

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6836043号  
(P6836043)

(45) 発行日 令和3年2月24日(2021.2.24)

(24) 登録日 令和3年2月9日(2021.2.9)

(51) Int. Cl. F I  
 HO 1 S 3/067 (2006.01) HO 1 S 3/067  
 HO 1 S 3/042 (2006.01) HO 1 S 3/042

請求項の数 6 (全 10 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2019-138108 (P2019-138108)                  (22) 出願日 令和1年7月26日(2019.7.26)                  (65) 公開番号 特開2021-22654 (P2021-22654A)                  (43) 公開日 令和3年2月18日(2021.2.18)                  審査請求日 令和1年10月4日(2019.10.4)</p> <p>(出願人による申告)平成28年度、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「高輝度・高効率次世代レーザー技術開発/次々世代加工に向けた新規光源・要素技術開発」、産業技術力強化法第17条の適用を受ける特許出願</p>	<p>(73) 特許権者 516310493                  株式会社金門光波                  東京都板橋区板橋一丁目53番2号 TM                  21ビル                  (74) 代理人 100107272                  弁理士 田村 敬二郎                  (74) 代理人 100109140                  弁理士 小林 研一                  (72) 発明者 藤本 靖                  千葉県習志野市津田沼2-17-1 千葉工業大学内                  (72) 発明者 ポール ビヌン                  東京都板橋区板橋1丁目53番2号 株式会社金門光波内</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】ファイバーレーザー装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

\_\_活性元素が添加された長さ300mm以下の短尺型ファイバーを用いたファイバーレーザー装置であって、

前記ファイバーの端部にはフェルールが挿入され、

前記ファイバーを収容し前記フェルールで支持するハウジングを備え、

前記ハウジングおよび前記フェルールはそれぞれ、前記ファイバーの素材の熱膨張係数に近似した材料から構成され、前記材料の熱膨張係数Aと前記ファイバーの素材の熱膨張係数Bとの差(A - B)は、 $-8.6 \times 10^{-6} \sim 11.4 \times 10^{-6}/K$ の範囲内にあるファイバーレーザー装置。

【請求項2】

\_\_活性元素が添加された長さ300mm以下の短尺型ファイバーを用いたファイバーレーザー装置であって、

前記ファイバーの端部にはフェルールが挿入され、

前記ファイバーを収容し前記フェルールで支持するハウジングを備え、

前記ハウジングおよび前記フェルールはそれぞれ、 $10 \times 10^{-6} \sim 30 \times 10^{-6}/K$ の範囲内の熱膨張係数を有する材料から構成され、前記ファイバーの素材の熱膨張係数は前記材料の熱膨張係数と近似するように前記範囲内にあるファイバーレーザー装置。

【請求項3】

前記材料は、90W/mK以上の熱伝導率を有する請求項1または2に記載のファイバーレー

ザー装置。

【請求項 4】

前記ファイバーの素材がフッ化物ガラス材料である請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載のファイバーレーザー装置。

【請求項 5】

前記ファイバーは、Pr 元素の添加濃度が 1500 ~ 5000ppm であるファイバーコアを有する請求項 4 に記載のファイバーレーザー装置。

【請求項 6】

520nm ± 10nm、610nm ± 10nm、638nm ± 10nm のいずれか 1 つの波長、または、いずれか 2 つの波長でレーザー発振する請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載のファイバーレーザー装置

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、小型コンパクトに構成可能なファイバーレーザー装置に関する。

