

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02016/132746

発行日 平成29年11月30日 (2017.11.30)

(43) 国際公開日 平成28年8月25日 (2016.8.25)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/20 (2006.01)	HO 1 L 21/20	5 F 0 4 5
HO 1 L 21/203 (2006.01)	HO 1 L 21/203 S	5 F 1 0 2
HO 1 L 21/205 (2006.01)	HO 1 L 21/205	5 F 1 0 3
HO 1 L 21/338 (2006.01)	HO 1 L 29/80 H	5 F 1 5 2
HO 1 L 29/778 (2006.01)	HO 1 L 33/12	5 F 2 4 1

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 30 頁) 最終頁に続く

出願番号 特願2017-500529 (P2017-500529)
 (21) 国際出願番号 PCT/JP2016/000895
 (22) 国際出願日 平成28年2月19日 (2016.2.19)
 (31) 優先権主張番号 特願2015-31708 (P2015-31708)
 (32) 優先日 平成27年2月20日 (2015.2.20)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 504139662
 国立大学法人名古屋大学
 愛知県名古屋市千種区不老町 1 番
 (74) 代理人 100087723
 弁理士 藤谷 修
 (74) 代理人 100165962
 弁理士 一色 昭則
 (74) 代理人 100206357
 弁理士 角谷 智広
 (72) 発明者 天野 浩
 愛知県名古屋市千種区不老町 1 番 国立大
 学法人名古屋大学内
 (72) 発明者 本田 善央
 愛知県名古屋市千種区不老町 1 番 国立大
 学法人名古屋大学内

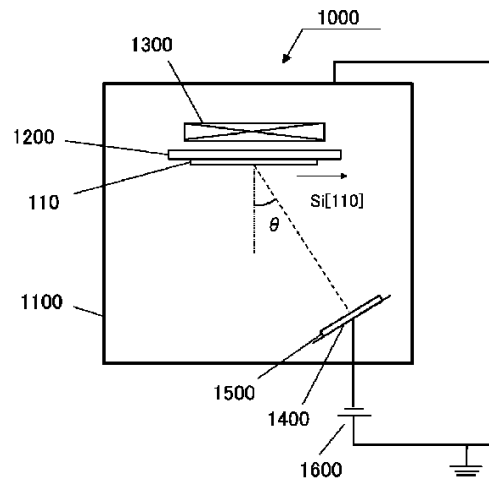
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 薄膜基板と半導体装置とこれらの製造方法および成膜装置および成膜方法および GaN テンプレート

(57) 【要約】

立方晶基板に六方晶のバッファ層を形成する薄膜基板と半導体装置とこれらの製造方法および成膜装置および成膜方法および GaN テンプレートを提供することを目的とする。この成膜方法は、立方晶の基板の上に六方晶の薄膜を成膜する方法である。基板 (110) は、立方晶の Si (001) 基板である。基板 (110) をチャンパー (1100) の内部のサセプター (1200) に配置する。基板 (110) の板面に垂直な方向に対して 10° 以上 60° 以下の範囲内で傾斜させた位置にターゲット (1500) を配置する。基板 (110) をチャンパー (1100) に対して回転させずに、スパッタリングにより立方晶の基板 (110) の上に六方晶のバッファ層 (120) を成膜する。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板と、
 前記基板の上のバッファ層と、
 を有する薄膜基板において、
 前記基板は、立方晶基板であり、
 前記バッファ層は、六方晶であり、
 前記バッファ層の c 軸は、50%以上の割合で第 1 の方向を向いており、
 前記第 1 の方向は、
 前記基板の板面に垂直な方向に対して 10°以上 60°以下の範囲内で傾斜している
 こと
 を特徴とする薄膜基板。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の薄膜基板において、
 前記立方晶基板は、
 $Si(001)$ 基板であり、
 前記第 1 の方向は、
 前記基板の板面の $[110]$ 方向または $[\bar{1}\bar{1}0]$ 方向と等価な方向に対して面内回
 転方向で 30°以下の範囲内にあること
 を特徴とする薄膜基板。

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 に記載の薄膜基板において、
 前記バッファ層は、
 $Al_xGa_yIn_zN$ 層 ($0 < x < 1, 0 < y < 1, 0 < z < 1, x + y + z = 1$)
 であること
 を特徴とする薄膜基板。

【請求項 4】

請求項 1 から請求項 3 までのいずれか 1 項に記載の薄膜基板において、
 前記バッファ層の上の中間層を有し、
 前記中間層は、六方晶であること
 を特徴とする薄膜基板。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の薄膜基板において、
 前記中間層は、超格子層を有すること
 を特徴とする薄膜基板。

【請求項 6】

基板と、
 前記基板の上のバッファ層と、
 前記バッファ層の上の III 族窒化物半導体層と、
 を有する半導体装置において、
 前記基板は、立方晶基板であり、
 前記バッファ層は、六方晶であり、
 前記バッファ層の c 軸は、50%以上の割合で第 1 の方向を向いており、
 前記第 1 の方向は、
 前記基板の板面に垂直な方向に対して 10°以上 60°以下の範囲内で傾斜しており
 、
 前記 III 族窒化物半導体層の c 軸は、
 前記基板の板面に垂直な方向および面内方向の両方について、前記第 1 の方向に対し
 て 0°以上 5°以下の範囲内で傾斜していること
 を特徴とする半導体装置。

10

20

30

40

50

【請求項 7】

請求項 6 に記載の半導体装置において、

前記立方晶基板は、

$Si(001)$ 基板であり、

前記第 1 の方向は、

前記基板の板面の $[110]$ 方向または $[\bar{1}\bar{1}0]$ 方向と等価な方向に対して面内回転方向で 30° 以下の範囲内にあること

を特徴とする半導体装置。

【請求項 8】

請求項 6 または請求項 7 に記載の半導体装置において、

前記バッファ層は、

$Al_xGa_yIn_zN$ 層 ($0 < x < 1, 0 < y < 1, 0 < z < 1, x + y + z = 1$)

であること

を特徴とする半導体装置。

【請求項 9】

請求項 6 から請求項 8 までのいずれか 1 項に記載の半導体装置において、

前記バッファ層と前記 III 族窒化物半導体層との間に中間層を有し、

前記中間層は、六方晶であること

を特徴とする半導体装置。

【請求項 10】

請求項 9 に記載の半導体装置において、

前記中間層は、超格子層を有すること

を特徴とする半導体装置。

【請求項 11】

基板と、

前記基板の上のバッファ層と、

前記バッファ層の上の III 族窒化物半導体層と、

を有する GaN テンプレートにおいて、

前記基板は、立方晶基板であり、

前記バッファ層は、六方晶であり、

前記バッファ層の c 軸は、 50% 以上の割合で第 1 の方向を向いており、

前記第 1 の方向は、

前記基板の板面に垂直な方向に対して 10° 以上 60° 以下の範囲内で傾斜しており

、

前記 III 族窒化物半導体層の c 軸は、

前記基板の板面に垂直な方向および面内方向の両方について、前記第 1 の方向に対して 0° 以上 5° 以下の範囲内で傾斜していること

を特徴とする GaN テンプレート。

【請求項 12】

薄膜基板の製造方法において、

立方晶基板をチャンバーの内部に配置し、

前記立方晶基板の板面に垂直な方向に対して 10° 以上 60° 以下の範囲内で傾斜させた位置にターゲットを配置し、

前記立方晶基板と前記ターゲットとの間の相対的位置関係を保持した状態で、スパッタリングにより前記立方晶基板の上に六方晶のバッファ層を形成すること

を特徴とする薄膜基板の製造方法。

【請求項 13】

半導体装置の製造方法において、

立方晶基板をチャンバーの内部に配置し、

前記立方晶基板の板面に垂直な方向に対して 10° 以上 60° 以下の範囲内で傾斜させ

10

20

30

40

50

た位置にターゲットを配置し、

前記立方晶基板と前記ターゲットとの間の相対的位置関係を保持した状態で、スパッタリングにより前記立方晶基板の上に六方晶のバッファ層を形成し、

前記バッファ層の上にIII族窒化物半導体層を成長させることを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項14】

基板の上に薄膜を成膜する成膜方法において、

立方晶基板をチャンバーの内部に配置し、

前記立方晶基板の板面に垂直な方向に対して10°以上60°以下の範囲内で傾斜させた位置にターゲットを配置し、

前記立方晶基板と前記ターゲットとの間の相対的位置関係を保持した状態で、スパッタリングにより前記立方晶基板の上に六方晶のバッファ層を形成すること

を特徴とする成膜方法。

【請求項15】

基板を支持するための基板支持部と、

前記基板支持部を収容するチャンパーと、

前記基板の板面に垂直な方向に対して10°以上60°以下の範囲内で相対的に可変となるように傾斜させた位置に配置されたターゲット配置部と、

を有すること

を特徴とする成膜装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本明細書の技術分野は、基板にその基板と結晶構造の異なるバッファ層を形成する薄膜基板と半導体装置とこれらの製造方法および成膜装置および成膜方法およびGaNテンプレートに関する。

【背景技術】

【0002】

GaNに代表されるIII族窒化物半導体では、絶縁破壊電界の強度が高く、かつ融点が高い。そのため、III族窒化物半導体は、GaAs系半導体に代わる、高出力、高周波、高温用の半導体デバイスの材料として期待されている。そのため、III族窒化物半導体を用いるHEMT素子などが研究開発されている。また、III族窒化物半導体は、発光素子にも応用されている。

【0003】

III族窒化物半導体は、ウルツ鉱型に代表される六方晶の結晶構造を有する。そのため、成長基板として、六方晶基板が一般的に用いられる。このような六方晶基板として、例えば、サファイア基板が挙げられる。また、特許文献1のように、成長基板として、Si(111)基板が用いられることもある。ここでSi(111)基板は、六方晶に近い構造を有している。Si基板については、大口径基板を安価に高品質で製造することができる。そのため、Si基板の上にIII族窒化物半導体を成長させることは工業的に意義がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2010-62482号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

一方、Si(001)基板は、立方晶基板である。Si(001)基板の表面では、Si原子が正方形に配列されている。このような立方晶のSi(001)基板の上に、六方

10

20

30

40

50

晶のIII族窒化物半導体を成長させることは決して容易ではない。いうまでもなく、立方晶と六方晶とでは、結晶構造が大きく異なっているからである。

【0006】

しかし、Si(001)基板は、Si(111)基板よりも一般的に安価である。また、Si(111)基板よりも大口径のSi(001)基板が工業的に生産されている。そのため、Si(001)基板の上にIII族窒化物半導体を成長させる技術を確立することは工業的に有意義である。

【0007】

本明細書の技術は、前述した従来技術が有する問題点を解決するためになされたものである。その課題とは、立方晶基板に六方晶のバッファ層を形成する薄膜基板と半導体装置とこれらの製造方法および成膜装置および成膜方法およびGaNテンプレートを提供することである。

