

發明專利說明書 200414569

(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：92129083

※ 申請日期：92-10-21

※IPC 分類：H01L 33/00

壹、發明名稱：(中文/英文)

Ⅲ族氮化物半導體、其製造方法及發光二極體

GROUP-III NITRIDE SEMICONDUCTOR DEVICE, PRODUCTION METHOD
THEREOF AND LIGHT-EMITTING DIODE

貳、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

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)

大橋光夫/OHASHI, MITSUO

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 105-8518 Japan

國籍：(中文/英文)

日本/Japan

參、發明人：(共 1 人)

姓名：(中文/英文)

宇田川隆/UDAGAWA, TAKASHI

住居所地址：(中文/英文)

埼玉縣秩父市大字下影森 1505 番地 昭和電工株式會社內

c/o SHOWA DENKO K.K.

1505, Oaza Shimokagemori, Chichibu-shi, Saitama 369-1871 Japan

國籍：(中文/英文)

日本/Japan

肆、聲明事項：

本案係符合專利法第二十條第一項 第一款但書或 第二款但書規定之期間，其日期為： 年 月 日。

◎本案申請前已向下列國家（地區）申請專利 主張國際優先權：

【格式請依：受理國家（地區）；申請日；申請案號數 順序註記】

1. 日本 2002.10.22 特願 2002-306722

2.

3.

4.

5.

主張國內優先權（專利法第二十五條之一）：

【格式請依：申請日；申請案號數 順序註記】

1.

2.

主張專利法第二十六條微生物：

國內微生物 【格式請依：寄存機構；日期；號碼 順序註記】

國外微生物 【格式請依：寄存國名；機構；日期；號碼 順序註記】

熟習該項技術者易於獲得，不須寄存。

玖、發明說明：

(一)發明所屬之技術領域

本發明是關於在結晶基板上具有Ⅲ族氮化物半導體 ($Al_xGa_yIn_{1-(x+y)}N:0 \leq X < 1, 0 < Y \leq 1$ 以及 $0 < X+Y \leq 1$) 結晶層，具備接觸電阻小的歐姆性電極之Ⅲ族氮化物半導體元件。

(二)先前技術

Ⅲ族氮化物半導體元件的一例習知以來已知有氮化鎵 (GaN) 系發光二極體 (LED) 或雷射二極體 (LD) 以及肖特基 (Schottky) 接觸型場效型電晶體 (MESFET) (例如參照專利文獻 1)。這些元件是以具備由氮化鋁 / 鎵 / 銦 ($Al_aGa_bIn_cN:0 \leq a, b, c \leq 1, a+b+c=1$) 混晶 (mixed crystal) 等構成的功能層的疊層構造體為基礎而構成 (例如參照專利文獻 2)。例如包含以在室溫的帶隙 (band gap) 為約 3.4 eV 的 GaN 的氮化鎵 / 銦混晶 ($Ga_bIn_cN:0 < b, c < 1, b+c=1$) 係當作短波長 LED 或 LD 用途的發光層利用 (例如參照專利文獻 3)。在構成疊層構造體的一部分的功能層配設歐姆性接觸的歐姆性電極 (ohmic electrode) 而形成有元件。例如在 n 形的氮化鎵 (GaN) 電子供給層的表面上配設使鈦 (Ti) / 鋁 (Al) 重疊的歐姆性源極 (source) 以及汲極 (drain) 電極而形成有高遷移率 (mobility) 型的場效型電晶體 (例如參照文獻 1)。

而且，構成如上述的Ⅲ族氮化物半導體元件的 $Al_aGa_bIn_cN (0 \leq a, b, c \leq 1, a+b+c=1)$ 混晶層習知係以藍寶石 (sapphire) ($\alpha-Al_2O_3$) 為基板而沉積 (例如參照專利文獻 4)。但是，藍寶石與 $Al_aGa_bIn_cN (0 \leq a, b, c \leq 1, a+b+c=1)$ 混晶

等的晶格的失配 (mismatch) 大。例如藍寶石與纖鋅礦 (Wurtzite) 結晶型 GaN 的晶格失配度約 16% 的話為大 (參照文獻 2)。因此，例如在成長於藍寶石基板上的氮化鎵層的內部起因於兩者間的大晶格失配，達到包含有約 1×10^5 個 / cm^2 左右的多量的差排 (dislocation) (參照文獻 3)。

【專利文獻 1】美國專利第 6,069,021 號說明書

【專利文獻 2】日本特開平 10-56202 號公報

【專利文獻 3】日本特公昭 55-3834 號公報

【專利文獻 4】日本特開平 10-107315 號公報

【文獻 1】赤崎勇編著 [Advanced Electronic I-21 III 族氮化物半導體] 初版 (股) 培風館 1999 年 12 月 8 日, p.288-289

【文獻 2】(Isamu AKASAKI, Hiroshi AMANO, Yasuo KOIDE, Kazumasa HIRAMATSU, and Nobuhiko SAWAKI)、(EFFECTS OF AlN BUFFER LAYER ON CRYSTALLOGRAPHIC STRUCTURE AND ON ELECTRICAL AND OPTICAL PROPERTIES OF GaN AND Ga_{1-x}Al_xN (0 < x ≤ 0.4) FILMS GROWN ON SAPPHIRE SUBSTRATE BY MOVPE) (Journal of Crystal Growth) 1998 年 (荷蘭) 第 98 卷, p.209-219

【文獻 3】赤崎勇編著 [Advanced Electronic I-21 III 族氮化物半導體] 初版 (股) 培風館 1999 年 12 月 8 日, p.211-213

