(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
2019年11月28日(28.11.2019)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2019/225355 A1

(51) 国際特許分類:
G02B 6/32 (2006.01) *G02B 6/30* (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2019/018733

(22) 国際出願日： 2019年5月10日(10.05.2019)

(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 2018-096926 2018年5月21日(21.05.2018) JP

(71) 出願人: 日本電信電話株式会社 (**NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目５番１号 Tokyo (JP).

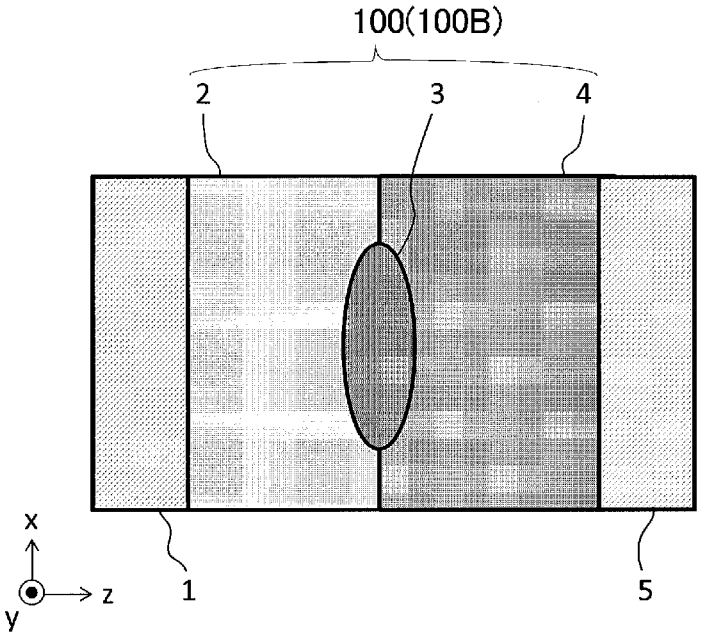
(72) 発明者: 遠藤 潤(**ENDO, Jun**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町３丁目９－１１ ＮＴＴ 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 鹿間 光太(**SHIKAMA, Kota**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町３丁目９－１１ ＮＴＴ 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 荒武 淳(**ARATAKE, Atsushi**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町３丁目９－１１ ＮＴＴ 知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 山川 茂樹, 外(**YAMAKAWA, Shigeki** et al.); 〒1006104 東京都千代田区永田町２丁目１１番１号 山王パークタワー４階 山川国際特許事務所内 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ,

(54) **Title:** OPTICAL CONNECTION STRUCTURE

(54) 発明の名称： 光接続構造



(57) **Abstract:** A first adhesive layer 2 is provided so as to abut SSC 1. A second adhesive layer 4 is provided so as to abut an optical fiber 5. A lens structure 3 is provided at a boundary surface between the first adhesive layer 2 and the second adhesive layer 4. The refractive index for the adhesive layers (2, 4) and the refractive index for a clad layer of light waveguides (1, 5) abutting on the respective adhesive layers (2, 4) are set such that a reflection attenuation amount between connections become 25 dB or more; the refractive index for the adhesive layers (2, 4) and the refractive index

WO 2019/225355 A1

[続葉有]

BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告(条約第21条(3))

for the lens structure (3) abutting on the adhesive layers (2, 4) are set such that the reflection attenuation amount between connections becomes 25 dB or more; and the distance between an end face of the lens structure (3) and end faces of the light waveguides (1, 5) adjacent to the lens structure (3) is set so as to avoid being values in the neighborhood of multiples of the effective half-wavelength of light propagating through the adhesive layers (2, 4) located between the respective end faces. The configuration of the present invention makes it possible to improve coupling efficiency between optical waveguides having different mode fields.

(57) 要約:第１の接着層２をＳＳＣ１に接するようにして設ける。第２の接着層４を光ファイバ５に接するようにして設ける。第１の接着層２と第２の接着層４との境界面にレンズ構造体３を設ける。接着層（２，４）の屈折率と、この接着層（２，４）に接する光導波路（１，５）のクラッド層の屈折率を、接続間の反射減衰量が２５ｄＢ以上となるように設定したり、接着層（２，４）の屈折率と、この接着層（２，４）に接するレンズ構造体（３）の屈折率を、接続間の反射減衰量が２５ｄＢ以上となるように設定したり、レンズ構造体（３）の端面と、このレンズ構造体（３）に近接する光導波路（１，５）の端面間の距離を、その端面間に位置する接着層（２，４）内を伝搬する光の実効半波長の整数倍の近傍値を避けるように設定したりする。本発明によって、異なるモードフィールドを有する光導波路間の結合効率を向上させることができる。

明　細　書

発明の名称 ： 光接続構造

技術分野

[0001] 本発明は、異なるモードフィールドを有する光導波路間を結合（接続）する光接続構造に関する。

背景技術

[0002] 光通信における情報伝送量の急速な増加に伴い、光部品の高集積化に対する要求が高まっている。この光部品の高集積化に応える技術として、「シリコンフォトニクス」と呼ばれる技術が知られている。

[0003] シリコンフォトニクスは、従来の石英系導波路と比較して高屈折率差を有する導波路を用いており、屈曲半径を小さくできることや、電子回路との集積化が可能で、集積回路と同様の半導体製造装置を利用し、高い生産性が得られることから、光部品の更なる小型化・低コスト化を実現する要素技術として研究開発が活発化している。

[0004] シリコンフォトニクスでは、シリコン（Ｓｉ）から形成されるコアと、石英（SiO_2）から形成されるクラッドによって導波路（以下、Ｓｉ導波路ともいう。）を構成している。Ｓｉ導波路の導波光を、光ファイバを介し、高い結合効率で伝送する場合、Ｓｉ導波路のモードフィールドと光ファイバのモードフィールドとを整合させる構造が必要である。

[0005] 図１４に、従来例として、Ｓｉ導波路にテーパ構造（光の伝搬方向に沿って導波路の幅を緩やかに狭めた形状）を形成した例を示す（例えば、特許文献１参照）。この例では、光の伝搬方向に沿って、コアの断面積を単調減少させるようにして、Ｓｉ導波路２０にテーパ構造を形成している。このＳｉ導波路２０は、接着層２１を介して、光ファイバ２２に結合（接続）されている。以下、Ｓｉ導波路２０や接着層２１，光ファイバ２２などの光の伝搬路に位置する部材を媒体ともいう。

[0006] 図１４に示した例において、Ｓｉ導波路２０を導波する光のモードフィー

ルド径は、図１５の（ｂ）に示すように、Ｓｉ導波路２０の端面に達する前の位置から徐々に拡大され、Ｓｉ導波路２０の端面に到達し、接着層２１に放射される。なお、図１５の（ａ）は媒体分布を示しており、図１４，図１５において、ｚ軸は光の伝搬方向（光軸に沿った方向）を示し、ｙ軸は鉛直方向、ｘ軸は水平方向を示している。

[0007] Ｓｉ導波路２０から放射される光のモードフィールド分布は、Ｓｉ導波路２０のコアとクラッド層の屈折率およびテーパ構造の傾斜角、および接着層２１の屈折率分布に依存して決定される。この場合、Ｓｉ導波路２０から放射された光のモードフィールド分布は、平面波に変換されていることが望ましい。図１５の（ｂ）は平面波に近い状態（放射角（θa1）小）を示している。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：特開平１１－５２１６８号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] しかしながら、図１４に示した例では、構造パラメータの製造誤差等により、図１５の（ｃ）に示す様に、理想的な平面波から乖離してしまうことがある（放射角（θa1）大）。この平面波の乖離がＳｉ導波路２０と光ファイバ２２との間の結合効率の低下の原因の一つになる。

[0010] 本発明は、このような課題を解決するためになされたもので、その目的とするところは、異なるモードフィールドを有する光導波路間の結合効率を向上させることが可能な光接続構造を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0011] このような目的を達成するために本発明は、異なるモードフィールドを有する第１の光導波路（１）と第２の光導波路（５）との間を結合する光接続構造（１００）において、第１の光導波路（１）から第２の光導波路（５）

への光の伝搬方向に沿って設けられた複数の接着層（２，４）と、複数の接着層（２，４）の境界面に設けられたレンズ構造体（３）とを備えることを特徴とする。

[0012] 本発明では、複数の接着層（２，４）の境界面に設けられたレンズ構造体（３）によって、第１の光導波路（１）から放射された光のモードフィールド分布を平面波に近づけるようにして、第２の光導波路（５）のクラッド層を伝搬する放射モードの光を低減し、第１の光導波路（１）と第２の導波路（５）との間の結合効率を向上させることが可能となる。

[0013] 本発明において、例えば、接着層（２，４）の屈折率と、この接着層（２，４）に接する光導波路（１，５）のクラッド層の屈折率を、接続間の反射減衰量が２５ｄＢ以上となるように設定したり、接着層（２，４）の屈折率と、この接着層（２，４）に接するレンズ構造体（３）の屈折率を、接続間の反射減衰量が２５ｄＢ以上となるように設定したり、レンズ構造体（３）の端面と、このレンズ構造体（３）に近接する光導波路（１，５）の端面間の距離を、その端面間に位置する接着層（２，４）内を伝搬する光の実効半波長の整数倍の近傍値を避けるように設定したりすると、異なる屈折率を有する媒体間に発生する過剰な共振を抑制することが可能となる。

[0014] また、本発明において、複数の接着層を第１の接着層（２）と第２の接着層（４）と第３の接着層（７）とし、レンズ構造体を第１のレンズ構造体（３）と第２のレンズ構造体（６）とし、第１の接着層（２）を第１の光導波路（１）に接するようにして設け、第３の接着層（７）を第２の光導波路（５）に接するようにして設け、第２の接着層（４）を第１の接着層（２）および第３の接着層（７）に接するようにして設け、第１のレンズ構造体（３）を第１の接着層（２）と第２の接着層（４）との境界面に設け、第２のレンズ構造体（６）を第２の接着層（４）と第３の接着層（７）との境界面に設けるようにしてもよい。

[0015] このような構造とする場合、例えば、第１の接着層（２）と第１のレンズ構造体（３）と第２の接着層（４）の屈折率をそれぞれ等しくしたり、第１

のレンズ構造体（３）の曲率半径を第２のレンズ構造体（６）の曲率半径よりも小さくしたり、第１の接着層（２）の屈折率をｎa1、第１のレンズ構造体（３）の屈折率をｎl1、第２の接着層（４）の屈折率をｎa2、第２のレンズ構造体（６）の屈折率をｎl2、第３の接着層（７）の屈折率をｎa3とした時、ｎl1≧ｎa1、ｎl1≧ｎa2、ｎl2≧ｎa2、且つｎl2≧ｎa3を満たすようにしたりする。

[0016] また、例えば、第１の接着層（２）、第２の接着層（４）および第３の接着層（７）の屈折率を、１．０以上１．７以下とし、第１のレンズ構造体（３）および第２のレンズ構造体（６）の屈折率を、１．４以上１．７以下としたり、第１の光導波路（１）の導波光のモードフィールド径を、第２の光導波路（５）の導波光のモードフィールド径より小さくし、第１の光導波路（１）に接する第１の接着層（２）における伝搬光の開口数を、第２の光導波路（５）に接する第３の接着層（７）における伝搬光の開口数より大きくしたりする。

