

(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2009-18983

(P2009-18983A)

(43) 公開日 平成21年1月29日(2009.1.29)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
C30B 29/38 (2006.01)	C30B 29/38 D	4G077
H01L 21/205 (2006.01)	H01L 21/205	4K030
C30B 25/18 (2006.01)	C30B 25/18	5F041
C23C 16/34 (2006.01)	C23C 16/34	5F045
H01L 33/00 (2006.01)	H01L 33/00 C	

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 33 頁)

(21) 出願番号 特願2007-310700 (P2007-310700)
 (22) 出願日 平成19年11月30日 (2007.11.30)
 (31) 優先権主張番号 特願2007-157783 (P2007-157783)
 (32) 優先日 平成19年6月14日 (2007.6.14)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 000002130
 住友電気工業株式会社
 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
 (74) 代理人 100064746
 弁理士 深見 久郎
 (74) 代理人 100085132
 弁理士 森田 俊雄
 (74) 代理人 100083703
 弁理士 仲村 義平
 (74) 代理人 100096781
 弁理士 堀井 豊
 (74) 代理人 100098316
 弁理士 野田 久登
 (74) 代理人 100109162
 弁理士 酒井 将行

最終頁に続く

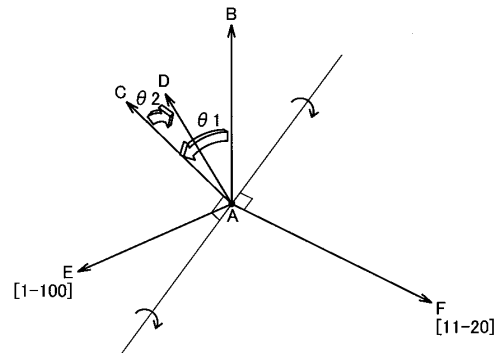
(54) 【発明の名称】 GaN基板、エピタキシャル層付き基板、半導体装置、およびGaN基板の製造方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 発光効率を向上させた発光素子などの半導体装置を得ることが可能なGaN基板、当該GaN基板の主表面上にエピタキシャル層を形成したエピタキシャル層付き基板、半導体装置およびGaN基板の製造方法を提供する。

【解決手段】 GaN基板は、主表面を有するGaN基板であって、主表面の法線ベクトルに対し、面方位 [0001] に対応するベクトルABを、互いに異なる2つのオフ角 1および 2だけ傾斜させたベクトルADの方向に傾斜させる。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

主表面を有する GaN 基板であって、
前記主表面の法線ベクトルに対し、面方位 [0 0 0 1] が互いに異なる 2 つのオフ角方向に傾斜している、GaN 基板。

【請求項 2】

前記主表面の法線ベクトルに対し前記面方位 [0 0 0 1] が傾斜する 2 つの前記オフ角方向は、[1 - 1 0 0] 方向および [1 1 - 2 0] 方向である、請求項 1 に記載の GaN 基板。

【請求項 3】

前記主表面の法線ベクトルに対する前記面方位 [0 0 0 1] の、前記 [1 - 1 0 0] 方向における傾斜角度および前記 [1 1 - 2 0] 方向における傾斜角度のうちのいずれか一方は 10° 以上 40° 以下であり、他方は 0.02° 以上 40° 以下である、請求項 2 に記載の GaN 基板。

【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の GaN 基板と、
前記 GaN 基板の前記主表面上に形成されたエピタキシャル成長層とを備える、エピタキシャル層付き基板。

【請求項 5】

請求項 4 に記載のエピタキシャル層付き基板を用いた半導体装置。

【請求項 6】

主表面の法線ベクトルに対し、基準面方位が互いに異なる 2 つの下地基板側傾斜方向に傾斜している下地基板を準備する工程と、

前記下地基板の前記主表面上に GaN 結晶層を成長させる工程と、

前記 GaN 結晶層から前記下地基板を除去することにより、GaN 結晶層からなる GaN 基板を得る工程とを備え、

前記 GaN 基板は、主表面を有し、前記主表面の法線ベクトルに対して、面方位 [0 0 0 1] が互いに異なる 2 つのオフ角方向に傾斜し、

前記下地基板における前記基準面方位の前記下地基板側傾斜方向での傾斜角度を変更することにより、前記 GaN 基板における前記面方位 [0 0 0 1] の前記オフ角方向での傾斜角度が調整される、GaN 基板の製造方法。

【請求項 7】

前記下地基板は GaAs 基板であり、

前記基準面方位は [1 1 1] であり、

前記 2 つの下地基板側傾斜方向は $\langle 1 - 1 0 \rangle$ 方向および $\langle 1 1 - 2 \rangle$ 方向であり、

前記 GaN 基板の前記 2 つのオフ角方向は [1 1 - 2 0] 方向および [1 - 1 0 0] 方向である、請求項 6 に記載の GaN 基板の製造方法。

【請求項 8】

前記下地基板はサファイア基板であり、

前記基準面方位は [0 0 0 1] であり、

前記 2 つの下地基板側傾斜方向は [1 1 - 2 0] 方向および [1 - 1 0 0] 方向であり、

前記 GaN 基板の前記 2 つのオフ角方向は [1 - 1 0 0] 方向および [1 1 - 2 0] 方向である、請求項 6 に記載の GaN 基板の製造方法。

【請求項 9】

前記下地基板は ZnO 基板であり、

前記基準面方位は [0 0 0 1] であり、

前記 2 つの下地基板側傾斜方向は [1 - 1 0 0] 方向および [1 1 - 2 0] 方向であり、

前記 GaN 基板の前記 2 つのオフ角方向は [1 - 1 0 0] 方向および [1 1 - 2 0] 方

10

20

30

40

50

向である、請求項 6 に記載の G a N 基板の製造方法。

【請求項 10】

前記下地基板は S i C 基板であり、

前記基準面方位は [0 0 0 1] であり、

前記 2 つの下地基板側傾斜方向は [1 - 1 0 0] 方向および [1 1 - 2 0] 方向であり

、
前記 G a N 基板の前記 2 つのオフ角方向は [1 - 1 0 0] 方向および [1 1 - 2 0] 方向である、請求項 6 に記載の G a N 基板の製造方法。

【請求項 11】

前記下地基板は G a N からなる基板であり、

前記基準面方位は [0 0 0 1] であり、

前記 2 つの下地基板側傾斜方向は [1 - 1 0 0] 方向および [1 1 - 2 0] 方向であり

、
前記 G a N 基板の前記 2 つのオフ角方向は [1 - 1 0 0] 方向および [1 1 - 2 0] 方向である、請求項 6 に記載の G a N 基板の製造方法。

【請求項 12】

前記 G a N 結晶層を成長させる工程に先立ち、前記下地基板の前記主表面上に複数の窓を有するマスク層を形成する工程をさらに備える、請求項 6 ~ 10 のいずれか 1 項に記載の G a N 基板の製造方法。

【請求項 13】

前記下地基板における前記 2 つの下地基板側傾斜方向における傾斜角度の一方が 10 ° 以上 40 ° 以下であり、他方が 0 . 0 2 ° 以上 40 ° 以下である、請求項 6 ~ 12 のいずれか 1 項に記載の G a N 基板の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、G a N 基板、エピタキシャル層付き基板、半導体装置、および G a N 基板の製造方法に関し、より特定的には、半極性面を利用可能な G a N 基板、エピタキシャル層付き基板、半導体装置、および G a N 基板の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、G a N を用いたレーザダイオード (L D) や発光ダイオード (L E D) が知られている。このような G a N を用いた L D や L E D は、これまでサファイア基板や S i C 基板、あるいは G a N 基板の (0 0 0 1) 面上にエピタキシャル層を積層することにより形成されていた。ここで、上述した G a N 基板などの (0 0 0 1) 面は極性面であることから、発光波長が 5 0 0 n m より長波長の領域について、L E D の発光効率が低下するという問題があった。

【0003】

このような問題に対して、G a N の結晶において従来の (0 0 0 1) 面ではなく (1 1 - 2 2) 面という半極性の結晶面上に量子井戸構造を形成することで、上述した長波長の領域についての発光効率を向上させることが報告されている (非特許文献 1 参照) 。また、このような半極性の結晶面が主表面に露出した G a N 基板の製造方法も提案されている (たとえば、特許文献 1 参照) 。

【特許文献 1】特開 2 0 0 5 - 2 9 8 3 1 9 号公報

【非特許文献 1】” ニュースリリース：半極性面バルク G a N 基板上への L E D 開発に成功 ”、[online]、平成 1 8 年 6 月 3 0 日、京都大学、[平成 1 9 年 6 月 1 日検索]、インターネット (http://www.kyoto-u.ac.jp/notice/05_news/documents/060630_1.htm)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

10

20

30

40

50

上記非特許文献1に開示されたLEDは、マイクロファセットとして自然形成された半極性の結晶面を利用しており、その結晶面は(11-22)面と固定され、サイズも小さいものであった。しかし、LEDやLDなどの効率的な製造を考えれば、半極性の結晶面が主表面に露出した(つまり、主表面の法線ベクトルに対し、所定の面方位(たとえば、[0001]方向)が所定の方向に所定角度だけ傾斜している、いわゆるオフ角を有する)2インチ以上の大口径GaN基板を用いてLEDなどを製造することが好ましい。また、主表面の法線ベクトルに対する面方位の傾斜角度の値を調整することで(つまり基板の主表面に露出する結晶面を変更することで)、LEDやLDの特性を改善できる可能性も考えられる。

【0005】

この発明は、上記のような課題を解決するために成されたものであり、発光効率を向上させた発光素子などの半導体装置を工業的に安価に得ることが可能な2インチ以上の大口径GaN基板、当該GaN基板の主表面上にエピタキシャル層を形成したエピタキシャル層付き基板、半導体装置およびGaN基板の製造方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

発明者は、上述した特許文献1に示したGaN基板の製造方法を利用して、さまざまなオフ角を有するGaN基板を作成し、当該GaN基板の主表面上にエピタキシャル層を形成してLEDを試作し、その特性を調査した。その結果、主表面の法線ベクトルに対して、面方位[0001]が1つの面方位(1つのオフ角方向)に傾斜することでGaN基板の表面に露出する結晶面を半極性面にすることができるとともに、当該面方位[0001]を他の面方位(他のオフ角方向)にさらに傾斜させることで、GaN基板の主表面内の波長分布のばらつきを制御できる(小さくすることが可能である)ことを発見した。すなわち、この発明に従ったGaN基板は、主表面を有するGaN基板であって、主表面の法線ベクトルに対し、面方位[0001]が互いに異なる2つのオフ角方向に傾斜している。

【0007】

このようにすれば、面方位[0001]を1つめのオフ角方向に傾斜させることでGaN基板の主表面を半極性面とした状態で、当該主表面上にエピタキシャル層を形成できる。このため、GaN基板の(0001)面などの極性面上にエピタキシャル層を形成してLEDなどの発光素子を製造する場合より、発光波長が500nm以上の長波長領域に含まれる発光素子において発光効率を向上させたり、印加する電流量の変化による波長シフト量を小さくすることができる。さらに、面方位[0001]を2つ目のオフ角方向にさらに傾斜させることにより、GaN基板の主表面における面内波長分布のばらつきを制御することができる。この結果、当該GaN基板を用いることで優れた特性のLEDなどの半導体装置を安定して製造することができる。

【0008】

この発明に従ったエピタキシャル層付き基板は、上記GaN基板と、当該GaN基板の主表面上に形成されたエピタキシャル成長層とを備える。このようにすれば、当該エピタキシャル成長層はGaN基板の半極性面上に形成されるので、発光波長が500nm以上の長波長領域に含まれるとともに発光効率の向上した発光素子などの半導体装置を安定して製造可能なエピタキシャル層付き基板を提供することができる。

