X \leq 1$ ， $0.6 \leq Y \leq 1$)。

(12)如前項(1)至(10)中任一項記載的發光二極體，其中將前述變形調整層的組成式設成 $Al_xGa_{1-x}As_{1-y}P_y$ ($0 \leq X \leq 1$ ， $0.6 \leq Y \leq 1$)。

(13)如前項(1)至(12)中任一項記載的發光二極體，其中前述變形調整層為GaP層。

(14)如前項(1)至(13)中任一項記載的發光二極體，其中前述變形調整層的厚度係在0.5~20 μm 的範圍。

(15)如前項(1)至(14)中任一項記載的發光二極體，其中前述光取出面係包含粗面。

(16)如前項(1)至(15)中任一項記載的發光二極體，其係用於促進植物生長的光合作用之發光二極體，其中前述發光部之發光光譜的峰值發光波長係在655~675nm的範圍。

(17)如前項(16)記載的發光二極體，其中前述發光光譜的半值寬係在 10~40nm 的範圍。

(18)如前項(16)或(17)記載的發光二極體，其中前述發光光譜之發光波長 700nm 的發光強度，係未滿前述峰值發光波長之發光強度的 10%。

(19)如前項(1)至(18)中任一項記載的發光二極體，其中前述發光部的響應速度(Tr)為 100ns 以下。

(20)一種發光二極體燈，其特徵為：具備表面形成有電極端子的安裝基板、以及如申請專利範圍第 1 項至第 19 項中任一項之發光二極體；前述發光二極體係安裝於前述安裝基板；前述發光二極體係與前述電極端子電性連接。

[發明效果]

根據本發明的一觀點，藉由設置包含組成式 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ ($0 \leq X \leq 0.1$, $0.37 \leq Y \leq 0.46$) 的變形發光層，可提升來自發光部的發光效率及響應速度。又，藉由將變形發光層的組成規定在上述範圍，可實現具有 655nm 以上之發光波長的發光二極體。

此外，藉由在發光部上設置讓發光部的光透過的變形調整層，不會有來自發光部的光被變形調整層吸收的情形，故可實現高輸出、高效率的發光二極體。

再者，此變形調整層由於具有比變形發光層及阻障層的晶格常數還小的晶格常數，故可抑制半導體化合物層之翹曲的發生。藉此，由於可降低變形發光層之變形量的偏差，故可實現單色性優異的發光二極體。

藉由在位於化合物半導體層的光取出面之相反側之化合物半導體層的面上，設置反射構造體，可增強從化合物半導體層的光取出面放射至發光二極體外部的光當中與光取出面正交之方向的光強度，故可實現高亮度及高效率的發光二極體。

此外，藉由增強與光取出面正交之方向上的光強度，當在與光取出面正交的方向上獲得與不具備反射構造體之發光二極體的光強度相同強度之光強度時，可較不具備反射構造體的發光二極體更能減少消耗電力。

又，透過反射構造體被接合於位在光取出面之相反側的化合物半導體層的面上之功能性基板，藉由使用例如熱傳導係數佳的基板，可將發光部發光時的熱經由功能性基板有效率地釋放至發光二極體的外部。具備此種功能性基板的發光二極體，特別是在使用於有發熱問題之植物生長用照明時能發揮效果。

如上述說明，根據本發明的發光二極體，可提供一種具有 655nm 以上之紅色光的發光波長、單色性優異、且高輸出、高亮度、高效率、響應速度快，且放熱性優異的發光二極體。

再者，藉由使用放熱性優異的基板作為功能性基板，可將發光部發光時的熱釋放至發光二極體的外部。

又，根據本發明的發光二極體，可提供一種與習知的 AlGaAs 系發光二極體相比較，具有約 4 倍以上的發光效率之高輸出發光二極體。

再者，由於在化合物半導體層之與光取出面相反側的面上，透過反射構造體接合有功能性基板，故可提供一種在由光取出面所放射的光當中與光取出面正交之方向上的光強度具有強指向性的發光二極體。

又，根據具備上述發光二極體之本發明的發光二極體燈，可提供應用於植物生長用照明的發光二極體燈。

【實施方式】

〔用以實施發明之形態〕

以下，參照圖面，針對適用本發明之實施形態的發光二極體及具備發光二極體的發光二極體燈作詳細說明。又，以下的說明中所使用的圖面，為使特徵容易被了解，會有權宜地將成為特徵的部分加以放大顯示的情況，各構成要素的尺寸比例等未必與實際的發光二極體及發光二極體燈相同。

以下，說明實施本發明之形態。

(第 1 實施形態)

<發光二極體>

圖 1 為顯示本發明第 1 實施形態之發光二極體的一例之圖。

參照圖 1，本發明實施形態之發光二極體(LED)1 具有：化合物半導體層 11，其係至少包含發光部 3 及變形調整層 13，該發光部 3 含有發光層 2；以及作為功能性基板 5 的金屬基板，其係透過反射構造體 4 接合於發光部 3。又，在發光部 3 之與反射構造體 4 相反側的面 3a 具備第 1 電極 6，在發光部 3 之反射構造體 4 側的面 3b，經由變形調整層 13 具備有第 2 電極 8。

< 發光部 >

發光部 3 係建構成：在變形調整層 13 上至少依序積層 p 型的下部披覆層 10b、發光層 2、及 n 型的上部披覆層 10a。亦即，以發光部 3 而言，為了將引起輻射復合的載子(載體；carrier)及發光「封入」發光層 2，而作成包含在發光層 2 的下側及上側對峙地配置的下部披覆層 10b 及上部披覆層 10a 之所謂的雙異質(英文簡稱：DH)構造，在獲得高強度的發光上是理想的。

圖 2 係用以說明本發明第 1 實施形態之發光二極體之發光部的構成之放大剖面圖。

參照圖 2，發光層 2 宜為變形發光層 31 和阻障層 32 的多層構造。

發光層 2 的層厚以在 $0.02\sim 2\mu\text{m}$ 的範圍為佳。又，發光層 2 的傳導型並無特別限制，可選擇未摻雜、p 型及 n 型之任一者。為了提高發光效率，期望是設成結晶性良好的未摻雜或未滿 $3\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 的載子濃度。

變形發光層 31 具有 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$ ($0\leq X\leq 1$ ， $0<Y\leq 1$) 的組成。上述 X 宜為 0.1 以下，更佳為 0。又，上述 Y 宜在 0.37~0.46 的範圍，更佳為在 0.38~0.46 的範圍，特佳為在 0.39~0.45 的範圍。藉由將變形發光層 31 的材質規定在上述範圍內，可使發光波長在 655~675nm 的範圍。

然而，在此情況，變形發光層 31 成為其晶格常數和其他的構造部分的晶格常數不同的構成，而在化合物半導體層 2 發生變形。因此，會有產生所謂發生結晶缺陷的弊害之虞。

變形發光層 31 的層厚適合在 8nm 以上未滿 30nm 的範圍。在此，當變形發光層 31 的層厚是未滿約 6nm 的薄膜時，發光波長會因阱構造的量子效應而變短，以致無法獲得所期望的 655nm 以上之發光波長。

因此，變形發光層 31 的層厚係以考量層厚的變動而並未出現量子效應的 8nm 以上較佳。在未滿 8nm 的情況，即便變形發光層 31 之 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ ($0 \leq X \leq 1$, $0 < Y \leq 1$) 的組成在上述較佳範圍，亦有無法獲致 655nm 以上之發光波長的情形。又，若考慮層厚控制的容易性，則以 10nm 以上較適合。另一方面，一旦變形發光層 31 的層厚為 30nm 以上，變形量便會變過大，因而容易發生結晶缺陷或表面之異常，故不理想。

阻障層 32 具有 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ ($0 \leq X \leq 1$, $0 < Y \leq 1$) 的組成。上述 X 以在 0.3~0.7 的範圍較佳，0.4~0.6 的範圍更佳。又，上述 Y 以在 0.48~0.52 的範圍較佳，0.49~0.51 的範圍更佳。又，阻障層 32 的晶格常數可設成與 GaAs 基板同等或較小。

阻障層 32 的層厚宜比變形發光層 31 的層厚還厚。藉此，可提高變形發光層 31 之發光效率。又，必須利用阻障層 32 使發光效率最佳化並緩和產生於變形發光層 31 的變形。

因此，阻障層 32 係以設成至少 15nm 以上的層厚較佳，以設成 20nm 以上的層厚更佳。另一方面，阻障層 32 的層厚一旦超過 50nm 時便接近發光波長的波長，而會出現的干涉、布拉格反射等之光學的影響。

因此，阻障層 32 係以設成 50nm 以下的層厚較佳，以設成 40nm 以下的層厚更佳

如同上述，變形發光層 31 的層厚薄且阻障層 32 的層厚厚者較能獲得利用阻障層 32 吸收變形發光層 31 的變形之效果，並能獲得不易在變形發光層 31 發生結晶缺陷之效果。

在變形發光層 31 與阻障層 32 的多層構造中，變形發光層 31 與阻障層 32 交互積層的成對數雖無特別限制，但以 8 對以上 40 對以下較佳。亦即，發光層 2 中以含有 8~40 層的變形發光層 31 較佳。

在此，以發光層 2 的發光效率在合適的範圍而言，變形發光層 31 宜為 8 層以上。另一方面，變形發光層 31 及阻障層 32 由於載子濃度低，故若作成很多對，便會導致順向電壓 (VF) 增大。

因此，較佳為 40 對以下，更佳為 30 對以下。

又，由於 GaAs 基板(未圖示)的晶格常數與發光層 2 的晶格常數不同，變形發光層 31 具有的變形係產生於發光層 2 中的應力。因此，若變形發光層 31 與阻障層 32 交互積層之成對數，即發光層 2 所含之變形發光層 31 的層數超過前述範圍，發光層 2 便無法抵抗變形而會產生結晶缺陷，而有表面狀態的劣化或發光效率降低等問題產生。

發光層 2(發光部 3)較佳為藉由將變形發光層 31 的材質規定在上述範圍，而使其發光光譜的峰值發光波長設在 655~675nm 的範圍，更佳為設在光合作用效率比在

該範圍之光合作用效率高的 660~670nm 的範圍。上述範圍的發光波長係適合於植物生長(光合作用)用光源的發光波長之一，且對光合作用的反應效率高，故很理想。

另一方面，若利用 700nm 以上之長波長區域的光，因為會引發抑制植物生長的反應，故以長波長區域的光量少者為宜。因此，為使植物有效率生長，以最適於光合作用反應之 655~675nm 波長區域的強光、且不含 700nm 以上的長波長區域的光之紅色光源最佳。

又，為了作成前述較佳的紅色光源，半值寬必須狹窄。另一方面，由於當接近波長偏差可能變大的量子化條件時半值寬會變狹窄，因此發光光譜的半值寬宜在 10~40nm 的範圍。

再者，上述發光光譜中之發光波長 700nm 的發光強度係以未滿上述峰值發光波長中之發光強度的 10% 較佳。又，宜將發光層 2 的響應速度(上升時間：Tr)設在 100ns 以下。

具有此種特性之發光層 2 的發光二極體 1，可適合用於作為促進植物生長之光合作用所使用的照明(發光二極體燈)。又，發光層 2 的構成係能以滿足上述特性的方式適宜地選擇組成、層厚、層數。

參照圖 1，下部披覆層 10b 及上部披覆層 10a 係設在發光層 2 的任一面。具體而言，在發光層 2 的下面設置下部披覆層 10b，在發光層 2 的上面設置上部披覆層 10a。

以下部披覆層 10b 及上部披覆層 10a 的材質而言，較佳為帶隙比變形發光層 31 的帶隙還大的材質，更佳為帶隙比阻障層 32 的帶隙還大的材質。

以上述材質而言，例如，可舉出具有 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 的組成之化合物或具有 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$ ($0 \leq X \leq 1$, $0 < Y \leq 1$) 的組成之化合物。上述 X 的值，其下限值係以 0.3 以上較佳，以 0.5 以上更佳。又，上述 Y 的值係以在 0.48~0.52 的範圍較佳，以在 0.49~0.51 的範圍更佳。

下部披覆層 10b 和上部披覆層 10a 係構成極性不同。又，下部披覆層 10b 及上部披覆層 10a 的載子濃度及厚度可使用周知的適合範圍，較佳為將條件最佳化以使發光層 2 的發光效率提高。又，藉由控制下部披覆層 10b 及上部披覆層 10a 之組成，可減少化合物半導體層 11 的翹曲。

具體而言，作為下部披覆層 10b，例如，較佳為使用包含摻雜有 Mg 之 p 型的 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$ ($0.3 \leq X \leq 1$, $0 < Y \leq 1$) 的半導體材料。又，載子濃度係以 $2 \times 10^{17} \sim 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 的範圍較佳，層厚以 0.5~5 μm 的範圍較佳。

另一方面，作為上部披覆層 10a，例如，較佳為使用包含摻雜有 Si 之 n 型的 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$ ($0.3 \leq X \leq 1$, $0 < Y \leq 1$) 的半導體材料。

又，載子濃度係以 $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 的範圍較佳，層厚係以 0.5~2 μm 的範圍較佳。此外，下部披覆層 10b 及上部披覆層 10a 的極性可考量化合物半導體層 11 的元件構造來作選擇。

上部披覆層 10a 與接觸層 12b 接觸的那一面係發揮作為光取出面 11a 之功能的面，並施以粗面化(換言之，包含粗面)。

如此般地，由於藉由將光取出面 11a 粗面化，可抑制光取出面 11a 的全反射，故可使光取出效率提升。

又，在下部披覆層 10b 和發光層 2 之間、發光層 2 和上部披覆層 10a 之間、以及上部披覆層 10a 和變形調整層 13 之間，亦可設置用以使兩層間的能帶(band)不連續性緩和地變化的中間層。在此情況，各中間層較佳為分別由具有上述兩層之中間的帶隙之半導體材料所構成。

在發光部 3 之構成層的最上層，設有用以降低歐姆(Ohmic)電極之接觸電阻的接觸層 12b。

另外，除了接觸層 12b 外，亦可設置用以使元件驅動電流平面地擴散於發光部整體之電流擴散層、以及反之以限制元件驅動電流流通的區域之電流阻止層或電流狹窄層等周知的層。

< 變形調整層 >

參照圖 1，變形調整層 13 係設在發光部 3 的下方。此變形調整層 13 係於使化合物半導體層 11 在 GaAs 基板(未圖示)上磊晶成長之際，用以緩和因變形發光層 31 而產生的變形而設置者。又，變形調整層 13 對於發光部 3(發光層 2)的發光波長是透明的。

再者，變形調整層 13 係具有比變形發光層 31 及阻障層 32 的晶格常數還小的晶格常數。又，變形調整層

13 係具有比形成化合物半導體層 11(利用磊晶成長而形成)所用的 GaAs 基板(未圖示)的晶格常數還小的晶格常數。

更具體來說，在將由後述之組成所能獲得之變形調整層 13 的晶格常數設為 A，阻障層 32 的晶格常數設為 B，以及變形發光層 31 的晶格常數設為 C 的情況，具有 $A < B < C$ 的關係。

