(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
2006 年4 月6 日 (06.04.2006)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2006/035992 A1

(51) 国際特許分類:
G02F 1/035 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2005/018386

(22) 国際出願日: 2005 年9 月28 日 (28.09.2005)

(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2004-283197 2004 年9 月29 日 (29.09.2004) 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). 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). 近藤 厚男 (KONDO, Atsuo) [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). 江尻 哲也 (EJIRI, Tetsuya) [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). 岩田 雄一 (IWATA, Yuichi) [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).

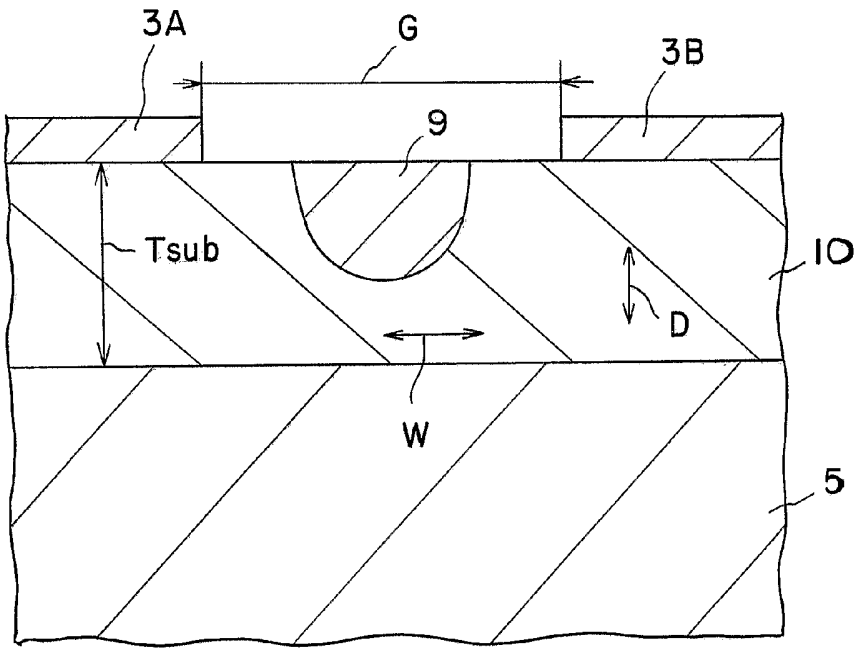
(74) 代理人: 細田 益稔, 外 (HOSODA, Masutoshi et al.); 〒1070052 東京都港区赤坂二丁目１７番２２号 赤坂ツインタワー本館１１Ｆ Tokyo (JP).

(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, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,

[続葉有]

(54) **Title:** OPTICALLY FUNCTIONAL DEVICE

(54) 発明の名称: 光機能デバイス



(57) **Abstract:** Disclosed is an optically functional device comprising a dielectric substrate (5), a ferroelectric thin layer (10) which is arranged on the dielectric substrate (5) and composed of a material having electro-optic effects, and electrodes (3A, 3B) arranged on the ferroelectric thin layer (10). By having a part of the ferroelectric thin layer (10) function as the core (9) of an optical waveguide and having the dielectric substrate (5) function as the cladding of the optical waveguide, the optical waveguide (9) is constituted as a multimode waveguide at least in the direction of depth (D) of the ferroelectric thin layer (10).

[続葉有]

WO 2006/035992 A1

ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, 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, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

２文字コード及び他の略語については、定期発行される各*PCT*ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約: 光機能デバイスは、誘電体基板５、誘電体基板５上に配置され、電気光学効果を有する材質からなる強誘電体薄層１０、および強誘電体薄層１０上に配置された電極３Ａ、３Ｂを備えている。強誘電体薄層１０の一部を光導波路のコアー９として機能させ、誘電体基板５を光導波路のクラッドとして機能させ、光導波路９が強誘電体薄層１０の少なくとも深さ方向Ｄにおいて多モード導波路として構成されている。

明細書

光機能デバイス

発明の属する技術分野

本発明は光機能デバイスに関するものである。

背景技術

マルチメディアの発展に伴い、通信のブロードバンド化の需要が高まり、10Gb/sを超える光伝送システムが実用化され、さらに高速化が期待されている。10Gb/s以上の電気信号（マイクロ波信号）を光に変調するデバイスとしてLN光変調器が使用されている。

光変調器の変調帯域を広帯域化するために、光導波路基板を薄くすることによりマイクロ波と光波の速度整合をとる構造が発明されている（特開２００２－１６９１３３号公報）。

発明の開示

本出願人は、特願２００２－３３０３２５号において、厚さ３０μm以下の薄い光導波路基板の背面側に、厚さが略一定の接着層を設けて保持基体を接着することを開示した。

また、本出願人は、さらに特願２００３－１３６７４０号において、接着層によって保持基体と基板本体とを接着し、保持基体における熱膨張係数の最小値を基板本体における熱膨張係数の最小値の１／５倍以上とし、かつ保持基体における熱膨張係数の最大値を基板本体における熱膨張係数の５倍以下とすることを開示した。

特願２００２－３３０３２５号、特願２００３－１３６７４０号のように、光導波路を形成する強誘電体基板を薄くすることによって、基板

内に加わる電界強度を増大させ、光導波路に加わる実効電界を大きくし、光機能デバイスを駆動する際のＶπ・Ｌをそれだけ低減することができる。

光機能デバイスの駆動時のＶπ・Ｌをさらに小さくするためには、光導波路を伝搬する光スポットの直径を小さくすることが有効である。しかし、光導波路を伝搬する光スポットの直径は、通常は基板内へと内拡散されるチタンやプロトンのような不純物の量や処理温度によってほぼ定まっており、光導波路の閉じ込めを強くしてスポットの直径を小さくすると光導波路が多モード化してデバイス特性上の問題が生ずるために、光スポットの直径を小さくすることで駆動電圧Ｖπ・Ｌをいっそう低減することは困難と考えられてきた。

本発明の課題は、光導波路を伝搬する光スポットの直径を小さくできるようにし、これによって光機能デバイスの駆動電圧Ｖπ・Ｌを低減可能とすることである。

本発明は、誘電体基板、この誘電体基板上に配置され、電気光学効果を有する材質からなる強誘電体薄層、およびこの強誘電体薄層上に配置された電極を備えている光機能デバイスであって、強誘電体薄層の一部を光導波路のコアーとして機能させ、誘電体基板を光導波路のクラッドとして機能させ、この光導波路が強誘電体薄層の深さ方向において多モード導波路として構成され、横方向において単一もしくは多モード導波路として構成されていることを特徴とする。

本発明者は、種々のタイプの高速光変調デバイスの原理を根本的に再検討し、本発明にいたった。

たとえば、図１（ａ）に示すように、十分に大きな機械的強度を有する強誘電体基板１（Ｘ板）の表面領域に光導波路２を形成し、信号電極３Ａと接地電極３Ｂとの間に信号電圧を印加し、光導波路を伝搬する光

を変調する。このタイプの光変調デバイスにおいては、基板１が厚いために光導波路に加わる電界密度が若干低くなる。また、このように厚い基板１内に光導波路を形成する場合には、光導波路とその周囲との屈折率差が一般に小さく、このために光スポットが広がり易く、光スポット径を小さくすることが難しい。光の閉じ込めを強くするためには、光導波路２とその周囲との屈折率差を大きくする必要があり、このためには光導波路２への不純物の拡散量を増加させる必要がある。この場合には縦横ともに多モード化し、光損失が増大する。これらの理由から、ある程度以上駆動電圧を低減することは難しい。

図１（ｂ）に示すタイプでは、強誘電体基板５上に誘電体層（たとえばシリカや重合体）６を形成し、誘電体層６中に、強誘電体基板５よりも屈折率の高い強誘電体からなる光導波路７を埋め込む。このようなデバイスでは、光導波路７と基板５との屈折率差を大きくすることが難しい。また、強誘電体基板５，光導波路７に対して、誘電体層６の誘電率が相対的に小さいために、光導波路７に加わる電界強度が低く、駆動電圧が相対的に高い。

図１（ｃ）に示すようなタイプのデバイスでは、誘電体基板（シリカや重合体）１上に、強誘電体（ニオブ酸リチウム等）からなるリッジ型の光導波路８を形成し、その両側に電極３Ａ、３Ｂを形成する。この場合も、図１（ｂ）のデバイスと同様に、光導波路と基板との屈折率差を大きくすることが難しい。また、光導波路に加わる電界強度が低く、駆動電圧が相対的に高い。

これらの問題点を踏まえ、本発明者は、たとえば図２（ａ）に示すような形態の光機能デバイスを検討した。このデバイスにおいては、誘電体基板５上に強誘電体薄層１０が設けられており、強誘電体薄層１０中に光導波路９のコアーが設けられており、誘電体基板５がクラッドとし

て機能する。強誘電体薄層１０の表面には信号電極３Ａと接地電極３Ｂとが形成されている。この実施形態においては、光導波路９は、強誘電体薄層１０への不純物の内拡散によって形成されている。

この構成において、強誘電体薄層１０の厚さを小さくしていくと、信号電圧の印加に伴って発生する信号電極３Ａと接地電極３Ｂとの間の基板側の電気力線の多くが、基板５の低誘電率性によって強誘電体薄層１０中に集中するために、強誘電体薄層の電界強度が強くなり、特に電極と接する表面部近傍で電気力線が集中する。

一方、この構成は、誘電体基板５の屈折率が相対的に小さいために、原理的に、強誘電体薄層１０をコアー、誘電体基板５をクラッドとするような多モードスラブ導波路になっている。強誘電体薄層１０の厚さTsubが充分に大きい場合、スラブ導波路の高次（１次）モード深さ方向スポット径は、強誘電体薄層１０の厚さとほぼ同じ大きさであり、光導波路９の基本（０次）モードの深さ方向スポット径（：Tsub＝５００μmのときの基本モードの深さ方向スポット径をDyoと表示する)、あるいは光ファイバの伝搬光スポット径に対して充分大きくなっている。このため、実用上この多モード性による特性への影響は極めて小さく、基本モードのみがデバイス特性と関係している（すなわち実用上、深さ・横方向共に単一モード状態になっている）ためにデバイス動作時の問題はない。

ここで、強誘電体薄層１０の厚さを小さくしていくと、スラブ導波路の高次（１次）モード深さ方向スポット径はその厚さに応じて小さくなり、ある厚さ（Tsubが Dyoの約５倍：光導波路形成条件と誘電体基板の材質に依存する）になると、光導波路９の基本モードの深さ方向スポット径の数倍の大きさになる。さらに厚さが小さくなると、この高次モード深さ方向スポット径と共に基本モードのスポット径も小さくなり、

光導波路の製造時の拡散条件に依存して、強誘電体薄層１０の深さ方向Ｄへと向かって光導波路９が実動作上、多モード化することを見いだした。言い換えると、強誘電体薄層１０が深さ方向に見たときにスラブ導波路化することがわかった。

また、光導波路製造時の拡散条件として極端に光閉じ込め効果を弱く（例えばＴｉパターンの膜厚もしくは幅を小さく設定する）すると、強誘電体薄層１０の厚さが充分厚い（例えばTsub＝５００μｍ）場合、いわゆるカットオフ状態になって、光導波路の基本モードがない（横方向の閉じ込めがない）状態になる。しかし、上記と同様に、強誘電体薄層１０の厚さを小さくして、ある厚さ以下（光導波路形成条件と誘電体基板の材質に依存する）になると、光導波路部での横方向閉じ込め現象（横方向での基本モード）が生じて、光導波路としての機能が発現しする。さらに強誘電体薄層１０の厚さを小さくすると、光導波路のスポット径は縮小し、この場合も深さ方向では多モード化している。

図２（ｂ）に示した、図２（ａ）中の光導波路中心部断面の屈折率分布と、光導波路基本モード伝搬光の等価屈折率（伝搬定数）との関係を詳細に調べた結果、以上のスポット径縮小効果は、この等価屈折率の低減現象と相まって生ずることが理論解析・実験から明らかになった。

すなわち、強誘電体薄層１０の厚さ Tsub が充分厚い場合、光導波路の等価屈折率 Neff は、Nfs＜Neff＜Np の関係がある（ただし、カットオフ状態の場合、強誘電体基板スラブ導波路モードで Neff＜Nfs の関係）。ここで、Np，Nfs，Nds，Nair は、それぞれ光導波路の不純物拡散中央表面部の屈折率最大値，強誘電体層 10 の非拡散部の屈折率、誘電体基板５の屈折率、空気層の屈折率を表す。Tsub が小さくなると、やがて Neff が小さくなり始め、光導波路のスポット径は深さ方向・横方向に縮小する。この時、上記での深さ方向での多モード化の状態に相当する。

さらにTsubが小さくなると、やがてNeff≦Nfsの関係になり、光導波路のスポット径は深さ方向・横方向共に顕著に縮小する事が分かった。

なお、光導波路伝搬光の等価屈折率は、例えばプリズム結合法、あるいは光導波路ファブリーペロー共振法（：光導波路をファブリーペロー共振器として構成させた時に、共振器長さとファブリーペロー共振波長の関係を調べる）等により測定できる。

このように強誘電体薄層１０の深さ方向へと向かって多モード化すると、光導波路の深さ方向と共に横方向の光閉じ込め効果が強まり、光スポット径が深さ方向Ｄおよび幅方向Ｗの両方において縮小する。特に、Tsubが Dyoの２倍以下になると、基本モードのスポット径は顕著に縮小し、強誘電体薄層表面部近傍での電気力線の集中効果と相まって駆動電圧を大幅に低減可能となることを見いだし、本発明に到達した。

図面の簡単な説明

図１（ａ）、図１（ｂ）、図１（ｃ）は、種々のタイプの光変調デバイスの要部を模式的に示す断面図である。

図２（ａ）は、本発明の一実施形態に係る光機能デバイスの要部を模式的に示す断面図であり、図２（ｂ）は、空気層、誘電体基板、強誘電体薄層、光導波路の各屈折率の関係を模式的に示すグラフである。

