

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3795500号
(P3795500)

(45) 発行日 平成18年7月12日(2006.7.12)

(24) 登録日 平成18年4月21日(2006.4.21)

(51) Int. Cl.

H01S 5/14 (2006.01)

F I

H01S 5/14

請求項の数 4 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2004-140503 (P2004-140503)	(73) 特許権者	503360115
(22) 出願日	平成16年5月11日(2004.5.11)		独立行政法人科学技術振興機構
(65) 公開番号	特開2005-322813 (P2005-322813A)		埼玉県川口市本町4丁目1番8号
(43) 公開日	平成17年11月17日(2005.11.17)	(74) 代理人	100089635
審査請求日	平成16年5月11日(2004.5.11)		弁理士 清水 守
		(72) 発明者	高見澤 昭文
			宮城県仙台市若林区連坊小路127ファミ
			ビル301
		(72) 発明者	枝松 圭一
			宮城県名取市ゆりが丘2丁目24-7
		審査官	金高 敏康

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 リトロー型外部共振器半導体レーザーにおける光軸のずれの補正方法および装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

リトロー型外部共振器半導体レーザーにおける光軸のずれの補正方法において、
 (a) 回折格子とプリズムとを治具で所定の配置となるように一体的に固定し、
 (b) 前記回折格子とプリズムの回転軸での回転により、入射光の波長を変化させるとともに、該波長の変化によっても出力光の光軸が不変であることを特徴とするリトロー型外部共振器半導体レーザーにおける光軸のずれの補正方法。

【請求項2】

(a) レーザー光を入射する手段と、
 (b) 前記レーザー光が入射する回折格子とプリズムとを所定の配置となるように一体的に固定する治具と、
 (c) 前記回折格子とプリズムとを一体的に回転可能な回転軸とを具備することを特徴とするリトロー型外部共振器半導体レーザーにおける光軸のずれの補正装置。

【請求項3】

請求項2記載のリトロー型外部共振器半導体レーザーにおける光軸のずれの補正装置において、前記プリズムは底面が直角二等辺三角形の柱形状であることを特徴とするリトロー型外部共振器半導体レーザーにおける光軸のずれの補正装置。

【請求項4】

請求項3記載のリトロー型外部共振器半導体レーザーにおける光軸のずれの補正装置において、前記回折格子の格子面と前記柱形状のプリズムの直角二等辺三角形の斜面にあた

20

る面とが平行に配置されることを特徴とするリトロ型外部共振器半導体レーザーにおける光軸のずれの補正装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、リトロ型外部共振器半導体レーザーにおける光軸のずれの補正方法および装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

波長可変レーザーは、原子・分子の分光やレーザー冷却、半導体量子ドットの分光、および量子情報処理などの分野の研究においてよく用いられる。 10

【0003】

このような装置として、大型の色素レーザーやチタンサファイアレーザーなどが以前から光学機器メーカーによって販売されてきたが、最近では、より安価でコンパクトな外部共振器半導体レーザー（ECDL）が市販されるようになった。ECDLには主にリトロ（Litrow）型とリットマン（Littman）型の2種類がある。

【特許文献1】なし

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上記したリトロ型ECDLは簡便であり、出力パワーなどに関して高い性能を有するものの、波長の変化に伴って出力光の光軸が動くという難点を持つ。 20

【0005】

以下、従来の問題点について詳細に説明する。

【0006】

図3は従来のリトロ型ECDLの模式図、図4は従来のリットマン型ECDLの模式図である。

【0007】

図3において、1は半導体レーザー（LD）、2はコリメートレンズ、3は入射光、4は回折格子、5はその回折格子4の回転軸、6は1次回折光、7は0次回折光（出力光）、8は回折格子4に対する垂直線（点線）である。 30

【0008】

図4において、11は半導体レーザー（LD）、12はコリメートレンズ、13は入射光、14は回折格子、15はミラー、16はそのミラーの回転軸、17は回折格子14からの1次回折光、18はミラー15からの反射光、19は反射光18の回折格子14からの1次回折光、20は反射光18の0次回折光、21は0次回折光（出力光）である。

【0009】

図3に示されたリトロ型ECDLでは、半導体レーザー（LD）1からの光をコリメートレンズ（凸レンズ）2でコリメートして回折格子4に入射させ、0次回折光7と1次回折光6を生じさせる。1次回折光6をLD1に帰還させ、LD1の後ろ側端面と回折格子4の間で共振器を形成する。回折格子4を回転軸5を中心にして回転することによって共振器長を変え、光波長を変化させる。このとき、回折格子4に対する入射光3の入射角度と出力光である0次回折光7の出射角度は等しくなるので、出力光7の方向が回折格子4の回転とともに変化してしまう。すなわち、出力光7の光軸が光波長に依存して動いてしまう。 40

