

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4429140号
(P4429140)

(45) 発行日 平成22年3月10日 (2010.3.10)

(24) 登録日 平成21年12月25日 (2009.12.25)

(51) Int. Cl.	F 1		
A 6 1 F 9/007 (2006.01)	A 6 1 F	9/00	5 0 1
A 6 1 B 18/20 (2006.01)	A 6 1 B	17/36	3 5 0
A 6 1 N 5/06 (2006.01)	A 6 1 F	9/00	5 0 6
H 0 1 S 3/06 (2006.01)	A 6 1 N	5/06	E
H 0 1 S 3/108 (2006.01)	H 0 1 S	3/06	B
請求項の数 1 (全 16 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願2004-310597 (P2004-310597)
 (22) 出願日 平成16年10月26日 (2004.10.26)
 (65) 公開番号 特開2006-122081 (P2006-122081A)
 (43) 公開日 平成18年5月18日 (2006.5.18)
 審査請求日 平成19年7月27日 (2007.7.27)

(73) 特許権者 000135184
 株式会社ニデック
 愛知県蒲郡市拾石町前浜 3 4 番地 1 4
 (72) 発明者 ラリット プシャン シャルマ
 愛知県蒲郡市拾石町前浜 3 4 番地 1 4 株
 式会社ニデック拾石工場内
 審査官 川端 修

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 医療用レーザー装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

可視レーザー光を導光光学系によって患者の組織に導光する医療用レーザー装置において、波長 1 0 4 0 ~ 1 1 2 0 nm の範囲にある異なる第 1 の波長 1 と第 2 の波長 2 の励起レーザー光を選択的に出射可能な励起レーザー光源と、前記励起レーザー光源から入力されたレーザー光を誘導ラマン散乱により異なる波長にシフトする 1 本のラマンファイバであって、波長 1 の入力によりその波長 1 と異なる波長 1 1 6 0 ~ 1 2 0 0 nm の範囲にある波長 1 ' のレーザー光を発生する共振器を規定する 1 対の第 1 F B G (ファイバ・ブラッグ・グレーティング) が形成されていると共に、波長 2 の入力によりその波長 2 と異なる波長 1 2 2 0 ~ 1 2 8 0 nm の範囲にある波長 2 ' のレーザー光を発生する共振器を規定する 1 対の第 2 F B G (ファイバ・ブラッグ・グレーティング) が形成されている 1 本のラマンファイバと、前記波長 1 ' のレーザー光をその第 2 高調波に変換する第 1 波長変換素子と前記波長 2 ' のレーザー光をその第 2 高調波に変換する第 2 波長変換素子とを持ち、第 1 波長変換素子及び第 2 波長変換素子を前記ラマンファイバの出射光路に選択的に切換え配置する波長変換素子切換え手段と、波長選択信号の入力に基づいて波長 1 及び波長 2 の一方のレーザー光を選択的に前記励起レーザー光源から出射させると共に前記波長変換素子切換え手段を制御する制御手段であって、波長 1 のレーザー光を出射させたときには前記第 1 波長変換素子を前記ラマンファイバの出射光路に切換え配置し、波長 2 のレーザー光を出射させたときには前記第 2 波長変換素子を前記ラマンファイバの出射光路に切換え配置し、各波長変換素子で波長変換されたレーザー光を前記導光光学系に入射させる制御ユ

ニットと、を備え、前記ラマンファイバは、波長 1 の励起レーザ光が入力されたときに、前記第 1 F B G による波長 1' に対して誘導ラマン散乱が得られるが、前記第 2 F B G による波長 2' に対しては誘導ラマン散乱が得られず、且つ、波長 2 の励起レーザ光が入力されたときに、前記第 2 F B G による波長 2' に対して誘導ラマン散乱が得られるが、前記第 1 F B G による波長 1' に対しては誘導ラマン散乱が得られない誘導ラマン散乱特性を持ち、波長 1 及び波長 2 の選択的な入力により前記波長 1' 及び波長 2' のレーザ光が互いに独立して発生するように、前記 F B G 及び第 2 F B G を構成したことを特徴とする医療用レーザ装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は患者の患部に複数の色のレーザ光を選択的に照射して治療を行う医療用のレーザ装置に関する。

【背景技術】

【0002】

医療分野においては治療に応じた波長のレーザ光が選択的に使用される。眼の光凝固治療における波長としては、一般的な緑色の波長の他、少ないパワーで凝固効率の良い黄色・オレンジ色の波長が好ましい波長として使用されている。眼底に出血がある場合や、眼底に至る透光体に混濁がある場合には、赤色の波長が効果的に使用されている。

従来、可視域の多色の治療レーザ光を選択的に出射可能な、眼科治療用のレーザとしては、クリプトン、Nd:YAGレーザの第2高調波が使用されている。クリプトンからは約520nm、530nmの緑色、約568nmの黄色、及び約647nmの赤色のレーザ光が得られる(例えば、特許文献1参照)。Nd:YAGレーザの第2高調波では、約532nmの緑色、約561nmの黄色、及び約659nmの赤色のレーザ光が得られる(例えば、特許文献2参照)。

20

また、光通信システム分野では、ラマンファイバレーザの研究がなされている。ラマンファイバレーザでは、非線形媒体の光ファイバに高出力の励起光を入射することにより、誘導ラマン散乱効果によって入射光とは異なる長波長のレーザ光が取り出される。(例えば、特許文献3、4参照)。

【特許文献1】特開2002-136539号公報

30

【特許文献2】特開2002-151774号公報

【特許文献3】特開2000-29083号公報

【特許文献4】特開平11-54853号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

しかし、医療用として従来使用されていた多色レーザを出射可能なクリプトンのレーザ装置は、レーザチューブが短寿命であること、大きな消費電力を必要とすること、装置が大型化することなどの問題が大きかった。Nd:YAGレーザを使用した多波長の固体レーザ装置は、こうした問題が軽減されるが、時間的な熱の影響によりビームの品質が悪く、安定性も悪いという問題がある。

40

一方、ラマンファイバは光通信システム分野での応用がなされているが、医療分野において可視のレーザ光を選択的に得るために応用されたものは無い。波長の異なる多色の可視レーザ光を選択的に得るために、それぞれの波長に応じたラマンファイバを複数使用する構成が考えられるが、高価なラマンファイバを複数使用することは、コスト的に不利である。

本発明は、従来技術の問題に鑑み、装置の小型化及びビーム品質に優れ、治療に適した多波長の可視レーザ光を得る上で、コスト的に有利な医療用レーザ装置を提供することを技術課題とする。

