

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4865657号
(P4865657)

(45) 発行日 平成24年2月1日(2012.2.1)

(24) 登録日 平成23年11月18日(2011.11.18)

(51) Int. Cl. F I
 HO 1 S 3/10 (2006.01) HO 1 S 3/10 Z
 HO 1 S 3/06 (2006.01) HO 1 S 3/06 B

請求項の数 8 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2007-231170 (P2007-231170)	(73) 特許権者	000004226
(22) 出願日	平成19年9月6日(2007.9.6)		日本電信電話株式会社
(65) 公開番号	特開2009-64940 (P2009-64940A)		東京都千代田区大手町二丁目3番1号
(43) 公開日	平成21年3月26日(2009.3.26)	(74) 代理人	100078499
審査請求日	平成21年7月16日(2009.7.16)		弁理士 光石 俊郎
		(74) 代理人	100102945
			弁理士 田中 康幸
		(74) 代理人	100120673
			弁理士 松元 洋
		(72) 発明者	黒河 賢二
			東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日 本電信電話株式会社内
		(72) 発明者	山本 貴司
			東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日 本電信電話株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 パルス光発生装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

出力波長が1 μm帯にあると共に繰返しがGHz以上のパルス光を出射する、能動モード同期ファイバレーザ又は波長可変能動モード同期ファイバレーザからなるパルス光源と

前記パルス光源からのパルス光を光増幅する光増幅器と、

前記光増幅器で増幅したパルス光を入射する、レーザ出力波長において波長分散が正常分散である又は波長分散が正常分散であると共にフラットな分散であるフォトニック結晶ファイバと、

前記フォトニック結晶ファイバからのパルス光を入射すると共に、波長選択を行うことにより出射するパルス光の波長可変を行う波長選択素子と、

前記波長選択素子からのパルス光を光増幅する他の光増幅器と、

前記他の光増幅器で増幅したパルス光を入射する、増幅パルス光の波長において波長分散が正常分散である又は波長分散が正常分散であると共にフラットな分散である他のフォトニック結晶ファイバとを有し、

前記他のフォトニック結晶ファイバから広帯域高繰返しパルス光を出射することを特徴とするパルス光発生装置。

【請求項2】

出力波長が1 μm帯にあると共に繰返しがGHz以上のパルス光を出射する、能動モード同期ファイバレーザ又は波長可変能動モード同期ファイバレーザからなるパルス光源と

10

20

前記パルス光源からのパルス光を光増幅する光増幅器と、
 前記光増幅器で増幅したパルス光を入射する、レーザ出力波長において波長分散が正常分散である又は波長分散が正常分散であると共にフラットな分散であるフォトニック結晶ファイバと、

前記フォトニック結晶ファイバからのパルス光を入射すると共に、波長選択を行うことにより出射するパルス光の波長可変を行う波長選択素子と、

前記フォトニック結晶ファイバの一端に挿入された広帯域な第1のサーキュレータと、
 前記フォトニック結晶ファイバの他端に挿入された広帯域な第2のサーキュレータと、
 前記波長選択素子からのパルス光を光増幅する他の光増幅器と、

前記他の光増幅器で増幅したパルス光を前記第2のサーキュレータに入射する光接続線とを有し、

前記第2のサーキュレータは、前記他の光増幅器で増幅したパルス光を前記フォトニック結晶ファイバに再度入射すると共に、

前記第1のサーキュレータは、前記フォトニック結晶ファイバに再度入射され、広帯域高線返しパルス光となったパルス光を取り出して、出射することを特徴とするパルス光発生装置。

【請求項3】

請求項1又は請求項2に記載のパルス光発生装置において、

前記波長選択素子からのパルス光を入射し、チャープ補償を行って、前記他の光増幅器へ出射する、チャープ補償装置を更に有することを特徴とするパルス光発生装置。

【請求項4】

出力波長が1 μm 帯にあると共に線返しが高周波以上のパルス光を出射する、能動モード同期ファイバレーザ又は波長可変能動モード同期ファイバレーザからなるパルス光源と

前記パルス光源からのパルス光を光増幅する光増幅器と、

前記光増幅器で増幅したパルス光を入射する、レーザ出力波長において波長分散が正常分散である又は波長分散が正常分散であると共にフラットな分散であるフォトニック結晶ファイバと、

前記フォトニック結晶ファイバからのパルス光を入射する、波長分離を行う波長分離装置と、

前記波長分離装置からの多波長のパルス光のうち一番長波長側のパルス光及び一番短波長側のパルス光を光増幅する2つの他の光増幅器と、

前記2つの他の光増幅器で増幅したパルス光を各々入射する、増幅パルス光の波長において波長分散が正常分散である又は波長分散が正常分散であると共にフラットな分散である2つの他のフォトニック結晶ファイバとを有し、

前記2つの他のフォトニック結晶ファイバから広帯域高線返しパルス光を各々出射することを特徴とするパルス光発生装置。

【請求項5】

請求項4に記載のパルス光発生装置において、

前記波長分離装置からのパルス光を入射し、チャープ補償を行って、前記2つの他の光増幅器へ出射する、チャープ補償装置を更に有することを特徴とするパルス光発生装置。

【請求項6】

出力波長が1 μm 帯にあると共に線返しが高周波以上のパルス光を出射する、能動モード同期ファイバレーザ又は波長可変能動モード同期ファイバレーザからなるパルス光源と

前記パルス光源からのパルス光を光増幅する光増幅器と、

前記光増幅器で増幅したパルス光を入射する、レーザ出力波長において波長分散が正常分散である又は波長分散が正常分散であると共にフラットな分散であるフォトニック結晶ファイバと、

10

20

30

40

50

前記フォトニック結晶ファイバからのパルス光を入射する、波長分離を行う波長分離装置と、

前記波長分離装置からの多波長のパルス光のうち一番長波長側のパルス光と一番短波長側のパルス光とを合波する合波器と、

前記合波器で合波された2波長のパルス光を一括で光増幅する他の光増幅器と、

前記他の光増幅器で増幅したパルス光を入射する、増幅パルス光の波長において波長分散が正常分散である又は波長分散が正常分散であると共にフラットな分散である他のフォトニック結晶ファイバとを有し、

