(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2011-175997
(P2011-175997A)
(43)公開日　平成23年9月8日(2011.9.8)

(51)Int.Cl.	F I	テーマコード（参考）
H01L 33/32 (2010.01)	H01L 33/00 186	5F041

審査請求 未請求　請求項の数 13　ＯＬ　（全 18 頁）

(21)出願番号　特願2010-37025(P2010-37025)
(22)出願日　平成22年2月23日(2010.2.23)

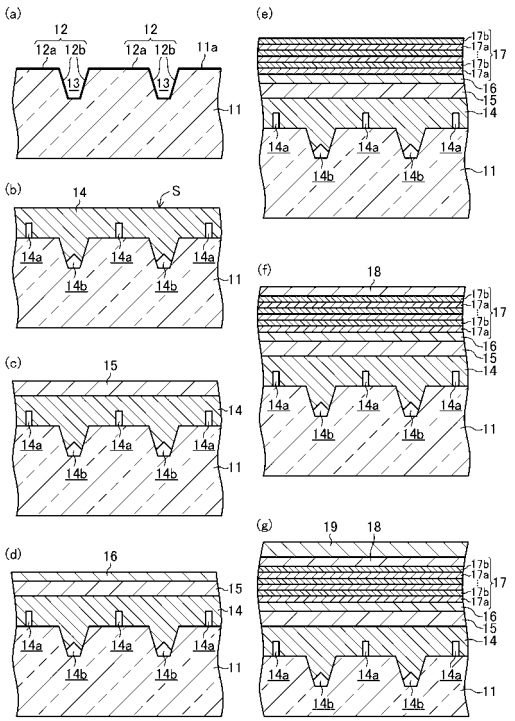
（出願人による申告）文部科学省、平成２１年度「知的クラスター創生事業（グローバル拠点育成型）」、産業技術力強化法第１９条の適用を受ける特許出願

(71)出願人　304020177
国立大学法人山口大学
山口県山口市吉田１６７７－１
(74)代理人　100077931
弁理士　前田　弘
(74)代理人　100110939
弁理士　竹内　宏
(74)代理人　100110940
弁理士　嶋田　高久
(74)代理人　100113262
弁理士　竹内　祐二
(74)代理人　100115059
弁理士　今江　克実
(74)代理人　100117581
弁理士　二宮　克也

最終頁に続く

(54)【発明の名称】半導体基板及びその製造方法

(57)【要約】
【課題】欠陥密度が小さく且つ大面積のＡｌＮ層を得る。
【解決手段】半導体基板Ｓの製造方法は、基板表面１２が、主面部分１２ａと、主面部分１２ａとは面方位が異なる非主面部分１２ｂと、を有するサファイア基板１１を用いる。所定の結晶成長温度条件下において、サファイア基板１１の基板表面１２における主面部分１２ａからＡｌＮを結晶成長させることなく、非主面部分１２ｂを起点としてＡｌＮを結晶成長させることにより、主面部分１２ａの法線方向に成長したＡｌＮ層１４を形成する。
【選択図】図３



【特許請求の範囲】
【請求項１】
基板表面が、主面部分と、該主面部分とは面方位が異なる非主面部分と、を有するサファイア基板を用い、
所定の結晶成長温度条件下において、上記サファイア基板の上記基板表面における上記主面部分からＡｌＮを結晶成長させることなく、上記非主面部分を起点としてＡｌＮを結晶成長させることにより、該主面部分の法線方向に成長したＡｌＮ層を形成する半導体基板の製造方法。
【請求項２】
請求項１に記載された半導体基板の製造方法において、
上記結晶成長温度が１４００℃以上の温度である半導体基板の製造方法。
【請求項３】
請求項１又は２に記載された半導体基板の製造方法において、
上記非主面部分が上記サファイア基板のｃ面で構成されている半導体基板の製造方法。
【請求項４】
請求項１乃至３のいずれかに記載された半導体基板の製造方法において、
上記ＡｌＮ層における上記サファイア基板の上記主面部分と平行な面が非極性面である半導体基板の製造方法。
【請求項５】
請求項４に記載された半導体基板の製造方法において、
上記ＡｌＮ層の非極性面が（１１－２０）面又は（１０－１０）面である半導体基板の製造方法。
【請求項６】
請求項１乃至５のいずれかに記載された半導体基板の製造方法において、
上記非主面部分は、上記サファイア基板上に間隔をおいて並行に延びるように形成された複数本の凹溝の溝側面で構成されている半導体基板の製造方法。
【請求項７】
請求項１乃至６のいずれかに記載された半導体基板の製造方法において、
上記サファイア基板は、上記主面部分がミスカット面であるミスカット基板で構成されている半導体基板の製造方法。
【請求項８】
請求項１乃至７のいずれかに記載された半導体基板の製造方法において、
上記ＡｌＮ層を形成する前に、上記サファイア基板の上記基板表面における少なくとも上記非主面部分に窒化処理を施してＡｌＮ膜で表面被覆する半導体基板の製造方法。
【請求項９】
請求項１乃至８のいずれかに記載された半導体基板の製造方法において、
上記ＡｌＮ層を、上記サファイア基板の上記主面部分と平行となるように表面研磨する半導体基板の製造方法。
【請求項１０】
請求項１乃至９のいずれかに記載された半導体基板の製造方法において、
上記ＡｌＮ層を上記サファイア基板から分離してＡｌＮ基板とする半導体基板の製造方法。
【請求項１１】
基板表面が、主面部分と、該主面部分とは面方位が異なる非主面部分と、を有するサファイア基板と、
上記サファイア基板の上記基板表面における上記主面部分からＡｌＮが結晶成長することなく、上記非主面部分を起点としてＡｌＮが結晶成長することにより、該主面部分の法線方向に成長して形成されたＡｌＮ層と、
を備えた半導体基板。
【請求項１２】

請求項１１に記載された半導体基板を有する電子デバイス。
【請求項１３】
請求項１１に記載された半導体基板を有する半導体発光素子。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、半導体基板及びその製造方法、並びにそれを用いた電子デバイス及び半導体発光素子に関する。
【背景技術】
【０００２】
非極性面を主面とするＧａＮ層を得る方法として、非特許文献１及び２には、サファイアのａ面、或いは、ｒ面サファイアの加工基板の側壁選択成長を用いる方法が開示されている。
【０００３】
非特許文献３には、ＡｌＮは、Ａｌのマイグレーションが小さいことから良質なステップフロー成長が起こりにくく、ＧａＮと同様の条件では良質な非極性面を主面とするＡｌＮ層を得ることが困難であることが開示されている。
【０００４】
また、非極性面を主面とするＡｌＮ層を得る方法として、非極性面を主面とするＡｌＮ層が成長する異種基板を用いる方法、ｃ軸方向成長させたＡｌＮ基板を斜めにカットする方法等がある。
【先行技術文献】
【非特許文献】
【０００５】
【非特許文献１】N. Okada, Y. Kawashima, and K. Tadatomo, “Direct Growth of m-plane GaN with Epitaxial Lateral Overgrowth from c-plane Sidewall of Sapphire” Appl. Phys. Express, 1, 111101, 2008
【非特許文献２】N. Okada, Y. Kawashima, and K. Tadatomo, “Growth of Semipolar (11-22) GaN Layer by Controlling Anisotropic Growth Rates in r-Plane Patterned Sapphire Substrate” Appl. Phys. Express, 2, 091001, 2009
【非特許文献３】Masataka IMURA,Kiyotaka NAKANO,Naoki FUJIMOTO,Narihito OKADA,Krishnan BALAKRISHNAN,Motoaki IWAYA,Satoshi KAMIYAMA,Hiroshi AMANO,Isamu AKASAKI,Tadashi NORO,Takashi TAKAGI,and Akira BANDOH,"Dislocations in AlN Epilayers Grown on Sapphire Substrate by High-Temperature Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy"Japanese Journal of Applied Physics Vol.46,No.4A,2007,pp.1458-1462
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００６】
しかしながら、非極性面を主面とするＡｌＮ層が成長する異種基板を用いる方法では、転位密度が非常に大きいＡｌＮ層が成長するという問題がある。また、ｃ軸方向成長させたＡｌＮ基板を斜めにカットする方法では、ＡｌＮ基板が高価であって、小面積のＡｌＮ層しか得ることができないという問題がある。
【０００７】
本発明の課題は、欠陥密度が小さく且つ大面積のＡｌＮ層を得ることができる方法を提供することである。
【課題を解決するための手段】
【０００８】
本発明の半導体基板の製造方法は、
基板表面が、主面部分と、該主面部分とは面方位が異なる非主面部分と、を有するサファイア基板を用い、

