(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
2020年1月16日(16.01.2020)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2020/012909 A1

(51) 国際特許分類:
G02F 1/39 (2006.01)
G02B 6/13 (2006.01)
G02B 6/26 (2006.01)
G02B 6/30 (2006.01)
G02F 1/377 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2019/024490

(22) 国際出願日： 2019年6月20日(20.06.2019)

(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 2018-131405 2018年7月11日(11.07.2018) 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: 田中 拓也 (**TANAKA, Takuya**); 〒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). 阿部 淳 (**ABE, Makoto**); 〒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).

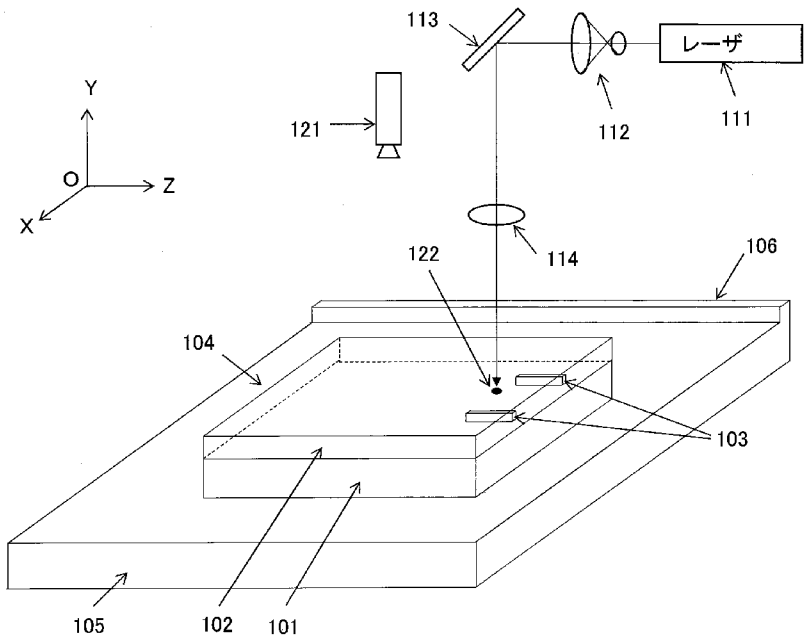
(74) 代理人: 山川 茂樹, 外 (**YAMAKAWA, Shigeki** et al.); 〒1006104 東京都千代田区永田町２丁目１１番１号 山王パークタワー４階 山川国際特許事務所内 Tokyo (JP).

(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:** METHOD FOR FORMING GROOVE IN HYBRID OPTICAL DEVICE, AND HYBRID OPTICAL DEVICE

(54) 発明の名称： ハイブリッド光デバイスの溝作製方法およびハイブリッド光デバイス

[図1]



111 Laser

(57) **Abstract:** Through the present invention, a groove having an arbitrary length is formed in a quartz-based waveguide chip without limitation of chip size. A marker 103 indicating a planned cutting line extending along the in-plane direction of a quartz-based waveguide chip 104 from a connection end surface of the chip is formed in advance by machining a waveguide core layer of the quartz-based waveguide chip 104, the irradiation position of a laser light is matched to the start position of the mark 103 in a state in which the quartz-based waveguide chip 104 is mounted on a stage 105, and the

WO 2020/012909 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))

stage 105 is moved along the extension direction of the mark 103 while laser light is radiated from above the quartz-based waveguide chip 104, and a groove is thereby formed in the connection end surface of the quartz-based waveguide chip 104.

(57) 要約:チップサイズの制限を受けることなく、石英系導波路チップに任意の長さの溝を作製する。石英系導波路チップ１０４の接続端面からチップ面内方向に沿って延伸する切断予定ラインを示すマーカー１０３を、石英系導波路チップ１０４の導波路のコア層を加工することにより予め形成し、ステージ１０５上に石英系導波路チップ１０４が載置された状態で、レーザ光の照射位置をマーカー１０３の始点の位置に合わせ、石英系導波路チップ１０４の上方からレーザ光を照射しながら、マーカー１０３の延伸方向に沿ってステージ１０５を動かすことにより、石英系導波路チップ１０４の接続端面に溝を作製する。

明　細　書

発明の名称 ：

ハイブリッド光デバイスの溝作製方法およびハイブリッド光デバイス

技術分野

[0001] 本発明は、ハイブリッド光デバイスの作製方法に関し、より詳細には、石英系導波路チップと周期分極反転構造を有する二次非線形導波路チップとが接合されたハイブリッド光デバイスにおいて、石英系導波路チップの二次非線形導波路チップとの接続端面に接着剤の染み出しを防止する溝を作製する方法に関するものである。

背景技術

[0002] 石英系ＰＬＣ（Planar Lightwave circuit：平面光波回路）は、代表的な構成例として石英基板またはシリコン基板上に石英ガラスが堆積されたコアとクラッドとから構成される石英ガラス導波路である。石英系ＰＬＣは、スプリッタ、ＡＷＧ（Arrayed waveguide grating）、ＭＺ（Mach-Zehender：マッハツエンダー）干渉回路、ＴＯ（Thermo-Optic：熱光学）スイッチ等の要素回路を構成し、光通信のキーデバイスとして用いられている（例えば、非特許文献１参照）。

[0003] 一方、ＰＰＬＮ（Periodically Poled $LiNbO_3$：周期分布反転ニオブ酸リチウム）を用いた位相感応増幅器は多値信号を扱うデジタルコヒーレント通信において、従来のＥＤＦＡ（Erbium-Doped Fiber Amplifer：エルビウム添加光ファイバー増幅器）に代表されるレーザ増幅器に比較して低雑音で光信号の増幅ができるので有望なデバイスである（例えば非特許文献２参照）。

[0004] 図６は、従来のＰＰＬＮモジュールの構成を示す概略図である。図６のＰＰＬＮモジュール３００は、入力光ファイバー３０１および出力光ファイバー３０３が接続されたＯＰＡ（Optical parametric amplifier）用モジュール３１０と、入力光ファイバー３０２および出力光ファイバー３０４が接続された第２高調波光発生（Second Harmonic Generation：ＳＨＧ）用モジュ

ール３２０とを備える。

[0005] ＯＰＡ用モジュール３１０内には、光の入力側から順に、コリメートレンズ３１１、ダイクロイックミラー（dichroic mirror）３１２、集光レンズ３１３、ＰＰＬＮ導波路３１４、集光レンズ３１５、ダイクロイックミラー３１６、コリメートレンズ３１７が配置されている。ＳＨＧ用モジュール３２０内には、光の入力側から順に、コリメートレンズ３２１、ダイクロイックミラー３２２、集光レンズ３２３、ＰＰＬＮ導波路３２４、集光レンズ３２５、ダイクロイックミラー３２６、コリメートレンズ３２７が配置されている。ＯＰＡ用モジュール３１０とＳＨＧ用モジュール３２０とは、光ファイバー３０５により接続されている。また、入力光ファイバー３０２とＳＨＧ用モジュール３２０との間に、ＥＤＦＡ（Erbium-Doped Fiber Amplifier）３０６と、ＢＰＦ（Band Pass Filter）３０７とが挿入されている。

[0006] ＰＰＬＮモジュール３００においては、まず、入力光ファイバー３０２からＥＤＦＡ３０６およびＢＰＦ３０７を介して、１．５４μｍ帯の基本波光がＳＨＧ用モジュール３２０に入射する。基本波光は、コリメートレンズ３２１により平行光に変換され、ダイクロイックミラー３２２を通過した後、集光レンズ３２３により集光され、ＰＰＬＮ導波路３２４に入射する。ＰＰＬＮ導波路３２４において、基本光波は、励起光となる０．７７μｍ帯の第２高調波光（Second Harmonic light：ＳＨ光）に変換され、ＰＰＬＮ導波路３２４を出射する。このとき、すべての基本波光がＳＨ光に変換されるわけではなく、未変換基本波光も一緒に出射される。ＳＨ光は、集光レンズ３２５により平行光に変換された後、ダイクロイックミラー３２６において基本波光と分離され、光ファイバー３０５を介してＯＰＡ用モジュール３１０に入射する。

[0007] ＯＰＡ用モジュール３１０には、入力光ファイバー３０１から１．５４μｍ帯の信号光が入射する。入射した信号光は、コリメートレンズ３１１により平行光に変換され、ダイクロイックミラー３１２において、光ファイバー３０５からのＳＨ光と合波され、集光レンズ３１３により集光され、ＰＰＬ

Ｎ導波路３１４に入射する。ＰＰＬＮ導波路３１４において、信号光はＳＨ光とのパラメトリック効果により増幅されて、ＰＰＬＮ導波路３１４を出射する。このとき、全てのＳＨ光が信号光増幅に寄与するわけではなく、ＳＨ光の一部も、増幅された信号光と共にＰＰＬＮ導波路３１４から出射する。ＰＰＬＮ導波路３１４からの出射光は、ダイクロイックミラー３１６により未変換ＳＨ光と増幅された信号光とに分波される。信号光は、コリメートレンズ３１７により集光され、ＯＰＡ用モジュール３１０を出射して出力光ファイバー３０３に入射する。こうして、１．５４μｍ帯の信号光が増幅される。

[0008] しかしながら、図６を見ても分かるように、光ファイバー３０１～３０５とＰＰＬＮ導波路３１４，３２４とを接続するために複数のレンズを光学調芯し、固定する必要があり、モジュールの作製に時間とコストがかかるという問題があった。

[0009] この問題を解決するため、石英系ＰＬＣとＰＰＬＮ導波路をハイブリッド集積する試みがなされている。図７は、石英系導波路チップ４０９とＰＰＬＮ導波路チップ４０５とをハイブリッド集積したＰＬＣ－ＰＰＬＮモジュールの斜視図である。

[0010] 石英系導波路チップ４０９は、Ｓｉ基板上に石英系ガラスを主たる材料として形成されたコア層とクラッド層とからなる導波路（不図示）を備えている。

ＰＰＬＮ導波路チップ４０５は、少なくとも一部にＯＰＡ用とＳＨＧ用のＰＰＬＮ導波路４０４を含む。

[0011] クラッド層とコア層とを含む石英系導波路チップ４０９は、Ｓｉ基板上へのガラス堆積技術とフォトリソグラフィ技術とを用いて作製される。石英系導波路チップ４０９を作製するガラス堆積技術として火炎堆積法（ＦＨＤ法）を用いる例を図８により説明する。

[0012] 最初に、酸水素炎中に気体原料（主成分：四塩化シリコン）を通し加熱加水分解したガラス微粒子をＳｉ基板５０３上に堆積させることで、ガラス微

粒子膜５０１，５０２を形成する（図８（Ａ））。

続いて、ガラス微粒子膜５０１，５０２を電気炉で加熱することでＳｉ基板５０３の上面を覆う透明なガラス膜とする。このガラス膜の組成（GeO_2ドーパント濃度）を変えることで下部クラッド層５０５とコア層５０４の２層構造を作製する（図８（Ｂ））。

[0013] 次に、ＬＳＩパタンの微細加工と同様にフォトリソグラフィ技術を用いて、導波路パターンを、フォトマスクを用いて、コア層５０４の表面に塗布したレジストに転写する。レジストをエッチングマスクとして反応性イオンエッチング（ＲＩＥ：Reactive Ion Etching）によりコア５０４ａとなる部分を残してコア層５０４を除去し、その後にレジストを除去する（図８（Ｃ））。形成したコア５０４ａを覆うようにガラス微粒子膜５０６を再度ＦＨＤ法で堆積する（図８（Ｄ））。

[0014] そして、ガラス微粒子膜５０６を電気炉で加熱することで透明なガラス膜からなる上部クラッド層５０７を形成する（図８（Ｅ））。

こうして、石英系導波路チップ４０９が完成する。コア５０４ａは、上部クラッド層５０７、下部クラッド層５０５より屈折率が高くなっている。一般に、上部クラッド層５０７と下部クラッド層５０５の屈折率は同じである。コア５０４ａに光を入射させると、光は、コア５０４ａの屈折率がコアを囲むクラッド層５０５，５０７の屈折率より高くなっていることにより、主にコア５０４ａに閉じ込められて伝搬する。

なお、図８（Ａ）～図８（Ｅ）の例では、ガラス堆積技術としてＦＨＤ法を用いる例を挙げて説明したが、例えば化学気層蒸着法（ＣＶＤ：Chemical Vapor Deposition）などを用いてもよい。

[0015] 一方、ＰＰＬＮ導波路チップ４０５は、直接接合とエッチングを用いて作製することができる。具体的には、Ｚｎを添加した$LiNbO_3$の基板をコア層として、この$LiNbO_3$基板に先に分極反転を施し、この周期分極反転構造を有する$LiNbO_3$基板とクラッド層となる$LiTaO_3$基板とを直接接合し、その後$LiNbO_3$基板を薄膜化して、エッチングにより横方向の閉じ込

めを行いリッジ型の光導波路構造とする（例えば非特許文献２参照）。

[0016] 図９は、図７のＰＬＣ－ＰＰＬＮモジュール（ハイブリッド光デバイス）の構成を示す平面図である。ここでは、図７のファイバブロック４０２，４１３に対応する部分は省き、石英系導波路チップ４０９とＰＰＬＮ導波路チップ４０５とが接続した構成で表している。

