

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6112986号
(P6112986)

(45) 発行日 平成29年4月12日(2017.4.12)

(24) 登録日 平成29年3月24日(2017.3.24)

(51) Int.Cl.		F I	
HO 1 S	5/183	(2006.01)	HO 1 S 5/183
HO 1 S	5/323	(2006.01)	HO 1 S 5/323 6 1 0
HO 1 L	33/10	(2010.01)	HO 1 L 33/10
HO 1 L	33/32	(2010.01)	HO 1 L 33/32
HO 1 S	3/091	(2006.01)	HO 1 S 3/091

請求項の数 22 (全 24 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2013-128283 (P2013-128283)
 (22) 出願日 平成25年6月19日(2013.6.19)
 (65) 公開番号 特開2015-5541 (P2015-5541A)
 (43) 公開日 平成27年1月8日(2015.1.8)
 審査請求日 平成28年6月13日(2016.6.13)

(73) 特許権者 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100126240
 弁理士 阿部 琢磨
 (74) 代理人 100124442
 弁理士 黒岩 創吾
 (72) 発明者 川島 毅士
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤ
 ノン株式会社内

審査官 島田 英昭

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体DBRおよび、半導体発光素子、固体レーザー、光音響装置、画像形成装置、および半導体DBRの製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1の半導体層と、前記第1の半導体層よりも分解温度が低い第2の半導体層と、前記第1の半導体層および第2の半導体層よりも分解温度が低い第3の半導体層とを有し、波長に反射率のピークを備える半導体DBRであって、

複数の前記第1の半導体層、および前記複数の第1の半導体層のそれぞれの上に配置された前記第2の半導体層から構成される第1の多層構造と、

複数の前記第3の半導体層、および前記複数の第3の半導体層のそれぞれの上に配置された前記第2の半導体層から構成された第2の多層構造と、

前記第1の多層構造と前記第2の多層構造との間に配置された位相調整層とを有し、

前記第1の半導体層、前記第2の半導体層、および前記第3の半導体層のそれぞれの光学的厚さは $n / 4$ (n は1以上の奇数)であり、

前記位相調整層の光学的厚さは $m / 2$ (m は1以上の自然数)であり、

前記位相調整層のうち前記第2の多層構造と接する部分が、前記第3の半導体層の分解温度よりも分解温度が高い材料で構成されているであることを特徴とする半導体DBR。

【請求項2】

前記第2の半導体層の屈折率は前記第1の半導体層の屈折率よりも高く、

前記第3の半導体層の屈折率は前記第1の半導体層および前記第2の半導体層の屈折率よりも高いことを特徴とする請求項1に記載の半導体DBR。

【請求項3】

前記第3の半導体層の分解温度よりも高い分解温度を有する材料は、前記第2の半導体層を構成する材料であることを特徴とする請求項1または2に記載の半導体DBR。

【請求項4】

前記位相調整層は光学的厚さが $m/2$ の前記第2の半導体層であることを特徴とする請求項1から3のいずれか1項に記載の半導体DBR。

【請求項5】

前記第1の半導体層、前記第2の半導体層、および前記第3の半導体層はそれぞれGaN系の材料から構成されていることを特徴とする請求項1から4のいずれか1項に記載の半導体DBR。

【請求項6】

前記第1の半導体層がAlGaNから構成され、前記第2の半導体層がGaNから構成され、前記第3の半導体層がInGaNから構成されることを特徴とする請求項5に記載の半導体DBR。

【請求項7】

前記第1の多層構造、前記位相調整層、前記第2の多層構造、および前記位相調整層の順にそれぞれ複数配置されていることを特徴とする請求項1から6のいずれか1項に記載の半導体DBR。

【請求項8】

前記第2の多層構造、前記位相調整層、前記第1の多層構造、および前記位相調整層の順にそれぞれ複数配置されていることを特徴とする請求項1から6のいずれか1項に記載の半導体DBR。

【請求項9】

累積応力が $-1000\text{GPa}\cdot\text{nm}$ 以上、 $800\text{GPa}\cdot\text{nm}$ 以下であることを特徴とする請求項1から8のいずれか1項に記載の半導体DBR。

【請求項10】

累積応力が $-600\text{GPa}\cdot\text{nm}$ 以上、 $400\text{GPa}\cdot\text{nm}$ 以下であることを特徴とする請求項1から8のいずれか1項に記載の半導体DBR。

【請求項11】

キャリアが注入されることにより発光する活性層と、
前記活性層を挟んで配置された2つの反射鏡とを有する半導体発光素子であって、
前記2つの反射鏡の少なくとも1つが請求項1から10のいずれか1項に記載の半導体DBRであることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項12】

請求項11に記載の半導体発光素子と、
半導体発光素子から出射された光により励起される固体レーザー媒体とを有する固体レーザー。

【請求項13】

請求項12に記載の固体レーザーと、
前記固体レーザーからの光を被検体に照射することにより発生した光音響波を検出して時系列の電気信号を出力する探触子と、
前記時系列の電気信号に基づき、前記被検体内部の情報を取得する光音響装置。

【請求項14】

請求項11に記載の半導体発光素子と、
前記半導体発光素子からの光により露光される感光ドラムとを有する画像形成装置。

【請求項15】

第1の半導体層と、前記第1の半導体層よりも分解温度が低い第2の半導体層と、前記第1の半導体層および第2の半導体層よりも分解温度が低い第3の半導体層とを有し、波長に反射率のピークを備える半導体DBRの製造方法であって、
前記第2の半導体層の分解温度以下かつ前記第3の半導体層の分解温度より高い温度で、複数の前記第1の半導体層、および複数の前記第1の半導体層のそれぞれの間

10

20

30

40

50

2の半導体層が配置された第1の多層構造を形成する工程と、

前記第3の半導体層の分解温度以下の温度で、複数の前記第3の半導体層、および複数の前記第3の半導体層のそれぞれの間前記第2の半導体層が配置された第2の多層構造を形成する工程と

前記第1の多層構造を形成する工程と前記第2の多層構造を形成する工程との間に、前記第2の半導体層の分解温度以下の温度で位相調整層を形成する工程とを有し、

前記第1の半導体層、前記第2の半導体層、および前記第3の半導体層のそれぞれの光学的厚さは $n / 4$ (n は1以上の奇数)であり、

前記位相調整層の光学的厚さは $m / 2$ (m は1以上の自然数)であり、

前記位相調整層のうち前記第2の多層構造と接する部分が、前記第3の半導体層の分解温度よりも分解温度が高い材料で構成されていることを特徴とする半導体DBRの製造方法。

10

【請求項16】

前記第3の半導体層の分解温度よりも高い分解温度を有する材料が、前記第2の半導体層を構成する材料であることを特徴とする請求項15に記載の半導体DBRの製造方法。

【請求項17】

前記第1の多層構造を形成する工程において、前記第2の半導体層の分解温度以下かつ前記第3の半導体層の分解温度より高い一定の温度で前記第1の多層構造を形成することを特徴とする請求項15または16に記載の半導体DBRの製造方法。

【請求項18】

前記第2の多層構造を形成する工程において、前記第3の半導体層の分解温度以下の一定の温度で前記第2の多層構造を形成することを特徴とする請求項15から17のいずれか1項に記載の半導体DBRの製造方法。

20

【請求項19】

前記位相調整層を形成する工程において、前記第2の多層構造を形成するときの温度で前記位相調整層の一部を形成した後に、前記第1の多層構造を形成するときの温度で前記位相調整層の残りを形成することを特徴とする請求項15から18のいずれか1項に記載の半導体DBRの製造方法。

【請求項20】

前記第1の半導体層、前記第2の半導体層、および前記第3の半導体層はそれぞれGaN系の材料から構成されていることを特徴とする請求項15から19のいずれか1項に記載の半導体DBRの製造方法。

30

【請求項21】

前記第1の半導体層がAlGaNから構成され、前記第2の半導体層がGaNから構成され、前記第3の半導体層がInGaNから構成されることを特徴とする請求項20に記載の半導体DBRの製造方法。

【請求項22】

前記第1の多層構造を形成するときの温度は900より大きく、1200以下であり、

前記第2の多層構造を形成するときの温度は800以上、900以下であることを特徴とする請求項20または21に記載の半導体DBRの製造方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体DBR、半導体発光素子、固体レーザー、光音響装置、画像形成装置、および半導体DBRの製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

