

發明專利說明書

TP18997

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※ 申請案號：94102846

※ 申請日期：94.1.31

※IPC 分類：

H01L33/00

一、發明名稱：(中文/英文)

氮化鎵系化合物半導體發光裝置

GALLIUM NITRIDE-BASED COMPOUND SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING
DEVICE

二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)(簽章) ID：

昭和電工股份有限公司(昭和電工株式会社)

SHOWA DENKO K.K.

代表人：(中文/英文)(簽章)

高橋恭平

TAKAHASHI, KYOHEI

住居所或營業所地址：(中文/英文)

東京都港區芝大門一丁目 13 番 9 號

13-9, Shiba Daimon 1-chome, Minato-ku, Tokyo, Japan

國 籍：(中文/英文)

日本

Japan

三、發明人：(共 4 人)

姓 名：(中文/英文) ID：

1. 村木典孝/MURAKI, NORITAKA
2. 渡邊宗隆(渡辺宗隆)/WATANABE, MUNETAKA
3. 三木久幸/MIKI, HISAYUKI
4. 大野泰/OHNO, YASUSHI

國 籍：(中文/英文)

1. ~4. 日本
Japan

四、聲明事項：

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

☒ 申請前已向下列國家(地區)申請專利：

【格式請依：受理國家(地區)、申請日、申請案號 順序註記】

☒ 有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

1. 日本 2004.01.30 特願 2004-022668

☐ 無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

☐ 主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】

☐ 主張專利法第三十條生物材料：

☐ 須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼 順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼 順序註記】

☐ 不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

三、發明人：(共 4 人)

姓 名：(中文/英文) ID：

- 1.村木典孝/MURAKI, NORITAKA
- 2.渡邊宗隆(渡辺宗隆)/WATANABE, MUNETAKA
- 3.三木久幸/MIKI, HISAYUKI
- 4.大野泰/OHNO, YASUSHI

國 籍：(中文/英文)

- 1.~4.日本
Japan

四、聲明事項：

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

☒ 申請前已向下列國家(地區)申請專利：

【格式請依：受理國家(地區)、申請日、申請案號 順序註記】

☒ 有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

- 1.日本 2004.01.30 特願 2004-022668

☐ 無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

☐ 主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】

☐ 主張專利法第三十條生物材料：

☐ 須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼 順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼 順序註記】

☐ 不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

九、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係有關一種氮化鎵（GaN）化合物半導體發光裝置，其包含具有超晶格結構（諸如，量子井結構）的發光層、形成歐姆電極的接觸層及將發射自發光層的光反射至外部的金屬反射鏡。

【先前技術】

近年來，對於製造發射藍光至綠光之短波長光的發光裝置而言，氮化鎵（GaN）化合物半導體已成為令人感興趣的半導體材料（見諸如 JP-B SHO 55-3834）。目前，GaN 化合物半導體係藉由金屬有機化學氣相沈積（MOCVD）、分子束磊晶或相似技術而成長於基板（藍寶石（ α -Al₂O₃ 單晶）、任一種氧化物的單晶或 III-V 族化合物半導體單晶）上。例如，GaN 化合物半導體發光層係藉由該種氣相成長方法而形成，並具有包含阻障層與井層的量子井（QW）結構。更具體地說，發光層具有單一量子井（SQW）或多個量子井（MQW）結構，其含有氮化鎵銦（組成化學式：Ga_yIn_zN（ $0 \leq Y, Z \leq 1, Y + Z = 1$ ））井層及 GaN 阻障層。

為製造諸如 LED 或雷射二極體（LD）之發光裝置，發光層必須設有用於提供操作裝置之電流（裝置操作電流）的正（+）歐姆電極及負（-）歐姆電極。相較於使用導電半導體基板（諸如碳化矽（SiC）、砷化鎵（GaAs）或磷化鎵（GaP））的狀況，當使用絕緣基板（諸如藍寶石）製造諸如發光二極體（LED）的 GaN 化合物半導體發光裝置時，歐姆電極無法設於基板背面。因此，正歐姆電極及負歐姆電極形成於基板的一個表面（正面）上。

製造 GaN 化合物半導體發光裝置的 GaN 化合物半導體本身為寬能隙材料，且具有低接觸電阻率的歐姆電極難以可靠地設置。因此，n 型或 p 型歐姆電極通常藉由低接觸電阻率層（通常稱為“接觸層”）而形成。特別是當 p 型歐姆電極設於 p 型 GaN 化合物半導體層上時（該 p 型歐姆電極設於發射自發光層的光射至外部的面），歐姆電極由極薄金屬膜所形成，並實質形成於 p 型 GaN 化合物半導體層的整個表面上（見諸如 JP-A HEI 6-314822）。

例如，前揭的 JP-A HEI 6-314822 揭示一種用於由諸如金（Au）、鎳（Ni）、鉑（Pt）、銦（In）、鉻（Cr）或鈦（Ti）之金屬材料所製造的透光歐姆電極，該金屬材料係形成厚度為 0.001 至 1 微米的薄膜。設在透出發射光之表面的該歐姆電極係由透光材料所形成，因為會減緩射自發光層之光的吸收，所以能有效地將發射光透至外部。

除由前揭透光電極材料形成歐姆電極以外，已知有其他用於提高射出光透光效率的技術（見諸如 JP-A HEI 9-36427）。在一所揭示的技術中，基板由發射光波長可穿透的結晶材料所形成，且反射鏡設於基板背面，其中基板背面為發光裝置堆疊結構設置面的正對側。反射鏡將發射光反射至外部視野，且通常形成為金屬膜。

然而，縱使發光層由單一或多個量子井結構所形成，但是未能全然製造提供高強度發射的發光層。本發明人試圖獲得高強度發射的研究顯示發射強度相關於：（1）具有量子井結構之井層的厚度，及（2）阻障層中之摻質（摻入的雜質元素）的存在。

同時，一用於將射自發光層的光有效透至外部的已知技

術包含形成網狀平面或類梳平面的透光電極（見諸如 JP-A 2003-133589）。然而，在透光電極設有不吸收發射光之開孔的狀況中（提供開孔會負面降低歐姆電極面積），會產生裝置操作電壓（正面電壓）增加的問題。縱使使用具有開孔的透光電極，仍須形成歐姆電極，以獲得實用水平的正向電流（諸如約 3 V），因而需要形成該電極的技術。

本發明克服前揭技藝缺點，並提供含有量子井結構發光層的 GaN 化合物半導體發光裝置，以獲得光強度發射。本發明亦提供含有接觸層的 GaN 化合物半導體發光裝置，該接觸層具有適當載體濃度與厚度，以避免諸如不希冀的正向電壓增加，特指在設有具開孔的透光電極中。