作為變形調整層 13，可應用具有 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ ($0 \leq X \leq 1$ ， $0.6 \leq Y \leq 1$) 的組成之材料。以上述 X 而言，亦與化合物半導體層 11 的元件構造有關，而因 Al 濃度低的材料在化學性質上是穩定的，故以 0.5 以下較佳，0 更佳。

又，上述 Y 的下限值係以 0.6 以上較佳。在此，若比較發光層 2(變形發光層 31)所具有的變形量是相同的情況，上述 Y 的值小者，變形調整層 13 的變形調整效果會變小。

因此，必須加厚變形調整層 13 的層厚。因而會導致變形調整層 13 在成膜時的成長時間和成本增加，故上述 Y 的值係以 0.6 以上較佳，以 0.8 以上更佳。

又，變形調整層 13 係對於發光部 3 的發光波長為透明的層，亦可適當地使用具有 $Al_xGa_{1-x}As_{1-y}P_y$ ($0 \leq X \leq 1$ ， $0.6 \leq Y \leq 1$) 之組成的 III-V 族半導體材料。

具有上述組成的變形調整層 13 中，晶格常數會依 Y 的值而改變。上述 Y 的值較大者，晶格常數較小。又，是否可讓發光部 3 的光透過，與上述 X 及 Y 的值兩者有

關，故只要以可對於發光部 3 的發光波長為透明的方式來選擇 X 及 Y 的值即可。

再者，以變形調整層 13 而言，可使用 GaP 層，較佳為使用例如摻雜有 Mg 之 p 型的 GaP 層。GaP 層因不需要組成的調整，且變形調整效果大，故就生產性及穩定性方面而言亦為最適合作為變形調整層 13 的材料。

變形調整層 13 由於具有比在使發光部 3 磊晶成長時所用之基板的 GaAs 基板的晶格常數還小的晶格常數，所以具備能緩和變形發光層 31 所包含之變形量的偏差之功能。

因此，藉由設置變形調整層 13 而具有使發光波長等特性的均一化，防止龜裂產生等結晶缺陷產生之效果。

在此，變形調整層 13 的層厚以在 $0.5\sim 20\mu\text{m}$ 的範圍較佳，以在 $3\sim 15\mu\text{m}$ 的範圍更佳。若變形調整層 13 的層厚未滿 $0.5\mu\text{m}$ ，便無法充分緩和變形發光層 31 之變形量的偏差，若層厚超過 $20\mu\text{m}$ ，則成長時間會變長，製造成本會增加，故並不理想。

如此一來，藉由控制變形調整層 13 的組成，可減少化合物半導體層 11 的翹曲，因而能製作面內波長分布小的發光二極體 1。

再者，如本實施形態所示，在具有透過反射構造體 4 來進行功能性基板 5 和化合物半導體層 11 的接合之構造的情況亦同樣，當化合物半導體層 11 的翹曲大時會產生破裂等之問題，故期望能減少化合物半導體層 11 的翹曲。

< 第 1 電極、第 2 電極 >

第 1 電極 6 及第 2 電極 8 分別為歐姆電極，其等的形狀及配置並未特別限制，只要能使電流在發光部 3 均一地擴散即可。例如，可使用俯視呈圓狀或矩形的電極，可配置為一個電極或將複數個電極配置成格子狀。

以第 1 電極 6 的材料而言，在使用 n 型的化合物半導體作為接觸層 12b 時，可使用例如 AuGe 層、AuSi 層等，在使用 p 型的化合物半導體作為接觸層 12b 的情況，可使用例如 AuBe 層、AuZn 層等。

又，接著藉由在其上積層 Au 層等，可防止氧化且可提升引線接合之連接可靠性。

以第 2 電極 8 的材料而言，在使用 n 型的化合物半導體作為變形調整層 13 的情況，可使用例如 AuGe 層、AuSi 層等。在使用 p 型的化合物半導體作為變形調整層 13 的情況，可使用例如 AuBe 層、AuZn 層等。

< 反射構造體 >

參照圖 1，反射構造體 4 係以覆蓋第 2 電極 8 的方式形成於變形調整層 13 之面 13a。反射構造體 4 係作成依序積層透明導電膜 14 和反射層 15 之構成。

透明導電膜 14 係以覆蓋第 2 電極 8 的方式形成於變形調整層 13 的面 13a(形成有第 2 電極 8 的變形調整層 13 之面)。作為透明導電膜 14，例如，可使用 ITO 膜、IZO 膜等。

又，亦可採用透明材料的折射率差之所謂的冷光鏡，例如氧化鈦膜、氧化矽膜的多層膜、或白色的氧化

鋁、AIN 來取代透明導電膜 14，或者連同透明導電膜 14 一起與反射層 15 作組合。

參照圖 1，反射層 15 係積層在透明導電膜 14。反射層 15 係由銅、銀、金、鋁等金屬及其等的合金等之材料所構成。此等材料的光反射率高，可將來自反射構造體 4 的光反射率設成 90% 以上。

藉由設置此種反射層 15，使來自發光層 2 的光在反射層 15 朝正面方向 f 反射，可提升在正面方向 f 的光取出效率。藉此，可使發光二極體 1 更高亮度化。

此外，在此的正面方向 f 係指和化合物半導體層 11 的光取出面 11a(在本實施形態之情況係發光部 3 的面 3a)形成的角度為 90° 的方向且自發光二極體 1 離開的方向。此外，反射構造體 4 亦可不設置透明導電膜 14 而僅以反射層 15 來構成。

又，反射構造體 4 可構成為：在與光取出面 11a 成 90° 之角度的方向上所放射的放射照度係大於在與光取出面 11a 成 45° 之角度的方向上所放射的放射照度的 1.0 倍。

以此方式，藉由將在與光取出面 11a 成 90° 之角度的方向(與光取出面 11a 正交的方向)上所放射之放射照度，設成大於在與光取出面 11a 成 45° 之角度的方向上所放射之放射照度的 1.0 倍，可實現高亮度及高效率的發光二極體 1。

又，藉由增強在與光取出面 11a 正交的方向上之光的強度，當在與光取出面 11a 正交的方向上獲得和未具

備反射構造體 4 的發光二極體之光強度相同強度之光強度時，在消耗電力方面可比未具備反射構造體 4 的發光二極體減少。

圖 3 為顯示不具備反射構造體之發光二極體及反射構造體的發光二極體之放射照度的圖。圖 3 中，顯示從光取出面 11a 所照射之光的放射照度。又，圖 3 中，將與光取出面 11a 正交之方向的照射角度設為 90° ，將與光取出面 11a 平行之方向的照射角度設為 0° 。

參照圖 3，在不具備反射構造體 4 的發光二極體中，可確認：其放射照度在斜向(具體而言，在放射角度為 $15\sim 55^\circ$ 的方向上)上是大的，而隨著放射角度從 60° 接近 90° ，放射照度則逐漸變小。

另一方面，在具備反射構造體 4 的發光二極體 1 中，可確認：當其放射角度為 60° 以下時，其放射照度比不具備反射構造體 4 之發光二極體的放射角度還小；而當其放射角度在 $60^\circ\sim 90^\circ$ 的範圍內時，其照射照度比不具備反射構造體 4 之發光二極體的放射照度還大。

由此可確認，藉由設置反射構造體 4，可增強在與光取出面 11a 成 90° 之角度的方向上所放射之光的放射照度。

具體言之，以反射層 15 而言，例如，可從透明導電膜 14 側使用包含有 Ag 合金層/W 層/Pt 層/Au 層/連接用金屬層的積層膜。以前述連接用金屬而言，使用電性電阻低且在低溫下熔融的金屬即可，其中該連接用金屬形成於位在和透明導電膜 14 接觸的面之相反側的反射層

15 之面 15b 上。藉由使用此種連接用金屬，可在不對發光部 3 賦與熱應力的情況下連接功能性基板 5。

作為上述連接用金屬而言，使用化學性質穩定且融點低的 Au 系的共晶金屬等即可。作為前述 Au 系的共晶金屬，例如，可舉出 AuSn、AuGe、AuSi 等之合金的共晶組成(Au 系的共晶金屬)。

又，連接用金屬以添加鈦、鉻、鎢等之金屬者較佳。藉由添加鈦、鉻、鎢等之金屬來作為連接用金屬，該金屬得以發揮作為阻障金屬的功能，故可抑制功能性基板 5 所含之雜質等在反射層 15 側擴散並反應的情形。

< 功能性基板(金屬基板) >

參照圖 1，功能性基板 5 係透過反射構造體 4 貼附在化合物半導體層 11 的面 11b(具體而言，是變形調整層 13 的面 13a)。具體而言，在位在和發光部 3 對向的反射構造體 4 之面的相反側之反射構造體 4 的面 15b 上，接合有功能性基板 5 的接合面 5a。

第 1 實施形態中，係使用金屬基板作為功能性基板 5。亦即，第 1 實施形態中，金屬基板透過反射構造體 4 貼附於化合物半導體層 11 的面 11b(具體而言，是變形調整層 13 的面 13a)。以下，以使用金屬基板作為功能性基板 5 的情況為例來作說明。

功能性基板 5 可使用包含複數個金屬層者。再者，功能性基板 5 較佳為交互積層 2 種類的金屬層而構成。又，上述 2 種類的金屬層合計的層數以設成奇數較佳。

在此情況，從功能性基板 5 的翹曲或破裂的觀點，當使用熱膨脹係數比化合物半導體層 11 的熱膨脹係數小的材料作為第 2 金屬層 22 時，較佳為以熱膨脹係數比化合物半導體層 11 的熱膨脹係數還大的材料來構成第 1 金屬層 21。

藉此，功能性基板 5 整體的熱膨脹係數變得接近化合物半導體層 11 的熱膨脹係數，因而可抑制在接合化合物半導體層 11 和功能性基板 5 時之功能性基板 5 之翹曲或破裂，故可提升發光二極體 1 的良率。

又，當使用熱膨脹係數比化合物半導體層 11 的熱膨脹係數大的材料作為第 2 金屬層 22 時，較佳為以熱膨脹係數比化合物半導體層 11 的熱膨脹係數小的材料來構成第 1 金屬層 21。

藉此，功能性基板 5 整體的熱膨脹係數變得接近化合物半導體層 11 的熱膨脹係數，因而可抑制在接合化合物半導體層 11 和功能性基板 5 時之功能性基板 5 之翹曲或破裂，故可提升發光二極體 1 的良率。

如以上所說明，構成功能性基板 5 的第 1 及第 2 金屬層 21、22 的位置是可替換的。亦即，圖 1 中，雖是以 2 個第 1 金屬層 21 夾著 1 個第 2 金屬層來構成功能性基板 5，但亦可以 2 個第 2 金屬層 22 夾著 1 個第 1 金屬層 21 來構成功能性基板 5(金屬基板)。

包含有第 1 及第 2 金屬層 21、22 的功能性基板 5，可由例如：包含有銀(熱膨脹係數 = 18.9ppm/K)、銅(熱膨脹係數 = 16.5ppm/K)、金(熱膨脹係數 = 14.2ppm/K)、鋁

(熱膨脹係數 = 23.1ppm/K)、鎳(熱膨脹係數 = 13.4ppm/K)及此等的合金中任一材料的金屬層，與包含有鉬(熱膨脹係數 = 5.1ppm/K)、鎢(熱膨脹係數 = 4.3ppm/K)、鉻(熱膨脹係數 = 4.9ppm/K)及此等的合金中之任一材料的金屬層之組合所構成。

作為功能性基板 5(金屬基板)的較佳例子，可舉出包含有 Cu 層 / Mo 層 / Cu 層的 3 層之金屬基板。如同先前所說明，即便是包含有 Mo 層 / Cu 層 / Mo 層的 3 層之金屬基板，亦可獲得與包含有 Cu 層 / Mo 層 / Cu 層的 3 層之金屬基板同樣的效果。

另一方面，因為包含有 Cu 層 / Mo 層 / Cu 層的 3 層之金屬基板係以容易加工的 Cu 夾著機械強度高的 Mo 之構造，故具有比包含有 Mo 層 / Cu 層 / Mo 層的 3 層之金屬基板更容易進行金屬基板之切斷等加工之優點。

在例如使用包含有 Cu 層 ($30\mu\text{m}$) / Mo 層 ($25\mu\text{m}$) / Cu 層 ($30\mu\text{m}$) 的金屬基板作為功能性基板 5 之情況，功能性基板 5 整體的熱膨脹係數成為 6.1ppm/K 。又，在使用包含有 Mo 層 ($25\mu\text{m}$) / Cu 層 ($70\mu\text{m}$) / Mo 層 ($25\mu\text{m}$) 的金屬基板作為功能性基板 5 之情況，例如，功能性基板 5 整體的熱膨脹係數成為 5.7ppm/K 。

又，從放熱的觀點，構成功能性基板 5 的金屬層係以包含有熱傳導係數高的材料較佳。藉由使用此種材料，可提高功能性基板 5 的放熱性，能使發光二極體 1 以高亮度發光，並可延長發光二極體 1 的壽命。

作為上述熱傳導係數高的材料方面，例如，以使用銀（熱傳導係數 = $420\text{ W/m} \cdot \text{K}$ ）、銅（熱傳導係數 = $398\text{ W/m} \cdot \text{K}$ ）、金（熱傳導係數 = $320\text{ W/m} \cdot \text{K}$ ）、鋁（熱傳導係數 = $236\text{ W/m} \cdot \text{K}$ ）、鉬（熱傳導係數 = $138\text{ W/m} \cdot \text{K}$ ）、鎢（熱傳導係數 = $174\text{ W/m} \cdot \text{K}$ ）及此等之合金等較佳。

再者，以利用構成功能性基板 5 之金屬層的熱膨脹係數是和化合物半導體層 11 的熱膨脹係數大致同等之材料來構成較佳。

特別是，構成功能性基板 5 之金屬層材料的熱膨脹係數係以在化合物半導體層 11 的熱膨脹係數之 $\pm 1.5\text{ ppm/K}$ 以內較佳。藉此，可減少功能性基板 5 和化合物半導體層 11 接合時所產生之朝向發光部 3 的應力（因熱而產生的應力），由於可抑制因功能性基板 5 和化合物半導體層 11 連接時的熱所導致之功能性基板 5 的破裂，故能提升發光二極體 1 的良率。

在使用包含有 Cu 層 ($30\mu\text{m}$)/Mo 層 ($25\mu\text{m}$)/Cu 層 ($30\mu\text{m}$) 的金屬基板作為功能性基板 5 之情況，功能性基板 5 的熱傳導係數成為 $250\text{ W/m} \cdot \text{K}$ 。

又，在使用包含有 Mo 層 ($25\mu\text{m}$)/Cu 層 ($70\mu\text{m}$)/Mo 層 ($25\mu\text{m}$) 的金屬基板作為功能性基板 5 之情況，功能性基板 5 的熱傳導係數成為 $220\text{ W/m} \cdot \text{K}$ 。

