

【發明說明書】

【中文發明名稱】

III族氮化物複合基板與其製造方法、及III族氮化物半導體裝置與其製造方法

【技術領域】

本發明係關於一種III族氮化物複合基板與其製造方法、及使用該III族氮化物複合基板的III族氮化物半導體裝置之製造方法。

【先前技術】

GaN、AlN、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$)等III族氮化物半導體具有優異之半導體特性，因此適合作為半導體裝置之基板。此種III族氮化物半導體由於價格昂貴，故而就降低半導體裝置之製造成本之觀點而言，作為半導體裝置之基板，提出有於矽基板等支撐基板上形成有GaN、AlN等III族氮化物半導體之膜的半導體基板。

例如，日本專利特開2006-210660號公報(專利文獻1)揭示有一種半導體基板之製造方法，其包括：將離子注入至包含GaN或AlN等之第1氮化物半導體基板之表面附近的步驟；使第2基板重疊於該第1氮化物半導體基板之表面側的步驟；對重疊之上述2片基板進行熱處理之步驟；及以經離子注入之層作為邊界而將上述第1氮化物半導體基板之大部分自上述第2基板剝離的步驟。

[先前技術文獻]

[專利文獻]

[專利文獻1]日本專利特開2006-210660號公報

【發明內容】

[發明所欲解決之問題]

藉由日本專利特開2006-210660號公報(專利文獻1)中揭示之半導體基板之製造方法所獲得的半導體基板由於形成於支撐基板上之氮化物半導體之膜厚為2 μm 左右而較薄，故而存在其薄片電阻變高之問題，另外，存在因由離子注入引起之損害而引起局部高電阻化，從而導致良率下降之問題。

本發明之目的在於解決上述問題並提供一種以較高之良率獲得之薄片電阻較低之III族氮化物複合基板與其製造方法、及使用III族氮化物複合基板的III族氮化物半導體裝置之製造方法。

[解決問題之技術手段]

依據本發明之某一態樣之III族氮化物複合基板包括III族氮化物膜、及由化學組成與III族氮化物膜不同的材料所形成之支撐基板。此處，III族氮化物膜係以直接及間接之任一形態接合於支撐基板上。III族氮化物膜之厚度為10 μm 以上，III族氮化物膜側之主面之薄片電阻為200 Ω/sq (ohms per square)以下。該III族氮化物複合基板由於III族氮化物膜之厚度為10 μm 以上，故而可使III族氮化物膜側之主面之薄片電阻低至200 Ω/sq 以下，可以較高之良率製造III族氮化物半導體裝置。

於依據本發明之上述態樣之III族氮化物複合基板中，可將III族氮化物膜與支撐基板之接合區域的面積設為主面面積之70%以上，III族氮化物膜與支撐基板之非接合區域包括至少1個非接合部分區域，且將非接合部分區域設為其最大直徑未達20 mm之小型之非接合部分區域。該III族氮化物複合基板由於接合區域之面積為主面面積之70%

以上而較大、構成非接合區域之非接合部分區域之最大直徑未達 20 mm而較小，故而可以較高之良率製造III族氮化物半導體裝置。

於依據本發明之上述態樣之III族氮化物複合基板中，III族氮化物膜與支撐基板之非接合區域可包括至少1個非接合部分區域，且將非接合部分區域設為不與主面之外周接觸的內側之非接合部分區域。該III族氮化物複合基板由於構成非接合區域之非接合部分區域不與主面之外周接觸，故而可以較高之良率製造III族氮化物半導體裝置。

於依據本發明之上述態樣之III族氮化物複合基板中，III族氮化物膜可具有主面貫通孔，且將主面貫通孔之面積設為主面面積之10%以下。該III族氮化物複合基板由於III族氮化物膜之主面貫通孔之面積為主面面積之10%以下，故而可以較高之良率製造III族氮化物半導體裝置。

於依據本發明之上述態樣之III族氮化物複合基板中，可在III族氮化物膜與支撐基板之接合界面包含含金屬之雜質，且將雜質之濃度設為 $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ 以上。該III族氮化物複合基板由於接合界面之含金屬之雜質的濃度為 $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ 以上，故而接合強度較高，可以較高之良率製造III族氮化物半導體裝置。

於依據本發明之上述態樣之III族氮化物複合基板中，可使III族氮化物膜之熱膨脹係數為支撐基板之熱膨脹係數的大於0.7倍且小於1.4倍。該III族氮化物複合基板由於III族氮化物膜之熱膨脹係數為支撐基板之熱膨脹係數的大於0.7倍且小於1.4倍，故而於製造III族氮化物半導體裝置時之施加熱之步驟中，會抑制翹曲及/或裂痕之產生，藉此可以較高之良率製造III族氮化物半導體裝置。

於依據本發明之上述態樣之III族氮化物複合基板中，可將支撐基板之破裂韌性設為 $1 \text{ MNm}^{-2/3}$ 以上，且將支撐基板之厚度設為 $50 \text{ }\mu\text{m}$ 以上。該III族氮化物複合基板由於機械強度較高，故而可以較高之良率製造III族氮化物半導體裝置。

於依據本發明之上述態樣之III族氮化物複合基板中，可將間接之形態設為使接合膜介於III族氮化物膜與支撐基板之間的形態。該III族氮化物複合基板由於使III族氮化物膜與支撐基板以使接合膜介於該等之間的形態接合，故而接合強度較高，可以較高之良率製造III族氮化物半導體裝置。

依據本發明之另一態樣之III族氮化物複合基板之製造方法係依據上述態樣之III族氮化物複合基板之製造方法，包括：使III族氮化物膜與支撐基板以直接及間接之任一形態貼合之步驟；以及減小所貼合之III族氮化物膜及支撐基板之至少一者之厚度的步驟。該III族氮化物複合基板之製造方法藉由具備上述步驟，可以較高之良率製造薄片電阻較低之III族氮化物複合基板。

依據本發明之又一態樣之III族氮化物半導體裝置之製造方法係使用依據上述態樣之III族氮化物複合基板的III族氮化物半導體裝置之製造方法，包括：準備III族氮化物複合基板之步驟；使至少1層III族氮化物層於III族氮化物複合基板之III族氮化物膜側的主面上成長之步驟。該III族氮化物半導體裝置之製造方法藉由具備上述步驟，可以較高之良率製造III族氮化物半導體裝置。

[發明之效果]

根據本發明，可提供一種以較高之良率獲得之薄片電阻較低之

III族氮化物複合基板與其製造方法、及使用III族氮化物複合基板的III族氮化物半導體裝置之製造方法。

【圖式簡單說明】

圖1係表示本發明之III族氮化物複合基板之某一例之概略剖面圖。

圖2係表示本發明之III族氮化物複合基板之另一例之概略剖面圖。

圖3係表示本發明之III族氮化物複合基板之接合區域及非接合區域之概略俯視圖。

圖4(A)(包括(A1)~(A3))、(B)係表示本發明之III族氮化物複合基板之製造方法的某一例之概略剖面圖。

圖5係表示藉由本發明之III族氮化物半導體裝置之製造方法所獲得的III族氮化物半導體裝置之某一例之概略剖面圖。

圖6係表示參考發明之III族氮化物複合基板之某一例之概略剖面圖。

圖7係表示III族氮化物複合基板之物性值之測定點之概略俯視圖。

圖8係表示參考發明之積層III族氮化物複合基板之某一例之概略剖面圖。

圖9係表示參考發明之III族氮化物半導體裝置之某一例之概略剖面圖。

圖10係表示參考發明之III族氮化物半導體裝置之另一例之概略剖面圖。

圖 11 係表示參考發明之 III 族氮化物半導體裝置之又一例之概略剖面圖。

圖 12(A)～(D)係表示參考發明之 III 族氮化物複合基板之製造方法的某一例之概略剖面圖。

圖 13(A)～(D)係表示參考發明之 III 族氮化物複合基板之製造方法的另一例之概略剖面圖。

圖 14(A)～(D)係表示參考發明之 III 族氮化物複合基板之製造方法的又一例之概略剖面圖。

圖 15(A)～(D)係表示參考發明之 III 族氮化物半導體裝置之製造方法的某一例之概略剖面圖。

圖 16(A)～(D)係表示參考發明之 III 族氮化物半導體裝置之製造方法的另一例之概略剖面圖。

圖 17(A)～(D)係表示使用離子注入法之 III 族氮化物複合基板之製造方法的某一例之概略剖面圖。

【實施方式】

[實施形態 1：III 族氮化物複合基板]

參照圖 1 及圖 2，作為本發明之某一實施形態之 III 族氮化物複合基板 1 包括 III 族氮化物膜 13、及由化學組成與 III 族氮化物膜 13 不同的材料所形成之支撐基板 11。此處，III 族氮化物膜 13 係以直接及間接之任一形態接合於支撐基板 11 上。III 族氮化物膜 13 之厚度為 10 μm 以上。III 族氮化物膜 13 側之主面 13m 之薄片電阻為 200 Ω/sq 以下。

本實施形態之 III 族氮化物複合基板 1 由於 III 族氮化物膜 13 之厚度為 10 μm 以上，故而可使 III 族氮化物膜 13 側之主面 13m 的薄片電阻低

至200 Ω/sq 以下，可以較高之良率製造III族氮化物半導體裝置。以下，詳細地進行說明。

本實施形態之III族氮化物複合基板1包括III族氮化物膜13、及由化學組成與III族氮化物膜13不同的材料所形成之支撐基板11。

(III族氮化物膜)

所謂III族氮化物膜13，係指由作為至少1種III族元素與氮之化合物之半導體所形成的基板，例如可列舉： GaN 基板、 AlN 基板、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 基板($0 < x < 1$)等。該III族氮化物膜13之製造方法並無特別限定，作為氣相法，可列舉HVPE(氮化物氣相成長)法、昇華法等，作為液相法，可列舉高氮壓溶液法、通量法等。就使晶體品質較高之III族氮化物層於III族氮化物膜13上成長之觀點而言，III族氮化物膜13較佳為晶體，更佳為單晶。

另外，III族氮化物膜13為了降低其薄片電阻，可摻雜導電性提昇雜質。該導電性提昇雜質並無特別限定，就提昇導電性之效果較高之觀點而言，較佳為O(氧)原子、Si(矽)原子等。

(支撐基板)

所謂支撐基板11，係指支撐III族氮化物膜13之基板，只要為由化學組成與III族氮化物膜13不同之材料所形成的基板，則並無特別限定。作為氧化物基板，可列舉藍寶石基板及其他 Al_2O_3 基板、莫來石基板及其他 Al_2O_3 - SiO_2 系基板、尖晶石基板及其他 Al_2O_3 - MgO 系基板、 Al_2O_3 - SiO_2 -YSZ(氧化釔穩定化氧化鋯)系基板等。作為金屬基板，可列舉Mo基板、W基板、Cu-W基板等。進而，可列舉Si基板、SiC基板、石墨基板等。除該等以外，若III族氮化物膜13為GaN膜，

則可列舉由作為化學組成與GaN不同之III族氮化物的AlN等所形成之基板等。支撐基板11可為晶體，亦可為非晶體，於為晶體之情形時，可為單晶，亦可為多晶。

(III族氮化物膜與支撐基板之接合形態)

本實施形態之III族氮化物複合基板1係使III族氮化物膜13以直接及間接之任一形態接合於支撐基板11上。

參照圖1，所謂以直接之形態接合，係指不使除此以外者介於其間而使III族氮化物膜13與支撐基板11直接地接合。於該直接之接合形態中，接合界面100成為由相互接合之III族氮化物膜13之主面13n與支撐基板11之主面11m所形成的面。

參照圖2，所謂以間接之形態接合，係指使除此以外者例如接合膜12介於其間而使III族氮化物膜13與支撐基板11間接地接合。於該間接之接合形態中，接合界面根據其貼合方法而如下所述般不同。

作為第1貼合方法，如圖2及圖4所示，於支撐基板11之主面11m上形成接合膜12a並且於III族氮化物膜13之主面13n上形成接合膜12b後，使接合膜12a之主面12am與接合膜12b之主面12bn貼合，藉此形成接合膜12a與接合膜12b一體化的接合膜12，於該情形時，接合界面100成為由相互接合之接合膜12之内部的接合膜12a之主面12am與接合膜12b之主面12bn所形成之面。

作為第2貼合方法，在支撐基板11之主面11m上形成接合膜12後，於將接合膜12之主面與III族氮化物膜13之主面13n貼合之情形時，接合界面100成為由相互接合的接合膜12之主面與III族氮化物膜13之主面13n所形成之面。

作為第3貼合方法，在III族氮化物膜13之主面13n上形成接合膜12後，於將接合膜12之主面與支撐基板11之主面11m貼合之情形時，接合界面100成為由相互接合的接合膜12之主面與支撐基板11之主面11m所形成之面。

(接合膜)

可包含於本實施形態之III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13與支撐基板11之間的接合膜12只要為提高III族氮化物膜13與支撐基板11之接合強度者，則並無特別限定，可列舉SiO₂膜、Si₃N₄膜、AlN膜、Al₂O₃膜、TiO₂膜、TiN膜、Ga₂O₃膜、W膜、Mo膜、Au-Sn膜等。

接合膜12之厚度並無特別限定，就提高III族氮化物膜13與支撐基板11之接合強度之觀點而言，較佳為0.05 μm以上、更佳為0.1 μm以上，就提高接合膜12之面內均勻性及平坦性之觀點而言，較佳為5 μm以下、更佳為2 μm以下。

(III族氮化物膜之厚度)

關於本實施形態之III族氮化物複合基板1，就降低III族氮化物膜13側之主面13m之薄片電阻之觀點而言，III族氮化物膜13之厚度必需為10 μm以上，較佳為50 μm以上，更佳為100 μm以上。另外，就降低III族氮化物複合基板1之成本之觀點而言，III族氮化物膜13之厚度較佳為500 μm以下，更佳為250 μm以下。

(III族氮化物膜側之主面之薄片電阻)

關於本實施形態之III族氮化物複合基板1，就藉由降低III族氮化物複合基板1之薄片電阻而提高所獲得之III族氮化物半導體裝置的裝

置特性(例如，發光裝置之發光效率等)之觀點而言，III族氮化物膜13側之主面13m的薄片電阻必需為 $200\ \Omega/\text{sq}$ (ohms per square)以下，較佳為 $50\ \Omega/\text{sq}$ 以下，更佳為 $10\ \Omega/\text{sq}$ 以下。

(III族氮化物膜與支撐基板之接合區域及III族氮化物膜與支撐基板之非接合區域)

參照圖1～圖3，本實施形態之III族氮化物複合基板1係使III族氮化物膜13在上述接合界面100貼合於支撐基板11上。即便於本實施形態之III族氮化物複合基板1中，亦與由離子注入法所製作之III族氮化物複合基板同樣，具有支撐基板11、III族氮化物膜13、及接合膜12、12a、12b之主面之表面粗糙度、III族氮化物膜13之主面貫通孔13h、及貼合之不均勻性等。因此，即便於本實施形態之III族氮化物複合基板1中，亦於接合界面100存在III族氮化物膜13與支撐基板11以直接及間接之任一方式接合之接合區域100b、以及III族氮化物膜13與支撐基板11未以直接及間接之任一方式接合之非接合區域100n。

本實施形態之III族氮化物複合基板1之接合界面100的接合區域100b及非接合區域100n之存在及其位置、該等之大小、及該等之面積可藉由超音波顯微鏡、缺陷評價裝置等而進行測定。

本實施形態之III族氮化物複合基板1之接合界面100的非接合區域100n包括至少1個非接合部分區域111n、112n、121n、122n。非接合部分區域111n、112n、121n、122n由於其形狀為不定形且為大致圓形或橢圓形，故而根據其最大直徑(最大直徑)而評價其大小。就其大小之觀點而言，非接合部分區域111n、112n、121n、122n可分為其最大直徑未達20 mm之小型之非接合部分區域111n、112n、以及其最大

直徑為20 mm以上之大型非接合部分區域121n、122n。另外，就其存在位置之觀點而言，非接合部分區域111n、112n、121n、122n可分為其區域不與主面1m之外周1r接觸之內側非接合部分區域111n、121n、以及其區域與主面1m之外周1r接觸之外側非接合部分區域112n、122n。

關於本實施形態之III族氮化物複合基板1，就以較高之良率製造III族氮化物半導體裝置之觀點而言，III族氮化物膜13與支撐基板11之接合區域100b之面積較佳為主面1m之面積的70%以上，更佳為85%以上。若III族氮化物膜13與支撐基板11之接合區域100b之面積未達主面1m之面積的70%，則於製造III族氮化物半導體裝置之步驟中，III族氮化物膜13與支撐基板11變得容易分離，故而難以提高III族氮化物半導體裝置之良率。

關於本實施形態之III族氮化物複合基板1，就以較高之良率製造III族氮化物半導體裝置之觀點而言，非接合部分區域較佳為其最大直徑未達20 mm之小型之非接合部分區域111n、112n。即，於圖3中，非接合部分區域較佳為均為小型之非接合部分區域111n、112n。

另外，關於本實施形態之III族氮化物複合基板1，就以較高之良率製造III族氮化物半導體裝置之觀點而言，非接合部分區域較佳為不與主面1m之外周1r接觸之內側非接合部分區域111n、121n。即，於圖3中，非接合部分區域較佳為均為內側非接合部分區域111n、121n。包含外側非接合部分區域112n、122n之III族氮化物複合基板1由於在製作III族氮化物複合基板1之步驟中及使用III族氮化物複合基板1製造III族氮化物半導體裝置之步驟中，污染物質進入至接合界面100且

該污染物質難以洗淨去除，故而難以提高III族氮化物半導體裝置之良率。另外，包含外側非接合部分區域112n、122n之III族氮化物複合基板1由於在減小貼合之III族氮化物膜13及支撐基板11之至少一者的厚度之步驟中，在加工過程中會產生破裂，故而難以提高III族氮化物半導體裝置之良率。

關於本實施形態之III族氮化物複合基板1，就以較高之良率製造III族氮化物半導體裝置之觀點而言，非接合部分區域更佳為小型且內側之非接合部分區域111n。即，於圖3中，非接合部分區域更佳為均為小型且內側之非接合部分區域111n。

(III族氮化物膜之主面貫通孔)

參照圖1～圖3，關於本實施形態之III族氮化物複合基板1，就以較高之良率製造III族氮化物半導體裝置之觀點而言，III族氮化物膜13所具有之主面貫通孔13h之面積較佳為主面1m、13m之面積的10%以下，更佳為5%以下。此處，所謂主面貫通孔13h，係指於III族氮化物膜13之與支撐基板11直接或間接地接合之側的主面與其他表面(具體而言，另一主面及側面)之間貫通的孔。

若在III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13上存在主面貫通孔13h，則於主面貫通孔13h上及其附近之區域形成有非接合區域100n。另外，在製造III族氮化物半導體裝置之步驟中，於對III族氮化物半導體裝置進行洗淨之情形時，洗淨劑經由主面貫通孔13h而侵入至接合界面，因此存在III族氮化物複合基板1之接合強度下降之情況。若主面貫通孔13h之面積大於主面1m之面積的10%，則非接合區域100n之面積變大，難以提高III族氮化物半導體裝置之良率。

(接合界面中之含金屬之雜質)

參照圖1～圖3，本實施形態之III族氮化物複合基板1は、就藉由提高接合強度而以較高之良率製造III族氮化物半導體裝置之觀點而言，III族氮化物膜13與支撐基板11之接合界面100所包含的含金屬之雜質之濃度較佳為 $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ 以上，更佳為 $1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ 以上。含金屬之雜質並無特別限定，就提高接合強度之觀點而言，於III族氮化物複合基板1包含 SiO_2 膜等氧化物膜作為接合膜12之情形時，較佳為Fe(鐵)、Ni(鎳)等離子化傾向大於H(氫)且易氧化之卑金屬之氧化物。

(III族氮化物膜之熱膨脹係數與支撐基板之熱膨脹係數)

參照圖1～圖3，關於本實施形態之III族氮化物複合基板1，就藉由在製造III族氮化物半導體裝置時抑制翹曲及/或裂痕之產生而以較高之良率製造III族氮化物半導體裝置之觀點而言，III族氮化物膜13之熱膨脹係數較佳為支撐基板11之熱膨脹係數的大於0.7倍且小於1.4倍，更佳為0.75倍以上且1.25倍以下。

(支撐基板之破裂韌性及厚度)

參照圖1～圖3，關於本實施形態之III族氮化物複合基板1，就於製造III族氮化物半導體裝置時抑制翹曲及/或裂痕之產生之觀點而言，支撐基板之破裂韌性較佳為 $1 \text{ MNm}^{-2/3}$ 以上，更佳為 $1.5 \text{ MNm}^{-2/3}$ 以上。另外，支撐基板之厚度較佳為 $50 \text{ }\mu\text{m}$ 以上，更佳為 $100 \text{ }\mu\text{m}$ 以上。

[實施形態2：III族氮化物複合基板之製造方法]

參照圖1、圖2及圖4，作為本發明之另一實施形態的III族氮化物複合基板1之製造方法係實施形態1之III族氮化物複合基板1之製造方

法，包括：將III族氮化物膜13與支撐基板11以直接及間接之任一形態貼合之步驟(圖4(A))；減小III族氮化物膜13及支撐基板11之至少一者的厚度之步驟(圖4(B))。本實施形態之III族氮化物複合基板1之製造方法藉由具備上述步驟，可以較高之良率製造薄片電阻較低之III族氮化物複合基板。

(將III族氮化物膜與支撐基板貼合之步驟)

參照圖1、圖2及圖4，本實施形態之III族氮化物複合基板1之製造方法首先包括將III族氮化物膜13與支撐基板11以直接及間接之任一形態貼合之步驟。此處，所謂將III族氮化物膜13與支撐基板11以直接之形態貼合，係指不使除此以外者介於其間而使III族氮化物膜13與支撐基板11直接貼合。另外，所謂將III族氮化物膜13與支撐基板11以間接之形態貼合，係指使除此以外者例如接合膜12介於其間而使III族氮化物膜13與支撐基板11間接地貼合。

將III族氮化物膜13與支撐基板11貼合之方法並無特別限定，可為直接及間接之任一貼合形態，較佳為將貼合面洗淨並立即貼合後升溫至 $600^{\circ}\text{C} \sim 1200^{\circ}\text{C}$ 左右而接合之直接接合法、將貼合面洗淨並利用電漿或離子等進行活化處理後，在室溫(例如 25°C) $\sim 400^{\circ}\text{C}$ 左右之低溫環境下接合之表面活化接合法、利用藥液及純水對貼合面進行洗淨處理後施加 $0.1 \text{ MPa} \sim 10 \text{ MPa}$ 左右之高壓而接合之高壓接合法、利用藥液及純水對貼合面進行洗淨處理後在 $10^{-6} \text{ Pa} \sim 10^{-3} \text{ Pa}$ 左右之高真空環境下接合之高真空接合法等。上述任一接合法均可藉由在該等之接合後升溫至 $600^{\circ}\text{C} \sim 1200^{\circ}\text{C}$ 左右而進一步提高接合強度。尤其是關於表面活化接合法、高壓接合法、及高真空接合法，藉由在該等之接合後

升溫至600℃～1200℃左右而提高接合強度之效果較大。

於III族氮化物膜13與支撐基板11之貼合中，可如上所述般以直接及間接之任一形態貼合，但就提高接合強度之觀點而言，如圖4(A)所示，較佳為使接合膜12介於其間而使III族氮化物膜13與支撐基板11間接地貼合。以下，詳細地進行說明。

參照圖4(A)，使接合膜12介於其間而使III族氮化物膜13與支撐基板11間接地貼合之步驟包括：在支撐基板11之主面11m上形成接合膜12a之子步驟(圖4(A1))；在III族氮化物膜13之主面13n上形成接合膜12b之子步驟(圖4(A2))；及使形成於支撐基板11之主面11m上的接合膜12a與形成於III族氮化物膜13之主面13n上的接合膜12b貼合之子步驟(圖4(A3))。利用該等子步驟，相互貼合之接合膜12a與接合膜12b藉由接合而一體化並形成接合膜12，從而使支撐基板11與III族氮化物膜13介隔接合膜12而接合。

於本實施形態之III族氮化物複合基板1之製造方法中，藉由存在支撐基板11、III族氮化物膜13、及接合膜12、12a、12b之主面之表面粗糙度、III族氮化物膜13之主面貫通孔13h、及貼合之不均勻性等，而於接合界面100形成有III族氮化物膜13與支撐基板11以直接及間接之任一方式接合之接合區域100b、以及III族氮化物膜13與支撐基板11未以直接及間接之任一方式接合之非接合區域100n。關於該接合區域100b及非接合區域100n，係如上所述。

再者，接合膜12a、12b之形成方法並無特別限定，就抑制膜形成成本之觀點而言，可較佳地進行濺鍍法、蒸鍍法、CVD(化學氣相堆積)法等。另外，藉由使接合膜12a與接合膜12b貼合而使支撐基板11

與III族氮化物膜13貼合之方法並無特別限定，如上所述，較佳為直接接合法、表面活化接合法、高壓接合法、高真空接合法等。

(減小III族氮化物膜及支撐基板之至少1個基板的厚度之步驟)

參照圖4(B)，本實施形態之III族氮化物複合基板1之製造方法其次包括減小貼合之III族氮化物膜13及支撐基板11之至少1個基板的厚度之步驟。此處，減小III族氮化物膜13及支撐基板11之至少1個基板的厚度之方法並無特別限定，可列舉：以平行於主面之方式切割減小厚度之基板的方法、對主面進行磨削及/或研磨之方法、對主面進行蝕刻之方法、使用雷射之方法等。所謂使用雷射之方法，係指以雷射束之焦點位於自基板之主面特定深度的位置之方式照射雷射束之方法。根據上述使用雷射之方法，藉由改變自基板之主面特定深度之位置的成為雷射束之焦點之區域的化學組成，可使基板於該區域分離。於此種使用雷射之方法中，改變自基板之主面特定深度之位置之區域的化學組成而不改變上述區域以外之區域的化學組成之觀點而言，可較佳地使用飛秒雷射、微微秒雷射。

[實施形態3：III族氮化物半導體裝置之製造方法]

參照圖5，作為本發明之又一實施形態之III族氮化物半導體裝置4之製造方法包括準備III族氮化物複合基板1之步驟、以及使至少1層III族氮化物層20於III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13側的主面13m上成長之步驟。本實施形態之III族氮化物半導體裝置4之製造方法藉由具備上述步驟，可以較高之良率製造III族氮化物半導體裝置。(準備III族氮化物複合基板之步驟)

本實施形態之III族氮化物半導體裝置4之製造方法首先包括準備

III族氮化物複合基板1之步驟。該準備III族氮化物複合基板1之步驟係與製造實施形態2之III族氮化物複合基板1的方法中之步驟相同。

(使III族氮化物層成長之步驟)

本實施形態之III族氮化物半導體裝置4之製造方法其次包括使至少1層III族氮化物層20於III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13側的主面13m上成長之步驟。

使III族氮化物層20成長之方法並無特別限定，就使晶體品質較高之III族氮化物層20成長之觀點而言，作為氣相法，可較佳地列舉MOCVD(有機金屬化學氣相堆積)法、MBE(分子束成長)法、HVPE(氮化物氣相成長)法、昇華法等，作為液相法，可列舉高氮壓溶液法、通量法等。

成長之III族氮化物層20之構成根據III族氮化物半導體裝置之種類及功能而不同。於III族氮化物半導體裝置4為發光裝置之情形時，可使第1導電型GaN層201、第1導電型 $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ 層202(此處， s 係 $0 < s < 1$)、發光層203、第2導電型 $\text{Al}_t\text{Ga}_{1-t}\text{N}$ 層204(此處， t 係 $0 < t < 1$)、及第2導電型GaN層205作為III族氮化物層20而於III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13側之主面13m上依序成長。

本實施形態之III族氮化物半導體裝置4之製造方法其次可包括形成電極(第1電極及第2電極)之步驟。於III族氮化物層20內，利用中間蝕刻去除第2導電型GaN層204、發光層203、第1導電型 $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ 層202、及第1導電型GaN層201各自之一部分而使第1導電型GaN層201之一部分露出。可於第1導電型GaN層201之露出之主面上形成第1電極31並於第2導電型GaN層之露出之主面上形成第2電極。第1電極31

及第2電極32之形成方法並無特別限定，可列舉CVD(化學氣相堆積)法、濺鍍法、蒸鍍法等。

作為成為本發明之參考之若干個參考發明，以下對參考發明I、參考發明II、及參考發明III進行說明。

<參考發明I>

參考發明I係關於一種具有成本較低、大口徑、膜厚較大、膜厚之分佈較小、晶體品質較高的III族氮化物膜之III族氮化物複合基板與其製造方法、積層III族氮化物複合基板、及III族氮化物半導體裝置與其製造方法。

[關於參考發明I之背景技術]

GaN等III族氮化物具有優異之半導體特性，因此可較佳地用於半導體裝置。

例如，日本專利特開2009-126722號公報中，作為半導體裝置用基板，揭示有直徑為25 mm以上160 mm以上且厚度為100 μm 以上1000 μm 以下之獨立III族氮化物基板，作為具體之實施例，揭示有直徑為100 mm且厚度為400 μm 之獨立GaN基板。

另外，日本專利特開2008-010766號公報中，作為用以製造半導體裝置之基板，揭示有包含化學組成與GaN不同之異種基板、及貼合於異種基板上之0.1 μm 以上100 μm 以下之厚度之GaN薄膜的GaN薄膜貼合基板，作為具體之實施例，揭示有將藍寶石基板與厚度為0.1 μm 或100 μm 之GaN薄膜貼合而成的直徑為50.8 mm之GaN薄膜貼合基板。

另外，日本專利特開2010-182936號公報中，作為半導體裝置用

基板，揭示有具備支撐基板、氮化物半導體層、及設置於支撐基板與氮化物半導體層之間的接合層之複合基板，作為具體之實施例，揭示有利用接合層使藍寶石基板與GaN層接合而成的GaN層之厚度為5 μm $\sim$ 220 μm 且直徑為50.8 mm之複合基板，該接合層係藉由壓接而形成於兩者間。

[參考發明I所欲解決之問題]

日本專利特開2009-126722號公報中所揭示之獨立III族氮化物基板存在如下問題：因製造成本較高而非常昂貴，另外，因容易破裂而使口徑之擴大、厚度之降低變得困難。

日本專利特開2008-010766號公報中所揭示之GaN薄膜之厚度為0.1 μm 的GaN薄膜貼合基板存在如下問題：為了形成GaN薄膜而進行離子注入，但因離子注入而導致GaN薄膜之晶體之品質下降。另外，就提高所形成之半導體裝置的特性之觀點而言，較佳為將GaN薄膜之厚度設為10 μm 以上，若增大GaN薄膜之厚度，則存在如下問題：自離子注入之離子之主面的深度之不均變大，所獲得之GaN薄膜複合基板之GaN薄膜的厚度之不均變大。

另外，日本專利特開2008-010766號公報中所揭示之GaN薄膜之厚度為100 μm 之GaN薄膜貼合基板、及日本專利特開2010-182936號公報中所揭示之GaN層之厚度為5 μm $\sim$ 22 μm 之複合基板均存在如下問題：直徑為50.8 mm左右，若增大直徑，則GaN薄膜或GaN層之厚度之主面內分佈變大。

再者，若使厚度較厚之III族氮化物膜於化學組成及熱膨脹係數均與如藍寶石基板等之III族氮化物基板不同之異種基板上成長，則存

在產生較大之翹曲且產生破裂之問題。

參考發明I之目的在於解決上述問題並提供一種具有成本較低、大口徑、膜厚較大、膜厚之分佈較小、晶體品質較高的III族氮化物膜之III族氮化物複合基板與其製造方法、積層III族氮化物複合基板、及III族氮化物半導體裝置與其製造方法。

[解決問題之手段]

根據某一態樣，參考發明I係一種III族氮化物複合基板，其係將支撐基板與厚度為10 μm 以上250 μm 以下之III族氮化物膜貼合而成的直徑為75 mm以上者，且III族氮化物膜之厚度之標準偏差 s_t 與厚度之平均值 m_t 的比 s_t/m_t 為0.001以上0.2以下，偏離角之絕對值之標準偏差 s_o 與III族氮化物膜之主面相對於特定面方位之面的偏離角之絕對值之平均值 m_o 的比 s_o/m_o 為0.005以上0.6以下。

根據參考發明I之上述態樣之III族氮化物複合基板中，可將III族氮化物複合基板之III族氮化物膜側之主面的翹曲設為50 μm 以下，將III族氮化物複合基板之整體厚度分佈(亦稱為TTV。以下相同)設為30 μm 以下。另外，可將III族氮化物膜之熱膨脹係數 $\alpha_{\text{III-N}}$ 與支撐基板之熱膨脹係數 α_s 的比 $\alpha_{\text{III-N}}/\alpha_s$ 設為0.75以上1.25以下，將III族氮化物膜之厚度 $t_{\text{III-N}}$ 與支撐基板之厚度 t_s 的比 $t_{\text{III-N}}/t_s$ 設為0.02以上1以下。另外，可將III族氮化物膜之主面之雜質金屬原子設為 3×10^{12} 原子/ cm^2 以下。另外，可將III族氮化物膜之主面之均方根粗糙度設為3 nm以下。另外，可將支撐基板之主面之均方根粗糙度設為12 nm以下。另外，可將III族氮化物複合基板之直徑設為100 mm以上，進而設為125 mm以上300 mm以下。另外，III族氮化物膜之主面可將其均方根粗糙度之

平均值 m_{III-N} 設為0.1 nm以上2 nm以下，將其均方根粗糙度之標準偏差 s_{III-N} 設為0.4 nm以下，支撐基板之主面可將其均方根粗糙度之平均值 m_s 設為0.3 nm以上10 nm以下，將其均方根粗糙度之標準偏差 s_s 設為3 nm以下。

根據另一態樣，參考發明I係一種積層III族氮化物複合基板，其包括：根據上述態樣之III族氮化物複合基板、及配置於III族氮化物複合基板之III族氮化物膜上之至少1層III族氮化物層。

根據又一態樣，參考發明I係一種III族氮化物半導體裝置，其包括：根據上述態樣之III族氮化物複合基板中之III族氮化物膜、及配置於III族氮化物膜上之至少1層III族氮化物層。

根據又一態樣，參考發明I係一種III族氮化物複合基板之製造方法，其係根據上述態樣之III族氮化物複合基板之製造方法，且包括：藉由將支撐基板與III族氮化物膜施體基板貼合而形成直徑為75 mm以上的接合基板之步驟；以及藉由在位於自接合基板之III族氮化物膜施體基板之貼合主面向內部特定距離之位置的面上切割III族氮化物膜施體基板而形成上述III族氮化物複合基板之步驟。

根據又一態樣，參考發明I係一種III族氮化物複合基板之製造方法，其係根據上述態樣之III族氮化物複合基板之製造方法，且包括：藉由將支撐基板與III族氮化物膜施體基板貼合而形成直徑為75 mm以上的接合基板之步驟；以及藉由自與接合基板之III族氮化物膜施體基板之貼合主面相反側的主面進行磨削、研磨及蝕刻之至少任一者而形成III族氮化物複合基板之步驟。

根據又一態樣，參考發明I係一種III族氮化物半導體裝置之製造

方法，其包括：準備根據上述態樣之III族氮化物複合基板之步驟；以及使至少1層III族氮化物層於III族氮化物複合基板的III族氮化物膜上成長之步驟。

根據參考發明I之上述態樣之III族氮化物半導體裝置之製造方法可進而包括：於III族氮化物層上進而貼合裝置支撐基板之步驟；以及自III族氮化物複合基板去除上述支撐基板之步驟。

[參考發明I之效果]

根據參考發明I，可提供一種具有成本較低、大口徑、膜厚較大、膜厚之分佈較小、晶體品質較高的III族氮化物膜之III族氮化物複合基板與其製造方法、積層III族氮化物複合基板、及III族氮化物半導體裝置與其製造方法。

[參考形態I-1：III族氮化物複合基板]

參照圖6，作為參考發明I之某一參考形態之III族氮化物複合基板1係將支撐基板11與厚度為10 μm 以上250 μm 以下之III族氮化物膜13貼合而成的直徑為75 mm以上者，III族氮化物膜13之厚度之標準偏差 s_t 與厚度之平均值 m_t 的比 s_t/m_t 為0.001以上0.2以下，偏離角之絕對值之標準偏差 s_o 與III族氮化物膜13之主面13m相對於特定面方位之面的偏離角之絕對值之平均值 m_o 的比 s_o/m_o 為0.005以上0.6以下。

本參考形態之III族氮化物複合基板1係其直徑為75 mm以上，貼合於其支撐基板11上之III族氮化物膜13的厚度為10 μm 以上250 μm 以下，厚度之標準偏差 s_t 與厚度之平均值 m_t 的比 s_t/m_t 為0.001以上0.2以下，偏離角之絕對值之標準偏差 s_o 與其主面13m相對於特定面方位之面的偏離角之絕對值之平均值 m_o 的比 s_o/m_o 為0.005以上0.6以下，藉此

可使大口徑且晶體品質較高之至少1層III族氮化物層於III族氮化物膜13上成長，故而可有效地獲得高特性之III族氮化物半導體裝置。

於本參考形態之III族氮化物複合基板1中，支撐基板11與III族氮化物膜13之貼合形態並無特別限定，為了提高貼合之接合強度，較佳為介隔接合膜12。

(III族氮化物複合基板之直徑)

就使自1片複合基板取得半導體裝置之晶片的數量增多之觀點而言，III族氮化物複合基板1之直徑為75 mm以上，較佳為100 mm以上，更佳為125 mm以上，進而較佳為150 mm以上。另外，就降低複合基板之翹曲並提高半導體裝置之良率之觀點而言，III族氮化物複合基板1之直徑較佳為300 mm以下，更佳為200 mm以下。

(III族氮化物複合基板之III族氮化物膜側之翹曲)

就提高所形成之半導體裝置之良率之觀點而言，III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13側的翹曲較佳為50 μm 以下，更佳為30 μm 以下，進而較佳為20 μm 以下。此處，所謂III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13側之翹曲，係指相對於與III族氮化物膜13之主面13m內之任意各點的距離之平方成為最小之最小平方平面，作為與偏離一側最大之上述主面上之點的距離及偏離另一側最大之上述主面上之點的距離之和而算出之值，藉由光干涉式平坦度測定裝置、雷射位移計等而進行測定。

(III族氮化物複合基板之TTV)

就提高所形成之半導體裝置之良率之觀點而言，III族氮化物複合基板1之TTV(係指總厚度變化(Total Thickness Variation))。為平坦度

之評價指標之一。亦稱為GBIR(背面整體之理想範圍，Global Backside Ideal Range))較佳為30 μm 以下，更佳為20 μm 以下，進而較佳為10 μm 以下。此處，所謂III族氮化物複合基板1之TTV，係指以III族氮化物複合基板1之背面即支撐基板11之主面作為基準面，於厚度方向測得之III族氮化物複合基板1之表面(Surface)即III族氮化物膜13之主面13m整面的最大值與最小值之差，以III族氮化物複合基板1之背面即支撐基板11之主面作為基準面，於將基準面矯正平坦之狀態下，利用光干涉式平坦度測定裝置、雷射位移計等測定III族氮化物複合基板1之表面(Surface)即III族氮化物膜13之主面的高低差。