所定の結晶成長温度条件下において、上記サファイア基板の上記基板表面における上記主面部分からＡｌＮを結晶成長させることなく、上記非主面部分を起点としてＡｌＮを結晶成長させることにより、該主面部分の法線方向に成長したＡｌＮ層を形成するものである。

【０００９】

本発明の半導体基板は、

基板表面が、主面部分と、該主面部分とは面方位が異なる非主面部分と、を有するサファイア基板と、

上記サファイア基板の上記基板表面における上記主面部分からＡｌＮが結晶成長することなく、上記非主面部分を起点としてＡｌＮが結晶成長することにより、該主面部分の法線方向に成長して形成されたＡｌＮ層と、

を備える。

【００１０】

本発明の電子デバイスは本発明の半導体基板を有する。

【００１１】

本発明の半導体発光素子は本発明の半導体基板を有する。

【発明の効果】

【００１２】

本発明によれば、サファイア基板の基板表面における主面部分からＡｌＮを結晶成長させることなく、非主面部分を起点としてＡｌＮを結晶成長させることにより、主面部分の法線方向に成長した、欠陥密度が小さく且つ大面積のＡｌＮ層を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【００１３】

【図１】サファイア基板の断面図である。

【図２】（ａ）及び（ｂ）は凹溝の拡大断面図である。

【図３】（ａ）～（ｇ）は半導体層の形成工程を示す説明図である。

【図４】ＡｌＮの結晶成長を示す説明図である。

【図５】（ａ）～（ｃ）は凹溝の溝側面及びＡｌＮ層の面方位の関係を示す第１の説明図である。

【図６】（ａ）～（ｃ）は凹溝の溝側面及びＡｌＮ層の面方位の関係を示す第２の説明図である。

【図７】半導体発光素子の断面図である。

【発明を実施するための形態】

【００１４】

以下、実施形態に係る半導体発光素子１０の製造方法について図１～７に基づいて詳細に説明する。

【００１５】

（サファイア基板の準備）

図１は、本実施形態に係る半導体発光素子１０の製造方法で用いるサファイア基板１１の一例を示す。

【００１６】

サファイア基板１１は、基板表面１２が、主面部分１２ａとその主面部分１２ａとは面方位が異なる非主面部分１２ｂとを有する。サファイア基板１１は、Al_2O_3のコランダム構造の単結晶の円盤状に形成されており、直径が例えば５０～３００ｍｍであり、また、その直径にも依存するが厚さが例えば０．３～３．０ｍｍである。なお、直径５０ｍｍのサファイア基板１１の場合、１枚のサファイア基板１１上に５０００～１２０００個の半導体発光素子１０を作り込むことができる。

【００１７】

基板表面１２における主面部分１２ａは、ａ面＜｛１１－２０｝面＞、ｃ面＜｛０００１｝面＞、ｍ面＜｛１－１００｝面＞、及びｒ面＜｛１－１０２｝面＞のいずれであって

もよく、また、他の面方位の結晶面であってもよい。さらに、主面部分１２ａは、例えばａ軸が主面部分１２ａの法線方向に対して所定の角度（例えば４５°や６０°、或いは数度以内の微小角）傾斜したミスカット面であってもよい、つまり、サファイア基板１１は、主面部分１２ａがミスカット面であるミスカット基板であってもよい。なお、ａ面、ｃ面、及びｍ面は面方位が相互に直交する。

【００１８】

基板表面１２における非主面部分１２ｂは、主面部分１２ａと面方位が異なれば、ａ面＜｛１１－２０｝面＞、ｃ面＜｛０００１｝面＞、ｍ面＜｛１－１００｝面＞、及びｒ面＜｛１－１０２｝面＞のいずれであってもよく、また、他の面方位の結晶面であってもよい。ＡｌＮの結晶成長性観点からは、非主面部分１２ｂはｃ面であることが好ましい。

【００１９】

基板表面１２における主面部分１２ａ及び非主面部分１２ｂの組合せとしては、例えば、主面部分１２ａがｍ面及び非主面部分１２ｂがｃ面の組合せ、主面部分１２ａが（１１－２３）面及び非主面部分１２ｂがｃ面の組合せ、並びに主面部分１２ａがｒ面及び非主面部分１２ｂがｃ面の組合せ等が挙げられる。

【００２０】

非主面部分１２ｂとしては、サファイア基板１１の基板表面１２に形成された凹部の側面、例えば、図１に示すような、サファイア基板１１上に延びるように形成された凹溝１３の溝側面が挙げられる。かかる凹溝１３は、サファイア基板１１の基板表面１２に、凹溝形成予定部分だけが開口部となるフォトレジストのパターニング形成し、フォトレジストをエッチングレジストとしてサファイア基板１１を反応性イオンエッチング（Reactive Ion Etching：ＲＩＥ）等のドライエッチング或いはウエットエッチングをすることにより形成することができる。

【００２１】

凹溝１３は、溝側面（エッチング加工側面）を有せば、コの字溝、Ｖ字溝、又は台形溝であってもよい。凹溝１３は、溝開口幅が０．５～１０μｍであることが好ましく、また、溝深さが０．７５～１００μｍであることが好ましい。凹溝１３は、非主面部分１２ｂである溝側面が主面部分１２ａに対してなす角度Θが例えば７０～１２０°であり、従って、溝側面の傾斜は、図２（ａ）に示すように、溝底から溝開口に向かって溝幅を広げるように外向きに傾斜したテーパ状であってもよく、また、図２（ｂ）に示すように、溝底から溝開口に向かって溝幅を狭めるように内向きに傾斜した逆テーパ状であってもよい。溝側面がｃ面に近い面であり、そこからＡｌＮをｃ面成長させる場合、積層欠陥や転位などの欠陥の終端を表面に至らせないことによって表面に現れる欠陥を減じることができるという観点から、非主面部分１２ｂである溝側面が主面部分１２ａに対してなす角度Θはｃ面の主面部分１２ａに対してなす角度Φよりも大きいことが好ましい。また、凹溝１３が溝底面を有する場合、溝底面からのＡｌＮの結晶成長を抑制する観点から、溝深さは溝開口幅の１．５倍以上であることが好ましい。凹溝１３は、１本だけが設けられていてもよく、また、複数本並列して設けられていてもよい。凹溝１３が複数本並列して設けられている場合、溝間の間隔、つまり、相互に隣接する凹溝１３間における主面部分１２ａの間隔は例えば１００ｎｍ～１００μｍである。