包含有金屬基板的功能性基板 5 的厚度係以設成 $50\mu\text{m}$ 以上 $150\mu\text{m}$ 以下較佳。

在功能性基板 5 的厚度比 $150\mu\text{m}$ 厚的情況，發光二極體的製造成本會上升，故並不理想。又，在功能性基

板 5 的厚度比 $50\mu\text{m}$ 薄的情況，在搬運(handling)時容易發生破裂、缺口、翹曲等而有降低發光二極體的良率之虞。

構成 1 片功能性基板 5 的第 1 金屬層 21 及第 2 金屬層 22 的層數係以合計設成 3~9 層較佳，以設成 3~5 層更佳。

將第 1 金屬層 21 和第 2 金屬層 22 合計的層數設成 2 層的情況，會發生在厚度方向之熱膨脹不均衡，而發生功能性基板 5 破裂之虞。反之，在第 1 金屬層 21 和第 2 金屬層 22 合計的層數多過 9 層的情況，則必須分別薄化第 1 金屬層 21 和第 2 金屬層 22 的層厚。

然而，由於要將第 1 及第 2 金屬層 21、22 的厚度製得較薄是非常困難的，故在將第 1 金屬層 21 或第 2 金屬層 22 的厚度薄化而形成單層的金屬基板之情況，會有各層的厚度變不均一，致使發光二極體的特性偏差之虞。

再者，將層的厚度薄化之前述單層的金屬基板容易發生基板破裂。

又，在使用薄膜化之單層的金屬基板之情況，由於金屬基板的製造困難，故有使發光二極體的製造成本增加之虞。

此外，亦可在功能性基板 5 的接合面 5a 形成使電性接觸穩定化的接合補助膜，或晶粒接合用的共晶金屬。藉此，可簡便地進行接合步驟。作為前述接合補助膜，可使用 Au 膜、AuSn 膜等。

此外，將功能性基板 5 接合於發光部 3 的方法不受限於上述記載的方法，例如，可應用擴散接合、接著劑、常溫接合方法等周知的技術。

依據第 1 實施形態的發光二極體 1，藉由具備至少包含 pn 接合型發光部 3 和積層於發光部 3 的變形調整層 13 之化合物半導體層 11，且將發光部 3 設成變形發光層 31 與阻障層 32 的積層構造，可提升由發光部 3 所放射之光的發光效率及響應速度，其中變形發光層 31 包含組成式 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$ ($0 \leq x \leq 0.1$ ， $0.37 \leq y \leq 0.46$)。

又，藉由將變形發光層 31 的組成規定在上述範圍，可實現具有 655nm 以上的發光波長之發光二極體 1。

又，藉由在發光部 3 上設置使發光部 3 的光透射的變形調整層 13，由於不會有來自發光部 3 的光被變形調整層 13 吸收的情形發生，故可實現高輸出・高效率的發光二極體 1。

再者，由於此變形調整層 13 具有比變形發光層 31 及阻障層 32 的晶格常數還小的晶格常數，故可抑制化合物半導體層 11 產生翹曲。藉此，由於變形發光層 31 的變形量之偏差減少，故可實現單色性優異的發光二極體 1。

又，藉由在位於化合物半導體層 11 的光取出面 11a 之相反側的化合物半導體層 11 之面 11b 上設置反射構造體 4，可加強從化合物半導體層 11 的光取出面 11a 朝發光二極體 1 外部放射的光當中與光取出面 11a 正交的方向（具體而言為正面方向 f）上之光的強度，故可實現高亮度及高效率的發光二極體 1。

又，藉由增強在與光取出面 11a 正交的方向上之光的強度，當在與光取出面 11a 正交的方向上獲得和未具備反射構造體 4 的發光二極體之光強度相同強度之光強度時，可比不具備反射構造體的發光二極體更加減少消耗電力。

又，例如，藉由使用金屬基板作為透過反射構造體 4 而接合於化合物半導體層 11 的面 11b 上之功能性基板 5，可將發光部 3 發光時的熱經由功能性基板 5 有效率地放出至發光二極體 1 的外部。

再者，藉由利用熱傳導係數為 $130\text{ W/m}\cdot\text{K}$ 以上的第 1 及第 2 金屬層 21、22 來構成功能性基板 5，可使功能性基板 5 的放熱性變高，因而能使發光二極體 1 以高亮度發光，並可延長發光二極體 1 的壽命。

又，在使用讓光透射的基板作為功能性基板 5 並利用 Ar 射束使之接合的情況，接合面成為高電阻，電流難以朝基板側流動，但藉由使用金屬基板作為功能性基板 5 並使該金屬基板共晶接合，可作成單線構造。

亦即，依據第 1 實施形態之發光二極體，可實現具有 655 nm 以上的紅色光之發光波長、單色性優異，並且為高輸出・高效率、響應速度快，且在與光取出面正交的方向上之光強度強，再者放熱特性優異的發光二極體 1。

< 發光二極體的製造方法 >

其次，針對第 1 實施形態之發光二極體 1 的製造方法作說明。

第 1 實施形態的發光二極體 1 的製造方法係具有：形成功能性基板 5 之步驟；在半導體基板 33 隔著接觸層 12b 形成含有發光層 2 的發光部 3 後，在發光部 3 之與半導體基板 33 相反側的面形成第 2 電極 8 之步驟；在發光部 3 之與半導體基板相反側的面上隔著第 2 電極 8 形成反射構造體 4 之步驟；隔著反射構造體 4 將功能性基板 5 接合在發光部 3 之步驟；去除半導體基板 33 及接觸層 12b 的一部分之步驟；在發光部 3 之與功能性基板 5 相反側的面形成第 1 電極 6 之步驟。

圖 4~圖 10 係顯示有關本發明第 1 實施形態的發光二極體的製造步驟之剖面圖。圖 4~圖 10 中，對與圖 1 所示發光二極體 1 同一構成部分賦予同一符號。

參照圖 4~圖 10，針對第 1 實施形態之發光二極體 1 的製造方法作說明。首先，針對功能性基板 5 的製造步驟作說明。

< 功能性基板的製造步驟 >

如圖 4A 和圖 4B 所示，功能性基板 5 係藉由將熱傳導係數為 $130\text{W/m}\cdot\text{K}$ 以上的第 1 及第 2 金屬層 21、22 加以熱壓而形成。

具體而言，首先，準備 2 片大致平板狀的第 1 金屬層 21 和 1 片大致平板狀的第 2 金屬層 22。例如，使用厚度 $30\mu\text{m}$ 的 Cu 層作為第 1 金屬層 21，使用厚度 $25\mu\text{m}$ 的 Mo 層作為第 2 金屬層 22。

其次，如圖 4A 所示，在 2 片第 1 金屬層 21 之間插入第 2 金屬層 22 並將其等重疊配置。

其次，在既定的加壓裝置內配置積疊有第 1 及第 2 金屬層 21、22 而成的積層板，且在高溫下，對第 1 金屬層 21 和第 2 金屬層 22 朝箭頭方向(參照圖 4A)施加負載並壓接。

藉此，如圖 4B 所示，形成第 1 金屬層 21 為 Cu 層且第 2 金屬層 22 為 Mo 層之包含 Cu 層(30 μ m)/Mo 層(25 μ m)/Cu 層(30 μ m)的 3 層之功能性基板 5。作成上述構成的功能性基板 5 之熱膨脹係數為 6.1ppm/K，熱傳導係數為 250W/m·K。

此外，之後，亦可在配合發光部 3(晶圓)的接合面之大小予以切斷後對表面施以鏡面加工。

又，亦可在功能性基板 5 的接合面 5a 形成用以使電性接觸穩定化的接合補助膜。作為前述接合補助膜，可使用金膜、白金膜、鎳膜等。例如，首先，形成 0.1 μ m 的鎳膜後，在鎳膜上形成 0.5 μ m 的金膜。

再者，亦可形成晶粒接合用的 AuSn 膜等之共晶金屬膜來取代上述接合補助膜。藉此，可簡化接合步驟。

<發光部及第 2 電極形成步驟>

首先，如圖 5 所示，在半導體基板 33 的表面 33a 上成長複數個磊晶層而形成化合物半導體層 11。此外，在此階段，構成化合物半導體層 11 的接觸層 12b 未被圖案化。

半導體基板 33 係用以形成化合物半導體層 11 的基板，例如：為表面 33a 作成從(100)面傾斜 15°的面，且摻雜有 Si 之 n 型的 GaAs 單晶基板。如此般地，在使用

AlGaInP 層或 AlGaAs 層作為化合物半導體層 11 的情況，可使用砷化鎵(GaAs)單晶基板來作為形成化合物半導體層 11 的基板。

化合物半導體層 11 係在作為半導體基板 33 的 GaAs 基板上依序積層：包含 GaAs 的緩衝層 12a、使用於選擇性蝕刻而設置的蝕刻阻止層(未圖示)、包含摻雜有 Si 之 n 型的 AlGaInP 的接觸層 12b、n 型的上部披覆層 10a、發光層 2，p 型的下部披覆層 10b、以及包含摻雜有 Mg 之 p 型 GaP 的變形調整層 13 而製成。

GaAs 基板可使用以周知的製法所製得之市售製品的單晶基板。GaAs 基板之供磊晶成長的表面係以平滑者較佳。GaAs 基板的表面之面方位為易於進行磊晶成長且量產的(100)面及從(100)偏移 $\pm 20^\circ$ 以內的基板，在品質穩定性方面是理想的。

再者，GaAs 基板的面方位的範圍以從(100)方向朝(0-1-1)方向偏移 $15^\circ \pm 5^\circ$ 更佳。

為了改善化合物半導體層 11 的結晶性，GaAs 基板的差排密度宜低。具體而言，較合適的情況是，例如 10,000 個 cm^{-2} 以下，較佳為 1,000 個 cm^{-2} 以下。

GaAs 基板可為 n 型，亦可為 p 型。GaAs 基板的載子濃度可從所期望的電性傳導度和元件構造適宜地選擇。

例如，在 GaAs 基板是矽摻雜之 n 型的情況，載子濃度以在 $1 \times 10^{17} \sim 5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的範圍較佳。相對地，GaAs 基板是鋅摻雜之 p 型的情況，載子濃度以在 $2 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的範圍較佳。

GaAs 基板的厚度係因應於基板的尺寸而有適切的範圍。若 GaAs 基板的厚度比適切的範圍薄，在化合物半導體層 11 的製造製程中便有破裂之虞。

另一方面，若 GaAs 基板的厚度比適切的範圍厚，則材料成本會增加。因此，在 GaAs 基板的基板尺寸大的情況，例如，在 GaAs 基板的直徑是 75mm 的情況，為了防止搬運時的破裂，以 250~500 μ m 的厚度較佳。

同樣地，在 GaAs 基板的直徑是 50mm 的情況，以 200~400 μ m 的厚度較佳，在 GaAs 基板的直徑是 100mm 的情況，以 350~600 μ m 的厚度較佳。

如此一來，藉由因應於 GaAs 基板的基板尺寸而增大基板的厚度，可減少化合物半導體層 11 的翹曲。藉此，由於磊晶成長中的溫度分布成為均一，故能使發光層 2 的面內之波長分布變小。此外，GaAs 基板的形狀未特別限定是圓形，亦可為矩形等。

緩衝層 12a 係為緩和半導體基板 33 和發光部 3 的構成層之晶格失配而設置者。因此，只要選擇基板品質、磊晶成長條件，則並不一定需要緩衝層 12a。

又，緩衝層 12a 的材質係以設成和供磊晶成長的基板相同的材質較佳。因此，在本實施形態中，緩衝層 12a 較佳為使用包含與 GaAs 基板為相同材料的 GaAs 層。

又，為了減少缺陷的蔓延，緩衝層 12a 亦可使用包含不同於 GaAs 基板之材質的多層膜。緩衝層 12a 的厚度，以設成 0.1 μ m 以上較佳，設成 0.2 μ m 以上更佳。

接觸層 12b 係為了降低與電極的接觸電阻而設置者。接觸層 12b 的材質係以帶隙比變形發光層 31 的帶隙大的材質較佳，以 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 、 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$ ($0 \leq X \leq 1$ ， $0 < Y \leq 1$) 為合適。

又，為了降低與電極的接觸電阻，接觸層 12b 之載子濃度的下限值以 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以上較佳， $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以上更佳。

載子濃度的上限值以容易引起結晶性降低之 $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以下較佳。接觸層 12b 的厚度以 $0.5 \mu\text{m}$ 以上較佳，以 $1 \mu\text{m}$ 以上最佳。接觸層 12b 的厚度的上限值並未特別限定，但為了將磊晶成長相關的成本設在適當範圍，以設成 $5 \mu\text{m}$ 以下較佳。

本實施形態的化合物半導體層 11，可應用分子束磊晶法 (MBE) 或減壓有機金屬化學氣相沉積法 (MOCVD 法) 等周知的成長方法來形成。

其中以應用在量產性優異的 MOCVD 法較佳。具體言之，化合物半導體層 11 的磊晶成長所使用的 GaAs 基板 (半導體基板 33)，係以在成長前實施洗淨步驟或熱處理等之前處理，以除去表面的污染或自然氧化膜較佳。

構成上述化合物半導體層 11 之各層為，可將 8 片以上之直徑 $50 \sim 150 \text{mm}$ 的 GaAs 基板 14 設在 MOCVD 裝置內，並同時地使之進行磊晶成長而積層。又，作為 MOCVD 裝置，可應用自公轉型、高速旋轉型等市售的大型裝置。

在使上述化合物半導體層 11 的各層磊晶成長之際，作為 III 族構成元素的原料而言，可使用例如：三甲基鋁 $((\text{CH}_3)_3\text{Al})$ 、三甲基鎵 $((\text{CH}_3)_3\text{Ga})$ 及三甲基銦 $((\text{CH}_3)_3\text{In})$ 。

又，作為 Mg 的摻雜原料，可使用例如雙(環戊二烯)鎂 $(\text{bis}-(\text{C}_5\text{H}_5)_2\text{Mg})$ 等。又，Si 的摻雜原料，可使用例如二矽烷 (Si_2H_6) 等。

又，V 族構成元素的原料，可使用磷 (PH_3) 、砷 (AsH_3) 等。又，作為各層的成長溫度，在使用 p 型 GaP 作為變形調整層 13 之情況，可適用 $720\sim 770^\circ\text{C}$ ，而其他各層可適用 $600\sim 700^\circ\text{C}$ 。再者，各層的載子濃度及層厚、溫度條件可適宜地選擇。

以此方式製成的化合物半導體層 11 雖具有變形發光層 31 但仍可獲得結晶缺陷少的良好表面狀態。

其次，對變形調整層 13 之與半導體基板 33 相反側的面 13a 進行鏡面研磨，直到距離表面達 $1\mu\text{m}$ 的深度為止，將表面粗度設在例如 0.18nm 以內。