【0009】

この発明に従った半導体装置は、上記エピタキシャル層付き基板を用いている。この場合、発光波長が500nm以上の長波長領域に含まれるとともに発光効率が向上したり、印加する電流量による波長シフト量が小さい発光素子などの半導体装置を得ることができる。

【0010】

この発明に従ったGaN基板の製造方法は、以下の工程を備える。すなわち、まず、主表面の法線ベクトルに対し、基準面方位が互いに異なる2つの下地基板側傾斜方向に傾斜

10

20

30

40

50

している下地基板を準備する工程を実施する。下地基板の主表面上にGaN結晶層を成長させる工程を実施する。GaN結晶層から下地基板を除去することにより、GaN結晶層からなるGaN基板を得る工程を実施する。GaN基板は、主表面を有し、主表面の法線ベクトルに対して、面方位 $[0001]$ が互いに異なる2つのオフ角方向に傾斜している。下地基板における基準面方位の下地基板側傾斜方向での傾斜角度を変更することにより、GaN基板における面方位 $[0001]$ のオフ角方向での傾斜角度が調整される。このようにすれば、本発明に従ったGaN基板を容易に得ることができる。また、下地基板の基準面方位の下地基板側傾斜方向での傾斜角度を変更することにより、GaN基板のオフ角方向での傾斜角度を任意に変更したGaN基板を容易に製造することができる。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、発光波長が500nmより長波長側の波長領域において発光効率を向上させた発光素子などの半導体装置を安定して製造可能なGaN基板、エピタキシャル層付き基板、半導体装置およびGaN基板の製造方法を得ることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

以下、図面に基づいて本発明の実施の形態を説明する。なお、以下の図面において同一または相当する部分には同一の参照番号を付しその説明は繰返さない。

【0013】

図1は、本発明によるGaN基板を示す斜視模式図である。図2は、図1に示したGaN基板の結晶構造を説明するための模式図である。図3は、図2に示したGaN基板の結晶構造における面方位および結晶面を説明するための模式図である。図4は、図1に示した本発明によるGaN基板のオフ角方向における傾斜角度を説明するための模式図である。図1～図4を参照して、本発明によるGaN基板を説明する。

【0014】

図1～図4を参照して、本発明によるGaN基板1は、その主表面の法線ベクトル2（図1参照）に対して、特定の面方位（ここでは面方位 $[0001]$ ）が互いに異なる2つの方向（オフ角方向）に傾斜している。すなわち、GaN基板1は、面方位 $[0001]$ が互いに異なる2方向に傾斜しているオフ角度を有する基板である。

【0015】

図2に示すように、GaNの結晶構造は、いわゆる六方晶の結晶構造を有している。図2では、GaNの六方晶の結晶構造の対称性をよりわかりやすく示すため、複数のセルを含んだ状態でGaNの結晶構造が例示されている。図2において、大きい白丸が窒素原子（N原子）を示し、小さい丸がガリウム原子（Ga原子）を示す。図2の結晶構造の底面においては、中心にGa原子が存在し、そのGa原子を中心とする正六角形の頂点にもGa原子が位置している。底面の中心に位置するGa原子から上述した周辺の6個のGa原子を結ぶ方向が、それぞれ反時計回りに $[2-1-10]$ 、 $[11-20]$ 、 $[-12-10]$ 、 $[-2110]$ 、 $[-1-120]$ 、 $[1-210]$ となっている。これらの方向が、GaNにおけるGa-Ga結合の方向になる。そして、底面の中心Ga原子から見てGa原子の存在しない方向が $[1-100]$ などになる。なお、図2および図3に示した結晶構造において、正六角柱とみなせる六方晶の上面をc面と呼び、正六角柱の側壁面をm面と呼ぶ。

【0016】

図1に示した本発明によるGaN基板1では、面方位 $[0001]$ が、互いに異なる2つのオフ角方向である面方位 $[1-100]$ および面方位 $[11-20]$ 方向に、法線ベクトル2（図1参照）に対して傾斜している。このGaN基板1における主表面の法線ベクトル2に対する面方位 $[0001]$ の傾斜の状態を、図4を参照してより詳しく説明する。

【0017】

まず、図4において、ベクトルABで示す方向がGaN基板の主表面の法線ベクトル2

10

20

30

40

50

(図1参照)に対応すると考える。そして、このベクトルABにGaN基板の面方位[0001]を一致させた状態から、面方位[1-100]の方向に対応するベクトルAEの方向に面方位[0001]が傾斜角度 θ_1 だけ傾斜するように、GaNの結晶を傾ける。この結果、GaNの面方位[0001]の方向は、ベクトルACで示す方向になる。そして、このベクトルACで示される方向に傾斜したGaNの結晶構造を、さらに面方位[11-20]の方向に対応するベクトルAFの方向に傾斜角度 θ_2 だけ傾斜させる。この結果、GaNの結晶における面方位[0001]は、図4のベクトルADに示す方向になる。

【0018】

このように、本発明によるGaN基板1では、ベクトルABで示される主表面の法線ベクトル2(図1参照)に対して、結晶の面方位[0001]の方向が図4のベクトルADに示す方向に傾いた状態(主表面の法線ベクトル2に対して、面方位[0001]が面方位[1-100]方向および面方位[11-20]方向にそれぞれ傾斜角度 θ_1 、 θ_2 だけ傾斜した状態)になっている。

10

【0019】

このようにすれば、本発明によるGaN基板1では、その主表面がいわゆる半極性面となる。このようなGaN基板1の主表面上にGaNやInGaNなどの層をエピタキシャル成長させて、半導体装置としての発光素子を形成した場合には、GaNのc面上にエピタキシャル層を形成することで発光素子を製造する場合に比べて、活性層における内部電界の発生を抑制することができる。この結果、内部電界の発生に起因して、活性層に注入した電子と正孔との再結合確率が減少し、結果的に発光効率が低くなったり、印加する電流の変化によって発光波長が変化するという問題の影響を低減できる。したがって、発光効率を高め、一定の発光波長を有した発光素子を得ることができる。

20

【0020】

図5は、図1に示したGaN基板の製造方法を説明するためのフローチャートである。図6は、図5に示したフローチャートにおける準備工程の内容を説明するためのフローチャートである。図5および図6を参照して、本発明によるGaN基板の製造方法を説明する。

【0021】

図5および図6を参照して、まず準備工程(S10)を実施する。この準備工程(S10)においては、GaN基板となるGaNエピタキシャル層を形成する下地となる、下地基板を準備する。具体的には、準備工程(S10)(図5参照)では、図6に示すように下地基板作製工程(S11)をまず実施する。この下地基板作製工程(S11)においては、その表面上にGaNをエピタキシャル成長可能な基板であって、GaNをエピタキシャル成長させる主表面の法線ベクトルに対して、特定の面方位がそれぞれ異なる2方向(下地基板側傾斜方向)に傾斜している基板を準備する。

30

【0022】

ここで、下地基板としては、その表面にGaNを成膜することができれば、任意の材料を用いることができる。下地基板としては、たとえばガリウム砒素(GaAs)基板、サファイア基板、酸化亜鉛(ZnO)基板、炭化ケイ素(SiC)基板あるいはGaN基板を用いることができる。そして、後述する成膜工程において、形成されるGaNエピタキシャル層の面方位[0001]が、下地基板のGaNエピタキシャル層が形成される主表面の法線ベクトルに対して所定の2方向(2つのオフ角方向)に傾斜した状態で、GaNエピタキシャル層が成長できるように、下地基板はいわゆるオフ角を有する基板とされている。具体的には、下地基板においては、エピタキシャル層が形成される主表面の法線ベクトルに対して、所定の基準面方位が所定の方向に傾斜した状態となっている。このような基板は、たとえば主表面が特定の結晶面(たとえば六方晶であればc面など)になっている基板を準備し、当該基板の主表面に対して所定の方向に傾斜した傾斜角度で当該基板の主表面を研削する、あるいは主表面に対する結晶の面方位が分かっているバルク基板から所定の切出し角度で下地基板を切出すといった方法で下地基板を準備することができる。

40

50

。

【 0 0 2 3 】

次に、図 6 に示すように、マスクパターン形成工程 (S 1 2) を実施する。このマスクパターン形成工程 (S 1 2) においては、下地基板の G a N エピタキシャル層を形成する主表面上にマスクパターンを形成する。具体的には、図 7 または図 8 に示すようなパターンを有するマスク層 1 0 を形成する。図 7 および図 8 は、下地基板の主表面上に形成されるマスク層のマスクパターンを示す平面模式図である。

【 0 0 2 4 】

まず、図 7 に示すマスクパターンについて説明する。図 7 に示すように、下地基板の主表面に形成するマスク層 1 0 として、幅 W 1 のライン状のパターンをピッチ P で複数平行に延びるように形成してもよい。このとき、ピッチ P をたとえば $8 \mu\text{m}$ とし、線状パターンの幅 W 1 を $6 \mu\text{m}$ 、線状パターンの間の間隔 W 2 (線状パターンの間に形成された溝状の開口部 1 1 の幅) をたとえば $2 \mu\text{m}$ とすることができる。また、線状パターンの厚みをたとえば $0.1 \mu\text{m}$ とすることができる。

10

【 0 0 2 5 】

また、他のマスクパターンの例としては、図 8 に示すように、開口部 1 2 が周期的に形成されたようなパターンを有するマスク層 1 0 を用いてもよい。具体的には、図 8 に示すように、平面形状が四角形状の開口部 1 2 が、所定の間隔で分散配置されているマスク層 1 0 を下地基板の主表面上に形成する。開口部 1 2 は、たとえば図 8 に示すように正方形状であり、その中心を結ぶ線分の距離 L がたとえば $4 \mu\text{m}$ であってもよい。また、開口部 1 2 の 1 辺の長さ W 1、W 2 がそれぞれ $2 \mu\text{m}$ であってもよい。そして、複数の開口部 1 2 はいわゆる千鳥格子状に配置されており、隣り合う開口部 1 2 の中心点を結ぶと 1 辺が距離 L の正三角形となるように開口部 1 2 は配置されていてもよい。

20

【 0 0 2 6 】

このようなマスク層 1 0 が形成された下地基板に対して、図 5 に示すように成膜工程 (S 2 0) を実施する。具体的には、下地基板のマスク層が形成された主表面上に、気相成長法を用いて G a N 薄膜を形成する。G a N 薄膜の気相成長法としては、H V P E 法 (Hydride Vapor Phase Epitaxy)、昇華法、M O C 法 (Metalorganic Chloride)、M O C V D 法 (Metal-organic Chemical Vapor Deposition) などを用いることができる。この成膜工程 (S 2 0) においては、たとえば H V P E 法を用いることができる。図 9 は、成膜工程 (S 2 0) において用いる成膜装置を示す模式図である。図 9 を参照して、H V P E 法を用いた成膜装置を説明する。

30

【 0 0 2 7 】

図 9 に示すように、成膜装置 2 0 は、反応管 2 2 と、反応管 2 2 の内部に設置された G a ポート 2 3 と、反応管 2 2 の内部において下地基板を保持するためのサセプタ 2 4 と、反応管 2 2 の内部を加熱するためのヒータ 2 6 とを備える。G a ポート 2 3 の内部には、G a 金属を配置する。そして、この G a ポート 2 3 に向けて、水素、窒素あるいはアルゴンで希釈した塩化水素 (H C l) ガスを供給するための配管 2 7 が配置されている。また、サセプタ 2 4 の上部に、水素、窒素あるいはアルゴンで希釈したアンモニア (N H ₃) ガスを供給するための配管 2 8 が設置されている。反応管 2 2 の外周に対向する位置に、反応管 2 2 を加熱するためのヒータ 2 6 が設置されている。サセプタ 2 4 上には、下地基板 5 が設置される。この下地基板 5 上に、後述するように G a N 結晶層 3 が形成される。

