(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2008 年8 月21 日 (21.08.2008)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2008/099643 A1

(51) 国際特許分類:
H01S 5/323 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2008/050849

(22) 国際出願日: 2008 年1 月23 日 (23.01.2008)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2007-019914 2007 年1 月30 日 (30.01.2007) JP
特願2007-037147 2007 年2 月16 日 (16.02.2007) JP
特願2007-040074 2007 年2 月20 日 (20.02.2007) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): ローム株式会社 (ROHM CO., LTD.) [JP/JP]; 〒6158585 京都府京都市右京区西院溝崎町２１番地 Kyoto (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 岡本 國美 (OKAMOTO, Kuniyoshi) [JP/JP]; 〒6158585 京都府京都市右京区西院溝崎町２１番地 ローム株式会社内 Kyoto (JP). 太田 裕朗 (OHTA, Hiroaki) [JP/JP]; 〒6158585 京都府京都市右京区西院溝崎町２１番地 ローム株式会社内 Kyoto (JP).

(74) 代理人: 稲岡 耕作, 外(INAOKA, Kosaku et al.); 〒5410054 大阪府大阪市中央区南本町２丁目６番１２号 サンマリオンＮＢＦタワー２１階 あい特許事務所内 Osaka (JP).

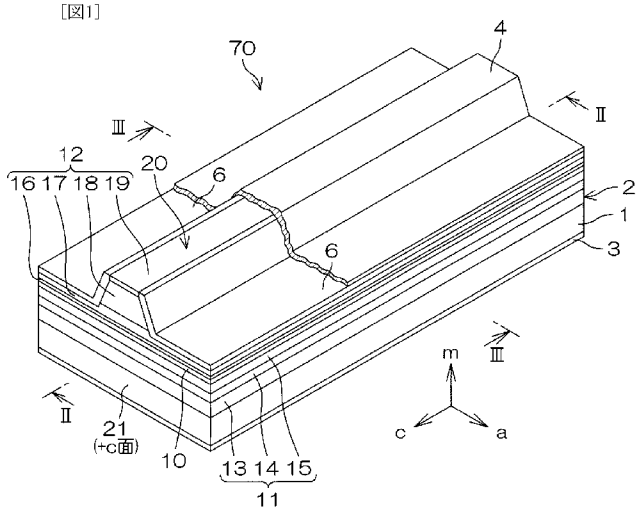
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG,

[続葉有]

(54) **Title:** SEMICONDUCTOR LASER DIODE

(54) **発明の名称:** 半導体レーザダイオード

[図1]



21... (+C FACE)

(57) **Abstract:** A semiconductor laser diode comprises a group III nitride semiconductor whose m-face is the major surface of crystal growth and has a group III nitride semiconductor multilayer structure where an n-type clad layer, a light-emitting layer, and a p-type clad layer are formed in the m-axis direction. It is preferable that the III group nitride semiconductor is formed by crystal growth on a GaN single crystal substrate, with the m-face used as the growth face. It is also preferable that the off angle of the major surface of the GaN single crystal substrate is within ±1°. It is further preferable that the group III nitride semiconductor multilayer structure does not include any stacking fault nor threading dislocation produced from the growth face of the GaN substrate.

(57) 要約: この半導体レーザダイオードは、m面を結晶成長の主面とするIII族窒化物半導体からなり、m軸方向に、n型クラッド層、発光層、およびp型クラッド層を積層したIII族窒化物半導体積層構造を備えている。前記III族

[続葉有]

WO 2008/099643 A1

SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

窒化物半導体は、m面を結晶成長のための成長面とするＧａＮ単結晶基板上に結晶成長させたものであることが好ましい。また、前記ＧａＮ単結晶基板の主面のオフ角は±１°以内であることが好ましい。前記III族窒化物半導体積層構造は、前記ＧａＮ基板の成長面より生じた積層欠陥または貫通転位を含まないものであることが好ましい。

明 細 書

半導体レーザダイオード

技術分野

[0001] この発明は、III族窒化物半導体からなる半導体積層構造を備えた半導体レーザダイオードに関する。

背景技術

[0002] III-V族半導体においてV族元素として窒素を用いた半導体は「III族窒化物半導体」と呼ばれ、その代表例は、窒化アルミニウム(AlN)、窒化ガリウム(GaN)、窒化インジウム(InN)である。一般には、$Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$($0 \leqq x \leqq 1$, $0 \leqq y \leqq 1$, $0 \leqq x+y \leqq 1$)と表わすことができる。

青色や緑色といった短波長のレーザ光源は、DVDに代表される光ディスクへの高密度記録、画像処理、医療機器、計測機器などの分野で活用されるようになってきている。このような短波長レーザ光源は、たとえば、GaN半導体を用いたレーザダイオードで構成されている。

[0003] GaN半導体レーザダイオードは、c面を主面とする窒化ガリウム(GaN)基板上にIII族窒化物半導体を有機金属気相成長法(MOVPE:Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy)によって成長させて製造される。より具体的には、GaN基板上に、有機金属気相成長法によって、n型GaNコンタクト層、n型AlGaNクラッド層、n型GaNガイド層、活性層(発光層)、p型GaNガイド層、p型AlGaNクラッド層、p型GaNコンタクト層が順に成長させられ、これらの半導体層からなる半導体積層構造が形成される。活性層では、n型層から注入される電子とp型層から注入される正孔との再結合による発光が生じる。その光は、n型AlGaNクラッド層およびp型AlGaNクラッド層の間に閉じ込められ、半導体積層構造の積層方向と垂直な方向に伝搬する。その伝搬方向の両端に共振器端面が形成されており、この一対の共振器端面間で、誘導放出を繰り返しながら光が共振増幅され、その一部がレーザ光として共振器端面から出射される。

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0004] 半導体レーザダイオードの重要な特性の一つは、レーザ発振を生じさせるための閾値電流（発振閾値）である。この閾値電流が低いほど、エネルギー効率の良いレーザ発振が可能になる。

ところが、c面を主面として成長された発光層から生じる光はランダム偏光であるため、TEモードの発振に寄与する光の割合が少ない。そのため、レーザ発振の効率が必ずしもよくなく、閾値電流を低減するうえで、改善の余地がある。

[0005] そこで、この発明の目的は、レーザ発振効率を高め、閾値電流を低減することが可能な半導体レーザダイオードを提供することである。

課題を解決するための手段

[0006] 上記の目的を達成するためのこの発明の半導体レーザダイオードは、m面を結晶成長の主面とするIII族窒化物半導体からなり、m軸方向に、n型クラッド層、発光層、およびp型クラッド層を積層したIII族窒化物半導体積層構造を備えている。

c面を成長主面とするIII族窒化物半導体からなる発光層から取り出される光は、ランダム偏光（無偏光）状態となる。これに対して、c面以外、すなわち、a面、m面等の非極性（ノンポーラ）面、または半極性（セミポーラ）面を成長主面とするIII族窒化物半導体を用いて形成した発光層は、強い偏光状態の発光が可能である。

[0007] この発明では、III族窒化物半導体積層構造は、m面を結晶成長の主面としている。そのため、発光層は、m面に平行な偏光成分（より具体的にはa軸方向の偏光成分）を多く含む光を発生する。これにより、発光層で生じた光のうち、多くの割合をレーザ発振に寄与させることができるので、レーザ発振の効率が良くなり、閾値電流を低減することができる。

[0008] さらに、c面III族窒化物半導体とは異なる材料であるm面（非極性性面）III族窒化物半導体を用いることによって、たとえば、発光層が量子井戸構造（より具体的にはInを含むもの）からなる場合に、量子井戸での自発圧電分極によるキャリアの分離が抑制されるので、発光効率が増加する。これによっても、閾値電流を低下させることができ、かつ、スロープ効率を増加させることができる。そして、自発圧電分極によるキャリアの分離がないことにより、発光波長の電流依存性が抑制されるので、安定した発振

波長を実現することができる。

[0009] さらにまた、m面を結晶成長主面としていることにより、c軸方向とa軸方向に物性の異方性が生じる。さらに、たとえば、発光層が量子井戸構造(より具体的にはInを含むもの)からなる場合に、Inを含む発光層(活性層)は、格子歪みによる2軸性応力によって、量子井戸のバンド構造が、c面を結晶成長主面とした半導体レーザの場合とは異なるものとなる。これにより、c面を結晶成長の主面とした半導体レーザの場合とは異なる利得が得られ、レーザ特性を向上することができる。

[0010] また、m面を結晶成長の主面としていることによって、結晶成長を極めて安定に行うことができ、c面やその他の結晶面を結晶成長の主面とする場合に比較して、結晶性を向上することができる。その結果、高性能のレーザダイオードの作製が可能になる。

前記III族窒化物半導体は、m面を結晶成長のための成長面とするGaN単結晶基板上に結晶成長させたものであることが好ましい。転位密度の極めて低い(好ましくは全くない)GaN単結晶基板を使用することで、III族窒化物半導体積層構造は、欠陥の少ない高品質な結晶となる。これにより、高性能のレーザダイオードの作製が可能になる。

[0011] 特に、III族窒化物半導体積層構造を、GaN基板の成長面より生じた積層欠陥または貫通転位を含まない結晶とすることができる。これにより、欠陥による発光効率低下などの特性劣化の要因を抑制できる。

また、前記GaN単結晶基板の主面のオフ角(m面の面方位からのオフ角)は±1°以内であることが好ましい。これにより、より確実に無転位で平坦な窒化ガリウム半導体結晶を成長させることができる。

[0012] 前記III族窒化物半導体積層構造は、前記p型クラッド層を含むp型半導体層を備え、前記半導体レーザダイオードは、所定方向に沿って形成され、前記p型半導体層にストライプ状の接触領域で接触したp側電極をさらに備えていて、前記接触領域のストライプの方向に垂直に一対の共振器端面が形成されていてもよい。III族窒化物半導体積層構造は、m面を結晶成長の主面としており、前述のとおり、優れた発振効率を有している。そのため、p型半導体層をリッジ形状に整形する必要は必ずしもなく

、たとえば、p型半導体層の平坦な表面のストライプ状の領域にp側電極を接触させる構造により、電流を狭窄して、レーザ発振を起こさせることが可能である。したがって、p型半導体層をリッジ形状に加工する必要がないので、生産工程が簡単になり、量産性を向上することができる。

[0013] p側電極をストライプ状の電極としてストライプ状の接触領域を形成してもよいし、前記ストライプ状の接触領域を除く前記p型半導体層の表面が、絶縁膜で保護されている構造としてもよい。この構造によっても、絶縁膜によって電流を狭窄することが可能である。また、この場合、p側電極は絶縁膜の上方に至る広い領域に形成することができるから、p側電極の半導体に接触する領域の面積を小さくする一方で、その全体の面積を大きくとることができるので、配線または外部回路への接続が容易になる。また、電極をストライプ状に整形する必要がないので、量産性に優れるという利点もある。

[0014] 前記III族窒化物半導体積層構造は、前記p型クラッド層を含むp型半導体層を備え、このp型半導体層の一部が除去されて、所定方向に沿ったストライプが形成されていて、このストライプの方向に垂直に一対の共振器端面が形成されていてもよい。この構成では、p型半導体層の一部が除去されてストライプが形成されているので、量産性の良い半導体レーザを提供することができ、かつ、特性の再現性に優れた半導体レーザを実現できる。

[0015] 前記ストライプがリッジ形状(メサ形)に形成されていて、前記ストライプとp側電極との接触部を除く当該ストライプの表面が、絶縁膜で保護されていてもよい。この構成により、横方向からの光閉じ込めを緩やかにすることができるので、制御しやすくすることができる。また、側面からのリーク電流を防ぐことができる。前記絶縁膜の材料としては、屈折率が1よりも大きいもの、たとえば、ZrO_2やSiO_2を適用することが好ましい。

[0016] 前記ストライプの方向がc軸方向であり、前記一対の共振器端面が＋c面および－c面であってもよい。この構成によれば、c軸方向にストライプを形成し、c面に沿う劈開を行うことにより、良好な共振器端面を形成することができる。

この場合に、前記－c面の共振器端面は、絶縁膜からなる保護膜によって被覆され

ていることが好ましい。この構成によれば、アルカリに溶けるなど化学的に弱い－c面を絶縁膜からなる保護膜で保護することにより、信頼性を高めることができる。

[0017] 前記発光層が量子井戸構造からなり、前記量子井戸構造を構成する量子井戸のc軸方向への平坦性が、10Å以下であることが好ましい。この構成により、発光スペクトルの半値幅を低くすることができる。また、c軸方向に沿ってストライプが形成されている場合に、導波路を伝搬する光子の吸収ロスを低減できる。

前記ストライプの方向がa軸方向であり、前記一対の共振器端面がa面であってもよい。III族窒化物半導体積層構造を結晶成長させるとき、積層欠陥はc面に平行に発生する。そこで、c面と平行なa軸方向にストライプを形成し、一対の共振器端面をa面とすれば、積層欠陥と導波路とが交差しなくなる。これにより、積層欠陥による光導波の妨害やリーク電流の増加を回避できる。

[0018] 前記共振器端面は、劈開面であることが好ましい。この構成により、共振器端面を劈開面からなる良好な端面とすることができるので、微細な凹凸による光の乱反射を抑えることができる。

前記p型半導体層への接触領域が複数個備えられていてもよい。この構成により、複数個のストライプ構造で同時にレーザ発振を生じさせたり、また、個々のストライプ構造でレーザ発振を起こさせたりすることができる。

