

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年9月20日(20.09.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/168598 A1

(51) 国際特許分類:

H04B 10/61 (2013.01) H01L 31/10 (2006.01)
G02B 6/42 (2006.01) H04J 14/04 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2018/008726

(22) 国際出願日: 2018年3月7日(07.03.2018)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:

特願 2017-053742 2017年3月17日(17.03.2017) JP

(71) 出願人: 国立研究開発法人情報通信研究機構 (NATIONAL INSTITUTE OF INFORMATION AND COMMUNICATIONS TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒1848795

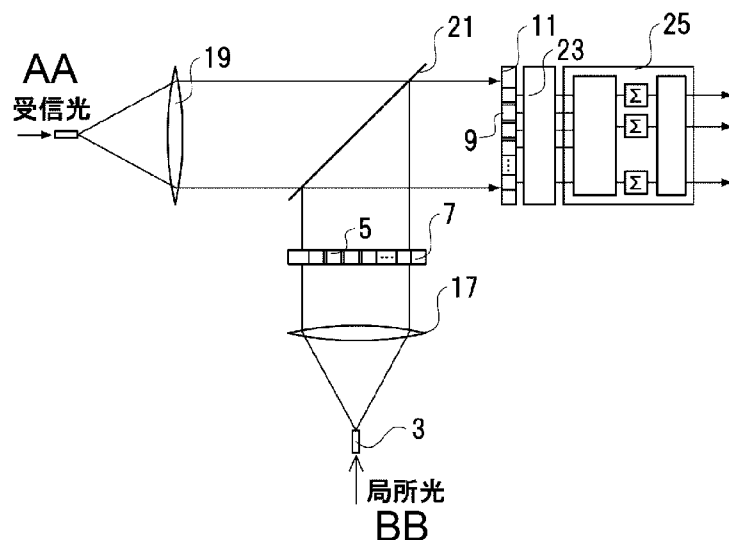
東京都小金井市貫井北町4-2-1 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 坂本 高秀 (SAKAMOTO Takahide); 〒1848795 東京都小金井市貫井北町4-2-1 国立研究開発法人情報通信研究機構内 Tokyo (JP). 梅沢 俊匡 (UMEZAWA Toshimasa); 〒1848795 東京都小金井市貫井北町4-2-1 国立研究開発法人情報通信研究機構内 Tokyo (JP). 山本 直克 (YAMAMOTO Naokatsu); 〒1848795 東京都小金井市貫井北町4-2-1 国立研究開発法人情報通信研究機構内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 廣瀬 隆行 (HIROSE Takayuki); 〒1040042 東京都中央区入船3-8-7

(54) Title: SPATIAL MATCHING RECEPTION

(54) 発明の名称: 空間整合受信



AA Reception light
BB Local light

(57) **Abstract:** [Problem] To provide a receiver which is capable of receiving an arbitrary spatially multiplexed optical signal and a multimode optical signal. [Solution] A receiving device according to the present invention includes: a local light generation source 3 which generates local light to be multiplexed with reception light; a modulation unit 7 which has a plurality of modulation regions 5 in which a plurality of different modulations are respectively given to a plurality of portions of the local light before the local light generated from the local light generation source 3 is multiplexed with the reception light; and a detection unit 11 which has a plurality of detection regions 9 in which light, in which the local light on which the plurality of modulations are performed in the modulation unit 7 and the reception light are multiplexed, is detected for each of the plurality of portions of the local light.



ザ・ロワイヤルビル 3 階 廣瀬国際特
許事務所内 Tokyo (JP).

- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 一 国際調査報告(条約第21条(3))

(57) 要約: 【解決課題】 任意の空間多重光信号, 多モード光信号を受信できる受信器を提供する。【解決手段】 受信光と合波される局所光を発生する局所光発生源 3 と, 局所光発生源 3 から発生した局所光が受信光と合波される前に, 局所光の複数の部分に異なった複数の変調を与えるための複数の変調領域 5 を有する変調部 7 と, 変調部 7 で複数の変調を与えられた局所光と, 受信光とが合波された光を, 局所光の複数の部分ごとに検出する複数の検出領域 9 を有する検出部 11 とを有する受信装置。

明 細 書

発明の名称：空間整合受信

技術分野

[0001] 本発明は、光情報通信に用いられる受信装置に関する。より具体的に説明すると、本発明は、空間整合受信に用いられる受信装置に関する。

背景技術

[0002] 従来、空間多重信号の分離とコヒーレント光受信器は別の技術を用いて行われていた。光多重信号を受信する場合、通常は、光領域において多重信号を分離し、分離された信号を個別にコヒーレント受信していた。このため、多重信号の分離装置と、コヒーレント受信用の受信装置の両方が必要であった。また、光多重の方式毎に専用の多重分離器を用意する必要があり、空間多重信号のモード数、多重数の種類、多重パターンに応じた専用の受信機器構成が必要であった。さらに、光計測技術において、被測定対象からの光応答は任意の多モード信号となり、様々なモードに対応した超高速応答を評価することは困難であった。

先行技術文献

非特許文献

[0003] 非特許文献1：W. Mohammed et al., Opt. Eng. 45, 074602 (2006)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 本発明は、任意の空間多重光信号、多モード光信号を受信できる受信器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

[0005] 本発明は、受信装置に関する（本発明は受信方法をも提供する）。この受信装置は、受信光と合波される局所光を発生する局所光発生源3と、局所光発生源3から発生した局所光が受信光と合波される前に、局所光の複数の部

分に異なった複数の変調を与えるための複数の変調領域 5 を有する変調部 7 と、変調部 7 で複数の変調を与えられた局所光と、受信光とが合波された光を、局所光の複数の部分ごとに検出する複数の検出領域 9 を有する検出部 11 とを有する。

受信装置は、

複数の変調領域 9 が、アレイ状に形成され、

複数の検出領域 11 が、アレイ状に形成されるものが好ましい。

受信装置は、

局所光発生源 3 が、局所光の波長を掃引できるものか、光コム信号発生器であるものが好ましい。

受信装置は、

さらに、受信光と、変調部 7 で複数の変調を与えられた局所光とを合波する合波部 21 をさらに有するものが好ましい。

受信装置は、

複数の検出領域 11 が、複数のフォトダイオードであるものが好ましい。

発明の効果

[0006] 本発明は、任意の空間多重光信号、多モード光信号を受信できる受信器を提供できる。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]図 1 は、受信装置を説明するためのブロック図である。

[図2]図 2 は、複数の変調領域を有する変調部を説明するための概念図である。

[図3]図 3 は、光検出器を示す概念図である。図 3 (a) は、フォトダイオードと配線の例を示し、図 3 (b) はフォトダイオードの間隔を説明するための図である。

[図4]図 4 は、デジタル信号プロセッサを説明するためのブロック図である。

[図5]図 5 は、グレーティングを有する受信装置を説明するためのブロック図である。

[図6]図6は、合波部を用いない受信装置を説明するためのブロック図である。

[図7]図7は、光検出器の利用方法の例を示す概念図である。

[図8]図8は、実施例の空間コヒーレント整合検出器を説明するための概念図である。

[図9]図9は、PDアレイの設計例を示す図である。

[図10]図10は、PDアレイにおける裏面入射断面構造例を示す図である。

[図11]図11は、検討した 4×4 位相パターンを示す。図11(a)は、位相マスクのパターン例を示す。図11(b)は、重み係数の組み合わせ例を示す。

[図12]図12は、モード毎の 20-Gb/s QPSK信号の受信に焦点を当てて、DSPで復元された配置を計算したものを示す図面に替るグラフである。

[図13]図13は、フォトディテクターの大きさ(pn接合面積)に対する3dB周波数帯域の計算見積もりを示す図面に替るグラフである。

[図14]図14は、クロストーク量および挿入損失の算出例を示す図面に替るグラフである。

発明を実施するための形態

[0008] 以下、図面を用いて本発明を実施するための形態について説明する。本発明は、以下に説明する形態に限定されるものではなく、以下の形態から当業者が自明な範囲で適宜修正したものも含む。なお、以下では、空間コヒーレント整合検出器を例にして、本発明を実施するための形態について説明する。しかしながら、本発明は、空間コヒーレント整合検出器に限定されるものではない。

[0009] 図1は、受信装置を説明するためのブロック図である。図1に示されるように、この受信装置は、受信光と合波される局所光を発生する局所光発生源3と、複数の変調領域5を有する変調部7と、複数の検出領域9を有する検出部11とを含む。変調部7は、局所光発生源から発生した局所光が受信光

と合波される前に、局所光の複数の部分に異なった複数の変調を与えるための複数の変調領域 5 を有するものである。検出部 11 は、変調部で複数の変調を与えられた局所光と、受信光とが合波された光を、局所光の複数の部分ごとに検出する複数の検出領域 9 を有する。変調の例は、振幅変調、位相変調、周波数変調、振幅シフト、位相シフト、周波数シフト、及びこれら組み合わせである。図 1 の例では、局所光発生源 3 から出射した局所光をコリメートするためのレンズ 17 と、受信光をコリメートするためのレンズ 19 と、コリメートされた受信光及びコリメートされた局所光とを合波するためのハーフミラー（合波部） 21、検出部 11 からの検出信号をデジタル化するための ADC（アナログーデジタル変換器） 23、DSC（デジタル信号プロセッサ） 25 を含む。DSC 25 は、係数制御部 27 と、MIMO（マルチインプットマルチアウトプット） 29 を含む。