40

【 0 0 2 8 】

次に、図 9 に示した成膜装置 2 0 を用いた G a N 結晶層 3 の製造方法を説明する。まず、図 9 に示した成膜装置 2 0 において、反応管 2 2 の内部のサセプタ 2 4 上に下地基板 5 を配置する。そして、サセプタ 2 4 の上方に、その内部に G a 金属を入れた容器である G a ポート 2 3 を配置する。次に、装置全体をヒータ 2 6 によって加熱した状態で、配管 2 7 を介して G a ポート 2 3 に水素、窒素あるいはアルゴンによって希釈された H C l ガスを吹込む。この結果、 $2 \text{Ga} + 2 \text{HCl} \rightarrow 2 \text{GaCl} + \text{H}_2$ という反応が起きる。この反応により生成された気体状の G a C l を下地基板 5 に供給する。

50

【0029】

同時に、配管28を介してサセプタ24近傍に水素、窒素あるいはアルゴンで希釈した NH_3 ガスを供給する。すると、下地基板5の近傍において、 $2\text{GaCl} + 2\text{NH}_3 \rightarrow 2\text{GaN} + 3\text{H}_2$ という反応が起こる。このような反応によって形成された GaN を、加熱された下地基板5の表面に GaN 結晶として積層する。このようにして、下地基板5の表面に GaN 結晶層3が形成される。このとき、下地基板の表面には図7または図8に示すようなマスク層10上に GaN 結晶層3が形成される。この結果、形成される GaN 結晶層3の転位密度を低減することができる。

【0030】

また、下地基板5がいわゆるオフ角を有する基板となっているため、形成される GaN 結晶層3も、下地基板5の主表面と対向する表面の法線ベクトルに対して、所定の面方位が傾斜した状態になっている。また、 GaN 結晶層3における上記法線ベクトルに対する所定の面方位の傾斜方向および傾斜角度は、下地基板における基準面方位の傾斜方向および傾斜角度に応じて変更可能である。

10

【0031】

なお、 GaN 結晶層3は、後述するように下地基板5が除去された後にも自立して取扱いが可能なように十分厚く形成する。 GaN 結晶層3の厚みはたとえば10mm程度とすることができる。

【0032】

次に、図5に示したように下地基板除去工程(S30)を実施する。この下地基板除去工程(S30)においては、形成された GaN 結晶層3から下地基板5を除去する。下地基板5の除去方法としては、スライスなどの機械的な方法、エッチングなどの化学的な方法、電解エッチなどの電気化学的な方法など任意の方法を用いることができる。この結果、 GaN 結晶層3よりなる GaN 基板を得ることができる。また、得られた GaN 基板1(図1参照)においては、下地基板において基準面方位が2方向において傾斜していることに応じて、その表面に対して面方位[0001]が異なる2つのオフ角方向に傾斜した状態となっている。

20

【0033】

この後、後処理工程(S40)を実施する。後処理工程(S40)としては、たとえば基板表面の研磨工程や、 GaN 基板1を所定の厚みにスライスするスライス工程などを実施することができる。

30

【0034】

このようにして得られた GaN 基板1の表面に、図10に示すように GaN などのエピタキシャル層40を形成することにより、エピタキシャル層付き基板(エピ基板41)を得ることができる。図10は、図1に示した本発明による GaN 基板を用いたエピタキシャル層付きの基板を示す斜視模式図である。また、このようなエピ基板41を用いて、図11に示すように発光素子を形成することができる。図11は、本発明による GaN 基板を用いた発光素子を示す断面模式図である。図11を参照して、本発明による GaN 基板を用いた発光素子を説明する。

【0035】

図11に示すように、半導体装置としての発光素子30は、 GaN 基板1上にn型のAlGaN中間層31が形成されている。n型のAlGaN中間層31上にはn型のGaNバッファ層32が形成されている。nGaNバッファ層32上に発光層33が形成されている。この発光層33は、たとえばInGaN/InGaN-MQW層(多重量子井戸層)である。この発光層33上にp型のAlGaN層34を形成する。p型のAlGaN層34上にp型のGaNバッファ層35が形成されている。そして、 GaN 基板1の裏面側(n型AlGaN中間層31が形成された表面側と反対側の表面)にはn電極36が形成されている。そして、p型のGaNバッファ層35上にはp電極37が形成されている。

40

【0036】

このように、本発明による GaN 基板1を用いて発光素子を形成した場合に、発光層3

50

3がGaN基板1のいわゆる半極性面上に形成されているため、発光層33でのピエゾ電界が低減される。このため、従来のGaN基板の極性面上に発光層が形成されていた発光素子よりも、発光層での発光効率を向上させたり、印加する電流量変化による発光波長のシフト量を小さくすることができる。

【0037】

上述した実施の形態と一部重複する部分もあるが、この発明の実施の形態を羅列的に挙げて説明する。

【0038】

この発明に従ったGaN基板1(図1参照)は、主表面を有するGaN基板1であって、主表面の法線ベクトル2に対し、面方位[0001]が互いに異なる2つのオフ角方向に傾斜している。

10

【0039】

このようにすれば、面方位[0001]を1つめのオフ角方向に傾斜させることでGaN基板1の主表面を半極性面とした状態で、当該主表面上にエピタキシャル層40を形成できる。このため、GaN基板1の(0001)面などの極性面上にエピタキシャル層を形成してLEDなどの発光素子を製造する場合より、発光波長が500nm以上の長波長領域に含まれる発光素子において発光効率を向上させたり、印加する電流量変化による発光波長のシフト量を小さくすることができる。さらに、面方位[0001]を2つ目のオフ角方向にさらに傾斜させることにより、GaN基板1の主表面におけるオフ角分布や面内波長分布のばらつきを制御することができる。さらにGaN基板の裏面も表面とほぼ同じオフ角を有する。その結果、表面ならびに裏面に形成した電極のコンタクト性が向上し、動作開始当初からの動作電圧の増加量を小さくすることができる。この結果、当該GaN基板1を用いることで優れた特性を有する発光素子などの半導体装置を安定して製造することができる。

20

【0040】

上記GaN基板1において、主表面の法線ベクトル2に対し面方位[0001]が傾斜する2つのオフ角方向は、[1-100]方向および[11-20]方向であってもよい。この場合、GaN基板1の主表面を半極性面にするすることで、長波長領域での発光効率が向上した発光素子(半導体装置)を得るとともに、GaN基板の主表面上にエピタキシャル層を形成したときにおける面内波長分布のばらつきを確実に制御することができる。

30

【0041】

上記GaN基板1において、主表面の法線ベクトルに対する面方位[0001]の、[1-100]方向における傾斜角度および[11-20]方向における傾斜角度のうちいずれか一方は10°以上40°以下であり、他方は0.02°以上40°以下であってもよい。また、上記2つの傾斜角度のうちいずれか一方を10°以上40°以下として、他方を0.02°以上10°以下としてもよい。この場合、GaN基板の主表面を半極性面にするすることで、長波長領域での発光効率が向上した発光素子(半導体装置)を得るとともに、GaN基板の主表面上にエピタキシャル層40を形成したときにおける面内波長分布のばらつきを確実に小さくすることができる。

40

【0042】

この発明に従ったエピタキシャル層付き基板(エピ基板41)は、上記GaN基板1と、当該GaN基板1の主表面上に形成されたエピタキシャル成長層(エピタキシャル層40)とを備える。このようにすれば、当該エピタキシャル層40はGaN基板1の半極性面上に形成されるので、発光波長が500nm以上の長波長領域に含まれるとともに発光効率の向上した発光素子などの半導体装置を安定して製造可能なエピ基板41を提供することができる。

【0043】

この発明に従った半導体装置(発光素子)は、上記エピ基板41を用いて製造される。この場合、発光波長が500nm以上の長波長領域に含まれるとともに発光効率が向上し、印加電流値の変化に対する波長シフト量が小さい発光素子を得ることができる。

50

【0044】

この発明に従ったGaN基板の製造方法は、以下の工程を備える。すなわち、まず、主表面の法線ベクトルに対し、基準面方位が互いに異なる2つの下地基板側傾斜方向に傾斜している下地基板を準備する工程（下地基板作成工程（S11））を実施する。下地基板5の主表面上にGaN結晶層を3成長させる工程（成膜工程（S20））を実施する。GaN結晶層3から下地基板5を除去することにより、GaN結晶層3からなるGaN基板1を得る工程（下地基板除去工程（S30））を実施する。GaN基板1は、主表面を有し、主表面の法線ベクトルに対して、面方位[0001]が互いに異なる2つのオフ角方向に傾斜している。下地基板における基準面方位の下地基板側傾斜方向での傾斜角度を変更することにより、GaN基板における面方位[0001]のオフ角方向での傾斜角度が調整される。下地基板における上記2つの下地基板側傾斜方向は互いに直交していてもよい。また、GaN基板における上記2つのオフ角方向は互いに直交していてもよい。このようにすれば、本発明に従ったGaN基板1を容易に得ることができる。また、下地基板5の基準面方位の下地基板側傾斜方向での傾斜角度を変更することにより、GaN基板1のオフ角方向での傾斜角度を任意に変更したGaN基板1を容易に製造することができる。

10

【0045】

上記GaN基板の製造方法において、下地基板5はGaAs基板であってもよく、基準面方位は[111]であってもよい。2つの下地基板側傾斜方向は<1-10>方向および<11-2>方向であってもよい。GaN基板の2つのオフ角方向は[11-20]方向および[1-100]方向であってもよい。この場合、下地基板として比較的入手が容易なGaAs基板を用いることで、本発明によるGaN基板1を製造することができるので、GaN基板の製造コストの低減を図ることができる。

20

【0046】

上記GaN基板の製造方法において、下地基板5はサファイア基板であってもよく、基準面方位は[0001]であってもよい。2つの下地基板側傾斜方向は[11-20]方向および[1-100]方向であってもよい。GaN基板の2つのオフ角方向は[1-100]方向および[11-20]方向であってもよい。この場合、下地基板5として比較的入手が容易なサファイア基板を用いることで、本発明によるGaN基板を製造することができるので、GaN基板の製造コストの低減を図ることができる。

30

【0047】

上記GaN基板の製造方法において、下地基板5はZnO基板であってもよく、基準面方位は[0001]であってもよい。2つの下地基板側傾斜方向は[1-100]方向および[11-20]方向であってもよい。GaN基板1の2つのオフ角方向は[1-100]方向および[11-20]方向であってもよい。この場合、下地基板5として比較的入手が容易なZnO基板を用いることで、本発明によるGaN基板1を製造することができるので、GaN基板の製造コストの低減を図ることができる。

【0048】

上記GaN基板の製造方法において、下地基板5はSiC基板であってもよく、基準面方位は[0001]であってもよい。2つの下地基板側傾斜方向は[1-100]方向および[11-20]方向であってもよい。GaN基板1の2つのオフ角方向は[1-100]方向および[11-20]方向であってもよい。この場合、下地基板として比較的入手が容易なSiC基板を用いることで、本発明によるGaN基板を製造することができるので、GaN基板の製造コストの低減を図ることができる。

40

【0049】

上記GaN基板の製造方法において、下地基板5はGaNからなる基板であってもよく、基準面方位は[0001]であってもよい。2つの下地基板側傾斜方向は[1-100]方向および[11-20]方向であってもよい。GaN基板1の2つのオフ角方向は[1-100]方向および[11-20]方向であってもよい。この場合、GaN基板1となるべきGaN結晶層を形成する下地基板5として同じ材質からなるGaNからなる基板

