

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3677314号
(P3677314)

(45) 発行日 平成17年7月27日(2005.7.27)

(24) 登録日 平成17年5月13日(2005.5.13)

(51) Int. Cl.⁷

GO1R 15/24

F I

GO1R 15/07

C

請求項の数 11 (全 18 頁)

<p>(21) 出願番号 特願平7-110907 (22) 出願日 平成7年5月9日(1995.5.9) (65) 公開番号 特開平8-5462 (43) 公開日 平成8年1月12日(1996.1.12) 審査請求日 平成14年3月11日(2002.3.11) (31) 優先権主張番号 P4416298.7 (32) 優先日 平成6年5月9日(1994.5.9) (33) 優先権主張国 ドイツ(DE)</p>	<p>(73) 特許権者 593122664 エー ビー ビー リサーチ リミテッド スイス国 チューリッヒ ツエーハー80 50 アフォルターンシュトラッセ 52 (74) 代理人 100061815 弁理士 矢野 敏雄 (74) 代理人 100094798 弁理士 山崎 利臣 (74) 代理人 230100044 弁護士 ラインハルト・アインゼル (72) 発明者 クラウス ボーネルト スイス国 ニーダーローアドルフ ローン シュトラッセ 9</p>
---	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 物理量を光学的に求める方法および装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光ビームが光学的媒質(4, 16)を通過する際に光の位相偏移を生ぜしめる物理量を光学的に求める方法であって、

a) 3つの特性軸(H1, H2, H3)を有する電気光学結晶(4)の第1の電気光学特性軸(H1)からの所定の第1の偏光角度を有する直線偏波された入力光ビームを、電気光学結晶(4)の中を案内し、

b) 電気光学結晶(4)から出てゆく2つの第1および第2の部分ビーム(T1, T2)を検出し、

c) 第1の電気光学特性軸(H1)もこれと直角の第2の電気光学特性軸(H2)も、第3の特性軸(H3)に直角に配向されている平面内に設けられており、該平面において、電界または力の場が存在しない時は、光は偏光に依存して伝播し、電界または力の場が電気光学結晶(4)へ作用すると、光は、第2の電気光学特性軸(H2)の方向へ伝播するよりも第1の電気光学特性軸(H1)の方向へ一層速く伝播する形式の前記の方法において、

d) この入力光ビームを反転後にこの電気光学結晶(4)の中を戻り路へ変向させ、

e) 次にビームスプリッター(1)と第1の偏光器(P1)を通過させて一方では第1の光電検出器(D1)へ案内し、該光電検出器は出力側で第1の位相信号(I₁)を供給し、

f) 他方では所定の第1の移相作用を有する移相器(9)と第2の偏光器(P2)を介して第2の光電検出器(D2)へ案内し、該光電検出器は出力側に第1の位相信号(I₁)に

10

20

対して位相の偏移された第2の位相信号 (I_2) を供給することを特徴とする、物理量を光学的に求める方法。

【請求項2】

- a) 第1の偏光角が $30^\circ \sim 60^\circ$ の範囲にあり、
- b) 例えば $40^\circ \sim 50^\circ$ の範囲にある、請求項1記載の方法。

【請求項3】

電気光学結晶(4)の中へ送り込まれた入力光ビームと、反転されて電気光学結晶(4)の中を帰還案内された光ビームを、電気光学結晶(4)の中の相異なる光路(12)へ案内する、請求項1または2記載の方法。

【請求項4】

第1および第2の位相信号 (I_1, I_2) から導出された測定結果信号 S をその温度依存性に関して式 $S_K = S \cdot (T)$ に従って補正し、ただし $(T) = 1 + (T - 293)$ 、 ϵ = 電気光学位相偏移の温度係数、 $T = (t_2 - t_1) / (t_0 - t_1) + 293$ = ケルビン度で表わした移相器(9)の温度、 $\epsilon = 180^\circ \cdot (t_0 - t_1) / (t_2 - t_1) - 90^\circ$ 、 t_1, t_2 = 第1の位相信号 (I_1) が $I_{max}/2$ を相次いで通過する時刻、 t_0 = 第2の位相信号 (I_2) が $I_{max}/2$ を通過する時刻、 $t_1 < t_0 < t_2$ 、 $I_{max} = (I_1, I_2)$ の最大振幅である、請求項1から3までのいずれか1項記載の方法。

【請求項5】

第1および第2の位相信号 (I_1, I_2) から導出された測定結果信号 S をその温度依存性に関して式 $S_K = S \cdot (T)$ に従って補正し、