[0010] 受信光は、マルチコアファイバ（MCF）や数コアファイバ（FCF）からの出射光であってもよい。受信光は、モード分割多重（MDM）光などの空間多重信号であってもよい。図 1 の受信装置は、任意の多重モードの光を受信することができるコヒーレント光受信器である。この受信装置は、波長多重伝送、偏波多重伝送、空間多重光伝送、多モード光伝送のみならず、単一モード光伝送におけるコヒーレント受信器として利用されうる。

[0011] 図 2 は、複数の変調領域を有する変調部を説明するための概念図である。図 2 に示されるように、この変調部 7 は、複数の変調領域 5 を有する。局所光発生源 3 から出射し、レンズ 17 によりコリメートされた光が、変調部 7 に存在する複数の変調領域 5 を通過する。その際に、複数の変調領域 5 のそれぞれに対応した変調を受けることとなる。複数の変調領域 5 における変調の例は、位相変調である。例えば、複数の変調領域 5 が 0 と π のいずれかの位相変調を行うものであっても、0、 $\pi/2$ 、 π 、及び $3\pi/2$ のいずれかの位相変調を行うものであってもよい。複数の変調領域 5 は、振幅変調を行うものであってもよいし、周波数変調を行うものであってもよい。変調部 7（マスク）の各変調領域 5 には、光変調器が設けられ、それぞれの光変調器が制

御部と接続され、任意の変調を行うものであってもよい。

[0012] 複数の変調領域 5 は、格子状に設けられてもよいし、任意の配置であってもよい。複数の変調領域 5 は、格子点上に 4 つ以上の光変調器が存在するものである。図 2 の例では、 $m \times n$ 個の変調領域を有している。複数の変調領域 5 の例は、 2×2 （縦方向及び横方向に 2 つずつ）、 2×2 が 1 つの面に 4 つある構造（ 4×4 ）、 3×3 、 5×5 、 6×6 、 4×6 、 8×8 、及び 12×12 である。

[0013] 局所光発生源 3 の好ましい例は、波長を掃引できる局所光発生源である。波長を掃引できる光源は、例えば再表 2007-148413 号公報に記載される通り、公知である。局所光発生源 3 の好ましい別の例は、光コム信号発生器である。光コム信号発生器は、例えば特開 2006-17748 号公報や、特開 2011-221366 号公報に記載される通り、公知である。

[0014] 合波部 21 は、受信光と、変調部で複数の変調を与えられた局所光とを合波する要素である。合波部 21 の例は、ハーフミラー及びビームスプリッターである。

[0015] 光検出器（検出部）

次に、光検出器 11 の例について説明する。図 3 は、光検出器を示す概念図である。図 3 (a) は、フォトダイオードと配線の例を示し、図 3 (b) はフォトダイオードの間隔を説明するための図である。この例の光検出器 11 は、複数のフォトディテクター（例えばフォトダイオード）9 が 2 次元アレイ状に配置されている。フォトダイオード 9 は、光情報通信に用いられている公知のフォトダイオードを用いることができる。フォトダイオード 9 は、検出器のピクセルを構成し、それぞれが、変調部 7 の変調領域 5 に対応したものであってもよい。2 次元アレイの例は、格子点上に 4 つ以上のフォトダイオードが存在するものである。2 次元アレイの例は、 2×2 （縦方向及び横方向に 2 つずつ）、 2×2 が 1 つの面に 4 つある構造（ 4×4 ）、 3×3 、 5×5 、 6×6 、 4×6 、 8×8 、及び 12×12 である。2 次元アレイ状に配置された複数のフォトディテクターは、それぞれ $10 \mu\text{m}$ 以上離れ

て配置される（つまり隣接するフォトダイオードの最も近い部分間の距離 d が $10\ \mu\text{m}$ 以上）ことが好ましい。この間隔が大きすぎると、光検出機能が低下するので、隣接するフォトダイオードの間の距離 d は、 $10\ \mu\text{m}$ 以上 $100\ \mu\text{m}$ 以下が好ましく、 $30\ \mu\text{m}$ 以上 $80\ \mu\text{m}$ 以下でも、 $30\ \mu\text{m}$ 以上 $60\ \mu\text{m}$ 以下でも、 $40\ \mu\text{m}$ 以上 $60\ \mu\text{m}$ 以下でもよい。光検出器の2次元フォトディテクターアレー部は、面入射構造（表面入射又は裏面入射構造）を有していることが好ましい。

[0016] この光検出器は、例えば、複数のフォトディテクターの間幅が $4\ \mu\text{m}$ 以下（好ましくは $1\ \mu\text{m}$ 以上 $4\ \mu\text{m}$ 以下、 $1\ \mu\text{m}$ 以上 $3\ \mu\text{m}$ 以下、又は $2\ \mu\text{m}$ 以上 $4\ \mu\text{m}$ 以下）の配線12を有する。それぞれのフォトダイオードの受光領域は、1辺が $100\ \mu\text{m}$ 以下（面積が $1\ \text{万}\ \mu\text{m}^2$ 以下）であることが好ましい。

[0017] 複数のフォトダイオードは、それぞれメサ構造を有することが好ましい。メサ構造は、あらかじめ結晶成長により $p-n$ 接合を形成し、その後、素子領域をエッチングにより島状に切り出した構造を意味する。メサ構造を有するフォトダイオードは、例えば、特許5842393号公報や特許5386764号公報に記載される通り公知である。フォトダイオードはプレーナ構造であってもよい。プレーナ構造は、カソード層側となる n 型エピタキシャル層の表面から選択的に不純物を深さ方向に添加し、そこを p 型に反転させてアノードとする構造を意味する。また、光検出器は、2次元フォトディテクターアレー部から $1\ \text{GHz}$ 以上の高速電気信号を出力することができるような高周波伝送路が設けられていることが好ましい。このような高速伝送路は、例えば、2次元フォトディテクターアレー部を基盤の中心部に設け、その2次元フォトディテクターアレー部に存在する配線と接続された配線が基盤の周方向に伸びている構造を有するものである。そして、この基盤は、外部（例えば後述するデジタル信号プロセッサ）とフィリップチップボンディング又はワイヤーボンディングにより接続されることが好ましい。これらの配線は、マイクロストリップラインやコプレーナ型の伝送線路により実現され

ることが好ましい。このような構成を有すれば、光電流が各フォトダイオードに流れ、電気信号に変換され、伝送線路を通して外部電気回路へと出力されることとなる。

[0018] この光検出器は、光通信用のフォトダイオードをアレイ状にして用いているので、CCDなどとは異なり、周波数応答が1GHz以上といった高速信号に対応できる。

[0019] フォトディテクターアレーは、マルチコアファイバ内のシングルモードファイバー群から放射される複数の光を受信するものであり、複数の光のそれぞれに、複数のフォトディテクターのいずれかが対応する。

[0020] ADC（アナログーデジタル変換器）

ADC23は、それぞれのフォトダイオードが検出した光強度をデジタル情報に変換する要素である。それぞれのフォトダイオードと接続されたADCが存在し、それぞれのフォトダイオードの検出値をデジタル信号に変換してもよい。ADCはDSPへデジタル信号を出力する。

[0021] DSP（デジタル信号プロセッサ）

光検出器は、さらにデジタル信号プロセッサ（DSP）25を有するものが好ましい。図4は、デジタル信号プロセッサを説明するためのブロック図である。デジタル信号プロセッサ25は、複数のフォトディテクターに含まれるそれぞれのフォトディテクターに対応した重み係数付与部27を有する。DSP25は、重み係数付与部が付与するそれぞれの重み係数を調整できる。DSP25は、ADC23のそれぞれからデジタル信号を受け取り、それぞれのデジタル信号に、重み係数をかけ合わせ、MIMO（マルチインプットマルチ出力）部29に送る。MIMO部29は、それぞれのフォトディテクターからの光信号に重みがけを行った情報を出力する。出力情報を解析すると、受信信号を解析できる。

このようにして、複数のフォトディテクターのそれぞれから信号に様々な重み係数をかけ合わせたものを信号として出力できる。さらに、それぞれのフォトディテクターに関する重み係数を変えることで、特定のフォトディテク

ターが検出した成分を抽出できる。

[0022] この光検出器は、例えば、マルチコアファイバ（MCF）と数モードファイバ（FMF）とが組み合わさった伝送路や、FMFによる伝送路からの出力を直接受信するための光検出器として用いられてもよい。

[0023] なお、上記は、フォトダイオードをアレイ状にした例について説明した。もっとも、単一の光検出器を用いても、変調や取得信号の解析を行うことにより、信号光や局所光の振幅、位相の時間変化や空間分布及び空間分布の変化を取得し、これらを復元できる。単一の光検出器を用いた場合には、他の空間分布を持つ光信号と混在した光信号の中から、特定の空間分布を持つ光信号を、選択的に、受信することができる。なお、空間整合受信については、CCDを用いて検出してもよい。

[0024] 以下、受信装置の動作例について説明する。MCFからの出力光が出力ポートに入射する。すると、入力ポートに入射した受信光がレンズに向けて出射する。レンズ19は、広がった状態の受信光を受け取り、受信光をコリメートし、ハーフミラー21へと伝える。一方、局所光源3から局所光が出射され、局所光の幅が広げられた状態でレンズ17に到達し、レンズ17においてコリメートされる。レンズ17から出射した局所光は、位相マスク7に到達する。位相マスク7における複数の位相変調器5は、局所光の各部位に対し、所定の位相変調を施す。位相変調を施された局所光は、ハーフミラー21に到達する。ハーフミラーに到達した際の局所光の光径（ w_l ）は、ハーフミラー21に到達した受信光の光径（ w_s ）と同じかそれより小さい（例えば、90%以上99%以下である）ことが好ましい。ハーフミラー21において、受信光と局所光とが合波される。受信光のうち、局所光と位相があった部分は強めあい、位相が逆位相であった部分は弱めあう。このように合波された光は、光強度が強めあった部分と弱めあった部分が存在することとなる。その強弱は、基本的には、それぞれの位相変調器5に対応したものである。ハーフミラー21において合波された光は、光検出器11に入射する。光検出器11には、位相変調器5に対応した位置にフォトダイオード9が存

