

(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2005-294570

(P2005-294570A)

(43) 公開日 平成17年10月20日(2005.10.20)

(51) Int. Cl.⁷

H01S 3/10
G02F 1/37

F I

H01S 3/10
G02F 1/37

テーマコード(参考)

2K002
5F172

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2004-108089 (P2004-108089)
(22) 出願日 平成16年3月31日(2004.3.31)

(71) 出願人 000003078
株式会社東芝
東京都港区芝浦一丁目1番1号
(74) 代理人 100109900
弁理士 堀口 浩
(72) 発明者 岡野 英明
埼玉県深谷市幡羅町一丁目9番地2 株式
会社東芝深谷工場内
Fターム(参考) 2K002 AB12 BA01 CA03 HA20
5F172 AE12 AF02 AM04 BB14 BB86
BB87 CC10 EE13 NN22 NN24

(54) 【発明の名称】 光ファイバ増幅装置、第二次高調波発生装置、光生成方法及び第二次高調波発生方法

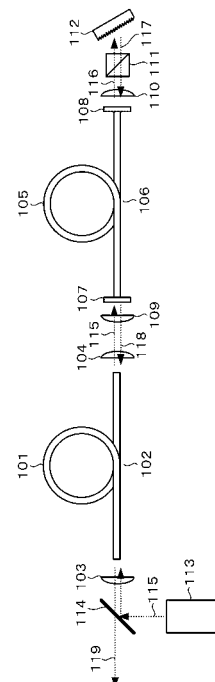
(57) 【要約】

【課題】 大出力の、第二次高調波発生用の基本波に適した光を簡単にかつ高効率で得る。

【解決手段】 それぞれネオジウムイオン(Nd³⁺)が添加された第1の光ファイバ101と第2の光ファイバ105で、光ファイバ増幅器102と共振器106を構成し、励起光源113からの励起光115を一方の光ファイバに励起光として入射すると共に、ネオジウムイオンに吸収されなかった励起光を他方の光ファイバの励起光として入射してそれぞれ波長920nm±20nmの光を生成させる。共振器によって発振動作を行わせ、その発振経路中に、挟帯域化素子を介在させ、それによって生成された挟帯域光を光ファイバ増幅器で増幅させて出力する。

また、光ファイバ増幅器の出力を、非線型素子を通すことによって、第二次高調波光を生成させるように構成した。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

コア部にネオジウムイオン (Nd^{3+}) が添加され、当該コア部に励起光が入射されることで波長 $920\text{nm} \pm 20\text{nm}$ の第 1 の光を出力する第 1 の光ファイバを有した光ファイバ増幅器と、

コア部にネオジウムイオン (Nd^{3+}) が添加され、当該コア部に励起光が入射されることで前記第 1 の光と同等の波長でかつ第 1 の光より狭帯域の第 2 の光を共振により生成する共振器として構成される第 2 の光ファイバを有した共振器と、

励起光源と、

前記光ファイバ増幅器と前記共振器を光学的に結合すると共に、前記励起光源からの励起光を前記第 1 の光ファイバまたは第 2 の光ファイバのいずれかに入射し、当該入射した励起光のうち前記ネオジウムイオン (Nd^{3+}) で吸収されなかった励起光を他方の光ファイバへ前記励起光として入射し、さらに前記共振器で生成された前記第 2 の光を前記第 1 の光ファイバに入射させる光学手段と、

を具備したことを特徴とする光ファイバ増幅装置。

10

【請求項 2】

前記共振器は、共振経路内に狭帯域化素子を備えていることを特徴とする請求項 1 に記載の光ファイバ増幅装置。

【請求項 3】

コア部にネオジウムイオン (Nd^{3+}) が添加され、当該コア部に励起光が入射されることで波長 $920\text{nm} \pm 20\text{nm}$ の第 1 の光を出力する第 1 の光ファイバを有した光ファイバ増幅器と、

20

コア部にネオジウムイオン (Nd^{3+}) が添加され、当該コア部に励起光が入射されることで前記第 1 の光と同等の波長でかつ第 1 の光より狭帯域の第 2 の光を共振により生成する共振器として構成される第 2 の光ファイバを有した共振器と、

励起光源と、

前記光ファイバ増幅手段と前記共振器を光学的に結合すると共に、前記励起光源からの励起光を前記第 1 の光ファイバまたは第 2 の光ファイバのいずれかに入射し、当該入射した励起光のうち前記ネオジウムイオン (Nd^{3+}) で吸収されなかった励起光を他方の光ファイバへ前記励起光として入射し、さらに前記共振手段で生成された前記第 2 の光を前記第 1 の光ファイバに入射させる第 1 の光学手段と、

30

前記光ファイバ増幅器で増幅された前記第 1 の光を非線型素子を通過させることで、波長 $460\text{nm} \pm 10\text{nm}$ の第 3 の光を生成して出力する第 2 の光学手段と、

を具備したことを特徴とする第二次高調波発生装置。

【請求項 4】

前記共振器は、共振経路内に狭帯域化素子を備えていることを特徴とする請求項 3 に記載の第二次高調波発生装置。

【請求項 5】

コア部にネオジウムイオン (Nd^{3+}) が添加され、当該コア部に励起光が入射されることで波長 $920\text{nm} \pm 20\text{nm}$ の第 1 の光を出力する第 1 の光ファイバを有した光ファイバ増幅器と、コア部にネオジウムイオン (Nd^{3+}) が添加され、当該コア部に励起光が入射されることで前記第 1 の光と同等の波長でかつ狭帯域の第 2 の光を共振により生成する第 2 の光ファイバを有した共振器とを光学的に結合して、第 1 及び第 2 の光ファイバのいずれかの光ファイバに励起光を入射して励起させるステップと、

