

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3844409号
(P3844409)

(45) 発行日 平成18年11月15日(2006.11.15)

(24) 登録日 平成18年8月25日(2006.8.25)

(51) Int. Cl.	F I	
GO2F 2/02 (2006.01)	GO2F 2/02	
GO2B 6/12 (2006.01)	GO2B 6/12	F
GO2B 6/293 (2006.01)	GO2B 6/28	B
GO2F 1/35 (2006.01)	GO2F 1/35	
HO1S 5/06 (2006.01)	HO1S 5/06	

請求項の数 5 (全 18 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願平11-65036	(73) 特許権者	000004226
(22) 出願日	平成11年3月11日(1999.3.11)		日本電信電話株式会社
(65) 公開番号	特開2000-298297(P2000-298297A)		東京都千代田区大手町二丁目3番1号
(43) 公開日	平成12年10月24日(2000.10.24)	(74) 代理人	100127683
審査請求日	平成13年1月30日(2001.1.30)		弁理士 根岸 裕一
審査番号	不服2004-295(P2004-295/J1)	(74) 代理人	100121670
審査請求日	平成16年1月5日(2004.1.5)		弁理士 入野 巧
(31) 優先権主張番号	特願平11-30195	(74) 代理人	100121669
(32) 優先日	平成11年2月8日(1999.2.8)		弁理士 本山 泰
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(72) 発明者	菊池 順裕
			東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日 本電信電話株式会社内
		(72) 発明者	柴田 泰夫
			東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日 本電信電話株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 多波長変換装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

波長多重信号光を入力して各波長の信号光に分波する第1のアレイ導波路回折格子型フィルタと、

前記第1のアレイ導波路回折格子型フィルタで分波された各波長の信号光と、外部から互いに異なる波長の制御光とをそれぞれを入力し、信号光により変調され、かつ、制御光波長に対応する波長の波長変換光を出力する複数の波長変換器と、

前記各波長変換器から出力された各波長の波長変換光を入力し、合波して波長多重信号光として出力する第2のアレイ導波路回折格子型フィルタとを備え、

前記制御光は、前記第1または第2のアレイ導波路回折格子型フィルタのいずれか一方を介して前記複数の波長変換器にそれぞれ入力される構成であって、前記波長多重信号光の入力ポート、前記波長変換された波長多重信号光の出力ポートとは、それぞれ異なるポートに入力し、分波された各波長の制御光が前記複数の波長変換器にそれぞれ入力される構成であることを特徴とする多波長変換装置。

【請求項2】

請求項1に記載の多波長変換装置において、

前記波長変換器は、信号光と制御光から四光波混合光を発生する非線形光学媒質を含み、四光波混合光を波長変換光として出力する構成であることを特徴とする多波長変換装置。

【請求項3】

10

20

請求項 1 に記載の多波長変換装置において、

前記波長変換器は、制御光の入力により利得飽和状態の半導体光増幅器に信号光を入力し、信号光により相補的に変調された制御光を波長変換光として出力する構成であり、かつ、前記制御光の入力ポートと、前記波長変換された波長多重信号光の出力ポートとを、それぞれ異なるアレイ導波路回折格子型フィルタに備えた構成であることを特徴とする多波長変換装置。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の多波長変換装置において、

前記波長変換器は、少なくとも一方のアーム導波路に半導体光増幅器を配置したマッハツェンダ干渉計型光変調器であり、一方のポートから制御光を入力し、一方のアーム導波路の半導体光増幅器に信号光を入力し、他方のポートから信号光により変調された制御光を波長変換光として出力する構成であり、かつ、前記制御光の入力ポートと、前記波長変換された波長多重信号光の出力ポートとを、それぞれ異なるアレイ導波路回折格子型フィルタに備えた構成であることを特徴とする多波長変換装置。

10

【請求項 5】

請求項 1 に記載の多波長変換装置において、

前記波長変換器は、非対称のスプリッタを用い、少なくとも一方のアーム導波路に半導体光増幅器を配置したマッハツェンダ干渉計型光変調器であり、一方のポートから制御光を入力し、他方のポートから信号光を入力するとともに信号光により変調された制御光を波長変換光として出力する構成であり、かつ、前記制御光の入力ポートと、前記波長変換された波長多重信号光の出力ポートとを、それぞれ異なるアレイ導波路回折格子型フィルタに備えた構成であることを特徴とする多波長変換装置。

20

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、波長多重信号光の各チャネルの波長を一括してそれぞれ他の波長に変換する多波長変換装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

複数チャネルの信号光を多重伝送する波長多重光伝送システムの伝送帯域は、光増幅器として用いるエルビウムドープ光ファイバ増幅器の増幅帯域を考慮して1.55 μm 帯 (1530 ~ 1560 nm) が主に用いられてきた。一方、日本で使用されている分散シフトファイバは、1.55 μm 帯の伝送帯域において波長間隔を狭めて伝送容量を増やそうとすると、非線形光学効果 (四光波混合) によるクロストークが問題になってくる。それを回避するために、1.55 μm 帯では不等間隔で波長多重伝送する方法が考えられている。また、近年1.58 μm 帯 (1570 ~ 1600 nm) で利得を有する光ファイバ増幅器が開発され、それに伴って1.58 μm 帯を用いることにより等間隔の波長多重伝送も可能になってきた。したがって、将来的には、1.55 μm 帯と1.58 μm 帯を含めた広帯域の波長多重ネットワークが可能になってきた。

30

【0003】

ここで重要となるのは、1.55 μm 帯の波長多重ネットワークと1.58 μm 帯の波長多重ネットワークとの相互接続、さらに不等間隔波長多重ネットワークと等間隔波長多重ネットワークとの相互接続である。例えば、1.55 μm 帯の不等間隔波長多重ネットワークと1.58 μm 帯の等間隔波長多重ネットワークとの相互接続、あるいは1.55 μm 帯の不等間隔波長多重ネットワークと分散シフトファイバを使用していない米国等の1.55 μm 帯の等間隔波長多重ネットワークとの相互接続である。

40

【0004】

これらの相互接続を行うには、接続ポイントで波長多重信号光の各チャネルの波長をそれぞれ他の波長に変換する多波長変換装置が必要である。従来の多波長変換装置は、波長多重信号光を各波長に分波してそれぞれ電気信号に変換し、他の波長で発振する半導体レー

50

ザを各電気信号でそれぞれ直接変調して信号光に変換し、合波して波長多重信号光を出力する構成になっている。

【0005】

図28は、従来の多波長変換装置の構成例を示す。ここでは、 $1.55\mu\text{m}$ 帯の4波等間隔(1551,1552,1553,1554nm)の波長多重信号光を入力し、 $1.58\mu\text{m}$ 帯の4波等間隔(1581,1582,1583,1584nm)の波長多重信号光に変換する例を示す。入力された波長多重信号光は、光分波器91で各波長に分波され、それぞれ受光器(O/E)92-1~92-4で電気信号に変換される。各電気信号は、それぞれ電気増幅器93-1~93-4で増幅され、パイアスT回路94-1~94-4で直流パイアス電流が重畳され、それぞれ対応する半導体レーザ(E/O)95-1~95-4に印加される。各半導体レーザ95-1~95-4は $1.58\mu\text{m}$ 帯で発振し、各電気信号により変調されたレーザ発振光が光合波器96で合波され、波長変換された波長多重信号光として出力される。

