

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-15265

(P2012-15265A)

(43) 公開日 平成24年1月19日(2012.1.19)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H O 1 S 5/50 (2006.01)	H O 1 S 5/50 6 1 0	5 F 1 7 3
H O 1 S 5/343 (2006.01)	H O 1 S 5/343 6 1 0	

審査請求 未請求 請求項の数 18 O L (全 42 頁)

(21) 出願番号	特願2010-149344 (P2010-149344)	(71) 出願人	000002185
(22) 出願日	平成22年6月30日 (2010. 6. 30)		ソニー株式会社
		(71) 出願人	504157024
			国立大学法人東北大学
			宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号
		(74) 代理人	100094363
			弁理士 山本 孝久
		(74) 代理人	100118290
			弁理士 吉井 正明
		(72) 発明者	大木 智之
			東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体光増幅器の位置合わせ方法及び光出力装置

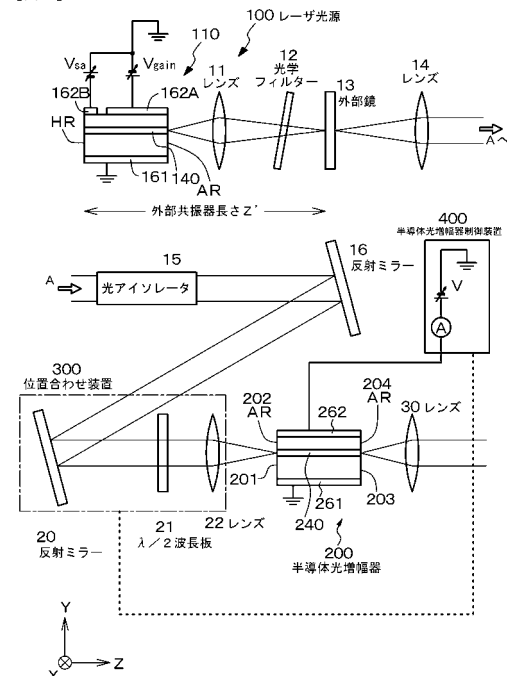
(57) 【要約】

【課題】入射レーザ光と半導体光増幅器の光導波路との結合効率の最適化を、外部のモニタリング装置に依存することなく行い得る半導体光増幅器の位置合わせ方法を提供する。

【解決手段】レーザ光源100からのレーザ光を光増幅して出射する半導体光増幅器200の位置合わせ方法にあつては、半導体光増幅器200にレーザ光源100からレーザ光を入射させながら半導体光増幅器200に所定の値の電流を流して、半導体光増幅器200に印加される電圧が最大となるように半導体光増幅器200に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器200の相対的な位置を調整する。

【選択図】 図1

【図1】



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

レーザ光源からのレーザ光を光増幅して出射する半導体光増幅器の位置合わせ方法であって、

半導体光増幅器にレーザ光源からレーザ光を入射させながら半導体光増幅器に所定の値の電流を流して、半導体光増幅器に印加される電圧が最大となるように半導体光増幅器に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器の相対的な位置を調整する半導体光増幅器の位置合わせ方法。

【請求項 2】

半導体光増幅器から出射されるレーザ光の光出力を測定し、光出力が所望の値から変化したとき、半導体光増幅器にレーザ光源からレーザ光を入射させながら半導体光増幅器に所定の値の電流を流して、半導体光増幅器に印加される電圧が最大となるように半導体光増幅器に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器の相対的な位置を再調整する請求項 1 に記載の半導体光増幅器の位置合わせ方法。

10

【請求項 3】

半導体光増幅器に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器の相対的な位置の再調整の結果が、再調整前の半導体光増幅器に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器の相対的な位置と同じである場合、半導体光増幅器から出射されたレーザ光が通過する光路の調整を行う請求項 2 に記載の半導体光増幅器の位置合わせ方法。

20

【請求項 4】

半導体光増幅器は、

(a) 第 1 導電型を有し、GaN 系化合物半導体から成る第 1 化合物半導体層、GaN 系化合物半導体から成る光増幅領域を有する第 3 化合物半導体層、並びに、第 1 導電型と異なる第 2 導電型を有し、GaN 系化合物半導体から成る第 2 化合物半導体層が、順次、積層されて成る積層構造体、

(b) 第 2 化合物半導体層上に形成された第 2 電極、並びに、

(c) 第 1 化合物半導体層に電気的に接続された第 1 電極、
を備えている請求項 1 乃至請求項 3 のいずれか 1 項に記載の半導体光増幅器の位置合わせ方法。

30

【請求項 5】

レーザ光源からのレーザ光を光増幅して出射する半導体光増幅器の位置合わせ方法であって、

半導体光増幅器にレーザ光源からレーザ光を入射させながら半導体光増幅器に所定の値の電圧を印加して、半導体光増幅器を流れる電流が最大となるように半導体光増幅器に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器の相対的な位置を調整する半導体光増幅器の位置合わせ方法。

【請求項 6】

半導体光増幅器から出射されるレーザ光の光出力を測定し、光出力が所望の値から変化したとき、半導体光増幅器にレーザ光源からレーザ光を入射させながら半導体光増幅器に所定の値の電圧を印加して、半導体光増幅器を流れる電流が最大となるように半導体光増幅器に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器の相対的な位置を再調整する請求項 5 に記載の半導体光増幅器の位置合わせ方法。

40

【請求項 7】

半導体光増幅器に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器の相対的な位置の再調整の結果が、再調整前の半導体光増幅器に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器の相対的な位置と同じである場合、半導体光増幅器から出射されたレーザ光が通過する光路の調整を行う請求項 6 に記載の半導体光増幅器の位置合わせ方法。

【請求項 8】

半導体光増幅器は、

(a) 第 1 導電型を有し、GaN 系化合物半導体から成る第 1 化合物半導体層、GaN

50

系化合物半導体から成る光増幅領域を有する第3化合物半導体層、並びに、第1導電型と異なる第2導電型を有し、GaN系化合物半導体から成る第2化合物半導体層が、順次、積層されて成る積層構造体、

(b) 第2化合物半導体層上に形成された第2電極、並びに、

(c) 第1化合物半導体層に電氣的に接続された第1電極、
を備えており、

第2電極は、第1部分、及び、半導体光増幅器の光出射端面側に設けられ、分離溝によって第1部分と分離された第2部分から成る請求項5乃至請求項7のいずれか1項に記載の半導体光増幅器の位置合わせ方法。

【請求項9】

10

第1部分の長さを $L_{\text{Amp}-1}$ 、第2部分の長さを $L_{\text{Amp}-2}$ としたとき、

$$0.001 \leq L_{\text{Amp}-2} / L_{\text{Amp}-1} \leq 0.01$$

を満足する請求項8に記載の半導体光増幅器の位置合わせ方法。

【請求項10】

第2電極の第2部分に印加する電圧は、-20ボルト以上4ボルト以下のいずれかの値である請求項8又は請求項9に記載の半導体光増幅器の位置合わせ方法。

【請求項11】

半導体光増幅器に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器の相対的な位置を調整することで、半導体光増幅器から出射されるレーザ光の光出力を最大とする請求項1乃至請求項10のいずれか1項に記載の半導体光増幅器の位置合わせ方法。

20

【請求項12】

半導体光増幅器は、透過型半導体光増幅器から構成されている請求項1乃至請求項11のいずれか1項に記載の半導体光増幅器の位置合わせ方法。

【請求項13】

レーザ光源はモードロック半導体レーザ素子から成り、モードロック半導体レーザ素子が出射するパルスレーザ光が半導体光増幅器に入射する請求項1乃至請求項12のいずれか1項に記載の半導体光増幅器の位置合わせ方法。

【請求項14】

レーザ光源は、モード同期動作に基づきパルスレーザ光を出射する請求項13に記載の半導体光増幅器の位置合わせ方法。

30

【請求項15】

(A) レーザ光源、

(B) レーザ光源からのレーザ光を光増幅して出射する半導体光増幅器、

(C) 半導体光増幅器に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器の相対的な位置を調整する位置合わせ装置、並びに、

(D) 半導体光増幅器の動作を制御する半導体光増幅器制御装置、
を備えた光出力装置であって、

半導体光増幅器にレーザ光源からレーザ光を入射させながら半導体光増幅器に所定の値の電流を流して、半導体光増幅器に印加される電圧を半導体光増幅器制御装置はモニターし、

40

半導体光増幅器に印加される電圧が最大となるように、半導体光増幅器に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器の相対的な位置が位置合わせ装置によって調整される光出力装置。

【請求項16】

半導体光増幅器制御装置における電圧モニターの分解能は1ミリボルト以下である請求項15に記載の光出力装置。

【請求項17】

(A) レーザ光源、

(B) レーザ光源からのレーザ光を光増幅して出射する半導体光増幅器、

(C) 半導体光増幅器に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器の相対的な位置を調

50

整する位置合わせ装置、並びに、

(D) 半導体光増幅器の動作を制御する半導体光増幅器制御装置、
を備えた光出力装置であって、

半導体光増幅器にレーザ光源からレーザ光を入射させながら半導体光増幅器に所定の値の電圧を印加して、半導体光増幅器に流れる電流を半導体光増幅器制御装置はモニターし、

半導体光増幅器を流れる電流が最大となるように、半導体光増幅器に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器の相対的な位置が位置合わせ装置によって調整される光出力装置。

【請求項 18】

半導体光増幅器制御装置における電流モニターの分解能は 100 マイクロアンペア以下である請求項 17 に記載の光出力装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体光増幅器の位置合わせ方法及び光出力装置に関する。

【背景技術】

【0002】

今日、パルス時間がアト秒台、フェムト秒台のレーザ光を利用した先端的科学領域の研究に、超短パルス・超高出力レーザが盛んに用いられている。また、Ga N 系化合物半導体から成り、発光波長が 405 nm 帯の高出力超短パルス半導体レーザ素子が、ブルーレイ (Blu-ray) 光ディスクシステムの次の世代の光ディスクシステムとして期待されている体積型光ディスクシステムの光源として、また、医療分野やバイオイメージング分野等で要求される光源として期待されている。

【0003】

超短パルス・超高出力レーザとして、例えば、チタン / サファイア・レーザが知られているが、係るチタン / サファイア・レーザは、高価で、大型の固体レーザ光源であり、この点が、技術の普及を阻害している主たる要因となっている。もしも超短パルス・超高出力レーザが半導体レーザあるいは半導体レーザ素子によって実現できれば、大幅な小型化、低価格化、高安定性化がもたらされ、これらの分野における広汎な普及を促進させる上でのブレイクスルーになると考えられる。

【0004】

一方、半導体レーザ素子の短パルス化は、通信系の分野で、1960 年台から活発に研究されてきた。半導体レーザ素子において短パルスを発生させる方法として、利得スイッチング法、損失スイッチング法 (Q スwitching 法)、モードロック法 (モード同期法) が知られており、これらの方式にあつては、半導体レーザ素子と半導体増幅器や非線形光学素子、光ファイバー等とを組み合わせで高出力化を目指している。ここで、モードロックは、更に、能動モードロックと受動モードロックに分類される。能動モードロックに基づき光パルスを発生させるには、ミラーやレンズを用いて外部共振器を構成し、更に、半導体レーザ素子に高周波 (RF) 変調を加える。一方、受動モードロックでは、多電極構造を有する半導体レーザ素子を利用することで、単純な直流駆動にて光パルスを生成することができる。

【0005】

ところで、レーザ光源においては、ハイパワー化が大きな課題となっている。そして、レーザ光源からの光を増幅する手段として、半導体光増幅器 (Semiconductor Optical Amplifier, SOA) が、鋭意検討されている。ここで、光増幅器とは、光信号を電気信号に変換せず、直接光の状態を増幅するものであり、共振器の無いレーザ構造を有し、増幅器の光利得で入射光を増幅する。半導体光増幅器からの光出力は、入射レーザ光と半導体光増幅器の光導波路との結合効率 (カップリング効率) によって大幅に変化する。それ故、半導体光増幅器において高い光増幅率を達成するためには、入射レーザ光と半導体光増

10

20

30

40

50

幅器との間の位置合わせが非常に重要である。また、結合効率をモニターすることも大きな課題となっている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2003-133651

【特許文献2】特開2010-014896

【非特許文献】

【0007】

【非特許文献1】H.Yokoyama, et al: Appl. Phys. Lett. 39 (1981) 525

10

【非特許文献2】S. Gee and J. E. Bowers: Appl. Phys. Lett. 79 (2001) 1951.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

このような課題に対して、例えば、特開2003-133651に開示された技術においては、入射レーザ光と半導体光増幅器の光導波路との結合に基づいていない光出力をモニターする。また、例えば、特開2010-014896に開示された技術においては、半導体光増幅器からの光出力をモニターする。しかしながら、いずれの技術にあっても、光出力をモニターしているので、入射レーザ光と半導体光増幅器との間の位置合わせを行う場合、光出力をモニターする光路のずれや変化等の影響を排除することができない。また、光出力のモニターに変化が生じたとき、係る変化が、入射レーザ光と半導体光増幅器との間の位置ずれに起因したものであるのか、光出力をモニターする光路の変化に起因したものであるのか、峻別することができない。

20

【0009】

従って、本発明の目的は、入射レーザ光と半導体光増幅器の光導波路との結合効率の最適化を、外部のモニタリング装置に依存することなく行い得る半導体光増幅器の位置合わせ方法、及び、係る半導体光増幅器の位置合わせ方法の実行に適した光出力装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

30

上記の目的を達成するための本発明の第1の態様に係る半導体光増幅器の位置合わせ方法は、レーザ光源からのレーザ光を光増幅して出射する半導体光増幅器の位置合わせ方法であって、

半導体光増幅器にレーザ光源からレーザ光を入射させながら半導体光増幅器に所定の値の電流を流して、半導体光増幅器に印加される（加わる）電圧が最大となるように半導体光増幅器に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器の相対的な位置を調整する。

【0011】

上記の目的を達成するための本発明の第2の態様に係る半導体光増幅器の位置合わせ方法は、レーザ光源からのレーザ光を光増幅して出射する半導体光増幅器の位置合わせ方法であって、

40

半導体光増幅器にレーザ光源からレーザ光を入射させながら半導体光増幅器に所定の値の電圧を印加して、半導体光増幅器を流れる電流が最大となるように半導体光増幅器に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器の相対的な位置を調整する。

【0012】

上記の目的を達成するための本発明の第1の態様及び第2の態様に係る光出力装置は、

（A）レーザ光源、

（B）レーザ光源からのレーザ光を光増幅して出射する半導体光増幅器、

（C）半導体光増幅器に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器の相対的な位置を調整する位置合わせ装置、並びに、

（D）半導体光増幅器の動作を制御する半導体光増幅器制御装置、

50

を備えた光出力装置である。

【 0 0 1 3 】

そして、本発明の第 1 の態様に係る光出力装置にあっては、

半導体光増幅器にレーザ光源からレーザ光を入射させながら半導体光増幅器に所定の値の電流を流して、半導体光増幅器に印加される（加えられる）電圧を半導体光増幅器制御装置はモニターし、

半導体光増幅器に印加される（加えられる）電圧が最大となるように、半導体光増幅器に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器の相対的な位置が位置合わせ装置によって調整される。

【 0 0 1 4 】

また、本発明の第 2 の態様に係る光出力装置にあっては、

半導体光増幅器にレーザ光源からレーザ光を入射させながら半導体光増幅器に所定の値の電圧を印加して、半導体光増幅器に流れる電流を半導体光増幅器制御装置はモニターし、

半導体光増幅器に流れる電流が最大となるように、半導体光増幅器に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器の相対的な位置が位置合わせ装置によって調整される。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 5 】

本発明の第 1 の態様あるいは第 2 の態様に係る半導体光増幅器の位置合わせ方法、本発明の第 1 の態様あるいは第 2 の態様に係る光出力装置にあっては、半導体光増幅器に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器の相対的な位置の調整のために、半導体光増幅器に印加される電圧や半導体光増幅器に流れる電流を測定するので、外部のモニタリング装置に依存することなく、位置調整のための計測を行うことができる。それ故、高い精度で半導体光増幅器に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器の相対的な位置の調整を行うことが可能となる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 6 】

【 図 1 】 図 1 は、実施例 1 の光出力装置の概念図である。

【 図 2 】 図 2 は、実施例 1 の半導体光増幅器の軸線（Z 方向）を含む仮想垂直面（YZ 平面）で半導体光増幅器を切断したときの半導体光増幅器の模式的な断面図である。

【 図 3 】 図 3 は、実施例 1 の半導体光増幅器の軸線と直交する仮想垂直面（XY 平面）で半導体光増幅器を切断したときの半導体光増幅器の模式的な断面図である。

【 図 4 】 図 4 の（A）は、実施例 1 の半導体光増幅器において、第 2 電極から第 1 電極に電流を流したときの光出力及び第 2 電極と第 1 電極との間の印加される電圧を示すグラフであり、図 4 の（B）は、実施例 1 の半導体光増幅器において、第 2 電極から第 1 電極に電流を流したときの光出力を示すグラフである。

【 図 5 】 図 5 は、実施例 1 の半導体光増幅器にレーザ光源からレーザ光を入射させながら半導体光増幅器に所定の値の電流を流し、X 方向に XYZ ステージを移動させたときの半導体光増幅器に印加される電圧の変化を模式的に示すグラフである。

【 図 6 】 図 6 の（A）及び（B）は、それぞれ、実施例 1 の半導体光増幅器にレーザ光源からレーザ光（光出力：2 ミリワット）を入射させている状態において、第 2 電極から第 1 電極に電流を流したときの光出力と電圧 ΔV との関係を示すグラフである。

【 図 7 】 図 7 の（A）は、実施例 2 の光出力装置の概念図であり、図 7 の（B）、（C）、（D）は、それぞれ、反射型半導体光増幅器、共振型半導体光増幅器、及び、モノリシック型半導体光増幅器の概念図である。

【 図 8 】 図 8 は、実施例 5 の半導体光増幅器の軸線（Z 方向）を含む仮想垂直面（YZ 平面）で半導体光増幅器を切断したときの半導体光増幅器の模式的な断面図である。

【 図 9 】 図 9 の（A）及び（B）は、それぞれ、斜め導波路構造を採用した半導体光増幅器、及び、光出射端面側の第 2 電極の構造をフレア型にした半導体光増幅器を上方から眺めた模式図である。

10

20

30

40

50

【図 10】図 10 は、実施例 1 におけるモードロック半導体レーザ素子の共振器の延びる方向に沿った模式的な端面図である。

【図 11】図 11 の (A) 及び (B) は、それぞれ、実施例 1 及び実施例 6 におけるモードロック半導体レーザ素子から外部共振器を構成してモードロック駆動を行うシステムを模式的に示す図である。

【図 12】図 12 の (A) 及び (B) は、それぞれ、実施例 6 におけるモードロック半導体レーザ素子から外部共振器を構成してモードロック駆動を行うシステムを模式的に示す図であり、図 12 の (C) は、実施例 7 におけるモードロック半導体レーザ素子を用いてモードロック駆動を行うシステムを模式的に示す図である。

【図 13】図 13 は、実施例 8 におけるモードロック半導体レーザ素子におけるリッジ部を上方から眺めた模式図である。

【図 14】図 14 の (A) 及び (B) は、それぞれ、実施例 9 及び実施例 10 におけるモードロック半導体レーザ素子を用いてモードロック駆動を行うシステムを模式的に示す図である。

【図 15】図 15 は、実施例 1 におけるモードロック半導体レーザ素子の変形例の共振器の延びる方向に沿った模式的な端面図である。

【図 16】図 16 は、実施例 1 におけるモードロック半導体レーザ素子の別の変形例の共振器の延びる方向に沿った模式的な端面図である。

【図 17】図 17 は、実施例 1 におけるモードロック半導体レーザ素子のセルフパルセーション動作の評価に用いた測定系を模式的に示す図である。

【図 18】図 18 の (A) 及び (B) は、それぞれ、実施例 1 及び参考例 1 において、注入電流と光出力の関係 (L - I 特性) の逆バイアス電圧依存性測定結果を示すグラフである。

【図 19】図 19 の (A) 及び (B) は、それぞれ、実施例 1 及び参考例 1 において発生した光パルスをストリークカメラで測定した結果を示す図である。