40

前記励起光が入射された光ファイバで吸収されなかった励起光を他方の光ファイバに励起光として入射するステップと、

前記共振器で生成された前記第 2 の光を前記光ファイバ増幅器で増幅して出力するステップと、

を具備したことを特徴とする光生成方法。

【請求項 6】

50

コア部にネオジウムイオン (Nd^{3+}) が添加され、当該コア部に励起光が入射されることで波長 $920\text{ nm} \pm 20\text{ nm}$ の第 1 の光を出力する第 1 の光ファイバを有した光ファイバ増幅器と、コア部にネオジウムイオン (Nd^{3+}) が添加され、当該コア部に励起光が入射されることで前記第 1 の光と同等の波長でかつ狭帯域の第 2 の光を共振により生成する第 2 の光ファイバを有した共振器とを光学的に結合して、第 1 及び第 2 の光ファイバのいずれかの光ファイバに励起光を入射して励起させるステップと、

前記励起光が入射された光ファイバで吸収されなかった励起光を他方の光ファイバに励起光として入射するステップと、

前記共振器で生成された前記第 2 の光を前記光ファイバ増幅器で増幅して出力するステップと、

光ファイバ増幅器から出力された光を非線型素子を通して、前記光ファイバ増幅器から出力された光の第二次高調波を得るステップと、

を具備したことを特徴とする第二次高調波生成方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、コア部に所定のイオンが添加された光ファイバを用いた光ファイバ増幅装置と、この光ファイバ増幅装置を用いた第二次高調波発生装置に関し、特に励起光として光ファイバに入射される光を有効に活用することができるようにすると共に、所望の光を第二次高調波として効率よく生成させることができる第二次高調波発生方法に関する。

【背景技術】

【0002】

光ファイバ増幅器は、光をそのまま増幅して高パワーで出力することが可能であり、信号の伝送はもとより、光源を用いる電子機器の光源としても広く利用されてきている。

【0003】

光ファイバ増幅器では、例えばコア部に希土類イオンを添加した光ファイバに所定波長の励起光を入射し、希土類イオンを励起させてそのエネルギー準位を遷移させ、それが下位準位に緩和する際に所定波長の光を生成するという現象を利用している。

【0004】

図 10 は、その原理を説明するための図であり、光ファイバとしてコア部にネオジウムイオン (Nd^{3+}) が添加され、励起光として波長 810 nm の光をそのコア部に入射した際の状況を示している。

【0005】

すなわち、 Nd^{3+} は、 810 nm を吸収して基底準位 $4I_{9/2}$ から、 $4F_{5/2}$ へ遷移し、すぐに $4F_{3/2}$ へ非発光緩和し、その後基底準位 $4I_{9/2}$ へ緩和する際に、波長 920 nm 付近の光を発する。増幅（あるいは後述する発振）はこの遷移を利用するものであるが、いわゆる擬似三準位 (quasi-three-level) と呼ばれる状態であり、基底準位 $4I_{9/2}$ の分布密度が高ければ発光した波長 920 nm 付近の光が再吸収されて損失となってしまう。そのため、波長 920 nm 付近を増幅（あるいは発振）させるには、基底準位 $4I_{9/2}$ の分布密度を極力低くする必要がある。

【0006】

すなわち、光ファイバに多くの励起光を入射して、励起光密度を高めることで、多くの Nd^{3+} を基底準位から励起させれば、それによって基底準位 $4I_{9/2}$ の分布密度を低下させることが可能である。

【0007】

Nd^{3+} が添加された光ファイバをその端面から励起する場合、励起光は Nd^{3+} に吸収されて指数関数的に減少する。このときファイバ長が長いと末端の方は、励起光密度が充分でなく、波長 920 nm 付近の光に対する損失が増加していく。

【0008】

そこで光ファイバ増幅器を構成する光ファイバのファイバ長は、励起が十分に実行され

10

20

30

40

50

る長さに設定されることになる。そのため、一部の励起光は、Nd³⁺に吸収されることなく、そのまま光ファイバを通過して外部に出力されるようになる。

【0009】

このように従来、光ファイバ増幅器においては、励起光の全てが活用されされることはなく、一部がそのまま利用されずに出力され、結果として破棄されてしまっており、効率という点で改善の余地があった。

【0010】

光ファイバ増幅器としては、従来から多くの提案がなされている（例えば特許文献1，2）が、光ファイバに入射される励起光の活用されない部分を有効活用しようとする提案はなされていない。

10

【0011】

さらにまた、光ファイバを用いて、近赤外光を基本波として、その第二次高調波としての可視光を生成する提案も従来なされている（例えば特許文献3）が、効率という点で必ずしも充分でなく、さらなる改善を施した提案の実現が要望されている。

