

(21)申請案號：099123335

(22)申請日：中華民國 99 (2010) 年 07 月 15 日

(51)Int. Cl. : **H01L33/16 (2010.01)**

(30)優先權：2009/07/15 日本

2009-167177

(71)申請人：住友電氣工業股份有限公司 (日本) SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.
(JP)

日本

(72)發明人：善積祐介 YOSHIZUMI, YUSUKE (JP)；鹽谷陽平 ENYA, YOHEI (JP)；秋田勝史 AKITA, KATSUSHI (JP)；上野昌紀 UENO, MASAKI (JP)；京野孝史 KYONO, TAKASHI (JP)；中村孝夫 NAKAMURA, TAKAO (JP)

(74)代理人：陳長文

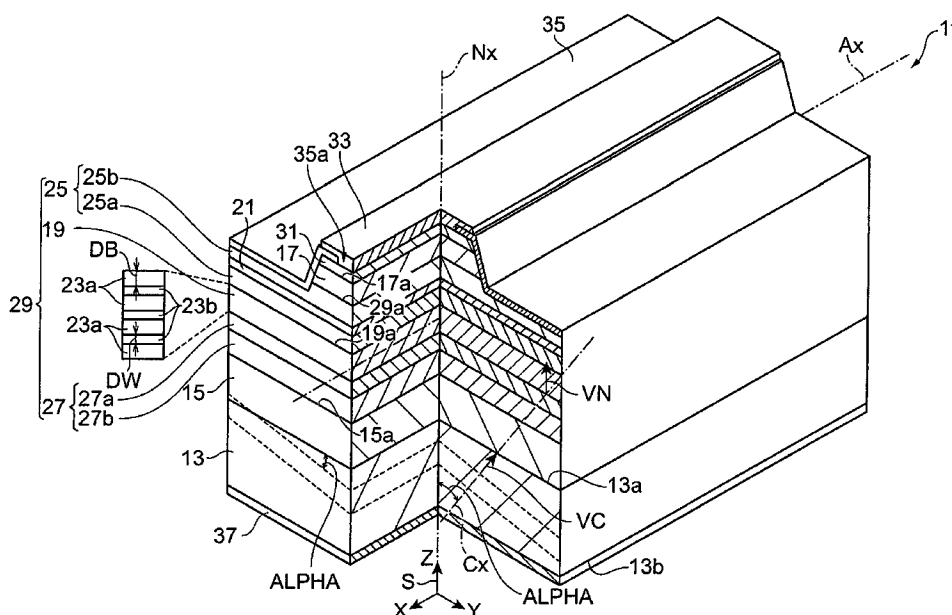
申請實體審查：有 申請專利範圍項數：22 項 圖式數：13 共 62 頁

(54)名稱

I II 族氮化物半導體光元件、磊晶基板

(57)摘要

本發明提供一種包含低電阻化之 p 型氮化鎵系半導體層之 III 族氮化物半導體光元件。支持體 13 之主面 13a 相對於基準平面 Sc 而形成 40 度以上且 140 度以下之角度 ALPHA，基準平面 Sc 正交於該 III 族氮化物半導體之 c 軸之方向上延伸之基準軸 Cx。主面 13a 顯示出半極性及無極性中之任一者。n 型 GaN 系半導體層 15 設置於支持體 13 之主面 13a 上。n 型 GaN 系半導體層 15、活化層 19 及 p 型 GaN 系半導體層 17 係排列於法線軸 Nx 之方向上。p 型 GaN 系半導體層 17 中添加有鎂作為 p 型摻雜劑，p 型 GaN 系半導體層 17 含有碳作為 p 型摻雜劑。p 型 GaN 系半導體層 17 之碳濃度為 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上且 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下。



11：III 族氮化物半導體光元件

13：支持體

13a：支持體主面

13b：支持體背面

15：n 型氮化鎵系半導體層

15a：n 型氮化鎵系半導體層主面

17：p 型氮化鎵系半導體層

17a：p 型氮化鎵系半導體層主面

19：活化層

19a：活化層主面
21：電子阻擋層
23a：障壁層
23b：阱層
25：光導引層
25a：InGaN 層
25b：GaN 層
27：光導引層
27a：InGaN 層
27b：GaN 層
29：發光層
29a：發光層主面
31：接觸層
33：電極
35：絕緣膜
35a：絕緣膜之開口
37：電極
ALPHA：角度
Ax：延伸軸
Cx：基準軸
DB：障壁層厚度
DW：阱層厚度
NV：法線向量
Nx：法線軸
S：正交座標系
VC：c 軸向量

(21)申請案號：099123335

(22)申請日：中華民國 99 (2010) 年 07 月 15 日

(51)Int. Cl. : **H01L33/16 (2010.01)**

(30)優先權：2009/07/15 日本

2009-167177

(71)申請人：住友電氣工業股份有限公司 (日本) SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.
(JP)

日本

(72)發明人：善積祐介 YOSHIZUMI, YUSUKE (JP)；鹽谷陽平 ENYA, YOHEI (JP)；秋田勝史 AKITA, KATSUSHI (JP)；上野昌紀 UENO, MASAKI (JP)；京野孝史 KYONO, TAKASHI (JP)；中村孝夫 NAKAMURA, TAKAO (JP)

(74)代理人：陳長文

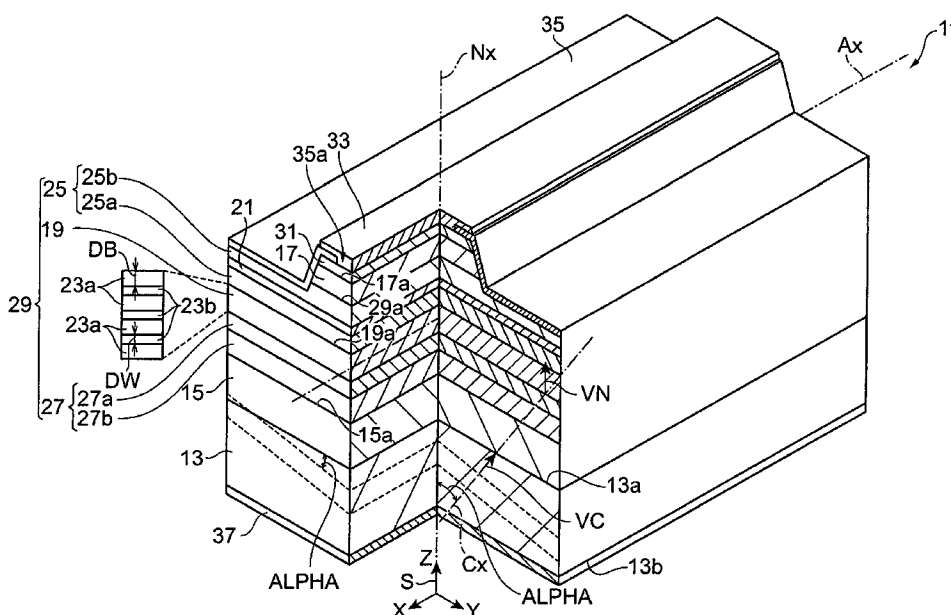
申請實體審查：有 申請專利範圍項數：22 項 圖式數：13 共 62 頁

(54)名稱

I II 族氮化物半導體光元件、磊晶基板

(57)摘要

本發明提供一種包含低電阻化之 p 型氮化鎵系半導體層之 III 族氮化物半導體光元件。支持體 13 之主面 13a 相對於基準平面 Sc 而形成 40 度以上且 140 度以下之角度 ALPHA，基準平面 Sc 正交於該 III 族氮化物半導體之 c 軸之方向上延伸之基準軸 Cx。主面 13a 顯示出半極性及無極性中之任一者。n 型 GaN 系半導體層 15 設置於支持體 13 之主面 13a 上。n 型 GaN 系半導體層 15、活化層 19 及 p 型 GaN 系半導體層 17 係排列於法線軸 Nx 之方向上。p 型 GaN 系半導體層 17 中添加有鎂作為 p 型摻雜劑，p 型 GaN 系半導體層 17 含有碳作為 p 型摻雜劑。p 型 GaN 系半導體層 17 之碳濃度為 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上且 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下。



11：III 族氮化物半導體光元件

13：支持體

13a：支持體主面

13b：支持體背面

15：n 型氮化鎵系半導體層

15a：n 型氮化鎵系半導體層主面

17：p 型氮化鎵系半導體層

17a：p 型氮化鎵系半導體層主面

19：活化層

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係關於一種III族氮化物半導體光元件、及用於III族氮化物半導體光元件之磊晶基板。

【先前技術】

於非專利文獻1中，記載有於矽基板上均勻地成長(1-101)面Ga₂N之情形。該Ga₂N係於經由AlN中間層以選擇有機金屬氣相成長法而成長於7度偏移之(001)面矽基板上的條紋狀Ga₂N之聚集物上成長。製作3種樣品(A)、(B)、(C)。樣品(A)包含成長於LT-AlN中間層上之Ga₂N。樣品(B)包含30 nm之Al_{0.1}Ga_{0.9}N上層。樣品(C)包含無LT-AlN中間層而成長之Ga₂N。進行3種樣品(A)、(B)、(C)之霍耳量測。樣品(A)顯示出p導電性，樣品(B)顯示出n導電性。樣品(C)之導電性於低溫至高溫之3個溫度區域(80 K以下、80 K~200 K、200 K以上)中分別顯示出n型、p型及n型。於非專利文獻1中有如下記載：樣品(A)及(B)包含Ga₂N/AlN/Si異質接合，且推測異質接合中之傳導係樣品(A)及(B)中之傳導性之主要者。

於非專利文獻2中，記載有於矽基板上均勻地成長(1-101)面Ga₂N之情形。該Ga₂N係於經由AlN中間層以選擇有機金屬氣相成長法而成長於7度偏移之(001)面矽基板上的條紋狀Ga₂N之聚集物上成長。於(1-101)面Ga₂N中添加有鎂。為添加鎂而使用摻雜劑氣體EtCp₂Mg。於摻雜劑氣體/鎂原料之莫耳比(EtCp₂Mg/TMG)小於 2×10^{-3} 之添加區域中，隨

著摻雜劑氣體之添加量增加，Ga_N膜中之電洞濃度下降。另一方面，於莫耳比超過 2×10^{-3} 之添加區域中，隨著摻雜劑氣體之添加量增加，電洞濃度增加，於 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 左右達到飽和。成長c面Ga_N時，莫耳比小於 2×10^{-3} 之添加區域中之成長Ga_N顯示出n導電性，但於莫耳比超過 2×10^{-3} 之添加區域中則顯示出p導電性。於非專利文獻2中，關於該現象，係以(1-101)面Ga_N包含氮面，而c面Ga_N包含Ga面之情形來加以說明。

於非專利文獻3中，記載有於矽基板上均勻地成長(1-101)面及(11-22)面Ga_N之情形。使用摻雜劑氣體C₂H₂，於Ga_N之成長中添加碳。向(11-22)面Ga_N中添加碳可賦予與向(1-101)面Ga_N中添加碳不同之效果。

非專利文獻1~3之作者之部分人員相同。

於專利文獻1中，記載有藉由提高碳濃度而增加Ga_N膜之電阻之情形。

先前技術文獻

專利文獻

[專利文獻1]日本專利特開2009-21279號公報

非專利文獻

非專利文獻1：T. Hikosa kA et al., Applied Physics Letters Vol. 84, No. 23, (2004), pp.4717-4719。

非專利文獻2：Nobuhiro Sawaki et al., Journal of Crystal Growth 298, 2007, pp.207-210。

非專利文獻3：Nobuhiro Sawaki et al., Journal of Crystal

Growth 311 2009, pp.2867-2874。

【發明內容】

發明所欲解決之問題

如非專利文獻1~3之記載所示，經由AlN中間層以選擇有機金屬氣相成長法而成長於7度偏移之(001)面矽基板上的條紋狀Ga₂N之聚集物中，除了含有異質接合以外，Ga₂N中以高密度含有穿透位錯之可能性亦較高。因此，非專利文獻1~3中所記載之Ga₂N聚集物之結晶結構之導電性較為複雜。

另一方面，於專利文獻1中，係藉由向Ga₂N膜中添加碳而實現高電阻。如非專利文獻1~3及專利文獻1所示，氮化鎵系半導體中之碳之舉動較為複雜。然而，根據發明者等人之研究，於氮化鎵系半導體中，可將碳作為p型摻雜劑而穩定地加以利用。

本發明之目的在於提供一種包含低電阻化之p型氮化鎵系半導體層之III族氮化物半導體光元件，又，本發明之目的在於提供一種用於該III族氮化物半導體光元件之磊晶基板。

解決問題之技術手段

本發明之一態樣之III族氮化物半導體光元件包括：(a)支持體，其包含III族氮化物半導體，且具有相對於與該III族氮化物半導體之c軸方向上延伸之基準軸正交之基準平面形成大於零之角度的主面；(b)n型氮化鎵系半導體層，其設置於上述支持體之上述主面上；(c)p型氮化鎵系半導

體層，其設置於上述支持體之上上述主面上，且添加有鎂；及(d)活化層，其於上述支持體之上上述主面上，設置在上述n型氮化鎵系半導體層與上述p型氮化鎵系半導體層之間。上述角度係處於40度以上且140度以下之範圍內，上述主面顯示出半極性及無極性中之任一者，上述p型氮化鎵系半導體層含有碳作為p型摻雜劑，上述p型氮化鎵系半導體層之碳濃度為 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上，且上述p型氮化鎵系半導體層之碳濃度為 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下。

本發明之另一態樣之用於III族氮化物半導體光元件之磊晶基板包括：(a)III族氮化物半導體基板，其包含III族氮化物半導體，且具有相對於與該III族氮化物半導體之c軸方向上延伸之基準軸正交之基準平面形成大於零之角度的主面；(b)n型氮化鎵系半導體層，其設置於上述III族氮化物半導體基板之上上述主面上；(c)p型氮化鎵系半導體層，其設置於上述III族氮化物半導體基板之上上述主面上，且添加有鎂；及(d)活化層，其於上述III族氮化物半導體基板之上上述主面上，設置在上述n型氮化鎵系半導體層與上述p型氮化鎵系半導體層之間。上述角度係處於40度以上且140度以下之範圍內，上述主面顯示出半極性及無極性中之任一者，上述p型氮化鎵系半導體層含有碳作為p型摻雜劑，上述p型氮化鎵系半導體層之碳濃度為 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上，且上述p型氮化鎵系半導體層之碳濃度為 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下。

