I430334

(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本 (11)證書號數：TW I430334 B

(45)公告日： 中華民國 103 (2014) 年 03 月 11 日

(21)申請案號：098102106 (22)申請日： 中華民國 98 (2009) 年 01 月 20 日

(51)Int. Cl.： *H01L21/20 (2006.01)* *H01L21/3065(2006.01)*

H01L21/304 (2006.01)

(30)優先權：2009/01/14 日本 2009-005953

(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：石橋惠二 ISHIBASHI, KEIJI (JP)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

JP 2006-344911A US 20070120144A1

US 2006/0226412A1

審查人員：何立瑋

申請專利範圍項數：4 項 圖式數：6 共 0 頁

(54)名稱

ＩＩＩ族氮化物基板、包含其之半導體裝置及製造經表面處理之ＩＩＩ族氮化物基板之方法

(57)摘要

本發明之一實施形態之 III 族氮化物基板具有表面層。該表面層含有 3at.%~25at.%的碳，並且含有 5×10^{10} 原子/cm^2 ~200×10^{10} 原子/cm^2 的 p 型金屬元素。該 III 族氮化物基板成為具有穩定之表面者。

10・・・基板

10a・・・表面層

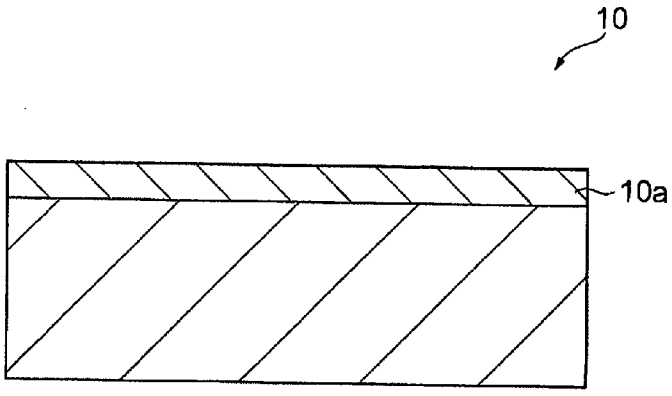


圖1

I430334

公告本

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：98102106

※ 申請日：98.1.20

H01L 21/20 (2006.01)

※IPC 分類：H01L 21/3065 (2006.01)

H01L 21/304 (2006.01)

一、發明名稱：（中文/英文）

III族氮化物基板、包含其之半導體裝置及製造經表面處理之III族氮化物基板之方法

二、中文發明摘要：

本發明之一實施形態之III族氮化物基板具有表面層。該表面層含有3 at.%~25 at.%的碳，並且含有5×10^{10}原子/cm^2~200×10^{10}原子/cm^2的p型金屬元素。該III族氮化物基板成為具有穩定之表面者。

三、英文發明摘要：

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：

10	基板
10a	表面層

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

(無)

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係關於一種III族氮化物基板、包含該基板之半導體裝置及該基板之製造方法。

【先前技術】

作為半導體基板，已知有下述專利文獻1~5中所記載者。專利文獻1中揭示有經表面處理以獲得所需電氣特性之半導體基板。具體而言，專利文獻1中揭示有：於其表面包含p型雜質原子之p型化合物半導體基板、於其表面含有n型雜質原子之n型化合物半導體基板、於其表面含有Fe原子或C原子之半絕緣性化合物半導體基板、及於其表面含有第2導電型雜質之第1導電型之化合物半導體基板。

專利文獻2中揭示有將GaN基板上的污染金屬物質設為10×10^{10}原子/cm^2以下者。又，專利文獻3中揭示有：為了於III族氮化物基板上形成良好的磊晶成長，而於該基板的表面上將Si原子設為3×10^{13}原子/cm^2，且將酸性物質的原子數設為3×10^{14}原子/cm^2。又，專利文獻4中揭示有：為了獲得無缺陷或污染之基板，而利用CMP(Chemical Mechanical Polishing，化學機械研磨法)將$Al_xGa_yIn_zN$ ($0<y\leqq1$，$x+y+z=1$)之表面粗糙度RMS(Root Mean Square，平方根平均值)設為0.15 nm。揭示有，於該CMP中使用Al_2O_3或SiO_2作為研磨粒，向研磨液中添加氧化劑而調整pH值。又，專利文獻5中揭示有：於氮化鎵系化合物半導體之乾式蝕刻中使用Si系氣體及Si片。

專利文獻1：日本專利特開2006-344911號公報

專利文獻2：國際公開第2005/041283號案

專利文獻3：國際公開第2008/047627號案

專利文獻4：美國專利6488767號說明書

專利文獻5：日本專利第2599250號說明書

【發明內容】

發明所欲解決之問題

然而，若氮化物基板之表面發生氧化，則形成於該基板表面上之磊晶成長層的品質會下降。其結果造成使用該基板之裝置的特性下降。又，磊晶成長層係於基板表面一面進行晶格匹配(lattice matching)一面成長，因此要求基板表面之結晶品質為高品質。因此，需求具有穩定表面之氮化物基板。

本發明之目的在於提供一種具有穩定表面之III族氮化物基板。又，本發明之目的在於提供一種包含此種III族氮化物基板之半導體裝置。再者，本發明之目的在於提供一種製造此種III族氮化物基板，即經表面處理之III族氮化物基板之方法。

解決問題之技術手段

本發明之III族氮化物基板具有表面層。該表面層含有3 at.%~25 at.%的碳，並且含有5×10^{10}原子/cm^2~200×10^{10}原子/cm^2的p型金屬元素。該III族氮化物基板具有穩定的表面。較好的是，表面層進一步含有1×10^{10}原子/cm^2~100×10^{10}原子/cm^2的絕緣性金屬元素。

本發明之半導體裝置包含：具有此種表面層之III族氮化物基板、至少一層以上形成於該基板表面層上之磊晶成長層。該半導體裝置之III族氮化物基板之表面穩定，故具有良好的裝置特性，可穩定地製造。

本發明之化合物半導體基板係附有磊晶層之III族氮化物基板。該化合物半導體基板包含III族氮化物基板及磊晶層，III族氮化物基板與磊晶層之界面的每1 cm^3之C原子個數為2×10^{16}個以上5×10^{17}個以下，每1 cm^3之p型金屬元素之原子個數為2×10^{16}個以上1×10^{17}個以下。上述界面的每1 cm^3之C原子個數更好的是5×10^{16}個以上2×10^{17}個以下。

又，於本發明之化合物半導體基板中，III族氮化物基板與磊晶層之界面的每1 cm^3之O原子個數較好的是2×10^{16}個以上1×10^{18}個以下，更好的是5×10^{16}個以上5×10^{17}個以下。

又，於本發明之化合物半導體基板中，III族氮化物基板與磊晶層之界面的每1 cm^3之Si原子個數較好的是1×10^{15}個以上1×10^{19}個以下，更好的是1×10^{15}個以上5×10^{18}個以下。

本發明於另一方面包含以下步驟：(a)乾式蝕刻基板表面、及(b)拋光基板表面。於乾式蝕刻之步驟中，在腔室內利用混合氣體乾式蝕刻III族氮化物基板的表面。混合氣體係含碳的第1氣體與含氯的第2氣體之混合氣體。乾式蝕刻之步驟係以腔室內的壓力P(Pa)、混合氣體的流量Q(sccm)、及腔室容積V(1：公升)滿足$0.05\leqq PV/Q\leqq3.0$之方式進行。

