

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7833473号
(P7833473)

(45)発行日 令和8年3月19日(2026.3.19)

(24)登録日 令和8年3月11日(2026.3.11)

(51)Int. Cl.		F I	
H 0 1 S	5/125	(2006.01)	H 0 1 S 5/125
H 0 1 S	5/026	(2006.01)	H 0 1 S 5/026 6 1 8
H 0 1 S	5/028	(2006.01)	H 0 1 S 5/026 6 5 0
H 0 1 S	5/34	(2006.01)	H 0 1 S 5/028
			H 0 1 S 5/34

請求項の数 12 (全 18 頁)

(21)出願番号	特願2023-548248(P2023-548248)	(73)特許権者	521338765
(86)(22)出願日	令和4年1月13日(2022.1.13)		フェルディナント-ブラウン-インスティ ツット ゲーゲーエムベーハー, ライプ ニツ-インスティツット フューーヘー ヒストフレクエンツテヒニク
(65)公表番号	特表2024-506071(P2024-506071A)		F E R D I N A N D - B R A U N - I N S T I T U T G G M B H , L E I B N I Z - I N S T I T U T F U R H O C H S T F R E Q U E N Z T E C H N I K
(43)公表日	令和6年2月8日(2024.2.8)		ドイ ツ 1 2 4 8 9 ベルリン グスタフ ーキルヒホフ-シュトラ-セ 4
(86)国際出願番号	PCT/EP2022/050585		G u s t a v - K i r c h h o f f - S t r a s s e 4 1 2 4 8 9 B e r l i n (D E)
(87)国際公開番号	W02022/171375		
(87)国際公開日	令和4年8月18日(2022.8.18)		
審査請求日	令和6年11月21日(2024.11.21)		
(31)優先権主張番号	102021103337.3		
(32)優先日	令和3年2月12日(2021.2.12)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	ドイツ(DE)		
(31)優先権主張番号	102021132717.2		
(32)優先日	令和3年12月10日(2021.12.10)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	ドイツ(DE)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 拡張キャビティを有するダイオードレーザデバイスおよび製作の方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

増幅器セクション (V S) およびブラッグセクション (B S) を備えるダイオードレーザデバイスであって、前記増幅器セクション (V S) および前記ブラッグセクション (B S) が、前面ファセット (2 2) と後面ファセット (2 4) との間に縦方向 (Z) に沿って配置されて光放射のための共振器を形成し、前記ダイオードレーザデバイスが、前記光放射を導波するために前記縦方向 (Z) に対して垂直な垂直方向 (Y) に沿って形成された層構造 (S) を有し、前記ダイオードレーザデバイスが、前記垂直方向 (Y) および前記縦方向 (Z) に対して垂直な横方向 (X) に導波路構造を有し、活性層 (1 5) が、前記層構造 (S) 内の前記増幅器セクション (V S) の全長にわたって前記増幅器セクション (V S) 内に形成されている、ダイオードレーザデバイスにおいて、前記ダイオードレーザデバイスが、前記光放射の伝播のための受動伝播セクション (P S) を前記縦方向 (Z) に備え、前記伝播セクション (P S) が、前記前面ファセット (2 2) と前記ブラッグセクション (B S) との間に配置され、前記伝播セクション (P S) の長さが、前記ダイオードレーザデバイスが最大 6 G H z の自由スペクトル範囲を有するように選択されており、表面格子 (3 0) が、前記ブラッグセクション (B S) の全長にわたって前記ブラッグセクション (B S) 内に延在し、前記表面格子 (3 0) が、前記縦方向 (Z) に互いに離間した複数の溝 (3 2) によって形成され、前記表面格子 (3 0) のスペクトル帯域幅が、前記ダイオードレーザデバイスの自由スペクトル範囲以下であり、前記表面格子 (3 0)

10

20

が、 $0.1\text{ mm}^{-1} \sim 0.9\text{ mm}^{-1}$ の結合係数を有することを特徴とする、ダイオードレーザデバイス。

【請求項2】

前記表面格子(30)の前記溝(32)が、前記層構造(S)内に延在する、請求項1に記載のダイオードレーザデバイス。

【請求項3】

前記ブラッグセクション(BS)が、受動的である、請求項1又は2に記載のダイオードレーザデバイス。

【請求項4】

前記前面ファセット(22)が、1%~35%のパワー反射率で部分的に鏡面化されており、前記後面ファセット(24)が、反射防止性であり、前記表面格子(30)の共振回折効率が、10%~60%である、請求項1~3のいずれか一項に記載のダイオードレーザデバイス。 10

【請求項5】

前記前面ファセット(22)が、95%を超えるパワー反射率で鏡面化されており、前記後面ファセット(24)が、反射防止性であり、前記表面格子(30)の共振回折効率が、3%~30%である、請求項1~4のいずれか一項に記載のダイオードレーザデバイス。

【請求項6】

前記ダイオードレーザデバイスの発光周波数の離調が、前記増幅器セクション(VS)および/または前記ブラッグセクション(BS)内の抵抗加熱素子(H1、H2、H3、H4)によって実行される、請求項1~5のいずれか一項に記載のダイオードレーザデバイス。 20

【請求項7】

前記ダイオードレーザデバイスが、前記縦方向(Z)において、第2の増幅器セクション(VS2)を備え、前記第2の増幅器セクション(VS2)が、前記増幅器セクション(VS)よりも短い、請求項1~6のいずれか一項に記載のダイオードレーザデバイス。

【請求項8】

前記ダイオードレーザデバイスが、前記縦方向(Z)において、第2の伝播セクション(PS2)を備え、前記第2の伝播セクション(PS2)が、前記前面ファセット(26)に直接隣接する、請求項1~7のいずれか一項に記載のダイオードレーザデバイス。 30

【請求項9】

伝播セクション(PS、PS2、PS3)および/またはブラッグセクション(BS)が、電気コンタクト(A2、A4、A5)を備え、前記セクション(PS、PS2、PS3、BS)の実効屈折率が、前記電気コンタクト(A2、A4、A5)を介して逆方向に電圧を印加することによって変化させられ得る、請求項1~8のいずれか一項に記載のダイオードレーザデバイス。

【請求項10】

2つの隣接するセクション(VS、VS2、PS、PS2、PS3、BS)間の当接面の面法線が、前記共振器内の光放射の伝播の方向となす角度(α)を含む、請求項1~9のいずれか一項に記載のダイオードレーザデバイス。 40

【請求項11】

前記活性層(15)が、単一もしくは多重量子井戸構造として、またはGaAs、InP、もしくはGaN材料系内の量子ドット構造として形成されている、請求項1~10のいずれか一項に記載のダイオードレーザデバイス。

【請求項12】

増幅器セクション(VS)およびブラッグセクション(BS)を形成するステップを含み、前記増幅器セクション(VS)および前記ブラッグセクション(BS)が、前面ファセット(22)と後面ファセット(24)との間に縦方向(Z)に沿って光放射のための共振器を形成するように配置されている、請求項1~11のいずれか一項に記載のダイオード 50