【００２２】

凹溝１３は、両溝側面が表面露出した構成の他、両溝側面のうち一方が表面露出し且つ他方が結晶成長を阻止するように被覆された構成であってもよい。サファイアは＋ｃ、－ｃ面を持たない結晶構造を有するので、凹溝１３の両溝側面からそれぞれ結晶成長すると、いずれも同一の極性をもったＡｌＮが成長する可能性があり、その場合、それらのＡｌＮの会合点において結晶方位が逆向きとなるインバージョンドメイン（一種の結晶欠陥）が形成されることとなる。しかしながら、両溝側面のうち一方が表面露出し且つ他方が被覆された構成の場合、このインバージョンドメインを完全に排除することができる。

【００２３】

凹溝１３は、両溝側面が表面露出し、しかも、その断面形状が左右非対称に形成された

構成であってもよい。このような構成によれば、左右非対称の断面形状を有する凹溝１３からＡｌＮが結晶成長すると、どちらかの溝側面から優先的に結晶成長が起こるので、インバージョンドメインを排除する観点から好都合である。従って、その場合、凹溝１３は、両溝側面のうち一方のみから選択的にＡｌＮが結晶成長するように形成された構成であることがより好ましい。この左右非対称の凹溝１３の断面形状は、例えば、エッチング加工時にエッチングガスの流れに直交するようにサファイア基板１１を配置することによって得ることができる。また、このとき、凹溝１３が溝底面を有する場合、溝底面からのＧａＮの結晶成長を抑制するために溝底面をSiO_2等で被覆してもよい。

【００２４】

（半導体層の形成）

本実施形態に係る半導体発光素子１０の製造方法では、所定の結晶成長温度条件下において、サファイア基板１１の基板表面１２における表面被覆されずに露出した主面部分１２ａからＡｌＮを結晶成長させることなく、非主面部分１２ｂを起点としてＡｌＮを結晶成長させることにより、主面部分１２ａの法線方向に成長したＡｌＮ層１４を形成して半導体基板Ｓを得た後、その上に、ｎ型ＡｌＧａＮ／ＡｌＧａＮ超格子層１５、ｎ型ＡｌＧａＮ層１６、発光層である多重量子井戸層１７、ｐ型ＡｌＧａＮ層１８、及びｐ型ＡｌＧａＮ／ＡｌＧａＮ超格子層１９を順に形成する。

【００２５】

ここで、これらの半導体層の形成方法としては、有機金属気相成長法（Metal Organic Vapor Phase Epitaxy：ＭＯＶＰＥ）、分子線エピタキシ法（Molecular Beam Epitaxy：ＭＢＥ）、ハイドライド気相成長法（Hydride Vapor Phase Epitaxy：ＨＶＰＥ）が挙げられ、これらのうち有機金属気相成長法が最も一般的である。以下では、有機金属気相成長法を利用した半導体層の形成方法について説明する。

【００２６】

半導体層の形成に用いられるＭＯＶＰＥ装置は、大きくは基板搬送系、基板加熱系、ガス供給系、及びガス排気系から構成され、全て電子制御される。基板加熱系は、熱電対及び抵抗加熱ヒータ、並びにその上に設けられた炭素製或いはＳｉＣ製のサセプタで構成され、そして、そのサセプタの上にサファイア基板１１をセットした石英トレイが搬送され、半導体層のエピタキシャル成長が行われる。この基板加熱系は、水冷機構を備えた石英製の二重管内或いはステンレス製の反応容器内に設置され、その二重管或いは反応容器内にキャリアガス及び各種原料ガスが供給される。特にステンレス反応容器を使う場合は、基板上に層流のガスの流れを実現するために、石英製のフローチャネルを用いる。

【００２７】

キャリアガスとしては、例えば、H_2、N_2が挙げられる。Ｖ族元素供給源としては、例えば、NH_3が挙げられる。III族元素供給源としては、例えば、トリメチルアルミニウム（ＴＭＡ）、トリメチルガリウム（ＴＭＧ）、トリメチルインジウム（ＴＭＩ）等が挙げられる。ｎ型ドーピング元素供給源としては、例えば、SiH_4（シラン）、Si_2H_6（ジシラン）、GeH_4（ゲルマン）等が挙げられる。ｐ型ドーピング元素供給源としては、例えば、Cp_2Mg（ビスシクロペンタジエニルマグネシウム）等が挙げられる。

【００２８】

＜ＡｌＮ層の形成＞

まず、サファイア基板１１を基板表面１２が上向きになるように石英トレイ上にセットした後、サファイア基板１１を１４００～１６００℃に加熱すると共に反応容器内の圧力を１０～１００ｋＰａとし、また、反応容器内に設置したフローチャネル内にキャリアガスとしてH_2を５～１５Ｌ／ｍｉｎの流量で流通させ、その状態を数分間保持することによりサファイア基板１１をサーマルクリーニングする。

【００２９】

次いで、サファイア基板１１の温度を１４００～１６００℃とすると共に反応容器内の圧力を１０～１００ｋＰａとし、また、反応容器内にキャリアガスH_2を５～１５Ｌ／ｍ

ｉｎの流量で流通させながら、そこにＶ族元素供給源（NH_3）を、供給量が０．１～５Ｌ／ｍｉｎとなるように流す。このとき、図３（ａ）に示すように、サファイア基板１１の基板表面１２における主面部分１２ａ及び非主面部分１２ｂのいずれも（或いは、少なくとも非主面部分１２ｂ）が窒化処理されてＡｌＮ膜１１ａで表面被覆される。従って、サファイア基板１１の低温バッファ層による被覆は不要である。

【００３０】

続いて、サファイア基板１１の温度を所定の結晶成長温度とすると共に反応容器内の圧力を１０～１００ｋＰａとし、また、反応容器内にキャリアガスH_2を５～１５Ｌ／ｍｉｎの流量で流通させながら、そこにＶ族元素供給源（NH_3）及びIII族元素供給源１（ＴＭＡ）を、それぞれの供給量が０．１～５Ｌ／ｍｉｎ及び１０～３００μｍｏｌ／ｍｉｎとなるように流す。Ｖ族元素供給源及びIII族元素供給源のモル比（Ｖ／III）は１００～３０００であることが好ましい。

【００３１】

上記結晶成長温度は、主面部分１２ａからＡｌＮが結晶成長することなく且つ非主面部分１２ｂを起点としてＡｌＮが選択的に結晶成長する温度であり、具体的には、１４００℃以上の温度であることが好ましいが、III族元素供給源及びＶ族元素供給源の交互供給などにより結晶成長させる場合等には、これに限定されるものではない。一方、１６００℃以下の温度であることが好ましいが、サファイア基板１１が劣化しない温度であれば、これに限定されるものではない。これにより、このとき、図４に示すように、サファイア基板１１の基板表面１２における主面部分１２ａからはＡｌＮの結晶成長は起こらないが、一方、非主面部分１２ｂからは、非主面部分１２ｂを起点として、選択的にその上にアンドープのＡｌＮがヘテロエピタキシャル成長する。そして、この結晶成長により主面部分１２ａの法線方向にＡｌＮの層の成長が進展し、図３（ｂ）に示すように、サファイア基板１１上にＡｌＮ層１４が形成されて半導体基板Ｓが得られる。サファイア基板１１上のＡｌＮ層１４の層厚さは例えば２～２０μｍである。

【００３２】

以上の方法によれば、サファイア基板１１の基板表面１２における主面部分１２ａからＡｌＮを結晶成長させることなく、非主面部分１２ｂを起点としてＡｌＮを結晶成長させることにより、主面部分１２ａの法線方向に成長した、欠陥密度が小さく且つ大面積のＡｌＮ層１４を得ることができる。