拋光之步驟係使用含有p型金屬元素的氧化物且具有2(mPa·s)~30(mPa·s)的黏度之溶液而進行。根據該製造方法，可適當地製造具有含有3 at.%~25 at.%的碳並且含有5×10^{10}原子/cm^2~200×10^{10}原子/cm^2的p型金屬元素之表面層之III族氮化物基板。

發明之效果

如以上所說明，根據本發明，可提供一種具有穩定表面之III族氮化物基板，並可提供一種包含此種III族氮化物基板之半導體裝置。再者，根據本發明，可提供一種適當地製造此種III族氮化物基板之方法。

【實施方式】

以下，參照圖式就本發明之較佳實施形態加以詳細說明。再者，於各圖式中對於相同或相當的部分標附上相同的符號。

圖1係本發明一實施形態之III族氮化物基板之剖面圖。再者，以下作為III族氮化物基板係以GaN基板為例加以說明，但本發明之III族氮化物基板並不限定於GaN基板。

圖1所示之GaN基板10包含表面層10a。該表面層10a含有3 at.%~25 at.%的碳，並且含有5×10^{10}原子/cm^2~200×10^{10}原子/cm^2的p型金屬元素。

表面層10a含有3 at.%以上的碳，藉此可維持其電阻，又，含有25 at.%以下的碳，藉此可維持其電阻，並且可使形成於該表面層10a上之磊晶成長層成為高品質者。

作為p型金屬元素，例示有Cu及Zn。表面層10a可含有

Cu及Zn中之一者或兩者。表面層10a含有5×10^{10}原子/cm^2以上的p型金屬元素，藉此可維持其電阻，又，含有200×10^{10}原子/cm^2以下的p型金屬元素，藉此可維持其電阻，並且使形成於該表面層10a上之磊晶成長層成為高品質者。

表面層10a亦可進一步含有1×10^{10}原子/cm^2~100×10^{10}原子/cm^2的絕緣性金屬元素。作為絕緣性金屬元素，例示有Fe及Ni。表面層10a可含有Fe及Ni中之一者或兩者。如此般，藉由含有絕緣性金屬元素，而使得表面層10a成為更穩定之表面。

於III族氮化物基板中，藉由表面的氧化或來自環境之Si的附著，而形成低電阻層。本申請案發明者發現：為了不形成低電阻層，必須使III族氮化物基板表面中之氧及Si的量較少。表面層之氧濃度較好的是3 at.%~15 at.%，進而較好的是5 at.%~10 at.%。又，表面層之Si濃度較好的是500×10^{10}原子/cm^2~8000×10^{10}原子/cm^2，進而較好的是1000×10^{10}原子/cm^2~5000×10^{10}原子/cm^2。具有上述氧濃度及Si濃度之表面層，可藉由本實施形態之表面層10a而實現。

再者，GaN基板10之表面層10a的表面粗糙度以RMS為基準必須為3 nm以下，較好的是1 nm以下，進而較好的是0.1 nm~0.5 nm。表面粗糙度係利用AFM(Atomic Force Microscope，原子力顯微鏡)以10 μm見方的範圍作為基準面積而測定。藉由將表面粗糙度設為3 nm以下，可於GaN

基板上形成形態及結晶性為良好的磊晶層。又，GaN基板10之表面之加工變質層的厚度有必須為50 nm以下，較好的是20 nm以下，進而較好的是1 nm~10 nm。加工變質層係由於結晶表面的研削或研磨而使形成於結晶表面區域的晶格發生混亂之層。加工變質層，係藉由對使結晶在解理面(cleavage surface)上發生斷裂的剖面施行TEM(Transmission Electron Microscope，穿透式電子顯微鏡)觀察而進行觀察。藉由將受到加工影響之表面區域與未受到加工影響之內部區域加以對比，而測定加工變質層的存在及其厚度。藉由將加工變質層的厚度設為50 nm以下，可於GaN基板上形成形態及結晶性為良好的磊晶層。

以下，就本發明之實施形態之半導體裝置加以說明。圖2係表示包含本發明一實施形態之III族氮化物基板之半導體裝置的一例之圖。圖2所示之HEMT(High Electron Mobility Transistor，高電子遷移率電晶體)裝置1包含：上述GaN基板10、及一層以上之形成於GaN基板10的表面層10a上之磊晶層。即，HEMT裝置1包含含有GaN基板10及磊晶層之化合物半導體基板。

具體而言，HEMT裝置1包含：GaN基板10、GaN層12、AlGaN層14、閘極電極16、源極電極18、及汲極電極20。

於HEMT裝置1中，GaN基板10為絕緣性之GaN基板。於表面層10a上依序形成有GaN層12及AlGaN層14。GaN層12及AlGaN層14均係未摻雜。於AlGaN層14上形成有閘極電極16、源極電極18、及汲極電極20。閘極電極16係設置於

源極電極18與汲極電極20之間。

該HEMT裝置1，由於表面層10a可維持高電阻，故其洩漏電流較少。又，該HEMT裝置1係使用具有穩定的表面層10a之GaN基板10而製造，因此可穩定地製造。

圖3係表示本發明一實施形態之包含III族氮化物基板之半導體裝置的另一例之圖。圖3所示之LED 2包含：上述GaN基板10、一層以上之形成於GaN基板10的表面層10a上之磊晶層。

具體而言，LED 2包含：GaN基板10、緩衝層22、第1披覆層24、活性層26、第2披覆層28、接觸層30、第1電極32、及第2電極34。

於LED 2中，GaN基板10為n型GaN基板。緩衝層22為n型GaN層，形成於表面層10a上。緩衝層22中可含有Si作為摻雜物。第1披覆層24為n型AlGaN層，形成於緩衝層22上。第1披覆層24可含有Si作為摻雜物。

於第1披覆層24上形成有活性層26。於活性層26中，例如可使用藉由交替地形成GaN障壁層與GaInN井層而獲得之多層量子井結構(multiple quantum well structure)之活性層。

於活性層26上形成有第2披覆層28。第2披覆層28為p型AlGaN層，可含有Mg作為摻雜物。於第2披覆層28上形成有接觸層30。接觸層30為p型GaN層，可含有Mg作為摻雜物。

於LED 2中，在與GaN基板10的表面層10a相反側的表面上

形成有第1電極32。又，在接觸層30上形成有第2電極34。

上述LED 2係使用具有上述表面層10a之GaN基板10，因此光輸出較大，可穩定地製造。

以下，就本發明一實施形態之III族氮化物基板之製造方法加以說明。圖4係製造本發明一實施形態之經表面處理之III族氮化物基板的方法之流程圖。圖4所示之製造方法係可較好地獲得上述表面層10a之製造方法。