【0006】

光分波器91および光合波器96としては、アレイ導波路回折格子型フィルタ(以下「AWG」という)またはWDMカプラを用いることができる。また、半導体レーザを直接変調する代わりに外部変調器を用いる構成もある。なお、従来の多波長変換装置は、 $1.55\mu\text{m}$ 帯の等間隔波長から $1.58\mu\text{m}$ 帯の等間隔波長への変換に限らず、光分波器91および光合波器96の合分波特性、半導体レーザ95-1~95-4の発振波長を適宜選択することにより、他の波長帯への変換や、不等間隔波長と等間隔波長の相互変換が可能である。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、従来の多波長変換装置は、ネットワーク規模が大きくなって波長数や相互接続箇所を増やす場合に、光・電気変換および電気・光変換の負荷が大幅に増加する問題があった。

【0008】

本発明は、電気信号を介さず、波長多重信号光の各チャネルの波長を一括してそれぞれ他の波長に変換することができる多波長変換装置を提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】

請求項1に記載の多波長変換装置は、波長多重信号光を入力して各波長の信号光に分波する第1のアレイ導波路回折格子型フィルタと、第1のアレイ導波路回折格子型フィルタで分波された各波長の信号光と、外部から入力される互いに異なる波長の制御光とをそれぞれを入力し、信号光により変調され、かつ、制御光波長に対応する波長の波長変換光を出力する複数の波長変換器と、前記各波長変換器から出力された各波長の波長変換光を入力し、合波して波長多重信号光として出力する第2のアレイ導波路回折格子型フィルタとを備える。なお、制御光は、前記第1または第2のアレイ導波路回折格子型フィルタのいずれか一方を介して前記複数の波長変換器にそれぞれ入力される構成で、前記波長多重信号光の入力ポート、前記波長変換された波長多重信号光の出力ポートとは、それぞれ異なるポートに入力し、分波された各波長の制御光が前記複数の波長変換器にそれぞれ入力される構成である。

【0014】

請求項1の多波長変換装置に用いる波長変換器は、信号光と制御光から四光波混合光を発生する非線形光学媒質を含み、四光波混合光を波長変換光として出力する構成である(請求項2)。あるいは、制御光の入力により利得飽和状態の半導体光増幅器に信号光を入力し、信号光に対して相補的に変調された制御光を波長変換光として出力する構成であり、かつ、前記制御光の入力ポートと、前記波長変換された波長多重信号光の出力ポートとを、それぞれ異なるアレイ導波路回折格子型フィルタに備えた構成である(請求項3)。あるいは、少なくとも一方のアーム導波路に半導体光増幅器を配置したマッハツェンダ干渉計であり、一方のポートから制御光を入力し、一方のアーム導波路の半導体光増幅器に信号光を入力し、他方のポートから信号光と同じ波形の制御光を波長変換光として出力す

る構成であり、かつ、前記制御光の入力ポートと、前記波長変換された波長多重信号光の出力ポートとを、それぞれ異なるアレイ導波路回折格子型フィルタに備えた構成である（請求項4）。あるいは、非対称のスプリッタを用い、少なくとも一方のアーム導波路に半導体光増幅器を配置したマッハツェンダ干渉計型光変調器であり、一方のポートから制御光を入力し、他方のポートから信号光を入力するとともに信号光により変調された制御光を波長変換光として出力する構成であり、かつ、前記制御光の入力ポートと、前記波長変換された波長多重信号光の出力ポートとを、それぞれ異なるアレイ導波路回折格子型フィルタに備えた構成である（請求項5）。

【0016】

【発明の実施の形態】

（第1の実施形態：参考例）

図1は、本発明の多波長変換装置の第1の実施形態を示す。図において、波長多重信号光は、光分波器1で各波長1, 2, 3, 4の信号光に分波され、それぞれ対応する波長変換器3-1~3-4に入力される。波長変換器3-1~3-4は、波長1, 2, 3, 4の信号光をそれぞれ波長11, 12, 13, 14の信号光に変換して出力する。波長11, 12, 13, 14の波長変換光は光合波器2で合波され、波長多重信号光として出力される。

【0017】

図2は、光分波器1および光合波器2の構成例を示す。ここでは、(a)は光分波器1、(b)は光合波器2として用いるAWGの構成を示す。AWGは、入力導波路アレイ11と、入力側スラブ導波路12と、各導波路の長さが異なるアレイ導波路13と、出力側スラブ導波路14と、出力導波路アレイ15を接続した構成である。

【0018】

図2(a)において、波長多重信号光は、入力ポートから入力導波路アレイ11を介して入力側スラブ導波路12に入力され、アレイ導波路13に等しい光強度で分配される。アレイ導波路13で光路長差に応じた遅延差が生じた波長多重信号光は、出力側スラブ導波路14に入力されて収束する。このとき、波長の違いによって位相状態が異なるので、出力導波路アレイ15の各導波路にそれぞれ異なる波長の信号光が集光し、それぞれ対応する出力ポートに分波される。

【0019】

また、図2(b)に示すように、出力導波路アレイ15の各導波路に分波される波長の光信号を逆方向に入力することにより、逆の経路をたどって入力導波路アレイ11の所定の導波路に波長多重される。

【0020】

なお、AWGの入出力ポートと合分波する波長の関係は周期性を有するので、分波する波長1, 2, 3, 4と合波する波長11, 12, 13, 14がその周期上にあれば、光分波器1と光合波器2は同一特性のものを用いることができる。また、AWGは各入出力ポートに対応する波長が不等間隔になるように設定することも可能であり、入力される波長多重信号光と波長変換して出力される波長多重信号光の波長間隔に応じて、AWGの合分波特性を適宜調整すればよい。

【0021】

図3は、波長変換器3の構成例を示す。(a)は可飽和吸収領域を有する多電極DFBレーザ、(b)は超周期構造回折格子(SSG)DBRレーザを用いた例を示す。

【0022】

図3(a)において、多電極DFBレーザは、可飽和吸収領域31、活性層32、回折格子33、電極34-1, 34-2を有する。この多電極DFBレーザを発振閾値電流よりわずかに下にバイアスした状態で、可飽和吸収領域31に信号光を入力すると、可飽和吸収領域31の光損失が減少してレーザ発振が始まる。このレーザ発振光の波長は、電極34-1, 34-2の注入電流比I1/I2を変えることにより制御でき、所定の波長に設定することができる。したがって、例えば波長1の信号光を入力し、波長11の波長変換

10

20

30

40

50

光を出力することができる。

【0023】

図3(b)において、超周期構造回折格子(SSG)DBRレーザは、活性層32、超周期構造回折格子35-1, 35-2、位相調整領域36、電極34-1~34-4を有する。この超周期構造回折格子(SSG)DBRレーザを発振状態に設定し、そこに信号光を入力すると利得飽和し、所定の波長のレーザ発振光の出力パワーが減少する。この利得飽和現象を用いることにより、例えば波長1の信号光を入力し、波長11の波長変換光を出力することができる。ただし、波長変換光は信号光によって相補的に変調された波形となる。

【0024】

なお、本実施形態の波長変換器3は、図3に示すように波長変換光の波長が半導体レーザの発振波長で決まり、半導体レーザの波長可変範囲内で任意の波長に変換することができる。

【0025】

(第2の実施形態：参考例)

図4は、本発明の多波長変換装置の第2の実施形態を示す。本実施形態の特徴は、光分波器に波長多重信号光を入力し、分波された信号光と外部からの制御光を合波して波長変換器に入力し、非線形光学効果により発生させた四光波混合光を波長変換光として出力するところにある。

【0026】

図において、波長多重信号光は、光分波器1で波長1, 2, 3, 4の信号光に分波され、光カプラ7-1~7-4でそれぞれ対応する波長11, 12, 13, 14の制御光と合波して波長変換器4-1~4-4に入力される。波長変換器4-1~4-4は、各波長の信号光および制御光をポンプ光およびプローブ光として、波長21, 22, 23, 24の四光波混合光を波長変換光として出力する。波長21, 22, 23, 24の波長変換光は光合波器2で合波され、波長多重信号光として出力される。

