

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4487085号
(P4487085)

(45) 発行日 平成22年6月23日(2010.6.23)

(24) 登録日 平成22年4月9日(2010.4.9)

(51) Int. Cl.		F I	
HO 1 S	5/183	(2006.01)	HO 1 S 5/183
GO 2 F	1/017	(2006.01)	GO 2 F 1/017 506
GO 2 F	1/03	(2006.01)	GO 2 F 1/03 505

請求項の数 14 (全 14 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2001-566229 (P2001-566229)</p> <p>(86) (22) 出願日 平成13年3月6日(2001.3.6)</p> <p>(65) 公表番号 特表2003-526930 (P2003-526930A)</p> <p>(43) 公表日 平成15年9月9日(2003.9.9)</p> <p>(86) 国際出願番号 PCT/US2001/007230</p> <p>(87) 国際公開番号 W02001/067563</p> <p>(87) 国際公開日 平成13年9月13日(2001.9.13)</p> <p>審査請求日 平成14年11月12日(2002.11.12)</p> <p>審判番号 不服2007-25496 (P2007-25496/J1)</p> <p>審判請求日 平成19年9月18日(2007.9.18)</p> <p>(31) 優先権主張番号 09/519,890</p> <p>(32) 優先日 平成12年3月6日(2000.3.6)</p> <p>(33) 優先権主張国 米国 (US)</p>	<p>(73) 特許権者 510062332 ネクセル・インテレクトチュアル・プロパテ ィー・インコーポレイテッド Necsel Intellectual Property, Inc. アメリカ合衆国、カリフォルニア州 95 035、ミルピタス、アメス・アベニュー 801 801 Ames Avenue, Mi lpitas, CA 95035, U . S. A.</p> <p>(74) 代理人 100058479 弁理士 鈴江 武彦</p> <p>(74) 代理人 100108855 弁理士 蔵田 昌俊</p>
---	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 連結キャビティ高出力半導体レーザ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1反射鏡(18)と、

該第1反射鏡に対向した第1面(12A)と前記第1反射鏡に対して反対側を向いた第2面(12B)とを有する半導体基板(12)と、

前記半導体基板の前記第1面上に配設され、前記第1反射鏡とともに活性共振キャビティ(1)を構成する中間反射鏡(14)と、

前記活性共振キャビティ内の前記中間反射鏡と前記第1反射鏡との間に配設されたドーブされていない増幅媒体(16)と、

前記基板の外側で前記第2面に隣接して、前記中間反射鏡と協働して前記基板を含む受動共振キャビティ(L)を構成する第2反射鏡(28)と、

前記第1反射鏡に配設された、円形に電流を制限する開口(22A)を有するオキサイド層(22)と、

前記オキサイド層に配設された金属導電性層(20A)を含み、電流を制限する開口を通して延びて前記第1反射鏡に熱的に接触するヒートシンク(20)であって、前記金属導電性層(20A)が前記第1反射鏡上にディスク形状の電極(20B)を形成するように前記円形に電流を制限する開口と協働し前記ドーブされていない増幅媒体内に円柱状の第1増幅領域を規定する前記ヒートシンク(20)と、

前記活性共振キャビティ内の前記基板の前記第2面に直接に配設され、前記円柱状の第1増幅領域から横方向に外側に延びる環状第2増幅領域の外径に対応する中央開口(26

10

20

A)を規定する環状電極(26)であって、前記ディスク形状の電極と前記環状電極とが前記第1反射鏡を通過して、前記基板と前記中間反射鏡とを通過して前記円柱状の第1増幅領域内に電気的エネルギーを伝送するように構成されている前記環状電極(26)と、を具備し、

前記半導体基板と前記中間反射鏡とは、n型のドーパントでドーピングされ、前記第1反射鏡は、p型のドーパントでドーピングされ、

レーザ周波数を変換しうる非線形材料(30)を前記受動共振キャビティ内に備えている垂直キャビティ面発光のレーザデバイス(10)。

【請求項2】

前記中間反射鏡は、前記基板上に一体的に成長されたn型ブラッグミラーで構成され、

前記第1反射鏡は、前記ドーピングされていない増幅媒体上に一体的に成長されたp型ブラッグミラーで構成されている請求項1記載のレーザデバイス。

【請求項3】

前記中間反射鏡の反射率が85%~95%であり、

前記第1反射鏡の反射率が約99.9%であり、

前記第2反射鏡の反射率が20%~80%である請求項1記載のレーザデバイス。

【請求項4】

前記基板の前記第2面が反射防止材料(24)で塗布されている請求項1記載のレーザデバイス。

【請求項5】

前記中間反射鏡が、反射率約85~95%のn型ブラッグミラーで構成されている請求項1記載のレーザデバイス。

【請求項6】

前記第2反射鏡が、反射率約20~80%のn型ブラッグミラーで構成されている請求項1記載のレーザデバイス。

【請求項7】

前記第2反射鏡が誘電ミラーで構成されている請求項1記載のレーザデバイス。

【請求項8】

前記第1反射鏡が反射率約99.9%のp型ブラッグミラーで構成されている請求項1記載のレーザデバイス。

【請求項9】

面発光連結キャビティ半導体レーザデバイス(10)を製造する方法であって、

n型ドーパントがドーピングされた半導体基板(12)を用意する工程と、

該半導体基板の第1面(12A)上にn型ブラッグミラー(14)をエピタキシャル成長させる工程と、

該n型ブラッグミラー上にドーピングされていない増幅媒体(16)をエピタキシャル成長させる工程と、

該ドーピングされていない増幅媒体上にp型ブラッグミラー(18)をエピタキシャル成長させる工程と、

前記p型ブラッグミラーの外側面上に円形に電流を制限する開口(22A)を有するオキサイド層を堆積させる工程と、

前記オキサイド層上に、前記p型ブラッグミラーの前記外側面にディスク形状の電極(20B)を形成するように前記円形に電流を制限する開口を通過して延び、前記ドーピングされない増幅媒体内に円柱状の第1増幅領域(D1)を規定する金属導電性層(20A)を堆積させる工程と、

