(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
2023年4月20日(20.04.2023)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2023/063414 A1

(51) 国際特許分類:
G02B 6/27 (2006.01)　*G02B 6/28* (2006.01)
G02B 5/18 (2006.01)　*G02F 1/13* (2006.01)
G02B 5/30 (2006.01)　*H04J 14/00* (2006.01)
G02B 6/02 (2006.01)

(21) 国際出願番号：　PCT/JP2022/038355

(22) 国際出願日：　2022年10月14日(14.10.2022)

(25) 国際出願の言語：　日本語

(26) 国際公開の言語：　日本語

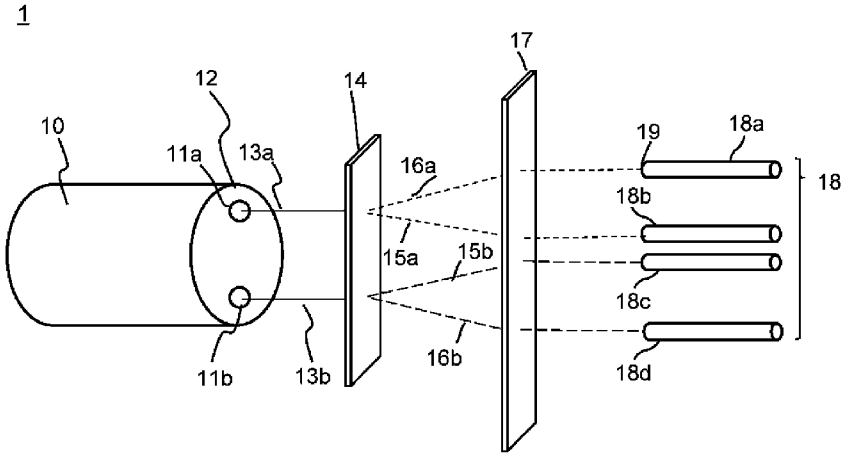
(30) 優先権データ：
特願 2021-169597　2021年10月15日(15.10.2021) JP

(71) 出願人: 富士フイルム株式会社 (**FUJIFILM CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1068620 東京都港区西麻布２丁目２６番３０号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 齊藤 之人(**SAITOH Yukito**); 〒2500193 神奈川県南足柄市中沼２１０番地 富士フイルム株式会社内 Kanagawa (JP). 加茂 誠(**KAMO Makoto**); 〒2500193 神奈川県南足柄市中沼２１０番地 富士フイルム株式会社内 Kanagawa (JP). 関口 恵(**SEKIGUCHI Megumi**); 〒2500193 神奈川県南足柄市中沼２１０番地 富士フイルム株式会社内 Kanagawa (JP). 矢内 雄二郎(**YANAI Yujiro**); 〒2500193 神奈川県南足柄市中沼２１０番地 富士フイルム株式会社内 Kanagawa (JP).

(54) **Title:** OPTICAL COUPLING SYSTEM AND OPTICAL COMMUNICATION DEVICE

(54) 発明の名称： 光結合システムおよび光通信デバイス



(57) **Abstract:** The present invention addresses the problem of providing a compact optical coupling system having a simple structure and an optical communication device using the same. The problem is solved by an optical coupling system (1) that couples a multicore fiber (10) and a coupling target device (18) together via a combination of a polarized beam control element (14) facing a light entering/emitting surface (12) of the multicore fiber (10) and a polarization selective diffraction element (17) which is positioned on a side of the polarized beam control element (14) opposite to the emitting surface of the multicore fiber (10) and which faces the coupling target device (18).

(57) 要約：構造が単純化され、小型化した光結合システム、および、これを用いる光通信デバイスの提供を課題とする。マルチコアファイバ（１０）の光入出射面（１２）と対向する偏光ビーム制御素子（１４）と、偏光ビーム制御素子（１４）のマルチコアファイバ（１０）の出射面とは反対側に位置し、被結合デバイス（１８）と対向する偏光選択性回折素子（１７）との組合せにより、マルチコアファイバ（１０）および被結合デバイス（１８）とを結合する光結合システム（１）により、課題を解決する。

WO 2023/063414 A1

［続葉有］

(74) 代理人：伊 東　秀 明，外 (**ITOH Hideaki** et al.)；〒1010032 東京都千代田区岩本町２丁目３番３号 ザイマックス岩本町ビル６階 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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, 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, CV, 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, ME, 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 ： 光結合システムおよび光通信デバイス

技術分野

[0001] 本発明は、光結合システム、および、それを用いた光通信デバイスに関する。

背景技術

[0002] 近年の伝送容量の急激な増大、および光ファイバ１本あたりの伝送容量限界に対応するため、マルチコアファイバの研究が行われている。

マルチコアファイバは文字通り複数のコアを有している。そのため、信号の送受信機等のデバイスと結合させる際は、それぞれのコアをシングルコアファイバに結合させた上で、それぞれのシングルコアファイバを各デバイスと接続する（例えば特許文献１および特許文献２参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特許公開２０１３－２０５７６１号公報

特許文献2：特許公開２０１４－２１９４２８号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 特許文献１のファンアウトモジュールは、マルチコアファイバの各コアに接続されたシングルコアファイバを、それぞれに引き出すものであり、送受信機等のデバイス内に組み入れることを想定していない。また、特許文献２の接続装置（マルチコアファイバの結合構造）は、複数のレンズおよびミラーを組み合わせるため、構造が複雑である。

[0005] そこで、本発明は、デバイス内に組み入れることが可能で、構造が単純な光結合システムの提供を課題とする。

また、本発明は、この光結合システムを用いる光通信デバイスを提供することも課題とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明者らは、以下の構成により上記課題が解決できることを見出した。

[0007] ［１］ マルチコアファイバの光入出射面と対向する偏光ビーム制御素子と、偏光ビーム制御素子の、マルチコアファイバの出射面とは反対側に位置する偏光選択性回折素子と、偏光選択性回折素子と対向する光入出射面を有する、複数の被結合デバイスとを含む、光結合システム。

［２］ 偏光ビーム制御素子が、液晶化合物に由来する光学軸の向きが、面内の少なくとも一方向に向かって連続的に回転しながら変化している液晶配向パターンを有する光学異方性層を含む液晶回折素子である、［１］に記載の光結合システム。

［３］ 偏光選択性回折素子が、液晶化合物に由来する光学軸の向きが、面内の少なくとも一方向に向かって連続的に回転しながら変化している液晶配向パターンを有する光学異方性層を含む液晶回折素子である、［１］または［２］に記載の光結合システム。

［４］ ［１］～［３］のいずれかに記載の光結合システムを含む、光通信デバイス。

発明の効果

[0008] 本発明によれば、デバイス内に組み入れることが可能で、構造が単純な光結合システムを提供できる。

また、本発明によれば、この光結合システムを用いたマルチコアファイバ対応の光通信デバイスを提供できる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]図１は、本発明の光結合システムの一例の概念図である。

[図2]図２は、本発明の光結合システムに用いられる液晶回折素子の一例の概念図である。

[図3]図３は、本発明の光結合システムに用いられる液晶回折素子の別の例の概念図である。

[図4]図４は、図２および図３に示す液晶回折素子の平面の概念図である。

[図5]図５は、図２および図３に示す液晶回折素子の作用を説明するための概念図である。

[図6]図６は、図２および図３に示す液晶回折素子の作用を説明するための概念図である。

[図7]図７は、図２および図３に示す液晶回折素子の配向膜を露光する露光装置の一例の概念図である。

[図8]図８は、本発明の光結合システムに用いられる液晶回折素子の別の例の概念図である。

[図9]図９は、図８に示す液晶回折素子の配向膜を露光する露光装置の一例の概念図である。

[図10]図１０は、本発明の光結合システムの別の例の概念図である。

[図11]図１１は、本発明の光結合システムの別の例の概念図である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、本発明について詳細に説明する。

以下に記載する構成要件の説明は、本発明の代表的な実施態様に基づいてなされることがあるが、本発明はそのような実施態様に限定されるものではない。

なお、本明細書において、「～」を用いて表される数値範囲は、「～」の前後に記載される数値を下限値および上限値として含む範囲を意味する。

[0011] ＜光結合システム＞

本発明の光結合システムの好ましい一態様においては、マルチコアファイバの光入出射面と対向する偏光ビーム制御素子と、偏光ビーム制御素子の、マルチコアファイバの出射面とは反対側に位置する偏光選択性回折素子と、偏光選択性回折素子と対向する入出射面を有する、複数の被結合デバイスとを含む。

[0012] 図１は、本発明の光結合システムの一例の概念図である。

図示例の光結合システム１は、マルチコアファイバ１０、偏光ビーム制御素子１４、偏光選択性回折素子１７、および、４つの被結合デバイス１８（

被結合デバイス１８ａ～被結合デバイス１８ｄ）を有する。

なお、図１に示す例では、マルチコアファイバ１０と偏光ビーム制御素子１４とが離間しているが、本発明は、これに制限はされない。すなわち、本発明の光結合システムにおいては、マルチコアファイバ１０と偏光ビーム制御素子１４とが接触していてもよい。

[0013] 図示例のマルチコアファイバ１０は、クラッド内にコア１１ａおよびコア１１ｂの２つのコアを含む。

なお、図示例では、マルチコアファイバ１０の構成を明確に示すために、直線上に配置された２つのコア１１ａおよびコア１１ｂを有するマルチコアファイバ１０を例示している。しかしながら、本発明において、マルチコアファイバは、公知の各種のものが利用可能であり、従って、クラッド内におけるコアの配置は公知の配置をとることができる。

コアの配置の例としては、例えば４コア型、６コア型、７コア型、８コア型、および、それ以上のコアを含む配置を挙げることができる。一例として、特開２０１７－７５０６１号公報、特開２０１５－２１２７９１号公報、特開２０１４－１２６５７５号公報、特開２０１２－２１５６９５号公報、特開２０１１－１７０３３６号公報、および、特開平１０－１０４４４３号公報などに記載されているコアの配置を取ることができる。

[0014] マルチコアファイバ１０は、光入出射面１２を有する。

光入出射面１２とは、マルチコアファイバ側に光を入射させる場合は光の入射面、逆にマルチコアファイバから光を出射させる場合は光の出射面となり、マルチコアファイバの長手方向と直交する断面と一致する。

マルチコアファイバ１０は、光の結合効率を向上させるため、必要に応じ、光入出射面に反射防止コーティングや研磨処理を行ってもよい。

[0015] 以下は、光結合システム１において、マルチコアファイバ１０から被結合デバイス１８に向かって光が進行するモードを例にとって、図１の説明をする。

このモードにおいては、マルチコアファイバ１０の光入出射面１２のコア

１１ａから光束１３ａ（信号光）を、コア１１ｂから光束１３ｂ（信号光）を、それぞれ出射する。

マルチコアファイバ１０の光入出射面１２のコア１１ａから出射した光束１３ａ、および、コア１１ｂから出射した光束１３ｂは、偏光ビーム制御素子１４に入射する。

偏光ビーム制御素子１４に光束１３ａおよび光束１３ｂが入射すると、偏光ビーム制御素子１４は、その偏光選択性に応じて、入射した光束を、第１の偏光状態の光束１５ａおよび光束１５ｂと、第１の偏光状態とは直交の関係にある第２の偏光状態の光束１６ａおよび光束１６ｂとに空間的に分離する。図示例においては、一方のコア１１ａから出射した光束１３ａは、偏光ビーム制御素子１４によって、第１の偏光状態の光束１５ａおよび第２の偏光状態の光束１６ａに、空間的に分離される。また、他方のコア１１ｂから出射した光束１３ｂは、偏光ビーム制御素子１４によって、第１の偏光状態の光束１５ｂおよび第２の偏光状態の光束１６ｂに、空間的に分離される。

[0016] このような偏光ビーム制御素子１４としては、例えば、偏光選択性の回折素子、および、偏光選択性の幾何学的位相ホログラム素子などを使用することができる。

例えば、入射した光を、第１の偏光状態としての左円偏光と、第１の偏光状態とは直交の関係にある第２の偏光状態としての右円偏光とに分離させる素子として、特表２０１６－５１９３２７号公報に開示された幾何学的位相ホログラム素子が使用できる。位相幾何学ホログラム素子の一例として、後述する液晶回折素子が例示される。

[0017] 空間的に分離された光束１５ａおよび光束１６ａ、ならびに、光束１５ｂおよび光束１６ｂは、偏光選択性回折素子１７に入射して光路を制御され、複数（図示例では４つ）の被結合デバイス１８のうち、それぞれが対応する被結合デバイス１８の光入出射面１９へ結合される（入射する）。

具体的には、光束１３ａを分離した２つの光束のうち、光束１５ａが偏光選択性回折素子１７を透過した後の光束は被結合デバイス１８ｂに、光束１

６ａが偏光選択性回折素子１７を透過した後の光束は被結合デバイス１８ａに、それぞれ結合される。他方、光束１３ｂを分離した２つの光束のうち、光束１５ｂが偏光選択性回折素子１７を透過した後の光束は被結合デバイス１８ｃに、光束１６ｂが偏光選択性回折素子１７を透過した後の光束は被結合デバイス１８ｄに、それぞれ結合される。