前記他のフォトニック結晶ファイバから広帯域高繰返しパルス光を出射することを特徴とするパルス光発生装置。

10

【請求項7】

出力波長が1 μm帯にあると共に繰返しがGHz以上のパルス光を出射する、能動モード同期ファイバレーザ又は波長可変能動モード同期ファイバレーザからなるパルス光源と

前記パルス光源からのパルス光を光増幅する光増幅器と、

前記光増幅器で増幅したパルス光を入射する、レーザ出力波長において波長分散が正常分散である又は波長分散が正常分散であると共にフラットな分散であるフォトニック結晶ファイバと、

前記フォトニック結晶ファイバからのパルス光を入射する、波長分離を行う波長分離装置と、

20

前記フォトニック結晶ファイバの一端に挿入された広帯域な第1のサーキュレータと、

前記フォトニック結晶ファイバの他端に挿入された広帯域な第2のサーキュレータと、

前記波長分離装置からの多波長のパルス光のうち一番長波長側のパルス光と一番短波長側のパルス光とを合波する合波器と、

前記合波器で合波された2波長のパルス光を一括で光増幅する他の光増幅器と、

前記他の光増幅器で増幅したパルス光を前記第2のサーキュレータに入射する光接続線とを有し、

前記第2のサーキュレータは、前記他の光増幅器で増幅したパルス光を前記フォトニック結晶ファイバに再度入射すると共に、

前記第1のサーキュレータは、前記フォトニック結晶ファイバに再度入射され、広帯域高繰返しパルス光となったパルス光を取り出して、出射することを特徴とするパルス光発生装置。

30

【請求項8】

請求項6又は請求項7に記載のパルス光発生装置において、

前記波長分離装置からのパルス光を入射し、チャープ補償を行って、前記合波器へ出射する、チャープ補償装置を更に有することを特徴とするパルス光発生装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、高速光通信用高繰返しパルス光源として使用するパルス光発生装置に関する。

40

【背景技術】

【0002】

光通信容量の増大に向けて、新しい通信波長域である1 μm帯を用いた光伝送が報告されている(非特許文献1)。これまで、波長1 μm帯における通信用光源としては、DFB(Distributed Feedback)ファイバレーザ(非特許文献1参照)、DFBLD(Distributed feedback laser diode)などのCW(Continuous Wave)光源、能動モード同期ファイバレーザ(非特許文献2)等があった。

【0003】

【非特許文献1】K. Tsujikawa et al., "Penalty-free 10Gb/s transmission in 1.0 μm

50

and over 24 km low loss PCF", Technical Digest of European Conference on Optical Communication (ECOC2005), paper Tu4.4.2, 2005

【非特許文献2】K. Kurokawa et al., "10 GHz 0.5 ps pulse generation in 1000nm band in PCF for high speed optical communication", Technical Digest of Optical Fiber Communications Conference (OFC2006), paper PDP5, 2006

【非特許文献3】D. Mogilevtsev et al., "Group-velocity dispersion in photonic fibers", Optics Letters Vol. 23, pp.1662-1664, 1998

【非特許文献4】K. Mori et al., "Flatly broadened supercontinuum spectrum generated in a dispersion decreasing fibre with convex dispersion profile", Electronics Letters, vol. 33, pp1806-1808, 1997

【非特許文献5】J. P. Gordon, "Theory of the soliton self-frequency shift", Optics Letters, vol. 11, pp.662-664, 1986

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

これらのレーザは、いずれも単一波長で発振するため、WDM (Wavelength Division Multiplexing) 伝送を行うためには、複数の異なる波長のレーザを用意する必要があった。又、波長 1 μm 帯における GHz 以上の高繰返しの能動モード同期ファイバレーザの出力パルス幅は、10 ps 前後 (非特許文献2 参照) と比較的パルス幅が広いので、40 Gb/s 以上の IM/DD 高速光伝送には適用できない、という欠点があった。

【0005】

本発明は上記課題に鑑みなされたもので、波長 1 μm 帯における WDM 伝送用広帯域光源となると共に、40 Gb/s 以上の高速伝送用パルス光源となるパルス光発生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】

【0010】

上記課題を解決する第1の発明に係るパルス光発生装置は、

出力波長が 1 μm 帯にあると共に繰返しが GHz 以上のパルス光を出射する、能動モード同期ファイバレーザ又は波長可変能動モード同期ファイバレーザからなるパルス光源と

前記パルス光源からのパルス光を光増幅する光増幅器と、

前記光増幅器で増幅したパルス光を入射する、レーザ出力波長において波長分散が正常分散である又は波長分散が正常分散であると共にフラットな分散であるフォトニック結晶ファイバと、

前記フォトニック結晶ファイバからのパルス光を入射すると共に、波長選択を行うことにより出射するパルス光の波長可変を行う波長選択素子と、

前記波長選択素子からのパルス光を光増幅する他の光増幅器と、

前記他の光増幅器で増幅したパルス光を入射する、増幅パルス光の波長において波長分散が正常分散である又は波長分散が正常分散であると共にフラットな分散である他のフォトニック結晶ファイバとを有し、

前記他のフォトニック結晶ファイバから広帯域高繰返しパルス光を出射することを特徴とする。

【0011】

上記課題を解決する第2の発明に係るパルス光発生装置は、

出力波長が 1 μm 帯にあると共に繰返しが GHz 以上のパルス光を出射する、能動モード同期ファイバレーザ又は波長可変能動モード同期ファイバレーザからなるパルス光源と

前記パルス光源からのパルス光を光増幅する光増幅器と、

前記光増幅器で増幅したパルス光を入射する、レーザ出力波長において波長分散が正常分散である又は波長分散が正常分散であると共にフラットな分散であるフォトニック結晶

10

20

30

40

50

ファイバと、

前記フォトニック結晶ファイバからのパルス光を入射すると共に、波長選択を行うことにより出射するパルス光の波長可変を行う波長選択素子と、

前記フォトニック結晶ファイバの一端に挿入された広帯域な第1のサーキュレータと、
前記フォトニック結晶ファイバの他端に挿入された広帯域な第2のサーキュレータと、
前記波長選択素子からのパルス光を光増幅する他の光増幅器と、