10

【課題を解決するための手段】

【0008】

第1の態様における薄膜基板は、基板と、基板の上のバッファ層と、を有する。基板は、立方晶基板である。バッファ層は、六方晶である。バッファ層のc軸は、50%以上の割合で第1の方向を向いている。第1の方向は、基板の板面に垂直な方向に対して10°以上60°以下の範囲内で傾斜している。

【0009】

この薄膜基板は、大口径のSi(001)基板に代表される立方晶基板の上に六方晶の薄膜を成膜したものである。バッファ層のc軸の50%以上は、基板の板面の全面にわたって特定の方向を向いている。つまり、基板上のどの位置であっても、バッファ層のc軸の50%以上は、その特定の方向を向いている。そのため、このバッファ層の上にIII族窒化物半導体の単結晶をエピタキシャル成長させることができる。

20

【0010】

第2の態様における薄膜基板においては、立方晶基板は、Si(001)基板である。第1の方向は、基板の板面の[110]方向または[110]方向と等価な方向に対して面内回転方向で30°以下の範囲内にある。

【0011】

第3の態様における薄膜基板においては、バッファ層は、 $Al_x Ga_y In_z N$ 層(0 < X < 1、0 < Y < 1、0 < Z < 1、X + Y + Z = 1)である。

30

【0012】

第4の態様における薄膜基板は、バッファ層の上の中間層を有する。中間層は、六方晶である。

【0013】

第5の態様における薄膜基板においては、中間層は、超格子層を有する。

【0014】

第6の態様における半導体装置は、基板と、基板の上のバッファ層と、バッファ層の上のIII族窒化物半導体層と、を有する。基板は、立方晶基板である。バッファ層は、六方晶である。バッファ層のc軸は、50%以上の割合で第1の方向を向いている。第1の方向は、基板の板面に垂直な方向に対して10°以上60°以下の範囲内で傾斜している。III族窒化物半導体層のc軸は、基板の板面に垂直な方向および面内方向の両方について、第1の方向に対して0°以上5°以下の範囲内で傾斜している。

40

【0015】

第7の態様における半導体装置においては、立方晶基板は、Si(001)基板である。第1の方向は、基板の板面の[110]方向または[110]方向と等価な方向に対して面内回転方向で30°以下の範囲内にある。

【0016】

第8の態様における半導体装置においては、バッファ層は、 $Al_x Ga_y In_z N$ 層(0 < X < 1、0 < Y < 1、0 < Z < 1、X + Y + Z = 1)である。

50

【 0 0 1 7 】

第 9 の態様における半導体装置は、バッファ層と III 族窒化物半導体層との間に中間層を有する。中間層は、六方晶である。

【 0 0 1 8 】

第 1 0 の態様における半導体装置においては、中間層は、超格子層を有する。

【 0 0 1 9 】

第 1 1 の態様における GaN テンプレートは、基板と、基板の上のバッファ層と、バッファ層の上の III 族窒化物半導体層と、を有する。基板は、立方晶基板である。バッファ層は、六方晶である。バッファ層の c 軸は、50%以上の割合で第 1 の方向を向いている。第 1 の方向は、基板の板面に垂直な方向に対して 10°以上 60°以下の範囲内で傾斜している。III 族窒化物半導体層の c 軸は、基板の板面に垂直な方向および面内方向の両方について、第 1 の方向に対して 0°以上 5°以下の範囲内で傾斜している。また、立方晶基板は、Si (0 0 1) 基板であってもよい。この場合、第 1 の方向は、基板の板面の [1 1 0] 方向または [1 1 0] 方向と等価な方向に対して面内回転方向で 30°以下の範囲内にある。また、バッファ層は、 $Al_x Ga_y In_z N$ 層 (0 < X < 1、0 < Y < 1、0 < Z < 1、X + Y + Z = 1) であってもよい。

10

【 0 0 2 0 】

第 1 2 の態様における薄膜基板の製造方法は、立方晶基板をチャンバーの内部に配置する工程と、立方晶基板の板面に垂直な方向に対して 10°以上 60°以下の範囲内で傾斜させた位置にターゲットを配置する工程と、立方晶基板とターゲットとの間の相対的位置関係を保持した状態で、スパッタリングにより立方晶基板の上に六方晶のバッファ層を形成する工程と、を有する。

20

【 0 0 2 1 】

第 1 3 の態様における半導体装置の製造方法は、立方晶基板をチャンバーの内部に配置する工程と、立方晶基板の板面に垂直な方向に対して 10°以上 60°以下の範囲内で傾斜させた位置にターゲットを配置する工程と、立方晶基板とターゲットとの間の相対的位置関係を保持した状態で、スパッタリングにより立方晶基板の上に六方晶のバッファ層を形成する工程と、バッファ層の上に III 族窒化物半導体層を成長させる工程と、を有する。

【 0 0 2 2 】

第 1 4 の態様における成膜方法は、基板の上に薄膜を成膜する方法である。この方法では、立方晶基板をチャンバーの内部に配置し、立方晶基板の板面に垂直な方向に対して 10°以上 60°以下の範囲内で傾斜させた位置にターゲットを配置し、立方晶基板とターゲットとの間の相対的位置関係を保持した状態で、スパッタリングにより立方晶基板の上に六方晶のバッファ層を形成する。第 8 の態様から第 1 0 の態様において、立方晶基板は、Si (0 0 1) 基板であってもよい。この場合、第 1 の方向は、基板の板面の [1 1 0] 方向または [1 1 0] 方向と等価な方向に対して面内回転方向で 30°以下の範囲内にある。また、バッファ層は、 $Al_x Ga_y In_z N$ 層 (0 < X < 1、0 < Y < 1、0 < Z < 1、X + Y + Z = 1) であってもよい。

30

【 0 0 2 3 】

第 1 5 の態様における成膜装置は、基板を支持するための基板支持部と、基板支持部を収容するチャンバーと、基板の板面に垂直な方向に対して 10°以上 60°以下の範囲内で相対的に可変となるように傾斜させた位置に配置されたターゲット配置部と、を有する。

40

【 発明の効果 】

【 0 0 2 4 】

本明細書では、立方晶基板に六方晶のバッファ層を形成する薄膜基板と半導体装置とこれらの製造方法および成膜装置および成膜方法および GaN テンプレートが提供されている。

【 図面の簡単な説明 】

50

【0025】

【図1】第1の実施形態における成膜装置の構造を示す概略構成図である。

【図2】第1の実施形態におけるSi(001)基板の面方位を示す図である。

【図3】第1の実施形態における薄膜基板の構成を示す図である。

【図4】図3の拡大図である。

【図5】基板とターゲットとの位置関係を極座標空間で示す図である。

【図6】Si(001)基板の上にMOCVD法でGaN層を成膜する場合を示す図である。

【図7】第2の実施形態におけるHEMT素子の構造を示す概略構成図である。

【図8】第1の実施形態の成膜装置でSi(001)基板の上にGaN層を成膜した場合のGaN層の成長方向を示す図である。 10

【図9】GaN層の上にInGaN層を形成した場合の分極を示すグラフである。

【図10】GaN層の上にAlGaN層を形成した場合の分極を示すグラフである。

【図11】第3の実施形態における半導体発光素子の構造を示す概略構成図である。

【図12】第4の実施形態の薄膜基板の構造を示す図である。

【図13】第4の実施形態の変形例におけるHEMTの構造を示す図である。

【図14】第4の実施形態の変形例における発光素子の構造を示す図である。

【図15】Si(001)基板の上にGaN層を成長させた場合のGaN層の表面を示すSEM写真である。

【図16】Si(001)基板の上にGaN層を成長させた場合のGaN層の断面を示すSEM写真である。 20

【図17】Si(001)基板の上にGaN層を成長させた場合のGaN層の拡大断面を示すSEM写真である。

【図18】Si(001)基板の上に基板を回転させながらGaN層を成長させた場合のGaN層の表面を示すSEM写真である。

【図19】Si(001)基板の上に成長させたGaN層についてのX線回折における2 / スキャンの結果を示すグラフである。

【図20】GaN層の(10-13)面を示す図である。

【図21】Si(001)基板の上に成長させたGaN層についてのX線回折におけるスキャンの結果を示すグラフ(その1)である。 30

【図22】Si(001)基板の上に成長させたGaN層についてのX線回折におけるスキャンの結果を示すグラフ(その2)である。

【図23】Si(001)基板の上に平坦なGaN層を成長させた場合を示すSEM写真である。

【図24】Si(001)基板の上に成膜したAlN層およびGaN層の境界面を示す断面TEM写真である。

【図25】基板の板面に垂直な方向とターゲットの表面に垂直な方向との間のなす角を36°とした場合におけるGaN層の表面を示す顕微鏡写真である。

【図26】基板の板面に垂直な方向とターゲットの表面に垂直な方向との間のなす角を20°とした場合におけるGaN層の表面を示す顕微鏡写真である。 40

【図27】実験3のサンプルの構造を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0026】

以下、具体的な実施形態について、薄膜基板と半導体装置とこれらの製造方法および成膜装置および成膜方法およびGaNテンプレートを例に挙げて図を参照しつつ説明する。なお、図面中の各層の厚みの比率は、実際の比率を反映したものではない。

【0027】

(第1の実施形態)

第1の実施形態について説明する。

【0028】

1. 成膜装置

1-1. 成膜装置の構成

図1は、本実施形態の成膜装置1000の概略構成を示す図である。成膜装置1000は、スパッタリングにより基板110の上に薄膜を成膜するための装置である。成膜装置1000は、チャンパー1100と、サセプター1200と、ヒーター1300と、ターゲット配置部1400と、ターゲット1500と、電圧印加部1600と、ガス供給部(図示せず)と、を有する。

【0029】

チャンパー1100は、スパッタリングを実施する基板110を収容するためのものである。また、チャンパー1100は、サセプター1200と、ヒーター1300と、ターゲット配置部1400と、ターゲット1500と、を内部に収容している。サセプター1200は、基板110を支持するための基板支持部である。ヒーター1300は、サセプター1200に支持される基板110を加熱するためのものである。ターゲット配置部1400は、ターゲット1500を配置するためのものである。ターゲット1500は、スパッタリングにより基板110に薄膜を成膜するための原材料である。

【0030】

電圧印加部1600は、ターゲット1500に電圧を印加するためのものである。ここで、チャンパー1100は、接地されている。電圧印加部1600は、直流電源を用いるものである。しかし、電圧印加部1600は、交流電源あるいはパルスDC電源を用いるものであってもよい。