其次，如圖 6 所示，在變形調整層 13 的面 13a 上形成第 2 電極 8(歐姆電極)。第 2 電極 8 係例如在 $0.4\mu\text{m}$ 的厚度之 AuBe 層上積層 $0.2\mu\text{m}$ 的厚度之 Au 層而成。第 2 電極 8 係為例如在俯視時為 $20\mu\text{m}\phi$ 的圓形，且以 $60\mu\text{m}$ 的間隔形成。

< 反射構造體形成步驟 >

其次，如圖 7 所示，以覆蓋變形調整層 13 之與半導體基板 33 相反側的面 13a 及第 2 電極 8 的方式形成包含

ITO 膜的透明導電膜 14。其次，施以 450°C 的熱處理，在第 2 電極 8 和透明導電膜 14 之間形成歐姆接觸。

其次，如圖 8 所示，使用蒸鍍法在透明導電膜 14 之與化合物半導體層 11 相反側的面 14a 上形成反射層 15。

具體言之，藉由依序成膜包含銀(Ag)合金的膜(厚度為 $0.5\mu\text{m}$)、鎢(W)膜(厚度為 $0.1\mu\text{m}$)、白金(Pt)膜(厚度為 $0.1\mu\text{m}$)、金(Au)膜(厚度為 $0.5\mu\text{m}$)、以及包含 AuGe 共晶金屬(融點 386°C)的膜(厚度為 $1\mu\text{m}$)而形成反射層 15。藉此，形成包含反射層 15 及透明導電膜 14 的反射構造體 4。

< 功能性基板接合步驟 >

其次，如圖 9 所示，將形成有反射構造體 4 和化合物半導體層 11 的半導體基板 33(圖 8 所示之構造體)與圖 4B 所示之功能性基板 5，搬入減壓裝置(未圖示)內，以反射構造體 4 的接合面 4a 和功能性基板 5 的接合面 5a 對向的方式重疊配置。

其次，在對減壓裝置內進行排氣達到 $3\times 10^{-5}\text{Pa}$ 之後，在將半導體基板 33 和功能性基板 5 加熱至 400°C 的狀態，施加 $100\text{g}/\text{cm}^2$ 的荷重以將反射構造體 4 的接合面 4a 和功能性基板 5 的接合面 5a 接合，而形成接合構造體 18。

< 半導體基板及緩衝層去除步驟 >

其次，如圖 10 所示，從接合構造體 18 將半導體基板 33 及緩衝層 12a 利用氟系蝕刻劑選擇性地去除。藉此，形成具有發光層 2 的發光部 3。

< 第 1 電極形成步驟 >

其次，使用真空蒸鍍法，在發光部 3 之與反射構造體 4 相反側的面 3a 形成作為第 1 電極 6(n 型歐姆電極)的母材之電極用導電膜。作為該電極用導電膜，例如，可使用包含 AuGe 層/Ni 層/Au 層的金屬層構造。

在此情況，例如，將 AuGe 層(Ge 質量比 12%)形成 0.15 μm 的厚度之後，將 Ni 層形成 0.05 μm 的厚度，然後將 Au 層形成 1 μm 的厚度。

其次，利用一般的光刻手段將電極用導電膜圖案化成俯視呈圓形而形成第 1 電極 6。

然後，藉由以對應第 1 電極 6 的形狀之方式將接觸層 12b 圖案化，而製造圖 1 所示的發光二極體 1。

此外，在將電極用導電膜圖案化後，較佳為例如在 420°C 下進行 3 分鐘熱處理以將構成第 1 電極 6 的各金屬予以合金化。藉此，可將作為 n 型歐姆電極的第 1 電極 6 低電阻化。

然後，在將發光二極體 1 區劃成所期望大小而成的切斷部分之發光部 3 透過蝕刻方式予以除去後，使用雷射以 0.8mm 間距將前述切斷部分的基板和連接層切斷成所期望之大小的發光二極體晶片(LED 晶片)。發光二極體的大小為例如：俯視時大致矩形的發光部 3 之對角線的長度為 1.1mm。

然後，以粘著片保護發光部 3 的露出面並洗淨切斷面。

< 發光二極體燈 >

圖 11 係具備圖 1 所示之發光二極體的發光二極體燈之剖面模式圖。圖 11 中，與圖 1 所示之發光二極體燈 1 相同的構成部分係標註相同的符號。

參照圖 11，第 1 實施形態的發光二極體燈 40 具有：封裝基板 45；兩個電極端子 43、44，係形成於封裝基板 45 上；發光二極體 1，係搭載於電極端子 44 上；以及密封樹脂 41，係以覆蓋發光二極體 1 的方式形成且包含矽等且具有光透過性。

如前述說明所示，發光二極體 1 係具有發光部 3、反射構造部 4、功能性基板 5、第 1 電極 6 和第 2 電極 8，且以功能性基板 5 與電極端子 43 連接的方式配置。

又，第 1 電極 6 係以引線接合的方式連接於電極端子 44。作成上述構成的發光二極體 1 為，藉由施加於電極端子 43、44 的電壓透過第 1 電極 6 與第 2 電極 8 施加於發光部 3，而使構成發光部 3 的發光層 2 發光。所發出的光係經由發光二極體 1 的光取出面 11a 而朝正面方向 f 被取出。

封裝基板 45 的熱電阻係設成 $10^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 以下。藉此，即便對發光層 2 施加 1W 以上的電力而使其發光時，亦可利用封裝基板 45 作為放熱用基板，可進一步提高發光二極體 1 的放熱性。

此外，封裝基板 45 的形狀未侷限於圖 11 所示的形狀，亦可作成其他形狀。由於在使用其他形狀的封裝基板的 LED 燈製品中，亦可充分地確保放熱性，故可作成高輸出，高亮度的發光二極體燈。

依據第 1 實施形態的發光二極體燈，藉由具備在位於化合物半導體層 11 之光取出面 11a 之相反側的化合物半導體層 11 的面 11b，設置具有用以反射光的反射構造體 4 而成的發光二極體 1，由於可使在與光取出面 11a 成 90° 之角度的方向上所放射的放射照度比在與光取出面 11a 成 45° 之角度的方向上所放射的放射照度的 1.0 倍還大，故可實現高亮度及高效率的發光二極體燈 40。

又，藉由使構成發光二極體 1 的功能性基板 5 與具有放熱用基板之功能的封裝基板 45 上所形成的電極端子 43 連接，可將發光二極體 1 的熱經由電極端子 43 及封裝基板 45 有效率地釋放出。

此外，發光二極體燈 40 因為具備熱電阻為 $10^\circ\text{C}/\text{W}$ 以下的封裝基板 45，故放熱性優異，可施加高電壓，且可高亮度地發光。

再者，發光二極體封裝體 40 係對發光二極體 1 的發光層 2 施加 1W 以上的電力而使其發光之構成，故放熱性優異，可施加高電壓，且可高亮度地發光。

(第 2 實施形態)

圖 12A 和 12B 係用以說明本發明第 2 實施形態之發光二極體的圖，圖 12A 係第 2 實施形態之發光二極體的俯視圖，圖 12B 係圖 12A 所示之發光二極體之 A-A' 線方向的示意剖面圖。

參照圖 12A 與 12B，第 2 實施形態的發光二極體 50 除了設置由異於功能性基板 5(金屬基板)的材料所構成之功能性基板 51 來取代設置於第 1 實施形態的發光二極

體 1 之功能性基板 5(金屬基板)，並且設置金屬層 52、53 且以覆蓋上部披覆層 10a 的上面的方式配置接觸層 12b 之外，其餘部分係建構成和第 1 實施形態的發光二極體 1 相同。

即，第 2 實施形態的發光二極體 50 與第 1 實施形態的發光二極體 1 的最大差異點在於：功能性基板的材料不同。

功能性基板 51 係經由金屬層 52 接合於設有化合物半導體層 11 的反射構造體 4(具體而言為反射層 15)。作為功能性基板 51 的材料，可使用 GaP、Si、Ge 中的任一材料。

如此一來，藉由設置包含 GaP、Si、Ge 中的任一材料的功能性基板 51，可比未具備功能性基板 51 的發光二極體更能將發光部 3 發光時的熱有效率地放出至發光二極體 50 的外部。

又，藉由使用不易腐蝕的材料之 Si 或 Ge 等作為功能性基板 51 的材料，可提升功能性基板 51 的耐濕性。

金屬層 52 係設在構成反射構造體 4 的反射層 15 和功能性基板 51 的上面 51a 之間。金屬層 52 係用以將反射層 15 和功能性基板 51 的上面 51a 予以接合的層。作為金屬層 52，例如可使用依序積層 In 層、Au 層、及 Ti 層而成的積層膜。

金屬層 53 係設在功能性基板 51 的下面 51b。作為金屬層 53，例如可使用依序積層 Au 層及 Ti 層而成的積層膜。

依據第 2 實施形態之發光二極體，藉由設置透過金屬層 52 接合在設有化合物半導體層 11 的反射構造體 4 且為由 GaP、Si、Ge 中的任一材料所構成的功能性基板 51，可比未具備功能性基板 51 的發光二極體更能將發光部 3 發光時的熱有效率地放出至發光二極體 50 的外部。

又，藉由使用不易腐蝕的材料之 Si 或 Ge 等作為功能性基板 51 的材料，可提升功能性基板 51 的耐濕性。

又，藉由在位於化合物半導體層 11 的光取出面 11a 之相反側的化合物半導體層 11 之面 11b 上設置反射構造體 4，可加強從化合物半導體層 11 的光取出面 11a 朝發光二極體 50 的外部放射的光當中與光取出面正交的方向上(具體而言，為正面方向 f)之光的強度，故可實現高亮度及高效率的發光二極體 50。

又，第 2 實施形態的發光二極體 50 由於具備變形發光層 31 與阻障層 32 之積層構造的發光部 3，故可提升由發光部 3 放射之光的發光效率及響應速度，其中該變形發光層 31 包含組成式 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ ($0 \leq x \leq 0.1$, $0.37 \leq y \leq 0.46$)。

又，藉由將變形發光層 31 的組成規定在上述範圍，可實現具有 655nm 以上的發光波長之發光二極體 50。

再者，藉由在發光部 3 上具備使發光部 3 的光透射之變形調整層 13，由於不會有來自發光部 3 的光被變形調整層 13 吸收的情形，故可實現高輸出-高效率的發光二極體 50。

又，由於上述變形調整層 13 係具有比變形發光層 31 及阻障層 32 的晶格常數還小的晶格常數，故可抑制化合物半導體層 11 產生翹曲。藉此，由於變形發光層 31 的變形量之偏差減少，故可實現單色性優異的發光二極體 50。

以下，使用實施例以具體地說明本發明的效果。此外，本發明並未受此等實施例所限制。

本實施例中，係具體說明製作本發明的發光二極體之例子。在製作發光二極體後，為了進行特性評估而製作出將發光二極體晶片安裝於基板上的發光二極體燈。
(實施例 1)

實施例 1 的發光二極體(第 1 實施形態)為，首先，在包含 Si 摻雜之 n 型 GaAs 單晶的 GaAs 基板(厚度約 $0.5\mu\text{m}$)上依序積層化合物半導體層而製作磊晶晶圓。GaAs 基板係將從(100)面朝(0-1-1)方向傾斜 15° 的面設為成長面，載子濃度設成 $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 。

又，作為化合物半導體層，係在 GaAs 基板上依序形成：包含 Si 摻雜之 GaAs 之 n 型的緩衝層、包含 Si 摻雜之 $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 之 n 型的接觸層、包含 Si 摻雜之 $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 之 n 型的上部披覆層、包含未摻雜之 $\text{Ga}_{0.44}\text{In}_{0.56}\text{P}/(\text{Al}_{0.53}\text{Ga}_{0.47})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 的對之變形發光層/阻障層、包含 Mg 摻雜之 $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 之 p 型的下部披覆層、包含 $(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 的薄膜之中間層、以及包含 Mg 摻雜之 p 型 GaP 的變形調整層。

實施例 1 中，使用減壓有機金屬化學氣相沉積裝置法(MOCVD 裝置)，於直徑 76mm、厚度 350 μ m 的 GaAs 基板上磊晶成長化合物半導體層，而形成有磊晶晶圓。

在使磊晶成長層成長之際，作為 III 族構成元素的原料，使用三甲基鋁((CH₃)₃Al)，三甲基鎵((CH₃)₃Ga)及三甲基銦((CH₃)₃In)。又，作為 Mg 的摻雜原料，使用雙(環戊二烯)鎂(bis-(C₅H₅)₂Mg)。又，作為 Si 的摻雜原料，使用二矽烷(Si₂H₆)。

又，作為 V 族構成元素的原料，使用磷(PH₃)、砷(AsH₃)。又，在各層的成長溫度方面，包含 p 型 GaP 的變形調整層是在 750°C 下成長。其他的各層則在 700°C 下成長。

包含 GaAs 的緩衝層係載子濃度設成約 $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、層厚設成約 0.5 μ m。接觸層係載子濃度設成約 $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、層厚設成約 3.5 μ m。上部披覆層係載子濃度設成約 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、層厚設成約 0.5 μ m。

在實施例 1 中，藉由交互積層未摻雜且包含 Ga_{0.44}In_{0.56}P 的 23 層變形發光層(單層的厚度為 17nm)、以及組成為 (Al_{0.53}Ga_{0.47})_{0.5}In_{0.5}P 的 22 層阻障層(單層的厚度為 19nm)，而形成發光層。

下部披覆層係載子濃度設成約 $8 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ，層厚設成約 0.5 μ m。中間層為，載子濃度設成約 $8 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ，層厚設成約 0.05 μ m。

包含 GaP 的變形調整層為，載子濃度設成約 $3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ，層厚設成約 9 μ m。

其次，對變形調整層進行研磨直到距離表面達約 $1\mu\text{m}$ 的深度為止，以進行鏡面加工。藉此鏡面加工將變形調整層的表面粗度設成 0.18nm 。

接著，藉由在變形調整層上依序成膜 AuBe 層(厚度 100nm)與 Au 層(厚度 150nm)而形成 AuBe/Au 積層膜，然後藉由利用一般的光刻技術及蝕刻技術將 AuBe/Au 積層膜圖案化，而形成第 2 電極。

藉由在變形調整層上依序成膜作為覆蓋第 2 電極的透明導電膜之 ITO 膜(厚度 300nm)、及作為反射層之 Ag 合金(厚度 500nm)/W(厚度 100nm)/Pt(厚度 200nm)/Au(厚度 500nm)/AuGe(厚度 1000nm)積層膜，而形成反射構造體。

接著，使用在第 1 實施形態所說明的方法，製得包含 Cu($30\mu\text{m}$)/Mo($25\mu\text{m}$)/Cu($30\mu\text{m}$)之 3 層構造(厚度 $85\mu\text{m}$)的功能性基板(金屬基板(熱傳導係數 250W/mK))。