【特許文献1】特表2000-503476号公報

【特許文献2】特開平5-107573号公報

【特許文献3】特開2003-258341号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

以上のように、従来、光ファイバ増幅器においては、励起光として入射された光のうち、添加イオンに吸収されずにそのまま出力される部分を有効活用しようとする提案がなされておらず、改善の余地があった。さらに光ファイバを用いた第二次高調波発生装置も、効率の点で必ずしも満足できるものがなく、高効率の装置の実現が要望されていた。

20

【0013】

本発明は、以上の点に鑑みてなされたものであり、光ファイバ増幅器と光ファイバで構成される共振器とを光学的に結合し、いずれかの光ファイバに励起光を入射して、吸収されなかった励起光を、他方の光ファイバに励起光として入射し、共振器で共振により生成された光を光ファイバ増幅器に導入して増幅させるように構成して励起光を有効活用できるようにした光ファイバ増幅器及び、この光ファイバ増幅器で増幅されて出力される光を非線型素子で異なる波長の光に変換して出力するように構成した第二次高調波発生装置を提供することを目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明の光ファイバ増幅装置は、コア部にネオジウムイオン(Nd³⁺)が添加され、当該コア部に励起光が入射されることで波長920nm±20nmの第1の光を出力する第1の光ファイバを有した光ファイバ増幅器と、コア部にネオジウムイオン(Nd³⁺)が添加され、当該コア部に励起光が入射されることで前記第1の光と同等の波長でかつ第1の光より狭帯域の第2の光を共振により生成する共振器として構成される第2の光ファイバを有した共振器と、励起光源と、前記光ファイバ増幅器と前記共振器を光学的に結合すると共に、前記励起光源からの励起光を前記第1の光ファイバまたは第2の光ファイバのいずれかに入射し、当該入射した励起光のうち前記ネオジウムイオン(Nd³⁺)で吸収されなかった励起光を他方の光ファイバへ前記励起光として入射し、さらに前記共振器で生成された前記第2の光を前記第1の光ファイバに入射させる光学手段と、を具備したことを特徴とする。

40

【0015】

また本発明の第二次高調波発生装置は、コア部にネオジウムイオン(Nd³⁺)が添加され、当該コア部に励起光が入射されることで波長920nm±20nmの第1の光を出力する第1の光ファイバを有した光ファイバ増幅器と、コア部にネオジウムイオン(Nd³⁺)

50

第1の光より狭帯域の第2の光を共振により生成する共振器として構成される第2の光ファイバを有した共振器と、励起光源と、前記光ファイバ増幅手段と前記共振器を光学的に結合すると共に、前記励起光源からの励起光を前記第1の光ファイバまたは第2の光ファイバのいずれかに入射し、当該入射した励起光のうち前記ネオジウムイオン(Nd³⁺)で吸収されなかった励起光を他方の光ファイバへ前記励起光として入射し、さらに前記共振手段で生成された前記第2の光を前記第1の光ファイバに入射させる第1の光学手段と、前記光ファイバ増幅器で増幅された前記第1の光を非線型素子を通過させることで、波長460nm±10nmの第3の光を生成して出力する第2の光学手段と、を具備したことを特徴とする。

【0016】

また、本発明の光生成方法は、コア部にネオジウムイオン(Nd³⁺)が添加され、当該コア部に励起光が入射されることで波長920nm±20nmの第1の光を出力する第1の光ファイバを有した光ファイバ増幅器とコア部にネオジウムイオン(Nd³⁺)が添加され、当該コア部に励起光が入射されることで前記第1の光と同等の波長でかつ狭帯域の第2の光を共振により生成する第2の光ファイバを有した共振器とを光学的に結合して、第1及び第2の光ファイバのいずれかの光ファイバに励起光を入射して励起させるステップと、前記励起光が入射された光ファイバで吸収されなかった励起光を他方の光ファイバに励起光として入射するステップと、前記共振器で生成された前記第2の光を前記光ファイバ増幅器で増幅して出力するステップと、を具備したことを特徴とする。

【0017】

さらに、本発明の第二次高調波発生方法は、コア部にネオジウムイオン(Nd³⁺)が添加され、当該コア部に励起光が入射されることで波長920nm±20nmの第1の光を出力する第1の光ファイバを有した光ファイバ増幅器とコア部にネオジウムイオン(Nd³⁺)が添加され、当該コア部に励起光が入射されることで前記第1の光と同等の波長でかつ狭帯域の第2の光を共振により生成する第2の光ファイバを有した共振器とを光学的に結合して、第1及び第2の光ファイバのいずれかの光ファイバに励起光を入射して励起させるステップと、前記励起光が入射された光ファイバで吸収されなかった励起光を他方の光ファイバに励起光として入射するステップと、前記共振器で生成された前記第2の光を前記光ファイバ増幅器で増幅して出力するステップと、光ファイバ増幅器から出力された光を非線型素子を通して、前記光ファイバ増幅器から出力された光の第二次高調波を得るステップと、を具備したことを特徴とする。

【発明の効果】**【0018】**

本発明によれば、光ファイバ増幅器あるいは共振器の光ファイバで吸収されなかった励起光を、他方の光ファイバに励起光として入射すると共に、共振器を、光ファイバの励起によって生成される光と同等の波長でかつ狭帯域の光を生成するように構成し、この共振器で生成される光を光ファイバ増幅器に導いて増幅させるように構成したので、励起光を有効に活用した高効率で大出力の得られる光ファイバ増幅装置を提供することができる。