【数1】

ただし $\delta(T) = 1 + \epsilon(T - 293)$ 、 ϵ = 機械的に生ぜされた複屈折の温度係数、 $T = T_0 + \Delta T$ 、 T_0 = 初期温度、 $\Delta T = N \cdot \pi / (2 \cdot \Delta \Gamma \cdot \gamma_{\Delta n})$ 、 $\Delta \Gamma = 4 \cdot \pi \cdot L \cdot n / \lambda$ 、 L = 結晶の長さ、 λ = 光の波長、 Δn = 複屈折の際の屈折率の差、 $N = \pi / 2$ のインクリメントによる付加的な零点通過の数である

請求項1から3までのいずれか1項記載の方法。

【請求項6】

電気光学センサに位相偏移された信号を発生する装置であって、該装置は、

- a) 光源(L)を備え、
- b) 該光源は第1の偏光器(P1, P3)を介して
- c) 電気光学結晶(4)の第1の光入射面と光学的に結合されており、
- d) 少なくとも1つの位相遅延板(9)を有し、
- e) 少なくとも1つの第2の偏光器(P2)を、電気光学結晶(4)の第1の光出射面と、光信号を電気信号(I_2)へ変換する少なくとも1つの光検出器(D2)との間に備えている形式の前記の装置において、
- f) 該電気光学結晶が、第1の光入射面に対向する第2の面で、該電気光学結晶(4)の中の光を反転させる装置(7, 11)と結合されており、
- g) 第1の光入射面が第1の光出射面と同じであることを特徴とする、請求項1記載の方法を実施するように構成された装置。

【請求項7】

電気光学結晶(4)から出射された光を2つの部分ビーム(T_1, T_2)に分割するため、ビームスプリッタ(1)が設けられている、請求項6記載の装置。

【請求項8】

10

20

30

40

50

電気光学結晶(4)の第1の光出射面がビームスプリッタ(1)を介して、
 a) 一方では位相遅延プレート(9)と結合されており、
 b) 他方では偏光器(P1)を介して、光信号を電気信号(I_1)へ変換する少なくとも1つの別の光検出器(D1)と光学的に結合されている、請求項6記載の装置。

【請求項9】

ビームスプリッタ(1)が90°プリズム(10)を介して、光検出器(D1, D2)のうちの1つと光学的に結合されている、請求項7または8記載の装置。

【請求項10】

電気光学結晶(4)の中で光を反転する装置(7, 11)が
 a) ミラー(7)であるか、または
 b) 90°プリズム(11)である、
 請求項7から9までのいずれか1項記載の装置。

10

【請求項11】

a) 電気光学結晶(4)の第1の光入射面および該第1の光入射面に対向する第2の面が、導電性の層電極(6)と結合されており、
 b) 例えば第1の光入射面における該層電極(6)が透光性である、
 請求項7から10までのいずれか1項記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】

20

本発明は請求項1と6の上位概念に示された、物理量を光学的に求める方法および装置に関する。

【0002】

【従来技術】

本発明は、その請求項1と6の上位概念が米国特許第A-4904931号公報に示されている。この公報には2つの互いに平行の光ビームが第1の偏光器、次に電気光学結晶、各1つの1/8プレート、すなわち+45°、-45°の位相偏移を有する遅延プレート、次に両方の光ビームに共通の第2の偏光器を通過するように、送られる。出力信号はフォトダイオードを用いて別個に検出され、電気信号へ変換されて評価される。電気光学結晶として、 KH_2PO_4 から成る結晶が用いられる。光伝播の方向と平行にこの結晶は4重の回転対称形を有する：1つの平面においてこの主方向に垂直にこの結晶は2つの電気光学主軸を有する。この主軸は互いに直角に配向されている。結晶に電圧が光伝播方向に加わる時に、これらの主軸に沿って光が相異なる速さで伝播する。相異なる伝播速度の差は電圧に比例するため、走行時間差から電圧が測定できる。光源として用いられる両方の発光ダイオードは、90°だけ位相のずらされた、受信ダイオードの両方の出力信号に依存する。電圧が大きい場合、電圧により生じる光の位相偏移は電気光学結晶の中を通過の際複数の周期にわたり生じる。その結果、ただ1つの光ビームの測定される光強度Iの評価の場合、出力信号と測定されるべき電圧との間の関係が多義的になってしまう。Iに対しては次の式が当てはまる：