[0017] なお、上記説明では、一例として、発明の構成要素に対応する図面上の構成要素を、括弧を付した参照符号によって示している。

発明の効果

[0018] 以上説明したように、本発明によれば、複数の接着層の境界面に設けられたレンズ構造体によって、第１の光導波路から放射された光のモードフィールド分布を平面波に近づけるようにして、第２の光導波路のクラッド層を伝搬する放射モードの光を低減し、第１の光導波路と第２の導波路との間の結合効率を向上させることが可能となる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]図１は、本発明に係る光接続構造（微小光学体）の第１の実施の形態（実施の形態１）を示す模式図である。

[図2]図２は、図１における第１の接着層と第１のレンズ構造体を含む領域をｚｘ面およびｘｙ面から見た模式図である。

[図3]図３は、図１におけるＳｉ導波路（ＳＳＣ）と光ファイバの構造パラメ

ータを示す図である。

[図4]図４は、図１における接着層およびレンズ構造体の構造パラメータ（ＳＳＣ－光ファイバ間の微小光学体構造パラメータ）を示す図である。

[図5]図５は、ＳＳＣと光ファイバの構造パラメータの定義を示す図である。

[図6]図６は、ＳＳＣと光ファイバとの間の微小光学体の構造パラメータ（ＳＳＣ－光ファイバ間の微小光学体構造パラメータ）の定義を示す図である。

[図7]図７は、結像解析パラメータの定義を示す図である。

[図8]図８は、光導波路と微小光学体の設計フローチャートを示す図である。

[図9A]図９Ａは、微小光学体の結像特性と代表的な構造パラメータの関係（第１のレンズ構造体の屈折率ｎｌ1（＝ｖａｒ）を、１．５０、１．６０、１．７０とした場合の光線追跡の結果）を示す図である。

[図9B]図９Ｂは、微小光学体の結像特性と代表的な構造パラメータの関係（第２の接着層の層長Ｌa2（＝ｖａｒ）を３μｍ、５μｍ、７μｍとした場合の光線追跡の結果）を示す図である。

[図9C]図９Ｃは、微小光学体の結像特性と代表的な構造パラメータの関係（第２のレンズ構造体の厚さｔｌ2と曲率半径Ｒ２（Ｒｌ2，Ｒr2）との組（＝（ｖａｒ１，ｖａｒ２））を（３．０μｍ，５．０μｍ）、（２．０μｍ，６．５μｍ）、（３．０μｍ，６．５μｍ）とした場合の光線追跡の結果）を示す図である。

[図10]図１０は、微小光学体の構造パラメータ設定指標の例を示す図である。

[図11]図１１は、実施の形態１における導波解析結果を示す図である。

[図12]図１２は、導波解析を基に得られた光ファイバのモードフィールド分布（ｘ方向）を従来例と実施の形態１とを比較して示す図である。

[図13]図１３は、本発明に係る光接続構造（微小光学体）の第２の実施の形態（実施の形態２）を示す模式図である。

[図14]図１４は、Ｓｉ導波路にテーパ構造を形成した例（従来例）を示す模式図である。

[図15]図１５は、従来例におけるモードフィールド変換過程の例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0020] 以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。

〔実施の形態１〕

図１は本発明に係る光接続構造の第１の実施の形態（実施の形態１）を示す模式図である。この光接続構造１００は、図１４に示した接着層２１に相当する部分の構造であり、光の伝搬方向に沿ってコアの断面積を単調減少させるようにしたＳｉ導波路（テーパ構造を有するＳｉ導波路）１と光ファイバ５との間に設けられている。

[0021] 以下、光接続構造を微小光学体と呼び、Ｓｉ導波路をＳＳＣと呼ぶ。また、後述する実施の形態２の光接続構造（微小光学体）１００（図１３）と区別するために、実施の形態１の微小光学体１００を１００Ａとし、実施の形態２の微小光学体１００を１００Ｂとする。

[0022] また、図１や図１３に示した構成において、ＳＳＣ１のコア材料であるＳｉは、波長１．３～１．６μｍの光に対して透明であるとする。また、ＳＳＣ１のコアの屈折率は、３．５とし、クラッド層は石英系材料から成り、同一基板上にエッチング工程によって順次形成され、その屈折率は１．４４であるとする。また、ＳＳＣ１のコアの断面形状は、矩形（長方形）であり、当該矩形でのｙ軸方向（鉛直方向）の長さ（高さ）をＳＳＣ１のコア径とし、このＳＳＣ１のコア径は一定値であるとする。

[0023] また、図１や図１３に示した構成において、光ファイバ（石英系光ファイバ）５のクラッド層の屈折率は１．４４、カットオフ波長は１．５μｍまたは１．３μｍに設定されているものとする。また、光ファイバ５のコア径は、曲げ損失低減を考慮し、コア径４μｍとしている。

[0024] なお、ＳＳＣ１のコアおよびクラッド層は、化合物半導体等、他の半導体材料、無機材料、有機材料から形成されても構わない。また、光ファイバ５の代わりに、他の無機材料または有機材料から形成された矩形状のコアを有

する平面光波回路を用いても構わない。

[0025] 図１に示した微小光学体１００Ａは、第１の接着層２と、第２の接着層４と、第３の接着層７と、第１のレンズ構造体３と、第２のレンズ構造体６とから構成されている。

[0026] この微小光学体１００Ａにおいて、第１の接着層２はＳＳＣ１に接するようにして設けられ、第３の接着層７は光ファイバ５に接するようにして設けられ、第２の接着層４は第１の接着層２および第３の接着層７に接するようにして設けられている。

[0027] また、第１のレンズ構造体３は第１の接着層２と第２の接着層４との境界面に設けられており、第２のレンズ構造体６は第２の接着層４と第３の接着層７との境界面に設けられている。第１のレンズ構造体３および第２のレンズ構造体６は該構造体の表面に球面を含む。

[0028] また、この微小光学体１００Ａにおいて、第１の接着層２、第２の接着層４および第３の接着層７の屈折率は、１．０以上１．７以下であって、第１のレンズ構造体３および第２のレンズ構造体６の屈折率は、１．４以上１．７以下とされている。

[0029] 図２（ａ）に第１の接着層２と第１のレンズ構造体３を含む領域をｚｘ面（上面）から見た模式図を、図２（ｂ）に第１の接着層２と第１のレンズ構造体３を含む領域をｘｙ面（正面）から見た模式図を示す。

[0030] 図３に、ＳＳＣ１と光ファイバ５の構造パラメータを示す。ＳＳＣ１と光ファイバ５との間に微小光学体１００Ａが整合部として設けられている。図３の（ａ）はｚｘ面（上面）から見た媒体分布図、図３の（ｂ）はｙｚ面（側面）から見た媒体分布図、図３の（ｃ）はｘｙ面（正面）から見た媒体分布図である。図４に、微小光学体１００Ａを構成する接着層２，４，７およびレンズ構造体３，６の構造パラメータを示す。図中の一点鎖線は、導波路コアの中心軸を示す。

[0031] 図５にＳＳＣ１と光ファイバ５の構造パラメータの定義を示し、図６にＳＳＣ１と光ファイバ５との間の微小光学体１００Ａの構造パラメータの定義

を示し、図７に結像解析パラメータ（後述）の定義を示す。各パラメータの具体的な値は、図８に示す「光導波路と微小光学体の設計フローチャート」に従って設定する。

[0032] 図９Ａ、図９Ｂ、図９Ｃは、微小光学体の結像特性と代表的な構造パラメータの関係を示す図であり、微小光学体１００Ａの構造を、図８に示した設計フローチャートに組み込まれた結像解析プロセス（ステップＳ１０２）によって見積り、その結果を示したものである。

[0033] 図９Ａは、第１のレンズ構造体３の屈折率ｎｌ1を、１．５０、１．６０、１．７０とした場合、図９Ｂは、第２の接着層４の層長Ｌa2を３μｍ、５μｍ、７μｍとした場合、図９Ｃは、第２のレンズ構造体６の厚さｔｌ2と曲率半径Ｒ２（Ｒｌ2，Ｒr2）との組を（３．０μｍ，５．０μｍ）、（２．０μｍ，６．５μｍ）、（３．０μｍ，６．５μｍ）とした場合の光線追跡の結果をそれぞれ示す。

[0034] 本実施の形態を代表する構造として、第１の接着層２の屈折率ｎa1を１．５０、第１のレンズ構造体３の屈折率ｎｌ1、厚さｔｌ1および曲率半径Ｒ1（Ｒｌ1，Ｒr1）を、それぞれ１．７０、２．０μｍ、６．０μｍとし、第２の接着層４の屈折率ｎa2を１．０、第２のレンズ構造体６の屈折率ｎｌ2、厚さｔｌ1および曲率半径Ｒ２（Ｒｌ2，Ｒr２）を、それぞれ１．６０、２．０μｍ、６．５μｍ、第３の接着層７の屈折率ｎa3を１．６０とする。また、第１の接着層２と第２の接着層４と第３の接着層７の層長Ｌa1，Ｌa2，Ｌa3は、ｘ，ｙ，ｚ方向に対して許容される結合トレランスに応じて任意に設定し、３μｍ～２００μｍ程度の間で可変とする。また、第１の接着層２，第２の接着層４，第３の接着層７には、アクリル系またはエポキシ系の樹脂材料、または石英系ガラス材料を適用する。なお、第２の接着層４は、その屈折率ｎa2を１．０とする場合、上記樹脂材料またはガラス材料の他に、空気等の気体で充填する。

[0035] 上記パラメータの設定においては、ＳＳＣ１側の最小開口数（ＳＳＣ１に接する第１の接着層２における伝搬光の最小開口数）NA1による制約、光フ

ァイバ５側の最大開口数（光ファイバ５に接する第３の接着層７における伝搬光の最大開口数）ＮA2による制約、および光ファイバ５の端面に結像する像高ｈvの最大値ｈvmaxを同時に満たさなくてはならない。

[0036] 図１０（ａ）に示す第２のレンズ構造体６の屈折率ｎl2と光ファイバ５側の開口数（受光開口数）ＮAt（左軸）および像高ｈｖ（右軸）との関係、および、図１０（ｂ）に示す第２の接着層４の層長Ｌa2と光ファイバ５側の開口数（受光開口数）ＮAt（左軸）および像高ｈｖ（右軸）との関係を、微小光学体１００Ａの構造パラメータ設定指標の一つとする。実施の形態１では、ＮA1＝０．５２、ＮA2＝０．３２、ｈvmax＝１．５μｍとする。

[0037] 更に、上記結像解析（ステップＳ１０２）によって設定されたパラメータをベースとして、各レンズ構造体３，６と光導波路（ＳＳＣ１，光ファイバ５）間において発生する共振を予測し、パラメータを調整する。これには、以下の方法を適用する。

[0038] 第１の方法は、接着層の屈折率と、その接着層に接する光導波路のクラッド層の屈折率を整合させる。この場合の整合とは、接続間の反射減衰量が２５ｄＢ以上となるように設定することを意味する。例えば、第１の接着層２の屈折率ｎa1と、この第１の接着層２に接するＳＳＣ１のクラッド層の屈折率ｎ2_stを整合させたり、第３の接着層７の屈折率ｎa3と、この第３の接着層７に接する光ファイバ５のクラッド層の屈折率ｎ2_fiを整合させたりする。

