

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第6996559号
(P6996559)

(45)発行日 令和4年1月17日(2022.1.17)

(24)登録日 令和3年12月20日(2021.12.20)

(51)国際特許分類 F I
H 0 4 B 10/564 (2013.01) H 0 4 B 10/564

請求項の数 10 (全24頁)

(21)出願番号	特願2019-528963(P2019-528963)	(73)特許権者	000004237 日本電気株式会社 東京都港区芝五丁目7番1号
(86)(22)出願日	平成30年5月25日(2018.5.25)	(74)代理人	100103894 弁理士 家入 健
(86)国際出願番号	PCT/JP2018/020173	(72)発明者	富田 功 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気 株式会社内
(87)国際公開番号	WO2019/012818	審査官	鴨川 学
(87)国際公開日	平成31年1月17日(2019.1.17)		
審査請求日	令和1年12月26日(2019.12.26)		
(31)優先権主張番号	特願2017-138042(P2017-138042)		
(32)優先日	平成29年7月14日(2017.7.14)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 プラガブル光モジュール、光通信システム及びプラガブル光モジュールの制御方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

光通信装置に対して挿抜可能なプラガブル光モジュールであって、
光を出力する光源と、
前記光源から出力される前記光を第1の分岐光と第2の分岐光とに分岐する第1の分岐部と、
前記第1の分岐光を変調して第1の光信号を出力する変調器と、
前記第2の分岐光と入力された第2の光信号とを干渉させて前記第2の光信号を受信する受信器と、
前記変調器から出力される前記第1の光信号を増幅するファイバ型光増幅器と、
前記ファイバ型光増幅器を励起する励起光を前記ファイバ型光増幅器へ出力する励起光源と、
前記ファイバ型光増幅器で増幅された前記第1の光信号の光パワーを減衰させる第1の光減衰器と、
前記第1の光減衰器での前記第1の光信号の減衰量を制御する制御部と、を備え、
前記制御部は、前記第1の光信号の減衰量を調整し、かつ、前記励起光源からの前記励起光の出力を調整する、
プラガブル光モジュール。

【請求項2】

前記制御部は、前記第1の光信号の減衰量を調整し、かつ、前記励起光源からの前記励起

光の出力を調整して、前記ブラガブル光モジュールからの前記励起光による漏れ光を防止する、

請求項 1 に記載のブラガブル光モジュール。

【請求項 3】

前記制御部は、前記第 1 の光信号の減衰量を所定値よりも大きくし、かつ、前記励起光源からの前記励起光の出力を停止する、

請求項 1 又は 2 に記載のブラガブル光モジュール。

【請求項 4】

前記制御部は、前記光通信装置からの制御信号に応じて、前記第 1 の光信号の減衰量を調整し、かつ、前記励起光源からの前記励起光の出力を調整する、

請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載のブラガブル光モジュール。

【請求項 5】

前記第 1 の光減衰器で減衰した前記第 1 の光信号の一部をモニタ光として分岐する第 2 の分岐部と、

前記モニタ光に基づいたモニタ信号を前記制御部へ出力するモニタ部と、を更に備え、前記制御部は、前記モニタ信号に基づいて前記第 2 の分岐部から出力される前記第 1 の光信号の光パワーを監視し、前記第 1 の光信号の光パワーが所定範囲に収まるように、前記光源、前記励起光源及び前記第 1 の光減衰器の一部又は全部をフィードバック制御する、請求項 1 乃至 4 のいずれか一項に記載のブラガブル光モジュール。

【請求項 6】

前記変調器は、マッハツェンダ変調器を含み、

前記制御部は、前記第 1 の光信号の減衰量を調整した後に、前記マッハツェンダ変調器の導波路に設けられた位相変調領域に印加するバイアス電圧を調整する、

請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載のブラガブル光モジュール。

【請求項 7】

前記制御部は、前記変調器から出力される光をモニタし、モニタした光の光パワーが所定範囲に収まるように、前記バイアス電圧をフィードバック制御する、

請求項 6 に記載のブラガブル光モジュール。

【請求項 8】

前記ファイバ型光増幅器から出力される第 1 の光信号をフィルタリングする帯域フィルタを更に備える、

請求項 1 乃至 7 のいずれか一項に記載のブラガブル光モジュール。

【請求項 9】

光通信装置と、

前記光通信装置に対して挿抜可能なブラガブル光モジュールと、を備え、

前記ブラガブル光モジュールは、

光を出力する光源と、

前記光源から出力される前記光を第 1 の分岐光と第 2 の分岐光とに分岐する第 1 の分岐部と、

前記第 1 の分岐光を変調して第 1 の光信号を出力する変調器と、

前記第 2 の分岐光と入力された第 2 の光信号とを干渉させて前記第 2 の光信号を受信する受信器と、

前記変調器から出力される前記第 1 の光信号を増幅するファイバ型光増幅器と、

前記ファイバ型光増幅器を励起する励起光を前記ファイバ型光増幅器へ出力する励起光源と、

前記ファイバ型光増幅器で増幅された前記第 1 の光信号の光パワーを減衰させる第 1 の光減衰器と、

前記第 1 の光減衰器での前記第 1 の光信号の減衰量を制御する制御部と、を備え、

前記制御部は、前記第 1 の光信号の減衰量を調整し、かつ、前記励起光源からの前記励起光の出力を調整する、

10

20

30

40

50

光通信システム。

【請求項 10】

光を出力する光源と、前記光源から出力される前記光を第1の分岐光と第2の分岐光とに分岐する第1の分岐部と、前記第1の分岐光を変調して第1の光信号を出力する変調器と、前記第2の分岐光と入力された第2の光信号とを干渉させて前記第2の光信号を受信する受信器と、前記変調器から出力される前記第1の光信号を増幅するファイバ型光増幅器と、前記ファイバ型光増幅器を励起する励起光を前記ファイバ型光増幅器へ出力する励起光源と、前記ファイバ型光増幅器で増幅された前記第1の光信号の光パワーを減衰させる第1の光減衰器と、前記第1の光減衰器での前記第1の光信号の減衰量を制御する制御部と、を有する、光通信装置に対して挿抜可能なブラガブル光モジュールにおいて、前記制御部に、前記第1の光信号の減衰量を調整させ、かつ、前記励起光源からの前記励起光の出力を調整させる、
ブラガブル光モジュールの制御方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ブラガブル光モジュール、光通信システム及びブラガブル光モジュールの制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

通信トラフィックの急激な増加により、伝送容量の拡大が必要となっている。これに応じて、光ネットワークシステムの高速化/大容量化が進展している。そのため、光ネットワークシステムのキーデバイスである光通信モジュールには、小型化/高速化が求められている。

20

【0003】

また、光通信システムの大容量化を実現する手法として、光信号の多値位相変調を行うデジタルコヒーレント通信が一般的となっている。このデジタルコヒーレント通信においても、同様に光通信モジュールの小型化/高速化が求められている。また、近年では、光通信システムを柔軟に構築するために、光通信装置に挿抜可能なブラガブル光モジュールの利用が進展している。

30

【0004】

デジタルコヒーレント通信に用いられるデジタルコヒーレントトランシーバは、一般に、光信号送信機能及び光信号受信機能の両方を有する。この場合、光信号送信機能の光変調器で変調されて光信号となる光を出力する波長可変光源と、光信号受信機能での光信号の検波に用いられる局部発振光を出力する波長可変光源と、が必要となる。これに対し、1つの光源からの光を分岐して送信側と受信側とに分配するトランシーバが提案されている(特許文献1及び2)。

【0005】

こうしたトランシーバでは、送信する光信号の光強度(光パワー)を確保するため、変調器の後段にエルビウム添加光ファイバ増幅器(EDFA: Erbium Doped optical Fiber Amplifier)が挿入される構成が知られている(特許文献1)。励起光源からEDFAに励起光を入力している状態で光信号がEDFAに入射すると、光信号は増幅されてEDFAから出射することとなる。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【文献】特開2016-82590号公報
国際公開第2014-141685号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

50

【 0 0 0 7 】

E D F A を設ける場合には、上述の通り、E D F A に励起光を供給する励起光源が必要となる。一方、デジタルコヒーレントトランシーバを含むブラガブル光モジュールでは、ホスト側の装置から光信号の出力遮断、光信号の波長切替などが指示される場合がある。この場合、誤った光信号がブラガブル光モジュールから漏れ出すのを防止するため、ブラガブル光モジュールからの光出力を一旦停止ないしは遮断し、波長切替などの処理を行った後に光出力を行う必要がある。

【 0 0 0 8 】

また、ホスト側装置には様々な種類のブラガブル光モジュールが挿入され得るという事情を考慮すると、ホスト側装置がブラガブル光モジュールに指示を与えたときに、ブラガブル光モジュールが光出力の停止動作ないしは遮断動作から光出力の開始までの処理を自律的に行えることが望ましい。

【 0 0 0 9 】

本発明は上記の事情に鑑みて成されたものであり、本発明の目的は、ブラガブル光モジュールにおいて、光出力を停止ないしは遮断した場合の漏れ光を防止することである。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 0 】

本発明の一態様であるブラガブル光モジュールは、光通信装置に対して挿抜可能なブラガブル光モジュールであって、光を出力する光源と、前記光源から出力される前記光を第1の分岐光と第2の分岐光とに分岐する第1の分岐部と、前記第1の分岐光を変調して第1の光信号を出力する変調器と、前記第2の分岐光と入力された第2の光信号とを干渉させて前記第2の光信号を受信する受信器と、前記変調器から出力される前記第1の光信号を増幅するファイバ型光増幅器と、前記ファイバ型光増幅器を励起する励起光を前記ファイバ型光増幅器へ出力する励起光源と、前記ファイバ型光増幅器で増幅された前記第1の光信号の光パワーを減衰させる第1の光減衰器と、前記第1の光減衰器での前記第1の光信号の減衰量を制御する制御部と、を有し、前記制御部は、前記第1の光信号の減衰量を調整し、かつ、前記励起光源からの前記励起光の出力を調整する、ものである。

【 0 0 1 1 】

本発明の一態様である光通信システムは、光通信装置と、前記光通信装置に対して挿抜可能なブラガブル光モジュールと、を有し、前記ブラガブル光モジュールは、光を出力する光源と、前記光源から出力される前記光を第1の分岐光と第2の分岐光とに分岐する第1の分岐部と、前記第1の分岐光を変調して第1の光信号を出力する変調器と、前記第2の分岐光と入力された第2の光信号とを干渉させて前記第2の光信号を受信する受信器と、前記変調器から出力される前記第1の光信号を増幅するファイバ型光増幅器と、前記ファイバ型光増幅器を励起する励起光を前記ファイバ型光増幅器へ出力する励起光源と、前記ファイバ型光増幅器で増幅された前記第1の光信号の光パワーを減衰させる第1の光減衰器と、前記第1の光減衰器での前記第1の光信号の減衰量を制御する制御部と、を有し、前記制御部は、前記第1の光信号の減衰量を調整するものである。