[0019] 前記p型半導体層のm面にp側電極が形成されており、前記III族窒化物半導体積層構造が導電性基板の一主面に成長させられており、この導電性基板の他の主面がm面であり、当該他の主面にn側電極が形成されていることが好ましい。この構成によれば、p側電極およびn側電極が、いずれも安定なm面に形成されているので、レーザの高出力化や高温動作に十分耐えられる信頼性を実現できる。たとえば、従来からのc面を成長主面とするレーザダイオードの場合には、裏面の結晶面が－c面となっていたため、裏面電極の信頼性が乏しかった。

[0020] 前記III族窒化物半導体積層構造は、前記n型クラッド層と当該III族窒化物半導体積層構造を担持する基板との間に、2軸性応力を有するInを含む層を備えていてもよい。この構成によれば、2軸性応力を有するInを含む層を設けることで、III族窒化物半導体積層構造に、c面と平行なクラック（結晶の亀裂）が生じることを抑制できる。

前記III族窒化物半導体積層構造は、前記n型クラッド層を含むn型半導体層を備えていて、このn型半導体層が、III族元素原料に対する窒素原料の割合であるV／III比が1000以上（たとえば、3000以上）の条件で少なくとも一部が成長（たとえば、有機金属気相成長法により成長）されたものであることが好ましい。この構成により、n型半導体層を良好な結晶性で成長させることができるので、このn型半導体層に積層して形成される発光層の結晶性が向上する。その結果、発光特性を向上させることができる。

[0021] 前記クラッド層は、Alを含み、層厚が1．5μm以下であることが好ましい。この構成によれば、クラッド層の層厚が適切な厚さ以下とされることにより、c面と平行に生じるクラックを抑制することができる。

前記III族窒化物半導体積層構造は、III族元素原料に対する窒素原料の割合であるV／III比について、n型クラッド層から最上層のp型コンタクト層までの平均値が1000以上であることが好ましい。この構成により、n型クラッド層、発光層、p型クラッド層の全ての層において、点欠陥の少ない良好な結晶を得ることができる。この効果は、安定なm面を用いることではじめて実現されたものである。

[0022] 前記発光層は、Inを5%以上含むInGaAlNからなり、この発光層から発生する光子の波長が400nm～550nmであることが好ましい。Inを5%以上含むGaAlInNで発光層を構成して波長400～550nmの発光を生じさせようとする場合、c面を成長主面とするときには、量子井戸での分極が顕著になる。これに対し、この発明では、m面を結晶成長主面としたIII族窒化物半導体積層構造を用いているので、量子井戸での分極を抑制することができ、発光効率を増加することができる。すなわち、400～550nmの波長域においては、分極の抑制による発光効率向上の効果が顕著になる。

[0023] 前記発光層は、Inを含む量子井戸の数が3以下である多重量子井戸構造を有していてもよく、前記III族窒化物半導体積層構造は、前記発光層を挟んで配置された一対のガイド層を含んでいてもよく、前記n型クラッド層は、前記一対のガイド層の一方を前記発光層との間に挟むように配置されていてもよく、当該ガイド層よりもバンドギャップが広い少なくともAlを含むクラッド層であってもよく、前記p型クラッド層は、前記

一対のガイド層の他方を前記発光層との間に挟むように配置されていてもよく、当該ガイド層よりもバンドギャップが広い少なくともAlを含むクラッド層であってもよい。この構成により、閉じ込めが良く、低閾値および高効率のレーザ特性を得ることができる。

[0024] 前記発光層は、700torr以上の成長圧力で結晶成長されたものであることが好ましい。成長圧力が高いほどInを含む発光層の成長温度を高くすることができるので、耐熱性に優れた発光層を形成することができる。

前記III族窒化物半導体積層構造は、1000℃以下の平均成長温度で結晶成長されたp型半導体層を含むことが好ましい。この構成によれば、発光層を積層した後のp型半導体層の成長温度を下げることによって、発光層への熱ダメージを抑制することができる。

[0025] 本発明における上述の、またはさらに他の目的、特徴および効果は、添付図面を参照して次に述べる実施形態の説明により明らかにされる。

図面の簡単な説明

[0026] [図1]この発明の第1の実施形態に係る半導体レーザダイオードの構成を説明するための斜視図である。

[図2]図1のII－II線に沿う縦断面図である。

[図3]図1のIII－III線に沿う横断面図である。

[図4]共振器端面に形成された絶縁膜(反射膜)の構成を説明するための図解図である。

[図5]III族窒化物半導体の結晶構造のユニットセルを表した図解図である。

[図6]III族窒化物半導体積層構造を構成する各層を成長させるための処理装置の構成を説明するための図解図である。

[図7]この発明の第2の実施形態に係る半導体レーザダイオードの構成を示す斜視図である。

[図8]図7の切断線IX－IXに沿う縦断面図である。

[図9]この発明の第3の実施形態に係る半導体レーザダイオードの構成を説明するための斜視図である。

[図10]この発明の第4の実施形態に係る半導体レーザダイオードの構成を説明する

ための図解的な斜視図である。

[図11]この発明の第5の実施形態に係る半導体レーザダイオードの構成を説明するための図解的な斜視図である。

[図12]この発明の第6の実施形態に係る半導体レーザダイオードの構成を説明するための図解的な斜視図である。

[図13]この発明の第7の実施形態に係る半導体レーザダイオードの構成を説明するための図解的な斜視図である。

[図14]この発明の第8の実施形態に係る半導体レーザダイオードの構成を説明するための図解的な斜視図である。

符号の説明

[0027] 1…基板(GaN単結晶基板)、2…III族窒化物半導体積層構造、3…n側電極、4…p側電極、4a…接触領域、6…絶縁層、6a…開口部、10…発光層、11…n型半導体層、12…p型半導体層、13…n型GaNコンタクト層、14…n型AlGaNクラッド層、15…n型GaNガイド層、16…p型AlGaN電子ブロック層、17…p型GaNガイド層、18…p型AlGaNクラッド層、19…p型GaNコンタクト層、20…リッジストライプ、21, 22…端面、23, 24…絶縁膜、26…n型InGaN層、30…処理室、31…ヒータ、32…サセプタ、33…回転軸、34…回転駆動機構、35…基板、36…排気配管、40…原料ガス導入路、41…窒素原料配管、42…ガリウム原料配管、43…アルミニウム原料配管、44…インジウム原料配管、45…マグネシウム原料配管、46…シリコン原料配管、51…窒素原料バルブ

、52…ガリウム原料バルブ、53…アルミニウム原料バルブ、54…インジウム原料バルブ、55…マグネシウム原料バルブ、56…シリコン原料バルブ、70, 80, 90, 100, 110…半導体レーザダイオード

発明を実施するための最良の形態

[0028] 図1は、この発明の一実施形態に係る半導体レーザダイオードの構成を説明するための斜視図であり、図2は、図1のII－II線に沿う縦断面図であり、図3は、図1のIII－III線に沿う横断面図である。

この半導体レーザダイオード70は、基板1と、基板1上に結晶成長によって形成さ

れたIII族窒化物半導体積層構造2と、基板1の裏面(III族窒化物半導体積層構造2と反対側の表面)に接触するように形成されたn側電極3と、III族窒化物半導体積層構造2の表面に接触するように形成されたp側電極4とを備えたファブリペロー型のものである。

[0029] 基板1は、この実施形態では、GaN単結晶基板で構成されている。この基板1は、m面を主面としたものであり、この主面上における結晶成長によって、III族窒化物半導体積層構造2が形成されている。したがって、III族窒化物半導体積層構造2は、m面を結晶成長主面とするIII族窒化物半導体からなる。

III族窒化物半導体積層構造2は、発光層10と、n型半導体層11と、p型半導体層12とを備えている。n型半導体層11は発光層10に対して基板1側に配置されており、p型半導体層12は発光層10に対してp側電極4側に配置されている。こうして、発光層10が、n型半導体層11およびp型半導体層12によって挟持されていて、ダブルヘテロ接合が形成されている。発光層10には、n型半導体層11から電子が注入され、p型半導体層12から正孔が注入される。これらが発光層10で再結合することにより、光が発生するようになっている。

[0030] n型半導体層11は、基板1側から順に、n型GaNコンタクト層13(たとえば2μm厚)、n型AlGaNクラッド層14(1.5μm厚以下。たとえば1.0μm厚)およびn型GaNガイド層15(たとえば0.1μm厚)を積層して構成されている。一方、p型半導体層12は、発光層10の上に、順に、p型AlGaN電子ブロック層16(たとえば20nm厚)、p型GaNガイド層17(たとえば0.1μm厚)、p型AlGaNクラッド層18(1.5μm厚以下。たとえば0.4μm厚)およびp型GaNコンタクト層19(たとえば0.3μm厚)を積層して構成されている。

[0031] n型GaNコンタクト層13およびp型GaNコンタクト層19は、それぞれn側電極3およびp側電極4とのオーミックコンタクトをとるための低抵抗層である。n型GaNコンタクト層13は、GaNにたとえばn型ドーパントとしてのSiを高濃度にドープ(ドーピング濃度は、たとえば、$3\times10^{18}cm^{-3}$)することによってn型半導体とされている。また、p型GaNコンタクト層19は、p型ドーパントとしてのMgを高濃度にドープ(ドーピング濃度は、たとえば、$3\times10^{19}cm^{-3}$)することによってp型半導体層とされている。

[0032] n型AlGaNクラッド層14およびp型AlGaNクラッド層18は、発光層10からの光をそれらの間に閉じ込める光閉じ込め効果を生じるものである。n型AlGaNクラッド層14は、AlGaNにたとえばn型ドーパントとしてのSiをドープ(ドーピング濃度は、たとえば、$1\times10^{18}cm^{-3}$)することによってn型半導体とされている。また、p型AlGaNクラッド層18は、p型ドーパントとしてのMgをドープ(ドーピング濃度は、たとえば、$1\times10^{19}cm^{-3}$)することによってp型半導体層とされている。n型AlGaNクラッド層14は、n型GaNガイド層15よりもバンドギャップが広く、p型AlGaNクラッド層18は、p型GaNガイド層17よりもバンドギャップが広い。これにより、良好な閉じ込めを行うことができ、低閾値および高効率の半導体レーザダイオードを実現できる。

[0033] n型GaNガイド層15およびp型GaNガイド層17は、発光層10にキャリア(電子および正孔)を閉じ込めるためのキャリア閉じ込め効果を生じる半導体層である。これにより、発光層10における電子および正孔の再結合の効率が高められるようになっている。n型GaNガイド層15は、GaNにたとえばn型ドーパントとしてのSiをドープ(ドーピング濃度は、たとえば、$1\times10^{18}cm^{-3}$)することによりn型半導体とされており、p型GaNガイド層17は、GaNにたとえばp型ドーパントとしてのMgをドープする(ドーピング濃度は、たとえば、$5\times10^{18}cm^{-3}$)ことによってp型半導体とされている。

[0034] p型AlGaN電子ブロック層16は、AlGaNにp型ドーパントとしてのたとえばMgをドープ(ドーピング濃度は、たとえば、$5\times10^{18}cm^{-3}$)して形成されたp型半導体であり、発光層10からの電子の流出を防いで、電子および正孔の再結合効率を高めている。

発光層10は、たとえばInGaNを含むMQW(multiple-quantum well)構造(多重量子井戸構造)を有しており、電子と正孔とが再結合することにより光が発生し、その発生した光を増幅させるための層である。発光層10は、具体的には、InGaN層(たとえば3nm厚)とGaN層(たとえば9nm厚)とを交互に複数周期繰り返し積層して構成されている。この場合に、InGaN層は、Inの組成比が5%以上とされることにより、バンドギャップが比較的小さくなり、量子井戸層を構成する。一方、GaN層は、バンドギャップが比較的大きなバリア層(障壁層)として機能する。たとえば、InGaN層とGaN層とは交互に2～7周期繰り返し積層されて、MQW構造の発光層10が構成されている

。発光波長は、量子井戸層（InGaN層）におけるInの組成を調整することによって、400nm～550nmとされている。前記MQW構造は、Inを含む量子井戸の数が3以下とされることが好ましい。

[0035] p型半導体層12は、その一部が除去されることによって、リッジストライプ20を形成している。より具体的には、p型コンタクト層19、p型AlGaNクラッド層18およびp型GaNガイド層17の一部がエッチング除去され、横断面視ほぼ台形形状（メサ形）のリッジストライプ20が形成されている。このリッジストライプ20は、c軸方向に沿って形成されている。

[0036] III族窒化物半導体積層構造2は、リッジストライプ20の長手方向両端における劈開により形成された一対の端面21，22（劈開面）を有している。この一対の端面21，22は、互いに平行であり、いずれもc軸に垂直である。こうして、n型GaNガイド層15、発光層10およびp型GaNガイド層17によって、端面21，22を共振器端面とするファブリペロー共振器が形成されている。すなわち、発光層10で発生した光は、共振器端面21，22の間を往復しながら、誘導放出によって増幅される。そして、増幅された光の一部が、共振器端面21，22からレーザ光として素子外に取り出される。