[0039] この第１の方法において、第１の接着層２の屈折率ｎa1とＳＳＣ１のクラッド層の屈折率ｎ2_stとを整合させる場合、例えば、第１の接着層２の屈折率ｎa1とＳＳＣ１のクラッド層の屈折率ｎ2_stとを等しくする。すなわち、実施の形態１において、ＳＳＣ１のクラッド層の屈折率ｎ2_stは１．４４であるので、第１の接着層２の屈折率ｎa1を１．４４とする。

[0040] 第２の方法は、接着層の屈折率と、その接着層に接するレンズ構造体の屈折率を整合させる。この場合の整合とは、接続間の反射減衰量が２５ｄＢ以上となるように設定することを意味する。例えば、第１の接着層２の屈折率

ｎa1と、この第１の接着層２に接する第１のレンズ構造体３の屈折率ｎｌ1を整合させたり、第２の接着層４の屈折率ｎa2と、この第２の接着層４に接する第１のレンズ構造体３の屈折率ｎｌ1および第２のレンズ構造体６の屈折率ｎｌ2を整合させたり、第３の接着層７の屈折率ｎa3と、この第３の接着層７に接する第２のレンズ構造体６の屈折率ｎｌ2を整合させたりする。

[0041] この第２の方法において、第１の接着層２の屈折率ｎa1と第１のレンズ構造体３の屈折率ｎｌ1と第２の接着層４の屈折率ｎa2とを整合させる場合、例えば、第１の接着層２の屈折率ｎa1と第１のレンズ構造体３の屈折率ｎｌ1と第２の接着層４の屈折率ｎa2とを等しくする。

[0042] なお、第１の接着層２の屈折率ｎa1と、第１のレンズ構造体３の屈折率ｎｌ1と、第２の接着層４の屈折率ｎa2と、第２のレンズ構造体６の屈折率ｎｌ2と、第３の接着層７の屈折率ｎa3とは、ｎｌ1≧ｎa1、ｎｌ1≧ｎa2、ｎｌ2≧ｎa2、且つｎｌ2≧ｎa3を満たしていることが望ましい。

[0043] 第３の方法は、第１のレンズ構造体３の端面と、この第１のレンズ構造体３に近接するＳＳＣ１の端面間の距離（最短距離）を、その端面間に位置する第１の接着層２内を伝搬する光の実効半波長の整数倍の近傍値を避けるように設定する。

[0044] 例えば、第１のレンズ構造体３とＳＳＣ１の端面間の距離ＷＤを、１．０５λ_{eff}*（ｍ－１）／２＜ＷＤ＜０．９５λ_{eff}*ｍ／２（λ_{eff}：実効波長、ｍ：整数）を満たす様に設定する。具体例は、λ_{eff}＝０．５２μｍ、ｍ＝７の場合で、ＷＤ＝３．３μｍとする。

[0045] 上記した第１，第２，第３のいずれの方法においても、異なる屈折率を有する媒体間に発生する過剰な共振を抑制する効果が得られる。

[0046] 図８に示した設計フローチャートにより（ステップＳ１０１～Ｓ１０３の繰り返し）、最終的に設定された構造パラメータにおいて（ステップＳ１０４）、波長１．５５μｍのシングルモード導波光をＳＳＣ１に入射し、時間領域有限差分（ＦＤＴＤ）法による電磁界解析を実行する（ステップＳ１０５）。

[0047] このＦＤＴＤ法による電磁界解析を、ステップＳ１０６において結合効率または透過特性の目標値を満たすまで、結像特性を再計算しながら（ステップＳ１０７）、繰り返す。このＦＤＴＤ法による電磁界解析を実行した結果（導波解析結果）を図１１に示す。図１１の（ａ）はｚｘ面内における媒体分布を示し、図１１の（ｂ）はｚｘ面内における電力分布を示す。

[0048] 図１２に、導波解析を基に得られた光ファイバ５のモードフィールド分布（ｘ方向）について、従来例（図１４に示した例）と実施の形態１（図１に示した例）とを比較して示す。従来例（図１２（ａ））においては、ファイバクラッド層における放射モードが顕著である。一方、実施の形態１（図１２（ｂ））においては、放射モードの光が低減され、重なり積分から算出した結合効率ＣＥの値も改善されている。

[0049] 〔実施の形態２〕

図１３は、本発明に係る光接続構造の第２の実施の形態（実施の形態２）を示す模式図である。この光接続構造（微小光学体）１００Ｂは、第１の接着層２と、第２の接着層４と、レンズ構造体３とから構成されていている。

[0050] この微小光学体１００Ｂにおいて、第１の接着層２はＳＳＣ１に接するようにして設けられ、第２の接着層４は光ファイバ５に接するようにして設けられている。また、レンズ構造体３は第１の接着層２と第２の接着層４との境界面に設けられている。レンズ構造体３は該構造体の表面に球面を含む。

[0051] この微小光学体１００Ｂでは、光ファイバ５のコア径を１０μｍとし、カットオフ波長を１．３μｍまたは１．５μｍとしている。また、第１の接着層２の屈折率ｎa1を１．０としている。レンズ構造体３は球面から形成され、曲率半径Ｒ１（Ｒl1，Ｒr1）を８μｍ以上、厚さ２μｍ～３μｍ、屈折率ｎl1を１．５～１．７としている。

[0052] また、この微小光学体１００Ｂにおいて、第２の接着層４の屈折率ｎa2と、レンズ構造体３の屈折率ｎl1は、接続間の反射減衰量が２５ｄＢ以上となるように設定している。または、光ファイバ５のクラッド層の屈折率ｎ2_fiと、第２の接着層４の屈折率ｎa2は、接続間の反射減衰量が２５ｄＢ以上と

なるように設定している。

[0053] この実施の形態２の微小光学体１００Ｂでは、ｘｙ（水平鉛直）方向の結合トレランスが、実施形態１の微小光学体１００Ａよりも小さくなる。また、平面波に近い状態で光ファイバ５に光が入射されるため、結合効率については、実施形態１の微小光学体１００Ａと同様の効果が得られる。

[0054] 〔実施の形態の拡張〕

以上、実施の形態を参照して本発明を説明したが、本発明は上記の実施の形態に限定されるものではない。本発明の構成や詳細には、本発明の技術思想の範囲内で当業者が理解し得る様々な変更をすることができる。

符号の説明

[0055] １…Ｓｉ導波路（ＳＳＣ）、２…第１の接着層、３…第１のレンズ構造体、４…第２の接着層、５…光ファイバ、６…第２のレンズ構造体、７…第３の接着層、１００（１００Ａ，１００Ｂ）…光接続構造（微小光学体）。

請求の範囲

[請求項1] 異なるモードフィールドを有する第１の光導波路と第２の光導波路との間を結合する光接続構造において、

前記第１の光導波路から前記第２の光導波路への光の伝搬方向に沿って設けられた複数の接着層と、

前記複数の接着層の境界面に設けられたレンズ構造体と

を備えることを特徴とする光接続構造。

[請求項2] 請求項１に記載された光接続構造において、

前記接着層の屈折率と、この接着層に接する前記光導波路のクラッド層の屈折率が、接続間の反射減衰量が２５ｄＢ以上となるように設定されている

ことを特徴とする光接続構造。

[請求項3] 請求項１に記載された光接続構造において、

前記接着層の屈折率と、この接着層に接する前記レンズ構造体の屈折率が、接続間の反射減衰量が２５ｄＢ以上となるように設定されている

ことを特徴とする光接続構造。

[請求項4] 請求項１に記載された光接続構造において、

前記レンズ構造体の端面と、このレンズ構造体に近接する前記光導波路の端面間の距離が、その端面間に位置する前記接着層内を伝搬する光の実効半波長の整数倍の近傍値を避けるように設定されている

ことを特徴とする光接続構造。

[請求項5] 請求項１～４の何れか１項に記載された光接続構造において、

前記複数の接着層として、

第１の接着層と第２の接着層と第３の接着層とを備え、

前記レンズ構造体として、

第１のレンズ構造体と第２のレンズ構造体とを備え、

前記第１の接着層は、

前記第１の光導波路に接するようにして設けられ、

前記第３の接着層は、

前記第２の光導波路に接するようにして設けられ、

前記第２の接着層は、

前記第１の接着層および第３の接着層に接するようにして設けられ、

前記第１のレンズ構造体は、

前記第１の接着層と前記第２の接着層との境界面に設けられ、

前記第２のレンズ構造体は、

前記第２の接着層と前記第３の接着層との境界面に設けられていることを特徴とする光接続構造。

[請求項6] 請求項５に記載された光接続構造において、

前記第１の接着層と前記第１のレンズ構造体と前記第２の接着層の屈折率がそれぞれ等しい

ことを特徴とする光接続構造。

[請求項7] 請求項５に記載された光接続構造において、

前記第１のレンズ構造体および前記第２のレンズ構造体は、

当該構造体の表面に球面を含み、

前記第１のレンズ構造体の曲率半径は、

前記第２のレンズ構造体の曲率半径よりも小さい

ことを特徴とする光接続構造。

[請求項8] 請求項５に記載された光接続構造において、

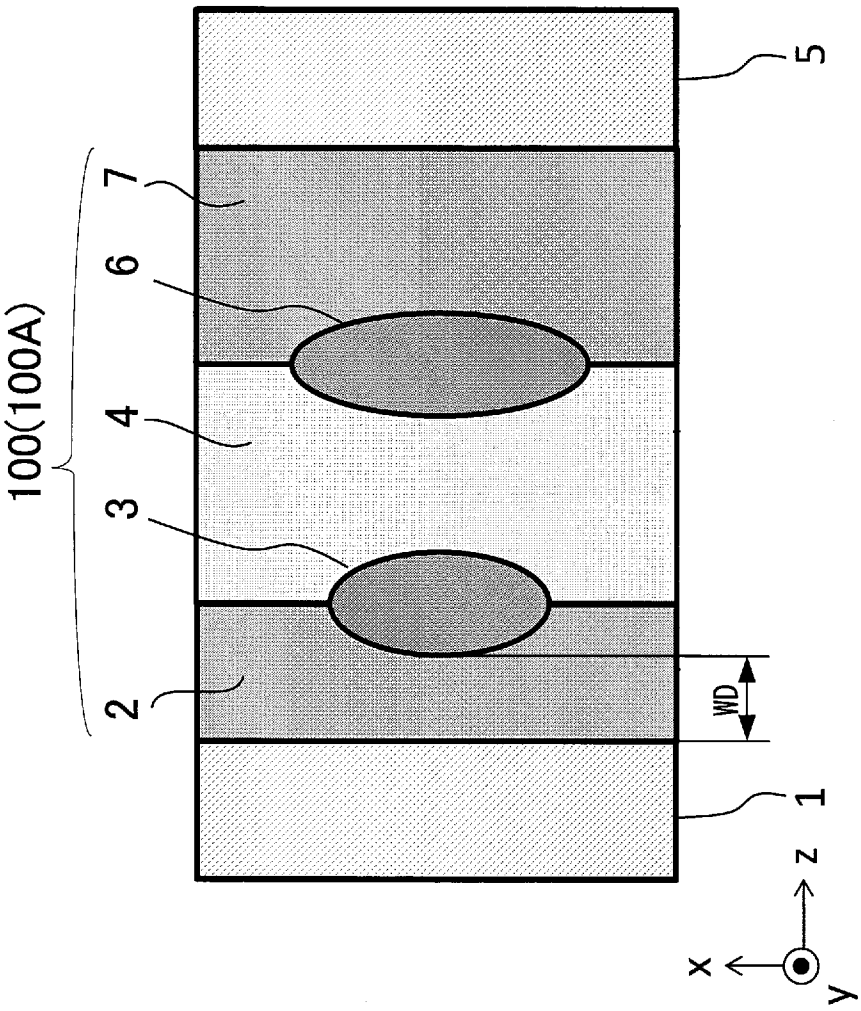
前記第１の接着層の屈折率、前記第１のレンズ構造体の屈折率、前記第２の接着層の屈折率、前記第２のレンズ構造体の屈折率、前記第３の接着層の屈折率は、