【 0 0 1 2 】

本発明の一態様であるブラガブル光モジュールの制御方法は、光を出力する光源と、前記光源から出力される前記光を第1の分岐光と第2の分岐光とに分岐する第1の分岐部と、前記第1の分岐光を変調して第1の光信号を出力する変調器と、前記第2の分岐光と入力された第2の光信号とを干渉させて前記第2の光信号を受信する受信器と、前記変調器から出力される前記第1の光信号を増幅するファイバ型光増幅器と、前記ファイバ型光増幅器を励起する励起光を前記ファイバ型光増幅器へ出力する励起光源と、前記ファイバ型光増幅器で増幅された前記第1の光信号の光パワーを減衰させる第1の光減衰器と、前記第1の光減衰器での前記第1の光信号の減衰量を制御する制御部と、を有する、光通信装置に対して挿抜可能なブラガブル光モジュールにおいて、前記制御部に、前記第1の光信号の減衰量を調整させ、かつ、前記励起光源からの前記励起光の出力を調整させる、ものである。

10

20

30

40

50

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、プラグブル光モジュールにおいて、光出力を停止ないしは遮断した場合の漏れ光を防止することができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】実施の形態1にかかるプラグブル光モジュールの基本構成を模式的に示すブロック図である。

【図2】実施の形態1にかかるプラグブル光モジュールの構成を模式的に示すブロック図である。

【図3】実施の形態1にかかるプラグブル光モジュールが搭載される光通信システムの構成例を示すブロック図である。

【図4】実施の形態1にかかる制御部の構成を模式的に示すブロック図である。

【図5】実施の形態1にかかる変調器の構成を模式的に示す図である。

【図6】実施の形態1にかかる受信器の構成例を示すブロック図である。

【図7】実施の形態1にかかるプラグブル光モジュールを光ファイバ側から見た場合の斜視図である。

【図8】実施の形態1にかかるプラグブル光モジュールを光通信装置側から見た場合の斜視図である。

【図9】実施の形態1にかかるプラグブル光モジュールの光出力遮断動作を模式的に示すシーケンス図である。

【図10】実施の形態1にかかるプラグブル光モジュールの光出力開始動作を模式的に示すシーケンス図である。

【図11】実施の形態2にかかるプラグブル光モジュールの構成を模式的に示すブロック図である。

【図12】実施の形態2にかかるプラグブル光モジュールの光信号のフィードバック制御動作を示すシーケンス図である。

【図13】光信号の光強度（光パワー）の目標値と光源、励起光源及び光減衰器の設定値との関係を示すルックアップテーブルの例を示す図である。

【図14】実施の形態3にかかるプラグブル光モジュールのバイアス電圧調整動作を示すシーケンス図である。

【図15】実施の形態4にかかるプラグブル光モジュールの構成を模式的に示すブロック図である。

【図16】実施の形態4にかかるプラグブル光モジュールのフィルタ帯域制御動作を示すシーケンス図である。

【図17】実施の形態5にかかるプラグブル光モジュールの構成を模式的に示すブロック図である。

【図18】実施の形態5にかかるプラグブル光モジュールの光出力遮断動作を示すシーケンス図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態について説明する。各図面においては、同一要素には同一の符号が付されており、必要に応じて重複説明は省略される。

【0016】

実施の形態1

実施の形態1にかかるプラグブル光モジュール100について説明する。プラグブル光モジュール100は、例えば、外部の通信装置との間でデジタルコヒーレント光通信を行う光トランシーバとして構成されるものである。図1は、実施の形態1にかかるプラグブル光モジュール100の基本構成を模式的に示すブロック図である。図2は、実施の形態1にかかるプラグブル光モジュール100の構成を模式的に示すブロック図である。図3は

10

20

30

40

50

、実施の形態 1 にかかる プラガブル光モジュール 1 0 0 が搭載される光通信システム 1 0 0 0 の構成例を示すブロック図である。

【 0 0 1 7 】

図 2 に示すように、プラガブル光モジュール 1 0 0 は、光ファイバ 9 1 及び 9 2 の端部に設けられたコネクタ部が挿抜可能に構成される。光ファイバ 9 1 及び 9 2 のコネクタとしては、例えば LC 型コネクタや MU 型コネクタを用いることができる。プラガブル光モジュール 1 0 0 は、通信ホスト装置である光通信装置 9 3 から入力される制御信号 CON に基づいて制御される。プラガブル光モジュール 1 0 0 は、制御信号 CON とともに、光通信装置 9 3 からデータ信号である変調信号 MOD を受信することも可能である。この場合、プラガブル光モジュール 1 0 0 は、受信した変調信号 MOD に基づいて変調した光信号 LS 1 (第 1 の光信号とも称する) を、光ファイバ 9 1 を介して出力することができる。また、プラガブル光モジュール 1 0 0 は、光ファイバ 9 2 を介して外部から受信した光信号 LS 2 (第 2 の光信号とも称する) を復調したデータ信号 DAT を、光通信装置 9 3 へ出力することができる。

10

【 0 0 1 8 】

光通信装置 9 3 は、例えば、プラガブル光モジュール 1 0 0 からの通信データ信号又はプラガブル光モジュール 1 0 0 に入力する通信データ信号のフレーム処理等の通信データ処理を行う。光通信装置 9 3 の詳細については、後に説明する。

【 0 0 1 9 】

プラガブル光モジュール 1 0 0 は、プラガブル電気コネクタ 1、プラガブル光レセプタ 2、制御部 1 1、光源 1 2、分岐部 1 3、変調器 1 4、受信器 1 5、エルビウム添加光ファイバ増幅器 (E D F A : Erbium Doped optical Fiber Amplifier) 1 6、励起光源 1 7 及び光減衰器 1 8 を有する。

20

【 0 0 2 0 】

プラガブル電気コネクタ 1 は、光通信装置 9 3 に挿抜可能な I / O (Input / Output) ポートとして構成される。光通信装置 9 3 からは、プラガブル電気コネクタ 1 を介して、電気信号である制御信号 CON が制御部 1 1 へ出力され、電気信号である変調信号 MOD が変調器 1 4 へ出力される。また、受信器 1 5 からは、プラガブル電気コネクタ 1 を介して、データ信号 DAT が光通信装置 9 3 へ出力される。

【 0 0 2 1 】

プラガブル光レセプタ 2 は、光ファイバ 9 1 及び 9 2 のコネクタが挿抜可能に構成される。光信号 LS 1 は、プラガブル光レセプタ 2 を介して、光ファイバ 9 1 に送出される。光ファイバ 9 2 を伝搬してプラガブル光モジュール 1 0 0 に入力される光信号 LS 2 は、プラガブル光レセプタ 2 を介して、受信器 1 5 に入力される。なお、プラガブル光レセプタ 2 を単一の部品として説明したが、当然のことながら、光ファイバ 9 1 が挿抜可能なプラガブル光レセプタと光ファイバ 9 2 が挿抜可能なプラガブル光レセプタとが分離して設けられてもよい。

30

【 0 0 2 2 】

制御部 1 1 は、制御信号 CON に応じて、プラガブル光モジュール 1 0 0 の各部、すなわち、光源 1 2、変調器 1 4、受信器 1 5、励起光源 1 7 及び光減衰器 1 8 の動作を制御可能に構成される。この例では、制御部 1 1 は、制御信号 CON に応じて制御信号 CON 1 ~ CON 5 を生成し、制御信号 CON 1 ~ CON 5 を、例えばプラガブル電気コネクタ 1 を介して、それぞれ光源 1 2、変調器 1 4、受信器 1 5、励起光源 1 7 及び光減衰器 1 8 へ出力する。

40

【 0 0 2 3 】

制御部 1 1 は、コンピュータなどのハードウェア資源を用いて構成することが可能である。以下、制御部 1 1 の構成例について説明する。図 4 は、実施の形態 1 にかかる制御部 1 1 の構成を模式的に示すブロック図である。

【 0 0 2 4 】

制御部 1 1 は、中央処理装置 (C P U) 1 1 A、不揮発性記憶装置 (N V M) 1 1 B、ラ

50

ンダムアクセスメモリ（RAM）11C、入出力ポート（I/O）11D及び内部バス11Eを有する。図示しないが、制御部11は、アナログモジュール、クロック発振器（CPG）などの、他の機能ブロックやモジュールを有していてもよい。また、図示しないが、制御部11は、アナログモジュールとして、例えばアナログ/デジタル（A/D）変換器およびデジタル/アナログ（D/A）変換器などが設けられる。

【0025】

CPU11Aは、主にNVM11Bから命令を読み込んで動作し、作業用のデータ領域としてRAM11CやI/O11Dなどをリード/ライトする。CPU11Aがプログラムを実行することで、制御部11は所要の処理を実現する。

【0026】

NVM11Bは、CPU11Aからのコマンドなどによって、消去や書き込みの動作を開始する。例えば、制御部11は、NVM11Bから制御情報やプログラムを読み出し、実行することができる。

【0027】

RAM11Cは、CPU11Aの作業用に使用される。また、RAM11Cは、NVM11Bの書き換え時に書き込み内容を一時記憶するために使用される。

【0028】

I/O11Dは、種々の入出力機能を有し、CPU11Aのプログラム実行に従って動作する。I/O11Dは、光通信装置93から出力される制御信号CONを受け取り、内部バス11Eを介して制御部11へ転送する。また、I/O11Dは、内部バス11Eを介して制御部11が出力する各種の制御信号CON1～CON5を受け取り、プラグブル光モジュール100の各部へ、例えばプラグブル電気コネクタ1を介して転送する。

【0029】

光源12は、制御信号CON1に応じて決定された波長の光を出力する波長可変光源として構成される。光源12は、例えば、半導体光増幅器と波長フィルタとを有する光源ユニットとして構成してもよい。

【0030】

分岐部13（第1の分岐部とも称する）は、光源12が出力した光を光L2（第1の分岐光とも称する）と局部発振光LO（第2の分岐光とも称する）とに分岐する。分岐部13としては、Y分岐、ビームスプリッタ、プリズムなどの入射する光を分岐できる各種の光学部品を用いてもよい。

【0031】

変調器14は、光通信装置93からプラグブル電気コネクタ1を介して入力される変調信号MODに基づいて、分岐部13で分岐された光L2を変調し、変調光を光信号LS1として出力する。変調器14の動作は、制御部11から入力される制御信号CON2に基づいて制御される。これにより、変調器14は、光L2の波長に応じた適切な変調動作を行うことができる。