(三)發明內容

但是，如例如在六方晶 (hexagonal) 纖鋅礦結晶型的

GaN 的室溫的帶隙為約 3.4 eV 的話為高，需配設歐姆性接觸電極的 III 族氮化物半導體 ($Al_aGa_bIn_cN: 0 \leq a, b, c \leq 1, a+b+c=1$) 混晶層一般係帶隙高。

因此，很難得到接觸電阻 (contact resistance) 十分低的歐姆性電極。再者，在成長於藍寶石基板上的 $Al_aGa_bIn_cN$ 結晶層中，因在結晶內經由以高密度存在的差排而發生元件動作電流的短路，故有無法形成崩潰電壓 (breakdown voltage) 特性優良的歐姆性電極的問題點。

本發明乃鑒於相關的習知技術的問題點所進行的創作，其課題為提供具備接觸電阻低、不伴隨局部崩潰的歐姆性電極的 III 族氮化物半導體元件。

本發明者們銳意檢討應解決上述課題的結果，發現藉由在 III 族氮化物半導體結晶層上配設低差排密度、結晶性優良的磷化硼結晶層，接觸於該磷化硼結晶層的表面而配置歐姆性電極以解決上述課題，到達完成本發明。

即本發明係提供：

(1)、一種 III 族氮化物半導體元件，具備結晶基板、在同結晶基板上氣相成長的導電性的 III 族氮化物半導體 ($Al_xGa_yIn_{1-(x+y)}N: 0 \leq x < 1, 0 < y \leq 1$ 以及 $0 < x+y \leq 1$) 結晶層、歐姆性電極，其特徵為：

在該 III 族氮化物半導體結晶層與該歐姆性電極的中間配設有導電性的磷化硼結晶層，接觸於該磷化硼結晶層具備有歐姆性電極，

(2)、如上述 (1) 所述之 III 族氮化物半導體元件，其中在

該Ⅲ族氮化物半導體結晶層與該磷化硼結晶層的中間配設有包含硼與磷的非晶質層，

(3)、如上述(1)或(2)所述之Ⅲ族氮化物半導體元件，其中該磷化硼結晶層係由故意未添加雜質的非摻雜的導電層構成，且呈現與該Ⅲ族氮化物半導體層相同的傳導類型，

(4)、如上述(1)至(3)中任一項所述之Ⅲ族氮化物半導體元件，其中在該Ⅲ族氮化物半導體結晶層的{0.0.0.1}-結晶面側配設有該磷化硼結晶層，該磷化硼結晶層為導電性的{111}-結晶層，

(5)、如上述(1)至(4)中任一項所述之Ⅲ族氮化物半導體元件，其中在該磷化硼結晶層的內部，在磷化硼結晶層的<111>-結晶方向包含有疊層缺陷，或包含有以{111}-結晶面為雙晶面的雙晶，

(6)、如上述(1)至(5)中任一項所述之Ⅲ族氮化物半導體元件，其中該磷化硼結晶層的內部的貫通差排以及參差(misfit)差排的合計的密度為 1×10^4 個/cm²以下。

(7)、如上述(1)至(6)中任一項所述之Ⅲ族氮化物半導體元件的製造方法，其中在該結晶基板上藉由有機金屬化學的氣相沉積法使該Ⅲ族氮化物半導體結晶層與該磷化硼結晶層形成，

(8)、一種發光二極體，係由如上述(1)至(6)中任一項所述之Ⅲ族氮化物半導體元件構成，其特徵為pn接合型的雙異質(double hetero)連接構造。

(四) 實施方式

以下參照圖說明本發明的實施形態。此外，本實施形態係用以說明本發明的要旨，只要不特別限定就非限定本發明者。

第 1 圖是顯示與本發明有關的 III 族氮化物半導體元件的一實施形態的剖面圖。

如第 1 圖所示，本實施形態的 III 族氮化物半導體元件 1 係在略立方體狀的基板 101 上疊層有疊層構造體 11 而構成。基板 101 係使用以 $\{0.0.0.1\}$ 結晶面為表面的藍寶石結晶。疊層構造體 11 係依次疊層有：由 n 型 GaN 構成的下部覆蓋 (clad) 層 102、n 型磷化硼層 103、由 n 型 $\text{Ga}_{0.90}\text{In}_{0.10}\text{N}$ 構成的發光層 104、由 p 型 GaN 層構成的上部覆蓋層 105 以及 p 型磷化硼層 106 而構成。而且，發光層 104、上部覆蓋層 105 以及 p 型磷化硼層 106 的各一部分被連續除去，接觸於露出的 n 型磷化硼層 103 的表面的一部分而配設有 n 型歐姆性電極 107。而且，接觸於 p 型磷化硼層 106 的表面而配設有 p 型歐姆性電極 108。

如以上，III 族氮化物半導體元件 1 係由：下部覆蓋層 102、由 n 型磷化硼層 103 以及 n 型歐姆性電極 107 構成的 n 型下層部 21、發光層 104、上部覆蓋層 105、由 p 型磷化硼層 106 以及 p 型歐姆性電極 108 構成的 p 型上部層 20 構成。

如上述的構成的 III 族氮化物半導體元件 1 成為 pn 接合型雙重異質 (DH: Double Hetero) 構造的 LED。

本實施形態的Ⅲ族氮化物半導體元件 1 特別是以與Ⅲ族氮化物半導體的晶格失配大的單結晶為基板 101，適合使用於使Ⅲ族氮化物半導體結晶層的下部覆蓋層 102 成長的情形。因此，使Ⅲ族氮化物半導體結晶層成膜用的基板對於利用習知的砷化鎵 (GaAs)、磷化鎵 (GaP)、立方晶或六方晶的碳化矽 (SiC)、藍寶石 (α -Al₂O₃ 單結晶) 等的氧化物單結晶以及矽 (Si) 單結晶 (矽) 等的情形特別有效。因對於成長Ⅲ族氮化物半導體結晶層較佳的溫度一般為高溫，故耐熱性優良的 SiC、 α -Al₂O₃、Si 結晶等當作基板較佳。

