

(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
2024年10月3日(03.10.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/201876 A1

(51) 国際特許分類:
G02B 6/122 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2023/013109

(22) 国際出願日: 2023年3月30日(30.03.2023)

(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: 住友大阪セメント株式会社
(SUMITOMO OSAKA CEMENT CO.,LTD.) [JP/
JP]; 〒1058641 東京都港区東新橋一丁目
9番2号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 速水 佑治 (HAYAMI Yuji); 〒1058641
東京都港区東新橋一丁目9番2号 住友大
阪セメント株式会社内 Tokyo (JP). 片岡 優
(KATAOKA Yu); 〒1058641 東京都港区東新橋
一丁目9番2号 住友大阪セメント株式会
社内 Tokyo (JP). 岡橋 宏佑 (OKAHASHI Kosuke);

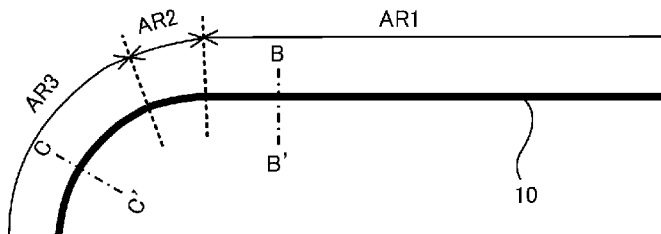
〒1058641 東京都港区東新橋一丁目9番2号 住
友大阪セメント株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 田村 爾, 外 (TAMURA Chikashi et al.);
〒1070052 東京都港区赤坂1丁目3番19
号 芳明ビル4階 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,
BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN,
CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC,
EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,
HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG,
KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU,
LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY,
MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,
PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,
SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: OPTICAL WAVEGUIDE ELEMENT AND OPTICAL MODULATION DEVICE USING SAME, AND OP-
TICAL TRANSMISSION DEVICE

(54) 発明の名称: 光導波路素子とそれを用いた光変調デバイス並びに光送信装置



(57) Abstract: The objective of the present invention is to provide an optical waveguide element in which a radius of curvature of an optical waveguide can be small and coupling between the TE mode and the TM mode are suppressed. The present invention is characterized in that, in an optical waveguide element including a rib-type optical waveguide 10, the rib-type optical waveguide has a straight portion AR1 and a curved portion AR3 formed at a constant curvature, the straight portion AR1 and the curved portion AR3 are connected via a curvature conversion portion AR2 having a continuously varying curvature, the straight portion and the curved portion of the rib-type optical waveguide are different from each other in height and width, and, in the curvature conversion portion AR2, the height and the width of the rib-type optical waveguide are formed such that the height and the width of the straight portion continuously change to the height and width of the curved portion, respectively.

(57) 要約: 本発明の目的は、光導波路の曲率半径を小さくでき、TEモードとTMモードとの結合を抑制した光導波路素子を提供することである。本発明は、リブ型光導波路10を有する光導波路素子において、該リブ型光導波路は、直線部分AR1と一定の曲率で構成される曲線部分AR3とを有し、かつ該直線部分AR1と該曲線部分AR3との間は曲率が連続して変化する曲率変換部分AR2で接続されており、該直線部分と該曲線部分とは、該リブ型光導波路の高さ及び幅が異なり、該曲率変換部分AR2では、該リブ型光導波路の高さ及び幅が、該直線部分の高さ及び幅から該曲線部分の高さ及び幅に、各々連続的に変化するよう形成されていることを特徴とする。

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

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称：

光導波路素子とそれを用いた光変調デバイス並びに光送信装置

技術分野

[0001] 本発明は、光導波路素子とそれを用いた光変調デバイス並びに光送信装置に関し、特に、リブ型光導波路を有する光導波路素子に関する。

背景技術

[0002] 光通信分野や光計測分野において、ニオブ酸リチウム（L N）などの電気光学効果を有する基板に光導波路を形成し、光導波路を伝搬する光波を変調する変調電極を備えた光変調器などの光導波路素子が多用されている。

[0003] H B－C D M（High Bandwidth Coherent Driver Modulator）のようなドライバ集積型変調器では、光導波路素子を駆動するドライバ回路を光導波路素子と一緒に筐体内に組み込み、さらに全体のパッケージを小型化することなどが求められている。このため、光導波路素子自体も小型化し、 $1\mu\text{m}$ 程度の幅や高さを有するリブ型光導波路を形成した薄板が利用されている。

[0004] 図1に示すように、光導波路素子の中でも特にL N基板1を用いる光導波路素子の小型化に関しては、低駆動電圧化の観点から、高周波信号（R F信号）を印加する変調用作用部A P及び位相制御用のバイアス電圧を印加するバイアス用作用部D Cの電極長を出来るだけ長く確保するため光導波路10の折り返し構造が採用されている。なお、図1では光導波路10の形状を見やすくするため、光導波路に電界を印加する電極は図示されていない。また、図1では光導波路は複数存在するが、代表的な光導波路10を図示している。

[0005] しかし、従来のリブ型光導波路の構成では、折り返し導波路の最小曲率半径がチップサイズとして小型化の律速となっていた。図1のような光導波路10の折り返し構造を有する光導波路素子を小型化するには、折り返し導波路の曲率半径を極力小さくすることが効果的である。

