

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5130762号
(P5130762)

(45) 発行日 平成25年1月30日(2013.1.30)

(24) 登録日 平成24年11月16日(2012.11.16)

(51) Int. Cl. F I
GO 2 F 1/365 (2006.01) GO 2 F 1/365
HO 1 S 3/13 (2006.01) HO 1 S 3/13

請求項の数 8 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2007-79566 (P2007-79566)	(73) 特許権者	000002130 住友電気工業株式会社
(22) 出願日	平成19年3月26日 (2007.3.26)		大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(65) 公開番号	特開2008-243953 (P2008-243953A)	(74) 代理人	100088155 弁理士 長谷川 芳樹
(43) 公開日	平成20年10月9日 (2008.10.9)	(74) 代理人	100092657 弁理士 寺崎 史朗
審査請求日	平成22年2月18日 (2010.2.18)	(74) 代理人	100110582 弁理士 柴田 昌聰
		(72) 発明者	奥野 俊明 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内
		審査官	山本 貴一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 広帯域光源装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

波長範囲700nm～2500nmに含まれる中心波長を有する種光を出力する光源と、

前記光源から出力された種光を分岐して第1種光及び第2種光を出力する分岐部と、
 前記第1種光を入射端に入力して導波し、その光導波に伴う非線形光学現象に因り波長帯域が拡大された第1SC光を発生させ、その第1SC光を出射端から出力する第1の光ファイバと、

前記第2種光を入力して第2種光の波長と異なる波長の波長変換光を発生させ、その波長変換光を出力する波長変換部と、

前記波長変換光を入射端に入力して導波し、その光導波に伴う非線形光学現象に因り波長帯域が拡大された第2SC光を発生させ、その第2SC光を出射端から出力する第2の光ファイバと、

を備えることを特徴とする広帯域光源装置。

【請求項2】

前記第1SC光と前記第2SC光とを合波して第3SC光とし、その第3SC光を出力する合波部を更に備えることを特徴とする請求項1に記載の広帯域光源装置。

【請求項3】

前記第1SC光及び前記第2SC光のうち何れかを選択し、その選択された光を出力する光スイッチを更に備えることを特徴とする請求項1に記載の広帯域光源装置。

【請求項 4】

前記光スイッチの切り替え及び第3 SC光の特性のフィードバック制御を行う制御部を更に備えることを特徴とする請求項3に記載の広帯域光源装置。

【請求項 5】

前記第1の光ファイバ及び前記第2の光ファイバが高非線形性の光ファイバ又はホーリーファイバであることを特徴とする、請求項1～請求項4のいずれか一項に記載の広帯域光源装置。

【請求項 6】

前記波長変換部が非線形結晶若しくは位相整合型波長変換デバイスを含むか、又は光パラメトリック発振器であることを特徴とする、請求項1～請求項5のいずれか一項に記載の広帯域光源装置。

10

【請求項 7】

前記第1の光ファイバ又は前記第2の光ファイバが入射光の最短波長より短い波長帯に零分散波長を有し、かつ零分散波長での分散スロープが正であるか、又は最短波長において正の分散値を有することを特徴とする、請求項1～請求項6のいずれか一項に記載の広帯域光源装置。

【請求項 8】

前記第1の光ファイバ又は前記第2の光ファイバが入射光の最長波長より長い波長帯に零分散波長を有し、かつ零分散波長での分散スロープが正であるか、又は最短波長において負の分散値を有することを特徴とする、請求項1～請求項6のいずれか一項に記載の広帯域光源装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、広帯域光源装置に関する。

【背景技術】

【0002】

スーパーコンティニューム光(SC光)は、広帯域光の一種で、その高出力性、広帯域性及びスペクトル平坦性などの特徴を有する。そのため、光計測や近赤外分光など様々な応用分野への重要光として期待されている。高いピークパワーのパルス光を光ファイバやガラス、結晶などの非線形媒体に入力することで容易にSC光が得られるが、他にも連続光を入力した例や、空気中で生成される例など、多くの報告がなされている。

30

【0003】

その中、複数波長の励起光で励起したSC光生成は、その広帯域性、帯域平坦性などから、注目されている(例えば、非特許文献1～4参照)。特に、SC光を光ファイバ中で生成させる方法は、光を強制的に閉じ込めることができるため、複数波長の励起光の間の非線形相互作用長を長くさせ、高効率なSC光生成が期待できる。実際に、非特許文献1や3では、可視領域のほぼ全域と約1000nmから1700nm以上の近赤外領域の光の生成が報告されている。非特許文献4でも、可視領域のほぼ全領域から約1700nmまでの近赤外領域までの光が生成されている。

40

【0004】

また、SC光の生成は光ファイバの非線形媒体の分散特性に大きく影響されることはよく知られており、数多くの報告例がある(例えば、非特許文献5参照)。従って、所望の帯域や所望スペクトル特性を有するSC光を得るためには、適当な分散特性を持つ光ファイバを用いる必要がある。

【非特許文献1】Pierre-Alain Champert, et al., Opt. Express, Vol.12, No.19pp.4366-4371(2004)

【非特許文献2】Yu Oishi, et al., Opt. Express, Vol.14, No.16 pp.7230-7237(2006)

50

【非特許文献3】E.Raikkonen, et al., Opt. Express, Vol.14, No.17 pp.7914-7923(2006)

【非特許文献4】T.Schreiber, et al., Opt. Express, Vol.13, No.23, pp.9556-9569(2005)

【非特許文献5】W.J.Wadsworth, et al., J.Opt.Soc.Am.B, Vol.19, No.9, pp.2148-2155(2002)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかし、既に報告されている複数波長励起のSC光生成技術では、波長変換素子に入力光をそのまま入れて、出力側で入力光に相当する励起光と、変換素子中で生成された変換光とが同じ素子から出力され、そのまま両者を光ファイバに入力される構成となっている。そのため、異なる波長に対して一種類の光ファイバの特性によって広帯域なSC光を生成しなければならないが、それぞれの波長及びその波長間の相互作用を考慮した最適な分散及び非線形特性を有する光ファイバの実現が困難である。