【發明內容】

本發明提供氮化鎵化合物半導體發光裝置，其包含：結晶基板；由氮化鎵化合物半導體阻障層與氮化鎵化合物半導體井層所形成的量子井結構發光層，該發光層設於結晶基板的第二表面上；由 III-V 族化合物半導體形成的接觸層，以提供將裝置操作電流供應至發光層的歐姆電極；以及設於接觸層上並具有開孔的歐姆電極，其中歐姆電極對於射自發光層的光具有透光性，且井層包含大厚度的厚部位與小厚度的薄部位。

在首揭氮化鎵化合物半導體發光裝置中，井層含厚度 1.5 nm 至 0 nm 的部位。

在首揭或第二揭示的氮化鎵化合物半導體發光裝置中，阻障層或井層皆摻雜質元素。

在第三揭示的氮化鎵化合物半導體發光裝置中，僅阻障層摻雜質元素。

在第四揭示的氮化鎵化合物半導體發光裝置中，僅添加至阻障層的預定雜質元素為矽。

在首揭至第五揭示之氮化鎵化合物半導體發光裝置中的任一個，接觸層摻有 n 型雜質元素，並具有 5×10^{18} 至 $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的載體濃度。

在首揭至第六揭示之氮化鎵化合物半導體發光裝置中的任一個，接觸層摻有 p 型雜質元素，並具有 1×10^{17} 至 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的載體濃度。

在第七揭示的氮化鎵化合物半導體發光裝置中，接觸層摻有 p 型雜質元素，並具有 1×10^{17} 至 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的載體濃度。

在首揭至第八揭示之氮化鎵化合物半導體發光裝置中的任一個，接觸層具有 1 至 3 微米厚度。

在首揭至第九揭示之氮化鎵化合物半導體發光裝置中的任一個，歐姆電極在發射光波長具有 30% 或更高穿透率。

在首揭至第十揭示之氮化鎵化合物半導體發光裝置中的任一個，歐姆電極具有 1 至 100nm 厚度。

在首揭至第十一揭示之氮化鎵化合物半導體發光裝置中的任一個，更包含用於將射自發光層的光反射至外部的金屬反射鏡，該鏡設於結晶基板的第一表面上，其中該金屬反射鏡包含與含於歐姆電極中的金屬相同的金屬材料。

在第十二揭示之氮化鎵化合物半導體發光裝置中的任一個，金屬反射鏡具有含金屬膜的複層結構，其中該金屬膜包含與含於歐姆電極中的金屬相同的金屬材料。

在首揭至第十三揭示之氮化鎵化合物半導體發光裝置中的任一個，金屬反射鏡包含單一金屬膜或合金膜，其由選自銀、鉑、銻及鋁所組成之族群中的至少一種所形成。

在首揭至第十四揭示之氮化鎵化合物半導體發光裝置中的任一個，金屬反射鏡為複層膜形式。

本發明亦提供使用首揭至第十五揭示之氮化鎵化合物半導體發光裝置中的任一個的發光二極體。

本發明更提供使用前揭發光二極體或首揭至第十五揭示之氮化鎵化合物半導體發光裝置中的任一個的燈泡。

本發明提供可在低操作電壓作業的發光裝置，且其具有包含獲得高發射輸出之開孔的透光電極。

【實施方式】

執行本發明的最佳模式

具有量子井結構的本發明發光層可形成於作為基板的藍寶石或六方單晶（諸如六方碳化矽（4H 或 6H）、纖鋅礦氮化鎵或氧化鋅（ZnO））上。此外，GaP, GaAs, Si 等閃鋅礦半導體單晶亦可作為基板。作為發光層的氮化鎵化合物半導體層通常形成在與該化合物半導體晶格失配的基板上，而非六方或立方 GaN 基板。為減緩與基板的晶格失配，低溫緩衝層可設於基板與具量子井結構的發光層之間。或者，作為發光層的氮化鎵化合物半導體層可藉由以播種製程（SP）為基礎的晶格失配磊晶成長技術而形成，因而無須低溫緩衝層。SP 法特別有用，因為具有大幅晶格失配的單晶膜（諸如氮化鋁（AlN））可在得形成氮化鎵化合物半導體層的高溫下直接成長於基板（諸如藍寶石）上。SP 法可簡化成長發光層或其他層的步驟，因而提高氮化鎵化合物半導體發光裝置的產能。

本發明的發光層最好藉由諸如 n 型或 p 型氮化鎵化合物半導體的底層所提供。例如，發光層設在已於約 600℃ 或更

低溫成長在低溫緩衝層上的 n 型 GaN 底層上方。或者，發光層設在已藉由前揭 SP 法直接成長於基板（諸如藍寶石）上的 n 型 GaN 層上方。在使用 SP 法進行成長的狀況中，n 型 GaN 層最好為未摻雜或具有 1×10^{17} 至 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 的低載體濃度。底層最好具有 1 微米或更厚的厚度，5 微米或更厚為更佳。

能隙不小於含在具量子井結構之發光層中的阻障層的 GaN 化合物半導體底層亦可作為下覆層。亦作為覆層的底層可由氮化鋁鎵（組成化學式： $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{N}$ ($0 \leq X, Y \leq 1, X + Y = 1$)）、GaN、 $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ ($0 \leq Y, Z \leq 1, Y + Z = 1$) 或類似材料所形成。下覆層可含週期複層結構，其中具有不同晶格常數與不同組成比例的 GaN 化合物半導體層係交錯堆疊。例如，異質複層結構（ $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{N}$ ($0 \leq X, Y \leq 1, X + Y = 1$) 與 $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ ($0 \leq Y, Z \leq 1, Y + Z = 1$) 交錯堆疊，可避免錯位差排擴散至上部位，而提供高結晶度的發光層。整個下覆層可由複層結構形成，以得前揭效果。藉交錯堆疊具有不同摻雜雜質量或不同厚度的 GaN 化合物半導體層亦可形成複層結構。

形成歐姆電極的接觸層可接合於下覆層。GaN 化合物半導體下覆層的導電類型同 GaN 化合物半導體接觸層。例如，n 型接觸層設於 n 型底層上。在該狀況中，當接觸層由能隙不小於含在具量子井結構之發光層中的阻障層的 GaN 化合物半導體底層所形成時，所形成的接觸層亦作為下覆層。n 型接觸層設於 n 型下覆層上。接觸層載體濃度同下覆層，但最好大於下覆層，以形成具低接觸電阻率的歐姆接觸電極。n 型接觸層最好由具有 5×10^{18} 至 $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$

載體濃度的 n 型 GaN 化合物半導體所形成。藉由將載體濃度控制在前揭範圍內，即使使用具有開孔的透光電極，仍可製造正向電壓低達 2.9V~3.3V（在 20 mA 的正向電流）的 GaN 化合物半導體發光裝置。