前記金属導電性層(20A)上に、前記p型ブラッグミラーの前記外側面に熱的に接触するヒートシンク(20)を配設する工程と、

前記基板の第2面(12B)上に直接に、前記円柱状の第1増幅領域から横方向に外側に延びる環状第2増幅領域(D2)の外径に対応する中央開口(26A)を規定する環状電極を配設する工程であって、前記ディスク形状の電極と前記環状電極とが前記p型ブラ

10

20

30

40

50

ックミラーを通過して、前記基板と前記 n 型ブラッグミラーを通過して、前記円柱状の第 1 増幅領域内に電気的エネルギーを伝送するように構成されている前記環状電極 (2 6) を配設する工程と、

前記基板の前記第 2 面に隣接した出力ミラー (2 8) を配設する工程と、
を含み、

前記 n 型ブラッグミラー及び p 型ブラッグミラーとで前記増幅媒体を含む活性共振キャビティ (1) を構成し、

前記出力ミラーと前記 n 型ブラッグミラーとで前記半導体レーザデバイスの受動共振キャビティ (L) を構成することを特徴とする面発光連結キャビティ半導体レーザデバイスを製造する方法。

10

【請求項 1 0】

さらに、前記中央開口内の前記第 2 面に、反射防止材料を塗布する工程を含む請求項 9 記載の方法。

【請求項 1 1】

前記出力ミラーを配設する工程は、

前記第 2 面をエッチングして予め決められた湾曲形状にする工程と、

該湾曲基板面に反射防止材料を塗布する工程と、

該湾曲基板面上に出力ミラーを直接、隣合せて一体的に配設する工程とを、さらに含む請求項 9 記載の方法。

【請求項 1 2】

20

単一基板の一部として直接、あるいは個々のレーザのサブ - アレイとして分離して結合された 1 次元又は 2 次元のアレイとして形成された請求項 1 記載のレーザデバイスを備えたレーザ。

【請求項 1 3】

さらに、前記受動共振キャビティ内に偏光子を備えた請求項 1 記載のレーザデバイスを備えたレーザ。

【請求項 1 4】

前記受動共振キャビティは、前記活性共振キャビティ内の前記増幅領域に追加の光のフィードバックを提供し、

前記中間反射鏡は、前記追加の光のフィードバックなしで前記活性共振キャビティ内でレーザ発振が起こらないようにする請求項 1 のレーザデバイス。

30

【発明の詳細な説明】

【0001】

(発明の属する技術分野)

本発明は、概して電気光学デバイスに関し、特に面発光半導体レーザに関する。

【0002】

(発明の背景)

従来の垂直キャビティ面発光レーザ (VCSEL) は、一般的に、積層量子井戸増幅構造の両外側面上に形成された、2 枚の平面共振キャビティミラーを備える。単一空間モード出力はかなり制限され、通常、数ミリワットである。このような従来の VCSEL デバイスでも、より大きな発光面積を採用することによって、より大きな光パワーを得ることができる。しかし、このような大きな開口デバイスは、特に商業的な製造や用途には実用的でなく、多くの高次空間モードに渡って分散された出力となる。面発光デバイスからの単一モード出力を増加させるいくつかの提案がなされている。一つのアプローチとして、従来の VCSEL デバイスの活性領域に隣接したミラーのひとつを曲率をもつ反射鏡によって置きかえ、これを活性領域から離して置き、優先的に基本空間モードを支持するようになるというものがある。このようなデバイス構造は VECSEL (垂直延長キャビティ面発光レーザ) と呼ばれる。

40

【0003】

「外部キャビティ面発光レーザダイオードからの高単一横モード出力」M. A. Hadl

50

ey、G. C. Wilson、K. Y. Lau、およびJ. S. Smith著、Applied Phys. Letters、第63巻、No. 12、1993年9月20日、1607~1609頁には、トリプルミラー、エピタキシャルp型底部ブラッグミラー、及び外部p型基板に備えられたn型連結キャビティ中間ミラー上に成長させた、ドーブされていない量子井戸増幅構造が記載されている。連結キャビティ中間n型ミラーと出力カップラーとの間の媒体は空気である。活性増幅領域で発生した熱は全て、比較的厚いp型基板を通過して逃がさなければならないので、このようなデバイスからの実際の出力は、パルス作動で約100mW、連続(cw)作動では僅か数mWに限定される。

【0004】

「ファブリ - ペロエタロンによる垂直キャビティ面発光レーザにおける空間モードの角フィルター」Guoqiang Chen、James R. Leger、およびAnand Gopinath著、Applied Physics Letters、第74巻、No. 8、1999年2月22日、1069~1071頁には、VCSELの低減底部ミラースタックとバックサイド誘電ミラーとの間に挟まれた、GaAsで造られた集積ファブリ - ペロエタロンによって、高次モードの角平面波のスペクトルを、空間フィルターによって取出す集積結合オシレータを形成することが記載されている。しかし、電極の構成は示されておらず、このデバイスをどのようにして電氣的に作動させて高レベルの出力を生み出すのかは明らかでない。

