

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2009年8月6日 (06.08.2009)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2009/096237 A1

- (51) 国際特許分類:  
G02F 1/035 (2006.01) G02B 6/12 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/050498
- (22) 国際出願日: 2009年1月8日 (08.01.2009)
- (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2008-020098 2008年1月31日 (31.01.2008) 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): 井出晃啓 (IDE, Akiyoshi) [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). 三冨修 (MITOMI, Osamu) [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). 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).

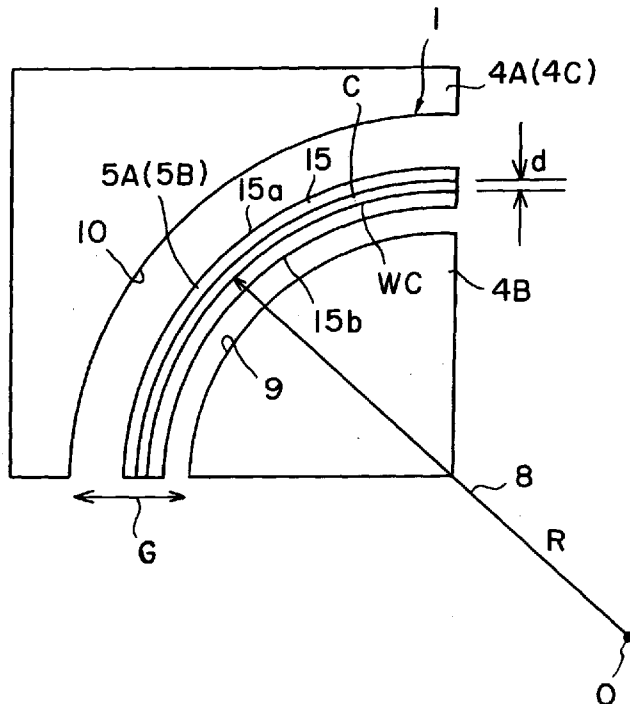
- (74) 代理人: 細田益稔, 外 (HOSODA, Masutoshi et al.); 〒1080074 東京都港区高輪一丁目5番4号 常和高輪ビル7階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE,

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL WAVEGUIDE DEVICE

(54) 発明の名称: 光導波路デバイス

第1図



(57) Abstract: An optical waveguide device is provided with a substrate composed of a ferroelectric material, at least a pair of electrodes (4A, 4B) formed on the main surface of the substrate, and a channel-type optical waveguide (5A) formed in a gap (1) between the pair of electrodes. The optical waveguide (5A) is provided with a curved portion (15). On the curved portion (15), a center line (C) of the gap (1) is arranged outside a center line (WC) of the optical waveguide when viewed from the center of curvature (O) of the curved portion.

(57) 要約: 光導波路デバイスは、強誘電性材料からなる基板、基板の主面に形成されている少なくとも一対の電極4A、4B、および一対の電極間のギャップ1に形成されているチャンネル型光導波路5Aを備えている。光導波路5Aが曲がり部分15を備えている。曲がり部分15において、ギャップ1の中心線Cが、光導波路の中心線WCに対して、曲がり部分の曲率中心Oから見て外側に設けられている。

WO 2009/096237 A1



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, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(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,

添付公開書類:  
— 国際調査報告書

## 明細書

## 光導波路デバイス

## 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

- 特開 2004-219600 には、光変調器用電極において、変調電極の膜厚を小さくして電極伝搬損失を低減し、同時に速度整合を達成する構造が記載されている。ここで、光導波路基板としてはニオブ酸リチウム単結晶の X 板を使用し、光導波路を信号電極と接地電極との間のギャップに設けている。光導波路は、電圧を印加して変調する光変調領域内で、信号電極の近くに設けられている。
- 10

- 特開 2005-331531 では、信号電極と接地電極とについて、電圧印加領域とフィードスルー部との間でギャップ幅を変化させることによって、電極の高周波通過特性 (S21) におけるリップル発生を防止することが開示されている。
- 15

また、特開 2007-133135 では、マッハツェンダー型光導波路の曲がり部分の曲率半径を 30 mm 以下とすることによって、曲がり部分における放射損失を低減することが開示されている。

- 20 また、本出願人は特開 2002-169133 において光導波路を中心電極に近づけることで半波長電圧電極長積  $V\pi L$  を低減する方法を開示した。

なお、本出願人は、WO 2007/058366 A1 において、特定構造の折り返し型光変調器を開示した。

## 2

更に、本出願人は、特開 2003-215519 において、光導波路基板を薄くすることで高周波変調動作に必要な速度整合を達成する手法を開示した。

## 5 発明の開示

接地電極と信号電極との間の電極ギャップは、駆動電圧を下げるため、できるだけ狭くすることが好ましい。特に、本発明者は、マッハツェンダー型光導波路のうち、電圧を印加して伝搬光を変調する光変調部分だけでなく、光導波路の曲がり部分においてもその両側に電極を設けることを検討している。しかし、その過程で、電極ギャップを狭くすると  
10、電極による光吸収損失が顕著となり、光の伝搬損失が著しく増加することを見いだした。

本出願人は、特開 2003-215519 において光導波路基板を薄くすることで高周波変調動作に必要な速度整合を達成する手法を開示した。このように光導波路基板を薄くすることで、速度整合、インピーダンス整合が  
15 図られ、高速変調動作が可能となる。しかし光導波路が形成される部分の基板肉厚が薄くなるために光導波路の伝搬モードのスポット形状が横方向（ギャップ方向）に広がる。このため、光導波路基板を薄片化すると光の伝搬損失はより顕著に増加してしまう。特に、基板の薄片化を用  
20 いれば  $\text{SiO}_2$  バッファ層を形成することなく速度整合を達成可能である。 $\text{SiO}_2$  は変調光に対しては透明であるので、 $\text{SiO}_2$  バッファ層が形成されていない場合は、さらに電極による光吸収が顕著となる。

$\text{SiO}_2$  バッファ層を設けることで、光の伝搬損失を低下することは可能である。しかし、 $\text{SiO}_2$  バッファ層を用いると、動作点の変動する DC ドリフト現象などを誘発する。特に DC 電極に  $\text{SiO}_2$  バッファ層  
25 を設けるのは、動作安定性の観点から難しい。

## 3

本発明の課題は、チャンネル型光導波路を備えている光導波路デバイスにおいて、光導波路の曲がり部分における電極による光吸収損失を低減することであり、これによって電極ギャップを小さくできるようにすることである。

5 本発明は、基板、基板の主面に形成されている少なくとも一対の電極、および一対の電極間のギャップに形成されているチャンネル型光導波路を備えている光導波路デバイスであって、

光導波路が曲がり部分を備えており、ギャップの中心線が光導波路の中心線に対して曲がり部分の曲率中心から見て外側に設けられていることを特徴とする。

10 図1および図2を参照しつつ、本発明の作用効果を説明する。

図1の平面図においては、一対の電極4A(4C)と4Bとの間にギャップ1が形成されている。このギャップ1内に、光導波路5A(5B)の曲がり部分15が設けられている。曲がり部分15の曲率中心はOであり、曲率半径はRである。8は曲がり部15の法線である。ギャップ1も曲がり部15と同様に湾曲している。

