

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-141283

(P2010-141283A)

(43) 公開日 平成22年6月24日(2010.6.24)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H O 1 S 3/137 (2006.01)	H O 1 S 3/137	5 F 1 7 2
H O 1 S 3/094 (2006.01)	H O 1 S 3/094	S
H O 1 S 3/06 (2006.01)	H O 1 S 3/06	B

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2009-142411 (P2009-142411)	(71) 出願人	000002200
(22) 出願日	平成21年6月15日 (2009.6.15)		セントラル硝子株式会社
(31) 優先権主張番号	特願2008-177496 (P2008-177496)		山口県宇部市大字沖宇部5253番地
(32) 優先日	平成20年7月8日 (2008.7.8)	(74) 代理人	100145632
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		弁理士 小出 誠
(31) 優先権主張番号	特願2008-289340 (P2008-289340)	(72) 発明者	岡本 英之
(32) 優先日	平成20年11月12日 (2008.11.12)		埼玉県川越市今福中台2805番地 セン
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		トラル硝子株式会社化学研究所内
		(72) 発明者	久保田 能徳
			埼玉県川越市今福中台2805番地 セン
			トラル硝子株式会社化学研究所内
		(72) 発明者	春日 健
			埼玉県川越市今福中台2805番地 セン
			トラル硝子株式会社化学研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 広帯域な波長可変レーザ装置

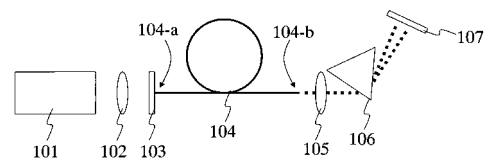
(57) 【要約】

【課題】 本発明の目的は、波長を連続的に走査でき、波長範囲が青色～近赤外にわたる広帯域な波長可変レーザを提供することである。

【解決手段】 波長範囲が420～475nmのGaIn系レーザダイオードからなる励起光源と、該励起光源からの励起光を透過し且つ励起光を除く所望の波長帯の光を反射する第1のミラーと所望の波長帯の光を反射する第2のミラーの光路間に該励起光により発光するレーザ媒質が配置され、さらには該レーザ媒質と第2のミラーの光路間に第1の波長選択手段が配置されている共振器とを備えるレーザ装置において、

レーザ媒質に少なくともPr³⁺が添加されているフッ化物ガラスを用いることにより連続的に変化可能であることを特徴とする波長可変レーザ装置。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

波長範囲が 420 ~ 475 nm の GaN 系レーザダイオードからなる励起光源と、
該励起光源からの励起光を透過し且つ励起光を除く所望の波長帯の光を反射する第 1 のミラーと所望の波長帯の光を反射する第 2 のミラーの光路間に該励起光により発光するレーザ媒質が配置され、さらには該レーザ媒質と第 2 のミラーの光路間に第 1 の波長選択手段が配置されている共振器とを備えるレーザ装置において、
レーザ媒質に少なくとも Pr^{3+} が添加されているフッ化物ガラスを用いることによりレーザ発振波長を連続的に変化可能であることを特徴とする波長可変レーザ装置。

【請求項 2】

第 1 の波長選択手段が、プリズム、エタロン、複屈折フィルタ、誘電体多層膜フィルタ、またはグレーティングであることを特徴とする請求項 1 に記載の波長可変レーザ装置。

【請求項 3】

該レーザ媒質が光導波路のコア部を形成すること特徴とする請求項 1 に記載の波長可変レーザ装置。

【請求項 4】

該レーザ媒質の両端に石英系ガラスからなる光導波路が接続されていることを特徴とする請求項 3 に記載の波長可変レーザ装置。

【請求項 5】

該レーザ媒質と第 2 のミラーの光路間に、該共振器全体の波長分散を補償するための分散補償素子を配置することにより、パルス光を生成することを特徴とする、請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の波長可変レーザ装置。

【請求項 6】

該分散補償素子が第 1 の波長選択手段と対をなす第 2 の波長選択手段であることを特徴とする請求項 5 に記載の波長可変レーザ装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、広帯域な波長可変光源に関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年、非線形光学結晶等を用いた波長変換技術により、UV 光領域から赤外領域までのレーザが得られるようになった。

例えば、波長 772 nm でレーザ発振させた Ti サファイアレーザの 4 倍波を得ることによって ArF レーザの波長である 193 nm の波長のレーザ光を得られることが知られている（特許文献 1）。または、特許文献 2 では、Nd : YAG レーザと Ti : Al₂O₃（Ti サファイア）レーザの差周波混合によって、3.2 μm ~ 20 μm の差周波光を得られることが知られている（特許文献 2）。

【0003】

上記のような波長変換技術によって所望の波長のレーザ光を発生させる場合、広帯域発振可能な波長可変光源を実現するためには、基本波レーザの発振波長を可能な限り広帯域に変化させることができるのが望ましい。このためには、広帯域な利得を有するレーザ媒質を選択し、より低損失な共振器を構成する必要がある。

【0004】

しかしながら、一般に用いられる結晶構造をもつレーザ媒質は、広帯域発振には適しておらず、最適なレーザ媒質は見出されていない。

これに対し、ガラス構造からなるレーザ媒質では、構成する各原子はより乱雑な配位子場を取れるため、より広帯域な発光が可能となる。さらに、共有性の結合である石英ガラスよりも、イオン性の結合であるフッ化物ガラスの方が、シュタルク分裂が大きく、より広

10

20

30

40

50

帯域な発光が可能であることが知られている。例えば、 Pr^{3+} 添加フッ化物ガラスファイバを用いたレーザ発振は、利得がピークとなる波長（491 nm、520 nm、605 nm、635 nm）において確認されている（非特許文献1、特許文献3）。また、J. Y. Allainらは波長476.5 nmの Ar^{+} レーザを用いて Pr^{3+} 添加フッ化物ガラスファイバを励起し、601～618 nm、631～641 nm、690～703 nm、707～725 nmなどの範囲において離散的なレーザ発振を確認している（非特許文献2）。しかし、波長476.5 nmの光による励起（ $^3\text{H}_4 \rightarrow ^3\text{P}_0$ ）は、発光上準位を直接励起しているため、励起光自身により（ $^3\text{P}_0 \rightarrow ^3\text{H}_4$ ）の誘導放出が生じるため、反転分布が得にくくなる。

また、 Pr^{3+} 添加フッ化物ファイバを青色半導体レーザで励起し、（ $^3\text{H}_4 \rightarrow ^3\text{P}_1$ 、 $^3\text{P}_2$ ）を直接励起し、491 nm、521 nm、635 nm付近でレーザ発振を得ていることが報告されている（非特許文献3、特許文献4）が、青領域、緑領域における広帯域な発振特性は示されていない。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2001-230478

【特許文献2】実開平4-116170

【特許文献3】特表平6-507045

【特許文献4】特開2007-157764

【非特許文献】

【0006】

【非特許文献1】Smart, R.G., Hanna, D.C., Tropper, A.C., Davey, S.T., Carter, S.F., Szebesta, D. 'CW room temperature Upconversion lasing at blue, green and red wavelengths in infrared-pumped Pr^{3+} -doped fluoride fibre', Electronics Letters, 1991, Page(s): 1307-1309.

