

(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
2010年7月22日(22.07.2010)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2010/082673 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 6/122 (2006.01) G02F 1/035 (2006.01)
G02B 6/12 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/050581
- (22) 国際出願日: 2010年1月13日(13.01.2010)
- (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 2009-007550 2009年1月16日(16.01.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日本碍子株式会社 (NGK Insulators, Ltd.) [JP/JP]; 〒4678530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 Aichi (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 三富修 (MITOMI, Osamu) [JP/JP]; 〒2280803 神奈川県相模原市相模大野5丁目3番17号203 Kanagawa (JP). 青木謙治 (AOKI, Kenji) [JP/JP]; 〒4678530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号日本碍子株式会社内 Aichi (JP). 堀裕二 (HORI, Yuji) [JP/JP]; 〒4678530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号日本碍子株式会社内 Aichi (JP). 近藤順悟 (KONDO, Jungo) [JP/JP]; 〒4678530 愛知

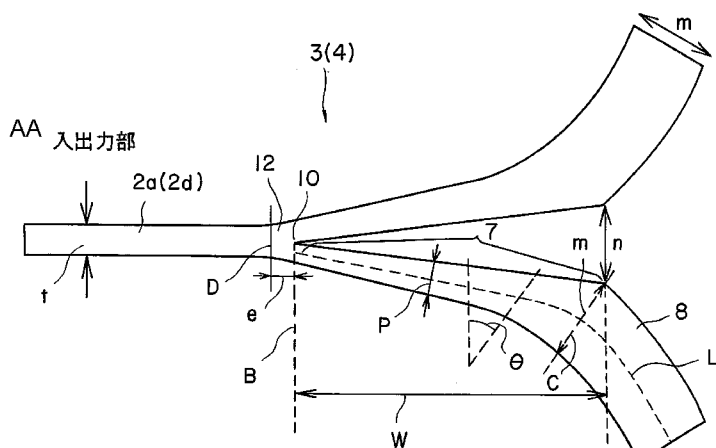
県名古屋市瑞穂区須田町2番56号日本碍子株式会社内 Aichi (JP). 岩崎康範 (IWASAKI, Yasunori) [JP/JP]; 〒4678530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号日本碍子株式会社内 Aichi (JP).

- (74) 代理人: 細田益稔, 外 (HOSODA, Masutoshi et al.); 〒1080074 東京都港区高輪一丁目5番4号 常和高輪ビル7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, 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, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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,

[続葉有]

- (54) Title: BRANCHED OPTICAL WAVEGUIDE, OPTICAL WAVEGUIDE SUBSTRATE AND OPTICAL MODULATOR
- (54) 発明の名称: 分岐型光導波路、光導波路基板および光変調器

第2図



AA INPUT/OUTPUT SECTION

(57) Abstract: An optical waveguide is formed on a ferroelectric substrate having a thickness of 20 μm or less by means of dopant diffusion or ion exchange. The optical waveguide is provided with a non-branched section (2a) wherein single mode propagation is performed, and a pair of branched sections which are branched from the non-branched section (2a). Each of the branched sections is provided with a connecting section (7) extending from a branching end (10) and a multimode propagating section (8) continuous from the connecting section (7). The width (m) of the multimode propagating section (8) is larger than the width (t) of the non-branched section. The width (p) of the connecting section increases toward the multimode propagating section (8) from the non-branched section (2a).

(57) 要約: 光導波路は、厚さ 20 μm 以下の強誘電体基板に、ドーパントの拡散もしくはイオン交換によって形成されている。

この光導波路は、シングルモード伝搬する非分岐部 2a と、非分岐部 2a から分岐する一対の分岐部とを備えている。分岐部が、それぞれ、分岐端 10 から延びる接続部 7 と、接続部 7 に連続するマルチモード伝搬部 8 とを備えている。マルチモード伝搬部 8 の幅 m が非分岐部の幅 t よりも大きい。接続部の幅 p が、非分岐部 2a からマルチモード伝搬部 8 へと向かって大きくなっている。



WO 2010/082673 A1

NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, 添付公開書類:
CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, — 國際調查報告 (條約第 21 條(3))
TD, TG).

1

明細書

分岐型光導波路、光導波路基板および光変調器

発明の属する技術分野

- 5 本発明は、光変調器などの光導波路デバイスに関するものである。

背景技術

LiNbO₃基板上に、チタン拡散光導波路による分岐導波路を形成する場合、従来は、たとえば図7(a)に示すように、非分岐部2a(2b)の分岐端10から一対の分岐部8を斜め直線形状に延ばしていた。

10 非分岐部2a(2b)の幅mは、分岐部8の幅mと同じである。したがって、全体としてY字型のパターンとなる。また、図7(b)に示すように、分岐に要する長さを短くする目的で、円弧状に湾曲したパターンが用いられてきた。

15 しかし、これらの方法は、連結部3(4)における過剰損失が大きいという問題があった。とくにチタン拡散導波路を形成するLiNbO₃基板が厚さ20ミクロン以下の薄い基板である場合、過剰損失は顕著であった。

特開平9-211244に記載のY分岐光導波路においても、一本の

20 シングルモード光導波路と分岐後の二本のシングルモード光導波路との間に、幅広のマルチモード伝搬部を設ける。すなわち、一本のシングルモード光導波路を伝搬してきた光は、幅広のマルチモード伝搬部で広がって、ローブが二つの光パワー分布となる。二本のシングルモード光導波路を二つのローブに対応する各位置に設けることによって、分岐損失

25 を低減することを試みている(0036)。従って、分岐後のシングルモード光導波路の円弧状湾曲部における過剰損失が大きい。以下の文献

には、厚板の光導波路基板に形成した拡散光導波路において、分岐損失を低減するために、分岐部分を深くえぐるようにクサビ形状の低屈折率部分を設けることを試みている。

5 「鬼頭ほか 昭和 63 年電子情報通信学会秋季全国大会 C-201
「MgO 追拡散による Y 分岐導波路の低損失化の影響」

「花泉ほか 昭和 61 年度電子通信学会総合全国大会 882 「クラディングを低屈折率部とするアンテナ結合型 Y 分岐光導波路の分岐特性」

10 「花泉ほか 昭和 60 年度電子通信学会総合全国大会 962 「K+拡散導波路によるアンテナ結合型 Y 分岐光導波路の作製」

一方、高速の光変調器を実現するため、速度整合のために電気光学基板を薄板(厚さ $20 \mu\text{m}$ 以下)とする構造が検討されている。光強度変調器として構成する場合、光導波路は Y 分岐導波路を含むマッハツェンダー (Mach-Zehnder) 光導波路として構成される。このように薄板型の電気光学基板を採用した場合には、分岐後の光導波路は、熱拡散前のチタンなどのドーパントのストライプ幅を広げることが望ましい。これによって、光の閉じ込めを強くすることができ、チタン相互作用部で電極間ギャップを狭くしても低損失とできるとともに、光導波路の円弧曲げ部での放射過剰損失を低減できる (特開 2007-133135)。一方、一本の導波路となっている入出力部 (非分岐部) は、光変調器の良好な消光比を実現するために、シングルモード導波路であることが望ましい。

25

発明の開示

すなわち、本発明者は、薄板型の光導波路デバイスにおいて、分岐後

の導波路をマルチモード導波路とすることによって、光導波路の円弧曲げ部での放射過剰損失を低減することを試みていた。このため拡散型光導波路を用いる場合、熱拡散前において分岐前のドーパントのストライプ幅よりも、分岐後のドーパントストライプ幅の方が大きい。