在する。このため、光検出器 11 において、受信した光の強度を測定できることとなる。それぞれのフォトダイオード 9 からの出力は、ADC 23 においてデジタル信号に変換され、DSP 25 において信号処理が施される。DSP 25 は、受信光を復元できる。具体的には、DSP 25 は、それぞれのフォトダイオード 9 からの出力に対して重み付けをすることができるようにされており、重み付けを調整することで、位相変調に応じた成分の光強度情報を得ることができる。これにより、受信光のモードや変調方式を分類できることとなる。

[0025] 図 5 は、グレーティングを有する受信装置を説明するためのブロック図である。この例では、局所光がグレーティング 31 及びレンズを経て、位相マスク 7 に至る。グレーティングの例は、ファイバブラッググレーティング (FBG) である。ファイバブラッググレーティングは、ユニフォームファイバグレーティング、チャープグレーティング、又はマルチセクショングレーティングを用いるものや、変調可能なファイバグレーティングがあげられる。ファイバブラッググレーティングは、たとえば、位相マスクを介して紫外線を照射し、そのコアの屈折率を所定のピッチで変化させることにより得ることができる。グレーティングを用いることで、波長選択コヒーレント検出を実現できる。つまり、例えば、局発光波長を信号光波長帯域内に配置し、局発光の振幅及び位相等に、空間分布を与え、かつ、信号光と局発光間ビート成分を、単一の光検出または、複数の光検出器を用いて、検出することにより、局発光の振幅、位相の時間変化、空間分布、変化情報を取得、復元することができる。局発光波長を信号光波長帯域内に配置するとは、例えば、信号光波長の占有光波長を λ_1 以上 λ_2 以下とした時 (ただし、 $\lambda_1 < \lambda_2$)、局発光波長 λ_L を λ_1 以上 λ_2 以下の領域に配置することである。

[0026] なお、局発光波長を信号光波長帯域外に配置した場合、信号光と局発光間ビート成分を、単一の光検出、または、複数の光検出器を用いて検出することで、局発光の振幅、位相の時間変化、空間分布、変化情報を取得、復元するものも有効である。局発光波長を信号光波長帯域外に配置するとは、例え

ば、信号光波長の占有光波長を λ_1 以上 λ_2 以下とした時（ただし、 $\lambda_1 < \lambda_2$ ）、局発光波長 λ_L を λ_1 より小さいか、 λ_2 より大きい領域に配置することである。

[0027] この場合の受信装置の例は、受信光3と合波される局所光を発生する局所光発生源5、局所光と受信光3とが合波された光を、検出する検出部13とを有する受信装置となる。局所光の波長は、信号光波長帯域外である。この場合、特定の空間分布を有する光信号を選択的に受信することで、局発光の振幅、位相の時間変化、空間分布、変化情報を取得、復元できる。局発光を信号光帯域外に配置した場合、信号光は電気信号として取得される際に、振幅位相情報を保有したまま、中間周波数帯信号にダウンコンバートされ、この信号がデジタル信号処理回路に入力される。デジタル信号処理回路上で、中間信号を平行信号セットに変換し、前述のマスクアレイと同じ位相、振幅分布をもつマスクを局発信号に適用した平行信号セットを用意し、これと、ミキシングを行うことにより、信号光を復調、モード分離が行える。

[0028] 図6は、合波部を用いない受信装置を説明するためのブロック図である。図6に示される例では、光検出器において受信光と局所光とが合わさるため、受信光と局所光とを合波する合波部が存在しない。このような構成とすれば光学素子を軽減できることとなる。

[0029] 図7は、光検出器の利用方法の例を示す概念図である。この例では、マルチコアファイバ（MCF）と数モードファイバ（FMF）とが接続された伝送路からの出力光を複数の光検出器11を用いて受信し、それぞれの光検出器（及びそれと接続されたADC及びDSP）により受信信号を解析する。

[0030] 上記の光検出器は、以下のような用途も考えられる。MCFからの光をレンズ等で集光し、各フォトディテクターへ直接光結合を行う。MCFのコア配置（三角配置、四角配置）に合わせ、光検出器のピクセルの配置を決定すればよい。従来技術ではMCFを複数の単一ファイバーへ変換するDEMUX装置又はDEMUX装置後に複数の単一ファイバーを接続し、その単一ファイバーに応じた受信器が必要であった。上記の光検出器を用いればDEM

U X装置が不要となり、また出力本数分必要であった複数の受信器が1つに集約できる。このため、上記の光検出器を用いれば、受信側システム構成を簡略化でき、小型トランシーバー等の設計に大きく寄与される。また、軌道角運動量 (OAM) を使ったモード分割多重伝送においても、上記の光検出器を用いることで、光DEMUX装置や後段の1モードに対する受信機が不要となり、直接OAM光信号を受信できる。これにより瞬時モード判定とデータ受信が可能となる。2次元PDA各素子とパッチアンテナなどの小型アンテナを接続し、各光検出器素子への位相制御を電氣的、光学的手法により行うことで、2次元フェーズドアレーアンテナを製造できる。光検出器単体素子は100GHz以上で動作するよう設計が可能であることから、マイクロ波帯からミリ波帯、あるいはTHz帯の2次元フェーズドアレーアンテナが作製可能となる。

実施例 1

[0031] 本実施例では、高速モード分離とコヒーレント検出を光電子的に可能にする「空間コヒーレント整合検出」とよばれる新しい手法を提案し、検討する。

[0032] 図8にその原理を示す。図8は、実施例の空間コヒーレント整合検出器を説明するための概念図である。空間コヒーレント整合検出器は、ハーフミラー、局所光、位相マスク、フォトダイオード (PD) アレイおよびデジタル信号プロセッサ (DSP) を含む。信号および局所光は信号ポートおよびローカルポートから入力され、コリメートされる。2つの光は、ハーフミラーで結合され、PDアレイに入射する。信号および局所光は、PDアレイのアクティブエリアをカバーするビームサイズで十分に空間的に広がっている。PDアレイは、共通の光入力と複数の出力電極とが2次元マトリクス状に配置された構造を有し、異なる位置の光電流を別々に取り出す。PDアレイの各要素は従来のPD技術に基づいているため、10Gbaud以上の高帯域幅検出が可能である。検出システムでは、ローカルポート側に特殊位相パターンを持つ位相マスクを配置している。位相マスクを用いて、局所ビームの

位相パターンが制御される。したがって、PDアレイの各素子に入力されるローカル光の光位相は、必要に応じて制御される。一方、信号光はそのままPDアレイに入射し、したがって、PDレーザーで信号光とローカル光の相對位相差を独立に制御できる。

[0033] 図9は、PDアレイの設計例を示す図である。図9に示されるように、PDアレイは、1GHz以上の高速電気信号を外部へ取り出すための高周波伝送路が設けられている。図10は、PDアレイにおける裏面入射断面構造例を示す図である。タイル状に加工した高速フォトディテクター（大きさ：約 $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ 以下）を2次元上に配置する。各フォトディテクターからの電気出力と外部電気回路との接続のため、フォトディテクターには $4\mu\text{m}$ 程度の配線を設ける。電気信号は1GHz以上の高速信号であるため、外部回路への信号取り出しにはマイクロストリップラインやコプレーナ伝送線を設ける。高速光信号は上面もしくは裏面より入射を行う。これにより光電流が各フォトディテクターに流れ、電気信号へ変換され、伝送線路を通して外部電気回路へ出力される。

[0034] 例えば、アレイ内の2つのPD素子の間に $\pi/2$ 位相オフセットを与えると、信号の同相（I）成分と直交（Q）成分が同時に検出され、コヒーレント検出が達成される。空間モードを分離するには、モードパターンに一致する位相オフセットを与えることによって、PD素子からの光電流をすべて集計する必要がある。加算プロセスのための熱電流の重み係数を適切に変更することにより、光学構成を変えることなく任意の直交モードを動的に選択することができる。

[0035] 重み係数はDSPで簡単に制御することができ、光検出に先立って光モード分割なしですべてのモードチャネルの並列検出を実現できる。例えば、アレイ内の2つのPD素子の間に $\pi/2$ 位相オフセットを与えると、信号の同相（I）成分と直交（Q）成分が同時に検出され、コヒーレント検出が達成される。空間モードを分離するには、モードパターンに一致する位相オフセットを与えることによって、PD素子からの光電流をすべて集計すればよい。

加算プロセスのための熱電流の重み係数を適切に変更することにより、光学系の構成を変えることなく任意の直交モードを動的に選択することができる。重み係数はDSPで簡単に制御することができ、光検出に先立って光モード分割なしですべてのモードチャネルの並列検出を実現できる。

[0036] この技術の最も重要な点は、受信したMDM信号に対して空間フィルタまたは他の光信号処理を適用しなくて済むことである。信号は、共通の単一光入力面を有するフォトダイオードアレイに単に入力される。このようなPDアレイの単一のセットでは、すべてのモーダルチャネルを個別に検出することができる。位相マスクパターンを変更することなく、空間モードを直交的に分離することができる。我々は、配列要素で検出された光電流の組み合わせを選択するためにDSPを使用する。検出システムは、異なるモード数が多重化された他のMDM信号に対して柔軟にアップグレードすることができる。マトリックスサイズが十分に大きい場合には、3、5またはそれより高次のMDM信号を検出可能である。

