



特許協力条約に基づいて公開された国際出願

<p>(51) 国際特許分類 5 G02B 6/12, 21/00</p>	<p>A1</p>	<p>(11) 国際公開番号 WO 94/06041  (43) 国際公開日 1994年3月17日 (17.03.1994)</p>
---	-----------	--

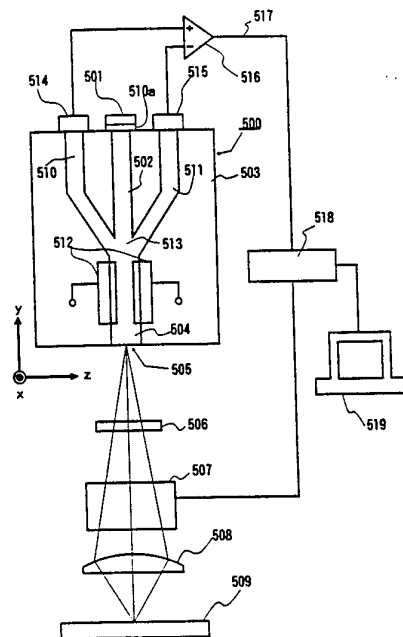
<p>(21) 国際出願番号 PCT/JP93/01264 (22) 国際出願日 1993年9月7日(07. 09. 93)</p> <p>(30) 優先権データ 特願平4/262725 1992年9月7日(07. 09. 92) JP 特願平4/313198 1992年11月24日(24. 11. 92) JP 特願平5/167665 1993年7月7日(07. 07. 93) JP</p> <p>(71) 出願人(米国を除くすべての指定国について) 株式会社 ニコン(NIKON CORPORATION)[JP/JP] 〒100 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 Tokyo, (JP)</p> <p>(72) 発明者; および (75) 発明者/出願人(米国についてのみ) 塩野谷孝(SHIONOYA, Takashi)[JP/JP] 〒132 東京都江戸川区西小松川町36-15、ハイッナザかけ201 Tokyo, (JP) 岩崎 純(IWASAKI, Jun)[JP/JP] 〒247 神奈川県横浜市栄区笠間町1555-1、第3大船パークタウン G-710 Kanagawa, (JP) 大木裕史(OHKI, Hiroshi)[JP/JP] 〒227 神奈川県横浜市緑区すずき野1丁目1-4 あざみ野リーベル B-204 Kanagawa, (JP) 土肥正明(DOI, Masaaki)[JP/JP] 〒227 神奈川県横浜市緑区長津田3丁目32-23-507 Kanagawa, (JP)</p>	<p>(74) 代理人 弁理士 佐藤正年(SATO, Masatoshi) 〒105 東京都港区虎ノ門1丁目21番19号 秀和第2虎ノ門ビル 三和国际特許事務所 Tokyo, (JP)</p> <p>(81) 指定国 US, 欧州特許(AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>添付公開書類 国際調査報告書</p>
--	--

(54) Title : OPTICAL WAVEGUIDE DEVICE AND OPTICAL INSTRUMENT USING THE SAME

(54) 発明の名称 光導波路デバイスおよびそれを用いた光学器械

(57) Abstract

An optical waveguide device formed out of a material the refractive index of which has anisotropy, and an optical instrument using the same device. The device comprises an electrooptic single-crystal substrate on which are formed a first core portion the refractive index of which is higher than that of the substrate with respect to both ordinary and extraordinary rays of light, and a second core portion the refractive index of which is higher than that of the substrate with respect to extraordinary rays of light only. The overlapping region of the first and second core portions constitutes a double mode waveguide for extraordinary rays of light. This optical waveguide device is used in place of a pinhole element in an optical system in a confocal scanning optical microscope so as to guide illuminating light into an object to be detected, and to guide the reflected light from the object into a detector. This microscope is provided with a polarization conversion element for use in setting the polarization direction of illuminating light different from that of reflected light. The optical waveguide device functions as a single-mode waveguide with respect to illuminating light, and as a double mode waveguide with respect to reflected light.



(57) 要約

屈折率に異方性を持つ材料で形成された光導波路デバイスおよびそれを用いた光学器械。電気光学効果をもつ単結晶基板上に、常光線及び異常光線のいずれに対しても基板より屈折率の大きい第1コア部と、異常光線に対してのみ基板より屈折率の大きい第2コア部とが形成され、第1コア部が常光線に対するシングルモード導波路を構成し、第1コア部と第2コア部とを合わせた領域が異常光線に対するダブルモード導波路を構成する。この光導波路デバイスは、被検物体へ照明光を導くため、そして被検物体からの反射光を検出器へ導くために、コンフォーカル走査光学顕微鏡の光学系内にピンホール素子の代わりに配置される。この顕微鏡には、照明光の偏光方向を反射光の偏光方向と異なる方向にするための偏光変換素子が備えられる。光導波路デバイスは、照明光に対してはシングルモード導波路として機能し、反射光に対してはダブルモード導波路として機能する。

情報としての用途のみ

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第1頁にPCT加盟国を同定するために使用されるコード

AT オーストリア	CS チェッコスロヴァキア	KR 大韓民国	PL ポーランド
AU オーストラリア	CZ チェッコ共和国	KZ カザフスタン	PT ポルトガル
BB バルバドス	DE ドイツ	LI リヒテンシュタイン	RO ルーマニア
BE ベルギー	DK デンマーク	LK スリランカ	RU ロシア連邦
BF ブルキナ・ファソ	ES スペイン	LU ルクセンブルグ	SD スーダン
BG ブルガリア	FI フィンランド	LV ラトヴィア	SE スウェーデン
BJ ベナン	FR フランス	MC モナコ	SI スロヴェニア
BR ブラジル	GA ガボン	MG マダガスカル	SK スロヴァキア共和国
BY ベラルーシ	GB イギリス	ML マリ	SN セネガル
CA カナダ	GN ギニア	MN モンゴル	TD チャード
CF 中央アフリカ共和国	GR ギリシャ	MR モーリタニア	TG トーゴ
CG コンゴ	HU ハンガリー	MW マラウイ	UA ウクライナ
CH スイス	IE アイルランド	NE ニジェール	US 米国
CI コート・ジボアール	IT イタリア	NL オランダ	UZ ウズベキスタン共和国
CM カメルーン	JP 日本	NO ノルウェー	VN ヴェトナム
CN 中国	KP 朝鮮民主主義人民共和国	NZ ニュー・ジーランド	

## 明 細 書

光導波路デバイスおよびそれを用いた光学器械

## 技術分野

本発明は、光導波路デバイスとそれを用いた光学器械に関するものである。

## 背景技術

近年、種々の光学器械、特に被検物体面の位相及び振幅に関する情報を得る光学測定器械の分野で光導波路デバイスが注目されている。その理由は、光導波路を用いることにより光学系の小型・軽量化を図ることができ、また、光軸の調整が不要になるという利点を有しているからである。

光導波路は、それを構成する導光コアとクラッドとの屈折率差、導波路幅、及び屈折率分布などによって、0次モード光だけが励振されるシングルモード導波路と、0次と1次の2つのモード光が励振されるダブルモード導波路と、0次、1次及び2次以上の3つ以上のモード光が励振されるマルチモード導波路とに分類される。

例えば、ダブルモード導波路内におけるモード干渉を利用して被検物体面の微分干渉像を得るコンフォーカルレーザー走査顕微鏡は、大木らによる論文「レーザー走査顕微鏡の新形式：理論的検討、オプティクス・コミュニケーションズ、第85巻、第2、3号、1991年、177～182頁」(H. Ooki et al; "A novel type of laser scanning microscope: theoretical considerations" Optics Communications, vol. 85, No. 2,3; Sep. 1991, pp 177-182)に開示されている。

この論文に記述された光学器械では、ダブルモード導波路にレーザー光が入射されると、入射レーザー光の振幅分布に応じて導波路内に0次モード光と1次モード光とが励振される。これら2つのモード光は導波路内で互いに干渉し、それによって導波路内の光強度分布に非対称性が生じる。ダブルモード導波路の長さを予め最適に選び、ダブルモード導波路の一端から2つの枝導波路を分岐させておくと、ダブルモード導波路内における光強度分布の非対称性に関する情報は、分岐された2つの枝導波路からそれぞれ出射される2つの光の間の強度差を検出することにより得ることができる。導波路内の光強度分布の非対称性は、一つには入

射レーザー光の強度分布の非対称性によるもの、もう一つには入射レーザー光の位相分布の非対称性によるものと考えることができる。前記ダブルモード導波路の長さを最適に選べば、いずれの非対称性も検出することができる。強度分布の非対称性に関する情報は、被検物体面の光反射率の分布などの測定に利用でき、位相分布の非対称性に関する情報は、被検物体面の傾斜、段差または高さなどの測定に利用できる。

また、光ファイバーによるダブルモード導波路内におけるモード干渉を利用して入射レーザー光の光軸方向の変位（焦点ずれ）を検出するレーザ走査顕微鏡も、アール・ジャスカイティスらによる論文「2モード光ファイバーを用いた走査顕微鏡による表面形状観察；アプライド・オプティクス、第31巻、第22号、1992年8月、4569～4574頁（R. Juskaitis et al; "Surface profiling with scanning optical microscopes using two-mode optical fibers", Applied Optics, vol. 31, No. 22; Aug. 1992, pp4569-4574)に開示されている。

この論文に述べられている光学器械は、レーザースポットの入射位置をダブルモード光ファイバーの端面の中心からずらした構成を持っている。レーザースポットが焦点ずれを起こしている場合、光ファイバーに入射する光の等位相面に傾きが生じる。この傾きによって光ファイバーに入射する光の位相分布に非対称性が現われる。この位相分布の非対称性を検出することにより、焦点ずれ（焦点位置）が測定される。

この光ファイバーを用いた光学器械では、光源と光ファイバーとが別々に配置されるため、光ファイバーへの入射光の位置合わせが困難である。また、光ファイバーを用いているため、ダブルモード導波路の長さを最適に選ぶことも困難である。これらの理由により、この光学器械では期待されるほど高い測定精度は得られない。

更に、光導波路デバイスを利用して被検物体面の位相情報と振幅情報とを独立に得ることのできるコンフォーカルレーザ走査顕微鏡が1992年7月30日に公開された日本特許出願公開公報JP-A 4-208913 に開示されている。

このコンフォーカルレーザ走査顕微鏡では、集光光学系によって形成される被検物体面からの反射光のスポット像位置にチャンネル導波路デバイスを備えて

いる。この光導波路デバイスは、前記スポット像位置に端面を位置させたダブルモード導波路と、光源からの照明光を前記端面を介して被検物体面への光路に導くためのシングルモード導波路とを備えている。前記シングルモード導波路は、その中心が前記ダブルモード導波路の中心と一致するような位置関係で設けられており、それにより、前記シングルモード導波路から前記ダブルモード導波路へ入射する光によって前記ダブルモード導波路内で0次モード光のみが励振され、正規分布の光強度及び正規分布の位相をもつスポット照明光が前記ダブルモード導波路の前記端面から被検物体面へ向けて射出される。

この場合、前記シングルモード導波路の中心と前記ダブルモード導波路の中心とが互いに一致するような位置関係を持つ光導波路デバイスを作製するには、極めて高度な製造技術を要する。

#### 発明の開示

本発明の主目的は、作製が比較的容易で、かつ光の偏光方向によって、選択的にシングルモード導波路またはダブルモード導波路として機能する光導波路デバイスを提供することにある。

また本発明の別の目的は、そのような光導波路デバイスを利用した光学器械、特に光導波路デバイスと外の光学系との組立が容易であり、照明光を0次モードのみで伝播することができ、被検物体面からの反射光の入射位置と導波路端面との間の位置合わせを不要とすることができ、被検物体面の振幅及び位相の微分情報を高い精度で得ることのできる光学干渉顕微鏡装置を提供することである。

本発明の一つの態様によれば、電気光学効果を有する単結晶基板の表面に沿って前記基板よりも大なる屈折率をもつ導光コアによって形成された光導波路により常光線及び異常光線を導く光導波路デバイスが提供される。この光導波路デバイスの前記コアは、常光線及び異常光線のいずれに対しても前記基板より大なる屈折率をもつ第1コア部と、異常光線に対してのみ前記基板より大なる屈折率をもつ第2コア部とを含んでいる。

前記基板は、好ましくは電気光学効果を有する誘電体結晶からなる。

本発明の別の態様によれば、前記デバイスの前記光導波路は、

前記第1コア部によって形成され、常光線に対して該常光線をシングルモード

で伝播する第1のシングルモード導波路と、

前記第1コア部と前記第2コア部とによって形成され、異常光線に対して該異常光線をダブルモードで伝播するダブルモード導波路と、

前記ダブルモード導波路の一端面において前記第1コア部の一端面と前記第2コア部の一端面とを共に含む光ポート、  
とを備えている。

このような光導波路デバイスは、前記ダブルモード導波路に予め定められた電界を印加するための電極手段を更に備えることができる。

前記光導波路デバイスの更に好ましい変形態様では、前記光ポート内で前記シングルモード導波路の中心と前記ダブルモード導波路の中心とが互いにずらされている。

本発明の更に別の態様による光導波路デバイスは、

前記第1コア部によって形成され、常光線を外部から前記シングルモード導波路に導く第2のシングルモード導波路と、

前記第2コア部によって形成され、前記ダブルモード導波路内の異常光線をその光強度分布について2分配して外部へ導く第3と第4のシングルモード導波路とを更に備えている。

本発明の更に別の態様によれば、電気光学効果を有する単結晶基板の表面に沿って前記基板よりも大なる屈折率をもつ導光コアによって形成された光導波路により該光導波路の一端から他端への第1の方向と前記光導波路の他端から一端への第2の方向とに光を導く光導波路デバイスが提供される。この光導波路デバイスの前記光導波路は、前記第1方向の光に対してはそれをシングルモードで伝播するシングルモード導波路と、前記第2方向の光に対してはそれをダブルモードで伝播するダブルモード導波路と、前記シングルモード導波路の一端面と前記ダブルモード導波路の一端面とを共に含む光ポートとを備えており、前記光ポート内で前記シングルモード導波路の中心と前記ダブルモード導波路の中心とが互いにずらされている。

この態様による光導波路デバイスにおいても、前記ダブルモード導波路に電界を印加するための電極手段を更に備えることができる。

また、好ましい変形態様によれば、この光導波路デバイスは、外部からの光を前記第1の方向に沿って前記シングルモード導波路へ導く第2のシングルモード導波路と、前記ダブルモード導波路内の前記第2の方向に沿って伝播する光をその光強度分布について2分配して外部へ導く第3と第4のシングルモード導波路とを更に備えている。

本発明による光導波路デバイスにおいて、電気光学効果を有する単結晶基板は前記各コア部に対するクラッド部を形成し、この基板のための材料としては例えばニオブ酸リチウム単結晶やタンタル酸リチウム単結晶などが採用できる。これらの単結晶は、光導波路を作製するための基板材料として広く用いられている。ニオブ酸リチウム単結晶基板またはタンタル酸リチウム単結晶基板の上に光導波路を作製する方法は幾つか知られており、その中で熱拡散法、プロトン交換法及び酸化リチウム ( $\text{Li}_2\text{O}$ ) 外方拡散法は広く用いられている作製方法である。

本発明による光導波路デバイスにおいて、前記第1コア部は、熱拡散法に従って、即ち、クラッドとなる前記基板の予め定められた領域中に所定の金属を熱拡散させることにより屈折率を増大させることによって形成するのがよい。また前記第2コア部は、プロトン交換法に従って、即ち、前記基板を予め選択された核種のイオンを含む溶液中に浸漬し、前記基板中のイオンを前記溶液中のイオンと交換させることにより屈折率を増大させることによって形成するか、或いはまた  $\text{Li}_2\text{O}$  外方拡散法に従って、即ち、前記基板を加熱して  $\text{Li}_2\text{O}$  を前記基板外に拡散させることにより屈折率を増大させる手法によって形成するのがよい。

熱拡散法は、熱拡散したい材料を基板上に堆積させておき、これを高温の炉の中で一定時間加熱し、堆積材料を基板中に拡散させることにより高屈折率の領域（コア部）を形成する方法である。拡散源としては、ニオブ酸リチウム単結晶基板については  $\text{Ti}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Ni}$ 、 $\text{Cu}$  等の遷移金属を用いることができ、タンタル酸リチウム単結晶基板については  $\text{Cu}$ 、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Nb}$  などの遷移金属を用いることができる。

プロトン交換法は、基板を所定の核種イオンを含む溶液中に浸して基板中のイオンを溶液中のイオンと交換することにより基板表面近くに高屈折率領域（コア部）を形成する方法である。溶液としては、安息香酸、硝酸銀、ピロリン酸等の

溶解液を用いることができる。プロトン交換法で作製した導波路は加熱アニールすることにより屈折率および屈折率分布を変化させることができる。

$\text{Li}_2\text{O}$  外方拡散法は、基板を高温に熱して結晶表面から  $\text{Li}_2\text{O}$  を外部へ放出させることにより高屈折率領域（コア部）を形成する方法である。

上述した各方法のうち、熱拡散法では、常光線に対する屈折率と異常光線に対する屈折率の両方が増大するが、プロトン交換法と  $\text{Li}_2\text{O}$  外方拡散法では異常光線に対する屈折率のみが増加する。

従って、ニオブ酸リチウム等の基板の上に熱拡散法によって常光線と異常光線の両方に対して屈折の高い領域（第1コア部）を形成し、更にこの熱拡散法によって形成された第1コア部の両側の領域、あるいは上面の第1コア部より幅の広い領域にプロトン交換法（アニール工程を含む）、もしくは  $\text{Li}_2\text{O}$  外方拡散によって異常光線に対してのみ屈折率の高い領域（第2コア部）を形成すれば、常光線に対して導波路となる領域と異常光線に対して導波路となる領域とを、それぞれ基板よりも屈折率の高い領域として、個々に形成することができる。

この際、第1及び第2コア部の屈折率や屈折率分布を適宜調整することによって、第1コア部を常光線に対するシングルモード導波路とし、第1コア部と第2コア部を合わせた領域を異常光線に対するダブルモード導波路とすることができる。即ち、光の偏光方向によって選択的にシングルモード導波路またはダブルモード導波路として機能する光導波路を作製することが可能である。

なお、屈折率及び屈折率分布の調整は、上述した熱処理やプロトン交換等の処理の時間・温度、アニール処理の温度・時間、熱拡散やプロトン交換を行う領域の広がり等の条件を適宜選択することによって行うことができる。