- 5 ところが、このように分岐後にマルチモード光導波路を設けることで光導波路の湾曲部における過剰損失を低減するタイプでは、消光比の波長依存性、分岐損失の波長依存性が現れることが判明してきた。この理由は、非分岐部ではシングルモード伝搬であり、各分岐部分ではマルチモード伝搬をしているからであると考えられる。WDM方式を用いた光
- 10 通信では、波長によって光導波路デバイスの消光比、分岐損失が変わると、チャンネルごとに特性が変わってしまうことになり、問題である。

本発明の課題は、シングルモード伝搬の非分岐部とマルチモード伝搬の分岐部とを有する Y 分岐光導波路において、分岐損失の波長依存性を低減することである。

- 15 本発明は、厚さ $20 \mu\text{m}$ 以下の強誘電体基板に形成されている拡散型光導波路であって、

- シングルモード伝搬する非分岐部と、この非分岐部から分岐する一対の分岐部とを備えており、分岐部が、それぞれ、分岐端から延びる接続部と、接続部に連続するマルチモード伝搬部とを備えており、マルチ
- 20 モード伝搬部の幅が非分岐部の幅よりも大きく、接続部の幅が非分岐部からマルチモード伝搬部へと向かって大きくなっていることを特徴とする。

また、本発明は、厚さ $20 \mu\text{m}$ 以下の強誘電体基板、およびこの強誘電体基板に設けられている前記光導波路を備えていることを特徴とする、光導波路基板に係るものである。

- 25 また、本発明は、前記光導波路基板、および光導波路を伝搬する光を変調するための信号電極および接地電極を備えていることを特徴とする、

光変調器に係るものである。

また、本発明は、厚さ20 μm 以下の強誘電体基板に形成されている拡散型光導波路であって、

5 シングルモード伝搬する非分岐部と、この非分岐部から分岐する一対の分岐部とを備えており、分岐部が、それぞれ、分岐端から延びる接続部と、接続部に連続するマルチモード伝搬部とを備えており、マルチモード伝搬部のスポット径が非分岐部のスポット径よりも大きく、接続部のスポット径が非分岐部からマルチモード伝搬部へと向かって大きくなっていることを特徴とする。

10 本発明者は、薄板型の基板にシングルモード伝搬の幅の狭い非分岐部とマルチモード伝搬のより幅の広い分岐部とを有する光導波路において、非分岐部の末端から延びる接続部を設け、接続部の幅を非分岐部からマルチモード伝搬部へと向かって大きくすることを想到した。これによって、分岐損失の波長依存性を著しく低減できることを見だし、本発明
15 に到達した。

なお、背景技術で記載した三本の学術文献においては、分岐した後のマルチモード光導波路の幅は一定であり、本発明の接続部を有していない。

また、特開平9-211244に記載のY分岐光導波路においては、
20 一本のシングルモード光導波路と分岐後の二本のシングルモード光導波路との間に、幅広のマルチモード伝搬部を設ける。一本のシングルモード光導波路を伝搬してきた光は、幅広のマルチモード伝搬部で広がって、ローブが二つの光パワー分布となる。二本のシングルモード光導波路を二つのローブに対応する各位置に設けることによって、分岐損失を低減
25 することを試みている(0036)。しかし、分岐した後の二本のシングルモード光導波路の幅は一定であり、本発明における接続部は設けられ

5

ていない。従って、分岐後のシングルモード光導波路における湾曲部での過剰損失が大きい。また、分岐後が、幅の狭いシングルモード光導波路として構成されているため、挿入損失の波長依存性が小さく、本発明の課題が生じないものと考えられる。

5

図面の簡単な説明

図 1 は、本発明を適用したマッハツェンダー型光導波路の平面図である。

図 2 は、本発明の実施形態に係る光導波路の要部拡大平面図である。

10 図 3 は、本発明の他の実施形態に係る光導波路の要部拡大平面図である。

図 4 は、本発明の更に他の実施形態に係る光導波路の要部拡大平面図である。

図 5 は、比較例に係る光導波路の要部拡大平面図である。

15 図 6 は、比較例に係る光導波路の要部拡大平面図である。

図 7 (a)、図 7 (b) は、それぞれ、比較例に係る光導波路の要部拡大平面図である。

発明を実施するための形態

20 本発明の光導波路デバイスは、光強度変調器、あるいは光位相変調器が最も好ましいが、他の光導波路デバイス、例えば高調波発生素子、光スイッチ、オプティカルシグナルプロセッサ、センサーデバイスなどに適用できる。

本発明は、いわゆるコプレーナ型 (Coplanar waveguide: CPW 電極)
25 の電極配置に適用できる。コプレーナ型では、一对の接地電極の間に一列の信号電極がはさまれている。また、本発明は、独立変調型の進行波

6

形光変調器にも適用できる。更に、光変調器は強度変調器でも位相変調器でもよい。複数の位相変調部を用いた場合の位相変調方式は特に限定されず、DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying)、SSB(Single Side Band amplitude modulation)、DPSK「Differential Phase Shift Keying : 差動位相偏移変調」など、種々の位相変調方式を採用できる。各変調方式それ自体は公知である。

以下、図面を参照しつつ、本発明を詳細に説明する。

図 1 は、本発明の一実施形態に係る光変調器を模式的に示す平面図である。

10 本例では、基板 1 の表面 1 a 側に光導波路 2 が形成されている。光導波路 2 は、入射部 2 a、分岐部 2 b、2 c および出射部 2 d を備えており、平面的に見るとマッハツェンダー型の光導波路を構成している。

即ち、光導波路の入射部 2 a に入射した光は二つに分岐し、各湾曲領域を経由して各変調領域に入射する。各変調領域において、それぞれ信号電極 5 A、5 B と接地電極 6 とによって所定の変調電圧が印加され、
15 変調を受ける。次いで、それぞれ湾曲領域を経て合波し、出射部 2 d から出射される。変調領域において各分岐部 2 b、2 c に対して略水平方向に信号電圧を印加するようになっている。

光導波路基板 1 の厚さは $20 \mu\text{m}$ 以下であり、さらに好ましくは 10
20 μm 以下である。このため、光導波路基板の下面下に接着層を介して別体の保持基体を接着することが好ましい。光導波路基板 1 の厚さの下限は特にはないが、機械的強度の観点からは、 $1 \mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。

本発明で対象とする拡散型光導波路は、光導波路基板上に、パターンニングされた被覆材の開口を用いてドーパントを拡散させることで、高屈折率部分を形成することで得られる。また、光導波路の幅とは、ドーパ
25

ントの基板への拡散に用いる被覆材の開口幅のことである。

具体的には、以下のものが好ましい。

(1) 金属拡散によって形成される拡散型光導波路

この場合には、電気光学材料基板上にフォトリソグラフィ法によって
5 フォトレジストを形成し、フォトレジストの開口から金属を堆積させる。
このフォトレジストが被覆材にあたる。フォトレジストは、いわゆるポジ
レジストであってよく、ネガレジストであってよい。これによって、
基板表面に、ストライプ状のドーパントの堆積膜を形成する。次いで、
ドーパントを熱拡散させて光導波路を形成する。この場合、光導波路の
10 幅とは、フォトレジストの開口幅であることが当業者に一般的に知られ
ている。ドーパントとしては、チタン、亜鉛を例示できる。