[0037] さらに、検出スキームは、モード分割損失を被らない。モード損失にかかわらず、固有損失は理想的に3 dBであり、シングルチャネル位相ダイバーシティコヒーレント受信機およびコヒーレント整合検出器と同等である。光損失を比例的に増加させる従来の位相板ベースの光モードスプリッタモーダル数に変換する（図8の理論的損失は6 dBであるが、ハーフミラーのもう一方の出力ポートを使用してバランス型検出構成として変更することで、3 dBまで改善できる。）。

[0038] ここでは、 4×4 PDアレイを用いた3つのモードのMDM信号のモード分離と検出に着目した空間コヒーレント整合検出器を検討する。本概念を証明するために数値解析を行った。図11は、検討した 4×4 位相パターンを示す。図11(a)は、位相マスクのパターン例を示す。図11(b)は、重み係数の組み合わせ例を示す。この位相マスクは、図の点線の枠で囲まれた4組のサブ位相マスクで構成されている。各サブ位相マスクは、それぞれ0、 $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ の位相シフトを与える4つの領域を有する。[

0, π] 位相シフトに対応する一対のPD素子は、受信信号の同相成分のバランス検出として機能する。直角位相成分は、対となる $[\pi/2, 3\pi/2]$ PDを用いて検出される。PDアレイからのすべての光電流を合計するとき、重み係数の組み合わせを変更するだけでモード分離が達成される。LP01モードは、以下の重み係数行列を用いてすべての光電流を合計すると検出される。

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{I成分の場合})。$$

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (\text{Q成分の場合})。$$

また、LP11aモードとLP11bモードを検出するには、それぞれ

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (\text{LP11a-I}),$$

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (\text{LP11a-Q}), \text{ および}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (\text{LP11b-I}),$$

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (\text{LP11b-Q}) \text{ となる。}$$

[0039] 図12は、モード毎の20-Gb/s QPSK信号、例えば3×20-Gb/s MDM QPSK信号の受信に焦点を当てて、DSPで復元された配置を計算したものを示す。計算では、0.1 nmでのOSNRは20 dBと仮定される。マルチ入力マルチ出力(MIMO)イコライザを適用して信号を分離し、モードのチャネル間のクロストークを抑圧する。図12(a)から(c)は、すべてのチャネルが多重化され、空間コヒーレント整合検出器で受信されたときに得られるLP01, LP11aおよびLP11bモードに対応するモードのチャネルの配置を示している。なお、簡単に説明するため、空間コヒーレント整合検出器では、すべてのモードが保持されると仮

定する。したがって、すべてのチャネルがクロストークなしに別々に復元されていることが分かる。これは、このシステムがMDM信号のすべてのモードのチャネルを直交で逆多重化できることを意味する。また、PDアレイの角度（および位相マスクも同様）をMDMモードに対して 0.1π [rad] 傾斜させたときに得られた配置を計算した。この配置は図12（d）から（f）に示されている。この状況では、サブセットPDにおける光検出の均衡が不完全になる。従って、不均衡な成分は、MIMOで完全に補償することはできない。我々は、MIMO処理を変更する、および/またはPDアレイ（より大きい行列スケールを有する）の空間分解能を向上させることができると考えている。

[0040] 結論として、我々は、高速PDアレイに基づく2次元空間コヒーレント整合検出方器を提案し、検討した。 3×20 Gb/s MDM QPSK信号を検出する 4×4 行列による配置の数値解析を通して、MDM信号は光電的に分波し、コヒーレントに受信することができることが分かる。従来のMDMデマルチプレクサーとは異なり、空間フィルタリングも光スプリッティングも受信信号には適用されず、理想的には、単一チャネルコヒーレント受信機に匹敵する3 dBの損失を低減するのに有益である。

実施例 2

[0041] 図13は、フォトディテクターの大きさ（pn接合面積）に対する3 dB周波数帯域の計算見積もりを示す図面に替るグラフである。図13からフォトディテクターの大きさを $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ 以下とすることで帯域約1 GHz以上が得られることがわかる。

実施例 3

[0042] 図14は、クロストーク量および挿入損失の算出例を示す図面に替るグラフである。図14に示されるように、1ピクセルのピクセルサイズ $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ 、配線幅 $4\mu\text{m}$ 、スペース $14\mu\text{m}$ 、ピクセル間隔 $64\mu\text{m}$ 時、周波数30 GHz以下においてRFクロストーク20 dB以下が得られる。同様に1ピクセルのピクセルサイズ $20\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$ 、配線幅 $4\mu\text{m}$ 、ス

ペース $14\ \mu\text{m}$ 、ピクセル間隔 $44\ \mu\text{m}$ 時、周波数 $30\ \text{GHz}$ 以下において R
F クロストーク $20\ \text{dB}$ 以下が得られる。

産業上の利用可能性

[0043] 本発明は、光情報通信の分野で利用されうる。

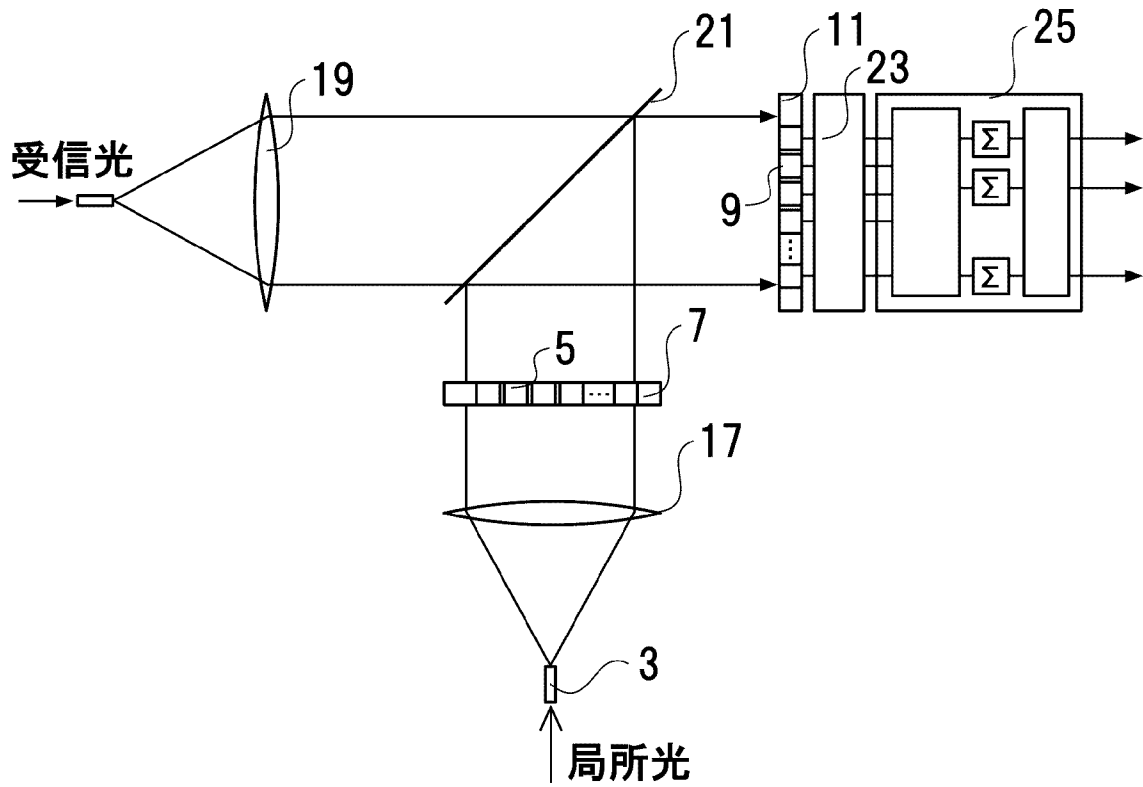
符号の説明

- [0044]
- 3 局所光源
 - 5 変調領域（変調器）
 - 7 変調部
 - 9 検出領域（フォトディテクター、フォトダイオード）
 - 11 検出部
 - 12 配線
 - 17 レンズ
 - 19 レンズ
 - 21 合波部（ハーフミラー）
 - 23 ADC
 - 25 デジタル信号プロセッサ（DSP）
 - 27 重み係数付与部