(III族氮化物複合基板中之支撐基板與III族氮化物膜之關係)

就降低III族氮化物複合基板1及成長於III族氮化物膜13上之III族氮化物層的翹曲及破裂之觀點而言，III族氮化物膜之熱膨脹係數 $\alpha_{\text{III-N}}$ 與支撐基板之熱膨脹係數 α_{S} 的比 $\alpha_{\text{III-N}}/\alpha_{\text{S}}$ 較佳為0.75以上1.25以下，更佳為0.8以上1.2以下，進而較佳為0.9以上1.1以下，尤佳為0.95以上1.05以下。

另外，就降低III族氮化物複合基板1及成長於III族氮化物膜13上之III族氮化物層的翹曲及破裂之觀點而言，III族氮化物膜之厚度 $t_{\text{III-N}}$ 與支撐基板之厚度 t_{S} 的比 $t_{\text{III-N}}/t_{\text{S}}$ 較佳為0.02以上1以下，更佳為0.06以上0.7以下，進而較佳為0.15以上0.5以下，尤佳為0.2以上0.4以下。

(支撐基板)

支撐基板11只要為可支撐III族氮化物膜13者，則並無特別限定，就降低昂貴之III族氮化物的使用量而降低成本之觀點而言，較佳為化學組成與III族氮化物不同之異組成基板。進而，如上所述，就

III族氮化物膜13之熱膨脹係數 $\alpha_{\text{III-N}}$ 與支撐基板11之熱膨脹係數 α_s 的比 $\alpha_{\text{III-N}}/\alpha_s$ 較佳為0.75以上1.25以下之觀點而言，支撐基板11較佳為藉由莫來石($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \sim 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$)、莫來石-YSZ(氧化釔穩定化氧化鋯)、尖晶石(MgAl_2O_4)、 Al_2O_3 - SiO_2 系複合氧化物之燒結體、及於該等中添加有氧化物、碳酸鹽等之燒結體而形成的基板、鉬(Mo)基板、鎢(W)基板等。此處，氧化物、碳酸鹽所含有之元素可較佳地列舉Ca、Mg、Sr、Ba、Al、Sc、Y、Ce、Pr、Si、Ti、Zr、V、Nb、Ta、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn等。

再者，就提高成長於III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13上之III族氮化物層的晶體品質之觀點而言，III族氮化物複合基板1中之支撐基板11之主面11n之均方根粗糙度(以下，亦稱為RMS)較佳為12 nm以下，更佳為6 nm以下，進而較佳為2 nm以下。此處，支撐基板11之主面11n之RMS可藉由在貼合III族氮化物膜13前對其進行研磨、或在貼合III族氮化物膜13後對未貼合之主面進行研磨而調整。此處，支撐基板11之主面11n之RMS係指自支撐基板11之主面11n之各點算出基準平面，自基準平面至各點之距離的均方根之正平方根之值，藉由AFM(原子間力顯微鏡)、光干涉式粗糙度計、觸針式粗糙度計等而進行測定。

支撐基板11之主面11n較佳為其RMS之平均值 m_s 為0.3 nm以上10 nm以下，其RMS之標準偏差 s_s 為3 nm以下。對於支撐基板11之主面11n，藉由將其RMS之平均值 m_s 設為10 nm以下，將其RMS之標準偏差 s_s 設為3 nm以下，可使晶體品質較高之III族氮化物層成長於III族氮化物膜13之主面13m的整面，故而可以較高之良率獲得半導體裝置。

為了使支撐基板11之主面11n之RMS之平均值 m_s 小於0.3 nm，必需進行高度的表面研磨，成本會大幅增加。就該等觀點而言，支撐基板11之主面11n之RMS之平均值 m_s 更佳為0.3 nm以上5 nm以下，進而較佳為0.3 nm以上2 nm以下。另外，支撐基板11之主面11n之RMS之標準偏差 s_s 更佳為2 nm以下，進而較佳為1 nm以下。

此處，支撐基板11之主面11n之RMS之平均值 m_s 及標準偏差 s_s 分別為自於圖7所示之支撐基板11之主面11n上的13個測定點測得之RMS算出之平均值及標準偏差。無論支撐基板11之直徑之大小如何，圖7所示之支撐基板11之主面11n上的13個測定點P均包括1個中心點 P_c 、於自該中心點 P_c 相互成直角之4個方向上且位於自外緣向內側5 mm處的4個外側點 P_o 、位於1個中心點 P_c 與4個外側點 P_o 之中間之4個點及位於4個外側點彼此之中間之4個點的合計8個中間點 P_m 。此處所謂的標準偏差，係指不偏分散之正平方根。

(接合膜)

接合膜12只要為可將支撐基板11與III族氮化物膜13接合者，則並無特別限定，就支撐基板11與III族氮化物膜13之接合性較高之觀點而言，較佳為 SiO_2 膜、 Si_3N_4 膜、 TiO_2 膜、 Ga_2O_3 膜等。

(III族氮化物膜)

III族氮化物膜13為由III族氮化物所形成之膜，可列舉GaN膜、AlN膜等 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 膜($0 \leq x$ 、 $0 \leq y$ 、 $x + y \leq 1$)等。

就形成高特性之III族氮化物半導體裝置之觀點而言，III族氮化物膜13之厚度為10 μm 以上，較佳為30 μm 以上，更佳為50 μm 以上，進而較佳為100 μm 以上。另外，就降低昂貴之III族氮化物之使用量之

觀點而言，III族氮化物膜13之厚度為250 μm 以下，較佳為200 μm 以下，較佳為170 μm 以下，更佳為150 μm 以下。

III族氮化物膜13之厚度之標準偏差 s_t 與厚度之平均值 m_t 的比 s_t/m_t 為0.001以上0.2以下，較佳為0.001以上0.15以下，更佳為0.002以上0.1以下，進而較佳為0.01以上0.05以下。為了使比 s_t/m_t 小於0.001，必需進行用以高度地控制厚度之切割及研磨，故而成本會增大。若比 s_t/m_t 大於0.2，則膜厚之均勻性下降，故而所獲得之半導體裝置之特性下降。

偏離角之絕對值之標準偏差 s_o 與III族氮化物膜13之主面13m相對於特定面方位之面的偏離角之絕對值之平均值 m_o 的比 s_o/m_o 為0.005以上0.6以下，較佳為0.005以上0.5以下，更佳為0.008以上0.4以下，進而較佳為0.05以上0.2以下。為了使比 s_o/m_o 小於0.005，必需進行用以高度地控制偏離角之切割及研磨，故而成本會增大。若比 s_o/m_o 大於0.6，則於面內產生成長於III族氮化物膜13上之III族氮化物層的形態下降之部分，且有雜質進入之面內分佈變大，故而所獲得之半導體裝置之良率下降。

就獲得良好特性之半導體裝置之觀點而言，III族氮化物膜13之晶體結構較佳為纖鋅礦型結構。III族氮化物膜13之主面13m最近似之上述特定面方位只要為適合於所需之半導體裝置者，則並無限制，可為{0001}、{10-10}、{11-20}、{21-30}、{20-21}、{10-11}、{11-22}、{22-43}、及自該等各面方位偏離 15° 以下之面方位。另外，亦可為該等各面方位之面的背面之面方位及自此種背面之面方位偏離 15° 以下之面方位。即，III族氮化物膜13之主面13m可為極性面、非

極性面、及半極性面之任一者。另外，就大口徑化較容易之觀點而言，III族氮化物膜13之主面13m較佳為{0001}面及其背面，就抑制所獲得之發光裝置之藍移之觀點而言，較佳為{10-10}面、{20-21}面及該等之背面。

此處，III族氮化物膜13之厚度之平均值 m_t 、厚度之標準偏差 m_t 、偏離角之平均值 m_o 、及偏離角之標準偏差 s_o 分別為自於圖7所示之III族氮化物膜13之主面13m上的13個測定點測得之厚度及偏離角算出之平均值及標準偏差。無論III族氮化物膜之直徑之大小如何，圖7所示之III族氮化物膜13之主面13m上的13個測定點P均包括1個中心點 P_c 、於自該中心點 P_c 相互成直角之4方向上且位於自外緣向內側5 mm處的4個外側點 P_o 、組合位於1個中心點 P_c 與4個外側點 P_o 之中間之4個點及位於4個外側點彼此之中間之4個點的8個中間點 P_M 。此處所謂的標準偏差，係指不偏分散之正平方根。

就提高成長於III族氮化物膜13上之III族氮化物層之晶體品質並提高所形成之半導體裝置的特性之觀點而言，III族氮化物膜13之主面13m之雜質金屬原子較佳為 3×10^{12} 原子/cm²以下，更佳為 4×10^{11} 原子/cm²以下，進而較佳為 1×10^{11} 原子/cm²以下。另外，就提高成長於III族氮化物膜13上之III族氮化物層之晶體品質並提高所形成之半導體裝置的特性之觀點而言，III族氮化物膜13之表面之其他雜質係Cl原子較佳為 2×10^{14} 原子/cm²以下，Si原子較佳為 9×10^{13} 原子/cm²以下。

就提高成長於III族氮化物膜13上之III族氮化物層之晶體品質之觀點而言，III族氮化物膜13之主面13m的RMS較佳為3 nm以下，更佳為2 nm以下，進而較佳為1 nm以下。

III族氮化物膜13之主面13m較佳為其RMS之平均值 m_{III-N} 為0.1 nm以上2 nm以下，其RMS之標準偏差 s_{III-N} 為0.4 nm以下。對於III族氮化物膜13之主面13m，藉由將其RMS之平均值 m_{III-N} 設為2 nm以下，將其RMS之標準偏差 s_{III-N} 設為0.4 nm以下，可使晶體品質較高的III族氮化物層成長於III族氮化物膜13之主面13m之整面，故而可以較高之良率獲得半導體裝置。為了使III族氮化物膜13之主面13m之RMS之平均值 m_{III-N} 小於0.1 nm，需要高度之表面研磨，成本會大幅增加。就該等觀點而言，III族氮化物膜13之主面13m之RMS之平均值 m_{III-N} 更佳為0.1 nm以上1.5 nm以下，進而較佳為0.2 nm以上1 nm以下。另外，III族氮化物膜13之主面13m之RMS之標準偏差 s_{III-N} 更佳為0.3 nm以下，進而較佳為0.2 nm以下。

此處，III族氮化物膜13之主面13m之RMS之平均值 m_{III-N} 及標準偏差 s_{III-N} 係如上所述，分別為自於圖7所示之III族氮化物膜13之主面上的13個測定點測得之RMS算出之平均值及標準偏差。另外，關於III族氮化物膜13，其錯位密度較佳為 $1 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ 以下，載子濃度較佳為 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上。

[參考形態I-2：積層III族氮化物複合基板]

參照圖8，作為參考發明I之另一參考形態之積層III族氮化物複合基板2包括：參考形態I-1之III族氮化物複合基板1、及配置於III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13上的至少1層III族氮化物層20。

本參考形態之積層III族氮化物複合基板2由於以成長於晶體品質較高且厚度分佈及偏離角分佈較小之III族氮化物膜13上之方式配置的III族氮化物層20之晶體品質亦較高，故而可以較佳之良率製作高特性

之半導體裝置。

本參考形態之積層III族氮化物複合基板2中，配置於III族氮化物膜13上之III族氮化物層20根據所製作之半導體裝置之種類而不同。參照圖9，於製作作為半導體裝置之發光裝置之情形時，III族氮化物層20例如可包括n-GaN層21、n-In_{0.05}Ga_{0.95}N層22、具有多重量子井結構之活性層23、p-Al_{0.09}Ga_{0.91}N層24、及p-GaN層25。參照圖10，於製作作為半導體裝置之電子裝置之1例即HEMT(高電子遷移率電晶體)之情形時，III族氮化物層例如可包括GaN層26、Al_{0.2}Ga_{0.8}N層27。參照圖11，於製作作為半導體裝置之電子裝置之另一例即SBD(Schotky barrier diode，肖特基勢壘二極體)之情形時，III族氮化物層例如可包括n⁺-GaN層28(載子濃度例如為 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)、n⁻-GaN層29(載子濃度例如為 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$)。

[參考形態I-3：III族氮化物半導體裝置]

參照圖9及圖10，作為參考發明I之又一參考形態之III族氮化物半導體裝置4包括參考形態1之III族氮化物複合基板中之III族氮化物膜13、及配置於III族氮化物膜13上之至少1層III族氮化物層20。

本參考形態之III族氮化物半導體裝置4由於包括晶體品質較高且厚度分佈及偏離角分佈較小之III族氮化物膜13、及以成長於其上之方式配置的晶體品質較高之III族氮化物層20，故而具有較高之特性。

III族氮化物半導體裝置4之III族氮化物層20根據III族氮化物半導體裝置4之種類而不同。參照圖9，於III族氮化物半導體裝置4為發光裝置之情形時，III族氮化物層20例如可包括n-GaN層21、n-In_{0.05}Ga_{0.95}N層22、具有多重量子井結構之活性層23、p-Al_{0.09}Ga_{0.91}N

層24、及p-GaN層25。參照圖10，於III族氮化物半導體裝置4為電子裝置之1例即HEMT之情形時，III族氮化物層20例如可包括GaN層26、 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層27。參照圖11，於製作作為半導體裝置之電子裝置之另一例即SBD之情形時，III族氮化物層例如可包括 n^+ -GaN層28(載子濃度例如為 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)、 n^- -GaN層29(載子濃度例如為 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$)。

III族氮化物半導體裝置4較佳為進而包括用以支撐III族氮化物層20之支撐基板11及裝置支撐基板40之至少一者。此處，裝置支撐基板40之形狀並不限於平板形狀，只要可支撐III族氮化物膜13及III族氮化物層20而形成III族氮化物半導體裝置4，則可採用任意之形狀。

[參考形態I-4：III族氮化物複合基板之製造方法]

參照圖12及圖13，作為參考發明I之又一參考形態之III族氮化物複合基板之製造方法係參考形態I-1之III族氮化物複合基板1之製造方法，且包括：藉由將支撐基板11與III族氮化物膜施體基板13D貼合而形成直徑為75 mm以上的接合基板1L、1LS之步驟(圖12(A)～(C)、圖13(A)～(C))；以及藉由在位於自接合基板1L、1LS之III族氮化物膜施體基板13D之貼合主面向內部特定距離的位置之面上切割III族氮化物膜施體基板13D而形成III族氮化物複合基板1之步驟(圖12(D)、圖13(D))。

根據本參考形態之III族氮化物複合基板之製造方法，可高效地製造具有成本較低、大口徑、膜厚較大且晶體品質較高之III族氮化物膜的III族氮化物複合基板1。

此處，於形成III族氮化物複合基板1之步驟中，切割III族氮化物

膜施體基板 13D 時之位於自 III 族氮化物膜施體基板 13D 之貼合主面向內部特定距離的位置之面上之特定距離係根據製造之目標 III 族氮化物複合基板 1 之 III 族氮化物膜 13 之厚度而決定。

另外，於形成 III 族氮化物複合基板 1 之步驟中，切割 III 族氮化物膜施體基板 13D 而形成 III 族氮化物膜 13 後，自與 III 族氮化物膜 13 之貼合主面 13n 相反側之主面 13m 進行磨削、研磨及蝕刻之至少任一者，藉此可降低 III 族氮化物膜 13 之厚度。尤其是，就降低藉由切割 III 族氮化物膜施體基板 13D 而形成之 III 族氮化物膜 13 之厚度分佈及偏離角分佈之觀點而言，較佳為對由切割所獲得的 III 族氮化物複合基板 1 之 III 族氮化物膜 13 之主面進行研磨。就降低 II 族氮化物膜 13 之厚度分佈及偏離角分佈之觀點而言，研磨方法較佳為藉由 CMP(化學機械研磨)、化學研磨等之精密研磨。

就上述觀點而言，切割 III 族氮化物膜施體基板 13D 時之位於自 III 族氮化物膜施體基板 13D 之貼合主面 13n 向內部特定距離的位置之面上之特定距離較佳為設為使製造之目標 III 族氮化物複合基板 1 之 III 族氮化物膜 13 之厚度加上研磨裕度(Abrasive margin)之厚度而獲得之距離。

於本參考形態之 III 族氮化物複合基板 1 之製造方法中，在位於自接合基板 1L、1LS 之 III 族氮化物膜施體基板 13D 之貼合主面 13n 向內部特定距離的位置之面上切割 III 族氮化物膜施體基板 13D 而形成 III 族氮化物膜 13，較佳為自與 III 族氮化物膜 13 之貼合主面 13n 相反側之主面 13m 進行磨削、研磨及蝕刻之至少任一者，藉此減少膜厚而進行調整，獲得包括 10 μm 以上 250 μm 以下之所需厚度之 III 族氮化物膜 13 的

III族氮化物複合基板1。

再者，於本參考形態之III族氮化物複合基板1之製造方法中，為了於形成III族氮化物複合基板之步驟中切割III族氮化物膜施體基板，就提昇製造時之作業性及效率之觀點而言，所使用之III族氮化物膜施體基板13D之厚度較佳為大於500 μm ，更佳為1 mm以上，進而較佳為2 mm以上。

(接合基板之形成步驟)

參照圖12(A)～(C)及圖13(A)～(C)，形成接合基板1L、1LS之步驟包括：於支撐基板11之主面11m上形成接合膜12a之子步驟(圖12(A)、圖13(A))；於III族氮化物膜施體基板13D之主面13n上形成接合膜12b之子步驟(圖12(B)、圖13(B))；及將形成於支撐基板11上之接合膜12a與形成於III族氮化物膜施體基板13D上之接合膜12b貼合之子步驟(圖12(C)、圖13(C))。

參照圖12(A)及圖13(A)，於支撐基板11之主面11m上形成接合膜12a之子步驟中，接合膜12a係與下述接合膜12b一體化而形成接合膜12者，且以與接合膜12同樣之材料形成。另外，形成接合膜12a之方法只要適合於該接合膜12a之形成，則並無特別限定，就有效地形成品質較佳之接合膜12a之觀點而言，較佳為濺鍍法、CVD(化學氣相堆積)法、PLD(脈衝雷射堆積)法、MBE(分子束成長)法、電子束蒸鍍法等。就提高接合膜之品質並且提高成膜速度之方面而言，尤佳為CVD。此處，於CVD中，就可於低溫下成膜且成膜速度較高之觀點而言，進而較佳為P-CVD(電漿-化學氣相堆積)法、PE-CVD(電漿輔助-化學氣相堆積)法等，就提高膜質且容易大量製造之觀點而言，進而

較佳為LP-CVD(減壓-化學氣相堆積)法等。

進而，為了提昇接合強度，可於形成接合膜12a、12b後且接合前進行退火。藉由此種退火，可自接合膜12a、12b脫氣而使接合膜12a、12b緻密化。

進而，就提高支撐基板11與III族氮化物膜施體基板13D之接合強度之觀點而言，接合膜12a較佳為將其主面12am研磨成鏡面(例如，RMS為0.3 nm以下之鏡面)。對接合膜12a之主面12am進行研磨之方法並無特別限定，例如可使用CMP(化學機械研磨)等。就提高接合強度之觀點而言，為了提昇接合膜之淨化度，可於CMP後利用不含研磨粒之溶液實施無研磨粒拋光。為了提高研磨粒之去除效果，可利用KOH、TMAH(氫氧化四甲基銨)等鹼、HCl、HNO₃、H₂SO₄等酸實施無研磨粒拋光。另外，就提高接合強度之觀點而言，為了提昇接合膜之淨化度，可利用海棉、毛刷等實施擦洗式洗淨。另外，亦可較佳地實施二流體洗淨、超高頻音波洗淨、超音波洗淨等。

參照圖12(B)及圖13(B)，於III族氮化物膜施體基板13D之主面13n上形成接合膜12b之子步驟中，III族氮化物膜施體基板13D係藉由後續子步驟中之分離而提供III族氮化物膜13之施體基板。準備此種III族氮化物膜施體基板13D之方法並無特別限定，就獲得晶體性較佳之III族氮化物膜施體基板13D之觀點而言，較佳為HVPE(氮化物氣相成長)法、MOVPE(有機金屬氣相成長)法、MBE(分子束成長)法、昇華法等氣相法、通量法、高氮壓溶液法、氮熱法等液相等。以此種方法準備之III族氮化物膜施體基板13D並無特別限定，就提供晶體性較佳之III族氮化物膜13之觀點而言，較佳為具有與應提供之III族氮化

物膜13相同程度之晶體性，具體而言，較佳為III族氮化物膜施體基板13D之主面13m相對於特定面方位之面的偏離角之標準偏差 s_0 之絕對值之平均值 m_0 與偏離角之絕對值之平均值 m_0 的比 s_0/m_0 為0.005以上0.6以下。

形成接合膜12b之材料與方法、及其主面12bn之研磨分別與上述形成接合膜12a之材料與方法、及其主面12am之研磨相同。

參照圖12(C)及圖13(C)，將形成於支撐基板11上之接合膜12a與形成於III族氮化物膜施體基板13D上之接合膜12b貼合之子步驟中，其貼合方法並無特別限定，較佳為如下方法：將貼合面洗淨並直接貼合後，升溫至 $600^{\circ}\text{C} \sim 1200^{\circ}\text{C}$ 左右而接合之直接接合法；將貼合面洗淨並利用電漿或離子等進行活化處理後，在室溫(例如 25°C) $\sim 400^{\circ}\text{C}$ 左右之低溫環境下接合之表面活化接合法；利用藥液及純水對貼合面進行洗淨處理後，施加 $0.1 \text{ MPa} \sim 10 \text{ MPa}$ 左右之高壓而接合之高壓接合法；利用藥液及純水對貼合面進行洗淨處理後，於 $10^{-6} \text{ Pa} \sim 10^{-3} \text{ Pa}$ 左右之高真空環境下接合之高真空接合法等。上述任一接合法均可藉由在該等之接合後升溫至 $600^{\circ}\text{C} \sim 1200^{\circ}\text{C}$ 左右而進一步提高接合強度。尤其是表面活化接合法、高壓接合法及高真空接合法，藉由在該等之接合後升溫至 $600^{\circ}\text{C} \sim 1200^{\circ}\text{C}$ 左右而提高接合強度之效果較大。

藉由上述貼合，接合膜12a與接合膜12b藉由接合而一體化，形成接合膜12，支撐基板11與III族氮化物膜施體基板13D介隔接合膜12而接合，形成接合基板1L、1LS。

如上所述，藉由於貼合前使接合膜12a、12b之貼合面活化，可提高接合強度。貼合面之活化並無特別限定，就活化效果較高之觀點而

言，較佳為藉由電漿處理、離子處理、利用藥液之化學處理、洗淨處理、CMP處理等而進行。

(III族氮化物複合基板之形成步驟)

參照圖 12(D)及圖 13(D)，於形成 III 族氮化物複合基板 1 之步驟中，藉由在位於自接合基板 1L、1LS 之 III 族氮化物膜施體基板 13D 之貼合主面 13n 向內部特定距離的位置之面上切割 III 族氮化物膜施體基板 13D 而形成 III 族氮化物複合基板 1，其分離成介隔接合膜 12 而接合於支撐基板 11 上之 III 族氮化物膜 13、及剩餘之 III 族氮化物膜施體基板 13Dr，且支撐基板 11 與 III 族氮化物膜 13 介隔接合膜 12 而貼合。

切割 III 族氮化物膜施體基板 13D 之方法並無特別限定，可列舉線鋸、片鋸、雷射加工、放電加工、水噴注等方法。

於利用線鋸切割 III 族氮化物膜施體基板 13D 之情形時，為了平坦地切割大口徑之 III 族氮化物膜施體基板 13D，較佳為使用固定研磨粒線，為了降低切割裕度(Breakage margin)，較佳為使用細線。為了降低切割裕度，較佳為游離研磨粒方式。另外，於利用線鋸切割 III 族氮化物膜施體基板 13D 時，為了降低由切割電阻所引起之線之彎曲並提高厚度之精度及平坦性，較佳為增加線之張力並增加線速。因此，較佳為高剛性之線鋸裝置。

另外，為了降低切割電阻並提高厚度之精度及平坦性，較佳為搖動線並同時振動 III 族氮化物膜施體基板 13D。具體而言，線鋸位於相對於 III 族氮化物膜施體基板 13D 之切割之進行方向而垂直或接近垂直之角度的位置時，III 族氮化物膜施體基板 13D 向切割之進行方向移動，線鋸位於相對於 III 族氮化物膜施體基板 13D 之切割之進行方向而

遠離垂直之角度的位置時，III族氮化物膜施體基板13D向切割之進行方向的相反方向移動，藉此可降低切割電阻。

再者，GaN等III族氮化物由於與藍寶石及SiC等相比更脆而容易破裂，故而無法利用與藍寶石及SiC同樣之切割方法良好地切割。於III族氮化物之切割中，必需進一步降低其切割電阻。為了降低切割電阻並提高厚度之精度及平坦性，較佳為使用切片用加工液之黏度 $\eta(\text{Pa} \cdot \text{s})$ 、加工液之流量 $Q(\text{m}^3/\text{s})$ 、線線速度 $V(\text{m/s})$ 、最大切割長度 $L(\text{m})$ 、切割速度 $P(\text{m/s})$ 、及同時切割數 n 而使 $(\eta \times Q \times V)/(L \times P \times n)$ 所表示之電阻係數 $R(N)$ 於適當之範圍內，具體而言，為4000以上5000以下。

由切割所獲得之III族氮化物複合基板1藉由對其III族氮化物膜13及支撐基板11之主面13m、11n進行研磨，可獲得所需之厚度及偏離角以及該等之均勻性。具體而言，關於III族氮化物複合基板1對研磨時之研磨裝置之貼附，可進行吸附固定、利用背墊之固定。另外，將III族氮化物複合基板1貼附於保持板上之後，亦可貼附於研磨裝置上。藉由真空夾盤、氣囊加壓、鉛垂等之機械加壓，可抑制傾斜並矯正翹曲而進行貼附。亦可對III族氮化物複合基板1進行吸附固定。藉由將III族氮化物複合基板1均勻地貼附於研磨裝置上，可降低研磨後之厚度分佈、偏離角分佈。

如上所述，於本參考形態之III族氮化物複合基板之製造方法中，就降低III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13之厚度分佈及偏離角分佈，並且去除由III族氮化物膜13之切割所產生的損害層，將晶體品質維持於較高並使主面平滑化之觀點而言，較佳為對由切割所獲得之III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13之主面13m進行研磨。

因此，於本參考形態之III族氮化物複合基板之製造方法中，位於自切割接合基板1L、1LS之III族氮化物膜施體基板13D之面即III族氮化物膜施體基板13D之貼合主面13n向內部特定距離的位置之面上之特定距離，較佳為設為使研磨裕度(Abrasive margin)之厚度加上製造之目標III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13的厚度而獲得之距離。此處，研磨裕度並無特別限定，就降低厚度分佈及偏離角分佈且去除損害層之觀點而言，較佳為10 μm 以上，更佳為20 μm 以上，進而較佳為30 μm 以上。另外，就降低III族氮化物膜施體基板13D之材料損失之觀點而言，研磨裕度較佳為100 μm 以下，更佳為80 μm 以下，進而較佳為60 μm 以下。

另外，參照圖12(D)及(B)及圖13(D)及(B)，剩餘之III族氮化物膜施體基板13Dr可藉由對其主面進行研磨而反覆使用。

(附帶支撐體之III族氮化物膜施體基板之利用)

參照圖13(B)～(D)，可使用在III族氮化物膜施體基板13D上貼合有III族氮化物膜施體基板支撐體15之附帶支撐體之III族氮化物膜施體基板5D，以與上述相同之方式製造III族氮化物複合基板1。附帶支撐體之III族氮化物膜施體基板5D藉由III族氮化物膜施體基板支撐體15而支撐III族氮化物膜施體基板13D，故而即便III族氮化物膜施體基板13D薄至無法獨立之程度，亦可反覆使用。

於附帶支撐體之III族氮化物膜施體基板5D中，III族氮化物膜施體基板支撐體15與III族氮化物膜施體基板13D之貼合形態並無特別限定，為了提高由貼合所產生之接合強度，較佳為介隔接合膜14。另外，III族氮化物膜施體基板支撐體15並無特別限定，就支撐強度較高

且防止破裂及翹曲之產生之觀點而言，較佳為藉由與支撐基板11相同物性之材料而形成。接合膜14並無特別限定，就III族氮化物膜施體基板支撐體15與III族氮化物膜施體基板13D之接合性較高之觀點而言，較佳為SiO₂膜、Si₃N₄膜、TiO₂膜、Ga₂O₃膜等。

[參考形態I-5：III族氮化物複合基板之另一製造方法]

參照圖14，作為參考發明I之又一參考形態之III族氮化物複合基板之製造方法係參考形態I-1之III族氮化物複合基板1之製造方法，且包括：藉由將支撐基板11與III族氮化物膜施體基板13D貼合而形成直徑為75 mm以上的接合基板1L之步驟(圖14(A)～(C))；以及藉由自與接合基板1L之III族氮化物膜施體基板13D之貼合主面相反側的主面進行磨削、研磨及蝕刻之至少任一者而形成III族氮化物複合基板1之步驟(圖14(D))。

根據本參考形態之III族氮化物複合基板之製造方法，可高效地製造具有成本較低、大口徑、膜厚較大且晶體品質較高之III族氮化物膜的III族氮化物複合基板1。

於本參考形態之III族氮化物複合基板1之製造方法中，藉由自與III族氮化物膜施體基板13D之貼合主面相反側的主面進行磨削、研磨及蝕刻之至少任一者而獲得III族氮化物複合基板1，其減少膜厚而進行調整，包含10 μm以上250 μm以下之所需厚度之III族氮化物膜13。

再者，於本參考形態之III族氮化物複合基板1之製造方法中，為了於形成III族氮化物複合基板之步驟中自與III族氮化物膜施體基板之貼合主面相反側的主面進行磨削、研磨及蝕刻之至少任一者，就降低III族氮化物膜施體基板13D之材料損失之觀點而言，所使用之III族

氮化物膜施體基板 13D 之厚度較佳為 500 μm 以下，更佳為 400 μm 以下。

(接合基板之形成步驟)

參照圖 14(A)～(C)，形成接合基板 1L 之步驟係與參考形態 I-4 之 III 族氮化物複合基板之製造方法同樣，包括：於支撐基板 11 之主面 11m 上形成接合膜 12a 之子步驟(圖 14(A))、於 III 族氮化物膜施體基板 13D 之主面 13n 上形成接合膜 12b 之子步驟(圖 14(B))、以及將形成於支撐基板 11 上之接合膜 12a 與形成於 III 族氮化物膜施體基板 13D 上之接合膜 12b 貼合之子步驟(圖 14(C))。

此處，圖 14(A)所示之於支撐基板 11 之主面 11m 上形成接合膜 12a 之子步驟係與圖 12(A)所示之於支撐基板 11 之主面 11m 上形成接合膜 12a 之子步驟同樣。圖 14(B)所示之於 III 族氮化物膜施體基板 13D 之主面 13n 上形成接合膜 12b 之子步驟係與圖 12(B)所示之於 III 族氮化物膜施體基板 13D 之主面 13n 上形成接合膜 12b 之子步驟同樣。圖 14(C)所示之將形成於支撐基板 11 上之接合膜 12a 與形成於 III 族氮化物膜施體基板 13D 上之接合膜 12b 貼合之子步驟係與圖 12(C)所示之將形成於支撐基板 11 上之接合膜 12a 與形成於 III 族氮化物膜施體基板 13D 上之接合膜 12b 貼合之子步驟同樣。因此，不重複進行該等之說明。

(III 族氮化物複合基板之形成步驟)

參照圖 14(D)，於形成 III 族氮化物複合基板 1 之步驟中，藉由自與接合基板 1L 之 III 族氮化物膜施體基板 13D 之貼合主面 13n 相反側的主面 13m 進行磨削、研磨及蝕刻之至少任一者而形成 III 族氮化物複合基板 1，其係自 III 族氮化物膜施體基板 13D 形成其厚度減少之 III 族氮化

物膜13，使支撐基板11與III族氮化物膜13介隔接合膜12而貼合。

對III族氮化物膜施體基板13D進行磨削之方法並無特別限定，可列舉使用磨石及研磨粒之任一者之磨削等。對III族氮化物膜施體基板13D進行研磨之方法並無特別限定，可列舉機械研磨等粗研磨、CMP、化學研磨等精密研磨等。對III族氮化物膜施體基板13D進行蝕刻之方法並無特別限定，可列舉使用藥液之濕式蝕刻、RIE(反應性離子蝕刻)等乾式蝕刻等。

另外，就降低所形成之III族氮化物膜13之厚度分佈及偏離角分佈之觀點而言，較佳為對由磨削及蝕刻之至少任一者所獲得的III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13之主面13m進行研磨。就降低厚度分佈及偏離角分佈且去除損害層之觀點而言，由磨削、研磨及蝕刻之至少任一者所產生之厚度減少量較佳為10 μm 以上，更佳為20 μm 以上，進而較佳為30 μm 以上。另外，就降低III族氮化物膜施體基板13D之材料損失之觀點而言，由磨削、研磨及蝕刻之至少任一者所產生之厚度減少量較佳為100 μm 以下，更佳為80 μm 以下，進而較佳為60 μm 以下。

[參考形態I-6：III族氮化物半導體裝置之製造方法]

參照圖15，作為參考發明I之又一參考形態之III族氮化物半導體裝置之製造方法包括：準備參考形態I-1之III族氮化物複合基板1之步驟、以及使至少1層III族氮化物層20成長於III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13上之步驟(圖15(A))。藉由本參考形態之III族氮化物半導體裝置之製造方法，可以較佳之良率製造高特性之III族氮化物半導體裝置。

於本參考形態之III族氮化物半導體裝置之製造方法中，可進而包括：於III族氮化物層20上進而貼合裝置支撐基板40之步驟(圖15(B))、以及自III族氮化物複合基板1去除支撐基板11之步驟(圖15(C))。藉由添加該等步驟，可以較佳之良率製造由裝置支撐基板40所支撐之機械強度較高且高特性的III族氮化物半導體裝置。

本參考形態之III族氮化物半導體裝置之製造方法具體可藉由以下之步驟而進行。

(III族氮化物層之成長步驟)

參照圖15(A)，使至少1層III族氮化物層20成長於III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13上之步驟中，就使晶體品質較高之III族氮化物層20磊晶成長之觀點而言，使III族氮化物層20成長之方法較佳為MOVPE法、MBE法、HVPE法、昇華法等氣相法、通量法等液相等，尤佳為MOVPE法。

III族氮化物層20之構成根據III族氮化物半導體裝置4之種類而不同。於III族氮化物半導體裝置4為發光裝置之情形時，III族氮化物層20例如可藉由使n-GaN層21、n-In_{0.05}Ga_{0.95}N層22、具有多重量子井結構之活性層23、p-Al_{0.09}Ga_{0.91}N層24、及p-GaN層25依序成長於III族氮化物膜13上而構成。

如上所述，藉由使至少1層III族氮化物層20成長於III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13上而獲得積層III族氮化物複合基板2。

(裝置支撐基板之貼合步驟)

參照圖15(B)，於III族氮化物層20上進而貼合裝置支撐基板40之步驟係藉由如下方式進行：於積層III族氮化物複合基板2之III族氮化

物層20上形成第1電極30及焊墊電極33，並且於裝置支撐基板40上形成焊墊電極43及接合金屬膜44，於焊墊電極33上貼合接合金屬膜44。藉由上述步驟而獲得積層基板3。裝置支撐基板40係使用Si基板、CuW基板等。

(支撐基板之去除步驟)

參照圖15(C)，自III族氮化物複合基板1去除支撐基板11之步驟係藉由自積層基板3去除III族氮化物複合基板1之支撐基板11而進行。在III族氮化物複合基板1中，於接合膜12介於支撐基板11與III族氮化物膜13之間之情形時，亦可去除接合膜12。支撐基板11及接合膜12之去除方法並無特別限定，可較佳地使用磨削、蝕刻等。例如，就降低製造成本之觀點而言，由硬度、強度及耐磨耗性較低且容易切削之材料所形成的支撐基板11可藉由磨削及研磨之至少任一者而去除。另外，就製造成本較低之觀點而言，由溶解於酸、鹼等藥液之材料所形成的支撐基板11可利用藥液進行蝕刻而去除。再者，就容易去除支撐基板11之觀點而言，與由藍寶石、SiC、III族氮化物(例如GaN)等單晶材料所形成之支撐基板相比，支撐基板11較佳為由陶瓷等多晶材料所形成之支撐基板。

(電極之形成步驟)

參照圖15(D)，於藉由自積層基板3去除支撐基板11及接合膜12而露出之III族氮化物膜13上形成第2電極50，於裝置支撐基板40上形成裝置支撐基板電極45。

<參考發明II>

參考發明II係關於一種降低製造半導體裝置時之成本、可以較高

之良率製造III族氮化物半導體裝置、成本較低、大口徑、III族氮化物膜較厚、III族氮化物層成長時主面上之溫度分佈較小的III族氮化物複合基板與其製造方法、積層III族氮化物複合基板、及III族氮化物半導體裝置與其製造方法。

[關於參考發明II之背景技術]

GaN等III族氮化物具有優異之半導體特性，因此可較佳地用於半導體裝置。另外，於不同種類之半導體裝置、例如發光裝置、電子裝置中，GaN等III族氮化物具有與Si、GaAs、SiC等不同的良好之材料特性，故而可用於各種裝置。

例如，作為半導體裝置用基板，日本專利特開2009-126722號公報揭示有直徑為25 mm以上160 mm以上且厚度為100 μm 以上1000 μm 以下之獨立III族氮化物基板，作為具體之實施例，揭示有直徑為100 mm且厚度為400 μm 之獨立GaN基板。

另外，作為用以製造半導體裝置之基板，日本專利特開2008-010766號公報揭示有包含化學組成與GaN不同之異種基板、及貼合於異種基板上之0.1 μm 以上100 μm 以下之厚度之GaN薄膜的GaN薄膜貼合基板，作為具體之實施例，揭示有貼合有藍寶石基板及厚度為0.1 μm 或100 μm 之GaN薄膜的直徑為50.8 mm之GaN薄膜貼合基板。

另外，作為半導體裝置用基板，日本專利特開2010-182936號公報揭示有具備支撐基板、氮化物半導體層、及設置於支撐基板與氮化物半導體層之間的接合層之複合基板，作為具體之實施例，揭示有利用接合層使藍寶石基板與GaN層接合而成的GaN層之厚度為5 μm ～220 μm 且直徑為50.8 mm之複合基板，該接合層係藉由壓接而形成於

兩者間。

[參考發明II所欲解決之問題]

日本專利特開2009-126722號公報中所揭示之獨立III族氮化物基板存在如下問題：因製造成本較高而非常昂貴，另外，因容易破裂而使口徑之擴大、厚度之降低變得困難。進而存在如下問題：於形成半導體裝置時必需降低獨立III族氮化物基板之厚度，因獨立III族氮化物基板之背面(係指與形成表現裝置功能之III族氮化物層的主面相反側之主面。以下相同)的磨削等加工步驟而導致製造成本增加。

