

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

III族窒化物半導体レーザ素子であって、

六方晶系III族窒化物半導体からなり半極性主面を有する支持基体、及び前記支持基体の前記半極性主面上に設けられた半導体領域を含むレーザ構造体と、

前記レーザ構造体の前記半導体領域上に設けられた電極とを備え、

前記半導体領域は、第1導電型の窒化ガリウム系半導体からなる第1のクラッド層と、第2導電型の窒化ガリウム系半導体からなる第2のクラッド層と、前記第1のクラッド層と前記第2のクラッド層との間に設けられた活性層とを含み、

前記第1のクラッド層、前記第2のクラッド層及び前記活性層は、前記半極性主面の法線軸に沿って配列されており、

前記活性層は窒化ガリウム系半導体層を含み、

前記支持基体の前記六方晶系III族窒化物半導体のc軸は、前記六方晶系III族窒化物半導体のm軸の方向に前記法線軸に対して有限な角度ALPHAで傾斜しており、

前記レーザ構造体は、前記六方晶系III族窒化物半導体のm軸及び前記法線軸によって規定されるm-n面に交差する第1及び第2の割断面を含み、

当該III族窒化物半導体レーザ素子のレーザ共振器は前記第1及び第2の割断面を含み、

前記レーザ構造体は第1及び第2の面を含み、前記第1の面は前記第2の面の反対側の面であり、

前記第1及び第2の割断面は、それぞれ前記第1の面のエッジから前記第2の面のエッジまで延在する、ことを特徴とするIII族窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 2】

前記法線軸と前記六方晶系III族窒化物半導体のc軸との成す角度は、45度以上80度以下又は100度以上135度以下の範囲である、ことを特徴とする請求項1に記載されたIII族窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 3】

前記法線軸と前記六方晶系III族窒化物半導体のc軸との成す角度は、63度以上80度以下又は100度以上117度以下の範囲である、ことを特徴とする請求項1又は請求項2に記載されたIII族窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 4】

前記支持基体の厚さは400μm以下である、ことを特徴とする請求項1～請求項3のいずれか一項に記載されたIII族窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 5】

前記支持基体の厚さは、50μm以上100μm以下である、ことを特徴とする請求項1～請求項4のいずれか一項に記載されたIII族窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 6】

前記活性層からのレーザ光は、前記六方晶系III族窒化物半導体のa軸の方向に偏光している、ことを特徴とする請求項1～請求項5のいずれか一項に記載されたIII族窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 7】

当該III族窒化物半導体レーザ素子におけるLEDモードにおける光は、前記六方晶系III族窒化物半導体のa軸の方向に偏光成分I1と、前記六方晶系III族窒化物半導体のc軸を主面に投影した方向に偏光成分I2を含み、

前記偏光成分I1は前記偏光成分I2よりも大きい、ことを特徴とする請求項1～請求項6のいずれか一項に記載されたIII族窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 8】

前記半極性主面は、{20-21}面、{10-11}面、{20-2-1}面、及び{10-1-1}面のいずれかの面から-4度以上+4度以下の範囲でオフした微傾斜面

10

20

30

40

50

である、ことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 7 のいずれか一項に記載された III 族窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 9】

前記半極性主面は、{ 2 0 - 2 1 } 面、{ 1 0 - 1 1 } 面、{ 2 0 - 2 - 1 } 面、及び { 1 0 - 1 - 1 } 面のいずれかである、ことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 8 のいずれか一項に記載された III 族窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 10】

前記支持基体の積層欠陥密度は $1 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ 以下である、ことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 9 のいずれか一項に記載された III 族窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 11】

前記支持基体は、GaN、AlGa_{0.1}N、AlN、InGa_{0.1}N 及び InAl_{0.1}GaN のいずれかからなる、ことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 10 のいずれか一項に記載された III 族窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 12】

前記第 1 及び第 2 の切断面の少なくともいずれか一方に設けられた誘電体多層膜を更に備える、ことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 11 のいずれか一項に記載された III 族窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 13】

前記活性層は、波長 360 nm 以上 600 nm 以下の光を発生するように設けられた発光領域を含む、ことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 12 のいずれか一項に記載された III 族窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 14】

前記活性層は、波長 430 nm 以上 550 nm 以下の光を発生するように設けられた量子井戸構造を含む、ことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 13 のいずれか一項に記載された III 族窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 15】

前記第 1 及び第 2 の切断面の各々には、前記支持基体の端面及び前記半導体領域の端面が現れており、

前記半導体領域の前記活性層における端面と前記六方晶系窒化物半導体からなる支持基体の m 軸に直交する基準面との成す角度は、前記 III 族窒化物半導体の c 軸及び m 軸によって規定される第 1 平面において (ALPHA - 5) 度以上 (ALPHA + 5) 度以下の範囲の角度を成す、ことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 14 のいずれか一項に記載された III 族窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 16】

前記角度は、前記第 1 平面及び前記法線軸に直交する第 2 平面において - 5 度以上 + 5 度以下の範囲になる、ことを特徴とする請求項 15 に記載された III 族窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 17】

III 族窒化物半導体レーザ素子を作製する方法であって、

六方晶系 III 族窒化物半導体からなり半極性主面を有する基板を準備する工程と、

前記半極性主面上に形成された半導体領域と前記基板とを含むレーザ構造体、アノード電極、及びカソード電極を有する基板生産物を形成する工程と、

前記六方晶系 III 族窒化物半導体の a 軸の方向に前記基板生産物の第 1 の面を部分的にスクライブする工程と、

前記基板生産物の第 2 の面への押圧により前記基板生産物の分離を行って、別の基板生産物及びレーザバーを形成する工程と

を備え、

前記第 1 の面は前記第 2 の面の反対側の面であり、

前記半導体領域は前記第 1 の面と前記基板との間に位置し、

前記レーザバーは、前記第 1 の面から前記第 2 の面にまで延在し前記分離により形成さ

10

20

30

40

50

れた第 1 及び第 2 の端面を有し、

前記第 1 及び第 2 の端面は当該 III 族窒化物半導体レーザ素子のレーザ共振器を構成し

、

前記アノード電極及びカソード電極は、前記レーザ構造体上に形成され、

前記半導体領域は、第 1 導電型の窒化ガリウム系半導体からなる第 1 のクラッド層と、第 2 導電型の窒化ガリウム系半導体からなる第 2 のクラッド層と、前記第 1 のクラッド層と前記第 2 のクラッド層との間に設けられた活性層とを含み、

前記第 1 のクラッド層、前記第 2 のクラッド層及び前記活性層は、前記半極性主面の法線軸に沿って配列されており、

前記活性層は窒化ガリウム系半導体層を含み、

前記基板の前記六方晶系 III 族窒化物半導体の c 軸は、前記六方晶系 III 族窒化物半導体の m 軸の方向に前記法線軸に対して有限な角度 ALPHA で傾斜しており、

前記第 1 及び第 2 の端面は、前記六方晶系 III 族窒化物半導体の m 軸及び前記法線軸によって規定される m - n 面に交差する、ことを特徴とする方法。

【請求項 18】

前記角度 ALPHA は、45 度以上 80 度以下又は 100 度以上 135 度以下の範囲である、ことを特徴とする請求項 17 に記載された方法。

【請求項 19】

前記角度 ALPHA は、63 度以上 80 度以下又は 100 度以上 117 度以下の範囲である、ことを特徴とする請求項 17 又は請求項 18 に記載された方法。

【請求項 20】

前記基板生産物を形成する前記工程において、前記基板は、前記基板の厚さが 400 μm 以下になるようにスライス又は研削といった加工が施され、

前記第 2 の面は前記加工により形成された加工面、又は前記加工面に上に形成された電極を含む面である、ことを特徴とする請求項 17 ~ 請求項 19 のいずれか一項に記載された方法。

【請求項 21】

前記基板生産物を形成する前記工程において、前記基板は、前記基板の厚さが 50 μm 以上 100 μm 以下になるように研磨され、

前記第 2 の面は前記研磨により形成された研磨面、又は前記研磨面に上に形成された電極を含む面である、ことを特徴とする請求項 17 ~ 請求項 20 のいずれか一項に記載された方法。

【請求項 22】

前記スクライブは、レーザスクライバを用いて行われ、

前記スクライブによりスクライブ溝が形成され、前記スクライブ溝の長さは、前記六方晶系 III 族窒化物半導体の a 軸及び前記法線軸によって規定される a - n 面と前記第 1 の面との交差線の長さよりも短い、ことを特徴とする請求項 17 ~ 請求項 21 のいずれか一項に記載された方法。

【請求項 23】

前記半極性主面は、{20 - 21} 面、{10 - 11} 面、{20 - 2 - 1} 面、及び {10 - 1 - 1} 面のいずれかである、ことを特徴とする請求項 17 ~ 請求項 22 のいずれか一項に記載された方法。

【請求項 24】

前記第 1 及び第 2 の端面の各々における前記活性層の端面は、前記六方晶系窒化物半導体からなる支持基体の m 軸に直交する基準面に対して、前記六方晶系 III 族窒化物半導体の c 軸及び m 軸によって規定される平面において ($\text{ALPHA} - 5$) 度以上 ($\text{ALPHA} + 5$) 度以下の範囲の角度を成す、ことを特徴とする請求項 17 ~ 請求項 23 のいずれか一項に記載された方法。

【請求項 25】

前記基板は、GaN、AlGa_{0.3}N、AlN、InGa_{0.5}N 及び InAl_{0.5}GaN のいずれか

10

20

30

40

50

からなる、ことを特徴とする請求項 17 ~ 請求項 24 のいずれか一項に記載された方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、III族窒化物半導体レーザ素子、及びIII族窒化物半導体レーザ素子を作製する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

非特許文献 1 には、c 面サファイア基板上に作製された半導体レーザが記載されている。ドライエッチングにより半導体レーザのミラー面が形成される。レーザの共振ミラー面の顕微鏡写真が掲載され、その端面の粗さが約 50 nm であることが記載されている。

10

【0003】

非特許文献 2 には、(11-22)面 GaN 基板上に作製された半導体レーザが記載されている。ドライエッチングにより半導体レーザのミラー面が形成される。

【0004】

非特許文献 3 には、窒化ガリウム系半導体レーザが記載されている。へき開面 (cleaved facets) として m 面をレーザ共振器に利用するために、基板の c 軸のオフ方向に偏光したレーザ光を生成することを提案している。この文献には、具体的には、無極性面では井戸幅を拡げること、半極性面では井戸幅を狭めることが記載されている。

20

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献 1】Jpn.J. Appl. Phys. Vol. 35, (1996) L74-L76

【非特許文献 2】Appl. Phys. Express 1 (2008) 091102

【非特許文献 3】Jpn.J. Appl. Phys. Vol. 46, (2007) L789

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

窒化ガリウム系半導体のバンド構造によれば、レーザ発振可能ないくつかの遷移が存在する。発明者の知見によれば、c 軸が m 軸の方向に傾斜した半極性面の支持基体を用いる III 族窒化物半導体レーザ素子では、c 軸及び m 軸によって規定される面に沿ってレーザ導波路を延在させるとき、しきい値電流を下げる可以考虑している。このレーザ導波路の向きでは、これらのうち遷移エネルギー (伝導帯エネルギーと価電子帯エネルギーとの差) の最も小さいモードがレーザ発振可能になり、このモードの発振が可能になるとき、しきい値電流を下げる可以考虑。

30

【0007】

しかしながら、このレーザ導波路の向きでは、共振器ミラーのために、c 面、a 面又は m 面という従来のへき開面を利用することはできない。これ故に、共振器ミラーの作製のために、反応性イオンエッチング (RIE) を用いて半導体層のドライエッチング面を形成してきた。RIE 法で形成された共振器ミラーは、レーザ導波路に対する垂直性、ドライエッチング面の平坦性又はイオンダメージの点で、改善が望まれている。また、現在の技術レベルにおける良好なドライエッチング面を得るためのプロセス条件の導出が大きな負担となる。

40

【0008】

発明者が知る限りにおいて、これまで、上記の半極性面上に形成された同一の III 族窒化物半導体レーザ素子において、c 軸の傾斜方向 (オフ方向) に延在するレーザ導波路とドライエッチングを用いずに形成された共振器ミラー用端面との両方が達成されていない。

