

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2005-519476

(P2005-519476A)

(43) 公表日 平成17年6月30日(2005.6.30)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
HO 1 S 5/14	HO 1 S 5/14	5 F 1 7 3
HO 1 S 5/065	HO 1 S 5/065	
HO 1 S 5/125	HO 1 S 5/125	

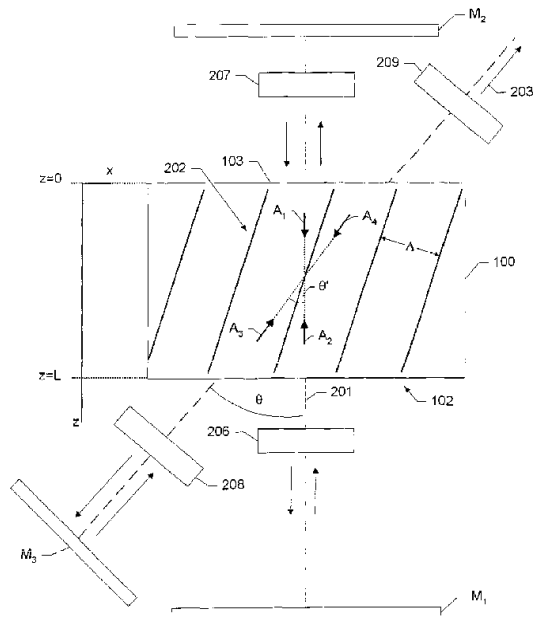
審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 30 頁)

(21) 出願番号	特願2003-573750 (P2003-573750)	(71) 出願人	504329012 フォルスキニングセンター リスエ デンマーク デーコー4000 ロスキル デ フレデリクスボルヴェイ 399
(86) (22) 出願日	平成15年3月3日(2003.3.3)	(74) 代理人	100082005 弁理士 熊倉 禎男
(85) 翻訳文提出日	平成16年8月30日(2004.8.30)	(74) 代理人	100067013 弁理士 大塚 文昭
(86) 国際出願番号	PCT/DK2003/000132	(74) 代理人	100074228 弁理士 今城 俊夫
(87) 国際公開番号	W02003/075419	(74) 代理人	100086771 弁理士 西島 孝喜
(87) 国際公開日	平成15年9月12日(2003.9.12)	(72) 発明者	ピータースン パウル ミヒャエル デンマーク デーコー3400 ヒラーレ エ シュトゥメスターヴェイ 11アー 最終頁に続く
(31) 優先権主張番号	PA 2002 00328		
(32) 優先日	平成14年3月4日(2002.3.4)		
(33) 優先権主張国	デンマーク (DK)		

(54) 【発明の名称】 高出力ダイオードレーザーシステム

(57) 【要約】

広い横方向利得面積を有するダイオード増幅器部材を備えたダイオードレーザーシステムが開示されている。ダイオード増幅器部材は、数多くの空間的光分布の空間モードを増幅するための増幅媒体を含んでいる。本レーザーシステムは、ダイオード増幅器部材の少なくとも一部を含むレーザー空洞を形成する数多くの受動反射部材を更に備えており、各受動反射部材は、作動時、光を少なくとも部分的には増幅媒体内へと反射するようになっている。受動反射部材は、作動時、自らが反射した光を介して、ダイオード増幅器部材内に自己誘導性動的利得及び屈折率回折格子を誘導するようになっており、動的利得及び屈折率回折格子は、前記空間モードの内の1つを選択し、残りの空間モードの空間的光分布を少なくとも部分的には抑制する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ダイオードレーザーシステムにおいて、

数多くの空間光分布の空間モードを増幅するための増幅媒体を含んでいるダイオード増幅器と、

前記増幅媒体の少なくとも一部を含んでいるレーザー空洞を形成する数多くの受動反射部材であって、前記各反射部材は、作動中には、光を少なくとも部分的には前記増幅媒体内へと反射するようになっている、受動反射部材と、を備えており、

前記数多くの受動反射部材の内の少なくとも第 1 及び第 2 受動反射部材は、互いに平行ではなく、少なくとも各第 1 及び第 2 光ビームが、前記増幅媒体中を対応する第 1 及び第 2 方向に伝播するようにし、前記第 1 及び第 2 方向が両者の間の所定の角度を画定し、前記第 1 及び第 2 光ビームが、作動中には、前記増幅媒体内に動的利得及び屈折率回折格子を誘導するようにし、

前記所定の角度は、前記動的利得及び屈折率回折格子が前記空間モードの内の 1 つを選択的に回折し、前記空間光分布の残りの空間モードの少なくとも一部を抑制するほど大きく選択され、且つ前記所定の角度は、前記動的利得及び屈折率回折格子が前記増幅媒体の特性拡散長より大きいフリンジ間隔を有するほど小さく選択されることを特徴とするダイオードレーザーシステム。

10

【請求項 2】

前記増幅媒体は所定の搬送波寿命と所定の両極性拡散率を有し、前記レーザー光は所定の真空波長を有しており、前記所定の角度は、前記真空波長を 2 で除し、前記所定の搬送波寿命の平方根を乗じ、前記両極性拡散率を乗じることにより得られる最大角度より小さくなるように選択されていることを特徴とする、請求項 1 に記載のダイオードレーザーシステム。

20

【請求項 3】

前記増幅媒体は、所定の屈折率 n を有しており、前記レーザー光は、所定の真空波長を有しており、前記ダイオード増幅器は、前記ダイオード増幅器の互いに反対側に 2 つの端部ファセットを備えており、前記両端部ファセットは、距離 L だけ離れており、前記所定の角度は、

$$\theta_{crit} = \sqrt{\frac{2n\lambda}{L}}$$

30

によって定められる最小角度 θ_{crit} よりも大きくなるよう選択されていることを特徴とする、請求項 1 又は 2 に記載のダイオードレーザーシステム。

【請求項 4】

前記増幅媒体は所定の屈折率を有しており、前記レーザー光は所定の真空波長を有しており、前記誘導された利得及び屈折率回折格子は所定のフリンジ間隔を有しており、前記ダイオード増幅器は、前記ダイオード増幅器の互いに反対側に 2 つの端部ファセットを備えており、前記両端部ファセットは、前記屈折率に前記フリンジ間隔を乗じ、二乗し、前記真空波長で除した値より大きな距離だけ離れており、望ましくは、前記屈折率に前記フリンジ間隔を乗じ、二乗し、前記真空波長で除した値の 2 倍より大きな距離だけ離れていることを特徴とする、請求項 1 から 3 の何れかに記載のダイオードレーザーシステム。

40

【請求項 5】

前記ダイオード増幅器は、GaAlAs レーザーダイオードを備えており、その両端部ファセットは、0.5 mm から 4 mm の距離だけ離れていて、810 nm 波長に対応しており、前記角度は、1 度から 10 度の間に、望ましくは 4 度から 7 度の間に、最も望ましくは 4.2 度から 6.5 度の間にあるように選択されていることを特徴とする、請求項 1 から 4 の何れかに記載のダイオードレーザーシステム。

【請求項 6】

前記ダイオード増幅器は、前記ダイオード増幅器の互いに反対側に 2 つの端部ファセッ

50

トを備えており、前期端部ファセットの内の少なくとも第1ファセットは、200 μm より大きく、望ましくは300 μm より大きく、最も望ましくは500 μm より大きいストライプ幅を有する光放出ストライプを含んでいることを特徴とする、請求項1から5の何れかに記載のダイオードレーザーシステム。

【請求項7】

前記第1端部ファセットのストライプ幅は、200 μm から1000 μm の間に、望ましくは300 μm から700 μm の間にあることを特徴とする、請求項6に記載のダイオードレーザーシステム。

【請求項8】

前記利得及び屈折率回折格子は、四波混合プロセスによって誘導されることを特徴とする、請求項1から7の何れかに記載のダイオードレーザーシステム。

10

【請求項9】

前記数多くの反射部材の内の少なくとも第1反射部材は、前記ダイオード増幅器の外側に配置されており、前記レーザーシステムは、前記第1反射部材と前記ダイオード増幅器の間に配置されている空間フィルターを更に備えていることを特徴とする、請求項1から8の何れかに記載のダイオードレーザーシステム。

【請求項10】

前記空間フィルターは、第1及び第2の光ビームの対の内の対応する光ビームの内の1つの空間モードの一部を抑制するようになっていることを特徴とする、請求項9に記載のダイオードレーザーシステム。

20

【請求項11】

前記数多くの反射部材の内の少なくとも第1反射部材は、前記ダイオード増幅器の外側に配置されており、前記レーザーシステムは、前記第1反射部材と前記ダイオード増幅器の間に配置されている周波数フィルターを更に備えており、前記周波数フィルターは、前記第1及び第2対の光ビームの対の内の対応する光ビームの内の1つのスペクトル帯域幅を減じることを特徴とする、請求項1から10の何れかに記載のダイオードレーザーシステム。

【請求項12】

前記受動反射部材の内の少なくとも1つは、前記ダイオード増幅器内に埋め込まれた永久回折格子であることを特徴とする、請求項1から11の何れかに記載のダイオードレーザーシステム。

30

【請求項13】

前記ダイオード増幅器は、前記ダイオード増幅器の互いに反対側に前方ファセットと後方ファセットを備えており、各ファセットは、反射防止コーティングで被覆されており、

前記反射部材の内の第1及び第2反射部材は、前記後方及び前方ファセットに対応する前記増幅媒体の互いに反対側に配置されており、前記第1及び第2反射部材は、前記レーザー空洞を形成し、第1の反対方向に伝播する光ビームの対を生成し、

第3対の反射部材は、前記前方ファセットに対応する前記増幅媒体の一方の側に配置されており、前記第3反射部材は、第2の反対方向に伝播する光ビームの対の内の一方を前記増幅媒体内へと反射して戻し、前記第2の反対方向に伝播する光ビームの対は、前記ダイオード増幅器の外側で、前記前方及び後方ファセットに対して所定の入射角度で伝播することを特徴とする、請求項1から12の何れかに記載のダイオードレーザーシステム。

40

【請求項14】

前記ダイオード増幅器は、前記ダイオード増幅器の互いに反対側に前方ファセットと後方ファセットを備えており、前記前方ファセットは低反射率コーティングで被覆されており、

前記反射部材の内の第1反射部材は、前記前方ファセットに対応する前記増幅媒体の一方の側に配置されており、前記第1反射部材は、第1の反対方向に伝播する光ビームの対の内の一方を、前記前方及び後方ファセットに対して所定の入射角度で前記増幅媒体内へと反射して戻し、

50

前記数多くの反射部材の内の第2反射部材は、前記ダイオード増幅器の前記後方ファセットであり、前記後方ファセットは、前記第1の反対方向に伝播する光ビームの対の内の入射ビームを反射し、前記反射された光ビームは、前記入射角度に相当する放出角度で放出されるレーザーシステムの出力ビームを形成することを特徴とする、請求項1から12の何れかに記載のダイオードレーザーシステム。

【請求項15】

前記第1反射部材は、前記ダイオード増幅器の前記前方ファセットであり、前記前方ファセットは、前記後方ファセットに対して所定の傾斜角度だけ傾斜しており、前記前方ファセットは、前記前方ファセットに対して垂直な軸に対してゼロ度の入射角度を有する光ビームには、前記傾斜角度に対応する入射角度を有する光ビームの反射係数よりも高い反射係数を提供するコーティングで被覆されていることを特徴とする、請求項14に記載のダイオードレーザーシステム。

10

【請求項16】

前記システムは、前記ダイオード増幅器内で前記出力ビームを反射して戻すようになっている第3反射部材と、前記第1反射部材と前記ダイオード増幅器の間に配置されている周波数変換部材とを更に備えていることを特徴とする、請求項15に記載のダイオードレーザーシステム。

