

(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 6 月 3 日(03.06.2011)

PCT

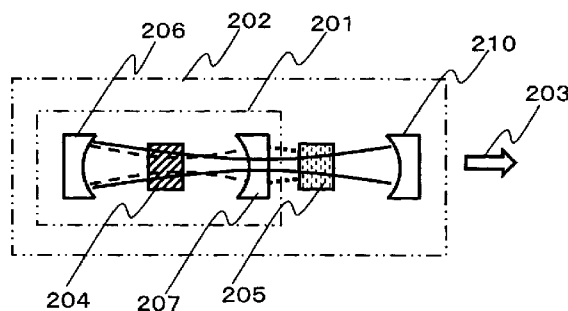
(10) 国際公開番号
WO 2011/065148 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 3/082 (2006.01) H01S 3/094 (2006.01)
H01S 3/06 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/068241
- (22) 国際出願日: 2010 年 10 月 18 日(18.10.2010)
- (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 2009-266211 2009 年 11 月 24 日(24.11.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): センtral硝子株式会社(CENTRAL GLASS COMPANY, LIMITED) [JP/JP]; 〒7550001 山口県宇部市大字沖宇部 5 2 5 3 番地 Yamaguchi (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 久保田 能徳(KUBOTA, Yoshinori). 岡本 英之(OKAMOTO, Hideyuki). 春日 健(KASUGA, Ken). 原 育成(HARA, Ikunari).
- (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, 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 (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:
— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))
- (74) 代理人: 橋本 剛, 外(HASHIMOTO, Takeshi et al.); 〒1040044 東京都中央区明石町 1 番 2 9 号 掖済会ビル S H I G A 内外国特許事務所内 Tokyo (JP).

(54) Title: LASER BEAM SOURCE APPARATUS

(54) 発明の名称: レーザ光源装置

[図2]



(57) Abstract: Disclosed is a laser beam source apparatus provided with: a semiconductor light source comprising a semiconductor light emitting element that irradiates excitation light; a light emitting medium that emits light by absorbing the excitation light, and from which at least a part of the emitted light is outputted as output light; a first optical resonator that configures a first light path, which strengthens the light intensity of the excitation light by making the excitation light resonate with a first reflection element group; and a second optical resonator that configures a second light path, which strengthens the light intensity of the light emitted by the light emitting medium by making the light emitted by the light emitting medium resonate with a second reflection element group. The first light path and the second light path share a section of the light paths thereof, and the semiconductor light emitting element is arranged at the shared section. The light emitting medium is arranged at the second light path. The first reflection element group and the second reflection element group share at least the first reflection element, and the first reflection element reflects both the output light and the excitation light.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2011/065148 A1



レーザ光源装置は、励起光を放射する半導体発光素子を備えた半導体光源と、該励起光を吸収して発光する発光媒質であって、該発光の少なくとも一部が出力光として出力される該発光媒質と、該励起光を共振させてその光強度を増強する第1光路を第1反射要素組により構成する第1光共振器と、該発光媒質の発光を共振させてその光強度を増強する第2光路を第2反射要素組により構成する第2光共振器を備える。該第1光路と該第2光路が一部を共有し、該共有部に該半導体発光素子が配置される。該発光媒質が該第2光路に配置される。該第1反射要素組と該第2反射要素組が少なくとも第1反射要素を共有し、該第1反射要素が該出力光と該励起光を共に反射する。

明 細 書

発明の名称： レーザ光源装置

技術分野

[0001] 本発明は製造が容易で高効率なレーザ光源装置を得るための共振器構成およびそれを用いたレーザ光源装置に関するものである。

背景技術

[0002] 半導体レーザを励起源や基本波の光源として用いたレーザ光源装置としては、半導体光源を励起光源とする固体レーザ、半導体レーザまたは半導体レーザ励起固体レーザを基本波とする波長変換レーザが知られている。

[0003] 半導体レーザ励起の固体レーザとしては、希土類や遷移金属イオンを添加した結晶、ガラス、セラミックス、ファイバなどの固体レーザ材料を、半導体レーザや高出力LEDで励起する方法が知られており、高品質なレーザ光が得られている。固体レーザの共振器としては、ファブリペロー形式、リング形式などが知られており、半導体レーザが発生する励起光をこの共振器の外側からダイクロイックミラーを通して固体レーザ材料に照射し、固体レーザ共振器内に目的のレーザ波長の光を閉じこめてレーザ発振させる。ファイバレーザでは、ファイバ端面に成膜したレーザ用のミラーやファイバブラッグ回折格子を用いて固体レーザ共振器を構成し、全ファイバ型でレーザを構成することもできる。ファイバレーザでは、励起光源としてファイバピグテール付の半導体励起光源が用いられる事が多く、通常は半導体励起光源とファイバレーザ材料の間に、発生したファイバレーザ光が半導体励起光源側に戻らないようなアイソレータやフィルタが設置される。このようなレーザ共振器構成では、励起光が発生する半導体レーザ共振器と、励起光を吸収してレーザ光が発生する固体レーザ共振器は、相互に完全に独立している。

[0004] 上記の従来型の固体レーザ共振器に対し、半導体レーザからの励起光と固体レーザ光のモード重なりを改善するために、半導体レーザ共振器内に固体レーザ媒質を配置するレーザ共振器構成が提案されている（特許文献1）

- 。
- [0005] 波長変換レーザは、主に半導体レーザや固体レーザで得ることが困難とされている、可視光レーザや中赤外波長帯のレーザに用いられている。波長変換レーザには、第二次高調波（SHG）、和周波（SFG）、差周波（DFG）などの非線形波長変換技術が利用されている。基本波の発生には、半導体レーザ励起固体レーザまたは半導体レーザが用いられる。共振器構成については、基本波と波長変換した光を同じ共振器内に閉じこめることで高効率化を図る共振器内波長変換が提案されている。
- [0006] 基本波が半導体レーザ励起固体レーザの場合の共振器内波長変換では、固体レーザ媒質と非線形光学結晶が同一の共振器内に設置され、この共振器の外側から半導体レーザで励起する方法が提案されている（特許文献2～5）。このようなレーザでは、励起光を発生する半導体レーザ共振器と、固体レーザ材料と非線形光学結晶が置かれたレーザ共振器は互いに独立している。
- 。
- [0007] 基本波が半導体レーザの場合の共振器内波長変換では、同一の共振器内に半導体レーザ材料と非線形光学結晶を設置して共振器を共有し、半導体レーザが発する基本波と非線形光学結晶で波長変換された光のモードを一致させることで高効率化する方法が提案されている（特許文献6）。また、半導体レーザが発する基本波を共振器によって閉じこめ、この共振器内に非線形光学結晶を置いて第二次高調波を発生させるが、波長変換された光は半導体レーザ内を通過して折り返されるだけで共振器を構成せず、そのまま取り出される方法も提案されている（特許文献7）。
- [0008] 非線形光学結晶などを用いた波長変換レーザでは、半導体レーザが発生する基本波に対して非線形光学結晶の吸収損失が十分に低いため、基本波を閉じこめて非線形光学結晶中の光密度を高めるか、基本波の閉じ込めを強めて折り返し回数を増やし、非線形光学結晶との相互作用長を長くすれば高効率化が可能となる。
- [0009] 一方、半導体光源を励起光源として用い、希土類などを添加した固体レ

ーザ材料からの発光を利用する固体レーザやファイバレーザにおいては、単に励起光を閉じ込めるだけでは十分なレーザ特性を得ることが困難である。これは、発光媒質に活性イオンとして添加されている希土類や遷移金属イオンによって励起光が吸収されるため、発光媒質の吸収（損失）特性と発光（利得）特性と、共振器の構成（帰還率）とを最適化することが困難になるためである。

[0010] 例えば、半導体レーザ共振器内に固体レーザ材料を置く共振器の構成方法を用いる方法が提案されている（特許文献8）が、半導体光源の共振条件と固体発光媒質のレーザ共振条件を同時に実現するために、利得や損失の調整、モード体積の一致、相互の光軸の同時調整などの必要があり、全てを最適に実現することが困難である。特に、半導体レーザにとっては発光媒質である固体レーザ材料が吸収媒質となるため、固体レーザ材料が吸収飽和を起こす領域しか半導体レーザ発振に使用できず、結果的に高出力な半導体レーザ発振が可能な注入電流を一時的に与えるか、固体レーザ材料の吸収を減らす（すなわち、固体レーザ出力を低出力に設定する）必要があつて、利得と損失のバランス調整が困難である。また、利得と損失のバランス調整に成功した場合でも、レーザ発振には固体レーザ材料の吸収飽和特性を考慮しなければならないため、特定の励起パワー、または固体レーザ材料が発光する特定の出力以外では最適なレーザ共振器の条件からはずれてしまう。

[0011] 固体レーザ材料と一般的な空間光学系を用いた固体レーザでは、半導体光源の光共振器と固体レーザ材料の光共振器は互いに独立しており、光学的配置に関して相互に独立しており、光学調整も独立に行う必要がある。このため、半導体光源からの励起光を固体レーザ材料に集光照射して所望の出力光を得ようとした場合、固体レーザのレーザ共振器の光学部品位置最適化と、励起光の結合効率の最適化を両立させるために、煩雑な光学部品位置調整が必要であり、最適な共振器を構成することは困難である。

[0012] また、半導体レーザとしてGaN系半導体レーザを用い、発光媒質としてPr³⁺を添加したZBLANファイバを用いることにより、可視広帯域で広

帯域波長の可変レーザも提案されている（非特許文献１）。

先行技術文献

特許文献

- [0013] 特許文献1：特開平06－112560号公報
特許文献2：特開平7－106682号公報
特許文献3：特開平7－104332号公報
特許文献4：特開平6－350168号公報
特許文献5：特開平5－95145号公報
特許文献6：特開平6－112560号公報
特許文献7：特開昭62－86881号公報
特許文献8：特開平6－112560号公報

非特許文献

- [0014] 非特許文献1：Hideyuki Okamoto, Ken Kasuga, Ikunari Hara, and Yishinori Kubota; Ultra-Wideband Tunable RGB Fiber Laser, Proceedings of Conference on Lasers and Electro-Optics and The International Quantum Electronics Conference 2009 (CLEO/IQEC 2009), CFB7

発明の概要

- [0015] 上記のように、半導体光源を励起光源として用い、希土類などを添加した固体レーザ材料からの発光を利用する固体レーザやファイバレーザにおいて、発光媒質の吸収（損失）特性と発光（利得）特性と、共振器の構成（帰還率）とを最適化することが困難であり、また、固体レーザのレーザ共振器の光学部品位置最適化と、励起光の結合効率の最適化とを両立させるためには、煩雑な光学部品位置調整が必要である。

- [0016] 本発明では、半導体光源による発光媒質の高効率励起および、複数の共振器の最適化による高効率発光が可能となるだけでなく、光源の性能を最適化するための光学的位置調整が簡単になり、輝度が高く発光効率の高い光源装置が容易に実現できるレーザ光源装置を提供することを目的としている。
- [0017] 本発明者らは、上記の課題に対して鋭意検討を重ねた結果、半導体光源を励起源に用い、この励起光を吸収して発光する固体レーザ材料の出力を取り出すレーザ光源装置において、固体レーザの光共振器が半導体レーザの光共振器と別々であり、かつそれぞれの共振器の光路中の少なくとも1つの高反射率の反射要素を共有し、固体レーザ材料からの放射光が半導体レーザ中の半導体チップ内を通過する構成とすることで問題を解決できることに思い至り、本発明に至った。
- [0018] すなわち本発明は、励起光を放射する半導体発光素子を備えた半導体光源と、該励起光を吸収して発光する発光媒質であって、該発光の少なくとも一部が出力光として出力される該発光媒質と、該励起光を共振させてその光強度を増強する第1光路を第1反射要素組により構成する第1光共振器と、該発光媒質の発光を共振させてその光強度を増強する第2光路を第2反射要素組により構成する第2光共振器を備えたレーザ光源装置であって、該第1光路と該第2光路が一部を共有し、該共有部に該半導体発光素子が配置され、該発光媒質が該第2光路に配置され、該第1反射要素組と該第2反射要素組が少なくとも第1反射要素を共有し、該第1反射要素が該出力光と該励起光を共に反射するレーザ光源装置を提供するものである。
- [0019] さらに、該第1光共振器と該第2光共振器が共にファブリペロー型の光共振器であって、該第1反射要素組が該第1反射要素以外の第2反射要素を有し、該第2反射要素が該第1光共振器の光出射端を構成し、該第2反射要素は、該第1光共振器の所望の発振波長の光の反射率が該第1反射要素より低く、該第2反射要素組が該第1反射要素以外の第3反射要素を有し、該第3反射要素が該第2光共振器の光出射端を構成し、該第3反射要素は、該第2光共振器の所望の発振波長の光の反射率が該第1反射要素より低いレー

ザ光源装置を提供するものである。

図面の簡単な説明

- [0020] [図1]本発明による第1の実施の形態の概略図を示すものである。
- [図2]本発明による第2の実施の形態の概略図を示すものである。
- [図3]本発明による第3の実施の形態の概略図を示すものである。
- [図4]本発明による第4の実施の形態の概略図を示すものである。
- [図5]本発明による第5の実施の形態の概略図を示すものである。
- [図6]本発明による第6の実施の形態の概略図を示すものである。
- [図7]本発明による第7の実施の形態の概略図を示すものである。
- [図8]本発明による第8の実施の形態の概略図を示すものである。
- [図9]本発明による第9の実施の形態の概略図を示すものである。
- [図10]本発明による第10の実施の形態の概略図を示すものである。
- [図11]比較例1に用いた装置の概略図を示すものである。
- [図12]比較例2に用いた装置の概略図を示すものである。

発明を実施するための形態

- [0021] 本発明により、光源の性能を最適化するための光学的位置調整が簡単で、得られるレーザ光の輝度が高く発光効率の高いレーザ光源装置を容易に得ることができる。
- [0022] 以下、図面を参照して、本発明の実施の形態について説明する。
- [0023] 本発明の第1の実施の形態に係るレーザ光源装置の配置について、図1を用いて説明する。
- [0024] 図1では、半導体発光素子4を励起光源として用い、この励起光を吸収して励起光と異なる波長の光を放射する発光媒質5を備え、励起光を発生する半導体光素子4の光を増強するための共振器として、反射要素6、反射要素7、反射要素8からなる半導体レーザ共振器1（第1光共振器）と、発光媒質5からの発光を増強するための共振器として、反射要素6、反射要素9、反射要素10からなる固体レーザ共振器2（第2光共振器）とを備え、半導体レーザ共振器1（第1光共振器）と固体レーザ共振器2（第2光共振器）