前記他の光増幅器で増幅したパルス光を前記第2のサーキュレータに入射する光接続線とを有し、

前記第2のサーキュレータは、前記他の光増幅器で増幅したパルス光を前記フォトニック結晶ファイバに再度入射すると共に、

前記第1のサーキュレータは、前記フォトニック結晶ファイバに再度入射され、広帯域高繰返しパルス光となったパルス光を取り出して、出射することを特徴とする。

上記課題を解決する第3の発明に係るパルス光発生装置は、

上記第1又は第2の発明に記載のパルス光発生装置において、

前記波長選択素子からのパルス光を入射し、チャープ補償を行って、前記他の光増幅器へ出射する、チャープ補償装置を更に有することを特徴とする。

【0012】

上記課題を解決する第4の発明に係るパルス光発生装置は、

出力波長が1 μm帯にあると共に繰返しがGHz以上のパルス光を出射する、能動モード同期ファイバレーザ又は波長可変能動モード同期ファイバレーザからなるパルス光源と

、

前記パルス光源からのパルス光を光増幅する光増幅器と、

前記光増幅器で増幅したパルス光を入射する、レーザ出力波長において波長分散が正常分散である又は波長分散が正常分散であると共にフラットな分散であるフォトニック結晶ファイバと、

前記フォトニック結晶ファイバからのパルス光を入射する、波長分離を行う波長分離装置と、

前記波長分離装置からの多波長のパルス光のうち一番長波長側のパルス光及び一番短波長側のパルス光を光増幅する2つの他の光増幅器と、

前記2つの他の光増幅器で増幅したパルス光を各々入射する、増幅パルス光の波長において波長分散が正常分散である又は波長分散が正常分散であると共にフラットな分散である2つの他のフォトニック結晶ファイバとを有し、

前記2つの他のフォトニック結晶ファイバから広帯域高繰返しパルス光を各々出射することを特徴とする。

上記課題を解決する第5の発明に係るパルス光発生装置は、

上記第4の発明に記載のパルス光発生装置において、

前記波長分離装置からのパルス光を入射し、チャープ補償を行って、前記2つの他の光増幅器へ出射する、チャープ補償装置を更に有することを特徴とする。

【0013】

上記課題を解決する第6の発明に係るパルス光発生装置は、

出力波長が1 μm帯にあると共に繰返しがGHz以上のパルス光を出射する、能動モード同期ファイバレーザ又は波長可変能動モード同期ファイバレーザからなるパルス光源と

、

前記パルス光源からのパルス光を光増幅する光増幅器と、

前記光増幅器で増幅したパルス光を入射する、レーザ出力波長において波長分散が正常分散である又は波長分散が正常分散であると共にフラットな分散であるフォトニック結晶ファイバと、

前記フォトニック結晶ファイバからのパルス光を入射する、波長分離を行う波長分離装置と、

前記波長分離装置からの多波長のパルス光のうち一番長波長側のパルス光と一番短波長

10

20

30

40

50

側のパルス光とを合波する合波器と、

前記合波器で合波された2波長のパルス光を一括で光増幅する他の光増幅器と、

前記他の光増幅器で増幅したパルス光を入射する、増幅パルス光の波長において波長分散が正常分散である又は波長分散が正常分散であると共にフラットな分散である他のフォトニック結晶ファイバとを有し、

前記他のフォトニック結晶ファイバから広帯域高繰返しパルス光を出射することを特徴とする。

【0014】

上記課題を解決する第7の発明に係るパルス光発生装置は、

出力波長が1 μm帯にあると共に繰返しがGHz以上のパルス光を出射する、能動モード同期ファイバレーザ又は波長可変能動モード同期ファイバレーザからなるパルス光源と

10

前記パルス光源からのパルス光を光増幅する光増幅器と、

前記光増幅器で増幅したパルス光を入射する、レーザ出力波長において波長分散が正常分散である又は波長分散が正常分散であると共にフラットな分散であるフォトニック結晶ファイバと、

前記フォトニック結晶ファイバからのパルス光を入射する、波長分離を行う波長分離装置と、

前記フォトニック結晶ファイバの一端に挿入された広帯域な第1のサーキュレータと、
前記フォトニック結晶ファイバの他端に挿入された広帯域な第2のサーキュレータと、
前記波長分離装置からの多波長のパルス光のうち一番長波長側のパルス光と一番短波長側のパルス光とを合波する合波器と、

20

前記合波器で合波された2波長のパルス光を一括で光増幅する他の光増幅器と、

前記他の光増幅器で増幅したパルス光を前記第2のサーキュレータに入射する光接続線とを有し、

前記第2のサーキュレータは、前記他の光増幅器で増幅したパルス光を前記フォトニック結晶ファイバに再度入射すると共に、

前記第1のサーキュレータは、前記フォトニック結晶ファイバに再度入射され、広帯域高繰返しパルス光となったパルス光を取り出して、出射することを特徴とする。

上記課題を解決する第8の発明に係るパルス光発生装置は、

30

上記第6又は第7の発明に記載のパルス光発生装置において、

前記波長分離装置からのパルス光を入射し、チャープ補償を行って、前記合波器へ出射する、チャープ補償装置を更に有することを特徴とする。

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、波長1 μm帯を中心とした波長帯域において、GHz以上の広帯域高繰返しパルス光源を提供することができる。

【0017】

又、波長可変バンドパスフィルタなどの波長選択素子を更に用いる場合には、入力パルスよりもパルス幅の狭い短パルスを得ることができるため、高繰返しの波長可変短パルス光源を提供することができる。

40

【0018】

又、AWGなどの波長分離装置を更に用いる場合には、WDM伝送用光源を提供できるとともに、上記波長可変バンドパスフィルタなどの波長選択素子の場合と同様に波長分離により、短パルス化を図ることができ、高繰返しの多波長短パルス光源を提供することができる。