[0018] 図１では、４本の光束の光路が互いに平行になるように、偏光選択性回折素子１７が光路を制御している。しかしながら、本発明の光結合システムにおいては、複数の被結合デバイス１８の配置に合わせて偏光選択性回折素子１７を構成することにより、任意の位置および方向に、光束の光路を制御してもよい。

こうした偏光選択性回折素子１７としては公知のものが利用でき、例えば特表２０１０－５２５３９４号公報に記載された液晶回折素子が例示される。この液晶回折素子は、後述する構成を有するものであり、また、後述する作製方法により作製できる。

[0019] ここで、後述するが、偏光選択性回折素子１７として上述した液晶回折素子を用いた場合には、偏光選択性回折素子１７を透過した光束の偏光状態は、直交の関係にある偏光状態に変換される。すなわち、例えば、右円偏光は左円偏光に変換され、左円偏光は右円偏光に変換される。

また、一例として、偏光ビーム制御素子１４として、上述した、マルチコアファイバ１０のコアが出射した光束を第１の偏光状態の光束と、第１の偏光状態と直交の関係である第２の偏光状態の光束とに分離する液晶回折素子を用いたとする。

この場合には、コア１１ａから出射した光束１３ａが偏光ビーム制御素子１４に入射すると、上述のように、光束１３ａは、第１の偏光状態である光束１５ａと、第２の偏光状態の光束１６ａとに分離される。

他方、コア１１ｂから出射した光束１３ｂが偏光ビーム制御素子１４に入射すると、上述のように、光束１３ｂは、第１の偏光状態である光束１５ｂと、第２の偏光状態の光束１６ｂとに分離される。

[0020] 光束１３ａを分離した第１の偏光状態である光束１５ａ、および、第２の偏光状態の光束１６ａは、次いで、偏光選択性回折素子１７に入射する。

第１の偏光状態である光束１５ａは、偏光選択性回折素子１７を透過することで、光路を制御されると共に、第２の偏光状態の光束に変換されて、被結合デバイス１８ｂに結合される。他方、第２の偏光状態である光束１６ａは、偏光選択性回折素子１７を透過することで、光路を制御されると共に、第１の偏光状態の光束に変換されて、被結合デバイス１８ａに結合される。

また、光束１３ｂを分離した第１の偏光状態である光束１５ｂ、および、第２の偏光状態の光束１６ｂも、同様に、偏光選択性回折素子１７に入射する。

第１の偏光状態である光束１５ｂは、偏光選択性回折素子１７を透過することで、光路を制御されると共に、第２の偏光状態の光束に変換されて、被結合デバイス１８ｃに結合される。他方、第２の偏光状態である光束１６ｂは、偏光選択性回折素子１７を透過することで、光路を制御されると共に、第１の偏光状態の光束に変換されて、被結合デバイス１８ｄに結合される。

[0021] 被結合デバイス１８には、制限はなく、光を受光できるものであれば、公知の各種のものが利用可能である。

具体的には、被結合デバイス１８としては、シングルコアファイバ、光受信機、フォトニックチップ、および、フォトダイオードなどが例示される。被結合デバイス１８の光入出射面には、必要に応じ光学研磨処理や反射防止コーティングなどを施しても良い。

[0022] 以上の例は、マルチコアファイバ１０側から複数の被結合デバイス１８側へ光が進行するモードである。

本発明の光結合システム１では、上述したモードとは逆に、複数の被結合デバイス１８側からマルチコアファイバ１０側へ光が進行するモードも可能である。

このモードでは、４つ（複数）の被結合デバイス１８のそれぞれの光入出射面１９から出射した各光束は、偏光選択性回折素子１７によって光路を制

御され、偏光ビーム制御素子１４に入射する。偏光ビーム制御素子１４に入射した４本の光束は、偏光ビーム制御素子１４によって結合されて２本の光束となる。

偏光ビーム制御素子１４から出射した２本の光束のうち、一方の光束はマルチコアファイバ１０のコア１１ａに、他方の光束はマルチコアファイバ１０のコア１１ｂに、それぞれ結合される（入射する）。

[0023] このモードでは、被結合デバイス１８から出射された光束の光路は、マルチコアファイバ１０側から複数の被結合デバイス１８側へ光が進行するモードと逆の光路となる。

一例として、先と同様に、偏光ビーム制御素子１４および偏光選択性回折素子１７として上述した液晶回折素子を用いたとする。また、被結合デバイス１８ａは第１の偏光状態の光束を出射し、被結合デバイス１８ｂは第１の偏光状態とは直交の関係にある第２の偏光状態を出射するとする。

[0024] 被結合デバイス１８ａから出射された第１の偏光状態の光束、および、被結合デバイス１８ｂから出射された第２の偏光状態の光束は、偏光選択性回折素子１７によって互いに近接する方向に光路を制御され、偏光ビーム制御素子１４の同位置に入射する。

ここで、被結合デバイス１８ａから出射された第１の偏光状態の光束は、偏光選択性回折素子１７を透過して第２の偏光状態の光束に変換される。また、被結合デバイス１８ｂから出射された第２の偏光状態の光束は、偏光選択性回折素子１７を透過して第１の偏光状態の光束に変換される。

偏光選択性回折素子１７によって光路を制御されて偏光ビーム制御素子１４の同位置に入射した第１の偏光状態の光束および第２の偏光状態の光束は、偏光ビーム制御素子１４によって回折されて、１本の光束となる。

この無偏光の光束は、マルチコアファイバ１０のコア１１ａに結合される。

[0025] なお、被結合デバイス１８ｄおよび被結合デバイス１８ｃから出射された第１の偏光状態および第２の偏光状態の光束も、同様に、偏光選択性回折素

子１７によって光路を制御され、かつ、偏光状態を変換されて、偏光ビーム制御素子１４の同位置に入射する。

偏光ビーム制御素子１４に入射した２本光束は、偏光ビーム制御素子１４によって回折されて１本の光束とされて、マルチコアファイバ１０のコア１１ｂに結合される。

[0026] このモードの場合の被結合デバイス１８にも、制限はなく、光を出射できるものであれば、公知の各種のものが利用可能である。

このモードに対応する被結合デバイスとしては、例えば、シングルコアファイバ、光送信機、光源、および、フォトニックチップなどが挙げられる。

[0027] 以上、図１に示す光結合システム１について、マルチコアファイバ１０側から被結合デバイス１８側に光束が進行するモード、および、被結合デバイス１８側からマルチコアファイバ１０側に光束が進行するモードを、それぞれ説明した。

ここで、本発明の光結合システムは、これら２つのモードのいずれかのみで作用するように構成されていてもよく、また、これら２つのモードを同時に作用するよう構成されていてもよい。

[0028] 上述した好ましい様態は、特許文献１に示されるような、シングルモードファイバの長い引出しを含む光結合システム、ならびに、特許文献２に示されるような、プリズム、レンズおよびミラー等の光学素子を複雑に組み合わせた光結合システムと異なり、構造が単純であり、しかも、被結合デバイスの選択の自由度が高く、各種デバイス内部に組み込むことが容易である。

これは、光通信システムなど、光結合システムを有する装置において、実装上極めて有利なことである。

[0029] ＜液晶回折素子＞

上述のように、本発明の光結合システムにおいて、偏光ビーム制御素子１４および偏光選択性回折素子１７としては、液晶回折素子が好適に利用される。

本発明の光結合システムに用いることができる液晶回折素子として、液晶

化合物に由来する光学軸が面内で変化する液晶配向パターンを有する光学機能層を含む液晶回折素子が利用できる。このような液晶回折素子としては、例えば、特表２０１７－５２２６０１号公報の図２に示される透過型の液晶回折素子、および、同公報の図４に示される反射型の液晶回折素子を例示できる。

このような液晶回折素子は、液晶化合物（メソゲンを含む化合物）が所定の配向状態で固定された薄いシート状の素子である。なお、液晶回折素子には、必要に応じて、さらに、位相差層、プリズム層、および、マイクロレンズ層を組み合わせることができる。

このような液晶回折素子を用いる本発明の光結合システムは、特許文献１および特許文献２等に示されるような従来知られたレンズ、プリズム、および、ミラー等を組み合わせた光結合システムに比べ、薄いシート状の素子でこれらの機能を代替できる。その結果、本発明の光結合システムをさらに単純化、小型化できる。これは、光通信システムなど、光結合システムを有する装置において、実装上、極めて有利なことである。

[0030] 面内で変化する液晶配向パターンを有する液晶回折素子（光学機能層）は、液晶化合物を所定の配向状態で固定することにより得ることができる。

配向状態の固定は、電場および磁場等を利用してもよく、液晶化合物の相転移、架橋および重合等を利用したものであってもよい。

配向状態の固定に電場および磁場等を利用する場合は、印加する電場または磁場を制御することで、オン／オフの切り替え並びに各ビームの空間的な分離を調節させるようにしてもよい。配向状態の固定に液晶化合物の相転移、架橋および重合等を利用する場合は、液晶化合物としては液晶性を示す種々の化合物を用いることができるが、長期間にわたり安定した光学特性を維持できる点から、重合性液晶化合物を用いることが好ましい。特に好ましくは、本発明に用いる液晶回折素子は、重合性液晶化合物を含む組成物を所定の配向状態にした後、重合または架橋により配向状態を固定した素子である。これらの素子は、特表２０１７－５２２６０１号公報、および、国際公開

第２０１９／１８９８５２号等に記載の方法で作製することができる。

[0031] 図２に、液晶化合物の光学軸が面内で変化する液晶配向パターンを有する配向状態を固定した液晶回折素子の概念図を示す。

図２に示す液晶回折素子１０４は、支持体２０（透明基材２０）の上に、配向膜２４を有し、配向膜２４の上に光学機能層である光学異方性層２６が設けられている。光学異方性層２６には、光学異方性層２６を横切る任意の面内で変化する光学軸（図２中における棒の長軸方向）で配向状態が固定された液晶化合物３０が含まれる。

後に詳述するが、このように配向が固定された液晶化合物３０の配列は、光学異方性層２６内で屈折率異方性の分布を形成し、マルチコアファイバ１０のコア１１ａおよびコア１１ｂからの信号光１０３（光束１３ａおよび光束１３ｂ）に対して偏光選択的な回折作用を示して、入射した信号光１０３を－１次光である信号光１０５および１次光である信号光１０７に空間的に分離する。

図２の液晶回折素子１０４は、典型的には、入射した信号光１０３を、それぞれ回転方向が異なる２つの円偏光に分離する光学機能層であるが、入射する信号光１０３が直交する直線偏光の多重モードである場合は、図示しない入射側λ／４波長板および出射側λ／４波長板を加えることで、多重された２つの直線偏光成分をそれぞれ空間的に分離して取り出すことが可能である。この点に関しては、後述する図３に示す例も同様である。

どのような液晶化合物３０の配向状態が、－１次光および１次光（あるいは０次光を利用しても良い）を、どのような偏光状態で、どのように空間的に分離するかは、特開２００４－３４１０２４号公報に記載されたジョーンズ法（Ｒ．Ｃ．Ｊｏｎｅｓ，Ｊ．Ｏｐｔ．Ｓｏｃ．Ａｍ．３１，４８８，１９４１）により解析することができる。

[0032] 図３に、透過型の液晶回折素子の別の例を概念的に示す。

図３に示す液晶回折素子１０４も、一例として、同様に支持体２０と、配向膜２４と、光学異方性層２６とを有する。

ここで、図２に示す液晶回折素子と、図３に示す液晶回折素子とは、厚さ方向の液晶の積層状態（配向状態）が異なるものである。すなわち、図２に示す液晶回折素子１０４の光学異方性層２６は、液晶化合物３０が厚さ方向に積層して配列している。これに対して、図３に示す液晶回折素子１０４の光学異方性層２６は、液晶化合物３０が厚さ方向に対して傾斜して積層して配列している。

図２および図３に示す液晶回折素子１０４において、光学異方性層２６は、液晶化合物３０を含む組成物を用いて形成されるものであり、いずれも、面内方向には、液晶化合物３０に由来する光学軸の向きが、面内の少なくとも一方向に向かって連続的に回転しながら変化している液晶配向パターンを有し、厚さ方向にも液晶配向パターンが回転しながら変化しているものである。

[0033] なお、本発明の光結合システムにおいて、液晶回折素子の層構成は、図２および図３に示す構成に制限はされない。

例えば、液晶回折素子は、図２および図３に示す液晶回折素子１０４から支持体２０を剥離した、配向膜２４と光学異方性層２６とで構成されるものあってもよい。あるいは、液晶回折素子は、図２および図３に示す液晶回折素子１０４から支持体２０および配向膜２４を剥離した、光学異方性層２６のみで構成されるものあってもよい。さらに、これらの態様では、光学異方性層２６に、別の基材などのシート状物を貼着したものであってもよい。

すなわち、本発明の光結合システムに用いられる、光学異方性層を有する透過型の液晶回折素子は、液晶化合物に由来する光学軸の向きが、面内の少なくとも一方向に向かって連続的に回転しながら変化している液晶配向パターンを有する光学異方性層を有するものであれば、各種の層構成が利用可能である。

