

申請日期：93.2.18,	IPC分類
申請案號：93103898	C01G ¹⁵ / ₀₀

(以上各欄由本局填註)

發明專利說明書 200424128

一、 發明名稱	中文	β氧化鎵系單結晶生長方法、薄膜單結晶之生長方法、氧化鎵系發光元件及其製造方法
	英文	β-Ga ₂ O ₃ TYPE SINGLE CRYSTAL GROWTH METHOD, THIN FILM TYPE SINGLE CRYSTAL GROWTH METHOD, Ga ₂ O ₃ TYPE LIGHT EMITTING DEVICE AND MANUFACTURING METHOD THEREOF
二、 發明人 (共4人)	姓名 (中文)	1. 一之瀨 昇
	姓名 (英文)	1. ICHINOSE, NOBORU
	國籍 (中英文)	1. 日本 JP
	住居所 (中文)	1. 日本國東京都新宿區大久保3丁目4番1號 學校法人早稻田大學理工學部內
	住居所 (英文)	1. c/o School of Science and Engineering, Waseda University 4-1, Okubo 3-chome, Shinjuku-ku, Tokyo, Japan
三、 申請人 (共1人)	名稱或姓名 (中文)	1. 學校法人早稻田大學
	名稱或姓名 (英文)	1. WASEDA UNIVERSITY
	國籍 (中英文)	1. 日本 JP
	住居所 (營業所) (中文)	1. 日本國東京都新宿區戶塚町1丁目104番地 (本地址與前向貴局申請者相同)
	住居所 (營業所) (英文)	1. 104, Totsuka-machi 1-chome, Shinjuku-ku, Tokyo, Japan
	代表人 (中文)	1. 白井 克彥
	代表人 (英文)	1. SHIRAI, KATSUHIKO

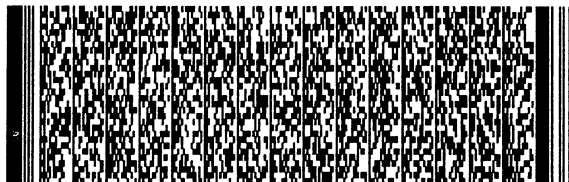


申請日期：	IPC分類
申請案號：	

(以上各欄由本局填註)

發明專利說明書

一、 發明名稱	中文	
	英文	
二、 發明人 (共4人)	姓名 (中文)	2. 島村 清史 3. 青木 和夫
	姓名 (英文)	2. SHIMAMURA, KIYOSHI 3. AOKI, KAZUO
	國籍 (中英文)	2. 日本 JP 3. 日本 JP
	住居所 (中文)	2. 日本國東京都新宿區西早稻田2丁目8番26號 學校法人早稻田大學各務記念材料技術研究所內 3. 日本國東京都練馬區向山2丁目6番8號 光波股份有限公司內
	住居所 (英文)	2. c/o Kagami Memorial Laboratory for Materials Science and Technology, Waseda University 8-26, Nishiwaseda 2-chome, Shinjuku-ku, Tok
三、 申請人 (共1人)	名稱或姓名 (中文)	3. c/o Koha Co., Ltd. 6-8, Kouyama 2-chome, Nerima-ku, Tokyo, Japan
	名稱或姓名 (英文)	
	國籍 (中英文)	
	住居所 (營業所) (中文)	
	住居所 (營業所) (英文)	
	代表人 (中文)	
	代表人 (英文)	



申請日期：	IPC分類
申請案號：	

(以上各欄由本局填註)

發明專利說明書

一、 發明名稱	中文	
	英文	
二、 發明人 (共4人)	姓名 (中文)	4. 加錫 安東尼
	姓名 (英文)	4. GARCIA VILLORA, ENCARNACION ANTONIA
	國籍 (中英文)	4. 西班牙 ES
	住居所 (中文)	4. 日本國東京都練馬區向山2丁目6番8號 光波股份有限公司內
	住居所 (英文)	4. c/o Koha Co., Ltd. 6-8, Kouyama 2-chome, Nerima-ku, Tokyo, Japan
三、 申請人 (共1人)	名稱或 姓名 (中文)	
	名稱或 姓名 (英文)	
	國籍 (中英文)	
	住居所 (營業所) (中文)	
	住居所 (營業所) (英文)	
	代表人 (中文)	
代表人 (英文)		



一、本案已向

國家(地區)申請專利	申請日期	案號	主張專利法第二十四條第一項優先權
日本 JP	2003/02/24	特願2003-046552	有
日本 JP	2003/03/12	特願2003-066020	有
日本 JP	2003/05/15	特願2003-137916	有

二、主張專利法第二十五條之一第一項優先權：

申請案號：

無

日期：

三、主張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

日期：

四、有關微生物已寄存於國外：

寄存國家：

寄存機構：

無

寄存日期：

寄存號碼：

有關微生物已寄存於國內(本局所指定之寄存機構)：

寄存機構：

寄存日期：

無

寄存號碼：

熟習該項技術者易於獲得, 不須寄存。

五、發明說明 (1)

本申請案係根據日本國特許出願第2003-46552號、第2003-66020號及第2003-137916號，參照各日本國出願的全部內容後，導入於本申請案。

一、【發明所屬之技術領域】

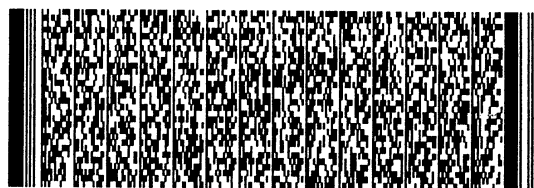
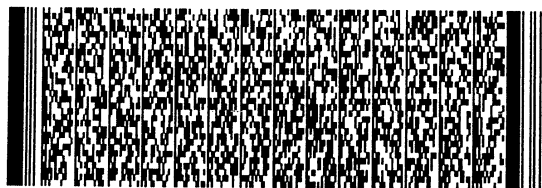
本發明係關於 β - Ga_2O_3 系單晶生長方法、薄膜單晶的生長方法、 Ga_2O_3 系發光元件及其製造方法，特別係關於使龜裂和雙晶化的傾向減少、使結晶性提高的 β - Ga_2O_3 系單晶生長方法；可以形成高品質薄膜單晶的薄膜單晶生長方法；以及在紫外區域發光的 Ga_2O_3 系發光元件及其製造方法。

二、【先前技術】

習知技術

於紫外區域發光的發光元件，在實現無水銀之螢光燈、提供乾淨環境的光觸媒、以及實現更高密度記錄的新世代DVD等的領域，特別是被賦予很高的冀望，由該背景開始，而實現了GaN系藍色發光元件。

於日本特許第2778405號公報，記載了具備藍寶石基板；形成於藍寶石基板之緩衝層；形成於緩衝層上之n型氮化鎵系化合物半導體層與n型包覆層；n型活性層；p型包覆層；p型接觸層的發光元件，作為該GaN系藍色發光元件，而該習知的GaN系藍色發光元件係發出發光波長370nm的紫外光。



五、發明說明 (2)

但是，於習知的GaN系藍色發光元件，因能隙的關係，要得到發光元件，其發出的光比紫外區域的波長還更短，是非常困難的。

為此， β -Ga₂O₃及ZnO受到廣泛的討論，作為能夠發出比紫外區域還更短波長的光，而使用於發光元件，例如利用CZ法(Czochralski法)和FZ(Floating Zone Technique, 浮動區技術)法，製作 β -Ga₂O₃塊狀(bulk)系單晶的基板，即受到廣泛討論。另一方面，日本特開2002-68889號揭示了利用PLD(Pulsed Laser Deposition, 脈衝雷射沈積)法，使ZnO之薄膜生長於習知的基板上。

第27圖係顯示由習知的 β -Ga₂O₃塊狀系單晶形成的基板170。以CZ法和FZ法作為用以製造該基板170之習知的單晶生長方法，係為大家所熟知的(例如，參照M. Saurat, A. Revcolevschi, 「Rev. Int. Hautes Temper. et Refract.」1971年8號P.291)。

CZ法以如以下方式來實施。首先，Ir坩堝充填作為原料純度4N的Ga₂O₃粉末後用石英管覆蓋，把氧氣1vol.%混合於氫氣後的混合氣體流入石英管的同時，利用高頻振盪器加熱Ir坩堝，溶解Ga₂O₃粉末，生成Ga₂O₃之多結晶溶解物。接著，將另外準備的 β -Ga₂O₃晶種結晶接觸於溶解的Ga₂O₃，以1mm/h結晶轉速15rpm之速度，將 β -Ga₂O₃晶種結晶向上拉引，進行 β -Ga₂O₃單晶的製作。依據該方法，優點係為可以使大直徑的 β -Ga₂O₃單晶成長。



五、發明說明 (3)

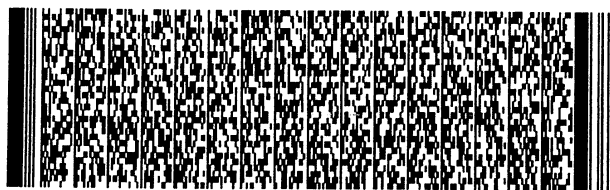
又，FZ法係為，將上側原料，例如 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 多晶體的融液，用下側之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 晶種結晶支持，同時使結晶生長的方法。依據該方法，因為不使用容器，其優點係為可以防止被容器污染；不會因容器而制限使用的環境氣體；可以培育容易與容器反應的材料等。

又，PLD法係為，在非常低的低壓氧氣環境氣體中，用雷射光以脈衝方式照射目地薄膜的組成材料，例如ZnO靶材，使構成靶材的成分呈電漿和分子狀態，飛濺至基板上，來使ZnO的薄膜生長於基板上。透過此，可以用簡單的裝置容易地製作薄膜。

但是，於習知的CZ法，因為來自 Ga_2O_3 融液的融液成分激烈地蒸發和明顯地不安定成長，非常困難控制結晶生長。

又，於FZ法，雖然依據條件可得到 1 cm^2 左右的單晶，但是因為由熔融帶激烈地蒸發，急速的溫度傾斜，產生雙晶化、龜裂，對基板非常困難進行必要的大型化、高品質化。而且，用沒有確定方向的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶來製作基板170時，因為產生龜裂171，非常困難以劈開面(100)以外的方位來切斷。

又，於利用習知PLD法的薄膜生長方法，由於ZnO從由目地薄膜的組成材料所組成的靶材遊離成簇團(cluster)，並在原封不動的狀態下，堆積在基板上，恐怕ZnO分子存在於基板上會呈凹凸狀，並形成表面平坦性不良的薄膜。又，有時靶材會因為雷射光的照射，發生



五、發明說明 (4)

惡化或變質，所以會成為阻礙薄膜單晶生長的重要原因。因此，本發明之目的在於提供一種 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶生長方法，其結晶生長容易控制，對大型化、高品質化的基板等即使進行加工，也不容易產生龜裂。

又，本發明之目的在於提供一種薄膜單晶之生長方法，其可以形成高品質的薄膜單晶。

又，本發明之目的在於提供一種 Ga_2O_3 系發光元件及其製造方法，其發出比紫外區域還更短波長的光。

三、【發明內容】

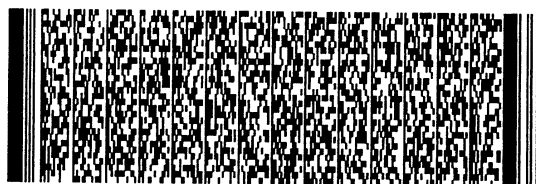
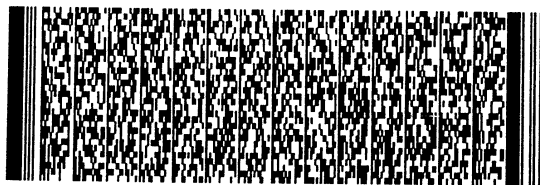
發明的揭示

本發明提供一種 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶生長方法，其特徵為，先準備 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系晶種結晶，再由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系晶種結晶朝既定方位使 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系晶種結晶成長。

依據該構成，會減少龜裂、雙晶化的傾向，提高結晶性，且讓加工性變良好。

本發明提供一種薄膜單晶之生長方法，其特徵為，先準備基板，在既定環境氣體中，將激發束照射在由純金屬或合金組成的金屬靶材，由此所放射出的原子、分子、離子等之化學物種，會與該既定環境氣體的原子結合，俾於該基板上生長薄膜。

依據該構成，將激發束照射在金屬靶材時，構成金屬靶材的金屬原子會被激發，再利用熱的、光化學的作用，使金屬原子、分子、離子等化學物種由金屬靶材遊離出，



五、發明說明 (5)

該遊離的化學物種與環境氣體中的自由基結合，並在基板上生長，俾於基板上形成薄膜。

本發明提供一種 Ga_2O_3 系發光元件，其特徵為，具備由 Ga_2O_3 系單晶組成、且顯示n型導電性的第1層；與以連接於該第1層之上以形成、由 Ga_2O_3 系單晶組成、且顯示p型導電性的第2層。

依據該構成，將顯示p型導電性的第2層，形成於顯示n型導電性的第1層上，藉此，可以形成PN接合的發光元件，所以能夠利用具有 Ga_2O_3 系單晶的能隙，來發出紫外區域的發光。

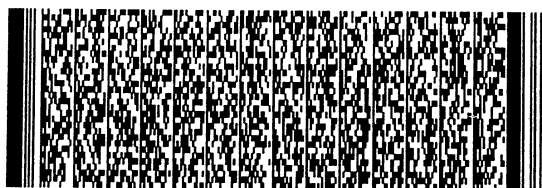
四、【實施方式】

發明之最佳實施態樣

(第一實施態樣)

第1圖顯示依本發明第1實施態樣之紅外線加熱單晶製造裝置。該紅外線加熱單晶製造裝置101係為，利用FZ法製造 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶的裝置，其概略構成具有石英管102；支持並旋轉 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 晶種結晶（以下省略成「晶種結晶」）107的晶種旋轉部103；支持並旋轉 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 多晶體材料（以下省略成「多晶體結晶」）109的材料旋轉部104；對多晶體材料109加熱使其溶解的加熱部105；控制晶種旋轉部103、材料旋轉部104及加熱部105的控制部106。

晶種旋轉部103具備：支持晶種結晶107的晶種夾具133；傳遞旋轉使晶種夾具133旋轉的的下部旋轉軸132；



五、發明說明 (6)

使下部旋轉軸132順時針旋轉的同時，使其朝上下方向移動的下部驅動部131。

材料旋轉部104具備：支持多晶體材料109之上端部109a的材料夾具143；傳遞旋轉使材料夾具143旋轉的上部旋轉軸142；使上部旋轉軸142順時針旋轉的同時，使其朝上下方向移動的上部驅動部141。

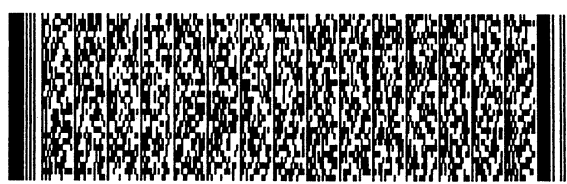
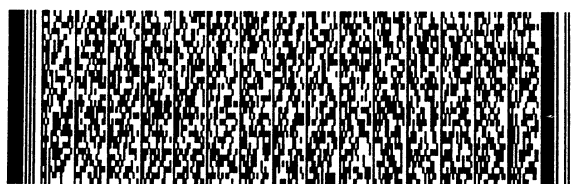
加熱部105具備：從徑方向將多晶體材料109加熱使其熔解的鹵素燈泡151；收納鹵素燈泡151，將鹵素燈泡151發出的光，聚光於多晶體材料109的既定部份的橢圓鏡152；供給電源予鹵素燈泡151的電源部153。

於石英管102收納了：下部旋轉軸132、晶種夾具133、上部旋轉軸142、材料夾具143、多晶體材料109、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 之單晶108及晶種結晶107。使得石英管102可以供給氧氣與作為惰性氣體的氮氣之混合氣體的方式來密封。

然後，參照第2圖、第3圖、第4圖來說明依本發明第1實施態樣之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶生長方法。

(1) 晶種結晶的製作

第2圖顯示晶種結晶107的前視圖。晶種結晶107呈剖面正方形的角柱形狀，且晶種結晶107的一部分受支持於晶種夾具133。晶種結晶107係使用，例如，將 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶沿劈開面切開取出的物質。晶種結晶107由於使良好的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶生長，所以具有生長結晶五分之一以下的徑長或 5 mm^2 以下的剖面積，且具有 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶生長時不會毀



五、發明說明 (7)

壞的強度。於本實施態樣，剖面積成 $1\sim 2\text{ mm}^2$ 。其軸方向係為a軸 $\langle 100 \rangle$ 方位、b軸 $\langle 010 \rangle$ 方位、或c軸 $\langle 001 \rangle$ 方位。而且，在此徑長係指正方形的一邊、矩形的長邊或圓的直徑。又軸方向和各方位的誤差，較佳的情況係在正負誤差 10° 的範圍內。

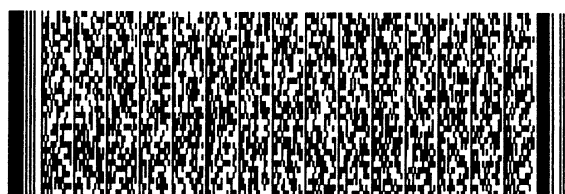
第3圖(a)~(d)係為顯示依本發明第1實施態樣之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶生長過程。第4圖係為顯示依本發明第1實施態樣之單晶。另外，於第3圖及第4圖省略了晶種夾具133。

(2) 多晶體材料109的製作

首先，以如以下步驟製作多晶體材料109。即，將既定量之純度4N的 Ga_2O_3 粉末，充填於無圖示的像膠管，並在 500 MPa 下冷壓縮。其後，於 1500°C 下燒結10小時，得到棒狀的多晶體材料109。

(3) $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶108的製作

然後，如第1圖所示般，將晶種結晶107的一部分，支持於晶種夾具133，將棒狀的多晶體材料109的上端部109a，支持於材料夾具143。然後，如第3圖(a)所示般，調節上部旋轉軸142的上下位置，來使晶種結晶107之上端107a與多晶體材料109之下端部109b接觸。又，調節上部旋轉軸142及下部旋轉軸132的上下位置，使得鹵素燈泡151的光，聚光於晶種結晶107之上端107a與多晶體材料109之下端部109b的部位。石英管102的環境氣體102a係充滿氮氣和氧氣的混合氣體（在100%氮氣至100%氧氣之間變化），其全壓從1大氣壓至2大氣壓。



五、發明說明 (8)

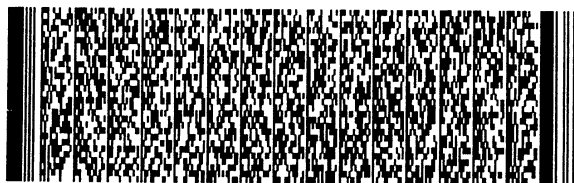
操作者將無圖示的電源開關打開時，控制部106就會依據控制程式來控制各部位，進行如以下之單晶生長控制。將加熱部105之電源打開時，鹵素燈泡151就會加熱晶種結晶107之上端107a與多晶體材料109之下端部109b的部位，而將該加熱部位熔解，形成熔解滴108c。此時，只有使晶種結晶107旋轉。

接著，將該部位邊朝反方向旋轉邊熔解，使得多晶體材料109與晶種結晶107充分地融合。如第3圖(b)所示般，做完適量的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶的熔解物108'時，停止旋轉多晶體材料109，只使晶種結晶107旋轉，來將多晶體材料109及晶種結晶107互相朝反方向拉伸，形成比晶種結晶107更細的突出頸部108a。

接著，使晶種結晶107及多晶體材料109，以20rpm的轉速互相朝反方向旋轉，同時以鹵素燈泡151加熱，而且，將多晶體材料109，以5mm/每小時的比例，利用上部旋轉軸142，朝上方拉伸。利用鹵素燈泡151加熱多晶體材料109時，多晶體材料109就會熔解形成熔解物108'，同時若將其冷卻的話，就會如第3圖(c)所示般，生成與多晶體材料109同等或更小徑長的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶108。形成適度長度的單晶後，如第3圖(d)所示般，為了取出已生成的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶108，將 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶108的上部108b細徑化。

(4) 基板的製作

第5圖係顯示由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶108所形成的基板。使 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶108朝b軸 $\langle 010 \rangle$ 方位生長結晶時，因為



五、發明說明 (9)

(100) 面的劈開性增強，以平行和垂直於 (100) 面的面來切斷，製作基板106。使其朝a軸 $\langle 100 \rangle$ 方位、c軸 $\langle 001 \rangle$ 方位生長結晶時，因為 (100) 面、(001) 面的劈開性減弱，所以全部的面之加工性變優良，沒有如上述般之切斷面的制限。

第6圖顯示 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶的單位晶格。將 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶的8個Ga原子及12個O原子表示成Ga (1)、Ga (2)、O (1)、O (2)、O (3)。同圖中，a、b、c分別係表示a軸 $\langle 100 \rangle$ 方位、b軸 $\langle 010 \rangle$ 方位、c軸 $\langle 001 \rangle$ 方位。

依據第一實施態樣，會得到以下效果。

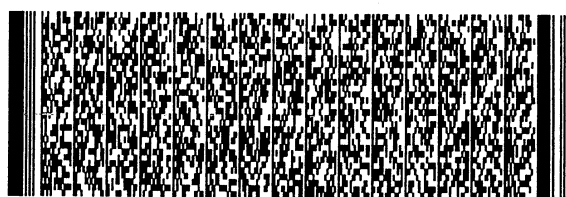
(一) 使結晶朝既定方向生長，所以可以得到直徑1 cm以上之大的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶108。