【背景技術】

【0002】

活性元素（希土類元素、遷移元素、または希土類イオン（Yb, Nd, Er, Pr, Dy, Ce, Tb 等））を添加した光ファイバーを用いたファイバーレーザー装置の従来例を図 7 に示す。この従来例は、10m を超える程度の長さの利得ファイバーを巻き取り巻回した円形状のファイバー 2 と、細く機械的強度が弱いために折れやすいファイバー 2 をサポートするためにファイバー 2 の入出力端に設けられたジルコニア製のフェルール 1 と、ファイバー 2 を支持し熱排出のための基板・放熱器 3 と、冷却ファン（または水冷装置）4 と、を備える。フェルール 1 にはニッケルやステンレス鋼が使用されることがあるが、その目的は、ファイバー先端を溶接固定するためである。ファイバー 2 は、レーザー装置をできるだけコンパクトにするために巻回され、冷却効率を向上させるためファイバー同士が重ならないようにしている。その巻回された径はおおよそ 30cm 程度以下である。基板・放熱器 3 とファイバー 2 とは熱伝導性ペーストを用い、熱抵抗を極力抑えた形で接触している。基板・放熱器 3 では、冷却ファン（または水冷装置）4 やペルチエ素子を用いてファイバー 2 に蓄積される熱が排出される。ファイバー 2 の希土類添加濃度を低濃度とし、また、その条長を長くすることで冷却面積の向上および熱蓄積のファイバー長方向への分散効果の二つが得られ、効率的な冷却が可能となる。

20

30

【0003】

特許文献 1 は、多数回巻回された長い 1 本のレーザーファイバーが直方体状の透明な紫外線硬化性樹脂中に隙間なく埋めこまれて固定され、両端部が外部に露出している光ファイバーレーザー装置を開示する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開平 10 - 135548 号公報

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

図 7 の従来例のファイバーレーザー装置は、長さ 10m 程度の利得ファイバーを使用するのでファイバーを巻回する必要があるため巻回径以下の小型コンパクトな設計は困難であり、小型コンパクトな構造とするには限界があった。特許文献 1 の光ファイバーレーザー装置も同様であり、また、多数回巻回された長いレーザーファイバーが紫外線硬化性樹脂中に隙間なく埋めこまれる構造は排熱効率が低下する。

【0006】

小型コンパクトな装置構成は社会的な要請から来る課題であって、この課題解決のため

50

には、ファイバー長を短尺化（30cm程度以下、あるいは20、15、10cm以下でもよい）するために、従来よりも高濃度の活性元素（希土類元素、遷移元素等、あるいは希土類イオン（Yb, Nd, Er, Pr, Dy, Ce, Tb等））が添加された利得ファイバーを使う必要があるが、短尺化すると、ファイバーの熱蓄積の問題が生じる。

【0007】

本発明は、装置小型化のためのファイバー短尺化により生じるファイバーの熱蓄積に起因する問題を回避し得るファイバーレーザー装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記目的を達成するためのファイバーレーザー装置は、活性元素が添加された長さ300m以下の短尺型ファイバーを用いたファイバーレーザー装置であって、前記ファイバーの端部にはフェルールが挿入され、前記ファイバーを収容し前記フェルールで支持するハウジングを備え、前記ハウジングおよび前記フェルールはそれぞれ、前記ファイバーの素材の熱膨張係数に近似した材料から構成され、前記材料の熱膨張係数Aと前記ファイバーの素材の熱膨張係数Bとの差（A - B）は、 $-8.6 \times 10^{-6} \sim 11.4 \times 10^{-6} / K$ の範囲内にある。

10

【0009】

このファイバーレーザー装置によれば、ハウジングおよびフェルールはそれぞれ、ファイバーの素材の熱膨張係数に近似した材料から構成されるので、装置作動中のファイバー端部における熱蓄積を低減でき、熱蓄積に起因する問題を回避できる。すなわち、ファイバーの素材の熱膨張係数に近似した材料であるので、ファイバーが熱蓄積をしてもハウジングおよびフェルールから熱膨張係数の差により受けるストレスを低減できる。このように、ファイバー短尺化により生じるファイバーの熱蓄積に起因する問題を防止できるので、ファイバー短尺化による装置の小型化を実現できる。

20

【0010】

上記目的を達成するための別のファイバーレーザー装置は、活性元素が添加された長さ300mm以下の短尺型ファイバーを用いたファイバーレーザー装置であって、前記ファイバーの端部にはフェルールが挿入され、前記ファイバーを収容し前記フェルールで支持するハウジングを備え、前記ハウジングおよび前記フェルールはそれぞれ、 $10 \times 10^{-6} \sim 30 \times 10^{-6} / K$ の範囲内の熱膨張係数を有する材料から構成され、前記ファイバーの素材の熱膨張係数は前記材料の熱膨張係数と近似するように前記範囲内にある。