図３は、本発明の他の実施形態に係る光機能デバイスの要部を模式的に示す断面図であり、リッジ部分１１が形成されている。

図４は、本発明の更に他の実施形態に係る光機能デバイスの要部を模式的に示す断面図であり、強誘電体薄層１０の表面にバッファ層１２が形成されている。

図５は、本発明の更に他の実施形態に係る光機能デバイスの要部を模式的に示す断面図であり、リッジ部分１１の両側に溝１３が形成されて

いる。

図６は、本発明の更に他の実施形態に係る光機能デバイスの要部を模式的に示す断面図であり、強誘電体薄層１０と誘電体基板５とが接着層１４で接着されている。

図７は、本発明の更に他の実施形態に係る光機能デバイスの要部を模式的に示す断面図であり、強誘電体薄層１０としてＺ板が使用されている。

図８は、電極間ギャップＧ、駆動電圧および基板厚さＴｓｕｂの関係を示すグラフである。

図９は、電極間ギャップＧ、駆動電圧および基板厚さＴｓｕｂの関係を示すグラフである。

図１０は、チタン層の幅と厚さ、基板厚さおよび幅方向の光スポットサイズの関係を示すグラフである。

図１１は、チタン層の幅と厚さ、基板厚さおよび深さ方向の光スポットサイズの関係を示すグラフである。

図１２は、チタン層の幅と厚さ、基板厚さおよび幅方向の光スポットサイズの関係を示すグラフである。

図１３は、チタン層の幅と厚さ、基板厚さおよび深さ方向の光スポットサイズの関係を示すグラフである。

図１４は、チタン層の幅と厚さ、基板厚さＴｓｕｂおよび幅方向の光スポットサイズの関係を示すグラフである。

図１５は、チタン層の幅と厚さ、基板厚さＴｓｕｂおよび深さ方向の光スポットサイズの関係を示すグラフである。

図１６は、リッジ部分の高さ、リッジ部分の幅および駆動電圧の関係を示すグラフである。

図１７は、リッジ部分の高さ、リッジ部分の幅および駆動電圧の関係

を示すグラフである。

図１８は、リッジ部分の高さ、リッジ部分の幅および駆動電圧の関係を示すグラフである。

図１９は、基板厚さＴｓｕｂ、電極間ギャップＧおよび駆動電圧の関係を示すグラフである。

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、光導波路が強誘電体薄層１０の幅方向Ｗにおいて単一モード条件を満足する。幅方向で多モード状態となると、光ファイバーモード径（１０μｍ以下）の影響で、出力光の消光比が劣化し、たとえば２０ｄＢ以下となる傾向が見られる。このため、強誘電体薄層の幅方向は単一モード化させることが好ましい。これは、強誘電体薄層の厚さと、光導波路生成時の拡散条件（光の閉じ込めの強さ）とを調整することで実現可能である。

強誘電体薄層の深さ方向、幅方向において光が多モードであるか、単一モードであるかは、例えば、単一モード光ファイバ励振によって、光ファイバを光導波路のコアーに対して位置合わせ調整しながら光を伝搬させてその強度分布を観測することで決定できる。

好適な実施形態においては、光導波路が不純物の拡散によって形成されている。この拡散される不純物は、強誘電体の屈折率を変化させ得るものであれば特に限定されないが、いわゆる内拡散法やイオン交換法によって形成された光導波路が好ましく、例えばチタン拡散光導波路、プロトン交換光導波路であってよい。

図２（ａ）の光機能デバイスは、誘電体基板５、および強誘電体薄層１０を備えている。本例では強誘電体薄層１０の厚さは略一定である。強誘電体薄層の表面には所定の電極３Ａ、３Ｂ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。例えばACPSタイプであってよい。また、本例では、隣接する電極３Ａ、３Ｂの間に光導波路９が形成されており，光導波路９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。この光導波路は、平面的に見るといわゆるマッハツェンダー型の光導波路を構成しているが、この平面的パターンそれ自体は周知であるので省略する。強誘電体薄層１０と誘電体基板５との間には接着層を設けることができる。

また、光導波路はリッジ型光導波路であってよい。この光導波路は、強誘電体薄層の表面に直接形成されたリッジ型の光導波路であってよく、強誘電体薄層の表面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い。

リッジ型光導波路は、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、高屈折率膜を強誘電体薄層１０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。

図３はこの例に係る光機能デバイスを示す図である。誘電体基板５上に強誘電体薄層１０が設けられており、強誘電体薄層１０の表面に信号電極３Ａおよび接地電極３Ｂが形成されている。電極３Ａと３Ｂとの間で、強誘電体薄層１０の一部が突出し、リッジ部１１を形成している。本例では、さらにリッジ部１１内に光導波路（コアー）９が設けられている。このような形態の光機能デバイスにおいても、光導波路形成時の拡散条件および強誘電体薄層１０の厚さやリッジ部分の高さＨｒを適宜調整することによって、光導波路９の深さ方向Ｄに見たときに多モード

状態とし、幅方向Wに見たときに単一モード状態とする。このようにリッジ部分１１内にコアー９を形成する場合には、光導波路を伝搬する光スポットの幅方向サイズを小さくでき、駆動電圧低減に有効である。

好適な実施形態においては、リッジ部分の高さをＨｒとし、強誘電体薄層の厚さをＴｓｕｂとしたとき、以下の関係を満足する。

Ｈｒ／Ｔｓｕｂ≦３／４（特に好ましくは２／３）

このようにリッジ部分の高さを強誘電体薄層の厚さに比べて小さく制限することによって、光導波路を伝搬する光スポットが深さ方向に向かって多モード化しやすく、光スポットサイズを小さくしやすい。

また、好適な実施形態においては、電極のギャップをＧとし、強誘電体薄層の厚さをＴｓｕｂとしたとき、以下の関係を満足する。

Ｇ／Ｔｓｕｂ≦２（特に好ましくは１以下）

また、好適な実施形態においては、電極のギャップＧが３０μｍ以下である。Ｇは２５μｍ以下とすることが一層好ましい。

このようにギャップＧを小さくすることによって、光導波路を伝搬する光に印加される電界強度を大きくし、光機能デバイスの駆動電圧を低減することができる。

また、強誘電体薄層の厚さは一般に１００μｍ以下であり、５０μｍ以下とすることが好ましく、４０μｍ以下とすることがさらに好ましく、２５μｍ以下とすることが最も好ましい。また、導波路形状をリッジ構造にする場合、特に強誘電体薄層の厚さは８μｍ以下とすることが好ましく、６μｍ以下とすることがさらに好ましい。このように強誘電体薄層の厚さを小さくすることによって、光導波路形成時の拡散条件や拡散種によるが、深さ方向Ｄへと見たときに多モード化しやすくなる。

特に好適な実施形態においては、強誘電体薄層と同じ材料からなり、厚さ５００μｍの強誘電体基板に光導波路を形成したときに、光導波路

を伝搬する光スポットの直径をＤｙｏとしたとき、以下の関係を満足する。

Ｔｓｕｂ／Ｄｙｏ≦５（特に好ましくは２以下）

すなわち、強誘電体薄層の厚さを５００μｍまで十分に大きくしたときの光スポットの直径をＤｙｏとしたとき、強誘電体薄層の厚さＴｓｕｂがまだ大きいときには単一モード条件を保持している。しかし、Ｔｓｕｂが小さくなると、深さ方向Ｄへと見たときに光が多モード化し、光スポットが小さくなる。

また、特に光導波路へと光の閉じ込めが弱い場合には、Ｔｓｕｂ／Ｄｙｏ≦１となった場合に、この作用効果が発現し易い。

なお、Ｄｙｏは、強誘電体薄層と同じ材質からなる厚さ５００μｍの基板における光導波路のスポットサイズである。これは、測定対象の強誘電体薄層と同じ材質からなる厚さ５００μｍの基板に、測定対象の光導波路と同じ製造条件で光導波路を形成したときのスポットサイズである。一般的には、厚さ５００μｍの基板に光導波路を形成した後、まずその光スポットサイズを測定し、これをＤｙｏとする。次いで光導波路とは反対側から加工して基板を薄くし、強誘電体薄層を形成することができる。

強誘電体薄層の材料は、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、ニオブ酸リチウムー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、ＧａＡｓ及び水晶などを例示することができる。ニオブ酸リチウム単結晶、タンタル酸リチウム単結晶、ニオブ酸リチウムータンタル酸リチウム固溶体単結晶が、特に好ましい。

電極は、低抵抗でインピーダンス特性に優れる材料であれば特に限定

されるものではなく、金、銀、銅などの材料から構成することができる。

電極は、強誘電体薄層の表面側に設けられているが、強誘電体薄層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を介して形成されていてよい。低誘電率層ないしバッファ層は、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、強誘電体薄層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い、光とマイクロ波の速度整合条件を満たすという観点では誘電率が低い材料ほど好ましい。

例えば図４に示す光機能デバイスにおいては、強誘電体薄層１０の表面がバッファ層１２によって被覆されており、バッファ層１２上に電極３Ａ、３Ｂが形成されている。

また、強誘電体薄層１０には溝を形成することもできる。例えば図５に示す光機能デバイスでは、リッジ部分１１の両側に細長い溝１３が形成されている。そして本例では溝１３の深さはリッジ部分の高さＨｒと一致する。このように強誘電体薄層１０内に溝を設けることでリッジ部分の全部あるいは一部を成形した場合には、溝を設けない場合と比べて伝搬光を多モード化させ易い。

また、図６に示すように、強誘電体薄層１０を誘電体基板５に対して接着層１４をを介して接着することができる。接着剤の具体例は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１３×１０$^{-6}$／Ｋ）を例示できる。

また接着用ガラスとしては、低誘電率で接着温度（作業温度）が約６００℃以下のものが好ましい。また、加工の際に十分な接着強度が得ら

れるものが好ましい。具体的には、酸化珪素、酸化鉛、酸化アルミニウム、酸化マグネシウム、酸化カルシウム、酸化ホウ素等の組成を複数組み合わせた、いわゆるはんだガラスが好ましい。

また、強誘電体薄層１０と誘電体基板５との間に接着剤のシートを介在させ、接合することができる。好ましくは、熱硬化性、光硬化性あるいは光増粘性の樹脂接着剤からなるシートを、基板本体４の裏面と保持基板との間に介在させ、シートを硬化させる。このようなシートとしては、３００μｍ以下のフィルム樹脂が適当である。

強誘電体薄層においては、特に好ましくは結晶の分極軸が基板の一方の主面（表面）と略水平である。この場合には、ニオブ酸リチウム単結晶、タンタル酸リチウム単結晶、ニオブ酸リチウムータンタル酸リチウム固溶体単結晶からなるＸ板あるいはＹ板が好ましい。図１～図６には、本発明をＸ板あるいはＹ板に適用した例について示した。

また、他の好適な実施形態においては、強誘電体薄層を構成する結晶の分極軸が基板の一方の主面（表面）と略垂直である。この場合には、ニオブ酸リチウム単結晶、タンタル酸リチウム単結晶、ニオブ酸リチウムータンタル酸リチウム固溶体単結晶からなるＺ板が好ましい。この場合には、例えば図７に示すように、電極の下に光導波路１９を形成する。また、Ｚ板を使用した場合には、光導波路は電極の直下に設ける必要があり、光の伝搬損失を低減するために、基板の表面と電極との間にはバッファ層１８を設けることが好ましい。

誘電体基板５の材質は特に限定されず、石英ガラス等のガラスや重合体がある。好適な実施形態においては、強誘電体薄層１０における熱膨張係数の最小値が誘電体基板５における熱膨張係数の最小値の１／５倍以上であり、かつ強誘電体薄層１０における熱膨張係数の最大値が誘電体基板５における熱膨張係数の最大値の５倍以下である。

ここで、強誘電体薄層１０、誘電体基板５をそれぞれ構成する各電気光学材料に熱膨張係数の異方性がない場合には、強誘電体薄層１０、誘電体基板５において最小の熱膨張係数と最大の熱膨張係数とは一致する。強誘電体薄層１０、誘電体基板５を構成する各電気光学材料に熱膨張係数の異方性がある場合には、各軸ごとに熱膨張係数が変化する場合がある。例えば、強誘電体薄層１０を構成する各電気光学材料がニオブ酸リチウムである場合には、Ｘ軸方向、Ｙ軸方向の熱膨張係数が１６×１０$^{-6}$／℃であり、これが最大値となる。Ｚ軸方向の熱膨張係数が５×１０$^{-6}$／℃であり、これが最小値となる。従って、誘電体基板５の熱膨張係数の最小値は１×１０$^{-6}$／℃以上とし、強誘電体薄層１０の熱膨張係数の最大値は８０×１０$^{-6}$／℃以下とする。なお、例えば石英ガラスの熱膨張係数は０．５×１０$^{-6}$／℃であり、例えば１×１０$^{-6}$／℃未満である。

この観点からは、誘電体基板５の熱膨張係数の最小値を、強誘電体薄層１０における熱膨張係数の最小値の１／２倍以上とすることが更に好ましい。また、誘電体基板５の熱膨張係数の最大値を、強誘電体薄層１０の熱膨張係数の最大値の２倍以下とすることが更に好ましい。

誘電体基板５の具体的材質は、上記の条件を満足する限り、特に限定されず，ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ニオブ酸リチウムータンタル酸リチウム固溶体、ニオブ酸カリウムリチウムなどを例示することができる。この場合、熱膨張差の観点では、強誘電体薄層と誘電体基板とを同じ材質とすることが好ましく、ニオブ酸リチウム単結晶が特に好ましい。

光機能デバイスの機能は限定されないが、光変調器が好ましい。光変調器以外の機能として、光スイッチ、偏波ローテーター、電界あるいは磁界センサー等、強誘電体の電気光学効果を利用したあらゆる光機能デ

バイスに適用できる。

実施例

（実験１）

図２（ａ）に示すような光変調器１を製造する。具体的には、Ｘカットした３インチウエハー（$LiNbO_3$単結晶）からなる基板を使用し、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、ウエハーの表面にマッハツェンダー型の光導波路３を形成する。拡散時のチタン層の厚さＴｔｉは、０．０８μｍとし、幅Ｗｔｉは７μｍとして従来例より光閉じ込めを弱い状態にした。またチタン拡散時の処理温度は１０５０℃とした。