【0032】

変調器14は、例えばマッハツェンダ光変調器として構成してもよい。変調器14をマッハツェンダ光変調器として構成した場合、マッハツェンダ光変調器の光導波路に設けられた位相変調領域に変調信号MODに応じた信号を印加することで、光L2を変調することができる。変調器14は、位相変調、振幅変調、偏波変調などの各種の変調方式で、又は、各種の変調方式を組み合わせることで光L2を変調することができる。ここで、マッハツェンダ型光変調器は、例えば、半導体光変調器等である。

【0033】

上述の位相変調領域とは、光導波路上に形成された電極を有する領域である。位相変調領域の電極に電気信号、例えば電圧信号が印加されることにより、電極下の光導波路の実効屈折率が変化する。その結果、位相変調領域の光導波路の実質的な光路長を変化させることができる。これにより、位相変調領域の光導波路を伝搬する光信号の位相を変化させることができる。マッハツェンダ変調器では、2本の光導波路の間を伝搬する光信号間に位

10

20

30

40

50

相差を与えて、その後2つの光信号を合波することで、合波後の光信号を変調することができる。

【0034】

変調器14の構成例について説明する。図5は、実施の形態1にかかる変調器14の構成を模式的に示す図である。ここでは、変調器14は、一般的なマッハツェンダ型光変調器として構成される。変調器14は、駆動回路14Aと、基板14B上に形成された光導波路WG1～WG4及び位相変調領域PMA、PMBと、を有する。光導波路WG1の一端には、光源12から出力された光L2が入射する。光導波路WG1の他端は、光導波路WG2の一端及び光導波路WG3の一端と光学的に接続される。よって、光導波路WG1を伝搬する光は、光導波路WG2と光導波路WG3とに分岐される。光導波路WG2の他端及び光導波路WG3の他端とは、光導波路WG4の一端と接続される。光導波路WG2には、光導波路WG2を伝搬する光の位相を変化させる位相変調領域PMAが配置される。光導波路WG3には、光導波路WG2を伝搬する光の位相を変化させる位相変調領域PMBが配置される。光導波路WG4の他端からは、光信号LS1が出力される。

10

【0035】

駆動回路14Aは、変調器14の変調動作を制御するとともに、位相変調領域PMA及びPMBの一方又は双方に、制御信号CON2に応じたバイアス電圧VBIASを印加することで、変調器14の動作点を制御することができる。以下では、駆動回路14Aは、位相変調領域PMA及びPMBの両方にバイアス電圧を印加するものとして説明する。また、駆動回路14Aは、位相変調領域PMA及びPMBの一方又は双方に変調信号MODに応じた信号を印加することで、光L2を変調した光信号LS1が変調器14から出力される。この例では、駆動回路14Aは、変調信号MODに応じた変調信号SIG_M1を位相変調領域PMAに印加し、変調信号MODに応じた変調信号SIG_M2を位相変調領域PMBに印加する。

20

【0036】

受信器15は、光ファイバ92を介して外部から受信した光信号LS2を、局部発振光LOと干渉させることで復調を行う。受信器15は、復調された電気信号であるデータ信号DATを、プラグブル電気コネクタ1を介して光通信装置93へ出力する。受信器15は、制御部11が出力する制御信号CON3によって制御され、光信号LS2（ないしは局部発振光LO）の波長に応じた最適な復調動作を行うことができる。

30

【0037】

受信器15は、例えば、DP-QPSK（Dual-Polarization Quadrature Phase-Shift Keying）光信号を電気信号に復調するデジタルコヒーレント受信を行う受信器である。図6は、実施の形態1にかかる受信器15の構成例を示すブロック図である。図6に示すように、受信器15は、偏光ビームスプリッタ（Polarization Beam Splitter：以下、PBSと表記する）31、PBS32、90°ハイブリッド33及び34、光電変換器（O/E：Optical/Electrical converter）41～44、アナログ/デジタル変換器（ADC：Analog to Digital Converter）51～54及びデジタル信号処理部（Digital Signal Processor、以下DSPと表記する）35を有する。

40

【0038】

PBS31には、プラグブル光レセプタ2を介して、光信号LS2（例えば、DP-QPSK光信号）が入力する。PBS31は、入力した光信号LS2を、直交する2つの偏波成分に分離する。具体的には、PBS31は、光信号LS2を、互いに直交するx偏波成分 x_{in} とy偏波成分 y_{in} とに分離する。x偏波成分 x_{in} は90°ハイブリッド33に入力し、y偏波成分 y_{in} は90°ハイブリッド34に入力する。

【0039】

光源12からの局部発振光LOは、PBS32に入力する。本実施の形態では、PBS32は、局部発振光LOを、直交する2つの偏波成分（x偏波成分 LO_x 及びy偏波成分 LO_y ）に分離する。局部発振光LOのx偏波成分 LO_x は90°ハイブリッド33に入力

50

し、局部発振光LOのy偏波成分 LO_y は90°ハイブリッド34に入力する。

【0040】

90°ハイブリッド33は、局部発振光LOのx偏波成分 LO_x とx偏波成分 x_{in} とを干渉させることで検波し、I(In-phase:同相)成分(以下、 x_{in} -I成分)と、I成分と位相が90°異なるQ(Quadrature:直交)成分(以下、 x_{in} -Q成分)と、を検波光として出力する。90°ハイブリッド34は、局部発振光LOのy偏波成分 LO_y とy偏波成分 y_{in} とを干渉させることで検波し、I成分(以下、 y_{in} -I成分)及びQ成分(以下、 y_{in} -Q成分)を検波光として出力する。

【0041】

光電変換器41~44は、90°ハイブリッド33及び34が出力する4つの光信号(x_{in} -I成分、 x_{in} -Q成分、 y_{in} -I成分及び x_{in} -Q成分)のそれぞれを光電変換する。そして、光電変換器41~44は、光電変換により生成したアナログ電気信号を、それぞれADC51~54に出力する。具体的には、光電変換器41は、 x_{in} -I成分を光電変換し、生成したアナログ電気信号をADC51に出力する。光電変換器42は、 x_{in} -Q成分を光電変換し、生成したアナログ電気信号をADC52に出力する。光電変換器43は、 y_{in} -I成分を光電変換し、生成したアナログ電気信号をADC53に出力する。光電変換器44は、 y_{in} -Q成分を光電変換し、生成したアナログ電気信号をADC54に出力する。

10

【0042】

ADC51~54は、光電変換器41~44が出力するアナログ電気信号を、それぞれデジタル信号に変換し、変換したデジタル信号をDSP35に出力する。

20

【0043】

DSP35は、入力するデジタル信号に所定の偏波分離デジタル信号処理を行い、復調した信号を含むデータ信号DATを出力する。データ信号DATは、プラガブル電気コネクタ1を介して、外部の光通信装置93に出力される。

【0044】

プラガブル光モジュール100の構成について、図1及び2を参照して引き続き説明する。EDFA16は、ファイバ型光増幅器であり、変調器14から出力された光信号LS1を増幅し、増幅した光信号LS1を出力する。

【0045】

励起光源17は、EDFA16を励起するための励起光Leを、EDFA16へ出力する。励起光源17の動作は、制御部11が出力する制御信号CON4によって制御される。

30

【0046】

光減衰器18(第1の光減衰器とも称する)は、光信号LS1を減衰させる可変光減衰器(VOA:Variable Optical Attenuator)として構成される。この可変光減衰器(VOA)は、例えば利得制御によって出力する光のパワーを制御可能な半導体光増幅器(Semiconductor Optical Amplifier)や物理的に光を遮るシャッターなどで実現されてもよく、換言すれば、ここでいう光減衰器18とは、上述の半導体光増幅器やシャッターなどの、出力する光のパワーを制御する又は遮ることができる光パワー調整部として機能し得る各種の光学部品を含む。これにより、光信号LS1の光強度(光パワー)を所望の値に調整することができる。光減衰器18の動作は、制御部11が出力する制御信号CON5によって制御される。光減衰器18を通過した光信号LS1は、プラガブル光レセプタ2を介して光ファイバ91に出力される。

40

【0047】

次いで、図3を参照して、光通信装置93について説明する。図3に示すように、光通信装置93は、例えば複数のスロット95を有し、スロット95のそれぞれはプラガブル光モジュール100を挿抜可能に構成される。プラガブル光モジュール100は、光通信装置93内部に複数設けられた基板94のうち、挿入されたスロット95に対応する基板94と間で信号のやり取りを行う。基板94には、インターフェイス部(I/F)94A、制御部94B、送信部94C及び受信部94Dが設けられている。I/F94Aは、プラ

50

ダブル光モジュール100と制御部94B、送信部94C及び受信部94Dとの間の通信を媒介する。制御部94Bは、制御信号CONによってプラダブル光モジュール100の動作を制御するとともに、送信部94C及び受信部94Dを併せて制御可能に構成される。送信部94Cは、例えば送信用のフレームとして構成され、外部から受け取った信号に所望の信号処理を行うことで、プラダブル光モジュール100に変調信号MODを出力できるように構成される。受信部94Dは、例えば受信用のフレームとして構成され、プラダブル光モジュール100から出力されるデータ信号DATに所望の信号処理を行うことで、データ信号DATを光通信装置93又は光通信装置93に接続される装置に利用可能な信号に変換できるように構成される。

【0048】

以上の構成により、デジタルコヒーレント通信用のプラダブル光モジュールにおいて、光源を1つ設けるだけで、変調器14に変調対象となる光L1を供給し、かつ、受信した光信号LS2を復調するための局部発振光LOを供給することができる。つまり、光L1を供給するための光源と局部発振光LOを供給するための光源とを独立して設ける必要がないので、プラダブル光モジュール100の小型化及び製造コスト低減を実現できる。

【0049】

次いで、プラダブル光モジュール100の外観を示す。図7は、実施の形態1にかかるプラダブル光モジュール100を光ファイバ91及び92側から見た場合の斜視図である。図7に示す符号61は、プラダブル光モジュール100の上面を示す。図7に示す符号62は、プラダブル光レセプタ2の光ファイバのコネクタの差込口を示す。図8は、実施の形態1にかかるプラダブル光モジュール100を光通信装置93側から見た場合の斜視図である。図8に示す符号63は、プラダブル光モジュール100の下面を示す。図8に示す符号64は、プラダブル電気コネクタ1の光通信装置93との接続部を示す。