根據該III族氮化物半導體光元件及磊晶基板，p型氮化

鎵系半導體層係設置於支持體或基板之主面上，且該主面以40度以上且140度以下之範圍之角度與c面形成角度。於該角度範圍內，添加至p型氮化鎵系半導體層中之碳穩定地作為p型摻雜劑而發揮作用。又，由於p型氮化鎵系半導體層一併含有作為p型摻雜劑而發揮作用之碳及鎂，故可由碳及鎂之兩者提供電洞。又，可減少為獲得所需電洞濃度而要添加的鎂之添加量，故可避免因添加鎂而引起之結晶性下降。又，可減少為獲得所需電洞濃度而要添加的碳之添加量，故可抑制因添加碳而引起之形態下降，且可避免因形態惡化而引起之結晶品質下降。

本發明之上述態樣之III族氮化物半導體光元件及磊晶基板中，上述活化層包含於上述支持體之上述主面之法線軸之方向上交替排列的阱層及障壁層，上述障壁層包含氮化鎵系半導體，上述障壁層之厚度大於上述阱層之厚度，上述阱層包含含有In作為構成元素之氮化鎵系半導體，且上述阱層之碳濃度可為 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下。根據該III族氮化物半導體光元件及磊晶基板，由於阱層之碳濃度為 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下，故作為p型摻雜劑之碳不會對活化層之發光特性造成實質上之影響。

本發明之上述態樣之III族氮化物半導體光元件及磊晶基板中，上述n型氮化鎵系半導體層之碳濃度小於上述p型氮化鎵系半導體層之碳濃度，上述n型氮化鎵系半導體層含有n型摻雜劑，且上述n型氮化鎵系半導體層之n型摻雜劑濃度大於上述n型氮化鎵系半導體層之碳濃度。

根據該III族氮化物半導體光元件及磊晶基板，n型氮化鎵系半導體層之n型摻雜劑濃度大於n型氮化鎵系半導體層之碳濃度。碳雖作為p型摻雜劑而發揮作用，但作為p型摻雜劑之碳不會對n型氮化鎵系半導體層之n導電型造成實質上的影響。

本發明之上述態樣之III族氮化物半導體光元件及磊晶基板中，較佳為上述n型氮化鎵系半導體層之碳濃度在 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下。該III族氮化物半導體光元件及磊晶基板中，於通常之n型摻雜劑之添加濃度下，n型氮化鎵系半導體層之電子濃度足夠大。

本發明之上述態樣之III族氮化物半導體光元件及磊晶基板中，上述n型氮化鎵系半導體層可包含InAlGa_N及AlGa_N中之至少任一者。根據本III族氮化物半導體光元件及磊晶基板，關於該等氮化鎵系半導體之n導電型，作為p型摻雜劑之碳不會造成實質上之影響。

本發明之上述態樣之III族氮化物半導體光元件及磊晶基板中，較佳為上述n型氮化鎵系半導體層包含InAlGa_N。根據該III族氮化物半導體光元件及磊晶基板，可將適當之導電性與所需之應變提供給n型氮化鎵系半導體層。

本發明之上述態樣之III族氮化物半導體光元件及磊晶基板中，上述p型氮化鎵系半導體層中之上述碳濃度可大於上述p型氮化鎵系半導體層中之鎂濃度。根據該III族氮化物半導體光元件及磊晶基板，由於碳之活化能量小於鎂之活化能量，故為提供所需電洞濃度而要添加之鎂之添加量

不會增加。

本發明之上述態樣之III族氮化物半導體光元件及磊晶基板進而包括：第1光導引層，其設置於上述p型氮化鎵系半導體層與上述活化層之間，且包含氮化鎵系半導體；及第2光導引層，其設置於上述n型氮化鎵系半導體層與上述活化層之間，且包含氮化鎵系半導體。上述第1光導引層之至少一部分含有鎂作為p型摻雜劑，上述第1光導引層之碳濃度為 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下，上述第1光導引層中之鎂濃度為 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下，且上述第2光導引層之碳濃度為 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下。

根據該III族氮化物半導體光元件及磊晶基板，由於可減少因碳引起之載子生成，故可減少因自由載子所引起之光吸收。

本發明之上述態樣之III族氮化物半導體光元件及磊晶基板中，上述活化層包含為產生波長430 nm以上且600 nm以下之光而設置的量子阱結構。該III族氮化物半導體光元件可進而包括設置於上述活化層與上述p型氮化鎵系半導體層之間的電子阻擋層。上述第1光導引層包含設置於上述電子阻擋層與上述活化層之間之第1 InGaN層，上述第2光導引層包含設置於上述活化層與上述n型氮化鎵系半導體層之間之第2 InGaN層。

根據該III族氮化物半導體光元件及磊晶基板，可提供適於生成波長較長之光之發光元件的波導結構。

本發明之上述態樣之III族氮化物半導體光元件及磊晶基

板中，上述n型氮化鎵系半導體層、上述活化層及上述p型氮化鎵系半導體層係排列於上述支持體之上述主面之法線方向上，上述p型氮化鎵系半導體層係設置於上述活化層之主面上，上述活化層之上述主面相對於上述基準平面而處於40度以上且140度以下之範圍內，且上述活化層係設置於上述n型氮化鎵系半導體層之主面上。根據該III族氮化物半導體光元件及磊晶基板，可獲得作為p型摻雜劑之碳之技術性支持。

本發明之上述態樣之III族氮化物半導體光元件及磊晶基板可進而包括接觸層，該接觸層係設置於上述p型氮化鎵系半導體層之主面上，且包含p型氮化鎵系半導體。上述接觸層之碳濃度為 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上，且上述接觸層之碳濃度為 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下。根據該III族氮化物半導體光元件及磊晶基板，接觸層亦可獲得作為p型摻雜劑之碳之技術性支持。

本發明之上述態樣之III族氮化物半導體光元件可進而包括與上述接觸層形成接觸之第1電極。根據該III族氮化物半導體光元件，由於接觸層包含碳及鎂之兩者作為p型摻雜劑，故接觸層可與電極形成良好之電性接觸。

本發明之上述態樣之III族氮化物半導體光元件及磊晶基板中，較佳為上述c軸方向上延伸之基準軸以上述支持體之III族氮化物半導體之 $\langle 11-20 \rangle$ 方向為基準而以-15度以上且+15度以下之範圍之朝向傾斜，且上述支持體之主面與正交於c軸方向上延伸之基準軸之基準平面所成的上述角

度係處於59度以上且121度以下之範圍內。根據該III族氮化物半導體光元件及磊晶基板，可進而提高碳能夠作為p型摻雜劑而發揮作用之概率。

本發明之上述態樣之III族氮化物半導體光元件及磊晶基板中，較佳為上述c軸方向上延伸之基準軸以上述支持體之III族氮化物半導體之<11-20>方向為基準而以-15度以上且+15度以下之範圍之朝向傾斜，且上述支持體之主面與正交於c軸方向上延伸之基準軸之基準平面所成的上述角度係處於70度以上且80度以下或100度以上且110度以下之範圍內。根據該III族氮化物半導體光元件及磊晶基板，可進而提高碳能夠作為p型摻雜劑而發揮作用之概率。

本發明之上述態樣之III族氮化物半導體光元件及磊晶基板中，較佳為上述c軸方向上延伸之基準軸以上述支持體之III族氮化物半導體之<1-100>方向為基準而以-15度以上且+15度以下之範圍之朝向傾斜，且上述支持體之主面與正交於c軸方向上延伸之基準軸之基準平面所成的上述角度係處於63度以上且117度以下之範圍內。根據該III族氮化物半導體光元件及磊晶基板，可進而提高碳能夠作為p型摻雜劑而發揮作用之概率。

本發明之上述態樣之III族氮化物半導體光元件及磊晶基板中，較佳為上述c軸方向上延伸之基準軸以上述支持體之III族氮化物半導體之<1-100>方向為基準而以-15度以上且+15度以下之範圍之朝向傾斜，且上述支持體之主面與正交於c軸方向上延伸之基準軸之基準平面所成的上述有

限之角度係處於0度以上且80度以下或100度以上且110度以下之範圍內。根據該III族氮化物半導體光元件及磊晶基板，可進而提高碳能夠作為p型摻雜劑而發揮作用之概率。

本發明之上述態樣之III族氮化物半導體光元件及磊晶基板中，較佳為上述支持體之上述主面自{11-22}、{11-21}、{11-20}、{11-2-1}及{11-2-1}中之任一面而於-4度~+4度之範圍內。根據該III族氮化物半導體光元件及磊晶基板，可進而提高碳能夠作為p型摻雜劑而發揮作用之概率。

本發明之上述態樣之III族氮化物半導體光元件及磊晶基板中，較佳為上述支持體之上述主面之平面指數為{11-22}、{11-21}、{11-20}、{11-2-1}及{11-2-1}中之任一者。根據該III族氮化物半導體光元件及磊晶基板，該平面指數可進而提高碳能夠作為p型摻雜劑而發揮作用之概率。

本發明之上述態樣之III族氮化物半導體光元件及磊晶基板中，上述支持體之上述主面可自{10-11}、{20-21}、{10-10}、{20-2-1}及{10-1-1}中之任一面而於-4度~+4度之範圍內。根據該III族氮化物半導體光元件及磊晶基板，於該等角度範圍內，碳可作為p型摻雜劑而發揮作用。

本發明之上述態樣之III族氮化物半導體光元件及磊晶基板中，較佳為上述支持體之上述主面之平面指數為{10-11}、{20-21}、{10-10}、{20-2-1}及{10-1-1}中之任一

者。根據該III族氮化物半導體光元件及磊晶基板，認為於該等平面指數下，具有適於碳作為p型摻雜劑而發揮作用之構成原子之排列。

本發明之上述態樣之III族氮化物半導體光元件中，上述支持體之穿透位錯密度為 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下，且上述支持體可包含GaN、InGaN、AlGaN及InAlGaN中之任一者。本發明之另一態樣之磊晶基板中，上述支持體之穿透位錯密度為 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下，且上述支持體可包含GaN、InGaN、AlGaN及InAlGaN中之任一者。

根據該III族氮化物半導體光元件及磊晶基板，於成長於 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下之穿透位錯密度之區域上的氮化鎵系半導體層中，可減小穿透位錯對p型摻雜劑活化之影響。

本發明之上述態樣之III族氮化物半導體光元件中，較佳為上述支持體包含GaN。又，本發明之另一態樣之磊晶基板中，較佳為上述基板包含GaN。可獲得低位錯之GaN基板。

本發明之上述態樣之III族氮化物半導體光元件可進而包括與上述支持體之背面形成接觸之第2電極。上述支持體顯示出導電性。根據該III族氮化物半導體光元件，支持體可提供碳能夠作為p型摻雜劑而發揮作用之磊晶區域，並且可提供良好之電性接觸。

本發明之上述態樣之III族氮化物半導體光元件及磊晶基板中，上述p型氮化鎵系半導體層可包含InAlGaN及AlGaN中之至少任一者。根據III族氮化物半導體光元件及磊晶基

板，關於該氮化鎵系半導體之p導電型，作為p型摻雜劑之碳有效地發揮作用。

本發明之上述態樣之III族氮化物半導體光元件及磊晶基板中，較佳為上述p型氮化鎵系半導體層包含InAlGa_{1-x-y}N。根據該III族氮化物半導體光元件及磊晶基板，可提供適當之導電性與所需之應變。

本發明之上述態樣之III族氮化物半導體光元件及磊晶基板中，上述活化層包含於上述支持體之上述主面之法線軸之方向上交替排列的阱層及障壁層，上述障壁層包含氮化鎵系半導體，上述障壁層之厚度大於上述阱層之厚度，上述阱層包含含有In作為構成元素之氮化鎵系半導體，上述阱層之碳濃度為 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下，上述n型氮化鎵系半導體層之碳濃度小於上述p型氮化鎵系半導體層之碳濃度，上述n型氮化鎵系半導體層含有n型摻雜劑，上述n型氮化鎵系半導體層之n型摻雜劑濃度大於上述n型氮化鎵系半導體層之碳濃度。

根據該磊晶基板，可獲得作為p型摻雜劑之碳之技術性支持，並且於n型氮化鎵系半導體層及活化層中，可降低碳之影響。

本發明之上述目的及其他目的、特徵以及優點，根據參照隨附圖式所展開之本發明之較佳實施形態之以下詳細敘述，而更易明瞭。

發明之效果

如以上所說明般，根據本發明，提供一種包含低電阻化

之 p 型氮化鎵系半導體層之 III 族氮化物半導體光元件。
又，根據本發明，提供一種用於該 III 族氮化物半導體光元件之磊晶基板。

【實施方式】

本發明之見解可藉由參照作為例示而揭示之隨附圖式並考慮以下之詳細敘述而容易地理解。繼而，一面參照隨附圖式，一面說明 III 族氮化物半導體光元件及磊晶基板、以及製作 III 族氮化物半導體光元件及磊晶基板之方法之本發明之實施形態。於可能之情況下，對於相同部分附上相同符號。

圖 1 係表示本發明之實施形態之 III 族氮化物半導體光元件之圖式。III 族氮化物半導體光元件例如可為半導體雷射或發光二極體等半導體發光元件。圖 1 所示之半導體積層表示用於半導體發光元件之磊晶基板之結構。參照圖 1，表示有正交座標系 S。

III 族氮化物半導體光元件 11 包括支持體 13、n 型氮化鎵系半導體層 15、p 型氮化鎵系半導體層 17、及活化層 19。支持體 13 包含 III 族氮化物半導體。III 族氮化物半導體包含 $\text{In}_S\text{Al}_T\text{Ga}_{1-S-T}\text{N}$ ($0 \leq S \leq 1$ 、 $0 \leq T \leq 1$ 、 $S+T \neq 1$)，且例如可為 GaN、InGaN、AlGaN、InAlGaN 等。支持體 13 具有主面 13a 及背面 13b，主面 13a 之法線方向(以法線向量 NV 表示之方向)之法線軸 Nx 朝向 z 軸之正方向。主面 13a 相對於基準平面 Sc 形成大於零之有限之角度 ALPHA，基準平面 Sc 正交於在該 III 族氮化物半導體之 c 軸之方向(以 c 軸向量 VC 表示

之方向)上延伸的基準軸Cx。角度ALPHA為40度以上且140度以下。主面13a顯示出半極性或無極性中之任一者。n型氮化鎵系半導體層15係設置於支持體13之主面13a上，且覆蓋主面13a。p型氮化鎵系半導體層17係設置於主面13a上。於支持體13之主面13a上，n型氮化鎵系半導體層15、活化層19及p型氮化鎵系半導體層17排列於法線軸Nx之方向上。活化層19係設置於n型氮化鎵系半導體層15與p型氮化鎵系半導體層17之間。

p型氮化鎵系半導體層17中例如添加有鎂作為p型摻雜劑，n型氮化鎵系半導體層15中例如添加有矽作為n型摻雜劑。p型氮化鎵系半導體層17含有碳作為p型摻雜劑。p型氮化鎵系半導體層17之碳濃度為 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上，藉由該濃度範圍可提供電洞。又，碳濃度為 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下，藉由該濃度範圍，可減少含有作為p型摻雜劑之碳之半導體之表面形態下降。