【課題を解決するための手段】

50

【0004】

上記課題を解決するために、本発明は以下のような構成を備えることを特徴とする。

(1) 可視レーザー光を導光光学系によって患者の組織に導光する医療用レーザー装置において、波長1040～1120nmの範囲にある異なる第1の波長1と第2の波長2の励起レーザー光を選択的に出射可能な励起レーザー光源と、前記励起レーザー光源から入力されたレーザー光を誘導ラマン散乱により異なる波長にシフトする1本のラマンファイバであって、波長1の入力によりその波長1と異なる波長1160～1200nmの範囲にある波長1'のレーザー光を発生する共振器を規定する一对の第1FBG(ファイバ・ブラッグ・グレーティング)が形成されていると共に、波長2の入力によりその波長2と異なる波長1220～1280nmの範囲にある波長2'のレーザー光を発生する共振器を規定する一对の第2FBG(ファイバ・ブラッグ・グレーティング)が形成されている1本のラマンファイバと、前記波長1'のレーザー光をその第2高調波に変換する第1波長変換素子と前記波長2'のレーザー光をその第2高調波に変換する第2波長変換素子とを持ち、第1波長変換素子及び第2波長変換素子を前記ラマンファイバの出射光路に選択的に切換え配置する波長変換素子切換え手段と、波長選択信号の入力に基づいて波長1及び波長2の一方のレーザー光を選択的に前記励起レーザー光源から出射させると共に前記波長変換素子切換え手段を制御する制御手段であって、波長1のレーザー光を出射させたときには前記第1波長変換素子を前記ラマンファイバの出射光路に切換え配置し、波長2のレーザー光を出射させたときには前記第2波長変換素子を前記ラマンファイバの出射光路に切換え配置し、各波長変換素子で波長変換されたレーザー光を前記導光光学系に入射させる制御ユニットと、を備え、前記ラマンファイバは、波長1の励起レーザー光が入力されたときに、前記第1FBGによる波長1'に対して誘導ラマン散乱が得られるが、前記第2FBGによる波長2'に対しては誘導ラマン散乱が得られず、且つ、波長2の励起レーザー光が入力されたときに、前記第2FBGによる波長2'に対して誘導ラマン散乱が得られるが、前記第1FBGによる波長1'に対しては誘導ラマン散乱が得られない誘導ラマン散乱特性を持ち、波長1及び波長2の選択的な入力により前記波長1'及び波長2'のレーザー光が互いに独立して発生するように、前記FBG及び第2FBGを構成したことを特徴とする。

【発明の効果】

【0005】

本発明によれば、装置の小型化及びビーム品質に優れ、治療に適した多波長のレーザー光を得る上で、コスト的に有利な医療用レーザー装置を実現できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0006】

以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。図1は本発明の第1の実施形態に係る医療用レーザー装置の構成を示す図である。

図1において、100はレーザー光を出射する可視レーザーヘッドである。可視レーザーヘッド100には赤外レーザー光を発生する励起レーザー光源1が配置されている。レーザー光源1は、例えばレーザーダイオードポンプにYbがドープされたYbファイバレーザーからなり、1040～1120nmの範囲で、3つの波長の赤外レーザーを選択的に出射できる。それらの波長は、本実施例では、オレンジ色レーザー光を得るための第1波長 $\lambda_1 = 1120\text{nm}$ 、赤色レーザー光を得るための第2波長 $\lambda_2 = 1080\text{nm}$ 、緑色レーザー光を得るための第3波長 $\lambda_3 = 1060\text{nm}$ である。レーザー光源1は、出射するレーザー光の波長が1040～1140nmの範囲で10nm単位の調整ができることが好ましい。

【0007】

20はラマンファイバであり、シリカ(二酸化ケイ素： SiO_2)をベースとしてコア部分に五酸化リン(P_2O_5)がドープされた非線形用の光ファイバ2を備える。光ファイバ2のコア径は6 μm で、長さが400m以上である。なお、光ファイバ2はPMファイバ(Polarization Maintaining Fiber)であり、入射光の直線偏光を保持する機能を持

っている。また、レーザ光源 1 に使われているファイバも P M ファイバである。

【 0 0 0 8 】

ラマンファイバ 2 0 には、入射光の波長 $\lambda_1 = 1120 \text{ nm}$ を誘導ラマン散乱により波長 $\lambda_1' = 1180 \text{ nm}$ にシフトさせるための一対の F B G (ファイバ・ブラッグ・グレーティング: Fiber Bragg Grating) 3 a, 3 b と、入射光の波長 $\lambda_2 = 1080 \text{ nm}$ を波長 $\lambda_2' = 1260 \text{ nm}$ にシフトさせるための一対の F B G 4 a, 4 b が形成されている。F B G 3 a を波長 1180 nm に対して高反射 (99% 以上反射) とし、F B G 3 b を波長 1180 nm に対して一部透過 (反射率 85% 程度) とすることで、ラマン散乱された波長 1180 nm のストークス光を閉じ込めて増幅する共振器を規定することにより、波長 1180 nm のレーザ光が得られる。一方、F B G 4 a を波長 1260 nm に対して高反射 (99% 以上反射) とし、F B G 4 b を波長 1260 nm に対して一部透過 (反射率 85% 程度) とすることで、ラマン散乱された波長 1260 nm のストークス光を閉じ込めて増幅する共振器を規定することにより、波長 1260 nm のレーザ光が得られる。また、ラマンファイバ 2 0 の出力側には、波長 $\lambda_2 = 1080 \text{ nm}$ を反射し、その他の波長を透過する F B G 5 と、波長 $\lambda_1 = 1120 \text{ nm}$ を反射し、その他の光を透過する F B G 6 が形成されている。

10

【 0 0 0 9 】

ラマンファイバ 2 0 の出射端には、集光レンズ 7、Q P M グレーティングユニット 8 (Quasi Phase Matching Grating Unit) が配置されている。Q P M グレーティングユニット 8 は、非線形結晶を規則的に並べることで入力されたレーザ光をその第 2 高調波に変換する S H G (Second Harmonic Generation) 素子を数種類合わせたものである。本実施例では 3 つの Q P M グレーティングからなる S H G 素子 8 a, 8 b, 8 c を合わせたものを用いている。S H G 素子 8 a, 8 b, 8 c を構成する各 Q P M グレーティングでは、入力された赤外域のレーザ光をそれぞれの波長に対応させて特異的な非線形結晶の並べ方をさせたグレーティングを通過させることによって、各基本波を可視光域への第 2 高調波へ変換する。本実施例では、S H G 素子 8 a は波長 $\lambda_1' = 1180 \text{ nm}$ を波長 590 nm (オレンジ色) へと変換し、S H G 素子 8 b は波長 $\lambda_2' = 1260 \text{ nm}$ を 630 nm (赤色) へと変換し、S H G 素子 8 c は波長 $\lambda_1 = 1060 \text{ nm}$ を波長 530 nm (緑色) へと変換する。Q P M グレーティングユニット 8 は、駆動ユニット 9 により移動され、各 S H G 素子 8 a, 8 b, 8 c が選択的にレーザ光の光路に配置される。Q P M グレーティングユニット 8 の S H G 素子の選択はギヤやベルトによるユニットのスライド等で実現される。