50

を用いることで、GaN結晶層3の膜質を向上させることができる。優れた膜質のGaN基板1を得ることができる。

【0050】

上記GaN基板の製造方法は、GaN結晶層を成長させる工程（成膜工程（S20））に先立ち、下地基板5の主表面上に複数の窓を有するマスク層を形成する工程（マスクパターン形成工程（S12））をさらに備えていてもよい。この場合、下地基板5の主表面上にGaN結晶層3を形成するとき、まずマスク層10の窓（開口部12）から露出している下地基板5の主表面上にGaN結晶が成長し、その後マスク層10上でGaN結晶が横向き成長する。さらに、その後隣接する開口部12の上から横方向に成長したGaN結晶が互いに衝突してから、マスク層10の表面に垂直な（上向きの）方向に成長し、GaN基板1の転位密度を低減したり、クラックの無い2インチ以上の工業的に有効な大口径のGaN基板を得ることができる。

10

【0051】

上記GaN基板の製造方法において、下地基板5における2つの下地基板側傾斜方向における傾斜角度の一方は 10° 以上 40° 以下であり、他方は 0.02° 以上 40° 以下である。この場合、形成されるGaN基板1の2つのオフ角方向における傾斜角度を 10° 以上 40° 以下および 0.02° 以上 40° 以下に調整することができる。

【実施例1】

【0052】

次に、本発明の効果を確認するため、以下のような実験を行なった。すなわち、本発明に従ったGaN基板を作製し、当該GaN基板を用いて発光素子を作製した。そして、GaN基板および当該発光素子について後述するように発光光の波長と供給される電流量との関係などを測定した。また、比較のため、主表面がc面となっているGaN基板、および主表面がm面となっているGaN基板を準備し、同様にこれらのGaN基板を用いて比較例としての発光素子を形成した。そして、これらの比較例の発光素子についても、同様の特性について測定を行なった。以下、実験の内容を具体的に説明する。

20

【0053】

(1) GaN基板の準備

(1-1) 本発明のGaN基板の準備

下地基板：

30

GaAs基板を下地基板として用いた。ただし、当該下地基板の表面の法線ベクトルに対し、結晶方位 $[111]$ が $\langle 1-10 \rangle$ 方向に 18° 傾斜し、さらに $\langle 11-2 \rangle$ 方向に 0.03° 傾斜している2インチのGaAs基板を用いた。そして、この下地基板の表面には、図7に示したストライプ状のパターンを有するマスク層を形成した。このマスク層は酸化シリコン(SiO_2)からなる。マスク層10では、線状パターンの幅 $W1$ を $6\mu\text{m}$ 、開口部の幅 $W2$ を $2\mu\text{m}$ とし、線状パターンのストライプピッチ P を $8\mu\text{m}$ とした。また、マスク層10の厚みは $0.1\mu\text{m}$ とした。

【0054】

成膜条件：

上述した下地基板の表面上に、以下のような条件でGaN結晶層を形成した。すなわち、図9に示した成膜装置20を用いて、HVPE法により下地基板の表面上にGaN結晶層を形成した。下地基板の表面上のGaN結晶の成長工程では、初め比較的低温で薄いバッファ層を成長させる。その後、バッファ層上に比較的高温で、厚いGaNエピタキシャル層を成長させる。バッファ層の成膜条件は、成膜温度を 500°C 、HClの分圧を $1 \times 10^{-3}\text{atm}$ (100Pa)、 NH_3 の分圧を 0.1atm (10000Pa)、成膜時間を60分、成膜したバッファ層の厚みを 60nm とした。また、バッファ層上に形成したGaNエピタキシャル層の成膜条件は、成膜温度を 1030°C 、HClの分圧を $3 \times 10^{-2}\text{atm}$ (3000Pa)、 NH_3 の分圧を 0.2atm (20000Pa)、n型ドーパントとしてSiをドーピングしながら成膜時間を100時間、成膜したエピタキシャル層の厚みを 10mm とした。

40

50

【0055】

その後、機械研削機を用いて成膜したGaN膜からGaAs基板を除去した。このようにして、10mmの厚みの自立GaN基板を得た。そして、このGaN基板を、ワイヤソーを用いて厚み400 μ mにスライスし、さらに表面を研磨することにより10枚の2インチGaN基板を得た。

【0056】

(1-2) 比較例のGaN基板の準備

主表面がc面となっているGaN基板：

基本的に、上述した本発明によるGaN基板と同様の製造方法により製造したが、用いた下地基板としてのGaAs基板が、その主表面の法線ベクトルに対して結晶方位[111]が平行になっている点が異なる。このような下地基板を用いることにより、得られた自立GaN基板では主表面の法線ベクトルと結晶方位[0001]とが平行になっており、当該主表面は(0001)面(c面)と平行になっている。

10

【0057】

主表面がm面となっているGaN基板：

上記した主表面がc面となっているGaN基板から、その主表面に対して垂直方向に厚さ400 μ mの基板を切出すことにより、主表面がm面となっているGaN基板を準備した。

【0058】

(2) 発光素子の形成

得られた本発明の実施例および比較例のGaN基板の表面上に、エピタキシャル層を堆積し、さらに電極を形成、素子ごとに分割することによって、図11に示すような発光素子を形成した。なお、発光素子のn型AlGaN中間層31の厚みは50nm、n型GaNバッファ層32の厚みは2 μ m、発光層33の厚みは50nm、p型AlGaN層34の厚みは20nm、p型GaNコンタクト層35の厚みは50nm、とした。また、n電極36としてはAl/Tiを用い、その厚みはそれぞれAl：500nm、Ti：50nmとした。また、p電極37については、材料をPt/Tiとし、厚みをPt：500nm、Ti：50nmとした。n電極としては他に、Au/Ge/Ni(各厚み500nm/100nm/50nm)、Pt/Ti(各厚み500nm/50nm)、Au/Ti(各厚み500nm/50nm)、p電極としては他にPt(厚み500nm)、Ni(厚み500nm)としてもよい。このような発光素子は、発光層33としてInGaNを含んでいるため、青色領域よりも波長の長い緑色領域の光を出射する。

20

30

【0059】

(3) 測定内容

上述のようにして得られたGaN基板について、当該基板のオフ角(GaN基板の表面の法線ベクトルに対する、面方位[0001]の傾斜方向および傾斜角度)を測定した。また、当該オフ角の値の面内分布も測定した。また、GaN基板について転位密度も測定した。さらに、形成した発光素子について、発光波長と電流量との関係を測定した。

【0060】

(3-1) 測定方法

GaN基板のオフ角およびオフ角の値の分布の測定：

GaN基板のオフ角は、2結晶XRD(X-ray diffraction)装置を用いて、スリットサイズ縦横ともに200 μ mで測定した。また、GaN基板内のオフ角の値の分布は、GaN基板の主表面について、基板の中心と、当該中心から<1-100>方向ならびに<11-20>方向に各20mm離れた4点の合計5点において上記XRD装置を用いてオフ角の測定を行なった。中心から20mm離れた4点の値と中心の値の差の絶対値の最大値をオフ角の分布の値とした。また、XRDでの測定精度は $\pm 0.01^\circ$ である。

40

【0061】

GaN基板の転位密度の測定：

GaN基板について、SEMを用いたCL(カソードルミネッセンス)を用いて、上記

50

XRDと同じ5点について 100 μm内部の暗い点を数えて測定を行なった。

【0062】

発光素子の発光光の波長と供給される電流量との測定：

作成した発光素子について、供給する電流の値を変更しながら、同時に発光素子から出射される光の波長を測定した。具体的には、室温で発光素子にパルス電流を印加して発光スペクトルを測定した。

【0063】

(4) 測定結果

GaN基板のオフ角：

GaN基板のオフ角は、表面の法線ベクトルに対して面方位[0001]が、[11-20]方向にほぼ18°傾斜したオフ角を示した。また、[1-100]方向にほぼ0.05°傾斜したオフ角を示した。また、この[11-20]方向におけるオフ角の面内分布は、当該基板の面内においてオフ角の分布が±0.5°(-17.5~18.5°)の範囲に入っていた。また、[1-100]方向におけるオフ角の面内分布は、当該基板の面内においてオフ角の分布が±0.3°の範囲に入っていた。

10

【0064】

GaN基板の転位密度：

GaN基板の転位密度を測定したところ、当該転位密度はどの試料についても 1×10^7 (/cm²)以下であった。

【0065】

発光素子の発光光の波長と供給される電流量との関係：

結果を図12に示す。図12は、発光素子に供給される電流と出射される光の波長との関係を示すグラフである。図12からわかるように、本発明の実施例の発光素子の波長と電流量との関係は、発光素子に供給される電流量が大きくなるに従って出射される光の波長が短波長側にシフトしているものの、そのシフト量はほぼ7nm程度であった。これは、従来のGaN基板、すなわち基板表面とGaNのc面とがほぼ平行になっているc面基板を用いて製造した比較例の発光素子における波長のシフト量が20nm程度であるのに比べて小さくなっている。なお、図12に示すm面基板を用いて製造した比較例の発光素子の場合、ほとんど波長のシフトが起きていない。これはm面が無極性面であるため、発光層において内部電界の発生が無いと考えられるためである。

20

30

【実施例2】

【0066】

本発明の効果を確認するため、以下のような実験を行なった。すなわち、後述する試料ID1~70のGaN基板を作成し、これらのGaN基板の試料についてオフ角方向およびオフ角、さらにオフ角の面内分布、転位密度を測定した。さらに、各GaN基板を用いて発光素子を形成し、当該発光素子について投入電流値を変更することによる発光波長の変化量(ブルーシフト(Blue shift)：)、1000時間経過時点での動作電圧の増加量(V_{op})、GaN基板の面内における発光波長分布()を測定した。以下、実験の内容を具体的に説明する。

【0067】

(1) GaN基板の準備

全試料(試料ID1~70)について、上述した実施例1におけるGaN基板の製造方法と基本的に同様の製造方法を用いてGaN基板を得た。

【0068】

下地基板：

試料ID1~65については、GaN基板を形成するための下地基板としてGaAs基板を用いた一方、試料ID66~70については、下地基板としてGaAsとは異なる材料の基板を用いた。具体的には、試料ID66および67については、下地基板としてサファイア基板を用い、試料ID68~70のそれぞれについて、ZnO基板、SiC基板およびGaN基板を用いた。各下地基板については、形成されるGaN基板のオフ角方向が

40

50

2方向になるように、GaN結晶膜が形成される主表面の法線方向に対して、面方位 $[0001]$ が2方向に傾斜する傾斜角（オフ角）が適宜設定されている。

【0069】

具体的には、GaAs基板については、形成されるGaN結晶膜の表面に対してGaNの面方位 $[0001]$ が $[11-20]$ 方向および $[1-100]$ 方向にそれぞれ傾斜するように、GaAs基板の主表面の法線ベクトルに対して面方位 $[111]$ が $\langle 1-10 \rangle$ 方向および $\langle 11-2 \rangle$ 方向に傾斜している。各方向（オフ角方向）での傾斜角度（ $\langle 1-10 \rangle$ 方向のオフ角 1および $\langle 11-2 \rangle$ 方向のオフ角 2）は、それぞれ各試料ごとに変更されている。

【0070】

また、サファイア基板については、形成されるGaN結晶膜の表面に対してGaNの面方位 $[0001]$ が $[1-100]$ 方向および $[11-20]$ 方向にそれぞれ傾斜するように、サファイア基板の主表面の法線ベクトルに対して面方位 $[0001]$ が $[11-20]$ 方向および $[1-100]$ 方向に傾斜している。各方向（オフ角方向）での傾斜角度（ $[11-20]$ 方向でのオフ角 1および $[1-100]$ 方向でのオフ角 2）は、試料ID66については $\theta_1 = \theta_2 = 26^\circ$ 、試料ID67については $\theta_1 = \theta_2 = 40^\circ$ に設定した。