【図 20】図 20 は、実施例 1 において得られたモードロック半導体レーザ素子の第 2 電極の第 1 部分と第 2 部分との間の電気抵抗値を 4 端子法にて測定した結果を示すグラフである。

【図 21】図 21 の (A) 及び (B) は、それぞれ、実施例 9 及び参考例 9 の RF スペクトルを測定した結果を示すグラフである。

【図 22】図 22 の (A) 及び (B) は、実施例 1 におけるモードロック半導体レーザ素子の製造方法を説明するための基板等の模式的な一部断面図である。

【図 23】図 23 の (A) 及び (B) は、図 22 の (B) に引き続き、実施例 1 におけるモードロック半導体レーザ素子の製造方法を説明するための基板等の模式的な一部断面図である。

【図 24】図 24 は、図 23 の (B) に引き続き、実施例 1 におけるモードロック半導体レーザ素子の製造方法を説明するための基板等の模式的な一部端面図である。

【発明を実施するための形態】

【0017】

以下、図面を参照して、実施例に基づき本発明を説明するが、本発明は実施例に限定されるものではなく、実施例における種々の数値や材料は例示である。尚、説明は、以下の順序で行う。

1. 本発明の第 1 の態様及び第 2 の態様に係る半導体光増幅器の位置合わせ方法、並びに、本発明の第 1 の態様及び第 2 の態様に係る光出力装置、全般に関する説明
2. 実施例 1 (本発明の第 1 の態様に係る半導体光増幅器の位置合わせ方法、並びに、本発明の第 1 の態様に係る光出力装置)
3. 実施例 2 (実施例 1 の変形)
4. 実施例 3 (本発明の第 2 の態様に係る半導体光増幅器の位置合わせ方法、並びに、本発明の第 2 の態様に係る光出力装置)
5. 実施例 4 (実施例 3 の変形)

- 6．実施例 5（実施例 3 の別の变形）
- 7．実施例 6（実施例 1 におけるモードロック半導体レーザ素子の变形）
- 8．実施例 7（実施例 1 におけるモードロック半導体レーザ素子の別の变形）
- 9．実施例 8（実施例 1 におけるモードロック半導体レーザ素子の別の变形）
- 10．実施例 9（実施例 1 におけるモードロック半導体レーザ素子の別の变形）
- 11．実施例 10（実施例 1 におけるモードロック半導体レーザ素子の別の变形）、その他

【0018】

[本発明の第 1 の態様及び第 2 の態様に係る半導体光増幅器の位置合わせ方法、並びに、
本発明の第 1 の態様及び第 2 の態様に係る光出力装置、全般に関する説明]

本発明の第 1 の態様に係る光出力装置において、半導体光増幅器制御装置における電圧
モニターの分解能は、1 ミリボルト以下、好ましくは 0.1 ミリボルト以下であることが
望ましい。また、本発明の第 2 の態様に係る光出力装置において、半導体光増幅器制御
装置における電流モニターの分解能は、100 マイクロアンペア以下、好ましくは 10 マイ
クロアンペア以下であることが望ましい。

【0019】

上記の好ましい形態を含む本発明の第 1 の態様に係る光出力装置、あるいは、本発明の
第 1 の態様に係る半導体光増幅器の位置合わせ方法（以下、これらを総称して、『本発明
の第 1 の態様』と呼ぶ場合がある）においては、半導体光増幅器から出射されるレーザ光
の光出力を測定し、光出力が所望の値から変化したとき、半導体光増幅器にレーザ光源か
らレーザ光を入射させながら半導体光増幅器に所定の値の電流を流して、半導体光増幅器
に印加される（加わる）電圧が最大となるように半導体光増幅器に入射するレーザ光に対
する半導体光増幅器の相対的な位置を再調整する形態とすることができる。そして、この
ような好ましい形態にあつては、半導体光増幅器に入射するレーザ光に対する半導体光増
幅器の相対的な位置の再調整の結果が、再調整前の半導体光増幅器に入射するレーザ光に
対する半導体光増幅器の相対的な位置と同じである場合、半導体光増幅器から出射され
たレーザ光が通過する光路の調整を行う形態とすることができる。これらの形態を採用す
ることで、光出力のモニターに変化が生じたとき、係る変化が、半導体光増幅器に入射す
るレーザ光に対する半導体光増幅器の相対的な位置の変化（即ち、入射レーザ光と半導体
光増幅器の光導波路との結合効率の変化）に起因したものであるのか否かの峻別を、容易
に行うことができる。更には、これらの好ましい形態を含む本発明の第 1 の態様において、
半導体光増幅器は、

（a）第 1 導電型を有し、GaN 系化合物半導体から成る第 1 化合物半導体層、GaN
系化合物半導体から成る光増幅領域（キャリア注入領域、利得領域）を有する第 3 化合物
半導体層、並びに、第 1 導電型と異なる第 2 導電型を有し、GaN 系化合物半導体から成
る第 2 化合物半導体層が、順次、積層されて成る積層構造体、

（b）第 2 化合物半導体層上に形成された第 2 電極、並びに、

（c）第 1 化合物半導体層に電気的に接続された第 1 電極、
を備えている形態とすることができる。

【0020】

上記の好ましい形態を含む本発明の第 2 の態様に係る光出力装置、あるいは、本発明の
第 2 の態様に係る半導体光増幅器の位置合わせ方法（以下、これらを総称して、『本発明
の第 2 の態様』と呼ぶ場合がある）においては、半導体光増幅器から出射されるレーザ光
の光出力を測定し、光出力が所望の値から変化したとき、半導体光増幅器にレーザ光源か
らレーザ光を入射させながら半導体光増幅器に所定の値の電圧を印加して、半導体光増
幅器を流れる電流が最大となるように半導体光増幅器に入射するレーザ光に対する半導体
光増幅器の相対的な位置を再調整する形態とすることができる。そして、このような好ま
しい形態にあつては、半導体光増幅器に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器の相対
的な位置の再調整の結果が、再調整前の半導体光増幅器に入射するレーザ光に対する半導
体光増幅器の相対的な位置と同じである場合、半導体光増幅器から出射されたレーザ光が通

10

20

30

40

50

過する光路の調整を行う形態とすることができる。これらの形態を採用することで、光出力のモニターに変化が生じたとき、係る変化が、半導体光増幅器に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器の相対的な位置の変化（即ち、入射レーザ光と半導体光増幅器の光導波路との結合効率の変化）に起因したものであるのか否かの峻別を、容易に行うことができる。更には、これらの好ましい形態を含む本発明の第2の態様において、半導体光増幅器は、

（a）第1導電型を有し、GaN系化合物半導体から成る第1化合物半導体層、GaN系化合物半導体から成る光増幅領域（キャリア注入領域、利得領域）を有する第3化合物半導体層、並びに、第1導電型と異なる第2導電型を有し、GaN系化合物半導体から成る第2化合物半導体層が、順次、積層されて成る積層構造体、

（b）第2化合物半導体層上に形成された第2電極、並びに、

（c）第1化合物半導体層に電氣的に接続された第1電極、

を備えている形態とすることができる。そして、このような形態において、第2電極は、第1部分、及び、半導体光増幅器の光出射端面側に設けられ、分離溝によって第1部分と分離された第2部分から成る構成とすることができる。第2部分を、半導体光増幅器の光出射端面側に位置させることが、半導体光増幅器の光出射端面の劣化を抑制するといった観点から好ましい。更には、このような構成にあつては、第1部分の長さを $L_{\text{Amp-1}}$ 、第2部分の長さを $L_{\text{Amp-2}}$ としたとき、 $0.001 \leq L_{\text{Amp-2}} / L_{\text{Amp-1}} \leq 0.01$ 、好ましくは、 $0.0025 \leq L_{\text{Amp-2}} / L_{\text{Amp-1}} \leq 0.0075$ を満足することが望ましく、また、第2電極の第2部分に印加する電圧は、-20ボルト以上4ボルト以下のいずれかの値、好ましくは、-15ボルト以上0ボルト以下のいずれかの値である構成とすることができる。ここで、第2電極の第1部分に電圧を印加することで（電流を流入させることで）、半導体光増幅器の本来の機能である光増幅を行い、第2電極の第2部分に電圧を印加することで、位置調整のための計測を行う。半導体光増幅器における第2電極の第1部分と第2部分との間の電気抵抗値は、 $1 \times 10^2 \Omega$ 以上、好ましくは $1 \times 10^3 \Omega$ 以上、より好ましくは $1 \times 10^4 \Omega$ 以上であることが望ましい。あるいは又、第2電極の第1部分と第2部分との間の電気抵抗値は、第2電極と第1電極との間の電気抵抗値の 1×10 倍以上、好ましくは 1×10^2 倍以上、より好ましくは 1×10^3 倍以上であることが望ましい。あるいは又、第2電極を第1部分と第2部分とに分離する分離溝の幅は、 $1 \mu\text{m}$ 以上、半導体光増幅器の長さの50%以下、好ましくは $10 \mu\text{m}$ 以上、半導体光増幅器の長さの10%以下とすることが望ましい。

【0021】

以上に説明した好ましい形態、構成を含む本発明の第1の態様あるいは本発明の第2の態様においては、半導体光増幅器に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器の相対的な位置を調整することで、半導体光増幅器から出射されるレーザ光の光出力を最大とする形態とすることができる。

【0022】

更には、係る形態を含む、以上に説明した好ましい形態、構成を含む本発明の第1の態様あるいは本発明の第2の態様において、半導体光増幅器は、透過型半導体光増幅器から構成されている形態とすることができるが、これに限定するものではなく、例えば、反射型半導体光増幅器や、共振型半導体光増幅器、モノリシック型半導体光増幅器から構成されている形態とすることもできる。

【0023】

更には、係る形態を含む、以上に説明した好ましい形態、構成を含む本発明の第1の態様あるいは本発明の第2の態様において、レーザ光源はモードロック半導体レーザ素子から成り、モードロック半導体レーザ素子が出射するパルスレーザ光が半導体光増幅器に入射する形態とすることができ、この場合、レーザ光源は、モード同期動作に基づきパルスレーザ光を出射する構成とすることができる。但し、レーザ光源はこのような形態に限定するものではなく、連続発振型の周知のレーザ光源、利得スイッチング方式、損失スイッチング方式（Qスイッチング方式）等を含む種々の方式・形式の周知のパルス発振型のレ

10

20

30

40

50

ーザ光源、チタンサファイヤレーザといったレーザ光源を用いることもできる。尚、本発明における半導体光増幅器は、光信号を電気信号に変換せず、直接光の状態を増幅するものであり、共振器効果を極力排除したレーザ構造を有し、半導体光増幅器の光利得で入射光を増幅する。即ち、本発明における半導体光増幅器は、本発明におけるレーザ光源を構成する半導体レーザ素子と実質的に同じ構成、構造を有する形態とすることができるし、異なる構成、構造を有する形態とすることもできる。

【0024】

本発明の第1の態様に係る半導体光増幅器の位置合わせ方法においては、半導体光増幅器にレーザ光源からレーザ光を入射させずに半導体光増幅器に所定の値の電流 I_0 を流したとき、半導体光増幅器に印加される（加わる）電圧を V_1 、半導体光増幅器にレーザ光源からレーザ光を入射させながら半導体光増幅器に所定の値の電流 I_0 を流したとき、半導体光増幅器に印加される（加わる）電圧を V_2 とすれば、 $\Delta V = (V_2 - V_1)$ の値が最大となるように半導体光増幅器に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器の相対的な位置を調整する形態とすることができる。

10

【0025】

また、本発明の第2の態様に係る半導体光増幅器の位置合わせ方法においては、半導体光増幅器にレーザ光源からレーザ光を入射させずに半導体光増幅器に所定の値の電圧 V_0 を印加したとき、半導体光増幅器を流れる電流を I_1 、半導体光増幅器にレーザ光源からレーザ光を入射させながら半導体光増幅器に所定の値の電圧 V_0 を印加したとき、半導体光増幅器を流れる電流を I_2 とすれば、 $\Delta I = (I_2 - I_1)$ の値が最大となるように半導体光増幅器に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器の相対的な位置を調整する形態とすることができる。

20

【0026】

更には、本発明の第1の態様に係る光出力装置にあつては、半導体光増幅器にレーザ光源からレーザ光を入射させずに半導体光増幅器に所定の値の電流 I_0 を流したとき、半導体光増幅器に印加される（加えられる）電圧を V_1 、半導体光増幅器にレーザ光源からレーザ光を入射させながら半導体光増幅器に所定の値の電流 I_0 を流したとき、半導体光増幅器に印加される（加えられる）電圧を V_2 とすれば、 $\Delta V = (V_2 - V_1)$ の値が最大となるように、半導体光増幅器に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器の相対的な位置が位置合わせ装置によって調整される形態とすることができる。

30

【0027】

また、本発明の第2の態様に係る光出力装置にあつては、半導体光増幅器にレーザ光源からレーザ光を入射させずに半導体光増幅器に所定の値の電圧 V_0 を印加したとき、半導体光増幅器を流れる電流を I_1 、半導体光増幅器にレーザ光源からレーザ光を入射させながら半導体光増幅器に所定の値の電圧 V_0 を印加したとき、半導体光増幅器を流れる電流を I_2 とすれば、 $\Delta I = (I_2 - I_1)$ の値が最大となるように、半導体光増幅器に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器の相対的な位置が位置合わせ装置によって調整される形態とすることができる。

【0028】

本発明の第1の態様における所定の値の電流として、0ミリアンペア $< \Delta I < 20$ ミリアンペアを例示することができるし、本発明の第2の態様における所定の値の電圧として、0ボルト $< \Delta V < 5$ ボルトを例示することができる。半導体光増幅器に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器の相対的な位置の調整の具体的な方法として、半導体光増幅器を例えばXYZステージに載置し、XYZステージを移動させる方法、半導体光増幅器に入射するレーザ光が通過する光路を構成する部品（例えば、反射鏡）を例えばXYZステージに載置し、XYZステージを移動させる方法を挙げることができる。半導体光増幅器から出射されたレーザ光が通過する光路の調整の具体的な方法として、半導体光増幅器から出射されたレーザ光が通過する光路を構成する部品（例えば、反射鏡）を例えばXYZステージに載置し、XYZステージを移動させる方法を挙げることができる。半導体光増幅器から出射されるレーザ光の光出力の測定は、フォトダイオードを用いる方法、フォト

40

50

ダイオードに流れる電流量を校正して光パワーに変換するといった方法に基づき行えばよい。光出力の所望の値 P_0 として、 $0 \text{ ミリワット} < P_0 < 1 \text{ ワット}$ を例示することができる。半導体光増幅器制御装置の具体的な構成として、周知の直流電源と電圧測定装置と電流測定装置の組合せ、直流電流電圧源を例示することができる。

【0029】

以上に説明した各種の好ましい形態、構成を含む本発明の第1の態様あるいは本発明の第2の態様（以下、これらを総称して、単に『本発明』と呼ぶ場合がある）におけるレーザ光源を、上述したとおりモードロック半導体レーザ素子から構成する場合、モードロック半導体レーザ素子（以下、『本発明におけるモードロック半導体レーザ素子』と呼ぶ）は、

（a）第1導電型を有し、GaN系化合物半導体から成る第1化合物半導体層、GaN系化合物半導体から成る発光領域を有する第3化合物半導体層、並びに、第1導電型と異なる第2導電型を有し、GaN系化合物半導体から成る第2化合物半導体層が、順次、積層されて成る積層構造体、

（b）第2化合物半導体層上に形成された第2電極、並びに、

（c）第1化合物半導体層に電氣的に接続された第1電極、
を備え、

積層構造体は、極性を有する化合物半導体基板上に形成されており、

第3化合物半導体層は、井戸層及び障壁層を備えた量子井戸構造を有する構成とすることができる。そして、限定するものではないが、

井戸層の厚さは、1nm以上、10nm以下、好ましくは、1nm以上、8nm以下であり、

障壁層の不純物ドーピング濃度は、 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上、 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下、好ましくは、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上、 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下とすることが好ましい。

【0030】

そして、本発明におけるモードロック半導体レーザ素子の駆動にあつては、第2電極から積層構造体を介して第1電極に電流を流すことで、発光領域において光パルスを発生させる構成とすることができる。また、本発明におけるモードロック半導体レーザ素子にあつては、第2電極から積層構造体を介して第1電極に電流が流されることで、発光領域において光パルスが発生する構成とすることができる。

【0031】

半導体レーザ素子をセルフパルセーション動作させるためには、半導体レーザ素子に発光領域及び可飽和吸収領域を設ける必要がある。ここで、発光領域及び可飽和吸収領域の配置状態から、半導体レーザ素子は、一般に、発光領域と可飽和吸収領域とを垂直方向に配置したSAL（Saturable Absorber Layer）型やWI（Weakly Index guide）型と、共振器方向に発光領域と可飽和吸収領域とを並置したバイ・セクション（Bi Section）型を含む多電極型に分類することができる。モードロック法にあつては、立方晶系（主に、GaAs系）の半導体レーザ素子では、時間幅0.6ピコ秒の光パルスが発生できることが確認されている（非特許文献1を参照）。また、六方晶系（主にGaN系）の半導体レーザ素子では、2001年に、S. Geeらが初めてモードロック法を用いた光パルスの発生を報告している（非特許文献2を参照）。しかしながら、非特許文献2によれば、光パルスの時間幅は30ピコ秒とまだ長いものである。また、極性を有する基板を用いて多電極型の半導体レーザ素子を作製した場合、具体的には、例えば、GaN基板の{0001}面（C面）上に多電極型のGaN系半導体レーザ素子を設けた場合、ピエゾ分極又は自発分極に起因した内部電界によるQCSE効果（量子閉じ込めシュタルク効果）によって、電氣的に可飽和吸収が制御し難くなる場合がある。即ち、場合によっては、セルフパルセーション動作及びモードロック動作を得るために第1電極に流す直流電流の値及び可飽和吸収領域に印加する逆バイアス電圧の値を高くする必要性が生じたり、メインパルスに付随したサブパルス成分が発生したり、外部信号と光パルスとの間での同期が取り難くなることが判った。

【0032】

本発明におけるモードロック半導体レーザ素子にあっては、好ましくは、第3化合物半導体層を構成する井戸層の厚さが1nm以上、10nm以下と規定され、更には、第3化合物半導体層を構成する障壁層の不純物ドーピング濃度が $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上、 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下と規定されている。即ち、井戸層の厚さを薄くし、しかも、第3化合物半導体層のキャリアの増加を図っている。そして、その結果、ピエゾ分極の影響を低減させることができ、時間幅が短く、サブパルス成分の少ない単峰化された光パルスを発生させるレーザ光源を得ることができる。また、低い逆バイアス電圧でモードロック駆動を達成することが可能となるし、外部信号（電気信号及び光信号）と同期が取れた光パルス列を発生させることが可能となる。それ故、例えば、体積型光ディスクシステムにおける光パルスを発生させる発振器として適用することができる。

10

【0033】

ここで、本発明におけるモードロック半導体レーザ素子にあっては、

第3化合物半導体層は、可飽和吸収領域を更に備えており、

第2電極は、発光領域を経由して第1電極に電流を流すことで順バイアス状態とするための第1部分、及び、可飽和吸収領域に電界を加えるための第2部分に、分離溝によって分離されており、

第2電極の第1部分から発光領域を経由して第1電極に電流を流すことで順バイアス状態とし、且つ、第1電極と第2電極の第2部分との間に電圧を印加することで可飽和吸収領域に電界を加える形態とすることができる。

20

【0034】

第1電極と第2部分との間には、逆バイアス電圧を印加する構成（即ち、第1電極を正極、第2部分を負極とする構成）とすることが望ましい。尚、第2電極の第2部分には、第2電極の第1部分に印加するパルス電流あるいはパルス電圧と同期したパルス電流あるいはパルス電圧を印加してもよいし、直流バイアスを印加してもよい。

【0035】

また、これらの好ましい形態、構成を含む本発明におけるモードロック半導体レーザ素子において、第2電極の第1部分と第2部分との間の電気抵抗値は、 $1 \times 10^2 \Omega$ 以上、好ましくは $1 \times 10^3 \Omega$ 以上、より好ましくは $1 \times 10^4 \Omega$ 以上であることが望ましい。あるいは又、第2電極の第1部分と第2部分との間の電気抵抗値は、第2電極と第1電極との間の電気抵抗値の10倍以上、好ましくは 1×10^2 倍以上、より好ましくは 1×10^3 倍以上であることが望ましい。

