

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7181456号  
(P7181456)

(45)発行日 令和4年12月1日(2022.12.1)

(24)登録日 令和4年11月22日(2022.11.22)

(51)国際特許分類	F I
H 0 4 J 14/02 (2006.01)	H 0 4 J 14/02 1 0 1
H 0 4 B 10/291 (2013.01)	H 0 4 B 10/291
G 0 2 F 1/31 (2006.01)	G 0 2 F 1/31

請求項の数 3 (全14頁)

(21)出願番号 特願2018-217699(P2018-217699)	(73)特許権者 000004226 日本電信電話株式会社 東京都千代田区大手町一丁目5番1号
(22)出願日 平成30年11月20日(2018.11.20)	(74)代理人 110001634弁理士法人志賀国際特許事務所
(65)公開番号 特開2020-88515(P2020-88515A)	(72)発明者 妹尾 和則 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
(43)公開日 令和2年6月4日(2020.6.4)	(72)発明者 鈴木 賢哉 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
審査請求日 令和3年2月17日(2021.2.17)	(72)発明者 山口 慶太 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
(出願人による申告)平成28年度、国立研究開発法人情報通信研究機構、空間多重フォトニックノード基盤技術の研究開発～空間多重光通信技術を適用したスケラブルフォトニックノードの研究～、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願	(72)発明者 水野 隆之

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光通信ノード

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

Drop側に複数本の方路を有し、Add側に複数本の方路を有し、Drop側の任意の前記方路とAdd側の任意の前記方路とを自在に接続可能な光通信ノードであって、

Drop側及びAdd側のいずれか一方側の前記方路の本数がm本であり、

Drop側及びAdd側のいずれか他方側の前記方路の本数がk本であり、

m及びkはそれぞれ2以上の自然数であり、

前記一方側の前記方路に接続され、少なくとも1本の入力ポートと少なくともk本の出力ポートとを有する少なくともm台の波長選択スイッチと、

前記他方側の前記方路に接続され、少なくとも1本の入力ポートと少なくともm本の出力ポートとを有する少なくともk台の波長選択スイッチと、

を備え、

前記一方側の前記方路に接続されたa番目の前記波長選択スイッチにおけるb番目の前記出力ポートの第1接続番号がf(a, b, k)で表現され、

前記他方側の前記方路に接続されたc番目の前記波長選択スイッチにおけるd番目の前記出力ポートの第2接続番号がg(c, d, k)で表現されるとき、

f(a, b, k) = g(c, d, k)であり、

前記一方側の前記方路に接続されたa番目の前記波長選択スイッチにおけるb番目の前記出力ポートの第1接続番号が(a-1) × k + bで表現され、

前記他方側の前記方路に接続されたc番目の前記波長選択スイッチにおけるd番目の前

10

20

記出力ポートの第 2 接続番号が  $(d - 1) \times k + c$  で表現され、

前記第 2 接続番号は、1 台目から k 台目までの前記波長選択スイッチのそれぞれの 1 本目の出力ポートに前記波長選択スイッチの番号順に付番され、続いて 1 台目から k 台目までの前記波長選択スイッチの 2 本目、 $\dots$ 、 $(m - 1)$  本目、m 本目の前記出力ポートの番号ごとに順次、互いに同じ番号の前記出力ポートに前記波長選択スイッチの番号順に付番され、

前記第 1 接続番号の前記出力ポートのそれぞれが同じ値の前記第 2 接続番号の前記出力ポートと接続されている、

光通信ノード。

#### 【請求項 2】

前記一方側の前記方路に接続された前記波長選択スイッチは、  
空間フーリエ変換を行う少なくとも 1 つのレンズと、

1 つの回折格子と、

1 つの空間光変調器と、

を有し、

前記他方側の前記方路に接続された前記波長選択スイッチは、  
空間フーリエ変換を行う 2 つのレンズと、

前記 2 つのレンズの間に配置された 1 つの回折格子と、

1 つの空間光変調器と、

を有する、

請求項 1 に記載の光通信ノード。

#### 【請求項 3】

前記一方側の前記方路に接続された前記波長選択スイッチ及び前記他方側の前記方路に接続された前記波長選択スイッチはそれぞれ、1 つの平面光波回路を有する、

請求項 1 又は 2 に記載の光通信ノード。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【技術分野】

#### 【0001】

本発明は、波長分割多重通信ネットワークに適用可能な光通信ノードに関する。

#### 【背景技術】

#### 【0002】

近年、大容量の光通信ネットワークの構築に伴い、波長分割多重 (WDM: Wavelength Division Multiplexing) 通信技術が注目を集め、WDM 方式の設備が普及している。一般に、WDM ノードにおいては、光信号は直接制御されず、一度電気信号に変換され、その後電気信号の経路のスイッチングが行われる。ところが、光信号を電気信号に変換した後に経路がスイッチングされる方式では、ノードにおける処理能力の高負荷化、通信速度律速、高消費電力化が課題になっていた。

#### 【0003】

そこで、電気信号への変換及びスイッチングを介さず、光信号のまま信号処理を行うために、ROADM (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer) に代表されるトランスペアレントなネットワークシステムの重要度が増している。また、ROADM を構成する光デバイスとして、例えば波長選択スイッチ (WSS: Wavelength Selective Switch) 等のスイッチングデバイスの開発が精力的に進められている。例えば、非特許文献 1 には、空間多重分割 (SDM: Spatial Division Multiplexing) 通信技術における ROADM を構成する WSS の一例が開示されている。