）は互いに反射要素 6（第 1 反射要素）と光路の一部を共有しており、その共有光路内に励起光を放射する半導体発光素子 4 が設置されており、固体レーザ共振器 2 の共有されていない光路内に発光媒質 5 が設置されている。

[0025] さらに、反射要素 6（第 1 反射要素）は、光路変換ミラーとして半導体発光素子 4 からの励起光波長と発光媒質 5 からの発光波長の両方の光を高反射する反射要素であり、反射要素 7 は、半導体発光素子 4 で発生する励起光を部分反射し発光媒質 5 の発光波長の光を透過する反射要素であり、反射要素 8 は、半導体発光素子 4 で発生する励起光を高反射する反射要素であり、反射要素 9 は、ダイクロイックミラーとして半導体発光素子 4 で発生する励起光を高透過し発光媒質 5 の発光波長の光を高反射する反射要素であり、反射要素 10 は、発光媒質 5 の発光波長の光を部分反射および部分透過する反射要素である。

[0026] 発光媒質 5 は、反射要素 7 を透過した励起光を吸収することにより発生する蛍光を放射する。放射される蛍光は反射要素 6、反射要素 9、反射要素 10 からなるリング状の共振器（固体レーザ共振器 2）内を周回するうちに増幅され、レーザ発振する。発振したレーザ光の一部は、反射要素 10 を通して外部に出力 3 される。

[0027] 以上の第 1 の実施の形態によれば、以下に示す作用効果を奏する。

[0028] まず半導体レーザ共振器 1（第 1 光共振器）を最適化して励起光強度を最大化し、その後半導体レーザ共振器 1 との共有光路や共有する反射要素 6（第 1 反射要素）を固定したまま、発光媒質 5 の位置および固体レーザ共振器 2（第 2 光共振器）の反射要素 10（共有していない反射要素）の位置や角度を最適化することで、容易に光出力の最大化を図ることができる。この時、固体レーザ共振器 2 を調整中であっても、半導体レーザ共振器 1 は独立した共振器であるために影響を受けない。また固体レーザ共振器 2 は、最適化された半導体レーザ共振器 1 から最適化された出力で励起光を供給されているため、発光媒質 5 は強い光を放射できる。

[0029] さらに、固体レーザ共振器 2 がレーザ発振を開始するためには、半導体

レーザ共振器 1 との共有部分で光軸が一致または十分に近接する必要がある。これは、半導体レーザ共振器 1 でレーザ発振している半導体レーザの光軸付近以外では、半導体レーザ共振器 1 内の半導体発光素子などによる吸収や散乱などが起こり、固体レーザ共振器 2 は低損失にならないためである。この効果によって、固体レーザ共振器 2 を調整してレーザ発振した時には、同時に自ずと半導体レーザ共振器 1 との光軸が揃っていることになる。つまり、半導体レーザ共振器 1 と固体レーザ共振器 2 の光軸が一致または近接することで、固体レーザ共振器 2 で発生するレーザ光の発振波長と半導体レーザ共振器 1 で発生する励起光の波長でのモード重なりを最大化しやすくなる。この両方の波長でモード重なりを最大化するためには、励起光を発光媒質 5 に入射している入射光学系や固体レーザ共振器 2 の反射要素 10（共有していない反射要素）と発光媒質 5 の光軸方向の距離を調整し、発光媒質 5 への集光スポット径、焦点距離などを調整して、目的とするレーザ出力を最大化できる。したがって、簡単な光学調整により容易に光学系の調整が可能となり、輝度が高く発光効率の高いレーザ光源装置が容易に実現可能となる。

[0030] また、図 1 で示される共振器をさらに構成を単純化した第 2 の実施の形態について、図 2 を用いて説明する。尚、図 1 で共通する部分の説明は省略する。

[0031] 励起光を発生する半導体光素子 204 の光を増強するための共振器として、反射要素 206 と反射要素 207 からなる半導体レーザ共振器 201（第 1 光共振器）と、発光媒質 205 からの発光を増強するための共振器として、反射要素 206（第 1 反射要素）と反射要素 210 からなる固体レーザ共振器 202（第 2 光共振器）とを備え、ファブリペロー型の固体レーザ共振器 202 内に固体レーザ共振器 202 の反射要素の一枚（反射要素 206）を共有して、ファブリペロー型の半導体レーザ共振器 201 が設置されている。図 2 で示される形態は、図 1 における反射要素 8 および 9 に相当する反射要素が除かれ、図 1 に比べ構成要素の数が少ない、より単純化した構成となっている。

[0032] 発光媒質 205 は、反射要素 207 を透過した励起光を吸収することにより発生する蛍光を放射する。発光媒質 205 から放射される蛍光は、反射要素 210 と共有する反射要素 206 の間に閉じ込められて往復する間に増強され、レーザ発振する。発振したレーザ光の一部は、反射要素 210 を通して外部に出力 203 される。

[0033] 以上の第 2 の実施の形態によれば、以下に示す作用効果を奏する。第 1 の実施の形態と同様の効果が得られる。さらに、第 1 の実施の形態より簡単な光学調整により容易に光学系の調整が可能となる。

[0034] 本発明の第 1 の実施の形態と第 2 の実施の形態では特に図に示していないが、反射要素 7 と発光媒質 5 の間および反射要素 207 と発光媒質 205 の間に、励起光を発光媒質に集光照射するためのレンズを追加することができる。このレンズには、発振するレーザ光と励起光の両方において低反射である広帯域無反射コーティングを施すことが好ましい。またレンズとしては、発振するレーザ光の波長と励起光の波長で焦点距離が略等しく、収差が抑制された色消しレンズや非球面レンズを用いることが好ましい。また、このようなレンズの代わりに、反射要素 7 の発光媒質 5 側および反射要素 207 の発光媒質 205 側を凸レンズ形状とし、励起光を発光媒質に集光する機能を持たせても良い。

[0035] さらに、発光媒質として光導波路の形態を用いることができるため、光導波路の形態の一つであるファイバの形態をした発光媒質を用いる場合の第 3 の実施の形態について、図 3 を用いて説明する。

[0036] 図 3 では、半導体発光素子 304 を励起光源として用い、この励起光を吸収して励起光と異なる波長の光を放射するファイバ形態の発光媒質 305 を備え、励起光を発生する半導体光素子 304 の光を増強するための共振器として、反射要素 306 と反射要素 313 からなる半導体レーザ共振器 301（第 1 光共振器）と、発光媒質 305 からの発光を増強するための共振器として、反射要素 306（第 1 反射要素）と反射要素 314 からなる固体レーザ共振器 302（第 2 光共振器）とを備え、半導体レーザ共振器 301（

第 1 光共振器) と固体レーザ共振器 302 (第 2 光共振器) は互いに反射要素 306 と光路の一部を共有しており、その共有光路内に励起光を放射する半導体発光素子 304 が設置されており、固体レーザ共振器 302 の共有されていない光路内に発光媒質 305 が設置されている。

[0037] さらに、反射要素 306 (第 1 反射要素) は、共有ミラーとして半導体発光素子 304 からの励起光波長と発光媒質 305 からの発光波長の両方の光を高反射する反射要素であり、反射要素 313 は、発光媒質 305 の発光波長の光を透過し且つ半導体発光素子 304 側の面が半導体発光素子 304 で発生する励起光を部分反射する反射要素であり、発光媒質 305 側の反射要素 313 の形状は、発光媒質 305 の励起側端面 315 に励起光を集光できるように凸レンズ形状となっている。また、ファイバ形態の発光媒質 305 からの放射光を半導体発光素子 304 の活性層に概略結合できるように配置されている。

[0038] 反射要素 314 は、発光媒質 305 の半導体発光素子 304 と反対側の端面に、発光媒質 305 からの蛍光を部分反射する光学薄膜が直接成膜されるか、または該光学薄膜が成膜された透明基板を接着あるいはオプティカルコンタクトあるいは融着することで装備されている。

[0039] 発光媒質 305 は、反射要素 313 を透過した励起光を吸収することにより発生する蛍光を放射する。発光媒質 305 からの蛍光は、反射要素 314 と反射要素 306 の間を往復する間に増強され、レーザ発振する。発振したレーザ光の一部は、反射要素 314 を通して外部に出力 303 される。

[0040] 励起側端面 315 は、励起光波長と発振したレーザ光波長の両方で低反射率である広帯域無反射コーティングが施されている。

[0041] 以上の第 3 の実施の形態によれば、以下に示す作用効果を奏する。

[0042] まず半導体レーザ共振器 301 (第 1 光共振器) を最適化して励起光強度を最大化する。その後半導体レーザ共振器 301 との共有光路や共有する反射要素 306 (第 1 反射要素) を固定したまま、光導波路の入力端 315 を、集光機能を有する反射要素 313 の焦点付近で位置調整と角度調整し、

半導体レーザの出力が概略ファイバコアに結合するように調芯する。発光媒質 305 は導波路形状をしており、固体レーザ共振器 302 の出力用部分反射鏡である反射要素 314 をその一端にすでに備えていることから、共振器の半分は励起光を結合した段階で完成している。その後、出力 303 をモニタしながら、主に入力端 315 の角度を調整して出力を最大化していくと、容易にレーザ発振が得られる。この時、単にレーザ発振するだけでなく、第 1 の実施の形態で述べたのと同じ理由によって、レーザ発振と同時に自動的に半導体レーザ共振器 301 と固体レーザ共振器 302 の光軸がほぼ一致する。このため、レーザ発振が容易であるだけでなく、出力の最大化と、モード重なり最大化による高効率化が、同時に達成できる。したがって、発光媒質が導波路形状である場合においても、簡単な光学調整により容易に光学系の調整が可能となり、輝度が高く発光効率の高いレーザ光源装置が容易に実現可能となる。

[0043] ファイバの形態をした発光媒質を用いる場合の他の例として第 4 の実施の形態について、図 4 を用いて説明する。

[0044] 図 4 では、半導体発光素子 404 を励起光源として用い、この励起光を吸収して励起光と異なる波長の光を放射するファイバ形態の発光媒質 405 を備え、励起光を発生する半導体光素子 404 の光を増強するための共振器として、反射要素 406（第 1 反射要素）と反射要素 413 からなる半導体レーザ共振器 401（第 1 光共振器）と、発光媒質 405 からの発光を増強するための共振器として、反射要素 406 と反射要素 414 からなる固体レーザ共振器 402（第 2 光共振器）とを備え、半導体レーザ共振器 401（第 1 光共振器）と固体レーザ共振器 402（第 2 光共振器）は互いに反射要素 406 と光路の一部を共有しており、その共有光路内に励起光を放射する半導体発光素子 404 が設置されており、固体レーザ共振器 402 の共有されていない光路内に発光媒質 405 が設置されている。

[0045] さらに、反射要素 406（第 1 反射要素）は、共有ミラーとして半導体発光素子 404 からの励起光波長と発光媒質 405 からの発光波長の両方の

光を高反射する反射要素であり、反射要素 4 1 3 は、半導体発光素子 4 0 4 で発生する励起光を部分反射し且つ発光媒質 4 0 5 の発光波長の光を透過する反射要素で、半導体発光素子 4 0 4 の端面に直接成膜された誘電体多層膜またはフレネル反射を利用したクリーブ端面である。発光媒質 4 0 5 の半導体発光素子側端面 4 1 6 は、半導体発光素子 4 0 4 からの励起光を集光し発光媒質 4 0 5 からの発光を半導体発光素子 4 0 4 の活性層に結合するようにレンズ形状に研磨されており、半導体発光素子 4 0 4 の活性層に近接して配置されている。

[0046] 反射要素 4 1 4 は、発光媒質 4 0 5 の半導体発光素子 4 0 4 と反対側の端面に、発光媒質 4 0 5 からの蛍光を部分反射する光学薄膜が直接成膜されるか、または該光学薄膜が成膜された透明基板を接着あるいはオプティカルコンタクトあるいは融着することで装備されている。

[0047] 発光媒質 4 0 5 は、反射要素 4 1 3 を透過した励起光を吸収することにより発生する蛍光を放射する。発光媒質 4 0 5 からの蛍光は、反射要素 4 1 4 と反射要素 4 0 6 の間を往復する間に増強され、レーザ発振する。発振したレーザ光の一部は、反射要素 4 1 4 を通して外部に出力 4 0 3 される。

[0048] 励起側端面 4 1 6 は、励起光波長と発振したレーザ光波長の両方で低反射率である広帯域無反射コーティングが施されている。

[0049] 以上の第 4 の実施の形態によれば、以下に示す作用効果を奏する。

[0050] 第 3 の実施形態と同様の効果が得られる。さらに、入射端面がレンズ形状のいわゆるレンズドファイバを用いることによって、半導体レーザ共振器 4 0 1 から放射する励起光を発光媒質 4 0 5 に結合する結合光学系を小型化する事ができる。また、この光学結合部分を小型化する事によって、光学結合部分の固定が容易かつ強固なものとなり、振動や温度変化による結合効率の変化や変移を抑制することができる。

[0051] ファイバの形態をした発光媒質を用いる場合の他の例として第 5 の実施の形態について、図 5 を用いて説明する。

[0052] 図 5 では、半導体発光素子 5 0 4 を励起光源として用い、この励起光を

吸収して励起光と異なる波長の光を放射するファイバ形態の発光媒質 505 を備え、励起光を発生する半導体発光素子 504 の光を増強するための共振器として、反射要素 506（第 1 反射要素）と反射要素 513 からなる半導体レーザ共振器 501（第 1 光共振器）と、発光媒質 505 からの発光を増強するための共振器として、反射要素 506 と反射要素 514 からなる固体レーザ共振器 502（第 2 光共振器）とを備え、反射要素 514 は出力ファイバ 517 を備え、半導体レーザ共振器 501（第 1 光共振器）と固体レーザ共振器 502（第 2 光共振器）は互いに反射要素 506 と光路の一部を共有しており、その共有光路内に励起光を放射する半導体発光素子 504 が設置されており、固体レーザ共振器 502 の共有されていない光路内に発光媒質 505 が設置されている。

