

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2011年7月7日(07.07.2011)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2011/081212 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 5/14 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/073841
- (22) 国際出願日: 2010年12月30日(30.12.2010)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2009-299284 2009年12月30日(30.12.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人千葉大学(National University Corporation Chiba University) [JP/JP]; 〒2638522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1番33号 Chiba (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 室 清文 (MURO Kiyohumi) [JP/JP]; 〒2638522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1番33号 国立大学法人千葉大学 大学院理学研究科内 Chiba (JP). 遠藤 智久(ENDO Tomohisa) [JP/JP]; 〒2638522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1番33号 国立大学法人千葉大学 大学院理学研究科内 Chiba (JP). 島田 泰孝(SHIMADA Yasutaka) [JP/JP]; 〒2638522 千葉
- 県千葉市稲毛区弥生町1番33号 国立大学法人千葉大学 大学院理学研究科内 Chiba (JP). 福岡 大輔(FUKUOKA Daisuke) [JP/JP]; 〒2638522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1番33号 国立大学法人千葉大学 大学院理学研究科内 Chiba (JP).
- (74) 代理人: 井上 春季(INOUE Haruki); 〒1100005 東京都台東区上野3-18-1 大熊ビル502 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ

[続葉有]

(54) Title: EXTERNAL RESONATOR LASER

(54) 発明の名称: 外部共振器レーザ

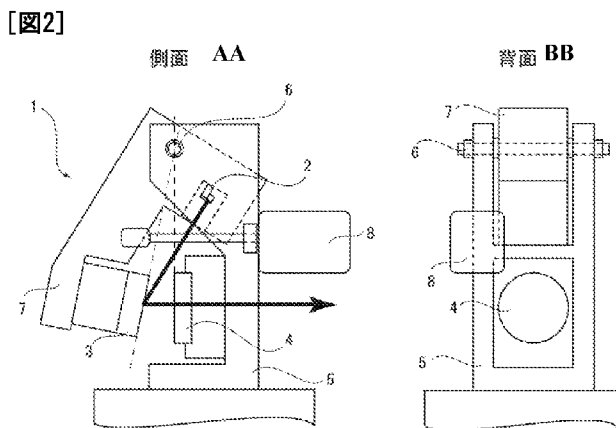


FIG. 2:

AA side face
BB rear face

(57) Abstract: Disclosed is an ASE-free external resonator laser in which reduction in tuning range and decrease in output are suppressed. The external resonator laser comprises: a fixed support body which has a half mirror that partially reflects incident light and partially transmits incident light therein; and a rotary support body which is rotatably supported by the fixed support body by way of a shaft, and which has a laser chip that emits light, a collimator lens that collimates light emitted from the laser chip, and a diffraction grating that diffracts light emitted from the laser chip, fixed therein.

(57) 要約: 同調域の減少と出力の低下を抑えたASE-Freeの外部共振器レーザを提供する。入射される光を一部反射し、一部を透過するハーフミラーが固定された固定支持体と、固定支持体に軸を介して回転可能に支持され、かつ、光を放出するレーザチップ、レーザチップから放出された光をコリメートするコリメートレンズ、及びレーザチップから放出された光を回折させる回折格子、が固定されてなる回転支持体

と、を有する外部共振器レーザとする。



WO 2011/081212 A1

(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 國際調查報告 (條約第 21 條(3))

明 細 書

発明の名称：外部共振器レーザ

技術分野

[0001] 本発明は、外部共振器レーザに関する。

背景技術

[0002] 波長可変レーザは、物質構造や化学物質の解析の分野において非常に有用であり、波長可変レーザの一つとして外部共振器レーザがある。一般に外部共振器レーザは、光学利得媒体（光源）と、この光学利得媒体から放出された光を共振させる外部共振器を有し、外部共振器の共振周波数をチューニングすることで発振波長を調整することができる。特に、半導体レーザダイオードを利得媒体に用いる外部共振器レーザは、広い波長領域に対応でき、かつ、小型、簡便で比較的安価に製造することができるといった利点がある。

[0003] 外部共振レーザには様々な型が存在するが、例えば、波長をモードホップなしに連続的に変えることができるレーザとしては、L i t t r o w型やL i t t m a n型の共振器配置が知られている。L i t t m a n型もL i t t r o w型と同じように、回折格子を用いて外部共振器に構成するが、L i t t r o w型ではレーザビームに対して回折格子を回転させるのに対し、L i t t m a n型ではビームに対して回折格子が固定されている。このため、回折格子に照射するレーザ光の面積を広くとることができ、小型で分解能の高い共振器配置を実現できる、また、波長を変える際に出力光の出射方向が変化しないといったこと等の利点があるため、波長可変レーザとして広く用いられている。

[0004] L i t t r o w型の外部共振器レーザに関する技術が記載された文献としては下記の非特許文献1がある。また、L i t t m a n型の外部共振器型レーザに関する技術が記載された文献としては、非特許文献2、及び、特許文献1乃至3に記載がある。

[0005] この中でも、L i t t m a n型の外部共振器型レーザは広帯域に連続波長

同調可能であり、出力ビームが波長同調によりぶれないため、波長可変レーザで用いられている代表的な外部共振器配置となっている。しかしながら、回折格子の0次回折光を出力ビームとして取り出すため、レーザダイオードの自然発光が出力ビームに重畳してしまい、ラマン散乱分光などの微弱発光の検知や吸収や反射の高精度な測定には大きな問題となる。この問題の解決に向けて考案された先行技術が特許文献4乃至8に記載されている。

先行技術文献

非特許文献

[0006] 非特許文献1: M. de Labachellerie and G. Passerat, "Mode-hop suppression of Littrow grating-tuned lasers", *Applied Optics* Vol. 32, no. 3, 269 (1993), Vol. 33, no. 18, 3817 (1994)

非特許文献2: Liu and Littman, "Novel Geometry for single-mode scanning of tunable Lasers", *Optics Letters* Vol. 6, no. 3, 117 (1981)

特許文献

[0007] 特許文献1: 米国特許第5, 319, 668号明細書
特許文献2: 米国特許第6, 625, 183号明細書
特許文献3: 米国特許第6, 614, 829号明細書
特許文献4: 米国特許第5, 657, 120号明細書
特許文献5: 米国特許第6, 606, 340号明細書
特許文献6: 米国特許第6, 608, 847号明細書
特許文献7: 米国特許第6, 690, 709号明細書
特許文献8: 米国特許第6, 788, 726号明細書