【0009】

本発明は、このような事情を鑑みて為されたものである。本発明の目的は、六方晶系 III

50

Ⅲ族窒化物のc軸からm軸の方向に傾斜した支持基体の半極性面上において、低しきい値電流を可能にするレーザ共振器を有するⅢ族窒化物半導体レーザ素子を提供することにある、またこのⅢ族窒化物半導体レーザ素子を作製する方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の一側面に係るⅢ族窒化物半導体レーザ素子は、(a)六方晶系Ⅲ族窒化物半導体からなり半極性主面を有する支持基体、及び前記支持基体の前記半極性主面上に設けられた半導体領域を含むレーザ構造体と、(b)前記レーザ構造体の前記半導体領域上に設けられた電極とを備える。前記半導体領域は、第1導電型の窒化ガリウム系半導体からなる第1のクラッド層と、第2導電型の窒化ガリウム系半導体からなる第2のクラッド層と、前記第1のクラッド層と前記第2のクラッド層との間に設けられた活性層とを含み、前記第1のクラッド層、前記第2のクラッド層及び前記活性層は、前記半極性主面の法線軸に沿って配列されており、前記活性層は窒化ガリウム系半導体層を含み、前記支持基体の前記六方晶系Ⅲ族窒化物半導体のc軸は、前記六方晶系Ⅲ族窒化物半導体のm軸の方向に前記法線軸に対して有限な角度ALPHAで傾斜しており、前記レーザ構造体は、前記六方晶系Ⅲ族窒化物半導体のm軸及び前記法線軸によって規定されるm-n面に交差する第1及び第2の割断面を含み、当該Ⅲ族窒化物半導体レーザ素子のレーザ共振器は前記第1及び第2の割断面を含み、前記レーザ構造体は第1及び第2の面を含み、前記第1の面は前記第2の面の反対側の面であり、前記第1及び第2の割断面は、前記第1の面のエッジから前記第2の面のエッジまで延在する。

10

20

【0011】

このⅢ族窒化物半導体レーザ素子によれば、レーザ共振器となる第1及び第2の割断面が、六方晶系Ⅲ族窒化物半導体のm軸及び法線軸によって規定されるm-n面に交差するので、m-n面と半極性面との交差線の方向に延在するレーザ導波路を設けることができる。これ故に、低しきい値電流を可能にするレーザ共振器を有するⅢ族窒化物半導体レーザ素子を提供できる。

【0012】

本発明に係るⅢ族窒化物半導体レーザ素子では、前記法線軸と前記六方晶系Ⅲ族窒化物半導体のc軸との成す角度は、45度以上80度以下又は100度以上135度以下の範囲であることが好ましい。

30

【0013】

このⅢ族窒化物半導体レーザ素子では、45度未満及び135度を越える角度では、押圧により形成される端面がm面からなる可能性が高くなる。また、80度を越え100度未満の角度では、所望の平坦性及び垂直性が得られないおそれがある。

【0014】

本発明に係るⅢ族窒化物半導体レーザ素子では、前記法線軸と前記六方晶系Ⅲ族窒化物半導体のc軸との成す角度は、63度以上80度以下又は100度以上117度以下の範囲であることが更に好ましい。

【0015】

このⅢ族窒化物半導体レーザ素子では、63度以上80度以下又は100度以上117度以下の範囲では、押圧により形成される端面が、基板主面に垂直に近い面が得られる可能性が高くなる。また、80度を越え100度未満の角度では、所望の平坦性及び垂直性が得られないおそれがある。

40

【0016】

本発明に係るⅢ族窒化物半導体レーザ素子では、前記支持基体の厚さは400μm以下であることが好ましい。このⅢ族窒化物半導体レーザ素子では、レーザ共振器のための良質な割断面を得るために好適である。

【0017】

本発明に係るⅢ族窒化物半導体レーザ素子では、前記支持基体の厚さは50μm以上100μm以下であることが更に好ましい。厚さ50μm以上であれば、ハンドリングが

50

容易になり、生産歩留まりが向上する。100 μm 以下であれば、レーザ共振器のための良質な割断面を得るために更に好適である。

【0018】

本発明に係るIII族窒化物半導体レーザ素子では、前記活性層からのレーザ光は、前記六方晶系III族窒化物半導体のa軸の方向に偏光している。このIII族窒化物半導体レーザ素子において、低しきい値電流を実現できるバンド遷移は偏光性を有する。

【0019】

本発明に係るIII族窒化物半導体レーザ素子では、当該III族窒化物半導体レーザ素子におけるLEDモードにおける光は、前記六方晶系III族窒化物半導体のa軸の方向に偏光成分I1と、前記六方晶系III族窒化物半導体のc軸を主面に投影した方向に偏光成分I2を含み、前記偏光成分I1は前記偏光成分I2よりも大きい。このIII族窒化物半導体レーザ素子によれば、LEDモードにおいて大きな発光強度のモードの光を、レーザ共振器を用いてレーザ発振させることができる。

10

【0020】

本発明に係るIII族窒化物半導体レーザ素子では、前記半極性主面は、{20-21}面、{10-11}面、{20-2-1}面、及び{10-1-1}面のいずれかであることが好ましい。

【0021】

このIII族窒化物半導体レーザ素子によれば、これら典型的な半極性面において、当該III族窒化物半導体レーザ素子のレーザ共振器を構成できる程度の十分な平坦性及び垂直性の第1及び第2の端面を提供できる。

20

【0022】

本発明に係るIII族窒化物半導体レーザ素子では、前記半極性主面は、{20-21}面、{10-11}面、{20-2-1}面、及び{10-1-1}面のいずれかの半極性面から、m面方向に-4度以上+4度以下の範囲の微傾斜を有する面も前記主面として好適である。

【0023】

このIII族窒化物半導体レーザ素子によれば、これら典型的な半極性面からの微傾斜面において、当該III族窒化物半導体レーザ素子のレーザ共振器を構成できる程度の十分な平坦性及び垂直性の第1及び第2の端面を提供できる。

30

【0024】

本発明に係るIII族窒化物半導体レーザ素子では、前記支持基体の積層欠陥密度は $1 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ 以下であることが好ましい。

【0025】

このIII族窒化物半導体レーザ素子によれば、積層欠陥密度が $1 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ 以下であるので、偶発的な事情により割断面の平坦性及び/又は垂直性が乱れる可能性が低い。

【0026】

本発明に係るIII族窒化物半導体レーザ素子では、前記支持基体は、GaN、AlGaN、AlN、InGaN及びInAlGaNのいずれかからなることができる。

40

【0027】

このIII族窒化物半導体レーザ素子によれば、これらの窒化ガリウム系半導体からなる基板を用いるとき、共振器として利用可能な第1及び第2の端面を得ることができる。AlN基板又はAlGaN基板を用いるとき、偏光度を大きくでき、また低屈折率により光閉じ込めを強化できる。InGaN基板を用いるとき、基板と発光層との格子不整合率を小さくでき、結晶品質を向上できる。

【0028】

本発明に係るIII族窒化物半導体レーザ素子では、前記第1及び第2の割断面の少なくともいずれか一方に設けられた誘電体多層膜を更に備えることができる。

【0029】

50

このIII族窒化物半導体レーザ素子においても、破断面にも端面コートを適用できる。端面コートにより反射率を調整できる。

【0030】

本発明に係るIII族窒化物半導体レーザ素子では、前記活性層は、波長360nm以上600nm以下の光を発生するように設けられた量子井戸構造を含むことができる。このIII族窒化物半導体レーザ素子は、半極性面の利用により、LEDモードの偏光を有効に利用したIII族窒化物半導体レーザ素子を得ることができ、低しきい値電流を得ることができる。

【0031】

本発明に係るIII族窒化物半導体レーザ素子では、前記活性層は、波長430nm以上550nm以下の光を発生するように設けられた量子井戸構造を含むことが更に好ましい。このIII族窒化物半導体レーザ素子は、半極性面の利用により、ピエゾ電界の低減と発光層領域の結晶品質向上によって量子効率を向上させることが可能となり、波長430nm以上550nm以下の光の発生に好適である。

【0032】

本発明に係るIII族窒化物半導体レーザ素子では、前記第1及び第2の割断面の各々には、前記支持基板の端面及び前記半導体領域の端面が現れており、前記半導体領域の前記活性層における端面と前記六方晶系窒化物半導体からなる支持基板のm軸に直交する基準面との成す角度は、前記III族窒化物半導体のc軸及びm軸によって規定される第1平面において(Alpha-5)度以上(Alpha+5)度以下の範囲の角度を成す。

【0033】

このIII族窒化物半導体レーザ素子は、c軸及びm軸の一方から他方に取りられる角度に関して、上記の垂直性を満たす端面を有する。

【0034】

本発明に係るIII族窒化物半導体レーザ素子では、前記角度は、前記第1平面及び前記法線軸に直交する第2平面において-5度以上+5度以下の範囲であることが好ましい。

【0035】

このIII族窒化物半導体レーザ素子は、半極性面の法線軸に垂直な面において規定される角度に関して、上記の垂直性を満たす端面を有する。

【0036】

本発明に係るIII族窒化物半導体レーザ素子では、前記電極は所定の軸の方向に延在しており、前記第1及び第2の割断面は前記所定の軸に交差する。

【0037】

本発明の別の側面は、III族窒化物半導体レーザ素子を作製する方法に係る。この方法は、(a)六方晶系III族窒化物半導体からなり半極性主面を有する基板を準備する工程と、(b)前記半極性主面上に形成された半導体領域と前記基板とを含むレーザ構造体、アノード電極、及びカソード電極を有する基板生産物を形成する工程と、(c)前記六方晶系III族窒化物半導体のa軸の方向に前記基板生産物の第1の面を部分的にスクライブする工程と、(d)前記基板生産物の第2の面への押圧により前記基板生産物の分離を行って、別の基板生産物及びレーザバーを形成する工程とを備える。前記第1の面は前記第2の面の反対側の面であり、前記半導体領域は前記第1の面と前記基板との間に位置し、前記レーザバーは、前記第1の面から前記第2の面まで延在し前記分離により形成された第1及び第2の端面を有し、前記第1及び第2の端面は当該III族窒化物半導体レーザ素子のレーザ共振器を構成し、前記アノード電極及びカソード電極は、前記レーザ構造体上に形成され、前記半導体領域は、第1導電型の窒化ガリウム系半導体からなる第1のクラッド層と、第2導電型の窒化ガリウム系半導体からなる第2のクラッド層と、前記第1のクラッド層と前記第2のクラッド層との間に設けられた活性層とを含み、前記第1のクラッド層、前記第2のクラッド層及び前記活性層は、前記半極性主面の法線軸に沿って配列されており、前記活性層は窒化ガリウム系半導体層を含み、前記基板の前記六方晶系III族窒化物半導体のc軸は、前記六方晶系III族窒化物半導体のm軸の方向に前記法線軸に

10

20

30

40

50

対して有限な角度 ALPHA で傾斜しており、前記第 1 及び第 2 の端面は、前記六方晶系 III 族窒化物半導体の m 軸及び前記法線軸によって規定される $m-n$ 面に交差する。

【0038】

この方法によれば、六方晶系 III 族窒化物半導体の a 軸の方向に基板生産物の第 1 の面をスクライプした後に、基板生産物の第 2 の面への押圧により基板生産物の分離を行って、別の基板生産物及びレーザバーを形成する。これ故に、六方晶系 III 族窒化物半導体の m 軸と法線軸とによって規定される $m-n$ 面に交差するように、レーザバーに第 1 及び第 2 の端面が形成される。この端面形成によれば、第 1 及び第 2 の端面に当該 III 族窒化物半導体レーザ素子のレーザ共振器を構成できる程度の十分な平坦性、垂直性又はイオンダメージの無い共振ミラー面が提供される。

10

【0039】

また、この方法では、レーザ導波路は、六方晶系 III 族窒化物の c 軸の傾斜の方向に延在しており、このレーザ導波路を提供できる共振器ミラー端面をドライエッチング面を用いずに形成している。

【0040】

本発明に係る方法では、前記基板生産物を形成する前記工程において、前記基板は、前記基板の厚さが $400\text{ }\mu\text{m}$ 以下になるようにスライス又は研削といった加工が施され、前記第 2 の面は前記加工により形成された加工面であることができる。もしくは、前記加工面上に形成された電極を含む面であることができる。

20

【0041】

本発明に係る方法では、前記基板生産物を形成する前記工程において、前記基板は、前記基板の厚さが $50\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $100\text{ }\mu\text{m}$ 以下になるように研磨され、前記第 2 の面は前記研磨により形成された研磨面であることができる。もしくは、前記研磨面上に形成された電極を含む面であることができる。

【0042】

このような厚さの基板では、当該 III 族窒化物半導体レーザ素子のレーザ共振器を構成できる程度の十分な平坦性、垂直性又はイオンダメージの無い第 1 及び第 2 の端面を歩留まりよく形成できる。