【非特許文献2】Allain, J.Y.; Monerie, M.; Poignant, H., 'Tunable CW lasing around 610, 635, 695, 715, 885 and 910 nm in praseodymium-doped fluorozirconate fibre', Electronics Letters, 1991, Page(s): 189-191

【非特許文献3】WEICHMANN, U., BAIER, J., BENGOCHEA, J., and MOENCH, H.: 'GaN-diode pumped Pr^{3+} :ZBLAN fiber-lasers for the visible wavelength range', Proc. CLEO/Europe-IQEC, European Conference on., Munich, Germany, 2007

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

広帯域な波長可変光源において、上記のとおり、波長範囲が601～618 nm、631～641 nm、690～703 nm、707～725 nmにおいて離散的な波長可変範囲が報告されているが、さらに広帯域にわたり、レーザ発振波長が連続的に変化するレーザ装置は見出されていない。

【0008】

本発明では、励起光源として波長範囲が420～475 nmのGaN系レーザダイオードを用いるレーザ装置において、青、緑、橙～深赤、近赤外領域における広帯域の波長可変レーザ装置を提供することを目的としている。

10

20

30

40

50

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明は、波長範囲が420～475nmのGaN系レーザダイオードからなる励起光源と、

該励起光源からの励起光を透過し且つ励起光を除く所望の波長帯の光を反射する第1のミラーと所望の波長帯の光を反射する第2のミラーの光路間に該励起光により発光するレーザ媒質が配置され、さらには該レーザ媒質と第2のミラーの光路間に第1の波長選択手段が配置されている共振器とを備えるレーザ装置において、

レーザ媒質に少なくとも Pr^{3+} が添加されているフッ化物ガラスを用いることにより、レーザ発振波長を連続的に変化可能であることを特徴とする波長可変レーザ装置であり、

10

また、上記記載の波長可変レーザ装置において、第1の波長選択手段が、プリズム、エタロン、複屈折フィルタ、誘電体多層膜フィルタ、またはグレーティングを用いることを特徴とする波長可変レーザ装置、または、該レーザ媒質部分を光導波路のコア部とすることを特徴とする波長可変レーザ装置、または、該レーザ媒質の両端に石英系ガラスからなる光導波路を接続することを特徴とする、波長可変レーザ装置を提供するものである。

【0010】

さらには、上記記載の波長可変レーザ装置において、該レーザ媒質と第2のミラーの光路間に、該共振器全体の波長分散を補償するための分散補償素子を配置することにより、パルス光を生成することを特徴とする波長可変レーザ装置、または、該分散補償素子が第1の波長選択手段と対をなす第2の波長選択手段であることを特徴とする波長可変レーザ装置を提供するものである。

20

【発明の効果】

【0011】

本発明により、波長を連続的に走査できる広帯域な波長可変レーザを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本発明の一例を示すものである。

【図2】光源の広帯域化を可能とする準位構造の例を示すものである。

30

【図3】本発明の一例を示すものである。

【図4】 Pr^{3+} イオンの準位構造を示す。

【図5】実施例1及び実施例3～5の構成を示す。

【図6】実施例1の出力モニターにより得られた発振スペクトルを示す。

【図7】実施例2の構成を示す。

【図8】実施例2の出力モニターにより得られた発振スペクトルを示す。

【図9】実施例3の出力モニターにより得られた発振スペクトルを示す。

【図10】実施例4の出力モニターにより得られた発振スペクトルを示す。

【図11】実施例5の出力モニターにより得られた発振スペクトルを示す。

【図12】実施例6の構成を示す。

40

【発明を実施するための形態】

【0013】

本発明の例を、図1を用いて示す。図1は励起光源101、集光レンズ102、励起光透過／レーザ光反射フィルタ103、希土類添加フッ化物ガラスファイバ104、コリメートレンズ105、プリズム106、可動ミラー107で構成される。励起光源101より照射された励起光は集光レンズ102により集光され、希土類添加レーザファイバ104へ結合される。励起光源側のファイバ端104-aは直角に研磨されており、励起光透過／レーザ光反射フィルタ103の表面に隙間なく密着させられている。励起光源側と反対側のファイバ端104-bではフレネル反射を抑制するため、8°以上に斜め研磨されている。励起光は励起光透過／レーザ光反射フィルタ103を損失なく透過する。ファイ

50

バ 1 0 4 の内部で発生された自然放出 (A S E) 光はコリメートレンズ 1 0 5 でコリメートされ、プリズム 1 0 6 で波長ごとに分離され、可動ミラー 1 0 7 によって反射される。発生した A S E 光は励起光透過 / レーザ光反射フィルタ 1 0 3 および可動ミラー 1 0 7 によって構成された共振器内を往復することによってレーザ発振する。

【 0 0 1 4 】

集光レンズ 1 0 2 は励起レーザの波長に対し反射防止膜が施され、コリメートレンズ 1 0 5、プリズム 1 0 6 はレーザ発振波長に対し反射防止膜が施されているものが望ましい。プリズム 1 0 6 は三角プリズムである必要はなく、入射面および出射面が光軸に対してプリースタ角にカットされていてもよい。また、第 1 の波長選択手段としてプリズムを用いているが、エタロン、複屈折フィルタ、グレーティング、または誘電体多層膜フィルタを用いてもよい。

10

【 0 0 1 5 】

レーザの出力を得る場合には、励起光透過 / レーザ光反射フィルタ 1 0 3 または可動ミラー 1 0 7 のレーザ波長における反射率を下げることによって一部を透過させたり、共振器内の光路間にタップフィルタを挿入したりしてもよい。

【 0 0 1 6 】

発振波長を変化させる場合には、プリズム 1 0 6 または可動ミラー 1 0 7 を回転させることにより入射角または反射角を走査し、所望の波長の光のみをファイバ 1 0 4 へ帰還させることにより可能となる。

20

【 0 0 1 7 】

本発明の広帯域なレーザ発振に用いる、フッ化物ガラス中の希土類元素の準位構造について図 2 により例を示す。2 0 4 はレーザの上準位、2 0 3 および 2 0 2 は近接している異なるレーザ発振の下準位、2 0 1 は基底準位を示す。フッ化物ガラスはイオン性結合のガラスであり、結晶や共有性結合の石英系ガラス材料に比べて、自由な原子配置を取りやすく、その結果、シュタルク分裂の幅が大きい。そのため、フッ化物ガラス中の近接した異なる準位は重なりを持ち、特に共振器損失の小さいレーザ発振系においては連続した 1 つの準位として振舞うことができる。ここでは、レーザ発振の下準位が近接している場合について述べたが、レーザ発振の異なる 2 つ上準位が近接している場合も、近接している異なる 2 つのレーザ発振の下準位の場合と同様に、1 つの連続した上準位として振舞えるため、広帯域なレーザ発振特性が得られる。