[0037] n側電極3は、たとえばAl金属からなり、p側電極4は、たとえば、Al金属、Pd／Au合金からなり、それぞれp型コンタクト層19および基板1にオーミック接続されている。p側電極4がリッジストライプ20の頂面（ストライプ状の接触領域）のp型GaNコンタクト層19だけに接触するように、n型GaNガイド層17およびp型AlGaNクラッド層18の露出面を覆う絶縁層6が設けられている。これにより、リッジストライプ20に電流を集中させることができるので、効率的なレーザ発振が可能になる。また、リッジストライプ20の表面は、p側電極4との接触部を除く領域が絶縁層6で覆われて保護されているので、横方向の光閉じ込めを緩やかにして制御を容易にすることができるとともに、側面からのリーク電流を防ぐことができる。絶縁層6は、屈折率が1よりも大きな絶縁材料、たとえば、SiO_2やZrO_2で構成することができる。

[0038] さらに、リッジストライプ20の頂面はm面となっていて、このm面にp側電極4が形成されている。そして、n側電極3が形成されている基板1の裏面もm面である。このように、p側電極4およびn側電極3のいずれもがm面に形成されているので、レーザの高

出力化や高温動作に十分に耐えられる信頼性を実現できる。

共振器端面21，22は、それぞれ絶縁膜23，24（図1では図示を省略した。）によって被覆されている。共振器端面21は、＋c軸側端面であり、共振器端面22は－c軸側端面である。すなわち、共振器端面21の結晶面は＋c面であり、共振器端面22の結晶面は－c面である。－c面側の絶縁膜24は、アルカリに溶けるなど化学的に弱い－c面を保護する保護膜として機能することができ、半導体レーザダイオード70の信頼性の向上に寄与する。

[0039] 図4に図解的に示すように、＋c面である共振器端面21を被覆するように形成された絶縁膜23は、たとえばZrO_2の単膜からなる。これに対し、－c面である共振器端面22に形成された絶縁膜24は、たとえばSiO_2膜とZrO_2膜とを交互に複数回（図4の例では5回）繰り返し積層した多重反射膜で構成されている。絶縁膜23を構成するZrO_2の単膜は、その厚さがλ／$2n_1$（ただし、λは発光層10の発光波長。n_1はZrO_2の屈折率）とされている。一方、絶縁膜24を構成する多重反射膜は、膜厚λ／$4n_2$（但しn_2はSiO_2の屈折率）のSiO_2膜と、膜厚λ／$4n_1$のZrO_2膜とを交互に積層した構造となっている。

[0040] このような構造により、＋c軸側端面21における反射率は小さく、－c軸側端面22における反射率が大きくなっている。より具体的には、たとえば、＋c軸側端面21の反射率は20％程度とされ、－c軸側端面22における反射率は99．5％程度（ほぼ100％）となる。したがって、＋c軸側端面21から、より大きなレーザ出力が出射されることになる。すなわち、この半導体レーザダイオード70では、＋c軸側端面21が、レーザ出射端面とされている。

[0041] このような構成によって、n側電極3およびp側電極4を電源に接続し、n型半導体層11およびp型半導体層12から電子および正孔を発光層10に注入することによって、この発光層10内で電子および正孔の再結合を生じさせ、波長400nm～550nmの光を発生させることができる。この光は、共振器端面21，22の間をガイド層15，17に沿って往復しながら、誘導放出によって増幅される。そして、レーザ出射端面である共振器端面21から、より多くのレーザ出力が外部に取り出されることになる。

[0042] 図5は、III族窒化物半導体の結晶構造のユニットセルを表した図解図である。III族

窒化物半導体の結晶構造は、六方晶系で近似することができ、一つのIII族原子に対して4つの窒素原子が結合している。4つの窒素原子は、III族原子を中央に配置した正四面体の4つの頂点に位置している。これらの4つの窒素原子は、一つの窒素原子がIII族原子に対して＋c軸方向に位置し、他の三つの窒素原子がIII族原子に対して－c軸側に位置している。このような構造のために、III族窒化物半導体では、分極方向がc軸に沿っている。

[0043] c軸は六角柱の軸方向に沿い、このc軸を法線とする面（六角柱の頂面）がc面（0001）である。c面に平行な2つの面でIII族窒化物半導体の結晶を劈開すると、＋c軸側の面（＋c面）はIII族原子が並んだ結晶面となり、－c軸側の面（－c面）は窒素原子が並んだ結晶面となる。そのため、c面は、＋c軸側と－c軸側とで異なる性質を示すので、極性面(Polar Plane)と呼ばれる。

[0044] ＋c面と－c面とは異なる結晶面であるので、それに応じて、異なる物性を示す。具体的には、＋c面は、アルカリに強いなどといった化学反応性に対する耐久性が高く、逆に、－c面は化学的に弱く、たとえば、アルカリに溶けてしまうことが分かっている。

一方、六角柱の側面がそれぞれm面（10-10）であり、隣り合わない一対の稜線を通る面がa面（11-20）である。これらは、c面に対して直角な結晶面であり、分極方向に対して直交しているため、極性のない平面、すなわち、非極性面(Nonpolar Plane)である。さらに、c面に対して傾斜している（平行でもなく直角でもない）結晶面は、分極方向に対して斜めに交差しているため、若干の極性のある平面、すなわち、半極性面(Semipolar Plane)である。半極性面の具体例は、（10-1-1）面、（10-1-3）面、（11-22）面などの面である。

[0045] T. Takeuchi et al., Jap. J. Appl. Phys. 39, 413-416, 2000に、c面に対する結晶面の偏角と当該結晶面の法線方向の分極との関係が示されている。この文献から、（11-24）面、（10-12）面なども分極の少ない結晶面であり、大きな偏光状態の光を取り出すために採用される可能性のある有力な結晶面であると言える。

たとえば、m面を主面とするGaN単結晶基板は、c面を主面としたGaN単結晶から切り出して作製することができる。切り出された基板のm面は、たとえば、化学的機械

的研磨処理によって研磨され、(0001)方向および(11－20)方向の両方に関する方位誤差が、±1° 以内(好ましくは±0．3° 以内)とされる。こうして、m面を主面とし、かつ、転位や積層欠陥といった結晶欠陥のないGaN単結晶基板が得られる。このようなGaN単結晶基板の表面には、原子レベルの段差が生じているにすぎない。

[0046] このようにして得られるGaN単結晶基板上に、有機金属気相成長法によって、半導体レーザダイオード構造を構成するIII族窒化物半導体積層構造2が成長させられる。

m面を主面とするGaN単結晶基板1上にm面を成長主面とするIII族窒化物半導体積層構造2を成長させてa面に沿う断面を電子顕微鏡(STEM:走査透過電子顕微鏡)で観察すると、III族窒化物半導体積層構造2には、転位の存在を表す条線が見られない。そして、表面状態を光学顕微鏡で観察すると、c軸方向への平坦性(最後部と最低部との高さの差)は10Å以下であることが分かる。このことは、発光層10、とくに量子井戸層のc軸方向への平坦性が10Å以下であることを意味し、発光スペクトルの半値幅を低くすることができる。

[0047] このように、無転位でかつ積層界面が平坦なm面III族窒化物半導体を成長させることができる。ただし、GaN単結晶基板1の主面のオフ角は±1° 以内(好ましくは±0．3° 以内)とすることが好ましく、たとえば、オフ角を2° としたm面GaN単結晶基板上にGaN半導体層を成長させると、GaN結晶がテラス状に成長し、オフ角を±1° 以内とした場合のような平坦な表面状態とすることができないおそれがある。

[0048] m面を主面としたGaN単結晶基板上に結晶成長させられるIII族窒化物半導体は、m面を成長主面として成長する。c面を主面として結晶成長した場合には、c軸方向の分極の影響で、発光層10での発光効率が悪くなるおそれがある。これに対して、非極性面であるm面を結晶成長主面とすれば、量子井戸層での分極が抑制され、発光効率が増加する。これにより、閾値の低下やスロープ効率の増加を実現できる。また、分極が少ないため、発光波長の電流依存性が抑制され、安定した発振波長を実現できる。

[0049] さらにまた、m面を主面とすることにより、c軸方向およびa軸方向に物性の異方性が生じる。加えて、Inを含む発光層10(活性層)には、格子歪みによる2軸性応力が生

じている。その結果、量子バンド構造が、c面を主面として結晶成長された活性層とは異なるものとなる。したがって、c面を成長主面とした活性層の場合とは異なる利得が得られ、レーザ特性が向上する。

[0050] また、m面を結晶成長の主面とすることにより、III族窒化物半導体結晶の成長を極めて安定に行うことができ、c面やa面を結晶成長主面とする場合よりも、結晶性を向上することができる。これにより、高性能のレーザダイオードの作製が可能になる。

発光層10は、m面を結晶成長主面として成長させられたIII族窒化物半導体からなるので、ここから発生する光は、a軸方向、すなわちm面に平行な方向に偏光しており、TEモードの場合、その進行方向はc軸方向である。いいかえると、a軸方向に偏光したa面内方向へ出射する光子の割合が多いので、レーザダイオードを作製する場合には、横方向の閉じ込めをしなくても、自ずとc軸方向に伝搬する光の割合が多い。したがって、半導体レーザダイオード70は、結晶成長主面が偏光方向に平行であり、かつ、ストライプ方向、すなわち導波路の方向が光の進行方向と平行に設定されている。これにより、TEモードの発振を容易に生じさせることができ、レーザ発振を生じさせるための閾値電流を低減することができる。

[0051] また、この実施形態では、基板1としてGaN単結晶基板を用いているので、III族窒化物半導体積層構造2は、欠陥の少ない高い結晶品質を有することができる。その結果、高性能のレーザダイオードを実現できる。

さらにまた、実質的に転位のないGaN単結晶基板上にIII族窒化物半導体積層構造を成長させることにより、このIII族窒化物半導体積層構造2は基板1の成長面(m面)からの積層欠陥や貫通転位が生じていない良好な結晶とすることができる。これにより、欠陥に起因する発光効率低下などの特性劣化を抑制することができる。

[0052] 図6は、III族窒化物半導体積層構造2を構成する各層を成長させるための処理装置の構成を説明するための図解図である。処理室30内に、ヒータ31を内蔵したサセプタ32が配置されている。サセプタ32は、回転軸33に結合されており、この回転軸33は、処理室30外に配置された回転駆動機構34によって回転されるようになっている。これにより、サセプタ32に処理対象のウエハ35を保持させることにより、処理室30内でウエハ35を所定温度に昇温することができ、かつ、回転させることができる。ウ

エハ35は、前述のGaN単結晶基板1を構成するGaN単結晶ウエハである。

[0053] 処理室30には、排気配管36が接続されている。排気配管36はロータリポンプ等の排気設備に接続されている。これにより、処理室30内の圧力は、1／10気圧～常圧とされ、処理室30内の雰囲気は常時排気されている。

一方、処理室30には、サセプタ32に保持されたウエハ35の表面に向けて原料ガスを供給するための原料ガス供給路40が導入されている。この原料ガス供給路40には、窒素原料ガスとしてのアンモニアを供給する窒素原料配管41と、ガリウム原料ガスとしてのトリメチルガリウム(TMG)を供給するガリウム原料配管42と、アルミニウム原料ガスとしてのトリメチルアルミニウム(TMAl)を供給するアルミニウム原料配管43と、インジウム原料ガスとしてのトリメチルインジウム(TMIn)を供給するインジウム原料配管44と、マグネシウム原料ガスとしてのエチルシクロペンタジエニルマグネシウム($EtCp_2Mg$)を供給するマグネシウム原料配管45と、シリコンの原料ガスとしてのシラン(SiH_4)を供給するシリコン原料配管46とが接続されている。これらの原料配管41～46には、それぞれバルブ51～56が介装されている。各原料ガスは、いずれも水素もしくは窒素またはこれらの両方からなるキャリヤガスとともに供給されるようになっている。

[0054] たとえば、m面を主面とするGaN単結晶ウエハをウエハ35としてサセプタ32に保持させる。この状態で、バルブ52～56は閉じておき、窒素原料バルブ51を開いて、処理室30内に、キャリヤガスおよびアンモニアガス(窒素原料ガス)が供給される。さらに、ヒータ31への通電が行われ、ウエハ温度が1000℃～1100℃(たとえば、1050℃)まで昇温される。これにより、表面の荒れを生じさせることなくGaN半導体を成長させることができるようになる。

[0055] ウエハ温度が1000℃～1100℃に達するまで待機した後、窒素原料バルブ51、ガリウム原料バルブ52およびシリコン原料バルブ56が開かれる。これにより、原料ガス供給路40から、キャリヤガスとともに、アンモニア、トリメチルガリウムおよびシランが供給される。その結果、ウエハ35の表面に、シリコンがドープされたGaN層からなるn型GaNコンタクト層13が成長する。

[0056] 次に、窒素原料バルブ51、ガリウム原料バルブ52およびシリコン原料バルブ56に

加えて、アルミニウム原料バルブ53が開かれる。これにより、原料ガス供給路40から、キャリヤガスとともに、アンモニア、トリメチルガリウム、シランおよびトリメチルアルミニウムが供給される。その結果、n型GaNコンタクト層13上に、n型AlGaNクラッド層14がエピタキシャル成長させられる。

[0057] 次いで、アルミニウム原料バルブ53を閉じ、窒素原料バルブ51、ガリウム原料バルブ52およびシリコン原料バルブ56を開く。これにより、原料ガス供給路40から、キャリヤガスとともに、アンモニア、トリメチルガリウムおよびシランが供給される。その結果、n型AlGaNクラッド層14上にn型ガイド層がエピタキシャル成長させられる。