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0008] 上記特許文献1乃至3、上記非特許文献2で示されるように、L i t t m a n型外部共振器配置は、ピボット軸を適切に選びミラーを回転することによって、回折格子での回折条件を満たす波長と外部共振器の共振器長の比を一定に保ったまま、連続的に発振波長を変えることができるため、外部共振器配置として最も一般的に用いられている。
- [0009] しかしながら、この外部共振器レーザでは、回折格子の0次光を出力として外へ取り出すため、レーザチップの自然発光（A S E : A m p l i f i e d S p o n t a n e o u s E m i s s i o n）が出力のビームに重畳してしまう。このA S Eは、特に、利得帯域の両サイドで発振している場合には非常に強く、場合によっては発振線よりも強くなってしまうこともある。この出力ビームへのA S Eの重畳はラマン散乱測定や単分子発光計測などの高感度測定や、光学密度の高い物質の透過測定、低反射率な反射の高精度測定に等において大きな問題となる。A S E - F r e eで、スペクトル純度の高いレーザ光源が様々な分野で強く求められている。
- [0010] この課題に対し、上記特許文献4乃至8に示すように、様々な先行技術が開発されている。例えば上記特許文献4に開示される技術は、レーザダイオードからの光を回折格子の1次回折光として取り出しているため、自然発光（A S E）を含まず、高スペクトル純度の光源を実現することができる。しかしながら、この技術では、共鳴器長が固定されてしまっているため、L i t t m a n配置やL i t t r o w配置のようにモードホップフリーな連続波長同調を行うことが極めて困難であるといった課題がある。
- [0011] また、上記特許文献5に開示される技術では、レーザダイオードの自然発光を出力から除去することができ、さらに、ミラーやレンズ、ファイバーを一体としてピボット軸の周りに回転することにより、波長を連続的に変えながら出力をファイバーから取り出すことができる。しかしながら、この技術では、出力が大幅に低下するだけでなく、光学系が大変複雑になり、光軸調整が著しく困難であるといった課題もある。

- [0012] また、上記特許文献 6 に開示される技術では、レーザダイオードと回折格子の間にビームスプリッターを挿入し、ミラーによる反射及び回折格子による回折によってレーザダイオードに戻るビームをこのビームスプリッターで一部反射させて出力光としている。確かにこの方式では同調によるビームブレなしに自然発光を含まない出力ビームを取り出せるといった利点がある。しかしながら、ビームスプリッターでは逆に進むビームも反射してしまうため、共振器ロスが多く、出力効率が悪いばかりか、波長同調帯域の減少を招いてしまうといった課題がある。
- [0013] また、上記特許文献 7 に開示される技術では、利得媒体と回折格子の間に偏光ビームスプリッターキューブとファラデー回転子を挿入し、偏光ビームスプリッターキューブから自然発光を含まない出力ビームを取り出せるようにしている。しかしながら、この技術では、光学部品の数が多く必要であり共振器ロスが増えるだけでなく、ファラデーローテーターによる偏光面の回転により回折格子でのロスも増大し、出力効率が悪く、同調領域も減少してしまうといった課題がある。更に、モードホップのない波長可変レーザでは共振器長を波長オーダーで制御する必要があるが、この技術では新たな光学部品を共振器内に挿入するため、どうしても共振器長が長くなってしまい、振動や温度に対する不安定性が増すといった課題がある。
- [0014] また、上記特許文献 8 に開示される技術では、利得媒体と回折格子の間に偏光ビームスプリッターとファラデーローテーター、偏光回転子を挿入し、上記特許文献 7 に開示された技術において生じるファラデーローテーターによる偏光回転を、偏光回転子によって補正することで、無用な共振器ロスを低減し、自然発光を含まない出力を高効率に取り出そうとしている。しかしながら、この技術でも、多くの光学素子を使うため、共振器ロスが更に増え、また、共振器長が長くなってしまいうため安定性に問題が生じてしまうといった課題がある。
- [0015] そこで、本発明は上記先行技術における問題点を鑑み、同調域の減少と出力の低下を抑え、小型、簡便で、連続波長可変な自然発光を含まない (A S

E - F r e e の) 外部共振器レーザを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0016] 上記課題を解決する本発明の一観点にかかる外部共振器レーザは、入射される光を一部反射し、一部を透過するハーフミラーが固定された固定支持体と、固定支持体に軸を介して回転可能に支持され、かつ、光を放出するレーザチップ、その光をコリメートするコリメートレンズ、及び、レーザチップから放出された光を回折させる回折格子が固定されてなる回転支持体とから構成されている。なおこの外部共振器レーザは、共振器配置が L i t t m a n 型であり、回転支持体を回転させることにより波長同調を行うことができる。

発明の効果

[0017] 以上、本発明により、同調域の減少と出力の低下を抑えた、小型、簡便な A S E - F r e e の外部共振器レーザを提供することができる。

図面の簡単な説明

- [0018] [図1]実施形態に係る外部共振器レーザの光学系の概略を示す図である。
[図2]実施形態に係る外部共振器レーザの構成の概略を示す図である。
[図3]レーザチップの概略を示す図である。
[図4]レーザチップの他の例の断面の概略を示す図である。
[図5]レーザチップの他の例の断面の概略を示す図である。
[図6]光乱散乱体の例について斜視の概略を示す図である。
[図7]光乱散乱体の例について断面の概略を示す図である。
[図8] $\lambda / 2$ 板を設けた場合の外部共振器レーザの光学系の概略を示す図である。
[図9]冷却部材を備えた外部共振器レーザの構成の概略を示す図である。
[図10]実施例において作成した外部共振器レーザの写真図である。
[図11]実施例と従来型の外部共振器の波長に対する出力の結果を示す図である。
[図12]発振線幅と S M S R の波長依存性を示す。

[図13]出力ビームのエタロン透過特性を示す図である。

[図14]半導体レーザの放射ビームのプロファイルを示す図である。

[図15]回折格子によるビームプロファイルの変換を示す図である。

[図16]実施例1及び実施例2の出力ビームのビームプロファイルを示す図である。

[図17]実施例2に係る外部共振器レーザの出力のエタロン透過信号を示す図である。

[図18]実施例2に係る外部共振器レーザの出力の波長依存性を示す図である。

[図19]実施例3に係るスリットの斜視概略を示す図である。

[図20]実施例3に係る外部共振器レーザの出力のエタロン透過信号を示す図である。

[図21]実施例3に係る外部共振器レーザの出力の波長依存性を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

[0019] 以下、本発明の実施形態について図面を参照しつつ説明する。ただし、本発明は多くの異なる態様で実施することが可能であり、以下に示す実施形態、実施例の例示に限定されるものではない。

[0020] (実施形態1)