而且，基板 101 例如使用以 {100}-或 {110}-結晶面為表面的立方晶閃鋅礦結晶型的單結晶較佳。若使用這種基板 101 則可使以表面的面方位為 {0.0.0.1} 或 {1.1.-2.0} 的Ⅲ族氮化物半導體結晶層沉積於基板上。以 {0.0.0.1} 或 {1.1.-2.0} 結晶面為表面的Ⅲ族氮化物半導體層可適合使用於用以沉積後述的磷化硼層。

而且，Ⅲ族氮化物半導體元件 1 的特徵係分別使磷化硼層 103、106 接觸於 p 型的Ⅲ族氮化物半導體層 102、105 的雙方而配設。磷化硼層 103、106 係當作配設接觸電阻特低的歐姆性電極 107、108 用的導電層而發揮功能。為了形成接觸電阻低的 n 型或 p 型的歐姆性電極，配設電極的半導體層以載子 (carrier) 濃度為 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ，更佳為 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上的低電阻結晶層，以及避免來自基板或Ⅲ族氮化物層的差排的傳播 (propagation)，低的差排密度的結晶層較佳。幾乎無像磷化硼 (BP) 或砷化硼 (BAs) 等的離子結

合性，若使用共有結晶性的半導體結晶的話，可形成載子濃度高的 n 型以及 p 型的低電阻的導電層。而且，在這些化合物半導體結晶中即使為故意不添加雜質的非摻雜 (undoped) 狀態也能形成這種高載子濃度的半導體層。

特別是如本實施形態的 III 族氮化物半導體元件 1，配設位於將來自發光層 104 的發光取出到外部的方向 (在第 1 圖所舉例說明的 III 族氮化物半導體元件 1，由發光層 104 朝上部覆蓋層 105 的方向) 的歐姆性電極 108 的結晶層 106 為不吸收發光可充分地透射到外部的禁止帶大的結晶層，即由磷化硼結晶層構成者最佳。再者，在 LED 中為了得到作為朝外部的發光透射層的作用，帶隙更大的磷化硼為適合的構成材料。

上述的 III 族氮化物半導體元件 1 可如以下而製造。首先在基板 101 的表面上例如藉由有機金屬化學的氣相沉積法 (MOCVD) 手段沉積氮化鎵 (GaN) 等的 III 族氮化物半導體層，作為下部覆蓋層 102。對於在基板表面上用以使 III 族氮化物半導體層成長的其他手段，可舉鹵素 (halogen) 法、氫化物 (hydride) 法或分子線磊晶 (epitaxial) (MBE) 手段。然後依次以相同的成長手段形成 n 型磷化硼層 103、由 n 型 $\text{Ga}_{0.90}\text{In}_{0.10}\text{N}$ 構成的發光層 104、由 p 型 GaN 層構成的上部覆蓋層 105 以及 p 型磷化硼層 106。若以相同的成長手段形成各層 102~106 則可省力地、簡便地形成疊層構造體。完成疊層構造體 11 的形成後，連續除去其一部分的發光層 104、上部覆蓋層 105 以及 p 型磷化硼層 106 的各一部分，使 n 型磷

化硼層 103 的表面露出。然後，在露出的 n 型磷化硼層 103 的一部分區域上配設 n 型歐姆性電極 107，接觸於上部覆蓋層 105 上的 p 型磷化硼層 106 的表面，配置 p 型歐姆性電極 108，製造 pn 接合型雙重異質 (DH) 構造的 LED 之 III 族氮化物半導體元件 1。

磷化硼層 103 以及 106 可藉由上述的氣相成長手段形成。例如可以三乙基硼 (分子式： $(C_2H_5)_3B$) / 磷化氫 (phosphine) (分子式： PH_3) 為原料，藉由常壓 (略大氣壓) 或減壓 MOCVD 手段形成。具體上，如果依照常壓 MOCVD 手段，令基板溫度為約 $1000^{\circ}C \sim 1200^{\circ}C$ 的溫度，且令供給到成長反應系的原料的濃度比率 ($PH_3 / (C_2H_5)_3B$) 即所謂的 V/III 比率為例如約 1000 的話，可形成非摻雜 p 型的磷化硼層。若令基板溫度為 $750^{\circ}C \sim 1000^{\circ}C$ 的話，對於得到非摻雜 n 型的磷化硼層較佳。與傳導類型無關，形成於 GaN 等的 III 族氮化物半導體層上的磷化硼層具有防止傳播到內在於 GaN 等的 III 族氮化物半導體層的參差差排 (misfit dislocation) 或貫通差排的上層之效果。

內在於上述的 III 族氮化物半導體層的參差差排例如可藉由包含基板 101、下部覆蓋層 102 以及磷化硼層 103 的部分的剖面 TEM (透射電子顯微鏡) 像而觀察。起因於與藍寶石基板 101 的晶格失配，在構成基板 101 與下部覆蓋層 102 的 GaN 層的接合界面 101a 發生多量的參差差排。伴隨著 GaN 層的層厚的增加，每一參差差排的單位面積的數目即所謂的差排密度減少的在與磷化硼層 103 的接合界面 102a 的正下方