次いで、メッキプロセスにより、ＣＰＷ電極を形成する。信号電極３Ｂと接地電極３Ａとのギャップ Ｇを４０，３０，２５，２０，１５，１０，５，２μｍとし、電極長を３５ｍｍとする。次に薄型研磨のために研磨定盤に研磨ダミー基板を貼り付け、その上に変調器基板を電極面を下にして熱可塑性樹脂で貼り付ける。さらに、横型研磨およびポリッシング（ＣＭＰ）にて、図８に示すような種々の厚さ（２～１５μｍ）となるまで強誘電体薄層１０を薄型加工する。その後、平板状の誘電体基板５を強誘電体薄層１０に接着固定し、光ファイバの接続部を端面研磨し、ダイシングにてチップ切断する。接着固定用の樹脂は、樹脂厚５０μｍのエポキシ樹脂フィルムを使用した。チップの幅および補強基板を含めたトータルの厚みは、それぞれ４．４ｍｍと１ｍｍとした。入力側には１．５５μｍ帯パンダファイバを保持した単芯ファイバーアレイを、出力側にはシングルモードファイバを保持した単芯ファイバアレイを進行波形光変調器チップに結合し、光ファイバーと光導波路とを調芯し、紫外線硬化型樹脂によって接着する。

また、図１（ａ）～（ｃ）に示すような各光変調器を作製した。ただし、強誘電体基板の材質やチタンの拡散方法は上記と同様とした。強誘電体基板１、５の厚さは５００μｍとした。ここで、強誘電体基板の非拡散部での屈折率はNfs＝2.137であった。

各光変調デバイスについて、電極間ギャップＧと駆動電圧Ｖπ・Ｌとの関係を図８に示す。ここで、図１（ｃ）および基板厚さＴｓｕｂが１５μｍ以下のデバイスでは、サンプル製作途中での基板厚が５００μｍの時、伝搬光の深さ方向のスポット径Dyoは約４μｍ、光導波路の等価屈折率 Neff は Neff＝2.143－2.141（強誘電体層の非拡散部での屈折率Nfs＝2.137）であった。図１（ａ）、図１（ｂ）、図１（ｃ）のデバイスにおいては、深さ方向Ｄおよび幅方向Ｗのいずれにおいても、伝搬光は単一モードである。これに対して、基板厚さＴｓｕｂが２０μｍ以下の例では、深さ方向Ｄおよび幅方向Ｗにおいて伝搬光は多モード化していた。この結果として、光スポットサイズの縮小効果によって、駆動電圧が全般的に低下するとともに、Ｔｓｕｂが８μｍ以下の例では、等価屈折率 Neff は Neff＝2.140 以下になり、Ｇの減少に対して駆動電圧が鋭敏に反応し、大きく低下することが判明した。

Ｔｓｕｂが５μｍ以下の例では、等価屈折率 Neff は Neff＝2.137 以下になり、駆動電圧が更に大きく低下する。

（実験２）

実験１と同様にして、図９の各例に示す条件で、図２（ａ）の光変調デバイスを作製した。ただし、チタン拡散時のチタン層の厚さＴｔｉを０．０６μｍとし、幅Ｗｔｉを５μｍとした。強誘電体薄層の厚さ Tsub は、５００μｍ以外は１５～２μｍで変更した。電極間ギャップＧと駆動電圧Ｖπ・Ｌとの関係を図９に示す。本例では、チタン拡散時のチタン量が実験１の例よりも少なく、このために光の閉じ込めが相対的に弱

い。

基板厚さ５００μｍの場合には、伝搬光の深さ方向のスポット径 Dyo は約１００μｍであり、光導波路の等価屈折率 Neff は Neff＝2.1371 で、強誘電体層の非拡散部での屈折率 Nfs＝2.137 より僅かに大きく、深さ方向Ｄ、幅方向Ｗともに伝搬光は単一モードであった。これに対して、基板厚さＴｓｕｂが１５μｍ以下の例では、Neff＝2.137 もしくはそれ以下（Ｔｓｕｂが６μｍのとき、Neff＝2.135）で、深さ方向Ｄにおいて伝搬光は多モード化し、幅方向Ｗにおいて伝搬光は単一モード化していた。この結果として、駆動電圧が全般的に低下するとともに、光スポットサイズの縮小効果によって、Ｇの減少に対して駆動電圧が鋭敏に反応し、大きく低下することが判明した。

（実験３）

実験１と同様にして、図１０の各例に示す条件で、図２（ａ）の光変調デバイスを作製した。ただし、チタン拡散時のチタン層の厚さＴｔｉおよび幅Ｗｔｉは、図１０に示すように変更した。幅方向Ｗに見た光スポットサイズと基板厚さＴｓｕｂとの関係を図１０に示し、深さ方向Ｄに見た光スポットサイズと基板厚さＴｓｕｂとの関係を図１１に示す。

Ｔｔｉ＝０．０８μｍ、Ｗｔｉ＝７μｍの場合には、Tsub＝５００μｍのとき Dyo が４μｍ，Neff＝２．１４１であり、Ｔｓｕｂが２０μｍ以上では光スポットサイズはほとんど変化していないが、１０μｍ以下で Neff＝２．１４１以下に、Tsub＝４μｍ以下で Neff＝２．１３７以下になり光スポットサイズが深さ方向で特に顕著に減少する。Ｔｔｉ＝０．０６μｍ、Ｗｔｉ＝５μｍの場合（Tsub＝５００μｍのとき Neff＝２．１３７１，Dyo＝１００μｍ）には、幅方向Ｗではすべて単一モードであり、深さ方向ＤではＴｓｕｂ＝２００μｍ以下で Neff＝２．１３７以下になり多モードである。ただし、Ｔｓｕｂ＝１００μｍ以上で

は、横・深さ方向のスポット径が大きく、実用性が低い。

Ｔｔｉ＝０．０５μｍ、Ｗｔｉ＝４μｍの場合（Dyo＝約５００μｍ：横方向Ｗでの閉じ込めがないカットオフ状態）には、Ｔｓｕｂが１００μｍ以下でNeff＝２．１３６以下になり光スポットサイズが大きく低下する。ただし、Tsub１００μｍ以上では横方向Ｗでの閉じ込めがないカットオフ状態のために、デバイスとして実質的には機能しない。

（実験４）

実験１と同様にして、図１２の各例に示す条件で、図２（ａ）の光変調デバイスを作製した。ただし、チタン拡散時のチタン層の厚さＴｔｉ、幅Ｗｔｉは、図１２に示すように変更した。幅方向Ｗに見た光スポットサイズと基板厚さＴｓｕｂとの関係を図１２に示し、深さ方向Ｄに見た光スポットサイズと基板厚さＴｓｕｂとの関係を図１３に示す。

Ｔｔｉ＝０．０８μｍ、Ｗｔｉ＝３μｍの場合には、Dyo＝約５００μｍ（：カットオフ状態）である。この場合、Ｔｓｕｂ＝５０μｍ以上ではカットオフ状態になり、デバイスとして実質的には機能しない。Ｔｓｕｂ＝４０μｍ以下で横方向Ｗでの閉じ込め効果が現れ、その時の等価屈折率Neffは Neff＝2.137 以下で、幅方向Ｗではすべて単一モードで、深さ方向ＤではＴｓｕｂ５００μｍ以下で多モードである。Ｔｔｉ＝０．０８μｍ、Ｗｔｉ＝５μｍの場合（Tsub＝５００μｍのとき Neff＝２．１３８，Dyo＝９μｍ）には、幅方向ＷではＴｓｕｂ＝１２μｍ以下でNeff＝２．１３８以下になり多モード化し、深さ方向ＤではＴｓｕｂ＝４０μｍ以下で多モードである。Ｔｔｉ＝０．０８μｍ、Ｗｔｉ＝７μｍの場合（Tsub＝５００μｍのとき Neff＝２．１４１，Dyo＝４μｍ）には、幅方向ＷではＴｓｕｂ＝２０μｍ以下で Neff＝２．１４以下になり多モード化し、深さ方向ＤではＴｓｕｂ＝２０μｍ以下で多モード化している。

（実験５）

実験１と同様にして、図１４の各例に示す条件で、図２（ａ）の光変調デバイスを作製した。ただし、チタン拡散時のチタン層の厚さＴｔｉ、幅Ｗｔｉは、図１４に示すように変更した。幅方向Ｗに見た光スポットサイズと基板厚さＴｓｕｂとの関係を図１４に示し、深さ方向Ｄに見た光スポットサイズと基板厚さＴｓｕｂとの関係を図１５に示す。

Ｔｔｉ＝０．０６μｍ、Ｗｔｉ＝３μｍの場合（Dyo＝５００μｍ（：カットオフ状態））、Ｔｓｕｂ＝５０μｍ以上ではカットオフ状態になり、デバイスとして実質的には機能しない。Ｔｓｕｂ４０μｍ以下では、Neff＝２．１３７以下となり幅方向Ｗではすべて単一モードであり、深さ方向ＤではＴｓｕｂ５００μｍ以下で多モードである。Ｔｔｉ＝０．０６μｍ、Ｗｔｉ＝６μｍの場合（Ｔsub＝５００μｍのとき Neff＝２．１３７３，Dyo＝２５μｍ）、幅方向Ｗではすべて単一モードであり、深さ方向ＤではＴｓｕｂが１００μｍ以下で Neff＝２．１３７以下になり多モード化し、光スポットサイズが大きく低下する。Ｔｔｉ＝０．０６μｍ、Ｗｔｉ＝７μｍの場合（Ｔsub＝５００μｍのとき Neff＝２．１３８，Dyo＝９μｍ）には、幅方向ＷではＴｓｕｂ＝１２μｍ以下で Neff＝２．１３８以下になり多モード化し、深さ方向ＤではＴｓｕｂ＝４０μｍ以下で多モード化している。

（実験６）

実験１と同様にして、図１６の各例に示す条件で、図３の光変調デバイスを作製した。ただし、チタン拡散時のチタン層の厚さＴｔｉは０．０６μｍとし、幅Ｗｔｉは５μｍとし、強誘電体薄層１０の厚さＴｓｕｂは６μｍとし、電極ギャップ幅Ｇは２０μｍ（Ｇ／Tsub＝１０／３）とする。リッジ部分１１は機械加工法とレーザアブレーション法によって形成する。リッジ幅Ｗｒと駆動電圧Ｖπ・Ｌとの関係を図１６に示す。

なお、図中のデバイスは、いずれも深さ方向Ｄでは多モード化している事を確認している。

図１６からわかるように、リッジ形状を採る事で駆動電圧低減効果が見られるが、リッジ高さＨｒが大きくなると駆動電圧が増大する傾向が見られた。

（実験７）

実験６と同様にして、図１７の各例に示す条件で、図３の光変調デバイスを作製した。チタン拡散時のチタン層の厚さＴｔｉは０．０６μｍとし、幅Ｗｔｉは５μｍとし、強誘電体薄層１０の厚さＴｓｕｂは６μｍとし、電極ギャップ幅Ｇは１０μｍ（Ｇ／Tsub＝５／３）とする。リッジ幅Ｗｒと駆動電圧Ｖπ・Ｌとの関係を図１７に示す。図中のデバイスは、いずれも深さ方向Ｄでは多モード化している。

図１７からわかるように、リッジ高さＨｒが４．５μｍ以下で駆動電圧が低減する傾向があり、Ｈｒが１．５μｍのときに最も低下する。

（実験８）

実験６と同様にして、図１８の各例に示す条件で、図３の光変調デバイスを作製した。チタン拡散時のチタン層の厚さＴｔｉは０．０６μｍとし、幅Ｗｔｉは５μｍとし、強誘電体薄層１０の厚さＴｓｕｂは６μｍとし、電極ギャップ幅Ｇは５μｍ（Ｇ／Tsub＝５／６）とする。リッジ幅Ｗｒと駆動電圧Ｖπ・Ｌとの関係を図１８に示す。図中のデバイスは、いずれも深さ方向Ｄでは多モード化している。

図１８からわかるように、電極ギャップ幅Ｇ＝２０，１０μｍ（図１６，１７）の場合と比較して、特に、リッジ高さＨｒが４．５μｍ以下のときにいずれも顕著な駆動電圧低減効果が発現し、特にＨｒが４．５もしくは３μｍのときに最も低下する傾向が見られた。

（実験９）

実験６と同様にして、図１９の各例に示す条件で、図３の光変調デバイスを作製した。ただし、チタン拡散時のチタン層の厚さＴｔｉは０．０６μｍとし、幅Ｗｔｉは５μｍとし、リッジ幅Ｗｒは８，６，４，１．６μｍ、リッジ高さＨｒは１，２，３，３．５，４．５，６μｍとし、強誘電体薄層１０の厚さＴｓｕｂ、電極ギャップ幅Ｇを変更する。電極間ギャップＧと駆動電圧Ｖπ・Ｌとの関係を図１９に示す。この場合、図中のデバイスは、いずれも深さ方向Ｄでは多モード化している事を確認している。

図１９からわかるように、リッジ形状をとり、基板厚さＴｓｕｂが６μｍ以下と小さく、Hr／Tsub≦３／４，Ｇ／Ｔsub≦２の構造をとると、駆動電圧はＧにほぼ比例して減少し、駆動電圧が著しく低下した。特に電極間ギャップＧ＝１０μｍ以下の領域でこの傾向が顕著であった。

請求の範囲

1． 誘電体基板、この誘電体基板上に配置され、電気光学効果を有する材質からなる強誘電体薄層、およびこの強誘電体薄層上に配置された電極を備えている光機能デバイスであって、

前記強誘電体薄層の一部を光導波路のコアーとして機能させ、前記誘電体基板を光導波路のクラッドとして機能させ、この光導波路が前記強誘電体薄層の深さ方向において多モード導波路として構成され、横方向において単一もしくは多モード導波路として構成されていることを特徴とする、光機能デバイス。