【００３３】

ここで、凹溝１３の溝側面により非主面部分１２ｂが構成され且つ複数の凹溝１３が間隔をおいて並行に延びるように設けられている場合、ＡｌＮ層１４は、各凹溝１３から結晶成長した複数の帯状のＡｌＮ結晶の集合体によって、或いは、各凹溝１３から結晶成長した帯状のＡｌＮ結晶が主面部分１２ａ上で会合して連なった一体物によって構成される。帯状のＡｌＮ結晶が連なった一体物のＡｌＮ層１４を得るには、反応容器内圧力（減圧状態（～１０ｋＰａ）から常圧状態（１００ｋＰａ））、結晶成長温度、材料の流量などの結晶成長条件を最適化すること及び／又は結晶成長時間を十分に長い時間とることが好ましい。また、結晶成長条件は、インバージョンドメインを排除する観点から、両溝側面のうち一方から選択的に結晶成長するものを選択することが好ましい。なお、帯状のＡｌＮ結晶が連なった一体物のＡｌＮ層１４には、各会合部下方の主面部分１２ａ上に、主面部分１２ａに沿って延びる基板上ボイド１４ａが形成されてもよい。凹溝１３はＡｌＮ層１４によって埋まってもよく、また、凹溝１３内にＡｌＮによって埋まらない溝内ボイド１４ｂが形成されてもよい。

【００３４】

ＡｌＮ層１４の面方位について、サファイア基板１１の面方位とそれがｃ面となす角度及びＡｌＮの面方位とそれがｃ面となす角度を表１に、並びにサファイア基板１１の主面部分１２ａの各面方位についてその主面部分１２ａとＡｌＮ層１４のファセット面とのなす角度を表２～７にそれぞれ示す。

【００３５】

【表１】

サファイア基板		ＡｌＮ	
面方位	ｃ面とのなす角(°)	面方位	ｃ面とのなす角(°)
(11-20) a面	90.00	(11-20) a面	90.00
(11-21)	79.64	(11-21)	72.66
(11-22)	69.89	(11-22)	58.01
(11-23)	61.22	(11-23)	46.86
(10-10) m面	90.00	(10-10) m面	90.00
(10-11)	72.40	(10-11)	61.59
(10-12) r面	57.61	(10-12) r面	42.75
(10-13)	46.43	(10-13)	31.64
(20-21)	84.77	(20-21)	74.86
—	—	(20-23) n面	50.94

【００３６】
【表２】

サファイア基板 主面部分の面方位	ＡｌＮ層 ファセット面の面方位	両者のなす角度 (°)
(10-11)	(11-20) a面	-17.60
	(11-21)	-0.26
	(11-22)	+14.39
	(11-23)	+25.54

【００３７】
【表３】

サファイア基板 主面部分の面方位	ＡｌＮ層 ファセット面の面方位	両者のなす角度 (°)
(10-12)	(11-20) a面	-32.39
	(11-21)	-15.05
	(11-22)	-0.40
	(11-23)	+10.75

【００３８】

【表４】

サファイア基板 主面部分の面方位	ＡｌＮ層 ファセット面の面方位	両者のなす角度 （°）
(10-13)	(11-20) ａ面	-43.57
	(11-21)	-26.23
	(11-22)	-11.58
	(11-23)	-0.43

【００３９】
【表５】

サファイア基板 主面部分の面方位	ＡｌＮ層 ファセット面の面方位	両者のなす角度 （°）
(11-23)	(10-10) ｍ面	-28.78
	(20-21)	-13.64
	(10-11)	-0.37
	(20-23) ｎ面	+10.28
	(10-12) ｒ面	+18.47
	(10-13)	+29.58

【００４０】
【表６】

サファイア基板 主面部分の面方位	ＡｌＮ層 ファセット面の面方位	両者のなす角度 （°）
(11-21)	(10-10) ｍ面	-10.36
	(20-21)	+4.78
	(10-11)	+18.05
	(20-23) ｎ面	+28.70
	(10-12) ｒ面	+36.89
	(10-13)	+48.00

【００４１】

【表７】

サファイア基板 主面部分の面方位	ＡｌＮ層 ファセット面の面方位	両者のなす角度 （°）
(11-22)	(10-10) ｍ面	-20.11
	(20-21)	-4.97
	(10-11)	+8.30
	(20-23) ｎ面	+18.95
	(10-12) ｒ面	+27.14
	(10-13)	+38.25

【００４２】

これらによれば、例えば、図５（ａ）に示すように、サファイア基板１１の主面部分１２ａが（１０－１１）面及び非主面部分１２ｂがｃ面の場合、ＡｌＮが（１１－２１）面をファセット面として成長する結晶成長条件で得られるＡｌＮ層１４では、（１１－２１）面の主面部分１２ａに対してなす角度が－０．２６°（ｃ面に近づく向きをプラスとする。以下同じ）である。従って、この角度を相殺するサファイア基板１１のミスカット基板を用いることにより、ファセット面である半極性面の（１１－２１）面がサファイア基板１１の主面部分１２ａと平行な主面であるＡｌＮ層１４を得ることができる。ＡｌＮが（１１－２２）面をファセット面として成長する結晶成長条件で得られるＡｌＮ層１４では、（１１－２２）面の主面部分１２ａに対してなす角度が＋１４．３９°である。従って、この角度を相殺するサファイア基板１１のミスカット基板を用いることにより、ファセット面である半極性面の（１１－２２）面がサファイア基板１１の主面部分１２ａと平行な主面であるＡｌＮ層１４を得ることができる。ＡｌＮが（１１－２３）面をファセット面として成長する結晶成長条件で得られるＡｌＮ層１４では、（１１－２３）面の主面部分１２ａに対してなす角度が＋２５．５４°である。従って、この角度を相殺するサファイア基板１１のミスカット基板を用いることにより、ファセット面である半極性面の（１１－２３）面がサファイア基板１１の主面部分１２ａと平行な主面であるＡｌＮ層１４を得ることができる。

【００４３】

図５（ｂ）に示すように、サファイア基板１１の主面部分１２ａが（１０－１２）面及び非主面部分１２ｂがｃ面の場合、ＡｌＮが（１１－２１）面をファセット面として成長する結晶成長条件で得られるＡｌＮ層１４では、（１１－２１）面の主面部分１２ａに対してなす角度が－１５．０５°である。従って、この角度を相殺するサファイア基板１１のミスカット基板を用いることにより、ファセット面である半極性面の（１１－２１）面がサファイア基板１１の主面部分１２ａと平行な主面であるＡｌＮ層１４を得ることができる。ＡｌＮが（１１－２２）面をファセット面として成長する結晶成長条件で得られるＡｌＮ層１４では、（１１－２２）面の主面部分１２ａに対してなす角度が－０．４０°である。従って、この角度を相殺するサファイア基板１１のミスカット基板を用いることにより、ファセット面である半極性面の（１１－２２）面がサファイア基板１１の主面部分１２ａと平行な主面であるＡｌＮ層１４を得ることができる。ＡｌＮが（１１－２３）面をファセット面として成長する結晶成長条件で得られるＡｌＮ層１４では、（１１－２３）面の主面部分１２ａに対してなす角度が＋１０．７５°である。従って、この角度を相殺するサファイア基板１１のミスカット基板を用いることにより、ファセット面である半極性面の（１１－２３）面がサファイア基板１１の主面部分１２ａと平行な主面であるＡｌＮ層１４を得ることができる。