20

30

【 0 0 1 0 】

レーザ光源 1 及び駆動ユニット 9 は制御ユニット 3 0 に接続され、制御ユニット 3 0 には波長選択スイッチを持つ操作ユニット 3 1 が接続されている。操作ユニット 3 1 からの波長選択信号が入力されると、制御ユニット 3 0 はその選択信号に応じた波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 の何れかのレーザ光を選択的にレーザ光源 1 から出射させると共に、駆動ユニット 9 を駆動してその波長選択に応じた S H G 素子 8 a, 8 b, 8 c の何れかを光路に配置する。

【 0 0 1 1 】

次に、ラマンファイバ 2 0 による波長シフトを説明する。図 2 は、 SiO_2 をベースに P_2O_5 がドープされた光ファイバ 2 の誘導ラマン散乱特性を示す図である。図 2 に示すように、 $\text{SiO}_2 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ のファイバでは、ラマンシフト約 1325 cm^{-1} を含む約 $1305 \sim 1355 \text{ cm}^{-1}$ の範囲と、約 454 cm^{-1} を含む約 $50 \sim 560 \text{ cm}^{-1}$ の範囲で、誘導ラマン散乱の高いラマン利得が現れている。

40

【 0 0 1 2 】

従って、 $\text{SiO}_2 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ のラマンファイバでは、波長 $\lambda_1 = 1120 \text{ nm}$ の励起光を入射させたとき、一対の F B G 3 a, 3 b により波長 1180 nm に対する共振器を構成することにより、 454 cm^{-1} のラマン利得が得られ、波長 1180 nm の誘導ラマン散乱が得られる。すなわち、

50

8928 cm^{-1} (1120 nm) - 454 cm^{-1} 8474 cm^{-1} (1180 nm)
となり、波長 $1' = 1180\text{ nm}$ のストークス光が発生する。

【0013】

一方、波長 $1 = 1120\text{ nm}$ の励起光を入射させたとき、波長 1260 nm に対して共振器を構成する一対のFBG4a, 4bによる誘導ラマン散乱を考えると、

8928 cm^{-1} (1120 nm) - 994 cm^{-1} 7934 cm^{-1} (1260 nm)
となる。SiO₂・P₂O₅のラマンファイバでは、ラマンシフト 994 cm^{-1} は極めてラマン利得が低いいため、誘導ラマン散乱が得られない。したがって、波長 $1 = 1120\text{ nm}$ の励起光を入射させたときは、FBG4a, 4bによる影響を受けずに、波長 $1' = 1180\text{ nm}$ のストークス光について、高反射率のFBG3aと一部透過（反射率85%程）の出力用FBG3bで共振器を規定することにより、波長 $1' = 1180\text{ nm}$ のレーザ光が独立して取り出される。

10

【0014】

また、SiO₂・P₂O₅のラマンファイバでは、波長 $2 = 1080\text{ nm}$ の励起光を入射させたとき、波長 1260 nm に対して共振器を構成する一対のFBG4a, 4bにより 1325 cm^{-1} でラマン利得が得られ、波長 1260 nm の誘導ラマン散乱が得られる。すなわち、

9259 cm^{-1} (1080 nm) - 1325 cm^{-1} 7934 cm^{-1} (1260 nm)
となり、波長 $2' = 1260\text{ nm}$ の1次ストークス光が発生する。

【0015】

20

一方、波長 $2 = 1080\text{ nm}$ の励起光を入射させたとき、波長 1180 nm に対して共振器を構成する一対のFBG3a, 3bによる誘導ラマン散乱を考えると、

9259 cm^{-1} (1080 nm) - 785 cm^{-1} 8474 cm^{-1} (1180 nm)
となる。SiO₂・P₂O₅のラマンファイバでは、ラマンシフト 785 cm^{-1} は極めてラマン利得が低いいため、誘導ラマン散乱が得られない。したがって、波長 $2 = 1080\text{ nm}$ の励起光を入射させたときは、FBG3a, 3bによる影響を受けずに、波長 $2' = 1260\text{ nm}$ の光について、高反射率のFBG4aと反射率85%程の出力用FBG3bで共振器を規定することにより、波長 $2' = 1260\text{ nm}$ のレーザ光が独立して取り出される。

【0016】

30

また、波長 $3 = 1060\text{ nm}$ の光を入射させた場合についても、FBG3a, 3b及びFBG4a, 4bによる誘導ラマン散乱を考えると、それぞれラマンシフトは 959 cm^{-1} 及び 1499 cm^{-1} となる。SiO₂・P₂O₅のラマンファイバでは、このラマンシフトは極めて低いラマン利得であるため、波長 $3 = 1060\text{ nm}$ は波長シフトされずに、大部分（90%程度）がそのままラマンファイバ20を通過する。

【0017】

ラマンファイバ20を出射した波長 $1' = 1180\text{ nm}$ のレーザ光は、QPMグレーティングユニット8のSHG素子8aに入射し、その第2高調波である波長 590 nm のオレンジ色レーザ光に波長変換される。また、ラマンファイバ20を出射した波長 $2' = 1260\text{ nm}$ のレーザ光は、SHG素子8bに入射し、その第2高調波である波長 630 nm の赤色レーザ光に波長変換される。ラマンファイバ20を出射した波長 $3 = 1060\text{ nm}$ のレーザ光は、SHG素子8cに入射し、その第2高調波である波長 530 nm の緑色レーザ光に波長変換される。なお、可視レーザヘッド100から各レーザ光を出射させる際には、図示を略すフィルタ等によってQPMグレーティングユニット8で変換されなかった赤外域のレーザ光をカットし、可視（赤色、オレンジ色、緑色）のレーザ光のみを出射するように構成しておく。

40

【0018】

以上のように、一つのラマンファイバに2種類の独立に波長シフトするFBGを設けることによって、赤、オレンジのレーザ光を得るための基本波レーザ光を簡単な構成で作ることができ、コスト的に有利となる。さらに、緑色のレーザ光を得るための基本波レ

50

ーザ光についても、FBGの影響を受けないようにすることで、3色のレーザー光を得ることができる。また、ラマンファイバを使用したレーザー光の多色化は、固体レーザー装置に比べてビーム品質・安定性に優れている利点を持つ。