30

【 0 0 1 8 】

さらには、複数のレーザ上準位または複数の下準位が近接している場合には、さらに広帯域なレーザ発振特性が得られる。

【 0 0 1 9 】

そこで、最も広帯域なレーザ発振特性を得るために、 Pr^{3+} が添加されているフッ化物ガラスをレーザ媒質として用いる。

【 0 0 2 0 】

Pr^{3+} を効率的に励起する場合、励起波長の範囲は 4 2 0 ~ 4 7 5 nm に含まれることが必要である。ガラス種にもよるため一概には規定できないが、より好ましくは 4 3 0 ~ 4 7 3 nm が望ましい。さらに好ましくは、吸収係数が大きな 4 3 5 ~ 4 5 5 nm が望ましい。

40

【 0 0 2 1 】

すなわち、本発明においては、特性の波長により Pr^{3+} を励起することで、反転分布の形成が容易になるため、波長可変範囲が広がるものである。

【 0 0 2 2 】

例えば、 Pr^{3+} が添加された増幅媒体により広帯域な波長可変特性を得る場合には、 $(^3\text{P}_1, ^3\text{P}_0) \rightarrow ^3\text{H}_4$ の遷移を用いることにより、波長範囲 4 7 0 ~ 5 0 0 nm 付近にわたり連続的に発振波長を変化させることができる。

また、 $^3\text{P}_1 \rightarrow ^3\text{H}_6$ 、 $^3\text{P}_0 \rightarrow (^3\text{H}_6, ^3\text{F}_2)$ 、 $^3\text{P}_1 \rightarrow ^3\text{F}_3$ 、 $^3\text{P}_0 \rightarrow (^3\text{F}_3, ^3\text{F}_4)$ 、 $^3\text{P}_1 \rightarrow ^3\text{F}_4$ の遷移を用いることにより、波長範囲 5 9 0 ~ 7 5 0 nm

50

付近にわたり連続的に発振波長を変化させることができる。

また、 $(^3P_1, ^3P_0) \rightarrow ^3H_5$ の遷移を用いることにより、波長範囲 510 ~ 550 nm 付近にわたり連続的に発振波長を変化させることができる。

【0023】

また、 $(^3P_1, ^3P_0) \rightarrow ^1G_4$ の遷移を用いることにより、波長範囲 750 ~ 960 nm 付近にわたり連続的に発振波長を変化させることができる。

【0024】

ここで、波長 590 nm 付近には基底準位吸収 ($^3H_4 \rightarrow ^1D_2$) が存在するため、その波長付近においてレーザ発振させることは困難である。

【0025】

また、波長 800 nm 付近には励起状態吸収 ($^1G_4 \rightarrow (^3P_0, ^3P_1, ^3P_2, ^1I_6)$) が存在するためこれらの波長帯でレーザ発振させるためには共振器損失を極めて小さくする必要がある。

【0026】

例えば、損失が 1 % 以下の共振器を用いたり、基底準位吸収 (例えば、 $^3H_4 \rightarrow (^1D_2, ^3P_0, ^3P_1, ^3P_1, ^1I_6)$) や励起状態吸収 (例えば、 $^1G_4 \rightarrow (^3P_0, ^3P_1, ^3P_2, ^1I_6)$) を抑制するために、波長が吸収波長に含まれる補助の励起光 (例えば、波長 467 nm の Ar^+ レーザ、波長が約 580 nm の波長変換レーザ、約 850 nm の半導体レーザ) などを用いることにより、吸収による共振器損失を低減し、発振波長をさらに広帯域化することもできる。前記の手法により、 Pr^{3+} 添加したレーザ媒質を用いて、波長範囲：約 460 nm ~ 約 1000 nm のすべての領域を連続的に波長走査可能な波長可変光源を構成することもできる。

【0027】

また本発明で用いたフッ化物ガラスの組成は、ZBLAN系、Al-Zr系、Al系などでもよいが良い。ここで、ZBLAN系フッ化物ガラスとは、主に $ZrF_4 - BaF_2 - LaF_3 - YF_3 - AlF_3 - NaF - RE F_3$ (ただし、REは希土類元素を示す) などで構成されるガラスを示す。ここで、Al-Zr系ガラスとは、 $AlF_3 - ZrF_4 - MgF_2 - CaF_2 - SrF_2 - BaF_2 - NaF_2 - RE F_3$ (ただし、REは希土類元素を示す) などで構成されるガラスを示す。また、Al系ガラスとは、主に $AlF_3 - BaF_2 - CaF_2 - MgF_2 - SrF_2 - YF_3 - RE F_3$ (ただし、REは希土類元素を示す) などで構成されるガラスを示す。高効率なレーザ発振には、ZBLAN系がよい。また、ガラスの耐久性が重視される環境にレーザ媒質を配置する必要がある場合、Al-Zr系、Al系を用いることが望ましい。

【0028】

さらには、上記のレーザ媒質と第2のミラーの光路間に、分散補償素子をさらに設置することにより、パルス光を発生させることができる。本発明で用いられる分散補償素子は、各波長の光に異なった遅延を与えるものであり、波長選択手段などにより構成される。分散補償素子としては、プリズム、グレーティング、ファイバグレーティング (特に分散補償に用いられる場合はチャープドファイバグレーティングとも呼ばれる)、分散補償ミラー、フォトニック結晶ファイバなどを用いることができる。例えば、図1に示された例に含まれる第1の波長選択手段のほかに、分散補償素子としてさらに第2の波長選択手段を追加することでパルス光を発生させることができる。

【0029】

その具体例として、図3を用いて示す。図3は、励起光源3101、集光レンズ3102、励起光透過/レーザ光反射フィルタ3103、希土類添加フッ化物ガラスファイバ3104、コリメートレンズ3105、プリズム対であるプリズム3106-aとプリズム3106-b、可動ミラー3107で構成される。励起光源3101より照射された励起光は集光レンズ3102により集光され、希土類添加レーザファイバ3104へ結合される。励起光源側のファイバ端3104-aは直角に研磨されており、励起光透過/レーザ光反射フィルタ3103の表面に隙間なく密着させられている。励起光源側と反対側のフ