【0005】

本件発明者による本件出願人に譲渡されたPCT公報WO98/43329には、他の従来の垂直延長キャビティ面発光レーザ(VECEL)より実用的で製造しやすいうえ、単一最低次TEM₀₀空間モードに放出された出力を、他の公知のVECELが達成できるレベルを越えた大きさにスケールアップすることを可能にした、電氣的に励起されたVECELデバイスが開示されている。

このデバイスでは、量子井戸増幅層が直接n型基板の底面から成長しており、次いで通常の高反射p型DBRミラーの成長がこれに続いている。

レーザキャビティは、n型基板がレーザキャビティ内に物理的および光学的に配設されるように、反射防止膜をn型基板の上面に沈積させ、外部凹面鏡を基板より遠ざけ、かつ該鏡の光軸を基板の平面に対して垂直になるように配設することによって形成されている。このような内部基板構造は、構造的に一貫性があり、製造が容易である(特に前記外部ミラーを直接逆さまにした基板上に形成、あるいは配置する場合)ばかりでなく、他では達成できない大きな開口と高出力レベルのTEM₀₀モードにおいて、効率的な電氣的励起および作動を得るのに最適な電極配置を容易にする。

しかしながら、特に比較的厚い基板をレーザキャビティの内部にもつ電氣的にポンピングされたデバイスにおいては、基板のドーピング(込み合うキャリアおよび電気抵抗は最小限にすることが望まれる)を増加することは、またレーザ波長での光損失を大きくし、結局、デバイスの効率がこれらの増加に応じて落ちている。

【0006】

(発明の要約)

本発明の目的は、より高い出力レベルで1以上の所望する空間モードを造りだすことができ、かつ知られている従来のVCSELやVECELが実行できる効率より大きなデバイス効率をもつ面発光連結キャビティ半導体レーザデバイスを提供することである。

【0007】

本発明によれば、名目上100%反射ブラッグミラーと一部反射する中間ブラッグミラーとの間に挟まれたドーブされていない増幅領域が、サポート基板の底面に形成され、高出力連結キャビティ面発光VECELレーザデバイスの第1(「活性」)共振キャビティを構成する。底部ミラーは、最も効率よく熱を逃がすように、外部ヒートシンクに熱接触しているのが好ましい。中間ミラーの反射率は、該中間ミラーとVECEL基板の上面に連続する外部ミラーとによって形成された第2受動共振キャビティからの光のフィードバックなしで、第1活性増幅領域内でレーザ発振が起こらない程度に低く保たれる。従っ

10

20

30

40

50

て、基板は、完全に第1活性共振キャビティの外側にあり、中間ミラーと部分的に反射する出力ミラーとによって規定される第2(「受動」)共振キャビティ内にある。この第2受動共振キャビティは、直接、第1活性共振キャビティに光学連結されており、第1活性共振キャビティ内の増幅を効率的にレーザしきい値を越える値に増加させ、および/または第1活性共振キャビティ内でレーザ作用を起こすためのしきい値を減少するように設計されている。このようにして、デバイスの出力は、主として、第2受動共振キャビティからの光のフィードバックによって決定される。

基板は第2受動共振キャビティ内のみ配設され、かつこの第2受動共振キャビティを形成する中間ミラーは、通常、数%の透過率しか持っていないので、第2キャビティ内の光レーザパワーは、第1活性共振キャビティ内を循環するレーザ強度のほんの小さな部分でしかない。同様に、基板は増幅領域内を循環する光強度エネルギーの数%しか受け取らず、故に、該基板を通る光強度エネルギーによって起こる如何なるロスあるいは他の望ましくない影響は、活性増幅領域として同じ共振キャビティ中に配設された同じ基板をもつものの数%である。

【0008】

電氣的に励起された連結キャビティV E C S E L、電氣的に励起された連結キャビティV C S E Lの好ましい実施の形態は、n型半導体基板と、該基板の底面に成長した部分的に反射する中間反射鏡(好ましくはn型ブラッグミラー)とを利用するものである。前記中間層の下に、ドーピングされていない増幅媒体が成長あるいは配設され、該増幅媒体の下に底部反射鏡が成長あるいは配設され、これらによって、活性増幅領域をもつ第1活性共振キャビティが構成されている。底部反射鏡は反射率約100%のp型ブラッグミラーが好ましく、これは外部ヒートシンクにハンダ付けあるいは他の方法で据えられ、熱接触しているのが好ましい。第2受動共振キャビティは、前記n型基板の底面に成長した前記部分的に透過する中間キャビティミラーと、前記基板の上面の外側に配設された部分的に透過する出力ミラーとで構成されている。出力ミラーは、基板のp型ブラッグミラーとは反対側の上部に配設され、受動共振キャビティを構成する。この第2受動共振キャビティは、光フィードバックの空間および周波数特性をコントロールするように設計されており、これによって第1活性共振キャビティ内のレーザ発振をコントロールする。好ましい形状(曲率、反射率、中間反射鏡からの距離)に形成された外部出力ミラーが、空間フィルターとして効果的に働き、第2受動共振器内の共振放射を閉じ込めるように、レーザを単一基本モードに制限する。第1活性共振キャビティから出るレーザ出力モードは、全て第2受動共振キャビティからのフィードバックのモードによって決定されるので、デバイス全体の出力空間モードは、本質的に前記単一基本モードに限定される。