實施例 1 之功能性基板的熱膨張係數為 6.1ppm/K ，熱傳導係數為 $250\text{W/m}\cdot\text{K}$ 。又，功能性基板的直徑為 76mm ，厚度為 $250\mu\text{m}$ 。

其次，將減壓裝置內排氣至 $3\times 10^{-5}\text{Pa}$ 之後，在將 GaAs 基板和功能性基板加熱至 400°C 的狀態，施加 100g/cm^2 的荷重以接合反射構造體和功能基板而形成接合構造體。

其次，從上述接合構造體將 GaAs 基板及 GaAs 緩衝層利用鹵系蝕刻劑選擇性地除去。接著，利用真空蒸鍍法在接觸層的表面依序成膜厚度為 $0.5\mu\text{m}$ 的 Au-Ge-Ni 合金膜、厚度為 $0.2\mu\text{m}$ 的 Pt 膜、及厚度為 $1\mu\text{m}$ 的 Au 膜。

然後，藉由利用一般的光刻技術及蝕刻技術將上述 Au-Ge-Ni合金膜、Pt膜、及 Au膜圖案化，而形成作為第 1 電極的 n 型歐姆電極。然後，以對應第 1 電極的形狀之方式，利用周知的手法將接觸層圖案化。

其次，在已除去 GaAs 基板的面之光取出面的表面上施以粗面化處理。

其次，將形成作為第 2 電極的 p 型歐姆電極之區域的磊晶層選擇性地去除，使變形調整層露出。在此露出的變形調整層的表面上，利用真空蒸鍍法依序成膜厚度 $0.2\mu\text{m}$ 的 AuBe 膜和厚度 $1\mu\text{m}$ 的 Au 膜，然後，藉由將 AuBe 膜及 Au 膜圖案化，而形成第 2 電極 (p 型歐姆電極)。然後，在 450°C 下進行 10 分鐘的熱處理使之合金化，而形成低電阻的第 1 及第 2 電極 (n 型及 p 型歐姆電極)。

其次，使用切割鋸切斷形成有第 1 及第 2 電極的接合構造體而予以晶片化。藉此製作實施例 1 的發光二極體。

組裝 100 個將藉上述方法所製得之實施例 1 的發光二極體晶片安裝於安裝基板上而成的發光二極體燈。此發光二極體燈的安裝，係以共晶晶粒接合器加熱連接並予以支撐 (mount)，將發光二極體的 n 型歐姆電極和設在安裝基板的表面之 n 電極端子藉由金線進行引線接合，並在將 p 型歐姆電極和 p 電極端子藉由金線進行引線接合後，利用一般的環氧樹脂密封而製成。

將實施例 1 的發光二極體之構成要素的一部分顯示於表 1，將評估安裝有實施例 1 的發光二極體之發光二極體燈的特性之結果顯示於表 2。

如表 2 所示，在 n 型及 p 型歐姆電極間流通電流時，射出峰值發光波長是 661.2nm(655nm 以上的值)的紅色光。

又，順向流通 20 毫安培(mA)的電流時的順向電壓(Vf)，係反映構成化合物半導體層的變形調整層與功能性基板之接合界面的低電阻及各歐姆電極的良好歐姆特性，而成為 2.1 伏特(V)。

順向電流設成 20mA 時的發光輸出為 4.1mW(3mW 以上)，可獲得良好的結果。

已組裝之所有的發光二極體中之峰值發光波長的偏差(最大-最小)為 2.1nm，獲得良好的結果。此外，峰值發光波長的偏差(最大-最小)只要為 3nm 以下即可。

又，發光之上升的響應速度(Tr)為 72ns，可獲得 100ns 以下的良好結果。且在表面缺陷的檢查中，未見表面缺陷。

又，將在與光取出面成 90° 之角度的方向上所放射的放射照度 E，除以在與光取出面成 45° 之角度的方向上所放射的放射照度 F 而得的放射照度比(= E/F)為 1.43(大於 1.0 的值)，可確認在與光取出面成 90° 之角度的方向上所放射的放射照度 E 變強。

再者，在實施例 1 的發光二極體發光時，藉由功能性基板之放熱效果，而未看到溫度上升所導致之發光效率的降低。

圖 13 係顯示本發明之實施例 1 的發光二極體燈的發光光譜之圖。

如圖 13 所示，實施例 1 之發光二極體燈的發光光譜，其半值寬為 18nm，波長 700nm 的發光強度為大致 0。

由上述結果可確認，依據實施例 1 之發光二極體及發光二極體燈，可形成發出具有 655nm 以上之發光波長的光之發光層，且可實現 100ns 以下的響應速度(此情況為 72ns)。

且可確認，依據實施例 1 的發光二極體及發光二極體燈，由於放射照度的比($=E/F$)為 1.43(大於 1.0 的值)，所以可實現高亮度及高效率的發光二極體。

又可確認，藉由功能性基板的放熱效果，可實現放熱特性優異的發光二極體。

(實施例 2)

實施例 2 的發光二極體(第 2 實施形態)除了交互積層包含未摻雜的 $\text{Ga}_{0.42}\text{In}_{0.58}\text{P}$ 的 21 層變形發光層(單層的厚度 10nm)和組成為 $(\text{Al}_{0.53}\text{Ga}_{0.47})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 的 20 層阻障層(單層的厚度為 30nm)以形成發光層來取代設置於實施例 1 的發光二極體之發光層，並使用厚度為 150 μm 的 GaP 層(熱傳導係數 110W/mK)作為功能性基板以外，其餘部分係製造成與實施例 1 的發光二極體相同。

將實施例 2 的發光二極體之構成要素的一部分顯示於表 1，將評估安裝有實施例 2 的發光二極體之發光二極體燈的特性之結果顯示於表 2。

如表 2 所示，在 n 型及 p 型歐姆電極間流通電流時，射出峰值發光波長是 660.7nm(655nm 以上的值)的紅色光。

又，順向流通20毫安培(mA)的電流時的順向電壓(V_f)，係反映構成化合物半導體層的變形調整層與功能性基板之接合界面的低電阻及各歐姆電極的良好歐姆特性，而成為2.1伏特(V)。

再者，順向電流設成20mA時的發光輸出為3.6mW(3mW以上)，獲得良好的結果。

已組裝的所有的發光二極體中之峰值發光波長的偏差(最大-最小)為2.3nm，獲得良好的結果。此外，發光之上升的響應速度(Tr)為70ns，獲得100ns以下的良好結果。且在表面缺陷的檢查中，未見表面缺陷。

又，將在與光取出面成90°之角度的方向上所放射的放射照度E，除以在與光取出面成45°之角度的方向上所放射的放射照度F而得的放射照度比(=E/F)為1.17(大於1.0的值)，可確認在與光取出面成90°之角度的方向上所放射的放射照度E變強。

再者，在實施例2的發光二極體發光時，藉由功能性基板之放熱效果，而未看到因溫度上升所導致之發光效率的降低。

由上述結果可確認，依據實施例2之發光二極體及發光二極體燈，可構成發出具有655nm以上之發光波長的光之發光層，且可實現100ns以下的響應速度(此情況為70ns)。

且可確認，依據實施例2的發光二極體及發光二極體燈，由於放射照度的比(=E/F)為1.17(大於1.0的值)，所以可實現高亮度及高效率的發光二極體。

又可確認，藉由功能性基板的放熱效果，可實現放熱特性優異的發光二極體。

(實施例 3)

實施例 3 的發光二極體(第 2 實施形態)除了形成包含未摻雜的 $\text{Ga}_{0.41}\text{In}_{0.59}\text{P}$ 之 21 層變形發光層(單層的厚度為 15nm)來取代設置於實施例 2 之發光二極體的變形發光層，並使用厚度為 $100\mu\text{m}$ 的 Ge 層(熱傳導係數 60W/mK)作為功能性基板之外，其餘部分係製造成與實施例 2 的發光二極體相同。

將實施例 3 的發光二極體之構成要素的一部分顯示於表 1，將評估安裝有實施例 3 的發光二極體之發光二極體燈的特性之結果顯示於表 2。

如表 2 所示，在 n 型及 p 型歐姆電極間流通電流時，射出峰值發光波長是 668.5nm (655nm 以上的值)的紅色光。

又，順向流通 20 毫安培(mA)的電流時的順向電壓(Vf)，係反映構成化合物半導體層的變形調整層與功能性基板之接合界面的低電阻及各歐姆電極的良好歐姆特性，而成為 2.1 伏特(V)。

再者，順向電流設成 20mA 時的發光輸出為 3.7mW (3mW 以上)，獲得良好的結果。

已組裝的所有的發光二極體中之峰值發光波長的偏差(最大-最小)為 2.5nm ，獲得良好的結果。此外，發光之上升的響應速度(Tr)為 73ns ，獲得 100ns 以下的良好結果。且在表面缺陷的檢查中，未見表面缺陷。

又，將在與光取出面成 90° 之角度的方向上所放射的放射照度 E ，除以在與光取出面成 45° 之角度的方向上所放射的放射照度 F 而得的放射照度比 ($= E/F$) 為 1.22 (大於 1.0 的值)，可確認在與光取出面成 90° 之角度的方向上所放射的放射照度 E 變強。

再者，在實施例 3 的發光二極體發光時，藉由功能性基板之放熱效果，而未看到因溫度上升所導致之發光效率的降低。

由上述結果可確認，依據實施例 3 之發光二極體及發光二極體燈，可構成發出具有 655nm 以上之發光波長的光之發光層，且可實現 100ns 以下的響應速度 (此情況為 73ns)。

且可確認，依據實施例 3 的發光二極體及發光二極體燈，由於放射照度的比 ($= E/F$) 為 1.22 (大於 1.0 的值)，所以可實現高亮度及高效率的發光二極體。

又可確認，藉由功能性基板的放熱效果，可實現放熱特性優異的發光二極體。

(實施例 4)

實施例 4 的發光二極體 (第 2 實施形態) 除了形成包含未摻雜的 $\text{Ga}_{0.45}\text{In}_{0.55}\text{P}$ 之 21 層變形發光層 (單層的厚度為 25nm) 來取代設置於實施例 2 的發光二極體的變形發光層，並使用厚度為 100 μm 的 Si 層 (熱傳導係數 126 W/mK) 作為功能性基板以外，其餘部分係製造成與實施例 2 的發光二極體相同。

將實施例 4 的發光二極體之構成要素的一部分顯示於表 1，將評估安裝有實施例 4 的發光二極體之發光二極體燈的特性之結果顯示於表 2。

如表 2 所示，在 n 型及 p 型歐姆電極間流通電流時，射出峰值發光波長是 657.0nm(655nm 以上的值)的紅色光。

又，順向流通 20 毫安培(mA)的電流時的順向電壓(Vf)，係反映構成化合物半導體層的變形調整層與功能性基板之接合界面的低電阻及各歐姆電極的良好歐姆特性，而成為 2.1 伏特(V)。

再者，順向電流設成 20mA 時的發光輸出為 4.0mW(3mW 以上)，獲得良好的結果。

已組裝的所有的發光二極體中之峰值發光波長的偏差(最大-最小)為 2.1nm，獲得良好的結果。此外，發光之上升的響應速度(Tr)為 64ns，獲得 100ns 以下的良好結果。且在表面缺陷的檢查中，未見表面缺陷。

又，將在與光取出面成 90° 之角度的方向上所放射的放射照度 E，除以在與光取出面成 45° 之角度的方向上所放射的放射照度 F 而得的放射照度比($= E/F$)為 1.33(大於 1.0 的值)，可確認在與光取出面成 90° 之角度的方向上所放射的放射照度 E 變強。

再者，在實施例 4 的發光二極體發光時，藉由功能性基板之放熱效果，而未看到因溫度上升所導致之發光效率的降低。

由上述結果可確認，依據實施例 4 之發光二極體及發光二極體燈，可構成發出具有 655nm 以上之發光波長的光之發光層，且可實現 100ns 以下的響應速度(此情況為 64ns)。

且可確認，依據實施例 4 的發光二極體及發光二極體燈，由於放射照度的比($=E/F$)為 1.33(大於 1.0 的值)，所以可實現高亮度及高效率的發光二極體。

又可確認，藉由功能性基板的放熱效果，可實現放熱特性優異的發光二極體。

(實施例 5)

實施例 5 的發光二極體(第 1 實施形態)除了將設置於實施例 2 的發光二極體之變形發光層的組成變更成 $\text{Ga}_{0.39}\text{In}_{0.61}\text{P}$ 並使用包含 $\text{Cu}(30\mu\text{m})/\text{Mo}(25\mu\text{m})/\text{Cu}(30\mu\text{m})$ 之 3 層構造(厚度 $85\mu\text{m}$)的功能性基板(金屬基板(熱傳導係數 250W/mK))之外，其餘部分係製造成與實施例 2 的發光二極體相同。

將實施例 5 的發光二極體之構成要素的一部分顯示於表 1，將評估安裝有實施例 5 的發光二極體之發光二極體燈的特性之結果顯示於表 2。

如表 2 所示，在 n 型及 p 型歐姆電極間流通電流時，射出峰值發光波長是 669.8nm(655nm 以上的值)的紅色光。

又，順向流通 20 毫安培(mA)的電流時的順向電壓(Vf)，係反映構成化合物半導體層的變形調整層與功能

性基板之接合界面的低電阻及各歐姆電極的良好歐姆特性，而成為 2.1 伏特(V)。

再者，順向電流設成 20mA 時的發光輸出為 3.9mW(3mW 以上)，獲得良好的結果。

已組裝的所有的發光二極體中之峰值發光波長的偏差(最大-最小)為 2.9nm，獲得良好的結果。此外，發光之上升的響應速度(T_r)為 63ns，獲得 100ns 以下的良好結果。且在表面缺陷的檢查中，未見表面缺陷。

又，將在與光取出面成 90° 之角度的方向上所放射的放射照度 E，除以在與光取出面成 45° 之角度的方向上所放射的放射照度 F 而得的放射照度比($= E/F$)為 1.41(大於 1.0 的值)，可確認在與光取出面成 90° 之角度的方向上所放射的放射照度 E 變強。

再者，在實施例 5 的發光二極體發光時，藉由功能性基板之放熱效果，而未看到因溫度上升所導致之發光效率的降低。

由上述結果可確認，依據實施例 5 之發光二極體及發光二極體燈，可構成發出具有 655nm 以上之發光波長的光之發光層，且可實現 100ns 以下的響應速度(此情況為 63ns)。

且可確認，依據實施例 5 的發光二極體及發光二極體燈，由於放射照度的比($= E/F$)為 1.41(大於 1.0 的值)，所以可實現高亮度及高效率的發光二極體。

又可確認，藉由功能性基板的放熱效果，可實現放熱特性優異的發光二極體。

(實施例 6)

實施例 6 的發光二極體(第 1 實施形態)除了將設置於實施例 5 的發光二極體之變形發光層的組成變更成 $\text{Ga}_{0.38}\text{In}_{0.62}\text{P}$ 之外，其餘部分係製造成與實施例 5 的發光二極體相同。