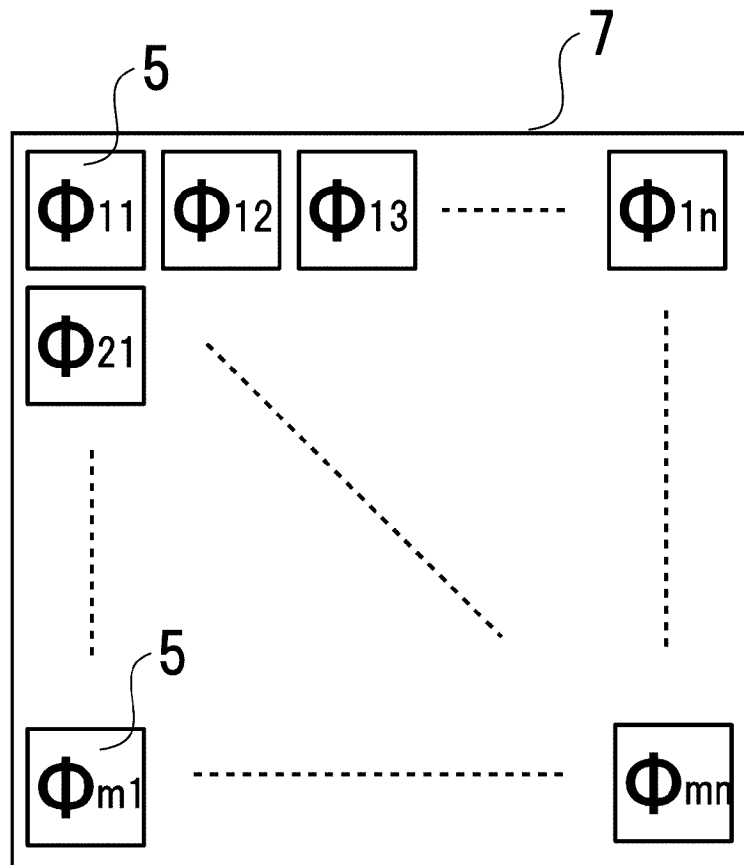
請求の範囲

- [請求項1] 受信光と合波される局所光を発生する局所光発生源（3）と、
前記局所光発生源（3）から発生した局所光が前記受信光と合波される前に、前記局所光の複数の部分に異なった複数の変調を与えるための複数の変調領域（5）を有する変調部（7）と、
前記変調部（7）で複数の変調を与えられた局所光と、前記受信光とが合波された光を、前記局所光の複数の部分ごとに検出する複数の検出領域（9）を有する検出部（11）とを有する、
受信装置。
- [請求項2] 請求項1に記載の受信装置であって、
前記複数の変調領域（9）は、アレイ状に形成され、
前記複数の検出領域（11）は、アレイ状に形成される、受信装置。
- [請求項3] 請求項1に記載の受信装置であって、
前記局所光発生源（3）は、前記局所光の波長を掃引できる、受信装置。
- [請求項4] 請求項1に記載の受信装置であって、
前記局所光発生源（3）は、光コム信号発生器である、受信装置。
- [請求項5] 請求項1に記載の受信装置であって、
さらに、前記受信光と、前記変調部（7）で複数の変調を与えられた局所光とを合波する合波部（21）をさらに有する、受信装置。
- [請求項6] 請求項1に記載の受信装置であって、
前記複数の検出領域（11）は、複数のフォトダイオードである、
受信装置。

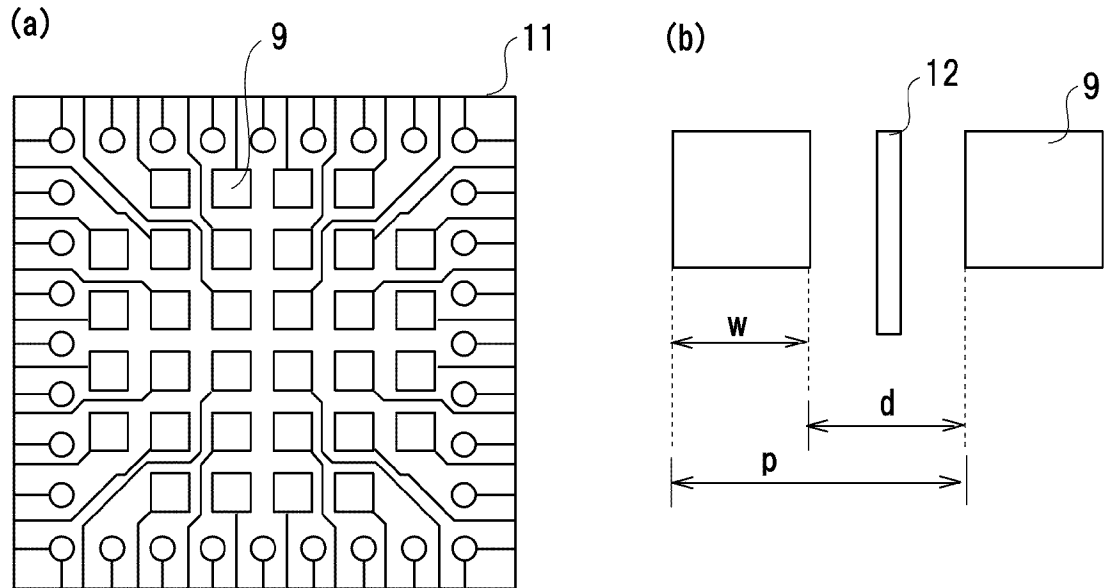
[図1]



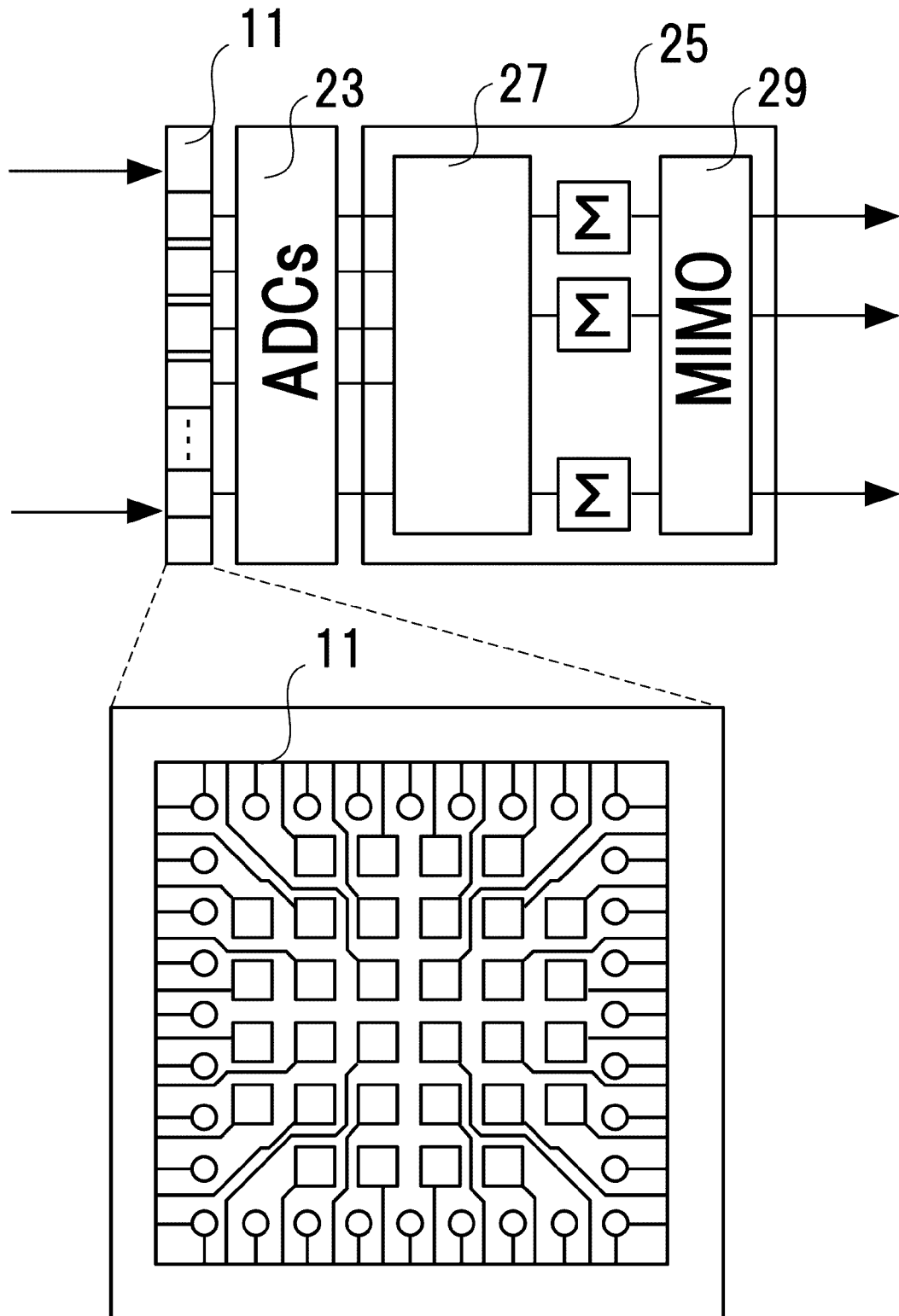
[図2]



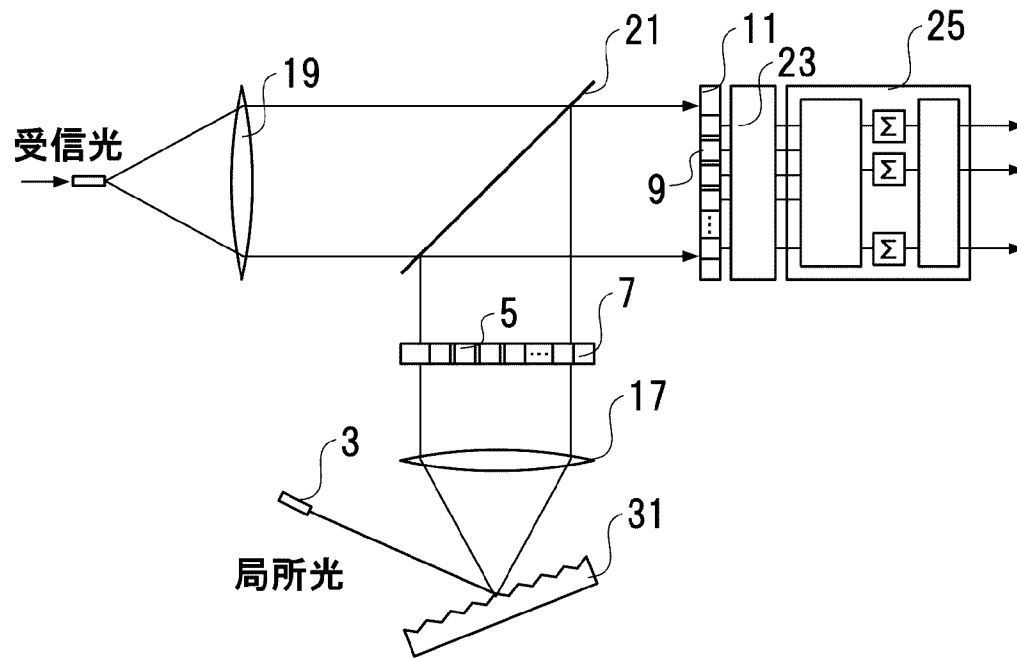
[図3]