2． 前記光導波路が不純物の拡散によって形成されていることを特徴とする、請求項1記載のデバイス。

3． 前記強誘電体薄層にリッジ部分が形成されており、このリッジ部分の一部を前記光導波路のコアーとして機能させることを特徴とする、請求項1または2記載のデバイス。

4． 前記リッジ部分の高さをＨｒとし、前記強誘電体薄層の厚さをＴｓｕｂとしたとき、以下の関係を満足す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デバイス。

$$Hr/Tsub \leqq 3/4$$

5． 前記電極のギャップをＧとし、前記強誘電体薄層の厚さをＴｓｕｂとしたとき、以下の関係を満足す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デバイス。

$$G/Tsub \leqq 2$$

6． 前記強誘電体薄層の厚さが４０μｍ以下であることを特徴とする、請求項1～5のいずれか一つの請求項に記載のデバイス。

7． 前記強誘電体薄層の厚さをＴｓｕｂとし、前記強誘電体薄層と

同じ材料からなり、厚さ５００μｍの強誘電体基板に前記光導波路を形成したときに前記光導波路を伝搬する光スポットの直径をＤｙｏとしたとき、以下の関係を満足す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デバイス。

$$Tsub/Dyo \leqq 5$$

８．前記電極のギャップＧが３０μｍ以下であることを特徴とする、請求項１～７のいずれか一つの請求項に記載のデバイス。

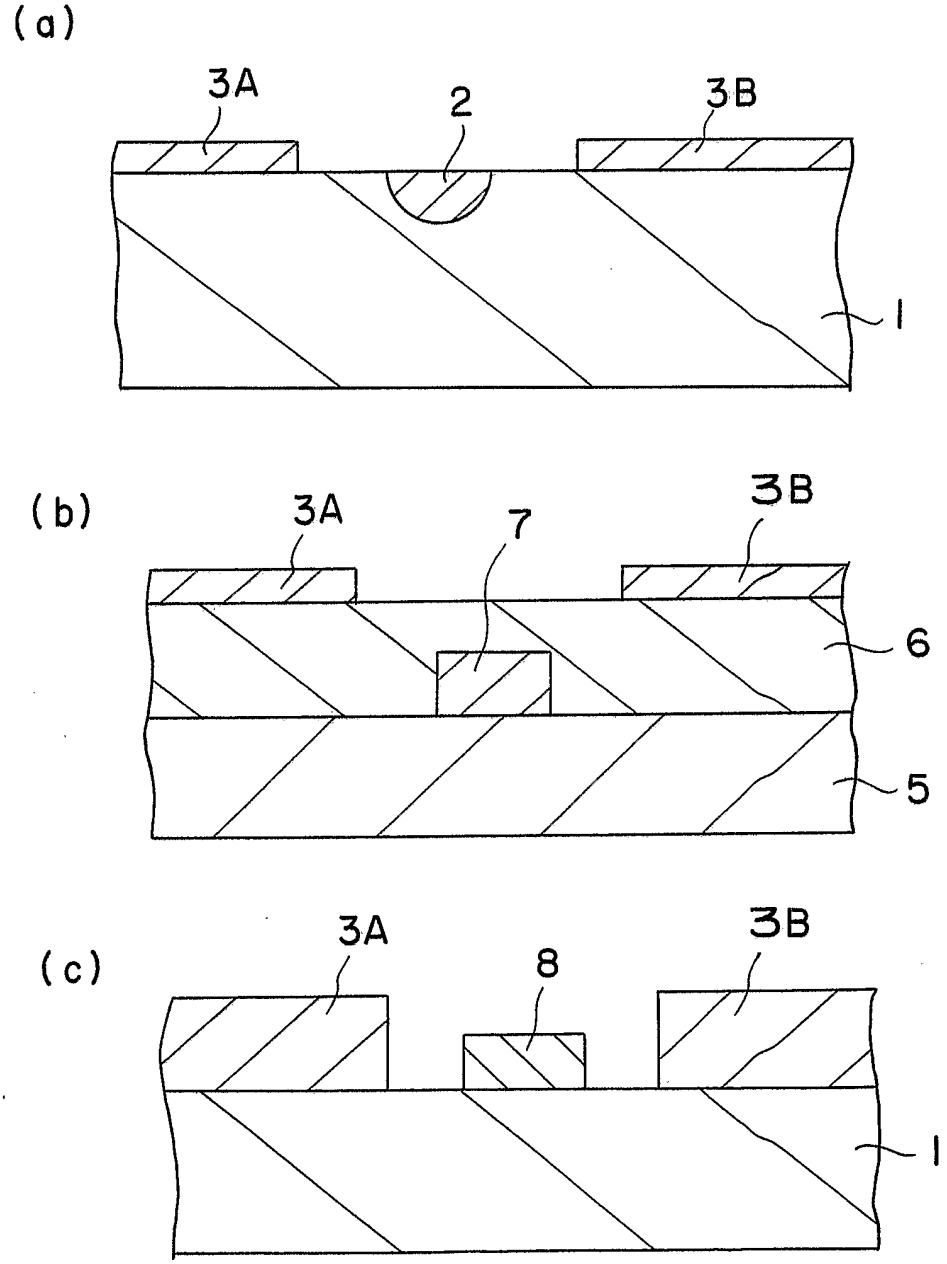
９．前記光導波路が前記強誘電体薄層の幅方向において単一モード条件を満足することを特徴とする、請求項１～８のいずれか一つの請求項に記載のデバイス。

１０．前記誘電体基板と前記強誘電体薄層との間に設けられた接着層を備えてい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デバイス。

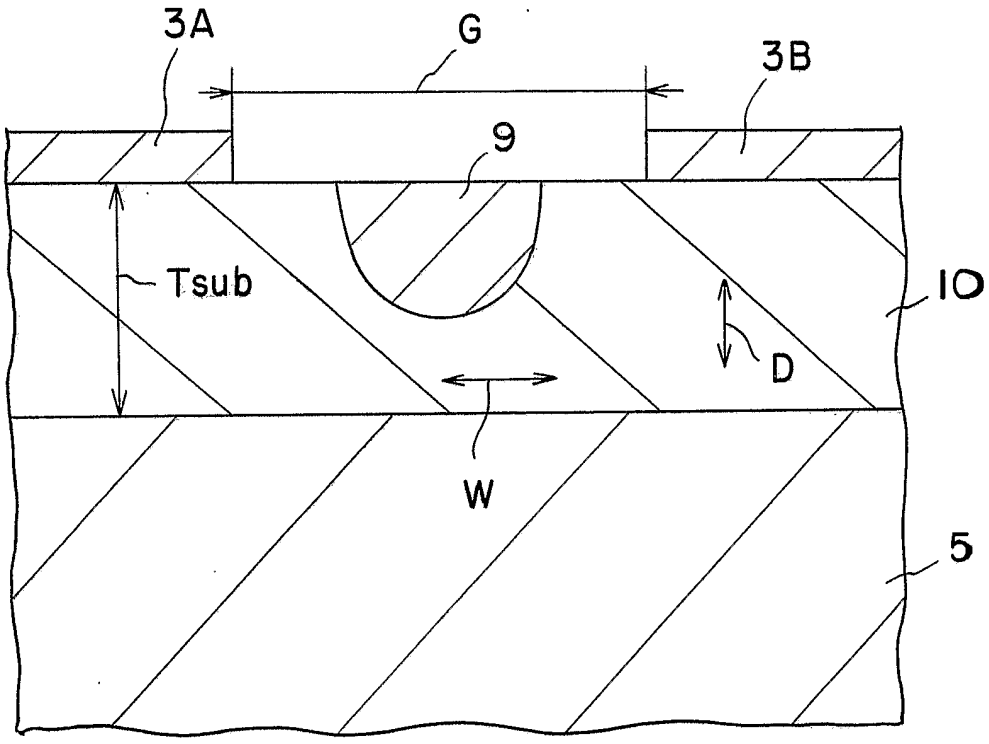
１１．前記誘電体基板における熱膨張係数の最小値が前記強誘電体薄層における熱膨張係数の最小値の１／５倍以上であり、かつ前記誘電体基板における熱膨張係数の最大値が前記強誘電体薄層における熱膨張係数の最大値の５倍以下であることを特徴とする、請求項１～１０のいずれか一つの請求項に記載のデバイス。