接觸層可設於下覆層底下。然而，靠近與接觸層晶格失配之結晶基板的接觸層位置係因與結晶基板晶格失配而變成高晶體缺陷密度層（諸如錯位差排密度）。當歐姆電極設於具有諸多晶體缺陷的該結晶層上時，無法製造具有極佳電性的歐姆電極。例如，會形成具有差排所造成之局部故障的電極，此非所希冀。當接觸層由含非氮化物 V 族元素的 GaN 化合物半導體所形成時（諸如組成化學式：

$\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}_{1-a}\text{M}_a$ （ $0 \leq X, Y, Z \leq 1$ ， $X + Y + Z = 1$ ， $0 \leq a < 1$ ，其中 M 代表除了氮以外的 V 族元素），可形成包含些微局部故障部位的歐姆電極。當 n 接觸層厚度增加至 1 微米或更厚時，可降低正向電壓。然而，當厚度增加至 3 微米或更厚時，表面平坦度受損，而未能將歐姆電極接合於表面。

具有量子井結構的發光層設於下覆層或下接觸層上。例如，發光層具有含 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{N}$ （ $0 \leq X, Y \leq 1$ ， $X + Y = 1$ ）阻障層及 $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ （ $0 \leq Y, Z \leq 1$ ， $Y + Z = 1$ ）井層的單或多個量子井結構。雖各阻障層載體濃度可異於各井層，惟 GaN 化合物半導體阻障層與 GaN 化合物半導體井層的導電類型須相配。根據本發明，井層具有同習用井層的不均厚度。亦即，本發明的井層由具不均厚度（具有厚部位與薄部位）的 GaN 化合物半導體所形成。特佳地是，井層由含銻的 GaN 化合物半導體形成，並含厚度 1.5 nm 或更薄的部位。含厚度 1.5 nm 或更薄的部位無須均勻分佈於各井層，而可集中

於各井層的局部。井層無須為連續層，可包含不存在井層的區域（亦即，厚度為 0 nm 的井層部位）。

具不均厚度的該局部薄化井層可藉由在膜形成時供應 V 族源於膜形成系統中的方法而形成。例如，由 $\text{Ga}_Y\text{In}_Z\text{N}$ ($0 \leq Y, Z \leq 1, Y + Z = 1$) 組成的局部薄化井層係藉由時間獨立方式改變氮化物源供應速率而形成，並非在膜形成時以固定速率供應氮源。特別當氮源供應速率週期性減小時，可有效形成薄化井層。例如，在形成井層的成長期間，氮源供應速率係逐秒減小或增加。縱使當供應速率減小時，仍可維持在避免氮由成長層昇華的特定供應速率水平。當在氮源匱乏條件下連續進行長時間成長時，諸多薄部位可能形成於單一井層中。井層薄化的一可能機制如下。當氮（成分元素）匱乏持續一段長時間時，會促成 III 族元素蒸氣的凝結而形成液滴，且液滴形成會於液滴附近提供缺乏 III 族元素的條件，因而減小形成膜厚。在諸如穿透式顯微鏡（TEM）下（藉由剖面 TEM 技術），可觀察到井層中之薄部位的存在，並可觀察井層剖面而判斷薄部位厚度。

或者，藉由在井層成長初始階段刻意降低膜形成系統的 V 族元素（諸如氮）供應速率，亦可形成具有不均厚度的井層。例如，當藉由使用三甲基鎵（分子式 $(\text{CH}_3)_3\text{Ga}$ ）及作為成分元素源之氨（分子式 NH_3 ）的大氣壓 MOCVD 或減壓 MOCVD 而形成 $\text{Ga}_Y\text{In}_Z\text{N}$ ($0 \leq Y, Z \leq 1, Y + Z = 1$) 井層時，所謂的 V / III 比（供至膜形成系統的 V 族元素源濃度對供至膜形成系統的 III 族元素源濃度；亦即， $\text{NH}_3 / (\text{CH}_3)_3\text{Ga}$ 濃度比）係控制於 1×10^3 至 1×10^4 ， 2×10^3 至 5×10^3 為更佳。在該相當低 V / III 比下的膜形成最好在開始成長至達 1/3 有

利厚度的時間內進行。倘在低 V/III 比下成長至有利膜厚，則不會得到希冀薄層，僅富含 III 族元素的液滴形成於下覆層、接觸層或阻障層上。

當使用前揭任一成長技術時，具含薄部位與不均厚之井層的量子井結構的發光層會降低 GaN 化合物半導體發光裝置的正向電壓。例如，縱使當使用穿經開孔而接觸於接觸層或相似層的習用透光電極（諸如具有 70% 開孔百分率的透光電極），仍可提供在 20 mA 正向電流時具有 3.3 V 或更低正向電壓的 GaN 化合物半導體發光裝置。在此使用的“開孔百分率”意指開孔區域投影於已形成電極作為表面區域之薄層表面區域的百分率。

使用具有由刻意摻雜（雜質添加）井層或阻障層所製量子井結構的發光層，更可降低正向電壓。例如，當使用具有量子井結構（含摻 n 型雜質元素之井層）的發光層時，便可製造具低正向電壓的 GaN 化合物半導體發光裝置。具低電阻率的摻雜井層可降低正向電壓。當形成發光層的量子井結構由有限數量的井層製造時，具有低電阻率（藉由摻雜）的井層數越多，正向電壓降低的效果就越大。然而，添加摻質會損傷井層結晶度，並可能發射不希冀波長的光。因此，當使用 n 型井層時，最靠近 p 型覆層的井層以未摻雜為佳（亦即，未刻意添加雜質的未摻雜井層）。

如前所述，當具量子井結構的發光層含有摻雜井層時，可降低正向電壓。然而，可能發射不希冀波長的光。用於製造發射希冀波長光且具有低正向電壓之 GaN 化合物半導體發光裝置的有效技術為由摻雜阻障層製造具量子井結構的發光層。異於井層的狀況，為製造具低正向電壓且避免

發射波長異變的發光裝置，最有效地是由具低電阻率的摻雜 GaN 化合物半導體製造用於形成量子井結構的阻障層。例如，最好使用摻有平均薄層原子密度 1×10^{17} 至 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 之 IV 族元素且具有低電阻率的 n 型阻障層。

例如，藉由交互堆疊矽摻雜 n 型 GaN 阻障層與未摻雜 $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$ 井層，並重複（5 次）堆疊該疊層於 n 型低電阻率 GaN 接觸層上，而製造具量子井結構的發光層。由於使用發光層的結果，縱使設有具開孔（具前揭百分率開孔）的透光電極時，仍可設置在 20 mA 正向電流下，具有低達 3.3 V 或更低正向電壓的 GaN 化合物半導體發光裝置。倘若使用具低電阻率的摻雜阻障層，縱使當接合於接觸層或下覆層的薄層為阻障層或井層時，仍可達成降低正向電壓的相同效果。