(二) 該 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶108以a軸 $\langle 100 \rangle$ 方位、b軸 $\langle 010 \rangle$ 方位、或c軸 $\langle 001 \rangle$ 方位作為結晶軸，透過此，會減少龜裂、雙晶化的傾向，得到高的結晶性。

(三) 又，可以再現性良好地生成該結晶，因此作為半導體等之基板的利用價值高。

另外，本發明並未限定上述實施例所揭露者，能夠做各式各樣的變形實施。

例如，也可以係使用由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 固溶體組成之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系晶種結晶，替代 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 晶種結晶107，來使由這樣的固溶體組成之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶生長。而該 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 固溶體係為與 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 相同單斜晶系，空間群屬於C2/m的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 之包含係選自鎩、銻、鋁、錫、鍺、鎳、銅、鋅、銦、銱、鉬、



五、發明說明 (10)

鈦、鈮、鉻、鎂、鐵、鈷、鉛、鉍、鎢、矽及錳組成群之1或至少2種以上元素的氧化物的 β -Ga₂O₃固溶體。透過此，可以實現在紫外至藍色之波長區域發光的LED。

又，用氮氣與氧氣的混合氣體，全壓在2大氣壓以上進行FZ法時，可以抑制塊狀的發生，結晶生長過程可以更安定化。

又，需要將單晶108朝上方拉伸時，將下部旋轉軸132降低即可。又，不讓鹵素燈泡151移動，而讓下部旋轉軸132及上部旋轉軸142移動來加熱亦可。用加熱線圈替代鹵素燈泡151來加熱亦可。

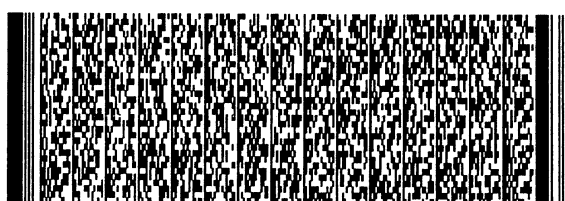
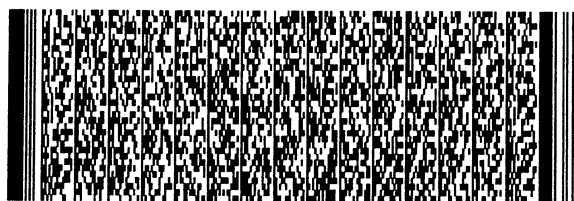
本實施態樣雖然針對使用氮氣作為惰性氣體加以說明，但是本發明也可以使用氫氣來替代氮氣。

又，晶種結晶107也可以是剖面長方形，也可以係為圓柱狀和橢圓柱狀，來替代角柱狀。

又，本實施態樣雖針對FZ法加以說明，但也可以適用於EFG法（此為利用屬於拉晶法之Czochralski法的形狀控制結晶生長方法）等的其他結晶生長方法。

（第二實施態樣）

第7圖係顯示依本發明第二實施態樣之成膜裝置的概略構造。該成膜裝置201係為利用PLD法來成膜的裝置，其具備：反應室202，具有可以到達真空的空間部220；靶材平台205，支持配置於反應室202的靶材203；旋轉機構211，設置於反應室202的外部，並使靶材平台205旋轉；基板支持部207，其配置於反應室202內，支持基板206，



五、發明說明 (11)

同時內藏能夠把基板206加熱至1500℃的加熱器；自由基植入部208，由輸送管202a將自由基植入於反應室202內；具有真空馬達（無圖示）的排氣部209，透過輸送管202b對空間部220排氣，來使空間部220真空；雷射光部204，設置於反應室202的外部，將作為激發束之雷射光242，照射於靶材203。

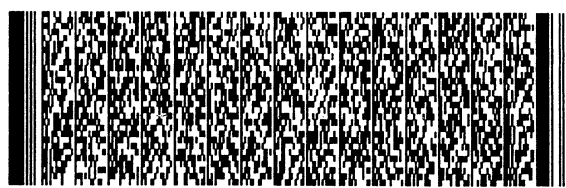
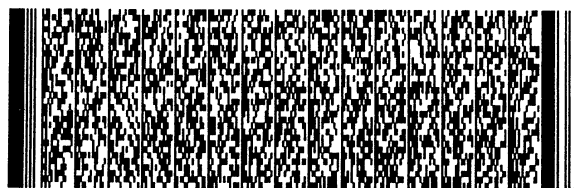
靶材203係為純金屬或合金，例如，由高純度之Ga或含Ga的合金所組成。

雷射光部204具備：雷射光振盪部241，用Nd:YAG雷射光、KrF激生分子雷射光、ArF激生分子雷射光等作為雷射光源，來照射出脈衝狀的雷射光242；透鏡243、244，將由雷射光振盪部241放射出的雷射光242，聚光於靶材203上。

基板206面對著靶材203，使得當用雷射光242照射於靶材203時，由靶材203解離出的金屬原子233等化學物種，可以有助於成膜。

自由基植入部208使得氣體能夠植入空間部220，該氣體係為氧氣、含臭氧的氧氣、純臭氧的氣體、 N_2O 氣體、 NO_2 氣體、含氧自由基的氣體、氧自由基、氮自由基、 NH_3 氣體、含氮自由基的 NH_3 氣體等之中之1或2種以上的氣體，即於成膜時與從靶材203遊離出之原子結合的氣體。

然後，說明依第二實施態樣之薄膜單晶生長方法。該生長方法係由使薄膜生長之基板206的基板準備製程；與使薄膜生長於基板206上的製程所組成。在此，說明將由



五、發明說明 (12)

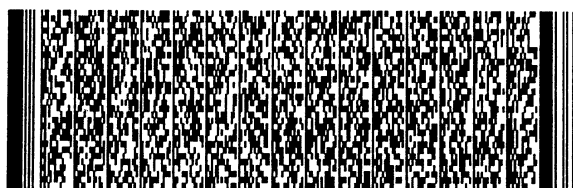
$\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 組成之薄膜形成於由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 組成基板206上的情況。

(1) 基板206的準備

首先，利用FZ (Floating Zone) 法形成 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶。即，於石英管中，在 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 晶種結晶與 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 多晶體材料的接觸部分，將兩者融化。使融化的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 多晶體材料與 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 晶種結晶一起降下時，於 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 晶種結晶上就會生成 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶。然後，利用該 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶來製作基板206。而且，使朝b軸 $\langle 010 \rangle$ 方位生長結晶時，因為 (100) 面的劈開性增強，故用平行或垂直於 (100) 面的面來切斷製作基板206；使朝a軸 $\langle 100 \rangle$ 方位、c軸 $\langle 001 \rangle$ 方位生長結晶時，因為 (100) 面、(001) 面的劈開性減弱，故全部的面加工性變良好，沒有如上述切斷面的制限。

(2) 薄膜的生長

使用前述之成膜裝置201來使薄膜生長於基板206上。即將靶材203，比如由Ga組成的靶材203，固定於靶材平台205。將由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶組成的基板206支持於基板支持部207。利用排氣部209的真空馬達，排出空間部220中的空氣，保持空間部220內的真空度在，例如， 1×10^{-9} torr左右。其後將，例如，氧氣植入空間部220並保持在 1×10^{-7} torr左右，透過基板支持部207通電給加熱器（無圖示），把基板206的溫度加熱至，例如， $300^\circ\text{C} \sim 1500^\circ\text{C}$ 。接著，將氧自由基藉由自由基植入部208植入空間部220



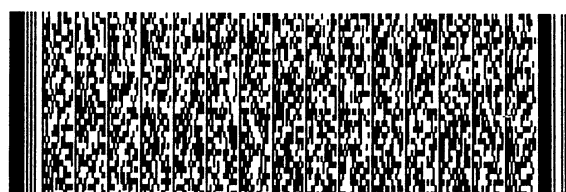
五、發明說明 (13)

內，成 $1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-6}$ torr。把來自雷射光部204、雷射光輸出功率100mW、重覆性頻率10Hz、波長266nm的雷射光242，照射於利用旋轉機構211來旋轉的靶材203時，構成靶材203的Ga原子就會被激發，再利用熱的、光化學的作用，在基板206上，把由靶材203所放射出的Ga原子、Ga離子、激態Ga原子、激態Ga離子等化學物種與環境氣體中的氧自由基結合，形成 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶。該已形成的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶在基板206上生長，並在基板206上形成 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜單晶。且已生長的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜單晶顯示n型導電性，而該導電性一般認為係因為氧缺陷 (oxygen defect) 的緣故。

依據該第二實施態樣，由於使從靶材203游離出的金屬原子、金屬離子、激態金屬原子、激態金屬離子等化學物種與環境氣體中之原子結合，所以可以使由表面平坦度高、品質優良的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶所組成之薄膜，生長於基板上。

(第三實施態樣)

第8圖係顯示依本發明第三實施態樣之MIS型發光元件之剖面。該MIS型發光元件260具備：基板206，由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶組成； $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜單晶261，形成於該基板206的頂面、顯示n型導電性；絕緣層262，形成於該 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜單晶261的頂面，由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜單晶所組成；金電極263，形成於絕緣層262的頂面；黏合部267，安裝於金電極263的頂面，並連接引線268；n電極264，形成於於該基板206的底面；黏合部265，安裝於n電極264的底面，並連



五、發明說明 (14)

接引線266。

絕緣層262係在氧氣環境氣體中，於900℃下進行退火，藉此所形成之表面10至1000nm的部份毫無氧缺陷者。

依據該第三實施態樣，會得到發光波長在260nm附近的發光元件。

(第四實施樣態)

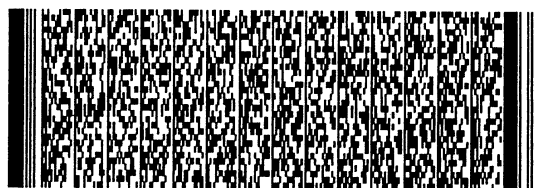
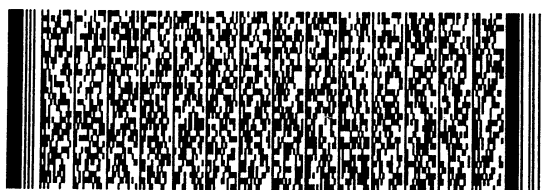
依本發明第四實施樣態之ZnO系薄膜單晶，係藉由使用依第二實施樣態之成膜裝置201，使用由Zn或含Zn之合金組成的金屬作為靶材203，並使其在基板206上生長而得到。

依據第四實施樣態，將激發束照射於由Zn或含Zn之合金組成的金屬靶材203時，構成金屬靶材203的Zn原子或其他原子就會被激發，再利用熱的、光化學的作用，將由金屬靶材203所放射出的Zn原子、Zn離子、激態Zn原子、激態Zn離子等化學物種與環境氣體中的自由基結合，使其於基板206上生長，俾於基板206上形成ZnO系薄膜單晶。

而且，也可以使由ZnO系薄膜單晶組成的緩衝層生長於由 β -Ga₂O₃系單晶組成的基板上，並使ZnO系薄膜單晶生長於該緩衝層之上。依據該構成，由於使與緩衝層同種的ZnO系薄膜單晶上長於該緩衝層之上，故可以減低晶格不匹配(lattice mismatch)，形成結晶性良好的ZnO系薄膜單晶。

(第五實施樣態)

依本發明第五實施樣態之GaN系薄膜單晶，係藉由使



五、發明說明 (15)

用依第二實施樣態之成膜裝置201，使用氮氣自由基、 NH_3 氣體、及含氮氣自由基的 NH_3 氣體中之1或2種以上的氣體，使其在基板206上生長而來得到。

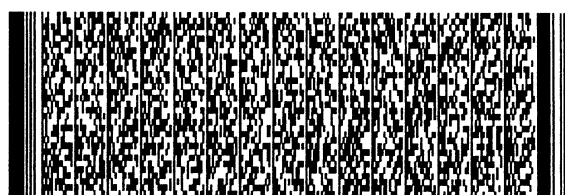
依據第五實施樣態，將激發束照射於由Ga或含Ga之合金組成的金屬靶材203時，構成金屬靶材203的Ga原子或其他原子就會被激發，再利用熱的、光化學的作用，將由金屬靶材203放射出的Ga原子、Ga離子、激態Ga原子、激態Ga離子等化學物種與環境氣體中的自由基結合，使其於基板206上生長，俾於基板206上形成GaN系薄膜單晶。

而且，也可以使由GaN系薄膜單晶組成的生長於由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶組成的基板206上，使GaN系薄膜單晶生長於該緩衝層之上。依據該構成，由於使與緩衝層同種的GaN系薄膜單晶生長於該緩衝層之上，故可以減低晶格不匹配(lattice mismatch)，形成結晶性良好的GaN系薄膜單晶。

(第六實施樣態)

依本發明第六實施樣態之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜，係藉由使用依第二實施樣態之成膜裝置201，使用Ga作為靶材203的材料，且利用由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 構成的基板作為基板206，植入氧自由基的同時，在基板溫度 400°C 、雷射光輸出功率 100mW 、重覆性頻率 10Hz 、真空度 $1 \times 10^{-5}\text{torr}$ 下，用波長 266nm 的雷射光242，照射於靶材203上而來得到。

該雷射光振盪部241，以Qsw Nd:YAG雷射光的振盪波長 $1.064\ \mu\text{m}$ 當作基本波，利用無圖示的非線性光學結晶，



五、發明說明 (16)

能夠發出3倍之355nm、4倍之266的脈衝振盪。照射雷射光242後，於 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 基板206上，生長無色、透明的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜。

第9圖係顯示依本發明第六實施態樣之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜的原子力顯微鏡(AFM)照片。依據此圖，表示 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜的表面具有高平坦度，係為高品質的薄膜。

依據該第六實施樣態，用激發束照射由Ga組成的靶材時，由靶材射出的Ga原子就會被激發，再利用熱的、光化學的作用，使由靶材射出的Ga原子等化學物種游離後，將該游離的化學物種與環境氣體中的氧自由基結合，使其於基板上生長，可以使無色、透明、品質優良的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜單晶生長在由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 組成的基板206上。

(第七實施樣態)

依本發明第七實施樣態之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜，係藉由基板溫度1000℃，其他與第六實施樣態相同條件而來得到。

第10圖係顯示依本發明第七實施態樣之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜的原子力顯微鏡(AFM)照片。依據此圖，表示 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜的表面具有高平坦度，係為高品質的薄膜。

第11圖(a)顯示依第七實施態樣之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜的反射式高能電子繞射(RHEED)圖案；(b)顯示對應於後述的第七實施態樣之比較例之薄膜的反射式高能電子繞射圖案。由第11圖(a)可清楚獲知其生長了高品質的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜單晶。

依據該第七實施樣態，用激發束照射由Ga組成的靶材



五、發明說明 (17)

時，來自靶材的Ga原子就會被激發，再利用熱的、光化學的作用，使來自靶材的Ga原子等化學物種游離，讓該游離的化學物種與環境氣體中的氧自由基結合，使其於基板上生長，可以使無色、透明、品質優良的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜單晶生長在由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 組成的基板206上。

(對應於第七實施樣態之比較例)

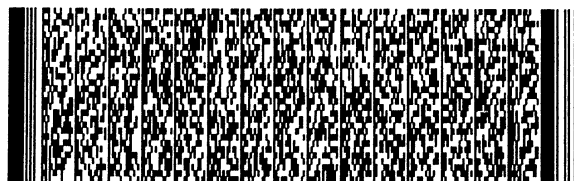
依該比較例之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜，係藉由使用依第二實施樣態之成膜裝置201，使用 Ga_2O_3 作為靶材203的材料，且利用由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 構成的基板作為 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 基板206，在氧自由基環境氣體中，基板溫度 1000°C 、雷射光輸出功率 100mW 、重覆性頻率 10Hz 、真空度 $1 \times 10^{-5}\text{torr}$ 下，用波長 266nm 的雷射光242，照射於靶材203上，而在基板206上來得到。該 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜係為透明薄膜。

第11圖(b)係顯示已生長的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜的反射式高能電子繞射圖案。如第11圖(b)那樣明顯般，沒有生長品質良好的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜單晶。

依據該比較例，使用由 Ga_2O_3 組成的靶材時，無法生成良好的薄膜單晶，由此可知，由Ga組成的靶材適合於薄膜單晶的生長。又，由第11圖亦可明白，除了由Ga組成的靶材外，就從氧自由基的存在使 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜單晶生長於由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 組成的基板206上的觀點來看，亦可知其效果良好。

(第八實施樣態)

依本發明第八實施樣態之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜，係藉由使用



五、發明說明 (18)

依第二實施樣態之成膜裝置201，使用Ga作為靶材203的材料，且利用由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 構成的基板作為基板206，植入 N_2O 自由基的同時，在基板溫度 1000°C 、雷射光輸出功率 100mW 、重覆性頻率 10Hz 、真空度 $1 \times 10^{-5}\text{torr}$ 下，用波長 266nm 的雷射光242，照射於靶材203上而來得到。

第12圖係顯示依本發明第八實施態樣之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜的原子力顯微鏡照片。依據此圖，表示 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜的表面具有高平坦度，係為高品質的薄膜。

第13圖(a)顯示依第八實施態樣之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜的反射式高能電子繞射圖案；(b)顯示對應於後述的第八實施態樣之比較例之薄膜的反射式高能電子繞射圖案。如第13圖(a)那樣明顯般，可見其生長了高品質的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜單晶。

依據該第八實施樣態，用激發束照射由Ga組成的靶材時，來自靶材的Ga原子就會被激發，再利用熱的、光化學的作用，使來自靶材的Ga原子等化學物種游離，讓該游離的化學物種與環境氣體中的 N_2O 自由基結合，使其於基板上生長，可以使無色、透明、品質優良的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜單晶生長在由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 組成的基板206上。

(對應於第八實施樣態之比較例)

依該比較例之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜，係藉由使用依第二實施樣態之成膜裝置201，使用 Ga_2O_3 作為靶材203的材料，且利用由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 構成的基板作為基板206，在 N_2O 自由基環境氣體中，基板溫度 1000°C 、雷射光輸出功率 100mW 、重覆



五、發明說明 (19)

性頻率10Hz、真空度 1×10^{-5} torr下，用波長266nm的雷射光242，照射於靶材203上，藉由此可在基板206上來得到。該 β -Ga₂O₃薄膜係為透明薄膜。

第13圖(b)係顯示如上述已生長的 β -Ga₂O₃薄膜的反射式高能電子繞射圖案。如第13圖(b)那樣明顯般，沒有生長品質良好的 β -Ga₂O₃薄膜單晶。

依據該比較例，除了由Ga組成的靶材外，就從N₂O自由基的存在使 β -Ga₂O₃薄膜單晶生長於由 β -Ga₂O₃組成的基板206上的觀點來看，亦可知其效果良好。

(第九實施樣態)

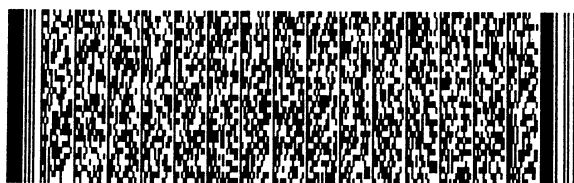
依本發明第九實施樣態之 β -Ga₂O₃薄膜，係藉由基板溫度400℃，其他與第八實施樣態相同條件而來得到。

第14圖係顯示依本發明第九實施樣態之 β -Ga₂O₃薄膜的原子力顯微鏡照片。依據此圖，表示 β -Ga₂O₃薄膜的表面具有高平坦度，係為高品質的薄膜。

依據該第九實施樣態，用激發束照射由Ga組成的靶材時，來自靶材的Ga原子就會被激發，再利用熱的、光化學的作用，使來自靶材的Ga原子等化學物種游離，讓將該游離的化學物種與環境氣體中的N₂O自由基結合，使其於基板上生長，可以使無色、透明、品質優良的 β -Ga₂O₃薄膜單晶生長在由 β -Ga₂O₃組成的基板206上。

(第十實施樣態)

依本發明第十實施樣態之 β -Ga₂O₃薄膜，係藉由使用依第二實施樣態之成膜裝置201，使用Ga作為靶材203的材



五、發明說明 (20)

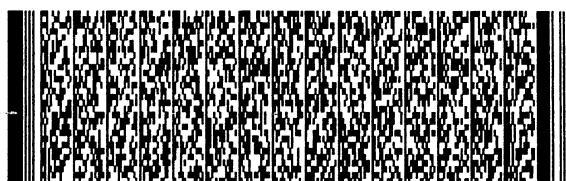
料，且利用由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 構成的基板作為基板206，植入氧自由基的同時，在基板溫度 1000°C 、雷射光輸出功率 100mW 、重覆性頻率 10Hz 、真空度 $1 \times 10^{-5}\text{torr}$ 下，用波長 355nm 的雷射光242，照射於靶材203上而來得到。

第15圖係顯示依本發明第十實施態樣之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜的原子力顯微鏡照片。依據此圖，表示 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜的表面具有高平坦度，係為高品質的薄膜。

依據該第十實施樣態，用激發束照射由Ga組成的靶材時，來自靶材的Ga原子就會被激發，再利用熱的、光化學的作用，使來自靶材的Ga原子等化學物種游離，讓該游離的化學物種與環境氣體中的氧自由基結合，使其於基板上生長，可以使無色、透明、品質優良的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜單晶生長在由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 組成的基板206上。

(對應於第十實施樣態之比較例)