日本專利特開2008-010766號公報中所揭示的GaN薄膜之厚度為0.1 μm 之GaN薄膜貼合基板存在如下問題：為了形成GaN薄膜而進行離子注入，因離子注入而導致GaN薄膜之晶體品質下降。另外，就提高所形成之半導體裝置之特性之觀點而言，較佳為將GaN薄膜的厚度設為10 μm 以上，若增大GaN薄膜之厚度，則存在如下問題：源自進行離子注入之離子主面的深度不均變大，所獲得之GaN薄膜複合基板之GaN薄膜的厚度不均變大。

另外，日本專利特開2008-010766號公報中所揭示之GaN薄膜複合基板及日本專利特開2010-182936號公報中所揭示之複合基板均為於支撐基板上接合有III族氮化物之膜或層的複合基板，故而與日本專利特開2009-126722號公報中所揭示之獨立III族氮化物基板相比，存在如下問題：為了製造III族氮化物半導體裝置而使III族氮化物層成長於基板上時，基板之主面上的溫度不均容易變大，故而若增大基板之直徑，則難以提高所製造之半導體裝置之良率。

參考發明II之目的在於解決上述問題並提供一種降低製造半導體

裝置時之成本、可以較高之良率製造III族氮化物半導體裝置、成本較低、大口徑、III族氮化物膜較厚、III族氮化物層成長時主面上之溫度分佈(即不均，以下相同)較小的III族氮化物複合基板與其製造方法、積層III族氮化物複合基板、及III族氮化物半導體裝置與其製造方法。

[解決問題之手段]

根據某一態樣，參考發明II係一種III族氮化物複合基板，其係使支撐基板及厚度為 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $250\text{ }\mu\text{m}$ 以下之III族氮化物膜貼合之直徑為 75 mm 以上者，且支撐基板側之主面之均方根粗糙度之平均值 m_s 為 0.3 nm 以上 20 nm 以下，支撐基板側之主面之均方根粗糙度之標準偏差 s_s 與均方根粗糙度之平均值 m_s 的比 s_s/m_s 為 0.005 以上 0.4 以下。

於根據參考發明II之上述態樣之III族氮化物複合基板中，可將III族氮化物膜側之主面之均方根粗糙度之平均值 $m_{\text{III-N}}$ 設為 0.15 nm 以上 3 nm 以下，將III族氮化物膜側之主面之均方根粗糙度之標準偏差 $s_{\text{III-N}}$ 與平均值 $m_{\text{III-N}}$ 的比 $s_{\text{III-N}}/m_{\text{III-N}}$ 設為 0.008 以上 0.5 以下。另外，可將支撐基板側之主面之翹曲 W 與直徑 D 的比 W/D 設為 -7×10^{-4} 以上 8×10^{-4} 以下。另外，可將III族氮化物膜之熱膨脹係數 $\alpha_{\text{III-N}}$ 與支撐基板之熱膨脹係數 α_s 的比 $\alpha_{\text{III-N}}/\alpha_s$ 設為 0.75 以上 1.25 以下，將III族氮化物膜之厚度 $t_{\text{III-N}}$ 與支撐基板之厚度 t_s 的比 $t_{\text{III-N}}/t_s$ 設為 0.02 以上 1 以下。另外，可將支撐基板之熱導率 λ_s 設為 $3\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ 以上 $280\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ 以下。另外，可將支撐基板之楊式模數 E_s 設為 150 GPa 以上 500 GPa 以下。另外，可將直徑設為 100 mm 以上。進而，可將直徑設為 125 mm 以上 300 mm 以下。

根據另一態樣，參考發明II係一種積層III族氮化物複合基板，其包括根據上述態樣之III族氮化物複合基板、及配置於III族氮化物複合基板之III族氮化物膜側的主面上之至少1層III族氮化物層。

根據又一態樣，參考發明II係一種積層III族氮化物複合基板，其包括根據上述態樣之III族氮化物複合基板中之III族氮化物膜、及配置於III族氮化物膜上之至少1層III族氮化物層。

根據又一態樣，參考發明II係一種III族氮化物複合基板之製造方法，其係根據上述態樣之III族氮化物複合基板之製造方法，且包括：藉由將支撐基板與III族氮化物膜施體基板貼合而形成直徑為75 mm以上的接合基板之步驟；藉由在位於自接合基板之III族氮化物膜施體基板之貼合主面向內部特定距離的位置之面上切割III族氮化物膜施體基板而形成III族氮化物複合基板之步驟；以及藉由在上述步驟中之任一步驟之前、中途或後，對III族氮化物複合基板之支撐基板側之主面進行研磨而調整支撐基板側之主面的均方根粗糙度之步驟。

根據又一態樣，參考發明II一種III族氮化物複合基板之製造方法，其係根據上述態樣之III族氮化物複合基板之製造方法，且包括：藉由將支撐基板與III族氮化物膜施體基板貼合而形成直徑為75 mm以上的接合基板之步驟；藉由自與接合基板之III族氮化物膜施體基板之貼合主面相反側的主面進行磨削、研磨及蝕刻之至少任一者而形成III族氮化物複合基板之步驟；以及藉由在上述步驟中之任一步驟之前、中途或後，對III族氮化物複合基板之支撐基板側之主面進行研磨而調整支撐基板側之主面的均方根粗糙度之步驟。

根據又一態樣，參考發明II一種III族氮化物複合基板之製造方

法，其包括：準備根據上述態樣之III族氮化物複合基板之步驟；以及使至少1層III族氮化物層成長於III族氮化物複合基板之III族氮化物膜側之主面上之步驟。

根據參考發明II之上述態樣之III族氮化物半導體裝置之製造方法可於使III族氮化物層成長之步驟後，進而包括自III族氮化物複合基板去除支撐基板之步驟。進而，可於使III族氮化物層成長之步驟後，去除支撐基板之步驟前，進而包括於III族氮化物層上貼合裝置支撐基板之步驟。

[參考發明II之效果]

根據參考發明II，可提供一種降低製造半導體裝置時之成本、可以較高之良率製造III族氮化物半導體裝置、成本較低、大口徑、III族氮化物膜較厚、III族氮化物層成長時主面上之溫度分佈較小的III族氮化物複合基板與其製造方法、積層III族氮化物複合基板、及III族氮化物半導體裝置與其製造方法。

[參考形態II-1：III族氮化物複合基板]

參照圖6，作為參考發明II之某一參考形態之III族氮化物複合基板1係貼合有支撐基板11、及厚度為10 μm 以上250 μm 以下之III族氮化物膜13的直徑為75 mm以上之III族氮化物複合基板1，支撐基板11側之主面11n之均方根粗糙度(以下，亦稱為RMS)之平均值 m_s 為0.3 nm以上20 nm以下，支撐基板11側之主面11n之RMS之標準偏差 s_s 與RMS之平均值 m_s 的比 s_s/m_s 為0.005以上0.4以下。

本參考形態之III族氮化物複合基板1由於用以製造III族氮化物半導體裝置之III族氮化物層成長時主面上的溫度分佈(即不均)較小，故

而可使晶體品質較高之III族氮化物層成長，因此可以較高之良率製造高品質之III族氮化物半導體裝置。以下，進行更詳細地說明。

參照圖6及圖8，本參考形態之III族氮化物複合基板1具有於支撐基板11上貼合有III族氮化物膜13之結構，製造III族氮化物半導體裝置時，相當於III族氮化物複合基板1之背面側的支撐基板11側之主面11n以對向之方式配置於具備升溫裝置之基座(未圖示)之主面上，使至少1層III族氮化物層20成長於相當於III族氮化物複合基板1之表面側的III族氮化物膜13側之主面13m上。

本參考形態之III族氮化物複合基板1係其直徑為75 mm以上，貼合於其支撐基板11上之III族氮化物膜13之厚度為10 μm 以上250 μm 以下，支撐基板11側之主面11n的RMS之平均值 m_s 為0.3 nm以上20 nm以下，支撐基板11側之主面11n之RMS之標準偏差 s_s 與RMS之平均值 m_s 的比 s_s/m_s 為0.005以上0.4以下，因此熱量自升溫之基座之主面均勻地傳遞至大口徑III族氮化物複合基板1之背面側即RMS之平均及分佈較小之支撐基板11側的主面11n整體，故而對大口徑III族氮化物複合基板1之整體均勻地加熱。藉此，大口徑III族氮化物複合基板1之表面側即III族氮化物膜13側之主面13m上的溫度分佈變小且變得均勻，因此可使晶體品質較高且均勻之大口徑III族氮化物層20成長於大口徑III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13側之主面13m上，故而可以較佳之良率製造高特性之III族氮化物半導體裝置。

再者，參照圖6，III族氮化物複合基板1中，使支撐基板11與III族氮化物膜13貼合之形態並無特別限定，為了提高貼合之接合強度，較佳為介隔接合膜12。

(III族氮化物膜之厚度)

參照圖6及圖7，本參考形態之III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13之厚度為10 μm 以上250 μm 以下。此處，所謂III族氮化物膜13之厚度，係指自在圖7所示之III族氮化物膜13之主面13m上的13個測定點測得之厚度算出之平均值。無論III族氮化物膜之直徑之大小如何，圖7所示之III族氮化物膜13之主面上之13個測定點P均包括1個中心點P_C、於自該中心點P_C相互成直角之4方向上且位於自外緣向內側5 mm處的4個外側點P_O、以及位於1個中心點P_C與4個外側點P_O之中間之4個點及位於4個外側點P_O彼此之中間之4個點的合計8個中間點P_M。

就使晶體品質較高之III族氮化物層成長之觀點而言，III族氮化物膜13之厚度必需為10 μm 以上，較佳為30 μm 以上，更佳為80 μm 以上，進而較佳為100 μm 以上，就抑制III族氮化物複合基板1之材料成本之觀點而言，必需為250 μm 以下，較佳為200 μm 以下，更佳為180 μm 以下，進而較佳為130 μm 以下。

(III族氮化物複合基板之直徑)

參照圖6，本參考形態之III族氮化物複合基板1之直徑為75 μm 以上。就使自1片複合基板取得半導體裝置之晶片的數量增多之觀點而言，III族氮化物複合基板1之直徑必需為75 mm以上，較佳為100 mm以上，更佳為125 mm以上，進而較佳為150 mm以上。另外，就降低複合基板之翹曲並提高半導體裝置之良率之觀點而言，III族氮化物複合基板1之直徑較佳為300 mm以下，更佳為200 mm以下。

(支撐基板側之主面之RMS)

參照圖6及圖7，本參考形態之III族氮化物複合基板1係支撐基板

11側之主面11n的RMS之平均值 m_s 為0.3 nm以上20 nm以下，支撐基板11側之主面11n之RMS之標準偏差 s_s 與RMS之平均值 m_s 的比 s_s/m_s 為0.005以上0.4以下。

關於III族氮化物複合基板1之背面側即支撐基板11側之主面11n，就使晶體品質較高且均勻之III族氮化物層成長於III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13側之主面13m上之觀點而言，其RMS之平均值 m_s 必需為20 nm以下，較佳為10 nm以下，更佳為5 nm以下，其RMS之標準偏差 s_s 與其RMS之平均值 m_s 的比 s_s/m_s 必需為0.4以下，較佳為0.3以下，更佳為0.2以下。

另外，關於III族氮化物複合基板1之背面側即支撐基板11側之主面11n，就抑制該主面11n之表面處理成本之觀點而言，其RMS之平均值 m_s 必需為0.3 nm以上，較佳為0.5 nm以上，更佳為1 nm以上，其RMS之標準偏差 s_s 與其RMS之平均值 m_s 的比 s_s/m_s 必需為0.005以上，較佳為0.01以上，更佳為0.05以上。

此處，參照圖7，III族氮化物複合基板1之支撐基板11側之主面11n的RMS之平均值 m_s 及標準偏差 s_s 分別為自於支撐基板11之主面11n上之13個測定點P測得的RMS算出之平均值及標準偏差。無論支撐基板11之直徑之大小如何，圖7所示之支撐基板11之主面11n上之13個測定點P均包括1個中心點 P_c 、於自該中心點 P_c 相互成直角之4方向上且位於自外緣向內側5 mm處的4個外側點 P_o 、以及位於1個中心點 P_c 與4個外側點 P_o 之中間之4個點及位於4個外側點 P_o 彼此之中間之4個點的合計8個中間點 P_m 。此處所謂的標準偏差，係指不偏分散之正平方根。

另外，所謂在圖7所示之支撐基板11之主面11n上之13個測定點P測得的RMS，係指自以該測定點P作為中心之 $85\ \mu\text{m} \times 85\ \mu\text{m}$ 見方之大小的測定區域內之各點算出標準平面，自基準平面至各點之距離的均方根之正平方根之值，藉由AFM(原子間力顯微鏡)、光干涉式粗糙度計、雷射顯微鏡、觸針式粗糙度計等而進行測定。

再者，III族氮化物複合基板1之支撐基板11側之主面11n的RMS之平均值 m_s 及標準偏差 s_s 係如下所述，可根據對支撐基板11之主面11n進行研磨時之研磨劑、壓盤及研磨墊之物性、壓盤及研磨墊之形狀、及研磨條件而調整。

(III族氮化物膜側之主面之RMS)

參照圖6及圖7，本參考形態之III族氮化物複合基板1係III族氮化物膜13側之主面13m的RMS之平均值 $m_{\text{III-N}}$ 較佳為 $0.15\ \text{nm}$ 以上 $3\ \text{nm}$ 以下，III族氮化物膜13側之主面13m之RMS之標準偏差 $s_{\text{III-N}}$ 與平均值 $m_{\text{III-N}}$ 的比 $s_{\text{III-N}}/m_{\text{III-N}}$ 較佳為 0.008 以上 0.5 以下。

關於III族氮化物複合基板1之表面側即III族氮化物膜13側之主面13m，就使晶體品質較高且均勻之III族氮化物層成長於其上之觀點而言，其RMS之平均值 $m_{\text{III-N}}$ 較佳為 $3\ \text{nm}$ 以下，更佳為 $2\ \text{nm}$ 以下，進而較佳為 $1.6\ \text{nm}$ 以下，其RMS之標準偏差 $s_{\text{III-N}}$ 與其RMS之平均值 $m_{\text{III-N}}$ 的比 $s_{\text{III-N}}/m_{\text{III-N}}$ 較佳為 0.5 以下，更佳為 0.4 以下，進而較佳為 0.2 以下。

另外，關於III族氮化物複合基板1之表面側即III族氮化物膜13側之主面13m，就抑制該主面13m之表面處理成本之觀點而言，其RMS之平均值 $m_{\text{III-N}}$ 較佳為 $0.15\ \text{nm}$ 以上，更佳為 $0.4\ \text{nm}$ 以上，進而較佳為 $0.8\ \text{nm}$ 以上，其RMS之標準偏差 $s_{\text{III-N}}$ 與其RMS之平均值 $m_{\text{III-N}}$ 的比 $s_{\text{III-N}}$

$/m_{III-N}$ 較佳為0.008以上，更佳為0.02以上，進而較佳為0.05以上。

此處，參照圖7，III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13側之主面13m的RMS之平均值 m_{III-N} 及標準偏差 s_{III-N} 分別為自在III族氮化物膜13之主面13m上之13個測定點P測得之RMS算出之平均值及標準偏差。無論III族氮化物膜13之直徑之大小如何，圖7所示之III族氮化物膜13之主面13m上之13個測定點P均包括1個中心點 P_C 、於自該中心點 P_C 相互成直角之4方向上且位於自外緣向內側5 mm處的4個外側點 P_O 、以及位於1個中心點 P_C 與4個外側點 P_O 之中間之4個點及位於4個外側點 P_O 彼此之中間之4個點的合計8個中間點 P_M 。此處所謂的標準偏差，係指不偏分散之正平方根。

另外，所謂在圖7所示之III族氮化物膜13之主面13m上的13個測定點P測得之RMS，係指自以該測定點P作為中心之 $85\ \mu\text{m} \times 85\ \mu\text{m}$ 見方之大小的測定區域內之各點算出標準平面，自基準平面至各點之距離的均方根之正平方根之值，藉由AFM(原子間力顯微鏡)、光干涉式粗糙度計、雷射顯微鏡、觸針式粗糙度計等而進行測定。

再者，III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13側之主面13m之RMS之平均值 m_{III-N} 及標準偏差 s_{III-N} 係如下所述，可根據對III族氮化物膜13之主面13m進行研磨時之研磨劑、壓盤及研磨墊之物性、壓盤及研磨墊之形狀、及研磨條件而調整。

(支撐基板側之主面之翹曲與直徑的比)

參照圖6，關於本參考形態之III族氮化物複合基板1，支撐基板11側之主面11n之翹曲W與直徑D的比 W/D 較佳為 -7×10^{-4} 以上 8×10^{-4} 以下，更佳為 -4×10^{-4} 以上 5×10^{-4} 以下，進而較佳為 -2.5×10^{-4} 以上 3×10^{-4} 以

下，尤佳為 -1×10^{-4} 以上 1.5×10^{-4} 以下。此處，翹曲W及比W/D之符號係將支撐基板11側之主面11n凹陷者設為+(正)號，將支撐基板11側之主面凸起者設為-(負)號。若III族氮化物複合基板1之支撐基板11側之主面11n之翹曲W與直徑D的比W/D較佳為 -7×10^{-4} 以上 8×10^{-4} 以下、更佳為 -4×10^{-4} 以上 5×10^{-4} 以下、進而較佳為 -2.5×10^{-4} 以上 3×10^{-4} 以下、尤佳為 -1×10^{-4} 以上 1.5×10^{-4} 以下而較小，則使III族氮化物層成長於III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13側之主面13m上時，熱量自升溫之基座之主面均勻地傳遞至大口徑III族氮化物複合基板1的支撐基板11側之主面11n之整體，故而對III族氮化物複合基板1之整體均勻地加熱。藉此，III族氮化物複合基板1之表面側即III族氮化物膜13側之主面13m上的溫度分佈較小且變得均勻，因此可使晶體品質較高且均勻之大口徑III族氮化物層成長於III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13側之主面13m上，故而可以較佳之良率製造高特性之III族氮化物半導體裝置。

(III族氮化物膜之熱膨脹係數與支撐基板之熱膨脹係數的比)

參照圖6，關於本參考形態之III族氮化物複合基板1，就抑制III族氮化物複合基板1及成長其III族氮化物膜13上之III族氮化物層之翹曲及破裂而提高III族氮化物半導體裝置的良率之觀點而言，III族氮化物膜13之熱膨脹係數 α_{III-N} 與支撐基板11之熱膨脹係數 α_S 的比 α_{III-N}/α_S 較佳為0.75以上1.25以下，更佳為0.85以上1.15以下，進而較佳為0.95以上1.05以下。此處，支撐基板11之熱膨脹係數 α_S 及III族氮化物膜13之熱膨脹係數 α_{III-N} 可藉由熱機械分析裝置而進行測定。

(III族氮化物膜之厚度與支撐基板之厚度的比)

參照圖6，關於本參考形態之III族氮化物複合基板1，就抑制III族氮化物複合基板1及成長於其III族氮化物膜13上之III族氮化物層之翹曲及破裂而提高III族氮化物半導體裝置之良率之觀點而言，III族氮化物膜13之厚度 $t_{\text{III-N}}$ 與支撐基板11之厚度 t_s 的比 $t_{\text{III-N}}/t_s$ 較佳為0.02以上1以下，更佳為0.1以上0.6以下，進而較佳為0.2以上0.4以下。此處，支撐基板11之厚度 t_s 及III族氮化物膜13之厚度 $t_{\text{III-N}}$ 可藉由利用光學顯微鏡及/或SEM(Scanning Electron Microscope，掃描式電子顯微鏡)等觀察膜之剖面、數位指示器等而進行測定。

因此，就抑制III族氮化物複合基板1及成長於其III族氮化物膜13上之III族氮化物層之翹曲及破裂而提高III族氮化物半導體裝置的良率之觀點而言，較佳為III族氮化物膜13之熱膨脹係數 $\alpha_{\text{III-N}}$ 與支撐基板11之熱膨脹係數 α_s 的比 $\alpha_{\text{III-N}}/\alpha_s$ 為0.75以上1.25以下且III族氮化物膜之厚度 $t_{\text{III-N}}$ 與支撐基板11之厚度 t_s 的比 $t_{\text{III-N}}/t_s$ 為0.02以上1以下，更佳為比 $\alpha_{\text{III-N}}/\alpha_s$ 為0.85以上1.15以下且比 $t_{\text{III-N}}/t_s$ 為0.1以上0.6以下，進而較佳為比 $\alpha_{\text{III-N}}/\alpha_s$ 為0.95以上1.05以下且比 $t_{\text{III-N}}/t_s$ 為0.2以上0.4以下。
(支撐基板)

本參考形態之III族氮化物複合基板1所含之支撐基板11只要為可支撐III族氮化物膜13者，則並無特別限定，就降低昂貴之III族氮化物的使用量而降低成本之觀點而言，較佳為化學組成與III族氮化物不同之異組成基板。

本參考形態之III族氮化物複合基板1係如上所述，III族氮化物膜13之熱膨脹係數 $\alpha_{\text{III-N}}$ 與支撐基板11之熱膨脹係數 α_s 的比 $\alpha_{\text{III-N}}/\alpha_s$ 較佳為0.75以上1.25以下。

本參考形態之III族氮化物複合基板1之支撐基板11之熱導率 λ_s 較佳為 $3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以上 $280 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以下，更佳為 $5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以上 $210 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以下，進而較佳為 $10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以上 $120 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以下。此處，支撐基板11之熱導率 λ_s 可藉由雷射閃光法而進行測定。具有熱導率 λ_s 較佳為 $3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以上、更佳為 $5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以上、進而較佳為 $10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以上之支撐基板11之III族氮化物複合基板1於使III族氮化物層成長時，可將來自基座之主面的熱量高效地傳遞至III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13之主面13m。具有熱導率 λ_s 較佳為 $280 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以下、更佳為 $210 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以下、進而較佳為 $120 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以下、尤佳為 $50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以下之支撐基板11之III族氮化物複合基板1於使III族氮化物層成長時，可將來自基座之主面的熱量均勻地傳遞至III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13之主面整體。與使用熱導率 λ_s 約 $300 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 之SiC基板作為支撐基板之情形相比，熱導率 λ_s 為 $280 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以下之支撐基板11於使III族氮化物層成長時，可將來自基座之主面的熱量均勻地傳遞至III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13之主面整體。

本參考形態之III族氮化物複合基板1之支撐基板11之楊式模數 E_s 較佳為150 GPa以上500 GPa以下，更佳為200 GPa以上350 GPa以下。此處，支撐基板11之楊式模數 E_s 可藉由共振法而進行測定。具有楊式模數 E_s 較佳為150 GPa以上、更佳為200 GPa以上之支撐基板11之III族氮化物複合基板1於使III族氮化物層成長於其上而形成III族氮化物半導體裝置時，可抑制III族氮化物複合基板1及/或III族氮化物層產生

翹曲。具有楊式模數 E_s 較佳為500 GPa以下、更佳為350 GPa以下之支撐基板11之III族氮化物複合基板1於使III族氮化物層成長於其上而形成III族氮化物半導體裝置時，可抑制III族氮化物複合基板1及/或III族氮化物層產生破裂及/或裂痕。

支撐基板11並無特別限定，就上述觀點而言，較佳為滿足III族氮化物膜13之熱膨脹係數 α_{III-N} 與支撐基板11之熱膨脹係數 α_s 的比 α_{III-N}/α_s 為0.75以上1.25以下、支撐基板11之熱導率 λ_s 為3 W·m⁻¹·K⁻¹以上280 W·m⁻¹·K⁻¹以下、及支撐基板11之楊式模數 E_s 為150 GPa以上500 GPa以下之至少任一者，例如，較佳為藉由莫來石(3Al₂O₃·2SiO₂～2Al₂O₃·SiO₂)、莫來石-YSZ(氧化釔穩定化氧化鋯)、尖晶石(MgAl₂O₄)、Al₂O₃-SiO₂系複合氧化物之燒結體、及於該等中添加有氧化物、碳酸鹽等之燒結體而形成的基板、鉬(Mo)基板、鎢(W)基板等較佳為。此處，氧化物、碳酸鹽中所含之元素可較佳地列舉Ca、Mg、Sr、Ba、Al、Sc、Y、Ce、Pr、Si、Ti、Zr、V、Nb、Ta、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn等。

支撐基板11可包含單晶、多晶及非晶體之任一者，就形成裝置時容易利用磨削或蝕刻將其去除，可維持能夠抑制翹曲或破裂之強度之觀點而言，較佳為包含多晶。

(接合膜)

參照圖6，可包含於本參考形態之III族氮化物複合基板1中之接合膜12只要為可將支撐基板11與III族氮化物膜13接合者，則並無特別限定，就支撐基板11與III族氮化物膜13之接合性較高之觀點而言，較佳為SiO₂膜、Si₃N₄膜、TiO₂膜、Ga₂O₃膜等。

(III族氮化物膜)

參照圖6，本參考形態之III族氮化物膜13為由III族氮化物所形成之膜，可列舉GaN膜、AlN膜等 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 膜($0 \leq x$ 、 $0 \leq y$ 、 $x + y \leq 1$)等。

III族氮化物膜13之厚度係如上所述，就形成高特性之III族氮化物半導體裝置之觀點而言，必需為10 μm 以上，較佳為30 μm 以上，更佳為80 μm 以上，進而較佳為100 μm 以上。另外，III族氮化物膜13之厚度係如上所述，就降低昂貴之III族氮化物之使用量之觀點而言，為250 μm 以下，較佳為200 μm 以下，更佳為180 μm 以下，進而較佳為130 μm 以下。

就獲得良好特性之半導體裝置之觀點而言，III族氮化物膜13之晶體結構較佳為纖鋅礦型結構。III族氮化物膜13之主面最近似之上述特定面方位只要為適合於所需之半導體裝置者，則並無限制，亦可為{0001}、{10-10}、{11-20}、{21-30}、{20-21}、{10-11}、{11-22}、{22-43}、及自該等各面方位偏離 15° 以下之(偏移 15° 以下之角度之)面方位。另外，亦可為該等各面方位之面的背面之面方位及自此種背面之面方位偏離 15° 以下之面方位。即，III族氮化物膜13之主面13m可為極性面、非極性面及半極性面之任一者。另外，III族氮化物膜13之主面13m，就大口徑化較容易之觀點而言，較佳為{0001}面及其背面，就抑制所獲得之發光裝置之藍移之觀點而言，較佳為{10-10}面、{20-21}面及該等之背面。

就提高成長於III族氮化物膜13上之III族氮化物層之晶體品質並提高所形成之半導體裝置的特性之觀點而言，III族氮化物膜13之主面

13m之雜質金屬原子較佳為 1×10^{13} 原子/cm²以下，更佳為 3×10^{12} 原子/cm²以下，進而較佳為 1×10^{12} 原子/cm²以下，尤佳為 1×10^{11} 原子/cm²以下。

包含莫來石($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \sim 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$)、莫來石-YSZ(氧化釔穩定化氧化鋯)、尖晶石(MgAl_2O_4)、 Al_2O_3 - SiO_2 系複合氧化物之燒結體等基板作為支撐基板11之III族氮化物複合基板1較佳為藉由抑制金屬原子自支撐基板11溶出之洗淨、例如使用界面活性劑及/或純水之擦洗式洗淨、二流體洗淨或超高頻音波洗淨(使用500 kHz $\sim$ 5 MHz之超高頻音波頻帶之頻率的超音波之洗淨)、及使用低濃度酸及/或鹼之單片式洗淨等單面(該單面為III族氮化物膜13之主面13m)洗淨等而降低III族氮化物膜13之主面13m的雜質金屬原子之濃度。另外，亦可於支撐基板側形成保護膜而抑制金屬原子之溶出。

另外，就提高成長於III族氮化物膜13上之III族氮化物層之晶體品質並提高所形成之半導體裝置之特性之觀點而言，III族氮化物膜13之主面13m之除雜質金屬原子以外之雜質係C1原子較佳為 2×10^{14} 原子/cm²以下，Si原子較佳為 9×10^{13} 原子/cm²以下。III族氮化物膜13之錯位密度並無特別限定，就降低半導體裝置之洩漏電流之觀點而言，較佳為 1×10^8 cm⁻²以下，更佳為 1×10^7 cm⁻²以下。III族氮化物膜13之載子濃度並無特別限定，就降低半導體裝置之電阻之觀點而言，較佳為 1×10^{17} cm⁻³以上，更佳為 1×10^{18} cm⁻³以上。

[參考形態II-2：積層III族氮化物複合基板]

參照圖8，作為參考發明II之另一參考形態之積層III族氮化物複合基板2包括參考形態II-1之III族氮化物複合基板1、及配置於III族氮

化物複合基板1之III族氮化物膜13側之主面13m上的至少1層III族氮化物層20。

本參考形態之積層III族氮化物複合基板2由於包括支撐基板11側之主面11n之RMS的平均值 m_s 及標準偏差 s_s 較小之III族氮化物複合基板1、及以成長於其上之方式配置之晶體品質較高之III族氮化物層20，故而可以較佳之良率製作高特性之半導體裝置。

本參考形態之積層III族氮化物複合基板2中，配置於III族氮化物膜13側之主面13m上的III族氮化物層20根據所製作之半導體裝置之種類而不同。參照圖9，於製作作為半導體裝置之發光裝置之情形時，III族氮化物層20例如可包括n-GaN層21、n-In_{0.05}Ga_{0.95}N層22、具有多重量子井結構之活性層23、p-Al_{0.09}Ga_{0.91}N層24、及p-GaN層25。參照圖10，於製作作為半導體裝置之電子裝置之1例即HEMT(高電子遷移率電晶體)之情形時，III族氮化物層20例如可包括GaN層26、Al_{0.2}Ga_{0.8}N層27。參照圖11，於製作作為半導體裝置之電子裝置之另一例即SBD(肖特基勢壘二極體)之情形時，III族氮化物層20例如可包括n⁺-GaN層28(載子濃度例如為 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)、n⁻-GaN層29(載子濃度例如為 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$)。

[參考形態II-3：III族氮化物半導體裝置]

圖9～參照圖11，作為參考發明II之又一參考形態之III族氮化物半導體裝置4包括參考形態II-1之III族氮化物複合基板中之III族氮化物膜13、及配置於III族氮化物膜13上之至少1層III族氮化物層20。

本參考形態之III族氮化物半導體裝置4包括支撐基板11側之主面11n之RMS的平均值 m_s 及標準偏差 s_s 較小之III族氮化物複合基板1中之

III族氮化物膜13、及以成長於其上之方式配置之晶體品質較高之III族氮化物層20，故而具有較高之特性。

III族氮化物半導體裝置4之III族氮化物層20根據III族氮化物半導體裝置4之種類而不同。參照圖9，於III族氮化物半導體裝置4為發光裝置之情形時，III族氮化物層20例如可包括n-GaN層21、n-In_{0.05}Ga_{0.95}N層22、具有多重量子井結構之活性層23、p-Al_{0.09}Ga_{0.91}N層24、及p-GaN層25。參照圖10，於III族氮化物半導體裝置4為電子裝置之1例即HEMT之情形時，III族氮化物層20例如可包括GaN層26、Al_{0.2}Ga_{0.8}N層27。參照圖11，於III族氮化物半導體裝置4為電子裝置之另一例即SBD之情形時，III族氮化物層20例如可包括n⁺-GaN層28(載子濃度例如為 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)、n⁻-GaN層29(載子濃度例如為 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$)。作為電子裝置之又一例，可列舉PND(PN二極體)、電晶體等。再者，上述半導體裝置可為立式，亦可為臥式。

參照圖9，III族氮化物半導體裝置4較佳為進而包括用以支撐III族氮化物層20之支撐基板11及裝置支撐基板40中之至少一者。此處，裝置支撐基板40之形狀並不限於平板形狀，只要可支撐III族氮化物膜13及III族氮化物層20而形成III族氮化物半導體裝置4，則可採用任意之形狀。

[參考形態II-4：III族氮化物複合基板之製造方法]

(參考形態II-4-1：III族氮化物複合基板之某一製造方法)

參照圖12及圖13，作為參考發明II之又一參考形態之III族氮化物複合基板之製造方法係參考形態II-1之III族氮化物複合基板1之製造方法，且包括：藉由將支撐基板11與III族氮化物膜施體基板13D貼合

而形成直徑為75 mm以上的接合基板1L、1LS之步驟(圖12(A)~(C)、圖13(A)~(C))；藉由在位於自接合基板1L、1LS之III族氮化物膜施體基板13D之貼合主面向內部特定距離的位置之面切割III族氮化物膜施體基板13D而形成III族氮化物複合基板1之步驟(圖12(D)、圖13(D))；以及藉由在上述步驟中之任一步驟之前、中途或後，對III族氮化物複合基板1之支撐基板11側之主面11n進行研磨而調整支撐基板11側之主面11n的RMS之步驟。

根據本參考形態之III族氮化物複合基板1之製造方法，可高效地製造可以較高之良率製造III族氮化物半導體裝置、成本較低、大口徑、III族氮化物膜較厚、III族氮化物層成長時主面上之溫度分佈較小的III族氮化物複合基板1。

此處，於形成III族氮化物複合基板1之步驟中，切割III族氮化物膜施體基板13D時之位於自III族氮化物膜施體基板13D之貼合主面向內部特定距離的位置之面上之特定距離根據所製造之目標III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13之厚度而決定。

另外，於形成III族氮化物複合基板1之步驟中，切割III族氮化物膜施體基板13D而形成III族氮化物膜13後，自與III族氮化物膜13之貼合主面13n相反側之主面13m進行磨削、研磨及蝕刻之至少任一者，藉此可降低III族氮化物膜13之厚度。尤其是，就降低藉由切割III族氮化物膜施體基板13D而形成之III族氮化物膜13的厚度分佈(即不均)之觀點而言，較佳為對由切割所獲得之III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13之主面進行研磨。就降低III族氮化物膜13之厚度分佈之觀點而言，研磨方法較佳為利用CMP(化學機械研磨)、化學研磨等之精

密研磨。

就上述觀點而言，切割III族氮化物膜施體基板13D時之位於自III族氮化物膜施體基板13D之貼合主面13n向內部特定距離的位置之面上之特定距離較佳為設為將研磨裕度(Abrasive margin)之厚度加上所製造之目標III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13之厚度而獲得之距離。

於本參考形態之III族氮化物複合基板1之製造方法中，在位於自接合基板1L、1LS之III族氮化物膜施體基板13D之貼合主面13n向內部特定距離的位置之面上切割III族氮化物膜施體基板13D而形成III族氮化物膜13，較佳為自與III族氮化物膜13之貼合主面13n相反側之主面13m進行磨削、研磨及蝕刻之至少任一者，藉此較少其厚度而進行調整，獲得包含10 μm 以上250 μm 以下之所需厚度之III族氮化物膜13的III族氮化物複合基板1。

再者，於本參考形態之III族氮化物複合基板1之製造方法中，就於形成III族氮化物複合基板之步驟中提昇切割III族氮化物膜施體基板13D時之作業性及效率之觀點而言，所使用之III族氮化物膜施體基板13D之厚度較佳為大於500 μm ，更佳為1 mm以上，進而較佳為2 mm以上。

(接合基板之形成步驟)

參照圖12(A)～(C)及圖13(A)～(C)，形成接合基板1L、1LS之步驟包括：於支撐基板11之主面11m上形成接合膜12a之子步驟(圖12(A)、圖13(A))；於III族氮化物膜施體基板13D之主面13n上形成接合膜12b之子步驟(圖12(B)、圖13(B))；以及將形成於支撐基板11之主

面11m上的接合膜12a之主面12am與形成於III族氮化物膜施體基板13D之主面13n上的接合膜12b之主面12bn貼合之子步驟(圖12(C)、圖13(C))。

參照圖12(A)及圖13(A)，於支撐基板11之主面11m上形成接合膜12a之子步驟中，接合膜12a係與下述接合膜12b一體化而形成接合膜12者，且利用與接合膜12同樣之材料而形成。另外，形成接合膜12a之方法只要適合於該接合膜12a之形成，則並無特別限定，就有效地形成品質較佳之接合膜12a之觀點而言，較佳為濺鍍法、CVD(化學氣相堆積)法、PLD(脈衝雷射堆積)法、MBE(分子束成長)法、電子束蒸鍍法等。就提高接合膜之品質並且提高成膜速度之觀點而言，尤佳為CVD。此處，CVD中，就可於低溫下成膜且成膜速度較高之觀點而言，進而較佳為P-CVD(電漿-化學氣相堆積)法、PE-CVD(電漿輔助-化學氣相堆積)法等，就提高膜質且容易大量製造之觀點而言，進而較佳為LP-CVD(減壓-化學氣相堆積)法等，就成膜速度進而較高且生產性優異之觀點而言，進而較佳為AP-CVD(常壓-化學氣相堆積)法等。

進而，為了提昇接合強度，可於形成接合膜12a、12b後且接合前進行退火。藉由此種退火，可自接合膜12a、12b脫氣而使接合膜12a、12b緻密化。

進而，就提高支撐基板11與III族氮化物膜施體基板13D之接合強度之觀點而言，接合膜12a較佳為將其主面12am研磨成鏡面(例如，RMS為0.3 nm以下之鏡面)。對接合膜12a之主面12am進行研磨之方法並無特別限定，例如可使用CMP(化學機械研磨)等。就提高接合強度

之觀點而言，為了提昇接合膜之淨化度，可於CMP後利用不含研磨粒之溶液實施無研磨粒拋光。為了提高研磨粒之去除效果，可利用KOH、TMAH(氫氧化四甲基銨)等鹼、HCl、HNO₃、H₂SO₄等酸實施無研磨粒拋光。另外，就提高接合強度之觀點而言，為了提昇接合膜之淨化度，可利用海棉、毛刷等實施擦洗式洗淨。另外，亦可較佳地實施二流體洗淨、超高頻音波洗淨、超音波洗淨等。

參照圖12(B)及圖13(B)，於III族氮化物膜施體基板13D之主面13n上形成接合膜12b之子步驟中，III族氮化物膜施體基板13D係於其後之子步驟中提供III族氮化物膜13之施體基板。準備此種III族氮化物膜施體基板13D之方法並無特別限定，就獲得晶體品質較佳之III族氮化物膜施體基板13D之觀點而言，較佳為HVPE(氮化物氣相成長)法、MOVPE(有機金屬氣相成長)法、MBE(分子束成長)法、昇華法等氣相法、通量法、高氮壓溶液法、氮熱法等液相等。以此種方法準備之III族氮化物膜施體基板13D並無特別限定，就提供晶體品質較佳之III族氮化物膜13之觀點而言，較佳為具有與應提供之III族氮化物膜13相同程度之晶體品質。

形成接合膜12b之材料與方法、及其主面12bn之研磨分別與上述形成接合膜12a之材料與方法、及其主面12am之研磨相同。

參照圖12(C)及圖13(C)，將形成於支撐基板11之主面11m上的接合膜12a之主面12am與形成於III族氮化物膜施體基板13D之主面13n上的接合膜12b之主面12bn貼合之子步驟中，其貼合方法並無特別限定，較佳為如下方法：將貼合面洗淨並直接貼合後，升溫至600℃～1200℃左右而接合之直接接合法；將貼合面洗淨並利用電漿或離子等