- [0006] 図2は、図1の一点鎖線A-A'における断面図である。リブ型光導波路10が形成されるLN基板1は厚みが10 μ m以下、近年では1 μ m以下であり、機械的強度を高めるため、SiO₂等の中間層2を介して、Siなどの保持基板3が接合されている。
- [0007] 曲率半径を小さくする手段としては、例えばリブ型光導波路10を有する光導波路素子に対しては、光導波路の実効屈折率を上げることである。これには、特許文献1にも開示されているように、光導波路のリブの高さやリブの幅をより大きくすることで、実効屈折率をより高くすることが可能となる。
- [0008] しかし、光導波路を形成する基板にXカットのLN基板を用いる場合、変調効率（電界印加に対する屈折率変化）の大きいTEモードをリブ導波路に対して伝搬させる。この時、特許文献2に示すようにTEモードとTMモードの結合（偏波クロストーク）を抑制するため、TEモードとTMモードの伝搬速度差を生じさせ、TEモードとTMモードの各々の実効屈折率に差をもたせる必要がある。TEモードとTMモードの実効屈折率は、リブ型光導波路の高さ、幅によって変化する。特に、TEモードの実効屈折率はリブの幅に依存し、TMモードの実効屈折率はリブの高さに依存する。
- [0009] さらに、複屈折率材料であるLNは、結晶軸Z方向に対して平行な光導波路については、TEモードとTMモードの屈折率は等しく、結晶軸Y軸方向に対して平行な光導波路については、材料の特性によりTEモードの屈折率のほうがTMモードの屈折率より小さい。結晶軸Z方向に対して平行な光導波路において、材料の屈折率はTEモードとTMモードの伝搬速度が等しいため、より偏波クロストークが発生し易い。即ち、TEモードの実効屈折率をTMモードの実効屈折率より大きくすることが必要であり、光導波路のリブの幅をリブの高さより大きくする必要がある。尚、TEモードの実効屈折率をTMモードの実効屈折率より大きくしない理由は、リブの幅をリブの高さより小さくするためのプロセス難易度が高く、高次のTMモードと基本のTEモードの結合を防ぐためである。

[0010] また、リブの高さやリブの幅を、従来のものよりもより大きくすると、光散乱損失の増加による光挿入損失、および光導波路内で高次モード光が励起されやすくなるため、消光比が劣化するなどの問題が発生する。

[0011] 光散乱損失および高次モード光の励起を抑制するため、リブ型光導波路の直線部には、従来のリブの高さや従来のリブの幅の光導波路を採用し、曲線部のみリブの高さやリブの幅を大きくした光導波路を採用する場合、直線部と曲線部との境界部分では、リブの高さやリブの幅が不連続に変わるため、光の結合損失が発生する。

先行技術文献

特許文献

[0012] 特許文献1：特開2021-157065号公報

特許文献2：特開2022-56979号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0013] 本発明が解決しようとする課題は、上述したような問題を解決し、光導波路の曲率半径を小さくでき、TEモードとTMモードとの結合を抑制した光導波路素子を提供することである。また、この光導波路素子を用いた光変調デバイス及び光送信装置を提供することである。

課題を解決するための手段

[0014] 上記課題を解決するため、本発明の光導波路素子、光変調デバイス、及び光送信装置は、以下のような技術的特徴を有する。

(1) リブ型光導波路を有する光導波路素子において、該リブ型光導波路は、直線部分と一定の曲率で構成される曲線部分とを有し、かつ該直線部分と該曲線部分との間は曲率が連続して変化する曲率変換部分で接続されており、該直線部分と該曲線部分とでは、該リブ型光導波路の高さ及び幅が異なり、該曲率変換部分では、該リブ型光導波路の高さ及び幅が、該直線部分の高さ及び幅から該曲線部分の高さ及び幅に、各々連続的に変化するよう

成されていることを特徴とする。

[0015] (2) 上記(1)に記載の光導波路素子において、該リブ型光導波路の高さ及び幅の関係は、高さの値が幅の値より小さいことを特徴とする。

[0016] (3) 上記(1)に記載の光導波路素子において、該曲率変換部分では、曲率半径が小さくなるに従い、該リブ型光導波路の高さ及び幅はより大きくなるように設定されていることを特徴とする。

[0017] (4) 上記(1)に記載の光導波路素子において、該リブ型光導波路を形成する基板の底面から該リブ型光導波路のリブ上面までの高さは、該リブ型光導波路の高さが変化しても一定になるように設定されていることを特徴とする。

[0018] (5) 上記(1)乃至(4)のいずれかに記載の光導波路素子と、該光導波路素子を収容する筐体と、該光導波路素子に光波を入出力する光ファイバとを有することを特徴とする光変調デバイスである。

[0019] (6) 上記(5)に記載の光変調デバイスにおいて、該光導波路を伝搬する光波を変調する変調電極を該基板に設け、該変調電極に入力する変調信号を増幅する電子回路を該筐体の内部又は外部に有することを特徴とする。

[0020] (7) 上記(6)に記載の光変調デバイスと、該光変調デバイスに変調動作を行わせる変調信号を出力する電子回路とを有することを特徴とする光送信装置である。

発明の効果

[0021] 本発明により、リブ型光導波路を有する光導波路素子において、該リブ型光導波路は、直線部分と一定の曲率で構成される曲線部分とを有し、かつ該直線部分と該曲線部分との間は曲率が連続して変化する曲率変換部分で接続されており、該直線部分と該曲線部分とでは、該リブ型光導波路の高さ及び幅が異なり、該曲率変換部分では、該リブ型光導波路の高さ及び幅が、該直線部分の高さ及び幅から該曲線部分の高さ及び幅に、各々連続的に変化するよう形成されているため、光導波路の曲線部分の曲率半径を小さくでき、TEモードとTMモードとの結合も抑制した光導波路素子を提供することが

可能となる。しかも、リブの高さやリブの幅を連続的に変化させることで光損失も低減することが可能となる。また、この優れた効果を奏する光導波路素子を用いた光変調デバイス及び光送信装置も提供することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0022] [図1]従来の光導波路素子の一例を示す平面図である。

[図2]図1の一点鎖線A-A'における断面図である。

[図3]本発明の光導波路素子に使用される光導波路の一部を示す平面図である。

[図4]図3の一点鎖線B-B'及びC-C'における断面図である。

[図5]図3の光導波路における(a)曲率半径、(b)リブの幅、(c)リブの高さにおける変化の状態を説明するグラフである。

[図6]本発明の光導波路素子に使用される光導波路の他の断面形状を示す図である。

[図7]本発明の光導波路素子に使用される折り返し導波路の一例を示す平面図である。

[図8]本発明の光導波路素子に使用される折り返し導波路の他の例を示す平面図である。

[図9]本発明の光導波路素子の一例を示す平面図である。

[図10]本発明に係る光変調デバイスと光送信装置を示す平面図である。

発明を実施するための形態

[0023] 以下、本発明について好適例を用いて詳細に説明する。

本発明は、図3乃至5に示すように、リブ型光導波路10を有する光導波路素子において、該リブ型光導波路は、直線部分AR1と一定の曲率で構成される曲線部分AR3とを有し、かつ該直線部分AR1と該曲線部分AR3との間は曲率が連続して変化する曲率変換部分AR2で接続されており、該直線部分と該曲線部分とでは、該リブ型光導波路の高さ及び幅が異なり、該曲率変換部分AR2では、該リブ型光導波路の高さ及び幅が、該直線部分の高さ及び幅から該曲線部分の高さ及び幅に、各々連続的に変化するように形