【0019】

さらに、光ファイバ増幅器で増幅された光を基本波とし、それを非線型素子を通すことにより第二次高調波を生成するように構成したので、所望の波長の光を簡単にかつ効率よく生成することができる第二次高調波発生装置を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】**【0020】**

以下、図面を参照しながら本発明の光ファイバ増幅装置の一実施の形態を詳細に説明する。

図1は、本発明の光ファイバ増幅装置100を示す図である。図において、101は光ファイバ増幅器102を構成する第1の光ファイバであり、そのコア部には、ネオジウムイオン(Nd³⁺)が添加されている。

【0021】

また、第1の光ファイバ101の両端には、それぞれ光学素子103, 104が配設されている。光学素子103, 104は通過する光の方向に応じて集光レンズあるいはコリメータレンズとして機能する。

【0022】

また、105は共振器106を構成する第2の光ファイバであり、第1の光ファイバ101と同様にそのコア部にネオジウムイオン(Nd³⁺)が添加されている。また、第2の光ファイバ106の両端には、それぞれ誘電ミラー107, 108が押し当てられて接続されている。

【0023】

誘電ミラー107, 108は、波長810nm付近及び1.06μm付近の光を透過し、波長920nm付近の光を部分的に反射する機能を有する。さらに、誘電体ミラー107, 108にそれぞれ近接して、光学素子109, 110が配設されている。光学素子109, 110もまた通過する光の方向に応じて集光レンズあるいはコリメータレンズとして機能する。

10

【0024】

また、光学素子109は、第1の光ファイバ101の端部に配設された光学素子104と光学的に結合されており、光学素子104は、第1の光ファイバ101からの光をコリメートして光学素子109に導出し、また光学素子109は誘電体ミラー107からの光をコリメートして光学素子104に導出する。

【0025】

また、誘電体ミラー108側の光学素子110に対向するように偏光プリズム111が配置され、さらに偏光プリズム111に対向して回折格子112が設けられている。回折格子112は、例えばリトロ配置されており、第2の光ファイバ105と共に、第2の光ファイバ105の反対側の誘電体ミラー107と波長920nm付近の光共振器106を形成する。また、偏光プリズム111は光共振器106の中であって、直行する直線偏波のうち片方の直線偏波の損失を大きくする機能を有する。

20

【0026】

さらに、励起光として波長810nm付近のレーザ光を発生する半導体レーザ光源113が設けられ、このレーザ光源113からの810nm付近のレーザ光は、フィルタ114で反射され、光学素子103に導出される。フィルタ114は、波長810nm付近と920nm付近を分離するフィルタであり、誘電体ミラーで構成され、波長810nm付近は反射させ、波長920nm付近はそのまま透過させる。

30

【0027】

以上のように構成された光ファイバ増幅装置100の動作を説明する。半導体レーザ光源113からの波長810nm付近のレーザ光115は、フィルタ114と光学素子103を介して第1の光ファイバ101のコア部に入射される。

【0028】

第1の光ファイバ101は、そのコア部のネオジウムイオン(Nd³⁺)が、入射される波長810nm付近の光を吸収して励起され、波長920nm±20nmの光を生成する。その一方で、波長810nm付近の励起光115の一部が、ネオジウムイオン(Nd³⁺)に吸収されずにそのまま第1の光ファイバ101から出射され、光学素子104, 109及び誘電体ミラー107を介して第2の光ファイバ105のコア部に入射される。

40

【0029】

第2の光ファイバ105は、そのコア部のネオジウムイオン(Nd³⁺)が、入射された波長810nm付近の光115を吸収して励起し、波長920nm±20nmの光を生成する。この光は誘電体ミラー108で反射され第2の光ファイバ105中を逆方向に伝播するため、第2の光ファイバ105中の励起光密度が上昇して十分な励起状態となる。

【0030】

第2の光ファイバ105中で生成された波長920nm±20nmの光は、その一部が誘電体ミラー108を透過し、光116として、光学素子110から偏光プリズム111

50

を介して回折格子 112 に導出され、回折格子 112 で、折り返されて光 117 として再び偏光プリズム 111 に導出される。偏光プリズム 111 から出射された光 117 は、光学素子 110 で集光されて誘電体ミラー 108 に導出され、この誘電体ミラー 108 を透過して第 2 の光ファイバ 105 に入射される。

【0031】

第 2 の光ファイバ 105 に入射された光 117 は、そのコア部を通過して反対側の誘電体ミラー 107 で反射され、再び、誘電体ミラー 108 から光学素子 110 及び偏光プリズム 111 を介して回折格子 112 に到達し、ここで折り返されて、第 2 の光ファイバ 105 に入射される。以上のように、第 2 の光ファイバ 105 中で生成された波長 $920\text{ nm} \pm 20\text{ nm}$ の光は、誘電体ミラー 107 と回折格子 112 間で交互に反射される結果、共振器 106 としては発振動作をすることになる。

10

【0032】

発振動作によって生成される光は、回折格子 112 によって FWHM (Full Width Half Maximum) $< 0.5\text{ nm}$ に狭帯域化され、さらに偏光プリズム 111 によって直線偏波となるように処理されており、それが光 118 として、誘電体ミラー 107 から出射され、光学素子 109 でコリメートされ、さらに光学素子 104 によって集光されて第 1 の光ファイバ 101 に入射される。