【0050】

次いで、プラダブル光モジュール100の動作について説明する。プラダブル光モジュール100は、上述したように、外部から出力する光信号LS1の波長の切替を指示されたり、光信号LS1の出力を中止ないしは中断することを指示されることがある。この場合、EDFA16を励起するために励起光源17から出力されている励起光Leがプラダブル光レセプタ2を介して光ファイバ91へ漏れ出すのを防止することが求められる。そのため、プラダブル光モジュール100は、光信号LS1の出力を停止ないしは遮断するときに、励起光Leの漏れを確実に防ぐように動作する。

【0051】

図9は、実施の形態1にかかるプラダブル光モジュール100の光出力遮断動作を模式的に示すシーケンス図である。

【0052】

ステップSD11

光通信装置93は、制御信号CONを出力する。制御部11は、プラダブル電気コネクタ1を介して制御信号CONを受け取る。受け取った制御信号には光信号の出力遮断指示や光信号の波長切替指示などの光出力遮断指示が含まれる。

【0053】

ステップSD12

制御部11は、制御信号CONに応じて、光減衰器18の光減衰量ATTが所定の値THよりも大きくなるように、制御信号CON5を用いて光減衰器18を制御する。これにより、光減衰器18は、励起光Leを遮断するシャッターとして機能する。制御部11は、光減衰器18の光減衰量ATTが最大又は十分大きな値となるように制御してもよい。

【0054】

ステップSD13

次いで、制御部11は、制御信号CONに応じて、励起光源17からの励起光Leの出力が停止するように、制御信号CON4を用いて励起光源17を制御する。

【0055】

10

20

30

40

50

なお、ここでは、ステップ S D 1 2 の後にステップ S D 1 3 が実行されるものとしたが、ステップの実行順序はこれに限られず、ステップ S D 1 3 の後にステップ S D 1 2 が実行されてもよいし、ステップ S D 1 2 とステップ S D 1 3 とが並行して実行されてもよい。

【 0 0 5 6 】

以上の動作によって、光通信装置 9 3 から光信号遮断指示を受け取った場合に、励起光源 1 7 から出力される励起光 L e がブラガブル光モジュール 1 0 0 から漏れ出すことを防止することができる。

【 0 0 5 7 】

ステップ S D 1 3 の完了後、制御部 1 1 は、光出力の遮断が完了したことを通知する信号を、ブラガブル電気コネクタ 1 を介して光通信装置 9 3 へ出力してもよい。これにより、光通信装置 9 3 はブラガブル光モジュール 1 0 0 に指示した光出力の遮断が完了したことを確認することが可能となる。

10

【 0 0 5 8 】

制御部 1 1 が光通信装置 9 3 から受け取った制御信号 C O N に、光信号の波長切替指示が含まれている場合には、ステップ S D 1 3 の完了後に、制御信号 C O N 1 を用いて光源 1 2 に光 L 1 の波長の切替を指示してもよい。これにより、光信号を所望の波長に切り換えることが可能となる。

【 0 0 5 9 】

次いで、ブラガブル光モジュール 1 0 0 の光出力開始動作について説明する。例えば上述の光出力遮断動作後、光信号の出力を再開して、光ファイバを介した光信号の送信が開始されることとなる。図 1 0 は、実施の形態 1 にかかるブラガブル光モジュール 1 0 0 の光出力開始動作を模式的に示すシーケンス図である。

20

【 0 0 6 0 】

ステップ S E 1 1

光通信装置 9 3 は、制御信号 C O N を出力する。制御部 1 1 は、ブラガブル電気コネクタ 1 を介して制御信号 C O N を受け取る。受け取った制御信号には光信号の出力開始指示が含まれる。

【 0 0 6 1 】

ステップ S E 1 2

制御部 1 1 は、制御信号 C O N に応じて、励起光源 1 7 が励起光 L e を出力するように、制御信号 C O N 4 を用いて励起光源 1 7 を制御する。これにより、励起光源 1 7 から E D F A 1 6 へ励起光 L e が出力される。

30

【 0 0 6 2 】

ステップ S E 1 3

その後、制御部 1 1 は、光減衰器 1 8 の光減衰量 A T T が光信号 L S 1 の出力に適した値 T R G となるように、制御信号 C O N 5 を用いて光減衰器 1 8 を制御する。

【 0 0 6 3 】

以上の動作によって、光通信装置 9 3 から光出力開始指示を受け取った場合に、励起光源 1 7 から E D F A 1 6 へ励起光 L e が出力される。これによって、E D F A 1 6 によって光信号 L S 1 を増幅し、光減衰器 1 8 で所定量だけ減衰させて、光信号 L S 1 を光ファイバ 9 1 へ出力することができる。

40

【 0 0 6 4 】

また、ステップ S E 1 3 の完了後、制御部 1 1 は、光出力の開始動作が完了したことを通知する信号を、ブラガブル電気コネクタ 1 を介して光通信装置 9 3 へ出力してもよい。これにより、光通信装置 9 3 はブラガブル光モジュール 1 0 0 に指示した光出力の開始動作が完了したことを確認することが可能となる。

【 0 0 6 5 】

実施の形態 2

次に、実施の形態 2 にかかるブラガブル光モジュール 2 0 0 について説明する。ブラガブル光モジュール 2 0 0 は、実施の形態 1 にかかるブラガブル光モジュール 1 0 0 の変形例

50

である。図 1 1 は、実施の形態 2 にかかるブラガブル光モジュール 2 0 0 の構成を模式的に示すブロック図である。ブラガブル光モジュール 2 0 0 は、ブラガブル光モジュール 1 0 0 に、分岐部 2 1 及びモニタ部 2 2 を追加した構成を有する。ブラガブル光モジュール 2 0 0 のその他の構成は、ブラガブル光モジュール 1 0 0 と同様であるので、説明を省略する。

【 0 0 6 6 】

分岐部 2 1 (第 2 の分岐部とも称する) は、ブラガブル電気コネクタ 1 と光減衰器 1 8 との間に挿入され、光信号 L S 1 の一部を分岐し、分岐されたモニタ光 L m はモニタ部 2 2 へ出力される。

【 0 0 6 7 】

モニタ部 2 2 は、例えばフォトダイオードなどの光電変換素子を含み、モニタ光 L m に基づいて光ファイバ 9 1 へ出力される光信号 L S 1 の光強度 (光パワー) を検出する。モニタ部 2 2 は、検出結果を示すモニタ信号 M O N を制御部 1 1 へ出力する。

【 0 0 6 8 】

次いで、ブラガブル光モジュール 2 0 0 における光信号のフィードバック制御について説明する。図 1 2 は、実施の形態 2 にかかるブラガブル光モジュール 2 0 0 の光信号のフィードバック制御動作を示すシーケンス図である。

【 0 0 6 9 】

ステップ S 2 1

モニタ部 2 2 は、モニタ光 L m に基づいて光信号 L S 1 の光強度 (光パワー) を検出し、検出結果を示すモニタ信号 M O N を制御部 1 1 へ出力する。

【 0 0 7 0 】

ステップ S 2 2

制御部 1 1 は、モニタ信号 M O N を参照することで光信号 L S 1 の光強度 (光パワー) を監視し、光信号 L S 1 の光強度 (光パワー) が所定値となるように又は所定範囲に収まるように、光源 1 2、励起光源 1 7 及び光減衰器 1 8 の一部又は全部をフィードバック制御する。このとき、光源 1 2、励起光源 1 7 及び光減衰器 1 8 の一部のみを制御し、他のものについては予め決定された値で駆動されてもよい。これにより、光信号 L S 1 の光強度 (光パワー) を所望の値ないしは所望の範囲内に調整する。

【 0 0 7 1 】

このとき、制御部 1 1 は、光信号 L S 1 の光強度 (光パワー) が予め決定された所定の値ないしは所定の範囲内になるようにフィードバック制御を行ってもよい。予め決定された所定の値及び所定の範囲は、ブラガブル光モジュール 1 0 0 に設けられた図示しない記憶装置に格納してもよく、制御部 1 1 はこの記憶装置に格納された所定の値及び所定の範囲を適宜参照可能に構成されてもよい。また、上述のフィードバック制御は、ハードウェアで構成されたフィードバックループによって自動的に制御されてもよい。

【 0 0 7 2 】

また、図示しないが、E D F A 1 6 の増幅率が一定値ないしは所定の範囲内となるように、励起光源 1 7 の光出力 (光パワー) がフィードバック制御されてもよい。このフィードバック制御は、制御部 1 1 が制御信号 C O N 4 を使用して励起光源 1 7 の光出力 (光パワー) を調整することで実現してもよいし、ハードウェアで構成されたフィードバックループによって自動的に制御されてもよい。

【 0 0 7 3 】

光信号 L S 1 に対する所定の値ないしは所定の範囲は、光通信装置 9 3 が所定の値ないしは所定の範囲を示す制御情報を含む制御信号 C O N を制御部 1 1 に与えることで設定してもよい。この制御情報は、上述の記憶装置に格納されてもよい。この場合、所定の値及び所定の範囲を示す情報はルックアップテーブルとして格納されてもよい。図 1 3 に、光信号の光強度 (光パワー) の目標値と光源、励起光源及び光減衰器の設定値との関係を示すルックアップテーブルの例を示す。

【 0 0 7 4 】

10

20

30

40

50

以上、本構成によれば、モニタ信号MONを用いて、光信号LS1の光強度（光パワー）が所望の値ないしは所望の範囲内になるようにフィードバック制御を行うことが可能となる。

【0075】

実施の形態3

次に、実施の形態3にかかるブラガブル光モジュール300について説明する。ブラガブル光モジュール300は、実施の形態1にかかるブラガブル光モジュール100の変形例である。ブラガブル光モジュール300は、制御部11が変調器14を併せて制御する点で、ブラガブル光モジュール100と相違する。

【0076】

制御部11は、制御信号CON2を用いて、変調器14を駆動させる動作点を調整するため、バイアス電圧VBiasを制御する。バイアス電圧VBiasを変更するときにはブラガブル光モジュール300からの光出力を停止するので、上述の実施の形態と同様に、励起光Leの光ファイバ91への漏れ出しを防止することが求められる。以下、バイアス電圧調整動作について説明する。図14は、実施の形態3にかかるブラガブル光モジュール300のバイアス電圧調整動作を示すシーケンス図である。

【0077】

ステップS31

制御部11は、光減衰器18の光減衰量ATTが所定の値THよりも大きくなるように、制御信号CON5を用いて光減衰器18を制御する。これにより、光減衰器18は、励起光Leを遮断するシャッターとして機能する。制御部11は、光減衰器18の光減衰量ATTが最大又は十分大きな値となるように制御してもよい。