垂直共振器型の面発光レーザー(VCSEL: Vertical Cavity Sur

50

face Emitting Laser) は、基板上に2つの反射鏡で活性層を挟み、垂直方向に共振器を形成したレーザである。反射鏡には、屈折率の異なる2種類の材料を1/4波長に相当する光学的層厚で複数回積層したブラッグ反射鏡(DBR: Distributed Bragg Reflector)が用いられる。材料としては誘電体や半導体があるが、デバイスの形成の観点から半導体で構成されることが多い。

【0003】

ところで、VCSELは構造上活性層が非常に薄く、利得が得られにくい。そのため、共振器を構成する反射鏡の反射率を99%以上に高める必要がある。そこで、反射鏡としてのDBRの反射率を高めるためには、屈折率の異なる材料のペア数を増やすことや屈折率差を大きくする必要がある。

10

【0004】

半導体で構成されたDBRをエピタキシャル成長で形成する場合、基板とエピタキシャル成長する半導体との格子定数差を小さくすることが望ましい。格子状数の差が大きい場合、格子歪によってエピタキシャル膜に面内応力が発生し、半導体層の平坦性の低下やクラックの発生につながる。

【0005】

例えば、GaN基板上では、AlGaN層には引張応力が発生し、InGaN層には圧縮応力が発生する。そこで特許文献1では、800の温度条件下で、GaN基板上にAlGaN層とInGaN層を成長させて半導体DBRを形成している。このように特許文献1では、AlGaN層とInGaN層を交互に積層し格子歪を補償することで、クラックの発生を抑制している。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2000-349393号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

ところが、特許文献1が開示する半導体DBRを構成する層においては、さらなる結晶品質の向上が望まれている。

30

そこで本発明は、結晶品質が良好な層により構成された半導体DBRを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本明細書が開示する半導体DBRは、第1の半導体層と、第1の半導体層よりも分解温度が低い第2の半導体層と、第1の半導体層および第2の半導体層よりも分解温度が低い第3の半導体層とを有し、波長に反射率のピークを備える半導体DBRであって、複数の第1の半導体層および複数の第1の半導体層のそれぞれの上に配置された第2の半導体層から構成される第1の多層構造と、複数の前記第3の半導体層および複数の第3の半導体層のそれぞれの上に配置された第2の半導体層から構成された第2の多層構造と、第1の多層構造と第2の多層構造との間に配置された位相調整層とを有し、第1の半導体層、第2の半導体層、および第3の半導体層のそれぞれの光学的厚さは $n/4$ (n は1以上の自然数)であり、位相調整層の光学的厚さは $m/2$ (m は1以上の自然数)であり、位相調整層のうち第2の多層構造と接する部分が、第3の半導体層の分解温度よりも分解温度が高い材料で構成されている。

40

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、結晶品質の良好な層により構成された半導体DBRを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

50

【 0 0 1 0 】

【図 1】実施形態に係る半導体 DBR の構造を示す図である。

【図 2】実施形態に係る半導体 DBR の詳細な構造を示す図である。

【図 3】面内応力および層厚の組み合わせと、クラックとの関係を示す図である。

【図 4】実施例 1 に係る窒化物半導体 DBR を示す図である。

【図 5】実施例 1 に係る窒化物半導体 DBR の累積応力を示す図である。

【図 6】実施例 1 に係る窒化物半導体 DBR の反射特性を示す図である。

【図 7】実施例 2 に係る RC-LED の構造を示す図である。

【図 8】実施例 2 に係る RC-LED の累積応力を示す図である。

【図 9】実施例 3 に係る VCSEL の構造を示す図である。

10

【図 10】実施例 3 に係る VCSEL の累積応力を示す図である。

【図 11】実施例 4 に係る固体レーザの模式図である。

【図 12】実施例 5 に係る光音響装置の模式図である。

【図 13】実施例 6 に係る画像形成装置の模式図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 1 】

前述したように特許文献 1 では、800 の温度下で、AlGaIn 層と InGaIn 層とを交互に成長させている。ところが、AlGaIn と InGaIn とでは最適な成長温度が異なる。具体的に AlGaIn は約 1000 ~ 1300 、InGaIn は約 600 ~ 900 で成長させることが好ましい。したがって、結晶性が良く、AlGaIn 層と InGaIn 層のヘテロ界面が急峻な DBR、すなわち反射率の高い DBR を得るためには、成長温度を変えてそれぞれの層を成長することが好ましい。

20

【 0 0 1 2 】

しかしながら、成長温度の切り替えに伴って結晶品質の低下が生じうる。例えば、InGaIn 層を成長させた後に AlGaIn 層の成長温度まで昇温をすると InGaIn 層の表面が高熱にさらされてしまい、InGaIn 層が分解し平坦な膜が成長することが困難である。また、温度の昇降を行う度に InGaIn 層と AlGaIn 層の熱膨張係数差に起因する面内応力が各層内に発生し、結晶欠陥が発生しやすくなる。特に、DBR の反射率を高めるために InGaIn 層と AlGaIn 層とを数十周期積層する場合、数十回昇温と降温を繰り返すことになり、数十回分の熱履歴が蓄積されていく。以上のような要因が半導体 DBR の結晶品質の低下を招き、結果として半導体 DBR の反射率が低下してしまう。

30

【 0 0 1 3 】

また、このように結晶品質が低下した半導体 DBR を用いて VCSEL などの発光素子を構成した場合、発光素子の発光特性が低下する。

【 0 0 1 4 】

そこで本発明は、AlGaIn 層と InGaIn 層とから構成される半導体 DBR のように、低屈折率層と高屈折率層の成長温度が異なる材料系の半導体 DBR において、層の熱分解が抑制された半導体 DBR を提供することを目的とする。また、本発明は成長温度の切り替えによる熱履歴が低減された半導体 DBR を提供することを目的とする。このような半導体 DBR は結晶品質が良好であるため、高反射率を有する反射鏡として機能する。

40

【 0 0 1 5 】

以下、本実施形態に係る半導体 DBR について、図面を用いて説明する。本実施形態においては、GaN 系の材料を用いた半導体 DBR の例で説明するが、本実施形態に採用することのできる材料はこれに限らない。GaN 系の材料以外に、InP 系や GaAs 系などの半導体材料を採用してもよい。

【 0 0 1 6 】

(構造について)

図 1 は、基板 101 の上に形成された本実施形態に係る半導体 DBR 110 を示す。本実施形態に係る半導体 DBR は、第 1 の多層構造としての AlGaIn / GaIn 多層構造 103、位相調整層 105、第 2 の多層構造としての InGaIn / GaIn 多層構造 104、

50

位相調整層 105 の順に繰り返し積層されている。本実施形態に係る半導体 DBR 110 は反射率のピークとなる波長 λ がほぼ 400 nm となるように設計されている。なお、本実施形態に係る半導体 DBR は任意のピーク波長 λ に合わせて設計されることができる。

【0017】

なお、半導体 DBR 110 は、InGa_N/Ga_N 多層構造 104、位相調整層 105、AlGa_N/Ga_N 多層構造 103、位相調整層 105 の順に繰り返し積層されてもよい。

【0018】

本実施形態では、基板 101 の上に Ga_N 系の材料を成長させるため、基板 101 の材料は Ga_N の格子定数に近い材料である必要がある。例えば、基板 101 には、Ga_N 基板や、サファイア、Si、GaAs、および SiC などの Ga_N を成長できる異種基板上に Ga_N 層を形成した Ga_N テンプレート基板などを採用することができる。ただし、基板 101 の材料はその上に成長させる材料によって適宜選択される。

10

【0019】

図 2 は、AlGa_N/Ga_N 多層構造 103、InGa_N/Ga_N 多層構造 104、および位相調整層 105 の詳細な構成を示す。

【0020】

AlGa_N/Ga_N 多層構造 103 は、第 1 の半導体層としての光学的厚さが $\lambda/4$ の AlGa_N 層 102a と、第 2 の半導体層としての光学的厚さが $\lambda/4$ の Ga_N 層 102b とから構成されている。また、複数の AlGa_N 層 102a のそれぞれの間には Ga_N 層 102b が配置されている。本実施形態において、光学的厚さとは層厚に屈折率を掛けたものである。