１２．前記誘電体基板と前記強誘電体薄層とが同じ材質からなることを特徴とする、請求項１１記載のデバイス。

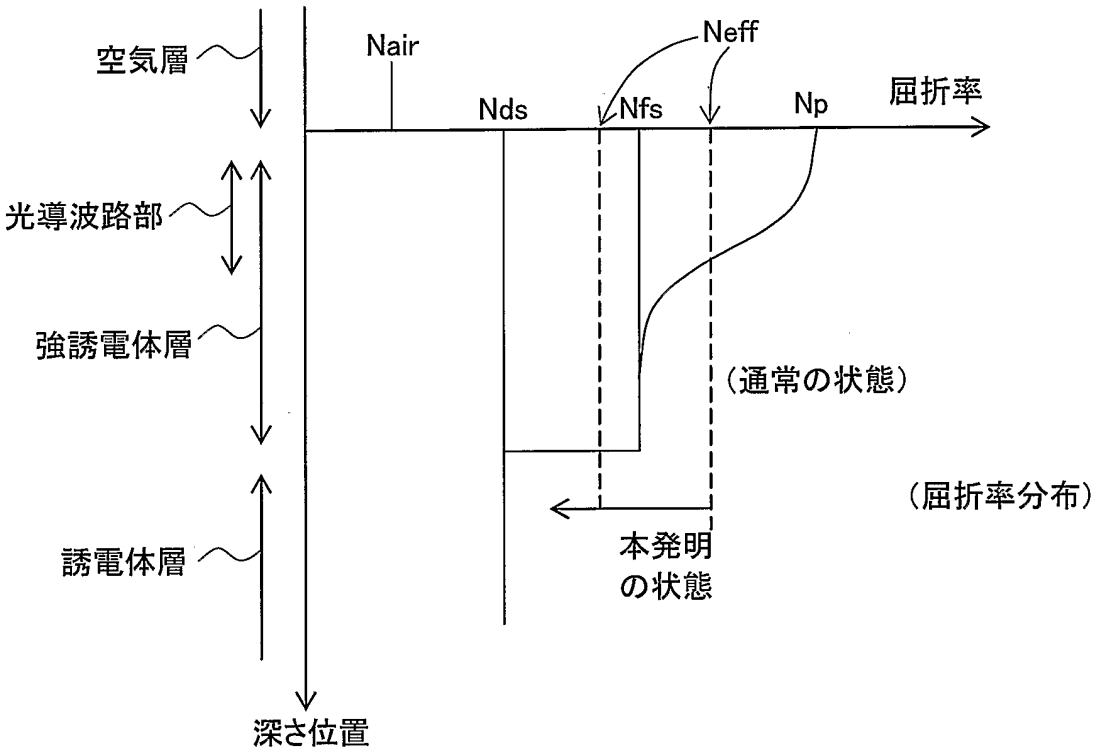
第１図



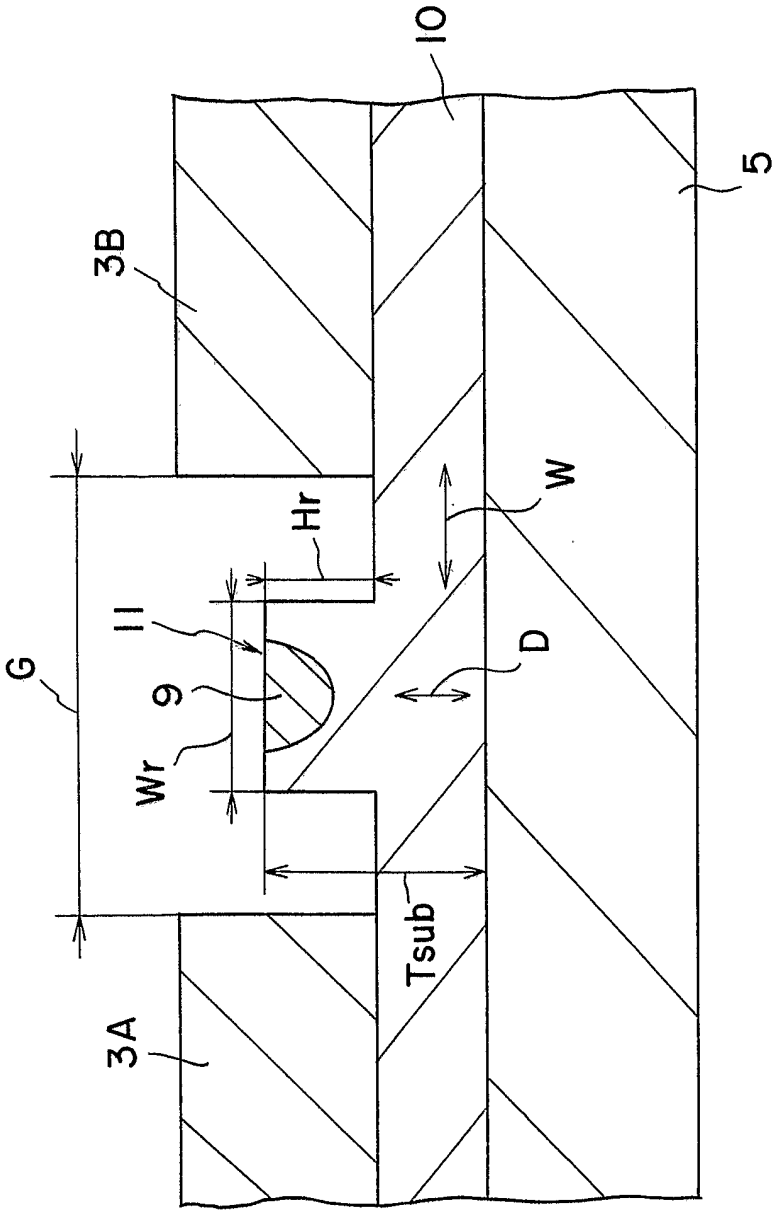
第 2(a)図



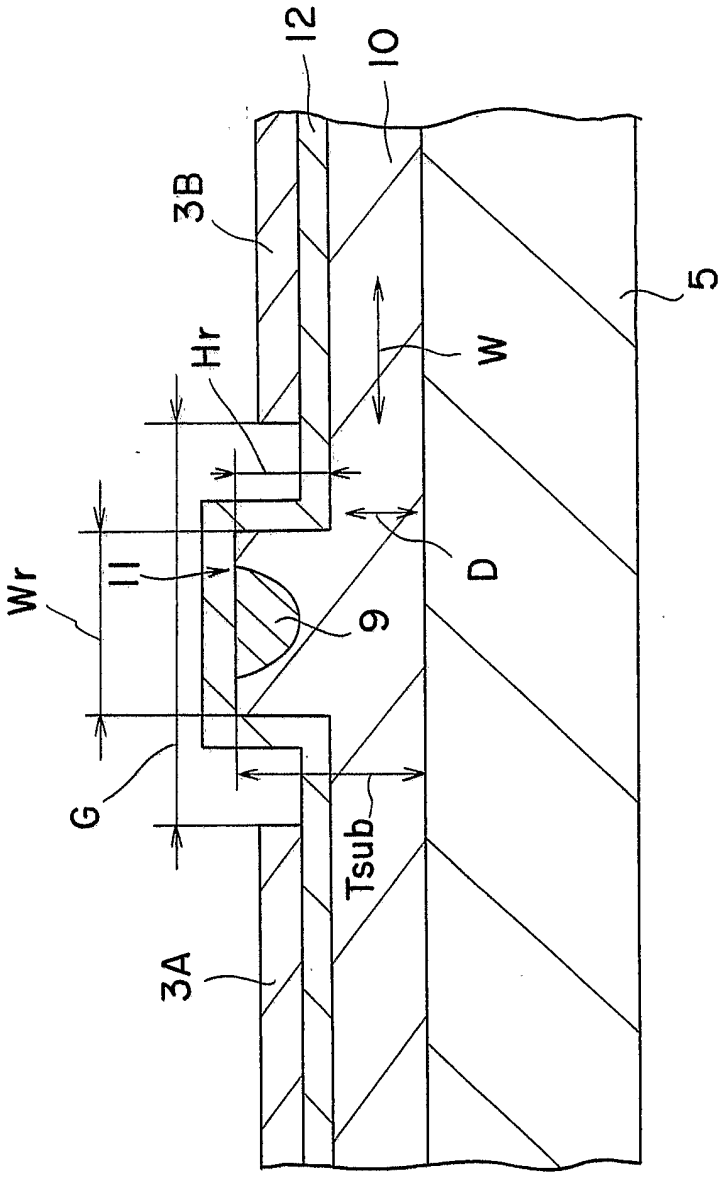
第 2(b)図


空気層
光導波路部
強誘電体層
誘電体層
深さ位置
Nair
Nds
Neff
Nfs
Np
屈折率
(通常の状態)
本発明
の状態
(屈折率分布)