10

20

30

40

50

ファイバ端 3104 - b ではフレネル反射を抑制するため、8°以上に斜め研磨されている。励起光は励起光透過／レーザ光反射フィルタ 3103 を損失なく透過する。ファイバ 3104 の内部で発生された自然放出 (ASE) 光はコリメートレンズ 3105 でコリメートされ、プリズム対プリズム 3106 - a とプリズム 3106 - b を通過した後、可動ミラー 3107 によって反射される。発生した ASE 光は励起光透過／レーザ光反射フィルタ 3103 および可動ミラー 3107 によって構成された共振器内を往復することによってレーザ発振する。一般に、ファイバ中を異なる波長の光が伝搬する場合、導波路構造や材料によって、各波長の光の伝搬速度が異なる (これを波長分散と称する。)。そこで、共振器内に第 1 の波長選択手段を設置する場合、共振器全体の波長分散を補正する分散補償素子を共振器中に設置することにより、時間的に短いパルスを生成できる。図 3 に示す例では、分散補償素子として第 2 の波長選択手段であるプリズムを追加し、第 1 の波長選択手段と第 2 の波長選択手段をプリズム対 (プリズム 3106 - a とプリズム 3106 - b) で共振器中に配置することにより、短パルス光が生成され、その一部が可動ミラー 3107 を透過して出力される。

10

【0030】

レーザの出力を得る場合には、励起光透過／レーザ光反射フィルタ 3103 または可動ミラー 3107 のレーザ波長における反射率を下げることによって一部を透過させたり、共振器内の光路間にタップフィルタを挿入したりしてもよい。

【0031】

パルス光の発振波長を変化させる方法について例を示す。可動ミラー 3107 に到達する光は、プリズムにより分光されている。そこで、図 3 に示すように、分光された光のビームサイズよりも小さな可動ミラーを用い、さらに可動ミラー 3107 の位置をレーザの光軸に対して垂直に動かすことによって、所望の波長帯の光のみを反射させることができる。これにより、パルス光の発振波長を変化させることができる。

20

【0032】

ただし、可動ミラー 3107 の大きさは制限されるものではない。例えば、分光された光のビームサイズよりも大きな可動ミラー 3107 を用いる場合、プリズム 3106 - b と可動ミラー 3107 の間に、スリットを挿入して分光された光のうち所望の波長帯の光だけを透過させてもパルス光の発振波長を変化させることができるし、または、空間変調素子 (例えば、液晶空間変調素子) を挿入して一部の波長帯の光を制限したり、各波長の透過率を変化させたりしてもパルス光の発振波長を変化させることができる。あるいは、該スリットまたは該空間変調素子を、プリズム 3106 - a とプリズム 3106 - b の間に挿入してもパルス光の発振波長を変化させることができる。

30

【0033】

また、パルス光の発振波長を変化させる必要がない場合には、可動ミラー 3107 の大きさを任意に設定することもできる。

【0034】

分散補償素子としてプリズムを追加する代わりに、例えば、励起光透過／レーザ光反射フィルタ 3103 または可動ミラー 3107 に分散補償ミラーを兼ねたミラーを用いても良く、あるいは、励起光透過／レーザ光反射フィルタ 3103 または可動ミラー 3107 をチャープドファイバグレーティングに置き換えても良い。または、フォトリソニック結晶ファイバが共振器内の光路中のいずれかの場所に含まれていても良い。

40

【0035】

また、高品質な短パルス光を得たい場合には、共振器中に可飽和吸収体を配しても良い。さらには、可飽和吸収体での光パワー密度を調整する場合には、レンズを挿入して可飽和吸収体上で集光しても良い。

【0036】

また、パルス光の繰り返し周波数を変調したい場合には、共振器中に音響光学素子などの変調素子を挿入しても良い。

【0037】

50

以下、実施例により本発明を詳細に説明する。

【実施例 1】

【0038】

図 4 に Pr^{3+} の準位図を示す。橙色～赤色発光である遷移 $^3\text{P}_0 \rightarrow ^3\text{F}_2$ および $^3\text{P}_0 \rightarrow ^3\text{H}_6$ の下準位間のエネルギー差はおよそ 860 cm^{-1} である。フッ化物ガラスは結晶や石英系ガラスに比べて準位の分裂が大きいので、近接した 2 つの準位 ($^3\text{F}_2$ 、 $^3\text{H}_6$) は重なりをもち連続している。 $^3\text{P}_0 \rightarrow (^3\text{F}_2, ^3\text{H}_6)$ の遷移を連続的に波長可変させるために、図 5 に示す波長可変レーザ装置を構成した。

【0039】

図 5 に示す波長可変レーザ装置は、励起光源として GaN レーザダイオード 401 (中心波長 448 nm : 日亜化学工業) を用い、非球面レンズ 402 ($\text{NA} 0.60$)、シリンドリカルレンズ 403 ($f = -25\text{ mm}$)、シリンドリカルレンズ 404 ($f = 50\text{ mm}$)、非球面レンズ 405 ($\text{NA} 0.30$)、フィルタ 406 ($\text{AR}: 448\text{ nm}$ 、 $\text{HR}: 550 \sim 650\text{ nm}$)、 Pr^{3+} 添加フッ化物ファイバ 407 (ホストガラス: ZBLAN ガラス、 $\text{Pr}^{3+}: 3000\text{ ppm}$ 、 $\text{NA}: 0.22$ 、コア径: $3.2\text{ }\mu\text{m}$ 、ファイバ長 9 cm)、非球面レンズ 408 ($\text{NA} 0.55$)、三角プリズム 409、ミラー 410 ($\text{HR}: 530 \sim 700\text{ nm}$) からなり、フィルタ 406～ミラー 410 間で共振器が構成される。励起光が透過する光学部品 (402, 403, 404, 405, 406) は波長 448 nm において AR コーティングされている。レーザ光が透過する光学部品 (408, 409) には波長 $500 \sim 650\text{ nm}$ において AR コーティングされている。波長可変レーザ装置内の共振器の透過損失は 0.8 dB (往復) であった。励起光源側のファイバ端 407-a は直角に研磨され、フィルタ 406 に隙間なく密着している。励起光源側と反対側のファイバ端 407-b はフレネル反射を抑制するために、 8° 研磨されている。発振するレーザ光の一部はプリズム表面で反射され、この反射光 411 を光スペクトルアナライザ (ANDO 製 AQ6315A) にて測定することにより出力のモニターを行う。

【0040】

出力 164 mW の励起光をファイバ 407 に投入し、入反射角を変えるようにミラー 410 を回転させて発振波長を変化させたときにモニターされた出力の発振スペクトルを図 6 に示す。利得の小さい $620 \sim 630\text{ nm}$ (2 つの下準位が重なっている領域と考えられる帯域) においても、レーザ発振が確認された。その結果、波長範囲 $598.25 \sim 642.25\text{ nm}$ (波長幅 44 nm) の全域においてレーザ発振させることが確認できた。