【0031】

1-2. ターゲットの配置

基板110の板面に垂直な方向と、基板110からみてターゲット1500の配置されている方向とのなす角の角度は、角度 θ である。ここで、角度 θ は、基板110の表面の中心と、ターゲット1500の表面の中心と、がなす角の角度である。角度 θ は、 10° 以上 60° 以下の範囲内である。つまり、ターゲット配置部1400は、基板110の板面に垂直な方向に対して、 10° 以上 60° 以下の範囲内で傾斜させた位置に配置されている。もちろん、ターゲット1500は、基板110の板面に垂直な方向に対して、 10° 以上 60° 以下の範囲内で傾斜させた位置に配置されている。好ましくは、角度 θ は、 15° 以上 55° 以下の範囲内である。より好ましくは、角度 θ は、 20° 以上 50° 以下の範囲内である。さらに好ましくは、角度 θ は、 25° 以上 45° 以下の範囲内である。

【0032】

ターゲット1500の表面は、基板110の板面に垂直な方向に対して 10° 以上 60° 以下の範囲内で傾斜している。また、ターゲット配置部1400は、ターゲット1500の表面が、基板110の板面に垂直な方向に対して 10° 以上 60° 以下の範囲内で傾斜する位置および向きで配置されている。

【0033】

したがって、この成膜装置1000を用いると、特定の角度 θ の方向からターゲット粒子が基板110に向かって輸送される。また、基板110については回転させない。このように、成膜装置1000は、指向性スパッタリング装置である。

【0034】

2. 成膜装置における成膜方法

2-1. 用いる基板

図2は、成膜に用いる基板110を示す図である。基板110は、Si(001)基板である。ここで、基板110は、立方晶基板である。基板110は、図2に示すようにオリエンテーションフラットを有する。また、図2には、 $[-110]$ 方向と、 $[110]$ 方向と、が描かれている。なお、基板110として、 $[110]$ 方向または $[110]$ 方向と等価な方向に 15° 以内のオフ角をつけたオフ基板を適用してもよい。

【0035】

2 - 2 . 成膜方法

まず、チャンパー 1100 の内部のサセプター 1200 に基板 110 を配置する。この際、図 1 に示すように、ターゲット 1500 を基板 110 の板面に射影した場合に、ターゲット 1500 が基板 110 の [110] 方向もしくは [110] 方向に等価な方向に位置するように、ターゲット 1500 を配置する。このとき、ターゲット 1500 は、基板 110 の板面に垂直な方向に対して、 10° 以上 60° 以下の範囲内で傾斜させた位置に配置されている。ここで、ターゲット 1500 の材質は、Al である。また、 N_2 ガスを $10 \sim 100 \text{ sccm}$ 程度供給する。なお、ターゲット 1500 は、基板 110 の [110] 方向または [110] 方向と等価な方向から基板 110 の面内回転方向で 30° 以内に位置する。

10

【0036】

次に、電圧印加部 1600 がターゲット 1500 に電圧を印加する。これにより、ターゲット 1500 から原材料が飛び出す。そして、飛び出した原材料は、基板 110 の板面に垂直な方向から傾斜する向きに飛散する。つまり、基板 110 からみると、[110] 方向から基板 110 の板面に垂直な方向に角度 程度だけ傾斜した方向から、原材料が飛び出して来る。このとき、サセプター 1200 は、回転していない。つまり、基板 110 をチャンパー 1100 に対して回転させない。そして、飛び出した原材料は、基板 110 に堆積する。これにより、基板 110 にバッファ層 120 が成膜される。つまり、立方晶基板である Si (001) 基板の上に六方晶の AlN 層が成膜される。

20

【0037】

3 . 成膜された薄膜基板

図 3 は、成膜装置 1000 により成膜された薄膜基板 100 を示す図である。薄膜基板 100 とは、薄膜を成膜された被成膜基板である。薄膜基板 100 は、基板 110 と、バッファ層 120 と、を有している。バッファ層 120 は、スパッタリングにより成膜された AlN 層である。ここで、基板 110 は、立方晶基板である。一方、バッファ層 120 は、六方晶の層である。このように、薄膜基板 100 は、立方晶の基板 110 と、六方晶のバッファ層 120 と、を有している。

30

【0038】

図 4 は、図 3 を拡大した図である。図 4 に示すように、バッファ層の c 軸は、基板 110 の板面にわたって第 1 の方向 J1 を向いている。そして、第 1 の方向 J1 は、基板 110 の板面に垂直な方向に対して角度 1 だけ傾斜している。バッファ層 120 の成長方向は、基板 110 の板面に垂直な方向に対して角度 1 だけ傾斜している。ここで、バッファ層 120 の成長方向の傾きの角度 1 は、ターゲット 1500 の配置角度 と近い。

40

【0039】

角度 1 は、 10° 以上 60° 以下の範囲内である。好ましくは、角度 1 は、 15° 以上 55° 以下の範囲内である。より好ましくは、角度 1 は、 20° 以上 50° 以下の範囲内である。さらに好ましくは、角度 1 は、 25° 以上 45° 以下の範囲内である。

【0040】

4 . 結晶構造と結晶成長

図 5 は、本実施形態における基板 110 とターゲット 1500 との間の位置関係を極座標空間で示す図である。基板 110 の板面に垂直な方向は、法線方向 Z_A である。第 1 の方向 J1 における法線方向 Z_A からの傾斜角を偏角 θ_A 、第 1 の方向 J1 における基板 110 の面内回転方向を偏角 ϕ_A 、と定義する。また、ターゲット 1500 の表面に垂直な方向を法線方向 Z_B と定義する。

40

【0041】

本実施形態では、ターゲット粒子は、ターゲット 1500 の法線方向 Z_B の向きもしくはその方向に近い向きから基板 110 に到達する。そして、到達したターゲット粒子は、熱力学的に安定となるように結晶化する。そのため、ターゲット粒子の入射方向は、バッファ層 120 の成長方向と近い。そのため、バッファ層 120 の c 軸の方向である第 1 の方向 J1 は、ターゲット 1500 の法線方向 Z_B に近い。

50

【 0 0 4 2 】

ここで、基板 1 1 0 は、立方晶基板である。そのため、基板 1 1 0 の板面には、原子が格子状の頂点に配置されている。これに対して、バッファ層 1 2 0 は、六方晶である。ただし、バッファ層 1 2 0 の傾斜面が、基板 1 1 0 の板面と適合する。例えば、後述するバッファ層 1 2 0 の (1 0 - 1 3) 面は、バッファ層 1 2 0 の傾斜面である。そして、バッファ層 1 2 0 の (1 0 - 1 3) 面では、原子が長方形の格子状の頂点の位置に配置されている。したがって、基板 1 1 0 の正方形の格子状の頂点に位置する原子と、バッファ層 1 2 0 の長方形の格子状の頂点に位置する原子とが、結合する。よって、立方晶の基板 1 1 0 の上に六方晶のバッファ層 1 2 0 を成長させることができるのである。

【 0 0 4 3 】

5 . 従来 の 成 膜 方 法 と の 比 較

5 - 1 . 本 実 施 形 態 の 成 膜 方 法

本実施形態では、基板 1 1 0 に対して、特定の方向からターゲット粒子を基板 1 1 0 に向けて輸送する。つまり、基板 1 1 0 の板面からみると、常にほぼ一定の方向から原料粒子が輸送される。その結果、図 4 に示すように、成膜された基板 1 1 0 の上では、基板 1 1 0 の上の第 1 の箇所における G a N 層の c 軸は、第 1 の方向 J 1 を向いている。また、基板 1 1 0 の上の第 2 の箇所における G a N 層の c 軸も、第 1 の方向 J 1 を向いている。このように、成膜される A l N 層および G a N 層の c 軸のほとんどは、基板 1 1 0 の板面にわたって第 1 の方向 J 1 を向いている。つまり、c 軸は、基板 1 1 0 の板面に垂直な方向に対して、ある特定の角度 θ (図 4 参照) で傾いているのである。また、c 軸は、基板 1 1 0 の板面の [1 1 0] 方向または [$\bar{1}$ 1 0] 方向と等価な方向に対して面内回転方向で 30° 以下の範囲の特定の方向を向いている。

【 0 0 4 4 】

5 - 2 . 従 来 の 成 膜 方 法

従来 の M O C V D 法 を 用 い て 、 立 方 晶 の 基 板 の 上 に 六 方 晶 の バ ッ フ ァ 層 を 成 膜 し よ う と 試 み た と 仮 定 す る 。 そ の 場 合 に は 、 種 々 の 方 向 か ら 原 料 粒 子 が 輸 送 さ れ る 。 そ の 結 果 、 あ る 箇 所 で は 、 例 え ば 、 [1 1 0] 方 向 に c 軸 が 傾 く 。 別 の 箇 所 で は 、 例 え ば 、 [$\bar{1}$ 1 0] 方 向 に c 軸 が 傾 く 。 ま た 、 [1 $\bar{1}$ 0] 方 向 も し く は [$\bar{1}$ $\bar{1}$ 0] 方 向 に c 軸 が 傾 く 場 合 が あ る 。 こ の よ う に 、 基 板 上 の 位 置 に よ っ て c 軸 の 傾 く 向 き が 異 な っ て い る 。

【 0 0 4 5 】

図 6 に 示 す よ う に 、 低 温 成 膜 さ れ た 基 板 1 1 0 上 の G a N で は 、 基 板 1 1 0 の 第 3 の 箇 所 に お け る G a N 層 の c 軸 は 、 第 2 の 方 向 J 2 を 向 い て い る 。 ま た 、 基 板 1 1 0 の 第 4 の 箇 所 に お け る G a N 層 の c 軸 は 、 第 3 の 方 向 J 3 を 向 い て い る 。 も ち ろ ん 、 第 2 の 方 向 J 2 と 第 3 の 方 向 J 3 と は 異 な る 方 向 で あ る 。 こ の よ う に 、 基 板 1 1 0 の 場 所 に よ っ て 、 c 軸 は 別 々 の 方 向 を 向 い て い る 。

【 0 0 4 6 】

高 温 で 成 膜 し た 場 合 に は c 軸 は 傾 か な い 。 し か し 、 バ ッ フ ァ 層 1 2 0 は 、 第 1 の 領 域 と 、 第 1 の 領 域 か ら 面 内 回 転 方 向 に 30° 回 転 し た 第 2 の 領 域 と 、 を 有 す る こ と と な る 。 つ ま り 、 結 晶 方 位 の 異 な る 2 つ の 領 域 が 混 在 す る こ と と な る 。 し た が っ て 、 単 結 晶 は 得 ら れ な い 。 ま た 、 オ フ 基 板 を 用 い た と し て も 、 結 晶 性 の 良 い 結 晶 は 得 ら れ な い 。

【 0 0 4 7 】

な お 、 何 ら か の 理 由 に よ り 、 特 定 の 方 向 が 支 配 的 に な る 可 能 性 が な い わ け で は な い 。 し か し 、 基 板 1 1 0 の 板 面 に わ た っ て 一 様 に c 軸 が 傾 斜 す る G a N 層 を 成 長 さ せ る こ と は 、 非 常 に 困 難 で あ る 。 つ ま り 、 再 現 性 が 悪 い 。