ドレーザデバイスを製造する方法であって、
 前記ダイオードレーザデバイスが、前記光放射を導波するために前記縦方向（Z）に対して垂直な垂直方向（Y）に沿って形成された層構造（S）を有し、前記ダイオードレーザデバイスが、前記垂直方向（Y）および前記縦方向（Z）に対して垂直な横方向（X）に導波路構造を有し、活性層（15）が、前記層構造（S）内の前記増幅器セクション（VS）の全長にわたって前記増幅器セクション（VS）内に形成されており、
 前記ダイオードレーザデバイスが、前記縦方向（Z）において、前記光放射を伝播するための受動伝播セクション（PS）を備え、前記伝播セクション（PS）が、前記前面ファセット（22）と前記ブラッグセクション（BS）との間に位置し、前記伝播セクション（PS）の長さが、前記ダイオードレーザデバイスが最大6 GHzの自由スペクトル範囲を有するように選択されており、
 表面格子（30）が、前記ブラッグセクション（BS）の全長に沿って前記ブラッグセクション（BS）内に延在し、前記表面格子（30）が、前記縦方向（Z）に互いに離間した複数の溝（32）によって形成され、前記表面格子（30）のスペクトル帯域幅が、前記ダイオードレーザデバイスの自由スペクトル範囲以下であり、前記表面格子（30）が、 $0.1\text{ mm}^{-1} \sim 0.9\text{ mm}^{-1}$ の結合係数を有する、
 方法。

【発明の詳細な説明】

【説明】

【0001】

本発明は、拡張キャビティダイオードレーザデバイス、特に、表面格子を備えるブラッグセクションを有するモノリシック集積型ECDL（mECDL）、および対応する製作の方法に関する。

【最新技術】

【0002】

例えば、コヒーレント通信、干渉法、量子センシング、または光原子時計で使用するための非常に狭帯域のレーザの実現のために、拡張キャビティダイオードレーザ（ECDL）が通常使用される。これらは、半導体ベースの光増幅器と、狭帯域、すなわち周波数選択的な光帰還をレーザチップに強制する外部素子と、からなる。モノリシック（すなわち、単一の光電子半導体デバイスに完全に集積された半導体技術）な解決策と比較したECDLのスペクトル狭帯域特性の決定的な要因は、これにより、比較的大きな有効共振器長の実現が可能になることであり、これは、関連する伝播経路（例えば、空気）を選択することによって調整することができる。

【0003】

市販の個別に実現されたECDLは、通常、実験室での定置動作にのみ適している。それらは大きすぎかつ重すぎであり、モバイル使用に対して十分に堅牢ではなく、理由としては、振動および機械的衝撃は、光学設定の調整解除をもたらす得、よって、レーザ閾値、出力パワー、サイドモード抑制、および周波数ノイズスペクトルパワー密度を含む電気光学性能パラメータの著しい低下をもたらす得るためである。

【0004】

狭帯域ビーム源のためのモノリシック集積型の技術的解決策も存在する。これらのダイオードレーザデバイスでは、導波は、横基本モードにおいてリッジ導波路によって強制される。導波路に組み込まれた格子は、周波数選択素子（いわゆる導波路ベースのブラッグ格子またはブラッグ導波路）として使用される。確立された実施形態では、格子は導波路の全長にわたって形成されている。導波路全体が電氣的にポンピングされ、光放射を増幅する。この場合、デバイスは、分布帰還型（DFB）ダイオードレーザデバイスと呼ばれる。別の実施形態では、格子は、リブ導波路の一端にのみ実装されている。ブラッグ導波路の反対側のデバイスのファセットは、部分的に鏡面化されており、ブラッグ導波路とともにレーザの光共振器を形成する。このような実施形態は、分布ブラッグ反射器（DBR）ダイオードレーザデバイスと呼ばれる。ここでも、導波路全体が電氣的にポンピングされ

10

20

30

40

50

、光放射を増幅する。別の実施形態では、デバイスの電氣的接触は、他の導波路セクションから独立して、ブラッグ導波路を含むダイオードレーザデバイスのセクション内に電流を注入できるようにするためのものである。このプロセスでは、ブラッグ導波路は、電氣的にポンピングされ得るか、またはこれは、共振器内を循環する場によって光学的に透明にポンピングされる。

【0005】

モノリシックな解決策は、最小のフォームファクタを提示し、最大限の小型化を可能にし、最小コストでの製造を可能にする。モノリシックな解決策のコンパクトさにより、モノリシック集積型の解決策はまた、機械的応力（振動および衝撃）に対して可能な限り最高の堅牢性を有する。

10

【0006】

DFBおよびDBRダイオードレーザデバイスは、一般に、精密分光法およびコヒーレント通信に必要なスペクトル線幅、特に、ECDLによって達成可能な線幅を達成しない。この理由は以下の通りである。

【0007】

(i) 周波数選択導波路セクションは、電氣的にポンピングされ、それにより、電流源からの電流ノイズが周波数選択素子の共振周波数の周波数ノイズ、ひいてはレーザの周波数ノイズをもたらす。

【0008】

(ii) 周波数選択導波路セクションは、光学的に透明にポンピングされなければならない。このプロセスは、散逸を伴い、レーザの線幅を増加させる。半導体デバイスにおける光強度と実効屈折率との結合のために、散逸に関連するパワー変動はまた、実効屈折率の変動をもたらす、したがって、レーザ周波数の変動をもたらす。透明性のための光ポンピングは、デバイスの非線形特性をさらに利用し、不安定な挙動（パルスモードの形成）をもたらす得る。

20

【0009】

(iii) 共振器長は、共振器長全体（必要に応じてブラッグ導波路を除く）が電氣的にポンピングされるため、増幅特性と無関係に設定することはできない。光場を増幅するセクション、いわゆる能動導波路セクションまたは増幅器セクションは、通常、狭帯域発光を達成するために透明電流密度を十分に超えて動作させられる必要があるため、長いダイオードレーザデバイスは、高い注入電流によって動作させられる必要があり得るが、これでは光学的に安定した動作はもはや不可能である。したがって、1 mm ~ 2 mmの長さを超える共振器長は、最新技術によるDFBおよびDBRダイオードレーザデバイスでは不可能である。

30

【0010】

電気通信用途（1200...1600 nm）のために、フォトニックシリコンオンインシュレータ（SOI）構造を用いる活性InAlGaAs層の半導体ヘテロ集積化方法に基づく集積化手法（例えば、Huangら、Optica 6, 745（2019））が、チップベースの解決策を提供するために開発された。対応するヘテロ集積化技術が存在せず、シリコンはこの波長領域では透明ではないため、これらの手法はGaAsデバイスで達成可能な波長領域（630...1180 nm）には適用できない。

40

【0011】

Liら（Liら、Chin. Phys. B 22, 054211（2013））は、能動および受動導波路が同じ材料系で実現される複合ダイオードレーザデバイスのためのモノリシック集積化手法を記載している。ここでは、まず、能動ダイオードレーザデバイスの層構造（Schichtstruktur; layer structure）をエピタキシャル成長させた後、活性層（多重量子井戸層）を選択的に除去し、最後に、層構造全体のエピタキシを完了させる。デバイスは、1.55 μmで発光するためのInGaAsP/InP技術で実現される。ブラッグ反射器は埋め込み格子として設計されており、埋め込み格子では、実効屈折率の変調は、空間的に周期的に変調された半導体材料層を導波

50

路コアに組み込むことによって実現される。示されたデバイスは、4つの異なる周波数でレーザ発光を生成する4つの能動DFB導波路セクションと、4つのDFB導波路セクションからの発光を共通導波路に結合し、放射を能動導波路セクションに注入する受動導波路セクションと、からなる。

【0012】

活性層選択的除去手法は、970nmで動作するGaAsベースの2.5mmDBRダイオードレーザデバイスを実現するために既に使用されており、ここではスペクトル安定化は、光共振器の2つの反射器を形成する2つのサンプリングされた格子を使用して達成される(例えば、Tawfiqら、IET Optoelectron. 11, 73-78 (2017); Broxら、Electron. Lett. 53, 744-746 (2017))。走査格子は、受動導波路セクション内の埋め込み格子として設計されている。共振器の往復位相を制御するための短いキャビティ内受動導波路セクションの使用も提案されている。