本発明による光導波路デバイスと同様の機能を持つ光導波路は、複屈折現象を示す光学材料によっても作成することができるが、複屈折現象を示す材料で導波路を形成した場合には、その屈折率に応じて導波路幅をある範囲内に精度良く納めなくてはならず、現実には製造技術面で多大な困難を伴う。

本発明による光導波路デバイスは従来にない新規な機能をもつものであり、従って本発明は、この新規な光導波路デバイスを利用した種々の光学機械をも提供する。

即ち、本発明による一つの態様による光学器械は、電気光学効果を有する単結晶基板の表面に沿って前記基板よりも大なる屈折率をもつ導光コアによって形成された光導波路により常光線及び異常光線を導く光導波路デバイスを備え、この光導波路デバイスは、前記第1コア部によって形成され常光線に対して該常光線をシングルモードで伝播する第1のシングルモード導波路と、前記第1コア部と前記第2コア部とによって形成され異常光線に対して該異常光線をダブルモードで伝播するダブルモード導波路と、前記ダブルモード導波路の一端面において前記第1コア部の一端面と前記第2コア部の一端面とを共に含む光ポートとを備えている。

この光学器械は、更に

前記光導波路デバイスの前記シングルモード導波路に照明光を照射して前記光ポートから常光線を出射させる照明手段と、

前記光ポートから出射される前記常光線を予め定められた被検物体面上に集光する第1の集光手段と、

前記被検物体面からの反射光を前記光ポート上に集光する第2の集光手段と、

前記光ポートと前記被検物体面との間に配置され、前記光ポートからの前記常光線の偏光方向と前記被検物体面からの前記反射光の偏光方向とを互いに直交させる偏光手段と、

前記ダブルモード導波路中における前記反射光の光強度分布を測定する測定手段と、

前記測定手段による測定結果から前記第1の集光手段によって前記被検物体面に集光される前記常光線の焦点のずれを検出する検出手段、  
とを備えている。

好ましくは、この光学器械は、前記ダブルモード導波路に予め定められた電界を印加するための電極手段を更に備えている。

この光学器械の一つの変形態様によれば、前記光ポート内で前記シングルモード導波路の中心と前記ダブルモード導波路の中心とが互いにずらされている。

更にこの光学器械の別の変形態様によれば、前記光導波路は、

前記第1コア部によって形成され、前記照明手段から前記常光線を前記シング

ルモード導波路に導く第2のシングルモード導波路と、

前記第2コア部によって形成され、前記ダブルモード導波路内の前記反射光中の異常光線とその光強度分布について2分配して前記測定手段へ導く第3と第4のシングルモード導波路とを更に備えることができ、

この場合、前記測定手段は、前記第3と第4のシングルモード導波路から射出される各異常光線の強度を個別に検出する一対の検出器を含んでいる。

更にこの態様による光学器械は、前記第1の集光手段による前記被検物体面上での集光点の位置を移動させる走査手段と、前記検出手段からの出力信号と前記走査手段による走査位置を示す信号とから前記被検物体面の段差を観察する観察手段とを更に備えることができる。

本発明の別の態様による光学器械は、電気光学効果を有する単結晶基板の表面に沿って前記基板よりも大なる屈折率をもつ導光コアによって形成された光導波路により該光導波路の一端から他端への第1の方向と前記光導波路の他端から一端への第2の方向とに光を導く光導波路デバイスを備えている。この光導波路デバイスの前記光導波路は、前記第1方向の光に対してはそれをシングルモードで伝播するシングルモード導波路と、前記第2方向の光に対してはそれをダブルモードで伝播するダブルモード導波路と、前記シングルモード導波路の一端面と前記ダブルモード導波路の一端面とを共に含む光ポートとを備えており、前記光ポート内で前記シングルモード導波路の中心と前記ダブルモード導波路の中心とが互いにずらされている。

この光学器械は、更に

前記シングルモード導波路に照明光を前記第1の方向に沿って照射して前記光ポートから前記照明光を出射させる照明手段と、

前記光ポートから出射される前記照明光を予め定められた被検物体面上に集光する第1の集光手段と、

前記被検物体面からの反射光を前記光ポート上に集光して前記ダブルモード導波路中を前記第2の方向に沿って伝播させる第2の集光手段と、

前記光ポートと前記被検物体面との間に配置され、前記光ポートからの前記照明光の偏光方向と前記被検物体面からの前記反射光の偏光方向とを互いに直交さ

せる偏光手段と、

前記ダブルモード導波路中における前記反射光の光強度分布を測定する測定手段と、

前記測定手段による測定結果から前記第1の集光手段によって前記被検物体面に集光される前記照明光の焦点のずれを検出する検出手段、  
とを備えている。

この態様による光学器械は、前記ダブルモード導波路に電界を印加するための電極手段を更に備えることができる。

またこの光学器械の変形態様においては、前記光導波路は、前記照明手段からの光を前記第1の方向に沿って前記シングルモード導波路へ導く第2のシングルモード導波路と、前記ダブルモード導波路内の前記第2の方向へ伝播する光をその光強度分布について2分配して外部へ導く第3と第4のシングルモード導波路とを更に備えることができ、この場合、前記測定手段は、前記第3と第4のシングルモード導波路からそれぞれ射出される光の強度を個別に検出する一対の検出器を含んでいる。

この光学器械の更に別の変形態様においては、前記第1の集光手段による前記被検物体面上での集光点の位置を移動させる走査手段と、前記検出手段からの出力信号と前記走査手段による走査位置を示す信号とから前記被検物体面の段差を観察する観察手段とを更に備えることができる。

以上に述べた本発明による光学器械では、光の偏光方向によって選択的にシングルモード導波路またはダブルモード導波路として機能する光導波路をもつ光導波路デバイスと前記偏光手段（例えば $\frac{1}{4}$ 波長板）とが組み合わされており、これにより、第1方向の光の偏光方向と第2方向の光の偏光方向とが互いに直交する向きにされ、をせそれゆえ導波路に対する被検物体面からの反射光の入射位置の位置合わせが不要になり、前記反射光を導波路へ精度良く入射させることが可能となっている。ここで、第1方向とは光源からの光が被検物体面へ向かって伝播して行く方向であり、第2方向とは被検物体面からの反射光が前記測定手段へ向かって伝播して行く方向である。

またダブルモード導波路の製造は、周知の半導体製造技術を利用して簡単かつ

精度良く行なうことができ、従って測定精度の高い光学器械を比較的容易に得ることができる。

更に電気光学効果を有する単結晶基板に形成された導波路に制御された電界を印加することにより、導波路の有効長を変化させることができ、これによって導波路の完全結合長を所望の値に合わせる事が可能である。

ここで完全結合長とは、導波路のダブルモード領域を伝播する0次モード光と1次モード光との位相差が $\pi$ ラジアンとなる導波路有効長の最小値を意味する。ダブルモード領域の有効長は、ダブルモード導波路の有効長で決めることができるが、例えばY分岐した2つのシングルモード導波路を有するダブルモード導波路では、両シングルモード導波路間のY分岐角度が小さいと、両シングルモード導波路間で互いに光結合を生じる結合領域ができることがある。これは、導波路内を伝播する光がクラッド（基板）へ漏れることにより、互いに接近した2つの導波路間で光結合が生じることに基づいている。このような結合領域では、偶モード光と奇モード光とが共に存在し、これら二つのモードは、ダブルモード導波路における0次モード光と1次モード光に対応する。従って、結合領域では、偶モード光と奇モード光間の干渉が生じ、これにより、Y分岐された2つのシングルモード導波路間で光パワーの移行が生じる。このことは、ダブルモード導波路における0次モード光と1次モード光との干渉と同様に考えることができる。その結果、このような場合は、ダブルモード領域の有効長は、ダブルモード導波路の有効長と、分岐された2つのシングルモード導波路が互いに光結合を生じて2つのモードで光を伝播している長さとの和に相当する値となる。

ダブルモード領域の有効長Lは、前記二つのモード光の完全結合長を $L_c$ とすると、被検物体面の位相分布を観察するためには、

$$L = L_c \cdot (2m + 1) / 2 \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \quad \dots (1)$$

また、被検物体面の光強度分布を観察するためには、

$$L = m L_c \quad (m = 1, 2, \dots) \quad \dots (2)$$

とすればよい。

ダブルモード領域の有効長が所望の値に完全に一致していない場合は、前述したようにダブルモード導波路に印加する電界を調整してその完全結合長を変化さ

せればよい。

ダブルモード導波路と2つのシングルモード導波路とを接続するY分岐の分岐角度をなるべく小さくすると、検出信号のコントラストが向上し、ダブルモード領域の光強度分布の非対称性を精度良く検出することができる。これは、ダブルモード導波路内では、0次モード光と1次モード光とが干渉するときにそれぞれの電界分布のピーク位置が導波路の幅方向に異なっているため、干渉が起きにくいものに対して、前述のように両シングルモード導波路が互いに光結合を起こしている領域では、偶モード光（0次モード光）と奇モード光（1次モード光）の電界分布のピーク位置を合わせることができるので、干渉が効率よく起こるからである。従って、ダブルモード導波路には、なるべく分岐角度の小さい分岐部を介して2つ又はそれ以上のシングルモード導波路を接続することが好ましい。

本発明の更に別の態様によれば、被検物体面の微分干渉像を得るためのコンフォーカルレーザ走査光学顕微鏡が提供され、この顕微鏡は、

予め定められた第1偏光方向の第1直線偏光成分を含む照明光を照射する照明手段、

前記被検物体面からの反射光を検出する検出手段、

前記照明手段からの前記照明光を前記被検物体面へ向けて導くと共に前記被検物体面からの前記反射光を前記検出手段へ向けて導く光導波路デバイス、および

前記光導波路デバイスと前記被検物体面との間に配置され、前記光導波路デバイスを通過した前記照明光の前記第1直線偏光成分を円偏光に変換すると共に前記被検物体面からの前記反射光に含まれる円偏光成分を前記第1偏光方向とは異なる第2偏光方向の第2直線偏光に変換する偏光変換手段、を備え、

前記光導波路デバイスは、

前記偏光変換手段と光学的に結合された第1光ポートを一端に有する主導波路と、

前記主導波路の他端を3つの枝導波路に分岐する分岐部と、

前記照明手段に光学結合された第2光ポートを終端に有する中央枝導波路、該中央枝導波路の一方の側に配置され、前記検出手段に光学結合された第3光ポートを終端に有する第1側枝導波路、および前記中央枝導波路の他方の側に配置さ

れ、前記検出手段に光学結合された第4光ポートを終端に有する第2枝導波路、を含む前記3つの枝導波路、とを備え、

前記中央枝導波路は、前記第2光ポートに受け取った前記照明光の第1直線偏光成分をシングルモードで導いて前記主導波路へ伝えるシングルモード導波路として形成され、

前記主導波路は、前記中央導波路から伝えられた前記照明光の第1直線偏光成分のためにはこれをシングルモードで導いて前記第1光ポートから射出するシングルモード導波路として、また前記偏光変換手段から前記第1光ポートに入射される前記反射光の前記第2直線偏光のためにはこれをダブルモードで伝播して前記分岐部へ伝えるダブルモード導波路として形成され、

前記分岐部は、前記主導波路から伝えられた前記第2直線偏光をその光強度分布に沿って前記第1側枝導波路と前記第2側枝導波路とに分配し、

前記第1側枝導波路と前記第2側枝導波路とは、前記分岐部で分配された前記第2直線偏光の光強度に対応した検出光をそれぞれ前記第3光ポート及び第4光ポートを介して前記検出手段に伝える。

一つの変形態様によるコンフォーカルレーザ走査光学顕微鏡においては、前記主導波路は、第1偏光方向と第2偏光方向の一方に対してはコアとして機能すると共に他方に対してはクラッドとして機能する異方性材料を含む少なくとも3つの材料によって構成されている。

別の変形態様によるコンフォーカルレーザ走査光学顕微鏡においては、前記照明手段は、光源と、該光源から出射された光のうち前記第1偏光方向の直線偏光のみを通過させる偏光手段とを備えている。

好ましくは前記中央枝導波路は、前記第1光ポートに到来する前記第2直線偏光が戻り光として前記照明手段に入射されるのを防ぐ手段を有する。

更に好ましい変形態様によるコンフォーカルレーザ走査光学顕微鏡では、前記主導波路は、

クラッドとして機能する $\text{LiNbO}_3$ 単結晶と、

コアとして機能する、予め定められた遷移金属が拡散された $\text{LiNbO}_3$ 単結晶とを備えている。

別の好ましい変形態様によるコンフォーカルレーザ走査光学顕微鏡では、前記主導波路は、

前記第1直線偏光と前記第2直線偏光に対してクラッドとして機能するLiNbO<sub>3</sub>単結晶と、

前記第1直線偏光と前記第2直線偏光に対してコアとして機能する、予め定められた遷移金属が拡散されたLiNbO<sub>3</sub>単結晶と、

前記第1直線偏光に対してはクラッドとして機能し、前記第2直線偏光に対してコアとして機能する、プロトン交換されたLiNbO<sub>3</sub>単結晶とを備えている。

更に別の好ましい態様によるコンフォーカルレーザ走査光学顕微鏡では、前記主導波路の前記一端から前記他端までの長さLと、前記主導波路における前記第2直線偏光に対する偶数モードと奇数モードとの完全結合長L<sub>c</sub>とが、前記の式(1)または(2)の関係、即ち、

$$L = m \cdot L_c \quad (m = 1, 2, 3, \dots)$$

$$L = L_c (2m + 1) / 2 \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$$

の何れかを満たしている。

更に別の好ましい態様によるコンフォーカルレーザ走査光学顕微鏡では、前記光導波路デバイスは前記主導波路に電界を印加する電極手段を更に備え、前記主導波路は電気光学効果を有する材料からなり、これにより前記主導波路における前記第2直線偏光に対する偶数モードと奇数モードとの完全結合長L<sub>c</sub>が前記電界の印加によって第1の制御された完全結合長L<sub>c1</sub>および第2の制御された完全結合長L<sub>c2</sub>に変化でき、前記主導波路の前記一端から前記他端までの長さLと、前記第1の制御された完全結合長L<sub>c1</sub>または第2の制御された完全結合長L<sub>c2</sub>とが、以下の式(3)または(4)の関係、即ち、

$$L = m L_{c1} \quad (m = 1, 2, 3, \dots) \quad \dots (3)$$

$$L = L_{c2} (2m + 1) / 2 \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \quad \dots (4)$$

の何れかを満たしている。

本発明によるコンフォーカルレーザ走査光学顕微鏡では、被検物体面を照明する光と被検物体面からの反射光とが互いに偏光方向の異なる直線偏光の形で主導波路内を伝播する。主導波路は、屈折率に異方性をもつ材料からなり、照明光の

偏光に対する屈折率よりも反射光の偏光に対する屈折率が大きくなる方位の導波路として形成されている。このため、主導波路は、照明光（常光線）に対してはシングルモード導波路として機能し、被検物体面からの反射光（異常光線）に対してはダブルモード導波路として機能する。

このように、主導波路は照明光に対しては常にシングルモード導波路として機能するので奇モード光を励振してしまう恐れは全く無く、照明光は常に0次モードのみで伝播され、それゆえ被検物体面は、光量と位相が正規分布したスポット光で照明されることになる。また、中央枝導波路と主導波路との接続部については、伝播光を効率よく伝えることができる構造であれば充分であり、厳密な精度で製造する必要は無く、既に知られている製造技術によって比較的容易に製造可能である。

一方、主導波路は、被検物体面からの反射光に対しては常にダブルモード導波路として機能し、主導波路内では反射光中の0次モード光と1次モード光とが互いに干渉する。この干渉光は分岐部を介して第1枝導波路と第2枝導波路との2つの枝導波路に分配され、この分配された光は夫々第1枝導波路と第2枝導波路とを伝播して検出手段により検出される。検出手段は、第1枝導波路を伝播してきた光と第2枝導波路を伝播してきた光との光量差から被検物体面の微分情報を得る。

本発明の上述及びそれ以外の特徴と利点は、限定を意図しない単なる例示のための添付図面を参照して行う以下の幾つかの好適な実施例の説明から一層明確となろう。

#### 図面の簡単な説明

図1は、本発明の第1実施例に係る光導波路デバイスの要部構造を模式的に示す縦断面図であり、

図2 a, b, cは、図1の光導波路デバイスの製造工程を順に示す模式断面図であり、

図3は、図1の光導波路デバイスにおいて常光線に対する屈折率が増大している部分を模式的に示す縦断面図であり、

図4は、図1の光導波路デバイスにおいて異常光線に対する屈折率が増大して

いる部分を模式的に示す縦断面図であり、

図5は、本発明の第2実施例に係る光導波路デバイスの要部構造を模式的に示す縦断面図であり、

図6 a, b, cは、図5の光導波路デバイスの製造工程を順に示す模式断面図であり、

図7は、本発明の第3実施例に係る光導波路デバイスの要部構造を模式的に示す平面図であり、

図8は、図7のⅧ-Ⅷ線における要部構造を模式的に示す縦断面図であり、

図9は、図7の実施例の変形例に係る光導波路デバイスの要部構造を模式的に示す平面図であり、

図10は、図8のX-X線における要部構造を模式的に示す縦断面図であり、

図11は、本発明の第4実施例に係る光学的焦点検出装置を示すブロック図であり、

図12は、図11の焦点検出装置の変形例を示すブロック図であり、

図13は、レーザー走査顕微鏡に組み込まれた本発明の第5実施例に係る光学的段差測定装置の概略構成を示すブロック図であり、

図14は、図13の段差測定装置の変形例を示すブロック図であり、

図15は、図13の段差測定装置による段差測定に利用される割算器出力-焦点ずれ量の換算関数の一例を示すグラフであり、

図16は、本発明の第6実施例に係るコンフォーカルレーザー走査微分干涉顕微鏡の概略構成を示すブロック図であり、

図17は、図16の実施例に係る顕微鏡に使用されている光導波路デバイスの構成の一例を模式的に示す平面図であり、

図18は、図16の実施例に係る顕微鏡に使用されている光導波路デバイスの構成の別の例を模式的に示す平面図であり、

図19は、本発明の第7実施例に係るコンフォーカルレーザー走査微分干涉顕微鏡の概略構成を示すブロック図であり、

図20は、本発明の第8実施例に係るコンフォーカルレーザー走査微分干涉顕微鏡の概略構成を示すブロック図であり、

図21は、ニオブ酸リチウム単結晶と、Ti拡散ニオブ酸リチウム単結晶と、プロトン交換ニオブ酸リチウム単結晶との各屈折率を示すグラフである。

#### 発明を実施するための最良の形態

図1に示される縦断面構造を有する本発明の第1実施例による光導波路デバイスは、ニオブ酸リチウム(LiNbO<sub>3</sub>)単結晶からなる基板11をクラッドに用いて構成されている。この基板11の表面上には、チタニウム(Ti)の熱拡散によって形成された常光線及び異常光線のいずれに対しても基板より屈折率が高い第1コア部12と、その両側にプロトン交換処理及びその後のアニールによって形成された異常光線に対してのみ基板より屈折率が高い第2コア部13a, 13bとが設けられている。各部の屈折率分布が調整されていることにより、第1コア部12が常光線に対してシングルモード導波路を構成し、また第1コア部12と第2コア部13a, 13bを合わせた領域が異常光線に対してダブルモード導波路を構成する。

