

(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
2022年2月3日(03.02.2022)



(10) 国際公開番号

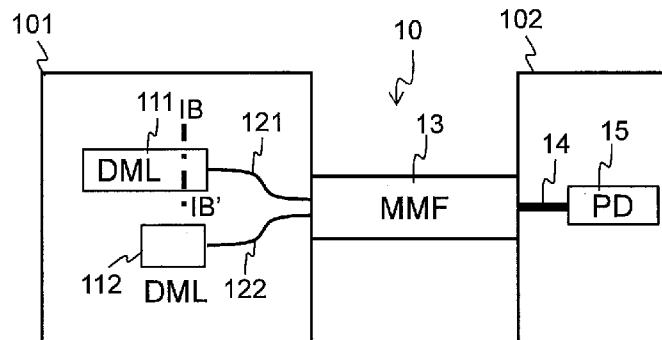
WO 2022/024344 A1

- (51) 国際特許分類:
H04B 10/25 (2013.01) *H04B 10/50* (2013.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2020/029433
- (22) 国際出願日: 2020年7月31日(31.07.2020)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 相原 卓磨 (AIHARA, Takuma); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 松尾 慎治 (MATSUO, Shinji); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 開達郎 (HIRAKI, Tatsuro); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP).

- (74) 代理人: 山川 茂樹, 外(YAMAKAWA, Shigeki et al.); 〒1006104 東京都千代田区永田町2丁目11番1号 山王パークタワー4階 山王国際特許事務所内 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, IT, JO, JP, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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,

(54) Title: OPTICAL TRANSMISSION/RECEPTION SYSTEM AND TRANSMITTER

(54) 発明の名称: 光送受信システムおよび送信器



(57) Abstract: This optical transmission/reception system (10) is provided with a transmitter (101) having a light source for outputting NRZ optical signals of a plurality of different patterns, an optical fiber (13) for propagating the light of a plurality of modes, and a receiver (102) for receiving a multi-value signal generated from the NRZ optical signals and provided with a photodiode (15) and an optical waveguide (14). Thus, it is possible to provide an optical transmission/reception system for transmitting/receiving a multi-value signal and provided with a compact transmitter and receiver.

(57) 要約: 本発明の光送受信システム(10)は、複数の異なるパターンのNRZ光信号を出力する光源を有する送信器(101)と、複数のモードの光を伝搬する光ファイバ(13)と、フォトダイオード(15)と光導波路(14)を備え、前記NRZ光信号から生成される多値信号を受信する受信器(102)とを備える。これにより、多値信号を送受信する、小型の送信器および受信器を備える光送受信システムを提供できる。

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)）

明 細 書

発明の名称：光送受信システムおよび送信器

技術分野

[0001] 本発明は、多値信号を送受信する光送受信システムおよび送信器に関する。

背景技術

[0002] 通信トラフィックの増大に伴い、大容量光送受信器の要求が高まっている。伝送容量の拡大に向けて、信号の多値化、多重化、高ボーレート化が進められている。従来の短距離通信では、2つのレベルのパルス信号として伝送するNRZ (Non-return-to-zero) 符号が用いられていたが、伝送容量の拡大のために、4つのレベルのパルス信号として伝送するPAM4 (4-level pulse amplitude modulation) 符号が近年用いられている。PAM4信号は、4値の信号を用いることから、NRZ信号に比べ2倍のデータレートで信号の伝送が可能となる。

[0003] PAM4の光信号を生成するための電気／光 (EO、Electro-optical) 変換器として、直接変調レーザ (DML、Direct modulation laser) やEA変調器集積DFB (EA-DFB、Electro-absorption distributed feedback) レーザが用いられる。特に、直接変調レーザは、消費電力やデバイスサイズ、製造コストの面で優れている。一般に、直接変調レーザの帯域速度は、緩和振動周波数とCR時定数のうちより遅いほうに律速される。緩和振動周波数は、レーザの注入電流に依存する。具体的には、注入電流の1／2乗に比例して緩和振動周波数が増加する。すなわち、直接変調レーザを用いて4値の変調を与えPAM4信号を生成する場合、信号のレベルによって帯域速度が異なるため、スキューが発生し、信号が歪む。

[0004] また、EA-DFBレーザを用いる場合、光吸収のメカニズムに起因して

変調度が変調バイアスに依存する。すなわち、変調バイアスに対して線形な変調度が得られない。そのため、信号レベルによって、変調度が異なり、信号が歪む。結果的に、動的消光比が上げられない。これらの信号の歪みは、ビットエラーレートを劣化させるため、伝送容量や距離の律速要因となる。

[0005] そこで、非特許文献 1 に、同じ特性の 2 台の直接変調レーザを用いて、それぞれを NRZ で変調し、それらを合波することで、PAM4 信号を生成する技術が開示されている。このとき、それぞれの直接変調レーザの光出力の比は、2 : 1 とする。この方法では、それぞれの直接変調レーザを同等の注入電流で駆動し、帯域速度を揃えることができるので、スキューの発生、すなわち信号の歪みを抑えることができる。

先行技術文献

非特許文献

[0006] 非特許文献 1 : K. Nakahara et al., “Superior BER Transmission of 106-G b/s/lane skewless PAM4 over 10 km by Utilizing 1.3- μ m Directly Modulated InGaAlAs-MQW BH Lasers and Incoherent Multiplexing of Two NRZ Signals” OFC2018, Th3B.3, 2018.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] しかしながら、非特許文献 1 に開示された技術では、信号の合波のために、合波器や偏波回転素子などの付加的な光部品が必要になり、デバイスサイズの増大や光損失に起因した信号パワーの減衰、さらに信号品質の劣化が問題となる。

課題を解決するための手段

[0008] 上述したような課題を解決するために、本発明に係る光送受信システムは、複数の異なるパターンの NRZ 光信号を出力する光源を有する送信器と、複数のモードの光を伝搬する光ファイバと、フォトダイオードと光導波路を備え、前記 NRZ 光信号から生成される多値信号を受信する受信器とを備え

る。

[0009] また、本発明に係る送信器は、出力光を光ファイバに伝搬させて、受信器に多値信号を送信する送信器であって、複数の異なるパターンのNRZ光信号を出力する光源を備え、前記光ファイバが複数のモードの光を伝搬することを特徴とする。

[0010] また、本発明に係る光送受信システムは、複数の異なるパターンのNRZ光信号を出力する複数の光源と、前記複数のNRZ信号を合波する素子とを有する送信器と、シングルモードファイバと、フォトダイオードとシングルモード光導波路を備え、前記NRZ光信号から生成される多値信号を受信する受信器とを備える。

発明の効果

[0011] 本発明によれば、多値信号を送受信する、小型の送信器および受信器を備える光送受信システムおよび送信器を提供できる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1A]図1Aは、本発明の第1の実施の形態に係る光送受信システムの構成を示す図である。

