

(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
2017 年 1 月 5 日(05.01.2017)



(10) 国際公開番号
WO 2017/002149 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 6/42 (2006.01) *G02B 6/32* (2006.01)
G02B 6/02 (2006.01) *H01L 31/0232* (2014.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/003345
- (22) 国際出願日: 2015 年 7 月 2 日(02.07.2015)
- (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: オリンパス株式会社(OLYMPUS CORPORATION) [JP/JP]; 〒1510072 東京都渋谷区幡ヶ谷 2 丁目 4 3 番 2 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 鈴木 稔明(SUZUKI, Toshiaki); 〒1510072 東京都渋谷区幡ヶ谷 2 丁目 4 3 番 2 号 オリンパス株式会社内 Tokyo (JP). 宮崎 靖浩(MIYAZAKI, Yasuhiro); 〒1510072 東京都渋谷区幡ヶ谷 2 丁目 4 3 番 2 号 オリンパス株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 杉村 憲司(SUGIMURA, Kenji); 〒1000013 東京都千代田区霞が関三丁目 2 番 1 号 霞が関コモンゲート西館 3 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, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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).

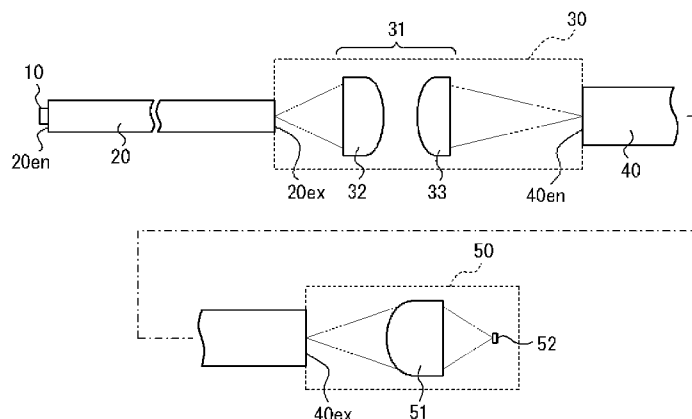
添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第 21 条(3))
- 補正された請求の範囲 (条約第 19 条(1))

(54) Title: OPTICAL SIGNAL TRANSMISSION SYSTEM AND OPTICAL RECEPTACLE

(54) 発明の名称: 光信号伝送システム及び光レセプタクル

FIG. 5



(57) Abstract: Provided is an optical signal transmission system that transmits signal light to an optical receptacle via a transmission fiber, an optical connector and a reception fiber. In the system, $\phi_{1ex} < \phi_{2en}$ and $\phi_{pd} < \phi_{2en}$ are satisfied, where ϕ_{1ex} is a core diameter at an emission end surface of the transmission fiber, ϕ_{2en} is a core diameter at an incidence end surface of the reception fiber and ϕ_{pd} is the diameter of a reception light surface of a light-receiving element of the optical receptacle. In the optical connector, $NA_{1ex} > NA_{2en}$ is satisfied, where NA_{1ex} is the NA of signal light emitted from the transmission fiber and NA_{2en} is the NA of signal light incident to the reception fiber.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2017/002149 A1

信号光を送信ファイバ、光コネクタ及び受信ファイバを経て光レセプタクルに伝送する光信号伝送システムにおいて、送信ファイバの射出端面でのコア径を $\Phi 1_{ex}$ 、受信ファイバの入射端面でのコア径を $\Phi 2_{en}$ 、光レセプタクルの受光素子の受光面の径を Φ_{pd} 、とすると、 $\Phi 1_{ex} < \Phi 2_{en}$ 、 $\Phi_{pd} < \Phi 2_{en}$ 、を満足し、光コネクタにおける、送信ファイバから射出される信号光のNAを $NA 1_{ex}$ 、受信ファイバに入射する信号光のNAを $NA 2_{en}$ 、とすると、 $NA 1_{ex} > NA 2_{en}$ 、を満足する。

明 細 書

発明の名称：光信号伝送システム及び光レセプタクル

技術分野

[0001] 本発明は、光信号伝送システム及びこれに使用可能な光レセプタクルに関するものである。

背景技術

[0002] 光信号伝送システムとして、例えば特許文献１に開示のものが知られている。特許文献１に開示の光信号伝送システムは、レーザダイオードから射出される信号光を、送信ファイバ、光コネクタ及び受信ファイバを経て光レセプタクルに伝送している。このような光信号伝送システムに使用される光コネクタとしては、例えば特許文献２に開示のものが知られている。また、光レセプタクルとしては、例えば特許文献３に記載のものが知られている。

[0003] 特許文献２に開示の光コネクタは、送信ファイバと受信ファイバとをレンズを介して結合する、いわゆる空間結合型のものである。ここで、レンズは、送信ファイバの射出端面を受信ファイバの入射端面に縮小して結像するように構成されている。これにより、受信ファイバに入射する信号光のスポット位置が、受信ファイバのコア中心から多少ずれても光回線が維持されるようにしている。そのため、受信ファイバのNA（開口数）は、送信光ファイバのNAよりも大きくとる必要がある。

[0004] また、特許文献３に開示の光レセプタクルは、レンズと受光素子とを備え、受信ファイバの射出端面から発散して空間に射出される信号光を、レンズにより受光素子に集光させて光電変換するものである。ここで、受光素子は、受光面の径が小さいものが使用される。特に、近年の光信号伝送システムは、例えば高精細な映像信号の伝送に対応することが期待されることから、10Gbps～40Gbpsの高速通信の要求がある。そのため、受光素子は、良好な周波数応答速度を得ることから受光面の径（受光径）が小さくなる傾向があり、50μm程度のものが多く使われる。したがって、レンズは

、受信ファイバの射出端面を受光素子上に縮小して結像するように構成される。その結果、受光素子に入射する光束のNAは、受信ファイバのNAよりも大きくなる。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2005-318532号公報

特許文献2：特開平7-181339号公報

特許文献3：特開2014-232261号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、上述した光コネクタ及び光レセプタクルを用いて光信号伝送システムを構成すると、光コネクタ及び光レセプタクルにおいて信号光の縮小結像が繰り返されるため、最終的に受光素子に入射する光束のNAが過剰に大きくなる。図28は、この場合の光信号伝送システムの構成例を示すもので、レーザダイオード110から発散して射出される信号光を、送信ファイバ120、光コネクタ130及び受信ファイバ140を経て光レセプタクル150に伝送するものである。

[0007] 光コネクタ130はレンズ131及び132を有し、送信ファイバ120の射出端面120exから射出される信号光をレンズ131で平行光とし、その平行光をレンズ132で集光して受信ファイバ140の入射端面に入射させるもので、レンズ131とレンズ132との間が着脱自在に構成される。また、光レセプタクル150はレンズ151と受光素子152とを備え、受信ファイバ140の射出端面から射出される信号光を、レンズ151により受光素子152に集光させる。

[0008] 図28に示すように、レーザダイオード110から発散して射出される信号光を送信ファイバ120に直接入射させる場合、より多くの光量を送信ファイバ120に入射させるには、送信ファイバ120のコア径及びNAを、

例えばコア径が $50\mu\text{m}$ 、NAが0.27とある程度大きくとる必要がある。この場合、受信ファイバ140を送信ファイバ120と同じコア径とすると、光コネクタ130は、レンズ131及び132によって送信ファイバ120から射出される信号光をコア径よりも小さな光スポットで受信ファイバ140に入射させる必要がある。そのため、この場合のアライメント誤差の許容値は、せいぜい $20\mu\text{m}\sim 30\mu\text{m}$ 程度と小さくなる。

[0009] そこで、受信ファイバ140を送信ファイバ120よりも太く、例えばコア径を $150\mu\text{m}$ 、NAを0.3にすることが想定される。この場合、光レセプタクル150において、受信ファイバ140から射出される信号光をレンズ151によって受光素子152に集光させるには、受光素子152の受光径を $50\mu\text{m}$ とすると、レンズ151の縮小倍率は $1/3$ となる。したがって、この場合に受光素子152に集光される光束のNAは、受信ファイバ140のNAの3倍の0.9となる。

[0010] しかし、このように受光素子152に入射する光束のNAが大きくなると、レンズ151の収差も大きくなって集光性が低下し、受光素子152の受光面の径を小さくすることが困難になる。その結果、周波数応答速度の向上が期待できなくなる。また、受光素子152は、シリコン等の高屈折率の材質で構成され、30%以上の表面反射率を有していることから、受光素子152での信号光の反射による戻り光が、レーザダイオード110から射出される信号光に悪影響を及ぼすことも懸念される。そのため、受光素子152の受光面に反射防止膜を施すことがしばしば行われるが、反射防止膜は、入射角依存性を有しており、広角の入射光に対しては十分な効果が期待できない。

[0011] このようなことから、従来の光信号伝送システムにあっては、光回線を安定して維持することが困難になり、システムの信頼性が低下することが懸念される。

[0012] したがって、かかる観点に鑑みてなされた本発明の目的は、受光素子の周波数応答速度を維持しながら光回線を安定に維持でき、システムの信頼性を

向上できる光信号伝送システム及びこれに使用可能な光レセプタクルを提供することにある。

課題を解決するための手段

- [0013] 上記目的を達成する本発明に係る光信号伝送システムは、
- 信号光を伝送し、前記信号光を射出する射出端面を有する送信ファイバと、
- 、
- 前記送信ファイバの前記射出端面から射出される前記信号光を入射する入射端面と前記信号光を射出する射出端面とを有し、前記信号光を伝送する受信ファイバと、
- 前記送信ファイバと前記受信ファイバとの間に配置され、前記送信ファイバの前記射出端面から射出される前記信号光を前記受信ファイバの前記入射端面に導くレンズを有する光コネクタと、
- 前記受信ファイバを経て伝送される前記信号光が入射する受光面を有し、入射した前記信号光を光電変換する受光素子と、前記受信ファイバを経て伝送される前記信号光を前記受光面に導くレンズとを有する光レセプタクルと
- 、
- を備える光信号伝送システムにおいて、
- 前記送信ファイバの前記射出端面でのコア径を $\Phi 1_{ex}$ 、
- 前記受信ファイバの前記入射端面でのコア径を $\Phi 2_{en}$ 、
- 前記受光素子の前記受光面の径を Φpd 、
- とするとき、
- $\Phi 1_{ex} < \Phi 2_{en}$
- $\Phi pd < \Phi 2_{en}$
- を満足し、
- 前記光コネクタにおける、
- 前記送信ファイバから射出される前記信号光の NA を $NA 1_{ex}$ 、
- 前記受信ファイバに入射する前記信号光の NA を $NA 2_{en}$ 、
- とするとき、

$$NA_{1ex} > NA_{2en}$$

を満足する、ことを特徴とするものである。

[0014] さらに、本発明に係る光信号伝送システムは、
信号光を伝送し、前記信号光を射出する射出端面を有する送信ファイバと、

前記送信ファイバの前記射出端面から射出される前記信号光を入射する入射端面と前記信号光を射出する射出端面とを有し、前記信号光を伝送する受信ファイバと、

前記送信ファイバと前記受信ファイバとの間に配置され、前記送信ファイバの前記射出端面から射出される前記信号光を前記受信ファイバの前記入射端面に導くレンズを有する光コネクタと、

前記受信ファイバを経て伝送される前記信号光が入射する受光面を有し、入射した前記信号光を光電変換する受光素子と、前記受信ファイバを経て伝送される前記信号光を前記受光面に導くレンズとを有する光レセプタクルと、

を備える光信号伝送システムにおいて、

前記送信ファイバの前記射出端面でのコア径を Φ_{1ex} 、

前記受信ファイバの前記入射端面でのコア径を Φ_{2en} 、

前記受光素子の前記受光面の径を Φ_{pd} 、

とするとき、

$$\Phi_{1ex} < \Phi_{2en}$$

$$\Phi_{pd} < \Phi_{2en}$$

を満足し、

前記光レセプタクルは、前記受光素子に結合された固浸レンズをさらに有する、

ことを特徴とするものである。

[0015] さらに、上記目的を達成する本発明に係る光レセプタクルは、
光ファイバから射出される光を集光するレンズと、

前記レンズにより集光される前記光を受光する受光素子と、
前記受光素子の受光面に結合して配置された固浸レンズと、
を備えるものである。

発明の効果

[0016] 本発明によれば、受光素子の周波数応答速度を維持しながら光回線を安定に維持でき、システムの信頼性を向上できる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]エタンドュの説明図である。

[図2]本発明の第1の主要構成における光レセプタクルの説明図である。

[図3]本発明の第1の主要構成における光コネクタの説明図である。

[図4A]本発明の第2の主要構成における半球レンズの説明図である。

[図4B]本発明の第2の主要構成における超半球レンズの説明図である。

[図5]第1実施の形態に係る光信号伝送システムの要部構成図である。

[図6]図5で使用可能な受信ファイバの説明図である。

[図7]図5の光コネクタの概略構成図である。

[図8]図7の光コネクタのレンズデータにおける面番号の説明図である。

[図9]図5の光レセプタクルの光学系の構成図である。

[図10]図9の光レセプタクルのレンズデータにおける面番号の説明図である。
。

[図11]図9の光レセプタクルの要部構成を示す断面図である。

[図12]第2実施の形態に係る光信号伝送システムの光コネクタの光学系の構成図である。

[図13A]光ファイバから射出される光線の説明図である。

[図13B]光ファイバの射出端面に半球レンズを接合した場合に射出される光線の説明図である。

[図13C]光ファイバの射出端面に超半球レンズを接合した場合に射出される光線の説明図である。

[図14]図12の光コネクタのレンズデータにおける面番号の説明図である。

[図15]図12の光コネクタの結合時における光軸傾き誤差 θ (°) に対する光スポットの位置ずれの説明図である。

[図16]図12の光コネクタの光軸傾き誤差 θ (°) に対するスループット特性を示す図である。

[図17]シリコン及び反射防止膜の入射角に対する反射率特性を示す図である。

[図18]第3実施の形態に係る光信号伝送システムの光レセプタクルの光学系の構成図である。

[図19]図18の部分断面図である。

[図20]図18の光レセプタクルのレンズデータにおける面番号の説明図である。

[図21]図18の光レセプタクルの要部構成を示す断面図である。

[図22]第3実施の形態の光信号伝送システムの受光素子（シリコン）に施した反射防止膜の入射角に対する反射率特性を示す図である。

[図23]第3実施の形態による光コネクタの光軸傾き誤差 θ (°) に対するスループット特性を示す図である。

[図24]第4実施の形態に係る光信号伝送システムの要部構成図である。

[図25]図7の光コネクタの変形例を示す図である。

[図26]図25の光コネクタの変形例を示す図である。

[図27]図12の光コネクタの変形例を示す図である。

[図28]従来の光信号伝送システムの説明図である。

発明を実施するための形態

[0018] 先ず、本発明の実施の形態の説明に先立って、本発明に係る光信号伝送システムの主要構成及び作用について説明する。

[0019] (主要構成)

本発明に係る光信号伝送システムの第1の主要構成は、受信ファイバの入射端面でのコア径を $\Phi 2_{en}$ 、送信ファイバの射出端面でのコア径を $\Phi 1_{ex}$ 、受光素子の受光面の径を Φpd とするとき、 $\Phi 2_{en}$ を $\Phi 1_{ex}$ 及び Φpd よりも大

きくする。また、光コネクタは、送信ファイバから射出される信号光の NA を NA_{1ex} 、受信ファイバに入射させる信号光の NA を NA_{2en} とするとき、 NA_{1ex} を NA_{2en} よりも大きく構成する。換言すれば、受信ファイバとして、送信ファイバ及び受光素子の受光面よりもコア径の大きなものを用い、光コネクタに配置されるレンズによって、受信ファイバに入射する信号光の NA_{2en} を、送信ファイバから射出される信号光の NA_{1ex} より小さくすることである。

[0020] 本発明に係る光信号伝送システムの第2の主要構成は、受信ファイバの入射端面でのコア径 Φ_{2en} を送信ファイバの射出端面でのコア径 Φ_{1ex} 及び受光素子の受光面の径 Φ_{pd} よりも大きくする。また、光レセプタクルの受光素子には、固浸レンズ (SIL : Solid Immersion Lens) を結合することにある。換言すれば、受信ファイバとして、送信ファイバ及び受光素子の受光面よりもコア径の大きなものを用い、光レセプタクルにおいて、受光素子上に固浸レンズを接合することである。

[0021] (作用)

先ず、第1の主要構成の作用について説明する。

光コネクタにおける受信ファイバあるいは光レセプタクルにおける受光素子のような小さい面積を、レンズを介して照明する場合、照明光の光スポットを小さく絞ろうとすると NA が大きくなり、照明光の NA を小さくしようとすると光スポットが大きくなるというトレードオフがある。このトレードオフを考慮するため、本発明では「エタンデュ」の概念を導入する。

[0022] エタンデュとは、立体角と面積とを掛け合わせた物理量である。図1に示すように、発光面1から射出される照明光をレンズ2に集光して受光面3に入射させる場合において、発光面1あるいは受光面3の形状が直径 D の円の場合、エタンデュ E は、射出あるいは入射する照明光の NA を用いて次式 (1) で示すように近似することができる。なお、図1は、直径 D の円形の発光面1から開口数 NA で照明光が射出され、その照明光がレンズ2に集光されて受光面3に入射する場合を例示している。

[0023] [数1]

$$E \equiv \text{光束の立体角} \times \text{面積} \\ = 2\pi S(1 - \cos \theta) \approx \frac{\pi}{4} (D \cdot NA)^2 \quad \dots (1)$$