30

$$I = I_0 \cdot (1 + \sin(\dots)) / 2 \quad (1)$$

40

ただし I_0 は、結晶、偏光器等における損失は別として、第1の偏光器に入射する光の強度であり、 \dots は、誘起された複屈折により生ぜしめられた光学的偏移を示す。この光学的偏移は、印加された電界に比例する。正弦波交流電圧の場合は $V(t) = V_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$ である。ただし ω は角周波数、 t は時間である。電圧のピーク値が関数 $\sin(\omega \cdot t)$ の極値と一致する時は、電圧の増加、減少の方向を一義的に測定することは別の構成がなければできない。米国特許第A-4904931号においてこの問題点は、センサに第2の光学的チャンネルを設けたことにより、解決される。2つの45°遅延プレートを用いて両方のチャンネルの間に位相差90°が設定される。

【0003】

チャンネル1： $I_1(t) = I_0 \cdot (1 + \sin(\omega(t) - 45^\circ)) / 2$

50

チャンネル 2 : $I_2(t) = I_0 \cdot (1 + \sin((t) - 45^\circ)) / 2$ (2)

これらの 90° だけ位相のずらされた信号は相応の評価電子装置により、出力信号として結晶に加わる交流電圧の時間的な相似波形が形成されるように、処理される。

【0004】

付加的な第 2 のチャンネルを設けたため、大部分の光学部材の個数が、即ち光源、ガラス、ファイバケーブル、コリメータ、偏光器の個数が 2 倍になり、そのためセンサのコストが著しく増加する。凍結した（固定的に取り込まれた）機械的ひずみと欠陥に起因する結晶の無視できないことの多い複屈折は通常は両方のチャンネルに対して相異なる。その結果、両方のチャンネル間の実際の位相差は 90° とは異なりさらに温度に依存する。両方のチャンネル用の光学部材は著しく大きい所要スペースを有し、さらに相応に大きい結晶断面を必要とする。しかし大きい結晶横断面は装置全体の電氣的絶縁破壊に対する耐性に悪影響を及ぼし、さらに結晶コストを増加させる。

10

【0005】

【発明の解決すべき課題】

本発明の課題は上述の欠点を回避するために、冒頭に述べた形式の物理量を光学的に求める方法および装置を、物理量を形成するための位相のずらされた両方の信号を 1 つの共通の光学的チャンネルから導出可能にするように、開発することである。

【0006】

【課題を解決するための手段】

この課題は請求項 1 と 6 の特徴部分に示された構成により解決されている。本発明の具体的な構成が従属形式の請求項に示されている。

20

【0007】

【発明の効果】

本発明の利点は、結晶の真性複屈折が両方の信号間の位相差に対してもはや何の影響も与えないことにある。さらに、必要とされる光学部材の個数が低減される。唯一つの光源しか必要とされない。所要スペースの減少により結晶横断面積は低減できる。

【0008】

次の本発明の実施例を図面を用いて説明する。

【0009】

【実施例】

30

図 1 と図 2 は、一体化された送信路および受信路を有するセンサ構造の 2 つの実施例を示す。図 1 に示されたセンサ構造の場合、光源 L と例えばレーザダイオードから放出された光は、光ファイバビームスプリッタないしファイバカプラ F K を通過し、次にファイバケーブルたとえばガラスファイバケーブル F 1 を通過し、これを通過して光はセンサヘッドへ伝送される。ここで光は第 1 コリメータ K 1 によりコリメートされ、次に後置接続の第 1 偏光器 P 1 により直線的に偏光される。光は次に相次いでビームスプリッタ、第 1、第 2 のガラスプレート 2、3、および電気光学的結晶 4 を通過する。この結晶の片側は、鏡面化された導電性および光反射性であるガラスプレート 5 により終端されている。6 で層電極が示されている。第 2 のガラスプレート 3 の上の層電極は電氣的にアースされた透明なインジウム酸化錫層である。7 で鏡が示されている。第 3 のガラスプレート 5 において層電極 6 は鏡 7 として用いられる；層電極 6 はゴールド化クロム層から成る。クロム層は第 3 のガラスプレート 5 を囲む。第 3 のガラスプレート 3 において光ビームはそれ自体の中へ戻り反射される。その結果、光ビームは電氣的光学的結晶 4 をもう一度、通過する。ビームスプリッタ 1 において光ビームは 2 つの部分ビーム T 1、T 2 に分割される。第 1 の透過された部分ビーム T 1 は、検光子として作用する第 1 の偏光器 P 1 を介して、第 1 コリメータ K 1 とガラスファイバケーブル F 1 を通過して、ファイバカプラ F K へ走行する。ここから、結合比により定められた光成分が光学電氣的検出器へ、即ち第 1 の光検出器 D 1 へ達する。第 1 の光検出器は出力側で、受信された光強度に比例する電気信号 I_1 を評価電子装置または計算器すなわちマイクロプロセッサ 1 4 へ供給し、マイクロプロセッサの出力側から測定結果信号 S が取り出される。