20

【0021】

InGa_N/Ga_N 多層構造 104 は、Ga_N 層 102b と、第 3 の半導体層としての光学的厚さが $\lambda/4$ の InGa_N 層 102c とから構成されている。また、複数の InGa_N 層 102c のそれぞれの間には Ga_N 層 102b が配置されている。なお、AlGa_N/Ga_N 多層構造 103 および InGa_N/Ga_N 多層構造 104 を構成する各層の光学的厚さは $n \cdot \lambda/4$ (n は 1 以上の奇数) であればよい。ただし、 n は 1 または 3 であることが好ましい。

【0022】

位相調整層 105 は、AlGa_N/Ga_N 多層構造 103 と InGa_N/Ga_N 多層構造 104 との間に配置された光学的厚さが $\lambda/2$ の層である。位相調整層 105 は、AlGa_N/Ga_N 多層構造 103 と InGa_N/Ga_N 多層構造 104 との間における定在波の位相を揃えるための層である。本実施形態においては、位相調整層 105 は Ga_N からなる単層である。また、位相調整層 105 は、AlGa_N/Ga_N 多層構造 103 の AlGa_N 層 102a と、InGa_N/Ga_N 多層構造 104 の InGa_N 層 102c と接している。なお、位相調整層 105 の光学的厚さは $m \cdot \lambda/2$ (m は 1 以上の自然数) であればよい。ただし、 m は 1 または 2 であることが好ましい。

30

【0023】

(屈折率について)

典型的に AlGa_N 層 102a、Ga_N 層 102b、および InGa_N 層 102c の屈折率の関係は、“InGa_N 層 102c > Ga_N 層 102b > AlGa_N 層 102a” となる。

40

【0024】

すなわち、AlGa_N/Ga_N 多層構造 103 においては、AlGa_N 層 102a が低屈折率層として機能し、Ga_N 層 102b が高屈折率層として機能する。一方、InGa_N/Ga_N 多層構造 104 においては、Ga_N 層が低屈折率層として機能し、InGa_N 層が高屈折率層として機能する。

【0025】

また、位相調整層 105 のうち AlGa_N 層 102a との界面から光学的厚さが $\lambda/4$

50

の部分は、AlGa_N層102aに対して高屈折率層として機能する。一方、位相調整層105のうちInGa_N層102cとの界面から光学的厚さが $\lambda/4$ の部分は、InGa_N層102cに対して低屈折率層として機能する。

【0026】

以上のような屈折率の関係となっているため、本実施形態に係る半導体DBR110はDBRとして機能する。

【0027】

なお、位相調整層105のうち、界面からの光学的厚さが $\lambda/4$ の領域の平均的な屈折率が上記の関係となっている限り、本実施形態に係る半導体DBR110はDBRとして機能する。

10

【0028】

(分解温度について)

半導体はバンドギャップが大きいほど分解温度が高くなる傾向にある。例えば、窒化物半導体における分解温度の関係は“AlN > AlGa_N > Ga_N > InGa_N > InN”となる。

【0029】

すなわち、本実施形態において、Ga_N層102bの分解温度はAlGa_N層102aの分解温度より低い。また、InGa_N層102cの分解温度はAlGa_N層102aおよびGa_N層102bの分解温度より低い。ここで、それぞれの層の分解温度の関係をまとめると、“AlGa_N層102a > Ga_N層102b > InGa_N層102c”となっている。

20

【0030】

また、一般的に各材料にはそれぞれ最適な成長温度が存在する。例えばMOCVD法の場合、AlGa_N層102aはAl組成によって異なるが典型的に1000以上、1300以下で成長させることが好ましく、AlGa_Nの分解温度である1300を超える

【0031】

と分解しやすくなる。Ga_N層102bは800以上、1200以下で成長させることが好ましく、Ga_Nの分解温度である1200を超える

【0032】

と分解しやすくなる。InGa_N層102cもIn組成によって異なるが600以上、900以下で成長させることが好ましく、InGa_Nの分解温度である900を超える

30

【0033】

最適な成長温度付近では、半導体分子の分解と供給の両方が生じ、分子の分解は弱く供給が多いため結晶が成長できる。また、この温度では、原子が盛んにマイグレーションしているので結晶の品質や平坦性が良い。また、最適な成長温度の上限付近が最も成長しやすい温度である。そのため、最適な成長温度の上限に近い温度で各層を成長させることが好ましい。

【0034】

しかしながら、成長温度が最適な成長温度より高くなると、分解が激しくなり供給を上回るため結晶性の良い膜の形成が難しくなる。すなわち、本実施形態において分解温度とは、最適な成長温度の上限を指す。より厳密には、最適な成長温度よりも高く、半導体原子または半導体分子の分解が供給を上回り始める温度を分解温度としてもよい。

40

【0035】

一方、最適な成長温度より低い温度で半導体を成長すると、分解は少なくなるが原子のマイグレーションが弱くなり、結晶の平坦性も低くなる。

【0036】

次に、AlGa_N/Ga_N多層構造103およびInGa_N/Ga_N多層構造104の製造方法について説明する。

50

【0037】

本実施形態においては、GaN層102bの分解温度以下の一定の温度でAlGaIn層102aおよびGaN層102bをエピタキシャル成長させることにより、AlGaIn/GaN多層構造103を形成する。なお、このときの成長温度はInGaIn層102cの分解温度より高い温度であってもよい。このとき、温度がGaN層102bの分解温度以下であるため、AlGaIn層102aもGaN層102bも分解を抑えて成長させることができる。また、一定の温度で多層構造を形成することにより、各層を形成するときの温度の昇降回数を減らすことができる。

【0038】

本実施形態では、エピタキシャル成長の基板となる層をヒータで温めることにより層の温度を昇温する。一方、降温については自然放熱により行う。また、温度は基板の周辺に設置した熱電対で測定される。なお、エピタキシャル成長の基板となる層の温度を制御できる限り、その方法はいかなるものでもよい。

10

【0039】

例えば、GaNの成長温度である800～1200の温度下で、Ga原料を供給し続けAl原料のバルブをON/OFFすることでAlGaIn/GaNのAlGaIn/GaN多層構造103を形成する。このとき、AlGaInが最も成長しやすい温度である1300付近でGaNを成長しようとするするとGaNが分解しやすいため、GaNの成長温度800～1200に合わせてAlGaIn/GaN多層構造103を形成する。なお、AlGaInとGaNの最適な成長温度が重複している1000～1200でAlGaIn/GaN多層構造103を形成することがより好ましい。

20

【0040】

一方、InGaIn層102cの分解温度以下の一定の温度でGaN層102bおよびInGaIn層102cをエピタキシャル成長させることにより、InGaIn/GaN多層構造104を形成する。このとき、温度がInGaIn層102cの分解温度以下であるため、GaN層102bもInGaIn層102cも分解を抑えて成長させることができる。また、一定の温度で多層構造を形成することができるため、各層を形成するときの温度の昇降回数を減らすことができる。

【0041】

例えば、InGaInの最適な成長温度である600～900の温度下で、Ga原料を供給しつつIn原料のバルブをON/OFFすることでInGaIn/GaNのInGaIn/GaN多層構造104を形成する。なお、InGaInとGaNの最適な成長温度が重複している800～900でInGaIn/GaNのInGaIn/GaN多層構造104を形成することがより好ましい。

30

【0042】

次に、InGaIn/GaN多層構造104を形成した後に、AlGaIn/GaN多層構造103を形成する方法について説明する。

【0043】

まず、InGaIn層102cの分解温度以下の温度（例えば900）で、GaN層102bとInGaIn層102cを交互に積層し、InGaIn/GaN多層構造104を形成する。このときInGaIn層102cの分解温度以下の温度、かつGaNの分解温度（1200）に近い温度でGaN層102bを成長させることにより、GaN層102bの結晶品質は高くなる。

40

【0044】

続いて、GaN層102bの分解温度に近い温度（例えば1150）でAlGaIn/GaN多層構造103を形成したい。ところが、InGaIn/GaN多層構造104の最表面はInGaIn層102cであるため、この状態で1150に昇温すると、InGaIn層102cの分解温度（900）を超えてしまいInGaIn層102cが分解してしまう。そのため、InGaIn/GaN多層構造104の上に分解を保護する保護層を形成する必要がある。ただし、保護層の材料は、InGaIn層102cの分解温度以下の温度