【請求項17】

前記システムは、周波数変換部材を更に備えていることを特徴とする、請求項1から16の何れかに記載のダイオードレーザーシステム。

20

【請求項18】

ダイオードレーザーシステムを調整する方法において、

前記ダイオードレーザーシステムは、

数多くの空間光分布の空間モードを増幅するための増幅媒体を含んでいるダイオード増幅器と、

前記増幅媒体の少なくとも一部分を含んでいるレーザー空洞を形成する数多くの受動反射部材であって、前記各反射部材は、作動中には、光を少なくとも部分的には前記増幅媒体内へと反射するようになっている、受動反射部材と、を備えており、

前記方法は、前記数多くの受動反射部材の内の少なくとも第1及び第2反射部材を調整して、少なくとも各第1及び第2光ビームが、前記増幅媒体中に対応する第1及び第2方向に伝播するようにし、前記第1及び第2方向が両者の間の所定の角度を画定し、前記第1及び第2光ビームが前記増幅媒体内に動的利得及び屈折率回折格子を誘導するようにする段階を含んでおり、

30

少なくとも前記第1及び第2受動反射部材を調整する前記段階は、前記所定の角度を、前記動的利得及び屈折率回折格子が前記空間モードの内の1つを選択的に回折し、前記空間光分布の残りの空間モードの少なくとも一部を抑制するほど大きく選択する段階と、前記所定の角度を、前記動的利得及び屈折率回折格子が前記増幅媒体の特性拡散長より大きいFRINGE間隔を有するほど小さく選択する段階とを含んでいることを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

40

【0001】

本発明は、ダイオードレーザーシステムに、厳密には、高出力ダイオードレーザーシステムに関する。

【背景技術】

【0002】

レーザーダイオードは、レーザービームの手頃な値段の小型で頑丈な供給源としてよく知られている。従来から、出力が小さく、良好なコヒーレンス特性を備えたレーザーダイオードが市販されており、CDプレーヤー、バーコードリーダーなどのような多くの製品に用いられている。

【0003】

50

最近では、数ワットの出力を備えたレーザーダイオードが市販されるようになった。これらの強力なレーザーダイオードは、印刷、材料加工、薬品、光学センサー及び強力な単一モードアクティブ導波管のポンピングのような、強力な光源を要する業界で利用できる可能性がある。しかしながら、これらのレーザーの光学的品質は、上記用途の多くで十分に満足できるものではなく、強力なレーザーダイオードの光学的品質は、改良する必要性があると長い間思われてきた。図1 a - bは、電極108及び109を介してp - n接合部101にポンプ電流を掛けると増幅媒体を形成することになるp - n接合部101を有する半導体ダイオード100を備えた、広面積レーザーを概略的に示している。従来型のレーザーダイオードでは、2つの互いに反対側にある端部ファセット102及び103に反射性コーティングを被覆し、両者の間にレーザー空洞が生成されている。端部ファセットの内一方103が全反射性で、他方の端部ファセット102が、代表的には4 - 8%の範囲の低反射性を有している場合、光学軸104回りに角度方向に分布するレーザービームが放出される。GaAlAs半導体の広面積レーザーダイオードアレイは、低い電圧で作動させることができ、20,000時間を越える寿命を有するので、魅力的である。これらのダイオードの光学的出力は、光を放出している出力ファセット、特に、横断方向利得面積と呼ばれる光を放出している領域の面積105の寸法に関係する。市販されている広面積レーザーは、アクティブ領域を横切る方向106に、数マイクロメータ、例えば1 - 2 μm の光放出面積を有している。アクティブ領域に沿う横方向107、いわゆるストライプ幅は可変である。出力ファセットのストライプ幅を増すことによって、出力は、この10年間で著しく増大した。200 μm のストライプ幅を有する広面積レーザーは、今では4 Wまでの出力を有するものが市販されている。しかしながら、ストライプ幅を増すとレーザーダイオードの品質が低下するという望ましくない副作用が生じるため、出力ファセットの寸法を任意に増やせるわけではないというのが、これらのレーザーの問題である。これらの副作用には、線条化/自己合焦、熱ロールオーバー、低い出力及び周波数安定性、劣悪な空間及び時間コヒーレンスが含まれる。アクティブな半導体材料の内側での線条化又は自己合焦は、従来型の広面積ダイオードの空間ビーム品質を非常に悪化させる。線条化は、半導体材料とレーザービームの間の非線形光学相互作用によりレーザー空洞の内側に形成される高強度空間領域、いわゆるホットスポットで発生する。これらの局所的ホットスポットは、予測不可能なパターンで形成され、レーザー光の予測不可能な位相変調を引き起こし、その結果レーザーフィールドプロファイルの品質が大幅に低下する。熱ロールオーバーという用語は、広面積レーザーからの光学出力が、劈開されたレーザー反射鏡の熱暴走及び溶融によって生じる、いわゆる破局的ファセット損傷によって制限される問題を意味している。強度が臨界強度を越えると、出力と周波数が不安定になる。

【0004】

例えば、外部空洞から外部フィードバックを提供することによって、広面積ダイオードの出力ビームの品質を改良する試みが行われてきた(例えば、C. Chang - Hasnain、D. F. Welch、D. R. Scifres、J. R. Whinnery、A. Dienes及びR. D. Burnhamらによる「孔あき漸変指標外部空洞におけるダイオードレーザーアレイからの回折制限放出」応用物理レター、49、614 - 616頁(1986年)参照)。しかしながら、一般的に、フィードバック付のダイオードレーザーは、外部反射鏡の振動に非常に敏感なので、外部空洞を安定させなければならない。更に、フィードバックの量が臨界値を越えると、フィードバックダイオードレーザーの出力ビームに、分岐と無秩序な挙動が起こることもある。

【0005】

従来型の広面積レーザーによって放出される光は、数多くの空間モードを備えており、各モードがそれぞれの放出の角度に対応している。最下位のモード、いわゆる基本モードは、光学軸104の方向に放出され、一方、高位のモードは、いわゆる低コヒーレンス軸、即ち図1 a - bのx軸に沿って、ツインローブ強度分布として放出される。どの様な所与の上位モードのローブでも、光学軸のそれぞれの側で対応する角度で放出される。上記モードの構造は、放出されるレーザービームのコヒーレンス特性に影響を及ぼす。特に、

閾値を越える高さで作動する場合、広面積レーザーは、上位の空間モードで振動し、各モードは異なる方向に放射される。その結果、空間コヒーレンスは、悪化する。高出力広面積レーザーは、多くの長手方向モードで振動し、レーザーの時間コヒーレンスは極めて低く、一般的に数百マイクロメートルである。低コヒーレンス軸は低速軸とも呼ばれ、一方、低速軸に垂直な軸、即ち図1 a - bのy軸は、高速軸と呼ばれる。

【0006】

広面積レーザーのストライプ幅が200 μmを超えて広がると、上記副作用によるレーザー光の劣化は、出力の増大を過剰補償し、出力ビームの特性が非常に悪くなる。特に、光の放出面積が広いレーザーダイオードは、光放出開口の横方向、いわゆる低コヒーレンス軸方向の空間コヒーレンス特性が悪い。この欠点のために、発生する光ビームは、長距離に亘って小さなスポットサイズに合焦させることができない。レーザー源の空間コヒーレンスを推定するのに用いられる品質の尺度は、いわゆるM²値である。M²値は、光源の合焦能力に関係する。

10

【0007】

Robert J. Lang、K. Dzurko、Amos A. Hardy、Scott Demard、Alexander Schoenfelder及びDavid F. Welchらによる「回折格子で閉じ込められた広面積レーザーの理論」(量子電子工学IEEE会報、34巻、第11号、1998年、11月)は、ストライプと回折格子が劈開ファセットから相当角度、方向がずれるように、利得ストライプに平行に永久的に埋め込まれた回折格子を有する広面積利得ストライプを備えている、いわゆる角度の付いた回折格子による分布フィードバックレーザー(-DFB)について記載している。記載されている-DFBは、フィードバックと選択式空間フィルタリングの両方を提供して、単一の空間モード振動を強化する。

20

【0008】

しかしながら、回折格子を埋め込んだレーザーダイオードを製作するのは難しく、経費も掛かることが、上記先行技術によるシステムの欠点である。更に、熱効果がレーザーの配列に影響を与え、従って安定した長期運転に繋がらないことも、このシステムの欠点である。

【0009】

【非特許文献1】C. Chang-Hasnain、D. F. Welch、D. R. Scifres、J. R. Whinnery、A. Dienes、R. D. Burnham、「孔あき漸変指標外部空洞におけるダイオードレーザーアレイからの回折制限放出」応用物理レター、49、614-616頁、1986年

30

【非特許文献2】Robert J. Lang、K. Dzurko、Amos A. Hardy、Scott Demard、Alexander Schoenfelder、David F. Welch「回折格子で閉じ込められた広面積レーザーの理論」量子電子工学IEEE会報、34巻、第11号、1998年、11月

【非特許文献3】W. J. Kozlovsky、W. P. Risk、W. Lenth、B. G. Kim、G. L. Bona、H. Jaeckel、D. J. Webb「拡張空洞ダイオードレーザーの共振器強化周波数二倍化による青色光生成」応用物理レター65、525-527頁、1994年

40

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記及び他の問題点は、本発明によるダイオードレーザーシステムにより解決することができ、前記システムは、

数多くの空間光分布の空間モードを増幅するための増幅媒体を含んでいるダイオード増幅器と、

増幅媒体の少なくとも一部を含んでいるレーザー空洞を形成する数多くの受動反射部材であって、前記各受動反射部材は、作動中には、光を少なくとも部分的には増幅媒体内へ

50

と反射するようになっている、受動反射部材と、を備えており

前記数多くの受動反射部材の内の少なくとも第1及び第2受動反射部材は、互いに平行ではなく、少なくとも各第1及び第2光ビームが、増幅媒体中を対応する第1及び第2方向に伝播するようにし、前記第1及び第2方向が両者の間の所定の角度を画定し、前記第1及び第2光ビームが、作動中には、増幅媒体内に動的利得及び屈折率回折格子を誘導するようにし、

前記所定の角度は、動的利得及び屈折率回折格子が前記空間モードの内の1つを選択的に回折し、前記空間光分布の残りの空間モードの少なくとも一部を抑制するほど大きく選択され、且つ前記所定の角度は、動的利得及び屈折率回折格子が増幅媒体の特性拡散長より大きいフリンジ間隔を有するほど小さく選択される、システムである。

10

【0011】

増幅媒体内に誘導される動的回折格子は、電荷搬送波密度が周期的に変化するために媒体の利得と屈折率が周期的に変化することによって生じる。これらの変化は、増幅媒体内のレーザービームの干渉によって誘導される。この動的回折格子の結果、レーザービームは、回折格子に対する方向次第で半導体の内側で回折される。このように、伝播に好適な方向、いわゆる導波効果がもたらされて、線条化の有害な影響を排除する。これは、誘導された回折格子により導入される非線形性が、線条化を引き起こす自己合焦の非線形性を抑制することによる。従って、本発明によれば、従来型の広面積レーザーダイオードの品質は、大幅に改良され、経費的にも有利で、非常に良好なビーム特性を有する高出力のレーザーシステムが提供される。

20

【0012】

所定の角度は、動的利得及び屈折率回折格子が前記空間モードの内の1つを選択的に回折し、前記空間光分布の残りの空間モードの少なくとも一部を抑制するほど大きく選択される。誘導された回折格子は、反射鏡からのフィードバックにより1つのモードに対して高い回折効率と選択性を有するよう自動的に最適化されるので、空間及び時間フィルターが無くても、誘導された動的回折格子の角度及び波長の選択性によって、高い空間及び時間コヒーレンスを有する出力ビームが生成される。他の全てのモードは、誘導された回折格子によって抑制される。