【0043】

本発明に係る方法では、前記角度 ALPHA は、 45 度以上 80 度以下及び 100 度以上 135 度以下の範囲であることができる。 45 度未満及び 135 度を越える角度では、押圧により形成される端面が m 面からなる可能性が高くなる。また、 80 度を越え 100 度未満の角度では、所望の平坦性及び垂直性が得られない。

30

【0044】

本発明に係る方法では、更に好ましくは前記角度 ALPHA は、 63 度以上 80 度以下及び 100 度以上 117 度以下の範囲であることができる。 63 度未満及び 117 度を越える角度では、押圧により形成される端面の一部に、 m 面が出現する可能性がある。また、 80 度を越え 100 度未満の角度では、所望の平坦性及び垂直性が得られない。

【0045】

本発明に係る方法では、前記半極性主面は、 $\{20-21\}$ 面、 $\{10-11\}$ 面、 $\{20-2-1\}$ 面、及び $\{10-1-1\}$ 面のいずれかであることが好ましい。

40

【0046】

これら典型的な半極性面においても、当該 III 族窒化物半導体レーザ素子のレーザ共振器を構成できる程度の十分な平坦性、垂直性又はイオンダメージの無い第 1 及び第 2 の端面を提供できる。

【0047】

本発明に係る方法では、前記半極性主面は、 $\{20-21\}$ 面、 $\{10-11\}$ 面、 $\{20-2-1\}$ 面、及び $\{10-1-1\}$ 面のいずれかの半極性面から、 m 面方向に -4 度以上 $+4$ 度以下の範囲の微傾斜を有する面も前記主面として好適である。

【0048】

50

これら典型的な半極性面からの微傾斜面においても、当該III族窒化物半導体レーザ素子のレーザ共振器を構成できる程度の十分な平坦性、垂直性又はイオンダメージの無い第1及び第2の端面を提供できる。

【0049】

本発明に係る方法では、前記スクライブは、レーザスクライバを用いて行われ、前記スクライブによりスクライブ溝が形成され、前記スクライブ溝の長さは、前記六方晶系III族窒化物半導体のa軸及び前記法線軸によって規定されるa-n面と前記第1の面との交差線の長さよりも短い。

【0050】

この方法によれば、基板生産物の割断により、別の基板生産物及びレーザバーが形成される。この割断は、レーザバーの割断線に比べて短いスクライブ溝を用いて引き起こされる。

【0051】

本発明に係る方法では、前記第1及び第2の端面の各々における前記活性層の端面は、前記六方晶系窒化物半導体からなる支持基体のm軸に直交する基準面に対して、前記六方晶系III族窒化物半導体のc軸及びm軸によって規定される平面において(ALPHA - 5) 度以上(ALPHA + 5) 度以下の範囲の角度を成すことができる。

【0052】

この方法によれば、c軸及びm軸の一方から他方へ取られる角度に関して、上記の垂直性を有する端面を形成できる。

【0053】

本発明に係る方法では、前記基板は、GaN、AlN、AlGaN、InGaN及びInAlGaNのいずれかからなることができる。この方法によれば、これらの窒化ガリウム系半導体からなる基板を用いるとき、共振器として利用可能な第1及び第2の端面を得ることができる。

【0054】

本発明の上記の目的および他の目的、特徴、並びに利点は、添付図面を参照して進められる本発明の好適な実施の形態の以下の詳細な記述から、より容易に明らかになる。

【発明の効果】

【0055】

以上説明したように、本発明によれば、六方晶系III族窒化物のc軸がm軸の方向に傾斜した支持基体の半極性面上において、低しきい値電流を可能にするレーザ共振器を有するIII族窒化物半導体レーザ素子が提供される、また、本発明によれば、このIII族窒化物半導体レーザ素子を作製する方法が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0056】

【図1】図1は、本実施の形態に係るIII族窒化物半導体レーザ素子の構造を概略的に示す図面である。

【図2】図2は、III族窒化物半導体レーザ素子における活性層におけるバンド構造を示す図面である。

【図3】図3は、III族窒化物半導体レーザ素子の活性層における発光の偏光を示す図面である。

【図4】図4は、III族窒化物半導体レーザ素子の端面と活性層のm面との関係を示す図面である。

【図5】図5は、本実施の形態に係るIII族窒化物半導体レーザ素子を作製する方法の主要な工程を示す工程フロー図である。

【図6】図6は、本実施の形態に係るIII族窒化物半導体レーザ素子を作製する方法の主要な工程を模式的に示す図面である。

【図7】図7は、結晶格子における{ 20 - 21 }面を示すと共に、共振器端面の走査型電子顕微鏡像を示す図面である。

10

20

30

40

50

【図 8】図 8 は、実施例 1 に示されたレーザダイオードの構造を示す図面である。

【図 9】図 9 は、求めた偏光度 ρ としきい値電流密度の関係を示す図面である。

【図 10】図 10 は、GaN 基板の m 軸方向への c 軸の傾斜角と発振歩留まりとの関係を示す図面である。

【図 11】図 11 は、積層欠陥密度と発振歩留まりとの関係を示す図面である。

【図 12】図 12 は、基板厚みと発振歩留まりとの関係を示す図面である。

【図 13】図 13 は、(20-21) 面と他の面方位 (指数) との成す角度を示す図面である。

【図 14】図 14 は、(20-21) 面と (-101-6) 面及び (-1016) 面における原子配置を示す図面である。

【図 15】図 15 は、(20-21) 面と (-101-7) 面及び (-1017) 面における原子配置を示す図面である。

【図 16】図 16 は、(20-21) 面と (-101-8) 面及び (-1018) 面における原子配置を示す図面である。

【発明を実施するための形態】

【0057】

本発明の知見は、例示として示された添付図面を参照して以下の詳細な記述を考慮することによって容易に理解できる。引き続き、添付図面を参照しながら、本発明の III 族窒化物半導体レーザ素子、及び III 族窒化物半導体レーザ素子を作製する方法に係る実施の形態を説明する。可能な場合には、同一の部分には同一の符号を付する。

【0058】

図 1 は、本実施の形態に係る III 族窒化物半導体レーザ素子の構造を概略的に示す図面である。III 族窒化物半導体レーザ素子 11 は、利得ガイド型の構造を有するけれども、本発明の実施の形態は、利得ガイド型の構造に限定されるものではない。III 族窒化物半導体レーザ素子 11 は、レーザ構造体 13 及び電極 15 を備える。レーザ構造体 13 は、支持基体 17 及び半導体領域 19 を含む。支持基体 17 は、六方晶系 III 族窒化物半導体からなり、また半極性主面 17a 及び裏面 17b を有する。半導体領域 19 は、支持基体 17 の半極性主面 17a 上に設けられている。電極 15 は、レーザ構造体 13 の半導体領域 19 上に設けられる。半導体領域 19 は、第 1 のクラッド層 21 と、第 2 のクラッド層 23 と、活性層 25 とを含む。第 1 のクラッド層 21 は、第 1 導電型の窒化ガリウム系半導体からなり、例えば n 型 $AlGaIn$ 、 n 型 $InAlGaIn$ 等からなる。第 2 のクラッド層 23 は、第 2 導電型の窒化ガリウム系半導体からなり、例えば p 型 $AlGaIn$ 、 p 型 $InAlGaIn$ 等からなる。活性層 25 は、第 1 のクラッド層 21 と第 2 のクラッド層 23 との間に設けられる。活性層 25 は窒化ガリウム系半導体層を含み、この窒化ガリウム系半導体層は例えば井戸層 25a である。活性層 25 は窒化ガリウム系半導体からなる障壁層 25b を含み、井戸層 25a 及び障壁層 25b は交互に配列されている。井戸層 25a は、例えば $InGaIn$ 等からなり、障壁層 25b は例えば GaN 、 $InGaIn$ 等からなる。活性層 25 は、波長 360nm 以上 600nm 以下の光を発生するように設けられた量子井戸構造を含むことができる。半極性面の利用により、波長 430nm 以上 550nm 以下の光の発生に好適である。第 1 のクラッド層 21、第 2 のクラッド層 23 及び活性層 25 は、半極性主面 17a の法線軸 NX に沿って配列されている。III 族窒化物半導体レーザ素子 11 では、レーザ構造体 13 は、六方晶系 III 族窒化物半導体の m 軸及び法線軸 NX によって規定される $m-n$ 面に交差する第 1 の切断面 27 及び第 2 の切断面 29 を含む。

【0059】

図 1 を参照すると、直交座標系 S 及び結晶座標系 CR が描かれている。法線軸 NX は、直交座標系 S の Z 軸の方向に向く。半極性主面 17a は、直交座標系 S の X 軸及び Y 軸により規定される所定の平面に平行に延在する。また、図 1 には、代表的な c 面 Sc が描かれている。支持基体 17 の六方晶系 III 族窒化物半導体の c 軸は、六方晶系 III 族窒化物半導体の m 軸の方向に法線軸 NX に対して有限な角度 $ALPHA$ で傾斜している。

【 0 0 6 0 】

III族窒化物半導体レーザ素子 1 1 は、絶縁膜 3 1 を更に備える。絶縁膜 3 1 はレーザ構造体 1 3 の半導体領域 1 9 の表面 1 9 a を覆っており、半導体領域 1 9 は絶縁膜 3 1 と支持基体 1 7 との間に位置する。支持基体 1 7 は六方晶系III族窒化物半導体からなる。絶縁膜 3 1 は開口 3 1 a を有し、開口 3 1 a は半導体領域 1 9 の表面 1 9 a と上記の m - n 面との交差線 L I X の方向に延在し、例えばストライプ形状を成す。電極 1 5 は、開口 3 1 a を介して半導体領域 1 9 の表面 1 9 a (例えば第 2 導電型のコンタクト層 3 3) に接触を成しており、上記の交差線 L I X の方向に延在する。III族窒化物半導体レーザ素子 1 1 では、レーザ導波路は、第 1 のクラッド層 2 1、第 2 のクラッド層 2 3 及び活性層 2 5 を含み、また上記の交差線 L I X の方向に延在する。

10

【 0 0 6 1 】

III族窒化物半導体レーザ素子 1 1 では、第 1 の割断面 2 7 及び第 2 の割断面 2 9 は、六方晶系III族窒化物半導体の m 軸及び法線軸 N X によって規定される m - n 面に交差する。III族窒化物半導体レーザ素子 1 1 のレーザ共振器は第 1 及び第 2 の割断面 2 7、2 9 を含み、第 1 の割断面 2 7 及び第 2 の割断面 2 9 の一方から他方に、レーザ導波路が延在している。レーザ構造体 1 3 は第 1 の面 1 3 a 及び第 2 の面 1 3 b を含み、第 1 の面 1 3 a は第 2 の面 1 3 b の反対側の面である。第 1 及び第 2 の割断面 2 7、2 9 は、第 1 の面 1 3 a のエッジ 1 3 c から第 2 の面 1 3 b のエッジ 1 3 d まで延在する。第 1 及び第 2 の割断面 2 7、2 9 は、c 面、m 面又は a 面といったこれまでのへき開面とは異なる。

【 0 0 6 2 】

このIII族窒化物半導体レーザ素子 1 1 によれば、レーザ共振器を構成する第 1 及び第 2 の割断面 2 7、2 9 が m - n 面に交差する。これ故に、m - n 面と半極性面 1 7 a との交差線 L I X の方向に延在するレーザ導波路を設けることができる。これ故に、III族窒化物半導体レーザ素子 1 1 は、低しきい値電流を可能にするレーザ共振器を有することになる。

20

【 0 0 6 3 】

III族窒化物半導体レーザ素子 1 1 は、n 側光ガイド層 3 5 及び p 側光ガイド層 3 7 を含む。n 側光ガイド層 3 5 は、第 1 の部分 3 5 a 及び第 2 の部分 3 5 b を含み、n 側光ガイド層 3 5 は例えば GaN、InGa_N 等からなる。p 側光ガイド層 3 7 は、第 1 の部分 3 7 a 及び第 2 の部分 3 7 b を含み、p 側光ガイド層 3 7 は例えば GaN、InGa_N 等からなる。キャリアブロック層 3 9 は、例えば第 1 の部分 3 7 a と第 2 の部分 3 7 b との間に設けられる。支持基体 1 7 の裏面 1 7 b には別の電極 4 1 が設けられ、電極 4 1 は例えば支持基体 1 7 の裏面 1 7 b を覆っている。