10

【0006】

従って、このような複数波長の励起のSC光源でも、可視領域(400nm~700nm)から近赤外領域(700nm~2500nm)の全域をカバーするSC光の生成は実現されていなかった。具体的には、非特許文献1や3では近赤外領域の短波長側の成分が生成されておらず、非特許文献4では長波長側の拡大が不足しており、連続した平坦なSC光になっていない。一方、波長域が異なる複数の励起光源を使用して、それぞれの領域

20

【0007】

本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、複数の励起光源を使うことなく、かつ高効率に広い帯域をカバーすることができる広帯域光源装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記課題を解決するため、本発明に係る広帯域光源装置は、波長範囲700nm~2500nmに含まれる中心波長を有する種光を出力する光源と、その光源から出力された種光を分岐して第1種光及び第2種光を出力する分岐部と、第1種光を入射端に入力して導波し、その光導波に伴う非線形光学現象に因り波長帯域が拡大された第1SC光を発生させ、その第1SC光を出射端から出力する第1の光ファイバと、第2種光を入力して第2種光の波長と異なる波長の波長変換光を発生させ、その波長変換光を出力する波長変換部と、波長変換光を入射端に入力して導波し、その光導波に伴う非線形光学現象に因り波長帯域が拡大された第2SC光を発生させ、その第2SC光を出射端から出力する第2の光ファイバと、を備えることを特徴とする。

30

【0009】

本発明に係る広帯域光源装置では、光源から出力された種光は分岐部により第1種光及び第2種光に分岐され、第1種光及び第2種光は分岐部から出力される。分岐部から出力された第1種光は、第1の光ファイバの入射端に入力され、第1の光ファイバにより導波される。この第1の光ファイバにおいて、光導波に伴う非線形光学現象により波長帯域が拡大され、広帯域にわたってなだらかなスペクトル形状を有する第1SC光が発生して、その第1SC光が第1の光ファイバの出射端から出力される。

40

【0010】

分岐部から出力された第2種光は波長変換部に入力され、波長変換部において第2種光の波長変換光が発生し、波長変換光が波長変換部から出力される。波長変換部から出力された波長変換光は第2の光ファイバの入射端に入力され、第2の光ファイバにより導波される。この第2の光ファイバにおいて、光導波に伴う非線形光学現象により波長帯域が拡大され、広帯域にわたってなだらかなスペクトル形状を有する第2SC光が発生して、その第2SC光が第2の光ファイバの出射端から出力される。

50

【0011】

これにより、波長域が互いに異なる第1種光と波長変換光とを同時に発生させ、第1種光及び波長変換光をそれぞれ第1の光ファイバ及び第2の光ファイバに光導波させ、それぞれの光ファイバ中において生じる非線形光学現象により、異なる波長域のスペクトルを有する広帯域の第1SC光及び第2SC光を同時に発生させることができる。

【0012】

また、本発明に係る広帯域光源装置は、第1SC光と第2SC光とを合波して第3SC光とし、その第3SC光を出力する合波部を更に備えるのが好適である。この場合には、第1の光ファイバの出射端から出力された第1SC光及び第2の光ファイバの出射端から出力された第2SC光が合波部に入力され、合波部により合波されて第3SC光となり、その第3SC光は合波部から出力される。合波部を備え、第1SC光及び第2SC光を合波し第3SC光を生成することにより、更に広い帯域をカバーすることが可能となる。

10

【0013】

また、本発明に係る広帯域光源装置は、第1SC光及び第2SC光のうち何れかを選択し、その選択された光を出力する光スイッチを備えることが好適である。この場合には、第1SC光及び第2SC光は光スイッチに入力され、光スイッチによりいずれかが選択され、選択された光が光スイッチから出力される。これにより、第1SC光又は第2SC光を同じ出力端から切り替えて出力することが可能となる。また、この場合、光スイッチの切り替え及び第3SC光の特性のフィードバック制御を行う制御部を更に備えることが好適である。これにより、所望の帯域にエネルギーをより効率的に配分することが可能となると共に、使用条件に応じた切り替えが可能となり使用波長帯の選択の自由度を改善することが可能となる。

20

【0014】

また、本発明に係る広帯域光源装置は、第1の光ファイバ及び第2の光ファイバが高非線形性の光ファイバ又はホーリーファイバであることが好適である。それぞれの波長領域に適したファイバを用いることで、非線形光学現象が起こりやすくすることが可能となる。

【0015】

また、本発明に係る広帯域光源装置は、波長変換部が非線形結晶若しくは位相整合型波長変換デバイスを含むか、又は光パラメトリック発振器であることが好適である。これにより、容易に光源から出力される種光と波長帯を異にする波長変換光を生成させることが可能となる。

30

【0016】

また、本発明に係る広帯域光源装置は、第1の光ファイバ又は第2の光ファイバが入射光の最短波長より短い波長帯に零分散波長を有し、かつ零分散波長での分散スロープが正であるか、又は最短波長において正の分散値を有することが好適である。これにより、広帯域光をそれぞれの帯域で効率よく生成させることが可能となる。

【0017】

また、本発明に係る広帯域光源装置は、第1の光ファイバ又は第2の光ファイバがそれぞれの入射光の最長波長より長い波長帯で零分散波長を有し、かつ零分散波長での分散スロープが正であるか、又は最短波長において負の分散値を有することが好適である。これにより、広帯域光を低ノイズで生成させることが可能となる。

40

【発明の効果】

【0018】

本発明の広帯域光源装置によれば、複数の励起光源を使うことなく、かつ高効率に広い帯域をカバーすることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

以下、添付図面を参照しつつ本発明に係る広帯域光源装置の好適な実施形態について詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説

50

明を省略する。

【 0 0 2 0 】

(第 1 実施形態)

図 1 は、本発明の第 1 実施形態に係る広帯域光源装置 1 A の構成を示す図である。広帯域光源装置 1 A は、光源 1 0、分岐部 2 0、周波数通倍器 3 0、光フィルタ 4 0、光ファイバ 5 1、光ファイバ 5 2 および合波部 6 0 を備える。光源 1 0 は、種光としてレーザー光 C 1 (種光) を出射するものである。分岐部 2 0 は、光源 1 0 から出射されたレーザー光 C 1 を入力し、これをレーザー光 C 2 (第 1 種光) 及びレーザー光 C 3 (第 2 種光) に分岐し、レーザー光 C 2 及びレーザー光 C 3 を出力する。