【0013】

増幅媒体は、所定の屈折率 n を有しており、レーザー光は、所定の真空波長 λ を有しており、ダイオード増幅器は、ダイオード増幅器の互いに反対側に2つの端部ファセットを備えていて、両端部ファセットは距離 L だけ離れており、前記角度は、以下の式によって定められる最小角度 θ_{crit} よりも大きくなるように選択されている場合、

30

$$\theta_{crit} = \sqrt{\frac{2n\lambda}{L}}$$

誘導された回折格子は、異なる軸方向モードを効果的に抑制して、ビーム入射をブラッグ角度で選択的に回折するので、特に選択性が強い。

【0014】

更に、所定の角度は、対応するフリンジ間隔が、増幅媒体の特性拡散長より大きくなるように選択される。フリンジ間隔が増幅媒体の特性拡散長より大きい場合、増幅媒体内に強力な回折格子、即ち大きい振幅を有する回折格子が作られる。好都合に、前記角度は、動的回折格子の振幅を最大にするように選択される。或る実施形態では、増幅媒体は所定の搬送波寿命と所定の両極性拡散率を有し、レーザー光は所定の真空波長を有しており、前記角度は、前記真空波長を 2 で除し、所定の搬送波寿命の平方根を乗じ、両極性拡散率を乗じることにより得られる最大角度より小さくなるように選択されるので、搬送波の再結合及び拡散によって誘導される回折格子の崩壊を避けることができる。

40

【0015】

レーザーダイオードのファセットにおける強度が、広いストライプを使用することによって、そしてファセットに亘る均一な強度分布によって低減され、それによって熱ロール

50

オーバーの危険性が低減されることは、本発明の利点である。

【0016】

更に、振動周波数は空洞の長さとは無関係なので、振動と温度の変動に対して頑強な短い空洞を備えた小型レーザーシステムを作ることができる。

【0017】

アクティブ媒体内のレーザー誘導回折格子のため、空間モードの内の1つ、即ちブラッグの条件が満たされている空間モードだけが選択され、同時に他のモードが効果的に抑制されることが、本発明の更なる利点である。このことは、レーザーシステムの空間コヒーレンスの大幅な改良に繋がっている。

【0018】

更に、動的回折格子は、1つ又は複数の時間モードを更に選択することもできる。

【0019】

更に、他のモードによるノイズは、動的に誘導された回折格子によって抑制されるので、信号対雑音比が改善される。

【0020】

先行技術による永久回折格子に比べて、動的回折格子は、小さな変化に自動的に適応するので、回折プロセスが常時最適化されることも、本発明の更なる利点である。従って、長期間高度に安定したレーザーシステムが提供される。

【0021】

低コストで製造できるレーザーシステムを提供することも、本発明の更に別の利点である。

【0022】

誘導回折格子のため、例えば1つの長手方向モードのような狭い周波数スペクトルが回折格子によって選択されるので、放出されるレーザービームのコヒーレンス長が相当に長くなることも、本発明の更に別の利点である。

【0023】

本発明は受動反射部材を使用しているので、外部ポンプレーザーを必要としない自己誘導式の利得及び屈折率回折格子が提供されることも、本発明の更に別の利点である。従って、本発明は、高品質の出力ビームを提供する高出力レーザーの簡単で小型の装置を実現している。更に、本発明は、安価なレーザーの構築を実現している。

【0024】

本ダイオード増幅器は、広い横方向利得面積、即ち一般的な単一モードレーザーの面積、即ち3 - 5 μm よりも大きい光放出面積を有するレーザー光に増幅媒体を提供する適切な材料を備えている。そのようなダイオード増幅器の例には、望ましくは大きなストライプ幅を有する広面積レーザーダイオードのような広い面積の増幅器が含まれる。増幅媒体として用いられる半導体ダイオード材料の例には、限定するわけではないが、630 - 690 nmの領域でレーザー光を放射するInGaAlP、780 - 870 nmの領域でレーザー光を放射するGaAlAs、900 - 1020 nmの領域でレーザー光を放射するInGaAs、1500 - 2100 nmの領域でレーザー光を放射するInGaAsPがある。

【0025】

このように、本発明によれば、ストライプ幅が200 μm より大きくても、高い空間及び時間コヒーレンスを有する高出力レーザーシステムが提供される。従って、本発明の或る好適な実施形態では、横方向利得面積の幅が、200 μm より大きく、更に望ましくは300 μm より大きく、最も望ましくは500 μm より大きく、これによって、ファセットにおける強度を増すことなく全体出力を増大できるので、高出力を得ることができる。例えば、ストライプ幅を、300 μm と2000 μm 又はそれ以上の間にあるように選択できる。或る実施形態では、ストライプ幅は1000 μm と1500 μm の間にある。

【0026】

或る好適な実施形態では、増幅媒体は所定の屈折率を有しており、レーザー光は所定の

10

20

30

40

50

真空波長を有しており、誘導された利得及び屈折率回折格子は所定のフリンジ間隔を有しており、ダイオード増幅器は、ダイオード増幅器の互いに反対側に2つの端部ファセットを備えており、両端部ファセットは、前記屈折率に前記フリンジ間隔を乗じ、二乗し、前記真空波長で除した値より大きな距離だけ離れており、更には、前記屈折率に前記フリンジ間隔を乗じ、二乗し、前記真空波長で除した値の2倍より大きな距離だけ離れているのが望ましい。増幅媒体の長さ、即ち、レーザーダイオードの両端部ファセット間の距離が十分に長ければ、誘導された回折格子は、望ましくない空間モードを特に効果的に抑制し、即ち単一の空間モードを効率的に選択する。

【0027】

本発明の別の好適な実施形態では、受動反射部材は、反対方向に伝播する光ビームの第1及び第2の対を発生させ、前記第1対の光ビームは、増幅媒体の内側を第1方向に沿って伝播し、前記第2対の光ビームは、増幅媒体の内側を、前記第1方向に対して所定の角度を有する第2方向に沿って伝播し、前記光ビームの第1及び第2の対は、四波混合プロセスによって利得及び屈折率回折格子を誘導する。結果的に、前記利得及び屈折率回折格子が四波混合プロセスによって誘導され、強力な動的な回折格子が効率的に生成される。このプロセスで、回折格子は、4つの光ビームの非線形相互作用によって増幅媒体内に誘導される。誘導された回折格子のフリンジ間隔は、相互作用する光ビーム間の角度によって決まる。

10

【0028】

ダイオード増幅器は、GaAlAsレーザーダイオードを備えており、その両端部ファセットは、例えば3から3mmのように、0.5mmから4mmの距離だけ離れていて、810nmの波長に対応しているのが望ましく、前記角度は、1度から10度の間に、望ましくは4度から7度の間に、最も望ましくは4.2度から6.5度の間にるように選択されている。市販されている多くのレーザーダイオードは、長手方向、即ち放出されるレーザービームの方向の寸法が1mm又は2mmである。しかしながら、本発明によれば、長手方向寸法が例えば5mm又はそれ以上の厚いレーザーダイオードを使用して、モード抑制の効率を上げることができる。

20

【0029】

本発明の別の好適な実施形態では、前記数多くの反射部材の内の少なくとも第1反射部材は、増幅器部材の外側に配置されており、レーザーシステムは、第1反射部材と増幅器部材の間に配置されている空間フィルターを更に備えている。前記空間フィルターは、第1及び第2の光ビームの対の内の対応する光ビームの内の1つの空間モードの一部を抑制するようになっていたのが望ましい。その結果として、空間フィルターは、単一の空間モードをより効率的に選択し、それによって出力ビームの品質を更に改良するようになっていた。本発明の別の好適な実施形態では、前記数多くの反射部材の内の少なくとも第1の反射部材は、増幅器部材の外側に配置されており、レーザーシステムは、第1反射部材と増幅器部材の間に配置されている周波数フィルターを更に備えており、前記周波数フィルターは、前記第1及び第2対の光ビームの対の内の対応する光ビームの内の1つのスペクトル帯域幅を減じ、それによって四波混合プロセスの効率を高める。

30

【0030】

本発明の別の好適な実施形態では、受動反射部材の内の少なくとも1つは、ダイオード増幅器内に埋め込まれた永久回折格子である。回折格子は、電子ビームリソグラフィ、UV誘導ホログラフィ、エッチング又はフォトレジストの使用のような何れかの既知技術によって作ることができる。この実施形態の利点は、全構成要素が単一の広面積ダイオード内に埋め込まれた非常に小型のレーザーシステムを提供することである。更に、この実施形態では、外部レンズ、反射鏡、フィルターなどのような外部構成要素を調整する必要がないので、大量生産に非常に適したレーザーシステムを提供することができる。以下、この実施形態を一体構成と呼ぶ。

40

【0031】

本発明の別の好適な実施形態によれば、

50

ダイオード増幅器は、ダイオード増幅器の互いに反対側に前方ファセットと後方ファセットを備えており、各ファセットは、反射防止コーティングで被覆されており、

反射部材の内の第1及び第2反射部材は、後方及び前方ファセットに対応する増幅媒体の互いに反対側に配置されており、前記第1及び第2反射部材は、レーザー空洞を形成し、第1の反対方向に伝播する光ビームの対を生成し、

第3反射部材は、前方ファセットに対応する増幅媒体の一方の側に配置されており、前記第3反射部材は、第2の反対方向に伝播する光ビームの対の内の一方を、増幅媒体内へと反射して戻し、第2の反対方向に伝播する光ビームの対は、増幅部材の外側で、前方及び後方ファセットに対して所定の入射角度で伝播する。

【0032】

2つのポンプビーム、即ち、第1の反対方向に伝播するビームの対は、強力で、実質的に等しい強さなので、特に効率的な四波混合プロセスを提供することが、この実施形態の利点である。

【0033】

反射防止コーティングは、10%未満の反射率を提供するのが望ましく、4%未満であるのが更に望ましく、1%未満であるのが更に望ましく、0.5%未満であるのが最も望ましい。

【0034】

本発明の別の好適な実施形態によれば、

ダイオード増幅器は、ダイオード増幅器の互いに反対側に前方ファセットと後方ファセットを備えており、前記前方ファセットは低反射率コーティングで被覆されており、

反射部材の内の第1反射部材は、前方ファセットに対応する増幅媒体の一方の側に配置されており、前記第1反射部材は、第1の反対方向に伝播する光ビームの対の内の一方を、前方及び後方ファセットに対して所定の入射角度で増幅媒体内へと反射して戻し、

数多くの反射部材の内の第2反射部材は、ダイオード増幅器の後方ファセットであり、後方ファセットは、第1の反対方向に伝播する光ビームの対の内の入射ビームを反射し、入射角度に相当する放出角度で放出されるレーザーシステムの出力ビームを形成する。

【0035】

既知の外部フィードバック連結空洞レーザーが悩まされている出力と周波数の不安定さを回避できることも、本発明の別の利点である。本レーザーシステムは、連結空洞効果に基づくのではなく、出力連結器としてダイオード増幅器内で四波混合格子を使用しているので、頑強であることが本発明の更なる利点である。更に、市販されている多くの広面積ダイオードは、特に指定がなければ、高反射性の後方ファセットと低反射率コーティングを施した前方ファセット付で製造されているので、この実施形態にはこれらの標準的なダイオードを用いることができ、レーザーシステムのコストを低減することができる。更に、小型であることもこの実施形態の利点である。

【0036】

低反射率コーティングは、反射率が10%未満であるのが望ましく、4%未満であれば更に望ましく、1%未満であれば更に望ましく、0.5%未満であるのが最も望ましい。

【0037】

低反射率コーティングの反射率が低ければ、増幅媒体の内側の光ビームの内の一方の全反射が、四波混合プロセスに寄与する反射されたビームを作り出す。或る実施形態では、低反射率コーティングは、0.1%から0.5%の反射率を提供するように選択される。