10

【0013】

能動および受動導波路を有するものを含む、これまでに利用可能な全てのモノリシックデバイスは、DBRまたはDFBダイオードレーザデバイスで得られるものなど、線幅のみを達成する。したがって、これらは最初に述べた用途での使用にも適していない。

【0014】

ダイオードレーザデバイスの線幅を小さくするためには、共振器内の光の往復時間を長くしなければならない。これは、共振器に組み込まれた低損失導波路セクションの援助により達成することができる。プロセスにおけるレーザの安定した単一周波数動作を保証するために、ブラッグ導波路のスペクトル帯域幅は小さくされなければならない。これは、ブラッグ導波路セクションの拡張を必要とする。しかしながら、ブラッグ格子を実現する構造の設計が同じままである場合、この延長は、最適値を数10%超える回折効率の増加をもたらす。50%をはるかに超えて効率を増加させると、ブラッグ導波路のスペクトル選択性が低下し、その結果、安定した単一周波数動作はもはや不可能になる。したがって、ブラッグ導波路の長さが増加するにつれて、単位長さ当たりの回折効率、いわゆる結合係数を減少させなければならない。そのため、狭帯域ダイオードレーザデバイスの実現には、低い結合係数を有する数ミリメートルの長いブラッグ導波路が必要である。しかしながら、周期的格子層との光場の大きな空間的重なりのために、埋め込み格子によって低い結合係数を確実に実現することはできない。

20

30

【0015】

原理的には、周期的変調の空間範囲との場の重なりを非常に小さく選択することができるため、より低い結合係数を表面格子によって達成することができる。埋め込み格子とは対照的に、導波路に沿った実効屈折率の空間的に周期的な変調は、導波路内の空間的に周期的に集積された半導体層によってではなく、導波路内に溝をエッチングすることによって実現される。表面格子は、これまでGaAsおよびGaN技術における能動ブラッグ導波路内に排他的に刻まれてきた。

【発明の開示】

【0016】

したがって、本発明の目的は、上述のモバイル用途に対する十分なスペクトル安定性(周波数ノイズのスペクトルパワー密度が十分に低い)を有するダイオードレーザデバイスを提供することである。さらに、このようなダイオードレーザデバイスを製造するための対応する方法が提供されるものとする。

40

【0017】

これらの目的は、請求項1および15の特徴によって本発明に従って解決される。本発明の有用な実施形態は、従属請求項に含まれている。特許請求項に個別に列挙された特徴は、技術的に有用な様式で互いに組み合わせられ得、かつ明細書からの説明事実および/または図面からの詳細によって補足され得、それによって、本発明のさらなる実施形態が示される。

50

【0018】

本発明によるダイオードレーザデバイスは、増幅器セクションおよびブラッグセクションを備え、増幅器セクションおよびブラッグセクションは、前面ファセットと後面ファセットとの間に縦方向に沿って光放射のための共振器を形成するように配置されており、ダイオードレーザデバイスは、光放射を導波するために縦方向に対して垂直な垂直方向に沿って形成された層構造を有し、ダイオードレーザデバイスは、垂直方向および縦方向に対して垂直な横方向に導波路構造を有し、活性層は、層構造内の増幅器セクションの全長に沿って増幅器セクション内に形成されている。ダイオードレーザデバイスは、縦方向において、光放射の伝播のための受動伝播セクションをさらに備え、伝播セクションは、前面ファセットとブラッグセクションとの間に配設されており、ブラッグセクション内に、表面格子がブラッグセクションの全長にわたって延在し、表面格子は、縦方向に離間した複数の溝によって形成されている。好ましい実施形態では、対応する導波路構造（例えば、リブ導波路）が、光放射を側方方向に誘導するためにセクションに形成され得る。

10

【0019】

好ましくは、活性層は、共振器の全長にわたって形成されず、層構造内の一部分にのみ存在する。特に好ましくは、排他的に増幅器セクション内に（または本質的に増幅器セクション内にのみ）、活性層が層構造内の増幅器セクションの全長にわたって形成される。これは、光放射が、増幅器セクションではないセクション内ではより少ない損失で誘導され得るという利点を有する。そうでなければ、これらのセグメント内に存在する活性層の非能動的にポンピングされた材料は、共振器内を誘導される光放射との材料の相互作用によって追加の光損失を誘発し得る。本質的に、増幅器セクションにおいてのみとは、ここでは、活性層のごく一部が増幅器セクションの外側にも存在する場合であっても、やはり共振器の全長にわたって形成された活性層を有する設計と比較して、光損失の大幅な低減が達成され得ることを意味する。

20

【0020】

特定の実施形態では、本発明によるダイオードレーザデバイスは、例えば、垂直方向において、 n 基板上に層構造を有し、層構造は、 n クラッド層 (Mantelschicht; cladding layer) であって、 n クラッド層が、 n 基板上に配設されている、 n クラッド層と、 n 導波路層であって、 n 導波路層が、 n クラッド層上に配設されている、 n 導波路層と、 p 導波路層であって、 p 導波路層が、 n 導波路層上に配設されている、 p 導波路層と、 p クラッド層であって、 p クラッド層が、 p 導波路層上に配設されている、 p クラッド層と、 p コンタクト層であって、 p コンタクト層が、 p クラッド層上に配設されている、 p コンタクト層と、を備える。縦方向において、本実施形態は、増幅器セクションと、伝播セクションと、ブラッグセクションと、を備え、増幅器セクション、伝播セクション、およびブラッグセクションは、前面ファセットと後面ファセットとの間に配設されており、活性層が、増幅器セクション内に、 n 導波路層と p 導波路層との間に全長にわたって形成されており、表面格子が、ブラッグセクション内に全長にわたって延在し、表面格子は、縦方向に互いに離間した複数の溝によって形成されており、溝が、 p コンタクト層を通して p クラディング層 (Mantelschicht; cladding layer) 内に延在する。

30

40

【0021】

したがって、本発明によるダイオードレーザデバイスは、少なくとも3つのセクションからなる。対応する導波路構造による側方方向の光放射の誘導は、好ましくは基本モードで横方向に行われる。光場は、増幅器セクションにおいて増幅される。増幅器セクションは、好ましくは0.5 mm~1.5 mmの長さである。増幅器セクションは、好ましくは電氣的にポンピングされる。カソードは、半導体デバイスの基板によって形成され得る。伝播セクションは、長尺かつ低損失な受動導波路によって形成され得る。伝播セクションは、好ましくは1 mm~5 mmの長さ、より好ましくは2 mm~4 mmである。ブラッグセクションは、低い結合係数を有する長く低損失の受動ブラッグ導波路によって形成され得る。ブラッグセクションは、好ましくは1 mm~5 mmの長さ、より好ましくは3 mm~

50

5 mmである。10%~60%、特に約50%の共振回折効率が好ましい。ブラッグセクションは、(好ましくは空気中で)表面格子として形成されている。

【0022】

本発明によるダイオードレーザデバイスの好ましい実施形態は、例えば、AlGaAsクラディング層およびGaAs導波路層を備え、増幅器セクション内(好ましくは排他的に増幅器セクション内)に、2つのInGaAs量子膜からなる活性層が埋め込まれている。例えば、最初のMOVPE成長ステップでは、活性層の上に厚さ20nmのGaAs層まで垂直構造を成長させることができる。次いで、このGaAs層および活性層を、湿式化学エッチングステップを用いて受動セクションとして意図された(すなわち、伝播セクションおよびブラッグセクションを意図した)デバイスのセクションにおいて除去することができる。側方方向において、エッチングされた領域は、活性層のある領域(能動的)とない領域(受動的)との間の反射を最小限に抑えるために、好ましくは3°傾斜するように設計され得る。次いで、生成された垂直構造は、第2の成長ステップで完成され得る。