【0010】

その一方で、図4に示されたリットマン型ECDLでは、LD11からの光をリトロ型の場合よりも大きな入射角で回折格子14に照射して、0次回折光21と1次回折光17を生じさせる。このとき、1次回折光17はLD11の方へは戻らないため、ミラー15を用いて真っ直ぐに反射させる。この反射光18は再び回折格子14に入射し、再び0 50

次回折光 20 と 1 次回折光 19 が発生する。この反射光 18 の 1 次回折光 19 を LD 11 に帰還させ、LD 11 の後ろ側端面とミラー 15 との間で共振器を形成する。この方法では、回折格子 14 を固定したままミラー 15 を回転させることによって波長を変化させる。そのため、出力光 (LD 11 からの入射光 13 の 0 次回折光) 21 の光軸は波長によらず一定となる。

【0011】

しかしながら、リットマン型 ECDL はリトロ型 ECDL に比べて構造が複雑になる。また、ミラー 15 からの反射光の 0 次回折光 20 はロスとなるので出力パワーが小さくなり、加えて、2 度の回折を経て LD 11 に戻るので帰還効率が小さくなる。その結果、波長の可変範囲が狭くなる。

10

【0012】

従って、リトロ型 ECDL において回折格子 4 の回転による出力光 7 の光軸の変化を無くすことができれば、リトロ型 ECDL の方が、リットマン型 ECDL よりも高性能となる。

【0013】

そこで、リトロ型 ECDL における光軸のずれの補正法として、ミラーを用いる方法がある。

【0014】

図 5 はかかるミラーを用いたリトロ型 ECDL の光軸のずれの補正装置の模式図である。

20

【0015】

この図において、21 は半導体レーザー (LD)、22 はコリメートレンズ、23 は入射光、24 は回折格子、25 はその回折格子 24 の回転軸、26 はミラー、27 は回折格子 24 とミラー 26 とを所定の配置 (回折格子 24 とミラー 26 が平行かつ向かい合うように配置) に固定するための治具、28 は 0 次回折光 (出力光) である。

【0016】

この補正装置では、図 5 に示すように、同じ治具 27 の上に回折格子 24 とミラー 26 が平行かつ向かい合うように配置して回転させるようにしているので、常に ECDL システムからの出力光 28 の方向を LD 21 から回折格子 24 へ向かう入射光 23 と平行にすることができる。しかしながら、治具 27 を回転軸 25 で回転して波長を変えると、出力光 28 の光軸が平行に移動してしまうため不完全である。

30

【0017】

量子情報処理の研究では、波長可変レーザーからの光を $10\ \mu\text{m}$ 以下のサイズの微小な導波路に結合させた上で最適な波長を選ぶ必要があるため、波長変化に伴う光軸のずれは重大な問題となる。特に、青色の光の場合には回折効率が低いいため、一度の回折で外部共振器を構成できるリトロ型 ECDL が持つ光の帰還効率に関する優位性はより顕著となる。こうした理由から、リトロ型 ECDL における光軸のずれの補正に関して、有効な手だてが求められる。

【0018】

本発明は、上記状況に鑑みて、リトロ型 ECDL における光軸のずれを簡単に、安価に、かつ的確に補正することができる、リトロ型 ECDL における光軸のずれの補正方法及び装置を提供するものである。

40

【課題を解決するための手段】

【0019】

〔1〕リトロ型外部共振器半導体レーザーにおける光軸のずれの補正方法において、回折格子とプリズムとを治具で所定の配置となるように一体的に固定し、前記回折格子とプリズムの回転軸での回転により、入射光の波長を変化させるとともに、この波長の変化によっても出力光の光軸が不変であることを特徴とする。

【0020】

〔2〕リトロ型外部共振器半導体レーザーにおける光軸のずれの補正装置であって、

50

レーザー光を入射する手段と、前記レーザー光が入射する回折格子とプリズムとを所定の配置となるように一体的に固定する治具と、前記回折格子とプリズムとを一体的に回転可能な回転軸とを具備することを特徴とする。

【0021】

〔3〕上記〔2〕記載のリトロ型外部共振器半導体レーザーにおける光軸のずれの補正装置において、前記プリズムは底面が直角二等辺三角形の柱形状であることを特徴とする。

【0022】

〔4〕上記〔3〕記載のリトロ型外部共振器半導体レーザーにおける光軸のずれの補正装置において、前記回折格子の格子面と前記柱形状のプリズムの直角二等辺三角形の斜面にあたる面とが平行に配置されることを特徴とする。