【0027】

図5は、波長変換器4の構成例を示す。図において、波長変換器4は、信号光および制御光から四光波混合光を発生する非線形光学媒質41と、信号光および制御光を遮断して四光波混合光のみを出力する光フィルタ42とにより構成される。信号光と制御光の光周波数間隔を10nm程度以下に設定すると、非線形光学効果により四光波混合光が高効率で発生する。ここで、信号光および制御光の光周波数を f_1 , f_{11} とすると、発生する四光波混合光の光周波数は $2f_1 - f_{11}$ または $2f_{11} - f_1$ となる。光フィルタ42は、光周波数 f_1 , f_{11} を遮断し、光周波数 $2f_1 - f_{11}$ または $2f_{11} - f_1$ の四光波混合光のみを出力するように設定する。

【0028】

なお、光合波器2としてAWGを用いたときに、波長変換器4を通過した信号光および制御光が波長変換光(四光波混合光)と同じポートに出力されない波長であれば、光フィルタ42を用いなくても波長変換光を信号光および制御光から分離して取り出すことができる。以下に示す第3の実施形態においても同様である。

【0029】

(第3の実施形態：請求項1, 2)

図6は、本発明の多波長変換装置の第3の実施形態を示す。本実施形態の特徴光分波器に波長多重信号光および各波長の制御光を入力し、信号光と対応する制御光をペアで分波してそれぞれ対応する波長変換器に入力し、非線形光学効果により発生させた四光波混合光を波長変換光として出力するところにある。

【0030】

図において、波長多重信号光および制御光は、光分波器1で波長1, 2, 3, 4の信号光と波長11, 12, 13, 14の制御光がそれぞれペアで分波され、波長変換器4-1~4-4に入力される。波長変換器4-1~4-4は、各波長の信号光および制御光から

10

20

30

40

50

波長 21, 22, 23, 24の四光波混合光を波長変換光として出力する。波長 21, 22, 23, 24の波長変換光は光合波器2で合波され、波長多重信号光として出力される。

【0031】

ここで、信号光と制御光がペアで同じポートに出力される光分波器1は、AWGにより実現可能である。図7(a)は、波長多重信号光と各波長の制御光が合波された状態で1つのポートに入力される構成であり、図7(b)は、波長多重信号光が入力されるポートと各波長の制御光が合波されて入力されるポートが異なる構成であり、図7(c)は、波長多重信号光が入力されるポートと各波長の制御光が入力されるポートが異なる構成である。なお、図6は図7(b)の構成に対応するものである。

10

【0032】

(第4の実施形態：請求項1, 2)

図8は、本発明の多波長変換装置の第4の実施形態を示す。本実施形態の特徴は、光分波器に波長多重信号光を入力し、光合波器に各波長の制御光を入力し、信号光と対応する制御光をペアで分波してそれぞれ対応する波長変換器に入力し、非線形光学効果により発生させた四光波混合光を波長変換光として出力するところにある。

【0033】

図において、波長多重信号光は、光分波器1で波長 1, 2, 3, 4の信号光に分波され、波長多重された制御光は光合波器2で波長 11, 12, 13, 14の制御光に分波され、それぞれペアで波長変換器4-1~4-4に入力される。波長変換器4-1~4-4は、各波長の信号光および制御光から波長 21, 22, 23, 24の四光波混合光を波長変換光として出力する。波長 21, 22, 23, 24の波長変換光は光合波器2で合波され、波長多重信号光として出力される。

20

【0034】

ここで、波長 21, 22, 23, 24の波長変換光と波長 11, 12, 13, 14の制御光が、ペアで同じポートを入出力する光合波器2は、AWGにより実現可能である。また、制御光は、図7(b)に示すように波長多重して1つのポートから入力してもよいし、図7(c)に示すように各波長ごとのポートから入力してもよい。また、制御光が信号光の入力側に戻らないようにするには、入力ポートに光アイソレータを備えればよい。

【0035】

なお、本実施形態の波長変換器4に用いる光フィルタは、信号光波長のみを遮断し、制御光および波長変換光を透過する特性のものが必要となる。ただし、光合波器2としてAWGを用いたときに、波長変換器4を通過した信号光が波長変換光(四光波混合光)と同じポートに出力されない波長であれば、光フィルタを用いなくても波長変換光を信号光から分離して取り出すことができる。

30

【0036】

(第5の実施形態：参考例)

図9は、本発明の多波長変換装置の第5の実施形態を示す。本実施形態の特徴は、図4に示す第2の実施形態の四光波混合による波長変換器4に代えて、半導体光増幅器の利得飽和を利用し、信号光によりクロスゲイン変調された制御光を波長変換光として出力する波長変換器5を用いたところにある。

40

【0037】

図において、波長多重信号光は、光分波器1で波長 1, 2, 3, 4の信号光に分波され、光カプラ7-1~7-4でそれぞれ対応する波長 11, 12, 13, 14の制御光と合波して波長変換器5-1~5-4に入力される。波長変換器5-1~5-4は、信号光に対して相補的に変調された制御光を波長変換光として出力する。波長 11, 12, 13, 14の波長変換光(制御光)は光合波器2で合波され、波長多重信号光として出力される。

【0038】

図10は、波長変換器5の構成例を示す。図において、波長変換器5は、半導体光増幅器

50

5 1 と、信号光を遮断して制御光（波長変換光）のみを出力する光フィルタ 5 2 とにより構成される。半導体光増幅器 5 1 は、変換波長の制御光を高強度で入力して利得飽和状態にしておく。この半導体光増幅器 5 1 に信号光を入力すると、信号光強度に応じて制御光に対する利得が低下し、信号光に対して相補的に変調された制御光が出力される。この制御光を波長変換光とし、光フィルタ 5 2 で信号光と分離して出力する。

【 0 0 3 9 】

なお、光合波器 2 として A W G を用いたときに、波長変換器 5 を通過した信号光が波長変換光（制御光）と同じポートに出力されない波長であれば、光フィルタ 5 2 を用いなくても波長変換光のみを取り出すことができる。以下に示す第 6 の実施形態においても同様である。

【 0 0 4 0 】

（第 6 の実施形態：請求項 1 , 3 ）

図 1 1 は、本発明の多波長変換装置の第 6 の実施形態を示す。本実施形態の特徴は、図 6 に示す第 3 の実施形態の四光波混合による波長変換器 4 に代えて、半導体光増幅器の利得飽和を利用した波長変換器 5 を用いたところにある。光分波器 1 における波長多重信号光と制御光の分波方法は同様である。

【 0 0 4 1 】

（第 7 の実施形態：参考例）

図 1 2 は、本発明の多波長変換装置の第 7 の実施形態を示す。本実施形態の特徴は、図 4 に示す第 2 の実施形態の四光波混合による波長変換器 4 に代えて、マッハツェンダ干渉計と半導体光増幅器を組み合わせ、信号光によりクロスフェイズ変調された制御光を波長変換光として出力する波長変換器 6 を用いたところにある。

【 0 0 4 2 】

図において、波長多重信号光は、光分波器 1 で波長 1, 2, 3, 4 の信号光に分波され、波長 11, 12, 13, 14 の制御光とともに波長変換器 6 - 1 ~ 6 - 4 に入力される。波長変換器 6 - 1 ~ 6 - 4 は、少なくとも一方のアーム導波路に半導体光増幅器を配置したマッハツェンダ干渉計型光変調器であり、信号光と同じ波形の制御光を波長変換光として出力する。波長 11, 12, 13, 14 の波長変換光（制御光）は光合波器 2 で合波され、波長多重信号光として出力される。