[0058] 次に、シリコン原料バルブ56が閉じられ、多重量子井戸構造の発光層10(活性層)の成長が行われる。発光層10の成長は、窒素原料バルブ51、ガリウム原料バルブ52およびインジウム原料バルブ54を開いてアンモニア、トリメチルガリウムおよびトリメチルインジウムをウエハ35へと供給することによりInGaN層(量子井戸層)を成長させる工程と、インジウム原料バルブ54を閉じ、窒素原料バルブ51およびガリウム原料バルブ52を開いてアンモニアおよびトリメチルガリウムをウエハ35へと供給することにより、無添加のGaN層(バリア層)を成長させる工程とを交互に実行することによって行える。たとえば、GaN層を始めに形成し、その上にInGaN層を形成する。これを、たとえば、5回に渡って繰り返し行う。発光層10の形成時には、ウエハ35の温度は、たとえば、700℃～800℃(たとえば730℃)とされることが好ましい。このとき、成長圧力は700torr以上とすることが好ましく、これにより、耐熱性を向上することができる。

[0059] 次いで、p型電子ブロック層16が形成される。すなわち、窒素原料バルブ51、ガリウム原料バルブ52、アルミニウム原料バルブ53およびマグネシウム原料バルブ55が開かれ、他のバルブ54，56が閉じられる。これにより、ウエハ35に向けて、アンモニア、トリメチルガリウム、トリメチルアルミニウムおよびエチルシクロペンタジエニルマグネシウムが供給され、マグネシウムがドープされたAlGaN層からなるp型電子ブロック層16が形成されることになる。このp型電子ブロック層16の形成時には、ウエハ35の温度は、1000℃～1100℃(たとえば1000℃)とされることが好ましい。

[0060] 次に、アルミニウム原料バルブ53が閉じられ、窒素原料バルブ51、ガリウム原料バ

ルブ52およびマグネシウム原料バルブ55が開かれる。これにより、ウエハ35に向けて、アンモニア、トリメチルガリウムおよびエチルシクロペンタジエニルマグネシウムが供給され、マグネシウムがドープされたp型GaN層からなるガイド層17が形成されることになる。このp型GaNガイド層17の形成時には、ウエハ35の温度は、900℃～1100℃（たとえば1000℃）とされることが好ましい。

[0061] 次いで、再び、アルミニウム原料バルブ53が開かれる。すなわち、窒素原料バルブ51、ガリウム原料バルブ52、アルミニウム原料バルブ53およびマグネシウム原料バルブ55が開かれ、他のバルブ54，56が閉じられる。これにより、ウエハ35に向けて、アンモニア、トリメチルガリウム、トリメチルアルミニウムおよびエチルシクロペンタジエニルマグネシウムが供給され、マグネシウムがドープされてp型とされたAlGaN層からなるクラッド層18が形成されることになる。このp型AlGaNクラッド層18の形成時には、ウエハ35の温度は、900℃～1100℃（たとえば1000℃）とされることが好ましい。

[0062] 次に、p型コンタクト層19が形成される。すなわち、窒素原料バルブ51、ガリウム原料バルブ52およびマグネシウム原料バルブ55が開かれ、他のバルブ53，54，56が閉じられる。これにより、ウエハ35に向けて、アンモニア、トリメチルガリウムおよびエチルシクロペンタジエニルマグネシウムが供給され、マグネシウムがドープされたGaN層からなるp型GaNコンタクト層19が形成されることになる。p型GaNコンタクト層19の形成時には、ウエハ35の温度は、900℃～1100℃（たとえば1000℃）とされることが好ましい。

[0063] p型半導体層12を構成する各層は、1000℃以下の平均成長温度で結晶成長させられることが好ましい。これにより、発光層10への熱ダメージを低減できる。

ウエハ35（GaN単結晶基板1）上にIII族窒化物半導体積層構造2の構成層10，13～19を成長するのに際しては、いずれの層の成長の際も、処理室30内のウエハ35に供給されるガリウム原料（トリメチルガリウム）のモル分率に対する窒素原料（アンモニア）のモル分率の比であるV／III比は、1000以上（好ましくは3000以上）の高い値に維持される。より具体的には、n型クラッド層14から最上層のp型コンタクト層19までにおいて、V／III比の平均値が1000以上であることが好ましい。これにより、n型

クラッド層14、発光層10およびp型クラッド層18の全ての層において、点欠陥の少ない良好な結晶を得ることができる。

[0064] この実施形態では、上記のような高いV／III比を用い、かつ、GaN単結晶基板1とIII族窒化物半導体積層構造2との間にバッファ層を介在することなく、m面等を主面とするIII族窒化物半導体積層構造2が、無転位の状態で、かつ、平坦に成長する。このIII族窒化物半導体積層構造2は、GaN単結晶基板1の主面から生じる積層欠陥や貫通転位を有していない。

[0065] こうして、ウエハ35上にIII族窒化物半導体積層構造2が成長させられると、このウエハ35は、エッチング装置に移され、たとえばプラズマエッチング等のドライエッチングによって、p型半導体層12の一部を除去してリッジストライプ20が形成される。このリッジストライプ20は、c軸方向に平行になるように形成される。

リッジストライプ20の形成後には、絶縁層6が形成される。絶縁層6の形成は、たとえば、リフトオフ工程を用いて行われる。すなわち、ストライプ状のマスクを形成した後、p型AlGaNクラッド層18およびp型GaNコンタクト層19の全体を覆うように絶縁体薄膜を形成した後、この絶縁体薄膜をリフトオフしてp型GaNコンタクト層19を露出させるようにして、絶縁層6を形成できる。

[0066] 次いで、p型GaNコンタクト層19にオーミック接触するp側電極4が形成され、n型GaNコンタクト層13にオーミック接触するn側電極3が形成される。これらの電極3，4の形成は、たとえば、抵抗加熱または電子線ビームによる金属蒸着装置によって行うことができる。

次の工程は、個別素子への分割である。すなわち、ウエハ35をリッジストライプ20に平行な方向およびこれに垂直な方向に劈開して、半導体レーザダイオードを構成する個々の素子が切り出される。リッジストライプに平行な方向に関する劈開はa面に沿って行われる。また、リッジストライプ20に垂直な方向に関する劈開はc面に沿って行われる。こうして、＋c面からなる共振器端面21と、－c面からなる共振器端面22とが形成される。

[0067] 次に、共振器端面21，22に、それぞれ前述の絶縁膜23，24が形成される。この絶縁膜23，24の形成は、たとえば、電子サイクロトロン共鳴（ECR）成膜法によって行う

ことができる。

図7は、この発明の第2の実施形態に係る半導体レーザダイオードの構成を示す斜視図であり、図8は、図7の切断線IX－IXに沿う縦断面図である。これらの図7および図8において、前述の図1～図3に示された各部に相当する部分には、同一の参照符号を付して示す。

[0068] この実施形態の半導体レーザダイオード80では、リッジストライプ20がa軸方向に平行に形成されており、したがって、共振器端面21，22は、いずれもa面となっている。これらの共振器端面21，22も、劈開によって形成された劈開面である。

III族窒化物半導体積層構造2をエピタキシャル成長する際に生じる積層欠陥は、c面に平行に発生する。そのため、前述の第1の実施形態の構成では、積層欠陥と導波路とが交差することになる。これに対して、この実施形態では、ストライプ方向をa軸に平行にしてあり、したがって、導波路はa軸と平行になっている。そして、a軸はc面と平行であるので、c面と平行に発生する積層欠陥が導波路と交差することがなくなる。これによって、積層欠陥による光導波の妨害やリーク電流の増加を回避することができる。

[0069] 図9は、この発明の第3の実施形態に係る半導体レーザダイオードの構成を説明するための斜視図である。この図9において、前述の図1に示された各部に相当する部分には、同一の参照符号を付して示す。

この実施形態の半導体レーザダイオード90では、III族窒化物半導体積層構造2は、基板1とn型GaNコンタクト層13との間に、2軸性応力を含むInを含む層、すなわちn型InGaN層26（たとえば、0．1μm厚。n型不純物濃度は$1\times10^{18}cm^{-3}$）が介在されている。このn型InGaN層26を設けることにより、その2軸性応力によって、III族窒化物半導体積層構造2にc面と平行なクラックが生じることを抑制することができる。

[0070] 基板1をm面を主面とするGaN単結晶基板1とし、この上にIII族窒化物半導体積層構造2を成長させると、その成長主面はm面となり、むろん、n型InGaN層26もm面を成長主面として成長する。これにより、n型InGaN層26は、2軸性応力を有することになる。

図10は、この発明の第4の実施形態に係る半導体レーザダイオードの構成を説明

するための図解的な斜視図である。この図10において、前述の図1に示された各部に対応する部分には、同一の参照符号を付して示す。

[0071] この実施形態の半導体レーザダイオード100では、p型半導体層12はリッジ形状に整形されておらず、平坦な上面を有している。このp型半導体層12の平坦な上面に、幅方向(a軸方向)のほぼ中央に、c軸方向に沿うストライプ状(直線状)のp側電極4が形成されている。したがって、このp側電極4は、c軸方向に沿うストライプ状の接触領域4aでp型半導体層12の表面(m面)に接触している。そして、ストライプ状の接触領域4aのストライプの方向(c軸方向)に垂直に一対の共振器端面21(22)が形成されている。p型電極4のストライプ幅は、たとえば、1～100μmとされる。

[0072] 前述のとおり、a軸方向へ偏光した(つまり、a面内へ出射される)光子の割合が多いので、III族窒化物半導体積層構造2の結晶成長主面をm面としていることによりレーザ発振効率が高められている。そのため、p型半導体層12をリッジ形状に整形しなくとも、p側電極4とp型半導体層12の接触領域4aをストライプ状として電流狭窄を行うことにより、レーザ発振が可能である。したがって、図10の構造を採用することにより、半導体レーザダイオードの製造工程を簡単にすることができ、量産性に優れた半導体レーザダイオードを提供することができる。

[0073] 図11は、この発明の第5の実施形態に係る半導体レーザダイオードの構成を説明するための図解的な斜視図である。この図11において、前述の図10に示された各部に対応する部分には同一の参照符号を付して示す。

この半導体レーザダイオード110は、前述の第4の実施形態の場合と同じく、p型半導体層12がリッジ形状に整形されておらず、平坦な上面を有している。このp型半導体層12の平坦な上面は、絶縁膜6によって覆われている。この絶縁膜6は、幅方向(a軸方向)のほぼ中央に、c軸方向に沿うストライプ状(直線状)の開口部6aを有している。p側電極4は、開口部6a内および絶縁膜6上の領域に渡って形成されており、開口部6a内のストライプ状の接触領域4aにおいてp型半導体層12の表面(m面)に接触している。そして、ストライプ状の接触領域4aのストライプの方向(c軸方向)に垂直に一対の共振器端面21(22)が形成されている。開口部6aのストライプ幅(すなわち、接触領域4aのストライプ幅)は、たとえば、1～100μmとされる。

[0074] この構成により、絶縁膜6により、p側電極4とp型半導体層12との接触領域4aをストライプ状に制限して電流狭窄を行うことができるので、前記第4の実施形態の場合と同じく、レーザ発振を行わせることができる。それればかりでなく、p側電極4の全体の面積が大きくなるので、外部回路などとの配線接続が容易である。また、p側電極4をストライプ状に整形しなくてもよいので、製造工程が簡単であり、量産性に優れている。

[0075] この半導体レーザダイオード110の製造に際しては、ウエハ上にIII族窒化物半導体積層構造2を成長させた後、このウエハの表面(正確にはIII族窒化物半導体積層構造2の表面)に絶縁層6が形成される。絶縁層6の形成は、たとえば、リフトオフ工程を用いて行われる。すなわち、ストライプ状のマスクを形成した後、ウエハの全体を覆うように絶縁体薄膜を形成した後、この絶縁体薄膜をリフトオフしてp型GaNコンタクト層19を露出させるようにして、ストライプ状開口部6aを有する絶縁層6を形成できる。

[0076] 以上、この発明の5つの実施形態について説明したが、この発明はさらに他の形態で実施することもできる。たとえば、図12に示すように、III族窒化物半導体積層構造2のp型半導体層12に複数のリッジストライプ20をc軸方向に沿って平行に形成して、各リッジストライプ20の部分でレーザ発振を同時に起こさせるようにしてもよい。図12の例では、p側電極4は、複数のリッジストライプ20に対して共通になっているが、個々のリッジストライプ20に対して個別に電極4を設けて、個々のリッジストライプ20の部分でレーザ発振を個別に行えるようにしてもよい。

[0077] 同様に、図13に示すように、図10の実施形態を変形して、p型半導体層12の平坦な上面(m面)に複数本のストライプ状p側電極4をc軸方向に沿って平行に形成して、ストライプ状p側電極4の部分でレーザ発振を同時に、または個別に起こさせることができるようにしてもよい。

図14に示すように、図11の実施形態についても同様の変形が可能であり、絶縁層6に複数本のストライプ状開口部6aをc軸方向に沿って平行に形成してもよい。これにより、p側電極4は、複数本のストライプ状接触領域4aでp側半導体層12に接触することになり、各接触領域4aの部分でレーザ発振を同時に起こさせることができる。

[0078] また、図9～図14の構成において、ストライプ構造(リッジストライプ20または接触領

域4aの方向）の方向を、前記第2の実施形態（図7）のようにとることもできる。

さらにまた、III族窒化物半導体積層構造2を構成する各層の層厚や不純物濃度等は一例であり、適宜適切な値を選択して用いることができる。また、クラッド層14，18は、AlGaNの単層である必要はなく、AlGaN感層とGaN層とで構成された超格子によりクラッド層を構成することもできる。