[0017] 入力導波路６０１から１．５４μｍ帯の基本波光が入射する。ＰＰＬＮ導波路６０２（図６のＰＰＬＮ導波路３２０に相当）で分極反転分布が第２次高調波発生に位相整合するような周期で設けられているので、１．５４μｍ帯の基本波光は０．７７μｍ帯の励起光に変換される。０．７７μｍ帯の励起光と未変換の１．５４μｍ帯の基本波光は、石英系導波路チップ４０９のポート６０３に入射し、導波路６２０を伝播した後、方向性結合器６０５に入射する。この方向性結合器６０５に入射した光のうち、１．５４μｍ帯の基本波光の大半は方向性結合器６０５のクロスポートから導波路６０７に出力され、０．７７μｍ帯の励起光は方向性結合器６０５のスルーポートから導波路６０６に出力される。

[0018] 導波路６０６を伝播する０．７７μｍ帯の励起光と１．５４μｍ帯の僅かな基本波光とは、方向性結合器６０８に入射する。方向性結合器６０８に入射した光のうち、０．７７μｍ帯の励起光は、方向性結合器６０８のスルーポートから導波路６１１に出力され、方向性結合器６１２に入射する。１．５４μｍ帯の基本波光は、方向性結合器６０８のクロスポートから導波路６２１を介してポート６０９へ出力される。

[0019] 一方、光ファイバー（図７の光ファイバー４１４）との接続端面のポート６１０より１．５４μｍ帯の信号光が入射する。信号光は、導波路６２２を伝播した後、方向性結合器６１２に入射する。方向性結合器６１２において信号光と０．７７μｍ帯の励起光とが合波され、合波された信号光と励起光とがＰＰＬＮ導波路チップ４０５のポートに結合する。すなわち、信号光と励起光の合波光は、方向性結合器６１２から導波路６２３に出力され、ＰＰＬＮ導波路チップ４０５との接続端面のポート６１４に出力される。

[0020] ＰＰＬＮ導波路チップ４０５内では、ＰＰＬＮ導波路６１６（図６のＰＰＬＮ導波路３１４に相当）において、波長１．５４μｍ帯の信号光が０．７７μｍ帯の励起光によりパラメトリック増幅されるように位相整合が導波路６１６の分極反転分布によりなされ、波長１．５４μｍ帯の信号光が増幅される。増幅された信号光は、光ファイバー（図７の光ファイバー４０１）との接続端面のポート６１７から出力される。

[0021] 次に、石英系導波路チップ４０９を加工してＰＰＬＮ導波路チップ４０５と接合する方法について説明する。図１０は、石英系導波路チップ４０９のＰＰＬＮ導波路チップ４０５との接続端面を拡大した斜視図、図１１は、石英系導波路チップ４０９に溝４０６を作製する方法を説明する図である。

[0022] 図１１に示したように石英系導波路チップ４０９の上面と下面に、加工時の補強材として、パイレックス（登録商標）の板８０２，８０６を張り付け、ＰＰＬＮ導波路チップ４０５と接続する側の端面７０１の所望の位置、具体的には、石英系導波路チップ４０９の接続端面７０１のうち、光が伝播する導波路が形成された領域７２０とその両側の光が伝播しない領域７１９とを分断するように、接続端面７０１からチップ内部に向かう溝４０６を石英系導波路チップ４０９の厚さ方向に沿って２箇所形成した。この溝４０６の形成には、ダイシングソーを用いる。図１１では、ダイシングソーのブレードを８０１で示している。

[0023] 次に、補強材として用いたパイレックス板８０２，８０６を石英系導波路チップ４０９から取り外し、図１０に示すように、研磨時及び接続時の補強となるヤトイガラス（補強硝材）４０７，４０８を、その端面が接続端面７０１と面一になるように石英系導波路チップ４０９の上面と下面に接着剤で貼り付けると共に、同じくヤトイガラス４１０，４１１を、その端面が接続端面７０１と反対側の石英系導波路チップ４０９の接続端面７０２と面一になるように石英系導波路チップ４０９の上面と下面に接着剤で貼り付け、接続端面７０１，７０２の研磨を行う。

[0024] このとき、接続端面７０１側のヤトイガラス４０７，４０８の端面には、

接続端面７０１に形成された溝４０６と同じ間隔、同じ幅の溝７０３を２箇所形成しておき、石英系導波路チップ４０９の溝４０６とヤトイガラス４０７，４０８の溝７０３の位置が一致するように、ヤトイガラス４０７，４０８を石英系導波路チップ４０９の上面と下面に貼り付けている。

[0025] 石英系導波路チップ４０９の接続端面７０１，７０２の研磨後、接続端面７０１のうち、溝４０６，７０３の外側の、光が伝播しない領域７１９に紫外線硬化型接着剤７１３を塗布し、接続端面７０１とＰＰＬＮ導波路チップ４０５の接続端面とを向かい合わせる。そして、石英系導波路チップ４０９の導波路とＰＰＬＮ導波路チップ４０５の導波路との光軸調整後、紫外線硬化型接着剤７１３に紫外線を照射し、石英系導波路チップ４０９とＰＰＬＮ導波路チップ４０５とを接合する。

[0026] 本例では、溝４０６，７０３を設けたことにより、石英系導波路チップ４０９の接続端面７０１を、導波路が形成された領域７２０とその両側の光が伝播しない領域７１９とに分断しているので、光が伝播しない領域７１９に塗布した紫外線硬化型接着剤７１３が領域７２０まで染み出すことはない。

[0027] この接続端面７０１の領域７２０とＰＰＬＮ導波路チップ４０５の接続端面との間には、紫外線硬化型接着剤７１３の厚さ分の僅かな間隙がある。紫外線硬化型接着剤７１３の硬化後、この間隙に高耐光性樹脂７１４を充填することにより、石英系導波路チップ４０９からＰＰＬＮ導波路チップ４０５へ入射する光に、石英ガラスとＬｉＮｂO_3との屈折率差に起因する反射損失以外を主要因とする損失が生じなくなる。

[0028] 紫外線硬化型接着剤を光路（導波路が形成された領域７２０）に塗らないのは、０．８μｍ帯もしくはそれよりも短波長で高強度の光が、一般の紫外線硬化型接着剤を通過した場合、紫外線硬化型接着剤が劣化し、透過損失が増加するからである。ただし、紫外線硬化型接着剤で組成等を変えることにより上記の条件でも劣化しない接着剤が見つかれば、光路に塗ってもかまわない。

[0029] 図７のＰＰＬＮ導波路チップ４０５と光ファイバー４０１との接続、石英

系導波路チップ４０９と光ファイバー４１４との接続についても同様である。具体的には、光ファイバー４０１を固定するためのファイバブロック４０２のＰＰＬＮ導波路チップ４０５との接続端面のうち、光が伝播する光ファイバー４０１が配置された領域とその両側の光が伝播しない領域とを分断するように、溝４０３をファイバブロック４０２の厚さ方向に沿って２箇所作製する。そして、ファイバブロック４０２の接続端面のうち、溝４０３の外側の、光が伝播しない領域に紫外線硬化型接着剤を塗布し、この接続端面とＰＰＬＮ導波路チップ４０５の接続端面とを向かい合わせる。そして、光ファイバー４０１とＰＰＬＮ導波路チップ４０５の導波路との光軸調整後、紫外線硬化型接着剤に紫外線を照射し、ファイバブロック４０２とＰＰＬＮ導波路チップ４０５とを接着する。また、ファイバブロック４０２の接続端面の、光が伝播する光ファイバー４０１が配置された領域とＰＰＬＮ導波路チップ４０５の接続端面との間隙に高耐光性樹脂を充填する。

[0030] 同様に、光ファイバー４１４を固定するためのファイバブロック４１３の石英系導波路チップ４０９との接続端面のうち、光が伝播する光ファイバー４１４が配置された領域とその両側の光が伝播しない領域とを分断するように、溝４１２をファイバブロック４１３の厚さ方向に沿って２箇所作製する。そして、ファイバブロック４１３の接続端面のうち、溝４１２の外側の、光が伝播しない領域に紫外線硬化型接着剤を塗布し、この接続端面と石英系導波路チップ４０９の接続端面とを向かい合わせる。そして、光ファイバー４１４と石英系導波路チップ４０９の導波路との光軸調整後、紫外線硬化型接着剤に紫外線を照射し、ファイバブロック４１３と石英系導波路チップ４０９とを接着する。また、ファイバブロック４１３の接続端面の、光が伝播する光ファイバー４１４が配置された領域と石英系導波路チップ４０９の接続端面との間隙に高耐光性樹脂を充填する。

[0031] 発明者は、以上のような石英系導波路チップ４０９とＰＰＬＮ導波路チップ４０５との接続構造を提案した（特願２０１７－２２２１８０）。

ここで、図１１に示したように石英系導波路チップ４０９に溝４０６を形

成する際、従来の方法では、ブレードダイシングを用いていた。以下、ブレードダイシングを省略してダイシングと記載する。

[0032] 先にも説明したが、石英系導波路チップ４０９の上面と下面にパイレックス板８０２，８０６を貼りつけ、溝４０６を形成する接続端面７０１が上向きになるように石英系導波路チップ４０９を起こしてダイシングを行っていた。このように石英系導波路チップ４０９を起こしてダイシングを行う理由は、石英系導波路チップ４０９を水平に置くと石英系導波路チップ４０９の厚さ方向に深く切断できないからである。

[0033] 図１２では、石英系導波路チップ４０９をダイシングソーのステージに対して水平に置き、ブレード８０１で溝を加工する状況を説明している。石英系導波路チップ４０９の厚さＬ２は約１ｍｍ、ブレード８０１の半径Ｌ１は約２５ｍｍである。幾何学的な考察をすると図１２のＬ３の長さは７ｍｍとなる。

[0034] 石英系導波路チップ４０９の端が１ｍｍの深さに掘れても、石英系導波路チップ４０９の内側に向かうのに従って、溝の深さが浅くなってしまう。このような理由から石英系導波路チップ４０９を水平に置いてダイシングにより溝４０６を作製することは難しいので、石英系導波路チップ４０９を起こしてダイシングを行うことになる。

[0035] しかしながら、一般的なダイシングソーは、ステージ面からブレードを上げて行っても、ブレードの底面の、ステージからの距離が最大２０ｍｍ程度と制限されていた。したがって、溝４０６を作製できる石英系導波路チップ４０９の光の入・出射方向の長さ（図７、図９、図１０左右方向の長さ）が制限されるという問題点があった。石英系導波路チップ４０９のサイズが制限されると、石英系導波路チップ４０９内のレイアウトが制限されることになる。さらに、図９に示した石英系導波路チップ４０９の構成にＡＷＧ，ＭＺＩ等の波長フィルタ等を付加すると、チップサイズが大きくなるが、このような構成の付加も困難になる場合がある。

したがって、石英系導波路チップ４０９のサイズの制限を取り外すために

、溝４０６を作製する方法としてダイシングソー以外の方法が望まれていた。

先行技術文献

非特許文献

[0036] 非特許文献1：A.Himeno, K.Kato, and T.Miya, “Silica-based planar lightwave circuits”, IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, vol. 4, no. 6, 1998, pp.913-924

非特許文献2：竹ノ内弘和，梅木毅伺，遊部雅生，宮本裕，“ＰＰＬＮを用いた位相感応増幅技術”，O plus E, vol.37, No.8, 2015, pp.636-639

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0037] 本発明は、上記課題を解決するためになされたもので、チップサイズの制限を受けることなく、石英系導波路チップに任意の長さの溝を容易に作製することができるハイブリッド光デバイスの溝作製方法およびハイブリッド光デバイスを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0038] 本発明は、石英系導波路チップの周期分極反転構造を有する二次非線形導波路チップとの接続端面に、光が伝播する導波路が形成された領域と光が伝播しない領域とを分断するように作製された溝を有し、前記石英系導波路チップの接続端面のうち、前記光が伝播しない領域に設けられた接着剤により、前記石英系導波路チップの接続端面とこれと向かい合う前記二次非線形導波路チップの接続端面とが接着されるハイブリッド光デバイスにおける前記溝の作製方法であって、前記石英系導波路チップの接続端面からチップ面内方向に沿って延伸する切断予定ラインを示すマーカーを、前記石英系導波路チップの導波路のコア層を加工することにより形成する工程と、ステージ上に前記石英系導波路チップが載置された状態で、レーザ光の照射位置を前記マーカーの始点の位置に合わせる工程と、前記石英系導波路チップの上方か

ら前記レーザ光を照射しながら、前記マーカーの延伸方向に沿って前記ステージを動かすことにより、前記石英系導波路チップの接続端面に、前記光が伝播する領域と前記光が伝播しない領域とを分断するように前記溝を作製する工程とを含むことを特徴とするものである。

[0039] また、本発明のハイブリッド光デバイスの溝作製方法の１構成例において、前記石英系導波路チップは、石英系ガラスからなる基板上に、石英系ガラスを主たる材料とする前記導波路が形成されたものであり、前記溝を作製する際に１台のレーザからレーザ光を照射し、このレーザの発振波長は、石英系ガラスの吸収特性に対応する波長帯にあることを特徴とするものである。