第16圖係顯示對應於依本發明第十實施態樣之比較例之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜的掃描式電子顯微鏡 (SEM) 照片。依該比較例之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜，係藉由使用依第二實施樣態之成膜裝置201，使用 Ga_2O_3 作為靶材203的材料，且利用由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 構成的基板作為基板206，在氧氣環境氣體中，基板溫度 1000°C 、雷射光輸出功率 200mW 、重覆性頻率 10Hz 、真空度 $1 \times 10^{-5}\text{torr}$ 下，用波長 355nm 的雷射光242，照射於靶材203上，藉由此可在基板206上來得到。該 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜係為白色的薄膜。此為白色的簇團狀結晶附著於平坦的基板206上，吾人發現 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜幾乎完全未生長。



五、發明說明 (21)

依據該比較例，除了由Ga組成的靶材外，就從氧自由基的存在使 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜單晶生長於由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 組成的基板206上的觀點來看，亦可知其效果良好。

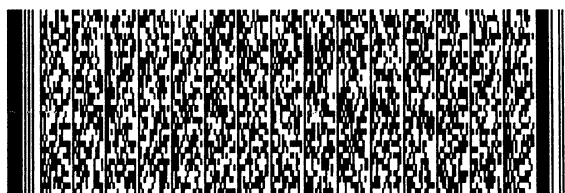
另外，就使 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶生長於由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 組成之基板上的方法而言，雖然已針對PLD法加以述說過，但是PLD法並未限定本發明所揭露者，也可以利用MBE (Molecular Beam Epitaxy) 法、MOCVD (Metal Organic Vapor Deposition) 法等之物理氣相沉積法；熱激勵CVD (Chemical Vapor Deposition)、電漿CVD法等之化學氣相沉積法。

又，靶材的性質和狀態雖然當作金屬板來說明，但金屬板並未限定本發明所揭露者，即使是金屬以外的固體所組成的靶材，或是液狀的也都可以。而且，由Ga所組成的靶材並未限定本發明所揭露者，由含Ga的合金、Zn或含Zn的合金所組成的金屬也可以。藉此，可增加希望成膜之薄膜種類的選擇自由度。

又，作為激發束，除了雷射光以外，只要是照射於金屬靶材，能夠使金屬原子等游離的激發束，例如電子束、離子束等也可以。

又，雷射光的波長，266nm並未限定本發明所揭露者，例如355nm、193nm等其他的波長也可以，而且，雷射光輸出功率也可以用10mW~400mW。

又，基板溫度也可以在300~1500℃，該溫度範圍讓生長的薄膜平坦化，係為用以使其緻密的溫度範圍，即因為



五、發明說明 (22)

係為使結晶程度提高的溫度範圍。

又，反應室202內的真空度可以在 $1\sim 1 \times 10^{-10}$ torr，於該真空度的範圍，可以使 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系薄膜單晶生長。

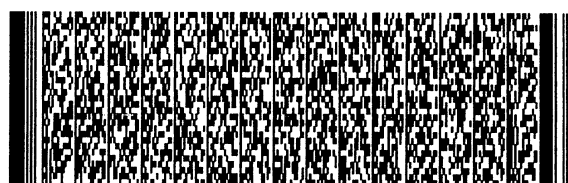
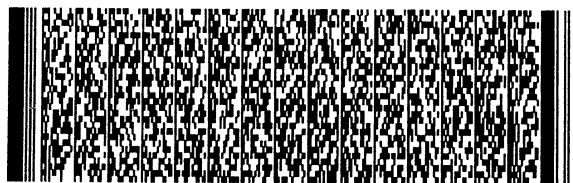
(第十一實施樣態)

依本發明第十一實施樣態之 Ga_2O_3 系發光元件，形成顯示n型導電性的基板；顯示p型導電性的基板；絕緣型的基板；顯示p型導電性的薄膜及顯示n型導電性的薄膜等，再藉由互相組合該等而來得到。以下，說明該等發光元件之構成要素的製造方法等。

(1) 顯示n型導電性的基板的製造方法

為了要使基板顯示n型導電性，必須將基板中的Ga置換成n型摻雜物；或將基板中的氧置換成n型摻雜物；或利用 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶中的氧缺陷。下面舉出Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Mo、W、Ru、Rh、Ir、C、Sn、Si、Ge、Pb、Mn、As、Sb、Bi等，當作將Ga置換成n型摻雜物的鎵置換型n型摻雜物；另外舉出F、Cl、Br、I等，當作將氧置換成n型摻雜物的氧置換型n型摻雜物。

顯示n型導電性的基板如以下方式來製造。首先，利用FZ (Floating Zone) 法以形成 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶，也就是說，各別準備 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 晶種結晶與 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 多晶體材料，在石英管中使 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 晶種結晶與 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 多晶體材料接觸，並加熱該接觸部位，在 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 晶種結晶與 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 多晶體材料的接觸部分，將兩者融解。若使已融解的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 晶種結晶與 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 多晶體材料一起結晶化時，於 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 晶



五、發明說明 (23)

種結晶上就會生成 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶。然後，藉由對該 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶，施加切斷等的加工，製造顯示n型導電性的基板。而且，使朝b軸 $\langle 010 \rangle$ 方位生長結晶時，因為(100)面的劈開性增強，以平行和垂直於(100)面的面來切斷製作基板。使其朝a軸 $\langle 100 \rangle$ 方位、c軸 $\langle 001 \rangle$ 方位生長結晶時，因為(100)面、(001)面的劈開性減弱，所以全部的面之加工性變優良，沒有如上述般之切斷面的制限，以(001)面、(010)面、(101)面都可以。

依據上述之製造方法使基板顯示n型導電性，也就是係因為 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶中的氧缺陷的緣故。

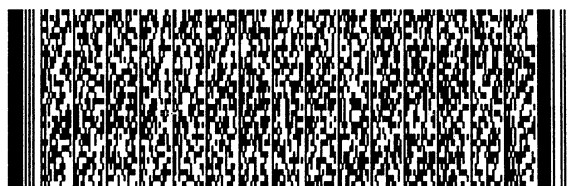
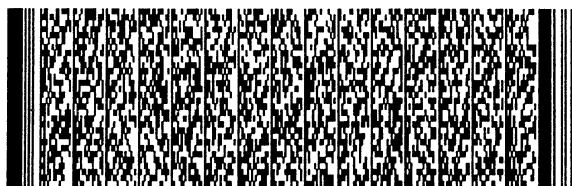
(2) 顯示n型導電性之基板導電率的控制

對於由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 組成之顯示n型導電性的基板，要控制其導電率的方法，可列舉出：利用改變環境氣體中氧氣的分壓，改變於生長中氧氣的流量來控制氧缺陷之濃度的方法；利用FZ法，控制n型摻雜物濃度的方法等。當氧缺陷的濃度增大時，導電率就會增大，於 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶生長中，氧氣流量與導電率之對數的關係，呈略反比例的關係。

$\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶生長時，於1~2大氣壓、在0~0.2m³/h之間，藉由變化氧氣的流量、變化氧氣的濃度，可以把載體的濃度控制在10⁻¹⁶~10⁻¹⁹/cm³之間。

(3) 絕緣型基板的製造方法

絕緣型基板如以下方式來製造。首先，與顯示n型導電性之基板的製造方法相同，利用控制氧缺陷的濃度，來



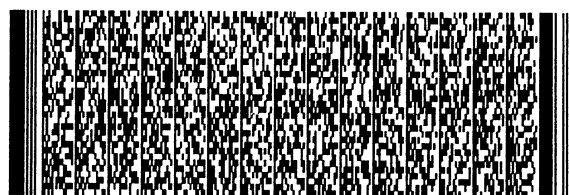
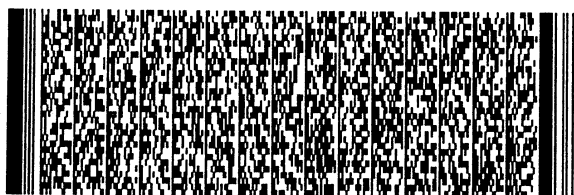
五、發明說明 (24)

使顯示n型導電性的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶生長，接著，在大氣中，用既定溫度（例如溫度 900°C ）的環境氣體，在既定的期間（例如6日期間），透過退火程序使氧缺陷減少，就會得到由 Ga_2O_3 單晶組成的絕緣型基板。

(4) 顯示p型導電性的基板的製造方法

為了要使由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶所形成的基板顯示p型導電性，必須將基板中的Ga置換成p型摻雜物；或將基板中的氧置換成p型摻雜物。下面舉出H、Li、Na、K、Rb、Cs、Fr、Be、Mg、Ca、Sr、Ba、Ra、Mn、Fe、Co、Ni、Pd、Cu、Ag、Au、Zn、Cd、Hg、Tl、Pb等，當作將Ga置換成p型摻雜物的鎳置換型p型摻雜物；另外舉出N、P等，當作將氧置換成p型摻雜物的氧置換型p型摻雜物。

顯示p型導電性的基板如以下方式來製造。首先，利用FZ (Floating Zone) 法以形成 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶，作為原料，例如，將含MgO (P型摻雜物源) 的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 均勻地混合，將混合物置入像膠管，在500MPa冷壓縮後形成棒狀。將形成棒狀的物質，在大氣中 1500°C 下燒結10小時，就會得到含Mg的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系多晶體材料。準備 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 晶種結晶，且在生長環境氣體全壓1~2大氣壓下，以500ml/min的速度，流通 N_2 及 O_2 混合氣體，在石英管中使 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 晶種結晶與 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系多晶體材料接觸，並加熱該接觸部位，在 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 晶種結晶與 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系多晶體材料的接觸部分，將兩者融解。使已融解的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系多晶體材料與 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 晶種結晶一起，以旋轉速度20rpm的速度，朝反方向旋轉的



五、發明說明 (25)

同時，並且讓其以5mm/h的生長速度生長時，於 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 晶種結晶上，就會生成透明的、含Mg的絕緣性 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶。利用該 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶來製作基板，將該基板在氧氣環境氣體中於既定溫度（例如950℃）下，退火既定期間，就會減少氧缺陷，得到顯示p型導電性的基板。

(5) 顯示p型導電性之基板導電率的控制

對於控制由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 組成的顯示p型導電性之基板的方法，可舉出利用FZ法來控制p型摻雜物的濃度。

(6) 顯示n型導電性之薄膜的製造方法

顯示n型導電性的薄膜，可以利用PLD法、MBE法、MOCVD法、濺鍍法等之物理氣相沈積法；熱激勵CVD、電漿CVD法等之化學氣相沉積法，來成膜。

茲說明利用PLD法來成膜的過程。為了要顯現n型導電性，必須將薄膜中的Ga置換成n型摻雜物；或將薄膜中的氧置換成n型摻雜物；或利用氧缺陷的存在。下面舉出Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Mo、W、Ru、Rh、Ir、C、Sn、Si、Ge、Pb、Mn、As、Sb、Bi等，當作將Ga置換成n型摻雜物之鎵置換型n型摻雜物；另外舉出F、Cl、Br、I等，當作將氧置換成n型摻雜物之氧置換型n型摻雜物。

於PLD法中，鎵置換型n型摻雜物及氧置換型n型摻雜物的摻雜方法有下述之方法。也就是說，有利用由Ga與n型摻雜物之合金組成的靶材、由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 與n型摻雜物氧化物之燒結體組成的靶材、由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 與n型摻雜物氧化物之固溶體單晶組成的靶材、或由Ga金屬組成的靶材及由n型



五、發明說明 (26)

摻雜物組成的靶材等的方法。

又，於PLD法中，由於氧缺陷而顯示n型導電性的薄膜，可以藉由利用 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 結晶（單晶、多晶體）作為靶材，在氧氣環境氣體中成膜來製造。

(7) 顯示n型導電性之薄膜導電率的控制

對於由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 組成之顯示n型導電性的薄膜，要控制其導電率的方法，可列舉出控制靶材之n型摻雜物混合比的方法、改變雷射光之照射條件和基板成膜條件來控制氧缺陷濃度的方法等。

對於利用PLD法來控制n型摻雜物之濃度的方法：於利用由Ga與n型摻雜物之合金組成的靶材、由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 與n型摻雜物氧化物之燒結體組成的靶材、由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 與n型摻雜物氧化物之固熔體單晶組成的靶材等的方法中，有改變Ga與摻雜物的成分比的方法；或者是於由Ga金屬組成的靶材及由n型摻雜物組成的靶材的方法中，則有改變朝靶材照射雷射光的方式。例如有改變雷射光的波長（比如157nm、193nm、248nm、266nm、355nm等）的方法、改變每一脈衝功率（比如10~500mW）和重覆性頻率（比如1~200Hz）等的方法。

利用PLD法來控制氧缺陷濃度的方法：有改變朝靶材照射雷射光之條件的方法，例如有改變雷射光的波長（比如157nm、193nm、248nm、266nm、355nm等）的方法、改變每一脈衝功率（10~500mW）和重覆性頻率（比如1~200Hz）的方法；或者是改變基板成膜條件的方法，例如



五、發明說明 (27)

改變基板溫度 (比如 $300\sim 1500\text{ }^{\circ}\text{C}$) 的方法、改變靶材與基板之距離 (比如 $20\sim 50\text{mm}$) 的方法、改變成膜之真空度 (比如 $10^{-3}\sim 10^{-7}\text{ torr}$) 的方法、改變電漿槍之輸出功率的方法等。

(8) 顯示p型導電性之薄膜的製造方法

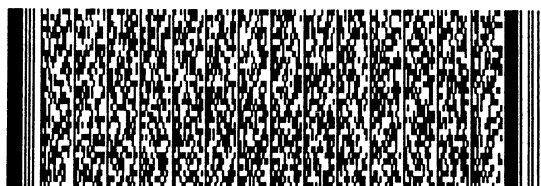
顯示p型導電性的薄膜，可以利用PLD法、MBE法、MOCVD法、濺鍍法等之物理氣相沈積法；熱激勵CVD、電漿CVD法等之化學氣相沉積法，來成膜。

如下說明利用PLD法來成膜的過程。為了要顯示p型導電性，必須將薄膜中的Ga置換成p型摻雜物；或將薄膜中的氧置換成p型摻雜物；或利用Ga缺陷的存在。下面舉出H、Li、Na、K、Rb、Cs、Fr、Be、Mg、Ca、Sr、Ba、Ra、Mn、Fe、Co、Ni、Pd、Cu、Ag、Au、Zn、Cd、Hg、Tl、Pb等，當作將Ga置換成p型摻雜物之鎵置換型p型摻雜物；另外舉出P等，當作將氧置換成p型摻雜物之氧置換型p型摻雜物。

利用PLD法，來摻雜鎵置換型p型摻雜物的方法及摻雜氧置換型p型摻雜物的方法，在薄膜生長程序中，應該要摻雜p型摻雜物。摻雜p型摻雜物的方法有下述之方法。

即，有利用由Ga與p型摻雜物之合金組成的靶材、由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 與p型摻雜物氧化物之燒結體組成的靶材、由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 與p型摻雜物氧化物之固熔體單晶組成的靶材、或由Ga金屬組成的靶材及由p型摻雜物組成的靶材等的方法。

又，由於Ga缺陷而顯示p型導電性的薄膜，可以藉由



五、發明說明 (28)

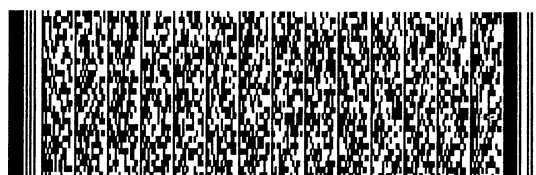
利用Ga金屬、 β -Ga₂O₃燒結體或 β -Ga₂O₃結晶(單晶、多晶體)作為靶材，在被電漿槍激發成自由基的N₂O環境氣體中，讓 β -Ga₂O₃結晶生長而來製造。

(9) 顯示p型導電性之薄膜導電率的控制

對於由 β -Ga₂O₃組成之顯示p型導電性的薄膜，要控制其導電率的方法，可列舉出控制靶材之p型摻雜物混合比的方法、改變雷射光之照射條件和基板成膜條件來控制Ga缺陷濃度的方法等。

對於利用PLD法來控制p型摻雜物之濃度的方法，有利用由Ga與p型摻雜物之合金組成的靶材、由 β -Ga₂O₃與p型摻雜物氧化物之燒結體組成的靶材的方法；利用由 β -Ga₂O₃與p型摻雜物氧化物之固熔體單晶組成的靶材的方法；利用由Ga金屬組成的靶材及由p型摻雜物組成的靶材的方法等。在利用由 β -Ga₂O₃與p型摻雜物氧化物之固熔體單晶組成的靶材的方法中，有改變Ga與p型摻雜物成分比的方法；在利用由Ga金屬組成的靶材及由p型摻雜物組成的靶材的方法中，則有改變朝靶材照射雷射光之方式的方法。例如有改變雷射光的波長(比如157nm、193nm、248nm、266nm、355nm等)的方法、改變每一脈衝功率(10~500mW)和重覆性頻率(比如1~200Hz)等的方法。

利用PLD法來控制Ga缺陷濃度的方法：有改變朝靶材照射雷射光的條件的方法，例如改變雷射光的波長(比如157nm、193nm、248nm、266nm、355nm等)的方法、改變每一脈衝功率(比如10~500mW)和重覆性頻率(比如1~



五、發明說明 (29)

200Hz) 的方法；或者是改變基板成膜條件的方法，例如改變基板的溫度（比如300~1500℃）的方法、改變靶材與基板之距離（比如20~50mm）的方法、改變成膜之真空度（比如 10^{-3} ~ 10^{-7} torr）的方法、改變電漿槍之輸出功率的方法等。

(10) 電極

電極係利用蒸鍍、濺鍍等，形成在顯示p型導電性的薄膜或基板上；或者是形成在顯示n型導電性的薄膜或基板上。且電極係由歐姆性接觸材料以形成。例如，在顯示n型導電性之薄膜或基板上，形成Au、Al、Ti、Sn、Ge、In、Ni、Co、Pt、W、Mo、Cr、Cu、Pb等之金屬單體；或形成該等之中至少2種的合金（比如Au-Ge合金）；或形成雙層結構，其將該等以2層構造的方式以形成（比如Al/Ti、Au/Ni、Au/Co）；或形成ITO。在顯示p型導電性之薄膜或基板上，形成Au、Al、Be、Ni、Pt、In、Sn、Cr、Ti、Zn等之金屬單體；或形成該等之中至少2種的合金（比如Au-Zn合金、Au-Be合金）；或形成雙層結構，其將該等以2層構造的方式以形成（比如Ni/Au）；或形成ITO。

依據該第十一實施態樣，在顯示n型導電性的第1層上，形成顯示p型導電性的第2層，藉此，由於可以形成PN接合的發光元件，所以能夠利用Ga₂O₃系單晶所具有的能隙，在紫外區域發光。

（第十二實施樣態）



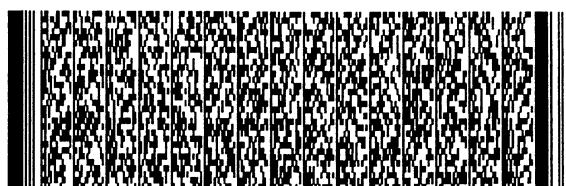
五、發明說明 (30)

第17圖係顯示依本發明第十二實施態樣之 Ga_2O_3 系發光元件的剖面圖。該發光元件301係具備：由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶組成之顯示n型導電性的n型基板302；形成於該n型基板302之頂面，由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶組成之顯示p型導電性的p型層303；形成於該p型層303之頂面的透明電極304；形成於透明電極304之一部分的黏合部電極306；形成於該n型基板302之整個底面的n電極305。黏合部電極306比如係由Pt所形成；n電極305比如係由Au所形成；黏合部電極306透過黏合部309來與引線308連接；透明電極304比如係由Au/Ni所形成。

然後，參照圖式來說明該發光元件301的製造方法。

第18圖係顯示氧濃度與載體濃度的關係。首先，如前所述般，利用FZ法以形成 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶。如第18圖所示般， $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶生長時，在氧氣濃度1~20%之間變化，藉此，能夠將 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶的載體濃度，控制在 $1.4 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 之間。使其以1~20mm/h的速度結晶成單晶後，對已製造出的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶，施行切斷等的加工，藉此，即可製造出顯示n型導電性的n型基板302。該n型基板302的載體濃度為 $1 \times 10^{-17}/\text{cm}^3$ ；p型層303的載體濃度為 $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 。

第19圖係顯示用以製造依本發明第十二實施態樣之發光元件的成膜裝置之概略構造。該成膜裝置302係為利用PLD法來成膜的裝置，其具備：反應室321，具有可以到達真空的空間部360；靶材平台325，配置於反應室321內、



五、發明說明 (31)

並支持著靶材323；旋轉機構330，設置於反應室321的外部，並使靶材平台325旋轉；基板支持部327，其配置於反應室321內支持n型基板302，同時內藏能夠把n型基板302加熱至1500℃的加熱器；自由基植入部328，由輸送管321a將自由基植入於反應室321內；具有真空馬達（無圖示）的排氣部329，介由輸送管321b對空間部360排氣，來使空間部360真空；雷射光部324，設置於反應室321的外部，將作為激發束的雷射光342，照射於靶材323。

靶材323係使用，舉例，含高純度Ga與Mg的合金、摻雜Mg之 β -Ga₂O₃結晶（單晶或多晶體）、摻雜Mg之 β -Ga₂O₃繞結體等。由不論是合金以外之固體組成的靶材，或者是液體的也可以。

雷射光部324具備：雷射光振盪部341，用Nd：YAG雷射光、KrF激生分子雷射光或ArF激生分子雷射光等作為雷射光源，來照射出脈衝狀的雷射光342；透鏡343、344，將由雷射光振盪部341放射出的雷射光342，聚光於靶材323上。

n型基板302，由 β -Ga₂O₃系單晶組成，面對著靶材323，使得用雷射光342照射於靶材323時，由靶材323解離出的金屬原子等化學物種333，可以有助於成膜。