#### 【0004】

WSS の光信号処理デバイスにおける基本的な構成と動作原理を説明する。入力光ファイバから入力された WDM 信号は、コリメータにてコリメート光として空間を伝播し、複数のレンズ及び波長分波するための回折格子を通過した後、再びレンズを介して集光される。WDM 信号の集光位置には、光信号に所望の位相変化を与えるための空間光変調器 (

10

20

30

40

50

S L M : Spatial Light Modulator) が配置される。S L Mとしては、M E M S ( Micro -electro mechanical system ) 技術によるマイクロミラーアレイ、液晶セルアレイ、D M D ( Digital mirror device )、L C O S ( Liquid crystal on silicon ) 等が用いられる。S L Mによって各光信号には所望の位相変化を与えられ、位相が変化した各光信号はS L Mによって反射される。反射された各光信号は、レンズを介して回折格子に入射し、波長合波された後、レンズを介して出力ファイバに結合する。W S Sには、少なくとも1本の入力ファイバの他、出力ファイバが複数本配置されている。S L Mにおいて光信号を所望の角度に偏向することによって、反射された光信号が結合する出力ファイバを選択し、スイッチングを行うことができる。

#### 【0005】

WDMノードでは、上述のように動作する光スイッチが複数個実装される形態が知られている。図1は、1つのノードに複数個のWSSが実装されたWDMノード100の構成を示す概略図である。WDMノード100に入射した光信号は、WSS群101によって波長選択的にドロップもしくはスルーの経路に進むように設定される。WSS群101においてドロップされた光信号は、波長分波機能部群102において波長に応じて進む経路を決められ、受信器群103に入射し、所望の受信器に到達する。一方、WDMノード100における送信器群104から送信された光信号は、波長合波機能部群105を経て、WSS群106によって隣接するノード(図示略)に向けて伝送される。

#### 【0006】

WDMノード100においてスルー設定を実施した場合、WDMノード100に入射した光信号は、入力側に配置されたWSS群101、出力側に配置されたWSS群106、及びWSS群101とWSS群106とを互いに接続するシャッフル配線部107のそれぞれを通過する。以下、WSS群101、106、シャッフル配線部107をまとめて波長クロスコネクタ(WXC: optical cross-connect)機能部108と称する。

#### 【0007】

WDMノード100では、Drop側に配置された複数の方路D1, D2, ..., Dnからの光信号が、WSS群101の互いに異なるWSSに入力される。nは、2以上の任意の自然数を表す。WXCに求められる機能は、いずれの方路D1, D2, ..., Dnから入力された光信号でも、任意の方路A1, A2, ..., Anに切り替えて出力する機能である。そのため、WSS群101に含まれる任意のWSS、例えば方路D1から光信号が入力されるWSS-D1では、光信号の出力先を、WSS群106に接続される全ての方路A1, A2, ..., Anのいずれかに切り替え可能とする必要がある。したがって、WSS群106に含まれる全てのWSSに対して、WSS群101に含まれるWSSからの接続ポートを少なくとも1ポートずつ接続することになる。方路D2, ..., Dnに関しても方路D1に関する上述の構成が必要になる。その場合、WSS群101及びWSS群106に含まれるWSS同士の間にはメッシュ状の光配線が設けられ、これらの光配線がシャッフル配線部107を構成する。従来は、Add側とDrop側には、互いに同一の構成を備えるWSSが用いられていた。WSSの構成が同一となることによって、システム運用の現場で保持する用品数を削減することができ、また、装置故障時の交換も迅速になる等のメリットが生じるためである。このような構成によって、複数の方路D1, D2, ..., Dnの信号を任意の方路A1, A2, ..., Anに出力できるWDMノード100が実現される。

#### 【先行技術文献】

#### 【非特許文献】

#### 【0008】

【文献】鈴木賢哉，山口慶太，中島光雅，妹尾和則，橋本俊和，福德光師，宮本裕：「SDMネットワーク用波長選択スイッチデバイス」，電子情報通信学会技術研究報告〔光通信インフラの飛躍的な高度化〕，pp. 14-19 (2017. 11).

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 9 】

しかしながら、上述のシャッフル配線部 1 0 7 をはじめとする従来の W X C は、単芯の光ファイバを W S S 群 1 0 1 , 1 0 6 の各 W S S 同士を接続する接続ポートとして、1 ポートずつ配線することによって構成されていた。このような構成は、W D M ノード 1 0 0 に接続される方路の数に増減が生じて、光ファイバの接続を再構成すれば対応できるため、高い拡張性を有する。その一方、非常に複雑な配線を作業者が確認しながら行うため、光ファイバをメッシュ状に複数配線する構成には、誤接続のリスクがあり、広いスペースが求められ、且つ配線作業に労力と時間がかかるという問題があった。

## 【 0 0 1 0 】

単芯の光ファイバがメッシュ状に複数配線された構成とは別の W X C の構成として、P l a n a r L i g h t w a v e C i r c u i t ( P L C ) に代表されるような平面光波回路を用いてシャッフル配線を行う構成が考えられる。W S S 同士を接続する配線が光導波路として平面光波回路に予め作り込まれ、且つ小型であるため、平面光波回路を用いる構成では、誤接続のリスク低減や接続作業の労力と時間の削減が期待される。