ここで、ギャップ1に面する各電極4A(4C)と4Bとの各縁面を10、9とする。本発明においては、光導波路5A(5B)の曲がり部分15の中心線WCに対して、ギャップ1の中心線Cが曲率中心Oから見て外側に設けられている。即ち、ギャップ中心線Cに対して光導波路を内側へとオフセットした位置に設けることにした。この結果、電極への光吸収損失による光伝搬損失が著しく低下することを見いだした。また、特にギャップ1の大きさGを小さくして電極損失を低減した場合にも、電極への光の吸収による光伝搬損失を低減できる。

25 この理由は以下のように考えることができる。

## 4

例えば特開 2004-219600、特開 2005-331531、特開 2007-133135、WO2007/058366 A1 記載のように、光変調器の電圧印加部分では、光導波路はほぼ真っ直ぐであるから、光導波路を伝搬する光の強度分布のピークは、光導波路のほぼ中央にある。従って、WO2007/058366 A1 記載のように電圧印加領域で光導波路を信号電極に接近させると、信号電極への光の吸収を促進する可能性がある。

これに対して、例えば図 2 の平面図に模式的に示すように、光導波路の曲がり部分 15 を光が伝播する際、実効的な光強度分布は、曲がり部分 15 の内側エッジ 15 b ではなく、外側エッジ 15 a 側にシフトした位置にピークを持つ。即ち、伝搬光の光強度分布のピークは、光導波路の幾何学的中心線 WC よりも外側にある。このため、曲がり部分の外側にある電極 4 A (4 C) への光の吸収が促進され、光の伝搬損失が上昇したものと考えられる。

本発明者は、この発見に基づき、光導波路の幾何学的中心線 WC に対して、電極ギャップの中心線 C を外側にオフセットさせることによって、電極 4 A (4 C) および 4 B への伝搬光の吸収を最低限とし、これによって光の伝搬損失を低減することに成功した。この結果、電極ギャップ 1 の大きさ G を小さくして電極損失を低減すると同時に、光の電極への吸収による損失も抑制することができる。

## 図面の簡単な説明

図 1 は、本発明の一実施形態を示す平面図である。

図 2 は、曲がり部分における光強度分布を説明するための模式図である。

図3は、複数の曲がり部分に対して本発明を適用した例を模式的に示す平面図である。

図4は、本発明を適用可能な光変調器の平面図である。

図5は、図4の光変調器の横断面図である。

5 図6は、本発明の他の実施形態に係る光変調器を示す平面図である。

図7は、図6の光変調器の曲がり部分の拡大図である。

図8は、本発明の更に他の実施形態に係る光変調器を示す平面図であり、DCバイアス電極に対して本発明が適用されている。

図9は、図8のDCバイアス電極のギャップの曲がり部分に本発明を  
10 適用した例を示す。

#### 発明を実施するための最良の形態

好適な実施形態においては、光導波路に曲がり部分が複数設けられており、隣接する曲がり部分の間において光導波路に変曲点が設けられて  
15 いる。この場合、各曲がり部分に本発明を適用することができる。

図3は、この実施形態に係る平面図である。本例では、一对の電極4A(4C)と4Bとの間にギャップ1A、1Bが形成されている。12は、ギャップ1Aと1Bとの境界である。ギャップ1A内に光導波路5A(5B)の曲がり部分15Aが設けられており、ギャップ1B内に光  
20 導波路の曲がり部分15Bが設けられている。

曲がり部分15Aの曲率中心はOAであり、曲率半径はRAである。曲がり部分15Bの曲率中心はOBであり、曲率半径はRBである。ギャップ1Aは曲がり部分15Aと同様に湾曲し、ギャップ1Bは曲がり部分15Bと同様に湾曲している。曲率中心OAとOBとは、ギャップ  
25 に対して反対側に位置している。このため、曲がり部分15Aと15Bとの境界線に変曲点Pが存在する。

## 6

ここで、ギャップに面する各電極 4 A (4 C) と 4 B との各縁面を 10、9 とする。曲がり部分 15 A において、光導波路 5 A (5 B) の中心線 WC に対して、ギャップ 1 A の中心線 CA が曲率中心 OA から見て外側に設けられている。即ち、ギャップ中心線 CA に対して光導波路を  
5 内側へとオフセットした位置に設ける。また、曲がり部分 15 B において、光導波路 5 A (5 B) の中心線 WC に対して、ギャップ 1 B の中心線 CB が曲率中心 OB から見て外側に設けられている。即ち、ギャップ中心線 CB に対して光導波路を内側へとオフセットした位置に設ける。

なお、図 3 の例では、ギャップ 1 A と 1 B との境界線 12 に至るまで  
10 本発明を適用した。しかし、ギャップ 1 A と 1 B との間には、本発明を適用しない中間領域を設けることもできる。

電極ギャップ 1、1 A、1 B の中心線 C、CA、CB とは、ギャップを挟んで対向する電極 4 A (4 C) の縁面 10 と電極 4 B の縁面 9 との中間点を結ぶことによって得られる線分である。

15 光導波路の中心線とは、光導波路の屈折率最大点を平面的に結ぶことによって得られる線分である。具体的には次のようにして定める。

(1) 光導波路が拡散型光導波路である場合には、光導波路の形成に用いた金属膜の中心線である。

(2) 光導波路がリッジ型光導波路である場合には、リッジの上面の  
20 中心線である。

ギャップの中心線 C、CA、CB と光導波路の中心線 WC との間隔 d は、伝搬光の電極への吸収による損失を低減するという観点からは、0.1  $\mu\text{m}$  以上とすることが好ましく、0.5  $\mu\text{m}$  以上とすることが更に好ましい。これによって、光分布のシフト量に対してオフセット量を充分  
25 大きくでき、本発明の効果が更に顕著となるからである。

また、 $d$ が大きくなりすぎると、ギャップ幅 $G$ 、 $G_A$ 、 $G_B$ が光導波路幅に比べて増大することを意味するので、電極損失が増大する。あるいは、ギャップ幅が同じであると考え、光導波路の中心線 $WC$ が内側の電極に近寄りすぎることの意味するので、電極への光の吸収による損失が増大する。従って、本発明の観点から、 $d$ は $5\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $3\mu\text{m}$ 以下であることが更に好ましい。

電極ギャップの大きさ $G$ 、 $G_A$ 、 $G_B$ は、それぞれ、駆動電圧を低くするという観点から、 $40\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $30\mu\text{m}$ 以下であることが更に好ましい。また、 $G$ 、 $G_A$ 、 $G_B$ が小さすぎると、電極への光の吸収による光の伝搬損失が大きくなるので、この観点からは、 $G$ 、 $G_A$ 、 $G_B$ は、 $5\mu\text{m}$ 以上であることが好ましく、 $8\mu\text{m}$ 以上であることが更に好ましい。

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) 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。