進行活化處理後，在室溫(例如25℃)～400℃左右之低溫環境下接合之表面活化接合法；利用藥液及純水對貼合面進行洗淨處理後，施加0.1 MPa～10 MPa左右之高壓而接合之高壓接合法；利用藥液及純水對貼合面進行洗淨處理後，於 10^{-6} Pa～ 10^{-3} Pa左右之高真空環境下接合之高真空接合法等。上述任一接合法均可藉由在該等之接合後升溫至600℃～1200℃左右而進一步提高接合強度。尤其是表面活化接合法、高壓接合法及高真空接合法，藉由在該等之接合後升溫至600℃～1200℃左右而提高接合強度之效果較大。

藉由上述貼合，接合膜12a與接合膜12b藉由接合而一體化，形成接合膜12，支撐基板11與III族氮化物膜施體基板13D介隔接合膜12而接合，形成接合基板1L、1LS。

如上所述，藉由在貼合前使接合膜12a、12b之貼合面即主面12am、12bn活化，可提高接合強度。貼合面即主面12am、12bn之活化並無特別限定，就活化效果較高之觀點而言，較佳為藉由電漿處理、離子處理、利用藥液之化學處理、洗淨處理、CMP處理等而進行。

(III族氮化物複合基板之形成步驟)

參照圖12(D)及圖13(D)，於形成III族氮化物複合基板1之步驟中，藉由在位於自接合基板1L、1LS之III族氮化物膜施體基板13D之貼合面即主面13n向內部特定距離的位置之面切割III族氮化物膜施體基板13D而形成III族氮化物複合基板1，其分割成介隔接合膜12接合於支撐基板11上之III族氮化物膜13與剩餘之III族氮化物膜施體基板13Dr，使支撐基板11與III族氮化物膜13介隔接合膜12而貼合。

切割III族氮化物膜施體基板13D之方法並無特別限定，可列舉線鋸、片鋸、雷射加工、放電加工、水噴注等方法。

於利用線鋸切割III族氮化物膜施體基板13D之情形時，為了平坦地切割大口徑之III族氮化物膜施體基板13D，較佳為使用固定研磨粒線，為了降低切割裕度(Breakage margin)，較佳為使用細線。為了降低切割裕度，較佳為游離研磨粒方式。另外，於利用線鋸切割III族氮化物膜施體基板13D時，為了降低由切割電阻所引起之線之彎曲並提高厚度之精度及平坦性，較佳為增加線之張力並增加線速。因此，較佳為高剛性之線鋸裝置。

另外，為了降低切割電阻並提高厚度之精度及平坦性，較佳為搖動線並同時振動III族氮化物膜施體基板13D。具體而言，線鋸位於相對於III族氮化物膜施體基板13D之切割之進行方向而垂直或接近垂直之角度的位置時，III族氮化物膜施體基板13D向切割之進行方向移動，線鋸位於相對於III族氮化物膜施體基板13D之切割之進行方向而遠離垂直之角度的位置時，III族氮化物膜施體基板13D向切割之進行方向的相反方向移動，藉此可降低切割電阻。

再者，GaN等III族氮化物由於與藍寶石及SiC等相比更脆而容易破裂，故而無法利用與藍寶石及SiC同樣之切割方法良好地切割。於III族氮化物之切割中，必需進一步降低其切割電阻。為了降低切割電阻並提高厚度之精度及平坦性，較佳為利用切片用加工液之黏度 η (單位：Pa·s)、加工液之流量 Q (單位： m^3/s)、線速速度 V (單位：m/s)、最大切割長度 L (單位：m)、切割速度 P (單位：m/s)、及同時切割數 n 而使 $R = (\eta \times Q \times V) / (L \times P \times n)$ 所表示之電阻係數 R (單位：N)於適當之範

圍內，具體而言，較佳為4000 N以上5000 N以下。

由切割所獲得之III族氮化物複合基板1藉由對其III族氮化物膜13及支撐基板11之主面進行研磨，可獲得所需之厚度及其均勻性。具體而言，關於III族氮化物複合基板1對研磨時之研磨裝置之貼附，可進行吸附固定、利用背墊之固定。另外，將III族氮化物複合基板1貼附於保持板上之後，亦可貼附於研磨裝置上。藉由真空夾盤、氣囊加壓、鉛垂等之機械加壓，可抑制傾斜並矯正翹曲而進行貼附。亦可對III族氮化物複合基板1進行吸附固定。藉由將III族氮化物複合基板1均勻地貼附於研磨裝置上，可降低研磨後之厚度分佈。另外，藉由根據研磨壓盤、焊墊之形狀控制貼附形狀，可降低研磨後之厚度分佈。

如上所述，於本參考形態之III族氮化物複合基板之製造方法中，就降低III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13之厚度分佈，並且去除由III族氮化物膜13之切割所產生的損害層，將晶體品質維持於較高，使主面平滑化之觀點而言，較佳為對由切割所獲得之III族氮化物複合基板1的III族氮化物膜13之主面13m進行研磨。

因此，於本參考形態之III族氮化物複合基板之製造方法中，位於自切割接合基板1L、1LS之III族氮化物膜施體基板13D之面即III族氮化物膜施體基板13D之貼合主面13n向內部特定距離的位置之面上之特定距離，較佳為設為將研磨裕度(Abrasive margin)之厚度加上所製造之目標III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13的厚度而獲得之距離。此處，研磨裕度並無特別限定，降低厚度分佈且去除損害層之觀點而言，較佳為10 μm 以上，更佳為20 μm 以上，進而較佳為30 μm 以上。另外，就降低III族氮化物膜施體基板13D之材料損失之觀點而

言，研磨裕度較佳為100 μm 以下，更佳為80 μm 以下，進而較佳為60 μm 以下。

另外，參照圖12(D)及(B)及圖13(D)及(B)，剩餘之III族氮化物膜施體基板13Dr可藉由對其主面進行研磨而反覆使用。

(附帶支撐體之III族氮化物膜施體基板之利用)

參照圖13(B)～(D)，可使用在III族氮化物膜施體基板13D上貼附有III族氮化物膜施體基板支撐體15的附帶支撐體之III族氮化物膜施體基板5D，以與上述相同之方式製造III族氮化物複合基板1。附帶支撐體之III族氮化物膜施體基板5D藉由III族氮化物膜施體基板支撐體15而支撐III族氮化物膜施體基板13D，故而即便III族氮化物膜施體基板13D薄至無法獨立之程度，亦可反覆使用。

於附帶支撐體之III族氮化物膜施體基板5D中，III族氮化物膜施體基板支撐體15與III族氮化物膜施體基板13D之貼合形態並無特別限定，為了提高由貼合所產生之接合強度，較佳為介隔接合膜14。另外，III族氮化物膜施體基板支撐體15並無特別限定，就支撐強度較高且防止破裂及翹曲之產生之觀點而言，較佳為藉由與支撐基板11相同物性之材料而形成。接合膜14並無特別限定，就III族氮化物膜施體基板支撐體15與III族氮化物膜施體基板13D之接合性較高之觀點而言，較佳為 SiO_2 膜、 Si_3N_4 膜、 TiO_2 膜、 Ga_2O_3 膜等。

(III族氮化物複合基板之支撐基板側之主面的均方根粗糙度之調整步驟)

本參考形態之III族氮化物複合基板1之製造方法包括：藉由在上述步驟中之任一步驟之前、中途或後，對III族氮化物複合基板1之支

撐基板11側之主面11n進行研磨而調整支撐基板11側之主面11n的RMS之步驟。藉由調整該III族氮化物複合基板1之支撐基板11側之主面11n的RMS，可將支撐基板11側之主面11n之RMS之平均值 m_s 設為0.3 nm以上20 nm以下，將支撐基板11側之主面11n之RMS之標準偏差 s_s 與RMS之平均值 m_s 的比 s_s/m_s 設為0.005以上0.4以下。

此處，支撐基板11側之主面11n之RMS之平均值 m_s 可根據研磨劑之黏度、研磨粒尺寸、壓盤或研磨墊之材質及表面形狀、及研磨條件而進行控制。為了減小RMS之平均值 m_s ，與水性相比，研磨劑較佳為油性，研磨劑之黏度較佳為較高，研磨粒徑較佳為較小，壓盤及研磨墊較佳為軟質。壓盤及研磨墊之表面形狀較佳為形成有用以去除污泥之溝槽的形狀。此處，所謂用以去除污泥之溝槽，係指為了排除並去除研磨界面之污泥及/或凝集研磨粒而形成的寬度相對較寬且間距較寬之溝槽。作為研磨條件，較佳為低壓力、低周速。

另外，為了控制支撐基板11側之主面11n之RMS之標準偏差 s_s 與RMS之平均值 m_s 的比 s_s/m_s ，較佳為利用研磨液之黏度 η (單位：mPa·s)、流量 Q (單位：m³/s)、壓盤之面積 S (單位：m²)、研磨壓力 P (單位：kPa)、周速 V (單位：m/s)而將 $FE = \eta \times Q \times V / S \times P$ 之式所定義之作用係數 FE (單位：m²/s)設為特定範圍，具體而言設為 4×10^{-17} 以上 1×10^{-16} 以下。另外，作為壓盤及研磨墊之表面形狀，較佳為形成有用以使研磨劑均勻化之溝槽的形狀。此處，所謂用以使研磨劑均勻化之溝槽，係指為了將研磨劑均勻地保持於基板之中央部而形成的寬度相對較窄且間距較窄之溝槽。

(III族氮化物複合基板之III族氮化物膜側之主面的RMS之調整步驟)

本參考形態之III族氮化物複合基板1之製造方法較佳為包括：藉由在形成III族氮化物複合基板之步驟後，對III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13側之主面13m進行研磨而調整III族氮化物膜13側之主面13m的RMS之步驟。藉由調整該III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13側之主面13m的RMS之步驟，可將III族氮化物膜13側之主面13m之RMS之平均值 m_{III-N} 設為0.15 nm以上3 nm以下，將III族氮化物膜13側之主面13m之RMS之標準偏差 s_{III-N} 與RMS之平均值 m_{III-N} 的比 s_{III-N}/m_{III-N} 設為0.008以上0.5以下。

此處，III族氮化物膜13側之主面13m之RMS之平均值 m_s 可根據研磨劑之黏度、研磨粒尺寸、壓盤或研磨墊之材質及表面形狀、以及研磨條件而進行控制。為了減小RMS之平均值 m_{III-N} ，研磨劑之黏度較佳為較高，研磨粒徑較佳為較小，壓盤及研磨墊較佳為軟質。壓盤及研磨墊之表面形狀較佳為形成有用以去除污泥之溝槽的形狀。作為研磨條件，較佳為低壓力、低周速。

另外，III族氮化物膜13側之主面13m之RMS之標準偏差 s_{III-N} 與RMS之平均值 m_{III-N} 的比 s_{III-N}/m_{III-N} 較佳為利用研磨液之黏度 η (單位： $\text{mPa} \cdot \text{s}$)、流量 Q (單位： m^3/s)、壓盤之面積 S (單位： m^2)、研磨壓力 P (單位： kPa)、周速 V (單位： m/s)而將 $FE = \eta \times Q \times V / S \times P$ 之式所定義之作用係數 FE (單位： m^2/s)設為特定範圍，具體而言，設為 4×10^{-14} 以上 1×10^{-13} 以下。另外，作為壓盤及研磨墊之表面形狀，較佳為形成有用以使研磨劑均勻化之溝槽的形狀。

(參考形態II-4-2：III族氮化物複合基板之另一製造方法)

參照圖14，作為參考發明II之又一參考形態之III族氮化物複合基

板之製造方法係參考形態II-1之III族氮化物複合基板1之製造方法，且包括：藉由將支撐基板11與III族氮化物膜施體基板13D貼合而形成直徑為75 mm以上之形成接合基板1L之步驟(圖14(A)~(C))；藉由自與接合基板1L之III族氮化物膜施體基板13D之貼合主面相反側的主面進行磨削、研磨及蝕刻之至少任一者而形成III族氮化物複合基板1之步驟(圖14(D))；以及藉由在上述步驟中之任一步驟之前、中途或後，對III族氮化物複合基板之支撐基板側之主面進行研磨而調整支撐基板側之主面的RMS之步驟。

根據本參考形態之III族氮化物複合基板1之製造方法，可高效地製造可以較高之良率製造III族氮化物半導體裝置、成本較低、大口徑、III族氮化物膜較厚、III族氮化物層成長時主面上之溫度分佈較小的III族氮化物複合基板1。

於本參考形態之III族氮化物複合基板1之製造方法中，自與III族氮化物膜施體基板13D之貼合主面相反側的主面進行磨削、研磨及蝕刻之至少任一者，藉此減少其厚度而進行調整，獲得包含10 μm 以上250 μm 以下之所需厚度之III族氮化物膜13的III族氮化物複合基板1。

再者，於本參考形態之III族氮化物複合基板1之製造方法中，為了在形成III族氮化物複合基板之步驟中自與III族氮化物膜施體基板之貼合主面相反側的主面進行磨削、研磨及蝕刻之至少任一者，就降低III族氮化物膜施體基板13D之材料損失之觀點而言，所使用之III族氮化物膜施體基板13D之厚度較佳為500 μm 以下，更佳為400 μm 以下。

(接合基板之形成步驟)

參照圖14(A)~(C)，形成接合基板1L之步驟係與參考形態4之III族氮化物複合基板之製造方法同樣，包括：於支撐基板11之主面11m上形成接合膜12a之子步驟(圖14(A))；於III族氮化物膜施體基板13D之主面13n上形成接合膜12b之子步驟(圖14(B))；以及將形成於支撐基板11之主面11m上的接合膜12a之主面12am與形成於III族氮化物膜施體基板13D之主面13n上的接合膜12b之主面12bn貼合之子步驟(圖14(C))。

此處，圖14(A)所示之於支撐基板11之主面11m上形成接合膜12a之子步驟係與圖12(A)所示之於支撐基板11之主面11m上形成接合膜12a之子步驟同樣。圖14(B)所示之於III族氮化物膜施體基板13D之主面13n上形成接合膜12b之子步驟係與圖12(B)所示之於III族氮化物膜施體基板13D之主面13n上形成接合膜12b之子步驟同樣。圖14(C)所示之將形成於支撐基板11之主面11m上的接合膜12a之主面12am與形成於III族氮化物膜施體基板13D之主面13n上的接合膜12b之主面12bn貼合之子步驟係與圖12(C)所示之將形成於支撐基板11之主面11m上的接合膜12a之主面12am與形成於III族氮化物膜施體基板13D之主面13n上的接合膜12b之主面12bn貼合之子步驟同樣。因此，不重複該等之說明。

(III族氮化物複合基板之形成步驟)

參照圖14(D)，於形成III族氮化物複合基板1之步驟中，自與接合基板1L之III族氮化物膜施體基板13D之貼合主面13n相反側的主面13m進行磨削、研磨及蝕刻之至少任一者，藉此自III族氮化物膜施體基板13D形成其厚度減少之III族氮化物膜13，形成使支撐基板11與III族氮

化物膜13介隔接合膜12而貼合之III族氮化物複合基板1。

對III族氮化物膜施體基板13D進行磨削之方法並無特別限定，可列舉使用磨石及研磨粒之任一者之磨削等。對III族氮化物膜施體基板13D進行研磨之方法並無特別限定，可列舉機械研磨等粗研磨、CMP、化學研磨等精密研磨等。對III族氮化物膜施體基板13D進行蝕刻之方法並無特別限定，可列舉使用藥液之濕式蝕刻、RIE(反應性離子蝕刻)等乾式蝕刻等。

另外，就降低所形成之III族氮化物膜13之厚度分佈之觀點而言，較佳為對由磨削及蝕刻之至少任一者所獲得的III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13之主面13m進行研磨。就降低厚度分佈且去除損害層之觀點而言，由磨削、研磨及蝕刻之至少任一者所產生之厚度減少量較佳為10 μm 以上，更佳為20 μm 以上，進而較佳為30 μm 以上。另外，就降低III族氮化物膜施體基板13D之材料損失之觀點而言，由磨削、研磨及蝕刻之至少任一者所產生之厚度減少量較佳為100 μm 以下，更佳為80 μm 以下，進而較佳為60 μm 以下。

(III族氮化物複合基板之支撐基板側之主面之RMS之調整步驟)

本參考形態之III族氮化物複合基板1之製造方法包括：藉由在上述步驟中之任一步驟之前、中途或後，對III族氮化物複合基板1之支撐基板11側之主面11n進行研磨而調整支撐基板11側之主面11n的RMS之步驟。藉由調整該III族氮化物複合基板1之支撐基板11側之主面11n的RMS之步驟，可將支撐基板11側之主面11n之RMS之平均值 m_s 設為0.3 nm以上20 nm以下，將支撐基板11側之主面11n之RMS之標準偏差 s_s 與RMS之平均值 m_s 的比 s_s/m_s 設為0.005以上0.4以下。

此處，關於支撐基板11側之主面11n之RMS的平均值 m_s 、及主面11n之RMS之標準偏差 s_s 與RMS之平均值 m_s 的比 s_s/m_s 之控制，係與參考形態II-4-1之III族氮化物複合基板1之製造方法同樣。

(III族氮化物複合基板之III族氮化物側之主面之RMS之調整步驟)

本參考形態之III族氮化物複合基板1之製造方法較佳為包括：藉由在形成III族氮化物複合基板之步驟後，對III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13側之主面13m進行研磨而調整III族氮化物膜13側之主面13m的RMS之步驟。藉由調整該III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13側之主面13m的RMS之步驟，可將III族氮化物膜13側之主面13m之RMS之平均值 m_{III-N} 設為0.15 nm以上3 nm以下，將III族氮化物膜13側之主面13m之RMS之標準偏差 s_{III-N} 與RMS之平均值 m_{III-N} 的比 s_{III-N}/m_{III-N} 設為0.008以上0.5以下。

此處，關於III族氮化物膜13側之主面13m之RMS的平均值 m_{III-N} 、及主面13m之RMS之標準偏差 s_{III-N} 與RMS之平均值 m_{III-N} 的比 s_{III-N}/m_{III-N} 之控制，係與參考形態II-4-1之III族氮化物複合基板1之製造方法同樣。

[參考形態II-5：III族氮化物半導體裝置之製造方法]

參照圖15，作為參考發明II之又一參考形態之III族氮化物半導體裝置之製造方法包括：準備參考形態II-1之III族氮化物複合基板1之步驟；以及使至少1層III族氮化物層20成長於III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13側的主面13m上之步驟(圖15(A))。本參考形態之III族氮化物半導體裝置之製造方法由於在III族氮化物層之成長時使III族氮化物層成長於主面13m上之溫度分佈較小的III族氮化物複合基板

1之主面13m上，故而可以較高之良率製造高特性之III族氮化物半導體裝置。

於本參考形態之III族氮化物半導體裝置之製造方法中，在使III族氮化物層20成長之步驟(圖15(A))後，可進而包括自III族氮化物複合基板1去除支撐基板11之步驟(圖15(C))。藉由該步驟，可製造多種形態之III族氮化物半導體裝置。

進而，於本參考形態之III族氮化物半導體裝置之製造方法中，在使III族氮化物層成長之步驟(圖15(A))後且去除支撐基板之步驟(圖15(C))前，可進而包括在III族氮化物層20上貼合裝置支撐基板40之步驟(圖15(B))。藉由該步驟，可以較高之良率製造由裝置支撐基板40所支撐的機械強度較強且高特性之III族氮化物半導體裝置。

本參考形態之III族氮化物半導體裝置之製造方法具體可藉由以下之步驟而進行。

(III族氮化物層之成長步驟)

參照圖15(A)，於使至少1層III族氮化物層20成長於III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13側的主面13m上之步驟中，就使晶體品質較高之III族氮化物層20磊晶成長之觀點而言，使III族氮化物層20成長之方法較佳為MOVPE法、MBE法、HVPE法、昇華法等氣相法、通量法等液相等，尤佳為MOVPE法。

III族氮化物層20之構成根據III族氮化物半導體裝置4之種類而不同。於III族氮化物半導體裝置4為發光裝置之情形時，III族氮化物層20例如可藉由使n-GaN層21、n-In_{0.05}Ga_{0.95}N層22、具有多重量子井結構之活性層23、p-Al_{0.09}Ga_{0.91}N層24、及p-GaN層25依序成長於III族氮

化物膜13上而構成。

如上所述，藉由使至少1層III族氮化物層20成長於III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13側的主面13m上而獲得積層III族氮化物複合基板2。

(裝置支撐基板之貼合步驟)

參照圖15(B)，於III族氮化物層20上貼合裝置支撐基板40之步驟係藉由如下方式進行：於積層III族氮化物複合基板2之III族氮化物層20上形成第1電極30及焊墊電極33，並且於裝置支撐基板40上形成焊墊電極43及接合金屬膜44，於焊墊電極33上貼合接合金屬膜44。藉由上述步驟而獲得積層基板3。裝置支撐基板40係使用Si基板、CuW基板、Mo基板等。

(支撐基板之去除步驟)

參照圖15(C)，自III族氮化物複合基板1去除支撐基板11之步驟係藉由自積層基板3去除III族氮化物複合基板1之支撐基板11而進行。在III族氮化物複合基板1中，於接合膜12介於支撐基板11與III族氮化物膜13之間之情形時，亦可去除接合膜12。支撐基板11及接合膜12之去除方法並無特別限定，可較佳地使用磨削、蝕刻等。例如，就降低製造成本之觀點而言，由硬度、強度及耐摩耗性較低且容易切削之材料所形成的支撐基板11可藉由磨削及研磨之至少任一者而去除。另外，就降低製造成本之觀點而言，由溶解於酸、鹼等藥液之材料所形成之支撐基板11可利用藥液進行蝕刻而去除。再者，就容易去除支撐基板11之觀點而言，與由藍寶石、SiC、III族氮化物(例如GaN)等單晶材料所形成之支撐基板相比，支撐基板11較佳為由陶瓷等多晶材料所形成

之支撐基板。

再者，於使用III族氮化物獨立基板之III族氮化物半導體裝置之製造中，為了降低裝置之厚度而自III族氮化物獨立基板之背面(係指與形成有III族氮化物層之主面相反側之主面。以下、相同)進行磨削加工等。相對於此，於使用III族氮化物複合基板之III族氮化物半導體裝置之製造中，為了降低裝置之厚度而利用蝕刻或磨削去除支撐基板之方法較容易，因此可降低III族氮化物半導體裝置之製造成本。

(電極之形成步驟)

參照圖15(D)，於藉由自積層基板3去除支撐基板11及接合膜12而露出之III族氮化物膜13上形成第2電極50，於裝置支撐基板40上形成裝置支撐基板電極45。

<參考發明III>

參考發明III係關於一種具有可廉價地製造、並且為大口徑、具有較佳之厚度、且晶體品質較高之III族氮化物膜的III族氮化物複合基板與其製造方法、積層III族氮化物複合基板、及III族氮化物半導體裝置與其製造方法。

[關於參考發明III之背景技術]

GaN等III族氮化物具有優異之半導體特性，因此可較佳地用於半導體裝置。

例如，日本專利特開2009-126722號公報係作為半導體裝置用基板，揭示有直徑為25 mm以上160 mm以下且厚度為100 μm 以上1000 μm 以下之獨立III族氮化物基板，作為具體之實施例，揭示有直徑為10 mm且厚度為400 μm 之獨立GaN基板。

另外，日本專利特開2008-010766號公報係作為用以製造半導體裝置之基板，揭示有包含化學組成與GaN不同之異種基板、及貼合於異種基板上之0.1 μm 以上100 μm 以下之厚度之GaN薄膜的GaN薄膜貼合基板，作為具體之實施例，揭示有將藍寶石基板與厚度為0.1 μm 或100 μm 之GaN薄膜貼合的直徑為50.8 mm之GaN薄膜貼合基板。

[參考發明III所欲解決之問題]

然而，日本專利特開2009-126722號公報中所揭示之獨立III族氮化物基板非常昂貴。其主要原因在於，III族氮化物不形成液相，故而無法採用作為廉價之製造方法之液相成長法，不得不採用產率較低之氣相成長法。另外，III族氮化物係破裂韌性較低而非常容易破裂之材料。因此，基板之大口徑化較困難。另外，若為了抑制製造成本而使基板之厚度變薄直至例如250 μm 左右，則基板容易產生翹曲，於使磊晶層成長於基板上之步驟中，存在晶體品質下降、或產生基板剝離等情況，使半導體裝置之製造良率下降，故而半導體裝置之高附加價值化較困難。

相對於此，如日本專利特開2008-010766號公報所示之貼合基板由於可降低昂貴之III族氮化物之使用量，故而可抑制半導體裝置之製造成本。

另外，就獲得良好之半導體裝置特性之觀點而言，成為基底之III族氮化物膜之厚度較佳為10 μm 以上。然而，日本專利特開2008-010766號公報所揭示之先前之貼合基板中，III族氮化物膜之厚度以1 μm 左右為極限。其原因在於，日本專利特開2008-010766號公報所揭示之貼合基板中，將異種基板與GaN塊狀晶體貼合後，利用離子注入

法分割GaN塊狀晶體而形成GaN薄膜，但該方法對離子之注入深度有一定限制，於欲獲得10 μm 以上之III族氮化物膜之情形時，離子之注入深度產生不均，其結果，III族氮化物膜之厚度亦產生不均，故而無法確保充分之品質。即，日本專利特開2008-010766號公報所揭示之先前之貼合基板中，於將III族氮化物膜之厚度設為10 μm 以上之情形時，無法使半導體裝置之特性及半導體裝置之製造良率充分。

另外，日本專利特開2008-010766號公報所揭示之先前之貼合基板中，並非利用離子注入法而利用例如線鋸等切割、分離III族氮化物膜，藉此於欲獲得具有10 μm 以上之III族氮化物膜的貼合基板之情形時，基板容易產生翹曲或破裂等，於該情形時，亦難以使優質之磊晶層成長於III族氮化物膜上。

如上所述，根據先前公知之技術，極難獲得III族氮化物膜具有較佳之厚度範圍、減少昂貴之III族氮化物的使用量、並且可獲得良好之半導體裝置特性的III族氮化物複合基板。

本發明之目的在於，解決上述問題並提供一種具有可廉價地製造、並且為大口徑、具有較佳之厚度、且晶體品質較高之III族氮化物膜的III族氮化物複合基板與其製造方法、積層III族氮化物複合基板、及III族氮化物半導體裝置與其製造方法。

[解決問題之手段]

根據某一態樣，參考發明III係一種III族氮化物複合基板，其係使支撐基板及厚度為10 μm 以上250 μm 以下之III族氮化物膜貼合之直徑為75 mm以上者，且介於支撐基板與III族氮化物膜之間而具備將支撐基板與III族氮化物膜接合之接合膜，接合膜之厚度分佈為2%以上

40%以下。

根據另一態樣，參考發明III係一種III族氮化物複合基板，其係使支撐基板及厚度為10 μm 以上250 μm 以下之III族氮化物膜貼合之直徑為75 mm以上者，且介於支撐基板與III族氮化物膜之間而具備將支撐基板與III族氮化物膜接合之接合膜，支撐基板與III族氮化物膜之剪切接合強度為4 MPa以上40 MPa以下，支撐基板與III族氮化物膜之接合面積率為60%以上99%以下。

根據參考發明III之該等態樣之III族氮化物複合基板中，可將上述III族氮化物膜之熱膨脹係數 $\alpha_{\text{III-N}}$ 與上述支撐基板之熱膨脹係數 α_s 的比 $\alpha_{\text{III-N}}/\alpha_s$ 設為0.75以上1.25以下，將上述III族氮化物膜之厚度 $t_{\text{III-N}}$ 與上述支撐基板之厚度 t_s 的比 $t_{\text{III-N}}/t_s$ 設為0.02以上1以下。

另外，可將上述支撐基板之熱導率 λ_s 設為3 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以上280 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以下。

另外，可將上述支撐基板之楊式模數 E_s 設為150 GPa以上500 GPa以下。

進而，可將上述III族氮化物複合基板之直徑設為125 mm以上300 mm以下。

根據又一態樣，參考發明III係一種積層III族氮化物複合基板，其包括根據上述態樣之III族氮化物複合基板、及配置於上述III族氮化物複合基板之上述III族氮化物膜側之主面上的至少1層III族氮化物層。

根據又一態樣，參考發明III係一種III族氮化物半導體裝置，其包括根據上述態樣之III族氮化物複合基板中之上述III族氮化物膜、

及配置於上述III族氮化物膜上之至少1層III族氮化物層。

根據又一態樣，參考發明III係一種III族氮化物複合基板之製造方法，其係根據上述態樣之III族氮化物複合基板之製造方法，且包括：藉由將支撐基板與III族氮化物膜施體基板貼合而形成直徑為75 mm以上的接合基板之步驟；以及藉由在位於自接合基板之III族氮化物膜施體基板之貼合主面向內部特定距離的位置之面上切割III族氮化物膜施體基板而形成III族氮化物複合基板之步驟。

根據又一態樣，參考發明III係一種III族氮化物複合基板之製造方法，其係根據上述態樣之III族氮化物複合基板之製造方法，且包括：藉由將支撐基板與III族氮化物膜施體基板貼合而形成直徑為75 mm以上的接合基板之步驟；以及藉由自與接合基板之III族氮化物膜施體基板之貼合主面相反側的主面進行磨削、研磨及蝕刻之至少任一者而形成III族氮化物複合基板之步驟。

根據又一態樣，參考發明III係一種III族氮化物半導體裝置之製造方法，其包括：準備III族氮化物複合基板之步驟；以及使至少1層III族氮化物層於III族氮化物複合基板之III族氮化物膜上成長之步驟。

根據參考發明III之上述態樣之III族氮化物半導體裝置之製造方法可進而包括：於上述III族氮化物層上進而貼合裝置支撐基板之步驟；以及自上述III族氮化物複合基板去除上述支撐基板之步驟。

[參考發明III之效果]

根據參考發明III，可提供一種具有可廉價地製造、並且為大口徑、具有較佳之厚度、且晶體品質較高之III族氮化物膜的III族氮化

物複合基板與其製造方法、積層III族氮化物複合基板、及III族氮化物半導體裝置與其製造方法。

[參考形態III-1：III族氮化物複合基板]

參照圖6，作為參考發明III之某一參考形態之III族氮化物複合基板1係貼合有支撐基板11、及厚度為10 μm 以上250 μm 以下之III族氮化物膜13的直徑為75 mm以上之基板。III族氮化物複合基板1具有介於支撐基板11與III族氮化物膜13之間而將支撐基板11與III族氮化物膜13接合的接合膜12。並且，接合膜12之特徵在於厚度分佈為2%以上40%以下。

另外，作為本參考形態之III族氮化物複合基板1之特徵在於：藉由接合膜12而接合之支撐基板11與III族氮化物膜13之剪切接合強度為4 MPa以上40 MPa以下，且支撐基板11與III族氮化物膜13之接合面積率為60%以上99%以下。

本參考形態與先前之獨立III族氮化物基板不同，為將III族氮化物膜13接合於支撐基板11上之複合基板。藉由採用此種構成，可降低昂貴之III族氮化物膜之厚度，可謀求半導體裝置之低廉化。

進而，本參考形態亦與先前之貼合基板不同，係直徑為75 mm以上之大口徑，且III族氮化物膜13之厚度為10 μm 以上250 μm 以下。藉此，可使用本參考形態之III族氮化物複合基板獲得極其良好之半導體裝置特性。

此種構成可以如下方式實現：接合膜12之厚度分佈為2%以上40%以下，或者支撐基板11與III族氮化物膜13之剪切接合強度為4 MPa以上40 MPa以下，且支撐基板11與III族氮化物膜13之接合面積率

為60%以上99%以下。

藉由具備將厚度分佈控制於特定範圍內之接合膜12而於直徑為75 mm以上之大口徑基板上例如以利用線鋸等進行切割、分離之方式將III族氮化物膜13的厚度設為10 μm 以上250 μm 以下之情形時，亦可於III族氮化物膜13上形成磊晶層之半導體裝置步驟中，將來自搭載基板之基座的熱量均勻地傳導至膜內，故而可獲得具有良好之厚度分佈並具有較高之晶體品質的磊晶層，並且亦可提高半導體裝置之製造良率。

另外，藉由將支撐基板11與III族氮化物膜13之接合強度及接合面積率控制於特定範圍內，可緩和接合膜之應力並抑制翹曲之產生，並且可提高半導體裝置之製造良率。

再者，作為本參考形態之III族氮化物複合基板1藉由具有如上所述之接合膜12之厚度分佈之特徵、及支撐基板11與III族氮化物膜13的接合強度及接合面積率之特徵中之至少一者，可提高半導體裝置之製造良率並且提昇半導體裝置之特性。並且，於III族氮化物複合基板1兼具兩特徵之情形時，該等之效果協同地發揮作用，可進一步提高本發明之效果，故而尤其較佳。

(III族氮化物複合基板之直徑)

就使自1片複合基板取得半導體裝置之晶片的數量增多之觀點而言，III族氮化物複合基板1之直徑為75 mm以上，較佳為100 mm以上，更佳為125 mm以上，進而較佳為150 mm以上。另外，就降低複合基板之翹曲並提高半導體裝置之良率之觀點而言，III族氮化物複合基板1之直徑較佳為300 mm以下，更佳為200 mm以下。

以下，對構成作為本參考形態之III族氮化物複合基板1之各部分進行說明。

(接合膜)

本參考形態之接合膜12具有吸收、緩和支撐基板11之接合面及III族氮化物膜13之接合面的凹凸而提高支撐基板11與III族氮化物膜13之接合強度之功能。

接合膜12只要可使支撐基板11與III族氮化物膜13接合，則並無特別限定，就支撐基板11與III族氮化物膜13之接合性較高之觀點而言，較佳為SiO₂膜、Si₃N₄膜、TiO₂膜、Ga₂O₃膜等。接合膜12之平均厚度並無特別限定，例如可設為100 nm～4 μm左右。

(接合膜之厚度分佈)

於本參考形態中，接合膜12之厚度分佈為2%以上40%以下。此處，所謂「厚度分佈」，為表示接合膜12之厚度之均勻性的指標，係根據遍及接合膜12之主面之面內全域測得之厚度中的「厚度之最大值t_{max}」及「厚度之最小值t_{min}」並利用下式而算出之值。

$$\text{式：厚度分佈(\%)} = \{(t_{\max} - t_{\min}) / (t_{\max} + t_{\min})\} \times 100$$

此處，接合膜之厚度之基準面例如可設為支撐基板11之主面11m。另外，厚度之測定點較佳為設為至少13點，鄰接之各測定點之間隔較佳為大致均等間隔。

再者，接合膜之厚度可利用先前公知之光干涉式膜厚計或表面輪廓儀等進行測定。另外，該厚度亦可藉由利用掃描式電子顯微鏡(SEM(Scanning Electron Microscope))等觀察接合膜12之主面的垂直剖面而進行測定。

於該厚度分佈未達2%之情形時，使磊晶層成長時，來自搭載基板之基座之熱導變得不均勻，基板翹曲成凹狀，藉此中央部與外周部之溫差變大，無法使優質之磊晶層成長，半導體裝置之製造良率下降，並且半導體裝置之特性下降。於厚度分佈超過40%之情形時，接合膜較薄之區域或接合膜消失之區域(即，未接合區域)增加，故而於該情形時亦無法使優質之磊晶層成長，半導體裝置之製造良率下降。因此，本參考形態之接合膜之厚度分佈為2%以上40%以下。藉由使接合膜12之厚度分佈於該範圍內，可於磊晶成長時使複合基板整體之溫度分佈均勻化，顯示可使具有高晶體品質之優質磊晶層成長的優異之效果。該厚度分佈更佳為5%以上25%以下，進而較佳為7%以上16%以下。藉由使厚度分佈於該範圍內，可進而提高接合膜之厚度之均勻性，亦可進而提高形成於III族氮化物膜13上的磊晶層之晶體品質。

接合膜之厚度分佈例如可藉由適當調整對接合膜之表面進行化學機械研磨(以下亦記作「CMP(chemical mechanical polishing)」)時之條件而控制於所需之範圍。作為此種條件，例如可列舉研磨材料之材質、研磨之線速度、研磨墊之材質等。

(剪切接合強度)

本參考形態中，由接合膜12所接合之支撐基板11與III族氮化物膜13之剪切接合強度為4 MPa以上40 MPa以下。藉由使剪切接合強度於該範圍內，而於半導體裝置之製造步驟中，在不產生基板剝離之情況下緩和基板之翹曲，故而半導體裝置之製造良率顯著提昇。此種剪切接合強度更佳為10 MPa以上30 MPa以下。於該情形時，有緩和基板之翹曲之效果進一步提高之傾向，故而較佳。於剪切接合強度未達

4 MPa之情形時，接合強度不充分，於磊晶成長時，因由來自搭載基板之基座之熱導所引起的基板之變形而產生基板剝離，半導體裝置之製造良率下降。於剪切接合強度超過40 MPa之情形時，施加於接合膜12上之應力變大，有促進基板之翹曲之傾向，半導體裝置之製造良率下降。

本參考形態中，上述剪切接合強度可利用晶片剪力試驗機、拉伸試驗機等並藉由依據JIS K 6850「剛性被接著材料之拉伸剪切接著強度試驗方法」之方法而進行測定。即，準備作為測定試料之矩形複合基板(縱6 mm×橫8 mm)，使支撐基板側向下，將該複合基板平置於試驗機之試料台上並固定後，利用寬9 mm之試驗夾於III族氮化物膜上在平行方向(即，剪切方向)對支撐基板與III族氮化物膜之接合面施加荷重，測定接合面破裂時之最大剪切荷重。並且，藉由將最大剪切荷重除以接合面之面積($4.8 \times 10^{-5} \text{ m}^2$)而算出剪切接合強度。

作為將支撐基板11與III族氮化物膜13之剪切接合強度設為4 MPa以上40 MPa以下之方法，例如可較佳地使用在將支撐基板11與III族氮化物膜13接合之前後進行退火處理之方法。即，較佳為如下方法，其係於支撐基板11及III族氮化物膜13各自之一主表面形成接合膜後，對支撐基板11與III族氮化物膜13分別進行退火處理，使退火處理後之支撐基板11與III族氮化物膜13介隔接合膜而接合後，再次進行退火處理。

上述退火處理之條件較佳為氮環境下、400℃以上、1小時以上，更佳為氮環境下、600℃以上、1小時以上，尤佳為氮環境下、800℃以上1小時以上。

此處，就接合膜之品質之觀點而言，退火處理之溫度條件較佳為1200℃以下，處理時間較佳為48小時以下。

另外，剪切接合強度亦可藉由接合膜之接合前之表面狀態(即，表面粗糙度)而進行控制。

(接合面積率)

本參考形態之III族氮化物複合基板1必需如上所述，支撐基板11與III族氮化物膜13之剪切接合強度為4 MPa以上40 MPa以下並且支撐基板11與III族氮化物膜13之接合面積率為60%以上99%以下。如此，就上述2個觀點而言，藉由規定支撐基板11與III族氮化物膜13之關係，本參考形態之III族氮化物複合基板1可顯著地降低磊晶成長時之基板的翹曲，使平坦性較高且優質之磊晶層成長。另外，藉此具有半導體裝置之製造步驟中基板剝離之產生頻度極低且半導體裝置之製造良率較高的優異之效果。於接合面積率未達60%之情形時，在磊晶成長步驟及半導體裝置製造步驟中，基板剝離之產生頻度較高，半導體裝置之製造良率下降。於接合面積率超過99%之情形時，施加於接合膜12上之應力變大，基板容易產生翹曲，故而於該情形時半導體裝置之製造良率亦下降。