[0024] エタンデュを用いると、光を無駄にすることなく効率的に照明するための条件は、

発光面 1 のエタンデュ $\leq$ 受光面 3 のエタンデュ
と書き表すことができる。

これを、光信号伝達システムに適用すると、損失なく信号光が伝達する条件は、

(送信ファイバのエタンデュ) $\leq$ (受信ファイバのエタンデュ) $\leq$ (受光素子のエタンデュ)
である。

[0025] 以上の考察から、光レセプタクルにおいて、受光素子に入射する信号光の NA を NA_{pd} とするとき、 NA_{pd} を小さくするための条件を導くことができる。すなわち、図 2 に示すように、光レセプタクル 50 において、受信ファイバ 40 の射出端面 40ex から射出される信号光を、レンズ 51 により集光して受光素子 52 の受光面 52a に入射させる場合、受信ファイバ 40 の射出端面 40ex でのコア径を Φ_{2ex} 、受信ファイバ 40 から射出される信号光の NA を NA_{2ex} とすると、レンズの結像関係から次式 (2) が成り立つ。

[0026] [数2]

$$NA_{pd} = \frac{\Phi_{2ex}}{\Phi_{pd}} NA_{2ex} \quad \dots (2)$$

[0027] また、受光面 52a に入射する信号光の NA_{pd} は、上式 (1) のエタンデュの近似式から、次式 (3) で表される。

[0028] [数3]

$$NA_{pd} \approx \frac{2}{\Phi_{pd}} \sqrt{E/\pi} \quad \dots (3)$$

[0029] 上式(3)から、受信ファイバ40のエタンデュEを小さくすることによって、受光面52aに入射する信号光のNA_{pd}を小さくすることができる。

[0030] ここで、受信ファイバ40のエタンデュは、光レセプタクル50だけではなく、送信ファイバからの信号光を受信ファイバ40に中継する光コネクタも考慮して決定する必要がある。光コネクタにおいては、信号光を損失なく伝達するために、受信ファイバ40のエタンデュを送信ファイバのエタンデュより大きくとることが必要である。しかし、受信ファイバ40のエタンデュを大きくとりすぎると、前記したように受光面52aに入射する信号光のNA_{pd}が大きくなるので、受信ファイバ40のエタンデュは適切に設定することが必要となる。

[0031] 図3は、光コネクタの概略構成を示すものである。光コネクタ30は、送信ファイバ20の射出端面20exから射出される信号光を受信ファイバ40の入射端面40enに導くレンズ31を有する。図3において、レンズ31は、互いに凸面を向き合わせて配置される2つの平凸レンズ32及び33を有してなり、例えば平凸レンズ32及び33の間で光コネクタ30が着脱自在に結合される。光コネクタ30は、送信ファイバ20の射出端面20exから射出される信号光を平凸レンズ32で平行光とし、該平行光の信号光を平凸レンズ33で集光して受信ファイバ40の入射端面40enに入射させる。

[0032] 第1の主要構成では、図3において、送信ファイバ20から出射される信号光のエタンデュをE₀、受信ファイバ40の入射端面40enに入射する信号光の光スポットのクリアランスをδとすると、受信ファイバ40に入射する信号光のエタンデュEは、下式(4)で表される。

[0033] [数4]

$$E \approx E_0 + \frac{\pi}{4} (\delta \cdot NA_{2en})^2 \quad \dots (4)$$

[0034] 上式(4)において、エタンデュE₀は、上式(1)から、送信ファイバ20の射出端面20exでのコア径Φ_{1ex}、送信ファイバ20から射出される信号光のNA_{1ex}を用いて下式(5)で表される。

[0035] [数5]

$$E_0 \approx \frac{\pi}{4} (\Phi_{lex} \cdot NA_{lex})^2 \quad \dots (5)$$

[0036] また、上式（４）において、受信ファイバ４０の入射端面４０enに入射する信号光の NA_{2en} は、光コネクタ３０の結像倍率を β_{con} とすると、下式（６）で表される。

[0037] [数6]

$$NA_{2en} = \frac{NA_{lex}}{\beta_{con}} \quad \dots (6)$$

[0038] つまり、本発明に係る光信号伝送システムの第１の主要構成では、送信ファイバのコア径よりも、受信ファイバのコア径を太くするトレードオフとして、受信ファイバへの信号光の入射光束の NA_{2en} を小さくすることによって、受信ファイバのエタンドュが大きくなり過ぎないようにしている。換言すれば、従来の光コネクタにおいては、送信ファイバと受信ファイバのレンズによる結像関係が縮小倍率になっているのに対し、第１の主要構成では拡大倍率のレンズ配置としている。これにより、受信ファイバとして NA の小さいものを使うことが可能となり、結果として、光レセプタクルにおいて受光素子に入射する光束の NA_{pd} を小さくすることが可能となる。

[0039] 次に、上述した第２の主要構成の作用について説明する。

図２８に示した光信号伝送システムでは、信号光が送信ファイバ１２０から受信ファイバ１４０を経て受光素子１５２に到達する順に漸次エタンドュが拡大し、最終的に光レセプタクル１５０のレンズ１５１から受光素子１５２に入射する光線の最大入射角が過剰に大きくなる。これは、受光素子１５２に大きなエタンドュを持たせる要求がある一方、受光素子１５２の径を小さくするトレードオフとして、 NA を大きく取らざるを得ないことによる。

[0040] そこで、本発明に係る光信号伝送システムの第２の主要構成では、固浸レンズを受光素子に接合することによって、例えば受光面を固浸レンズの媒質に埋め込む。これにより、入射する信号光の最大入射角を大きくすることな

く、受光素子のNAを大きくする。換言すれば、固浸レンズは受光素子のエタンドュを拡大するように作用する。

[0041] 固浸レンズは、例えば図4Aに示すような半球レンズ56、又は、図4Bに示すような超半球レンズ57が使用可能である。図4Aにおいて、半球レンズ56は、球面からの入射光を球心に集光する。したがって、受光素子52は、半球レンズ56の球心に受光面52aが位置するように、半球レンズ56の平面に接着剤等を介して接合される。また、図4Bにおいて、超半球レンズ57は、球面に対して光束の入射点と集光点とがアプラナティック条件（球面収差及びコマ収差が生じない条件）を満たす位置関係にあり、集光点が平面に形成されている。したがって、受光素子52は、超半球レンズ57の集光点に受光面52aが位置するように、超半球レンズ57の平面に接着剤等を介して接合される。

[0042] 図4Aに示す半球レンズ56の場合、半球レンズ56の球心に向かう光線は、半球レンズ56の球面で屈折することなく、半球レンズ56の媒質中で集光する。したがって、受光素子52に入射する信号光のNA_{pd}は、空気中に対し半球レンズ56の媒質の屈折率倍になる。また、図4Bに示す超半球レンズ57の場合、信号光は超半球レンズ57の球面で屈折して超半球レンズ57の媒質の屈折率倍の開口数で集光し、さらに超半球レンズ57の媒質中で集光する。したがって、受光素子52に入射する信号光のNA_{pd}は、空気中に対し超半球レンズ57の媒質の屈折率の2乗倍になる。

[0043] このように、本発明に係る光信号伝送システムの第2の主要構成では、受光素子52に空気中で直接集光する場合にくらべて、固浸レンズの媒質中で集光させるほうが、NA_{pd}が大きくなるので、所望のエタンドュを得るのに、受光素子に入射する光線の最大入射角度を小さくとることができる。その結果、コア径の大きい受信ファイバの使用が可能になる。

[0044] 以下、本発明の実施の形態について説明する。

[0045] （第1実施の形態）

図5は、第1実施の形態に係る光信号伝送システムの要部の構成を示す図

である。図5に示す光信号伝送システムは、レーザダイオード10から発散して射出される信号光を、送信ファイバ20、光コネクタ30及び受信ファイバ40を経て光レセプタクル50に伝送するものである。

[0046] レーザダイオード10は、送信ファイバ20の入射端面20enに結合されて、信号光を送信ファイバ20に直接入射させる。送信ファイバ20は、入射端面20enに入射される信号光を伝送して射出端面20exから光コネクタ30に射出させる。

[0047] 光コネクタ30は、図3において説明したように、送信ファイバ20の射出端面20exから射出される信号光を受信ファイバ40の入射端面40enに導くレンズ31として、互いに凸面を向き合わせて配置される平凸レンズ32及び33を有する。平凸レンズ32は、送信ファイバ20の射出端面20exから射出される信号光を平行光として平凸レンズ33に入射させる。平凸レンズ33は、平凸レンズ32からの平行光の信号光を集光して受信ファイバ40の入射端面40enに入射させる。光コネクタ30は、平凸レンズ32と平凸レンズ33との間で着脱自在に構成される。

[0048] 受信ファイバ40は、入射端面40enに入射される信号光を伝送して射出端面40exから射出して光レセプタクル50に入射させる。光レセプタクル50は、レンズ51と受光素子52とを備え、受信ファイバ40の射出端面40exから射出される信号光を、レンズ51により集光して受光素子52に入射させる。

[0049] 本実施の形態において、送信ファイバ20は、レーザダイオード10から発散して射出される信号光を直接入射させるために、コア径を $\Phi 1$ 、NAをNA1とすると、 $\Phi 1$ 及びNA1をある程度大きくとる必要がある。そのため、送信ファイバ20は、コア径 $\Phi 1$ が例えば $50\mu\text{m}$ 、NA1が0.27のマルチモードファイバで構成される。なお、送信ファイバ20は、入射端面20enでのコア径 $\Phi 1_{\text{en}}$ と射出端面20exでのコア径 $\Phi 1_{\text{ex}}$ とが等しいコア径 $\Phi 1$ を有するものとする。

[0050] 受信ファイバ40は、光コネクタ30において、（送信ファイバ20のエ

タンデュ) $\leq$ (受信ファイバ40のエタンデュ)、を満足させる。そのため、条件1として、受信ファイバ40は、コア径を $\Phi 2$ 、NAをNA2とすると、 $50\mu\text{m} \times 0.27 \leq \Phi 2 \times \text{NA} 2$ 、を満たすように構成される。なお、受信ファイバ40は、入射端面40enでのコア径 $\Phi 2\text{en}$ と射出端面40exでのコア径 $\Phi 2\text{ex}$ とが等しいコア径 $\Phi 2$ を有するものとする。

[0051] 一方、光レセプタクル50は、 $10\text{Gbps} \sim 40\text{Gbps}$ の高速通信に対応させるため、受光素子52は受光面52aの口径(受光径)が例えば $50\mu\text{m}$ の小口径で構成される。また、受光素子52に入射する信号光のNApdは、例えばレンズ51のNAを光学設計に無理の無い上限として例えば0.65に設定される。そのため、条件2として、光レセプタクル50は、(受信ファイバ40のエタンデュ) $\leq$ (受光素子52のエタンデュ) から、 $\Phi 2 \times \text{NA} 2 \leq 50\mu\text{m} \times 0.65$ 、を満たすように構成される。

[0052] また、光コネクタ30は、送信ファイバ20から射出される信号光のNA1exよりも、受信ファイバ40に集光される信号光のNA2enが小さくなるように構成される。したがって、条件3として、受信ファイバ40は、 $\text{NA} 2 < 0.27$ 、を満たすように構成される。

[0053] 図6は、本実施の形態において使用可能な受信ファイバ40を説明するための図である。図6において、縦軸はNAを示し、横軸はコア径 Φ を示す。実線Iは、光レセプタクル50のエタンデュから決まる受信ファイバ40のNA2の上限を示す。実線IIは、光コネクタ30のエタンデュから決まる受信ファイバ40のNA2の下限を示す。破線IIIは、送信ファイバ20のNA1(=0.27)を示す。

[0054] 本実施の形態においては、図6にハッチングを施して示す領域が、受光ファイバ40として上記の条件1～3を満たす使用可能領域となる。図6から、受光ファイバ40は、コア径 $\Phi 2$ を大きくとった場合、反比例してNA2を小さくとればよいことが判る。本実施の形態において、受信ファイバ40は、例えばコア径 $\Phi 2$ が $150\mu\text{m}$ 、NA2が0.2のマルチモードファイバで構成される。

[0055] なお、マルチモードファイバには、コアの屈折率が中心から外側に向かって減少する分布を持つグレーデッドインデックス型とコアの屈折率が均質なステップインデックス型とがある。グレーデッドインデックス型は、コアの中心を通る光と周辺を通る光との間で伝達時間の遅延が起こらないので信号品質が良いとされている。しかし、コアの中心から外に向かってNAが漸次小さくなるため、光コネクタの受信側に用いるとアライメント誤差が無い場合でも入射光の漏れがあって、ステップインデックス型と比べて光損失が大きくなる。そのため、屋内配線のような短距離通信の用途においては、光信号の時間遅延が殆ど問題とならないため、光損失の少ないステップインデックス型が望ましい。

[0056] 次に、光コネクタ30のレンズ構成について説明する。

[0057] 図7は、光コネクタ30の概略構成図である。光コネクタ30は、上述したように平凸レンズ32及び33を有し、平凸レンズ32と平凸レンズ33との間の平行光部分で、送信側と受信側とが着脱自在に構成される。この場合、平行光となる着脱部分において、平凸レンズ32及び33の凸面にほこり等の汚れが付着すると、信号光が遮光されて光回線が維持できなくなる。そのため、平行光の光束径は、想定される汚れの大きさよりも十分大きくする必要がある。具体的には、1mm～3mm程度が適切である。本実施の形態では、光束径を例えば3mmとしている。

[0058] この場合、送信ファイバ20側の平凸レンズ32は、光束半径が1.5mmで、送信ファイバ20のNA1を0.27としていることから焦点距離が5.5mmとなる。

[0059] 受信ファイバ40側の平凸レンズ33は、光束半径が1.5mmで、受信ファイバ40のNA2を0.2としていることから焦点距離7.5mmとなるが、本実施の形態ではそれよりも若干長くなっている。このように、平凸レンズ33の焦点距離を若干長くすると、受信ファイバ40に集光する光束のNA2enが、受信ファイバ40のNA2より若干小さくなるので、光コネクタ30の結合時の光軸傾き誤差による受信ファイバ40への入射光漏れを

減らすことが可能となる。そこで、本実施の形態では、平凸レンズ33の焦点距離を7.5mmよりも若干長い8.0mmとしている。

[0060] これにより、光コネクタ30は、送信ファイバ20の射出端面（コア端面）20exの像を、受信ファイバ40の入射端面（コア端面）40enに1.45倍の結像倍率 β_{con} で結像させる。したがって、受信ファイバ40のコア径 $150\mu m$ に対して、十分小さい $72\mu m$ （＝送信ファイバ20のコア径 $\Phi 150\mu m$ ） $\times$ 結像倍率 β_{con} （1.45）の光スポット径で信号光を受信ファイバ40に入射させることができる。

[0061] 平凸レンズ32及び33は、球面レンズで構成してもよいが、本実施の形態では平凸レンズ32及び33が非球面レンズで構成される。この場合、送信ファイバ20側の平凸レンズ32を、受信ファイバ40側の平凸レンズ33と同じ非球面レンズとすることができる。しかし、平凸レンズ32を平凸レンズ33と同じ非球面レンズとすると、平凸レンズ32のNAは0.1875（＝光束半径1.5mm／焦点距離8.0mm）となって、送信ファイバ20のNA1（＝0.27）と、1.44倍の乖離が生ずる。

[0062] そのため、本実施の形態では、図7に示すように、送信ファイバ20と平凸レンズ32との間に、さらにアプラナティックレンズ34を配置してNAの整合を図っている。ここで、アプラナティックレンズ34は、収差に影響を与えることなく平凸レンズ32のNAをレンズの材質の屈折率倍に拡大する作用がある。したがって、アプラナティックレンズ34のレンズ材質として屈折率1.45の石英を用いれば、平凸レンズ32のNAと、送信ファイバ20のNA1とをほぼ合致させることが可能となる。

[0063] このように、平凸レンズ32及び33を非球面レンズで構成すれば、収差による光スポットのボケを小さくできるので、受信ファイバ40の入射端面40enへの信号光の集光状態を向上できる。したがって、受信ファイバ40のコア径と入射光スポット径とのクリアランスを大きくできる利点がある。

[0064] 表1は、図7に示した光コネクタ30のレンズデータを示すものである。表1において、送信側コアは送信ファイバ20の射出端面20exを表し、受

信側コアは受信ファイバ40の入射端面40enを表し、屈折率は測定波長850nmでの測定値である。曲率半径及び面間隔の単位は、mmである。また、図8に表1の面番号を示す。

[0065] [表1]

面	曲率半径	面間隔	硝材	屈折率
送信側コア	∞	2.4955		1
面1	-2.5	1.5	石英	1.45311
面2	-2.366	0.714		1
面3	∞	2.5	N-SF5	1.65669
面4 ASP	-5.2766	4		1
面5 ASP	5.2766	2.5	N-SF5	1.65669
面6	∞	6.5264		1
受信側コア	∞	0		

[0066] 表1において、面4及び面5の非球面形状（ASP）は、 z を光の進行方向を正とした光軸とし、 y を光軸と直交する方向として、下式（7）で表される。ただし、式（7）において、 R は近軸曲率半径、 k は円錐係数、 A_4 、 A_6 、 A_8 、 A_{10} は、それぞれ4次、6次、8次、10次の非球面係数である。また、式（7）に基づく面4及び面5の各非球面係数を表2に示す。表2において、「E-n」（ n は整数）は、「 10^{-n} 」を示している。

[0067] [数7]

$$z = \frac{y^2/R}{1 + \sqrt{1 - (1+k)(y^2/R^2)}} + A_4 y^4 + A_6 y^6 + A_8 y^8 + A_{10} y^{10} + A_{12} y^{12} \cdots (7)$$

[0068] [表2]

非球面係数	面4	面5
R	-5.2766	5.2766
k	-0.5931	-0.5931
A_4	0	0
A_6	-1.4237E-06	1.4237E-06
A_8	6.0500E-07	-6.0500E-07
A_{10}	-3.9471E-08	3.9471E-08
A_{12}	0	0