また、本発明のハイブリッド光デバイスの溝作製方法の１構成例において、前記石英系導波路チップは、Ｓｉ基板上に、石英系ガラスを主たる材料とする前記導波路が形成されたものであり、前記溝を作製する際に第１のレーザからレーザ光を照射して前記石英系ガラスを加工した後に、第２のレーザからレーザ光を照射して前記Ｓｉ基板を加工し、前記第１のレーザの発振波長は、石英系ガラスの吸収特性に対応する波長帯にあり、前記第２のレーザの発振波長は、Ｓｉの吸収特性に対応する波長帯にあることを特徴とするものである。

また、本発明のハイブリッド光デバイスの溝作製方法の１構成例において、前記レーザ光の照射位置を前記マーカーの始点の位置に合わせる工程は、ステージ上に前記石英系導波路チップが載置された状態で、前記レーザ光を前記石英系導波路チップに照射して前記石英系導波路チップの表面に傷を付ける工程と、前記ステージを移動させ、前記石英系導波路チップの上方に設置された顕微鏡の視野中心に前記マーカーの始点が来た時点での前記ステージの位置に基づいて、前記マーカーの始点の座標を求める工程と、前記ステージを移動させ、前記顕微鏡の視野中心に前記傷の中心が来た時点での前記ステージの位置に基づいて、前記傷の中心の座標を求める工程と、前記マーカーの始点に対する前記傷の相対座標に基づいて前記ステージを移動させることにより、前記レーザ光の照射位置を前記マーカーの始点の位置に合わせ

る工程とを含むことを特徴とするものである。

[0040] また、本発明のハイブリッド光デバイスの溝作製方法の１構成例において、前記レーザ光の照射位置を前記マーカーの始点の位置に合わせる工程は、ステージ上に前記石英系導波路チップが載置された状態で、前記第１のレーザからのレーザ光を前記石英系導波路チップに照射して前記石英系導波路チップの表面に傷を付ける工程と、前記ステージを移動させ、前記石英系導波路チップの上方に設置された顕微鏡の視野中心に前記マーカーの始点が来た時点での前記ステージの位置に基づいて、前記マーカーの始点の座標を求める工程と、前記ステージを移動させ、前記顕微鏡の視野中心に前記傷の中心が来た時点での前記ステージの位置に基づいて、前記傷の中心の座標を求める工程と、前記マーカーの始点に対する前記傷の相対座標に基づいて前記ステージを移動させることにより、前記第１のレーザからのレーザ光の照射位置を前記マーカーの始点の位置に合わせる工程と、前記マーカーの始点に対する前記傷の相対座標と、前記第１のレーザの照射位置に対する前記第２のレーザの照射位置の既知の相対座標とに基づいて前記ステージを移動させることにより、前記第２のレーザからのレーザ光の照射位置を前記マーカーの始点の位置に合わせる工程とを含むことを特徴とするものである。

また、本発明のハイブリッド光デバイスの溝作製方法の１構成例において、前記溝を作製する工程は、前記レーザ光の照射により気化した成分をアシストガスで吹き飛ばす工程を含むことを特徴とするものである。

[0041] また、本発明のハイブリッド光デバイスは、石英系ガラスを主たる材料として形成された第１の導波路を含む石英系導波路チップと、周期分極反転構造を有する二次非線形光学材料から形成された第２の導波路を含む二次非線形導波路チップとを備え、前記石英系導波路チップは、前記二次非線形導波路チップとの接続端面に、光が伝播する前記第１の導波路が形成された領域と光が伝播しない領域とを分断するように形成された溝を有し、前記石英系導波路チップの前記二次非線形導波路チップとの接続端面のうち、前記光が伝播しない領域に設けられた接着剤により、前記石英系導波路チップの接続

端面とこれと向かい合う前記二次非線形導波路チップの接続端面とが接着され、前記石英系導波路チップの接続端面からチップ面内方向に沿って延伸する前記溝の終点からチップ面内方向に沿って更に延伸するマーカーが前記石英系導波路チップの第１の導波路のコア層に形成されていることを特徴とするものである。

発明の効果

[0042] 本発明によれば、石英系導波路チップの接続端面からチップ面内方向に沿って延伸する切断予定ラインを示すマーカーを、石英系導波路チップの導波路のコア層を加工することにより予め形成し、ステージ上に石英系導波路チップが載置された状態で、レーザ光の照射位置をマーカーの始点の位置に合わせ、石英系導波路チップの上方からレーザ光を照射しながら、マーカーの延伸方向に沿ってステージを動かすことにより、石英系導波路チップの接続端面に、光が伝播する領域と光が伝播しない領域とを分断するように溝を作製することにより、チップサイズの制限を受けることなく、石英系導波路チップに任意の長さの溝を容易に作製することができる。

図面の簡単な説明

[0043] [図1]図１は、本発明の第１の実施例に係るハイブリッド光デバイスの溝作製方法を説明する図である。

[図2]図２は、本発明の第１の実施例に係るハイブリッド光デバイスの溝作製方法を説明するフローチャートである。

[図3]図３は、本発明の第１の実施例に係る溝作製後の石英系導波路チップのＰＰＬＮ導波路チップとの接続端面を拡大した斜視図である。

[図4]図４は、本発明の第２の実施例に係るハイブリッド光デバイスの溝作製方法を説明する図である。

[図5]図５は、本発明の第２の実施例に係るハイブリッド光デバイスの溝作製方法を説明するフローチャートである。

[図6]図６は、従来のバルク部品型ＰＰＬＮモジュールの構成を示す概略図である。

[図7]図７は、ＰＰＬＮ導波路チップと石英系導波路チップを集積したハイブリッド光デバイスの構成を示す斜視図である。

[図8]図８は、石英系導波路チップの作製工程の１例を示す断面図である。

[図9]図９は、図７のハイブリッド光デバイスの導波路構成を示す平面図である。

[図10]図１０は、石英系導波路チップのＰＰＬＮ導波路チップとの接続端面を拡大した斜視図である。

[図11]図１１は、石英系導波路チップに溝をダイシングで作製する方法を説明する図である。

[図12]図１２は、石英系導波路チップをダイシングソーのステージに水平に置いて溝を加工する方法を示す図である。

発明を実施するための形態

[0044] 以下、図面を参照して本発明の実施例を詳細に説明する。

[0045] ［第１の実施例］

図１は、本発明の第１の実施例に係るハイブリッド光デバイスの溝作製方法を説明する図である。ここで用いる石英系導波路チップ１０４は、石英基板１０１と、石英基板１０１上に堆積された石英系ガラスクラッド１０２と、石英系ガラスクラッド１０２の内部に形成されたコア（マーカー１０３以外省略）から構成される。

[0046] 石英系導波路チップ１０４は、ＸＺステージ１０５上に載置される。ＸＺステージ１０５は、真空チャック（不図示）を備えており、ステージ上に載置された石英系導波路チップ１０４を吸着・固定できようになっている。なお、吸着の方法は真空チャックでなくても他の方法でも構わない。

[0047] 石英系導波路チップ１０４の切断予定ラインを示すマーカー１０３は、石英系導波路チップ１０４の作製プロセスにおいて、石英系ガラスクラッド１０２中のコア層を加工することにより形成される。図８において、コア層５０４をフォトリソグラフィーと反応性イオンエッチングで加工してコア５０４ａを形成する際に、フォトリソグラフィーに用いるフォトマスクのマスク

パターンにマーカーを入れ込めば、信号光を伝搬させるコア５０４ａと同時にマーカーに対応するコア（図８には不図示）も形成される。このマーカー１０３は、石英系導波路チップ１０４のＰＰＬＮ導波路チップ（二次非線形導波路チップ）との接続端面からチップ面内方向（接続端面と直交する方向）に沿って延伸するように形成されている。コアを構成するガラスは、石英系ガラスクラッド１０２よりも屈折率が高いので、屈折率コントラストにより、石英系ガラスクラッド１０２中に形成されているマーカー１０３を顕微鏡で認識することが可能である。

[0048] マーカー１０３をコアと同一の層に同一の材料で作製する利点を以下に述べる。第１の利点は、マーカー１０３を作製するための付加的な工程が必要ないという点である。コアパターンは、フォトマスクを用いたフォトリソグラフィーにより一括で作製できるので、光を通す導波路を構成するコアと、マーカー１０３とを同時に作製することができる。また、フォトマスクのマスクパターンはサブミクロンの精度で正確に形成できるので、石英系導波路チップ１０４上の正確な位置にマーカー１０３を設けることができるという利点もある。

[0049] 本実施例では、石英基板１０１と石英系ガラスクラッド１０２とが石英系ガラスでできているので、石英系導波路チップ１０４を加工して溝（図７、図９、図１０の溝４０６に相当）を形成するレーザ１１１としては、石英系ガラスが吸収する波長を発振するレーザであればよい。例えば発振波長が１０．６μｍのCO_2レーザを用いる。すなわち、CO_2レーザの発振波長は石英系ガラスの吸収特性に対応する波長帯にある。本実施例の用途にはレーザ１１１はパルス発振でもＣＷ（Continuous Wave）発振でも構わない。

[0050] ビームエクスパンダー１１２は、レーザ１１１からの光を拡大コリメート光に変換する。水平垂直光路変換ミラー１１３は、ビームエクスパンダー１１２を通過した光ビームが垂直方向に落射となるようビームの方向を変換する。集光用レンズ１１４は、水平垂直光路変換ミラー１１３で反射した光を集光してビーム径を絞る。こうして、図１に示すように、CO_2レーザ光が上

方から石英系導波路チップ１０４に照射される。CO_2レーザ光は、石英基板１０１と石英系ガラスクラッド１０２とを構成する石英系ガラスによって吸収され、熱に変換される。

[0051] レーザ１１１のパワーを上げることにより、石英系ガラスが溶解する。そして、石英系導波路チップ１０４に照射される集光レーザ光と同軸に取り付けられたノズル（不図示）から例えば窒素ガス等のアシストガスを噴き付けて、気化したガラス成分を吹き飛ばす。こうして、石英系ガラスをレーザ光で溶解させつつ、気化したガラス成分をアシストガスで吹き飛ばすことにより、石英系導波路チップ１０４に溝が形成される。溝の幅は１００μｍ～５００μｍである。集光用レンズ１１４による集光スポットサイズよりも溝の幅が大きい場合は、ＸＺステージ１０５をＸＺ面内で動かして、石英系導波路チップ１０４に対する集光レーザ光の照射位置を少しづつずらし、石英系導波路チップ１０４上で集光スポットを何回か往復させて溝を加工する。

[0052] 次に、ビーム位置と溝の位置合わせの方法について説明する。図２は本実施例の溝作製方法を説明するフローチャートである。

初めに、ＸＺステージ１０５のＺ軸方向と石英系導波路チップ１０４の溝のチップ面内の延伸方向（マーカー１０３の延伸方向）とが平行になるように、石英系導波路チップ１０４をＸＺステージ１０５上に載置して、上記のように石英系導波路チップ１０４を吸着して固定する（図２ステップＳ１００）。簡易な載置方法としては、例えばＸＺステージ１０５上に、側面がＺ軸方向と平行な直方体状の突起１０６を予め設けておき、石英系導波路チップ１０４を突起１０６の側面に押し付けて平行にする方法がある。ここで、突起１０６の側面に押し付ける石英系導波路チップ１０４の側面と石英系導波路チップ１０４に形成しようとしている溝のチップ面内の延伸方向とは、通常平行である。

[0053] 石英系導波路チップ１０４をＸＺステージ１０５上に載置した後に、CO_2レーザ光を石英系導波路チップ１０４に照射して石英系導波路チップ１０４の表面に傷１２２を付ける（図２ステップＳ１０１）。このときは、レーザ

光の照射を短時間にして石英系導波路チップ１０４の表面のみに傷１２２が付くようにする。

[0054] 次に、顕微鏡１２１で、マーカー１０３の始点のＸＺ座標（Ｘ１，Ｚ１）を確認する（図２ステップＳ１０２）。具体的には、ＸＺステージ１０５を動かして、顕微鏡１２１の視野中心にマーカー１０３の始点（石英系導波路チップ１０４の端面とマーカー１０３との交点）が来た時点でのＸＺステージ１０５の位置を、マーカー１０３の始点のＸＺ座標（Ｘ１，Ｚ１）として記録する。

続いて、顕微鏡１２１で、傷１２２の中心のＸＺ座標（Ｘ２，Ｚ２）をマーカー１０３の始点の場合と同様に確認する（図２ステップＳ１０３）。

[0055] このようにマーカー１０３の始点と傷１２２のそれぞれのＸＺ座標を確認し、マーカー１０３の始点のＸＺ座標（Ｘ１，Ｚ１）と傷１２２の中心のＸＺ座標（Ｘ２，Ｚ２）との差分ΔＸ＝Ｘ１－Ｘ２，ΔＺ＝Ｚ１－Ｚ２を計算することにより、マーカー１０３の始点に対する傷１２２（＝レーザの照射位置）の相対座標を計算することができる（図２ステップＳ１０４）。

[0056] したがって、ＸＺステージ１０５を移動させ、ＸＹステージ１０５の位置を、マーカー１０３の始点のＸＺ座標（Ｘ１，Ｚ１）に差分ΔＸ，ΔＺを加算した位置（Ｘ１＋ΔＸ，Ｚ１＋ΔＺ）にすることで、レーザ光の照射位置をマーカー１０３の始点の位置に合わせることができる（図２ステップＳ１０５）。