30

【0036】

ここで、第2電極の第1部分と第2部分との間の電気抵抗値を、 $1 \times 10^2 \Omega$ 以上とし、あるいは又、第2電極と第1電極との間の電気抵抗値の10倍以上とする形態を採用することで、第2電極の第1部分から第2部分への漏れ電流の流れを確実に抑制することができる。即ち、発光領域（キャリア注入領域、利得領域）に注入する電流を大きくできると同時に、可飽和吸収領域（キャリア非注入領域）へ印加する逆バイアス電圧 V_{sa} を高くすることができる。その結果、ピークパワーの強い光パルスを有するシングルモードのセルフパルセーション動作を実現できる。しかも、第2電極の第1部分と第2部分との間のこのような高い電気抵抗値を、第2電極を第1部分と第2部分とに分離溝によって分離するだけで達成することができる。即ち、モードロックによる光パルス生成を一層容易に実現することができる。

40

【0037】

更には、以上に説明した好ましい形態、構成を含む本発明におけるモードロック半導体レーザ素子において、第2電極を第1部分と第2部分とに分離する分離溝の幅は、1μm以上、共振器長の50%以下、好ましくは10μm以上、共振器長の10%以下とすることが望ましい。共振器長として、0.3mmを例示することができるが、これに限定するものではない。尚、以下の説明において、共振器方向をZ方向とし、積層構造体の厚さ方向をY方向とする。あるいは又、可飽和吸収領域の長さは発光領域の長さよりも短い構成

50

とすることができる。あるいは又、第 2 電極の長さ（第 1 部分と第 2 部分の総計の長さ）は第 3 化合物半導体層の長さよりも短い構成とすることができる。ここで、第 2 電極の第 1 部分と第 2 部分の配置状態として、

（ 1 ） 2 つの第 2 電極の第 1 部分と 1 つの第 2 電極の第 2 部分とが設けられ、第 2 部分の端部が、一方の分離溝を挟んで、一方の第 1 部分と対向し、第 2 部分の他端が、他方の分離溝を挟んで、他方の第 1 部分と対向している状態（即ち、第 2 電極は、第 2 部分を第 1 部分で挟んだ構造）

（ 2 ） 1 つの第 2 電極の第 1 部分と 1 つの第 2 電極の第 2 部分とが設けられ、第 2 電極の第 1 部分と、第 2 電極の第 2 部分とが、分離溝を挟んで配置されている状態

（ 3 ） 1 つの第 2 電極の第 1 部分と 2 つの第 2 電極の第 2 部分とが設けられ、第 1 部分の一端が、一方の分離溝を挟んで、一方の第 2 部分と対向し、第 1 部分の他端が、他方の分離溝を挟んで、他方の第 2 部分と対向している状態

を挙げることができるが、中でも、（ 1 ）、（ 2 ）の構造とすることが望ましい。また、広くは、

（ 4 ） N 個の第 2 電極の第 1 部分と（ N - 1 ）個の第 2 電極の第 2 部分とが設けられ、第 2 電極の第 1 部分が第 2 電極の第 2 部分を挟んで配置されている状態

（ 5 ） N 個の第 2 電極の第 2 部分と（ N - 1 ）個の第 2 電極の第 1 部分とが設けられ、第 2 電極の第 2 部分が第 2 電極の第 1 部分を挟んで配置されている状態

を挙げることができる。尚、（ 4 ）及び（ 5 ）の状態は、云い換えれば、

（ 4 ' ） N 個の発光領域 [キャリア注入領域、利得領域] と（ N - 1 ）個の可飽和吸収領域 [キャリア非注入領域] とが設けられ、発光領域が可飽和吸収領域を挟んで配置されている状態

（ 5 ' ） N 個の可飽和吸収領域 [キャリア非注入領域] と（ N - 1 ）個の発光領域 [キャリア注入領域、利得領域] とが設けられ、可飽和吸収領域が発光領域を挟んで配置されている状態

である。尚、（ 1 ）、（ 5 ）、（ 5 ' ）の構造を採用することで、モードロック半導体レーザー素子の光出射端面における損傷が発生し難くなる。

【 0 0 3 8 】

更には、以上に説明した好ましい形態、構成を含む本発明におけるモードロック半導体レーザー素子の駆動方法にあっては、第 2 電極から発光領域を経由して第 1 電極に電流を流し、且つ、第 2 電極から発光領域を経由して第 1 電極に外部電気信号を重畳させる形態とすることができる。そして、これによって、光パルスと外部電気信号との間の同期を取ることができる。あるいは又、積層構造体の一端面から光信号を入射させる形態とすることができる。そして、これによっても、光パルスと光信号との間の同期を取ることができる。

【 0 0 3 9 】

更には、以上に説明した好ましい形態、構成を含む本発明における半導体光増幅器、あるいは、本発明におけるモードロック半導体レーザー素子にあっては、障壁層にドーピングされた不純物はシリコン（ Si ）である構成することができるが、これに限定するものではなく、その他、酸素（ O ）とすることもできる。

【 0 0 4 0 】

以上に説明した好ましい形態、構成を含む本発明における半導体光増幅器、あるいは、本発明におけるモードロック半導体レーザー素子は、リッジストライプ型の分離閉じ込めヘテロ構造（ S C H 構造、Separate Confinement Heterostructure ）を有する形態とすることができる。あるいは又、以上に説明した好ましい形態、構成を含む本発明における半導体光増幅器、あるいは、本発明におけるモードロック半導体レーザー素子は、斜めリッジストライプ型の分離閉じ込めヘテロ構造を有する形態とすることができる。ここで、リッジ構造の高さは、 0 . 1 μ m 以上、 1 0 μ m 以下、好ましくは 0 . 2 μ m 以上、 1 μ m 以下とすることが望ましいが、これに限定するものではない。また、リッジ構造の幅として 2 μ m 以下を例示することができ、リッジ構造の幅の下限值として、例えば、 0 . 8 μ m を

10

20

30

40

50

挙げることができるが、これに限定するものではない。尚、リッジ部の両側面よりも外側に位置する第2化合物半導体層の部分の頂面から第3化合物半導体層までの距離(D)は $1.0 \times 10^{-7} \text{ m}$ ($0.1 \mu\text{m}$)以上であることが好ましい。距離(D)をこのように規定することによって、第3化合物半導体層の両脇(X方向)に可飽和吸収領域を確実に形成することができる。距離(D)の上限は、閾値電流の上昇、温度特性、長期駆動時の電流上昇率の劣化等に基づき決定すればよい。

【0041】

以上に説明した好ましい形態、構成を含む本発明におけるモードロック半導体レーザ素子は、例えば、以下の方法で製造することができる。即ち、

(A) 基体上に、第1導電型を有し、GaN系化合物半導体から成る第1化合物半導体層、GaN系化合物半導体から成る発光領域及び可飽和吸収領域を構成する第3化合物半導体層、並びに、第1導電型と異なる第2導電型を有し、GaN系化合物半導体から成る第2化合物半導体層が、順次、積層されて成る積層構造体を形成した後、

(B) 第2化合物半導体層上に帯状の第2電極を形成し、次いで、

(C) 第2電極をエッチング用マスクとして、少なくとも第2化合物半導体層の一部分をエッチングして、リッジ構造を形成した後、

(D) 分離溝を第2電極に形成するためのレジスト層を形成し、次いで、レジスト層をウェットエッチング用マスクとして、第2電極に分離溝をウェットエッチング法にて形成し、以て、第2電極を第1部分と第2部分とに分離溝によって分離する、各工程を具備した製造方法に基づき製造することができる。

【0042】

そして、このような製造方法を採用することで、即ち、帯状の第2電極をエッチング用マスクとして、少なくとも第2化合物半導体層の一部分をエッチングして、リッジ構造を形成するので、即ち、パターニングされた第2電極をエッチング用マスクとして用いてセルフアライン方式にてリッジ構造を形成するので、第2電極とリッジ構造との間に合わせずれが生じることがない。また、第2電極に分離溝をウェットエッチング法にて形成する。このように、ドライエッチング法と異なり、ウェットエッチング法を採用することで、第2化合物半導体層に光学的、電気的特性の劣化が生じることを抑制することができる。それ故、発光特性に劣化が生じることを、確実に防止することができる。

【0043】

尚、工程(C)にあつては、第2化合物半導体層を厚さ方向に一部分、エッチングしてもよいし、第2化合物半導体層を厚さ方向に全部、エッチングしてもよいし、第2化合物半導体層及び第3化合物半導体層を厚さ方向にエッチングしてもよいし、第2化合物半導体層及び第3化合物半導体層、更には、第1化合物半導体層を厚さ方向に一部分、エッチングしてもよい。

【0044】

更には、前記工程(D)において、第2電極に分離溝を形成する際の、第2電極のエッチングレートを ER_0 、積層構造体のエッチングレートを ER_1 としたとき、 $ER_0/ER_1 \geq 1 \times 10^2$ 、好ましくは、 $ER_0/ER_1 \geq 1 \times 10^3$ を満足することが望ましい。 ER_0/ER_1 がこのような関係を満足することで、積層構造体をエッチングすること無く(あるいは、エッチングされても僅かである)、第2電極を確実にエッチングすることができる。

【0045】

以上に説明した好ましい形態、構成を含む本発明における半導体光増幅器も、実質的に、上述した本発明におけるモードロック半導体レーザ素子の製造方法と同様の製造方法で製造することができるが、これに限定するものではない。

【0046】

本発明における半導体光増幅器、あるいは、本発明におけるモードロック半導体レーザ素子において、第2電極は、パラジウム(Pd)単層、ニッケル(Ni)単層、白金(Pt)単層、パラジウム層が第2化合物半導体層に接するパラジウム層/白金層の積層構造

、又は、パラジウム層が第2化合物半導体層に接するパラジウム層／ニッケル層の積層構造から成る形態とすることができる。尚、下層金属層をパラジウムから構成し、上層金属層をニッケルから構成する場合、上層金属層の厚さを、 $0.1\mu\text{m}$ 以上、好ましくは $0.2\mu\text{m}$ 以上とすることが望ましい。あるいは又、第2電極を、パラジウム(Pd)単層から成る構成とすることが好ましく、この場合、厚さを、 20nm 以上、好ましくは 50nm 以上とすることが望ましい。あるいは又、第2電極を、パラジウム(Pd)単層、ニッケル(Ni)単層、白金(Pt)単層、又は、下層金属層が第2化合物半導体層に接する下層金属層と上層金属層の積層構造(但し、下層金属層は、パラジウム、ニッケル及び白金から成る群から選択された1種類の金属から構成され、上層金属層は、前記工程(D)において第2電極に分離溝を形成する際のエッチングレートが、下層金属層のエッチングレートと同じ、あるいは同程度、あるいは、下層金属層のエッチングレートよりも高い金属から構成されている)から成る構成とすることが好ましい。また、前記工程(D)において第2電極に分離溝を形成する際のエッチング液を、王水、硝酸、硫酸、塩酸、又は、これらの酸の内の少なくとも2種類の混合液(具体的には、硝酸と硫酸の混合液、硫酸と塩酸の混合液)とすることが望ましい。第2電極の幅は、 $0.5\mu\text{m}$ 以上、 $50\mu\text{m}$ 以下、好ましくは $1\mu\text{m}$ 以上、 $5\mu\text{m}$ 以下であることが望ましい。

【0047】

以上に説明した好ましい構成、形態を含む本発明における半導体光増幅器、あるいは、本発明におけるモードロック半導体レーザ素子において、積層構造体は、具体的には、AlGaInN系化合物半導体から成る構成とすることができる。ここで、AlGaInN系化合物半導体として、より具体的には、GaN、AlGaN、GaInN、AlGaInNを挙げることができる。更には、これらの化合物半導体に、所望に応じて、ホウ素(B)原子やタリウム(Tl)原子、ヒ素(As)原子、リン(P)原子、アンチモン(Sb)原子が含まれていてもよい。また、光増幅領域あるいは発光領域(利得領域)及び可飽和吸収領域を構成する第3化合物半導体層(この第3化合物半導体層を『活性層』と呼ぶ場合がある)は、量子井戸構造を有する。具体的には、単一量子井戸構造[QW構造]を有していてもよいし、多重量子井戸構造[MQW構造]を有していてもよい。量子井戸構造を有する第3化合物半導体層は、井戸層及び障壁層が、少なくとも1層、積層された構造を有するが、(井戸層を構成する化合物半導体、障壁層を構成する化合物半導体)の組合せとして、($\text{In}_y\text{Ga}_{(1-y)}\text{N}$, GaN)、($\text{In}_y\text{Ga}_{(1-y)}\text{N}$, $\text{In}_z\text{Ga}_{(1-z)}\text{N}$) [但し、 $y > z$]、($\text{In}_y\text{Ga}_{(1-y)}\text{N}$, AlGaN)を例示することができる。

【0048】

更には、上記の好ましい構成、形態を含む本発明における半導体光増幅器、あるいは、本発明におけるモードロック半導体レーザ素子において、第2化合物半導体層は、p型GaN層及びp型AlGaN層が交互に積層された超格子構造を有し；超格子構造の厚さは $0.7\mu\text{m}$ 以下である構造とすることができる。このような超格子構造の構造を採用することで、クラッド層として必要な高屈折率を維持しながら、半導体レーザ素子の直列抵抗成分を下げることができ、半導体レーザ素子の低動作電圧化につながる。尚、超格子構造の厚さの下限值として、限定するものではないが、例えば、 $0.3\mu\text{m}$ を挙げることができるし、超格子構造を構成するp型GaN層の厚さとして 1nm 乃至 5nm を例示することができるし、超格子構造を構成するp型AlGaN層の厚さとして 1nm 乃至 5nm を例示することができるし、p型GaN層及びp型AlGaN層の層数合計として、60層乃至300層を例示することができる。また、第3化合物半導体層から第2電極までの距離は $1\mu\text{m}$ 以下、好ましくは、 $0.6\mu\text{m}$ 以下である構成とすることができる。このように第3化合物半導体層から第2電極までの距離を規定することで、抵抗の高いp型の第2化合物半導体層の厚さを薄くし、半導体レーザ素子の動作電圧の低減化を達成することができる。尚、第3化合物半導体層から第2電極までの距離の下限值として、限定するものではないが、例えば、 $0.3\mu\text{m}$ を挙げることができる。また、第2化合物半導体層には、Mgが、 $1 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 以上、ドーピングされており；第3化合物半導体層からの波長 405nm の光に対する第2化合物半導体層の吸収係数は、少なくとも 50cm^{-1} であ

る構成とすることができる。このMgの原子濃度は、 $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の値で最大の正孔濃度を示すという材料物性に由来しており、最大の正孔濃度、即ち、この第2化合物半導体層の比抵抗が最小になるように設計された結果である。第2化合物半導体層の吸収係数は、半導体レーザ素子の抵抗を出来るだけ下げるという観点で規定されているものであり、その結果、第3化合物半導体層の光の吸収係数が、 50 cm^{-1} となるのが一般的である。しかし、この吸収係数を上げるために、Mgドーパ量を故意に $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上の濃度に設定することも可能である。この場合には、実用的な正孔濃度が得られる上での上限のMgドーパ量は、例えば $8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ である。また、第2化合物半導体層は、第3化合物半導体層側から、ノンドープ化合物半導体層、及び、p型化合物半導体層を有しており；第3化合物半導体層からp型化合物半導体層までの距離は、 $1.2 \times 10^{-7} \text{ m}$ 以下である構成とすることができる。このように第3化合物半導体層からp型化合物半導体層までの距離を規定することで、内部量子効率が低下しない範囲で、内部損失を抑制することができ、これにより、レーザ発振が開始される閾値電流 I_{th} を低減させることができる。尚、第3化合物半導体層からp型化合物半導体層までの距離の下限値として、限定するものではないが、例えば、 $5 \times 10^{-8} \text{ m}$ を挙げることができる。また、リッジ部の両側面には、 SiO_2/Si 積層構造から成る積層絶縁膜が形成されており；リッジ部の有効屈折率と積層絶縁膜の有効屈折率との差は、 5×10^{-3} 乃至 1×10^{-2} である構成とすることができる。このような積層絶縁膜を用いることで、 100 mW を超える高出力動作であっても、単一基本横モードを維持することができる。また、第2化合物半導体層は、第3化合物半導体層側から、例えば、ノンドープGaInN層（p側光ガイド層）、ノンドープAlGaIn層（p側クラッド層）、MgドーパAlGaIn層（電子障壁層）、GaIn層（Mgドーパ）/AlGaIn層の超格子構造（超格子クラッド層）、及び、MgドーパGaIn層（p側コンタクト層）が積層されて成る構成とすることができる。第3化合物半導体層における井戸層を構成する化合物半導体のバンドギャップは、 2.4 eV 以上であることが望ましい。また、第3化合物半導体層から出射されるレーザ光の波長は、 360 nm 乃至 500 nm 、好ましくは 400 nm 乃至 410 nm であることが望ましい。ここで、以上に説明した各種の構成を、適宜、組み合わせることができることは云うまでもない。

【0049】

上述したとおり、第2化合物半導体層において、第3化合物半導体層と電子障壁層との間には、ノンドープ化合物半導体層（例えば、ノンドープGaInN層、あるいは、ノンドープAlGaIn層）を形成してもよい。更には、第3化合物半導体層とノンドープ化合物半導体層との間に、光ガイド層としてのノンドープGaInN層を形成してもよい。第2化合物半導体層の最上層を、MgドーパGaIn層（p側コンタクト層）が占めている構成とすることもできる。

【0050】

本発明における半導体光増幅器、あるいは、本発明におけるモードロック半導体レーザ素子を構成する各種のGaIn系化合物半導体層を基板に順次形成するが、ここで、基板として、サファイア基板の他にも、GaAs基板、GaIn基板、SiC基板、アルミナ基板、ZnS基板、ZnO基板、AlN基板、LiMgO基板、LiGaO₂基板、MgAl₂O₄基板、InP基板、Si基板、これらの基板の表面（主面）に下地層やバッファ層が形成されたものを挙げることができる。主に、GaIn系化合物半導体層を基板に形成する場合、GaIn基板が欠陥密度の少なさから好まれるが、GaIn基板は成長面によって、極性/無極性/半極性と特性が変わることが知られている。また、本発明における半導体光増幅器、あるいは、本発明におけるモードロック半導体レーザ素子を構成する各種のGaIn系化合物半導体層の形成方法として、有機金属化学的気相成長法（MOCVD法、MOVPE法）や分子線エピタキシー法（MBE法）、ハロゲンが輸送あるいは反応に寄与するハイドライド気相成長法等を挙げることができる。

【0051】

ここで、MOCVD法における有機ガリウム源ガスとして、トリメチルガリウム（TM

10

20

30

40

50

G) ガスやトリエチルガリウム (TEG) ガスを挙げることができるし、窒素源ガスとして、アンモニアガスやヒドラジンガスを挙げることができる。また、n型の導電性を有するGa₂N系化合物半導体層の形成においては、例えば、n型不純物 (n型ドーパント) としてケイ素 (Si) を添加すればよいし、p型の導電性を有するGa₂N系化合物半導体層の形成においては、例えば、p型不純物 (p型ドーパント) としてマグネシウム (Mg) を添加すればよい。また、Ga₂N系化合物半導体層の構成原子としてアルミニウム (Al) あるいはインジウム (In) が含まれる場合、Al源としてトリメチルアルミニウム (TMA) ガスを用いればよいし、In源としてトリメチルインジウム (TMI) ガスを用いればよい。更には、Si源としてモノシランガス (SiH₄ガス) を用いればよいし、Mg源としてシクロペンタジエニルマグネシウムガスやメチルシクロペンタジエニルマグネシウム、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム (Cp₂Mg) を用いればよい。尚、n型不純物 (n型ドーパント) として、Si以外に、Ge、Se、Sn、C、Te、S、O、Pd、Poを挙げることができるし、p型不純物 (p型ドーパント) として、Mg以外に、Zn、Cd、Be、Ca、Ba、C、Hg、Srを挙げることができる。