50

でも結晶品質を高く形成でき、かつAlGa_N/Ga_N多層構造103の成長温度よりも高い分解温度を有する材料である必要がある。

【0045】

そこで、本実施形態では、InGa_N層102cの分解温度以下の温度（例えば900）でGa_Nからなる位相調整層105を保護層として形成する。本実施形態では、前述したようにAlGa_N/Ga_N多層構造103とInGa_N/Ga_N多層構造104との間における定在波の位相を調整するために、光学的厚さがλ/2の位相調整層105を形成する。

【0046】

なお、InGa_N層102cの分解温度以下で位相調整層105の一部を成長させ、その後温度を変えて残りの部分を成長させてもよい。このとき、位相調整層105の一部を成長させた後に、AlGa_N/Ga_N多層構造103の成長温度まで昇温させて位相調整層105の残りを成長させてもよい。また、位相調整層105が多層構造の場合、InGa_N層102cの分解温度以下の温度で位相調整層105の一部の層を形成した後に、残りの多層構造の材料に合わせて成長温度を適宜変更することができる。

10

【0047】

以上説明したように、InGa_N/Ga_N多層構造104と接する位相調整層105の部分がInGa_N層102cの分解温度よりも高い材料で構成される限り、位相調整層105はInGa_N層102cの分解を低減する保護層として機能する。

【0048】

このようにInGa_N層が高温にさらされないようにInGa_N層102cよりも分解温度が高い材料で保護することにより結晶品質が良好なInGa_N層102cを形成することができる。

20

【0049】

なお、前述した屈折率の関係および分解温度の関係を満たす限り、位相調整層105はいかなる構成であってもよい。例えば、位相調整層105はGa_N層で任意の層を挟むことにより形成された多層構造であってもよい。

【0050】

次に、AlGa_N/Ga_N多層構造103を形成後に、InGa_N/Ga_N多層構造104を成長するときの製造方法について説明する。

30

【0051】

まず、Ga_N層102bの分解温度以下の温度、かつInGa_N層102cの分解温度より高い温度（例えば1150）でAlGa_N層102aとGa_N層102bを交互に積層し、AlGa_N/Ga_N多層構造103を形成する。

【0052】

続いて、1150を維持したまま、光学的厚さがλ/2のGa_Nからなる位相調整層105を形成する。

【0053】

続いて、InGa_N層102cの分解温度以下の温度（例えば900）まで降温した後に、900でInGa_N層102cとGa_N層102bを交互に積層し、InGa_N/Ga_N多層構造104を形成する。

40

【0054】

本実施形態では、AlGa_N/Ga_N多層構造103およびInGa_N/Ga_N多層構造104をそれぞれ異なる一定の温度で形成することにより、温度の昇降回数を少なく多層構造を形成することができる。これにより、本実施形態に係る半導体DBR110に蓄積される熱履歴を低減することができ、結晶成長の良好な半導体DBRを提供することができる。

【0055】

本実施形態ではAlGa_N、InGa_N、Ga_Nの分解温度が“AlGa_N>Ga_N>InGa_N”となっていることに着目した。加えて、AlGa_NおよびGa_Nの最適な成

50

長温度に重複する領域が存在し、InGa_nNおよびGa_nNの成長温度に重複する領域が存在することに着目した。そして本発明者は、これらの知見に基づき、本実施形態に係る半導体DBR110の材料としてAlGa_nN、InGa_nN、Ga_nNを採用した。ただし、上記の分解温度および最適な成長温度の関係を満たす材料であれば、本実施形態に係る半導体DBRの材料として採用することができる。

【0056】

(面内応力、臨界層厚、およびクラックの関係について)

次に、半導体DBRにおける面内応力、臨界層厚、およびクラックの関係について説明する。

【0057】

GaN基板上に、エピタキシャル成長したAlGa_nN層は引張性の歪によって引張応力が発生する。一方で、InGa_nN層は圧縮性の歪によって圧縮応力が発生する。そこで、エピタキシャル成長した層に発生する面内応力やその層の厚さを適切に設計しなければ、その層にクラックやピットが発生し反射率が低下する。クラックやピットは、面内応力と層厚の積がある値を超えたときに発生する。また、多層構造の場合、各層の面内応力と層厚の積を累積した値がある値を超えたときにクラックやピットが発生する。このクラックやピッチが発生するときの層厚を臨界層厚と呼ぶ。

【0058】

本実施形態に係る半導体DBR110は、AlGa_nN/Ga_nNからなるAlGa_nN/Ga_nN多層構造103およびInGa_nN/Ga_nNからなるInGa_nN/Ga_nN多層構造104を交互に複数積層することにより、格子歪を補償している。

【0059】

基板のc面にエピタキシャル成長した半導体層の歪とその面内に発生する応力は以下の式で表すことができる。

【0060】

【数1】

$$\varepsilon = \frac{a_s - a_0}{a_0} \quad \dots \quad (1)$$

【0061】

【数2】

$$\sigma = \left\{ C_{11} + C_{12} - 2 \frac{C_{13}^2}{C_{33}} \right\} \varepsilon \quad \dots \quad (2)$$

【0062】

【数3】

$$A = \sum_{i=1}^x \sigma_i \cdot h_i \quad \dots \quad (3)$$

【0063】

式(1)において、 ε は格子歪、 a_s は結晶が歪んでいる時の格子定数、 a_0 は無歪のときの格子定数である。式(2)において、 σ は面内応力、 C_{11} 、 C_{12} 、 C_{13} 、 C_{33} は弾性スティフネス定数である。 ε の値が正の時は結晶中に引張応力が発生し、負の時は圧縮応力が発生する。式(3)は、 x 層積層された多層構造の場合の面内応力と層厚の積の合計である累積応力Aを表す。 x は総積層数、 i はi番目の半導体層中の面内応力、 h_i はi番目の半導体層の層厚である。

【0064】

GaN基板上に臨界層厚を超えないようにエピタキシャル成長したAlGa_nNやInG

10

20

30

40

50

a_N は a 軸格子定数がGa_{0.9}Nとほぼ一致している。したがって、本実施形態の場合、 a_s にはGa_{0.9}Nの a 軸格子定数を代入し、 a_0 にエピタキシャル成長層に歪がない場合の格子定数を代入して累積応力 A を求める。このとき、弾性スティフネス定数はGa_{0.9}NとAlNの値を用いてベガード則で求める。

【0065】

本実施形態において式(2)の計算に使用した弾性スティフネス定数の値を表1に示す。

【0066】

【表1】

	GaN	AlN	InN
C11(GPa)	365	398	271
C12(GPa)	135	142	124
C13(GPa)	114	112	94
C33(GPa)	381	383	200

10

【0067】

図3は、数mm角四方のGa_{0.9}N基板上や、2インチサファイア基板上にGa_{0.9}Nを成長したGa_{0.9}Nテンプレート基板上に成長したAlGa_{0.9}N層の層厚およびAl組成の組み合わせと、クラックの有無との関係を示したものである。クラックの有無については、成長させたAlGa_{0.9}N層の表面を顕微鏡で観察することにより評価した。なお、表1から理解されるようにAl組成が多くなるほど面内応力は大きくなる。

20

【0068】

図3において、“丸”はAlGa_{0.9}N層にクラックが無かったものを示す。また、“三角”はAlGa_{0.9}N層に数個のクラックが存在したものを示す。また、“バツ”はAlGa_{0.9}N層にクラックが数え切れないほど高密度に発生していたものを示す。なお、“バツ”に該当するAlGa_{0.9}N層においては、X線測定による逆格子空間マッピングや反りモニターで高密度のクラックの発生による格子歪みの緩和を確認することができた。一方、“三角”に該当するAlGa_{0.9}N層においては、X線測定による逆格子空間マッピングや反りモニターで格子歪みの緩和を確認することはできなかった。

30

【0069】

図3において実線と点線は臨界層厚を計算したものである。実線はAlGa_{0.9}N面内に発生する引張応力(GPa)と層厚(nm)の積が800GPa・nmを表したものであり、点線は400GPa・nmを表したものである。