自由基植入部328使得氣體能夠植入空間部360，該氣體係為氧氣、含臭氧的氧氣、純臭氧的氣體、N₂O氣體、NO₂氣體、含氧自由基的氣體、氧自由基等之中之1或2種以上的氣體，即於成膜時，與從靶材323放射出之金屬原

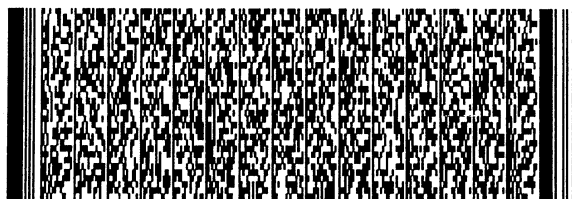


五、發明說明 (32)

子等化學物種333結合的氣體。

然後，說明將由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 組成之p型層303，形成於n型基板302上的方法。要使p型層303生長於n型基板302上，就得使用前述之成膜裝置320。即將靶材323，比如由Ga與Mg組成之合金的靶材323，固定於靶材平台325。將n型基板302支持於基板支持部327。利用排氣部329的真空馬達，排出空間部360中的環境氣體，保持空間部360內的真空度在比如 1×10^{-9} torr左右。其後，透過自由基植入部328，將比如氧氣植入空間部360並保持在 1×10^{-7} torr左右的真空度，通電給設置於基板支持部327的加熱器，把n型基板302加熱至比如 $300^\circ\text{C} \sim 1500^\circ\text{C}$ 。接著，將氧自由基透過自由基植入部328植入空間部360內，使保持在 $1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-6}$ torr。把來自雷射光部324、雷射光輸出功率100mW、重覆性頻率10Hz、波長266nm的雷射光342，照射於利用旋轉機構330來旋轉的靶材323時，構成靶材323的Ga原子、Mg原子就會被激發，再利用熱的、光化學的作用，於n型基板302上，將由靶材323放射出的金屬原子、金屬離子、激態金屬原子、激態金屬離子等化學物種333與環境氣體中的氧自由基結合，形成由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶組成的p型層303。而該導電性係由於Mg作為受子發揮作用的緣故。

其後，利用適宜的方法，於p型層303的表面形成透明電極304；於透明電極304之一部分形成黏合部電極306；於n型基板302的整個底面形成n電極305。之後，透過黏合



五、發明說明 (33)

部309將引線308與黏合部電極306連接。

依據該第十二實施樣態，會得到以下效果。

(一) 可以藉由接合n型基板302與p型層303以形成PN接合之發光元件，所以利用具有 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶之廣能隙，能夠發出短波長的光，例如像260nm之短長波的光。

(二) 因為n型基板302與p型層303，將 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 構成於本體，所以能夠不需要緩衝層，就可以形成結晶性高的p型層。

(三) n型基板302具有導電性，可以採用從上下將電極取出之垂直型構造，所以可以謀求層結構、及製造程序的簡化。

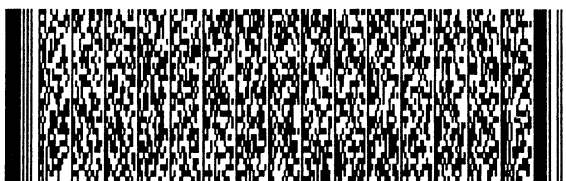
(四) n型基板302，因為在發光區域的透光性極高，所以可以提高光的透光效率，可以將如260nm之短波長的紫外光，從基板側透光出來。

(五) 由於將氧化物系的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶使用於n型基板302與p型層303，所以可以形成即使在高溫的大氣中，也能安定動作的發光元件。

(第十三實施樣態)

第20圖係顯示依本發明第十三實施態樣之 Ga_2O_3 系發光元件的剖面圖。依該實施樣態之發光元件301與第十二實施樣態之發光元件301不同的地方在於：於p型層303與n型基板302之間，形成由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶組成、載體濃度與n型基板302不同、且顯示n型導電性的n型層307。

然後，說明將n型層307形成於n型基板302表面的情

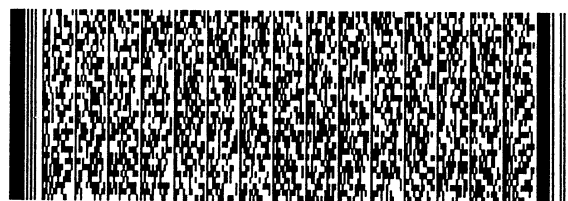
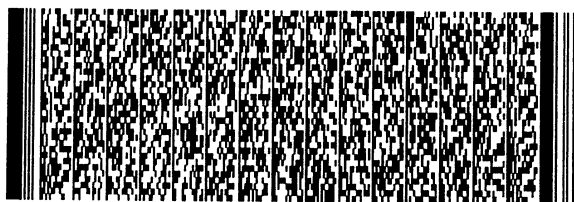


五、發明說明 (34)

形。該情況下，使用如第18圖所示之成膜裝置320以形成n型層307，此時靶材323採用由比如包含高純度之Ga和Sn的合金；或摻雜Sn之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶；或摻雜Sn之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 結晶燒結體所組成的靶材。

首先，將比如由Ga與Sn組成之合金的靶材323，固定於靶材平台325。將n型基板302支持於基板支持部327。利用排氣部329的真空馬達，排出空間部360中的環境氣體，保持空間部360內的真空度在比如 1×10^{-9} torr左右。其後透過自由基植入部328，將比如氧氣植入空間部360並保持在 1×10^{-7} torr左右的真空度，通電給設置於基板支持部327的加熱器，把n型基板302加熱至比如 $300^\circ\text{C} \sim 1500^\circ\text{C}$ 。接著，將氧自由基透過自由基植入部328植入空間部360內，使保持在 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4}$ torr左右的真空度。把來自雷射光部324、雷射光輸出功率100mW、重覆性頻率10Hz、波長266nm的雷射光342，照射於利用旋轉機構330來旋轉的靶材323時，構成靶材323的Ga原子、Sn原子就會被激發，再利用熱的、光化學的作用，於n型基板302上，將由靶材323放射出的金屬原子、金屬離子、激態金屬原子、激態金屬離子等化學物種333與環境氣體中的氧自由基結合，形成n型層307。此時n型基板302的載體濃度 $2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ；n型層307的載體濃度 $10^{17} / \text{cm}^3$ ；p型層303的載體濃度 $10^{16} / \text{cm}^3$ 。

其後，利用適宜的方法，於p型層303的表面形成透明電極304；於透明電極304之一部分形成黏合部電極306；



五、發明說明 (35)

於n型基板302的整個底面形成n電極305。之後，透過黏合部309將引線308與黏合部電極306連接。

依據該第十三實施樣態，會得到以下效果。

(一) 將n型層307的載體濃度，形成比n型基板302的載體濃度還要低的濃度，藉此，使p型層303的結晶性變得更好，比第十二實施態樣更提高其發光效率。

(二) 由於可以利用接合n型層307與p型層303，以形成PN接合的發光元件，所以利用具有 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶之廣能隙，能夠發出短波長的光，例如像260nm之短長波的光。

(三) 因為n型基板302與n型層307將 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 構成於本體，所以能夠不需要緩衝層，就可以形成結晶性高的p型層303。

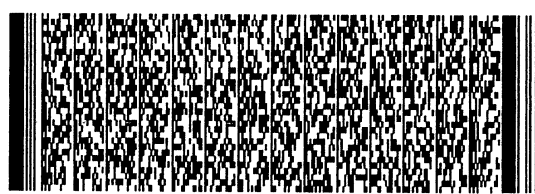
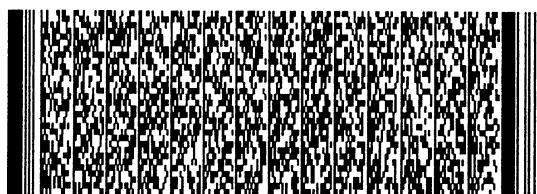
(四) n型基板302具有導電性，可以採用從上下將電極取出之垂直型構造，所以可以謀求層結構、及製造程序的簡化。

(五) n型基板302，因為在發光區域的透光性極高，所以可以提高光的透光效率，可以將如260nm之短波長的紫外光，從基板側透光出來。

(六) 由於將氧化物系之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶使用於n型基板302、n型層307與p型層303，所以可以形成即使在高溫的大氣中，也能安定動作的發光元件。

(第十四實施樣態)

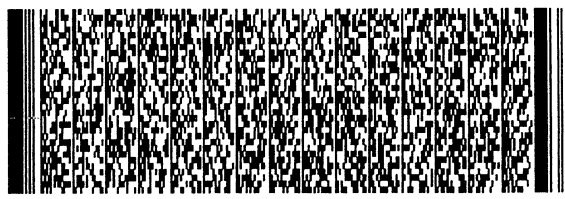
圖21係顯示依本發明第十四實施態樣之 Ga_2O_3 系發光



五、發明說明 (36)

元件的剖面圖。該發光元件301係具備： $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶組成之顯示p型導電性的p型基板312；形成於該p型基板312之頂面，由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶組成之顯示n型導電性的n型層313；形成於該n型層313之頂面的透明電極304；形成於透明電極304之一部分的黏合部電極306；形成於該p型基板312之整個底面的p電極336。黏合部電極306透過黏合部309來與引線308連接；p電極336由比如Pt所形成；黏合部電極306比如由Au所形成。

然後，說明該發光元件301的製造方法。首先，利用FZ法以形成 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶。將含作為靶材之MgO（P型摻雜物源）的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 均勻地混合當作原料，再將混合物置入像膠管，於500Mpa下冷壓縮後形成棒狀。將形成棒狀的物質在大氣中1500℃下燒結10小時，就會得到的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系多晶體材料。準備 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 晶種結晶，且在生長環境氣體全壓1~2大氣壓下，以500ml/min的速度，流通 N_2 及 O_2 混合氣體，在石英管中使 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 晶種結晶與 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系多晶體材料接觸，並加熱該接觸部位，在 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 晶種結晶與 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系多晶體材料的接觸部分，將兩者融解。使已融解的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系多晶體材料與 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 晶種結晶一起，以旋轉速度20rpm的速度，朝反方向旋轉的同時，並且讓其以5mm/h的生長速度生長時，於 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 晶種結晶上，就會生成透明的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶。接著，藉由對該 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶施行切斷等加工來製作基板，接著，將該基板在氧氣環境氣體中於950℃下進行退火時，就會變成顯示p型導電性的



五、發明說明 (37)

基板312。接著，如第十三實施態樣所示般，形成n型層313。形成黏合部電極306、p電極336等。

該第十四實施態樣的發光元件301，因為將p型基板312與形成於該p型基板312頂面的n型層313接合，所以將黏合部電極306的極性當作負極，p電極336的極性當作正極，當通加電壓時，在p型基板312與n型層313的接合部，p型基板312內的電洞與n型層313內的電子就會互相朝向接合部移動，該等就會在接合部附近再次結合，而接合部附近就會發光。

依據該第十四實施樣態，會得到以下效果。

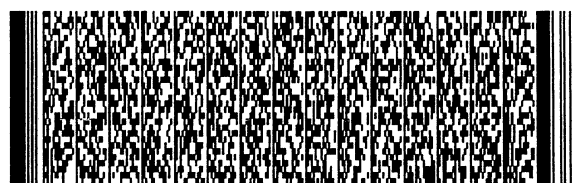
(一) 可以藉由接合p型基板312與n型層313以形成PN接合之發光元件，所以利用具有 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶之廣能隙，能夠發出短波長的光，例如像260nm之短長波的光。

(二) 因為p型基板312與n型層313，將 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 構成於本體，所以能夠不需要緩衝層，就可以形成結晶性高的n型層313。

(三) p型基板312具有導電性，可以採用從上下將電極取出之垂直型構造，所以可以謀求層結構、及製造程序的簡化。

(四) p型基板312，因為在發光區域的透光性極高，所以可以提高光的透光效率，可以將如260nm之短波長的紫外光，從基板側透光出來。

(五) 由於將 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶使用於p型基板312與n型層313，所以可以形成即使在高溫的大氣中，也能安定動



五、發明說明 (38)

作的發光元件。

(第十五實施樣態)

第22圖係顯示依本發明第十五實施態樣之 Ga_2O_3 系發光元件的剖面圖。依該實施態樣之發光元件301，與依第14實施態樣之發光元件301不同的地方在於：在n型層313與p型基板312之間，形成由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶組成、顯示p型導電性的p型層303。該p型層303控制該導電率，形成比p型基板312之載體濃度更低的濃度。

該發光元件301，如第十四實施態樣般以形成p型基板312；於該p型基板312上，如第十二實施態樣般以形成p型層303；於該p型層303上，如第十三實施態樣般以形成n型層313。

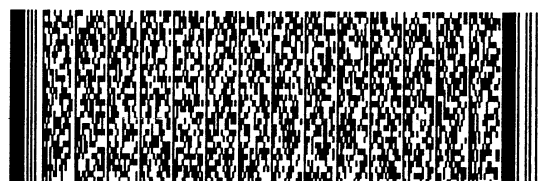
依據該第十五實施樣態，會得到以下效果。

(一) 將p型層303的載體濃度，形成比p型基板312的載體濃度還要低的濃度，所以可以防止發光效率減弱。

(二) 由於可以透過接合n型層313與p型層303，以形成PN接合的發光元件，所以利用具有 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶之廣能隙，能夠發出短波長的光，例如像260nm之短長波的光。

(三) 因為p型基板312與p型層303，將 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 構成於本體，所以能夠不需要緩衝層，就可以形成結晶性高的n型層313。

(四) p型基板312具有導電性，可以採用從上下將電極取出之垂直型構造，所以可以謀求層結構、及製造程序



五、發明說明 (39)

的簡化。

(五) p型基板312，因為在發光區域的透光性極高，所以可以提高光的透光效率，可以將如260nm之短波長的紫外光，從基板側透光出來。

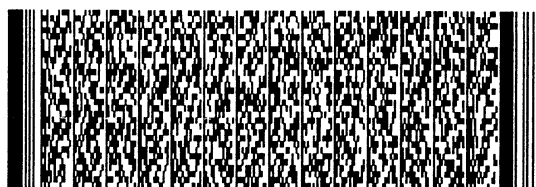
(六) 由於將氧化物系 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶使用於p型基板312、n型層313，所以可以形成即使在高溫的大氣中，也能安定動作的發光元件。

(第十六實施樣態)

第23圖係為顯示依本發明第十六實施態樣之 Ga_2O_3 系發光元件的剖面圖。該發光元件301具備：由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶組成的絕緣型基板316；形成於該絕緣型基板316的底面、由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶組成、顯示n型導電性的n型層317；形成於該n型層317之一部分的底面、由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶組成、顯示p型導電性的p型層318；形成於該p型層318上的p電極336；形成於n型層317上的n電極337。p電極336比如由Pt所形成；n電極337比如由Au等所形成。p電極336及n電極337，分別介由軟焊料球363、364，來與印刷基板365上的印刷圖案366連接。

該發光元件301在n型層317與p型層318接合的pn接合部處發光，所發出的光，透過絕緣型基板316，朝上方射出而成射出光370。

然後，說明該發光元件301的製造方法。絕緣型基板316以以下方式來得到。利用FZ法，將如第十二實施態樣般來得到、且顯示n型導電性、且由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 組成的基板，



五、發明說明 (40)

在大氣中，溫度 950°C 的環境氣體下，進行退火，藉此可以減少氧缺陷，得到絕緣型基板316。於該絕緣型基板316上，如第十四實施態樣般以形成n型層317，將該n型層317的一部分遮蔽，如第十二實施態樣般以形成p型層318，除去遮蔽部分後，分別在該p型層318上形成p電極336，在n型層317的一部分上形成n電極337。

依據該第十六實施樣態，會得到以下效果。

(一) 可以藉由接合n型層317與p型層318以形成PN接合之發光元件，所以利用具有 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶的廣能隙，能夠發出短波長的光，例如像 260nm 之短長波的光。

(二) 印刷基板和引線框架的連接方法，因為能夠用倒裝晶片結合法，所以從發光區域所發出的熱，可以很有效率地傳導至印刷基板和引線框架而散熱。

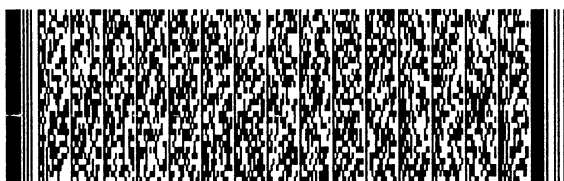
(三) 因為絕緣型基板316與n型層317，將 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 構成於本體，所以能夠不需要緩衝層，就可以形成結晶性高的n型層317。

(四) 絕緣型基板316，因為在發光區域的透光性極高，所以可以提高光的透光效率，可以將如 260nm 之短波長的紫外光，從基板側透光出來。

(五) 由於將氧化物系 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶使用於絕緣型基板316、n型層317與p型層318，所以可以形成即使在高溫的大氣中，也能安定動作的發光元件。

(第十七實施樣態)

第24圖係顯示依本發明第十七實施態樣之 Ga_2O_3 系發



五、發明說明 (41)

光元件的剖面圖。該發光元件301具備：由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶組成、顯示n型導電性的n型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 基板350；形成於該n型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 基板350上、顯示n型導電性的n型 $\beta\text{-Al}_{1.4}\text{Ga}_{0.6}\text{O}_3$ 包覆層351；形成於該n型 $\beta\text{-Al}_{1.4}\text{Ga}_{0.6}\text{O}_3$ 包覆層351上，由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶組成的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 活性層352；形成於 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 活性層352上、顯示p型導電性的p型 $\beta\text{-Al}_{1.4}\text{Ga}_{0.6}\text{O}_3$ 包覆層353；形成於p型 $\beta\text{-Al}_{1.4}\text{Ga}_{0.6}\text{O}_3$ 包覆層353之頂面、由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶組成、顯示p型導電性的p型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 接觸層354；形成於該p型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 接觸層354之頂面的透明電極304；形成於透明電極304之一部分上的黏合部電極306；形成於n型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 基板350之整個底面的n電極337。黏合部電極306比如由Pt所形成，n電極337比如由Au所形成。

該發光元件301，隔著黏合部電極306並利用黏合部309來安裝引線308；隔著金屬基底381來裝載於印刷基板380上。

利用前述之顯示p型導電性薄膜的導電率控制方法，來把p型 $\beta\text{-Al}_{1.4}\text{Ga}_{0.6}\text{O}_3$ 包覆層353的載體濃度，形成比p型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 接觸層354的載體濃度還要低的濃度。而且同樣地，把n型 $\beta\text{-Al}_{1.4}\text{Ga}_{0.6}\text{O}_3$ 包覆層351的載體濃度，形成比n型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 基板350的載體濃度還要低的濃度。

利用n型 $\beta\text{-Al}_{1.4}\text{Ga}_{0.6}\text{O}_3$ 包覆層351及p型 $\beta\text{-Al}_{1.4}\text{Ga}_{0.6}\text{O}_3$ 包覆層353，像三明治般將 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 活性層352夾持呈雙異質接合，而且 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 活性層352係由具有比各包覆層351、353能隙還小之能隙的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 所形成。



五、發明說明 (42)

所發出的光371，利用印刷基板380來反射，並朝上方射出。

第25圖係顯示 $\beta\text{-Al}_{1.4}\text{Ga}_{0.6}\text{O}_3$ 、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 及 $\beta\text{-GaInO}_3$ 的晶格常數率與能隙 (band gap) 之關係。其表明提高Al濃度時，能隙就會變大，同時晶格常數率變小；提高In濃度時，能隙就會變小，同時晶格常數率變大。對於 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 而言，針對b軸 $\langle 010 \rangle$ 方位及c軸 $\langle 001 \rangle$ 方位如第25圖所示般，針對a軸 $\langle 100 \rangle$ 方位也呈現相同的傾向。

依據該第十七實施樣態，會得到以下效果。

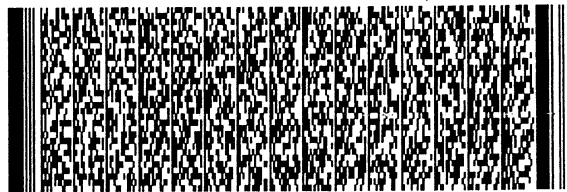
(一) 形成活性層352的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶具有廣的能隙，利用此能隙能夠發出短波長的光，例如像260nm之短波長的發光。又，透過添加Al能夠發出更短波長的發光。

(二) 由於具有雙異質接合的結構，成為載體的電子與電洞被集中閉鎖在 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 活性層352，提高了再結合的機率，所以可以使發光效率大幅地向上提昇。

(三) 因為n型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 基板350及各層351~354，將 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 構成於本體，所以能夠不需要緩衝層，就可以形成結晶性高的p型層。

(四) n型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 基板350具有導電性，可以採用從上下將電極取出之垂直型構造，所以可以謀求層結構、及製造程序的簡化。

(五) n型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 基板350，因為在發光區域的透光性極高，所以可以提高光的透光效率，可以將如260nm之短波長的紫外光，從基板側透光出來。



五、發明說明 (43)

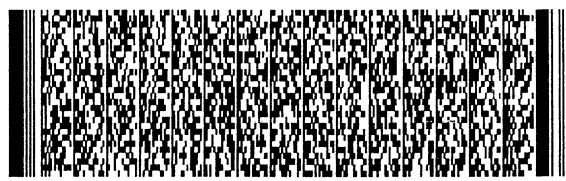
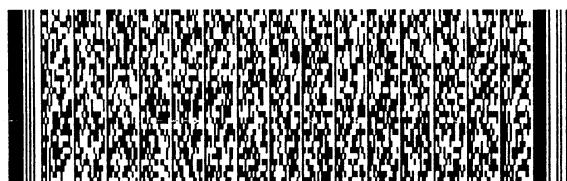
(六) 由於將氧化物系 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶使用於n型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 基板350及各層351~354，所以可以形成即使在高溫的大氣中，也能安定動作的發光元件。