[0057] この位置合わせの後に、石英系導波路チップ１０４にCO_2レーザ光を照射しながら、Ｚ軸方向にＸＺステージ１０５を動かして石英系導波路チップ１０４に溝を形成する（図２ステップＳ１０６）。マーカー１０３に沿って所望の長さの溝を形成し終えた時点でレーザ１１１によるCO_2レーザ光の照射を停止させる。

[0058] なお、ＸＺステージ１０５をＺ軸方向に動かすことにより、溝はマーカー１０３に沿って形成されるが、溝のチップ面内方向（Ｚ軸方向）の所望の長さよりもマーカー１０３のチップ面内方向の長さに余裕を持たせておくこと

が望ましい。石英系導波路チップ１０４に所望の長さの溝を形成し終えた時点でCO_2レーザ光の照射を停止させるが、この停止時点で石英系導波路チップ１０４には溝の延伸方向にマーカー１０３が残っていることになる。このように、マーカー１０３を残すことにより、溝がマーカー１０３に沿って正確に作製されたか否かを確認することができる。

[0059] 図７、図９、図１０の説明から明らかなとおり、石英系導波路チップ１０４に溝を２箇所形成する必要があるので、マーカー１０３も２箇所形成されている。したがって、１箇所のマーカー１０３について図２で説明した処理を行った後に、他のマーカー１０３についてステップＳ１０２～Ｓ１０６の処理を再度行うようにすればよい。

[0060] こうして、本実施例では、レーザー加工によって石英系導波路チップ１０４に溝を形成することにより、チップサイズの制限を受けることなく、任意の長さの溝を容易に作製することができる。

[0061] 図３は、溝作製後の石英系導波路チップ１０４のＰＰＬＮ導波路チップ（二次非線形導波路チップ）との接続端面を拡大した斜視図であり、図１０と同様の構成には同一の符号を付してある。図３の４０６は石英系導波路チップ１０４に作製された溝、７０１は石英系導波路チップ１０４のＰＰＬＮ導波路チップとの接続端面である。石英系導波路チップ１０４の接続端面７０１は、２箇所の溝４０６によって、光が伝播する導波路が形成された領域７２０とその両側の光が伝播しない領域７１９とに分断されている。

[0062] なお、図７、図１０の説明から明らかなとおり、石英系導波路チップ１０４の上下に貼り付けるヤトイガラス（図７、図１０のヤトイガラス４０７，４０８に相当）には、石英系導波路チップ１０４の溝４０６と同じ間隔、同じ幅の溝を２箇所形成する必要がある。ただし、ヤトイガラスは石英系導波路チップ１０４よりも小さいため、ダイシングソーを用いてヤトイガラスに容易に溝を作製することが可能である。

石英系導波路チップ１０４とＰＰＬＮ導波路チップ（二次非線形導波路チップ）との接合方法は、図７～図１０で説明した方法と同じなので、説明は

省略する。

なお、本実施例では、石英系ガラスの加工用として発振波長が１０．６μｍのＣＯ$_2$レーザを用いているが、これに限るものではなく、石英系ガラスが吸収する波長帯のレーザ光であればよい。

[0063] ［第２の実施例］

次に、本発明の第２の実施例について説明する。図４は、本発明の第２の実施例に係るハイブリッド光デバイスの溝作製方法を説明する図である。本実施例で用いる石英系導波路チップ２０４は、Ｓｉ基板２０１と、Ｓｉ基板２０１上に堆積された石英系ガラスクラッド２０２と、石英系ガラスクラッド２０２の内部に形成されたコア（マーカ２０３以外省略）から構成される。

[0064] 第１の実施例と同様に、石英系導波路チップ２０４は、ＸＺステージ２０５上に載置される。ＸＺステージ２０５は、ステージ上に載置された石英系導波路チップ２０４を吸着・固定できようになっている。吸着の方法は真空チャックでなくても他の方法でも構わない。

[0065] 第１の実施例のマーカー１０３と同様に、石英系導波路チップ２０４の切断予定ラインを示すマーカー２０３は、石英系ガラスクラッド２０２中のコアと同一の層に同一の材料で形成される。

本実施例では、石英系導波路チップ２０４の溝の加工用として２種類のレーザ２１１，２１５を用いる。

[0066] 第１の実施例では、クラッドも基板も石英系ガラスと同じ材料であったため、溝の加工には１台のレーザで良かったが、本実施例ではガラス加工用のレーザ２１１としてＣＯ$_2$レーザを用い、Ｓｉの加工用のレーザ２１５としてＹＡＧレーザを用いる。

Ｓｉの加工用にＣＯ$_2$レーザと別にＹＡＧレーザを用いる理由は、ＹＡＧレーザの発振波長は１．０６４μｍであり、Ｓｉの吸収特性に対応する波長帯にあり、ＣＯ$_2$レーザの発振波長１０．６μｍよりＳｉの吸収係数が高くなるため、Ｓｉに対する溝加工効率が良くなるからである。

[0067] ビームエクスパンダー２１２は、レーザ２１１からの光を拡大コリメート光に変換する。水平垂直光路変換ミラー２１３は、ビームエクスパンダー２１２を通過した光ビームが垂直方向に落射となるようビームの方向を変換する。集光用レンズ２１４は、水平垂直光路変換ミラー２１３で反射した光を集光してビーム径を絞る。こうして、図４に示すように、CO_2レーザ光が上方から石英系導波路チップ２０４に照射される。

[0068] 同様に、ビームエクスパンダー２１６は、レーザ２１５からの光を拡大コリメート光に変換する。水平垂直光路変換ミラー２１７は、ビームエクスパンダー２１６を通過した光ビームが垂直方向に落射となるようビームの方向を変換する。集光用レンズ２１８は、水平垂直光路変換ミラー２１７で反射した光を集光してビーム径を絞る。こうして、ＹＡＧレーザ光が上方から石英系導波路チップ２０４に照射される。

[0069] CO_2レーザとＹＡＧレーザとはお互いの光学系が干渉しないように光学系が配置され、お互いの光学系が独立しているので、ＸＺステージ２０５上の異なる位置にレーザ光が照射されることになる。したがって、後で述べるが、溝を作製するために、石英系導波路チップ２０４上の同じ位置に２台のレーザ２１１，２１５からの光を照射する必要があるので、レーザ２１１からCO_2レーザ光を照射して石英系導波路チップ２０４の石英系ガラスクラッド２０２に溝を形成した後に、ＸＺステージ２０５を移動させてレーザ２１５からＹＡＧレーザを照射してＳｉ基板２０１に溝を形成すればよい。

[0070] 図５は本実施例の溝作製方法を説明するフローチャートである。

初めに、ＸＺステージ２０５のＺ軸方向と石英系導波路チップ２０４の溝のチップ面内の延伸方向（マーカー２０３の延伸方向）とが平行になるように、石英系導波路チップ２０４をＸＺステージ２０５上に載置して、石英系導波路チップ２０４を吸着して固定する（図５ステップＳ２００）。第１の実施例と同様に、例えばＸＺステージ２０５上に、側面がＺ軸方向と平行な直方体状の突起２０６を予め設けておき、石英系導波路チップ２０４を突起２０６の側面に押し付けるようにすればよい。

[0071] 石英系導波路チップ２０４をＸＺステージ２０５上に載置した後に、CO_2レーザ光を石英系導波路チップ２０４に照射して石英系導波路チップ２０４の表面に傷２２２を付ける（図５ステップＳ２０１）。このときは、レーザ光の照射を短時間にして石英系導波路チップ２０４の表面のみに傷２２２が付くようにする。

[0072] 第１の実施例と同様に、顕微鏡２２１で、マーカー２０３の始点のＸＺ座標（Ｘ１，Ｚ１）を確認し（図５ステップＳ２０２）、続いて傷２２２の中心のＸＺ座標（Ｘ２，Ｚ２）を確認する（図５ステップＳ２０３）。

[0073] 第１の実施例と同様に、マーカー２０３の始点のＸＺ座標（Ｘ１，Ｚ１）と傷２２２の中心のＸＺ座標（Ｘ２，Ｚ２）との差分ΔX_{CO2}＝Ｘ１－Ｘ２，ΔZ_{CO2}＝Ｚ１－Ｚ２を計算することにより、マーカー２０３の始点に対する傷２２２（＝CO_2レーザの照射位置）の相対座標を計算することができる（図５ステップＳ２０４）。

[0074] さらに、差分ΔX_{CO2}，ΔZ_{CO2}と、CO_2レーザの照射位置に対するＹＡＧレーザの照射位置の既知の相対座標とに基づいて、マーカー２０３の始点のＸＺ座標（Ｘ１，Ｚ１）とＹＡＧレーザの照射位置との差分ΔX_{YAG}，ΔZ_{YAG}を計算することができ、マーカー２０３の始点に対するＹＡＧレーザの照射位置の相対座標を計算することができる（図５ステップＳ２０５）。

[0075] なお、CO_2レーザの照射位置に対するＹＡＧレーザの照射位置の相対座標は、石英系導波路チップ２０４を載置する前にＸＺステージ２０５上に感熱紙等を載置し、CO_2レーザ光とＹＡＧレーザ光を同時に感熱紙に照射して感熱紙を黒く変色させ、ステップＳ１０２，Ｓ１０３，Ｓ２０２，Ｓ２０３と同様の顕微鏡２２１を用いた手法により、CO_2レーザ光による変色位置のＸＺ座標（Ｘ３，Ｚ３）とＹＡＧレーザ光による変色位置のＸＺ座標（Ｘ４，Ｚ４）とを確認することによって求めることができる。すなわち、CO_2レーザの照射位置のＸＺ座標（Ｘ３，Ｚ３）とＹＡＧレーザの照射位置のＸＺ座標（Ｘ４，Ｚ４）との差分ΔX_{YAG}＝Ｘ３－Ｘ４，ΔZ_{YAG2}＝Ｚ３－Ｚ４を計算することにより、CO_2レーザの照射位置に対するＹＡＧレーザの照射位置の

相対座標を事前に求めておくことができる。

[0076] 次に、ＸＺステージ２０５を移動させ、ＸＹステージ２０５の位置を、マーカー２０３の始点のＸＺ座標（Ｘ１，Ｚ１）に差分ΔX_{CO2}，ΔZ_{CO2}を加算した位置（$X1+\Delta X_{CO2}$，$Z1+\Delta Z_{CO2}$）にすることで、CO_2レーザ光の照射位置をマーカー２０３の始点の位置に合わせる（図５ステップＳ２０６）。

[0077] この位置合わせの後に、石英系導波路チップ２０４にCO_2レーザ光を照射しながら、Ｚ軸方向にＸＺステージ２０５を動かして石英系導波路チップ２０４に溝を形成する（図５ステップＳ２０７）。

[0078] 第１の実施例と同様に、レーザ２１１のパワーを上げることにより、石英系導波路チップ２０４の石英系ガラスクラッド２０２が溶解する。石英系導波路チップ２０４に照射されるCO_2レーザ光と同軸に取り付けられたノズル（不図示）から例えば窒素ガス等のアシストガスを噴き付けて、気化したガラス成分を吹き飛ばす。こうして、石英系ガラスをレーザ光で溶解させつつ、気化したガラス成分をアシストガスで吹き飛ばすことにより、石英系導波路チップ２０４の石英系ガラスクラッド２０２に溝が形成される。石英系ガラスクラッド２０２が除去されたことにより、その部分の下にはＳｉが露出している。

[0079] マーカー２０３に沿って所望の長さの溝を形成し終えた時点でレーザ２１１によるCO_2レーザ光の照射を停止させ、次にＸＺステージ２０５を移動させて、ＸＹステージ２０５の位置を、マーカー２０３の始点のＸＺ座標（Ｘ１，Ｚ１）に差分ΔX_{YAG}，ΔZ_{YAG}を加算した位置（$X1+\Delta X_{YAG}$，$Z1+\Delta Z_{YAG}$）にすることで、ＹＡＧレーザ光の照射位置をマーカー２０３の始点の位置に合わせる（図５ステップＳ２０８）。

[0080] この位置合わせの後に、石英系導波路チップ２０４にＹＡＧレーザ光を照射しながら、Ｚ軸方向にＸＺステージ２０５を動かして石英系導波路チップ２０４のＳｉ基板２０１にに溝を形成する（図５ステップＳ２０９）。

[0081] ＹＡＧレーザの波長は１．０６４μｍであり、ＹＡＧレーザ光はＳｉによって吸収され、熱に変換される。レーザ２１５のパワーを上げることにより

、Ｓｉ基板２０１が溶解する。石英系導波路チップ２０４に照射されるＹＡＧレーザ光と同軸に取り付けられたノズル（不図示）から例えば窒素ガス等のアシストガスを噴き付けて、気化したＳｉを吹き飛ばす。こうして、Ｓｉをレーザ光で溶解させつつ、気化したＳｉをアシストガスで吹き飛ばすことにより、Ｓｉ基板２０１に溝が形成される。