【0019】

可視レーザーヘッド100から出射した可視のレーザー光は、集光レンズ50、導光用のファイバ51を経て、デリバリ光学系52に入射する。デリバリ光学系52は、リレーレンズ53、レーザー光のスポットサイズを変更するためのズームレンズ54、対物レンズ55、レーザー光を患者眼Eに向けて反射するミラー56を備える。デリバリ光学系52はスリットランプ60が持つ双眼の顕微鏡部61に取り付けられている。また、患者眼Eはスリットランプ60が備える照明部62により照明される。光凝固治療では、デリバリ光学系52により導光されたレーザー光は、コンタクトレンズ65を介して患者眼Eの眼底に照射される。

10

【0020】

光凝固治療装置では、凝固効率の点から波長580~600nmのオレンジ色のレーザー光を得ることが好ましい。この場合、SHG素子8aで波長変換される基本波の波長 $1' = 1160 \sim 1200 \text{ nm}$ である。また、光凝固治療装置では、オレンジ色レーザー光に加えて波長610~640nmの赤色レーザー光を出力できることが好ましい。この場合、SHG素子8bで波長変換される基本波の波長 $2' = 1220 \sim 1280 \text{ nm}$ である。

【0021】

図3は、 $\text{SiO}_2 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ のラマンファイバにおいて、ラマン利得が得られる $1305 \sim 1355 \text{ cm}^{-1}$ の範囲及び $50 \sim 560 \text{ cm}^{-1}$ の範囲について、励起波長(入射波長)に対する波長シフト(ストークス光)の関係をそれぞれ示した図である。波長610~640nmの何れかの赤色レーザー光を得るためには、図3の斜線部Aで示すように、波長 $1220 \sim 1280 \text{ nm}$ の何れかのストークス光(波長 $2'$)を得るように一对のFBG4a, 4bを構成すると共に、これに対応する励起波長 2 を $1047 \sim 1096 \text{ nm}$ の範囲で選択する。また、波長580~600nmのオレンジ色レーザー光を得るためには、図3の斜線部Bで示すように、波長 $1160 \sim 1200 \text{ nm}$ の何れかのストークス光(波長 $1'$)を得るように一对のFBG3a, 3bを構成すると共に、これに対応する励起波長 1 を波長 $1089 \sim 1140 \text{ nm}$ で選択する。そして、波長 $1'$ 及び $2'$ が互いに独立して発生するように、波長 $1'$ に対する励起波長 1 及び $2'$ に対する励起波長 2 の関係を定めてやれば良い。

20

30

【0022】

さらに、光凝固治療装置では、波長520~540nmの緑色レーザー光を出力できることが好ましい。この場合、SHG素子8cで波長変換される基本波の波長 3 は波長 $1040 \sim 1080 \text{ nm}$ である。そして、FBG4a, 4bで独立して波長 $2'$ (赤色レーザー光を得るためのストークス光)が発生するように、その波長 $2'$ と波長 3 の関係を定めてやれば良い。

【0023】

図4は、第2の実施形態に係るレーザー装置の構成を示す図である。図1と同様な機能の構成要素には、同一の符号を付している。第2の実施形態の可視レーザーヘッド101では、レーザー光源1から出射されたレーザー光の光路を2つに分岐する光学スイッチ40(分岐光学系)を配置し、分岐された1つの光路にラマンファイバ20を接続し、もう一方の光路に光ファイバ41を接続している。ラマンファイバ20の出射端の光路と、光ファイバ41の出射端の光路は、ダイクロイックミラー43により統合され、その統合された光路上に集光レンズ7、SHG素子8a, 8b, 8cを持つQPMグレーティングユニット8が配置されている。

40

【0024】

この実施形態においては、操作ユニット31により緑色レーザー光を選択すると、制御ユニット30はレーザー光源1から出射される波長 $3 = 1060 \text{ nm}$ のレーザー光の光路を、光学スイッチ40を制御して光ファイバ41に接続する。光ファイバ41から導かれた波

50

長 $\lambda_3 = 1060 \text{ nm}$ のレーザ光は、ダイクロイックミラー 43 で反射され、集光レンズ 7、SHG 素子 8c を経て、波長 530 nm のレーザ光として可視レーザヘッド 101 から出射される。レーザ光源 1 からの波長 $\lambda_1 = 1120 \text{ nm}$ 、 $\lambda_2 = 1080$ は、先の例と同様に、ラマンファイバ 20 に導かれる。

【0025】

この実施形態では、図 1 の例に対して、ラマンファイバ 20 を通さずに、波長 λ_3 のレーザ光を別の光ファイバ 41 へ通すことによって、その導光ロスを抑えことができる。また、緑色レーザ光を得るための波長 λ_3 と λ_1 とが同一波長である場合には、波長 λ_3 のレーザ光を別の光ファイバ 41 へ通すことによって、単独で緑色のレーザ光を発生させることができる。

10

【0026】

図 5 は第 3 の実施形態に係るレーザ装置の構成を示す図である。図 1 及び図 4 と同様な機能の構成要素には、同一の符号を付している。

【0027】

第 3 の実施形態の可視レーザヘッド 102 では、シリカ (SiO_2) をベースに酸化チタン (TiO_2) がドープされた非線形用光ファイバ 122 を備えるラマンファイバ 120 を使用している。また、レーザ光源 1 から選択出射するレーザ光は、オレンジ色レーザ光を得るための波長 $\lambda_1 = 1060 \text{ nm}$ と、赤色レーザ光を得るための波長 $\lambda_2 = 1120 \text{ nm}$ とし、緑色レーザ光を得るための波長 $\lambda_3 = \lambda_1 = 1060 \text{ nm}$ としている。光学スイッチ 40 はレーザ光源 1 から出射されたレーザ光の光路を 2 つに分岐する。光学スイッチ 40 により分岐された片方の光路にはラマンファイバ 120 が接続されている。このラマンファイバ 120 には、入射光の波長 $\lambda_1 = 1060 \text{ nm}$ を誘導ラマン散乱により波長 $\lambda_1' = 1180 \text{ nm}$ にシフトさせて増幅させるための一対の共振器を規定する FBG 123a, 123b と、入射光の波長 $\lambda_2 = 1120 \text{ nm}$ を波長 $\lambda_2' = 1250 \text{ nm}$ にシフトさせて増幅させるための一対の FBG 124a, 124b が形成されている。また、ラマンファイバ 120 の出力側には、波長 $\lambda_1 = 1060 \text{ nm}$ を反射し、その他の波長を透過する FBG 125 と、波長 $\lambda_2 = 1120 \text{ nm}$ を反射し、その他の光を透過する FBG 126 が形成されている。なお、FBG 123a, 123b は、波長シフト手段としての負荷ユニット 130a, 130b によりストレス又は温度（あるいはその両者）がそれぞれ負荷されることで、反射波長が変えられる。負荷ユニット 130a, 130b は、制御ユニット 30 により操作ユニット 31 からの波長選択信号に応じて制御される。