[0034] 以下、液晶回折素子１０４の構成要素について説明する。

（支持体）

液晶回折素子１０４において、支持体２０は、配向膜２４、および、光学

異方性層２６を支持するものである。

支持体２０は、配向膜２４および光学異方性層２６を支持できるものであれば、各種のシート状物（フィルム、板状物）が利用可能である。

支持体２０としては、透明支持体が好ましく、ポリメチルメタクリレート等のポリアクリル系樹脂フィルム、セルローストリアセテート等のセルロース系樹脂フィルム、シクロオレフィンポリマー系フィルム（例えば、商品名「アートン」、ＪＳＲ社製、商品名「ゼオノア」、日本ゼオン社製）、ポリエチレンテレフタレート（ＰＥＴ）、ポリカーボネート、および、ポリ塩化ビニル等を挙げることができる。支持体は、可撓性のフィルムに限らず、ガラス基板等の非可撓性の基板であってもよい。

[0035] 支持体２０の厚さには、制限はなく、液晶回折素子１０４の用途および支持体２０の形成材料等に応じて、配向膜および光学異方性層を保持できる厚さを、適宜、設定すればよい。

支持体２０の厚さは、１～１０００μｍが好ましく、３～２５０μｍがより好ましく、５～１５０μｍがさらに好ましい。

[0036] （配向膜）

液晶回折素子１０４において、支持体２０の表面には配向膜２４が形成される。

配向膜２４は、液晶回折素子１０４の光学異方性層２６を形成する際に、液晶化合物３０を所定の液晶配向パターンに配向するための配向膜である。

なお、図３等においては、液晶化合物３０として、棒状液晶化合物を例示している。

[0037] 上述のように、図示例の透過型の液晶回折素子１０４において、光学異方性層２６は、液晶化合物３０に由来する光学軸３０Ａ（図４参照）の向きが、面内の一方向（図中の矢印Ａ方向）に沿って連続的に回転しながら変化している液晶配向パターンを有する。

従って、液晶回折素子１０４の配向膜は、光学異方性層２６が、この液晶配向パターンを形成できるように、形成される。

なお、本発明において、液晶化合物３０が棒状液晶化合物である場合、液晶化合物３０の光学軸３０Ａは、棒状液晶化合物の分子長軸を意図する。一方、液晶化合物３０が円盤状液晶化合物である場合、液晶化合物３０の光学軸３０Ａは、円盤状液晶化合物の円盤面に対して直交方向に平行な軸を意図する。

[0038] 以下の説明では、『光学軸３０Ａの向きが回転』を単に『光学軸３０Ａが回転』ともいう。

[0039] 配向膜は、公知の各種のものが利用可能である。

例えば、ポリマーなどの有機化合物からなるラビング処理膜、無機化合物の斜方蒸着膜、マイクログルーブを有する膜、ならびに、ω－トリコサン酸、ジオクタデシルメチルアンモニウムクロライドおよびステアリル酸メチルなどの有機化合物のラングミュア・ブロジェット法によるＬＢ（Langmuir-Blodgett：ラングミュア・ブロジェット）膜を累積させた膜、等が例示される。

[0040] ラビング処理による配向膜は、ポリマー層の表面を紙または布で一定方向に数回こすることにより形成できる。

配向膜に使用する材料としては、ポリイミド、ポリビニルアルコール、特開平９－１５２５０９号公報に記載された重合性基を有するポリマー、特開２００５－９７３７７号公報、特開２００５－９９２２８号公報、および、特開２００５－１２８５０３号公報記載の配向膜等の形成に用いられる材料が好ましく例示される。

[0041] 液晶回折素子１０４においては、配向膜は、光配向性の素材に偏光または非偏光を照射して配向膜とした、いわゆる光配向膜が好適に利用される。すなわち、液晶回折素子１０４においては、配向膜２４として、支持体２０上に、光配向材料を塗布して形成した光配向膜が、好適に利用される。

偏光の照射は、光配向膜に対して、垂直方向または斜め方向から行うことができ、非偏光の照射は、光配向膜に対して、斜め方向から行うことができる。

[0042] 本発明に利用可能な光配向膜に用いられる光配向材料としては、例えば、特開２００６－２８５１９７号公報、特開２００７－７６８３９号公報、特開２００７－１３８１３８号公報、特開２００７－９４０７１号公報、特開２００７－１２１７２１号公報、特開２００７－１４０４６５号公報、特開２００７－１５６４３９号公報、特開２００７－１３３１８４号公報、特開２００９－１０９８３１号公報、特許第３８８３８４８号公報および特許第４１５１７４６号公報に記載のアゾ化合物、特開２００２－２２９０３９号公報に記載の芳香族エステル化合物、特開２００２－２６５５４１号公報および特開２００２－３１７０１３号公報に記載の光配向性単位を有するマレイミドおよび／またはアルケニル置換ナジイミド化合物、特許第４２０５１９５号および特許第４２０５１９８号に記載の光架橋性シラン誘導体、特表２００３－５２０８７８号公報、特表２００４－５２９２２０号公報および特許第４１６２８５０号に記載の光架橋性ポリイミド、光架橋性ポリアミドおよび光架橋性エステル、ならびに、特開平９－１１８７１７号公報、特表平１０－５０６４２０号公報、特表２００３－５０５５６１号公報、国際公開第２０１０／１５０７４８号、特開２０１３－１７７５６１号公報および特開２０１４－１２８２３号公報に記載の光二量化可能な化合物、特にシンナメート化合物、カルコン化合物およびクマリン化合物等が、好ましい例として例示される。

中でも、アゾ化合物、光架橋性ポリイミド、光架橋性ポリアミド、光架橋性エステル、シンナメート化合物、および、カルコン化合物は、好適に利用される。

[0043] 配向膜の厚さには制限はなく、配向膜の形成材料に応じて、必要な配向機能を得られる厚さを、適宜、設定すればよい。

配向膜の厚さは、０．０１～５μｍが好ましく、０．０５～２μｍがより好ましい。

[0044] 配向膜の形成方法には、制限はなく、配向膜の形成材料に応じた公知の方法が、各種、利用可能である。一例として、配向膜を支持体２０の表面に塗

布して乾燥させた後、配向膜をレーザ光によって露光して、配向パターンを形成する方法が例示される。

[0045] 図７に、配向膜２４を露光して、上述した配向パターンを形成する露光装置の一例を概念的に示す。

図７に示す露光装置６０は、レーザ６２を備えた光源６４と、レーザ６２が出射したレーザ光Ｍの偏光方向を変えるλ／２板６５と、レーザ６２が出射したレーザ光Ｍを光線ＭＡおよびＭＢの２つに分離する偏光ビーム制御素子６８と、分離された２つの光線ＭＡおよびＭＢの光路上にそれぞれ配置されたミラー７０Ａおよび７０Ｂと、λ／４板７２Ａおよび７２Ｂと、を備える。

なお、光源６４は直線偏光P_0を出射する。λ／４板７２Ａは、直線偏光P_0（光線ＭＡ）を右円偏光P_Rに、λ／４板７２Ｂは直線偏光P_0（光線ＭＢ）を左円偏光P_Lに、それぞれ変換する。

[0046] 配向パターンを形成される前の配向膜２４を有する支持体２０が露光部に配置され、２つの光線ＭＡと光線ＭＢとを配向膜２４上において交差させて干渉させ、その干渉光を配向膜２４に照射して露光する。

この際の干渉により、配向膜２４に照射される光の偏光状態が干渉縞状に周期的に変化するものとなる。これにより、配向状態が周期的に変化する配向パターンを有する配向膜が得られる。以下の説明では、このような配向パターンを有する配向膜を、『パターン配向膜』ともいう。

露光装置６０においては、２つの光線ＭＡおよびＭＢの交差角αを変化させることにより、配向パターンの周期を調節できる。すなわち、露光装置６０においては、交差角αを調節することにより、液晶化合物３０に由来する光学軸３０Ａが一方向に沿って連続的に回転する配向パターンにおいて、光学軸３０Ａが回転する１方向における、光学軸３０Ａが１８０°回転する１周期の長さ（後述する１周期Λ）を調節できる。

このような配向状態が周期的に変化した配向パターンを有する配向膜２４上に、光学異方性層２６を形成することにより、後述する、液晶化合物３０

に由来する光学軸３０Ａが一方向に沿って連続的に回転する液晶配向パターンを有する、光学異方性層２６を形成できる。

また、λ／４板７２Ａおよび７２Ｂの光学軸を、それぞれ、９０°回転することにより、光学軸３０Ａの回転方向を逆にすることができる。

[0047] 上述のとおり、パターン配向膜は、パターン配向膜の上に形成される光学異方性層２６の液晶化合物の光学軸の向きが面内の少なくとも一方向に沿って連続的に回転しながら変化している液晶配向パターンとなるように、液晶化合物を配向させる配向パターンを有する。

パターン配向膜が、液晶化合物を配向させる向きに沿った軸を配向軸とすると、パターン配向膜は、配向軸の向きが面内の少なくとも一方向に沿って連続的に回転しながら変化している配向パターンを有するといえる。

パターン配向膜の配向軸は、吸収異方性を測定することで検出することができる。例えば、パターン配向膜に直線偏光を回転させながら照射して、パターン配向膜を透過する光の光量を測定した際に、光量が最大または最小となる向きが、面内の一方向に沿って漸次変化して観測される。

[0048] なお、液晶回折素子１０４において、配向膜２４は、好ましい態様として設けられるものであり、必須の構成要件ではないのは、上述のとおりである。

例えば、支持体２０をラビング処理する方法、支持体２０をレーザ光等で加工する方法等によって、支持体２０に配向パターンを形成することにより、光学異方性層２６等が、液晶化合物３０に由来する光学軸３０Ａの向きが、一方向に沿って連続的に回転しながら変化している液晶配向パターンを有する構成とすることも、可能である。

[0049] （光学異方性層）

図２および図３に示す液晶回折素子１０４において、配向膜２４の表面には、光学異方性層２６が形成される。

[0050] 上述のように、液晶回折素子１０４において、光学異方性層２６は、液晶化合物を含む組成物を用いて形成されたものである。

光学異方性層２６は、面内レタデーションの値をλ／２に設定した場合に、一般的なλ／２板としての機能、すなわち、光学異方性層に入射した光に含まれる互いに直交する２つの直線偏光成分に半波長すなわち１８０°の位相差を与える機能を有している。

[0051] 光学異方性層２６は、光学異方性層の面内において、液晶化合物３０に由来する光学軸３０Ａの向きが一方向（図４等の矢印Ａ方向）に連続的に回転しながら変化する液晶配向パターンを有する。

なお、液晶化合物３０に由来する光学軸３０Ａとは、液晶化合物３０において屈折率が最も高くなる軸、いわゆる遅相軸である。例えば、液晶化合物３０が棒状液晶化合物である場合には、光学軸３０Ａは、棒形状の長軸方向に沿っている。

以下の説明では、液晶化合物３０に由来する光学軸３０Ａを、『液晶化合物３０の光学軸３０Ａ』または『光学軸３０Ａ』ともいう。

[0052] 図４は、光学異方性層２６の主面の面内における液晶化合物３０の配向状態を示す模式図である。なお、主面とは、シート状物（フィルム、板状物、層）の最大面である。

上述のように、光学異方性層２６は、面内において、光学軸３０Ａが矢印Ａで示す一方向に連続的に回転しながら変化する液晶配向パターンを有するものである。

[0053] 光学異方性層２６において、液晶化合物３０は、矢印Ａで示す一方向と、この矢印Ａ方向と直交するＹ方向とに平行な面内に二次元的に配向している。なお、後述する図５および図６では、Ｙ方向は、紙面に直交する方向となる。

以下の説明では、『矢印Ａで示す一方向』を単に『矢印Ａ方向』ともいう。

[0054] なお、平面図とは、光学異方性層２６を厚さ方向（＝各層（膜）の積層方向）から見た図である。言い換えれば、光学異方性層２６を主面と直交する方向から見た図である。

また、図４では、液晶回折素子１０４の構成を明確に示すために、液晶化合物３０は配向膜２４の表面の液晶化合物３０のみを示している。

しかしながら、この光学異方性層２６も、厚さ方向には、図２および図３に示されるように、この配向膜の表面の液晶化合物３０から、液晶化合物３０が積み重ねられた構造を有する。この点に関しては、後述する図５および図６も同様である。なお、厚さ方向に関しては、図２に示す光学異方性層２６は、液晶化合物３０が厚さ方向に積層しており、図３に示す光学異方性層２６は、厚さ方向に対して傾斜する方向に積層している。

[0055] 光学異方性層２６は、光学異方性層２６の面内において、液晶化合物３０に由来する光学軸３０Ａの向きが、矢印Ａ方向に沿って連続的に回転しながら変化する液晶配向パターンを有する。

液晶化合物３０の光学軸３０Ａの向きが矢印Ａ方向（所定の一方向）に連続的に回転しながら変化しているとは、具体的には、矢印Ａ方向に沿って配列されている液晶化合物３０の光学軸３０Ａと、矢印Ａ方向とが成す角度が、矢印Ａ方向の位置によって異なっており、矢印Ａ方向に沿って、光学軸３０Ａと矢印Ａ方向とが成す角度がθからθ＋１８０°あるいはθ－１８０°まで、順次、変化していることを意味する。