當具有量子井結構的發光層包含具低電阻率並作為阻障層的摻雜 GaN 化合物半導體層時，可降低正向電壓。無論量子井結構之堆疊起始層與堆疊終止層的類型（井層或阻障層）為何，皆可達成該效果。

根據本發明之具有量子井結構（含低電阻率摻質 GaN 化合物半導體阻障層）的發光層可由 MOCVD，或諸如分子束磊晶（MBE）或混成氣相磊晶（VPE）之蒸氣成長方法而形成。摻矽或鍺的阻障層係於層氣相成長期間使用諸如矽烷（分子式： SiH_4 ）、二矽烷（分子式： Si_2H_6 ）或鍺烷（分子式： GeH_4 ）之摻雜氣體而形成。含有 GaN 阻障層與 $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$ 井層的量子井結構最好在 650 至 900°C 形成。當形成這種量子井結構時，阻障層與井層可於相同溫度下形成。當阻障層由含鋁 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ （非 GaN）形成時，係使用高於 GaN 阻

障層成長溫度的成長溫度。

含於量子井結構中之本發明井層具有 1-15 nm 的厚度。阻障層最好具有 10- 50 nm 厚度。阻障層厚度無須依井層厚度作改變。量子井結構約含 5 至 20 個井層。因為本發明井層具有與位置相依的厚度不均勻性，所以增加井層數會提供更多凹凸於具有量子井結構的發光層表面上。因此，在使用厚井層的狀況中，當減少量子井結構的井層數時，平面上層（諸如 p 型上覆層）係形成於發光層表面上。

設於具量子井結構之本發明發光層上及透出發射光之表面上的覆層可由 $Al_xGa_yIn_zN_{1-a}M_a$ ($0 \leq X, Y, Z \leq 1$, $X + Y + Z = 1$, $0 \leq a < 1$, 其中 M 代表除了氮以外的 V 族元素) 所形成。例如，p 型覆層可由摻有作為 p 型摻質之 II 族元素的 Al_xGa_yN ($0 \leq X, Y \leq 1$, $X + Y = 1$) 所形成。p 型覆層最好由能隙大於量子井結構中之阻障層的半導體材料形成，以免注入發光層的電子溢流，並有效獲得提供發光層中之光發射的輻射再結合。由能隙大於量子井結構中之阻障層的半導體材料形成並設於透出發射光之表面上的上覆層對於由發光層透出光為有效的。上覆層最好為具高載體濃度的低電阻率層，以有效注入在發光層中進行輻射再結合的載體。

類似前揭下覆層的狀況，具有複層結構（具有不同晶格常數與不同組成比例的半導體薄層係交互堆疊）的上覆層可避免差排由下部位傳至上部位。具有複層結構（具有不同摻質濃度與不同厚度的 GaN 化合物半導體層係交互堆疊）的上覆層亦可避免差排穿透整個薄層。最佳地是該複層結構藉由堆疊厚度等於或小於形變臨界厚度的薄層而製

造。例如，複層結構由 5 nm 厚度的 GaN 層及 5 nm 或更小厚度的 $\text{Ga}_Y\text{In}_Z\text{N}$ 層所組成，其中 In 組成比例大於 0 但小於 0.2， $0 < Y \leq 0.2$ ， $Y + Z = 1$ 。

p 型上覆層可由磷硼化物半導體材料形成，其為含作為成分元素之硼 (B) 與磷 (P) 的 III - V 族化合物半導體材料。特別地是，藉由 MOCVD 成長並在室溫具有 3.5 eV 或更高能隙的磷化硼 (BP) 對於短波發射光具有足夠穿透率，而適於形成低電阻率 p 型覆層。此外，BP 易於以剛成長狀態提供低電阻率層（未摻雜）。換言之，雖在完成氣相成長後 $\text{Al}_x\text{Ga}_Y\text{In}_Z\text{N}$ 須藉由加熱而電氣啟動摻雜 p 型雜質元素（亦即轉換成受體）的繁雜步驟，惟磷易於以簡單方式提供 p 導電型的低電阻層。

具較低接觸電阻率的歐姆電極可藉由居間的低電阻接觸層而形成於上覆層上，並非直接形成於上覆層上。因此，低電阻層適於形成具低正向電壓的 GaN 化合物半導體發光裝置。伴隨上覆層的接觸層係由導電類型相反於伴隨下覆層之接觸層的 GaN 或 BP 化合物半導體層所形成。用於形成透光具開孔歐姆電極之接觸層的導電類型同於上覆層（除非希冀形成限電型 LD 或阻電層）。用於形成 p 型歐姆電極的 p 型 GaN 化合物半導體接觸層具有 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 至 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的載體濃度。當 p 型接觸層由 BP 形成時，載體濃度最好為 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 至 $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 。由任何材料形成的接觸層適於具有 0.1 至 1 微米後。

具相應導電類型的歐姆電極係形成於具特定導電類型的各接觸層上，並與上或下覆層接觸，而形成發光裝置。由 GaN 化合物半導體材料形成之 n 型接觸層的上方可設有

由普遍使用之金屬材料形成的 n 型歐姆電極（負電極），其中該 n 型歐姆電極由 Al, Ti, Ni, Au, Cr, W 或 V 所形成。可堆疊由金屬材料或合金材料所形成的複數個金屬膜，以形成總厚度約 1 微米的金屬堆疊膜。所形成的 n 型歐姆電極亦作為襯墊電極。當厚度 1~100 nm 的金屬薄膜形成時，該膜作為有效傳送發射光至外部的透光歐姆電極。

設於 p 型接觸層上的 p 型歐姆電極（正電極）可由金屬材料形成，諸如 Pt, Pd, Au, Cr, Ni, Cu 或 Co。可單獨或組合使用金屬膜，以形成正電極。作為透光電極的金屬電極膜厚度要小，以形成具有高穿透率的透光電極。然而，當金屬電極膜厚度減小時，裝置工作電流的電阻率會增加，且膜在電極形成製程期間易於受損，此為缺點。因此，形成透光電極的金屬膜或合金膜對於發射光要有 30~80% 的穿透率。透光 p 型歐姆電極最好由 1~100 nm 厚的金屬膜或合金膜所形成。具該厚度的金屬膜可由諸如高頻濺鍍或真空蒸氣沈積之薄膜形成法所形成。當透光電極由複層結構電極形成時，覆層結構總厚最好限制於 100 nm 或更薄。當完成電極時，設於 p 型 GaN 化合物半導體層上的部分 p 型歐姆電極（該部分接觸於 GaN 半導體層表面）最好由金或金合金膜形成。