30

【 0 0 6 4 】

図 2 は、III族窒化物半導体レーザ素子における活性層におけるバンド構造を示す図面である。図 3 は、III族窒化物半導体レーザ素子 1 1 の活性層 2 5 における発光の偏光を示す図面である。図 4 は、c 軸及び m 軸によって規定される断面を模式的に示す図面である。図 2 (a) を参照すると、バンド構造 B A N D の Γ 点近傍では、伝導帯と価電子帯との間の可能な遷移は、3 つある。A バンド及び B バンドは比較的小さいエネルギー差である。伝導帯と A バンドとの遷移 E a による発光は a 軸方向に偏光しており、伝導帯と B バンドとの遷移 E b による発光は c 軸を主面に投影した方向に偏光している。レーザ発振に関して、遷移 E a のしきい値は遷移 E b のしきい値よりも小さい。

40

【 0 0 6 5 】

図 2 (b) を参照すると、III族窒化物半導体レーザ素子 1 1 における L E D モードにおける光のスペクトルが示されている。L E D モードにおける光は、六方晶系III族窒化物半導体の a 軸の方向の偏光成分 I 1 と、六方晶系III族窒化物半導体の c 軸を主面に投影した方向の偏光成分 I 2 を含み、偏光成分 I 1 は偏光成分 I 2 よりも大きい。偏光度 ρ は $(I_1 - I_2) / (I_1 + I_2)$ によって規定される。このIII族窒化物半導体レーザ素子 1 1 のレーザ共振器を用いて、L E D モードにおいて大きな発光強度のモードの光をレーザ発振させることができる。

【 0 0 6 6 】

50

図 3 に示されるように、第 1 及び第 2 の割断面 2 7、2 9 の少なくとも一方、又はそれぞれに設けられた誘電体多層膜 4 3 a、4 3 b を更に備えることができる。破断面 2 7、2 9 にも端面コートを用いることができる。端面コートにより反射率を調整できる。

【0067】

図 3 (b) に示されるように、活性層 2 5 からのレーザ光 L は六方晶系 III 族窒化物半導体の a 軸の方向に偏光している。この III 族窒化物半導体レーザ素子 1 1 において、低しきい値電流を実現できるバンド遷移は偏光性を有する。レーザ共振器のための第 1 及び第 2 の割断面 2 7、2 9 は、c 面、m 面又は a 面といったこれまでのへき開面とは異なる。しかしながら、第 1 及び第 2 の割断面 2 7、2 9 は共振器のためのミラーとしての平坦性、垂直性を有する。これ故に、第 1 及び第 2 の割断面 2 7、2 9 とこれらの割断面 2 7、2 9 間に延在するレーザ導波路とを用いて、図 3 (b) に示されるように、c 軸を主面に投影した方向に偏光する遷移 E b の発光よりも強い遷移 E a の発光を利用して低しきい値のレーザ発振が可能になる。

【0068】

III 族窒化物半導体レーザ素子 1 1 では、第 1 及び第 2 の割断面 2 7、2 9 の各々には、支持基体 1 7 の端面 1 7 c 及び半導体領域 1 9 の端面 1 9 c が現れており、端面 1 7 c 及び端面 1 9 c は誘電体多層膜 4 3 a で覆われている。支持基体 1 7 の端面 1 7 c 及び活性層 2 5 における端面 2 5 c の法線ベクトル N A と活性層 2 5 の m 軸ベクトル M A との成す角度 B E T A は、III 族窒化物半導体の c 軸及び m 軸によって規定される第 1 平面 S 1 において規定される成分 (B E T A)₁ と、第 1 平面 S 1 (理解を容易にするために図示しないが「S 1」として参照する) 及び法線軸 N X に直交する第 2 平面 S 2 (理解を容易にするために図示しないが「S 2」として参照する) において規定される成分 (B E T A)₂ とによって規定される。成分 (B E T A)₁ は、III 族窒化物半導体の c 軸及び m 軸によって規定される第 1 平面 S 1 において (A L P H A - 5) 度以上 (A L P H A + 5) 度以下の範囲であることが好ましい。この角度範囲は、図 4 において、代表的な m 面 S_M と参照面 F_A との成す角度として示されている。代表的な m 面 S_M が、理解を容易にするために、図 4 において、レーザ構造体の内側から外側にわたって描かれている。参照面 F_A は、活性層 2 5 の端面 2 5 c に沿って延在する。この III 族窒化物半導体レーザ素子 1 1 は、c 軸及び m 軸の一方から他方へ取られる角度 B E T A に関して、上記の垂直性を満たす端面を有する。また、成分 (B E T A)₂ は第 2 平面 S 2 において - 5 度以上 + 5 度以下の範囲であることが好ましい。ここで、 $B E T A^2 = (B E T A)_1^2 + (B E T A)_2^2$ である。このとき、III 族窒化物半導体レーザ素子 1 1 の端面 2 7、2 9 は、半極性面 1 7 a の法線軸 N X に垂直な面において規定される角度に関して上記の垂直性を満たす。

【0069】

再び図 1 を参照すると、III 族窒化物半導体レーザ素子 1 1 では、支持基体 1 7 の厚さ D S U B は 4 0 0 μm 以下であることが好ましい。この III 族窒化物半導体レーザ素子では、レーザ共振器のための良質な割断面を得るために好適である。III 族窒化物半導体レーザ素子 1 1 では、支持基体 1 7 の厚さ D S U B は 5 0 μm 以上 1 0 0 μm 以下であることが更に好ましい。この III 族窒化物半導体レーザ素子 1 1 では、レーザ共振器のための良質な割断面を得るために更に好適である。また、ハンドリングが容易になり、生産歩留まりを向上させることができる。

【0070】

III 族窒化物半導体レーザ素子 1 1 では、法線軸 N X と六方晶系 III 族窒化物半導体の c 軸との成す角度 A L P H A は 4 5 度以上であることが好ましく、また 8 0 度以下であることが好ましい。また、角度 A L P H A は 1 0 0 度以上であることが好ましく、また 1 3 5 度以下であることが好ましい。4 5 度未満及び 1 3 5 度を越える角度では、押圧により形成される端面が m 面からなる可能性が高くなる。また、8 0 度を越え 1 0 0 度未満の角度では、所望の平坦性及び垂直性が得られないおそれがある。

【0071】

10

20

30

40

50

III族窒化物半導体レーザ素子11では、更に好ましくは、法線軸NXと六方晶系III族窒化物半導体のc軸との成す角度ALPHAは63度以上であることが好ましく、また80度以下であることが好ましい。また、角度ALPHAは100度以上であることが好ましく、また117度以下であることが好ましい。63度未満及び117度を越える角度では、押圧により形成される端面の一部に、m面が出現する可能性がある。また、80度を越え100度未満の角度では、所望の平坦性及び垂直性が得られないおそれがある。

【0072】

半極性主面17aは、{20-21}面、{10-11}面、{20-2-1}面、及び{10-1-1}面のいずれかであることができる。更に、これらの面から-4度以上+4度以下の範囲で微傾斜した面も前記主面として好適である。これら典型的な半極性面17aにおいて、当該III族窒化物半導体レーザ素子11のレーザ共振器を構成できる程度の十分な平坦性及び垂直性の第1及び第2の端面27、29を提供できる。また、これらの典型的な面方位にわたる角度の範囲において、十分な平坦性及び垂直性を示す端面が得られる。

【0073】

III族窒化物半導体レーザ素子11では、支持基体17の積層欠陥密度は $1 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ 以下であることができる。積層欠陥密度が $1 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ 以下であるので、偶発的な事情により割断面の平坦性及び/又は垂直性が乱れる可能性が低い。また、支持基体17は、GaN、AlN、AlGaN、InGaN及びInAlGaNのいずれかからなることができる。これらの窒化ガリウム系半導体からなる基板を用いるとき、共振器として利用可能な端面27、29を得ることができる。AlN又はAlGaN基板を用いるとき、偏光度を大きくでき、また低屈折率により光閉じ込めを強化できる。InGaN基板を用いるとき、基板と発光層との格子不整合率を小さくでき、結晶品質を向上できる。

【0074】

図5は、本実施の形態に係るIII族窒化物半導体レーザ素子を作製する方法の主要な工程を示す図面である。図6(a)を参照すると、基板51が示されている。工程S101では、III族窒化物半導体レーザ素子の作製のための基板51を準備する。基板51の六方晶系III族窒化物半導体のc軸(ベクトルVC)は、六方晶系III族窒化物半導体のm軸方向(ベクトルVM)に法線軸NXに対して有限な角度ALPHAで傾斜している。これ故に、基板51は、六方晶系III族窒化物半導体からなる半極性主面51aを有する。

【0075】

工程S102では、基板生産物SPを形成する。図6(a)では、基板生産物SPはほぼ円板形の部材として描かれているけれども、基板生産物SPの形状はこれに限定されるものではない。基板生産物SPを得るために、まず、工程S103では、レーザ構造体55を形成する。レーザ構造体55は、半導体領域53及び基板51とを含んでおり、工程S103では、半導体領域53は半極性主面51a上に形成される。半導体領域53を形成するために、半極性主面51a上に、第1導電型の窒化ガリウム系半導体領域57、発光層59、及び第2導電型の窒化ガリウム系半導体領域61を順に成長する。窒化ガリウム系半導体領域57は例えばn型クラッド層を含み、窒化ガリウム系半導体領域61は例えばp型クラッド層を含むことができる。発光層59は窒化ガリウム系半導体領域57と窒化ガリウム系半導体領域61との間に設けられ、また活性層、光ガイド層及び電子ブロック層等を含むことができる。窒化ガリウム系半導体領域57、発光層59、及び第2導電型の窒化ガリウム系半導体領域61は、半極性主面51aの法線軸NXに沿って配列されている。これらの半導体層はエピタキシャル成長される。半導体領域53上は、絶縁膜54で覆われている。絶縁膜54は例えばシリコン酸化物からなる。絶縁膜54の開口54aを有する。開口54aは例えばストライプ形状を成す。

【0076】

工程S104では、レーザ構造体55上に、アノード電極58a及びカソード電極58bが形成される。また、基板51の裏面に電極を形成する前に、結晶成長に用いた基板の裏面を研磨して、所望の厚さDSUBの基板生産物SPを形成する。電極の形成では、例

例えばアノード電極 5 8 a が半導体領域 5 3 上に形成されると共に、カソード電極 5 8 b が基板 5 1 の裏面（研磨面）5 1 b 上に形成される。アノード電極 5 8 a は X 軸方向に延在し、カソード電極 5 8 b は裏面 5 1 b の全面を覆っている。これらの工程により、基板生産物 S P が形成される。基板生産物 S P は、第 1 の面 6 3 a と、これに反対側に位置する第 2 の面 6 3 b とを含む。半導体領域 5 3 は第 1 の面 6 3 a と基板 5 1 との間に位置する。

【 0 0 7 7 】

工程 S 1 0 5 では、図 6 (b) に示されるように、基板生産物 S P の第 1 の面 6 3 a をスクライプする。このスクライプは、レーザスクライパ 1 0 a を用いて行われる。スクライプによりスクライプ溝 6 5 a が形成される。図 6 (b) では、5 つのスクライプ溝が既に形成されており、レーザビーム L B を用いてスクライプ溝 6 5 b の形成が進められている。スクライプ溝 6 5 a の長さは、六方晶系 III 族窒化物半導体の a 軸及び法線軸 N X によって規定される a - n 面と第 1 の面 6 3 a との交差線 A I S の長さよりも短く、交差線 A I S の一部分にレーザビーム L B の照射が行われる。レーザビーム L B の照射により、特定の方向に延在し半導体領域に到達する溝が第 1 の面 6 3 a に形成される。スクライプ溝 6 5 a は例えば基板生産物 S P の一エッジに形成されることができ。

10

【 0 0 7 8 】

工程 S 1 0 6 では、図 6 (c) に示されるように、基板生産物 S P の第 2 の面 6 3 b への押圧により基板生産物 S P の分離を行って、基板生産物 S P 1 及びレーザバー L B 1 を形成する。押圧は、例えばブレード 6 9 といったブレイキング装置を用いて行われる。ブレード 6 9 は、一方向に延在するエッジ 6 9 a と、エッジ 6 9 a を規定する少なくとも 2 つのブレード面 6 9 b 、 6 9 c を含む。また、基板生産物 S P 1 の押圧は支持装置 7 1 上において行われる。支持装置 7 1 は、支持面 7 1 a と凹部 7 1 b とを含み、凹部 7 1 b は一方向に延在する。凹部 7 1 b は、支持面 7 1 a に形成されている。基板生産物 S P 1 のスクライプ溝 6 5 a の向き及び位置を支持装置 7 1 の凹部 7 1 b の延在方向に合わせて、基板生産物 S P 1 を支持装置 7 1 上において凹部 7 1 b に位置決めする。凹部 7 1 b の延在方向にブレイキング装置のエッジの向きを合わせて、第 2 の面 6 3 b に交差する方向からブレイキング装置のエッジを基板生産物 S P 1 に押し当てる。交差方向は好ましくは第 2 の面 6 3 b にほぼ垂直方向である。これによって、基板生産物 S P の分離を行って、基板生産物 S P 1 及びレーザバー L B 1 を形成する。押し当てにより、第 1 及び第 2 の端面 6 7 a 、 6 7 b を有するレーザバー L B 1 が形成され、これらの端面 6 7 a 、 6 7 b は少なくとも発光層の一部は半導体レーザの共振ミラーに適用可能な程度の垂直性及び平坦性を有する。