【0038】

本発明の更に別の好適な実施形態では、第1反射部材は、ダイオード増幅器の前方ファセットであり、前方ファセットは、後方ファセットに対して所定の傾斜角度だけ傾斜しており、前方ファセットは、前方ファセットに対して垂直な軸に対してゼロ度の入射角度を有する光ビームには、傾斜角度に対応する入射角度を有する光ビームの反射係数よりも高い反射係数を提供するコーティングで被覆されている。従って、全構成要素が単一の広面積ダイオード内に埋め込まれている非常に小型のレーザーシステムを提供できることが、

10

20

30

40

50

この実施形態の利点である。更に、この実施形態は、外部反射鏡、フィルターなどの外側構成要素を調整する必要がないので、大量生産に非常に適したレーザーシステムとなっている。コーティングは、当該技術分野では既知の誘電性多重層コーティング又は何れかの適切なコーティングであればよく、高い角度選択性を提供するのが望ましい。

【0039】

本発明の更に別の実施形態によれば、本システムは、更に、周波数変換部材を備えている。周波数変換部材という用語は、周波数変換部材に入射する光ビームの内の少なくとも一部の光ビームの周波数を変換するための、周波数二倍器、光学パラメーター発振器などを含んでいる。従って、レーザーシステムの出力光ビームは、選択された波長を有して提供される。例えば、レーザーシステムは、コヒーレント光ビームの波長が、入射光ビームの波長の半分と実質的に等しくなるように、入射光ビームの内の少なくとも一部の光ビームの周波数を二倍化するための周波数二倍器を更に備えている。

10

【0040】

医療、光学記憶装置、印刷及び情報技術に関する多くの新規開発分野において、青及び紫のスペクトルの部分に、強力なレーザー光が必要とされている。青及び紫色の光は、一般的に、長波長レーザーからの出力の周波数を二倍化することによって作られる。しかしながら、これを効率的に行うには、普通はパルス状レーザー又は高出力CWレーザーからしか得られない高い強度が必要である。

【0041】

従って、これまで青及び紫色の光の主要な供給源は、二次調波発生及び和周波数非変換を使用するNd:YAGレーザーであった。しかしながら、Nd:YAGレーザーに替わる高出力レーザーダイオードは、嵩張る電源、水冷装置などを必要としない小さくコンパクトなレーザーシステムを提供するので、相当な利点を有している。

20

【0042】

幾つかの研究チームが、ダイオードレーザーによる二次調波発生について研究している（例えば、W. J. Kozlovsky、W. P. Risk、W. Lenth、B. G. Kim、G. L. Bona、H. Jaeckel、D. J. Webbによる「拡張空洞ダイオードレーザーの共振器強化周波数二倍化による青色光生成」応用物理レター65、525-527頁(1994年)）。しかしながら、単一の赤外線レーザーダイオードから得られる出力は低いため、発生する周波数二倍化出力の有用性が制限される。

30

【0043】

レーザーダイオードアレイは、遙かに高い出力を提供することができる。しかしながら、先に述べたように、既知のレーザーダイオードアレイは、空間及び時間コヒーレンスが低いという欠点のために、周波数二倍化が低出力に制限されている。

【0044】

本発明によれば、自己誘導型動的四波混合回折格子を備えたレーザーダイオードは、遙かに良い空間及び時間コヒーレンスを有する出力ビームを生み出し、従って、周波数二倍化に基づく高出力青色レーザーに特に良く適している。

【0045】

或る好適な実施形態では、本システムは、ダイオード増幅器内に前記出力ビームを反射して戻すようになっている第3反射部材と、第1反射部材とダイオード増幅器の間に配置されている周波数変換部材とを更に備えている。この様に、出力ビームがダイオード増幅器へと反射して戻されるので、第1反射部材によって画定される空洞内の強度がダイオード増幅器内の四波混合プロセスにより増し、良好な空間及び時間コヒーレンスを有する高出力ビームを周波数二倍器への入力として提供することができる。

40

【0046】

本発明は、上記及び以下に説明するシステム、そのようなシステムを調整する方法、更には製造手段を含む様々な方法で実施することができ、そのそれぞれが、第1の先に述べたシステムと関連付けて説明した1つ又は複数の利益及び利点を生み、それぞれが、第1の先に述べたシステムと関連付けて説明し、従属請求項で開示している好適な実施形態に

50

対応する1つ又は複数の好適な実施形態を有している。

【0047】

以下、本発明を、好適な実施形態に関連付け、添付図面を参照しながら更に詳しく説明する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0048】

図2a - bは、本発明の第1の実施形態によるレーザーシステムの例を概略的に示している。図2aに示すように、この実施形態によるレーザーシステムは、例えば図1a - bに示している広面積ダイオードのような広面積ダイオード増幅器100と、3つの反射鏡M₁、M₂及びM₃を備えている。反射鏡は、例えば0.3から1の反射率を有する従来型の平面鏡でも、凹面鏡でもよい。反射鏡の代わりに、回折格子や、何らかの他の適切な反射部材を使用してもよい。或る実施形態では、広面積ダイオードは、808nmの波長を有するGaAlAsダイオードである。広面積ダイオード100は、200μm以上、例えば500μmのストライプ幅を有し、前及び後のファセット面102及び103は、望ましくは10⁻⁴未満の反射率を有する結晶反射防止コーティングで被覆されているのが望ましい。ダイオード100に電流を掛け、その電流がダイオードの臨界電流I_{th}より高い場合、レーザーダイオードは、レーザービームを放出する。しかしながら、掛ける電流が臨界電流より少なくても、半導体材料は、それを通して伝播する光ビームの増幅媒体として作用する。反射鏡M₁及びM₂は、光学軸201を画定する空洞を作り、その内側にダイオード100が在るように、ダイオードの互いに反対側に配置されている。従って、反射鏡M₁とM₂は、増幅媒体から光学軸201に沿って放出される光を、その光学軸201に沿ってダイオード100の中に反射し戻し、それにより、一对の逆方向に伝播する波A₁及びA₂それぞれを増幅媒体内に生成する。端部ファセット102及び103上の反射防止コーティングによって、半導体の2つの端部ファセットの間の振動によるレーザーの動作が回避されるので、レーザーの空洞は、反射鏡M₁及びM₂によって画定される。反射鏡M₃は、法線ベクトルが光学軸201と角度θを成すように、即ち、光学軸201に対して角度θ'で放出された光を同じ角度θ'でダイオード100の増幅媒体内に反射し戻すように配置されている。従って、増幅媒体内を反射鏡M₃に向かって伝播する波A₄は、増幅媒体の内側の対応する波A₃として反射される。なお、増幅媒体の内側では、波A₃及びA₄は、光学軸に対して角度θ'で伝播し、ここに、θとθ'は、増幅媒体の屈折率nを介して、ファセット102における屈折により、sinθ = n sinθ'に従って関係付けられる。角度θは、例えば1ないし15度のように小さいのが望ましい。更に付け加えれば、大部分の増幅材料において、θとθ'の差は、図2aの概略図に示しているよりも大きい。4つの波A_i (i = 1, ..., 4)は、利得と屈折率回折格子202が、A₁とA₄の間、及びA₂とA₃の間それぞれの干渉によって誘導されるように、ダイオードレーザー利得媒体の内側で相互作用する。2つのビームは、ダイオードレーザーのストライプ領域内で干渉するとき、媒体内の搬送波密度の動的変調と、その結果、媒体の光学的特性、即ち、屈折率、吸収係数などの変調を引き起こす。従って、干渉は、動的利得及び屈折率回折格子202を発生させ、それが、増幅媒体内の波を屈折させる。出力レーザービーム203は、レンズシステム209によってレーザーダイオード100の後方ファセット103

10

20

30

40

【0049】

本システムは、更に、反射鏡M₁及びM₂によって画定される空洞の内側の、ダイオード

50

増幅器 100 の各側に配置されている光学レンズシステム 206 - 207 と、ダイオード 100 と反射鏡 M₃ の間に配置されているレンズシステム 208 とを備えている。レンズシステム 206 - 207 の目的は、光学的歪み無しにダイオード増幅器からの光線 A₁、...、A₄ それぞれの適切な入力及び出力の結合が確実に行われるようにすることである。各レンズシステムは、各レーザービームを低速軸に沿ってコリメートためのレンズと、ビームを高速軸に沿ってコリメートするためのレンズを備えているのが望ましい。しかしながら、例えば、3つ以上のレンズを備えたレンズシステムのような、レーザーダイオードからのレーザービームを出力結合するための他の既知のレンズシステムを使用することもできる。強力で効果的な回折格子 202 を提供するためには、レーザービームの光学的歪みを低減し、それによって、反対方向に伝播する波の対それぞれが、確実に、反対方向に伝播する対応する波を備えているようにする高品質のレンズを使用するのが望ましい。ダイオード 100 と反射鏡 M₁、M₂ 及び M₃ との間の距離は、それぞれ、レンズシステム 206 - 208 によって決まる。マクロ光学レンズシステムの場合、或る実施形態では、距離は 10 - 40 cm である。ミクロ光学レンズシステムの場合、或る実施形態では、距離は 0.5 - 10 cm である。反射鏡とダイオードの距離は、できる限り短くなるように選択し、レーザーシステムを小型にするのが望ましい。

10

【0050】

ダイオード 100 の利得媒体の内側で、四波は、エネルギーと位相を交換し、その利得と屈折率は、半導体媒体の非線形性のため、相互作用する光線の最終的な空間的強度分布で決まる。四波 A₁ - A₄ の間のエネルギーと位相の交換は、以下の 4 つの連成波動方程式で決定され、

20

$$\frac{dA_1}{dz} = -\alpha_0 A_1 - \gamma(A_1 A_4^* + A_2^* A_3) A_4$$

(1A)

$$\frac{dA_2^*}{dz} = +\alpha_0 A_2^* - \gamma(A_1 A_4^* + A_2^* A_3) A_3^*$$

(1B)

$$\frac{dA_3}{dz} = +\alpha_0 A_3 + \gamma(A_1 A_4^* + A_2^* A_3) A_2$$

(1C)

30

$$\frac{dA_4^*}{dz} = -\alpha_0 A_4^* + \gamma(A_1 A_4^* + A_2^* A_3) A_1^*$$

(1D)

ここに、 α_0 は媒体の有効利得であり、 γ は、混合プロセスによる 4 つのビーム間の位相とエネルギーの交換の効率を示すパラメータである。 γ の大きさは、活発な半導体材料の非線形の感受性⁽³⁾によって決まる。アスタリスク(*)は、複素共役を示している。半導体の利得は、掛けられている電界との有効 p n 接合から生まれる。式(1)で、右辺の第 1 項 $\alpha_0 A_i$ は半導体材料の有効利得に相当し、第 2 項 $(A_1 A_4^* + A_2^* A_3) A_i$ は 4 つのビーム間の位相とエネルギーの交換を記述している。式(1)は、4 つの相互に作用するビームの強度分布を計算するのに用いられる。式(1)では、透過型回折格子として知られている 2 つの四波混合回折格子だけが支配的であると想定している。この透過型回折格子の構成では、透過型回折格子の一方は、ビーム A₁ と A₄ の間の干渉から発生し、他方はビーム A₂ と A₃ の間の干渉から発生する。2 つの透過型回折格子は、同じ格子ベクトルを有しており、可干渉的に加算される。式(1)において、波 A₂ と A₄ の間の干渉、及び波 A₁ と A₃ の間の干渉からの寄与は、縞の間隔が小さく、拡散によって洗い流されるので、無視される。