【0019】

又、フォトニック結晶ファイバの両端にサーキュレータを挿入する場合には、1回目の広帯域化に伴う短パルス化により、入力パルスの高ピークパワー化を図ることができるので、2回目の広帯域化を実施することにより、更に広帯域化したパルス光源を提供するこ

50

とができる。又、1回目の広帯域化に伴う短パルス化により、異なる方式のパルス圧縮方式や広帯域光発生方法が適用可能となり、それらを用いて、より広帯域な光源やより短パルス化した短パルス光源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】

【0021】

以下、本発明に係るパルス光発生装置の実施形態について、図面を参照しながら説明する。

【実施例1】

【0022】

図1は、本発明に係るパルス光発生装置の実施形態の一例を示す概略構成図である。

10

図1に示すように、本実施例のパルス光発生装置は、出力波長が1 μ m帯にあると共に繰返しGHz以上のパルス光を出射するパルス光源1と、パルス光源1からのパルス光を光増幅する光増幅器2と、光増幅器2で増幅したパルス光を入射するフォトニック結晶ファイバ3（以降、PCFと略す）とを有し、PCF3から広帯域高繰返しパルス光を出射するものである。

【0023】

パルス光源1は、出力波長が1 μ m帯にある能動モード同期ファイバレーザ又は波長可変能動モード同期ファイバレーザからなり、繰返しGHz以上のパルス光を出射するものである。又、光増幅器2は、高出力Yb（イッテルビウム）ドープ光ファイバからなり、PCF3は、レーザ出力波長において波長分散が正常分散である又は波長分散が正常分散であると共にフラットな分散であるものである。

20

【0024】

現在のところ、上記能動モード同期ファイバレーザからの出力パルスのパルス幅（半全幅）は10ps前後であるが、図1に示すように、この出力光を上記光増幅器2で増幅した後、上記PCF3に入射することにより、自己位相変調効果（SPM）によるスペクトル拡大を誘発し、広帯域な高繰返しパルス光を発生することができる。このとき、PCF3の入力波長における分散値がプラスの値（異常分散）である場合やマイナスの値（正常分散）ではあるが絶対値が0に近い値の場合には、それぞれ変調不安定や四光波混合といった光非線形効果により、RZ変調時のアイ開口が劣化するため、高速通信用光源として不向きになるという問題が発生する。又、正常分散でも分散値の絶対値が大きすぎる場合にも、SPMによるスペクトル拡大効果が減少するという問題点がある。従って、正常分散でかつ分散値の絶対値を適切な値に設定することが望ましい。例えば、10ps程度の入力パルス幅であれば、正常分散で絶対値が数ps/nm/km程度が望ましい。又、分散スロープについてはできるだけ小さい方が望ましい。なお、PCFの分散値及び分散スロープについては、孔径及び孔間隔を適切な値に設定することにより制御することができる（非特許文献3）。

30

【実施例2】

【0025】

図2、図3は、本発明に係るパルス光発生装置の実施形態の他の一例を示す概略構成図である。なお、図2、図3において、図1に示すパルス光発生装置と同等の構成には同じ符号を付し、重複する説明は省略する。

40

【0026】

図2に示すように、本実施例のパルス光発生装置は、図1（実施例1）に示すパルス光発生装置に、波長選択を行う波長選択素子5を更に設け、PCF3からのパルス光を波長選択素子5に入射し、波長選択素子5から波長可変高繰返し短パルス光を出射するようにしたものである。更に、図3に示すように、チャープ補償を行うチャープ補償装置6を更に設け、波長選択素子5からのパルス光をチャープ補償装置6に入射するようにしてもよい。

【0027】

図1（実施例1）に示すパルス光発生装置で発生した広帯域光を、図2に示すように、

50

波長可変バンドパスフィルタなどの波長選択素子5に通すことにより、更には、図3に示すように、必要に応じてチャープ補償装置6を使用してチャープ補償することにより、入力パルス光よりもパルス幅の狭い短パルス光を得ることができる。チャープ補償装置6としては、分散補償ファイバやFBGを用いたものや位相変調器を用いたものなどが考えられる。

【0028】

例えば、入力波長1080nm、繰返し10GHz、入力パルス幅10.5ps、入力波長における分散値が -3.7ps/nm/km の長さ1kmのPCF、平均入力パワー730mWの条件における出力光を半値幅約1nmの波長可変バンドパスフィルタにより切り出した波長1086nmの光のパルス幅は約2psとなる。このように、適切なスペクトル幅のバンドパスフィルタを用い、図1(実施例1)に示すパルス光発生装置で発生させた広帯域光をフィルタリングすることにより、約10psから約2psへのパルス圧縮を実現することができる。この圧縮パルスを用い、時間多重装置により時間多重化することにより、160Gb/sクラスの高速度IM/DD伝送用光源を実現できることになる。

10

【実施例3】

【0029】

図4は、本発明に係るパルス光発生装置の実施形態の他の一例を示す概略構成図である。なお、図4において、図1~図3に示すパルス光発生装置と同等の構成には同じ符号を付し、重複する説明は省略する。

20

【0030】

図4に示すように、本実施例のパルス光発生装置は、図1(実施例1)に示すパルス光発生装置に、波長分離を行う波長分離装置7を更に設け、PCF3からのパルス光を波長分離装置7に入射し、波長分離装置7から多波長高繰返し短パルス光を出射するようにしたものである。更に、波長分離装置7で分離された各波長のパルス光に対し、チャープ補償を行うチャープ補償装置6を更に各々設け、波長分離装置7で分離された各パルス光をチャープ補償装置6に各々入射するようにしてもよい。

【0031】

図1(実施例1)に示すパルス光発生装置で発生した広帯域光を、図4に示すように、AWG(Arrayed Waveguide grating)などの波長分離装置7に通すことにより、更には、必要に応じてチャープ補償装置6を使用することにより、WDM伝送に適した多波長高繰返し短パルス光を発生することもできる。

30

【実施例4】

【0032】

図5は、本発明に係るパルス光発生装置の実施形態の他の一例を示す概略構成図である。なお、図5において、図1~図4に示すパルス光発生装置と同等の構成には同じ符号を付し、重複する説明は省略する。