由作為元件的金屬氧化膜形成電極，便可提高 p 型歐姆電極的發射光穿透率。可形成具有高光穿透率之 p 型歐姆電極的金屬氧化物實例包含氧化鎳（NiO：不限於 1：1 的化學計量）及氧化鈷（CoO：不限於 1：1 的化學計量）。任何這些金屬氧化膜最好堆疊於設在 GaN 或 BP 化合物半導體接觸層上的金或金合金膜上方，以接觸於接觸層。具含

金屬氧化膜之複層結構的該電極可藉由依序堆疊金層與鎳或鈷層，並於含氧氣氛中氧化所形成的堆疊本體而形成。或者，以反堆疊順序形成具有接觸於接觸層之金層與設於金層上之鎳或鈷層的透光電極；亦即，沈積鎳或鈷膜，堆疊金膜並氧化堆疊本體。堆疊順序的彈性歸功於過渡金屬（諸如鎳或鈷）易於進行氧化（相較於金）且易於擴散。

由傳遞射自發光層之光線的金屬膜所形成的透光電極本身可均勻設於位在透出發射光之表面上的整個接觸層表面。然而，當透光電極設有不吸收但僅傳遞來自發光層之光線的開孔時，所射出的光可更有效地透至外部。具開孔的透光電極係藉由諸如選擇性圖樣化方法與選擇性蝕刻方法移除形成透光電極的部分金屬膜而形成。例如，提供由電極上平面觀看時為圓形、橢圓或多邊形的開孔於長方形圖案中，便可形成網狀透光金屬膜電極。當提供由電極上平面觀看時為正方形、長方或菱形的開孔於長方形圖案中時，便可形成格狀透光金屬膜電極。透光電極可具有其他平面視圖形狀。實例包含具有帶狀部位及分歧自帶狀部位之細線部位的梳子狀；帶狀部位由用於導線接合的襯墊電極輻射向外延伸的圖案；以及同心圓圖案。

無論使用那個透光電極平面視圖形狀，皆須設置開孔，以使裝置工作電流可經接觸層而均勻擴散於整個發光層。因此，開孔以外的部位皆須彼此相連，以建立電連接。本發明的透光電極本身具有極佳透光性，因為透光電極開孔以外的電極部位係由得以穿透發射光的金屬薄膜形成。除前揭特性外，透光電極藉由所設開孔而更有效將發射光傳遞至外部。透光性隨開孔總投影表面積增加而增加，且該

增加的透光性有助於製造高發射強度 GaN 半導體發光裝置。然而，因為設有電極的面積減少，所以裝置工作電流可擴散的面積便會減少。因此，開孔總表面積 % 最好為 30~80% 的接觸層面積，以便充分擴散裝置工作電流於薄層，並維持對發射光的高穿透率。

在具開孔的透光電極中，形成歐姆電極之剩餘金屬膜的最小水平寬度（橫向寬度）及開孔水平寬度係經適當控制，因而可提高發射光透光效率。術語“金屬膜的水平寬度”意指為相鄰開孔所夾合之部分金屬電極膜的寬度。換言之，水平寬度意指二正對開孔間的距離。當開孔為圓形時，開孔水平寬度相當於直徑，而當開孔為正方或多邊形時，水平直徑相當於最長對角線。形成歐姆電極之剩餘金屬膜的最小水平寬度（橫向寬度）最好為 10 微米或更小，3 至 0.5 微米為更佳。雖然金屬膜可藉由電子束微影加工成水平寬度小於 0.5 微米的微細圖案，惟所形成的圖案不適於製造為大電流所操作之大型 LED（一邊 $\geq 0.5\text{ mm}$ ）的歐姆電極，因為金屬膜會為大電流（諸如 $> 100\text{ mA}$ ）通過而過度加熱（因阻礙電流的電阻增大），而可能破壞微細線路部位。開孔最大水平寬度為 50 微米或更小，20 微米或更小為較佳，8 微米或更小為更佳。為提供一致精確度的開孔，寬度以 0.5 微米或更大為佳。

用於提供裝置工作電流的引腳可接合於部分的本發明透光電極（本身對發射光具有透光性）。通常，習用接合方法包含：移除部分透光電極而暴露接觸層與其他層（若有必要），形成用於接合在暴露半導體層上的襯墊電極，及接合引腳於襯墊電極。相對地，因為本發明電極設有前

揭開孔，所以引腳可穿經開孔做接合，無須襯墊電極或將引腳接合於襯墊電極，便可將裝置工作電流直接供應至透光電極。各開孔係為剩餘透光金屬膜電極所圍繞，並向下進入電極表面。因此，導線引腳可插入向下部位，並為金屬膜電極材料的壓力所接合。

固定引腳的開孔可為透光電極的任一開孔。較佳方式係引腳在盡可能遠離相反導電類型之歐姆電極的開孔上，接合於同一導電類型的歐姆電極。在具正方平面形狀之 GaN 化合物半導體裝置的狀況中，當歐姆電極存在於正方形的一個角落時，引腳會接合於存在裝置對角線之其他歐姆電極的任一開孔。在歐姆電極設於正方形邊長中點附近的狀況中，引腳接合在正對邊中點附近區域的開孔。在歐姆電極設於一角落附近區域的狀況中，引腳接合在沿著非形成角落之邊緣的開孔。或者，無論歐姆電極設置位置為何，引腳可接合在透光電極中心位置的開孔。相對於刻意移除部分所形成透光電極以形成襯墊電極的習用方法，根據本發明，引腳可以簡易方式接合於任一開孔。暴露接觸層表面用以固定襯墊電極於接觸層上。

除提供由本發明透光金屬膜所形成的透光歐姆電極於發射光透光面以外，將射出光反射至裝置上表面與側表面的反射鏡設於結晶基板背面，藉此製造可高效率透出發射光的 GaN 化合物半導體發光裝置。術語“背面”意指設有發光裝置複層結構之基板表面的正對表面。當使用傳送射自發光層之光線的光傳送結晶基板時，提供反射膜於背面會使發射光的透光效率明顯提高。用以反射發射光至外部的反射膜可由金屬材料所形成，諸如 Ag, Pt, Rh 或 Al。

特別當反射鏡的形成金屬或合金材料膜相同於透光歐姆電極時，高效率透出發射光的 GaN 化合物半導體發光裝置便可以簡易方式製造。最好使用金屬（諸如 Pd, Rh 或 Pt）膜作為形成透光電極與反射鏡的材料。由該金屬膜形成的複層結構反射鏡係作為反射發射光至外部的反射鏡。在用於製造高反射效率複層結構反射鏡的較佳模式中，複層結構的金屬膜同透光電極，且反射鏡直接沈積於結晶基板背面（亦即，反射鏡正對透光電極）。使用複層結構便可在複數個薄層反射發射光，而提高發射光透至外部的效率。形成複層結構反射鏡的各金屬膜係依射自發光層的光波長而改變。為反射較長波長的發射光，複層結構反射鏡係由較厚金屬膜製造。形成複層結構反射鏡之金屬膜的較佳厚度為發射光波長（ λ ）除以 4（亦即 $\lambda / 4$ ）。