(2) プロトン交換導波路

電気光学材料基板上にフォトリソグラフィを用いてマスクングし、開
口のパターンニングされた金属マスクを設ける。この金属マスクが被覆材
15 である。次いで、基板を安息香酸などのプロトン源に浸漬する。金属マ
スク開口部が安息香酸などのプロトン源に曝露され、Li イオンと安息香
酸中の H^+ イオン (プロトン) が交換されることで、プロトンがドーパ
され、屈折率が増加し、光導波路が形成される。プロトン交換処理は金属
マスクの開口部のみで行われるため、プロトン交換処理される幅は金属
20 マスクの開口幅と一致する。プロトン交換型光導波路の幅は、金属マ
スクの開口幅である。

また、被覆材開口幅が大きいと、一般に、形成される拡散型光導波路
のスポット径が大きくなる。このスポット径は、浜松フォトニクス社製
「ニアフィールドパターン(NFP)測定装置」を用いて測定できる。

25 また、金属拡散型光導波路の場合には、形成された光導波路の上に凸
部が形成される。一般には、被覆材開口幅が大きいと、光導波路上の凸

部の幅も大きくなる傾向がある。この凸部の幅は、レーザー顕微鏡で測定できる。

図2は、光導波路の連結部分Aの平面的パターンを示す拡大図である。本発明は、入射側、出射側に対して適用できる。入射側では、非分岐部
5 (入射部) 2aを伝搬してきた光が分岐する。出射側では、2つの各分岐部を伝搬してきた光が合波し、非分岐部(出射部) 2dに入る。

本発明では、非分岐部の幅 t を小さくすることによって、シングルモード伝搬を可能とする。この点からは、 t は $10\mu\text{m}$ 以下が好ましく、
6 μm 以下がさらに好ましい。また、 t は、伝搬損失の低減という観点
10 からは、 $0.5\mu\text{m}$ 以上が好ましい。

マルチモード伝搬部8の幅 m を大きくすることによって、マルチモード伝搬を可能とする。この点からは、 m は、 $2\mu\text{m}$ 以上が好ましく、
5 μm 以上がさらに好ましい。また、 m は、ドーパント濃度が高いことに
伴う吸収損失低減という観点からは、 $15\mu\text{m}$ 以下が好ましい。また、
15 マルチモード伝搬部の幅は一定であることが好ましい。

本発明においては、マルチモード伝搬部8の幅 m が非分岐部の幅 t よりも大きくなる。 m/t は、1.2以上が好ましく、2以上がさらに好ましく、
4以上がもっとも好ましい。

本発明においては、非分岐部2a、2dの分岐端10から各マルチモード伝搬部へと向かって、接続部7が設けられている。接続部7の特徴
20 は、幅 p が、非分岐部2a、2dから各マルチモード伝搬部8へと向かって大きくなっていることである。このような接続部を、マルチモード伝搬部と分岐端との間に設けることによって、分岐損失の波長依存性を低減できることを発見した。さらに、光変調器においては、消光比の波
25 長依存性を低減することができる。

幅 p は、通常、最大値が m であり、最小値が t である。その間では、

接続部の全長にわたって、接続部の幅 p が非分岐部からマルチモード伝搬部へと向かって単調増加していることが好ましい。ただし、非分岐部とマルチモード伝搬部との間で、幅 p が一定である領域が一つないし複数箇所存在していてもよい。接続部の幅 p が非分岐部からマルチモード伝搬部へと向かって見たときに減少する場所は存在しないことが好ましい。

分岐端とは、光導波路のコアの分岐が始まる場所をいう。図 2 の例では分岐点 10 にあたる。図 2 の例では、非分岐部の幅 t は一定であるが、その末端 10 付近に若干の拡幅部 12 が設けられている。拡幅部 12 は開始点 D から終了点 B まで伸びている。この拡大幅部の長さ e は特に限定されない。本発明で非分岐部の幅とは、拡幅部を除く幅一定のシングルモード伝搬する部分の幅 t を意味する。

また、本例では、接続部 7 は、開始点 B から終了点 C に向かって形成されている。C とは、幅 p が幅 m に到達する場所である。開始点 B の近くでは幅 p は一定割合で直線的に増大している。そして、幅 p はさらに増大し、やがて m に至る。この時点で幅一定のマルチモード伝搬部 8 が開始する。

なお、非分岐部の幅 t 、接続部の幅 p 、マルチモード伝搬部の幅 m は、それぞれ、対応する各開口の中心線 L に対して垂直な線分を引いたときに、各線分が各開口のエッジと交わるその長さである。

接続部 7 の長さ W は特に限定されないが、本発明の観点からは、 $300\ \mu\text{m}$ 以上が好ましく、 $600\ \mu\text{m}$ 以上がさらに好ましく、 $800\ \mu\text{m}$ 以上が最も好ましい。また、光導波路デバイスの全長を小さくするという観点からは、 $3000\ \mu\text{m}$ 以下が好ましく、 $2000\ \mu\text{m}$ 以下がさらに好ましい。

図 3 の例では、非分岐部 2a、2d の分岐端 10 から各マルチモード

10

伝搬部へと向かって、接続部 7 A が設けられている。接続部 7 A の幅 p は、非分岐部 2 a、2 d から各マルチモード伝搬部 8 へと向かって大きくなっている。本例では、接続部 7 A の全長にわたって、接続部 7 A の幅 p が非分岐部からマルチモード伝搬部へと向かって、一次関数的に単調増加している。また、非分岐部の幅 t は一定であるが、その末端 10 付近に若干の拡幅部 1 2 が設けられている。拡幅部 1 2 は開始点 D から終了点 B まで伸びている。

図 4 のパターンは、図 2 のパターンとほぼ同じであるが、分岐端 10 A の形態が異なっている。すなわち、10 A の幅 v が広がっており、この結果として、拡幅部 1 2 の幅、長さともに大きくなっている。

図 5、図 6 は、比較例に係るものである。図 5 の例では、非分岐部 2 a、2 d の分岐端 10 から各マルチモード伝搬部 8 が伸びている。各マルチモード伝搬部 8 の幅 m は一定である。

ここで、図 5 の例では、本発明で規定する接続部 7 は設けられていない。その代わりに、非分岐部 2 a (2 d) の末端 10 側に拡幅部 1 2 A が設けられており、拡幅部 1 2 A の長さ e が大きくなっている。

本例でも、幅のより狭い非分岐部と幅のより広いマルチモード伝搬部との間に、幅が単調増加する拡幅部 1 2 A が設けられているわけである。しかし、実際にこのような設計の光導波路を作製してみると、分岐損失の波長依存性は改善されず、本発明の作用効果は達成できなかった。その理由は必ずしも明らかではなく、本発明の予測不能性を明確に示すものである。

図 6 の例でも、非分岐部 2 a (2 d) の分岐端 10 側に拡幅部 1 2 A が設けられており、拡幅部の長さ e が大きくなっている。そして、分岐端 10 側には、三角形の楔型の切り込み 20 が設けられている。

光導波路基板、保持基体を構成する材料は、強誘電性の電気光学材料、

好ましくは単結晶からなる。こうした結晶は、光の変調が可能であれば特に限定されないが、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ニオブ酸リチウム-タンタル酸リチウム固溶体、ニオブ酸カリウムリチウム、KTP、及び水晶などを例示することができる。