【 0 0 4 8 】

6 . 変 形 例

6 - 1 . c 軸 の 傾 き

本 実 施 形 態 の 薄 膜 基 板 1 0 0 は 、 基 板 1 1 0 と 、 バ ッ フ ァ 層 1 2 0 と 、 を 有 す る 。 バ ッ フ ァ 層 1 2 0 の c 軸 は 、 基 板 1 1 0 の 板 面 に わ た っ て 第 1 の 方 向 J 1 を 向 い て い る 。 つ ま り 、 バ ッ フ ァ 層 1 2 0 の c 軸 は 、 95% 以 上 の 割 合 で 第 1 の 方 向 J 1 を 向 い て い る 。 し か

10

20

30

40

50

し、基板 1 1 0 を [1 1 0] 方向に等価な方向に配置しなかった場合には、第 1 の方向 J 1 を向いている c 軸の割合は低下する。その場合であっても、バッファ層 1 2 0 の c 軸は、少なくとも 5 0 % 以上の割合で第 1 の方向 J 1 を向いている。このように、バッファ層 1 2 0 の c 軸は、5 0 % 以上 1 0 0 % 以下の割合で第 1 の方向 J 1 を向いている。

【 0 0 4 9 】

このように、バッファ層 1 2 0 の c 軸が、5 0 % 以上の割合で第 1 の方向 J 1 を向いていれば、III 族窒化物半導体層の c 軸のほとんどが第 1 の方向 J 1 を向いた状態で III 族窒化物半導体層を成長させることができる。つまり、バッファ層 1 2 0 における c 軸の支配的な向きが、その後成長させる III 族窒化物半導体層の c 軸の傾きを決定づけるのである。このように成長させた III 族窒化物半導体層では、c 軸の 9 5 % 以上は、第 1 の方向 J 1 を向いている。つまり、ほとんど単結晶が得られる。もちろん、バッファ層 1 2 0 の c 軸のうち第 1 の方向 J 1 を向いている割合が多いほど、その上に成長させる III 族窒化物半導体層の結晶性はよい。

10

【 0 0 5 0 】

よって、バッファ層 1 2 0 の c 軸のうち第 1 の方向 J 1 を向いている c 軸の割合は、5 0 % 以上 1 0 0 % 以下の割合である。好ましくは、6 5 % 以上 1 0 0 % 以下の割合である。より好ましくは、8 0 % 以上 1 0 0 % 以下の割合である。さらに好ましくは、9 0 % 以上 1 0 0 % 以下の割合である。

【 0 0 5 1 】

6 - 2 . 基板の種類

本実施形態における立方晶の基板 1 1 0 は、S i (0 0 1) 基板である。しかし、その他の立方晶基板を用いることもできる。例えば、M g O 基板と、T i O₂ 基板と、S r T i O₃ 基板と、が挙げられる。また、S i C 基板、G a A s 基板、等の立方晶基板を用いることもできる。また、(0 0 1) 基板以外に、(1 1 0) 基板を用いてもよい。

20

【 0 0 5 2 】

6 - 3 . バッファ層の種類

本実施形態のバッファ層 1 2 0 は、A l N 層である。しかし、A l_x G a_y I n_z N 層 (0 < X < 1、0 < Y < 1、0 < Z < 1、X + Y + Z = 1) を用いてもよい。また、その他のバッファ層を用いてもよい。バッファ層として、例えば、B N 層と、Z n O 層と、Z n S 層と、が挙げられる。

30

【 0 0 5 3 】

6 - 4 . サセプターの回転 (その 1)

本実施形態では、サセプター 1 2 0 0 を回転させない。しかし、基板 1 1 0 およびターゲット 1 5 0 0 の位置関係を保持した状態で、サセプター 1 2 0 0 およびターゲット 1 5 0 0 の両方を回転させてもよい。

【 0 0 5 4 】

6 - 5 . サセプターの回転 (その 2)

本実施形態の薄膜基板 1 0 0 の製造方法は、サセプター 1 2 0 0 を回転させない第 1 の工程と、サセプター 1 2 0 0 を回転させる第 2 の工程と、を有していてもよい。つまり、バッファ層 1 2 0 の成膜初期段階では、サセプター 1 2 0 0 を回転させずに約 1 0 n m 以上の膜厚でバッファ層 1 2 0 の一部を成膜する。この段階では、バッファ層 1 2 0 の c 軸の配向方向が決定されている。そして、この後、サセプター 1 2 0 0 を回転させながらバッファ層 1 2 0 の残部を成膜する。この段階では、既に c 軸の配向方向が決定されているので、その決定された c 軸の配向方向に従ってバッファ層 1 2 0 の残部は成長する。このように 2 段階にすることにより、バッファ層 1 2 0 の基板面内均一性が向上する。

40

【 0 0 5 5 】

6 - 6 . ターゲット配置部

本実施形態のターゲット配置部 1 4 0 0 は、チャンパー 1 1 0 0 に固定されている。しかし、ターゲット配置部 1 4 0 0 は、ターゲット 1 5 0 0 の表面が、基板 1 1 0 の板面に垂直な方向に対して 1 0 ° 以上 6 0 ° 以下の範囲内で相対的に可変となるように傾斜角を

50

変更できるようになっていてもよい。

【0056】

6 - 7 . 組み合わせ

上記の変形例を自由に組み合わせてもよい。

【0057】

7 . 本実施形態のまとめ

本実施形態の成膜装置1000では、基板110の板面に垂直な方向と、基板110からみてターゲット1500の配置されている方向とのなす角の角度が、角度 だけ傾斜している。そのため、立方晶である基板110の上に六方晶のバッファ層120を成長させることができる。したがって、例えば、大口径のSi(001)基板の上にIII族窒化物半導体を成長させることができる。

10

【0058】

本実施形態の薄膜基板100は、立方晶の基板110と、その基板110の上に成長させた六方晶のバッファ層120と、を有している。そのため、安価で大口径のSi(001)基板の上にIII族窒化物半導体を成長させることができる。

【0059】

(第2の実施形態)

第2の実施形態について説明する。

【0060】

1 . HEMT

図7は、第2の実施形態のHEMT200の概略構成を示す図である。HEMT200は、III族窒化物半導体を有する半導体素子である。HEMT200は、基板110と、バッファ層120と、下地層230と、チャンネル層240と、バリア層250と、ソース電極S1と、ドレイン電極D1と、ゲート電極G1と、を有している。

20

【0061】

基板110は、立方晶基板である。具体的には、Si(001)基板である。バッファ層120は、六方晶のAlN層である。このように、立方晶の基板110の上に六方晶のバッファ層120が形成されている。また、下地層230は、GaN層である。チャンネル層240は、GaN層である。バリア層250は、AlGaN層である。これらは例示であり、下地層230と、チャンネル層240と、バリア層250とは、これ以外の種類の半導体層であってもよい。

30

【0062】

2 . バッファ層およびGaN層

図8は、HEMT200から基板110とバッファ層120と下地層230とを抜き出して描いた概念図である。ここで、第1の角度 1は、基板110の板面に垂直な方向と、バッファ層120のc軸と、がなす角の角度である。第2の角度 2は、基板110の板面に垂直な方向と、下地層230のc軸と、がなす角の角度である。

【0063】

角度 2は、10°以上60°以下の範囲内である。好ましくは、角度 2は、15°以上55°以下の範囲内である。より好ましくは、角度 2は、20°以上50°以下の範囲内である。さらに好ましくは、角度 2は、25°以上45°以下の範囲内である。

40

【0064】

図8に示すように、下地層230のc軸の向きは、バッファ層120のc軸の向きとほぼ同じ向きである。つまり、c軸が傾斜しているバッファ層120の上には、そのバッファ層120の結晶性を受け継いで、GaNが成長する。ここで、第2の角度 2は、第1の角度 1にほぼ等しい。第2の角度 2は、基板110の板面に垂直な方向および面内方向の両方について、第1の角度 1に対して0°以上5°以下だけ傾斜している。つまり、下地層230のc軸は、バッファ層120のc軸の方向に対して、基板110の板面に垂直な方向および面内方向の両方について、0°以上5°以下の範囲内で傾斜している。好ましくは、0°以上3°以下の範囲内である。より好ましくは、0°以上1°以下の

50

範囲内である。

【0065】

3. 本実施形態の効果

バッファ層120のc軸は、基板110の板面の[110]方向または[110]方向と等価な方向に対して面内回転方向で30°以下の範囲内にある。この場合、GaN層である下地層230の表面は非極性面となる。そのため、自発分極とピエゾ分極が抑制される。したがって、ノーマリオフタイプのHEMTが得られやすい。また、発光素子に適用する場合には、発光層内の分極による波長シフトが抑制される。また、電界の歪みによる電子および正孔の波動関数の分離が抑制される。したがって、発光効率の低下を抑制することができる。

10

【0066】

図9は、In組成比が20%のInGaNをGaN上に成長させた場合の薄膜中の分極を示すグラフである。図10は、Al組成比が20%のAlGaNをGaN上に成長させた場合の薄膜中の分極を示すグラフである。図9および図10に示すように、c軸を傾斜させた場合の分極の度合いは、c軸を傾斜させない場合の分極の度合いよりも小さい。In組成比やAl組成比が変化しても、この傾向はそれほど変わらない。したがって、本実施形態のc軸が傾斜した非極性面を用いる半導体装置では、分極が抑制される。

【0067】

4. HEMTの製造方法

4-1. バッファ層形成工程

第1の実施形態の成膜装置1000を用いて、基板110の上にバッファ層120を形成する。その後、成膜した基板110を成膜装置1000から取り出す。

20

【0068】

4-2. 半導体層形成工程

その後、MOCVD装置等を用いて、バッファ層120の上にIII族窒化物半導体の単結晶をエピタキシャル成長させる。つまり、バッファ層120の上に下地層230を成長させる。次に、下地層230の上にチャネル層240を成長させる。そして、チャネル層240の上にバリア層250を成長させる。

【0069】

4-3. 電極形成工程

そして、バリア層250の上に、ソース電極S1と、ドレイン電極D1と、ゲート電極G1と、を形成する。そして、基板110を切り出してチップ化する。これにより、図7に示すHEMT200が製造される。

30

【0070】

5. 変形例

5-1. MIS型HEMT

本実施形態のHEMT200に限らず、MIS型HEMTもしくはMOS型HEMTにも本実施形態の技術を適用することができる。

【0071】

5-2. 縦型素子

また、その他の縦型の半導体素子についても、本実施形態の技術を適用することができる。

40

【0072】

5-3. GaNテンプレート

また、本実施形態の技術は、GaNテンプレートにも適用することができる。その場合のGaNテンプレートの構造は、図8に示すものと同様である。

【0073】

5-4. 組み合わせ

上記の変形例を第1の実施形態およびその変形例と自由に組み合わせてもよい。

【0074】

50

6. 本実施形態のまとめ

本実施形態のHEMT200は、立方晶の基板110と、その基板110の上に成長させた六方晶のバッファ層120と、を有している。そのため、安価で大口径のSi(001)基板の上にIII族窒化物半導体を成長させることができる。