包含本發明不均厚度（亦即包含具大厚度之厚部位與具小厚度之薄部位）井層之量子井結構的發光層可提供高強度發光。

含摻雜質元素阻障層之量子井結構的發光層可降低正向電壓。

設於將射自量子井結構發光層之光透至外部的表面上的透光電極的開孔不會吸收射自發光層的光，並允許光透至外部。開孔最好朝下，因為插入開孔的引腳係為開孔周圍的剩餘歐姆金屬膜部位所可靠地接合。

設於結晶基板背面並由同形成透光歐姆電極之金屬材料膜所形成的金屬反射鏡得將發射光有效反射至外部。

實例 1

第 2 與 5 圖為根據本發明半導體發光裝置的剖面圖。如

第 2 圖（第 5 圖）所示，發光裝置包含藍寶石基板 8（10）及堆疊半導體基板，其中 AlN 緩衝層 7（11）、未摻雜 GaN 層 6（12）、n 型 GaN 接觸層 5（13）、n 型 InGaN 覆層 4（14）、含 InGaN 井層與摻矽 GaN 緩衝層之複層量子井結構的主動層 3（15）、p 型 AlGaIn 覆層 2（16）及 p 型 GaN 接觸層 1（17）係依序堆疊。p 型 GaN 接觸層 1（17）上堆疊有金形成的第一層與氧化鎳形成的第二層，而形成堆疊層，以形成格狀圖案的歐姆電極（18）。第 1 圖為第 5 圖所示之半導體發光裝置的平面圖。

在該半導體結構中，n 型 GaN 接觸層 13 具有 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的載體濃度及 2 微米厚度。主動層 15 中的各 GaN 阻障層摻有濃度約 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的 Si。p 型 GaN 接觸層 17 具有 $8 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 的載體濃度。

形成透光電極 18，以呈現第 1 圖所示的格狀圖案。開孔寬度為 $7.5 \mu\text{m}$ ，且微細線路部位寬度為 $3 \mu\text{m}$ 。開孔總面積對相應表面總面積的百分比約為 50%。

第 1 圖所示半導體發光裝置的透光電極係由下列步驟製造。首先，藉由習用微影技術與習用剝除技術而將金形成的第一層與氧化鎳形成的第二層過量設於形成透光電極於其的 p 型 GaN 層區域。當形成第一與第二層時，半導體基板置於真空沈積設備中，並在 3×10^{-6} Torr 將金氣相沈積於 p 型 GaN 層（厚度：7.5 nm）上，再於相同蒸氣艙中氣相沈積鎳（厚度：5 nm）。經沈積金與鎳的基板由真空艙移除，並進行所謂的剝除製程，以形成第 2 圖所示的圖樣化薄膜。因此，由第一層（金）與第二層（氧化鎳）組成的薄膜設於 p 型 GaN 層上。該薄膜具有黑灰色金屬光澤，且無

透光性。在 450°C 氣氛（含 5% 氧的氮氣流）的退火爐中將基板加熱 10 分鐘。退火後，基板的透光電極為淺藍黑灰色並具透光性。顯然，進行熱處理亦為形成歐姆接觸於電極與半導體間。

其次，藉由習用微影技術形成具有 Ti/Al/Ti/Au（由半導體表面）層狀結構的 p 型電極接合墊 19。使用具切除部位的圖案設置形成接合墊的區域。

藉前揭方法所製造的透光電極對 470 nm 的光具 60% 透光率。其係使用藉由加工相同透光電極以具有適當尺寸之用於判斷穿透率的試樣判斷穿透率。

其次，以乾式蝕刻暴露出設有型電極的部分 n 型層。除形成前揭 p 型電極外，具 Ti/Au 結構的 n 型電極 20（由半導體層）係形成於暴露部位。

電極以前揭方式形成於其上的晶圓背面係經研磨與拋光，以調整晶圓厚度至 80 μm 。使用雷射畫線器標出薄化晶圓的堆疊層部位後再破裂，以形成裝置晶片（350 μm × 350 μm ）。各晶片置於引腳架上並導線接合，以製造發光二極體。在 20 mA 電流，二極體具有 5 mW 發射輸出及 2.9V 正向電壓。當二極體通電發光時，在顯微鏡下觀察透光電極。結果，各晶片藉由透光電極獲得均勻光發射。

對照實例 1

使用實例 1 的相同堆疊結構，除具有 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 載體濃度的 n 型接觸層外，其係使用含於主動層與具 $8 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 載體濃度之 p 型接觸層中的未摻矽阻障層。使用實例 1 所用的相同技術，將相同圖案的透光電極形成於半導體堆疊基板上。在 20 mA 電流，所製造的元件具有 5 mW 發射輸

出及 4.0V 正向電壓。

實例 2

在實例 2 中，Al 反射膜 21 設於實例 1 的相同晶片背面。將各切割晶片置於黏性乙烯聚合物片材上而使晶片背面向上，置片材於氣相沈積設備並氣相沈積 Al，以形成反射膜。所製元件在 20 mA 具有 2.9 V 的裝置工作電壓，幾乎相當於實例 1 所獲者。發射輸出升至 10 mW。

實例 3

在實例 3 中，除 Ni 改成 Co 而製造 Au/CoO 電極於具有實例 1 之相同堆疊結構的晶圓上以外，重複實例 1 的步驟。所製元件在 20 mA 電流具有 2.95 V 的裝置工作電壓，幾乎相當於實例 1 所獲者。發射輸出為 5 mW。使用無用於提供接合墊之切除部位的遮罩形成實例 3 的格狀透光電極。然而，導線接合的進行無問題。

實例 4

在實例 4 中，重複實例 1 的步驟，除了使用具有 $6 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 載體濃度與 $3 \mu\text{m}$ 厚度的 n 型 GaN 接觸層、含 3 nm 厚部位與 1.5 nm 或更薄部位之複量子井結構的主動層及具有 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 載體濃度的 p 型 GaN 接觸層，以製造 Au/NiO 電極於具有實例 1 之相同堆疊結構的晶圓上。透光電極圖案改變成第 3 圖的類梳狀。所製元件在 20 mA 電流具有 3.3 V 的裝置工作正向電壓。發射輸出為 6 mW。

實例 5

在實例 5 中，以類似實例 1 的方式，在具有實例 1 之相同堆疊結構的晶圓上濺鍍而製造 0.5 nm 厚度的 Pt 電極。透光電極圖案改變成第 4 圖的蛛網狀。所製元件在 20 mA 電