成為經圖4所示之表面處理之III族氮化物基板的基礎之結晶，於GaN結晶之情形時，可藉由HVPE(hydride vapor phase epitaxy，氫化物氣相磊晶)法、熔融法(flux method)、氨熱法(ammonothermal method)使其成長。又，於AlN結晶之情形時，可藉由HVPE法或昇華法使其成長。對成長之結晶進行外周加工，而獲得氮化物結晶錠。對結晶錠進行切片，而獲得III族氮化物基板。切片可利用鋼絲鋸、刀片鋸來實施。為了達成基板之平坦化，而進行研削、研磨(rubbing)等機械加工。作為研磨中所使用之硬質研磨粒，則有金剛石、SiC、BN、Al_2O_3、Cr_2O_3等。該等係根據機械作用來選定，為了提高速率而使用高硬度、粒徑較大的研磨粒。為了使表面粗糙度變得平滑並減少加工變質層數，而使用低硬度、粒徑較小的研磨粒。為了縮短研磨時間並獲得平滑的表面，而進行自粒度較大的研磨粒轉變為較小的研磨粒之多個階段研磨。為了降低粗糙度、去除加工變質層而進行表面整飾處理。作為表面整飾，可於機械研磨後進行化學機械研磨(CMP)。亦可藉由乾式蝕刻去除

加工變質層。

以下，再次參照圖4。圖4所示之製造方法包含：乾式蝕刻步驟S1及拋光步驟S2。於乾式蝕刻步驟S1中，對III族氮化物基板的表面進行乾式蝕刻。於該乾式蝕刻步驟S1中，例如可使用圖5所示之乾式蝕刻裝置。再者，圖5所示之乾式蝕刻裝置係RIE(Reactive Ion Etching，反應性離子蝕刻)裝置，但可用於本發明乾式蝕刻步驟之乾式蝕刻並不限定於RIE，亦可為感應耦合電漿離子蝕刻(ICP-RIE，Inductively Coupled Plasma-Reactive Ion Etching)、ECR(Electron Cyclotron Resonance，電子迴旋加速器共振)-RIE、CAIBE(Chemically Assisted Ion Beam Etching，化學輔助離子束蝕刻)、RIBE(Reactive Ion Beam Etching，反應性離子束蝕刻)。

乾式蝕刻裝置50包含腔室52。於腔室52內設置有：上部電極54、下部電極56、及基板支持台58。於腔室52上設置有與氣體源相連接之氣體供給口60，又，設置有與真空泵相連接之氣體排氣口62。

於乾式蝕刻裝置50中，在基板支持台58上裝載III族氮化物基板10，自氣體供給口60供給氣體，將高頻電自高頻電源64供給至下部電極56，藉此可於腔室52內產生電漿。藉此，乾式蝕刻裝置50可對III族氮化物基板10的表面進行乾式蝕刻。

於本製造方法中，在乾式蝕刻步驟S1中，向腔室52內供給包含含碳的第1氣體(碳系氣體)與含氯的第2氣體(氯系氣

體)之混合氣體。至於碳系氣體，例示有：甲烷、乙烷、丙烷、乙炔等。至於氯系氣體，例示有：氯、BCl_3、$SiCl_4$等。

又，乾式蝕刻步驟S1係以腔室內的壓力P(Pa)、混合氣體的流量Q(sccm)、及腔室容積V(1公升)滿足

$0.05 \leqq PV/Q \leqq 3.0$ … (1)

之方式而進行。利用滿足該式(1)之條件，可較好地獲得上述表面層10a之碳濃度。此處，1 sccm為1.667×10^{-8} m^3/s。

再者，於乾式蝕刻步驟S1中，為了獲得平坦的表面層10a，有效方法為使腔室52內存在Si系氣體或Si片。然而，於Si的比率較大之情形時，則產生在乾式蝕刻後附著於基板表面的Si量增加之問題。因此，可於乾式蝕刻步驟S1中，使腔室52內存在包含SiC、Si_3N_4、$Si_{6-z}Al_zN_{8-z}$等的Si元素，及由C、N所組成之群中的至少一種元素之化合物。藉由將基板支持台58設為由該化合物製造、或者將該化合物配置於基板支持台58上並且配置於基板10附近，可使上述化合物存在於腔室52內。藉此，可獲得平坦的表面層10a，並且可抑制Si對表面層10a的附著。

接著，於本製造方法中進行拋光步驟S2。拋光步驟S2，例如可利用圖6所示之拋光裝置70來進行。拋光裝置70包含：壓盤72、拋光墊74、結晶固持器76、重物78、及漿液供給口80。

拋光墊74係裝載於壓盤72上。壓盤72及拋光墊74能夠圍繞壓盤72的中心軸線X1中心旋轉。結晶固持器76係用以將

基板10支持於其下部之零件。利用重物78向基板10施加負荷。結晶固持器76與軸線X1大致平行，並且在自軸線X1發生位移的位置具有中心軸線X2，可圍繞該中心軸線X2中心旋轉。漿液供給口80向拋光墊74供給漿料S。

利用該拋光裝置70，使壓盤72及拋光墊74旋轉，並使結晶固持器76旋轉，將漿料S供給至拋光墊74上，使基板10的表面層10a與拋光墊74接觸，藉此可進行基板10的表面層10a之拋光。

於本製造方法中，在拋光步驟S2中，供給含有p型金屬元素的氧化物之溶液作為漿料S。作為p型金屬元素的氧化物，例如可使用CuO及ZnO中之一者或兩者。又，該溶液的黏度為2(mPa·s)~30(mPa·s)。再者，溶液的黏度可藉由添加乙二醇等高黏度有機化合物或水鋁石(boemite)等無機化合物而加以調整。

根據該拋光步驟S2，利用氧化物的機械化學效應可使p型金屬元素與基板10的表面層10a結合。又，藉由使用上述黏度之溶液，可將基板10的表面層10a中之p型金屬元素濃度控制在5×10^{10}原子/cm^2~200×10^{10}原子/cm^2之範圍。

再者，為了促進金屬氧化物的機械化學效果，較好的是在溶液的溶劑中使用非極性溶劑。至於非極性溶劑，例示有：烴、四氯化碳、乙醚等。藉由使用非極性溶劑，可促進金屬氧化物與基板的固體接觸從而促進反應，可有效率地控制基板表面之金屬組成。

實施例

以下，將利用製造本發明之III族氮化物基板的方法所製造之III族氮化物基板、以及基於本發明之III族氮化物基板而製成之半導體裝置作為實施例，來更詳細地說明本發明，但本發明並不限定於以下實施例。

<GaN基板之製造>

利用上述實施形態之製造方法製造GaN基板。首先，在平行於(0001)面之面上，對藉由HVPE法而成長之絕緣型GaN基板(摻雜物：Fe)進行切片，而獲得直徑50 mm×厚度0.5 mm之GaN基板。

利用蠟將該GaN基板(氮化物結晶)之N原子面側之c面((000-1)面)貼附於陶瓷製結晶固持器上。於研磨裝置中設置直徑380 mm的壓盤，一面自漿料供給口將分散有金剛石研磨粒的漿料供給至壓盤，一面使壓盤圍繞其中心軸線中心旋轉，並一面於結晶固持器上搭載重物以使GaN基板擠壓於壓盤上，一面使GaN基板圍繞結晶固持器的中心軸線中心旋轉，藉此對GaN結晶的表面(Ga原子面側之c面、(0001)面)進行研磨。

此處，使用銅壓盤及錫壓盤作為壓盤。又，準備研磨粒徑為9 μm、3 μm、2 μm之3種金剛石研磨粒，在進行研磨的同時階段性地減小研磨粒徑。將研磨壓力設為100 g/cm^2~500 g/cm^2，將GaN基板及壓盤之轉速與壓盤及結晶固持器之轉速均設為30次/分鐘~60次/分鐘。藉由該研磨使GaN結晶基板的表面成為鏡面。