[0079] また、III族窒化物半導体積層構造2を形成した後にレーザリフトオフなどで基板1を除去し、基板1のない半導体レーザダイオードとすることもできる。

本発明の実施形態について詳細に説明してきたが、これらは本発明の技術的内容を明らかにするために用いられた具体例に過ぎず、本発明はこれらの具体例に限定して解釈されるべきではなく、本発明の精神および範囲は添付の請求の範囲によってのみ限定される。

[0080] この出願は、2007年1月30日、2007年2月16日および2007年2月20日にそれぞれ日本国特許庁に提出された特願2007－19914号、特願2007－37147号および特願2007－40074号に対応しており、これらの出願の全開示はここに引用により組み込まれるものとする。

請求の範囲

[1] m面を結晶成長の主面とするIII族窒化物半導体からなり、m軸方向に、n型クラッド層、発光層、およびp型クラッド層を積層したIII族窒化物半導体積層構造を備えた、半導体レーザダイオード。

[2] 前記III族窒化物半導体が、m面を結晶成長のための成長面とするGaN単結晶基板上に結晶成長させたものである、請求項1記載の半導体レーザダイオード。

[3] 前記GaN単結晶基板の主面のオフ角は±1°以内である、請求項2記載の半導体レーザダイオード。

[4] 前記III族窒化物半導体積層構造は、前記GaN基板の成長面より生じた積層欠陥または貫通転位を含まない、請求項2または3記載の半導体レーザダイオード。

[5] 前記III族窒化物半導体積層構造は、前記p型クラッド層を含むp型半導体層を備え、

前記半導体レーザダイオードは、所定方向に沿って形成され、前記p型半導体層にストライプ状の接触領域で接触したp側電極をさらに備え、

前記接触領域のストライプの方向に垂直に一対の共振器端面が形成されている、請求項1～4のいずれか一項に記載の半導体レーザダイオード。

[6] 前記ストライプ状の接触領域を除く前記p型半導体層の表面が、絶縁膜で保護されている、請求項5記載の半導体レーザダイオード。

[7] 前記III族窒化物半導体積層構造は、前記p型クラッド層を含むp型半導体層を備え、このp型半導体層の一部が除去されて、所定方向に沿ったストライプが形成されており、このストライプの方向に垂直に一対の共振器端面が形成されている、請求項1～4のいずれか一項に記載の半導体レーザダイオード。

[8] 前記ストライプがリッジ形状に形成されており、

前記ストライプとp側電極との接触部を除く当該ストライプの表面が、絶縁膜で保護されている、請求項7に記載の半導体レーザダイオード。

[9] 前記ストライプの方向がc軸方向であり、前記一対の共振器端面が＋c面および－c面である、請求項5～8のいずれか一項に記載の半導体レーザダイオード。

[10] 前記－c面の共振器端面が、絶縁膜からなる保護膜によって被覆されている、請求

項9記載の半導体レーザダイオード。

[11] 前記発光層が量子井戸構造からなり、

前記量子井戸構造を構成する量子井戸のc軸方向への平坦性が、10Å以下である、請求項9または10記載の半導体レーザダイオード。

[12] 前記ストライプの方向がa軸方向であり、前記一対の共振器端面がa面である、請求項5～8のいずれか一項に記載の半導体レーザダイオード。

[13] 前記共振器端面は、劈開面である、請求項5～12のいずれか一項に記載の半導体レーザダイオード。

[14] 前記p型半導体層への接触領域を複数個備えた、請求項5～13のいずれか一項に記載の半導体レーザダイオード。

[15] 前記p型半導体層のm面にp側電極が形成されており、

前記III族窒化物半導体積層構造が導電性基板の一主面に成長させられており、この導電性基板の他の主面がm面であり、当該他の主面にn側電極が形成されている、請求項5～14のいずれか一項に記載の半導体レーザダイオード。

[16] 前記III族窒化物半導体積層構造は、前記n型クラッド層と当該III族窒化物半導体積層構造を担持する基板との間に、2軸性応力を有するInを含む層を備えている、請求項1～15のいずれか一項に記載の半導体レーザダイオード。

[17] 前記III族窒化物半導体積層構造は、III族元素原料に対する窒素原料の割合であるV／III比が1000以上の条件で少なくとも一部が成長され、前記n型クラッド層を含むn型半導体層を備えている、請求項1～16のいずれか一項に記載の半導体レーザダイオード。

[18] 前記クラッド層は、Alを含み、層厚が1．5μm以下である、請求項1～17のいずれか一項に記載の半導体レーザダイオード。

[19] 前記III族窒化物半導体積層構造は、III族元素原料に対する窒素原料の割合であるV／III比について、n型クラッド層から最上層のp型コンタクト層までの平均値が1000以上である、請求項1～18のいずれか一項に記載の半導体レーザダイオード。

[20] 前記発光層は、Inを5%以上含むInGaAlNからなり、この発光層から発生する光子の波長が400nm～550nmである、請求項1～19のいずれか一項に記載の半導

体レーザダイオード。

[21] 前記発光層は、Inを含む量子井戸の数が3以下である多重量子井戸構造を有し、

前記III族窒化物半導体積層構造は、前記発光層を挟んで配置された一対のガイド層を含み、

前記n型クラッド層は、前記一対のガイド層の一方を前記発光層との間に挟むように配置され、当該ガイド層よりもバンドギャップが広い少なくともAlを含むクラッド層であり、

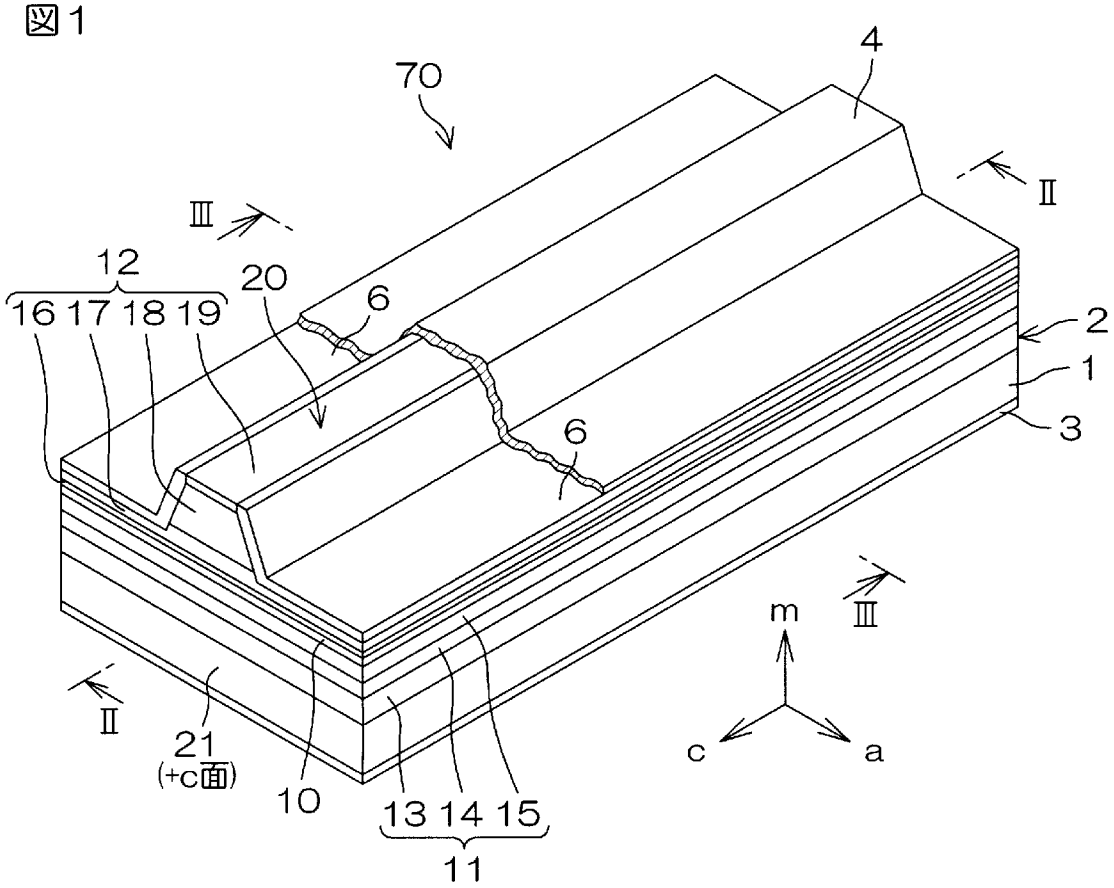
前記p型クラッド層は、前記一対のガイド層の他方を前記発光層との間に挟むように配置され、当該ガイド層よりもバンドギャップが広い少なくともAlを含むクラッド層である、請求項1～20のいずれか一項に記載の半導体レーザダイオード。

[22] 前記発光層は、700torr以上の成長圧力で結晶成長されたものである、請求項1～21のいずれか一項に記載の半導体レーザダイオード。

[23] 前記III族窒化物半導体積層構造は、1000℃以下の平均成長温度で結晶成長されたp型半導体層を含む、請求項1～22のいずれか一項に記載の半導体レーザダイオード。

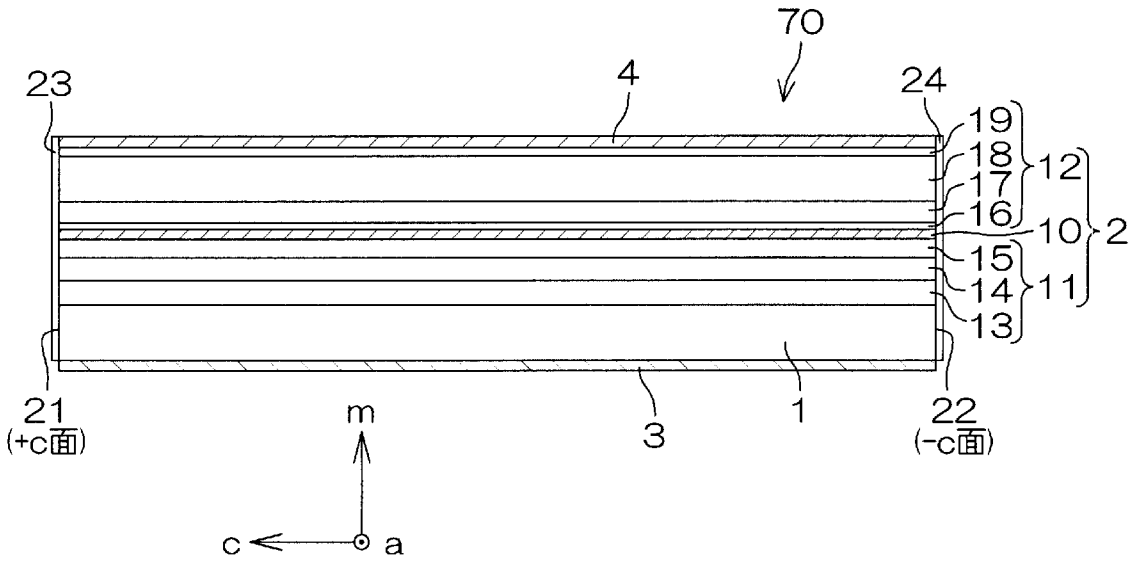
[図1]

図1


70
4
Ⅲ
Ⅱ
12
16 17 18 19
20
6
6
2
1
3
Ⅲ
m
c
a
Ⅱ
21
(+c面)
10
13 14 15
11

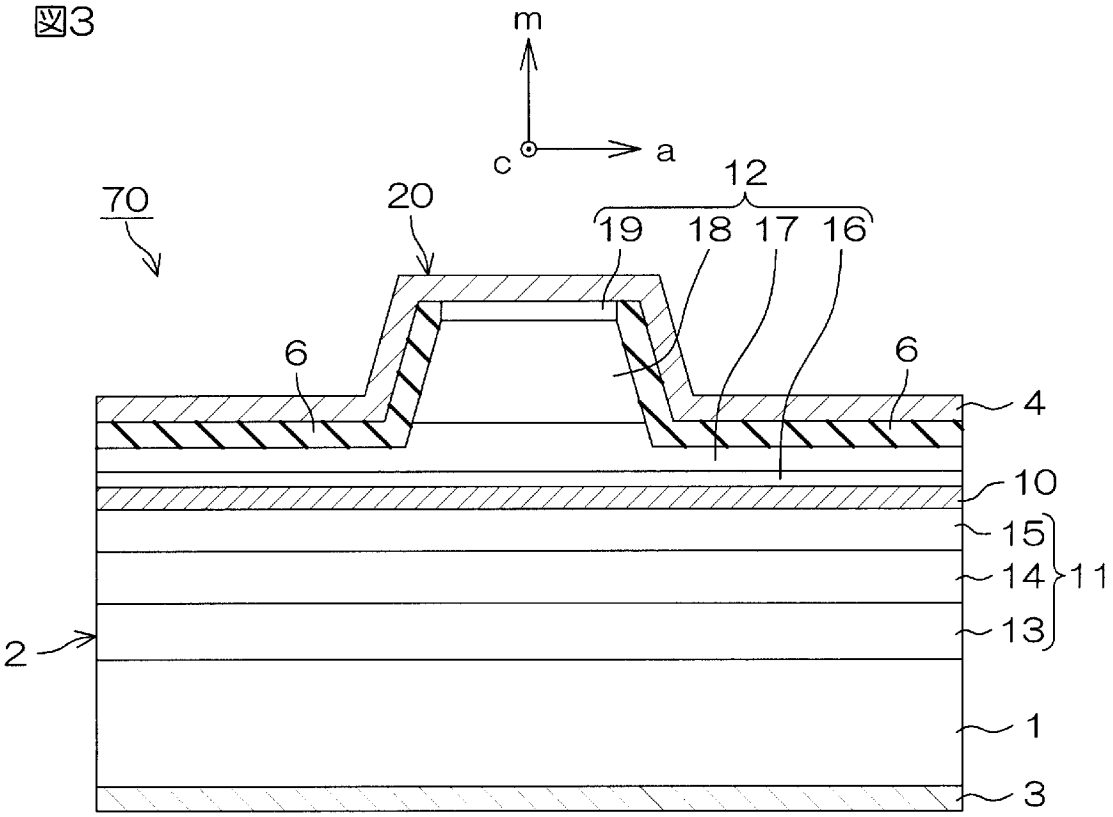
[図2]