【0071】

また、ZnO基板については、ZnO基板の主表面の法線ベクトルに対して面方位 $[0001]$ が $[1-100]$ 方向および $[11-20]$ 方向に傾斜している。各方向（オフ角方向）での傾斜角度（ $[1-100]$ 方向でのオフ角 1および $[11-20]$ 方向でのオフ角 2）は、 $\theta_1 = \theta_2 = 26^\circ$ に設定した。

【0072】

また、SiC基板については、SiC基板の主表面の法線ベクトルに対して面方位 $[0001]$ が $[1-100]$ 方向および $[11-20]$ 方向に傾斜している。各方向（オフ角方向）での傾斜角度（ $[1-100]$ 方向でのオフ角 1および $[11-20]$ 方向でのオフ角 2）は、 $\theta_1 = \theta_2 = 26^\circ$ に設定した。

【0073】

また、GaN基板については、GaN基板の主表面の法線ベクトルに対して面方位 $[0001]$ が $[1-100]$ 方向および $[11-20]$ 方向に傾斜している。各方向（オフ角方向）での傾斜角度（ $[1-100]$ 方向でのオフ角 1および $[11-20]$ 方向でのオフ角 2）は、 $\theta_1 = \theta_2 = 26^\circ$ に設定した。

【0074】

また、試料ID1～70のすべてについて、下地基板の主表面上には実施例1の場合と同様に図7に示したストライプ状のパターンを有するマスク層を形成した。マスク層の厚みや線状パターンのサイズなどは、実施例1におけるマスク層と同様である。

【0075】

成膜条件：

上述した下地基板の表面上に、後述する表1～表14に示すような条件でGaN結晶層を形成した。すなわち、図9に示した成膜装置20を用いて、HVPE法により下地基板の表面上にGaN結晶層を形成した。下地基板の表面上のGaN結晶の成長工程では、初め比較的低温で薄いパuffa層を成長させる。その後、パuffa層上に比較的高温で、厚いGaNエピタキシャル層を成長させる。パuffa層の成膜条件は、後述する表1～表14に示すとおりとした。なお、下地基板としてGaNからなる基板を用いた試料ID70については、パuffa層の成長は行なわず、下地基板上に直接GaNエピタキシャル層を成長させた。

【0076】

その後、研削により成膜したGaN膜からGaAs基板などの下地基板を除去した。このようにして、10mmの厚みの自立GaN基板を得た。そして、このGaN基板を、ワイヤソーを用いて厚み400 μm にスライスし、さらに表面を研磨することにより10

10

20

30

40

50

枚の 2 インチ GaN 基板を得た。

【 0 0 7 7 】

(2) 発光素子の形成

得られた試料 ID 1 ~ 7 0 の GaN 基板の表面上に、エピタキシャル層を堆積し、さらに電極を形成、素子ごとに分割することによって、図 1 1 に示すような発光素子を形成した。なお、発光素子の各層の組成や厚みなどは、実施例 1 における発光素子と同様とした。

【 0 0 7 8 】

(3) 測定

上述のようにして得られた GaN 基板について、当該基板のオフ角 (GaN 基板の表面の法線ベクトルに対する、面方位 [0 0 0 1] の [1 - 1 0 0] 方向での傾斜角度 (オフ角度 a) および [1 1 - 2 0] 方向での傾斜角度 (オフ角度 b)) を測定した。また、当該オフ角の値の面内分布も測定した。また、GaN 基板について転位密度も測定した。さらに、形成した発光素子について、発光波長と電流量との関係を測定した。各データの測定方法は以下のとおりである。

10

【 0 0 7 9 】

GaN 基板のオフ角およびオフ角の値の分布の測定 :

GaN 基板のオフ角は、XRD (X-ray diffraction) 装置を用いて、実施例 1 におけるオフ角の測定方法と同様の方法により測定した。また、GaN 基板の面内でのオフ角の分布についても、実施例 1 における測定方法と同様の測定方法を用いて測定した。

20

【 0 0 8 0 】

GaN 基板の転位密度の測定 :

GaN 基板について、SEM に取り付けた CL を用いて、実施例 1 における測定方法と同様の測定方法を用いて転位密度を測定した。

【 0 0 8 1 】

発光素子の発光波長の変化量 (ブルーシフト :) の測定 :

作成した発光素子について、供給する電流の値を変更しながら、同時に発光素子から出射される光の波長を測定した。具体的な測定方法は実施例 1 における測定方法と同様である。そして、発光素子に供給する電流の値が十分大きな値 (具体的には 2 0 0 m A) になったときの発光波長と、電流が 1 0 m A のときの発光波長との差異をブルーシフト (B l u e s h i f t : (単位 : n m)) とした。

30

【 0 0 8 2 】

発光素子の 1 0 0 0 時間経過時点での動作電圧の増加量 (V_{op}) の測定 :

作成した発光素子について、温度 8 0 °C で、発光素子に 1 0 0 m A の電流を通电させるために必要な電圧を、動作開始当初での動作電圧と、1 0 0 0 時間動作させた後の動作電圧として測定し、その増加分を V_{op} (単位 : V) とした。

【 0 0 8 3 】

GaN 基板の面内における発光波長分布 () の測定 :

発光素子を形成するため、表面にエピタキシャル層を形成した GaN 基板について、面内の波長分布を測定した。具体的な測定方法としては、GaN 基板の裏面に n 電極を形成し、エピタキシャル層上に p 電極を形成した後、基板の中心と、当該中心から $\langle 1 - 1 0 0 \rangle$ 方向および $\langle 1 1 - 2 0 \rangle$ 方向に各 2 0 mm 離れた 4 点の合計 5 点から、5 0 0 μ m の発光素子を各点につき 1 0 個ずつ取出した。この結果得られた合計 5 0 個の発光素子について、室温でパルス電流を印加して発光スペクトルを測定し、各点ごとに発光波長の平均値を算出した。そして、中心と他の 4 点とのそれぞれについての上記発光波長の平均値 (5 つのデータ) において、データの差の絶対値のうちもっとも大きい値を波長分布とした (単位は n m) 。

40

【 0 0 8 4 】

(4) 測定結果

以下、測定結果を示す。

50

【表 2】

試料 ID		10	11	12	13	14	15	16	17	18
区分		比較例	比較例	参考例	参考例	参考例	実施例	実施例	実施例	比較例
下地基板	材質	GaAs								
	サズ (インチ)	2								
	柵方向<1-10>→GaNでの 対応柵方向[11-20]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	柵角θ1									
	柵方向<11-2>→GaNでの 対応柵方向[1-100]	0	5	10	18	25	26	34	40	45
	柵角θ2									
	温度 °C	500	500	500	500	500	500	500	500	500
	HCl atm	1 × 10 ⁻³	1 × 10 ⁻³	1 × 10 ⁻³	1 × 10 ⁻³	1 × 10 ⁻³	1 × 10 ⁻³	1 × 10 ⁻³	1 × 10 ⁻³	1 × 10 ⁻³
	NH ₃ atm	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	時間 min	60	60	60	60	60	60	60	60	60
成長条件	厚み nm	60	60	60	60	60	60	60	60	60
	温度 °C	1030	1030	1030	1030	1030	1030	1030	1030	1030
	HCl atm	3 × 10 ⁻²	3 × 10 ⁻²	3 × 10 ⁻²	3 × 10 ⁻²	3 × 10 ⁻²	3 × 10 ⁻²	3 × 10 ⁻²	3 × 10 ⁻²	3 × 10 ⁻²
	NH ₃ atm	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	時間 min	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	厚み nm	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	ト-パント	0(酸素)	0(酸素)	0(酸素)	0(酸素)	0(酸素)	0(酸素)	0(酸素)	0(酸素)	0(酸素)
	サズ (インチ)									
	柵方向[1-100]	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02
	柵角θa									
生成物 (GaN 結晶)	柵方向[11-20]	0.01	5.02	10.14	18.15	25.02	26.05	34.12	39.90	成長 Poly 化
	柵角θb									
	柵角面内分布Δθa	±2	±1.5	±2.1	±1.9	±1.7	±0.9	±0.8	±0.8	成長 Poly 化
	柵角面内分布Δθb	±2	±1.5	±2.0	±1.8	±1.9	±0.8	±0.7	±0.8	成長 Poly 化
	転位密度	1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07	1.00E+08	成長 Poly 化
	Blue Shift(Δλ)	22	19	9	7	5	5	5	4	-
2 ｲﾝﾈｰ面内波長分布σ	ΔVop(V)	0.03	0.04	0.06	0.08	0.03	0.04	0.05	0.06	-
	波長分布σ	±6	±5	±5	±4	±6	±2.5	±2.5	±2.4	-

【0087】

試料 ID 1 ~ 18 は、それぞれ下地基板について、主表面の法線ベクトルに対して基準

面方位 [1 1 1] を 1 つの方向 (< 1 - 1 0 > 方向または < 1 1 - 2 > 方向) のみに傾斜させている。このため、形成される G a N 基板においても、基本的に主表面の法線ベクトルに対して面方位 [0 0 0 1] は [1 1 - 2 0] 方向または [1 - 1 0 0] 方向に大きく傾斜している。

【 0 0 8 8 】

表 1 および表 2 から分かるように、下地基板のオフ角 1 または 2 を 1 0 ° 以上 4 0 ° 以下にした場合 (つまり G a N 基板のオフ角 a または b を 1 0 ° 以上 4 0 ° 以下にした場合) 、ブルーシフトの値が小さくなっていることが分かる。

【 0 0 8 9 】

【 表 3 】

10

試料 ID		19	20	21	22	
区分		実施例	実施例	実施例	実施例	
下地基板	材質	GaAs				
	サイズ (インチ)	2				
	α方向<1-10>→GaNでの 対応α方向[11-20]					
	α角θ1	10	10	10	10	
	β方向<11-2>→GaNでの 対応β方向[1-100]					
	α角θ2	0.03	0.05	5	10	
成長条件	パツア	温度 °C	500	500	500	500
		HCl atm	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}
		NH ₃ atm	0.1	0.1	0.1	0.1
		時間 min	60	60	60	60
		厚み nm	60	60	60	60
	ヒ	温度 °C	1030	1030	1030	1030
		HCl atm	3×10^{-2}	3×10^{-2}	3×10^{-2}	3×10^{-2}
		NH ₃ atm	0.2	0.2	0.2	0.2
		時間 min	100	100	100	100
		厚み nm	10	10	10	10
	ドーパント	0(酸素)	0(酸素)	0(酸素)	0(酸素)	
生成物 (GaN 結晶)	サイズ (インチ)					
	α方向[1-100]					
	α角θa	9.80	10.22	10.15	10.10	
	β方向[11-20]					
	β角θb	0.02	0.05	5.01	5.01	
	α角面内分布Δθa	±0.7	±0.6	±0.6	±0.6	
	β角面内分布Δθb	±0.9	±0.5	±0.5	±0.5	
	転位密度	1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07	
	Blue Shift (Δλ)	8	8	9	9	
	ΔVop (V)	0.005	0.004	0.003	0.003	
	2インチ面内波長分布σ	±2.5	±2.8	±3	±2.9	