【0070】

図3に示す実験結果から引張応力と層厚の積が800GPa・nmを超えると、引張応力によってAlGa_{0.9}Nに高密度のクラックが発生していたことが理解される。また、400~800GPa・nmではクラックがわずかに発生していたことが理解される。したがって、本実施例に係る半導体DBRにおいては、式(3)で求められる累積応力が800GPa・nm以下であることが好ましい。さらに、累積応力が400GPa・nm以下であることがより好ましい。

40

【0071】

次に、Ga_{0.9}N基板上に成長したIn組成が5%のInGa_{0.9}N層の表面を顕微鏡で観察し、面内応力によって発生するピットについて調べた。その結果、累積応力が-1000GPa・nmより負に大きくなるとピットが高密度に発生していることが確認できた。また、-1000GPa・nm以上、-600GPa・nm以下ではピットが無いものや僅かには発生しているものが確認できた。-600より大きく、0GPa・nm以下ではピットは0になった。したがって、本実施例に係る半導体DBRにおいては、式(3)で求め

50

られる累積応力が $-1000 \text{ GPa} \cdot \text{nm}$ 以上であることが好ましい。さらに累積応力が $-600 \text{ GPa} \cdot \text{nm}$ 以上であることがより好ましい。

【0072】

なお、半導体DBR110を構成する各層の層厚は、半導体DBR110がDBRとして機能し、かつ累積応力が $-1000 \text{ GPa} \cdot \text{nm}$ 以上、 $800 \text{ GPa} \cdot \text{nm}$ 以下の範囲とするために、前述した光学的厚さとなる層厚の $\pm 30\%$ までは増減させてもよい。また、本実施形態における半導体DBRを構成する層の層厚については、設計値から製造誤差程度ずれた場合も本発明の権利範囲内とする。

【実施例1】

【0073】

以下、作製した実施例に係る窒化物半導体DBRについて説明する。

【0074】

図4は、GaN基板401の上に作製された窒化物半導体DBR410の断面模式図を示す。本実施例では、第2の多層構造としてのInGaN/GaN多層構造404、位相調整層としてのGaN層405、第1の多層構造としてのAlGaN/GaN多層構造403の順に積層して窒化物半導体DBR410を作製した。本実施例に係る窒化物半導体DBR410は反射率のピークに対応する波長が 400 nm となるように設計した。

【0075】

表2は、AlGaN/GaN多層構造403、InGaN/GaN多層構造404、および位相調整層405の各層の屈折率、光学的厚さが $\lambda/4$ となる層厚、層厚の設計値、積層数、面内応力を示す。

【0076】

【表2】

	InGaN/GaN多層構造		AlGaN/GaN多層構造		位相調整層
	In _{0.05} Ga _{0.95} N層	GaN層	Al _{0.30} Ga _{0.70} N層	GaN層	GaN層
屈折率	2.61	2.54	2.42	2.54	2.54
$\lambda/4$ に相当する層厚(nm)	38.2	39.4	41.3	39.4	78.7
層厚の設計値(nm)	40	40	36	40	80
積層数	5	4	3	2	1
面内応力(GPa)	-2.394982	0	3.2440392	0	0

【0077】

本実施例においては、InGaN層のIn組成を 5% とし、AlGaN層のAl組成を 30% と設計した。また、AlGaN層の層厚を光学的厚さが $\lambda/4$ となる層厚より 10% 程度薄くすることにより、AlGaN層による引張応力を小さくするように設計した。

【0078】

次に、本実施形態に係る窒化物半導体DBR410の製造方法を説明する。

【0079】

まず、MOCVD装置にGaN基板401をセットした。

【0080】

続いて、 900°C まで加熱し、エピタキシャル成長によりInGaN層402cとGaN層402bとを交互に積層し、InGaN/GaN多層構造404を形成した。このInGaN/GaN多層構造404は、5層のInGaN層402と4層のGaN層402bとから構成されている。このとき、原料にはトリメチルガリウム(TMGa)とトリメチルインジウム(TMIn)を用いて、 900°C でTMInの原料バルブをON/OFFすることによりInGaN/GaN多層構造404を形成した。

【0081】

続いて、基板温度を900 に維持したままエピタキシャル成長により、位相調整層としてのGa_{0.5}N層405をInGa_{0.5}N/GaN多層構造404の上に形成した。このとき、原料としてはTMGaのみを用いてGa_{0.5}N層405を形成した。

【0082】

続いて、1150 まで昇温し、エピタキシャル成長によりAlGa_{0.5}N層402aとGa_{0.5}N層402bとを交互に積層し、AlGa_{0.5}N/GaN多層構造403を形成した。このAlGa_{0.5}N/GaN多層構造403は、3層のAlGa_{0.5}N層402aと2層のGa_{0.5}N層とから構成されている。このとき、原料にはTMGaとトリメチルアルミニウム(TMA_{0.1})を用いて、1150 でTMA_{0.1}の原料バルブをON/OFFしてAlGa_{0.5}N/GaN多層構造403を形成した。

10

【0083】

続いて、基板温度を1150 に維持したまま位相調整層としてのGa_{0.5}N層405を、AlGa_{0.5}N/GaN多層構造403の上に形成した。

【0084】

続いて、以上の工程と同様に、InGa_{0.5}N/GaN多層構造404およびAlGa_{0.5}N/GaN多層構造403を、Ga_{0.5}N層405を介して交互に繰り返し形成する。本実施例では、InGa_{0.5}N/GaN多層構造404およびAlGa_{0.5}N/GaN多層構造403をそれぞれ4層積層した。

【0085】

続いて、定在波の位相を考慮し、AlGa_{0.5}N/GaN多層構造403の上に40nmのGa_{0.5}N層106を形成した。本実施形態においてはGa_{0.5}N層106まで含めてDBRとして機能する。

20

【0086】

以上の工程により窒化物半導体DBR410を作製した。この窒化物半導体DBR410の表面を観察したところ、ピットもクラックも無かった。

【0087】

図5は、式(3)で計算によって求めた各層を成長しているときの累積応力を示したものである。本実施例では、窒化物半導体DBR410の累積応力が-1000GPa・nm~0GPa・nmの範囲に収まるように設計されている。

30

【0088】

図6は窒化物半導体DBR410の反射特性を示す。窒化物半導体DBR410は、波長399nmに反射率のピークを有し、その反射率は89%であった。

【実施例2】

【0089】

以下、本実施例では窒化物半導体DBRを用いた半導体発光素子としてのRC-LED(Resonant-Cavity Light Emitting Diode)の設計例を説明する。

【0090】

図7は、本実施例において設計されたRC-LEDの断面模式図である。本実施形態に係るRC-LEDは、Ga_{0.5}N基板501、下部DBR511、活性層506a、上部DBR512の順に積層されている。下部DBR511および上部DBR512の2つの反射鏡で活性層506aを挟んで共振器を構成している。また、下部DBR511および上部DBR512については、反射率のピークに対応する波長 が400nmとなるように設計した。

40

【0091】

活性層506aはInGa_{0.5}N/GaNの多重量子井戸で構成されており、キャリアが注入されることにより発光する。

【0092】

下部DBR511および上部DBR512は、AlGa_{0.5}N/GaN多層構造503、I

50

n GaN / GaN 多層構造 504、および位相調整層 505 から構成されている。

【0093】

表3は、AlGaIn / GaN 多層構造 503、InGaIn / GaN 多層構造 504、および位相調整層 505 を構成している各層の屈折率、光学的厚さが $\lambda/4$ となる層厚、層厚の設計値、積層数、面内応力を示す。

【0094】

【表3】

	InGaIn/GaN多層構造		AlGaIn/GaN多層構造		位相調整層
	In _{0.05} Ga _{0.95} N層	GaN層	Al _{0.20} Ga _{0.80} N層	GaN層	GaN層
屈折率	2.61	2.54	2.46	2.54	2.54
$\lambda/4$ に相当する層厚(nm)	38.2	39.4	40.6	39.4	78.7
層厚の設計値(nm)	40	40	39	40	80
積層数	5	4	6	5	1
面内応力(GPa)	-2.394982	0	2.1367086	0	0