[図1B]図1Bは、本発明の第1の実施の形態に係る光送受信システムにおける直接変調レーザの1B-1B'断面図である。

[図2]図2は、本発明の第1の実施の形態に係る光送受信システムにおける光源の光出力特性を示す図である。

[図3]図3は、本発明の第1の実施の形態に係る光送受信システムの動作を説明するための図である。

[図4]図4は、本発明の第1の実施の形態に係る光送受信システムにおける送信器の他の構成を示す図である。

[図5]図5は、本発明の第1の実施の形態に係る光送受信システムの他の動作を説明するための図である。

[図6]図6は、本発明の第2の実施の形態に係る光送受信システムの構成を示す図である。

[図7]図 7 は、本発明の第 2 の実施の形態に係る光送受信システムにおける送信器の他の構成を示す図である。

[図8]図 8 は、本発明の第 2 の実施の形態に係る光送受信システムにおける送信器の他の構成を示す図である。

[図9]図 9 は、本発明の第 2 の実施の形態の変形例に係る光送受信システムにおける送信器の構成を示す図である。

[図10]図 10 は、本発明の第 2 の実施の形態の変形例に係る光送受信システムにおける送信器の他の構成を示す図である。

[図11]図 11 は、本発明の第 3 の実施の形態に係る光送受信システムの構成を示す図である。

[図12]図 12 は、本発明の第 3 の実施の形態の変形例 1 に係る光送受信システムの構成を示す図である。

[図13]図 13 は、本発明の第 3 の実施の形態の変形例 2 に係る光送受信システムにおける送信器と光ファイバの構成を示す図である。

[図14]図 14 は、本発明の第 3 の実施の形態の変形例 2 に係る光送受信システムにおける送信器と光ファイバの構成を示す図である。

[図15]図 15 は、本発明の第 4 の実施の形態に係る光送受信システムの構成を示す図である。

[図16]図 16 は、本発明の第 4 の実施の形態に係る光送受信システムの他の構成を示す図である。

[図17]図 17 は、本発明の第 4 の実施の形態の変形例に係る光送受信システムの構成を示す図である。

[図18]図 18 は、本発明の第 5 の実施の形態に係る光送受信システムにおける光伝送方式を説明するための図である。

発明を実施するための形態

[0013] <第 1 の実施の形態>

本発明の第 1 の実施の形態に係る光送受信システムについて図 1 ～図 5 を参照して説明する。

[0014] 図1に、第1の実施の形態に係る光送受信システムの構成を示す。光送受信システム10は、送信器101と、光ファイバ13と、受信器102を備える。

[0015] 送信器101は、光源として直接変調レーザDML111、DML112を備え、それぞれに接続する光導波路121、122を備える。

[0016] 光ファイバは、多モード光ファイバ（MMF、Multimode fiber）13である。

[0017] 受信器102は、フォトダイオード（PD、Photodiode）15と多モード光導波路14とを備える。

[0018] DML111とDML112は、分布帰還形の横方向電流注入型の半導体レーザであり、シリコン基板上に集積されている（例えば、T. Aihara et al., “Membrane buried-heterostructure DFB laser with an optically coupled III-V/Si waveguide” Optics Express, Vol. 27, Issue 25, pp. 36438–36448 (2019)、S. Matsuo et al., “Directly modulated buried heterostructure DFB laser on SiO₂/Si substrate fabricated by regrowth of InP using bonded active layer,” Opt. Express 22 (10), 12139–12147 (2014).）。

[0019] DML111とDML112は、同様の層構造を有する。図1Bに、図1AにおけるI B—I B' 断面図すなわちDML111の層構造の一例を示す。

[0020] シリコン（Si）基板11101上の酸化シリコン（SiO₂）層11102上に、活性層11103を有する。活性層11103の下方のSiO₂層11102には、Si光導波路121を有する。Si光導波路121の層厚は220nm、幅は840nmである。

[0021] また、活性層11103を挟んで横方向（水平方向）にそれぞれn型InP層11104とp型InP層11107を有する。n型InP層11104の一部の表面上に順次n型InGaAsコンタクト層11105、n型電極11106を有する。また、p型InP層11107の一部の表面上に順

次p型InGaAsコンタクト層11108、p型電極11109を有する。
。

[0022] 活性層11104の上にはSiNからなる回折格子11110を有し、回折格子11110の上にSiO₂表面層11111を有する。回折格子11110の深さは20nmである。

[0023] 活性層11103は、例えば、5層の井戸層からなる1.55μm波長帯のInGaAsP系多重量子井戸(MQW、Multi-quantum well)である。活性層11103の層厚は230nm、幅は600nmである。活性層11103は、他の波長帯に対応するものでもよく、GaAsなどの他の半導体材料からなるものであってもよい。

[0024] 回折格子11110は、SiNではなく、活性層の表面層に形成されてもよい。また、活性層の上方でなくても下方に形成されてもよい。

[0025] DML111とDML112は、横方向電流注入型の半導体レーザなので、寄生容量が小さく、高速な直接変調を可能とする。また、活性層断面積が小さく、活性層光閉じ込めが高いので、低閾値発振動作すなわち低電力動作が可能である。

[0026] 上述の通り、DML111とDML112の下方には、シリコン光導波路121、122が装荷されており、DML111とDML112と光学的に結合している。その結果、DML111、112の発振光は、光導波路121、122を伝播して、送信器101から出力される。

[0027] このように、DML111、112の発振光は、それぞれシングルモード導波路121、122に光学的に結合している。シングルモード導波路121、122は、光学的に結合することなく互いに隣接して、送信器101の端部まで形成される。

[0028] ここで、DML111の長さは100μmであり、DML112のレーザの長さは50μmである。図2に、DML111の特性161と、DML112の特性161を示す。

[0029] DML111の閾値電流は0.5mA程度であり、駆動電流が1mAで光

出力が2 mW程度である。一方、DML 112の閾値電流は0.2 mA程度であり、駆動電流が0.5 mAで光出力が1 mW程度である。

[0030] 光導波路121、122から出力されるNRZ光信号は、光ファイバ13に入力する。光ファイバは、MMF13でありコア径が大きいので、光導波路121、122からの出力光は、低損失でMMF13に結合することができる。

[0031] 従来の遠距離での伝送においては波長分散の影響を抑制するため、コア径が小さいシングルモードファイバ（SMF、Single-mode fiber）を用いる必要があり、送信器101からの複数の光信号を低損失で、直接ファイバに入力することは困難である。

[0032] 本実施の形態では、1 km程度の近距離での伝送に用いるため、コア径が大きい多モードファイバMMF13を用いることができる。

[0033] 多モードファイバMMF13を伝搬する光信号は、受信器102における多モード導波路に結合し、PD15で受信される。

[0034] PD15は、DML111、112と同様の層構造を有する多モード導波路型フォトダイオードである（例えば、Y. Maeda et al., “Si-waveguide Coupled InGaAsP-MQW Photodetector with Large Bandwidth at High Optical Input Power” OFC2020 accepted.）。PD15は、多モード導波路を有するので多モードで伝搬する光を受光できる。また、導波路型フォトダイオードであるので、寄生容量が小さく、高速動作が可能である。

[0035] 本実施の形態の光送受信システムの動作を説明する。図3に、光送受信システムで伝送するNRZ信号の一例を示す。

[0036] DML111は、NRZ信号の電気信号171により直接変調され、同様のパターンのNRZ信号の光信号（以下、「NRZ光信号」という。）171を出力する。DML112は、DML111に入力されるNRZ信号とは異なるパターンの電気信号172により直接変調され、同様のパターンのNRZ光信号172を出力する。ここで、NRZ光信号171とNRZ光信号172との信号強度の比は2：1である。

- [0037] DML 1 1 1からのNRZ光信号1 7 1とDML 1 1 2からのNRZ光信号1 7 2とがMMF 1 3に入力して、2つの信号が加算される。このとき、NRZ光信号1 7 1とNRZ光信号1 7 2との信号強度の比は2 : 1なので、多値（4 値）信号であるPAM4信号1 7 3が生成される。
- [0038] このように、NRZ光信号1 7 1とNRZ光信号1 7 2との信号強度の比を2 : 1、すなわちDML 1 1 1とDML 1 1 2との光出力の比を2 : 1とすることにより、PAM4信号1 7 3が生成される。
- [0039] 上述の通り、DML 1 1 1とDML 1 1 2の長さすなわち活性層面積の比を2 : 1としている。図2に示すように、DML 1 1 2は、素子長が短く活性層の面積が小さいので、低閾値電流で駆動できる。反面、熱抵抗が高いため、光出力は最大で2 mW程度に留まり、高出力の光を出力することは困難である。
- [0040] 一方、DML 1 1 1は、閾値電流はDML 1 1 2の2 倍程度になるが、光出力は2 mW以上で、高出力の光を出力できる。
- [0041] 本実施の形態では、出力の異なる（出力比が2 : 1である）2つの半導体レーザの発振光を用いる。換言すれば、一方の半導体レーザ（DML 1 1 1）の光出力は高く、他方の半導体レーザ（DML 1 1 2）の光出力は低い。したがって、両方の半導体レーザが高出力である必要はなく、一方の半導体レーザは他方に比べて低出力の発振光を出力すれば足りる。そこで、本実施の形態では、DML 1 1 2を低出力の発振光を出力する、一方の半導体レーザとする。DML 1 1 2は低閾値電流で駆動できるので、送信器全体の消費電力は、同じ性能（同じ閾値電流）の2 台の半導体レーザを用いる構成に比べて、低い。
- [0042] また、本実施の形態では、送信器1 0 1の小型化、低損失化が可能となる。従来の光ファイバにSMFを用いる構成では、波長フィルタや偏波ビームコンバイナ（PBC、polarization Beam combiner）などの合波器（MUX、Multiplexer）等の空間光学系を必要とする。そこで、この構成では、システムの大型化や複雑化、コスト増