図2


70
23
4
24
19
18
17
16
12
10
2
15
14
13
11
21
(+c面)
m
3
1
22
(-c面)
c
a

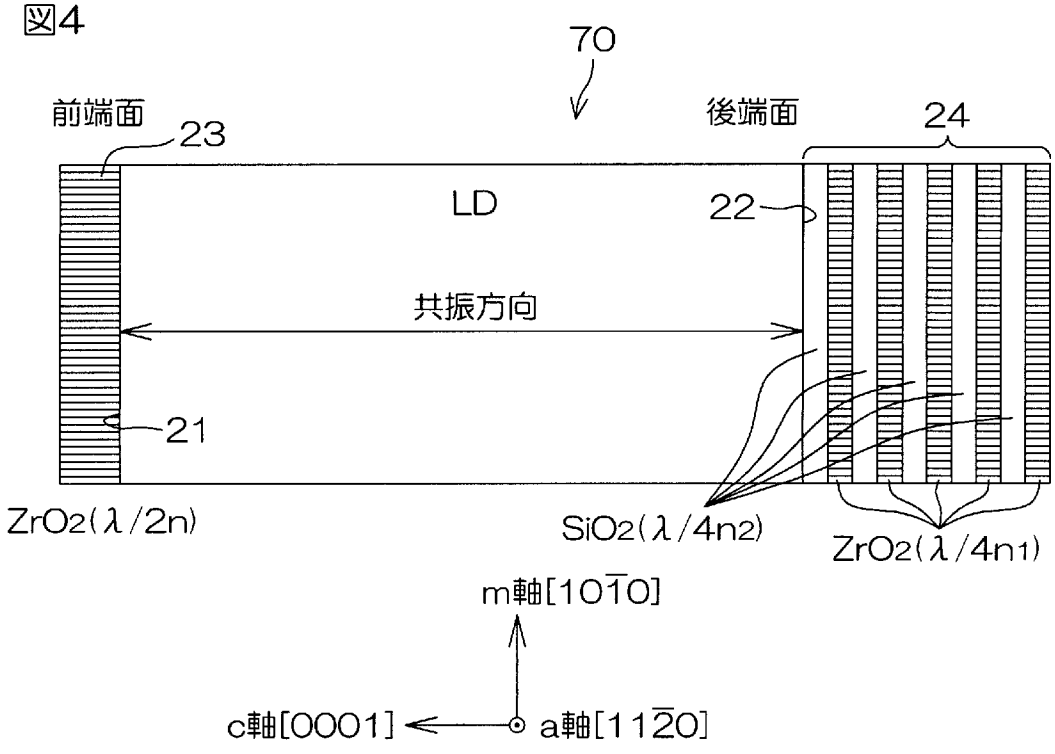
[図3]

図3


m
c
a
70
20
12
19
18
17
16
6
6
4
10
15
14
11
13
2
1
3

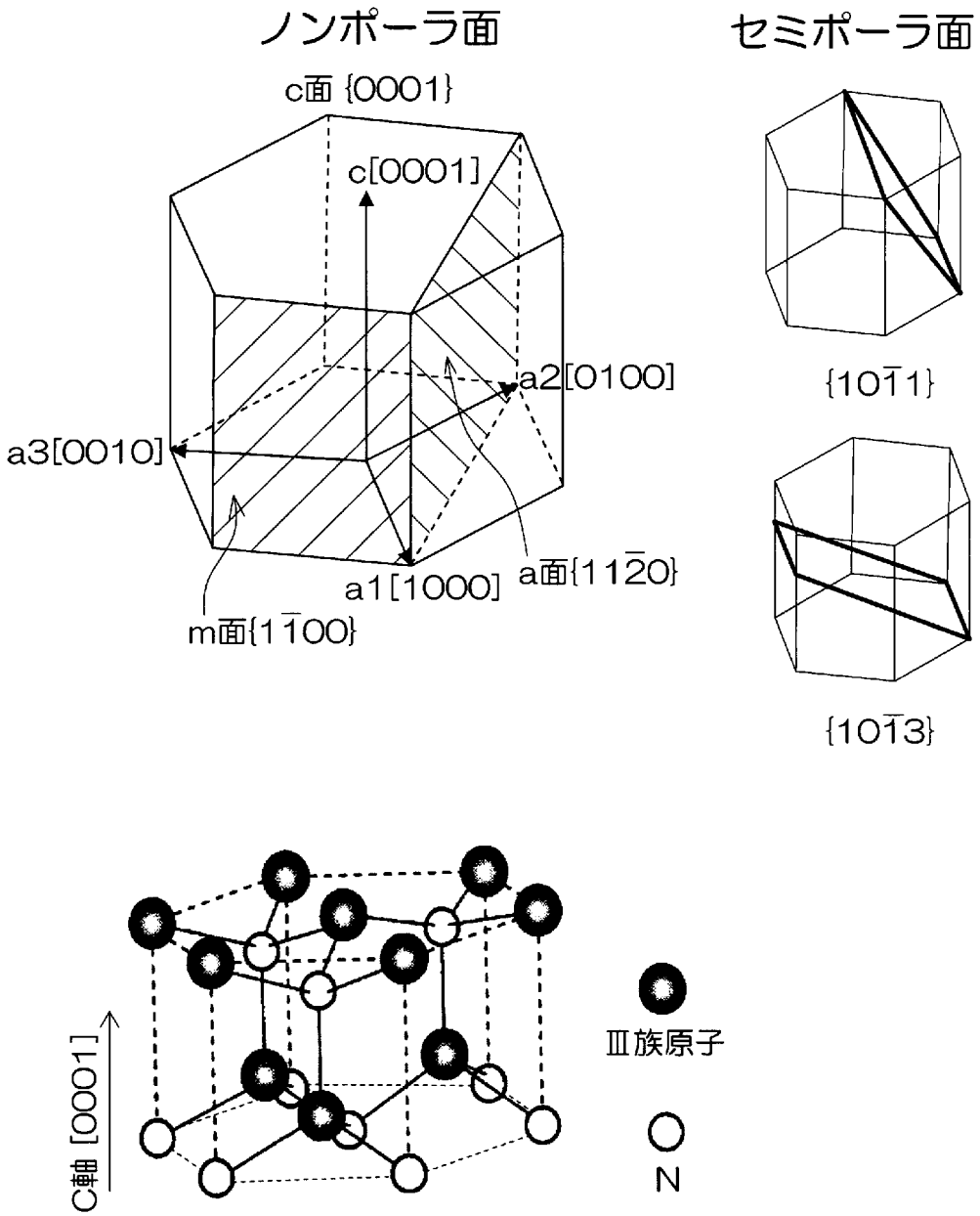
[図4]

図4


70
前端面
23
後端面
24
LD
22
共振方向
21
ZrO2(λ/2n)
SiO2(λ/4n2)
ZrO2(λ/4n1)
m軸[10$\bar{1}$0]
c軸[0001]
a軸[11$\bar{2}$0]

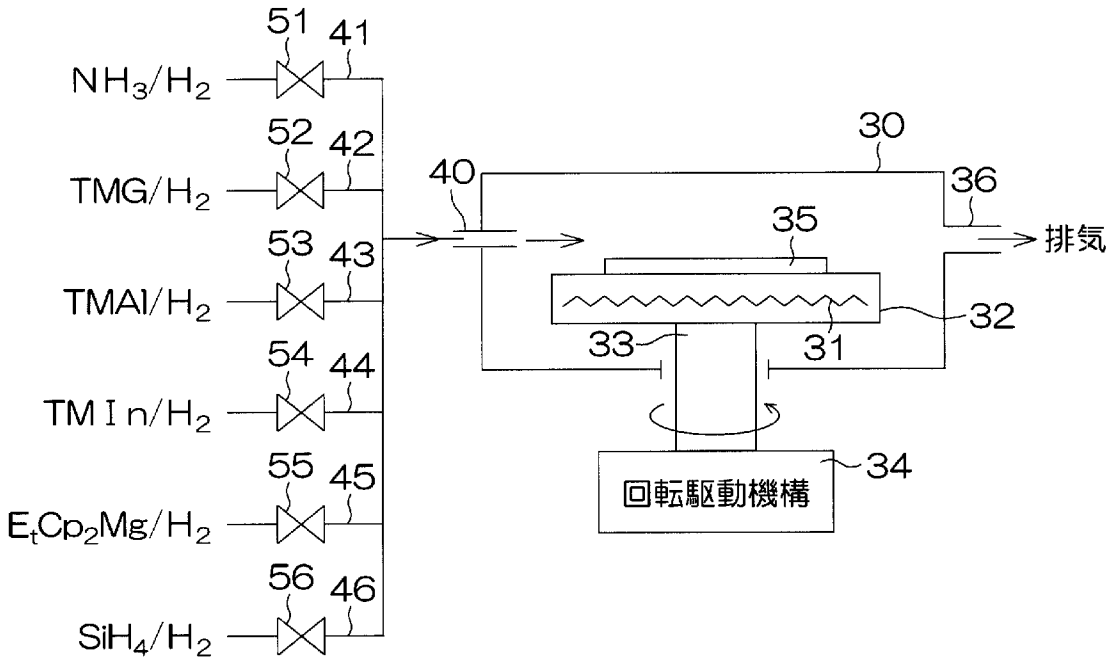
[図5]

図5


ノンポーラ面
セミポーラ面
c面 {0001}
c[0001]
a2[0100]
a3[0010]
a1[1000]
a面{11$\bar{2}$0}
m面{1$\bar{1}$00}
{10$\bar{1}$1}
{10$\bar{1}$3}
C軸 [0001]
Ⅲ族原子
N

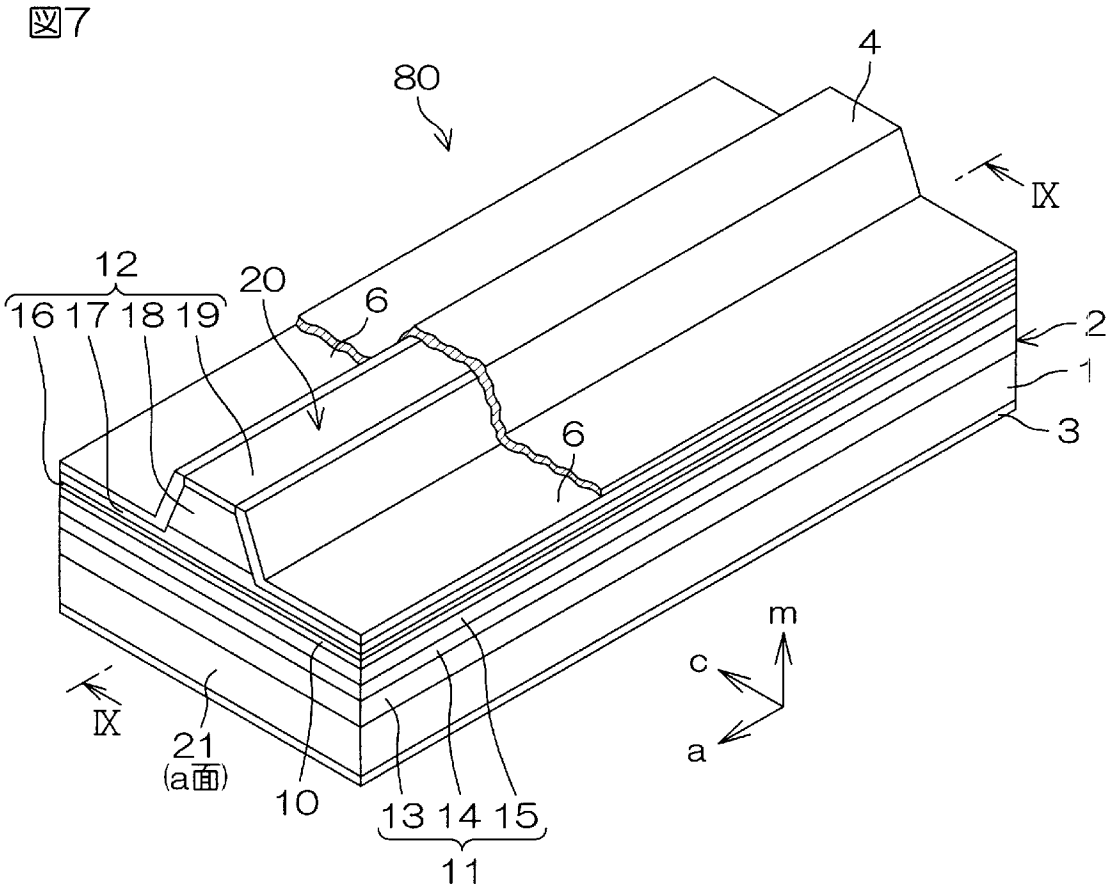
[図6]