[0069] 上述したように、本実施の形態では、光コネクタ30において、送信ファイバ20の射出端面20exの像を、受信ファイバ40の入射端面40enに拡大して結像させるが、その拡大倍率は、市販の光ファイバの太さの組合せか

ら4以下となる。したがって、光コネクタ30の結像倍率 β_{con} は、 $1.1 < |\beta_{con}| < 3.9$ 、とするのがよい。

[0070] 次に、光レセプタクル50の構成について説明する。

[0071] 図9は、光レセプタクル50の光学系の構成を示す図である。図9に示す光レセプタクル50は、受信ファイバ40の射出端面40exから射出される信号光を受光素子52の受光面52aに導くレンズ51として、受信ファイバ40側に配置されるコリメートレンズ53と、受光素子52側に配置される集光レンズ54とを有する。これにより、光レセプタクル50は、受信ファイバ40の射出端面（コア端面）40exの像を受光素子52の受光面52a上に結像倍率 β_{rec} で縮小結像する。コリメートレンズ53及び集光レンズ54は、例えば非球面レンズで構成することができる。

[0072] 表3は、図9に示した光レセプタクル50のレンズデータを示すものである。表3において、受信側コアは受信ファイバ40の射出端面40exを表し、受光素子は受光面52aを表し、屈折率は測定波長850nmでの測定値である。曲率半径及び面間隔の単位は、mmである。また、図10に表3の面番号を示す。

[0073] [表3]

面	曲率半径	面間隔	硝材	屈折率
受信側コア	∞	6.5264		1
面1	∞	2.5	N-SF5	1.65669
面2 ASP	-5.2766	1		1
面3 ASP	2.1751	2.24	DZLaF52LA	1.79041
面4	∞	1.5008		1
受光素子	∞			

[0074] 表3において、面2の非球面形状（ASP）は、上式（7）で表される。式（7）に基づく面2の各非球面係数を表4に示す。表4から明らかなように、コリメートレンズ53は、図7の平凸レンズ32及び33と同じである。

[0075]

[表4]

非球面係数	面 2
R	-5.2766
k	-0.5931
A ₄	0
A ₆	-1.4237E-06
A ₈	6.0500E-07
A ₁₀	-3.9471E-08
A ₁₂	0

[0076] また、表3において、面3の非球面形状（ASP）は、上式（7）で表される。式（7）に基づく面3の各非球面係数を表5に示す。

[0077] [表5]

非球面係数	面 3
R	2.1751
k	-1.2764
A ₄	8.8692E-03
A ₆	-3.0822E-05
A ₈	-8.5691E-06
A ₁₀	-3.8098E-06
A ₁₂	1.9376E-07

[0078] 図11は、図9に示した光レセプタクル50の要部構成を示す断面図である。光レセプタクル50は、受光素子52を保持する受光素子ホルダ60と、集光レンズ54を保持する第1レンズホルダ61と、コリメートレンズ53を保持する第2レンズホルダ62と、FCレセプタクル63とを有する。受光素子ホルダ60、第1レンズホルダ61、第2レンズホルダ62及びFCレセプタクル63は、それぞれ中空状に形成される。

[0079] 受光素子52は、フランジを有するCANパッケージタイプからなり、受光面52aが露出された状態で、フランジを介して受光素子ホルダ60の一端部に装着される。第1レンズホルダ61は、集光レンズ54を保持した状態で、受光素子ホルダ60の内周面に光軸方向に位置調整可能に装着される。受光素子ホルダ60は、第1レンズホルダ61の位置調整後、コリメートレンズ53が保持された第2レンズホルダ62の一端部内周面に装着される。FCレセプタクル63は、第2レンズホルダ62の他端部外周面に光軸方

向に位置調整可能に装着される。

[0080] FCレセプタクル63には、図11に外觀図で示すように受信ファイバ40の射出端部に装着されたFCコネクタ41が着脱自在に装着される。そして、FCコネクタ41がFCレセプタクル63に装着された状態で、受信ファイバ40から信号光が射出されると、該信号光がコリメートレンズ53及び集光レンズ54を経て受光素子52の受光面52aに集光される。

[0081] 本実施の形態による光レセプタクル50によると、コリメートレンズ53の焦点距離は8.03mm、集光レンズ54の焦点距離は2.75mmとなるので、結像倍率 β_{rec} は0.34 ($=2.75\text{mm}/8.03\text{mm}$) となる。したがって、受光面52aに形成される信号光の光スポット径は $51\mu\text{m}$ ($=\text{受信ファイバ40のコア径}\Phi 2(150\mu\text{m}) \times \text{結像倍率}\beta_{rec}(0.34)$) となり、受光素子52の受光面52aの受光径 $\Phi_{pd}(=50\mu\text{m})$ にほぼ合致させることができる。

[0082] また、受光素子52に集光する信号光のNA_{pd}は、0.58 ($=\text{受信ファイバ40のNA}2(0.2) / \text{結像倍率}\beta_{rec}(0.34)$) となり、当初の設計目標であった0.65よりも小さなNA_{pd}で信号光を受光素子52に入射させることができる。なお、この場合の光レセプタクル50における軸上の透過波面収差は、 $rms\ 0.0015\lambda$ (ただし、 $\lambda=850\text{nm}$) となり、収差が十分小さく、光スポットの集光状態は良好となる。

[0083] 上述したように、本実施の形態では、光レセプタクル50において、受信ファイバ40の射出端面40exの像を受光素子52の受光面52a上に縮小して結像させる。したがって、光レセプタクル50の結像倍率 β_{rec} は、 $0.1 < \beta_{rec} < 1$ 、とするとよい。

[0084] 本実施の形態に係る光信号伝送システムによると、送信ファイバ20よりも太いコア径の受信ファイバ40を用いている。これにより、光コネクタ30において、光スポットと受光ファイバ40のコアの位置ずれの許容量を図28の構成と比較して大きくできる。したがって、光レセプタクル50においては、受光素子52に入射する信号光のNA_{pd}を一般に用いられているレ

ンズで効率的に小さくできるので、受光素子の周波数応答速度を維持しながら信号光を小径の受光面 52 上に良好な集光状態で入射させることができる。

[0085] また、光コネクタ 30 は、互いに凸面を向き合わせて配置される平凸レンズ 32 と平凸レンズ 33 との間で着脱自在に構成されるので、光コネクタ 30 が分離された状態では平凸レンズ 32 及び 33 の凸面が露出することになる。したがって、平凸レンズ 32 及び 33 の凸面に水滴等が付着しにくくなるので、信号光の伝送の障害となる汚れ等を未然に防止することが可能となる。

[0086] (第 2 実施の形態)

第 2 実施の形態に係る光信号伝送システムは、第 1 実施の形態において光コネクタ 30 を構成する平凸レンズ 32 及び 33 が球面レンズで構成される。この場合、単に図 7 に示した構成において、アプラナティックレンズ 34 を省略して、平凸レンズ 32 及び 33 を球面レンズで構成すると、設計によっては収差により受光ファイバ 40 の入射端面 40en に形成される信号光の光スポットがぼける場合がある。この収差を低減するためには、送受信の光ファイバの NA を小さくすること（例えば、NA が 0.15 以下）が必要であるが、マルチモードファイバは、光を入射しやすくする都合からコア径及び NA が大きいのが通常である。

[0087] 本実施の形態においては、光コネクタ 30 が図 12 に示すように構成される。図 12 に示す光コネクタ 30 は、送信ファイバ 20 の射出端面 20ex から射出される信号光を受信ファイバ 40 の入射端面 40en に導くレンズ 31 として、球面レンズからなる平凸レンズ 32 及び 33 の他に、送信ファイバ 20 の射出端面 20ex に接合した固浸レンズ 35 と、受信ファイバ 40 の入射端面 40en に接合した固浸レンズ 36 とを有する。すなわち、本実施の形態においては、送信ファイバ 20 に固浸レンズ 35 を、受信ファイバ 40 に固浸レンズ 36 をそれぞれ接合することにより、送信ファイバ 20 及び受信ファイバ 40 の見かけの NA を小さくしている。

- [0088] 送信ファイバ20及び受信ファイバ40は、例えばガラス製の光ファイバからなる。この場合、コアは一般に石英で形成される。したがって、図13Aに示すように、ガラス製の光ファイバ80のコア80aを伝送した光線は、光ファイバ80の端面から屈折して射出される。この場合の光ファイバ80のNAを、便宜上、 NA_0 とする。
- [0089] これに対し、図13Bに示すように、光ファイバ80の射出端面に、固浸レンズとして例えばコア80aと同じ材質の屈折率 n からなる半球レンズ81を接合すると、コア80aを伝送した光線は、屈折せずに空中に射出されて、光ファイバ80の見掛けのNAは $1/n$ と小さくなる。また、図13Cに示すように、光ファイバ80の射出端面に、固浸レンズとして例えばコア80aと同じ材質の屈折率 n からなる超半球レンズ82を接合すると、光ファイバ80の見掛けのNAは $1/n^2$ とさらに小さくなる。
- [0090] 本実施の形態では、送信ファイバ20のNA1が0.27、受信ファイバ40のNA2が0.2である。そのため、NAが大きい送信ファイバ20の射出端面20exに接合する固浸レンズ35は超半球レンズで構成され、NAが小さい受信ファイバ40の入射端面40enに接合する固浸レンズ36は半球レンズで構成される。
- [0091] したがって、固浸レンズ35及び36を例えばBK7で構成すると、BK7の測定波長850nmでの屈折率は1.509であるから、送信ファイバ20の見かけのNAは0.12となる。また、受信ファイバ40の見かけのNAは0.13となる。これにより、送信ファイバ20及び受信ファイバ40の見かけ上のNAをそれぞれ小さくできると同時に、ほぼ同じにできる。
- [0092] その結果、平凸レンズ32及び33が球面レンズで構成されても、収差を十分小さくできるので、送信ファイバ20の射出端面20exから射出される信号光を、受光ファイバ40の入射端面40enにボケのない光スポットとして集光することができる。また、送信ファイバ20及び受信ファイバ40の見かけ上のNAをほぼ同じにできることから、平凸レンズ32及び33として同じレンズを使用することができる。

[0093] 本実施の形態では、平凸レンズ32及び33として、焦点距離が8.13 mmの同じ平凸レンズが使用される。また、超半球の固浸レンズ35及び半球の固浸レンズ36は、それぞれの球面の曲率半径が同じである。固浸レンズは、ボールレンズの一部を平面に加工することで製作されることから、このように固浸レンズ35及び36の球面の曲率半径を同じとすることで、固浸レンズ35及び36の素材となるボールレンズを共通とすることができ、コストダウンが図れる利点がある。

[0094] 表6は、図12に示した光コネクタ30のレンズデータを示すものである。表6において、送信側コアは送信ファイバ20の射出端面20exを表し、受信側コアは受信ファイバ40の入射端面40enを表し、屈折率は測定波長850 nmでの測定値である。曲率半径及び面間隔の単位は、mmである。また、図14に表6の面番号を示す。

[0095] [表6]

面	曲率半径	面間隔	硝材	屈折率
送信側コア	∞	0		1
面1	∞	4.09	N-BK7	1.50984
面2	-2.461	1.0875		1
面3	∞	1.39	N-BAF10	1.65855
面4	-5.36	4		1
面5	5.36	1.39	N-BAF10	1.65855
面6	∞	4.7999		1
面7	2.461	2.461	N-BK7	1.50984
面8	∞	0		1
受信側コア	∞			

[0096] 図12に示した光コネクタ30によると、光コネクタ30にける軸上の透過波面収差は、 $\text{rms } 0.049\lambda$ （ただし、 $\lambda = 850 \text{ nm}$ ）となる。この数値は”Marechalのcriterion ($\text{rms } 0.07\lambda$ 以下を良好と見なす収差の評価基準)”を下回る。したがって、送信ファイバ20の射出端面20exから射出される信号光を、受信ファイバ40の入射端面40enに収差が十分に小さく良好な集光状態で集光することができる。

[0097] また、受信ファイバ40側の平凸レンズ33は、第1実施の形態における非球面レンズからなる平凸レンズ33とほぼ同じ焦点距離を有するが、半球

の固浸レンズ36との合成焦点距離は、 $5.3\text{ mm} (= 8.13\text{ mm} / 1.509)$ となるので、第1実施の形態の場合と比べて短くなる。したがって、図15に示すように、光コネクタ30の結合時における送信側と受信側との光軸傾き誤差 θ (°) に対して、受信ファイバ40の入射端面40enでの光スポットの位置ずれを小さくできる。

[0098] これにより、光コネクタ30において、図16に示すような光軸傾き誤差 θ (°) に対する送受信のスループット特性を得ることができる。図16から明らかなように、図12に示した光コネクタ30によると、光軸傾き誤差 0.5° 以内であれば80%以上のスループットを得ることが可能となり、第1実施の形態の場合の光コネクタ30と比較して光軸傾き誤差を1.5倍許容することができる。

[0099] 本実施の形態に係る光信号伝送システムによると、第1実施の形態の効果に加えて、光コネクタ30のレンズ構成が、研磨にて製造可能な球面レンズで構成されるので、レンズ制作に共通部品の使用が可能となり、量産性を向上することが可能となる。また、光コネクタ30における送受信側の光軸傾き誤差に対しても耐性を有し、光軸傾き誤差によるスループットの低下を低減することが可能となる。

[0100] さらに、光コネクタ30において、送信ファイバ20の射出端面20exに固浸レンズ35が接合され、受信ファイバ40の入射端面40enに固浸レンズ36が接合されることから、それぞれのファイバのコアを保護できる利点がある。このように、ファイバのコアを保護すれば、光回線が途切れるのを未然に防止することができ、劣悪な環境下でも安定して使用することが可能となる。したがって、通信機器において重要な信頼性をより向上することが可能となる。すなわち、ファイバのコア径は極めて小さいため、空気中に露出していると水蒸気の水滴やほこりが1つ付着しただけでも、信号光が遮光されて光回線が維持できなくなる。これに対し、本実施の形態におけるように、光コネクタ30において送信ファイバ20及び受信ファイバ40の端面に固浸レンズ35及び36がそれぞれ接合されれば、固浸レンズ35及び3

6がそれぞれカバーガラスの役割も果たすので、上述した効果が得られることになる。

[0101] また、一般に、光ファイバの端面には、表面反射による光損失を低減するため、真空蒸着プロセスにて反射防止膜を施すことが行われる。しかし、光ファイバはかさばるため、あまり多くの本数を真空蒸着槽にいれることができない。そのため、蒸着処理にかかる単価は、レンズの場合に比べると割高になる。その点、本実施の形態における光コネクタ30においては、送信ファイバ20及び受信ファイバ40の端面の代わりに、固浸レンズ35及び36の球面にそれぞれ反射防止膜を施せばよいので、低コストで表面反射による光損失を低減することが可能となる。

[0102] (第3実施の形態)

第1実施の形態で説明したように、光レセプタクル50において、受光素子52に入射する光線の最大入射角が大きくなりすぎないためには、受信ファイバ40のコア径 $\phi 2$ とNA2との組合せが、図6の使用可能領域内にあることが必要である。そのため、第1実施の形態では、例えば受信ファイバ40のコア径 $\phi 2$ を $150\mu\text{m}$ 、NA2を0.2としている。

[0103] 第3実施の形態に係る光信号伝送システムは、第1実施の形態の構成において、受信ファイバ40が第1実施の形態の場合よりも太く、例えばコア径 $\phi 2$ が $200\mu\text{m}$ 、NA2が0.2として構成される。それに伴って、光レセプタクル50の構成も異なる。以下、第1実施の形態と異なる点について説明する。

[0104] 受信ファイバ40のコア径 $\phi 2$ を大きくすると、光コネクタ30は、第2実施の形態で説明したように光軸傾き誤差に対してさらに耐性が増すが、受信ファイバ40としては図6の使用可能領域から外れることになる。そのため、光レセプタクル50において受光素子52に入射する信号光の最大入射角が大きくなる。具体的には、受信ファイバ40のコア径 $200\mu\text{m}$ を、受光素子52の受光径 $50\mu\text{m}$ に縮小結像するためには、縮小倍率が $1/4$ となり、集光レンズ54のNAは0.8(=受信ファイバ40のNA2(0.