根據該III族氮化物半導體光元件11，p型氮化鎵系半導體層17設置於支持體13之主面13a上，且該主面13a以40度以上且140度以下之範圍之角度與c面相傾斜。於該傾斜角之範圍內，當主面13a上之p型氮化鎵系半導體層17含有碳時，所添加之碳穩定地作為p型摻雜劑而發揮作用。又，p型氮化鎵系半導體層17同時含有作為p型摻雜劑而發揮作用之碳及鎂。因此，可由碳及鎂之兩者提供電洞。又，由於可減少為提供所需電洞濃度而要添加之鎂之添加量，故可避免因添加鎂所引起之結晶性下降。

p型氮化鎵系半導體層17可包含InAlGa_N層及AlGa_N層中之至少任一者。關於該等氮化鎵系半導體之p導電型，作為p型摻雜劑之碳有效地發揮作用。較佳為p型氮化鎵系半導體層17包含InAlGa_N。根據InAlGa_N，可提供適當之導電性與所需之應變。

III族氮化物半導體光元件11中，活化層19可具有單一量子阱結構或多重量子阱結構，但並不限定於該等結構。活化層19包含障壁層23a及阱層23b。障壁層23a及阱層23b交替地排列於支持體13之主面13a之法線軸Nx之方向上。障壁層23a包含氮化鎵系半導體，例如包含Ga_N或InGa_N等。又，阱層23b包含含有In作為構成元素之氮化鎵系半導體，例如包含InGa_N。障壁層23a之厚度DB大於阱層23b之厚度DW。阱層23b之碳濃度可為 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下。由於阱層之碳濃度為 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下，故作為p型摻雜劑之碳不會對活化層19之發光特性造成實質上之影響。於n型氮化鎵系半導體層15及活化層19中，可減少碳之影響。

又，n型氮化鎵系半導體層15之碳濃度小於p型氮化鎵系半導體層17之碳濃度。n型氮化鎵系半導體層15含有n型摻雜劑，n型氮化鎵系半導體層15之n型摻雜劑濃度大於n型氮化鎵系半導體層15之碳濃度。因此，即便n型氮化鎵系半導體層中之碳作為p型摻雜劑而發揮作用，作為p型摻雜劑之碳亦不會對n型氮化鎵系半導體層15之n導電型造成實質上之影響。又，n型氮化鎵系半導體層15之碳濃度較佳為 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下。於通常之n型摻雜劑之添加濃度下，n

型氮化鎵系半導體層具有足夠大之電子濃度。

n型氮化鎵系半導體層15可包含InAlGa_N層及AlGa_N層中之至少任一者。作為p型摻雜劑之碳不會對該等氮化鎵系半導體之n導電型造成實質上之影響。當n型氮化鎵系半導體層15為InAlGa_N時，可將適當之導電性與所需之應變提供給n型氮化鎵系半導體層15。

p型氮化鎵系半導體層17中之碳濃度可大於p型氮化鎵系半導體層17中之鎂濃度。於Ga_N、InAlGa_N或AlGa_N等氮化鎵系半導體中，由於碳之活化能量小於鎂之活化能量，故於p型氮化鎵系半導體層17中，為提供所需電洞濃度而要添加之鎂之添加量不增加。

當III族氮化物半導體光元件11為半導體雷射時，p型氮化鎵系半導體層17作為包覆層而發揮作用，且n型氮化鎵系半導體層15作為包覆層而發揮作用。

當III族氮化物半導體光元件11為半導體雷射時，III族氮化物半導體光元件11包含第1光導引層25，該光導引層25包含Ga_N、InGa_N等氮化鎵系半導體。第1光導引層25設置於p型氮化鎵系半導體層17與活化層19之間。第1光導引層25之碳濃度可為 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下。根據該光導引層25，可減少由碳所引起之載子生成，故可減少由自由載子所引起之光吸收。於必要之情況下，可向第1光導引層25之至少一部分中進一步添加鎂，該鎂濃度為 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下。再者，亦可不向第1光導引層25中添加鎂。

第1光導引層25可包含一層或複數層氮化鎵系半導體

層。於一實施例中，第1光導引層25可包含InGaN層25a及GaN層25b。InGaN層25a位於GaN層25b與活化層19之間。又，電子阻擋層21設置於p型氮化鎵系半導體層17與活化層19之間，圖1中，電子阻擋層21位於InGaN層25a與GaN層25b之間。電子阻擋層21之材料具有較InGaN層25a及GaN層25b之帶隙更大的帶隙，電子阻擋層21之厚度小於InGaN層25a之厚度及GaN層25b之厚度。電子阻擋層21可包含例如AlGaIn等。

當III族氮化物半導體光元件11為半導體雷射時，III族氮化物半導體光元件11包含第2光導引層27，該光導引層27包含GaIn、InGaIn等氮化鎵系半導體。第2光導引層27設置於n型氮化鎵系半導體層15與活化層19之間。第2光導引層27之碳濃度為 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下。由於可減少由碳所引起之載子生成，故可減少由自由載子所引起之光吸收。

第2光導引層27可包含一層或複數層氮化鎵系半導體層。於一實施例中，第2光導引層27可包含InGaIn層27a及GaN層27b。InGaIn層27a位於GaN層27b與活化層19之間。

於III族氮化物半導體光元件11中，活化層19係為產生波長430 nm以上且600 nm以下之光而設置。第1光導引層25包含InGaIn層，並且第2光導引層27包含InGaIn層。活化層19接觸於第1光導引層25之InGaIn層與第2光導引層27之InGaIn層。第1光導引層25之InGaIn層、活化層19、及第2光導引層27之InGaIn層之積層可為生成波長比較長之光的發光元件提供適當之波導核心結構。

n型氮化鎵系半導體層15、發光層29及p型氮化鎵系半導體層17係排列於支持體13之主面13a之法線軸Nx之方向上。發光層29包含活化層19，且於必要之情況下，可進一步包含光導引層25、27。

p型氮化鎵系半導體層17(或者半導體層21)設置於活化層19之主面19a上，該p型氮化鎵系半導體層接觸於發光層29之主面29a上。發光層29之主面19a(同樣，活化層19之主面19a)相對於基準平面Sc以40度以上且140度以下之範圍之角度傾斜。由於p型氮化鎵系半導體層17係磊晶成長於顯示出半極性或無極性之半導體區域上的磊晶膜，故碳之舉動與磊晶成長於顯示出極性之c面半導體區域上的磊晶膜中之舉動不同。p型氮化鎵系半導體層17中，可獲得作為p型摻雜劑之碳之技術性貢獻。又，遍及p型氮化鎵系半導體層17之整體，碳作為p型摻雜劑而發揮作用。

n型氮化鎵系半導體層15之主面15a相對於基準平面Sc而處於40度以上且140度以下之範圍內。由於發光層29及活化層19設置於n型氮化鎵系半導體層15之主面15a上，故發光層29及活化層19中之壓電電場之強度由於基底之面方向之半極性及無極性而較小。又，n型氮化鎵系半導體層15之主面15a之傾斜可提供於p型氮化鎵系半導體層17中能夠提供使碳作為p型摻雜劑之技術性貢獻的基底層。

III族氮化物半導體光元件11可進而包括接觸層31。接觸層31設置於p型氮化鎵系半導體層17之主面17a上，且包含p型氮化鎵系半導體。接觸層31之碳濃度可為 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$

以上。即便於接觸層31中，亦可獲得作為p型摻雜劑之碳之技術性貢獻。又，接觸層31之碳濃度為 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下。因碳之添加而產生結晶品質之下降。

於必要之情況下，可於接觸層31、p型氮化鎵系半導體層17及第1光導引層25上設置脊狀結構。脊狀結構於雷射條紋之延伸方向之軸Ax之方向上延伸。

III族氮化物半導體光元件11可進而包括設置於接觸層31上之第1電極33。第1電極33經由覆蓋磊晶積層之表面之絕緣膜35之開口35a而接觸於接觸層31。根據該III族氮化物半導體光元件11，由於接觸層31含有碳及鎂之兩者作為p型摻雜劑，故接觸層31可與電極33形成良好之電性接觸。

當III族氮化物半導體光元件11具有脊狀結構時，絕緣膜35之開口35a位於脊狀結構之上表面，絕緣膜35覆蓋脊狀結構之整個側面。

於上述說明中，發光層29之主面29a(同樣，活化層19之主面19a)相對於基準平面Sc而以40度以上且140度以下之範圍之角度傾斜。可使支持體13之主面13於晶體方位 $\langle 11-20 \rangle$ 所示之a軸之方向上傾斜。較佳為該傾斜角處於59度以上且121度以下之範圍內。進而，尤佳為傾斜角在70度以上且80度以下，或者尤佳為傾斜角在100度以上且110度以下。於該等角度範圍內，碳可作為p型摻雜劑而發揮作用。又，於c軸方向上延伸之基準軸能夠以支持體13之III族氮化物半導體之 $\langle 11-20 \rangle$ 方向為基準而以-15度以上且+15度以下之範圍之朝向傾斜。此時，較佳為傾斜角於59

度以上且121度以下之範圍內。根據該等角度範圍，可進而提高碳可作為p型摻雜劑而發揮作用之概率。進而，較佳為傾斜角於70度以上且80度以下之範圍內。根據該等角度範圍，可進而提高碳可作為p型摻雜劑而發揮作用之概率。

於上述說明中，發光層29之主面29a(同樣，活化層19之主面19a)相對於基準平面Sc而以40度以上且140度以下之範圍之角度傾斜。可使支持體13之主面13於晶體方位<1-100>所示之m軸之方向上傾斜。較佳為該傾斜角處於63度以上且117度以下之範圍內。進而，尤佳為傾斜角在70度以上且80度以下，或者尤佳為傾斜角在100度以上且110度以下。於該等角度範圍內，碳可作為p型摻雜劑而發揮作用。又，較佳為於c軸方向上延伸之基準軸以支持體13之III族氮化物半導體之<1-100>方向為基準而以-15度以上且+15度以下之範圍之朝向傾斜。此時，較佳為上述傾斜角處於63度以上且117度以下之範圍內。根據該等角度範圍，可進而提高碳可作為p型摻雜劑而發揮作用之概率。進而，尤佳為上述傾斜角在70度以上且80度以下，或者尤佳為傾斜角在100度以上且110度以下。於該等角度範圍內，碳可作為p型摻雜劑而發揮作用。

可使支持體13之主面13於晶體方位<11-20>所示之a軸之方向上傾斜。關於向a軸方向之傾斜，較佳為支持體13之主面13自{11-22}、{11-21}、{11-20}、{11-2-1}及{11-2-2}中之任一面而於-4度~+4度之範圍內。於該等角度範圍

內，碳可作為p型摻雜劑而發揮作用。又，較佳為支持體13之主面13a之平面指數為 $\{11-22\}$ 、 $\{11-21\}$ 、 $\{11-20\}$ 、 $\{11-2-1\}$ 及 $\{11-2-2\}$ 中之任一者。認為該等平面指數具有適於碳作為p型摻雜劑而發揮作用之構成原子之排列。

或者，可使支持體13之主面13於晶體方位 $\langle 1-100 \rangle$ 所示之m軸之方向上傾斜。關於向m軸方向之傾斜，支持體13之主面13a可自 $\{10-11\}$ 、 $\{20-21\}$ 、 $\{10-10\}$ 、 $\{20-2-1\}$ 及 $\{10-1-1\}$ 中之任一面而於-4度~+4度之範圍內。於該等角度範圍內，碳可作為p型摻雜劑而發揮作用。又，較佳為支持體13之主面13之平面指數為 $\{10-11\}$ 、 $\{20-21\}$ 、 $\{10-10\}$ 、 $\{20-2-1\}$ 及 $\{10-1-1\}$ 中之任一者。認為該等平面指數具有適於碳作為p型摻雜劑而發揮作用之構成原子之排列。

支持體13之穿透位錯密度可為 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下。於成長於 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下之穿透位錯密度之區域上的氮化鎵系半導體層中，可減少穿透位錯對p型摻雜劑活化之影響。支持體13可包含GaN、InGaN、AlGaN及InAlGaN中之任一者。

$1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下之穿透位錯密度之區域可由支持體13之一部分提供。於該低位錯區域中，可減少對p型摻雜劑活化之影響。因此，該較低之穿透位錯密度之區域可應用於半導體雷射。又，成長於 $1 \times 10^5 \text{ cm}^{-2}$ 以下之穿透位錯密度之區域上的氮化鎵系半導體層可進一步減小穿透位錯對p型摻雜劑活化之影響。該穿透位錯密度之區域可提供實質

上無位錯之雷射條紋。由於可獲得低位錯之Ga₂N，故較佳為支持體13包含Ga₂N。

該支持體13可顯示出導電性。III族氮化物半導體光元件11可進而包括接觸於支持體13之背面13b之第2電極37。支持體13可提供能夠使碳作為p型摻雜劑而發揮作用之磊晶區域，並且可提供針對n型之良好的電性接觸。

圖2係表示以二次離子質譜分析法檢驗使用有機金屬氣相成長法以各種成長條件成長於半極性面Ga₂N上之氮化鎵之碳濃度所得的碳分佈之圖式。於圖2中，特性線C、A分別表示碳濃度之分佈及鋁濃度。添加鋁達到0.1%以下之組成來作為標記物，以便顯示成長條件之變更位置。圖3係表示圖2中之氮化鎵之成長條件(1)~(10)中所使用的成長條件與氮化鎵中之碳濃度的關係之圖式。再者，於氮化鎵之成長中，使用三甲基鎵(TM₂G，Trimethylgallium)作為有機鎵原料。於圖3中，溫度之單位為「攝氏」，成長比率GR之單位為「μm/小時」，氮(NH₃)之流量之單位為「slm(基準狀態下之每分鐘之公升單位之流量)」，碳濃度之單位為「cm⁻³」。圖3中表示V/III(莫耳流量比)及碳濃度「C」。於碳濃度之標記中，例如「0.85E16」係表示0.85×10¹⁶。

圖4係表示所成長之Ga₂N膜中之碳濃度與成長溫度及V/III之關係之圖式。若參照圖4之(a)部，則於成長比率0.21 μm/小時之條件下，於成長溫度(攝氏740度~780度~820度)之範圍內，碳濃度伴隨溫度之上升而單調地減少。若參照圖4之(b)部，則於攝氏780度之成長溫度之條件

下，碳濃度隨著V/III比之上升而單調地減少。

如根據圖2~圖4所示之實驗所理解般，於氮化鎵系半導體之半極性面(同樣於無極性面)上之氮化鎵系半導體之成長中，即便在III族原料及V族原料以外不供給碳摻雜劑，亦可控制p型摻雜劑之碳之濃度。再者，於必要之情況下，可在原料之外另行供給碳摻雜劑。例如，藉由於成長中供給化學式 CH_4 所示之甲烷，可容易地實現 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上之相對較高之濃度之碳濃度。