【発明の効果】

【0023】

本発明は、プリズムを用いたリトロ型ECDLにおける光軸のずれの補正方法および装置に係り、回折格子とプリズムは所定の配置で一体的に固定され、その一体化された回折格子とプリズムの回転軸での回転により入射光の波長を可変にし、その光の波長の変化によっても出力光の光軸は不変であるようにすることができる。

【0024】

したがって、ECDLを使う全ての科学技術分野に影響を及ぼすと考えられる。特に、半導体量子ドットの分光のように波長を大きく掃引して行う実験や、量子情報処理の研究などに見られるような10 μ m以下のサイズの細い導波路に波長を最適化させながら光を結合させる必要がある実験において、大きな需要が得られるものと期待される。

【発明を実施するための最良の形態】

【0025】

レーザー光を入射する手段と、前記レーザー光が入射する回折格子とプリズムとを所定の配置となるように一体的に固定する治具と、前記回折格子とプリズムとを一体的に回転可能な回転軸とを備え、波長の変化によっても出力光の光軸を不変にすることができる。

【実施例】

【0026】

本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

【0027】

図1は本発明の実施例を示すプリズムを用いたリトロ型ECDLの模式図である。

【0028】

この図において、31は半導体レーザー(LD)、32はコリメートレンズ、33は回折格子、34はその回折格子33の回転軸、35は底面が直角二等辺三角形である柱型のプリズム、36は回折格子33とプリズム35とを所定の配置(回折格子33の格子面とプリズム35の直角二等辺三角形の斜面にあたるb面が平行になるように配置)に固定するための治具、37は入射光、38は0次回折光、39は出力光である。なお、治具36は、例えば回折格子33とプリズム35のそれぞれの少なくとも一側面を固定する板状体を用いることができる。

【0029】

以下、底面が直角二等辺三角形である柱型のプリズム35を用いた場合における本発明の原理を示す。便宜上、プリズム35の3つの側面を、図1に示すようにa面、b面、c面と呼ぶことにする。プリズムb面と回折格子面とが平行になるように、プリズム35と回折格子33を同じ治具36に配置する。

【0030】

図2に、LD31からの入射光37が回折格子33に入射してから0次回折光38を得てプリズム35を透過して出力光39となるまでの光軸を、回折格子33への入射角が45°である場合〔図2(a)〕、45°以上である場合〔図2(b)〕の2つの場合について示す。以下の説明では、回折格子33への入射角が45°のときを基準として回折格

10

20

30

40

50

子 3 3 の左回りへの回転角を θ とおく。また、便宜上回折格子 3 3 からの 0 次回折光 3 8 の光軸の方向を、LD 3 1 から回折格子 3 3 への入射光 3 7 と 0 次回折光 3 8 のなす角で記述する（図 2 における下方向に光が進んでいるときを正とする）。

【0031】

まず、図 2 (a) に示すように回転角 $\theta = 0$ の場合を考える。このとき、0 次回折光 3 8 は $\theta = 90^\circ$ の方向に向かい、プリズム a 面に角度 0 度で入射して屈折せずに透過する。その後、プリズム b 面で全反射されて $\theta = 180^\circ$ の方向に向かい、プリズム c 面を屈折せずに透過して出力光 3 9 となる。

【0032】

次に、図 2 (b) に示すように回転角 θ が 0 でない場合を考える。このとき、回折格子 3 3 だけでなくプリズム 3 5 も角度 θ だけ回転することに注意する。LD 3 1 からの入射光 3 7 が回折格子 3 3 へ角度 $45^\circ + \theta$ で入射した後、 $\theta = 90^\circ + 2\theta$ の方向へ 0 次回折光 3 8 が発生し、プリズム a 面へ角度 θ で入射して屈折する。プリズム 3 5 の屈折率を n とすると屈折角 θ' は

$$\sin \theta' = \sin \theta / n \quad \dots (1)$$

で表される。プリズム a 面で屈折した後の光は $\theta = 90^\circ + \theta'$ の方向へ向かい、角度 $45^\circ + \theta'$ でプリズム b 面に入射して全反射され、 $\theta = 180^\circ + \theta'$ の方向へ進む。この光はプリズム c 面に角度 θ' で入射して屈折する。このとき屈折角 θ'' は

$$\sin \theta'' = n \sin \theta' \quad \dots (2)$$

によって与えられる。上記式 (1) と上記式 (2) の比較から $\theta'' = \theta$ となる。そのため、プリズム c 面において屈折した後の光、すなわち図 1 に示した ECDL システムの出力光は、回転角 θ に依らず常に $\theta = 180^\circ$ の方向に出射される。