加とともに、信号強度（出力）の減衰に起因する信号品質の劣化を生じさせる。

[0043] 一方、本実施の形態の構成では、合波器を必要としないので、送信器 101 の小型化、低損失化が可能となる。

[0044] 本実施の形態では、DML 111 と DML 112 それぞれに光導波路 121、122 が装荷される例を示したが、これに限らない。光導波路 121、122 が、それぞれシリコン基板上に形成され、DML 111 と DML 112 の出射端面に結合されて集積されてもよい。この場合、活性層の光閉じ込めが高くなり、さらなる低消費電力での直接変調が可能となる。

[0045] 本実施の形態では、光導波路に Si を用いたが、SiO_xN_y でもよい。

[0046] 本実施の形態では、DML 111 と DML 112 それぞれにシリコン光導波路 121、122 が装荷される例を示したが、これに限らない。InP 基板上の InGaAsP 光導波路の上に DML 111 と DML 112 を形成して、光導波路を装荷させてもよい。この場合、DML 111 と DML 112 と光導波路は InP 基板上に形成される。

[0047] また、InP 光導波路または InGaAsP 光導波路を用いる場合には、装荷構造でなくても、DML 111 と DML 112 の出射端面に導波路が結合されて集積されてもよい。

[0048] 本実施の形態では、DML 111 と DML 112 に横方向電流注入型の半導体レーザを用いる例を示したが、通常の縦方向電流注入型の半導体レーザを用いても、PAM4 信号を生成できる。

[0049] 本実施の形態では、PD 15 に導波路型のフォトダイオードを用いる例を示したが、面型のフォトダイオードを用いても、PAM4 信号を受信できる。また、PD 15 の断面構造を DML 111、112 と同様の層構造（断面構造）とする例を示したが、同様の層構造でなくてもよい。

[0050] 本実施の形態では、2 台の直接変調レーザを用いる例を示したが、2 台でなくても複数の直接変調レーザを用いることができる。例えば、図 4 に示すように、光源として 4 台の直接変調レーザを用いて、それぞれの光出力の比

を 1 : 2 : 4 : 8 とすることにより、多値（16 値）信号である PAM16 信号を生成できる。このように、直接変調レーザの台数を増加させることにより、多値度を高め、さらなる伝送容量の拡大が可能となる。

[0051] 本実施の形態では、複数（2 つ）の異なるパターンの NRZ 信号で、それぞれ複数（2 つ）の直接変調レーザを変調する例を示したが、図 5 に示すように、複数の同じパターンの NRZ 信号で、それぞれ複数の直接変調レーザを変調してもよい。この場合、直接変調レーザの台数の増加に伴い信号強度が高くなり、良好な SN 比（SNR、Signal to noise ratio）の 2 値信号が得られる。

[0052] <第 2 の実施の形態>

本発明の第 2 の実施の形態に係る光送受信システムについて図 6 ～図 10 を参照して説明する。

[0053] 本実施の形態に係る光送受信システムは、送信器において、NRZ 光信号の生成において、光源として半導体レーザを外部変調する点で、半導体レーザを直接変調する第 1 の実施の形態に係る光送受信システムと異なる。

[0054] 図 6 に、第 2 の実施の形態に係る送信器の構成を示す。送信器は、光源として EA 変調器集積 DFB（EA-DFB）レーザ 211、212 を備え、それぞれに接続する光導波路 221、222 を備える。

[0055] 光導波路 221、222 から出力される異なるパターンの NRZ 光信号は、第 1 の実施の形態と同様に、MMF に結合して伝搬して、PAM4 信号として、受信器で受信される。

[0056] 第 1 の実施の形態に係る送信器では、半導体レーザを直接変調するので、出力される NRZ 光信号は、半導体レーザに入力される電気信号に依存する。その結果、出力される信号の波形に歪みが生じる。

[0057] 本実施の形態では、EA-DFB レーザ 211、212 において、半導体レーザ（DFB レーザ）の発振光を EA 変調器で外部変調するので、出力される信号は半導体レーザに入力される電気信号に依存することなく、同じバイアス点で変調することができるので、信号レベルによって変調度が異なる

ことはない。その結果、信号のレベルによって変調度が異なることに起因する波形の歪みを抑制できる。

[0058] また、E A－D F Bレーザの帯域周波数は、緩和振動周波数によって律速されないので、半導体レーザを直接変調する構成よりも高速での変調動作が可能になる。

[0059] 本実施の形態では、2台のE A－D F Bレーザを用いる例を示したが、これに限らず、複数のE A－D F Bレーザを用いることにより、さらなる多値の信号を生成することができる。

[0060] 本実施の形態では、複数（2台）のE A－D F Bレーザを用いる例を示したが、これに限らず、図7に示すように、半導体レーザ（L D）3 1 1、3 1 2と外部変調器であるマッハツェンダ変調器（M Z M、M a c h－Z e h n d e r m o d u l a t o r）3 3 1、3 3 2とを組み合わせ、光源として用いても同様の効果を奏する。

[0061] また、図8に示すように、1台の半導体レーザ（L D）3 1 1の発振光をパワースプリッタ（P S、P o w e r s p l i t t e r）3 4 1で分割し、それぞれの光をM Z M 3 3 1、3 3 2で変調して、光源として用いてもよい。この場合、半導体レーザが1台なので送信器を小型化できる。

[0062] <第2の実施の形態の変形例>

図9に、第2の実施の形態の変形例に係る送信器の構成を示す。本変形例では、第2の実施の形態に係る送信器におけるM Z M 3 3 1、3 3 2に代えて、半導体増幅器（S O A、S e m i c o n d u c t o r o p t i c a l a m p l i f i e r）3 5 1、3 5 2を用いる。

[0063] 本変形例に係る送信器によれば、D M L 3 4 1、3 4 2それぞれに、S O A 3 5 1、3 5 2を組み合わせ、光源として用いる。それぞれのS O A 3 5 1、3 5 2のバイアス電流を調整することにより、光強度比を所望の値に調整でき、かつ、高光強度の光を出力することができる。

[0064] また、本変形例では、S O A 3 5 1、3 5 2を用いる例を示したが、図10に示すように、可変光減衰器（V O A、V a r i a b l e o p t i c a

l attenuator) 361、362を用いてもよい。

[0065] この構成では、半導体レーザの出力の強度を、VOAによって減衰して調整する。SOAを用いる場合には、SOAの自然放出光(ASE、Amplified spontaneous emission)ノイズがレーザに入射することにより信号品質が劣化する。一方、Si製のVOAを用いれば、ASEノイズが発生しないので信号品質の劣化を抑制できる

[0066] <第3の実施の形態>

本発明の第3の実施の形態に係る光送受信システムについて図11～図14を参照して説明する。

[0067] 第3の実施の形態に係る光送受信システムは、第1の実施の形態と略同様の構成と効果を有するが、光ファイバに数モードファイバ(FMF、Few mode fiber)を用いる点と、送信器と受信器において合分波する点異なる。ここで、合分波には、モード合波器(Mode MUX)とモード分波器(Mode DeMUX)を用いる(例えば、D.D. Dai et al., “Silicon mode (de)multiplexer enabling high capacity photonic networks-on-chip with a single-wavelength-carrier light” OPTICS LETTERS / Vol. 38, No. 9 / May 1, 2013.)