この光導波路デバイスの作製について、その導波路に直交する断面の構造を模式的に示した図2a, b, cを参照して以下に説明する。

まず、図2aは、ニオブ酸リチウム単結晶基板11の表面の限定された領域にTiを拡散した後の状態を模式的に示す断面図である。第1コア部12はニオブ酸リチウム単結晶基板11上に導波路パターンのTiを成膜した後、これを加熱して基板11中の限定された領域に拡散することにより形成される。この第1コア部12は、常光線に対する屈折率も異常光線に対する屈折率も共に基板より増大し、常光線に対しても異常光線に対してもシングルモード導波路となるように作製されている。なお、本実施例における第1コア部12の屈折率の増加量は常光線および異常光線とも $6 \times 10^{-3}$ 程度である。

図2bは、図2aに示す基板11の第1コア部12の両脇にプロトン交換処理を行った後の状態を模式的に示す断面図である。プロトン交換処理(プロトン交換源:安息香酸)は第1コア部12の両側の領域3a, 3bに対して行われる。このプロトン交換領域3a, 3bでは異常光線に対する屈折率のみが増大し、本実施例ではその増加量は $1.3 \times 10^{-1}$ 程度である。

図2cは、図2bの状態から加熱アニール処理を行った後の状態を模式的に示

す断面図である。このアニール処理によりプロトン交換領域3 a, 3 bは横方向と深さ方向に広がり（第2コア部1 3 a, 1 3 b）、屈折率が変化する。この場合、アニール処理の条件は、第1コア部1 2と第2コア部1 3 a, 1 3 bの屈折率の変化量がほぼ等しくなるように設定される。

次に、以上のようにして作製された図1の光導波路デバイスの屈折分布について説明する。

まず、図3は、常光線に対して屈折率が増大している領域、即ち第1コア部1 2を抜き出して示しており、基板1 1をクラッドとしてこの第1コア部1 2により構成される導波路は、そこを伝播する常光線に対してシングルモード導波路を形成している。

一方、図4は、異常光線に対して屈折率が増大している領域1 4（即ち第1コア部1 2と第2コア部1 3 a, 1 3 bを合わせた領域）を模式的に示しており、この領域1 4によって構成される導波路は、そこを伝播する異常光線に対してダブルモード導波路を形成している。

図5に示される断面構造を有する本発明の第2実施例による光導波路デバイスは、ニオブ酸リチウム単結晶からなる基板2 1をクラッドに用いて構成されている。この基板2 1の表面上には、Tiの熱拡散によって形成された常光線及び異常光線のいずれに対しても基板2 1より屈折率が高い第1コア部2 2と、プロトン交換処理およびその後の加熱アニール処理によって形成された異常光線に対してのみ屈折率が基板2 1より高い第2コア部2 3とが設けられている。

本実施例では、第2コア部は第1コア部2 2上に重ねて第1コア部2 2よりも広い幅で形成されている。各部の屈折率分布が調整されていることにより、第1コア部2 2は、そこを伝播する常光線に対してシングルモード導波路を構成し、第1コア部2 2との重複部分を含む第2コア部2 3は、そこを伝播する異常光線に対してダブルモード導波路を構成する。

図5の光導波路デバイスの作製について、その導波路に直交する断面の構造を模式的に示した図6 a, b, cを参照して以下に説明する。

まず、図6 aは、ニオブ酸リチウム単結晶基板2 1の表面の限定された領域にTiを拡散した後の状態を模式的に示す断面図である。第1コア部2 2は、基板

21上に導波路パターンのTiを成膜し、これを加熱して基板21中の限定された領域に拡散することにより形成される。第1コア部22では、常光線に対する屈折率も異常光線に対する屈折率も共に基板より増大されており、これにより第1コア部22が常光線の導波光に対しても異常光線の導波光に対してもシングルモード導波路を形成するように構成されている。本実施例の場合、屈折率の増加量は、常光線および異常光線共に $6 \times 10^{-3}$ 程度である。

図6bは、図6aに示す基板21の第1コア部22に重なるように基板表面の限定された領域にプロトン交換処理を行った後の状態を模式的に示す断面図である。プロトン交換領域23a（プロトン交換源：安息香酸）は、第1コア部22の表面に重なるように、かつ第1コア部22よりも幅が広くなるように設けられている。プロトン交換領域23aでは異常光線に対する屈折率のみが増大し、本実施例ではその増加量は $1.3 \times 10^{-1}$ 程度である。

図6cは、図6bの状態からアニール処理を行った後の状態を模式的に示す断面図である。アニール処理により、プロトン交換領域23aは横方向と深さ方向に広がって第2コア部23を形成し、この第2コア部23の屈折率が変化する。この際、アニールの条件は、アニール後の第2コア部23の屈折率の変化量が第1コア部22の屈折率の変化量とほぼ等しくなるように設定される。

以上のようにして作製された図5の光導波路デバイスにおいては、第1コア部22が常光線に対するシングルモード導波路を構成し、第1コア部との重複部分を含む第2コア部23が異常光線に対するダブルモード導波路を構成する。

即ち、本実施例の光導波路デバイスも、第1実施例と同様に、光の偏光方向によって選択的にシングルモード導波路またはダブルモード導波路として機能するように構成されている。

なお、上記の各実施例においては、クラッドとなる基板にニオブ酸リチウム単結晶を用いているが、本発明はこれに限定されるものではないことは言うまでもなく、例えば、タンタル酸リチウム(LiTaO<sub>3</sub>)等の電気光学効果を有する単結晶材料を用いることもできる。

また、上記の各実施例では、熱拡散法によって第1コア部を形成する際の拡散源としてTiを用いているが、ニオブ酸リチウム基板を用いる場合の拡散源とし

ては、Tiの他に、バナジウム(V)、ニッケル(Ni)、銅(Cu)等の遷移金属でも良く、タンタル酸リチウム基板を用いる場合はCu、Ti、ニオブウム(Nb)等の遷移金属を用いることができる。

また、上記の各実施例ではプロトン交換法によって形成される第2コア部のプロトン交換源として安息香酸を用いているが、この他、ピロリン酸、硝酸銀等を用いることができる。

更に上記の各実施例では、異常光線に対してのみ屈折率を増加させる方法としてプロトン交換法を用いているが、これに代えてLi<sub>2</sub>O外方拡散法を採用することもできる。

図7及び図8には、本発明の第3実施例による光導波路デバイス30が示されている。図において、ニオブ酸リチウム単結晶基板31の一方の表面側に、シングルモード導波路32を構成するための領域32a、シングルモード導波路33を構成するための領域33a、シングルモード導波路34を構成するための領域34a、シングルモード導波路35を構成するための領域35a、および前記領域35aと共にダブルモード導波路37を構成するための領域36a、36bが示されている。

この導波路デバイス30の作製に際しては、まず、基板31の表面に前述したような熱拡散法によってTiが拡散され、領域35aと領域32aに第1コア部が形成される。これらの領域32a、35aに形成された第1コア部によって、一列に連なったシングルモード導波路32、35が構成される。即ちシングルモード導波路35は、シングルモード導波路32から領域33a(または領域34a)側に滑らかに偏らせてあり、それにより両導波路は実質的に直線導波路として形成されている。

領域33a、領域34a、およびシングルモード導波路35の両側の領域36a、36bには、プロトン交換処理およびその後のアニール処理により第2コア部が形成される。図7のA-A矢視で示す横断面の構造を図8に模式的に示す。領域33aと34aの各第2コア部によって夫々分配用のシングルモード導波路33および34が構成される。また、領域35aの第1コア部と、領域36a、36bの第2コア部とによって、ダブルモード導波路37が構成される。尚、図

8ではTi拡散領域とプロトン交換領域との重なりが示されているが、図7ではこの重なりを図示は省略されている。

図7に示すように、ダブルモード導波路37の端面は第1光ポート39を構成し、この光ポート内では、シングルモード導波路35の中心とダブルモード導波路37の中心とがずれた位置にある。ダブルモード導波路37から分岐部38によって2分岐された二つのシングルモード導波路33及び34の各端面は、それぞれ第2光ポート39a及び第3光ポート39bを構成している。更にシングルモード導波路35と滑らかに連なったシングルモード導波路32の端面は第4光ポート39cを構成している。

図9及び図10には、前記第3実施例の変形例による光導波路デバイス40が示されている。図において、ニオブ酸リチウム単結晶からなる基板41の一方の表面に、シングルモード導波路42を構成するための領域42a、シングルモード導波路43を構成するための領域43a、シングルモード導波路44を構成するための領域44a、シングルモード導波路45を構成するための領域45a、および前記領域45aと共にダブルモード導波路47を構成するための領域46a、46bが示されている。

この導波路デバイス40の作製に際しては、まず、基板41の表面に前述したような熱拡散法によってTiが拡散され、領域45aと領域42aに第1コア部が形成される。これらの領域42a、45aの第1コア部によって、一列に連なったシングルモード導波路42、45が構成される。即ちシングルモード導波路45は、シングルモード導波路42から領域43a（または領域44a）側に滑らかに偏らせてあり、それにより両導波路は実質的な直線導波路として形成されている。

領域43a、領域44a、領域45a、領域46a、及び領域46bには、プロトン交換処理およびその後のアニール処理により第2コア部が形成される。図9のB-B矢視で示す横断面の構造を図10に模式的に示す。領域43aと44aの各第2コア部によって夫々分配用のシングルモード導波路43および44が構成される。また、領域45a、領域46a、及び領域46bの第1コア部と第2コア部とを合わせた領域によって、ダブルモード導波路47が構成される。

図9に示すように、ダブルモード導波路47の端面は第1光ポート49を構成し、この光ポート内では、シングルモード導波路45の中心とダブルモード導波路47の中心とがずれた位置にある。ダブルモード導波路47から分岐部48によって2分岐された二つのシングルモード導波路43及び44の各端面は、それぞれ第2光ポート49a及び第3光ポート49bを構成している。更にシングルモード導波路45と滑らかに連なったシングルモード導波路42の端面は第4光ポート49cを構成している。

基板41の表面上の限定された領域にTiの熱拡散を行った場合には、その領域における常光線に対する屈折率と異常光線に対する屈折率との両方が増大されるが、これに対してプロトン交換処理の場合は、異常光線に対する屈折率のみが選択的に増大され、常光線に対する屈折率はあまり変化しない。従って、先に述べたように、第3実施例またはその変形例のような手法で作製された光導波路では、プロトン交換処理とその後のアニール処理の処理条件を適切に選定することにより、常光線に対してはシングルモード導波路として機能する導波路35または45と、異常光線に対してはダブルモード導波路として機能する導波路37または47とを共通の一つの光ポート39または49内にもつことになる。

図11には、本発明の第4実施例による光学器械の構成が模式的に示されている。この光学器械は、光ディスク装置におけるフォーカスエラー信号の検出等に有用な焦点検出装置として構成されている。この焦点検出装置では、前述第3実施例による光導波路デバイス40が用いられており、図11において光導波路デバイス40の各部については図9と同じ符号が付されているので、以下の説明ではその詳しい説明は省略されている。尚、この光導波路デバイス40に使用されている基板41は、図9に示したXY座標表示において、YXカット・Y伝播タイプのLiNbO<sub>3</sub>単結晶基板である。

この焦点検出装置では、被検物体面の傾斜の分布によってレーザースポットの焦点の位置がずれることを検出し、観察する。このため、光導波路デバイス40のダブルモード導波路47の長さLは、位相分布の非対称性を測定できるようなダブルモード領域の有効長となるように予め設計される。この長さLは、前述の式(1)または式(3)によって求めることができる。

光導波路デバイス40の光ポート49cにはレーザー光源101が光学的に結合されており、このレーザー光源101は、例えば半導体レーザーに偏光板101aを組み合わせて、予め定められた偏光方向の直線偏光を出射するように構成されている。この場合、レーザー光源101からの直線偏光が導波路42内を常光線として伝播するように、そしてこれと直交する偏光方向の光は導波路42内を異常光線として伝播するように、レーザー光源101と基板41との配置方位が定められる。

光源101からのレーザー光は、シングルモード導波路42と45によって伝播されて光ポート49から出射される。この出射レーザー光は、コリメータレンズ111によってコリメートされた平行光束の照明光となり、次いで偏光手段としての $\frac{1}{4}$ 波長板112を通過する。 $\frac{1}{4}$ 波長板112を通過した照明光は対物レンズ113によって光ディスク114の表面、即ち被検物体面に集光される。

被検物体面上のレーザー光の集光領域から生じる反射光は、対物レンズ113と $\frac{1}{4}$ 波長板112を逆方向に通過し、 $\frac{1}{4}$ 波長板112によって前記照明光の偏光方向と直交する偏光方向の直線偏光に変換される。この反射光の直線偏光はコリメータレンズ111によって光ポート49に集光される。

光ディスク114の表面からの反射光は、このようにして光ポート49に入射する時点では基板41に対して異常光線となる。従ってこの反射光は、光ポート49からダブルモード導波路47内を伝播され、分岐部48から二つのシングルモード導波路43と44に分配される。この二つのシングルモード導波路43と44の各端面に形成された光ポート49aと49bには、それぞれ光検出器115及び116が光学結合され、両光検出器の出力は差動アンプ117に入力されて両者の偏差が検出される。

本実施例においては、光ポート49における前記反射光の入射位置がダブルモード導波路47の中心からずれた位置にあるので、前述のように、もしダブルモード導波路47の有効長が最適に設定されていれば、被検物体面である光ディスク114の表面におけるレーザー光スポットの焦点ずれは、二つの光ポート49aと49bからの各出射光の光量偏差、即ち前記差動アンプ117の出力によって検出できる。尚、図11では、光ディスク114に記録された情報の再生系や

自動トラッキングのための光学系は図示を省略してある。

図12は、前記第4実施例の変形例に係る焦点検出装置を示しており、ここでは、Xカット・Y伝播タイプのニオブ酸リチウム基板51が電気光学効果を有していることを利用して、光導波路デバイス50のダブルモード導波路57に制御された電界を印加することによりダブルモード領域の完全結合長を測定に最適な値に可変制御できるようにしてある。

図12において、光導波路デバイス50は、Xカット・Y伝播タイプのニオブ酸リチウム単結晶からなる基板51の表面に、シングルモード導波路52、シングルモード導波路53、シングルモード導波路54、シングルモード導波路55およびダブルモード導波路57を備えている。

ダブルモード導波路57の端面は第1光ポート59を構成し、この光ポート内では、シングルモード導波路55の中心とダブルモード導波路57の中心とがずれた位置にある。ダブルモード導波路57から分岐部58によって2分岐された二つのシングルモード導波路53及び54の各端面は、それぞれ第2光ポート59a及び第3光ポート59bを構成している。更にシングルモード導波路55と滑らかに連なったシングルモード導波路52の端面は第4光ポート59cを構成している。

基板51は、ダブルモード導波路57の幅方向（Z軸方向）に電界を印加すると効率よくその屈折率を変化する。従って、基板51上には、ダブルモード導波路57の幅方向に電界が印加されるように、一对の電極91a、91bが配置されている。尚、基板51がZカット・XまたはY伝播タイプの単結晶からなる場合は、X軸方向に電界が印加されるような電極配置とすれば良い。電極91a、91b間には、外部の図示しない制御電源から調整された電圧が印加され、それによりダブルモード導波路57にはZ軸方向の所望値の電荷が印加されることになる。

ダブルモード導波路57に電界を印加するに当たって、なるべく導波路内屈折率分布が対称な箇所電圧を印加することが望ましい。従って、図12に示す変形例では、ダブルモード導波路57は分岐部58に近い側においてシングルモード領域55と中心が揃った対称配置部分を備え、この対称配置部分の両側に電極

91 a, 91 bが配置されている。

図12において、光導波路デバイス50の光ポート59cにはレーザー光源201が光学的に結合されており、このレーザー光源201は予め定められた偏光方向の直線偏光の照明光を生じる。レーザー光源201からの照明光が導波路52内を伝播するときにレーザー光源からの照明光が常光線、これと直交する偏光方向の光が異常光線となるように、レーザー光源201と基板51との配置方位が定められている。

光源201からのレーザー光は、シングルモード導波路52と55によって伝播されて光ポート59から出射される。この出射レーザー光は、コリメータレンズ211によってコリメートされた平行光束となり、次いで偏光手段としての $\frac{1}{4}$ 波長板212を通過する。 $\frac{1}{4}$ 波長板212を通過した照明光は対物レンズ213によって光ディスク214の表面、即ち被検物体面に集光される。

被検物体面上のレーザー光の集光領域から生じる反射光は、対物レンズ213と $\frac{1}{4}$ 波長板212を逆方向に通過し、 $\frac{1}{4}$ 波長板212によって前記照明光の偏光方向と直交する偏光方向の直線偏光に変換される。この反射光の直線偏光はコリメータレンズ211によって光ポート59に集光される。

光ディスク214の表面からの反射光は、このようにして光ポート59に入射する時点では基板51に対して異常光線となる。この反射光は、光ポート59からダブルモード導波路57内を伝播され、分岐部58から二つのシングルモード導波路53と54に分配される。この二つのシングルモード導波路53と54の各端面に形成された光ポート59aと59bには、それぞれ光検出器215及び216が光学結合され、両光検出器の出力は差動アンプ217に入力されて両者の偏差が検出される。