將實施例 6 的發光二極體之構成要素的一部分顯示於表 1，將評估安裝有實施例 6 的發光二極體之發光二極體燈的特性之結果顯示於表 2。

如表 2 所示，在 n 型及 p 型歐姆電極間流通電流時，射出峰值發光波長是 675.1nm(655nm 以上的值)的紅色光。

又，順向流通 20 毫安培(mA)的電流時的順向電壓(Vf)，係反映構成化合物半導體層的變形調整層與功能性基板之接合界面的低電阻及各歐姆電極的良好歐姆特性，而成為 2.1 伏特(V)。

再者，順向電流設成 20mA 時的發光輸出為 3.6mW(3mW 以上)，獲得良好的結果。

已組裝的所有的發光二極體中之峰值發光波長的偏差(最大-最小)為 2.9nm，獲得良好的結果。此外，發光之上升的響應速度(Tr)為 65ns，獲得 100ns 以下的良好結果。且在表面缺陷的檢查中，未見表面缺陷。

又，將在與光取出面成 90° 之角度的方向上所放射的放射照度 E，除以在與光取出面成 45° 之角度的方向上所放射的放射照度 F 而得的放射照度比(= E/F)為

1.36(大於 1.0 的值)，可確認在與光取出面成 90° 之角度的方向上所放射的放射照度 E 變強。

再者，在實施例 6 的發光二極體發光時，藉由功能性基板之放熱效果，而未看到因溫度上升所導致之發光效率的降低。

由上述結果可確認，依據實施例 6 之發光二極體及發光二極體燈，可構成發出具有 655nm 以上之發光波長的光之發光層，且可實現 100ns 以下的響應速度(此情況為 65ns)。

且可確認，依據實施例 6 的發光二極體及發光二極體燈，由於放射照度的比($= E/F$)為 1.36(大於 1.0 的值)，所以可實現高亮度及高效率的發光二極體。

又可確認，藉由功能性基板的放熱效果，可實現放熱特性優異的發光二極體。

(參考例 1)

參考例 1 的發光二極體除了由實施例 2 的發光二極體的構成去除反射構造體，並形成包含 $\text{Ga}_{0.38}\text{In}_{0.62}\text{P}$ 的 21 層變形發光層(單層的厚度 5nm)來取代設置於實施例 2 的發光二極體之變形發光層之外，其餘部分係製造成與實施例 2 的發光二極體相同。亦即，參考例 1 的發光二極體不具有反射構造體。

將參考例 1 的發光二極體之構成要素的一部分顯示於表 1，將評估安裝有參考例 1 的發光二極體之發光二極體燈的特性之結果顯示於表 2。

如表 2 所示，在 n 型及 p 型歐姆電極間流通電流時，射出峰值發光波長是 651.5nm(655nm 以下)的紅色光。亦即，無法滿足作為目標之峰值發光波長的 655nm 以上。

又，順向流通 20 毫安培(mA)的電流時的順向電壓(Vf)，係反映構成化合物半導體層的變形調整層與功能性基板之接合界面的低電阻及各歐姆電極的良好歐姆特性，而成為 2.0 伏特(V)。

再者，順向電流設成 20mA 時的發光輸出為 3.1mW(3mW 以上)，獲得良好的結果。

已組裝的所有的發光二極體中之峰值發光波長的偏差(最大-最小)為 5.1nm(3nm 以上)，成為不良結果。此外，發光之上升的響應速度(Tr)為 42ns，獲得 100ns 以下的良好結果。且在表面缺陷的檢查中，未見表面缺陷。

又，將在與光取出面成 90°之角度的方向上所放射的放射照度 E，除以在與光取出面成 45°之角度的方向上所放射的放射照度 F 而得的放射照度比(= E/F)為 0.83(小於 1.0 的值)，可確認相較於實施例 1~5 的發光二極體，在與光取出面成 90°之角度的方向上所放射的放射照度 E 較弱(換言之，可確認反射構造體的效果。)。

又，在參考例 1 的發光二極體發光時，藉由功能性基板之放熱效果，而未看到因溫度上升所導致之發光效率的降低。

由上述結果得知，參考例 1 的發光二極體及發光二極體燈，在峰值發光波長、峰值發光波長的偏差、及放射照度的比(= E/F)方面，無法滿足目標之數值。

(參考例 2)

參考例 2 的發光二極體除了由實施例 2 的發光二極體的構成去除反射構造體，並形成包含 $\text{Ga}_{0.37}\text{In}_{0.63}\text{P}$ 的 21 層變形發光層(單層的厚度為 10nm)來取代設置於實施例 2 的發光二極體之變形發光層之外，其餘部分係製造成與實施例 2 的發光二極體相同。亦即，參考例 2 的發光二極體不具有反射構造體。

將參考例 2 的發光二極體之構成要素的一部分顯示於表 1，將評估安裝有參考例 2 的發光二極體之發光二極體燈的特性之結果顯示於表 2。

如表 2 所示，在 n 型及 p 型歐姆電極間流通電流時，射出峰值發光波長是 677.7nm(655nm 以上)的紅色光。

又，順向流通 20 毫安培(mA)的電流時的順向電壓(Vf)，係反映構成化合物半導體層的變形調整層與功能性基板之接合界面的低電阻及各歐姆電極的良好歐姆特性，而成為 2.3 伏特(V)。

再者，順向電流設成 20mA 時的發光輸出為 1.3mW(3mW 以下)，成為不良結果。

已組裝的所有的發光二極體中之峰值發光波長的偏差(最大-最小)為 3.8nm(3nm 以上)，成為不良結果。此外，發光之上升的響應速度(Tr)為 45ns，獲得 100ns 以下的良好結果。且在表面缺陷的檢查中，可確認表面缺陷。

又，將在與光取出面成 90° 之角度的方向上所放射的放射照度 E，除以在與光取出面成 45° 之角度的方向上

所放射的放射照度 F 而得的放射照度比 ($= E/F$) 為 0.76 (小於 1.0 的值)，可確認相較於實施例 1~5 的發光二極體，在與光取出面成 90° 之角度的方向上所放射的放射照度 E 較弱 (換言之，可確認反射構造體的效果。)。

又，在參考例 2 的發光二極體發光時，藉由功能性基板之放熱效果，而未看到因溫度上升所導致之發光效率的降低。

由上述結果得知，參考例 2 的發光二極體及發光二極體燈，在順向電流設成 20mA 時的發光輸出、峰值發光波長的偏差、表面缺陷及放射照度的比 ($= E/F$) 方面，無法獲得良好的結果。

(參考例 3)

參考例 3 的發光二極體除了由實施例 2 的發光二極體的構成去除反射構造體，並形成包含 $\text{Ga}_{0.48}\text{In}_{0.52}\text{P}$ 的 23 層變形發光層 (單層的厚度 17nm) 來取代設置於實施例 2 的發光二極體之變形發光層，且將阻障層的厚度變更成 19nm，將阻障層的數量變更成 22 層之外，其餘部分係製造成與實施例 2 的發光二極體相同。亦即，參考例 3 的發光二極體不具有反射構造體。

將參考例 3 的發光二極體之構成要素的一部分顯示於表 1，將評估安裝有參考例 3 的發光二極體之發光二極體燈的特性之結果顯示於表 2。

如表 2 所示，在 n 型及 p 型歐姆電極間流通電流時，射出峰值發光波長是 647.7nm (655nm 以下) 的紅色光。亦即，無法滿足作為目標之峰值發光波長的 655nm 以上。

又，順向流通 20 毫安培(mA)的電流時的順向電壓(Vf)，係反映構成化合物半導體層的變形調整層與功能性基板之接合界面的低電阻及各歐姆電極的良好歐姆特性，而成為 2.0 伏特(V)。

再者，順向電流設成 20mA 時的發光輸出為 3.3mW(3mW 以上)，獲得良好的結果。

已組裝的所有的發光二極體中之峰值發光波長的偏差(最大-最小)為 2.7nm(3nm 以下)，成為良好結果。此外，發光之上升的響應速度(Tr)為 62ns，獲得 100ns 以下的良好結果。且在表面缺陷的檢查中，未見表面缺陷。

又，將在與光取出面成 90° 之角度的方向上所放射的放射照度 E，除以在與光取出面成 45° 之角度的方向上所放射的放射照度 F 而得的放射照度比($= E/F$)為 0.80(小於 1.0 的值)，可確認相較於實施例 1~5 的發光二極體，在與光取出面成 90° 之角度的方向上所放射的放射照度 E 較弱。

又，在參考例 3 的發光二極體發光時，藉由功能性基板之放熱效果，而未看到因溫度上升所導致之發光效率的降低。

由上述結果得知，參考例 3 的發光二極體及發光二極體燈，在峰值發光波長、及放射照度的比($= E/F$)方面，無法獲得良好結果。

(參考例 4)

參考例 4 的發光二極體除了由實施例 2 的發光二極體的構成去除反射構造體，並形成包含 $Ga_{0.44}In_{0.56}P$ 的

13 層變形發光層(單層的厚度 30nm)來取代設置於實施例 2 的發光二極體之變形發光層，且將阻障層的數量變更成 12 層之外，其餘部分係製造成與實施例 2 的發光二極體相同。亦即，參考例 4 的發光二極體不具有反射構造體。

將參考例 4 的發光二極體之構成要素的一部分顯示於表 1，將評估安裝有參考例 4 的發光二極體之發光二極體燈的特性之結果顯示於表 2。

如表 2 所示，在 n 型及 p 型歐姆電極間流通電流時，射出峰值發光波長是 668.9nm(655nm 以上)的紅色光。

又，順向流通 20 毫安培(mA)的電流時的順向電壓(Vf)，係反映構成化合物半導體層的變形調整層與功能性基板之接合界面的低電阻及各歐姆電極的良好歐姆特性，而成為 2.3 伏特(V)。

再者，順向電流設成 20mA 時的發光輸出為 1.1mW，無法獲得作為目標之 3mW 以上的值。

已組裝的所有的發光二極體中之峰值發光波長的偏差(最大-最小)為 4.1nm，無法獲得作為目標之 3nm 以下的值。

此外，發光之上升的響應速度(Tr)為 43ns，獲得 100ns 以下的良好結果。又，在表面缺陷的檢查中，可確認表面缺陷。

又，將在與光取出面成 90° 之角度的方向上所放射的放射照度 E，除以在與光取出面成 45° 之角度的方向上所放射的放射照度 F 而得的放射照度比(= E/F)為

0.77(小於 1.0 的值)，可確認相較於實施例 1~5 的發光二極體，在與光取出面成 90° 之角度的方向上所放射的放射照度 E 較弱。

又，在參考例 4 的發光二極體發光時，藉由功能性基板之放熱效果，而未看到因溫度上升所導致之發光效率的降低。

由上述結果得知，參考例 4 的發光二極體及發光二極體燈，在順向電流設為 20mA 時的發光輸出、峰值發光波長的偏差、表面缺陷及放射照度的比($= E/F$)方面，無法獲得良好結果。

[表 1]

	功能性基板的構成	功能性基板的熱傳導係數 (W/mK)	反射構造體的有無	變形調整層	變形發光層的X值 $\text{Ga}_x\text{In}_{(1-x)}\text{P}$	變形發光層的厚度 (nm)	變形發光層的數量	變形發光層的合計厚度 (nm)	阻障層的厚度 (nm)	阻障層的數量
實施例1	Cu層(30 μm) /Mo層(25 μm) /Cu層(30 μm)	250	有	GaP層	0.44	17	23	391	19	22
實施例2	GaP層(150 μm)	110	有	GaP層	0.42	10	21	210	30	20
實施例3	Ge層(100 μm)	60	有	GaP層	0.41	15	21	315	30	20
實施例4	Si層(100 μm)	126	有	GaP層	0.45	25	21	525	30	20
實施例5	Cu層(30 μm) /Mo層(25 μm) /Cu層(30 μm)	250	有	GaP層	0.39	10	21	210	30	20
實施例6	Cu層(30 μm) /Mo層(25 μm) /Cu層(30 μm)	250	有	GaP層	0.38	10	21	210	30	20
參考例1	GaP層(150 μm)	110	無	GaP層	0.38	5	21	105	30	20
參考例2	GaP層(150 μm)	110	無	GaP層	0.37	10	21	210	30	20
參考例3	GaP層(150 μm)	110	無	GaP層	0.48	17	23	391	19	22
參考例4	GaP層(150 μm)	110	無	GaP層	0.44	30	13	390	30	12

[表 2]

	表面缺陷的 检查结果	VF@ 20mA (V)	输出 20mA (V)	峰值发光 波长 (nm)	峰值发光波长 的偏差 (nm)	響應速度 Tr (ns)	放射照度@20mA($\mu\text{W}/\text{m}^2$)		
							相對於光取出面的 角度為45° 的放射 照度F	相對於光取出面的 角度為90° 的放射 照度E	放射照度的比 (=E/F)
實施例1	○	2.1	4.1	661.2	2.1	72	8530	12230	1.43
實施例2	○	2.1	3.6	660.7	2.3	70	8600	10060	1.17
實施例3	○	2.1	3.7	668.5	2.5	73	8540	10430	1.22
實施例4	○	2.1	4.0	657.0	2.1	64	8470	11240	1.33
實施例5	○	2.1	3.9	669.8	2.9	63	8120	11460	1.41
實施例6	○	2.1	3.6	675.1	2.9	65	7970	10800	1.36
參考例1	○	2.0	3.1	651.5	5.1	42	9980	8240	0.83
參考例2	×	2.3	1.3	677.7	3.8	45	4300	3250	0.76
參考例3	○	2.0	3.3	647.7	2.7	62	10510	8430	0.80
參考例4	×	2.3	1.1	668.9	4.1	43	3560	2750	0.77

[產業上之可利用性]

本發明的發光二極體可利用於植物生長用的發光二極體、高壓電路等中使用於電性信號傳送之高速耦合用的發光二極體等。

【圖式簡單說明】

圖 1 為顯示本發明第 1 實施形態之發光二極體的一例之剖面圖。

圖 2 為用以說明本發明第 1 實施形態之發光二極體的發光部的構成之放大剖面圖。

圖 3 為顯示不具備反射構造體的發光二極體及具備反射構造體的發光二極體的放射照度之圖。

圖 4A 為顯示本發明第 1 實施形態之發光二極體的製造步驟之剖面圖(其 1)，且為顯示第 1 及第 2 金屬層對向配置之狀態的圖。

圖 4B 為顯示本發明第 1 實施形態之發光二極體的製造步驟之剖面圖(其 1)，且為顯示第 1 及第 2 金屬層被壓合，且形成有包含第 1 及第 2 金屬層的功能性基板的狀態之圖。