20

30

【0028】

光学スイッチ 40 により分岐されたもう片方の光路には、波長 $\lambda_1 = 1060 \text{ nm}$ を導光する光ファイバ 41 が接続されている。ラマンファイバ波長シフト光学系 120 の出射端の光路と、光ファイバ 41 の出射端の光路は、ダイクロイックミラー 43 により統合され、その統合された光路上に集光レンズ 7、SHG 素子 8a, 8b, 8c を持つ QPM グレーティングユニット 8 が配置されている。SHG 素子 8a は波長 $\lambda_1' = 1180 \text{ nm}$ を波長 590 nm (オレンジ色) へと変換し、SHG 素子 8b は波長 $\lambda_2' = 1250 \text{ nm}$ を波長 625 nm (赤色) へと変換し、SHG 素子 8c は波長 $\lambda_1 = 1060 \text{ nm}$ を波長 530 nm (緑色) へと変換する。駆動ユニット 9 により各 SHG 素子 8a, 8b, 8c が選択的にレーザ光の光路に配置される。

40

【0029】

次に、この例におけるラマンファイバ 120 による波長シフトを説明する。図 6 は、 SiO_2 をベースに TiO_2 がドープされたラマンファイバ 120 の誘導ラマン散乱特性を示す図である。 $\text{SiO}_2 \cdot \text{TiO}_2$ のラマンファイバでは、約 $900 \sim 960 \text{ cm}^{-1}$ の範囲と、約 $50 \sim 500 \text{ cm}^{-1}$ の範囲で、誘導ラマン散乱の高いラマン利得が現れている。

【0030】

この $\text{SiO}_2 \cdot \text{TiO}_2$ のラマンファイバ 120 に、波長 $\lambda_1 = 1060 \text{ nm}$ の励起光を入射させたとき、波長 1180 nm に対して一対の FBG 123a, 123b により共振器を構成することにより、ラマンシフト 960 cm^{-1} で利得が得られ、誘導ラマン散乱に

50

より波長 $\lambda' = 1180 \text{ nm}$ のレーザー光が得られる。すなわち、

$9434 \text{ cm}^{-1} (1060 \text{ nm}) - 960 \text{ cm}^{-1} \quad 8474 \text{ cm}^{-1} (1180 \text{ nm})$
となる。

【0031】

一方、波長 $\lambda = 1060 \text{ nm}$ の励起光を入射させたとき、波長 1250 nm に対して共振器を構成する一対のFBG124a, 124bによる誘導ラマン散乱を考えると、

$9434 \text{ cm}^{-1} (1060 \text{ nm}) - 1434 \text{ cm}^{-1} \quad 8000 \text{ cm}^{-1} (1250 \text{ nm})$
となる。 $\text{SiO}_2 \cdot \text{TiO}_2$ のラマンファイバでは、ラマンシフト 1434 cm^{-1} はほとんど利得が無いため、誘導ラマン散乱が得られない。したがって、波長 $\lambda = 1060 \text{ nm}$ の励起光を入射させたときは、FBG124a, 124bによる影響を受けずに、波長 $\lambda' = 1180 \text{ nm}$ のレーザー光が独立して取り出される。

10

【0032】

次に、 $\text{SiO}_2 \cdot \text{TiO}_2$ のラマンファイバ120に波長 $\lambda_2 = 1120 \text{ nm}$ の励起光を入射させるときを考える。この場合、FBG123a, 123bの影響が無いとすれば、波長 1250 nm に対して一対のFBG124a, 124bにより共振器を構成することにより、ラマンシフト 928 cm^{-1} で利得が得られ、誘導ラマン散乱により波長 $\lambda' = 1250 \text{ nm}$ のレーザー光が得られる。すなわち、

$8928 \text{ cm}^{-1} (1120 \text{ nm}) - 928 \text{ cm}^{-1} \quad 8000 \text{ cm}^{-1} (1250 \text{ nm})$
となる。

【0033】

20

しかし、波長 $\lambda_2 = 1120 \text{ nm}$ の励起光を入射させたとき、波長 1180 nm に対して共振器を構成する一対のFBG123a, 123bによる誘導ラマン散乱の影響を見てみると、

$8928 \text{ cm}^{-1} (1120 \text{ nm}) - 454 \text{ cm}^{-1} \quad 8474 \text{ cm}^{-1} (1180 \text{ nm})$
となる。 $\text{SiO}_2 \cdot \text{TiO}_2$ のラマンファイバでは、ラマンシフト 454 cm^{-1} においてもある程度高いラマン利得が得られるため、波長 1180 nm のストークス光が発生し易くなり、結局、必要な波長 $\lambda' = 1250 \text{ nm}$ のストークス光が得られにくくなる。

【0034】

そこで、この実施形態の装置では、波長 $\lambda_2 = 1120 \text{ nm}$ の励起光を入射させたとき、FBG123a, 123bによる誘導ラマン散乱の影響を取り除くべく、FBG123a, 123bの反射波長の変化させる。

30

【0035】

FBGは、ストレスを負荷すると、グレーティングのスペースが変化することにより反射波長が変化する特性がある。また、ある一定以上の温度とすることによっても反射波長が変化することが知られている。したがって、負荷ユニット130a, 130bにより、FBG123a及び123bにストレス又は温度変化(あるいはその両方)を負荷することにより、その反射波長をラマン利得が得られない波長範囲までシフトさせることができる。例えば、FBG123a, 123bの反射波長 1180 nm を、波長 1200 nm まで変化させる。このときの波長 $\lambda_2 = 1120 \text{ nm}$ の励起光についてのFBG123a, 123bによる誘導ラマン散乱の影響を見てみると、

40

$8928 \text{ cm}^{-1} (1120 \text{ nm}) - 595 \text{ cm}^{-1} \quad 8333 \text{ cm}^{-1} (1200 \text{ nm})$
となる。 $\text{SiO}_2 \cdot \text{TiO}_2$ のラマンファイバの 595 cm^{-1} はラマン利得が低いため、FBG123a, 123bの影響を無くすることができる。これにより、波長 $\lambda_2 = 1120 \text{ nm}$ の入力に対して、FBG124a, 124bにより独立して波長 $\lambda' = 1250 \text{ nm}$ のレーザー光を出力できる。