20

30

【 0 0 7 9 】

形成されたレーザバー L B 1 は、上記の分離により形成された第 1 及び第 2 の端面 6 7 a 、 6 7 b を有し、端面 6 7 a 、 6 7 b の各々は、第 1 の面 6 3 a から第 2 の面 6 3 b にまで延在する。これ故に、端面 6 7 a 、 6 7 b は、当該 III 族窒化物半導体レーザ素子のレーザ共振器を構成し、X Z 面に交差する。この X Z 面は、六方晶系 III 族窒化物半導体の m 軸及び法線軸 N X によって規定される m - n 面に対応する。

【 0 0 8 0 】

この方法によれば、六方晶系 III 族窒化物半導体の a 軸の方向に基板生産物 S P の第 1 の面 6 3 a をスクライプした後に、基板生産物 S P の第 2 の面 6 3 b への押圧により基板生産物 S P の分離を行って、新たな基板生産物 S P 1 及びレーザバー L B 1 を形成する。これ故に、m - n 面に交差するように、レーザバー L B 1 に第 1 及び第 2 の端面 6 7 a 、 6 7 b が形成される。この端面形成によれば、第 1 及び第 2 の端面 6 7 a 、 6 7 b に当該 III 族窒化物半導体レーザ素子のレーザ共振器を構成できる程度の十分な平坦性及び垂直性が提供される。

40

【 0 0 8 1 】

また、この方法では、形成されたレーザ導波路は、六方晶系 III 族窒化物の c 軸の傾斜の方向に延在している。ドライエッチング面を用いずに、このレーザ導波路を提供できる

50

共振器ミラー端面を形成している。

【0082】

この方法によれば、基板生産物SP1の割断により、新たな基板生産物SP1及びレーザバーLB1が形成される。工程S107では、押圧による分離を繰り返して、多数のレーザバーを作製する。この割断は、レーザバーLB1の割断線BREAKに比べて短いスクライブ溝65aを用いて引き起こされる。

【0083】

工程S108では、レーザバーLB1の端面67a、67bに誘電体多層膜を形成して、レーザバー生産物を形成する。工程S109では、このレーザバー生産物を個々の半導体レーザのチップに分離する。

10

【0084】

本実施の形態に係る製造方法では、角度ALPHAは、45度以上80度以下及び100度以上135度以下の範囲であることができる。45度未満及び135度を越える角度では、押圧により形成される端面がm面からなる可能性が高くなる。また、80度を越え100度未満の角度では、所望の平坦性及び垂直性が得られないおそれがある。更に好ましくは、角度ALPHAは、63度以上80度以下及び100度以上117度以下の範囲であることができる。45度未満及び135度を越える角度では、押圧により形成される端面の一部に、m面が出現する可能性がある。また、80度を越え100度未満の角度では、所望の平坦性及び垂直性が得られないおそれがある。半極性主面51aは、{20-21}面、{10-11}面、{20-2-1}面、及び{10-1-1}面のいずれかであることができる。更に、これらの面から-4度以上+4度以下の範囲で微傾斜した面も前記主面として好適である。これら典型的な半極性面において、当該III族窒化物半導体レーザ素子のレーザ共振器を構成できる程度の十分な平坦性及び垂直性でレーザ共振器のための端面を提供できる。

20

【0085】

また、基板51は、GaN、AlN、AlGaN、InGaN及びInAlGaNのいずれかからなることができる。これらの窒化ガリウム系半導体からなる基板を用いるとき、レーザ共振器として利用可能な端面を得ることができる。基板51は好ましくはGaNからなる。

【0086】

基板生産物SPを形成する工程S104において、結晶成長に使用された半導体基板は、基板厚が400μm以下になるようにスライス又は研削といった加工が施され、第2の面63bが研磨により形成された加工面であることができる。この基板厚では、当該III族窒化物半導体レーザ素子のレーザ共振器を構成できる程度の十分な平坦性、垂直性又はイオンダメージの無い端面67a、67bを歩留まりよく形成できる。第2の面63bが研磨により形成された研磨面であり、研磨されて基板厚が100μm以下であれば更に好ましい。また、基板生産物SPを比較的容易に取り扱うためには、基板厚が50μm以上であることが好ましい。

30

【0087】

本実施の形態に係るレーザ端面の製造方法では、レーザバーLB1においても、図3を参照しながら説明された角度BETAが規定される。レーザバーLB1では、角度BETAの成分(BETA)₁は、III族窒化物半導体のc軸及びm軸によって規定される第1平面(図3を参照した説明における第1平面S1に対応する面)において(ALPHA-5)度以上(ALPHA+5)度以下の範囲であることが好ましい。レーザバーLB1の端面67a、67bは、c軸及びm軸の一方から他方に取りられる角度BETAの角度成分に関して上記の垂直性を満たす。また、角度BETAの成分(BETA)₂は、第2平面(図3に示された第2平面S2に対応する面)において-5度以上+5度以下の範囲であることが好ましい。このとき、レーザバーLB1の端面67a、67bは、半極性面51aの法線軸NXに垂直な面において規定される角度BETAの角度成分に関して上記の垂直性を満たす。

40

50

【0088】

端面67a、67bは、半極性面51a上にエピタキシャルに成長された複数の窒化ガリウム系半導体層への押圧によるブレイクによって形成される。半極性面51a上へのエピタキシャル膜であるが故に、端面67a、67bは、これまで共振器ミラーとして用いられてきたc面、m面、又はa面といった低面指数のへき開面ではない。しかしながら、半極性面51a上へのエピタキシャル膜の積層のブレイクにおいて、端面67a、67bは、共振器ミラーとして適用可能な平坦性及び垂直性を有する。

【0089】

(実施例1)

以下の通り、半極性面GaN基板を準備し、切断面の垂直性を観察した。基板には、HVPE法で厚く成長した(0001)GaNインゴットからm軸方向に75度の角度で切り出した{20-21}面GaN基板を用いた。GaN基板の主面は鏡面仕上げであり、裏面は研削仕上げされた梨地状態であった。基板の厚さは370μmであった。

10

【0090】

梨地状態の裏面側に、ダイヤモンドペンを用いて、c軸を基板主面に投影した方向に垂直にケガキ線を入れた後、押圧して基板を切断した。得られた切断面の垂直性を観察するため、走査型電子顕微鏡を用いてa面方向から基板を観察した。

【0091】

図7(a)は、切断面をa面方向から観察した走査型電子顕微鏡像であり、右側の端面が切断面である。切断面は半極性主面に対して、平坦性及び垂直性を有することがわかる。

20

【0092】

(実施例2)

実施例1では、半極性{20-21}面を有するGaN基板において、c軸を基板主面に投影した方向に垂直にケガキ線を入れて押圧して得た切断面は、基板主面に対して平坦性及び垂直性を有することがわかった。そこでこの切断面をレーザの共振器としての有用性を調べるため、以下の通り、図8に示されるレーザーダイオードを有機金属気相成長法により成長した。原料にはトリメチルガリウム(TMGa)、トリメチルアルミニウム(TMAl)、トリメチルインジウム(TMIn)、アンモニア(NH₃)、シラン(SiH₄)を用いた。基板71を準備した。基板71には、HVPE法で厚く成長した(0001)GaNインゴットからm軸方向に0度から90度の範囲の角度でウェハスライス装置を用いて切り出し、m軸方向へのc軸の傾斜角度ALPHAが、0度から90度の範囲の所望のオフ角を有するGaN基板を作製した。例えば、75度の角度で切り出したとき、{20-21}面GaN基板が得られ、図7(b)に示される六方晶系の結晶格子において参照符号71aによって示されている。

30

【0093】

成長前に、基板の積層欠陥密度を調べるため、カソードルミネッセンス法によって、基板を観察した。カソードルミネッセンスでは、電子線によって励起されたキャリアの発光過程を観察するが、積層欠陥が存在すると、その近傍ではキャリアが非発光再結合するので、暗線状に観察される。その暗線の単位長さあたりの密度(線密度)を求め、積層欠陥密度と定義した。ここでは、積層欠陥密度を調べるために、非破壊測定のカソードルミネッセンス法を用いたが、破壊測定の透過型電子顕微鏡を用いてもよい。透過型電子顕微鏡では、a軸方向から試料断面を観察したとき、基板から試料表面に向かってm軸方向に伸びる欠陥が、支持基体に含まれる積層欠陥であり、カソードルミネッセンス法の場合と同様に、積層欠陥の線密度を求めることができる。

40

【0094】

この基板71を反応炉内のサセプタ上に配置した後に、以下の成長手順でエピタキシャル層を成長した。まず、厚さ1000nmのn型GaN72を成長した。次に、厚さ1200nmのn型InAlGaNクラッド層73を成長した。引き続き、厚さ200nmのn型GaNガイド層74a及び厚さ65nmのアンドープInGaNガイド層74bを成

50

長した後に、Ga_{0.5}N厚さ15nm / InGa_{0.5}N厚さ3nmから構成される3周期MQW 75を成長した。続いて、厚さ65nmのアンダーインGa_{0.5}Nガイド層76a、厚さ20nmのp型AlGa_{0.5}Nブロック層77及び厚さ200nmのp型Ga_{0.5}Nガイド層76bを成長した。次に、厚さ400nmのp型InAlGa_{0.5}Nクラッド層77を成長した。最後に、厚さ50nmのp型Ga_{0.5}Nコンタクト層78を成長した。

【0095】

SiO₂の絶縁膜79をコンタクト層78上に成膜した後に、フォトリソグラフィを用いて幅10μmのストライプ窓をウェットエッチングにより形成した。ここで、以下の2通りにストライプ方向のコンタクト窓を形成した。レーザストライプが(1)M方向(コンタクト窓がc軸及びm軸によって規定される所定の面に沿った方向)のものと、(2)A方向：〈11-20〉方向、のものである。

10

【0096】

ストライプ窓を形成した後に、Ni/Auから成るp側電極80aとTi/Alから成るパッド電極を蒸着した。次いで、Ga_{0.5}N基板(Ga_{0.5}Nウエハ)の裏面をダイヤモンドスラリーを用いて研磨し、裏面がミラー状態の基板生産物を作製した。このとき、接触式膜厚計を用いて基板生産物の厚みを測定した。厚みの測定には、試料断面からの顕微鏡によっても行っても良い。顕微鏡には、光学顕微鏡や、走査型電子顕微鏡を用いることができる。Ga_{0.5}N基板(Ga_{0.5}Nウエハ)の裏面(研磨面)にはTi/Al/Ti/Auから成るn側電極80bを蒸着により形成した。

20

【0097】

これら2種類のレーザストライプに対する共振器ミラーの作製には、波長355nmのYAGレーザを用いるレーザスクライバを用いた。レーザスクライバを用いてブレイクした場合には、ダイヤモンドスクライバを用いた場合と比較して、発振チップ歩留まりを向上させることが可能である。スクライプ溝の形成条件として以下のものを用いた：レーザ光出力100mW；走査速度は5mm/s。形成されたスクライプ溝は、例えば、長さ30μm、幅10μm、深さ40μmの溝であった。800μmピッチで基板の絶縁膜開口箇所を通してエピ表面に直接レーザ光を照射することによって、スクライプ溝を形成した。共振器長は600μmとした。

【0098】

ブレードを用いて、共振ミラーを切断により作製した。基板裏側に押圧によりブレイクすることによって、レーザバーを作製した。より具体的に、{20-21}面のGa_{0.5}N基板について、結晶方位と切断面との関係を示したものが、図7(b)と図7(c)である。図7(b)はレーザストライプを(1)M方向に設けた場合であり、半極性面71aと共にレーザ共振器のための端面81a、81bが示される。端面81a、81bは半極性面71aにほぼ直交しているが、従来のc面、m面又はa面等のこれまでのへき開面とは異なる。図7(c)はレーザストライプを(2)〈11-20〉方向に設けた場合であり、半極性面71aと共にレーザ共振器のための端面81c、81dが示される。端面81c、81dは半極性面71aにほぼ直交しており、a面から構成される。