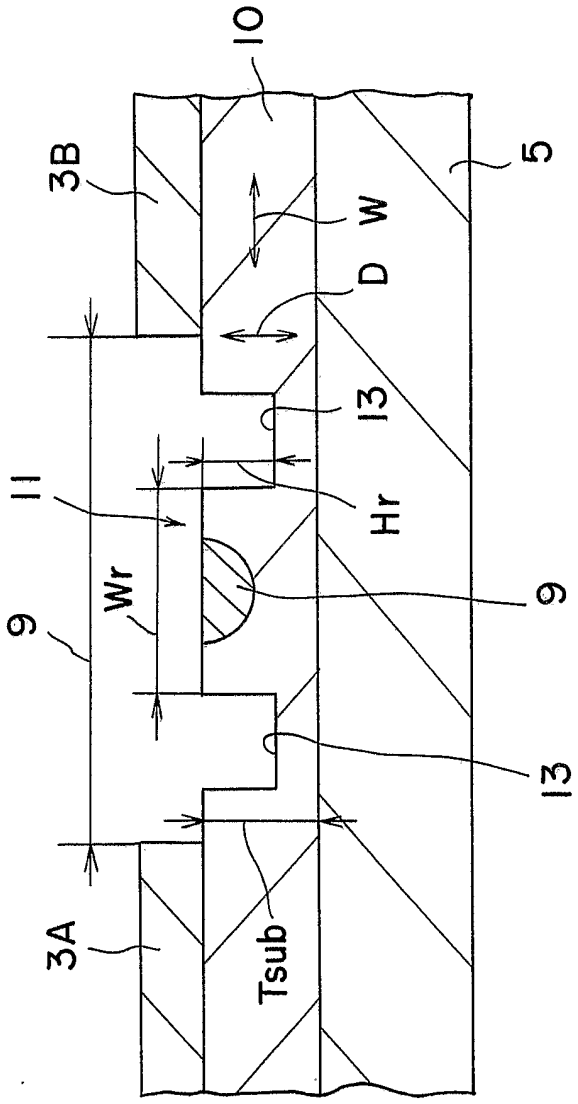
第 3 図



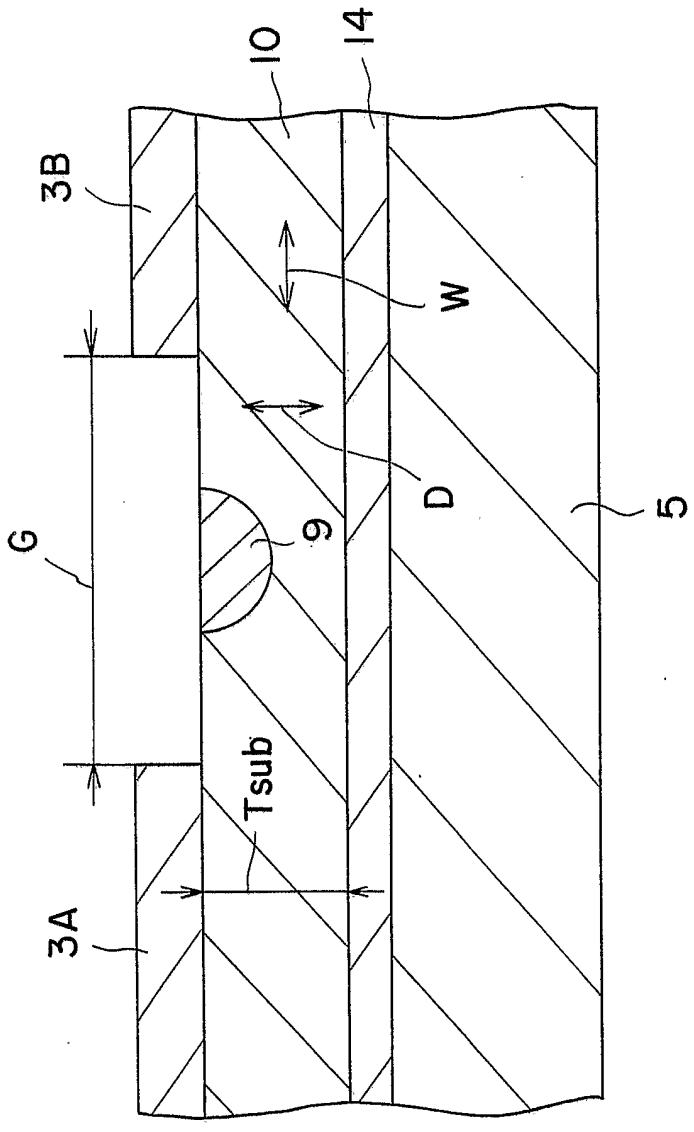
第 4 図



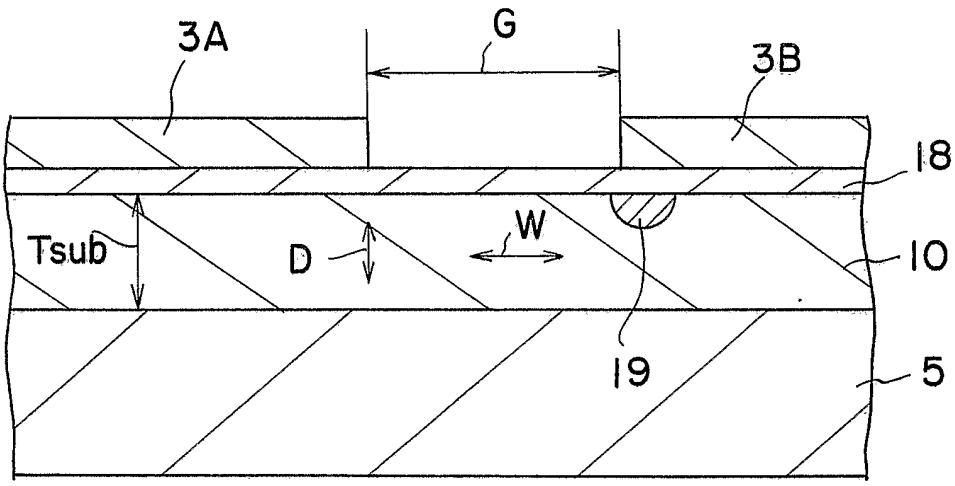
第５図



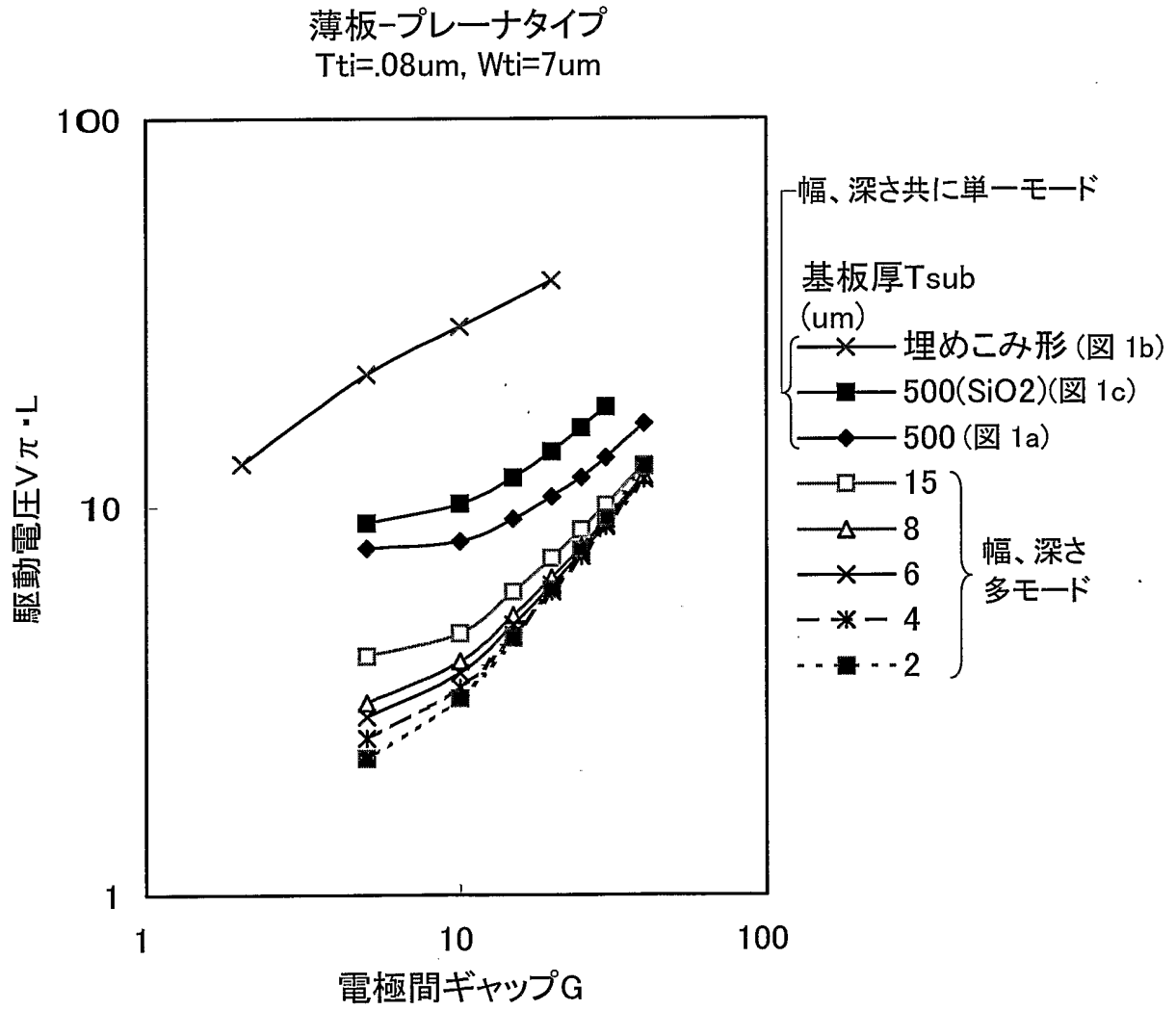
第 6 図



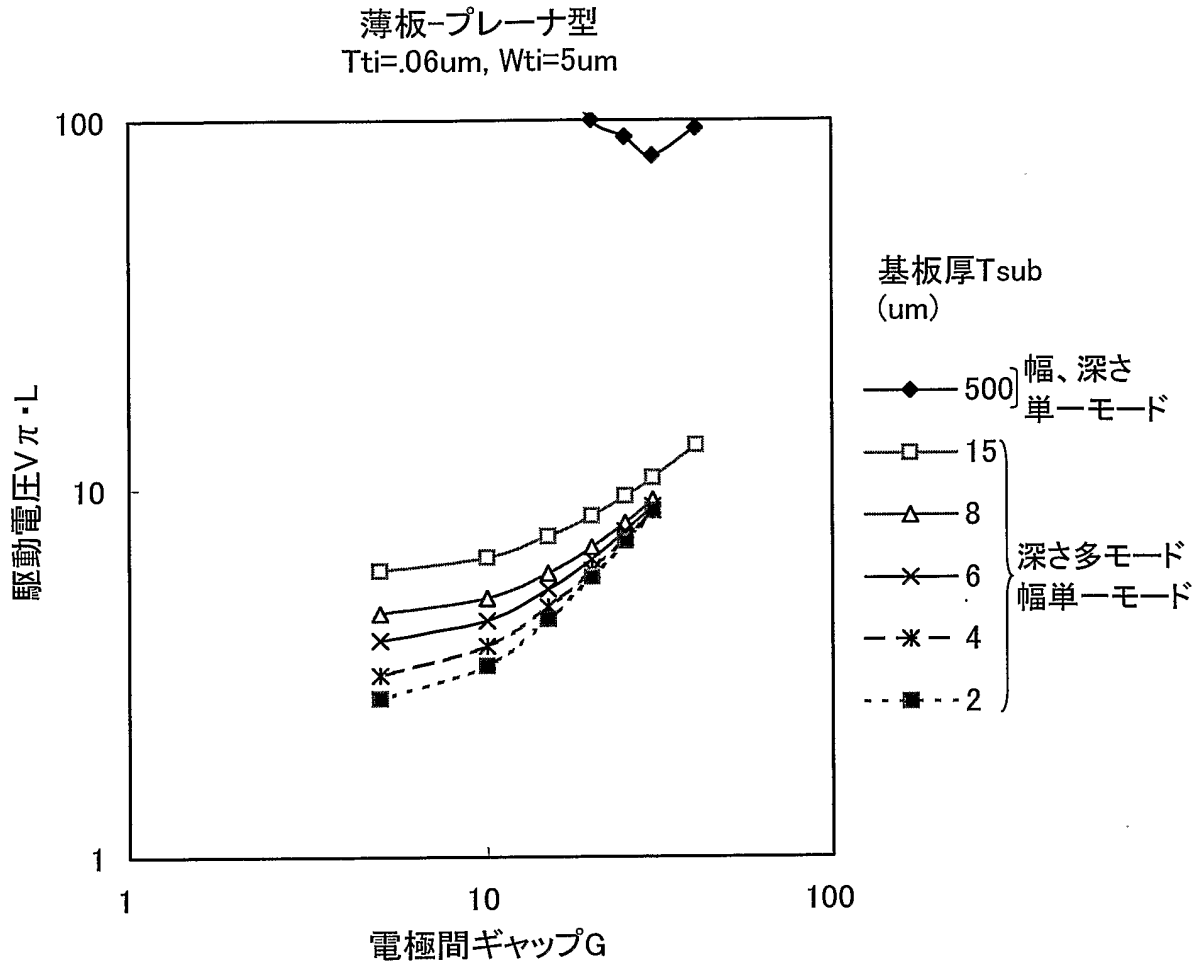
第７図



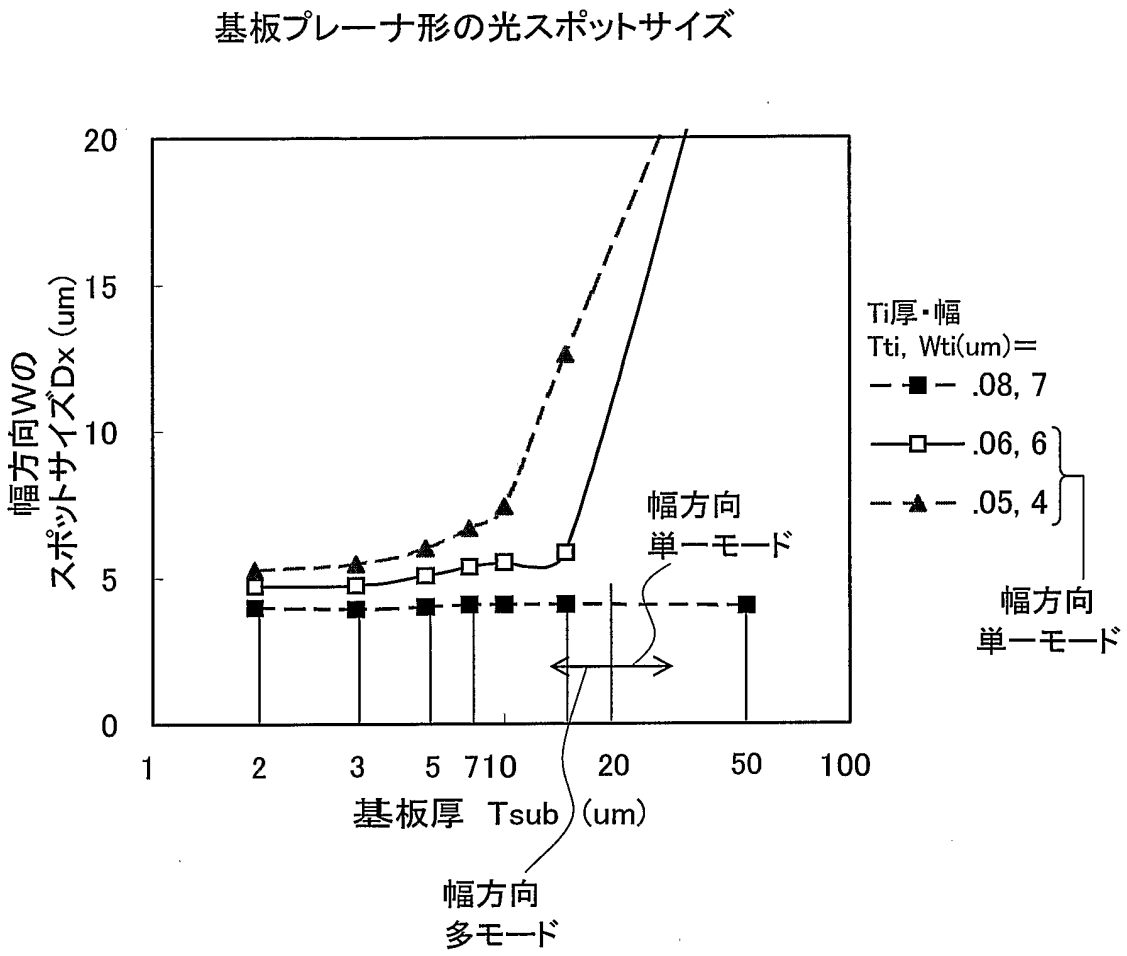
第 8 図


薄板-プレーナタイプ
Tti=.08um, Wti=7um
100
10
1
1
10
100
駆動電圧Vπ・L
電極間ギャップG
幅、深さ共に単一モード
基板厚Tsub
(um)
埋めこみ形 (図 1b)
500(SiO2)(図 1c)
500 (図 1a)
15
8
6
4
2
幅、深さ
多モード

第 9 図

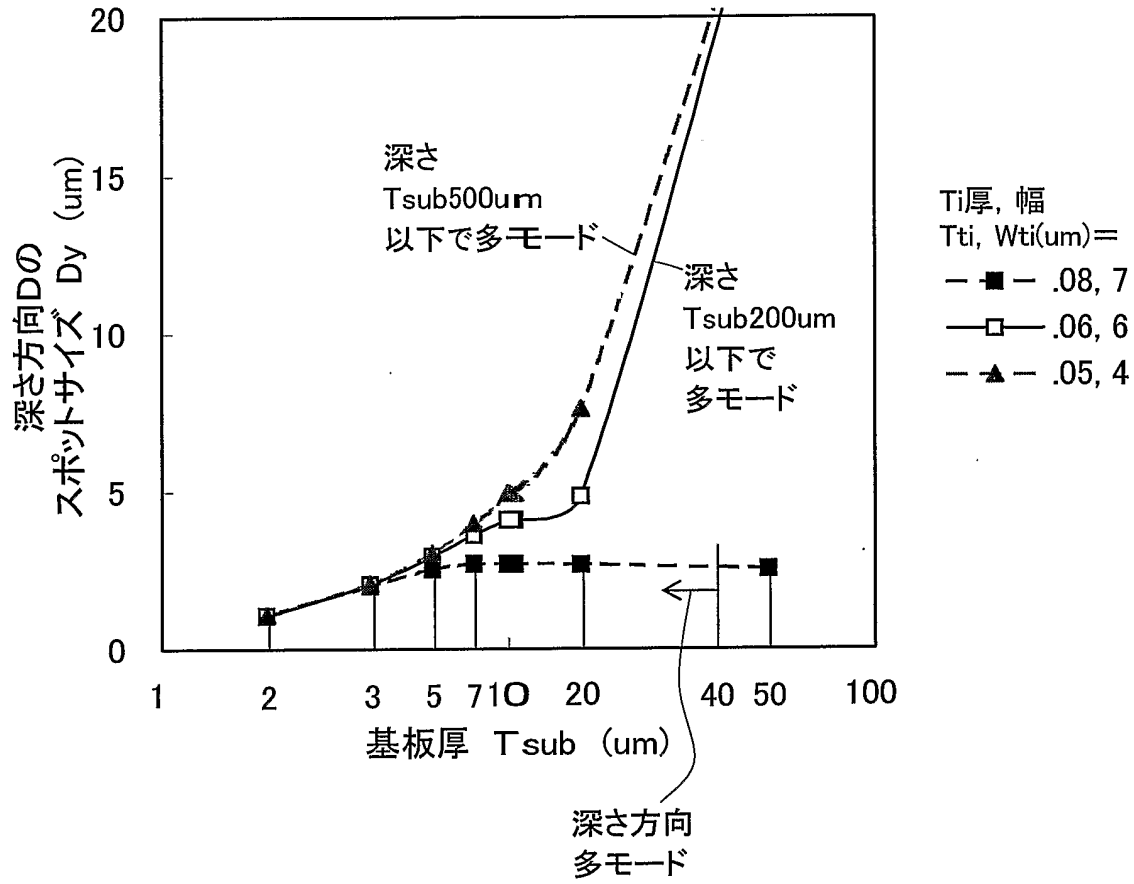

薄板−プレーナ型
Tti=.06um, Wti=5um
駆動電圧Vπ・L
100
10
1
1
10
100
電極間ギャップG
基板厚Tsub
(um)
500
15
8
6
4
2
幅、深さ
単一モード
深さ多モード
幅単一モード

第 10 図

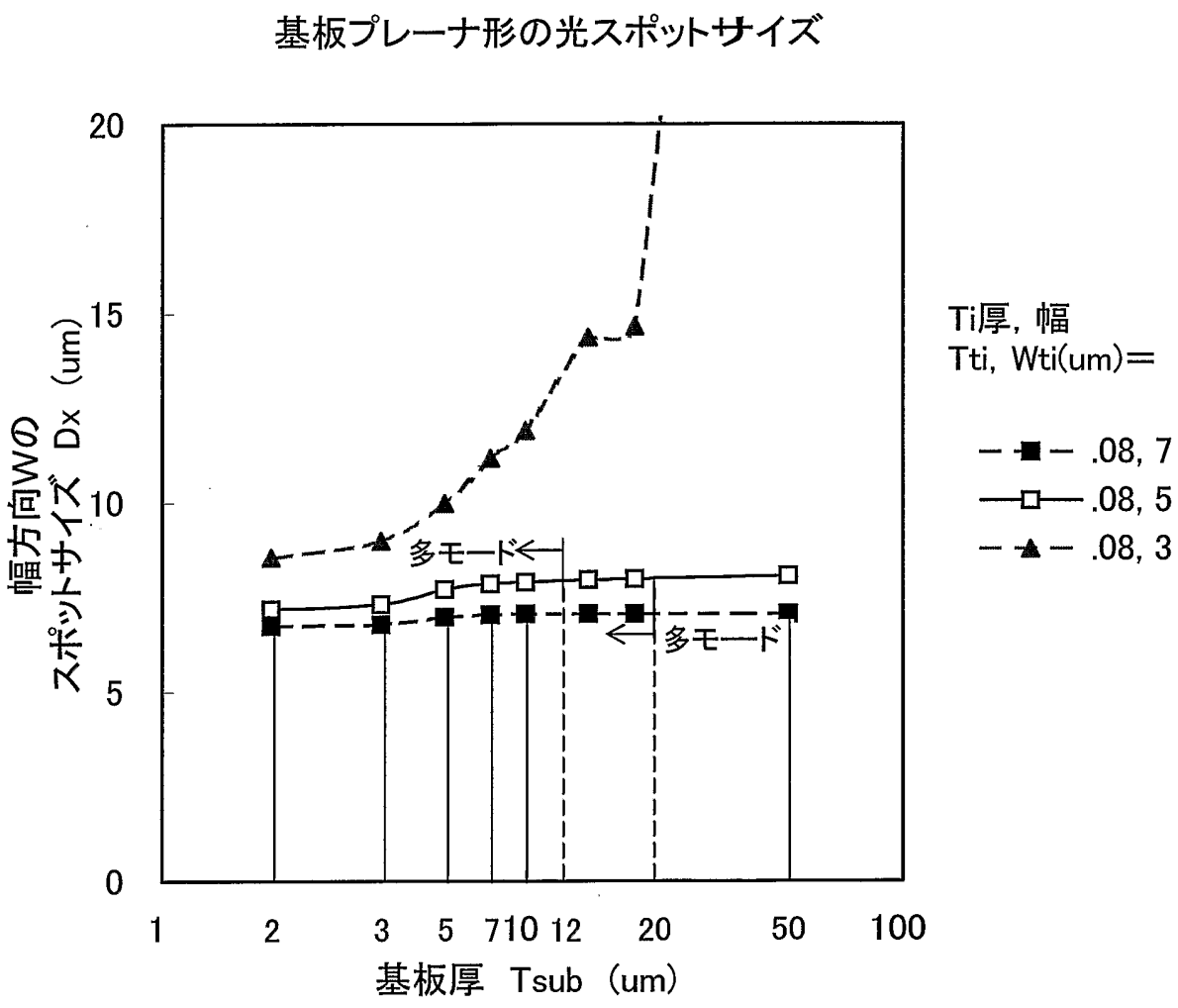

基板プレーナ形の光スポットサイズ
20
15
10
5
0
幅方向Wの
スポットサイズDx (um)
1
2
3
5
7
10
20
50
100
基板厚 Tsub (um)
Ti厚・幅
Tti, Wti(um)=
.08, 7
.06, 6
.05, 4
幅方向
単一モード
幅方向
単一モード
幅方向
多モード