本実施例においては、電極91 a, 91 b間に外部から与えられ電圧によって制御された電界がダブルモード導波路57の幅方向に印加され、これにより、ダブルモード導波路57の完全結合長が最適に調整される。光ディスク214の表面におけるレーザー光スポットの焦点ずれは、二つの光ポート59aと59bからの各出射光の光量偏差に基づいて、前記差動アンプ217の出力によって検出される。

尚、図11及び図12では、光ディスク114または214を被検物体とした例を示したが、これらの図に示された焦点検出装置の基本構成は、光ディスクに限らず種々の対象物体のための一般的な光学的焦点検出装置に広く応用できるものであることは述べるまでもない。

また、図12においてシングルモード導波路52の途中に破線で示されている戻り光防止素子56は、光源201への戻り光の入射を阻止するための光学要素であり、必要に応じて設けられる。これは、例えばレーザー光源201が半導体レーザーからなる場合、半導体レーザーに戻り光が入射するとその動作が不安定になるという不都合が生じるから、この不都合を解消するためである。

また、半導体レーザーからの照明光の偏光方向が基板51に対して正しい方向からずれていると、照明光の照射によって導波路52内を常光線と異常光線とが伝播してしまい、導波路52内における被検物体への照明光の伝播状態が実質的にシングルモードから外れてしまう。前記戻り光防止素子56は、このような不都合を解消するためにも有効である。

このような戻り光防止素子56としては、基板51がXカット・Y伝播タイプの単結晶からなる場合には、伝播光の偏光方向に応じてTEモードの常光線とTMモードの異常光線とを分離する公知のモードスプリッタを利用することができる。また、基板51がZカット・XまたはY伝播タイプの単結晶からなる場合には、シングルモード導波路52内を伝播するTMモードの光を吸収し、TEモードの光のみを通過させる金属クラディング偏光子を利用することができる。

図13は、本発明の第5実施例による光学器械を示しており、この光学器械は被検物体面の段差を測定する機能をもつレーザー走査顕微鏡システムを構成している。この装置に用いられている光導波路デバイス60は、共通のニオブ酸リチウム単結晶基板61に第1と第2の二つの光導波路システムを作り込んだものである。

第1の光導波路システムは第4実施例における光導波路デバイス50と同様の構成を持ち、照明光を伝播するための一連のシングルモード導波路62、65、被検物体面からの反射光を伝播するためのダブルモード導波路67、このダブルモード導波路67から2分岐した二つのシングルモード導波路63、64、およ

びダブルモード導波路67の完全結合長を電界の印加によって可変調整するための一対の電極92a, 92bを備えている。

第2の光導波路システムは、被検物体面からの反射光を伝播するダブルモード導波路68、このダブルモード導波路68から2分岐した二つのシングルモード導波路68a, 68b、およびダブルモード導波路68の完全結合長を電界の印加によって可変調整するための一対の電極93a, 93bを備えている。

半導体レーザー光源301から出射された照明光（直線偏光）は光ポート69cからシングルモード導波路62内に入射され、一連のシングルモード導波路62と65内を伝播して光ポート69から出射される。この照明光はコリメータレンズ311によってコリメートされて平行光束となり、次いで偏光選択性回折格子320と $\frac{1}{4}$ 波長板312とスキャナ321を順に通過し、対物レンズ313によって被検物体面339に集光される。

偏光選択性回折格子320は、コリメータレンズ311から被検物体面339へ向かう照明光に関しては該照明光の偏光方向に基づいてそれを透過し、被検物体面339側からコリメータレンズ311へ向かう反射光に関しては該反射光の偏光方向に基づいてそれを回折する。

スキャナ321は、被検物体面339に集光される光スポットを被検物体面339に対して図中の直交座標表示におけるXZ座標平面内で相対移動させる。

被検物体面339からの反射光は、対物レンズ313で平行光束に成形され、次いで $\frac{1}{4}$ 波長板312によって前記照明光の偏光方向と直交する偏光方向の直線偏光に変換される。この $\frac{1}{4}$ 波長板312で直線偏光に変換された反射光は、偏光選択性回折格子320を通過する時に回折される。

この回折格子320の光学特性と配置向きとによって、回折格子320から生じる回折光のうち、0次回折光は段差測定のためにコリメータレンズ311を介して一方の光ポート69上に集光され、また1次回折光は、被検物体面339の位相分布及び光強度分布の測定・観察のためにコリメータレンズ311を介して他方の光ポート69d上に集光される。このようにして反射光の0次回折光が光ポート69から第1の光導波路システムのダブルモード導波路67に入射され、反射光の1次回折光が光ポート69dから第2の光導波路システムのダブルモー

ド導波路68に入射される。

第1の光導波路システムにおいて、光ポート69からダブルモード導波路67に入射された0次回折光の光量は、第4実施例の場合と同様に、二つのシングルモード導波路63、64の端面の光ポート69a、69bに個々に光結合された検出器315、316によって検出される。これら検出器315と316からの各検出信号は、両者間の差( $\Delta I$ )に相当する出力を生じる偏差演算回路322と、両者の和( $S$ )に相当する出力を生じる和演算回路323に与えられる。偏差演算回路322の出力信号と和演算回路323からの出力信号は割算器324に与えられ、割算器324からは両者の商( $\Delta I/S$ )に相当する出力信号、即ち被検物体面339における光スポットの焦点ずれ量に対応した検出出力が生じる。

被検物体面339の反射率分布が一定ではない場合、スキャンによって光ポート69から導波路67に入射する反射光の全体光量に前記反射率分布に応じた変化が生じる。和演算回路323と割算器324は、この全体光量の変化を補正するために設けられている。割算器324からの検出出力( $\Delta I/S$ )は、被検物体面の反射率分布による反射光の全体光量の変化を含まないように補正された信号である。場合によってはこの補正は不要であるが、そのときは偏差演算回路322の出力を検出信号として利用すれば良い。

一方、第2の光導波路システムにおいて、光ポート69dからダブルモード導波路68に入射された1次回折光は、ダブルモード導波路68内を伝播してその分岐部から二つのシングルモード導波路68a、68bに分配され、それらの端面の光ポート69e、69fに個々に光結合された検出器330、331によって該1次回折光の光強度の非対称性が検出される。これら検出器330と331からの各検出信号は、両者間の差に相当する出力を生じる偏差演算回路332に与えられる。この場合、ダブルモード導波路68の光ポート69dは前記1次回折光をほぼ中心で受け、実質的にピンホールと同様の機能を果たすことから、この第2の光導波路システムを含む光学系はコンフォーカル形レーザー走査顕微鏡を構成している。偏差演算回路332からの検出信号で被検物体面339の位相分布(傾斜や段差)または光強度分布(反射率)が測定される。

被検物体面339の位相分布を測定するときはダブルモード導波路68の有効長を前述(1)式または(3)式で求まる長さとし、被検物体面339の強度分布を測定するときはダブルモード導波路68の有効長を前述(2)式または(4)式で求まる長さとする。電極93a, 93bに所望の電圧を印加することによりダブルモード導波路68の完全結合長を調整することができるので、固有の一つの作成長さを持つダブルモード導波路68を用いていても、電極93a, 93bへの印加電圧を変化させることにより、位相分布の測定と強度分布の測定とを選択的に切り替えることができる。

第1の光導波路システムによる測定系で行われる被検物体面339の段差測定では、割算器324から読み出された検出信号は、例えば図15に例示したような換算テーブルを利用することによって焦点ずれ量に換算できる。図15に示す関数データは、例えば既知の寸法の複数の段差を有する標準試料を用いるなどして、レーザー走査顕微鏡システムの対物レンズ313の焦点位置と被検物体面とのずれ(焦点ずれ)に対する割算器324の検出出力の大きさの関係として予め測定して入手しておくことができる。

或いはまた、図13に示すように被検物体をステージ340に載せ、このステージ340を、割算器324の出力が零になるように(即ち合焦するように)例えばピエゾアクチュエータ等の駆動装置342によって光軸方向に微動させ、このときのステージ移動量をレーザー干渉計344で測定することにより、被検物体面339の段差を直接的に測定することもできる。この場合は図15に示したような関係を予め測定しておく必要はない。

図13に示した実施例では、被検物体面339の段差測定と位相分布または強度分布の測定とに単一の半導体レーザー光源301が用いられているが、図14に示す変形例ではこれらの測定にそれぞれ別々の半導体レーザー光源が用いられている。

即ち、図14は第5実施例の変形例による光学器械を示しており、この光学器械も、被検物体面の段差を測定する機能をもつレーザー走査顕微鏡システムを構成している。この装置に用いられている光導波路デバイス70は、共通のニオブ酸リチウム単結晶基板71に第1と第2の二つの光導波路システムを作り込んだ

ものである。

第1の光導波路システムは第4実施例における光導波路デバイス50と同様の構成を持ち、半導体レーザー光源401からの照明光（直線偏光）を伝播するための一連のシングルモード導波路72、75、被検物体面からの反射光を伝播するためのダブルモード導波路77、このダブルモード導波路77から2分岐した二つのシングルモード導波路73、74、およびダブルモード導波路77の完全結合長を電界の印加によって可変調整するための一对の電極94a、94bを備えている。

第2の光導波路システムは、別の半導体レーザー光源433からの照明光（直線偏光）を伝播するためのシングルモード導波路76、被検物体面からの反射光を伝播するダブルモード導波路78、このダブルモード導波路78から2分岐した二つのシングルモード導波路78a、78b、およびダブルモード導波路78の完全結合長を電界の印加によって可変調整するための一对の電極95a、95bを備えている。但し、この第2の光導波路システムでは、光ポート79d内でシングルモード導波路76の中心とダブルモード導波路78の中心とは一致されている。

第1の光導波路システムにおいて、半導体レーザー光源401から出射された第1照明光は光ポート79cからシングルモード導波路72内に入射され、一連のシングルモード導波路72と75内を伝播して光ポート79から出射される。この第1照明光はコリメータレンズ411によってコリメートされて平行光束となり、次いで $\frac{1}{4}$ 波長板412とスキャナ421を順に通過し、対物レンズ413によって被検物体面439上の第1位置に集光される。

この第1照明光の集光スポットによって照明された被検物体面439からの第1反射光は、前記対物レンズ413で平行光束に成形され、次いで $\frac{1}{4}$ 波長板412によって前記第1照明光の偏光方向と直交する偏光方向の直線偏光に変換される。この $\frac{1}{4}$ 波長板412で直線偏光に変換された第1反射光は、被検物体面439の段差測定のためにコリメータレンズ411によって光ポート79上に集光される。

他方、第2の光導波路システムにおいて、別の半導体レーザー光源433から

出射された第2照明光は光ポート79gからシングルモード導波路76内に入射され、このシングルモード導波路76内を伝播して光ポート79dから出射される。この第2照明光はコリメータレンズ411によってコリメートされて平行光束となり、次いで $\frac{1}{4}$ 波長板412とスキャナ421を順に通過し、対物レンズ413によって被検物体面439上の第2位置に集光される。

この第2照明光の集光スポットによって照明された被検物体面439からの第2反射光は、対物レンズ413で平行光束に成形され、次いで $\frac{1}{4}$ 波長板412によって前記第2照明光の偏光方向と直交する偏光方向の直線偏光に変換される。この $\frac{1}{4}$ 波長板412で直線偏光に変換された第2反射光は、被検物体面439の位相分布及び光強度分布の測定・観察のためにコリメータレンズ411によって光ポート79d上に集光される。

このようにして第1反射光が光ポート79から第1の光導波路システムのダブルモード導波路77に入射され、第2反射光が光ポート79dから第2の光導波路システムのダブルモード導波路78に入射される。

スキャナ421は、被検物体面439上の第1位置と第2位置に集光される各光スポットを被検物体面439に対して図中の直交座標表示におけるXZ座標平面内で相対移動させる。

第1の光導波路システムにおいて、光ポート79からダブルモード導波路77に入射された第1反射光の光量は、第4実施例の場合と同様に、二つのシングルモード導波路73、74の端面の光ポート79a、79bに個々に光結合された検出器415、416によって検出される。これら検出器415と416からの各検出信号は、両者間の差( $\Delta I$ )に相当する出力を生じる偏差演算回路422と、両者の和(S)に相当する出力を生じる和演算回路423に与えられる。偏差演算回路422の出力信号と和演算回路423からの出力信号は割算器424に与えられ、割算器424からは両者の商( $\Delta I/S$ )に相当する出力信号、即ち被検物体面439における光スポットの焦点ずれ量に対応した検出出力が生じる。割算器424からの検出出力( $\Delta I/S$ )は、被検物体面の反射率分布による反射光の全体光量の変化を含まないように補正された信号である。

この第1の光導波路システムによる測定系で行われる被検物体面439の段差

測定においても、さきに述べたように、割算器424から読み出される検出信号は、図15に例示したような換算テーブルを利用することによって焦点ずれ量に換算できる。或いはまた、被検物体を載せたステージ440を、割算器424の出力が零になるように駆動装置442によって光軸方向に微動させ、このときのステージ移動量をレーザー干渉計444で測定することによって被検物体面439の段差を直接的に測定することもできる。

他方、第2の光導波路システムにおいて、光ポート79dからダブルモード導波路78に入射された第2反射光は、ダブルモード導波路78内を伝播してその分岐部から二つのシングルモード導波路78a, 78bに分配され、それらの端面の光ポート79e, 79fに個々に光結合された検出器430, 431によって該第2反射光の光強度の非対称性が検出される。これら検出器430と431からの各検出信号は、両者間の差に相当する出力を生じる偏差演算回路432に与えられる。この場合、ダブルモード導波路78の光ポート79dは前記第2反射光をほぼ中心で受け、実質的にピンホールと同様の機能を果たすことから、この第2の光導波路システムを含む光学系はコンフォーカル形レーザー走査顕微鏡を構成している。偏差演算回路432からの検出信号で被検物体面439の位相分布（傾斜や段差）または光強度分布（反射率）が測定される。

この場合も電極95a, 95bに所望の電圧を印加することによりダブルモード導波路78の完全結合長を調整することができるので、固有の一つの作成長さを持つダブルモード導波路78を用いていても、電極95a, 95bへの印加電圧を変化させることにより、位相分布の測定と強度分布の測定とを選択的に切り替えることができる。

次に、本発明の第6実施例に係るコンフォーカルレーザー走査微分干渉顕微鏡を図16に示す。本実施例に係るレーザー走査顕微鏡は、被検物体509に光を照射するためのレーザー光源501と、被検物体509からの反射光を検出するための二つの光検出器514, 515とを備えている。また、レーザー光源501からの照明光と、被検物体509からの反射光とを夫々伝播するための光導波路デバイス500も設けられている。

光導波路デバイス500はニオブ酸リチウム単結晶基板503からなり、この

基板503には、主チャンネル導波路504と、該主チャンネル導波路504を3分岐する分岐部513と、該分岐部513に接続された三つの枝チャンネル導波路502, 510, 511とが形成されている。

レーザー光源501は偏光板501aを備え、枝チャンネル導波路502の深さ方向（第1偏光方向）の直線偏光を出射し、偏光板501aは、光源501が第1偏光方向の直線偏光を生じる半導体レーザーによって構成される場合には設けなくても良い。レーザー光源501は枝チャンネル導波路502の端面に直線偏光の照明光を入射させ、この枝チャンネル導波路502は分岐部13を介して主チャンネル導波路504に接続されている。枝チャンネル導波路502の端面に入射された直線偏光の照明光は、枝チャンネル導波路502と主チャンネル導波路504内をシングルモードで伝播され、主チャンネル導波路504の端面の光ポート505から被検物体509へ向けて射出される。

光導波路デバイス500と被検物体509との間には、 $\frac{1}{4}$ 波長板506と、スキャナ507と、対物レンズ508とが順に配置されている。光ポート505から射出される直線偏光の照明光は $\frac{1}{4}$ 波長板506で円偏光に変換され、次いでスキャナ507で図中の直交座標表示におけるXZ平面内で被検物体509に対して相対走査され、更に対物レンズ508により被検物体509の表面上に集光される。これらの光学系は、円偏光の照明光の集光スポットで照明された被検物体509の表面から生じる反射光を、前記光ポート505から射出される第1偏光方向の直線偏光と直交する第2偏光方向（導波路504の幅方向）の直線偏光に変換し、この第2偏光方向の直線偏光に変換された反射光を光ポート505上に集光させる機能も兼ねている。

光ポート505に入射された反射光は、主チャンネル導波路504内をダブルモードで伝播して分岐部から両側の枝チャンネル導波路510, 511に分配され、これら枝チャンネル導波路510, 511内を伝播してそれぞれの端面に光結合された光検出器514, 515で前記枝チャンネル導波路510, 511内を伝播してきた各光の強度が個々に検出される。

ここで、主チャンネル導波路504は、分岐部513から光ポート505へ向かう第1偏光方向（導波路の深さ方向）の直線偏光に対してはシングルモード導

波路として機能し、且つ光ポート505から分岐部513へ向かう第2偏光方向（導波路の幅方向）の直線偏光に対してはダブルモード導波路として機能するように、ニオブ酸リチウム単結晶基板503上に屈折率に異方性をもつコアによって形成されている。

光検出器514及び515の出力は、検出光量の偏差を求めるための差動回路516に入力され、この差動回路516から出力される検出信号は制御装置518に入力されている。制御装置518はスキャナ507とも接続されており、スキャナ507に対して走査指令を与えると共に、スキャナ507から被検物体509上の集光スポットの位置情報を受け取る。制御装置518は、前記差動回路516からの検出信号とスキャナ507からの前記位置情報との基づいて被検物体509の表面の微分信号像を合成し、これをモニタディスプレイ519に表示させる。

光源501として半導体レーザーを用いる場合に好適な光導波路デバイス500の構成の一例が図17に示されている。この例の基板503は、Xカット・Y伝播タイプのニオブ酸リチウム単結晶からなり、主チャンネル導波路504のコアは中心軸上のTi拡散されたニオブ酸リチウム領域573と、その両側のTi拡散及びプロトン交換されたニオブ酸リチウム領域572a, 572bと、更にその両側のプロトン交換されたニオブ酸リチウム領域571a, 571bとから構成されている。また中央の枝チャンネル導波路502のコアはTi拡散されたニオブ酸リチウムで構成されている。更に両側の二つの枝チャンネル導波路510と511のコアはプロトン交換されたニオブ酸リチウムで構成されている。