10

【0095】

本実施例においては、InGaIn層のIn組成を5%とし、AlGaIn層のAl組成を20%と設計した。

【0096】

次に、本実施例に係るRC-LEDの製造方法の例を説明する。

【0097】

まず、MOCVD装置にGaN基板501をセットする。

【0098】

続いて、GaN基板501の上に下部DBR511を形成する。そのために実施例1と同様に、位相調整層としてのGaN層505を介して、InGaIn / GaN多層構造504およびAlGaIn / GaN多層構造503をそれぞれ5層交互に積層する。下部DBR511は、InGaIn / GaN多層構造504、GaN層505、AlGaIn / GaN多層構造503の順に繰り返し積層する。なお、下部DBR511を構成する各半導体にはSiをドーピングする。以上の工程により、n型伝導の下部DBR511を形成することができる。

20

30

【0099】

続いて、下部DBR511上にスペーサ層としてのGaN層506bを1150 nmで形成する。続いて、GaN層506bの上にInGaIn / GaNの多重量子井戸からなる活性層506aを850 nmの温度で積層する。また、活性層506aの最表面はGaN層となるように積層されている。続いて、活性層506aの上にスペーサ層としてのGaN層506cを1150 nmで形成する。なお、活性層506aおよび2層のスペーサ層の光学的厚さの合計は $\lambda/4$ (400 nm) となるように設計した。また、活性層506aの位置は、定在波の共振ピークの位置に合わせて設計した。なお、活性層506aおよび2層のスペーサ層の光学的厚さの合計は $\lambda/2$ の整数倍であればよい。

40

【0100】

続いて、GaN層506cの上に上部DBR512を形成する。そのために、下部DBR511と積層順を逆にして、位相調整層としてのGaN層505を介して、AlGaIn / GaN多層構造503およびInGaIn / GaN多層構造504をそれぞれ5層交互に積層する。すなわち、上部DBR512は、AlGaIn / GaN多層構造503、GaN層505、InGaIn / GaN多層構造504の順に繰り返し積層されている。なお、上部DBR512を構成する各半導体層にはMgをドーピングする。以上の工程により、反

50

射率が95%のp型伝導の上部DBR512を形成することができる。

【0101】

続いて、上部DBR512の上にコンタクト層としてp型GaN層507を形成する。p型GaN層507の層厚は10nmと設計した。

【0102】

続いて、通電のためのコンタクト電極としてNi/Auからなるp型電極508をp型GaN層507の上に形成する。また、通電のためのコンタクト電極としてTi/Alからなるn型電極509をGaN基板501と接するように形成する。

【0103】

以上のように、実施例に係る半導体発光素子としてのRC-LEDを形成することができる。本実施例に係る下部DBR511および上部DBR512は、AlGaN、InGaN、およびGaNから構成されているため電気伝導度が高い。そのため、p型電極508およびn型電極509から効率よく活性層506aへキャリアを注入することができる。

10

【0104】

図8は、式(3)により計算された本実施例に係るRC-LEDの積層時の累積応力を示したものである。図8から理解されるように、本実施例に係るRC-LEDの累積応力は、-500GPa・nm以上、350GPa・nm以下の範囲に収まるように設計されている。

【実施例3】

20

【0105】

本実施例では、窒化物半導体DBRを用いた半導体発光素子としてのVCSELの設計例について説明する。

【0106】

図9は本実施例において設計されたVCSELの断面模式図である。本実施例では、活性層606aを挟むように下部DBR611および上部DBR612を配置して共振器を構成している。なお、下部DBR611および上部DBR612については、400nmの光に対する反射率が99%以上となるように設計した。

【0107】

活性層606aはInGaN/GaNの多重量子井戸で構成されており、キャリアが注入されることにより発光する。

30

【0108】

下部DBR611および上部DBR612は、AlGaN/GaN多層構造603、InGaN/GaN多層構造604、および位相調整層605から構成されている。

【0109】

表4は、AlGaN/GaN多層構造603、InGaN/GaN多層構造604、および位相調整層605を構成する各層の屈折率、光学的厚さが $\lambda/4$ となる層厚、層厚の設計値、積層数、面内応力を示す。

【0110】

【表 4】

	InGa _{0.05} Ga _{0.95} N多層構造		AlGa _{0.35} Ga _{0.65} N多層構造		位相調整層
	In _{0.05} Ga _{0.95} N層	GaN層	Al _{0.35} Ga _{0.65} N層	GaN層	GaN層
屈折率	2.61	2.54	2.40	2.54	2.54
λ/4に相当する層厚(nm)	38.2	39.4	41.7	39.4	78.7
層厚の設計値(nm)	40	40	41	40	80
積層数	5	4	3	2	1
面内応力(GPa)	-2.394982	0	3.807529	0	0

10

【0111】

本実施例においては、InGa_{0.05}N層のIn組成を5%とし、AlGa_{0.35}N層のAl組成を35%と設計した。

【0112】

次に、本実施例に係るVCSELの製造方法の例について説明する。

【0113】

まず、MOCVD装置にGaN基板601をセットする。

20

【0114】

続いて、GaN基板601の上に下部DBR611を形成する。そのために実施例1と同様に、位相調整層としてのGaN層605を介して、InGa_{0.05}N/GaN多層構造604およびAlGa_{0.35}N/GaN多層構造603をそれぞれ9層交互に積層する。下部DBR611は、InGa_{0.05}N/GaN多層構造604、GaN層605、AlGa_{0.35}N/GaN多層構造603の順に繰り返し積層する。なお、下部DBR611を構成する各半導体にはSiをドーピングする。以上の工程により、反射率99.5%以上のn型伝導の下部DBR611を形成することができる。

【0115】

続いて、下部DBR611上にスペーサ層としてのGaN層606bを1150Åで形成する。続いて、GaN層606bの上にInGa_{0.05}N/GaNの多重量子井戸からなる活性層606aを850Åの温度で積層する。また、活性層606aの最表面はGaN層となるように積層されている。続いて、活性層606aの上にスペーサ層としてのGaN層606cを1150Åで形成する。なお、活性層606aおよび2層のスペーサ層の光学的厚さの合計は400nmとなるように設計した。また、活性層606aの位置は、定在波の共振ピークの位置に合わせて設計した。なお、活性層606aおよび2層のスペーサ層の光学的厚さの合計は400nmの整数倍であればよい。

30

【0116】

続いて、GaN層606cの上に10nmのAlN層610を形成する。次に、フォトリソグラフィとドライエッチングを用いてAlN層610に直径10μmの開口部を形成する。この開口部を有するAlN層610は電流狭窄層として機能する。なお、本実施例において開口部の直径に対してAlN層610の層厚は桁違いに薄いため、AlN層610の上に形成される層に与える影響は小さい。

40

【0117】

続いて、GaN層606bの上に上部DBR612を形成する。そのために、下部DBR611と積層順を逆にして、位相調整層としてのGaN層605を介して、AlGa_{0.35}N/GaN多層構造603およびInGa_{0.05}N/GaN多層構造604をそれぞれ8層交互に積層する。すなわち、上部DBR612は、AlGa_{0.35}N/GaN多層構造603、GaN層605、InGa_{0.05}N/GaN多層構造604の順に繰り返し積層されている。なお、上部DBR612を構成する各半導体層にはMgをドーピングする。以上の工程により、反

50

射率 99.3% の p 型伝導の上部 DBR 612 を形成することができる。

【0118】

続いて、上部 DBR 612 上にコンタクト層として p 型 GaN 層 607 を形成する。p 型 GaN 層 607 の層厚は 10 nm と設計した。

【0119】

続いて、通電のためのコンタクト電極として、開口部を有する Ni/Au からなる p 型電極 608 を p 型 GaN 層 607 の上に形成する。また、通電のためのコンタクト電極として、Ti/Al からなる n 型電極 609 を GaN 基板 601 と接するように形成する。

【0120】

以上の工程で、実施例に係る VCSEL を形成することができる。

10

【0121】

本実施例に係る下部 DBR 611 および上部 DBR 612 は、AlGaIn、InGaIn、および GaN から構成されているため電気伝導度が高い。そのため、p 型電極 608 および n 型電極 609 から効率よく活性層 506 a へキャリアを注入することができる。

【0122】

図 10 は式 (3) で計算される本実施例に係る VCSEL の積層時の累積応力を示したものである。図 10 によれば、本実施例に係る VCSEL の累積応力が -600 GPa・nm から 350 GPa・nm の範囲に収まっていることが理解される。