的區域依然為約 1×10^5 個 / cm^2 的高密度。但是，差排的延伸被在與磷化硼層 103 的接合界面 102a 阻止。因此，朝磷化硼層 103 的內部看不到差排的侵入 / 傳播。即異質 (異種) 接合在 III 族氮化物半導體層的磷化硼層發揮阻止來自 III 族氮化物半導體層的差排的傳播的能力。

一般，在為了不使崩潰電壓不良顯著地發生起見，令差排密度為 1×10^4 個 / cm^2 較佳，惟如果依照本實施形態的 III 族氮化物半導體元件 1，如上述可形成差排密度為 1×10^4 個 / cm^2 以下的低差排密度的磷化硼層。

而且，在下部覆蓋層 102 及 / 或上部覆蓋層 105 使用的例如接觸於像 GaN 的 III 族氮化物半導體結晶層的 $\{0.0.0.1\}$ -結晶面，以 $\{111\}$ -磷化硼結晶層當作磷化硼結晶層 103 及 / 或 106 配設較佳。

適合於磷化硼結晶層成長的閃鋅礦結晶單體量的磷化硼的晶格常數為 0.458nm 。其 $\{110\}$ -晶格面的間隔與纖鋅礦結晶型 GaN 的 a 軸晶格常數 (0.319nm) 大致一致。而且，磷化硼結晶的 $\{111\}$ -晶格面的間隔與纖鋅礦結晶型 GaN 的 c 軸晶格常數 (0.529nm) 的半值大致一致。因此，形成於 GaN 的 $\{0.0.0.1\}$ -結晶表面上的 $\{111\}$ -磷化硼結晶層特別是成為起因於晶格的失配的參差差排少的良質的結晶層。

再者，沿著 $\langle 111 \rangle$ -結晶方位包含疊層缺陷 (stacking fault) 的磷化硼層特別是可當作參差差排少的良質的磷化硼結晶層而利用。而且，也能適合使用於包含以 $\{111\}$ -結晶面為雙晶面的 $\{111\}$ -雙晶之磷化硼層。因疊層缺陷

(stacking fault)或雙晶具有吸收參差差排的作用，故在磷化硼層的內部差排幾乎不發生，可形成不引起局部崩潰的歐姆性電極。包含疊層缺陷或雙晶的磷化硼層在 750°C ~ 1200°C 的基板溫度範圍，設定使其成長的速度(成長速度)為每分 10nm 以上較佳。

此外，雖然未配設於本實施形態，惟在Ⅲ族氮化物半導體結晶層與磷化硼結晶層的中間可配設包含硼與磷的非晶質層。藉由配設包含硼與磷的非晶質層，可得到具有連續性的磷化硼層。乃因構成非晶質層的硼或磷在形成磷化硼結晶層時成為提供[成長核]，可對磷化硼結晶層的圓滑的成長促進貢獻。此時，非晶質層的層厚為 $2\sim 50\text{nm}$ 較佳。若層厚超過 50nm 則單結晶的磷化硼結晶層的形成被阻礙不佳。而且，在未滿 2nm 的層厚中，不到達均等地被覆Ⅲ族氮化物半導體層的表面的全面，即因在Ⅲ族氮化物半導體層的表面無法均勻地形成[成長核]，無法安定得到具有連續性的平坦表面的磷化硼層，故不佳。包含硼與磷的非晶質層例如可藉由 MOCVD 手段在溫度 250°C ~ 1200°C 的範圍中，令 V/Ⅲ比率為 $2\sim 50$ 的低比率而得到。是否為非晶質層係可藉由 X 線或電子線繞射法等方式調查。而且，其層厚例如可藉由剖面 TEM 技法等正確地實測。

設置歐姆性電極而配設的磷化硼層的傳導類型係令與接合於磷化硼層的Ⅲ族氮化物半導體層的傳導類型相同。例如接觸於接合於 n 型Ⅲ族氮化物半導體層而配設的 n 型磷化硼層而配設 n 型歐姆性電極。

其次顯示第二實施形態。在本實施形態中成爲上層部 20 爲像第 2 圖所示的構成。具體上，接合於配設於 n 型 III 族氮化物半導體層 112 上的 p 型磷化硼層 111，且接觸於也接合於 n 型 III 族氮化物半導體層 112 而配設的 n 型磷化硼層 110，配設有 n 型歐姆性電極 107。

在此構成中，依照 p 型磷化硼層 111 與 n 型磷化硼層 110 的 pn 接合，可得到由 n 型歐姆性電極 107 朝正下方的 n 型 III 族氮化物半導體層 112 的元件動作電流的短路的流通被阻止，遍及 n 型 III 族氮化物半導體層 112 的廣範圍，可平面地擴散動作電流的優點。具備由與這種 p 型以及 n 型磷化硼層的接合構成構成的電流狹窄構造的歐姆性電極 107 可優勢地利用於構成 III 族氮化物半導體 LD。對於發揮低接觸電阻的歐姆性電極或電流狹窄作用，磷化硼層的層厚爲 50nm 以上較佳。而且，以 500nm 以下較佳。

而且，磷化硼層 111、磷化硼層 110、歐姆性電極 107 以及 III 族氮化物半導體層 112 的傳導類型與本實施形態相反也可以。

[實施例]

以下說明本發明的實施例，惟本發明的範圍並非限定於這些實施例。

(第一實施例)

在本實施例中製造具備氮化鎵 (GaN) 層與磷化硼層的異質接合的 LED。第 3 圖是顯示本實施例的 LED2 的剖面模式圖。在第 3 圖中針對與第 1 圖或第 2 圖所記載者相同的構