なお、矢印Ａ方向に互いに隣接する液晶化合物３０の光学軸３０Ａの角度の差は、４５°以下であるのが好ましく、１５°以下であるのがより好ましく、より小さい角度であるのがさらに好ましい。

[0056] 一方、光学異方性層２６を形成する液晶化合物３０は、矢印Ａ方向と直交するＹ方向、すなわち光学軸３０Ａが連続的に回転する一方向と直交するＹ方向では、光学軸３０Ａの向きが等しい液晶化合物３０が等間隔で配列されている。

言い換えれば、光学異方性層２６を形成する液晶化合物３０において、Ｙ方向に配列される液晶化合物３０同士では、光学軸３０Ａの向きと矢印Ａ方向とが成す角度が等しい。

[0057] 光学軸３０Ａが一方向に向かって連続的に回転する液晶配向パターンにお

いては、液晶化合物３０の光学軸３０Ａが１８０°回転する長さ（距離）を、液晶配向パターンにおける１周期の長さΛとする。

すなわち、図２～図４に示す光学異方性層２６であれば、面内で光学軸３０Ａの向きが連続的に回転して変化する矢印Ａ方向において、液晶化合物３０の光学軸３０Ａが１８０°回転する長さ（距離）を、液晶配向パターンにおける１周期の長さΛとする。言い換えれば、液晶配向パターンにおける１周期の長さは、液晶化合物３０の光学軸３０Ａと矢印Ａ方向とのなす角度がθからθ＋１８０°となるまでの距離により定義される。

すなわち、矢印Ａ方向に対する角度が等しい２つの液晶化合物３０の、矢印Ａ方向の中心間の距離を、１周期の長さΛとする。具体的には、図４に示すように、矢印Ａ方向と光学軸３０Ａの方向とが一致する２つの液晶化合物３０の、矢印Ａ方向の中心間の距離を、１周期の長さΛとする。

以下の説明では、この１周期の長さΛを『１周期Λ』ともいう。

液晶回折素子１０４において、光学異方性層２６の液晶配向パターンは、この１周期Λを、矢印Ａ方向すなわち光学軸３０Ａの向きが連続的に回転して変化する一方向に繰り返す。また、液晶回折素子１０４（光学異方性層２６）においては、この１周期Λが、回折構造の周期（１周期）となる。

[0058] 前述のように光学異方性層２６において、矢印Ａ方向と直交するＹ方向に配列される液晶化合物は、光学軸３０Ａと矢印Ａ方向すなわち液晶化合物３０の光学軸の向きが回転する１方向とが成す角度が等しい。この光学軸３０Ａと矢印Ａ方向とが成す角度が等しい液晶化合物３０が、Ｙ方向に配置された領域を、領域Ｒとする。

この場合に、それぞれの領域Ｒにおける面内レタデーション（Ｒｅ）の値は、半波長すなわちλ／２であるのが好ましい。これらの面内レタデーションは、領域Ｒの屈折率異方性に伴う屈折率差Δｎと光学異方性層の厚さとの積により算出される。ここで、光学異方性層における領域Ｒの屈折率異方性に伴う屈折率差とは、領域Ｒの面内における遅相軸の方向の屈折率と、遅相軸の方向に直交する方向の屈折率との差により定義される屈折率差である。

すなわち、領域Ｒの屈折率異方性に伴う屈折率差Δｎは、光学軸３０Ａの方向の液晶化合物３０の屈折率と、領域Ｒの面内において光学軸３０Ａに垂直な方向の液晶化合物３０の屈折率との差に等しい。つまり、上記屈折率差Δｎは、液晶化合物の屈折率差に等しい。

[0059] このような光学異方性層２６に円偏光が入射すると、光は、屈折（回折）され、かつ、円偏光の方向が変換される。

この作用を、図５および図６に概念的に示す。光学異方性層２６は、液晶化合物の屈折率差と光学異方性層の厚さとの積の値がλ／２であるとする。

[0060] 図５に示すように、光学異方性層２６の液晶化合物の屈折率差と光学異方性層の厚さとの積の値がλ／２の場合に、光学異方性層２６に左円偏光である入射光$Ｌ_1$が入射すると、入射光$Ｌ_1$は、光学異方性層２６を通過することにより１８０°の位相差が与えられて、透過光$Ｌ_2$は、右円偏光に変換される。

また、入射光$Ｌ_1$は、光学異方性層２６を通過する際に、それぞれの液晶化合物３０の光学軸３０Ａの向きに応じて絶対位相が変化する。このとき、光学軸３０Ａの向きは、矢印Ａ方向に沿って回転しながら変化しているため、光学軸３０Ａの向きに応じて、入射光$Ｌ_1$の絶対位相の変化量が異なる。さらに、光学異方性層２６に形成された液晶配向パターンは、矢印Ａ方向に周期的なパターンであるため、光学異方性層２６を通過した入射光$Ｌ_1$には、図５に示すように、それぞれの光学軸３０Ａの向きに対応した矢印Ａ方向に周期的な絶対位相Ｑ１が与えられる。これにより、矢印Ａ方向に対して逆の方向に傾いた等位相面Ｅ１が形成される。

そのため、透過光$Ｌ_2$は、等位相面Ｅ１に対して垂直な方向に向かって傾くように屈折され、入射光$Ｌ_1$の進行方向とは異なる方向に進行する。このように、左円偏光の入射光$Ｌ_1$は、入射方向に対して矢印Ａ方向に一定の角度だけ傾いた、右円偏光の透過光$Ｌ_2$に変換される。

[0061] 一方、図６に概念的に示すように、光学異方性層２６の液晶化合物の屈折率差と光学異方性層の厚さとの積の値がλ／２のとき、光学異方性層２６に右円偏光の入射光$Ｌ_4$が入射すると、入射光$Ｌ_4$は、光学異方性層２６を通過す

ることにより、１８０°の位相差が与えられて、左円偏光の透過光Ｌ$_5$に変換される。

また、入射光Ｌ$_4$は、光学異方性層２６を通過する際に、それぞれの液晶化合物３０の光学軸３０Ａの向きに応じて絶対位相が変化する。このとき、光学軸３０Ａの向きは、矢印Ａ方向に沿って回転しながら変化しているため、光学軸３０Ａの向きに応じて、入射光Ｌ$_4$の絶対位相の変化量が異なる。さらに、光学異方性層２６に形成された液晶配向パターンは、矢印Ａ方向に周期的なパターンであるため、光学異方性層２６を通過した入射光Ｌ$_4$は、図６に示すように、それぞれの光学軸３０Ａの向きに対応した矢印Ａ方向に周期的な絶対位相Ｑ２が与えられる。

ここで、入射光Ｌ$_4$は、右円偏光であるので、光学軸３０Ａの向きに対応した矢印Ａ方向に周期的な絶対位相Ｑ２は、左円偏光である入射光Ｌ$_1$とは逆になる。その結果、入射光Ｌ$_4$では、入射光Ｌ$_1$とは逆に矢印Ａ方向に傾斜した等位相面Ｅ２が形成される。

そのため、入射光Ｌ$_4$は、等位相面Ｅ２に対して垂直な方向に向かって傾くように屈折され、入射光Ｌ$_4$の進行方向とは異なる方向に進行する。このように、入射光Ｌ$_4$は、入射方向に対して矢印Ａ方向とは逆の方向に一定の角度だけ傾いた左円偏光の透過光Ｌ$_5$に変換される。

[0062] 上述のように、このような液晶配向パターンを有する光学異方性層を備える液晶回折素子は、本発明の光結合システムにおける偏光ビーム制御素子１４および偏光選択性回折素子１７として好適に利用される。

例えば図１に示す光結合システム１において、マルチコアファイバ１０のコア１１ａから出射された光束が無偏光であるとする。

この場合には、上述したような液晶回折素子である偏光ビーム制御素子１４に光束１３ａが入射すると、光学異方性層２６の作用によって、右円偏光成分と左円偏光成分との２つの光束１５ａと光束１６ａとに分離される。また、分離された光束１５ａおよび光束１６ａは、矢印Ａ方向および矢印Ａ方向とは逆方向の、それぞれ別の方向に分離され進行する。

[0063] さらに、光結合システム１において、偏光ビーム制御素子１４で分離された２つの光束１５ａおよび光束１６ａを、上述したような液晶回折素子である偏光選択性回折素子１７に入射させると、光学異方性層２６の作用によって、それぞれの偏光状態に応じて光路が制御され、被結合デバイス１８の光入出射面１９へ結合させることが可能になる。

必要に応じて、同じコア１１ａに由来する光束１５ａと光束１６ａとが、同一の被結合デバイスに結合されるように光路を制御してもよい。

[0064] 光学異方性層２６において、複数の領域Ｒの面内レタデーションの値は、半波長であるのが好ましいが、波長が５５０ｎｍである入射光に対する光学異方性層２６の複数の領域Ｒの面内レタデーションＲｅ（５５０）＝Δn_{550}×ｄが下記式（１）に規定される範囲内であるのが好ましい。ここで、Δn_{550}は、入射光の波長が５５０ｎｍである場合の、領域Ｒの屈折率異方性に伴う屈折率差であり、ｄは、光学異方性層２６の厚さである。

$$200\,nm \leqq \Delta n_{550} \times d \leqq 350\,nm \quad \cdots (1)$$

なお、いわゆるλ／２板として機能するのは光学異方性層２６である。しかしながら、本発明では、支持体２０および配向膜２４を有する場合には、これらを一体的に備えた積層体がλ／２板として機能する態様を含む。

[0065] 光学異方性層２６は、形成された液晶配向パターンの１周期Λを変化させることにより、透過光L_2およびL_5の屈折の角度を調節できる。具体的には、液晶配向パターンの１周期Λが短いほど、互いに隣接した液晶化合物３０を通過した光同士が強く干渉するため、透過光L_2およびL_5を大きく屈折させることができる。

例えば、光学異方性層２６に法線方向から光が入射した場合には、１周期Λが短いほど、法線方向と透過光とが成す角度が大きくなる。法線方向とは、表面と直交する方向であり、光学異方性層２６では主面と直交する方向である。

さらに、矢印Ａ方向に沿って回転する、液晶化合物３０の光学軸３０Ａの回転方向を逆方向にすることにより、透過光の屈折の方向を、逆方向にでき

る。

[0066] 光学異方性層２６は、棒状液晶化合物または円盤状液晶化合物を含む液晶組成物を用いて形成されるものであり、棒状液晶化合物の光学軸または円盤状液晶化合物の光学軸が、上記のように配向された液晶配向パターンを有している。

支持体２０上に、上述した液晶配向パターンに応じた配向パターンを有する配向膜２４を形成し、配向膜２４上に液晶組成物を塗布して、硬化することにより、液晶組成物の硬化層からなる光学異方性層を得ることができる。

なお、光学異方性層２６を形成するための液晶組成物は、棒状液晶化合物または円盤状液晶化合物を含有するものであり、さらに、レベリング剤、配向制御剤、界面活性剤、重合開始剤、架橋剤、および、配向助剤などのその他の成分を含有していてもよい。

[0067] 光学異方性層２６は、入射光の波長に対して広帯域であることが望ましく、複屈折率が逆分散となる液晶材料を用いて構成されていることが好ましい。

また、液晶組成物に捩れ成分を付与し、液晶化合物を厚さ方向に捩れ配向することにより、さらに、厚さ方向の捩れ方向が逆の複数層の光学異方性層を積層することにより、入射光の波長に対して光学異方性層を実質的に広帯域にすることも好ましい。例えば、光学異方性層２６において、捩れ方向が異なる２層の液晶を積層することによって広帯域のパターン化されたλ／２板を実現する方法が特開２０１４－０８９４７６号公報等に示されており、本発明において好ましく使用することができる。

[0068] ―棒状液晶化合物―

棒状液晶化合物としては、アゾメチン類、アゾキシ類、シアノビフェニル類、シアノフェニルエステル類、安息香酸エステル類、シクロヘキサンカルボン酸フェニルエステル類、シアノフェニルシクロヘキサン類、シアノ置換フェニルピリミジン類、アルコキシ置換フェニルピリミジン類、フェニルジオキサン類、トラン類およびアルケニルシクロヘキシルベンゾニトリル類が

好ましく用いられる。以上のような低分子液晶性分子だけではなく、高分子液晶性分子も用いることができる。

[0069] 光学異方性層２６では、棒状液晶化合物を重合によって配向を固定することがより好ましく、重合性棒状液晶化合物としては、Ｍａｋｒｏｍｏｌ．Ｃｈｅｍ．，　１９０巻、２２５５頁（１９８９年）、Ａｄｖａｎｃｅｄ Ｍａｔｅｒｉａｌｓ　５巻、１０７頁（１９９３年）、米国特許４６８３２７号明細書、同５６２２６４８号明細書、同５７７０１０７号明細書、国際公開第９５／２２５８６号、同９５／２４４５５号、同９７／００６００号、同９８／２３５８０号、同９８／５２９０５号、特開平１－２７２５５１号公報、同６－１６６１６号公報、同７－１１０４６９号公報、同１１－８００８１号公報、および、特願２００１－６４６２７号公報などに記載の化合物を用いることができる。さらに棒状液晶化合物としては、例えば、特表平１１－５１３０１９号公報および特開２００７－２７９６８８号公報に記載のものも好ましく用いることができる。