【 0 0 2 1 】

光ファイバ 5 1 は、分岐部 2 0 により出力されたレーザー光 C 2 を入射端に入力して導波し、その光導波に伴う非線形光学現象により波長帯域が拡大され、広帯域にわたってなだらかなスペクトル形状を有する S C 光 P 1 を発生させ、その S C 光 P 1 (第 1 S C 光) を光ファイバ 5 1 の出射端から出力する。光ファイバ 5 1 は、レーザー光 C 2 の中心波長の付近に零分散波長を有する。

【 0 0 2 2 】

周波数通倍器 3 0 は、分岐部 2 0 から分岐され出力されたレーザー光 C 3 を入力し、レーザー光 C 3 の第 2 高調波レーザー光 C 4 (波長変換光) を発生させ、レーザー光 C 4 を出力する。光フィルタ 4 0 は、レーザー光 C 3 を減衰・除去すると共に、周波数通倍器 3 0 により発生し出力されたレーザー光 C 4 を選択的に透過させるための手段であり、周波数通倍器 3 0 と光ファイバ 5 2 との間に配置される。

【 0 0 2 3 】

光ファイバ 5 2 は、レーザー光 C 4 を入力して導波し、その光導波に伴う非線形光学効果により波長帯域が拡大され、広帯域にわたってなだらかなスペクトル形状を有する S C 光 P 2 を発生させ、その S C 光 P 2 を出射端から出力する。光ファイバ 5 2 は、レーザー光 C 4 の中心波長の付近に零分散波長を有する。なお、光ファイバ 5 2 と周波数通倍器 3 0 とは、光ファイバで相互に結合されている。合波部 6 0 は、光ファイバ 5 1 の出射端から出力された S C 光 P 1 と光ファイバ 5 2 の出射端から出力された S C 光 P 2 とを合波して S C 光 P 3 とし、その S C 光 P 3 を出力する。

【 0 0 2 4 】

この広帯域光源装置 1 A では、光源 1 0 から出射されたレーザー光 C 1 は分岐部 2 0 によりレーザー光 C 2 及びレーザー光 C 3 に分岐され、レーザー光 C 2 及びレーザー光 C 3 は分岐部 2 0 から出力される。分岐部 2 0 から出力されたレーザー光 C 2 は、光ファイバ 5 1 の入射端に入力され、光ファイバ 5 1 により導波される。この光ファイバ 5 1 において、光導波に伴う非線形光学現象により波長帯域が拡大され、広帯域にわたってなだらかなスペクトル形状を有する S C 光 P 1 が発生して、その S C 光 P 1 が光ファイバ 5 1 の出射端から出力される。

【 0 0 2 5 】

分岐部 2 0 から出力されたレーザー光 C 3 は、周波数通倍器 3 0 に入力され、周波数通倍器 3 0 においてレーザー光 C 3 の第 2 高調波レーザー光 C 4 が発生し、レーザー光 C 4 が周波数通倍器 3 0 から出力される。周波数通倍器 3 0 から出力されたレーザー光 C 4 は、光フィルタ 4 0 により選択的に透過されて光ファイバ 5 2 の入射端に入力され、光ファイバ 5 2 により導波される。この光ファイバ 5 2 において、光導波に伴う非線形光学現象により波長帯域が拡大され、広帯域にわたってなだらかなスペクトル形状を有する S C 光 P 2 が発生して、その S C 光 P 2 が光ファイバ 5 2 の出射端から出力される。

【 0 0 2 6 】

光ファイバ 5 1 の出射端から出力された S C 光 P 1 及び光ファイバ 5 2 の出射端から出力された S C 光 P 2 は、合波部 6 0 に入力され、合波部 6 0 により合波され S C 光 P 3 となり、その S C 光 P 3 は合波部 6 0 から出力される。

光源 1 0 から出射されるレーザー光 C 1、分岐部 2 0 から分岐されたレーザー光 C 2、

10

20

30

40

50

及びレーザー光 C 3 は、より好ましくは $1.55 \mu\text{m}$ に中心波長を有している。また、レーザー光 C 3 が入力され周波数逓倍器 30 により発生されるレーザー光 C 3 の第 2 高調波であるレーザー光 C 4 は、 $0.775 \mu\text{m}$ に中心波長を有している。なお、図 2 (a) は光ファイバ 51 に入力されるレーザー光 C 2 及び光ファイバ 52 に入力されるレーザー光 C 4 のスペクトルを示している。

【0027】

光源 10 としては、ファイバレーザー、固体レーザー、半導体レーザー、などが適用可能であり、更に光増幅器と組み合わせること好ましい。特に、波長 $1.55 \mu\text{m}$ のパルス光を生成する手段として、Er 添加ファイバレーザーや、Er 添加ガラスによる固体レーザー、Cr: forsterite (クロムフォルステライト) のようなレーザー結晶によるレーザー、チタンサファイアレーザーや Nd: YAG レーザーなどの短波長パルス光源からの光パラメトリック発振 (OPO)、半導体レーザー + EDFA、ラマンファイバレーザー、などを用いることが可能である。

10

【0028】

また、周波数逓倍器 30 として、ポタジウムタイタニルフォスファ (KTP)、バリウムボレート (BBO)、リチウムトリボレート (LBO)、リチウムイオンデート (LiInS)、HgGa、セシウムリチウムボレート (CLBO)、リチウムテトラボレート (LiBO)、ポタジウムタイタニルアルセネート (KTA)、リチウムナイオベート (LNB)、リチウムタンタレート (LTA)、ビスマスゲルマニウムオキシド (BGO)、ビスマスシリコンオキシド (BSO)、KDP、DKDP、ADP、リチウムアイオデート (LiI)、シンクゲルマニウムリン (ZnGeP)、ガリウムセレンイド (GaSe) などの非線形結晶が適用可能である。他にも、擬似位相整合による高利得・高効率変換が可能な PPLN (periodically poled Lithium Niobate) などを用いることも出来る。