30

【0011】

このファイバーレーザー装置によれば、ハウジングおよびフェルールはそれぞれ、 $10 \times 10^{-6} \sim 30 \times 10^{-6} / K$ の熱膨張係数を有する材料から構成されるので、装置作動中のファイバー端部における熱蓄積を低減でき、熱蓄積に起因する問題を回避できる。すなわち、ハウジングおよびフェルールは、 $10 \times 10^{-6} \sim 30 \times 10^{-6} / K$ の熱膨張係数を有し、ファイバーの素材の熱膨張係数に近似するので、ファイバーが熱蓄積をしてもハウジングおよびフェルールから熱膨張係数の差により受けるストレスを低減できる。このように、ファイバー短尺化により生じるファイバーの熱蓄積に起因する問題を防止できるので、ファイバー短尺化による装置の小型化を実現できる。

【0012】

上記各ファイバーレーザー装置において、前記材料は、90W/mK以上の熱伝導率を有することが好ましい。90W/mK以上の熱伝導性の高い材料から構成されることで、従来のたとえばジルコニアなどのセラミックスよりも熱伝導性が向上するので、ファイバー端部における熱蓄積を低減できる。また、前記ファイバーの素材がフッ化物ガラス材料であり、また、前記ファイバーは、Pr元素の添加濃度が1500～5000ppmであるファイバーコアを有することが好ましい。

40

【0013】

また、上記ファイバーレーザー装置は、520nm±10nm、610nm±10nm、638nm±10nmのいずれか1つの波長、または、いずれか2つの波長でレーザー発振することが好ましい。

【発明の効果】

50

## 【0014】

本発明のファイバーレーザー装置によれば、ファイバー短尺化により生じるファイバーの熱蓄積に起因する問題を回避し得るので、装置小型化を実現できる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0015】

【図1】本実施形態によるファイバーレーザー装置の概略的構成を示す光路図である。

【図2】図1のファイバーを収容したハウジングを概略的に示す正面図(a)および側面図(b)である。

【図3】図2(a)のファイバーの端部に取り付けられたフェルールを示す図である。

【図4】本事前検討例で用いたファイバーレーザー装置の概略的構成を示す光路図である。

10

【図5】本事前検討例で得られた図4のファイバーレーザー装置の基本出力特性を示すグラフである。

【図6】本実施例で得られた図1のファイバーレーザー装置の基本出力特性を示すグラフである。

【図7】従来のファイバーレーザー装置の要部構成例を示す図である。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0016】

以下、本発明を実施するための形態について図面を用いて説明する。図1は本実施形態によるファイバーレーザー装置の概略的構成を示す光路図である。図2は、図1のファイバーを収容したハウジングを概略的に示す正面図(a)および側面図(b)である。図3は図2(a)のファイバーの端部に取り付けられたフェルールを示す図である。

20

## 【0017】

図1のように、本実施形態によるファイバーレーザー装置10は、半導体レーザー11、11Aと、レンズ12、12Aと、波長板13と、半導体レーザー11からのレンズ12を通したレーザー光と半導体レーザー11Aからのレンズ13A、波長板13を通して90°の位相差を与えられたレーザー光とが入射して合波する偏光ビームスプリッター14と、偏光ビームスプリッター14からのレーザー光が入射し出射するアナモルフィックプリズムペア15と、アナモルフィックプリズムペア15からのレーザー光を全反射する全反射ミラー16、17と、を備える。

30

## 【0018】

ファイバーレーザー装置10は、さらに、全反射ミラー17からのレーザー光が入射するレンズ18と、レンズ18からのレーザー光が入射する短尺型のファイバー19と、ファイバー19からのレーザー光が入射するレンズ20と、レンズ20からのレーザー光を出射する出射ミラー21と、を備える。