図1は、本実施形態に係る外部共振器レーザ1の光学系の概略を示す図である。本実施形態にかかる外部共振器レーザ1は、光を放出するレーザチップ2と、レーザチップ2から放出された光を回折させる回折格子3と、回折格子3からの光を一部反射し、一部を透過するハーフミラー4と、を有する。なお本実施形態において、レーザチップ2と回折格子3との間には、レーザチップ2から放出された光を平行光にするコリメートレンズ9が配置されている。また本実施形態に係る外部共振器レーザ1は、レーザチップ2、回折格子3及びハーフミラー4から構成される外部共振器がL i t t m a n型の共振器配置となっている。

[0021] 図2は、本実施形態に係る外部共振器レーザ1の構成についての概略図である。上述の記載及び本図で示すように本実施形態に係る外部共振器レーザ1において、ハーフミラー4は固定支持体5に固定されており、レーザチップ2、コリメートレンズ9及び回折格子3は、回転支持体7に固定されている。なお、回転支持体7は、固定支持体5に設置される駆動機構8により軸6を中心に回転する。即ち回転支持体7は、固定支持体5に軸6を介して回転可能に支持されている。

[0022] 本実施形態に係るレーザチップ2は、光を放出することのできるものであって、この限りにおいて限定されるわけではないが、図3の一例で示すように、マウント221と、このマウント221にハンダ等の接着層を介して固定されるサブマウント222と、このサブマウントに接着層を介して固定されるレーザダイオード223とを有する。またレーザダイオード223は、活性層2231と、この活性層2231を挟むp型の導波路層2232、n型の導波路層2233と、更にこれらを挟むp型のクラッド層2234及びn型のクラッド層2235と、マウント221との間で活性層2231を挟むように配置される電極層2236と、を有して構成されている。本図で示すレーザチップ2は、電極層2236とマウント221との間に電流を流し発光層で発光させ、この発光を一方向に導波させて積層方向に垂直な方向から光を放出させる。また本実施形態に係るレーザチップ2においてレーザダイオード223の後端面（回折格子3に向いていない側の端面）には、入射される光を反射する反射層が形成されている。なお本実施形態に係るレーザダイオードの放出する光の波長範囲としては、発振させるレーザ光の波長に応じ適宜調整可能であり限定されるわけではないが、例えば700nm以上1200nm以下であることが好ましく、より好ましくは900nm以上1000nmである。

[0023] なお、レーザチップ2の各層は、図3で示すようにサブマウント222の面と平行に積層したものとしてもよいが、サブマウント222に対し傾かせ、前端面（光放出面）の垂直方向から傾いた導波路を有するレーザチップと

してもよい。なお、傾いた導波路を有するものの例としては、例えば図4で示すように、前端面に向かうに従い傾きが増加していく曲がり導波路の他、例えば図5で示すように傾いた直線状の斜め導波路であっても良い。前端面を傾斜させることで、寄生発振やモードホップの原因となる前端面での残留反射を極限まで低減することができるといった効果がある。なお前端面における傾きの角度は、上記効果を有する限りにおいて限定されるわけではないが、前端面の垂直方向から3度以上大きいことが好ましく、より好ましくは4度以上10度以下の範囲である。

[0024] 図6、7は、本実施形態に係る光乱散乱体の例についての概略図である。図6は、斜視概略図であり、図7は断面の概略図である。本実施形態に係るレーザチップ2の前端面側には、光乱散乱体薄膜21を用いた光散乱体ビームフィルタが配置されている。本実施形態に係る光乱散乱体薄膜21は、光を散乱させることのできるものであって、この限りにおいて限定されるわけではないが、例えばセラミックスを好適に用いることができる。本実施形態に係る光乱散乱体薄膜21は、限定されるわけではないが、マウント221及びサブマウント222を覆うように配置されていることが好ましい。寄生発振は主としてマウント221、サブマウント222及びこれら間に必然的に存在するハンダ等の接着層によって発生する。そのため、少なくともサブマウント222及びマウント221の前端面を覆って配置されていることが好ましい。このようにすることで、外部共振器内の様々な光路による光学フィードバックに起因する寄生発振を効率的に抑えることができるようになる。また本実施形態に係る光乱散乱体薄膜21の厚さは、材料等の条件によって適宜調整可能であるが、セラミックスを用いた場合は0.3mm以上1mm以下であることが好ましく、より好ましくは0.7mm以下である。

[0025] また、本実施形態に係る光乱散乱体薄膜21の形状は、上記の通り、サブマウント222及びマウント221の前端面を覆うことができる限りにおいて限定されるわけではなく、サブマウント及びマウントの形状と同一の形状であっても、これら全体を覆う矩形状であってもよいが、例えばピンホール

(微小な孔) 211が形成された円形状であることは好ましい一例である。この場合ピンホール211の大きさとしては、レーザダイオード223から放出される光及び回折格子3側から戻ってくる光が透過できる程度の大きさである限りにおいて限定されるわけではないが、例えば上記0.3mm以上1mm以下の厚さの光乱散乱体を用いた場合、0.3mm以上1mm以下の円形状であることが好ましく、より好ましくは0.5mm以上0.8mm以下の円形状である。このようにすることで、マウント221及びサブマウント222を効果的に覆い、レーザダイオードから放出される光を十分に透過させ、レーザダイオードから放出される光が広角に広がっている場合でも、この光を乱散乱させる虞が少なくなるといった効果がある。なお、本実施形態において光散乱体ビームフィルタは、レーザチップ223の前面から所定の距離をとって他の支持部材により固定されていてもよいが、レーザチップにおけるマウント221又はサブマウント222、好ましくはマウント221の前端面に接着部材を介して貼り付けておくことが不必要な光を乱散乱させて必要な光を乱散乱させない観点から好ましい。なお、この光散乱体ビームフィルタは、寄生発振に悩まされることなく利得領域全体にわたる波長同調が可能となり、高出力動作においても特性劣化を極めて少なくすることができる点において有用であるが、省略することも可能ではある。

[0026] また本実施形態において、コリメートレンズ9は、レーザチップ2から放出される光を平行にするためのレンズであり、コリメートレンズ9により平行にされた光は回折格子3及びハーフミラー4により回折及び反射され、再びコリメートレンズ9に入射され、再び光を集光してレーザチップ2に入射させる。

[0027] 本実施形態に係る回折格子3は、レーザチップ2からの光のうち特定の波長の光を回折させてハーフミラー4に垂直に放出させる一方、ハーフミラー4からの反射光を再び回折させて再びレーザチップ2側に放出するものである。回折格子3は、上記機能を有する限りにおいて限定されるわけではないが、例えば表面に鋸状の歯を複数形成してなる回折格子(ブレード回折格