此處，本參考形態中，「接合面積率」係於利用超音波顯微鏡觀測支撐基板11與III族氮化物膜13之接合面即接合膜12之情形時，作為接合缺陷(空隙或剝離)而檢測出之面積總和除以支撐基板11之主面11m之面積的值乘以100之值。上述接合面積率更佳為70%以上90%以下，進而較佳為80%以上86%以下。於接合面積率在該範圍內之情形時，可大幅度緩和施加於接合膜12上之應力並進一步提高半導體裝置

之製造良率。

作為將接合面積率設為60%以上99%以下之方法，例如可使用對接合膜12之表面進行淨化之方法。具體而言，可較佳地使用如下方法，該方法係利用CMP去除接合膜12表面之污垢後，進而利用水對該表面進行超音波洗淨。另外，作為更佳之方法，亦可使用如下方法，該方法係利用CMP去除接合膜12表面之污垢後，藉由利用氫氧化鉀(KOH)水溶液或水等之藥液的無研磨粒拋光洗淨而進一步去除污垢。另外，例如亦可併用超音波洗淨及無研磨粒拋光洗淨。

再者，接合面積率可藉由將接合膜12之厚度分佈設為2%以上40%以下而進行更精細地控制。即，尤佳為接合膜12之厚度分佈為2%以上40%以下且接合面積率為60%以上99%以下。

(支撐基板)

支撐基板11只要可支撐III族氮化物膜13，則並無特別限定，就降低昂貴之III族氮化物的使用量而降低成本之觀點而言，較佳為化學組成與III族氮化物不同之異組成基板。支撐基板11可透明，亦可不透明，可根據所利用之半導體裝置而適當選擇。

作為構成支撐基板11之材料，可使用先前公知之陶瓷材料、半導體材料、金屬材料、多晶材料、單晶材料等。例如，可列舉：氮化鋁(AlN)、尖晶石(MgAl_2O_4)、莫來石($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \sim 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$)、氧化鋁(Al_2O_3)、石墨等燒結體材料；AlN、藍寶石等單晶材料；鉬(Mo)、鎢(W)等金屬材料；及銅-鎢(Cu-W)等合金材料等。

另外，支撐基板11於磊晶成長時等，亦存在暴露於以氮氣為代表之高溫腐蝕性氣體中之情況，故而較佳為具有耐蝕性之基板。因此，

例如亦可為了提高表面之耐蝕性而附加各種表面保護塗層等。

(支撐基板之熱導率)

支撐基板11之熱導率 λ_s 較佳為 $3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以上 $280 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以下，更佳為 $5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以上 $210 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以下，進而較佳為 $10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以上 $120 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以下。此處，支撐基板11之熱導率 λ_s 可藉由雷射閃光法而進行測定。具有熱導率 λ_s 較佳為 $3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以上、更佳為 $5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以上、進而較佳為 $10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以上之支撐基板11之III族氮化物複合基板1可於使III族氮化物層成長時將來自基座之主面的熱量高效地傳遞至III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13之主面13m。具有熱導率 λ_s 較佳為 $280 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以下、更佳為 $210 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以下、進而較佳為 $120 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以下之支撐基板11之III族氮化物複合基板1可於使III族氮化物層成長時將來自基座之主面的熱量均勻地傳遞至III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13之主面整體。於使用熱導率 λ_s 約 $300 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 之SiC基板作為支撐基板之情形相比，熱導率 λ_s 為 $280 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 以下之支撐基板11可於使III族氮化物層成長時將來自基座之主面的熱量均勻地傳遞至III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13之主面整體。再者，支撐基板11之熱導率亦可與III族氮化物膜13之熱導率不同。

(支撐基板之熱膨脹係數)

支撐基板11較佳為不易破裂之基板。並且，支撐基板11之熱膨脹係數較佳為與III族氮化物膜13之熱膨脹係數近似。藉由支撐基板11具有此種性質，即便於磊晶成長步驟、半導體裝置製造步驟等中對III族氮化物複合基板1進行加熱，III族氮化物複合基板1亦不易破裂，故而

較佳。

具體而言，III族氮化物膜13之熱膨脹係數 $\alpha_{\text{III-N}}$ 與支撐基板11之熱膨脹係數 α_s 的比 $\alpha_{\text{III-N}}/\alpha_s$ 較佳為0.75以上1.25以下，更佳為0.8以上1.2以下，進而較佳為0.9以上1.1以下，尤佳為0.95以上1.05以下。

(支撐基板11之厚度)

支撐基板11之厚度本身並無特別限定，就於加熱時抑制III族氮化物膜13之翹曲或破裂等之觀點而言，其與III族氮化物膜13之厚度之間較佳為滿足如下之關係。即，III族氮化物膜13之厚度 $t_{\text{III-N}}$ 與支撐基板11之厚度 t_s 的比 $t_{\text{III-N}}/t_s$ 較佳為0.02以上1以下。此處，上述熱膨脹係數之比 $\alpha_{\text{III-N}}/\alpha_s$ 為0.75以上1.25以下，且厚度之比 $t_{\text{III-N}}/t_s$ 為0.02以上1以下，藉此於複合基板之製造步驟、磊晶成長步驟、半導體裝置製造步驟等所有情形下，均可大幅度降低由III族氮化物膜13之翹曲或破裂等所引起的不良之產生。再者，厚度之比 $t_{\text{III-N}}/t_s$ 更佳為0.07以上0.5以下。

(支撐基板之楊式模數)

就抑制對III族氮化物複合基板1進行加熱時之翹曲之產生之觀點而言，支撐基板11之楊式模數 E_s 較佳為150 GPa以上500 GPa以下。若 E_s 未達150 GPa，則有於加熱時容易產生翹曲之傾向，若 E_s 超過500 GPa，則有於加熱時容易產生破裂或裂痕之傾向，故而欠佳。此處， E_s 之更佳之範圍為200 GPa以上350 GPa以下。再者，支撐基板11之楊式模數亦可與III族氮化物膜13不同，較佳為相同程度。

構成支撐基板11之材料中，作為熱膨脹係數或楊式模數為與III族氮化物膜13近似之值的材料，例如可列舉：藉由莫來石($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot$

$2\text{SiO}_2 \sim 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$)、莫來石-YSZ(氧化釔穩定化氧化鋯)、尖晶石(MgAl_2O_4)、 Al_2O_3 - SiO_2 系複合氧化物之燒結體、及於該等中添加有氧化物、氮化物、碳酸鹽等之燒結體而形成之基板、鉬(Mo)基板、鎢(W)基板等。此處，氧化物、氮化物及碳酸鹽所含之元素可較佳地列舉Ca、Mg、Sr、Ba、Al、Sc、Y、Ce、Pr、Si、Ti、Zr、V、Nb、Ta、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn等。

(III族氮化物膜)

III族氮化物膜13為由III族氮化物所形成之膜，可列舉GaN膜、AlN膜等 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 膜($0 \leq x$ 、 $0 \leq y$ 、 $x + y \leq 1$)等。

III族氮化物膜13之厚度為10 μm 以上250 μm 以下。於厚度為未達10 μm 之情形時，有無法獲得充分之半導體裝置特性之傾向。另外，若厚度超過250 μm ，則昂貴之III族氮化物之使用量增加，故而半導體裝置之高附加價值化變得困難。就提高半導體裝置特性之觀點而言，上述III族氮化物膜13之厚度較佳為30 μm 以上，更佳為80 μm 以上為，尤佳為100 μm 以上。另外，就半導體裝置之高附加價值化之觀點而言，該厚度較佳為200 μm 以下，更佳為180 μm 以下，尤佳為130 μm 以下。

就獲得良好特性之半導體裝置之觀點而言，III族氮化物膜13之晶體結構較佳為纖鋅礦型結構。III族氮化物膜13之主面最近似之上述特定面方位只要為適合於所需之半導體裝置者，則並無限制，亦可為{0001}、{10-10}、{11-20}、{21-30}、{20-21}、{10-11}、{11-22}、{22-43}、及自該等各面方位偏移 15° 以下之角度之(偏離 15° 以下之)面方位。另外，亦可為該等各面方位之面之背面之面方位及自此種背面

之面方位偏離 15° 以下之面方位。即，III族氮化物膜13之主面13m可為極性面、非極性面及半極性面之任一者。另外，就大口徑化較容易之觀點而言，III族氮化物膜13之主面13m較佳為{0001}面及其背面，就抑制所獲得之發光裝置之藍移之觀點而言，較佳為{10-10}面、{20-21}面及該等之背面。

就提高成長於III族氮化物膜13上之III族氮化物層之晶體品質並提高所形成之半導體裝置的特性之觀點而言，III族氮化物膜13之主面13m之雜質金屬原子較佳為 3×10^{12} 原子/cm²以下，更佳為 1×10^{12} 原子/cm²以下，進而較佳為 1×10^{11} 原子/cm²以下。包含莫來石($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \sim 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$)、莫來石-YSZ(氧化釔穩定化氧化鋯)、尖晶石(MgAl_2O_4)、 Al_2O_3 - SiO_2 系複合氧化物之燒結體等基板作為支撐基板11之III族氮化物複合基板1較佳為藉由抑制金屬原子自支撐基板11溶出之洗淨、例如使用界面活性劑及純水之擦洗式洗淨、二流體洗淨、超高頻音波洗淨、使用低濃度酸或鹼的單面之單片式洗淨等而降低III族氮化物膜13之主面13m的雜質金屬原子之濃度。

另外，就提高成長於III族氮化物膜13上之III族氮化物層之晶體品質並提高所形成之半導體裝置的特性之觀點而言，III族氮化物膜13之主面13m之其他雜質係Cl原子較佳為 2×10^{14} 原子/cm²以下，Si原子較佳為 9×10^{13} 原子/cm²以下。III族氮化物膜13之錯位密度並無特別限定，就降低半導體裝置之洩漏電流之觀點而言，較佳為 1×10^8 cm⁻²以下。III族氮化物膜13之載子濃度並無特別限定，就降低半導體裝置之電阻之觀點而言，較佳為 1×10^{17} cm⁻³以上。

以上所說明之III族氮化物複合基板可藉由如下製造方法而製

造。即，藉由如下製造方法所獲得之III族氮化物複合基板係具有可廉價地製造、並且為大口徑、具有較佳之厚度、且晶體品質較高之III族氮化物膜的III族氮化物複合基板。

[參考形態III-2：III族氮化物複合基板之製造方法]

以下，參照圖12及圖14，作為參考發明III之另一參考形態之III族氮化物複合基板1之製造方法只要為於支撐基板11之主面11m側配置III族氮化物膜13之方法，則並無特別限定，可列舉以下之第1及第2方法。

第1方法係如圖12所示，藉由在支撐基板11之主面11m貼合III族氮化物膜施體基板13D後，於距離貼合面特定深度之面上切割該III族氮化物膜施體基板13D，而於支撐基板11之主面11m上形成III族氮化物膜13的方法。

第2方法係如圖14所示，於支撐基板11之主面11m上貼合III族氮化物膜施體基板13D後，藉由自貼合面之相反側之主面對該III族氮化物膜施體基板13D進行磨削、研磨及蝕刻之至少任一者而減少厚度並進行調整，藉此於支撐基板11之主面11m上形成III族氮化物膜13的方法。

上述第1及第2方法中，於支撐基板11上貼合III族氮化物膜施體基板13D之方法可列舉：介隔接合膜12而於支撐基板11之主面11m上貼合III族氮化物膜施體基板13D之方法(參照圖12及圖14)等。

再者，於圖12及圖14中，對在支撐基板11上形成接合膜12a並且在III族氮化物膜13上形成接合膜12b而將該等貼合之方法進行了圖示，例如，即便預先僅於支撐基板11上形成接合膜12並與III族氮化物

膜13貼合，亦無任何妨礙。

(第1方法：切割法)

利用圖12所示之第1方法製造複合基板之方法並無特別限定，就有效地製造複合基板之觀點而言，較佳為包括：將支撐基板11與III族氮化物膜施體基板13D貼合而形成接合基板1L之步驟(圖12(A)～(C))；以及在位於自接合基板1L之III族氮化物膜施體基板13D之貼合面即主面13n向內部特定深度的位置之面上進行切割之步驟(圖12(D))。

此處，支撐基板11並無特別限定，例如可藉由如下方式獲得：將作為包含金屬元素M之氧化物之 MO_x (x 為任意之正之實數)、作為包含Al之氧化物之 Al_2O_3 、及作為包含Si之氧化物之 SiO_2 以特定莫耳比混合並進行燒結而獲得燒結體，將該燒結體切割成特定大小而獲得基板，對該基板之主面進行研磨。

所謂III族氮化物膜施體基板13D係於後續步驟中藉由分離而提供III族氮化物膜13之施體基板。形成此種III族氮化物膜施體基板13D之方法可較佳地使用MOCVD(有機金屬化學氣相堆積)法、濺鍍法、MBE(分子束磊晶)法、PLD(脈衝·雷射堆積)法、HVPE(氮化物氣相磊晶)法、昇華法、通量法、高氮壓溶液法等。

如圖12(A)～(C)所示，將支撐基板11與III族氮化物膜施體基板13D貼合而形成接合基板1L之步驟包括：於支撐基板11之主面11m上形成接合膜12a之子步驟(圖12(A))；於III族氮化物膜施體基板13D之主面13n上形成接合膜12b之子步驟(圖12(B))；以及將形成於支撐基板11之主面11m上之接合膜12a與形成於III族氮化物膜施體基板13D之主

面13n上之接合膜12b貼合之子步驟(圖12(C))。根據該等子步驟，相互貼合之接合膜12a與接合膜12b藉由接合而一體化並形成接合膜12，使支撐基板11與III族氮化物膜施體基板13D介隔接合膜12而接合，藉此形成接合基板1L。

此處，接合膜12a、12b之形成方法並無特別限定，就抑制膜形成成本之觀點而言，可較佳地進行濺鍍法、蒸鍍法、CVD(化學氣相堆積)法等。另外，將接合膜12a與接合膜12b貼合之方法並無特別限定，較佳為如下方法：將貼合面洗淨並直接貼合後，升溫至 $600^{\circ}\text{C} \sim 1200^{\circ}\text{C}$ 左右而接合之直接接合法；將貼合面洗淨並利用電漿或離子等進行活化處理後，在室溫(例如 25°C) $\sim 400^{\circ}\text{C}$ 左右之低溫環境下接合之表面活化接合法；利用藥液及純水對貼合面進行洗淨處理後，施加 $0.1 \text{ MPa} \sim 10 \text{ MPa}$ 左右之高壓而接合之高壓接合法；利用藥液及純水對貼合面進行洗淨處理後，於 $10^{-6} \text{ Pa} \sim 10^{-3} \text{ Pa}$ 左右之高真空環境下接合之高真空接合法等。上述任一接合法均可藉由在該等之接合後升溫至 $600^{\circ}\text{C} \sim 1200^{\circ}\text{C}$ 左右而進一步提高接合強度。尤其是表面活化接合法、高壓接合法及高真空接合法，藉由在該等之接合後升溫至 $600^{\circ}\text{C} \sim 1200^{\circ}\text{C}$ 左右而提高接合強度之效果較大。

圖12(D)所示之在位於自接合基板1L之III族氮化物膜施體基板13D之貼合面即主面13n向內部特定深度的位置之面上進行切割之步驟係藉由在位於自接合基板1L之III族氮化物膜施體基板13D之貼合面即主面13n向內部特定深度的位置之面上切割III族氮化物膜施體基板13D而進行。切割III族氮化物膜施體基板13D之方法並無特別限定，可較佳地使用線鋸、內周刀、外周刀等。

以此種方式，在位於自接合基板1L之III族氮化物膜施體基板13D之貼合面即主面13n向內部特定深度的位置之面上進行切割而獲得包含支撐基板11、配置於支撐基板11之主面11m上之接合膜12、及配置於接合膜12之主面上之III族氮化物膜13的III族氮化物複合基板1。

(第2方法：磨削、研磨及蝕刻法)

如圖14所示，利用第2方法製造複合基板之方法並無特別限定，就有效地製造複合基板之觀點而言，較佳為包括：將支撐基板11與III族氮化物膜施體基板13D貼合而形成接合基板1L之步驟(圖14(A)～(C))；以及自與接合基板1L之III族氮化物膜施體基板13D之貼合面即主面13n相反側之主面13m進行磨削、研磨及蝕刻之至少任一者之步驟(圖14(D))。

如圖14(A)～(C)所示，將支撐基板11與III族氮化物膜施體基板13D貼合而形成接合基板1L之步驟包括：於支撐基板11之主面11m上形成接合膜12a之子步驟(圖14(A))；於III族氮化物膜施體基板13D之主面13n上形成接合膜12b之子步驟(圖14(B))；以及將形成於支撐基板11之主面11m上之接合膜12a與形成於III族氮化物膜施體基板13D之主面13n上之接合膜12b貼合之子步驟(圖14(C))。根據該等子步驟，相互貼合之接合膜12a與接合膜12b藉由接合而一體化並形成接合膜12，使支撐基板11與III族氮化物膜施體基板13D介隔接合膜12而接合，藉此形成接合基板1L。

形成III族氮化物膜施體基板13D之方法係與上述第1方法中之形成III族氮化物膜施體基板13D之方法同樣。另外，接合膜12a、12b之形成方法係與利用第1方法製造複合基板之方法中的接合膜12a、12b

之形成方法同樣。另外，將支撐基板11與III族氮化物膜施體基板13貼合之方法係與利用上述第1方法製造複合基板之方法中的將支撐基板11與III族氮化物膜13貼合之方法同樣。

如圖14(D)所示，藉由自與接合基板1L之III族氮化物膜施體基板13D之貼合面即主面13n相反側之主面13m進行磨削、研磨及蝕刻之至少任一者的步驟，而減少III族氮化物膜施體基板13D之厚度，形成所需厚度之III族氮化物膜13，故而獲得包含支撐基板11、配置於支撐基板11之主面11m上之接合膜12、及配置於接合膜12之主面上之III族氮化物膜13的III族氮化物複合基板1。

此處，對III族氮化物膜施體基板13D進行磨削之方法並無特別限定，可列舉利用磨石之磨削(平面磨削)、珠粒噴擊等。對III族氮化物膜施體基板13D進行研磨之方法並無特別限定，可列舉機械研磨、化學機械研磨等。對III族氮化物膜施體基板13D進行蝕刻之方法並無特別限定，可列舉利用藥液之濕式蝕刻、RIE(反應性離子蝕刻)等乾式蝕刻等。

以此種方式，可製造III族氮化物複合基板1。以此種方式製造之III族氮化物複合基板1具有可使優質之磊晶層成長於其上並且可提昇半導體裝置之製造良率的優異之效果。

[參考形態III-3：積層III族氮化物複合基板]

以下，參照圖8，對作為參考發明III之又一參考形態之積層III族氮化物複合基板2進行說明。

積層III族氮化物複合基板2包含參考形態1之III族氮化物複合基板1、及配置於III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13側之主面13m

上之至少1層III族氮化物層20。

如此，於III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13側之主面13m上配置有III族氮化物層20，藉此III族氮化物層20可成長為優質之磊晶層。

於本參考形態之積層III族氮化物複合基板2中，配置於III族氮化物膜13側之主面13m上之III族氮化物層20根據所製作之半導體裝置之種類而不同。參照圖9，於製作作為半導體裝置之發光裝置之情形時，III族氮化物層20例如可包括n-GaN層21、n-In_{0.05}Ga_{0.95}N層22、具有多重量子井結構之活性層23、p-Al_{0.09}Ga_{0.91}N層24、及p-GaN層25。參照圖10，於製作作為半導體裝置之電子裝置之1例即HEMT(高電子遷移率電晶體)之情形時，III族氮化物層例如可包括GaN層26、Al_{0.2}Ga_{0.8}N層27。參照圖11，於製作作為半導體裝置之電子裝置之另一例即SBD(肖特基勢壘二極體)之情形時，III族氮化物層例如可包括n⁺-GaN層28(載子濃度例如為 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)、n⁻-GaN層29(載子濃度例如為 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$)。

[參考形態III-4：III族氮化物半導體裝置]

以下，參照圖9及圖10，對作為參考發明III之又一參考形態之III族氮化物半導體裝置4進行說明。

III族氮化物半導體裝置4包含參考形態III-1之III族氮化物複合基板中之III族氮化物膜13、及配置於III族氮化物膜13上之至少1層III族氮化物層20。

如此，本參考形態之III族氮化物半導體裝置4包括包含厚度為10 μm以上250 μm之III族氮化物膜13之III族氮化物複合基板1、及以成長

於其上之方式配置的晶體品質極高之III族氮化物層20，故而具有較高之半導體特性。

III族氮化物半導體裝置4之III族氮化物層20根據III族氮化物半導體裝置4之種類而不同。如圖9所示，於III族氮化物半導體裝置4為發光裝置之情形時，III族氮化物層20例如可包括n-GaN層21、n-In_{0.05}Ga_{0.95}N層22、具有多重量子井結構之活性層23、p-Al_{0.09}Ga_{0.91}N層24、及p-GaN層25。如圖10所示，於III族氮化物半導體裝置4為電子裝置之一例即HEMT之情形時，III族氮化物層20例如可包括GaN層26、Al_{0.2}Ga_{0.8}N層27，可於Al_{0.2}Ga_{0.8}N層27上形成源電極60、汲極電極70、閘極電極80等。如圖11所示，於製作作為半導體裝置之電子裝置之另一例即SBD之情形時，III族氮化物層例如可包括n⁺-GaN層28(載子濃度例如為 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)、n⁻-GaN層29(載子濃度例如為 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$)。

另外，如圖9及圖10所示，III族氮化物半導體裝置4較佳為進而包括用以支撐III族氮化物層20之支撐基板11及裝置支撐基板40中之至少一者。此處，裝置支撐基板40之形狀並不限於平板形狀，只要可支撐III族氮化物膜13及III族氮化物層20而形成III族氮化物半導體裝置4，則可採用任意之形狀。

以上所說明之參考形態之III族氮化物半導體裝置可藉由如下製造方法而製造。即，由如下製造方法所製造之III族氮化物半導體裝置係廉價、可以較佳之良率製造、並且具有極高之半導體特性的半導體裝置。

[參考形態III-5：III族氮化物半導體裝置之製造方法]

以下，參照圖15，對作為參考發明III之又一參考形態之III族氮化物半導體裝置之製造方法進行說明。

本參考形態之III族氮化物半導體裝置之製造方法包括：準備III族氮化物複合基板1之步驟；及使至少1層III族氮化物層20成長於III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13側的主面13m上之步驟。

此處，準備III族氮化物複合基板1之步驟係與作為上述參考形態III-2而說明之III族氮化物複合基板之製造方法同樣，因此不重複相同說明。以下，對準備III族氮化物複合基板1之步驟以後之步驟進行說明。

作為本參考形態之III族氮化物半導體裝置之製造方法係如圖15所示，包括使至少1層III族氮化物層20成長於III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13側的主面13m上之步驟(圖15(A))。本參考形態之III族氮化物半導體裝置之製造方法由於在III族氮化物層之成長時使III族氮化物層成長於III族氮化物複合基板1之主面13m上，故而可以較高之良率製造高特性之III族氮化物半導體裝置。

於本參考形態之III族氮化物半導體裝置之製造方法中，可進而包括在III族氮化物層20上進而貼合裝置支撐基板40之步驟(圖15(B))、及自III族氮化物複合基板1去除支撐基板11之步驟(圖15(C))。藉由添加該等步驟，可以較高之良率製造由裝置支撐基板40所支撐之機械強度較強且高特性之III族氮化物半導體裝置。以下，對各步驟進行具體地說明。

(III族氮化物層之成長步驟)

圖15(A)所示之使至少1層III族氮化物層20成長於III族氮化物複

合基板1之III族氮化物膜13側的主面13m上之步驟中，就使晶體品質較高之III族氮化物層20磊晶成長之觀點而言，使III族氮化物層20成長之方法較佳為MOVPE法、MBE法、HVPE法、昇華法等氣相法、通量法等液相等，尤佳為MOVPE法。

III族氮化物層20之構成係隨著III族氮化物半導體裝置4之種類而不同。於III族氮化物半導體裝置4為發光裝置之情形時，III族氮化物層20例如可藉由使n-GaN層21、n-In_{0.05}Ga_{0.95}N層22、具有多重量子井結構之活性層23、p-Al_{0.09}Ga_{0.91}N層24、及p-GaN層25依序成長於III族氮化物膜13上而構成。

如上所述，藉由使至少1層III族氮化物層20成長於III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13上而獲得積層III族氮化物複合基板2。

(裝置支撐基板之貼合步驟)

圖15(B)所示之於III族氮化物層20上進而貼合裝置支撐基板40之步驟係藉由如下方式進行：於積層III族氮化物複合基板2之III族氮化物層20上形成第1電極30及焊墊電極33並且於裝置支撐基板40上形成焊墊電極43及接合金屬膜44，於焊墊電極33上貼合接合金屬膜44。藉由上述步驟而獲得積層基板3。裝置支撐基板40係使用Si基板、CuW基板等。

(支撐基板之去除步驟)

圖15(C)所示之自III族氮化物複合基板1去除支撐基板11之步驟可藉由自積層基板3去除III族氮化物複合基板1之支撐基板11而進行。藉此，亦可將介於支撐基板11與III族氮化物膜13之間的接合膜12同時去除。

支撐基板11及接合膜12之去除方法並無特別限定，可較佳地使用磨削、蝕刻等。例如，就降低製造成本之觀點而言，由硬度、強度及耐摩耗性較低且容易切削之材料所形成的支撐基板11可藉由磨削及研磨之至少任一者而去除。另外，就製造成本較低之觀點而言，由溶解於酸、鹼等藥液之材料所形成的支撐基板11可利用藥液進行蝕刻而去除。再者，就容易去除支撐基板11之觀點而言，與由藍寶石、SiC、III族氮化物(例如GaN)等單晶材料所形成之支撐基板相比，支撐基板11較佳為由陶瓷等多晶材料所形成之支撐基板。

(電極之形成步驟)

於圖15(D)所示之藉由自積層基板3去除支撐基板11及接合膜12而露出之III族氮化物膜13上形成第2電極50，於裝置支撐基板40上形成裝置支撐基板電極45。

以此種方式，可以較高之良率製造具有極其良好之特性之III族氮化物半導體裝置。

[實施例]

以下表示本發明之實施例1～5及比較例1～2。

(實施例1)

1. III族氮化物複合基板之製作

(1)III族氮化物膜與支撐基板之貼合

參照圖4(A)，以如下方式，將III族氮化物膜13與支撐基板11貼合。

參照圖4(A1)，準備將兩主面研磨成鏡面(係指JIS B0601中所規定之算術平均粗糙度Ra為1 nm以下之平坦面，以下相同)之直徑為10.0

cm且厚度為500 μm 的莫來石($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$)基板3片作為支撐基板11。於上述支撐基板11之主面11m上利用CVD法形成厚度1 μm 之 SiO_2 膜作為接合膜12a。

另外，參照圖4(A2)，作為III族氮化物膜13，準備將兩主面研磨成鏡面之直徑為10.0 cm且厚度為400 μm 之3種GaN膜A～GaN膜C。於GaN膜A中不積極地摻雜導電性提昇雜質。於GaN膜B中以 $7\times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 之濃度摻雜O(氧)原子作為導電性提昇雜質。於GaN膜C中以 $1.6\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 之濃度摻雜O(氧)原子作為導電性提昇雜質。

於上述III族氮化物膜13之相當於N原子面之(000-1)面即主面13n上利用CVD法形成厚度1 μm 之 SiO_2 膜作為接合膜12a。

繼而，參照圖4(A3)，將形成於支撐基板11上之接合膜12a之主面12am及形成於III族氮化物膜13上之接合膜12b之主面12bn分別研磨成鏡面後，將接合膜12a之主面12am與接合膜12b之主面12bn貼合，於 N_2 氣體(氮體)環境中升溫至700℃並進行退火，藉此提高接合強度。

利用切晶分別切割以此種方式貼合之3種貼合基板，製作主面為20 mm見方(係指20 mm×20 mm之正方形，以下相同)之8片貼合基板片。

(2)III族氮化物膜之厚度調整

參照圖4(B)，如上所述，藉由對主面進行研磨而將針對於3種貼合基板分別獲得之8片貼合基板片之III族氮化物膜13之厚度分別調整為5 μm 、8 μm 、10 μm 、20 μm 、50 μm 、100 μm 、200 μm 及500 μm ，獲得8片III族氮化物複合基板。

2. III族氮化物複合基板之III族氮化物膜側之薄片電阻之測定

利用四端子法對由以上述方式獲得之3種貼合基板所獲得之24片III族氮化物複合基板1(3種貼合基板各自8片III族氮化物複合基板)之III族氮化物膜13側的主面13m之薄片電阻進行測定。將結果匯總於表1。

[表1]

III族氮化物膜		薄片電阻 (Ω/sq)
種類	厚度(μm)	
GaN膜 A	5	403.6
	8	250.8
	10	196.1
	20	101.6
	50	41.5
	100	19.8
	200	9.7
	500	3.8
GaN膜 B	5	157.7
	8	101.3
	10	78.9
	20	39.2
	50	18.1
	100	7.4
	200	3.7
	500	1.3
GaN膜 C	5	40.7
	8	24.5
	10	19.4
	20	9.7
	50	3.6
	100	1.7
	200	0.9
	500	0.3

3. III族氮化物半導體裝置之製作

參照圖5，利用MOCVD法使作為第1導電型GaN層201之厚度5 μm 之n型GaN層、作為第1導電型 $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ 層202(此處， s 係 $0 < s < 1$)之厚度0.5 μm 之n型 $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 層、作為發光層203之包含6週期之 $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層及 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 層的厚度100 nm之MQW(多重量子井)結構層、作為第2導電型 $\text{Al}_t\text{Ga}_{1-t}\text{N}$ 層204(此處， t 係 $0 < t < 1$)之厚度20 nm之p型 $\text{Al}_{0.20}\text{Ga}_{0.80}\text{N}$ 層、及作為第2導電型GaN層205之厚度0.15 μm 之p型GaN層，作為III族氮化物層20依序成長於III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13之相當於III族原子面之(0001)面即主面13m上。

繼而，利用平台蝕刻去除第2導電型GaN層205、第2導電型 $\text{Al}_t\text{Ga}_{1-t}\text{N}$ 層204、發光層203、及第1導電型 $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ 層202各自之一部分而使第1導電型GaN層201之一部分露出。

繼而，於第1導電型GaN層201之露出之主面上利用電子束蒸鍍法形成n側電極作為第1電極31。另外，於第2導電型GaN層205之露出之主面上利用電子束蒸鍍法形成p側電極作為第2電極32。以此種方式，製作24個III族氮化物半導體裝置。

作為對比III族氮化物半導體裝置，於作為GaN基板之III族原子面的相當於Ga原子面之(0001)面即主面13m上，以與上述相同之方式上述形成具有相同構成之III族氮化物層20之III族氮化物半導體裝置，該GaN基板係將兩主面研磨成鏡面之主面大小為20 mm見方且厚度為500 μm ，以 $1.6 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 之濃度摻雜O(氧)原子作為導電性提昇雜質。

4. III族氮化物半導體裝置之發光強度之測定

作為上述中所獲得之24個III族氮化物半導體裝置及對比III族氮

化物半導體裝置之發光強度，利用EL(電致發光)法對將80 mA電流注入至III族氮化物半導體裝置時的發光光譜之峰波長450 nm下之發光強度進行測定，算出上述24個III族氮化物半導體裝置各自之發光強度與對比III族氮化物半導體裝置之發光強度的比作為相對發光強度。具有包括厚度5 μm 之Ga_{0.98}N_{0.02}膜A之薄片電阻為403.6 Ω/sq 的III族氮化物複合基板及包括厚度8 μm 之Ga_{0.98}N_{0.02}膜A之薄片電阻為250.8 Ω/sq 的III族氮化物複合基板之發光裝置係相對發光強度未達0.01以下而較低，具有除此以外之III族氮化物複合基板之發光裝置係相對發光強度上升至0.1以上。

(實施例2)

作為III族氮化物膜13，準備以 $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 之濃度摻雜O(氧)原子作為導電性提昇雜質並將兩主面研磨成鏡面的直徑為2吋(5.08 cm)且厚度為500 μm 之Ga_{0.98}N_{0.02}膜20片。

利用研磨使該等Ga_{0.98}N_{0.02}膜中之10片Ga_{0.98}N_{0.02}膜之厚度減薄至200 μm ，結果於10片中之7片Ga_{0.98}N_{0.02}膜上產生破裂及/或裂痕。

對於剩餘之10片Ga_{0.98}N_{0.02}膜，以與實施例1相同之順序使其與直徑為2吋(5.08 cm)且厚度為400 μm 之莫來石基板貼合後，利用研磨使貼合之Ga_{0.98}N_{0.02}膜的厚度減薄至200 μm ，結果於10片Ga_{0.98}N_{0.02}膜上均未發現破裂及/或裂痕。

(實施例3)

作為III族氮化物膜13，使用未摻雜導電性提昇雜質並將兩主面研磨成鏡面之直徑為2吋(5.08 cm)且厚度為500 μm 之Ga_{0.98}N_{0.02}膜，貼合時於貼合面形成水印而改變接合區域之面積，除此以外，以與實施例1

相同之順序製作6片 III族氮化物複合基板1。此處，所謂水印，係指於表面存在由洗淨污染等所產生之雜質之部分，因水分乾燥時雜質在凝集之狀態下乾燥而形成之乾燥痕跡。水印可藉由在作為其形成對象之面上附著純度較低之水而並非超純水並使其乾燥，而形成於附著有純度較低之水的部分。

對於所獲得之6片 III族氮化物複合基板1，藉由利用雷射之表面缺陷檢查裝置測定接合區域100b之面積，結果相對於主面1m之面積，分別為34%、57%、64%、70%、87%、95%。該等中，接合區域100b之面積為主面1m之面積的70%以上之III族氮化物複合基板1係構成非接合區域100n之非接合部分區域之最大直徑均未達20 mm。另外，接合區域100b之面積為主面1m之面積的64%以下之III族氮化物複合基板1係於構成非接合區域100n之非接合部分區域存在最大直徑為20 mm以上者。進而，將接合區域100b之面積為主面1m之面積之64%以下的III族氮化物複合基板1加熱至700℃，結果在加熱過程中，III族氮化物膜13以最大直徑為20 mm以上之非接合部分區域作為起點自支撐基板11剝離。

(實施例4)

作為III族氮化物膜13，使用未摻雜導電性提昇雜質並將兩主面研磨成鏡面之直徑為2吋(5.08 cm)且厚度為500 μm之Ga₂N膜，作為支撐基板11，使用將兩主面研磨成鏡面之直徑為2吋(5.08 cm)且厚度為500 μm之多晶Mo基板，貼合時，藉由對貼合面進行洗淨而抑制非接合區域之產生，並且藉由在貼合面形成直徑為15 mm左右之水印而於III族氮化物複合基板之特定位置形成非接合區域，除此以外，以與實

施例1相同之順序製作3片III族氮化物複合基板1。

對於所獲得之3片III族氮化物複合基板1，利用超音波顯微鏡測定非接合區域之位置，結果於1片III族氮化物複合基板上形成有包含與主面之外周連接之最大直徑為10 mm左右之非接合部分區域的非接合區域，於另1片III族氮化物複合基板上形成有僅包含不與主面之外周連接之最大直徑為10 mm左右之非接合部分區域的非接合區域，進而於另1片III族氮化物複合基板上，非接合區域之面積為主面面積之83%。

將所獲得之3片III族氮化物複合基板加熱至700℃，結果於加熱過程中，形成有包含與主面之外周連接之最大直徑為10 mm左右之非接合部分區域的非接合區域之III族氮化物複合基板破裂。除此以外之III族氮化物複合基板未破裂。

(實施例5)

作為III族氮化物膜，準備將兩主面研磨成鏡面之主面為20 mm見方且厚度為300 μm之Ga₂N膜8片。於8片Ga₂N膜之每2片上分別以主面貫通孔之面積相對於主面面積成為5%、10%、20%及30%之方式形成直徑50 μm左右之主面貫通孔。

另外，準備於作為支撐基板之主面為20 mm見方且厚度為400 μm之藍寶石基板的主面上形成SiO₂膜作為接合膜之基板8片。將該接合膜之主面研磨成鏡面後，4片係藉由利用包含37質量%之HCl(鹽酸)及30質量%之H₂O₂(過氧化氫)的水溶液進行多次洗淨而去除貼合面之含金屬之雜質。剩餘之4片係利用IPA(異丙醇)進行洗淨。

將主面貫通孔之面積相對於主面面積分別為5%、10%、20%及

30%之4片 III族氮化物膜與接合膜之貼合面經HCl及H₂O₂洗淨之4片支撐基板於與實施例1相同之條件下貼合。另外，將主面貫通孔之面積相對於主面面積分別為5%、10%、20%及30%之4片 III族氮化物膜與接合膜之貼合面經IPA洗淨之4片支撐基板於與實施例1相同之條件下貼合。

貼合後，以如下方式進行拉伸試驗。拉伸試驗係藉由經由環氧接著劑將10 mm見方之冶具接著於III族氮化物複合基板之表面及背面並拉伸冶具之兩端而進行。將結果匯總於表2。於表2中顯示，與在III族氮化物膜與接合膜之界面剝離者相比，在環氧接著劑與冶具之間破斷者之接合強度較高。

[表2]

貼合面之洗淨方法	III族氮化物膜之主面貫通孔之面積相對於主面之面積(%)	拉伸試驗中之破裂部位及破裂形態
HCl及H ₂ O ₂ 洗淨	5	在環氧接著劑與冶具之界面破斷
	10	在III族氮化物基板與接合膜之界面剝離
	20	在III族氮化物基板與接合膜之界面剝離
	30	在III族氮化物基板與接合膜之界面剝離
IPA洗淨	5	在環氧接著劑與冶具之界面破斷
	10	在環氧接著劑與冶具之界面破斷
	20	在III族氮化物基板與接合膜之界面剝離
	30	在III族氮化物基板與接合膜之界面剝離

參照表2，經IPA洗淨者係III族氮化物膜之主面貫通孔之面積為主面面積之10%以下，接合強度較高。另外，藉由TXRF(全反射螢光X射線)分析測定經HCl及H₂O₂洗淨、及IPA洗淨之接合膜之貼合面的含金屬之雜質之濃度。經HCl及H₂O₂洗淨者係Fe濃度及Ni濃度均為1×10¹⁰ cm⁻²以下。經IPA洗淨者係Fe濃度為5.7×10¹¹ cm⁻²且Ni濃度為

$1.5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ 。

(比較例1)