【0033】

図4(実施例3)に示すパルス光発生装置では、波長分離装置7として使用されるAWGフィルタの各チャンネルのスペクトル幅を適切に設定することにより、出力パルスの短パルス化を図ることができる。具体的には、図5に示すように、図4(実施例3)に示すパルス光発生装置に、波長分離装置7又はチャープ補償装置6からの多波長のパルス光を各々時間多重化する時間多重化装置8と、時間多重化装置8で時間多重化されたパルス光を合波する合波器9とを更に設け、AWG出力を光領域で時間多重化することにより、OTDM(Optical time division multiplexing)-WDM伝送用光源として使用することができる。このように、大容量高速光伝送のための光源を実現することができる。もちろん、時間多重化装置8を用いずに、単純にWDM伝送用光源として用いることもできる。

40

【実施例5】

【0034】

図6は、本発明に係るパルス光発生装置の実施形態の他の一例を示す概略構成図である

50

。なお、図6において、図1～図5に示すパルス光発生装置と同等の構成には同じ符号を付し、重複する説明は省略する。

【0035】

図2～3（実施例2）に示すパルス光発生装置では、入力パルスよりもパルス幅の狭い短パルス光が得られることから、同じ飽和出力の光増幅器を用いた場合、パルス幅が狭くなった分増幅後のパルス光のピークパワーがより高くなるので、これを、PCFへの入力光とすることでさらなる広帯域化を図ることができる。

【0036】

具体的には、本実施例のパルス光発生装置は、図6に示すように、図2～3（実施例2）に示すパルス光発生装置に、波長選択素子5又はチャープ補償装置6からのパルス光を光増幅する他の光増幅器10と、増幅パルス光の波長において波長分散が正常分散である又は波長分散が正常分散であると共にフラットな分散である他のPCF11とを更に設け、光増幅器10からのパルス光をPCF11に入射し、PCF11から更に広帯域化した波長可変高繰返し短パルス光を出射するようにしたものである。

【0037】

図6に示すように、図2～3（実施例2）に示すパルス光発生装置で発生したパルス光を、光増幅器10で光増幅した後、PCF11に入力することにより、図1（実施例1）に示すパルス光発生装置で発生したパルス光よりもより広帯域な高繰返しパルス光を発生することができる。このとき、PCF11は、PCF11への入力パルスの波長やパルス幅に応じて、分散値や長さなどのパラメータを最適化したものを用いることが最も望ましいが、図1（実施例1）に示すパルス光発生装置よりもより広帯域な出力を得るという観点からは、PCF11として、PCF3と同じ種類のもの又は全く同じPCF3でもよい。

【0038】

なお、本実施例のパルス光発生装置で発生した広帯域光に、図3～5に示すような波長選択素子5又は波長分離装置7を用いることにより、短パルス光源、OTDM用光源、WDM用光源、OTDM-WDM用光源として提供することができる。

【実施例6】

【0039】

図7は、本発明に係るパルス光発生装置の実施形態の他の一例を示す概略構成図である。なお、図7において、図1～図6に示すパルス光発生装置と同等の構成には同じ符号を付し、重複する説明は省略する。

【0040】

本実施例のパルス光発生装置は、図7に示すように、図2～3（実施例2）に示すパルス光発生装置において、PCF3の一端に挿入された広帯域な第1のサーキュレータ12と、PCF3の他端に挿入された広帯域な第2のサーキュレータ13と、波長選択素子5又はチャープ補償装置6からのパルス光を光増幅する他の光増幅器10と、光増幅器10で増幅したパルス光をサーキュレータ13に入射する光接続線4とを更に設けたものであり、サーキュレータ13は、光増幅器10で増幅したパルス光をPCF3に再度入射しており、サーキュレータ12は、PCF3に再度入射され、広帯域高繰返しパルス光となったパルス光を取り出して、出射している。

【0041】

つまり、本実施例のパルス光発生装置は、図6（実施例5）に示すパルス光発生装置において、PCF11として、同一のPCF3を用いる構成としたものである。ここでは、光増幅器10で増幅されたパルス光を、サーキュレータ13を用いてPCF3に再度入射し、PCF3で広帯域光を発生させ、サーキュレータ12を用いて発生した広帯域光を取り出している。使用するサーキュレータ12、13は、広帯域光よりも帯域の広いものを用いる必要がある。

【0042】

なお、本実施例のパルス光発生装置で発生した広帯域光に、図3～5に示すような波長

選択素子 5 又は波長分離装置 7 を用いることにより、短パルス光源、OTDM 用光源、WDM 用光源、OTDM-WDM 用光源として提供することができる。

【実施例 7】

【0043】

図 8 は、本発明に係るパルス光発生装置の実施形態の他の一例を示す概略構成図である。なお、図 8 において、図 1 ~ 図 7 に示すパルス光発生装置と同等の構成には同じ符号を付し、重複する説明は省略する。

【0044】

図 4 (実施例 3) に示すパルス光発生装置からの出力の内、一番長波長側のチャンネル及び一番短波長側チャンネルの出力を用いて、更に広帯域なパルス光を発生することができる。具体的には、本実施例のパルス光発生装置は、図 8 に示すように、図 4 (実施例 3) に示すパルス光発生装置に、波長分離装置 7 又はチャープ補償装置 6 からの多波長のパルス光のうち一番長波長側のパルス光及び一番短波長側のパルス光を光増幅する 2 つの他の光増幅器 10 と、2 つの光増幅器 10 で増幅したパルス光を各々入射する 2 つの他の PCF 14、15 とを更に設け、2 つの PCF 14、15 から広帯域高繰返しパルス光を各々出射するようにしたものである。

【0045】

PCF 14、15 は、各々への入力パルス特性に合わせて最適なものを用いることが最も望ましいが、PCF 3 と同じ特性、例えば、増幅パルス光の波長において波長分散が正常分散である又は波長分散が正常分散であると共にフラットな分散であるものを用いてもよい。

【0046】

なお、本実施例のパルス光発生装置で発生した広帯域光に、図 3 ~ 5 に示すような波長選択素子 5 又は波長分離装置 7 を用いることにより、短パルス光源、OTDM 用光源、WDM 用光源、OTDM-WDM 用光源として提供することができる。