【0075】

(第3の実施形態)

第3の実施形態について説明する。

【0076】

1. 半導体発光素子

図11は、第3の実施形態の発光素子300の概略構成を示す図である。発光素子300は、III族窒化物半導体を有する半導体素子である。発光素子300は、基板110と、バッファ層120と、n型コンタクト層330と、発光層340と、p型クラッド層350と、p型コンタクト層360と、n電極N1と、p電極P1と、を有する。

10

【0077】

基板110は、立方晶基板である。具体的には、Si(001)基板である。バッファ層120は、六方晶のAlN層である。このように、立方晶の基板110の上に六方晶のバッファ層120が形成されている。

【0078】

n型コンタクト層330は、n電極N1と接触する層である。n型コンタクト層330は、n型GaNを有している。発光層340は、電子と正孔とが再結合して発光する層である。p型クラッド層350は、電子を閉じ込めておくための層である。p型クラッド層350は、超格子構造を備える層である。p型コンタクト層360は、p電極P1と接触する層である。p型コンタクト層360は、p型GaNを有している。これらは、例示であり、これ以外の半導体層を有していてもよい。

20

【0079】

2. バッファ層およびGaN層

第3の実施形態におけるバッファ層120とn型コンタクト層330との関係は、第2の実施形態のバッファ層120と下地層230との関係と同様である。つまり、図8に示す関係が、発光素子300においても成り立つ。

【0080】

3. 半導体発光素子の製造方法

3-1. バッファ層形成工程

第1の実施形態の成膜装置1000を用いて、基板110の上にバッファ層120を形成する。その後、成膜した基板110を成膜装置1000から取り出す。

30

【0081】

3-2. 半導体層形成工程

その後、MOCVD装置等を用いて、バッファ層120の上にIII族窒化物半導体の単結晶をエピタキシャル成長させる。つまり、バッファ層120の上にn型コンタクト層330を成長させる。次に、n型コンタクト層330の上に発光層340を成長させる。そして、発光層340の上にp型クラッド層350を成長させる。そして、p型クラッド層350の上にp型コンタクト層360を成長させる。

40

【0082】

3-3. 電極形成工程

そして、p型コンタクト層360からn型コンタクト層330まで達する凹部を設ける。そして、その凹部に露出しているn型コンタクト層330の上にn電極N1を形成する。また、p型コンタクト層360の上にp電極P1を形成する。また、基板110を切り出してチップ化する。これにより、図11に示す発光素子300が製造される。

【0083】

4. 変形例

4-1. 半導体レーザー素子

50

図 1 1 に示す第 3 の実施形態の半導体素子は、発光素子 3 0 0 である。しかし、半導体レーザー素子に対しても、同様に、本実施形態の技術を適用することができる。

【 0 0 8 4 】

4 - 2 . 受光素子

また、本技術は、受光素子にも適用することができる。受光素子は、発光素子 3 0 0 の発光層を光吸収層として用いる。受光素子として、例えば、太陽電池が挙げられる。

【 0 0 8 5 】

4 - 3 . 組み合わせ

上記の変形例を第 1 の実施形態およびその変形例と自由に組み合わせてもよい。

【 0 0 8 6 】

5 . 本実施形態のまとめ

本実施形態の H E M T 2 0 0 は、立方晶の基板 1 1 0 と、その基板 1 1 0 の上に成長させた六方晶のバッファ層 1 2 0 と、を有している。そのため、安価で大口径の S i (0 0 1) 基板の上に III 族窒化物半導体を成長させることができる。

【 0 0 8 7 】

(第 4 の実施形態)

第 4 の実施形態について説明する。

【 0 0 8 8 】

1 . 薄膜基板

図 1 2 は、第 4 の実施形態の薄膜基板 4 0 0 の構造を示す図である。薄膜基板 4 0 0 は、基板 1 1 0 と、バッファ層 1 2 0 と、中間層 I L と、を有している。バッファ層 1 2 0 は、スパッタリングにより成膜された A l N 層である。ここで、基板 1 1 0 は、立方晶基板である。一方、バッファ層 1 2 0 は、六方晶の層である。また、中間層 I L は、六方晶の層である。このように、薄膜基板 1 0 0 は、立方晶の基板 1 1 0 と、六方晶のバッファ層 1 2 0 と、六方晶の中間層 I L と、を有している。第 4 の実施形態のバッファ層 1 2 0 は、第 1 の実施形態のバッファ層 1 2 0 と同様である。

【 0 0 8 9 】

2 . 中間層

ここで、中間層 I L について説明する。第 4 の実施形態の中間層 I L は、M O C V D 法により成膜された層である。中間層 I L は、バッファ層 1 2 0 の結晶性を受け継ぎつつ、格子欠陥を低減させるための層である。中間層 I L の膜厚は、例えば、1 0 n m 以上 1 0 0 n m 以下の範囲内である。中間層 I L の膜厚は上記以外であってもよい。そして、中間層 I L として、例えば、次の 3 種類の中間層を挙げることができる。

【 0 0 9 0 】

2 - 1 . 第 1 の中間層

第 1 の中間層は、高温 A l N 層である。高温 A l N 層の成長温度は、9 5 0 以上 1 1 0 0 以下である。

【 0 0 9 1 】

2 - 2 . 第 2 の中間層

第 2 の中間層は、低温 A l N 層と高温 A l N 層とを積層した層である。その際に、バッファ層 1 2 0 の上に低温 A l N 層を形成し、低温 A l N 層の上に高温 A l N 層を形成する。低温 A l N 層の成長温度は、6 5 0 以上 8 0 0 以下である。

【 0 0 9 2 】

2 - 3 . 第 3 の中間層

第 3 の中間層は、高温 A l N 層と A l N / G a N 超格子層とを積層した層である。その際に、バッファ層 1 2 0 の上に高温 A l N 層を形成し、高温 A l N 層の上に A l N / G a N 超格子層を形成する。A l N / G a N 超格子層の成長温度は、9 5 0 以上 1 1 0 0 以下である。

【 0 0 9 3 】

3 . 本実施形態の効果

10

20

30

40

50

中間層 I L は、格子欠陥を低減させることができる。そして、中間層 I L より上層に六方晶の半導体層を成長させる場合に、中間層 I L は、その六方晶の半導体層の結晶性を向上させる。

【0094】

4. 変形例

4-1. HEMT

図13は、第4の実施形態の変形例におけるHEMT500の構造を示す図である。HEMT500は、III族窒化物半導体を有する半導体素子である。HEMT500は、基板110と、バッファ層120と、中間層I Lと、下地層230と、チャンネル層240と、バリア層250と、ソース電極S1と、ドレイン電極D1と、ゲート電極G1と、を有している。中間層I Lは、バッファ層120と半導体層との間に位置している。

10

【0095】

HEMT500の各層は、中間層I Lを除いて第2の実施形態のHEMT200の各層と同じである。中間層I Lは、本実施形態の第1の中間層から第3の中間層までのいずれかであればよい。

【0096】

4-2. 半導体発光素子

図14は、第4の実施形態の変形例における発光素子600の構造を示す図である。発光素子600は、III族窒化物半導体を有する半導体素子である。発光素子600は、基板110と、バッファ層120と、中間層I Lと、n型コンタクト層330と、発光層340と、p型クラッド層350と、p型コンタクト層360と、n電極N1と、p電極P1と、を有する。中間層I Lは、バッファ層120と半導体層との間に位置している。

20

【0097】

発光素子600の各層は、中間層I Lを除いて第3の実施形態の発光素子300の各層と同じである。中間層I Lは、本実施形態の第1の中間層から第3の中間層までのいずれかであればよい。

【0098】

4-3. 中間層の成膜方法

本実施形態では、中間層I LをMOCVD法により成膜する。しかし、中間層I Lを成膜するためにその他の成膜方法を用いてもよい。例えば、HVPE法、MBE法が挙げられる。

30

【実施例】

【0099】

A. 実験1

1. GaN層の成膜

1-1. 成膜条件

成膜装置1000を用いて、Si(001)基板にAlN層を成膜した。ターゲットをSi(001)基板に射影すると、Si(001)基板の[110]方向または[110]方向と等価な方向にターゲットが配置されるように、Si(001)基板をサセプター1200に配置した。Si(001)基板の板面に垂直な方向と、ターゲットの位置する方向と、のなす角の角度は、36°であった。なお、ターゲットは、Si(001)基板の[110]方向もしくはその等価な方向からSi(001)基板の面内回転方向で30°以内の位置に配置した。

40

【0100】

また、サセプター1200については、回転させなかった。そのため、配置したSi(001)基板に対して、ターゲットの位置する方向から、ターゲット粒子が輸送されることとなる。つまり、ターゲット粒子は、[111]に近い方向からSi(001)基板に到達することとなる。

【0101】

そして、Si(001)基板の上にAlN層を成膜した。基板温度は、450 であっ

50

た。ターゲットは、Alであった。そして、50 s c c mのN₂ ガスをチャンバー1100の内部に供給した。ここで、DC300Wでターゲットに電圧を印加した。内圧は、0.23 Paであった。成膜時間は、30分であった。これにより、Al層の上に80 nmのAlN層を成膜した。

【0102】

次に、MOCVD装置を用いて、AlN層の上にGaN層を成長させた。

【0103】

1-2. 成膜結果

図15は、Si(001)基板に成膜したGaN層の表面を示す走査型電子顕微鏡写真(SEM写真)である。図15に示すように、GaN層の成長方向に異方性が認められる。

10

【0104】

図16は、Si(001)基板に成膜したGaN層の断面を示す走査型電子顕微鏡写真(SEM写真)である。図16に示すように、GaN層のc軸は、Si(001)基板の板面に対して一定の角度だけ傾斜している。このなす角の角度は、約32°であった。

【0105】

図17は、図16を拡大した拡大図である。図17に示すように、AlN層のc軸は、スパッタリングの方向に傾斜している。また、GaN層のc軸も、スパッタリングの方向に傾斜している。そして、AlN層とGaN層とは、ほぼ同じ方向に成長している。AlN層が成長する方向と、GaN層が成長する方向と、の間の方向のずれは、2°以下であった。

20

【0106】

図18は、サセプター1200を20 rpmで回転させたときのGaN層の表面を示す走査型電子顕微鏡写真(SEM写真)である。このときには、Si(001)基板にまばらにGaN層が成長した。

【0107】

2. GaN層の配向

2-1. X線回折

図19は、任意の箇所でのX線回折の結果(2θ /)を示すグラフである。図19に示すように、GaN(10-13)のピークと、Si(004)のピークと、が観測された。これは、Si(001)基板の上に成膜したGaN層が、(10-13)面の方向に成長したことを示している。