成されていることを特徴とする。

[0024] 光導波路を形成する基板 1 としては、ニオブ酸リチウム (L N) やタンタル酸リチウム (L T)、P L Z T (ジルコン酸チタン酸鉛ランタン) などの電気光学効果を有する基板や、これらの材料による気相成長膜、さらには、半導体材料や有機材料など種々の材料も利用可能である。

[0025] 光導波路 10 の形成方法としては、光導波路以外の基板表面をエッチングし、光導波路の両側に溝を形成するなど、基板の光導波路に対応する部分を凸状としたリブ型光導波路を利用することが可能であり、基板の薄膜化により厚さ方向にスロット導波路構造を形成する水平スロット導波路を使用することにより、曲げ損失の低減が可能となる。

また、T iなどを熱拡散法やプロトン交換法などで基板表面に高屈折率部分を形成する技術を、リブ型光導波路部分に合わせて適用することも可能である。特に、光導波路素子自体を小型化する場合や折り曲げた光導波路を使用する場合などには、光閉じ込めの強い、幅又は高さが1 μ m程度の凸状導波路を用いる。

[0026] 光導波路を形成した基板 1 は、変調信号のマイクロ波と光波との速度整合を図るため、10 μ m以下、より好ましくは5 μ m以下、更に好ましくは1 μ m未満の厚さ（厚さの下限は0.3 μ m以上が好ましい）まで研削研磨により薄板化する方法や、スマートカット法（イオン注入剥離により薄膜化する方法）等を用いて薄膜化基板を作製する。リブ型光導波路の高さは、1 μ m以下に設定することが好ましい。また、他の基板上に気相成長膜を上述の基板の厚さ程度で形成し、当該膜を上述のような光導波路の形状に加工することも可能である。

[0027] 光導波路を形成した基板（薄板、薄膜）1 は、図2に示すように、機械的強度を高めるため、中間層2を介して、保持基板3に接着固定される。本発明では、この薄板、中間層2及び保持基板3を一体化した複合基板を「基板」と称する場合もある。

保持基板3には、1 mm以下のシリコン (S i) や誘電率の低いアルファ

石英単結晶等のガラス材や水晶、サファイア等が利用可能である。

また、中間層には、基板 1 に光を閉じ込めるため、また、薄板 1 よりも屈折率が低く、光波と電気信号（マイクロ波）との速度整合を図るため、基板 1 よりも誘電率の低い材料が使用される。さらに、薄板 1 に熱応力が加わるのを抑制するため、熱膨張率が薄板 1 に近い材料を使用する。具体的には、 SiO_2 などの Si 酸化膜などを厚さ $10\mu\text{m}$ 以下で用いる。

[0028] 本発明の光導波路素子の特徴は、リブ型光導波路の直線部分 AR 1 と曲線部分 AR 3 とでは、リブ型光導波路の高さ及び幅が異なり、両者を接続する曲率変換部分 AR 2 では、リブ型光導波路の高さ及び幅が、該直線部分 AR 1 の高さ及び幅から該曲線部分 AR 3 の高さ及び幅に、各々連続的に変化するように形成されている。例えば、90度折り返す光導波路においては、曲率変換部 AR 2 と曲率一定の曲導波路 AR 3 が占める角度の比は、AR 2 の占める角度：AR 3 の占める角度＝1：2～10（度）で構成されている。ここで1：2の意味は、AR 2 の曲げ部分が占める角度が30度分であり、AR 3 の曲げ部分が占める角度が60度分であることを意味している。

[0029] 本発明では、図3に示すリブ型光導波路の直線部分 AR 1 と曲線部分 AR 3 とでは、図3の一点鎖線 B－B' の断面図（図4（a））と図3の一点鎖線 C－C' の断面図（図4（b））に示すように、曲線部分のリブの高さ H 3 は直線部分のリブの高さ H 1 よりも大きくし、曲線部分のリブの幅 W 3 は直線部分のリブの幅 W 1 よりも広がっている。これにより、光導波路の実効屈折率は、直線部分よりも曲線部分がより大きくなっており、曲線部分の曲率半径をより小さくすることが可能となる。例えば、本構成を採用することにより、曲線部分の曲率半径を2割程度小さくすることが可能になる。仮に光の進行方向を90度折り返す光導波路において、曲線部分の曲率半径が $100\mu\text{m}$ である場合、本手法により曲率半径を2割小さくすることが可能であり、90度折り返す光導波路全体に対して縦／横方向それぞれ2割のサイズダウン（小型化）を実現できる。

[0030] また、本発明の光導波路素子では、リブ型光導波路 10 の高さ及び幅の関

係は、高さの値が幅の値より常に小さくなるように設定（リブの高さ<リブの幅）されている。この結果、TEモードとTMモードとの結合が抑制される。

さらに、リブ型光導波路の「リブの幅とリブの高さとの比（直線部分 $W1/H1$ ，曲率変換部分 $W2/H2$ ，曲線部分 $W3/H3$ ）についても、 $W1/H1 < W2/H2 < W3/H3$ となるように設定することで、より確実に両モード間の結合を抑制することができる。さらに、曲げ導波路（曲線部分や曲率変換部分）では、基板1の長手方向（リッジの幅の方向と重なる）の実効屈折率が高くする方が光損失を抑制できるため、リブの幅方向をリブの高さよりより大きくすることが好ましい。

[0031] 図5は、図3の直線部分AR1、曲率変換部分AR2、曲線部分AR3における（a）曲率半径、（b）リブの幅、（c）リブの高さの変化を示したグラフである。