【0033】

ここで、プリズム 3 5 の屈折率 $n > 1$ であれば、上記式 (1) より $|\theta'| < |\theta|$ 、かつ θ' と θ が同符号になるので、プリズム b 面によって全反射された光の進行方向 $\theta = 180^\circ + \theta'$ は、 $\theta < 0$ のとき $\theta < 180^\circ$ 、 $\theta > 0$ のとき $\theta > 180^\circ$ となる。そのため、図 2 に示すように LD 3 1 から回折格子 3 3 に向かう入射光 3 7 の光軸と垂直な方向に x 軸を取り、プリズム b 面および c 面への光の入射位置の x 座標をそれぞれ $x_b(\theta)$ および $x_c(\theta)$ とおくと、 $\theta < 0$ において $x_b(\theta) < x_c(\theta)$ 、 $\theta > 0$ において $x_b(\theta) > x_c(\theta)$ となるようにプリズム a 面とプリズム b 面の位置を選べば全反射後の光軸は θ に依らず $x_c(\theta)$ に近づく方向へ向かう。プリズム c 面の位置を選べば、 $x_c(\theta) = x_c(0)$ にすることができる。

【0034】

光波長に対して回折格子 3 3 の格子間隔 d を選べば $|\theta|$ を 1 rad ($\approx 57.3^\circ$) よりも十分に小さくできるので、 $x_c(\theta)$ を θ に対するべき級数展開の 1 次の項までで近似することができる。すなわち、係数 a_0 、 a_1 を用いて

【0035】

【数 1】

$$x_c(\theta) \cong a_0 + a_1 \theta$$

となる。このとき、 $x_c(\theta)$ が θ に依らないための条件 $x_c(\theta) = 0$ を満たすためには、 $a_1 = 0$ となる必要がある。ここで、図 1 に示すように、プリズム a 面、b 面、c 面および回折格子面とその回転軸 3 4 との間の距離をそれぞれ R_a 、 R_b 、 R_c および T とする。単純な計算を繰り返して光軸の位置と方向を追っていくことにより、 a_1 を R_a 、 R_b 、 R_c 、 T および n の関数として求めることができる。その結果、 $a_1 = 0$ となる条件として以下の式が得られる。

【0036】

10

20

30

40

【数2】

$$\frac{1}{\sqrt{2}}(n-1)(R_c - R_a) + nT - R_b = 0 \quad \dots (4)$$

一例として、大量に生産されている中心波長785nmのLDからの光を、格子周波数 $1/d = 1800$ 本/mmの回折格子によって形成される外部共振器を用いて ± 15 nmの広い範囲で波長を掃引し、一般的によく用いられるBK7ガラスで作られたプリズムによって光軸補正をすることを考える。この場合、波長に対する回転角は

【0037】

【数3】

$$\theta = \left(\sin^{-1} \frac{\lambda}{2d} \right) - 45^\circ \quad \dots (5)$$

10

で与えられる。波長 780 ± 15 nmにおいては、 $-1.13^\circ < \theta < +1.05^\circ$ となり 1 rad の条件を満たしている。屈折率 n は光波長に依存するが、BK7ガラスで作られたプリズムを用いる場合、可視および赤外領域で ± 15 nm程度の波長範囲であれば一定とみなすことができる。実際、波長 780 ± 15 nmにおいては小数点以下第2位までの値は変化せず $n = 1.51$ となる。このとき、 $T = 6.7$ mm、 $R_b = 10$ mm、 $R_c - R_a = -0.33$ mmとすれば式(4)を満たす。これらの条件を満足するためには、例えば、互いに等しい2つの辺の長さが13.8mmの直角二等辺三角形を底面に持つ三角柱形状のプリズムを回折格子に隣接して設置すればよい。そのように構成した場合、全体の光学系を約 $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$ の基板の上に収めることができ、波長可変のレーザー光源としては極めてコンパクトである。また、ここでは光学部品メーカーが標準品として市販している三角プリズムを例に用いたが、光が通過するプリズムの3つの面の位置が式(4)を満たしていればどのような形状でもよい。従って、光が通らない部分を切り落としてさらにコンパクトにすることも可能である。