繼而，對研磨後之GaN基板進行化學機械研磨(CMP)。

具體而言，在設置於拋光裝置中之直徑380 mm的壓盤上設置拋光墊。又，一面自漿料液供給口將分散有研磨粒的漿料供給至拋光墊，一面使拋光墊圍繞中心軸線中心旋轉。同時，一面藉由於結晶固持器上搭載重物而將GaN基板擠壓於拋光墊上，一面使該GaN基板圍繞結晶固持器的中心軸線中心旋轉。藉此進行GaN基板表面(Ga原子面側之c面、(0001)面)之化學機械研磨(CMP)。漿料係藉由以下方法製作：使作為研磨粒之粒徑為2 μm的Al_2O_3粒子作為分散於水中，將Al_2O_3含量設為5質量%，添加作為pH調整劑之HNO_3，將pH值調整為2~4。又，作為拋光墊，係使用聚胺基甲酸酯之絨面革墊；作為壓盤，係使用不鏽鋼壓盤。將研磨壓力設為50 g/cm^2~600 g/cm^2，將GaN基板及拋光墊之轉速均設為30次/分鐘~70次/分鐘。

繼而，對於進行CMP後之GaN基板，依照上述乾式蝕刻步驟S1，使用含碳氣體及含氯氣體，於ICP-RIE裝置中實施乾式蝕刻。蝕刻氣體係使用甲烷(碳系氣體)與氯(氯系氣體)之混合氣體。腔室之容積V、腔室內之壓力P、混合氣體之流量Q、PV/Q、碳系氣體與氯系氣體之流量比、偏壓電力、天線電力、基板支持台之材質係如表1所示之實施例1~10。又，為了進行參考，如表1所示將該等參數設為如比較例1~2。

利用奧傑電子能譜法(AES，Auger electron spectroscopy)對藉由以上步驟所得GaN基板之表面的碳濃度進行定量。各實施例及各比較例之GaN基板的碳濃度如表1所示。於

實施例1~10即PV/Q為0.05以上、3.0以下之情形時，無論碳系氣體與氯系氣體之流量比如何，GaN基板表面層的碳濃度均為3 at.%~25 at.%。另一方面，於PV/Q未達0.05(比較例1)之情形時，GaN基板表面層的碳濃度未達3 at.%，又，於PV/Q大於3(比較例2)之情形時，GaN基板表面層的碳濃度大於25 at.%。再者，在表面處理中通常所採用的蝕刻時間內，表面層的碳濃度未受影響。又，即使將偏壓電力設為50 W~200 W且將天線電力設為100~400 W，在該等電力範圍內表面層的碳濃度亦未受影響。

[表1]

	比較例 1	實施例 1	實施例 2	實施例 3	實施例 4	實施例 5	實施例 6	實施例 7	實施例 8	實施例 9	實施例 10	比較例 2
腔室容積V(l)	15	15	35	35	35	35	50	35	35	35	35	50
腔室內壓力P(Pa)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
混合氣體流量Q(sccm)	150	90	105	21	10.5	5.25	5	5.25	5.25	5.25	5.25	3.75
PV/Q(pa·l/sccm)	0.03	0.05	0.1	0.5	1	2	3	2	2	2	2	4
流量比 (碳系氣體：氟系氣體)	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:9	3:7	7:3	9:1	1:1
偏壓電力(W)	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
天線電力(W)	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
基板支持台材質	SiC	SiC	SiC	SiC	Si_3N_4	Si_3N_4	SiC	SiC	SiC	SiC	SiC	Si_3N_4
C濃度(at.%)	1	3	5	8	14	20	25	7	10	16	18	35
基板表面粗糙度RMS(nm)	1	1	1	1	1	1	1	1.5	1.2	0.8	0.7	1
基板加工變質層之厚度(nm)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

繼而，利用與上述CMP同等之拋光裝置即圖6所示之拋光裝置，以含有p型金屬元素的氧化物之溶液對乾式蝕刻後之GaN基板的表面層進行研磨。具體而言，以表2之實施例11~21之參數，對乾式蝕刻後之GaN基板的表面層進行拋光。即，使用含有表2之實施例11~21的金屬氧化物及溶劑並且具有表2之實施例11~21的黏度之溶液，以表2之實施例11~21之對GaN基板的壓力，又，以表2之實施例11~21之壓盤及結晶固持器的轉速，對GaN基板進行研磨。又，為了進行參考，使用含有表2之比較例3~4的金屬氧化物及溶劑並且具有表2之比較例3~4的黏度之溶液，以表2之比較例3~4之對GaN基板的壓力，又，以表2之比較例3~4之壓盤及結晶固持器的轉速，對GaN基板進行拋光。拋光墊係使用不織布墊(壓縮率為3.0%)，作為壓盤係使用實施有表面處理之鋁壓盤。

利用全反射螢光X射線分析，對藉由以上步驟所得GaN基板之表面的p型金屬元素之濃度進行定量。各實施例及比較例之Cu濃度及Zn濃度如表2所示。由表2之Cu濃度及Zn濃度之合計值可明瞭，藉由實施例11~21亦即藉由使用含有p型金屬元素的氧化物並且具有2(mPa·s)~30(mPa·s)的黏度之溶液，無論拋光時的壓力以及壓盤及結晶固持器的轉速如何，均可將GaN基板表面層之p型金屬元素濃度控制在5×10^{10}原子/cm^2~200×10^{10}原子/cm^2之範圍。另一方面，於溶液的黏度未達2(mPa·s)之情形(比較例3)時，p型金屬元素之濃度大於200×10^{10}原子/cm^2；於溶液的黏度大

於30(mPa·s)之情形(比較例4)時，p型金屬元素之濃度未達5×10^{10}原子/cm^2。再者，若拋光溶液中之研磨粒之粒徑較大，則存在表面粗糙度增加、加工變質層的厚度增加之傾向；若研磨粒之粒徑較小，則表面改質效果較小，因此研磨粒之粒徑較好的是50 nm~2000 nm，進而較好的是200 nm~1000 nm。在上述研磨粒之粒徑範圍內，對GaN基板表面之p型金屬元素的濃度並無影響。又，若溶液中之研磨粒濃度較高，則表面粗糙度增加，且加工變質層的厚度增加；若研磨粒濃度較低，則表面改質效果較小，因此研磨粒濃度較好的是1 wt.%~10 wt.%，進而較好的是2 wt.%~5 wt.%。在上述研磨粒之濃度範圍內，對GaN基板表面之p型金屬元素的濃度並無影響。又，若拋光墊之壓縮率較小，則存在表面粗糙度增加、且加工變質層的厚度增加之傾向；若該壓縮率較大，則表面改質效果較小，因此拋光墊之壓縮率較好的是1%~20%，進而較好的是3%~15%。在上述拋光墊之壓縮率範圍內，對GaN基板表面之p型金屬元素的濃度並無影響。又，在表面處理中通常所採用之研磨時間即3分鐘~30分鐘內，對GaN基板表面之p型金屬元素的濃度並無影響。

[表2]