曲率半径は、曲率変換部分AR2（曲率半径 $R2$ ）では連続的に変化し、曲線部分では曲率半径 $R3$ の一定値となる。

[0032] また、リブの幅については、直線部分AR1のリブの幅 $W1$ よりも、曲線部分（曲率一定）AR3のリブの幅 $W3$ の方が大きくなるように設定されている。曲率変換部分AR2では、直線部分AR1と曲線部分AR3とを連続的に接続するように、曲率半径 $R2$ の変化に合わせて連続的に変化している。具体的には、 $W2 = \alpha / R2 + W1$ で変化しており、 α は変換係数である。つまり、曲率半径 $R2$ に反比例するように幅 $W2$ が変化する。曲率半径に対して、リブ幅を連続的に変化させることで、直線導波路から曲げ導波路に変換する際に、変換部の光損失を最小限に抑制することが出来る。

[0033] また、リブの高さについては、直線部分AR1のリブの幅 $H1$ よりも、曲線部分（曲率一定）AR3のリブの幅 $H3$ の方が大きくなるように設定されている。曲率変換部分AR2では、直線部分AR1と曲線部分AR3とを連続的に接続するように、曲率半径 $R2$ の変化に合わせて連続的に変化している。具体的には、 $H2 = \beta / R2 + H1$ で変化しており、 β は変換係数であ

る。つまり、曲率半径 R_2 に反比例するように高さ H_2 が変化する。

以上のように、曲率変換部分 $A R_2$ では、曲率半径 R_2 が小さくなるに従い、リブ型光導波路の高さ H_2 及び幅 W_2 はより大きくなるように設定される。曲率半径に対して、リブ高さを連続的に変化させることで、直線導波路から曲げ導波路に変換する際に、変換部の光損失を最小限に抑制することが出来る。

[0034] 図4のリブ型光導波路に適用される数値範囲としては、例えば、以下のような条件を採用することが可能である。

- ・基板1 (LN基板) の全体の厚み $T_H = 0.1 \sim 1 \mu m$
- ・直線部分のリブの高さ $H_1 = 0.05 \sim 0.5 \mu m$
- ・直線部分のリブの幅 $W_1 = 0.2 \sim 5 \mu m$
- ・曲線部分のリブの高さ $H_3 = 0.07 \sim 0.7 \mu m$
- ・曲線部分のリブの幅 $W_3 = 0.3 \sim 7 \mu m$
- ・変換係数 $\alpha = 1 \sim 200 (\mu m^2)$
- ・変換係数 $\beta = 0.2 \sim 20 (\mu m^2)$

[0035] また、リブ形状やスロット形状の光導波路は、光導波路の形成プロセスの都合から、図6に示すように、光導波路の側面はLN基板底面に対して、垂直ではなく、光導波路の中央側に倒れたような形状を有している。光導波路側面と基板底面とのなす角度 θ は、 $\theta = 45^\circ \sim 85^\circ$ である。なお、図6の幅 W については上述した W_1 や W_3 の値が、また、高さ H については上述した H_1 や H_3 の値が各々適用可能である。 $T_H = 0.1 \sim 1 \mu m$ である。

[0036] 本発明の光導波路素子では、図4に示すように、リブ型光導波路10を形成する基板1の底面から該リブ型光導波路のリブ上面までの高さ T_H は、該リブ型光導波路の高さ (H_1 , H_3) が変化しても、一定になるように設定されている。一方、スラブ導波路SBの厚みが変わっている。これにより、光導波路の部分毎に基板1の厚みを変える必要が無く、製造工程が複雑化しない。また、リブの高さ (H_1 , H_3) を変えるには、場所によってエッチング時間を調整したり、最初に一律に同じ高さに揃え、その後、電子ビーム

やレーザーなど他の手段で部分的に基板を深く掘るような工程を付加しても良い。また、スラブ導波路SBの厚みが薄くなることにより、隣合う光導波路間のクロストーク低減や、電極近傍（例えばRF信号作用部／DCバイアス作用部）における光導波損失の低減が可能になる。

[0037] 次に、図7及び図8を用いて、折り返し導波路に本発明を適用した例を説明する。

図7では、折り返し部分を曲線部分（曲率一定）AR3のみで形成し、2つの直線部分（AR1, AR5）とを接続する2つの曲率変換部分（AR2, AR4）を用いたものである。このような構成では、光挿入損失を抑制したまま、曲率を小さくし、縦方向のスペースL1を小さくでき、チップ小型化に有効である。

[0038] 図8では、折り返し部分を2つの曲線部分（AR13, AR17）とその間にある直線部分AR15で構成するものである。当然、直線部分と曲線部分の間には曲率変換部分（AR14, AR16）が設けられている。また、直線部分（AR11, AR19）と曲線部分（AR13, AR17）の間にも曲率変換部分（AR12, AR18）が配置される。このような構成では、光挿入損失を抑制したまま、曲率を小さくし、直線導波路（AR15）の長さを調整することにより、縦方向のスペースL2を調整可能となる。特に、縦方向のスペースL2を調整可能な効果としては、図1に示すように、並行に配置した2本の光導波路をクロスさせないで折り返す場合、外回りの光導波路は縦方向のスペースを調整する必要があり、光路長の調整の際に有効となる。例えば、図9の折り返し導波路構造の場合、図7、図8の構造をそれぞれ構造A、構造Bの箇所に採用し、X__1、X__2およびY__1、Y__2等の長さを調整することにより、導波路10A、10Bの光路長を等しくすることができる。

[0039] 図9に示すように、本発明の光導波路素子（基板1）を金属等の筐体CA内に收容し、筐体の外部と光導波路素子とを光ファイバFで接続することで、コンパクトな光変調デバイスMDを提供することができる。当然、基板1

の光導波路の入射部又は出射部に光ファイバを直接接続するだけでなく、空間光学系を介して光学的に接続することも可能である。なお、符号5は、基板1の端面に沿って基板1に重ね合わせた補強部材であり、光ファイバなどの光学部品を基板1の端面に直接接合する際に使用される。

[0040] 光変調デバイスMDに変調動作を行わせる変調信号 S_0 を出力する電子回路（デジタル信号プロセッサDSP）を、光変調デバイスMDに接続することにより、光送信装置OTAを構成することが可能である。光導波路素子に印加する変調信号Sは増幅する必要があるため、ドライバ回路DRVが使用される。ドライバ回路DRVやデジタル信号プロセッサDSPは、筐体CAの外部に配置することも可能であるが、筐体CA内に配置することも可能である。特に、ドライバ回路DRVを筐体内に配置することで、ドライバ回路からの変調信号の伝搬損失をより低減し広帯域化が可能となる。