[0070] ―円盤状液晶化合物―

円盤状液晶化合物としては、例えば、特開２００７－１０８７３２号公報および特開２０１０－２４４０３８号公報に記載のものを好ましく用いることができる。

なお、光学異方性層に円盤状液晶化合物を用いた場合には、光学異方性層において、液晶化合物３０は厚さ方向に立ち上がっており、液晶化合物に由来する光学軸３０Ａは、円盤面に垂直な軸、いわゆる進相軸として定義される。

[0071] 上述した光学異方性層２６は、いずれも、液晶化合物３０の光学軸３０Ａは、面内の一方向（矢印Ａ方向）に向かって、連続的に回転する液晶配向パターンを有している。

これに対して、液晶回折素子における液晶化合物の配向を精密に設計することにより、空間的に分割される各々の信号光（ビーム）が集光あるいは拡散（発散）するような液晶回折素子を作製することができる。

[0072] 図８に、その一例を概念的に示す。

図８において、光学異方性層２６では、液晶化合物３０の光学軸の向きは、光学異方性層２６の中心から外側に向かう多数の方向、例えば、矢印A_1で示す方向、矢印A_2で示す方向、矢印A_3で示す方向、矢印A_4で示す方向…に沿って、連続的に回転しながら変化している。

従って、光学異方性層２６において、液晶化合物３０の光学軸の回転方向は、全ての方向（一方向）で同じ方向である。図示例では、矢印A_1で示す方向、矢印A_2で示す方向、矢印A_3で示す方向、および、矢印A_4で示す方向の全ての方向で、液晶化合物３０の光学軸の回転方向は、反時計回りである。

すなわち、矢印A_1と矢印A_4とを１本の直線と見なすと、この直線上では、光学異方性層２６の中心で、液晶化合物３０の光学軸の回転方向が逆転する。一例として、矢印A_1と矢印A_4とが成す直線が、図中右方向（矢印Ａ１方向）に向かうとする。この場合には、液晶化合物３０の光学軸は、最初は、光学異方性層２６の外方向から中心に向かって時計回りに回転し、光学異方性層２６の中心で回転方向が逆転し、その後は、光学異方性層２６の中心から外方向に向かって反時計回りに回転する。

[0073] 上述のように、液晶化合物３０の光学軸が一方向に向かって連続的に回転する液晶配向パターンを有する光学異方性層２６は、入射した円偏光を、円偏光の旋回方向に応じて、反対方向に屈折する。

また、液晶化合物３０の光学軸の向きが、一方向に向かって連続的に回転しながら変化する液晶配向パターンを有する光学異方性層（液晶回折素子）では、透過する光の屈折方向は、液晶化合物３０の光学軸の回転方向に依存する。すなわち、この液晶配向パターンでは、液晶化合物３０の光学軸の回転方向が逆の場合には、透過する光の屈折方向は、光学軸が回転する一方向に対して逆方向になる。

さらに、光学異方性層２６による回折角度は、１周期Λが短いほど、大きくなる。すなわち、光学異方性層２６による光の屈折は、１周期Λが短いほど、大きくなる。

[0074] 従って、このような同心円状の液晶配向パターン、すなわち、放射状に光学軸が連続的に回転して変化する液晶配向パターンを有する光学異方性層２６は、液晶化合物３０の光学軸の回転方向および入射する円偏光の回転方向に応じて、複数の入射光（光ビーム）を、集束または拡散して透過できる。

このような図８に示す同心円状の液晶配向パターンを有する光学異方性層２６も、本発明の光結合システムを構成する偏光ビーム制御素子１４、および、偏光選択性回折素子１７として用いることができる。

[0075] この同心円状の液晶配向パターンを有する光学異方性層２６を備える液晶回折素子を、図１に示す光結合システム１の偏光ビーム制御素子１４および偏光選択性回折素子１７に用いた場合の一例を説明する。

本例においては、一例として、偏光ビーム制御素子１４および偏光選択性回折素子１７となる液晶回折素子を構成する同心円状の液晶配向パターンを有する光学異方性層２６は、中心から外方向（矢印A_1方向、矢印A_2方向…矢印A_n方向）に向かう液晶化合物３０の光学軸の回転方向が、共に、時計回りであるとする（図８とは逆）。

図４～図６のように、矢印Ａ方向に向かう液晶化合物３０の光学軸の回転方向が時計回りである場合には、光学異方性層２６は、図５に示すように、左円偏光（入射光L_1）を矢印Ａ方向に屈折（回折）して右円偏光（透過光L_2）に変換する。また、図６に示すように、右円偏光（入射光L_4）を矢印Ａ方向とは逆方向に屈折して左円偏光（透過光L_5）に変換する。

従って、この同心円状の液晶配向パターンを有する光学異方性層２６（液晶回折素子）は、左円偏光を右円偏光に変換して拡散（発散）する方向に屈折し、右円偏光を左円偏光に変換して集光する方向に屈折する。

[0076] ここで、マルチコアファイバ１０のコアから出射する光束が無偏光である場合には、コア１１ａから出射した光束１３ａが偏光ビーム制御素子１４に入射すると、光束１３ａは分離されて、異なる方向に進行する２本の光束となる。具体的には、図１に示すように、光束１３ａの右円偏光の成分は左円偏光（第１の偏光状態）に変換されて光束１５ａとして集光する方向に進行

し、光束１３ａの左円偏光の成分は右円偏光（第２の偏光状態）に変換されて光束１６ａとして拡散する方向に進行する。

同様に、コア１１ｂから出射した無偏光の光束１３ｂが偏光ビーム制御素子１４に入射すると、光束１３ｂは分離されて、異なる方向に進行する２本の光束となる。具体的には、図１に示すように、光束１３ｂの右円偏光の成分は左円偏光に変換されて光束１５ｂとして集光する方向に進行し、同左円偏光の成分は右円偏光に変換されて光束１６ｂとして拡散する方向に進行する。

[0077] 光束１３ａが分離された左円偏光の光束１５ａおよび右円偏光の光束１６ａ、ならびに、光束１３ｂが分離された左円偏光の光束１５ｂおよび右円偏光の光束１６ｂは、次いで、偏光選択性回折素子１７に入射して、光路を変更される。

左円偏光の光束１５ａは、偏光選択性回折素子１７に入射して、右円偏光に変換されて、拡散される方向に光路を変更される。光束１５ａから変換された光束は、被結合デバイス１８ｂに結合される。

右円偏光の光束１６ａは、偏光選択性回折素子１７に入射して、左円偏光に変換されて、集光される方向に光路を変更される。光束１６ａから変換された光束は、被結合デバイス１８ａに結合される。

左円偏光の光束１５ｂは、偏光選択性回折素子１７に入射して、右円偏光に変換されて、拡散される方向に光路を変更される。光束１５ｂから変換された光束は、被結合デバイス１８ｃに結合される。

さらに、右円偏光の光束１６ｂは、偏光選択性回折素子１７に入射して、左円偏光に変換されて、集光される方向に光路を変更される。光束１６ｂから変換された光束は、被結合デバイス１８ｄに結合される。

[0078] 上述のように、光学異方性層２６による回折角度は、１周期Λに応じて変化し、１周期Λが短いほど大きくなる。

従って、偏光ビーム制御素子１４を構成する液晶回折素子における光学異方性層２６の１周期を、適宜、設定することにより、光束１３ａを分離して

得られる光束１５ａおよび光束１６ａの進行方向、ならびに、光束１３ｂを分離して得られる光束１５ｂおよび光束１６ｂの進行方向を、任意に調節することができる。

また、偏光選択性回折素子１７を構成する液晶回折素子における光学異方性層２６の１周期を、適宜、設定することにより、被結合デバイス１８の位置に応じて、偏光選択性回折素子１７を透過する光束の光路を任意に調節することができる。例えば、各光束の入射角度に応じて、適宜、光学異方性層２６の１周期を調節することにより、図１に示すように、４本の光束の光路を平行にできる。

[0079] 図９に、配向膜２４を露光して、図８に示す、放射状に光学軸が連続的に回転して変化する、同心円状の液晶配向パターンに対応する配向パターンを形成する露光装置の一例を概念的に示す。

図９に示す露光装置８０は、レーザ８２を備えた光源８４と、レーザ８２からのレーザ光ＭをＳ偏光ＭＳとＰ偏光ＭＰとに分割する偏光ビーム制御素子８６と、Ｐ偏光ＭＰの光路に配置されたミラー９０ＡおよびＳ偏光ＭＳの光路に配置されたミラー９０Ｂと、Ｓ偏光ＭＳの光路に配置されたレンズ９２と、偏光ビーム制御素子９４と、λ／４板９６とを有する。

[0080] 偏光ビーム制御素子８６で分割されたＰ偏光ＭＰは、ミラー９０Ａによって反射されて、偏光ビーム制御素子９４に入射する。他方、偏光ビーム制御素子８６で分割されたＳ偏光ＭＳは、ミラー９０Ｂによって反射され、レンズ９２によって集光されて偏光ビーム制御素子９４に入射する。

Ｐ偏光ＭＰおよびＳ偏光ＭＳは、偏光ビーム制御素子９４で合波されて、λ／４板９６によって偏光方向に応じた右円偏光および左円偏光となって、支持体２０の上の配向膜２４に入射する。

ここで、右円偏光と左円偏光の干渉により、配向膜２４に照射される光の偏光状態が干渉縞状に周期的に変化するものとなる。同心円の内側から外側に向かうにしたがい、左円偏光と右円偏光の交差角が変化するため、内側から外側に向かってピッチが変化する露光パターンが得られる。これにより、

配向膜２４において、配向状態が周期的に変化する放射状（同心円状）の配向パターンが得られる。

[0081] この露光装置８０において、液晶化合物３０の光軸が一方向に沿って連続的に１８０°回転する液晶配向パターンの１周期は、レンズ９２の屈折力（レンズ９２のＦナンバー）、レンズ９２の焦点距離、および、レンズ９２と配向膜２４との距離等を変化させることで、制御できる。

また、レンズ９２の屈折力（レンズ９２のＦナンバー）を調節することによって、光軸が連続的に回転する一方向において、液晶配向パターンの１周期の長さを変更できる。

具体的には、平行光と干渉させる、レンズ９２で広げる光の広がり角によって、光軸が連続的に回転する一方向において、液晶配向パターンの１周期の長さを変えることができる。より具体的には、レンズ９２の屈折力を弱くすると、平行光に近づくため、液晶配向パターンの１周期の長さΛは、内側から外側に向かって緩やかに短くなり、Ｆナンバーは大きくなる。逆に、レンズ９２の屈折力を強めると、液晶配向パターンの１周期の長さΛは、内側から外側に向かって急に短くなり、Ｆナンバーは小さくなる。

[0082] 図１０に、本発明の光結合システムにおいて、偏光ビーム制御素子１４および偏光選択性回折素子１７として、図４に示すような、液晶化合物に由来する光学軸の向きが、面内の一方向（矢印Ａ方向）に向かって連続的に回転しながら変化している液晶配向パターンを有する光学異方性層２６を有する液晶回折素子を用いた一例を示す。

本例においては、一例として、偏光ビーム制御素子１４および偏光選択性回折素子１７を構成する光学異方性層２６の図４～６における矢印Ａ方向が、図１０中の上方に向かう方向であるとする。また、液晶化合物３０は、矢印Ａ方向に時計回りで回転している。

図５および図６に示すように、この光学異方性層２６は、左円偏光を矢印Ａ方向（図１０上方向）に回折（屈折）して右円偏光に変換し、右円偏光を矢印Ａ方向とは逆方向（図１０下方向）に回折して左円偏光に変換する。

[0083] 先と同様、マルチコアファイバ１０のコアから出射する光束が無偏光である場合には、コア１１ａから出射した光束１３ａが偏光ビーム制御素子１４に入射すると、光束１３ａは分離されて、異なる方向に進行する２本の光束となる。

具体的には、図１０に示すように、光束１３ａの右円偏光の成分は左円偏光（第１の偏光状態）に変換されて光束１５ａとして図中下方（矢印Ａ方向と逆方向）に向かうように回折される。他方、光束１３ａの左円偏光の成分は右円偏光（第２の偏光状態）に変換されて光束１６ａとして図中上方（矢印Ａ方向）に向かうように回折される。

同様に、コア１１ｂから出射した光束１３ｂが偏光ビーム制御素子１４に入射すると、光束１３ｂは分離されて、異なる方向に進行する２本の光束となる。具体的には、図１０に示すように、光束１３ｂの右円偏光の成分は左円偏光に変換されて光束１５ｂとして図中下方（矢印Ａ方向と逆方向）に向かうように回折され、同左円偏光の成分は右円偏光に変換されて光束１６ｂとして図中上方（矢印Ａ方向）に向かうように回折される。

[0084] 光束１３ａが分離された左円偏光の光束１５ａおよび右円偏光の光束１６ａ、ならびに、光束１３ｂが分離された左円偏光の光束１５ｂおよび右円偏光の光束１６ｂは、次いで、偏光選択性回折素子１７に入射して、光路を変更される。