## 【 0 0 1 1 】

しかしながら、平面光波回路を用いる W X C の構成では、P L C を経由することによる接続損失が生じ、さらに平面型のデバイスの所定の面内でシャッフル配線を実現しようとすることで光導波路の交差回数が非常に大きくなる。例えば、導波路の交差損失を仮に 0 . 1 d B 程度と見積もると、光導波路の交差回数が 1 ~ 2 回程度であれば、交差損失の合計値は無視できる程度であると考えられる。ところが、W D M ノードの規模の拡大に伴い、方路の数が 1 0 以上になると、光導波路の交差回数が 1 0 0 を超える場合も考えられる。その場合、交差損失の合計値が 1 0 d B 前後に達し、光伝送品質の劣化が懸念される。

## 【 0 0 1 2 】

本発明は上記事情に鑑みてなされたもので、低損失且つ接続作業の労力と時間を削減可能な光通信ノードを提供する。

## 【課題を解決するための手段】

## 【 0 0 1 3 】

本発明の光通信ノードは、D r o p 側に複数本の方路を有し、A d d 側に複数本の方路を有し、D r o p 側の任意の前記方路と A d d 側の任意の前記方路とを自在に接続可能な光通信ノードであって、D r o p 側及び A d d 側のいずれか一方側の前記方路の本数が m 本であり、D r o p 側及び A d d 側のいずれか他方側の前記方路の本数が k 本であり、m 及び k はそれぞれ 2 以上の自然数であり、前記一方側の前記方路に接続され、少なくとも 1 本の入力ポートと少なくとも k 本の出力ポートとを有する少なくとも m 台の波長選択スイッチと、前記他方側の前記方路に接続され、少なくとも 1 本の入力ポートと少なくとも m 本の出力ポートとを有する少なくとも k 台の波長選択スイッチと、を備え、前記一方側の前記方路に接続された a 番目の前記波長選択スイッチにおける b 番目の前記出力ポートの第 1 接続番号が  $f(a, b, k)$  で表現され、前記他方側の前記方路に接続された c 番目の前記波長選択スイッチにおける d 番目の前記出力ポートの第 2 接続番号が  $g(c, d, k)$  で表現されるとき、 $f(a, b, k) = g(c, d, k)$  である。但し、a, d は 1 以上 m 以下の整数であり、b, c は 1 以上 k 以下の整数である。前記一方側の前記方路に接続された a 番目の前記波長選択スイッチにおける b 番目の前記出力ポートの第 1 接続番号が  $(a - 1) \times k + b$  で表現され、前記他方側の前記方路に接続された c 番目の前記波長選択スイッチにおける d 番目の前記出力ポートの第 2 接続番号が  $(d - 1) \times k + c$  で表現される。前記第 2 接続番号は、1 台目から k 台目までの前記波長選択スイッチのそれぞれの 1 本目の出力ポートに前記波長選択スイッチの番号順に付番され、続いて 1 台目から k 台目までの前記波長選択スイッチの 2 本目、・・・、(m - 1) 本目、m 本目の前記出力ポートの番号ごとに順次、互いに同じ番号の前記出力ポートに前記波長選択スイッチの番号順に付番されている。前記第 1 接続番号の前記出力ポートのそれぞれが同じ値の前記第 2 接続番号の前記出力ポートと接続されている。

## 【 0 0 1 5 】

10

20

30

40

50

本発明の光通信ノードでは、前記一方側の前記方路に接続された前記波長選択スイッチは、空間フーリエ変換を行う少なくとも1つのレンズと、1つの回折格子と、1つの空間光変調器と、を有してもよい。前記他方側の前記方路に接続された前記波長選択スイッチは、空間フーリエ変換を行う2つのレンズと、前記2つのレンズの間に配置された1つの回折格子と、1つの空間光変調器と、を有してもよい。

【0016】

本発明の光通信ノードでは、前記一方側の前記方路に接続された前記波長選択スイッチ及び前記他方側の前記方路に接続された前記波長選択スイッチはそれぞれ、1つの平面光波回路を有してもよい。

【発明の効果】

10

【0017】

本発明によれば、低損失且つ接続作業の労力と時間を削減可能な光通信ノードを提供できる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】1つのノードに複数個のWSSが実装されたWDMノードの構成を示す概略図である。

【図2】図1に示すWDMノードの部分的な概略図である。

【図3】本発明の第1実施形態のWDMノードの部分的な概略図である。

【図4】図2に示すWDMノードのコネクタ配置の模式図である。

20

【図5】図2に示すWDMノードのコネクタ配置の別の模式図である。

【図6】図3に示すWDMノードのコネクタ配置の模式図である。

【図7】図3に示すWDMノードのコネクタ配置の別の模式図である。

【図8】本発明の第2実施形態における多連集積WSSの平面図である。

【図9】図8に示す多連集積WSSの光導波路基板の平面図である。

【図10】図8に示す多連集積WSSの変形例の平面図である。

【図11】図9に示す多連集積WSSの光導波路基板の平面図である。

【図12】図8に示す多連集積WSS及び図10に示す多連集積WSSを備えるWDMノードの概略図である。

【発明を実施するための形態】

30

【0019】

以下、図面を参照して本発明の一実施形態の光通信ノードについて説明する。

なお、本明細書及び図面において、同一の機能を有する構成には同一の符号を付し、繰り返しの説明は省略する。

【0020】

図2は、WDMノード100の部分概略図である。図2に示すように、WDMノード200において、WSS群101、106同士は、シャッフル配線部107を介して接続されている。WDMノード200の機能をわかりやすく説明するために、図2では、Add側及びDrop側のポート及び各構成が省略されている。以下、Drop側のm番目のWSS（波長選択スイッチ）111に接続されている方路はD<sub>m</sub>と記載し、Add側のk番目のWSS116に接続されている方路はA<sub>k</sub>と記載する。m、kは、2以上の任意の自然数を表し、光信号の行先を意味する。