2) × 4) となる。

[0105] しかし、このように大きなNAの集光レンズは一般的でなく、また、レンズ製造・組立に高精度が要求されることになる。また、この場合、受光素子52に入射する信号光の最大入射角は、 53° ($=\sin^{-1}0.8$) となり、受光面52aに反射防止膜を施しても広角の反射防止が不十分となり戻り光が生じることになる。

[0106] 例えば、受光素子52の受光面52aが一般的な半導体であるシリコン (Si: 屈折率3.6) で構成される場合、図17に破線で示すように、入射角に対する平均反射率はほぼ30%である。また、この受光面52a上にMgO (屈折率1.7) からなる単層の反射防止膜を光路長 $\lambda/4$ の厚さで施しても、図17に実線で示すように、入射角 40° 以上で反射率の上昇がみられ、入射角 53° で5%程度の反射率になる。なお、図17は、 λ が850nmの場合の反射率特性を示す。

[0107] このような事情から、第1実施の形態における光レセプタクル50の設計指針として、受光素子52に入射する信号光のNApdを0.65以下に制限したのは妥当である。なぜなら、反射率が上昇し始める入射角 40° は、NApdが0.64 ($=\sin 40^\circ$) に相当するからである。

[0108] 本実施の形態では、受信ファイバのコア径を太くしたことによって生ずる上記の課題を、光レセプタクル50において改善するものである。

[0109] 図18は、本実施の形態における光レセプタクル50の光学系の構成を示す図である。図18に示す光レセプタクル50は、レンズ51を構成するコリメートレンズ53及び集光レンズ54の他に、受光素子52に結合して配置された固浸レンズ55を備える。受光素子52は、図19に要部断面を示すように、受光面52a上に積層された単層の反射防止膜58を有する。反射防止膜58は、例えばTiO₂ (屈折率2.3) を光路長 $\lambda/4$ ($\lambda=850$ nm) の厚さで構成される。

[0110] 固浸レンズ55は、受光面52a上に接着剤59を介して接合される。接着剤59は、使用波長光に対して透明で屈折率が例えば1.56程度のもの

が使用可能である。固浸レンズ 55 は、図 4 A に示した半球レンズ 56 でもよいし、図 4 B に示した超半球レンズ 57 でもよいが、図 18 は超半球レンズの場合を例示している。

[0111] 表 7 は、図 18 に示した光レセプタクル 50 のレンズデータを示すものである。表 3 において、受信側コアは受信ファイバ 40 の射出端面 40ex を表し、受光素子は受光面 52a を表し、屈折率は測定波長 850 nm での測定値である。曲率半径及び面間隔の単位は、mm である。また、図 20 に表 7 の面番号を示す。

[0112] [表 7]

面	曲率半径	面間隔	硝材	屈折率
受信側コア	∞	6.5264		1
面 1	∞	2.5	N-SF5_G	1.65669
面 2 ASP	-5.2766	1		1
面 3 ASP	2.8828	3.64	ECO 550	1.59326
面 4	-19.136	1.1295		1
面 5	0.5	0.8321	N-BK7_G	1.50984
受光素子	∞	0		

[0113] 表 7 において、面 2 及び面 3 の非球面形状 (ASP) は、上式 (7) で表される。式 (7) に基づく面 2 の各非球面係数を表 8 に示し、面 3 の各非球面係数を表 9 に示す。

[0114] [表 8]

非球面係数	面 2
R	-5.2766
k	-0.5931
A ₄	0
A ₆	-1.4237E-06
A ₈	6.0500E-07
A ₁₀	-3.9471E-08
A ₁₂	0

[0115]

[表9]

非球面係数	面 3
R	2.8828
k	-1.0033
A ₄	2.1824E-03
A ₆	2.3731E-05
A ₈	-4.5110E-06
A ₁₀	0
A ₁₂	0

[0116] 図21は、図18に示した光レセプタクル50の要部の構成を示す断面図である。図21に示す光レセプタクル50は、図11に示した光レセプタクル50において受光素子52の構成が異なるものである。以下、異なる点について説明する。すなわち、受光素子52は、面実装基板タイプのもので、例えばフレキシブル基板70上にバンプ71を介してフリップチップ実装されている。受光素子52は、受光面52a上に反射防止膜58及び接着剤59を介して固浸レンズ55が接合された状態で、受光素子ホルダ60内に位置するように、フレキシブル基板70を介して受光素子ホルダ60の一端部に装着される。

[0117] 本実施の形態による光レセプタクル50によると、超半球の固浸レンズ55は、材質の屈折率を n とすると、集光レンズ54のNAを n^2 倍に拡大する作用がある。本実施の形態においては、表7に示したように、固浸レンズ55の硝材がBK7で、屈折率が1.509であるから、NAの拡大率は2.27倍（ $=1.509^2$ ）である。したがって、集光レンズ54のNAは、0.35（ $=0.8/2.27$ ）でよいことになる。このようなNAのレンズは一般的であり、コリメートレンズ53とともに市販の非球面レンズで構成することが可能となる。

[0118] また、光レセプタクル50の結像倍率 β_{rec} は、0.245となるので、受信ファイバ40のコア径 $200\mu\text{m}$ から射出される信号光を、 $49\mu\text{m}$ （ $=200\mu\text{m} \times 0.245$ ）の光スポット径で受光径 $50\mu\text{m}$ の受光面52aに集光させることが可能となる。この場合の光レセプタクル50における光学系の軸上透過波面収差は、 $\text{rms } 0.00058\lambda$ （ただし、 $\lambda = 850\text{nm}$ ）

m) となり、収差が十分小さく、光スポットの集光状態は良好となる。

[0119] また、受光面 52a に入射する信号光の入射角度は、固浸レンズ 55 の材質の屈折率分だけ入射角が軽減されることから、軸上で最大 3.3° ($\div \sin n^{-1}(0.8/1.509)$) となる。そして、固浸レンズ 55 と受光面 52a との間に介在している接着剤 59 及び反射防止膜 58 の薄膜は、固浸レンズ 55 の媒質の屈折率と受光面 52 を形成する媒質の屈折率との中間の屈折率を有するので、媒質の屈折率差が小さい。したがって、入射角が軽減されることと相まって、反射防止膜 58 での反射率は、図 22 に示すように $0^\circ \sim 3.3^\circ$ の全入射角度に亘って 0.5% 以下と極めて小さくなる。その結果、光レセプタクル 50 での戻り光を極めて少なくすることが可能となる。

[0120] さらに、本実施の形態において、光レセプタクル 50 は、受光素子 52 に固浸レンズ 55 を結合することにより、受光素子 52 に NA が 0.8 という高 NA で信号光が入射しているにもかかわらず、受光素子 52 の位置変化に対して、光スポットの受光面 52a に対する変位を小さくできる。例えば、偏心に対しては、光スポットの位置ずれ量は、固浸レンズ 55 の材質の屈折率を n とすると、固浸レンズ 55 がいない場合に比べて $1/n^2 \div 1/2$ でしかない。また、集光レンズ 54 の焦点深度は、 NA^2 に反比例するので、固浸レンズ 55 がいない場合に比べて $n^4 \div 5$ 倍に拡大される。したがって、デフォーカスによる光スポットのボケも少なくなるので、光レセプタクル 50 の組立時の光学調整作業が容易になるとともに、組立後の経時変化の影響も少なくできる。

[0121] このようにしてコア径 $200\mu\text{m}$ の太い受信ファイバ 40 を使えるようにした結果、光コネクタ 30 において、図 23 に示すような光軸傾き誤差 θ ($^\circ$) に対する送受信のスループット特性を得ることができる。図 23 から明らかのように、光軸傾き誤差 0.8° 以内であれば 80% 以上のスループットを得ることが可能となり、第 2 実施の形態の場合よりも光軸傾き誤差の耐性を向上できる。

[0122] なお、図 18 では、固浸レンズ 55 として超半球レンズを例示したが、半

球レンズであってもよい。また、固浸レンズ 55 は、ガラスに限らず、例えば樹脂であってもよい。この場合は、接着剤を介することなくポッティング等によって受光素子 52 を樹脂に直接埋め込んでもよい。ここで、固浸レンズ 55 は、屈折率が例えば 1.45 ~ 2 の材質で構成される。したがって、固浸レンズ 55 は、受光素子 52 のエタンデュを効果的に拡大するためには、凸のレンズ面の曲率半径を R、当該凸のレンズ面の面頂から受光素子 52 の受光面 52a までの距離を D とするとき、 $0.4 < R/D < 0.9$ 、を満たすとよい。

[0123] また、図 21 に示したように、受光素子 52 は、面実装基板タイプのものをフレキシブル基板 70 上にフリップチップ実装している。したがって、例えば固浸レンズ 55 を受光素子 52 の受光面 52a 上に位置合わせして接合する際に、ワイヤ等の障害物がないので、組立作業が容易になる。

[0124] 本実施の形態に係る光信号伝送システムによると、コア径の大きい受信ファイバ 40 を使用できるので、光コネクタ 30 において、受信ファイバ 40 のコアと該コアに入射する光スポットとの位置ずれをより多く許容できる。その結果、受光素子 52 の周波数応答速度を維持しながら光回線を安定して維持することができ、システムの信頼性を向上することが可能となる。

[0125] (第 4 実施の形態)

図 24 は、第 4 実施の形態に係る光信号伝送システムの要部の構成を示す図である。図 24 に示す光信号伝送システムは、内視鏡システムに適用したものである。内視鏡システム 91 は、被検体内に導入され、被検体の体内を撮像して被検体内の画像信号を生成する内視鏡 92 と、内視鏡 92 が撮像した画像信号に所定の画像処理を施すとともに内視鏡システム 91 の各部を制御する情報処理装置 93 と、内視鏡 92 の照明光を生成する光源装置 94 と、情報処理装置 93 による画像処理後の画像信号を画像表示する表示装置 95 と、を備える。

[0126] 内視鏡 92 は、被検体内に挿入される挿入部 96 と、挿入部 96 の基端部側であって術者が把持して操作する操作部 97 と、操作部 97 より延伸する

可撓性のユニバーサルコード 98 と、を備える。内視鏡 92 には、挿入部 96 及びユニバーサルコード 98 の内部に延在して照明ファイバ、電気ケーブル及び送信ファイバ等が配置される。送信ファイバは、上記実施の形態で説明した送信ファイバ 20 と同様に構成される。

[0127] 挿入部 96 は、先端部 96a と、複数の湾曲駒によって構成された湾曲自在な湾曲部 96b と、湾曲部 96b の基端部側に設けられた可撓性を有する可撓管部 96c と、を有する。先端部 96a には、照明レンズを介して被検体内を照明する照明部、被検体内を撮像する観察部、処理具用チャンネルに連通する開口部 96d 及び送気・送水用ノズルが設けられている。

[0128] 先端部 96a の観察部には、集光用の光学系の結像位置に設けられ、光学系が結像した被検体内の像を光電変換する等の所定の信号処理を施す撮像素子と、撮像素子から出力される画像情報を含む電気信号を光信号に変換する発光素子を有する送信モジュールと、が配置される。送信モジュールは、発光素子から射出される信号光を上記の送信ファイバ 20 の入射端面に入射させる。

[0129] 操作部 97 は、湾曲部 96b を上下方向及び左右方向に湾曲させる湾曲ノブ 97a と、被検体の体腔内に生体鉗子、レーザメス等の処置具が挿入される処置具挿入部 97b と、情報処理装置 93、光源装置 94、送気装置、送水装置及び送ガス装置等の周辺機器の操作を行う複数のスイッチ部 97c と、を有する。処置具挿入部 97b から挿入された処置具は、内部に設けられた処置具用チャンネルを経て挿入部 96 先端の開口部 96d から表出される。

[0130] ユニバーサルコード 98 は、基端部が第 1 のコネクタ 98a と照明コネクタ 98b とに分岐されている。第 1 のコネクタ 98a は、情報処理装置 93 の第 2 のコネクタ 98c に対して着脱自在である。照明コネクタ 98b は、光源装置 94 に対して着脱自在である。第 1 のコネクタ 98a 及び第 2 のコネクタ 98c には光コネクタが内蔵される。光コネクタは、上記実施の形態で説明した光コネクタ 30 と同様に構成されて、第 1 のコネクタ 98a 及び

第2のコネクタ98cによって着脱自在に構成される。したがって、送信ファイバは、内視鏡92の先端部96aから第1のコネクタ98aまで挿入部96及びユニバーサルコード98の内部に延在して配設される。

[0131] 情報処理装置93は、第2のコネクタ98cに内蔵された光コネクタを経て入射される信号光を伝送する受信ファイバと、受信ファイバを経て伝送される信号光を光電変換する受光素子を含む光レセプタクルとを有し、受光素子の出力信号に対して所定の画像処理を施す。受信ファイバ及び光レセプタクルは、それぞれ上記実施の形態で説明した受信ファイバ40及び光レセプタクル50と同様に構成される。情報処理装置93は、ユニバーサルコード98を介して内視鏡92の操作部97におけるスイッチ部97cから送信された各種の指示信号に基づいて、内視鏡システム91の各部を制御する。

[0132] 光源装置94は、光を発する光源や、集光レンズ等を用いて構成される。光源装置94は、情報処理装置93の制御のもと、光源から光を発する。光源から発した光は、照明コネクタ98b及び照明ファイバを経て内視鏡92の先端部96aの照明部から射出されて被検体内を照明する。

[0133] 表示装置95は、液晶又は有機EL (Electro Luminescence) を用いた表示ディスプレイ等を用いて構成される。表示装置95は、映像ケーブル95aを介して情報処理装置93によって所定の画像処理が施された画像を含む各種情報を表示する。これにより、術者は、表示装置95が表示する画像（体内画像）を見ながら内視鏡92を操作することにより、被検体内の所望の位置の観察及び性状を判定することができる。

[0134] 本実施の形態に係る内視鏡システム91によると、上記実施の形態と同様の効果が得られる。特に、本実施の形態によると、内視鏡92の挿入部96内に配設される送信ファイバのコア径を小さくできることから、挿入部96の細径化が可能となる。したがって、挿入部96を体腔内に挿入する場合、被検者の苦痛を軽減することができる。また、受信ファイバとして、送信ファイバよりもコア径の大きいものを用いることができることから、光コネクタを構成する第1のコネクタ98aと第2のコネクタ98cとに多少の嵌合

ずれが生じたり、光コネクタを構成する光学素子に多少の汚れやゴミ等が附着したりしても、信号光を殆ど減衰させることなく伝送することが可能となる。したがって、内視鏡システム 91 の信頼性を向上することが可能となる。

[0135] なお、本発明は、上記実施の形態にのみ限定されるものではなく、幾多の変形又は変更が可能である。例えば、第 1 実施の形態において、光コネクタ 30 は、図 7 に示した構成において、送信ファイバ 20 の射出端面 20ex 及び受信ファイバ 40 の入射端面 40en に、図 25 に示すように、使用波長に対して透明なカバーガラス 37 及び 38 を接合して、それぞれの端面を保護してもよい。このようにすれば、第 2 実施の形態で説明したと同様の効果が得られる。また、光コネクタ 30 は、図 25 に示す構成からアプラナティックレンズ 34 を省略して、図 26 に示すように構成してもよい。

[0136] さらに、第 2 実施の形態において、光コネクタ 30 は、図 12 に示した構成において、送信ファイバ 20 の射出端面 20ex 及び受信ファイバ 40 の入射端面 40en から固浸レンズ 35 及び 36 をそれぞれ離間させて、射出端面 20ex 及び入射端面 40en に、図 27 に示すように、カバーガラス 37 及び 38 を接合してそれぞれの端面を保護してもよい。

[0137] また、本発明に係る光信号伝送システムは、上記実施の形態に示した光信号伝送システムや内視鏡システムに限らず、各種信号を信号処理部へ伝送する伝送システムに広く適用可能である。同様に、本発明に係る光レセプタクルは、上記実施の形態に示した光信号伝送システムや内視鏡システムに限らず、各種信号の受光装置として広く利用可能である。

[0138] また、送信ファイバ及び受信ファイバは、シングルコアファイバに限らず、マルチコアファイバであってもよい。

また、光コネクタは、石英やガラスなどの無機材料のレンズを含めることで、温度や湿度の変化による光学特性の変化を小さくしてもよい。

同様に、光レセプタクルも、無機材料のレンズを含めることで、温度や湿度の変化による光学特性の変化を小さくしてもよい。

また、光コネクタに用いるレンズや光レセプタクルに用いるレンズは、屈折率が1.5以上のレンズを含めることで、球面収差の低減に有利としてもよい。

また、以下の条件式のいずれか1つもしくは複数を満たすことで本発明の効果をより確実にしてもよい。

$$\Phi_{2en} / \Phi_{1ex} > 2$$

$$\Phi_{pd} / \Phi_{2en} < 0.5$$

$$NA_{1ex} / NA_{2en} > 1.2$$

$$(\Phi_{2en} \times NA_{2en}) / (\Phi_{1ex} \times NA_{1ex}) > 1.5$$

符号の説明

- [0139] 10 レーザダイオード
20 送信ファイバ
20ex 射出端面
30 光コネクタ
31 レンズ
32、33 平凸レンズ
34 アプラナティックレンズ
35、36 固浸レンズ
37、38 カバーガラス
40 受信ファイバ
40en 入射端面
40ex 射出端面
50 光レセプタクル
51 レンズ
52 受光素子
52a 受光面
55 固浸レンズ
56 半球レンズ

5 7 超半球レンズ

7 0 フレキシブル基板

請求の範囲

[請求項1] 信号光を伝送し、前記信号光を射出する射出端面を有する送信ファイバと、

前記送信ファイバの前記射出端面から射出される前記信号光を入射する入射端面と前記信号光を射出する射出端面とを有し、前記信号光を伝送する受信ファイバと、

前記送信ファイバと前記受信ファイバとの間に配置され、前記送信ファイバの前記射出端面から射出される前記信号光を前記受信ファイバの前記入射端面に導くレンズを有する光コネクタと、

前記受信ファイバを経て伝送される前記信号光が入射する受光面を有し、入射した前記信号光を光電変換する受光素子と、前記受信ファイバを経て伝送される前記信号光を前記受光面に導くレンズとを有する光レセプタクルと、

を備える光信号伝送システムにおいて、

前記送信ファイバの前記射出端面でのコア径を $\Phi 1_{ex}$ 、

前記受信ファイバの前記入射端面でのコア径を $\Phi 2_{en}$ 、

前記受光素子の前記受光面の径を Φpd 、

とするとき、

$$\Phi 1_{ex} < \Phi 2_{en}$$

$$\Phi pd < \Phi 2_{en}$$

を満足し、

前記光コネクタにおける、

前記送信ファイバから射出される前記信号光のNAを $NA 1_{ex}$ 、

前記受信ファイバに入射する前記信号光のNAを $NA 2_{en}$ 、

とするとき、

$$NA 1_{ex} > NA 2_{en}$$

を満足する、ことを特徴とする光信号伝送システム。

[請求項2] 信号光を伝送し、前記信号光を射出する射出端面を有する送信ファ

イバと、

前記送信ファイバの前記射出端面から射出される前記信号光を入射する入射端面と前記信号光を射出する射出端面とを有し、前記信号光を伝送する受信ファイバと、

前記送信ファイバと前記受信ファイバとの間に配置され、前記送信ファイバの前記射出端面から射出される前記信号光を前記受信ファイバの前記入射端面に導くレンズを有する光コネクタと、