子)であることは好ましい一例である。

- [0028] 本実施形態に係るハーフミラー4は、回折格子3から入射される光の一部を反射して再び回折格子3に戻す一方、光の一部を透過し、共振器外部に放出することのできるものであり、この機能を有する限りにおいて限定されず、周知のハーフミラーを使用することができる。
- [0029] 本実施形態において、回折格子3とハーフミラー4は、レーザチップ2からの光が回折及び反射を経て再びレーザチップ2側に戻ることができるよう、所定の角度をもって向き合って配置されるだけでなく、この向き合う角度を調節することによって光路長を変化させ、発振する波長を変化させることができるよう配置される。例えば上記図1で示すように、本実施形態に係る回折格子3及びハーフミラー4のそれぞれ表面31、41は、常時回転中心(Pivot Point)を通る直線上で交わるよう配置される。
- [0030] また本実施形態において、固定支持体5は、外部共振レーザを配置する台に支持固定するための部材であって、ハーフミラー4が固定されている。材質、構造としては、ハーフミラー等の構成部材を固定することができる限りにおいて限定されないが、加工性が高く、熱的・機械的に安定な材料が好ましく、例えば金属で形成されていることは好ましい一例である。
- [0031] また本実施形態において、回転支持体7は、固定支持体5に軸6を介して回転可能となっていると共に、レーザチップ2、コリメートレンズ9及び回折格子3を固定する部材であり、回転支持体7を回転させることで回折格子3とハーフミラー4の向き合う角度、光路長を変化させることができる。なお、本実施形態において、軸6は回転中心であって、概ね、レーザチップ2の後端面の延長線上にあるよう設計されること(Littman型配置となっていること)が好ましい。
- [0032] また本実施形態において、上記構成に加え、コリメートレンズ9と回折格子3との間に、 $\lambda/2$ 板10を配置することも好ましい。この場合の概略図を図8に示しておく。一般に、レーザチップ2から放射される光は直線偏光となっているが、この偏光方向が回折格子に対し高効率な回折が得られない

偏光方向になっている場合、 $\lambda/2$ 板10を適当な角度で配置し、高効率な回折が得られる偏光方向に制御することで、良好な同調性及び高出力性を実現できる。なおこの場合、 $\lambda/2$ 板10は、レーザチップ2及び回折格子3との位置関係を固定しておく必要から、回転支持体7に固定されていることが好ましい。

[0033] またレーザチップ2は、発光する際に発熱する。この発熱は共振器の安定性に影響を与えるため、共振器を安定化させるべく冷却部材23を備えていることが好ましい。この冷却部材23も、回転支持体7に直接又は間接的に固定されている。冷却部材23としてはレーザチップ2の発熱による温度上昇を除去できる限りにおいて限定されるわけではないが、回転支持体に装着するため小型・軽量にすることが望ましく、例えばペルチェ素子231に軽量のヒートパイプ付放熱フィン232を付属させたものを好適に用いることができる。この冷却部材23を備えた場合の図（側面図）を図9に示しておく。

[0034] 本実施形態に係る外部共振器レーザ1は、ハーフミラー4を固定支持体5に固定し、回折光の一部をハーフミラー4によって取り出すだけで、先行技術のように共振器内にビームスプリッター等の光学素子を改めて配置する必要がなくなり、装置の簡略化、小型化が可能であり、更に同調域の減少と出力の低下を抑えたASE-Freeの外部共振器レーザを提供することができる。特に、ハーフミラーを固定としているため、回折格子とハーフミラーとの角度を変えて発振波長を変化させた場合であっても、ハーフミラーを動かすことがないため、常に同じ方向にレーザ光を出射させることができる。

[0035] 以上、本実施形態により、同調域の減少と出力の低下を抑えた、小型、簡便なASE-Freeの外部共振器レーザを提供することができる。

実施例

[0036] ここで、上記実施形態に係る外部共振器レーザを実際に作製し、その効果を確認した。この結果を以下に示す。

[0037] （実施例1）

図10は、本実施例において作製した外部共振器レーザの写真図である。本実施例においては、レーザチップ2として、銅のマウントにハンダ層を介してサブマウントを固定し、その上に更にハンダを介して固定されたレーザダイオードを用いた。なおレーザダイオードとしては通常時の利得ピーク波長1060nmの曲がり導波路構造(5°の傾き)のダイオード(オプトエナジー社:SLD-A4010613092)を用いた。またこのスーパーミネッセントダイオードは上記実施形態において示した曲がり導波路構造をなしており、端面に対し傾斜させることで、寄生発振やモードホップの原因となる端面での残留反射を極限まで低減することができる。なお、このダイオードは、限定されるわけではないが“T. Fujimoto, Y. Yamada, Y. Yamada, A. Okubo, Y. Oeda and K. Muro, “High Power InGaAs/AlGaAs Laser Diodes with Decoupled Confinement Heterostructure”, SPIE 3625, p. 38~45 (1999)”に記載の方法を用いて作製が可能である。また、本実施例のコリメートレンズ9としては、Geltech(登録商標)成型ガラス非球面レンズで焦点距離8mm、開口数0.50、650~1050nmで無反射コートされたものを用いた。回折格子3としては1200L/mmのもの(NewPort社製、型番10RG 1200-1000-2)を用い、ハーフミラー4としては反射率50%のもの(CVI社製、型番PR1-1020-50-1025)を用いた。また、レーザチップ2、コリメートレンズ9、及び回折格子3は回転支持体7に固定し、ハーフミラー4は微調整を可能にする形態で、固定支持体5に固定した。また回転支持体7は軸を介して固定支持体5に固定した。なお本実施例において、軸はLittman型の外部共振器配置におけるPivot Point(回転中心)となるように設計した。また本実施例ではマウントの前端面に、0.6mmのピンホールが形成されたセラミックス(直径1cmの略円形状、厚さ0.5mm)からなる光乱散乱体を配置し、接着部材により貼り付

けた。尚、本実施例において、レーザダイオードからのコリメートビームの回折格子への入射角は75度とし、レーザダイオードの配置は回折格子において高い波長分解能が得られる様に、偏平なビームの長手方向が回折方向に一致するようにした。また、この場合レーザ発振の偏光方向が回折効率の低い偏光となったので、1/2波長板10をコリメートレンズ9と回折格子の間に挿入し、回折格子における回折効率が最大になるように配置した。

[0038] この外部共振器レーザを25℃、400mAの条件の下駆動し、レーザ光を発振させた。この外部共振器レーザと、従来型のLittman型外部共振器レーザの分解能0.01nmでの出力のスペクトルを図11に示す。

[0039] この結果、従来型のLittman型波長可変レーザでは出力ビームに強い自然発光(ASE)が重畳しているのに対し、本実施例の外部共振器レーザでは全同調範囲にわたって高スペクトル純度の出力が得られていることが確認できた。また、比較の外部共振器レーザでは、100nmの同調領域の両サイドではSMSRは20dB程度まで減少してしまうのに対し、本実施例の外部共振器レーザでは60dB以上のSMSR高純度スペクトルを維持できることを確認した。