40

50

【0010】

ビームスプリッタ1で反射された第2の部分ビームT2はまず位相遅延プレートたとえば / 4 遅延プレート9を通過し、次に第2の偏光器P2、偏向プリズムすなわち90°プリズム10、第2のコリメータK2を通過する。コリメータはこの部分ビームT2を第2のガラスファイバケーブルF2へ入力結合する。このガラスファイバケーブルF2により部分ビームT2は最終的に第2の光検出器D2へ達する。この光検出器は出力側で、受信された光強度に比例する電気信号I₂をマイクロプロセッサ14へ供給する。

【0011】

3つのガラスプレート2, 3, 5は、センサの基本動作にとっては重要ではない。実際はこれらのガラスプレートは蒸着された層電極6のための支持素子および基板として用いられる。層電極には、検出すべき電圧である高電圧8が加えられる。第1のガラスプレートは介在素子としてだけ用いられる。熱により生ぜしめられる張力をできるだけ小さく保つために、3つのガラスプレート2, 3, 5のガラスは電氣的・光学的結晶4と同様の熱膨張係数を有するようにすべきである。

【0012】

図2において図1との相違点は入力チャンネルと出力チャンネルとが入れ替わっていることである。

【0013】

図3は図1に示されたセンサ構成のための光学部材の角度配向を示す。第1の偏光器P1の偏光方向は、ビームスプリッタ1の底面の互いに直交する両方の線U, Vのうち1つに平行である。ビームスプリッタ1の第3のWは他の両方の縁と直交する。そのため偏光はビーム分割の際の当該の光入射面に対して平行または垂直である（P偏光は偏光方向Xであり、S偏光は偏光方向Yである、すなわち偏光はそれぞれの光入射平面に平行および垂直である）。これらの直線偏光はビームスプリッタを透過する際に得られる。第1の偏光器P1を別のように配向すれば、光は楕円偏光状態へ移行する。何故ならばS成分とP成分はビームスプリッタ1を透過する際に通常は相異なる位相偏移作用を受けるからである。

【0014】

電氣的・光学的結晶4の2つの第1、第2の電気光学軸H1, H2はビーム方向に対して垂直であり、かつビーム方向における電気光学結晶4の第3の光軸H3に対しても垂直である。第1、第2の電気光学軸H1, H2は入射光の偏光方向と共に角度45°を形成する。電気光学結晶4の端面もビーム方向に対して垂直である。 / 4 遅延プレート9の主軸は、ビームスプリッタ1で反射された光ビームの方向に垂直であり、さらにビームスプリッタ1の辺V, Wの方向と共に角度+45°または-45°を形成する；そのため主軸は同時に、電気光学結晶4の電気光学軸の1つの射影に対して平行である。第2の偏光器P2の偏光方向は / 4 遅延プレート9の主軸に対して45°の角度を成す。90°プリズム10の縁U, V, Wはビームスプリッタ1の相応の縁に対して平行である。

【0015】

図4は図2に示されたセンサ構成のための光学部材の配向を示す。

【0016】

振幅および位相の影響：

次に電気光学信号I₁, I₂の相対位相と変調コントラストK₁, K₂へ障害として作用する影響を考察する。この影響から得られる、光学部材の配置と角度配向のための結論を次に説明する。

【0017】

最も重大な障害の影響：

ビームスプリッタが、P偏光とS偏光に対して、反射においても透過においても相異なる位相偏移を持ちこむ。

【0018】

反射率と透過率は、S偏光とP偏光に対して通常は相異なる。

10

20

30

40

50

【0019】

90°プリズムがS偏波とP偏波との間に同じく位相差を持ちこむ。さらに不正確な / 4 遅延プレート9に基づいて、および / または光学部材の不正確な角度調整に起因する障害の影響が付加される。