図4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。

本例では、光導波路は、入射部11、分岐部および出射部12を備えており、平面的に見るとマツハツェンダー型の光導波路を構成している。

5 即ち、光導波路の入射部11に入射した光は、分岐部で二つに分岐し、各湾曲領域Fを経由して各変調領域Eに入射する。そして、それぞれ湾曲領域Fを経て合波し、出射部12から出射される。変調領域Eにおいて各分岐光導波路5A、5B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。本発明は、各湾曲領域Fにおいて、各ギャップ1  
10 A、1Bに適用する。

好ましくは、図5に示すように、光導波路基板3の下面と保持基板31との間に、厚さが略一定の接着層30が介在し、基板3と保持基板31とを接着している。

図6は、WO2007/058366 A1記載の折り返し型光変調  
15 器の折り返し部に本発明を適用した場合の例である。折り返し部における光導波路曲率部の拡大図を図7に示す。

図6の光導波路デバイスは基板本体3を備えている。基板本体3は、図5に示すように、支持基板31に接着層30を介して接着されていてもよい。本例では、基板本体3は平板形状をしているが、この形状は平  
20 板に限定されない。

基板本体3の一方の主面3a上には、所定の接地電極7、19および信号電極8が形成されている。本例では、いわゆるコプレーナ型

(Coplanar waveguide : CPW電極)の電極配置を採用しているが、電極の配置形態は特に限定されない。本例では、隣接する信号電極と接地  
25 電極とのギャップに、それぞれ光導波路が形成されており、各光導波路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 13 の端部 13 a から入射した光は、分岐点 13 b で分岐し、分岐導波路 13 c、13 d に分かれ、電極 7、8、19 による変調を受ける。次いで、分岐導波路 13 c、13 d を伝搬した光は、それぞれ曲がり部分 15 を通り、各折り返し点 28 で反射する。そして、それぞれ  
5 第二の折り返し部を伝搬し、曲がり部分 15 を通り、各分岐導波路 13 e、13 f を伝搬する。そして、合波点 13 g で合波し、出射部 13 h に入る。

内側の接地電極 19 は、図示しないフィードスルーに接続される給電部 19 a と、分岐光導波路の相互作用部と平行に伸びる 1 列の電極部 1  
10 9 b とを備えている。外側の接地電極 7 は、光導波路をまたぐ接続部 7 c、接続部 7 c から両側に伸びる電極部 7 b、7 d および各電極部 7 b、7 d から相互作用部と平行に伸びる電極部 7 a、7 e を備えている。信号電極 8 は、一对の給電部 8 a、8 g、各給電部 8 a、8 g から各主部と平行に伸びる電極部 8 b、8 f、各電極部 8 b、8 f から伸びる各電  
15 極部 8 c、8 e、および電極部 8 c と 8 e とを接続する接続部 8 d を備えている。

図 7 に光導波路の曲がり部分の拡大図を示す。

接地電極 7 と信号電極 8 との間、接地電極 19 と信号電極 8 との間には、それぞれギャップ 1 が設けられており、各ギャップに分岐光導波路  
20 が設けられている。各光導波路の曲がり部分 15 に対して本発明を適用する。

ここで、各ギャップ 1 に面する各電極の各縁面を 9、10 とする。曲がり部分以外では、各光導波路の中心線 WC とギャップの中心線 C とは一致している。しかし、曲がり部分では、光導波路の中心線 WC に対し  
25 て、ギャップ 1 の中心線 C が光導波路の曲率中心 O から見て外側に設けられている。即ち、ギャップ中心線 C に対して光導波路を内側へとオフ

## 10

セットした位置に設けることにした。この結果、電極への光吸収損失による光伝搬損失が著しく低下することを見いだした。また、特にギャップ1の大きさGを小さくして電極損失を低減した場合にも、電極への光の吸収による光伝搬損失を低減できる。

- 5     なお、本例では、オフセット構造とするために、湾曲部7f、8h、19cを設けている。

本発明は、高周波電極以外にも、DC（直流）バイアス電極、位相調整電極などの各種電極に対して適用可能である。

- 10    図8は、非対称CPW電極を用いたデュアル駆動型光変調器のDCバイアス電極に本発明を適用した例である。

本例では、基板上に、接地電極20B、20Cおよび中央接地電極20Aが形成されている。接地電極20Bと20Aとの間に高周波信号電極21Aが形成されており、接地電極20Cと20Aとの間に高周波信号電極21Bが形成されている。

- 15    また、本例では、DCバイアス電極が設けられている。すなわち、DCバイアス用の接地電極22、24および信号電極23が設けられている。接地電極22と信号電極23との間にギャップ26が形成されており、接地電極24と信号電極23との間にもギャップ26が形成されている。

- 20    光導波路25は、入射部25a、分岐部25b、DCバイアス印加部25c、25d、相互作用部25e、25f、合波部25g、出射部25hを備えている。DCバイアス印加部25c、25dは、それぞれ、DCバイアス電極のギャップ26に設けられている。相互作用部25e、25fは、それぞれ、高周波電極のギャップ1に設けられている。

- 25    光導波路25c、25dの各曲がり部分に対して本発明を適用する。すなわち、図9に示すように、光導波路の曲がり部分15の曲率中心は

○であり、曲率半径はRである。ギャップ26は曲がり部分15と同様に湾曲している。曲率中心Oは、ギャップの曲がり部分の内側に位置する。

ここで、ギャップに面する各電極22、23の各縁面を10、9とする。曲がり部分15において、光導波路の中心線WCに対して、ギャップの中心線Cが曲率中心Oから見て外側に設けられている。即ち、ギャップ中心線Cに対して光導波路を内側へとオフセットした位置に設ける。

光導波路は、基板の一方の主面に直接形成されたリッジ型の光導波路であってよく、基板の一方の主面の上に他の層を介して形成されたリッジ型の光導波路であってよく、また基板の内部に内拡散法やイオン交換法によって形成された光導波路、例えばチタンや亜鉛拡散光導波路、プロトン交換光導波路であってよい。具体的には、光導波路が、基板表面から突出するリッジ型光導波路であってよい。リッジ型の光導波路は、レーザー加工、機械加工によって形成可能である。あるいは、高屈折率膜を基板上に形成し、この高屈折率膜を機械加工やレーザーアブレーション加工することによって、リッジ型の三次元光導波路を形成できる。高屈折率膜は、例えば化学的気相成長法、物理的気相成長法、有機金属化学的気相成長法、スパッタリング法、液相エピタキシャル法によって形成できる。

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、バッファ層の上に形成されていてよい。バッファ層は、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。

好適な実施形態においては、少なくとも曲がり部分において、前記基板上に前記電極がバッファ層を介することなしに直接形成されている。

すなわち、基板厚さを $20\mu\text{m}$ 以下とすると、 $\text{SiO}_2$ バッファ層を形成することなく、速度整合を達成可能である。特に、DC電極に $\text{SiO}_2$ バッファ層を設けるのは、動作安定性の観点から難しい。しかし、 $\text{SiO}_2$ バッファ層が形成されていない場合は、さらに電極による光吸収が顕著となる。

この点、本発明では、曲がり部分における電極による光吸収を低減できるので、特に効果大きい。

10 接着層30の厚さは $1000\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $300\mu\text{m}$ 以下であることが更に好ましく、 $100\mu\text{m}$ 以下であることが最も好ましい。また、接着層30の厚さの下限は特にないが、マイクロ波実効屈折率の低減という観点からは、 $10\mu\text{m}$ 以上であってもよい。