【 0 0 4 3 】

図 1 3 は、波長変換器 6 の構成例を示す。図において、波長変換器 6 は、マッハツェンダ干渉計型光変調器を構成する Y 分岐導波路 6 1 - 1, 6 1 - 2 の間の各アーム導波路に半導体光増幅器 6 2 - 1, 6 2 - 2 を配置した構成である。一方の入力ポートから入力される制御光を Y 分岐導波路 6 1 - 1 で分岐して 2 つの半導体光増幅器に入力し、他方の入力ポートから入力される信号光を Y 分岐導波路 6 1 - 3 を介して一方の半導体光増幅器 6 2 - 1 に入力する。このとき、信号光強度に応じて半導体光増幅器 6 2 - 1 の屈折率が変化し、制御光の位相が変化する。これにより、半導体光増幅器 6 2 - 1, 6 2 - 2 を通過した制御光が Y 分岐導波路 6 1 - 2 で結合したときに位相変化が強度変化となって現れる。したがって、2 つの半導体光増幅器間の位相差を適当に設定することにより、信号光と同じ波形の制御光を波長変換光として出力することができる。

【 0 0 4 4 】

（第 8 の実施形態：請求項 1 , 4 ）

図 1 4 は、本発明の多波長変換装置の第 9 の実施形態を示す。本実施形態の特徴は、図 6 に示す第 3 の実施形態の四光波混合による波長変換器 4 に代えて、信号光によりクロスフェイズ変調された制御光を波長変換光として出力する波長変換器 6 を用いたところにある。波長変換器 6 としては、少なくとも一方のアーム導波路に半導体光増幅器を配置したマッハツェンダ干渉計型光変調器を用いる。

【 0 0 4 5 】

ただし、光分波器 1 で分波する波長 1, 2, 3, 4 の信号光と波長 11, 12, 13, 14 の制御光が、それぞれ異なるポートに出力されるように設定する。このような設定は

10

20

30

40

50

、光分波器 1 として用いる A W G の調整により可能である。そして、信号光と変換波長の制御光をそれぞれペアにして波長変換器 6 に入力する。なお、制御光は、図 7 (a) に示すように波長多重信号光に波長多重して入力してもよいし、図 7 (b) に示すように波長多重して 1 つのポートから入力してもよいし、図 7 (c) に示すように各波長ごとのポートから入力してもよい。

【 0 0 4 6 】

(第 9 の実施形態：請求項 1 , 4)

図 1 5 は、本発明の多波長変換装置の第 9 の実施形態を示す。本実施形態の特徴は、図 8 に示す第 4 の実施形態の四光波混合による波長変換器 4 に代えて、信号光によりクロスフェイズ変調された制御光を波長変換光として出力する波長変換器 6 を用いたところにある。波長変換器 6 としては、少なくとも一方のアーム導波路に半導体光増幅器を配置したマッハツェンダ干渉計型光変調器を用いる。

10

【 0 0 4 7 】

ただし、制御光は光分波器 1 を介して各波長ごとに波長変換器 6 に入力され、波長多重信号光は光合波器 2 を介して各波長ごとに波長変換器 6 に入力され、波長変換器 6 から出力された波長変換光（制御光）が光合波器 2 で合波して出力される。ここで、光合波器 2 において、分波された信号光および合波する波長変換光（制御光）がそれぞれ異なるポートに入出力されるように設定する。このような設定は、光合波器 2 として用いる A W G の調整により可能である。なお、制御光は、図 7 (b) に示すように波長多重して 1 つのポートから入力してもよいし、図 7 (c) に示すように各波長ごとのポートから入力してもよい。

20

【 0 0 4 8 】

また、第 7 ~ 第 9 の実施形態において、マッハツェンダ干渉計と半導体光増幅器の組み合わせに代えて、マイケルソン干渉計と半導体光増幅器の組み合わせでも、同様の機能を実現することができる。また、半導体光増幅器に代えて光ファイバ増幅器を用いても、同様の効果を得ることができる。

【 0 0 4 9 】

また、分波された信号光の波長をそれぞれ対応する制御光の波長に変換する波長変換器としては、以上示した各実施形態の他に、例えば非線形ループミラーを用いた構成なども用いることができる。

【 0 0 5 0 】

また、本発明の構成は、1.55 μ m 帯の等間隔波長から 1.58 μ m 帯の等間隔波長への変換に限らず、光分波器 1 および光合波器 2 の合分波特性を調整し、波長変換器 3 を構成する半導体レーザの発振波長、波長変換器 4 ~ 6 に入力する制御光の波長を適宜選択することにより、他の波長帯への変換や、不等間隔波長と等間隔波長の相互変換が可能である。

30

【 0 0 5 1 】

(第 1 0 の実施形態：参考例)

図 1 ~ 3 に示す第 1 の実施形態は、波長変換器 3 における信号光の入力ポートと波長変換光の出力ポートが異なり、光分波器 1 と光合波器 2 を用いる構成になっている。しかし、波長変換器 3 として用いる図 3 に示すような半導体レーザは、外部から入力される信号光により変調されたレーザ発振光を波長変換光として出力する構成であり、信号光の入力ポート側から出力されるレーザ発振光を波長変換光として用いることもできる。この場合の構成例を第 1 0 の実施形態として示す。

40

【 0 0 5 2 】

図 1 6 は、本発明の多波長変換装置の第 1 0 の実施形態を示す。図において、波長多重信号光は、光合分波器 8 で各波長 1, 2, 3, 4 の信号光に分波され、それぞれ対応する波長変換器 3 - 1 ~ 3 - 4 に入力される。波長変換器 3 - 1 ~ 3 - 4 は、波長 1, 2, 3, 4 の信号光をそれぞれ波長 11, 12, 13, 14 の信号光に変換し、折り返し出力する。波長 11, 12, 13, 14 の波長変換光は光合分波器 8 で合波され、波長多重信号光として出力される。

【 0 0 5 3 】

50

図17は、第10の実施形態の具体的構成例を示す。ここでは、光合分波器8としてAWGを用いた構成を示す。波長1～4の波長多重信号光は、AWGの入力導波路アレイ11の所定の導波路に入力されると、出力導波路アレイ15の各導波路に分波され、各波長の信号光がそれぞれ対応する波長変換器3-1～3-4に入力される。各波長変換器3-1～3-4から出力される波長11～14の波長変換光は、AWGの出力導波路アレイ15の各導波路に折り返され、逆の経路をたどって入力導波路アレイ11の所定の導波路に波長多重される。

【0054】

なお、分波する波長1, 2, 3, 4と、合波する波長11, 12, 13, 14をAWGの周期性を考慮して設定することにより、波長多重信号光の入力ポートと波長変換光の出力ポートを相違させ、入出力分離することができる。また、各波長が不等間隔になるように設定することも可能であり、入力される波長多重信号光と波長変換して出力される波長多重信号光の波長間隔に応じて、AWGの合分波特性を適宜調整すればよい。以下に示す各実施形態においても同様である。

【0055】

(第11の実施形態：参考例)

図4, 5に示す第2の実施形態は、波長変換器4における信号光および制御光の入力ポートと波長変換光(四光波混合光)の出力ポートが異なり、光分波器1と光合波器2を用いる構成になっている。ここで、波長変換器4として用いる図5に示す非線形光学媒質は、図8に示す第4の実施形態のように、信号光と制御光を対向する方向から入力し、いずれか一方のポートから四光波混合光を取り出すことが可能である。この場合の構成例を第11の実施形態として示す。