左円偏光の光束１５ａは、偏光選択性回折素子１７に入射して、右円偏光に変換されて、図中上方（矢印Ａ方向）に向かう方向に光路を変更される。光束１５ａから変換された光束は、被結合デバイス１８ｂに結合される。

右円偏光の光束１６ａは、偏光選択性回折素子１７に入射して、左円偏光に変換されて、図中下方（矢印Ａ方向と逆方向）に向かう方向に光路を変更される。光束１６ａから変換された光束は、被結合デバイス１８ａに結合される。

左円偏光の光束１５ｂは、偏光選択性回折素子１７に入射して、右円偏光に変換されて、図中上方（矢印Ａ方向）に向かう方向に光路を変更される。

光束１５ｂから変換された光束は、被結合デバイス１８ｄに結合される。

さらに、右円偏光の光束１６ｂは、偏光選択性回折素子１７に入射して、左円偏光に変換されて、図中下方（矢印Ａ方向と逆方向）に向かう方向に光路を変更される。光束１５ａから変換された光束は、被結合デバイス１８ｃに結合される。

[0085] 上述のように、光学異方性層２６による回折角度は、１周期Λに応じて変化し、１周期Λが短いほど大きくなる。

従って、偏光ビーム制御素子１４を構成する液晶回折素子における光学異方性層２６の１周期を、適宜、設定することにより、光束１３ａを分離して得られる光束１５ａおよび光束１６ａの進行方向、ならびに、光束１３ｂを分離して得られる光束１５ｂおよび光束１６ｂの進行方向を、任意に調節することができる。

また、偏光選択性回折素子１７を構成する液晶回折素子における光学異方性層２６の１周期を、適宜、設定することにより、被結合デバイス１８の位置に応じて、偏光選択性回折素子１７を透過する光束の光路を任意に調節することができる。例えば、各光束の入射角度に応じて、適宜、光学異方性層２６の１周期を調節することにより、図１０に示すように、４本の光束の光路を平行にできる。

[0086] 本発明の光結合システムの好ましい一態様として、偏光ビーム制御素子が、上述したような、液晶化合物に由来する光学軸の向きが、面内の少なくとも一方向に向かって連続的に回転しながら変化している液晶配向パターンを有する光学異方性層を含む液晶回折素子であることが好ましい。また、別の好ましい一態様として、偏光選択性回折素子が、上述したような、液晶化合物に由来する光学軸の向きが、面内の少なくとも一方向に向かって連続的に回転しながら変化している液晶配向パターンを有する光学異方性層を含む液晶回折素子であることが好ましい。

特に好ましい一態様としては、偏光ビーム制御素子および偏光選択性回折素子が、共に、上述したような、液晶化合物に由来する光学軸の向きが、面

内の少なくとも一方向に向かって連続的に回転しながら変化している液晶配向パターンを有する光学異方性層を含む液晶回折素子であることが好ましい。また、偏光選択性回折素子は、マルチコアファイバの各コアから出射されるそれぞれの光束を集光するように形成してもよく、被結合デバイスからの光束を平行光化または集光するように形成してもよい。

[0087] 偏光ビーム制御素子が上述した液晶回折素子であって、回折光の１次光と－１次光とを偏光分離して用いる場合には、その後の偏光選択性回折素子に入る円偏光は、左円偏光と右円偏光のように円偏光の回転方向が異なる。

そのため、対応する偏光選択性回折素子を構成する液晶回折素子の光学異方性層の光学軸（面内遅相軸）の回転方向は、偏光ビーム制御素子とは逆になるように（鏡面対称になるように）形成してもよく、あるいは、上述の例のように、偏光ビーム制御素子と偏光選択性回折素子とで、光学軸の回転方向が同じ（平行対称である）液晶回折素子を用いてもよい。

[0088] 一方、偏光ビーム制御素子が上述した液晶回折素子であって、回折光の１次光（または－１次光）と０次光とを用いる場合には、その後の偏光選択性回折素子に入る円偏光は右または左円偏光のどちらかで円偏光の回転方向が同じになる。

そのため、対応する偏光選択性回折素子を構成する液晶回折素子の光学異方性層の光学軸（面内遅相軸）は、偏光ビーム制御素子と同じになるように（平行対称となるように）形成しておくことが好ましい。

[0089] 図１に示す光結合システム１において、光束１５ａおよび光束１６ａは、マルチコアファイバ１０のコア１１ａから出射された光束１３ａを分離したもので、同じ信号を有する光束である。同じく、光束１５ｂおよび光束１６ｂは、マルチコアファイバ１０のコア１１ｂから出射された光束１３ｂを分離したもので、同じ信号を有する光束である。

従って、本発明の光結合システムにおいては、図１１に概念的に示すように、例えば光路が最も大きく異なる光束１６ａおよび光束１６ｂのみを用いるように、被結合デバイス１８ａおよび被結合デバイス１８ｄのみを設ける

構成でもよい。

この際においては、偏光ビーム制御素子１４と偏光選択性回折素子１７との間に、吸収性の円偏光板を配置する方法等によって、不要な円偏光（図示例では左円偏光）を除去してもよい。あるいは、光束１５ａおよび光束１５ｂは、例えば、偏光選択性回折素子１７を透過した後、例えば黒色板等の吸収板等で吸収してもよい。

[0090] また、本発明の光結合システムにおいて、偏光ビーム制御素子１４および偏光選択性回折素子１７は、入射する光束に応じて、面内に、液晶配向パターンが異なる複数の光学異方性層を有してもよい。

液晶配向パターンが異なる光学異方性層とは、例えば、光学軸の回転方向、光学軸が回転しながら変化する方向（矢印Ａ方向）、および、液晶配向パターンにおける１周期等の１以上が異なる光学異方性層である。

[0091] 例えば、図示例の光結合システム１において、マルチコアファイバ１０は、２つのコア１１ａおよびコア１１ｂを有する。それ対応して、偏光ビーム制御素子１４は、光束１３ａおよび光束１３ｂの入射位置に応じて、面内に、光束１３ａに対応する液晶配向パターンを有する光学異方性層と、光束１３ｂに対応する液晶配向パターンを有する光学異方性層との、２つの光学異方性層を有してもよい。

[0092] また、図示例の光結合システム１において、偏光選択性回折素子１７は、４本の光束が入射して、各光束の光路を制御して、それぞれの光束に対応する被結合デバイスに入射させる。

それに対応して、偏光選択性回折素子１７は、各光束の入射位置および対応する被結合デバイスの位置に応じて、面内に、互いに異なる液晶配向パターンを有する４つの光学異方性層を有してもよい。あるいは、偏光選択性回折素子１７は、１つの光学異方性層が２本の光束に対応するようにして、面内に、互いに異なる液晶配向パターンを有する２つの光学異方性層を有してもよい。あるいは、偏光選択性回折素子１７は、１本の光束に対応する光学異方性層と、１本の光束に対応する光学異方性層と、２本の光束に対応する

光学異方性層との、面内に、互いに異なる液晶配向パターンを有する３つの光学異方性層を有してもよい。

[0093] ＜光通信デバイス＞

以上に述べた本発明の光結合システムを、マルチコアファイバと各種デバイスの光学的な結合を必要とする光通信デバイスに組み込むことにより、本発明の光通信デバイスを構成することができる。このような本発明の光通信デバイスは、処理演算装置と接続されることで光通信システムを構成するが、単純な構成、かつ、小型であることにより、実装サイズ当たりの通信容量を増大させることができ、通信インフラにおける高容量化に貢献する。

また、本発明の光結合システムは、光回路により演算回路を構成する光コンピュータ、および、その原理を利用した量子コンピュータに適用することができる。本発明の光結合システムによって、構造を単純化し、かつ、実装サイズを小型化できることによる利得は、当業者には十分に理解されるものである。

符号の説明

[0094]

１　光結合システム

１０　マルチコアファイバ

１１ａ、１１ｂ　コア

１２　光入出射面

１３ａ、１３ｂ　光束

１４　偏光ビーム制御素子

１５ａ、１５ｂ、１６ａ、１６ｂ　光束

１７　偏光選択性回折素子

１８　被結合デバイス

１９　光入出射面

２０　支持体

２４　配向膜

２６　光学異方性層

３０　液晶化合物

３０Ａ　光学軸

６０　露光装置

６２　レーザ

６４　光源

６５　λ／２板

６８　偏光ビーム制御素子

７０Ａ，７０Ｂ　ミラー

７２Ａ，７２Ｂ　λ／４板

８０　露光装置

８２　レーザ

８４　光源

８６，９４　偏光ビーム制御素子

９０Ａ，９０Ｂ　ミラー

９２　レンズ

９６　λ／４板

１０３，１０５，１０７　信号光

１０４　液晶回折素子

６０１　光学異方性層

６０５　液晶化合物

６１０　透明基材

６１５　面

L_1，L_4　入射光

L_2，L_5　透過光

Ｑ１，Ｑ２　絶対位相

Ｅ１，Ｅ２　等位相面

G_R　緑色光の右円偏光

Ｍ　レーザ光

ＭＡ，ＭＢ　光線

ＭＳ　Ｓ偏光

ＭＰ　Ｐ偏光

P_0　直線偏光

P_R　右円偏光

P_L　左円偏光

請求の範囲

[請求項1] マルチコアファイバの光入出射面と対向する偏光ビーム制御素子と、前記偏光ビーム制御素子の、前記マルチコアファイバの出射面とは反対側に位置する偏光選択性回折素子と、前記偏光選択性回折素子と対向する入出射面を有する、複数の被結合デバイスとを含む、光結合システム。

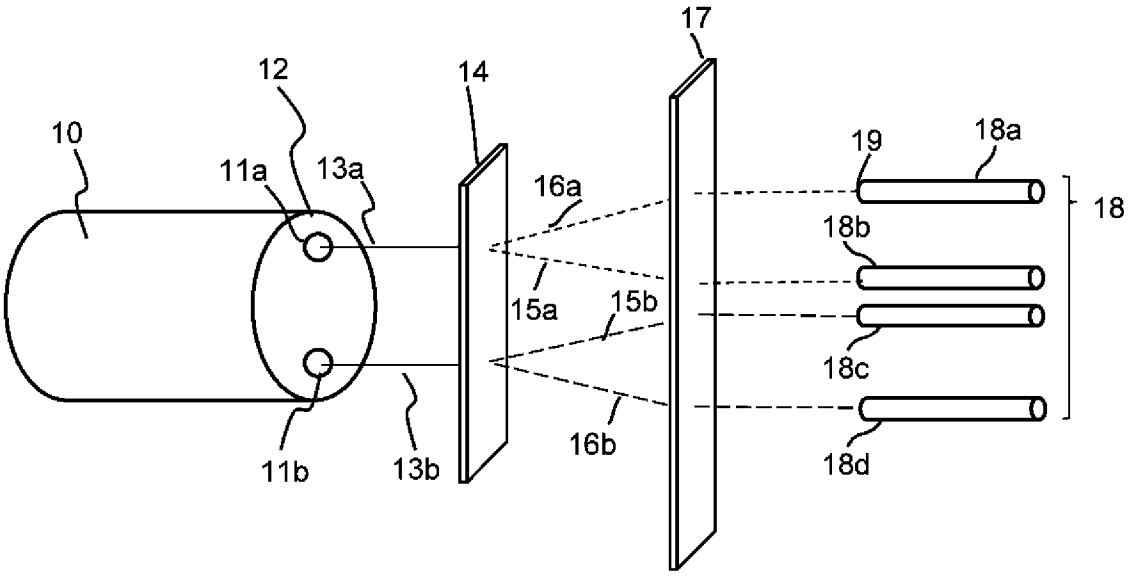
[請求項2] 前記偏光ビーム制御素子が、液晶化合物に由来する光学軸の向きが、面内の少なくとも一方向に向かって連続的に回転しながら変化している液晶配向パターンを有する光学異方性層を含む液晶回折素子である、請求項１に記載の光結合システム。

[請求項3] 前記偏光選択性回折素子が、液晶化合物に由来する光学軸の向きが、面内の少なくとも一方向に向かって連続的に回転しながら変化している液晶配向パターンを有する光学異方性層を含む液晶回折素子である、請求項１または２に記載の光結合システム。