成要素，附加同一符號來揭示。

基板 101 係使用以 (0.0.0.1)-結晶面為表面的藍寶石單結晶，在 (0.0.0.1)表面上藉由三甲基鎵 $((\text{CH}_3)_3\text{Ga})$ /氨 (NH_3) 原料系常壓 MOCVD 手段，沉積 n 型 GaN 層的下部覆蓋層 102。據此，得到以 {0.0.0.1}-結晶面為表面的氮化鎵 (GaN) 層。下部覆蓋層 102 的層厚為 $2.8 \times 10^{-4} \text{cm} (=2.8 \mu\text{m})$ ，載子濃度為 $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 。

在下部覆蓋層 102 上沉積包含硼與磷的非摻雜的非晶質層 109。非晶質層 109 係使用 $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{B}/\text{PH}_3/\text{H}_2$ 系常壓 MOCVD 手段，以 1025°C 沉積。層厚以 12nm。在非晶質層 109 上使用 $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{B}/\text{PH}_3/\text{H}_2$ 系常壓 MOCVD 手段，以 1025°C 沉積磷化硼結晶層 103。磷化硼層 103 係非摻雜、令載子濃度為 $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的 n 型層，令其層厚為 150nm。

在磷化硼層 103 上藉由 $(\text{CH}_3)_3\text{Ga}$ /三甲基銦 (分子式： $(\text{CH}_3)_3\text{In}/\text{NH}_3/\text{H}_2$ 系常壓 MOCVD 手段，以 850°C 使由 $\text{Ga}_{0.90}\text{In}_{0.10}\text{N}$ 構成的發光層 104 氣相成長。令其層厚為 50nm，令載子濃度為約 $3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 。在發光層 104 上以上述的 $(\text{CH}_3)_3\text{Ga}/\text{NH}_3/\text{H}_2$ 常壓 MOCVD 手段使由 p 型 GaN 構成的上部覆蓋層 105 氣相成長。令上部覆蓋層 105 的層厚為 150nm。構成上部覆蓋層 105 的 GaN 層的載子濃度為約 $6 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 。

完成上部覆蓋層 105 的成長後，藉由剖面 TEM 技法調查：構成疊層體的下部覆蓋層 102、非晶質層 109、磷化硼層 103 以及發光層 104 的內部的結晶學的構造。由制限視野電子線繞射技法，配設於基板 101 的 (0.0.0.1)-藍寶石

結晶面上的下部覆蓋層 102(GaN 層)爲{0.0.0.1}-結晶層，而且，下部覆蓋層 102(GaN 層)上的磷化硼層 103 爲{111}-結晶層。而且，在高分解能明視野對比像中顯示在與藍寶石基板 101 的接合界面 101a 的附近的下部覆蓋層 102 存在約 5×10^{11} 個/cm² 的多量的參差差排。在與下部覆蓋層 102 的非晶質層 109 的接合界面 102a 的附近的區域，差排密度減少到約 5×10^9 個/cm²。而且，來自下部覆蓋層 102 的差排在與非晶質層 109 的接合界面 102a，阻止非晶質層 109 以及磷化硼層 103 的侵入到內部。因此，在磷化硼層 103 幾乎看不到參差差排。另一方面，在磷化硼層 103 的內部存在沿著{111}-結晶方位的疊層缺陷或雙晶。這些疊層缺陷或雙晶係由與下部覆蓋層 102 的接合界面 102a 發生。因藉由這些疊層缺陷或雙晶使差排被吸收，故判斷在磷化硼層 103 的內部差排幾乎消失。

而且，磷化硼層 103 的疊層缺陷或雙晶係一部分侵入上層的 $\text{Ga}_{0.90}\text{In}_{0.10}\text{N}$ 發光層 104 的內部。但是，由在{111}-磷化硼層 103 的表面交叉的{110}-結晶面的晶格面間隔與構成發光層 104 的 $\text{Ga}_{0.90}\text{In}_{0.10}\text{N}$ 的 a 軸晶格常數的整合性的良好度，在發光層 104 的內部幾乎看不到差排的存在。

其次，利用選擇圖案形成(patterning)技術以及電漿蝕刻(plasma etching)技術削除構成上部覆蓋層 105 的 GaN 層與發光層 104 的一部分的區域。據此，使 n 型磷化硼層 103 的表面露出。其次，在露出的 n 型磷化硼層 103 的表面配置由金/鍺合金(Au95 重量%/Ge5 重量%)構成的 n 型歐姆性

電極 107。Au/Ge 歐姆性電極 107 的接觸電阻降低到約 $6 \times 10^{-6} \Omega / \text{cm}^2$ 。順便一提，直接接觸同樣的載子濃度的 n 型 GaN 層而配設的 Au/Ge 歐姆性電極的接觸電阻為大約 $10^{-3} \Omega / \text{cm}^2$ 左右。另一方面，在保留的上部覆蓋層 105 的表面配設氧化鎳 (NiO)/金 (Au) 疊層構造的 p 型歐姆性電極 108，構成 pn 接合型 DH 構造的 LED2。

確認了在 n 型以及 p 型的歐姆性電極 107、108 之間於順方向流通 20 毫安培 (mA) 的動作電流，一邊裁斷成約 $3.5 \times 10^{-2} \text{cm}$ 的正方形的 LED 晶片 2 的發光特性。以下整理所得到的發光特性。

(1) 發光色：青紫

(2) 發光中心波長：約 430 (nm)

(3) 亮度 (晶片狀態)：約 7 (mcd)

(4) 順方向電壓：約 3.8 (V) (但是，令順方向電流為 20 mA 的情形)