【0056】

図18は、本発明の多波長変換装置の第11の実施形態を示す。図において、波長多重信号光は、光合分波器8で波長1, 2, 3, 4の信号光に分波され、それぞれ対応する波長変換器4-1～4-4に入力される。一方、各波長変換器4-1～4-4には、それぞれ逆方向から波長11, 12, 13, 14の制御光が入力され、波長21, 22, 23, 24の四光波混合光を波長変換光として出力する。波長21, 22, 23, 24の波長変換光は光合分波器8で合波され、波長多重信号光として出力される。

【0057】

図19は、波長変換器4の構成例を示す。図において、波長変換器4は、信号光および制御光から四光波混合光を発生する非線形光学媒質41と、非線形光学媒質41を透過した制御光を遮断する光フィルタ43とにより構成される。非線形光学媒質41における四光波混合光の発生過程は、図5に示す第2の実施形態と同様である。

【0058】

なお、光合分波器8としてAWGを用いたときに、波長変換器4を通過した制御光が波長変換光(四光波混合光)と同じポートに出力されない波長であれば、光フィルタ43を用いなくても波長変換光を制御光から分離して取り出すことができる。

【0059】

(第12の実施形態：参考例)

図9, 10に示す第5の実施形態は、波長変換器5における信号光および制御光の入力ポートと波長変換光の出力ポートが異なり、光分波器1と光合波器2を用いる構成になっている。ここで、波長変換器5として用いる図10に示す半導体光増幅器は、信号光と制御光を対向する方向から入力し、信号光の入力ポート側から波長変換光を取り出すことが可能である。この場合の構成例を第12の実施形態として示す。

【0060】

図20は、本発明の多波長変換装置の第12の実施形態を示す。図において、波長多重信号光は、光合分波器8で波長1, 2, 3, 4の信号光に分波され、それぞれ対応する波長変換器5-1～5-4に入力される。一方、各波長変換器5-1～5-4には、それぞれ逆方向から波長11, 12, 13, 14の制御光が入力される。各波長変換器5-1～

10

20

30

40

50

5 - 4 は、信号光に対して相補的に変調された制御光を波長変換光として出力する。波長 11, 12, 13, 14 の波長変換光（制御光）は光合分波器 8 で合波され、波長多重信号光として出力される。

【 0 0 6 1 】

図 2 1 は、波長変換器 5 の構成例を示す。図において、波長変換器 5 は、半導体光増幅器 5 1 により構成される。半導体光増幅器 5 1 における波長変換光の発生過程は、図 1 0 に示す第 5 の実施形態と同様である。ただし、本実施形態では、信号光と制御光の入力方向が対向しているため、信号光と波長変換光（制御光）を分離するための光フィルタ 5 2 は不要である。

【 0 0 6 2 】

（第 1 3 の実施形態：参考例）

図 1 2, 1 3 に示す第 7 の実施形態は、波長変換器 6 における信号光および制御光の入力ポートと波長変換光の出力ポートが異なり、光分波器 1 と光合波器 2 を用いる構成になっている。ここで、波長変換器 6 として用いる図 1 3 に示すマッハツェンダ干渉計は、信号光と制御光を対向する方向から入力し、信号光の入力ポート側から波長変換光を取り出すことが可能である。この場合の構成例を第 1 3 の実施形態および第 1 4 の実施形態として示す。

【 0 0 6 3 】

図 2 2 は、本発明の多波長変換装置の第 1 3 の実施形態を示す。図において、波長多重信号光は、光合分波器 8 で波長 1, 2, 3, 4 の信号光に分波され、それぞれ対応する波長変換器 6 - 1 ~ 6 - 4 に入力される。一方、各波長変換器 6 - 1 ~ 6 - 4 には、それぞれ逆方向から波長 11, 12, 13, 14 の制御光が入力される。各波長変換器 6 - 1 ~ 6 - 4 は、少なくとも一方のアーム導波路に半導体光増幅器を配置したマッハツェンダ干渉計型光変調器であり、信号光と同じ波形の制御光を波長変換光として出力する。波長 11, 12, 13, 14 の波長変換光（制御光）は光合分波器 8 で合波され、波長多重信号光として出力される。

【 0 0 6 4 】

図 2 3 は、波長変換器 6 の構成例を示す。図において、波長変換器 6 は、マッハツェンダ干渉計型光変調器を構成する Y 分岐導波路 6 1 - 1, 6 1 - 2 の間の各アーム導波路に半導体光増幅器 6 2 - 1, 6 2 - 2 を配置した構成である。一方の入力ポートから入力される制御光は、Y 分岐導波路 6 1 - 2 で分岐して 2 つの半導体光増幅器に入力され、他方の入力ポートから入力される信号光は、Y 分岐導波路 6 1 - 3 を介して一方の半導体光増幅器 6 2 - 1 に入力される。このとき、信号光強度に応じて半導体光増幅器 6 2 - 1 の屈折率が変化し、制御光の位相が変化する。これにより、半導体光増幅器 6 2 - 1, 6 2 - 2 を通過した制御光が Y 分岐導波路 6 1 - 1 で結合したときに位相変化が強度変化となって現れる。したがって、2 つの半導体光増幅器間の位相差を適当に設定することにより、信号光と同じ波形の制御光を波長変換光として出力することができる。

【 0 0 6 5 】

図 2 4 は、第 1 3 の実施形態の具体的構成例を示す。ここでは、光合分波器 8 として AWG を用いた構成を示す。波長 1 ~ 4 の波長多重信号光は、AWG の入力導波路アレイ 1 1 の所定の導波路に入力されると、出力導波路アレイ 1 5 の各導波路に分波され、各波長の信号光がそれぞれ対応する波長変換器 6 - 1 ~ 6 - 4 に入力される。一方、各波長変換器 6 - 1 ~ 6 - 4 には、反対方向から波長 11 ~ 14 の制御光が入力され、信号光により変調された波長変換光（制御光）を出力する。各波長変換器 6 - 1 ~ 6 - 4 から出力される波長 11 ~ 14 の波長変換光は、AWG の出力導波路アレイ 1 5 の各導波路に折り返され、逆の経路をたどって入力導波路アレイ 1 1 の所定の導波路に波長多重される。

【 0 0 6 6 】

なお、AWG の出力側スラブ導波路 1 4 に接続される出力導波路アレイ 1 5 の各導波路の間隔を適当に設定することにより、等間隔波長と等間隔波長の波長変換、または等間隔波長と不等間隔波長の波長変換に対応することができる。たとえば、出力導波路アレイ 1 5

10

20

30

40

50

に分波された波長 1 ~ 4 の信号光が等間隔波長であり、各波長変換器 6 - 1 ~ 6 - 4 から出力された波長 11 ~ 14 の波長変換光が等間隔波長の場合には、図 2 5 (a) のようにそれぞれ対応する導波路の間隔を等間隔に設定すればよい。また、各波長変換器 6 - 1 ~ 6 - 4 から出力された波長 11 ~ 14 の波長変換光が不等間隔波長の場合には、図 2 5 (b) のように対応する導波路の間隔を不等間隔に設定すればよい。

【 0 0 6 7 】

(第 1 4 の実施形態：請求項 5)

図 2 6 は、本発明の多波長変換装置の第 1 4 の実施形態を示す。本実施形態の特徴は、第 1 3 の実施形態において波長変換器 6 として用いた 3 ポートのマッハツェンダ干渉計型光変調器に代え、非対称のスプリッタ 7 1 - 1 , 7 1 - 2 を含む 2 ポートのマッハツェンダ干渉計型光変調器を波長変換器 9 として用いたところにある。