【0009】

本発明のV E C S E L構造は、活性増幅領域に到達するため、電流を外部電極にかけ、導電性基板を通過させなければならない場合に特に有利である。活性増幅領域が第1キャビティ内にあり、導電性基板が別の第2キャビティ内にあるので、基板は実質的により高いドーピングレベルを持つことができ、および/または実質的に他では達成できない低電気抵抗を伴う。電極の形状は前記した国際公報に記載されたものと同じようなものが好ましく、底部ミラーとヒートシンクとの間に形成されたオキサイド電流開口によって形成された、ディスク形状の底部電極と、基板の上面(AR膜の上あるいはその回り)に形成された環状上部電極とがあって、環状第2増幅領域によって囲まれた円柱状の電気励起された第1増幅領域を構成するものが好ましい。

【0010】

本発明の方法によれば、第1活性増幅キャビティを基板の底部にエピタキシャル成長させる。基板の上面には反射防止膜が備えられ、第2受動共振キャビティおよび第1活性キャビティの両方で共振させ、レーザエネルギーのモードを所望のモードにコントロールするように形成された外部出力ミラーが備えられている。外部ミラーの好ましい形態は、基板から分離され、所望の基本モード出力を提供できるように形成されているものである。第2受動キャビティ内のロスを減少させる連結キャビティ形状の特によりところをもつ他の

10

20

30

40

50

実施の形態として、基板が第2受動キャビティの全範囲を占め、該基板の上面に求められる上部電極と上部反射鏡とを析出させる前に、バイナリー光学レンズ技術で面を形成して造ったモノリシック完全一体型連結キャビティデバイスが挙げられる。

【0011】

さらに非線形周波数変換材料を第2受動共振キャビティ内に配し、GaAsやGaInAsのような通常の半導体レーザ材料とともに、長い波長から、種々医療、材料加工あるいはディスプレイ等の用途に必要なあるいは所望される短い波長に変換してもよい。その場合、種々の光学成分の反射率特性は、活性増幅領域に向かって帰還する変換されていない本来の波長のフィードバック、および出力ミラーを通過してすでに変換された高調波の出力を助長するように選択されるのが好ましい。

10

【0012】

さらに他の実施の形態として、所望の極性化配向を選択的に助長する偏光素子を第2受動共振キャビティ内に配してもよい。該偏光素子は、第2受動共振キャビティ内で共振している光学エネルギーのアンチノードに配置された導電性ラインに平行する極性を吸収するように、該導電性ラインの2次元グリッドの形をし、反射防止層に隣接した基板の上面に形成されてもよい。

【0013】

あるいは、飽和吸収体あるいは他の適切なモードロック手段を第2受動共振キャビティ内に配し、高ピーク出力パルスを提供してもよい。

【0014】

さらに別の実施の形態として、第2受動共振キャビティが、単一モード光ファイバーの一端に焦点レンズ素子で一体化され、第2受動共振キャビティの上端を規定する反射鏡が、前記光ファイバーの反射率の縦方向変動をもつ分布ブラッグ反射鏡の形をしていてもよい。

20

【0015】

異なったモードおよび/または周波数をもつ複数の連結キャビティ縦型延長キャビティ面発光レーザ(V E C S E L)デバイスが、1次元あるいは2次元アレイとして造られ、マルチモード光ファイバー伝達システムおよび/または映写装置のディスプレイ用3色光源を提供してもよい。あるいは、そのようなアレイの個々のデバイスをそれぞれの受動外部共振キャビティによってコーヒレントに操作して、他では達成できない程の高出力をもつコーヒレント単一モード出力を提供することもできる。このようなデバイスは、例えば、受動キャビティ内の空間フィルターを使って、アレイの全素子を同位相で強制的に発光させる。

30

【0016】

本発明によって構成される連結キャビティデバイスの更なる利点は、出力レーザ波長が、活性キャビティのファブリ-ペロ共振周波数によって決められることである。前記波長は、980nm波長領域において作動されるGaInAs型デバイスでは、1当たり約0.07nmの温度速度で同調し、第2受動キャビティ内で起こり得る共振に本質的に対応した不連続ジャンプにおいて、可変波長調整出力が要求される用途に便利な同調機構を提供する。

40

【0017】

(発明の詳細な説明)

本発明の目的、特徴、利点を、図面を使用して更に詳しく説明する。なお、図面が違ってても、同じ部分は同じ記号で表されている。図面は本発明の原理を説明するためのものであって、本発明はこれらに限定されるものではない。

【0018】

以下説明する好ましい実施の形態においては、電氣的励起およびn型ドーパの基板を採用しているが、本発明では、他の光学あるいは電子ビーム励起も利用できる。また、第1活性共振キャビティの両端のブラッグミラーとしてn型材料も使用でき、1以上のエサキダイオードを第1活性共振キャビティ内の共振ノードに配してもよい。

50

【0019】

本発明の連結キャビティ V E C S E L 10 の好ましい一実施の形態を図 1 に示す。連結キャビティ V E C S E L 10 は n 型半導体基板 12 を備える。本発明の基板 12 は、製造工程での取扱いが容易なように十分な厚さがあり、電気抵抗を効率的な作動ができるような値にまで低減させるのに十分な量の n 型ドーパントがドーピングされており、ほとんど均一なキャリアが高出力レベルで電流開口領域を通して拡散されており（従って、活性増幅領域では過剰のキャリアが詰め込まれることなく、均一にポンピングが実行される。）、しかも、後段で詳しく説明するように、光効率の対応損失がない。一実施の形態として、電流開口の直径が $100\ \mu\text{m}$ 、基板中の n 型ドーパントのドーピングレベルが約 $1 \times 10^{17}\ \text{cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{17}\ \text{cm}^{-3}$ 、基板の厚さが約 $50\ \mu\text{m} \sim 350\ \mu\text{m}$ のものが挙げられる。