一面參照圖5~圖7，一面對製作III族氮化物半導體光元件及磊晶基板之方法加以說明。又，圖8係概略性地表示本實施例中之半導體雷射之圖式。於該製作方法中，例如於具有半極性或無極性之主面之GaN基板上製作圖8所示之雷射二極體結構(LD1)之磊晶基板。作為用於磊晶成長之原料，係使用三甲基鎵(TMG)、三甲基銬(TMI)、三甲基鋁(TMA)、氨(NH_3)、矽烷(SiH_4)、雙環戊二烯基鎂(Cp_2Mg)。

準備例如傾斜角處於自63度至小於80度之傾斜角之範圍內之GaN基板。於圖5之(a)部所示之結晶座標系CR中，所準備之GaN基板51具有例如自正交於六方晶體系GaN之c軸的平面起於m軸方向上以75度之角度傾斜之主面，該傾斜主面51a係作為{20-21}面而表示。該主面經鏡面研磨。於GaN基板51上利用以下之條件進行磊晶成長。

首先，將GaN基板51設置於成長爐10內。於步驟S101中，於例如攝氏1050度之溫度及27 kPa之爐內壓力下，如

圖5之(a)部所示，一面流通包含氮與氫(H₂)之熱處理氣體G0，一面進行10分鐘熱處理。藉由該熱處理所引起之表面改性，而於GaN基板51之表面形成由偏離角所規定之階梯結構。

於該熱處理之後，成長GaN系半導體區域。例如，於步驟S102中，於例如攝氏1100度將包含TMG、TMA、TMI、氮、矽烷之原料氣體G1供給至成長爐10，如圖5之(b)部所示，成長n型包覆層53。n型包覆層53例如為Si摻雜InAlGaN層。InAlGaN層之厚度例如為1.2微米。成長溫度例如為攝氏900度，其Al組成例如為0.14，其In組成例如為0.03。

其次，如圖5之(c)部所示，於步驟S103中，於n型包覆層53上成長光導引層55。光導引層55包含例如Si摻雜GaN層55a及無摻雜之InGaN層55b，其錒組成可為0.02。首先，將TMG、氮、矽烷供給至成長爐10，於n型包覆層53上以攝氏840度之成長溫度成長Si摻雜GaN層55a。其次，將TMG、TMI、氮供給至成長爐10，於Si摻雜GaN層55a上以攝氏840度之成長溫度成長無摻雜之InGaN層55b。Si摻雜GaN層55a之厚度例如為200 nm，無摻雜之InGaN層55b之厚度例如為65 nm。

其次，如圖6之(a)部所示，於步驟S104中，成長活化層57。以攝氏870度之基板溫度，將TMG、氮供給至成長爐，並以此基板溫度成長GaN系半導體障壁層。障壁層例如為無摻雜GaN，其厚度為15 nm。於障壁層之成長後，

中斷成長，將基板溫度自攝氏870度改變為攝氏830度。於改變後之基板溫度T2下，將TMG、TMI、氮供給至成長爐，成長無摻雜InGaN阱層。該無摻雜InGaN阱層之厚度為3 nm。於阱層之成長後，停止TMI之供給，並且一面將TMG、氮供給至成長爐，一面將基板溫度自攝氏830度改變為攝氏870度。於此改變中，亦成長無摻雜GaN障壁層之一部分。溫度之改變結束後，成長無摻雜GaN障壁層之剩餘部分。GaN障壁層之厚度為15 nm。繼而，重複障壁層之基板溫度改變、阱層之成長，形成InGaN阱層及GaN障壁層。於必要之情況下，障壁層可包含InGaN。

於活化層57上成長光導引層。為形成光導引層，首先，於步驟S105中，將TMG、TMI、氮供給至成長爐10，如圖6之(b)部所示，以攝氏840度之基板溫度於活化層57上成長無摻雜InGaN層59。其In組成為0.02。其次，於本實施例中，於光導引層之InGaN層59之成長後，於步驟S106中，停止TMG及TMI之供給，使基板溫度上升至攝氏1100度。於此溫度下，將TMG、TMA、氮、雙環戊二烯基鎂供給至成長爐10，如圖6之(c)部所示，成長電子阻擋層61。電子阻擋層61例如為AlGa_{0.12}N。電子阻擋層61之Al組成為0.12。降低基板溫度，以攝氏840度之基板溫度將TMG、TMI、氮、雙環戊二烯基鎂供給至成長爐，如圖7之(a)部所示，於步驟S107中，於電子阻擋層61上成長光導引層之p型Ga_{0.45}N層63。基板溫度例如為攝氏1000度。於該p型Ga_{0.45}N層63之成長中，例如與n型Ga_{0.45}N層55a之成長相比，可使用使碳

之滲入上升之成膜條件。又，電子阻擋層61之成長例如與n型Ga_{0.99}N層55a之成長相比，亦可使用使碳之滲入上升之成膜條件。又，較佳為電子阻擋層61之碳濃度小於其後成長之p型包覆層之碳濃度。無摻雜之InGa_{0.99}N層59之厚度例如為65 nm，Mg及C摻雜電子阻擋層61之厚度例如為20 nm，Mg及C摻雜Ga_{0.99}N層63之厚度例如為200 nm。

其次，於光導引層63上成長Ga_{0.99}N系半導體區域。於光導引層63之成長後，停止TMG之供給，將包含TMG、TMA、TMI、氮、雙環戊二烯基鎂之氣體供給至成長爐，於步驟S108中成長p型包覆層65。p型包覆層65之基板溫度例如為900度，其厚度例如為400 nm。p型包覆層65例如為Mg及C摻雜InAlGa_{0.99}N，其Al組成例如為0.14，其In組成為0.03。於p型包覆層65之成長中，例如與n型包覆層53之成長相比，可使用使碳之滲入上升之成膜條件。

此後，停止TMA之供給，於步驟S109中成長p型接觸層67。p型接觸層67例如包含Mg及C摻雜Ga_{0.99}N、InGa_{0.99}N等，其厚度例如為50 nm。於該p型接觸層67成長中，例如與n型Ga_{0.99}N層55a之成長相比，可使用使碳之滲入上升之成膜條件。成膜後，使成長爐之溫度下降至室溫，而製作磊晶基板EP。

於電極形成步驟中，於磊晶基板EP上形成電極。首先，形成藉由光微影及蝕刻而形成設有接觸窗之二氧化矽膜之類的絕緣膜69(圖8所示)。接觸窗69a例如為條紋形狀，其寬度例如為10微米。其次，於p型Ga_{0.99}N接觸層67上形成p電

極(Ni/Au)71a。此後，形成p焊墊電極(Ti/Au)。於必要之情況下，將GaN基板51之背面研磨成所需之厚度後，於磊晶基板EP之背面形成n電極(Ti/Al)71b。於退火步驟中，進行電極退火(例如，攝氏550度)之工序而可製作基板產物。

(實施例1)

於該磊晶基板EP之形成中，藉由p型氮化鎵系半導體之成長中的V/III比被提高之成長，而使碳濃度增加。另一方面，在此磊晶基板EP之外，製作藉由p型氮化鎵系半導體之成長中的V/III比被降低之成長而製出的另一磊晶基板。該另一磊晶基板之p型包覆層之碳濃度低於磊晶基板EP之p型包覆層之碳濃度。

以如下方式製作圖8所示之半導體雷射。以75度之角度自(0001)方向上所成長之GaN錠切下GaN片，準備具有{20-21}面之GaN基板。於該GaN基板之GaN半導體區域之主面({20-21}面)上磊晶成長以下之半導體層。

75度偏離之GaN基板。

n型包覆層：Si摻雜InAlGaN、基板溫度900度、厚度2 μm 、Al組成0.14、In組成0.03。

光導引層：無摻雜GaN、基板溫度840度、厚度250 nm。

光導引層：無摻雜InGaN、基板溫度840度、厚度100 nm、In組成0.02。

活化層。

障壁層：無摻雜GaN、基板溫度730度、厚度15 nm。

阱層：無摻雜 InGaN、基板溫度 730 度、厚度 3 nm、In 組成 0.30。

光導引層：無摻雜 InGaN、基板溫度 840 度、厚度 50 nm、In 組成 0.03。

光導引層：無摻雜 GaN、基板溫度 840 度、厚度 250 nm。

電子阻擋層：Mg 摻雜 AlGaN、基板溫度 1000 度、厚度 20 nm、Al 組成 0.12。

p 型包覆層：Mg 摻雜 InAlGaN、基板溫度 900 度、厚度 400 nm、Al 組成 0.14、In 組成 0.03。

p 型接觸層：Mg 摻雜 GaN、基板溫度 900 度、厚度 50 nm。

圖 9 係表示磊晶基板 EP 中之銦、碳、鋁及鎂之元素的 SIMS (secondary ion mass spectrometry, 二次離子質譜) 分佈之圖式。圖 10 係表示另一磊晶基板中之銦、碳、鋁及鎂之元素的 SIMS 分佈之圖式。於圖 9 及圖 10 中表示藉由 SIMS 所測定之分佈 P1~P4 及 Q1~Q4。於 SIMS 測定中，使用磁場型 SIMS 裝置。

P1、Q1：銦之分佈。

P2、Q2：碳之分佈。

P3、Q3：鋁之分佈。

P4、Q4：鎂之分佈。

根據 SIMS 分佈，根據藉由二次離子質譜分析所求得之碳濃度，磊晶基板 EP 之 p 型 InAlGaN 層之碳濃度為 1×10^{17}

cm^{-3} ，p型InAlGa N 層之鎂濃度為 $4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 。又，另一磊晶基板之p型InAlGa N 層之碳濃度為 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ，p型InAlGa N 層之鎂濃度為 $6 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 。

(實施例2)

使用磊晶基板(高碳濃度)EP及另一磊晶基板(低碳濃度)，製作雷射二極體(LD)。於該等磊晶基板之表面成膜 SiO_2 絕緣膜後，於該絕緣膜上藉由乾式蝕刻而形成寬度 $10 \mu\text{m}$ 之條紋窗。蒸鍍包含Ni/Au之p側電極與包含Ti/Al之焊墊電極。對各磊晶基板之背面進行研磨而使其厚度為 $100 \mu\text{m}$ 。於經研磨之背面上蒸鍍包含Ti/Al/Ti/Au之n側電極。利用以此方式製成之基板產物來製作雷射棒。各個雷射棒包含共振鏡。於雷射棒之端面藉由真空蒸鍍法而塗佈介電體多層膜。介電體多層膜係交替地積層 SiO_2 與 TiO_2 而構成。膜厚分別於 $50 \sim 100 \text{ nm}$ 之範圍內進行調整，反射率之中心波設計為 $500 \sim 530 \text{ nm}$ 之範圍。將單側之反射面設為10週期，將反射率之設計值設計為約95%，將另一單側之反射面設為6週期，將反射率之設計值設為約80%。其次，於室溫下藉由通電而進行評估。電源係使用脈衝寬度 500 ns 、佔空比0.1%之脈衝電源，使針落於表面電極而通電。於測定光輸出時，藉由光電二極體而檢測來自雷射棒端面之發光，調查光輸出-電流特性(L-I特性)，求得閾值電流密度。於測定發光波長時，使來自雷射棒端面之發光通過光纖，偵測器使用光譜分析儀而進行光譜測定，求得振盪波長。電壓-電流特性(V-I特性)之測定係使用四探針法而

進行。將各晶圓中特性良好之10個LD之平均值示於以下。

試樣名、 閾值、 、閾值電壓、振盪波長、元件電阻。

高C濃度之LD：5 kA/cm²、5.2V、521 nm、2Ω。

低C濃度之LD：15 kA/cm²、7.2V、520 nm、6Ω。

於高C濃度之LD中，遍及p型半導體區域之整體為 2×10^{16} cm⁻³以上。另一方面，於低C濃度之LD中，遍及p型半導體區域之全體為小於 2×10^{16} cm⁻³。

由該等結果可知，藉由於半極性及無極性之p型氮化鎵系半導體中滲入特定濃度範圍之碳，可提高p型半導體層之電氣特性，其結果為可提高元件特性。

其次，說明GaN基板之位錯密度對p型碳摻雜劑之影響。於Si基板、藍寶石基板、SiC基板等上之半極性面上之GaN之異質磊晶成長中，當前磊晶膜之結晶品質不高。具體而言，於使用上述異質基板之異質磊晶成長膜中，其穿透位錯密度為 1×10^7 cm⁻²以上。於具有發出紫色或藍色之類的發光波長之光的InGaN活化層之發光元件中，由於載子之擴散長較小為0.2 μm以下，故即便於較高之位錯密度之InGaN活化層中亦觀察到高效率之發光。然而，於發出綠色之光之InGaN活化層中，載子之擴散長達到0.2 μm以上，必須使形成該活化層之InGaN活化層之位錯密度為 1×10^7 cm⁻²以下。當發光元件為雷射二極體時，對於位錯密度要求更高之品質，期望其值為 1×10^6 cm⁻²以下。為使

雷射二極體之條紋完全不含位錯，必須使位錯密度為 $1 \times 10^5 \text{ cm}^{-2}$ 以下。

進而，當磊晶半導體區域中存在位錯時，成長中之表面形態於局部產生變化。具體而言，以位錯為中心而形成凹陷。因此，與磊晶半導體區域不存在位錯而半極性 GaN 面均勻且平坦地成長之半導體區域相比，於位錯附近由於凹陷之影響而使局部之雜質之滲入量與其周圍不同。因此，雖期望較低之位錯密度，但亦可成長具有均勻之雜質分佈之半導體層。具體而言，位錯密度若為 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下之穿透位錯密度，則可減少局部之雜質分佈之影響。因此，較佳為氮化鎵系半導體基板具有上述位錯密度以下之值。

認為實施例中所使用之 {20-21} 面與先前技術中所使用之氮面不同，本案之 {20-21} 面之 GaN 系成長機構與面方向 {10-11} 面之 GaN 系成長機構不同。

根據非專利文獻，已說明於 {10-11} 面 GaN 中碳作為受體而發揮作用之依據在於 (1-101) 為氮終結面。圖 11 係模式性地表示該半極性 {10-11} 面上之原子排列之圖式。圖 12 係模式性地表示半極性 {20-21} 面上之原子排列之圖式。圖 13 係模式性地表示同樣為半極性面之 {10-14} 面上的原子排列之圖式。如圖 12 所示，

{20-21} 面之原子排列並非為完全之氮終結面。

{10-11} 面：最表面之原子全部為氮，為氮終結面。

{20-21} 面：最表面之 2/3 為 Ga 原子，並非為氮終結面。

{10-14} 面：最表面之 3/5 為 Ga 原子，並非為氮終結面。

如圖 12 所示，{20-21}面並非為氮終結面，根據發明者等人之實驗，於{20-21}面或{10-10}面之氮化鎵中，碳作為淺受體而發揮作用。由此可知，本實施形態之淺碳受體之技術性貢獻亦並非由於氮終結面。