(5) 逆方向電壓：12V (但是，令逆方向電流為 $10 \mu\text{A}$ 的情形)

而且，因使 n 型歐姆性電極 107 接觸於低的差排密度的磷化硼層 103 而配設，故朝下部的 GaN 層的短路的動作電流的流通被避免，可廣範圍地擴散動作電流到下部覆蓋層 102。因此，在 LED2 中也確認了自發光層 104 的略全面帶來發光係來自近視野發光像。

(第二實施例)

在本實施例中配置 n 型以及 p 型的歐姆性電極的雙方

於磷化硼層上，製造 LED。

第 4 圖是顯示本實施例的 LED3 的剖面模式圖。針對與在第 1 圖至第 3 圖中任一圖所記載的構成要素相同的構成要素，附加同一符號來揭示。

在與第一實施例的記載相同的條件下，在 {0.0.0.1}-藍寶石基板 101 上依次沉積在第一實施例記載的各層 102~105。然後在 p 型上部覆蓋層 105 上沉積非摻雜 n 型的磷化硼層 110。n 型磷化硼層 110 係使用 $(C_2H_5)_3B/PH_3/H_2$ 系常壓 MOCVD 手段，以 $850^\circ C$ 沉積。令載子濃度為 $1 \times 10^{19} cm^{-3}$ ，令其層厚為 120nm。在完成 n 型磷化硼層 110 的成長後，限於形成 p 型歐姆性電極 108 的預定的正下方的區域，使 n 型磷化硼層 110 殘存成圓形。殘存的 n 型磷化硼層 110 的平面積係以對圓型的 p 型歐姆性電極 108 的底面積 1.2 倍。形成 p 型歐姆性電極 108 的預定的區域外的 n 型磷化硼層 110 係藉由電漿蝕刻手段除去，使下層的 p 型上部覆蓋層 105 的表面露出。

然後，用以被覆殘存的 n 型磷化硼層 110 以及露出的 p 型上部覆蓋層 105 的表面而沉積非摻雜的 p 型磷化硼層 111。p 型磷化硼層 111 也藉由與上述相同的 MOCVD 手段，以 $1025^\circ C$ 使其成長。令 p 型磷化硼層 111 的載子濃度為 $2 \times 10^{19} cm^{-3}$ ，令層厚為 200nm。

其次，限於形成 n 型歐姆性電極 108 的預定的區域，藉由選擇圖案形成技術以及電漿蝕刻技術除去 p 型磷化硼層 111、上部覆蓋層 105 以及發光層 104。除去後，在露出

的 n 型磷化硼層 103 的表面配設 Au/Ge 合金的 n 型歐姆性電極 107。而且，在保留的 n 型磷化硼層 110 的上方配設接觸於 p 型磷化硼層 111 的表面，由金 / 鈹合金 (Au99 重量 % / Be1 重量 %) 構成的直徑為 $1.3 \times 10^{-2} \text{ cm} (=130 \mu \text{ m})$ 的圓形的 p 型歐姆性電極 108。圓形的 p 型歐姆性電極 108 係與殘存的 n 型磷化硼層 110 的中心一致而配設。據此，構成 pn 接合型 DH 構造的 LED3。p 型歐姆性電極 108 的接觸電阻為 $5 \times 10^{-6} \Omega / \text{cm}^2$ 。

如果依照利用電子線繞射法以及剖面 TEM 技法的觀察，在接合於構成上部覆蓋層 105 的 p 型 GaN 層的表面而配設的 n 型磷化硼層 110、接合於 n 型磷化硼層 110 的 p 型磷化硼層 111 的內部幾乎看不到參差差排，差排密度明顯地在 1×10^4 個 / cm^2 以下。另一方面，在平行於磷化硼的 $\langle 111 \rangle$ -結晶方向存在疊層缺陷或雙晶。因此，n 型以及 p 型歐姆性電極 107、108 成爲形成參差差排極低的磷化硼層 103、111。

確認了在 n 型以及 p 型的歐姆性電極 107、108 之間於順方向流通 20 毫安培 (mA) 的動作電流，令一邊爲約 $4.0 \times 10^{-2} \text{ cm}$ 的正方形的 LED 晶片 3 的發光特性。以下整理所得到的發光特性。

- (1) 發光色：青紫
- (2) 發光中心波長：約 440 (nm)
- (3) 亮度 (晶片狀態)：約 9 (mcd)
- (4) 順方向電壓：約 3.6 (V) (但是，令順方向電流爲 20mA)

的情形)

(5) 逆方向電壓:15V(但是,令逆方向電流為 $10\mu\text{A}$ 的情形)

因以使 n 型以及 p 型的歐姆性電極 107、108 的雙方接觸於低差排密度的磷化硼層 103、111 而配設的構成,故 LED3 也不發生局部崩潰,特別是成為崩潰電壓特性優良者。而且,因以在 p 型歐姆性電極 108 的下方埋設由 n 型以及 p 型的磷化硼層 110、111 構成的 pn 接合構造的構成,故避免由 p 型歐姆性電極 108 朝正下方的上部覆蓋層 105 的短路的流通,並且經由鋪設於 p 型覆蓋層 105 的略全面的 p 型磷化硼層 111,動作電流可擴散到上部覆蓋層 105 的略全面。因此,成為由 LED3 的發光層 104 的略全面得到發光。再者,配設 p 型歐姆性電極 108 的磷化硼層 111 因在室溫具有約 3.0eV 的帶隙,故不遮蔽來自發光層 104 的發光,對於充分地透射到外部有效。