20

【0029】

光ファイバ 51 は、高非線形ファイバ (HNLF) であることが好ましい。HNLF は、零分散波長を $1.3 \mu\text{m}$ 以上 $1.8 \mu\text{m}$ 以下の範囲内に設計することが容易であり、光ファイバ 51 が、入射光であるレーザー光 C 2 の中心波長の付近に零分散波長を有することで、非線形光学現象が起こりやすくなり、広波長域に亘るスペクトルを有する SC 光 P1 が発生し易くなる。

30

【0030】

光ファイバ 52 は、 $2 \mu\text{m}$ 程度若しくはそれ以下のコア径を有する六角形タイプのフォトニック結晶ファイバ (PCF) であることが好ましい。PCF では、コアとクラッドとの屈折率差が大きいいため、通常の光ファイバよりも光の閉じ込めが強くなり、高密度の光伝搬が可能となる。よって、非線形光学現象が起こりやすくすることが可能であり、後述のように空孔をクラッドの部分に形成することで波長 $0.775 \mu\text{m}$ 付近に零分散波長を有するようにすることができる。

【0031】

ここで、「六角形タイプの PCF」とは、ファイバの長手方向に沿ってコアの中心を中心とするクラッド上の円の円周上に同間隔に同径の 6 個の空孔を形成することにより非線形性や分散特性を或る程度自由に設計可能な光ファイバをいう。また、光ファイバ 52 は、六角形タイプ以外の PCF であってもよいし、テーパファイバであってもよい。たとえば、コア径が $1.7 \mu\text{m}$ のテーパファイバの場合も PCF の場合と同様のスペクトルを得ることができる。また、テーパファイバのコア径が $2 \mu\text{m}$ 程度若しくはそれ以下のもの、又はサブミクロンのものも適用可能である。

40

【0032】

なお、SC 生成用ファイバとして、前述の HNLF、PCF、そしてテーパファイバ以外にも、高非線形のソフトガラスファイバやソフトガラスベースのホーリーファイバ、サブミクロンのコア径を有する光導波路やシリコン導波路、アルゴンなどのガスを封入した中空ファイバ、サファイアなどの光学結晶、BK-7 ガラス板などを用いることも可能であ

50

る。また、偏波保持型であれば非線形相互作用を効率よく引き起こすことが出来るため、より好ましい。

【 0 0 3 3 】

図 2 (b) は、光ファイバ 5 1 及び光ファイバ 5 2 について波長分散特性を示すグラフである。図 2 (b) に示されるように、光ファイバ 5 1 及び光ファイバ 5 2 はそれぞれ入力光の中心波長付近に零分散波長を有する。図 2 (c) は、光ファイバ 5 1 及び光ファイバ 5 2 にそれぞれレーザー光 C 2 及びレーザー光 C 4 が入力された場合における光ファイバ 5 1 及び光ファイバ 5 2 から出力される S C 光 P 1 及び S C 光 P 2 のスペクトルを示す図である。

【 0 0 3 4 】

図 2 (c) に示されるように、 $1.55 \mu\text{m}$ に中心波長を有するレーザー光 C 2 を光ファイバ 5 1 に入力した場合、光ファイバ 5 1 から出力される広帯域光 (S C 光 P 1) は $1.0 \mu\text{m}$ から $2.5 \mu\text{m}$ までの波長域である。また、 $0.775 \mu\text{m}$ に中心波長範囲を有するレーザー光 C 4 を光ファイバ 5 2 に入力した場合、光ファイバ 5 2 から出力される広帯域光 (S C 光 P 2) は $0.3 \mu\text{m}$ から $1.1 \mu\text{m}$ までの波長域である。レーザー光 C 2 は、例えばパルス幅 200fs 、繰り返し周波数 50MHz 、パワー 100mW であり、レーザー光 C 4 は、例えばパルス幅 300fs 、繰り返し周波数 50MHz 、パワー 200mW である。

【 0 0 3 5 】

図 2 (d) は、光ファイバ 5 1 及び光ファイバ 5 2 から出力された S C 光 P 1 及び S C 光 P 2 が合波部 6 0 により合波され出力された S C 光 P 3 のスペクトルを示す図である。図 2 (d) に示されるように、合波部 6 0 により合波され出力された広帯域光 (S C 光 P 3) は $0.3 \mu\text{m}$ から $2.5 \mu\text{m}$ までの波長域である。

【 0 0 3 6 】

このように、入力された S C 光 P 1 及び S C 光 P 2 が合波部 6 0 により合波され S C 光 P 3 となり、その S C 光 P 3 が出力されることで、複数の励起光源を使うことなく、かつ高効率に広い帯域をカバーすることができる。

【 0 0 3 7 】

以下、本実施形態における効果について説明する。広帯域光源装置 1 A では、分岐部 2 0 及び周波数逡倍器 3 0 を備えることにより、波長域が異なる種光 (レーザー光 C 2 及びレーザー光 C 4) を同時に発生させることができる。レーザー光 C 2 及びレーザー光 C 4 をそれぞれ光ファイバ 5 1 及び光ファイバ 5 2 において光導波させ、それぞれの光ファイバ中で生じる非線形光学現象により、異なる波長域のスペクトルを有する広帯域光 S C 光 P 1 及び S C 光 P 2 を同時に発生させることができる。

【 0 0 3 8 】

光ファイバ 5 1 及び光ファイバ 5 2 が、それぞれ入射光の中心波長付近に零分散波長を有することで、非線形光学現象が起こりやすくなり、広波長域に亘るスペクトルを有する S C 光 P 1 及び S C 光 P 2 を発生させることができる。S C 光 P 1 及び S C 光 P 2 を合波して、S C 光 P 3 とする合波部 6 0 を備えることにより、複数の励起光源を使うことなく単純な構成で従来の広帯域光と比べ、高効率に広い帯域をカバーすることができる S C 光 P 3 を生成することができる。

【 0 0 3 9 】

以上、本発明の好適な第 1 実施形態について説明してきたが、第 1 の実施形態は本発明の要旨を逸脱しない範囲で様々な変更が可能である。例えば、光フィルタ 4 0 は必ずしも備える必要はない。また、光フィルタ 4 0 を備えない場合、周波数逡倍器 3 0 と P C F 5 2 とは空間結合であってもよいが、光ファイバで結合されることが好ましい。この場合には、光の結合が容易となると共に外乱を受けにくくなるため、高効率な光伝搬を実現できる。また、光のパワーを調整可能な光減衰器を周波数逡倍器 3 0 と光ファイバ 5 2 との間に挿入することが好ましい。