(七) 發出的光，穿透過透明電極304朝上方射出，射出至外部而成射出光370，另外，發出的光371朝向n型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 基板350之底面的方向，因為比如利用n電極337或金屬基底381來反射，而朝上方射出，相較於發出的光371直接射出至外部，發光強度更加增大。

又 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 活性層352也可以由 $\beta\text{-GaInO}_3$ 以形成，此時也可以用 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 以形成作為包覆層。又作為活性層352，也可以是能夠提高發光效率之量子井構造的構造。

(第十八實施樣態)

第26圖係顯示依本發明第18實施態樣之 Ga_2O_3 系發光元件的剖面圖。該發光元件301具備：由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶組成之絕緣型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 基板355；形成於該絕緣型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 基板355之頂面、由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶組成、顯示n型導電性的n型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 接觸層356；形成於該n型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 接觸層356之一部分頂面的n型 $\beta\text{-Al}_{1.4}\text{Ga}_{0.6}\text{O}_3$ 包覆層351；形成於該n型 $\beta\text{-Al}_{1.4}\text{Ga}_{0.6}\text{O}_3$ 包覆層351之上、由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 組成的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 活性層352；形成於 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 活性層352上、顯示p型導電性的p型 $\beta\text{-Al}_{1.4}\text{Ga}_{0.6}\text{O}_3$ 包覆層353；形成於p型 $\beta\text{-Al}_{1.4}\text{Ga}_{0.6}\text{O}_3$ 包覆層353之上、由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶組成、顯示p型導電性的p型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 接觸層354；形成於該p型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 接觸層354的透明電極304；形成於透明電極304之一部分的黏合部電極306；



五、發明說明 (44)

形成於n型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 接觸層356之上的n電極337。黏合部電極306比如由Pt所形成，並利用黏合部309來與引線308連接；n電極337比如由Au所形成，並利用黏合部359來與引線358連接。把p型 $\beta\text{-Al}_{1.4}\text{Ga}_{0.6}\text{O}_3$ 包覆層353之載體的濃度，形成比p型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 接觸層354之載體的濃度還要低的濃度；把n型 $\beta\text{-Al}_{1.4}\text{Ga}_{0.6}\text{O}_3$ 包覆層351之載體的濃度，形成比n型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 接觸層356之載體的濃度還要低的濃度。該發光元件301則裝載於印刷基板380上。

與第十七實施態樣相同般，利用n型 $\beta\text{-Al}_{1.4}\text{Ga}_{0.6}\text{O}_3$ 包覆層351及p型 $\beta\text{-Al}_{1.4}\text{Ga}_{0.6}\text{O}_3$ 包覆層353，像三明治般將 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 活性層352夾持呈雙異質接合，而且 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 活性層352係由具有比各包覆層351、353能隙還小之能隙的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 所形成。

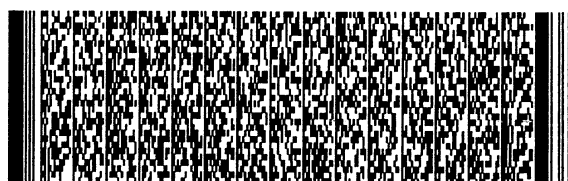
發出的光371，利用印刷基板380來反射，並朝上方射出。

依據該第十八實施樣態，會得到以下效果。

(一) 形成活性層352的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶具有廣的能隙，利用此能隙能夠發出短波長的光，例如像260nm之短波長的發光。又，透過添加Al能夠發出更短波長的發光。

(二) 由於具有雙異質接合的結構，成為載體的電子與電洞被集中閉鎖在 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 活性層352，提高了再結合的機率，所以可以使發光效率大幅地向上提昇。

(三) 因為絕緣型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 基板355及n型 $\beta\text{-Al}_{1.4}\text{Ga}_{0.6}\text{O}_3$ 包覆層351，將 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 構成於本體，所以能夠不需要緩衝



五、發明說明 (45)

層，就可以形成結晶性高的n型層。

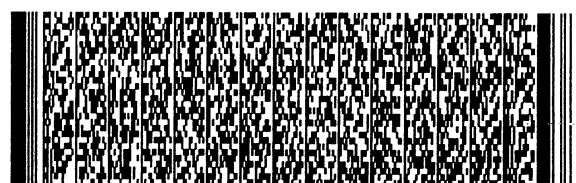
(四) 絕緣型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 基板355，因為在發光區域的透光性極高，所以可以提高光的透光效率。

(五) 由於將氧化物系 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶使用於絕緣型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 基板355及各層351、353、352、356，所以可以形成即使在高溫的大氣中，也能安定動作的發光元件。

(六) 發出的光，穿透過透明電極304朝上方射出，射出至外部而成射出光370，另外，發出的光371朝向絕緣型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 基板355之底面的方向，因為比如利用印刷基板380來反射，而朝上方射出，比起發出的光371直接射出至外部，發光強度更加增大。

而且，在第十二~十八實施態樣中，也可以將緩衝層設置於發光元件301。則緩衝層形成於：n型基板302與p型層303之間（第十二實施態樣，第17圖）；n型基板302與n型層307之間（第十三實施態樣，第20圖）；p型基板312與n型層313之間（第十四實施態樣，第21圖）；p型基板312與p型層303之間（第十五實施態樣，第22圖）；絕緣型基板316與n型層317之間（第十六實施態樣，第23圖）；n型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 基板350與n型 $\beta\text{-Al}_{1.4}\text{Ga}_{0.6}\text{O}_3$ 包覆層351之間（第十七實施態樣，第24圖）；絕緣型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 基板355與n型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 接觸層356之間（第十八實施態樣，第26圖）。

又，作為激發束，除了雷射光以外，只要是能照射於金屬靶材，使金屬原子等的化學物種遊離的話，即使是電



五、發明說明 (46)

子束、離子束等也可以。

又， $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 也可以是其他型式的 Ga_2O_3 。

又，第十二~十八實施態樣，雖然只針對發光元件加以說明，但是也可以適用於將入射光變換成電氣訊號的光感元件。

產業上利用性

如以上說明，依據本發明，利用FZ法，使 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶，由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系晶種結晶，朝既定方位生長來減少龜裂、雙晶化的傾向，提高結晶性，得到加工性良好的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶。

又，使 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶生長於基板上，俾於基板上形成 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶薄膜。

更進一步，藉由組合 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶薄膜，可以形成PN接合的發光元件，故能夠利用具有 Ga_2O_3 系單晶的能隙來發出紫外區域的光，可以使用於無水銀之螢光燈、提供乾淨環境的光解媒、以及實現更高密度記錄之新世代DVD等的領域。



圖式簡單說明

五、【圖式簡單說明】

圖1顯示依本發明第1實施態樣之紅外線加熱單晶製造裝置的概略構造。

圖2係為依本發明第1實施態樣之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 的晶種結晶的前視圖。

圖3(a)~(d)係為顯示依本發明第1實施態樣之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 晶種結晶生長過程的圖。

圖4係為顯示依本發明第1實施態樣之單晶的圖。

圖5係為顯示由依本發明第1實施態樣之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 的單晶所形成的基板的圖。

圖6係為顯示依本發明第1實施態樣之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 的單晶的單位晶格的圖。

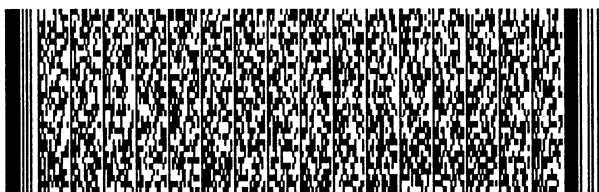
圖7係為顯示依本發明第2實施態樣之成膜裝置概略構造的圖。

圖8係為顯示依本發明第3實施態樣之MIS型發光元件之剖面的圖。

圖9係為顯示依本發明第6實施態樣之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜的原子力顯微鏡(AFM)照片的圖。

圖10係為顯示依本發明第7實施態樣之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜的原子力顯微鏡(AFM)照片的圖。

圖11(a)、(b)係為顯示依本發明第7實施態樣之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜、及對應於第7實施態樣之比較例薄膜，此兩者之反射式高能電子繞射(RHEED)圖案的比較圖。(a)顯示依本發明第7實施態樣之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜的反射式高能電



圖式簡單說明

子繞射圖案；(b)顯示對應於第7實施態樣之比較例薄膜的反射式高能電子繞射圖案。

圖12係為顯示依本發明第8實施態樣之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜的原子力顯微鏡照片的圖。

圖13(a)、(b)係為顯示依本發明第8實施態樣之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜、及對應於第7實施態樣之比較例薄膜，此兩者之反射式高能電子繞射圖案的比較圖。(a)顯示依本發明第8實施態樣之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜的反射式高能電子繞射圖案；(b)顯示對應於第8實施態樣之比較例薄膜的反射式高能電子繞射圖案。

圖14係為顯示依本發明第9實施態樣之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜的原子力顯微鏡照片的圖。

圖15係為顯示依本發明第10實施態樣之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜的原子力顯微鏡照片的圖。

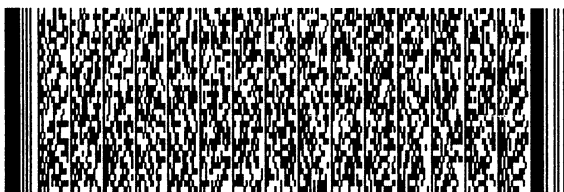
圖16係為對應於顯示依本發明第10實施態樣之比較例的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜的掃描式電子顯微鏡(SEM)照片的圖。

圖17係為顯示依本發明第12實施態樣之 Ga_2O_3 系發光元件的剖面圖。

圖18係為顯示依本發明第12實施態樣之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶的氧濃度與載體濃度之關係的圖。

圖19係為顯示用以製造依本發明第12實施態樣之 Ga_2O_3 系發光元件的成膜裝置之概略構造的圖。

圖20係為顯示依本發明第13實施態樣之 Ga_2O_3 系發光元件的剖面圖。



圖式簡單說明

圖21係為顯示依本發明第14實施態樣之 Ga_2O_3 系發光元件的剖面圖。

圖22係為顯示依本發明第15實施態樣之 Ga_2O_3 系發光元件的剖面圖。

圖23係為顯示依本發明第16實施態樣之 Ga_2O_3 系發光元件的剖面圖。

圖24係為顯示依本發明第17實施態樣之 Ga_2O_3 系發光元件的剖面圖。

圖25係為顯示 $\beta\text{-Al}_{1.4}\text{Ga}_{0.6}\text{O}_3$ 、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 及 $\beta\text{-GaInO}_3$ 的晶格常數率與能隙 (band gap) 之關係的圖。

圖26係為顯示依本發明第18實施態樣之 Ga_2O_3 系發光元件的剖面圖。

圖27係為顯示習知之單晶基板的圖。

元件符號說明：

101：紅外線加熱單晶製造裝置

102：石英管

102a：石英管102的空氣

103：晶種旋轉部

104：材料旋轉部

105：加熱部

106：控制部

107：晶種結晶

107a：晶種結晶107之上端



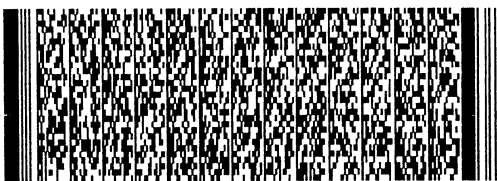
圖式簡單說明

- 108 : β -Ga₂O₃ 之單晶
- 108' : 熔解物
- 108a : 突出頸部
- 108b : β -Ga₂O₃ 單晶108的上部
- 108c : 熔解滴
- 109 : 多晶體材料
- 109a : 多晶體材料109之上端部
- 109b : 多晶體材料109之下端部
- 131 : 下部驅動部
- 132 : 下部旋轉軸
- 133 : 晶種夾具
- 141 : 上部驅動部
- 142 : 上部旋轉軸
- 143 : 材料夾具
- 151 : 鹵素燈泡
- 152 : 橢圓鏡
- 153 : 電源部
- 170 : 基板
- 171 : 龜裂
- 201 : 成膜裝置
- 202 : 反應室
- 202a : 輸送管
- 202b : 輸送管
- 203 : 靶材



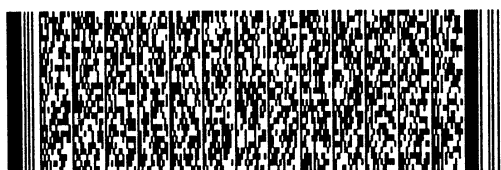
圖式簡單說明

- 204 : 雷射光部
- 205 : 靶材平台
- 206 : 基板
- 207 : 基板支持部
- 208 : 自由基植入部
- 209 : 排氣部
- 211 : 旋轉機構
- 220 : 空間部
- 233 : 由靶材203解離出的金屬原子
- 241 : 雷射光振盪部
- 242 : 雷射光
- 243 : 透鏡
- 244 : 透鏡
- 260 : MIS型發光元件
- 261 : $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜單晶
- 262 : 絕緣層
- 263 : 金電極
- 264 : n電極
- 265 : 黏合部
- 266 : 引線
- 267 : 黏合部
- 268 : 引線
- 301 : 發光元件
- 302 : n型基板



圖式簡單說明

- 303 : p 型層
- 304 : 透明電極
- 305 : n 電極
- 306 : 黏合部電極
- 307 : n 型層
- 308 : 引線
- 309 : 黏合部
- 312 : p 型基板
- 313 : n 型層
- 316 : 絕緣型基板
- 317 : n 型層
- 318 : p 型層
- 320 : 成膜裝置
- 321 : 反應室
- 321a : 輸送管
- 321b : 輸送管
- 323 : 靶材
- 324 : 雷射光部
- 325 : 靶材平台
- 327 : 基板支持部
- 328 : 自由基植入部
- 329 : 排氣部
- 330 : 旋轉機構
- 333 : 由靶材323解離出的化學物種



圖式簡單說明

- 336 : p 電極
- 337 : n 電極
- 341 : 雷射光振盪部
- 342 : 雷射光
- 343 : 透鏡
- 344 : 透鏡
- 350 : n 型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 基板
- 351 : n 型 $\beta\text{-Al}_{1.4}\text{Ga}_{0.6}\text{O}_3$ 包覆層
- 352 : $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 活性層
- 353 : p 型 $\beta\text{-Al}_{1.4}\text{Ga}_{0.6}\text{O}_3$ 包覆層
- 354 : p 型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 接觸層
- 355 : 該絕緣型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 基板 355
- 356 : n 型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 接觸層
- 358 : 引線
- 359 : 黏合部
- 360 : 空間部
- 363 : 軟焊料球
- 364 : 軟焊料球
- 365 : 印刷基板
- 366 : 印刷圖案
- 370 : 射出光
- 371 : 發出的光
- 380 : 印刷基板
- 381 : 金屬基底



四、中文發明摘要 (發明名稱： β 氧化鎵系單結晶生長方法、薄膜單結晶之生長方法、氧化鎵系發光元件及其製造方法)

本發明所提供者特別有關於減少龜裂、雙晶化的傾向，提高結晶性的 β - Ga_2O_3 系單晶生長方法；可以形成高品質之薄膜單晶的薄膜單晶生長方法；在紫外區域發光的 Ga_2O_3 系發光元件及其製造方法。

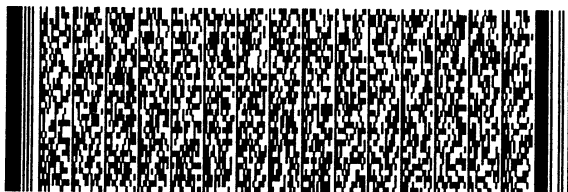
利用紅外線加熱單晶製造裝置，使晶種結晶及多晶體材料互相朝反方向旋轉同時加熱，再從a軸 $\langle 100 \rangle$ 方位、b軸 $\langle 010 \rangle$ 方位、及c軸 $\langle 001 \rangle$ 方位中選擇一個方位，使 β - Ga_2O_3 朝該方位生長。

由 β - Ga_2O_3 單晶所組成的薄膜，係利用PLD法來成膜，即用雷射光照射於靶材，使構成靶材的原子激發，再利用熱方式、光化學方式之作用，使Ga原子從靶材遊離出來後，使遊離的Ga原子與反應室中的環境氣體之自由基結合，而使由 β - Ga_2O_3 單晶組成的薄膜，生長在由 β - Ga_2O_3 單晶組成的基板上。

發光元件中，添加n型摻雜物於 β - Ga_2O_3 單晶後得到的

五、英文發明摘要 (發明名稱： β - Ga_2O_3 TYPE SINGLE CRYSTAL GROWTH METHOD, THIN FILM TYPE SINGLE CRYSTAL GROWTH METHOD, Ga_2O_3 TYPE LIGHT EMITTING DEVICE AND MANUFACTURING METHOD THEREOF)

The present invention provides β - Ga_2O_3 type single crystal growth method with improved crystallization characteristic and reduced cracking and twinning tendencies. The invention also provides thin film type single crystal growth method to form high quality thin film single crystal and Ga_2O_3 type ultraviolet light emitting device and its manufacturing method.



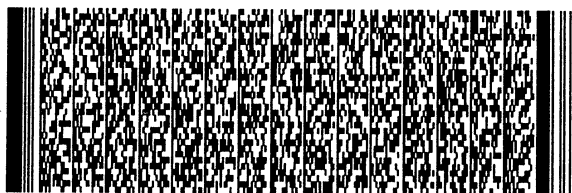
四、中文發明摘要 (發明名稱： β 氧化鎵系單結晶生長方法、薄膜單結晶之生長方法、氧化鎵系發光元件及其製造方法)

n 型基板；添加 p 型摻雜物於 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 單晶後得到的 p 型層，再將該 p 型層接合於該 n 型基板的頂面，所以發光元件會在該接合部附近發光。

五、英文發明摘要 (發明名稱： $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ TYPE SINGLE CRYSTAL GROWTH METHOD, THIN FILM TYPE SINGLE CRYSTAL GROWTH METHOD, Ga_2O_3 TYPE LIGHT EMITTING DEVICE AND MANUFACTURING METHOD THEREOF)

As seed crystal and poly crystal raw materials are forced to rotate in opposite directions to each other and heated simultaneously by IR heating single crystal manufacturing equipment, $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ single crystal grows along the direction selected from one of the a axis $\langle 100 \rangle$, b axis $\langle 010 \rangle$, and c axis $\langle 001 \rangle$ directions.

PLD method is used to form thin film



四、中文發明摘要 (發明名稱： β 氧化鎵系單結晶生長方法、薄膜單結晶之生長方法、氧化鎵系發光元件及其製造方法)

五、英文發明摘要 (發明名稱： β -Ga₂O₃ TYPE SINGLE CRYSTAL GROWTH METHOD, THIN FILM TYPE SINGLE CRYSTAL GROWTH METHOD, Ga₂O₃ TYPE LIGHT EMITTING DEVICE AND MANUFACTURING METHOD THEREOF)

comprising β -Ga₂O₃ single crystal. Specifically, by irradiating laser light on target, subsequently exciting the atoms that comprise the target, due to the effect of heat and light chemistry, Ga atoms are ionized from the target and then the ionized Ga atoms are combined with the radicals in the gas environment of the chamber so as to form β -Ga₂O₃ single crystal thin film on the β -Ga₂O₃



四、中文發明摘要 (發明名稱： β 氧化鎵系單結晶生長方法、薄膜單結晶之生長方法、氧化鎵系發光元件及其製造方法)

五、英文發明摘要 (發明名稱： β -Ga₂O₃ TYPE SINGLE CRYSTAL GROWTH METHOD, THIN FILM TYPE SINGLE CRYSTAL GROWTH METHOD, Ga₂O₃ TYPE LIGHT EMITTING DEVICE AND MANUFACTURING METHOD THEREOF)

single crystal substrate.

In order to form light emitting device, at first, n type substrate is formed by addition of n type dopant in β -Ga₂O₃ single crystal and then on the n type substrate the p type layer is formed by addition of p type dopant in β -Ga₂O₃ single crystal. By joining the n type substrate and the p type layer, light emitting device is thus formed



四、中文發明摘要 (發明名稱： β 氧化鎵系單結晶生長方法、薄膜單結晶之生長方法、氧化鎵系發光元件及其製造方法)

五、英文發明摘要 (發明名稱： β -Ga₂O₃ TYPE SINGLE CRYSTAL GROWTH METHOD, THIN FILM TYPE SINGLE CRYSTAL GROWTH METHOD, Ga₂O₃ TYPE LIGHT EMITTING DEVICE AND MANUFACTURING METHOD THEREOF)

and can be illuminated at the join portion of the n type substrate and the p type layer.