[0053] さらに、反射要素 506（第 1 反射要素）は、共有ミラーとして半導体発光素子 504 からの励起光波長と発光媒質 505 からの発光波長の両方の光を高反射する反射要素であり、反射要素 513 は、発光媒質 505 の発光波長の光を透過し且つ半導体発光素子 504 側の面が半導体発光素子 504 で発生する励起光を部分反射する反射要素であり、発光媒質 505 側の反射要素 513 の形状は、発光媒質 505 の励起側端面 515 に励起光を集光できるように凸レンズ形状となっている。また、ファイバ形態の発光媒質 505 からの放射光を半導体発光素子 504 の活性層に概略結合できるように配置されている。

[0054] 発光媒質 505 の半導体発光素子 504 側と反対側の端面に、発光媒質 505 からの蛍光を部分反射する反射要素 514 が端面に直接成膜された出力ファイバ 517 の反射要素 514 が成膜されている端面が融着接続されている。

[0055] 発光媒質 505 は、反射要素 513 を透過した励起光を吸収することにより発生する蛍光を放射する。発光媒質 505 からの蛍光は、反射要素 514 と反射要素 506 の間を往復する間に増強され、レーザ発振する。発振したレーザ光の一部は、反射要素 514 を通して出力ファイバ 517 に伝搬し

、出力ファイバ517端面から外部に出力503される。

[0056] 励起側端面515は、励起光波長と発振したレーザ光波長の両方で低反射率である広帯域無反射コーティングが施されている。

[0057] 以上の第5の実施の形態によれば、以下に示す作用効果を奏する。

[0058] 第3の実施形態と同様の効果が得られる。さらに、出力ファイバ517の出力503側の末端に固体レーザ共振器502を構成する反射要素がなく、反射要素514は融着部で保護されているため、耐環境性と耐久性に優れる。特に発光媒質505が耐環境性に問題がある場合、ハーメチックシールの筐体から出力ファイバ517だけを外部に露出することで、発光媒質505の劣化を防止する事ができる。

[0059] ファイバの形態をした発光媒質を用いる場合の他の例として第6の実施の形態について、図6を用いて説明する。

[0060] 図6では、半導体発光素子604を励起光源として用い、この励起光を吸収して励起光と異なる波長の光を放射するファイバ形態の発光媒質605を備え、励起光を発生する半導体光素子604の光を増強するための共振器として、反射要素606（第1反射要素）と反射要素613からなる半導体レーザ共振器601（第1光共振器）と、発光媒質605からの発光を増強するための共振器として、反射要素606と反射要素614からなる固体レーザ共振器602（第2光共振器）とを備え、半導体レーザ共振器601（第1光共振器）と固体レーザ共振器602（第2光共振器）は互いに反射要素606と光路の一部を共有しており、その共有光路内に励起光を放射する半導体発光素子604が設置されており、固体レーザ共振器602の共有されていない光路内に発光媒質605が設置されている。

[0061] さらに、反射要素606（第1反射要素）は、共有ミラーとして半導体発光素子604からの励起光波長と発光媒質605からの発光波長の両方の光を高反射する反射要素であり、反射要素613は、発光媒質605の発光波長の光を透過し且つ半導体発光素子604で発生する励起光を部分反射する反射要素で、半導体発光素子604の端面に直接成膜された誘電体多層膜

またはフレネル反射を利用したクリーブ端面である。発光媒質 605 の半導体発光素子側には、入力ファイバ 618 が融着点 619 で融着接続されており、入力ファイバ 618 の半導体発光素子 604 側の端面 616 は、半導体発光素子 604 からの励起光を集光し発光媒質 605 からの発光を半導体発光素子 604 の活性層に結合するようにレンズ形状に研磨されており、半導体発光素子 604 の活性層に近接して配置されている。発光媒質 605 の入力ファイバ 618 側と反対側の端面には、発光媒質 605 からの蛍光を部分反射する反射要素 614 が、光学薄膜が直接成膜されるか、または該光学薄膜が成膜された透明基板を接着あるいはオプティカルコンタクトあるいは融着することで装備されている。

[0062] 入力ファイバ 618 は、発光媒質 605 で発光する光および半導体発光素子 604 で発生する励起光を低損失で双方向に伝搬することができる。入力ファイバ 618 を伝搬する励起光は、融着点 619 を介してファイバ形態の発光媒質 605 のコアに結合する。

[0063] 発光媒質 605 は、反射要素 613 を透過した励起光を吸収することにより発生する蛍光を放射する。発光媒質 605 からの蛍光は、反射要素 614 と反射要素 606 の間を往復する間に増強され、レーザ発振する。発振したレーザ光の一部は、反射要素 614 を通して外部に出力 603 される。

[0064] 入力ファイバ 618 の端面 616 は、励起光波長と発振したレーザ光波長の両方で低反射率となる、広帯域無反射コーティングが施されている。

[0065] 以上の第 6 の実施の形態によれば、以下に示す作用効果を奏する。

[0066] 第 4 の実施形態と同様の効果が得られる。さらに、入力ファイバ 618 は発光媒質 605 と異なるファイバを用いることができるので、例えば石英を用いたレンズドファイバなど汎用的な光学部品を用いる事ができる。このため、発光媒質 605 が例えばフッ化物ファイバであった場合、加工が必ずしも容易でないことから、製品の加工歩留まりを向上させると共に、安価な汎用部品を用いる事で製造コストを抑制する事ができる。

[0067] ファイバの形態をした発光媒質を用いる場合の他の例として第 7 の実施

の形態について、図7を用いて説明する。

[0068] 図7では、半導体発光素子704を励起光源として用い、この励起光を吸収して励起光と異なる波長の光を放射するファイバ形態の発光媒質705を備え、励起光を発生する半導体発光素子704の光を増強するための共振器として、反射要素706（第1反射要素）と反射要素713からなる半導体レーザ共振器701（第1光共振器）と、発光媒質705からの発光を増強するための共振器として、反射要素706と反射要素714からなる固体レーザ共振器702（第2光共振器）とを備え、反射要素714は出力ファイバ717を備え、半導体レーザ共振器701（第1光共振器）と固体レーザ共振器702（第2光共振器）は互いに反射要素706と光路の一部を共有しており、その共有光路内に励起光を放射する半導体発光素子704が設置されており、固体レーザ共振器702の共有されていない光路内に発光媒質705が設置されている。

[0069] さらに、反射要素706（第1反射要素）は、共有ミラーとして半導体発光素子704からの励起光波長と発光媒質705からの発光波長の両方の光を高反射する反射要素であり、反射要素713は、発光媒質705の発光波長の光を透過し且つ半導体発光素子704側の面が半導体発光素子704で発生する励起光を部分反射する反射要素であり、発光媒質705の半導体発光素子704側には、入力ファイバ718が融着点719で融着接続されており、入力ファイバ718の半導体発光素子704側の端面715は、励起光波長と発振したレーザ光波長の両方で低反射率である広帯域無反射コーティングが施されており、発光媒質705側の反射要素713の形状は、発光媒質705の励起側に融着接続されている入力ファイバ718の端面715に励起光を集光できるように凸レンズ形状となっている。また、反射要素713は、端面715に励起光を集光でき、入力ファイバ718を伝搬してきたファイバ型の発光媒質705からの発光波長の光を半導体発光素子704の活性層に結合するように配置されている。

[0070] 入力ファイバ718は、発光媒質705で発光する光および半導体発光

素子 704 で発生する励起光を低損失で双方向に伝搬することができる。入力ファイバ 718 を伝搬する励起光は、融着点 719 を介してファイバ形態の発光媒質 705 のコアに結合する。

[0071] 発光媒質 705 の半導体発光素子 704 側と反対側の端面に、発光媒質 705 からの蛍光を部分反射する反射要素 714 が端面に直接成膜された出力ファイバ 717 の反射要素 714 が成膜されている端面が融着接続されている。

[0072] 発光媒質 705 は、反射要素 713 を透過した励起光を吸収することにより発生する蛍光を放射する。発光媒質 705 からの蛍光は、反射要素 714 と反射要素 706 の間を往復する間に増強され、レーザ発振する。発振したレーザ光の一部は、反射要素 714 を通して出力ファイバ 717 に伝搬し、出力ファイバ 717 端面から外部に出力 703 される。

[0073] 以上の第 7 の実施の形態によれば、以下に示す作用効果を奏する。

[0074] 第 5 の実施形態と同様の効果が得られる。さらに、入力端 715 を備えた入力ファイバ 718 を発光媒質 705 とは異なるファイバとすることができるので、例えば成膜済み石英ファイバなど汎用的な光学部品を用いる事ができる。このため、発光媒質 705 が例えばフッ化物ファイバであった場合、端面への光学薄膜の直接成膜が必ずしも容易でない場合があることから、製品の加工歩留まりを向上させると共に、安価な汎用部品を用いる事で製造コストを抑制する事ができる。

[0075] ファイバの形態をした発光媒質を用いる場合の他の例として第 8 の実施の形態について、図 8 を用いて説明する。

[0076] 図 8 では、半導体発光素子 804 を励起光源として用い、この励起光を吸収して励起光と異なる波長の光を放射するファイバ形態の発光媒質 805 を備え、励起光を発生する半導体光素子 804 の光を増強するための共振器として、反射要素 806（第 1 反射要素）と反射要素 813 からなる半導体レーザ共振器 801（第 1 光共振器）と、発光媒質 805 からの発光を増強するための共振器として、反射要素 806 と反射要素 814 からなる固体レ

ーザ共振器 802（第2光共振器）とを備え、反射要素 814 は出力ファイバ 817 を備え、半導体レーザ共振器 801（第1光共振器）と固体レーザ共振器 802（第2光共振器）は互いに反射要素 806 と光路の一部を共有しており、その共有光路内に励起光を放射する半導体発光素子 804 が設置されており、固体レーザ共振器 802 の共有されていない光路内に発光媒質 805 が設置されている。

[0077] さらに、反射要素 806（第1反射要素）は、共有ミラーとして半導体発光素子 804 からの励起光波長と発光媒質 805 からの発光波長の両方の光を高反射する反射要素である。反射要素 813 は、発光媒質 805 の発光波長の光を透過し且つ半導体発光素子 804 で発生する励起光を部分反射する反射要素で、半導体発光素子 804 の端面に直接成膜された誘電体多層膜またはフレネル反射を利用したクリーブ端面である。発光媒質 805 の半導体発光素子 804 側には、入力ファイバ 818 が融着点 819 で融着接続されており、入力ファイバ 818 の半導体発光素子 804 側の端面 816 は、半導体発光素子 804 からの励起光を集光し発光媒質 805 からの発光を半導体発光素子 804 の活性層に結合するようにレンズ形状に研磨されており、半導体発光素子 804 の活性層に近接して配置されている。

[0078] 入力ファイバ 818 は、発光媒質 805 で発光する光および半導体発光素子 804 で発生する励起光を低損失で双方向に伝搬することができる。入力ファイバ 818 を伝搬する励起光は、融着点 819 を介してファイバ形態の発光媒質 805 のコアに結合する。

[0079] 発光媒質 805 の半導体発光素子 804 側と反対側の端面に、発光媒質 805 からの蛍光を部分反射する反射要素 814 が端面に直接成膜された出力ファイバ 817 の反射要素 814 が成膜されている端面が融着接続されている。

[0080] 発光媒質 805 は、反射要素 813 を透過した励起光を吸収することにより発生する蛍光を放射する。発光媒質 805 からの蛍光は、反射要素 814 と反射要素 806 の間を往復する間に増強され、レーザ発振する。発振し

たレーザ光の一部は、反射要素 8 1 4 を通して外部に出力 8 0 3 される。

[0081] 入力ファイバ 8 1 8 の端面 8 1 6 は、励起光波長と発振したレーザ光波長の両方で低反射率となる、広帯域無反射コーティングが施されている。

[0082] 以上の第 8 の実施の形態によれば、以下に示す作用効果を奏する。

[0083] 第 6 の実施形態と同様の効果が得られる。さらに、出力ファイバ 8 1 7 の出力 8 0 3 側の末端に固体レーザ共振器 8 0 2 を構成する反射要素がなく、反射要素 8 1 4 は融着部で保護されているため、耐環境性と耐久性に優れる。特に発光媒質 8 0 5 が耐環境性に問題がある場合、ハーメチックシールの筐体から出力ファイバ 8 1 7 だけを外部に露出することで、発光媒質 8 0 5 の劣化を防止する事ができる。

[0084] ファイバの形態をした発光媒質を用いる場合の他の例として第 9 の実施の形態について、図 9 を用いて説明する。

[0085] 図 9 では、半導体発光素子 9 0 4 を励起光源として用い、この励起光を吸収して励起光と異なる波長の光を放射するファイバ形態の発光媒質 9 0 5 を備え、励起光を発生する半導体光素子 9 0 4 の光を増強するための共振器として、反射要素 9 0 6 (第 1 反射要素) と反射要素 9 1 3 からなる半導体レーザ共振器 9 0 1 (第 1 光共振器) と、発光媒質 9 0 5 からの発光を増強するための共振器として、反射要素 9 0 6 と反射要素 9 2 0 からなる固体レーザ共振器 9 0 2 (第 2 光共振器) とを備え、反射要素 9 2 0 は発光媒質 9 0 5 の半導体光素子 9 0 4 側と反対側の端面に融着点 9 1 9 で融着接続されており、半導体レーザ共振器 9 0 1 (第 1 光共振器) と固体レーザ共振器 9 0 2 (第 2 光共振器) は互いに反射要素 9 0 6 と光路の一部を共有しており、その共有光路内に励起光を放射する半導体発光素子 9 0 4 が設置されており、固体レーザ共振器 9 0 2 の共有されていない光路内に発光媒質 9 0 5 が設置されている。

[0086] さらに、反射要素 9 0 6 (第 1 反射要素) は、共有ミラーとして半導体発光素子 9 0 4 からの励起光波長と発光媒質 9 0 5 からの発光波長の両方の光を高反射する反射要素であり、反射要素 9 1 3 は、発光媒質 9 0 5 の発光

波長の光を透過し且つ半導体発光素子 904 側の面が半導体発光素子 904 で発生する励起光を部分反射する反射要素であり、発光媒質 905 の半導体発光素子 904 側には、入力ファイバ 918 が融着点 921 で融着接続されており、入力ファイバ 918 の半導体発光素子 904 側の端面 915 は、励起光波長と発振したレーザ光波長の両方で低反射率である広帯域無反射コーティングが施されており、発光媒質 905 側の反射要素 913 の形状は、発光媒質 905 の励起側に融着接続されている入力ファイバ 918 の端面 915 に励起光を集光できるように凸レンズ形状となっている。また、反射要素 913 は、端面 915 に励起光を集光でき、入力ファイバ 918 を伝搬してきたファイバ型の発光媒質 905 からの発光波長の光を半導体発光素子 904 の活性層に結合するように配置されている。