ニオブ酸リチウム単結晶は三方晶系に属し、その三つの結晶光軸x, y, zは互いに直交し、各光軸方向の偏光に対して図21に示すように異方性のある屈折率を有する。このニオブ酸リチウム単結晶にTiを拡散すると、光軸x, y, zの各方向について屈折率が増加する。本実施例の基板503はXカット・Y伝播タイプであるので、導波路幅方向の偏光方向を持つ直線偏光が異常光線、導波路深さ方向の偏光方向を持つ直線偏光が常光線となる。Ti拡散による屈折率の増加量は、常光線では $6 \times 10^{-3}$ 程度、異常光線では $1.3 \times 10^{-2}$ 程度である。一方、前記ニオブ酸リチウム単結晶をプロトン交換した場合、図21において、

z軸方向の偏光に対してはTi拡散の場合よりも大きな屈折率の増加が得られるが、y軸方向またはx軸方向の偏光に対しては逆に屈折率が若干減少する。すなわち、プロトン交換部分は異常光線に対する屈折率のみが増加し、その増加量は $1.3 \times 10^{-1}$ 程度である。また、プロトン交換されたニオブ酸リチウム単結晶は、プロトン交換処理の後に行われる熱処理工程で屈折率が低下するので、熱処理の条件によって例えば表1に示すような範囲内で所望の屈折率の値をとることができる。

表1 (各部の屈折率)

伝播光の波長 : 632.8 nm		
伝播光 偏光の方向 偏光種別	照明光 導波路深さ方向 常光線 (X偏光)	反射光 導波路幅方向 異常光線 (Y偏光)
LiNbO <sub>3</sub> 基板503	2.286	2.200
Ti拡散LiNbO <sub>3</sub> コア	2.292	2.213
プロトン交換LiNbO <sub>3</sub> コア	b = 2.246 ~ 2.286	a = 2.200 ~ 2.330

Ti拡散されたLiNbO<sub>3</sub>コアによって構成された枝チャンネル導波路502は、異常光線と常光線の双方に対してシングルモードの直線導波路である。主チャンネル導波路504のプロトン交換LiNbO<sub>3</sub>領域571a, 571bは異常光線(導波路幅方向の直線偏光)に対する屈折率のみが増加しており、従って主チャンネル導波路504は、異常光線を領域571a, 571b, 572a, 572b, 573によって伝播するダブルモードチャンネル導波路であると同時に、常光線(導波路深さ方向の直線偏光)を領域572a, 572b, 573によって伝播するシングルモードチャンネル導波路である。

このように、主チャンネル導波路504は、導波路幅方向の偏光(異常光線)についてはダブルモード導波路であり、導波路深さ方向の偏光(常光線)についてはシングルモード導波路である。

第6実施例によるレーザー走査顕微鏡では、レーザー光源501から出射される照明光の偏光方向(第1偏光方向)が主チャンネル導波路504の導波路深さ

方向に一致するように、基板503に対するレーザー光源501の配置関係を定めてある。

また、被検物体509からの反射光は、 $\frac{1}{4}$ 波長板506によって主チャンネル導波路504の導波路幅方向と一致する偏光方向（第2偏光方向）の直線偏光に変換され、この第2偏光方向の直線偏光が光ポート505から主チャンネル導波路504に入射される。

従って、主チャンネル導波路504は、一方でレーザー光源501からの照明光を常に0次モードで伝播して光ポート505から出射する。この場合、0次モードで伝播した照明光は光量及び位相が正規分布であるので、この照明光が被検物体509の表面で反射されると、その反射光には被検物体509の表面の微分情報のみが含まれることになる。また、枝チャンネル導波路502と主チャンネル導波路504は照明光に対して共にシングルモード導波路であるので、両者を継ぐ分岐部513は、導波路502から導波路504へ照明光が過大な光量不足を生じることなく十分な伝達効率で伝えられる程度の精度で形成されていればよく、従って基板503上への分岐部513の形成は比較的容易である。

また、主チャンネル導波路504は、被検物体509から光ポート505に入射される反射光に対してはダブルモード導波路として機能するので、主チャンネル導波路504内をダブルモードで伝播された反射光は、分岐部513により二つの枝チャンネル導波路510および511に分配され、従って、これら枝チャンネル導波路510および511から、反射光に含まれる被検物体面の微分情報を取り出すことができる。

さて、主チャンネル導波路504の端面の光ポート505から射出される照明光は、前述のように導波路504の深さ方向の直線偏光である。この照明光は、 $\frac{1}{4}$ 波長板506を通過することによって円偏光に変換され、次いでスキャナ507を經由し、対物レンズ508によって被検物体509の表面上に集光スポットとして照射される。この集光スポットの照射位置は前記スキャナ507によって走査移動される位置であり、その制御は制御装置518によって制御される。

被検物体509の表面における集光スポットの照射点に位置の傾斜または反射率の勾配が存在する場合、この照射点からの反射光中の位相分布または強度分布

に対応した傾斜が生じる。この反射光は円偏光であるが、対物レンズ508とスキャナ507を経て再び $\frac{1}{4}$ 波長板506を通過（ただし照明光とは逆向きに）することにより、この円偏光は、光ポート505から射出される照明光の偏光方向（導波路深さ方向）とは直交する偏光方向（導波路幅方向）の直線偏光（異常光線）に変換され、しかるのち、光ポート505上に集光される。ここで、主チャンネル導波路504の光ポート505は、 $\frac{1}{4}$ 波長板506から光ポート505に入射してくる光に対してピンホールと同様の空間フィルタ機能を果たすので、この光学系の構成はコンフォーカルレーザー走査顕微鏡を形成している。

被検物体509の表面からの反射光中の位相分布または強度分布の傾斜によって、前記光ポートに入射された前記異常光線をダブルモードで伝播する主チャンネル導波路504内には偶数モードと奇数モードの両方が励起される。これら両モード間の干渉によって、分岐部513から2本の枝チャンネル導波路510と511とに分配される光量は互いに異なっている。枝チャンネル導波路510と511とに分配された光量は、それぞれ光検出器514と515によって検出される。これら検出器514および515の出力信号は差動回路516により両者間の偏差をとられ、差動回路516から出力される偏差信号は、被検物体509の表面上の微小な段差などの位相分布または反射率変化などの強度分布の検出信号として制御装置518に渡される。

ここで、前記異常光線のためのダブルモード導波路の長さLは、被検物体509の表面の位相分布を観察する場合には前述の(1)式の条件を満たすように、また被検物体509の表面の強度分布を観察する場合には前述の(2)式の条件を満たすように定めればよく、これらの条件は、電極512に印加する電圧を切り替えることより選択され得ることは先に述べた第5実施例の場合と同様である。

図16に示された第6実施例において、光導波路デバイス500は、基板503の表面に、主チャンネル導波路504、中央枝チャンネル導波路502、両側の枝チャンネル導波路510、511を形成してなるものである。このデバイスの製造に当たって、ひとつの実施例では、図17に示すように、ニオブ酸リチウム単結晶からなる基板503の上に、中央枝チャンネル導波路502の領域と、主チャンネル導波路504の領域573、572a、572bとに熱拡散法によ

ってTiが拡散された。この熱拡散プロセスにおいては、基板503上の上記各領域にTiが堆積され、その後、この堆積されたTiが高温の炉内で所要の時間に亘る加熱処理により基板503の上記領域内に拡散され、これら領域にTi拡散ニオブ酸リチウム単結晶のコアが形成された。

次いで、基板503の枝チャンネル導波路510, 511の各領域と、主チャンネル導波路504の各領域71a, 71b, 72a, 72bに対してプロトン交換処理が施された。この処理においては、まず上記各領域を除く部分の基板表面がレジストでマスクされ、その後、このマスクした基板503がプロトン交換処理溶液中に浸漬され、上記各領域における基板中のイオンが溶液中のイオンと交換され、これにより、各領域の表面近傍に高屈折率の層が作成された。なお、プロトン交換処理溶液としては、安息香酸、硝酸銀、ピロリン酸などの溶液が知られている。

この後、基板表面からレジストが除去され、あらかじめ定められた熱処理条件でアニールが行われた。この熱処理条件を適切に選ぶことにより、プロトン交換処理された各領域の屈折率とその分布が所望の通りのデバイスが作成された。

このように、本実施例による光導波路デバイスは互いに偏光方向が直交する照明光と反射光を伝播するためのものであり、これらの偏光方向について屈折率に異方性を示す主チャンネル導波路504は、照明光に対してはシングルモード導波路として機能し、反射光に対してはダブルモード導波路として機能する。このため、主チャンネル導波路では照明光は常に0次モードで伝播される。また、中央枝チャンネル導波路502と主チャンネル導波路504は共に照明光に対してシングルモード導波路として機能するので、両者間の接続部の作成に関しては従来のように1次モードの励起を防止するための対策が不要であり、両者間の伝播光量の伝達効率が十分となる程度の精度で接続部（分岐部）を作成すれば良い。従って、基板503上の分岐部513の作成工程は比較的容易であり、そのようにして作成された光導波路デバイスは照明光を0次モードのみで伝播することができるので、比較的 low cost でコンフォーカルレーザー走査顕微鏡を組み立てることができる。

なお、上記した光導波路デバイスの製造例では、主チャンネル導波路504が

Ti 拡散コアとプロトン交換コアとについてそれぞれ複数の領域に分けて構成されているが、一方で、基板材料の屈折率の異方性だけを利用してコアを単一の領域によって作成することもまた可能である。例えば、Ti 拡散ニオブ酸リチウム単結晶では、先の表 1 に示したように、Z 偏光に対する屈折率が 2.213 であり、X または Y 偏光に対する屈折率が 2.292 であることから、クラッドとなる基板 503 の屈折率を前述のいずれかの処理により増加させるか、あるいはコアの幅寸法を厳密に制限することにより、Z 偏光に対してダブルモード、X または Y 偏光に対してはシングルモードの導波路を形成することができる。

図 18 は別の製造例による光導波路デバイスの要部を模式的に示しており、この光導波路デバイスも第 6 実施例のコンフォーカルレーザー走査微分干渉顕微鏡に用いることができる。なお、図 18 では、説明の便宜上、図 17 の各部と対応する部分については同一符号を付してある。

図 18 に示した光導波路デバイスにおいて、異常光線に対してダブルモードである主チャンネル導波路 584 は、Ti 拡散処理とプロトン交換処理との双方が施された領域 582 と、プロトン交換処理のみが施された領域 581a, 581b とによって構成されている。この主導波路チャンネル 584 に分岐領域 583 で連なる中央枝チャンネル導波路 502 と左右の両枝チャンネル導波路 510, 511 は、前述の図 17 に示した光導波路デバイスの場合と同様の形成プロセス及び構造形状で形成されている。プロトン交換処理が施された各領域では異常光線（導波路の幅方向の偏光）に対する屈折率だけが増加するので、主チャンネル導波路 584 は、異常光線を領域 581a, 581b, 582 によって伝播するダブルモードチャンネル導波路であると同時に、常光線を領域 582 によって伝播するシングルモードチャンネル導波路でもある。

図 18 に示した光導波路デバイスの各導波路中での光の伝播の様子を以下に説明すると、光源から射出されたレーザー光は、図中の直角座標表示の X 軸方向の直線偏光として基板端面から中央枝チャンネル導波路 501 に入射される。これによって中央枝チャンネル導波路 502 内を伝播する光は、前述のように常光線である。この伝播光は分岐領域 583 を通過して主チャンネル導波路 584 内の領域 582 を伝播し、この領域 582 はそこを伝播する常光線に対してシングル

モード導波路として機能するので、結局、伝播される光は0次モード光のみとなり、この0次モード光が光導波路デバイスの光ポート505から照明光として被検物体509（図16）へ向けて射出されることになる。

一方、被検物体509の表面からの反射光は、前述のように光ポート505から射出された照明光の偏光方向と直交するZ軸方向の偏光として光ポート505に戻ってくる。光ポート505から主チャンネル導波路584に入射したこの光は領域581a, 581b, 582からなるダブルモード導波路内を0次モードおよび/または1次モードで伝播される。主チャンネル導波路584は、前述のように異常光線の伝播光に対してダブルモード導波路であるので、分岐領域583を通過した伝播光は左右の枝チャンネル導波路510および511内に分配されて導かれ、それらの端部に光結合された光検出器にそれぞれ到達する。

図19に本発明の第7実施例によるコンフォーカルレーザー走査微分干渉顕微鏡の構成を模式的に示す。この実施例で用いられている光導波路デバイス520は、電気光学効果を有するニオブ酸リチウム単結晶基板523上に、被検物体529への照明光を導くための一連の中央枝チャンネル導波路522a, 522bと、被検物体529からの反射光の検出のための左右の枝チャンネル導波路530, 531と、分岐部533によってこれら枝チャンネル導波路522b, 530, 531に連なる主チャンネル導波路524とを備えている。中央枝チャンネル導波路522aと522bとは実質的に一連のシングルモードチャンネル導波路であるが、それらの境界部の上には金属クラッドを用いた偏光子540が配置されており、導波路側からの戻り光がレーザー光源521に入射されるのを偏光子540によって防止している。この金属クラッドを用いた偏光子540は、それ自体としてはよく知られたものであり、導波路内を伝播するTMモードの光を吸収し、TEモードの光を通過させる。

レーザー光源521は、この場合、半導体レーザーであり、これはまた、前記基板523上に形成されたシングルモードチャンネル導波路522aに対して光結合効率が最も高くなるように、そしてそれにより導波路522a内に入射された出射レーザー光の内の常光線のみが該導波路内を伝播されるように、導波路522aの端部に取りつけられている。この場合、導波路522aと522bとの

境界部の上に金属クラッドを利用した偏光子540が配置されているので、ニオブ酸リチウム短結晶基板523の結晶方位はZカットであり、シングルモード導波路522a内を伝播する常光線の伝播モードはTEモードである。したがってこのTEモードの常光線はシングルモード導波路522aから偏光子540を通過してシングルモード導波路522bに導かれ、さらに分岐部533を通過して主チャンネル導波路524内を伝播され、光ポート525から導波路深さ方向に偏光した直線偏光の照明光として出射される。

光ポート525から射出される照明光は前述のように直線偏光であり、この照明光は $\frac{1}{4}$ 波長板526を通過することによって円偏光に変換される。この円偏光の照明光はスキャナ527を経由し、次いで対物レンズ528により被検物体529の表面上に集光される。

被検物体529の表面上における集光点からの反射光は前記対物レンズ528およびスキャナ527を経由して $\frac{1}{4}$ 波長板526に戻ってくるが、この反射光は円偏光である。この円偏光の反射光は、 $\frac{1}{4}$ 波長板526を前記照明光とは逆方向に通過することにより、前記照明光の偏光方向とは直交する方向に偏光した直線偏光に変換され、光ポート525上に光スポットとして集光される。この集光スポットの照射位置は前記スキャナ527によって走査移動される位置であり、その制御は制御装置528によって制御される。

光ポート525から主チャンネル導波路524内に入射された光は分岐部533により二つの枝チャンネル導波路530, 531に分配され、それぞれ光検出器534, 535によって光強度が検出される。また、被検物体529の表面で反射された光は主チャンネル導波路524内から分岐部533を通過して中央チャンネル導波路522h内にも伝播されてくるが、この伝播光はTMモードであることから偏光子540ですべて吸収され、シングルモード導波路522aには達することがなく、したがってレーザー光源521に戻り光が入射されることはない。

この場合、被検物体529の表面の傾斜に応じて左右の枝チャンネル導波路530, 531に分配される光のパワー比が変化し、したがって二つの光検出器534と535の出力間の偏差を差動アンプ536によって検出すれば微分干渉信

号が得られる。差動アンプ536から出力される偏差信号537は、被検物体529の表面上の微小な段差などの位相分布または反射率変化などの強度分布の検出信号として制御装置538に渡される。制御装置538は前記偏差信号537とスキャナ527によるレーザー照明光の照射位置情報とから被検物体529の微分情報の画像信号を作り、表示装置539はこの画像信号を表示する。

尚、主チャンネル導波路524には基板523に設けられた電極532が添設され、その印加電圧の調整で主チャンネル導波路524の完全結合長が変化できるようになっている。主チャンネル導波路524は前述の通り異常光線に対してはダブルモード導波路として機能し、常光線に対してはシングルモード導波路として機能する。主チャンネル導波路524の構造としては先に述べた図17または図18に示す構造のいずれを利用してもよい。

図20に本発明の第8実施例によるコンフォーカルレーザー走査微分干渉顕微鏡の構成を模式的に示す。この実施例に用いられている光導波路デバイス550は、レーザー光源551からの照明光をシングルモードで主チャンネル導波路554へ導くための中央枝チャンネル導波路552に所謂モードスプリッタを含んでいる。

このモードスプリッタは、互いに異なるモードの偏光（TEモードとTMモード）を分離することによってレーザー光源551への戻り光の入射を防止するために、前記中央枝チャンネル導波路552に連なるダブルモード導波路領域571およびそのY分岐部573と、前記ダブルモード導波路領域571に添設されてモードスプリット比を印加電圧により微調整するための電極570とにより構成されている。前記Y分岐部573からは、レーザー光源551からのTEモードの常光線を導くシングルモードチャンネル導波路574と、光検出器572へTMモードの異常光線を導く別のシングルモードチャンネル導波路575とが分岐している。

このモードスプリッタは、レーザー光源551から一方のシングルモードチャンネル導波路574内を伝播してきたTEモードの常光線を分岐部573から中央枝チャンネル導波路552側のみへ通過させ、逆に中央枝チャンネル導波路552から伝播されてくるTMモードの異常光線を分岐部573から他方のシング

ルモードチャンネル導波路575側のみへ通過させる。尚、モードスプリッタの電極570は場合によっては設けなくてよいが、これが設けてあれば、電極570への印加電圧を調整することによって、光導波路デバイスの製造過程で生じる可能性のある個々のデバイスの特性偏差に起因するTE/TMモードのスプリット特性の不完全性を除去することができる。

レーザー光源551は半導体レーザーであり、電気光学効果を有するニオブ酸リチウム単結晶基板553上に形成されたシングルモードチャンネル導波路574に対して最大の光結合効率が得られるように、したがって該導波路574内を伝播される照明光がTEモードの常光線のみとなるように、導波路574の端部に光結合されている。