【發明的功效】

如以上的說明,在本發明的 III 族氮化物半導體元件,因在 III 族氮化物半導體結晶層與歐姆性電極的中間配設有磷化硼結晶層,故可阻止自 III 族氮化物半導體結晶層傳播的差排的侵入,或吸收差排。因此,藉由接觸於磷化硼結晶層配設歐姆性電極,可形成局部崩潰少且接觸電阻低的歐姆性電極,可提供崩潰電壓特性優良的 III 族氮化物半導體發光元件。

(五)圖式簡單說明

第 1 圖是顯示本發明的 III 族氮化物半導體元件的一實施形態的剖面圖。

第 2 圖是顯示本發明的 III 族氮化物半導體元件的上層部的第二實施形態的剖面圖。

第 3 圖是第一實施例所述的發光二極體的剖面模式圖。

第 4 圖是第二實施例所述的發光二極體的剖面模式圖。

【符號說明】

1: III 族氮化物半導體元件

11: 疊層構造體

20: 上層部

21: 下層部

101: 基板

101a、102a: 接合界面

102: 下部覆蓋層

103、106、110、111: 磷化硼層

104: 發光層

105: 上部覆蓋層

107、108: 歐姆性電極

109: 非晶質層

112: III 族氮化物半導體層

伍、中文發明摘要：

【課題】

提供一種具備接觸電阻低且不引起局部崩潰的歐姆性電極之Ⅲ族氮化物半導體元件。

【解決手段】

一種Ⅲ族氮化物半導體元件，具備有：結晶基板、在同一結晶基板上氣相成長的導電性的Ⅲ族氮化物半導體($Al_xGa_yIn_{1-(x+y)}N$: $0 \leq X < 1$, $0 < Y \leq 1$ 以及 $0 < X+Y \leq 1$)結晶層、歐姆性電極，其特徵為：

在前述Ⅲ族氮化物半導體結晶層與前述歐姆性電極的中間配設有導電性的磷化硼結晶層，且具備有接觸於該磷化硼結晶層之歐姆性電極。

陸、英文發明摘要：

This invention relates to a nitride of group III semiconductor device for ohmic electrode with low contact resistance and will not occurring local breakdown.

Nitride of group III semiconductor device comprises:

a crystal substrate, a electrical conductivity crystal layer of the nitride of group III semiconductor ($Al_xGa_yIn_{1-(x+y)}N$: $0 \leq X < 1$, $0 < Y \leq 1$ and $0 < X+Y \leq 1$) which is grown on the crystal substrate in gas phase, and a ohmic electrode, characterized in that:

Arrange a boron phosphide crystal layer with electrical conductivity is arranges between the crystal layer of nitride of group III semiconductor and the ohmic electrode, and the ohmic electrode contacts with the crystal layer of the boron phosphide.

拾、申請專利範圍：

1. 一種Ⅲ族氮化物半導體元件，具備結晶基板、在同結晶基板上氣相成長的導電性的Ⅲ族氮化物半導體 ($\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-(x+y)}\text{N}$: $0 \leq X < 1$, $0 < Y \leq 1$ 以及 $0 < X+Y \leq 1$) 結晶層、以及歐姆性電極，其特徵為：

在該Ⅲ族氮化物半導體結晶層與該歐姆性電極的中間配設有導電性的磷化硼結晶層，且具備有接觸於該磷化硼結晶層之歐姆性電極。

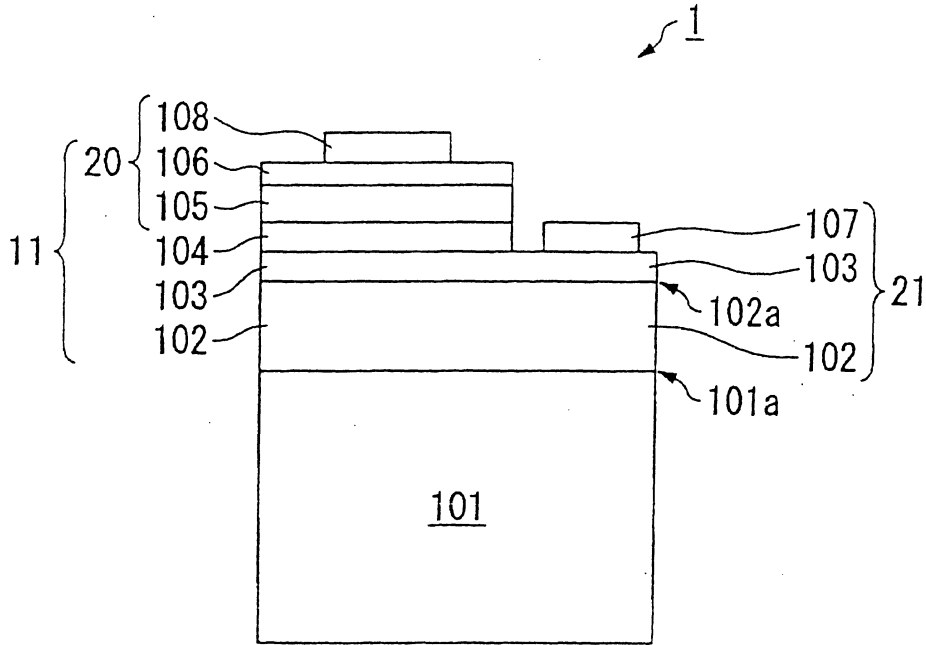
2. 如申請專利範圍第 1 項之Ⅲ族氮化物半導體元件，其中在該Ⅲ族氮化物半導體結晶層與該磷化硼結晶層的中間配設有包含硼與磷的非晶質層。
3. 如申請專利範圍第 1 項之Ⅲ族氮化物半導體元件，其中該磷化硼結晶層係由故意未添加雜質的非摻雜的導電層構成，且呈現與該Ⅲ族氮化物半導體層相同的傳導類型。
4. 如申請專利範圍第 1 項之Ⅲ族氮化物半導體元件，其中在該Ⅲ族氮化物半導體結晶層的 $\{0.0.0.1\}$ -結晶面側配設有該磷化硼結晶層，該磷化硼結晶層為導電性的 $\{111\}$ -結晶層。
5. 如申請專利範圍第 1 項之Ⅲ族氮化物半導體元件，其中在該磷化硼結晶層的內部，在磷化硼結晶層的 $\langle 111 \rangle$ -結晶方向包含有疊層缺陷，或包含有以 $\{111\}$ -結晶面為雙晶面的雙晶。
6. 如申請專利範圍第 1 項至第 5 項中任一項之Ⅲ族氮化物