[0068] 図11に、第3の実施の形態に係る光送受信システム40の構成を示す。光送受信システムは送信器401とFMF441と受信器402とを備える。

[0069] 送信器401は、光源としてのDML411、412と、モード合波器(Mode MUX)431と、DML411、412とモード合波器431を接続する光導波路42を備える。ここで、FMF441における空間的な伝送領域が狭いので、モード合波器431を用いて、DML411、412の出力光をFMF441に結合させる。

[0070] モード合波器431から出力される出力光はFMF441に結合して伝搬する。

[0071] 受信器402は、モード分波器(Mode DeMUX)45と、カプラ

(CP、Coupler) 47と、PD 48と、それぞれの素子を接続するシングルモード光導波路46を備える。FMF 441を伝搬する信号光は、モード分波器45に入力され、複数のシングルモード光導波路46を介して、カプラ47で合波され、単一のシングルモード光導波路461に結合され、PD 48で受信される。

[0072] 光送受信システム40において、DML 411、412から出力される異なるパターンのNRZ光信号は、第1の実施の形態と同様に、FMF 441に結合して伝搬して、PAM4信号として、受信器402で受信される。

[0073] 第3の実施の形態に係る光送受信システムによれば、FMF 441を用いることにより、モード分散を抑えられ、より長距離の信号伝送が可能となる。

[0074] <第3の実施の形態の変形例1>

図12に、第3の実施の形態の変形例に係る光送受信システムの構成を示す。本変形例では、第3の実施の形態に係る光送受信システムにおけるFMF 441に代えて、マルチコアファイバ(MCF、Multi-core fiber) 442を用いる。

[0075] 本変形例に係る光送受信システムにおいて、送信器の各光導波路42は、MCFの各コアに結合するように配置される。また、受信器の各光導波路も、MCFの各コアに結合するように配置される。この構成により、第3の実施の形態におけるモード合波器とモード分波器が不要になるので、送信器401と受信器402を小型化、低損失化できる。

[0076] 本変形例に係る光送受信システムによれば、MCF 442を用いることにより、MCF 442内の各コアで同じ伝播定数のシングルモードで伝送できるので、モード分散を抑えられ、より長距離の信号伝送が可能となる。

[0077] <第3の実施の形態の変形例2>

本変形例では、送信器における光導波路を3次元導波路として構成する。図13に示すように、光源としての各DML 411～414と接続する導波路42から、光カプラ432を用いて、3次元導波路を構成してFMF 44

1 に結合させる。

[0078] また、図 1 4 に示すように、3次元導波路の各導波路 4 2 を M C F 4 4 2 の各コアに結合させる。

[0079] 本変形例によれば、複数の直接変調レーザから出力される N R Z 光信号を 3 次元的に伝搬して光ファイバに結合させて伝搬することができる。

[0080] 本実施の形態および本変形例では、光源に直接変調レーザを用いたが、光源に E A - D F B、M Z M 等の外部変調方式によるものを用いてもよい。

[0081] <第 4 の実施の形態>

本発明の第 4 の実施の形態に係る光送受信システムについて図 1 5 ~ 図 1 7 を参照して説明する。

[0082] 第 4 の実施の形態に係る光送受信システムは、光ファイバに S M F を用いる。

[0083] 図 1 5 に、第 4 の実施の形態に係る光送受信システム 5 0 の構成を示す。光送受信システムは、送信器 5 0 1 と、S M F 5 5 と、受信器 5 0 2 とを備える。

[0084] 送信器 5 0 1 は、光源として D M L 5 1 1、5 1 2 と、位相シフタ (P h S、Phase shifter) 5 3 1、5 3 2 と、多モード光干渉導波路 (M M I、Multimode interferometer) 5 4 1 と、それぞれの素子を接続するシングルモードの光導波路 5 2 とを備える。出力側の光導波路 5 2 1 は S M F 5 5 に結合する。

[0085] 受信器 5 0 2 は、P D 5 7 と、シングルモード光導波路 5 6 とを備え、シングルモード光導波路 5 6 は S M F 5 5 に結合する。

[0086] 送信器 5 0 1 において、D M L 5 1 1、5 1 2 から出力される N R Z 光信号は、それぞれ P h S 5 3 1、5 3 2 で位相を合わせて M M I 5 4 1 で合波され、シングルモードで出力される。送信器 5 0 1 から出力されたシングルモードの光信号は、S M F 5 5 に結合して伝搬する。S M F 5 5 を伝搬する光信号は、受信器 5 0 2 において光導波路 5 6 を介して、P A M 4 信号として、P D 5 0 2 で受信される。

[0087] 本実施の形態に係る光送受信システムによれば、SMF 55を用いるので、低コストで長距離での光信号伝送が可能になる。

[0088] 本実施の形態に係る光送受信システムでは、位相シフタ531、532を用いたが、図16に示すように、SOA 533、534を用いることもできる。

[0089] <第4の実施の形態の変形例>

本変形例では、偏波ビーム結合回路(PBC、Polarization beam combiner)とPR(Polarization rotator)を用いて、偏波多重により、送信器からの出力をSMFに結合する。

[0090] 図17に、本変形例に係る光送受信システムの構成を示す。本変形例に係る光送受信システムは、送信器501と、SMF 55と、受信器502とを備える。SMF 55と受信器502は、第4の実施の形態に係る光送受信システムと同様の構成である。

[0091] 送信器501は、光源としてDML 511、512と、PBC 542と、PR 535と、それぞれの素子を接続する光導波路52を備える。DML 511は、光導波路52を介してPBC 542に接続する。DML 512は、PR 535と光導波路52を介してPBC 542に接続する。

[0092] ここで、PBC 542と、PR 535とは、Si基板上にSiフォトニクス技術により作製され、小型かつ低光損失の特性を有する(例えば、H. Fukuda et al., "Silicon photonic circuit with polarization diversity," Opt. Express 16 (7), 4872-4880 (2008).)。

[0093] DML 511はTM偏波またはTE偏波のいずれかを出力する。DML 512から出力される光は、PR 535によりTM偏波またはTE偏波のいずれかに変換される。その結果、PBC 542ではTM偏波とTE偏波との組み合わせで合波され、多値信号が生成される。

[0094] <第5の実施の形態>

本発明の第5の実施の形態に係る光送受信システムについて、図18を参

照して説明する。

[0095] 第5の実施の形態に係る光送受信システムでは、離散マルチトーン（DMT、Discrete-multitone）変調方式を用いる点で、NRZ信号による変調方式を用いる、第1の実施の形態に係る光送受信システムと異なる。DMT変調方式では、データを多数のサブキャリア（搬送波）に分割し、それぞれのサブキャリアに多値変調を用いることで高速伝送を実現する。

[0096] 第5の実施の形態に係る光送受信システムは、第1の実施の形態と同様の構成を用いる。

[0097] 光源としてのDML111、112の直接変調における伝送特性が異なる。例えば、図18に示すような特性を有するDML111、112を用いる。DML111の伝送特性611は、低周波数ではSNRが高いが、高周波数ではSNRが低い。

[0098] 一方、DML112の伝送特性612は、SNRが低波数数では高くないが、広い高周波帯で比較的高い。DML111、112それぞれの伝送特性611、612におけるSNRが高い周波数帯域は、多値度が高い直交振幅変調（QAM、Quadrature amplitude modulation）、例えば、伝送特性611では64QAM、伝送特性612では32QAMを用いる。

[0099] DML111は、低周波数の伝送特性が良いので、低周波側のサブキャリアで変調する。一方、DML112は、高周波側の伝送特性が比較的良好いので、高周波側のサブキャリアで変調する。