【0052】

第1導電性をn型とするとき、n型の導電性を有する第1化合物半導体層に電氣的に接続された第1電極は、金 (Au)、銀 (Ag)、パラジウム (Pd)、Al (アルミニウム)、Ti (チタン)、タングステン (W)、Cu (銅)、Zn (亜鉛)、Sn (錫) 及びインジウム (In) から成る群から選択された少なくとも1種類の金属を含む、単層構成又は多層構成を有することが望ましく、例えば、Ti/Au、Ti/Al、Ti/Pt/Auを例示することができる。第1電極は第1化合物半導体層に電氣的に接続されているが、第1電極が第1化合物半導体層上に形成された形態、第1電極が導電材料層や導電性の基板を介して第1化合物半導体層に接続された形態が包含される。第1電極や第2電極は、例えば、真空蒸着法やスパッタリング法等のPVD法にて成膜することができる。

【0053】

第1電極や第2電極上に、外部の電極あるいは回路と電氣的に接続するために、パッド電極を設けてもよい。パッド電極は、Ti (チタン)、アルミニウム (Al)、Pt (白金)、Au (金)、Ni (ニッケル) から成る群から選択された少なくとも1種類の金属を含む、単層構成又は多層構成を有することが望ましい。あるいは又、パッド電極を、Ti/Pt/Auの多層構成、Ti/Auの多層構成に例示される多層構成とすることもできる。

【0054】

本発明におけるモードロック半導体レーザ素子は、更に、外部反射鏡を備えている形態とすることができる。即ち、外部共振器型のモードロック半導体レーザ素子とすることができる。あるいは又、モノリシック型のモードロック半導体レーザ素子とすることもできる。尚、外部共振器型のモードロック半導体レーザ素子は、集光型であってもよいし、コリメート型であってもよい。外部共振器型のモードロック半導体レーザ素子にあっては、光パルスが出射される積層構造体の一端面の光反射率は0.5%以下であることが好ましい。尚、この光反射率の値は、従来の半導体レーザ素子において光パルスが出射される積層構造体の一端面の光反射率 (通常、5%乃至10%) よりも格段に低い値である。外部共振器型のモードロック半導体レーザ素子にあっては、外部共振器長さ (Z', 単位: m) の値は、

$$0 < Z' < 1500$$

好ましくは、

$$30 \leq Z' \leq 150$$

であることが望ましい。

【0055】

本発明を、例えば、光ディスクシステム、通信分野、光情報分野、光電子集積回路、非線形光学現象を応用した分野、光スイッチ、レーザ計測分野や種々の分析分野、超高速分光分野、多光子励起分光分野、質量分析分野、多光子吸収を利用した顕微分光の分野、化

10

20

30

40

50

学反応の量子制御、ナノ３次元加工分野、多光子吸収を応用した種々の加工分野、医療分野、バイオイメージング分野といった分野に適用することができる。

【実施例１】

【００５６】

実施例１は、本発明の第１の態様に係る半導体光増幅器の位置合わせ方法、及び、本発明の第１の態様に係る光出力装置に関する。半導体光増幅器の概念図を含む実施例１の光出力装置の概念図を図１に示し、半導体光増幅器の軸線（光導波路の延びる方向であり、便宜上、『Ｚ方向』と呼ぶ）を含む仮想垂直面（ＹＺ平面）で半導体光増幅器を切断したときの半導体光増幅器の模式的な断面図を図２に示し、半導体光増幅器の軸線と直交する仮想垂直面（ＸＹ平面）で半導体光増幅器を切断したときの半導体光増幅器の模式的な断面図を図３に示す。尚、図２は、図３の矢印Ⅰ－Ⅰに沿った模式的な断面図であり、図３は、図２の矢印ⅠⅠ－ⅠⅠに沿った模式的な断面図である。

10

【００５７】

また、レーザ光源を構成するモードロック半導体レーザ素子の共振器の延びる方向に沿った模式的な端面図（ＹＺ平面にて切断したときの模式的な端面図）を図１０に示す。尚、共振器の延びる方向と直角方向に沿った模式的な断面図（ＸＹ平面にて切断したときの模式的な断面図）は、参照番号が異なる点を除き、図３と同じである。即ち、図３における二百番台の参照番号を百番台の参照番号に読み替えればよい。図１０は、図３の矢印Ⅰ－Ⅰに沿ったと同様の模式的な端面図である。また、実施例１のモードロック半導体レーザ素子から外部共振器を構成してモードロック駆動を行うシステムを、図１１の（Ａ）に模式的に示す。

20

【００５８】

実施例１の光出力装置は、

（Ａ）レーザ光源１００、

（Ｂ）レーザ光源１００からのレーザ光を光増幅して出射する半導体光増幅器２００、

（Ｃ）半導体光増幅器２００に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器の相対的な位置を調整する位置合わせ装置３００、並びに、

（Ｄ）半導体光増幅器２００の動作を制御する半導体光増幅器制御装置４００、を備えている。

30

【００５９】

半導体光増幅器２００は、図１に示すように、透過型半導体光増幅器から構成されている。具体的には、半導体光増幅器２００の光入射端面２０１、及び、光入射端面２０１に対向する光出射端面２０３には、低反射コート層（ＡＲ）２０２、２０４が形成されている。ここで、低反射コート層は、例えば、酸化チタン層、酸化タンタル層、酸化ジルコニア層、酸化シリコン層及び酸化アルミニウム層から成る群から選択された少なくとも２種類の層の積層構造から成る。そして、光入力端面２０１側から入射されたレーザ光が半導体光増幅器２００の内部で光増幅され、反対側の光出射端面２０３から出力される。レーザ光は基本的に一方向にのみ導波される。また、実施例１にあっては、レーザ光源１００はモードロック半導体レーザ素子から成り、モードロック半導体レーザ素子が出射するパルスレーザ光が半導体光増幅器２００に入射する。ここで、レーザ光源１００は、モード同期動作に基づきパルスレーザ光を出射する。モードロック半導体レーザ素子の詳細については、後述する。実施例１における半導体光増幅器２００は、実施例１におけるレーザ光源１００を構成するモードロック半導体レーザ素子１１０と第２電極の構成、構造を除き、実質的に同じ構成、構造を有する。

40

【００６０】

図１に示す実施例１の光出力装置において、レーザ光源１００は、モードロック半導体レーザ素子１１０、レンズ１１、光学フィルター１２、外部鏡１３、及び、レンズ１４から構成されている。そして、レーザ光源１００から出射されたレーザ光は、光アイソレータ１５、反射ミラー１６を介して、反射ミラー２０に入射する。反射ミラー２０によって反射されたレーザ光は、半波長板（ $\lambda/2$ 波長板）２１、レンズ２２を通過して、半導体

50

光増幅器 200 に入射する。尚、半波長板 ($\lambda/2$ 波長板) 21 は、半導体光増幅器 200 からの戻り光が、レーザ光源 100 に向かうことを防止するために配置されている。そして、半導体光増幅器 200 において光増幅され、レンズ 30 を介して系外に出射される。反射ミラー 20、半波長板 21 及びレンズ 22 は、位置合わせ装置 300 に載置されている。位置合わせ装置 300 は、具体的には、XYZ ステージから成る。尚、次に述べる半導体光増幅器 200 における積層構造体の厚さ方向を Y 方向、半導体光増幅器 200 の軸線方向を Z 方向としたとき、反射ミラー 20 及びレンズ 21 は、位置合わせ装置 300 によって、X 方向、Y 方向及び Z 方向に移動させられる。

【0061】

半導体光増幅器 200 は、

10

(a) 第 1 導電型 (実施例 1 においては、具体的には、n 型導電型) を有し、GaN 系化合物半導体から成る第 1 化合物半導体層 230、GaN 系化合物半導体から成る光増幅領域 (キャリア注入領域、利得領域) 241 を有する第 3 化合物半導体層 (活性層) 240、並びに、第 1 導電型と異なる第 2 導電型 (実施例 1 においては、具体的には、p 型導電型) を有し、GaN 系化合物半導体から成る第 2 化合物半導体層 250 が、順次、積層されて成る積層構造体、

(b) 第 2 化合物半導体層 250 上に形成された第 2 電極 262、並びに、

(c) 第 1 化合物半導体層 230 に電氣的に接続された第 1 電極 261、を備えている。

【0062】

20

一方、レーザ光源 100 を構成し、発光波長 405 nm 帯の実施例 1 のモードロック半導体レーザ素子 110 は、

(a) 第 1 導電型 (実施例 1 においては、具体的には、n 型導電型) を有し、GaN 系化合物半導体から成る第 1 化合物半導体層 130、GaN 系化合物半導体から成る発光領域 (利得領域) 141 を有する第 3 化合物半導体層 (活性層) 140、並びに、第 1 導電型と異なる第 2 導電型 (実施例 1 においては、具体的には、p 型導電型) を有し、GaN 系化合物半導体から成る第 2 化合物半導体層 150 が、順次、積層されて成る積層構造体、

(b) 第 2 化合物半導体層 150 上に形成された帯状の第 2 電極 162、並びに、

(c) 第 1 化合物半導体層 130 に電氣的に接続された第 1 電極 161、を備えている。

30

【0063】

積層構造体は、極性を有する化合物半導体基板 121、221 の上に形成されている。第 3 化合物半導体層 140、240 は、井戸層及び障壁層を備えた量子井戸構造を有し、井戸層の厚さは、1 nm 以上、10 nm 以下であり、障壁層の不純物 (具体的には、シリコン, Si) のドーピング濃度は、 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上、 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。

【0064】

実施例 1 のモードロック半導体レーザ素子 110 及び半導体光増幅器 200 は、具体的には、リッジストライプ型の分離閉じ込めヘテロ構造 (SCH 構造) を有する。より具体的には、インデックスガイド型の AlGaInN から成る GaN 系半導体レーザ構造を有し、直線状のリッジ構造 (リッジストライプ構造) を有する。そして、モードロック半導体レーザ素子 110 及び半導体光増幅器 200 は、n 型 GaN 基板 121、221 の (0001) 面上に設けられており、第 3 化合物半導体層 140、240 は量子井戸構造を有する。尚、n 型 GaN 基板 121、221 の (0001) 面は、『C 面』とも呼ばれ、極性を有する結晶面である。第 1 化合物半導体層 130、230、第 3 化合物半導体層 140、240、及び、第 2 化合物半導体層 150、250 は、具体的には、AlGaInN 系化合物半導体から成り、より具体的には、以下の表 1 に示す層構成を有する。ここで、表 1 において、下方に記載した化合物半導体層ほど、n 型 GaN 基板 121、221 に近い層である。尚、第 3 化合物半導体層 140、240 における井戸層を構成する化合物半

40

50

導体のバンドギャップは 3.06 eV である。

【0065】

[表1]

第2化合物半導体層 150, 250

p型 GaN コンタクト層 (Mg ドープ) 155, 255

p型 GaN (Mg ドープ) / Al GaN 超格子クラッド層 154, 254

p型 Al GaN 電子障壁層 (Mg ドープ) 153, 253

ノンドープ Al GaN クラッド層 152, 252

ノンドープ GaInN 光ガイド層 151, 251

第3化合物半導体層 140, 240

GaInN 量子井戸活性層

(井戸層: $\text{Ga}_{0.92}\text{In}_{0.08}\text{N}$ / 障壁層: $\text{Ga}_{0.98}\text{In}_{0.02}\text{N}$)

第1化合物半導体層 130, 230

n型 GaN クラッド層 132, 232

n型 Al GaN クラッド層 131, 231

但し、

井戸層 (2層): 8 nm [ノン・ドープ]

障壁層 (3層): 10 nm [ドーピング濃度 (Si): $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$]

【0066】

また、p型 GaN コンタクト層 155, 255 及び p型 GaN / Al GaN 超格子クラッド層 154, 254 の一部は、RIE 法にて除去されており、リッジ構造 (リッジ部 156, 256) が形成されている。リッジ部 156, 256 の両側には SiO_2 / Si から成る積層絶縁膜 157, 257 が形成されている。尚、 SiO_2 層が下層であり、Si 層が上層である。ここで、リッジ部 156, 256 の有効屈折率と積層絶縁膜 157, 257 の有効屈折率との差は、 5×10^{-3} 乃至 1×10^{-2} 、具体的には、 7×10^{-3} である。そして、リッジ部 156, 256 の頂面に相当する p型 GaN コンタクト層 155, 255 上には、第2電極 (p側オーミック電極) 162, 262 が形成されている。一方、n型 GaN 基板 121, 221 の裏面には、Ti / Pt / Au から成る第1電極 (n側オーミック電極) 161, 261 が形成されている。具体的には、積層絶縁膜 157, 257 を SiO_2 / Si 積層構造とし、リッジ構造の幅を $1.5 \mu\text{m}$ とした。

【0067】

また、実施例1のモードロック半導体レーザ素子 110 にあつては、第3化合物半導体層 140 及びその近傍から発生した光密度分布に、Mg ドープした化合物半導体層である、p型 Al GaN 電子障壁層 153、p型 GaN / Al GaN 超格子クラッド層 154 及び p型 GaN コンタクト層 155 が出来るだけ重ならないようにすることで、内部量子効率が低下しない範囲で、内部損失を抑制している。そして、これにより、レーザ発振が開始される閾値電流 I_{th} を低減させている。更には、第3化合物半導体層 140 から p型 Al GaN 電子障壁層 153 までの距離 d の値を大きくすることで、内部損失 α_i は低下するが、 d の値が或る値以上になると、井戸層へのホールの注入効率が低下する結果、第3化合物半導体層 140 における電子ホールの再結合確率が低下し、内部量子効率 η_i が減少することが判った。それ故、第3化合物半導体層 140 から p型 Al GaN 電子障壁層 153 までの距離 d を $0.10 \mu\text{m}$ 、リッジ部 (リッジ構造) の高さを $0.30 \mu\text{m}$ 、第2電極 162 と第3化合物半導体層 140 との間に位置する第2化合物半導体層 150 の厚さを $0.50 \mu\text{m}$ 、第2電極 162 の下方に位置する p型 GaN / Al GaN 超格子クラッド層 154 の部分の厚さを $0.40 \mu\text{m}$ とした。ここで、『電子障壁層 153 と第3化合物半導体層 140 との間の距離 (d)』とは、第3化合物半導体層 140 に面する電子障壁層 153 の部分 (境界面) と、電子障壁層 153 に面する第3化合物半導体層 140 の部分 (境界面) との間の距離を意味する。以上に説明したモードロック半導体レーザ素子 110 の構成、構造は、半導体光増幅器 200 においても同様である。

【0068】

10

20

30

40

50

実施例 1 にあっては、第 2 電極 162, 262 を厚さ $0.1 \mu\text{m}$ の Pd 単層から構成した。また、実施例 1 にあっては、モードロック半導体レーザ素子 110 を構成する第 2 電極 162 を第 1 部分 162A と第 2 部分 162B とに分離する分離溝 162C の幅は、 $1 \mu\text{m}$ 以上、共振器長の 50% 以下である。あるいは又、可飽和吸収領域 142 の長さは発光領域 141 の長さよりも短い。あるいは又、第 2 電極 162 の長さ（第 1 部分と第 2 部分の総計の長さ）は第 3 化合物半導体層 140 の長さよりも短い。具体的には、共振器長 L を 0.60 mm 、第 2 電極 162 の第 1 部分 162A の長さを 0.52 mm 、第 2 部分 162B の長さを 0.06 mm 、分離溝 162C の幅（共振器長方向の長さ）を 0.02 mm とした。半導体光増幅器 200 においては、第 2 電極 262 には分離溝は設けられていない。

10

【0069】

p 型 GaN 層及び p 型 AlGaIn 層が交互に積層された超格子構造を有する p 型 GaN / AlGaIn 超格子クラッド層 154, 254 の厚さは $0.7 \mu\text{m}$ 以下、具体的には、 $0.4 \mu\text{m}$ であり、超格子構造を構成する p 型 GaN 層の厚さは 2.5 nm であり、超格子構造を構成する p 型 AlGaIn 層の厚さは 2.5 nm であり、p 型 GaN 層及び p 型 AlGaIn 層の層数合計は 160 層である。また、第 3 化合物半導体層 140, 240 から第 2 電極 162, 262 までの距離は $1 \mu\text{m}$ 以下、具体的には $0.5 \mu\text{m}$ である。更には、第 2 化合物半導体層 150, 250 を構成する p 型 AlGaIn 電子障壁層 153, 253、p 型 GaN / AlGaIn 超格子クラッド層 154, 254、p 型 GaN コンタクト層 155, 255 には、Mg が、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上（具体的には、 $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ）、ドーピングされており、波長 405 nm の光に対する第 2 化合物半導体層 150, 250 の吸収係数は、少なくとも 50 cm^{-1} 、具体的には、 65 cm^{-1} である。また、第 2 化合物半導体層 150, 250 は、第 3 化合物半導体層側から、ノンドープ化合物半導体層（ノンドープ GaInN 光ガイド層 151, 251 及びノンドープ AlGaIn クラッド層 152, 252）、並びに、p 型化合物半導体層を有しているが、第 3 化合物半導体層 140 から p 型化合物半導体層（具体的には、p 型 AlGaIn 電子障壁層 153, 253）までの距離（ d ）は $1.2 \times 10^{-7} \text{ m}$ 以下、具体的には 100 nm である。

20

【0070】

実施例 1 の半導体光増幅器の位置合わせ方法あるいは光出力装置にあっては、半導体光増幅器 200 にレーザ光源 100 からレーザ光を入射させながら半導体光増幅器 200 に所定の値の電流（直流電流、順バイアス電流） I_0 を流す。そして、半導体光増幅器 200 に印加される（加わる）電圧が最大となるように半導体光増幅器 200 に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器 200 の相対的な位置を調整する。

30

【0071】

半導体光増幅器制御装置 400 は、具体的には、周知の直流電源と電圧測定装置と電流測定装置の組合せから構成されている。そして、半導体光増幅器制御装置 400 における電圧モニターの分解能は、1 ミリボルト以下、より具体的には 0.1 mV 以下である。また、半導体光増幅器制御装置 400 における電流モニターの分解能は、 100 nA マイクロアンペア以下、より具体的には 10 nA マイクロアンペア以下である。

【0072】

半導体光増幅器 200 の基本的特性を図 4 の (A) 及び (B) に示す。ここで、図 4 の (A) 及び (B) には、第 2 電極 262 から第 1 電極 261 に電流 I_0 を流したときの光出力（図 4 の (A) においては、曲線「B」で示す）を示し、図 4 の (A) には、更に、第 2 電極 262 から第 1 電極 261 に電流 I_0 を流したときに、第 2 電極 262 と第 1 電極 261 との間の印加される電圧 V_0 （図 4 の (A) においては、曲線「A」で示す）を示す。尚、横軸は、第 2 電極 262 から第 1 電極 261 に流す電流 I_0 の値（単位：ミリアンペア）であり、縦軸は、第 2 電極 262 と第 1 電極 261 との間の印加される電圧 V （単位：ボルト）及び光出力（単位：ミリワット）である。また、図 4 の (A) は、半導体光増幅器 200 にレーザ光源 100 からレーザ光を入射させていない状態におけるグラフであり、図 4 の (B) は、半導体光増幅器 200 にレーザ光源 100 からレーザ光（光

40

50

出力：2ミリワット）を入射させている状態におけるグラフである。図4の（A）及び（B）から、第2電極262から第1電極261に300ミリアンペアの電流 I_0 を流している状態において、半導体光増幅器200にレーザ光源100からレーザ光を入射させていないとき、半導体光増幅器200からの光出力は2.6ミリワットであったものが、半導体光増幅器200にレーザ光源100からレーザ光を入射させたとき、半導体光増幅器200からの光出力は8.5ミリワットとなり、半導体光増幅器200への入射レーザ光が、半導体光増幅器200によって約3倍、増幅されている。尚、半導体光増幅器200において、レーザ発振はしていない。また、図4の（B）から、第2電極262から第1電極261に流す電流 I_0 を増加させると、半導体光増幅器200への入射レーザ光が、半導体光増幅器200によって飛躍的に増幅されていることが判る。