図6


51
41
NH_3/H_2
52
42
TMG/H_2
53
43
$TMAl/H_2$
54
44
$TMIn/H_2$
55
45
E_tCp_2Mg/H_2
56
46
SiH_4/H_2
40
30
36
35
排気
32
33
31
34
回転駆動機構

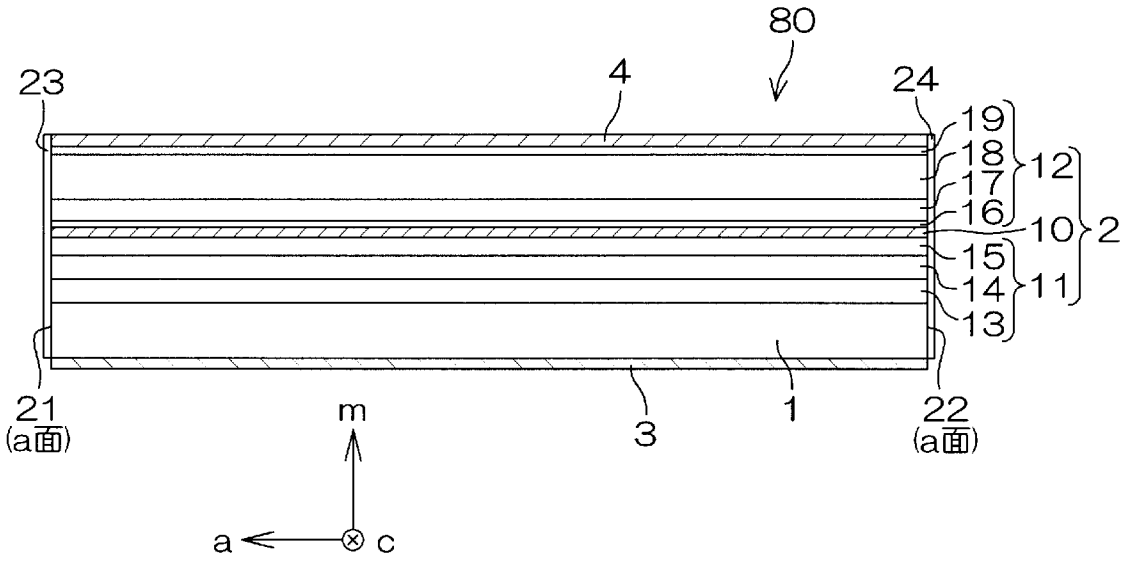
[図7]

図7


80
4
IX
12
16 17 18 19
20
6
2
1
3
6
m
c
a
IX
21
(a面)
10
13 14 15
11

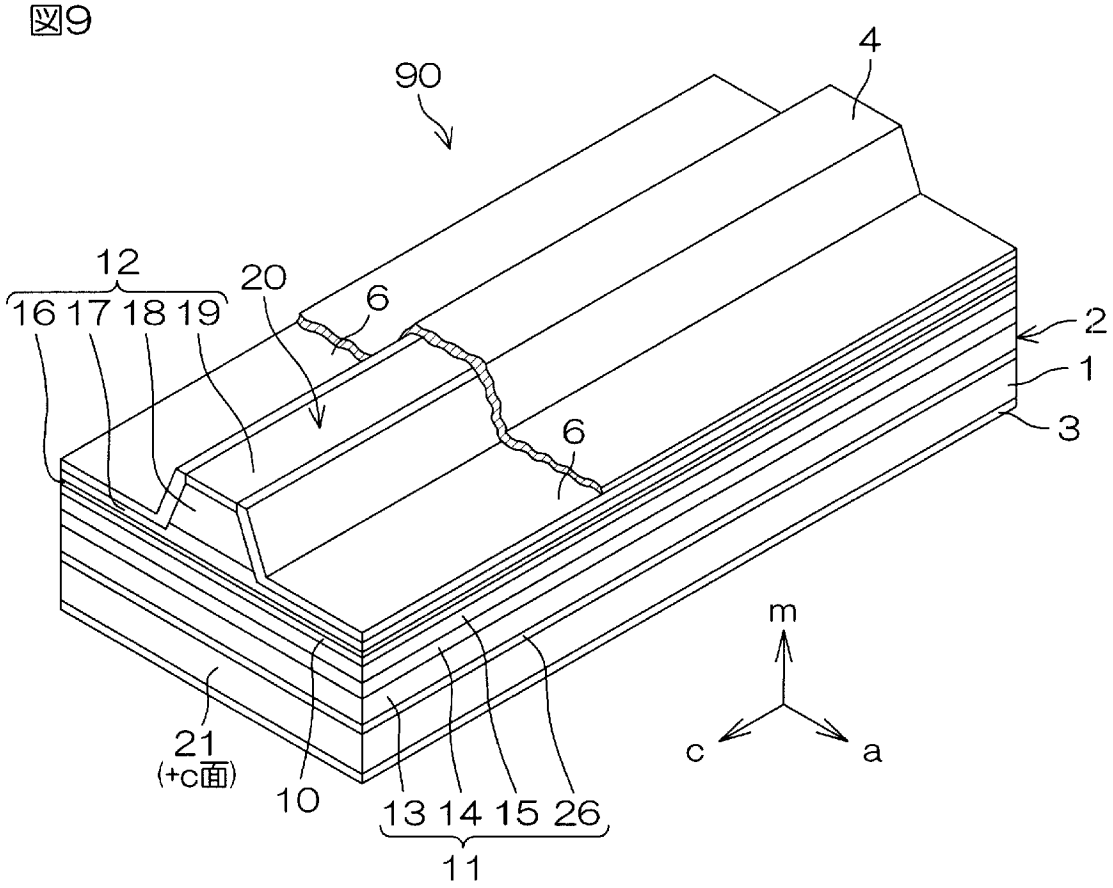
[図8]

図8


80
23
4
24
19
18
17
16
12
10
2
15
14
13
11
21
(a面)
m
3
1
22
(a面)
a
c

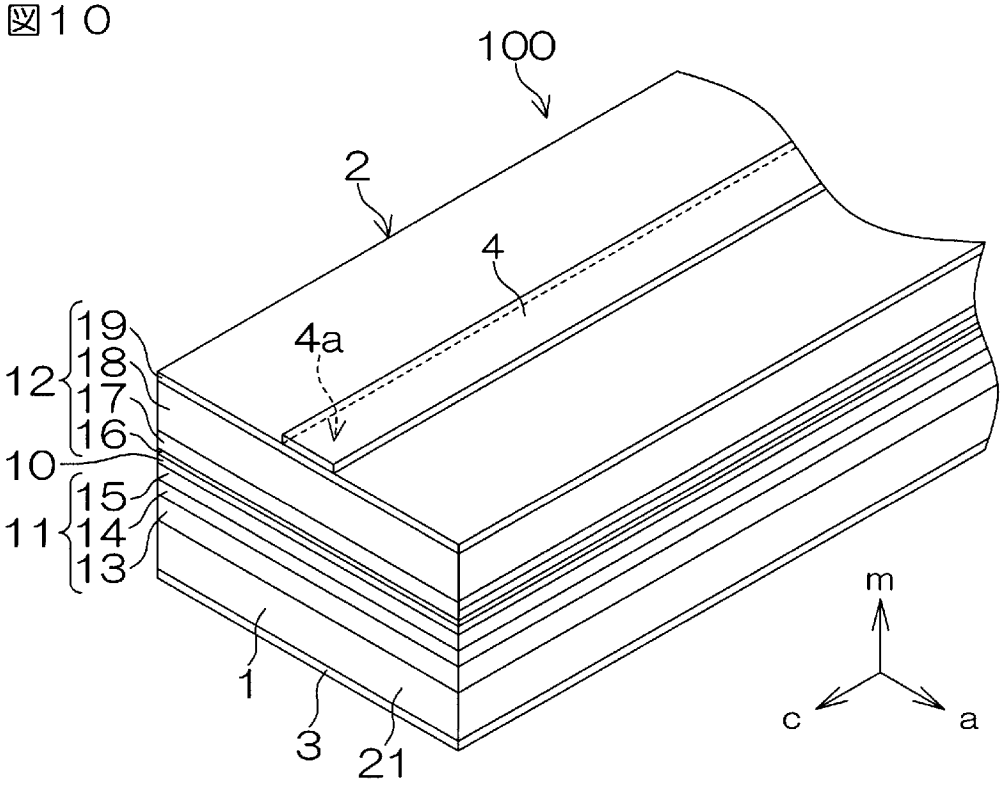
[図9]

図9


90
4
12
16 17 18 19
20
6
2
1
3
6
m
c
a
21
(+c面)
10
13 14 15 26
11

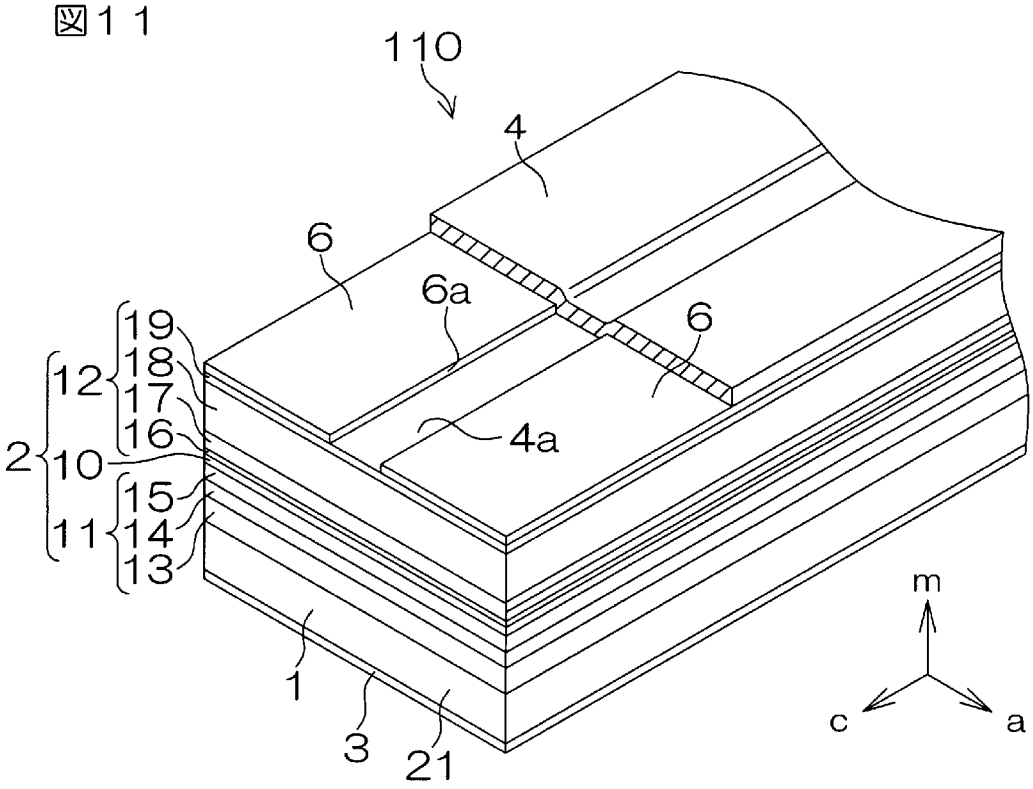
[図10]

図１０



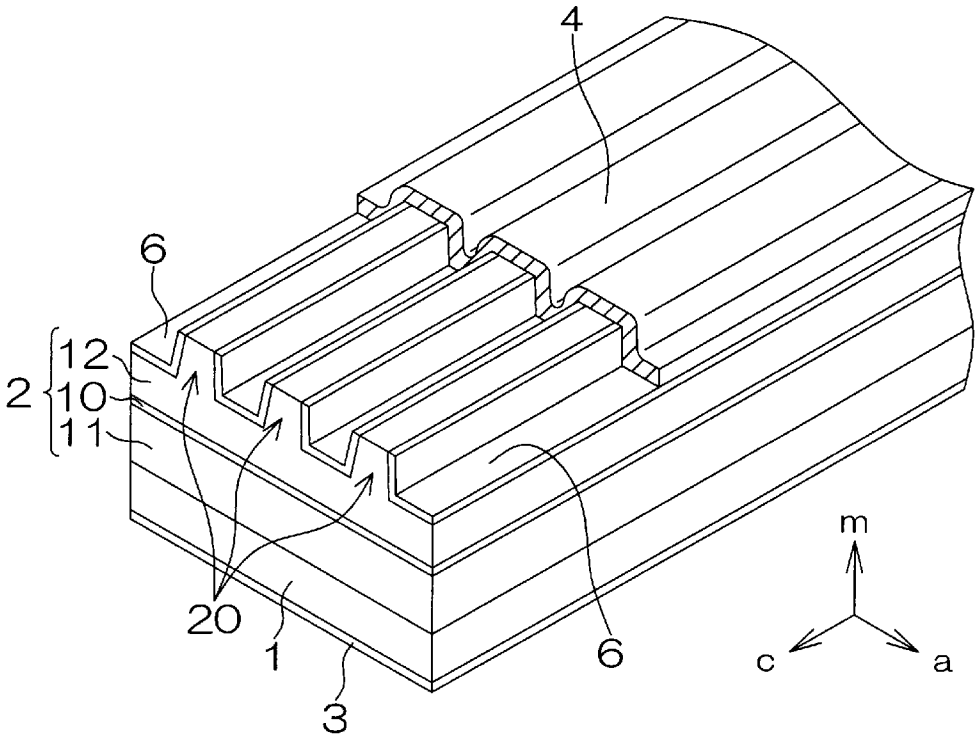
[図11]