[0100] このように、光源として伝送特性の異なる複数の直接変調レーザを用いることにより、実効的に伝送特性613で、DMT変調方式により伝送を行うことができる。また、光源として半導体レーザの発振光を外部変調して用いてもよい。

[0101] 本発明に係る実施の形態において、シングルモード光導波路を用いる形態では、各導波路が互いに独立し、光学的に結合しない例を示したが、これに

限らない。例えば、シングルモード光導波路それぞれを積極的に結合させることにより、モード合波器やモード分波器の機能をもたせることもできる。

[0102] 本発明に係る実施の形態では、送信器と受信器をそれぞれにおいて、半導体レーザなどの素子をS i 基板上に形成された光導波路と集積する例を示したが、これに限らない。半導体レーザなどの素子と光導波路や光ファイバを接続して実装してもよい。

[0103] 本発明の実施の形態では、光送受信システムなどにおいて、各構成部の構造、寸法、材料等の一例を示したが、これに限らない。本発明に係る光送受信システムの機能を発揮し効果を奏するものであればよい。

産業上の利用可能性

[0104] 本発明は、大容量光通信システムに適用することができる。

符号の説明

- [0105] 1 0 光送受信システム
1 0 1 送信器
1 0 2 受信器
1 1 1、1 1 2 直接変調レーザ
1 2 1、1 2 2 光導波路
1 3 光ファイバ
1 4 光導波路
1 5 フォトダイオード

請求の範囲

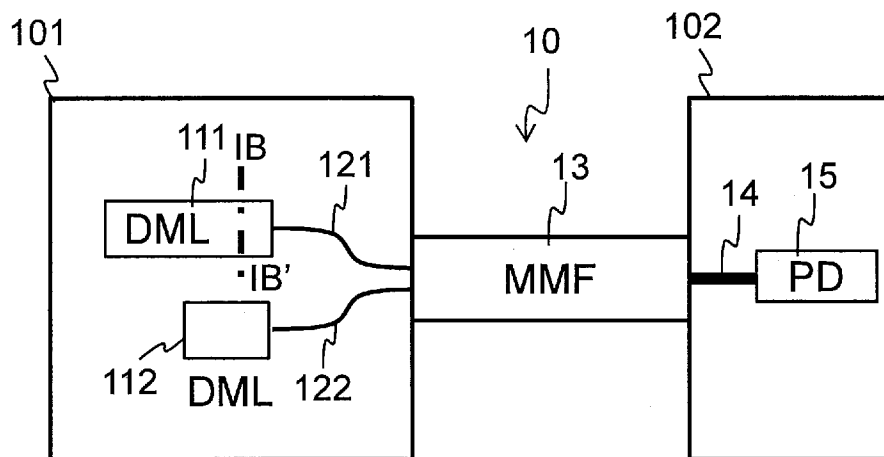
- [請求項1] 複数の異なるパターンのNRZ光信号を出力する光源を有する送信器と、
複数のモードの光を伝搬する光ファイバと、
フォトダイオードと光導波路を備え、前記NRZ光信号から生成される多値信号を受信する受信器と
を備える光送受信システム。
- [請求項2] 前記光源が、複数の直接変調レーザであることを特徴とする請求項1に記載の光送受信システム。
- [請求項3] 前記複数の直接変調レーザのそれぞれの活性層面積が異なることを特徴とする請求項2に記載の光送受信システム。
- [請求項4] 前記直接変調レーザが横方向注入型半導体レーザであることを特徴とする請求項2又は請求項3に記載の光送受信システム。
- [請求項5] 前記光源が外部変調方式で動作することを特徴とする請求項1に記載の光送受信システム。
- [請求項6] 前記送信器が合波器を有し、
前記受信器が分波器とカップラを有し、
前記光ファイバが数モードファイバであることを特徴とする
請求項1から請求項5のいずれか一項に記載の光送受信システム。
- [請求項7] 前記光ファイバがマルチコアファイバであって、
前記受信器の入力側に複数のシングルモード光導波路を備え、前記複数のシングルモード光導波路がカップラに接続し、前記カップラが単一のシングルモード光導波路に接続し、前記単一のシングルモード光導波路が前記フォトダイオードに接続し、
前記複数のシングルモード光導波路それぞれが、前記マルチコアファイバのコアそれぞれに接続することを特徴とする
請求項1から請求項5のいずれか一項に記載の光送受信システム。
- [請求項8] 出力光を光ファイバに伝搬させて、受信器に多値信号を送信する送

信器であって、

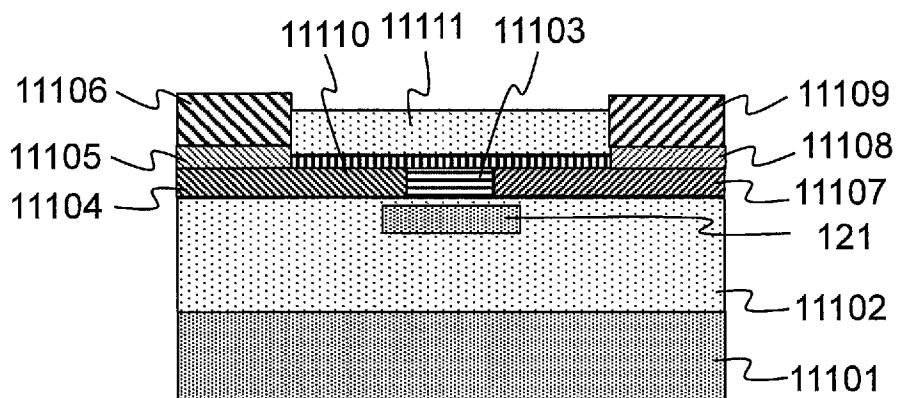
複数の異なるパターンのN R Z光信号を出力する光源を備え、
前記光ファイバが複数のモードの光を伝搬することを特徴とする送信器。

[請求項9] 複数の異なるパターンのN R Z光信号を出力する複数の光源と、前記複数のN R Z信号を合波する素子とを有する送信器と、
シングルモードファイバと、
フォトダイオードとシングルモード光導波路を備え、前記N R Z光信号から生成される多値信号を受信する受信器と
を備える光送受信システム。

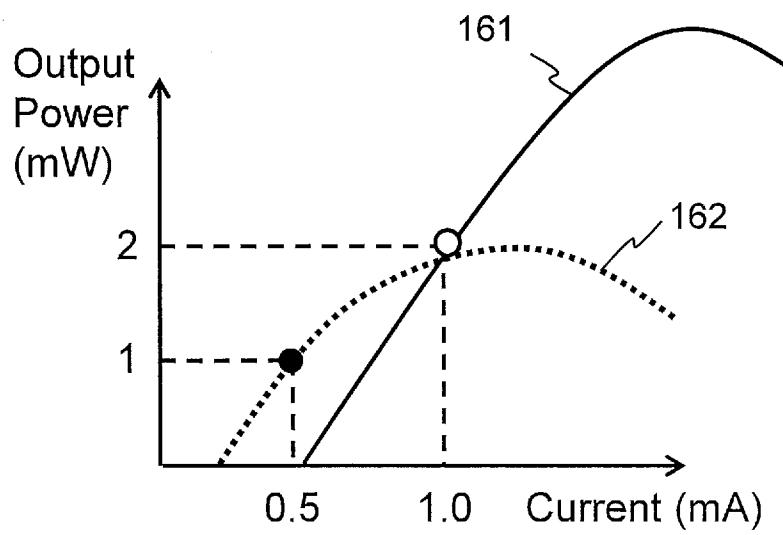
[図1A]