40

50

【 0 0 5 1 】

上記現象は、四波混合 (F W M) として知られている。図 2 a の四つの相互作用するビームは、反射鏡 M_1 、 M_2 及び M_3 の反射によって生成されるので、全てのビームが実質的に同じ周波数を有している。この状況での混合プロセスは、縮退四波混合 (D F W M) と呼ばれている。相互作用する光線の間周波数に僅かな差がある場合、混合プロセスは、近似縮退四波混合 (N D F W M) と呼ばれる。そのような四波混合の現象は既知である。例えば、P . K u r z、R . N a g a r 及び T . M u k a i による「広面積ダイオード内で空間的非縮退四波混合を使用した高効率共役」(応用物理レター 6 8、1 1 8 0 - 1 1 8 2 頁、1 9 9 6 年) から、四波混合プロセスを位相共役反射鏡として用いることが知られており、そこでは、強力な外部ポンプビーム A_1 及び弱い外部プローブビーム A_3 が、反射後方ファセットを有する広面積ダイオードに注入される。ポンプビームは、ダイオードの前方ファセットに対し垂直に注入され、プローブビームは、ポンプビームに対して或る角度で注入される。この構成では、後方ファセットで反射されたポンプビーム A_1 は、 A_1 と A_4 の干渉によって作り出された回折格子によって偏向される。偏向されたビームは、入射プローブビームと反対方向に伝播する共役信号ビーム A_4 を生成する。P . K u r z らにより説明されている強力なポンプビームを備えた四波混合構成は、1 より遙かに大きい反射係数 $R_{D F W M} = | A_4 (L) | ^2 / | A_3 (L) | ^2$ を作り出す。結果的に、この非線形反射鏡は、レーザービームの増幅に繋がり、空洞内でレーザー作用が発生する。

10

【 0 0 5 2 】

従って、先に述べた先行技術の構成では、四波混合は、それぞれに強力なポンプビーム A_1 及び A_2 と、弱いプローブ及び信号ビーム A_3 及び A_4 、それぞれの間で起こる。

20

【 0 0 5 3 】

先に述べた先行技術のシステムは、位相共役反射鏡としての四波混合プロセスの使用に関心を持っているだけだが、本発明は、四波混合プロセスを利用して、良好なコヒーレンス特性を有する強力な出力ビームを生成する大きな横方向利得面積を備えているダイオード増幅器を含む改良型の高出力レーザーシステムを提供する。更に、先に述べた先行技術の構成とは対照的に、本発明による四波混合は、自己ポンプ式構成に使用される。図 2 a の実施形態では、四波混合プロセスに必要な 2 つのポンプビームは、 M_1 及び M_2 によって形成される空洞内で、即ち、外部ポンプビーム無しに作られるので、簡単で安価な構成となる。更に、反射鏡 M_3 は、反射鏡 M_3 を一方の空洞反射鏡とし、半導体増幅器内の四波混合プロセスを他方の空洞反射鏡とするレーザー空洞を確立するのに用いられる。本発明によれば、増幅している半導体内に強力なポンプビームが作られるので、半導体増幅器は、 $R_{D F W M}$ が 1 単位より大きい自己ポンプ式四波混合を提供する。

30

【 0 0 5 4 】

本発明によれば、レーザーダイオードの長手方向の寸法、即ち 2 つのファセット 1 0 2 と 1 0 3 の間の距離と、角度 θ が、利得と屈折率回折格子の特性に影響を及ぼす。

【 0 0 5 5 】

図 3 a では、誘導回折格子の回折効率は、三次の非線形感受性 $\chi^{(3)}$ の大きさによって与えられ、この感受性は、図 3 a に示すように角度 θ に依存する。この非線形の感受性の物理的根源は、下記速度方程式で表される搬送波が生成されるからであり (例えば、M . L u c e n t e、J . G . F u j i m o t o 及び G . M . C a r t e r による応用物理、レター 5 3、1 8 9 7 - 1 8 9 9 頁、1 9 8 8 年、参照)、

40

$$\frac{dN}{dt} = R - \frac{N}{\tau_R} + D_a \nabla^2 N - g(N) |E_T|^2$$

(2)

ここに、 N は励起された搬送波の母集団、 R はポンピング速度、 τ_R は搬送波の寿命、 D_a は両極性拡散率、 $g(N)$ は搬送波密度依存利得、 E_T は合計光学電界である。

【 0 0 5 6 】

低光学的出力の限界では、方程式 (2) は容易に解け、搬送波の有効寿命を与え、

50

$$\tau_{eff} = \frac{1}{\frac{1}{\tau_R} + k^2 \theta^2 D_a}$$

(3)

ここに、 $k = 2 / \lambda$ は伝播定数、 λ は真空波長である。高出力の場合、搬送波の有効寿命 τ_{eff} は、式 3 で与えられる値より小さくなる (D . Z h u、S . D u b o v i t s k y、W . S t e i e r、K . U p p a l、D . T i s h i n i n、J . B u r g e r 及び P . D a p k u s による、応用物理レター . 7 0、2 0 8 2 - 2 0 8 4 頁、1 9 9 7 年、参照)。三次の感受性は、我々が得た母集団の寿命に正比例するので、

10

$$\chi^{(3)} = \frac{\chi_{max}^{(3)}}{1 + k^2 \theta^2 D_a \tau_R}$$

(4)

であり、ここに、 $\chi^{(3)}$ は、 $\theta = 0$ における非線形感受性の最適値である。この三次の非線形の感受性が、回折格子の強さを決める。式 (4) から計算された搬送波の再結合及び拡散による誘導回折格子の崩壊を図 3 a に示している。式 (4) は、誘導回折格子における最大振幅は角度が小さい場合に得られ、

$$\theta_{1/2} = \frac{1}{k \sqrt{D_a \tau_R}}$$

20

(5)

に相当する角度で最大時の半分に減少することを示している。従って、アクティブな半導体の内側で強力な非線形の四波混合相互作用が必要な場合は、角度 θ は $\theta_{1/2}$ よりも小さくしなければならない。図 3 a の三次の非線形の感受性は、干渉し合っているレーザービーム間の角度 θ に対してプロットされている。図 3 a で、角度は、 $(k (D_a \tau_R))^{-1/2}$ の単位で測定されている。例えば、G a A l A s の場合、パラメータは、 $D a = 1 3 \text{ cm}^2 / \text{s}$ であり (J . B u u s 及び M . D a n i e l s e n、Q E の I E E E ジャーナル、Q E 1 3、6 6 9 - 6 7 4 頁、1 9 7 7 年)、 $\tau_R = 1 \text{ ns}$ であるので、結果的に、我々は、 $8 1 0 \text{ nm}$ で、 $\theta_{1/2} = 6 . 5 ^\circ$ を得る。しかしながら、搬送波の寿命は強度に依存するので、この値は、出力レベルが高い場合に増大する。アクティブな半導体レーザーの内側では、出力ビームは、 $\chi^{(3)}$ で記述される媒体の非線形特性とレーザービームとの間の相互作用の結果なので、 $\chi^{(3)}$ は、高出力ビームを得るために、最適化されなければならない。

30

【 0 0 5 7 】

図 2 に戻るが、出力ビーム 2 0 3 は、半導体増幅器 1 0 0 の内側の誘導回折格子 2 0 2 内における回折の結果である。半導体内側の回折角度 θ' は、 $\sin \theta' = \lambda / (n \Lambda)$ で与えられる。媒体の一端において誘導回折格子によって回折されたビームは、媒体の他端で回折されたビームに対して位相が進む。角度が小さい場合、増幅器の前方ファセット 1 0 2 と後方ファセット 1 0 3 で回折された波の間の位相差は、

40

$$\delta = 2 n L / \lambda - 2 n L \cos \theta' / \lambda = 2 n L (1 - \cos \theta') / \lambda \quad (6)$$

で与えられる。 $1 - \cos \theta' = 2 \sin^2 (\theta' / 2)$ で、 $n \sin \theta' = \sin \theta$ なので、角度 θ が小さい場合、

$$\delta = \frac{\pi L}{n \lambda} \theta^2$$

(7)

であり、ここに、 θ は、自由空間における回折角度であり、反射鏡 M_3 の方位によって制御される、ダイオード増幅器の外側での A_1 と A_4 の間の角度と同じである。

【 0 0 5 8 】

50

なお、上記議論では、回折格子が、レーザーダイオードの実質的に長手方向全長に亘って伸張しており、即ち光学軸 201 の方向における回折格子の幅が、レーザーダイオードの幅 L と実質的に等しいと想定している。或る別の実施形態で、誘導回折格子を有するアクティブな領域がダイオードの全幅に亘って伸張していない場合、上記式では、ダイオードの幅 L の代わりに回折格子の実際の幅が用いられることになっている。

【0059】

位相差 ϕ が小さい場合、回折格子の異なる領域で回折されるビームは、構造的に干渉する。しかしながら、位相が大きい場合、破壊的な干渉が起こるので、ブラッグ条件を満たさない空間レーザーモードを効率的に抑制する。特に、位相差 ϕ が 2π より大きい場合、ブラッグ角度で入射するビームだけが回折ビームになり、他の全レーザーモードを効果的に抑制する。一方、 ϕ が 1 よりかなり小さい場合、全てのレーザーモードは、格子内で殆ど同じ効率で回折される。従って、 ϕ は、モード抑制要因の役目を果たす。実際、広面積増幅器内の異なる軸方向モードを効果的に抑制するためには、 ϕ が実質的に 2π より大きくなければならない。なお、位相差 ϕ は、レーザーダイオードの長さ L に依存する。従って、望ましくないモードのモード抑制は、特に長いダイオードで効率的である。

【0060】

図 3 b では、1 mm 長さの増幅器について、モード抑制因子と角度 θ の関係を示している。この場合、約 4° 以上の角度では、効果的な抑制が得られる。モード抑制が起こる臨界角度は、増幅器の長さ L に依存し、

$$\theta_{crit} = \sqrt{\frac{2n\lambda}{L}}$$

(8)

で求められ、我々は式 (7) に $n = 2$ を挿入した。GaAlAs の場合、 $L = 1 \text{ mm}$ 、 $n = 3.4$ 、 $\lambda = 810 \text{ nm}$ を挿入すると、 $\theta_{crit} = 4.2^\circ$ となる。従って、この例では、良好なモード抑制を有するためには、角度は、 4.2° より大きくなければならないが、同時に、半導体内に強力な回折格子を有するには、 $\theta_{1/2} = 6.5^\circ$ 未満でなければならない。

【0061】

従って、望ましくなく空間モードを効率的に抑制するためには、レーザーダイオードの厚さは、上記パラメーター ϕ が、 1 より十分大きく、望ましくは 2π より大きくなるように選択しなければならない。

【0062】

一般的に、角度 θ 、即ち動的回折格子 202 を誘導するレーザービーム A_1 及び A_4 とビーム A_2 及び A_3 それぞれの間の角度の選択は、レーザーシステムの出力ビーム 203 のコヒーレンス特性に影響を及ぼす。上記のように、誘導回折格子の強さは、アクティブな媒体内でレーザービームによって誘導された搬送波密度の空間変動によって決まる。フリンジ間隔 Λ が、増幅している媒体の特性的拡散長さに近づけば、回折格子の強さは低下する。更に、上記のように、望ましくないモードの効率的抑制が確実に行われるようにするためには、角度は、十分に大きく選択しなければならない。従って、回折格子は強力で、同時に選択式であるのが望ましく、即ち、望ましくないモードを効率的に抑制しなければならない。本発明によれば、これは、角度 θ が、

$$\sqrt{\frac{2n\lambda}{L}} = \theta_{crit} < \theta < \theta_{1/2} = \frac{1}{k\sqrt{D_a\tau_R}}$$

(9)

に従って選択される場合に達成される。

【0063】

なお、図 3 a - b にそれぞれ示されているように、制限角度 θ_{crit} 及び $\theta_{1/2}$ は、 $\theta > \theta_{1/2}$ になるとすぐに回折格子が完全に消失するという点で、或いは $\theta < \theta_{crit}$ で、モー