[0040] ところで、本実施例に係る外部共振器レーザにおける、400mAで測定したレーザの発振線幅とSMSRの波長依存性及び出力ビームのエタロン透過特性を測定した。この結果を図12と図13にそれぞれ示す。この結果、中央の90nmの領域において安定な狭線振幅発振を実現できていることが確認できた。なお反射率50%のハーフミラーを用いた場合の出力は100mW程度であるが、反射率を下げるにより更に高出力を得ることができた。

[0041] (実施例2)

本実施例では、ほぼ上記実施例1と同じであるが、レーザダイオードの配置が実施例1と異なる。以下詳細に説明する。

[0042] MBEやMOCVDなどの半導体エピタキシーにより製造する半導体レーザは、上記図3に示すような構造を有しており、積層方向とそれに垂直な方

向の光閉じ込め構造が異なるため、図14(a)で示すように、出射ビームのプロファイルは楕円形となっている。特に、高出力なレーザチップではストライプ幅を広く取るため、一般的にビームの扁平度が増している。図14(b)は、本実施例に用いた半導体レーザの出射ビームを焦点距離8mmの非球面レンズでコリメートしたビームのプロファイルを示す図である。本図で示すコリメートビームはエピタキシー成長方向に約6mm、それと垂直な方向に1.6mmと強い異方性を持っている。また、半導体レーザの利得は構造の異方性を反映して強い偏光依存性を呈しており、発振は直線偏光で起こる。実施例に用いたレーザチップでは、発振の偏光はエピタキシー成長面に平行となっている。

[0043] また通常、レーザビームは、円形スポットに集光して、又は、シングルモードファイバーに結合して用いるが、半導体レーザのようにビームプロファイルが強い異方性を持つ場合、アナモルフィックプリズムペアレンズを用いてビームを円形ビームに補正する必要がある。しかしながら、アナモルフィックプリズムペアは一般に大型で高価な光学部品であるだけでなく、少しでも角度や配置がずれると、出射ビームがぶれてしまい、所望の位置への集光やシングルモードファイバーへの結合において問題となってしまう。特に、出力を回折格子の0次回折光で取り出すLittman型の共振器配置の場合、半導体レーザからのコリメートビームはそのままでのプロファイルで出力として取り出されることになってしまうため、通常は、アナモルフィックプリズムペアレンズなどを用いてビームプロファイル補正をする必要がある。

[0044] しかしながら、回折格子での1次回折光を出力として取り出す外部共振器レーザでは例えば図15に示すように、レーザダイオードからのコリメートビームのビームプロファイルの変換が可能である。すなわち、回折格子へのコリメートビームの入射角を α 、回折格子での回折角を β とした場合、回折ビームのビームプロファイルは $\cos(\alpha) / \cos(\beta)$ 倍だけ出射ビームは回折方向に拡大される。例えば $\alpha = 75$ 度、 $\beta = 10 \sim 20$ 度の配置

とすると、レーザービームはおおむね回折（縦）方向に4倍程度拡大されることになる。

[0045] そこで、本実施例では、レーザーチップを光射出方向を軸中心として90度回転させ、コリメートビームの短軸（コリメートビームの狭い幅方向に沿った軸をいう。一方、この短軸に垂直でコリメートビームの長い方向に沿った軸を「長軸」という。）を回折格子の回折方向に一致させたところ、出力ビームを図16（a）に示すように、ほぼ円形のビームとすることができた。そして実際に焦点距離25mmの非球面レンズを通して、偏波面保存ファイバーに結合したところ、60%の結合効率を得ることができた。更に、この配置ではレーザーチップの発振の偏光方向は回折格子で高い回折効率の得られる偏光方向と一致するため、共振器内に1/2波長板を挿入する必要がなかった。なお図16（b）は、実施例1における出力ビームのプロファイルである。

[0046] 図17は、本実施例に係る外部共振器レーザーの出力ビームのエタロン（FSR：10GHz）の透過信号を示す図である。この結果、出力に自然発光は重畳せず、実施例1と同じように高スペクトル純度の出力を得ることができを確認した。なお図18は、本実施例に係る外部共振器レーザーの各注入電流における出力の波長依存性を示す図である。

[0047] （実施例3）

本実施例は、ほぼ実施例2と同様であるが、ハーフミラー4に近接してスリット11を設けた点が実施例2と異なる。図19に、配置したスリット11の概略図を示しておく。なお図19（a）は外部共振器レーザーの側面概略図を、図19（b）は、ハーフミラー4を正面から見た場合の概略図である。

[0048] 図20は、本実施例における外部共振器レーザーの出力ビームのエタロン（FSR：10GHz）の透過信号を示す図である。上記実施例2では、注入電流（出力）の増加とともに周期的な透過信号の振動が乱れ、複数の縦モード（周波数）で発振が起こってしまっている。しかしながら、本実施形態で

は、ハーフミラーに近接して、回折方向に幅 10 mm のスリットを共振器内に配置しているため、400 mA までの全注入電流において、100 nm を超す同調領域全域にわたって良好な単一周波数発振を保証する良好なエタロン透過信号を得ることができることを確認した。つまり、実施例にかかる外部共振器レーザにおいて、ハーフミラー 4 に近接して回折格子の回折方向にビームを制限するスリット 11 を配置することが、単一発振モード動作の安定化に有効であることが分かった。

[0049] また、図 21 は、本実施形態に係る外部共振器レーザの出力の波長依存性を示す図である。本図で示すように、スリットを設置した場合であっても、出力の減少は極めて軽微であり、スリットの有用性が確認できた。

[0050] 以上、本実施例により、本外部共振器レーザのスペクトル純度の向上、ビームプロファイルの改善における有用性を確認することができた。

産業上の利用可能性

[0051] 本発明は、外部共振器レーザとして産業上の利用可能性がある。

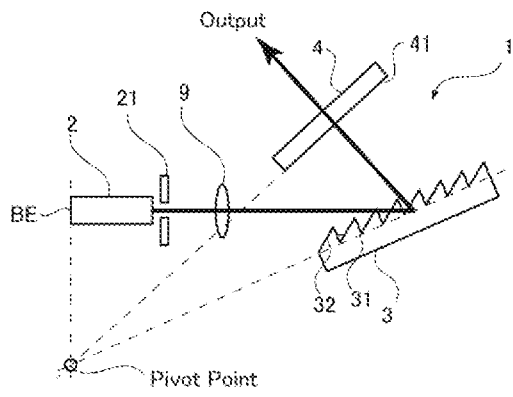
符号の説明

[0052] 1…外部共振器レーザ、2…レーザチップ、3…回折格子、4…ハーフミラー、5…固定支持体、6…軸、7…回転支持体、8…駆動機構、9…コリメートレンズ、10… $\lambda/2$ 板、11…スリット