【0033】

第 1 の光ファイバ 101 は、前述のように高い励起密度で励起されているため波長 920 nm 付近の光に対しては高ゲインの増幅器として機能し、入射した光 118 は、ハイパワーの光に増幅されて、波長 920 nm 付近の光 119 として第 1 の光ファイバ 101 から出射される。第 1 の光ファイバ 101 から出射した光 119 は、光学素子 103 でコリメートされ、フィルタ 114 を透過して出力される。

20

【0034】

出力される光 119 は、狭帯域化されしかも直線偏波であるため、例えば第二次高調波 (SGH: Second Harmonic Generate) の基本波として利用するのに最適である。

【0035】

以上説明した本発明の光ファイバ増幅装置によれば、光ファイバ増幅器で吸収しきれずに残った励起光を、共振器を構成する光ファイバの励起光として利用するようにしたので、励起光を無駄なく使うことができる。

30

【0036】

さらに、共振器用光ファイバの両端に配設された一对の誘電体ミラーの外側に回折格子を配置し、光ファイバを挟んで誘電体ミラーと回折格子によって発振経路を構成するようにしたので、損失の原因となり得る回折格子のような狭帯域化素子を、小出力でも問題のない光発振系で用いることによって損失の影響を最小にすることが可能である。

以上のように、本発明の光ファイバ増幅装置によれば、大出力及び高効率なレーザー光を提供することができるものである。

【0037】

なお、以上の説明では、第 1 及び第 2 の光ファイバ 101, 105 の構造について詳しく述べていないが、光ファイバ 101, 105 として、コア部の周りにコア部より屈折率の低い励起高伝播用のクラッドを設けたいわゆるダブルクラッド構造とするのが好ましい。それによれば、より高いレベルの励起光を入射することができるため、より高レベルの出力を得ることができるようになるものである。

40

【0038】

図 2 は、第 1 及び第 2 の光ファイバ 101, 105 をダブルクラッド構造とした例を示す図である。図に示すように、光ファイバ 101, 105 は、その中央部にコア部 201 が設けられ、その外側に第 1 のクラッド 202 が形成され、さらにその外側に第 2 のクラッド 203 が形成されている。第 1 のクラッド 202 は、励起光を伝播する機能を有するものであり、光学素子によって集光された光のスポットの外側部分が入射されてこれをそのまま伝播して出力する。この目的のため、第 1 のクラッド 202 の屈折率は、コア部 2

50

01の屈折率より低く設定され、さらに第2のクラッド203の屈折率よりは高くなるように設定されている。

【0039】

このようなダブルクラッド構造の光ファイバを用いることで、励起光を伝播することが可能であるため、大出力の光を生成することができるが、特に第2の光ファイバ105に適用する際に、そのコア部のカットオフ波長を発振により生成される波長 $920\text{ nm} \pm 20\text{ nm}$ より短いものとするすることで、共振器を簡単にシングルモードで発振させられるようになる。

【0040】

さらに、第1及び第2の光ファイバ101, 105は、偏波保持型のファイバであることが望ましい。すなわち、図3に示すように、コア部301が、断面楕円形状に形成されている。このような構成によって、コア部301の短軸方向に偏光を持つ光と長軸方向に偏光を持つ光とで、伝播速度が異なるため、偏波を保持できるようになる。このような光ファイバを用いることによって、不必要な直交成分の少ない、直線偏光を得ることができるものである。なお、図3においても光ファイバ101, 105としてはダブルクラッド構造に形成されており、第1のクラッド302と第2のクラッド303を有する。

10

【0041】

また、図1に示す実施の形態によれば、共振器106において生成される光を狭帯域化するために、回折格子112を用いているが、他の素子を用いて狭帯域化するようにしてもよいものである。

20

【0042】

すなわち、回折格子の代わりに、例えば、エタロンを用いることも可能である。図4は、エタロンを用いた共振器106の実施の形態を示す図であり、図中図1と同一構成部分に同じ符号を付す。偏光プリズム111を通過した光116を受けるようにエタロン401が配置され、さらにエタロン401を通過した波長 920 nm 付近の光117を全反射するミラー402が設けられている。

【0043】

全反射ミラー402で反射された光117は、偏光プリズム111、光学素子110及び誘電体ミラー108を介して第2の光ファイバ105に入射され、反対側の誘電体ミラー107で反射されて、誘電体ミラー108、光学素子110及び偏光プリズム111を介して戻り、再び全反射ミラー402で反射される。以上の繰り返しによって発振動作が行なわれる。

30

【0044】

この実施の形態においては、エタロン401の急峻なフィルタ特性により、 $\text{FWHM} < 0.5\text{ nm}$ の狭帯域な光を得ることができるものである。

【0045】

また、さらに、ファイバ・ブラッグ・グレーティング(FBG)を用いても、同様に狭帯域の光を生成させることができる。図5は、その実施の形態を示す図であり、図1と同一構成部分に同一符号を付す。

【0046】

図5においては、FBGを備えた光ファイバ501と、この光ファイバ501と偏光プリズム111の間に配設された光学素子502を備える。

40

【0047】

偏光プリズム111を通過した光116は、光学素子502で集光され、FBGを備えた光ファイバ501に入射される。光ファイバ501は、FBGによって波長 920 nm 付近の光のうち、 $\text{FWHM} < 0.5\text{ nm}$ を全反射する機能を有し、それによって波長 920 nm の狭帯域な光117が光学素子502に導出され、ここでコリメートされて偏光プリズム111に出射され、光学素子110、誘電体ミラー108を介して第2の光ファイバ105に入射される。