10

【0023】

その後、表面格子は、例えば、電子ビームリソグラフィ(eビーム)およびハードマスクプロセスによって画定され得る。eビームコーティングの格子溝は、例えば、1554nmの周期で幅170nmに設定され得、選択された垂直構造では、1064nmで発光するための十次格子に対応する。五~二十次の表面格子が好ましい。溝の深さは、例えば、1330nmであり得る。他の全ての点において、製造プロセスは、リッジ導波路レーザ(RWレーザ)を製造するための標準的なプロセスの製造プロセスに対応し得る。例えば、1つの実現された実施形態では、リッジ導波路は深さ1.1μmおよび幅4μmであった。この場合、リッジ導波路は、長さ8mmのデバイス全体にわたっていた。縦方向のセクションは、(後方から開始して)ブラッグセクション内の長さ2mmのDBR格子、長さ5mmの受動伝播セクション、および長さ1mmの能動増幅器セクションであった。

20

【0024】

好ましくは、伝播セクションの長さは、ダイオードレーザデバイスが最大6GHzの自由スペクトル範囲を有するように選択される。好ましくは、表面格子のスペクトル帯域幅は、ダイオードレーザデバイスの自由スペクトル範囲以下である。好ましくは、表面格子は、数0.1mm⁻¹、好ましくは0.1mm⁻¹~0.9mm⁻¹の結合係数、特に、0.4mm⁻¹~0.7mm⁻¹の結合係数を有する。好ましくは、表面格子の溝は、層構造内に延在する。好ましくは、ブラッグセクションは受動的である。

30

【0025】

好ましくは、前面ファセットは、1%~35%のパワー反射率で部分的に鏡面化される。好ましくは、後面ファセットは非反射性である。また、好ましくは、表面格子の共振回折効率は10%~60%、特に、好ましくは50%程度である。

【0026】

デバイスの前面ファセットは、好ましくは、好適に部分的に鏡面化される。GaAs技術設計の好ましいパワー反射率は、5%である。GaAs技術における設計のための別の好ましいパワー反射率は、30%である。デバイスの後面ファセットは、反射防止性であることが好ましい。これらの実施形態では、光パワーの大部分は、前面ファセットを介してデバイスの外に結合される。

40

【0027】

好ましくは、前面ファセットは、95%を超えるパワー反射率で鏡面化される。好ましくは、後面ファセットは非反射性である。また、表面格子の共振回折効率は3%~30%、特に、5%程度であることが好ましい。

【0028】

この場合、デバイスの前面ファセットは高反射性(好ましくは、R>95%)であり、表面格子はより低い共振回折効率、好ましくは5%で設計される。したがって、これらの実施形態では、光パワーの大部分は、後面ファセットを介してデバイスの外に結合される。

50

【0029】

好ましくは、本発明によるダイオードレーザデバイスの発光周波数の離調は、増幅器セクション、伝播セクション、および／またはブラッグセクション内の抵抗加熱素子によって実行される。

【0030】

特に、伝播セクションにおいて、共振器軸線の近く（または導波路の近く）を走る少なくとも1つの抵抗加熱器は、技術的に集積された半導体（いわゆる導波路加熱器）であり得る。抵抗加熱器を用いると、伝播セクションの光学的長さ、したがってレーザの発光周波数を連続的に熱的に変化させることができる。加熱器素子を通る電流の制御により、自由スペクトル範囲程度の周波数範囲内の発光波長の連続的な変動が可能になる。

10

【0031】

代替的または追加的に、共振器軸線（または導波路）の近傍に延在する少なくとも1つの抵抗加熱半導体をブラッグセクション内に技術的に集積することもできる。それは、表面格子のブラッグ共振周波数、したがってレーザの発光周波数を熱的に変化させるために使用され得る。加熱素子を通る電流の制御により、レーザの縦モード、すなわち、主に自由スペクトル領域のサイズに応じた発光波長の変動の選択が可能になる。

【0032】

したがって、加熱素子を通る電流の好適に調節された制御により、自由スペクトル範囲の倍数である周波数範囲にわたってレーザの発光周波数の連続的な離調を達成することができる。

20

【0033】

好ましくは、本発明によるダイオードレーザデバイスは、縦方向において、第2の増幅器セクションを備え、第2の増幅器セクションは、増幅器セクションよりも短い。第2の増幅器セクションがより短く設計されているため、これにより、注入電流のより速い変調が可能になり、したがって、低い電気容量のために放出される放射の周波数および光パワーのより速い変調が可能になる。第2の増幅器セクションは、ダイオードレーザデバイス内の任意の位置において縦方向に集積され得る。

【0034】

本発明のいくつかの実施形態では、共振器ミラーとしてのファセットの機能は、第2のブラッグセクション内のファセットの前方に集積された別のブラッグ導波路によって置き換えることができ、その結果、光共振器は2つのブラッグ導波路によって形成される。この場合、好ましい実施形態では、両方のファセットを反射防止コーティングすることもできる。あるいは、一方のファセットがコーティングされていなくてもよく、または両方のファセットがコーティングされていなくてもよい。

30

【0035】

好ましくは、生成されたレーザ放射の減結合は、ファセット減結合に代わり結合器によって達成され得る。例えば、(i) ブラッグ格子との、例えば上方または下方の垂直結合、または(ii) 導波路へのエバネッセント結合。

【0036】

好ましくは、ダイオードレーザデバイスは、縦方向に第2の伝播セクションを備え、第2の伝播セクションは、前面ファセットに直接隣接する。これにより、前面ファセットの熱負荷の低減が可能になる。

40

【0037】

好ましくは、少なくとも1つの伝播セクションおよび／または少なくとも1つのブラッグセクションは、電気コンタクトを有し、対応するセクションの実効屈折率は、電気コンタクトを介して逆方向に電圧を印加することによって変化させられ得る。特に、第1および／または第2の伝播セクションの導波路に、電気コンタクトが形成され得る。アノード（例えば、接触パッドを介して）とカソード（例えば、基板）との間に逆バイアス電圧を印加することによって、対応する伝播セクションの受動導波路の実効屈折率を、電気光学効果を利用することによって変化させることができる。これにより、共振器の光学的長さ、

50

したがって発光周波数が増加する。電気光学効果の時定数が非常に小さいため、非常に速い連続的な周波数変化を達成することができる。第2の伝播セクションを短くした場合、セクションの電気容量が小さくなり、非常に速い広帯域の変調が可能になる。

【0038】

代替的または追加的に、ブラッグセクションにはまた、電気コンタクトが形成され得る。アノード（例えば、接触パッドを介して）とカソード（例えば、基板）との間に逆方向に電圧を印加することにより、ブラッグセクションの受動導波路の実効屈折率を、電気光学効果を利用して変化させることができる。これにより、ブラッグ導波路の共振周波数が増加する。電気光学効果の時定数が非常に小さいため、共振周波数を非常に迅速に変化させることができる。

10

【0039】

好ましくは、2つの隣接するセクション間の当接面の面法線は、共振器内の光放射の伝播方向となす角度 α を含む。好ましくは、側方方向において、エッチングされた領域は、本発明によるダイオードレーザデバイスにおいて活性層のある領域（能動的）とない領域（受動的）との間の反射を最小限に抑えるために、 $1^\circ \sim 10^\circ$ 、好ましくは 3° 傾いているように形成され得る。

【0040】

好ましくは、ブラッグセクションを通して伝送された光放射は、第3の伝播セクション内の湾曲しかつ低損失である受動導波路によってデバイスの外に誘導され得る。導波路を湾曲させることにより、導波路が最適な角度で後面ファセットに当たることが達成され得、その結果、後面ファセットでの反射による光場の帰還が最小化される。後面ファセットは、後面ファセットでの反射による光場帰還をさらに低減するために反射防止性であってもよい。これは、デバイスからの光パワーの大部分が後面ファセットを介して外に結合される場合に特に関連する。