- 5 保持基体の材質は、上記した強誘電性の電気光学材料に加えて、更に石英ガラス等のガラスであってもよい。

接着剤の具体例は、前記の条件を満足する限り特に限定されないが、エポキシ系接着剤、熱硬化型接着剤、紫外線硬化性接着剤、ニオブ酸リチウムなどの電気光学効果を有する材料と比較的近い熱膨張係数を有するアロンセラミックスC（商品名、東亜合成社製）（熱膨張係数 $1.3 \times 10^{-6} / \text{K}$ ）を例示できる。

上記の例では、電極は基板の表面に設けられているが、基板の表面に直接形成されていてよく、低誘電率層ないしバッファ層の上に形成されていてよい。低誘電率層は、酸化シリコン、弗化マグネシウム、窒化珪素、及びアルミナなどの公知の材料を使用することができる。ここで言う低誘電率層とは、基板本体を構成する材質の誘電率よりも低い誘電率を有する材料からなる層を言う。

光導波路形成用のフォトリソグラフィ用フォトマスクの材質や形成方法は特に限定されず、通常フォトリソグラフィ用のものを使用できる。

20 フォトマスクの材質は、好ましくは、ガラス（石英）上にクロムを用いたフォトマスクを例示できる。またイオン交換型光導波路形成用に光導波路基板上に形成する金属マスクの材質は例えばクロム、チタン、アルミニウムが例示できる。

図 1、図 2 を参照しつつ説明した例に従い、光導波路基板を作製した。具体的には、厚さ 6 ミクロンの X カット LiNbO₃ 基板の上に拡散型光導波路をチタン拡散法によって形成した。マルチモード伝搬部のレジスト開口幅（チタンストライプ幅） m は 6 μm とし、非分岐部のレジスト開口幅 t は 2 μm とした。 θ は 0.5° とした。拡幅部 12 の長さ e は 10 μm とし、接続部 7 の長さ W は 1005 μm とした。 n は 10 μm とした。接続部 7 の幅 p は、1 μm から 6 μm へと単調増加するようにした。チタン膜の厚さは 800 オングストロームとし、分岐部の円弧の曲率半径は 20 mm とした。チタンの拡散は、1050° C で実施した。

10 この Y 分岐の分岐損失を波長 1.55 ミクロンで測定したところ、0.24dB であった。また可変波長光源を用いて C バンド(波長 1.53-1.56 ミクロン)における分岐損失を複数の波長に設定して測定したところ、波長依存性は小さく：0.23dB~0.47dB であった。さらに：この構造の Y 分岐導波路を 2 つ用いて MZ 光導波路を形成し：光変調器を構成した場合、消光
15 比は C バンドで 25dB 以上であった。

図 1、図 2 を参照しつつ説明した例に従い、光導波路基板を作製した。具体的には、厚さ 6 ミクロンの X カット LiNbO₃ 基板の上に拡散型光導波路をチタン拡散法によって形成した。マルチモード伝搬部の幅 m は 6 μm とし、非分岐部の幅 t は 2 μm とした。 θ は 0.5° とした。拡幅部
20 12 の長さ e は 10 μm とし、接続部 7 の長さ W は 300、450、600 μm の 3 通りとした。 n は 10 μm とした。接続部 7 の幅 p は、1 μm から 6 μm へと単調増加するようにした。チタン膜の厚さは 800 オングストロームとし、分岐部の円弧の曲率半径は 20 mm とした。チタンの拡散は、1050° C で実施した。

25 この各 Y 分岐の分岐損失を波長 1.55 ミクロンで測定したところ、以下のようにになった。

0.24dB であった。また可変波長光源を用いて C バンド(波長 1.53-1.56 ミクロン)における分岐損失を複数の波長に設定して測定したところ、波長依存性は小さく、0.23dB~0.47dB であった。さらに：この構造の Y 分岐導波路を 2 つ用いて MZ 光導波路を形成し、光変調器を構成した場合、消光比は C バンドで 25dB 以上であった。

表 1

W	C バンドにおける分岐損失	消光比
300 ミクロン	0.30dB~0.90dB	23dB
450 ミクロン	0.24dB~0.65dB	25dB 以上
600 ミクロン	0.23dB~0.48dB	25dB 以上

10 (実施例 2)

図 1、図 3 を参照しつつ説明した例に従い、光導波路基板を作製した。具体的には、厚さ 6 ミクロンの X カット LiNbO₃ 基板上に拡散型光導波路をチタン拡散法によって形成した。マルチモード伝搬部のストライプ幅 m は 6 μm とし、非分岐部のストライプ幅 t は 2 μm とした。分岐全角 θ は 1° とした。 e は 10 μm とし、接続部 7 の長さ W は 900 μm とした。 n は 6 μm とした。接続部 7 の幅 p は、1 μm から 6 μm へと単調増加するようにした。チタン膜の厚さは 800 オングストロームとし、分岐部の円弧の曲率半径は 20 mm とした。チタンの拡散は、1050° C で実施した。

20 この Y 分岐の過剰損失を波長 1.55 ミクロンで測定したところ 0.15dB であった。また C バンドの範囲内での過剰損失を測定したところ、0.13dB~0.44dB であった。さらにこの構造の Y 分岐導波路を 2 つ用いて MZ 光導波路を形成し光変調器を構成した場合、消光比は C バンドで

25dB 以上であった。

(実施例 3)

図 1、図 4 を参照しつつ説明した例に従い、光導波路基板を作製した。
具体的には、厚さ 6 ミクロンの X カット LiNbO_3 基板の上に拡散型光導波
5 路をチタン拡散法によって形成した。マルチモード伝搬部のチタンスト
ライプ幅 m は $6 \mu\text{m}$ とし、非分岐部のチタンストライプ幅 t は $2 \mu\text{m}$ と
した。 θ は 0.5° とした。拡幅部 12 の長さ e は $110 \mu\text{m}$ とし、分
岐端 10A の幅 v は $1 \mu\text{m}$ とし、接続部 7 の長さ W は $800 \mu\text{m}$ とし、
10 n は $6 \mu\text{m}$ とした。接続部 7 の幅 p は、 $1.5 \mu\text{m}$ から $6 \mu\text{m}$ へと単調
増加するようにした。チタン膜の厚さは 800 オングストロームとし、
分岐部の円弧の曲率半径は 20mm とした。チタンの拡散は、 1050°
C で実施した。

この Y 分岐の分岐損失を波長 1.55 ミクロンで測定したところ 0.25dB
であった。また可変波長光源を用いて C バンド(波長 $1.53\text{-}1.56$ ミクロン)
15 における分岐損失を複数の波長に設定して測定したところ、波長依存性
は小さく $0.24\text{dB}\sim 0.49\text{dB}$ であった。さらにこの構造の Y 分岐導波路を
2 つ用いて MZ 光導波路を形成し光変調器を構成した場合、消光比は C
バンドで 25dB 以上であった。

(比較例 1)

20 図 1、図 5 を参照しつつ説明した例に従い、光導波路基板を作製した。
具体的には、厚さ 6 ミクロンの X カット LiNbO_3 基板の上に拡散型光導波
路をチタン拡散法によって形成した。マルチモード伝搬部のチタンスト
ライプ幅 m は $6 \mu\text{m}$ とし、非分岐部のチタンストライプ幅 t は $2 \mu\text{m}$ と
した。 θ は 0.5° とした。円弧の曲率半径は 20mm とした。拡幅部
25 12 の長さ e は $910 \mu\text{m}$ とした。チタン膜の厚さは 800 オングスト
ロームとし、分岐部の円弧の曲率半径は 20mm とした。チタンの拡散