【0048】

50

入射された光 117 は誘電体ミラー 107 で反射されて戻り、結局、波長 920 nm 付近でかつ狭帯域の光を生成する発振動作が行なわれるようになる。

【0049】

さらに、発振により生成される光を狭帯域化する手段として、励起されていないネオジウムイオン (Nd³⁺) を添加した光ファイバを用いたものも適用できる。図 6 にその実施の形態を示す。図 6 において、図 1 と同一構成部分に同一符号を付す。図 6 の実施の形態では、ネオジウムイオン (Nd³⁺) が添加された光ファイバ 601 が設けられると共に、この光ファイバ 601 と偏光プリズム 111 の間に光学素子 602 が設けられ、さらに光ファイバ 601 の光学素子 602 とは反対側の端に波長 920 nm 付近の光を全反射するミラー 603 が設けられている。

10

【0050】

偏光プリズム 111 を通過した光 116 は、光学素子 602 で集光されて、光ファイバ 601 のコア部に入射され、そのままミラー 603 に到達して反射して戻り、光 117 として光学素子 602、偏光プリズム 111、光学素子 110 を介して第 2 の光ファイバ 105 に入射される。この実施の形態においても、誘電体ミラー 107 とミラー 603 間で光が反射を繰り返す発振動作が行われることになる。

【0051】

この実施の形態では、図 1 に示す第 1 の光ファイバ 101 で吸収されずに第 2 の光ファイバ 105 に入射された波長 810 nm 付近の励起光は、第 2 の光ファイバ 105 のコア部のネオジウムイオン (Nd³⁺) を励起するが、誘電体ミラー 110 によって反射され、誘電体ミラー 110 から出射されることはない。したがって、光ファイバ 601 には励起光は入射されることなく、ネオジウムイオン (Nd³⁺) が励起されることはない。

20

【0052】

共振器 106 が発振動作を起こすと、その内部で定在波が立つ。このとき、コア部に添加されたネオジウムイオン (Nd³⁺) が励起されている第 2 の光ファイバ 105 においては、利得の空間ホールバーニングが生じ、この空間ホールバーニングを埋める多数の縦モードが立つことによって帯域が広がる。しかしながら、光ファイバ 601 では、添加されたイオンが励起されることがないために、内部で定在波による損失のホールバーニングが生じるため、その他の縦モードにとっては逆位相となって立ちにくくなる。その結果、光ファイバ 601 を通過して出射される光 117 は、狭帯域なものとなる。

30

【0053】

以上のように、図 4 ~ 図 6 に示す実施の形態においては、共振器 106 の発振動作で生成される光の帯域を確実に狭帯域にすることが可能である。

【0054】

なお、図 1 に示す実施の形態では、半導体レーザ光源 113 で生成される波長 810 nm 付近の励起光 115 を、まず第 1 の光ファイバ 101 に入射し、第 1 の光ファイバ 101 で吸収されなかった励起光 115 を第 2 の光ファイバ 105 に入射するように構成したが、先に第 2 の光ファイバ 105 に励起光 115 を入射させ、吸収し切れなかった分を、第 1 の光ファイバ 101 に入射するように構成することもできる。

【0055】

図 7 は半導体レーザ光源 113 からの励起光を最初に第 2 の光ファイバ 105 に入射させるように構成した実施の形態を示すものである。図 7 において、図 1 と同一構成部分に同一符号を付す。図 7 に示す実施の形態においては、光学素子 110 と偏光プリズム 111 の間に、フィルタ 114 を配設し、半導体レーザ光源 113 から発生された波長 810 nm の光 115 を、このフィルタ 114 で反射させて光学素子 110、誘電体ミラー 108 を介して第 2 の光ファイバ 105 に入射するように構成している。

40

【0056】

それによって、第 2 の光ファイバ 105 のコア部に添加されたネオジウムイオン (Nd³⁺) が励起され、波長 920 nm ± 20 nm の光を生成するが、ネオジウムイオン (Nd³⁺) で吸収し切れなかった励起光 115 は、誘電体ミラー 107 を透過して、光学素子 1

50

09, 104を介して第1の光ファイバ101に入射される。

【0057】

それによって、コア部に添加されたネオジウムイオン(Nd³⁺)が励起され、第1の光ファイバ101は、波長920nm±20nmの光を生成する。

【0058】

一方第2の光ファイバ105で生成された波長920nm±20nmの光は、誘電体ミラー107で反射されて、第2の光ファイバ105内を通過して、誘電体ミラー108に到達し、この誘電体ミラー108を透過して光116として光学素子110、偏光プリズム111を介して回折格子112に導出される。

【0059】

回折格子112では、入射された光116を光117として返し、それが偏光プリズム111、光学素子110及び誘電体ミラー108を介して再び第2の光ファイバ105に入射される。

【0060】

以上によって、共振器106が誘電体ミラー107と回折格子112間で光を発振する動作を起こすようになる。回折格子112は、図1で説明したように、発振によって生成される光を挟帯域化する機能を有し、偏光プリズム111は、所定の直線偏波を有する信号に変換する。