【実施例 4】

【0123】

次に、図 11 を用いて、実施例 3 で説明した VCSEL がアレイ状に配列して構成された面発光レーザアレイを励起光源として備えた固体レーザの構成例について説明する。図 11 は本実施例に係る固体レーザの模式図である。

20

【0124】

本実施例に係る固体レーザ 1100 は、面発光レーザアレイ 1110、固体レーザ媒体 1130、2つの反射鏡 1150 a および 1150 b を有する。

【0125】

面発光レーザアレイ 1110 は、波長 λ の励起光 1120 を固体レーザ媒体 1130 に照射する。固体レーザ媒体 1130 は、励起光 1120 を吸収し、レーザ遷移に伴い光 1140 を発する。固体レーザ媒体 1130 から発生した光 1140 が 2つの反射鏡 1150 a および 1150 b で反射を繰り返すことにより、固体レーザは発振状態となる。そして、発振状態の固体レーザ 1100 から反射鏡 1150 b を透過した固体レーザ光 1160 が出射される。

30

【0126】

ここで、固体レーザ媒体 1130 の吸収スペクトルに合わせて、面発光レーザアレイ 1110 から出射される励起光 1120 の波長 λ を決定することが好ましい。すなわち、固体レーザ媒体 1130 の吸収スペクトルに合わせて、面発光レーザアレイ 1110 に用いられる半導体 DBR の反射率のピーク波長を設計することが好ましい。さらに、固体レーザ媒体 1130 の吸収スペクトルのピーク付近の波長が反射率のピークとなるように半導体 DBR を設計することがより好ましい。例えば、固体レーザ媒体 1130 としてアレキサンドライト結晶を用いる場合、半導体 DBR の反射率のピーク波長 λ をアレキサンドライト結晶の吸収スペクトルのピーク付近の 400 nm とすることで効率よく固体レーザを発振させることができる。

40

【0127】

なお、本実施例に係る固体レーザにはいかなる固体レーザ媒体を採用してもよい。

【実施例 5】

【0128】

次に、図 12 を用いて、実施例 4 で説明した固体レーザ 1100 を用いた光音響装置について説明する。

【0129】

50

本実施例に係る光音響装置は、固体レーザ 1100、光学系 1200、保持部材 1300、探触子 1400、信号処理部 1500、表示部 1600 を有する。

【0130】

まず、固体レーザ 1100 から発生した光は、光学系 1200 を介してパルス光 1210 として被検体 1000 に照射される。そして、光音響効果により被検体 1000 内で光音響波 1020 が発生する。続いて、探触子 1400 が被検体 1000 内を伝搬した光音響波 1020 を検出して時系列の電気信号を取得する。続いて、信号処理部 1500 が時系列の電気信号に基づいて被検体内部の情報を取得し、表示部 1600 に被検体内部の情報を表示させる。

【0131】

なお、本実施例において、固体レーザ 1100 が発することのできる光の波長は、被検体 1000 の内部まで光が伝搬する波長を使うことが望ましい。具体的には、被検体 1000 が生体の場合、好適な波長は、500nm 以上、1200nm 以下である。ただし、比較的生体表面付近の生体組織の光学特性値分布を求める場合は、上記の波長領域よりも範囲の広い、例えば 400nm から 1600nm の波長領域を使用することも可能である。

【0132】

本実施例に係る被検体情報としては、光音響波の初期音圧、光エネルギー吸収密度、吸収係数、および被検体を構成する物質の濃度などがある。ここで、物質の濃度とは、酸素飽和度、オキシヘモグロビン濃度、デオキシヘモグロビン濃度、および総ヘモグロビン濃度などである。総ヘモグロビン濃度とは、オキシヘモグロビン濃度およびデオキシヘモグロビン濃度の和である。また、本実施形態において被検体情報は、数値データとしてではなく、被検体内の各位置の分布情報であってもよい。すなわち、吸収係数分布や酸素飽和度分布などの分布情報を被検体情報としてもよい。

【実施例 6】

【0133】

次に、図 13 を用いて、実施例 3 で説明した VCSEL がアレイ状に配列して構成された面発光レーザアレイを光源として備えた画像形成装置の構成例について説明する。

【0134】

図 12 (a) は本実施例に係る画像形成装置の平面図であり、図 12 (b) は同装置の側面図である。

【0135】

図 12 において、2000 は感光ドラム（感光体）、2002 は帯電器、2004 は現像器、2006 は転写帯電器、2008 は定着器、2010 は回転多面鏡、2012 はモータである。

【0136】

また、2014 は面発光レーザアレイ、2016 は反射鏡、2018 はコリメータレンズ及び 2020 は f - レンズである。

【0137】

本実施例においては、図 12 (b) に示されるモータ 2012 によって、回転多面鏡 2010 が回転駆動するように構成されている。

【0138】

面発光レーザアレイ 2014 は、記録用光源となるものであり、レーザドライバ（図示せず）により画像信号に応じて点灯または消灯するように構成されている。

【0139】

こうして光変調されたレーザ光は、面発光レーザアレイ 2014 からコリメータレンズ 2018 を介し回転多面鏡 2010 に向けて照射される。

【0140】

回転多面鏡 2010 は矢印方向に回転していて、面発光レーザアレイ 2014 から出力されたレーザ光は、回転多面鏡 2010 の回転に伴い、その反射面で連続的に出射角度を

10

20

30

40

50

変える偏向ビームとして反射される。

【0141】

この反射光は、f - レンズ2020により歪曲収差の補正等を受け、反射鏡2016を経て感光ドラム2000に照射され、感光ドラム2000上で主走査方向に走査される。このとき、回転多面鏡2010の1面を介したビーム光の反射により、感光ドラム2000の主走査方向に面発光レーザアレイ2014に対応した複数のライン分の画像が形成される。

【0142】

感光ドラム2000は、予め帯電器2002により帯電されており、レーザ光の走査により順次露光され、静電潜像が形成される。

10

【0143】

また、感光ドラム2000は矢印方向に回転していて、形成された静電潜像は現像器2004により現像され、現像された可視像は転写帯電器2006により、転写紙に転写される。

【0144】

可視像が転写された転写紙は、定着器2008に搬送され、定着を行った後に機外に排出される。

【0145】

なお、以上の実施例4、5、6においては、面発光レーザアレイを適用した装置の一例について説明したが、面発光レーザアレイを適用できる装置はこれらの装置に限定されるものではない。

20

【0146】

以上、特定の実施形態を参照しながら、本発明について詳解してきた。しかしながら、本発明は上記特定の形態に限定されず、本発明の技術思想を逸脱しない範囲で実施形態の修正をすることができる。

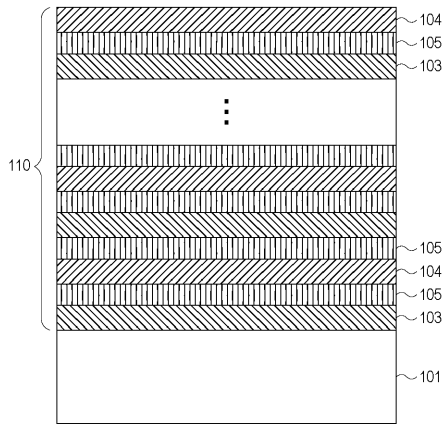
【符号の説明】

【0147】

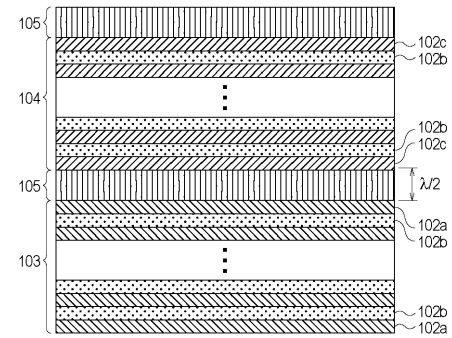
- 101 基板
- 102a AlGa_N層
- 102b Ga_N層
- 102c InGa_N層
- 103 AlGa_N/Ga_N多層構造
- 104 InGa_N/Ga_N多層構造
- 105 位相調整層