20

30

【 0 0 9 0 】

40

【表 4】

試料 ID		23	24	25	26	
区分		実施例	実施例	実施例	実施例	
下地基板	材質	GaAs				
	サイズ (インチ)	2				
	ワ方向<1-10>→GaN での 対応ワ方向[11-20]					
	ワ角 θ_1	0.03	0.05	5	10	
	ワ方向<11-2>→GaN での 対応ワ方向[1-100]					
ワ角 θ_2	10	10	10	10		
成長条件	ハッパ	温度 °C	500	500	500	500
		HCl atm	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}
		NH ₃ atm	0.1	0.1	0.1	0.1
		時間 min	60	60	60	60
		厚み nm	60	60	60	60
	ヒ	温度 °C	1030	1030	1030	1030
		HCl atm	3×10^{-2}	3×10^{-2}	3×10^{-2}	3×10^{-2}
		NH ₃ atm	0.2	0.2	0.2	0.2
		時間 min	100	100	100	100
		厚み nm	10	10	10	10
ドーパント	0(酸素)	0(酸素)	0(酸素)	0(酸素)		
生成物 (GaN 結晶)	サイズ (インチ)					
	ワ方向[1-100]					
	ワ角 θ_a	0.03	0.05	4.99	10.12	
	ワ方向[11-20]					
	ワ角 θ_b	9.90	10.12	10.12	10.11	
	ワ角面内分布 $\Delta \theta_a$	± 0.6	± 0.6	± 0.6	± 0.7	
	ワ角面内分布 $\Delta \theta_b$	± 0.5	± 0.5	± 0.5	± 0.9	
転位密度	1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07		
	Blue Shift ($\Delta \lambda$)	8	9	8	8	
	ΔV_{op} (V)	0.004	0.005	0.006	0.005	
	2インチ面内波長分布 σ	± 2.5	± 2.1	± 2.8	± 2.7	

10

20

30

【0091】

表3および表4は、下地基板のオフ角 θ_1 および θ_2 の一方を 10° に固定し、他方を 0.03° 以上 10° 以下にした場合（つまり、GaN基板のオフ角 θ_a および θ_b の一方を 10° 前後に固定し、他方を 0.02° または 0.03° 以上 10° 以下にした場合）の測定結果を示している。表3および表4に示した実施例の試料では、表1および表2に示した比較例や参考例の試料に比べて、GaN基板のオフ角面内分布 $\Delta \theta_a$ 、 $\Delta \theta_b$ や、動作電圧の増加量 (ΔV_{op})、さらに面内波長分布 (σ) が小さくなっていることがわかる。この原因は明確ではないが、2つの方向についてオフ角を有する下地基板 (GaAs基板) を用いてGaN結晶層を成長させると、下地基板からの構成成分の一部の外部への放出（たとえばGaAs基板の場合であればAsの放出）が抑制され、結果的に形成されるGaN結晶層の結晶に歪が入ることが抑制されるためであるとも思われる。この結果、得られたGaN基板のオフ角面内分布 $\Delta \theta_a$ 、 $\Delta \theta_b$ や、面内波長分布 (σ) が小さくなっていると思われる。

40

【0092】

【表 5】

試料 ID		27	28	29	30	
区分		実施例	実施例	実施例	実施例	
下地基板	材質	GaAs				
	サイズ (インチ)	2				
	ワ方向<1-10>→GaN での 対応ワ方向[11-20]					
	ワ角 θ_1	18	18	18	18	
	ワ方向<11-2>→GaN での 対応ワ方向[1-100]					
ワ角 θ_2	0.03	0.05	5	10		
成長条件	ハッパ	温度 °C	500	500	500	500
		HCl atm	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}
		NH ₃ atm	0.1	0.1	0.1	0.1
		時間 min	60	60	60	60
		厚み nm	60	60	60	60
	エビ	温度 °C	1030	1030	1030	1030
		HCl atm	3×10^{-2}	3×10^{-2}	3×10^{-2}	3×10^{-2}
		NH ₃ atm	0.2	0.2	0.2	0.2
		時間 min	100	100	100	100
		厚み nm	10	10	10	10
ドーパント	0(酸素)	0(酸素)	0(酸素)	0(酸素)		
生成物 (GaN 結晶)	サイズ (インチ)					
	ワ方向[1-100]					
	ワ角 θ_a	18.15	17.88	18.15	17.88	
	ワ方向[11-20]					
	ワ角 θ_b	0.03	0.05	5.00	9.92	
	ワ角面内分布 $\Delta \theta_a$	± 0.7	± 0.6	± 0.6	± 0.6	
	ワ角面内分布 $\Delta \theta_b$	± 0.9	± 0.5	± 0.5	± 0.5	
転位密度	1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07		
	Blue Shift ($\Delta \lambda$)	6	7	6	6	
	ΔV_{op} (V)	0.002	0.003	0.004	0.004	
	2インチ面内波長分布 σ	± 2.5	± 2.1	± 2.8	± 2.6	

10

20

30

【 0 0 9 3 】

【表 6】

試料 ID		31	32	33	34	
区分		実施例	実施例	実施例	実施例	
下地基板	材質	GaAs				
	サイズ (インチ)	2				
	ワ方向<1-10>→GaN での 対応ワ方向 [11-20]					
	ワ角 $\theta 1$	0.03	0.05	5	10	
	ワ方向<11-2>→GaN での 対応ワ方向 [1-100]					
ワ角 $\theta 2$	18	18	18	18		
成長条件	パツフ	温度 °C	500	500	500	500
		HCl atm	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}
		NH ₃ atm	0.1	0.1	0.1	0.1
		時間 min	60	60	60	60
		厚み nm	60	60	60	60
	ヒ	温度 °C	1030	1030	1030	1030
		HCl atm	3×10^{-2}	3×10^{-2}	3×10^{-2}	3×10^{-2}
		NH ₃ atm	0.2	0.2	0.2	0.2
		時間 min	100	100	100	100
		厚み nm	10	10	10	10
ト-ハント	0(酸素)	0(酸素)	0(酸素)	0(酸素)		
生成物 (GaN 結晶)	サイズ (インチ)					
	ワ方向 [1-100]					
	ワ角 θa	0.02	0.05	5.01	10.17	
	ワ方向 [11-20]					
	ワ角 θb	18.16	17.88	18.08	18.08	
	ワ角面内分布 $\Delta \theta a$	± 0.6	± 0.6	± 0.7	± 0.6	
	ワ角面内分布 $\Delta \theta b$	± 0.5	± 0.5	± 0.9	± 0.5	
転位密度	1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07		
	Blue Shift ($\Delta \lambda$)	6	6	7	7	
	ΔV_{op} (V)	0.005	0.005	0.004	0.004	
	2 インチ面内波長分布 σ	± 2.5	± 2.1	± 2.5	± 2.6	

10

20

30

【 0 0 9 4 】

表 5 および表 6 は、下地基板のオフ角 $\theta 1$ および $\theta 2$ の一方を 18° に固定し、他方を 0.03° 以上 10° 以下にした場合 (つまり、GaN 基板のオフ角 θa および θb の一方を 18° 前後に固定し、他方を 0.02° または 0.03° 以上 10° 以下にした場合) の測定結果を示している。

【 0 0 9 5 】

【表 7】

試料 ID		35	36	37	38	
区分		実施例	実施例	実施例	実施例	
下地基板	材質	GaAs				
	サイズ (インチ)	2				
	ワ方向<1-10>→GaN での 対応ワ方向 [11-20]					
	ワ角 θ_1	25	25	25	25	
	ワ方向<11-2>→GaN での 対応ワ方向 [1-100]					
ワ角 θ_2	0.03	0.05	5	10		
成長条件	バッファ	温度 °C	500	500	500	500
		HCl atm	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}
		NH ₃ atm	0.1	0.1	0.1	0.1
		時間 min	60	60	60	60
		厚み nm	60	60	60	60
	エピ	温度 °C	1030	1030	1030	1030
		HCl atm	3×10^{-2}	3×10^{-2}	3×10^{-2}	3×10^{-2}
		NH ₃ atm	0.2	0.2	0.2	0.2
		時間 min	100	100	100	100
		厚み nm	10	10	10	10
ドーパント	0(酸素)	0(酸素)	0(酸素)	0(酸素)		
生成物 (GaN 結晶)	サイズ (インチ)	2				
	ワ方向 [1-100]					
	ワ角 θ_a	24.97	24.85	24.88	24.95	
	ワ方向 [11-20]					
	ワ角 θ_b	0.02	0.05	4.97	9.97	
	ワ角面内分布 $\Delta \theta_a$	± 0.7	± 0.6	± 0.6	± 0.6	
	ワ角面内分布 $\Delta \theta_b$	± 0.9	± 0.5	± 0.5	± 0.5	
転位密度	1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07		
	Blue Shift ($\Delta \lambda$)	4	4	4	4	
	ΔV_{op} (V)	0.003	0.004	0.005	0.005	
	2 インチ面内波長分布 σ	± 2.4	± 2.1	± 2.5	± 2.3	

10

20

30

【 0 0 9 6 】

【表 8】

試料 ID		39	40	41	42	
区分		実施例	実施例	実施例	実施例	
下地基板	材質	GaAs				
	サイズ (インチ)	2				
	ワ方向<1-10>→GaN での 対応ワ方向[11-20]					
	ワ角 θ_1	0.03	0.05	5	10	
ワ方向<11-2>→GaN での 対応ワ方向[1-100]						
	ワ角 θ_2	25	25	25	25	
成長条件	ハッパ	温度 °C	500	500	500	500
		HCl atm	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}
		NH ₃ atm	0.1	0.1	0.1	0.1
		時間 min	60	60	60	60
		厚み nm	60	60	60	60
	ヒ	温度 °C	1030	1030	1030	1030
		HCl atm	3×10^{-2}	3×10^{-2}	3×10^{-2}	3×10^{-2}
		NH ₃ atm	0.2	0.2	0.2	0.2
		時間 min	100	100	100	100
		厚み nm	10	10	10	10
ドーパント	0(酸素)	0(酸素)	0(酸素)	0(酸素)		
生成物 (GaN 結晶)	サイズ (インチ)					
	ワ方向[1-100]					
	ワ角 θ_a	0.02	0.05	4.98	9.98	
	ワ方向[11-20]					
	ワ角 θ_b	24.87	24.85	24.84	24.81	
	ワ角面内分布 $\Delta\theta_a$	± 0.7	± 0.6	± 0.6	± 0.6	
	ワ角面内分布 $\Delta\theta_b$	± 0.9	± 0.5	± 0.5	± 0.5	
転位密度	$1.00E+07$	$1.00E+07$	$1.00E+07$	$1.00E+07$		
	Blue Shift ($\Delta\lambda$)	5	5	4	4	
	ΔV_{op} (V)	0.003	0.002	0.005	0.005	
	2インチ面内波長分布 σ	± 2.4	± 2.2	± 2.5	± 2.6	

10

20

30

【0097】

表7および表8は、下地基板のオフ角 θ_1 および θ_2 の一方を 25° に固定し、他方を 0.03° 以上 10° 以下にした場合（つまり、GaN基板のオフ角 θ_a および θ_b の一方を 25° 前後に固定し、他方を 0.02° 以上 10° 以下にした場合）の測定結果を示している。

【0098】

【表 9】

試料 ID		43	44	45	46	
区分		実施例	実施例	実施例	実施例	
下地基板	材質	GaAs				
	サイズ (インチ)	2				
	ワ方向<1-10>→GaN での 対応ワ方向[11-20]					
	ワ角 $\theta 1$	28	28	28	28	
	ワ方向<11-2>→GaN での 対応ワ方向[1-100]					
ワ角 $\theta 2$	0.03	0.05	5	10		
成長条件	ハッパ	温度 °C	500	500	500	500
		HCl atm	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}
		NH ₃ atm	0.1	0.1	0.1	0.1
		時間 min	60	60	60	60
		厚み nm	60	60	60	60
	ヒ	温度 °C	1030	1030	1030	1030
		HCl atm	3×10^{-2}	3×10^{-2}	3×10^{-2}	3×10^{-2}
		NH ₃ atm	0.2	0.2	0.2	0.2
		時間 min	100	100	100	100
		厚み nm	10	10	10	10
ドーパント	0(酸素)	0(酸素)	0(酸素)	0(酸素)		
生成物 (GaN 結晶)	サイズ (インチ)					
	ワ方向[1-100]					
	ワ角 θa	28.12	28.03	28.31	28.16	
	ワ方向[11-20]					
	ワ角 θb	0.03	0.05	5.02	10.02	
	ワ角面内分布 $\Delta \theta a$	± 0.6	± 0.6	± 0.6	± 0.6	
	ワ角面内分布 $\Delta \theta b$	± 0.5	± 0.5	± 0.5	± 0.5	
転位密度	1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07		
Blue Shift ($\Delta \lambda$)	Blue Shift ($\Delta \lambda$)	4	5	4	4	
	ΔV_{op} (V)	0.003	0.002	0.001	0.001	
	2インチ面内波長分布 σ	± 2.6	± 2.0	± 2.0	± 1.9	