産業上の利用可能性

[0041] 以上のように、本発明によれば、光導波路の曲率半径を小さくでき、TEモードとTMモードとの結合を抑制した光導波路素子を提供することが可能となる。また、このような優れた効果を有する光導波路素子を用いた光変調デバイス及び光送信装置を提供することができる。

符号の説明

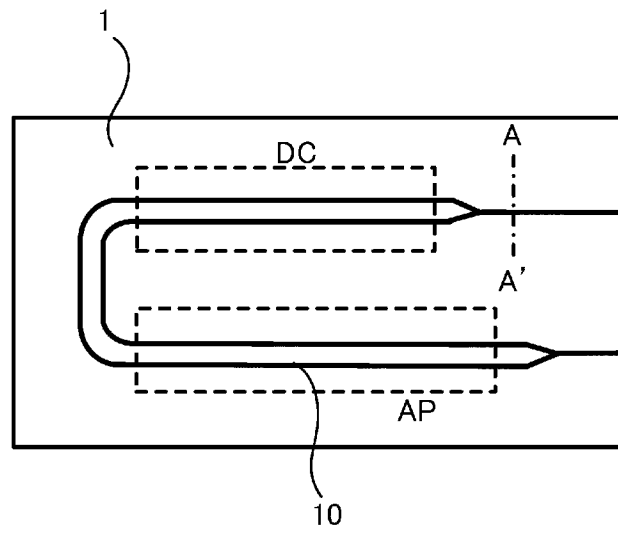
- [0042]
- 1 基板
 - 2 中間層
 - 3 保持基板
 - 10 光導波路（リブ型光導波路）
 - AR1 光導波路の直線部分
 - AR2 光導波路の曲率変換部分
 - AR3 光導波路の曲線部分（曲率一定）

請求の範囲

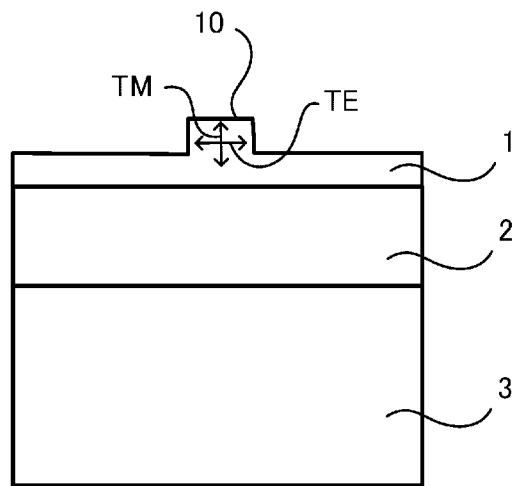
- [請求項1] リブ型光導波路を有する光導波路素子において、
- 該リブ型光導波路は、直線部分と一定の曲率で構成される曲線部分とを有し、かつ該直線部分と該曲線部分との間は曲率が連続して変化する曲率変換部分で接続されており、
- 該直線部分と該曲線部分とでは、該リブ型光導波路の高さ及び幅が異なり、
- 該曲率変換部分では、該リブ型光導波路の高さ及び幅が、該直線部分の高さ及び幅から該曲線部分の高さ及び幅に、各々連続的に変化するよう形成されていることを特徴とする光導波路素子。
- [請求項2] 請求項1に記載の光導波路素子において、該リブ型光導波路の高さ及び幅の関係は、高さの値が幅の値より小さいことを特徴とする光導波路素子。
- [請求項3] 請求項1に記載の光導波路素子において、該曲率変換部分では、曲率半径が小さくなるに従い、該リブ型光導波路の高さ及び幅はより大きくなるように設定されていることを特徴とする光導波路素子。
- [請求項4] 請求項1に記載の光導波路素子において、該リブ型光導波路を形成する基板の底面から該リブ型光導波路のリブ上面までの高さは、該リブ型光導波路の高さが変化しても一定になるように設定されていることを特徴とする光導波路素子。
- [請求項5] 請求項1乃至4のいずれかに記載の光導波路素子と、該光導波路素子を収容する筐体と、該光導波路素子に光波を入出力する光ファイバとを有することを特徴とする光変調デバイス。
- [請求項6] 請求項5に記載の光変調デバイスにおいて、該光導波路を伝搬する光波を変調する変調電極を該基板に設け、該変調電極に入力する変調信号を増幅する電子回路を該筐体の内部又は外部に有することを特徴とする光変調デバイス。
- [請求項7] 請求項6に記載の光変調デバイスと、該光変調デバイスに変調動作

を行わせる変調信号を出力する電子回路とを有することを特徴とする光送信装置。

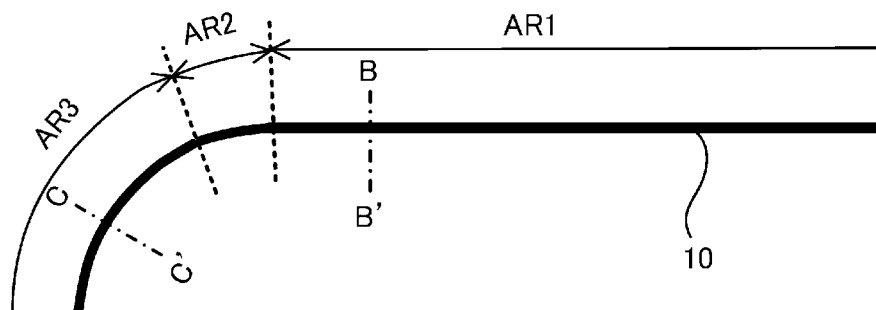
[図1]