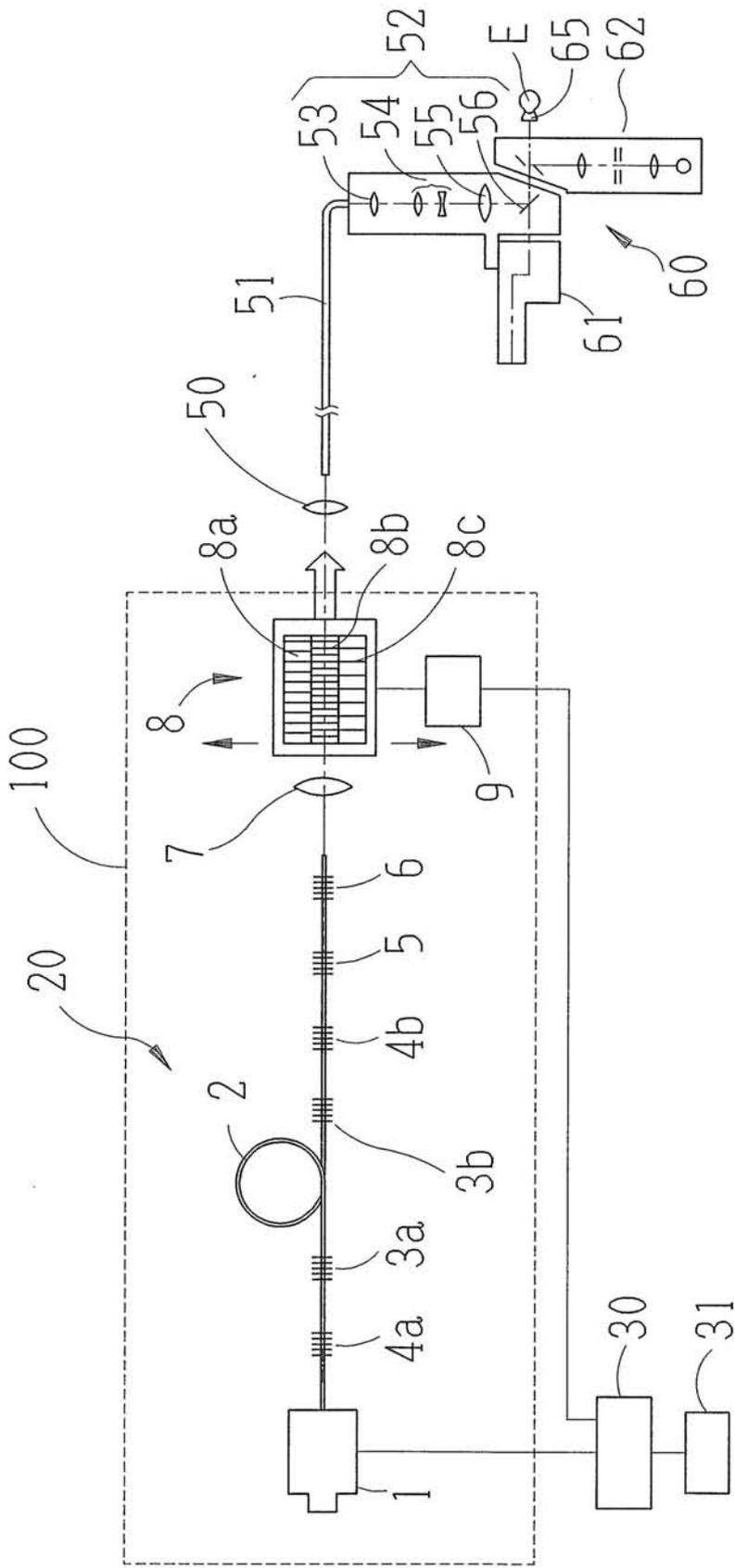
【0036】

波長 $\lambda' = 1180 \text{ nm}$ のレーザー光はSHG素子8aにより波長 590 nm (オレンジ色)へと変換され、波長 $\lambda' = 1250 \text{ nm}$ のレーザー光はSHG素子8bにより波長 625 nm (赤色)へと変換されて出力される。また、第2の実施形態と同様に、光学スイッチ40によりレーザー光源1からの波長 1060 nm のレーザー光を、ラマンファイバ1

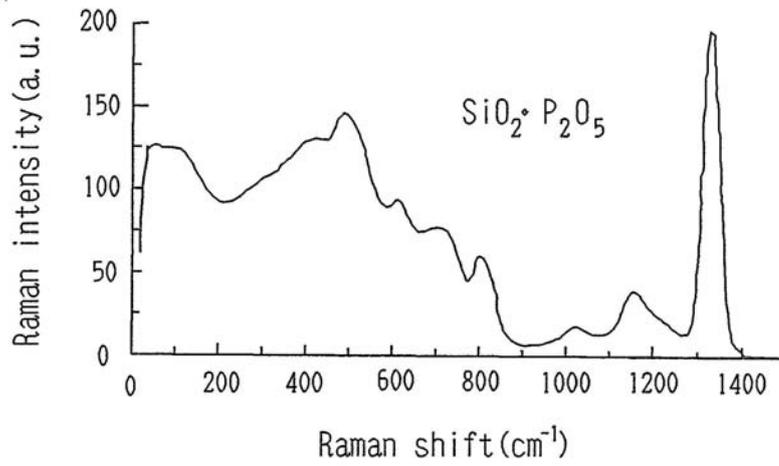
50

2 光ファイバ
3 a , 3 b , 4 a , 4 b F B G
5 , 6 F B G
8 Q P M グレーティングユニット
8 a , 8 b , 8 c S H G 素子
9 駆動ユニット
2 0 ラマンファイバ
3 0 制御部
3 1 操作ユニット
5 2 デリバリ光学系
6 0 スリットランプ
1 0 0 , 1 0 1 , 1 0 2 可視レーザーヘッド
1 2 3 a , 1 2 3 b , 1 2 4 a , 1 2 4 b F B G
1 3 0 a , 1 3 0 b 負荷ユニット