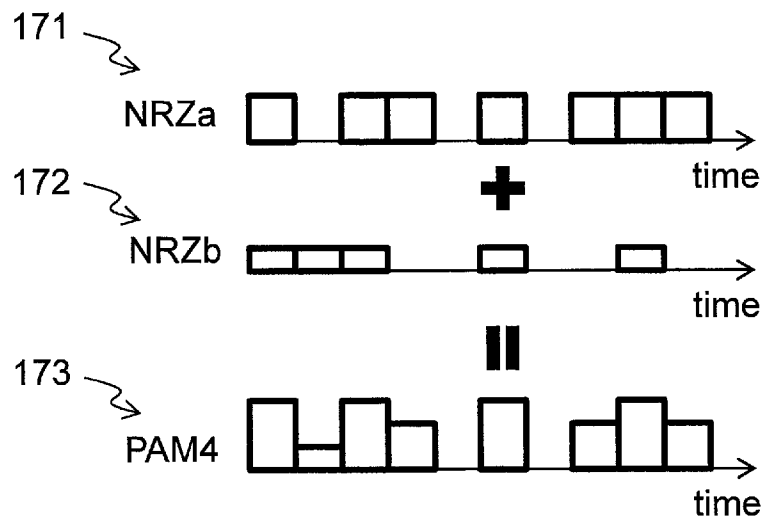
[図1B]



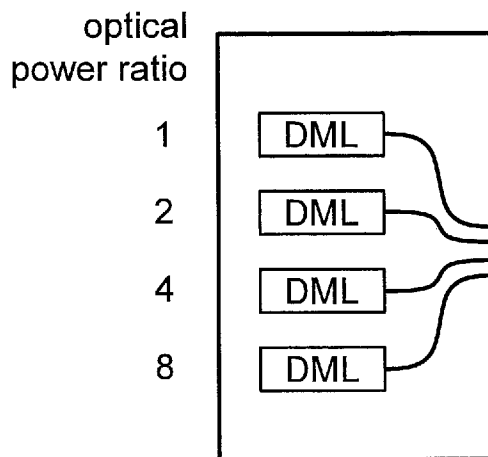
[図2]



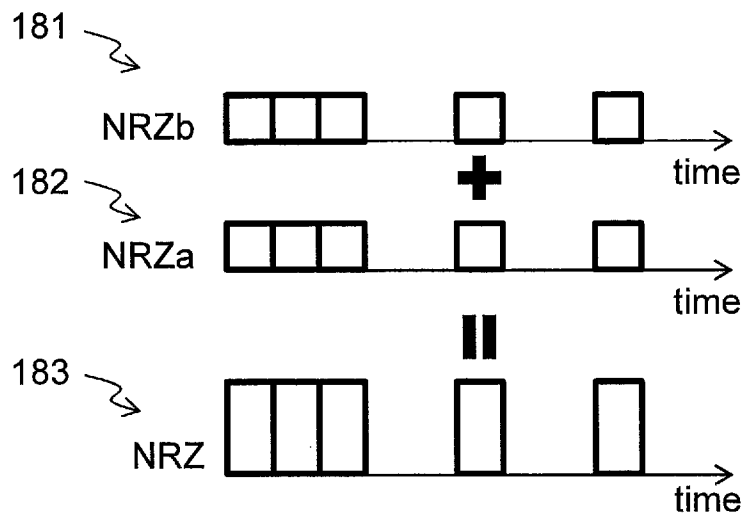
[図3]



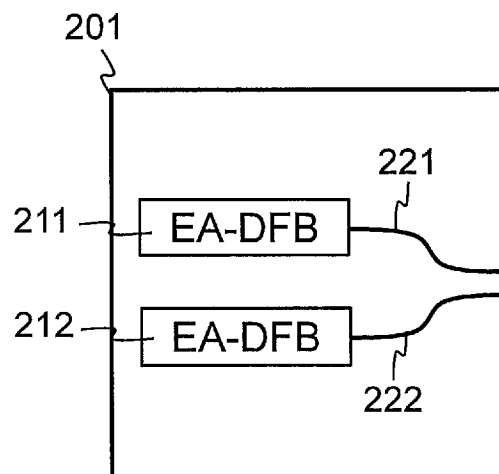
[図4]



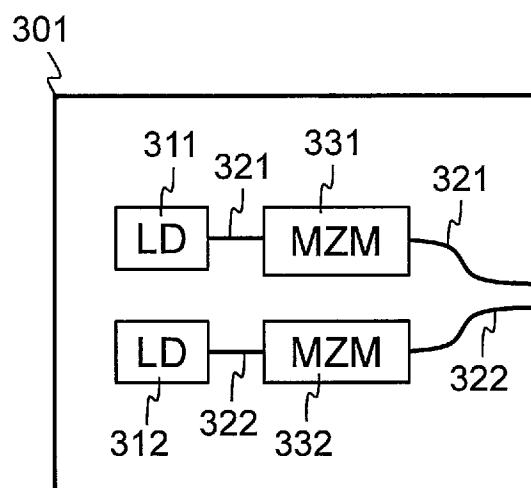
[図5]



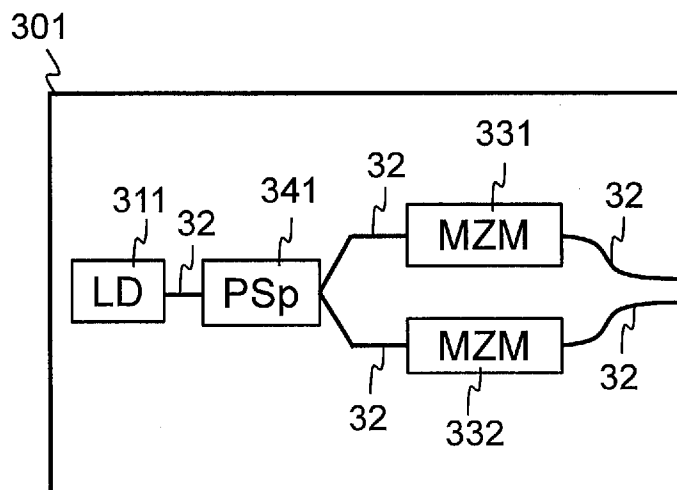
[図6]



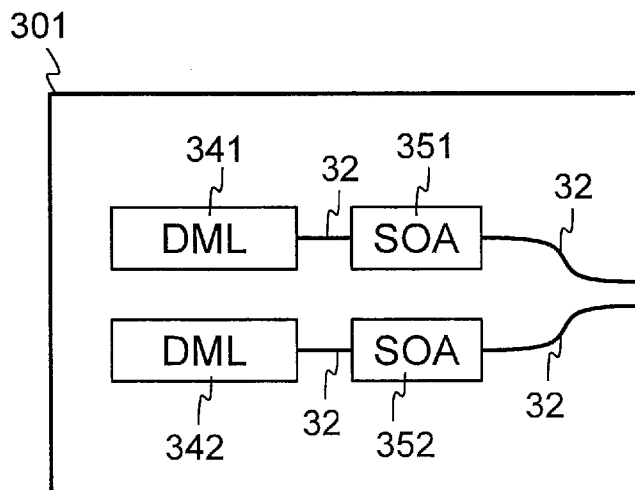
[図7]



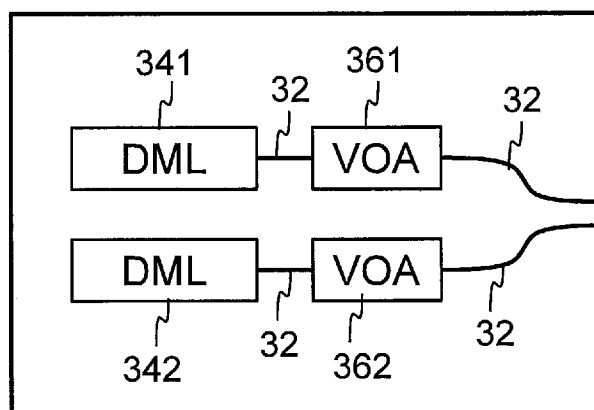
[図8]