【0078】

ステップS32

制御部11は、励起光源17からの励起光Leの出力が停止するように、制御信号CON4を用いて励起光源17を制御する。

【0079】

なお、ここでは、ステップS31の後にステップS32が実行されるものとしたが、ステップの実行順序はこれに限られず、ステップS31の後にステップS32が実行されてもよいし、ステップS31とステップS32とが並行して実行されてもよい。

【0080】

ステップS33

制御部11は、変調器14の動作点が所望の動作点となるように、制御信号CON2を用いて変調器14のバイアス電圧VBiasを制御する。

【0081】

ステップS34

制御部11は、励起光源17が励起光Leを出力するように、制御信号CON4を用いて励起光源17を制御する。これにより、励起光源17からEDFA16へ励起光Leが出力される。

【0082】

ステップS35

その後、制御部11は、光減衰器18の光減衰量ATTが光信号LS1の出力に適した値TRGとなるように、制御信号CON5を用いて光減衰器18を制御する。

【0083】

以上の動作によって、ブラガブル光モジュール300は、励起光Leの漏れ出しを防止しつつ変調器14のバイアス電圧を自律的に制御することが可能となる。

【0084】

なお、バイアス電圧の制御は、光通信装置93が動作点調整指示を含む制御信号CONを制御部11に与え、制御部11が制御信号CONに応じてバイアス電圧の調整を行ってもよい。この場合、ステップS35の完了後、制御部11は、光出力の開始動作が完了した

10

20

30

40

50

ことを通知する信号を、プラグブル電気コネクタ 1 を介して光通信装置 9 3 へ出力してもよい。これにより、光通信装置 9 3 はプラグブル光モジュール 3 0 0 に指示した動作点調整が完了したことを確認することが可能となる。

【 0 0 8 5 】

この際、変調器 1 4 から出力される光をモニタし、モニタ結果に基づいてバイアス電圧 V B I A S をフィードバック制御することで、動作点をより確実に所望の動作点あるいは所望の範囲に調整してもよい。なお、変調器における光のモニタは、変調器から出力される光に限らず、マッハツェンダ変調器において導波路が合流する部位において、出力と接続される導波路の他に開放端を有する導波路がある場合には、当該開放端における光の出力をモニタして上述のフィードバック制御を行ってもよい。

10

【 0 0 8 6 】

実施の形態 4

次に、実施の形態 4 にかかるプラグブル光モジュール 4 0 0 について説明する。プラグブル光モジュール 4 0 0 は、実施の形態 1 にかかるプラグブル光モジュール 1 0 0 の変形例である。図 1 5 は、実施の形態 4 にかかるプラグブル光モジュール 4 0 0 の構成を模式的に示すブロック図である。プラグブル光モジュール 4 0 0 は、プラグブル光モジュール 1 0 0 に、WDM フィルタ 4 0 を追加した構成を有する。プラグブル光モジュール 4 0 0 のその他の構成は、プラグブル光モジュール 1 0 0 と同様であるので、説明を省略する。

【 0 0 8 7 】

WDM フィルタ 4 0 は、E D F A 1 6 と光減衰器 1 8 との間に挿入され、光信号 L S 1 の波長をフィルタリングする。これにより、光信号 L S 1 から例えば E D F A 1 6 に起因するノイズ成分などが除去される。

20

【 0 0 8 8 】

本実施の形態では、WDM フィルタ 4 0 のフィルタ帯域は、制御部 1 1 が出力する制御信号 C O N 6 によって制御することができる。WDM フィルタ 4 0 のフィルタ帯域を変更するときにはプラグブル光モジュール 4 0 0 からの光出力を停止するので、上述の実施の形態と同様に、励起光 L e の光ファイバ 9 1 への漏れ出しを防止することが求められる。以下、フィルタ帯域変更動作について説明する。図 1 6 は、実施の形態 4 にかかるプラグブル光モジュール 4 0 0 のフィルタ帯域制御動作を示すシーケンス図である。

【 0 0 8 9 】

ステップ S 4 1

光通信装置 9 3 は、制御信号 C O N を出力する。制御部 1 1 は、プラグブル電気コネクタ 1 を介して制御信号 C O N を受け取る。受け取った制御信号には光信号の波長切替指示の光出力遮断指示が含まれる。

30

【 0 0 9 0 】

ステップ S 4 2

制御部 1 1 は、光減衰器 1 8 の光減衰量 A T T が所定の値よりも小さくなるように、制御信号 C O N 5 を用いて光減衰器 1 8 を制御する。これにより、光減衰器 1 8 は、励起光を遮断するシャッターとして機能する。制御部 1 1 は、光減衰器 1 8 の光減衰量 A T T が最大又は十分大きな値となるように制御してもよい。

40

【 0 0 9 1 】

ステップ S 4 3

制御部 1 1 は、励起光源 1 7 からの励起光 L e の出力が停止するように、制御信号 C O N 4 を用いて励起光源 1 7 を制御する。

【 0 0 9 2 】

なお、ここでは、ステップ S 4 2 の後にステップ S 4 3 が実行されるものとしたが、ステップの実行順序はこれに限られず、ステップ S 4 2 の後にステップ S 4 3 が実行されてもよいし、ステップ S 4 2 とステップ S 4 3 とが並行して実行されてもよい。

【 0 0 9 3 】

ステップ S 4 4

50

制御部 11 は、WDM フィルタ 40 のフィルタ帯域が所望の帯域となるように、制御信号 CON 6 を用いて WDM フィルタ 40 をフィードバック制御する。なお、WDM フィルタ 40 は、制御部からの制御を受けないパッシブ部品として構成してもよい。この場合、WDM フィルタ 40 のフィルタ帯域は、範囲となるように設計時に決定される。

【0094】

ステップ S 4 5

制御部 11 は、励起光源 17 が励起光 Le を出力するように、制御信号 CON 4 を用いて励起光源 17 を制御する。これにより、励起光源 17 から EDFA 16 へ励起光 Le が出力される。

【0095】

ステップ S 4 6

その後、制御部 11 は、光減衰器 18 の光減衰量 ATT が光信号 LS 1 の出力に適した値 TRG となるように、制御信号 CON 5 を用いて光減衰器 18 を制御する。

【0096】

WDM フィルタ 40 のフィルタ帯域の制御情報は、実施の形態 2 と同様にルックアップテーブルの一部として記憶装置に格納されてもよい。また、光通信装置 93 が WDM フィルタ 40 のフィルタ帯域の制御情報を含む制御信号 CON を制御部 11 に与えることで設定されてもよい。この場合、ステップ S 4 6 の完了後、制御部 11 は、WDM フィルタ 40 のフィルタ帯域の制御動作が完了したことを通知する信号を、プラグブル電気コネクタ 1 を介して光通信装置 93 へ出力してもよい。これにより、光通信装置 93 はプラグブル光モジュール 400 に指示したフィルタ帯域の制御動作が完了したことを確認することが可能となる。

【0097】

実施の形態 5

次に、実施の形態 5 にかかるプラグブル光モジュール 500 について説明する。プラグブル光モジュール 500 は、実施の形態 1 にかかるプラグブル光モジュール 100 の変形例である。図 17 は、実施の形態 5 にかかるプラグブル光モジュール 500 の構成を模式的に示すブロック図である。プラグブル光モジュール 500 は、プラグブル光モジュール 100 に、光減衰器 50 (第 2 の光減衰器とも称する) を追加した構成を有する。プラグブル光モジュール 500 のその他の構成は、プラグブル光モジュール 100 と同様であるので、説明を省略する。

【0098】

プラグブル光モジュール 500 では、光信号 LS 1 の光強度 (光パワー) を制御するため、光源 12 から出力される光 L1 の光強度 (光パワー) を必要に応じて制御する。本構成では、送信側と受信側とで光源 12 を共有しているため、光 L1 の光強度 (光パワー) の変動に伴い、光 L1 を分岐した局部発振光 LO の光強度 (光パワー) も変動することとなる。しかしながら、光信号 LS 2 を復調するには、光信号 LS 2 の光強度 (光パワー) と局部発振光 LO の光強度 (光パワー) とをマッチングさせる必要があるため、局部発振光 LO の光強度 (光パワー) の変動に応じて光信号 LS 2 の光強度 (光パワー) を適宜調整する必要がある。つまり、光出力の遮断中や波長切替動作中に光源 12 から出力される光 L1 の光強度 (光パワー) を調整した場合には、併せて光信号 LS 2 の光強度 (光パワー) を適切に調整することが求められる。

【0099】

そのため、本実施の形態にかかるプラグブル光モジュール 500 では、光ファイバ 92 からプラグブル光レセプタ 2 を介して入力される光信号 LS 2 を減衰させる可変光減衰器である光減衰器 50 が設けられている。光減衰器 50 の減衰量は、制御部 11 が出力する制御信号 CON 7 によって制御することができる。制御部 11 が光減衰器 50 の減衰量を併せて調整することで、光源 12 から出力される光 L1 の光強度 (光パワー) を調整した場合でも、受信器 15 に入力する光信号 LS 2 の光強度 (光パワー) を適切な値ないしは適切な範囲内とすることができる。

10

20

30

40

50

【 0 1 0 0 】

以下、プラガブル光モジュール 5 0 0 の動作について説明する。図 1 8 は、実施の形態 5 にかかるプラガブル光モジュール 5 0 0 の光出力遮断動作を示すシーケンス図である。

【 0 1 0 1 】

ステップ S 5 1

光通信装置 9 3 は、制御信号 CON を出力する。制御部 1 1 は、プラガブル電気コネクタ 1 を介して制御信号 CON を受け取る。受け取った制御信号には光信号の出力遮断指示や光信号の波長切替指示などの光出力遮断指示が含まれる。

【 0 1 0 2 】

ステップ S 5 2

制御部 1 1 は、制御信号 CON に応じて、光源 1 2、励起光源 1 7 及び光減衰器 1 8 を適宜調整する。ステップ S 5 2 での光源 1 2、励起光源 1 7 及び光減衰器 1 8 の調整については、実施の形態 2 と同様であるので説明を省略する。

10

【 0 1 0 3 】

ステップ S 5 3

制御部 1 1 は、制御情報に応じて、調整後の光 L 1 の光強度（光パワー）に基づいて、分岐部 1 3 で分岐される局部発振光 LO の光強度（光パワー）に対して、受信器 1 5 に入力する光信号 LS 2 が所望の値ないしは所望の範囲内となるように、制御信号 CON 7 を用いて光減衰器 5 0 の減衰量を調整する。

【 0 1 0 4 】

ステップ S 5 4

制御部 1 1 は、制御情報に応じて、受信器 1 5 を設定する。このとき、制御部 1 1 は、例えば受信器に含まれる DSP の分散補償、スキュー補償などのデジタル処理に用いられるパラメータを設定する。