30

【0108】

また、図19では、GaN(10-13)のピークと、Si(004)のピークと、を除くピークが観測されていない。これは、GaN層が、Si(001)基板の全表面にわたって一様な膜を成膜されたものであることを示している。

【0109】

図20は、GaN層の(10-13)面を示す図である。

【0110】

図21は、X線回折の結果(θ スキャン)を示すグラフである。図21に示すように、X = 31.6°のときに、GaN(0002)のピークがθ = 180°の位置に観測された。

40

【0111】

図22は、X線回折の結果(θ スキャン)を示すグラフである。図22に示すように、X = 54.6°のときに、Si{111}のピークがθ = 90°、180°、270°の位置に観測された。

【0112】

このように、GaN(0001)面から31.6°だけ傾斜しているGaN(10-13)面が、成長したことが確認された。

【0113】

50

2 - 2 . 平坦性

図 2 3 は、Si (0 0 1) 基板に成膜した GaN 層の断面を示す走査型電子顕微鏡写真 (SEM 写真) である。図 2 3 では、第 1 の AlN 層の上に第 1 の GaN 層を成長させた。第 1 の GaN 層の膜厚は 1 μ m である。そして、第 1 の GaN 層の上に第 2 の AlN 層を成長させた。第 2 の AlN 層の膜厚は 10 nm 程度である。そして、第 2 の AlN 層の上に第 2 の GaN 層を成長させた。第 2 の GaN 層の膜厚は 1 μ m である。

【 0 1 1 4 】

図 2 3 に示すように、第 2 の GaN 層の表面は、平坦である。したがって、この平坦な GaN 層の上に種々の素子構造を形成することは容易である。

【 0 1 1 5 】

2 - 3 . 第 1 の方向を向いている c 軸の割合

図 2 4 は、Si (0 0 1) 基板の上に成膜した AlN 層および GaN 層の境界面を示す透過型電子顕微鏡写真 (断面 TEM 写真) である。図 2 4 中の破線で囲んだ領域では、AlN 層の c 軸が第 1 の方向 J 1 を向いていない。破線で囲まれていない領域では、AlN 層の c 軸が第 1 の方向 J 1 を向いている。このように図 2 4 中では、AlN 層の c 軸は、50% 以上の割合で第 1 の方向 J 1 を向いている。

【 0 1 1 6 】

一方、AlN 層の上の GaN 層では、図 2 4 中の撮像領域にわたって GaN 層の c 軸は第 1 の方向 J 1 を向いている。AlN 層の上の GaN 層では、下地層である AlN 層の c 軸の方向のうち、支配的な方向である第 1 の方向 J 1 の情報を引き継いでいる。そして、AlN 層の上の GaN 層では、AlN 層で支配的でない c 軸の方向の情報はほとんど引き継がれない。したがって、AlN 層の c 軸が、50% 以上の割合で第 1 の方向 J 1 を向いていれば、Si (0 0 1) 基板の板面にわたってほぼ一様に c 軸が第 1 の方向 J 1 を向いている GaN 層が得られる。つまり、単一配向の GaN 層が得られることが明らかとなった。

【 0 1 1 7 】

3 . 考察

これは、AlN 層の c 軸が第 1 の方向 J 1 を向いている場合において、Si (0 0 1) 基板の法線方向の結晶面が熱力学的に安定であるため、GaN 層の初期核が優先的に形成されたためであると考えられる。図 2 4 中において、第 1 の方向 J 1 を向いているときの基板の法線方向の結晶面は、それ以外の方向を向いているときに発現する結晶面よりも熱力学的に安定であると考えられる。つまり、(1) AlN 層の c 軸の支配的な方向およびその割合と、(2) AlN 層における c 軸の方向を受け継いだとした場合の結晶面の熱力学的安定性と、がその上の GaN 層の結晶を決定づけると考えられる。

【 0 1 1 8 】

本実験では、(1 0 - 1 3) 面の GaN 層を成長させることができた。しかし、ターゲットを配置する角度を変えれば、その角度に応じた結晶面で半導体層を成長させることができると考えられる。つまり、ある特定の方向から基板に到達した AlN 粒子は、その方向に近い向きに c 軸を傾斜させた状態で成長する。その際に、熱力学的に安定な面を平坦面としつつ半導体層は成長すると考えられる。

【 0 1 1 9 】

B . 実験 2

1 . スパッタリングの角度

1 - 1 . 成膜条件

成膜条件は、実験 1 とほぼ同じである。そのため、実験 1 と異なる条件について説明する。内圧は、0 . 0 2 Pa であった。基板の板面に垂直な方向と、ターゲットの表面に垂直な方向と、の間のなす角を 36° と、20° と、の 2 通りを実施した。

【 0 1 2 0 】

1 - 2 . 実験結果

図 2 5 は、基板の板面に垂直な方向とターゲットの表面に垂直な方向との間のなす角を

10

20

30

40

50

36°とした場合におけるGaN層の表面を示す顕微鏡写真である。図25に示すように、GaN層の(10-13)面が観測された。図25(a)は、成長時間が1分の場合を示す写真である。図25(b)は、成長時間が5分の場合を示す図である。図25(c)は、成長時間が10分の場合を示す図である。

【0121】

図25(c)に示すように、GaN層のc軸は、基板の板面に垂直な方向に対して32°傾斜していた。

【0122】

図26は、基板の板面に垂直な方向とターゲットの表面に垂直な方向との間のなす角を20°とした場合におけるGaN層の表面を示す顕微鏡写真である。図26に示すように、GaN層の(10-15)面が観測された。図26(a)は、成長時間が1分の場合を示す写真である。図26(b)は、成長時間が5分の場合を示す図である。図26(c)は、成長時間が10分の場合を示す図である。

10

【0123】

図26(c)に示すように、GaN層のc軸は、基板の板面に垂直な方向に対して20°傾斜していた。

【0124】

このように、基板の板面に垂直な方向と、ターゲットの表面に垂直な方向と、の間のなす角を異なる値に設定することにより、異なる面方向に成長するGaN層が得られた。つまり、ターゲットの照射方向および配置を変えることにより、GaN層の成長方向をある程度制御することができる。

20

【0125】

C. 実験3

1. 中間層

1-1. サンプルの製作

図27は、実験3のサンプルの構造を示す図である。サンプルとしてサンプルA、B、Cを用いた。サンプルA、B、Cは、それぞれ、第4の実施形態の第1の中間層、第2の中間層、第3の中間層を有する。

【0126】

サンプルAは、Si(001)基板と、AlN層と、中間層ILと、GaN層と、をこの順序で積層したものである。中間層ILは、膜厚20nmの高温AlN層である。AlN層の膜厚は45nmである。GaN層の膜厚は4μmである。GaN層は、(10-13)面を成長させたものである。AlN層は、スパッタリングにより成膜した。その際に、基板の板面に垂直な方向と、ターゲットの表面に垂直な方向と、の間のなす角を36°とした。中間層ILおよびGaN層は、通常のMOCVD法により成膜した。

30

【0127】

サンプルBは、Si(001)基板と、AlN層と、中間層ILと、GaN層と、をこの順序で積層したものである。中間層ILは、膜厚10nmの低温AlN層の上に膜厚20nmの高温AlN層を積層したものである。AlN層の膜厚は45nmである。GaN層の膜厚は4μmである。GaN層は、(10-13)面を成長させたものである。AlN層は、スパッタリングにより成膜した。その際に、基板の板面に垂直な方向と、ターゲットの表面に垂直な方向と、の間のなす角を36°とした。中間層ILおよびGaN層は、通常のMOCVD法により成膜した。

40

【0128】

サンプルCは、Si(001)基板と、AlN層と、中間層ILと、GaN層と、をこの順序で積層したものである。中間層ILは、膜厚20nmの高温AlN層の上に25ペアのAlN/GaN超格子層を積層したものである。AlN層の膜厚は45nmである。GaN層の膜厚は4μmである。GaN層は、(10-13)面を成長させたものである。AlN層は、スパッタリングにより成膜した。その際に、基板の板面に垂直な方向と、ターゲットの表面に垂直な方向と、の間のなす角を36°とした。中間層ILおよびGaN

50

N層は、通常のMOCVD法により成膜した。

【0129】

1-2. X線回折

(10-13) GaNについてX線回折を測定した。中間層ILを有するGaNのX線の半値全幅FWHMは、中間層ILを有さないGaNのX線の半値全幅FWHMよりも小さかった。また、中間層ILとして超格子層を有するGaNのX線の半値全幅FWHMは、中間層ILを有さないGaNのX線の半値全幅FWHMの半分程度であった。

【0130】

したがって、中間層ILを設けることにより、その上に成長させるGaN層の結晶性が向上する。そして、中間層ILとして超格子層を用いると、GaN層の結晶性はより向上する。

10

【符号の説明】

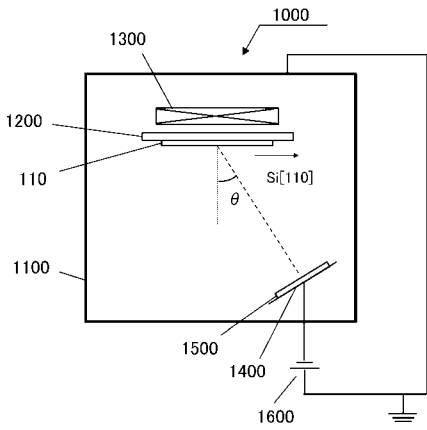
【0131】

100... 薄膜基板
 110... 基板
 120... バッファ層
 200... HEMT
 G1... ゲート電極
 S1... ソース電極
 D1... ドレイン電極
 300... 発光素子
 330... n型コンタクト層
 340... 発光層
 350... p型クラッド層
 360... p型コンタクト層
 N1... n電極
 P1... p電極
 IL... 中間層
 1000... 成膜装置
 1100... チャンバー
 1200... サセプター
 1300... ヒーター
 1400... ターゲット配置部
 1500... ターゲット
 1600... 電圧印加部