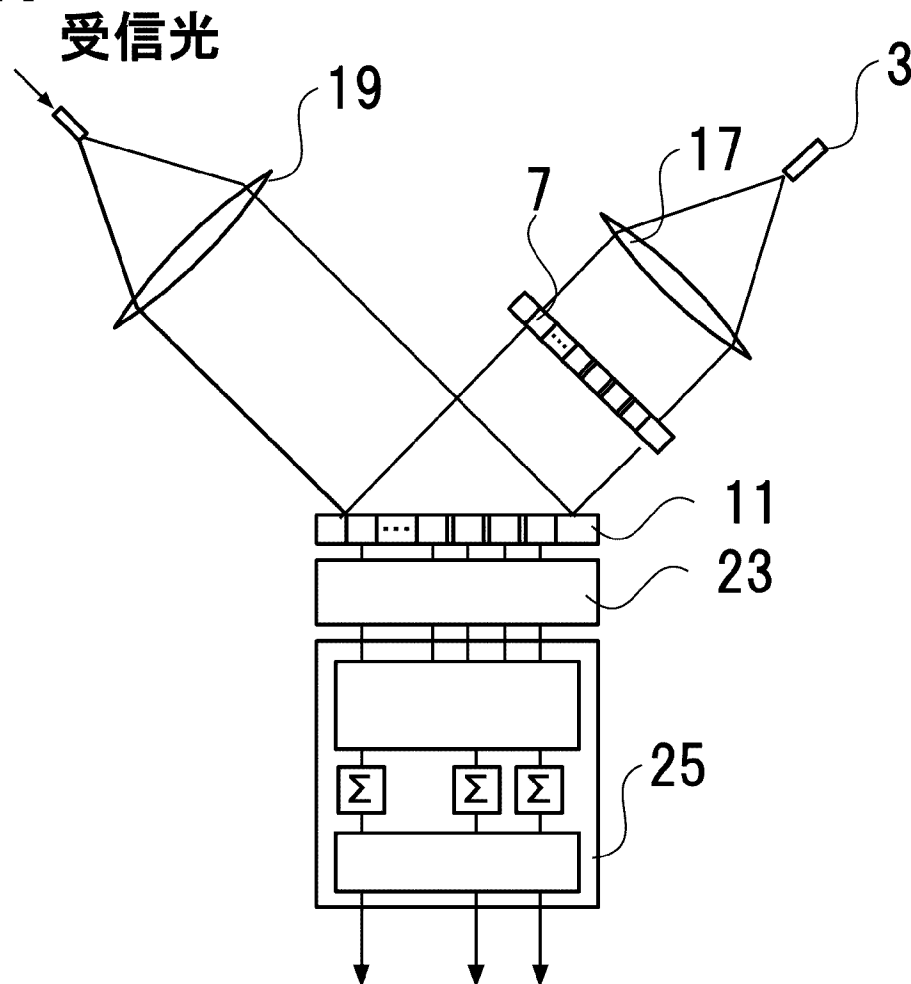
[図4]



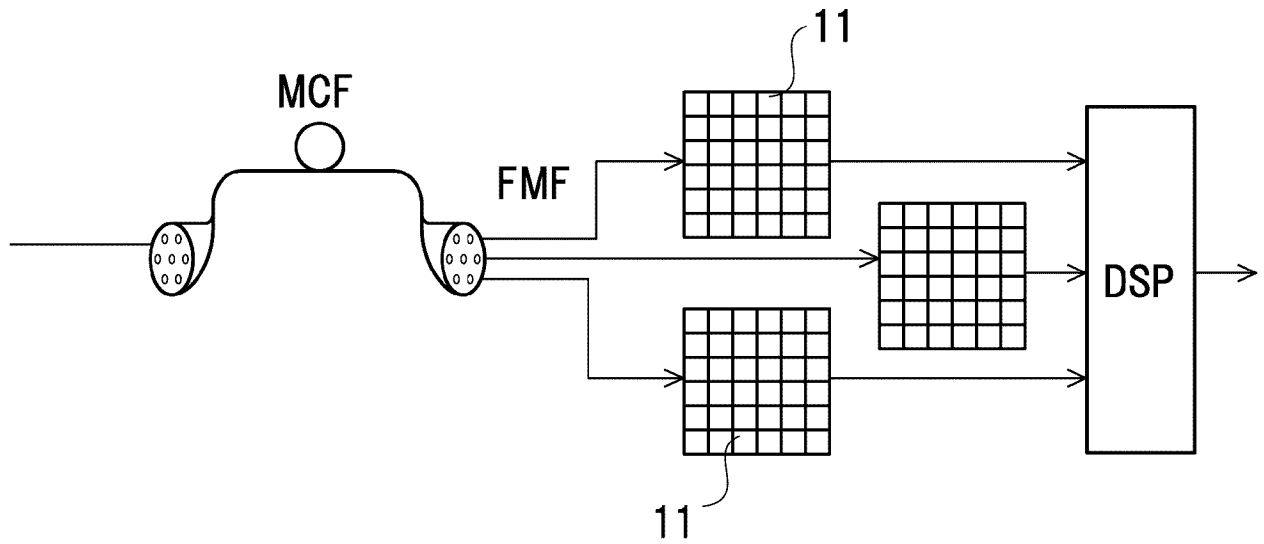
[図5]



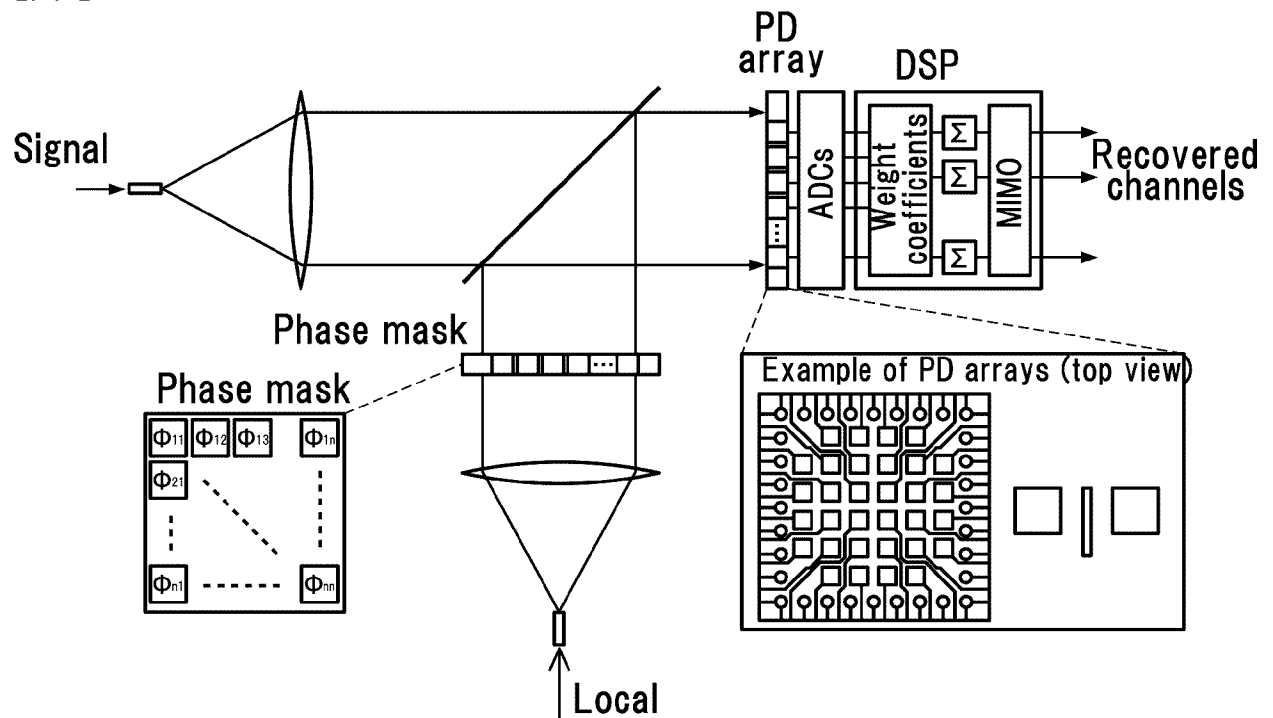
[図6]