前記第１の接着層の屈折率をｎa1、前記第１のレンズ構造体の屈折率をｎl1、前記第２の接着層の屈折率をｎa2、前記第２のレンズ構造体の屈折率をｎl2、前記第３の接着層の屈折率をｎa3とした時、ｎl1

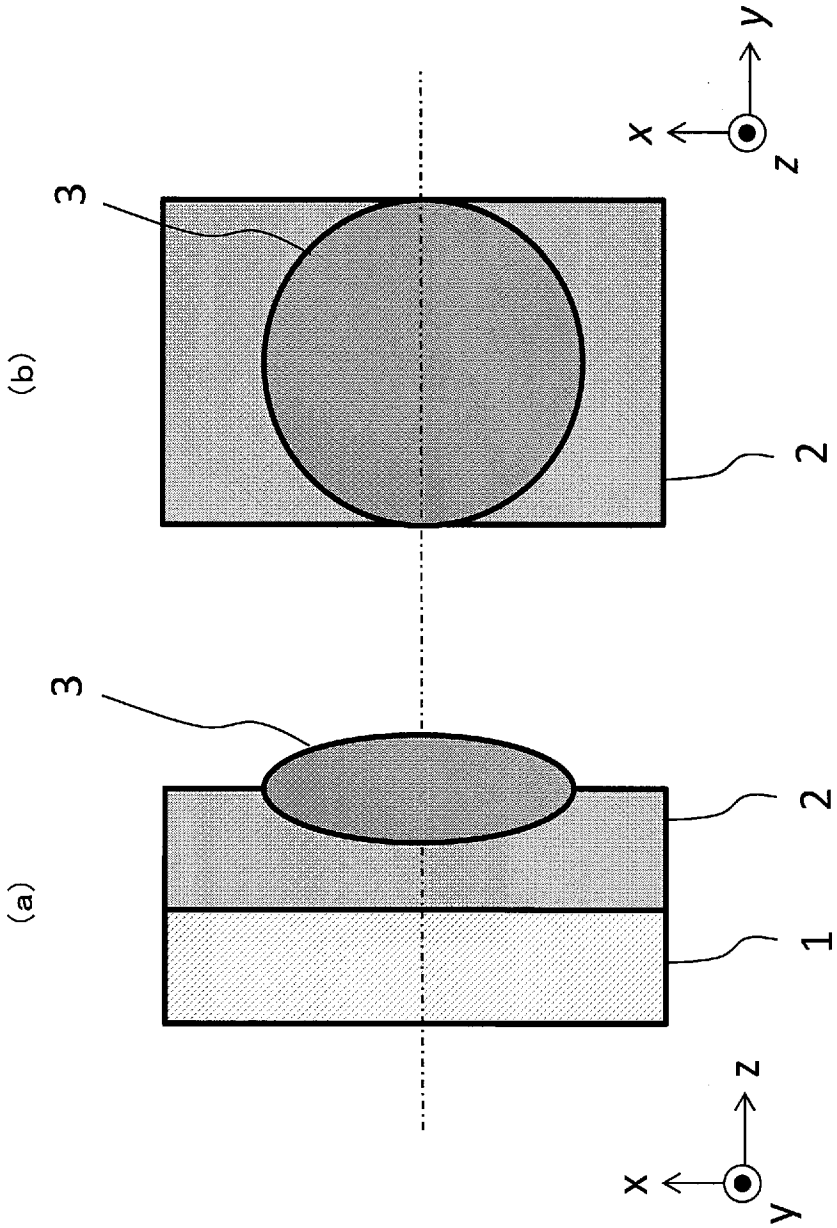
≧ｎａ1、ｎｌ1≧ｎａ2、ｎｌ2≧ｎａ2、且つｎｌ2≧ｎａ3を満たしている

ことを特徴とする光接続構造。

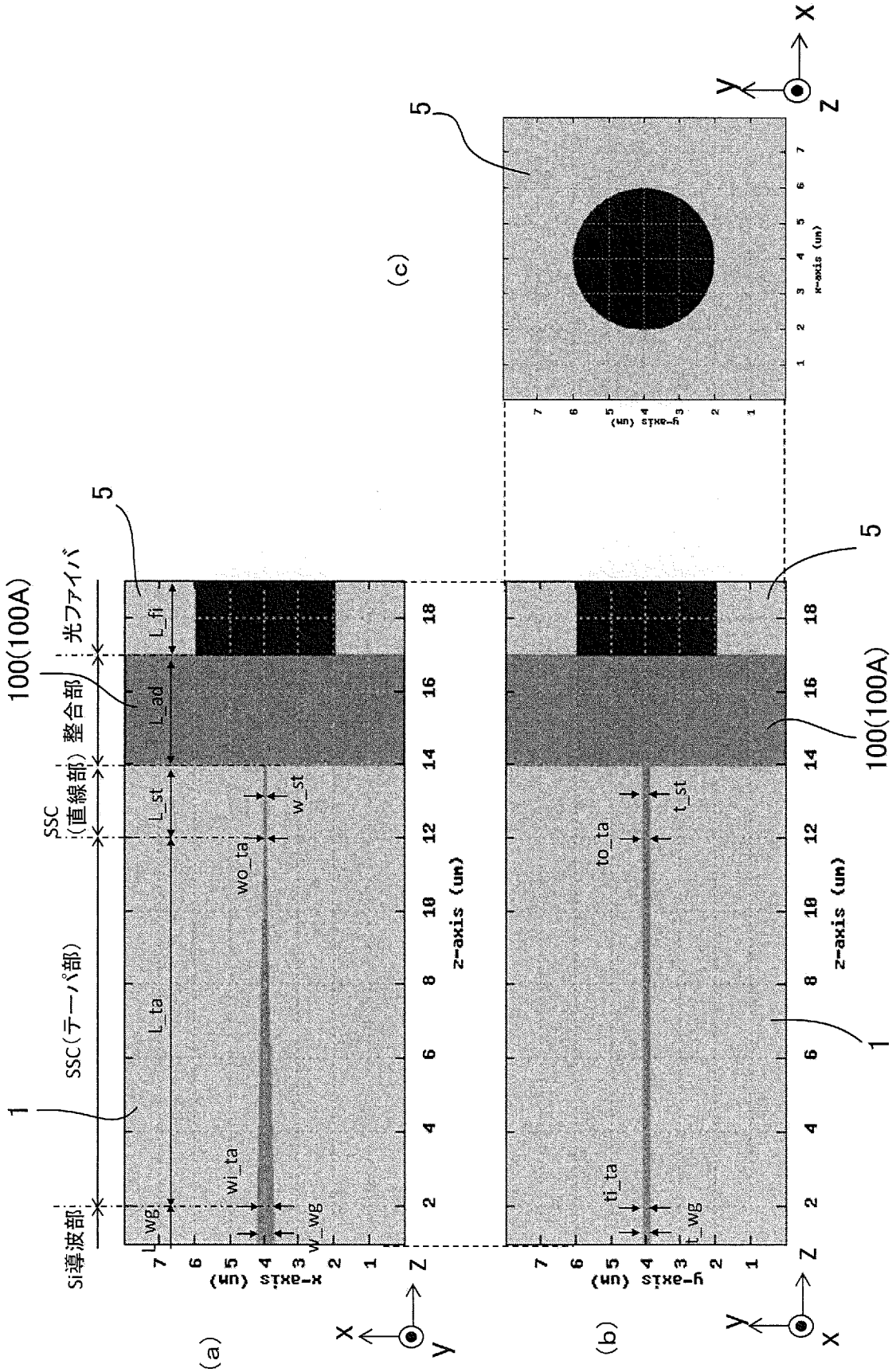
[図1]



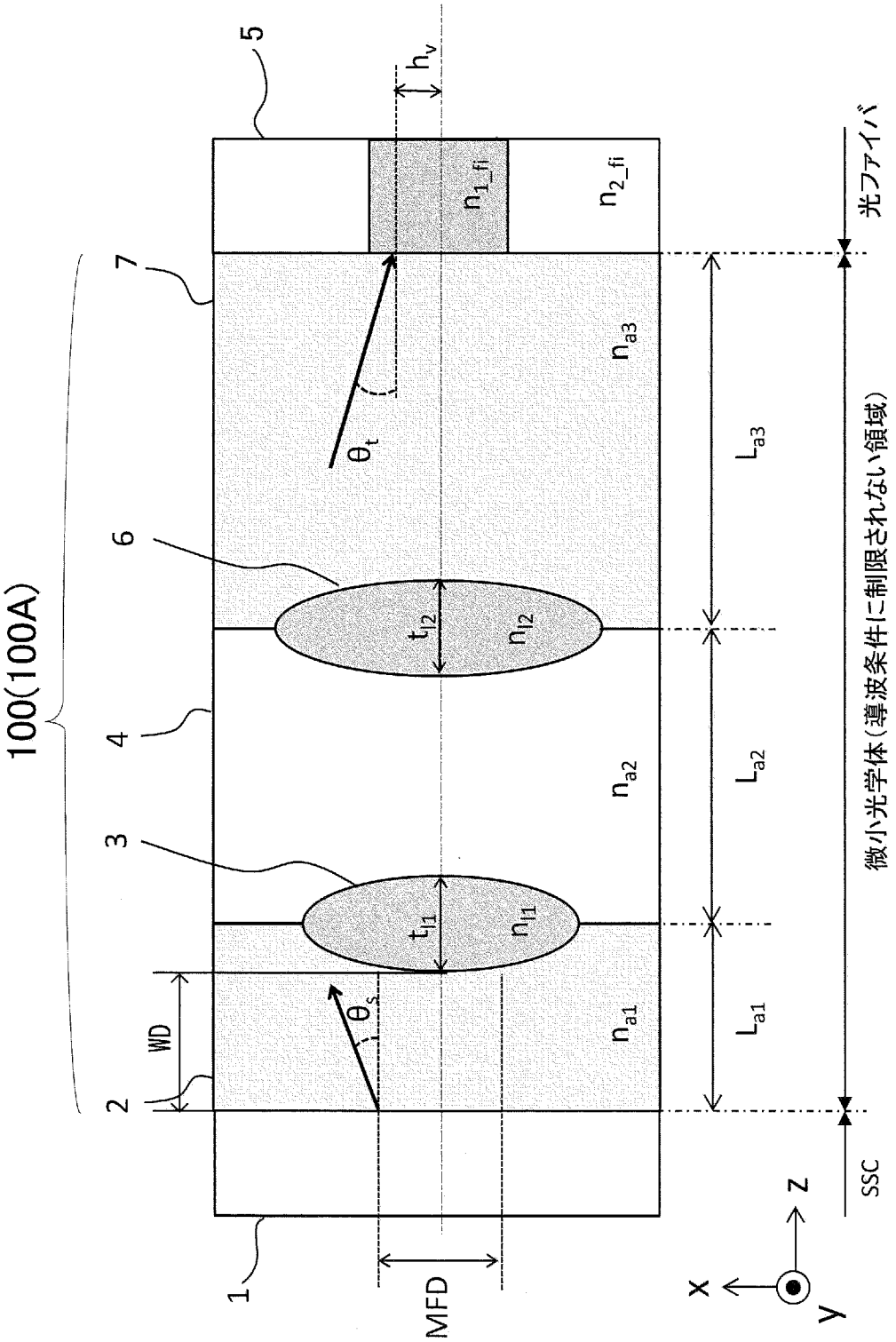
[図2]