レーザー光源551からシングルモードチャンネル導波路574に入射された照明光はTEモードの常光線として伝播され、分岐部573からモードスプリッタのダブルモード導波路領域571へ導かれる。この常光線はダブルモード導波路領域571から中央枝チャンネル導波路552内に導かれ、次いで分岐部563を通過し、完全結合長の調整用の電極562を備えた主チャンネル導波路554内をシングルモードで伝播して、光ポート555から被検物体559へ向けて射出される。主チャンネル導波路554の分岐部563に中央枝チャンネル導波路552と共に接続されている二つの枝チャンネル導波路560と561は、前述の第5実施例の場合と同様に被検物体559からの反射光を光検出器564と565にそれぞれ導くために設けられている。

光ポート555から射出された照明光は導波路深さ方向に偏光した直線偏光であり、この直線偏光は $\frac{1}{4}$ 波長板556を通過することによって円偏光に変換される。この円偏光の照明光はスキャナ557を經由し、次いで対物レンズ558により被検物体559の表面上に集光される。

被検物体559の表面上における集光点からの反射光は前記対物レンズ558およびスキャナ557を經由して $\frac{1}{4}$ 波長板556に戻ってくるが、この反射光は円偏光である。この円偏光の反射光は、 $\frac{1}{4}$ 波長板556を前記照明光とは逆方向に通過することにより、前記照明光の偏光方向とは直交する方向に偏光した直線偏光に変換され、光ポート555上に光スポットとして集光される。この集光ス

ポットの照射位置は前記スキャナ557によって走査移動される位置であり、その制御は制御装置558によって制御される。

光ポート555から主チャンネル導波路554内に入射された光は分岐部553により二つの枝チャンネル導波路560, 561に分配され、それぞれ光検出器564, 565によって光強度が検出される。

この場合、被検物体559の表面の傾斜に応じて左右の枝チャンネル導波路560, 561に分配される光のパワー比が変化し、したがって二つの光検出器564と565の出力間の偏差を差動アンプ566によって検出すれば微分干渉信号が得られる。差動アンプ566から出力される偏差信号567は、被検物体559の表面上の微小な段差などの位相分布または反射率変化などの強度分布の検出信号として制御装置568に渡される。制御装置568は前記偏差信号567とスキャナ557によるレーザー照明光の照射位置情報とから被検物体559の微分情報の画像信号を作り、表示装置569はこの画像信号を表示する。

また、被検物体559の表面で反射された光は主チャンネル導波路554内から分岐部563を通過して中央チャンネル導波路552にも伝播されてくるが、この伝播光は、モードスプリッタのダブルモード導波路領域571に入射される時にはTMモードの常光線に変換されている。したがって、この光は、モードスプリッタの機能によって光源側のシングルモードチャンネル導波路574へ導かれることなく、全てシングルモードチャンネル導波路575に導かれ、光検出器572によってその光強度がモニターされる。このようにしてシングルモードチャンネル導波路574を経由してレーザー光源521に戻り光が入射されることが防止される。

尚、以上に説明したいくつかの実施例あるいはそれらの変形例においては、主チャンネル導波路の有効結合長の調整あるいはモードスプリッタのスプリット比の調整のための各電極を関連の導波路チャンネルに対して軸対称的な複数極の配置とした場合を示したが、使用する単結晶基板の結晶軸の向きを始めとする基板の条件に応じて、他の最適な配置形態が採用されることもある。

また、前述の各実施例において、被検物体表面からの微分情報を含む前記偏差信号に対して適当な電子的画像処理を施して種々のコントラストをもつ画像を表

示することができるのは述べるまでもない。

更に、前述の各実施例においては、被検物体と照明光スポットとを相対的に移動させる手段として、よく知られた振動ミラーや回転ミラーなどによって構成することのできる光学的スキャナを用い、このスキャナによる光スポットの移動によって被検物体の表面を走査する例を示したが、この代わりに光スポットを固定し、被検物体を移動させて走査を行うようにしてもよい。例えば振動ミラーや回転ミラーによって光スポットを移動させる場合には、光学系の残存収差の影響によって被検物体表面上の照明光スポットと、その反射光を受ける光導波路デバイスの光ポート上での反射光スポットとの共役関係を厳密に維持するのが困難になる恐れが想定できるが、そのような場合には可動ステージなどを用いて被検物体を移動させることにより走査を行う方が有利であろう。

本発明は、以上に述べた各実施例によって限定的に理解されるべきものではなく、当業者にとって自明な種々の変形は、特許請求の範囲の記載に基づいて本発明の技術的範囲に包含されるものと解釈される。

## 請求の範囲

1. 電気光学効果を有する単結晶基板の表面に沿って前記基板よりも大なる屈折率をもつ導光コアによって形成された光導波路により常光線及び異常光線を導く光導波路デバイスであって、

前記コアが、常光線及び異常光線のいずれに対しても前記基板より大なる屈折率をもつ第1コア部と、異常光線に対してのみ前記基板より大なる屈折率をもつ第2コア部とを含むもの。

2. 請求項1による光導波路デバイスにおいて、前記基板が電気光学効果を有する誘電体結晶からなるもの。

3. 請求項1による光導波路デバイスにおいて、前記光導波路が、前記第1コア部によって形成され、常光線に対して該常光線をシングルモードで伝播する第1のシングルモード導波路と、

前記第1コア部と前記第2コア部とによって形成され、異常光線に対して該異常光線をダブルモードで伝播するダブルモード導波路と、

前記ダブルモード導波路の一端面において前記第1コア部の一端面と前記第2コア部の一端面とを共に含む光ポート、とを備えたもの。

4. 請求項3による光導波路デバイスにおいて、前記ダブルモード導波路に予め定められた電界を印加するための電極手段を更に備えたもの。

5. 請求項3による光導波路デバイスにおいて、前記光ポート内で前記シングルモード導波路の中心と前記ダブルモード導波路の中心とが互いにずれているもの。

6. 請求項3による光導波路デバイスにおいて、前記第1コア部によって形成され、常光線を外部から前記シングルモード導波路に導く第2のシングルモード導波路と、

前記第2コア部によって形成され、前記ダブルモード導波路内の異常光線をその光強度分布について2分配して外部へ導く第3と第4のシングルモード導波路とを更に備えたもの。

7. 電気光学効果を有する単結晶基板の表面に沿って前記基板よりも大なる屈折率をもつ導光コアによって形成された光導波路により該光導波路の一端から他端への第1の方向と前記光導波路の他端から一端への第2の方向とに光を導く光導波路デバイスにおいて、

前記光導波路が、前記第1方向の光に対してはそれをシングルモードで伝播するシングルモード導波路と、前記第2方向の光に対してはそれをダブルモードで伝播するダブルモード導波路と、前記シングルモード導波路の一端面と前記ダブルモード導波路の一端面とを共に含む光ポートとを備え、

前記光ポート内で前記シングルモード導波路の中心と前記ダブルモード導波路の中心とが互いにずれているもの。

8. 請求項7による光導波路デバイスにおいて、

前記ダブルモード導波路に電界を印加するための電極手段を更に備えたもの。

9. 請求項7による光導波路デバイスにおいて、外部からの光を前記第1の方向に沿って前記シングルモード導波路へ導く第2のシングルモード導波路と、前記ダブルモード導波路内の前記第2の方向に沿って伝播する光をその光強度分布について2分配して外部へ導く第3と第4のシングルモード導波路とを更に備えたもの。

10. 光学器械であって、

請求項3による光導波路デバイスと、

前記シングルモード導波路に照明光を照射して前記光ポートから常光線を出射させる照明手段と、

前記光ポートから出射される前記常光線を予め定められた被検物体面上に集光する第1の集光手段と、

前記被検物体面からの反射光を前記光ポート上に集光する第2の集光手段と、

前記光ポートと前記被検物体面との間に配置され、前記光ポートからの前記常光線の偏光方向と前記被検物体面からの前記反射光の偏光方向とを互いに直交させる偏光手段と、

前記ダブルモード導波路中における前記反射光の光強度分布を測定する測定手段と、

前記測定手段による測定結果から前記第1の集光手段によって前記被検物体面に集光される前記常光線の焦点のずれを検出する検出手段、  
とを備えたもの。

11. 請求項10による光学器械において、前記ダブルモード導波路に予め定められた電界を印加するための電極手段を更に備えたもの。

12. 請求項10による光学器械において、前記光ポート内で前記シングルモード導波路の中心と前記ダブルモード導波路の中心とが互いにずれているもの。

13. 請求項10による光学器械において、  
前記光導波路が、

前記第1コア部によって形成され、前記照明手段から前記常光線を前記シングルモード導波路に導く第2のシングルモード導波路と、

前記第2コア部によって形成され、前記ダブルモード導波路内の前記反射光中の異常光線をその光強度分布について2分配して前記測定手段へ導く第3と第4のシングルモード導波路とを更に備え、

前記測定手段が、前記第3と第4のシングルモード導波路から射出される各異常光線の強度を個別に検出する一対の検出器を含むもの。

14. 請求項10による光学器械において、前記第1の集光手段による前記被検物体面上での集光点の位置を移動させる走査手段と、前記検出手段からの出力信号と前記走査手段による走査位置を示す信号とから前記被検物体面の段差を観察する観察手段とを更に備えたもの。

15. 光学器械であって、

請求項7による光導波路デバイスと、

前記シングルモード導波路に照明光を前記第1の方向に沿って照射して前記光ポートから前記照明光を出射させる照明手段と、

前記光ポートから出射される前記照明光を予め定められた被検物体面上に集光する第1の集光手段と、

前記被検物体面からの反射光を前記光ポート上に集光して前記ダブルモード導波路中を前記第2の方向に沿って伝播させる第2の集光手段と、

前記光ポートと前記被検物体面との間に配置され、前記光ポートからの前記照

明光の偏光方向と前記被検物体面からの前記反射光の偏光方向とを互いに直交させる偏光手段と、

前記ダブルモード導波路中における前記反射光の光強度分布を測定する測定手段と、

前記測定手段による測定結果から前記第1の集光手段によって前記被検物体面に集光される前記照明光の焦点のずれを検出する検出手段、

とを備えたもの。

16. 請求項15による光学器械において、前記ダブルモード導波路に電界を印加するための電極手段を更に備えたもの。

17. 請求項15による光学器械において、

前記光導波路が、前記照明手段からの光を前記第1の方向に沿って前記シングルモード導波路へ導く第2のシングルモード導波路と、前記ダブルモード導波路内の前記第2の方向へ伝播する光をその光強度分布について2分配して外部へ導く第3と第4のシングルモード導波路とを更に備え、

前記測定手段が、前記第3と第4のシングルモード導波路からそれぞれ射出される光の強度を個別に検出する一対の検出器を含むもの。

18. 請求項15による光学器械において、前記第1の集光手段による前記被検物体面上での集光点の位置を移動させる走査手段と、前記検出手段からの出力信号と前記走査手段による走査位置を示す信号とから前記被検物体面の段差を観察する観察手段とを更に備えたもの。

19. 被検物体面の微分干渉像を得るためのコンフォーカルレーザ走査光学顕微鏡であって、

予め定められた第1偏光方向の第1直線偏光成分を含む照明光を照射する照明手段、

前記被検物体面からの反射光を検出する検出手段、

前記照明手段からの前記照明光を前記被検物体面へ向けて導くと共に前記被検物体面からの前記反射光を前記検出手段へ向けて導く光導波路デバイス、および

前記光導波路デバイスと前記被検物体面との間に配置され、前記光導波路デバイスを通過した前記照明光の前記第1直線偏光成分を円偏光に変換すると共に前

記被検物体面からの前記反射光に含まれる円偏光成分を前記第1偏光方向とは異なる第2偏光方向の第2直線偏光に変換する偏光変換手段、を備え、

前記光導波路デバイスは、

前記偏光変換手段と光学的に結合された第1光ポートを一端に有する主導波路と、

前記主導波路の他端を3つの枝導波路に分岐する分岐部と、

前記照明手段に光学結合された第2光ポートを終端に有する中央枝導波路、該中央枝導波路の一方の側に配置され、前記検出手段に光学結合された第3光ポートを終端に有する第1側枝導波路、および前記中央枝導波路の他方の側に配置され、前記検出手段に光学結合された第4光ポートを終端に有する第2枝導波路、を含む前記3つの枝導波路、とを備え、

前記中央枝導波路は、前記第2光ポートに受け取った前記照明光の第1直線偏光成分をシングルモードで導いて前記主導波路へ伝えるシングルモード導波路として形成され、

前記主導波路は、前記中央導波路から伝えられた前記照明光の第1直線偏光成分のためにはこれをシングルモードで導いて前記第1光ポートから射出するシングルモード導波路として、また前記偏光変換手段から前記第1光ポートに入射される前記反射光の前記第2直線偏光のためにはこれをダブルモードで伝播して前記分岐部へ伝えるダブルモード導波路として形成され、

前記分岐部は、前記主導波路から伝えられた前記第2直線偏光をその光強度分布に沿って前記第1側枝導波路と前記第2側枝導波路とに分配し、

前記第1側枝導波路と前記第2側枝導波路とは、前記分岐部で分配された前記第2直線偏光の光強度に対応した検出光をそれぞれ前記第3光ポート及び第4光ポートを介して前記検出手段に伝えるもの。

20. 請求項19によるコンフォーカルレーザ走査光学顕微鏡において、前記主導波路が、第1偏光方向と第2偏光方向の一方に対してはコアとして機能すると共に他方に対してはクラッドとして機能する異方性材料を含む少なくとも3つの材料によって構成されているもの。

21. 請求項19によるコンフォーカルレーザ走査光学顕微鏡において、前記照明

手段が、光源と、該光源から出射された光のうち前記第1偏光方向の直線偏光のみを通過させる偏光手段とを有するもの。

22. 請求項19によるコンフォーカルレーザ走査光学顕微鏡において、前記中央枝導波路が、前記第1光ポートに到来する前記第2直線偏光が戻り光として前記照明手段に入射されるのを防ぐ手段を有するもの。

23. 請求項19によるコンフォーカルレーザ走査光学顕微鏡において、前記主導波路が、

クラッドとして機能するLiNbO<sub>3</sub>単結晶と、

コアとして機能する、予め定められた遷移金属が拡散されたLiNbO<sub>3</sub>単結晶とを備えているもの。

24. 請求項19によるコンフォーカルレーザ走査光学顕微鏡において、前記主導波路が、

前記第1直線偏光と前記第2直線偏光に対してクラッドとして機能するLiNbO<sub>3</sub>単結晶と、

前記第1直線偏光と前記第2直線偏光に対してコアとして機能する、予め定められた遷移金属が拡散されたLiNbO<sub>3</sub>単結晶と、

前記第1直線偏光に対してはクラッドとして機能し、前記第2直線偏光に対してコアとして機能する、プロトン交換されたLiNbO<sub>3</sub>単結晶とを備えているもの。

25. 請求項19によるコンフォーカルレーザ走査光学顕微鏡において、前記主導波路の前記一端から前記他端までの長さLと、前記主導波路における前記第2直線偏光に対する偶数モードと奇数モードとの完全結合長L<sub>c</sub>とが、以下の関係、

$$L = m \cdot L_c \quad (m = 1, 2, 3, \dots)$$

$$L = L_c (2m + 1) / 2 \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$$

の何れかを満たすもの。

26. 請求項19によるコンフォーカルレーザ走査光学顕微鏡において、前記光導波路デバイスが前記主導波路に電界を印加する電極手段を更に備えると共に、前記主導波路が電気光学効果を有する材料からなり、これにより前記主導波路における前記第2直線偏光に対する偶数モードと奇数モードとの完全結合長L<sub>c</sub>が前記電界の印加によって第1の制御された完全結合長L<sub>c1</sub>および第2の制御された

完全結合長  $L_{c2}$  に変化でき、前記主導波路の前記一端から前記他端までの長さ  $L$  と、前記第 1 の制御された完全結合長  $L_{c1}$  または第 2 の制御された完全結合長  $L_{c2}$  とが、以下の関係、

$$L = m L_{c1} \quad (m = 1, 2, 3, \dots)$$

$$L = L_{c2} (2m + 1) / 2 \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$$