は、 1050°C で実施した。

この Y 分岐の過剰損失を波長 1.55 ミクロンで測定したところ 0.52dB であった。また C バンドの範囲内での過剰損失を測定したところ、0.41dB~1.7dB と大きく変動した。さらにこの構造の Y 分岐導波路を 2
5 つ用いて MZ 光導波路を形成し光変調器を構成した場合、消光比は C バンドで 15~21dB と変動が大きかった。

(比較例 2)

図 1、図 5 を参照しつつ説明した例に従い、光導波路基板を作製した。具体的には、厚さ 500 ミクロンの X カット LiNbO_3 基板上に拡散型光
10 導波路をチタン拡散法によって形成した。マルチモード伝搬部のチタンストライプ幅 m は $8\ \mu\text{m}$ とし、非分岐部のドーパントストライプ幅 t は $5\ \mu\text{m}$ とした。 θ は 0.5° とした。円弧の曲率半径は $20\ \text{mm}$ とした。拡幅部 12 の長さ e は $910\ \mu\text{m}$ とした。チタン膜の厚さは 800 オングストロームとし、分岐部の円弧の曲率半径は $20\ \text{mm}$ とした。チタン
15 の拡散は、 1050°C で実施した。

この Y 分岐の過剰損失を波長 1.55 ミクロンで測定したところ 0.31dB であった。また C バンドの範囲内での分岐損失を測定したところ、0.25dB~0.43dB と変動は小さかった。さらにこの構造の Y 分岐導波路を 2 つ用いて MZ 光導波路を形成し光変調器を構成した場合、消光比は
20 C バンドで 25dB 以上であった。

本発明の特定の実施形態を説明してきたけれども、本発明はこれら特定の実施形態に限定されるものではなく、請求の範囲の範囲から離れることなく、種々の変更や改変を行いながら実施できる。

請求の範囲

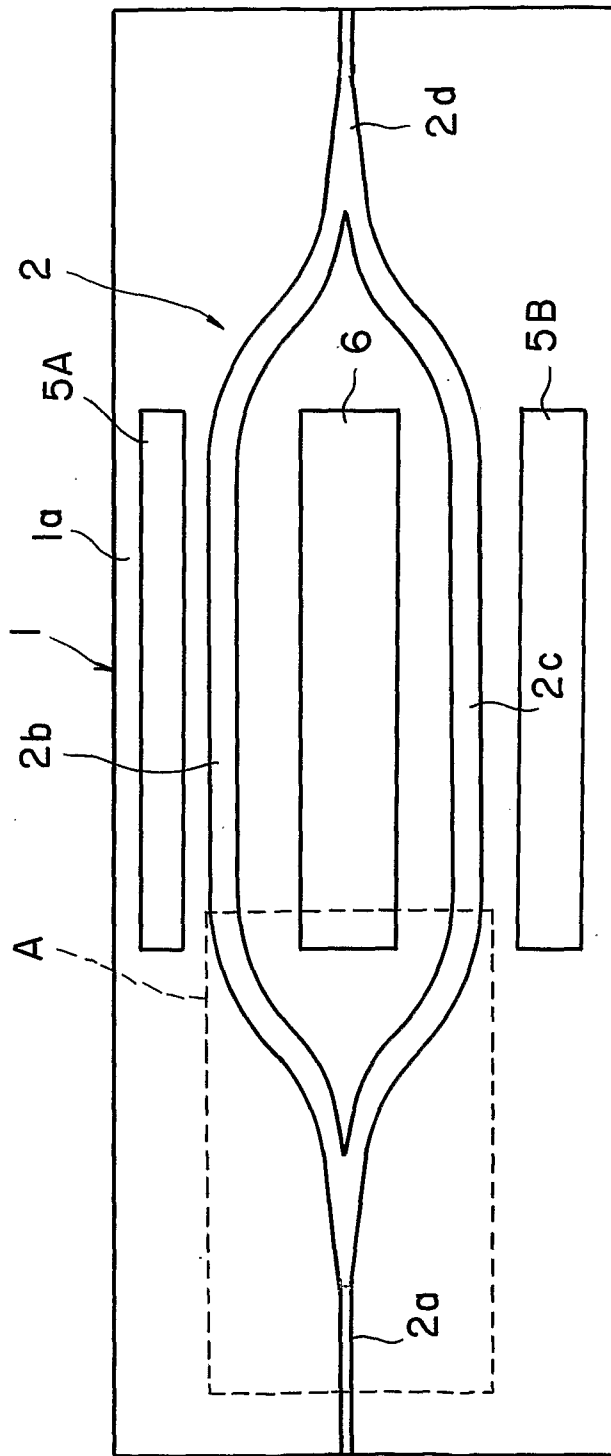
1. 厚さ $20 \mu\text{m}$ 以下の強誘電体基板に形成されている拡散型光導波路であって、
- 5 シングルモード伝搬する非分岐部と、この非分岐部から分岐する一対の分岐部とを備えており、前記分岐部が、それぞれ、分岐端から延びる接続部と、この接続部に連続するマルチモード伝搬部とを備えており、前記マルチモード伝搬部の幅が前記非分岐部の幅よりも大きく、前記接続部の幅が前記非分岐部から前記マルチモード伝搬部へと向かって大きくなっていることを特徴とする、拡散型光導波路。
- 10 2. 前記接続部の幅が前記非分岐部から前記マルチモード伝搬部へと向かって単調増加することを特徴とする、請求項 1 記載の光導波路。
- 15 3. 前記マルチモード伝搬部の幅が一定であることを特徴とする、請求項 1 または 2 記載の光導波路。
4. 前記光導波路がマッハツェンダー型の光導波路であることを特徴とする、請求項 1 ~ 3 のいずれか一つの請求項に記載の光導波路。
- 20 5. 厚さ $20 \mu\text{m}$ 以下の強誘電体基板、およびこの強誘電体基板に設けられている請求項 1 ~ 4 のいずれか一つの請求項に記載の光導波路を備えていることを特徴とする、光導波路基板。
- 25 6. 請求項 5 記載の光導波路基板、および前記光導波路を伝搬する光を変調するための信号電極および接地電極を備えていることを特徴とす