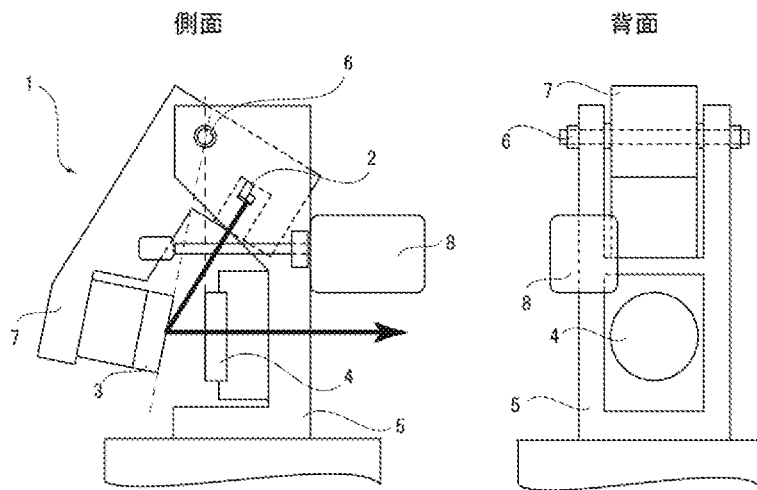
請求の範囲

- [請求項1] 入射される光を一部反射し、一部を透過するハーフミラーが固定された固定支持体と、
前記固定支持体に軸を介して回転可能に支持され、かつ、光を放出するレーザチップ、前記レーザチップから放出される光をコリメートするコリメートレンズ、及び、前記レンズでコリメートされた光を回折させる回折格子が固定されてなる回転支持体と、を有する外部共振器レーザ。
- [請求項2] 前記レーザチップ、前記回折格子及び前記ハーフミラーは L i t t m a n 型の共振器配置となっている請求項 1 記載の外部共振器レーザ。
- [請求項3] 前記コリメートレンズによってコリメートされた楕円形のレーザビームを、回折格子での回折を介して、円形ビームに近い形になるように変換して、ハーフミラーから出力ビームとして取り出す請求項 1 記載の外部共振器レーザ。
- [請求項4] 回転支持体に固定されるペルチェ素子と、該ペルチェ素子に接続されるヒートパイプ付冷却フィンと、を備えた冷却部材と、を有する請求項 1 記載の外部共振器レーザ。
- [請求項5] 前記レーザチップは、曲がり導波路構造又は斜め導波路構造を用いる請求項 1 記載外部共振器レーザ。
- [請求項6] 前記レーザチップの前面に光散乱体ビームフィルタを配置してなる請求項 1 記載の外部共振器レーザ。
- [請求項7] 前記コリメートレンズと前記回折格子の間に 1 / 2 波長板を配置してなる請求項 1 記載の外部共振器レーザ。
- [請求項8] 前記ハーフミラーに近接してスリットを配置してなる請求項 1 記載の外部共振器レーザ。

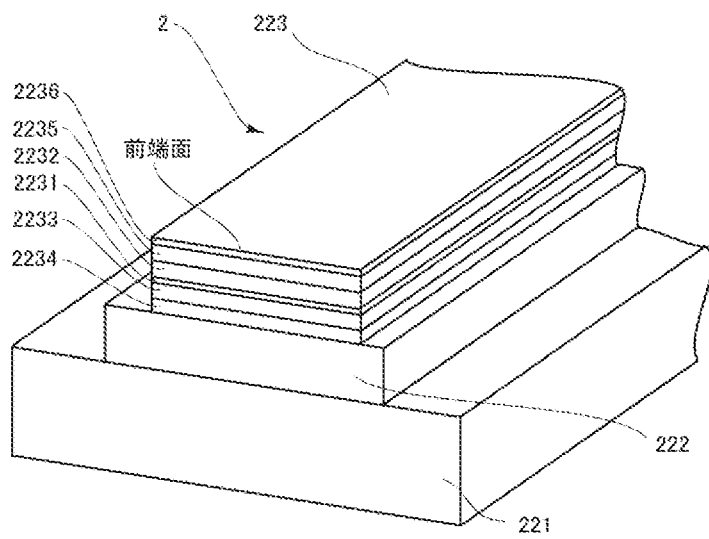
[图1]



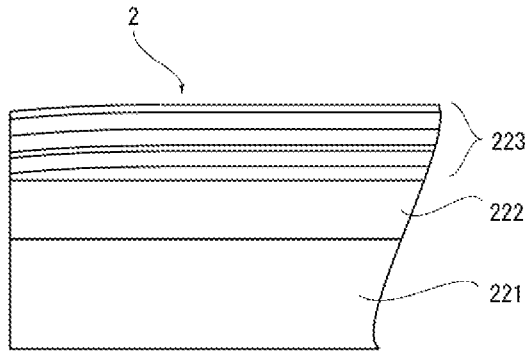
[图2]



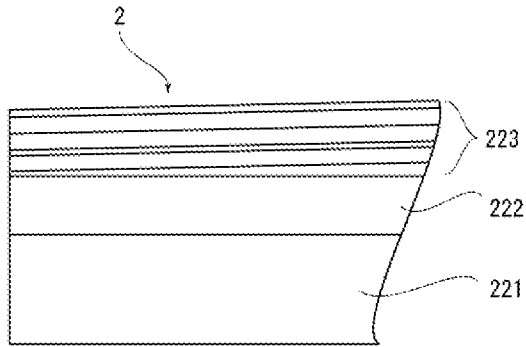
[图3]



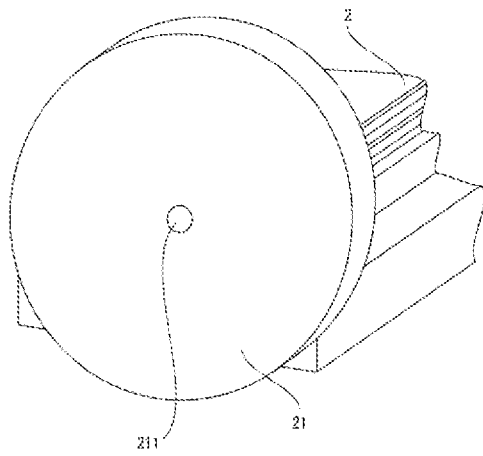
[図4]



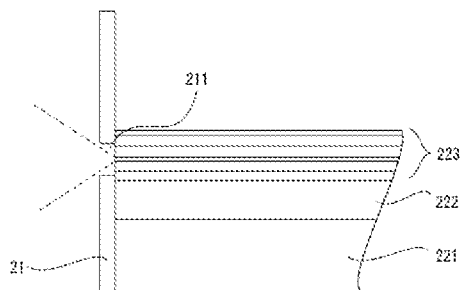
[図5]