図１１



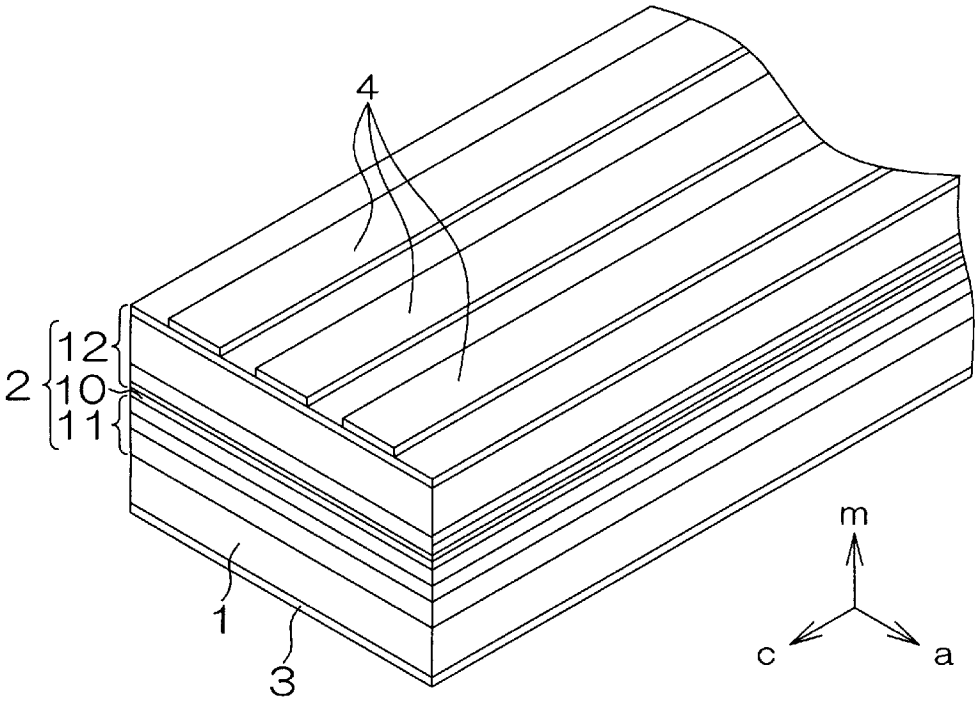
[図12]

図１２



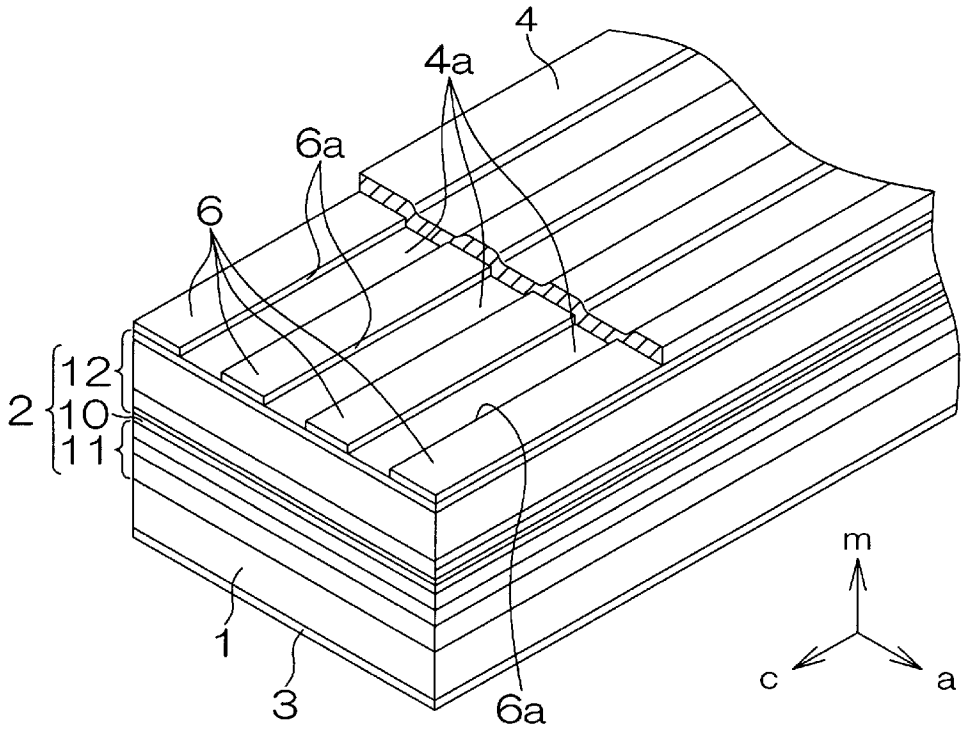
[図13]

図１３



[図14]

図１４



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2008/050849

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01S5/323(2006.01)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)
H01S5/323

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 1996-2008
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2008 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2008

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	WO 2005/112123 A2 (THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA), 06 May, 2005 (06.05.05), Page 11, line 24 to page 12, line 16; page 13, lines 10 to 21; Claims & US 2005/0214992 A1 & EP 1787330 A2	1-3,5,7,13, 20,22,23 4
Y	JP 2002-029897 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 29 January, 2002 (29.01.02), Claims; Par. Nos. [0001], [0006], [0058], [0065], [0066], [0092] & EP 1172464 A1 & US 2002/0028564 A1	4

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ 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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"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)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"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
"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
"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
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
20 May, 2008 (20.05.08)	03 June, 2008 (03.06.08)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2008/050849

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:
See the extra sheets.

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:
1-5, 7, 13, 20, 22, 23

Remark on Protest

the

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, payment of a protest fee.

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.

☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet(2)

The international search has revealed that the inventions of claims 1-3, 5, 7, 13, 20 ,22, 23 are not novel since they are disclosed in document WO 2005/112123 A2 (THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA), 06 May, 2005 (06.05.05), from line 24, page 11 to line 16, page 12, from line 10 to line 21, page 13.

In consequence, the inventions of claims 1-3, 5, 7, 13, 22, 23 do not involve any special technical feature.

Therefore, the inventions of claims 1-23 do not satisfy the requirement of unity of invention, and the claims defines the following inventions.

(1) Claim 4

A semiconductor laser diode in which the group III nitride semiconductor multilayer structure does not include any stacking fault nor threading dislocation caused from the growth face of a GaN substrate.

(2) Claims 6, 8

A semiconductor laser diode in which the surface of a p-type semiconductor layer except for the stripe contact region is protected with an insulating film.

(3) Claims 9-11

A semiconductor laser diode in which the direction of the stripes is the c-axis direction and a pair of end surfaces of a resonator are the +c-face and -c-face.

(4) Claim 12

A semiconductor laser diode in which the direction of the stripes is the a-axis and a pair of end surfaces of a resonator are the a-faces.

(5) Claim 14

A semiconductor laser diode having contact regions in contact with a p-type semiconductor layer.

(6) Claim 15

A semiconductor laser diode in which a p-side electrode is formed on the m-face of a p-type semiconductor layer, a group III nitride semiconductor multilayer structure is grown on one major surface of a conductive substrate, the other major surface of the conductive substrate is the m-face, and an n-side electrode is formed on the other major surface.

(7) Claim 16

A semiconductor laser diode in which a group III nitride semiconductor multilayer structure has a layer containing In having a biaxial stress between an n-type clad layer and the substrate on which the group III nitride semiconductor multilayer structure is supported.

(8) Claim 17

A semiconductor laser diode having a group III nitride semiconductor multilayer structure which comprises an n-type semiconductor layer at least a part of which is grown under the condition that the V/III ratio which is the proportion of the nitrogen material to the group III element material is 1000 or more and which includes an n-type clad layer.

(9) Claim 18

A semiconductor laser diode in which the clad layer contains Al, and the thickness thereof is 1.5 μm or less.

(10) Claim 19

A semiconductor laser diode in which the average value of the V/III ratios each of which is the proportion of the nitrogen material to the group III element material of the layers from the n-type clad layer to the uppermost p-type contact layer of the group III nitride semiconductor multilayer structure is 1000 or more.

(11) Claim 21

A semiconductor laser diode in which the light-emitting layer has a multiple quantum well structure (Continued to the next extra sheet.)

having three or less quantum wells containing In, the group III nitride semiconductor multilayer structure includes a pair of guide layers formed on both sides of the light-emitting layer, the n-type clad layer is so formed that this n-type clad layer and the light-emitting layer sandwich one of the paired guide layers, the n-type clad layer has a band gap wider than that of the guide layers and contains at least Al, the p-type clad layer is so formed that this p-type clad layer and the light-emitting layer sandwich the other of the paired guide layers, and the p-type clad layer has a band gap wider than that of the guide layers and contains at least Al.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２００８／０５０８４９

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01S5/323(2006.01)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.　H01S5/323

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

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２００８年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２００８年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２００８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	関連する請求の範囲の番号
X	WO 2005/112123 A2 (THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA) 2005.05.06, 第１１頁第２４行から第１２頁第１６行、、第１３頁第１０行から第２１行、請求の範囲 & US 2005/0214992 A1 & EP 1787330 A2	１－３，５，７，１３，２０，２２，２３
Y		４
Y	JP 2002-029897 A (住友電気工業株式会社) 2002.01.29, 特許請求の範囲、【０００１】、【０００６】、【００５８】、【００６５】、【００６６】、【００９２】 & EP 1172464 A1 & US 2002/0028564 A1	４

☐　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☐　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

「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「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

「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）

「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献

「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

「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

「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

「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
２０．０５．２００８	０３．０６．２００８

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　２Ｋ　９６０９
橿本　英吾
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２５５

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２００８／０５０８４９

第Ⅱ欄　請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第１ページの２の続き）

法第8条第3項（ＰＣＴ17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

１．☐ 請求の範囲＿＿＿＿＿＿＿＿ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、

２．☐ 請求の範囲＿＿＿＿＿＿＿＿ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、

３．☐ 請求の範囲＿＿＿＿＿＿＿＿ は、従属請求の範囲であってＰＣＴ規則6.4(a)の第２文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄　発明の単一性が欠如しているときの意見（第１ページの３の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

続葉参照

１．☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。

２．☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。

３．☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。

４．☑ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

請求の範囲 1-5, 7, 13, 20, 22, 23

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。

☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。

☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。

第III欄
　請求の範囲１－３，５，７，１３，２０，２２，２３に係る発明については、調査の結果、文献 WO 2005/112123 A2 (THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA) 2005.05.06, 第１１頁第２４行から第１２頁第１６行、第１３頁第１０行から第２１行、請求の範囲に開示されているから、新規でないことが明らかになった。
　結果として、請求の範囲１－３，５，７，１３，２２，２３は特別な技術的特徴ではない。
　したがって、請求の範囲１－２３は、発明の単一性の要件を満たしていないことは明らかであり、下記の発明を含む。
（１）請求の範囲４
　III族窒化物半導体積層構造は、ＧａＮ基板の成長面より生じた積層欠陥または貫通転位を含まない半導体レーザダイオード。
（２）請求の範囲６，８
　ストライプ状の接触領域を除くｐ型半導体層の表面が、絶縁膜で保護されている半導体レーザダイオード
（３）請求の範囲９－１１
　ストライプの方向がｃ軸方向であり、一対の共振器端面が＋ｃ面および−ｃ面である半導体レーザダイオード
（４）請求の範囲１２
　ストライプの方向がａ軸方向であり、前記一対の共振器端面がａ面である半導体レーザダイオード
（５）請求の範囲１４
　ｐ型半導体層への接触領域を複数個備えた半導体レーザダイオード
（６）請求の範囲１５
　ｐ型半導体層のｍ面にｐ側電極が形成されており、III族窒化物半導体積層構造が導電性基板の一主面に成長させられており、この導電性基板の他の主面がｍ面であり、当該他の主面にｎ側電極が形成されている半導体レーザダイオード
（７）請求の範囲１６
　III族窒化物半導体積層構造は、ｎ型クラッド層と当該III族窒化物半導体積層構造を担持する基板との間に、２軸性応力を有するＩｎを含む層を備えている半導体レーザダイオード
（８）請求の範囲１７
　III族窒化物半導体積層構造は、III族元素原料に対する窒素原料の割合であるＶ／III比が１０００以上の条件で少なくとも一部が成長され、ｎ型クラッド層を含むｎ型半導体層を備えている半導体レーザダイオード
（９）請求の範囲１８
　クラッド層は、Ａｌを含み、層厚が１．５μｍ以下である半導体レーザダイオード
（１０）請求の範囲１９
　III族窒化物半導体積層構造は、III族元素原料に対する窒素原料の割合であるＶ／III比について、ｎ型クラッド層から最上層のｐ型コンタクト層までの平均値が１０００以上である半導体レーザダイオード
（１１）請求の範囲２１
発光層は、Ｉｎを含む量子井戸の数が３以下である多重量子井戸構造を有し、III族窒化物半導体積層構造は、発光層を挟んで配置された一対のガイド層を含み、ｎ型クラッド層は、一対のガイド層の一方を発光層との間に挟むように配置され、当該ガイド層よりもバンドギャップが広い少なくともＡｌを含むクラッド層であり、ｐ型クラッド層は、前記一対のガイド層の他方を発光層との間に挟むように配置され、当該ガイド層よりもバンドギャップが広い少なくともＡｌを含むクラッド層である半導体レーザダイオード