【0041】

こうして得られた波長可変光源と非線形光学結晶を組み合わせ、第 2 高調波を得る場合、UV 領域において波長範囲 $299.13 \sim 321.13\text{ nm}$ (波長幅 22 nm) の UV 波長可変光源が得られる。さらに、UV 波長可変光源と 488 nm レーザ (例えば、アルゴンイオンレーザや DPSS レーザ) の和周波混合を行うと、範囲 $185.5 \sim 193.7\text{ nm}$ (波長幅) の波長範囲が得られる。こうして得られた光源は、ArF レーザなどの波長 (193.3 nm) も得ることができる。

【実施例 2】

【0042】

本発明における波長可変レーザ装置の第 2 の実施例を図 7 に示す。図 7 に示す波長可変レーザ装置は、励起光源として GaN レーザダイオード 601 (中心波長 448 nm : 日亜化学工業) を用い、非球面レンズ 602 ($\text{NA} 0.60$)、シリンドリカルレンズ 603 ($f = -25\text{ mm}$)、シリンドリカルレンズ 604 ($f = 50\text{ mm}$)、非球面レンズ 605 ($\text{NA} 0.30$)、誘電体多層膜つきフェルール 606 ($\text{AR}: 448\text{ nm}$ 、 $\text{HR}: 550 \sim 650\text{ nm}$)、両端にそれぞれ石英ファイバ 607, 609 ($\text{NA}: 0.22$ 、コア径: $3.2\text{ }\mu\text{m}$) が接続された Pr^{3+} 添加フッ化物ファイバ 608 (ホストガラス: ZBLAN ガラス、 $\text{Pr}^{3+}: 3000\text{ ppm}$ 、 $\text{NA}: 0.22$ 、コア径: $3.2\text{ }\mu\text{m}$ 、ファイバ長 9 cm)、反射防止膜付フェルール 610 ($\text{AR}: 510 \sim 720\text{ nm}$)、

非球面レンズ 6 1 1 (NA 0 . 5 5)、三角プリズム 6 1 2、ミラー 6 1 3 (HR : 5 3 0 ~ 7 0 0 nm) からなり、誘電体多層膜つきフェルール 6 0 6 ~ ミラー 6 1 3 間で共振器が構成される。励起光が透過する光学部品 (6 0 2, 6 0 3, 6 0 4, 6 0 5) は波長 4 4 8 nm において AR コーティングがされている。レーザ光が透過する光学部品 (6 1 1, 6 1 2) には波長 5 1 0 ~ 7 0 0 nm において AR コーティングされている。尚、石英ファイバとフッ化物ファイバの接続損失は、波長 6 3 5 nm において 1 接続点あたり 0 . 3 dB であった。励起側の石英ファイバ端には、励起光を損失なく透過させ、かつ、レーザ光を反射させる誘電体多層膜つきフェルール 6 0 6 (AR : 4 4 8 nm、HR : 5 5 0 ~ 6 5 0 nm) が接続されている。逆端の石英ファイバ端には、レーザ光を損失なく透過させる反射防止膜付フェルール 6 1 0 (AR : 5 1 0 ~ 7 2 0 nm) が接続されている。発振するレーザ光の一部はプリズム表面で反射され、この反射光 6 1 6 を光スペクトルアナライザ (AND O 製 A Q 6 3 1 5 A) にて測定することにより出力のモニターを行う。

10

【 0 0 4 3 】

出力 1 9 0 mW の励起光をファイバ 6 0 7 に投入し、入反射角を変えるようにミラー 6 1 3 を回転させて発振波長を変化させたときにモニターされた出力の発振スペクトルを図 8 に示す。波長範囲 5 9 8 . 2 5 ~ 6 4 2 . 2 5 nm (波長幅 4 4 nm) の全域においてレーザ発振していることが確認できた。

【 実施例 3 】

【 0 0 4 4 】

実施例 1 におけるフィルタ 4 0 6 を、青 ~ 緑にかけて反射率の高いフィルタに置き換えた以外は、実施例 1 と同様の構成である。すなわち、図 5 において、励起光源として GaN レーザダイオード 4 0 1 (中心波長 4 4 8 nm : 日亜化学工業) を用い、非球面レンズ 4 0 2 (NA 0 . 6 0)、シリンドリカルレンズ 4 0 3 ($f = - 2 5$ mm)、シリンドリカルレンズ 4 0 4 ($f = 5 0$ mm)、非球面レンズ 4 0 5 (NA 0 . 3 0)、フィルタ 4 0 6 (AR : 4 4 8 nm、HR : 4 7 5 ~ 5 0 0 nm および 5 1 5 ~ 5 5 0 nm)、Pr³⁺ 添加フッ化物ファイバ 4 0 7 (ホストガラス : ZBLAN ガラス、Pr³⁺ : 3 0 0 0 ppm、NA : 0 . 2 2、コア径 : 3 . 2 μ m、ファイバ長 9 cm)、非球面レンズ 4 0 8 (NA 0 . 5 5)、三角プリズム 4 0 9、ミラー 4 1 0 (HR : 4 0 0 ~ 1 1 0 0 nm) からなり、フィルタ 4 0 6 ~ ミラー 4 1 0 間で共振器が構成される。励起光が透過する光学部品 (4 0 2, 4 0 3, 4 0 4, 4 0 5, 4 0 6) は波長 4 4 8 nm において AR コーティングされている。レーザ光が透過する光学部品 (4 0 8, 4 0 9) には波長 4 7 0 ~ 9 6 0 nm において AR コーティングされている。波長可変レーザ装置内の共振器の透過損失は 0 . 8 dB (往復) であった。励起光源側のファイバ端 4 0 7 - a は直角に研磨され、フィルタ 4 0 6 に隙間なく密着している。励起光源側と反対側のファイバ端 4 0 7 - b はフレネル反射を抑制するために、8 ° 研磨されている。発振するレーザ光の一部はプリズム表面で反射され、この反射光 4 1 1 を光スペクトルアナライザ (AND O 製 A Q 6 3 1 5 A) にて測定することにより出力のモニターを行う。

20

30

【 0 0 4 5 】

出力 2 0 0 mW の励起光をファイバ 4 0 7 に投入し、入反射角を変えるようにミラー 4 1 0 を回転させて発振波長を変化させたときにモニターされた出力の発振スペクトルを図 9 に示す。青色領域では、4 7 8 ~ 4 9 8 nm にわたり連続的にレーザ発振波長を変化させることができた。また緑色領域では、5 1 4 ~ 5 4 8 nm にわたり連続的にレーザ発振波長を変化させることができた。

40

【 実施例 4 】

【 0 0 4 6 】

実施例 1 におけるフィルタ 4 0 6 及びミラー 4 1 0 を、広帯域で高い反射率を有するものに置き換えた以外は、実施例 1 と同様の構成である。すなわち、図 5 において、励起光源として GaN レーザダイオード 4 0 1 (中心波長 4 4 8 nm : 日亜化学工業) を用い、非球面レンズ 4 0 2 (NA 0 . 6 0)、シリンドリカルレンズ 4 0 3 ($f = - 2 5$ mm)