10

【0073】

図5に、半導体光増幅器200にレーザ光源100からレーザ光を入射させながら半導体光増幅器200に所定の値の電流 I_0 を流し、X方向にXYZステージを移動させたときの半導体光増幅器200に印加される（加わる）電圧 ΔV の変化を模式的に示す。X方向へのXYZステージの移動に伴い、半導体光増幅器200に印加される電圧 ΔV は、単調に増加し、最大値を超えると、単調に減少する。ここで、半導体光増幅器200にレーザ光源100からレーザ光を入射させずに半導体光増幅器200に所定の値の電流 I_0 を流したとき、半導体光増幅器200に印加される（加わる）電圧を V_1 、半導体光増幅器200にレーザ光源100からレーザ光を入射させながら半導体光増幅器200に所定の値の電流 I_0 を流したとき、半導体光増幅器200に印加される（加わる）電圧を V_2 とすると、 ΔV は、

20

$$\Delta V = V_2 - V_1$$

で表される。尚、 ΔV の値は1ミリボルト以下、屢々、0.1ミリボルト以下であり、また、 $\Delta V / V_1$ の値は1%以下の値である。そして、このときの半導体光増幅器200から出射されるレーザ光の光出力の変化も、電圧 ΔV の変化と同じ挙動を示した。それ故、半導体光増幅器200に印加される（加わる）電圧 ΔV が最大となるように半導体光増幅器200に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器200の相対的な位置を調整する。そして、これによって、半導体光増幅器200から出射されるレーザ光の光出力を最大とすることができる。

30

【0074】

また、実施例1の半導体光増幅器200にあつては、半導体光増幅器200にレーザ光源100からレーザ光を入射させながら半導体光増幅器200に所定の値の電流 I_0 を流して、半導体光増幅器200に印加される電圧を半導体光増幅器制御装置400はモニターし、半導体光増幅器200に印加される電圧が最大となるように、半導体光増幅器200に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器200の相対的な位置が位置合わせ装置300によって調整される。具体的には、 $\Delta V = (V_2 - V_1)$ の値が最大となるように、半導体光増幅器200に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器200の相対的な位置が位置合わせ装置300によって調整される。

40

【0075】

尚、半導体光増幅器200にレーザ光源100からレーザ光（光出力：2ミリワット）を入射させている状態において、第2電極262から第1電極261に電流 I_0 を流したときの光出力と電圧 ΔV との関係を、更に、図6の（A）及び（B）に示すが、図6の（A）に示した例にあつては、第2電極単位面積当たりの値として、電流 I_0 の値を3キロアンペア/ cm^2 とし、図6の（B）に示した例にあつては、電流 I_0 の値を6キロアンペア/ cm^2 としている。ここで、電流 I_0 の値が増加すると、光増幅率が向上するし、電圧 ΔV の値も大きくなる。

40

【0076】

実施例1の半導体光増幅器200にあつては、半導体光増幅器200にレーザ光源100からレーザ光を入射させながら半導体光増幅器200に所定の値の電流 I_0 を流し、X方向にXYZステージを移動させると、図5に示すように、半導体光増幅器200に印加

50

される（加わる）電圧が増加する。これは、XYZステージを移動させると、半導体光増幅器200からの光出力が増加していくが、このような現象が生じると、光増幅領域（キャリア注入領域、利得領域）241におけるキャリア数が減少するので、係るキャリア数の減少を補償するために、半導体光増幅器200に印加される（加わる）電圧が増加する。実施例1における半導体光増幅器の位置合わせ方法及び光出力装置は、このような現象に基づいている。尚、位置合わせ装置（XYZステージ）300の移動は、作業者が行ってもよいし、電圧の測定結果に基づいて、半導体光増幅器制御装置400の指示により自動的に行うこともできる。

【0077】

そして、実施例1の半導体光増幅器の位置合わせ方法、実施例1の光出力装置にあっては、半導体光増幅器200に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器200の相対的な位置の調整のために、半導体光増幅器200に印加される電圧を測定するので、外部のモニタリング装置に依存することなく、位置調整のための計測を行うことができる。それ故、高い精度で半導体光増幅器200に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器200の相対的な位置の調整を行うことが可能である。

【0078】

実施例1のモードロック半導体レーザ素子110において、第3化合物半導体層140は、可飽和吸収領域142を備えている。また、第2電極162は、発光領域141を経由して第1電極161に電流を流すことで順バイアス状態とするための第1部分162A、及び、可飽和吸収領域142に電界を加えるための第2部分162Bに、分離溝162Cによって分離されている。そして、第2電極162の第1部分162Aから発光領域141を経由して第1電極161に電流を流すことで順バイアス状態とし、且つ、第1電極161と第2電極162の第2部分162Bとの間に電圧を印加することで可飽和吸収領域142に電界を加える。そして、実施例1のモードロック半導体レーザ素子にあっては、第2電極162から積層構造体を介して第1電極161に電流を流すことで、発光領域141において光パルスを発生させる。

【0079】

具体的には、実施例1のモードロック半導体レーザ素子110において、第2電極162は、上述したとおり、発光領域（利得領域）141を経由して第1電極161に直流電流（順バイアス電流 I_{gain} ）を流すことで順バイアス状態とするための第1部分162A、及び、可飽和吸収領域142に電界を加えるための第2部分162B（可飽和吸収領域142に逆バイアス電圧 V_{sa} を加えるための第2部分162B）とに、分離溝162Cによって分離されている。ここで、第2電極162の第1部分162Aと第2部分162Bとの間の電気抵抗値（『分離抵抗値』と呼ぶ場合がある）は、第2電極162と第1電極161との間の電気抵抗値の 1×10 倍以上、具体的には 1.5×10^3 倍である。また、第2電極162の第1部分162Aと第2部分162Bとの間の電気抵抗値（分離抵抗値）は、 $1 \times 10^2 \Omega$ 以上、具体的には、 $1.5 \times 10^4 \Omega$ である。

【0080】

また、実施例1のモードロック半導体レーザ素子110にあっては、第2化合物半導体層150上に、 $1 \times 10^2 \Omega$ 以上の分離抵抗値を有する2電極162を形成する必要がある。GaN系半導体レーザ素子の場合、従来のGaAs系半導体レーザ素子とは異なり、p型導電型を有する化合物半導体における移動度が小さいために、p型導電型を有する第2化合物半導体層150をイオン注入等によって高抵抗化することなく、その上に形成される第2電極162を分離溝162Cで分離することで、第2電極162の第1部分162Aと第2部分162Bとの間の電気抵抗値を第2電極162と第1電極161との間の電気抵抗値の10倍以上とし、あるいは又、第2電極162の第1部分162Aと第2部分162Bとの間の電気抵抗値を $1 \times 10^2 \Omega$ 以上とすることが可能となる。

【0081】

以下、図22の（A）、（B）、図23の（A）、（B）、図24を参照して、実施例1のモードロック半導体レーザ素子の製造方法を説明する。尚、図22の（A）、（B）

、図 23 の (A)、(B) は、基板等を X Y 平面にて切断したときの模式的な一部断面図であり、図 24 は、基板等を Y Z 平面にて切断したときの模式的な一部端面図である。

【0082】

尚、第 2 電極 162 に要求される特性は、以下のとおりである。即ち、

(1) 第 2 化合物半導体層 150 をエッチングするときのエッチング用マスクとしての機能を有すること。

(2) 第 2 化合物半導体層 150 の光学的、電気的特性に劣化を生じさせることなく、第 2 電極 162 はウエットエッチング可能であること。

(3) 第 2 化合物半導体層 150 上に成膜したとき、 $10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 以下のコンタクト比抵抗値を示すこと。

(4) 積層構造とする場合、下層金属層を構成する材料は、仕事関数が大きく、第 2 化合物半導体層 150 に対して低いコンタクト比抵抗値を示し、しかも、ウエットエッチング可能であること。

(5) 積層構造とする場合、上層金属層を構成する材料は、リッジ構造を形成する際のエッチングに対して (例えば、RIE 法において使用される Cl_2 ガス) に対して耐性があり、しかも、ウエットエッチング可能であること。

【0083】

[工程 - 100]

先ず、基体上、具体的には、n 型 GaN 基板 121 の (0001) 面上に、周知の MOCVD 法に基づき、第 1 導電型 (n 型導電型) を有し、GaN 系化合物半導体から成る第 1 化合物半導体層 130、GaN 系化合物半導体から成る発光領域 (利得領域) 141 及び可飽和吸収領域 142 を構成する第 3 化合物半導体層 (活性層) 140、並びに、第 1 導電型と異なる第 2 導電型 (p 型導電型) を有し、GaN 系化合物半導体から成る第 2 化合物半導体層 150 が、順次、積層されて成る積層構造体を形成する (図 22 の (A) 参照)。

【0084】

[工程 - 110]

その後、第 2 化合物半導体層 150 上に帯状の第 2 電極 162 を形成する。具体的には、真空蒸着法に基づき Pd 層 163 を全面に成膜した後 (図 22 の (B) 参照)、Pd 層 163 上に、フォトリソグラフィ技術に基づき帯状のエッチング用レジスト層を形成する。そして、王水を用いて、エッチング用レジスト層に覆われていない Pd 層 163 を除去した後、エッチング用レジスト層を除去する。こうして、図 23 の (A) に示す構造を得ることができる。尚、リフトオフ法に基づき、第 2 化合物半導体層 150 上に帯状の第 2 電極 162 を形成してもよい。

【0085】

[工程 - 120]

次いで、第 2 電極 162 をエッチング用マスクとして、少なくとも第 2 化合物半導体層 150 の一部分をエッチングして (実施例 1 にあっては、第 2 化合物半導体層 150 の一部分をエッチングして)、リッジ構造を形成する。具体的には、 Cl_2 ガスを用いた RIE 法に基づき、第 2 電極 162 をエッチング用マスクとして用いて、第 2 化合物半導体層 150 の一部分をエッチングする。こうして、図 23 の (B) に示す構造を得ることができる。このように、帯状にパターンニングされた第 2 電極 162 をエッチング用マスクとして用いてセルフアライン方式にてリッジ構造を形成するので、第 2 電極 162 とリッジ構造との間に合わせずれが生じることがない。

【0086】

[工程 - 130]

その後、分離溝を第 2 電極 162 に形成するためのレジスト層 164 を形成する (図 24 参照)。尚、参照番号 165 は、分離溝を形成するために、レジスト層 164 に設けられた開口部である。次いで、レジスト層 164 をウエットエッチング用マスクとして、第 2 電極 162 に分離溝 162C をウエットエッチング法にて形成し、以て、第 2 電極 16

10

20

30

40

50

2を第1部分162Aと第2部分162Bとに分離溝162Cによって分離する。具体的には、王水をエッチング液として用い、王水に約10秒、全体を浸漬することで、第2電極162に分離溝162Cを形成する。そして、その後、レジスト層164を除去する。こうして、図10に示す構造を得ることができる。このように、ドライエッチング法と異なり、ウェットエッチング法を採用することで、第2化合物半導体層150の光学的、電気的特性に劣化が生じることがない。それ故、モードロック半導体レーザ素子の発光特性に劣化が生じることがない。尚、ドライエッチング法を採用した場合、第2化合物半導体層150の内部損失 α_i が増加し、閾値電圧が上昇したり、光出力の低下を招く虞がある。ここで、第2電極162のエッチングレートを ER_0 、積層構造体のエッチングレートを ER_1 としたとき、

$$ER_0 / ER_1 = 1 \times 10^2$$

である。このように、第2電極162と第2化合物半導体層150との間に高いエッチング選択比が存在するが故に、積層構造体をエッチングすること無く（あるいは、エッチングされても僅かである）、第2電極162を確実にエッチングすることができる。

【0087】

[工程 - 140]

その後、n側電極161の形成、基板の劈開等を行い、更に、パッケージ化を行うことで、モードロック半導体レーザ素子110を作製することができる。

【0088】

一般に、半導体層の抵抗 R (Ω)は、半導体層を構成する材料の比抵抗値 ρ ($\Omega \cdot m$)、半導体層の長さ X_0 (m)、半導体層の断面積 S (m^2)、キャリア密度 n (cm^{-3})、電荷量 e (C)、移動度 μ (m^2/V 秒)を用いて以下のように表される。

【0089】

$$\begin{aligned} R &= (\rho \cdot X_0) / S \\ &= X_0 / (n \cdot e \cdot \mu \cdot S) \end{aligned}$$

【0090】

p型GaIn系半導体の移動度は、p型GaAs系半導体に比べて、2桁以上小さいため、電気抵抗値が高くなり易い。よって、幅 $1.5 \mu m$ 、高さ $0.35 \mu m$ といった断面積が小さいリッジ構造を有する半導体レーザ素子の電気抵抗値は、上式から、大きな値となることが判る。

【0091】

製作した実施例1のモードロック半導体レーザ素子110の第2電極162の第2部分162Aと第2部分162Bとの間の電気抵抗値を4端子法にて測定した結果を、図20に示す。分離溝162Cの幅が $20 \mu m$ のとき、第2電極162の第1部分162Aと第2部分162Bとの間の電気抵抗値は $15 k\Omega$ であった。

【0092】

製作した実施例1のモードロック半導体レーザ素子110において、第2電極162の第1部分162Aから発光領域141を経由して第1電極161に直流電流を流して順バイアス状態とし、第1電極161と第2電極162の第2部分162Bとの間に逆バイアス電圧 V_{sa} を印加することによって可飽和吸収領域142に電界を加えることで、モードロック駆動させた。

【0093】

しかも、第2電極162の第1部分162Aと第2部分162Bとの間の電気抵抗値は、第2電極162と第1電極161との間の電気抵抗値の10倍以上であり、あるいは又、 $1 \times 10^2 \Omega$ 以上である。従って、第2電極162の第1部分162Aから第2部分162Bへの漏れ電流の流れを確実に抑制することができる結果、発光領域141を順バイアス状態とし、しかも、可飽和吸収領域142を確実に逆バイアス状態とすることができ、確実にシングルモードのセルフパルセーション動作及びモードロック動作を生じさせることができる。

【0094】

10

20

30

40

50

尚、半導体光増幅器 200 も、第 2 電極の構成が異なる点を除き、モードロック半導体レーザ素子 110 と同じ製造方法で製造することができるので、詳細な説明は省略する。

【0095】

実施例 1 におけるモードロック半導体レーザ素子のより一層の理解を深めるために、参考例 1 のモードロック半導体レーザ素子を作製した。参考例 1 のモードロック半導体レーザ素子においては、表 1 に示した層構成における第 3 化合物半導体層 140 の構成を以下の表 2 のとおりとした。

【0096】

[表 2]

	実施例 1	参考例 1
井戸層	8 nm	10.5 nm
障壁層	12 nm	14 nm
井戸層の不純物ドーピング濃度	ノン・ドーブ	ノン・ドーブ
障壁層の不純物ドーピング濃度	Si : $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$	ノン・ドーブ

【0097】

実施例 1 においては井戸層の厚さが 8 nm であり、また、障壁層には Si が $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、ドーピングされており、第 3 化合物半導体層内の QCSE 効果が緩和されている。一方、参考例 1 においては井戸層の厚さが 10.5 nm であり、また、障壁層には不純物がドーピングされていない。

【0098】

実施例 1 のモードロック半導体レーザ素子 110 のセルフパルセーション動作の評価に用いた測定系を図 17 に示す。測定では、可飽和吸収領域 142 に直流定電圧 V_{sa} を印加し、発光領域（利得領域）141 に直流低電流（電圧 V_{gain} ）を流した。即ち、第 2 電極 162 の第 2 部分 162B に負の直流定電圧 V_{sa} を印加し、第 2 電極 162 の第 1 部分 162A から第 1 電極 161 へと直流低電流を流した。そして、モードロック半導体レーザ素子 110 から出射されたレーザ光をレンズでコリメートして光アイソレータを通した後、レンズでシングルモードファイバに結合し、シングルモードファイバからの光を、光検出器及び電気スペクトルアナライザ、並びに、光スペクトルアナライザ、及び、ストリークカメラを用いて評価した。

【0099】

そして、実施例 1 及び参考例 1 のモードロック半導体レーザ素子から集光型の外部共振器を構成してモードロック駆動させた（図 11 の（A）参照）。尚、図 11 の（A）に示す集光型の外部共振器にあっては、可飽和吸収領域側に高反射コート層（HR）が形成されたモードロック半導体レーザ素子の端面と外部鏡 13 とで外部共振器が構成され、外部鏡 13 から光パルスを取り出す。発光領域（利得領域）側のモードロック半導体レーザ素子の端面（光出射端面）には低反射コート層（AR）が形成されている。光学フィルター 12 には、主にバンドパスフィルターが用いられ、レーザの発振波長の制御のために挿入される。外部共振器長さ Z' によって光パルス列の繰り返し周波数 f が決定され、次式で表される。ここで、 c は光速であり、 n は導波路の屈折率である。

$$f = c / (2n \cdot Z')$$

【0100】

モードロックは、発光領域 141 に印加する直流電流と可飽和吸収領域 142 に印加する逆バイアス電圧 V_{sa} とによって決定される。図 18 の（A）及び（B）に、実施例 1 及び参考例 1 の注入電流と光出力の関係（ $L-I$ 特性）の逆バイアス電圧依存性測定結果を示す。尚、図 18 の（A）及び（B）において、符号「A」を付した測定結果は、逆バイアス電圧 $V_{sa} = 0$ ボルトの結果であり、符号「B」を付した測定結果は、逆バイアス電圧 $V_{sa} = -3$ ボルトの結果であり、符号「C」を付した測定結果は、逆バイアス電圧 $V_{sa} = -6$ ボルトの結果であり、符号「D」を付した測定結果は、逆バイアス電圧 $V_{sa} = -9$ ボルトの結果である。図 18 の（A）にあっては、逆バイアス電圧 $V_{sa} = 0$ ボルトの測定結果と、逆バイアス電圧 $V_{sa} = -3$ ボルトの測定結果とは、ほぼ、重なっている。

【 0 1 0 1 】

図 1 8 の (A) 及び (B) を比較すると、参考例 1 にあっては、逆バイアス電圧 V_{sa} を増加していくと、レーザ発振が開始する閾値電流 I_{th} が次第に上昇し、更には、実施例 1 に比べて、低い逆バイアス電圧 V_{sa} で変化が生じていることが判る。これは、実施例 1 の第 3 化合物半導体層 1 4 0 の方が、逆バイアス電圧 V_{sa} により可飽和吸収の効果が電氣的に制御されていることを示唆している。

【 0 1 0 2 】

また、実施例 1 及び参考例 1 において発生した光パルスをストリークカメラで測定した結果を、図 1 9 の (A) 及び (B) に示す。参考例 1 にて得られた図 1 9 の (B) では、メインパルスの前後にサブパルス成分が発生しているが、実施例 1 にて得られた図 1 9 の (A) では、サブパルス成分の発生は抑制されている。これらの結果は、全て、第 3 化合物半導体層 1 4 0 の構成により Q C S E 効果が緩和されたことにより、可飽和吸収の効果が増強されたことに起因するものと考えられる。

【 0 1 0 3 】

図 1 1 の (A) に示した実施例 1 のモードロック半導体レーザ素子の駆動条件等を以下の表 3 に例示する。尚、 I_{th} は閾値電流である。

【 0 1 0 4 】

[表 3]