[図3]


(a)
(b)
(c)
100(100A)
Si導波部
SSC(テーパ部)
SSC(直線部)
整合部
光ファイバ
L_wg
L_ta
L_st
L_ad
L_fi
wi_ta
wo_ta
w_wg
w_st
ti_ta
to_ta
t_wg
t_st
z-axis (um)
x-axis (um)
y-axis (um)
1
5

[図4]


100(100A)
1
2
3
4
5
6
7
WD
MFD
SSC
h_v
n_{1_fi}
n_{2_fi}
n_{a3}
n_{a2}
n_{a1}
t_{I2}
n_{I2}
t_{I1}
n_{I1}
θ_t
θ_s
L_{a3}
L_{a2}
L_{a1}
光ファイバ
微小光学体（導波条件に制限されない領域）
x
y
z

[図5]

大項目	小項目	記号	単位
SSC（直線部）	クラッド屈折率	n2_st	–
	コア屈折率	n1_st	–
	コア幅	w_st	μm
	コア厚	t_st	μm
	導波路長	L_st	μm
SSC（テーパ部）	クラッド屈折率	n1_ta	–
	コア屈折率	n2_ta	–
	テーパ入射側　コア幅	wi_ta	μm
	テーパ入射側　コア厚	ti_ta	μm
	テーパ出射側　コア幅	wo_ta	μm
	テーパ出射側　コア厚	to_ta	μm
	テーパ長	L_ta	μm
Si導波部	クラッド屈折率	n2_wg	–
	コア屈折率	n1_wg	–
	コア幅	w_wg	μm
	コア厚	t_wg	μm
	導波路長	L_wg	μm
ファイバ	クラッド屈折率	n2_fi	–
	コア屈折率	n1_fi	–
	比屈折率差	Δ	%
	コア直径	dia	μm
	ファイバ長	L_fi	μm

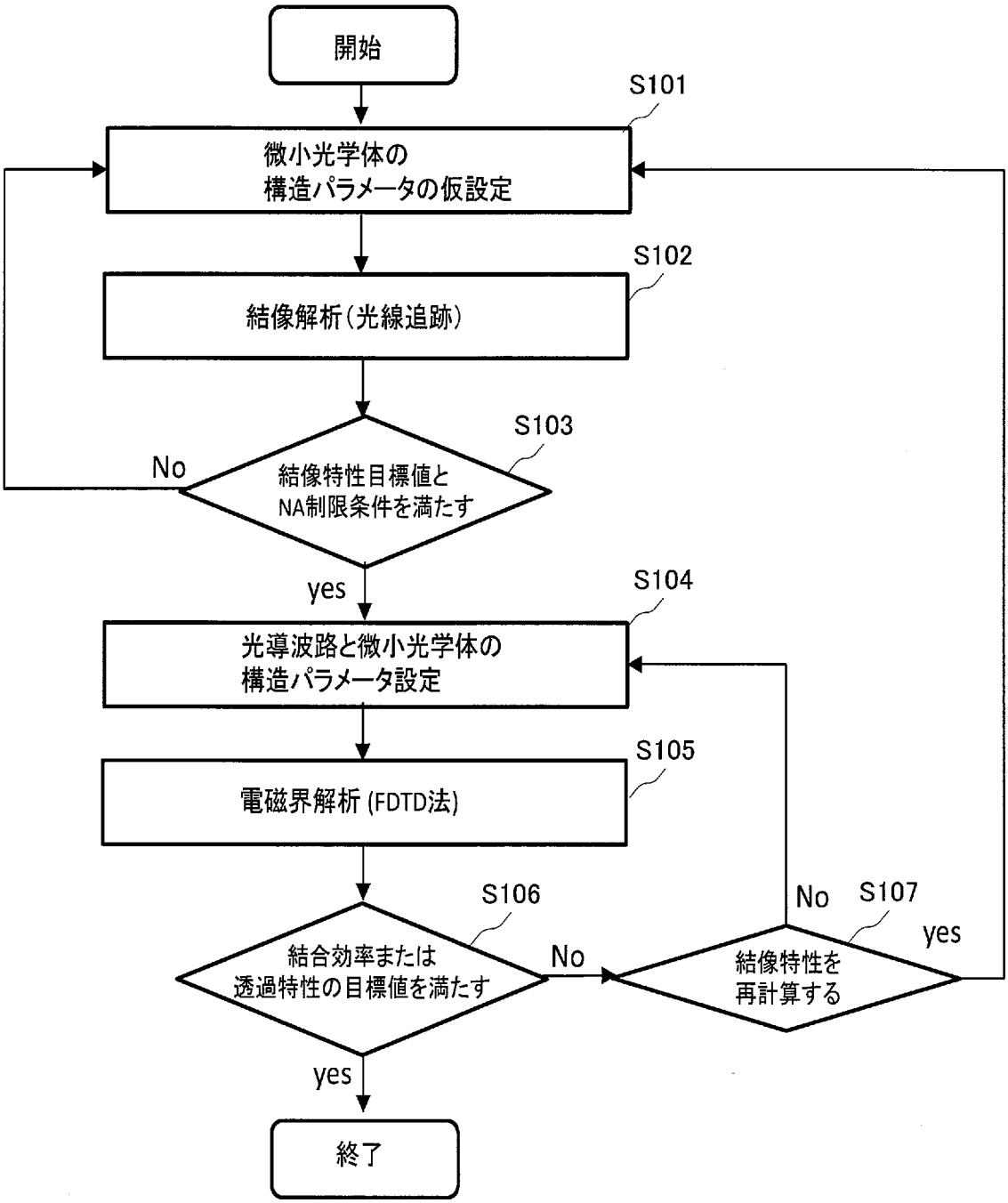
[図6]

大項目	小項目	記号	単位
第一の接着層	屈折率	na1	−
	層長	La1	μm
第二の接着層	屈折率	na2	−
	層長	La2	μm
第三の接着層	屈折率	na3	−
	層長	La3	μm
第一のレンズ構造体	屈折率	nl1	−
	曲率半径(左)	Rl1	μm
	曲率半径(右)	Rr1	μm
	レンズ厚	tl1	μm
	レンズ高	D1	μm
第二のレンズ構造体	屈折率	nl2	−
	曲率半径(左)	Rl2	μm
	曲率半径(右)	Rr2	μm
	レンズ厚	tl2	μm
	レンズ高	D2	μm

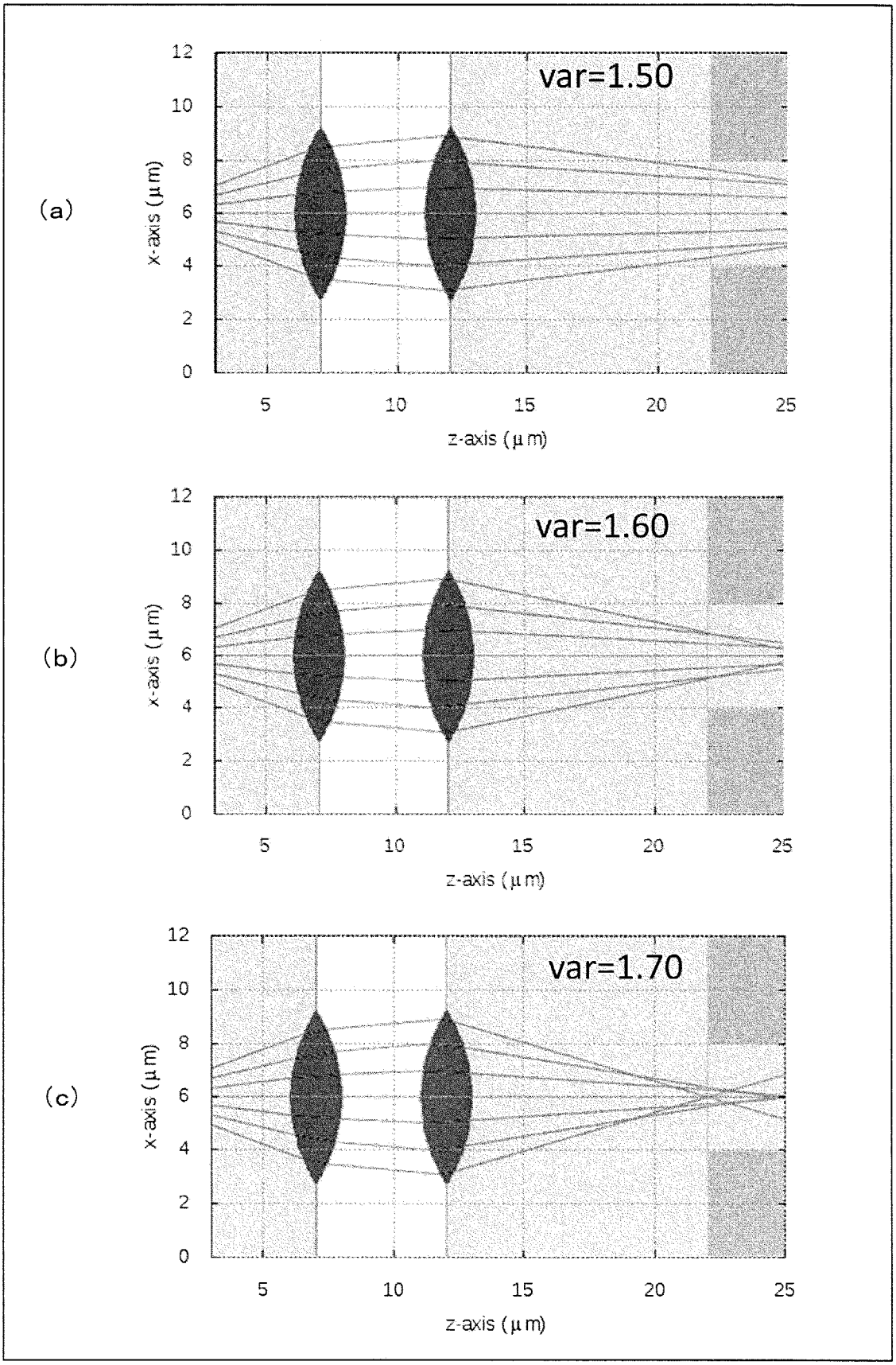
[図7]

大項目	小項目	記号	単位	備考
SSC側	モードフィールド径	MFD	μm	
	出射角度	θ_s	deg	
	開口数	NA_s	−	$n_{a1}\cdot\sin(\theta_s)$
光ファイバ側	像高	h_v	μm	
	入射角度	θ_t	deg	
	開口数	NA_t	−	$n_{a3}\cdot\sin(\theta_t)$