50

、シリンドリカルレンズ404 ($f = 50 \text{ mm}$)、非球面レンズ405 ($\text{NA} 0.30$)、フィルタ406 ($\text{AR} : 448 \text{ nm}$ 、 $\text{HR} : 550 \sim 730 \text{ nm}$)、 Pr^{3+} 添加フッ化物ファイバ407 (ホストガラス: ZBLANガラス、 $\text{Pr}^{3+} : 3000 \text{ ppm}$ 、 $\text{NA} : 0.22$ 、コア径: $3.2 \mu\text{m}$ 、ファイバ長 9 cm)、非球面レンズ408 ($\text{NA} 0.55$)、三角プリズム409、ミラー410 ($\text{HR} : 400 \sim 1100 \text{ nm}$) からなり、フィルタ406 ~ ミラー410 間で共振器が構成される。励起光が透過する光学部品 (402, 403, 404, 405, 406) は波長 448 nm において AR コーティングされている。レーザ光が透過する光学部品 (408, 409) には波長 $470 \sim 960 \text{ nm}$ において AR コーティングされている。波長可変レーザ装置内の共振器の透過損失は 0.8 dB (往復) であった。励起光源側のファイバ端407 - a は直角に研磨され、フィルタ406 に隙間なく密着している。励起光源側と反対側のファイバ端407 - b はフレネル反射を抑制するために、 8° 研磨されている。発振するレーザ光の一部はプリズム表面で反射され、この反射光411を光スペクトルアナライザ (ANDO製AQ6315A) にて測定することにより出力のモニターを行う。

10

【0047】

出力 200 mW の励起光をファイバ407に投入し、入反射角を変えるようにミラー410を回転させて発振波長を変化させたときにモニターされた出力の発振スペクトルを図10に示す。 $596 \sim 736 \text{ nm}$ にわたり連続的にレーザ発振波長を変化させることができた。

20

【実施例5】

【0048】

実施例1におけるフィルタ406及びミラー410を、赤外領域で高い反射率を有するものに置き換えた以外は、実施例1と同様の構成である。すなわち、図5において、励起光源として GaN レーザダイオード401 (中心波長 448 nm : 日亜化学工業) を用い、非球面レンズ402 ($\text{NA} 0.60$)、シリンドリカルレンズ403 ($f = -25 \text{ mm}$)、シリンドリカルレンズ404 ($f = 50 \text{ mm}$)、非球面レンズ405 ($\text{NA} 0.30$)、フィルタ406 ($\text{AR} : 448 \text{ nm}$ 、 $\text{HR} : 860 \sim 960 \text{ nm}$)、 Pr^{3+} 添加フッ化物ファイバ407 (ホストガラス: ZBLANガラス、 $\text{Pr}^{3+} : 3000 \text{ ppm}$ 、 $\text{NA} : 0.22$ 、コア径: $3.2 \mu\text{m}$ 、ファイバ長 9 cm)、非球面レンズ408 ($\text{NA} 0.55$)、三角プリズム409、ミラー410 ($\text{HR} : 400 \sim 1100 \text{ nm}$) からなり、フィルタ406 ~ ミラー410 間で共振器が構成される。励起光が透過する光学部品 (402, 403, 404, 405, 406) は波長 448 nm において AR コーティングされている。レーザ光が透過する光学部品 (408, 409) には波長 $470 \sim 960 \text{ nm}$ において AR コーティングされている。波長可変レーザ装置内の共振器の透過損失は 0.8 dB (往復) であった。励起光源側のファイバ端407 - a は直角に研磨され、フィルタ406 に隙間なく密着している。励起光源側と反対側のファイバ端407 - b はフレネル反射を抑制するために、 8° 研磨されている。発振するレーザ光の一部はプリズム表面で反射され、この反射光411を光スペクトルアナライザ (ANDO製AQ6315A) にて測定することにより出力のモニターを行う。

30

【0049】

出力 200 mW の励起光をファイバ407に投入し、入反射角を変えるようにミラー410を回転させて発振波長を変化させたときにモニターされた出力の発振スペクトルを図11に示す。 $870 \sim 930 \text{ nm}$ にわたり連続的にレーザ発振波長を変化させることができた。

40

【0050】

こうして得られた波長可変光源と非線形光学結晶を組み合わせ、第2高調波を得る場合、UV領域において波長範囲 $239 \sim 249 \text{ nm}$ (波長幅 11 nm)、波長範囲 $257 \sim 274 \text{ nm}$ (波長幅 18 nm)、波長範囲 $298 \sim 368 \text{ nm}$ (波長幅 71 nm)、波長範囲 $435 \sim 465 \text{ nm}$ (波長幅 31 nm) のUV波長可変光源が得られる。すなわち、N2レーザ (337 nm) や Ce:LiSAFレーザ ($285 \sim 299 \text{ nm}$) の一部の

50

波長、XeFレーザ(351nm)、XeClレーザ(308nm)、KrFレーザ(248nm)などの波長を得ることができる。

【0051】

さらに、本発明による光源の第2高調波により得られたUV波長可変光源と例えば488nmレーザ(例えば、アルゴンイオンレーザやDPSSLレーザ)の和周波混合を行うと、範囲160.4~164.9nm、168.3~175.5nm、185.0~209.8nm、230.0~238.1nmの波長範囲が得られる。こうして得られた光源は、Xe₂エキシマレーザ(172nm)、ArFレーザなどの波長(193.3nm)も得ることができる。

【0052】

さらには、本発明による光源の第2高調波により得られたUV波長可変光源と例えば405nmレーザ(例えば、GaN系半導体レーザ)の和周波混合を行うと、範囲150.3~154.2nm、157.2~163.4nm、171.7~192.8nm、209.7~216.5nmの波長範囲が得られる。こうして得られた光源は、F2レーザ(158nm))などの波長も得ることができる。

【0053】

また、本発明により得られた、異なる波長のレーザ光源を組み合わせ、和周波・差周波を発生させることにより、新規の波長帯のレーザを得ることもできる。

【0054】

上記実施例1~5は、レーザ媒質の形状としてファイバ構造を示したが、その限りではなく、導波路構造を有するものや導波路構造を有さないPr³⁺添加フッ化物ガラスからなるバルク状のものでもよい。また、共振器の損失を低減、または励起パワーを増加させた場合には、レーザ発振する波長帯域がさらに拡大されることはいうまでもない。