光導波路基板3、保持基体31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。

20 保持基体31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30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 $13 \times 10^{-6}/\text{K}$ ）を例示できる。

実施例

## (実験 1)

図 1 に示すような曲がり光導波路 1 5 を使用した。光導波路はチタン  
拡散光導波路とし、チタン線幅は  $6 \mu\text{m}$  とした。曲がり光導波路の曲率  
半径  $R$  は  $30 \text{mm}$  とした。電極ギャップ 1 の幅  $G$  を  $13 \mu\text{m}$  とした。各電極  
5 4 A、4 B の材質は Au とし、基板の材質はニオブ酸リチウム単結晶とす  
る。

光導波路の中心線  $WC$  をギャップ中心線  $C$  に合うように設けた。オフ  
セット量  $d$  は 0 である。この結果、出力  $1 \text{mW}$  の光を光導波路に入射さ  
せたところ、単位長さ当たりの伝搬損失は  $0.5 \text{dB/cm}$  であった。

10 これに対して、オフセット量  $d$  を  $3 \mu\text{m}$  とした。この結果、単位長さ当  
たりの伝搬損失は  $0.1 \text{dB/cm}$  に低下した。

## (実験 2)

本発明の効果を更に検証すべく試作評価を実施した。図 4、図 5 に示  
した形態の光変調器を作製した。光導波路基板 3 の材質はニオブ酸リチ  
ウム単結晶とし、3 インチ基板とし、厚さは  $1 \text{mm}$  とした。  
15

この基板の表面に、チタン拡散プロセスとフォトリソグラフィー法と  
によって、マッハツェンダー型の光導波路を形成した。光導波路の平面  
的形態は図 4 に示す。チタン線幅は、入射部 1 1、出射部 1 2 では  $3 \mu\text{m}$   
とし、曲がり領域  $F$  および光変調領域  $E$  では  $8 \mu\text{m}$  とした。曲がり  
領域  $F$  における光導波路の形態は図 3 に示す。このチタンパターンを  $1$   
20  $031^\circ\text{C}$  にて熱拡散させ、光導波路とした。

次に、接地電極 4 A、4 C および信号電極 4 B をめっき加工により形  
成した。電極のギャップは、光変調領域  $E$  内で  $25 \mu\text{m}$  とした。各曲が  
り部分 1 5 A、1 5 B の曲率半径  $R_A$ 、 $R_B$  はそれぞれ  $20 \text{mm}$  とした。

25 次に、ニオブ酸リチウム基板の薄板加工を実施した。先ずニオブ酸リ  
チウム基板のチタンパターン面にワックスを塗布して、ニオブ酸リチウ

ムからなるダミー基板（厚さ 1 mm）に貼り付けた。この状態にて、チタンパターン付きの基板の裏面を研磨加工にて削り込み、厚さ 7  $\mu$ m になるまで薄板加工を実施した。さらに、この加工後のチタンパターン付き基板裏面に厚さ約 50  $\mu$ m のシート樹脂 30 を介して補強用ニオブ酸  
5 リチウム基板 31 を貼り付け、次いで当初のダミー基板を取り外した。最後にチップ切断及び端面研磨加工を実施し、チップとした。

このチップに光ファイバを接続して光損失評価を実施した。チップの入力側には偏波保持ファイバ、出力側にはシングルモードファイバを接着剤を介して接続した。電極には電圧印加できる様プロービングした。

10 比較例では、各曲がり領域 F におけるギャップ 1 A、1 B の幅 G A、G B を、それぞれ 13  $\mu$ m とした。また、光導波路の中心線 W C をほぼギャップ中心線 C に合うように設けた。オフセット量 d は 0 である。出力 1 mW の光を光導波路に入射させたところ、単位長さ当たりの伝搬損失は 0.5 dB/cm であった。

15 実施例 1 では、各曲がり領域 F におけるギャップ 1 A、1 B の大きさ G A、G B を、それぞれ 13  $\mu$ m とした。また、オフセット量 d は 3  $\mu$ m とした。出力 1 mW の光を光導波路に入射させたところ、単位長さ当たりの伝搬損失は 0.1 dB/cm であった。

20 実施例 2 では、各曲がり領域 F におけるギャップ 1 A、1 B の大きさ G A、G B を、それぞれ 13  $\mu$ m とした。また、オフセット量 d は 3  $\mu$ m とした。出力 1 mW の光を光導波路に入射させたところ、単位長さ当たりの伝搬損失は 0.1 dB/cm 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  
25 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. 基板、この基板の主面に形成されている少なくとも一对の電極、および前記一对の電極間のギャップに形成されているチャンネル型光導波路を備えている光導波路デバイスであって、
- 5 前記光導波路が曲がり部分を備えており、前記ギャップの中心線が前記光導波路の中心線に対して前記曲がり部分の曲率中心から見て外側に設けられていることを特徴とする、光導波路デバイス。
- 10 2. 前記一对の電極が、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であることを特徴とする、請求項1記載の光導波路デバイス。
- 15 3. 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または2記載の光導波路デバイス。
4. 前記光導波路の中心線と前記ギャップの中心線との間隔が  $0.1\mu\text{m}$  以上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デバイス。
- 20 5. 前記光導波路の中心線と前記ギャップの中心線との間隔が  $5\mu\text{m}$  以下であることを特徴とする、請求項1～4のいずれか一つの請求項に記載の光導波路デバイス。
- 25 6. 前記光導波路に前記曲がり部分が複数設けられており、隣接する前記曲がり部分の間において前記光導波路に変曲点が設けられているこ