	比較例 3	實施例 11	實施例 12	實施例 13	實施例 14	實施例 15	實施例 16	實施例 17	實施例 18	實施例 19	比較例 4	實施例 20	實施例 21
金屬氧化物	CuO ZnO	CuO ZnO	CuO ZnO	CuO ZnO	CuO ZnO	CuO ZnO	CuO ZnO	CuO ZnO	CuO ZnO	CuO ZnO	CuO ZnO	CuO ZnO	CuO ZnO
溶劑	水	水	水	水	水	水	水	水	水	水	水	環己烷	環己烷
黏度(mPa·s)	0.5	2	5	10	20	30	10	10	10	10	50	20	20
壓力(g/cm^2)	150	150	150	150	150	150	150	150	50	800	150	150	50
轉速(rpm)	40	40	30	50	40	40	10	80	40	40	40	40	40
Cu濃度 ($\times 10^{10}$原子/cm^2)	350	120	50	30	6	3	60	8	6	70	1	60	5
Zn濃度 ($\times 10^{10}$原子/cm^2)	200	80	50	20	4	2	50	6	4	50	0	40	5
基板之表面粗糙度 RMS(nm)	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.1
基板加工變質層之厚度 (nm)	8	8	8	8	8	8	8	8	4	11	8	8	1

<HEMT裝置之評價>

使用上述實施形態之GaN基板，製成上述實施形態之HEMT裝置。於各實施例中準備200個HEMT裝置。具體而言，首先，於各實施例中準備實施例22~28之HEMT裝置用絕緣性GaN基板(比電阻為1×10^{7} Ωcm)，該絕緣性GaN基板具有表3之實施例22~28之行中所示的碳濃度及p型金屬元素(Cu及Zn)的表面層。

然後，將該等GaN基板置於OMVPE(Organometallic Vapor Phase Epitaxy，有機金屬氣相磊晶法)裝置之反應器內，將包含氫氣、氮氣及氨氣之氣體供給至反應器內，並將GaN基板之溫度設為1100℃，進行20分鐘熱處理。

接著，使GaN基板之溫度升溫至1130℃，將氨及三甲基鎵(TMG)供給至反應器內，使厚度為1.5 μm之GaN層在GaN基板上成長。繼而，將三甲基鋁(TMA)、TMG及氨供給至反應器內，使厚度為30 nm、Al組成比為20%之AlGaN層在GaN層上成長。

繼而，藉由光微影法(photolithography)、EB蒸鍍(電子束蒸鍍)及剝離法，於AlGaN層上製作源極電極及汲極電極。於該等電極中使用Ti/Al/Ti/Au(20/100/20/300 nm)。剝離後，於600℃下進行1分鐘之合金化熱處理。接著，藉由與源極電極及汲極電極之製作相同之步驟製作閘極電極。於閘極電極中使用Ni/Au(50/500 nm)。閘極長度為2 μm。

再者，為了進行參考，準備比較例5~10之HEMT裝置用之GaN基板，該GaN基板具有表3之比較例5~10之行中所示

的碳濃度及p型金屬元素濃度之表面層，並以同樣之方式製作HEMT裝置。於各比較例中準備200個HEMT裝置。

對如上所得之HEMT裝置的閘極洩漏電流進行檢查。此處，採用以下條件：將施加5 V閘極電壓時閘極電流密度為1×10^{-6} A/cm^{2}之HEMT裝置判定為具有良好的裝置特性者。各實施例及比較例中滿足該條件之HEMT裝置的良率如表3所示。實施例22~28亦即使用有如下GaN基板之HEMT裝置的良率為65%以上，該GaN基板具有含有3 at.%~25 at.%的碳並且含有5×10^{10}原子/cm^2~200×10^{10}原子/cm^{2}的p型金屬元素之表面層。另一方面，比較例5~10之HEMT裝置的良率遠遠低於65%。再者，基板之表面粗糙度RMS於實施例、比較例中均為1.5 nm；加工變質層於實施例、比較例中均為30 nm。

[表3]

	比較例 5	比較例 6	比較例 7	實施例 22	實施例 23	實施例 24	實施例 25	實施例 26	實施例 27	實施例 28	比較例 8	比較例 9	比較例 10
C濃度(at.%)	1	3	1	3	5	9	20	25	3	25	25	40	40
Cu濃度 ($\times 10^{10}$原子/cm^2)	2	0	3	3	6	20	65	120	110	3	320	140	380
Zn濃度 ($\times 10^{10}$原子/cm^2)	0	2	2	2	4	10	35	80	90	2	230	60	230
良率(%)	38	47	52	69	75	88	78	72	70	71	51	48	35

藉由SIMS(二次離子質譜)分析，對上述實施例22、實施例24、實施例26、比較例5、及比較例10之HEMT裝置中之III族氮化物基板與磊晶成長層之界面組成，亦即化合物半導體基板中之III族氮化物基板與磊晶成長層之界面組成進行調查，結果如下所示。

於實施例22中，每1 cm^3之C原子數為2×10^{16}個，每1 cm^3之p型金屬元素之原子數為2×10^{16}個，每1 cm^3之O原子數為1×10^{18}個，Si原子數為1×10^{19}個。

於實施例24中，每1 cm^3之C原子數為1×10^{17}個，每1 cm^3之p型金屬元素之原子數為5×10^{16}個，每1 cm^3之O原子數為1×10^{17}個，每1 cm^3之Si原子數為5×10^{17}個。

於實施例26中，每1 cm^3之C原子數為5×10^{17}個，每1 cm^3之p型金屬元素之原子數為1×10^{17}個，每1 cm^3之O原子數為2×10^{16}個，每1 cm^3之Si原子數為2×10^{17}個。

於比較例5中，每1 cm^3之C原子數為2×10^{15}個，每1 cm^3之p型金屬元素之原子數為2×10^{16}個，每1 cm^3之O原子數為1×10^{19}個，每1 cm^3之Si原子數為1×10^{20}個。

於比較例10中，每1 cm^3之C原子數為5×10^{18}個，每1 cm^3之p型金屬元素之原子數為1×10^{18}個，每1 cm^3之O原子數為1×10^{16}個，每1 cm^3之Si原子數為2×10^{17}個。

如此般，於化合物半導體基板中之界面組成為良好的實施例22、24及26中，獲得HEMT裝置之良好的良率。另一方面，於如比較例5及10之化合物半導體基板中的界面組成之情形時，HEMT裝置的良率降低。

接著，準備實施例29~36之HEMT裝置用之絕緣性GaN基板(比電阻為1×10^{7} Ωcm)，該絕緣性GaN基板具有表4之實施例29~36之行中所示的碳濃度、p型金屬元素(Cu)濃度、及絕緣性金屬元素(Fe)濃度之表面層。然後，使用該等GaN基板，製成與實施例22~28相同之HEMT裝置。於各實施例中準備200個HEMT裝置。又，為了進行參考，而準備比較例11~15之HEMT裝置用之絕緣性GaN基板(比電阻為1×10^{7} Ωcm)，該絕緣性GaN基板具有表4之比較例11~15之行中所示的碳濃度、p型金屬元素(Cu)濃度、及絕緣性金屬元素(Fe)濃度之表面層，並以同樣方式製成HEMT裝置。於各比較例中準備200個HEMT裝置。然後，對於實施例29~36及比較例11~15之HEMT裝置，藉由與上述實施例22~28及比較例5~10相同的條件求出良率。如表4所示，藉由使GaN基板表面層含有1×10^{10}原子/cm^2~100×10^{10}原子/cm^2的絕緣性金屬元素，而使得HTMT裝置的良率進一步提高。再者，基板之表面粗糙度RMS於實施例、比較例中均為2.2 nm；加工變質層於實施例、比較例中均為40 nm。

[表4]