作為III族氮化物膜，準備以 $6 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 之濃度摻雜作為導電性提昇雜質之O(氧)原子並將兩主面研磨成鏡面的直徑為2吋(5.08 cm)且厚度為400 μm 之Ga₂N膜1片。於該III族氮化物膜之作為N原子面之主面，在距離該主面約0.7 μm 深度之位置注入H(氫)離子。H離子注入係於加速電壓為100 keV、摻雜量為 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ 之條件下進行。藉由將注入H離子之III族氮化物膜之注入H離子之一側的主面與直徑為2吋(5.08 cm)且厚度為500 μm 之莫來石基板以與實施例1相同之順序貼合並進行退火，而於注入H離子之部分將III族氮化物膜分離，藉此獲得於莫來石基板上具有厚度為0.3 μm 之III族氮化物膜的III族氮化物複合基板。所獲得之III族氮化物複合基板之薄片電阻為 $1 \times 10^{10} \Omega/\text{sq}$ 以上。

(比較例2)

作為支撐基板，使用將兩主面研磨成鏡面之直徑為2吋(5.08 cm)且厚度為300 μm 之Mo基板，將H離子之摻雜量設為 $3.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ ，除此以外，以與比較例1相同之順序獲得於Mo基板上具有厚度為0.3 μm 之III族氮化物膜之III族氮化物複合基板。於N₂氣體(氮體)環境中在800℃下對所獲得之III族氮化物複合基板進而進行3小時熱處理，藉此在大部分區域薄片電阻降低至6700 Ω/sq ，但在一部分區域為35000 Ω/sq 而仍然較高。

以下表示參考發明I之參考例I-A～參考例I-I。

(參考例I-A)

1. III族氮化物複合基板之製作

參照圖12(A)，準備直徑75 mm之莫來石基板作為支撐基板11，藉由利用金剛石研磨粒及銅系壓盤之粗研磨、利用金剛石研磨粒及錫系壓盤之中間研磨、利用不織布研磨墊之完工研磨而以RMS(均方根粗糙度)成為5 nm以下之方式使支撐基板11之兩主面鏡面化後，利用LP-CVD(減壓-化學氣相堆積)法使厚度800 nm之SiO₂膜成長於其上，藉由利用包含平均粒徑為40 nm之矽酸膠研磨粒且pH值為10之漿料的CMP而形成以RMS成為0.3 nm以下之方式使主面平坦化之厚度400 nm之接合膜12a。為了去除CMP中所使用之研磨粒而進行利用KOH水溶液之無研磨粒拋光洗淨及利用純水之洗淨。

參照圖12(B)，準備直徑為75 mm且厚度為8 mm之GaN晶體作為III族氮化物膜施體基板13D，藉由機械研磨及CMP而以RMS成為2 nm以下之方式使III族氮化物膜施體基板13D之貼合面鏡面化後，利用LP-CVD(減壓-化學氣相堆積)法使厚度800 nm之SiO₂膜成長於其上，藉由利用包含平均粒徑為40 nm之矽酸膠研磨粒且pH值為10之漿料的CMP而形成以RMS成為0.3 nm以下之方式使主面平坦化之厚度500 nm之接合膜12b。為了去除CMP中所使用之研磨粒而進行利用KOH水溶液之無研磨粒拋光洗淨及利用純水之洗淨。此處，III族氮化物膜施體基板13D係使用GaAs基板作為基底基板並利用HVPE法使其成長者。

參照圖12(C)，藉由將接合膜12a與接合膜12b貼合而獲得介隔接合膜12使支撐基板11與III族氮化物膜13貼合之接合基板1L。貼合後，於氮體環境中將接合基板1L升溫至800℃，藉此進行退火而提高接合強度。

參照圖12(D)，在位於自與接合膜12之貼合面向內部180 μm距離

之深度的位置之面上利用線鋸切割接合基板 1L 之 III 族氮化物膜施體基板 13D，藉此獲得介隔接合膜 12 使支撐基板 11 與作為 III 族氮化物膜 13 之 GaN 膜貼合之 III 族氮化物複合基板 1。線係使用電鍍有金剛石研磨粒之固定研磨粒線。為了降低切割電阻並提高厚度之精度及平坦性，切割方式係設為搖動線並同時振動 III 族氮化物膜施體基板 13D 之方式。線鋸切割之電阻係數係設為 4200 N。切割後，對 III 族氮化物複合基板 1 之 III 族氮化物膜 13 進行機械研磨及 CMP。為了使 III 族氮化物膜 13 之厚度、偏離角均勻化，利用 CMP 將複合基板安裝於裝置上之方式係設為預先利用真空夾盤吸附矯正基板形狀後，吸附固定於裝置上之方式。

關於所獲得之 III 族氮化物複合基板 1，將 III 族氮化物膜 13 之厚度之標準偏差 s_t 與厚度之平均值 m_t 的比 s_t/m_t 及 III 族氮化物膜 13 之主面 13m 相對於 (0001) 面之偏離角之絕對值之標準偏差 s_o 與偏離角之絕對值之平均值 m_o 的比 s_o/m_o 示於表 1。此處，厚度之平均值 m_t 、厚度之標準偏差 s_t 、偏離角之絕對值之平均值 m_o 、及偏離角之絕對值之標準偏差 s_o 係根據圖 7 所示之 III 族氮化物膜 13 之主面 13m 上的 13 個測定點 P 之 III 族氮化物膜 13 之厚度及偏離角之絕對值而算出，13 個測定點 P 包括 1 個中心點 P_c 、於自該中心點 P_c 相互成直角之 4 方向上且位於自外緣向內側 5 mm 處的 4 個外側點 P_o 、以及位於 1 個中心點 P_c 與 4 個外側點 P_o 之中間之 4 個點及位於 4 個外側點彼此之中間之 4 個點的合計 8 個中間點 P_M 。

2. III 族氮化物半導體裝置之製作

參照圖 15(A)，於 III 族氮化物複合基板 1 之 III 族氮化物膜 13 上，

利用MOVPE法使厚度5 μm 之n-GaN層21、厚度50 nm之n-In_{0.05}Ga_{0.95}N層22、包括厚度3 nm之In_{0.14}Ga_{0.86}N井層及厚度15 nm之GaN障壁層的3週期之具有多重量子井結構之活性層23、厚度20 nm之p-Al_{0.09}Ga_{0.91}N層24、及厚度150 nm之p-GaN層25作為III族氮化物層20依序磊晶成長於III族氮化物膜13上，藉此獲得積層III族氮化物複合基板2。其後，利用RTA(高速熱處理裝置)進行退火而使其活化。

參照圖15(B)，於積層III族氮化物複合基板2之III族氮化物層20之最上層即p-GaN層25上，利用EB(電子束)蒸鍍法依序形成厚度4 nm之Ni層及厚度200 nm之Au層，利用退火使其合金化，藉此形成第1電極30。於第1電極30上利用EB蒸鍍法依序形成厚度200 nm之Ti層、厚度100 nm之Pt層、及厚度1000 nm之Au層，藉此形成焊墊電極33。

另外，準備CuW基板作為裝置支撐基板40，於裝置支撐基板40上利用EB蒸鍍法依序形成厚度200 nm之Ti層、厚度100 nm之Pt層、及厚度1000 nm之Au層，藉此形成焊墊電極43。於焊墊電極43上形成AuSn焊錫膜作為接合金屬膜44。

繼而，藉由在焊墊電極33上貼合接合金屬膜44而獲得積層基板3。

參照圖15(C)，使用氫氟酸並利用蝕刻自積層基板3去除III族氮化物複合基板1之支撐基板11及接合膜12。

參照圖15(D)，於自積層基板3去除支撐基板11及接合膜12而露出之III族氮化物膜13上，利用EB蒸鍍法依序形成厚度20 nm之Ti層、厚度200 nm之Al層、及厚度300 nm之Au層並進行退火，藉此形成第2電極50。另外，於裝置支撐基板40上利用EB蒸鍍法依序形成厚度20 nm

之Ti層、及厚度300 nm之Au層並進行退火，藉此形成裝置支撐基板電極45。如此獲得III族氮化物半導體裝置4。

對於所獲得之III族氮化物半導體裝置4，使用積分球於注入電流4 A之條件下測定光輸出。發光元件之光輸出係以如下方式測定。即，對載置於積分球內之發光元件注入特定電流，利用接受由該發光元件所聚集之光的檢測器測定光輸出。並且，將光輸出適合於2 W以上之基準者設為良品，將不適合者設為不良品，將良品除以良品與不良品之合計者之百分率設為良率。III族氮化物半導體裝置之良率匯總於表3。

[表3]

參考例I-A	I-A1	I-A2	I-A3	I-A4	I-A5	I-A6	I-A7	I-A8	I-A9
比 s_t/m_t	0.001	0.002	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.2
比 s_o/m_o	0.005	0.008	0.05	0.2	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7
裝置良率(%)	78	77	75	72	68	62	58	35	32

參照表3，使用具有厚度150 μm之III族氮化物膜之直徑75 mm的III族氮化物複合基板、即III族氮化物膜之厚度之標準偏差 s_t 與厚度之平均值 m_t 的比 s_t/m_t 為0.001以上0.2以下且III族氮化物膜之主面相對於(0001)面之偏離角之絕對值之標準偏差 s_o 與偏離角之絕對值之平均值 m_o 的比 s_o/m_o 為0.005以上0.6以下之III族氮化物複合基板製作之III族氮化物半導體裝置之良率較高。再者，參考例I-A1中，為了降低厚度分佈及偏離角分佈，於切割及研磨時需要高度之控制，切割及研磨需要較長時間。

(參考例I-B)

參照圖12及圖15，使用莫來石-YSZ基板(相對於基板整體，莫來

石為70質量%且YSZ為30質量%，相對於YSZ，ZrO₂為90莫耳%且Y₂O₃為10莫耳%)作為支撐基板11而製作直徑分別為75 mm、100 mm、125 mm、及150 mm之III族氮化物複合基板1，除此以外，以與參考例I-A相同之方式製作III族氮化物複合基板1及III族氮化物半導體裝置4。

以與參考例I-A相同之方式，對於III族氮化物複合基板1，算出III族氮化物膜13之厚度之標準偏差 s_t 與厚度之平均值 m_t 之比 s_t/m_t 及III族氮化物膜之主面相對於(0001)面之偏離角之絕對值之標準偏差 s_o 與偏離角之絕對值之平均值 m_o 之比 s_o/m_o 並匯總於表2。另外，以與參考例I-A相同之方式，算出III族氮化物半導體裝置4之良率並匯總於表4。

[表4]

參考例I-B	I-B1	I-B2	I-B3	I-B4	I-B5	I-B6	I-B7	I-B8	I-B9	I-B10	I-B11	I-B12	I-B13	I-B14
直徑(mm)	75	75	75	75	75	100	100	100	100	125	150	150	75	100
III族氮化物膜之厚度(μm)	10	30	100	170	200	10	110	170	200	110	120	160	250	250
比 s_t/m_t	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
比 s_o/m_o	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
裝置良率(%)	60	63	70	72	61	59	71	73	60	72	71	72	59	58

參照表4，使用具有厚度10 μm～250 μm之III族氮化物膜之直徑75 mm～150 mm之III族氮化物複合基板、即III族氮化物膜之厚度之標準偏差 s_t 與厚度之平均值 m_t 之比 s_t/m_t 為0.001以上0.2以下之0.12且III族氮化物膜之主面相對於(0001)面之偏離角之絕對值之標準偏差 s_o 與偏離角之絕對值之平均值 m_o 之比 s_o/m_o 為0.005以上0.6以下之0.3之III族氮化物複合基板製作之III族氮化物半導體裝置之良率較高。

(參考例I-C)

作為半導體裝置用基板，準備III族氮化物獨立基板(以下，亦稱為FS基板)、由離子注入法所製作之III族氮化物複合基板(以下，亦稱為BP基板)、及由本發明之參考形態I-4所製作之III族氮化物複合基板(以下，亦稱為BS基板)。

FS基板係藉由利用線鋸切割具有特定直徑之Ga₂N晶體並研磨而製成表3所示之直徑及厚度之基板。

BP基板係藉由如圖17(B)所示對作為III族氮化物膜施體基板13D之具有特定直徑之Ga₂N晶體在自其主面向內部特定深度之位置注入氬離子而形成離子注入區域13i後，如圖17(C)所示，介隔接合膜12而使支撐基板11與III族氮化物膜施體基板13D之離子注入區域13i側貼合，其後藉由如圖17(D)所示於850℃下進行退火而將III族氮化物膜施體基板13D在該離子注入區域13i分離，藉此製成表5所示之直徑及III族氮化物膜之厚度之基板。此處，作為支撐基板11，係使用莫來石基板。

BS基板係使用莫來石基板作為支撐基板，除此以外，以與參考例I-B相同之方式製成表3所示之直徑及III族氮化物膜之厚度之基板。

使用上述FS基板、BP基板及BS基板，除此以外，以與參考例I-B相同之方式製作III族氮化物複合基板1及III族氮化物半導體裝置4。

以與參考例I-A相同之方式，對於III族氮化物複合基板1，算出III族氮化物膜13之厚度之標準偏差 s_t 與厚度之平均值 m_t 之比 s_t/m_t 及III族氮化物膜之主面相對於(0001)面之偏離角之絕對值之標準偏差 s_o 與偏離角之絕對值之平均值 m_o 之比 s_o/m_o 並匯總於表5。另外，以與參考例I-A相同之方式算出III族氮化物半導體裝置4之良率並匯總於表5。

[表 5]

參 考 例I-C	FS基板							BP基板			BS基板			
	I-C1	I-C2	I-C3	I-C4	I-C5	I-C6	I-C7	I-C8	I-C9	I-C10	I-C11	I-C12	I-C13	I-C14
直徑(mm)	50	75	75	100	100	100	125	75	100	125	75	100	125	150
III族氮化物膜之厚度(μm)	250	200	400	250	450	450	500	0.5	0.5	0.5	150	150	150	150
翹曲(μm)	50	140	40	180	30	30	35	25	30	35	30	30	30	30
比s _t /m _t	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.25	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
比s _o /m _o	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.65	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
裝置良率(%)	54	破裂	55	破裂	58	19	57	0	0	0	66	65	67	68

參照表5，使用直徑為50 mm~125 mm且厚度為200 μm ~500 μm 之FS基板製作之III族氮化物半導體裝置係直徑較大且厚度較小者的翹曲較大且容易產生破裂，良率均未達60%。

另外，使用直徑為75 mm~125 mm且III族氮化物膜之厚度為0.5 μm 之BP基板製作之III族氮化物半導體裝置由於III族氮化物膜的厚度較小，故而無法表現良好之裝置特性，良率下降。

相對於該等，使用BS基板製作之III族氮化物半導體裝置係良率為65%以上而較高。

(參考例I-D)

使用 Al_2O_3 - SiO_2 複合氧化物基板(相對於基板整體， Al_2O_3 為85質量%且 SiO_2 為15質量%)作為支撐基板，除此以外，按照與參考例I-B相同之要領製作複數個III族氮化物複合基板，測定其翹曲及TTV，結果如表6所示。此處，III族氮化物複合基板之翹曲及TTV係藉由光干涉式平坦度測定裝置而進行測定。

使用該等III族氮化物複合基板以與參考例I-B相同之方式製作III族氮化物半導體裝置。

對於III族氮化物複合基板，將III族氮化物膜之厚度之標準偏差 s_t 與厚度之平均值 m_t 的比 s_t/m_t 、及III族氮化物膜之主面相對於(0001)面之偏離角之絕對值之標準偏差 s_o 與偏離角之絕對值之平均值 m_o 的比 s_o/m_o 、及III族氮化物複合基板之翹曲及TTV匯總於表6。另外，以與參考例I-A相同之方式算出III族氮化物半導體裝置4之良率並匯總於表6。

[表6]

參考例I-D	I-D1	I-D2	I-D3	I-D4	I-D5	I-D6	I-D7	I-D8	I-D9	I-D10	I-D11	I-D12	I-D13
直徑(mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	75	150	150	150	150
III族氮化物膜之厚度(μm)	110	110	110	110	110	110	110	110	130	120	120	120	120
翹曲(μm)	15	30	50	70	30	30	50	50	50	50	50	50	90
TTV(μm)	15	15	20	40	10	20	30	50	30	30	60	30	30
比 s_t/m_t	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
比 s_o/m_o	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36
裝置良率(%)	75	68	63	55	74	67	60	57	61	61	58	60	57

參照表6，使用III族氮化物膜側之主面之翹曲為50 μm以下且TTV為30 μm以下之III族氮化物複合基板製作之III族氮化物半導體裝置係良率較高。

(參考例I-E)

使用III族氮化物膜之熱膨脹係數 α_{III-N} 與支撐基板之熱膨脹係數 α_s 的比 α_{III-N}/α_s 不同且III族氮化物膜之厚度 t_{III-N} 與支撐基板之厚度 t_s 的比 t_{III-N}/t_s 不同之複數個III族氮化物複合基板，除此以外，以與參考例I-B相同之方式製作III族氮化物半導體裝置。此處，為了改變上述比而使用厚度不同之莫來石基板、莫來石-YSZ基板、 Al_2O_3 - SiO_2 複合氧化物基板作為基底基板。

將III族氮化物膜之熱膨脹係數 α_{III-N} 與支撐基板之熱膨脹係數 α_s 的比 α_{III-N}/α_s 、及III族氮化物膜之厚度 t_{III-N} 與支撐基板之厚度 t_s 的比 t_{III-N}/t_s 、以及III族氮化物半導體裝置之良率匯總於表7。

[表 7]

參考例I-E	I-E1	I-E2	I-E3	I-E4	I-E5	I-E6	I-E7	I-E8	I-E9	I-E10	I-E11
直徑(mm)	75	75	75	75	75	100	100	100	100	150	150
支撐基板之種類	莫來石	莫來石	莫來石	莫來石	莫來石	莫來石	莫來石-YSZ	Al ₂ O ₃ -SiO ₂	Al ₂ O ₃ -SiO ₂	莫來石	莫來石-YSZ
比 α_{III-N}/α_S	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1	1.25	0.75	1.2	1
比 T_{III-N}/T_S	0.02	0.1	0.25	0.6	1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
裝置良率(%)	62	65	70	66	64	71	75	65	62	68	72

參照表7，使用III族氮化物膜之熱膨脹係數 $\alpha_{\text{III-N}}$ 與支撐基板之熱膨脹係數 α_s 的比 $\alpha_{\text{III-N}}/\alpha_s$ 為0.75以上1.25以下且III族氮化物膜之厚度 $t_{\text{III-N}}$ 與支撐基板之厚度 t_s 的比 $t_{\text{III-N}}/t_s$ 為0.02以上1以下之III族氮化物複合基板製作之III族氮化物半導體裝置之良率較高。

(參考例I-F)

藉由調節洗淨條件而調整III族氮化物膜之表面之雜質金屬原子之量，除此以外，以與參考例I-B相同之方式製作III族氮化物複合基板及III族氮化物半導體裝置。將III族氮化物複合基板之直徑、及III族氮化物膜之表面之雜質金屬原子之量、以及III族氮化物半導體裝置之良率匯總於表8。此處，III族氮化物膜之表面之雜質金屬原子之量係利用TXRF(全反射螢光X射線)法進行測定。此處，利用TXRF法之測定係使用鎢(W)線源於 0.05° 之入射角之條件下進行。

[表8]

參考例I-F	I-F1	I-F2	I-F3	I-F4	I-F5	I-F6	I-F7
直徑	75	75	75	75	100	100	150
雜質金屬原子($\times 10^{10}$ 原子/ cm^2)	6	40	300	500	8	80	10
裝置良率(%)	70	68	63	58	69	65	69

參照表8，使用III族氮化物膜之主面之雜質金屬原子為 3×10^{12} 原子/ cm^2 以下之III族氮化物複合基板製作的III族氮化物半導體裝置之良率較高。

(參考例I-G)

作為支撐基板，使用莫來石基板，作為III族氮化物膜施體基板，使用以摻雜劑形式添加O及Si、錯位密度為 $4 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ 且載子濃度為 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 的不存在錯位集中區域之均勻GaN晶體，除此以外，以

與參考例I-B相同之方式製作III族氮化物複合基板及III族氮化物半導體裝置。此處，藉由調整研磨條件而調整III族氮化物膜及支撐基板之主面之最大RMS。

將III族氮化物複合基板之III族氮化物膜及支撐基板之主面的最大RMS、及III族氮化物半導體裝置之良率匯總於表9。

[表9]

參考例I-G	I-G1	I-G2	I-G3	I-G4	I-G5	I-G6	I-G7	I-G8	I-G9
III族氮化物膜之主面之最大RMS(nm)	0.5	1	3	5	1	1	1	1	3
支撐基板之主面之最大RMS(nm)	1	1	1	1	2	6	12	18	12
裝置良率(%)	68	64	58	52	65	63	57	53	55

參照表9，使用III族氮化物膜之主面之RMS為3 nm以下且支撐基板之主面之RMS為12 nm以下之III族氮化物複合基板製作的III族氮化物半導體裝置之良率較高。

(參考例I-H)

作為支撐基板，使用Al₂O₃-SiO₂複合氧化物基板(相對於基板整體，Al₂O₃為82質量%且SiO₂為18質量%)，作為III族氮化物膜施體基板，使用以摻雜劑形式添加Fe且比電阻為1×10⁷ Ωcm之半絕緣性GaN晶體，除此以外，以與參考例I-B相同之方式製作III族氮化物複合基板。此處，藉由調整研磨條件而調整III族氮化物複合基板之III族氮化物膜之主面之RMS之平均值m_{III-N}及標準偏差s_{III-N}、以及支撐基板之主面之RMS之平均值m_S及標準偏差s_S。

進而，參照圖10，以如下方式製作HEMT作為III族氮化物半導體裝置4。

首先，藉由利用MOVPE法使厚度 $1.5\ \mu\text{m}$ 之GaN層26、厚度 $30\ \text{nm}$ 之 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層27作為III族氮化物層20依序磊晶成長於III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13上而獲得積層III族氮化物複合基板2。

繼而，於 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層27上利用光微影法、EB蒸鍍、及脫膜製作源電極60及汲極電極70。於該等電極上依序形成厚度 $20\ \text{nm}$ 之Ti層、厚度 $100\ \text{nm}$ 之Al層、厚度 $20\ \text{nm}$ 之Ti層、及厚度 $300\ \text{nm}$ 之Au層並脫膜後，藉由在 600°C 下退火1分鐘而使其合金化。

繼而，根據與源電極60及汲極電極70之製作相同之步驟而製作閘極電極80。於閘極電極80之製作中，依序形成厚度 $50\ \text{nm}$ 之Ni層及厚度 $500\ \text{nm}$ 之Au層。閘極長係設為 $2\ \mu\text{m}$ 。

如此獲得之III族氮化物半導體裝置4即HEMT係以如下方式配置：於III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13上形成有GaN層26及 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層27作為至少1層III族氮化物層20，於 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層27上，使源電極60、汲極電極70、及閘極電極80相互分離，且閘極電極80位於源電極60與汲極電極70之間。

對所獲得之HEMT洩漏之閘極電流密度進行檢查。具體而言，將供給 $5\ \text{V}$ 之閘極電壓時洩漏之閘極電流密度適合於 $1\times 10^{-6}\ \text{A}/\text{cm}^2$ 以下之基準者設為良品，將不適合者設為不良品，將良品除以良品與不良品之合計者之百分率設為良率。

將III族氮化物複合基板之III族氮化物膜之主面的RMS之平均值 $m_{\text{III-N}}$ 及標準偏差 $s_{\text{III-N}}$ 、及支撐基板之主面的RMS之平均值 m_s 及標準偏差 s_s 、及III族氮化物半導體裝置之良率匯總於表10。

[表 10]

參考例I-H	I-H1	I-H2	I-H3	I-H4	I-H5	I-H6	I-H7	I-H8	I-H9	I-H10	I-H11	I-H12
III族氮化物膜之主面之RMS之平均值 $m_{III-N}(nm)$	0.1	0.5	1	2	3	2	2	2	2	2	2	2
III族氮化物膜之主面之RMS之標準偏差 $s_{III-N}(nm)$	0.03	0.1	0.2	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
支撐基板之主面之RMS之平均值 $m_s(nm)$	2	2	2	2	2	2	0.3	2	5	10	13	10
支撐基板之主面之RMS之標準偏差 $s_s(nm)$	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.4	1.4	3	3	4
裝置良率(%)	72	69	65	60	51	52	68	67	64	57	51	52

參照表 10，使用 III 族氮化物膜之主面係其 RMS 之平均值 m_{III-N} 為 0.1 nm 以上 2 nm 以下、其 RMS 之標準偏差 s_{III-N} 為 0.4 nm 以下且支撐基板之主面係其 RMS 之平均值 m_s 為 0.3 nm 以上 10 nm 以下、其 RMS 之標準偏差 s_s 為 3 nm 以下的 III 族氮化物複合基板製作之 III 族氮化物半導體裝置之良率較高。

(參考例 I-I)

1. III 族氮化物複合基板之製作

參照圖 14(A)～(C)，作為支撐基板 11，準備直徑為 100 mm 之 Al_2O_3 - SiO_2 複合氧化物基板(相對於基板整體， Al_2O_3 為 88 質量% 且 SiO_2 為 12 質量%)，作為 III 族氮化物膜施體基板 13D，準備直徑為 100 mm 且厚度為 400 μm 之 GaN 晶體基板，利用 PE-CVD 法使厚度 500 nm 之 SiO_2 膜成長於支撐基板 11 及 III 族氮化物膜施體基板 13D 各自之主面上之後，藉由利用包含平均粒徑為 20 nm 之矽酸膠且 pH 值為 9 之漿料的 CMP 而形成以 RMS 成為 0.15 nm 以下之方式使主面平坦化的厚度 250

nm之接合膜12a、12b，作為利用純水之洗淨，進行利用純水及PVA(聚乙烯醇)製海棉之擦洗式洗淨，除此以外，以與參考例I-A相同之方式獲得接合基板1L。

參照圖14(D)，自接合基板1L之與III族氮化物膜施體基板13D之貼合主面相反側之主面進行磨削及研磨。磨削係使用包含平均粒徑為 $25\ \mu\text{m} \sim 35\ \mu\text{m}$ 之金剛石研磨粒之玻璃化磨石。研磨係使用分別包含平均粒徑為 $3\ \mu\text{m}$ 、 $2\ \mu\text{m}$ 、 $0.25\ \mu\text{m}$ 之金剛石研磨粒之漿料階段性地實施機械研磨。為了降低厚度分佈及偏離角分佈，上述研磨係於預先利用機械加壓矯正基板之翹曲之狀態下貼附於保持板上而實施。研磨後，藉由利用ICP-RIE(誘導結合電漿-反應性離子蝕刻)法所產生之氯氣電漿實施乾式蝕刻處理。再者，關於參考例I-I8，係代替上述磨削而使用平均粒徑為 $9\ \mu\text{m}$ 之金剛石研磨粒實施粗研磨。如此，獲得包含厚度為 $150\ \mu\text{m}$ 之III族氮化物膜13之III族氮化物複合基板1。

2. III族氮化物半導體裝置之製作

參照圖15，使用本參考例之III族氮化物複合基板1，藉由利用包含平均粒徑為 $35\ \mu\text{m} \sim 45\ \mu\text{m}$ 之金剛石研磨粒之玻璃化磨石的磨削而自積層基板3去除支撐基板11及接合膜12，尤其是參考例I-I9係藉由利用包含平均粒徑為 $15\ \mu\text{m}$ 之金剛石研磨粒之研磨而實施，於上述磨削及/或研磨後，為了去除接合膜及支撐基板之殘渣，利用氫氟酸進行蝕刻洗淨，除此以外，以與參考例I-A相同之方式獲得III族氮化物半導體裝置4。

以與參考例I-A相同之方式，對於III族氮化物複合基板1，算出III族氮化物膜13之厚度之標準偏差 s_t 與厚度之平均值 m_t 的比 s_t/m_t 及III

族氮化物膜之主面相對於(0001)面之偏離角之絕對值之標準偏差 s_o 與偏離角之絕對值之平均值 m_o 的比 s_o/m_o 並匯總於表11。另外，以與參考例I-A相同之方式算出III族氮化物半導體裝置4之良率並匯總於表11。

[表11]

參考例I-I	I-I1	I-I2	I-I3	I-I4	I-I5	I-I6	I-I7	I-I8	I-I9
比 s_t/m_t	0.001	0.002	0.05	0.15	0.2	0.25	0.2	0.05	0.05
比 s_o/m_o	0.005	0.008	0.2	0.5	0.6	0.6	0.7	0.2	0.2
裝置良率(%)	76	76	72	61	56	34	31	71	73

參照表11，使用III族氮化物膜之厚度之標準偏差 s_t 與厚度之平均值 m_t 的比 s_t/m_t 為0.001以上0.2以下且III族氮化物膜之主面相對於(0001)面之偏離角之絕對值之標準偏差 s_o 與偏離角之絕對值之平均值 m_o 的比 s_o/m_o 為0.005以上0.6以下之III族氮化物複合基板製作之III族氮化物半導體裝置之良率較高。再者，參考例I-I1中，為了降低厚度分佈及偏離角分佈，於磨削及研磨時需要高度之控制，磨削及研磨需要較長時間。

以下表示參考發明II之參考例II-A～參考例II-H。

(參考例II-A)

1. III族氮化物複合基板之製作

參照圖12(A)，作為支撐基板11，準備直徑為75 mm且厚度為300 μm 之 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 複合氧化物基板(相對於基板整體， Al_2O_3 為85質量%且 SiO_2 為15質量%)。支撐基板11係其熱導率為10 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ，其楊式模數為250 GPa。對於支撐基板11之兩側之主面11m、11n，使用金剛石漿料作為研磨劑，利用銅系壓盤進行粗研磨，利用錫系壓盤進行

中間研磨，利用形成有格子溝槽之不織布研磨墊進行完工研磨。完工研磨係於作用係數FE為 $4 \times 10^{-17} \text{ m}^2/\text{s}$ 以上 $1 \times 10^{-16} \text{ m}^2/\text{s}$ 以下之條件下進行研磨。

繼而，利用PE-CVD(電漿輔助-化學氣相堆積)法使厚度800 nm之 SiO_2 膜成長於支撐基板11之完工研磨後之主面11m上，於氮環境中在800°C下退火1小時後，藉由利用包含平均粒徑為40 nm之矽酸膠研磨粒且pH值為10之漿料的CMP(化學機械研磨)而形成以RMS(均方根粗糙度)成為0.3 nm以下之方式使主面12am鏡面化之厚度400 nm之接合膜12a。繼而，為了去除CMP中所使用之矽酸膠研磨粒而進行利用KOH水溶液之無研磨粒拋光洗淨、利用純水之拋光洗淨、及利用純水之超高頻音波洗淨(使用500 kHz~5 MHz之超高頻音波頻帶之頻率的超音波之洗淨)。

另外，參照圖12(B)，作為III族氮化物膜施體基板13D，準備直徑為75 mm且厚度為8 mm之GaN晶體，利用機械研磨及CMP以RMS成為2 nm以下之方式使III族氮化物膜施體基板13D之貼合面平坦化後，利用PE-CVD法使厚度800 nm之 SiO_2 膜成長於其上，於氮環境中在800°C下退火1小時後，藉由利用包含平均粒徑為40 nm之矽酸膠研磨粒且pH值為10之漿料的CMP而形成以RMS成為0.3 nm以下之方式使主面12bn鏡面化之厚度500 nm之接合膜12b。繼而，為了去除CMP中所使用之矽酸膠研磨粒而進行利用KOH水溶液之無研磨粒拋光洗淨、利用純水之拋光洗淨、及利用純水之超高頻音波洗淨(使用500 kHz~5 MHz之超高頻音波頻帶之頻率的超音波之洗淨)。此處，III族氮化物膜施體基板13D係使用GaAs基板作為基底基板並利用HVPE法使其成

長者。III族氮化物膜施體基板13D係其導電型為n型，其錯位密度為 $1 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ ，其載子濃度為 1×10^{17} 。

繼而，參照圖12(C)，藉由將接合膜12a之主面12am與接合膜12b之主面12bn貼合而獲得介隔接合膜12使支撐基板11與III族氮化物膜13貼合之接合基板1L。貼合後，於氮體環境中將接合基板1L升溫至 800°C ，藉此進行退火而提高接合強度。

繼而，參照圖12(D)，在位於自與接合膜12之貼合面向內部 $150 \mu\text{m}$ 之距離之深度的位置之面上利用線鋸切割接合基板1L之III族氮化物膜施體基板13D，藉此獲得介隔接合膜12使支撐基板11與作為III族氮化物膜13之GaN膜貼合之III族氮化物複合基板1。線係使用電鍍有金剛石研磨粒之線徑 $180 \mu\text{m}$ 之固定研磨粒線。為了降低切割電阻並提高厚度之精度及平坦性，切割方式係設為搖動線並同時振動III族氮化物膜施體基板13D之方式。線鋸切割之電阻係數係設為 4200 N 。切割後，對III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13進行機械研磨及CMP。為了使III族氮化物膜13之厚度均勻化，利用CMP將複合基板安裝於裝置上之方式係設為預先利用真空夾盤吸附矯正基板形狀後，吸附固定於裝置上之方式。

繼而，對於所獲得之III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13側之主面13m，使用金剛石漿料作為研磨劑，利用銅系壓盤實施粗研磨，利用錫系壓盤實施中間研磨。進而，使用包含矽酸膠研磨粒之pH值為11之漿料作為研磨劑並利用不織布研磨墊進行完工研磨。完工研磨係於作用係數FE為 $6 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{s}$ 之條件下進行研磨。完工研磨後之III族氮化物膜13之厚度為 $110 \mu\text{m}$ 。

對於上述完工研磨後之III族氮化物複合基板1，將支撐基板11側之主面11n之RMS之平均值 m_s 、支撐基板11側之主面11n之RMS之標準偏差 s_s 與RMS之平均值 m_s 的比 s_s/m_s 匯總於表12。

此處，RMS之平均值 m_s 、及RMS之標準偏差 s_s 與RMS之平均值 m_s 的比 s_s/m_s 係根據圖7所示之支撐基板11側之主面11n上之13個測定點P的支撐基板11側之主面11n之RMS而算出，該13個測定點P包括1個中心點 P_c 、於自該中心點 P_c 相互成直角之4方向上且位於自外緣向內側5 mm處的4個外側點 P_o 、以及位於1個中心點 P_c 與4個外側點 P_o 之中間之4個點及位於4個外側點彼此之中間之4個點的合計8個中間點 P_M 。

2. III族氮化物半導體裝置之製作

參照圖15(A)，於III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13側之主面13m上，利用MOVPE法使厚度5 μm 之n-GaN層21、厚度50 nm之n-In_{0.05}Ga_{0.95}N層22、包括厚度3 nm之In_{0.14}Ga_{0.86}N井層及厚度15 nm之GaN障壁層的3週期之具有多重量子井結構之活性層23、厚度20 nm之p-Al_{0.09}Ga_{0.91}N層24、及厚度150 nm之p-GaN層25作為III族氮化物層20而依序磊晶成長於III族氮化物膜13上，藉此獲得積層III族氮化物複合基板2。其後，利用RTA(高速熱處理裝置)進行退火而使其活化。

參照圖15(B)，於積層III族氮化物複合基板2之III族氮化物層20之最上層即p-GaN層25上，利用EB(電子束)蒸鍍法依序形成厚度4 nm之Ni層及厚度200 nm之Au層，利用退火使其合金化，藉此形成第1電極30。於第1電極30上利用EB蒸鍍法依序形成厚度200 nm之Ti層、厚度100 nm之Pt層、及厚度1000 nm之Au層，藉此形成焊墊電極33。

另外，準備CuW基板作為裝置支撐基板40，於裝置支撐基板40

上利用EB蒸鍍法依序形成厚度200 nm之Ti層、厚度100 nm之Pt層、及厚度1000 nm之Au層，藉此形成焊墊電極43。於焊墊電極43上形成AuSn焊錫膜作為接合金屬膜44。

繼而，藉由在焊墊電極33上貼合接合金屬膜44而獲得積層基板3。

參照圖15(C)，使用氫氟酸並利用蝕刻自積層基板3去除III族氮化物複合基板1之支撐基板11及接合膜12。

參照圖15(D)，於自積層基板3去除支撐基板11及接合膜12而露出之III族氮化物膜13上，利用EB蒸鍍法依序形成厚度20 nm之Ti層、厚度200 nm之Al層、及厚度300 nm之Au層並進行退火，藉此形成第2電極50。另外，於裝置支撐基板40上利用EB蒸鍍法依序形成厚度20 nm之Ti層、及厚度300 nm之Au層並進行退火，藉此形成裝置支撐基板電極45。如此，獲得III族氮化物半導體裝置4。

對於所獲得之III族氮化物半導體裝置4，使用積分球於注入電流4 A之條件下測定光輸出。發光元件之光輸出係以如下方式測定。即，對載置於積分球內之發光元件注入特定電流，利用接受由該發光元件所聚集之光的檢測器測定光輸出。並且，將光輸出適合於2 W以上之基準者設為良品，將不適合者設為不良品，將良品除以良品與不良品之合計者之百分率設為良率。III族氮化物半導體裝置之良率匯總於表12。

[表12]

參考例II-A	II-A1	II-A2	II-A3	II-A4	II-A5	II-A6	II-A7	II-A8	II-A9	II-A10	II-A11	II-A12	II-A13
m _s (nm)	0.3	0.5	1	2	5	10	20	0.3	20	30	35	20	10
比s _s /m _s	0.005	0.01	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.005	0.4	0.005	0.5	0.65
裝置良率(%)	77	77	73	71	67	63	56	63	58	31	32	35	37

參照表12，使用具有支撐基板、及厚度110 μm (該值為10 μm 以上250 μm 以下)之III族氮化物膜的直徑75 mm(該值為75 mm以上)之III族氮化物複合基板、即支撐基板側之主面之RMS之平均值 m_s 為0.3 nm以上20 nm以下且上述支撐基板側之主面之RMS之標準偏差 s_s 與RMS之平均值 m_s 的比 s_s/m_s 為0.005以上0.4以下之III族氮化物複合基板製作之III族氮化物半導體裝置之良率較高。

(參考例II-B)

參照圖12及圖15，作為支撐基板11，使用莫來石-YSZ基板(相對於基板整體，莫來石為70質量%且YSZ為30質量%，相對於莫來石， Al_2O_3 為60莫耳%且 SiO_2 為40莫耳%，相對於YSZ， ZrO_2 為90莫耳%且 Y_2O_3 為10莫耳%)，使直徑分別於75 mm~150 mm之間變動，支撐基板11側之主面11n之完工研磨係於作用係數FE為 $6.2 \times 10^{-17} \text{ m}^2/\text{s}$ 之條件下進行研磨，製作使完工研磨後之III族氮化物膜13之厚度分別於10 μm ~250 μm 之間變動的III族氮化物複合基板1，除此以外，以與參考例II-A相同之方式製作III族氮化物複合基板1及III族氮化物半導體裝置4。支撐基板11係熱導率為30 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 且楊式模數為150 GPa。

以與參考例II-A相同之方式，對於III族氮化物複合基板1，算出支撐基板11側之主面11n之RMS之平均值 m_s 、支撐基板11側之主面11n之RMS之標準偏差 s_s 與RMS之平均值 m_s 的比 s_s/m_s 並匯總於表13。另外，以與參考例II-A相同之方式算出III族氮化物半導體裝置4之良率並匯總於表13。

[表13]