20

【0041】

好ましくは、活性層は、単一もしくは多重量子井戸構造として、またはGaAs、InP、もしくはGaN材料系内の量子ドット構造として形成される。材料系によって、異なる波長領域を実現することができる。そのため、提案された活性層の構造系は、可能な限り狭い発光を励起するのに好ましい。

【0042】

上記の実施形態は、全体的または部分的に互いに組み合わせることが有効であり得る。

30

【0043】

特に、低い結合係数を有する長くかつ低損失な受動ブラッグ導波路が、本発明によるダイオードレーザデバイスのブラッグセクション内に形成され得る。ブラッグ導波路の長さは、ブラッグ導波路がスペクトル的に可能な限り狭帯域の反射スペクトルを有するように、可能な限り長く選択されるべきである。合理的な長さは、とりわけ、受動導波路の残留損失およびブラッグ導波路の格子の周期性における技術的に不可避の不均一性によって制限される。ブラッグ導波路は、好ましくは $10\% \sim 60\%$ 、特に好ましくは $15\% \sim 25\%$ の共振回折効率を有する。ブラッグセクションの好ましい長さは、 $1\text{ mm} \sim 5\text{ mm}$ 、特に $3\text{ mm} \sim 5\text{ mm}$ である。

40

【0044】

ブラッグ導波路を透過した光場は、第3の伝播セクション内に形成された屈曲された受動的な低損失導波路によってデバイスの外に誘導され得る。

【0045】

伝播セクションでは、長くかつ低損失な受動導波路が形成され得る。導波路の長さは、共振器内のライトフィールドの可能な限り長い往復時間、すなわち可能な限り小さい自由スペクトル範囲、したがって可能な限り小さい基本線幅が達成され得るように、可能な限り大きく選択されるべきである。合理的な長さは、とりわけ、受動導波路の残留損失およびブラッグ導波路のスペクトル帯域幅によって制限され、自由スペクトル範囲がブラッグ導波路のスペクトル帯域幅に対して小さすぎる場合、安定した単一周波数動作は保証されな

50

い。伝播セクションの好ましい長さは、1 mm～5 mm、特に3 mm～4 mmである。

【0046】

光場は、増幅器セクションおよび第2の増幅器セクションの能動導波路内で増幅され得る。増幅器セクションおよび第2の増幅器セクションの全長は、デバイスが所望の出力パワーを達成するように選択されるべきである。増幅器セクションおよび第2の増幅器セクションの好ましい全長は、1 mm～5 mm、特に1 mm～2 mmである。第2の増幅器セクションの能動導波路の長さは、可能な限り短く選択されるべきである。これにより、第2の増幅器セクションの電気容量は、能動導波路を有する2つのセクションの電気容量の合計よりもはるかに小さくなり、その結果、電流の高速変調が可能になる。電流は、電気コンタクトを介して能動導波路のアノード内に注入され得る。共通カソードは、基板によって形成され得る。

10

【0047】

短く受動的な低損失の導波路が、第2の伝播セクション内に形成され得る。前面ファセットにおける受動導波路の集積は、前面ファセットの熱負荷を低減する。電気コンタクトが、第2の伝播セクション内に形成され得る。アノードとカソードとの間に逆方向に電圧を印加することにより、第2の伝播セクションの受動導波路の実効屈折率を、電気光学効果を利用して変化させることができる。これにより、共振器の光学的長さ、したがって発光周波数が変化する。電気光学効果の時定数が小さいため、連続的な周波数変化を非常に迅速に達成することができる。第2の伝播セクションが短くされているため、当該セクションの電気容量が小さくなり、広帯域の変調が可能になる。第2の伝播セクションの好ましい長さは、0.1 mm～1 mm、より好ましくは0.4 mm～0.6 mmである。前面ファセットは、好ましくは鏡面化されている（好ましくは、 $R > 95\%$ ）。

20

【0048】

伝播セクションでは、導波路に沿って走る抵抗加熱器が、半導体技術を用いて導波路の近傍に形成され得る。抵抗加熱器は、受動導波路の光学的長さ、したがってレーザの発光周波数を熱的に連続的に変化させるために使用され得る。電気コンタクトが、伝播セクション内に形成され得る。アノードとカソードとの間に逆方向に電圧を印加することにより、伝播セクションの受動導波路の実効屈折率を、電気光学効果を利用して変化させることができる。これにより、共振器の光学的長さ、したがって発光周波数が変化する。電気光学効果の時定数が低いため、連続的な周波数変化を非常に迅速に達成することができる。原則として、ここでは、上記の第2の伝播セクションにおけるものと同じ機能性が達成される。第2の伝播セクションと比較して伝播セクションの長さが長いため、同じ電圧でより大きな周波数偏差を表すことができるが、電気容量はより大きく、したがって、電氣的に達成可能な帯域幅は第2の伝播セクションにおけるよりも小さい。

30

【0049】

ブラッグセクションでは、導波路に沿って延在する抵抗加熱器が、導波路に近接するように半導体設計され得る。抵抗加熱器は、ブラッグ導波路のブラッグ共振周波数、したがってレーザの発光周波数を熱的に変化させるために使用され得る。導波路加熱器の加熱電流を好適に同期させることにより、レーザの発光は、自由スペクトル範囲よりも大幅に大きく連続的にシフトされ得る。電気コンタクトが、ブラッグセクション内に形成され得る。アノードとカソードとの間に逆方向に電圧を印加することにより、ブラッグ導波路の実効屈折率、したがってブラッグ導波路の共振周波数を、電気光学効果を利用して変化させることができる。導波路加熱による変化と比較して、電気光学効果による変化は、電気光学効果の時定数をはるかに短いためにはるかに速いが、達成可能な周波数変化は、電気光学効果の強度が比較的小さいためにはるかに小さい。

40

【0050】

第2の態様では、本発明は、増幅器セクションおよびブラッグセクションを形成するステップを含む、本発明に従ってダイオードレーザデバイスを製造する方法に関し、増幅器セクションおよびブラッグセクションは、前面ファセットと後面ファセットとの間に縦方向に沿って光放射のための共振器を形成するように配置されており、ダイオードレーザデバ

50

イスは、光放射を導波するために縦方向に対して垂直な垂直方向に沿って形成された層状構造 (Schichtstruktur; layered structure) を有し、ダイオードレーザデバイスは、垂直方向および縦方向に対して垂直な横方向に形成された導波路構造を有し、活性層が、層状構造内の増幅器セクションの全長に沿って増幅器セクション内に形成されており、前記ダイオードレーザデバイスは、縦方向において、前記光放射を伝播するための受動伝播セクションを備え、前記伝播セクションは、前記前面ファセットと前記ブラッグセクションとの間に配設されており、前記ブラッグセクション内において、表面格子が、前記ブラッグセクションの全長にわたって延在し、前記表面格子は、前記縦方向に互いに離間した複数の溝によって形成されている。

【0051】

活性層は、層状構造の全長にわたって形成されているのではなく、一部分にのみ層状構造内に存在していることが好ましい。特に好ましくは、活性層は、層状構造内の増幅器セクションの全長にわたって、排他的に増幅器セクション内に（または本質的に増幅器セクション内にのみ）形成される。これは、光放射が、増幅器セクションではないセクション内ではより少ない損失で誘導され得るという利点を有する。そうでなければ、これらのセグメント内に存在する活性層の非能動的にポンピングされた材料は、共振器内を誘導される光放射との材料の相互作用によって追加の光損失を誘発し得る。本質的に、増幅器セクション内のみにあるということは、活性層セクションのごく一部のみが増幅器セクションの外側にも存在する場合でも、層状構造の全長にわたって形成された活性層を有する設計と比較して、光損失の大幅な低減を依然として達成することができることを意味する。