六、申請專利範圍

1. 一種 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶生長方法，其特徵為：
先準備 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系晶種結晶，
自 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系晶種結晶朝既定方位生長 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶。
2. 如申請專利範圍第1項之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶生長方法，其中，該既定方位係為a軸 $\langle 100 \rangle$ 方位。
3. 如申請專利範圍第1項之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶生長方法，其中，該既定方位係為b軸 $\langle 010 \rangle$ 方位。
4. 如申請專利範圍第1項之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶生長方法，其中，該既定方位係為c軸 $\langle 001 \rangle$ 方位。
5. 如申請專利範圍第1項之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶生長方法，其中，該 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶的生長，係利用FZ法來生長。
6. 如申請專利範圍第5項之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶生長方法，其中，該FZ法所使用的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系多晶體原料棒的直徑，與生長結晶的直徑相同，或比生長結晶的直徑大。
7. 如申請專利範圍第5項之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶生長方法，其中，該FZ法係於全壓為1~2大氣壓下，在 O_2 和惰性氣體之混合氣體的環境氣體中進行。
8. 如申請專利範圍第1項之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶生長方法，其中，該 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系晶種結晶係為單晶。
9. 如申請專利範圍第1項之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶生長方法，其中，該 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系晶種結晶係為朝既定方位生長的晶種結晶。
10. 如申請專利範圍第9項之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶生長方法，其



六、申請專利範圍

中，該既定方位係為a軸 $\langle 100 \rangle$ 方位。

11. 如申請專利範圍第9項之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶生長方法，其中，該既定方位係為b軸 $\langle 010 \rangle$ 方位。

12. 如申請專利範圍第9項之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶生長方法，其中，該既定方位係為c軸 $\langle 001 \rangle$ 方位。

13. 如申請專利範圍第1項之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶生長方法，其中，該 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系晶種結晶，具有生長結晶五分之一以下的直徑；且具有於該 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶生長時不毀壞的強度。

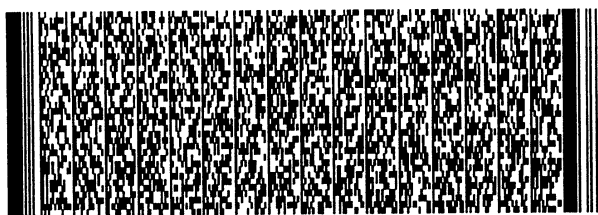
14. 如申請專利範圍第1項之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶生長方法，其中，該 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系晶種結晶，具有 5mm^2 以下的剖面積；且具有於該 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶生長時不毀壞的強度。

15. 如申請專利範圍第1項之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶生長方法，其中，該 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系晶種結晶，包含與 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 相同之單斜晶系、空間群屬於 $C2/m$ 的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 固溶體。

16. 如申請專利範圍第1項之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶生長方法，其中，該 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系生長結晶，包含與 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 相同之單斜晶系、空間群屬於 $C2/m$ 的 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 固溶體。

17. 如申請專利範圍第15或16項之 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶生長方法，其中，該 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 固溶體，包含係選自鎳、銻、鋁、錫、鍺、鎳、銅、鋅、銦、鈾、鈦、鈇、鉻、鎂、鐵、鈷、鉛、鉍、鎢、矽及錳所構成族群中之1種或2種以上元素的氧化物。

18. 一種薄膜單晶的生長方法，其特徵為：



六、申請專利範圍

先準備基板，

在既定環境氣體中，將激發束照射於由純金屬或合金構成的金屬靶材，藉此而使金屬靶材放射出原子、分子、離子等之化學物種，並與包含於該既定環境氣體中的原子相結合，俾於該基板上生長薄膜。

19. 如申請專利範圍第18項之薄膜單晶的生長方法，其中，該既定環境氣體包含植入之自由基。

20. 如申請專利範圍第18項之薄膜單晶的生長方法，其中，該既定環境氣體，真空度為 $1\sim 1 \times 10^{-10}$ torr。

21. 如申請專利範圍第18項之薄膜單晶的生長方法，其中，該金屬靶材係為液體，包含構成該金屬靶材的該純金屬或該合金。

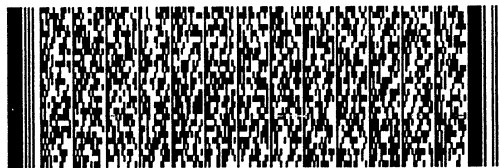
22. 如申請專利範圍第18項之薄膜單晶的生長方法，其中，該激發束係為雷射光。

23. 如申請專利範圍第18項之薄膜單晶的生長方法，其中，該基板加熱至 $300\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

24. 一種薄膜單晶的生長方法，其特徵為：

先準備由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶組成的基板，

在由氧氣、含臭氧的氧氣、純臭氧的氣體、 N_2O 氣體、 NO_2 氣體、含氧自由基的氧體、以及氧自由基之中之1或2種以上的氣體所構成的環境氣體中，將激發束照射於由Ga或含Ga的合金組成的金屬靶材，藉此而使金屬靶材放射出原子、分子、離子等之化學物種，並與該氣體相結合，俾於該基板上生長由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系組成之薄膜單晶。



六、申請專利範圍

25. 如申請專利範圍第24項之薄膜單晶的生長方法，其中，該由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系組成之薄膜單晶的生長，係形成由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系薄膜單晶組成之緩衝層，並使其在該緩衝層上生長。

26. 一種薄膜單晶的生長方法，其特徵為：

先準備由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶組成的基板，

在由氧氣、含臭氧的氧氣、純臭氧的氣體、 N_2O 氣體、 NO_2 氣體、含氧自由基的氣體、以及氧自由基之中之1或2種以上的氣體所構成的環境氣體中，將激發束照射於由Zn或含Zn的合金組成的金屬靶材，藉此而使由金屬靶材放射出的原子、分子、離子等之化學物種與該氣體結合，俾於該基板上生長由ZnO系組成之薄膜單晶。

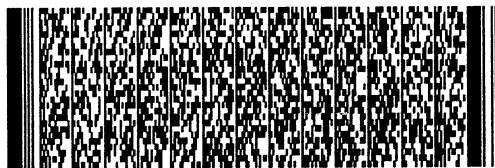
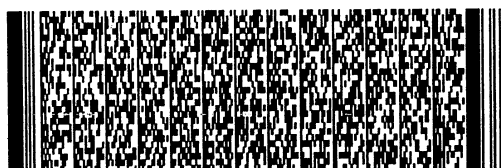
27. 如申請專利範圍第26項之薄膜單晶的生長方法，其中，該由ZnO系組成之薄膜單晶的生長，係形成由ZnO系薄膜單晶組成之緩衝層，並使其在該緩衝層上生長。

28. 一種薄膜單晶的生長方法，其特徵為：

先準備由 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系單晶組成的基板，

在由氮自由基、 NH_3 氣體、以及含氮自由基的 NH_3 氣體之中之1或2種以上的氣體所構成的環境氣體中，將激發束照射於由Ga或含Ga的合金組成的金屬靶材，藉此而使金屬靶材放射出原子、分子、離子等之化學物種，並與該氣體結合，俾於該基板上生長由GaN系組成之薄膜單晶。

29. 如申請專利範圍第28項之薄膜單晶的生長方法，其中，該由GaN系組成之薄膜單晶的生長，係形成由GaN系薄



六、申請專利範圍

膜單晶組成之緩衝層，並使其在該緩衝層上生長。

30. 如申請專利範圍第24、26、28項中任一項之薄膜單晶的生長方法，其中，該基板的準備係利用FZ法以形成。

31. 一種 Ga_2O_3 系發光元件，其特徵為包含：

由 Ga_2O_3 系單晶組成而顯示n型導電性的第1層；

由形成於該第1層上之 Ga_2O_3 系單晶組成而顯示p型導電性的第2層。

32. 如申請專利範圍第31項之 Ga_2O_3 系發光元件，其中，於該第1層及該第2層之間，係包含活性層。

33. 如申請專利範圍第31項之 Ga_2O_3 系發光元件，其中，該第1層及該第2層，一層係為基板，另一層係為生長於該基板上的薄膜。

34. 如申請專利範圍第33項之 Ga_2O_3 系發光元件，其中，該基板之使該薄膜生長的表面係為(100)面。

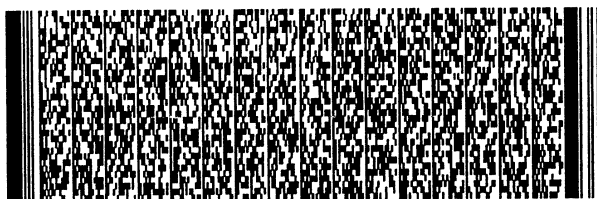
35. 如申請專利範圍第33項之 Ga_2O_3 系發光元件，其中，該基板之使該薄膜生長的表面係為(001)面。

36. 如申請專利範圍第33項之 Ga_2O_3 系發光元件，其中，該基板之使該薄膜生長的表面係為(010)面。

37. 如申請專利範圍第33項之 Ga_2O_3 系發光元件，其中，該基板之使該薄膜生長的表面係為(101)面。

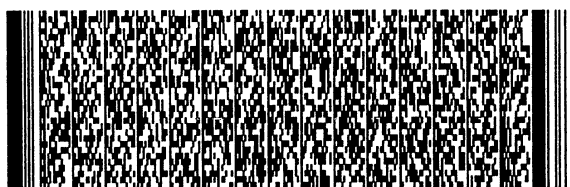
38. 如申請專利範圍第31項之 Ga_2O_3 系發光元件，其中，該第1層係為基板或薄膜，

該基板或該薄膜，係因為該 Ga_2O_3 系單晶中的氧缺陷，而顯示n型導電性。



六、申請專利範圍

39. 如申請專利範圍第31項之 Ga_2O_3 系發光元件，其中，該第1層係為基板或薄膜，藉由於該基板或該薄膜添加n型摻雜物，而使其顯示n型導電性。
40. 如申請專利範圍第31項之 Ga_2O_3 系發光元件，其中，該第2層係為基板或薄膜，該基板或該薄膜，係因為該 Ga_2O_3 系單晶中的Ga缺陷，而使其顯示p型導電性。
41. 如申請專利範圍第31項之 Ga_2O_3 系發光元件，其中，該第2層係為基板或薄膜，藉由於該基板或該薄膜添加p型摻雜物，而使其顯示p型導電性。
42. 一種 Ga_2O_3 系發光元件，其特徵為包含：
由 Ga_2O_3 系單晶組成、顯示n型導電性的基板；
由形成於該基板上之 Ga_2O_3 系單晶組成而顯示p型導電性的薄膜。
43. 如申請專利範圍第42項之 Ga_2O_3 系發光元件，其中，於該基板與該顯示p型導電性的薄膜之間，形成有由 Ga_2O_3 系單晶組成、具有與該基板不相同的載體濃度、並顯示n型導電性的薄膜。
44. 如申請專利範圍第43項之 Ga_2O_3 系發光元件，其中，於該基板與該顯示n型導電性的薄膜之間，形成由 Ga_2O_3 系單晶組成的緩衝層。
45. 一種 Ga_2O_3 系發光元件，其特徵為包含：



六、申請專利範圍

由 Ga_2O_3 系單晶組成並顯示p型導電性的基板；

由形成於該基板上之 Ga_2O_3 系單晶組成並顯示n型導電性的薄膜。

46. 如申請專利範圍第45項之 Ga_2O_3 系發光元件，其中，於該基板與該顯示n型導電性的薄膜之間，形成由 Ga_2O_3 系單晶組成、具有與該基板不相同的載體濃度、並顯示p型導電性的薄膜。