## 16

とを特徴とする、請求項 1 ～ 5 のいずれか一つの請求項に記載の光導波路デバイス。

7. 前記電極が DC バイアス電極であることを特徴とする、請求項 1 ～ 6 のいずれか一つの請求項に記載の光導波路デバイス。

8. 前記電極が位相調整部電極であることを特徴とする、請求項 1 ～ 6 のいずれか一つの請求項に記載の光導波路デバイス。

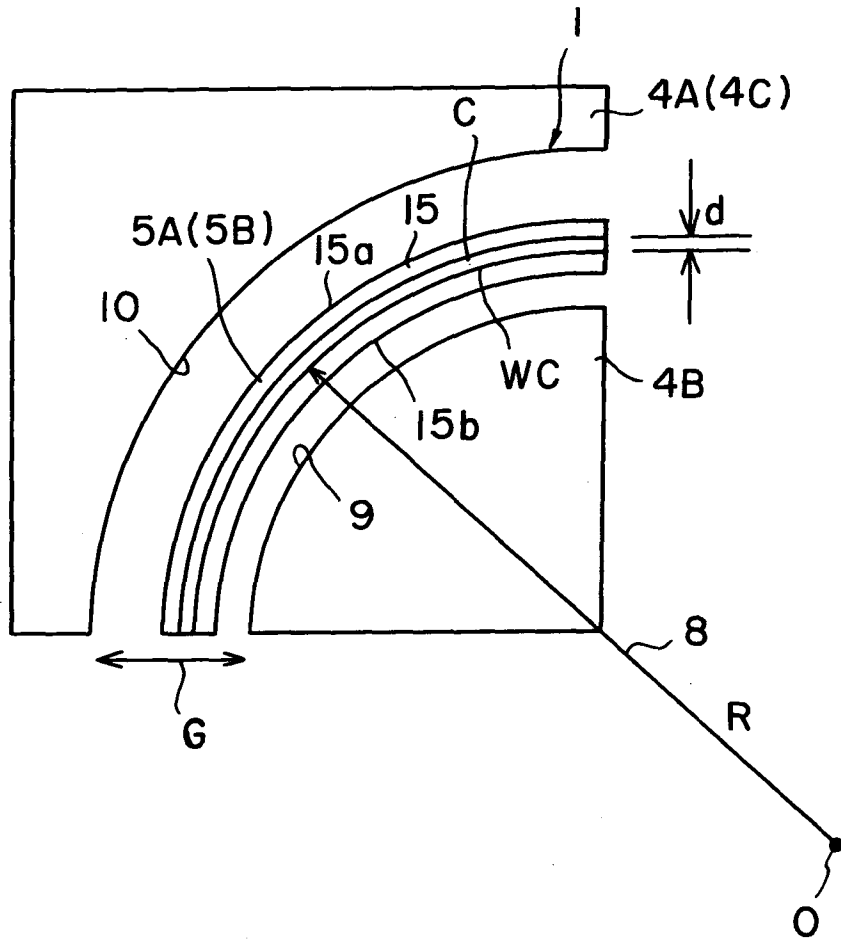
10 9. 前記基板が X カットニオブ酸リチウム基板であることを特徴とする、請求項 1 ～ 8 のいずれか一つの請求項に記載の光導波路デバイス。

10. 前記基板の厚さが  $20 \mu\text{m}$  以下であることを特徴とする、請求項 1 ～ 9 のいずれか一つの請求項に記載の光導波路デバイス。

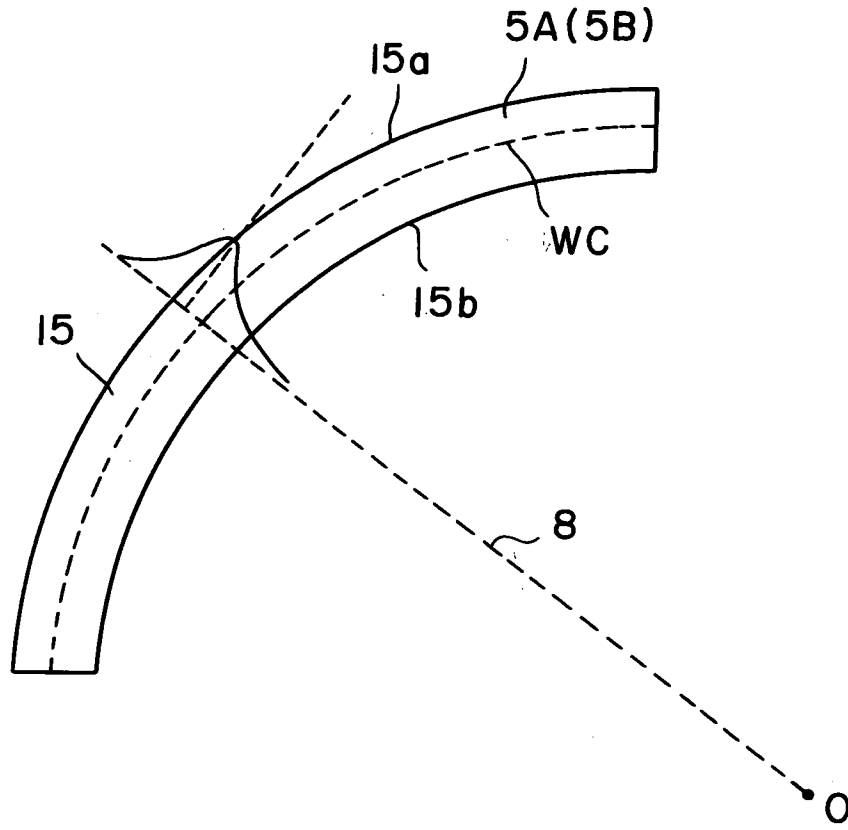
## 15

11. 少なくとも前記曲がり部分において、前記基板上に前記電極がバッファ層を介することなしに直接形成されていることを特徴とする、請求項 1 ～ 10 のいずれか一つの請求項に記載の光導波路デバイス。