【 0 0 4 0 】

10

20

30

40

50

(第2実施形態)

次に、この発明の第2の実施形態を説明する。図3は、本発明の第2実施形態に係る広帯域光源装置1Bの構成を示す図である。この広帯域光源装置1Bは、光源10、分岐部20、分岐部21、周波数逡倍器30、光フィルタ40、光ファイバ51、光ファイバ52、光スイッチ70、制御部80、およびモニタ部90を備える。

【0041】

この広帯域光源装置1Bでは、第1実施形態に係る広帯域光源装置1Aと対比して、合波部60に替えて光スイッチ70を備える点、並びに制御部80、モニタ部90及び分岐部21を更に備える点で相違する。

【0042】

光スイッチ70は、光ファイバ51から出力されるSC光P1と光ファイバ52から出力されるSC光P2のうち何れかを選択し、その選択した光を出力する。分岐部21は、光スイッチ70により選択され出力されるSC光P1又はSC光P2を入力し、その一部を分岐してモニタ部90へ出力し、残部を広帯域光源装置1Bによる広帯域光として出力する。

【0043】

モニタ部90は、分岐部21によりモニタ部90へ出力されるSC光P1又はSC光P2の一部を受光し、トータルパワー、単一波長若しくは複数波長のパワー、スペクトル強度、スペクトル形状などのパラメータの値を計測する。

【0044】

制御部80は、光スイッチ70の切り替えのための手段であると同時に、モニタ部90により計測された上述のパラメータの値と基準となる値とを比較して、ずれている場合には、基準値に近づけるよう、レーザー光C1や光ファイバ51及び光ファイバ52の特性を変化させて補正をする手段である。

【0045】

この広帯域光源装置1Bでは、光源10から出射されたレーザー光C1は分岐部20によりレーザー光C2及びレーザー光C3に分岐され、レーザー光C2及びレーザー光C3は分岐部20から出力される。分岐部20から出力されたレーザー光C2は光ファイバ51の入射端に入力され、光ファイバ51により導波される。この光ファイバ51において、光導波に伴う非線形光学現象により波長帯域が拡大され、広帯域にわたってなだらかなスペクトル形状を有するSC光P1が発生して、そのSC光P1が光ファイバ51の出射端から出力される。

【0046】

分岐部20から出力されたレーザー光C3は、周波数逡倍器30に入力され、周波数逡倍器30においてレーザー光C3の第2高調波レーザー光C4となり、レーザー光C4が周波数逡倍器30から出力される。周波数逡倍器30から出力されたレーザー光C4は、光フィルタ40により選択的に透過されて光ファイバ52の入射端に入力され、光ファイバ52により導波される。この光ファイバ52において、光導波に伴う非線形光学現象により波長帯域が拡大され、広帯域にわたってなだらかなスペクトル形状を有するSC光P2が発生して、そのSC光P2が光ファイバ52の出射端から出力される。

【0047】

光ファイバ51の出射端から出力されたSC光P1及び光ファイバ52の出射端から出力されたSC光P2は、光スイッチ70に入力され、光スイッチ70によりそのいずれかが選択的に出力される。光スイッチ70により選択的に出力されるSC光P1又はSC光P2は、分岐部21により分岐され、一部がモニタ部90へ出力され、残部が広帯域光源装置1Bによる広帯域光源として出力される。分岐部21により分岐されモニタ部90へ出力されたSC光P1又はSC光P2の一部は、モニタ部90によりトータルパワー、単一波長若しくは複数波長のパワー、スペクトル形状などのパラメータの値が計測され、制御部80によるレーザー光C1や光ファイバ51及び光ファイバ52の特性(例えばレーザー光のパルス幅、繰り返し周波数、及びパワーなど)のフィードバック制御に用いられる。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 8 】

以下、本実施形態における効果について説明する。光スイッチ 70 を合波部 60 に替えて設けることにより、広帯域レーザー光 (S C 光 P 2)、又は広帯域レーザー光 (S C 光 P 1) を同じ出力端から切り替えて出力することが可能となる。制御部 80 を有することで、所望の帯域にエネルギーをより効率的に配分することが可能となると共に、使用条件に応じて光スイッチ 70 の切り替えが可能となるため使用波長帯の選択の自由度を改善することができる。

【 0 0 4 9 】

以上、本発明の好適な第 2 実施形態について説明してきたが、第 2 の実施形態は本発明の要旨を逸脱しない範囲で様々な変更が可能である。例えば、光フィルタ 40 は必ずしも備える必要はない。また、光フィルタ 40 を備えない場合、周波数通倍器 30 と P C F 5 2 とは光ファイバで結合されていてもよいし、空間結合であってもよい。さらに、光のパワーを調整可能な光減衰器又は光増幅器を、光ファイバ 5 1 若しくは光ファイバ 5 2 又はその両方の前段に挿入することが好ましい。これにより、スペクトルの特性制御のみならず入力パワー又は出力パワーをも制御することができるために有効である。また、これらは制御部 80 によって他の部分と合わせ一括制御することが好ましい。

【 0 0 5 0 】

(第 3 実施形態)

次に、この発明の第 3 の実施形態を説明する。図 4 は、本発明の第 3 実施形態に係る広帯域光源装置 1 C の構成を示す図である。この広帯域光源装置 1 C は、光源 10、分岐部 20、周波数通倍器 30、光フィルタ 40、光ファイバ 5 1、光ファイバ 5 2、集光レンズ 10 1、及び集光レンズ 10 2 を備える。