10

【0020】

中間反射鏡 14 は、n 型基板 12 の第 1 面（図では底部）に形成されている。中間反射鏡 14 は、基板 12 上にエピタキシャル成長させてもよいし、半導体業界で周知の種々の技術によって配設してもよい。一実施の形態として、中間鏡 14 としては、シリコンやテルルのような、n 型ドーパントが濃度約 $2 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ でドーピングされた GaAs / AlAs 井戸が 12 ~ 15 組ビルトアップされた、n 型ブラッグ反射鏡が挙げられる。当業界で周知の MOCVD 成長法や MBE 成長法で得ることができ、反射率約 95% のものを得る。反射率は 0 近くから 99% 以上まで種々あるが、特定の用途に合わせて通常 80 ~ 98% の範囲が使用される。十分な増幅が第 1 共振キャビティ内で起こることなく、第 2 受動共振キャビティからいかなるフィードバックもなく、刺激発光を造り出せるように、一般的に、反射率はできるだけ高くするべきである。しかし、非線形周波数ダブラー装置や他のモード調整素子を第 2 非共振キャビティ内に備える用途では、中間反射鏡 14 の反射率を、受動キャビティ中に含まれる出力が効率的な周波数変換に適切であることを保証するのに十分な値に減らすのが好ましい。

20

【0021】

増幅領域 16 は、中間反射鏡 14 の下側の面（基板 12 とは反対側の面）上に、エピタキシャル成長させられているか、配設させられている。増幅領域 16 は、GaInAs のような当業界でよく知られている複数量子井戸 III - IV 化合物材料で造られる。一般的に、増幅領域 16 中の量子井戸の数が増えるほど、V E C S E L の単一パス刺激増幅の数は増える。しかし、GaInAs 井戸を含む増幅領域 16 内の歪補正のためには、製造中にクロスハッチや裂け目を生じる可能性のある過度の歪を避けるため、3 個以上の量子井戸を必要とする。

30

【0022】

p 型ブラッグミラー 18 は、増幅領域 16 の基板 12 とは反対側の面にエピタキシャル成長させられるか、配設されている。p 型ブラッグミラー 18 は、約 99.9% の反射率を持ち、亜鉛、炭素あるいはベリリウムのような、p 型ドーパントが濃度約 $2 \sim 3 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ でドーピングされた GaAs / AlAs 層の 1 / 4 波スタック約 18 ~ 30 組で形成される。該 p 型ブラッグミラー 18 は当業界でよく知られている MOCVD 法や MBE 法を採用して、エピタキシャル成長させてもよい。あるいは別の実施の形態として、p 型ブラッグミラー 18 は、狭い領域中において炭素の界面で濃度 $1 \times 10^{19}\ \text{cm}^{-3}$ で空間的にドーピングして、p 型ブラッグミラー 18 内の 1 / 4 波界面で局所的なヘテロ構造接合の効果を減らすことによって、p 型ブラッグミラー 18 の電氣的インピーダンスを減らすこともできる。

40

【0023】

中間反射鏡 14、増幅領域 16、および底部反射鏡 18 によって、重要な波長（この波長は、第 1 活性共振キャビティおよび非線形周波数ダブラーがない時は第 2 受動共振キャビティのファブリ - ペロ共振数によって決められ、そのデバイスの出力波長になる）におけるキャビティ長さ l の活性キャビティが形成される。この波長は、GaInAs 型デバイスで 980 nm 波長領域で動作させると 1 毎に約 0.08 nm の温度速度で同調するので、ヒートシンク 20 や他の適切な温度調整手段が取付けられ、比較的導電性の p 型ブラ

50

ラッグミラー 18 の底面と熱接触させる。好ましい実施の形態においては、ヒートシンク 20 は、ベリリアあるいはダイヤモンドで造られ、導電性電極 20A を含む。オキサイド開口を規定する層 22 は、p 型ブラッグミラー 18 とヒートシンク 20 との間に位置するのが好ましく、通常、デバイスを動作するのに求められる励起電流 I が限定されて通る円形に電流を制限する開口 22A を有する。

【0024】

GaAs ウエハ 12 の上面は、従来の AR 層 24 で反射防止コートされているのが好ましいが、コートされないまま（名目上の反射率が 30%）でもよい。他の実施の形態として、VCSEL の効率を上げるため、基板 12 の第 1 面に反射防止膜が塗布されていてもよい。例えば、コート基板 12 は、本来の波長では反射せず、発光の第 2 高波長で高く反射する。

10

【0025】

前述した本件発明者の国際公開公報で開示したものと同一ような環状電極 26 が、基板 12 の上面に形成される。上部電極は、レーザビーム用円形開口をもつチップの上面全体をカバーできる。その中央開口 26A は、底部電極 22B の有効径より実質的に大きくし、レーザモードの開口リングによるロスを効率的に除去するのが好ましい。特に、前記公報に（該公報の記載は全て本明細書の記載として取り込まれる）さらに詳しく記載されているように、底部電極 22B の直径は、活性キャビティ I 内で電氣的にポンピングしている領域 D1 に対応し、上部電極 26 の内径は、領域 D1 から横方向外側に延びる、光学的にポンピングしている環状領域の外径 D2 に対応する。