10

20

30

40

50

ド抑制は完全に消滅するという点で厳格な制限ではない。従って、 θ は、 $k_1 \text{ crit} < \theta < k_2^{-1/2}$ に従って選択され、ここに $1 > k_1$ は適切に選択される定数で、 $k_1 > 0.5$ であれば望ましく、 $k_1 > 0.75$ であれば更に望ましく、 $k_1 = 1$ であれば最も望ましい。同様に、定数 $k_2 \geq 1$ は $k_2 < 2$ となるように選択されるのが望ましく、 $k_2 < 1.5$ であれば更に望ましく、 $k_2 = 1$ であれば最も望ましい。

【0064】

なお、選択されるモードは利得に依存しており、実際の利得は、角度 θ の増加関数である。従って、式(9)による好適な角度の実際の間隔は、大きい方の角度に向け僅かにずれている。

【0065】

また、式(9)によれば、レーザーシステムのパラメータは、 $\theta \text{ crit} < \theta < 1/2$ となるように選択しなければならない。特に、レーザーダイオードの長さ L は、十分に長く選択されるのが望ましい。

【0066】

また、角度 θ は小さいので、レンズシステム207と209は、個別のレンズシステムとして実体化してもよいし、単一のレンズシステムとして実体化してもよい。同様に、レンズシステム206と208も、個別のレンズシステムとして実体化してもよいし、単一のレンズシステムとして実体化してもよい。

【0067】

次に図2bは、図2aと関連付けて説明した、レーザーダイオード100と、反射部材 M_1 、 M_2 及び M_3 と、光学レンズシステム206-209とを備えているレーザーシステムに、更に、1つ又は複数の以下の構成要素を加えたものを示している。即ち、空間フィルター204が、反射鏡 M_1 及び M_2 で形成される空洞内に配置されている。例えば、空間フィルター204には、例えば、鋭いエッジを有する2つのブレードによって形成された狭いスリットが設けられている。空間フィルターの位置と開口は、調整できるのが望ましい。この空間フィルターの目的は、四波混合プロセスの効率を上げることである。空間フィルターは、スリットが、レーザーダイオードのストライプに対して横方向に配置され、単一の横方向モードを効率的に選択できるように調整されているのが望ましい。

【0068】

更に、例えばファブリー-ペローのエタロンのような周波数フィルター205を空洞内に配置してもよい。フィルター205の目的は、相互作用するレーザービームの相互のコヒーレンスを増大し、空洞ビームのスペクトルの帯域幅を低減して、四波混合プロセスの効率を強化することである。

【0069】

代わりに又は追加して、空間フィルター及び/又は周波数フィルターを、反射鏡 M_2 とダイオード100の間、及び/又は反射鏡 M_3 とダイオード100によって形成される空洞内に配置してもよい。

【0070】

なお、多くの用途で、できるだけ強い出力と、同時に高い空間及び時間コヒーレンスを実現することが重要である。従って、出力 $|A_3(0)|^2$ を最適化しなければならない。以下に、図2a-bの実施形態において、出力と、出力ビームの空間及び時間コヒーレンスを決定する多数のパラメータについて論じる。

【0071】

実際の出力レベルは、複数のパラメータと効果に依存する。ポンプビームは2つの反射鏡 M_1 と M_2 によって形成される空洞内で作られるので、2つのポンプビーム A_1 と A_2 の強度を最適化することによって高出力を実現することができる。2つの反射鏡 M_1 及び M_2 の反射率 R_1 及び R_2 は、それぞれ回折プロセス内のエネルギー伝達に影響を及ぼす。即ち、出力ビーム203を最適化するために、 R_1 及び R_2 は、実質的に1に等しくなるように選択されるのが望ましい。更に、反射鏡 M_3 の反射率 R_3 は、空洞内の強度を最適化するために使用される。 R_3 は、実質的に1に等しくなるように選択されるのが望ましい。

10

20

30

40

50

【0072】

先に述べたように、代わりに又は追加して、例えば、反射鏡 M_3 が部分的に透明の反射鏡であれば、出力ビームを反射鏡 M_3 で解放することもできる。この場合、最適化される出力は $|A_4(L)|^2(1-R_3)$ であり、 R_1 と R_2 は、実質的に1と等しくなるように選択されるので、高出力の出力ビームが M_3 で解放される。

【0073】

更に、半導体の利得は、ポンプビームの出力レベルを決定する。先に述べたように、最終的には、半導体利得材料の非線形感受性が、四波混合プロセスの効率を決定する。適切な半導体材料の例としては、限定するわけではないが、630-690nm領域でレーザー光を放射するInGaAlPと、780-870nm領域でレーザー光を放射するGaAlAsと、900-1020nm領域でレーザー光を放射するInGaAsと、1500-2100nm領域でレーザー光を放射するInGaAsPが挙げられる。

【0074】

図4a-bは、本発明の第2の実施形態によるレーザーシステムの例を概略的に示している。図4aでは、この実施形態によるレーザーシステムは、例えば図1a-bに示している広面積ダイオードのような広面積ダイオード増幅器100と、反射鏡402を備えている。反射鏡402は、従来型の平面鏡でも凹面鏡でもよい。反射鏡402の代わりに、回折格子を使用してもよいし、別の適切な反射部材を使用してもよい。 $\lambda = 810\text{nm}$ のGaAlAs広面積ダイオードのような広面積ダイオードは、例えば $500\mu\text{m}$ のような、 $200\mu\text{m}$ 以上のストライプ幅を有しており、前方ファセット102は、例えば0.2%から0.5%の間の $R < 10^{-2}$ の反射率を提供するのが望ましい低反射率コーティングで被覆されているのが望ましい。後方ファセット103は、例えば $R_1 > 0.98$ の反射率を有する高反射率コーティング406で被覆されているのが望ましい。ダイオード100に電流が加えられ、その電流が十分に高ければ、半導体材料は増幅媒体として作用する。本発明によれば、利得及び反射率格子202は、図2aと関連付けて説明したように、四波混合プロセスによって増幅媒体内に誘導される。動的な回折格子202は、二対の反対方向に伝播する波 A_1 及び A_2 と A_3 及び A_4 それぞれの四波混合プロセスによって誘導され、これについては、対応する上記式(1A)-(1D)によって説明できる。反射鏡402と四波混合プロセスは、光学軸401が角度 $\theta/2$ でダイオードのファセットの法線407から外れるように、光学軸401を画定する空洞を形成する。その結果、反射鏡402に向かって増幅媒体の内側を伝播する波 A_4 は、増幅媒体内側の対応波 A_3 として反射される。更に、波 A_3 は、高反射率の後方ファセット103で反射され、反射された波は、ポンプビームを生成する。その結果、ダイオード増幅器の後方ファセットに高反射率コーティングを使っているこの実施形態では、前進ポンプビーム A_1 は、レーザー空洞の後方ファセットでの単一の内部反射から生成される。従って、高い空間及び時間コヒーレンスを有する高出力レーザー出力ビーム403は、前進ポンプビーム A_1 がダイオード内で増幅され、同時に、四波混合回折格子202内でスペクトル的且つ空間的に過渡されるので、前進ポンプビーム A_1 自体から得られる。出力ビーム403は、2つの貢献を有しており、1つは後方ファセットでの内部反射からの貢献であり、他方は、四波混合格子内の回折からの貢献である。四波の境界条件は、以下の通りである。

【0075】

ダイオードに向かって出力ビーム403と逆方向に伝播しているレーザービームが無いので、 $A_2(L) = 0$ である。従って、低反射率コーティングを有する前方ファセット102における反射からの寄与の有無に関わらず、波 A_2 は、動的な回折格子内の回折により増幅媒体内に生成される。更に、後方ファセット103では、境界条件は、 $A_1(0) = R_1 A_3(0)$ 及び $A_4(0) = R_1 A_2(0)$ であり、 R_1 は後方ファセット103の反射率である。反射率が R の反射鏡402からの外部フィードバックの場合、空洞内の振動に関する自己矛盾のない条件は、 $|A_3(L)|^2 = |A_4(L)|^2 R_{\text{eff}}$ で、 R_{eff} は、回折損失、連結入出損失などを含む空洞外部における損失を含む有効反射率である。波 A_4 は、四波混合信号なので、空洞内の往復位相変動はゼロである。

10

20

30

40

50

【0076】

図2aに関連して論じたように、レーザーダイオードの長手方向の寸法、即ち2つのファセット102と103の間の距離と、角度 θ は、利得と屈折率回折格子の特性に影響を及ぼす。望ましくない空間モードを効率的に抑制するために、レーザーダイオードの厚さは、式(7)に導入されるパラメーター d が1より十分に大きく、望ましくは2より大きくなるように選択されなければならない。

【0077】

角度 θ は、図2a及び図3a-bに関連して説明したように、即ち、望ましくは効率的モード抑制が確実に行われるほど十分に大きく、且つ出来上がったフリンジ間隔 Δx が、レーザー材料の特性拡散長より大きくなるように、選択するのが望ましい。角度 θ は、上記式(9)に関連して説明したように選択するのが望ましい。

10

【0078】

本システムは、更に、ダイオード100と反射鏡402の間に配置されている光学レンズシステム408を備えている。レンズシステム408の目的は、図2aのレンズシステム208に関連して説明したように、ダイオード増幅器からの光線 A_3 及び A_4 それぞれの適切な入力及び出力の結合が、光学的歪み無しに確実に行えるようにすることである。

【0079】

更に、本システムは、例えば2つの円柱レンズから成るビームエキスパンダを備えているレンズシステム409を備えている。このビームエキスパンダの目的は、図2aに関連して説明したように、出力ビームを円形ビーム403に変換することである。代わりに、他の適切な出力カプラを使用してもよい。

20

【0080】

或る別の実施形態では、本システムは、出力ビームの少なくとも一部をダイオード増幅器に反射し戻して、両脚が空洞を画定する対称的な構成にする別の反射部材(図示せず)を更に備えている。

【0081】

また、角度 θ は小さいので、レンズシステム408及び409は、個別のレンズシステムとして実体化してもよいし、単一のレンズシステムとして実体化してもよい。

【0082】

次に図4bは、図4aと関連付けて説明した、レーザーダイオード100と、反射部材402と、光学レンズシステム408、409を備えているレーザーシステムに、更に、1つ又は複数の以下の構成要素を加えたものを示している。即ち、空間フィルター404が、反射鏡402と後方ファセット103で形成されている空洞内に配置されている。例えば、空間フィルターに、鋭いエッジを備えている2つのブレードによって形成された狭いスリットを設けてもよい。空間フィルターの位置及び開口は、調整できるのが望ましい。図2bの実施形態に関連して説明したように、この空間フィルターの目的は、所与の空間モードを選択し、半導体材料内側の回折格子のフリンジ間隔を制御することである。空間フィルターは、スリットが、レーザーダイオードのストライプに対して横方向に配置され、単一の横方向モードを効率的に選択できるように調整されているのが望ましい。

30

【0083】

更に、例えばファブリー-ペローのエタロンのような周波数フィルター405を空洞内に配置して、相互作用するレーザービームの相互のコヒーレンスを増大し、空洞ビームのスペクトル帯域幅を低減して、四波混合プロセスの効率を強化してもよい。

40

【0084】

代わりに又は追加して、空間フィルター及び/又は周波数フィルターを、出力ビーム303の光路内に配置してもよい。

【0085】

図5は、外部空洞無しに四波混合プロセスを行う小型の統合レーザーシステムを提供する本発明の第3の実施形態によるレーザーシステムを示している。この実施形態の構成は、図4aの実施形態の構成と同じだが、外側反射鏡402が、傾斜した前方ファセット1