20

【 0 1 0 5 】

以上の動作によって、光通信装置 9 3 から光信号遮断指示を受け取った場合に、励起光源 1 7 から出力される励起光 Le がプラガブル光モジュール 1 0 0 から漏れ出すことを防止することができる。

【 0 1 0 6 】

加えて、光減衰器 5 0 の減衰量を調整することで光信号 LS 2 の光強度（光パワー）を局部発振光 LO の光強度（光パワー）にマッチングさせることができるので、プラガブル光モジュール 5 0 0 の光源 1 2 を調整した場合でも、適切な受信状態を確保することが可能となる。

30

【 0 1 0 7 】

また、ステップ S 5 4 の完了後、制御部 1 1 は、光出力の遮断が完了したことを通知する信号を、プラガブル電気コネクタ 1 を介して光通信装置 9 3 へ出力してもよい。これにより、光通信装置 9 3 はプラガブル光モジュール 5 0 0 に指示した光出力の遮断が完了したことを確認することが可能となる。

【 0 1 0 8 】

なお、光出力開始動作については、実施の形態 1 と同様であるので、ここでは説明を省略する。

40

【 0 1 0 9 】

その他の実施の形態

なお、本発明は上記実施の形態に限られたものではなく、趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更することが可能である。例えば、上述の実施の形態において、変調器への戻り光を防止するため、変調器と E D F A との間にアイソレータが挿入されてもよい。

【 0 1 1 0 】

分岐部 1 3 は、光源 1 2、変調器 1 4 及び受信器 1 5 から独立したものとして説明したが、これは例示に過ぎない。例えば、分岐部 1 3 は、光源 1 2 に組み込まれていてもよい。また、分岐部 1 3 は、変調器 1 4 に組み込まれていてもよい。この場合、光 L 1 は変調器

50

14に入力され、変調器14内部の分岐部13で分岐され、分岐された局部発振光LOが受信器15に入力される。更に、分岐部13は、受信器15に組み込まれていてもよい。この場合、光L1は受信器15に入力され、受信器15内部の分岐部13で分岐され、分岐された光L2が変調器14に入力される。

【0111】

上述の実施の形態においては、制御部11は、光通信装置93からの制御信号CONに応じて、光源、光変調器、受信器、励起光源及び光減衰器が制御される例についても説明したが、外部からの制御信号によらず、自律的に光源、光変調器、受信器、励起光源及び光減衰器を制御することもできる。

【0112】

上述の実施の形態において、プラグブル電気コネクタ1を介した制御信号のやり取りは、MDIO (Management Data Input/Output) やI2C (Inter-Integrated Circuit) といった技術を適用することで実現することができる。

10

【0113】

上述の実施の形態においては、受信器15は、DP-QPSK光信号を受信するものとして説明したが、これは例示に過ぎない。例えば、QAM (quadrature amplitude modulation) 等の他の変調信号を受信可能に構成されてもよい。

【0114】

上述の実施の形態においては、光源12を半導体光増幅器と波長フィルタとで構成するものとして説明したが、波長可変光源として機能するならば他の構成とすることができる。例えば、光源12は、DFB (Distributed FeedBack) レーザアレイと、DFBレーザアレイに含まれる複数のDFBレーザからのレーザ光を選択する選択部とで構成されてもよい。また、DFB (Distributed FeedBack) レーザアレイに代えて、DBR (Distributed Bragg Reflector) レーザなどの他の種類のレーザで構成されるレーザアレイを用いてもよい。

20

【0115】

実施の形態2~4を組み合わせたプラグブル光モジュールを構成できることはいうまでもない。例えば、モニタ信号をモニタして光信号の光パワーをフィードバック制御する構成 (実施の形態2)、バイアス電圧を調整する構成 (実施の形態3)、WDMフィルタを設けてフィルタリングする帯域を調整する構成 (実施の形態4)、及び、受信側の光信号の光パワーを局部発振光LOにマッチするように調整する構成 (実施の形態5) の一部又は全部を組み合わせたプラグブル光モジュールを構成してもよいことは、いうまでもない。

30

【0116】

上述の実施の形態で参照した図においては、プラグブル光モジュールに設けられた構成要素間、及び、光通信システムに設けられた構成要素 (プラグブル光モジュール及び光通信装置) 間での信号の伝達を矢印を用いて表したが、これは2つの構成要素間で一方向のみに信号が伝達されることを意味するものではなく、適宜双方向の信号のやり取りが可能であることはいうまでもない。

【0117】

制御部ないしは制御部に含まれるCPU (Central Processing Unit) にコンピュータプログラムを実行させることにより、上述の実施の形態で説明したプラグブル光モジュールを実現することも可能である。

40

【0118】

このプログラムは、様々なタイプの非一時的なコンピュータ可読媒体 (non-transitory computer readable medium) を用いて格納され、コンピュータに供給することができる。非一時的なコンピュータ可読媒体は、様々なタイプの実体のある記録媒体 (tangible storage medium) を含む。非一時的なコンピュータ可読媒体の例は、磁気記録媒体 (例えばフレキシブルディスク、磁気テープ、ハードディスクドライブ)、光磁気記録媒体 (例えば光磁気ディスク)、CD-ROM (Read Only Memory)、CD-R、CD-R /

50

W、半導体メモリ（例えば、マスクROM、PROM（Programmable ROM）、EPROM（Erasable PROM）、フラッシュROM、RAM（random access memory））を含む。また、プログラムは、様々なタイプの一時的なコンピュータ可読媒体（transitory computer readable medium）によってコンピュータに供給されてもよい。一時的なコンピュータ可読媒体の例は、電気信号、光信号、及び電磁波を含む。一時的なコンピュータ可読媒体は、電線及び光ファイバ等の有線通信路、又は無線通信路を介して、プログラムをコンピュータに供給できる。

【0119】

以上、実施の形態を参照して本願発明を説明したが、本願発明は上記によって限定されるものではない。本願発明の構成や詳細には、発明のスコープ内で当業者が理解し得る様々な変更をすることができる。

10

【0120】

この出願は、2017年7月14日に出願された日本出願特願2017-138042を基礎とする優先権を主張し、その開示の全てをここに取り込む。

【符号の説明】

【0121】

- 1 プラガブル電気コネクタ
- 2 プラガブル光レセプタ
- 11 制御部
- 11A 中央処理装置（CPU）
- 11B 不揮発性記憶装置（NVM）
- 11C ランダムアクセスメモリ（RAM）
- 11D 入出力ポート（I/O）
- 11E 内部バス
- 12 光源
- 13 分岐部
- 14 変調器
- 14A 駆動回路
- 15 受信器
- 16 EDFA
- 17 励起光源
- 18 光減衰器
- 21 分岐部
- 22 モニタ部
- 31、32 偏光ビームスプリッタ（PBS）
- 33、34 90°ハイブリッド
- 40 フィルタ
- 41～44 光電変換器
- 50 光減衰器
- 91、92 光ファイバ
- 93 光通信装置
- 94 基板
- 95 スロット
- 94A インターフェイス部（I/F）
- 94B 制御部
- 94C 送信部
- 94D 受信部
- 95 スロット
- 100、200、300、400、500 プラガブル光モジュール
- 1000 光通信システム

20

30

40

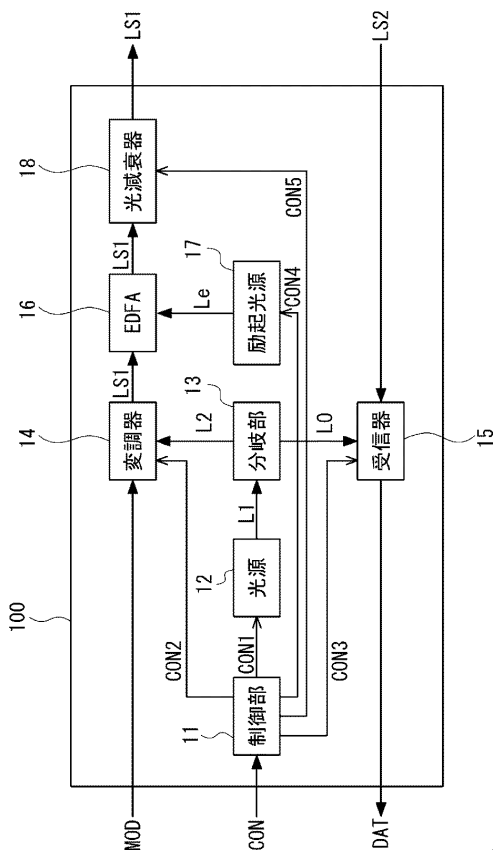
50

CON、CON1 ~ CON7 制御信号
 DAT データ信号
 L1、L2 光
 Le 励起光
 Lm モニタ光
 LO 局部発振光
 LS1、LS2 光信号
 MOD 変調信号
 MON モニタ信号
 PMA、PMB 位相変調領域
 SIG_M1、SIG_M2 変調信号
 VBIAS バイアス電圧
 WG1 ~ WG4 光導波路