30

【0099】

ブレイクによって形成された切断面を走査型電子顕微鏡で観察した結果、(1)および(2)のそれぞれにおいて、顕著な凹凸は観察されなかった。このことから、切断面の平坦性(凹凸の大きさ)は、20nm以下と推定される。更に、切断面の試料表面に対する垂直性は、±5度の範囲内であった。

40

【0100】

レーザバーの端面に真空蒸着法によって誘電体多層膜をコーティングした。誘電体多層膜は、SiO₂とTiO₂を交互に積層して構成した。膜厚はそれぞれ、50~100nmの範囲で調整して、反射率の中心波長が500~530nmの範囲になるように設計した。片側の反射面を10周期とし、反射率の設計値を約95%に設計し、もう片側の反射面を6周期とし、反射率の設計値を約80%とした。

【0101】

50

通電による評価を室温にて行った。電源には、パルス幅 500 ns、デューティ比 0.1% のパルス電源を用い、表面電極に針を落として通電した。光出力測定の際には、レーザバー端面からの発光をフォトダイオードによって検出して、電流 - 光出力特性 (I - L 特性) を調べた。発光波長を測定する際には、レーザバー端面からの発光を光ファイバに通し、検出器にスペクトルアナライザを用いてスペクトル測定を行った。偏光状態を調べる際には、レーザバーからの発光に偏光板を通して回転させることで、偏光状態を調べた。LED モード光を観測する際には、光ファイバをレーザバー表面側に配置することで、表面から放出される光を測定した。

【0102】

全てのレーザで発振後の偏光状態を確認した結果、a 軸方向に偏光していることがわかった。発振波長は 500 ~ 530 nm であった。

【0103】

全てのレーザで LED モード (自然放出光) の偏光状態を測定した。a 軸の方向の偏光成分を I_1 、m 軸を主面に投影した方向の偏光成分を I_2 とし、 $(I_1 - I_2) / (I_1 + I_2)$ を偏光度 p と定義した。こうして、求めた偏光度 p としきい値電流密度の最小値の関係を調べた結果、図 9 が得られた。図 9 から、偏光度が正の場合に、(1) レーザストライプ M 方向のレーザでは、しきい値電流密度が大きく低下することがわかる。すなわち、偏光度が正 ($I_1 > I_2$) で、かつオフ方向に導波路を設けた場合に、しきい値電流密度が大幅に低下することがわかる。

図 9 に示されたデータは以下のものである。

しきい値電流		しきい値電流	
偏光度、(M 方向ストライプ)、(< 11 - 20 > ストライプ)			
0.08	64	20	
0.05	18	42	
0.15	9	48	
0.276	7	52	
0.4	6		

【0104】

GaN 基板の m 軸方向への c 軸の傾斜角と発振歩留まりとの関係を調べた結果、図 10 が得られた。本実施例では、発振歩留まりについては、(発振チップ数) / (測定チップ数) と定義した。また、図 10 は、基板の積層欠陥密度が 1×10^4 (cm^{-1}) 以下の基板であり、かつレーザストライプが (1) M 方向のレーザにおいて、プロットしたものである。図 10 から、オフ角が 45 度以下では、発振歩留まりが極めて低いことがわかる。端面状態を光学顕微鏡で観察した結果、45 度より小さい角度では、ほとんどのチップで m 面が出現し、垂直性が得られないことがわかった。また、オフ角が 63 度以上 80 度以下の範囲では、垂直性が向上し、発振歩留まりが 50% 以上に増加することがわかる。これらの事実から、GaN 基板のオフ角度の範囲は、63 度以上 80 度以下が最適である。なお、この結晶的に等価な端面を有することになる角度範囲である、100 度以上 117 度以下の範囲でも、同様の結果が得られる。

図 10 に示されたデータは以下のものである。

傾斜角、歩留まり

10	0.1
43	0.2
58	50
63	65
66	80
71	85
75	80
79	75
85	45

90 35

【 0 1 0 5 】

積層欠陥密度と発振歩留まりとの関係を調べた結果、図 1 1 が得られた。発振歩留まりの定義については、上記と同様である。図 1 1 から、積層欠陥密度が 1×10^4 (cm^{-1}) を超えると急激に発振歩留まりが低下することがわかる。また、端面状態を光学顕微鏡で観察した結果、発振歩留まりが低下したサンプルでは、端面の凹凸が激しく平坦な割断面が得られていないことがわかった。積層欠陥の存在によって、割れ易さに違いが出たことが原因と考えられる。このことから、基板に含まれる積層欠陥密度が 1×10^4 (cm^{-1}) 以下である必要がある。

図 1 1 に示されたデータは以下のものである。

積層欠陥密度 (cm^{-1})、歩留まり

500	80
1000	75
4000	70
8000	65
10000	20
50000	2

【 0 1 0 6 】

基板厚みと発振歩留まりとの関係を調べた結果、図 1 2 が得られた。発振歩留まりの定義については、上記と同様である。また、図 1 2 では、基板の積層欠陥密度 1×10^4 (cm^{-1}) 以下であり、かつレーザストライプが (1) M 方向のレーザにおいて、プロットした。図 1 2 から、基板厚みが $100 \mu\text{m}$ よりも薄く $50 \mu\text{m}$ よりも厚いときに、発振歩留まりが高い。これは、基板厚みが $100 \mu\text{m}$ よりも厚いと、割断面の垂直性が悪化することによる。また、 $50 \mu\text{m}$ よりも薄いと、ハンドリングが困難で、チップが破壊され易くなることによる。これらのことから、基板の厚みは、 $50 \mu\text{m}$ 以上 $100 \mu\text{m}$ 以下が最適である。

図 1 2 に示されたデータは以下のものである。

基板厚、歩留まり

48	10
80	65
90	70
110	45
150	48
200	30
400	20

【 0 1 0 7 】

(実施例 3)

実施例 2 では、{ 2 0 - 2 1 } 面を有する GaN 基板上に、半導体レーザのための複数のエピタキシャル膜を成長した。上記のように、スクライプ溝の形成と押圧とによって光共振器用の端面が形成された。これらの端面の候補を見いだすために、(2 0 - 2 1) 面に 90 度近傍の角度を成し、a 面とは異なる面方位を計算により求めた。図 1 3 を参照すると、以下の角度及び面方位が、(2 0 - 2 1) 面に対して 90 度近傍の角度を有する。

具体的な面指数、{ 2 0 - 2 1 } 面に対する角度

- (- 1 0 1 6) : 92.46 度 ;
- (- 1 0 1 7) : 90.10 度 ;
- (- 1 0 1 8) : 88.29 度。

【 0 1 0 8 】

図 1 4 は、(2 0 - 2 1) 面と (- 1 0 1 - 6) 面及び (- 1 0 1 6) 面における原子配置を示す図面である。図 1 5 は、(2 0 - 2 1) 面と (- 1 0 1 - 7) 面及び (- 1 0 1 7) 面における原子配置を示す図面である。図 1 6 は、(2 0 - 2 1) 面と (- 1 0 1

10

20

30

40

50

- 8) 面及び (- 1 0 1 8) 面における原子配置を示す図面である。図 1 4 ~ 図 1 6 に示されるように、矢印によって示される局所的な原子配置は電荷的に中性な原子の配列を示し、電気的中性の原子配置が周期的に出現している。成長面に対し、比較的垂直な面が得られる理由は、この電荷的に中性な原子配列が周期的に現れることで、断面の生成が比較的安定となっていることが考えられる可能性がある。

【 0 1 0 9 】

上記の実施例 1 ~ 3 を含めた様々な実験によって、角度 ALPHA は、45 度以上 80 度以下及び 100 度以上 135 度以下の範囲であることができる。発振チップ歩留を向上させるためには、角度 ALPHA は、63 度以上 80 度以下及び 100 度以上 117 度以下の範囲であることができる。典型的な半極性主面、{ 2 0 - 2 1 } 面、{ 1 0 - 1 1 } 面、{ 2 0 - 2 - 1 } 面、及び { 1 0 - 1 - 1 } 面のいずれかであることができる。更に、これらの半極性面からの微傾斜面であることができる。例えば、半極性主面は、{ 2 0 - 2 1 } 面、{ 1 0 - 1 1 } 面、{ 2 0 - 2 - 1 } 面、及び { 1 0 - 1 - 1 } 面のいずれかの面から、m 面方向に - 4 度以上 + 4 度以下の範囲でオフした微傾斜面であることができる。

10

【 0 1 1 0 】

好適な実施の形態において本発明の原理を図示し説明してきたが、本発明は、そのような原理から逸脱することなく配置および詳細において変更され得ることは、当業者によって認識される。本発明は、本実施の形態に開示された特定の構成に限定されるものではない。したがって、特許請求の範囲およびその精神の範囲から来る全ての修正および変更

20

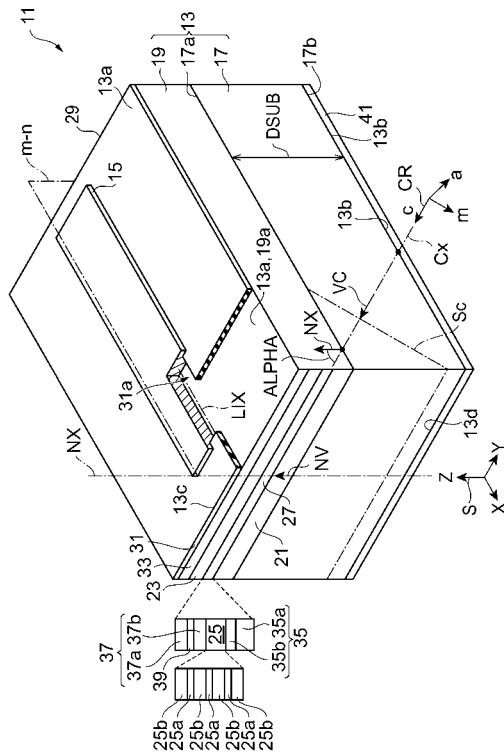
【 符号の説明 】

【 0 1 1 1 】

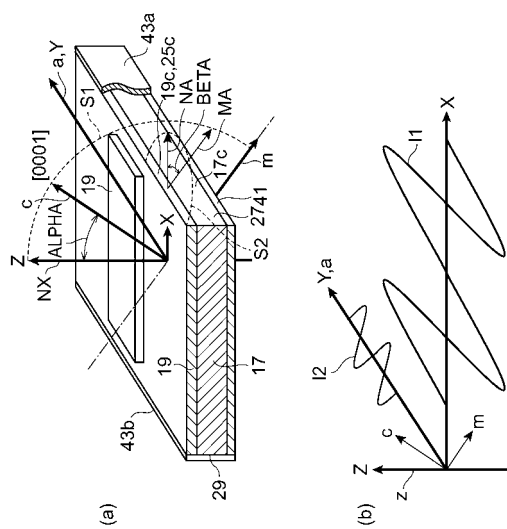
1 1 ... III 族窒化物半導体レーザ素子、1 3 ... レーザ構造体、1 3 a ... 第 1 の面、1 3 b ... 第 2 の面、1 3 c、1 3 d ... エッジ、1 5 ... 電極、1 7 ... 支持基体、1 7 a ... 半極性主面、1 7 b ... 支持基体裏面、1 7 c ... 支持基体端面、1 9 ... 半導体領域、1 9 a ... 半導体領域表面、1 9 c ... 半導体領域端面、2 1 ... 第 1 のクラッド層、2 3 ... 第 2 のクラッド層、2 5 ... 活性層、2 5 a ... 井戸層、2 5 b ... 障壁層、2 7、2 9 ... 断面、ALPHA ... 角度、Sc ... c 面、NX ... 法線軸、3 1 ... 絶縁膜、3 1 a ... 絶縁膜開口、3 5 ... n 側光ガイド層、3 7 ... p 側光ガイド層、3 9 ... キャリアブロック層、4 1 ... 電極、4 3 a、4 3 b ... 誘電体多層膜、MA ... m 軸ベクトル、BETA ... 角度、DSUB ... 支持基体厚さ、5 1 ... 基板、5 1 a ... 半極性主面、SP ... 基板生産物、5 7 ... 窒化ガリウム系半導体領域、5 9 ... 発光層、6 1 ... 窒化ガリウム系半導体領域、5 3 ... 半導体領域、5 4 ... 絶縁膜、5 4 a ... 絶縁膜開口、5 5 ... レーザ構造体、5 8 a ... アノード電極、5 8 b ... カソード電極、6 3 a ... 第 1 の面、6 3 b ... 第 2 の面、1 0 a ... レーザスクライバ、6 5 a ... スクライブ溝、6 5 b ... スクライブ溝、LB ... レーザビーム、SP 1 ... 基板生産物、LB 1 ... レーザバー、6 9 ... ブレード、6 9 a ... エッジ、6 9 b、6 9 c ... ブレード面、7 1 ... 支持装置、7 1 a ... 支持面、7 1 b ... 凹部