參考例II-B	II-B1	II-B2	II-B3	II-B4	II-B5	II-B6	II-B7	II-B8	II-B9	II-B10	II-B11	II-B12
直徑D(mm)	75	75	75	75	75	100	100	100	100	125	150	150
III族氮化物膜之厚度(μm)	10	30	100	200	250	10	110	180	250	120	130	250
m _s (nm)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
比s _s /m _s	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
裝置良率(%)	58	62	69	72	65	59	74	73	66	75	74	62

參照表13，使用具有厚度10 μm～250 μm之III族氮化物膜之直徑75 mm～150 mm之III族氮化物複合基板、即支撐基板側之主面之RMS之平均值m_s為6 nm(該值為0.3 nm以上20 nm以下)且支撐基板側之主面之RMS之標準偏差s_s與RMS之平均值m_s的比s_s/m_s為0.23(該值為0.005以上0.4以下)之III族氮化物複合基板製作之III族氮化物半導體裝置之良率較高。

(參考例II-C)

作為半導體裝置用基板，準備III族氮化物獨立基板(以下，亦稱為FS基板)、由離子注入法所製作之III族氮化物複合基板(以下，亦稱為BP基板)、及由參考發明II之參考形態II-4所製作之III族氮化物複合基板(以下，亦稱為BS基板)。

FS基板係藉由利用線鋸切割具有特定直徑之Ga₂N晶體並研磨而製成表3所示之直徑及厚度之基板。

BP基板係藉由如圖17(B)所示對III族氮化物膜施體基板13D即具有特定直徑之Ga₂N晶體在自其主面13n向內部特定深度之位置注入氫離子而形成離子注入區域13i後，如圖17(C)所示，介隔接合膜12使支撐基板11與III族氮化物膜施體基板13D之離子注入區域13i側貼合，其後藉由如圖17(D)所示在700℃下進行退火而使III族氮化物膜施體基板13D在該離子注入區域13i分離，藉此製成表14所示之直徑及III族氮化物膜之厚度之基板。此處，作為支撐基板11，係使用Al₂O₃-SiO₂複合

氧化物基板(相對於基板整體， Al_2O_3 為85質量%且 SiO_2 為15質量%)。

BS基板係使用 Al_2O_3 - SiO_2 複合氧化物基板(相對於基板整體， Al_2O_3 為85質量%且 SiO_2 為15質量%)作為支撐基板，除此以外，以與參考例II-B相同之方式製成表14所示之直徑及III族氮化物膜之厚度之基板。

使用上述FS基板、BP基板、及BS基板，支撐基板11側之主面11n之完工研磨係於作用係數FE為 $4.0 \times 10^{-17} \text{ m}^2/\text{s}$ 之條件下進行研磨，除此以外，以與參考例II-B相同之方式製作III族氮化物複合基板1及III族氮化物半導體裝置4。

以與參考例II-A相同之方式，對於作為III族氮化物複合基板1之BP基板及BS基板，算出翹曲W、比W/D、支撐基板11側之主面11n之RMS之平均值 m_s 、支撐基板11側之主面11n之RMS之標準偏差 s_s 與RMS之平均值 m_s 的比 s_s/m_s 並匯總於表14。另外，對於FS基板，算出翹曲W、比W/D、其背面側之主面之RMS之平均值 m_s 、背面側之主面11n之RMS之標準偏差 s_s 與RMS之平均值 m_s 的比 s_s/m_s 並匯總於表14。進而，以與參考例II-A相同之方式算出III族氮化物半導體裝置4之良率並匯總於表14。

[表 14]

參考例II-C	FS基板							BP基板			BS基板			
	II-C1	II-C2	II-C3	II-C4	II-C5	II-C6	II-C7	II-C8	II-C9	II-C10	II-C11	II-C12	II-C13	II-C14
直徑D(mm)	50	75	75	100	100	100	125	75	100	125	75	100	125	150
III族氮化物膜之厚度(μm)	280	250	380	250	450	450	500	0.5	0.5	0.5	140	140	140	140
翹曲W(μm)	40	120	42	170	25	25	40	20	25	30	25	25	40	45
比W/D(×10 ⁻⁴)	8	16	5.6	17	2.5	2.5	3.2	2.7	2.5	2.4	3.3	2.5	3.2	3
m _s (nm)	4	4	4	4	4	30	4	4	4	4	4	4	4	4
比s _s /m _s	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.5	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
裝置良率(%)	52	破裂	54	破裂	56	18	52	0	0	0	72	73	70	69

參照表 14，使用直徑為 50 mm～125 mm且厚度為250 μm～500 μm之FS基板製作之III族氮化物半導體裝置係直徑較大且厚度較小者的翹曲較大且容易產生破裂，良率均未達60%。

另外，使用直徑為75 mm～125 mm且III族氮化物膜之厚度為0.5 μm之BP基板製作之III族氮化物半導體裝置由於III族氮化物膜的厚度較小，故而無法表現良好之裝置特性，良率下降。

相對於該等，使用BS基板製作之III族氮化物半導體裝置係良率為65%以上而較高。與BP基板相比，BS基板係III族氮化物膜較厚且電流充分地擴散，與BP基板不同，不會因離子注入而導致III族氮化物膜之晶體品質下降，藉此獲得良好之特性。

(參考例II-D)

參照圖 12及圖 15，使用Al₂O₃-SiO₂複合氧化物基板(相對於基板整體，Al₂O₃為82質量%且SiO₂為18質量%)基板作為支撐基板11，使直徑分別於75 mm～150 mm之間變動，利用AP-CVD(常壓-化學氣相堆積)法使作為接合膜12之SiO₂膜成長，支撐基板11側之主面11n之完工研磨係於作用係數FE為8.5×10⁻¹⁷ m²/s之條件下進行研磨，製作使完工研磨後之III族氮化物膜13之厚度分別於110 μm～130 μm之間變動的

1 III族氮化物複合基板1，除此以外，以與參考例II-A相同之方式製作 III族氮化物複合基板1及III族氮化物半導體裝置4。支撐基板11係熱導率為 $5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 且楊式模數為230 GPa。

以與參考例II-A相同之方式，對於III族氮化物複合基板1，算出支撐基板11側之主面11n之RMS之平均值 m_s 、支撐基板11側之主面11n之RMS之標準偏差 s_s 與RMS之平均值 m_s 的比 s_s/m_s 、支撐基板11側之主面11n之翹曲 W 、及支撐基板11側之主面11n之翹曲 W 與直徑 D 的比 W/D 並匯總於表15。另外，以與參考例II-A相同之方式算出III族氮化物半導體裝置4之良率並匯總於表15。

[表 15]

參考例II-D	II-D1	II-D2	II-D3	II-D4	II-D5	II-D6	II-D7	II-D8	II-D9	II-D10	II-D11	II-D12	II-D13	II-D14	II-D15	II-D16
直D(mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	75	150	150	150	150	150
III族氮化物膜之厚度(μm)	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	130	120	120	120	120	120
比W/D(×10 ⁻⁴)	-10	-7	-4	-2.5	-1	1.5	3	5	8	10	2	-11	-7	-2.5	8	10
m _s (nm)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
比s _s /m _s	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
裝置良率(%)	63	70	72	74	75	76	73	72	69	64	74	58	66	72	65	59

參照表15，使用具有厚度為 $110\ \mu\text{m} \sim 130\ \mu\text{m}$ (該值為 $10\ \mu\text{m}$ 以上 $250\ \mu\text{m}$ 以下)之III族氮化物膜之直徑為 $75\ \text{mm} \sim 150\ \text{mm}$ (該值為 $75\ \text{mm}$ 以上)之III族氮化物複合基板、即支撐基板側之主面之RMS之平均值 m_s 為 $3\ \text{nm}$ (該值為 $0.3\ \text{nm}$ 以上 $20\ \text{nm}$ 以下)且支撐基板側之主面之RMS之標準偏差 s_s 與RMS之平均值 m_s 的比 s_s/m_s 為 0.1 (該值為 0.005 以上 0.4 以下)並且支撐基板11側之主面11n之翹曲 W 與直徑 D 的比 W/D 為 -7×10^{-4} 以上 8×10^{-4} 以下之III族氮化物複合基板製作之III族氮化物半導體裝置之良率較高。

(參考例II-E)

參照圖12及圖15，作為支撐基板11，使用莫來石基板(莫來石相對於基板整體， Al_2O_3 為60莫耳%且 SiO_2 為40莫耳%)，作為III族氮化物膜施體基板13D，使用摻雜有O(氧)原子及Si(矽)原子、無錯位集中區域、錯位密度為 $5 \times 10^6\ \text{cm}^{-2}$ 而較均勻且載子濃度為 $2 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ 的導電性較高之GaN基板，支撐基板11側之主面11n之完工研磨係於作用係數 FE 為 $8.3 \times 10^{-17}\ \text{m}^2/\text{s}$ 之條件下進行研磨，利用放電線加工實施III族氮化物膜施體基板13D之切割，於III族氮化物膜13側之主面13m之完工研磨時，利用包含粒徑為 $20\ \text{nm} \sim 400\ \text{nm}$ 之矽酸膠的漿料而將作用係數 FE 設為 4×10^{-14} 以上 1×10^{-13} 以下，除此以外，以與參考例II-A相同之方式製作III族氮化物複合基板1及III族氮化物半導體裝置4。支撐基板11係熱導率為 $3\ \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 且楊式模數為 $200\ \text{GPa}$ 。

以與參考例II-A相同之方式，對於完工研磨後之III族氮化物複合基板1算出支撐基板11側之主面11n之RMS之平均值 m_s 、支撐基板11側之主面11n之RMS之標準偏差 s_s 與RMS之平均值 m_s 的比 s_s/m_s 並匯總於

表 16。

另外，對於完工研磨後之III族氮化物複合基板1，將III族氮化物膜13側之主面13m之RMS之平均值 m_{III-N} 、III族氮化物膜13側之主面13m之RMS之標準偏差 s_{III-N} 與RMS之平均值 m_{III-N} 的比 s_{III-N}/m_{III-N} 匯總於表16。此處，RMS之平均值 m_{III-N} 、及RMS之標準偏差 s_{III-N} 與RMS之平均值 m_{III-N} 的比 s_{III-N}/m_{III-N} 係根據圖7所示之III族氮化物膜13側之主面13m上的13個測定點P之III族氮化物膜13側之主面13m之RMS而算出，該13個測定點P包括1個中心點 P_C 、於自該中心點 P_C 相互成直角之4方向上且位於自外緣向內側5 mm處的4個外側點 P_O 、以及位於1個中心點 P_C 與4個外側點 P_O 之中間之4個點及位於4個外側點彼此之中間之4個點的合計8個中間點 P_M 。

進而，以與參考例II-A相同之方式算出III族氮化物半導體裝置4之良率並匯總於表16。

[表 16]

參考例II-E	II-E1	II-E2	II-E3	II-E4	II-E5	II-E6	II-E7	II-E8	II-E9	II-E10	II-E11	II-E12	II-E13
$m_{III-N}(nm)$	0.15	0.4	0.8	1	1.6	2	3	0.15	3	4	4.5	3	2.5
比 s_{III-N}/m_{III-N}	0.008	0.02	0.05	0.1	0.2	0.4	0.5	0.5	0.008	0.5	0.008	0.7	0.8
$m_s(nm)$	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
比 s_s/m_s	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
裝置良率(%)	80	80	75	72	68	63	59	62	60	52	51	53	54

參照表16，使用具有厚度為110 μm (該值為10 μm 以上250 μm 以下)之III族氮化物膜之直徑為75 mm(該值為75 mm以上)的III族氮化物複合基板，即，支撐基板側之主面之RMS之平均值 m_s 為2 nm(該值為0.3 nm以上20 nm以下)、支撐基板側之主面之RMS之標準偏差 s_s 與RMS之平均值 m_s 的比 s_s/m_s 為0.12(該值為0.005以上0.4以下)、III族氮

化物膜側之主面之RMS之平均值 m_{III-N} 為0.15 nm以上3 nm以下且III族氮化物膜側之主面之RMS之標準偏差 s_{III-N} 與平均值 m_{III-N} 的比 s_{III-N}/m_{III-N} 為0.008以上0.5以下之III族氮化物複合基板，製作之III族氮化物半導體裝置之良率較高。

(參考例II-F)

1. III族氮化物複合基板之製作

參照圖12，作為支撐基板11，使用 Al_2O_3 - SiO_2 複合氧化物基板、莫來石基板(相對於基板整體， Al_2O_3 為60莫耳%且 SiO_2 為40莫耳%)、莫來石-YSZ基板(相對於基板整體，莫來石為70質量%且YSZ為30質量%，相對於莫來石， Al_2O_3 為60莫耳%且 SiO_2 為40莫耳%，相對於YSZ， ZrO_2 為90莫耳%且 Y_2O_3 為10莫耳%)，作為III族氮化物膜施體基板13D，使用摻雜有Fe(鐵)原子之電氣電阻率(亦稱為比電阻)為 $2 \times 10^5 \Omega cm$ 之半絕緣性GaN基板，利用使用游離研磨粒之線鋸實施III族氮化物膜施體基板之切割，支撐基板11側之主面11n之完工研磨係於作用係數FE為 $8.7 \times 10^{-17} m^2/s$ 之條件下進行研磨，製作使直徑分別於75 mm ~ 150 mm之間變動之III族氮化物複合基板，除此以外，以與參考例II-A相同之方式製作III族氮化物複合基板1。

2. III族氮化物半導體裝置之製作

參照圖10，於本參考例中，製作HEMT作為III族氮化物半導體裝置4。藉由利用MOVPE法使厚度1.5 μm 之GaN層26、厚度30 nm之 $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ 層27作為III族氮化物層20依序磊晶成長於III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13之主面13m上而獲得積層III族氮化物複合基板2。

繼而，於 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層27上利用光微影法、EB蒸鍍及脫膜形成源電極60及汲極電極70。該等電極之形成係藉由如下方式進行：依序形成厚度20 nm之Ti層、厚度100 nm之Al層、厚度20 nm之Ti層、及厚度300 nm之Au層並脫膜後，藉由在 600°C 下退火1分鐘而使其合金化。

繼而，根據與源電極60及汲極電極70之形成相同之步驟而形成閘極電極80。閘極電極80之形成係藉由依序形成厚度50 nm之Ni層及厚度500 nm之Au層而進行。閘極長係設為2 μm 。

如此獲得之III族氮化物半導體裝置4即HEMT係以如下方式配置：於III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13上形成Ga_N層26及 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層27作為至少1層之1層III族氮化物層20，於 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層27上，使源電極60、汲極電極70及閘極電極80相互分離且閘極電極80位於源電極60與汲極電極70之間。

以與參考例II-A相同之方式，對於III族氮化物複合基板1，算出支撐基板11側之主面11n之RMS之平均值 m_s 、支撐基板11側之主面11n之RMS之標準偏差 s_s 與RMS之平均值 m_s 的比 s_s/m_s 並匯總於表17。進而，利用熱機械分析裝置測定支撐基板11之熱膨脹係數 α_s 及III族氮化物膜13之熱膨脹係數 $\alpha_{\text{III-N}}$ ，算出III族氮化物膜之熱膨脹係數 $\alpha_{\text{III-N}}$ 與支撐基板之熱膨脹係數 α_s 的比 $\alpha_{\text{III-N}}/\alpha_s$ ，將結果匯總於表17。進而，利用數位指示器測定支撐基板11之厚度 t_s 及III族氮化物膜13之厚度 $t_{\text{III-N}}$ ，算出III族氮化物膜13之厚度 $t_{\text{III-N}}$ 與支撐基板11之厚度 t_s 的比 $t_{\text{III-N}}/t_s$ ，將結果匯總於表17。

另外，以如下方式算出III族氮化物半導體裝置4之良率。即，將於對III族氮化物半導體裝置4即HEMT供給5 V之閘極電壓時自該

HEMT洩漏之閘極電流密度適合於 1×10^{-6} A/cm²以下之基準者設為良品，將不適合者設為不良品，將良品除以良品與不良品之合計者之百分率設為良率。

[表 17]

參考例II-F	II-F1	II-F2	II-F3	II-F4	II-F5	II-F6	II-F7	II-F8	II-F9	II-F10	II-F11	II-F12	II-F13	II-F14
直徑D(mm)	75	75	75	75	75	100	100	100	100	100	100	100	150	150
支撐基板之種類	Al ₂ O ₃ -SiO ₂					莫來石-YSZ			Al ₂ O ₃ -SiO ₂			莫來石		
比 α_{III-N}/α_s	1	1	1	1	1	1	1	1	1.25	0.9	0.75	1.2	1.2	1
比 t_{III-N}/t_s	0.02	0.1	0.3	0.6	1	0.4	0.4	1	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2
m_s (nm)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
比 s_s/m_s	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
裝置良率(%)	62	65	75	66	64	76	72	63	63	70	62	64	63	69

參照表 17，若為 III 族氮化物複合基板，則即便使用具有 Al_2O_3 - SiO_2 複合氧化物基板、莫來石基板、及莫來石-YSZ 基板之任一者的 III 族氮化物複合基板 1 作為支撐基板 11，利用其 III 族氮化物膜之厚度設為 $110\ \mu\text{m}$ (該值為 $10\ \mu\text{m} \sim 250\ \mu\text{m}$)、直徑為 $75\ \text{mm} \sim 150\ \text{mm}$ 、支撐基板側之主面之 RMS 之平均值 m_s 為 $1.5\ \text{nm}$ (該值為 $0.3\ \text{nm}$ 以上 $20\ \text{nm}$ 以下) 且支撐基板側之主面之 RMS 之標準偏差 s_s 與 RMS 之平均值 m_s 的比 s_s/m_s 為 0.1 (該值為 0.005 以上 0.4 以下) 之 III 族氮化物複合基板 1 製作之 III 族氮化物半導體裝置之良率亦較高。另外，於 III 族氮化物膜 13 之熱膨脹係數 $\alpha_{\text{III-N}}$ 與支撐基板 11 之熱膨脹係數 α_s 的比 $\alpha_{\text{III-N}}/\alpha_s$ 為 0.75 以上 1.25 以下之情形時，且於 III 族氮化物膜之厚度 $t_{\text{III-N}}$ 與支撐基板 11 之厚度 t_s 的比 $t_{\text{III-N}}/t_s$ 為 0.02 以上 1 以下之情形時，所製作之 III 族氮化物半導體裝置之良率較高。

(參考例 II-G)

參照圖 12，作為支撐基板 11，使用 Al_2O_3 - SiO_2 複合氧化物基板 (相對於基板整體， Al_2O_3 為 88 質量 % 且 SiO_2 為 12 質量 %) 基板，藉由磨削及作用係數 FE 為 $5.9 \times 10^{-17}\ \text{m}^2/\text{s}$ 之完工研磨而將支撐基板 11 之厚度設為 $250\ \mu\text{m}$ ，製作使直徑分別於 $75\ \text{mm} \sim 150\ \text{mm}$ 之間變動之 1 III 族氮化物複合基板 1，進而對所獲得之 III 族氮化物複合基板 1 進行洗淨，除此以外，以與參考例 II-A 相同之方式製作 III 族氮化物複合基板 1。此處，支撐基板 11 係熱導率為 $15\ \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 且楊式模數為 $270\ \text{GPa}$ 。另外，洗淨方法係藉由組合使用界面活性劑及純水之擦洗式洗淨、使用鹽酸或 TMAH (氫氧化四甲基銨) 及純水之主流體洗淨、及使用鹽酸或 TMAH 及純水之超高頻音波洗淨而實施。

2. III族氮化物半導體裝置之製作

參照圖11，於本參考例中，製作SBD作為III族氮化物半導體裝置4。藉由利用MOVPE法使厚度2 μm 之 n^+ -GaN層28(載子濃度為 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)、厚度7 μm 之 n^- -GaN層29(載子濃度為 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$)作為III族氮化物層20依序磊晶成長於圖6所示之III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13之主面13m上而獲得積層III族氮化物複合基板。

繼而，藉由於 n^- -GaN層29上利用EB(電子束)蒸鍍法依序形成厚度4 nm之Ni層及厚度200 nm之Au層並利用退火使其合金化而形成作為肖特基電極之第1電極30。電極徑係設為200 μm 。藉由於第1電極30上利用EB蒸鍍法依序形成厚度200 nm之Ti層、厚度100 nm之Pt層、及厚度1000 nm之Au層而形成焊墊電極(未圖示)。

利用磨削自積層III族氮化物複合基板去除支撐基板及接合膜。磨削係利用使用平均粒徑為40 μm ~50 μm 之金剛石研磨粒之玻璃化磨石。

參照圖11，於自積層III族氮化物基板去除支撐基板及接合膜而露出之III族氮化物膜13之主面13n上，利用EB蒸鍍法依序形成厚度20 nm之Ti層、厚度200 nm之Al層、及厚度300 nm之Au層並進行退火，藉此形成作為歐姆電極之第2電極50。如此，獲得作為SBD之III族氮化物半導體裝置4。

以與參考例II-A相同之方式，對於III族氮化物複合基板1算出支撐基板11側之主面11n之RMS之平均值 m_s 並匯總於表18。進而，對於III族氮化物複合基板1，利用TXRF(全反射螢光X射線分析)法測定III族氮化物膜13側之主面13m之雜質金屬原子之濃度並匯總於表18。此

處，利用TXRF法之測定係使用W(鎢)線源並以0.05°之入射角進行。

另外，以如下方式，算出III族氮化物半導體裝置4之良率。即，對於作為III族氮化物半導體裝置4之SBD測定相反方向之電流-電壓特性，將該SBD之耐壓適合於300V以上之基準者設為良品，將不適合者設為不良品，將良品除以良品與不良品之合計者之百分率設為良率。將III族氮化物半導體裝置之良率匯總於表18。

[表18]

參考例II-G	II-G1	II-G2	II-G3	II-G4	II-G5	II-G6	II-G7	II-G8
直徑D(mm)	75	75	75	75	75	100	100	150
雜質金屬原子濃度 ($\times 10^{10}$ 原子/cm ²)	10	100	300	1000	2000	8	100	10
m _s (nm)	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
比s _s /m _s	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
裝置良率(%)	70	68	65	63	58	69	65	69

參照表18，使用具有厚度為110 μm之III族氮化物膜之直徑為75 mm(該值為75 mm以上)的III族氮化物複合基板、即III族氮化物膜側之主面之雜質金屬原子之濃度為 3×10^{12} 原子/cm²以下的III族氮化物複合基板製作之III族氮化物半導體裝置之良率較高。

(參考例II-H)

參照圖14及圖15，作為支撐基板11，使用熱導率於2 W・m⁻¹・K⁻¹～300 W・m⁻¹・K⁻¹之間的直徑為75 mm之基板，自與直徑為75 mm之III族氮化物膜施體基板13D之貼合主面相反側之主面13m進行磨削及研磨而將III族氮化物膜13之厚度設為110 μm，支撐基板11側之主面11n之完工研磨係於作用係數FE為 9.0×10^{-17} m²/s之條件下進行研磨，除此以外，以與參考例II-A相同之方式製作III族氮化物複合基板1及

III族氮化物半導體裝置4。此處，III族氮化物膜施體基板13D之磨削係使用包含平均研磨粒為 $25\ \mu\text{m} \sim 35\ \mu\text{m}$ 之金剛石研磨粒之玻璃化研磨粒。另外，支撐基板11之熱導率係藉由調整氧化物原料之調配比率、及煅燒條件而進行調整。

以與參考例II-A相同之方式算出III族氮化物半導體裝置4之良率並匯總於表19。

[表 19]

參考例II-H	II-H1	II-H2	II-H3	II-H4	II-H5	II-H6	II-H7	II-H8	II-H9
支撐基板之熱導率 $\lambda_s(W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1})$	2	3	5	10	30	120	210	280	300
$m_s(nm)$	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
比 s_s/m_s	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
裝置良率(%)	55	63	65	67	67	66	64	61	55

參照表 19，使用具有厚度為 110 μm (該值為 10 μm 以上 250 μm 以下)之 III 族氮化物膜之直徑為 75 mm(該值為 75 mm 以上)之 III 族氮化物複合基板、即具有熱導率為 3 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ 以上 280 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ 以下之支撐基板之 III 族氮化物複合基板製作的 III 族氮化物半導體裝置之良率較高。

以下表示參考發明 III 之參考例 III-A ~ 參考例 III-D。

[(1) III 族氮化物複合基板之製作]

(參考例 III-A)

以下，參照圖 12 對參考例之 III 族氮化物複合基板進行說明。

首先，如圖 12(A) 所示，作為支撐基板 11，準備直徑為 75 mm 且厚度為 300 μm 之 Al_2O_3 - SiO_2 複合氧化物基板(相對於基板整體， Al_2O_3 為 85 質量% 且 SiO_2 為 15 質量% 之複合氧化物基板)。該支撐基板 11 係熱導率為 10 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ 且楊式模數為 250 GPa。

繼而，對於支撐基板 11 之兩側之主面 11m、11n，使用金剛石漿料作為研磨劑，利用銅系壓盤進行粗研磨，利用錫系壓盤進行中間研磨，利用不織布研磨墊進行完工研磨。完工研磨係於作用係數 FE 為 $4 \times 10^{-17} m^2/s$ 以上 $1 \times 10^{-16} m^2/s$ 以下之條件下進行研磨。

繼而，利用 PE-CVD(電漿輔助-化學氣相堆積)法使厚度 800 nm 之

SiO₂膜成長於支撐基板11之完工研磨後之主面11m上，於氮環境中在800℃下退火1小時。

繼而，藉由利用包含平均粒徑為40 nm之矽酸膠研磨粒且pH值為10之漿料的CMP而形成以RMS(均方根粗糙度)成為0.3 nm以下之方式使主面12am鏡面化之厚度400 nm之接合膜12a。繼而，為了去除CMP時所使用之矽酸膠研磨粒而進行利用KOH水溶液之無研磨粒拋光洗淨、利用純水之拋光洗淨、及利用純水之超高頻音波洗淨(使用500 kHz～5 MHz之超高頻音波頻帶之頻率的超音波之洗淨)。

另外，如圖12(B)所示，作為III族氮化物膜施體基板13D，準備直徑為75 mm且厚度為8 mm之GaN晶體。繼而，利用機械研磨及CMP以RMS成為2 nm以下之方式使III族氮化物膜施體基板13D之貼合面平坦化，利用PE-CVD法使厚度為800 nm之SiO₂膜成長於其上，於氮環境中在800℃下退火1小時。繼而，藉由利用包含平均粒徑為40 nm之矽酸膠研磨粒且pH值為10之漿料的CMP而形成以RMS成為0.3 nm以下之方式使主面12bn鏡面化之厚度500 nm之接合膜12b。繼而，為了去除CMP時所使用之矽酸膠研磨粒而進行利用KOH水溶液之無研磨粒拋光洗淨、利用純水之拋光洗淨、及利用純水之超高頻音波洗淨。

再者，此處，III族氮化物膜施體基板13D係使用GaAs基板作為基底基板並利用HVPE法使其成長。III族氮化物膜施體基板13D係導電型為n型，轉移密度為 $1 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ ，載子濃度為 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 。

繼而，如圖12(C)所示，藉由將接合膜12a之主面12am與接合膜12b之主面12bn貼合而獲得介隔接合膜12使支撐基板11與III族氮化物膜13貼合之接合基板1L。貼合後，使接合基板1L於氮環境中升溫至

800°C，藉此進行退火而提高接合強度。

繼而，如圖12(D)所示，在位於自與接合膜12之貼合面向內部40 μm 之距離之深度的位置之面上利用線鋸切割接合基板1L之III族氮化物膜施體基板13D，藉此獲得介隔接合膜12使支撐基板11與作為GaN薄膜之III族氮化物膜13貼合之III族氮化物複合基板1。

再者，此處，線係使用電鍍有金剛石研磨粒之線徑為180 μm 之固定研磨粒線。另外，為了降低切割電阻並提高厚度之精度及切割面之平坦性，切割方式係採用搖動線並同時振動III族氮化物膜施體基板13D之方式。並且，線鋸切割之電阻係數係設為4200 N。

進而，切割後，對III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13進行機械研磨及CMP。此時，使用金剛石漿料作為研磨材料，利用銅系壓盤進行粗研磨，利用錫系壓盤實施中間研磨。進而，使用pH值為11之矽酸膠漿料(包含平均粒徑為60 nm之矽酸膠研磨粒且pH值為11之漿料)並利用不織布研磨墊進行完工研磨。再者，為了使III族氮化物膜13之厚度均勻化，將CMP之複合基板安裝於裝置上之方式係採用預先利用真空夾盤吸附矯正基板形狀後，將該基板吸附固定於裝置上之方式。另外，完工研磨時之作用係數FE係設為 $7 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{s}$ 。完工研磨後之III族氮化物膜13之厚度為110 μm 。

[(2) III族氮化物半導體裝置之製作]

以下，參照圖16，對參考例之III族氮化物半導體裝置即SBD(肖特基勢壘二極體)進行說明。

首先，如圖16(A)所示，利用MOVPE法使厚度2 μm 之 n^+ -GaN層28(載子濃度為 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)、厚度7 μm 之 n^- -GaN層29(載子濃度為

$5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$)作為III族氮化物層20依序磊晶成長於III族氮化物複合基板1之III族氮化物膜13側之主面13m上，藉此獲得積層III族氮化物複合基板2。

繼而，如圖16(B)所示，利用電子束蒸鍍法(以下，亦記作EB(Electron Beam)蒸鍍法)使厚度4 nm之Ni層及厚度200 nm之Au層依序形成於積層III族氮化物複合基板2之III族氮化物層20之最上層即n⁻-GaN層29上，利用退火使其合金化，藉此形成作為肖特基電極之第1電極30。再者，此時，第1電極30之徑係設為200 μm。進而，於第1電極30上利用EB蒸鍍法依序形成厚度200 nm之Ti層、厚度100 nm之Pt層及厚度1000 nm之Au層，藉此形成焊墊電極33。

另外，作為裝置支撐基板40，準備Mo基板，於裝置支撐基板40上利用EB蒸鍍法依序形成厚度200 nm之Ti層、厚度100 nm之Pt層、及厚度1000 nm之Au層，藉此形成焊墊電極43。並且，於焊墊電極43上形成AuSn焊錫膜作為接合金屬膜44。

繼而，藉由在焊墊電極33上貼合接合金屬膜44而獲得積層基板3。

繼而，如圖16(C)所示，藉由使用氫氟酸之蝕刻而自積層基板3去除III族氮化物複合基板1之支撐基板11及接合膜12。

繼而，如圖16(D)所示，於藉由自積層基板3去除支撐基板11及接合膜12而露出之III族氮化物膜13上，利用EB蒸鍍法依序形成厚度20 nm之Ti層、厚度200 nm之Al層、及厚度300 nm之Au層並進行退火，藉此形成作為歐姆電極之第2電極50。另外，於裝置支撐基板40上利用EB蒸鍍依序形成厚度20 nm之Ti層、厚度300 nm之Au層並進行退

火，藉此形成裝置支撐基板電極45。如此，獲得作為SBD之III族氮化物半導體裝置4。

以上述方式獲得之III族氮化物半導體裝置4之良率係以如下方式算出。即，對於SBD測定相反方向之電流-電壓特性，將耐電壓適合於250V以上之基準者設為良品，將不適合者設為不良品，將良品數除以良品數與不良品數之合計之值的百分率設為良率。

根據以上所說明之方法，製作包含具有表1所示之厚度分佈之接合膜的III族氮化物複合基板、及使用該等之III族氮化物半導體裝置。

該等III族氮化物複合基板係使支撐基板與厚度為110 μm(即，10 μm以上250 μm以下)之III族氮化物膜貼合之直徑為75 mm(即，75 mm以上)之複合基板。

將接合膜之厚度分佈與根據上述方法算出之III族氮化物半導體裝置之良率的關係示於表20。

[表20]

參考例III-A	III-A1	III-A2	III-A3	III-A4	III-A5	III-A6	III-A7
接合膜之厚度分佈(%)	1	2	5	13	25	40	47
裝置良率(%)	35	69	77	84	76	71	33

根據表20而明確，使用接合膜之厚度分佈為2%以上40%以下之III族氮化物複合基板的半導體裝置(III-A2～III-A6)係與使用不滿足上述條件之III族氮化物複合基板之半導體裝置(III-A1及III-A7)相比，良率更良好。

(參考例III-B)

以與參考例III-A相同之方式，按照表21所示之剪切接合強度及

接合面積率製作使支撐基板與III族氮化物膜接合之III族氮化物複合基板、及使用該等之III族氮化物半導體裝置。

該等之III族氮化物複合基板係使支撐基板與厚度為110 μm(即，10 μm以上250 μm以下)之III族氮化物膜貼合之直徑為75 mm(即，75 mm以上)之複合基板。

將剪切接合強度及接合面積率、與根據上述方法算出之III族氮化物半導體裝置之良率的關係示於表21。

[表21]

參考例III-B	III-B1	III-B2	III-B3	III-B4	III-B5	III-B6	III-B7	III-B8	III-B9
剪切接合強度(MPa)	2	4	4	10	30	33	40	40	60
接合面積率(%)	80	60	99	70	90	51	60	99	99
裝置良率(%)	25	66	69	75	84	39	64	74	56

根據表21而明確，使用支撐基板與III族氮化物膜之剪切接合強度為4 MPa以上40 MPa以下且支撐基板與III族氮化物膜之接合面積率為60%以上99%以下的III族氮化物複合基板之半導體裝置(III-B2～III-B5、III-B7及III-B8)係與使用不滿足上述條件之III族氮化物複合基板之半導體裝置(III-B1、III-B6及III-B9)相比，良率更良好。

(參考例III-C)

於以下之(i)～(v)之條件下，除此以外，以與參考例III-A相同之方式製作參考例III-C之III族氮化物複合基板、及使用該等之III族氮化物半導體裝置。

(i)作為支撐基板11，使用選自Al₂O₃-SiO₂複合氧化物基板(相對於基板整體，Al₂O₃為82質量%，SiO₂為18質量%的複合氧化物基板)、莫來石-YSZ、及莫來石中之複合氧化物基板

(ii)使直徑分別於75 mm～150 mm之間變動

(iii)利用AP-CVD(常壓-化學氣相堆積)法使接合膜12成長

(iv)於支撐基板11側之主面11m之完工研磨時，在作用係數FE為 $8.5 \times 10^{-17} \text{ m}^2/\text{s}$ 以上 $1 \times 10^{-16} \text{ m}^2/\text{s}$ 以下之條件下進行研磨

(v)使完工研磨後之III族氮化物膜13之厚度分別於10 μm ～250 μm 之間變動

再者，參考例III-C之III族氮化物複合基板之接合膜之厚度分佈係全部設為5%(即，2%以上40%以下)。

將參考例III-C之III族氮化物複合基板之構成與使用該等之III族半導體裝置之良率的關係示於表22。

[表 22]

參考例III-C	III-C1	III-C2	III-C3	III-C4	III-C5	III-C6	III-C7	III-C8	III-C9	III-C10	III-C11	III-C12	III-C13
直徑(mm)	75	75	75	75	100	100	100	100	100	100	100	150	150
支撐基板之種類	Al ₂ O ₃ -SiO ₂				莫來石-YSZ				Al ₂ O ₃ -SiO ₂				Al ₂ O ₃ -SiO ₂
$\alpha_{III-N}/\alpha_S(-)$	1	1	1	1	1	1	1	1.25	0.9	0.75	1.2	1.2	1
$t_{III-N}/t_S(-)$	0.02	0.1	0.3	0.6	1	0.4	0.9	1	1	1	0.4	1	0.2
接合膜之厚度分佈(%)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
裝置良率(%)	62	70	72	69	69	76	65	68	75	67	60	55	69

表22中， $\alpha_{\text{III-N}}/\alpha_s$ 表示III族氮化物膜之熱膨脹係數 $\alpha_{\text{III-N}}$ 與支撐基板之熱膨脹係數 α_s 的比， $t_{\text{III-N}}/t_s$ 表示III族氮化物膜之厚度 $t_{\text{III-N}}$ 與支撐基板之厚度 t_s 的比。

根據表22而明確，使用使支撐基板及厚度為10 μm 以上250 μm 以下之III族氮化物膜貼合之直徑為75 mm以上之III族氮化物複合基板、即接合膜之厚度分佈為5%(即，2%以上40%以下)之III族氮化物複合基板中的 $t_{\text{III-N}}/t_s$ 為0.02以上1以下之複合基板之III族氮化物半導體裝置可以尤其較高之良率製造。

除上述以外， $\alpha_{\text{III-N}}/\alpha_s$ 為0.75以上1.25以下之複合基板係完全不產生破裂且良率亦良好。

(參考例III-D)

使用具有表23所示之熱導率 λ_s 之支撐基板，除此以外，以與參考例III-A相同之方式製作III族氮化物複合基板及使用該等之III族氮化物半導體裝置。

將支撐基板之熱導率 λ_s 與III族氮化物半導體裝置之良率的關係示於表23。

[表23]

參考例III-D	III-D1	III-D2	III-D3	III-D4	III-D5	III-D6	III-D7	III-D8	III-D9
支撐基板之熱導率 $\lambda_s(\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$	2	3	5	10	30	120	210	280	300
接合膜之厚度分佈(%)	5	5	5	5	5	5	5	5	5
裝置良率(%)	55	63	65	67	67	66	64	61	55

根據表23而明確，使用使支撐基板與厚度為110 μm (即，10 μm 以上250 μm 以下)之III族氮化物膜貼合之直徑為75 mm(即，75 mm以上)的III族氮化物複合基板、即接合膜之厚度分佈為5%(即，2%以上40%

以下)之III族氮化物複合基板中的熱導率 λ_s 為 $3\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ 以上 $280\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ 以下之複合基板之III族氮化物半導體裝置可以尤其較高之良率製造。

就所有方面而言，此次所揭示之實施之形態及實施例僅為例示而不應該認為是限定性者。本發明之範圍並非上述之說明而由申請專利範圍所表示，包括與申請專利範圍均等之意義及範圍內之全部變更。

【符號說明】

1	III族氮化物複合基板
1L	接合基板
1LS	接合基板
2	積層III族氮化物複合基板
3	積層基板
4	III族氮化物半導體裝置
5D	附帶支撐體之III族氮化物膜施體基板
5Dr	附帶支撐體之III族氮化物膜施體基板
11	支撐基板
11m	主面
11n	主面
12	接合膜
12a	接合膜
12am	主面
12b	接合膜

12bn	主面
13	III族氮化物膜
13D	III族氮化物膜施體基板
13Dr	III族氮化物膜施體基板
13h	主面貫通孔
13i	離子注入區域
13m	主面
13n	主面
14	接合膜
15	III族氮化物膜施體基板支撐體
20	III族氮化物層
21	n-GaN層
22	n-In _{0.05} Ga _{0.95} N層
23	活性層
24	p-Al _{0.09} Ga _{0.91} N層
25	p-GaN層
26	GaN層
27	Al _{0.2} Ga _{0.8} N層
28	n ⁺ -GaN層
29	n ⁻ -GaN層
30	第1電極
33	焊墊電極
43	焊墊電極

40	裝置支撐基板
44	接合金屬膜
45	裝置支撐基板電極
50	第2電極
60	源電極
70	汲極電極
80	閘極電極
100	接合界面
100b	接合區域
100n	非接合區域
111n	非接合部分區域
112n	非接合部分區域
121n	非接合部分區域
122n	非接合部分區域
201	第1導電型Ga _N 層
202	第1導電型Al _s Ga _{1-s} N層
203	發光層
204	第2導電型Al _t Ga _{1-t} N層
205	第2導電型Ga _N 層
P	測定點
P _C	中心點
P _M	中間點
P _O	外側點