40

【0021】

各WSS111は、少なくとも1本の入力ポートと複数の出力ポート121を有する。各WSS116は、少なくとも1本の入力ポートと複数の出力ポート126を有する。本明細書及び図面等では、出力ポート121の各々に、各WSS111に接続される方路の名称に加えて、頭文字Pとポート番号との数字の組合せを付し、ポート毎に識別する。例えば、方路D<sub>1</sub>に接続されるWSS111の2番目の出力ポートは、「D<sub>1</sub>-P<sub>2</sub>」と記載する。なお、図2では、1番目のWSS111がWSS-D<sub>1</sub>と付記されている。

【0022】

50

図 2 に示すように、出力ポート 1 2 1 は、番号の小さい順に、A d d 側の小さい番号の出力ポート 1 2 6 へ配線されている。例えば、方路 D 1 から方路 A 1 に接続する場合は、方路 D 1 に接続される W S S 1 1 1 の出力ポート D 1 - P 1 から、A d d 側の方路 A 1 に接続された W S S 1 1 6 の出力ポート A 1 - P 1 まで間が接続されている。同様に、D r o p 側の方路 D m と、A d d 側の方路 A k の間を接続する場合は出力ポート D m - P k と出力ポート A k - P m が接続されている。つまり、各出力ポート 1 2 1 のポート番号は、シャッフル配線部 1 0 7 を介して対向する方路の番号（行先番号）を意味する。

【 0 0 2 3 】

ここで、W S S 1 1 1 , 1 1 6 に接続される各コネクタのコネクタ番号を導入する。コネクタ番号は、W S S 1 1 1 毎に、ポート番号の若い順から小さい番号で割り当てられる。1 番目の W S S 1 1 1 についてコネクタ番号の割り当て終わると、次の番号の W S S 1 1 1 に移り、コネクタ番号が連番で割り当てられる。W D M ノード 2 0 0 においては、方路を増設すると、W S S 単位で出力ポート 1 2 1 や出力ポート 1 2 6 が増設されるため、W S S 1 1 1 毎及び W S S 1 1 6 毎に近い番号が割り振られている。

10

【 0 0 2 4 】

つまり、図 2 に示すように、出力ポート D 1 - P 1 には D r o p 側のコネクタ C D ( 1 ) が接続され、出力ポート D 1 - P k にはコネクタ C D ( k ) が接続されている。出力ポート D m - P 1 には D r o p 側のコネクタ C D ( ( m - 1 ) k + 1 ) が接続され、出力ポート D m - P k にはコネクタ C D ( m k ) が接続されている。

【 0 0 2 5 】

また、出力ポート A 1 - P 1 には A d d 側のコネクタ C A ( 1 ) が接続され、出力ポート A 1 - P m にはコネクタ C D ( k ) が接続されている。出力ポート A k - P 1 にはコネクタ C A ( ( m - 1 ) k + 1 ) が接続され、出力ポート A k - P m にはコネクタ C A ( m k ) が接続されている。

20

【 0 0 2 6 】

コネクタ C D , C A の各カッコ内の数字は、コネクタ番号を示す。つまり、a 番目の W S S 1 1 1 における b 番目の出力ポート 1 2 1 のコネクタ番号（第 1 接続番号）は、( a - 1 ) × m + b で表現される。

【 0 0 2 7 】

同一の W S S 1 1 1 , 1 1 6 に接続されるコネクタ C D , C A の各コネクタ番号は順番に付されているため、接続先の W S S 1 1 6 が物理的に離散すると、コネクタ番号とポート番号との対応関係が解消され、シャッフル配線部 1 0 7 が必要となる。即ち、シャッフル配線部 1 0 7 を省略するためには、W S S 群 1 0 1 , 1 0 6 のいずれか一方において、コネクタ番号とポート番号の対応関係を、従来のように A d d 側と D r o p 側で同一の W S S を用いた場合のコネクタ番号とポート番号の対応関係とは異ならせることが重要となる。

30

【 0 0 2 8 】

（第 1 実施形態）

図 3 は、本発明の第 1 実施形態の W D M ノード（光通信ノード）2 0 0 の部分概略図である。

40

【 0 0 2 9 】

D r o p 側の W D M ノード 2 0 0 は、図 2 に示す D r o p 側（他方側）の W D M 1 0 0 と同様に構成されている。D r o p 側の W S S 群 1 0 1 においては、同一の W S S 1 1 1 の各出力ポート 1 2 1 に接続されるコネクタ C D に、連番且つ比較的近いコネクタ番号が付されている。D r o p 側のコネクタ番号について比較的近いとは、両者の差が k 以下であることを意味する。

【 0 0 3 0 】

一方、A d d 側（一方側）の W D M ノード 2 0 0 では、コネクタ番号とポート番号との対応関係が W D M 1 0 0 とは異なる。各 W S S 2 1 6 は、少なくとも 1 本の入力ポートと複数の出力ポート 2 2 6 を有する。W D M ノード 2 0 0 において、A d d 側の c 番目の W