10

20

30

【 0 0 9 9 】

【表 10】

試料 ID		47	48	49	50	51	
区分		参考例	実施例	実施例	実施例	実施例	
下地基板	材質	GaAs					
	サイズ (インチ)	2					
	ワ方向<1-10>→GaN での 対応ワ方向[11-20]						
	ワ角 $\theta 1$	0	0.03	0.05	5	10	
	ワ方向<11-2>→GaN での 対応ワ方向[1-100]						
ワ角 $\theta 2$	28	28	28	28	28		
成長条件	パッパ	温度 °C	500	500	500	500	500
		HCl atm	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}
		NH ₃ atm	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
		時間 min	60	60	60	60	60
		厚み nm	60	60	60	60	60
	ヒ	温度 °C	1030	1030	1030	1030	1030
		HCl atm	3×10^{-2}	3×10^{-2}	3×10^{-2}	3×10^{-2}	3×10^{-2}
		NH ₃ atm	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
		時間 min	100	100	100	100	100
		厚み nm	10	10	10	10	10
ト-ハント	0(酸素)	0(酸素)	0(酸素)	0(酸素)	0(酸素)		
生成物 (GaN 結晶)	サイズ (インチ)						
	ワ方向[1-100]						
	ワ角 θa	0.01	0.02	0.05	4.99	10.10	
	ワ方向[11-20]						
	ワ角 θb	28.22	27.80	27.55	28.16	28.04	
	ワ角面内分布 $\Delta \theta a$	± 0.6	± 0.6	± 0.6	± 0.6	± 0.6	
	ワ角面内分布 $\Delta \theta b$	± 0.5	± 0.5	± 0.5	± 0.5	± 0.5	
転位密度	1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07		
	Blue Shift($\Delta \lambda$)	5	4	5	4	4	
	ΔV_{op} (V)	0.02	0.003	0.002	0.001	0.001	
	2インチ面内波長分布 σ	± 7	± 3	± 2.8	± 2.3	± 2.2	

10

20

30

【0100】

表9および表10は、下地基板のオフ角 $\theta 1$ および $\theta 2$ の一方を 28° に固定し、他方を 0.03° 以上 10° 以下にした場合（つまり、GaN基板のオフ角 θa および θb の一方を 28° 前後に固定し、他方を 0.02° または 0.03° 以上 10° 以下にした場合）の測定結果を示している。

【0101】

【表 1 1】

試料 ID		52	53	54	55	
区分		実施例	実施例	実施例	実施例	
下地基板	材質	GaAs				
	サイズ (インチ)	2				
	ワ方向<1-10>→GaNでの 対応ワ方向[11-20]					
	ワ角 θ_1	40	40	40	40	
	ワ方向<11-2>→GaNでの 対応ワ方向[1-100]					
ワ角 θ_2	0.03	0.05	5	10		
成長条件	パツフ	温度 °C	500	500	500	500
		HCl atm	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}
		NH ₃ atm	0.1	0.1	0.1	0.1
		時間 min	60	60	60	60
		厚み nm	60	60	60	60
	エ	温度 °C	1030	1030	1030	1030
		HCl atm	3×10^{-2}	3×10^{-2}	3×10^{-2}	3×10^{-2}
		NH ₃ atm	0.2	0.2	0.2	0.2
		時間 min	100	100	100	100
		厚み nm	10	10	10	10
ドーパント	0(酸素)	0(酸素)	0(酸素)	0(酸素)		
生成物 (GaN 結晶)	サイズ (インチ)					
	ワ方向[1-100]					
	ワ角 θ_a	39.81	40.13	39.88	39.88	
	ワ方向[11-20]					
	ワ角 θ_b	0.03	0.05	5.02	10.02	
	ワ角面内分布 $\Delta\theta_a$	± 0.6	± 0.6	± 0.6	± 0.6	
	ワ角面内分布 $\Delta\theta_b$	± 0.5	± 0.5	± 0.5	± 0.5	
転位密度	1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07		
	Blue Shift($\Delta\lambda$)	4	4	4	4	
	$\Delta V_{op}(V)$	0.005	0.002	0.005	0.005	
	2インチ面内波長分布 σ	± 2.6	± 2.9	± 2.0	± 2.1	

10

20

30

【 0 1 0 2 】

【表 1 2】

試料 ID		56	57	58	59	
区分		実施例	実施例	実施例	実施例	
下地基板	材質	GaAs				
	サイズ (インチ)	2				
	ワ方向<1-10>→GaN での 対応ワ方向[11-20]					
	ワ角 θ_1	0.03	0.05	5	10	
	ワ方向<11-2>→GaN での 対応ワ方向[1-100]					
ワ角 θ_2	40	40	40	40		
成長条件	パツフ	温度 °C	500	500	500	500
		HCl atm	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}
		NH ₃ atm	0.1	0.1	0.1	0.1
		時間 min	60	60	60	60
		厚み nm	60	60	60	60
	エ	温度 °C	1030	1030	1030	1030
		HCl atm	3×10^{-2}	3×10^{-2}	3×10^{-2}	3×10^{-2}
		NH ₃ atm	0.2	0.2	0.2	0.2
		時間 min	100	100	100	100
		厚み nm	10	10	10	10
ト-バント	0(酸素)	0(酸素)	0(酸素)	0(酸素)		
生成物 (GaN 結晶)	サイズ (インチ)					
	ワ方向[1-100]					
	ワ角 θ_a	0.02	0.05	4.99	10.01	
	ワ方向[11-20]					
	ワ角 θ_b	39.89	39.86	39.91	39.94	
	ワ角面内分布 $\Delta \theta_a$	± 0.6	± 0.6	± 0.6	± 0.6	
	ワ角面内分布 $\Delta \theta_b$	± 0.5	± 0.5	± 0.5	± 0.5	
転位密度	1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07		
	Blue Shift ($\Delta \lambda$)	3	3	4	4	
	ΔV_{op} (V)	0.005	0.003	0.005	0.005	
	2 インチ面内波長分布 σ	± 2.7	± 3.0	± 2.0	± 2.1	

10

20

30

【 0 1 0 3 】

表 1 1 および表 1 2 は、下地基板のオフ角 θ_1 および θ_2 の一方を 40° に固定し、他方を 0.03° 以上 10° 以下にした場合 (つまり、GaN 基板のオフ角 θ_a および θ_b の一方を 40° 前後に固定し、他方を 0.02° または 0.03° 以上 10° 以下にした場合) の測定結果を示している。

【 0 1 0 4 】

【表 1 3】

試料 ID	60	61	62	63	64	65
区分	GaAs					
	2					
下地基板	材質					
	サズ (イナ)					
	サズ方向<1-10>→GaNでの 対応サズ方向[11-20]					
	サズ方向<11-2>→GaNでの 対応サズ方向[1-100]	26	26	40	40	45
	サズ方向<11-2>→GaNでの 対応サズ方向[1-100]					
	サズ方向<11-2>→GaNでの 対応サズ方向[1-100]	26	40	26	40	45
	サズ方向<11-2>→GaNでの 対応サズ方向[1-100]	500	500	500	500	500
	サズ方向<11-2>→GaNでの 対応サズ方向[1-100]	1×10 ⁻³	1×10 ⁻³	1×10 ⁻³	1×10 ⁻³	1×10 ⁻³
	サズ方向<11-2>→GaNでの 対応サズ方向[1-100]	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	サズ方向<11-2>→GaNでの 対応サズ方向[1-100]	60	60	60	60	60
成長条件	サズ方向<11-2>→GaNでの 対応サズ方向[1-100]	60	60	60	60	60
	サズ方向<11-2>→GaNでの 対応サズ方向[1-100]	60	60	60	60	60
	サズ方向<11-2>→GaNでの 対応サズ方向[1-100]	1030	1030	1030	1030	1030
	サズ方向<11-2>→GaNでの 対応サズ方向[1-100]	3×10 ⁻²	3×10 ⁻²	3×10 ⁻²	3×10 ⁻²	3×10 ⁻²
	サズ方向<11-2>→GaNでの 対応サズ方向[1-100]	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	サズ方向<11-2>→GaNでの 対応サズ方向[1-100]	100	100	100	100	100
	サズ方向<11-2>→GaNでの 対応サズ方向[1-100]	10	10	10	10	10
	サズ方向<11-2>→GaNでの 対応サズ方向[1-100]	0(酸素)	0(酸素)	0(酸素)	0(酸素)	0(酸素)
	サズ方向<11-2>→GaNでの 対応サズ方向[1-100]					
	サズ方向<11-2>→GaNでの 対応サズ方向[1-100]					
生成物 (GaN 結晶)	サズ方向[1-100]	25.85	26.06	40.08	40.04	成長 Poly 化
	サズ方向[11-20]					
	サズ方向[11-20]	25.93	39.78	25.98	40.02	成長 Poly 化
	サズ方向内分布Δθ a	±0.6	±0.6	±0.6	±0.6	成長 Poly 化
	サズ方向内分布Δθ b	±0.5	±0.5	±0.5	±0.5	成長 Poly 化
	サズ方向内分布Δθ b	1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07	成長 Poly 化
	Blue Shift(Δλ)	4	4	3	3	-
	ΔVop(V)	0.003	0.003	0.003	0.003	-
	2 イナ面内波長分布σ	±2.7	±2.7	±2.5	±2.7	-
	2 イナ面内波長分布σ					

10

20

30

【0105】

表 1 3 では、下地基板のオフ角 1 および 2 を 26 ° 以上 45 ° 以下 (具体的には 26 ° 、 40 ° 、 45 °) の範囲で変更した場合 (つまり、 Ga N 基板のオフ角 a および b を 26 ° 以上 45 ° 以下の範囲で変更した場合) を示している。表 1 3 から分かるように、下地基板のオフ角 1 および 2 のいずれか一方を 40 ° 以上 (具体的には 45 °) にした場合、 Ga N 結晶層を形成することができなかった。一方、下地基板のオフ角 1 および 2 を 40 ° 以下とした場合 (つまり、 Ga N 基板のオフ角 a および b を 40 ° 以下とした場合) 、 いずれも表 1 および表 2 に示した比較例や参考例に比べて、 Ga N 基板のオフ角面内分布 a 、 b や、動作電圧の増加量 (V_{op}) 、 さらに面内波長分布 () が小さくなっている。

40

【0106】

上記の表 3 ~ 表 1 3 に示した実施例の試料 (具体的には、 Ga N 基板のオフ角 a およ

50

び b の一方を 10° 以上 40° 以下、他方を 0.02° 以上 40° 以下とした試料) は、表 1 および表 2 に示した比較例や参考例の試料に比べて、GaN 基板のオフ角面内分布 a、b や、動作電圧の増加量 (V_{op})、さらに面内波長分布 (σ) が小さくなっている。