【0061】

共振器106の発振動作で生成された、波長920nm±20nmで挟帯域かつ直線偏波の光118は誘電体ミラー107を透過して光学素子109及び104を介して第1の光ファイバ101に入射され、増幅されて、第1の光ファイバ101から光119として出射され、光学素子103でコリメートされて出力される。

【0062】

この実施の形態によれば、第2の光ファイバ105に、大レベルの励起光を入射することができるので、共振器106の発振動作によって大レベルの光を生成することができるため、第1の光ファイバ101の増幅器としてのゲインをそれほど高くする必要がない。

【0063】

この第7図に示す実施の形態においても、発振によって生成される光を挟帯域化するために、図4～図6に示す実施の形態と同様に、エタロン、FBGを備えた光ファイバ、あるいはコア部にイオンが添加されて励起されていない光ファイバを用いた構成を採用することができるものである。

【0064】

さらに、第1図及び第7図で示した実施の形態においては、光ファイバ増幅器を構成する第1の光ファイバと、共振器を構成する第2の光ファイバを光学素子104と109で結合するように構成したが、各光ファイバ101, 105の端部を、間に誘電体ミラー107と同等の特性を有するミラーを介在させて直線的に接続するように構成したのもよいものである。

【0065】

図8は、そのように構成した光ファイバ結合部を示す図であり、第1の光ファイバ101の端部、第2の光ファイバ105の端部のいずれかに、誘電体ミラー801を直接成膜し、さらに他方の光ファイバの端部をその誘電体ミラー801に押し当てて接続するように構成している。

【0066】

この実施の形態においては、第1の光ファイバ101と第2の光ファイバ105が、直接的に結合されるために、互いに他方の光ファイバへの光の伝播を効率よく実行できるようになるものである。

【0067】

なお、ネオジウムイオン(Nd³⁺)を用いた光ファイバは、波長1.06μmに対して比較的大きな利得を示すようになることから、その波長で発振し易くなる。この波長1.

10

20

30

40

50

0.6 μmは上位準位が920 nm付近の発振と同準位であるため、発振が生ずると効率低下を招く恐れがある。そこで増幅用の第1の光ファイバ101の端面を斜めにカットもしくは研磨することで、ファイバ内部から外部へ出射される光を、ファイバ端面において放射モードで出射させて発振を抑制するように構成することもできるものである。

【0068】

以上説明したように、図1及び図7で示す光ファイバ増幅装置において、第1の光ファイバ101で増幅されて出力される光119は、挟帯域かつ直線偏波であるため、第二次高調波を生成させるための基本波として最適なものとなっている。

【0069】

図9は、図1に示す実施の形態で増幅されて出力された光119を基本波として、その第二次高調波を発生させる装置の一実施の形態を示す図である。図において、図1と同一構成部分に同一符号を付す。

【0070】

図9において、フィルタ114を透過した第1の光ファイバ101からの光119を受け取るように、光学素子901を介して非線型結晶902が配置され、さらに非線型結晶902を通過した光を受け取るように、光学素子903を介してフィルタ904が配置されている。

【0071】

非線型結晶902は、入射される波長920 nm付近の光119を、その第二次高調波を含む光905に変換する機能を有するもので、例えば周期分極反転構造をした酸化マグネシウムを添加したリチウムナイオベート結晶(PPMgLN)等が適している。

【0072】

光学素子901は、誘電体ミラー114を透過してくる光119を集光して非線型結晶902に入射させる機能を有し、光学素子903は、非線型結晶902から出射された光905をコリメートしてフィルタ904に導出する機能を有する。また、フィルタ904は、光学素子903を介して導出される光905から、第二次高調波906を分離する機能を有し、例えば誘電体ミラーで構成される。すなわち、基本波はそのまま透過し、第二次高調波を反射するものである。

【0073】

非線型結晶902の作用によって、ここを通過する波長920 nm ± 20 nmの光119は、波長460 nm付近を含む光905となり、この光905は、フィルタ904によって、波長920 nm ± 20 nmの基本波905と第二次高調波906に分離される。第二次高調波906は波長460 nm付近のいわゆる青色レーザー光である。

【0074】

図9に示す実施の形態によれば、第1の光ファイバ101から、大レベルに増幅された、波長920 nm ± 20 nmで挟帯域かつ直線偏波の光を受け取るため、極めて効率よく、第二次高調波を生成して出力することができるようになるものである。

【0075】

なお、図9に示す装置においても、光ファイバ101, 105としては、図2, 3に示す構成のものが適用でき、さらに光ファイバ101と105を結合する手段としても、図8に示すものを適用することが可能である。

【0076】

以上説明したように、本発明によれば、増幅用の光ファイバと共振器用の光ファイバのいずれかに励起光源からの励起光を入射して励起させ、その光ファイバで吸収されなかった励起光で他方の光ファイバを励起させるように構成し、さらに共振器用の光ファイバによって構成される発振経路中に発振によって生成される光を挟帯域化させるための素子を介在させるように構成したので、励起光を無駄なく使うことができ、さらに挟帯域化素子の損失の影響を抑制することができるため、増幅用の光ファイバから高効率で大出力かつ挟帯域の、第二次高調波を発生させるための基本波に適した光を出射させることができるものである。