50

SS216におけるd番目の出力ポート226のコネクタCAのコネクタ番号(第2接続番号)は、 $(d - 1) \times k + c$ で表現される。Add側のWSS群206において、各WSS216に接続されるコネクタCAに、共通のポート番号と、連番且つ比較的近いコネクタ番号が付されている。Add側のコネクタ番号について比較的近いとは、両者の差がm以下であることを意味する。

#### 【0031】

図4及び図5は、WDMノード100のコネクタ配置の模式図である。図6及び図7は、WDMノード200のコネクタ配置の模式図である。図4から図7において、コネクタ番号は、左上が最も小さく、右方向に進むほど増え、右上から次の行の左端に移り、各行にて同様に順次ナンバリングされている。

10

#### 【0032】

図4は、図2に示すWDMノード100におけるWSS群101のコネクタ配置を示している。図5は、図2に示すWDMノード100におけるWSS群106のコネクタ配置を示している。WSS111毎に接続される出力ポート121、及びWSS116毎に接続される出力ポート126は、図4及び図5の左端から順番に右端に向かって配置されている。また、図4及び図5では、あるWSS111の出力ポート121、及びあるWSS116の出力ポート126を全て配置し終わったら、1つ下の行に次の番号のWSS111に関わるコネクタCD、及び次の番号のWSS116に関わるコネクタCAが配置されている。

#### 【0033】

一方、図6は図3に示すWDMノード200におけるWSS群101のコネクタ配置を示している。図7は図3に示すWDMノード200におけるWSS群206のコネクタ配置を示している。図6は図4と同様であるが、図7に示すように、WSS216毎に接続される出力ポート226は上端から順番に下端に向かって配置されている。あるWSS216の出力ポート226を全て配置し終わったら、1つ右側の列に次の番号のWSS216に関わるコネクタCAが配置されている。

20

#### 【0034】

ここで、Add側の方路に接続されたa番目のWSSにおけるb番目の出力ポート121のコネクタ番号を $f(a, b, k)$ と表現し、Drop側の方路に接続されたc番目のWSSにおけるd番目の出力ポート226のコネクタ番号を $g(c, d, k)$ と表現する。このとき、WDMノード200では、 $f(a, b, k) = g(c, d, k)$ となる。例えば、 $a = c = 1$ 、 $b = d = 2$ である場合、 $f(a, b, k) = f(1, 2, k) = CD(D1 - P2) = CD(2)$ である。 $g(c, d, k) = g(1, 2, k) = CA(A1 - P2) = CA(k + 1)$ である。 $k = 2$ であるから、 $CD(2) = CA(k + 1)$ となっている。一方、 $f(a, b, k) = f(1, 2, k) = CD(D1 - P2) = CD(2)$ である。 $g(c, d, k) = g(1, 2, k) = CA(A1 - P2) = CA(2)$ であるから、 $CD(2) = CA(2)$ となっている。

30

#### 【0035】

図2、図4及び図5からわかるように、WDMノード100では、作業者が一定の規則に従って、誤りがないように細心の注意を払いながら、コネクタCD、CA間を接続しなければならない。一方、図3、図6及び図7からわかるように、WDMノード200では、コネクタ番号が同じ値になっている出力ポート121、226同士が接続されている。そのため、異なるポート番号且つ同一のコネクタ番号のコネクタCAをWSS216に接続すれば、従来のシャッフル配線部107と同様の効果が得られる。また、WDMノード200では、コネクタ番号とポート番号との対応関係がわかりやすいため、作業者が単純な確認のみでコネクタCAをWSS216に接続でき、接続作業の労力と時間が低減される。

40

#### 【0036】

WDMノード200では、シャッフル配線用のPLC等を用いなくてよいため、光学損失を抑えることができる。

50

## 【 0 0 3 7 】

図 4 及び図 6 では各出力ポート 1 2 1 に単芯のコネクタで接続するように示されているが、複数のコネクタを有する多芯のコネクタを用いて、一括で複数の出力ポート 1 2 1 が接続されてもよい。その場合、接続作業がより低減される。例えば、コネクタ番号 1 から k までのコネクタ C A が集約された k 芯のコネクタが用いられてもよい。M P O ( Multi-fiber Push On ) コネクタや M T ( Mechanically Transferable ) コネクタ等が用いられることで、接続作業量は  $1 / k$  に低減される。

## 【 0 0 3 8 】

( 第 2 実施形態 )

第 1 実施形態では、W S S 1 1 1 , 2 1 6 は互いに共通の構成を備えていることを前提としていたが、W S S 1 1 1 , 2 1 6 の各構成が異なっても、第 1 実施形態の W D M ノード 2 0 0 と同様の機能は実現可能である。

## 【 0 0 3 9 】

図 8 は、図 3 に示す W S S 群 1 0 1 が集積化された多連集積 W S S 5 0 0 の平面図である。図 8 に示すように、多連集積 W S S 5 0 0 は、光導波路基板 ( 平面光波回路 ) 5 0 1 、レンズ 5 0 2 、回折格子 5 0 3 、レンズ 5 0 4 、空間光変調器 5 0 5 を備えている。光導波路基板 5 0 1 の出射側の端面から空間光変調器 5 0 5 の入射面までの間の自由空間光学系は、レンズ 5 0 2 , 5 0 4 の焦点距離を  $f$  としたとき、 $4 \times f$  の光学長に基づいて設計される  $4 - f$  光学系である。なお、本明細書におけるレンズについては、レンズの焦点距離に点光源を配置することを想定している。即ち、レンズ 5 0 2 , 5 0 4 は各々点光源をコリメート光に変換 ( 即ち、空間フーリエ変換 ) できるように各レンズの焦点距離の位置に光源や像面が形成されるように配置される。例えば、焦点距離  $f_1$  のレンズと焦点距離  $f_2$  のレンズを距離  $t$  の間隔で配置した場合の合成焦点距離  $f_s$  は、以下の ( 1 ) 式にて表すことができる。