[0082] マーカー２０３に沿って所望の長さの溝を形成し終えた時点でレーザ２１５によるＹＡＧレーザ光の照射を停止させる。

第１の実施例と同様に、溝のチップ面内方向（Ｚ軸方向）の所望の長さよりもマーカー２０３のチップ面内方向の長さに余裕を持たせておくことにより、ＹＡＧレーザ光の照射停止時点で石英系導波路チップ２０４の溝の延伸方向にマーカー２０３を残すようにすることが望ましい。

[0083] 図７、図９、図１０の説明から明らかなとおり、石英系導波路チップ２０４に溝を２箇所形成する必要があるので、マーカー２０３も２箇所形成されている。したがって、１箇所のマーカー２０３について図５で説明した処理を行った後に、他のマーカー２０３についてステップＳ２０２～Ｓ２０９の処理を再度行うようにすればよい。

[0084] 溝作製後の石英系導波路チップ２０４の形状は図３と同様であり、石英系導波路チップ２０４とＰＰＬＮ導波路チップ（二次非線形導波路チップ）との接合方法は、図７～図１０で説明した方法と同じなので、説明は省略する。

[0085] こうして、本実施例では、石英系導波路チップ２０４の基板がＳｉからなる場合において、第１の実施例と同様の効果を得ることができる。

なお、本実施例では、Ｓｉの加工用としてＹＡＧレーザの基本波を用いているが、これに限るものではなく、Ｓｉが吸収する波長帯のレーザ光であればよい。

産業上の利用可能性

[0086] 本発明は、石英系導波路チップと二次非線形導波路チップとを接合する技術に適用することができる。

符号の説明

[0087] １０１…石英基板、１０２，２０２…石英系ガラスクラッド、１０３，２０３…マーカー、１０４，２０４…石英系導波路チップ、１０５，２０５…ＸＺステージ、１０６，２０６…突起、１１１，２１１，２１５…レーザ、１１２，２１２，２１６…ビームエクスパンダー、１１３，２１３，２１７…水平垂直光路変換ミラー、１１４，２１４，２１８…集光用レンズ、１２１，２２１…顕微鏡、１２２，２２２…傷、４０６…溝。

請求の範囲

[請求項1] 石英系導波路チップの周期分極反転構造を有する二次非線形導波路チップとの接続端面に、光が伝播する導波路が形成された領域と光が伝播しない領域とを分断するように作製された溝を有し、前記石英系導波路チップの接続端面のうち、前記光が伝播しない領域に設けられた接着剤により、前記石英系導波路チップの接続端面とこれと向かい合う前記二次非線形導波路チップの接続端面とが接着されるハイブリッド光デバイスにおける前記溝の作製方法であって、

前記石英系導波路チップの接続端面からチップ面内方向に沿って延伸する切断予定ラインを示すマーカーを、前記石英系導波路チップの導波路のコア層を加工することにより形成する工程と、

ステージ上に前記石英系導波路チップが載置された状態で、レーザ光の照射位置を前記マーカーの始点の位置に合わせる工程と、

前記石英系導波路チップの上方から前記レーザ光を照射しながら、前記マーカーの延伸方向に沿って前記ステージを動かすことにより、前記石英系導波路チップの接続端面に、前記光が伝播する領域と前記光が伝播しない領域とを分断するように前記溝を作製する工程とを含むことを特徴とするハイブリッド光デバイスの溝作製方法。

[請求項2] 請求項１記載のハイブリッド光デバイスの溝作製方法において、

前記石英系導波路チップは、石英系ガラスからなる基板上に、石英系ガラスを主たる材料とする前記導波路が形成されたものであり、

前記溝を作製する際に１台のレーザからレーザ光を照射し、

このレーザの発振波長は、石英系ガラスの吸収特性に対応する波長帯にあることを特徴とするハイブリッド光デバイスの溝作製方法。

[請求項3] 請求項１記載のハイブリッド光デバイスの溝作製方法において、

前記石英系導波路チップは、Ｓｉ基板上に、石英系ガラスを主たる材料とする前記導波路が形成されたものであり、

前記溝を作製する際に第１のレーザからレーザ光を照射して前記石

英系ガラスを加工した後に、第２のレーザからレーザ光を照射して前記Ｓｉ基板を加工し、

前記第１のレーザの発振波長は、石英系ガラスの吸収特性に対応する波長帯にあり、前記第２のレーザの発振波長は、Ｓｉの吸収特性に対応する波長帯にあることを特徴とするハイブリッド光デバイスの溝作製方法。

[請求項4] 請求項２記載のハイブリッド光デバイスの溝作製方法において、

前記レーザ光の照射位置を前記マーカーの始点の位置に合わせる工程は、

ステージ上に前記石英系導波路チップが載置された状態で、前記レーザ光を前記石英系導波路チップに照射して前記石英系導波路チップの表面に傷を付ける工程と、

前記ステージを移動させ、前記石英系導波路チップの上方に設置された顕微鏡の視野中心に前記マーカーの始点が来た時点での前記ステージの位置に基づいて、前記マーカーの始点の座標を求める工程と、

前記ステージを移動させ、前記顕微鏡の視野中心に前記傷の中心が来た時点での前記ステージの位置に基づいて、前記傷の中心の座標を求める工程と、

前記マーカーの始点に対する前記傷の相対座標に基づいて前記ステージを移動させることにより、前記レーザ光の照射位置を前記マーカーの始点の位置に合わせる工程とを含むことを特徴とするハイブリッド光デバイスの溝作製方法。

[請求項5] 請求項３記載のハイブリッド光デバイスの溝作製方法において、

前記レーザ光の照射位置を前記マーカーの始点の位置に合わせる工程は、

ステージ上に前記石英系導波路チップが載置された状態で、前記第１のレーザからのレーザ光を前記石英系導波路チップに照射して前記石英系導波路チップの表面に傷を付ける工程と、

前記ステージを移動させ、前記石英系導波路チップの上方に設置された顕微鏡の視野中心に前記マーカーの始点が来た時点での前記ステージの位置に基づいて、前記マーカーの始点の座標を求める工程と、

前記ステージを移動させ、前記顕微鏡の視野中心に前記傷の中心が来た時点での前記ステージの位置に基づいて、前記傷の中心の座標を求める工程と、

前記マーカーの始点に対する前記傷の相対座標に基づいて前記ステージを移動させることにより、前記第１のレーザからのレーザ光の照射位置を前記マーカーの始点の位置に合わせる工程と、

前記マーカーの始点に対する前記傷の相対座標と、前記第１のレーザの照射位置に対する前記第２のレーザの照射位置の既知の相対座標とに基づいて前記ステージを移動させることにより、前記第２のレーザからのレーザ光の照射位置を前記マーカーの始点の位置に合わせる工程とを含むことを特徴とするハイブリッド光デバイスの溝作製方法。

[請求項6] 請求項１乃至５のいずれか１項に記載のハイブリッド光デバイスの溝作製方法において、

前記溝を作製する工程は、前記レーザ光の照射により気化した成分をアシストガスで吹き飛ばす工程を含むことを特徴とするハイブリッド光デバイスの溝作製方法。

[請求項7] 石英系ガラスを主たる材料として形成された第１の導波路を含む石英系導波路チップと、

周期分極反転構造を有する二次非線形光学材料から形成された第２の導波路を含む二次非線形導波路チップとを備え、

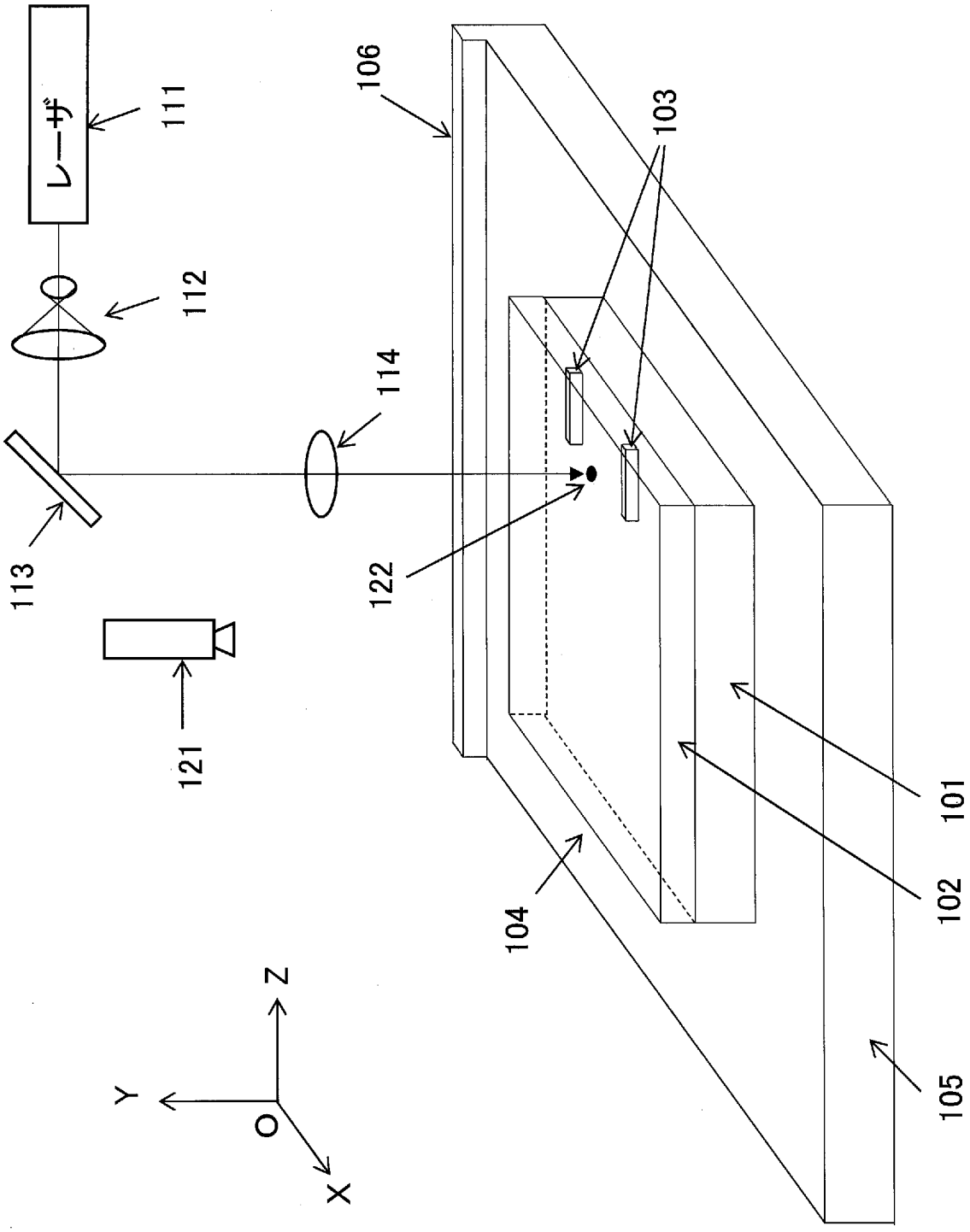
前記石英系導波路チップは、前記二次非線形導波路チップとの接続端面に、光が伝播する前記第１の導波路が形成された領域と光が伝播しない領域とを分断するように形成された溝を有し、

前記石英系導波路チップの前記二次非線形導波路チップとの接続端

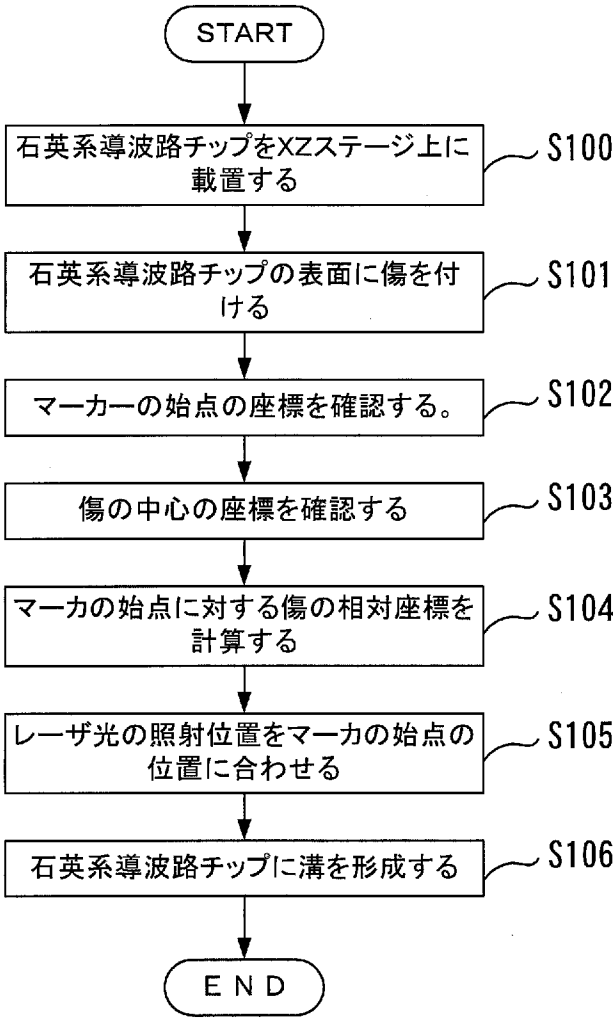
面のうち、前記光が伝播しない領域に設けられた接着剤により、前記石英系導波路チップの接続端面とこれと向かい合う前記二次非線形導波路チップの接続端面とが接着され、