20

【0026】

図 1 に示すように、出力ミラー 28 は、基板 12 の外側に略平行に配設されるのが好ましい。出力ミラー 28 は、約 40% ~ 80% の反射率をもつ。外部出力ミラー 28 は誘電ミラーであってもよい。

【0027】

他の実施の形態として、非線形材料 30 を、出力ミラー 28 と中間ミラー 14 との間の受動共振キャビティ L の内部に配設してもよい。非線形材料 30 は基板 12 の外側に配設しても、あるいは基板 12 上に直接一体的に配設してもよい。非線形材料 30 は、他の従来の方法で使用され、より高い周波数に実質的により透過されやすい出力ミラーのスペクトル共振に関して、共振エネルギーの実質的な位置をより高く（通常、第 1 高調波）変換する。好ましい非線形材料として、KTN、KNbO₃、あるいは LiNbO₃ が挙げられ、さらに、周期的に極性化された LiNbO₃ のような周期的極性化合物も挙げられる。

30

【0028】

該非線形材料 30 によって効率的に非線形変換を行うためには、非線形材料 30 内の発光強度が十分高くなければならないので、中間反射鏡 14 の反射率は、活性キャビティ L の本来の周波数での出力には最適の反射率より低くし、活性領域 16 の増幅は、それより高く（例えば、より多くの量子井戸を使用して）する。あるいは、両共振キャビティ L、L の面発光強度、つまりデバイスの周波数変換率を、キャビティラウンドトリップ周波数やその高調波に等しい繰返し周波数で作動するデバイスのモードロック作動を造りだす RF ドライブインジェクション電流によって上げることできる。これは、CW デバイスのその 100 倍のピークパワーをもつ短い光パルスを生み出す。

40

【0029】

非線形変換率を更に上げるために、中間反射鏡 14 および / または AR 膜 24 の本来の周波数に対する透過率を、周波数がより高い高調波に対する透過率より実質的により高くすることによって、本来の周波数だけを選択的に活性キャビティ I にフィードバックさせるのが好ましい。

【0030】

別の実施の形態として、図 2 に示されるように、出力ミラー 28 を基板 26 上に直接形成してもよい。他の実施の形態として、出力ミラーは、前記した範囲の反射率をもつ誘電ミラーあるいは n 型ブラッグミラーで造られていてもよい。該実施の形態の n 型ブラッグ出

50

力ミラー 2 としては、基板 1 2 の第 1 面上に一体的に成長させたものである。出力ミラー 2 8 の成長の前に、基板 1 2 の第 1 面を従来の 2 次光エッチング技術によってエッチングし、適切な形をした表面としてもよい。あるいは、誘電ミラーを、凹面鏡出力カプラーを形成するエッチングされた表面上に析出させることもできる。

【 0 0 3 1 】

中間反射鏡 1 4 を通って基板 1 2 へ入る発光は中間反射鏡 1 4 がいない場合と比べると光損失がかなり少ないことがよくわかるはずである。ドーピング密度および基板 1 2 の厚さが、普通、基板 1 2 中のフリーのキャリアの吸収効果による V C S E L の光損失を左右する。前記したように、最高のデバイス性能を得るため、従来の V C S E L では、基板の厚さ、電気抵抗及び光損失の間に設計上の矛盾がある。普通、基板のドーピングレベルが高くなるかあるいは基板の厚さが厚くなると、V C S E L の光損失は大きくなる。従って、従来の V C S E L の基板はインピーダンスを小さくするためにドーピングレベルを高く、光損失を少なくするために基板の厚さを薄くする傾向にあった。一方、本発明では、レーザしきい値に達する前の基板 1 2 を通る発光の量を約 5 % に制限して、V C S E L 1 0 全体としての光損失を少なくしている。その結果、中間反射鏡 1 4 を備えることによって、低インピーダンスを実現するために基板のドーピングレベルをさらに増やすことができ、および/または V C S E L 1 0 の製造過程でより取り扱いやすい、より厚い厚さの基板 1 2 とすることができ、と同時に V C S E L 1 0 全体としての効率は大きく増えている。本発明による基板 1 2 の厚さは、概して、50 μm ~ 350 μm で、この厚さは、V C S E L の大量生産を容易に行えるようにする。さらに、付加的な利点として、基板 1 2 の高いドーピング濃度は、非常に高い電流密度であっても、オキサイド開口 2 2 で囲まれた開口領域にわたって略均一な拡散キャリア分布を生み出す。

【 0 0 3 2 】

本発明では、中間反射鏡 1 4 と p 型ブラッグミラー 1 8 の反射率が高い（例えば 95 % と 99.9 %）ため、増幅領域 1 6 で発生した発光エネルギーの多くが、増幅領域 1 6 の内部に閉じ込められる。そしてその中で発光がレーザしきい値に達するまで共振する。基板は第 2 受動共振キャビティ内にのみ配される。代表的な中間ミラーは透過率がほんの数%なので、第 2 受動共振キャビティ内のエネルギーレベルは、第 1 キャビティ内のエネルギーレベルのほんの数%で、基板は増幅領域内を循環している光エネルギーのほんの少ししか受け取らない。従って、基板を通り抜ける光エネルギーによって起こるいかなる損失あるいは他の望ましくない効果は、活性増幅領域として同じ共振キャビティ内に配された同じ基板をもつもののほんの数%であり、デバイスの全体効率は 10 ~ 20 倍に増加している。