30

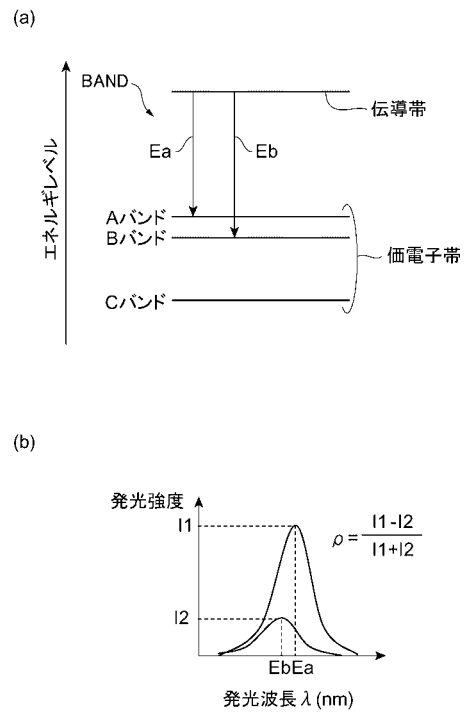
【図 1】



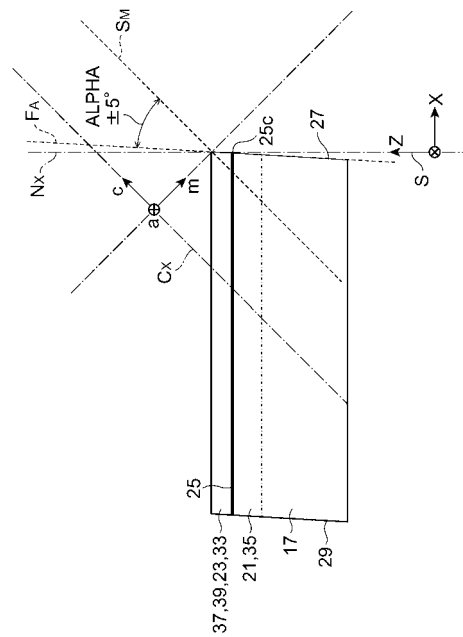
【図 3】



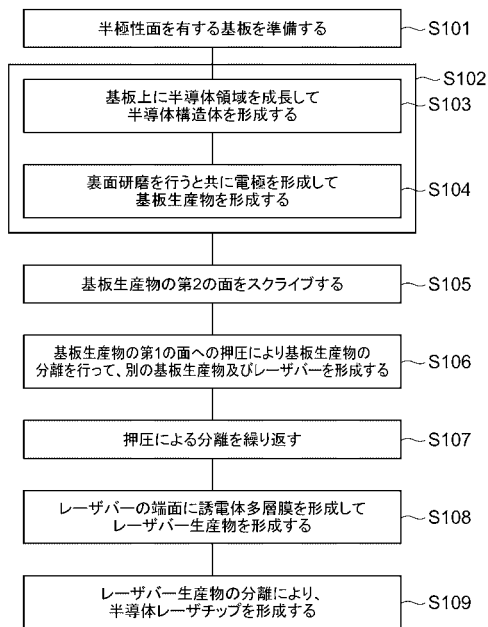
【図 2】



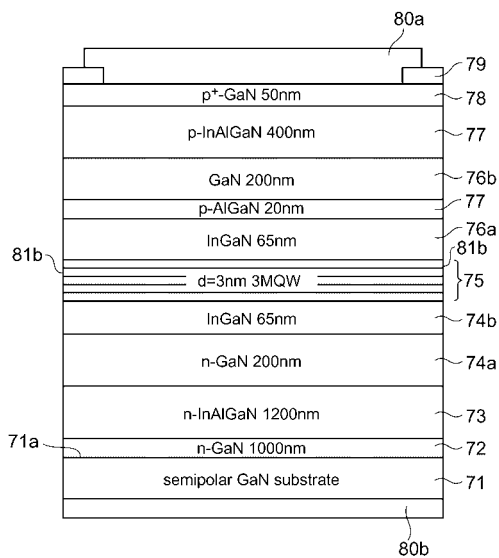
【図 4】



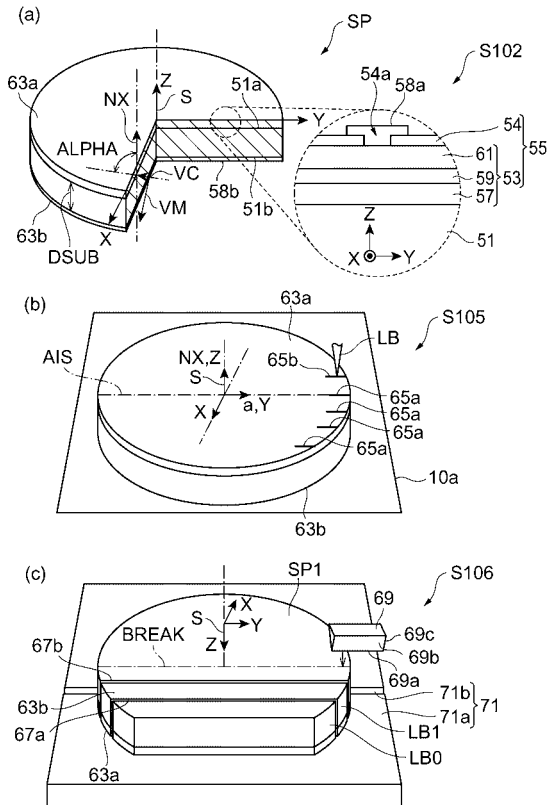
【図5】



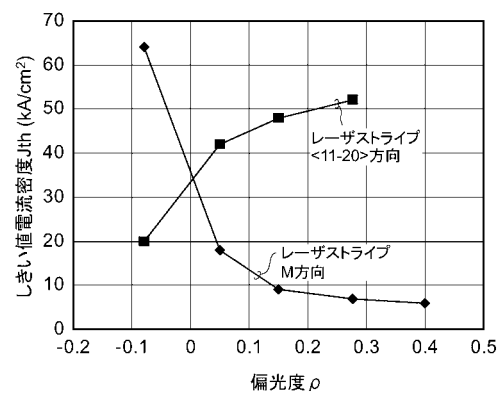
【図8】



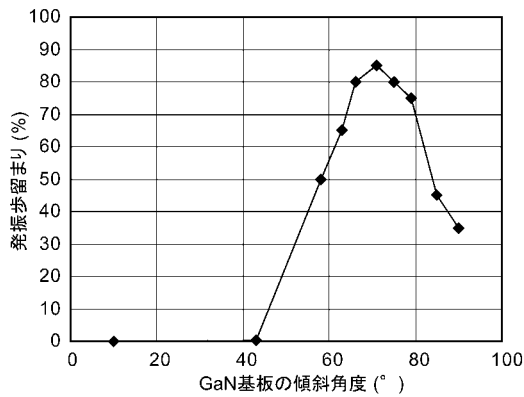
【図6】



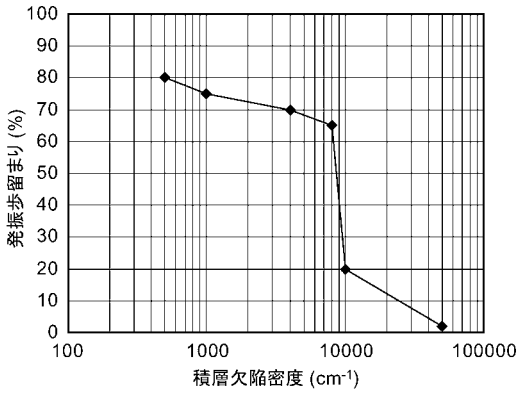
【図9】



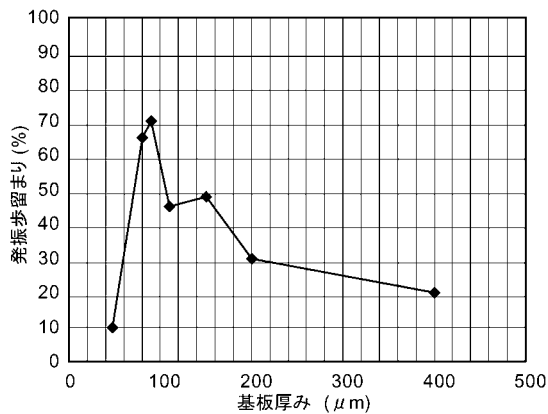
【 図 1 0 】



【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



【 図 1 3 】

六方晶GaN									
a	c	h1	k1	l1	h2	k2	l2	cos θ	Arccos(rad) (deg)
3.189	5.185	-1	0	1	2	0	1	-0.7	2.4
3.189	5.185	-1	0	2	2	0	1	-0.5	2.1
3.189	5.185	-1	0	3	2	0	1	-0.3	1.9
3.189	5.185	-1	0	4	2	0	1	-0.2	1.7
3.189	5.185	-1	0	5	2	0	1	-0.1	1.7
3.189	5.185	-1	0	6	2	0	1	0.0	1.6
3.189	5.185	-1	0	7	2	0	1	0.0	1.6
3.189	5.185	-1	0	8	2	0	1	0.0	1.5
3.189	5.185	-1	0	9	2	0	1	0.1	1.5
3.189	5.185	-1	0	10	2	0	1	0.1	1.5
3.189	5.185	-2	0	1	2	0	1	-0.9	2.6
3.189	5.185	-2	0	2	2	0	1	-0.7	2.4
3.189	5.185	-2	0	3	2	0	1	-0.6	2.2
3.189	5.185	-2	0	4	2	0	1	-0.5	2.1
3.189	5.185	-2	0	5	2	0	1	-0.4	2.0
3.189	5.185	-2	0	6	2	0	1	-0.3	1.9
3.189	5.185	-2	0	7	2	0	1	-0.2	1.8
3.189	5.185	-2	0	8	2	0	1	-0.2	1.7
3.189	5.185	-2	0	9	2	0	1	-0.1	1.7
3.189	5.185	-2	0	10	2	0	1	-0.1	1.7
3.189	5.185	-3	0	1	2	0	1	-0.9	2.7
3.189	5.185	-3	0	2	2	0	1	-0.8	2.5
3.189	5.185	-3	0	3	2	0	1	-0.7	2.4
3.189	5.185	-3	0	4	2	0	1	-0.6	2.3
3.189	5.185	-3	0	5	2	0	1	-0.6	2.2
3.189	5.185	-3	0	6	2	0	1	-0.5	2.1
3.189	5.185	-3	0	7	2	0	1	-0.4	2.0
3.189	5.185	-3	0	8	2	0	1	-0.3	1.9
3.189	5.185	-3	0	9	2	0	1	-0.3	1.9
3.189	5.185	-3	0	10	2	0	1	-0.2	1.8