前記石英系導波路チップの接続端面からチップ面内方向に沿って延伸する前記溝の終点からチップ面内方向に沿って更に延伸するマーカーが前記石英系導波路チップの第１の導波路のコア層に形成されていることを特徴とするハイブリッド光デバイス。

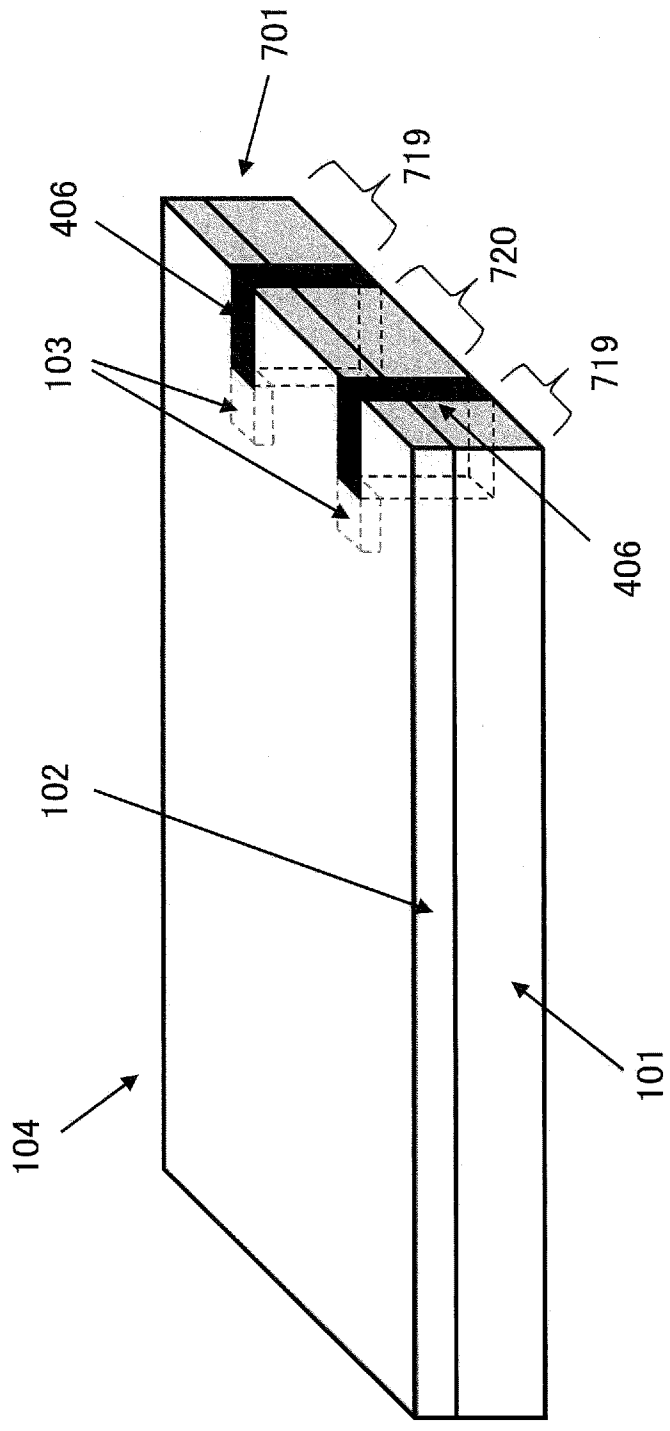
[図1]



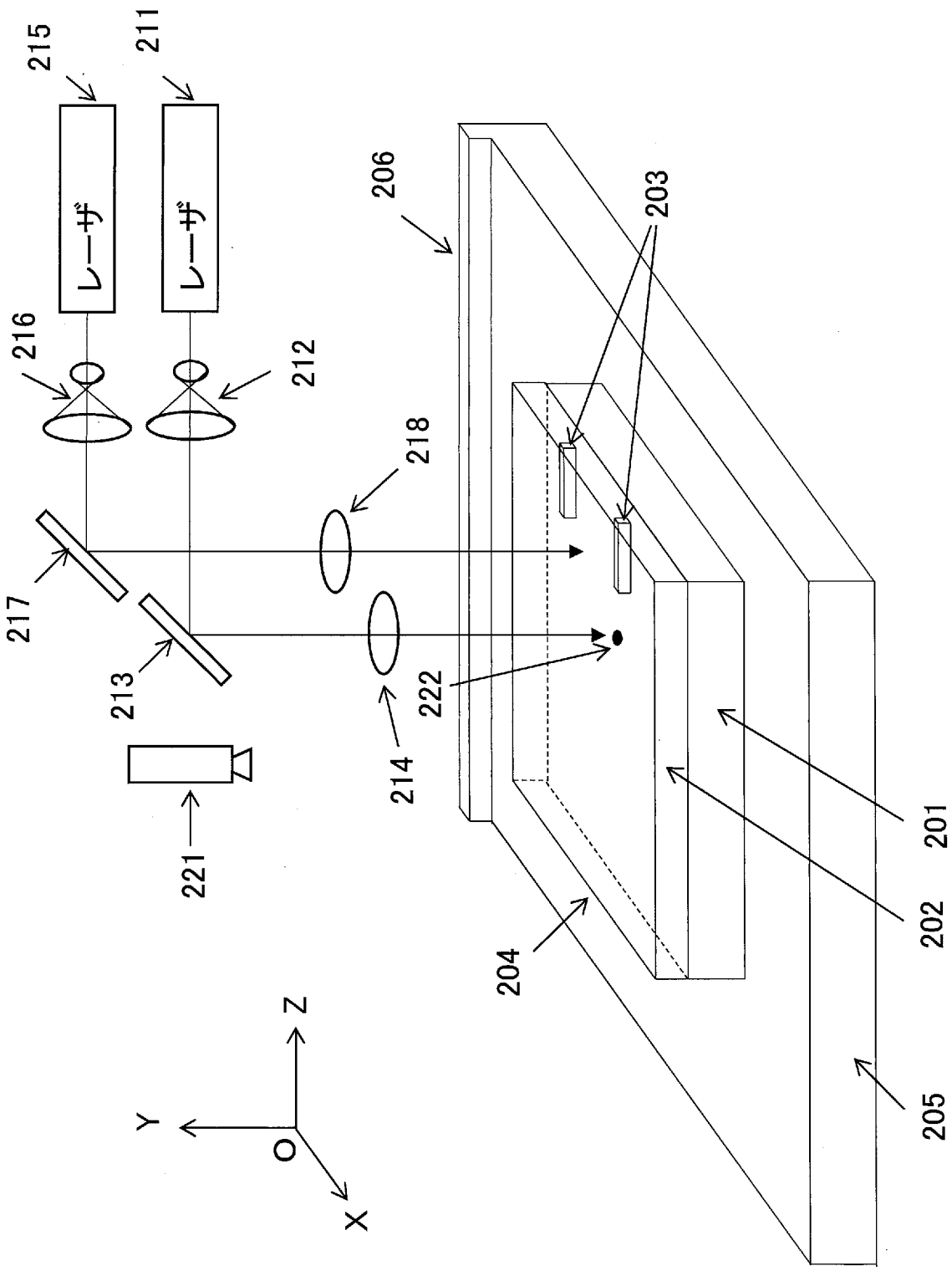
[図2]


START
石英系導波路チップをXZステージ上に載置する
S100
石英系導波路チップの表面に傷を付ける
S101
マーカーの始点の座標を確認する。
S102
傷の中心の座標を確認する
S103
マーカの始点に対する傷の相対座標を計算する
S104
レーザ光の照射位置をマーカの始点の位置に合わせる
S105
石英系導波路チップに溝を形成する
S106
END

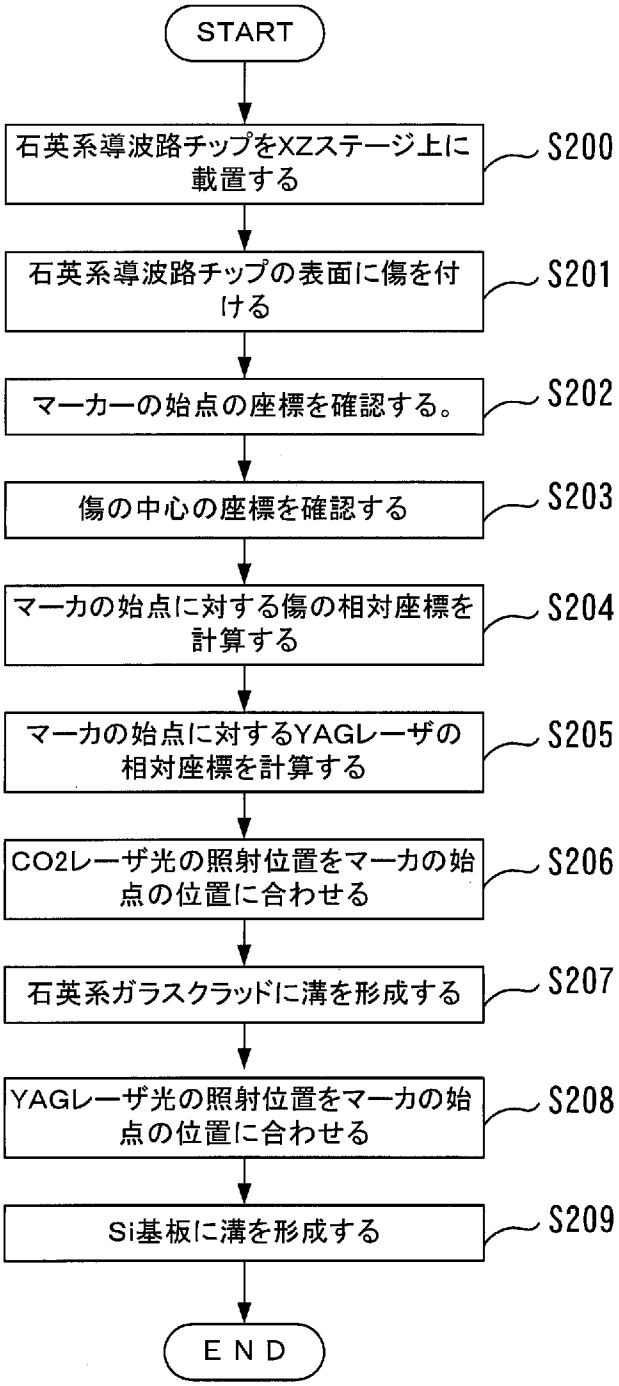
[図3]



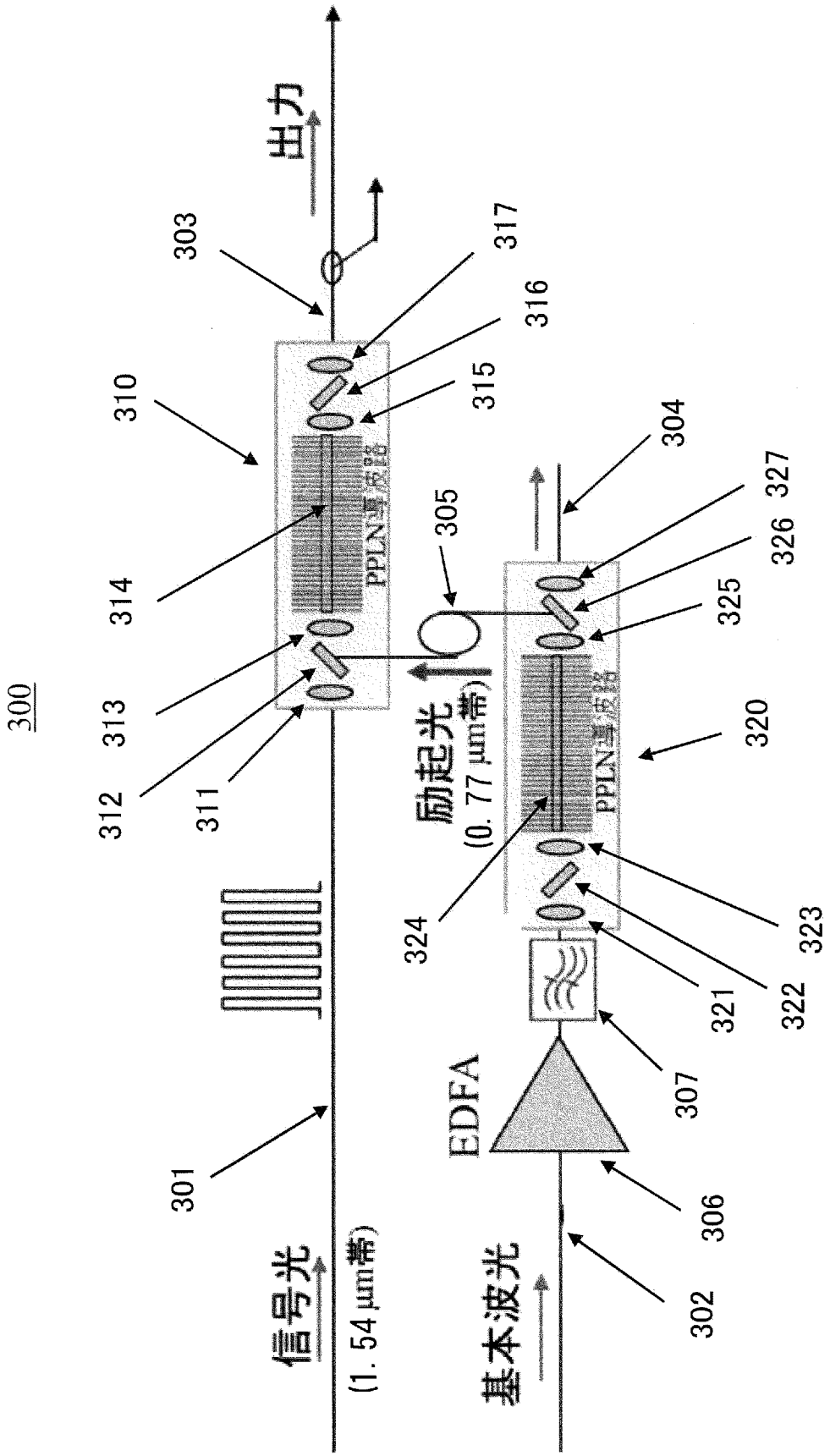
[図4]