圖 5 為顯示本發明第 1 實施形態之發光二極體之製造步驟的剖面圖(其 2)。

圖 6 為顯示本發明第 1 實施形態之發光二極體之製造步驟的剖面圖(其 3)。

圖 7 為顯示本發明第 1 實施形態之發光二極體之製造步驟的剖面圖(其 4)。

圖 8 為顯示本發明第 1 實施形態之發光二極體之製造步驟的剖面圖(其 5)。

圖 9 為顯示本發明第 1 實施形態之發光二極體之製造步驟的剖面圖(其 6)。

圖 10 為顯示本發明第 1 實施形態之發光二極體之製造步驟的剖面圖(其 7)。

圖 11 為顯示具備圖 1 所示之發光二極體之發光二極體燈的剖面模式圖。

圖 12A 為用以說明本發明第 2 實施形態之發光二極體的圖，為第 2 實施形態之發光二極體的俯視圖。

圖 12B 為用以說明本發明第 2 實施形態之發光二極體的圖，為圖 12A 所示之發光二極體之 A-A '線方向的示意剖面圖。

圖 13 為顯示本發明實施例 1 之發光二極體燈的發光光譜之圖。

【主要元件符號說明】

1、50	發光二極體
2	發光層
3	發光部
3a、3b、13a、 14a、15b	面
4	反射構造體
4a、5a	接合面
5、51	功能性基板
5b	面
6	第 1 電極
8	第 2 電極
10a	上部披覆層
10b	下部披覆層

11	化合物半導體層
11a	光取出面
12a	緩衝層
12b	接觸層
13	變形調整層
14	透明電極膜
15	反射層
18	接合構造體
21	第1金屬層
22	第2金屬層
31	變形發光層
32	阻障層
33	半導體基板
33a	表面
40	發光二極體燈
41	密封樹脂
43、44	電極端子
45	封裝基板
51a	上面
51b	下面
52、53	金屬層
f	正面方向

七、申請專利範圍：

1. 一種發光二極體，其特徵為：

具備化合物半導體層，其至少包含 pn 接合型發光部、和積層於前述發光部的變形調整層，

前述發光部具有使變形發光層與阻障層交互複數積層的積層構造，而該變形發光層包含組成式 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ ($0 \leq X \leq 0.1$ ， $0.37 \leq Y \leq 0.46$)，

其中包含有 8~40 層前述變形發光層，

前述變形調整層對於發光波長是透明的，並且具有比前述變形發光層及前述阻障層的晶格常數還小的晶格常數，

在前述化合物半導體層之與光取出面相反側的面上，透過反射構造體接合有功能性基板。

2. 如申請專利範圍第 1 項之發光二極體，其中前述功能性基板為金屬基板。

3. 如申請專利範圍第 2 項之發光二極體，其中前述金屬基板係由積層的複數個金屬層所構成。

4. 如申請專利範圍第 1 項之發光二極體，其中前述功能性基板的材料係 GaP、Si、Ge 的任一者。

5. 如申請專利範圍第 1 項之發光二極體，其中在與前述光取出面成 90° 之角度的方向上所放射的放射照度係為在與前述光取出面成 45° 之角度的方向上所放射之放射照度的 1.0 倍以上。

6. 如申請專利範圍第 1 項之發光二極體，其中前述變形

發光層的組成式為 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}$ ($0.37 \leq X \leq 0.46$)。

7.如申請專利範圍第1項之發光二極體，其中前述變形發光層的厚度係在8~30nm的範圍。

8.如申請專利範圍第1項之發光二極體，其中前述阻障層的組成式為 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$ ($0.3 \leq X \leq 0.7$, $0.48 \leq Y \leq 0.52$)。

9.如申請專利範圍第1項之發光二極體，其中前述發光部係在前述變形發光層的上部及下部之一者或兩者具有披覆層，

前述披覆層的組成式為 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$ ($0.5 \leq X \leq 1$, $0.48 \leq Y \leq 0.52$)。

10.如申請專利範圍第1項之發光二極體，其中將前述變形調整層的組成式設成 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$ ($0 \leq X \leq 1$, $0.6 \leq Y \leq 1$)。

11.如申請專利範圍第1項之發光二極體，其中將前述變形調整層的組成式設成 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_{1-y}\text{P}_y$ ($0 \leq X \leq 1$, $0.6 \leq Y \leq 1$)。

12.如申請專利範圍第1項之發光二極體，其中前述變形調整層為GaP層。

13.如申請專利範圍第1項之發光二極體，其中前述變形調整層的厚度係在0.5~20 μm 的範圍。

14.如申請專利範圍第1項之發光二極體，其中前述光取出面係包含粗面。

15.如申請專利範圍第1項之發光二極體，其係用於促進

植物生長的光合作用之發光二極體，其中前述發光部之發光光譜的峰值發光波長係在 655~675nm 的範圍。

16.如申請專利範圍第 15 項之發光二極體，其中前述發光光譜的半值寬係在 10~40nm 的範圍。

17.如申請專利範圍第 15 項之發光二極體，其中前述發光光譜之發光波長 700nm 的發光強度，係未滿前述峰值發光波長之發光強度的 10%。

18.如申請專利範圍第 1 項之發光二極體，其中前述發光部的響應速度(Tr)為 100ns 以下。

19.如申請專利範圍第 1 項之發光二極體，其中前述變形發光層係未摻雜或未滿 $3 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 的載子濃度。

20.一種發光二極體燈，其特徵為：

具備表面形成有電極端子的安裝基板、以及如申請專利範圍第 1 項至第 19 項中任一項之發光二極體，
前述發光二極體係安裝於前述安裝基板，
前述發光二極體係與前述電極端子電性連接。