47. 如申請專利範圍第46項之 Ga_2O_3 系發光元件，其中，於該基板與該顯示p型導電性的薄膜之間，形成由 Ga_2O_3 系單晶組成的緩衝層。

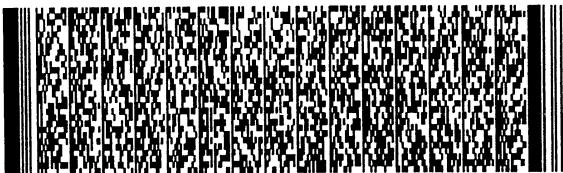
48. 一種發光元件的製造方法，其特徵為：

形成由 Ga_2O_3 系單晶組成並顯示n型導電性的基板；

對該基板進行退火，以形成絕緣基板；

於該絕緣基板上添加n型摻雜物，俾於其上形成顯示n型導電性的薄膜；

更於其上添加p型摻雜物，以形成顯示p型導電性的薄膜。



圖式

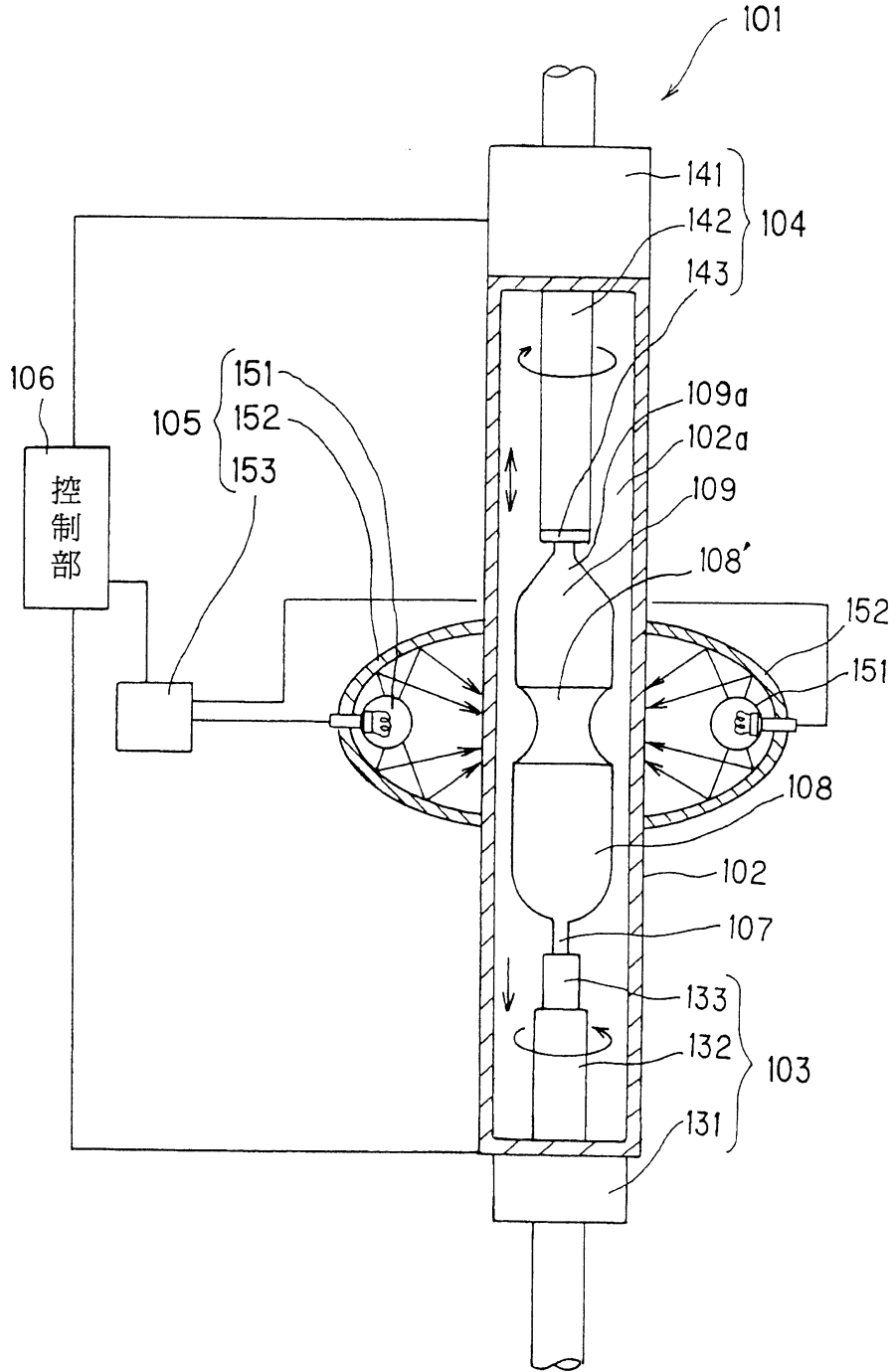


圖 1

圖式

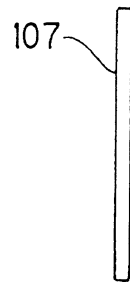


圖 2

圖式

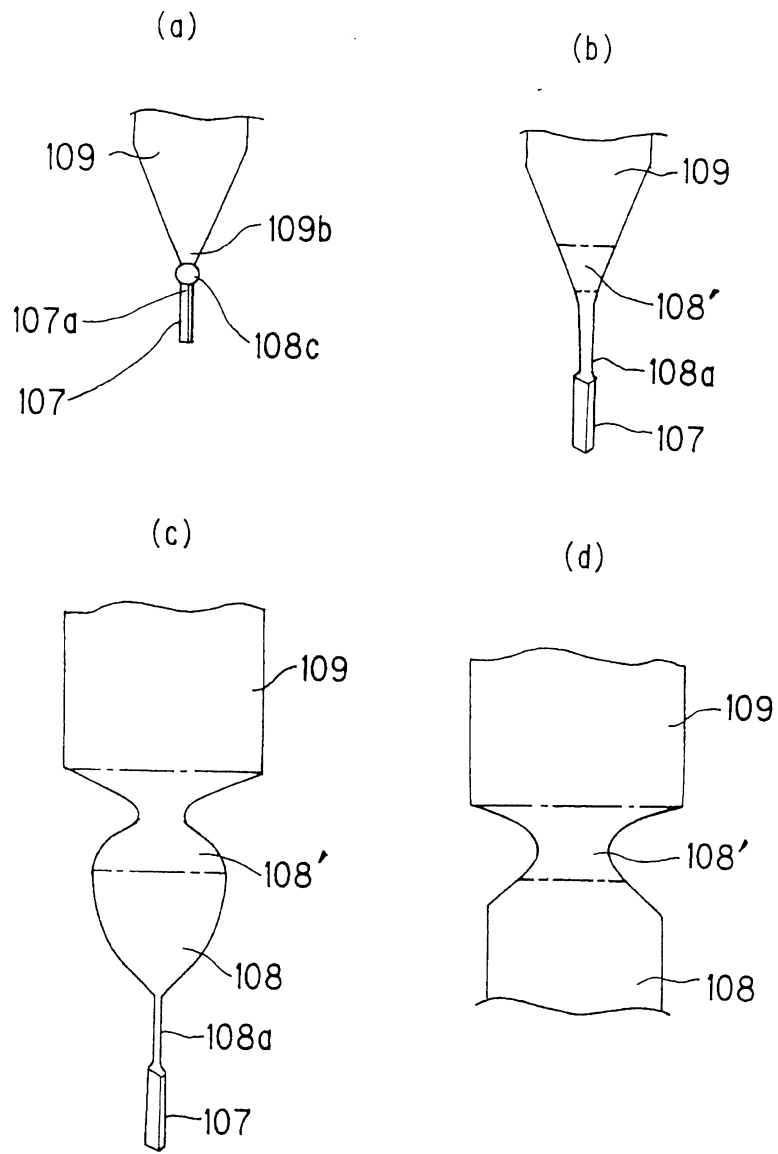


圖 3

圖式

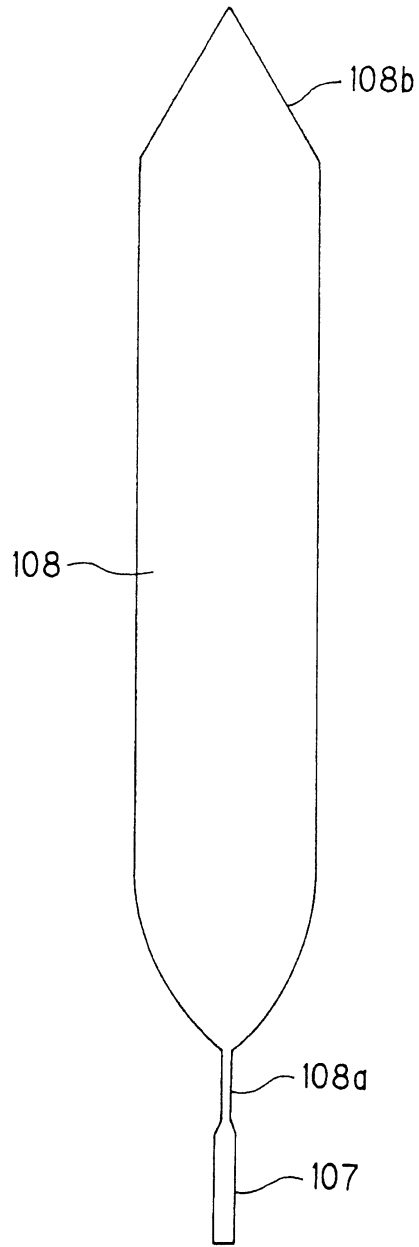


圖 4

圖式

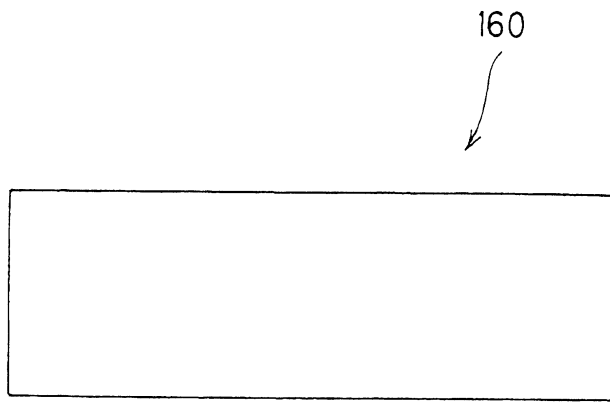


圖 5

圖式

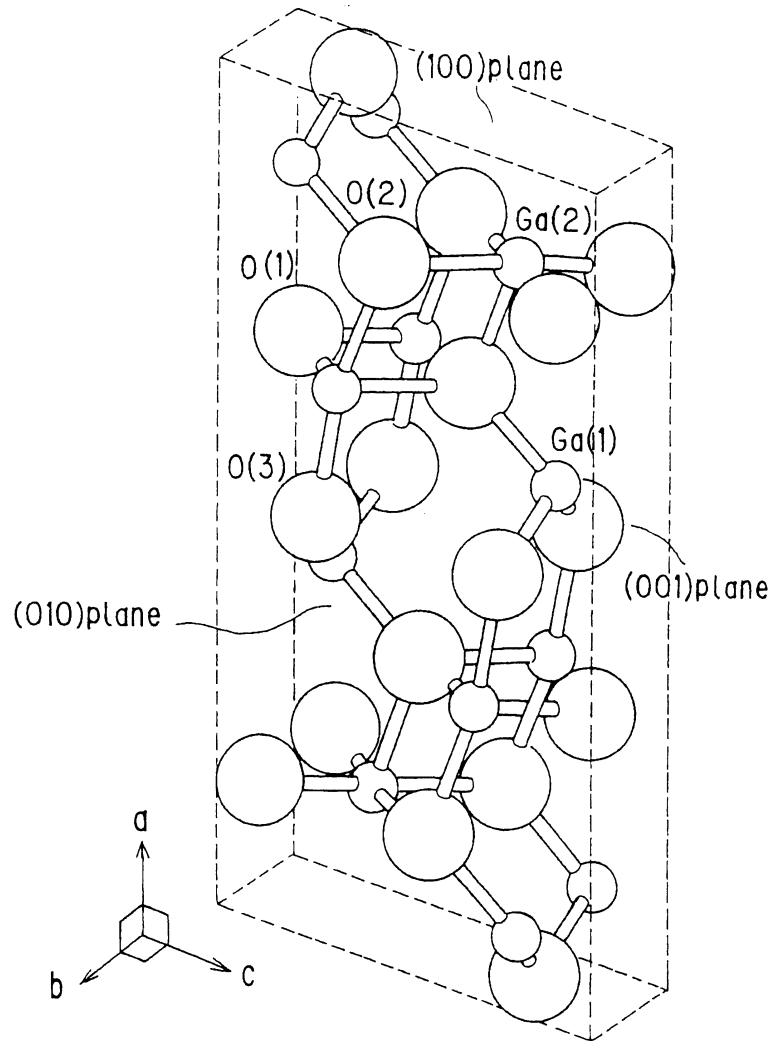


圖 6

圖式

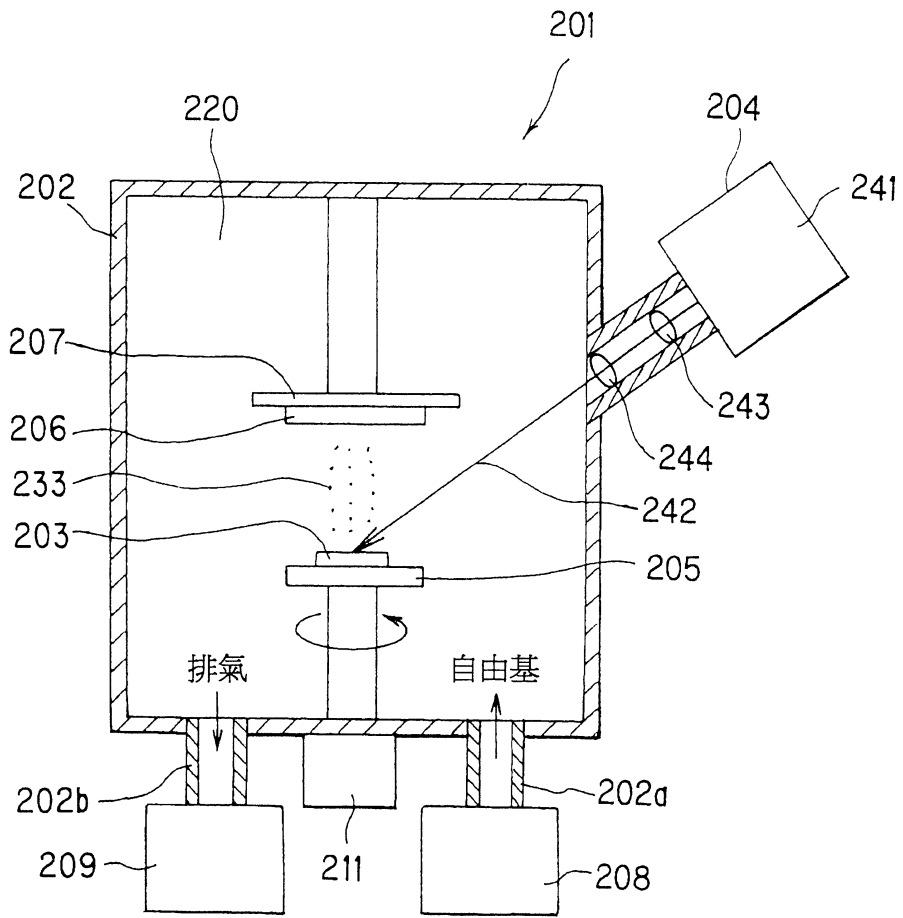


圖 7

圖式

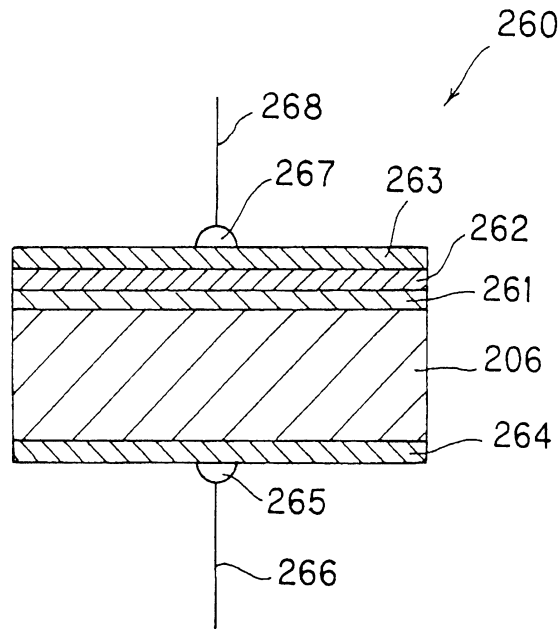


圖 8

圖式

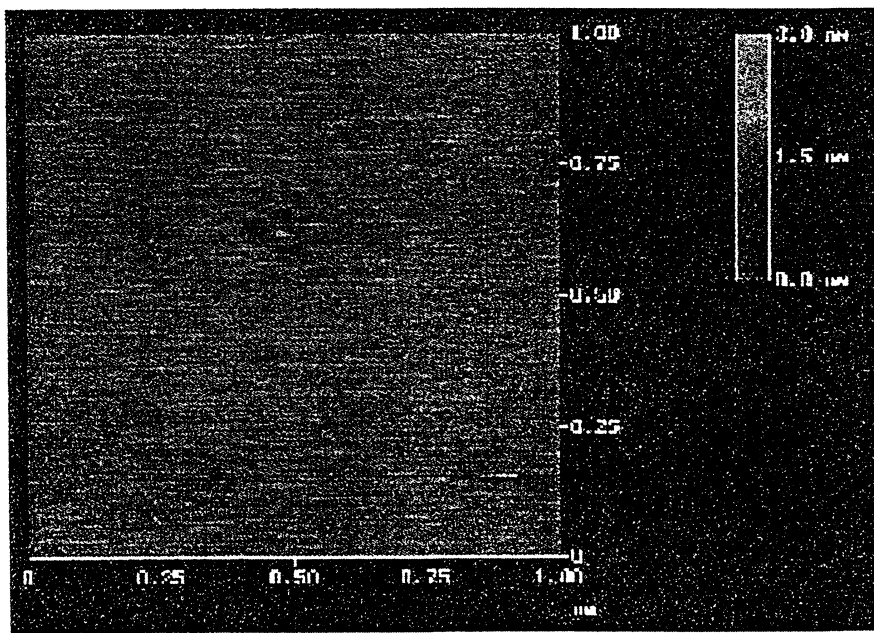


圖 9

圖式

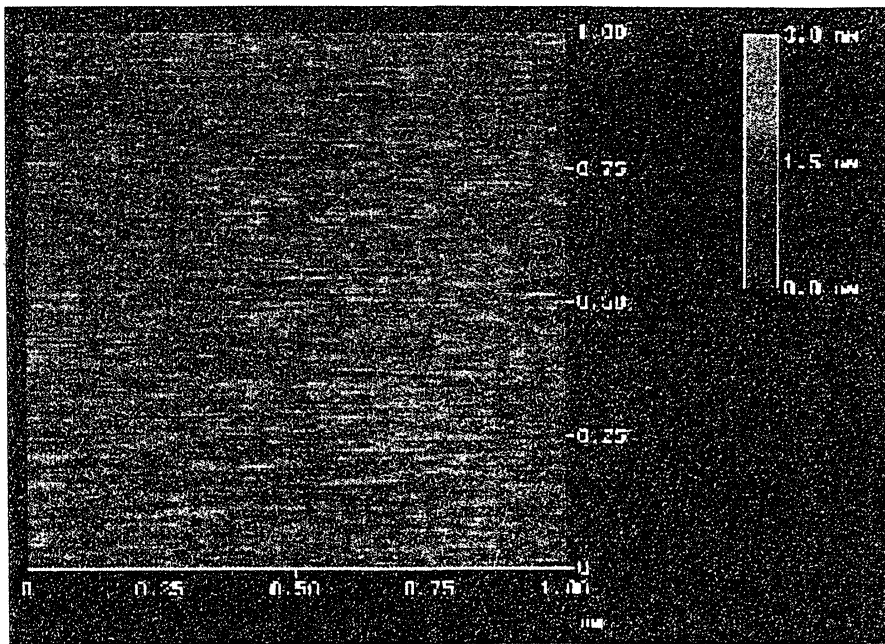


圖 10

圖式

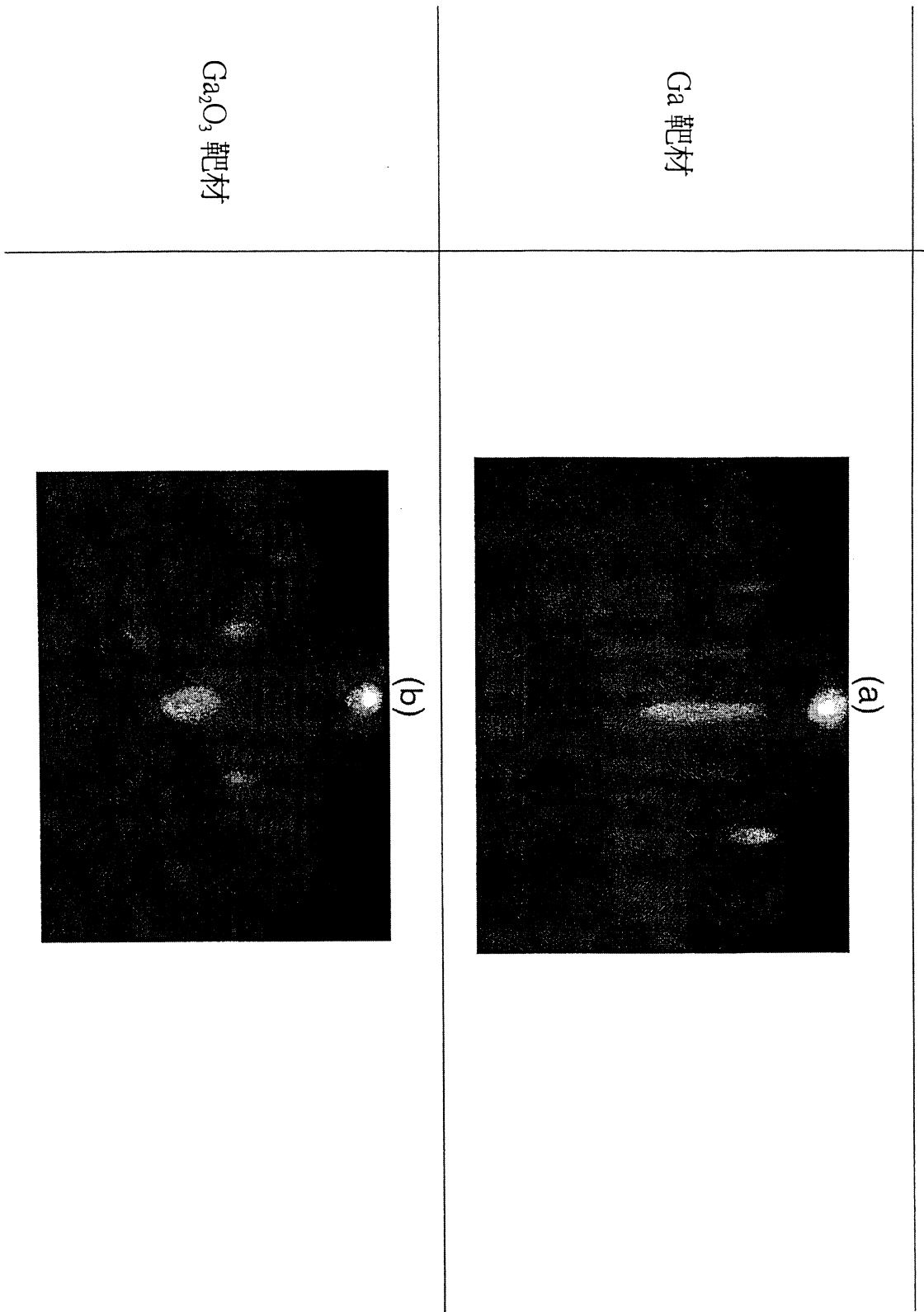


圖 11

圖式

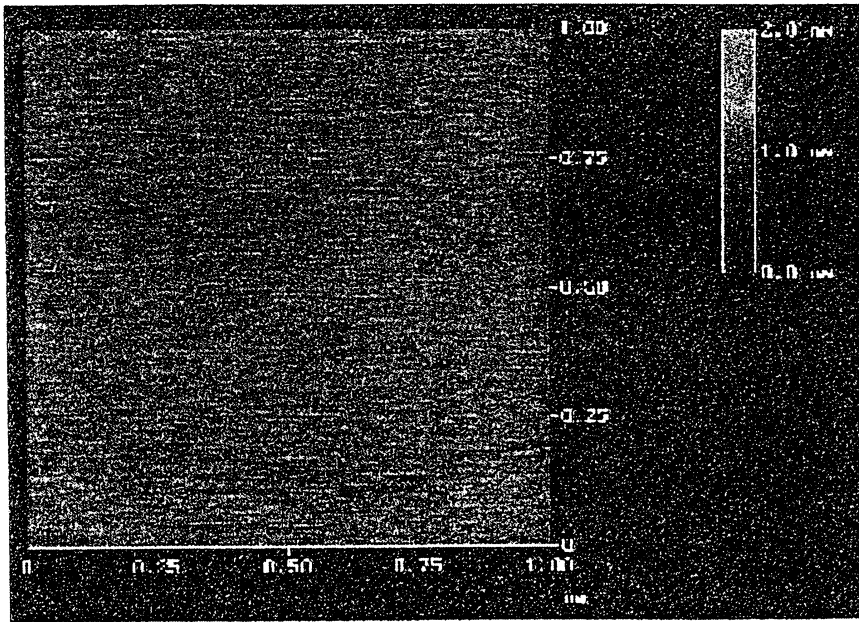


圖 12

圖式