前記受信ファイバを経て伝送される前記信号光が入射する受光面を有し、入射した前記信号光を光電変換する受光素子と、前記受信ファイバを経て伝送される前記信号光を前記受光面に導くレンズとを有する光レセプタクルと、

を備える光信号伝送システムにおいて、

前記送信ファイバの前記射出端面でのコア径を $\Phi 1_{ex}$ 、

前記受信ファイバの前記入射端面でのコア径を $\Phi 2_{en}$ 、

前記受光素子の前記受光面の径を Φ_{pd} 、

とするとき、

$$\Phi 1_{ex} < \Phi 2_{en}$$

$$\Phi_{pd} < \Phi 2_{en}$$

を満足し、

前記光レセプタクルは、前記受光素子に結合された固浸レンズをさらに有する、

ことを特徴とする光信号伝送システム。

[請求項3]

請求項2に記載の光信号伝送システムにおいて、

前記光レセプタクルは、前記固浸レンズと前記受光面との間に、前記固浸レンズの媒質の屈折率と前記受光面を形成する媒質の屈折率との中間の屈折率を有する薄膜が介在されている、

ことを特徴とする光信号伝送システム。

[請求項4]

請求項2又は3に記載の光信号伝送システムにおいて、

前記固浸レンズは、前記受信ファイバ側に凸のレンズ面を有し、
 前記凸のレンズ面の曲率半径を R 、
 前記凸のレンズ面の面頂から前記受光面までの距離を D 、
 とするとき、

$$0.4 < R/D < 0.9$$

を満足する、ことを特徴とする光信号伝送システム。

[請求項5]

請求項1～4のいずれか一項に記載の光信号伝送システムにおいて

、

前記送信ファイバ及び前記受信ファイバは、

前記光コネクタにおける、

前記送信ファイバ側の NA を NA_{1ex} 、

前記受信ファイバに入射する前記信号光の NA を NA_{2en} 、

とするとき、

$$\Phi_{1ex} \times NA_{1ex} < \Phi_{2en} \times NA_{2en}$$

を満足し、

前記光レセプタクルは、

前記受信ファイバ側の NA を NA_{2ex} 、

前記受光素子に入射する前記信号光の NA を NA_{pd} 、

とするとき、

前記光レセプタクル内の前記レンズにて、

$$NA_{2ex} < NA_{pd}$$

とし、

前記受信ファイバの前記射出端面のコア径を Φ_{2ex} 、

とするとき、

前記受信ファイバ及び前記受光素子は、

$$\Phi_{2ex} \times NA_{2ex} < \Phi_{pd} \times NA_{pd}$$

を満足する、ことを特徴とする光信号伝送システム。

[請求項6]

請求項1～5のいずれか一項に記載の光信号伝送システムにおいて

、
前記受信ファイバは、ステップインデックス型からなる、
ことを特徴とする光信号伝送システム。

[請求項7] 請求項1～6のいずれか一項に記載の光信号伝送システムにおいて

、
前記光コネクタの結像倍率を β_{con} とするとき、
 $1.1 < |\beta_{con}| < 3.9$
を満足する、ことを特徴とする光信号伝送システム。

[請求項8] 請求項7に記載の光信号伝送システムにおいて、

前記光コネクタは、前記レンズとして複数のレンズを含み、該複数の
レンズのいずれかの隣接するレンズ間で着脱自在に結合される、
ことを特徴とする光信号伝送システム。

[請求項9] 請求項8に記載の光信号伝送システムにおいて、

前記光コネクタは、前記複数のレンズとして互いに凸面を向き合
わせて配置される2つの平凸レンズを含み、該2つの平凸レンズ間で着
脱自在に結合される、
ことを特徴とする光信号伝送システム。

[請求項10] 請求項9に記載の光信号伝送システムにおいて、

前記光コネクタは、前記2つの平凸レンズの互いの凸面が等しい曲
率半径を有し、さらに、一方の前記平凸レンズと前記送信ファイバの
前記射出端面との間に配置された超半球レンズと、他方の前記平凸レ
ンズと前記受信ファイバの前記入射端面との間に配置され、前記超半
球レンズと同じ曲率半径を有する半球レンズとを有する、
ことを特徴とする光信号伝送システム。

[請求項11] 請求項1～10のいずれか一項に記載の光信号伝送システムにおい
て、

前記光レセプタクルの結像倍率を β_{rec} とするとき、
 $0.1 < \beta_{rec} < 1$

を満足する、ことを特徴とする光信号伝送システム。

[請求項12]

光ファイバから射出される光を集光するレンズと、
前記レンズにより集光される前記光を受光する受光素子と、
前記受光素子の受光面に結合して配置された固浸レンズと、
を備える光レセプタクル。

[請求項13]

請求項12に記載の光レセプタクルにおいて、
前記受光素子は、フリップチップ実装されており、
前記固浸レンズは、前記受光素子の前記受光面側に接着固定されて
いる、
ことを特徴とする光レセプタクル。

補正された請求の範囲
[2015年9月30日 (30.09.2015) 国際事務局受理]

[請求項1] (補正後) 信号光を伝送し、前記信号光を射出する射出端面を有する送信ファイバと、

前記送信ファイバの前記射出端面から射出される前記信号光を入射する入射端面と前記信号光を射出する射出端面とを有し、前記信号光を伝送する受信ファイバと、

前記送信ファイバと前記受信ファイバとの間に配置され、前記送信ファイバの前記射出端面から射出される前記信号光を前記受信ファイバの前記入射端面に導くレンズを有する光コネクタと、

前記受信ファイバを経て伝送される前記信号光が入射する受光面を有し、入射した前記信号光を光電変換する受光素子と、前記受信ファイバを経て伝送される前記信号光を前記受光面に導くレンズとを有する光レセプタクルと、

を備える光信号伝送システムにおいて、

前記送信ファイバの前記射出端面でのコア径を $\Phi 1_{ex}$ 、

前記受信ファイバの前記入射端面でのコア径を $\Phi 2_{en}$ 、

前記受光素子の前記受光面の径を Φpd 、

とするとき、

$$\Phi 1_{ex} < \Phi 2_{en}$$

$$\Phi pd < \Phi 2_{en}$$

を満足し、

前記光コネクタにおける、

前記送信ファイバから射出される前記信号光のNAをNA 1_{ex}、

前記受信ファイバに入射する前記信号光のNAをNA 2_{en}、

とするとき、

$$NA 1_{ex} > NA 2_{en}$$

$$\Phi 1_{ex} \times NA 1_{ex} < \Phi 2_{en} \times NA 2_{en}$$

を満足し、

前記光レセプタクルは、

前記受信ファイバ側のNAを NA_{2ex} 、

前記受光素子に入射する前記信号光のNAを NA_{pd} 、

とするとき、

前記光レセプタクル内の前記レンズにて、

$NA_{2ex} < NA_{pd}$

とし、

前記受信ファイバの前記射出端面のコア径を Φ_{2ex} 、

とするとき、

前記受信ファイバ及び前記受光素子は、

$\Phi_{2ex} \times NA_{2ex} < \Phi_{pd} \times NA_{pd}$

を満足する、ことを特徴とする光信号伝送システム。

[請求項2] (補正後) 信号光を伝送し、前記信号光を射出する射出端面を有する送信ファイバと、

前記送信ファイバの前記射出端面から射出される前記信号光を入射する入射端面と前記信号光を射出する射出端面とを有し、前記信号光を伝送する受信ファイバと、

前記送信ファイバと前記受信ファイバとの間に配置され、前記送信ファイバの前記射出端面から射出される前記信号光を前記受信ファイバの前記入射端面に導くレンズを有する光コネクタと、

前記受信ファイバを経て伝送される前記信号光が入射する受光面を有し、入射した前記信号光を光電変換する受光素子と、前記受信ファイバを経て伝送される前記信号光を前記受光面に導くレンズとを有する光レセプタクルと、

を備える光信号伝送システムにおいて、

前記送信ファイバの前記射出端面でのコア径を Φ_{1ex} 、

前記受信ファイバの前記入射端面でのコア径を Φ_{2en} 、

前記受光素子の前記受光面の径を Φ_{pd} 、
とするとき、
 $\Phi_{1ex} < \Phi_{2en}$
 $\Phi_{pd} < \Phi_{2en}$
を満足し、
前記光コネクタにおける、
前記送信ファイバから射出される前記信号光のNAをNA_{1ex}、
前記受信ファイバに入射する前記信号光のNAをNA_{2en}、
とするとき、
 $NA_{1ex} > NA_{2en}$
 $\Phi_{1ex} \times NA_{1ex} < \Phi_{2en} \times NA_{2en}$
を満足し、
前記光レセプタクルは、
前記受信ファイバ側のNAをNA_{2ex}、
前記受光素子に入射する前記信号光のNAをNA_{pd}、
とするとき、
前記光レセプタクル内の前記レンズにて、
 $NA_{2ex} < NA_{pd}$
とし、
前記受信ファイバの前記射出端面のコア径を Φ_{2ex} 、
とするとき、
前記受信ファイバ及び前記受光素子は、
 $\Phi_{2ex} \times NA_{2ex} < \Phi_{pd} \times NA_{pd}$
を満足し、
前記光レセプタクルは、前記受光素子に結合された固浸レンズをさ
らに有する、
ことを特徴とする光信号伝送システム。

[請求項3] 請求項2に記載の光信号伝送システムにおいて、

前記光レセプタクルは、前記固浸レンズと前記受光面との間に、前記固浸レンズの媒質の屈折率と前記受光面を形成する媒質の屈折率との中間の屈折率を有する薄膜が介在されている、

ことを特徴とする光信号伝送システム。

- [請求項4] 請求項2又は3に記載の光信号伝送システムにおいて、
前記固浸レンズは、前記受信ファイバ側に凸のレンズ面を有し、
前記凸のレンズ面の曲率半径を R 、
前記凸のレンズ面の面頂から前記受光面までの距離を D 、
とするとき、

$$0.4 < R/D < 0.9$$

を満足する、ことを特徴とする光信号伝送システム。

- [請求項5] (削除)

- [請求項6] (補正後) 請求項1～4のいずれか一項に記載の光信号伝送システムにおいて、

前記受信ファイバは、ステップインデックス型からなる、

ことを特徴とする光信号伝送システム。

- [請求項7] (補正後) 請求項1～4、6のいずれか一項に記載の光信号伝送システムにおいて、

前記光コネクタの結像倍率を β_{con} とするとき、

$$1.1 < |\beta_{con}| < 3.9$$

を満足する、ことを特徴とする光信号伝送システム。

- [請求項8] 請求項7に記載の光信号伝送システムにおいて、
前記光コネクタは、前記レンズとして複数のレンズを含み、該複数のレンズのいずれかの隣接するレンズ間で着脱自在に結合される、
ことを特徴とする光信号伝送システム。

- [請求項9] 請求項8に記載の光信号伝送システムにおいて、
前記光コネクタは、前記複数のレンズとして互いに凸面を向き合わせて配置される2つの平凸レンズを含み、該2つの平凸レンズ間で着

脱自在に結合される、

ことを特徴とする光信号伝送システム。

[請求項10] 請求項9に記載の光信号伝送システムにおいて、

前記光コネクタは、前記2つの平凸レンズの互いの凸面が等しい曲率半径を有し、さらに、一方の前記平凸レンズと前記送信ファイバの前記射出端面との間に配置された超半球レンズと、他方の前記平凸レンズと前記受信ファイバの前記入射端面との間に配置され、前記超半球レンズと同じ曲率半径を有する半球レンズとを有する、

ことを特徴とする光信号伝送システム。

[請求項11] (補正後) 請求項1～4、6～10のいずれか一項に記載の光信号伝送システムにおいて、

前記光レセプタクルの結像倍率を β_{rec} とするととき、

$$0.1 < \beta_{\text{rec}} < 1$$

を満足する、ことを特徴とする光信号伝送システム。

[請求項12] 光ファイバから射出される光を集光するレンズと、

前記レンズにより集光される前記光を受光する受光素子と、

前記受光素子の受光面に結合して配置された固浸レンズと、

を備える光レセプタクル。

[請求項13] 請求項12に記載の光レセプタクルにおいて、

前記受光素子は、フリップチップ実装されており、

前記固浸レンズは、前記受光素子の前記受光面側に接着固定されている、

ことを特徴とする光レセプタクル。

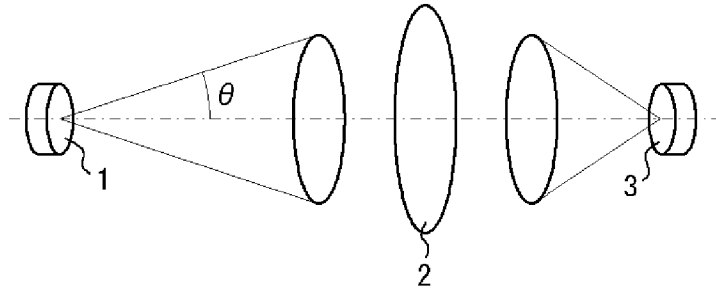
[請求項14] (追加) 請求項12又は13に記載の光レセプタクルにおいて、

前記固浸レンズと前記受光面との間に、前記固浸レンズの媒質の屈折率と前記受光面を形成する媒質の屈折率との中間の屈折率を有する薄膜が介在されている、

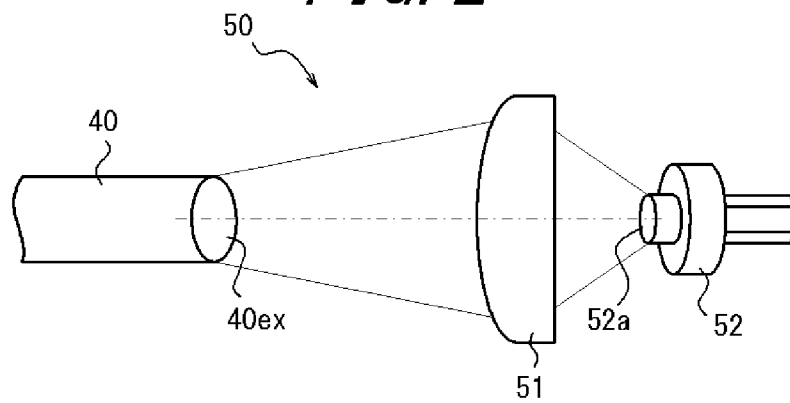
ことを特徴とする光レセプタクル。

- [請求項15] (追加) 請求項14に記載の光レセプタクルにおいて、
前記薄膜が、単層の反射防止膜である
ことを特徴とする光レセプタクル。
- [請求項16] (追加) 請求項12～15のいずれか一項に記載の光レセプタクル
において、
前記受光素子に入射する前記信号光のNAをNApd、
とするとき、
NApdが0.65以下である
ことを特徴とする光レセプタクル。
- [請求項17] (追加) 請求項12～16のいずれか一項に記載の光レセプタクル
において、
前記固浸レンズは、前記光ファイバ側に凸のレンズ面を有し、
前記凸のレンズ面の曲率半径をR、
前記凸のレンズ面の面頂から前記受光面までの距離をD、
とするとき、
 $0.4 < R/D < 0.9$
を満足する、ことを特徴とする光レセプタクル。

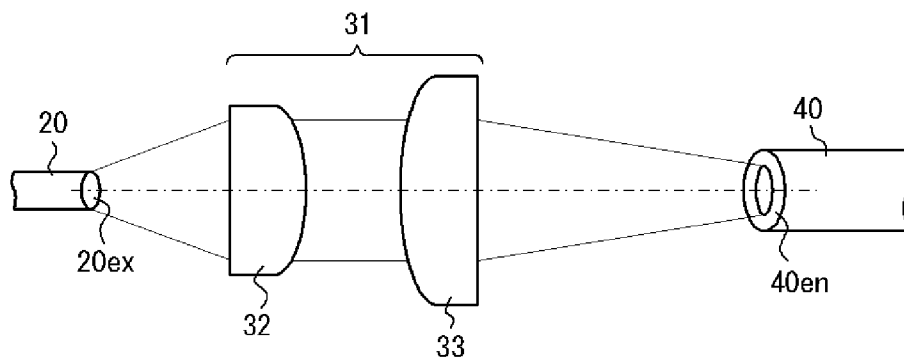
[図1]

FIG. 1

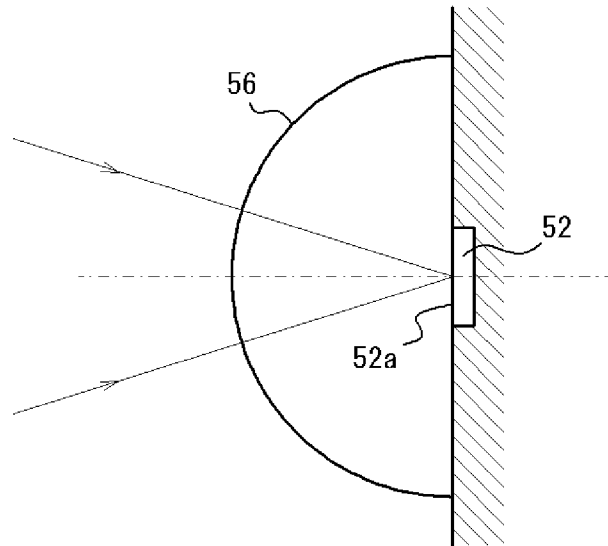
[図2]

FIG. 2

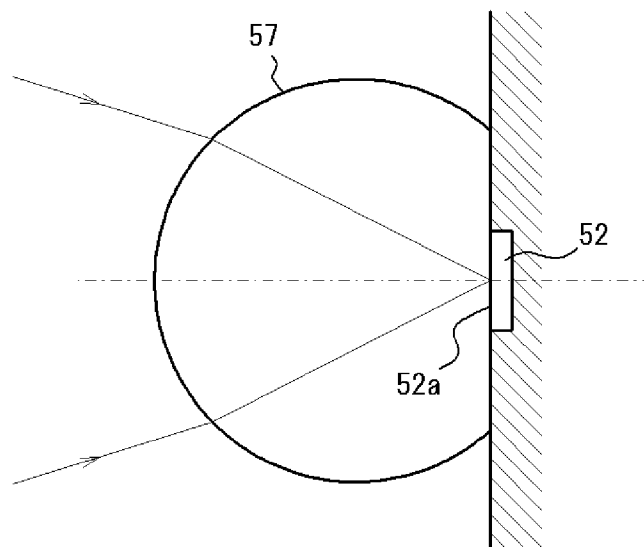
[図3]