【実施例 8】

【0047】

図 9 は、本発明に係るパルス光発生装置の実施形態の他の一例を示す概略構成図である。なお、図 9 において、図 1 ~ 図 8 に示すパルス光発生装置と同等の構成には同じ符号を付し、重複する説明は省略する。

【0048】

図 9 に示す本実施例のパルス光発生装置を用いても更に広帯域なパルス光を発生することができる。具体的には、本実施例のパルス光発生装置は、図 9 に示すように、図 4 (実施例 3) に示すパルス光発生装置に、波長分離装置 7 又はチャープ補償装置 6 からの多波長のパルス光のうち一番長波長側のパルス光と一番短波長側のパルス光とを合波する合波器 16 と、合波器 16 で合波された 2 波長のパルス光を一括で光増幅する他の光増幅器 10 と、光増幅器 10 で増幅したパルス光を入射する他の PCF 17 とを更に設け、PCF 17 から広帯域高繰返しパルス光を出射するようにしたものである。

【0049】

PCF 17 は、入力する 2 波長のパルス光の特性に合わせて最適なものを用いることが最も望ましいが、PCF 3 と同じ特性、例えば、増幅パルス光の波長において波長分散が正常分散である又は波長分散が正常分散であると共にフラットな分散であるものを用いてもよい。

【0050】

なお、本実施例のパルス光発生装置で発生した広帯域光に、図 3 ~ 5 に示すような波長選択素子 5 又は波長分離装置 7 を用いることにより、短パルス光源、OTDM 用光源、WDM 用光源、OTDM-WDM 用光源として提供することができる。

【実施例 9】

【0051】

図 10 は、本発明に係るパルス光発生装置の実施形態の他の一例を示す概略構成図であ

10

20

30

40

50

る。なお、図10において、図1～図9に示すパルス光発生装置と同等の構成には同じ符号を付し、重複する説明は省略する。

【0052】

図9（実施例8）に示すパルス光発生装置において、PCF17として、同一のPCF3を用いる構成とする場合、サーキュレータを用いた構成にすればよい。具体的には、本実施例のパルス光発生装置は、図10に示すように、図4（実施例3）に示すパルス光発生装置において、PCF3の一端に挿入された広帯域な第1のサーキュレータ12と、PCF3の他端に挿入された広帯域な第2のサーキュレータ13と、波長分離装置7又はチャープ補償装置6からの多波長のパルス光のうち一番長波長側のパルス光と一番短波長側のパルス光とを合波する合波器16と、合波器16で合波された2波長のパルス光を一括

10

【0053】

なお、本実施例のパルス光発生装置で発生した広帯域光に、図3～5に示すような波長選択素子5又は波長分離装置7を用いることにより、短パルス光源、OTDM用光源、WDM用光源、OTDM-WDM用光源として提供することができる。

【実施例10】

20

【0054】

図11は、本発明に係るパルス光発生装置の実施形態の他の一例を示す概略構成図である。なお、図11において、図1～図10に示すパルス光発生装置と同等の構成には同じ符号を付し、重複する説明は省略する。

【0055】

図9（実施例8）に示すパルス光発生装置において、波長分離装置7としてFBG（Fiber Bragg Grating）を用いることもできる。具体的には、本実施例のパルス光発生装置は、図11に示すように、図9（実施例8）に示すパルス光発生装置における波長分離装置7、チャープ補償装置6、合波器16の代わりに、サーキュレータ18、FBG20、21を設けている。ここでは、PCF3からの広帯域光のうち最も長波長側の成分をFBG20により反射し、最も短波長側の成分をFBG21によって反射し、サーキュレータ18により、この2波長のパルス光を光増幅器10へ導き、増幅後PCF17に入射して、広帯域光を発生している。PCF3からの広帯域光のうち、FBG20、21で反射された以外の成分は、そのままFBG20、21を通過するので、こちらも広帯域光として使用できる。

30

【0056】

PCF17は、入力する2波長のパルス光の特性に合わせて最適なものを用いることが最も望ましいが、PCF3と同じ特性、例えば、増幅パルス光の波長において波長分散が正常分散である又は波長分散が正常分散であると共にフラットな分散であるものを用いてもよい。

40

【0057】

なお、本実施例のパルス光発生装置で発生した広帯域光に、図3～5に示すような波長選択素子5又は波長分離装置7を用いることにより、短パルス光源、OTDM用光源、WDM用光源、OTDM-WDM用光源として提供することができる。

【実施例11】

【0058】

図12は、本発明に係るパルス光発生装置の実施形態の他の一例を示す概略構成図である。なお、図12において、図1～図11に示すパルス光発生装置と同等の構成には同じ符号を付し、重複する説明は省略する。

【0059】

50

図10(実施例9)に示すパルス光発生装置においても、波長分離装置7としてFBGを用いることもできる。これは、図11(実施例10)に示すパルス光発生装置において、PCF17として、同一のPCF3を用いる構成とする場合であり、サーキュレータを用いた構成にすればよい。具体的には、本実施例のパルス光発生装置は、図12に示すように、図10(実施例9)に示すパルス光発生装置における波長分離装置7、チャープ補償装置6、合波器16の代わりに、サーキュレータ18、FBG20、21を設けている。

【0060】

なお、本実施例のパルス光発生装置で発生した広帯域光に、図3~5に示すような波長選択素子5又は波長分離装置7を用いることにより、短パルス光源、OTDM用光源、WDM用光源、OTDM-WDM用光源として提供することができる。

10

【実施例12】

【0061】

図13は、本発明に係るパルス光発生装置の実施形態の他の一例を示す概略構成図である。なお、図13において、図1~図12に示すパルス光発生装置と同等の構成には同じ符号を付し、重複する説明は省略する。

【0062】

図2、3(実施例2)に示すパルス光発生装置では、パルス幅が2~3ps程度の短パルスが得られることから、図13に示すように、分散減少PCFを用いて広帯域光を発生することができる。具体的には、本実施例のパルス光発生装置は、図13に示すように、図2、3(実施例2)に示すパルス光発生装置に、パルス光の入力パワーを調整する入力パワー調整装置22と、分散減少PCF23とを更に設けたものである。