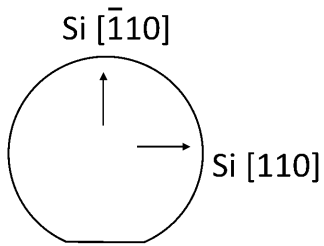
20

30

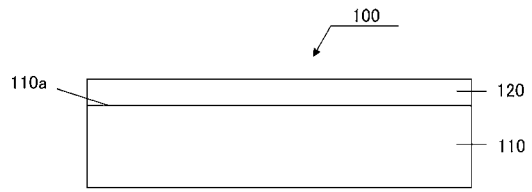
【 図 1 】



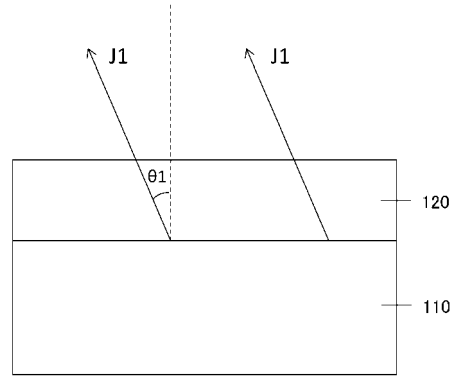
【 図 2 】



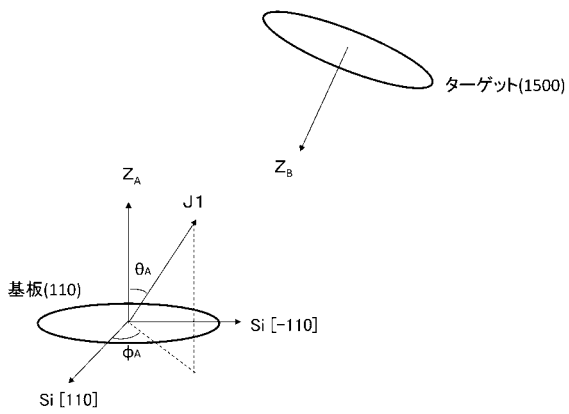
【 図 3 】



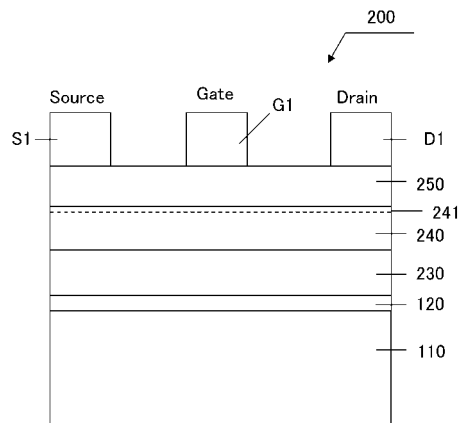
【 図 4 】



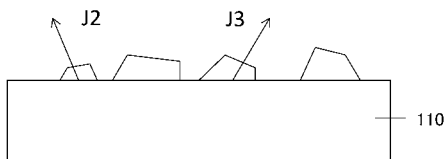
【 図 5 】



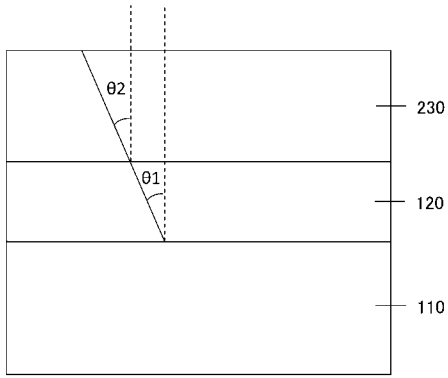
【 図 7 】



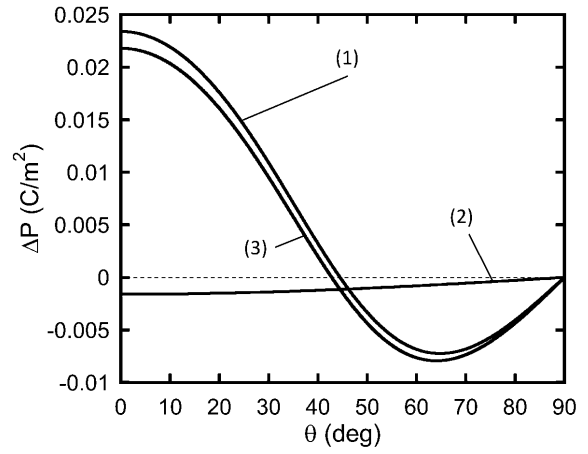
【 図 6 】



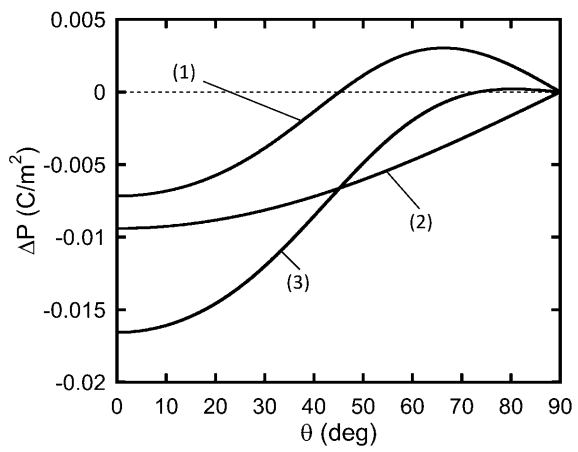
【 図 8 】



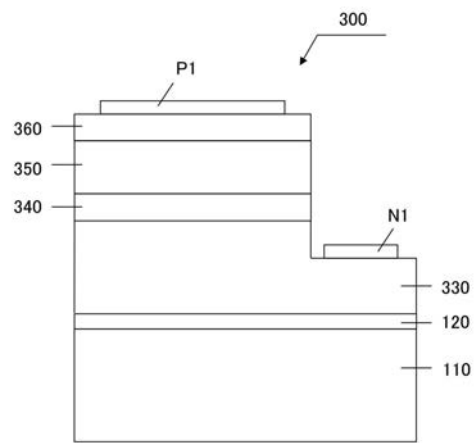
【 図 9 】



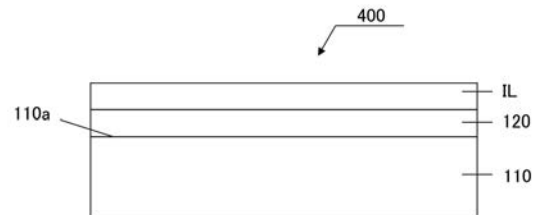
【 図 1 0 】



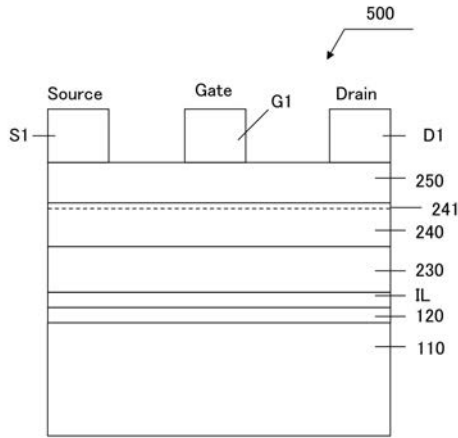
【 図 1 1 】



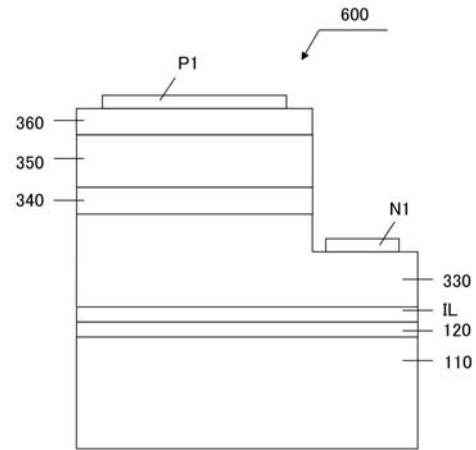
【 図 1 2 】



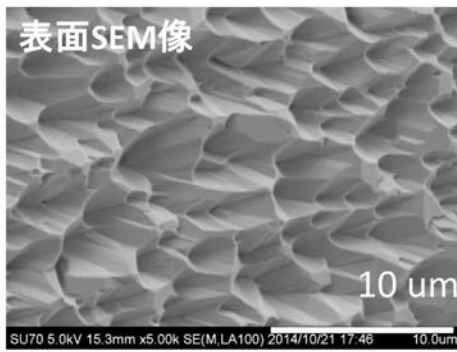
【 図 1 3 】



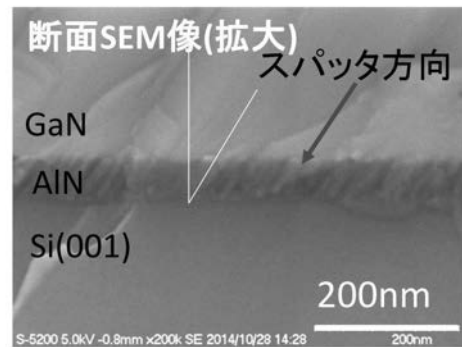
【 図 1 4 】



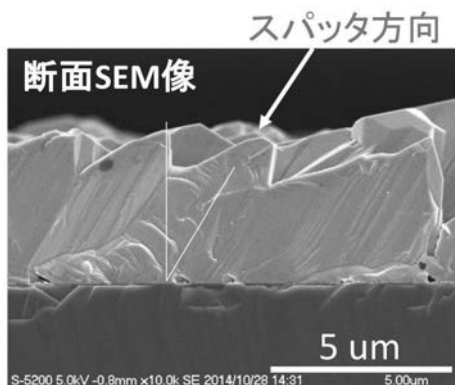
【 図 1 5 】



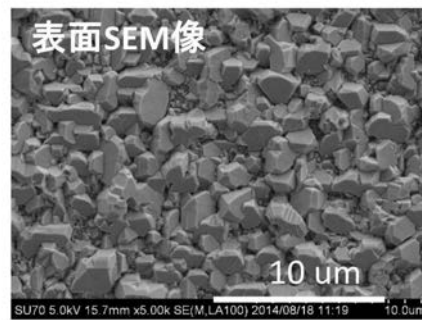
【 図 1 7 】



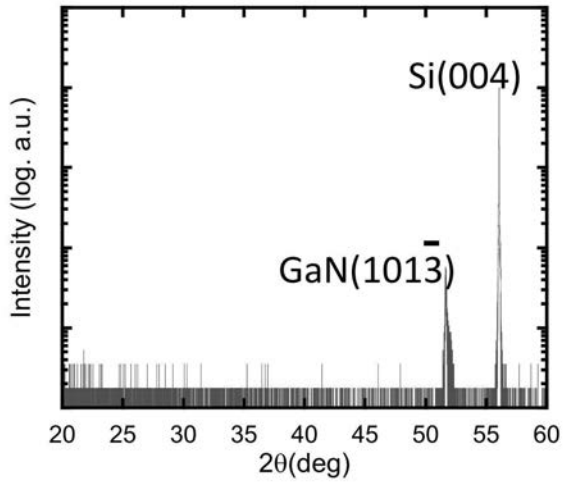
【 図 1 6 】



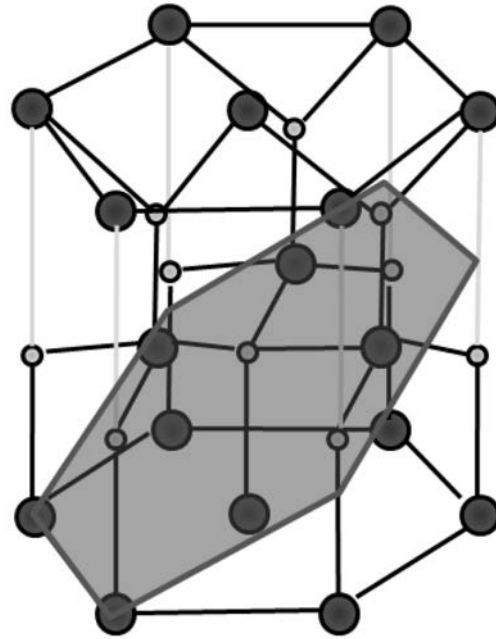
【 図 1 8 】



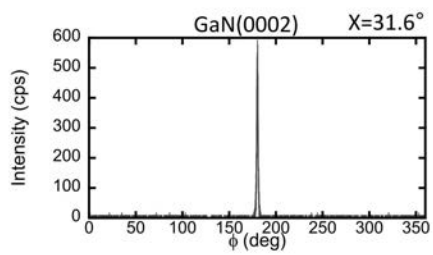
【 図 1 9 】



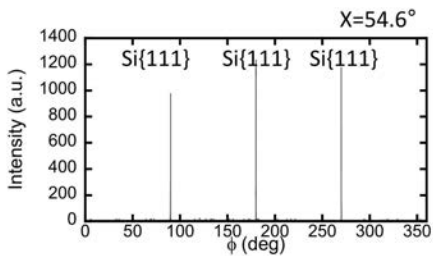
【 図 2 0 】



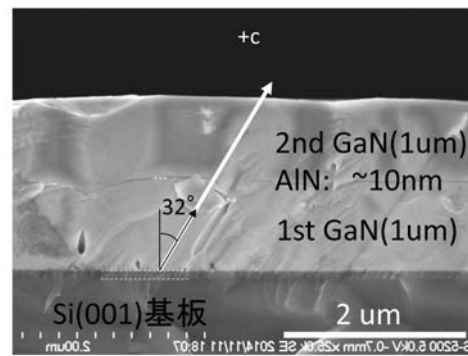
【 图 2 1 】



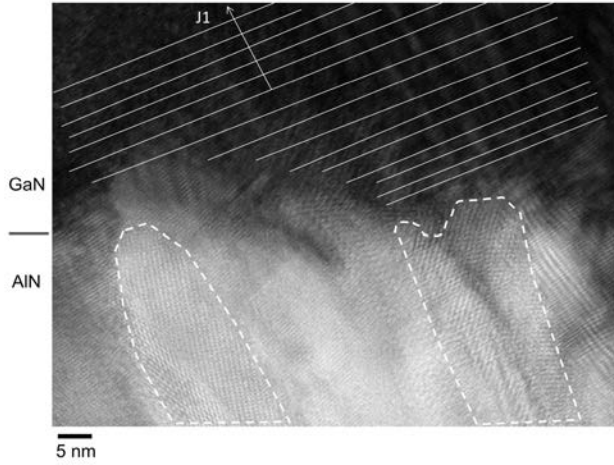
【 图 2 2 】



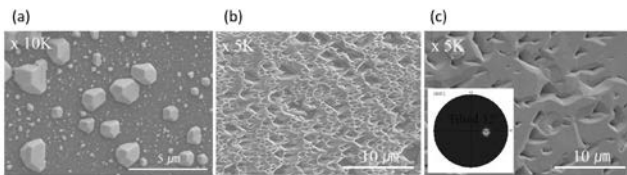
【 图 2 3 】



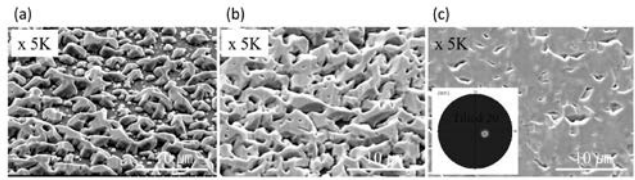
【 図 2 4 】



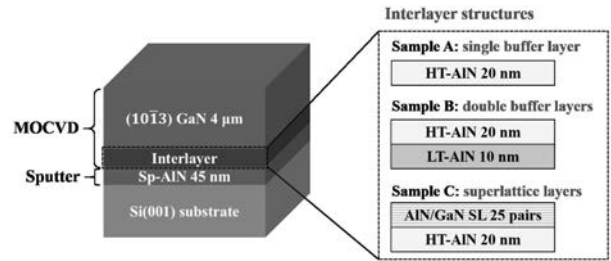
【 図 2 5 】



【 図 2 6 】



【 図 2 7 】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/000895

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
H01L21/205(2006.01)i, H01L21/20(2006.01)i, H01L21/203(2006.01)i, H01L21/338(2006.01)i, H01L29/778(2006.01)i, H01L29/812(2006.01)i, H01L33/12(2010.01)i, H01L33/32(2010.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01L21/205, H01L21/20, H01L21/203, H01L21/338, H01L29/778, H01L29/812, H01L33/12, H01L33/32		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2016 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2016 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2016		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2007-287771 A (Fujifilm Corp.), 01 November 2007 (01.11.2007), claims 1, 4, 6, 8; paragraphs [0012] to [0017], [0026], [0027], [0030], [0033], [0038], [0043]; fig. 1(b) (Family: none)	12-15 1,3-5 2,6-11
Y A	WO 2013/145404 A1 (Toyota Central Research and Development Laboratories, Inc.), 03 October 2013 (03.10.2013), paragraphs [0034], [0035], [0042]; fig. 3 & US 2015/0053996 A1 paragraphs [0074] to [0078], [0090]; fig. 3 & EP 2832900 A1 & CN 104220651 A	1,3-5 2,6-15
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents:		
"A"	document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"E"	earlier application or patent but published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"L"	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"O"	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family
"P"	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	
Date of the actual completion of the international search 11 May 2016 (11.05.16)		Date of mailing of the international search report 24 May 2016 (24.05.16)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/000895

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2014/054284 A1 (Panasonic Corp.), 10 April 2014 (10.04.2014), entire text; all drawings & US 2014/0269801 A1 entire text; all drawings & JP 5891390 B	1-15
A	JP 2008-305977 A (Nagoya University), 18 December 2008 (18.12.2008), entire text; all drawings (Family: none)	1-15
A	JP 2002-246646 A (Nobuhiko SAWAKI), 30 August 2002 (30.08.2002), entire text; all drawings & US 2002/0074561 A1 entire text; all drawings	1-15
A	WO 2013/154485 A1 (SUN, YANTING), 17 October 2013 (17.10.2013), entire text; all drawings & JP 2015-521365 A & US 2015/0063388 A1 & EP 2837021 A1 & CN 104221129 A	1-15