10

【 0 0 6 8 】

図において、波長多重信号光は、光合分波器 8 で波長 1, 2, 3, 4 の信号光に分波され、それぞれ対応する波長変換器 9 - 1 ~ 9 - 4 に入力される。一方、各波長変換器 9 - 1 ~ 9 - 4 には、それぞれ逆方向から波長 11, 12, 13, 14 の制御光が入力される。各波長変換器 9 - 1 ~ 9 - 4 は、少なくとも一方のアーム導波路に半導体光増幅器を配置したマッハツェンダ干渉計型光変調器であり、信号光と同じ波形の制御光を波長変換光として出力する。波長 11, 12, 13, 14 の波長変換光(制御光)は光合分波器 8 で合波され、波長多重信号光として出力される。

【 0 0 6 9 】

図 2 7 は、波長変換器 9 の構成例を示す。図において、波長変換器 9 は、マッハツェンダ干渉計型光変調器を構成する非対称のスプリッタ 7 1 - 1 , 7 1 - 2 の間の各アーム導波路に半導体光増幅器 6 2 - 1 , 6 2 - 2 を配置した構成である。一方の入力ポートから入力される信号光は、スプリッタ 7 1 - 1 で所定の分岐比で分岐して各半導体光増幅器 6 2 - 1 , 6 2 - 2 に入力され、他方の入力ポートから入力される制御光は、スプリッタ 7 1 - 2 で所定の分岐比で分岐して各半導体光増幅器 6 2 - 1 , 6 2 - 2 に入力される。このとき制御光は、半導体光増幅器 6 2 - 1 , 6 2 - 2 に対するバイアス電流や信号光強度に応じて異なる位相シフトを受ける。これにより、半導体光増幅器 6 2 - 1 , 6 2 - 2 を通過した制御光がスプリッタ 7 1 - 1 で結合したときに位相変化が強度変化となって現れる。したがって、2 つのスプリッタの分岐比および 2 つの半導体光増幅器間の位相差を適当に設定することにより、信号光と同じ波形の制御光を波長変換光として、信号光の入力ポートと同じポートに出力することができる。

20

30

【 0 0 7 0 】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明の多波長変換装置は、電気信号を介さず、波長多重信号光の各チャンネルの波長を一括してそれぞれ他の波長に変換することができる。

【 0 0 7 1 】

また、光分波器、光合波器、光合分波器の合分波特性を調整し、波長変換器を構成する半導体レーザの発振波長や制御光の波長を適宜選択することにより、任意の波長帯域間の波長変換や、不等間隔波長と等間隔波長の相互変換が可能である。特に、光合分波器を用いて波長多重信号光の分波と波長変換光の合波を同一素子で行う構成では、多波長変換装置の小型化および低コスト化を図ることができる。