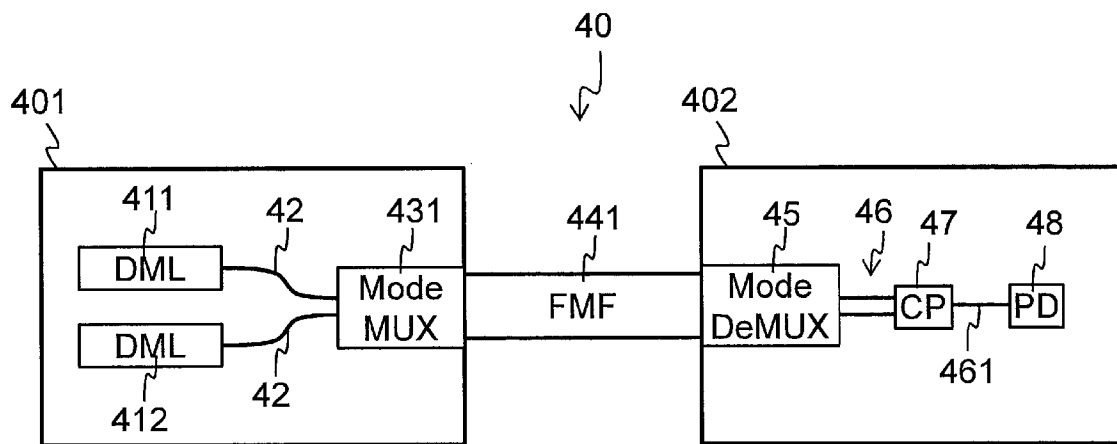
[図9]



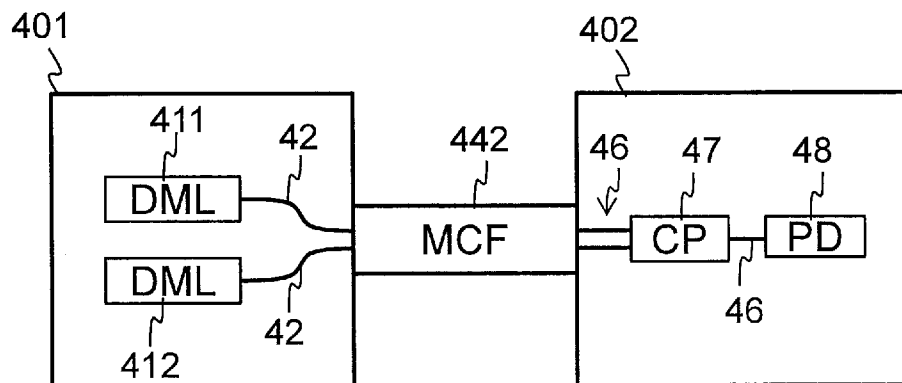
[図10]



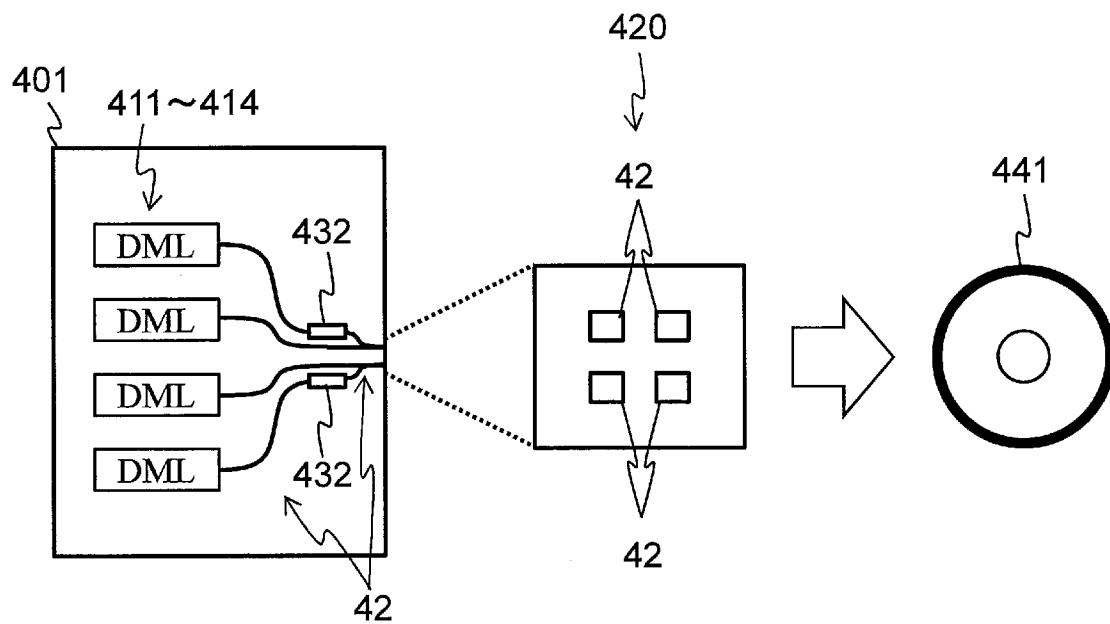
[図11]



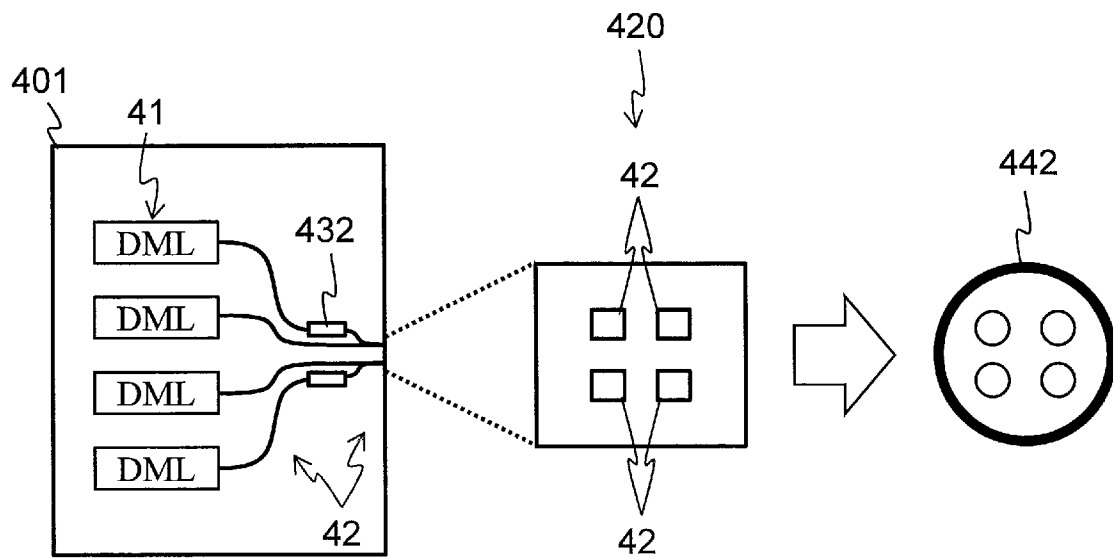
[図12]



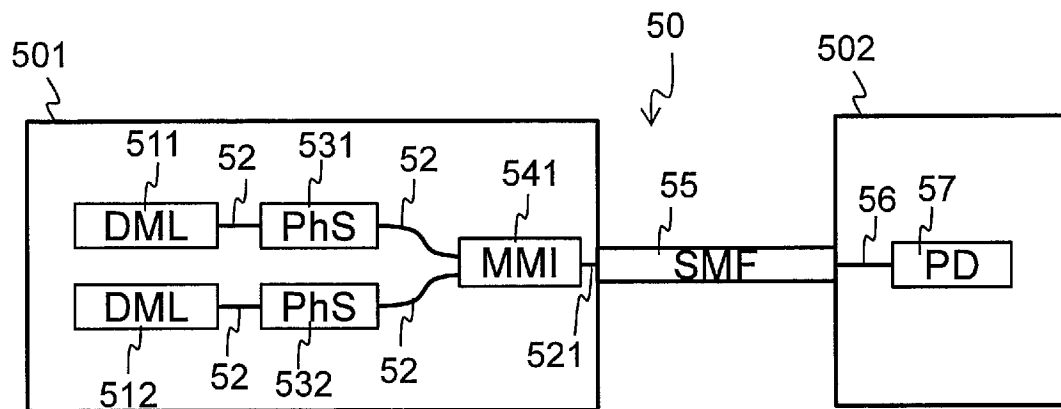
[図13]