I646635

【發明摘要】

【中文發明名稱】

III族氮化物複合基板與其製造方法、及III族氮化物半導體裝置與其製造方法

【中文】

本發明提供一種可以較高之良率獲得之薄片電阻較低之III族氮化物複合基板與其製造方法、及使用III族氮化物複合基板的III族氮化物半導體裝置之製造方法。III族氮化物複合基板(1)包含III族氮化物膜(13)、及由化學組成與III族氮化物膜(13)不同的材料所形成之支撐基板(11)。此處，III族氮化物膜(13)係以直接或間接之形態接合於支撐基板(11)上。III族氮化物膜(13)之厚度為10 μm 以上。III族氮化物膜(13)側之主面(13m)之薄片電阻為200 Ω/sq 以下。III族氮化物複合基板(1)之製造方法包括：使III族氮化物膜(13)與支撐基板(11)以直接或間接之形態貼合之步驟；及減小所貼合之III族氮化物膜(13)及支撐基板之至少一者之厚度的步驟。

【指定代表圖】

圖4

【代表圖之符號簡單說明】

1	III族氮化物複合基板
11	支撐基板
11m	主面
12	接合膜
12a	接合膜

12am	主面
12b	接合膜
12bn	主面
13	III族氮化物膜
13h	主面貫通孔
13m	主面
13n	主面
100	接合界面
100b	接合區域
100n	非接合區域
111n	非接合部分區域
121n	非接合部分區域

【特徵化學式】

無

【發明申請專利範圍】

【第1項】

一種III族氮化物複合基板，其係將支撐基板與厚度為 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上且 $250\text{ }\mu\text{m}$ 以下之III族氮化物膜貼合而成之直徑為 75 mm 以上者，且上述III族氮化物膜之厚度之標準偏差 s_t 對厚度之平均值 m_t 的比 s_t/m_t 為 0.001 以上且 0.2 以下，上述III族氮化物膜之主面相對於特定面方位之面的偏離角之絕對值之標準偏差 s_o 對偏離角之絕對值之平均值 m_o 的比 s_o/m_o 為 0.005 以上且 0.6 以下。

【第2項】

如請求項1之III族氮化物複合基板，其中上述III族氮化物複合基板之上述III族氮化物膜側之主面的翹曲為 $50\text{ }\mu\text{m}$ 以下，上述III族氮化物複合基板之整體厚度分佈為 $30\text{ }\mu\text{m}$ 以下。

【第3項】

如請求項1或2之III族氮化物複合基板，其中上述III族氮化物膜之熱膨脹係數 $\alpha_{\text{III-N}}$ 對上述支撐基板之熱膨脹係數 α_s 的比 $\alpha_{\text{III-N}}/\alpha_s$ 為 0.75 以上且 1.25 以下，上述III族氮化物膜之厚度 $t_{\text{III-N}}$ 對上述支撐基板之厚度 t_s 的比 $t_{\text{III-N}}/t_s$ 為 0.02 以上且 1 以下。

【第4項】

如請求項1或2之III族氮化物複合基板，其中上述III族氮化物膜之主面之雜質金屬原子為 3×10^{12} 原子/ cm^2 以下。

【第5項】

如請求項1或2之III族氮化物複合基板，其中上述III族氮化物膜之主面之均方根粗糙度為 3 nm 以下。

【第6項】

如請求項1或2之III族氮化物複合基板，其中上述支撐基板之主

面之均方根粗糙度為12 nm以下。

【第7項】

如請求項1或2之III族氮化物複合基板，其直徑為100 mm以上。

【第8項】

如請求項1或2之III族氮化物複合基板，其直徑為125 mm以上且300 mm以下。

【第9項】

如請求項1或2之III族氮化物複合基板，其中上述III族氮化物膜之主面之均方根粗糙度之平均值 m_{III-N} 為0.1 nm以上且2 nm以下，其均方根粗糙度之標準偏差 s_{III-N} 為0.4 nm以下，上述支撐基板之主面之均方根粗糙度之平均值 m_S 為0.3 nm以上且10 nm以下，其均方根粗糙度之標準偏差 s_S 為3 nm以下。

【第10項】

一種積層III族氮化物複合基板，其包括：如請求項1之III族氮化物複合基板、及配置於上述III族氮化物複合基板之上述III族氮化物膜上之至少1層III族氮化物層。

【第11項】

一種III族氮化物半導體裝置，其包括：如請求項1之III族氮化物複合基板中之上述III族氮化物膜、及配置於上述III族氮化物膜上之至少1層III族氮化物層。

【第12項】

一種III族氮化物複合基板之製造方法，其係如請求項1之III族氮化物複合基板之製造方法，且包括：

藉由將支撐基板與III族氮化物膜施體基板貼合而形成直徑為75 mm以上的接合基板之步驟；以及

藉由在位於自上述接合基板之上述III族氮化物膜施體基板之貼合主面向內部距特定距離之位置的面上、切割上述III族氮化物膜施體基板而形成上述III族氮化物複合基板之步驟。

【第13項】

一種III族氮化物複合基板之製造方法，其係如請求項1之III族氮化物複合基板之製造方法，且包括：

藉由將支撐基板與III族氮化物膜施體基板貼合而形成直徑為75 mm以上的接合基板之步驟；以及

藉由自與上述接合基板之上述III族氮化物膜施體基板之貼合主面相反側的主面進行磨削、研磨及蝕刻之至少任一者而形成上述III族氮化物複合基板之步驟。

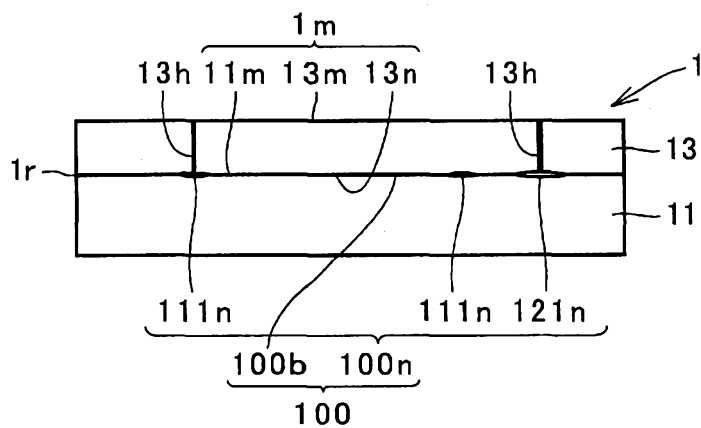
【第14項】

一種III族氮化物半導體裝置之製造方法，其包括：準備如請求項1之III族氮化物複合基板之步驟；以及使至少1層III族氮化物層於上述III族氮化物複合基板的上述III族氮化物膜上成長之步驟。

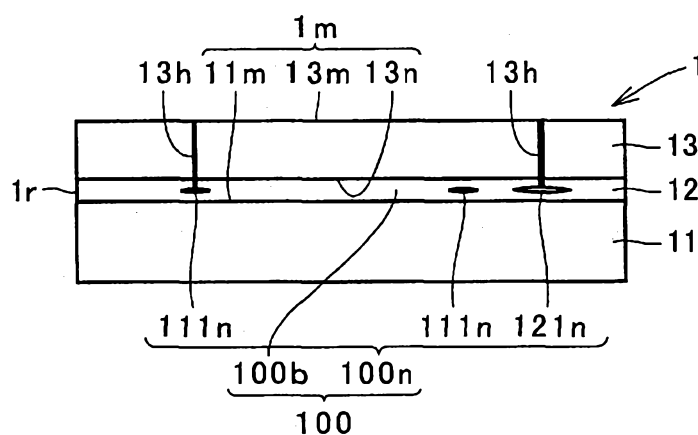
【第15項】

如請求項14之III族氮化物半導體裝置之製造方法，其中進而包括：於上述III族氮化物層上進而貼合裝置支撐基板之步驟；以及自上述III族氮化物複合基板去除上述支撐基板之步驟。

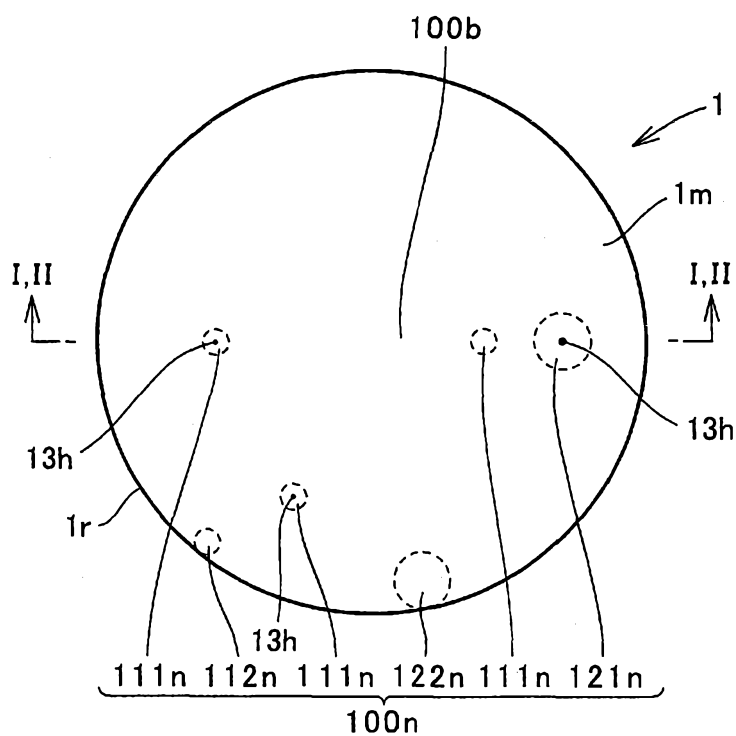
【發明圖式】



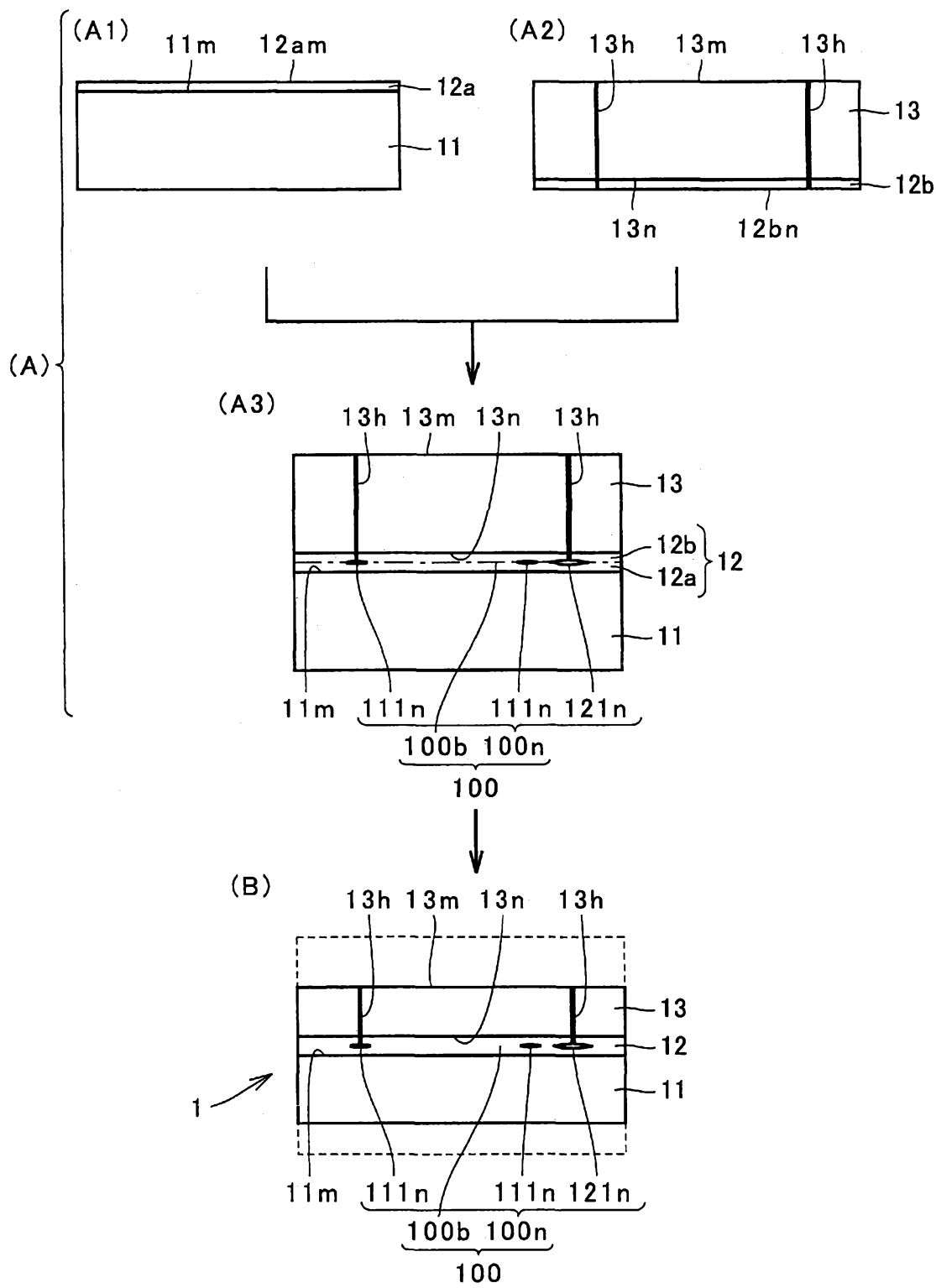
【圖1】



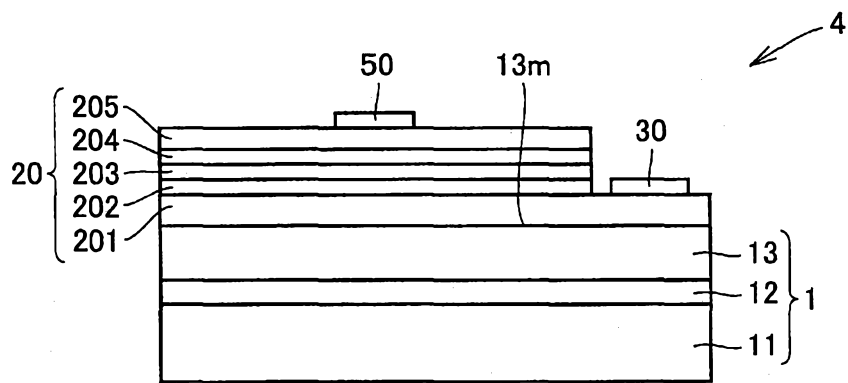
【圖2】



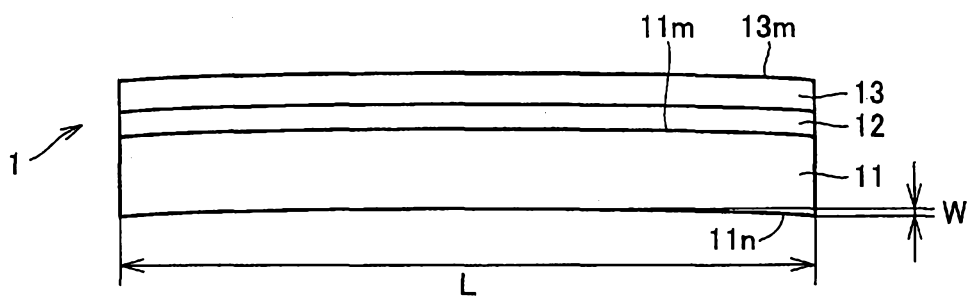
【圖3】



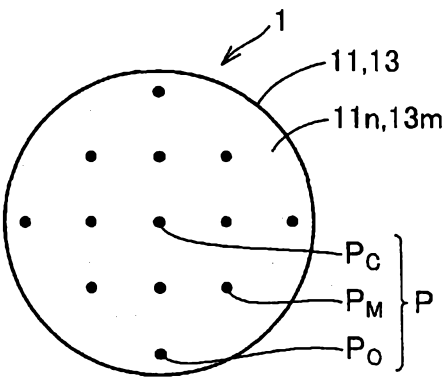
【圖4】



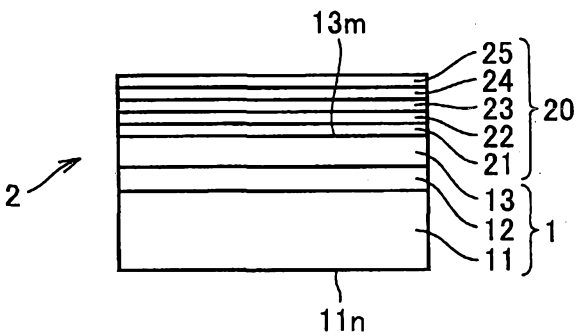
【圖5】



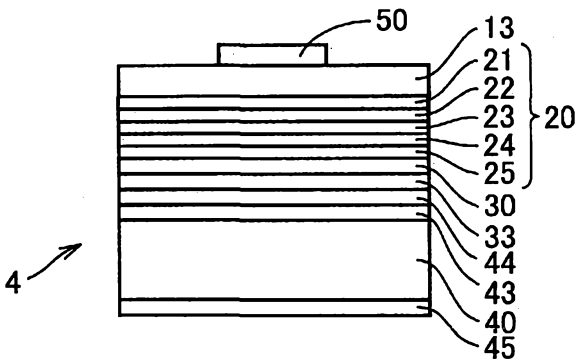
【圖6】



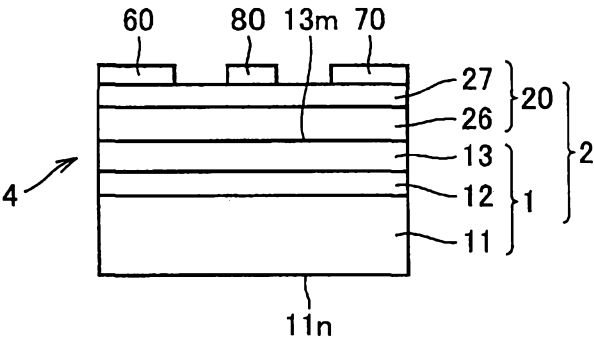
【圖7】



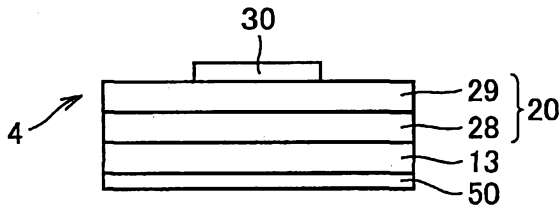
【圖8】



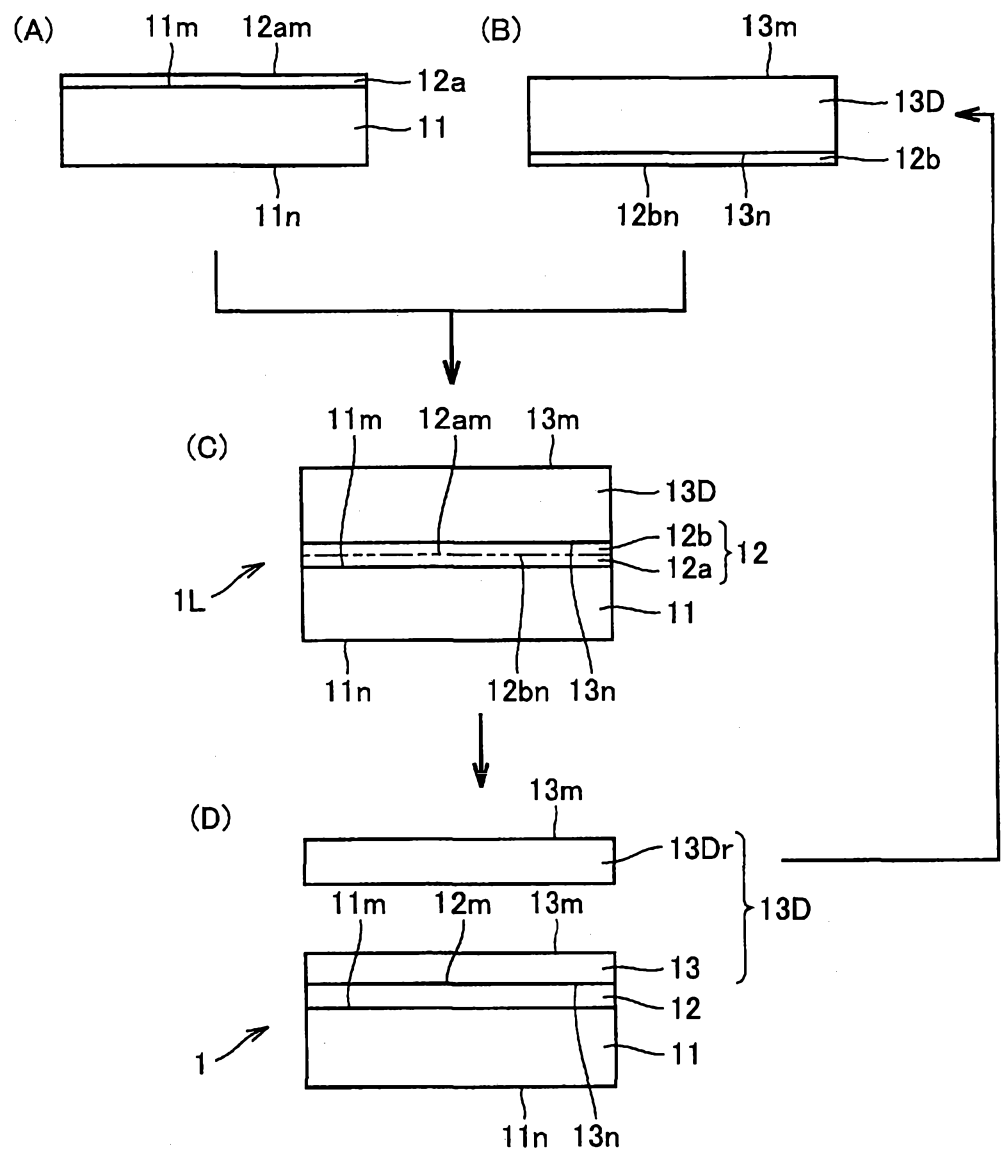
【圖9】



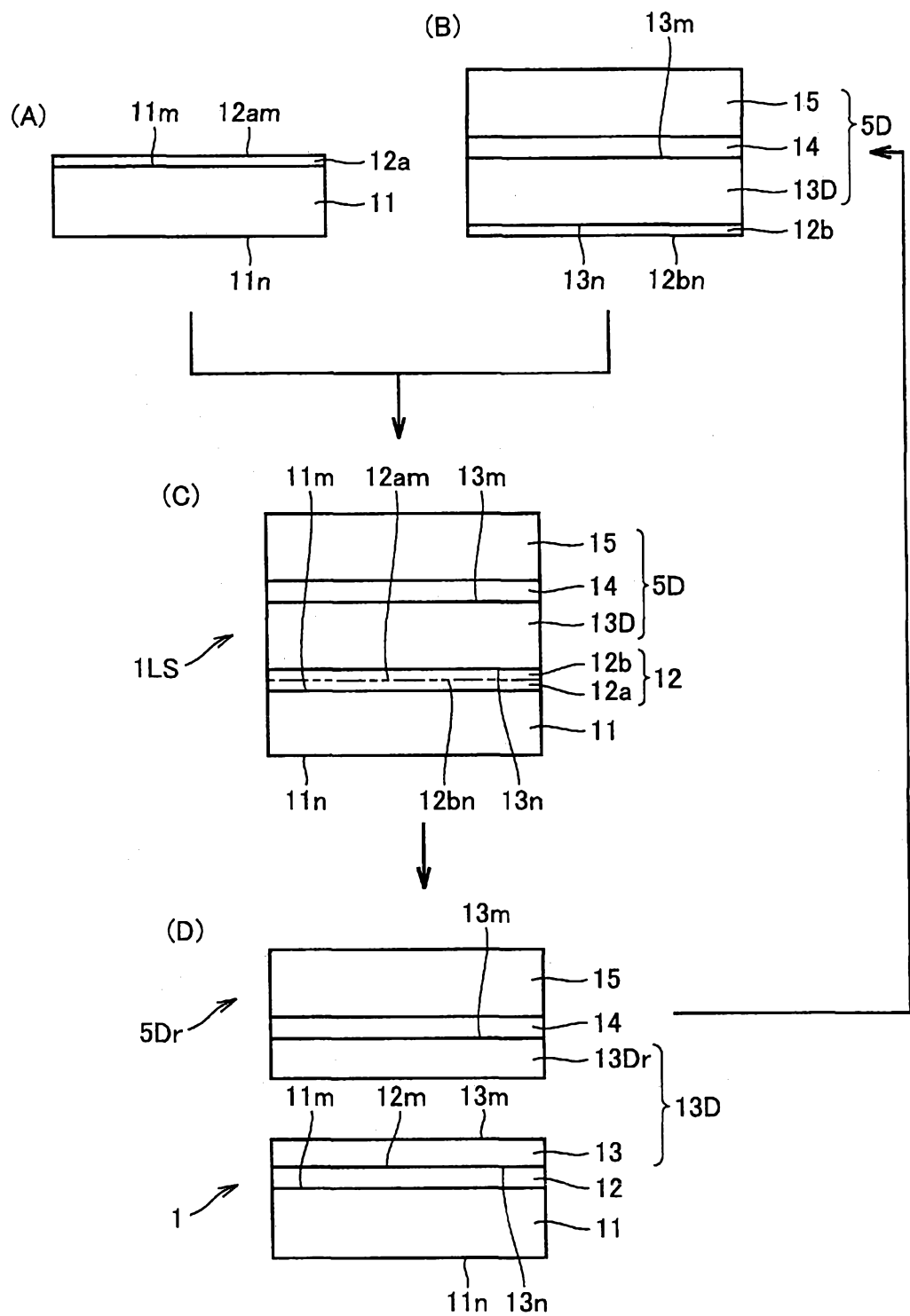
【圖10】



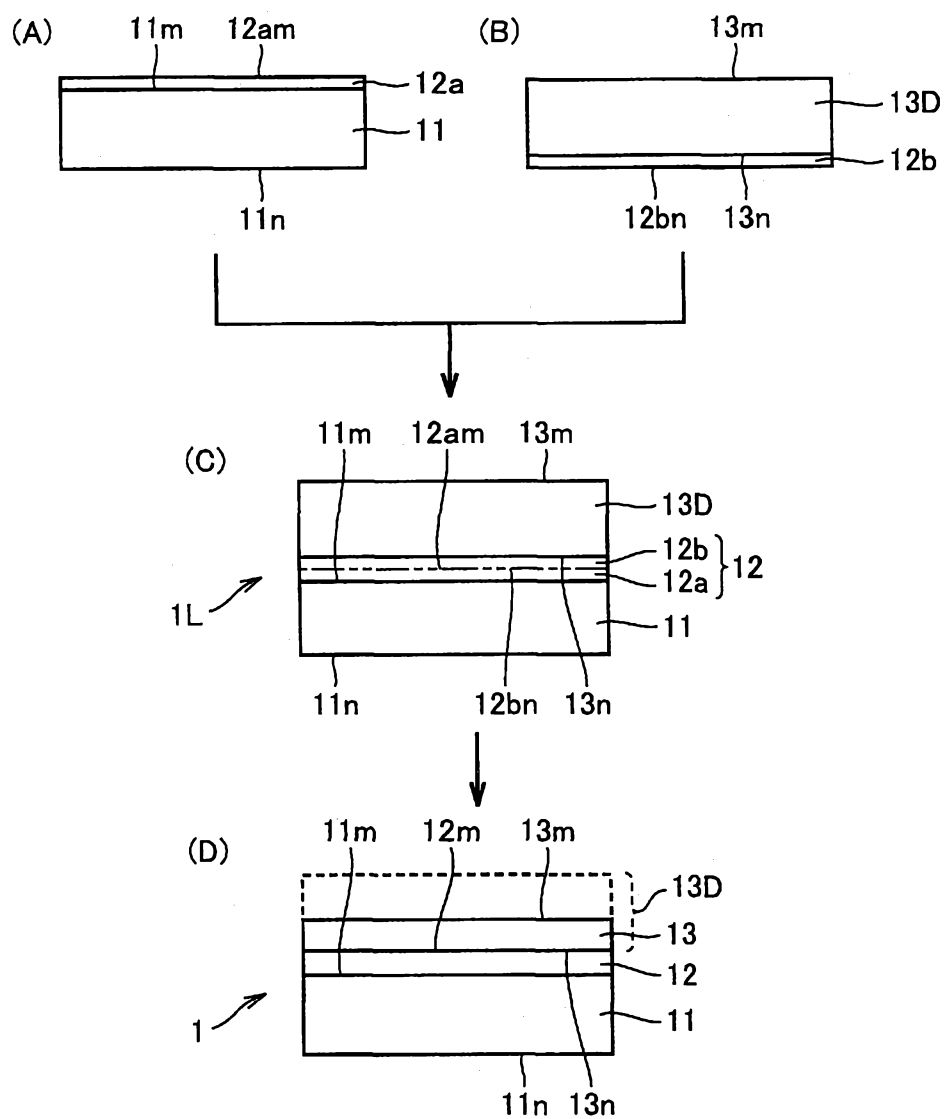
【圖11】



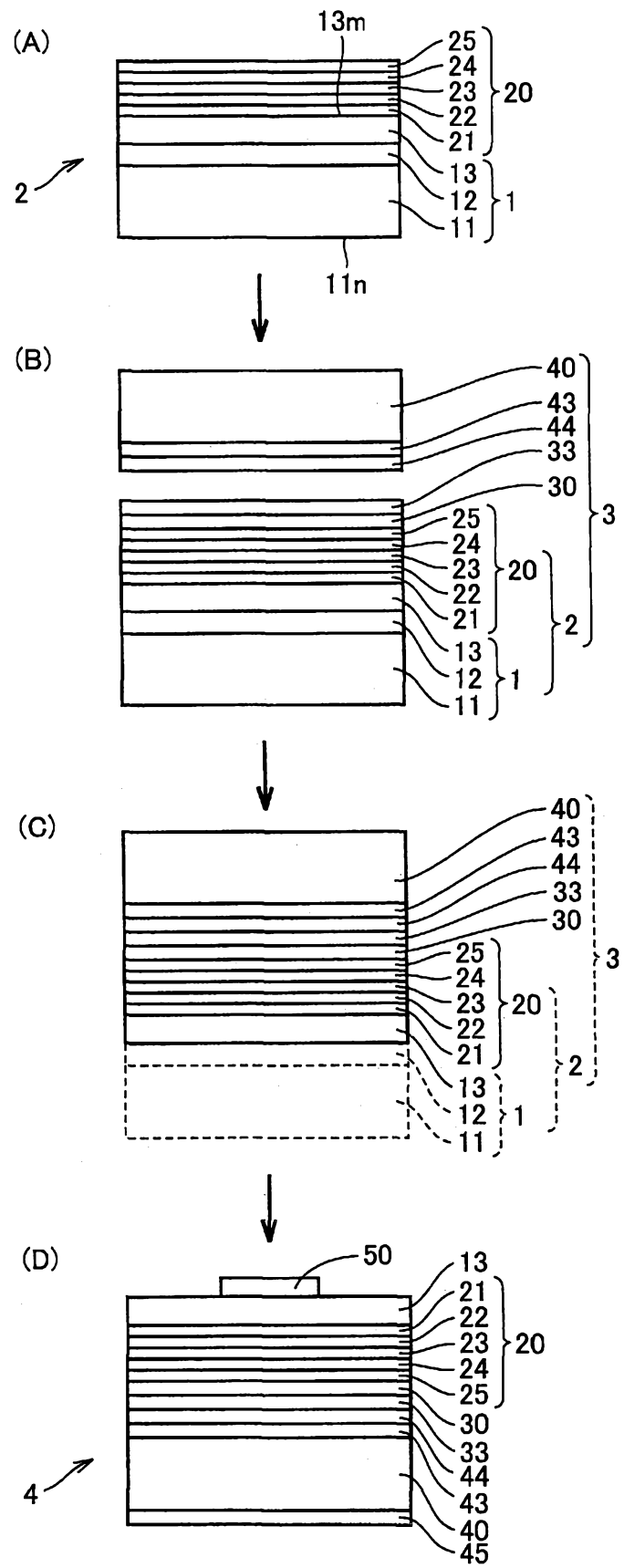
【圖12】



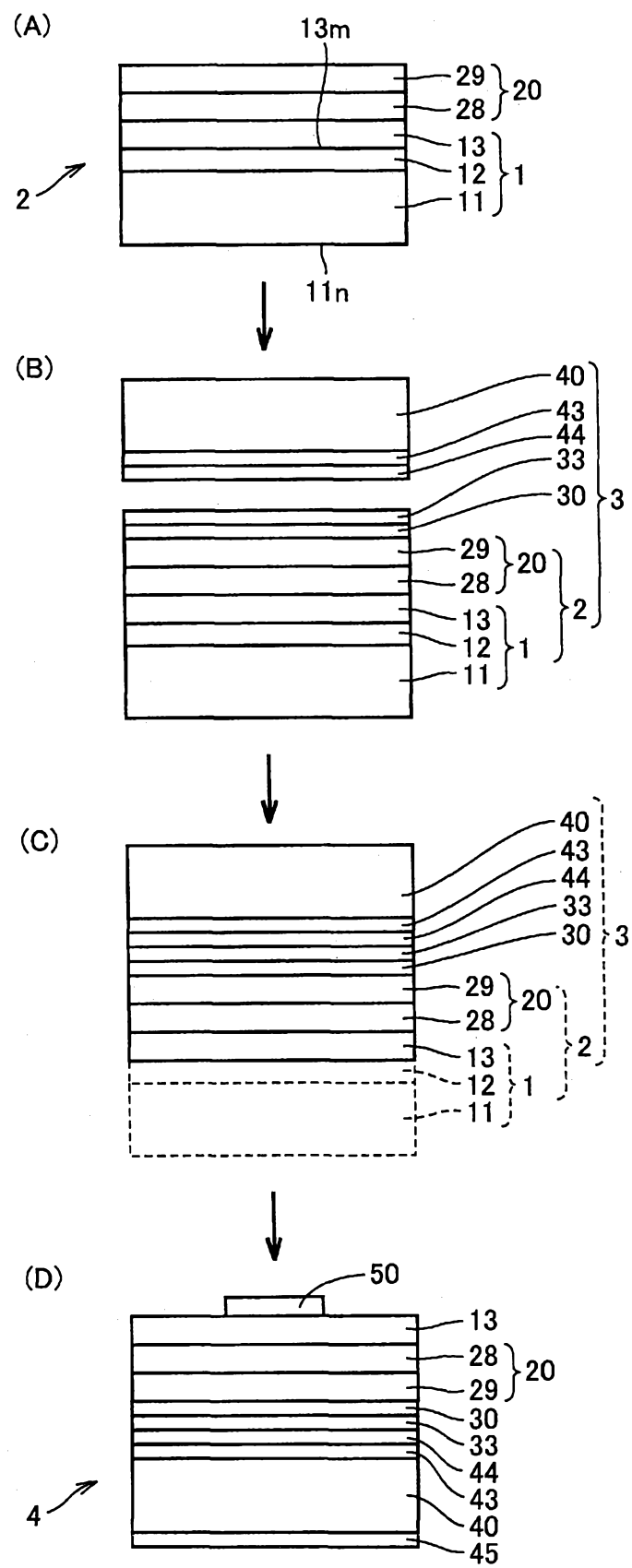
【圖13】



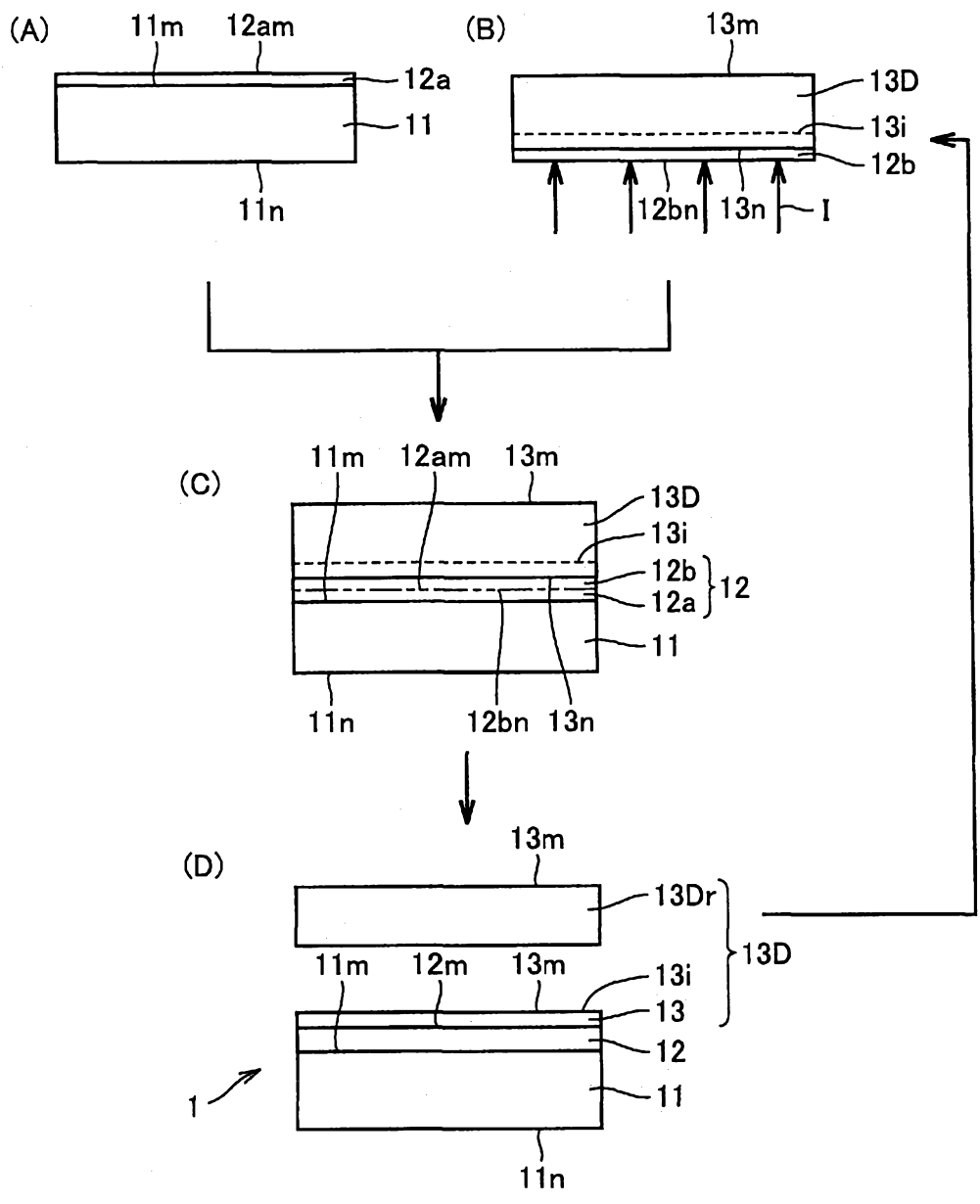
【圖14】



【圖15】



【圖16】



【圖17】