40

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の多波長変換装置の第 1 の実施形態を示すブロック図。

【図 2】光分波器 1 および光合波器 2 の構成例を示す図。

【図 3】波長変換器 3 の構成例を示す図。

【図 4】本発明の多波長変換装置の第 2 の実施形態を示すブロック図。

【図 5】波長変換器 4 の構成例を示す図。

【図 6】本発明の多波長変換装置の第 3 の実施形態を示すブロック図。

【図 7】第 3 の実施形態における光分波器 1 の構成例を示す図。

50

【図 8】本発明の多波長変換装置の第 4 の実施形態を示すブロック図。

【図 9】本発明の多波長変換装置の第 5 の実施形態を示すブロック図。

【図 10】波長変換器 5 の構成例を示す図。

【図 11】本発明の多波長変換装置の第 6 の実施形態を示すブロック図。

【図 12】本発明の多波長変換装置の第 7 の実施形態を示すブロック図。

【図 13】波長変換器 6 の構成例を示す図。

【図 14】本発明の多波長変換装置の第 8 の実施形態を示すブロック図。

【図 15】本発明の多波長変換装置の第 9 の実施形態を示すブロック図。

【図 16】本発明の多波長変換装置の第 10 の実施形態を示すブロック図。

【図 17】第 10 の実施形態の具体的構成例を示す図。

10

【図 18】本発明の多波長変換装置の第 11 の実施形態を示すブロック図。

【図 19】波長変換器 4 の構成例を示す図。

【図 20】本発明の多波長変換装置の第 12 の実施形態を示すブロック図。

【図 21】波長変換器 5 の構成例を示す図。

【図 22】本発明の多波長変換装置の第 13 の実施形態を示すブロック図。

【図 23】波長変換器 5 の構成例を示す図。

【図 24】第 13 の実施形態の具体的構成例を示す図。

【図 25】スラブ導波路 14 と出力導波路アレイ 15 の配置例を示す図。

【図 26】本発明の多波長変換装置の第 14 の実施形態を示すブロック図。

【図 27】波長変換器 5 の構成例を示す図。

20

【図 28】従来の多波長変換装置の構成例を示すブロック図。

【符号の説明】

1 光分波器

2 光合波器

3, 4, 5, 6, 9 波長変換器

7 光カプラ

8 光合分波器

11 入力導波路アレイ

12 入力側スラブ導波路

13 アレイ導波路

30

14 出力側スラブ導波路

15 出力導波路アレイ

31 可飽和吸収領域

32 活性層

33 回折格子

34 電極

35 超周期構造回折格子

36 位相調整領域

41 非線形光学媒質

42, 43 光フィルタ

40

51 半導体光増幅器

52 光フィルタ

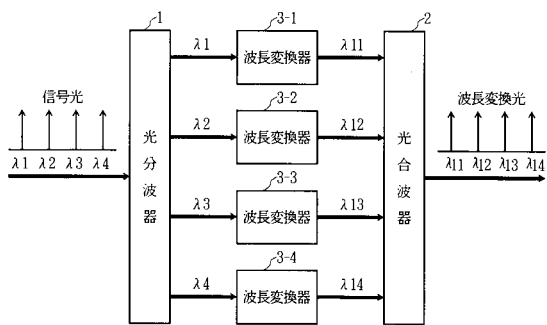
61 Y分岐導波路

62 半導体光増幅器

71 スプリッタ

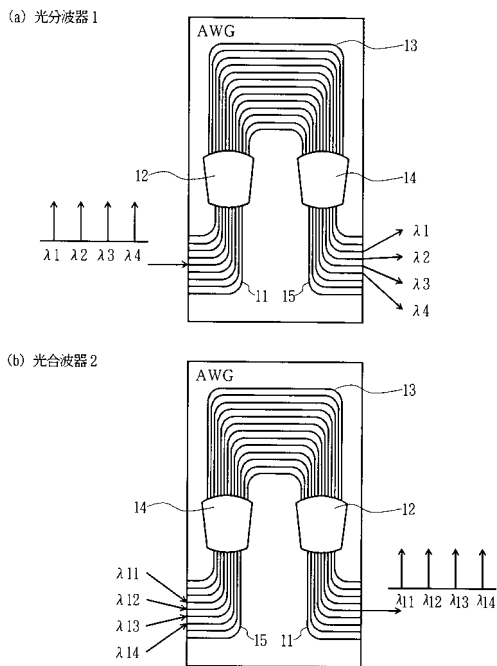
【 図 1 】

本発明の多波長変換装置の第1の実施形態



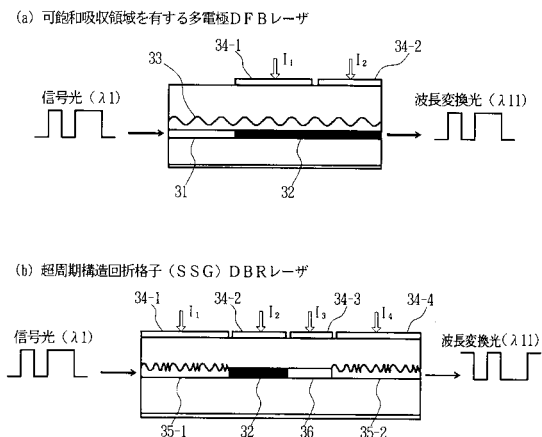
【 図 2 】

光分波器1および光合波器2の構成例



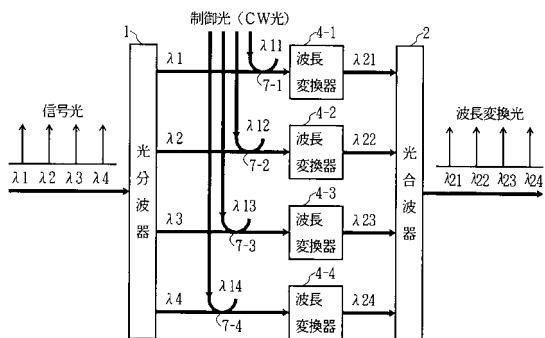
【 図 3 】

波長変換器3の構成例



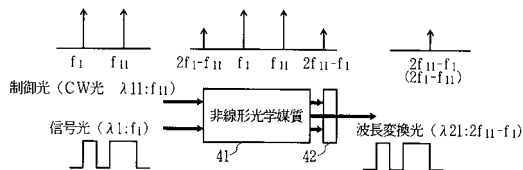
【 図 4 】

本発明の多波長変換装置の第2の実施形態



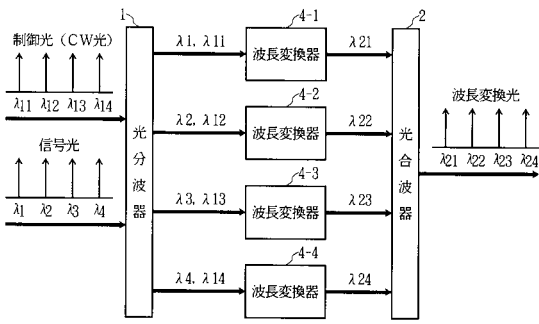
【 図 5 】

波長変換器4の構成例



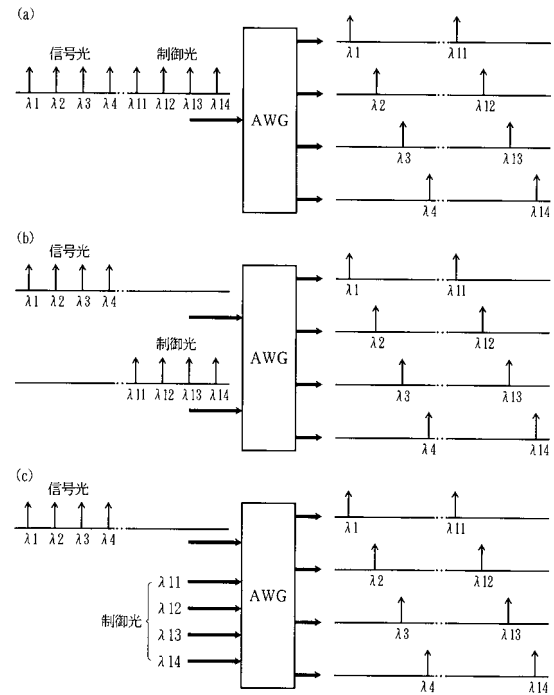
【 図 6 】

本発明の多波長変換装置の第3の実施形態



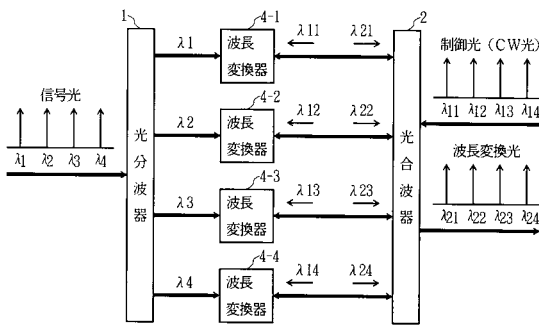
【 図 7 】

第3の実施形態における光分波器1の構成例



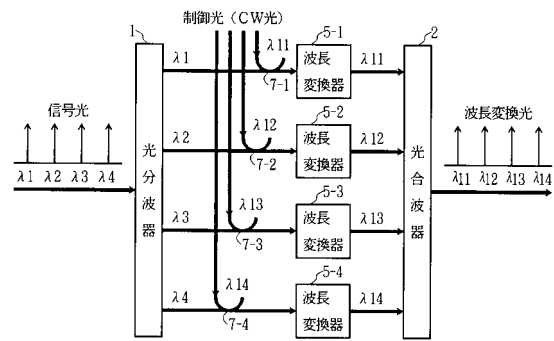
【 図 8 】

本発明の多波長変換装置の第4の実施形態



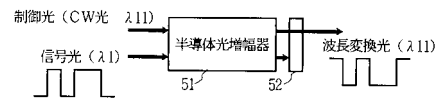
【 図 9 】