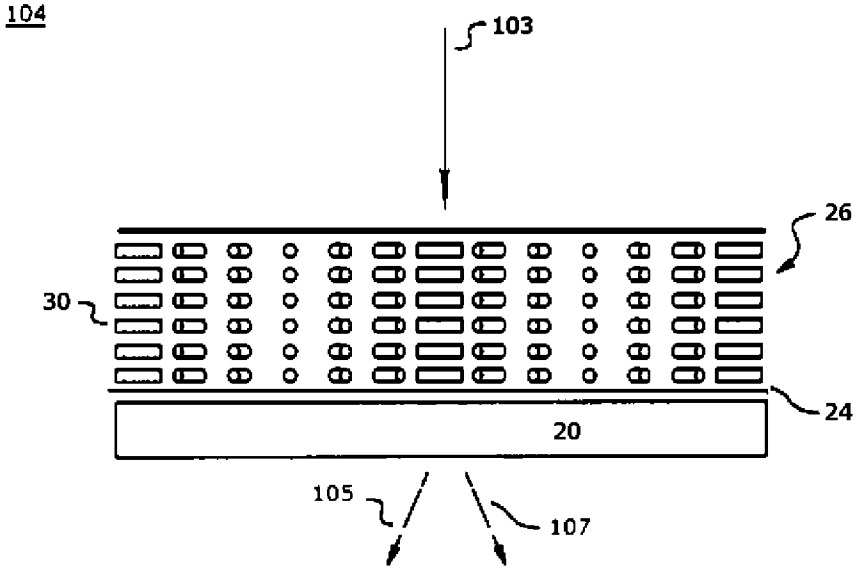
[請求項4] 請求項１または２に記載の光結合システムを含む、光通信デバイス。

[請求項5] 請求項３に記載の光結合システムを含む、光通信デバイス。

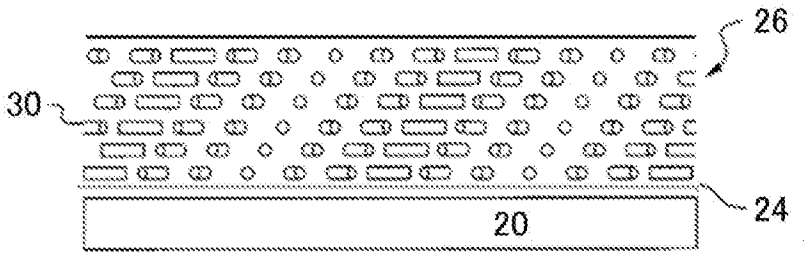
[図1]


1
17
12
14
10
19
18a
11a
13a
16a
18
18b
15a
15b
18c
16b
11b
13b
18d

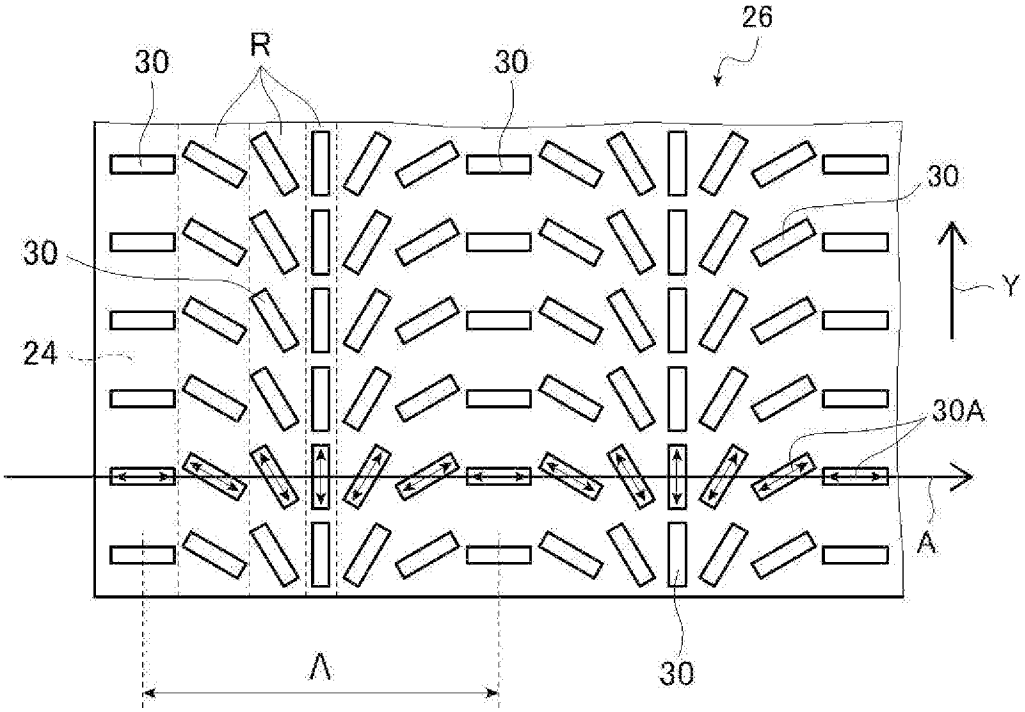
[図2]


104
103
26
30
24
20
105
107

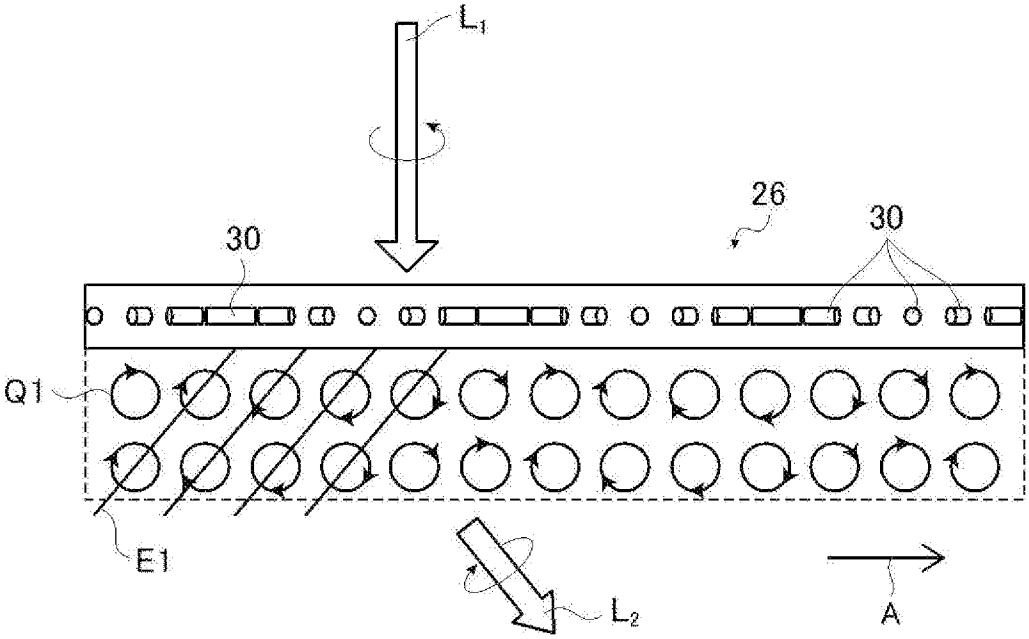
[図3]


104
26
30
24
20

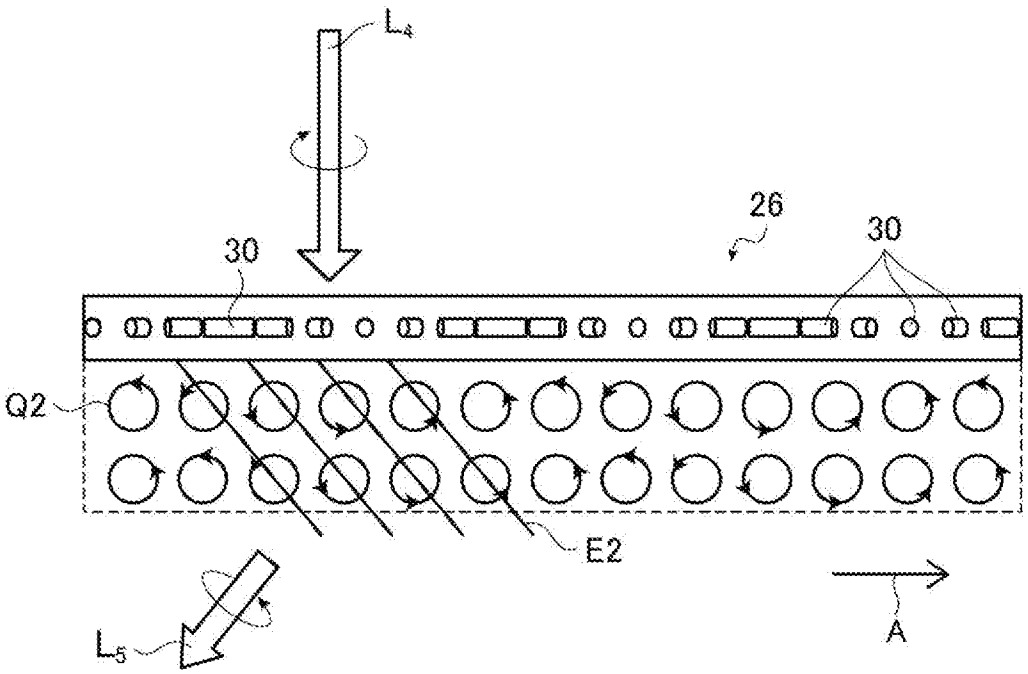
[図4]



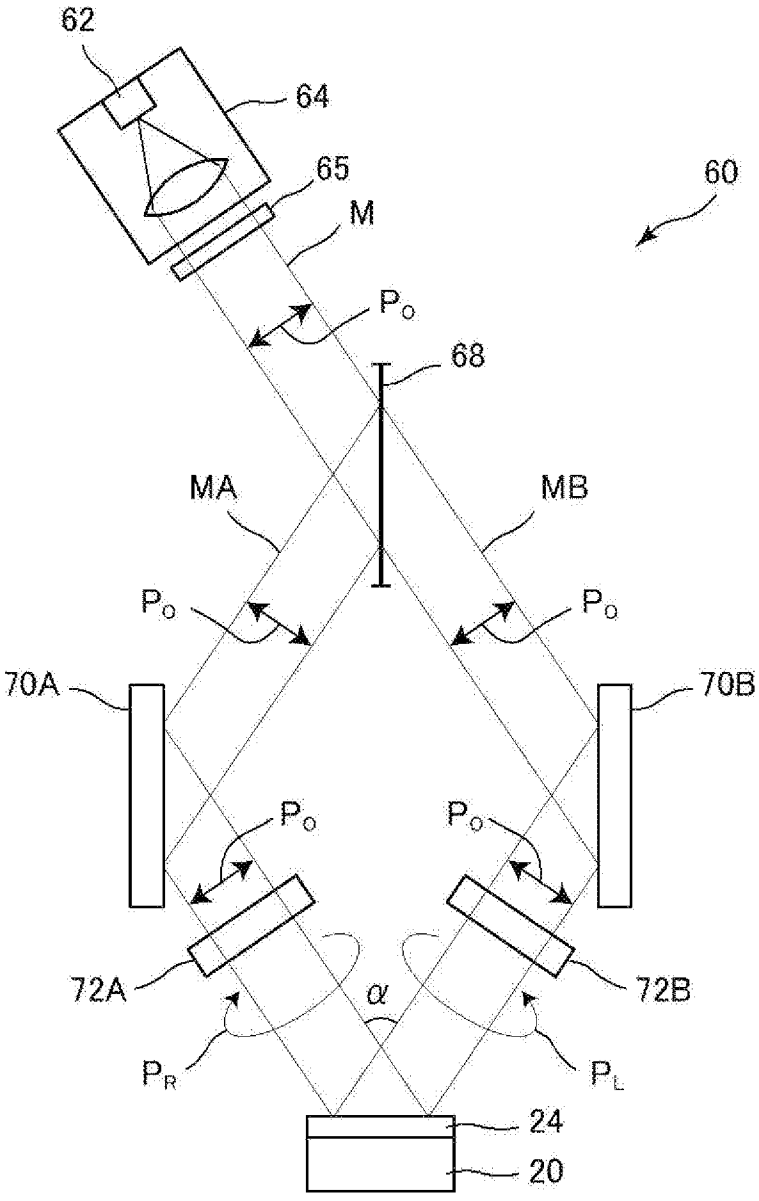
[図5]



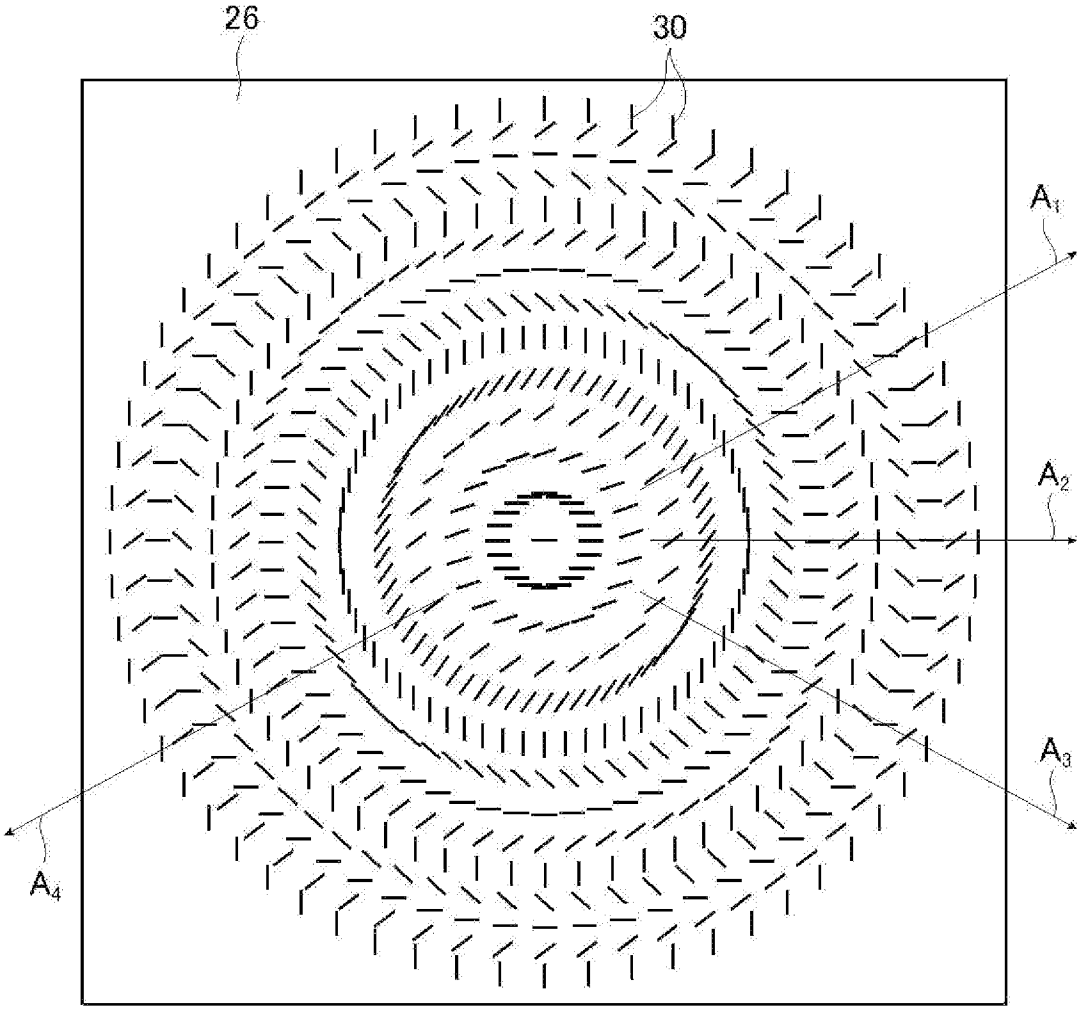
[図6]