【 0 0 3 3 】

従って、本発明による連結キャビティ設計は非常に高い発光電力を生み出すことができる。例えば、波長約 960 ~ 980 nm の T E M₀₀ モードで、拡散キャリア径 75 ~ 250 nm、中間反射鏡の反射率約 90 ~ 95 %、出力ミラーの反射率 20 ~ 90 % で、1 ワットを越える電力を生み出す。しかし、最適出力電力は、普通、反射率 40 ~ 60 % の出力ミラーと、例えば結晶成長過程で活性キャビティ長さ l を注意深くコントロールして得た、所望の発光ピークに近い値に保たれた活性キャビティのファブリ - ペロ波長とを用いて達成される。この場合、基板の表面は反射防止コートが施される。

【 0 0 3 4 】

図 4 は望ましい偏光を選択的に取り上げる偏光素子 3 2 を示す。前記したように、該素子は導電性ラインの 2 次グリッドを形成し、第 2 受動共振キャビティ内の光エネルギー共振する波腹に配され、前記ラインに平行する偏光を優先的に吸収する。典型的な形態として、反射防止層 2 4 に隣接する基板 1 2 の上面に形成されるのが好ましい。偏光素子 3 2 は、第 2 (不活性) キャビティの内部にあるので、本発明にかかるデバイスは、取り上げられた偏光方向における高いロス、単一キャビティデバイスの場合に比べて、より容認することができる。

【 0 0 3 5 】

10

20

30

40

50

具体的には、パルスパワーモードで作動している100ミクロン電流開口連結キャビティデバイスは、963nmでサーキュラーTEM₀₀モードを造りだし、フルパワーレベルまで本質的にキंकフリーの電流特性の出力を造りだしているのが観察されている(図3参照)。1アンペアを越えた付近の小さな変化は、電力供給におけるスケール変化に対応する。スロープ効率における変化は、増幅ピークを連結キャビティファブリ-ペロ波長からシフトする一時的な熱の発生によるものと考えられる。テストに使用したデバイスは、ヒートシンクをハンダ付けせず、また電流パルスを注入する間温度上昇があるのは経験されることだからである。加えて、テストデバイスの設計は、デバイスの側面側の刺激発光の存在を考慮していなかった。従って、もし先に引用した国際公報の技術を付け加えるならば、デバイスは、モード領域からエネルギーを導き、より高い電力レベルでより高い効率を示す(電力カーブはもっと直線状になる)はずである。

10

【0036】

波長980nm範囲で作動するGaInAs型デバイスでは、活性共振キャビティ16内の主波長は、1当たり0.07nmの温度速度で同調するので、受動共振キャビティ内に存在しうる1以上の共振に対応する波長を要求するような用途には、温度を変化させること(例えば電流密度の選択的調整)によって都合のよい調整メカニズムを提供する。あるいは、小さなディザを励起電流Iにかけ、いくつかの縦モードに渡る仕切り壁(電力を分担して)を強制的に造ることが望ましい場合もある。例えば、比較的長い受動キャビティLを備えることによって、支持モードは20GHzを越える開口となり、単一モード光ファイバ内の刺激されたブリアン散乱を、電力を変化させ、従って活性増幅領域の温度を変化させることによって、実質的に減少させることができる。この場合、ディザの周波数は実質的にSBS後進波が立ち上がる時間より速くするべきであり、より高いディザ周波数には、光ファイバ中でより高いレーザパワーレベルが要求される

20

【0037】

より高い出力レベルは、本発明によって構成されたVECSSELのアレイによって達成できる。10ワットを越える電力レベルはこのようなアレイの技術によって達成することができる。

【0038】

単一半導體基板12上に製造された複数の前記VECSSEL素子10を、通常の電気的あるいは光エネルギー源から平行に駆動し、互いにばらばらに発振させることによって、単一VECSSELデバイスからは得られない高出力が得られる。あるいは、次に駆動させるひとつの素子からの出力のいくつかあるいは全てに関し、個々のVECSSELを連続的に光学的に駆動されてもよい。どちらの場合も、個々の連結キャビティレーザ素子のそれぞれが、先に説明した作動と実質的に同じ作動をする構造およびモードを備えることもできる。個々の素子から出る出力ビームは、全て同じ方向に効率的に進み、シングルレンズによって1つのポイントに集中させることができる。

30

【0039】

また、アレイの全ての素子が他に対してコーヒレントに作動する前記連結キャビティVECSSELのアレイを製造することも可能である。これは2つの方法で実現可能である。ひとつは、USP5,131,002「一組の非連結キャビティ放射素子」(該公報に記載の内容はこの明細書にも含まれる)に記載されている方法と同様に、光素子の全てを連続して連結し、個々の素子から光レーザを加えるが、各素子は分離され、熱負荷を生む。もうひとつの方法は、アレイの全素子が互いにコーヒレントに発振する結果、互いが破壊的な邪魔となり、領域内の光を拒絶する空間フィルタによって、出力カプラーに集められた全素子からの光出力に関して、アレイの全素子を通常の単一外部キャビティによって他に対してコーヒレントに発振するようにする。このような破壊的な邪魔に基づく「空間フィルタ」は、US特許4,246,548(ラッツ、該公報の内容も本明細書に組み込まれる)に開示されている。しかしながら、ラッツの空間フィルタを連結キャビティVECSDLに適用する時は、発光素子の全ての周波数を互いに接近させることが大切である。周波数はそれぞれ短い活性キャビティの長さによって規定され、一方、許容周波数の

40

50

バンド幅は、ミラーの反射率の大きさに関係する。従って、アレイにまたがる温度変化は小さく調整しなければならない。また、ウエハの成長公差は、精度に対応したレベルを保つようにすることが大切である。しかし、これは今日のエピタキシャル成長技術ではそれほど難しいことではない。