215
211
レーザ
レーザ
216
212
218
217
213
222
214
221
206
203
201
202
204
205
Z
Y
O
X

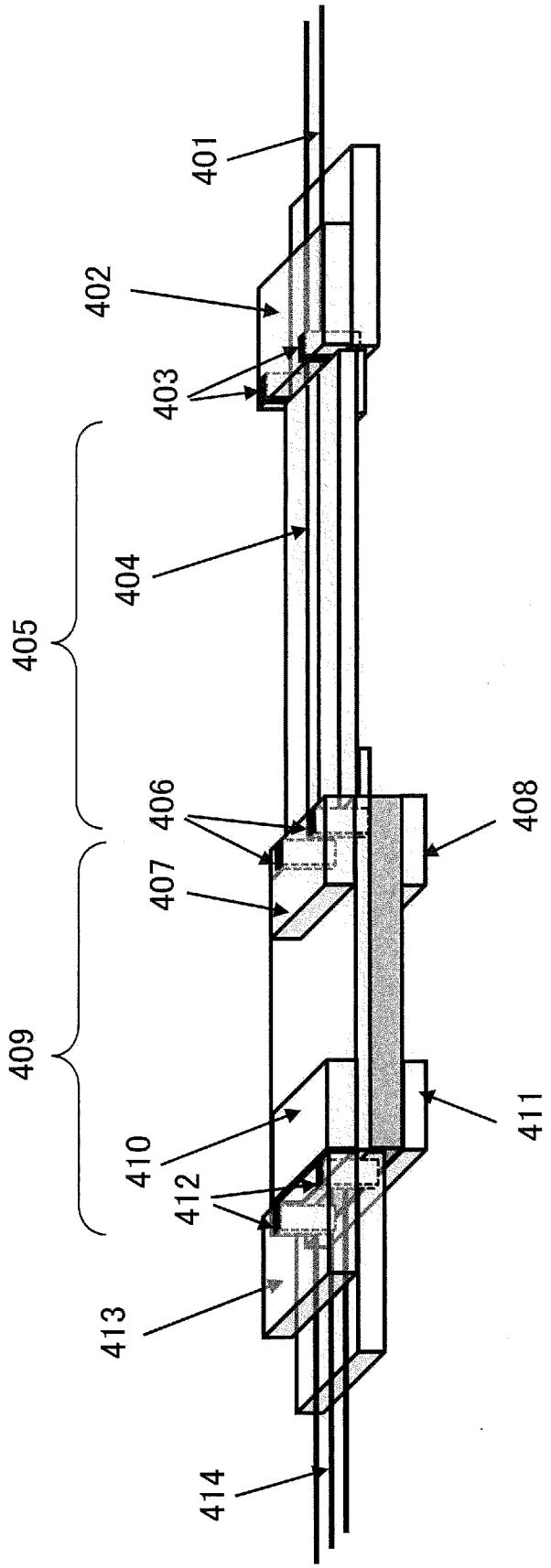
[図5]


START
石英系導波路チップをXZステージ上に載置する
S200
石英系導波路チップの表面に傷を付ける
S201
マーカーの始点の座標を確認する。
S202
傷の中心の座標を確認する
S203
マーカの始点に対する傷の相対座標を計算する
S204
マーカの始点に対するYAGレーザの相対座標を計算する
S205
CO2レーザ光の照射位置をマーカの始点の位置に合わせる
S206
石英系ガラスクラッドに溝を形成する
S207
YAGレーザ光の照射位置をマーカの始点の位置に合わせる
S208
Si基板に溝を形成する
S209
END

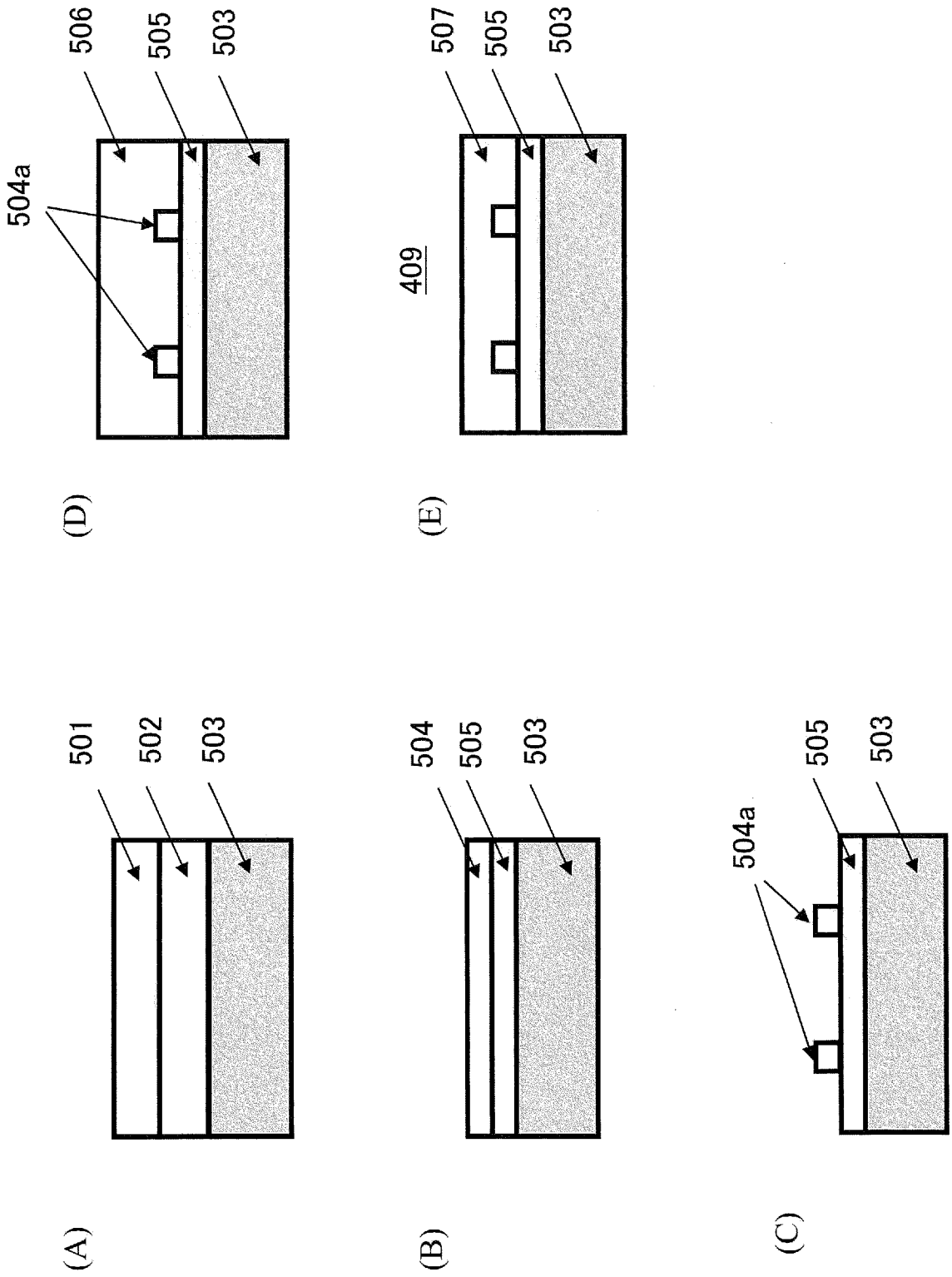
[図6]


300
出力
303
317
316
315
310
314
313
312
311
PPLN導波路
305
304
327
326
325
320
励起光
(0.77 μm帯)
324
323
322
321
307
EDFA
306
301
信号光
(1.54 μm帯)
基本波光
302

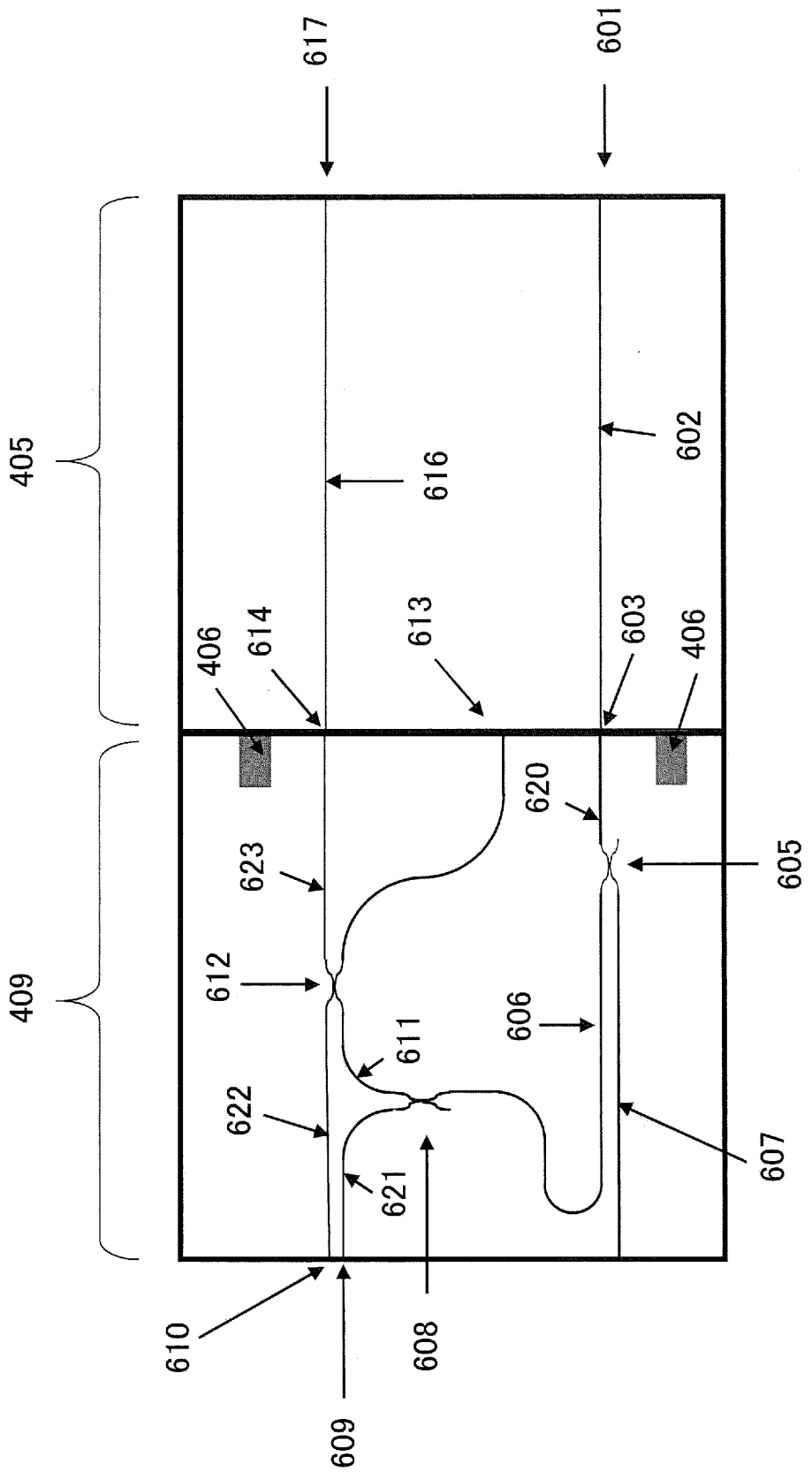
[図7]