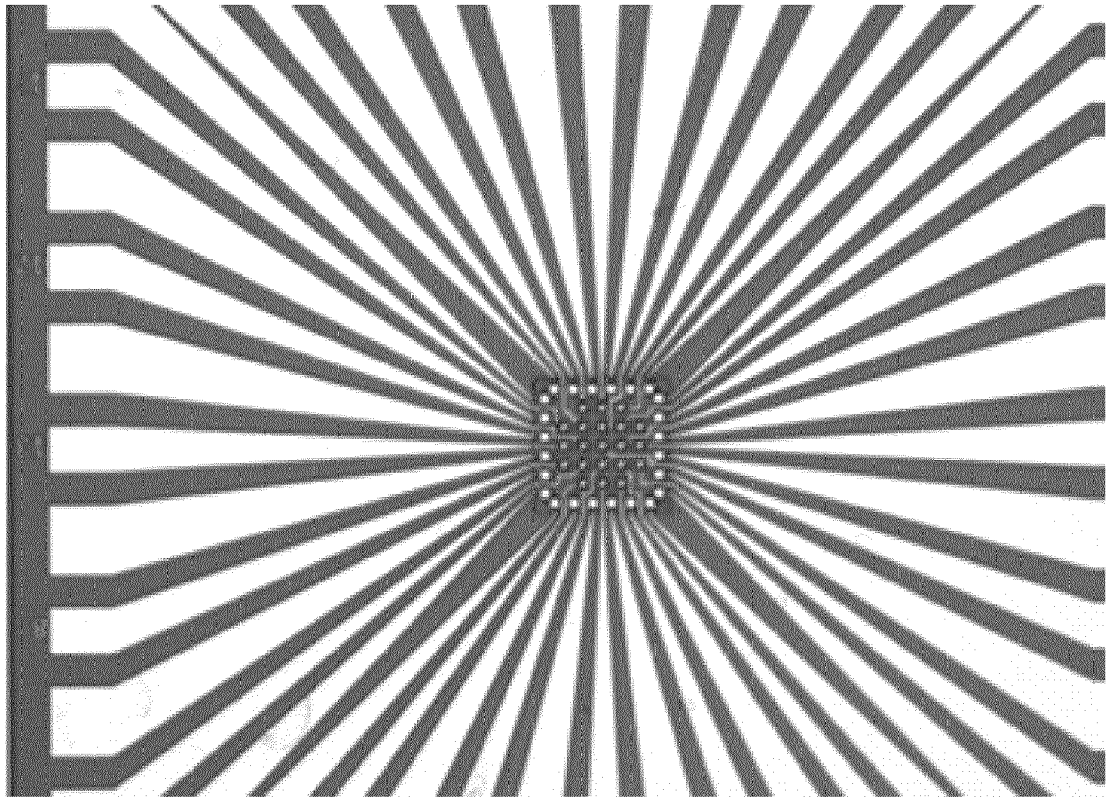
[図7]



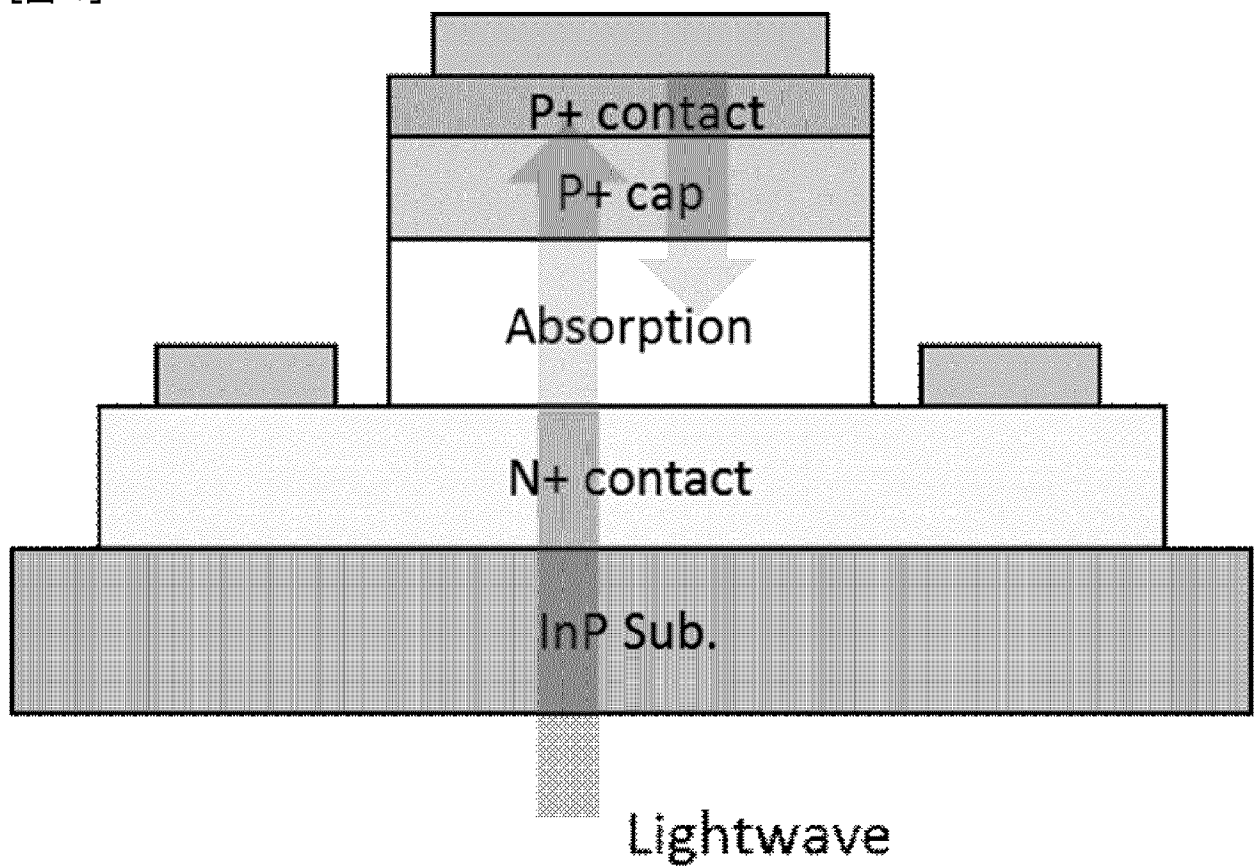
[図8]



[図9]

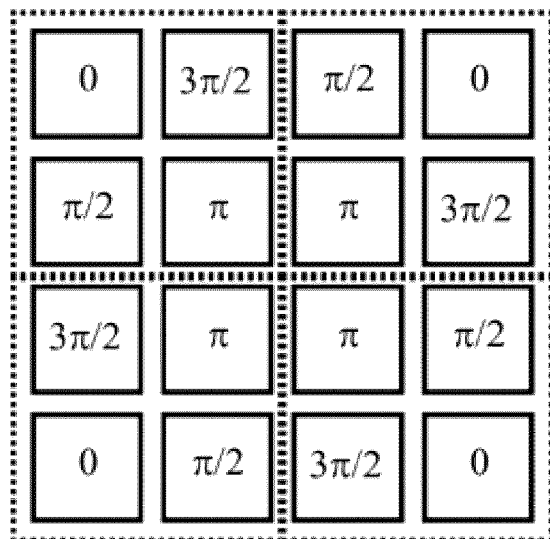


[図10]

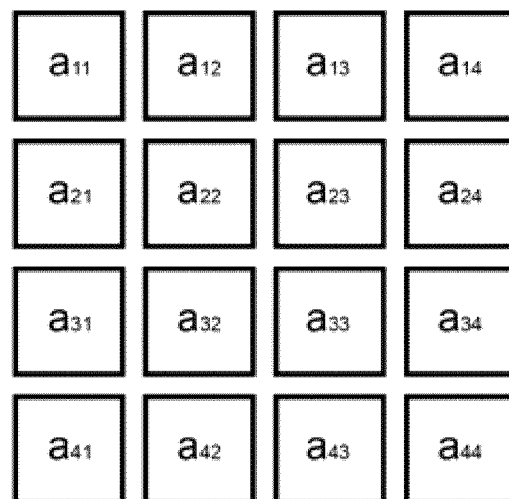


[図11]

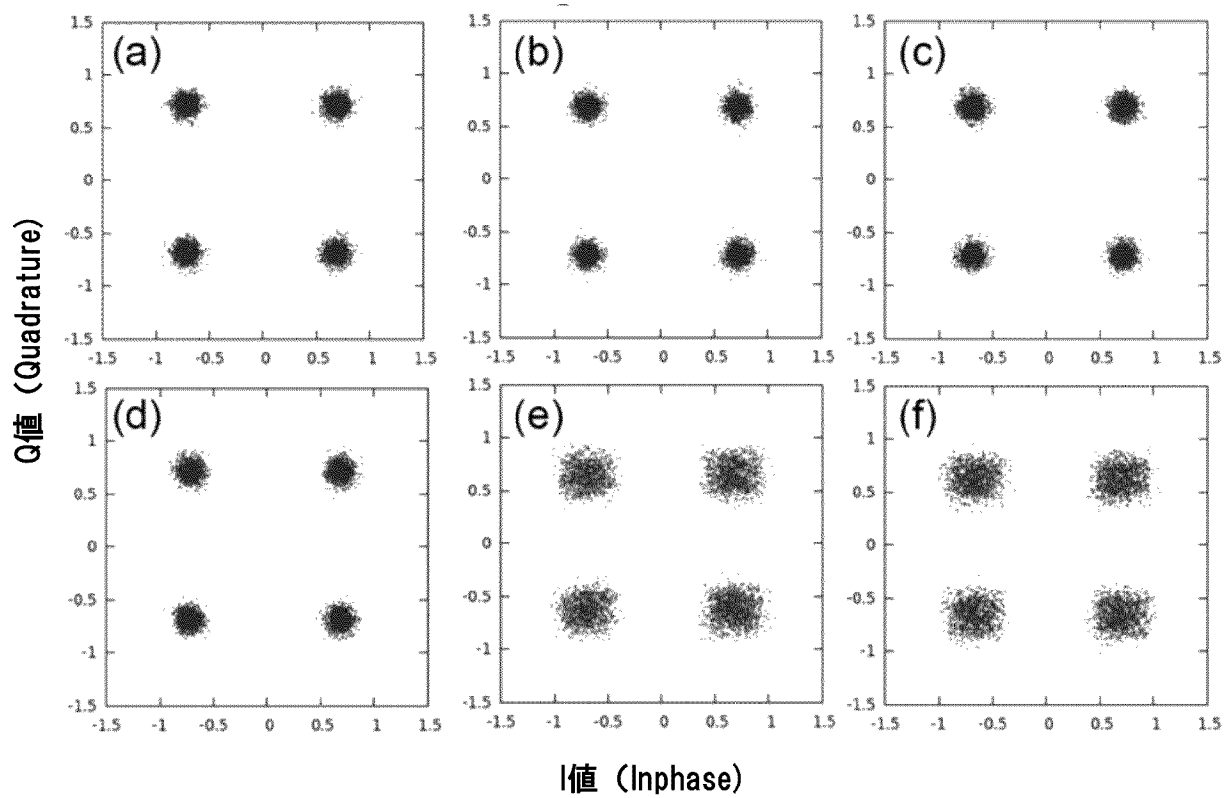
(a)