[0087] 入力ファイバ 918 は、発光媒質 905 で発光する光および半導体発光素子 904 で発生する励起光を低損失で双方向に伝搬することができる。入力ファイバ 918 を伝搬する励起光は、融着点 921 を介してファイバ形態の発光媒質 905 のコアに結合する。

[0088] 反射要素 920 は、発光媒質 905 の発光波長の光を部分反射するファイバ回折格子であり、発光媒質 905 と融着接続されていない側に出力ファイバ 917 を備えている。

[0089] 発光媒質 905 は、反射要素 913 を透過した励起光を吸収することにより発生する蛍光を放射する。発光媒質 905 からの蛍光は、反射要素 920 と反射要素 906 の間を往復する間に増強され、レーザ発振する。発振したレーザ光の一部は、反射要素 920 を通して出力ファイバ 917 に伝搬し、出力ファイバ 917 端面から外部に出力 903 される。

[0090] 以上の第 9 の実施の形態によれば、以下に示す作用効果を奏する。

[0091] 第 7 の実施形態と同様の効果が得られる。さらに、固体レーザ共振器 902 の反射要素 920 がファイバ回折格子であることから、容易に可視光波長領域でも狭帯域な反射特性を有する反射要素とすることができるだけでなく、小型で過剰損失が少ない共振器を構成し、高効率で高出力な固体レーザ

を容易に実現できる。

[0092] ファイバの形態をした発光媒質を用いる場合の他の例として第10の実施の形態について、図10を用いて説明する。

[0093] 図10では、半導体発光素子1004を励起光源として用い、この励起光を吸収して励起光と異なる波長の光を放射するファイバ形態の発光媒質1005を備え、励起光を発生する半導体光素子1004の光を増強するための共振器として、反射要素1006（第1反射要素）と反射要素1013からなる半導体レーザ共振器1001（第1光共振器）と、発光媒質1005からの発光を増強するための共振器として、反射要素1006と反射要素1020からなる固体レーザ共振器1002（第2光共振器）とを備え、反射要素1020は発光媒質1005の半導体光素子1004側と反対側の端面に融着点1019で融着接続されており、半導体レーザ共振器1001（第1光共振器）と固体レーザ共振器1002（第2光共振器）は互いに反射要素1006と光路の一部を共有しており、その共有光路内に励起光を放射する半導体発光素子1004が設置されており、固体レーザ共振器1002の共有されていない光路内に発光媒質1005が設置されている。

[0094] さらに、反射要素1006（第1反射要素）は、共有ミラーとして半導体発光素子1004からの励起光波長と発光媒質1005からの発光波長の両方の光を高反射する反射要素である。反射要素1013は、発光媒質1005の発光波長の光を透過し且つ半導体発光素子1004で発生する励起光を部分反射する反射要素で、半導体発光素子1004の端面に直接成膜された誘電体多層膜またはフレネル反射を利用したクリーブ端面である。発光媒質1005の半導体発光素子1004側には、入力ファイバ1018が融着点1021で融着接続されており、入力ファイバ1018の半導体発光素子1004側の端面1016は、半導体発光素子1004からの励起光を集光し発光媒質1005からの発光を半導体発光素子1004の活性層に結合するようにレンズ形状に研磨されており、半導体発光素子1004の活性層に近接して配置されている。

- [0095] 入力ファイバ1018は、発光媒質1005で発光する光および半導体発光素子1004で発生する励起光を低損失で双方向に伝搬することができる。入力ファイバ1018を伝搬する励起光は、融着点1021を介してファイバ形態の発光媒質1005のコアに結合する。
- [0096] 反射要素1020は、発光媒質1005の発光波長の光を部分反射するファイバ回折格子であり、発光媒質1005と融着接続されていない側に出力ファイバ1017を備えている。
- [0097] 発光媒質1005は、反射要素1013を透過した励起光を吸収することにより発生する蛍光を放射する。発光媒質1005からの蛍光は、反射要素1020と反射要素1006の間を往復する間に増強され、レーザ発振する。発振したレーザ光の一部は、反射要素1020を通して出力ファイバ1017に伝搬し、出力ファイバ1017端面から外部に出力1003される。
- [0098] 入力ファイバ1018の端面1016は、励起光波長と発振したレーザ光波長の両方で低反射率となる、広帯域無反射コーティングが施されている。
- [0099] 以上の第10の実施の形態によれば、以下に示す作用効果を奏する。
- [0100] 第8の実施形態と同様の効果が得られる。さらに、固体レーザ共振器1002の反射要素1020がファイバ回折格子であることから、可視光波長領域でも狭帯域な反射特性を有する反射要素とすることができるだけでなく、小型で過剰損失が少ない共振器を構成し、高効率で高出力な固体レーザを容易に実現できる。
- [0101] 上記の第4、6、8、10の実施の形態において、発光媒質の半導体発光素子側の励起光を入力する端面のレンズ形状は、テーパレンズ、先端円筒レンズ形状、複合円筒レンズ形状など、上下方向と左右方向で広がり角の差が大きい光を光ファイバのコアに結合しやすい形状が好ましい。
- [0102] 上記の第3～10の実施の形態において、施される広帯域無反射コーティングは、発振したレーザ光波長および励起光波長の反射率が共に1%以下

であることが好ましく、このようなコーティング処理方法としては、蒸着やスパッタなどの誘電体膜コーティングが一般的であるが、樹脂コーティングや有機無機ハイブリッド膜コーティングなどの湿式コーティングも利用可能である。

[0103] 上記の第3～8の実施の形態において、発光媒質の出力側に設置される反射要素には、誘電体多層膜コーティングを用いることが好ましいが、波長特性や反射率によっては金属膜や合金膜やカーボンナノチューブなどのフラーレン類を用いた膜や半導体ナノ微粒子を含むコーティング膜を用いることができる。

[0104] 上記の第3、4、6の実施の形態において、発光媒質の出力側に接着あるいはオプティカルコンタクトあるいは融着される反射要素として光学薄膜が成膜された透明基板を用いる場合、該透明基板として少なくとも外部に出力する発振波長に対して透明であることが必要であり、ガラス基板、結晶化ガラス基板を用いることが好ましい。

[0105] 上記の第5、7、8の実施の形態において、発光媒質の出力側の端面に、出力ファイバの該反射要素が成膜されている端面を融着接続する場合、該発光媒質が低フォノンガラス材料においては、該出力ファイバは酸化物系のファイバを使用することが特に好ましい。

[0106] 上記の第3、5、7、9の実施の形態において、共振器1を構成する部分反射鏡は、例示したメニスカスレンズ形状以外に、凹面反射鏡と凸レンズの組み合わせや、半導体発光素子端面に部分反射鏡を成膜して凸レンズと組み合わせるなど、同様の機能を実現する他の構成で置き換えても良い。

[0107] 上記の第4、6、8、10の実施の形態において、半導体レーザ共振器を構成する部分反射鏡として例示した半導体発光素子端面に成膜した光学薄膜あるいはクリーブ端面とレンズ形状の入力端面の組み合わせ以外に、凹面反射鏡と凸レンズと広帯域無反射コーティングを施した入力端面の組み合わせや、メニスカスレンズ形状の反射鏡と広帯域無反射コーティングを施した入力端面の組み合わせなど、同様の機能を実現する他の構成で置き換えても

良い。

[0108] 上記の第1～10の実施の形態において、共有ミラーとして半導体発光素子からの励起光波長と発光媒質からの発光波長の両方の光を高反射する反射要素（第1反射要素に相当）は、誘電体多層膜ミラー、金属または合金ミラー、分布回折型ミラー（いわゆるDBR）、または分布フィードバック構造（いわゆるDFB）、などから適宜選択することができる。これら反射要素を、半導体発光素子端面に直接成膜するか、半導体発光素子を製造する際に直接作り込むことで形成できる。半導体発光素子端面に直接成膜または反射要素を直接作り込んだ半導体発光素子を用いることは、低コスト化と量産化に適しており、特に好ましい。中でもDBRやDFBは、半導体発光素子を製造する際に同時に作り込む事が可能なので、製造プロセスの簡素化と光学位置調整の簡略化の観点から、特に好ましい。

[0109] 上記の第1～10の実施の形態において、用いられる半導体発光素子は、活性層がクラッド層で挟まれる通常のメサ型構成、量子井戸構成、出力端面付近に透明なウィンドウ構造を設けた導波路構造など、光増幅機能を備えた半導体光導波路として機能する構造を具備し、しかも第2光共振器で発振するレーザ光波長に対して透過性のある材料であれば、どんなものでも良い。例えば、活性層にInGa_N系材料の歪み量子井戸構造を持ち、クラッド層にはn型、p型のGa_N系材料を用いた場合、この素子で発生する励起光の波長よりも長波長では透明性が高く、低損失で透過可能である。この場合の例として、発振波長（励起光の波長）が440nmとなるメサ構造歪み量子井戸InGa_Nレーザを半導体発光素子として使用し、Pr添加フッ化物ガラスファイバを発光媒質として用いることにより、第2光共振器で発振するレーザ発振波長は490nm帯、520nm帯、602nm帯、635nm帯、715nm帯、900nm帯などから選択可能となり、いずれの波長に対してもInGa_N活性層または活性層直近のクラッド層が低損失に透過するため、容易に外部へ出力できる。

[0110] また、半導体発光素子としてGa_N系半導体レーザを用いる場合、放射

される励起光を発光媒質が吸収して蛍光を放射する発光媒質に添加される活性イオンは、励起光の具体的な波長にもよるが、350 nmから490 nmの波長域で励起可能なものとしては、 Pr^{3+} 、 Nd^{3+} 、 Sm^{3+} 、 Eu^{3+} 、 Tb^{3+} 、 Dy^{3+} 、 Gd^{3+} 、 Ho^{3+} 、 Er^{3+} 、 Tm^{3+} 、 Sm^{2+} 、 Eu^{2+} 、 Yb^{2+} が挙げられる。これらの希土類はGaN系半導体レーザ材料の透明性が高い可視光または近赤外波長領域の光の蛍光を発光するため、本発明の共振器構造に適合した発光媒質への添加イオンとして適当である。これらのイオンが添加される発光媒質の材料は、可視から近赤外域の希土類蛍光に対して高い発光効率を得られる低フォノン光学材料であって、GaN系半導体レーザの発光波長である紫外～緑色波長帯域で透明である事が好ましい。具体的には、ハライドガラス、ハライド結晶、ハライド酸化物ガラス、ハライド酸化物結晶、または希土類など活性イオンを添加したこれらの材料の微粒子を分散させた酸化物ガラスまたは有機無機ハイブリッド材料、から選ぶ事ができる。中でもフッ化物ガラス、フッ化物結晶、フッ素酸化物ガラス、フッ素酸化物結晶は発光媒質の作製が容易で実用的な耐久性を備えていることから、最も好ましい。

[0111] 半導体発光素子と発光媒質に添加される活性イオンの組合せを適宜選択することができる。

[0112] さらに、本発明に用いられるフッ化物ガラスには様々な種類があるが、 ZrF_4 (HfF_4) - BaF_2 - LnF_3 (Ln : Sc, Yおよび希土類元素から選択される) - AlF_3 - NaF 組成系 [Zr-F系]、 AlF_3 - LnF_3 (Ln : Sc, Yおよび希土類元素から選択される) - MgF_2 (ZnF_2) - CaF_2 - SrF_2 - BaF_2 [Al-F系]、 AlF_3 - ZrF_4 (HfF_4) - LnF_3 (Ln : Sc, Yおよび希土類元素から選択される) - MgF_2 (ZnF_2) - CaF_2 - SrF_2 - BaF_2 [Al-Zr-F系]、 InF_3 (GaF_3) - LnF_3 (Ln : Sc, Yおよび希土類元素から選択される) - MgF_2 (ZnF_2) - CaF_2 - SrF_2 - BaF_2 [In-F系] などがガラス安定性の面から好適である。

[0113] またフッ素酸化物ガラスには様々な種類があるが、フォノンエネルギー

の観点から酸素／フッ素原子比が1以下の材料が、紫外吸収の点で低損失なので、好適である。

[0114] またフッ化物結晶には様々な種類があるが、 $\text{Li}(\text{Y}, \text{Lu})\text{F}_4$ 、 $\text{Li}(\text{Ca}, \text{Sr})(\text{Al}, \text{Ga})\text{F}_6$ 、 $(\text{Ba}, \text{Sr})(\text{Y}, \text{Lu})_2\text{F}_8$ 、 $\text{Ba}(\text{Mg}, \text{Zn})\text{F}_4$ 、 $(\text{Ca}, \text{Sr})(\text{Al}, \text{Ga})\text{F}_5$ 、 $\text{Na}_2(\text{Mg}, \text{Zn})\text{AlF}_7$ などが好適である。

[0115] また、上記のガラスまたは結晶に活性中心となる材料を添加して微粒子化し、酸化物ガラス、有機材料、有機無機ハイブリッド材料に分散させた、活性中心添加材料分散酸化物ガラスまたは活性中心添加材料分散有機無機ハイブリッド材料は、マトリックス材料の光学的、機械的、化学的、熱的性質を比較的自由に設計可能であり、価格の面でも安価に供給できる可能性がある。特に、有機材料中または有機無機ハイブリッド材料中に分散させた、活性中心添加材料分散有機無機ハイブリッド材料は、成形形状の自由度も高く、価格面でも有利である。分散させる材料の粒子径は、発生する蛍光の波長帯の中で実際に使用する最短波長の4分の1以下が好ましい。

[0116] 本発明を構成する共振器の損失を低減することを目的として、反射要素、半導体発光素子、発光媒質、その他の光学部品には、必要に応じて低反射膜の成膜を施すことが好ましい。

[0117] また、出力される発振波長と励起光波長が近い波長帯である場合、光学結合効率を高めることを目的として、半導体発光素子の発光媒質側端面に直接フレネルレンズや回折光学素子を形成することが好ましい。この場合、半導体発光素子の発光媒質側端面付近は、電流注入が無いいわゆるウィンドウ領域であることが特に好ましい。