第 11 図

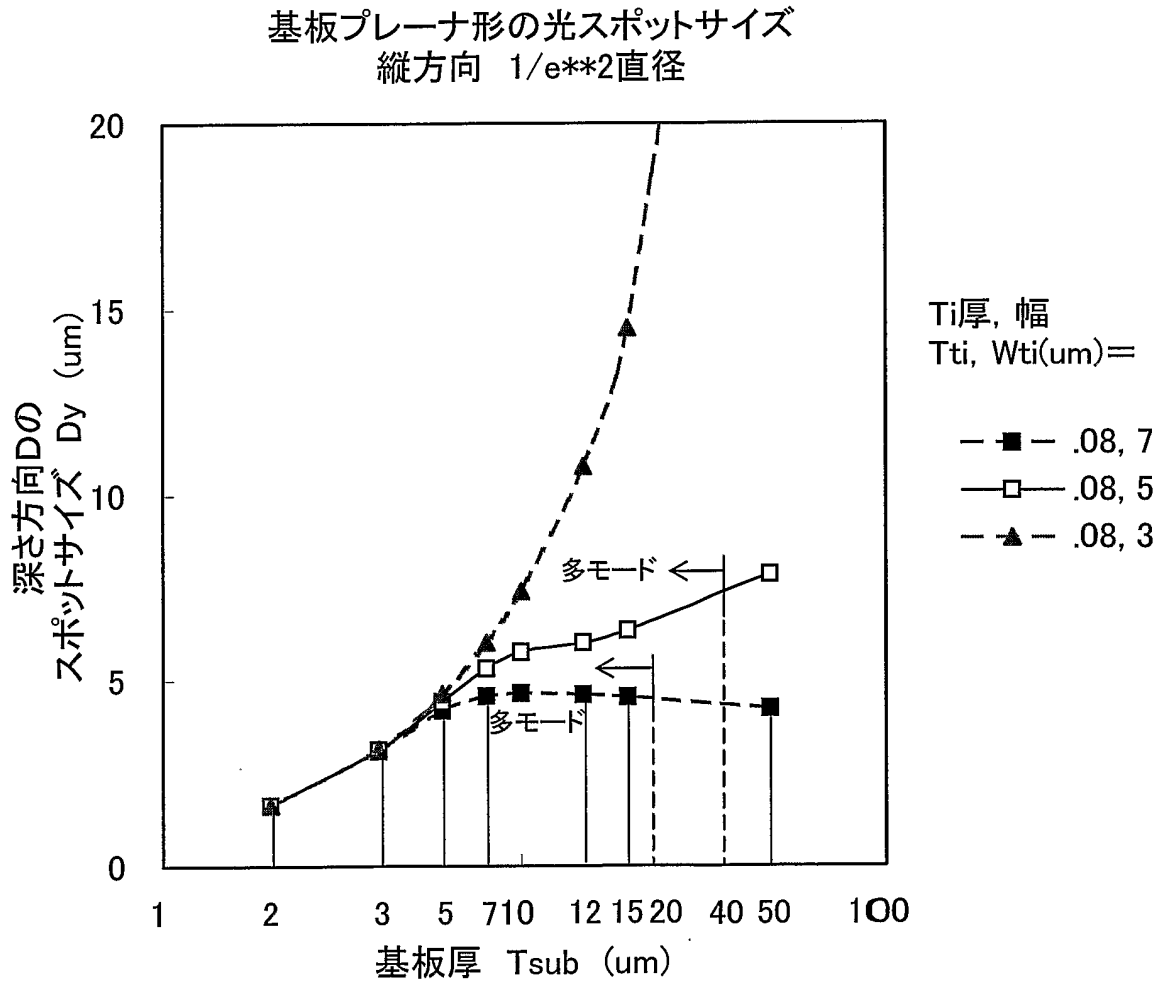
基板プレーナ形の光スポットサイズ



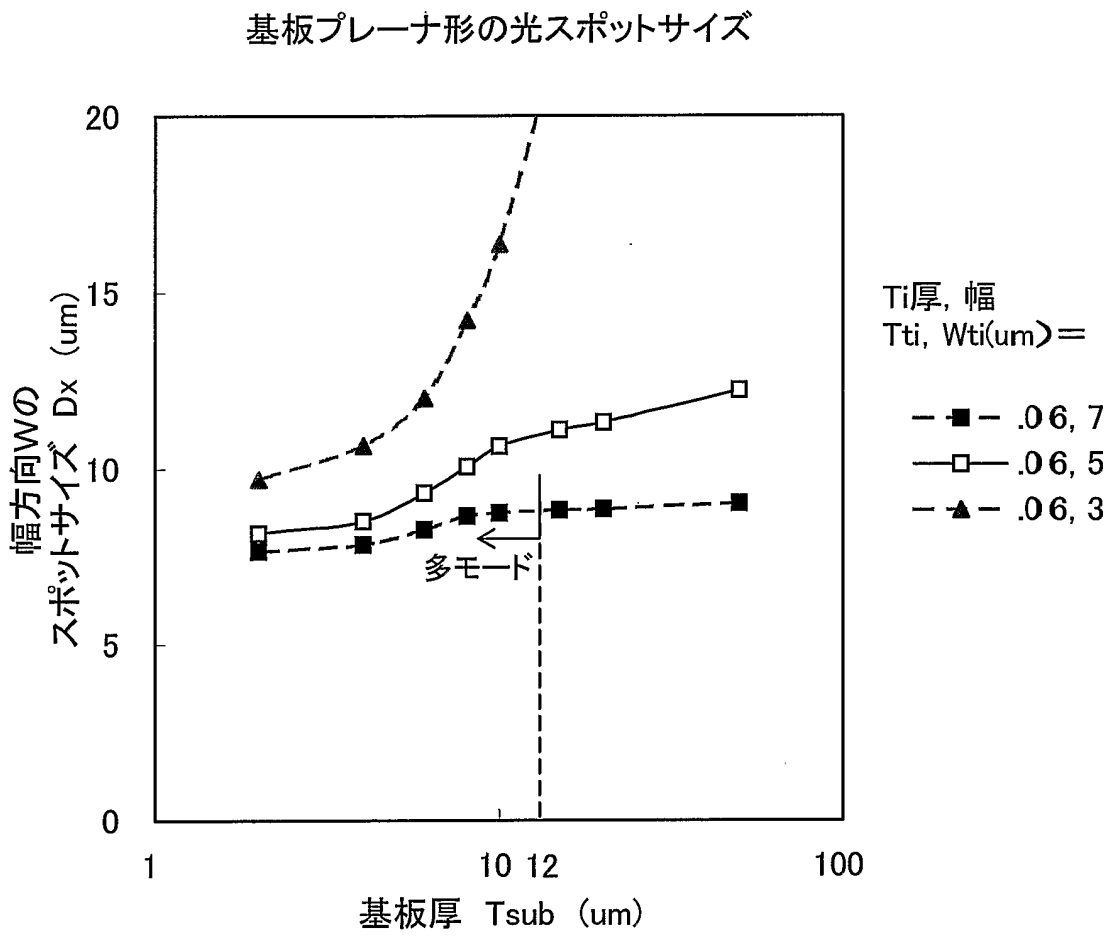
第 12 図


基板プレーナ形の光スポットサイズ
幅方向Wの
スポットサイズ Dx (um)
20
15
10
5
0
1
2
3
5
7
10
12
20
50
100
基板厚 Tsub (um)
多モード
多モード
Ti厚, 幅
Tti, Wti(um)=
.08, 7
.08, 5
.08, 3

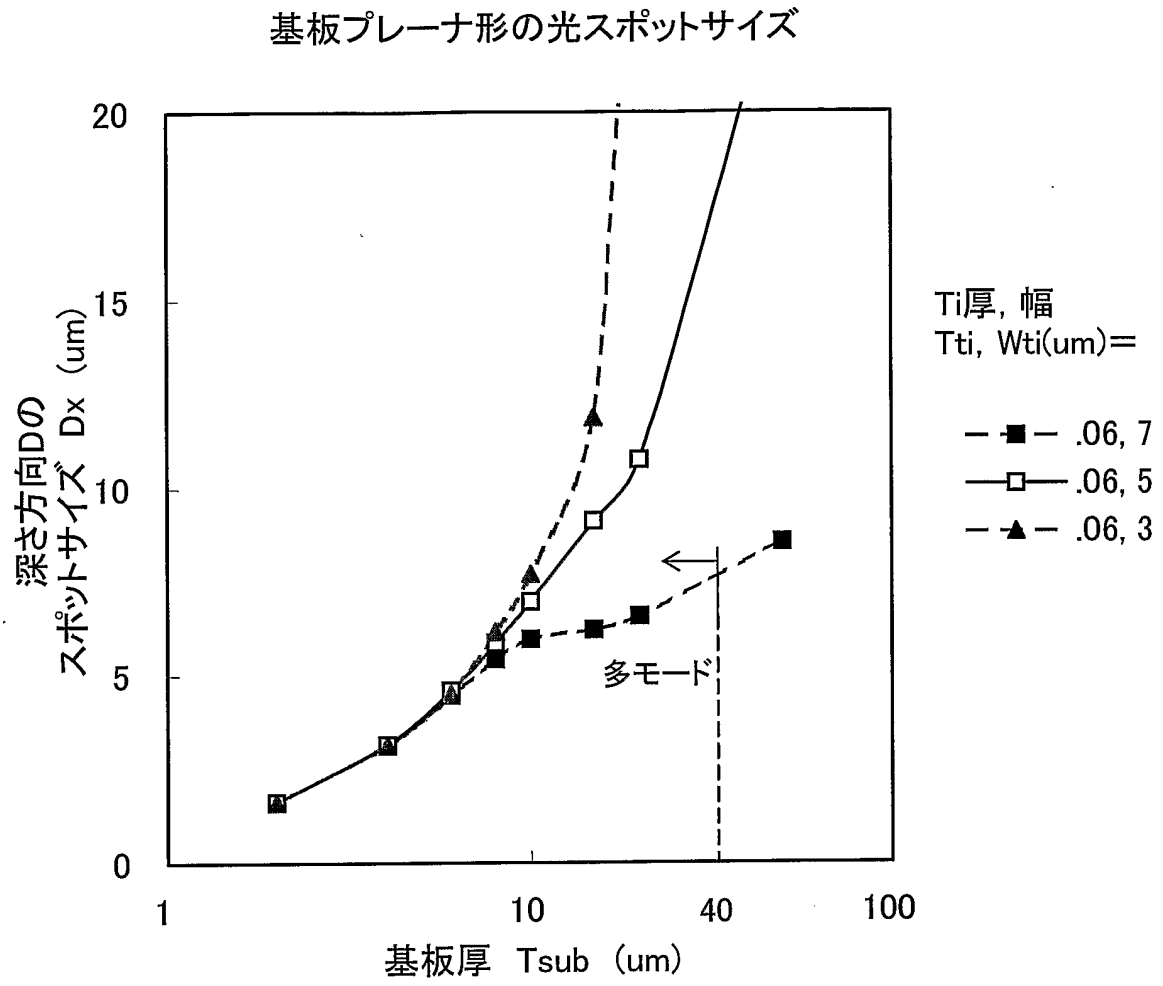
第 13 図


基板プレーナ形の光スポットサイズ
縦方向 1/e**2直径
深さ方向Dの
スポットサイズ Dy (um)
20
15
10
5
0
1
2
3
5
7
10
12
15
20
40
50
100
基板厚 Tsub (um)
多モード
多モード
Ti厚, 幅
Tti, Wti(um)=
.08, 7
.08, 5
.08, 3

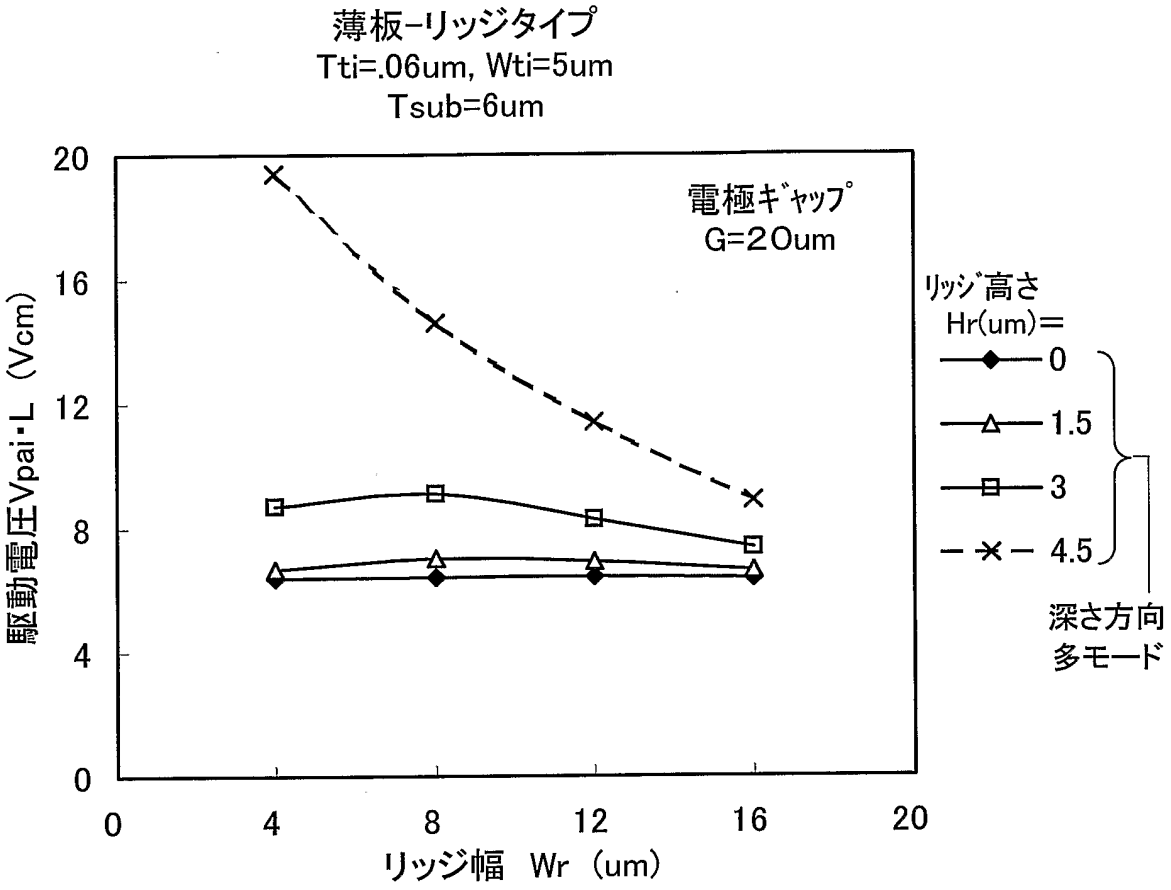
第 14 図


基板プレーナ形の光スポットサイズ
20
15
10
5
0
幅方向Wの
スポットサイズ Dx (um)
1
10 12
100
基板厚 Tsub (um)
多モード
Ti厚, 幅
Tti, Wti(um)＝
.06, 7
.06, 5
.06, 3