【0052】

一部分にのみ存在する活性層は、特に、層状構造の生成中に局所的に限定された活性層を直接選択的に形成することによって提供され得る。あるいは、層状構造の全長にわたって活性層を非選択的に空間的に形成した後、増幅器セクションの外側の活性層も、それに応じて選択的に除去され得る。さらに、量子井戸混合（例えば、D. Hofstetterら、IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron 4, 794-802, (1998); Tanら、A. Integrated Photonics Research and Applications/Nanophotonics, Technical Digest (CD) (Optical Society of America, 2006), paper ITuE2) 選択的不活性化または不動態化を用いるイオン注入が、増幅器セクションの外側のエリアにおける活性層のその後の変換のために、非選択的に形成された活性層に対して実行され得る。

【0053】

特定の実施形態では、本発明による方法は、n基板を提供するステップと、層状構造を形成するステップと、を含み、増幅器セクションの活性層は、活性層を選択的に形成することによって集積されるか、または活性層の非選択的形成後に増幅器セクションの外側で選択的に除去されるか、または中間バンドを使用したイオン注入によって選択的に非活性化される。活性層を非選択的に形成する場合、活性層のパターニングが完了した後に完了する。

【0054】

さらに、本発明による方法のさらに好ましい実施形態は、明細書においてデバイスについて述べた特徴から直接生じる。

【0055】

したがって、超狭帯域ダイオードレーザの実現のために、先行技術のセクションで説明され、これまで個別に実現されたECDL手法が、集積構造に対して使用される。電気通信用途では、シリコンオンインシュレータ (SOI) 導波路構造を用いる活性 InAlGaAs または InP 層のヘテロ集積化の手法が利用可能であり、これは、GaAs 技術を用いて達成可能な波長領域には移行できない。ECDLのモノリシック対応物、すなわち、長い光学キャビティを有するDBRレーザ（典型的には、6 GHzの自由スペクトル範囲）を、個別に集積されたECDLの基本線幅に対応する基本線幅を有する均一材料系に集

10

20

30

40

50

積することは、いかなる材料系（例えば、GaAs、InP、GaN材料系）においても、特にGaAs材料系においても、まだ知られていない。さらに、結合係数が非常に低いためブラッグ導波路の共振回折効率が数10%である、長い受動ブラッグ導波路を確実に制御して実現することは、GaAs、InP、またはGaN技術では知られていない。

【0056】

よって、本発明は、個別集積型ECDLの基本線幅と同等の基本線幅を有するモノリシック集積型ダイオードレーザデバイスを初めて開示する。したがって、本発明によるダイオードレーザデバイスは、モノリシック集積型ECDL (mECDL) と呼ばれる。ここで、以下の特徴が組み合わせられる。

【0057】

(i) ダイオードレーザデバイスは、基本的に分布ブラッグ反射器 (DBR) レーザとして説明され得る (DBRレーザの概念)。

【0058】

(ii) 可能な限り長くかつ可能な限り低い損失である受動導波路が、レーザ共振器に組み込まれる。これは、既知のDBRダイオードレーザ部品と比較して光共振器内の光の往復時間を増加させ、小さな基本線幅を形成するための前提条件を作り出す。可能な最大の有効長さは、とりわけ、受動導波路における光損失および技術的に実現可能な部品長さ (現在、最大約8...10mm) によって制限される。これは、ブラッグ導波路の最小の達成可能なスペクトル帯域幅によっても制限され (ポイント (iii) を参照)、自由スペクトル範囲がブラッグ導波路のスペクトル帯域幅よりも著しく小さくなった場合、ダイオードレーザデバイスの信頼性の高いシングルモード動作はもはや不可能になる。光共振器内の光の往復時間を調整するために、低損失受動導波路の長さは、6GHzの好ましい自由スペクトル範囲を達成するのに十分な大きさになるように選択され得る。より長い長さも好ましく、これにより、より小さな自由スペクトル範囲がもたらされる。

【0059】

(iii) 好ましくは50%の共振回折効率を有する長くかつ低損失の受動ブラッグ導波路が、共振器の2つの反射器のうちの一つとしてダイオードレーザデバイスに組み込まれる。この場合、ブラッグ導波路は、ブラッグ反射器のスペクトル帯域幅がダイオードレーザデバイスの自由スペクトル範囲に匹敵するかまたはそれよりも小さくなるように、十分に長くなければならないことが好ましい。したがって、ブラッグ導波路は、小さい自由スペクトル範囲であってもダイオードレーザデバイスの安定した単一周波数動作を保証することができるような狭い帯域幅で設計され得る (ポイント (ii) を参照)。長いブラッグ導波路を実現するためには、非常に低い結合係数 (好ましくは、数 0.1mm^{-1}) が実現されなければならない。

【0060】

(iv) 低い結合係数を有するブラッグ導波路を実現するために、表面格子が実装される。埋め込み格子とは異なり、表面格子では、導波路に沿った実効屈折率の空間的に周期的な変調は、導波路に空間的に周期的に組み込まれた半導体層によってではなく、導波路内に溝をエッチングすることによって実現される。導波路の表面における光場の電場強度は非常に低いため、溝の好適な幾何学的設計、特に溝の深さによって小さな結合係数を確実に設定することができる。

【0061】

本発明によるダイオードレーザデバイスは、精密分光法での使用に必要な機能性を有する。電気光学的観点から、完全な光共振器が形成される (光共振器およびキャビティ内光増幅器)。同期された導波路加熱器をさらに使用することにより、レーザの発光周波数は、1msよりもはるかに小さい時定数を有するいくつかの自由スペクトル範囲によって連続的に変化し得る。数 μs 程度の時定数による非常に速い周波数変化は、増幅器セクションの注入電流の高速制御によって、または受動導波路セクション内に逆方向に電圧を印加することによる電気光学効果を利用することによって達成され得る。したがって、光原子時計またはコヒーレント衛星通信で使用するためのレーザ周波数制御システムの高帯域幅要

10

20

30

40

50

件を満たすことができる。

【0062】

特に、本発明によるダイオードレーザデバイスは、機能および電気光学性能に関して、GaAsで達成可能な630...1180nmのスペクトル範囲の個別に集積されたスペクトル的に狭帯域のECDLを、モノリシック集積型ECDL(mECDL)として置き換えることができる。全てが個別の巨視的または個別の微小光学小型化で実現される全ての既存の解決策と比較して、以下の利点が達成される。

【0063】

(i) レーザのフォームファクタ(体積)は、個別に集積された照合システムによっては数桁の大きさも大幅に削減される。

10

【0064】

(ii) フォームファクタの削減およびモノリシックの実現により、本発明によるレーザシステムは、音響周波数範囲(数10kHzまで)において機械的共振周波数を示さない。したがって、動作環境の機械的擾乱(振動および衝撃)がダイオードレーザのスペクトル安定性に与える影響は、個別に集積されたレーザよりもはるかに小さい。したがって、本発明によるダイオードレーザデバイスは、加速および振動下での使用、すなわち特にモバイル使用にはるかに適している。

【0065】

(iii) 周波数制御のために達成可能な帯域幅は、熱的または圧電的に個別に集積されたシステムで達成可能な帯域幅と比較して、本発明による導波路加熱器の使用および電気光学効果によって増加する。電気光学効果により、1μsをはるかに下回る時定数が達成可能であり、一方、導波路加熱器では、1msを下回る時定数が可能である。個別に集積されたシステムでは、高速周波数制御は、少なくとも1μsの時定数で注入電流によって、音響周波数範囲において、10μsを大幅に超える時定数(典型的には、100μs)で圧電的に、および1sを大幅に超える時定数で熱的に達成される。したがって、本発明によるダイオードレーザデバイスは、周波数制御に関してはるかに鋭敏である。これは、周波数安定化を促進し、周波数安定化中の達成可能な最小周波数誤差を低減する。