【 0 0 5 1 】

この広帯域光源装置 1 C では、第 1 実施形態に係る広帯域光源装置 1 A と対比して、合波部 60 に替えて集光レンズ 10 1 及び集光レンズ 10 2 を備える点で相違する。集光レンズ 10 1 及び集光レンズ 10 2 は、各々の焦点距離が互いに同一であり、後側焦点が互いに一致するように配置されている。集光レンズ 10 1 は、その光軸が光ファイバ 5 1 の軸方向と一致するように設けられており、光軸と平行に S C 光 P 1 を入射させ、入射される S C 光 P 1 を光軸上の後側焦点に集光させる。集光レンズ 10 2 は、その光軸が光ファイバ 5 2 の軸方向と一致するように設けられており、光軸と平行に S C 光 P 2 を入射させ、入射される S C 光 P 2 を光軸上の後側焦点に集光させる。

【 0 0 5 2 】

この広帯域光源装置 1 C では、光源 10 から出射されたレーザー光 C 1 は分岐部 20 によりレーザー光 C 2 及びレーザー光 C 3 に分岐され、レーザー光 C 2 及びレーザー光 C 3 は分岐部 20 から出力される。分岐部 20 から出力されたレーザー光 C 2 は光ファイバ 5 1 の入射端に入力され、光ファイバ 5 1 により導波される。この光ファイバ 5 1 において、光導波に伴う非線形光学現象により波長帯域が拡大され、広帯域にわたってなだらかなスペクトル形状を有する S C 光 P 1 が発生して、その S C 光 P 1 が光ファイバ 5 1 の出射端から出力される。

【 0 0 5 3 】

分岐部 20 から出力されたレーザー光 C 3 は周波数通倍器 30 に入力され、周波数通倍器 30 においてレーザー光 C 3 の第 2 高調波レーザー光 C 4 が発生し、レーザー光 C 4 が周波数通倍器 30 から出力される。周波数通倍器 30 から出力されたレーザー光 C 4 は、光フィルタ 40 により選択的に透過されて光ファイバ 5 2 の入射端に入力され、光ファイバ 5 2 により導波される。この光ファイバ 5 2 において、光導波に伴う非線形光学現象により波長帯域が拡大され、広帯域にわたってなだらかなスペクトル形状を有する S C 光 P 2 が発生して、その S C 光 P 2 が光ファイバ 5 2 の出射端から出力される。

【 0 0 5 4 】

光ファイバ 5 1 の出射端から出力された S C 光 P 1 は、光ファイバ 5 1 の軸方向とその光軸が一致するように配置されている集光レンズ 10 1 に入射し、集光される。光ファイ

10

20

30

40

50

バ52の出射端から出力されたSC光P2は、光ファイバ52の軸方向とその光軸が一致するように配置されている集光レンズ102に入射し、集光される。集光レンズ101と集光レンズ102とはその焦点が互いに一致するように配置されているため、SC光P1及びSC光P2は同一点(レンズの焦点)に集光される。

【0055】

以下、本実施形態における効果について説明する。集光レンズ101と集光レンズ102とを設け、SC光P1及びSC光P2を同一点(それぞれのレンズの焦点)に集光させることにより、SC光P1及びSC光P2を自由空間で合波させることができる。また、SC光P1及びSC光P2は必ずしも集光させる必要はなく、例えばコリメートされた状態で交差させてもよいし、ビーム径を拡大した状態で交差させてもよい。

10

【0056】

なお、SC光P1及びSC光P2のスペクトル帯域はそれぞれ広いため、一つの光学系では色収差なく両者を集光させるのは困難である。また、反射防止膜(ARコート)もSC光P1及びSC光P2からなる全帯域をカバーすることは不可能若しくは難しく、光学材料自体も全帯域で透過率が高いものは限られる。しかし、SC光P1とSC光P2とをそれぞれ別々の光学系で集光等させることで、このような課題を解決することが可能となる。

【0057】

以上、本発明の好適な第3実施形態について説明してきたが、第3の実施形態は本発明の要旨を逸脱しない範囲で様々な変更が可能である。例えば、光フィルタ40は必ずしも備える必要はない。また、光フィルタ40を備えない場合、周波数通倍器30とPCF52とは光ファイバで結合されていてもよいし、空間結合であってもよい。

20

【0058】

(第4実施形態)

次に、この発明の第4の実施形態を説明する。図5は、本発明の第4実施形態に係る広帯域光源装置1Dの構成を示す図である。この広帯域光源装置1Dは、光源10、分岐部20、光フィルタ40、光ファイバ51、光ファイバ52、合波部60、及び光パラメトリック発振器(OPO)110を備える。

【0059】

この広帯域光源装置1Dでは、第1実施形態に係る広帯域光源装置1Aと対比して、周波数通倍器30に替えてOPO110を備える点で相違する。また、広帯域光源装置1Aでは、光源10から出力されるレーザー光が近赤外領域に中心波長を有し、周波数通倍器30により波長変更された波長変換光が可視光線領域に中心波長を有するのに対し、広帯域光源装置1Dでは、光源10から出力されるレーザー光が可視光線領域に中心波長を有し、OPO110により波長が変更された波長変換光が近赤外領域に中心波長を有する点で相違する。OPO110は、分岐部20により分岐され出力されたレーザー光C3を入力し、レーザー光C3の波長の二倍の波長を有するレーザー光C4を生成し、生成されたレーザー光C4を出力する。

30

【0060】

この広帯域光源装置1Dでは、光源10から出射されたレーザー光C1は分岐部20によりレーザー光C2及びレーザー光C3に分岐され、レーザー光C2及びレーザー光C3が分岐部20から出力される。分岐部20から出力されたレーザー光C2は光ファイバ52の入射端に入力され、光ファイバ52により導波される。この光ファイバ52において、光導波に伴う非線形光学現象により波長帯域が拡大され、広帯域にわたってなだらかなスペクトル形状を有するSC光P1が発生して、そのSC光P1が光ファイバ52の出射端から出力される。

40

【0061】

分岐部20から出力されたレーザー光C3は、OPO110により波長がレーザー光C3の波長の二倍となるレーザー光C4に変更され、そのレーザー光C4がOPO110から出力される。OPO110から出力されたレーザー光C4は、光フィルタ40により選

50

択的に透過されて光ファイバ51の入射端に入力され、光ファイバ51により導波される。この光ファイバ51において、光導波に伴う非線形光学現象により波長帯域が拡大され、広帯域にわたってなだらかなスペクトル形状を有するSC光P2が発生して、そのSC光P2が光ファイバ51の出射端から出力される。