[0118] 本発明で用いるレンズ類は、励起光波長と出力される発振波長で焦点距離が一致する色消しレンズや、両波長で動作する非球面レンズを用いることが好ましい。

[0119] 特に上記の第4、6、8、10の実施形態で例示したレンズ形状の入力端は、励起光波長とレーザ光波長でファイバの分散値が異なるために、その

ままでは双方の波長で焦点距離がずれる場合があるので、ファイバの材料分散特性と異なる分散値を持つ分散補償材料として、 NaAlF_4 、 CaF_2 、 SrF_2 や BaF_2 などのフッ化物を適切な厚さに成膜して分散値を調整することが特に好ましい。この方法による分散補償膜で分散補償した場合、広帯域無反射コーティングは、分散補償膜の上下（分散補償膜と空気の界面および、分散補償膜とレンズ形状の端面の界面）両方に成膜することが特に好ましい。

[0120] 本発明で用いる反射要素には、ガラスまたは透明結晶化ガラス基板に、誘電体多層膜や金属膜を蒸着成膜またはスパッタリング成膜したミラーを用いることができる。また、光が透過しないミラーに対しては、金属鏡や、金属またはセラミックスからなる基板に、誘電体多層膜または金属膜を蒸着成膜またはスパッタリング成膜したミラーを用いることができる。

[0121] さらに、上記の第1～10の実施の形態では、共有されない第2光共振器の反射要素からレーザ光が出力しているが、第1光共振器と第2光共振器に共有される反射要素の、出力する発振波長に対する反射率を調整することで、共有される反射要素からもレーザ光を外部に出力することができる。また、発光媒質が複数の波長帯域の蛍光を発光する場合、第2光共振器に共有される反射要素の波長依存性を調整することで、共有されない第2光共振器の反射要素と共有される反射要素から異なる波長のレーザ光を出力可能となる。

[0122] また、発光媒質の発光波長帯域が広帯域である場合、共振器内にレーザ発振波長選択素子としてプリズムや回折格子などの分散素子を挿入するか、連続波長可変な波長板を挿入するか、波長可変なエタロンを挿入するなどの方法によって、波長可変レーザとすることができる。

[0123] さらに、発光媒質の発光波長帯域が広帯域である場合、可飽和吸収素子と分散補償光学系を共振器内に挿入することによって、パルス幅が100 ns以下の短パルスレーザ発振が可能である。例えば、 Pr^{3+} を添加したZBLANファイバを発光媒質としてGaN系半導体レーザで励起する場合、例え

ば共振器に上記の第1または第2の実施形態を用い、さらに、可飽和吸収素子と分散補償光学系を発光媒質と出力ミラーの間に挿入して固体レーザ共振器を構成とすることで、小型で高効率な可視光帯域短パルスレーザが実現できる。可飽和吸収体としては、色素添加フィルム、カーボンナノチューブ、グラフェン、ZnO薄膜、 $\text{In}_2\text{O}_3\text{-SnO}_2$ 薄膜（ITO薄膜）、TiN薄膜など適切な吸収飽和特性を可視広帯域で示す材料を使用することができる。これらの材料はフェルールなどの部材を援用してファイバ端面に成膜し、ファイバ型のデバイスとして使用することができる。

[0124] 以下に、本発明を用いた具体的な実施例を開示する。

実施例 1

[0125] 本実施例は、図1に示す第1の実施の形態の例である。図1では、半導体発光素子4への電源や制御装置の表示を省略している。

[0126] 本実施例で用いた半導体発光素子4はInGaNの多重量子井戸（MQW）活性層を発光層とする発光中心波長442nmのメサ構造のチップであり、GaN基板面はAlNヒートシンクに接合されている。活性層の厚みは0.8μmであり、発光幅は7μm、素子長は1mm、素子両端にそれぞれ長さ0.05mmの電流非注入のウィンドウ領域を備えている。

[0127] この半導体発光素子4からの前方（図1では反射要素7へ向かう方向）放射は、発光中心波長442nmで反射率15%かつ、波長520nmで反射率0.5%の高透過となるダイクロイック光学膜を成膜した反射要素7で反射され、半導体発光素子4の活性層内で増幅されて後方（図1では反射要素6へ向かう方向）に放射される。後方に放射された波長442nmの光は、反射要素6で反射して折り曲げられ、反射要素9を透過して反射要素8に到達する。反射要素6、反射要素8は各々波長442nmで99%および99.5%の反射率を持つ高反射率のミラーである。反射要素9は、反射要素6で反射して折り曲げられた半導体発光素子4からの放射光の入射面に、波長442nmで反射率0.5%かつレーザ波長520nmで99.5%の高反射率となるダイクロイック光学膜が成膜され、入射面と反対側の面に、波

長 442 nm で反射率が 0.3% の反射防止膜が成膜されており、波長 442 nm において透明なミラーである。さらに、反射要素 6 は、波長 520 nm でも 99.5% の反射率を持つ高反射率の広帯域高反射ミラーである。反射要素 7－半導体発光素子 4－反射要素 6－反射要素 8 で構成される半導体レーザ共振器 1 は、半導体レーザ共振器であり、反射要素 7 から発光媒質 5 側に波長 442 nm の励起光を放射する。

[0128] なお、半導体発光素子 4 の反射要素 6 側と 7 側の両端面には、波長 400 nm から 700 nm の範囲で反射率が 0.3～1% となる反射防止膜が成膜されている。本実施例では反射要素 7 は平面鏡であり、ミラーの厚みは 0.5 mm、半導体発光素子 4 と反射要素 7 の間隔は約 0.1 mm であった。反射要素 6 は焦点距離 4 mm の放物面反射鏡で、反射要素 7 と反射要素 9 の表面で焦点を結ぶように調整し、反射要素 7 と反射要素 6 の距離は約 6 mm、反射要素 9 と反射要素 6 の距離は約 12 mm であった。反射要素 9 は厚み 1 mm の平面石英硝子基板を用いており、反射要素 8 は焦点距離 4.5 mm の球面鏡である。反射要素 9 表面と反射要素 8 の距離は約 9.5 mm であった。

[0129] 発光媒質 5 には、 Pr^{3+} を 1 原子質量% 添加した長さ 4 mm 直径 2 mm の LiYF_4 ロッドを用意し、両端面に波長 400 nm から 700 nm の範囲で反射率が 0.3～0.5% となる反射防止膜が成膜されている。図 1 では省略されているが、反射要素 7 と発光媒質 5 の間には、波長 440 nm と 520 nm で焦点距離がほぼ一致するように、 $\text{NA}=0.6$ 、焦点距離 2 mm、設計波長 500 nm の集光用色消しレンズ A_1 が反射要素 7 の表面から約 2.5 mm のところに挿入されていて、励起光を発光媒質 5 に集光照射するだけでなく、波長 520 nm のレーザ光が半導体発光素子 4 内の励起光とほぼ同じ光路を通るように調整されている。集光された励起光は発光媒質 5 で約 90% 吸収される。反射要素 10 と反射要素 7 の距離は約 12.5 mm であった。

[0130] 発光媒質 5 から反射要素 10 側に放射される波長 520 nm の蛍光は、

焦点距離 4 mm、波長 520 nm の反射率が 98 % の部分反射放物面鏡である反射要素 10 で折り返され、反射要素 9、反射要素 6 で反射されて半導体発光素子 4 内を透過し、反射要素 7、集光用色消しレンズ A₁ を経て発光媒質 5 に帰還する。この経路の反対向きの経路は、発光媒質 5 から反射要素 7 側に放射される蛍光に対して同様に機能して発光媒質 5 への帰還光学回路を形成する。これら発光媒質 5 の蛍光の反射要素 10 側および反射要素 7 側への放射に対する帰還光学系はリングレーザ共振器 2 を構成している。中心波長 520 nm のレーザ光が、部分反射鏡である反射要素 10 を透過して出力 3 される。レーザ光の出力 3 は、図 1 では 1 本で表現されているが、右回りと左回りのレーザ光 2 本が同時に出力される。

- [0131] この構成では、共有ミラーである反射要素 6 の角度に注意する必要があるものの、半導体レーザ共振器 1 の出力が最大となるように反射要素 6、反射要素 8、反射要素 7 を調整した。このとき、半導体レーザ共振器 1 から放射される励起光パワーは最大で 160 mW であった。半導体レーザ共振器 1 を調整後、集光用色消しレンズ A₁ の位置を調整して発光媒質 5 に励起光を集光照射し、集光用色消しレンズ A₁、発光媒質 5、反射要素 10 を調整してリングレーザ共振器 2 を最適化することで、容易にレーザ発振が得られた。この時、レーザ発振開始までにリングレーザ共振器 2 の調整に要した時間は 5 分であった。また、この時のリングレーザ出力は合計 10 mW であった。

比較例 1

- [0132] 本例を、図 11 を用いて説明する。図 11 では、半導体発光素子 1104 を励起光源として用い、この励起光を吸収して励起光と異なる波長の光を放射する発光媒質 1105 を備え、励起光を発生する半導体光素子 1104 の光を増強するための共振器として、反射要素 1121、反射要素 1120 からなる半導体レーザ共振器 1101 と、発光媒質 1105 からの発光を増強するための共振器として、反射要素 1123、反射要素 1124、反射要素 1107 からなる固体レーザ共振器 1102 とを備え、さらには、半導体レーザ共振器 1101 から放射される励起光を発光媒質 1105 に集光する

ための集光レンズ 1122 を備えている。本比較例で用いた半導体発光素子 1104、発光材料 1105 は実施例 1 と同じものである。また、半導体発光素子 1104 への電源や制御装置の表示を省略している。

[0133] 半導体発光素子 1104 から反射要素 1120 側への放射は、発光中心波長 442 nm で反射率 15% の光学反射膜が成膜されている厚さ 0.5 mm の平面反射鏡である反射要素 1120 で反射され、半導体発光素子 1104 の活性層内で増幅されて反射要素 1121 側に放射される。反射要素 1121 側への放射は、波長 442 nm において焦点距離 4 mm の高反射率球面鏡である反射要素 1121 で折り返され、半導体レーザ共振器 1101 を構成する。反射要素 1121 と反射要素 1120 の距離は約 9 mm、半導体発光素子 1104 と反射要素 1120 の距離は約 0.1 mm であった。この半導体レーザ共振器 1101 内で増幅される光の一部が、発光媒質 1105 の励起光として反射要素 1120 から放射される。

[0134] 放射された励起光は、集光レンズ 1122 により、励起光波長で反射率 0.5%、レーザ光波長 520 nm で反射率 99.5%、焦点距離 6.4 mm の放物面鏡である反射要素 1123 を通して発光媒質 1105 に集光照射される。集光レンズ 1122 の焦点距離は 1.8 mm、反射要素 1120 からの距離は約 2 mm、集光レンズ 1122 と反射要素 1123 の距離は約 1 mm であった。

[0135] 発光媒質 1105 から反射要素 1107 側に放射された波長 520 nm の蛍光は、焦点距離 4 mm、波長 520 nm で反射率 90% の部分反射放物面鏡である反射要素 1107 で折り返され、波長 520 nm で反射率 99.5% の反射要素 1124 および反射要素 1123 で反射されて発光媒質 1105 に帰還する。

[0136] この経路の反対向きの経路は、発光媒質 1105 から反射要素 1123 側に放射される蛍光に対して同様に機能して発光媒質 1105 への帰還光学回路を形成する。これら発光媒質 1105 の蛍光の反射要素 1107 側および反射要素 1123 側への放射に対する帰還光学系はリングレーザ共振器（

固体レーザ共振器 1102) を構成している。

[0137] 中心波長 520 nm のレーザ光が、部分反射鏡である反射要素 1107 を透過して出力 1103 される。レーザ光の出力 1103 は、図 11 では 1 本で表現されているが、右回りと左回りのレーザ光 2 本が同時に出力される。反射要素 1123 と反射要素 1107 の距離は約 20 mm、反射要素 1123 と反射要素 1124 および反射要素 1107 と反射要素 1124 の距離は約 12 mm であった。

[0138] このような一般的なリングレーザ構成では、半導体レーザ共振器 1101 とリングレーザ共振器 (固体レーザ共振器 1102) の間に関連性がないことから、半導体レーザ共振器 1101 と固体レーザ共振器 1102 の相対距離、相対角度の設定に加え、固体レーザ共振器 1102 の全ての光学要素を試行錯誤的に調整しなければ最適な配置が得られず、大変面倒である。

[0139] この実験配置では、半導体レーザ共振器 1101 からの最大放射パワーは 180 mW であった。半導体レーザ共振器 1101 を最適化後、固体レーザ共振器 1102 を調整してからレーザ発振開始に至るまでに要した時間は 45 分であった。また、この時のリングレーザ出力は合計 4 mW であった。

実施例 2

[0140] 本実施例は、図 2 に示す第 2 の実施の形態の例である。図 2 では、半導体発光素子 204 への電源や制御装置の表示を省略している。

[0141] 本実施例で用いた半導体発光素子 204 は InGaN の多重量子井戸 (MQW) 活性層を発光層とする発光中心波長 440 nm のメサ構造のチップであり、GaN 基板面は AlN ヒートシンクに接合されている。活性層の厚みは 0.8 μ m であり、発光幅は 7 μ m、素子長は 1 mm、素子両端にそれぞれ長さ 0.05 mm の電流非注入のウィンドウ領域を備えている。

[0142] この半導体発光素子 204 からの前方 (図 2 では反射要素 207 へ向かう方向) 放射は、波長 440 nm で反射率 15% かつ、波長 520 nm で反射率 0.3% の高透過となるダイクロイック光学膜を成膜した反射要素 207 で反射され、半導体発光素子 204 の活性層内で増幅されて後方 (図 2 で

は反射要素206へ向かう方向)に放射される。後方に放射された波長440nmの光は、広帯域高反射鏡である反射要素206で反射して折り返され、半導体発光素子204内で再び増幅される。反射要素207—半導体発光素子204—反射要素206で構成される光共振器は、半導体レーザ共振器201であり、反射要素207から発光媒質205側に波長440nmの励起光を放射する。

[0143] なお、半導体発光素子204の反射要素206側と反射要素207側の両端面には、波長400nmから700nmの範囲で反射率が0.5~1%となる反射防止膜が成膜されている。本実施例では反射要素207は厚さ0.5mmの平面鏡であり、半導体発光素子204と反射要素207の間隔は約0.1mmであった。焦点距離3.5mm球面反射鏡である反射要素206は、半導体発光材料204の端面近傍で焦点を結ぶように調整された。反射要素207と反射要素206の距離は約8mmであった。