【図1】

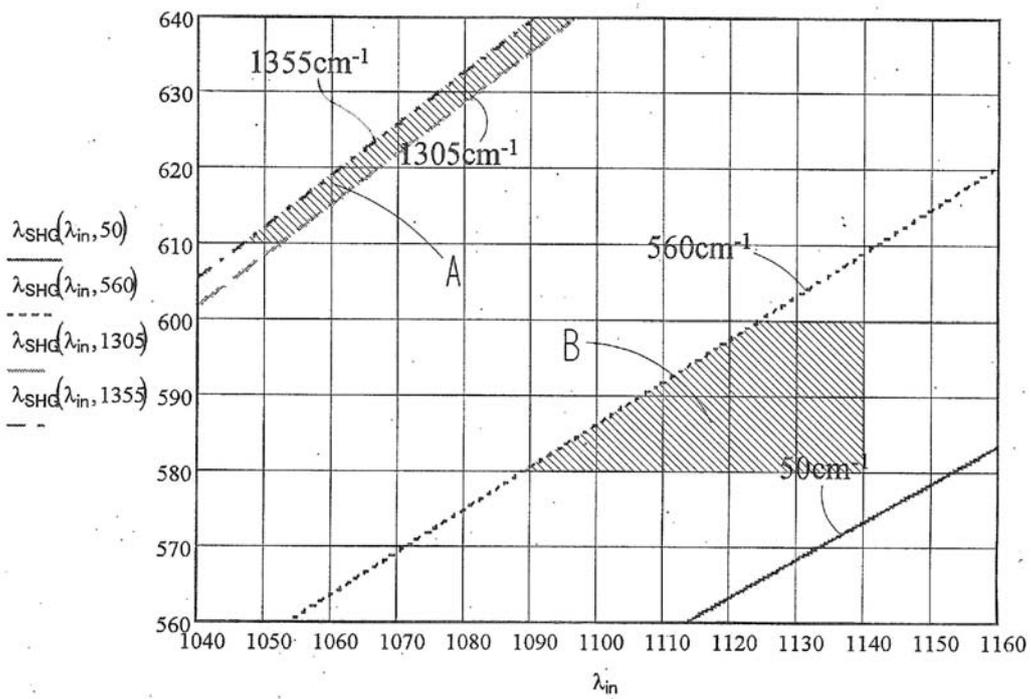


【 図 2 】

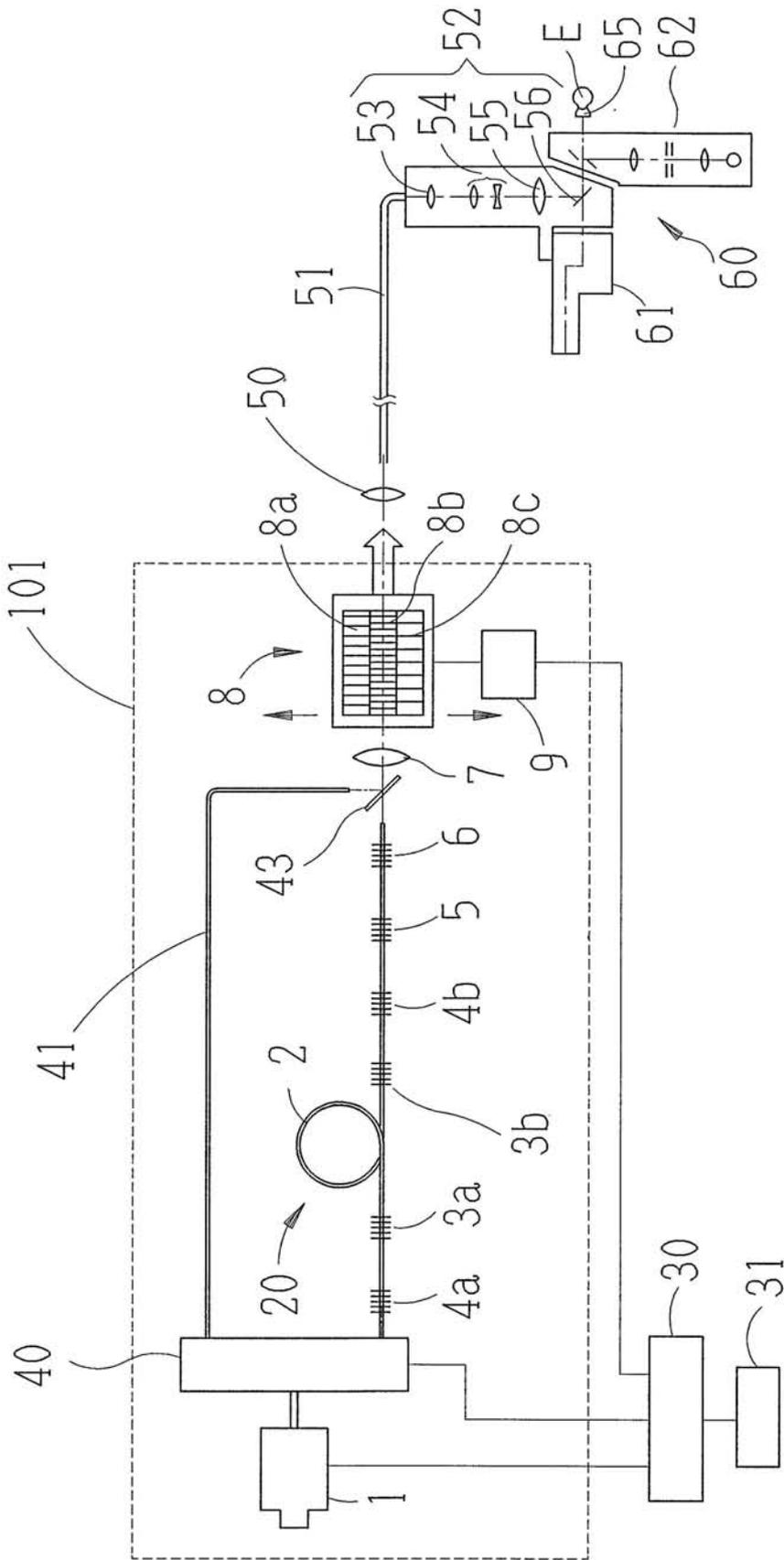


【 図 3 】

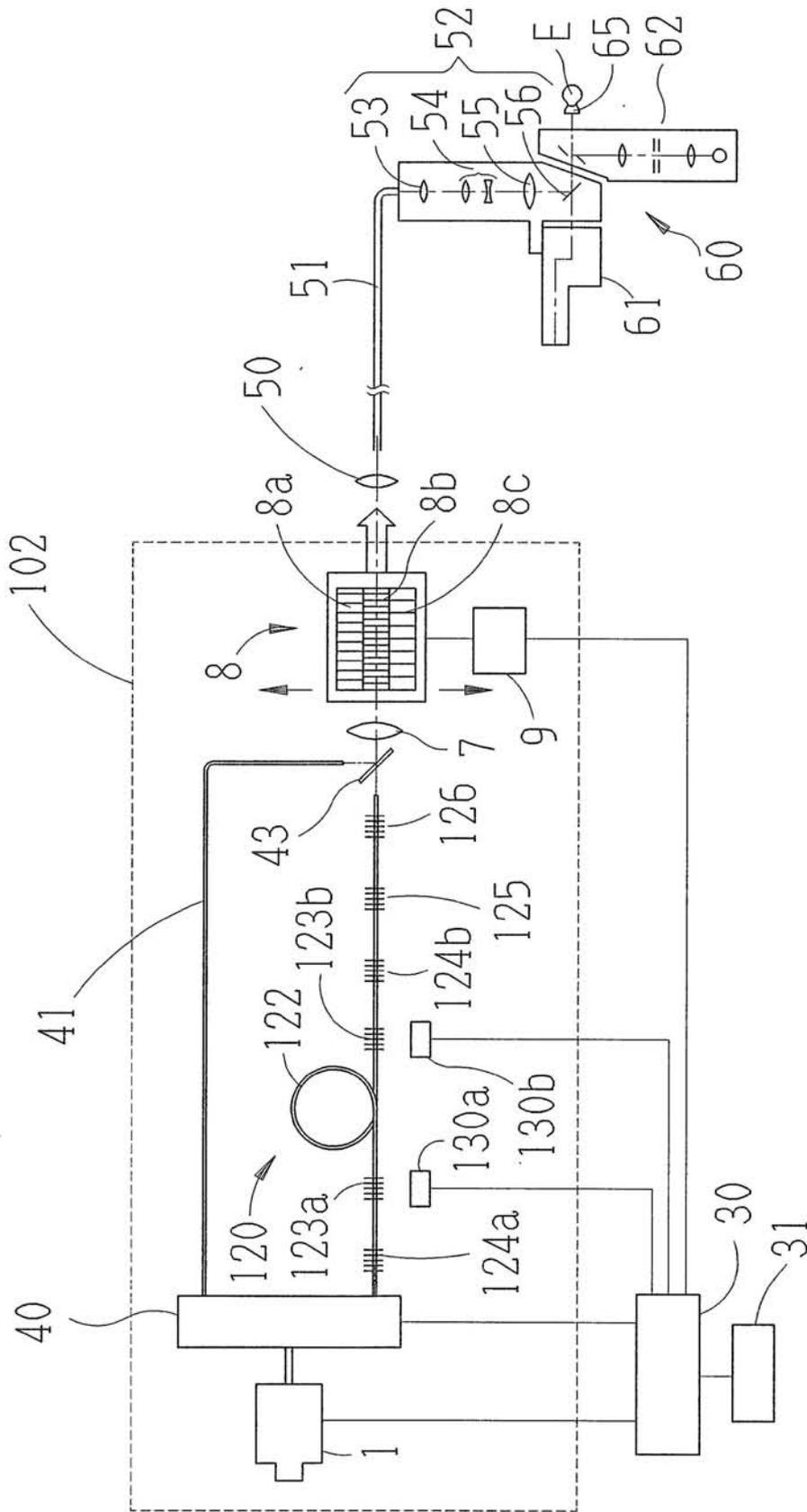
$\text{SiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5$ Raman fiber (PM)



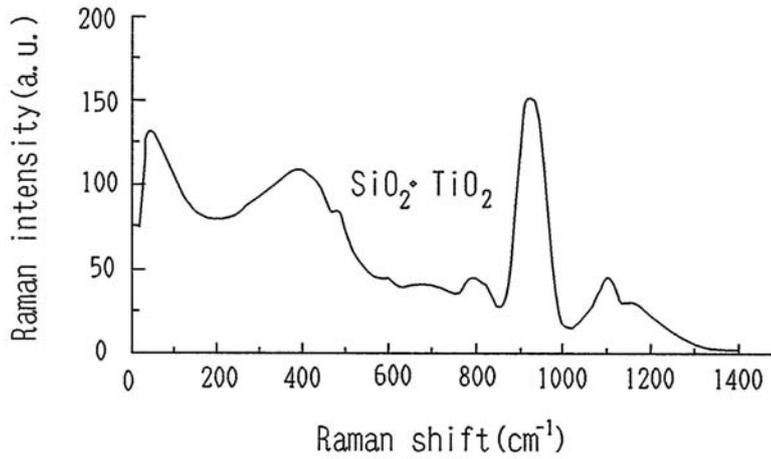
【図4】



【図5】

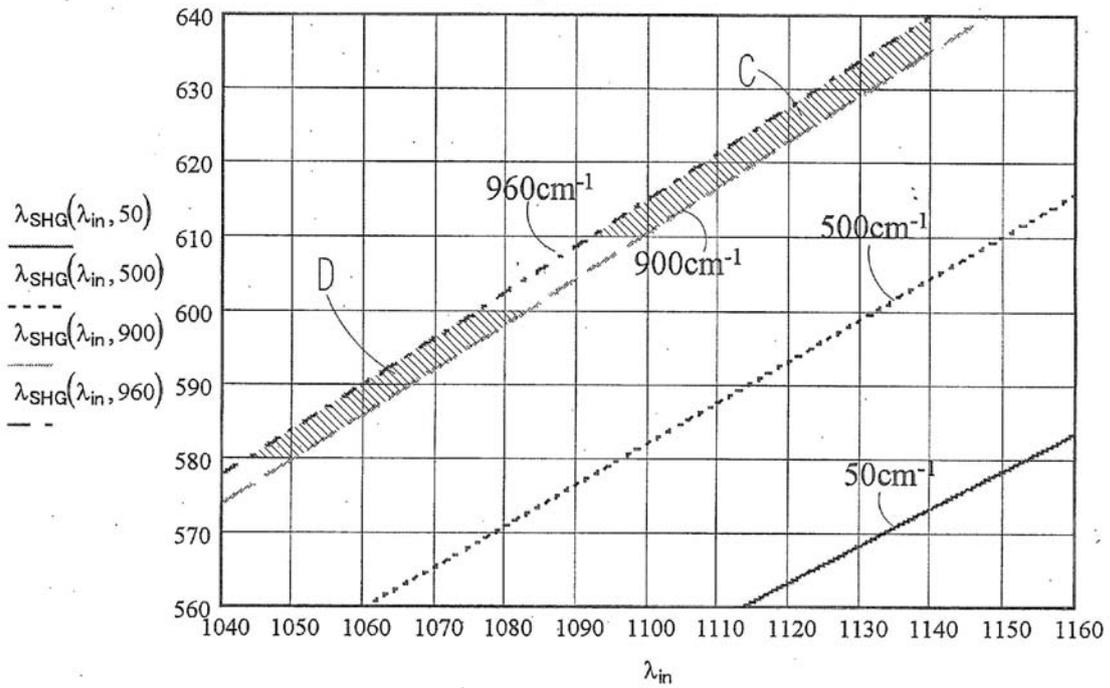


【 図 6 】



【 図 7 】

SiO₂-TiO₂ Raman fiber (PM)



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 1 S 3/30 (2006.01) H 0 1 S 3/108
H 0 1 S 3/30 Z

(56)参考文献 特開2003-225258(JP,A)
特開2002-353539(JP,A)
特表2005-532886(JP,A)
特開2000-075150(JP,A)
特開2002-252404(JP,A)
特表2004-504732(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
A 6 1 F 9 / 0 0 7
A 6 1 B 1 8 / 2 0