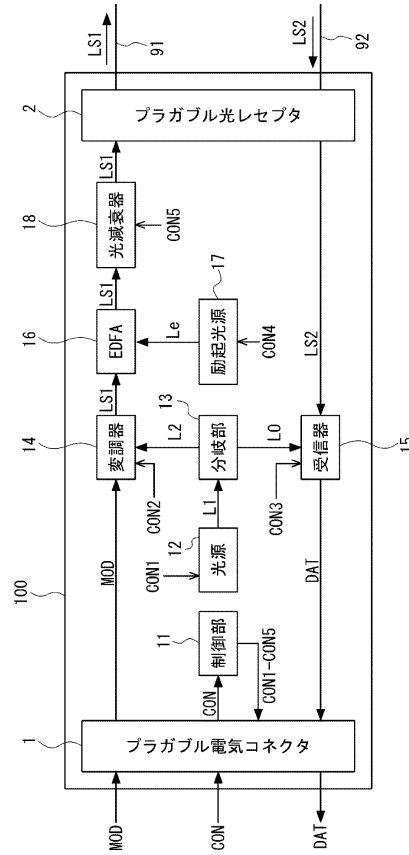
10

【図面】

【図1】



【図2】



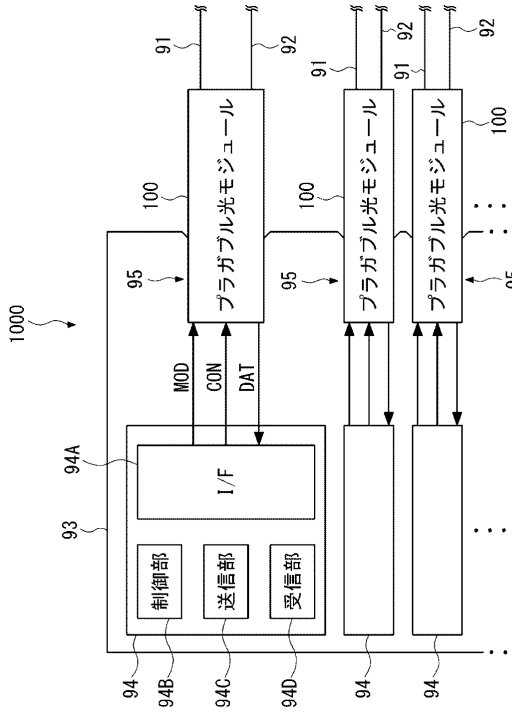
20

30

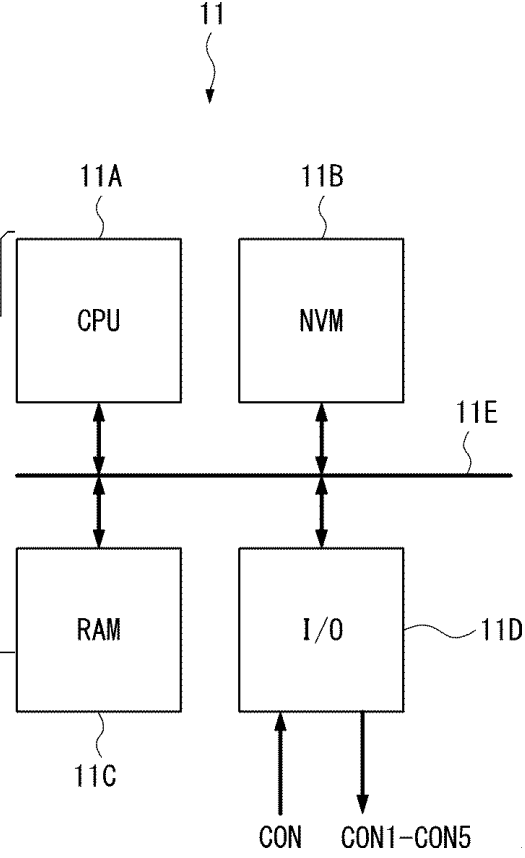
40

50

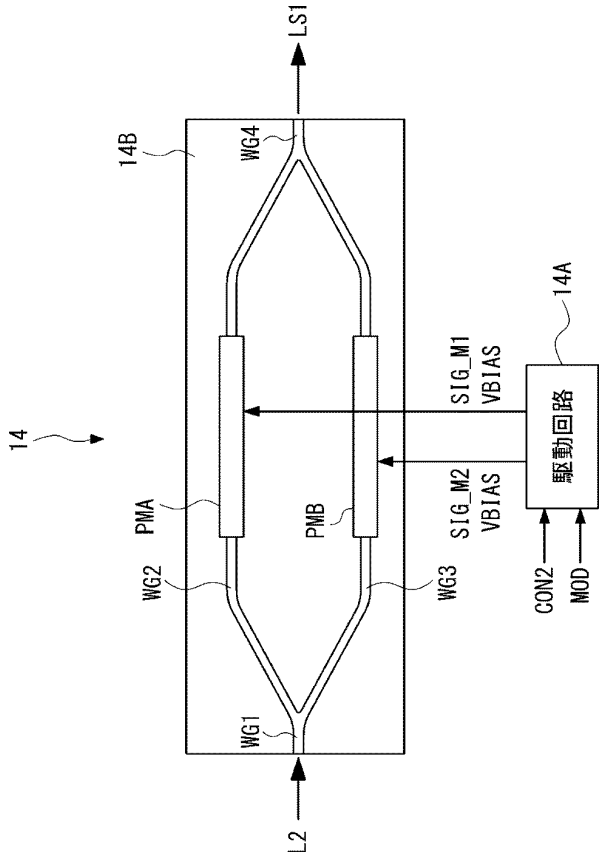
【図3】



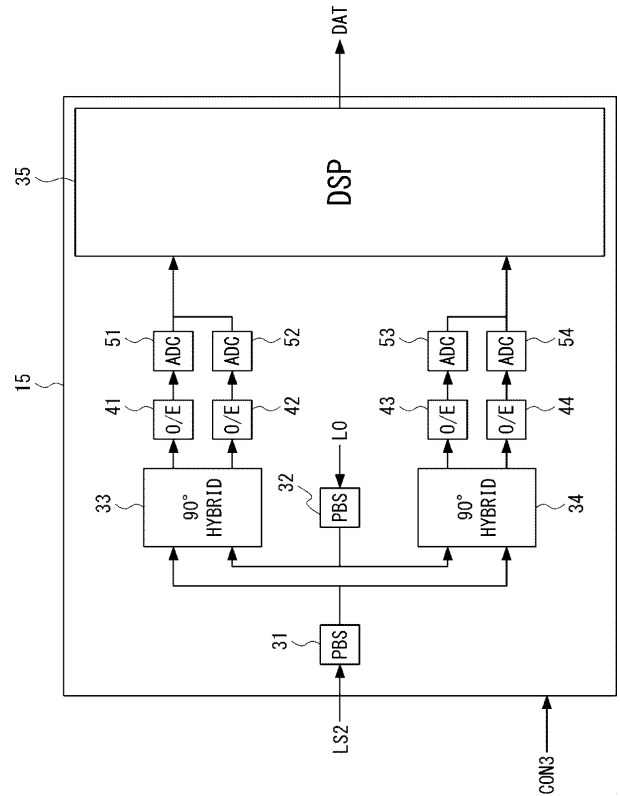
【図4】



【図5】



【図6】



10

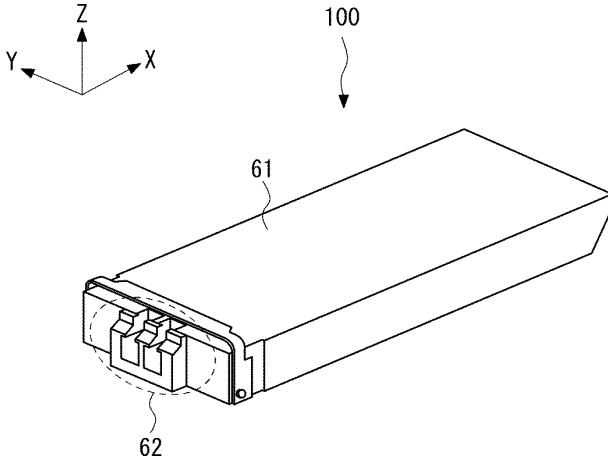
20

30

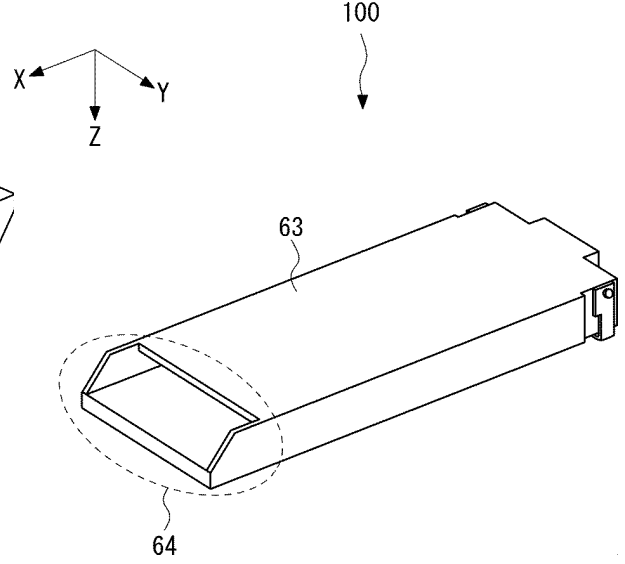
40

50

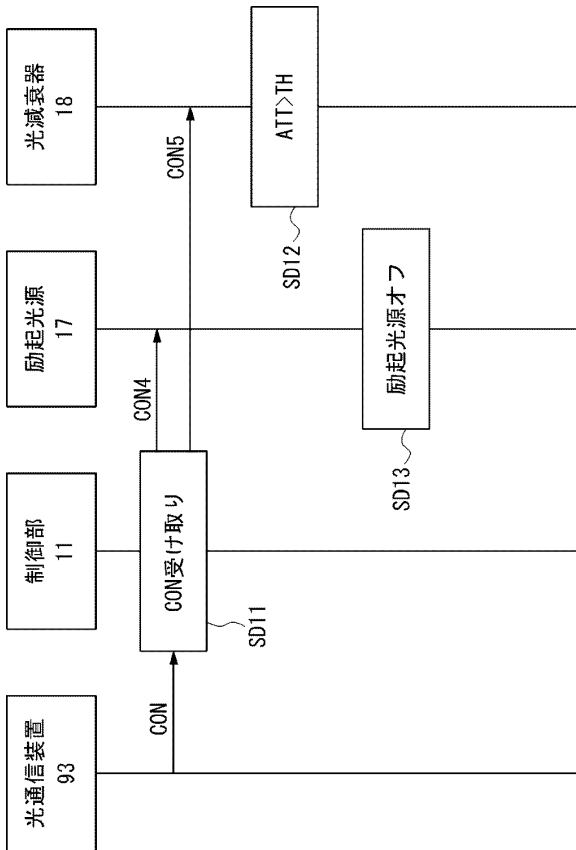
【図7】



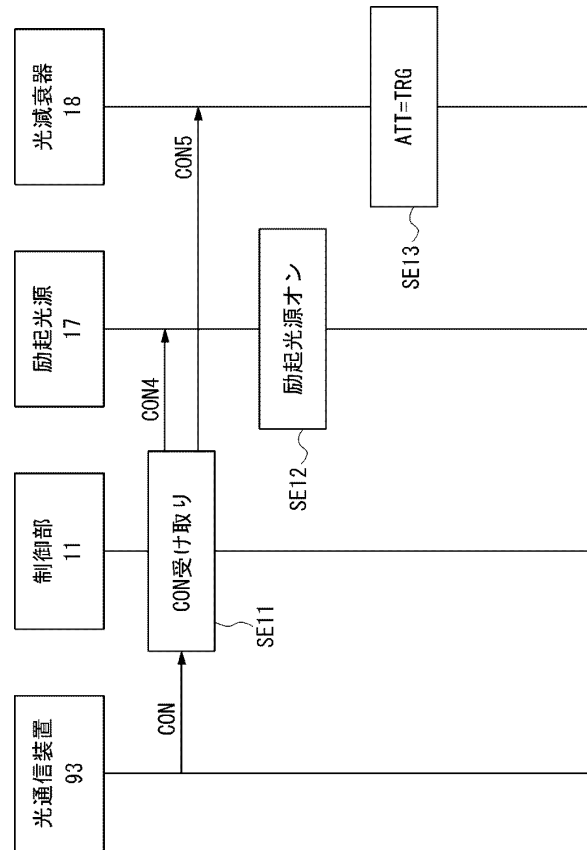
【図8】



【図9】



【図10】



10

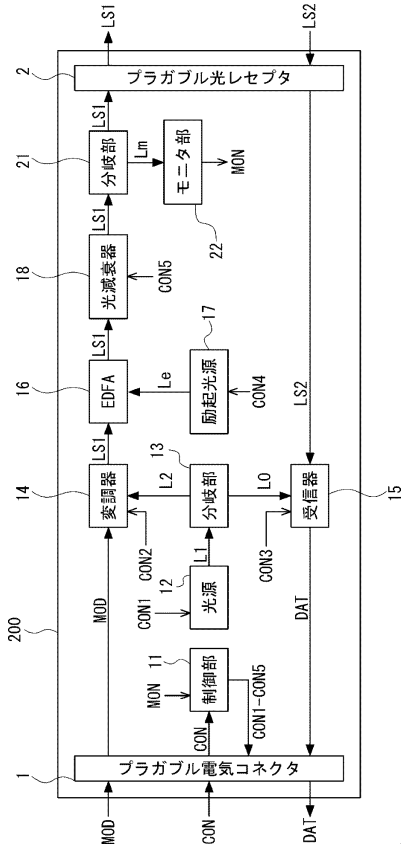
20

30

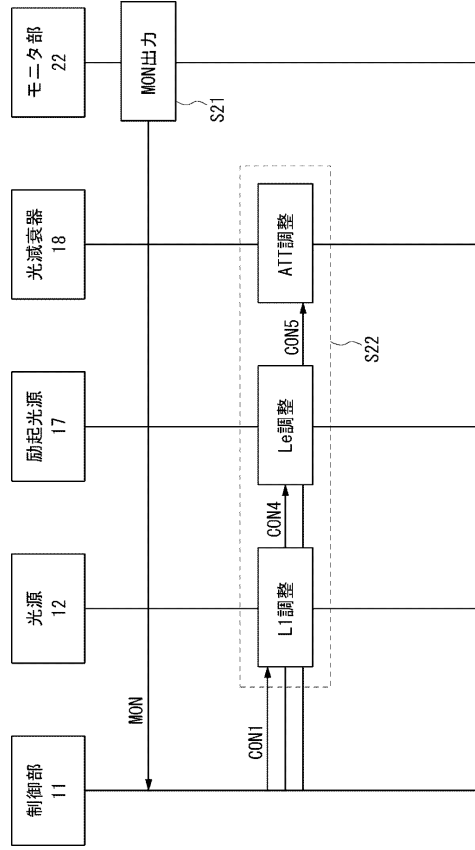