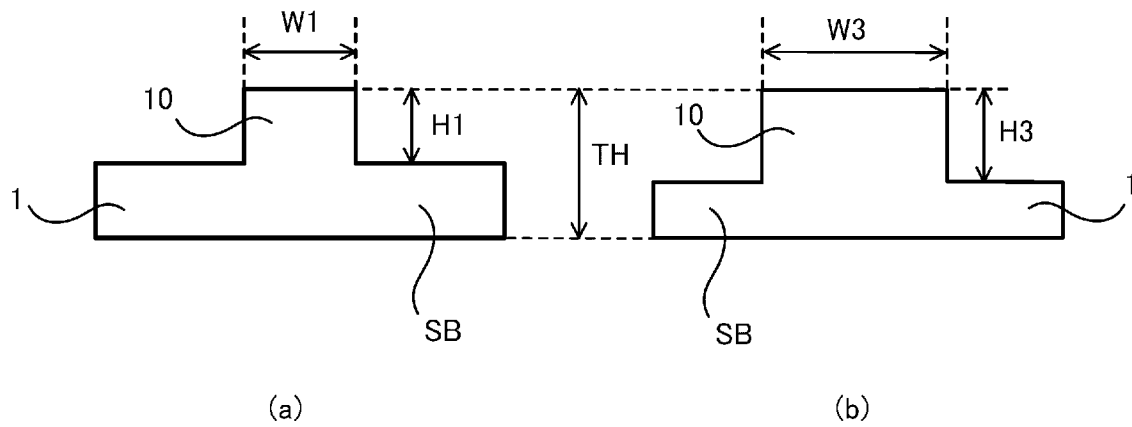
[図2]



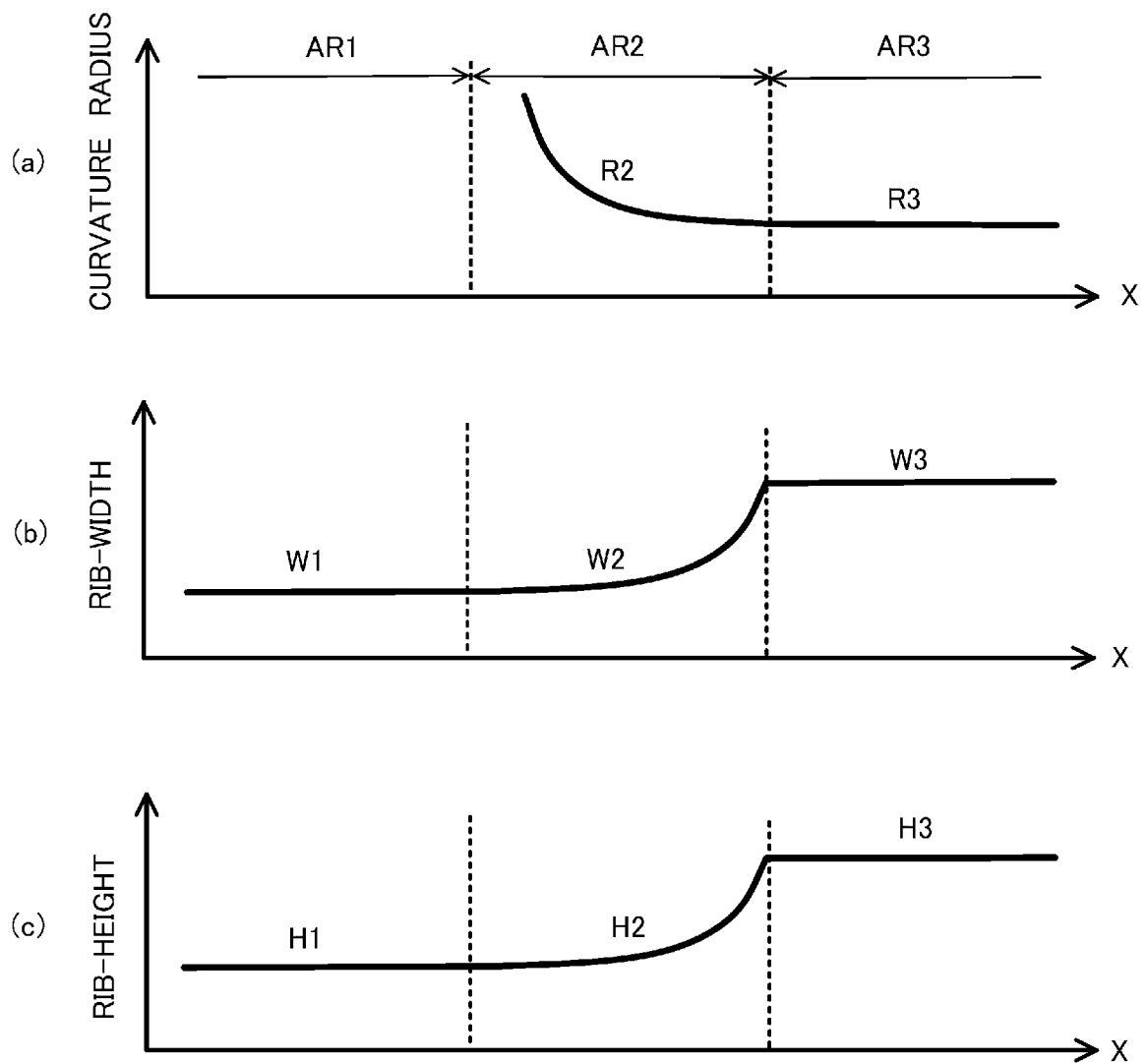
[図3]



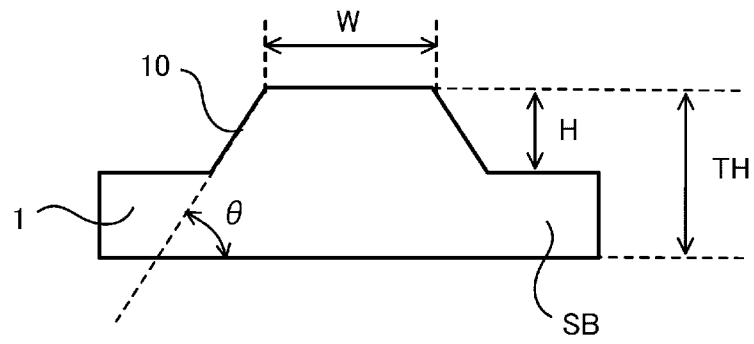
[図4]