本発明の多波長変換装置の第5の実施形態



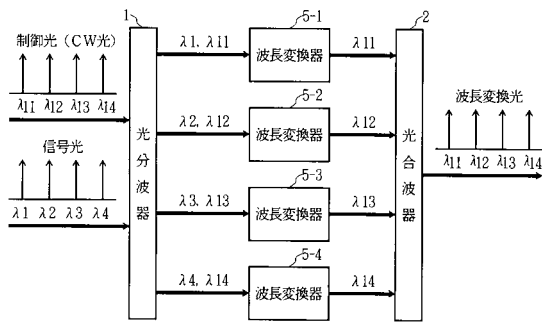
【 図 10 】

波長変換器5の構成例



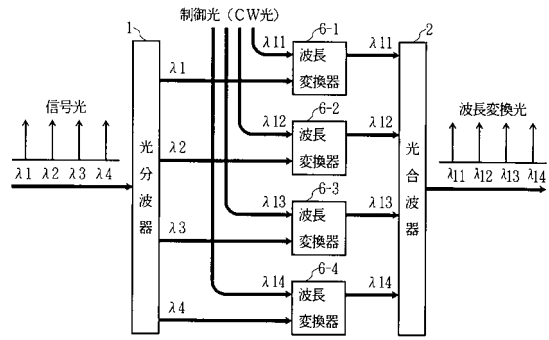
【 図 1 1 】

本発明の多波長変換装置の第6の実施形態



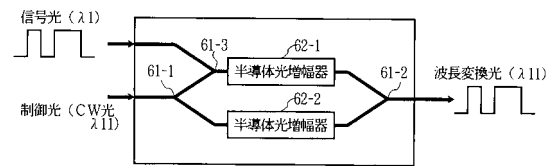
【 図 1 2 】

本発明の多波長変換装置の第7の実施形態



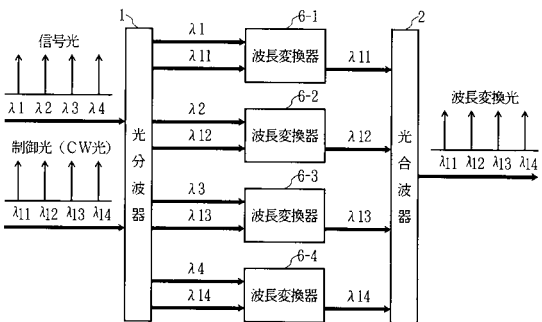
【 図 1 3 】

波長変換器6の構成例



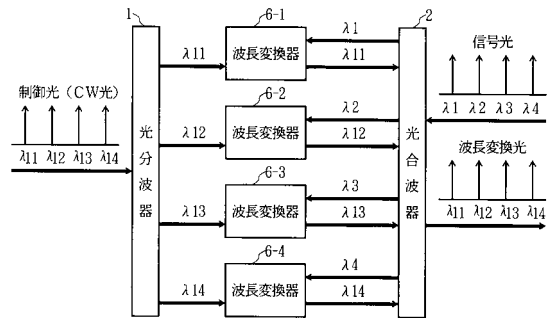
【 図 1 4 】

本発明の多波長変換装置の第8の実施形態



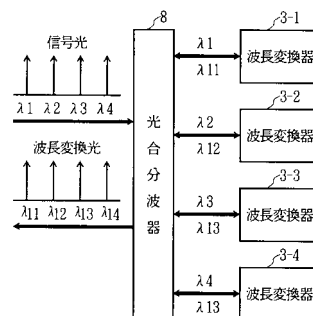
【 図 1 5 】

本発明の多波長変換装置の第9の実施形態



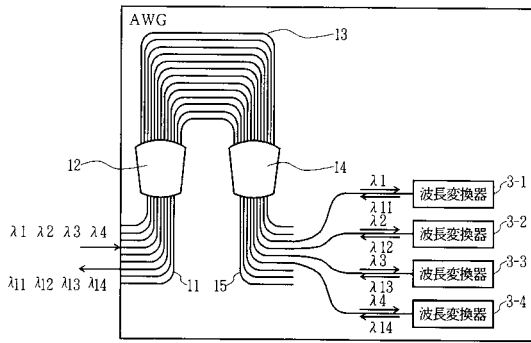
【 図 1 6 】

本発明の多波長変換装置の第10の実施形態



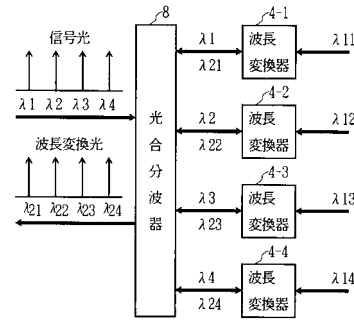
【 図 1 7 】

第10の実施形態の具体的構成例



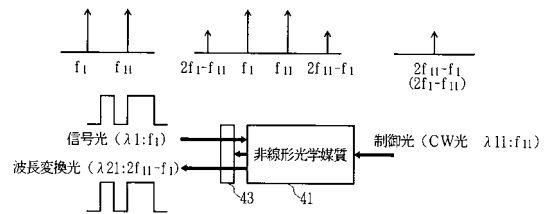
【 図 1 8 】

本発明の多波長変換装置の第11の実施形態



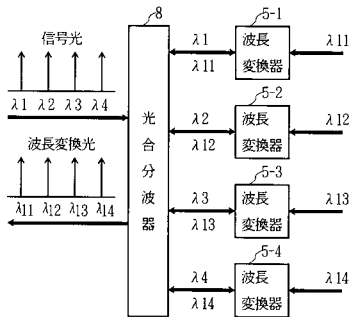
【 図 1 9 】

波長変換器 4 の構成例



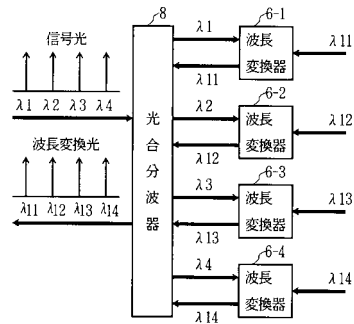
【 図 2 0 】

本発明の多波長変換装置の第12の実施形態



【 図 2 2 】

本発明の多波長変換装置の第13の実施形態



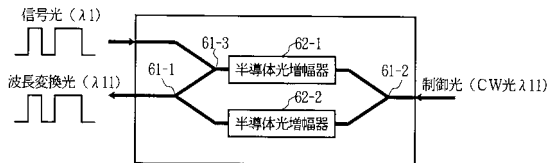
【 図 2 1 】

波長変換器 5 の構成例



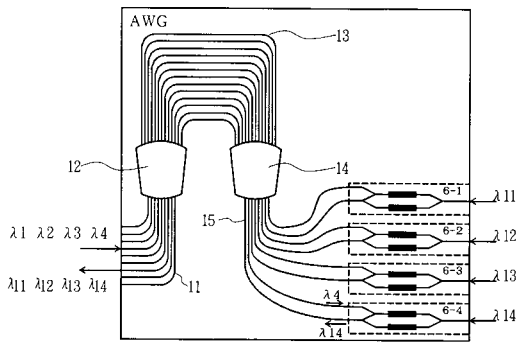
【 図 2 3 】

波長変換器 6 の構成例



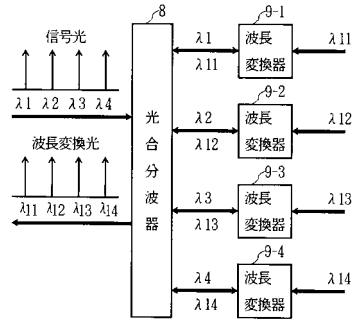
【 図 2 4 】

第13の実施形態の具体的構成例



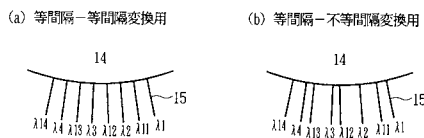
【 図 2 6 】

本発明の多波長変換装置の第14の実施形態



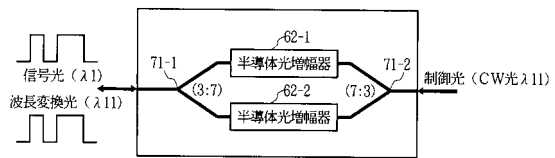
【 図 2 5 】

スラブ導波路14と出力導波路アレイ15の配置例



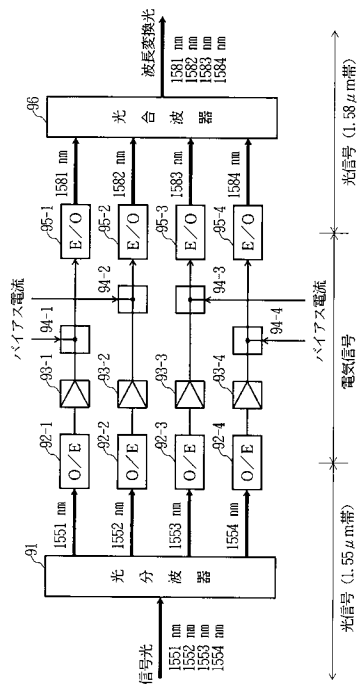
【 図 2 7 】

波長変換器9の構成例



【 図 2 8 】

従来の多波長変換装置の構成例



フロントページの続き

(51) Int.Cl. F I
H 0 4 J 14/00 (2006.01) H 0 4 B 9/00 E
H 0 4 J 14/02 (2006.01)

(72) 発明者 伊藤 敏夫
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本電信電話株式会社内

合議体

審判長 稲積 義登

審判官 吉田 禎治

審判官 井上 博之

(56) 参考文献 特開平4 - 127593 (JP, A)
特開平10 - 177115 (JP, A)
特開平4 - 252622 (JP, A)
特開平6 - 175169 (JP, A)
特開平8 - 304865 (JP, A)
特開平7 - 98424 (JP, A)
特開平8 - 220573 (JP, A)
T. Durhuus et al, ALL OPTICAL WAVELENGTH CONVERSION BY SOA'S IN A MACH-ZERHNDER CONFIGURATION, IEEE Photonic Technology Letters, vol. 6, no. 1, pp. 53 - 55, 1994年 1月

(58) 調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02F1/00-1/125

G02F1/29-7/00