20

【0066】

(iv) 本発明によるmECDLでは、従来のECDLシステムと比較して、製造コストが少なくとも1桁削減される。

30

【0067】

本発明のさらに好ましい実施形態は、従属請求項に記載の特徴から生じる。

【0068】

本出願で言及される本発明の様々な実施形態は、個々の場合に特に指定されない限り、互いに好適に組み合わせることができる。

【0069】

本発明および技術的環境は、添付の図を参照して以下により詳細に説明される。本発明は、与えられた実施形態の例によって限定されることを意図するものではないことに留意されたい。特に、他に明示的に示されていない限り、図で説明された事実の部分的な態様を抽出し、それらを本明細書の他の構成要素および知見と組み合わせることも可能である。

40

【図面の簡単な説明】

【0070】

【図1】本発明によるダイオードレーザデバイスの第1の実施形態の断面図による概略図である。

【図2】図1に示す本発明によるダイオードレーザデバイスの第1の実施形態の構造上面図による概略図である。

【図3】本発明によるダイオードレーザデバイスの第2の実施形態の構造上面図による概略図である。

【図4】本発明によるダイオードレーザデバイスの第3の実施形態の構造上面図による概略図である。

50

【図面の詳細な説明】

【0071】

図1は、本発明によるダイオードレーザ部品の第1の実施形態の断面図による概略図を示している。図示のダイオードレーザ部品は、n基板10上に垂直方向Yに堆積された層構造Sを有する。層構造Sは、nクラディング層12であって、nクラディング層12が、n基板10上に配設されている、nクラディング層12と、n導波路層14であって、n導波路層14が、nクラディング層12上に配設されている、n導波路層14と、p導波路層16であって、p導波路層16が、n導波路層14上に配設されている、p導波路層16と、pクラディング層18であって、pクラディング層18が、p導波路層16上に配設されている、pクラディング層18と、pコンタクト層20であって、pコンタクト層20が、pクラディング層18上に配設されている、pコンタクト層20と、を備える。縦方向Zにおいて、ダイオードレーザデバイスは、増幅器セクションVSと、伝播セクションPSと、ブラッグセクションBSと、を備え、増幅器セクションVS、伝播セクションPS、およびブラッグセクションBSは、前面ファセット22と後面ファセット24との間に配設されており、活性層15が、排他的に増幅器セクションVS内に、n導波路層14とp導波路層18との間に全長にわたって形成されており、排他的にブラッグセクションBS内に、表面格子30が、ブラッグセクションBSの全長にわたって延在し、表面格子30は、縦方向Zに互いに離間した複数の溝32によって形成されており、溝32は、pコンタクト層20を通過してpクラディング層18内に延在する。

10

20

【0072】

図2は、図1に示す本発明によるダイオードレーザデバイスの第1の実施形態の構造上面図による概略図を示している。示された図は、ダイオードレーザ部品の頂部側（すなわち、p側）の構造の可能な配置を示しており、それにより、連続した導波路を有する中央エリアは、例示目的のために描かれているにすぎず、実際の上面図の構造では全く見えない場合がある。この純粋に例示的な例において、増幅器セクションVSは、電荷キャリア注入のための電気コンタクトA（接触パッド）を有する。ダイオードレーザデバイスの発光周波数の離調は、さらなる電気コンタクト（接触パッド）を介して増幅器セクションVSおよび/またはブラッグセクションBS内の2つの抵抗加熱素子H1～H4によって達成され得る。好ましくは、活性層15は、単一もしくは多重量子井戸構造として、またはGaAs、InP、もしくはGaN材料系内の量子ドット構造として形成される。

30

【0073】

図3は、本発明によるダイオードレーザデバイスの第2の実施形態の概略上面図を示している。本実施形態は、セクションの数が拡張されていることを除いて、基本的に図1および図2に示す実施形態に対応する。したがって、参照符号および個々の特徴への参照符号の割り当てがそれに応じて適用される。図示のダイオードレーザデバイスは、縦方向Zにおいて、第2の増幅器セクションVS2を備え、第2の増幅器セクションVS2は、増幅器セクションVSよりも短い。結果として、増幅器セクションVSと第2の増幅器セクションVS2とは電気容量が異なる。好ましくは、電荷キャリア注入は、関連付けられた電気コンタクトA、A2を介して行われ、これにより、ダイオードレーザデバイスをより小さな電気容量で動作させることによって、両方の増幅器セクションVS、VS2の高い変調周波数での変調効率を高めることができる。前面ファセット22に直接隣接して、第2の伝播セクションPS2が存在する。これにより、前面ファセット22に対する熱負荷を低減することができる。また、第3の伝播セクションPS3は、湾曲導波路セクションとして形成されている。湾曲は、層構造Sの材料内への望ましくない高次の横モードの放射に対するだけでなく、後面ファセット24での反射による光帰還の低減のための、モードフィルタとして機能する。

40

【0074】

図4は、本発明によるダイオードレーザデバイスの第3の実施形態の構造上面図による概略図を示している。本実施形態は、図1および図2に示す実施形態に概ね対応する。した

50

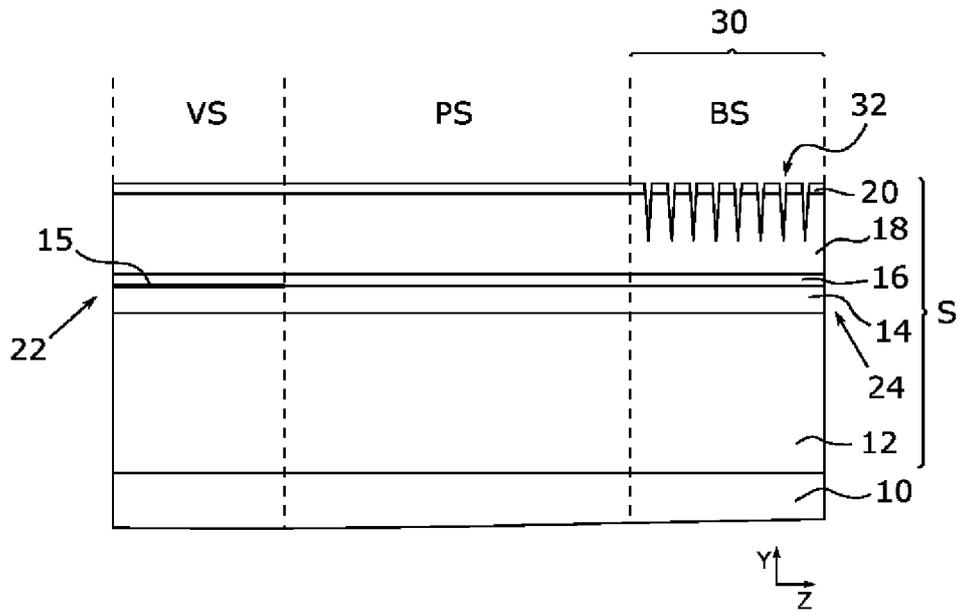
がって、参照符号および個々の特徴への参照符号の割り当てがそれに応じて適用される。しかしながら、増幅器セクションVSとすぐ隣の伝播セクションPSとの間の当接面の面法線は、共振器内の光放射の伝播方向となす角度 α を含む。しかしながら、当接面の対応する相互の傾斜はまた、他の隣接するまたは連続する部分を含んでもよい。このような傾斜は、それぞれの当接面における望ましくない後方反射の内部抑制に役立つ。好ましくは、角度 α は数度（例えば、 $\alpha = 3^\circ$ ）である。