【実施例6】

【0055】

パルス光が発生する波長可変レーザ装置の実施例を図12に示す。

図12に示す波長可変レーザ装置は、励起光源としてGaNレーザダイオード1101(中心波長448nm:日亜化学工業)を用い、非球面レンズ1102(NA0.60)、シリンドリカルレンズ1103(f=-25mm)、シリンドリカルレンズ1104(f=50mm)、非球面レンズ1105(NA0.30)、誘電体多層膜つきフェルール1106(AR:448nm、HR:550~720nm)、Pr³⁺添加フッ化物ファイバ1107(ホストガラス:ZBLANガラス、Pr³⁺:3000ppm、NA:0.22、コア径:3.8μm、ファイバ長9cm)、反射防止膜付フェルール1108(AR:510~720nm)、非球面レンズ1109(NA0.55)、一対の三角プリズム1110、ビームスプリッタ1112(透過93%、反射7%)、表面に色素(ローダミン640)が塗布された可動ミラー1111からなり、誘電体多層膜つきフェルール1106~可動ミラー1111間で共振器が構成される。色素は劣化が著しいため、可動ミラー1111を回転させながら使用した。ビームスプリッタ1112により反射された2つの光のうち、1つはオートコリレータ(APE社製Mini)に入射させてパルス幅の計測に用い、もう一つの反射光はパワー測定および波長測定に用いた。励起光が透過する光学部品(1102, 1103, 1104, 1105)は波長448nmにおいてARコーティングがされている。レーザ光が透過する光学部品(1109)には波長510~720nmにおいてARコーティングされている。本実施例で使用したフッ化物ファイバ1107の波長分散は波長635nmにおいて-240ps/km/nmであり、この波長分散を、一対の三角プリズム1110を用いることにより補償した。

【0056】

ビームスプリッタ1112の反射光の一つを光スペクトルアナライザ(ANDO製AQ6315A)で測定したところ、波長635nm付近でレーザ発振が確認された。同時に、もう一つの反射光をオートコリレータにより計測したところ、パルス幅は13psであった。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 7 】

次に、可動ミラー 1 1 1 1 の位置を変化させると、波長 7 1 6 n m 付近でレーザ出力が得られ、そのときのパルス幅は 1 0 p s であった。

【 0 0 5 8 】

ここで、より高精度に作製された可飽和吸収体や分散補償素子を用いれば、より（時間的に）短いパルス光が得られる可能性があることは言うまでもない。

【 0 0 5 9 】

今回、分散補償手段としてプリズムを用いたが、ファイバブラッググレーティング、分散補償ミラー、フォトニック結晶ファイバなども利用できる。

【 0 0 6 0 】

尚、上記実施例 1 ～ 6 で使用したファイバは、いずれもレーザ発振波長帯においてマルチモードファイバであるが、シングルモードファイバを用いても良い。

【産業上の利用可能性】

【 0 0 6 1 】

本発明は、可視光領域における広帯域波長可変光源として利用できるだけでなく、可視光領域において広帯域な波長可変光源が実現できるため、波長変換技術を用いた UV 領域の波長可変光源を構成する場合に、赤外レーザを基本波とする波長変換による UV 領域の波長可変光源に比べ波長変換の回数が少なくなるため、効率がよく、さらには、波長可変範囲を広くとることが可能となる。

【 0 0 6 2 】

このため、リソグラフィーなどの分野においても利用可能な UV 光の波長可変光源において、この基本波の光源として利用可能である。また、ディスプレイ・プロジェクション分野においては、本発明により青色域や緑色域の任意の波長の光源が得られるので、色再現性の良い光源として利用できる。

【 0 0 6 3 】

さらに本発明は、パルス光源としても利用でき、加工分野（特にプラスチックなどの透明材料の加工）などに利用可能である。

【符号の説明】

【 0 0 6 4 】

- 1 0 1、3 1 0 1：励起光源
- 1 0 2、3 1 0 2：集光レンズ
- 1 0 3、3 1 0 3：励起光透過 / レーザ光反射フィルタ
- 1 0 4、3 1 0 4：希土類添加フッ化物ガラスファイバ
- 1 0 4 - a、3 1 0 4 - a：励起光源側の希土類添加フッ化物ガラスファイバ端面
- 1 0 4 - b、3 1 0 4 - b：励起光源側と反対側の希土類添加フッ化物ガラスファイバ端面
- 1 0 5、3 1 0 5：コリメートレンズ
- 1 0 6、3 1 0 6 - a、3 1 0 6 - b：プリズム
- 1 0 7、3 1 0 7、1 1 1 1：可動ミラー
- 2 0 1：希土類イオンの基底準位
- 2 0 2：レーザ発振における下準位
- 2 0 3：準位 2 0 2 に隣接したレーザ発振における下準位
- 2 0 4：レーザ発振における上準位
- 4 0 1、6 0 1、1 1 0 1：G a N レーザダイオード
- 4 0 2、6 0 2、1 1 0 2：非球面レンズ
- 4 0 3、6 0 3、1 1 0 3：シリンドリカルレンズ
- 4 0 4、6 0 4、1 1 0 4：シリンドリカルレンズ
- 4 0 5、6 0 5、1 1 0 5、1 1 0 9：非球面レンズ
- 4 0 6：フィルタ
- 4 0 7、6 0 8、1 1 0 7：P r ³⁺ 添加フッ化物ファイバ

10

20

30

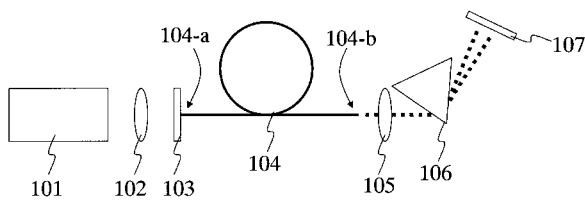
40

50

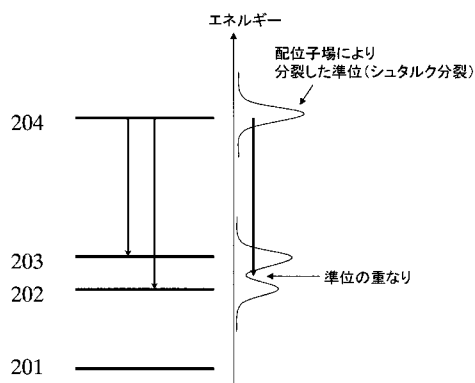
- 407 - a : 励起光源側の Pr^{3+} 添加フッ化物ガラスファイバ端面
 407 - b : 励起光源側と反対側の Pr^{3+} 添加フッ化物ガラスファイバ端面
 408、611 : 非球面レンズ
 409、612、1110 : 三角プリズム
 410、613 : ミラー
 411、616 : プリズム表面からの反射光
 606、1106 : 誘電体多層膜付フェルール
 607、609 : 石英ファイバ
 610、1108 : 反射防止膜付フェルール
 614、615 : 石英ファイバとフッ化物ファイバの接続点
 1112 : ビームスプリッタ