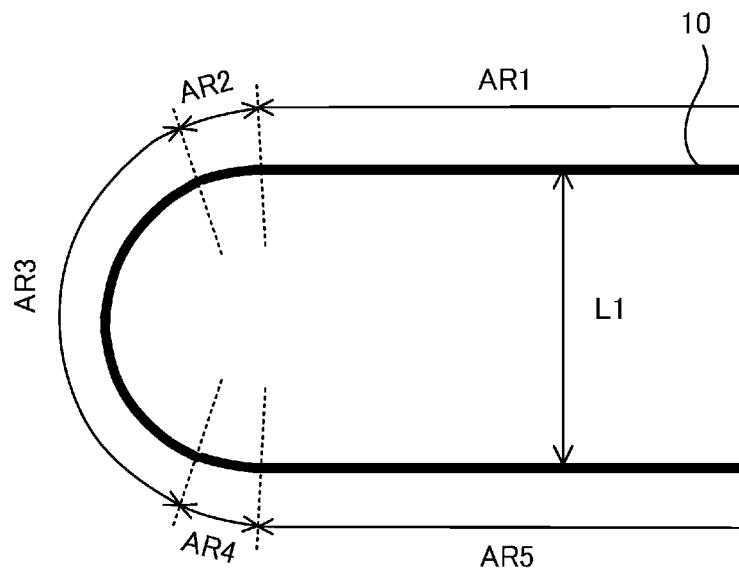
[図5]



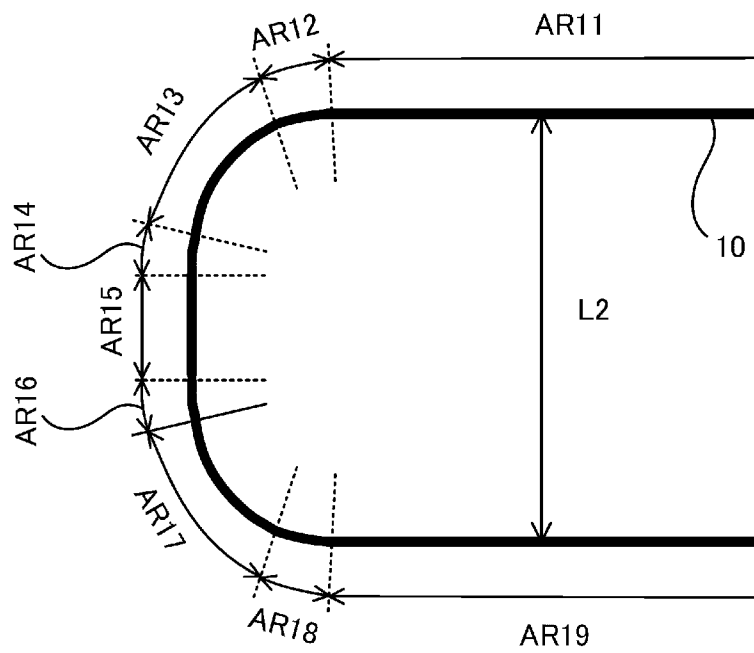
[図6]



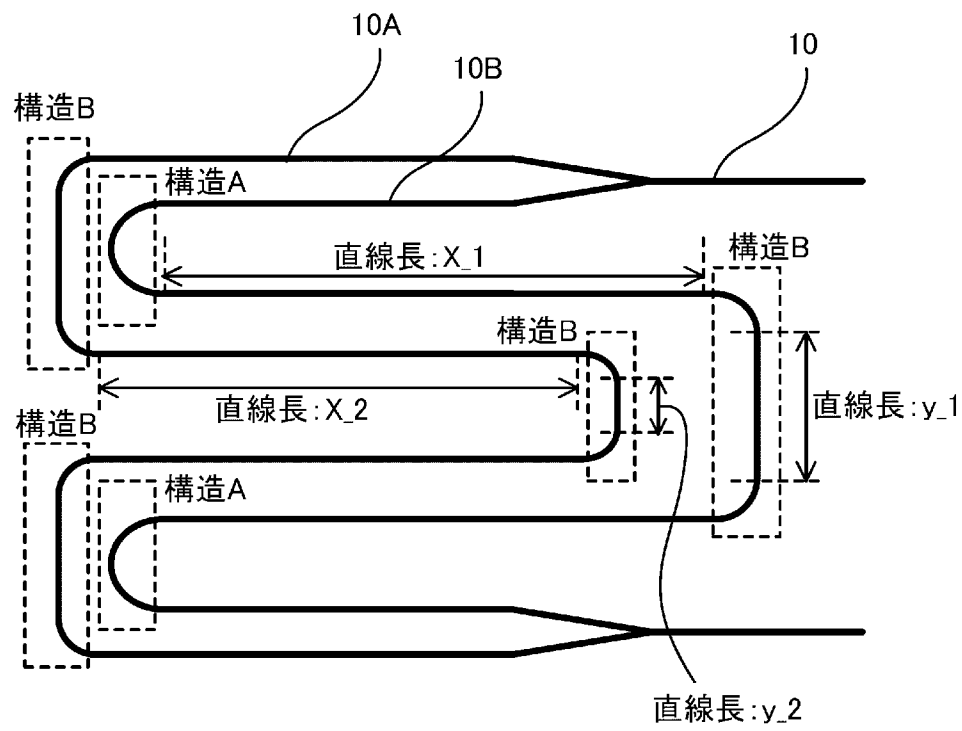
[図7]