FIG. 3

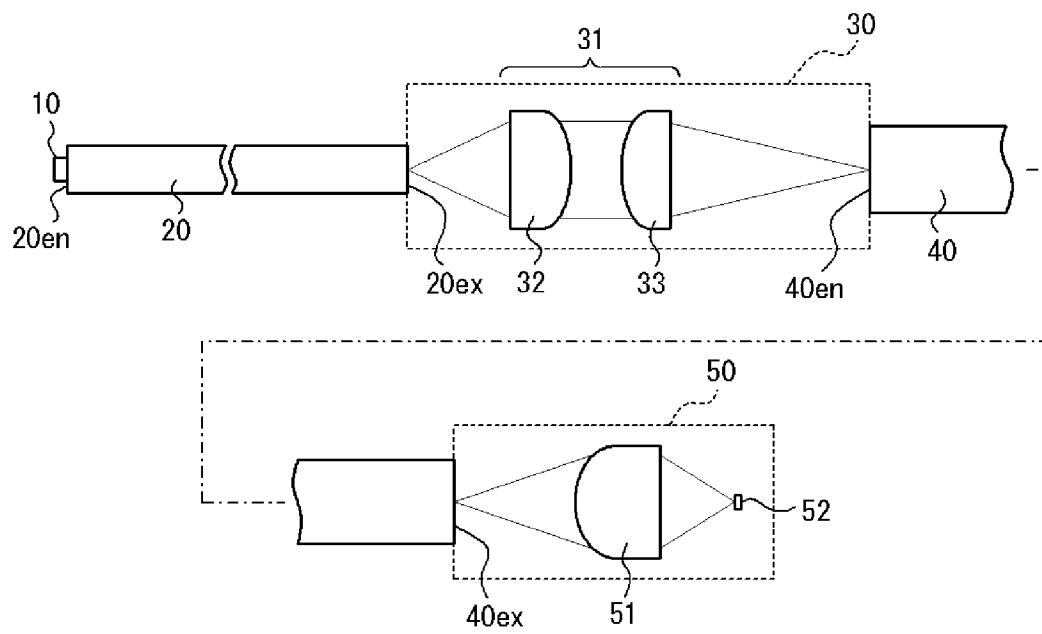
[図4A]

FIG. 4A

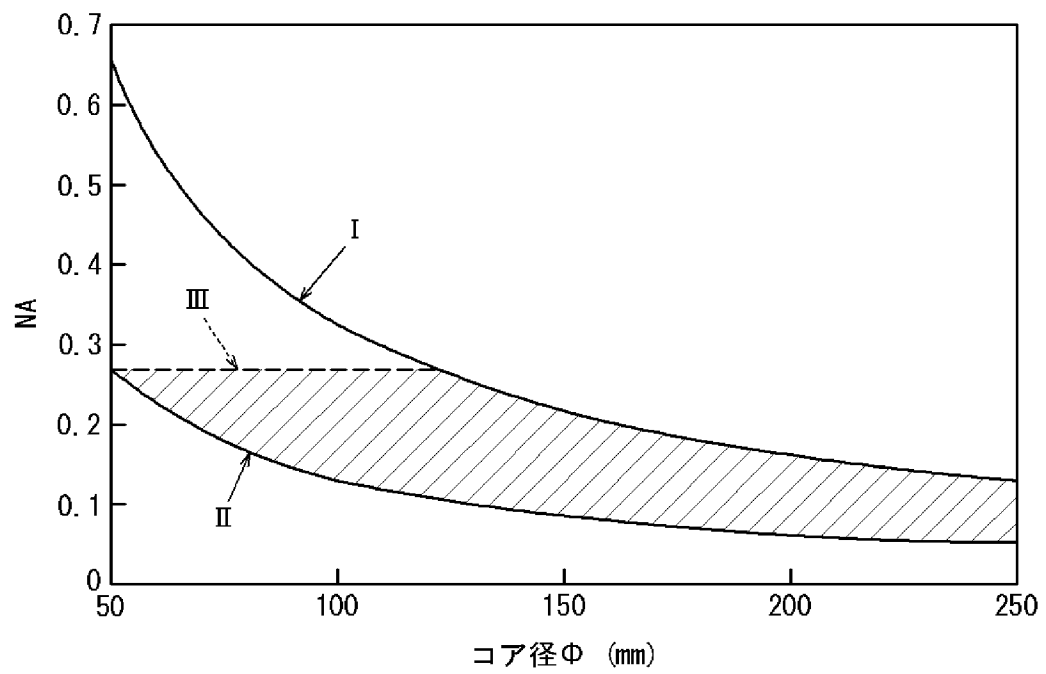
[図4B]

FIG. 4B

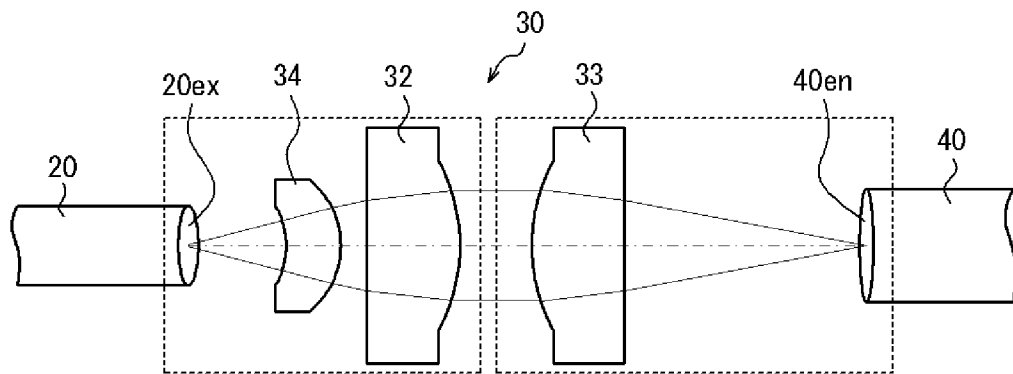
[図5]

FIG. 5

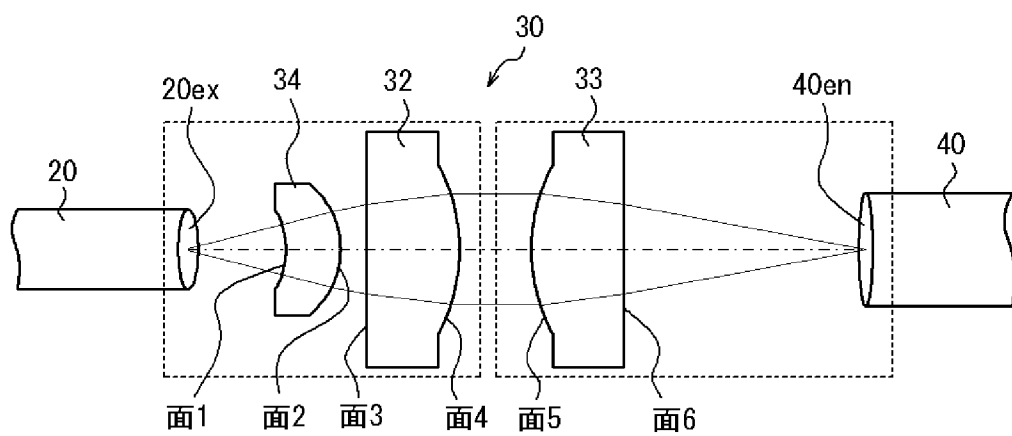
[図6]

FIG. 6

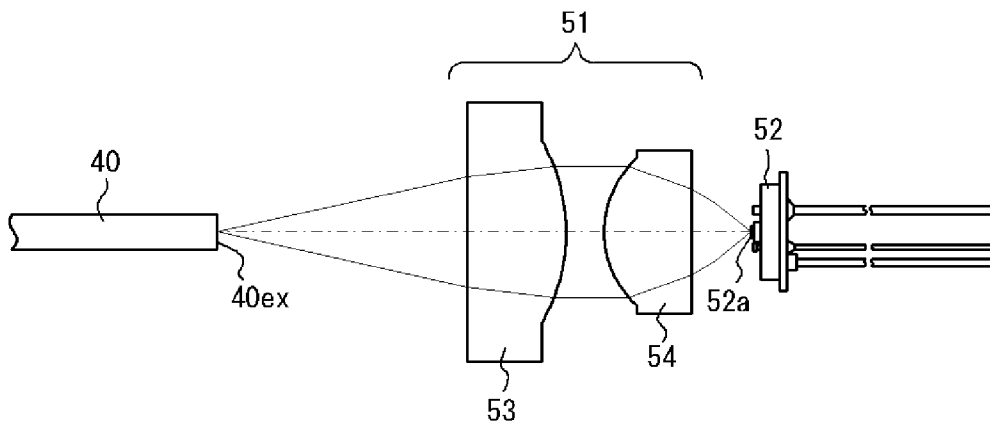
[図7]

FIG. 7

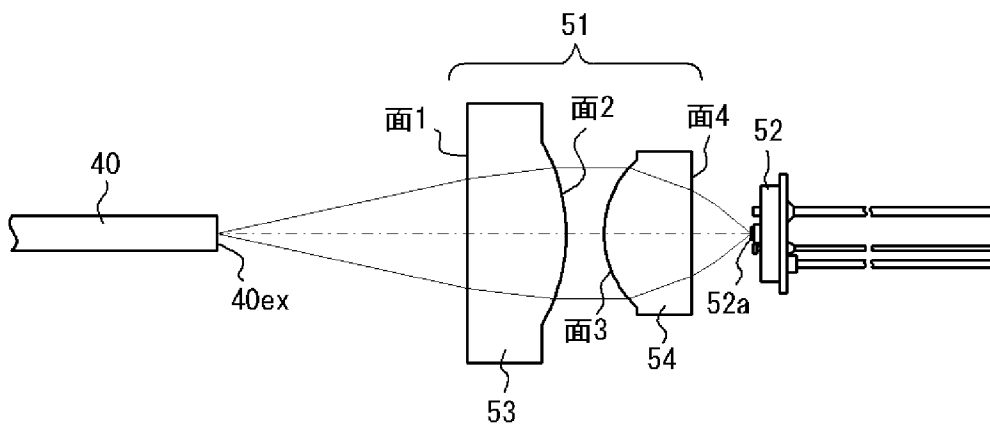
[図8]

FIG. 8

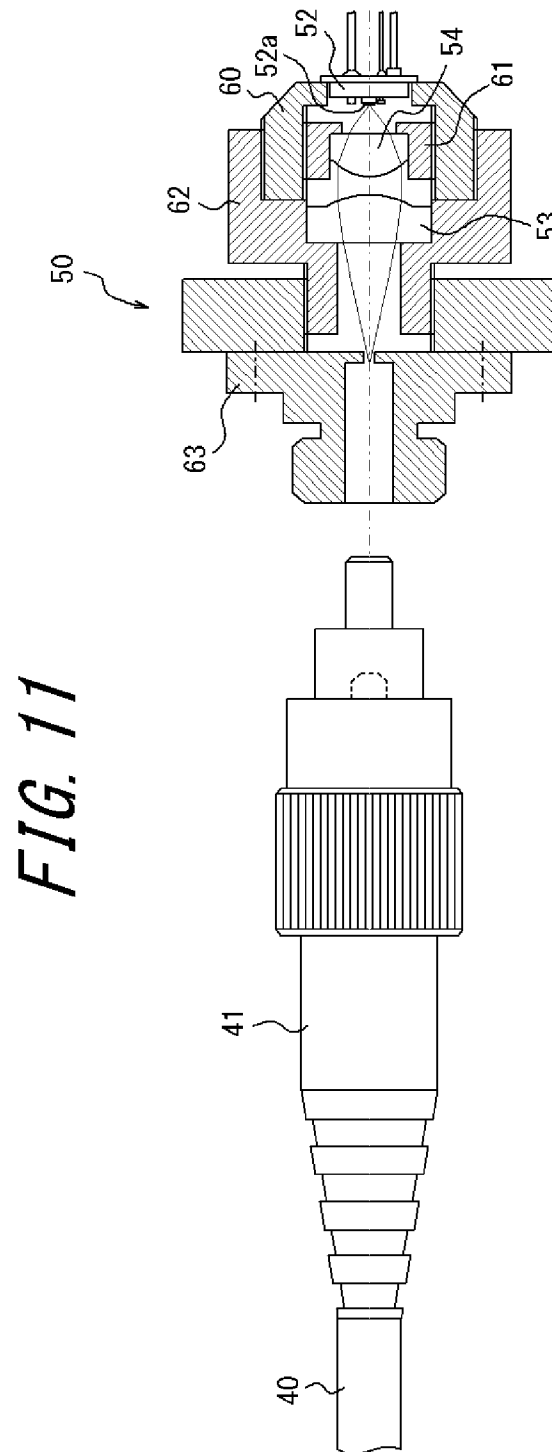
[図9]

FIG. 9

[図10]

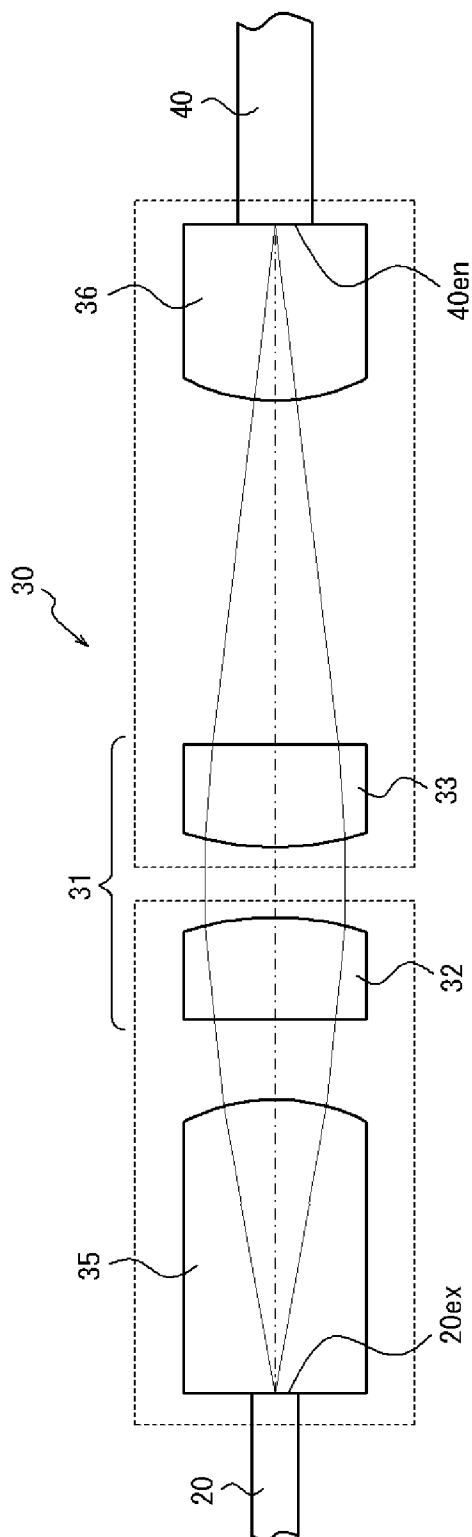
FIG. 10

[図11]

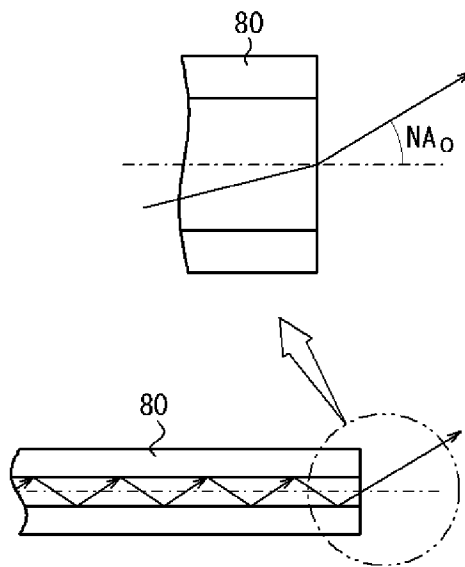


[図12]

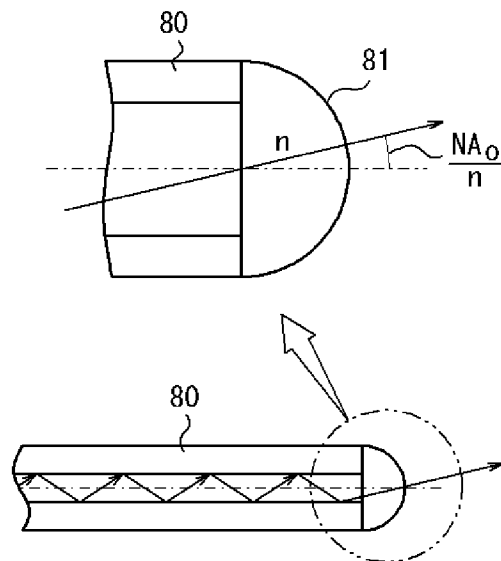
FIG. 12



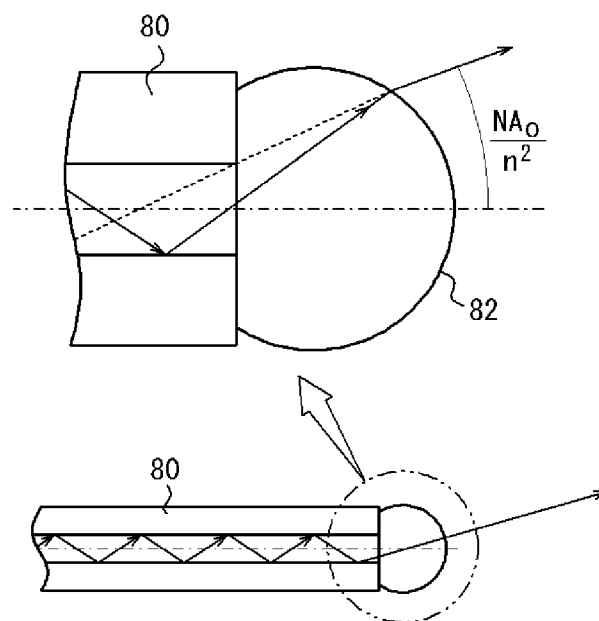
[図13A]