[モードロック駆動条件]

$$0 < I_{gain} / I_{th} \quad 5$$

$$- 20 \quad V_{sa} \text{ (ボルト)} \quad 0$$

[高反射コート層 (H R)]

$$85 \quad \text{反射率 } R_{HR} \text{ (\%) } < 100$$

[低反射コート層 (A R)]

$$0 < \text{反射率 } R_{AR} \text{ (\%) } \quad 0.5$$

[光学フィルター]

$$85 \quad \text{透過率 } T_{BPF} \text{ (\%) } \quad < 100$$

$$0 < \text{半値幅 } \tau_{BPF} \text{ (nm) } \quad 2.0$$

$$400 < \text{ピーク波長 } \lambda_{BPF} \text{ (nm) } < 450$$

[外部鏡]

$$0 < \text{反射率 } R_{OC} \text{ (\%) } < 100$$

[外部共振器長さ Z']

$$0 < Z' \text{ (mm) } < 1500$$

【 0 1 0 5 】

より具体的には、実施例 1 にあっては、一例として、

$$I_{gain} = 120 \text{ mA}$$

$$I_{th} = 45 \text{ mA}$$

$$\text{逆バイアス電圧 } V_{sa} = -11 \text{ (ボルト)}$$

$$\text{反射率 } R_{HR} = 95 \text{ (\%)}$$

$$\text{反射率 } R_{AR} = 0.3 \text{ (\%)}$$

$$\text{透過率 } T_{BPF} = 90 \text{ (\%)}$$

$$\text{半値幅 } \tau_{BPF} = 1 \text{ nm}$$

$$\text{ピーク波長 } \lambda_{BPF} = 410 \text{ nm}$$

$$\text{反射率 } R_{OC} = 20 \%$$

$$\text{外部共振器長さ } Z' = 150 \text{ mm}$$

とした。

【 0 1 0 6 】

一方、参考例 1 にあっては、

$$I_{gain} = 95 \text{ mA}$$

$$I_{th} = 50 \text{ mA}$$

逆バイアス電圧 $V_{sa} = -12.5$ (ボルト)

反射率 $R_{oc} = 50\%$

とした。それ以外の諸元は、実施例 1 と同じである。

【実施例 2】

【0107】

実施例 2 は、実施例 1 の変形である。実施例 2 にあっては、図 7 の (A) に概念図を示すように、半導体光増幅器 200 から出射されるレーザ光の光出力の一部を、ビームスプリッタ 32 を用いて取り出し、レンズ 33 を介してフォトダイオード 34 に入射させることで、半導体光増幅器 200 から出射されるレーザ光の光出力を測定する。そして、光出力が所望の値から変化したとき、実施例 1 の半導体光増幅器の位置合わせ方法を再び実行する。即ち、半導体光増幅器 200 にレーザ光源 100 からのレーザ光を入射させながら半導体光増幅器 200 に所定の値の電流を流して、半導体光増幅器 200 に印加される (加わる) 電圧が最大となるように半導体光増幅器 200 に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器 200 の相対的な位置を再調整する。そして、半導体光増幅器 200 に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器 200 の相対的な位置の再調整の結果が、再調整前の半導体光増幅器 200 に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器の相対的な位置と同じである場合、半導体光増幅器 200 から出射されたレーザ光が通過する光路の調整を行う。係る調整は、例えば、反射ミラー 31 を XYZ ステージ 35 に載置すればよい。尚、XYZ ステージ 35 の移動は、作業者が行ってもよいし、電圧及びフォトダイオード 34 の測定結果に基づいて、半導体光増幅器制御装置 400 の指示により自動的に行うこともできる。尚、図 7 の (A) において、半導体光増幅器 200 より上流に位置する光出力装置の構成要素は、実施例 1 の光出力装置の構成要素と同じであるが故に、光出力装置のこれらの構成要素の図示を省略している。

【0108】

以上の点を除き、実施例 2 の半導体光増幅器の位置合わせ方法及び光出力装置は、実施例 1 の半導体光増幅器の位置合わせ方法及び光出力装置と同様とすることができるので、詳細な説明は省略する。ここで、実施例 2 によれば、光出力のモニターに変化が生じたとき、係る変化が、半導体光増幅器 200 に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器 200 の相対的な位置の変化 (即ち、入射レーザ光と半導体光増幅器の光導波路との結合効率の変化) に起因したものであるのか否かの峻別を、容易に行うことができる。

【実施例 3】

【0109】

実施例 3 は、本発明の第 2 の態様に係る半導体光増幅器の位置合わせ方法、及び、本発明の第 2 の態様に係る光出力装置に関する。実施例 3 の光出力装置及び半導体光増幅器は、概念図を図 1 に示した実施例 1 の光出力装置及び半導体光増幅器と同様の構成、構造とすることができるので、詳細な説明は省略する。

【0110】

実施例 3 の半導体光増幅器の位置合わせ方法あるいは光出力装置にあっては、半導体光増幅器 200 にレーザ光源 100 からレーザ光を入射させながら半導体光増幅器 200 に所定の値の電圧を印加する。そして、半導体光増幅器 200 を流れる電流が最大となるように半導体光増幅器 200 に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器 200 の相対的な位置を調整する。また、実施例 3 の光出力装置にあっては、半導体光増幅器 200 にレーザ光源 100 からのレーザ光を入射させながら半導体光増幅器 200 に所定の値の電圧を印加して、半導体光増幅器 200 に流れる電流を半導体光増幅器制御装置 400 はモニターし、半導体光増幅器 200 を流れる電流が最大となるように、半導体光増幅器 200 に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器 200 の相対的な位置が位置合わせ装置 300 によって調整される。

【0111】

より具体的には、実施例 3 の半導体光増幅器 200 の位置合わせ方法においては、半導体光増幅器 200 にレーザ光源 100 からレーザ光を入射させずに半導体光増幅器 200

に所定の値の電圧 V_0 を印加したとき、半導体光増幅器 200 を流れる電流を I_1 、半導体光増幅器 200 にレーザ光源 100 からレーザ光を入射させながら半導体光増幅器 200 に所定の値の電圧 V_0 を印加したとき、半導体光増幅器 200 を流れる電流を I_2 とすれば、 $\Delta I = (I_2 - I_1)$ の値が最大となるように半導体光増幅器 200 に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器 200 の相対的な位置を調整する。

【0112】

また、実施例 3 の光出力装置にあっては、半導体光増幅器 200 にレーザ光源 100 からレーザ光を入射させずに半導体光増幅器 200 に所定の値の電圧 V_0 を印加したとき、半導体光増幅器 200 を流れる電流を I_1 、半導体光増幅器 200 にレーザ光源 100 からレーザ光を入射させながら半導体光増幅器 200 に所定の値の電圧 V_0 を印加したとき、半導体光増幅器 200 を流れる電流を I_2 とすれば、 $\Delta I = (I_2 - I_1)$ の値が最大となるように、半導体光増幅器 200 に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器 200 の相対的な位置が位置合わせ装置によって調整される。

【0113】

半導体光増幅器 200 にレーザ光源 100 からレーザ光を入射させながら半導体光増幅器 200 に所定の値の電圧を印加し、X 方向に XYZ ステージを移動させたときの半導体光増幅器 200 を流れる電流 ΔI の変化は、実質的に、図 5 に示したと同様の变化である。即ち、X 方向への XYZ ステージの移動に伴い、半導体光増幅器 200 を流れる電流 ΔI は、単調に増加し、最大値を超えると、単調に減少する。このときの半導体光増幅器 200 から出射されるレーザ光の光出力の変化も、電流の変化と全く同じ挙動を示す。それ故、半導体光増幅器 200 に流れる電流が最大となるように半導体光増幅器 200 に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器 200 の相対的な位置を調整することで、半導体光増幅器 200 から出射されるレーザ光の光出力を最大とすることができる。

【実施例 4】

【0114】

実施例 4 は、実施例 3 の変形である。実施例 4 の光出力装置は、図 7 の (A) に概念図を示した実施例 2 の光出力装置と同じ構成、構造を有する。実施例 4 にあっては、実施例 2 と同様に、半導体光増幅器 200 から出射されるレーザ光の光出力の一部を、ビームスプリッタ 32 を用いて取り出し、レンズ 33 を介してフォトダイオード 34 に入射させることで、半導体光増幅器 200 から出射されるレーザ光の光出力を測定する。そして、光出力が所望の値から変化したとき、実施例 3 の半導体光増幅器の位置合わせ方法を再び実行する。即ち、半導体光増幅器 200 にレーザ光源 100 からのレーザ光を入射させながら半導体光増幅器 200 に所定の値の電圧を印加して、半導体光増幅器 200 を流れる電流が最大となるように半導体光増幅器 200 に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器 200 の相対的な位置を再調整する。そして、半導体光増幅器 200 に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器 200 の相対的な位置の再調整の結果が、再調整前の半導体光増幅器 200 に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器の相対的な位置と同じである場合、半導体光増幅器 200 から出射されたレーザ光が通過する光路の調整を行う。係る調整は、実施例 2 と同様に、例えば、反射ミラー 31 を XYZ ステージ 35 に載置すればよい。尚、XYZ ステージ 35 の移動は、作業者が行ってもよいし、電流及びフォトダイオード 34 の測定結果に基づいて、半導体光増幅器制御装置 400 の指示により自動的に行うこともできる。

【0115】

以上の点を除き、実施例 4 の半導体光増幅器の位置合わせ方法及び光出力装置は、実施例 3 の半導体光増幅器の位置合わせ方法及び光出力装置と同様とすることができるので、詳細な説明は省略する。ここで、実施例 4 によれば、光出力のモニターに変化が生じたとき、係る変化が、半導体光増幅器 200 に入射するレーザ光に対する半導体光増幅器 200 の相対的な位置の変化（即ち、入射レーザ光と半導体光増幅器の光導波路との結合効率の変化）に起因したものであるのか否かの峻別を、容易に行うことができる。

【実施例 5】

【 0 1 1 6 】

実施例 5 は、実施例 3 及び実施例 4 の変形である。実施例 5 においては、半導体光増幅器の軸線（Z 方向）を含む仮想垂直面（YZ 平面）で半導体光増幅器を切断したときの模式的な断面図を図 8 に示すように、実施例 3 と異なり、第 2 電極 2 6 2 は、第 1 部分 2 6 2 A、及び、半導体光増幅器 2 0 0 の光出射端面 2 0 3 の側に設けられ、分離溝 2 6 2 C によって第 1 部分 2 6 2 A と分離された第 2 部分 2 6 2 B から成る。ここで、第 1 部分 2 6 2 A の長さを $L_{\text{Amp}-1}$ 、第 2 部分 2 6 2 B の長さを $L_{\text{Amp}-2}$ としたとき、

$$L_{\text{Amp}-1} = 1.98 \text{ mm}$$

$$L_{\text{Amp}-2} = 0.01 \text{ mm}$$

であり、

$$0.001 \leq L_{\text{Amp}-2} / L_{\text{Amp}-1} \leq 0.01,$$

を満足している。また、分離溝 2 6 2 C の長さを 0.01 mm とした。第 2 部分 2 6 2 B は、半導体光増幅器 2 0 0 の光出射端面側に位置する。そして、第 2 電極 2 6 2 の第 2 部分 2 6 2 B に印加する電圧を、-20 ボルト以上 4 ボルト以下のいずれかの値、例えば、1 ボルトとする。このように、実施例 5 にあっては、第 2 電極 2 6 2 をこのように 2 つの部分に分離することで、半導体光増幅器 2 0 0 の光出射端面 2 0 3 の劣化を抑制することができる。ここで、第 2 電極 2 6 2 の第 1 部分 2 6 2 A に電圧を印加することで、半導体光増幅器 2 0 0 の本来の機能である光増幅を行い、第 2 電極 2 6 2 の第 2 部分 2 6 2 B に電圧を印加することで、位置調整のための計測を行う。従って、電流 ΔI の測定は第 2 電極 2 6 2 の第 2 部分 2 6 2 B を流れる電流に対して行う。

【 0 1 1 7 】

以上の点を除き、実施例 5 の光出力装置及び半導体光増幅器は、実施例 3 あるいは実施例 4 の光出力装置及び半導体光増幅器と同様の構成、構造とすることができるので、詳細な説明は省略する。

【 実施例 6 】

【 0 1 1 8 】

実施例 6 は、実施例 1 におけるモードロック半導体レーザ素子の変形である。実施例 6 のモードロック半導体レーザ素子から外部共振器を構成する例を、図 1 1 の（B）、図 1 2 の（A）、（B）に示す。

【 0 1 1 9 】

図 1 1 の（B）に示すコリメート型の外部共振器にあっても、可飽和吸収領域側に高反射コート層（HR）が形成されたモードロック半導体レーザ素子の端面と外部鏡とで外部共振器を構成し、外部鏡から光パルスを取り出す。発光領域（利得領域）側のモードロック半導体レーザ素子の端面（光出射端面）には低反射コート層（AR）が形成されている。尚、図 1 1 の（B）に示した実施例 6 のモードロック半導体レーザ素子の駆動条件等は、上述した表 3 と同様とすることができる。

【 0 1 2 0 】

一方、図 1 2 の（A）及び（B）に示す外部共振器にあっても、可飽和吸収領域側（光出射端面）に反射コート層（R）が形成されたモードロック半導体レーザ素子の端面と外部鏡とで外部共振器を構成し、可飽和吸収領域 1 4 2 から光パルスを取り出す。発光領域（利得領域）側のモードロック半導体レーザ素子の端面には低反射コート層（AR）が形成されている。尚、図 1 2 の（A）に示す例は集光型であり、図 1 2 の（B）に示す例はコリメート型である。尚、図 1 2 の（A）及び（B）に示した実施例 6 のモードロック半導体レーザ素子の駆動条件等は、上述した表 3 と同様とすることができる。但し、反射コート層（R）に関しては、以下の表 4 のとおりとすればよい。

【 0 1 2 1 】

[表 4]

[反射コート層（R）]

$$0 < \text{反射率 } R_R (\%) < 100$$

【 0 1 2 2 】

10

20

30

40

50

尚、具体的には、

反射率 $R_R = 20\%$

とした。実施例 6 におけるモードロック半導体レーザ素子のその他の構成、構造は、実施例 1 において説明したモードロック半導体レーザ素子の構成、構造と同様とすることができるので、詳細な説明は省略する。

【実施例 7】

【0123】

実施例 7 も実施例 1 におけるモードロック半導体レーザ素子の変形であるが、実施例 7 にあっては、図 12 の (C) に示すように、モードロック半導体レーザ素子をモノリシック型とした。尚、実施例 7 のモードロック半導体レーザ素子の駆動条件等は、上述した表 3 と同様とすることができる。実施例 7 におけるモードロック半導体レーザ素子のその他の構成、構造は、実施例 1 において説明したモードロック半導体レーザ素子の構成、構造と同様とすることができるので、詳細な説明は省略する。

10

【実施例 8】

【0124】

実施例 8 も実施例 1 におけるモードロック半導体レーザ素子の変形であるが、実施例 8 のモードロック半導体レーザ素子は、斜め導波路を有する斜めリッジストライプ型の分離閉じ込めヘテロ構造の半導体レーザ素子である。実施例 8 のモードロック半導体レーザ素子におけるリッジ部 156A を上方から眺めた模式図を図 13 に示す。実施例 8 のモードロック半導体レーザ素子にあっては、直線状の 2 つのリッジ部が組み合わされた構造を有し、2 つのリッジ部の交差する角度 θ の値は、例えば、

20

$0 < \theta \leq 10$ (度)

好ましくは、

$0 < \theta \leq 6$ (度)

とすることが望ましい。斜めリッジストライプ型を採用することで、低反射コートをされた端面の反射率を、より 0% の理想値に近づけることができ、その結果、半導体レーザ内で周回してしまう光パルスの発生を防ぐことができ、メインの光パルスに付随するサブの光パルスの生成を抑制できるといった利点を得ることができる。尚、実施例 8 の斜めリッジストライプ型のモードロック半導体レーザ素子を、実施例 1、実施例 6 ~ 実施例 7 に適用することができる。実施例 8 におけるモードロック半導体レーザ素子のその他の構成、構造は、実施例 1 において説明したモードロック半導体レーザ素子の構成、構造と同様とすることができるので、詳細な説明は省略する。

30

【実施例 9】

【0125】

実施例 9 も実施例 1 におけるモードロック半導体レーザ素子の変形であるが、実施例 9 にあっては、第 2 電極 162 から発光領域 141 を経由して第 1 電極 161 に電流を流し、且つ、第 2 電極 162 から発光領域 141 を経由して第 1 電極 161 に外部電気信号 (RMS ジッタ Δt_{signal}) を重畳させる。図 14 の (A) に、実施例 9 のモードロック半導体レーザ素子を用いてモードロック駆動を行うシステムを模式的に示す。外部電気信号は、周知の外部電気信号発生器から第 2 電極 162 へと送出される。これによって、光パルスと外部電気信号との間の同期を取ることができる。即ち、RMS タイミングジッタ Δt_{MLLD} を、下記まで抑えることが可能となる。

40

$\Delta t_{\text{signal}} \leq \Delta t_{\text{MLLD}}$

【0126】

図 14 の (A) に示した実施例 9 のモードロック半導体レーザ素子の駆動条件等は、上述した表 3 と同様とすることができる。尚、外部電気信号の電圧最大値 V_{p-p} (単位: ボルト) は、

$0 < V_{p-p} \leq 10$

好ましくは、

$0 < V_{p-p} \leq 3$

50

を満足することが望ましい。また、外部電気信号の周波数 f_{signal} と光パルス列の繰り返し周波数 f_{MLLD} とは、

$$0.99 \leq f_{\text{signal}} / f_{\text{MLLD}} \leq 1.01$$

を満足することが望ましい。

【0127】

そして、より具体的には、実施例9にあっては、一例として、

$$\begin{aligned} I_{\text{gain}} &= 120 \text{ mA} \\ I_{\text{th}} &= 45 \text{ mA} \\ \text{逆バイアス電圧 } V_{\text{sa}} &= -11 \text{ (ボルト)} \\ \text{反射率 } R_{\text{HR}} &= 95 \text{ (\%)} \\ \text{反射率 } R_{\text{AR}} &= 0.3 \text{ (\%)} \\ \text{透過率 } T_{\text{BPF}} &= 90 \text{ (\%)} \\ \text{半値幅 } \tau_{\text{BPF}} &= 1 \text{ nm} \\ \text{ピーク波長 } \lambda_{\text{BPF}} &= 410 \text{ nm} \\ \text{反射率 } R_{\text{OC}} &= 20 \text{ \%} \\ \text{外部共振器長さ } Z' &= 150 \text{ mm} \\ V_{\text{p-p}} &= 2.8 \text{ ボルト} \\ f_{\text{signal}} &= 1 \text{ GHz} \\ f_{\text{MLLD}} &= 1 \text{ GHz} \\ \Delta t_{\text{signal}} &= 1 \text{ ピコ秒} \\ \Delta t_{\text{MLLD}} &= 1.5 \text{ ピコ秒} \end{aligned}$$

10

20

【0128】

一方、参考例9にあっては、第2電極162から発光領域141を経由して第1電極161に外部電気信号を重畳させること無く、第2電極162から発光領域141を経由して第1電極161に電流を流した。そして、RFスペクトルを測定した。実施例9及び参考例9における測定結果を、図21の(A)及び(B)に示す。尚、参考例9にあっては、

$$\text{反射率 } R_{\text{OC}} = 50 \text{ \%}$$

とした。それ以外の諸元は、実施例9と同じである。

30

【0129】

図21の(A)及び(B)から、参考例9と比べて実施例9の方がRFスペクトルの裾の成分の面積の低減がみられ、このことは、参考例9と比べて実施例9の方が位相ノイズ及びタイミングジッタが少ない駆動方法であることを示している。

【0130】

実施例9におけるモードロック半導体レーザ素子のその他の構成、構造は、実施例1、実施例6～実施例8において説明したモードロック半導体レーザ素子の構成、構造と同様とすることができるので、詳細な説明は省略する。

【実施例10】

【0131】

40

実施例10も実施例1におけるモードロック半導体レーザ素子の变形であるが、実施例10にあっては、積層構造体の一端面から光信号を入射させる。図14の(B)に、実施例10のモードロック半導体レーザ素子を用いてモードロック駆動を行うシステムを模式的に示す。光信号(RMSジッタ: Δt_{opto})は、半導体レーザ素子から成る光信号発生器から出射され、レンズ、外部鏡、光学フィルター、レンズを介して積層構造体の一端面に入射する。これによって、光パルスと光信号との間の同期を取ることができる。即ち、RMSタイミングジッタ Δt_{MLLD} を、下記まで抑えることが可能となる。

$$\Delta t_{\text{opto}} \leq \Delta t_{\text{MLLD}}$$

【0132】

実施例10におけるモードロック半導体レーザ素子のその他の構成、構造は、実施例1

50

、実施例 6 ~ 実施例 8 において説明したモードロック半導体レーザ素子の構成、構造と同様とすることができるので、詳細な説明は省略する。

【 0 1 3 3 】

以上、本発明を好ましい実施例に基づき説明したが、本発明はこれらの実施例に限定するものではない。実施例において説明した半導体光増幅器、光出力装置、レーザ光源、半導体レーザ素子の構成、構造の構成は例示であり、適宜、変更することができる。また、実施例においては、種々の値を示したが、これらも例示であり、例えば、使用する半導体光増幅器、光出力装置、半導体レーザ素子の仕様が変われば、変わることは当然である。例えば、第 2 電極 162 を、厚さ 20 nm のパラジウム (Pd) から成る下層金属層と、厚さ 200 nm のニッケル (Ni) から成る上層金属層の積層構造としてもよい。尚、王水によるウエットエッチングにあっては、ニッケルのエッチングレートは、パラジウムのエッチングレートの約 1.25 倍である。