## 【 0 0 4 0 】

【 数 1 】

$$f_s = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2 - t} \quad \dots (1)$$

## 【 0 0 4 1 】

上述の 2 枚のレンズを用いた場合でも、 $f_s$  の位置に光源を配置する場合には、空間フーリエ変換は 1 回であるとみなし、レンズは 1 枚分の機能を有するものと考えることができる。

## 【 0 0 4 2 】

図 9 は、光導波路基板 5 0 1 の平面図である。図 9 に示すように、光導波路基板 5 0 1 は、入出力導波路群 5 0 6 、入出力導波路群 5 0 6 が接続されたスラブ導波路 5 0 7 、スラブ導波路 5 0 7 に接続されたアレイ導波路 5 0 8 と、アレイ導波路 5 0 8 が接続されるスラブ導波路 5 0 9 を備えている。

## 【 0 0 4 3 】

アレイ導波路 5 0 8 は、全て等長で設計されている。アレイ導波路 5 0 8 は、入出力導波路群 5 0 6 に含まれる複数の入主力導波路のうち、いずれの入主力導波路を選ぶかによって、光導波路基板 5 0 1 を通過して自由空間光学系に出射される光ビームの角度とビーム径が決定される機能を有する。このような機能を有する光回路は、Spatial Beam Transformer ( S B T ) と呼ばれている。

## 【 0 0 4 4 】

多連集積 W S S 5 0 0 では、入出力導波路群 5 0 6 に含まれる導波路の 1 つから入力された光信号は、スラブ導波路 5 0 7 において、図 8 に示す x 軸方向には閉じ込められた状態で、光導波路基板 5 0 1 の面内で拡がりつつ伝播する。拡がる光信号の波面は伝播距離

10

20

30

40

50

に応じた曲率を有するため、スラブ導波路 507 の出射端は、光信号の波面と同じ曲率を有する形状で形成されている。スラブ導波路 509 の出射端には、各々の長さが等しいアレイ導波路 508 が接続されている。光導波路基板 501 の端面のうち、アレイ導波路 508 が接続している端面は、y 軸と平行になっている。

【0045】

アレイ導波路 508 からスラブ導波路 509 を介して自由空間光学系に出射された光信号は、y 軸方向に沿って位相が揃った平面波であるため、y 軸方向にコリメートされたビームとして空間を伝播する。光信号は、レンズ 502 で平行光とされ、回折格子 503 によって波長毎に角度分波される。回折格子 503 の波長分散軸 W は、x 軸方向に向いている。波長毎に分波された各光信号は、レンズ 504 を通過し、波長毎に角度変換されて空間光変調器 505 に入射する。レンズ 502, 504 は、光信号を空間フーリエ変換する。

10

【0046】

光信号はそれぞれ波長ごとに空間光変調器 505 によって任意の角度で反射され、再びレンズ 504、回折格子 503、レンズ 502 を介して光導波路基板 501 に再結合する。上述の動作によって、多連集積 WSS 500 におけるスイッチング動作が完了する。

【0047】

上述の構成では、光導波路基板 501 から自由空間光学系にビームが出射する際の y 軸座標、即ち光信号が出射した SBT 回路の位置によって、空間光変調器 505 に集光するビームの y 軸方向の位置が決まる。そのため、y 軸方向の互いに異なった位置に集光されたビームを空間光変調器 505 によって各々任意の角度に偏向させることによって、複数の WSS 機能を 1 つの光学系に集積できる。

20

【0048】

また、上述の構成では、1 つの SBT 回路内から異なる角度で出射した光信号は、空間光変調器 505 の同一の位置に出射される。そのため、ある WSS 111 における複数の出力ポート 121 を 1 つの SBT 回路で共有していることになる。したがって、SBT 回路は、図 3 に示す Drop 側の WSS 群 101 における出力ポート 121 と同一の順で配置されている。

【0049】

<変形例>

多連集積 WSS の構成の変形例として、WSS 群 206 に含まれる機能を集積した多連集積 WSS の構成例が挙げられる。図 10 は、多連集積 WSS 500 の変形例である多連集積 WSS 600 の平面図である。図 10 に示すように、多連集積 WSS 600 は、2 枚のレンズ 502, 504 に替えて、1 枚のレンズ 603 を備えている。レンズ 603 は、レンズ 502, 504 と同様に、光信号を空間フーリエ変換する。即ち、多連集積 WSS 600 は、光導波路基板（平面光波回路）601、回折格子 602、レンズ 603、空間光変調器 604 を備えている。

30

【0050】

図 11 は、光導波路基板 601 の平面図である。図 11 に示すように、光導波路基板 601 の基本構成は、光導波路基板 501 の基本構成と同一である。多連集積 WSS 600 では、自由空間に光信号がビームとして出射される際の角度に応じ、ビームが空間光変調器 604 の y 軸方向において互いに異なった位置に集光する。