若為了參考而參照{10-14}面之原子排列，則{10-14}面中之 Ga/N 之比率接近{20-21}之 Ga/N 之比率。然而，於{10-14}面附近之角度範圍內，碳不會成為淺受體。

根據發明者等人之研究，認為{20-21}面與{10-14}面不同係由於滲入碳時之最表面之鍵之方向不同而引起。於{10-14}面出現自 c 面{0001}向{10-11}面微傾斜時所出現之梯級。相對於此，於{20-21}面出現自{10-11}面向{10-10}面微傾斜時所出現之梯級。藉由該梯級之性質之不同，可利用碳與最表面之鍵之結合而有效且優先地滲入碳，所滲入之碳形成淺受體。因此，於可提供與{20-21}面之梯級相同或類似之梯級的面方向及傾斜角之範圍內，可獲得本實施形態之技術性利益。

於本實施形態中之 p 型氮化鎵系半導體中，較佳為碳濃度之下限為 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上，且其上限為 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下。於本實施形態中之無摻雜氮化鎵系半導體中，較佳為碳濃度之上限為 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下。於本實施形態中之 n 型氮化鎵系半導體中，較佳為碳濃度之下限為 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上，且其上限為 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下。

於較佳之實施形態中已圖示並說明本發明之原理，但業者當認識到：本發明於不脫離此種原理之情況下可於配置

及詳細內容方面進行變更。本發明並不限定於本實施形態所揭示之特定之構成。因此，對於源自申請專利範圍及其精神之範圍的所有修正及變更主張權利。

產業上之可利用性

如以上所說明，根據本實施形態，可提供包含低電阻化之p型氮化鎵系半導體層之III族氮化物半導體光元件。又，根據本實施形態，可提供用於該III族氮化物半導體光元件之磊晶基板。

【圖式簡單說明】

圖1係表示本發明之實施形態之III族氮化物半導體光元件之圖式。

圖2係表示以二次離子質譜分析法檢驗使用有機金屬氣相成長法以各種成長條件而成長於半極性面Ga₂N上之氮化鎵之碳濃度所得的碳分佈之圖式。

圖3係表示圖2中之氮化鎵之成長條件(1)~(10)中所使用的成長條件與氮化鎵中之碳濃度的關係之圖式。

圖4(a)、(b)係表示所成長之Ga₂N膜中之碳濃度與成長溫度及V/III之關係之圖式。

圖5(a)~(c)係模式性地表示製作III族氮化物半導體光元件及磊晶基板之方法中的主要步驟之圖式。

圖6(a)~(c)係模式性地表示製作III族氮化物半導體光元件及磊晶基板之方法中的主要步驟之圖式。

圖7(a)~(c)係模式性地表示製作III族氮化物半導體光元件及磊晶基板之方法中的主要步驟之圖式。

圖8係表示本實施形態之雷射二極體結構(LD1)及其磊晶基板之圖式。

圖9係表示磊晶基板EP中之銦、碳、鋁及鎂之元素的SIMS分佈之圖式。

圖10係表示另一磊晶基板中之銦、碳、鋁及鎂之元素的SIMS分佈之圖式。

圖11係模式性地表示{10-11}面上之原子排列之圖式。

圖12係模式性地表示{20-21}面上之原子排列之圖式。

圖13係模式性地表示{10-14}面上之原子排列之圖式。

【主要元件符號說明】

10	成長爐
11	III族氮化物半導體光元件
13	支持體
13a	支持體主面
13b	支持體背面
15	n型氮化鎵系半導體層
15a	n型氮化鎵系半導體層主面
17	p型氮化鎵系半導體層
17a	p型氮化鎵系半導體層主面
19、57	活化層
19a	活化層主面
21、61	電子阻擋層
23a	障壁層
23b	阱層

25、27	光導引層
25a、27a	InGaN層
25b、27b	GaN層
29	發光層
29a	發光層主面
31	接觸層
33、37	電極
35	絕緣膜
35a	絕緣膜之開口
51	GaN基板
53	n型包覆層
55	光導引層
55a	Si摻雜 GaN層
55b、59	無摻雜之 InGaN層
63	p型 GaN層
67	p型接觸層
69	絕緣膜
69a	接觸窗
71a	p電極
71b	n電極
ALPHA	角度
Ax	延伸軸
CR	結晶座標系
Cx	基準軸

DB	障壁層厚度
DW	阱層厚度
G0	熱處理氣體
G1	原料氣體
NV	法線向量
Nx	法線軸
S	正交座標系
S101~S109	步驟
VC	c軸向量

發明專利說明書

(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： 99123335

※申請日： 99. 7. 15

※IPC 分類：H01L 33/16 (2010.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

III族氮化物半導體光元件、磊晶基板

二、中文發明摘要：

本發明提供一種包含低電阻化之p型氮化鎵系半導體層之III族氮化物半導體光元件。支持體13之主面13a相對於基準平面Sc而形成40度以上且140度以下之角度ALPHA，基準平面Sc正交於該III族氮化物半導體之c軸之方向上延伸之基準軸Cx。主面13a顯示出半極性及無極性中之任一者。n型GaN系半導體層15設置於支持體13之主面13a上。n型GaN系半導體層15、活化層19及p型GaN系半導體層17係排列於法線軸Nx之方向上。p型GaN系半導體層17中添加有鎂作為p型摻雜劑，p型GaN系半導體層17含有碳作為p型摻雜劑。p型GaN系半導體層17之碳濃度為 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上且 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下。

三、英文發明摘要：

七、申請專利範圍：

1. 一種III族氮化物半導體光元件，其包括：

支持體，其包含III族氮化物半導體，且具有相對於與該III族氮化物半導體之c軸方向上延伸的基準軸正交之基準平面形成有限之角度的主面；

n型氮化鎵系半導體層，其設置於上述支持體之上述主面上；

p型氮化鎵系半導體層，其設置於上述支持體之上述主面上，且添加有鎂；及

活化層，其於上述支持體之上述主面上，設置在上述n型氮化鎵系半導體層與上述p型氮化鎵系半導體層之間；且

上述有限之角度係處於40度以上且140度以下之範圍內，

上述主面顯示出半極性及無極性中之任一者，

上述p型氮化鎵系半導體層含有碳作為p型摻雜劑，

上述p型氮化鎵系半導體層之碳濃度為 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上，

上述p型氮化鎵系半導體層之碳濃度為 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下。

2. 如請求項1之III族氮化物半導體光元件，其中上述活化層包含於上述支持體之上述主面之法線軸之方向上交替排列的阱層及障壁層，

上述障壁層包含氮化鎵系半導體，

上述障壁層之厚度大於上述阱層之厚度，

上述阱層包含含有銦作為構成元素之氮化鎵系半導體，

上述阱層之碳濃度為 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下。

3. 如請求項1或2之III族氮化物半導體光元件，其中上述n型氮化鎵系半導體層之碳濃度小於上述p型氮化鎵系半導體層之碳濃度，

上述n型氮化鎵系半導體層含有n型摻雜劑，

上述n型氮化鎵系半導體層之n型摻雜劑濃度大於上述n型氮化鎵系半導體層之碳濃度。

4. 如請求項1至3中任一項之III族氮化物半導體光元件，其中上述n型氮化鎵系半導體層之碳濃度為 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下。

5. 如請求項1至4中任一項之III族氮化物半導體光元件，其中上述n型氮化鎵系半導體層包含InAlGa_{1-x-y}N或AlGa_{1-x-y}N。

6. 如請求項1至5中任一項之III族氮化物半導體光元件，其中上述p型氮化鎵系半導體層中之上述碳濃度大於上述p型氮化鎵系半導體層中之鎂濃度。

7. 如請求項1至6中任一項之III族氮化物半導體光元件，其進而包括：

第1光導引層，其設置於上述p型氮化鎵系半導體層與上述活化層之間，且包含氮化鎵系半導體；及

第2光導引層，其設置於上述n型氮化鎵系半導體層與上述活化層之間，且包含氮化鎵系半導體；且

上述第1光導引層之至少一部分含有鎂作為p型摻雜劑，

上述第1光導引層之碳濃度為 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下，

上述第1光導引層之鎂濃度為 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下，

上述第2光導引層之碳濃度為 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下。

8. 如請求項7之III族氮化物半導體光元件，其中上述活化層包含為產生波長430 nm以上且600 nm以下之光而設置之量子阱結構，

該III族氮化物半導體光元件進而包括設置於上述活化層與上述p型氮化鎵系半導體層之間之電子阻擋層，

上述第1光導引層包含設置於上述電子阻擋層與上述活化層之間之第1 InGaN層，

上述第2光導引層包含設置於上述活化層與上述n型氮化鎵系半導體層之間之第2 InGaN層。

9. 如請求項1至8中任一項之III族氮化物半導體光元件，其中上述n型氮化鎵系半導體層、上述活化層及上述p型氮化鎵系半導體層係排列於上述支持體之上述主面之法線方向上，

上述p型氮化鎵系半導體層設置於上述活化層之主面上，

上述活化層之上述主面相對於上述基準平面而處於40度以上且140度以下之範圍內，

上述活化層設置於上述n型氮化鎵系半導體層之主面上。

10. 如請求項1至9中任一項之III族氮化物半導體光元件，其進而包括：

接觸層，其設置於上述p型氮化鎵系半導體層之主面上，且包含p型氮化鎵系半導體；及

第1電極，其接觸於上述接觸層；且

上述接觸層含有鎂作為p型摻雜劑，

上述接觸層之碳濃度為 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上，

上述接觸層之碳濃度為 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下。

11. 如請求項1至10中任一項之III族氮化物半導體光元件，其中於上述c軸方向上延伸之基準軸以上述支持體之III族氮化物半導體之 $\langle 11-20 \rangle$ 方向為基準而以-15度以上且+15度以下之範圍之方向傾斜，上述支持體之主面與正交於c軸方向上延伸之基準軸的基準平面所成之上述有限之角度係處於59度以上且121度以下的範圍內。

12. 如請求項1至10中任一項之III族氮化物半導體光元件，其中於上述c軸方向上延伸之基準軸以上述支持體之III族氮化物半導體之 $\langle 1-100 \rangle$ 方向為基準而以-15度以上且+15度以下之範圍之方向傾斜，上述支持體之主面與正交於c軸方向上延伸之基準軸的基準平面所成之上述有限之角度係處於63度以上且117度以下的範圍內。

13. 如請求項1至11中任一項之III族氮化物半導體光元件，其中上述支持體之上述主面自 $\{11-22\}$ 、 $\{11-21\}$ 、 $\{11-20\}$ 、 $\{11-2-1\}$ 及 $\{11-2-2\}$ 中之任一面而於-4度~+4度之範圍內。

14. 如請求項1至10及13中任一項之III族氮化物半導體光元件，其中上述支持體之上述主面之平面指數為{11-22}、{11-21}、{11-20}、{11-2-1}及{11-2-2}中之任一者。
15. 如請求項1至12中任一項之III族氮化物半導體光元件，其中上述支持體之上述主面自{10-11}、{20-21}、{10-10}、{20-2-1}及{10-1-1}中之任一面而於-4度~+4度之範圍內。
16. 如請求項1至12及15中任一項之III族氮化物半導體光元件，其中上述支持體之上述主面之平面指數為{10-11}、{20-21}、{10-10}、{20-2-1}及{10-1-1}中之任一者。
17. 如請求項1至16中任一項之III族氮化物半導體光元件，其中上述支持體之穿透位錯密度為 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下，
上述支持體包含GaN、InGaN、AlGaN及InAlGaN中之任一者。
18. 如請求項1至17中任一項之III族氮化物半導體光元件，其進而包括接觸於上述支持體之背面之第2電極，且
上述支持體顯示出導電性。
19. 如請求項1至18中任一項之III族氮化物半導體光元件，其中上述p型氮化鎵系半導體層包含InAlGaN及AlGaN中之至少任一者。
20. 如請求項1至19中任一項之III族氮化物半導體光元件，其中上述p型氮化鎵系半導體層包含InAlGaN。
21. 一種磊晶基板，其係用於III族氮化物半導體光元件者，其包括：