## 【0019】

たとえば、半導体レーザーの発振波長を442nmとして、フッ化物ファイバーを励起すると、波長520nm(緑)、610nm(オレンジ)、638nm(赤)の強いスペクトルが発光するが、ファイバー19の入射端面19aと出射ミラー21とにおけるコーティングにより、たとえば、638nmを選択すれば、赤色の基本波レーザー光が出力し、また、たとえば、610nmと638nmとを選択すれば、オレンジと赤色の基本波レーザー光が出力する。

40

## 【0020】

ファイバーレーザー装置10をより小型コンパクトな構造にて設計するためには、利得ファイバー中の希土類元素濃度をより高濃度にし、その条長を短くする必要がある。そのため、この短尺化により生じるファイバー19の熱蓄積を効果的に回避し得る排熱手段が課題となる。

## 【0021】

かかる排熱手段としての装置構成は、図2(a)(b)に示すように、励起光を十分に吸収するように高濃度の活性元素(希土類元素、遷移元素等、または希土類イオン(Yb,N

50

d,Er,Pr,Dy,Ce,Tb等)により短尺化されたファイバー19の両端にフェルール31,32を接着し、フェルール31,32とファイバー19をハウジング30内にフェルール31,32がハウジング30の両側の側板30c,30dに熱伝導性ペーストを用いて熱抵抗を極力抑えて接触させた状態で収容されるようになっている。

【0022】

すなわち、ハウジング30は、図2(a)(b)の上下に半割された構造で、上部30aと下部30bとを突き合わせたとき、フェルール31,32が各側板30c,30dに形成された半円状の切欠部に位置し挟み込まれるようにして支持されるようになっている。ファイバー19は、図2,図3のように、フェルール31,32の貫通孔内に接着剤を適用して挿入されている。

10

【0023】

なお、ファイバー19の長さは、30cm程度以下であるが、20,15,10cm以下でもよい。また、ファイバー19は、たとえば、フッ化物ガラス材料を素材とし、Pr元素の添加濃度が1500~5000ppmであるファイバーコアを有することが好ましい。

【0024】

ここで、フェルール31,32を、高熱伝導性材料である金属(たとえば、銅、アルミニウム、ステンレス鋼、ニッケル、それらの合金など)から構成することで、(1)ファイバーの端部からの効率的な熱伝導、(2)細く機械的強度が弱いために折れやすいファイバー端の保護、(3)ファイバー端面の研磨作業の容易化、(4)ファイバー端面への誘電体コーティング膜の形成の容易化を実現できる。

20

【0025】

また、ハウジング30は、高熱伝導性材料である金属材料(たとえば、銅、アルミニウム、ステンレス鋼、ニッケル、それらの合金など)から構成され、熱抵抗を極力抑えた形でハウジング30の側板30c,30dに接触したフェルール31,32からファイバー19で生じた熱を効率よく伝導し、放熱することができる。このため、ハウジング30は放熱器としても機能する。ハウジング30から放熱された熱は、ハウジング30に設けられた冷却ファン、水冷装置、または、ペルチエ素子等を用いて排出することで、ファイバー19に蓄積される熱を効果的に排出することができる。

【0026】

また、ハウジング30およびフェルール31,32は、ファイバー19の素材の熱膨張係数と一致または近似した材料から構成することで、装置の高出力動作時の熱蓄積により生じる熱膨張係数の違いに起因する、ファイバー端面や誘電体多層膜コーティング面の破損を防ぐことができる。

30

【0027】

以上のように、ハウジング30およびフェルール31,32を構成する各材料は、ファイバー19の素材と近似する熱膨張係数を有し、かつ、高い熱伝導率を有することで、ファイバー短尺化により生じるファイバーの熱蓄積に起因する問題を回避することができる。

【0028】

実施例

次に、本発明を実施例・事前検討例により具体的に説明する。ただし、本発明は、本実施例に限定されるものではない。

40

【0029】

(事前検討例)