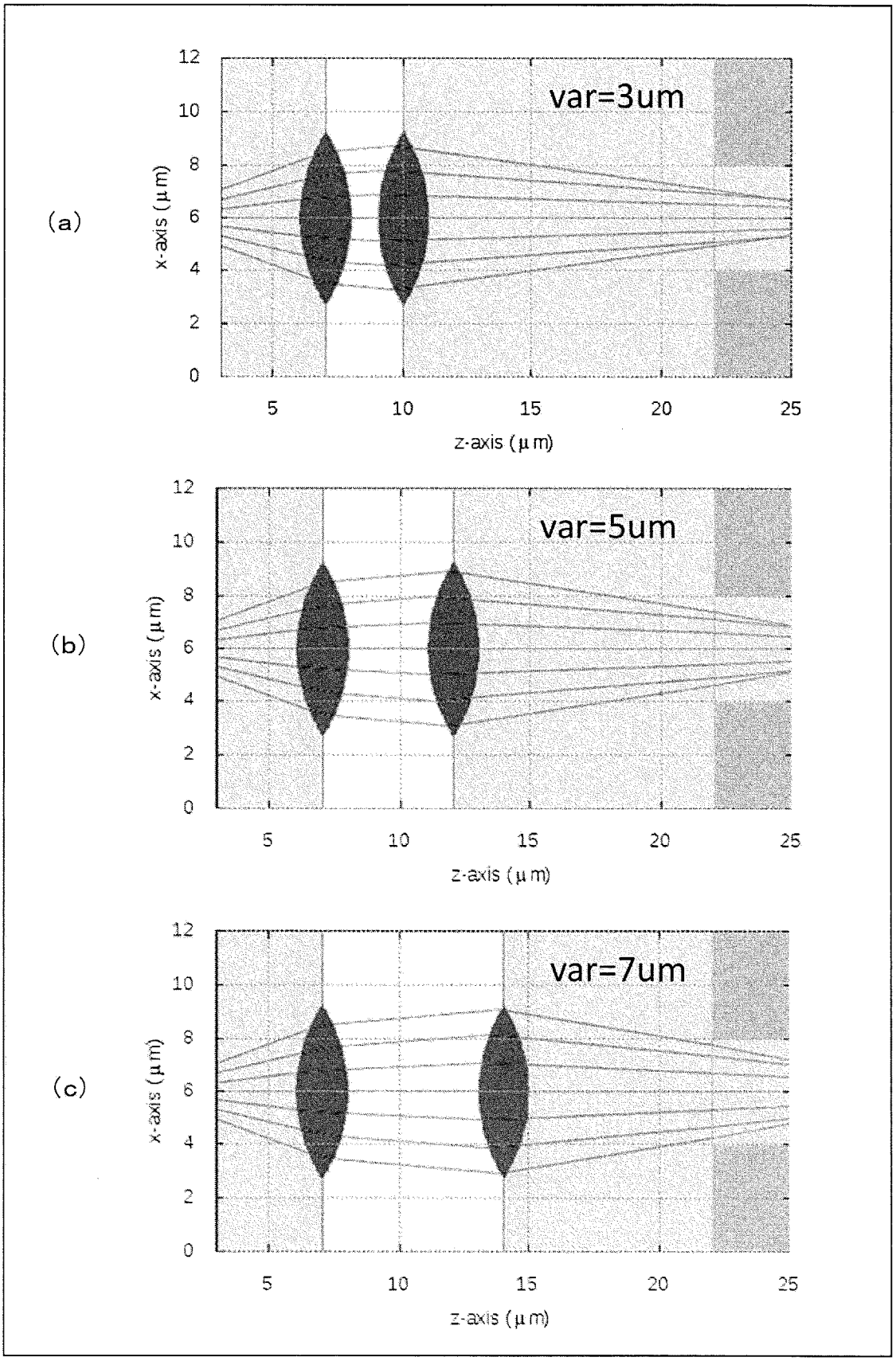
[図8]


開始
S101
微小光学体の
構造パラメータの仮設定
S102
結像解析(光線追跡)
S103
No
結像特性目標値と
NA制限条件を満たす
yes
S104
光導波路と微小光学体の
構造パラメータ設定
S105
電磁界解析 (FDTD法)
S106
結合効率または
透過特性の目標値を満たす
No
S107
No
結像特性を
再計算する
yes
yes
終了

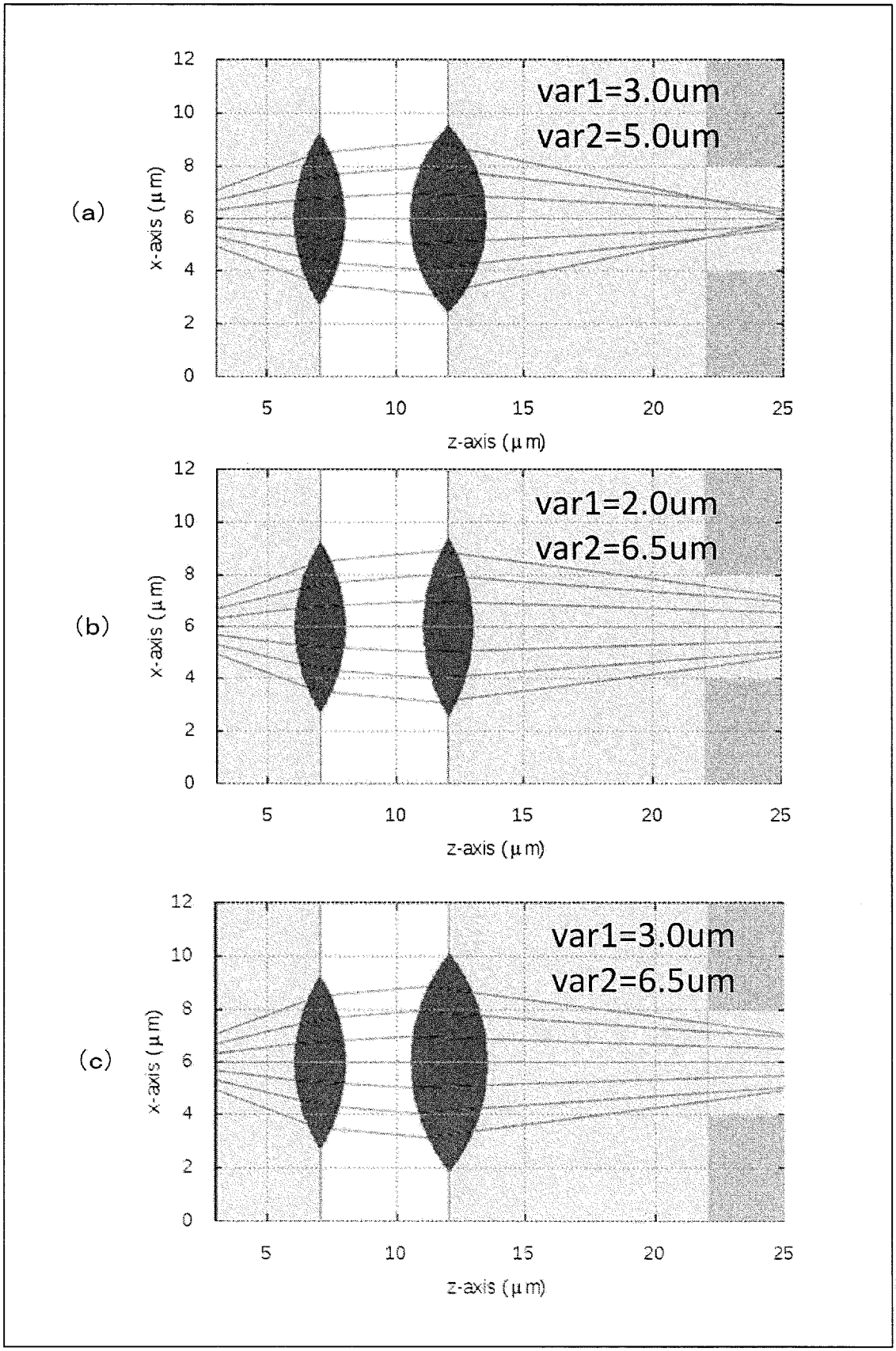
[図9A]


(a)
var=1.50
x-axis (μm)
z-axis (μm)
(b)
var=1.60
x-axis (μm)
z-axis (μm)
(c)
var=1.70
x-axis (μm)
z-axis (μm)
0
2
4
6
8
10
12
5
10
15
20
25

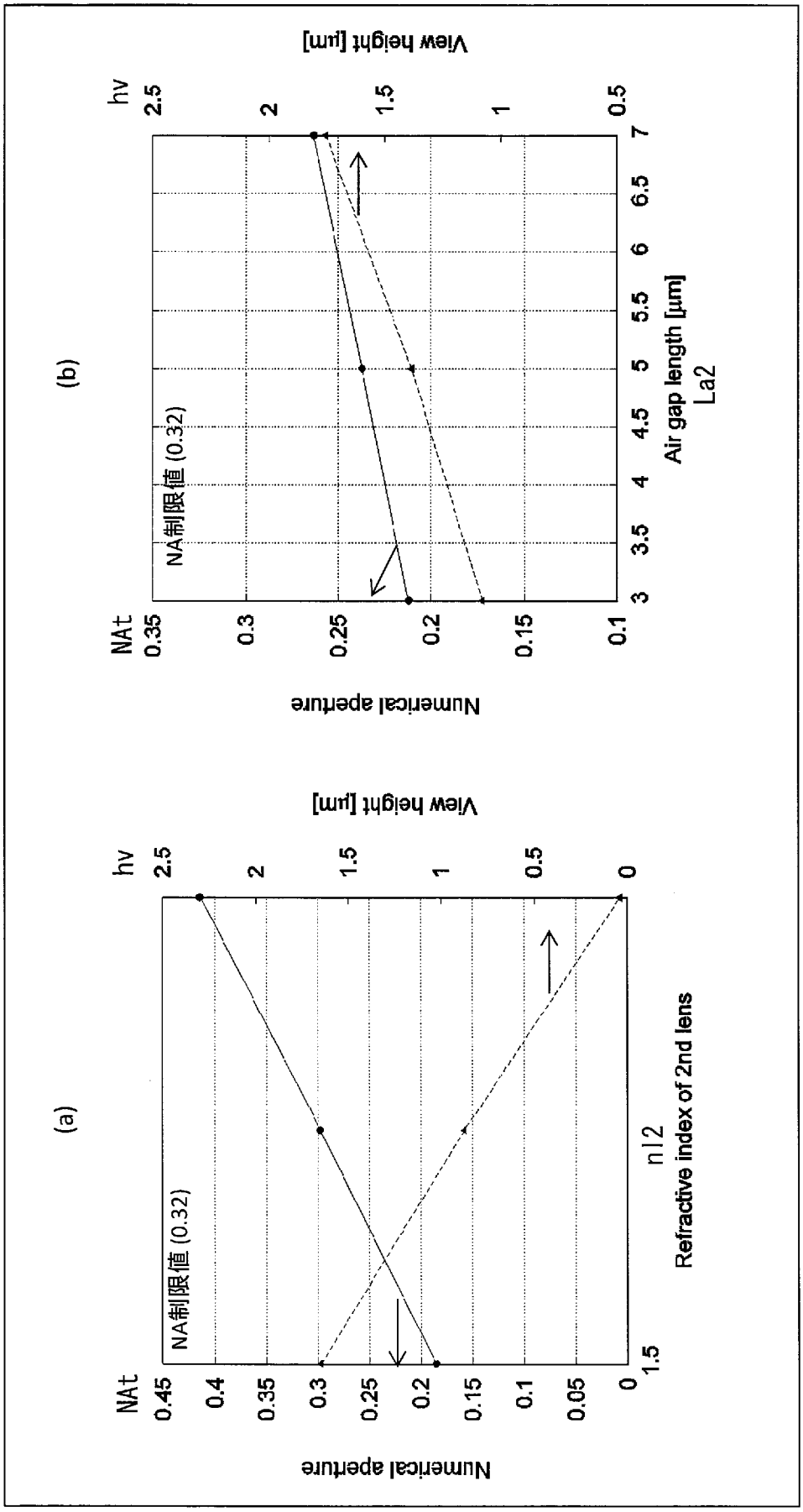
[図9B]