[0144] 発光媒質205には、 Pr^{3+} を1原子質量%添加した長さ4mm直径2mmの LiYF_4 ロッドを用意し、両端面に波長400nmから700nmの範囲で反射率が0.5~1%となる反射防止膜が成膜されている。図2では省略されているが、反射要素207と発光媒質205の間には、波長440nmと520nmで焦点距離がほぼ一致するように、 $\text{NA}=0.6$ 、焦点距離2.8mm、設計波長500nmの集光用色消しレンズ A_2 が反射要素207の表面から約4mmのところに挿入されていて、波長440nmの励起光を発光媒質205に集光照射するだけでなく、波長520nmのレーザ光が半導体発光素子204内の励起光とほぼ同じ光路を通るように調整されている。集光された励起光は発光媒質205で約90%吸収される。

[0145] 発光媒質205から反射要素210に放射された波長520nmの蛍光は、波長520nmの反射率が95%の部分反射平面鏡である反射要素210で折り返され、発光媒質205内で増幅される。反射要素210と発光媒質205の距離は約0.1mm、集光用色消しレンズ A_2 と反射要素207の距離は約9.5mmであった。反射要素206—反射要素207—集光レン

ズA₂—発光媒質205—反射要素210はファブリペロー型の固体レーザ共振器202を構成している。中心波長520nmのレーザ光が、部分反射鏡である反射要素210を透過して出力203される。

- [0146] この構成では、まず半導体レーザ共振器201の出力が最大となるように反射要素206および反射要素207を調整した。このとき、半導体レーザ共振器201から放射される励起光パワーは最大で220mWであった。半導体レーザ共振器201を調整後、集光用色消しレンズA₂の位置を調整して発光媒質205に励起光を集光照射し、集光用色消しレンズA₂、発光媒質205、反射要素210を調整して固体レーザ共振器202を最適化することで、容易にレーザ発振が得られた。この時、レーザ発振開始までに固体レーザ共振器202の調整に要した時間はわずか3分であった。また、この時の固体レーザ出力は17mWであった。

比較例2

- [0147] 本例を、図12を用いて説明する。図12では、半導体発光素子1204への電源や制御装置の表示を省略している。
- [0148] 本比較例で用いた半導体発光素子1204、発光媒質1205は実施例2と同じものである。
- [0149] 半導体発光素子1204から反射要素1220側への放射は、波長440nmで反射率15%の光学反射膜を成膜した反射要素1220で反射され、半導体発光素子1204の活性層内で増幅されて反射要素1221側へ放射される。反射要素1221側に放射された波長440nmの光は、反射要素1221で折り返され、半導体レーザ共振器1201を構成する。この半導体レーザ共振器1201は、反射要素1220から波長440nmの励起光を放射する。
- [0150] 本比較例では、反射要素1220は厚さ0.5mmの平面鏡であり、半導体発光素子1204と反射要素1220の間隔は約0.1mmであった。焦点距離3.5mm球面反射鏡である反射要素1221は、半導体発光材料1204の端面近傍で焦点を結ぶように調整された。反射要素1221と反

射要素 1 2 2 0 の距離は約 8 mm である。

[0151] 放射される励起光は、集光レンズ 1 2 2 2 により、波長 4 4 0 nm で反射率が 0. 5 % かつ波長 5 2 0 nm で反射率が 9 9 % である焦点距離 5 mm の球面反射鏡の反射要素 1 2 2 3 を通して発光媒質 1 2 0 5 に集光照射される。

[0152] 焦点距離は 1. 8 mm である集光レンズ 1 2 2 2 と、反射要素 1 2 2 0 の距離は約 2. 2 mm であった。集光レンズ 1 2 2 2 と反射要素 1 2 2 3 の距離は約 1 mm、反射要素 1 2 2 3 と反射要素 1 2 0 7 の距離は約 1 1 mm であった。

[0153] 発光媒質 1 2 0 5 から反射要素 1 2 0 7 側に放射された波長 5 2 0 nm の蛍光は、波長 5 2 0 nm の反射率が 9 0 % の部分反射平面鏡である反射要素 1 2 0 7 で折り返され、波長 5 2 0 nm を 9 9 % 反射する反射要素 1 2 2 3 で反射されて発光媒質 1 2 0 5 に帰還する。反射要素 1 2 2 3 - 発光媒質 1 2 0 5 - 反射要素 1 2 0 7 はファブリペロー型の固体レーザ共振器 1 2 0 2 を構成している。中心波長 5 2 0 nm のレーザ光が、部分反射鏡である反射要素 1 2 0 7 を透過して出力 1 2 0 3 される。

[0154] このような一般的なファブリペロー型のレーザ構成では、半導体レーザ共振器 1 2 0 1 と固体レーザ共振器 1 2 0 2 の間に関連性がないことから、半導体レーザ共振器 1 2 0 1 と固体レーザ共振器 1 2 0 2 の相対距離、相対角度の設定に加え、固体レーザ共振器 1 2 0 2 の全ての光学要素を試行錯誤的に調整しなければ最適な配置が得られず、大変面倒である。

[0155] この実験配置では、半導体レーザ共振器 1 2 0 1 からの最大放射パワーは 2 2 0 mW であった。半導体レーザ共振器 1 2 0 1 を最適化後、固体レーザ共振器 1 2 0 2 を調整してからレーザ発振開始に至るまでに要した時間は 1 5 分であった。また、この時の固体レーザ出力は 1 2 mW であった。

実施例 3

[0156] 本実施例は、図 3 に示す第 3 の実施の形態の例である。図 3 では、半導体発光素子 3 0 4 への電源や制御装置の表示を省略している。

[0157] 本実施例で用いた半導体発光素子 304 は InGaN の多重量子井戸 (MQW) 活性層を発光層とする発光中心波長 445 nm のメサ構造のチップであり、GaIn基板面はAlNヒートシンクに接合されている。活性層の厚みは 0.8 μ m であり、発光幅は 7 μ m、素子長は 1 mm、素子両端にそれぞれ長さ 0.05 mm の電流非注入のウィンドウ領域を備えている。

[0158] この半導体発光素子 304 から反射要素 313 への放射は、波長 445 nm で反射率 15% かつ、波長 521 nm で反射率 0.5% の高透過となるダイクロイック光学膜を成膜した凸メニスカスレンズ形状の反射要素 313 の凹面で反射され、半導体発光素子 304 の活性層内で増幅されて反射要素 306 へ放射される。反射要素 306 へ放射された波長 445 nm の光は、広帯域高反射ミラーである反射要素 306 で反射して折り返され、半導体発光素子 304 内で再び増幅される。反射要素 313 - 半導体発光素子 304 - 反射要素 306 で構成される光共振器は、半導体レーザ共振器 301 であり、反射要素 313 から発光媒質 305 側に波長 445 nm の励起光を放射する。

[0159] なお、半導体発光素子 304 の反射要素 306 側と反射要素 313 側の両端面には、波長 400 nm から 700 nm の範囲で反射率が 0.5 ~ 1% となる反射防止膜が成膜されている。本実施例では反射要素 313 の凹面は焦点距離 2.5 mm の球面鏡であり、半導体発光素子 304 と反射要素 313 の間隔は約 5 mm であった。焦点距離 2.5 mm 球面反射鏡である反射要素 306 は、半導体発光材料 304 の端面近傍で焦点を結ぶように調整された。反射要素 313 と反射要素 306 の距離は約 11 mm である。

[0160] 反射要素 313 は凸メニスカスレンズ形状であって、凸面側は波長 521 nm および波長 445 nm で共に反射率が約 0.5% となる反射防止膜が成膜されている。半導体レーザ共振器 301 から放射される励起光は、この反射要素 313 でファイバ形態の発光媒質 305 の励起側端面 315 に集光され、発光媒質 305 のコアに結合される。逆に、発光媒質 305 の励起側端面 315 から放射される波長 521 nm のレーザ光は、反射要素 313 に

よって半導体発光素子 304 の活性層に該略結合される。発光媒質 305 の励起側端面 315 はレーザ光波長である波長 521 nm および励起光波長である波長 445 nm では反射率 0.3~0.5% となる反射防止膜が成膜されている。

[0161] 発光媒質 305 には、コアに Pr^{3+} を 3,000 質量 ppm 添加した長さ 10 cm、コア直径 4 μm 、開口数 0.22 のフッ化物ファイバを用いた。このファイバのコア組成は mol% で $53\text{ZrF}_4 - 22\text{BaF}_2 - 4.5\text{LnF}_3 - 3.5\text{AlF}_3 - 17\text{NaF}$ ($\text{LnF}_3 = \text{LaF}_3 + \text{YF}_3 + \text{PrF}_3$) である。集光された励起光は発光媒質 305 で約 90% 吸収される。

[0162] 発光媒質 305 から励起側端面 315 と反対側の端面から放射される波長 521 nm の蛍光は、もう一方のファイバ端に成膜された、波長 521 nm で 85% の反射率を持つ反射要素 314 で折り返され、発光媒質内で増幅される。反射要素 306 - 反射要素 313 - 発光媒質 305 - 反射要素 314 はファブリペロー型の固体レーザ共振器 302 を構成している。中心波長 521 nm のレーザ光が、部分反射鏡である反射要素 314 から出力 303 される。

[0163] この構成では、まず半導体レーザ共振器 301 の出力が最大となるように反射要素 306 および反射要素 313 を調整した。このとき、半導体レーザ共振器 301 から放射される励起光パワーは最大で 200 mW であった。半導体レーザ共振器 301 を調整後、発光媒質 305 の励起側端面 315 の位置を調整して発光媒質 305 に励起光を集光照射するだけで、容易にレーザ発振が得られた。この時、レーザ発振開始までに固体レーザ共振器 302 の調整に要した時間はわずか 2 分、最大出力は 29 mW であった。また、最大出力波長を中心波長とし、その出力の 1/2 となる波長幅でレーザ線幅を規定すると、4 nm であった。

実施例 4

[0164] 本実施例は、図 4 に示す第 4 の実施の形態の例である。図 4 では、半導体発光素子 404 への電源や制御装置の表示を省略している。

[0165] 本実施例で用いた半導体発光素子404はInGaNの多重量子井戸(MQW)活性層を発光層とする発光中心波長442nmのメサ構造のチップであり、GaN基板面はAlNヒートシンクに接合されている。活性層の厚みは0.8μmであり、発光幅は7μm、素子長は1mm、素子両端にそれぞれ長さ0.05mmの電流非注入のウィンドウ領域を備えている。

[0166] この半導体発光素子404からファイバ形態の発光媒質405の方への放射は、波長442nmで反射率15%かつ、波長520nmで反射率0.5%の高透過となる、半導体発光素子に直接成膜されたダイクロイック光学膜である反射要素413で反射され、半導体発光素子404の活性層内で増幅されて反射要素406側に放射される。反射要素406側に放射された波長442nmの光は、焦点距離2.5mmの広帯域高反射球面ミラーである反射要素406で反射して折り返され、半導体発光素子404内で再び増幅される。反射要素406と半導体発光素子404の距離は約5mmであった。反射要素413－半導体発光素子404－反射要素406で構成される光共振器は、半導体レーザ共振器401であり、反射要素413から発光媒質405側に波長442nmの励起光を放射する。

[0167] なお、反射要素406側の半導体発光素子404の端面には、波長400nmから700nmの波長範囲で反射率が0.5～1%となる反射防止膜が成膜されている。

[0168] 発光媒質405は、曲率半径3μmのシリンドリカルレンズ形状のレンズドファイバ416を一端に備え、対向する一端には波長520nmで50%の反射率を持つ反射要素414を備えている。半導体レーザ共振器401から放射される励起光は、励起光放射領域に近接して設置されたレンズドファイバ416によって、縦方向の発散角を補正して発光媒質405に入射され、ファイバのコアに結合される。逆に、レンズドファイバ416から放射される波長520nmのレーザ光は、半導体発光素子404の活性層に該略結合される。

[0169] レンズドファイバ416の表面は、波長442nmと波長520nmの

色収差による焦点位置変動を抑制するために、 CaF_2 による分散補償膜が成膜され、さらにレーザ光波長である波長520nmと励起光波長である波長442nmで共に反射率が約0.5%となる反射防止膜が成膜されている。

[0170] 発光媒質405には、コアに Pr^{3+} を3,000質量ppm添加した長さ20cm、コア直径4 μm 、開口数0.22のフッ化物ファイバを用いた。このファイバのコア組成はmol%で $30\text{AlF}_3-10\text{ZrF}_4-11\text{BaF}_2-13\text{SrF}_2-20\text{CaF}_2-3\text{MgF}_2-4\text{NaF}-9\text{LnF}_3$ ($\text{LnF}_3=\text{YF}_3+\text{PrF}_3$)である。集光された励起光は発光媒質405で約95%吸収される。

[0171] 発光媒質405から反射要素414の方に放射される波長520nmの蛍光は、成膜された50%の反射率を持つ反射要素414で折り返され、発光媒質405内で増幅される。反射要素406—反射要素413—レンズドファイバ416—発光媒質405—反射要素414はファブリペロー型の固体レーザ共振器402を構成している。中心波長520nmのレーザ光が、部分反射鏡である反射要素414から出力403される。

[0172] この構成では、まず半導体レーザ共振器401の出力が最大となるように反射要素406を調整した。このとき、半導体レーザ共振器401から放射される励起光パワーは最大で250mWであった。半導体レーザ共振器401を調整後、発光媒質405に励起光を集光照射しながらレーザ光の出力403を計測し、レンズドファイバ416の位置、角度、半導体発光素子との距離を調整すると、容易にレーザ発振が得られるだけでなく、容易にパワーの最適化が可能であった。この時、レーザ発振開始までに固体レーザ共振器402の調整に要した時間はわずか1分、パワー最適化は3分で達成し、最大出力34mWが得られた。また、最大出力波長を中心波長とし、その出力の1/2となる波長幅でレーザ線幅を規定すると、4nmであった。