【００４４】

図５（ｃ）に示すように、サファイア基板１１の主面部分１２ａが（１０－１３）面及

び非主面部分１２ｂがｃ面の場合、ＡｌＮが（１１－２１）面をファセット面として成長する結晶成長条件で得られるＡｌＮ層１４では、（１１－２１）面の主面部分１２ａに対してなす角度が－２６．２３°である。従って、この角度を相殺するサファイア基板１１のミスカット基板を用いることにより、ファセット面である半極性面の（１１－２１）面がサファイア基板１１の主面部分１２ａと平行な主面であるＡｌＮ層１４を得ることができる。ＡｌＮが（１１－２２）面をファセット面として成長する結晶成長条件で得られるＡｌＮ層１４では、（１１－２２）面の主面部分１２ａに対してなす角度が－１１．５８°である。従って、この角度を相殺するサファイア基板１１のミスカット基板を用いることにより、ファセット面である半極性面の（１１－２２）面がサファイア基板１１の主面部分１２ａと平行な主面であるＡｌＮ層１４を得ることができる。ＡｌＮが（１１－２３）面をファセット面として成長する結晶成長条件で得られるＡｌＮ層１４では、（１１－２３）面の主面部分１２ａに対してなす角度が－０．４３°である。従って、この角度を相殺するサファイア基板１１のミスカット基板を用いることにより、ファセット面である半極性面の（１１－２３）面がサファイア基板１１の主面部分１２ａと平行な主面であるＡｌＮ層１４を得ることができる。

【００４５】

図６（ａ）に示すように、サファイア基板１１の主面部分１２ａが（１１－２３）面及び非主面部分１２ｂがｃ面の場合、ＡｌＮが（２０－２１）面をファセット面として成長する結晶成長条件で得られるＡｌＮ層１４では、（２０－２１）面の主面部分１２ａに対してなす角度が－１３．６４°である。従って、この角度を相殺するサファイア基板１１のミスカット基板を用いることにより、ファセット面である半極性面の（２０－２１）面がサファイア基板１１の主面部分１２ａと平行な主面であるＡｌＮ層１４を得ることができる。ＡｌＮが（１０－１１）面をファセット面として成長する結晶成長条件で得られるＡｌＮ層１４では、（１０－１１）面の主面部分１２ａに対してなす角度が－０．３７°である。従って、この角度を相殺するサファイア基板１１のミスカット基板を用いることにより、ファセット面である半極性面の（１０－１１）面がサファイア基板１１の主面部分１２ａと平行な主面であるＡｌＮ層１４を得ることができる。ＡｌＮが（２０－２３）面をファセット面として成長する結晶成長条件で得られるＡｌＮ層１４では、（２０－２３）面の主面部分１２ａに対してなす角度が＋１０．２８°である。従って、この角度を相殺するサファイア基板１１のミスカット基板を用いることにより、ファセット面である半極性面の（２０－２３）面がサファイア基板１１の主面部分１２ａと平行な主面であるＡｌＮ層１４を得ることができる。ＡｌＮが（１０－１２）面をファセット面として成長する結晶成長条件で得られるＡｌＮ層１４では、（１０－１２）面の主面部分１２ａに対してなす角度が＋１８．４７°である。従って、この角度を相殺するサファイア基板１１のミスカット基板を用いることにより、ファセット面である半極性面の（１０－１２）面がサファイア基板１１の主面部分１２ａと平行な主面であるＡｌＮ層１４を得ることができる。ＡｌＮが（１０－１３）面をファセット面として成長する結晶成長条件で得られるＡｌＮ層１４では、（１０－１３）面の主面部分１２ａに対してなす角度が＋２９．５８°である。従って、この角度を相殺するサファイア基板１１のミスカット基板を用いることにより、ファセット面である半極性面の（１０－１３）面がサファイア基板１１の主面部分１２ａと平行な主面であるＡｌＮ層１４を得ることができる。

【００４６】

図６（ｂ）に示すように、サファイア基板１１の主面部分１２ａが（１１－２１）面及び非主面部分１２ｂがｃ面の場合、ＡｌＮが（２０－２１）面をファセット面として成長する結晶成長条件で得られるＡｌＮ層１４では、（２０－２１）面の主面部分１２ａに対してなす角度が＋４．７８°である。従って、この角度を相殺するサファイア基板１１のミスカット基板を用いることにより、ファセット面である半極性面の（２０－２１）面がサファイア基板１１の主面部分１２ａと平行な主面であるＡｌＮ層１４を得ることができる。ＡｌＮが（１０－１１）面をファセット面として成長する結晶成長条件で得られるＡｌＮ層１４では、（１０－１１）面の主面部分１２ａに対してなす角度が＋１８．０５°

である。従って、この角度を相殺するサファイア基板１１のミスカット基板を用いることにより、ファセット面である半極性面の（１０－１１）面がサファイア基板１１の主面部分１２ａと平行な主面であるＡｌＮ層１４を得ることができる。ＡｌＮが（２０－２３）面をファセット面として成長する結晶成長条件で得られるＡｌＮ層１４では、（２０－２３）面の主面部分１２ａに対してなす角度が＋２８．７０°である。従って、この角度を相殺するサファイア基板１１のミスカット基板を用いることにより、ファセット面である半極性面の（２０－２３）面がサファイア基板１１の主面部分１２ａと平行な主面であるＡｌＮ層１４を得ることができる。ＡｌＮが（１０－１２）面をファセット面として成長する結晶成長条件で得られるＡｌＮ層１４では、（１０－１２）面の主面部分１２ａに対してなす角度が＋３６．８９°である。従って、この角度を相殺するサファイア基板１１のミスカット基板を用いることにより、ファセット面である半極性面の（１０－１２）面がサファイア基板１１の主面部分１２ａと平行な主面であるＡｌＮ層１４を得ることができる。ＡｌＮが（１０－１３）面をファセット面として成長する結晶成長条件で得られるＡｌＮ層１４では、（１０－１３）面の主面部分１２ａに対してなす角度が＋４８．００°である。従って、この角度を相殺するサファイア基板１１のミスカット基板を用いることにより、ファセット面である半極性面の（１０－１３）面がサファイア基板１１の主面部分１２ａと平行な主面であるＡｌＮ層１４を得ることができる。

【００４７】

図６（ｃ）に示すように、サファイア基板１１の主面部分１２ａが（１１－２２）面及び非主面部分１２ｂがｃ面の場合、ＡｌＮが（２０－２１）面をファセット面として成長する結晶成長条件で得られるＡｌＮ層１４では、（２０－２１）面の主面部分１２ａに対してなす角度が－４．９７°である。従って、この角度を相殺するサファイア基板１１のミスカット基板を用いることにより、ファセット面である半極性面の（２０－２１）面がサファイア基板１１の主面部分１２ａと平行な主面であるＡｌＮ層１４を得ることができる。ＡｌＮが（１０－１１）面をファセット面として成長する結晶成長条件で得られるＡｌＮ層１４では、（１０－１１）面の主面部分１２ａに対してなす角度が＋８．３０°である。従って、この角度を相殺するサファイア基板１１のミスカット基板を用いることにより、ファセット面である半極性面の（１０－１１）面がサファイア基板１１の主面部分１２ａと平行な主面であるＡｌＮ層１４を得ることができる。ＡｌＮが（２０－２３）面をファセット面として成長する結晶成長条件で得られるＡｌＮ層１４では、（２０－２３）面の主面部分１２ａに対してなす角度が＋１８．９５°である。従って、この角度を相殺するサファイア基板１１のミスカット基板を用いることにより、ファセット面である半極性面の（２０－２３）面がサファイア基板１１の主面部分１２ａと平行な主面であるＡｌＮ層１４を得ることができる。ＡｌＮが（１０－１２）面をファセット面として成長する結晶成長条件で得られるＡｌＮ層１４では、（１０－１２）面の主面部分１２ａに対してなす角度が＋２７．１４°である。従って、この角度を相殺するサファイア基板１１のミスカット基板を用いることにより、ファセット面である半極性面の（１０－１２）面がサファイア基板１１の主面部分１２ａと平行な主面であるＡｌＮ層１４を得ることができる。ＡｌＮが（１０－１３）面をファセット面として成長する結晶成長条件で得られるＡｌＮ層１４では、（１０－１３）面の主面部分１２ａに対してなす角度が＋３８．２５°である。従って、この角度を相殺するサファイア基板１１のミスカット基板を用いることにより、ファセット面である半極性面の（１０－１３）面がサファイア基板１１の主面部分１２ａと平行な主面であるＡｌＮ層１４を得ることができる。