【参照符号の一覧】

【0075】

10	N基板	
12	Nクラディング層	10
14	N導波路層	
15	活性層	
16	P導波路層	
18	Pクラディング層	
20	Pコンタクト層	
22	前面ファセット	
24	後面ファセット	
30	表面格子	
32	溝	
S	層構造	20
VS	増幅セクション (VS)	
VS2	第2の増幅セクション	
VS3	第3の増幅セクション	
PS	伝播セクション (PS)	
PS2	第2の伝播セクション	
PS3	第3の伝播セクション	
BS	ブラッグセクション (BS)	
A, A2-A5	電気コンタクト	
H1-H4	抵抗加熱素子 (電気コンタクト付)	
Y	垂直方向	30
Z	縦方向	
α	角度	

【図1】

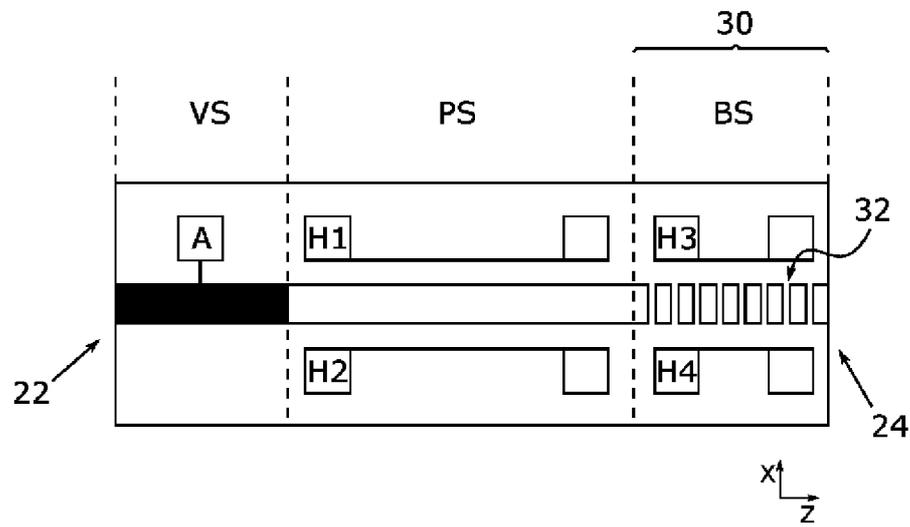


10

20

FIG. 1

【図2】



30

40

FIG. 2

50

【図3】

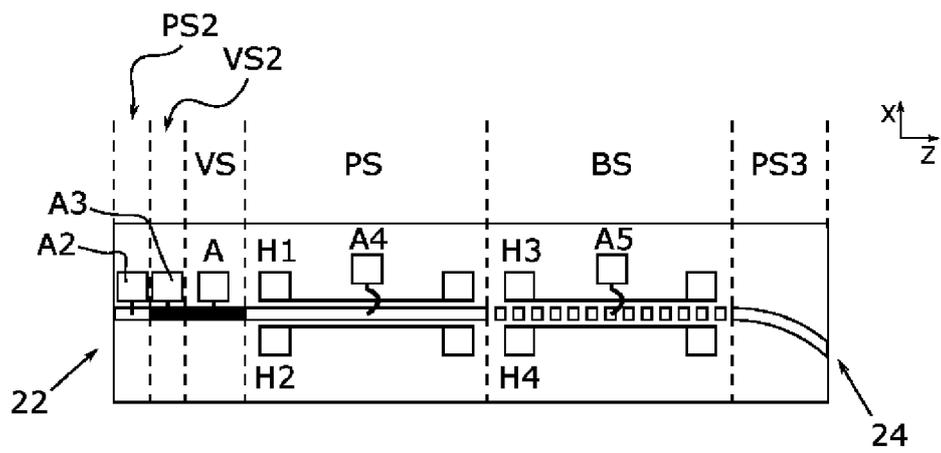


FIG. 3

【図4】

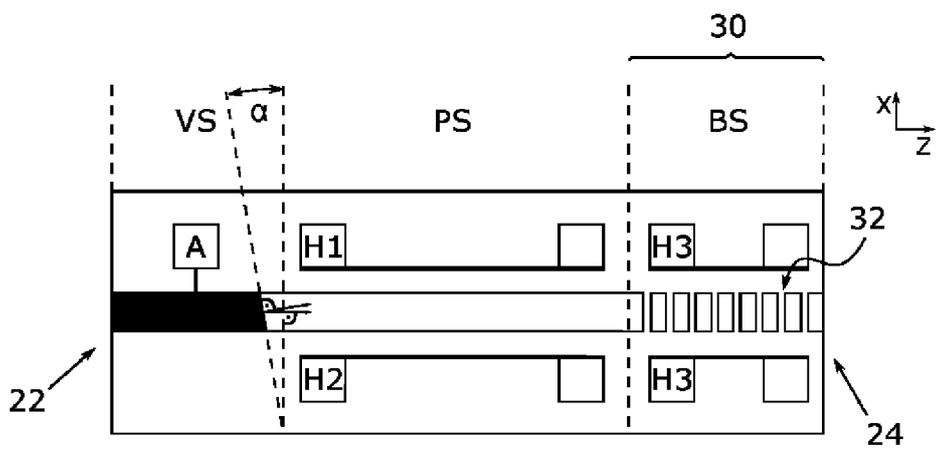


FIG. 4

 フロントページの続き

- (74)代理人 100107456
 弁理士 池田 成人
- (74)代理人 100162352
 弁理士 酒巻 順一郎
- (74)代理人 100123995
 弁理士 野田 雅一
- (72)発明者 アラル, バッセム
 ドイツ連邦共和国, 1 2 3 5 1 ベルリン, ヨハニスターラー ショシー 2 9 1
- (72)発明者 ブロックス, オラフ
 ドイツ連邦共和国, 1 4 0 5 7 ベルリン, レオンハルトシュトラーセ 1 3
- (72)発明者 ネチャーエフ, セルゲイ
 ドイツ連邦共和国, 1 2 3 5 7 ベルリン, クロクスシュトラーセ 2
- (72)発明者 ヴェンツェル, ハンス
 ドイツ連邦共和国, 1 2 3 5 5 ベルリン, ヘレネ-ヴィーバー-シュトラーセ 1 6 エー
- (72)発明者 ヴェンツェル, ステン
 ドイツ連邦共和国, 1 2 4 8 7 ベルリン, クーニヒスハイデヴァイグ 2 7 4
- (72)発明者 ヴィヒト, アンドレアス
 ドイツ連邦共和国, 1 2 4 5 9 ベルリン, クララシュトラーセ 3
- (72)発明者 デラ カーサ, ピエトロ
 ドイツ連邦共和国, 1 2 4 8 9 ベルリン, ホフマンシュトラーセ 2 2

審査官 佐藤 美紗子

- (56)参考文献 特表2020-520112 (JP, A)
 特開平08-148750 (JP, A)
 特開平02-126693 (JP, A)
 Lianping HOU, 10-GHz Mode-Locked Extended Cavity Laser Integrated With Surface-Etched DBR Fabricated by Quantum-Well Intermixing, IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, 米国, 2011年01月15日, VOL.23, No.2, 82-84
 HANSEN P B, 5.5-mm Long InGaAsP Monolithic Extended-Cavity Laser with an Integrated Bragg-Reflector for Active Mode-Locking, IEEE Photonics Technology Letters, 米国, IEEE, 1992年03月01日, VOL.4, No.3, 215-217

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

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