50

02に置き換えられている。この実施形態によれば、レーザーシステムは、GaAlAs広面積ダイオード増幅器100を備えている。広面積ダイオードは、例えば500 μ mのような、200 μ mを越えるストライプ幅を有し、後方ファセット103は、高反射率コーティング506で被覆されているのが望ましい。前方ファセット102は、コーティング501で被覆されており、垂直な入射光には高い反射率を、垂直でない入射光束には低い反射率を呈する。コーティングの反射率は、垂直方向から1度の角度で入射する光束に対して最大値の半分に低下するのが望ましく、0.5度の入射角度に対して最大値の半分に低下するのが更に望ましい。コーティングには、誘電多重層コーティング、又は当該技術分野で既知の何らかの他の適したコーティングも含まれる。前方ファセットは、例えばウェーハを所望の角度で切断して、後方ファセットに比べて角度だけ傾斜が付けられている。従って、このコーティングにおける反射は、図4aに関連して説明したように、利得及び反射率回折格子を導き出すのに必要なフィードバックを提供する。同時に、出力光束が前方ファセットに対してと同じ角度を有するため、前方ファセット102は、出力光束に低反射率を提供するので、コーティング501による低反射率を被ることになる。この実施形態によれば、角度 θ が、相対角度 θ' 、従って、回折格子を誘導するレーザー光束間の角度 θ'' を決定する。先に述べたように、角度 θ は、出力光束の品質と強度に影響を及ぼす。この実施形態では、 $\theta' = 2\theta$ で、従って傾斜角度が光束の特性を制御する。出力光束の特性に影響を及ぼす他のパラメータには、後方ファセットの反射率、コーティング501の特性、及び増幅媒体の感受性が含まれる。

10

【0086】

20

更に、本システムは、先の実施形態に関連して説明したように、出力光束503をコリメートするためのレンズシステム509を備えている。

【0087】

図6は、内部永久回折格子を有する一体構成に対応する本発明の第4実施形態によるレーザーシステムを示している。上記のように、この実施形態に用いられている構成は、図4aの実施形態と同じだが、外部反射鏡と高反射率後方ファセットが、半導体ダイオード内に埋め込まれている永久回折格子に置き換えられている。この実施形態のレーザーシステムは、GaAlAs広面積ダイオード増幅器600を備えている。広面積ダイオードは、例えば500 μ mのように、200 μ mを越えるストライプ幅を有しているのが望ましい。このダイオードの作動時には、動的利得及び屈折率回折格子が、上記のように四波混合プロセスによって誘導される。この実施形態によれば、フィードバック光束 A_3 は、半導体ダイオード内に永久的に埋め込まれており、ダイオードの前方ファセット102に対して角度 θ に向けられた第1回折格子601によって生成される。ポンプ光束 A_1 は、ダイオードの後方ファセット103に平行な第2永久回折格子602上の反射として生成される。従って、動的利得及び屈折率回折格子は、図4aに関連して説明した機構で、四波混合プロセスによって誘導され、高い空間及び時間コヒーレンスを有する高出力レーザー出力光束603を提供する。出力光束は、前進ポンプ光束 A_1 から、ダイオード内の増幅と、四波混合回折格子202によるスペクトル及び空間ろ過の後、得られる。半導体内の永久回折格子601及び602は、例えば電子ビームリソグラフィ、UV誘導ホログラフィ、エッチング又はフォトレジストの使用のような当該技術分野では既知の何らかの適切な技術を使って作ることができる。永久回折格子は、格子の角度選択性が高いのが望ましい。角度選択性は、誘導される格子202の強度と選択性を増すことになる。従って、回折格子601及び602は、多数のFRINGEを備えている、いわゆる厚い回折格子であるのが望ましい。回折格子601は、1%を越える反射率を有し、一方、回折格子602は、望ましくは90-100%の高反射率を有しているのが望ましい。更に、格子601-602の反射角度は、先に述べたように、最適角度 θ_{opt} を達成するように調整されているのが望ましい。更に、本システムは、先の実施形態に関連して説明したように、出力光束603をコリメートするためのレンズシステム609を備えている。

30

40

【0088】

内部回折格子が特に強力なフィードバックを提供することが、本発明のこの実施形態の

50

利点である。

【0089】

なお、回折格子602を埋め込む代わりに、端部ファセット103に高反射率コーティングを被覆して内部反射を作り出してもよい。

【0090】

外部反射部材及び対応するレンズシステムを必要とせず、簡単で小型の頑丈な構成を提供することが、図5及び図6に関連して説明した実施形態の利点である。

【0091】

図7は、本発明の第6実施形態による、周波数二倍器を備えたレーザーシステムを示している。図7では、図4bによるシステムに周波数二倍器711が加えられている。周波数二倍器は、反射鏡402とダイオード増幅器100内の四波混合プロセスとによって作られた空洞内に挿入されている。周波数二倍器711は、各端面に、例えば $R > 0.9$ の高反射率コーティングを被覆した周波数二倍化結晶を含んでいる非線形エタロンを備えている。或る実施形態では、少なくとも1つの面の反射率は、波長依存性であり、例えば、

$\lambda = 800 \text{ nm}$ のようなダイオード増幅器の波長に対して実質的に100%の反射率であり、周波数二倍化ビーム、即ち上記例では $\lambda = 400 \text{ nm}$ の波長に対しては、実質的にゼロに等しい低反射率である。反射鏡402とダイオード増幅器100内の四波混合プロセスとによって画定される空洞の内側のビームは、高度にコリメートされ、四波混合回折格子202の選択性によって狭帯域幅を有しているため、周波数二倍化に特によく適する供給源となっている。結晶内側の強度を増すために、高反射率反射鏡709が出力経路内に配置されている。従って、この実施形態によれば、ビーム403は、更なる増幅のために、増幅器ダイオード100内にビーム710として反射して戻され、反射鏡402とダイオード増幅器100内の四波混合プロセスとによって画定される空洞内の強度を増大し、周波数二倍器711への入力として、良好な空間及び時間コヒーレンスを有する高出力ビームを提供する。この実施形態によれば、出力ビーム712は、反射鏡402から解放される。例えば反射鏡402は、例えば、 $\lambda = 800 \text{ nm}$ に対する実質的に100%の反射率と、 $\lambda = 400 \text{ nm}$ に対する望ましくは実質的にゼロである低反射率のように、周波数二倍化された成分の波長に対してよりもレーザーダイオードの波長に対して高い反射率を提供する。

【0092】

なお、反射鏡402は、回折格子のような別の反射部材と置き換えてもよい。更に、反射鏡402は、上記のように、波長に依存する反射率を有する周波数二倍器の面の1つと置き換えることもできる。

【0093】

また、周波数二倍化ビームを解放するための他の手段を設けてもよい。例えば、回折格子を使用して、周波数二倍化ビームを解放してもよい。例えば、周波数二倍化ビームの光路に回折格子を挿入してもよい。回折格子による反射角度は、ビームの波長が異なるために、周波数二倍化ビームとレーザーダイオードによって放出されたビームでは異なる。

【0094】

また、周波数二倍器を備えたシステムは、様々なやり方で実体化することができる。例えば、周波数フィルター405と周波数二倍器711を、1つの構成要素に統合してもよい。代わりに、ダイオード増幅器内の四波混合プロセスの周波数選択性の理由から、周波数フィルターを省略してもよい。

【0095】

図8a-dは、図4aによるレーザーシステムの実測強度プロファイルを示している。

【0096】

図8a-cの強度プロファイルは、図4aに示した構成を使って測定しており、レーザーダイオードアレイ100は、 $200 \mu\text{m}$ 幅利得接合部を備えたGaAlAs利得案内装置である。レーザーダイオードアレイは、ペルチエ要素(図4aに図示せず)によって温度制御した。後方ファセット103には、 0.99 を越える反射率を有するコーティング

10

20

30

40

50

406を被覆し、レーザーダイオードの出力ファセット102には、反射率が0.1%未満の反射防止コーティングを被覆した。レーザー光は、4.5mmの焦点長さと0.55の開口数を有するレンズと、2つの円柱レンズを備えたレンズシステム409によってダイオードから解放した。全てのレンズに、損失を最小にするために、広帯域の反射防止コーティング($R < 1\%$)を被覆した。角度は小さいので、レンズシステム408と409は単一のレンズシステムとして作った。反射鏡402は、反射率 $R > 0.999$ の誘電体被覆反射鏡とした。反射鏡の調整後に、反射鏡で振動しているビームを観察した。この振動ビームを基本的空間モードで高出力レベルに維持するため、振動ビームの回りに1つの開口を配置した。図8a-dは、出力ビーム403の角度方向強度プロファイル、即ち共に随意の単位で測定した強度を角度の関数として示している。図8a-cの強度プロファイルは、異なるポンピングレベルによる測定である。即ち、図8aでは、ポンプ電流は $I = 0.95\text{ A}$ 、図8bでは、ポンプ電流は $I = 1.23\text{ A}$ 、図8cでは、ポンプ電流は $I = 1.40\text{ A}$ である。図8a-cは、支配的なピーク801と、誘導四波混合回折格子内の回折によるピークの両側の回折パターンとを明確に示している。図8cでは、出力は、角度 $= 6.9^\circ$ を中心に放出され、出力は620mWである。図8cの中心ピーク801の半値全幅は 0.61° である。図8dは、反射鏡402とレーザーダイオード100の間の光路が遮断された上記構成の実測強度プロファイルを示している。図8dのポンプ電流は1.40Aであった。従って、図8dは、反射鏡402が遮断されると、即ちダイオード増幅器内の利得及び屈折率回折格子の誘導が妨げられていると、実質的に信号が観察されないことを明確に示している。

10

20

【0097】

なお、図8a-cの頂点801の位置は、先に述べたように、角度が利得に依存するため、異なる。

【0098】

本発明の範囲内で、例えば上記実施形態の組み合わせのような代替実施形態を提供できる旨理解されたい。例えば、受動反射部材が永久的に埋め込まれている回折格子である一体式の実施形態は、図2aと同じ構成、即ち、互いに平行で、ダイオードの互いに反対側のファセット近くに配置され、ポンプビームを生成するレーザー空洞を形成している2つの回折格子を備えた構成で提供することができる。この実施形態では、端部のファセットに対して傾斜している第3回折格子は、非垂直フィードバックビーム A_3 を提供する。

30

【0099】

また、本発明は、主に広面積レーザーに関連付けて説明してきた。しかしながら、本発明は、Nd-YAGレーザーのような広い利得面積を有する他のレーザーシステムにも利用できるものと理解されたい。

【0100】

また更に、四波混合回折格子は、反射鏡からのフィードバックにより高い回折効率と選択性を有するよう自動的に最適化されるので、四波混合格子の角度及び波長の選択性により、空間及び時間のフィルターが無くても、高い空間及び時間のコヒーレンスを有する出力ビームが作られることに注目頂きたい。しかしながら、先に述べたように、幾つかの実施形態では、空間及び周波数フィルターを用いて、レーザーシステムの効率を更に最適化している。空間フィルターと周波数フィルターは、共に、回折効率と、波長の選択性と、回折格子の角度選択性を高める。回折格子のブラッグ選択性により、所与のモードが選択され、同時に他のモードが効果的に抑制される。

40

【0101】

また、単一の動的回折格子を誘導する代わりに、多重回折格子を誘導してもよいし、及び/又は、5つ以上のレーザービーム又は3つ以下のレーザービームを組み込んだ混合プロセスによって回折格子を誘導してもよい。