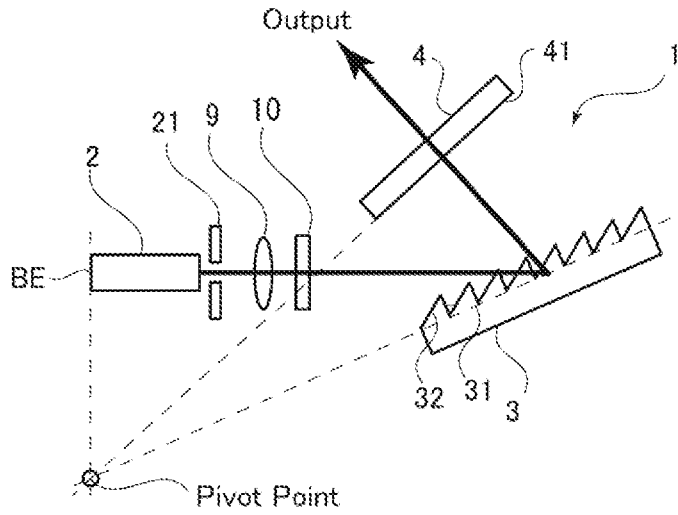
[図6]



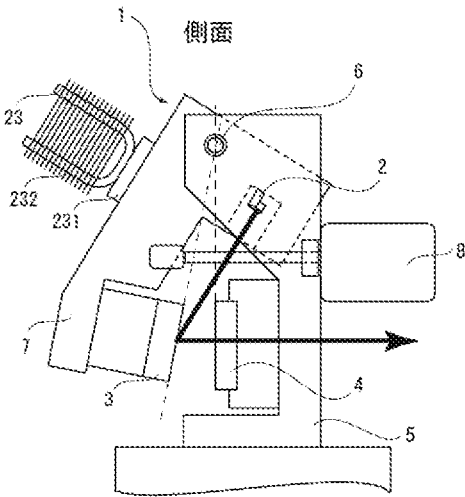
[図7]



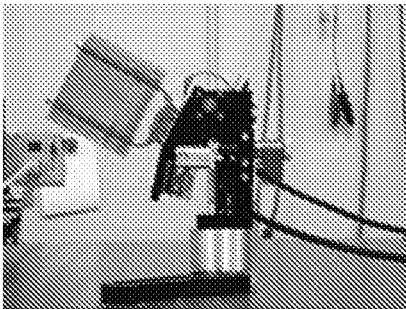
[図8]



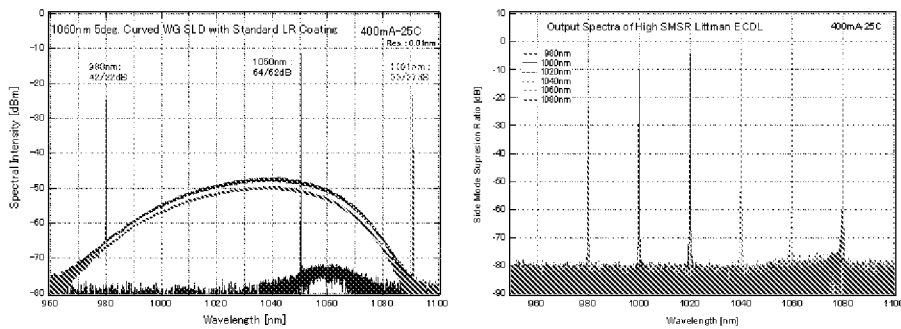
[図9]



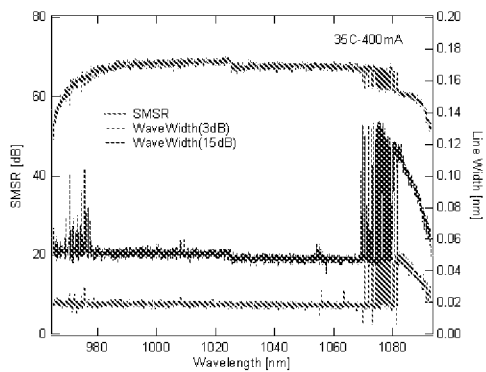
[図10]



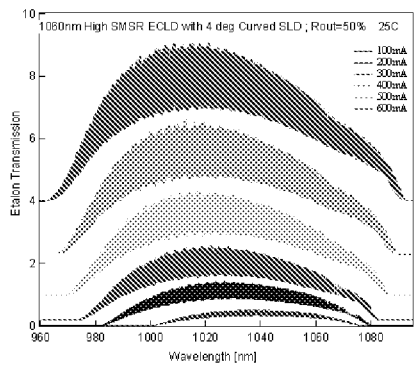
[図11]



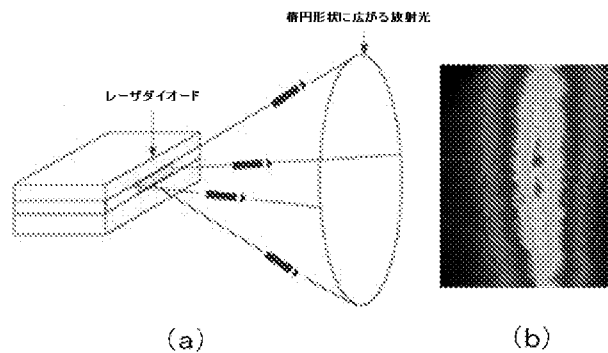
[図12]



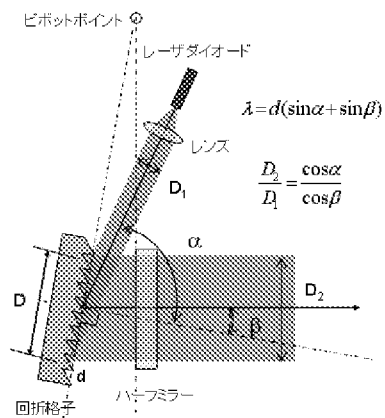
[図13]