20

【0063】

又、入力パワー調整装置22としては、光増幅器と光減衰器の組み合わせ又は光増幅器のみ又は光減衰器のみを用いることができ、分散減少PCFへ23の入力パワーは、これらにより調節することができる。なお、波長1550nm帯において、分散減少ファイバを用いて広帯域光を発生させることは可能である(非特許文献4)。

【実施例13】

【0064】

図14は、本発明に係るパルス光発生装置の実施形態の他の一例を示す概略構成図である。なお、図14において、図1~図13に示すパルス光発生装置と同等の構成には同じ符号を付し、重複する説明は省略する。

30

【0065】

図2、3(実施例2)に示すパルス光発生装置では、パルス幅が2~3ps程度の短パルスが得られることから、図14に示すように、ソリトン自己周波数シフト(SSFS: Soliton self-frequency shift; 非特許文献5)発生用PCFを用いて、波長可変短波パルス光を発生することができる。具体的には、本実施例のパルス光発生装置は、図14に示すように、図2、3(実施例2)に示すパルス光発生装置に、入力パワー調整装置22と、SSFS発生用PCF24とを更に設けたものである。

【0066】

SSFS発生用PCF24としては、増幅光の波長において異常分散であるPCFを用いることができる。又、入力パワー調整装置22としては、光増幅器と光減衰器の組み合わせ又は光増幅器のみ又は光減衰器のみを用いることができ、SSFS発生用PCF24への入力パワーの最適化は、これらにより調節することができる。

40

【0067】

なお、以上述べてきた各実施例において、能動モード同期ファイバレーザとして、波長可変のものを用いることにより、各実施例において発生する高繰返しパルス光の波長範囲を拡大することができる。

【産業上の利用可能性】

【0068】

50

本発明は、波長 1 μm 帯における WDM 伝送用広帯域光源となり、40 Gb/s 以上の高速伝送用パルス光源となるパルス光発生装置に好適なものである。

【図面の簡単な説明】

【0069】

【図1】本発明に係るパルス光発生装置の実施形態の一例（実施例1）を示す概略構成図である。

【図2】本発明に係るパルス光発生装置の実施形態の他の一例（実施例2）を示す概略構成図である。

【図3】本発明に係るパルス光発生装置の実施形態の他の一例（実施例2変形例）を示す概略構成図である。

【図4】本発明に係るパルス光発生装置の実施形態の他の一例（実施例3）を示す概略構成図である。

【図5】本発明に係るパルス光発生装置の実施形態の他の一例（実施例4）を示す概略構成図である。

【図6】本発明に係るパルス光発生装置の実施形態の他の一例（実施例5）を示す概略構成図である。

【図7】本発明に係るパルス光発生装置の実施形態の他の一例（実施例6）を示す概略構成図である。

【図8】本発明に係るパルス光発生装置の実施形態の他の一例（実施例7）を示す概略構成図である。

【図9】本発明に係るパルス光発生装置の実施形態の他の一例（実施例8）を示す概略構成図である。

【図10】本発明に係るパルス光発生装置の実施形態の他の一例（実施例9）を示す概略構成図である。

【図11】本発明に係るパルス光発生装置の実施形態の他の一例（実施例10）を示す概略構成図である。

【図12】本発明に係るパルス光発生装置の実施形態の他の一例（実施例11）を示す概略構成図である。

【図13】本発明に係るパルス光発生装置の実施形態の他の一例（実施例12）を示す概略構成図である。

【図14】本発明に係るパルス光発生装置の実施形態の他の一例（実施例13）を示す概略構成図である。

【符号の説明】

【0070】

- 1 パルス光源
- 2、10 光増幅器
- 3、11、14、15、17 PCF
- 5 波長選択素子
- 7 波長分離装置
- 8 時間多重化装置
- 12、13、18 サーキュレータ
- 16 合波器
- 20、21 FBG
- 22 入力パワー調整装置
- 23 分散減少PCF
- 24 SSFS発生用PCF