【0102】

また更に、本発明による高出力のレーザーシステムは、数多くの分野で、例えば、医療用途に、グラフィック産業で、レーザー溶接又は切断に、光学通信システムで、例えばア

50

クティブ導波レーザー用のポンプレーザーとして、利用できる旨理解されたい。

【図面の簡単な説明】

【0103】

【図1a】先行技術の広面積ダイオードを示している。

【図1b】先行技術の広面積ダイオードを示している。

【図2a】本発明の第1の実施形態によるレーザーシステムの例を概略的に示している。

【図2b】本発明の第1の実施形態によるレーザーシステムの例を概略的に示している。

【図3a】干渉レーザービーム間の角度上の誘導回折格子の強さの依存性を概略的に示している。

【図3b】誘導回折格子のモード抑制因子を干渉レーザービーム間の角度の関数として示している。 10

【図4a】本発明の第2の実施形態によるレーザーシステムの例を概略的に示している。

【図4b】本発明の第2の実施形態によるレーザーシステムの例を概略的に示している。

【図5】本発明の第4の実施形態によるレーザーシステムを概略的に示している。

【図6】本発明の第5の実施形態によるレーザーシステムを概略的に示している。

【図7】本発明の第6の実施形態による周波数二倍器を備えているレーザーシステムを概略的に示している。

【図8a】図4aによるレーザーシステムの測定された強度プロフィールを示している。

【図8b】図4aによるレーザーシステムの測定された強度プロフィールを示している。

【図8c】図4aによるレーザーシステムの測定された強度プロフィールを示している。 20

【図8d】図4aによるレーザーシステムの測定された強度プロフィールを示している。

【図1a】

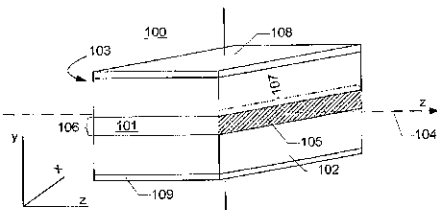


Fig. 1a

【図1b】

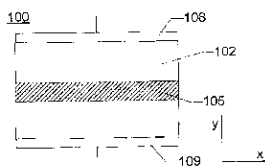


Fig. 1b

【図2a】

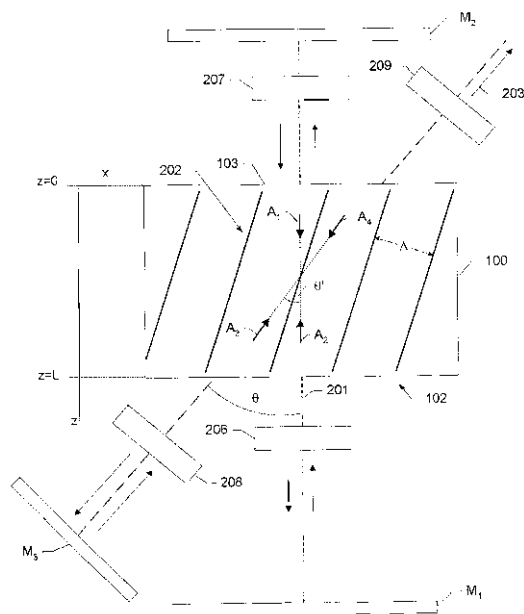


Fig. 2a

【 図 7 】

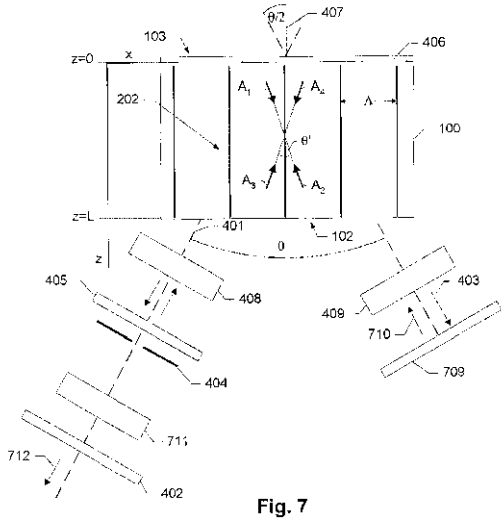


Fig. 7

【 図 8 a 】

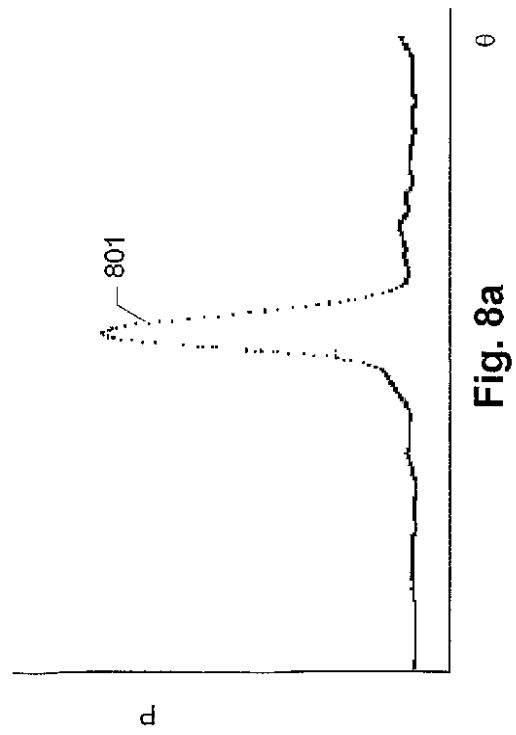


Fig. 8a

【 図 8 b 】

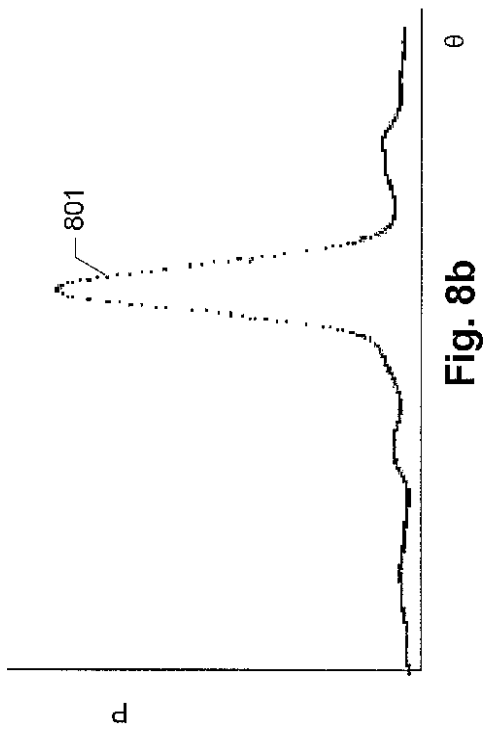


Fig. 8b

【 図 8 c 】

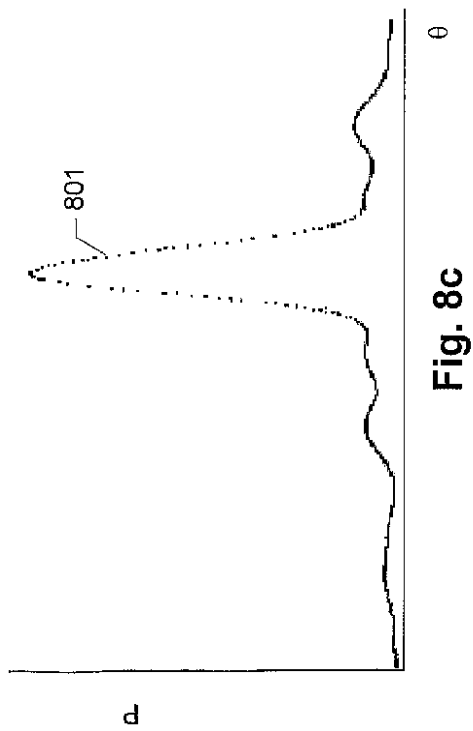
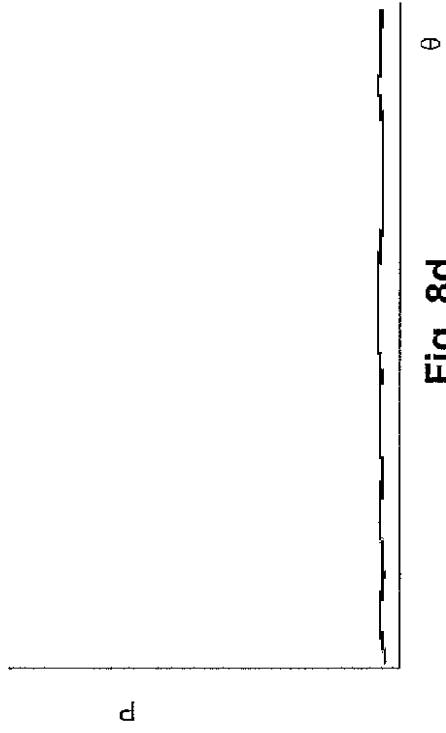


Fig. 8c

【 図 8 d 】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		PCT/DK 03/00132
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 H01S5/20 H01S5/14		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 H01S		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) INSPEC, EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	ROOSEN G ET AL: "Adaptive shaping and filtering of laser beams using photorefractive elements" TECHNICAL DIGEST. SUMMARIES OF PAPERS PRESENTED AT THE CONFERENCE ON LASERS AND ELECTRO-OPTICS. POSTCONFERENCE TECHNICAL DIGEST (IEEE CAT. NO.01CH37170), CLEO 2001. TECHNICAL DIGEST. SUMMARIES OF PAPERS PRESENTED AT THE CONFERENCE ON LASERS AND ELECT, page 341 XP002230391 2001, Washington, DC, USA, Opt. Soc. America, USA ISBN: 1-55752-662-1 the whole document --- -/--	1, 18
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents : *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *E* earlier document but published on or after the international filing date *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. *Z* document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
24 September 2003		06/10/2003
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Claessen, L

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

PCT/DK 03/00132

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2001/035995 A1 (RUGGIERO ANTHONY J) 1 November 2001 (2001-11-01) page 3, paragraph 31; figure 4 ---	1,18
A	PEZESHKI B ET AL: "400-MW SINGLE-FREQUENCY 660-NM SEMICONDUCTOR LASER" IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 11, no. 7, July 1999 (1999-07), pages 791-793, XP000845966 ISSN: 1041-1135 figure 1 ---	1,18
A	LANG R J ET AL: "THEORY OF GRATING-CONFINED BROAD-AREA LASERS" IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 34, no. 11, November 1998 (1998-11), pages 2196-2209, XP000799012 ISSN: 0018-9197 cited in the application the whole document ---	1,18
A	CASIL'EV P P ET AL: "PHASE-CONJUGATION BROAD AREA TWIN-CONTACT SEMICONDUCTOR LASER" APPLIED PHYSICS LETTERS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, vol. 71, no. 1, 7 July 1997 (1997-07-07), pages 40-42, XP000694854 ISSN: 0003-6951 figure 1 ---	1,18
A	WO 00 25396 A (ROOSEN GERALD ;BRUN ALAIN (FR); GEORGES PATRICK (FR); HUOT NICOLAS) 4 May 2000 (2000-05-04) the whole document ---	1-18
A	WHITTEN W B ET AL: "MODE SELECTION IN A CONTINUOUS-WAVE DYE LASER WITH AN INTRACAVITY PHOTOREFRACTIVE ELEMENT" OPTICS LETTERS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, US, vol. 12, no. 2, 1 February 1987 (1987-02-01), pages 117-119, XP000710524 ISSN: 0146-9592 figure 1 -----	1,18

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

PCT/DK 03/00132

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2001035995 A1	01-11-2001	AU 5138401 A	23-10-2001
		CA 2405274 A1	18-10-2001
		EP 1287629 A2	05-03-2003
		WO 0178262 A2	18-10-2001
WO 0025396 A	04-05-2000	FR 2785459 A1	05-05-2000
		CA 2347995 A1	04-05-2000
		DE 69905188 D1	06-03-2003
		EP 1125347 A1	22-08-2001
		WO 0025396 A1	04-05-2000
		JP 2002528919 T	03-09-2002
		US 2002006150 A1	17-01-2002

フロントページの続き

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT, BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HU,IE,IT,LU,MC,NL,PT,RO,SE,SI,SK,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA, GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ, EC,EE,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,M W,MX,MZ,NO,NZ,OM,PH,PL,PT,RO,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,YU,ZA,ZM,ZW

Fターム(参考) 5F173 AB03 AB33 AB46 AB50 AH02 AH13 AH14 AL03 AL04 AR14
AR33 AR94 AS01 AS10 MA04 MA08 MA10 MC15 MF02 MF03
MF13 MF28 MF39 MF40