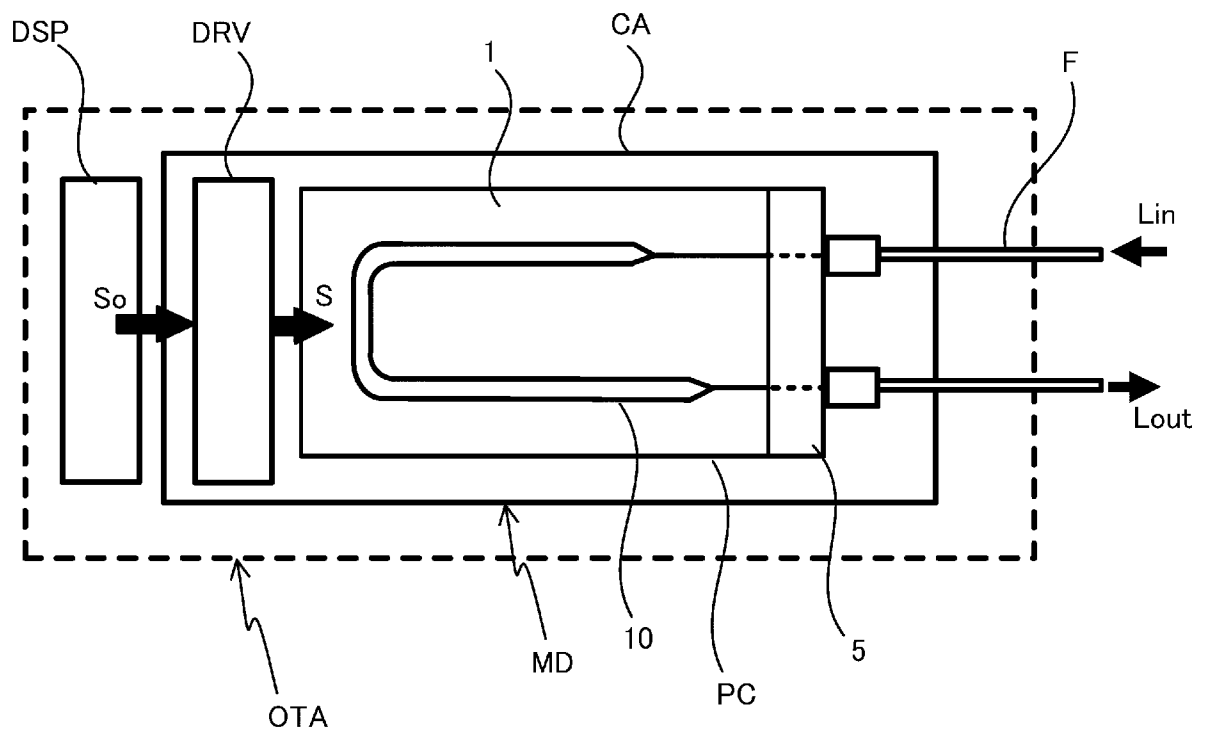
[図8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/013109

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G02B 6/122**(2006.01)i

FI: G02B6/122 311

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)

G02B6/122

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 1971-2023
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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	WO 2021/117161 A1 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 17 June 2021 (2021-06-17) paragraphs [0032], [0084]-[0088], fig. 18	1-7
Y	JP 3-200904 A (NEC CORPORATION) 02 September 1991 (1991-09-02) page 3, upper left column, line 19 to upper right column, line 9, fig. 1	1-7
Y	US 6028973 A (SIEMENS AKTIENGESSELLSCHAFT) 22 February 2000 (2000-02-22) column 2, line 1 to column 3, line 51, fig. 1	1-7
Y	WO 2022/071283 A1 (SUMITOMO OSAKA CEMENT CO., LTD.) 07 April 2022 (2022-04-07) claims 6-9	5-7
A	JP 2001-249240 A (HITACHI CABLE, LTD.) 14 September 2001 (2001-09-14) entire text, all drawings	1-7
A	JP 2017-116862 A (TOYOTA CENTRAL R&D LABS., INC.) 29 June 2017 (2017-06-29) entire text, all drawings	1-7

☒ 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

22 May 2023

Date of mailing of the international search report

06 June 2023

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
 Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/013109

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2022-56979 A (SUMITOMO OSAKA CEMENT CO., LTD.) 11 April 2022 (2022-04-11) entire text, all drawings	1-7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2023/013109

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO	2021/117161	A1	17 June 2021	US 2023/0032684 A1 paragraphs [0061], [0113]- [0116], fig. 18	
JP	3-200904	A	02 September 1991	(Family: none)	
US	6028973	A	22 February 2000	EP 831344 A2	
WO	2022/071283	A1	07 April 2022	JP 2022-56982 A	
JP	2001-249240	A	14 September 2001	(Family: none)	
JP	2017-116862	A	29 June 2017	(Family: none)	
JP	2022-56979	A	11 April 2022	US 2022/0100010 A1 entire text, all drawings	
				EP 3978993 A1	
				CN 114325939 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G02B 6/122(2006.01)i FI: G02B6/122 311														
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） G02B6/122 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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2023年</td> </tr> </table> 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）			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2023年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2023年				
日本国実用新案公報	1922 - 1996年													
日本国公開実用新案公報	1971 - 2023年													
日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年													
日本国登録実用新案公報	1994 - 2023年													
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	WO 2021/117161 A1（日本電信電話株式会社）17.06.2021（2021 - 06 - 17） 段落[0032], [0084]-[0088], 図18	1-7												
Y	JP 3-200904 A（日本電気株式会社）02.09.1991（1991 - 09 - 02） 3ページ左上欄19行-右上欄9行, 第1図	1-7												
Y	US 6028973 A（SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT）22.02.2000（2000 - 02 - 22） 第2欄1行-第3欄51行, 図1	1-7												
Y	WO 2022/071283 A1（住友大阪セメント株式会社）07.04.2022（2022 - 04 - 07） [請求項6]-[請求項9]	5-7												
A	JP 2001-249240 A（日立電線株式会社）14.09.2001（2001 - 09 - 14） 全文, 全図	1-7												
A	JP 2017-116862 A（株式会社豊田中央研究所）29.06.2017（2017 - 06 - 29） 全文, 全図	1-7												
A	JP 2022-56979 A（住友大阪セメント株式会社）11.04.2022（2022 - 04 - 11） 全文, 全図	1-7												
☐ 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。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“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	“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	“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	“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）	“&” 同一パテントファミリー文献	“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	
* 引用文献のカテゴリー	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの													
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“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													
“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	“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													
“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）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“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														
国際調査を完了した日 22.05.2023	国際調査報告の発送日 06.06.2023													
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 堀部 修平 2L 9215 電話番号 03-3581-1101 内線 3295													

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/013109

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO	2021/117161	A1	17.06.2021	US 2023/0032684 A1 段落[0061],[0113]-[0116], 図18	
JP	3-200904	A	02.09.1991	(ファミリーなし)	
US	6028973	A	22.02.2000	EP 831344 A2	
WO	2022/071283	A1	07.04.2022	JP 2022-56982 A	
JP	2001-249240	A	14.09.2001	(ファミリーなし)	
JP	2017-116862	A	29.06.2017	(ファミリーなし)	
JP	2022-56979	A	11.04.2022	US 2022/0100010 A1 全文,全図 EP 3978993 A1 CN 114325939 A	