八、圖式：

圖 1

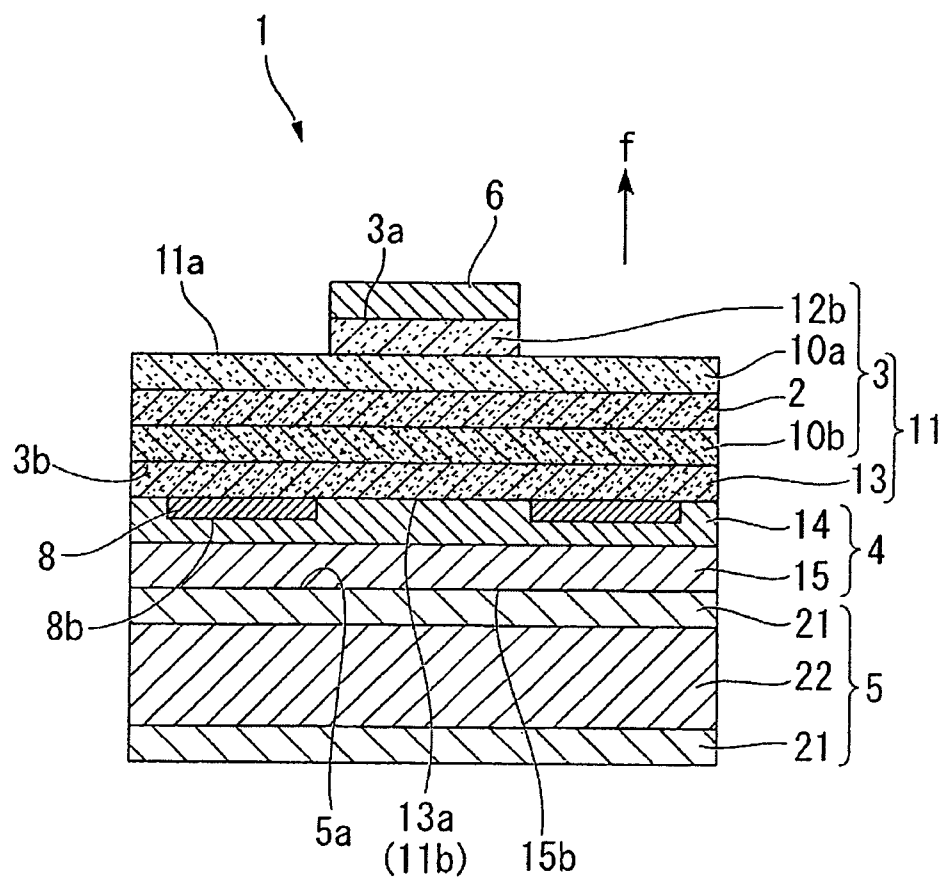


圖 2

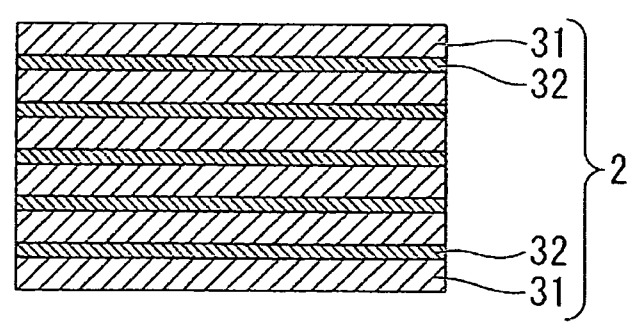


圖 3

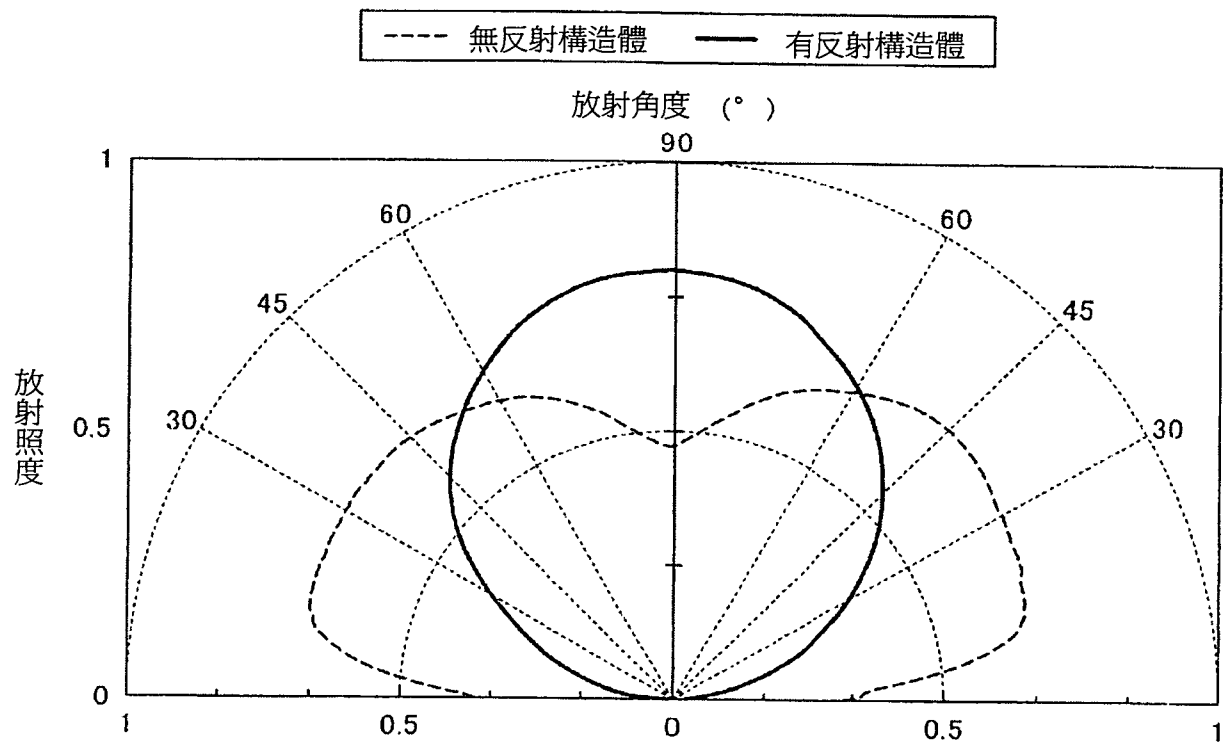


圖 4A

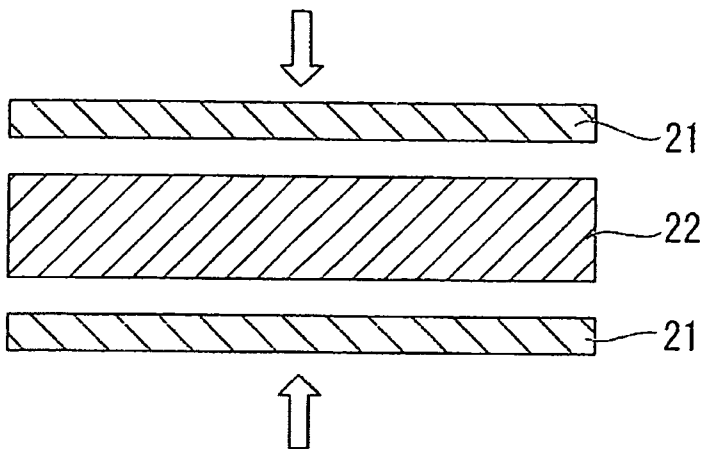


圖 4B

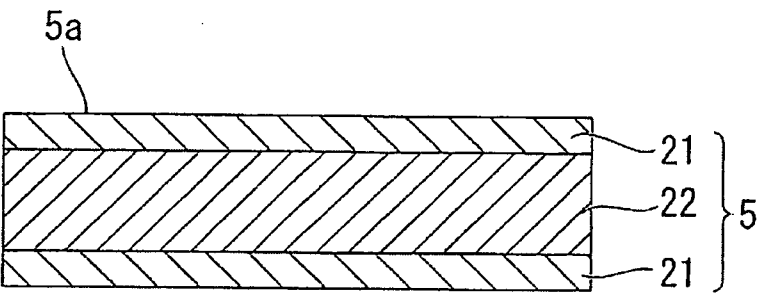


圖 5

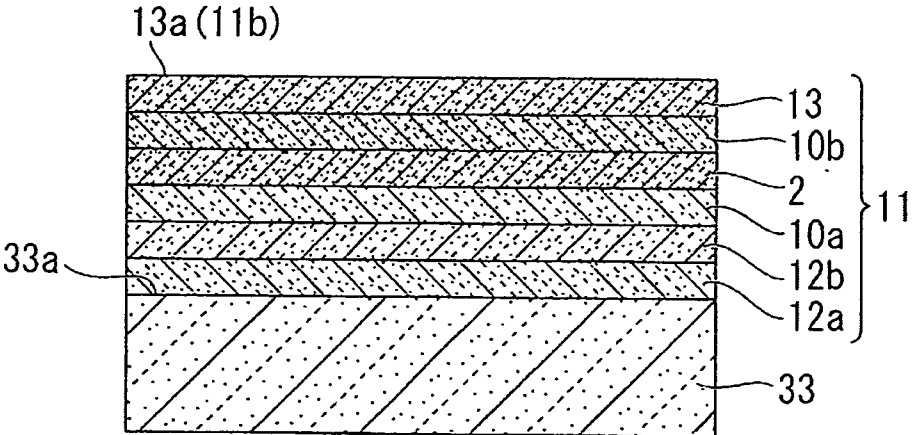


圖 6

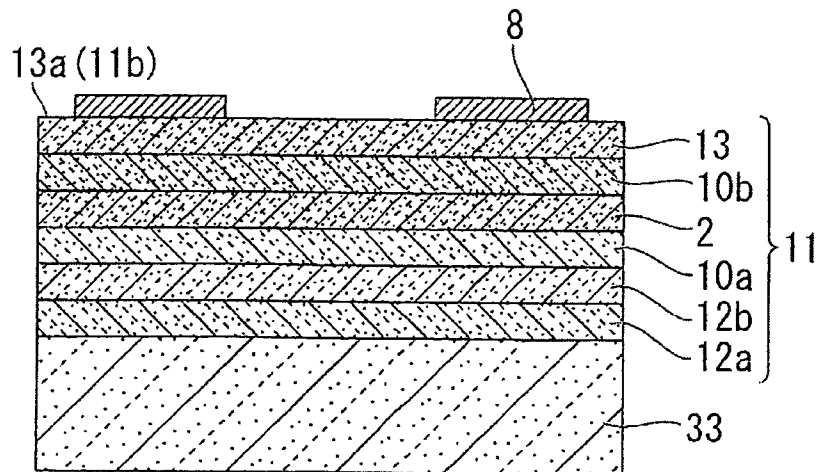


圖 7

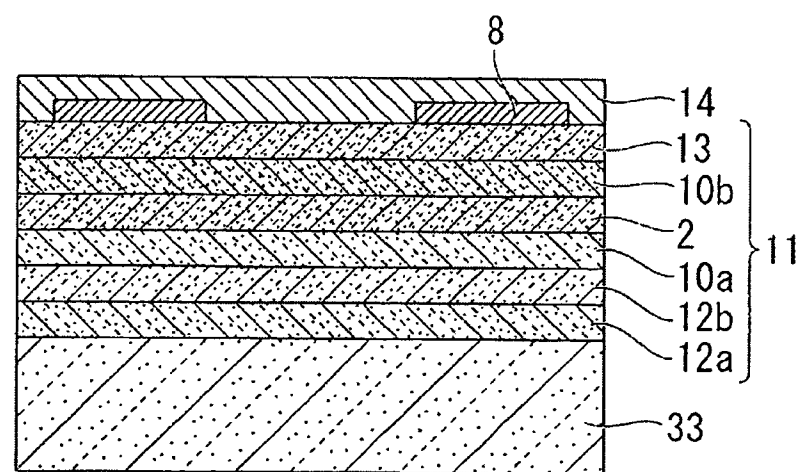


圖 8

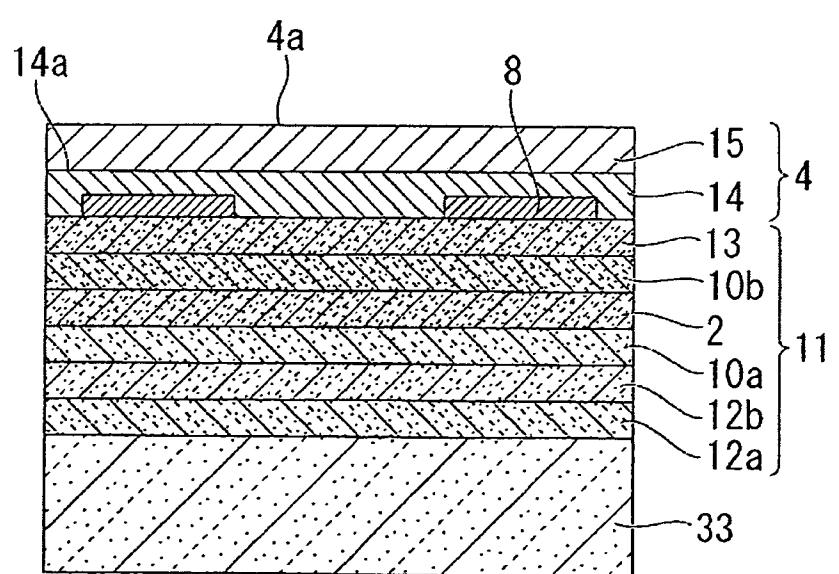


圖 9

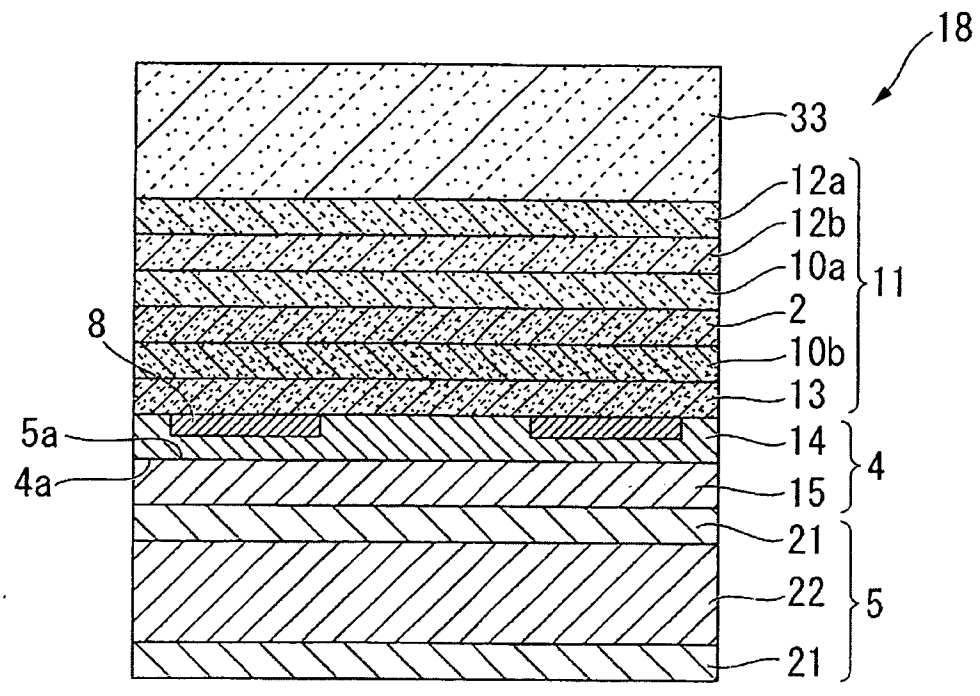


圖 10

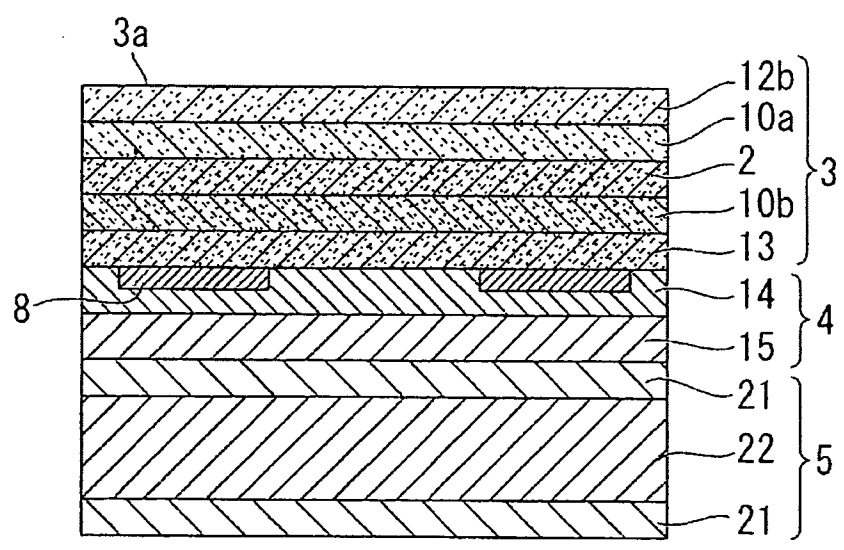


圖 11

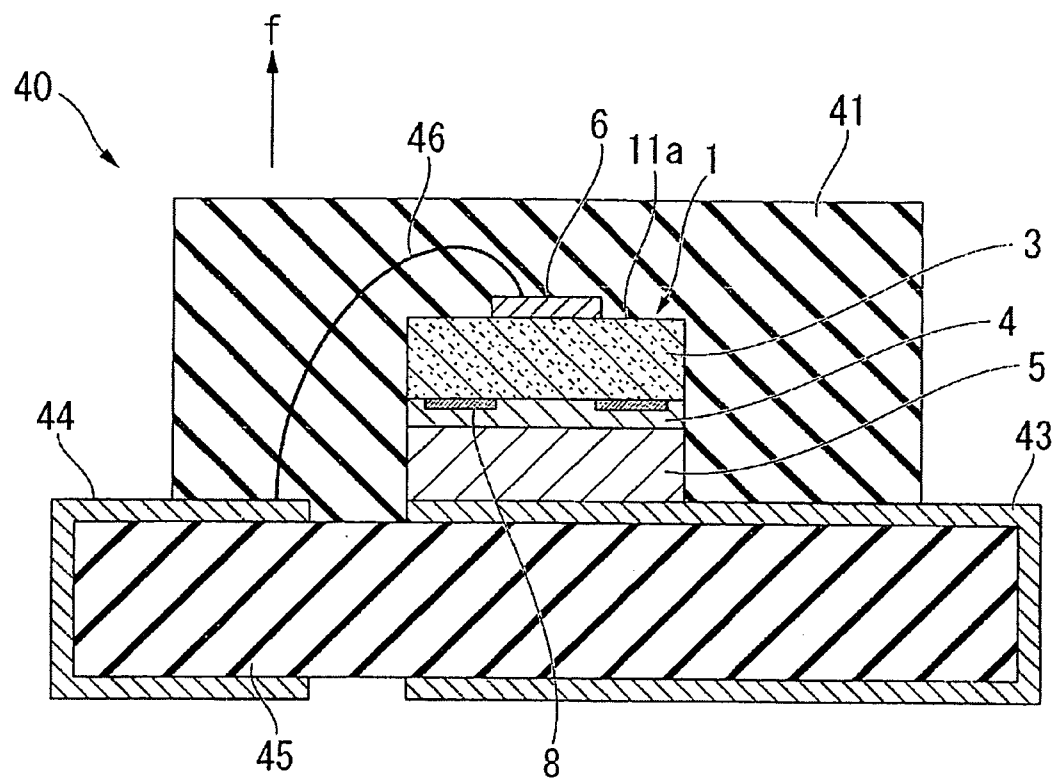


圖 12A

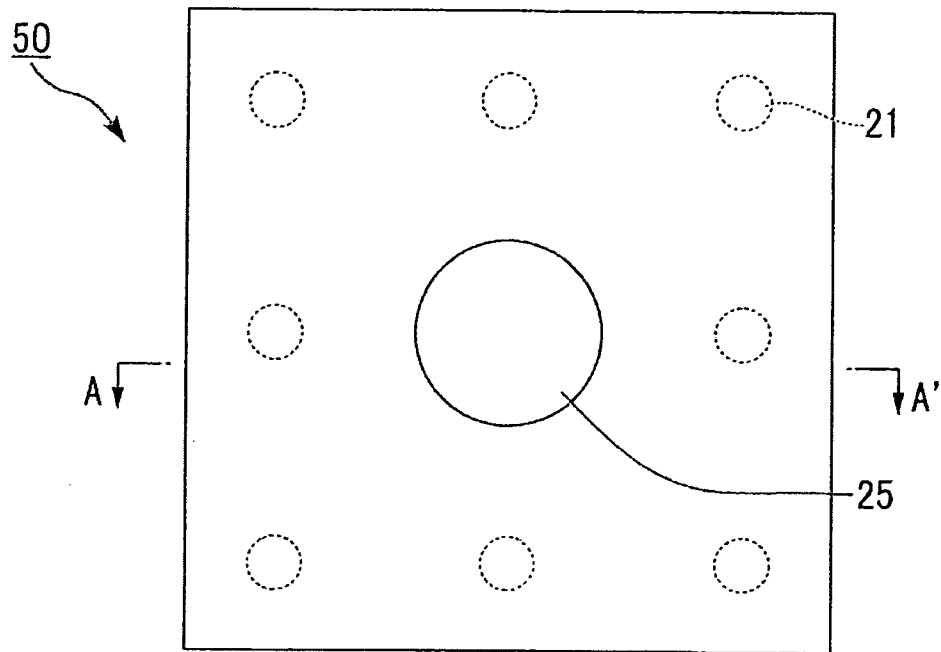


圖 12B

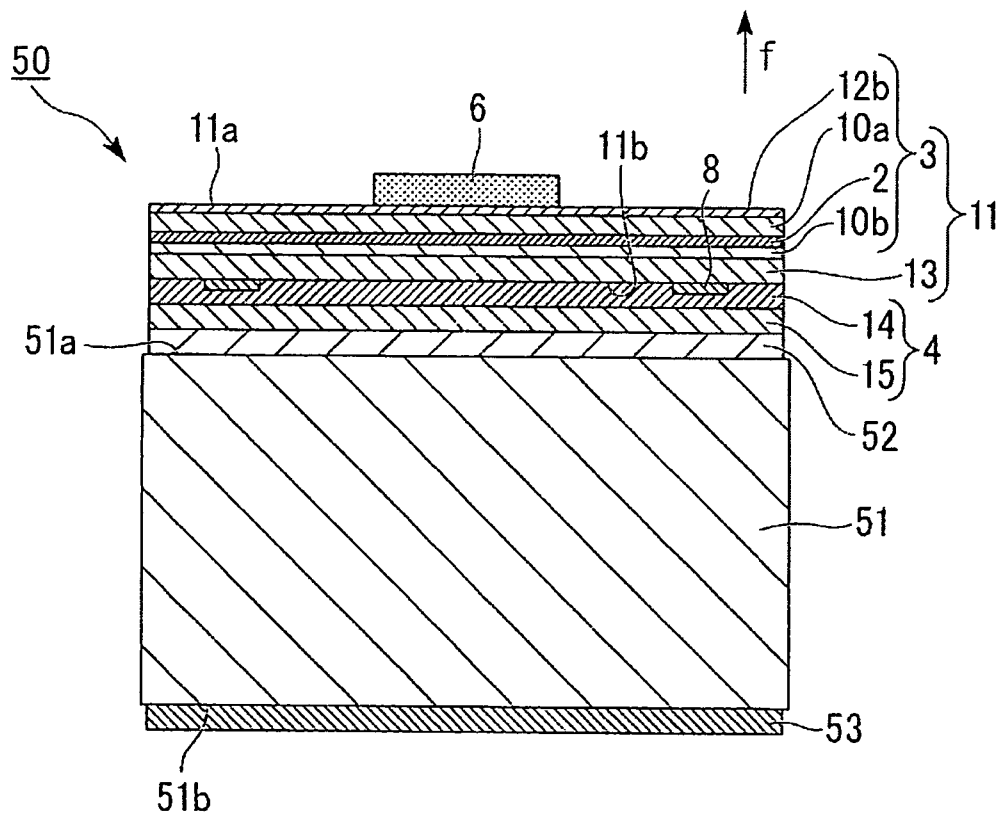


圖 13