の何れかを満たすもの。

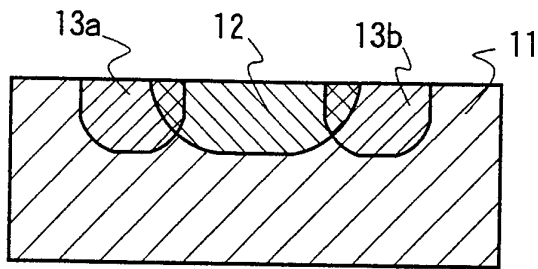


FIG. 1

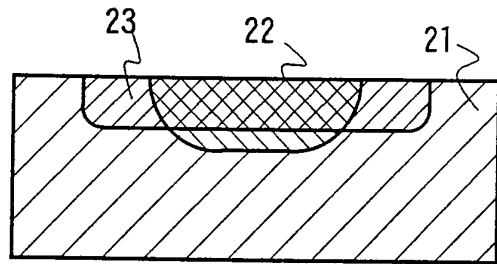


FIG. 5

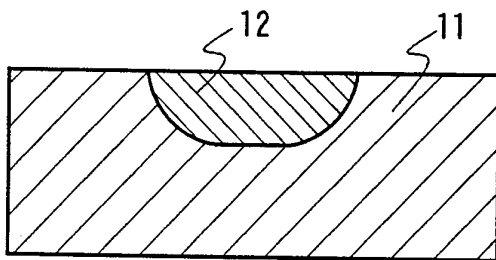


FIG. 2 a

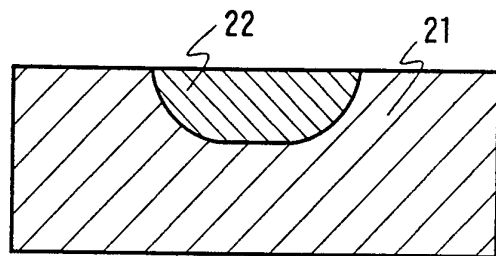


FIG. 6 a

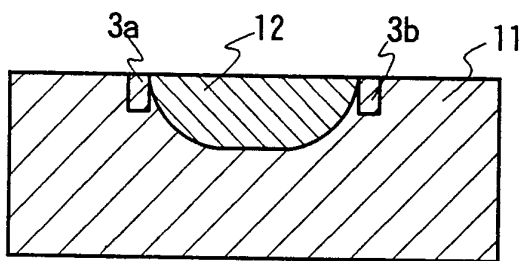


FIG. 2 b

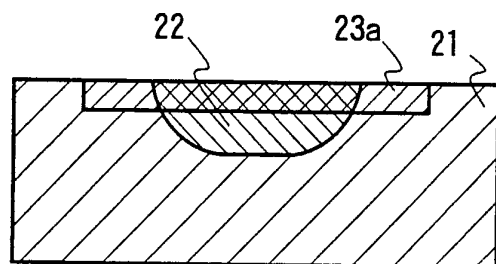


FIG. 6 b

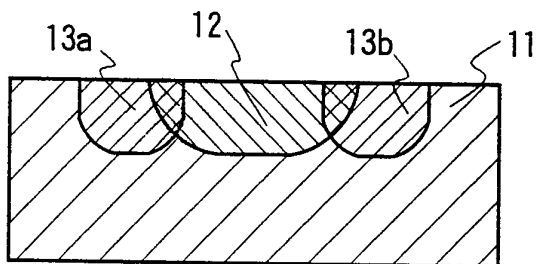


FIG. 2 c

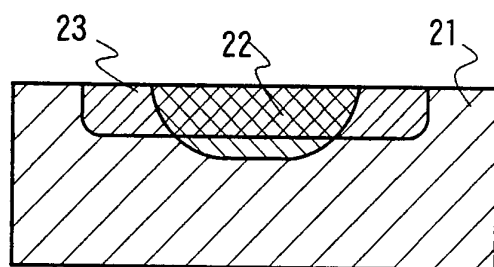


FIG. 6 c

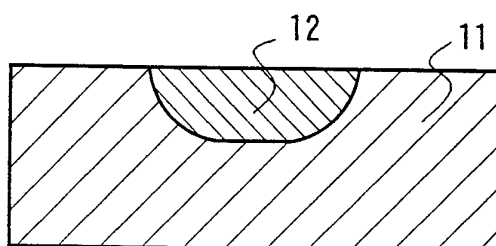


FIG. 3

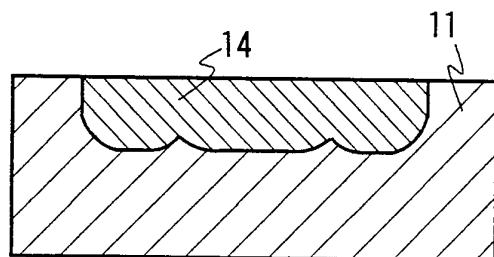


FIG. 4

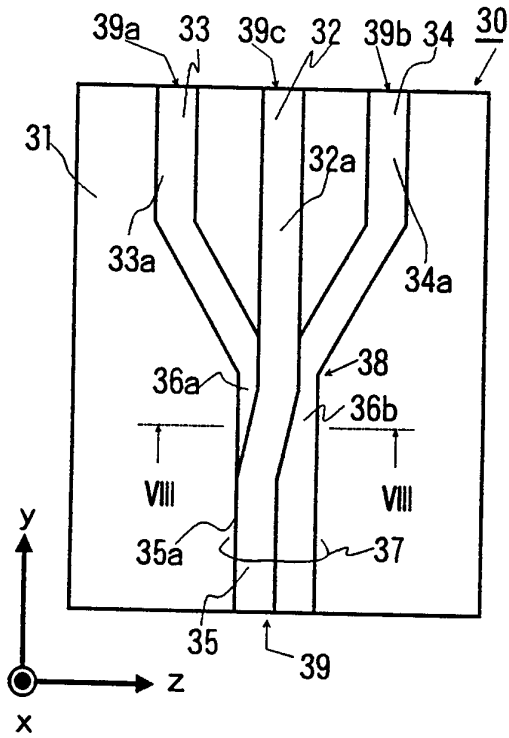


FIG. 7

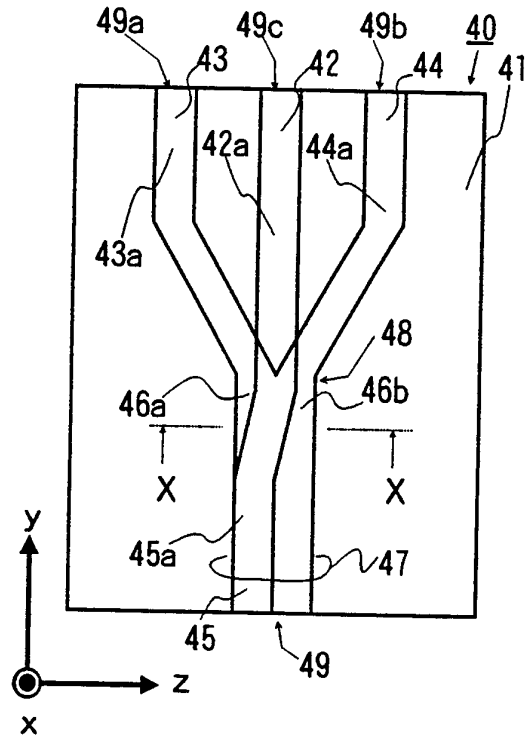


FIG. 9

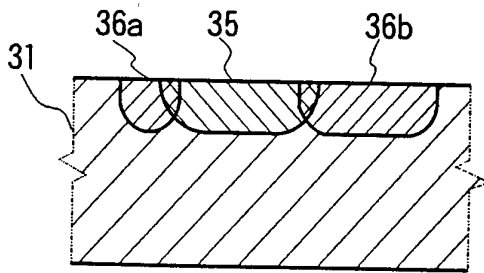


FIG. 8

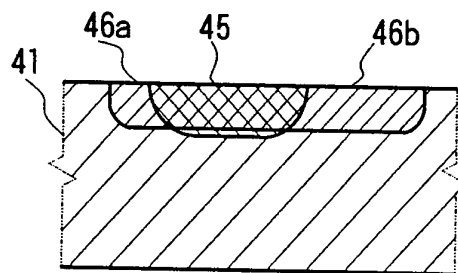


FIG. 10

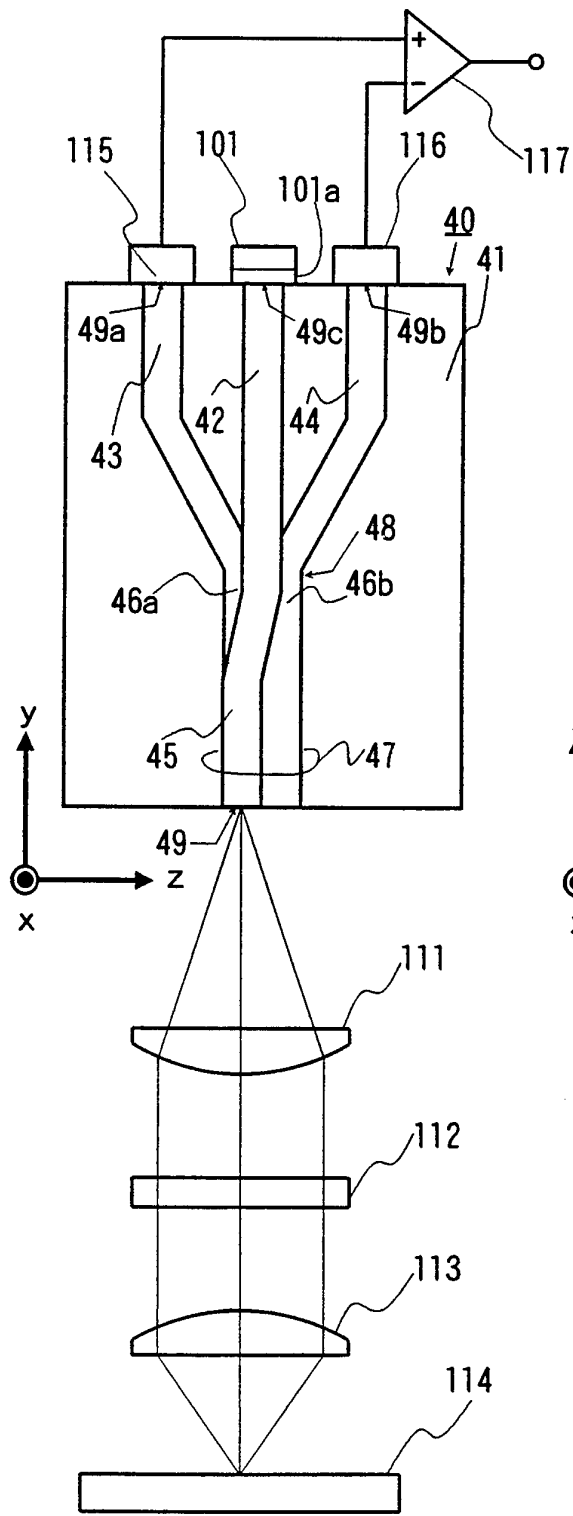


FIG. 11

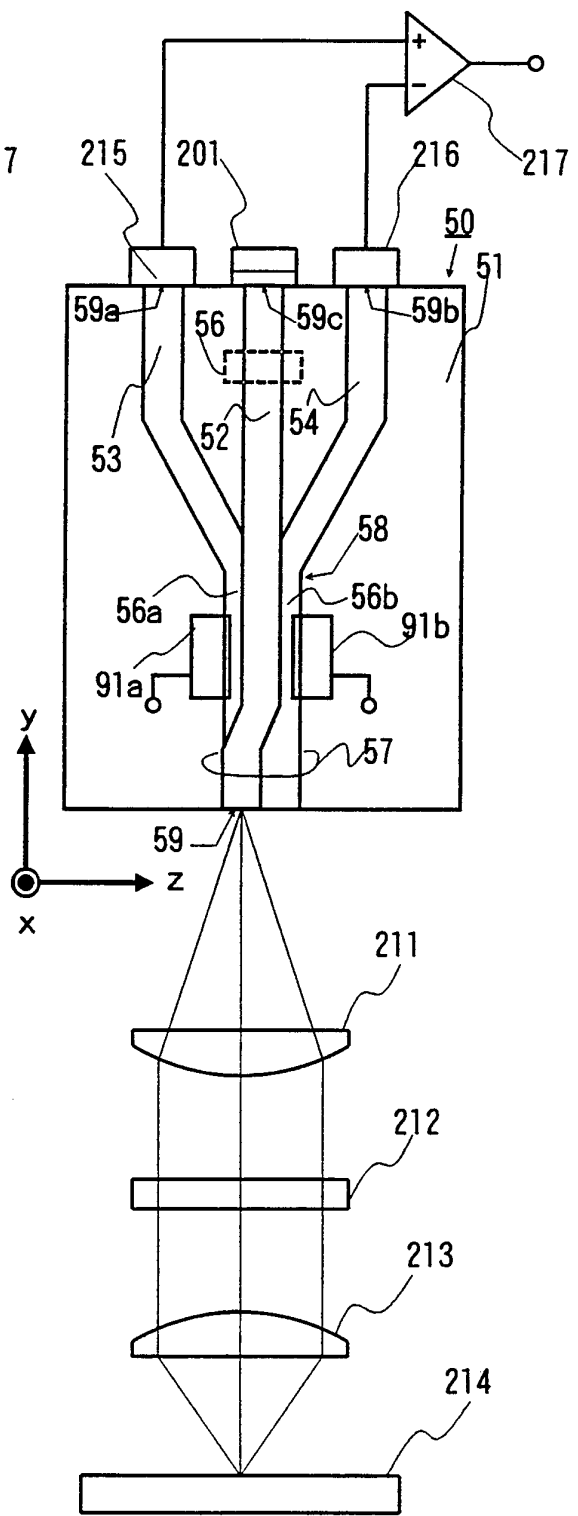


FIG. 12

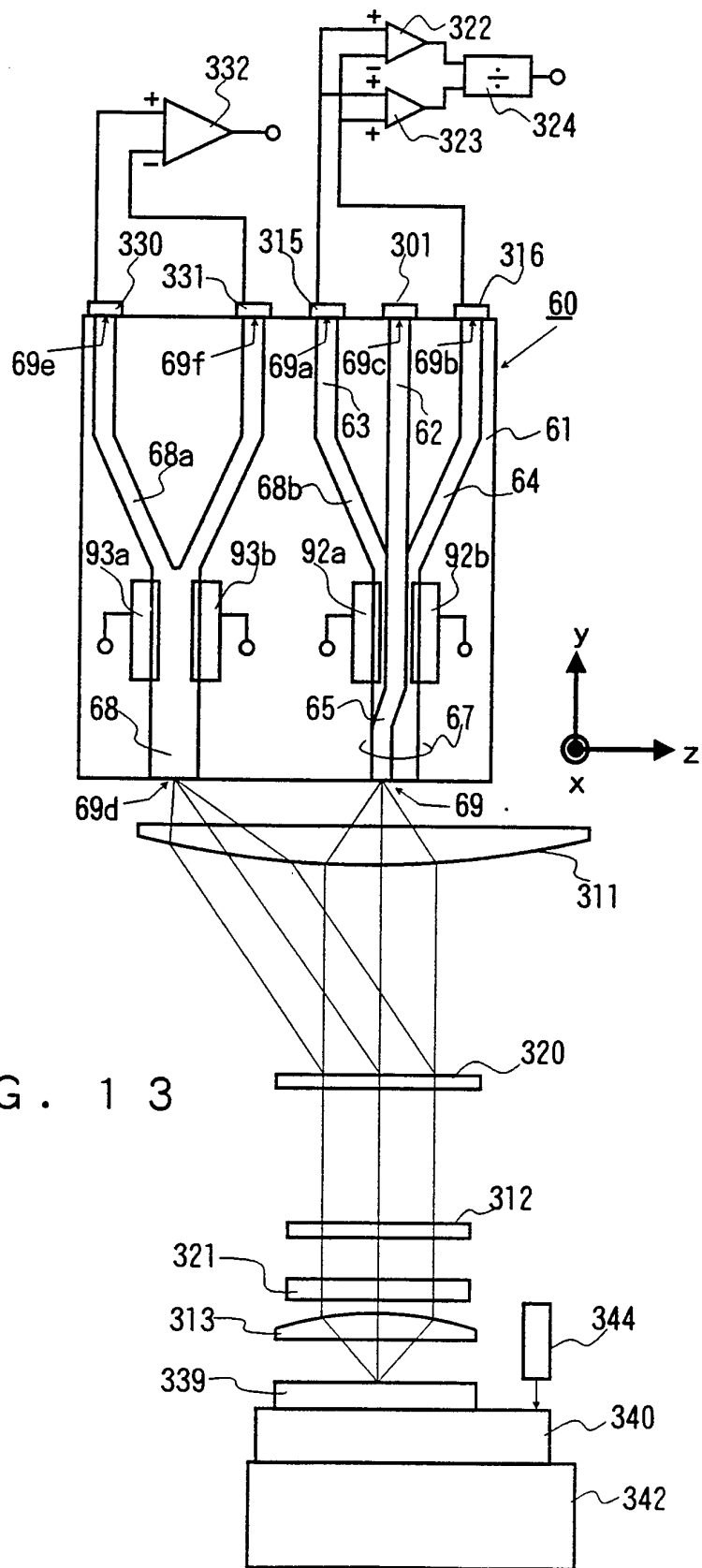
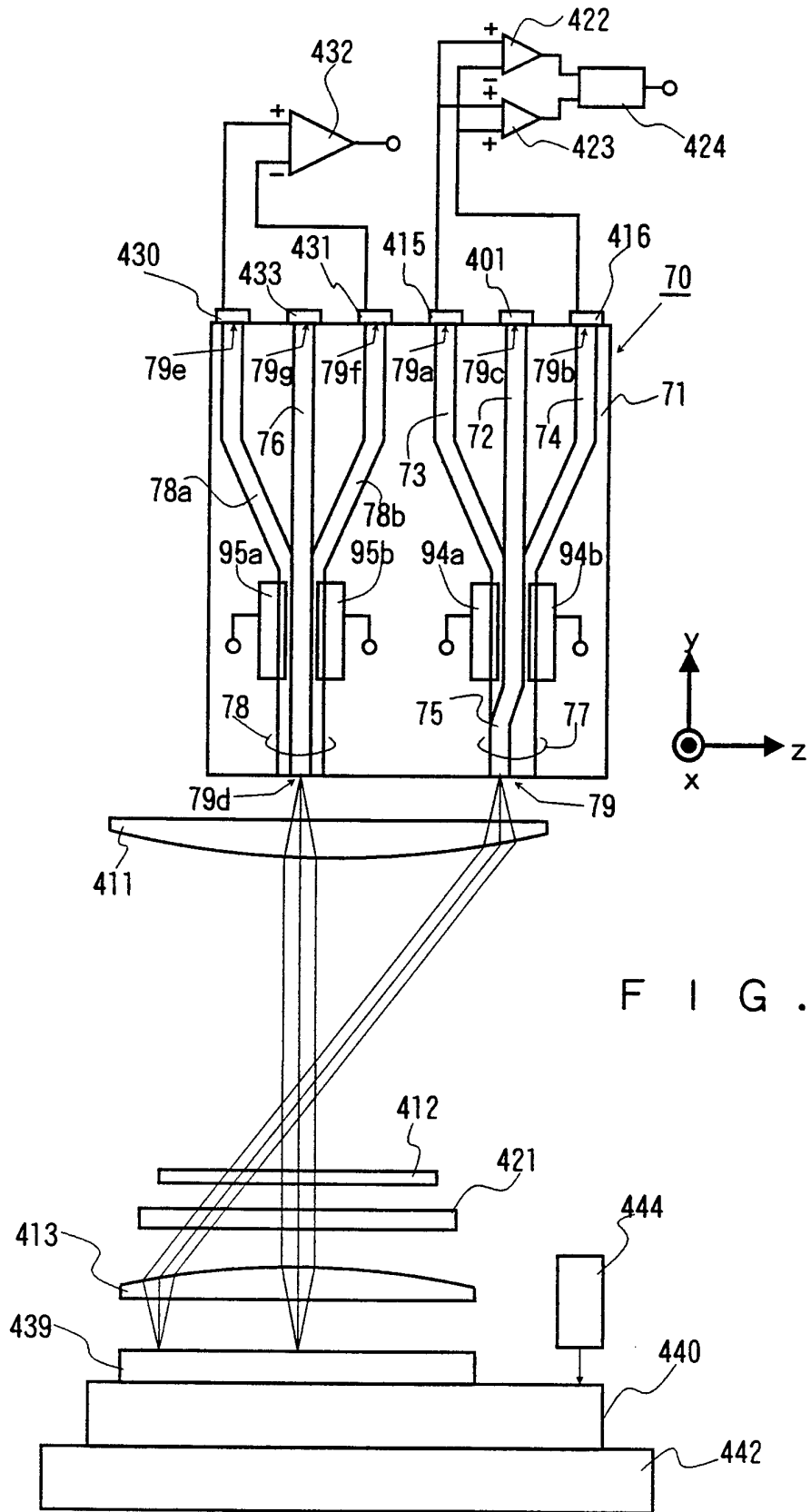