る、光変調器。

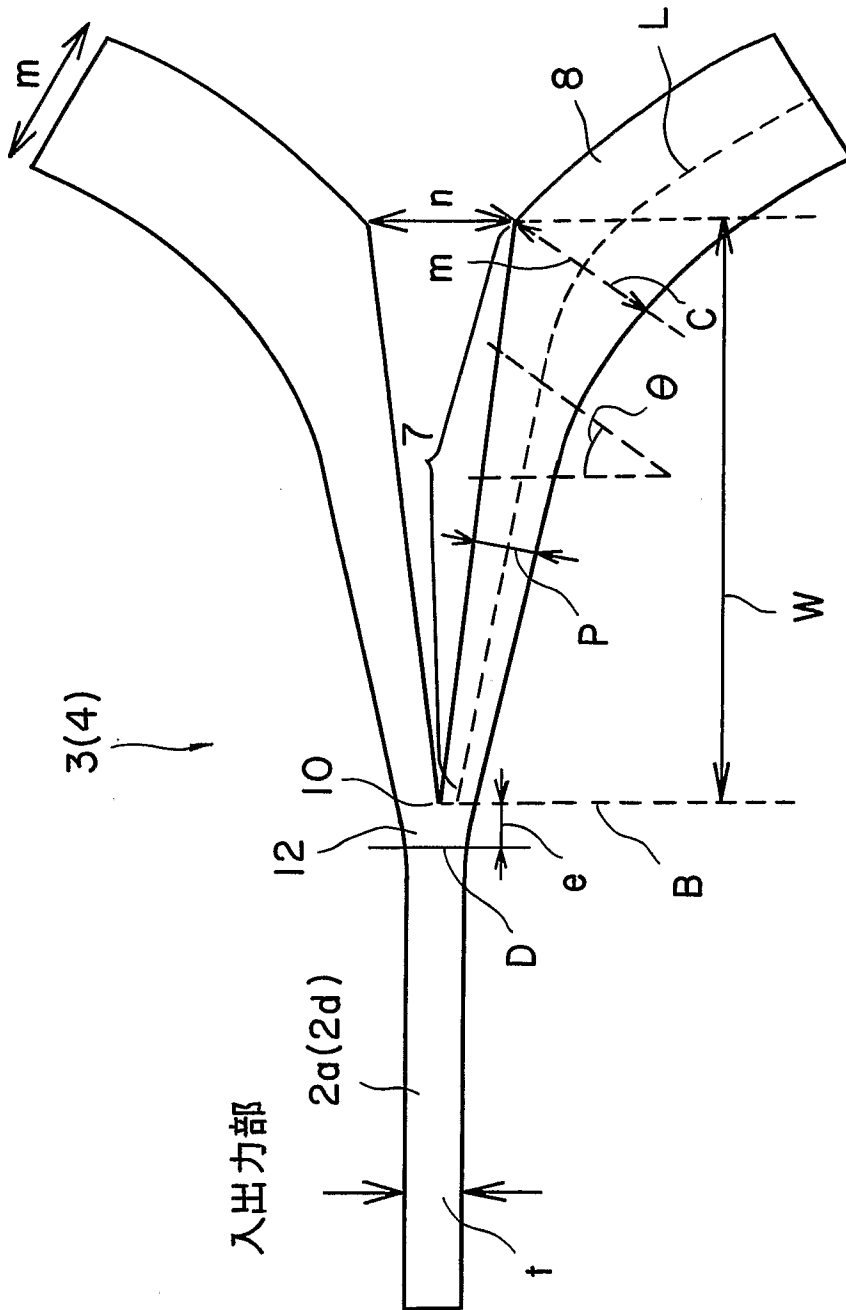
7. 厚さ $20\mu\text{m}$ 以下の強誘電体基板に形成されている拡散型光導波路であって、

- 5 シングルモード伝搬する非分岐部と、この非分岐部から分岐する一対の分岐部とを備えており、前記分岐部が、それぞれ、分岐端から延びる接続部と、この接続部に連続するマルチモード伝搬部とを備えており、前記マルチモード伝搬部のスポット径が前記非分岐部のスポット径よりも大きく、前記接続部のスポット径が前記非分岐部から前記マルチモード伝搬部へと向かって大きくなっていることを特徴とする、拡散型光導波路。
- 10