まず、本発明に関し事前に検討した事前検討例について説明する。この事前検討例では、図4に示すファイバーレーザー装置を使用した。この装置は、図1において半導体レーザー11A,レンズ12A,および、波長板13を省略した構成である。ファイバー19を、フェルール31,32を用いて図2,図3と同様の構造のハウジング30に収容し固定した。

【0030】

50

ファイバー 19 をフッ化物ファイバーとし、ファイバー径が $280\mu\text{m}$ 、ファイバー長は $17\text{cm}$ である。ファイバーコアに $3000\text{ppm}$ のPrを添加している。ファイバー 19 の両端にはジルコニア製フェルール 31, 32 を装着している。フェルール 31, 32 の外径は $2.5\text{mm}$ 、長さが $12\text{mm}$ で、内径が $282\mu\text{m}$ であり、ファイバー 19 を挿入後、樹脂接着剤で接着している。また、ファイバー 19 およびフェルール 31, 32 は、伝熱冷却のためアルミニウム製のハウジング 30 によって支持固定されている。この構造にて、ファイバー 19 の励起側端面に波長 $638\text{nm}$ で高反射の誘電体多層膜コーティング、および、出射ミラー 21 に波長 $442\text{nm}$ で無反射の誘電体多層膜コーティングを施し、外部ミラー $67\%$ にてレーザー共振器を構成した。かかる構成によれば、図 5 のように、ファイバーレーザー出力 $0.425\text{W}$ が達成され、出力の向上が確認されたが、波長 $442\text{nm}$ の励起半導体レーザー入力 $2.5\text{W}$ において出力(波長 $638\text{nm}$ )が飽和する現象が観測された。

10

## 【0031】

かかる原因として考えられるのは、ファイバー端面の熱蓄積によって生じる熱飽和現象である。図 7 に示す従来のファイバーレーザー装置の構成では、利得ファイバーの活性元素添加濃度が低く問題とならなかったが、小型コンパクト化を目指したファイバー短尺化によりファイバーの励起端面において顕著な熱蓄積が現れるのである。

## 【0032】

長時間レーザー動作を行うと、フェルール自身も温度が上昇する。そのため、フェルールの熱を効率よく放熱する機構が必要である。一方、ファイバー先端の温度が上昇すると、ファイバーの屈折率が変化する。ファイバー内を伝送する光は、コア材料とクラッド材料の屈折率差によって閉じ込められている。しかし、温度変化により屈折率変化は、その屈折率差を変えるため、ファイバー内を伝搬するモードが変化する。ファイバー先端部と中心部で温度が異なると、ファイバー内を伝播する間に伝搬モードが変わることになるため、光の一部は伝搬できずファイバーの外へ放出される。その結果、ファイバーの伝搬方向の温度変化は、伝送効率の低下を引き起こす。そのため、先端部の温度は放熱するとともに、ファイバー全体に拡散し温度の均一化を図る機構が必要である。これらの原因により、励起光に対する吸収係数の低下、誘導放出断面積の低下、発振波長のシフト、屈折率変化による損失の増加、熱複屈折によるビーム品質の低下などが起こり、熱飽和現象が現れたと考えられる。

20

## 【0033】

また、過度の熱蓄積はファイバーがハウジングおよびフェルールから熱膨張係数の差に起因するストレスを受けるため出力が低下し、ファイバー端面の破壊やコーティングの破壊に繋がる場合があるため、解決すべき問題である。

30

## 【0034】

(実施例)

上記事前検討例で判明した熱飽和現象の軽減のために本実施例では次の改善を行った。

(1)ファイバー端面を保持するフェルールには、セラミックスに代えてより熱伝導率の高い金属性のフェルールを用いた。

(2)高出力動作時の熱蓄積により生じる熱膨張係数の違いに起因する、ファイバー端面や誘電体多層膜コーティング面の破損を防ぐため、フッ化物ファイバー、フェルール、ハウジングの各材料として、熱膨張係数の一致または近似する材料を選択した。