20

【0038】

従来のミラーを用いた装置でも、回転角 θ に対してミラーの位置と角度をコンピューター制御によって調整すれば、出力光の光軸の平行移動を抑制することができるだろう。しかしながら、コンピューター制御に頼ればコストがかかり、システムが複雑になる上、外部にコンピューターを配置するためのスペースが必要となる。加えて、ミラーの位置を動かすためにモーターなどによる微動システムが必要になるので、コストがさらに高くなる上にECDLのシステムが大きくなってしまふ。コンピューター制御に頼らない本発明は、高い性能を有するリトロ型ECDLの光軸を非常に簡便かつ安価に、かつ的確に補正でき、そのうえ全体をコンパクトにできるという点で極めて有効である。

30

【0039】

なお、本発明は上記実施例に限定されるものではなく、本発明の趣旨に基づき種々の変形が可能であり、これらを本発明の範囲から排除するものではない。

【産業上の利用可能性】

【0040】

本発明のプリズムを用いたリトロ型ECDLにおける光軸のずれの補正装置は、原子・分子の分光やレーザー冷却、半導体量子ドットの分光、および量子情報処理などの分野に利用可能である。

40

【図面の簡単な説明】

【0041】

【図1】本発明の実施例を示すプリズムを用いたリトロ型ECDLの模式図である。

【図2】本発明の実施例を示すプリズムを用いたリトロ型ECDLの動作の説明図である。

【図3】従来のリトロ型ECDLの模式図である。

【図4】従来のリットマン型ECDLの模式図である。

50

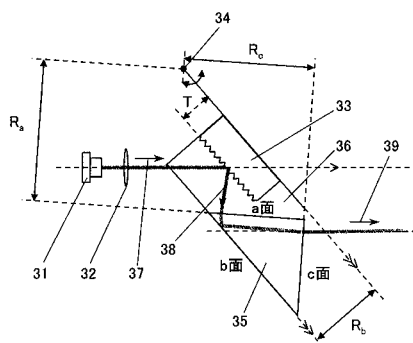
【図5】ミラーを用いるリトロ型ECDLの光軸ずれの補正装置の模式図である。

【符号の説明】

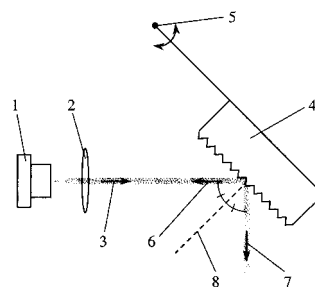
【0042】

- 31 半導体レーザー(LD)
- 32 コリメートレンズ
- 33 回折格子
- 34 回折格子の回転軸
- 35 プリズム
- 36 治具
- 37 入射光
- 38 0次回折光
- 39 出力光

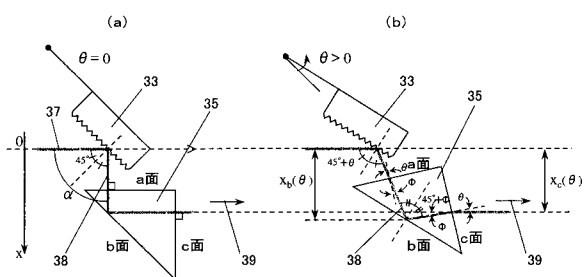
【図1】



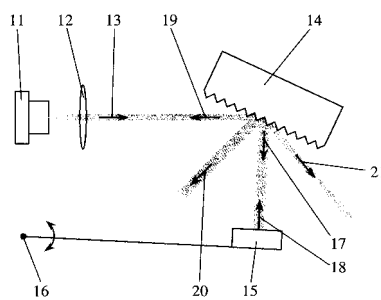
【図3】



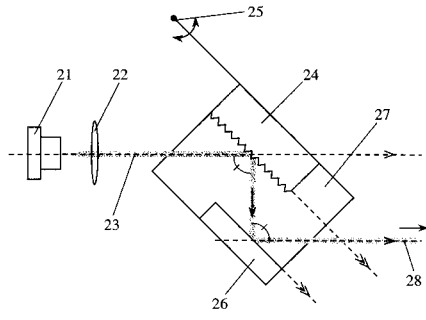
【図2】



【図4】



【 図 5 】



フロントページの続き

(56)参考文献 米国特許出願公開第2003/231691(US,A1)

米国特許第5594744(US,A)

米国特許第6577665(US,B1)

特開平05-235453(JP,A)

特開平10-107377(JP,A)

特開2001-077453(JP,A)

特開平06-097559(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

H01S 3/00 - 5/50

WPI

IEEE

JSTPlus(JDream2)

Science Direct