30

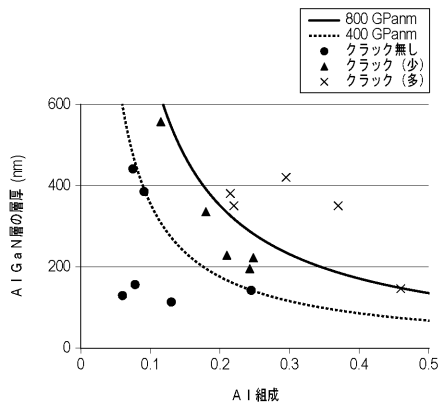
【 図 1 】



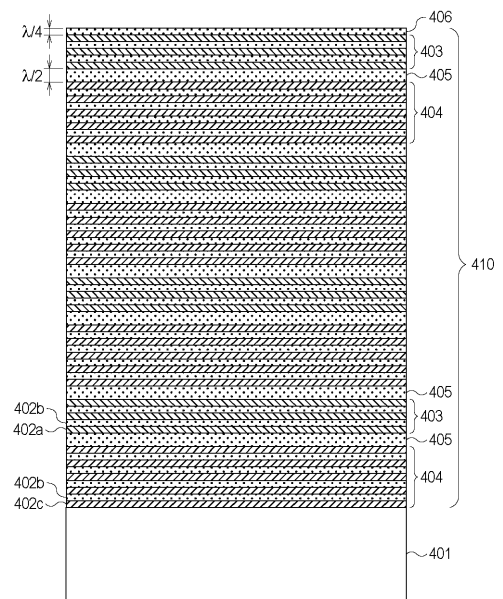
【 図 2 】



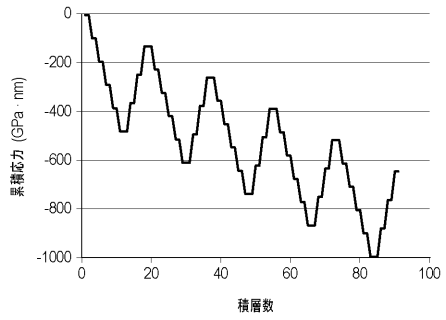
【 図 3 】



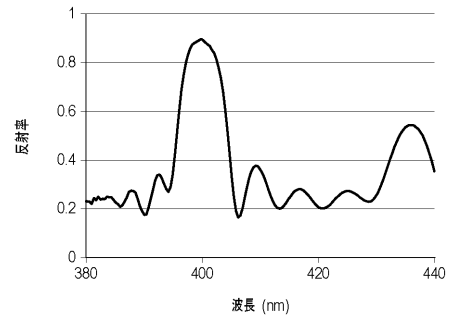
【 図 4 】



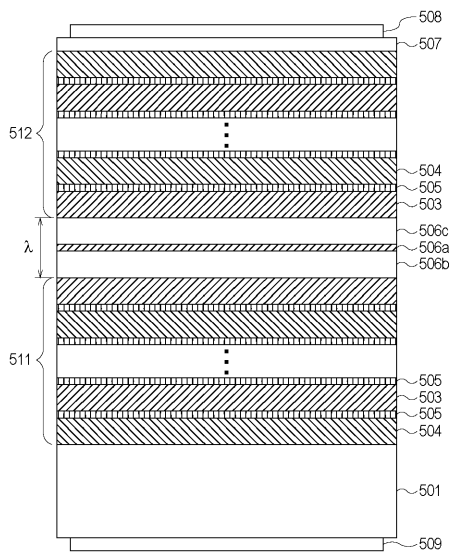
【 図 5 】



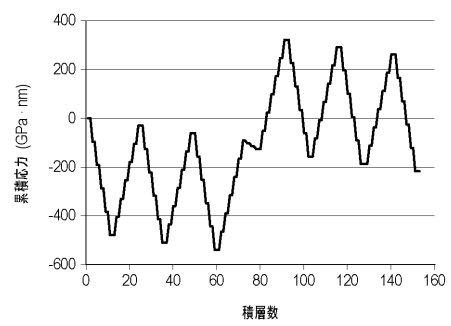
【 図 6 】



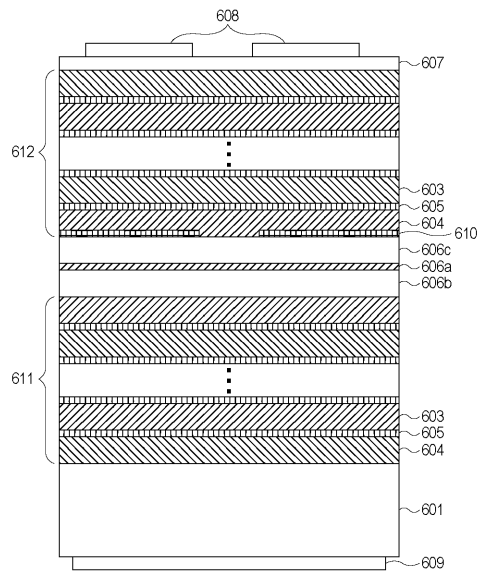
【 図 7 】



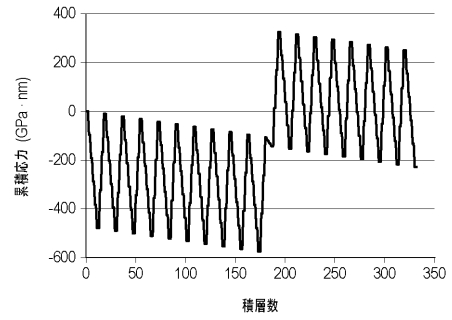
【 図 8 】



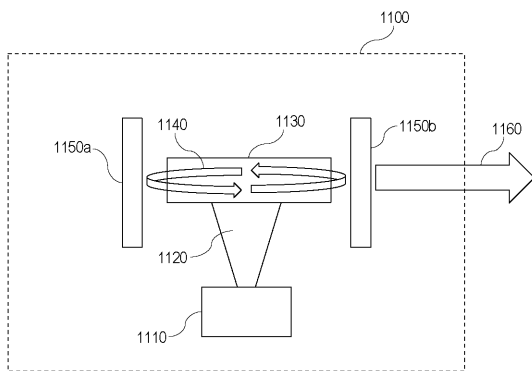
【図9】



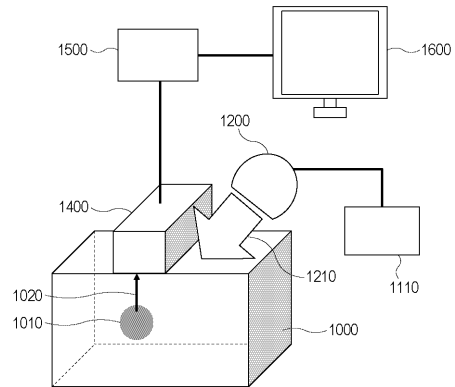
【図10】



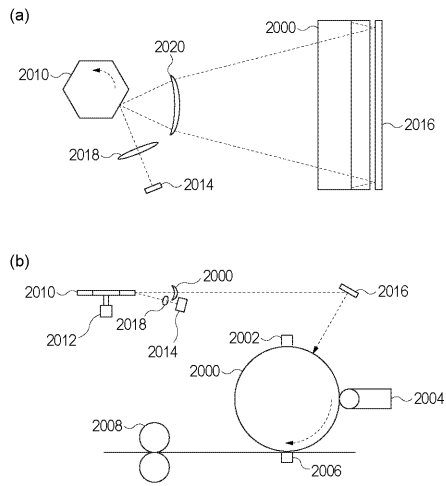
【図11】



【図12】



【 図 1 3 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 1 S 3/00 (2006.01) H 0 1 S 3/00 F

(56)参考文献 特開2007-150074(JP,A)
特開2000-349393(JP,A)
特開2001-291896(JP,A)
特開2011-155087(JP,A)
特開2009-200318(JP,A)
特開2003-332683(JP,A)
特開平10-190147(JP,A)
特開2003-283051(JP,A)
特開2011-029496(JP,A)
特開2002-164620(JP,A)
特開2010-010607(JP,A)
特開2012-110416(JP,A)
特開2012-192160(JP,A)
特開平10-107386(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 0 1 S 5 / 0 0 - 5 / 5 0

H 0 1 L 3 3 / 0 0 - 3 3 / 6 4