【0062】

光ファイバ51の出射端から出力されたSC光P2及び光ファイバ52の出射端から出力されたSC光P1は、合波部60に入力され、合波部60により合波されSC光P3となり、そのSC光P3は合波部60から出力される。

【0063】

光源10は、中心波長が $0.8\mu\text{m}$ であり、パルス幅が 80fs であるパルスレーザー光を出力するチタンサファイアレーザーが好ましい。また、レーザー光C3が入力されOP0110により発生されるレーザー光C4は、 $1.6\mu\text{m}$ に中心波長を有している。なお、図6(a)は光ファイバ51に入力されるレーザー光C4及び光ファイバ52に入力されるレーザー光C2のスペクトルを示している。

10

【0064】

光ファイバ51は、HNLFであるのが好ましい。例えば、HNLFである光ファイバ52は、非線形係数が $20[1/\text{W}/\text{km}]$ であり、長さが 2m 、零分散波長が $1.54\mu\text{m}$ 、分散スロープが $0.03\text{ps}^2/\text{nm}^2/\text{km}$ である。光ファイバ52は、より好ましくはコア径が $2.0\mu\text{m}$ の六角形タイプで長さが 1m であるPCFである。光ファイバ51及び光ファイバ52としてそれぞれPCF、HNLFが用いられる理由は第1実施形態の中の説明と同様である。

20

【0065】

図6(b)は、光ファイバ51及び光ファイバ52について波長分散特性を示すグラフである。図6(b)に示されるように、光ファイバ51及び光ファイバ52はそれぞれ入力光の中心波長付近に零分散波長を有する。これにより、非線形現象の効率向上を図ることができる。しかし、本実施形態でのPCFは、第1の実施形態でのPCFとはその分散の波長特性が異なるため(図6(b)及び図2(b)参照)、以下、その理由及びその効果を説明する。第1の実施形態のPCFでは零分散波長を2つ有しており、分散値が上に凸の形状となっているが、かかる場合は長い方の零分散波長より長波長側への広がりが制限されスペクトルの広がりが制限される。

30

【0066】

一方、本実施形態のPCFは分散スロープが比較的小さく、入射光の中心波長付近に1つの零分散波長を有し長波長側に正の値を維持しているため、ソリトンの自己周波数シフトが連続的に起こり、より長波長側まで広がりやすい。よって、第1実施形態でのPCFによるSC光(第1実施形態のSC光P2)のスペクトルと比較して、より広いスペクトルを有するSC光(本実施形態のSC光P1)を得ることができる(図2(c)及び図6(c)参照)。

【0067】

図6(c)は、光ファイバ51及び光ファイバ52にそれぞれレーザー光C4及びレーザー光C2が入力された場合における光ファイバ51及び光ファイバ52から出力されるSC光P2及びSC光P1のスペクトルを示す図である。図6(c)に示されるように、 $1.6\mu\text{m}$ に中心波長を有するレーザー光C4を光ファイバ51に入力した場合、光ファイバ51から出力される広帯域光(SC光P1)は $1.1\mu\text{m}$ から $2.5\mu\text{m}$ までの波長域である。また、 $0.8\mu\text{m}$ に中心波長範囲を有するレーザー光C2を光ファイバ52に入力した場合、光ファイバ52から出力される広帯域光(SC光P1)は $0.4\mu\text{m}$ から $1.55\mu\text{m}$ までの波長域である。

40

【0068】

図6(d)は、光ファイバ51及び光ファイバ52から出力されたSC光P2及びSC光P1が、合波部60により合波され出力されたSC光P3のスペクトルを示す図である。図6(d)に示されるように、合波部60により合波され出力された広帯域光(SC光

50

P 3) は $0.4 \mu\text{m}$ から $2.5 \mu\text{m}$ までの波長域である。このように、入力された S C 光 P 1 及び S C 光 P 2 が合波部 6 0 により合波され S C 光 P 3 となり、その S C 光 P 3 が出力されることで、複数の励起光源を使うことなく、かつ高効率に広い帯域をカバーすることができる。

【 0 0 6 9 】

以下、本実施形態 4 における効果について説明する。広帯域光源装置 1 D では、分岐部 2 0、O P O 1 1 0 及び合波部 6 0 を備えることにより、可視光線領域に中心波長を有するレーザー光を出力する光源 1 0 から、広帯域光源装置 1 A と同様に広い帯域をカバーすることができる広帯域光 S C 光 P 3 を生成することができる。以上、本発明の好適な第 4 実施形態について説明してきたが、第 4 の実施形態は本発明の要旨を逸脱しない範囲で 10 様々な変更が可能である。例えば、第 2 の実施形態のように合波部 6 0 に替えて光スイッチ 7 0、分岐部 2 1、モニタ部 9 0 及び制御部 8 0 を設けてもよい。

【 0 0 7 0 】

また、第 3 実施形態のように集光レンズ 1 0 1 及び集光レンズ 1 0 2 を備え、S C 光 P 1 及び S C 光 P 2 を自由空間で合波させてもよい。また、各部品には、必要に応じてレンズなどによる結合系が組み込まれていてもよい。さらに、他の実施形態と同様に、光のパワーを調整可能な光減衰器又は光増幅器を光ファイバ 5 1 若しくは光ファイバ 5 2 又はその両方の前段に挿入してもよい。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 7 1 】

【 図 1 】 本発明の第 1 実施形態に係る広帯域光源装置 1 A の構成図である。

【 図 2 】 広帯域光源装置 1 A の具体的な動作例を示す図である。

【 図 3 】 本発明の第 2 実施形態に係る広帯域光源装置 1 B の構成図である。

【 図 4 】 本発明の第 3 実施形態に係る広帯域光源装置 1 C の構成図である。

【 図 5 】 本発明の第 4 実施形態に係る広帯域光源装置 1 D の構成図である。

【 図 6 】 広帯域光源装置 1 D の具体的な動作例を示す図である

【 符号の説明 】

【 0 0 7 2 】

1 A ~ 1 D ... 広帯域光源装置、1 0 ... 光源、2 0 ... 分岐部、2 1 ... 分岐部、3 0 ... 周波数 30 数逡倍器、4 0 ... 光フィルタ、5 1 ... 光ファイバ、5 2 ... 光ファイバ、6 0 ... 合波部、7 0 ... 光スイッチ、8 0 ... 制御部、9 0 ... モニタ部、1 0 1 ... 集光レンズ、1 0 2 ... 集光レンズ、1 1 0 ... 光パラメトリック発振器。