FIG. 13



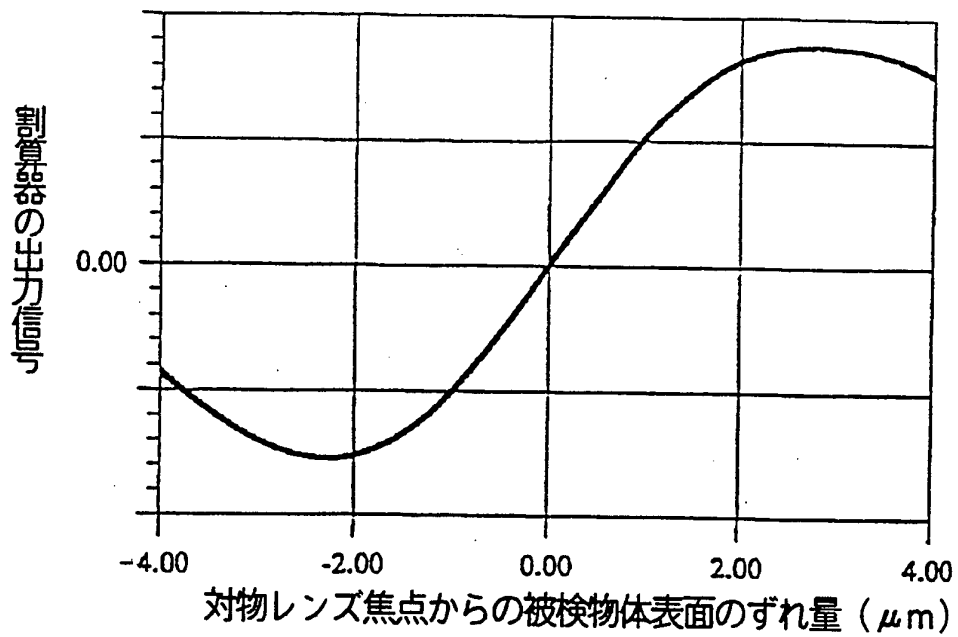


FIG. 15

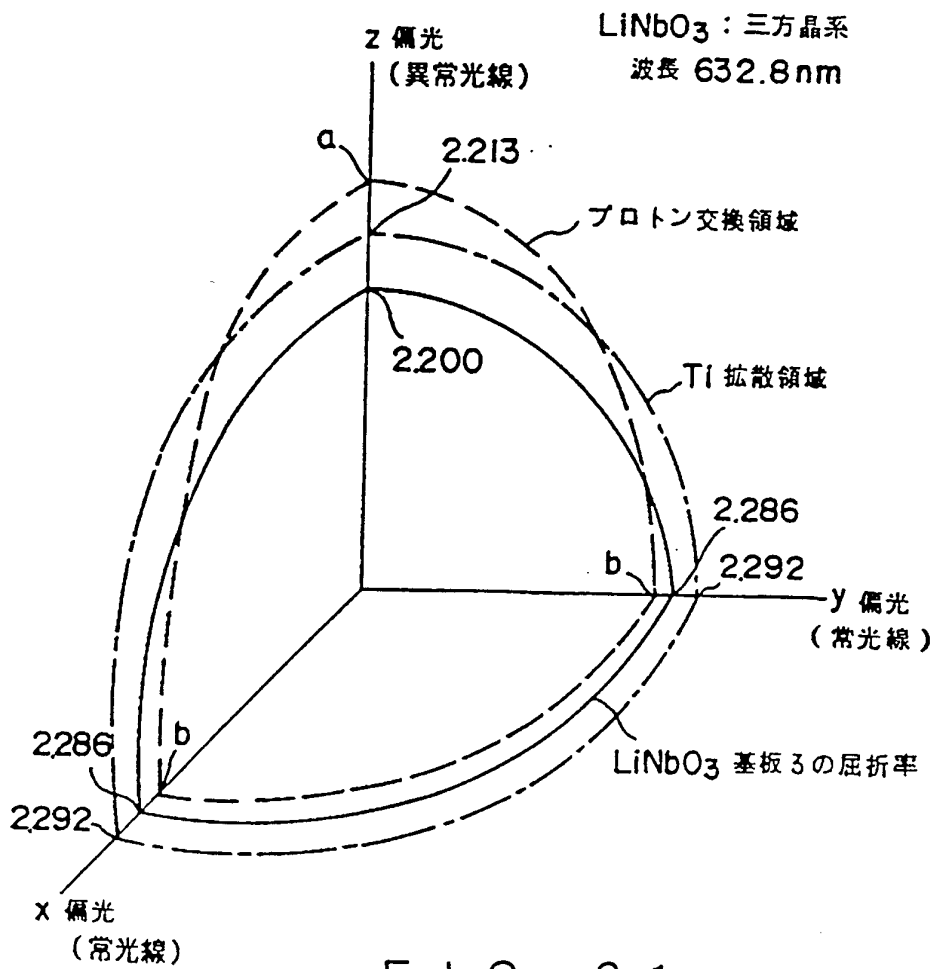


FIG. 21

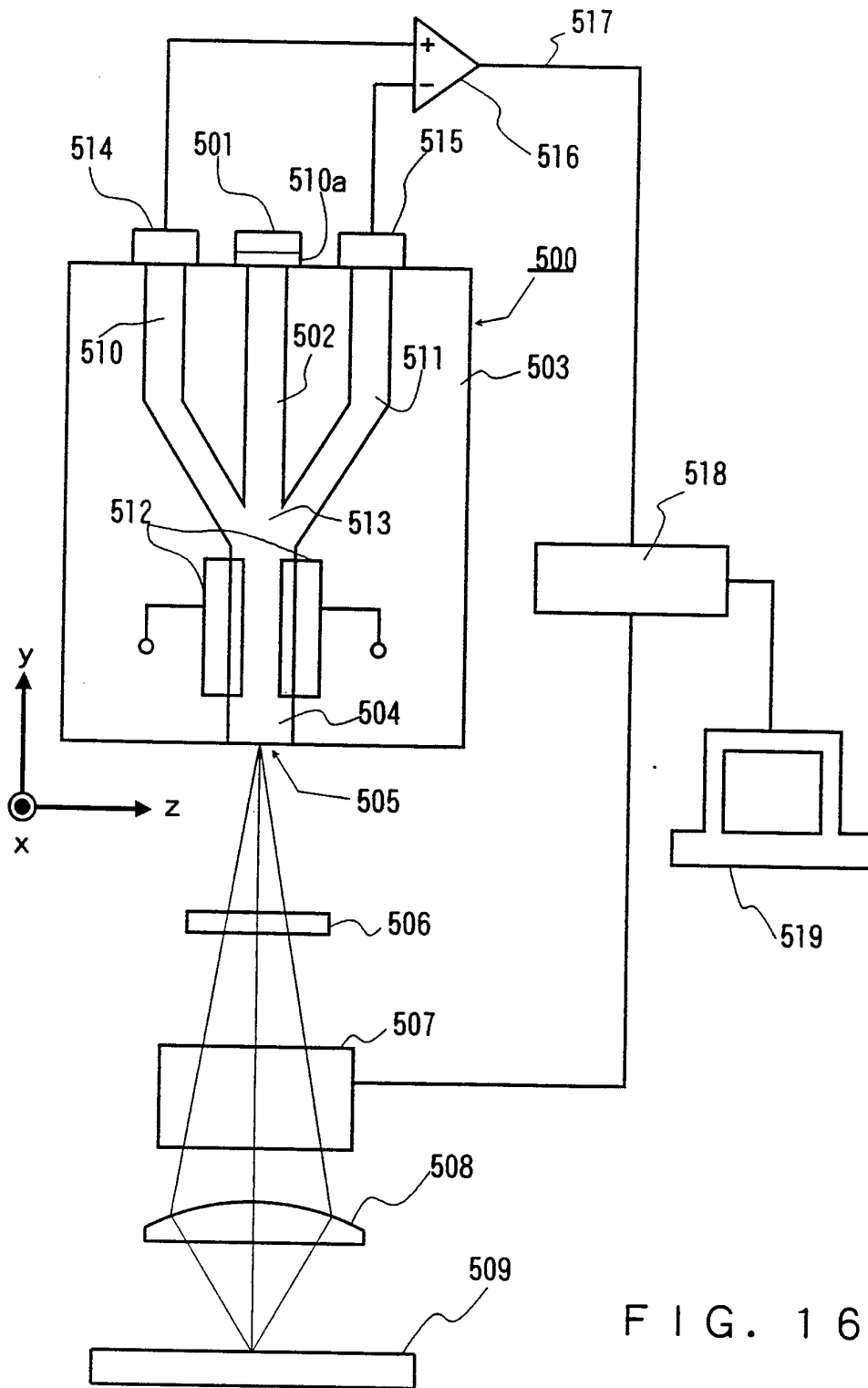


FIG. 16

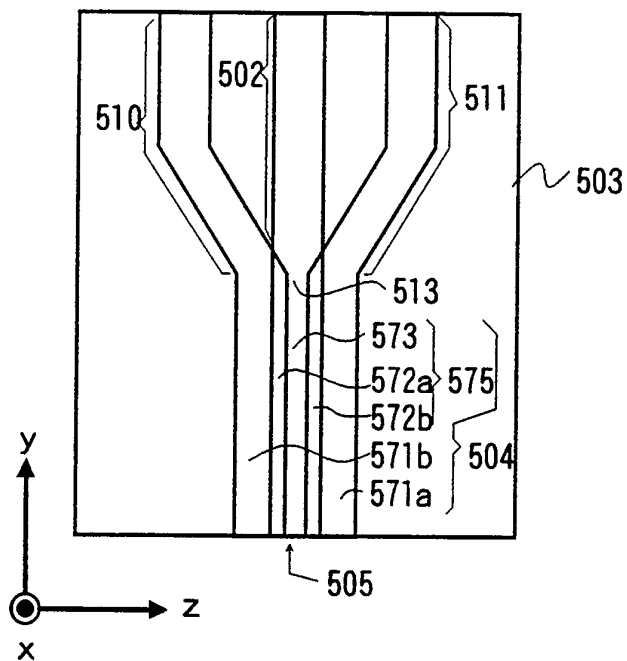


FIG. 17

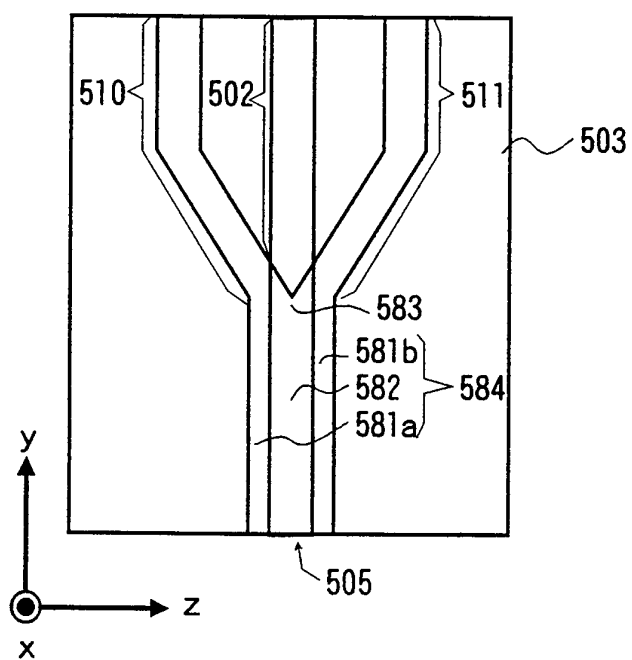


FIG. 18



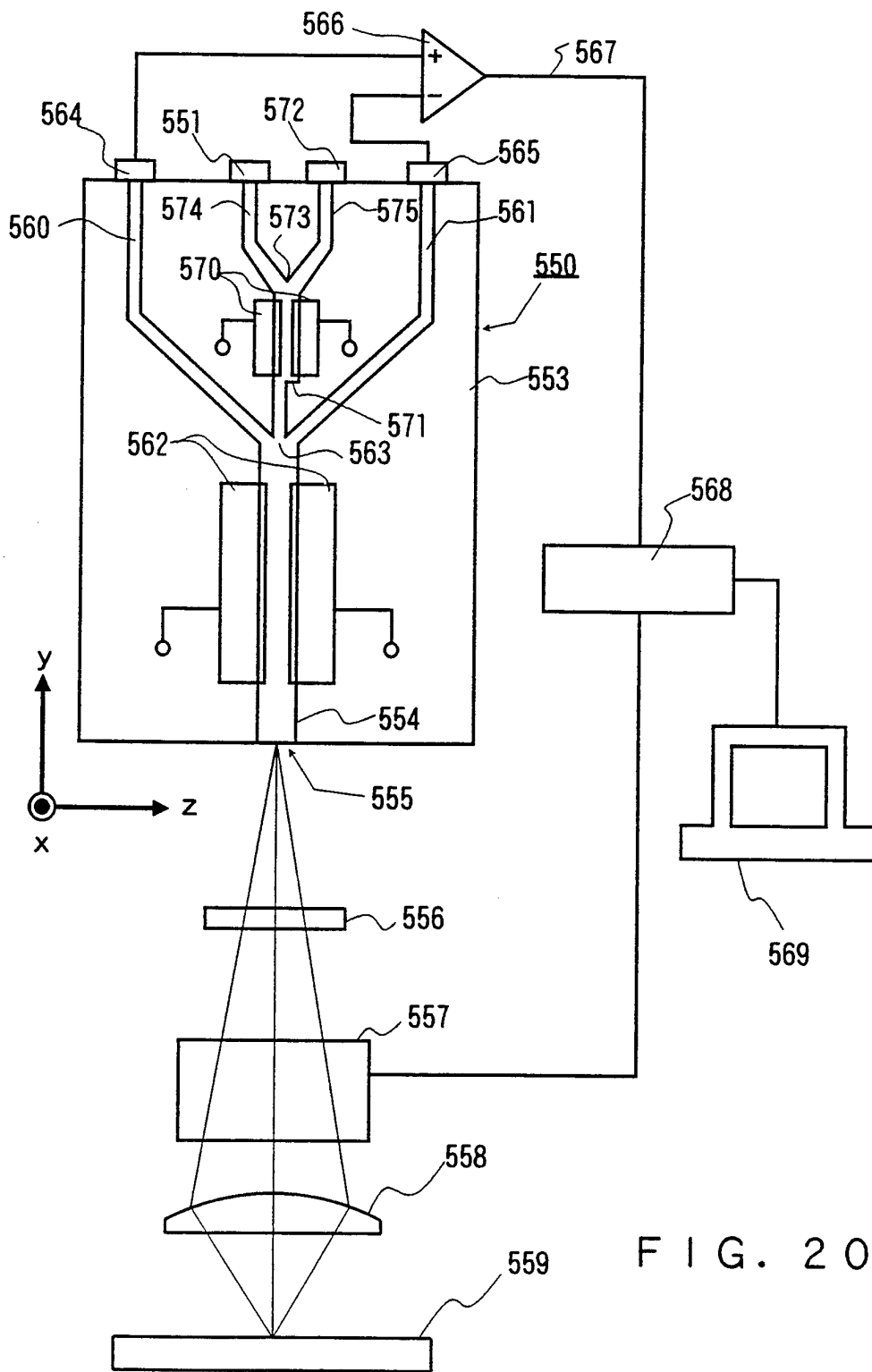


FIG. 20

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No. PCT/JP93/01264
---

<p><b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>                  Int. Cl<sup>5</sup> G02B6/12, G02B21/00                  According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC</p>				
<p><b>B. FIELDS SEARCHED</b>                  Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)                  Int. Cl<sup>5</sup> G02B6/12, G02B21/00</p>				
<p>Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched</p> <table> <tr> <td>Jitsuyo Shinan Koho</td> <td>1972 - 1992</td> </tr> <tr> <td>Kokai Jitsuyo Shinan Koho</td> <td>1972 - 1992</td> </tr> </table>	Jitsuyo Shinan Koho	1972 - 1992	Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1972 - 1992
Jitsuyo Shinan Koho	1972 - 1992			
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1972 - 1992			
<p>Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)</p>				

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP, A, 62-36608 (Fujitsu Ltd.), February 17, 1987 (17. 02. 87), (Family: none)	1, 2 3-26
Y	JP, A, 4-208913 (Nikon Corp.), July 30, 1992 (30. 07. 92), (Family: none)	3-26
Y	JP, A, 4-107409 (Nikon Corp.), April 8, 1992 (08. 04. 92), (Family: none)	4

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

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>* Special categories of cited documents:</li> <li>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</li> <li>"E" earlier document but published on or after the international filing date</li> <li>"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)</li> <li>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</li> <li>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>"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</li> <li>"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</li> <li>"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</li> <li>"&amp;" document member of the same patent family</li> </ul> |
|---|--|

Date of the actual completion of the international search November 9, 1993 (09. 11. 93)	Date of mailing of the international search report December 7, 1993 (07. 12. 93)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer  Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))		
Int. Cl <sup>5</sup> G 0 2 B 6 / 1 2, G 0 2 B 2 1 / 0 0		
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 <sup>5</sup> G 0 2 B 6 / 1 2, G 0 2 B 2 1 / 0 0		
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                    1972-1992年 日本国公開実用新案公報            1972-1992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
X Y	JP, A, 62-36608 (富士通株式会社), 17. 2月. 1987 (17. 02. 87) (ファミリーなし)	1, 2 3-26
Y	JP, A, 4-208913 (株式会社 ニコン), 30. 7月. 1992 (30. 07. 92) (ファミリーなし)	3-26
Y	JP, A, 4-107409 (株式会社 ニコン), 8. 4月. 1992 (08. 04. 92) (ファミリーなし)	4
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> 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、一般的な技術水準を示すもの 「E」 先行文献ではあるが、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 09. 11. 93	国際調査報告の発送日 07. 12. 93	
名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100 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) 大 淵 統 正	2 K 9 0 1 8
電話番号 03-3581-1101 内線		3 2 5 4