FIG. 13A

[図13B]

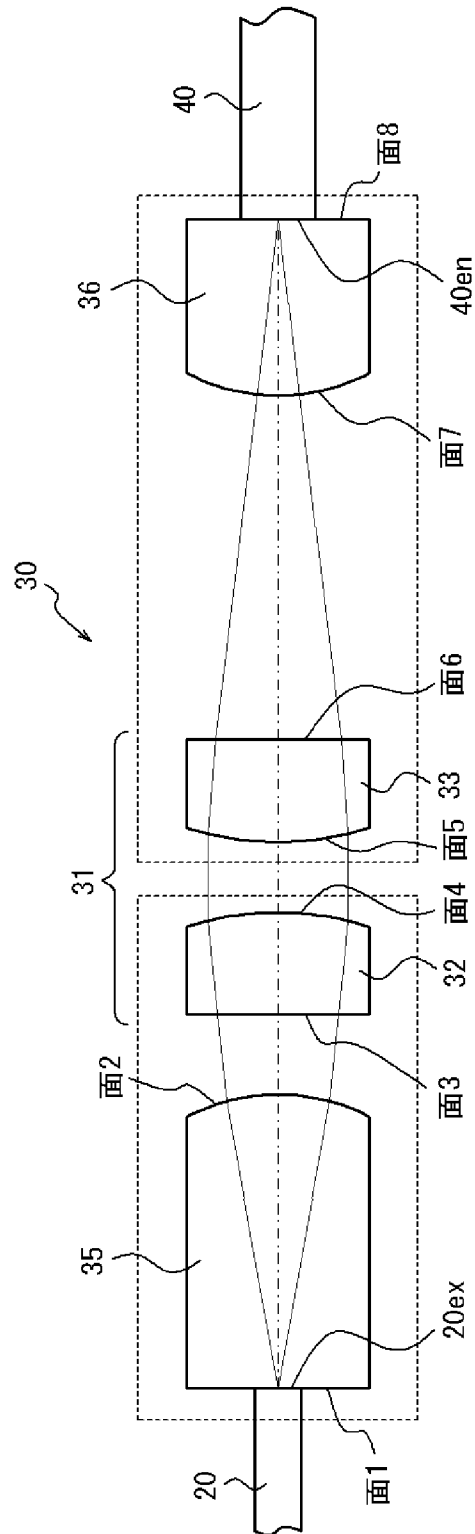
FIG. 13B

[図13C]

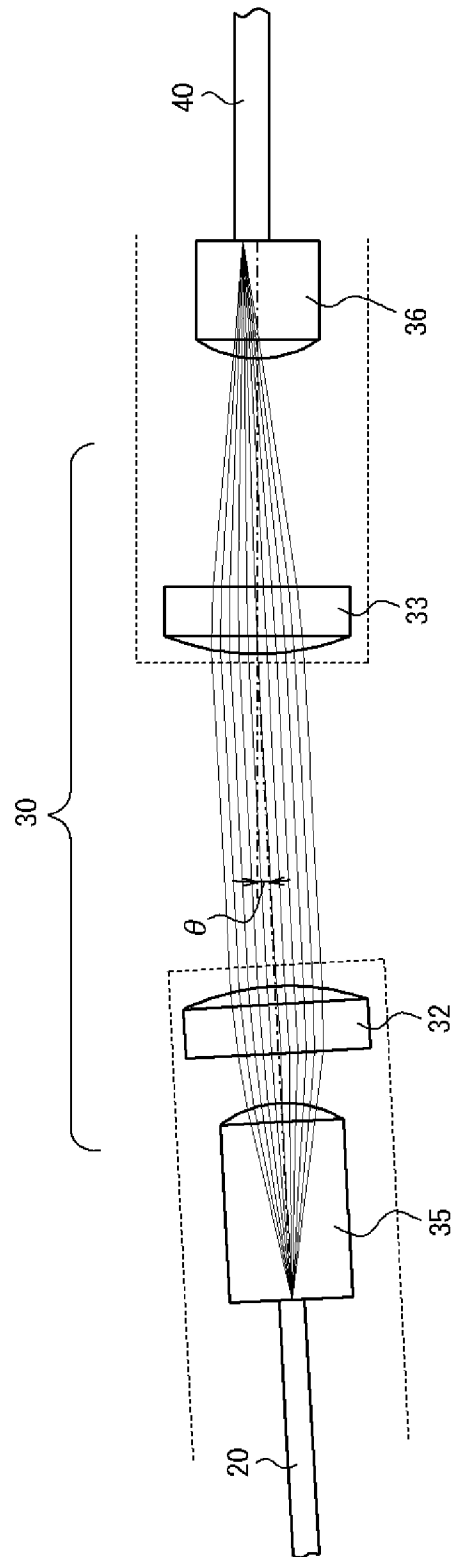
FIG. 13C

[図14]

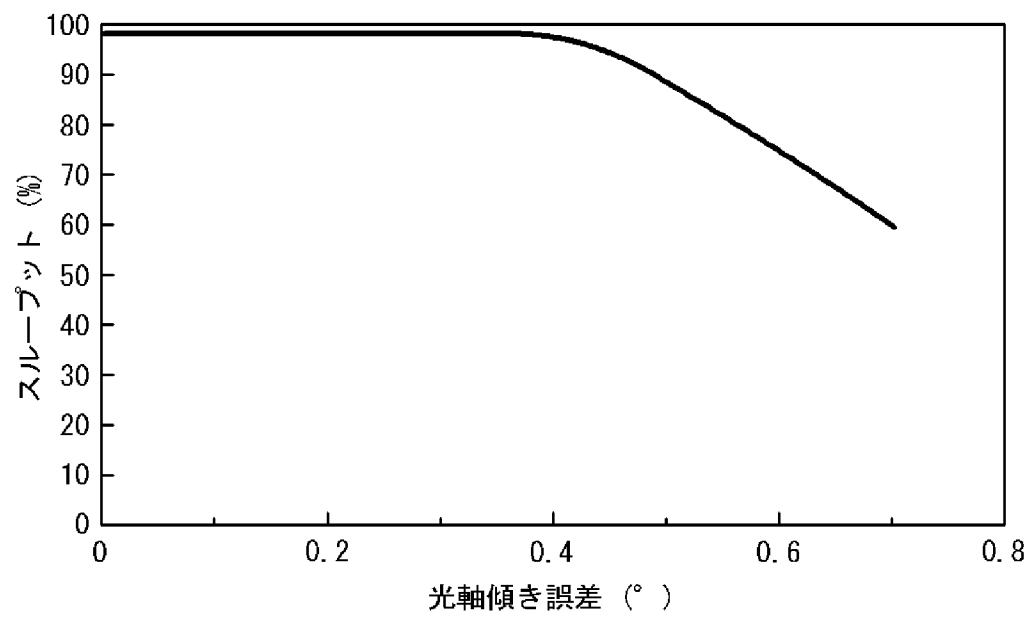
FIG. 14



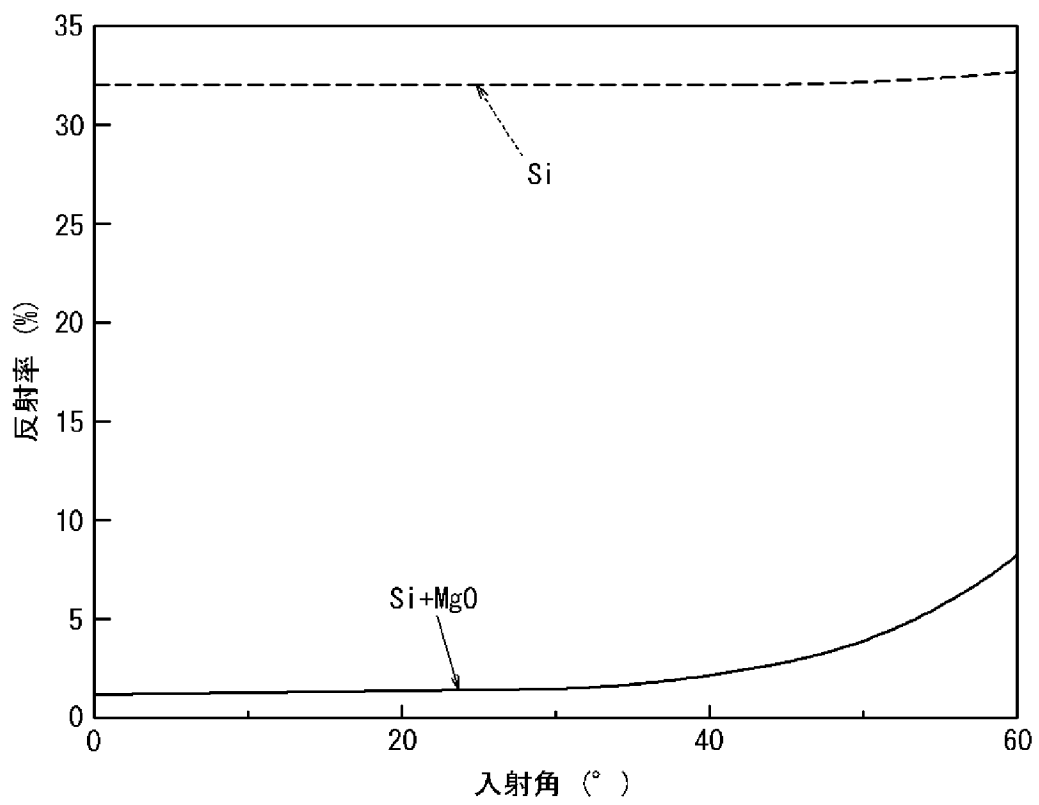
[図15]

FIG. 15

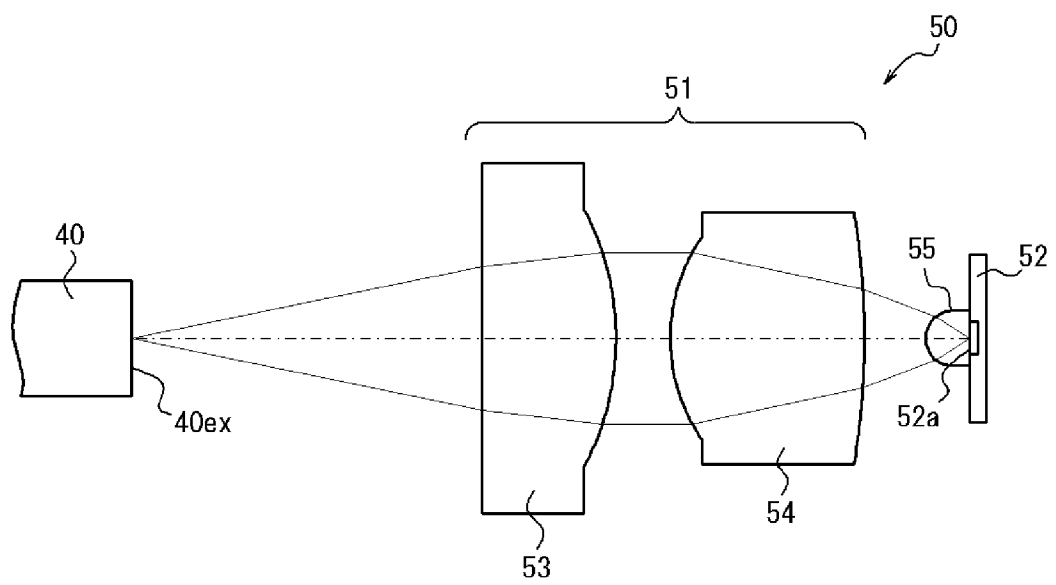
[図16]

FIG. 16

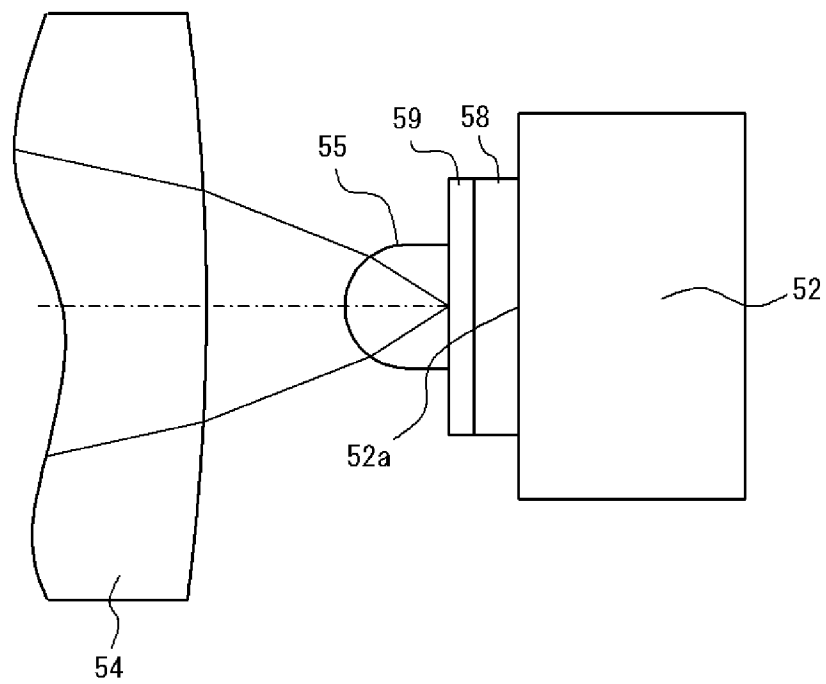
[図17]

FIG. 17

[図18]

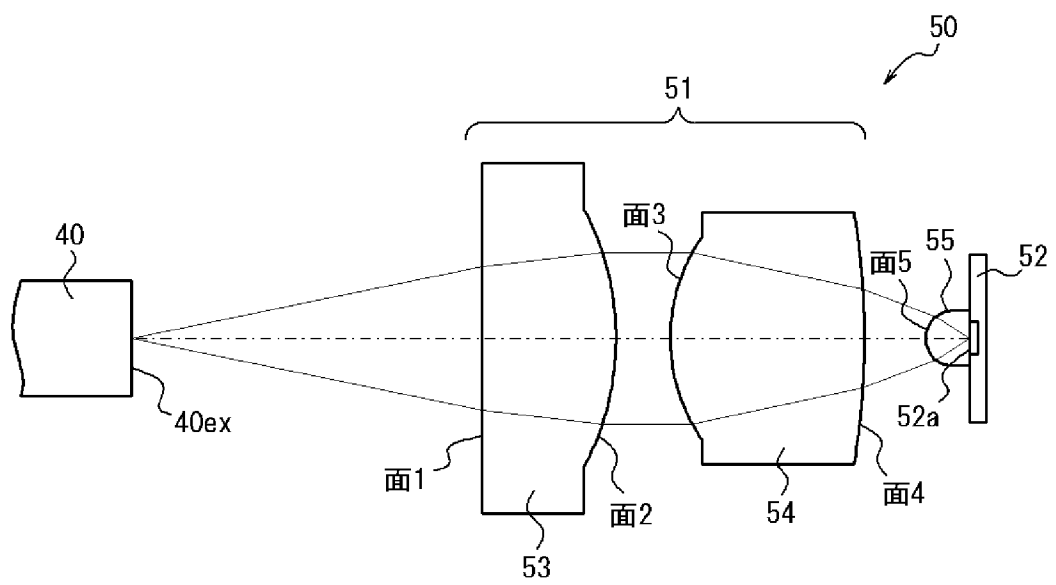
FIG. 18

[図19]

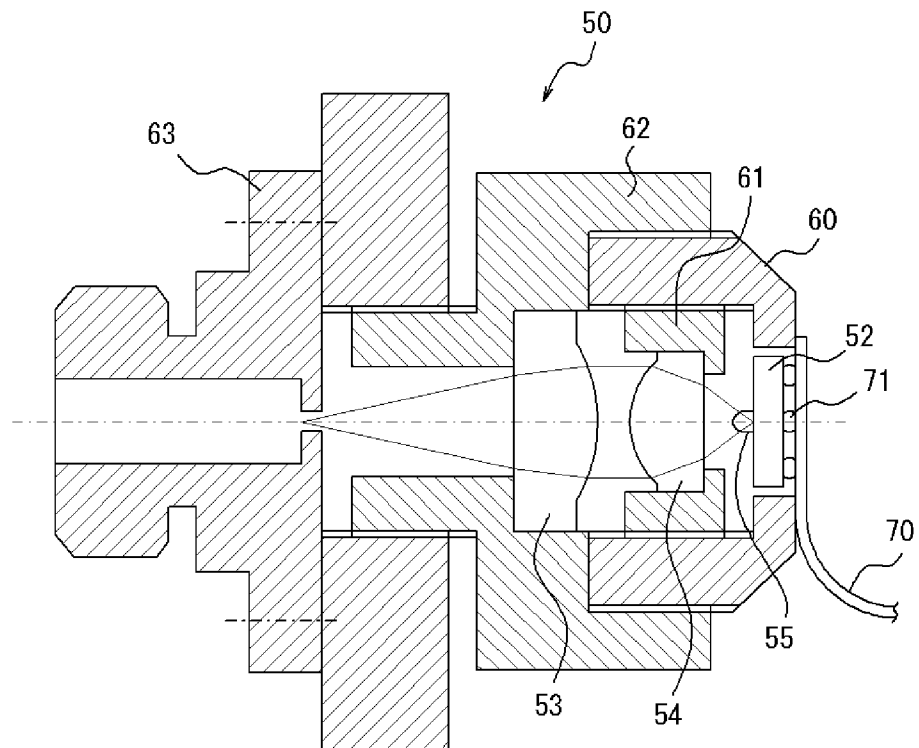
FIG. 19

[図20]