	比較例 11	比較例 12	實施例 29	實施例 30	實施例 31	實施例 32	實施例 33	實施例 34	實施例 35	實施例 36	比較例 13	比較例 14	比較例 15
C濃度(at.%)	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Cu濃度 ($\times 10^{10}$原子/cm^2)	1	1	5	5	10	48	100	200	5	200	380	200	360
Fe濃度 ($\times 10^{10}$原子/cm^2)	0	1	0	1	2	12	20	100	100	1	100	250	230
良率(%)	45	69	73	94	95	98	96	94	70	72	75	70	42

<LED之評價>

使用上述實施形態之GaN基板，製成上述實施形態之LED。於各實施例中準備200個LED。具體而言，準備實施例37~43之LED用之比電阻為1×10^{-2} Ωcm、載體密度為$3\times10^{18}/cm^2$之n型GaN板。作為n型GaN基板，於各實施例中準備包含具有表5之實施例37~43之行中所示的碳濃度及p型金屬元素(Cu及Zn)濃度之表面層者。

將該等n型GaN基板配置於MOCVD(Metal Organic Chemical Vapor Deposition，金屬有機物化學氣相沈積)裝置內，藉由MOCVD法於n型GaN基板的一側之主表面((0001)面)側依序形成：厚度為1 μm之n型GaN層(摻雜物：Si)、厚度為150 nm之n型$Al_{0.1}Ga_{0.9}N$層(摻雜物：Si)、活性層、厚度為20 nm之p型$Al_{0.2}Ga_{0.8}N$層(摻雜物：Mg)、及厚度為150 nm之p型GaN層(摻雜物：Mg)，從而獲得磊晶成長層。此處，活性層形成為將由厚度為10 nm的GaN層所形成之4層的障壁層、與由厚度為3 nm的$Ga_{0.85}In_{0.15}N$層所形成之3層的井層交替積層而成之多層量子井結構。

又，為了進行參考，而於各比較例中準備比較例16~21之LED用之比電阻為1×10^{-2} Ωcm、載體密度為$3\times10^{18}/cm^3$之n型GaN基板，該n型GaN基板包含具有表5的比較例16~21之行中所示的碳濃度及p型金屬元素(Cu及Zn)濃度之表面層。於各比較例中準備200個LED。而且，於比較例16~21中，亦以與實施例37~43同樣之方式獲得磊晶成長層。

對於如以上所得之磊晶成長層，藉由光激發螢光法(PL法，photoluminescence)進行PL強度評價。PL強度評價係以如下方式進行：將波長為325 nm的He-Cd雷射用作激發光源，向試樣照射雷射光，並對所激發之波長為460 nm之發光強度進行評價。其結果如表5所示。

接著，實施例37~43及比較例16~21，均係於n型GaN結晶基板的另一側的主表面((000-1)面)側形成由厚度為200 nm的Ti層、厚度為1000 nm的Al層、厚度為200 nm的Ti層、厚度為2000 nm的Au層所形成之積層結構，作為第1電極，於氮氣環境中進行加熱，藉此形成直徑為100 μm之n側電極。另一方面，於p型GaN層上形成由厚度為4 nm的Ni層、厚度為4 nm的Au層所形成之積層結構，作為第2電極，於惰性氣體環境中進行加熱，藉此形成p側電極。將經由以上步驟所製造之生產物加工成2 mm見方，藉此獲得實施例37~43及比較例16~21之LED。

使用積分球，以注入電流為4 A之條件，對如以上所得之LED的光輸出進行測定。發光元件之光輸出係以如下方式進行測定。亦即，向載置於積分球內之發光元件中注入特定的電流，利用接受自該發光元件中進行聚光的光之偵測器測定光輸出。然後，利用將光輸出為2 W以上的LED作為具有良好特性的LED之條件，求出實施例37~43及比較例16~21之LED的良率。結果如表5所示。

由表5所示可明瞭，實施例37~43之LED、亦即使用有表面層含有3 at.%~25 at.%的碳並且含有5×10^{10}原子/

cm^2~200×10^{10}原子/cm^2的p型金屬元素之GaN基板之LED，相對於比較例16~21之LED而言，PL強度及良率更為優異。再者，基板表面粗糙度RMS於實施例、比較例中均為0.9 nm，加工變質層於實施例、比較例中均為20 nm。

[表5]

	比較例 16	比較例 17	比較例 18	實施例 37	實施例 38	實施例 39	實施例 40	實施例 41	實施例 42	實施例 43	比較例 19	比較例 20	比較例 21
C濃度(at.%)	1.5	3	1.5	3	5	9	20	25	3	25	25	35	35
Cu濃度 ($\times 10^{10}$原子/cm^2)	1	1	2	2	5	12	40	90	80	2	250	80	230
Zn濃度 ($\times 10^{10}$原子/cm^2)	1	1	3	3	5	18	60	110	120	3	300	120	400
PL強度(au)	0.52	0.58	0.62	0.89	0.95	1	0.92	0.87	0.9	0.88	0.6	0.55	0.49
良率(%)	36	48	51	78	88	93	85	76	79	77	48	43	34

產業上之可利用性

如以上說明，根據本發明，可提供一種具有穩定的表面之III族氮化物基板，又，可提供一種包含上述III族氮化物基板之半導體裝置。進而，根據本發明，可提供一種較好地製造上述III族氮化物基板之方法。

【圖式簡單說明】

圖1係表示本發明一實施形態之III族氮化物基板之剖面圖。

圖2係表示包含本發明一實施形態之III族氮化物基板之半導體裝置的一例之圖。

圖3係表示包含本發明一實施形態之III族氮化物基板之半導體裝置的另一例之圖。

圖4係製造本發明一實施形態之經表面處理之III族氮化物基板的方法之流程圖。

圖5係表示可用於乾式蝕刻步驟之裝置之圖。

圖6係表示可用於拋光步驟之裝置之圖。

【主要元件符號說明】

1	HEMT裝置
2	LED
10	III族氮化物基板(GaN基板)
10a	表面層
12	GaN層
14	AlGaN層
16	閘極電極

18	源極電極
20	汲極電極
22	緩衝層
24	第1披覆層
26	活性層
28	第2披覆層
30	接觸層
32	第1電極
34	第2電極
50	乾式蝕刻裝置
52	腔室
54	上部電極
56	下部電極
58	基板支持台
60	氣體供給口
62	氣體排氣口
64	高頻電源
70	拋光裝置
72	壓盤
74	拋光墊
76	結晶固持器
78	重物
80	漿液供給口

七、申請專利範圍：

1. 一種III族氮化物基板，其具有表面層；

上述表面層含有3 at.%~25 at.%的碳，並且含有5×10^{10}原子/cm^2~200×10^{10}原子/cm^2的p型金屬元素。

2. 如請求項1之III族氮化物基板，其中上述表面層進一步含有1×10^{10}原子/cm^2~100×10^{10}原子/cm^2的絕緣性金屬元素。

3. 一種半導體裝置，其包含：

如請求項1或2之III族氮化物基板；及

形成於上述基板表面層上之至少一層以上之磊晶成長層。

4. 一種製造經表面處理之III族氮化物基板之方法，其包括以下步驟：

於腔室內，使用包含含碳的第1氣體與含氯的第2氣體之混合氣體，對上述基板的表面進行乾式蝕刻之步驟，該步驟係以上述腔室內的壓力P(Pa)、上述混合氣體的流量Q(sccm)、及腔室容積V(1：公升)滿足$0.05\leqq PV/Q\leqq3.0$之方式進行；及