10

【 0 1 3 4 】

実施例においては、半導体光増幅器を透過型半導体光増幅器から構成したが、これに限定するものではなく、図 7 の (B)、(C)、(D) に概念図を示すように、反射型半導体光増幅器や、共振型半導体光増幅器、モノリシック型半導体光増幅器から構成することもできる。反射型半導体光増幅器にあっては、図 7 の (B) に示すように、半導体光増幅器 200 の一方の端面 (光入射端面) 205 には低反射コート層 (AR) 206 が形成され、対向する他方の端面 207 には高反射コート層 (HR) 208 が形成されている。そして、一方の端面 205 から入射されたレーザ光が半導体光増幅器 200 の内部で光増幅され、反対側の端面 207 で反射され、半導体光増幅器 200 の内部を再び通過して光増幅され、一方の端面 205 から出射される。この半導体光増幅器 200 から出射されたレーザ光は、半導体光増幅器 200 に入射するレーザ光と適切な光学部品 (例えば、ビームスプリッタやハーフミラー) によって分離される。同じデバイス長の半導体光増幅器においては、透過型半導体光増幅器よりも反射型半導体光増幅器の方が増幅パスが 2 倍となり、より高い増幅が可能になるが、入力レーザ光と出力レーザ光を分離する光学部品が必要となる。共振型半導体光増幅器にあっては、図 7 の (C) に示すように、両端面に適度な反射率を有するコーティングが施されており、レーザ光が共振型半導体光増幅器の内部を共振して増幅される。コーティングの反射率が高すぎると、レーザ発振してしまうため、光増幅器として機能させるには反射率の調整が必要である。モノリシック型半導体光増幅器は、図 7 の (D) に示すように、半導体レーザ素子と半導体光増幅器とが一体になったものである。また、図 9 の (A) 及び (B) に示すように、半導体光増幅器の端面における反射率を低下させるために、光入射端面側及び / 又は光出射端面側に斜め導波路構造を採用してもよいし、増幅率の向上のために、光出射端面側の第 2 電極としてフレア型を採用してもよい。

20

30

【 0 1 3 5 】

実施例においては、モードロック半導体レーザ素子 110 を、n 型 GaN 基板 121 の極性面である C 面、{ 0001 } 面上に設けたが、代替的に、{ 11-20 } 面である A 面、{ 1-100 } 面である M 面、{ 1-102 } 面といった無極性面上、あるいは又、{ 11-24 } 面や { 11-22 } 面を含む { 11-2n } 面、{ 10-11 } 面、{ 10-12 } 面といった半極性面上に、モードロック半導体レーザ素子 110 を設けてもよく、これによって、モードロック半導体レーザ素子 110 の第 3 化合物半導体層にたとえピエゾ分極及び自発分極が生じた場合であっても、第 3 化合物半導体層の厚さ方向にピエゾ分極が生じることは無く、第 3 化合物半導体層の厚さ方向とは略直角の方向にピエゾ分極が生じるので、ピエゾ分極及び自発分極に起因した悪影響を排除することができる。尚、{ 11-2n } 面とは、ほぼ C 面に対して 40 度を成す無極性面を意味する。また、無極性面上あるいは半極性面上にモードロック半導体レーザ素子 110 を設ける場合、井戸層の厚さの制限 (1 nm 以上、10 nm 以下) 及び障壁層の不純物ドーピング濃度の制限 ($2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上、 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下) を無くすることが可能である。

40

【 0 1 3 6 】

50

発光領域 1 4 1 や可飽和吸収領域 1 4 2 の数は 1 に限定されない。1 つの第 2 電極の第 1 部分 1 6 2 A と 2 つの第 2 電極の第 2 部分 1 6 2 B₁、1 6 2 B₂ とが設けられたモードロック半導体レーザ素子の模式的な端面図を図 1 5 に示す。このモードロック半導体レーザ素子にあっては、第 1 部分 1 6 2 A の一端が、一方の分離溝 1 6 2 C₁ を挟んで、一方の第 2 部分 1 6 2 B₁ と対向し、第 1 部分 1 6 2 A の他端が、他方の分離溝 1 6 2 C₂ を挟んで、他方の第 2 部分 1 6 2 B₂ と対向している。そして、1 つの発光領域 1 4 1 が、2 つの可飽和吸収領域 1 4 2₁、1 4 2₂ によって挟まれている。あるいは又、2 つの第 2 電極の第 1 部分 1 6 2 A₁、1 6 2 A₂ と 1 つの第 2 電極の第 2 部分 1 6 2 B とが設けられたモードロック半導体レーザ素子の模式的な端面図を図 1 6 に示す。このモードロック半導体レーザ素子にあっては、第 2 部分 1 6 2 B の端部が、一方の分離溝 1 6 2 C₁ を挟んで、一方の第 1 部分 1 6 2 A₁ と対向し、第 2 部分 1 6 2 B の他端が、他方の分離溝 1 6 2 C₂ を挟んで、他方の第 1 部分 1 6 2 A₂ と対向している。そして、1 つの可飽和吸収領域 1 4 2 が、2 つの発光領域 1 4 1₁、1 4 1₂ によって挟まれている。

10

20

30

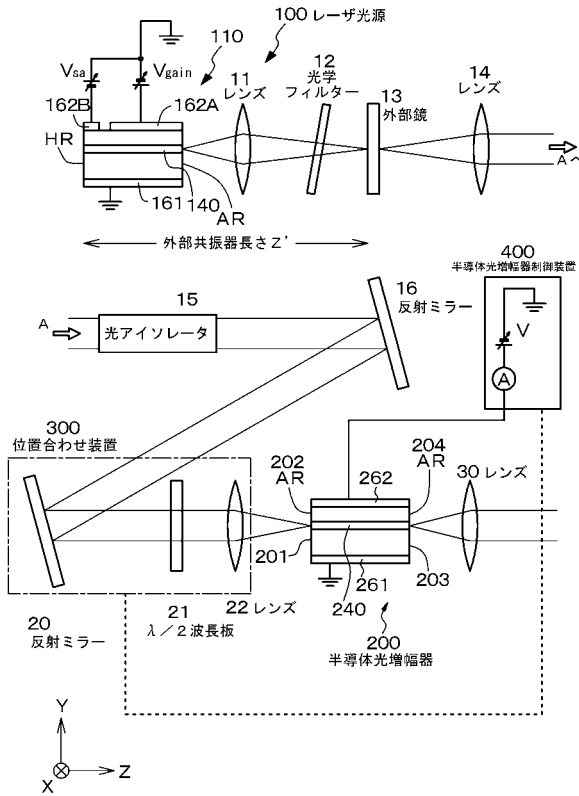
【符号の説明】

【0 1 3 7】

1 0 0・・・レーザ光源、2 0 0・・・半導体光増幅器、3 0 0・・・位置合わせ装置 (X Y Z ステージ)、4 0 0・・・半導体光増幅器制御装置、1 1, 1 4, 2 2, 3 0, 3 3・・・レンズ、1 2・・・光学フィルター、1 3・・・外部鏡、1 5・・・光アイソレータ、1 6, 2 0, 3 1・・・反射ミラー、2 1・・・半波長板 ($\lambda / 2$ 波長板)、3 2・・・ビームスプリッタ、3 4・・・フォトダイオード、3 5・・・X Y Z ステージ、1 1 0・・・半導体レーザ素子、1 2 1, 2 2 1・・・n 型 Ga N 基板、1 3 0, 2 3 0・・・第 1 化合物半導体層、1 3 1, 2 3 1・・・n 型 Al Ga N クラッド層、1 3 2, 2 3 2・・・n 型 Ga N クラッド層、1 4 0, 2 4 0・・・第 3 化合物半導体層、1 4 1, 1 4 1₁, 1 4 1₂・・・発光領域、1 4 2, 1 4 2₁, 1 4 2₂・・・可飽和吸収領域、1 5 0, 2 5 0・・・第 2 化合物半導体層、1 5 1, 2 5 1・・・ノンドープ Ga I n N 光ガイド層、1 5 2, 2 5 2・・・ノンドープ Al Ga N クラッド層、1 5 3, 2 5 3・・・p 型 Al Ga N 電子障壁層 (Mg ドープ)、1 5 4, 2 5 4・・・p 型 Ga N (Mg ドープ) / Al Ga N 超格子クラッド層、1 5 5, 2 5 5・・・p 型 Ga N コンタクト層 (Mg ドープ)、1 5 6, 1 5 6 A, 2 5 6・・・リッジ部、1 5 7, 2 5 7・・・積層絶縁膜、1 6 1, 2 6 1・・・第 1 電極、1 6 2, 2 6 2・・・第 2 電極、1 6 2 A, 1 6 2 A₁, 1 6 2 A₂, 2 6 2 A・・・第 2 電極の第 1 部分、1 6 2 B, 1 6 2 B₁, 1 6 2 B₂, 2 6 2 B・・・第 2 電極の第 2 部分、1 6 2 C, 1 6 2 C₁, 1 6 2 C₂, 2 6 2 C・・・分離溝、1 6 3・・・Pd 単層、1 6 4・・・レジスト層、1 6 5・・・開口部、2 4 1・・・光増幅領域 (キャリア注入領域、利得領域)