40

【0051】

上述の構成では、単一の SBT 回路から異なる角度で出射した光信号が空間光変調器 604 の異なった位置に出射する。そのため、ある WSS 111 における複数の出力ポート 121 は、1 つの SBT 回路で共有されておらず、異なる WSS 111 で共有されている。したがって、SBT 回路は、Drop 側の WSS 群 101 におけるポート番号と同一の順で配置されている。

【0052】

図 12 は、多連集積 WSS 500, 600 を備えた WDM ノード 700 の概略図である。WDM ノード 700 では、4-f 光学系を備える多連集積 WSS 500 と、2-f 光学

50

系を備える多連集積WSS600が出力ポート121, 226等を挟んで対向している。WDMノード700では、多連集積WSS500の光導波路基板501の入射側の端面と、多連集積WSS600の光導波路基板601の入射側の端面は、第1実施形態で説明した出力ポート121、コネクタCD, CA及び出力ポート226によって接続されている。WDMノード700によれば、シャッフル配線部107を省略したWDMノードを構成できる。また、WDMノード700においても、k芯のコネクタが用いられることによって、簡便に構成され、接続作業の労力及び時間が削減される。

【0053】

以上、本発明の好適な実施形態について説明したが、本発明は上述の実施形態に限定されない。本発明の構成を備えれば、目的及び効果を達成できる範囲内での変形や改良が、

10

【符号の説明】

【0054】

200, 700...WDMノード(光通信ノード)

101, 106, 216...WSS(波長選択スイッチ)

121, 226...出力ポート

502, 504, 505...レンズ

503, 602...回折格子

505, 604...空間光変調器

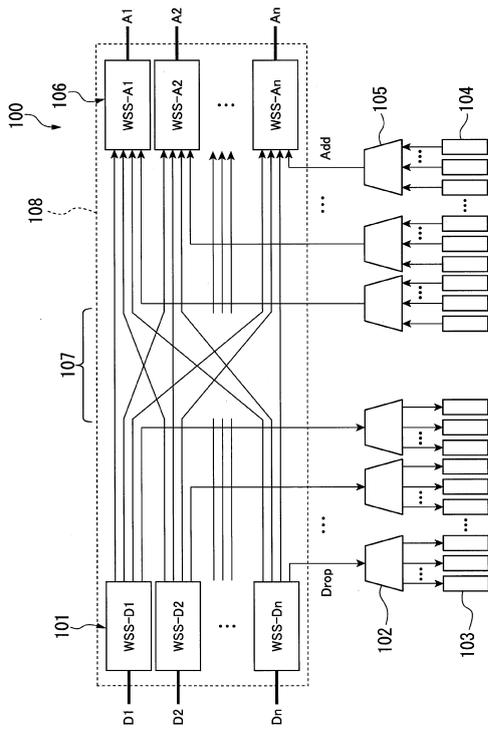
20

30

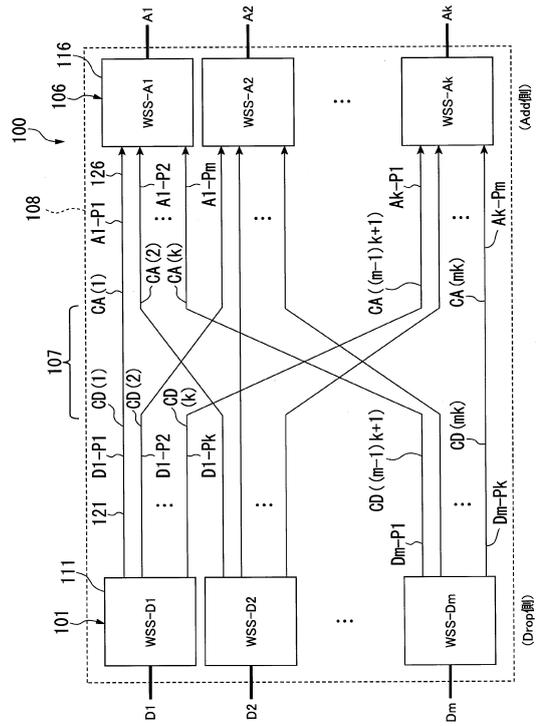
40

50

【図面】  
【図 1】



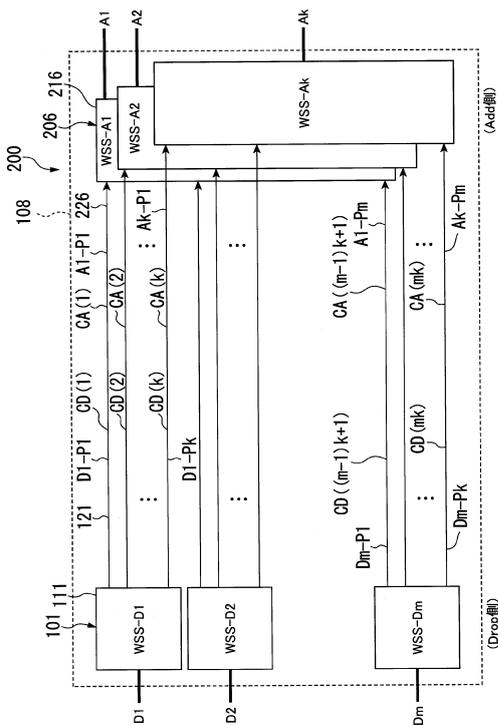
【図 2】



10

20

【図 3】



【図 4】

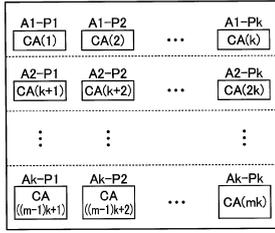
D1-P1 CD(1)	D1-P2 CD(2)	...	D1-Pk CD(k)
D2-P1 CD(k+1)	D2-P2 CD(k+2)	...	D2-Pk CD(2k)
...	...	...	...
Dm-P1 CD((m-1)k+1)	Dm-P2 CD((m-1)k+2)	...	Dm-Pk CD(mk)