使用含有p型金屬元素的氧化物且具有2(mPa·s)~30(mPa·s)的黏度之溶液，對上述基板的表面進行拋光之步驟。

八、圖式：

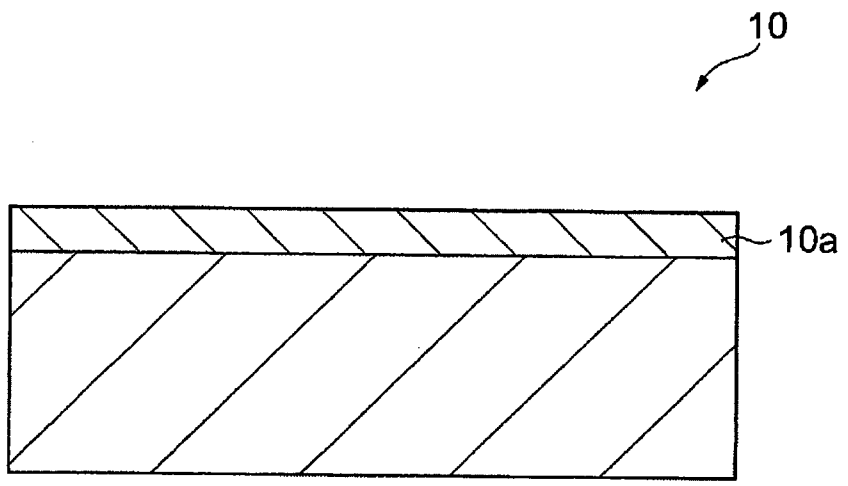


圖1

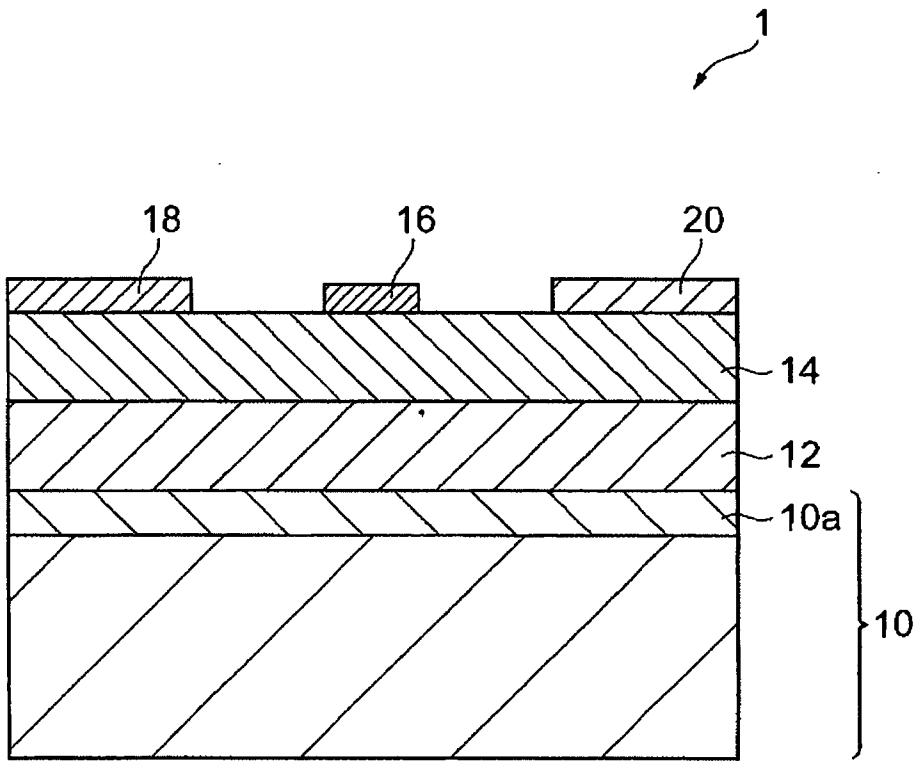


圖2