半導體元件，其中該磷化硼結晶層的內部的貫通差排以及參差 (misfit) 差排的合計密度為 1×10^4 個 / cm^2 以下。

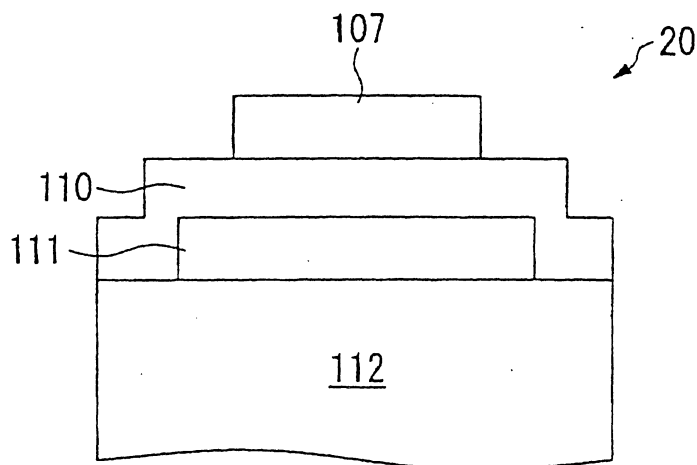
7. 一種製造如申請專利範圍第 1 項至第 6 項中任一項之 III 族氮化物半導體元件的製造方法，係利用有機金屬化學的氣相沉積法使該 III 族氮化物半導體結晶層與該磷化硼結晶層形成於該結晶基板上。
8. 一種發光二極體，係由如申請專利範圍第 1 項至第 6 項中任一項之 III 族氮化物半導體元件所構成，其特徵為 pn 接合型之雙異質連接構造。

拾壹、圖式：

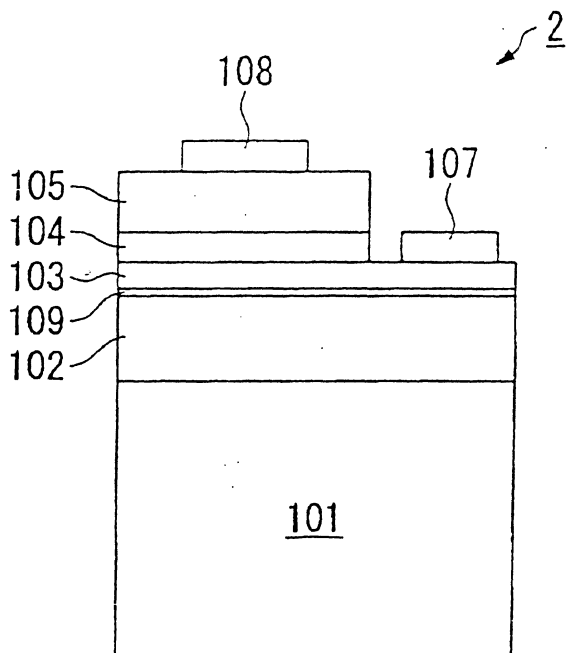
第1圖



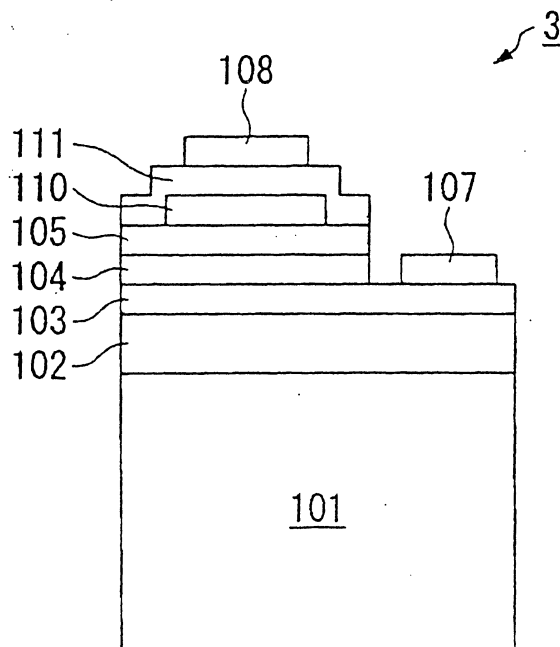
第2圖



第3圖



第4圖



柒、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 (1) 圖。

(二)本代表圖之元件代表符號簡單說明：

- 1： III族氮化物半導體元件
- 11： 疊層構造體
- 20： 上層部
- 21： 下層部
- 101： 基板
- 101a、102a： 接合界面
- 102： 下部覆蓋層
- 103、106、110、111： 磷化硼結晶層
- 104： 發光層
- 105： 上部覆蓋層
- 107、108： 歐姆性電極

捌、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：