【0040】

今まで記載したのは本発明を説明するための特別の実施の形態であって、本発明の精神および/または範囲を逸脱しない範囲内で、当業者によってなされ得る種々の変更が本発明に含まれる。特に、本発明によるVECSELは、高出力を生み出すことが可能であるが、そればかりでなく、レーザ動作のため活性増幅領域内に最適な電流密度を提供するために、増幅領域の有効直径と注入電流レベルとを適切に調整することによって、種々の低出力用途にも容易に適用することもできる。また、デバイスの種々の領域のディメンジョンおよびドーピングレベルは、種々の用途に応じて最適性能を達成するように変更しうる。中間反射鏡14、p型ブラッグミラー18、および出力ミラー28もまた最適性能を達成するように調整される。

10

【図面の簡単な説明】

【図1】 外部出力ミラーと、オプションとして基板と出力ミラーの間にモードコントロール領域とを備えた、本発明の縦型連結キャビティ高出力半導体レーザの縦方向断面図。

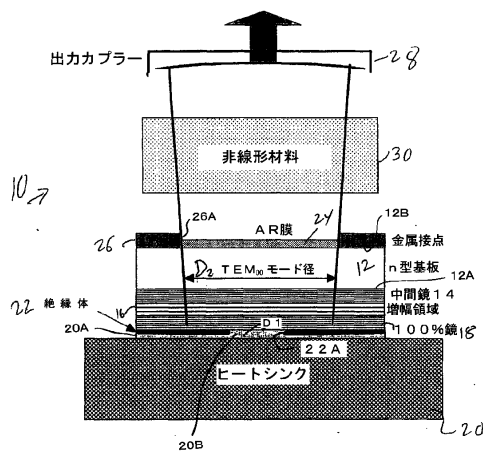
【図2】 基板の上面に直接形成された一体型出力ミラーが配された、本発明の別の実施の形態である縦型連結キャビティ高出力半導体レーザの縦方向断面図。

【図3】 電流の関数として好ましい形態におけるパルス出力を示した出力カーブのグラフ。

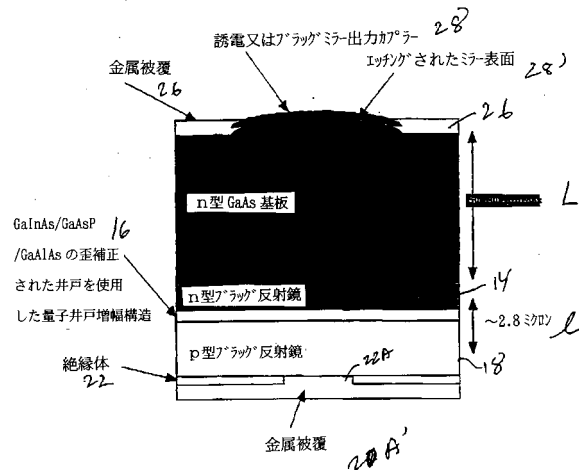
20

【図4】 モードコントロール領域内に配されてもよい偏光素子を示した図。

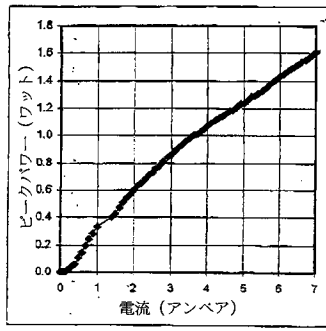
【図1】



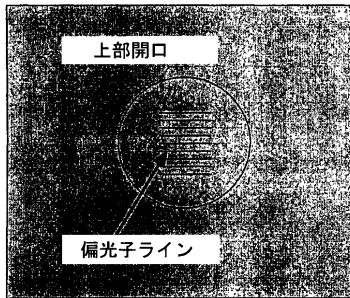
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

- (74)代理人 100091351
弁理士 河野 哲
- (74)代理人 100088683
弁理士 中村 誠
- (74)代理人 100109830
弁理士 福原 淑弘
- (74)代理人 100075672
弁理士 峰 隆司
- (74)代理人 100095441
弁理士 白根 俊郎
- (74)代理人 100084618
弁理士 村松 貞男
- (74)代理人 100103034
弁理士 野河 信久
- (74)代理人 100119976
弁理士 幸長 保次郎
- (74)代理人 100153051
弁理士 河野 直樹
- (74)代理人 100140176
弁理士 砂川 克
- (74)代理人 100101812
弁理士 勝村 紘
- (74)代理人 100124394
弁理士 佐藤 立志
- (74)代理人 100112807
弁理士 岡田 貴志
- (74)代理人 100111073
弁理士 堀内 美保子
- (74)代理人 100134290
弁理士 竹内 将訓
- (74)代理人 100127144
弁理士 市原 卓三
- (74)代理人 100141933
弁理士 山下 元
- (72)発明者 モーラディアン、アラン
アメリカ合衆国、カリフォルニア州 95051、サンタ クララ、 アプト 416、ベッパ
ー ツリー レーン 900

合議体

審判長 吉野 公夫
審判官 右田 昌士
審判官 田部 元史

- (56)参考文献 特開平06-314846(JP,A)
特開昭64-046996(JP,A)
国際公開第98/43329(WO,A1)
特開平10-242584(JP,A)
特開平04-199589(JP,A)

特開昭60-042890(JP,A)
実開昭62-135461(JP,U)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 5/00-5/50