40

## 【0035】

具体的には、図 1 ~ 図 3 において、レーザー媒質であるファイバー 19 は、フッ化物ファイバーであり、ファイバー径が $280\mu\text{m}$ 、ファイバー長は $17\text{cm}$ である。ファイバーコアに $3000\text{ppm}$ のPrを添加している。ファイバー両端にはニッケル製フェルール 31, 32 を装着している。フェルールの外径は $2.5\text{mm}$ で長さ $12\text{mm}$ である。フェルールの内径は $282\mu\text{m}$ であり、ファイバーを挿入後樹脂接着剤で接着している。また、ファイバー 19 およびフェルール 31, 32 は銅製のハウジング 30 によって支持固定されている。この構造にて、ファイバー 19 の励起側端面 19 a に波長 $638\text{nm}$ で高反射の誘電体多層膜コーティング、および、出射ミラー 21 に波長 $638\text{nm}$ で反射率 $67\%$ の誘電体多層膜コーティングを施し

50

、レーザー共振器を構成した。

【0036】

フッ化物ファイバー、ニッケル、銅の熱伝導率はそれぞれ、0.898W/mK、91W/mK、403W/mKである。また、それぞれの熱膨張係数は、 $18.6 \times 10^{-6}/K$ 、 $13.4 \times 10^{-6}/K$ 、 $16.5 \times 10^{-6}/K$ である。ニッケルおよび銅は、フッ化物ファイバーと近い熱膨張係数を有しながら、高い熱伝導率を有する。その結果、図6のように、波長442nmの励起半導体レーザー入力5.0Wに対して、ファイバーレーザー出力(波長638nm)1.0W、効率約20%を得て、また、出力は飽和しなかった。

【0037】

事前検討例のように、フェルールにジルコニア材料、ハウジングにアルミニウム材料を用いた構造では、励起半導体レーザー入力2.5Wに対してファイバーレーザー出力0.425Wでレーザー出力は飽和し、それ以上の出力は得られなかった。これは、ジルコニア製フェルールの熱伝導性が低いためファイバーに熱が蓄積し、温度が上昇したため励起半導体レーザーの波長に対する吸収係数の低下、ファイバー材料の誘導放出断面積の低下、伝搬損失の増加が原因である。これに対し、本実施例では、高熱伝導率とファイバー材料に近い熱膨張係数を有するフェルールおよびハウジングに置き換えることにより、レーザー出力の増大および効率の改善が図られた。

10

【0038】

以上のように本発明を実施するための形態および実施例について説明したが、本発明はこれらに限定されるものではなく、本発明の技術的思想の範囲内で各種の変形が可能である。たとえば、図1のファイバーレーザー装置の構成は、一例であって、他の構成であってもよいことはもちろんである。

20

【0039】

また、フェルールおよびハウジングを構成する材料として、熱膨張係数がファイバーの熱膨張係数に近似し、たとえば90W/mK以上の高熱伝導率を有するものであれば、他の材料も使用可能である。

【産業上の利用可能性】

【0040】

本発明のファイバーレーザー装置によれば、ファイバー短尺化により生じるファイバーの熱蓄積に起因する問題を回避できるので、社会的な要請の強い小型コンパクトな装置構成を実現し提供できる。