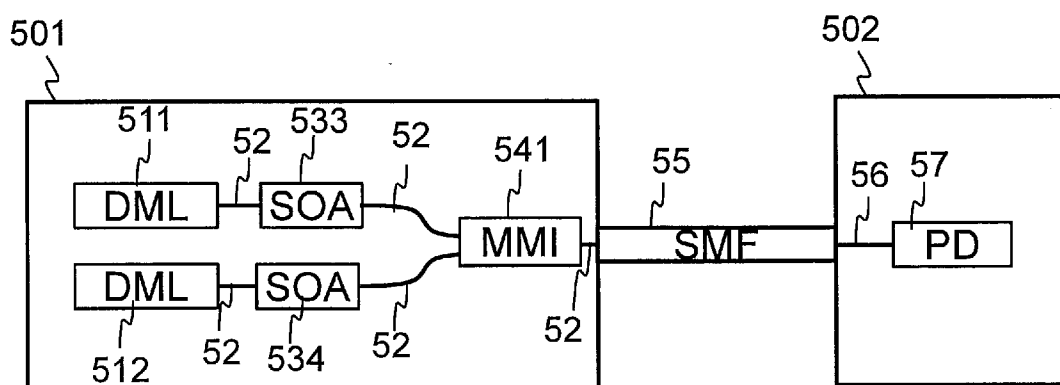
[図14]



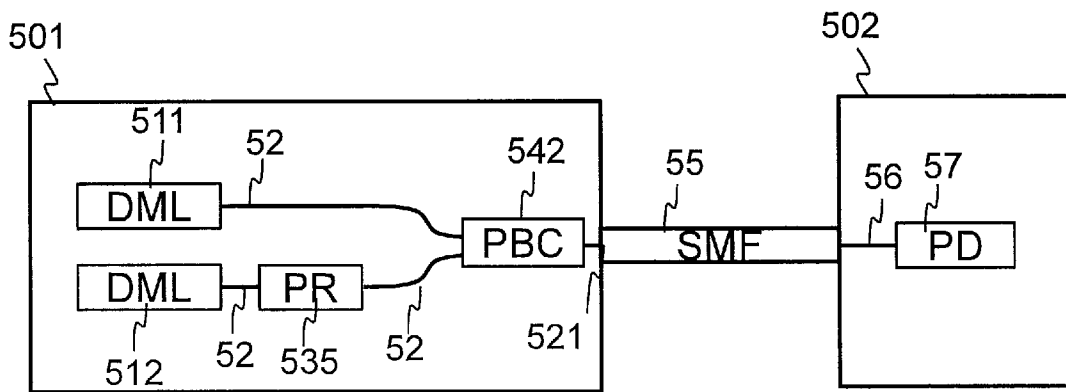
[図15]



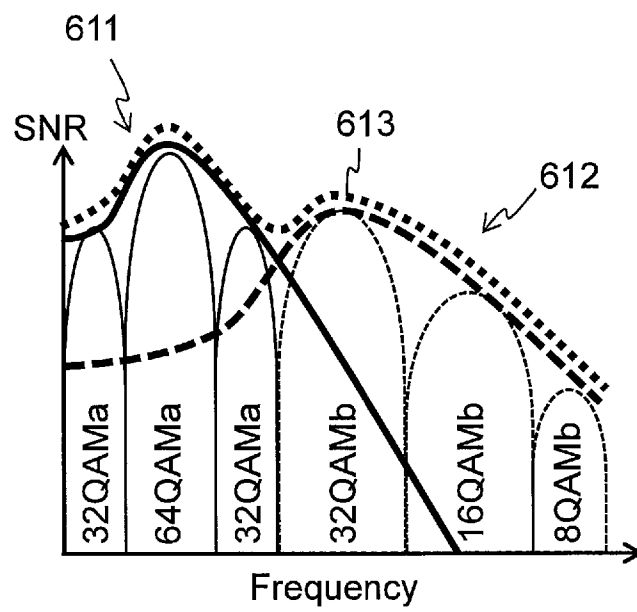
[図16]



[図17]



[図18]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/029433

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. H04B10/25 (2013.01) i, H04B10/50 (2013.01) i
FI: H04B10/50, H04B10/25

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. H04B10/25, H04B10/50

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 1971-2020

Registered utility model specifications of Japan 1996-2020

Published registered utility model applications of Japan 1994-2020

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2003-258722 A (TOSHIBA CORP.) 12 September	8
Y	2003, paragraphs [0037]-[0044], fig. 6-9	1-2, 4-7
A		3, 9
Y	JP 2017-194577 A (PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY	1-2, 4-7, 9
A	MANAGEMENT CO., LTD.) 26 October 2017, paragraphs	3, 8
	[0049]-[0051], fig. 1	
Y	JP 2017-156559 A (JAPAN OCLARO INC.) 07 September	5-7
	2017, paragraph [0025], fig. 1	
Y	US 2019/0356391 A1 (FLORIDA INSTITUTE OF	6-7
A	TECHNOLOGY, INC.) 21 November 2019, paragraphs	1-5, 8-9
	[0076]-[0082], fig. 19-21B	



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
17.12.2020

Date of mailing of the international search report
28.12.2020

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/JP2020/029433

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2008-67239 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 21 March 2008, paragraphs [0014]-[0016], fig. 1	9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2020/029433

Patent Documents referred to in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2003-258722 A	12.09.2003	US 2003/0231823 A1 paragraphs [0064]- [0076], fig. 9-14	
JP 2017-194577 A	26.10.2017	US 2006/0029394 A1 (Family: none)	
JP 2017-156559 A	07.09.2017	US 2017/0257170 A1 paragraph [0037], fig. 1	
US 2019/0356391 A1	21.11.2019	(Family: none)	
JP 2008-67239 A	21.03.2008	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H04B 10/25(2013.01)i; H04B 10/50(2013.01)i FI: H04B10/50; H04B10/25		
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）） H04B10/25; H04B10/50		
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 1971-2020年 日本国実用新案登録公報 1996-2020年 日本国登録実用新案公報 1994-2020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）		
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
X	JP 2003-258722 A（株式会社東芝）12.09.2003（2003-09-12） 段落[0037]-[0044], 図6-9	8
Y		1-2, 4-7
A		3, 9
Y	JP 2017-194577 A（パナソニックIPマネジメント株式会社）26.10.2017（2017-10-26） 段落[0049]-[0051], 図1	1-2, 4-7, 9
A		3, 8
Y	JP 2017-156559 A（日本オクラロ株式会社）07.09.2017（2017-09-07） 段落[0025], 図1	5-7
Y	US 2019/0356391 A1（FLORIDA INSTITUTE OF TECHNOLOGY, INC.）21.11.2019 （2019-11-21） 段落[0076]-[0082], 図19-21B	6-7
A		1-5, 8-9
Y	JP 2008-67239 A（日本電信電話株式会社）21.03.2008（2008-03-21） 段落[0014]-[0016], 図1	9
☐ 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、一般的な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抵触するものではなく、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 17.12.2020		国際調査報告の発送日 28.12.2020
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 後澤 瑞征 5K 4540 電話番号 03-3581-1101 内線 3556

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2020/029433

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2003-258722	A	12.09.2003	US 2003/0231823 A1 段落[0064]-[0076], 図9-14 US 2006/0029394 A1	
JP	2017-194577	A	26.10.2017	(ファミリーなし)	
JP	2017-156559	A	07.09.2017	US 2017/0257170 A1 段落[0037], 図1	
US	2019/0356391	A1	21.11.2019	(ファミリーなし)	
JP	2008-67239	A	21.03.2008	(ファミリーなし)	