【００４８】

なお、以上のミスカット基板或いはミスカット基板でないサファイア基板１１を用い、得られたＡｌＮ層１４を主面部分１２ａと平行となるように表面研磨することにより、所定の主面を有するＡｌＮテンプレートを得ることもできる。

【００４９】

＜ｎ型ＡｌＧａＮ／ＡｌＧａＮ超格子層の形成＞

反応容器内の圧力を１０～１００ｋＰａとし、また、反応容器内にキャリアガスH_2を

５～１５Ｌ／ｍｉｎの流量で流通させながら、そこにＶ族元素供給源（NH_3）、III族元素供給源１（ＴＭＡ）、III族元素供給源２（ＴＭＧ）、及びｎ型ドーピング元素供給源（SiH_4）を、それぞれの供給量が０．１～５Ｌ／ｍｉｎ、１０～３００μｍｏｌ／ｍｉｎ、１０～１５０μｍｏｌ／ｍｉｎ、及び１～５×10^{-3}μｍｏｌ／ｍｉｎとなるように流す第１操作と、それらの供給量割合を変更する第２操作とを繰り返す。第１及び第２操作の繰り返しは例えば５０～２００周期であり、そのガス組成差は約５～１５％である。

【００５０】

このとき、図３（ｃ）に示すように、ＡｌＮ層１４に連続して第１のｎ型ＡｌＧａＮ膜及びそれとは組成の異なる第２のｎ型ＡｌＧａＮ膜がＡｌＮ層１４と同一面方位にエピタキシャル成長して交互積層されたｎ型ＡｌＧａＮ／ＡｌＧａＮ超格子層１５が形成される。超格子構造のｎ型ＡｌＧａＮの各膜厚は例えば５～２０ｎｍである。ＡｌＮ層１４上に成長させるｎ型ＡｌＧａＮ／ＡｌＧａＮ超格子層１５の層厚さは例えば０．３～１０μｍである。

【００５１】

＜ｎ型ＡｌＧａＮ層の形成＞

反応容器内の圧力を１０～１００ｋＰａとし、また、反応容器内にキャリアガスH_2を５～１５Ｌ／ｍｉｎの流量で流通させながら、そこにＶ族元素供給源（NH_3）、III族元素供給源１（ＴＭＡ）、III族元素供給源２（ＴＭＧ）、及びｎ型ドーピング元素供給源（SiH_4）を、それぞれの供給量が０．１～５Ｌ／ｍｉｎ、１０～３００μｍｏｌ／ｍｉｎ、１０～１５０μｍｏｌ／ｍｉｎ、及び１～５×10^{-3}μｍｏｌ／ｍｉｎとなるように流す。

【００５２】

このとき、図３（ｄ）に示すように、ｎ型ＡｌＧａＮ／ＡｌＧａＮ超格子層１５に連続してｎ型ＡｌＧａＮがｎ型ＡｌＧａＮ／ＡｌＧａＮ超格子層１５と同一面方位にエピタキシャル成長してｎ型ＡｌＧａＮ層１６が形成される。ｎ型ＡｌＧａＮ／ＡｌＧａＮ超格子層１５上に成長させるｎ型ＡｌＧａＮ層１６の層厚さは例えば１０～３００ｎｍである。

【００５３】

＜多重量子井戸層の形成＞

サファイア基板１１の温度を８００℃程度とすると共に反応容器内の圧力を１０～１００ｋＰａとし、また、反応容器内にキャリアガスN_2を５～１５Ｌ／ｍｉｎの流量で流通させながら、そこにＶ族元素供給源（NH_3）、III族元素供給源１（ＴＭＡ）、及びIII族元素供給源２（ＴＭＧ）を、それぞれの供給量が０．１～５Ｌ／ｍｉｎ、２～３０μｍｏｌ／ｍｉｎ、及び２～３０μｍｏｌ／ｍｉｎとなるように流す。このとき、ｎ型ＡｌＧａＮ層１６に連続してＡｌＧａＮ井戸層１７ａが、ｎ型ＡｌＧａＮ層１６と同一面方位、従って、ＡｌＮ層１４と同一面方位にエピタキシャル成長して形成される。ｎ型ＡｌＧａＮ層１６上に成長させるＡｌＧａＮ井戸層１７ａの層厚さは１～２０ｎｍである。

【００５４】

次いで、Ｖ族元素供給源（NH_3）、III族元素供給源１（ＴＭＡ）、及びIII族元素供給源２（ＴＭＧ）を、III族元素供給源１（ＴＭＡ）がIII族元素供給源２（ＴＭＧ）に対して割合が多くなるようにそれぞれの供給量を調整して流す。このとき、ＡｌＧａＮ井戸層１７ａに連続して、それよりもＡｌの組成割合が多く且つＧａの組成割合が少ないＡｌＧａＮ障壁層１７ｂがＡｌＧａＮ井戸層１７ａと同一面方位、従って、ｎ型ＡｌＧａＮ層１６及びＡｌＮ層１４と同一面方位にエピタキシャル成長して形成される。ＡｌＧａＮ井戸層１７ａ上に成長させるＡｌＧａＮ障壁層１７ｂの層厚さは５～２０ｎｍである。

【００５５】

そして、上記と同様の操作を交互に繰り返し、図３（ｅ）に示すように、ＡｌＧａＮ井戸層１７ａとＡｌＧａＮ障壁層１７ｂとを交互に形成することにより多重量子井戸層１７を構成する。

【００５６】

上記いずれのＡｌＧａＮ井戸層１７ａ及びＡｌＧａＮ障壁層１７ｂもｎ型ＡｌＧａＮ層１６及びＡｌＮ層１４と同一面方位の主面を有する。従って、主面が非極性面の（１１－２０）面或いは（１０－１０）面であるＡｌＮ層１４を備えた半導体基板Ｓを用いた場合、ＡｌＧａＮ井戸層１７ａの主面は層厚さ方向に極性を有さない非極性面となり、そして、その非極性面上にＡｌＧａＮ障壁層１７ｂが形成されることとなるので、ピエゾ分極の影響を回避することができ、このピエゾ分極の影響の回避により、発光効率の低下や注入電流の増大にともなう発光のピーク波長シフトといった問題を改善することができる。