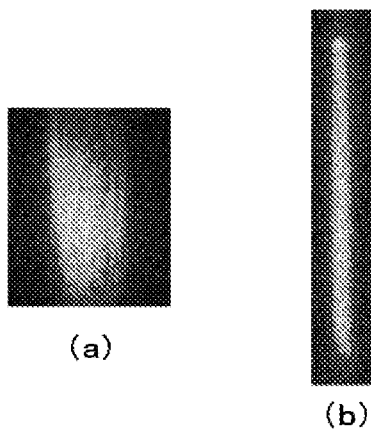
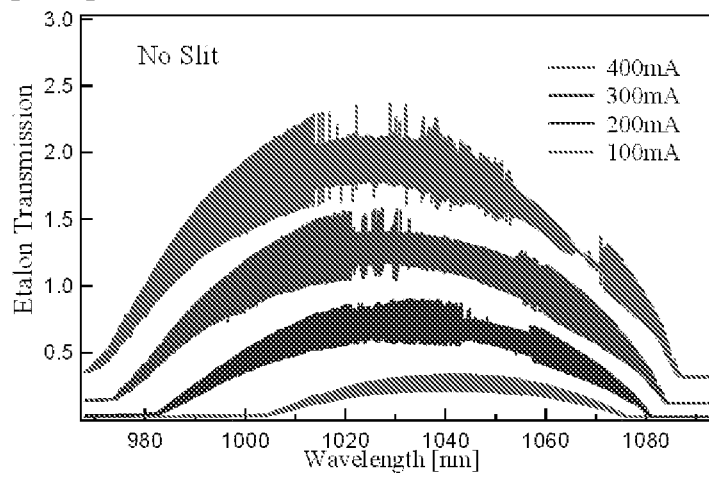
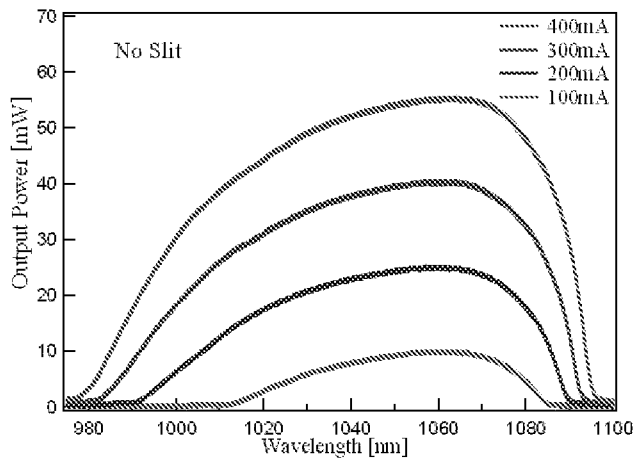


[図14]

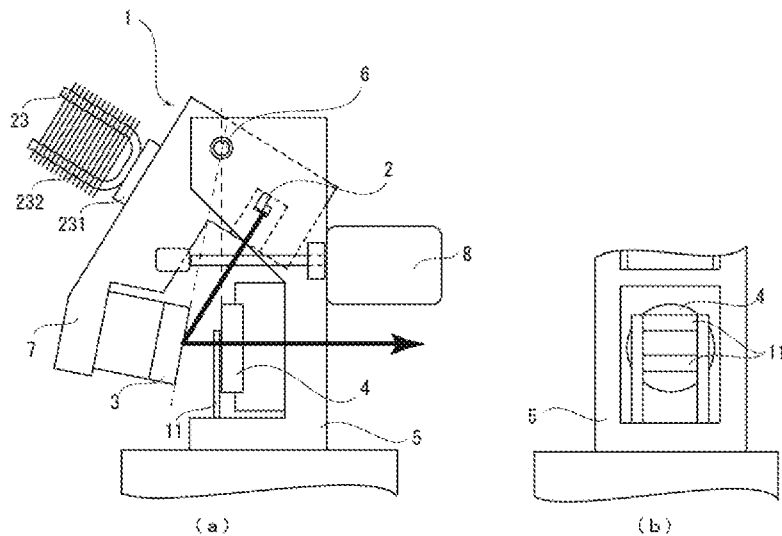


[図15]

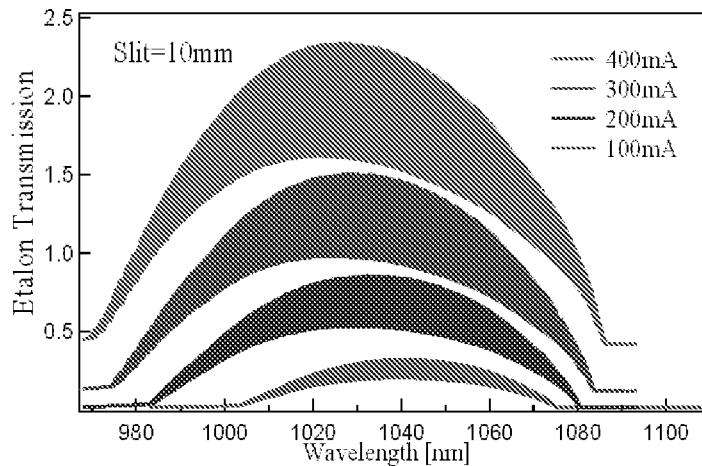


[16][17][18]

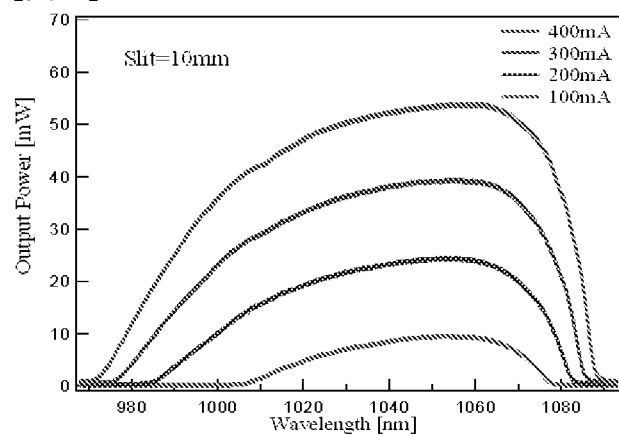
[]19



[]20



[]21



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/073841

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S5/14 (2006.01) i

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)

H01S5/00-5/50

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2008-130805 A (Yokogawa Electric Corp.), 05 June 2008 (05.06.2008), paragraphs [0018] to [0040]; fig. 1, 3 to 5 (Family: none)	1-8
A	JP 4-105382 A (Toshiba Corp.), 07 April 1992 (07.04.1992), page 3, upper right column, line 6 to page 5, upper right column, line 19; fig. 1 to 5 (Family: none)	1-8

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family 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 application or patent 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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
16 March, 2011 (16.03.11)Date of mailing of the international search report
29 March, 2011 (29.03.11)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01S5/14(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01S5/00-5/50

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2011年
日本国実用新案登録公報	1996-2011年
日本国登録実用新案公報	1994-2011年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2008-130805 A (横河電機株式会社) 2008.06.05, 【0018】 - 【0040】欄、図1, 3-5 (ファミリーなし)	1-8
A	JP 4-105382 A (株式会社東芝) 1992.04.07, 第3頁右上欄第6行~ 第5頁右上欄第19行、第1~5図 (ファミリーなし)	1-8

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

16.03.2011

国際調査報告の発送日

29.03.2011

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

土屋 知久

電話番号 03-3581-1101 内線 3255

2K

8826