30

【符号の説明】

【0041】

10 ファイバーレーザー装置

11, 11A 半導体レーザー

19 ファイバー

30 ハウジング

30a 上部

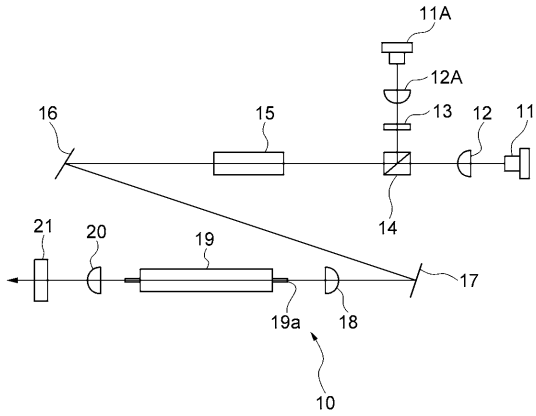
30b 下部

30c, 30d 側板

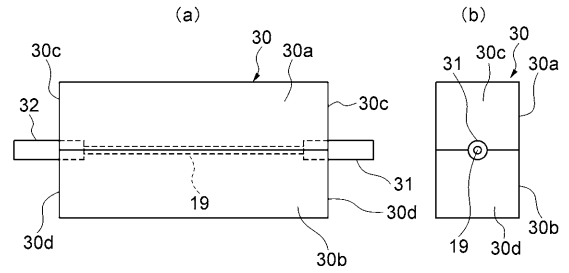
31, 32 フェルール

40

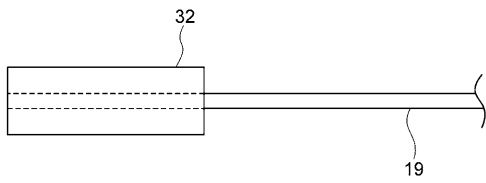
【図1】



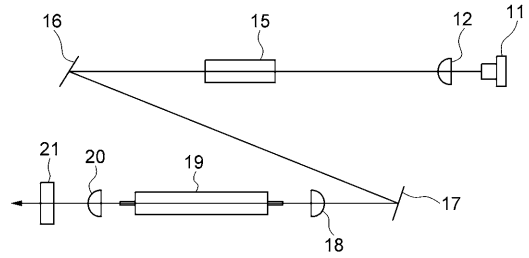
【図2】



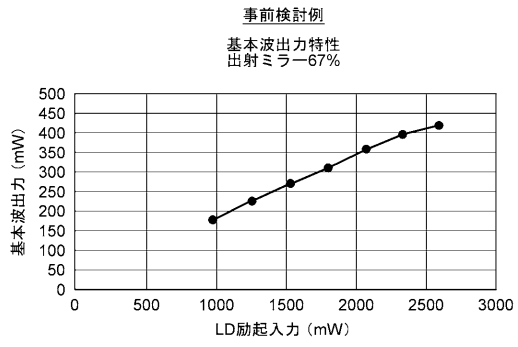
【図3】



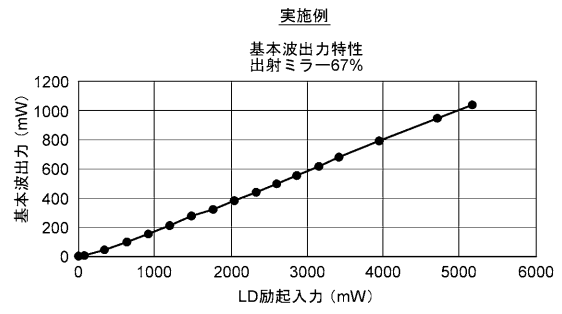
【図4】



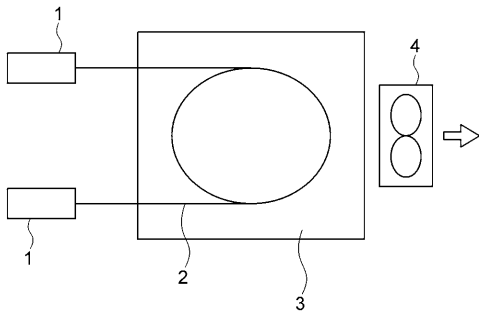
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



## フロントページの続き

- (72)発明者 本越 伸二  
大阪市西区靱本町1丁目8番4号 レーザー技術総合研究所内
- (72)発明者 中原 正盛  
東京都板橋区板橋1丁目53番2号 株式会社金門光波内
- (72)発明者 濱田 武  
東京都板橋区板橋1丁目53番2号 株式会社金門光波内

審査官 大西 孝宣

- (56)参考文献 国際公開第2010/004882(WO, A1)  
特開2015-065189(JP, A)  
特開2015-179761(JP, A)  
特開2010-182726(JP, A)  
特開2002-022972(JP, A)  
特開2004-214325(JP, A)  
特表2002-531937(JP, A)  
米国特許出願公開第2018/0246280(US, A1)  
米国特許第06263143(US, B1)

## (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S	3/00	-	4/00
G02B	6/02	-	6/10
	6/44		