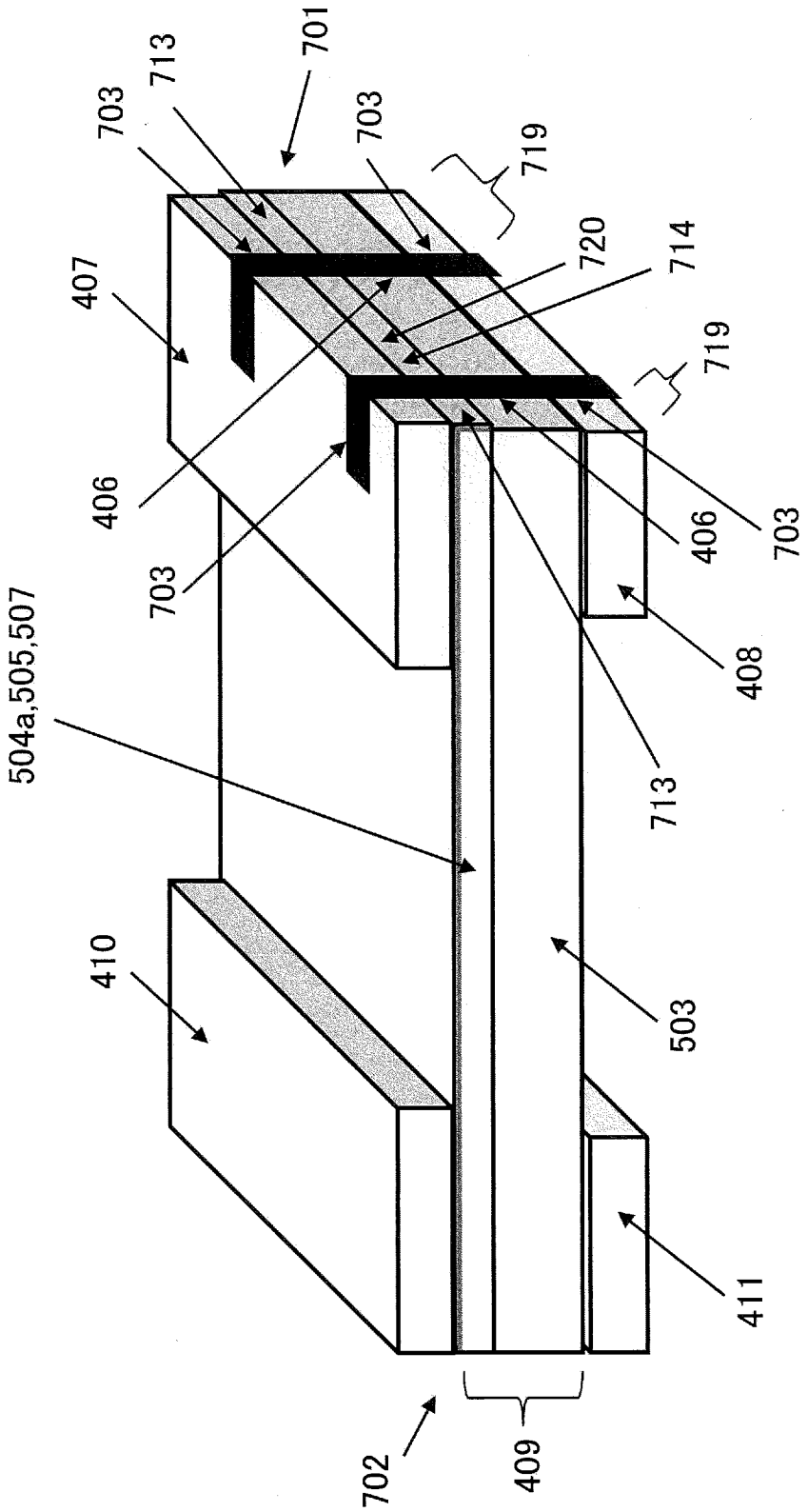
[図8]


501
502
503
(A)
504
505
503
(B)
505
503
504a
(C)
506
505
503
504a
(D)
507
505
503
409
(E)

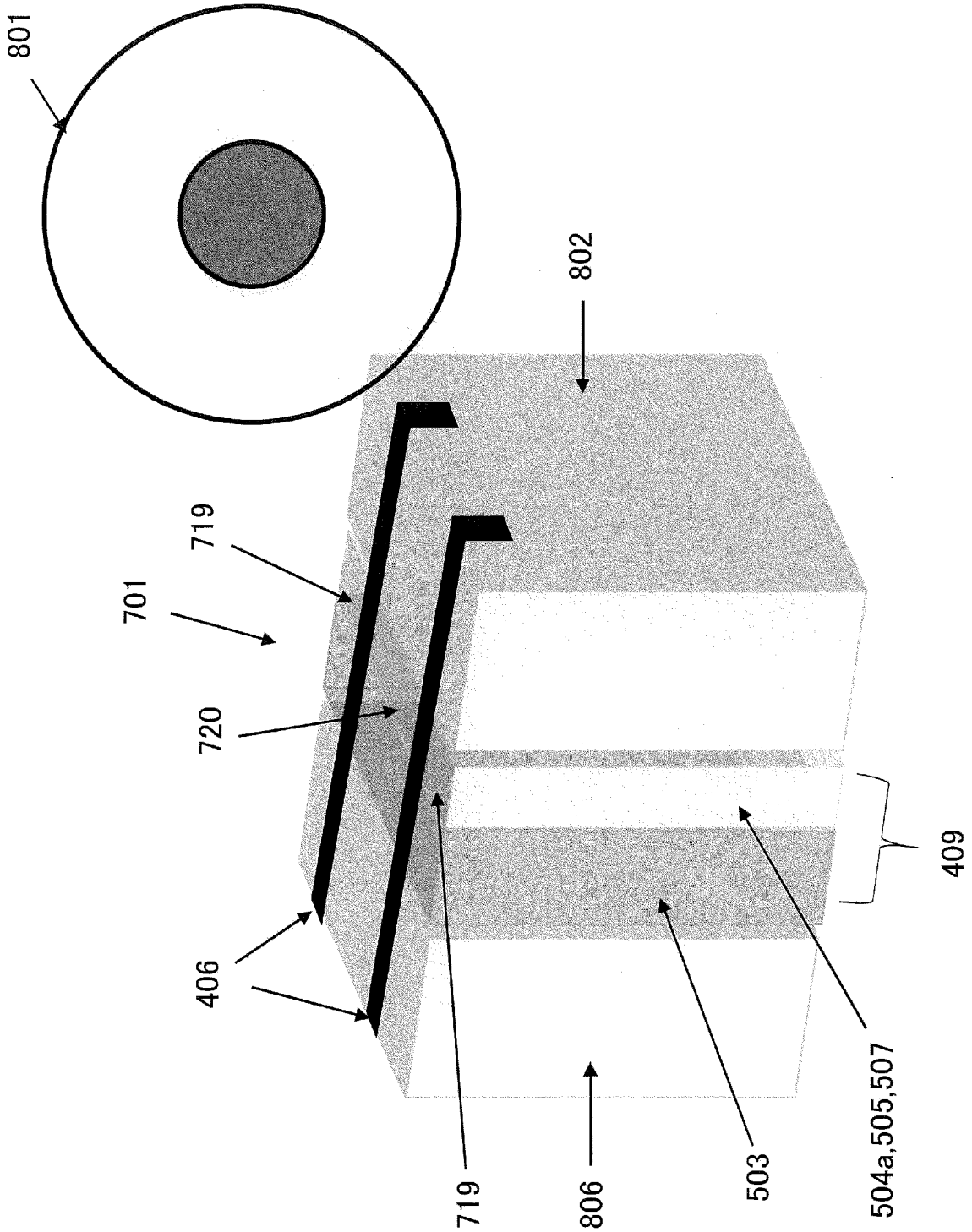
[図9]


617
601
405
616
602
406
614
613
603
406
620
623
605
409
612
606
611
622
607
621
610
608
609

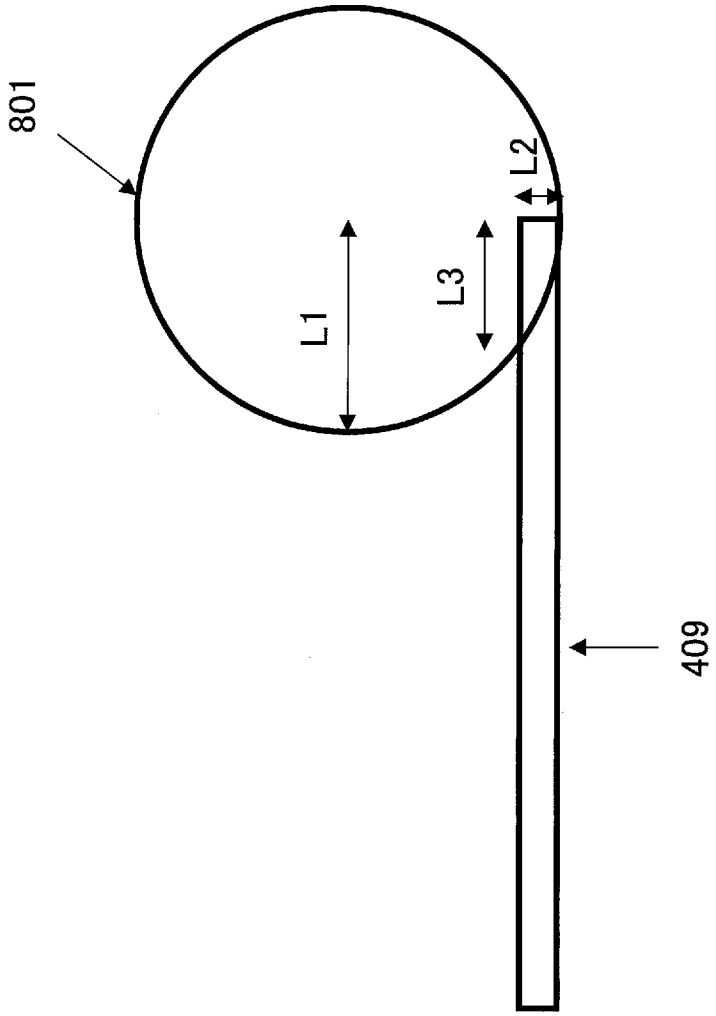
[図10]


701
713
703
703
719
720
714
719
407
406
703
406
703
703
408
504a,505,507
713
410
503
411
702
409

[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2019/024490

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl. G02F1/39(2006.01)i, G02B6/13(2006.01)i, G02B6/26(2006.01)i, G02B6/30(2006.01)i, G02F1/377(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. G02F1/39, G02B6/12-6/14, G02B6/26, G02B6/30, G02F1/377

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.
Y	JP 2014-209206 A (NGK INSULATORS LTD.) 06 November 2014, paragraphs [0002]-[0004], fig. 7, 8 & US 2014/0286607 A1, paragraph [0007], fig. 7, 8	1-3, 6
Y	JP 2018-36433 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 08 March 2018, paragraphs [0002], [0018]-[0031], fig. 2-5 (Family: none)	1-3, 6
Y	JP 8-254630 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 01 October 1996, paragraphs [0035]-[0041], fig. 4 (Family: none)	1-3, 6

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 05.08.2019	Date of mailing of the international search report 13.08.2019
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/JP2019/024490

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2000-323441 A (HITACHI CABLE LTD.) 24 November 2000, paragraphs [0030]-[0037], fig. 1-3 (Family: none)	1-3, 6
Y	JP 2008-135717 A (SEMICONDUCTOR ENERGY LABORATORY CO., LTD.) 12 June 2008, paragraphs [0029]-[0054], fig. 1-3 & US 2008/0108229 A1, paragraphs [0065]-[0090], fig. 1-3 & CN 101170058 A & KR 10-2008-0037594 A	3, 6
Y	JP 10-15682 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 20 January 1998, paragraphs [0017]-[0021], fig. 1 (Family: none)	3, 6
Y	JP 2017-69243 A (NGK SPARK PLUG CO., LTD.) 06 April 2017, paragraphs [0017]-[0023], fig. 1, 2 (Family: none)	3, 6
A	US 9823419 B1 (PELLETIER, F.) 21 November 2017, entire text, all drawings (Family: none)	1-7

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１９／０２４４９０

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G02F1/39(2006.01)i, G02B6/13(2006.01)i, G02B6/26(2006.01)i, G02B6/30(2006.01)i, G02F1/377(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.　G02F1/39, G02B6/12-6/14, G02B6/26, G02B6/30, G02F1/377

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
Y	JP 2014-209206 A（日本碍子株式会社）2014.11.06, 段落［０００２］－［０００４］、図７－８ & US 2014/0286607 A1, 段落[0007], Fig.7-8	1-3, 6
Y	JP 2018-36433 A（日本電信電話株式会社）2018.03.08, 段落［０００２］,［００１８］－［００３１］、図２－５（ファミリーなし）	1-3, 6
Y	JP 8-254630 A（日本電信電話株式会社）1996.10.01, 段落［００３５］－［００４１］、図４（ファミリーなし）	1-3, 6

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

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

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
０５．０８．２０１９	１３．０８．２０１９

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　１５６７
廣崎　拓登
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
Y	JP 2000-323441 A（日立電線株式会社）2000.11.24，段落［００３０］－［００３７］、図１－３（ファミリーなし）	1-3，6
Y	JP 2008-135717 A（株式会社半導体エネルギー研究所）2008.06.12，段落［００２９］－［００５４］、図１－３ & US 2008/0108229 A1，段落[0065]－[0090]，Fig. 1-3 & CN 101170058 A & KR 10-2008-0037594 A	3，6
Y	JP 10-15682 A（三菱重工業株式会社）1998.01.20，段落［００１７］－［００２１］、図１（ファミリーなし）	3，6
Y	JP 2017-69243 A（日本特殊陶業株式会社）2017.04.06，段落［００１７］－［００２３］、図１－２（ファミリーなし）	3，6
A	US 9823419 B1 (PELLETIER, Francois) 2017.11.21，全文、全図（ファミリーなし）	1-7