10

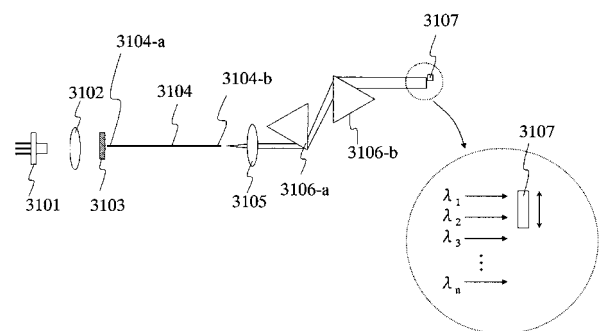
【図1】



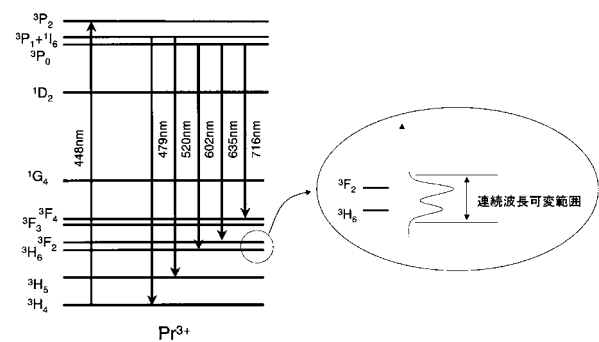
【図2】



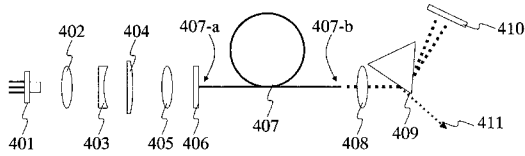
【図3】



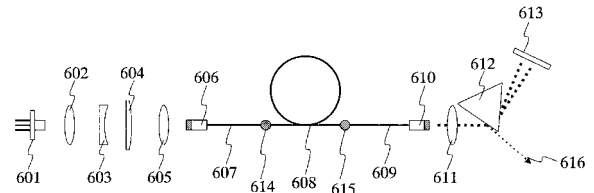
【図4】



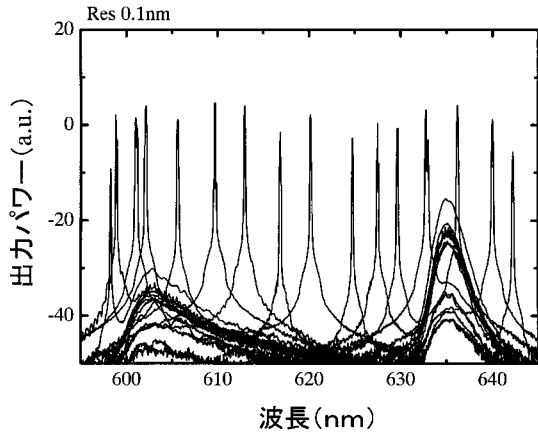
【図 5】



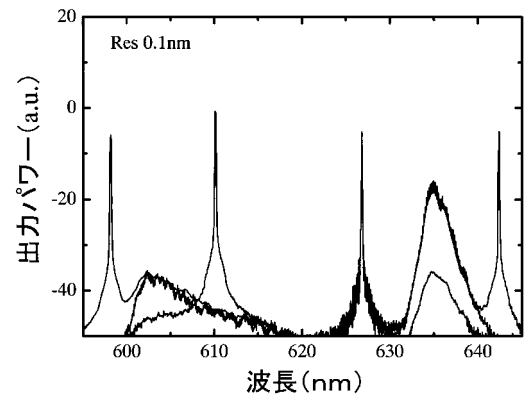
【図 7】



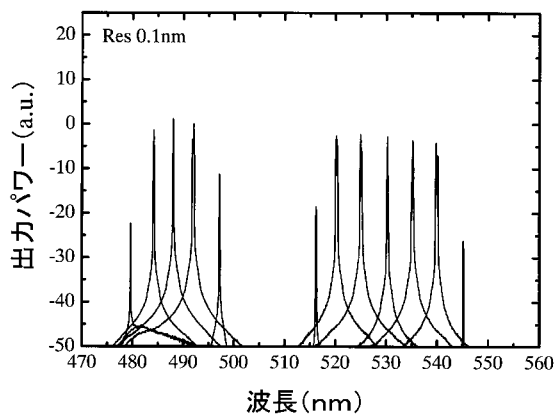
【図 6】



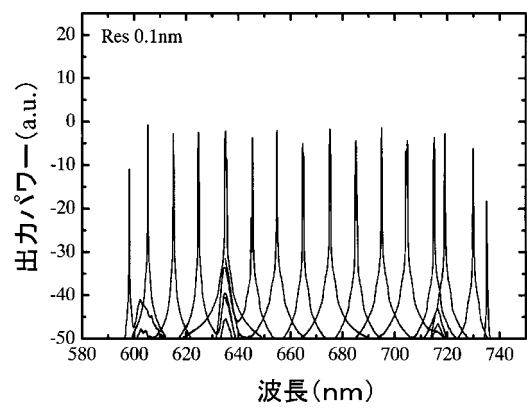
【図 8】



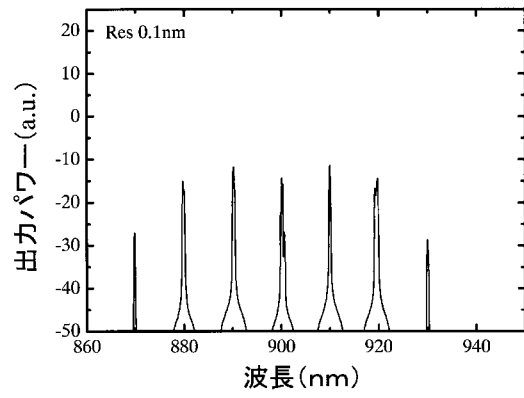
【図 9】



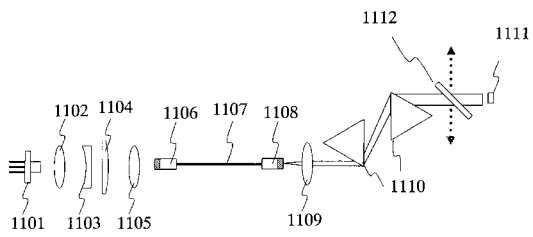
【図 10】



【図 1 1】



【図 1 2】



フロントページの続き

(72)発明者 原 育成

埼玉県川越市今福中台 2 8 0 5 番地 セントラル硝子株式会社化学研究所内

Fターム(参考) 5F172 AE13 AE15 AF04 AM08 EE13 NN25 NQ09 NQ43 NQ44 NQ47
NR22 NR24