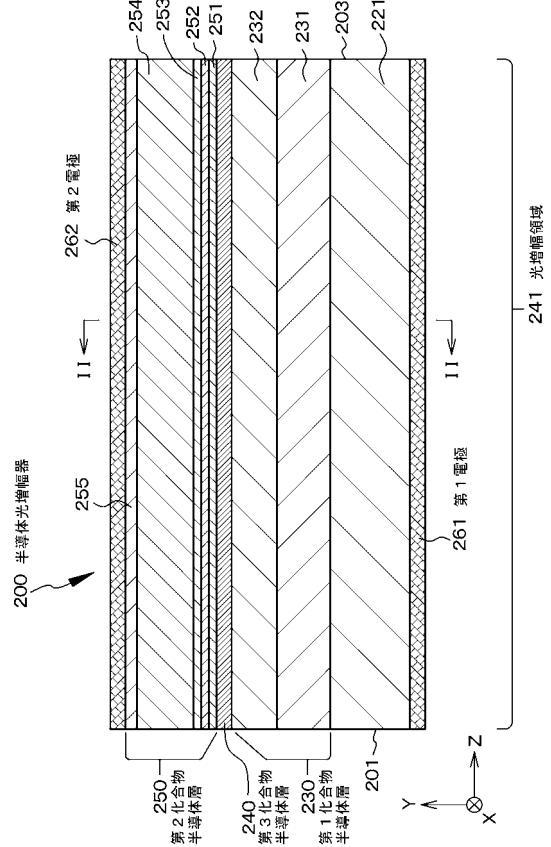
【 図 1 】

【图 1】



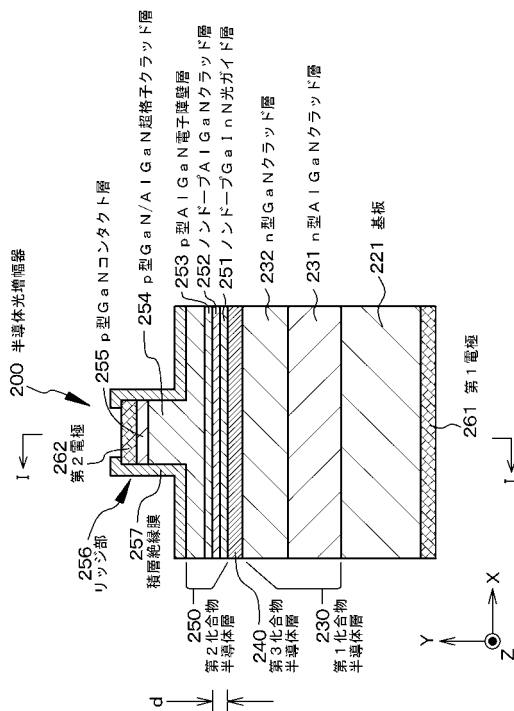
【 図 2 】

【图 2】



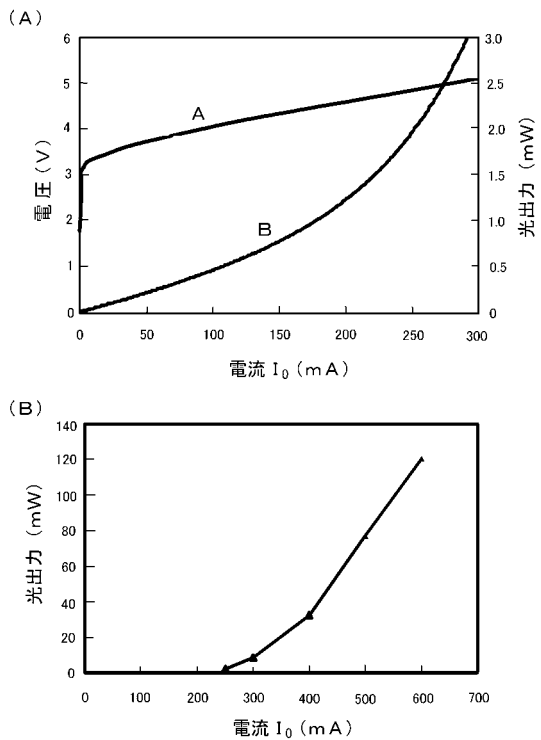
【 図 3 】

【図 3】



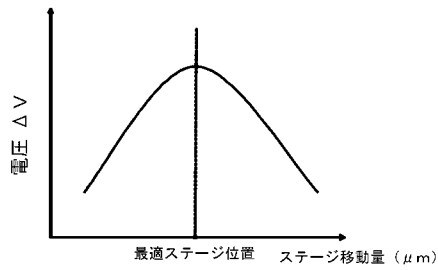
【 図 4 】

【圖 4】



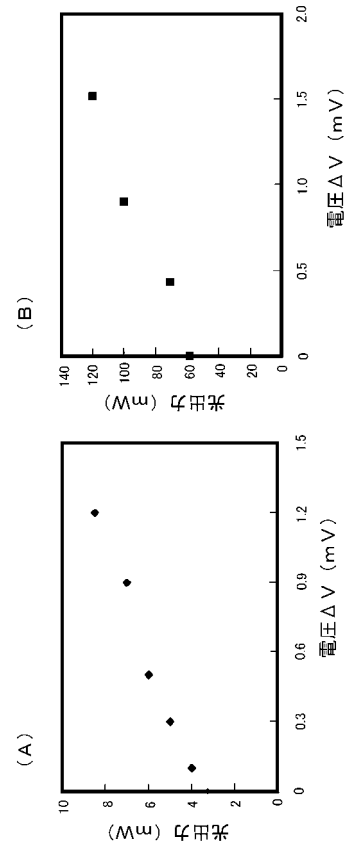
【図 5】

【図 5】



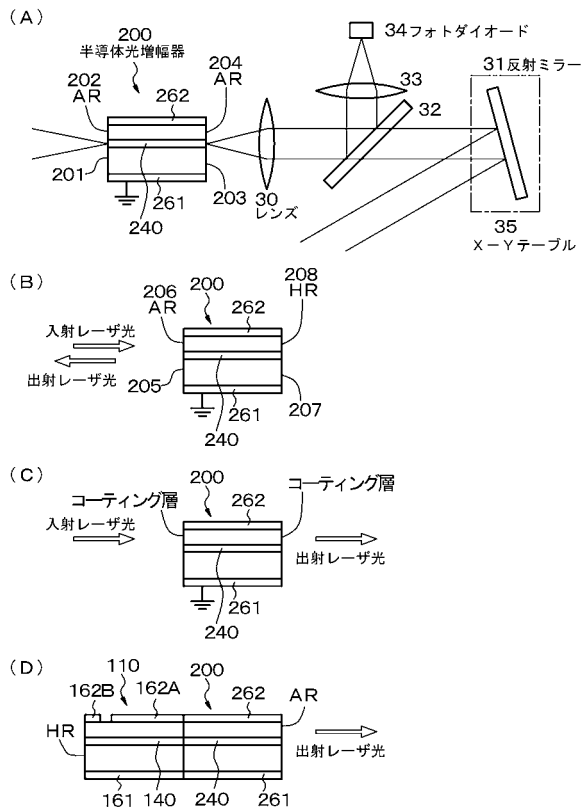
【図 6】

【図 6】



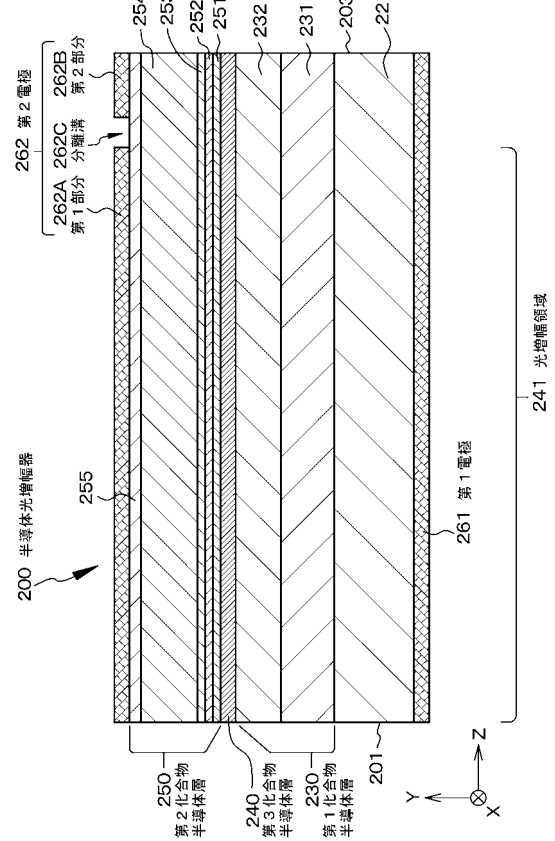
【図 7】

【図 7】



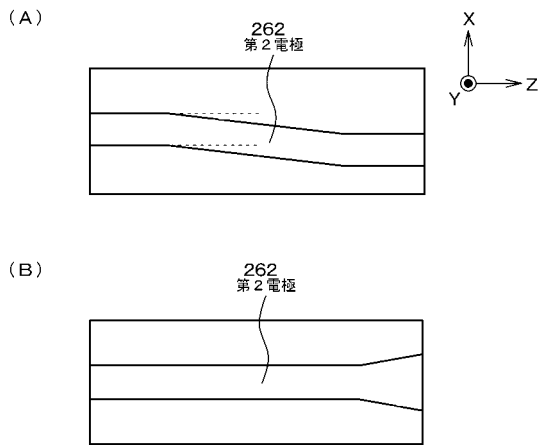
【図 8】

【図 8】



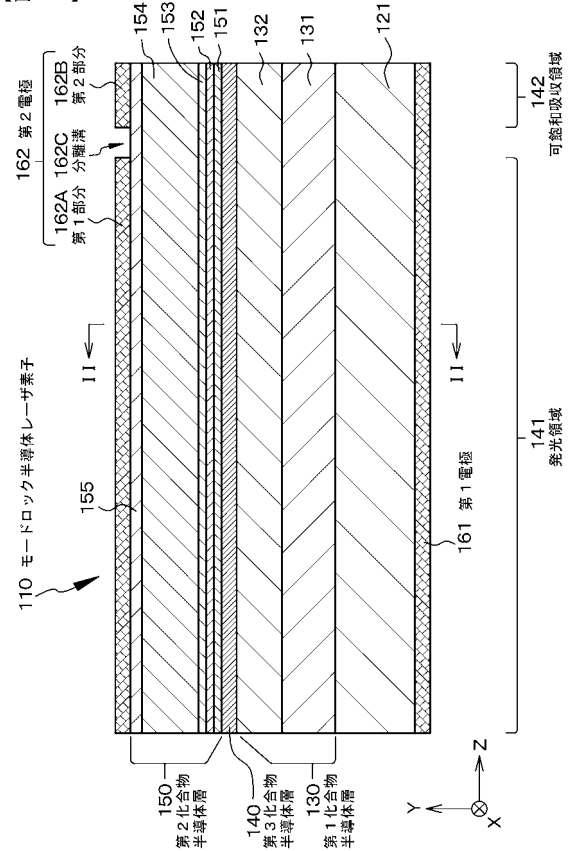
【図 9】

【図 9】



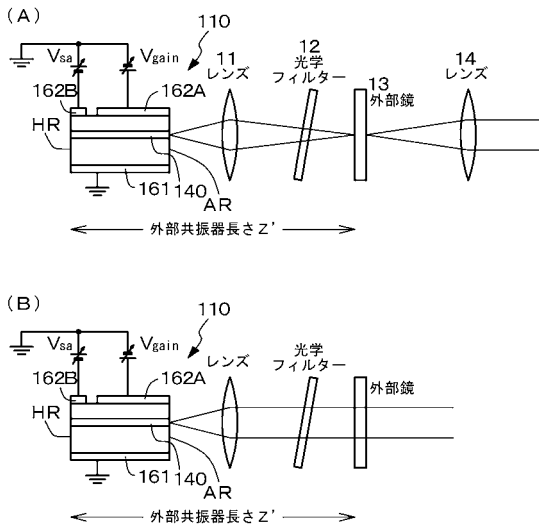
【図 10】

【図 10】



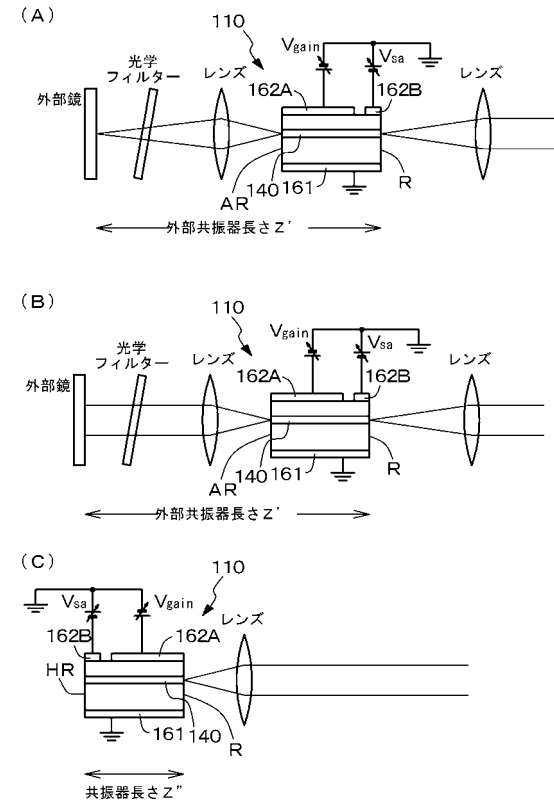
【図 11】

【図 11】



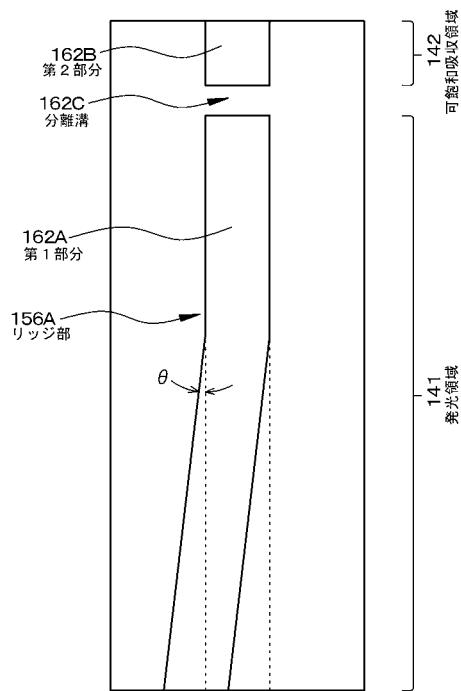
【図 12】

【図 12】



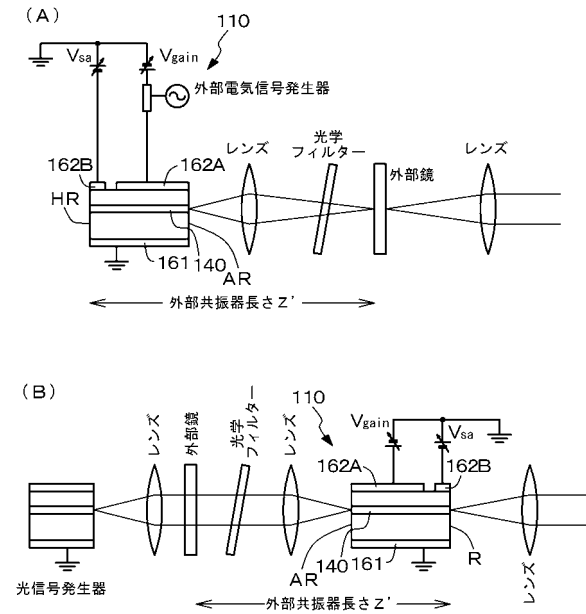
【図 13】

【図 13】



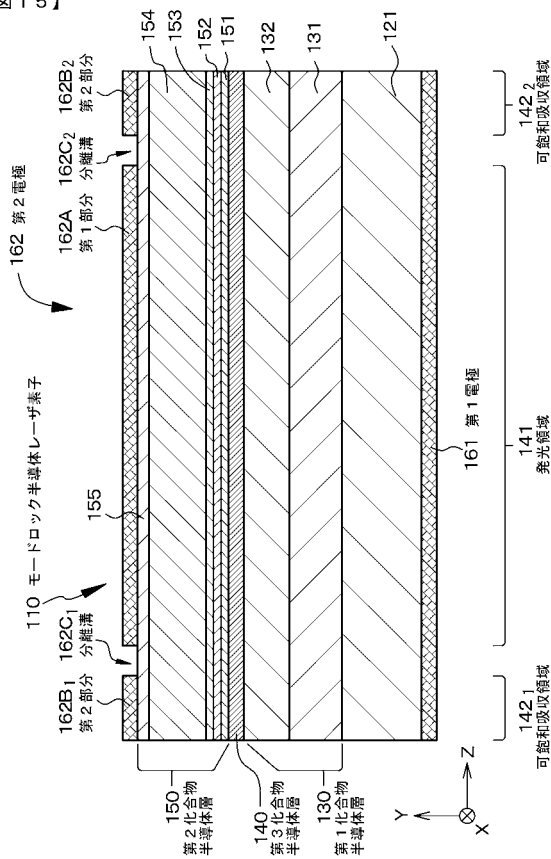
【図 14】

【図 14】



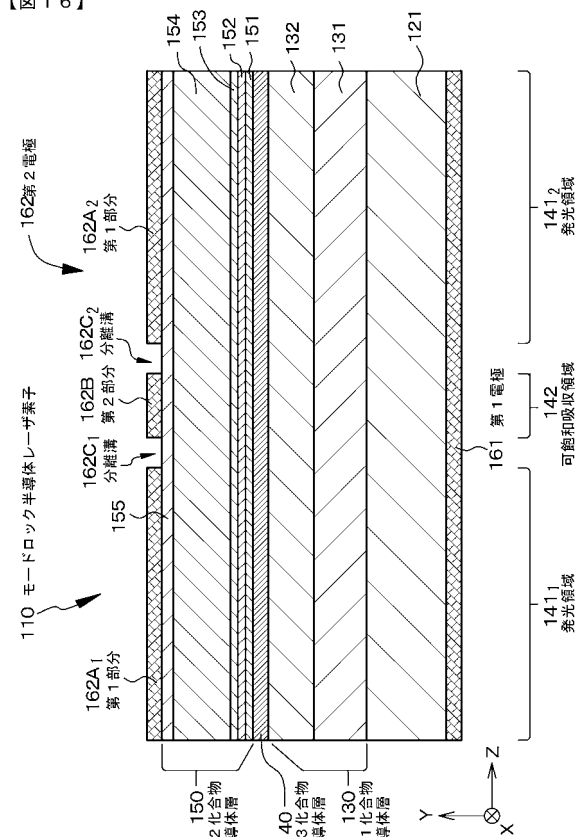
【図 15】

【図 15】



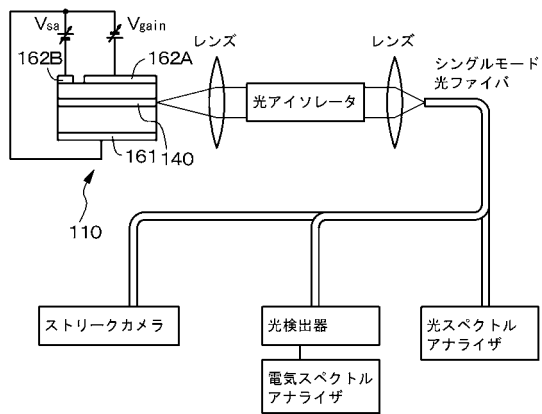
【図 16】

【図 16】



【図 17】

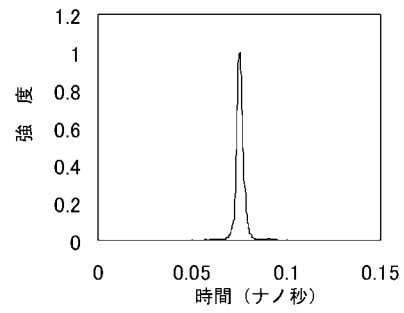
【図 17】



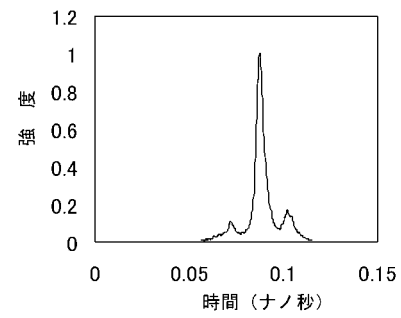
【図 19】

【図 19】

(A)

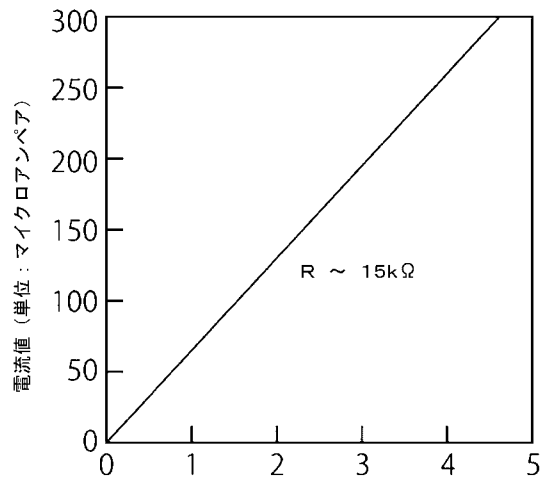


(B)



【図 20】

【図 20】

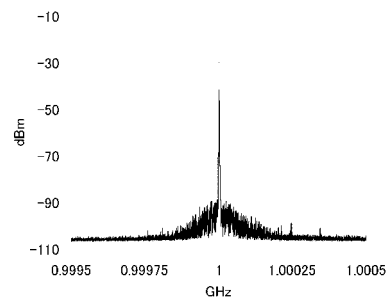


第2電極の第1部分と第2部分との間に
印加した電圧の値 (単位: ボルト)

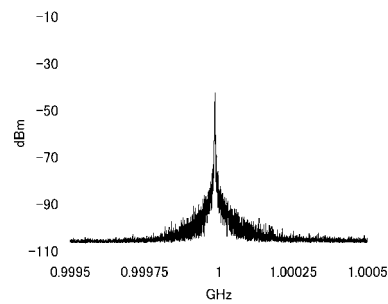
【図 21】

【図 21】

(A)

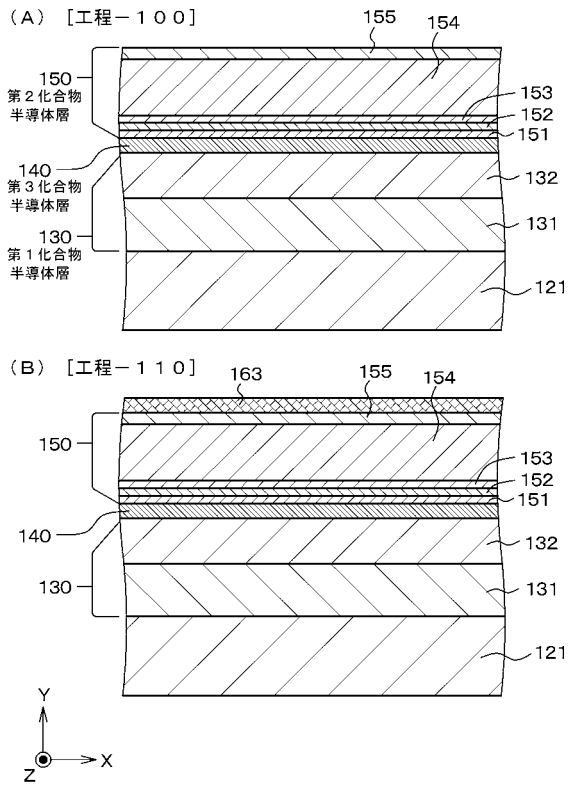


(B)



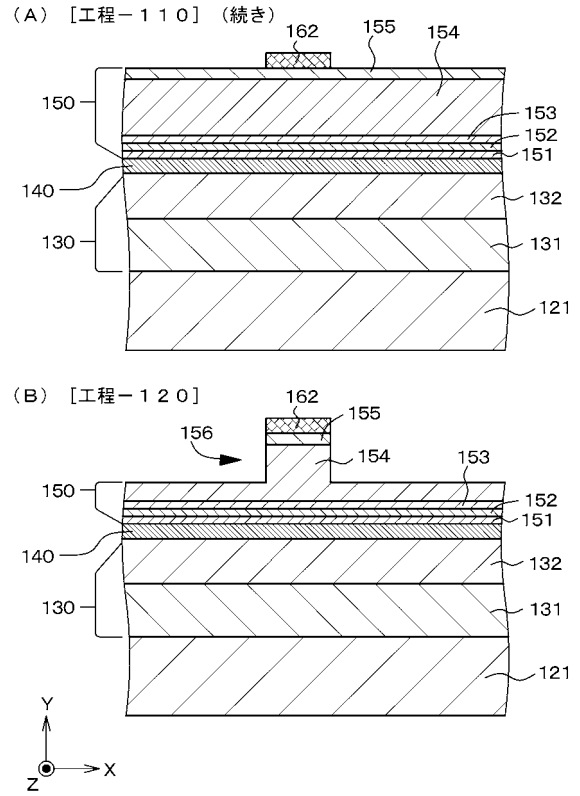
【図 2 2】

【図 2 2】



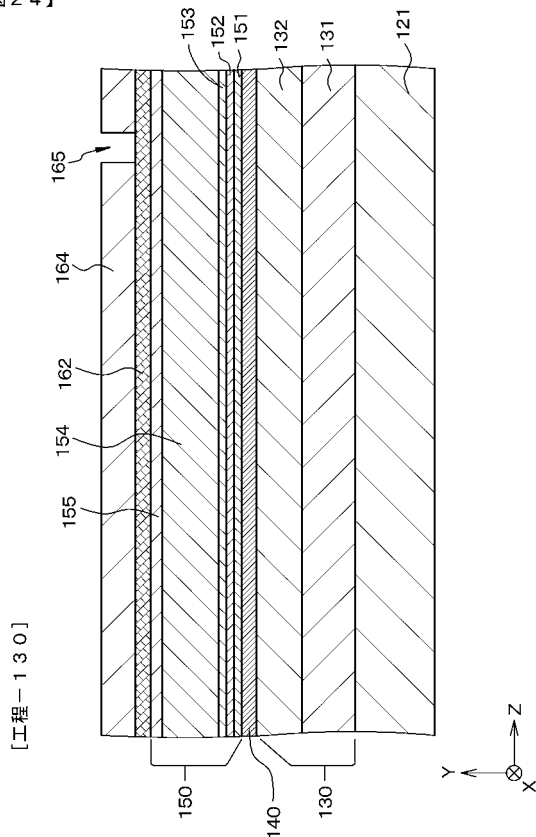
【図 2 3】

【図 2 3】



【図 2 4】

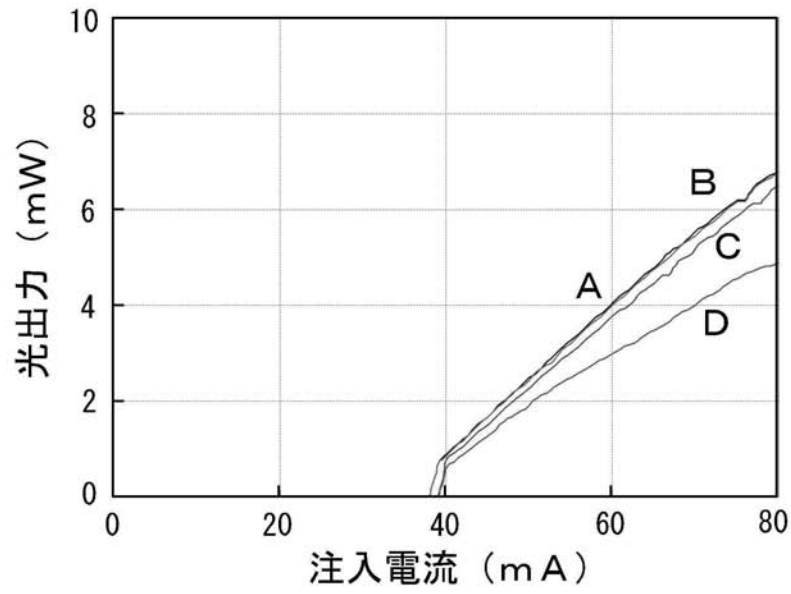
【図 2 4】



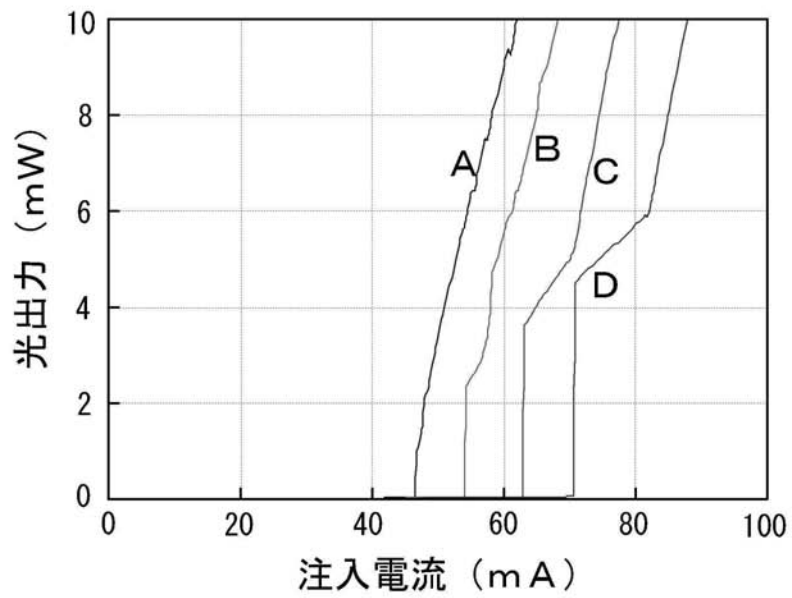
【図 18】

【図18】

(A)



(B)



フロントページの続き

- (72)発明者 幸田 倫太郎
東京都港区港南 1 丁目 7 番 1 号 ソニー株式会社内
- (72)発明者 倉本 大
東京都港区港南 1 丁目 7 番 1 号 ソニー株式会社内
- (72)発明者 宮嶋 孝夫
東京都港区港南 1 丁目 7 番 1 号 ソニー株式会社内
- (72)発明者 横山 弘之
宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 番 1 号 国立大学法人東北大学内
- F ターム(参考) 5F173 AH22 MA03 MC24 MD74