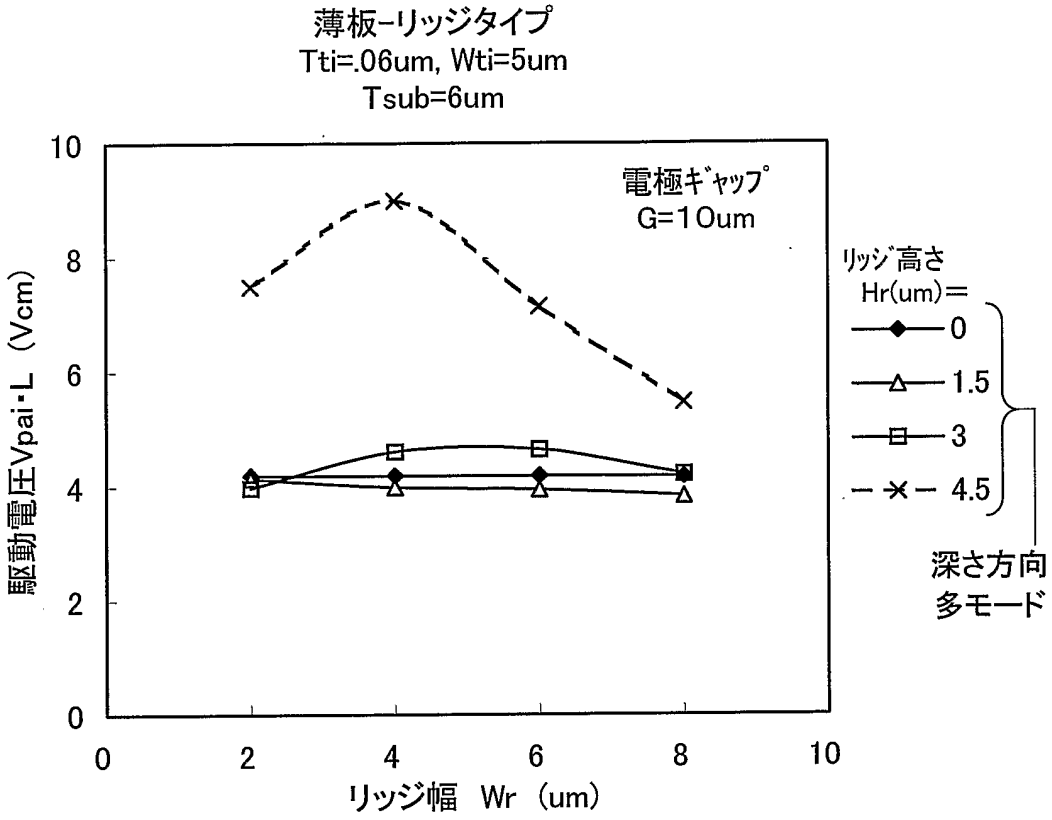
第 15 図


基板プレーナ形の光スポットサイズ
20
15
10
5
0
深さ方向Dの
スポットサイズ Dx (um)
1
10
40
100
基板厚 Tsub (um)
多モード
Ti厚, 幅
Tti, Wti(um)=
.06, 7
.06, 5
.06, 3

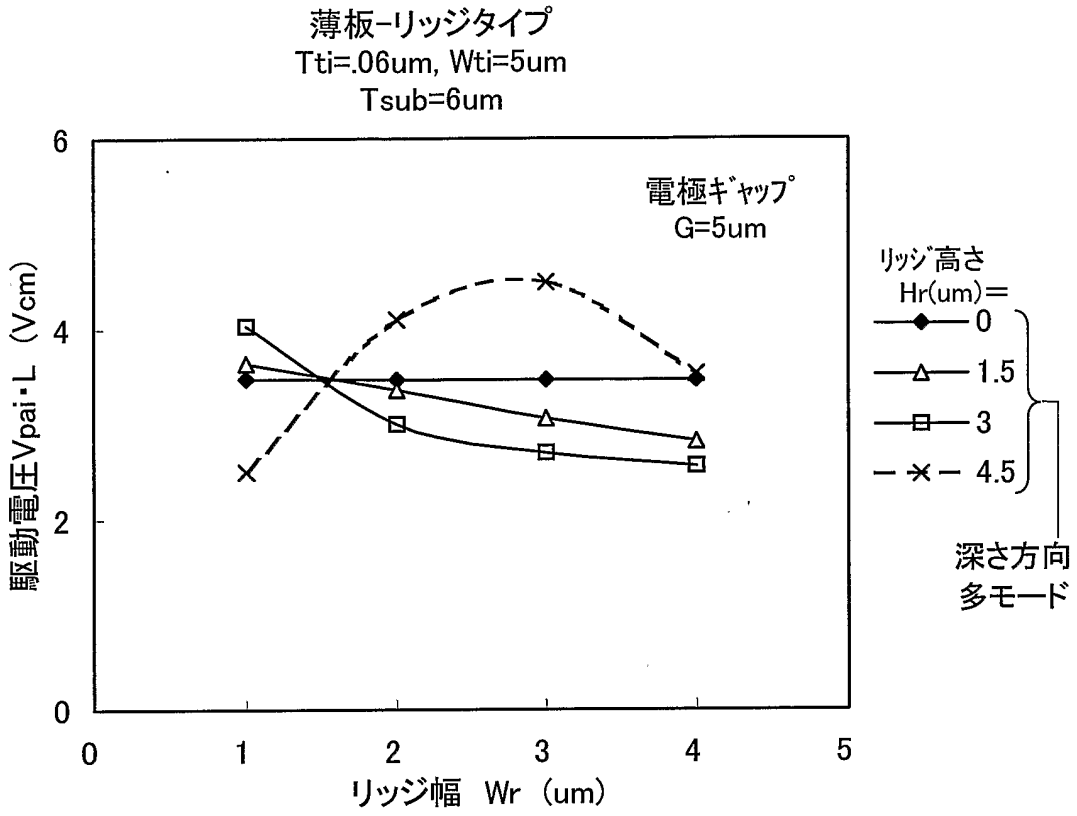
第 16 図


薄板−リッジタイプ
Tti=.06um, Wti=5um
Tsub=6um
電極ギャップ
G=20um
リッジ高さ
Hr(um)=
0
1.5
3
4.5
深さ方向
多モード
駆動電圧Vpai・L (Vcm)
リッジ幅 Wr (um)
0
4
8
12
16
20

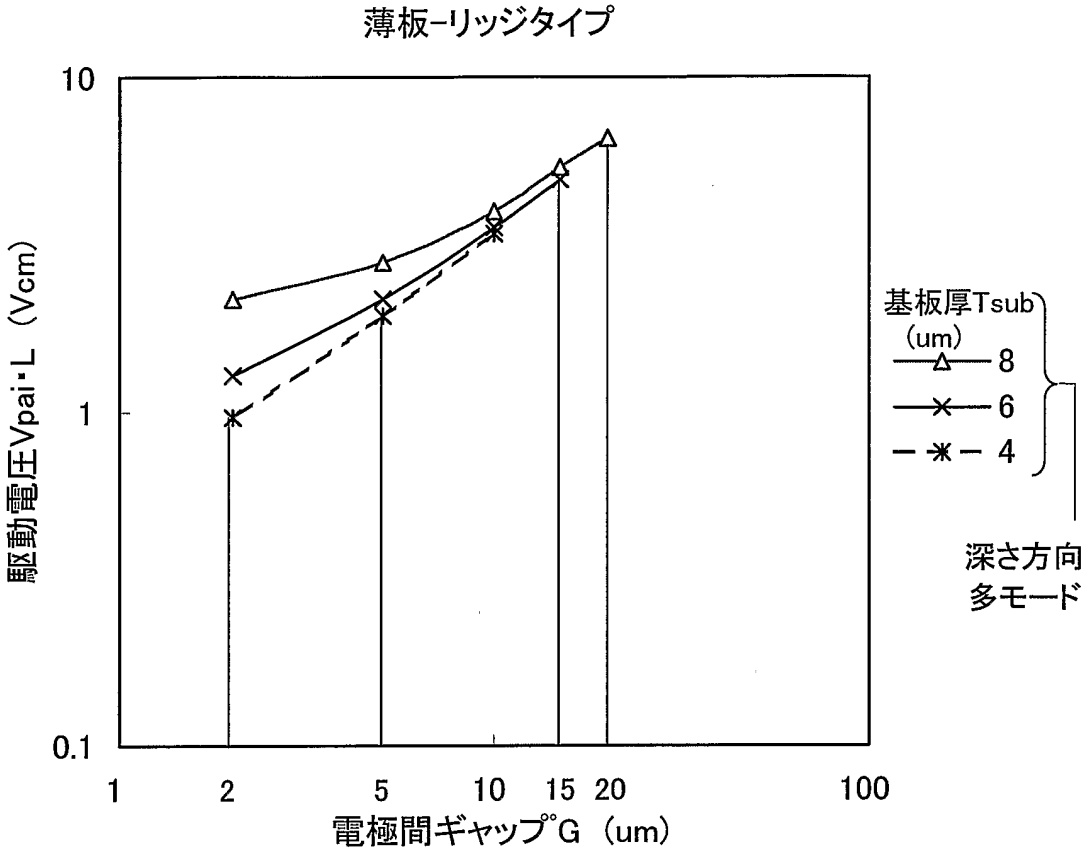
第 17 図


薄板−リッジタイプ
Tti=.06um, Wti=5um
Tsub=6um
電極ギャップ
G=10um
駆動電圧Vpai・L (Vcm)
リッジ幅 Wr (um)
0
2
4
6
8
10
リッジ高さ
Hr(um)=
0
1.5
3
4.5
深さ方向
多モード

第 18 図


薄板-リッジタイプ
Tti=.06um, Wti=5um
Tsub=6um
電極ギャップ
G=5um
リッジ高さ
Hr(um)=
0
1.5
3
4.5
深さ方向
多モード
駆動電圧Vpai・L (Vcm)
リッジ幅 Wr (um)
0
2
4
6
0
1
2
3
4
5

第 19 図


薄板−リッジタイプ
10
1
0.1
駆動電圧Vpai・L（Vcm）
1
2
5
10
15
20
100
電極間ギャップG（um）
基板厚Tsub
(um)
8
6
4
深さ方向
多モード

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2005/018386

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G02F1/035(2006.01)

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(2006.01)

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 1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 9-269430 (NGK Insulators, Ltd.), 14 October, 1997 (14.10.97), Par. Nos. [0035], [0036], [0041], [0042], [0049], [0050] & EP 803747 A2 Column 9, lines 27 to 43; column 10, lines 33 to 54; column 12, lines 19 to 43 & US 5866200 A	1,3,6,8 10-12 4,5,7,9
X Y A	JP 5-264840 A (Sanyo Electric Co., Ltd.), 15 October, 1993 (15.10.93), Par. Nos. [0019] to [0029]; Fig. 1 (Family: none)	1-3,6 10-12 4,5,7,9

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

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

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
14 December, 2005 (14.12.05)	27 December, 2005 (27.12.05)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2005/018386

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2003-215519 A (NGK Insulators, Ltd.), 30 July, 2003 (30.07.03), Par. Nos. [0014] to [0021], [0041], [0053], [0062]; Fig. 1 & EP 1455219 A1 Par. Nos. [0015] to [0022], [0042], [0055], [0064]; Fig. 1 & EP 1315021 A2 & US 2003-138180 A1 & US 2004-264832 A & WO 03/42749 A1	1,2,6,10 11,12
Y	JP 6-289347 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 18 October, 1994 (18.10.94), Par. Nos. [0018] to [0019] & EP 585565 A2 Column 8, line 49 to column 9, line 33 & EP 816879 A1 & EP 818693 A1 & US 5373579 A1 & US 5418883 A1 & US 5546494 A1	11,12

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２００５／０１８３８６

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)

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*** (2006.01)

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	１９７１－２００５年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２００５年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２００５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）

JSTPlus(JOIS)

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
X Y A	JP 9-269430 A (日本碍子株式会社) 1997.10.14, 第35,36,41,42,49,50段落 & EP 803747 A2 第9欄第27-43行,第10欄第33-54行,第12欄第19-43行 & US 5866200 A	1,3,6,8 10-12 4,5,7,9
X Y A	JP 5-264840 A (三洋電機株式会社) 1993.10.15, 第19-29段落,図1 ファミリーなし	1-3,6 10-12 4,5,7,9

☑ 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 １４．１２．２００５	国際調査報告の発送日 ２７．１２．２００５
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）　２Ｘ　９４１２ 三橋　健二 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	関連する請求の範囲の番号
X Y	JP 2003-215519 A (日本碍子株式会社) 2003.07.30, 第14-21,41, 53,62段落, 図1 & EP 1455219 A1 第15-22,42,55,64段落,Fig.1 & EP 1315021 A2 & US 2003-138180 A1 & US 2004-264832 A & WO 03/42749 A1	1,2,6,10 11,12
Y	JP 6-289347 A (松下電器産業株式会社) 1994.10.18, 第18-19段落 & EP 585565 A2 第8欄第49行-第9欄第33行 & EP 816879 A1 & EP 818693 A1 & US 5373579 A1 & US 5418883 A1 & US 5546494 A1	11,12