III族氮化物半導體基板，其包含III族氮化物半導體，且具有相對於與該III族氮化物半導體之c軸方向上延伸的基準軸正交之基準平面形成有限之角度的主面；

n型氮化鎵系半導體層，其設置於上述III族氮化物半導體基板之上述主面上；

p型氮化鎵系半導體層，其設置於上述III族氮化物半導體基板之上述主面上，且添加有鎂；及

活化層，其於上述III族氮化物半導體基板之上述主面上，設置在上述n型氮化鎵系半導體層與上述p型氮化鎵系半導體層之間；且

上述有限之角度係處於40度以上且140度以下之範圍內，

上述主面顯示出半極性及無極性中之任一者，

上述p型氮化鎵系半導體層含有碳作為p型摻雜劑，

上述p型氮化鎵系半導體層之碳濃度為 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上，

上述p型氮化鎵系半導體層之碳濃度為 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下。

22. 如請求項21之磊晶基板，其中上述活化層包含於上述III族氮化物半導體基板之上述主面之法線軸之方向上交替排列的阱層及障壁層，

上述障壁層包含氮化鎵系半導體，

上述障壁層之厚度大於上述阱層之厚度，

上述阱層包含含有In作為構成元素之氮化鎵系半導

體，

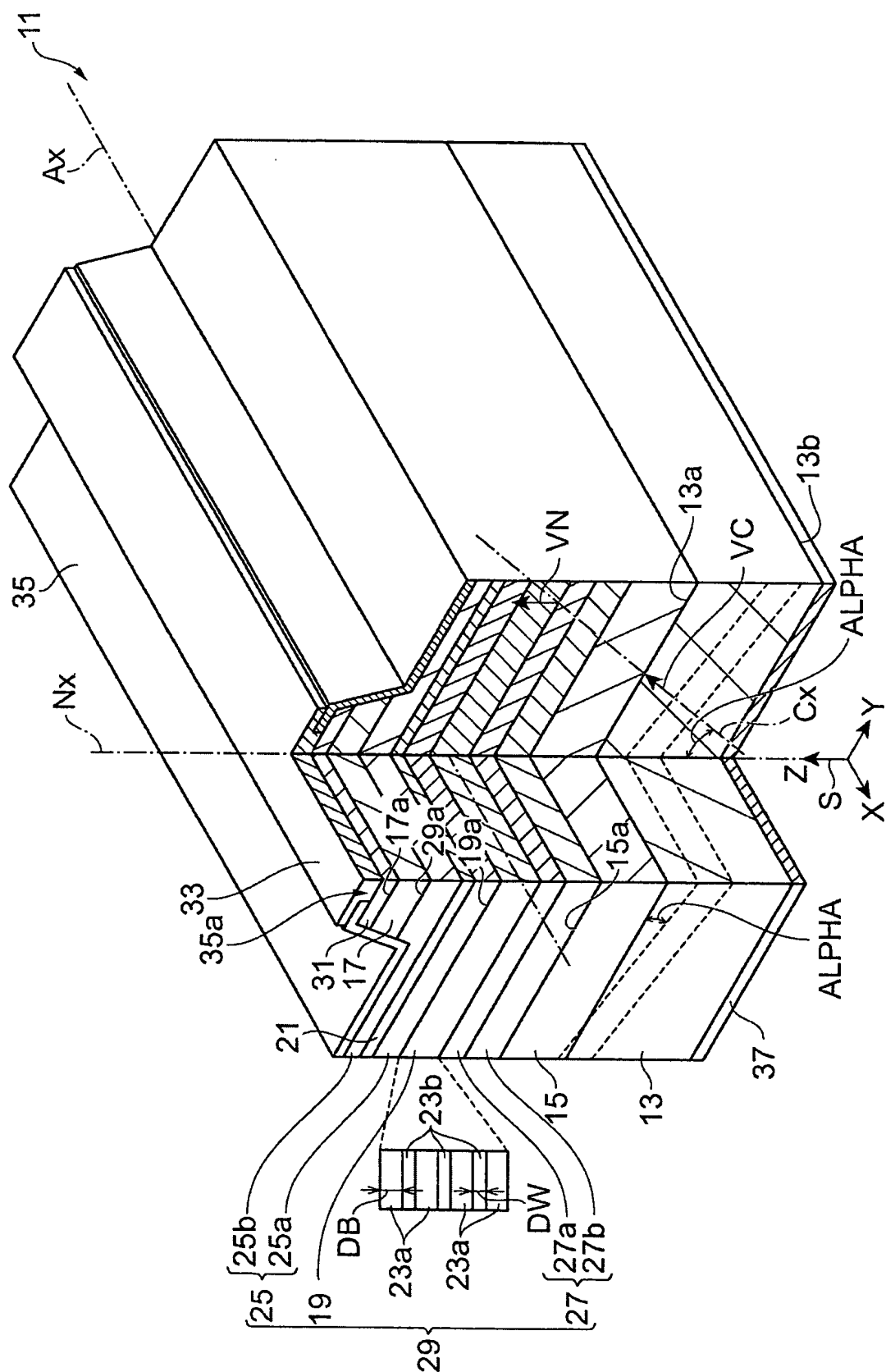
上述阱層之碳濃度為 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下，

上述 n 型氮化鎵系半導體層之碳濃度小於上述 p 型氮化鎵系半導體層之碳濃度，

上述 n 型氮化鎵系半導體層含有 n 型摻雜劑，

上述 n 型氮化鎵系半導體層之 n 型摻雜劑濃度大於上述 n 型氮化鎵系半導體層之碳濃度。

八、圖式：



四

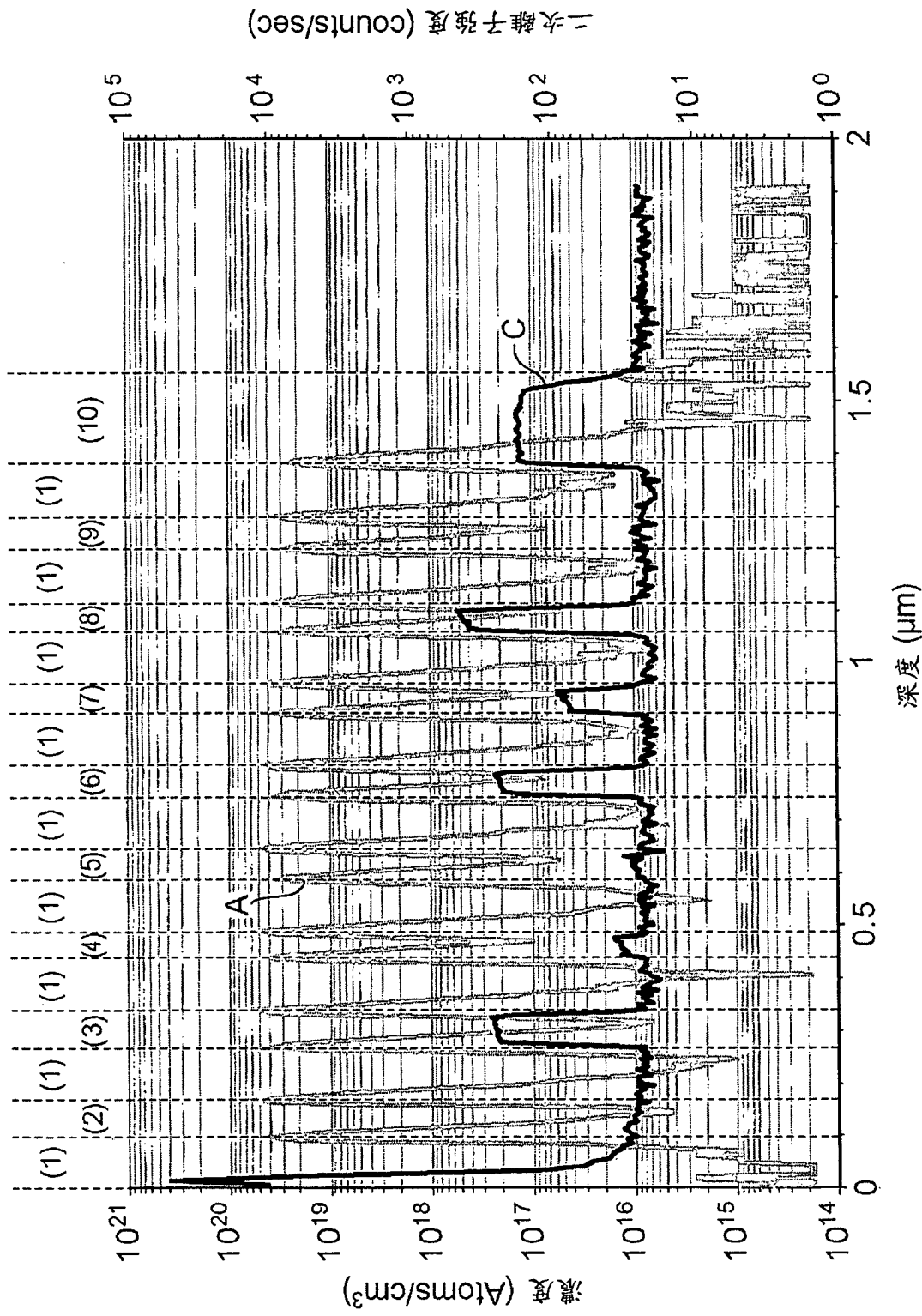


圖2

條件	溫度℃	GR	NH3	V/III	C
(1)	1140	3.49	5	2261	0.85E16
(2)	870	0.4	6	10969	1.1E16
(3)	780	0.255	6	17185	25E16
(4)	780	0.174	10	28641	1.6E16
(5)	780	0.109	8	45826	11E16
(6)	780	0.34		14625	24E16
(7)	780	0.217		22913	5.2E16
(8)	740	0.217			51E16
(9)	820	0.217			0.89E16
(10)	950	7.77	7.5	1373	15E16

圖3

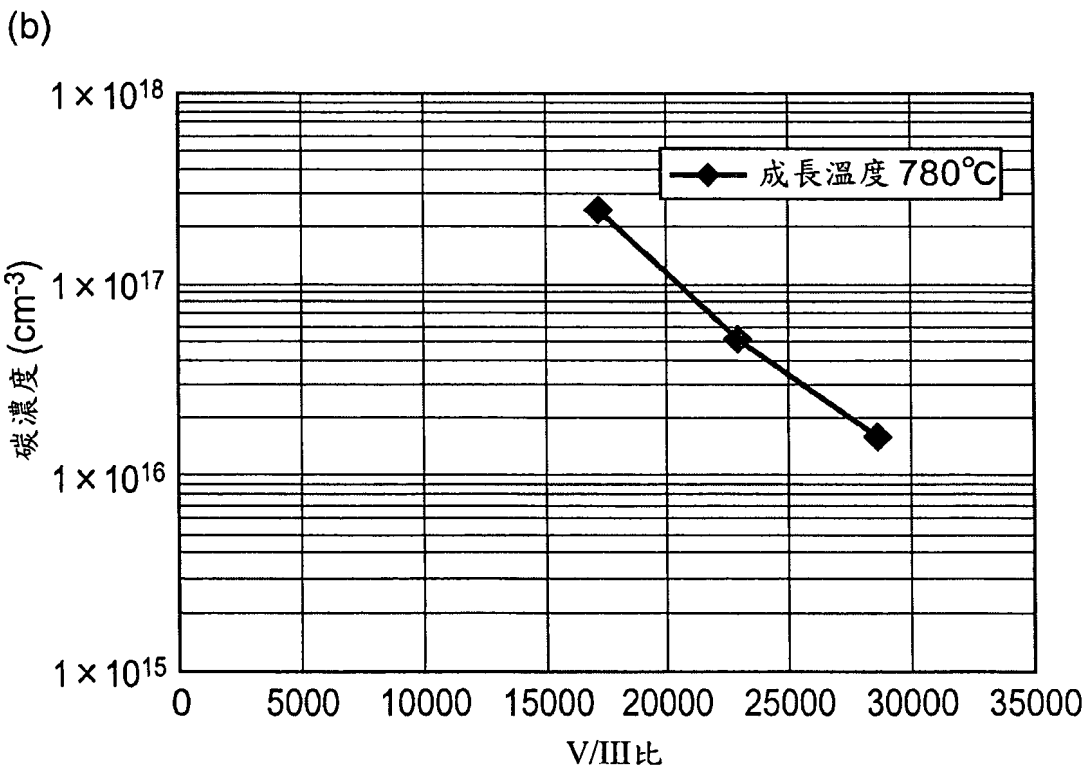
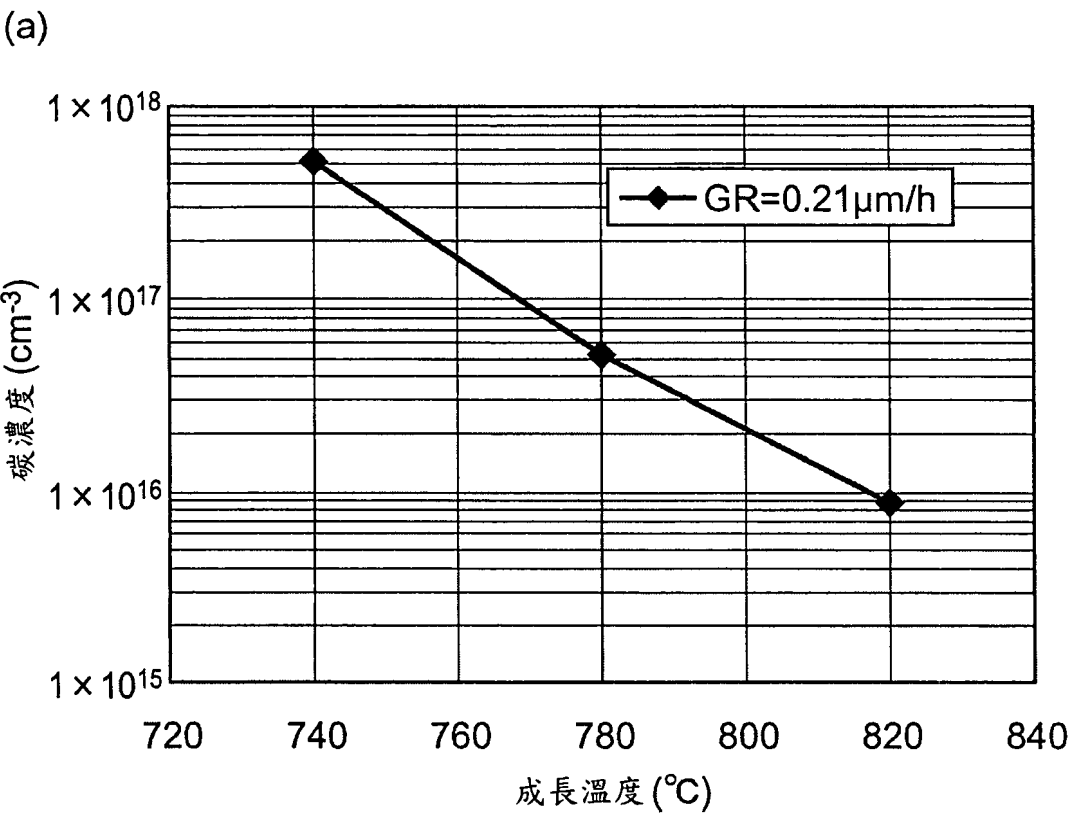