流具有 3.1 V 的裝置工作正向電壓。發射輸出為 6 mW。

工業應用

本發明的發光裝置雖具含開孔（用於獲高發射輸出）的透光電極，惟可在低工作電壓操作，並可作為 LED、雷射及類似物。

【圖式之簡單說明】

第 1 圖為使用於實例 1,2,3 的電極結構平面圖。

第 2 圖為根據本發明之發光裝置堆疊結構實例的剖面圖。

第 3 圖為用於實例 4 之電極結構的平面圖。

第 4 圖為用於實例 5 之電極結構的平面圖。

第 5 圖為根據本發明之發光裝置堆疊結構另一實例的剖面圖。

【主要元件符號說明】

8, 10	藍寶石基板
7, 11	緩衝層
6, 12	未摻雜氮化鎵層
5, 13	n 型氮化鎵接觸層
4, 14	n 型氮化銦鎵覆層
3, 15	主動層
2, 16	p 型氮化鋁鎵覆層
1, 17	p 型氮化鎵接觸層
18	歐姆電極
19	p 型電極接合墊
20	n 型電極
21	Al 反射膜

五、中文發明摘要：

一種氮化鎵化合物半導體發光裝置，其包含：結晶基板（10）；由氮化鎵化合物半導體阻障層與氮化鎵化合物半導體井層所形成的量子井結構發光層（15），該發光層設於結晶基板的第二表面上；由Ⅲ-V族化合物半導體形成的接觸層（17），以提供將裝置操作電流供應至發光層的歐姆電極；以及設於接觸層上並具有開孔的歐姆電極（18），其中歐姆電極對於射自發光層的光具有透光性，且井層包含大厚度的厚部位與小厚度的薄部位。

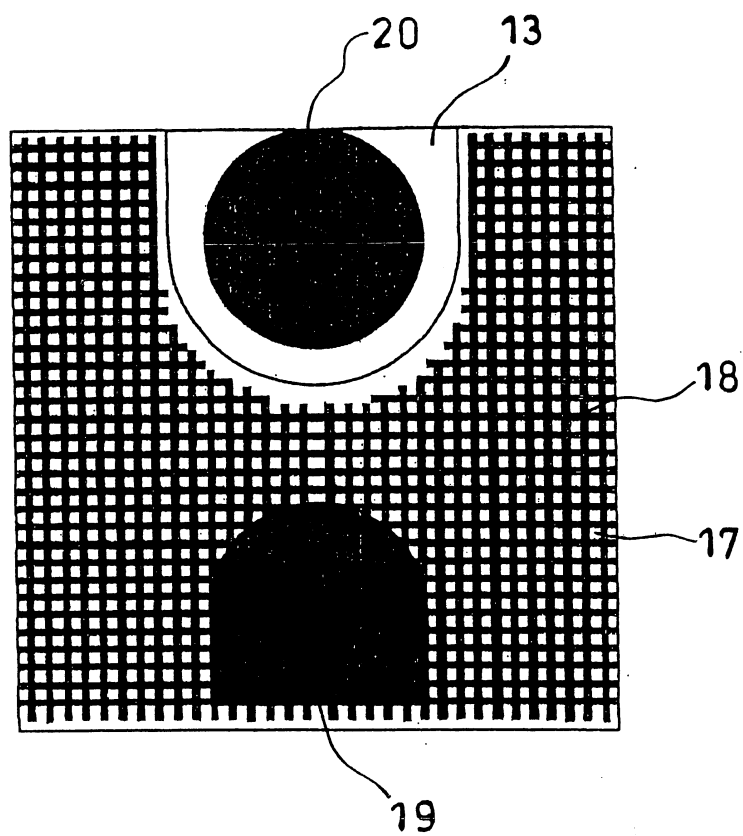
六、英文發明摘要：

A gallium nitride compound semiconductor light-emitting device includes a crystalline substrate (10), a light-emitting layer (15) of a quantum well structure which is formed of a gallium nitride compound semiconductor barrier layer and a gallium nitride compound semiconductor well layer, which light-emitting layer is provided on a second side of the crystalline substrate, a contact layer (17) formed of a Group III-V compound semiconductor for providing an Ohmic electrode for supplying device operation current to the light-emitting layer, and an Ohmic electrode (18) which is provided on the contact layer and has an aperture through which a portion of the contact layer is exposed. The Ohmic electrode exhibits light permeability with respect to light emitted from the light-emitting layer. The well layer contains a thick portion having a large thickness and a thin portion having a small thickness.