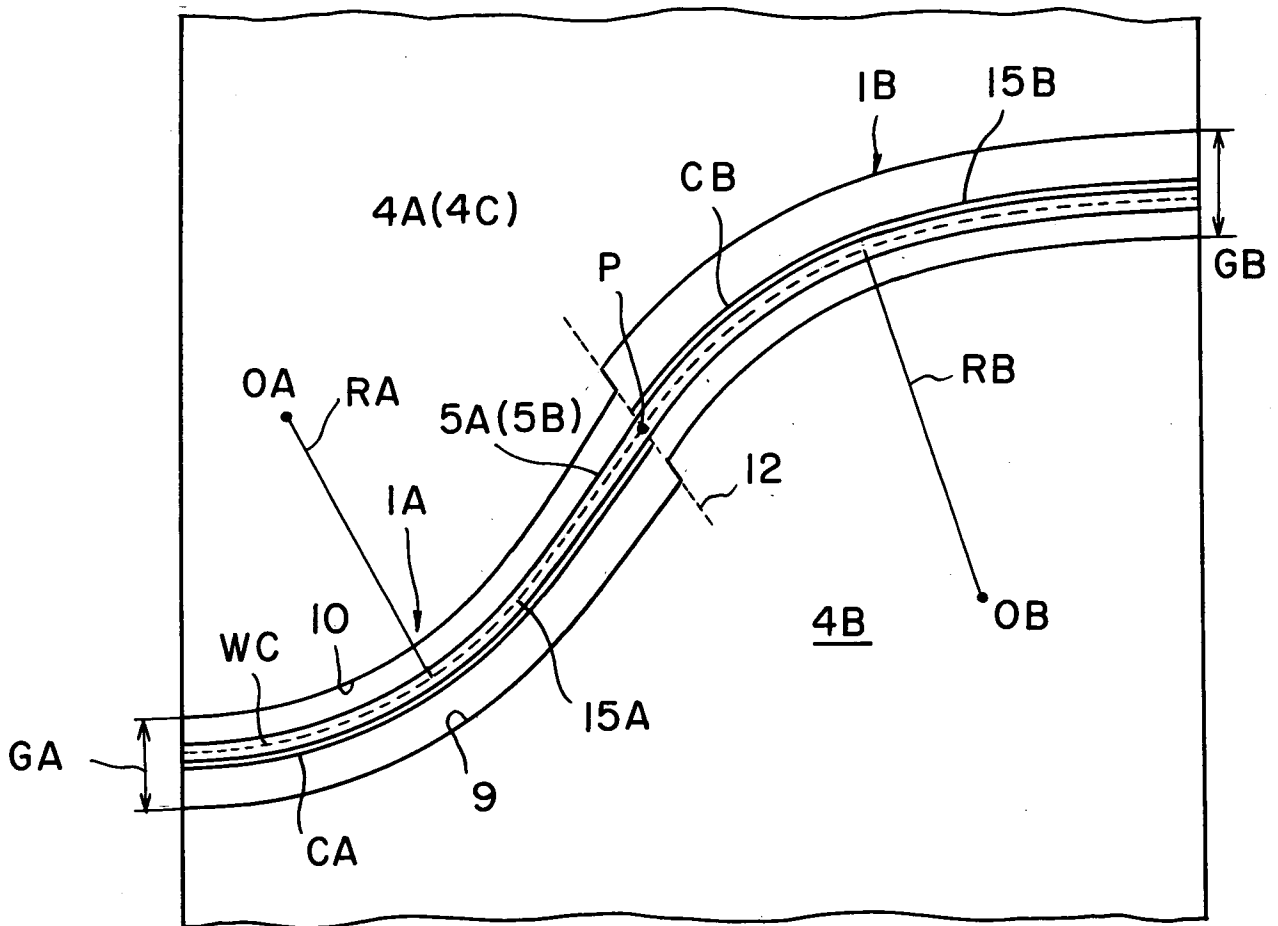
第 1 図



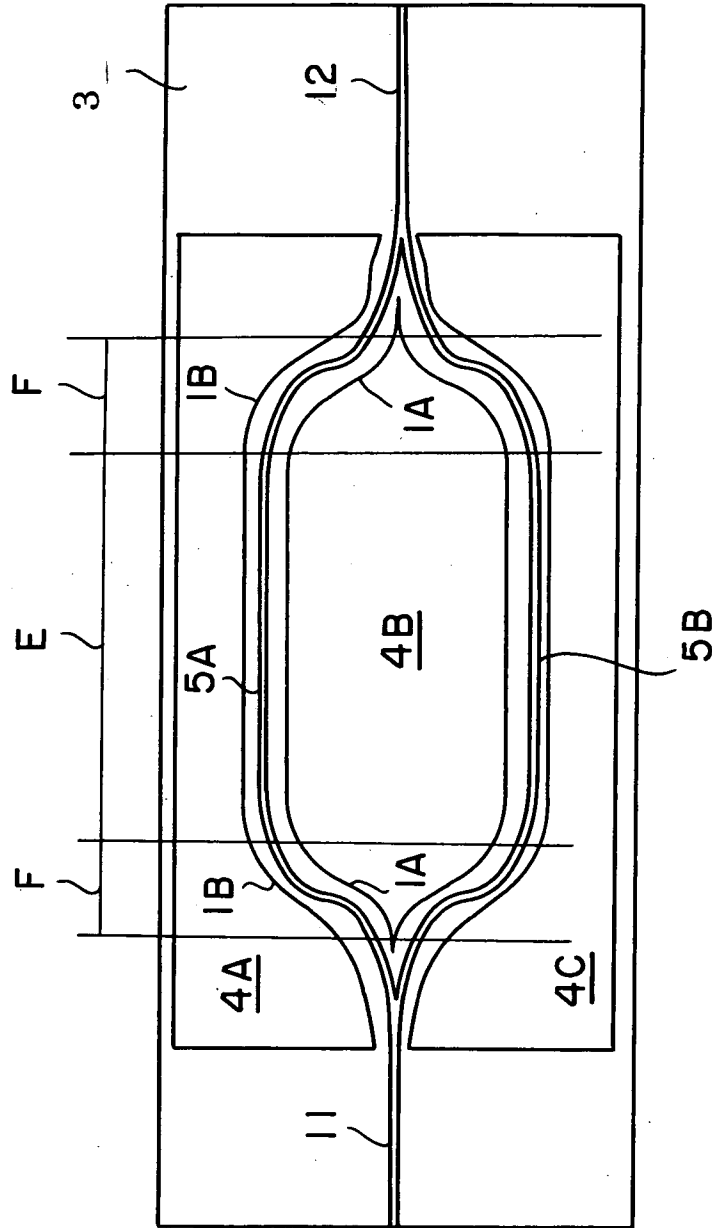
第 2 図



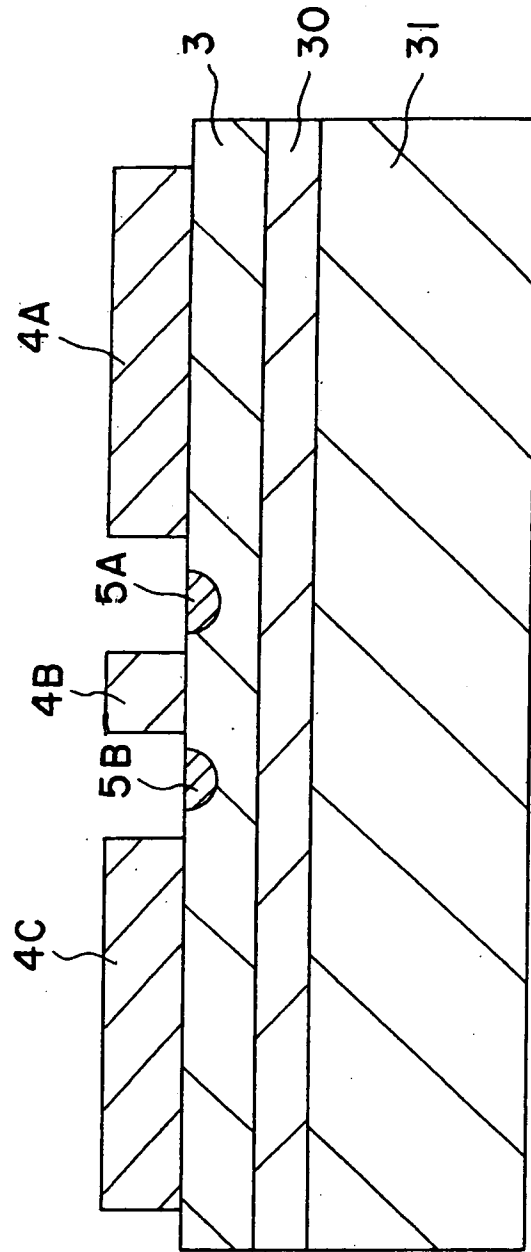
第 3 図



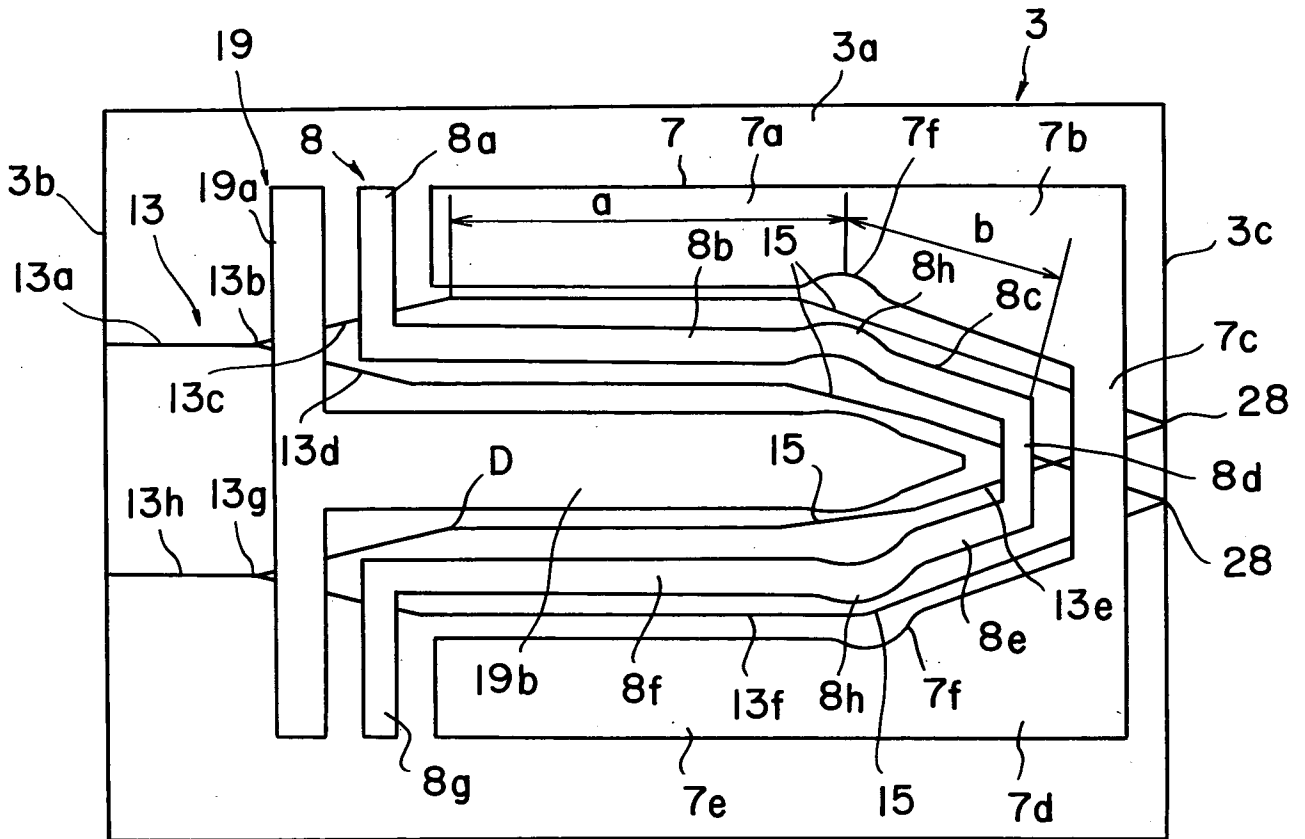
第 4 図



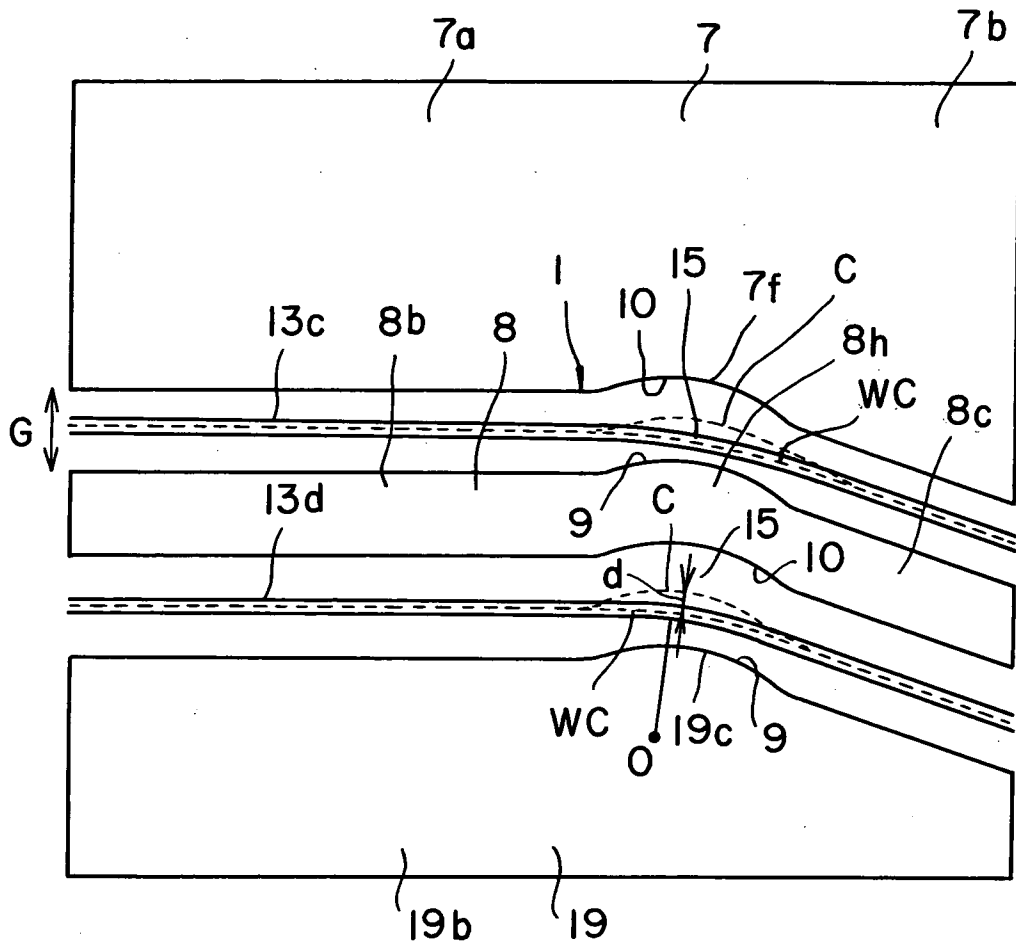
第 5 図



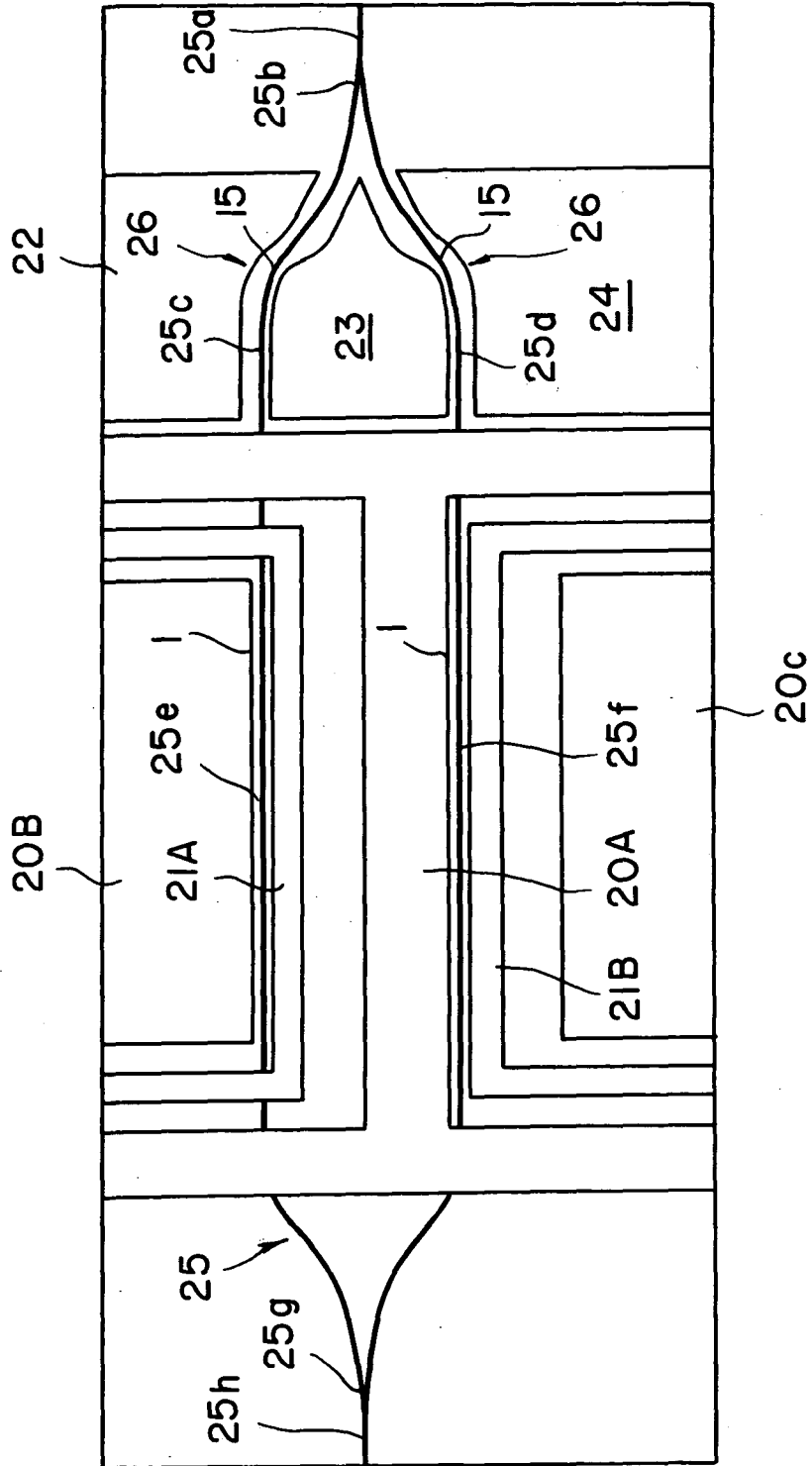
第 6 图



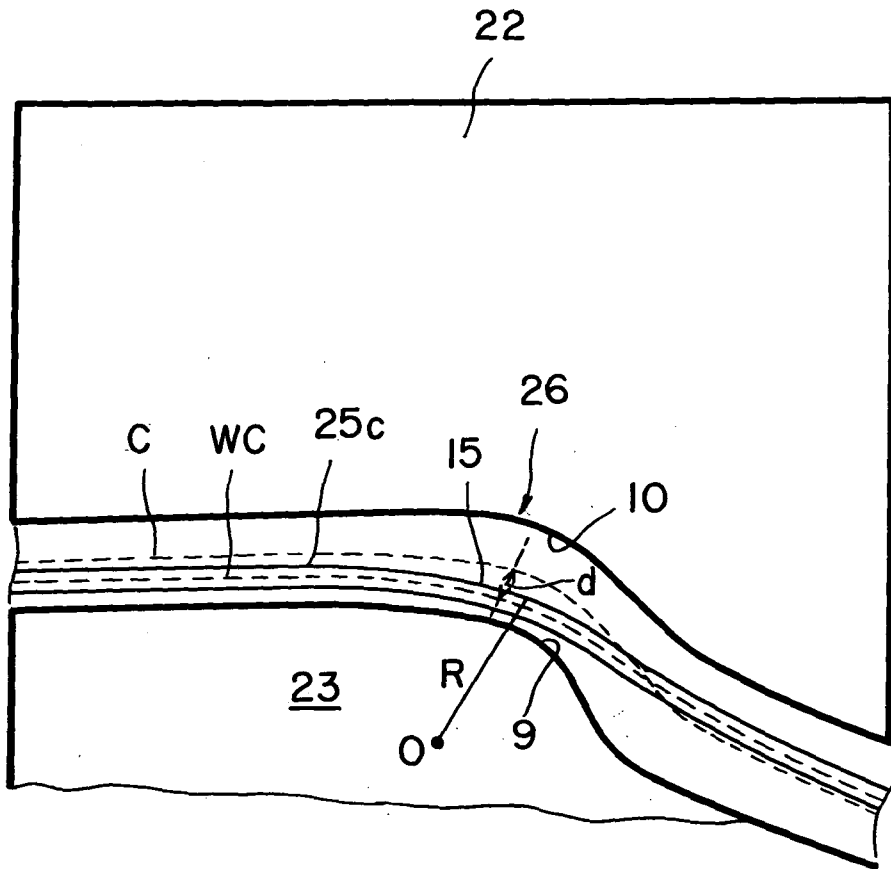
第 7 图



第 8 图



第 9 図



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.  
PCT/JP2009/050498

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
G02F1/035(2006.01) i, G02B6/12(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)  
G02F1/035, G02B6/12

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	1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2009	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2009