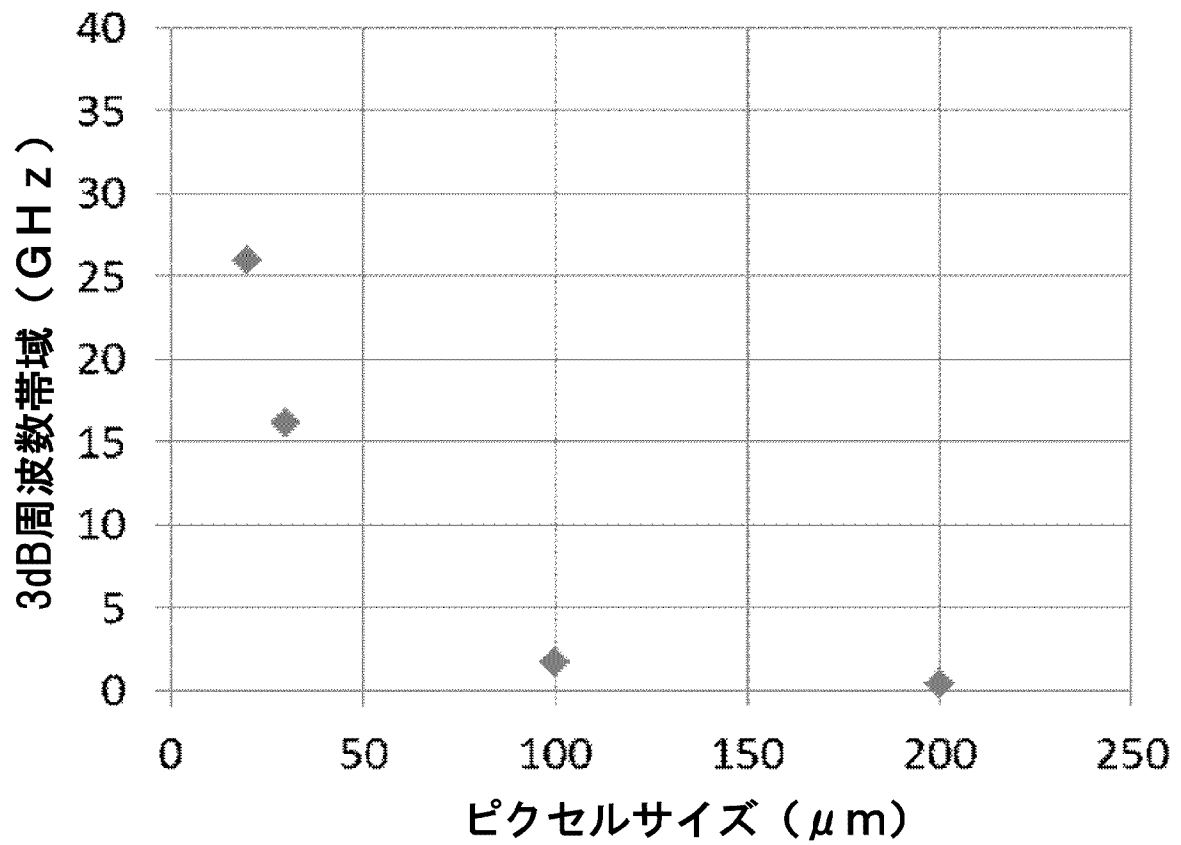
(b)



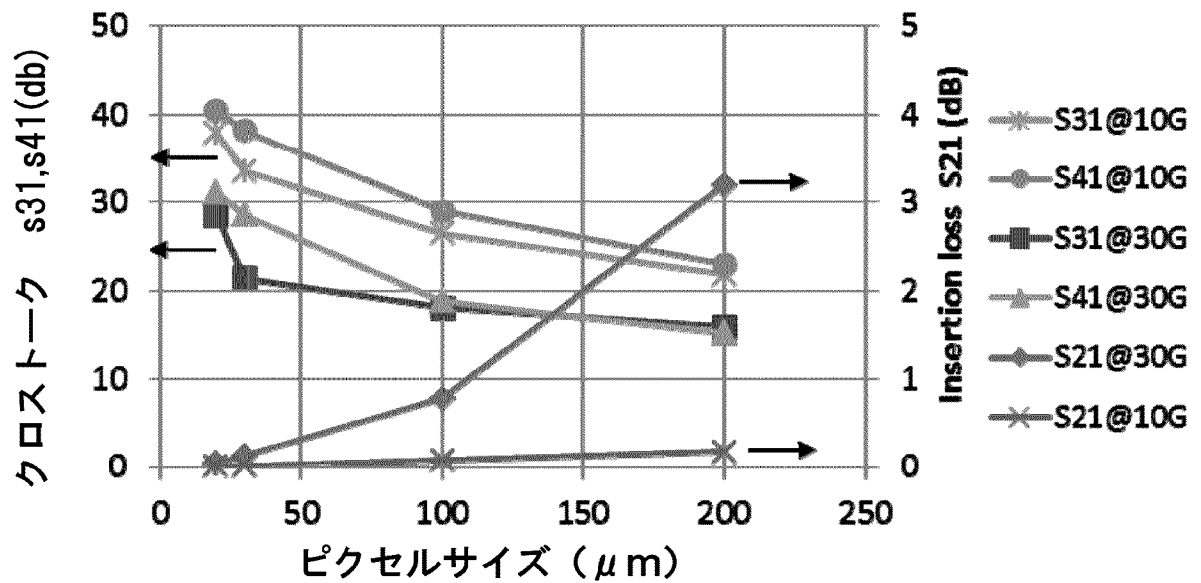
[図12]



[図13]



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/008726

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. H04B10/61 (2013.01) i, G02B6/42 (2006.01) i, H01L31/10 (2006.01) i, H04J14/04 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl. H04B10/61, G02B6/42, H01L31/10, H04J14/04

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2018

Registered utility model specifications of Japan 1996-2018

Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

IEEE Xplore

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, X	SAKAMOTO, Takehide et al., Spatial Coherent Matched Detection Using High-Speed Two Dimensional Photo-Diode Array for Full-Channel Demultiplexing and Demodulation of Mode-Division-Multiplexed Signals, 2017 European Conference on Optical Communication (ECOC), IEEE, 17 September 2017, pp. 1-3	1-6
P, X	SAKAMOTO, Takehide et al., Two-dimensional spatial coherent matched detection scheme for modal separation and homodyne detection of mode-division multiplexed signals, 2017 IEEE Photonics Conference, 01 October 2017, pp. 41-42	1-6



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
11.05.2018

Date of mailing of the international search report
29.05.2018

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/008726

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	XHI, Dong et al., Experimental demonstration of coherent beam combining with a two-dimensional conformal fiber laser array, 2016 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO), IEEE, 05 June 2016, pp. 1-3	1-6
A	JP 2015-108698 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 11 June 2015, paragraphs [0002]-[0013], fig. 15-17 (Family: none)	1-6
A	JP 03-179332 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 05 August 1991, page 7, lower right column, line 4 to page 8, lower right column, line 4, fig. 6 & US 5099114 A, column 10, line 22 to column 11, line 51, fig. 9 & EP 395060 A2, column 12, line 36 to column 14, line 23, fig. 9	1-6

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H04B10/61(2013.01)i, G02B6/42(2006.01)i, H01L31/10(2006.01)i, H04J14/04(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H04B10/61, G02B6/42, H01L31/10, H04J14/04

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

IEEE Xplore

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
P, X	SAKAMOTO, Takehide et al., Spatial Coherent Matched Detection Using High-Speed Two Dimensional Photo-Diode Array for Full-Channel Demultiplexing and Demodulation of Mode-Division-Multiplexed Signals, 2017 European Conference on Optical Communication (ECOC), IEEE, 2017.09.17, pp.1-3	1-6

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

11.05.2018

国際調査報告の発送日

29.05.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

前田 典之

5 K

9073

電話番号 03-3581-1101 内線 3556

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
P, X	SAKAMOTO, Takehide et al., Two-dimensional spatial coherent matched detection scheme for modal separation and homodyne detection of mode-division multiplexed signals, 2017 IEEE Photonics Conference, 2017.10.01, pp.41-42	1-6
A	XHI, Dong et al., Experimental demonstration of coherent beam combining with a two-dimensional conformal fiber laser array, 2016 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO), IEEE, 2016.06.05, pp.1-3	1-6
A	JP 2015-108698 A (日本電信電話株式会社) 2015.06.11, 段落 [0002]-[0013], 図 15-17 (ファミリーなし)	1-6
A	JP 03-179332 A (日本電信電話株式会社) 1991.08.05, 第 7 頁右下欄第 4 行-第 8 頁右下欄第 4 行, 図 6 & US 5099114 A, 第 10 欄第 22 行-第 11 欄第 51 行, 図 9 & EP 395060 A2, 第 12 欄第 36 行-第 14 欄第 23 行, 図 9	1-6