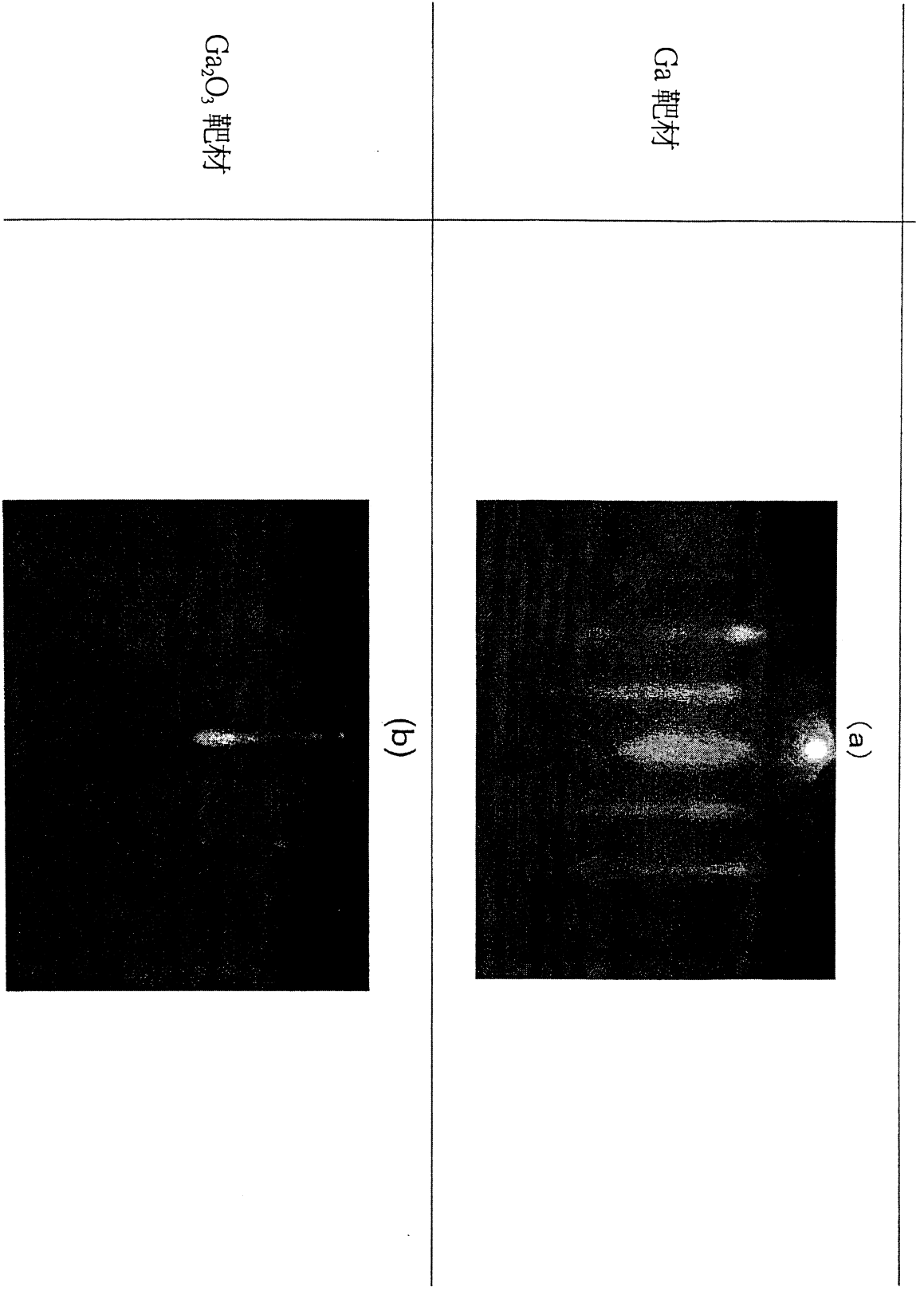


圖 13

圖式

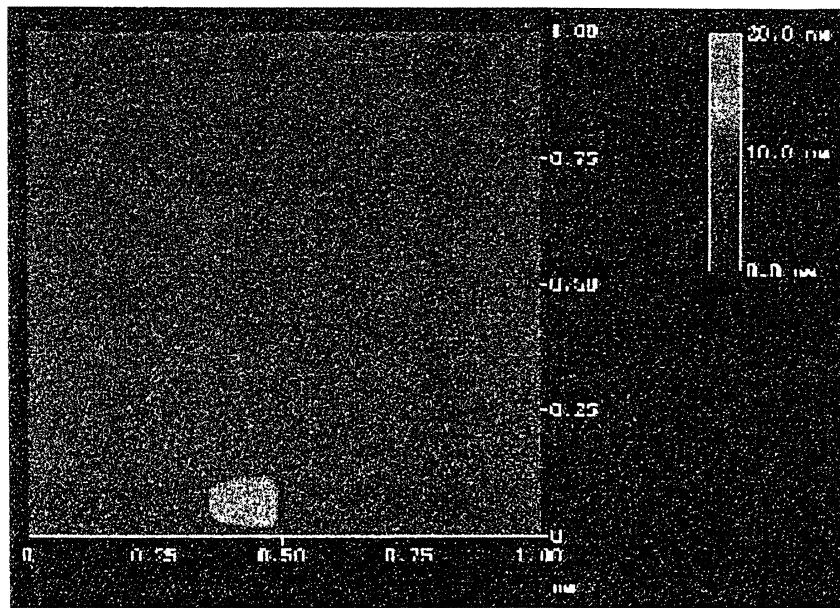


圖 14

圖式

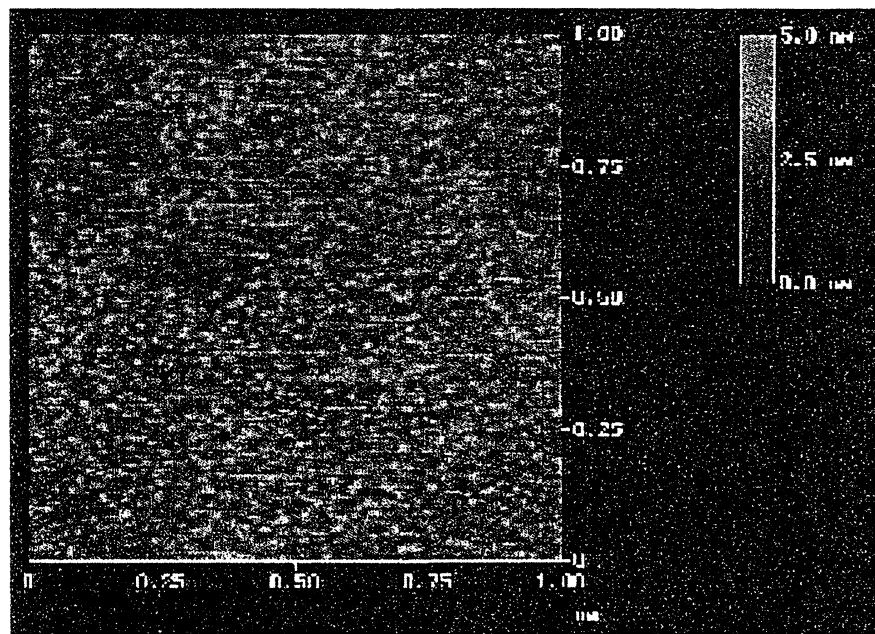


圖 15

圖式

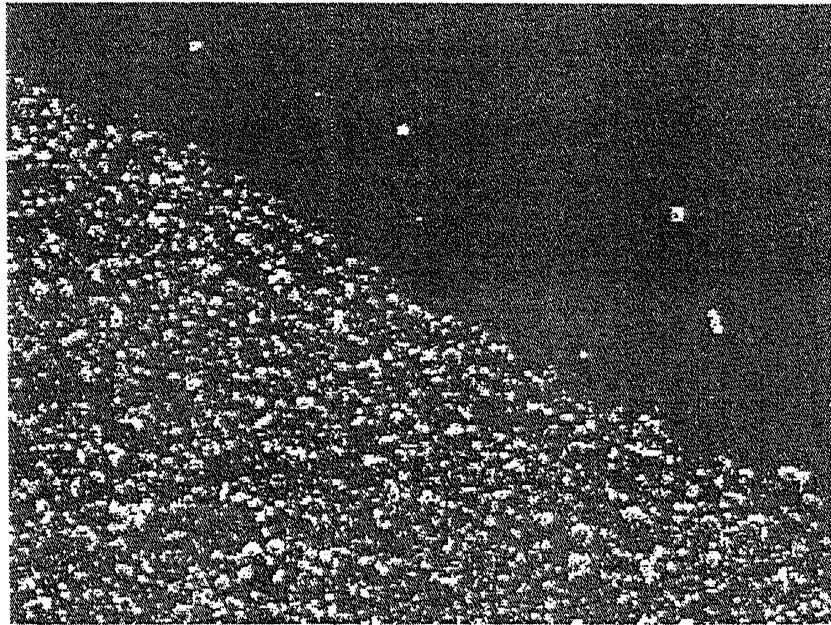


圖 16

圖式

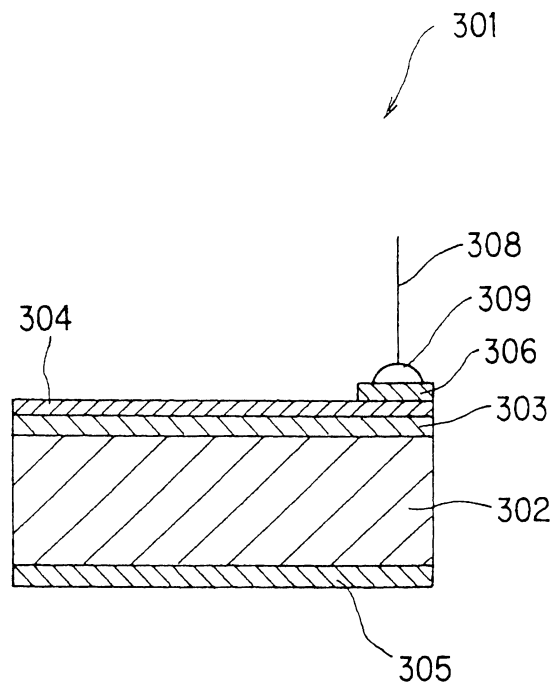


圖 17

圖式

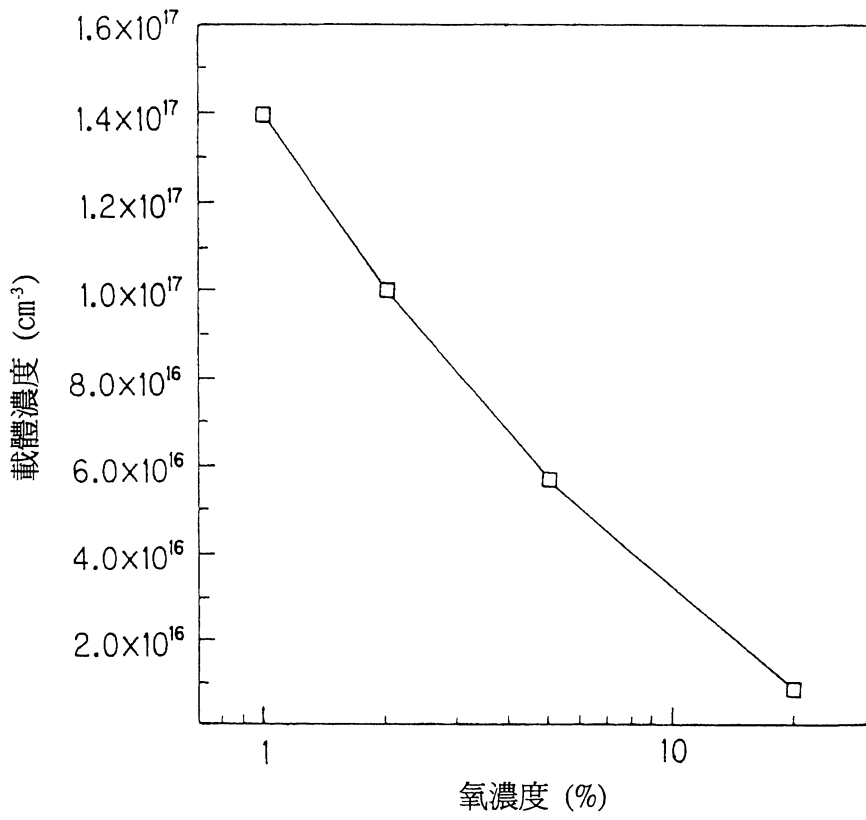


圖 18

圖式

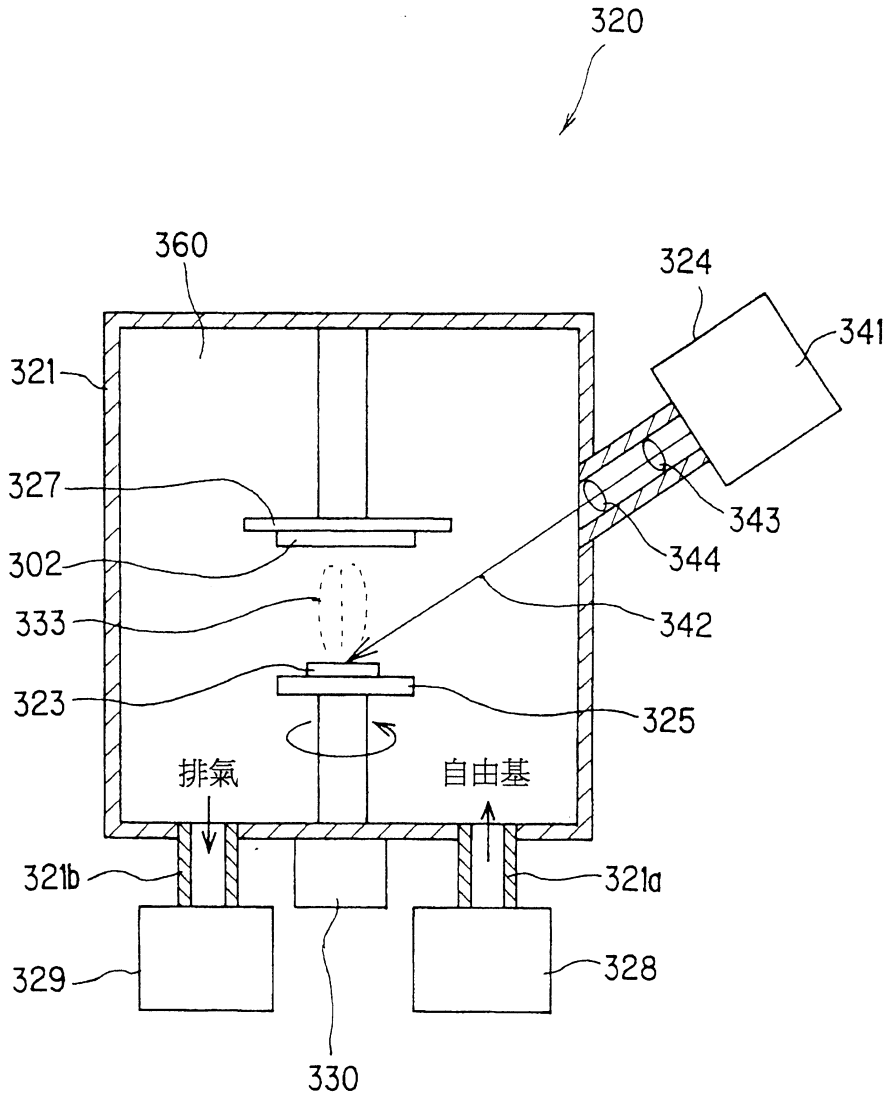


圖 19

圖式

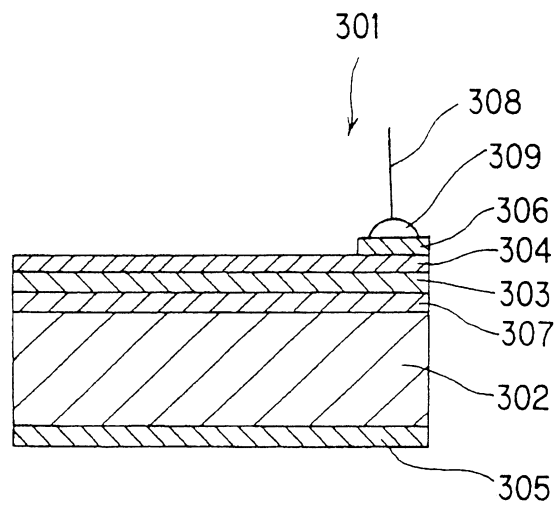


圖 20

圖式

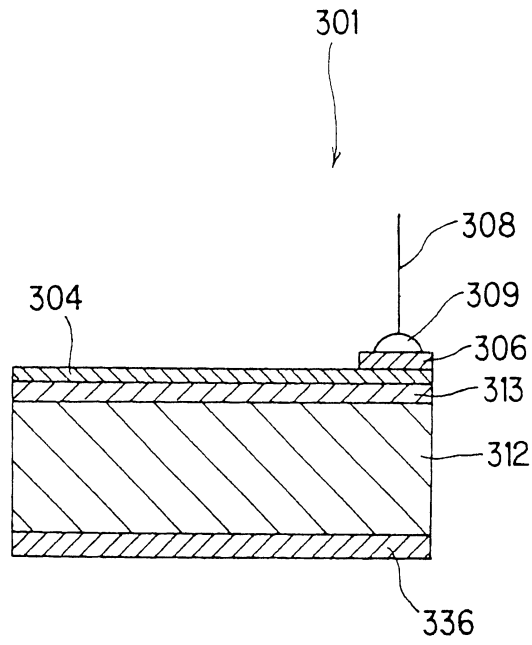


圖 21

圖式

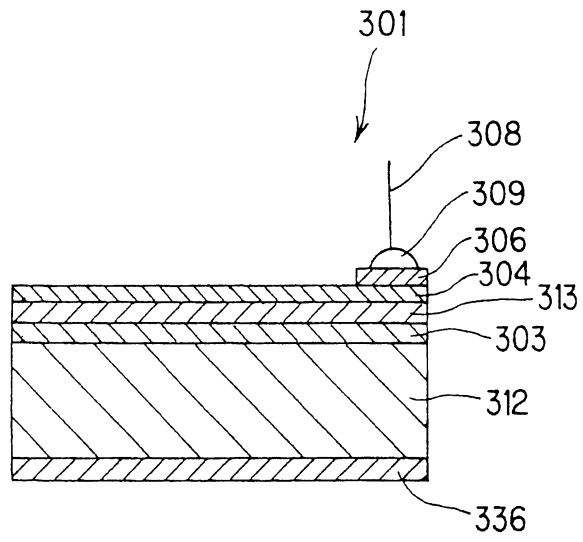


圖 22

圖式

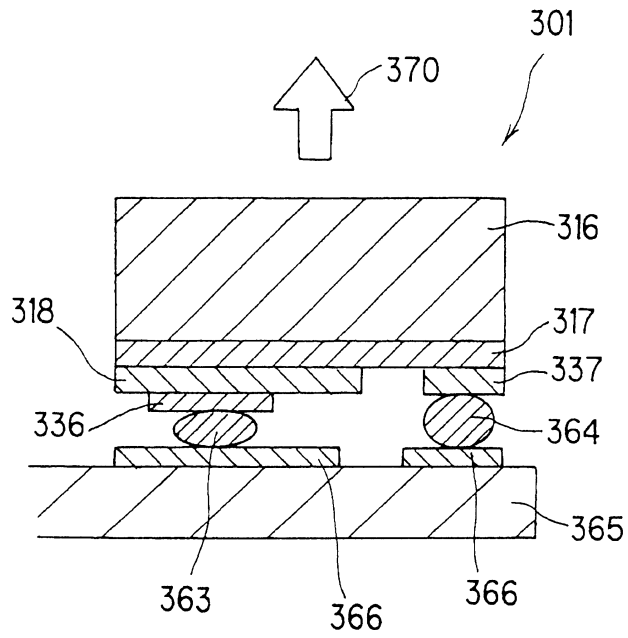


圖 23

圖式

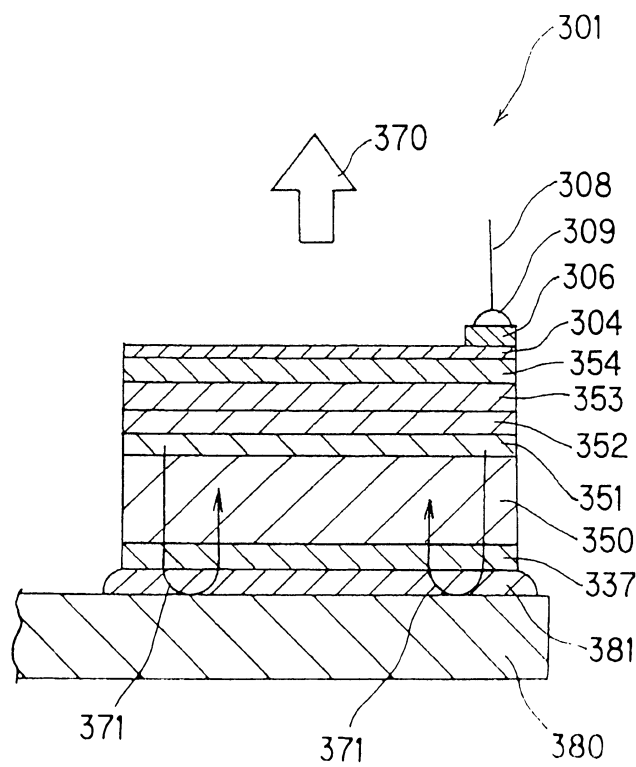


圖 24

圖式

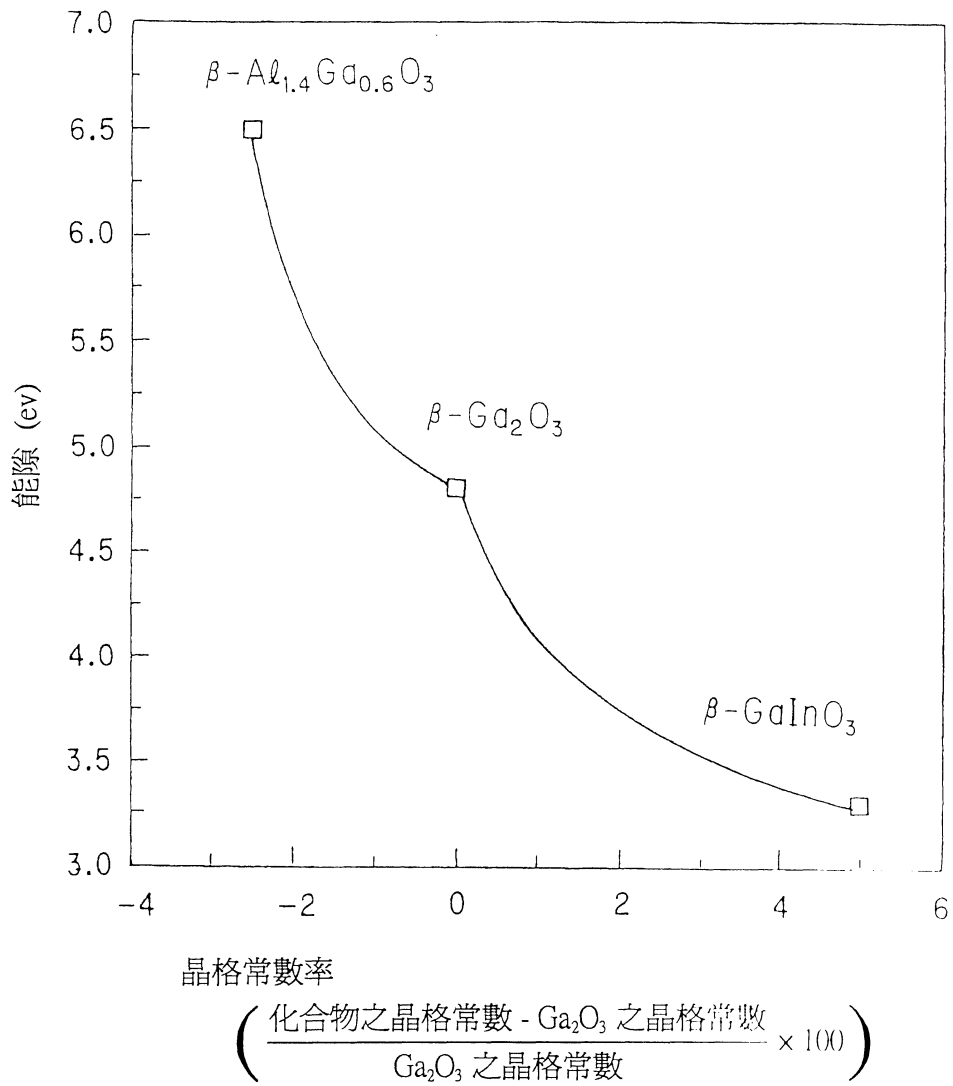


圖 25

圖式

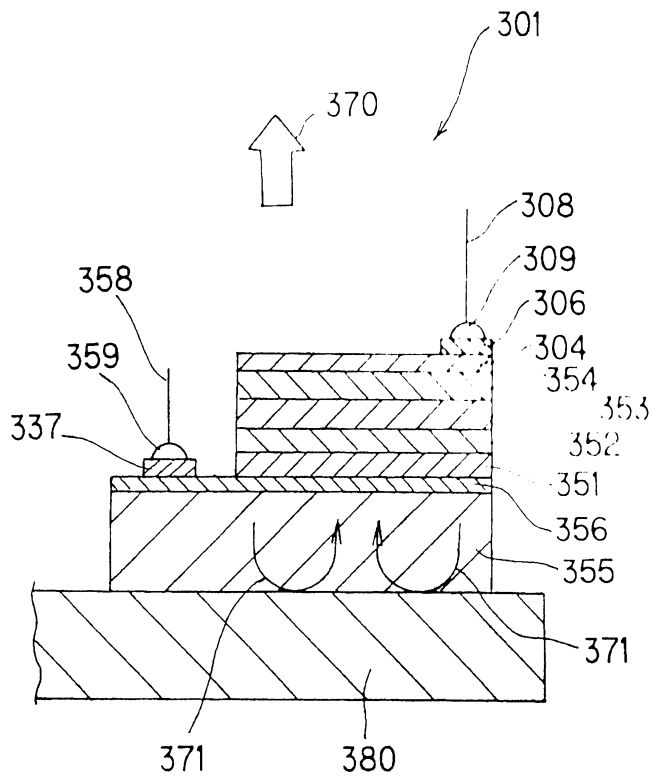


圖 26

圖式

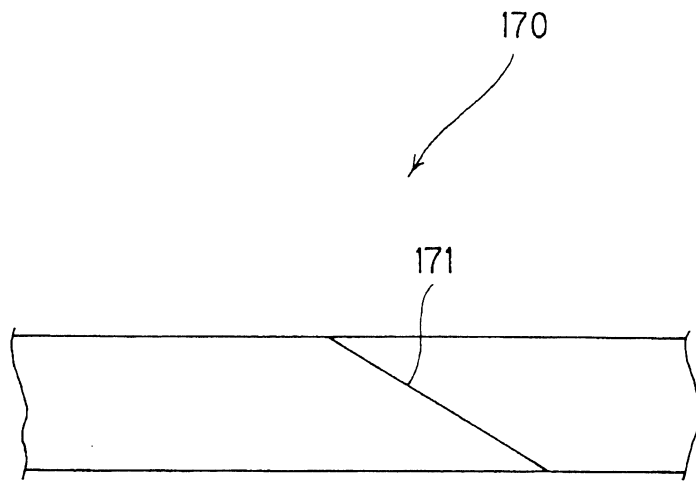


圖 27

六、指定代表圖

(一)、本案代表圖為：第____17____圖

(二)、本案代表圖之元件代表符號簡單說明：

301：發光元件

302：n型基板

303：p型層

304：透明電極

305：n電極

306：黏合部電極

308：引線

309：黏合部