10

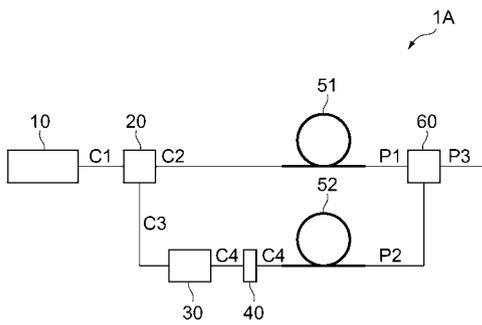
20

30

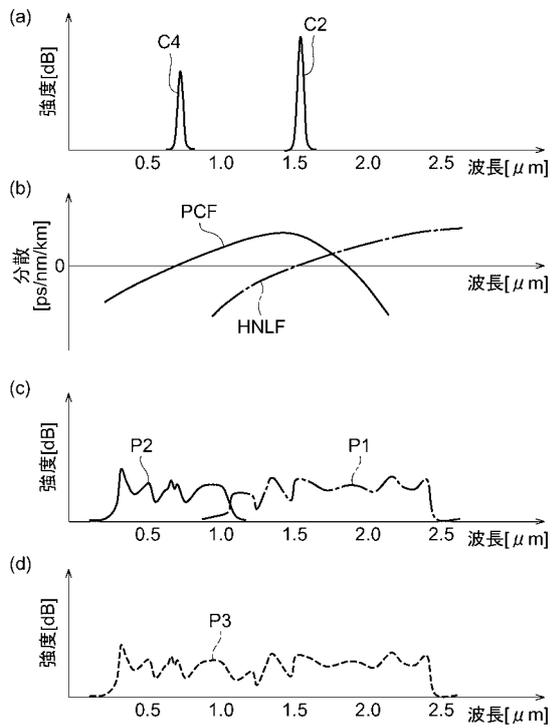
40

50

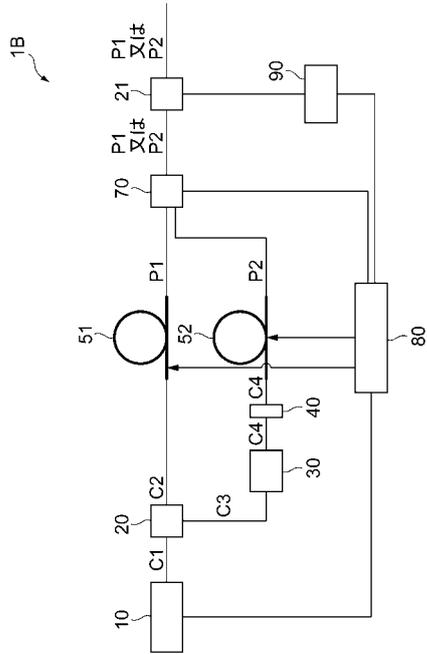
【 図 1 】



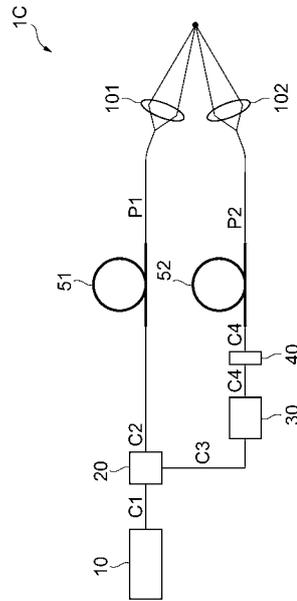
【 図 2 】



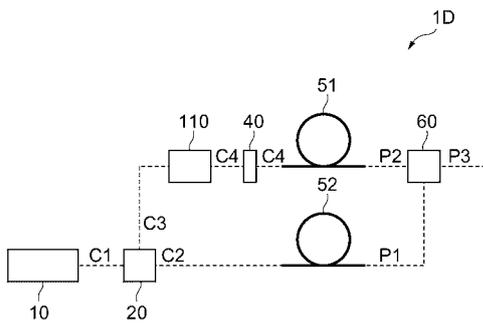
【 図 3 】



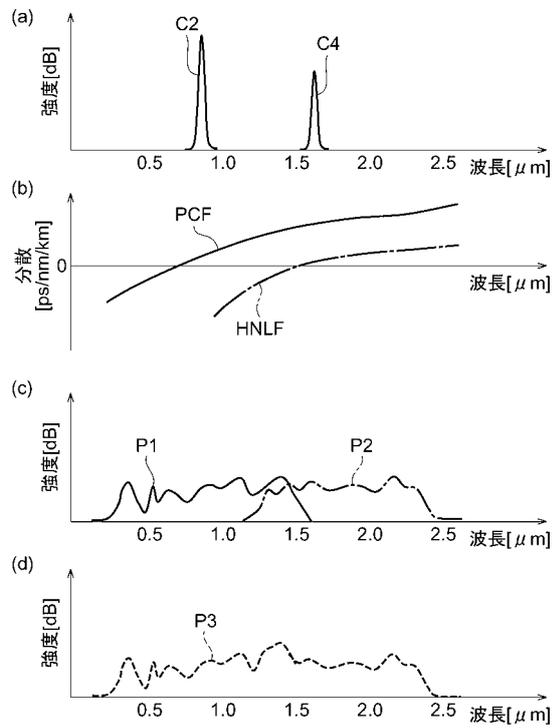
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2007-298765(JP,A)
特開2002-287185(JP,A)
特開平06-138500(JP,A)
特開2004-287074(JP,A)
特開2006-126725(JP,A)
特開2007-017907(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02F 1/35 - 1/39
H01S 3/108, 3/109, 3/13
G02B 6/02 - 6/036
H04B 10/00 - 10/04

JSTPlus(JDreamII)
JST7580(JDreamII)
Scitation