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.
A	JP 2007-133135 A (NGK Insulators, Ltd.), 31 May, 2007 (31.05.07), Par. No. [0030]; Fig. 5 & US 2007/0104407 A1 & EP 1785756 A2	1-11
A	JP 2004-287093 A (Fujitsu Ltd.), 14 October, 2004 (14.10.04), Par. Nos. [0024] to [0027]; Figs. 8 to 10 & US 2004/0184755 A1 & EP 1460458 A1	1-11
A	JP 61-210321 A (Nippon Hoso Kyokai), 18 September, 1986 (18.09.86), Claims & US 4818063 A & EP 201684 A2	1-11

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

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 27 January, 2009 (27.01.09)	Date of mailing of the international search report 10 February, 2009 (10.02.09)
--	--

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G02F1/035(2006.01)i, G02B6/12(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. G02F1/035, G02B6/12

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	1971-2009年
日本国実用新案登録公報	1996-2009年
日本国登録実用新案公報	1994-2009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 請求の範囲の番号
A	JP 2007-133135 A (日本碍子株式会社) 2007.05.31, 【0030】, 図5 & US 2007/0104407 A1 & EP 1785756 A2	1-11
A	JP 2004-287093 A (富士通株式会社) 2004.10.14, 【0024】-【0027】, 図8-10 & US 2004/0184755 A1 & EP 1460458 A1	1-11
A	JP 61-210321 A (日本放送協会) 1986.09.18, 特許請求の範囲 & US 4818063 A & EP 201684 A2	1-11

☐ 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

27.01.2009

国際調査報告の発送日

10.02.2009

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)  
 郵便番号100-8915  
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

山村 浩

2X 9219

電話番号 03-3581-1101 内線 3294