実施例 5

[0173] 本実施例は、図5に示す第5の実施の形態の例のである。図5では、半導体発光素子504への電源や制御装置の表示を省略している。

- [0174] 本実施例で用いた半導体レーザ共振器501は、実施例3と同じものである。また、発光媒質505も実施例3と同等のパラメータを持つファイバを使用した。
- [0175] 半導体レーザ共振器501から放射される波長445nmの励起光は、反射要素513でファイバ形態の発光媒質505の励起側端面515に集光され、発光媒質505のコアに結合される。逆に、該励起側端面515から放射される波長521nmのレーザ光は、反射要素513によって半導体発光素子504の活性層に該略結合される。該励起側端面515はレーザ光波長である波長521nmおよび励起光波長である波長445nmで反射率が共に約0.5%となる反射防止膜が成膜されている。
- [0176] 発光媒質505は、該励起側端面515と反対側の短面に、波長521nmで40%の反射率である反射要素514を介して石英ファイバである出力ファイバ517が融着接続されている。発光媒質505から反射要素514方向に放射される波長521nmの蛍光は、反射要素514で折り返され、発光媒質505内で増幅される。反射要素506—反射要素513—発光媒質505—反射要素514はファブリペロー型の固体レーザ共振器502を構成している。
- [0177] 反射要素514は、 $NA=0.2$ 、コア直径4 μm の石英ファイバからなる出力ファイバ517の端面に成膜された後、発光媒質505と融着接続されている。反射要素514から出力される波長521nmのレーザ光は、出力ファイバ517を通り、反対側の端面から出力503される。
- [0178] この構成では、まず半導体レーザ共振器501の出力が最大となるように反射要素506および反射要素513を調整した。このとき、半導体レーザ共振器501からの放射励起光パワーは最大で200mWであった。半導体レーザ共振器501を調整後、該励起側端面515の位置を調整して発光媒質505に励起光を集光照射するだけで、容易にレーザ発振が得られる。この時、レーザ発振開始までに固体レーザ共振器502の調整に要した時間はわずか2分、最大出力は20mWであった。

実施例 6

- [0179] 本実施例は、図 6 に示す第 6 の実施の形態の例である。図 6 では、半導体発光素子 604 への電源や制御装置の表示を省略している。
- [0180] 本実施例で用いた半導体発光素子 604 は、実施例 4 と同じものである。また、発光媒質 605 も実施例 4 と同等のパラメータを持つファイバを使用した。
- [0181] この半導体発光素子 604 からの入力ファイバ 618 側への放射は、波長 442 nm で反射率 15% かつ、波長 520 nm で反射率 0.3% の高透過となる、半導体発光素子に直接成膜されたダイクロイック光学膜である反射要素 613 で反射され、半導体発光素子 604 の活性層内で増幅されて反射要素 606 側の方に放射される。反射要素 606 側に放射された波長 442 nm の光は、焦点距離 2.5 mm の広帯域高反射球面ミラーである反射要素 606 で反射して折り返され、半導体発光素子 604 内で再び増幅される。反射要素 613－半導体発光素子 604－反射要素 606 で構成される半導体レーザ共振器 601 は、反射要素 613 から前方に波長 442 nm の励起光を放射する。
- [0182] なお、半導体発光素子 604 の反射要素 606 側の端面には、波長 400 nm から 700 nm の範囲で反射率が約 0.5% となる反射防止膜が成膜されている。
- [0183] 発光媒質 605 は、曲率半径 3 μm （縦方向補正）と曲率半径 7 μm （横方向補正）の複合シリンドリカルレンズ形状のレンズドファイバ 616 を備えた石英ファイバである入力ファイバ 618 と、融着点 619 で融着接続されている。入力ファイバ 618 に用いた石英ファイバのパラメータは、NA=0.2、コア直径 4 μm である。
- [0184] レンズドファイバ 616 の表面は、波長 442 nm と波長 520 nm の色収差による焦点位置変動を抑制するために、CaF₂ と BaF₂ による分散補償膜が成膜され、さらにレーザ光波長である波長 520 nm と励起光波長である波長 442 nm で共に反射率が 0.5～1% の範囲内となる反射防止膜

が成膜されている。

[0185] 半導体レーザ共振器 601 から放射される励起光は、励起光放射領域に近接して設置されたレンズドファイバ 616 で発散角を補正して発光媒質 605 に入射され、ファイバのコアに結合される。逆に、レンズドファイバ 616 から放射される波長 520 nm のレーザ光は、半導体発光素子 604 の活性層に該略結合される。

[0186] 発光媒質 605 から入力ファイバ 618 側に放射される波長 520 nm の蛍光は、出力 603 側のファイバ端に成膜された、波長 520 nm で 50 % の反射率を持つ反射要素 614 で折り返され、発光媒質 605 内で増幅される。反射要素 606－反射要素 613－レンズドファイバ 616－発光媒質 605－反射要素 614 はファブリペロー型の固体レーザ共振器 602 を構成している。中心波長 520 nm のレーザ光が、部分反射鏡である反射要素 614 から出力 603 はされる。

[0187] この構成では、まず半導体レーザ共振器 601 の出力が最大となるように反射要素 606 を調整した。このとき、半導体レーザ共振器 601 から放射される励起光パワーは最大で 250 mW であった。半導体レーザ共振器 601 を調整後、レーザ出力 603 のパワーを計測しながらレンズドファイバ 616 の位置、角度、半導体発光素子との距離を調整すると、容易にレーザ発振が得られるだけでなく、容易にパワーの最適化が可能であった。この時、レーザ発振開始までに固体レーザ共振器 602 の調整に要した時間はわずか 1 分、パワー最適化は 3 分で達成し、最大出力 30 mW が得られた。

実施例 7

[0188] 本実施例は、図 7 に示す第 7 の実施の形態の例である。図 7 では、半導体発光素子 704 への電源や制御装置の表示を省略している。

[0189] 本実施例で用いた半導体レーザ共振器 701 は、実施例 3 と同じものである。また、発光媒質 705 も実施例 3 と同等のパラメータを持つファイバを使用した。

[0190] 発光媒質 705 は、励起側の端面 715 に波長 521 nm および波長 4

45 nmの両方で反射率が約0.5%である反射防止膜を備えた石英ファイバである入力ファイバ718の励起側と反対側の端面に融着点719で融着接続されており、融着点719と反対側の端面を波長521 nmで40%の反射率である反射要素714を備えた石英ファイバである出力ファイバ717と反射要素714を介して融着接続されている。

[0191] 入力ファイバ718と出力ファイバ717に用いた石英ファイバのパラメータは、 $NA=0.2$ 、コア直径4 μm である。

[0192] 半導体レーザ共振器701から放射される波長445 nmの励起光は、反射要素713で入力ファイバ718の端面715に集光され、発光媒質705のコアに結合される。逆に、端面715から放射される波長521 nmのレーザ光は、反射要素713によって半導体発光素子704の活性層に該略結合される。

[0193] 発光媒質705から出力ファイバ717側に放射される波長521 nmの蛍光は、波長521 nmで40%の反射率を持つ反射要素714で折り返され、発光媒質内で増幅される。反射要素706—反射要素713—発光媒質705—反射要素714はファブリペロー型の固体レーザ共振器702を構成している。反射要素714から出力される波長521 nmのレーザ光は、出力ファイバ717を通り、反射要素714の反対側の端面から出力703される。

[0194] この構成では、まず半導体レーザ共振器701の出力が最大となるように反射要素706および反射要素713を調整した。このとき、半導体レーザ共振器701から放射される励起光パワーは最大で200 mWであった。半導体レーザ共振器701を調整後、ファイバ励起側端面715の位置を調整して発光媒質705に励起光を集光照射するだけで、容易にレーザ発振が得られる。この時、レーザ発振開始までに固体レーザ共振器702の調整に要した時間はわずか2分、最大出力は22 mWであった。

実施例 8

[0195] 本実施例は、図8に示す第8の実施の形態の例である。図8では、半導

体発光素子 804 への電源や制御装置の表示を省略してある。

[0196] 本実施例で用いた半導体発光素子 804 は、実施例 4 と同じものである。また、発光媒質 805 も実施例 4 と同等のパラメータを持つファイバを使用した。

[0197] この半導体発光素子 804 から入力ファイバ 818 側への放射は、波長 442 nm で反射率 15% かつ、波長 520 nm で反射率 0.3% の高透過となる、半導体発光素子に直接成膜されたダイクロイック光学膜である反射要素 813 で反射され、半導体発光素子 804 の活性層内で増幅されて反射要素 806 側に放射される。反射要素 806 側に放射された波長 442 nm の光は、焦点距離 2.5 mm の広帯域高反射球面ミラーである反射要素 806 で反射して折り返され、半導体発光素子 804 内で再び増幅される。反射要素 813－半導体発光素子 804－反射要素 806 で構成される半導体レーザ共振器 801 は、反射要素 813 から入力ファイバ 818 側に波長 442 nm の励起光を放射する。

[0198] なお、半導体発光素子 804 の反射要素 806 側の端面には、波長 400 nm から 700 nm の範囲で反射率が約 0.5% となる反射防止膜が成膜されている。

[0199] 発光媒質 805 は、曲率半径 3 μ m（縦方向補正）と曲率半径 7 μ m（横方向補正）の複合シリンドリカルレンズ形状のレンズドファイバ 816 を備えた石英ファイバである入力ファイバ 818 と融着点 819 で融着接続されており、出力ファイバ 817 側に反射要素 814 を備えた出力ファイバ 817 と反射要素 814 を介して融着接続されている。入力ファイバ 818 および出力ファイバ 817 に用いた石英ファイバのパラメータは、NA=0.2、コア直径 4 μ m である。

[0200] レンズドファイバ 816 の表面は、波長 520 nm と波長 442 nm の色収差による焦点位置変動を抑制するために、CaF₂ と BaF₂ による分散補償膜が成膜され、さらにレーザ光波長である波長 520 nm と励起光波長である波長 442 nm で共に反射率が約 0.5% となる反射防止膜が成膜され

ている。

[0201] 半導体レーザ共振器 801 から放射される励起光は、励起光放射領域に近接して設置されたレンズドファイバ 816 で発散角を補正して発光媒質 805 に入射され、ファイバのコアに結合される。逆に、レンズドファイバ 816 から放射される波長 520 nm のレーザ光は、半導体発光素子 804 の活性層に該略結合される。

[0202] 発光媒質 805 から前方に放射された波長 520 nm の蛍光は、波長 520 nm で 50% の反射率を持つ反射要素 814 で折り返され、発光媒質内で増幅される。反射要素 806－反射要素 813－レンズドファイバ 816－発光媒質 805－反射要素 814 はファブリペロー型の固体レーザ共振器 802 を構成している。中心波長 520 nm のレーザ光が、部分反射鏡である反射要素 814 を通して出力ファイバ 817 を伝搬し、ファイバ端から前方に出力 803 される。

[0203] この構成では、まず半導体レーザ共振器 801 の出力が最大となるように反射要素 806 を調整した。このとき、半導体レーザ共振器 801 からの放射される励起光パワーは最大で 250 mW であった。半導体レーザ共振器 801 を調整後、レーザ出力 803 のパワーを計測しながらレンズドファイバ 816 の位置、角度、半導体発光素子との距離を調整すると、容易にレーザ発振が得られるだけでなく、容易にパワーの最適化が可能であった。この時、レーザ発振開始までに固体レーザ共振器 802 の調整に要した時間はわずか 1 分、パワー最適化は 3 分で達成し、最大出力 30 mW が得られた。

実施例 9

[0204] 本実施例は、図 9 に示す第 9 の実施の形態の例である。図 9 では、半導体発光素子 904 への電源や制御装置の表示を省略してある。

[0205] 本実施例で用いた半導体レーザ共振器 901 は、実施例 3 と同じものである。また、発光媒質 905 も実施例 3 と同等のパラメータを持つファイバを使用した。

[0206] 発光媒質 905 は、端面 915 に波長 521 nm および波長 445 nm

の両方で反射率が約0.5%である反射防止膜を備えた石英ファイバである入力ファイバ918の励起側と反対側の端面と融着点921で融着接続されており、融着点921と反対側の端面を波長521nmで40%の反射率であるファイバブラッググレーティング(FBG)からなる反射要素920を備えた石英ファイバである出力ファイバ917と、融着点919で融着接続されている。

[0207] 入力ファイバ918と出力ファイバ917に用いた石英ファイバのパラメータは、 $NA=0.2$ 、コア直径4 μm である。

[0208] 半導体レーザ共振器901から放射される波長445nmの励起光は、反射要素913で入力ファイバ918の端面915に集光され、発光媒質905のコアに結合される。逆に、ファイバ励起側端面915から放射される波長521nmのレーザ光は、反射要素913によって半導体発光素子904の活性層に該略結合される。

[0209] 発光媒質905から前方に放射された波長521nmの蛍光は、波長521nmで40%の反射率を持つファイバ回折格子である反射要素920で折り返され、発光媒質905内で増幅される。反射要素906—反射要素913—発光媒質905—反射要素920はファブリペロー型の固体レーザ共振器902を構成している。中心波長521nmのレーザ光は、出力ファイバ917を通り、反対側の端面から出力903される。なお、ファイバ回折格子である反射要素920の帯域幅は、反射率の最大値を中心波長とし、最大反射率の $1/2$ となる波長幅で規定すると、0.08nmであった。

[0210] この構成では、まず半導体レーザ共振器901の出力が最大となるように反射要素906および反射要素913を調整した。このとき、半導体レーザ共振器901からの放射される励起光パワーは最大で200mWであった。半導体レーザ共振器901を調整後、入力ファイバ918の端面915の位置を調整して発光媒質905に励起光を集光照射するだけで、容易にレーザ発振が得られる。この時、レーザ発振開始までに固体レーザ共振器902の調整に要した時間はわずか2分、最大出力は24mWであった。また、固

体レーザ出力の線幅は、最大出力波長を中心波長とし、その出力の $1/2$ となる波長幅で規定すると、ファイバ回折格子の帯域幅に極めて近い 0.1 nm であった。

実施例 10

[0211] 本実施例は、図10に示す第10の実施の形態の例である。図10では、半導体発光素子1004への電源や制御装置の表示を省略してある。

[0212] 本実施例で用いた半導体発光素子1004は、実施例4と同じものである。また、発光媒質1005も実施例4と同等のパラメータを持つファイバを使用した。

[0213] この半導体発光素子1004から入力ファイバ1018側への放射は、波長 442 nm で反射率 15% かつ、波長 520 nm で反射率 0.3% の高透過となる、半導体発光素子1004に直接成膜されたダイクロイック光学膜である反射要素1013で反射され、半導体発光素子1004の活性層内で増幅され反射要素1006側に放射される。反射要素1006側に放射された波長 442 nm の光は、焦点距離 2.5 mm の広帯域高反射球面ミラーである反射要素1006で反射して折り返され、半導体発光素子1004内で再び増幅される。反射要素1013—半導体発光素子1004—反射要素1006で構成される半導体レーザ共振器1001は、反射要素1013から入力ファイバ1018側に波長 442 nm の励起光を放射する。