40

50

【図 1 1】



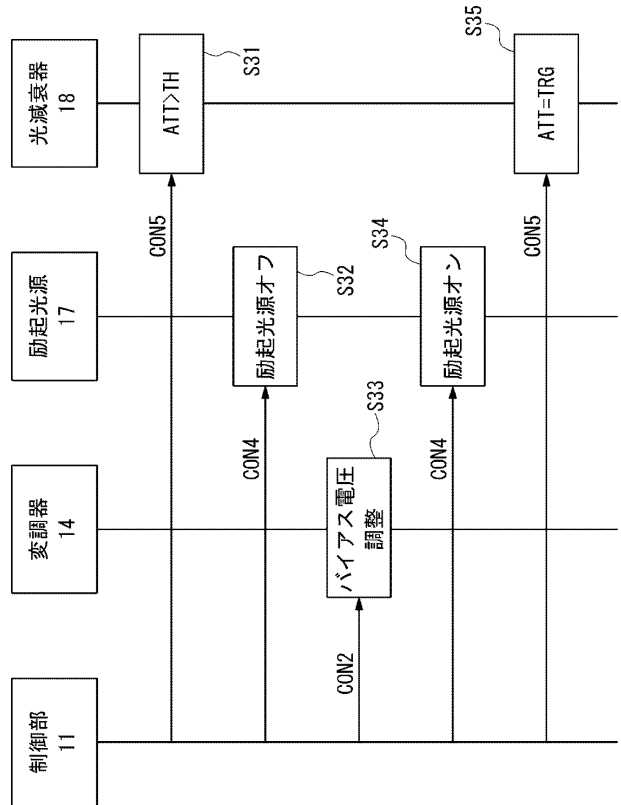
【図 1 2】



【図 1 3】

光信号 光パワー	光減衰器 減衰量	励起光源 光出力パワー	光源 光出力パワー
P1	A	X	M
P2	B	Y	N
...

【図 1 4】



10

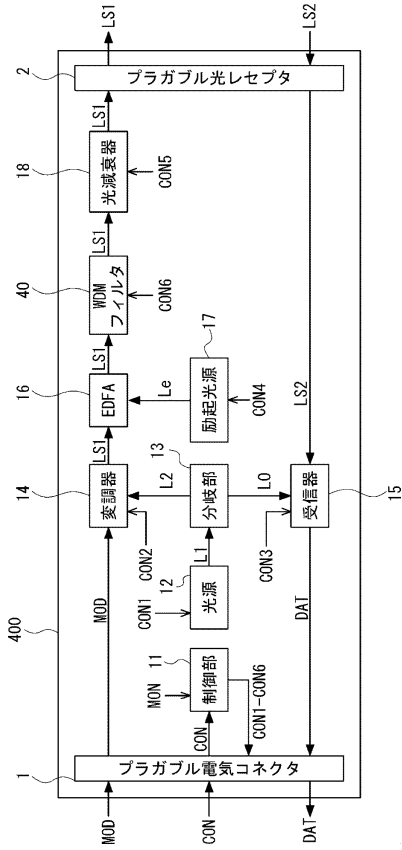
20

30

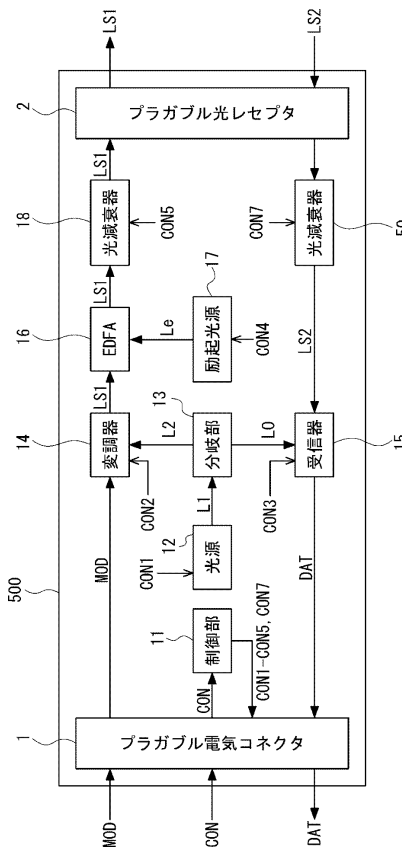
40

50

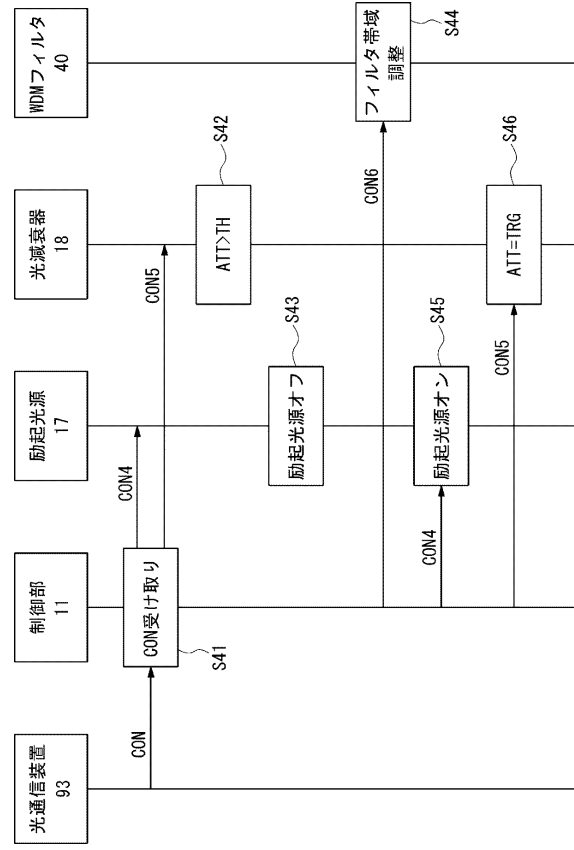
【図 15】



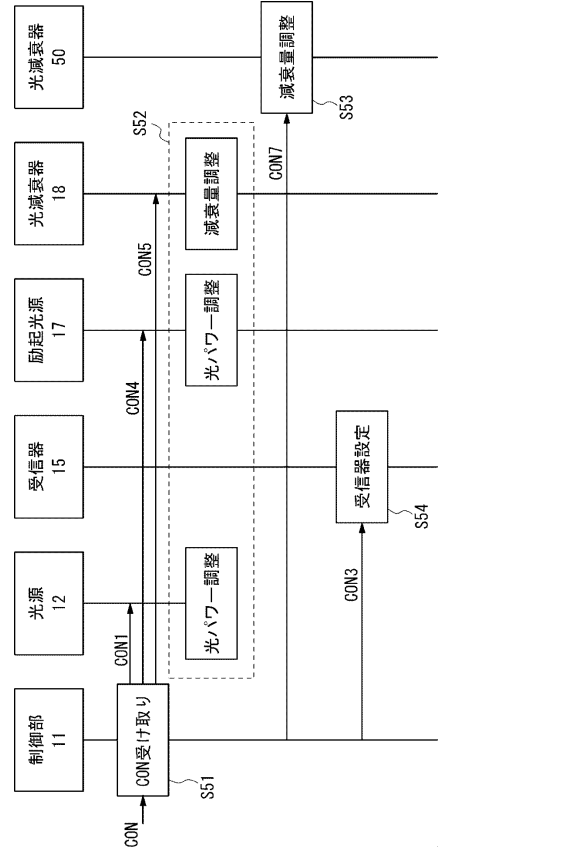
【図 17】



【図 16】



【図 18】



フロントページの続き

- (56)参考文献 国際公開第2016/203683(WO,A1)
国際公開第2017/056350(WO,A1)
特開2006-166387(JP,A)
特開2005-110266(JP,A)
特開2004-147323(JP,A)
特開2013-179557(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H04B 10/564