【図面の簡単な説明】

【0077】

【図1】本発明に係る光ファイバ増幅装置の一実施の形態を示す図。

【図2】図1の装置に適用される光ファイバの一実施の形態を示す図。

【図3】図1の装置に適用される光ファイバの他の実施の形態を示す図。

【図4】図1の装置に適用される挟帯域化手段の他の実施の形態を示す図。

【図5】図1の装置に適用される挟帯域化手段のさらに他の実施の形態を示す図。

【図6】図1の装置に適用される挟帯域化手段のさらに他の実施の形態を示す図。

【図7】本発明に関わる光ファイバ増幅装置の他の実施の形態を示す図。

【図8】図1及び図7に示す装置において、光ファイバを光学的に結合する結合手段の他の実施の形態を示す図。 10

【図9】本発明に関わる第二次高調波発生装置を示す図。

【図10】光ファイバの励起による光生成の原理を説明するための図。

【符号の説明】

【0078】

100 ... 光ファイバ増幅装置

101 ... 第1の光ファイバ

102 ... 光ファイバ増幅器

103, 104 ... 光学素子

105 ... 第2の光ファイバ 20

106 ... 共振器

107, 108 ... 誘電体ミラー

109, 110 ... 光学素子

111 ... 偏光プリズム

112 ... 回折格子

113 ... 半導体レーザー光源

114 ... フィルタ

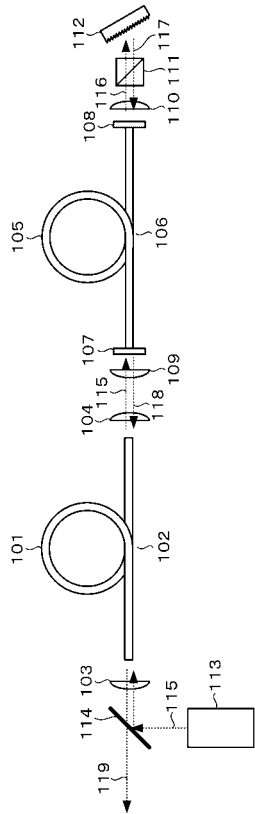
401 ... エタロン

501 ... FBGを備えた光ファイバ

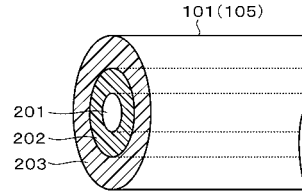
601 ... 励起されない光ファイバ 30

902 ... 非線型結晶

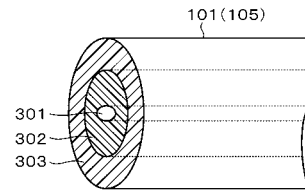
【 図 1 】



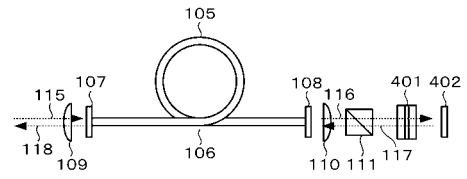
【 図 2 】



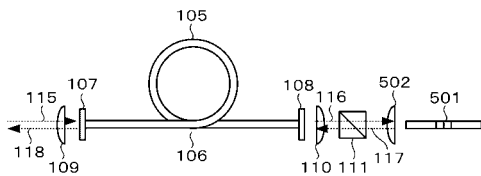
【 図 3 】



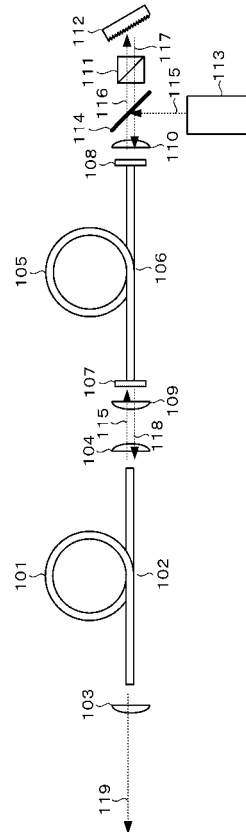
【 図 4 】



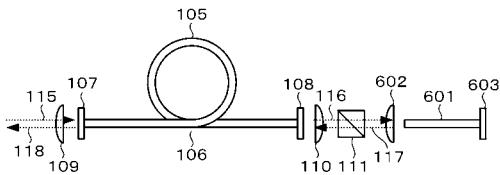
【 図 5 】



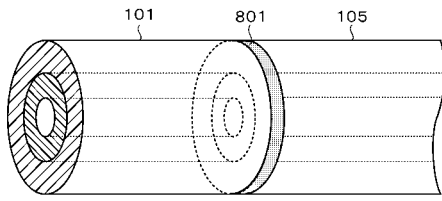
【 図 7 】



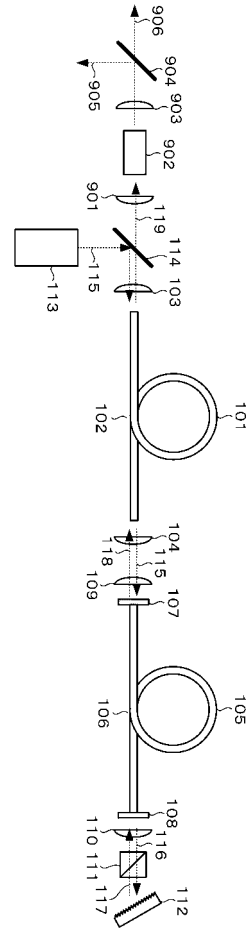
【 図 6 】



【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】