【0107】

【表 14】

試料 ID		66	67	68	69	70	
区分		実施例	実施例	実施例	実施例	実施例	
下地基板	材質	Sap.	Sap.	ZnO	SiC	GaN	
	サイズ (インチ)	2					
	GaN での対応方向 [1-100]						
	θ_1	26	40	26	26	26	
	GaN での対応方向 [11-20]						
θ_2	26	40	26	26	26		
成長条件	ハット	温度 $^\circ\text{C}$	500	500	500	500	-
		HCl atm	1×10^{-3}	1×10^{-4}	1×10^{-5}	1×10^{-6}	-
		NH ₃ atm	0.1	0.1	0.1	0.1	-
		時間 min	60	60	60	60	-
		厚み nm	60	60	60	60	-
	ヒ	温度 $^\circ\text{C}$	1030	1030	1030	1030	1030
		HCl atm	3×10^{-2}	3×10^{-2}	3×10^{-2}	3×10^{-2}	3×10^{-2}
		NH ₃ atm	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
		時間 min	100	100	100	100	100
		厚み nm	10	10	10	10	10
ドーパント	Si	Si	Si	Si	Si		
生成物 (GaN 結晶)	サイズ (インチ)						
	方向 [1-100]						
	θ_a	26.03	39.94	26.05	25.95	26.05	
	方向 [11-20]						
	θ_b	25.98	40.02	26.03	25.91	25.88	
	面内分布 $\Delta\theta_a$	± 0.6	± 0.6	± 0.6	± 0.6	± 0.6	
	面内分布 $\Delta\theta_b$	± 0.5	± 0.5	± 0.5	± 0.5	± 0.5	
転位密度	$1.00\text{E}+07$	$1.00\text{E}+07$	$1.00\text{E}+07$	$1.00\text{E}+07$	$2.00\text{E}+06$		
Blue Shift ($\Delta\lambda$)	Blue Shift ($\Delta\lambda$)	5	5	5	4	4	
	ΔV_{op} (V)	0.004	0.005	0.005	0.005	0.003	
	2 面内波長分布 σ	± 2.8	± 2.8	± 2.4	± 2.1	± 2.2	

【0108】

表 14 は、下地基板として GaAs 以外の材料からなる基板を用いた場合の試料について、GaN の成膜条件や測定結果を示している。これらの試料 ID 66 ~ 70 の測定結果から分かるように、これらの GaAs 基板以外の基板 (サファイア基板、ZnO 基板、SiC 基板および GaN 基板) を下地基板として用いても、GaAs 基板を下地基板として用いた場合と同様に 2 つのオフ角方向に面方位 [0001] が傾斜した GaN 基板を製造することができる。そして、得られた GaN 基板および当該 GaN 基板を用いて製造された発光素子は、GaAs 基板を下地基板として用いて製造された GaN 基板および当該 GaN 基板を用いて製造された発光素子と同様の特性を示している。なお、表には記載していない、GaAs と同様のオフ角を有するサファイア基板、ZnO 基板、SiC 基板、GaN 基板を用いて作製した GaN 基板および当該 GaN 基板を用いて製造された発光素子も、表 1 から表 13 に示した特性と同様の特性を示した。

【0109】

今回開示された実施の形態および実施例はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した実施の形態および実施例ではなく

て特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【産業上の利用可能性】

【0110】

この発明は、比較的長波長（500nm以上の波長領域）の光を出射する発光素子などに用いられるGaN基板、および当該GaN基板の表面上にエピタキシャル層が形成されたエピタキシャル層付き基板、さらに当該GaN基板などを用いた半導体装置に有利に適用される。

【図面の簡単な説明】

【0111】

【図1】本発明によるGaN基板を示す斜視模式図である。

【図2】図1に示したGaN基板の結晶構造を説明するための模式図である。

【図3】図2に示したGaN基板の結晶構造における面方位および結晶面を説明するための模式図である。

【図4】図1に示した本発明によるGaN基板のオフ角方向における傾斜角度を説明するための模式図である。

【図5】図1に示したGaN基板の製造方法を説明するためのフローチャートである。

【図6】図5に示したフローチャートにおける準備工程の内容を説明するためのフローチャートである。

【図7】下地基板の主表面上に形成されるマスク層のマスクパターンを示す平面模式図である。

【図8】下地基板の主表面上に形成されるマスク層のマスクパターンを示す平面模式図である。

【図9】成膜工程（S20）において用いる成膜装置を示す模式図である。

【図10】図1に示した本発明によるGaN基板を用いたエピタキシャル層付きの基板を示す斜視模式図である。

【図11】本発明によるGaN基板を用いた発光素子を示す断面模式図である。

【図12】発光素子に供給される電流と出射される光の波長との関係を示すグラフである。

【符号の説明】

【0112】

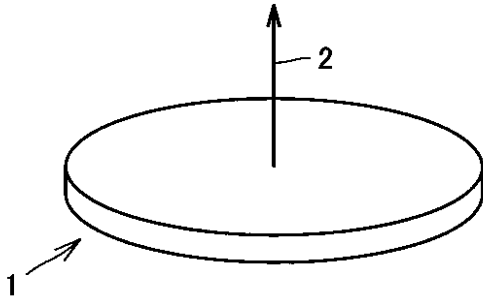
1 GaN基板、2 法線ベクトル、3 GaN結晶層、5 下地基板、10 マスク層、11, 12 開口部、20 成膜装置、22 反応管、23 Gaポート、24 サセプタ、26 ヒータ、27, 28 配管、30 発光素子、31 n型のAlGaN中間層、32 nGaNバッファ層、33 発光層、34 p型のAlGaN層、35 p型のGaNバッファ層、36 n電極、37 p電極、40 エピタキシャル層、41 エピ基板。

10

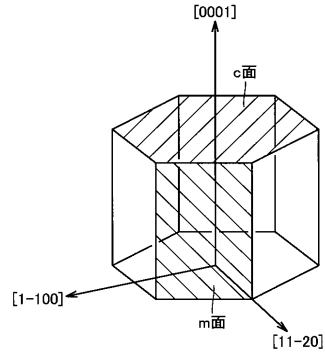
20

30

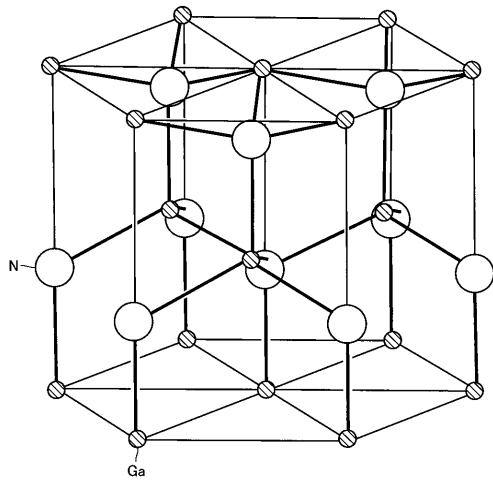
【 図 1 】



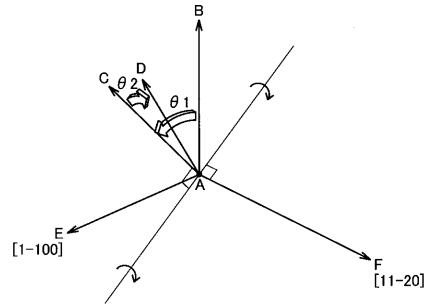
【 図 3 】



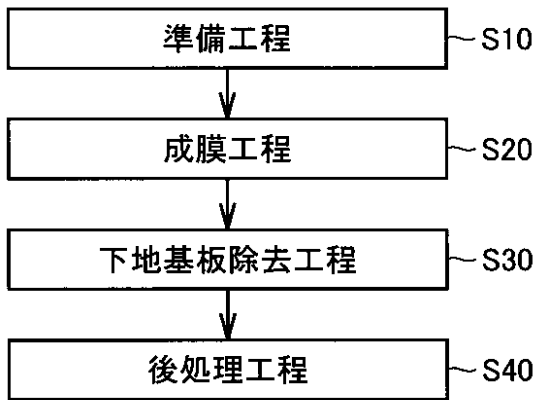
【 図 2 】



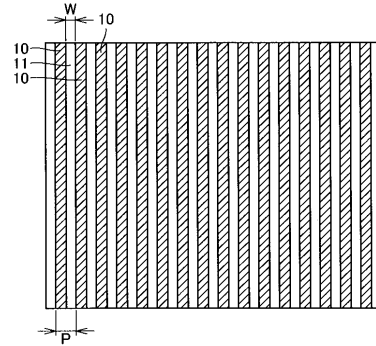
【 図 4 】



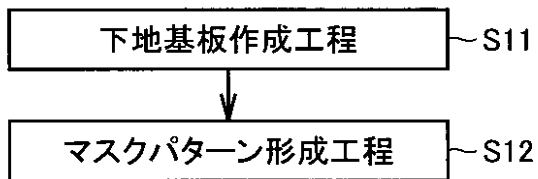
【 図 5 】



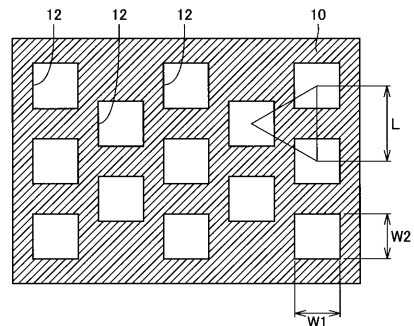
【 図 7 】



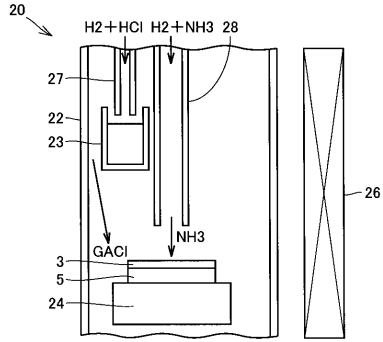
【 図 6 】



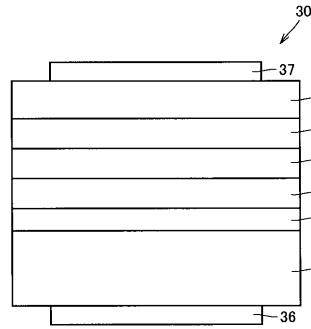
【 図 8 】



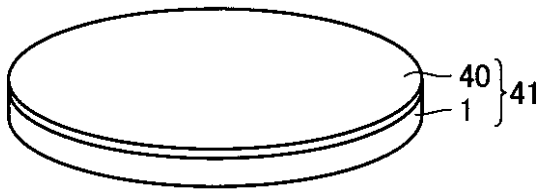
【 図 9 】



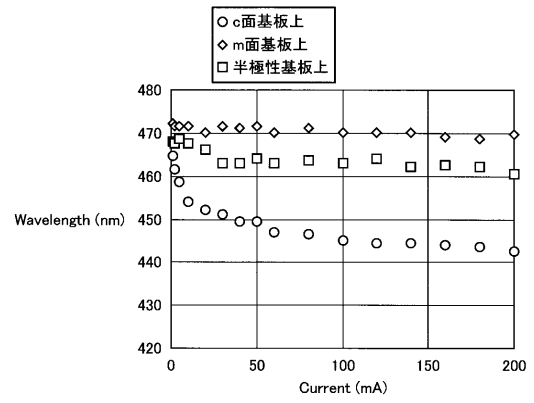
【 図 1 1 】



【 図 1 0 】



【 図 1 2 】



フロントページの続き

(74)代理人 100111246

弁理士 荒川 伸夫

(72)発明者 笠井 仁

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

(72)発明者 石橋 恵二

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

(72)発明者 中畑 成二

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

(72)発明者 秋田 勝史

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

(72)発明者 京野 孝史

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

(72)発明者 三浦 祥紀

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

Fターム(参考) 4G077 AA02 AB02 DB04 ED04 ED05 ED06 EE07 FJ03 FJ06 HA02

HA06 HA12 TA01 TA04 TB02 TC13 TK01 TK04 TK06 TK08

TK11

4K030 AA03 AA13 AA17 BA08 BA38 BB02 BB14 CA04 CA05 CA12

DA03 FA10 LA14

5F041 AA03 CA04 CA23 CA40 CA64

5F045 AB14 AB17 AC12 AC13 AD14 AF04 AF13