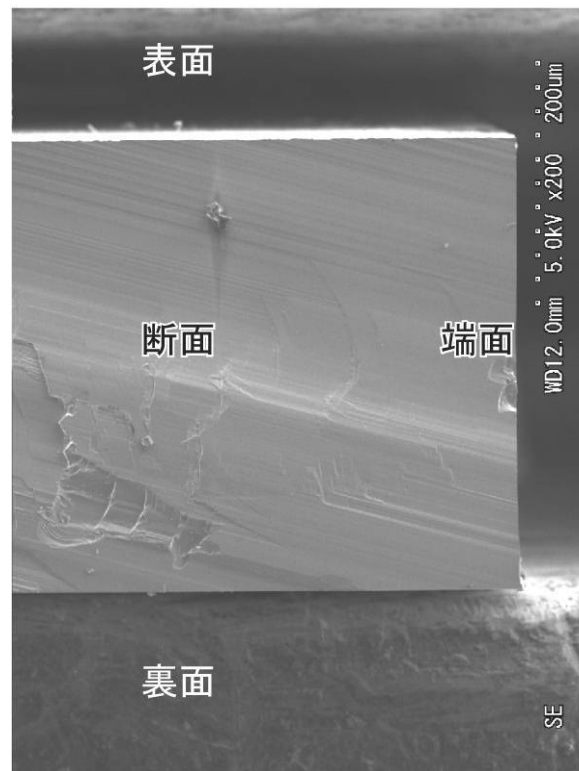
(20-21)に垂直な面の面指数

92.46
90.10
88.29
86.67
85.72

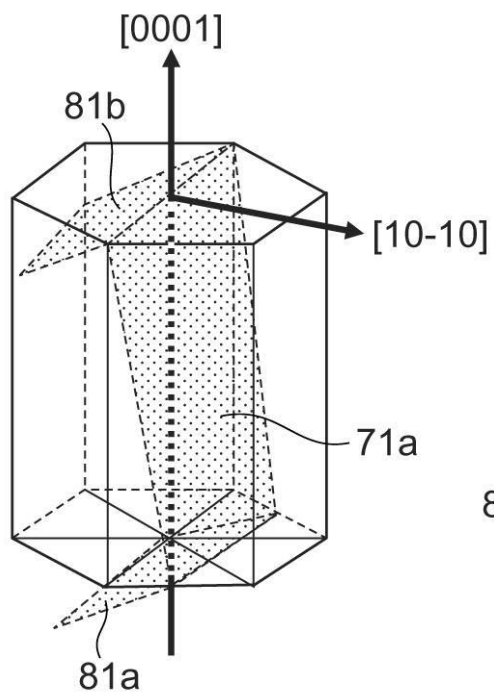
→(-1016)面
→(-1017)面
→(-1018)面

【 図 7 】

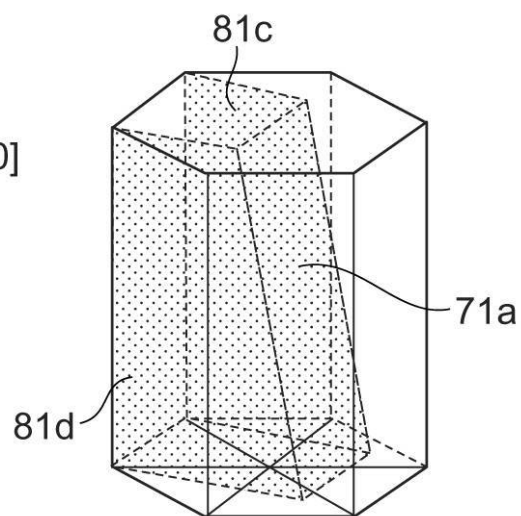
(a)



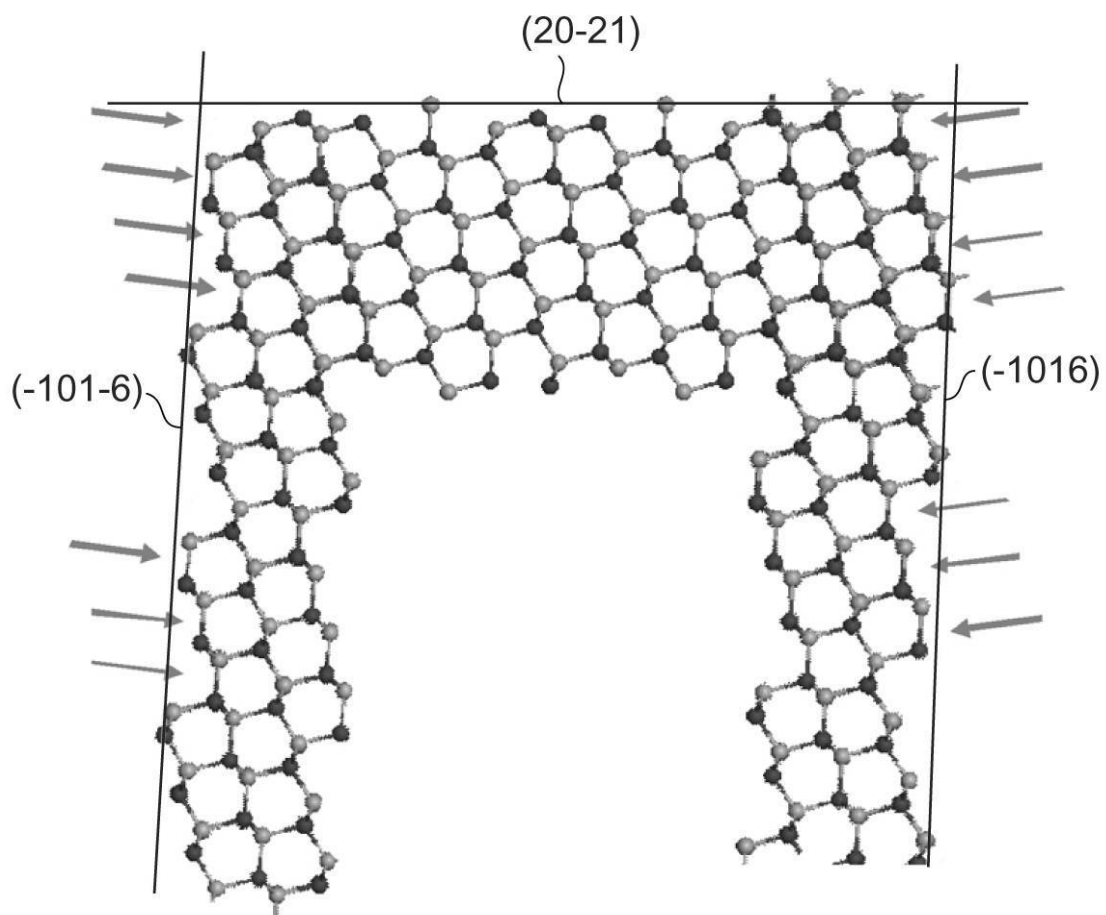
(b)



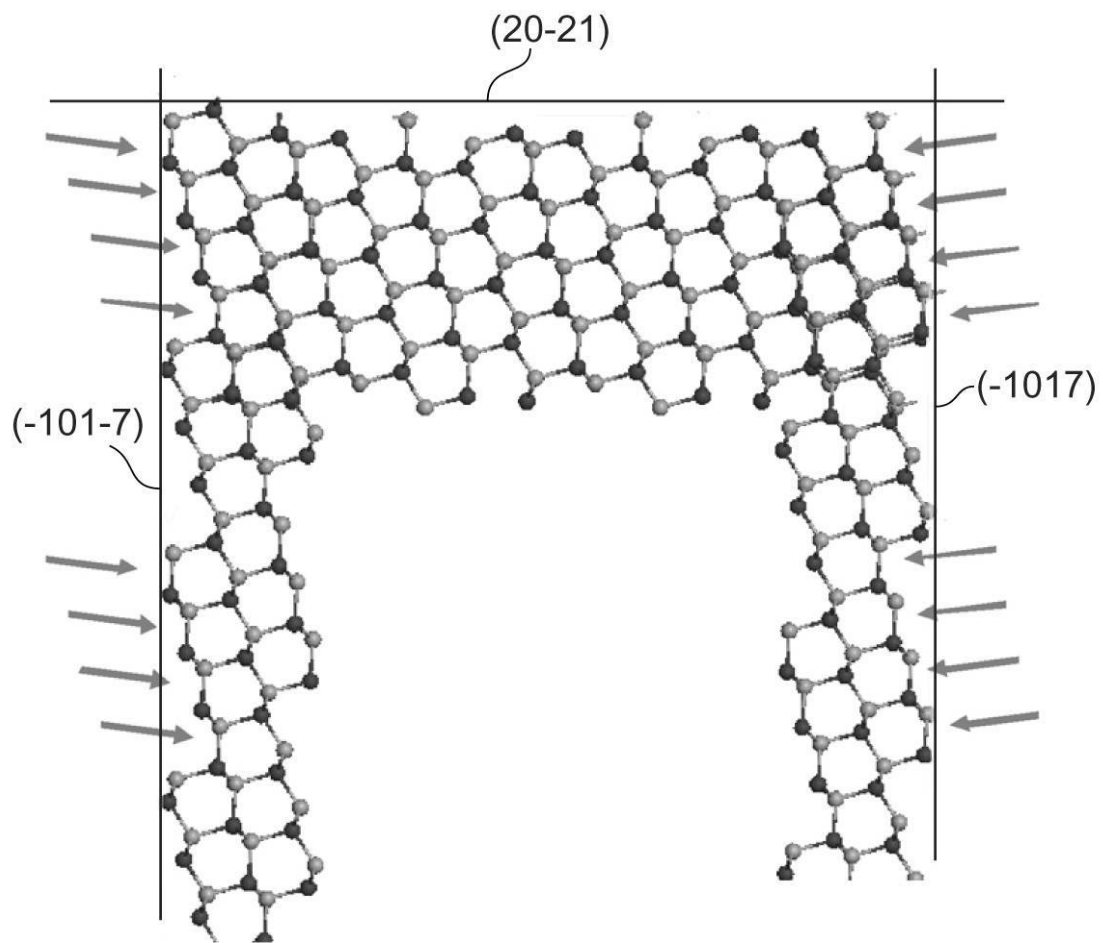
(c)



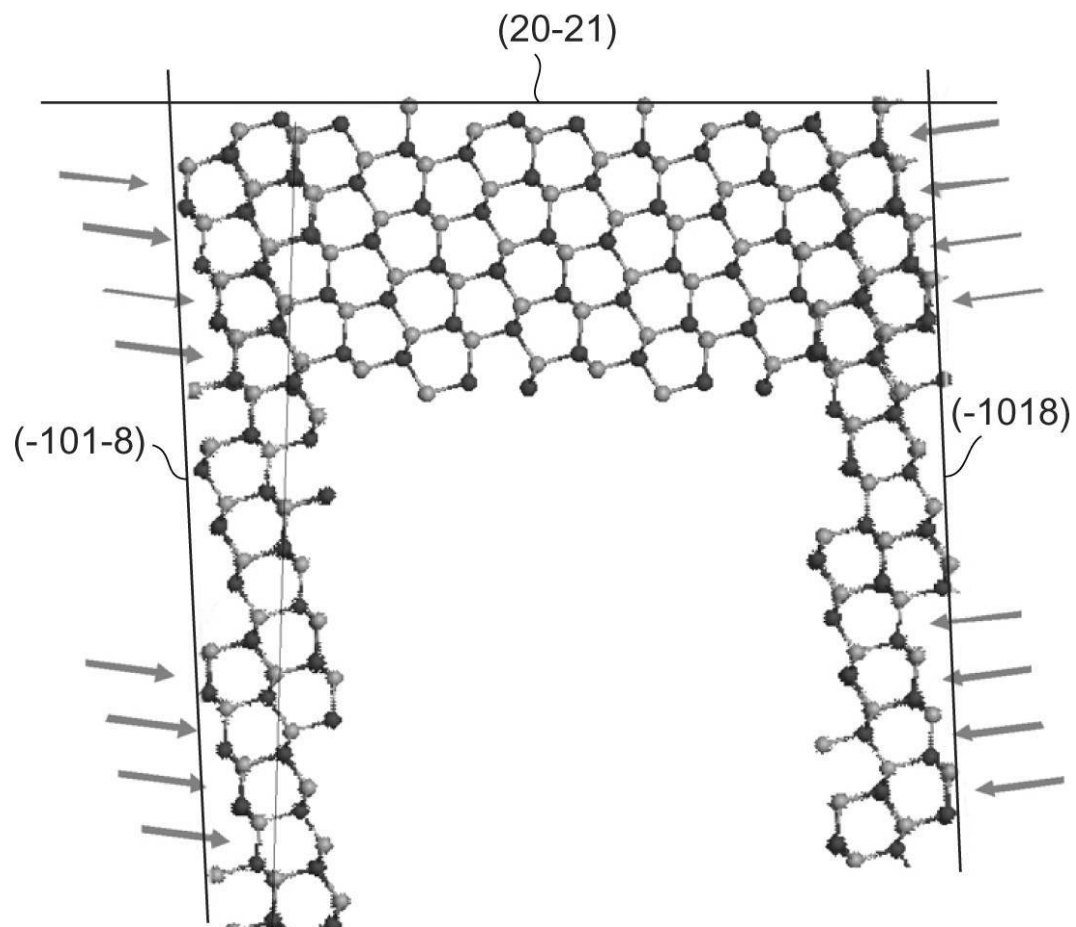
【 図 1 4 】



【図 15】



【図 16】



フロントページの続き

- (72)発明者 京野 孝史
大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電気工業株式会社大阪製作所内
- (72)発明者 足立 真寛
大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電気工業株式会社大阪製作所内
- (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 上野 昌紀
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
- (72)発明者 住友 隆道
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 徳山 慎司
大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電気工業株式会社大阪製作所内
- (72)発明者 片山 浩二
大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電気工業株式会社大阪製作所内
- (72)発明者 中村 孝夫
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 池上 隆俊
大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電気工業株式会社大阪製作所内
- Fターム(参考) 5F173 AH22 AP05 AP24 AP81 AR23