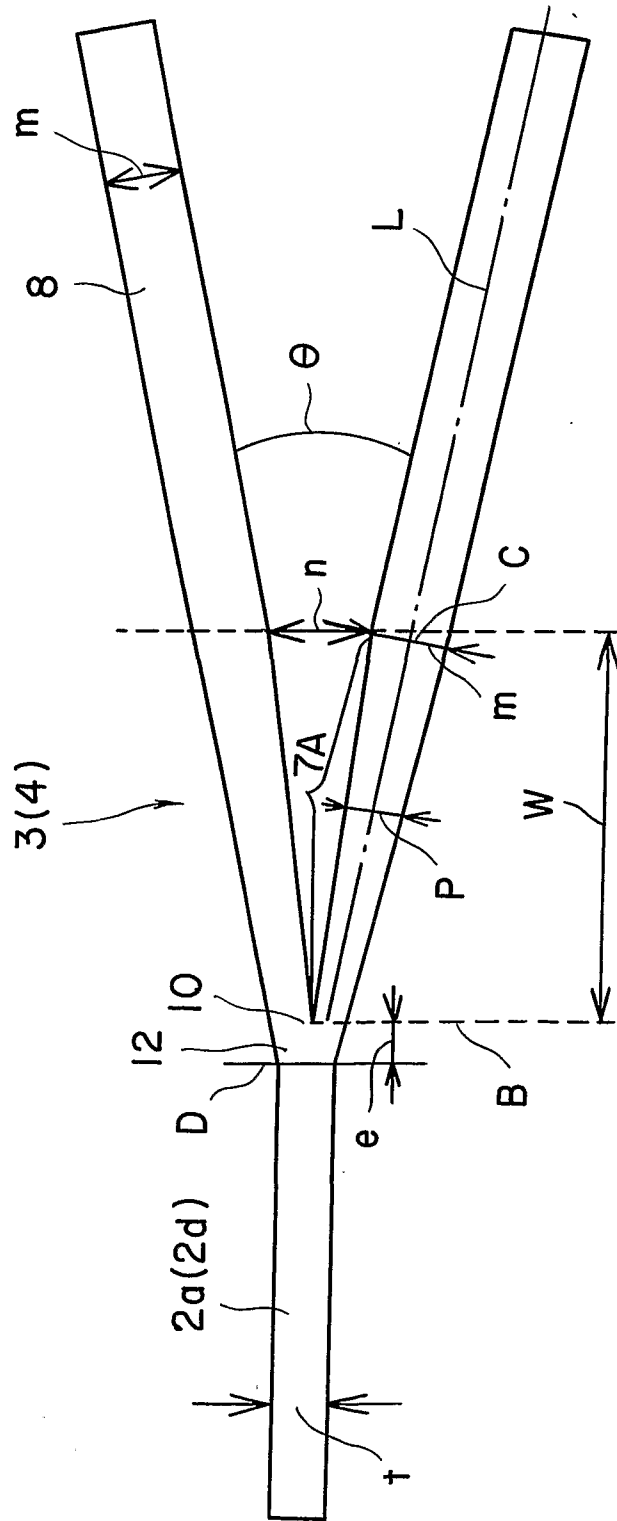
第 1 図



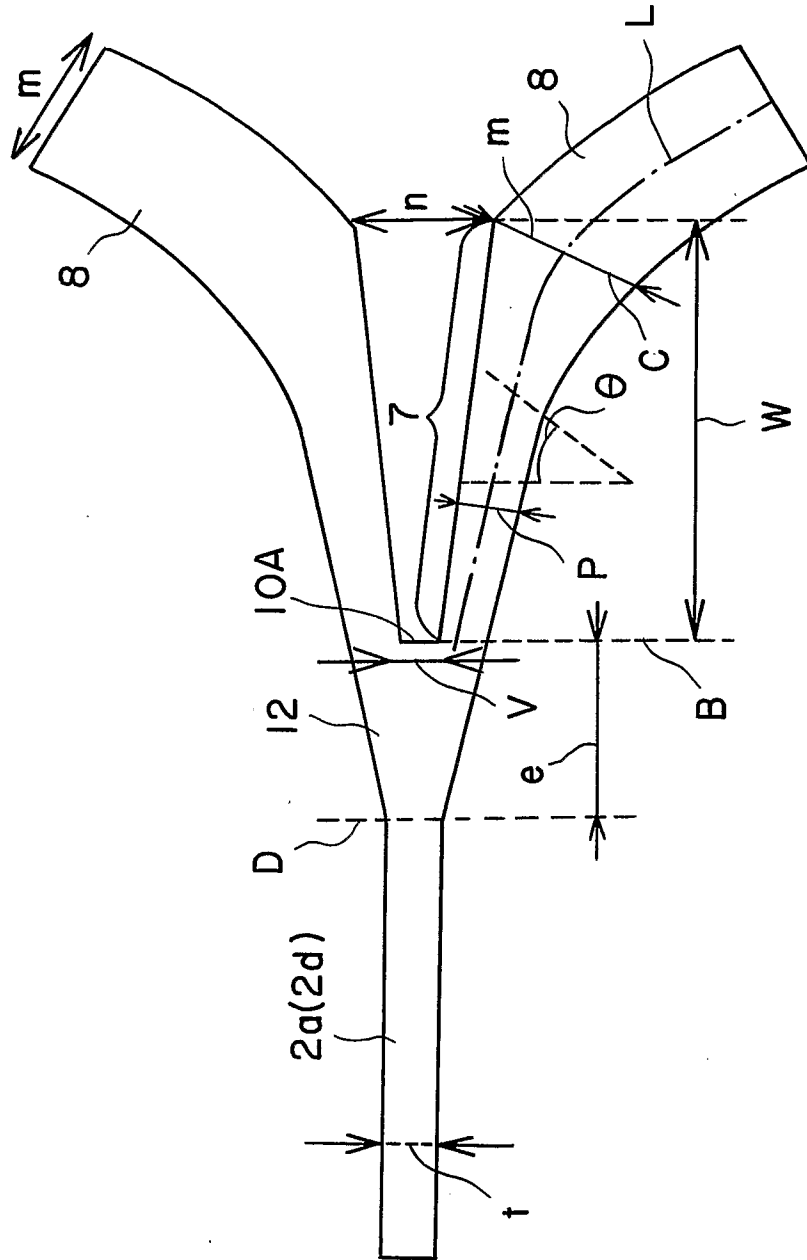
第 2 図



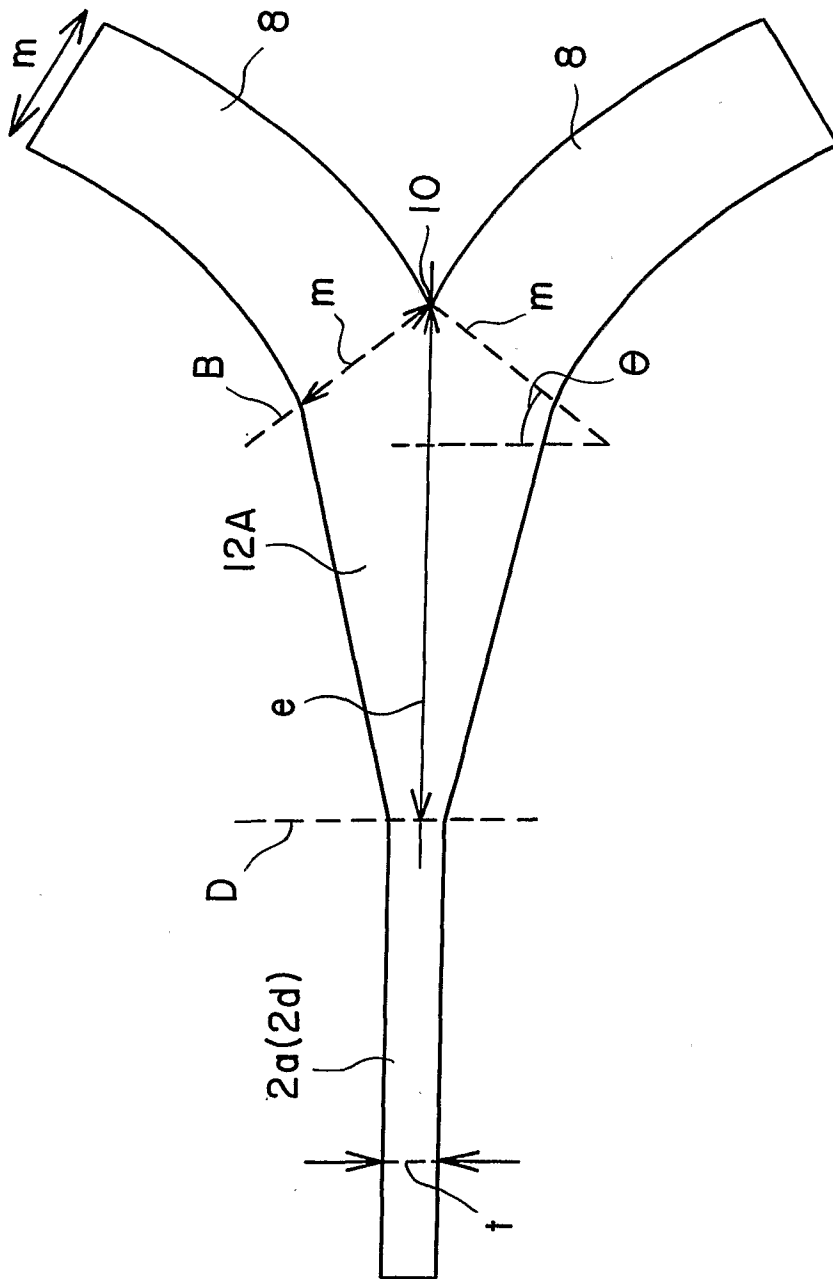
第 3 图



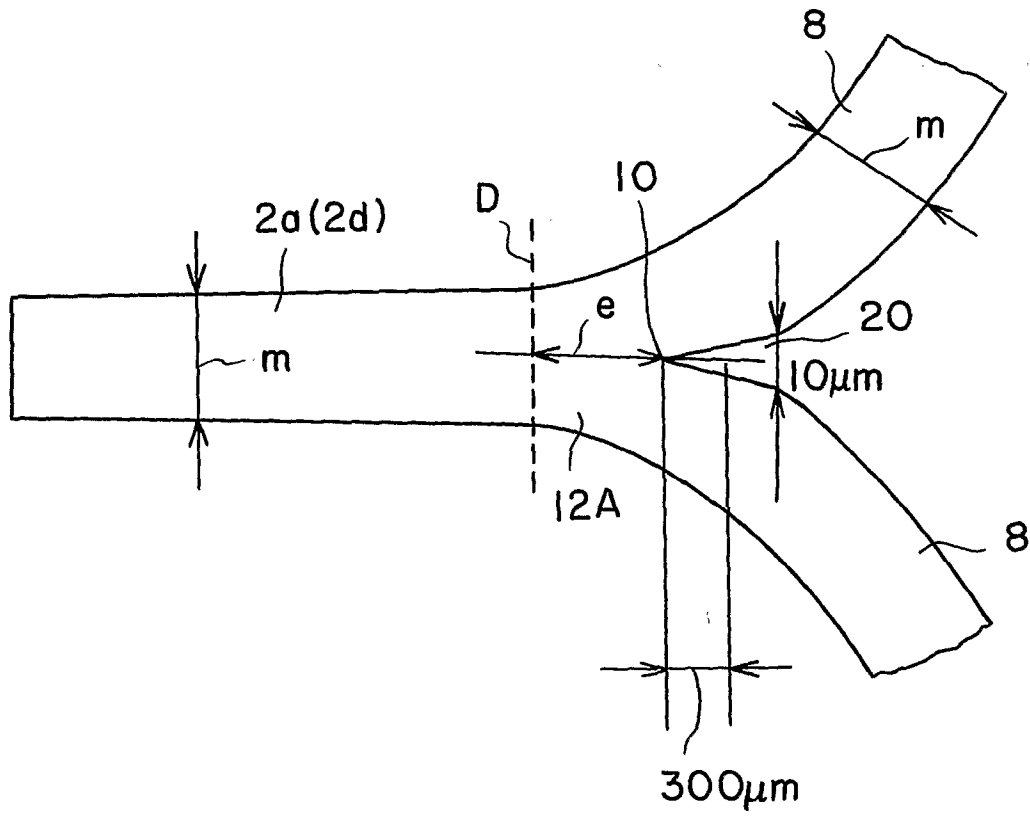
第 4 図



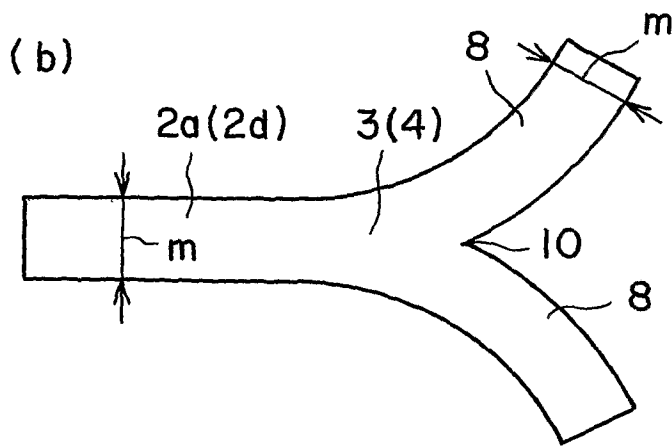
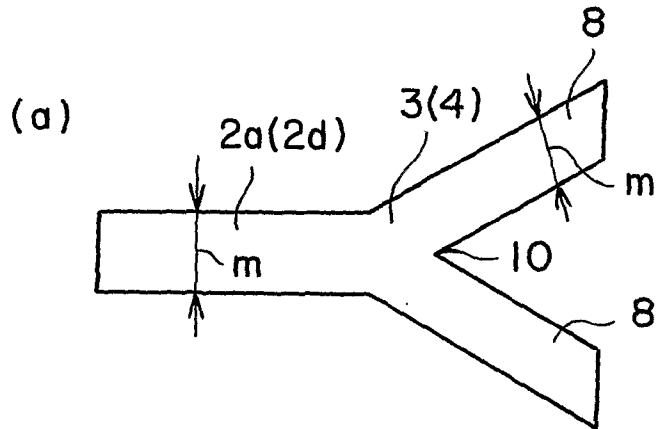
第5図



第 6 图



第7図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/050581

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B6/122(2006.01)i, G02B6/12(2006.01)i, G02F1/035(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)

G02B6/12-6/14, G02F1/00-7/00

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	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

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

WPI, JSTPlus (JDreamII), JST7580 (JDreamII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2007-133135 A (NGK Insulators, Ltd.), 31 May 2007 (31.05.2007), paragraphs [0017] to [0047]; fig. 1 to 8 & US 2007/0104407 A1 & EP 1785756 A2 & CN 1963577 A	1-7
Y	WO 2005/019913 A1 (NGK Insulators, Ltd.), 03 March 2005 (03.03.2005), description, page 4, line 22 to page 5, line 7; page 15, line 20 to page 16, line 2 & US 2007/0147722 A1 & EP 1657588 A1 & CN 1839336 A & CN 101221296 A	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
24 February, 2010 (24.02.10)

Date of mailing of the international search report
09 March, 2010 (09.03.10)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/050581

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 4-30107 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 03 February 1992 (03.02.1992), page 2, lower left column, line 19 to lower right column, line 5 (Family: none)	1-7
Y	JP 2005-326657 A (NHK Spring Co., Ltd.), 24 November 2005 (24.11.2005), paragraphs [0015] to [0036]; fig. 1 to 6 & US 2007/0053636 A1 & WO 2005/111681 A1 & CN 1981224 A	1-7
Y	JP 9-178964 A (NHK Spring Co., Ltd.), 11 July 1997 (11.07.1997), paragraphs [0014] to [0027]; fig. 1 to 6 & US 5757995 A	1-7
Y	JP 9-311235 A (NHK Spring Co., Ltd.), 02 December 1997 (02.12.1997), paragraphs [0014] to [0028]; fig. 1 to 6 & US 5757995 A	1-7
Y	JP 2-234108 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 17 September 1990 (17.09.1990), page 2, lower right column, lines 7 to 20; page 3, lower left column, lines 1 to 7; page 3, lower right column, lines 2 to 7; page 4, upper left column, lines 7 to 10; fig. 1, 8 (Family: none)	1-7