(a)
var=3um
x-axis (μm)
z-axis (μm)
(b)
var=5um
x-axis (μm)
z-axis (μm)
(c)
var=7um
x-axis (μm)
z-axis (μm)

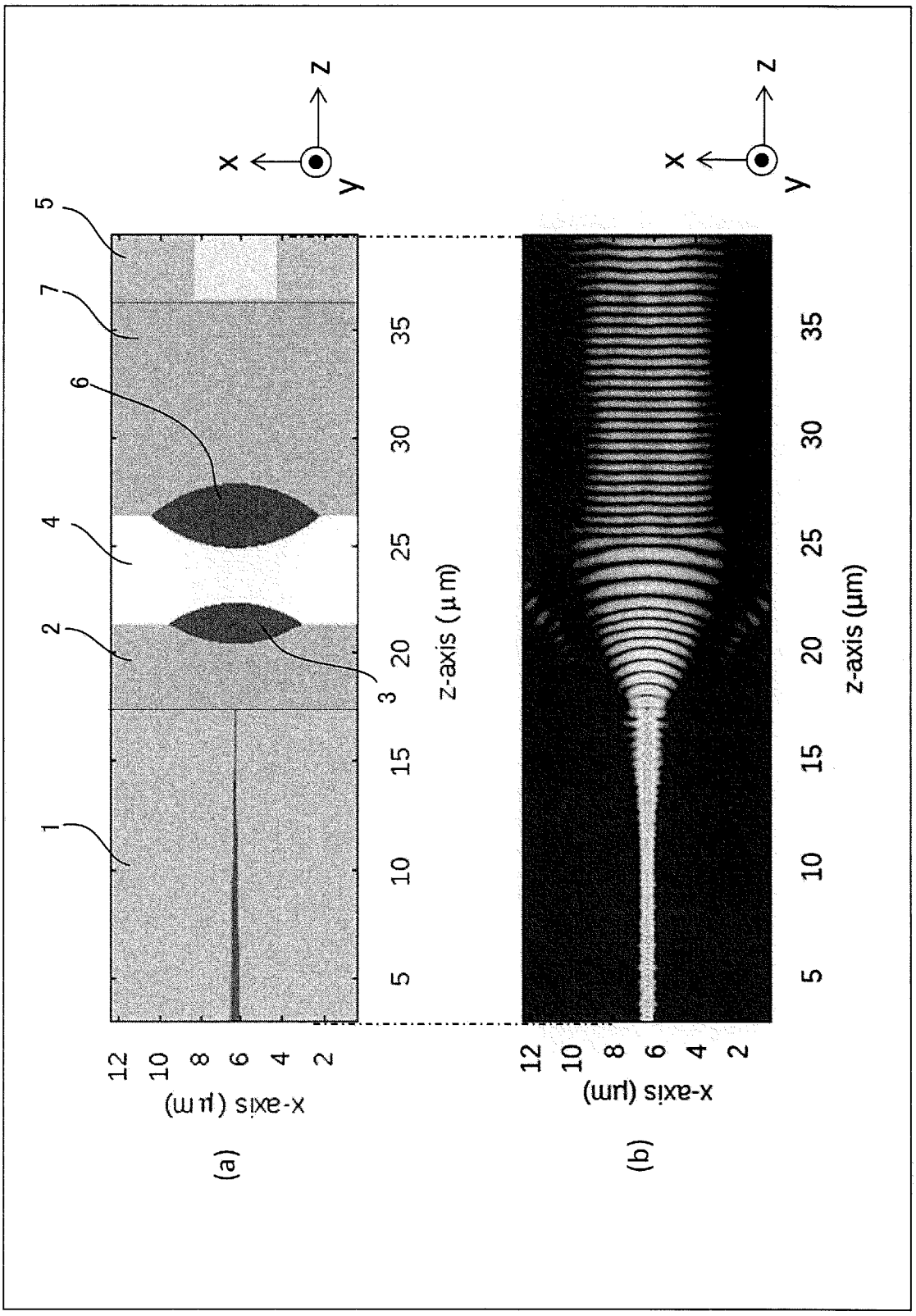
[図9C]


(a)
var1=3.0um
var2=5.0um
x-axis (μm)
z-axis (μm)
(b)
var1=2.0um
var2=6.5um
x-axis (μm)
z-axis (μm)
(c)
var1=3.0um
var2=6.5um
x-axis (μm)
z-axis (μm)

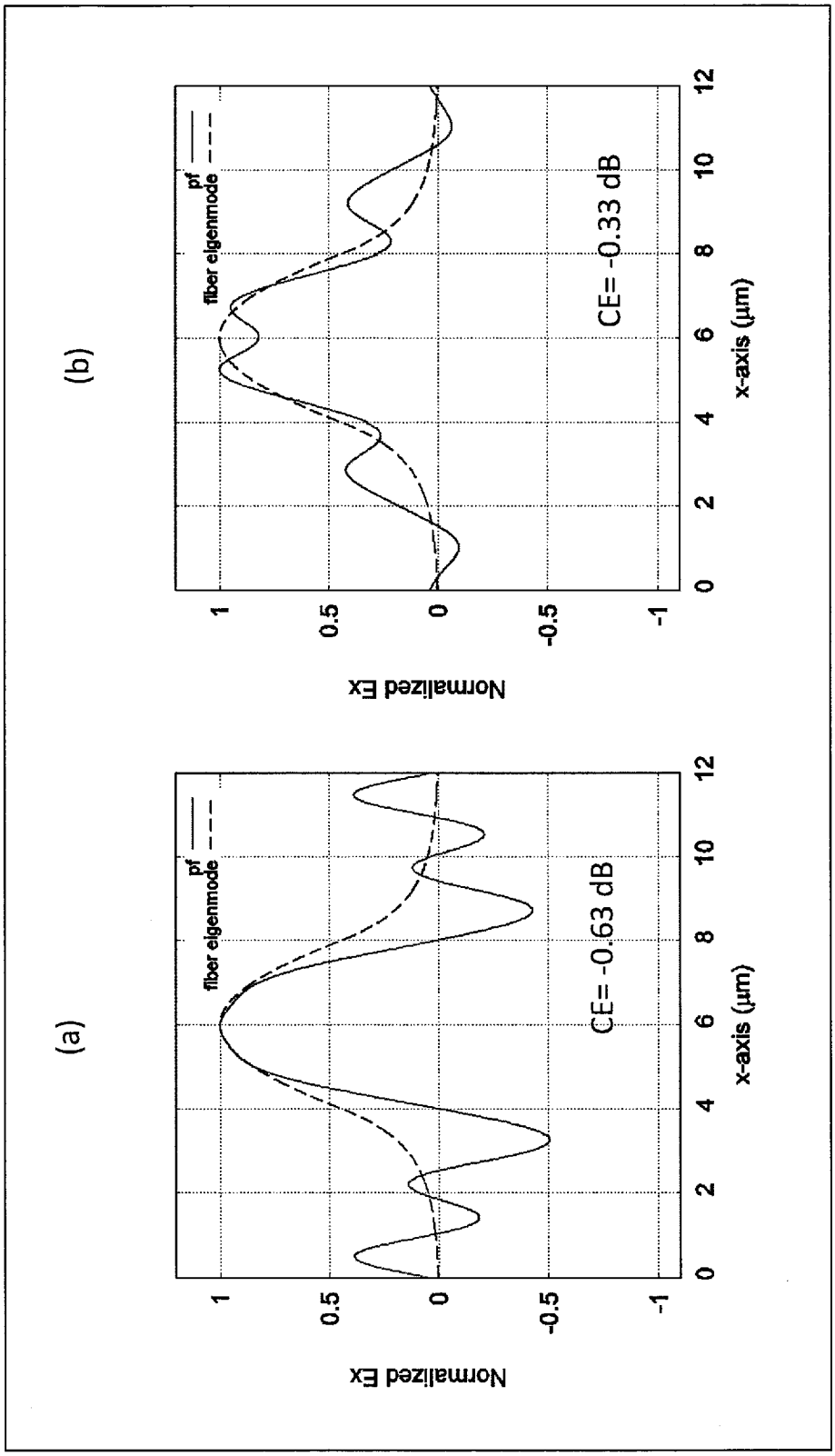
[図10]


(a)
Numerical aperture
NAt
0.45
0.4
0.35
0.3
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
hv
2.5
2
1.5
1
0.5
0
View height [μm]
NA制限値 (0.32)
n12
1.5
Refractive index of 2nd lens
(b)
Numerical aperture
NAt
0.35
0.3
0.25
0.2
0.15
0.1
hv
2.5
2
1.5
1
0.5
View height [μm]
NA制限値 (0.32)
3
3.5
4
4.5
5
5.5
6
6.5
7
Air gap length [μm]
La2

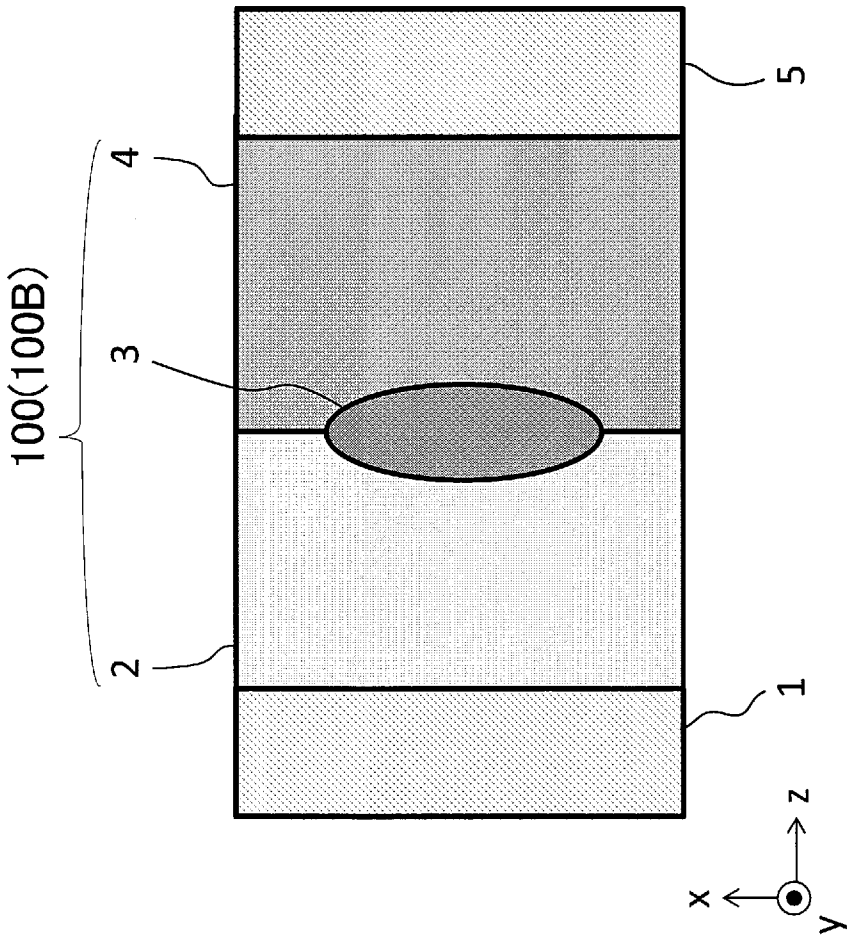
[図11]