L4
26
30
30
Q2
E2
L5
A

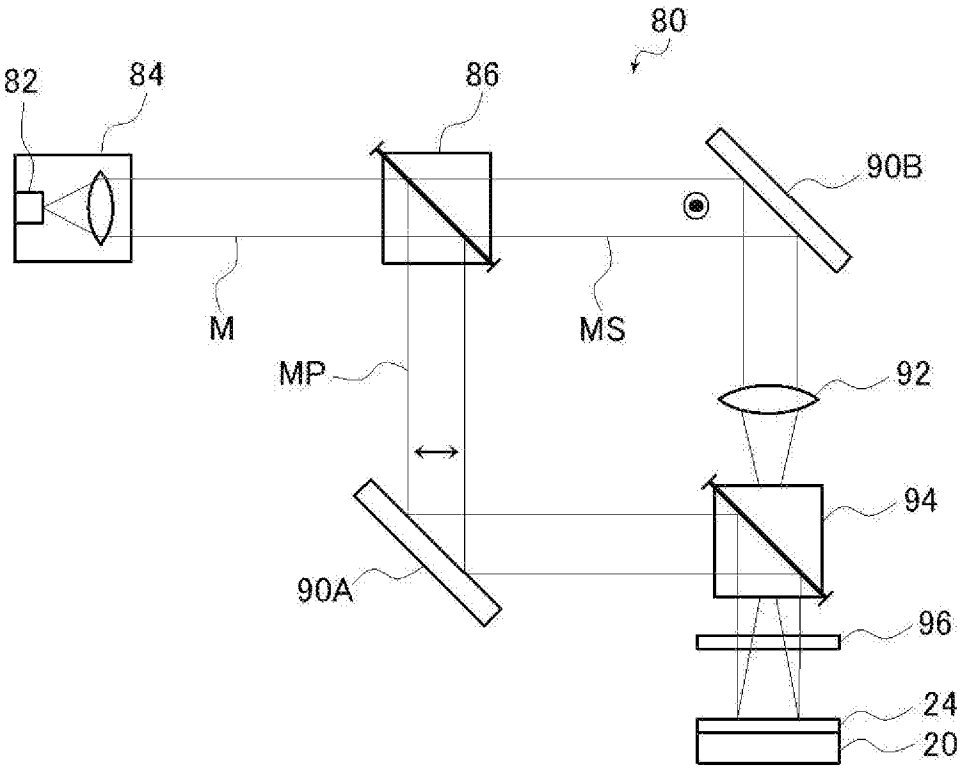
[図7]


62
64
65
60
M
Po
68
MA
MB
Po
Po
70A
70B
Po
Po
72A
72B
α
PR
PL
24
20

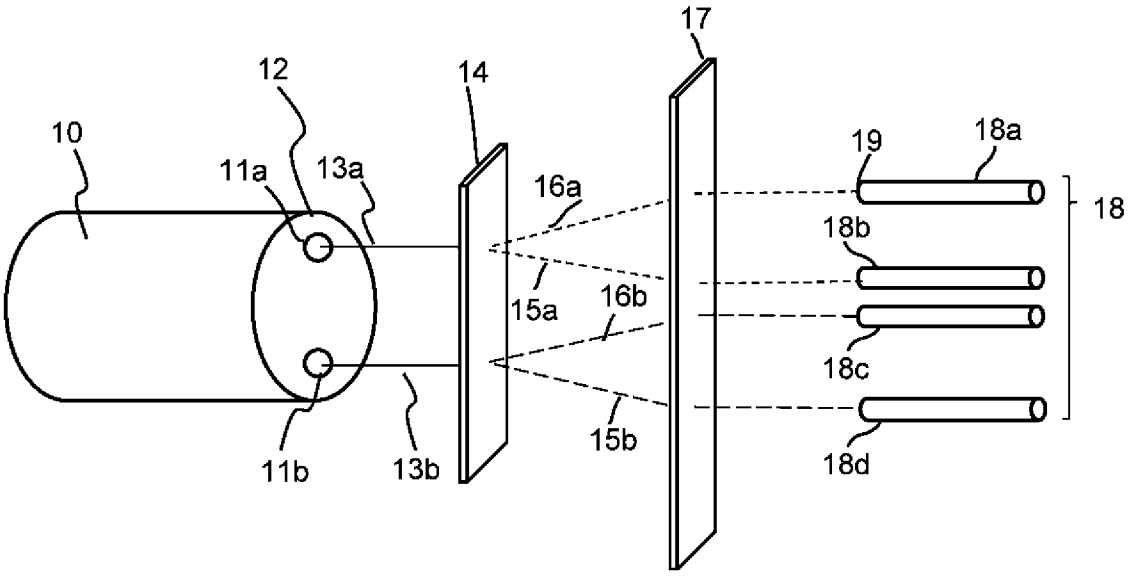
[図8]



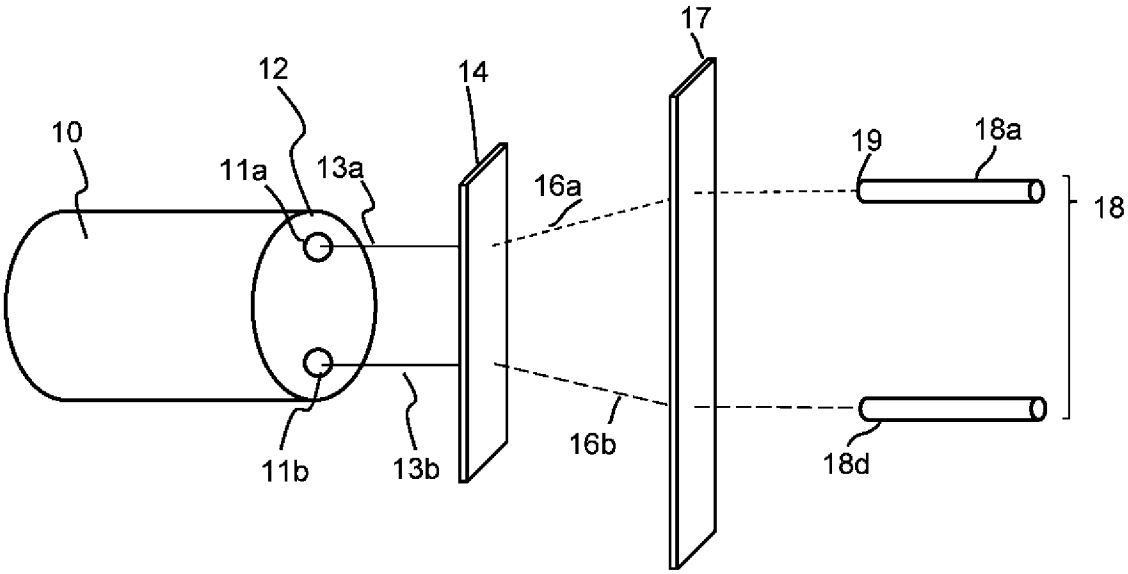
[図9]



[図10]


17
12
14
10
19
18a
11a
13a
16a
18
18b
15a
16b
18c
11b
13b
15b
18d

[図11]


17
12
14
10
19
18a
11a
13a
16a
18
11b
13b
16b
18d

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2022/038355

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B 6/27(2006.01)i; ***G02B 5/18***(2006.01)i; ***G02B 5/30***(2006.01)i; ***G02B 6/02***(2006.01)i; ***G02B 6/28***(2006.01)i; ***G02F 1/13***(2006.01)i; ***H04J 14/00***(2006.01)i
FI: G02B6/27; G02B5/18; G02B5/30; G02B6/02 461; G02B6/28 P; G02F1/13 505; H04J14/00

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)

G02B6/02-6/10; G02B6/26-6/34; G02F1/13

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 1971-2022
Registered utility model specifications of Japan 1996-2022
Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

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 2016-103021 A (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.) 02 June 2016 (2016-06-02) paragraphs [0023]-[0029], [0037]-[0038], fig. 2A-3B, 7-8	1-5
A	US 2012/0188467 A1 (ESCUTI et al.) 26 July 2012 (2012-07-26) paragraphs [0094]-[0106], fig. 1A-5B	1-5
A	CN 113176554 A (CHANGCHUN INSTITUTE OF OPTICS, FINE MECHANICS AND PHYSICS, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 27 July 2021 (2021-07-27) paragraphs [0017]-[0025], fig. 1-5	1-5
A	WO 2016/175071 A1 (NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY) 03 November 2016 (2016-11-03) entire text, all drawings	1-5
A	JP 2019-82518 A (AUTOCLONING TECH KK) 30 May 2019 (2019-05-30) entire text, all drawings	1-5

☐ 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	Date of mailing of the international search report
12 December 2022	**20 December 2022**
Name and mailing address of the ISA/JP **Japan Patent Office (ISA/JP)** **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2022/038355

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2016-103021 A	02 June 2016	US 2016/0154247 A1 paragraphs [0062]-[0068], [0076]-[0077], fig. 2A-3B, 7-8 EP 3035093 A2 CN 104460020 A	
US 2012/0188467 A1	26 July 2012	WO 2011/014743 A2	
CN 113176554 A	27 July 2021	(Family: none)	
WO 2016/175071 A1	03 November 2016	US 2018/0143508 A1 entire text, all drawings EP 3291001 A1 EP 3832385 A1	
JP 2019-82518 A	30 May 2019	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2022/038355

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

G02B 6/27(2006.01)i; G02B 5/18(2006.01)i; G02B 5/30(2006.01)i; G02B 6/02(2006.01)i; G02B 6/28(2006.01)i; G02F 1/13(2006.01)i; H04J 14/00(2006.01)i
FI: G02B6/27; G02B5/18; G02B5/30; G02B6/02 461; G02B6/28 P; G02F1/13 505; H04J14/00

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））

G02B6/02-6/10; G02B6/26-6/34; G02F1/13

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	１９７１－２０２２年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２２年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２２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 2016-103021 A (華為技術有限公司) 02.06.2016 (2016-06-02) 段落[0023]-[0029], [0037]-[0038], 図2A-3B, 7-8	1-5
A	US 2012/0188467 A1 (ESCUTI et al.) 26.07.2012 (2012-07-26) 段落[0094]-[0106], 図1A-5B	1-5
A	CN 113176554 A (CHANGCHUN INSTITUTE OF OPTICS, FINE MECHANICS AND PHYSICS, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 27.07.2021 (2021-07-27) 段落[0017]-[0025], 図1-5	1-5
A	WO 2016/175071 A1 (国立研究開発法人産業技術総合研究所) 03.11.2016 (2016-11-03) 全文,全図	1-5
A	JP 2019-82518 A (有限会社オートクローニング・テクノロジー) 30.05.2019 (2019-05-30) 全文,全図	1-5

☐ 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	国際調査報告の発送日
12.12.2022	20.12.2022

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）
野口　晃一　2L 5708

電話番号 03-3581-1101 内線 3295

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/JP2022/038355

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2016-103021 A	02.06.2016	US 2016/0154247 A1 段落[0062]-[0068], [0076]-[0077], 図2A-3B, 7-8 EP 3035093 A2 CN 104460020 A	
US 2012/0188467 A1	26.07.2012	WO 2011/014743 A2	
CN 113176554 A	27.07.2021	（ファミリーなし）	
WO 2016/175071 A1	03.11.2016	US 2018/0143508 A1 全文,全図 EP 3291001 A1 EP 3832385 A1	
JP 2019-82518 A	30.05.2019	（ファミリーなし）	