【００５７】

なお、活性層内から後述のｐ型ＡｌＧａＮ層１８への電流リークを防ぐために活性層形成後に電流ブロック層を挿入してもよい。

【００５８】

＜ｐ型ＡｌＧａＮ層の形成＞

サファイア基板１１の温度を１０００～１２５０℃とすると共に反応容器内の圧力を１０～１００ｋＰａとし、また、反応容器内にキャリアガスのH_2を５～１５Ｌ／ｍｉｎの流量で流通させながら、そこにＶ族元素供給源（NH_3）、III族元素供給源１（ＴＭＡ）、III族元素供給源２（ＴＭＧ）、及びｐ型ドーピング元素供給源（Cp_2Mg）を、それぞれの供給量０．１～５Ｌ／ｍｉｎ、３～３０μｍｏｌ／ｍｉｎ、３～３０μｍｏｌ／ｍｉｎ、及び０．０３～３０μｍｏｌ／ｍｉｎとなるように流す。

【００５９】

このとき、図３（ｆ）に示すように、多重量子井戸層１７に連続してｐ型ＡｌＧａＮがエピタキシャル成長してｐ型ＡｌＧａＮ層１８が形成される。多重量子井戸層１７上に成長させるｐ型ＡｌＧａＮ層１８の層厚さは例えば５～３０ｎｍである。

【００６０】

なお、ｐ型ＡｌＧａＮ層１８をドーピング元素の濃度が相異する複数の層で構成してもよい。

【００６１】

＜ｐ型ＡｌＧａＮ／ＡｌＧａＮ超格子層の形成＞

反応容器内の圧力を１０～１００ｋＰａとし、また、反応容器内にキャリアガスH_2を５～１５Ｌ／ｍｉｎの流量で流通させながら、そこにＶ族元素供給源（NH_3）、III族元素供給源１（ＴＭＡ）、III族元素供給源２（ＴＭＧ）、及びｐ型ドーピング元素供給源（Cp_2Mg）を、それぞれの供給量が０．１～５Ｌ／ｍｉｎ、１０～２００μｍｏｌ／ｍｉｎ、１０～２００μｍｏｌ／ｍｉｎ、及び$1～5\times10^{-3}$μｍｏｌ／ｍｉｎとなるように流す第１操作と、それらの供給量割合を変更する第２操作とを繰り返す。第１及び第２操作の繰り返しは例えば１０～１００周期であり、そのガス組成差は約５～１５％である。

【００６２】

このとき、図３（ｇ）に示すように、ｐ型ＡｌＧａＮ層１８に連続して第１のｐ型ＡｌＧａＮ膜及びそれとは組成の異なる第２のｐ型ＡｌＧａＮ膜がｐ型ＡｌＧａＮ層１８と同一面方位にエピタキシャル成長して交互積層されたｐ型ＡｌＧａＮ／ＡｌＧａＮ超格子層１９が形成される。超格子構造のｐ型ＡｌＧａＮの各膜厚は例えば５～２０ｎｍである。ｐ型ＡｌＧａＮ層１８上に成長させるｐ型ＡｌＧａＮ／ＡｌＧａＮ超格子層１９の層厚さは例えば１００～３００ｎｍである。

【００６３】

（電極の形成）

図７に示すように、半導体層を積層形成したサファイア基板１１を部分的に反応性イオンエッチングすることによりｎ型ＡｌＧａＮ／ＡｌＧａＮ超格子層１５を露出させた後、真空蒸着、スパッタリング、ＣＶＤ（Chemical Vapor Deposition）等の方法によりｎ型ＡｌＧａＮ／ＡｌＧａＮ超格子層１５上にｎ型電極２０ｎ及びｐ型ＡｌＧａＮ／ＡｌＧａＮ超格子層１９上にｐ型電極２０ｐをそれぞれ形成する。

【００６４】

ここで、ｎ型電極２０ｎの電極材料としては、例えば、Ｔｉ／Ａｌ、Ｔｉ／Ａｌ／Ｍｏ／Ａｕ、Ｈｆ／Ａｕ等の積層構造、あるいは合金等が挙げられる。ｐ型電極２０ｐとしては、例えば、Ｐｄ／Ｐｔ／Ａｕ、Ｎｉ／Ａｕ、Ｐｄ／Ｍｏ／Ａｕ等の積層構造、あるいは合金等、又はＩＴＯ（酸化インジウム錫）などの酸化物系透明導電材料が挙げられる。

【００６５】

そして、サファイア基板１１を劈開することにより矩形板状の各半導体発光素子１０に分断する。各半導体発光素子１０は、例えば、約３００×３００μｍである。

【００６６】

以上のようにして製造した半導体発光素子１０は、基板表面１２が、主面部分１２ａ及びその主面部分１２ａとは面方位が異なる非主面部分１２ｂを有するサファイア基板１１と、そのサファイア基板１１の基板表面１２における主面部分１２ａからＡｌＮが結晶成長することなく、非主面部分１２ｂを起点としてＡｌＮが結晶成長することにより、主面部分１２ａの法線方向に成長して形成されたＡｌＮ層１４とを備えた構成を有し、例えばＡｌＧａＮ系発光ダイオードやＡｌＧａＮ系半導体レーザとして使用される。また、極性面のｃ面を主面とするサファイア基板を用いた場合には、法線方向の発光は面内方向の発光の１／１０程度に低減されてしまうが、上記半導体発光素子１０では、ＡｌＮ層１４におけるサファイア基板１１の主面部分１２ａと平行な面が非極性面である場合、極性面のｃ面を主面とするサファイア基板を用いた場合の１０倍の発光出力を期待することができる。

【００６７】

なお、上記実施形態では、半導体発光素子１０を対象としたが、特にこれに限定されるものではなく、トランジスタ、太陽電池等の他の電子デバイスであってもよい。

【００６８】

また、上記実施形態では、サファイア基板１１を有する半導体発光素子１０としたが、特にこれに限定されるものではなく、サファイア基板１１の基板表面１２における主面部分１２ａの法線方向に結晶成長して形成されたＡｌＮ層１４をサファイア基板１１から分離してＡｌＮ基板の半導体基板とし、その上に半導体層を形成したものであってもよい。

【産業上の利用可能性】

【００６９】

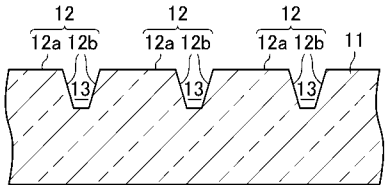
本発明は、半導体基板及びその製造方法、並びにそれを用いた電子デバイス及び半導体発光素子について有用である。