30

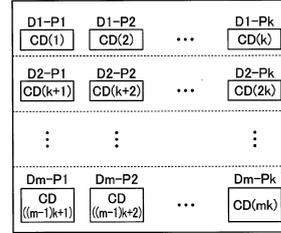
40

50

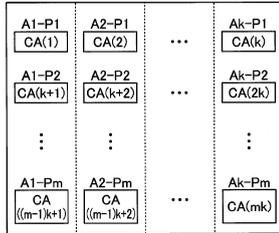
【 5 】



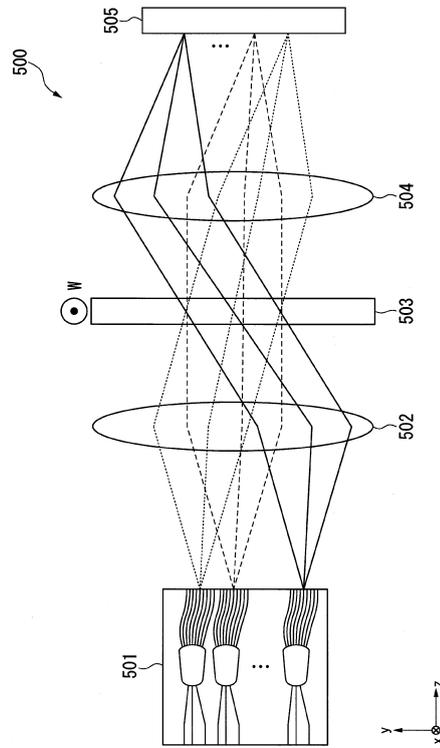
【 6 】



【 7 】



【 8 】



10

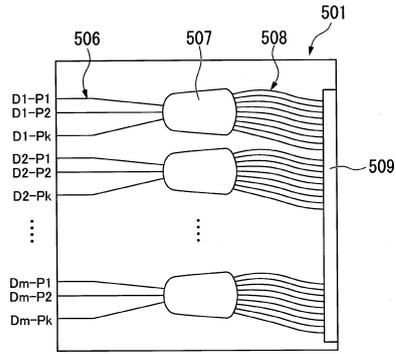
20

30

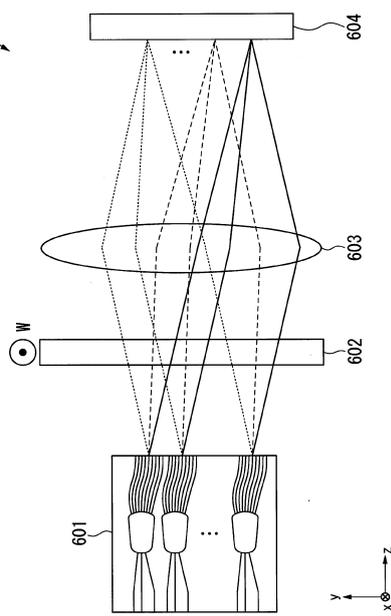
40

50

【 図 9 】

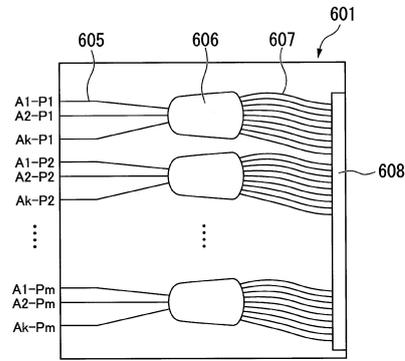


【 図 10 】

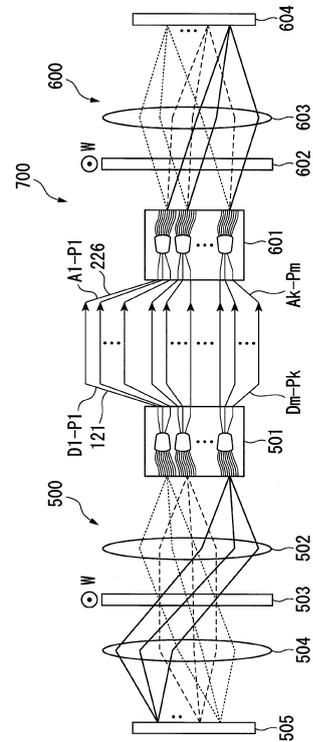


10

【 図 11 】



【 図 12 】



20

30

40

50

## フロントページの続き

- 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内  
(72)発明者 小野 浩孝  
東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内  
(72)発明者 橋本 俊和  
東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内  
(72)発明者 宮本 裕  
東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内  
審査官 鴨川 学  
(56)参考文献 特開2017-009871(JP,A)  
国際公開第2016/056534(WO,A1)  
特開2017-157985(JP,A)  
(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
H04J 14/02  
H04B 10/291  
G02F 1/31