[0214] なお、半導体発光素子1004の反射要素1006側の端面には、波長 400 nm から 700 nm の範囲で反射率が約 0.5% となる反射防止膜が成膜されている。

[0215] 発光媒質1005は、曲率半径 $3\text{ }\mu\text{ m}$ （縦方向補正）と曲率半径 $7\text{ }\mu\text{ m}$ （横方向補正）の複合シリンドリカルレンズ形状のレンズドファイバ1016を備えた石英ファイバである入力ファイバ1018と融着点1021で融着接続されており、FBGからなる反射要素1020を備えた出力ファイバ1017と融着点1019で融着接続されている。入力ファイバ1018および出力ファイバ1017に用いた石英ファイバのパラメータは、 $NA=0$

2、コア直径 $4\ \mu\text{m}$ である。

[0216] レンズドファイバ 1016 の表面は、波長 $442\ \text{nm}$ と波長 $520\ \text{nm}$ の色収差による焦点位置変動を抑制するために、 CaF_2 と BaF_2 による分散補償膜が成膜され、さらにレーザ光波長である波長 $520\ \text{nm}$ と励起光波長である波長 $442\ \text{nm}$ で共に反射率が約 1% となる反射防止膜が成膜されている。

[0217] 半導体レーザ共振器 1001 から放射される励起光は、励起光放射領域に近接して設置されたレンズドファイバ 1016 で発散角を補正して発光媒質 1005 に入射され、ファイバのコアに結合される。逆に、レンズドファイバ 1016 から放射される波長 $520\ \text{nm}$ のレーザ光は、半導体発光素子 1004 の活性層に該略結合される。

[0218] 発光媒質 1005 から前方に放射された波長 $520\ \text{nm}$ の蛍光は、波長 $520\ \text{nm}$ で 50% の反射率を持つファイバ回折格子である反射要素 1020 で折り返され、発光媒質 1005 内で増幅される。反射要素 1006—反射要素 1013—レンズドファイバ 1016—発光媒質 1005—反射要素 1020 はファブリペロー型の固体レーザ共振器 1002 を構成している。中心波長 $520\ \text{nm}$ のレーザ光は、部分反射鏡である反射要素 1020 を通して出力ファイバ 1017 を伝搬し、ファイバ端から出力 1003 される。なお、ファイバ回折格子である反射要素 1020 の帯域幅は、反射率の最大値を中心波長とし、最大反射率の $1/2$ となる波長幅で規定すると、 $0.08\ \text{nm}$ であった。

[0219] この構成では、まず半導体レーザ共振器 1001 の出力が最大となるように反射要素 1006 を調整した。このとき、半導体レーザ共振器 1001 から放射される励起光パワーは最大で $250\ \text{mW}$ であった。半導体レーザ共振器 1001 を調整後、レーザ出力 1003 のパワーを計測しながらレンズドファイバ 1016 の位置、角度、半導体発光素子との距離を調整すると、容易にレーザ発振が得られるだけでなく、容易にパワーの最適化が可能であった。この時、レーザ発振開始までに固体レーザ共振器 1002 の調整に要

した時間はわずか1分、パワー最適化は3分で達成し、最大出力32mWが得られた。また、固体レーザ出力の線幅は、最大出力波長を中心波長とし、その出力の1/2となる波長幅で規定すると、ファイバ回折格子の帯域幅に極めて近い0.1nmであった。

[0220] 本発明は、医療、バイオ、ヘルスケア、生物分野で使用される観察用や分析用光源、工業用検査光源、テレビ、ディスプレイやプロジェクタ用光源、光ジャイロ用光源、微細加工用光源などとして利用できる。

請求の範囲

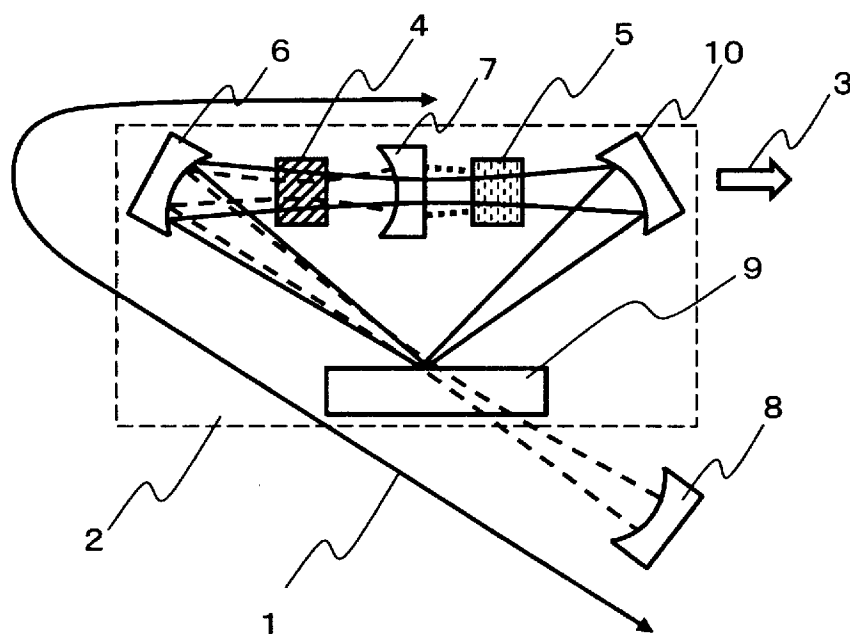
[請求項1]

励起光を放射する半導体発光素子を備えた半導体光源と、
該励起光を吸収して発光する発光媒質であって、該発光の少なくとも一部が出力光として出力される該発光媒質と、
該励起光を共振させてその光強度を増強する第1光路を第1反射要素組により構成する第1光共振器と、
該発光媒質の発光を共振させてその光強度を増強する第2光路を第2反射要素組により構成する第2光共振器を備えたレーザ光源装置であって、
該第1光路と該第2光路が一部を共有し、該共有部に該半導体発光素子が配置され、
該発光媒質が該第2光路に配置され、
該第1反射要素組と該第2反射要素組が少なくとも第1反射要素を共有し、該第1反射要素が該出力光と該励起光を共に反射するレーザ光源装置。

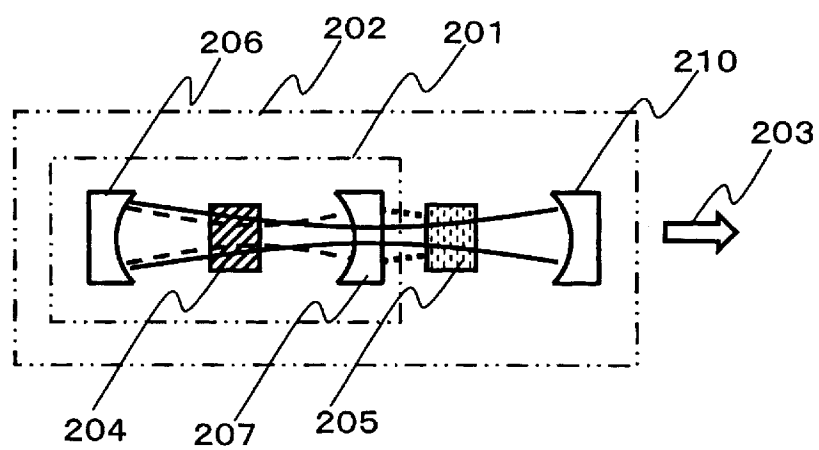
[請求項2]

該第1光共振器と該第2光共振器が共にファブリペロー型の光共振器であって、
該第1反射要素組が該第1反射要素以外の第2反射要素を有し、該第2反射要素が該第1光共振器の光出射端を構成し、該第2反射要素は、該第1光共振器の所望の発振波長の光の反射率が該第1反射要素より低く、
該第2反射要素組が該第1反射要素以外の第3反射要素を有し、該第3反射要素が該第2光共振器の光出射端を構成し、該第3反射要素は、該第2光共振器の所望の発振波長の光の反射率が該第1反射要素より低い請求項1に記載のレーザ光源装置。

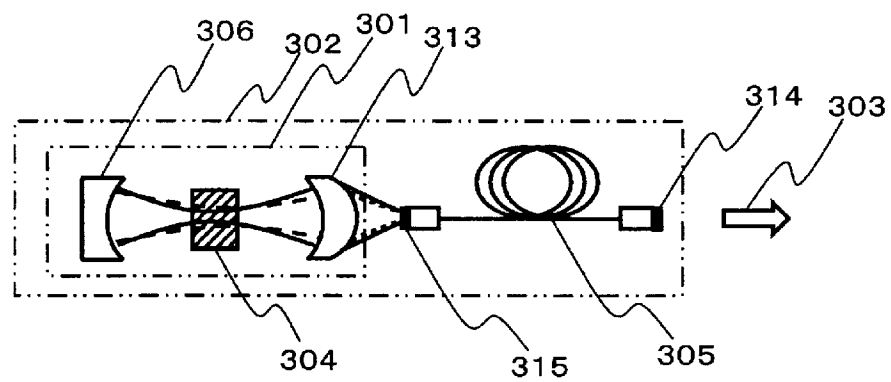
[図1]



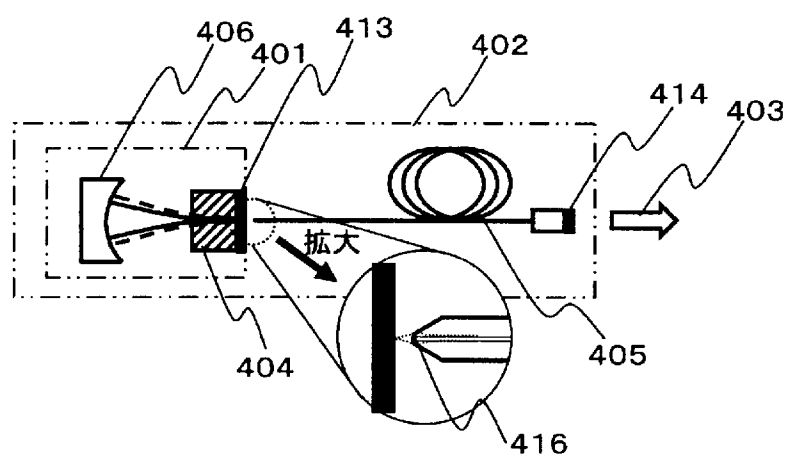
[図2]



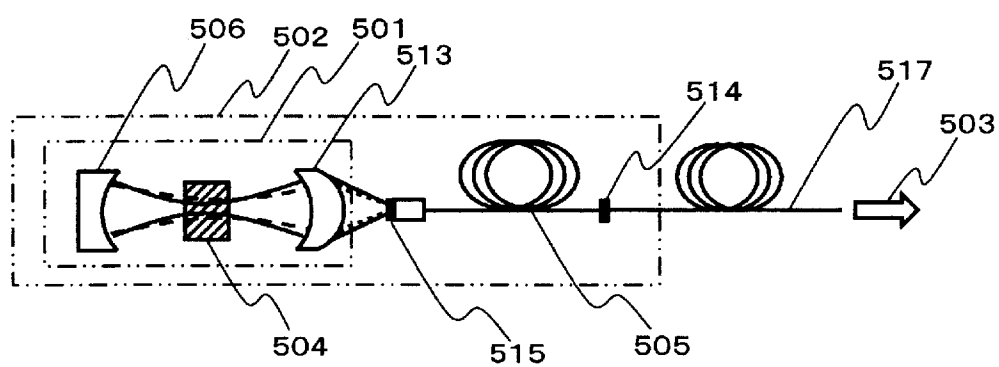
[図3]



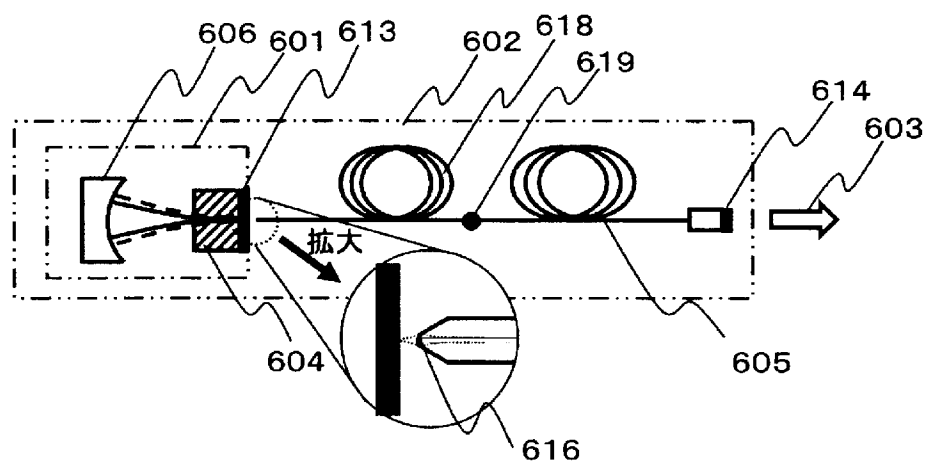
[図4]



[図5]



[図6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/068241

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S3/082(2006.01) i, H01S3/06(2006.01) i, H01S3/094(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)

H01S3/00-5/50

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	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

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 6-112560 A (Shimadzu Corp.), 22 April 1994 (22.04.1994), paragraph [0010]; fig. 1 to 3 (Family: none)	1, 2
A	JP 2008-112846 A (Sony Corp.), 15 May 2008 (15.05.2008), abstract & US 2008/0137697 A1	1, 2



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
26 October, 2010 (26.10.10)

Date of mailing of the international search report
09 November, 2010 (09.11.10)

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（I P C））

Int.Cl. H01S3/082(2006.01)i, H01S3/06(2006.01)i, H01S3/094(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（I P C））

Int.Cl. H01S3/00-5/50

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 0 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 0 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 0 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 6-112560 A（株式会社島津製作所）1994.04.22, 【0010】、 図1～3（ファミリーなし）	1, 2
A	JP 2008-112846 A（ソニー株式会社）2008.05.15, 要約 & US 2008/0137697 A1	1, 2

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

2 6 . 1 0 . 2 0 1 0

国際調査報告の発送日

0 9 . 1 1 . 2 0 1 0

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / 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）

杉田 翠

2 K

3 8 1 1

電話番号 03-3581-1101 内線 3255