圖4

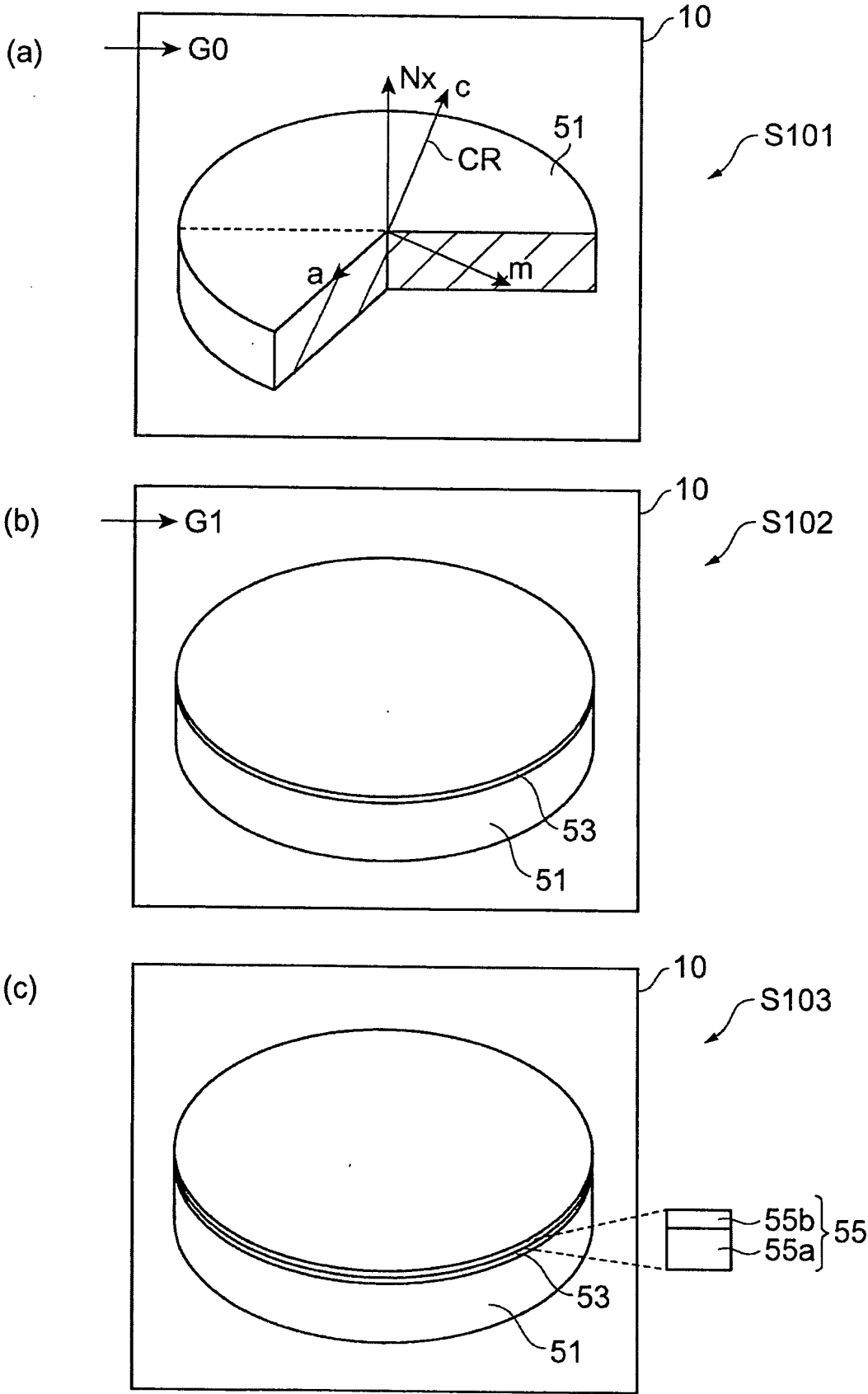


圖5

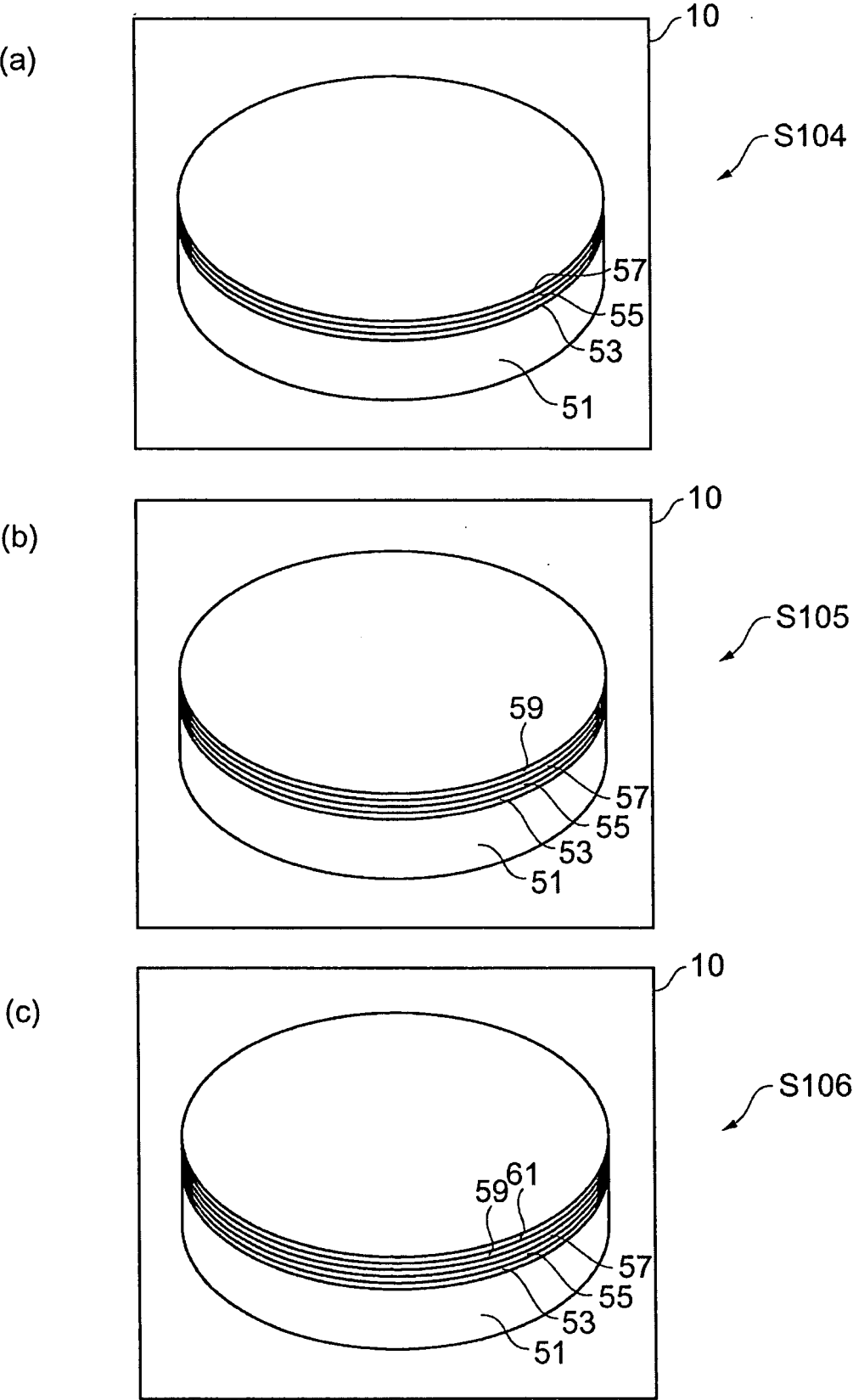


圖6

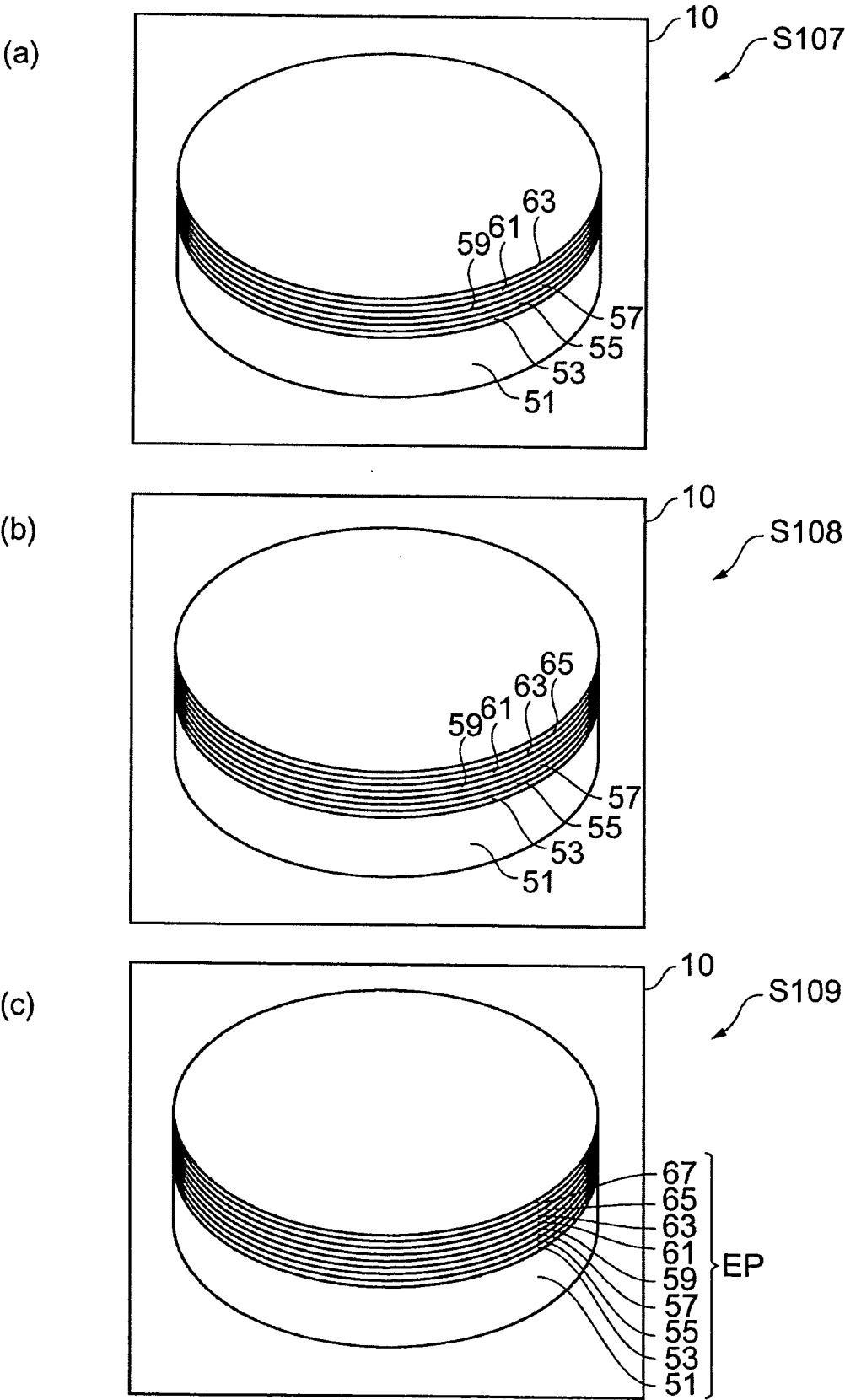


圖 7

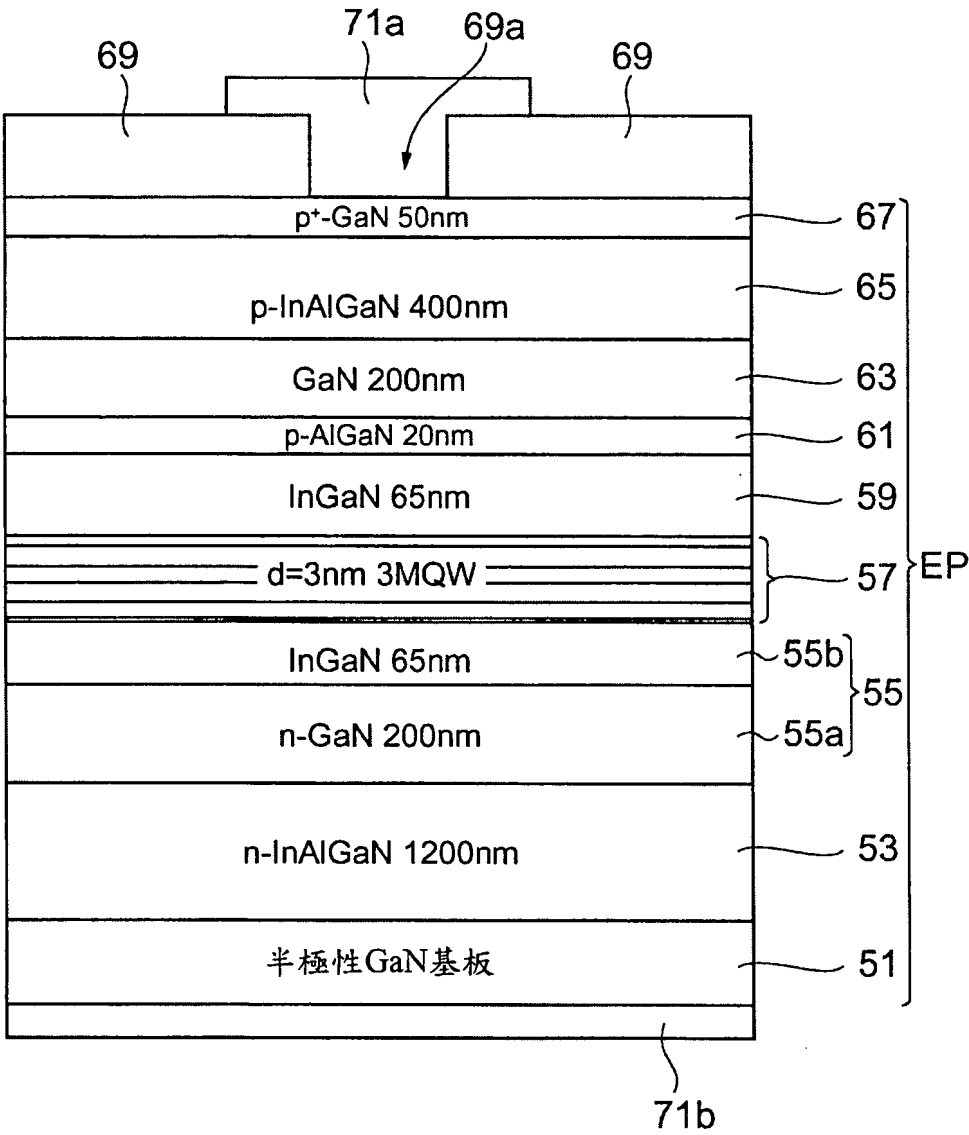


圖8

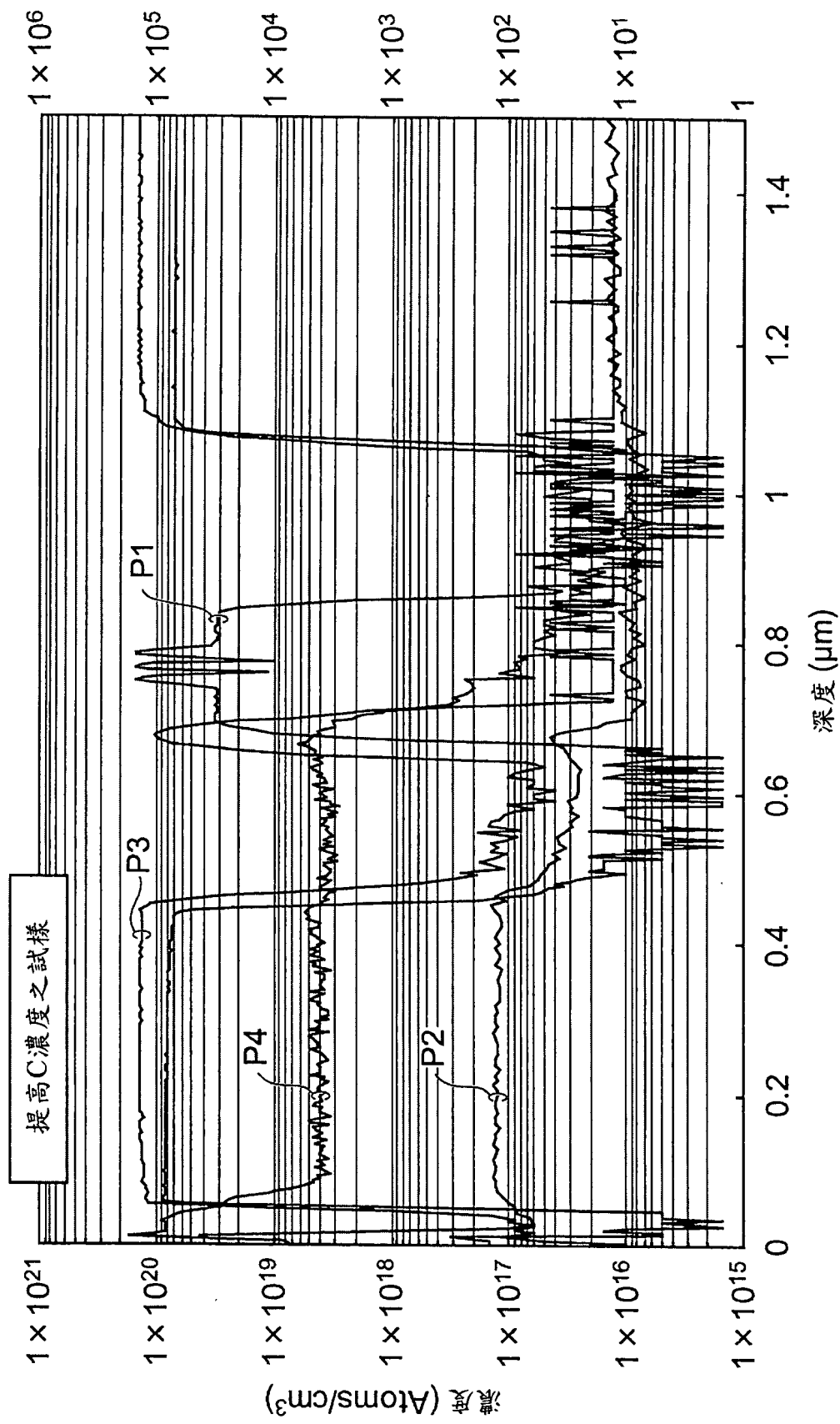


圖9

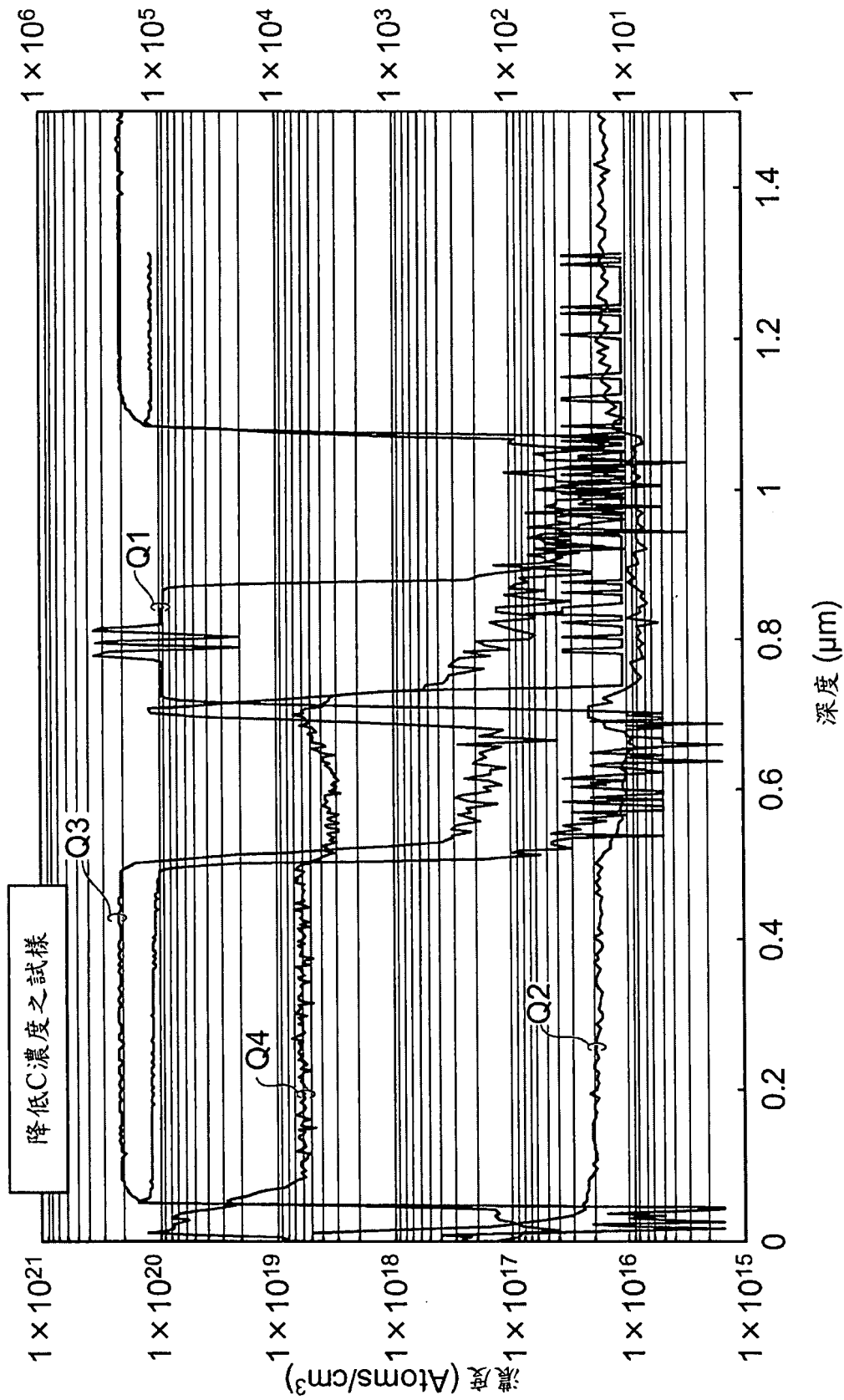


圖10

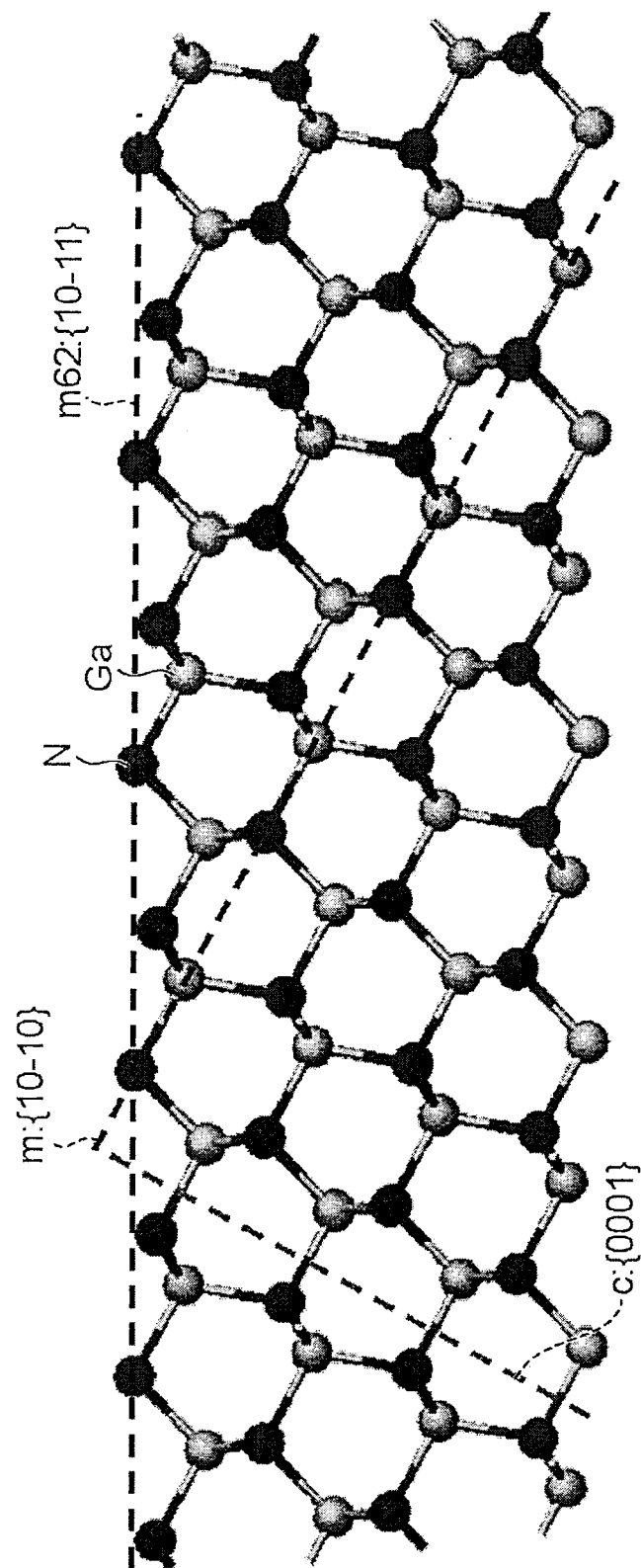


圖11

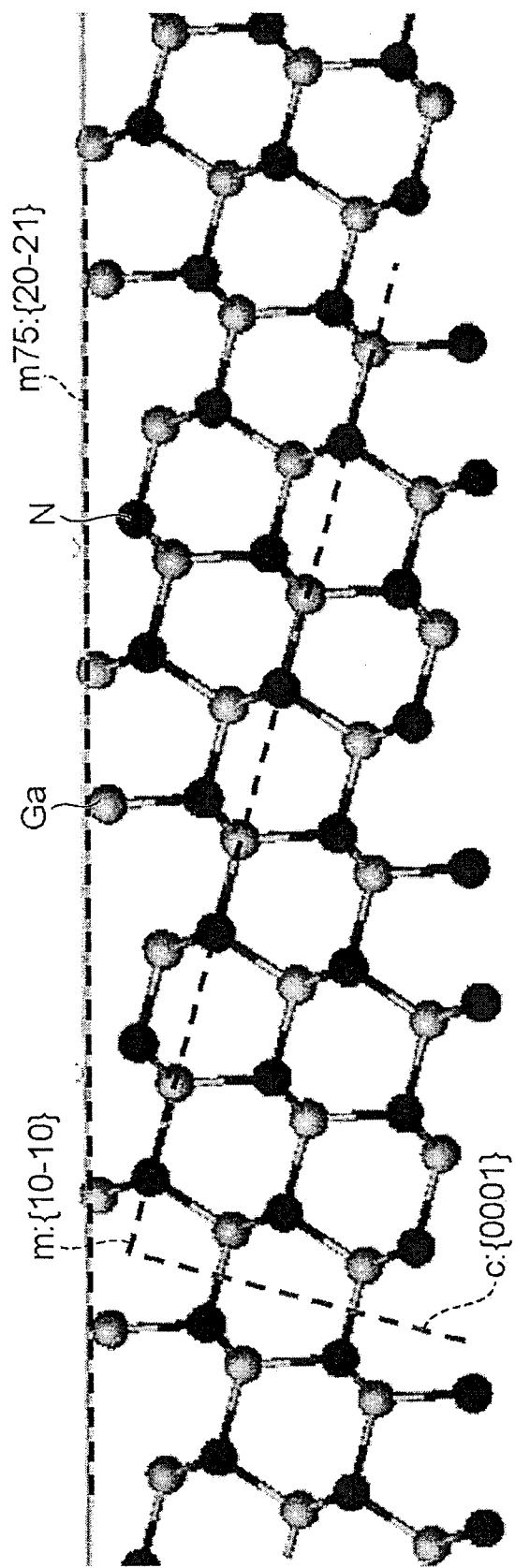


圖12

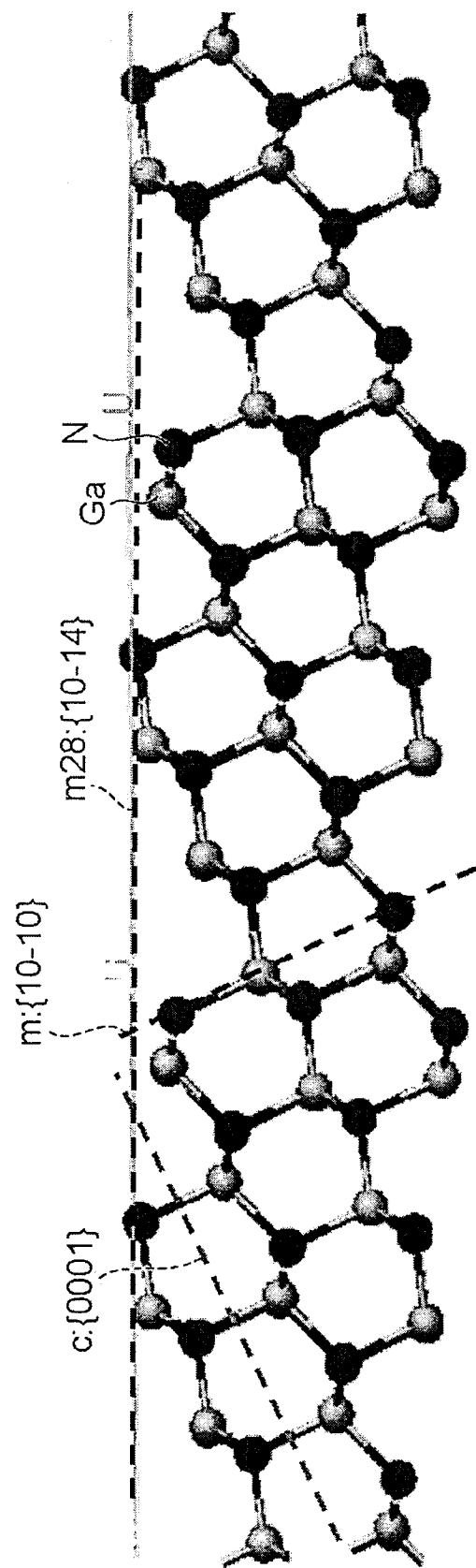


圖 13

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第（ 1 ）圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

11	III族氮化物半導體光元件
13	支持體
13a	支持體主面
13b	支持體背面
15	n型氮化鎵系半導體層
15a	n型氮化鎵系半導體層主面
17	p型氮化鎵系半導體層
17a	p型氮化鎵系半導體層主面
19	活化層
19a	活化層主面
21	電子阻擋層
23a	障壁層
23b	阱層
25、27	光導引層
25a、27a	InGaN層
25b、27b	GaN層
29	發光層
29a	發光層主面
31	接觸層
33、37	電極
35	絕緣膜

35a	絕緣膜之開口
ALPHA	角度
Ax	延伸軸
Cx	基準軸
DB	障壁層厚度
DW	阱層厚度
NV	法線向量
Nx	法線軸
S	正交座標系
VC	c軸向量

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)