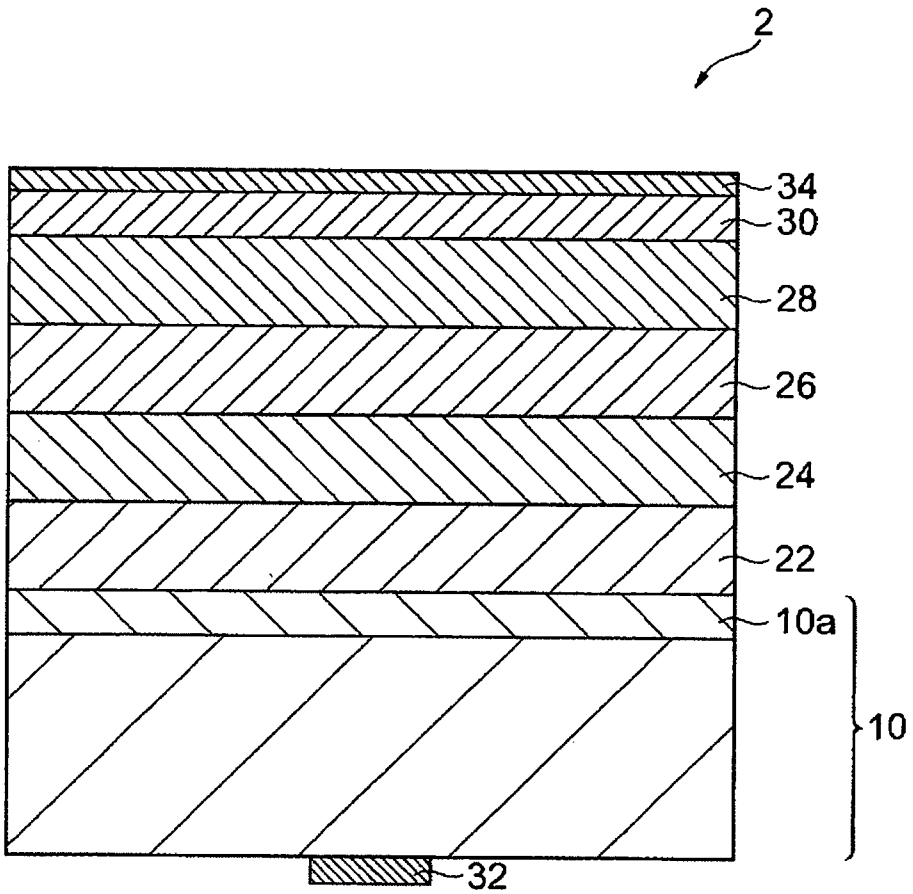


圖3

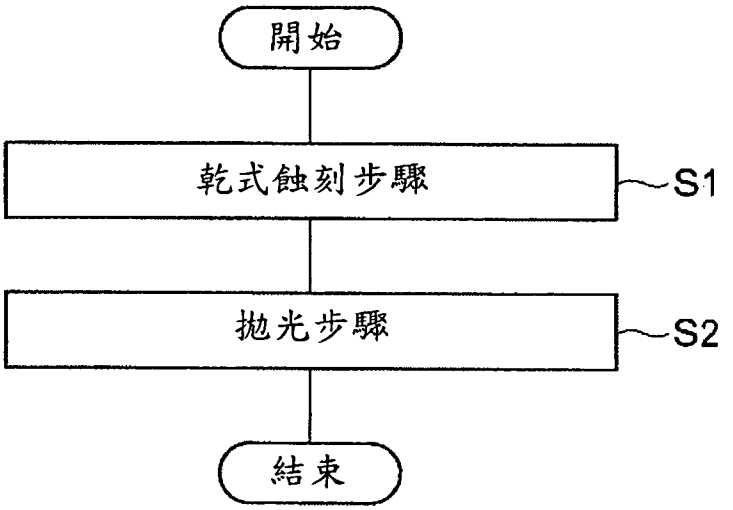


圖4

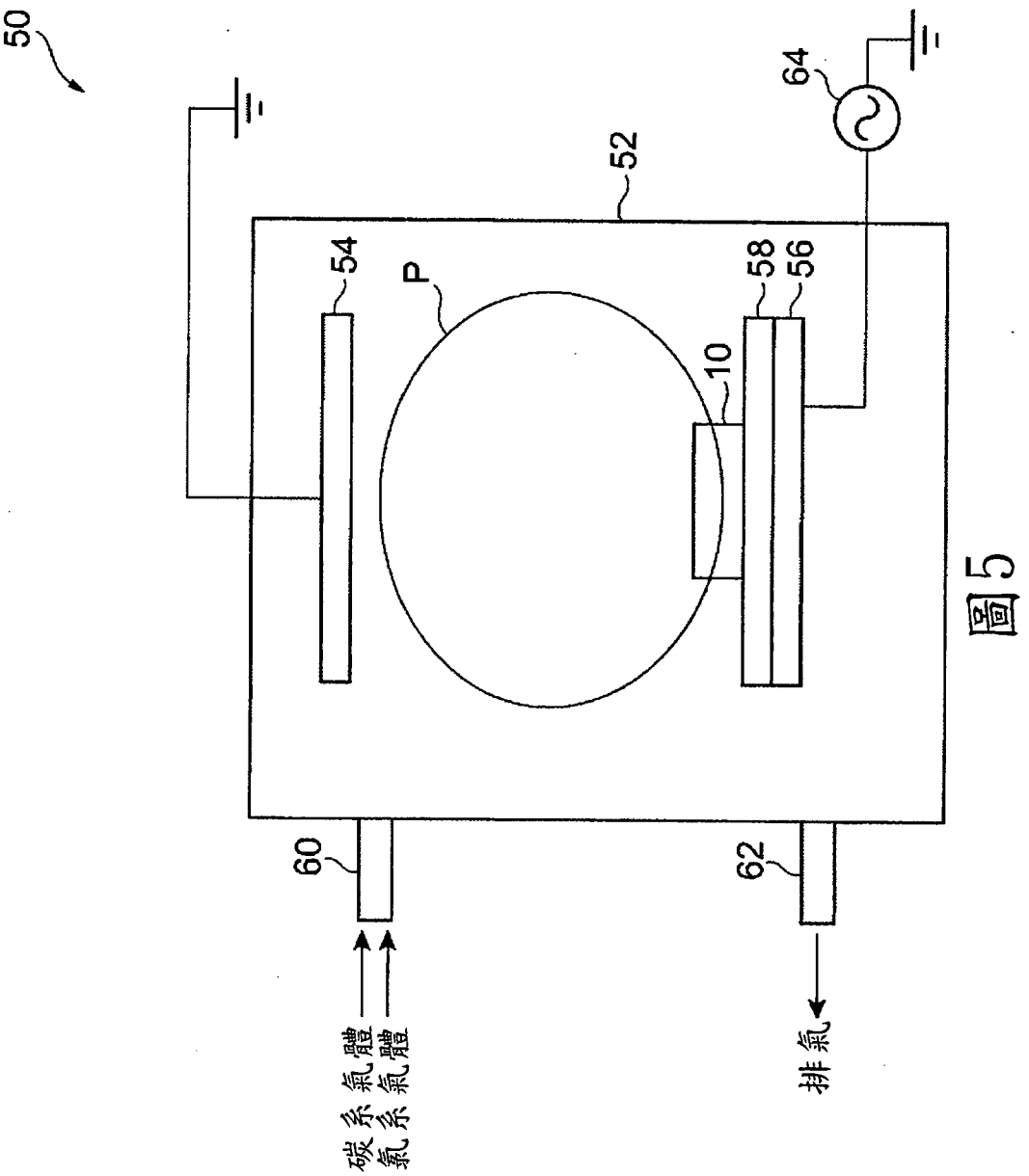


圖5

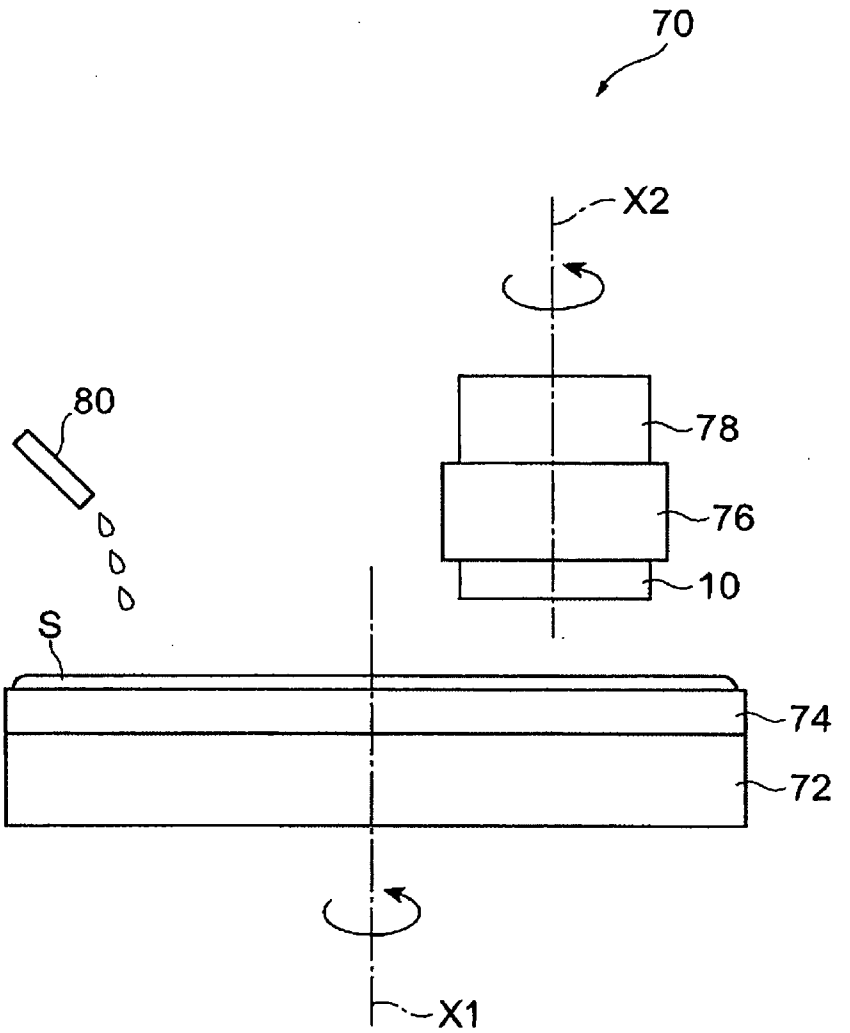


圖6