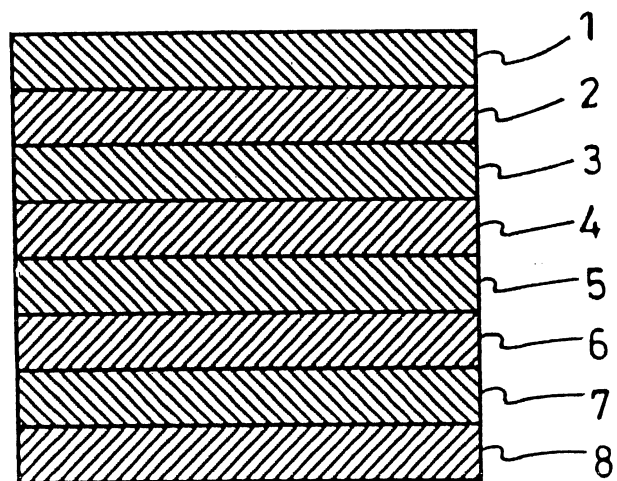
十一、圖式：

1 / 3

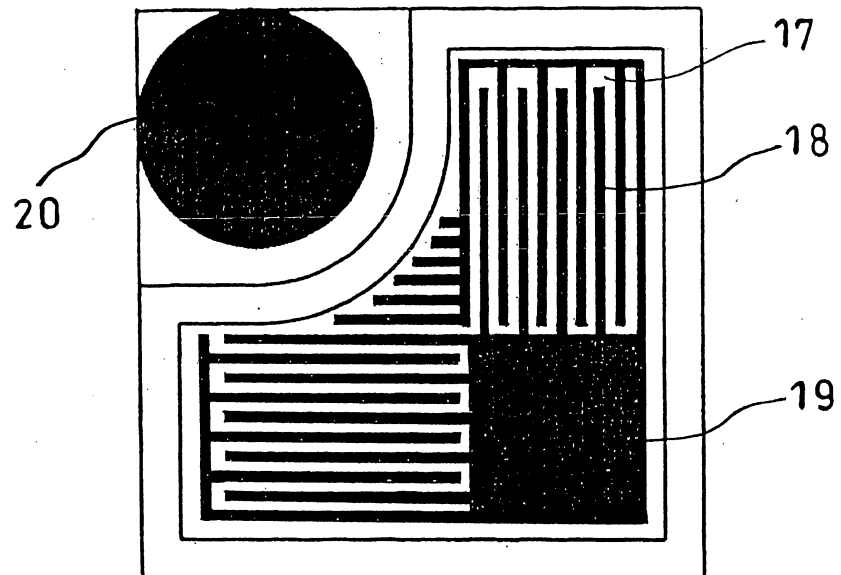
第 1 圖



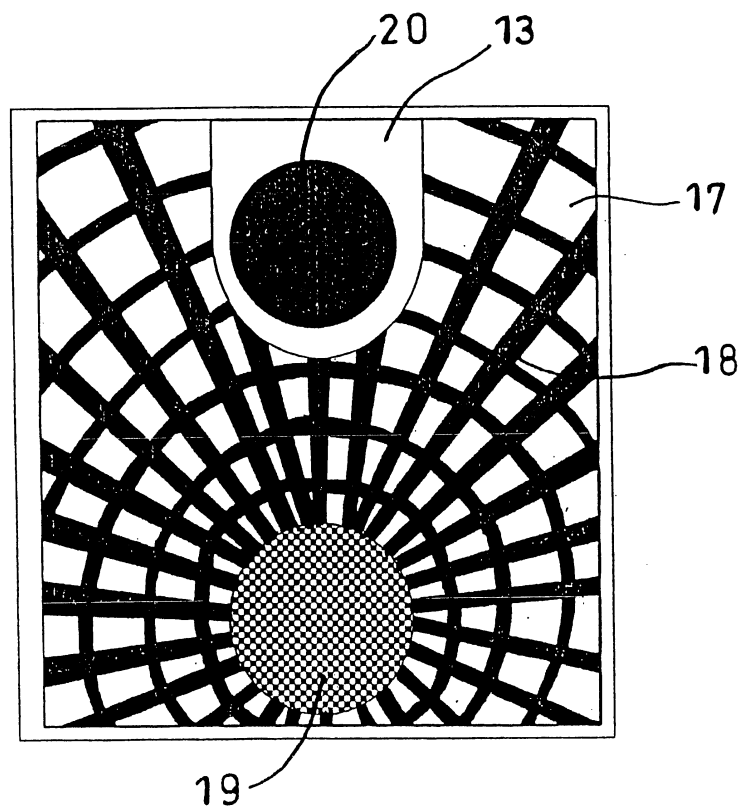
第 2 圖



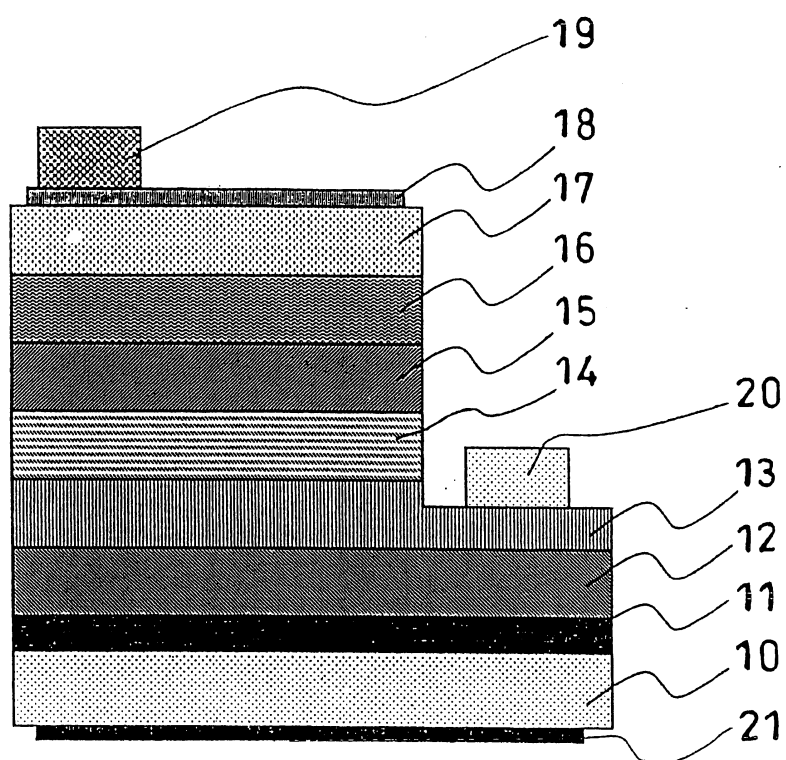
第 3 圖



第 4 圖



第 5 圖



七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 (5) 圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

- | | |
|----|----------|
| 10 | 藍寶石基板 |
| 11 | 緩衝層 |
| 12 | 未摻雜氮化鎵層 |
| 13 | n型氮化鎵接觸層 |
| 14 | n型氮化銦鎵覆層 |
| 15 | 主動層 |
| 16 | p型氮化鋁鎵覆層 |
| 17 | p型氮化鎵接觸層 |
| 18 | 歐姆電極 |
| 19 | p型電極接合墊 |
| 20 | n型電極 |
| 21 | Al反射膜 |

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

第 94102846 號「氮化鎵系化合物半導體發光裝置」專利案

(2006 年 5 月 12 日修正)

十、申請專利範圍：

1. 一種氮化鎵系化合物半導體發光裝置，包含：

由氮化鎵系化合物半導體阻障層與氮化鎵系化合物半導體井層所形成的量子井結構發光層（15），該發光層設於結晶基板（10）的表面側；

由設於該發光層上之氮化鎵系化合物半導體形成的接觸層（17）；及

設於接觸層上且對來自發光層的光具有透光性之歐姆電極（18），

其特徵為，該井層係為在一個層中部分地包含大厚度的厚部位與小厚度的薄部位，薄部位之厚度為 0 nm 至 1.5 nm 的範圍，而阻障層摻雜有雜質元素。

2. 如申請專利範圍第 1 項之氮化鎵系化合物半導體發光裝置，其中添加至阻障層的雜質元素為矽。

3. 如申請專利範圍第 1 項之氮化鎵系化合物半導體發光裝置，其中該歐姆電極具有用以暴露接觸層一部份區域的開孔。

4. 如申請專利範圍第 1 項之氮化鎵系化合物半導體發光裝置，其中包含用於將來自發光層的光反射至外部的金屬反射鏡，該鏡設於結晶基板的背面側，且該金屬反射鏡包含選自由銀、白金、鉑、銻及鋁所成之族群中的至少一種的單一金屬膜或合金膜。

5. 如申請專利範圍第 4 項之氮化鎵系化合物半導體發光裝置，其中金屬反射鏡為複層膜形式。

6. 一種發光二極體，其使用如申請專利範圍第 1 至 5 項中任一項之氮化鎵系化合物半導體發光裝置。