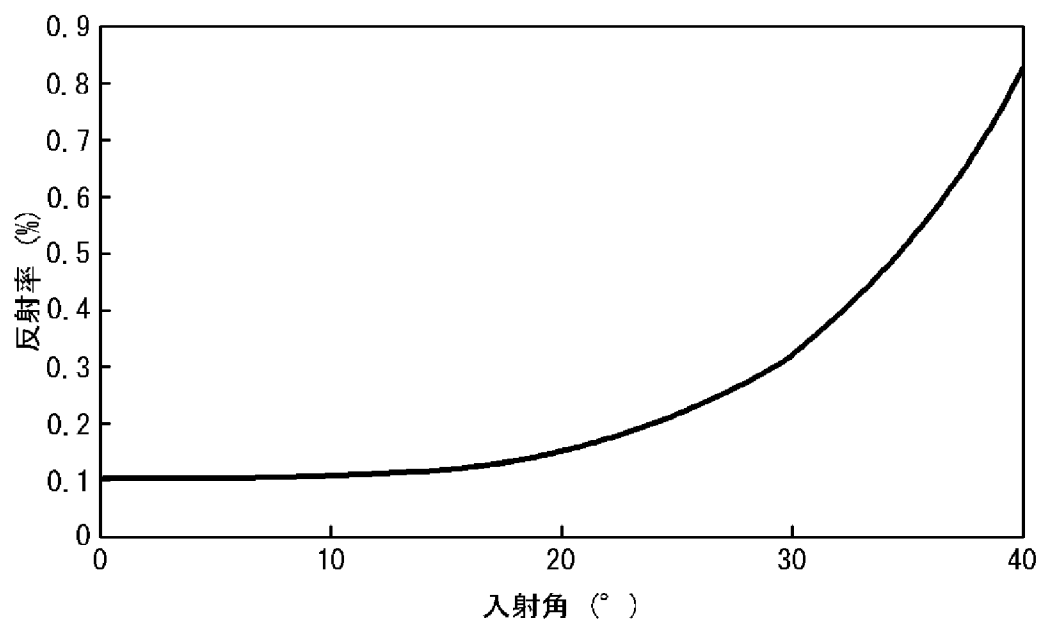
FIG. 20



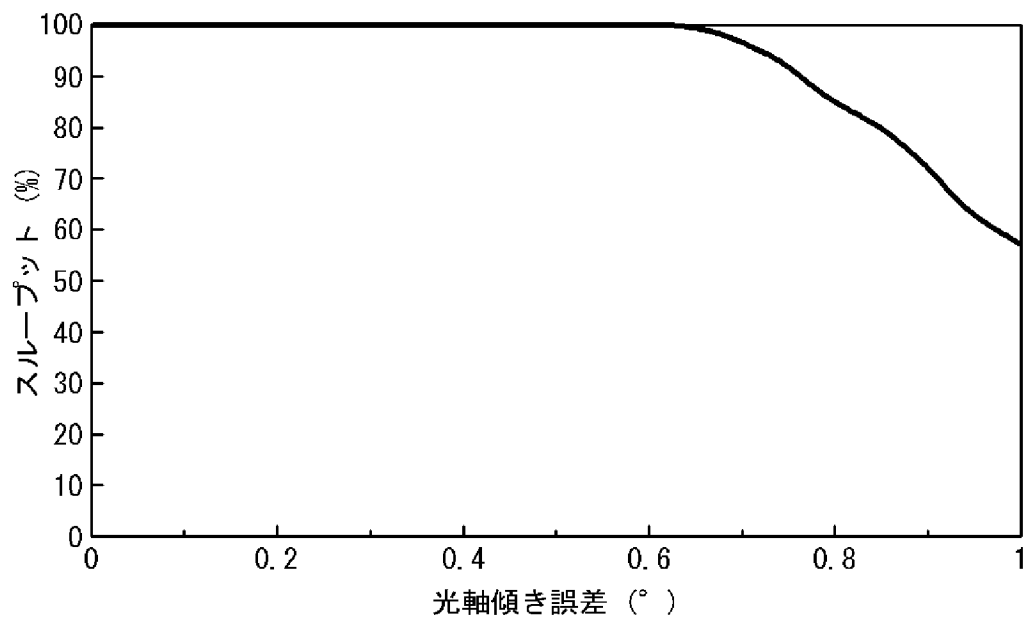
[図21]

FIG. 21

[図22]

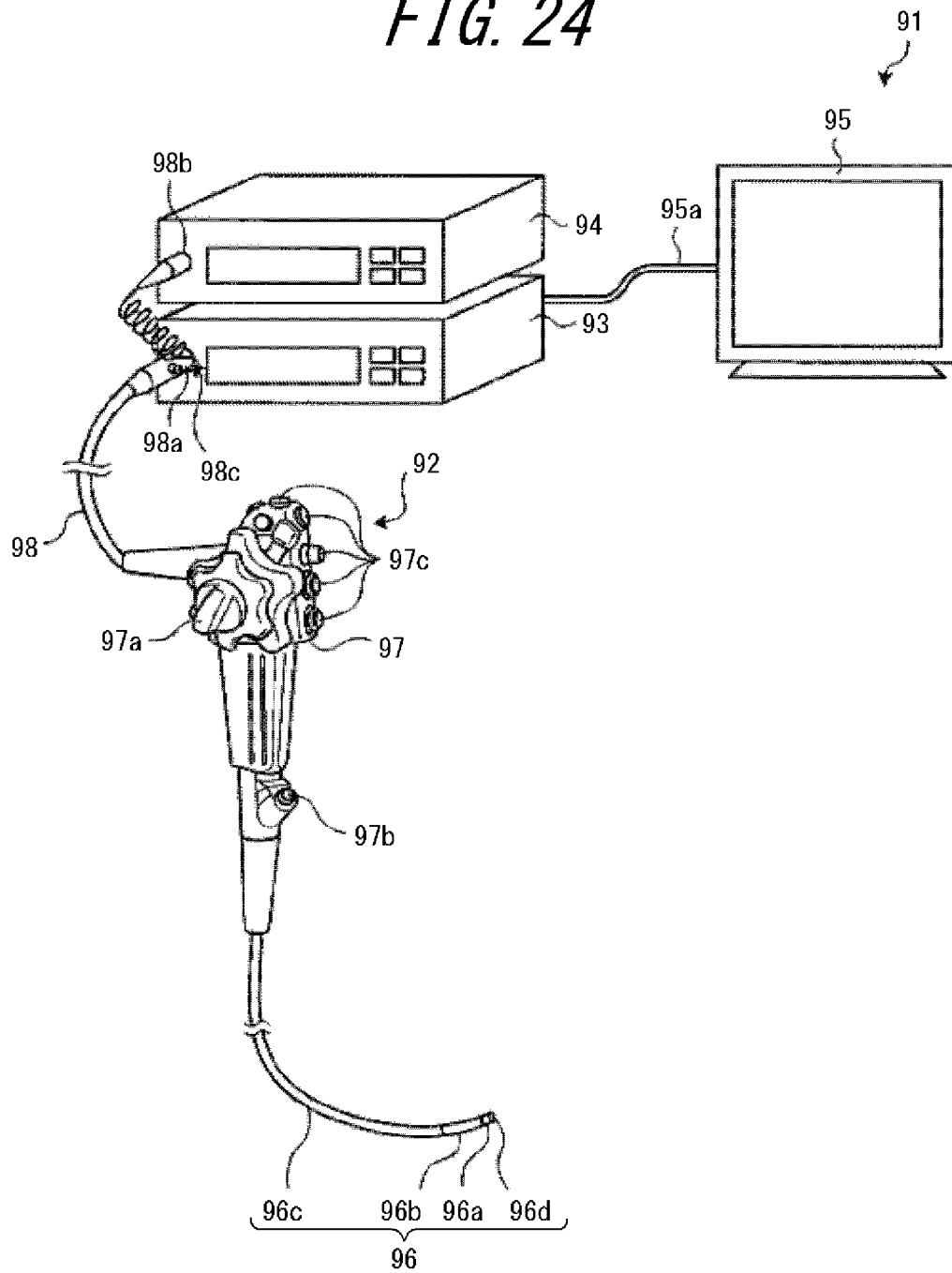
FIG. 22

[図23]

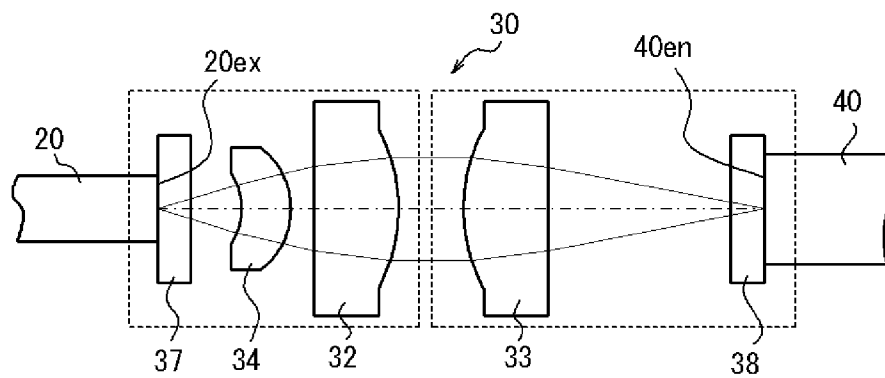
FIG. 23

[図24]

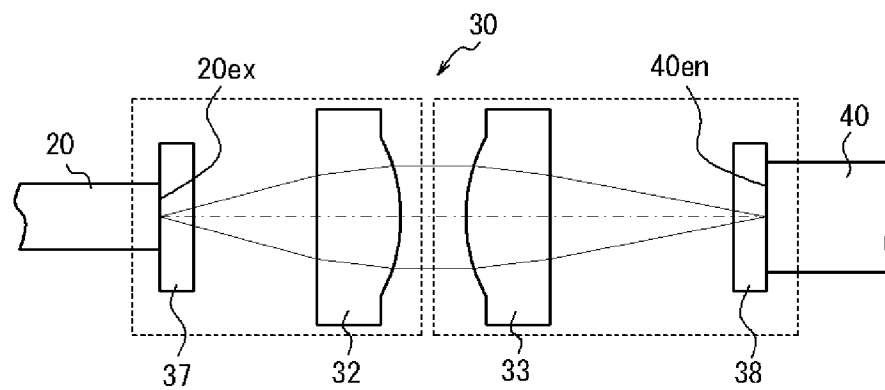
FIG. 24



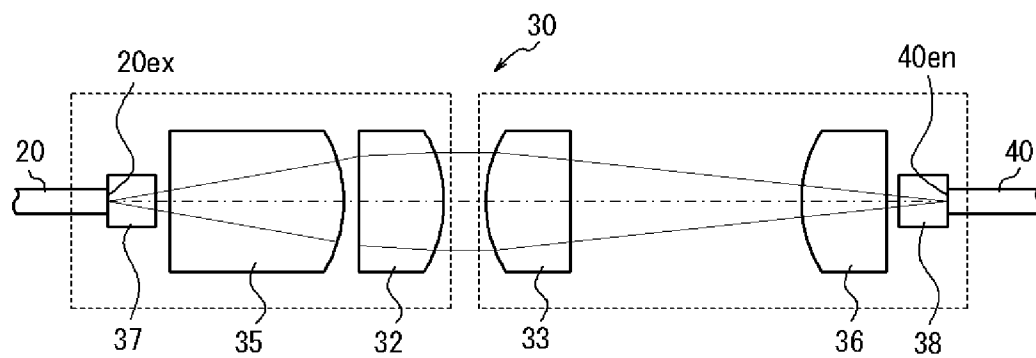
[図25]

FIG. 25

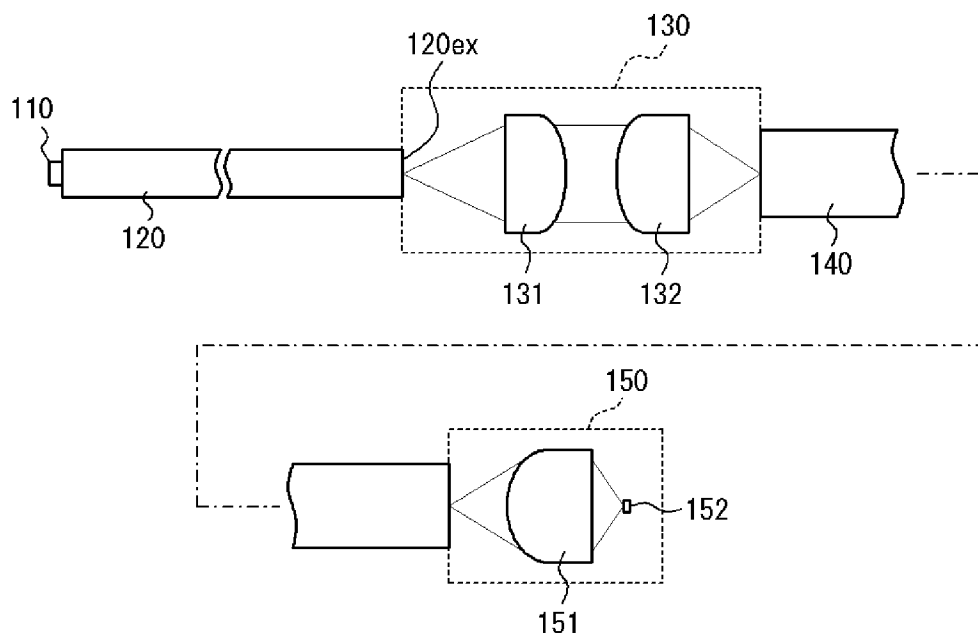
[図26]

FIG. 26

[図27]

FIG. 27

[図28]

FIG. 28

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/003345

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B6/42(2006.01)i, G02B6/02(2006.01)i, G02B6/32(2006.01)i, H01L31/0232(2014.01)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)

G02B6/42, G02B6/02, G02B6/32, H01L31/0232

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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

JSTPlus(JDreamIII), JST7580(JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2009-3007 A (Mitsubishi Electric Corp.), 08 January 2009 (08.01.2009), abstract; claim 1; paragraphs [0012] to [0019]; fig. 1 (Family: none)	2-9, 11 1, 10
Y A	US 2012/0177327 A1 (Jeffery Alan DeMeritt), 12 July 2012 (12.07.2012), paragraphs [0032], [0034], [0037], [0042], [0049] to [0050]; fig. 1 to 3 & WO 2012/096915 A1 & TW 201239436 A & CN 103299224 A	2-9, 11-13 1, 10

☒ 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
24 July 2015 (24.07.15)

Date of mailing of the international search report
04 August 2015 (04.08.15)

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/JP2015/003345

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	WO 2005/083490 A1 (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 09 September 2005 (09.09.2005), paragraph [0038] & JP 4584917 B2 & US 2005/0190436 A1 & EP 1720051 A1 & KR 10-2006-0132583 A & CN 1906520 A & TW 200538719 A	2-9, 11-13 1, 10
A	JP 2005-32909 A (Fuji Photo Film Co., Ltd.), 03 February 2005 (03.02.2005), paragraphs [0009] to [0015]; fig. 17 (Family: none)	1-13
A	Ken'ichi NISHIMURA, Hidetoshi SHIRAKAWA, Yasashii Hikari Fiber Tsushin, revised 2nd edition, 8th print, Ohmsha, Ltd., 20 June 1998 (20.06.1998), pages 111 to 112	1-13

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G02B6/42(2006.01)i, G02B6/02(2006.01)i, G02B6/32(2006.01)i, H01L31/0232(2014.01)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（I P C））

Int.Cl. G02B6/42, G02B6/02, G02B6/32, H01L31/0232

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 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）

JSTPlus (JDreamIII), JST7580 (JDreamIII)

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
Y A	JP 2009-3007 A（三菱電機株式会社）2009.01.08, 【要約】, 【請求項1】, 段落【0012】－【0019】, 【図1】（ファミリーなし）	2-9, 11 1, 10
Y A	US 2012/0177327 A1 (Jeffery Alan DeMeritt) 2012.07.12, 段落 [0032], [0034], [0037], [0042], [0049]－[0050], F I G. 1－3 & WO 2012/096915 A1 & TW 201239436 A & CN 103299224 A	2-9, 11-13 1, 10
Y	WO 2005/083490 A1（浜松ホトニクス株式会社）2005.09.09, 段落 [0	2-9, 11-13

☒ 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

2 4 . 0 7 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

0 4 . 0 8 . 2 0 1 5

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / 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）

吉田 英一

2 X

9 1 2 4

電話番号 03-3581-1101 内線 3294

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
A	0 3 8] & JP 4584917 B2 & US 2005/0190436 A1 & EP 1720051 A1 & KR 10-2006-0132583 A & CN 1906520 A & TW 200538719 A	1, 10
A	JP 2005-32909 A (富士写真フイルム株式会社) 2005. 02. 03, 段落【0 0 0 9】－【0 0 1 5】, 【図 1 7】 (ファミリーなし)	1-13
A	西村憲一、白川英俊, やさしい光ファイバ通信, 改訂 2 版 8 刷, 株 式会社オーム社, 1998. 06. 20, pp. 111 - 112	1-13