Y	JP 7-174929 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 14 July 1995 (14.07.1995), paragraphs [0052] to [0080]; fig. 1 to 3 & JP 7-191226 A & US 5586209 A & US 5627928 A & EP 651267 A1 & EP 651268 A1	1-7

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. G02B6/12(2006.01)i, G02B6/12(2006.01)i, G02F1/035(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. G02B6/12-6/14, G02F1/00-7/00

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 1971-2010年
 日本国実用新案登録公報 1996-2010年
 日本国登録実用新案公報 1994-2010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)
 WPI, JSTPlus(JDreamII), JST7580(JDreamII)

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 2007-133135 A (日本碍子株式会社) 2007.05.31, 段落【0017】-【0047】, 第1-8 図 & US 2007/0104407 A1 & EP 1785756 A2 & CN 1963577 A	1-7
Y	WO 2005/019913 A1 (日本碍子株式会社) 2005.03.03, 明細書第4頁第22行-第5頁第7行, 第15頁第20行-第16頁第2行 & US 2007/0147722 A1 & EP 1657588 A1 & CN 1839336 A & CN 101221296 A	1-7
Y	JP 4-30107 A (日本電信電話株式会社) 1992.02.03, 第2頁左下欄第19行-右下欄第5行 (ファミリーなし)	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。

* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献
「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	「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
「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	「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
「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)	「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
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 24.02.2010	国際調査報告の発送日 09.03.2010
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) ▲高▼ 芳徳 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
Y	JP 2005-326657 A (日本発条株式会社) 2005. 11. 24, 段落【0015】-【0036】, 第 1-6 図 & US 2007/0053636 A1 & WO 2005/111681 A1 & CN 1981224 A	1-7
Y	JP 9-178964 A (日本発条株式会社) 1997. 07. 11, 段落【0014】-【0027】, 第 1-6 図 & US 5757995 A	1-7
Y	JP 9-311235 A (日本発条株式会社) 1997. 12. 02, 段落【0014】-【0028】, 第 1-6 図 & US 5757995 A	1-7
Y	JP 2-234108 A (日本電信電話株式会社) 1990. 09. 17, 第 2 頁右下欄第 7-20 行, 第 3 頁左下欄第 1-7 行, 第 3 頁右下欄第 2-7 行, 第 4 頁左上欄第 7-10 行, 第 1, 8 図 (ファミリーなし)	1-7
Y	JP 7-174929 A (住友電気工業株式会社) 1995. 07. 14, 段落【0052】-【0080】, 第 1-3 図 & JP 7-191226 A & US 5586209 A & US 5627928 A & EP 651267 A1 & EP 651268 A1	1-7