【符号の説明】

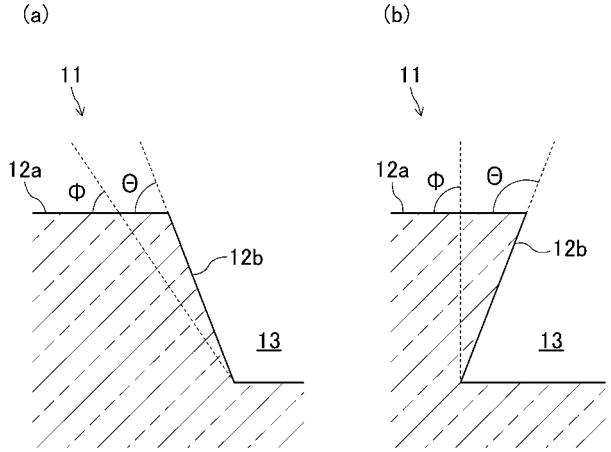
【００７０】

Ｓ　半導体基板
１０　半導体発光素子
１１　サファイア基板
１２　基板表面
１２ａ　主面部分
１２ｂ　非主面部分
１３　凹溝
１４　ＡｌＮ層

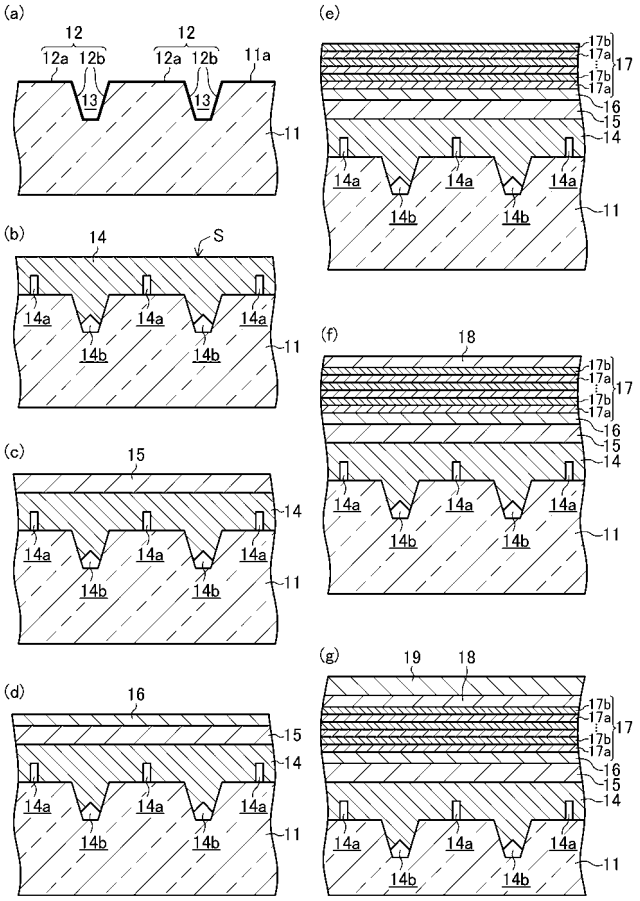
【図１】


12
12a 12b
13
11

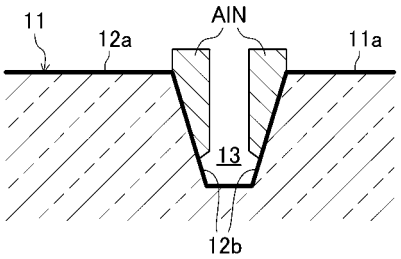
【図２】


(a)
(b)
11
12a
Φ
Θ
12b
13

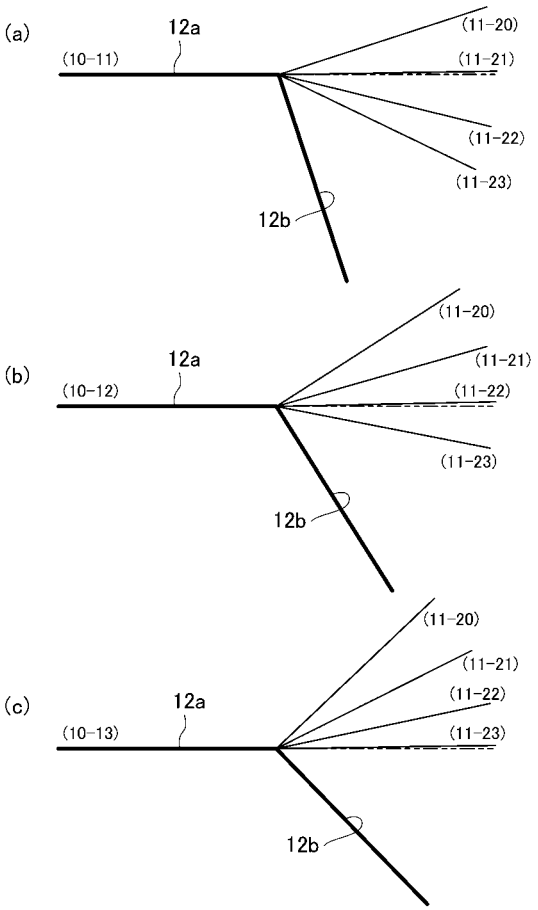
【図３】


(a)
(b)
(c)
(d)
(e)
(f)
(g)
12
12a 12b
13
11a
11
14
S
15
16
17
17a
17b
18
19
14a
14b

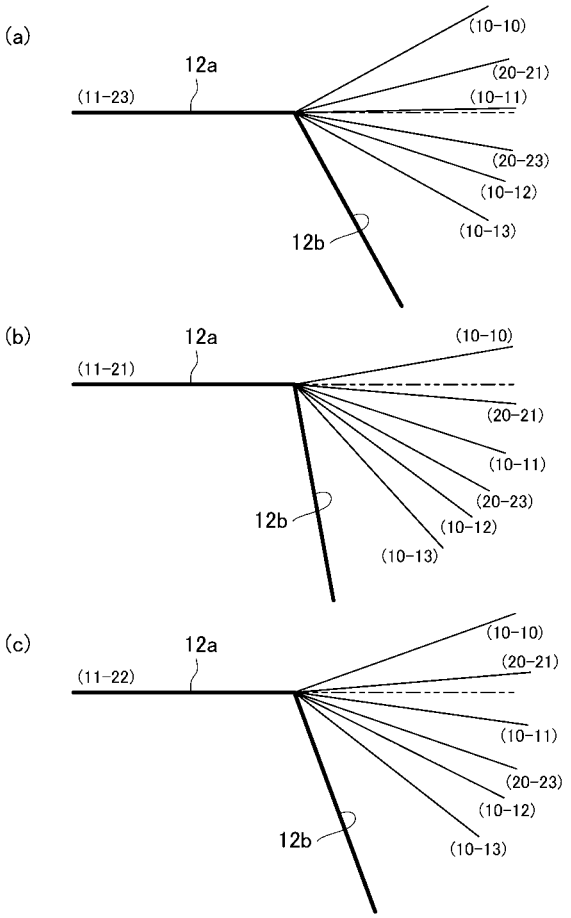
【図４】


11
12a
AlN
11a
13
12b

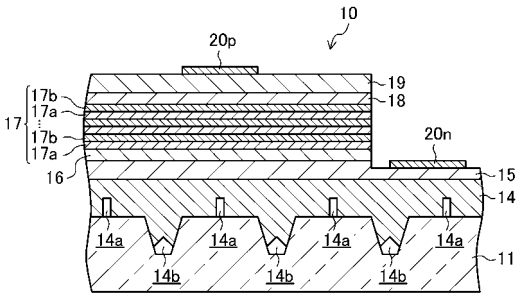
【図５】


(a)
(10-11)
12a
(11-20)
(11-21)
(11-22)
(11-23)
12b
(b)
(10-12)
(c)
(10-13)

【図６】


(a)
12a
(11-23)
(10-10)
(20-21)
(10-11)
(20-23)
(10-12)
(10-13)
12b
(b)
12a
(11-21)
(10-10)
(20-21)
(10-11)
(20-23)
(10-12)
(10-13)
12b
(c)
12a
(11-22)
(10-10)
(20-21)
(10-11)
(20-23)
(10-12)
(10-13)
12b

【図７】


10
20p
19
18
17b
17a
17
17b
17a
16
20n
15
14
14a
14a
14a
14a
14b
14b
14b
11

フロントページの続き

(74)代理人　100117710
弁理士　原田　智雄
(74)代理人　100121728
弁理士　井関　勝守
(74)代理人　100124671
弁理士　関　啓
(74)代理人　100131060
弁理士　杉浦　靖也
(72)発明者　只友　一行
山口県宇部市常盤台２－１６－１　国立大学法人山口大学工学部内
(72)発明者　岡田　成仁
山口県宇部市常盤台２－１６－１　国立大学法人山口大学工学部内
Ｆターム(参考) 5F041 AA40　CA23　CA40　CA46　CA65