A	WO 2012/107214 A1 (OTTO-VON GUERICKE- UNIVERSITAET MAGDEBURG TECHNOLOGIE-TRANSFER- ZENTRUM), 16 August 2012 (16.08.2012), entire text; all drawings & DE 102011011043 A1 & TW 201251112 A	1-15

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 6 / 0 0 0 8 9 5									
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))											
Int.Cl. H01L21/205(2006.01)i, H01L21/20(2006.01)i, H01L21/203(2006.01)i, H01L21/338(2006.01)i, H01L29/778(2006.01)i, H01L29/812(2006.01)i, H01L33/12(2010.01)i, H01L33/32(2010.01)i											
B. 調査を行った分野											
調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))											
Int.Cl. H01L21/205, H01L21/20, H01L21/203, H01L21/338, H01L29/778, H01L29/812, H01L33/12, H01L33/32											
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの											
<table> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2016年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2016年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2016年</td> </tr> </table>				日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2016年	日本国実用新案登録公報	1996-2016年	日本国登録実用新案公報	1994-2016年
日本国実用新案公報	1922-1996年										
日本国公開実用新案公報	1971-2016年										
日本国実用新案登録公報	1996-2016年										
日本国登録実用新案公報	1994-2016年										
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)											
C. 関連すると認められる文献											
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号									
X Y A	JP 2007-287771 A (富士フイルム株式会社) 2007.11.01, 【請求項1】、【請求項4】、【請求項6】、【請求項8】、段落【0012】-【0017】、【0026】、【0027】、【0030】、【0033】、【0038】、【0043】、図1(b) (ファミリーなし)	12-15 1,3-5 2,6-11									
Y A	WO 2013/145404 A1 (株式会社豊田中央研究所) 2013.10.03, 段落[0034]、[0035]、[0042]、図3 & US 2015/0053996 A1, 段落[0074]-[0078]、[0090]、図3 & EP 2832900 A1 & CN 104220651 A	1,3-5 2,6-15									
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。											
* 引用文献のカテゴリー		の日の後に公表された文献									
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの		「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの									
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの		「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの									
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)		「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの									
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献		「&」同一パテントファミリー文献									
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願											
国際調査を完了した日 11.05.2016		国際調査報告の発送日 24.05.2016									
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 正山 旭	50 9276								
		電話番号 03-3581-1101 内線 3559									

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 6 / 0 0 0 8 9 5
C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	WO 2014/054284 A1 (パナソニック株式会社) 2014.04.10, 全文、全図 & US 2014/0269801 A1, 全文、全図 & JP 5891390 B	1-15
A	JP 2008-305977 A (国立大学法人名古屋大学) 2008.12.18, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-15
A	JP 2002-246646 A (澤木 宣彦) 2002.08.30, 全文、全図 & US 2002/0074561 A1, 全文、全図	1-15
A	WO 2013/154485 A1 (SUN, YANTING) 2013.10.17, 全文、全図 & JP 2015-521365 A & US 2015/0063388 A1 & EP 2837021 A1 & CN 104221129 A	1-15
A	WO 2012/107214 A1 (OTTO-VON GUERICKE-UNIVERSITAET MAGDEBURG TECHNOLOGIE-TRANSFER-ZENTRUM) 2012.08.16, 全文、全図 & DE 102011011043 A1 & TW 201251112 A	1-15

フロントページの続き

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H 0 1 L 29/812 (2006.01)	H 0 1 L 33/32	
H 0 1 L 33/12 (2010.01)	H 0 1 L 33/16	
H 0 1 L 33/32 (2010.01)		
H 0 1 L 33/16 (2010.01)		

(81) 指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US

(72) 発明者 光成 正

愛知県名古屋市千種区不老町1番 国立大学法人名古屋大学内

Fターム(参考) 5F045 AA04 AA19 AB14 AB17 AB18 AF03 AF13 CA07 CA10 DA52
 DA53 DA54 DA61
 5F102 GB01 GC01 GD01 GJ02 GJ03 GJ05 GK04 GK08 GL04 GQ01
 GR01
 5F103 AA08 BB35 DD30 GG01 HH03 LL02 LL09 NN01 PP15 PP20
 5F152 LL03 LL05 LL09 LL10 LN12 LN18 MM05 MM18 NN03 NN21
 NN27 NP21
 5F241 AA40 CA04 CA05 CA23 CA40 CA65

(注) この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。