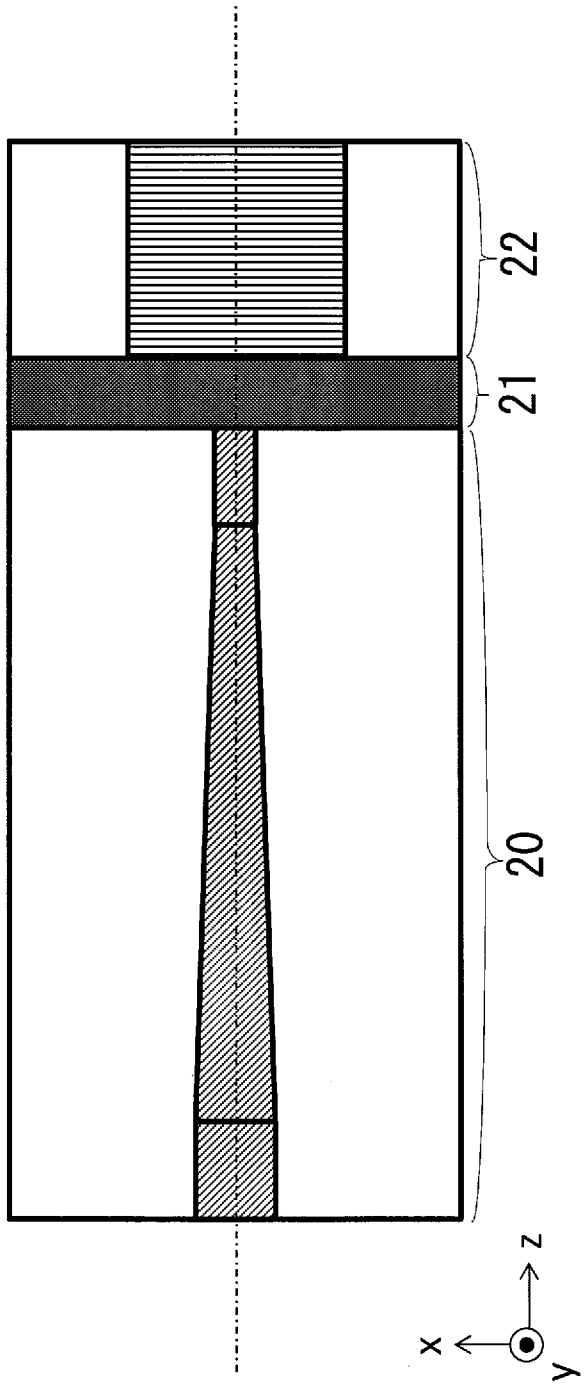
[図12]


(a)
fiber eigenmode
pf
CE= -0.63 dB
Normalized Ex
x-axis (μm)
(b)
fiber eigenmode
pf
CE= -0.33 dB
Normalized Ex
x-axis (μm)

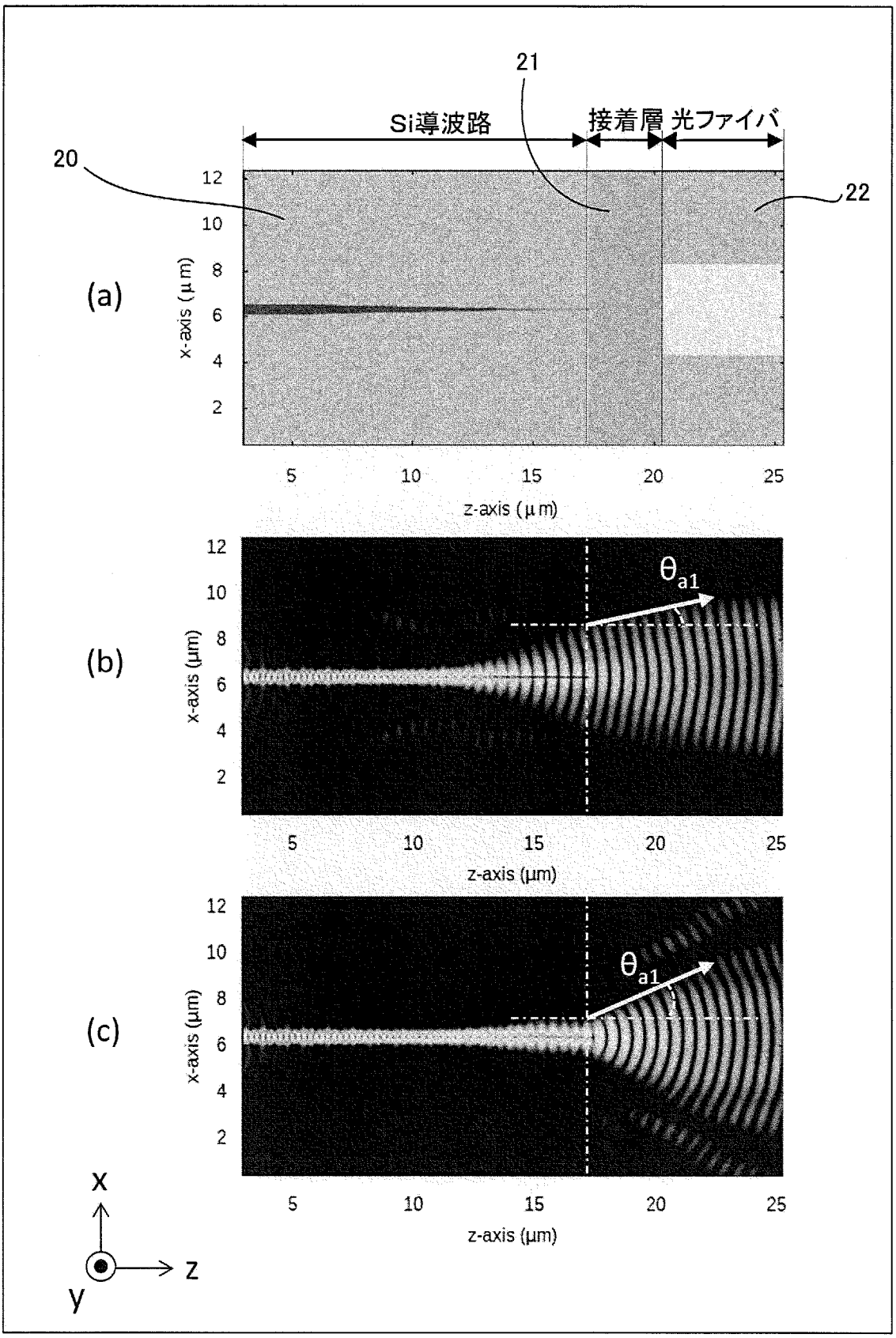
[図13]



[図14]



[図15]


21
Si導波路
接着層
光ファイバ
20
22
(a)
x-axis (μm)
z-axis (μm)
(b)
θa1
x-axis (μm)
z-axis (μm)
(c)
θa1
x-axis (μm)
z-axis (μm)
x
z
y

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2019/018733

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl. G02B6/32(2006.01)i, G02B6/30(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl. G02B1/00-1/08, G02B3/00-3/14, G02B6/12-6/14, G02B6/26-6/27, G02B6/30-6/34, G02B6/42-6/43

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	1971-2019
Registered utility model specifications of Japan	1996-2019
Published registered utility model applications of Japan	1994-2019

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 2017-134225 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 03 August 2017, paragraphs [0014]-[0024], all drawings (Family: none)	1-4
X Y	JP 2008-32931 A (RICOH CO., LTD.) 14 February 2008, paragraphs [0039]-[0055], [0102]-[0107], fig. 1-2 (Family: none)	1-6 5, 7-8
X Y	US 2009/0316273 A1 (VIENS, Jeff) 24 February 2009, paragraphs [0005], [0018]-[0027], fig. 2F, 4K, 5 & US 7920329 B2	1 5, 7-8

☒ 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
17 June 2019 (17.06.2019)	02 July 2019 (02.07.2019)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2019/018733

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2017-134228 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 03 August 2017, entire text, all drawings (Family: none)	1-8
A	US 2004/0027675 A1 (WU et al.) 12 February 2004, entire text, all drawings & US 7057832 B2 & US 2007/0019306 A1 & WO 2002/084340 A1 & EP 1377853 A1	1-8
A	JP 11-156951 A (SONY CORP.) 15 June 1999, entire text, all drawings & US 6137528 A & US 6278482 B1 & KR 10-0633708 B1	1-8
A	JP 9-504882 A (JENMAR VISUAL SYSTEMS) 13 May 1997, entire text, all drawings & JP 3232098 B2 & US 5563738 A & WO 1999/037949 A1 & EP 716754 A1	1-8
A	US 2015/0063750 A1 (FATTAL et al.) 05 March 2015, entire text, all drawings & US 9354398 B2 & WO 2013/105935 A1 & EP 2802913 A1 & CN 103975266 A & KR 10-2014-0111648 A	1-8

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１９／０１８７３３

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G02B6/32(2006.01)i, G02B6/30(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G02B1/00-1/08, G02B3/00-3/14, G02B6/12-6/14, G02B6/26-6/27, G02B6/30-6/34, G02B6/42-6/43

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	１９７１－２０１９年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１９年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１９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 2017-134225 A (日本電信電話株式会社) 2017.08.03, 段落[0014]-[0024], 全図 (ファミリーなし)	1-4
X	JP 2008-32931 A (株式会社リコー) 2008.02.14, 段落	1-6
Y	[0039]-[0055], [0102]-[0107], 図 1-2 (ファミリーなし)	5, 7-8
X	US 2009/0316273 A1 (VIENS, Jeff) 2009.12.24, 段落	1
Y	[0005], [0018]-[0027], 図 2F, 4K, 5 & US 7920329 B2	5, 7-8

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　　☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
１７．０６．２０１９	０２．０７．２０１９

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　２Ｌ　５７０８
野口　晃一
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２９５

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	JP 2017-134228 A (日本電信電話株式会社) 2017.08.03, 全文,全図 (ファミリーなし)	1-8
A	US 2004/0027675 A1 (WU et al.) 2004.02.12, 全文,全図 & US 7057832 B2 & US 2007/0019306 A1 & WO 2002/084340 A1 & EP 1377853 A1	1-8
A	JP 11-156951 A (ソニー株式会社) 1999.06.15, 全文,全図 & US 6137528 A & US 6278482 B1 & KR 10-0633708 B1	1-8
A	JP 9-504882 A (ジェンマー・ヴィジュアル・システムズ) 1997.05.13, 全文,全図 & JP 3232098 B2 & US 5563738 A & WO 1999/037949 A1 & EP 716754 A1	1-8
A	US 2015/0063750 A1 (FATTAL et al.) 2015.03.05, 全文,全図 & US 9354398 B2 & WO 2013/105935 A1 & EP 2802913 A1 & CN 103975266 A & KR 10-2014-0111648 A	1-8