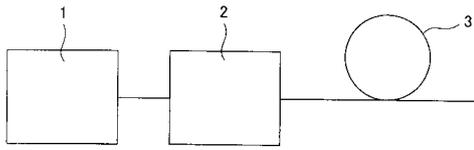
10

20

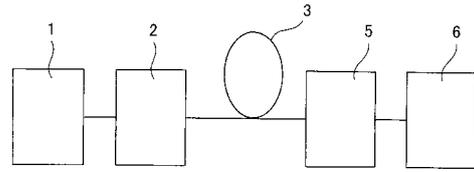
30

40

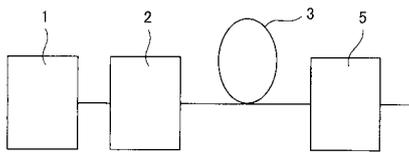
【図1】



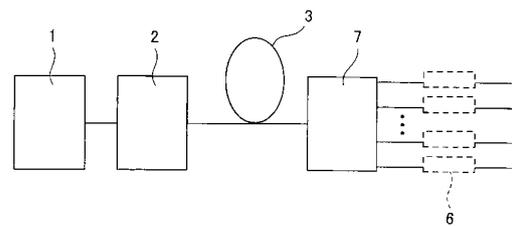
【図3】



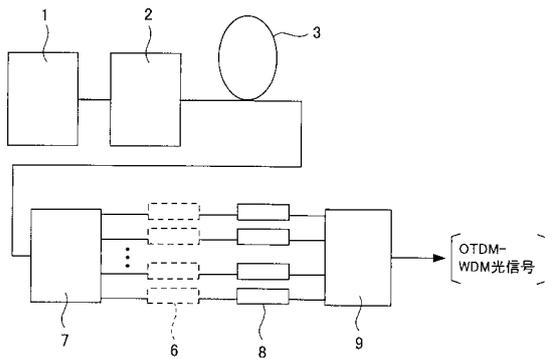
【図2】



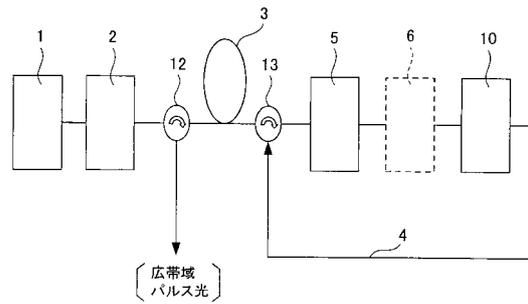
【図4】



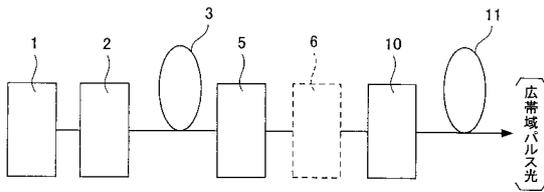
【図5】



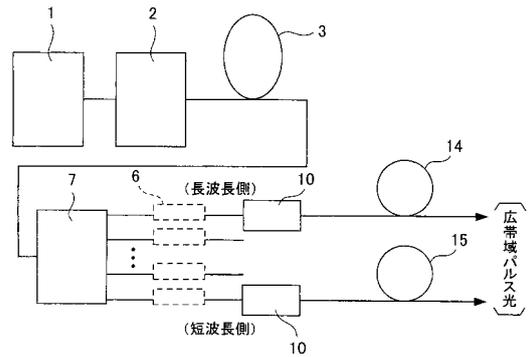
【図7】



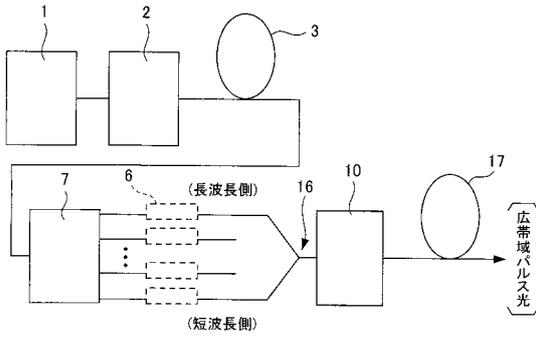
【図6】



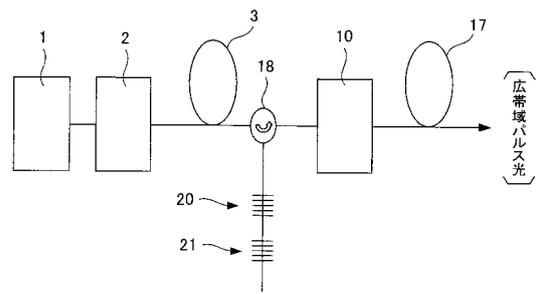
【図8】



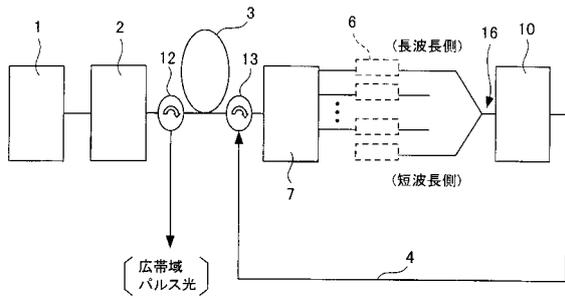
【図 9】



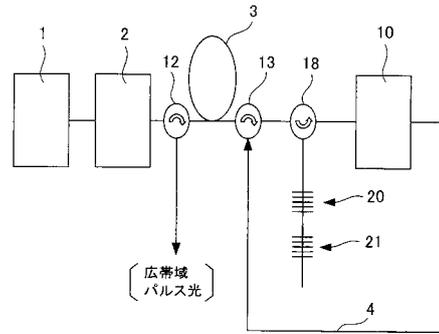
【図 11】



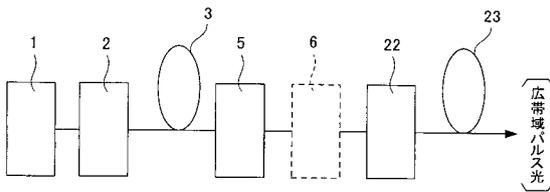
【図 10】



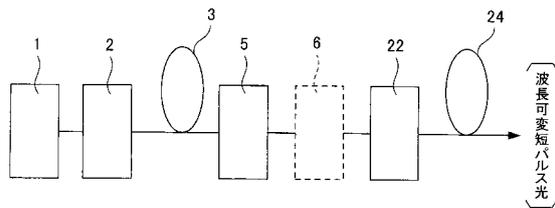
【図 12】



【図 13】



【図 14】



フロントページの続き

- (72)発明者 田嶋 克介
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 倉嶋 利雄
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

審査官 杉田 翠

- (56)参考文献 特開2004-193666(JP,A)
特開2001-249368(JP,A)
特開平09-244076(JP,A)
特開2001-188270(JP,A)
国際公開第2006/096333(WO,A1)
特開平09-236834(JP,A)
T. Schreiber et al., High average power supercontinuum generation in photonic crystal fibers, Optics Communications, 2003年12月, Volume 228, Issues 1-3, Pages 71-78
Y. Xu et al., ELECTRONICS LETTERS, Flatly broadened supercontinuum generation at 10 Gbit/s using dispersion flattened photonic crystal fibre with small normal dispersion, 2007年 1月18日, Vol. 43 No. 2, pp.87-88
Hyungsik Lim, Ultrahigh-resolution optical coherence tomography with a fiber laser source at 1 μm, Optics Letters, 2005年, Vol. 30, Issue 10, pp.1171-1173
Kenji Kurokawa et al., 10-GHz 0.5-ps Pulse Generation in 1000-nm Band in PCF for High-Speed Optical Communication, Journal of Lightwave Technology, 2007年, Vol. 25, Issue 1, pp.75-78

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02F1/29-7/00
H01S3/00-3/02
3/04-3/06
3/07-3/094
3/0943-3/0959
3/098-3/102
3/105-3/131
3/136-3/213
3/23-4/00
H04B10/00-10/142
10/152
10/16-10/20
10/22-10/28
H04J14/00-14/08
JSTPlus(JDream2)
Cinii