【0020】

両方のチャンネルにおける信号 I_1 と I_2 は次の式で表わせる：

$$I_1(t) = I_0 \cdot [A_1 + B_1 \cdot \cos(\delta - \phi_1)] / 2 \quad (3)$$

$$I_2(t) = I_0 \cdot [A_2 + B_2 \cdot \cos(\delta + \phi/2 - \phi_2)] / 2 \quad (4)$$

式(3)は / 4 遅延プレート9のないチャンネルに適用され、式(4)は / 4 遅延プレート9を有するチャンネルに適用される。 A_1 、 B_1 および A_2 、 B_2 は、変調コントラスト K_1 、 K_2 を測定するための係数であり、 $K_1 = B_1 / A_1$ 、 $K_2 = B_2 / A_2$ である。は電気学位相偏位、 ϕ_1 、 ϕ_2 は90°位相差からずれを生ぜさせる付加的な位相項である。

【0021】

理想的な場合は、 $A_1 = B_1 = A_2 = B_2 = 1$ および $\phi_1 = \phi_2 = 0$ となる。

【0022】

1. ビームスプリッタの影響：

/ 4 遅延プレート9のないチャンネルにおいて、コントラストと90°位相偏移への上述の障害作用は、すなわち $A_1 = B_1 = 1$ 、 $\phi_1 = 0$ 、その結果： $I_1 = I_0 \cdot [1 + \cos \delta]$ / 2の / 4 遅延プレート9を有するチャンネルと特別な場合 $\phi_1 = 0$ 、 $a_s = a_p$ に対しては、 $A_2 = 1$ 、 $B_2 = \cos \phi_1$ 、 $\phi_2 = 0$ であり、次の式が当てはまる。

【0023】

$$I_2 = I_0 \cdot [1 + \cos \phi_1 \cdot \cos(\delta + \phi/2)] / 2 \quad (5)$$

a_s と a_p はビームスプリッタ1における反射後の、ないしビームスプリッタ1の第2の透過後のS偏光およびP偏光の場合の光の強さの振幅であり、 ϕ_1 はビームスプリッタ1により生ぜさせられた、S偏光とP偏光との間の位相偏移である。 ϕ_1 は通常は反射の場合と透過の場合とは相異なる。

【0024】

変調コントラスト K_2 は係数 $\cos \phi_1$ だけ低減される。90°位相偏移は影響されない($\phi_2 = 0$)。

【0025】

/ 4 遅延プレート9を有するチャンネルに対して、かつ一般的に $\phi_1 = 0$ 、 $a_s = a_p$ に対して次の式が得られる：

$$A_2 = (a_s^2 + a_p^2) / 2 \quad (6)$$

$$B_2 = [a_s^2 \cdot a_p^2 \cdot \cos^2 \phi_1 + (a_s^2 - a_p^2)^2 / 4]^{0.5} \quad (7)$$

$$\phi_2 = \arctan(a_s^2 - a_p^2) / (\pm 2 \cdot a_s \cdot a_p \cdot \cos \phi_1) \quad (8)$$

±の極性は / 4 遅延プレート9の配向に関する、即ち偏光方向Xから±45°の軸線に関する。この場合、基本的に変調コントラスト K_2 も90°位相偏移もビームスプリッタ1により影響される。

【0026】

図5は90°位相偏移のエラーの値 $|\phi_2|$ を、ビームスプリッタ1の相対位相遅延 ϕ_1 の関数として、振幅比 $a_s / a_p = 0.5$ 、 0.9 、 1.0 の場合に示す。図示されているように、S偏光およびP偏光における振幅 a_s 、 a_p が等しい(短い破線)時は、相対位相遅延 ϕ_1 は90°位相偏移へ何の影響も与えない。他方、振幅が等しくない時は常にエラーが存在する(長い鎖線と実線)。

【0027】

図6は $K_2 = B_2 / A_2$ を相対位相遅延 ϕ_1 として、図3で示された3つの振幅比 $a_s / a_p = 0.5$ 、 0.9 、 1.0 の場合に示す。ビームスプリッタ1における相対移動遅延 ϕ_1 が10°よりも小さい時は、振幅比 a_s / a_p にほとんど依存することなく、変調コントラスト K_2 はわずかしか影響を受けない。

【0028】

10

20

30

40

50

市販の、金属/誘電体ハイブリットスプリッタ層を有する立方体状のビームスプリッタ 1 のために次の値が選定された：

透過 = $\delta_1 = 1^\circ$ 、 $a_s / a_p = 0.954$ 、

反射 = $\delta_1 = 6^\circ$ 、 $a_s / a_p = 1.049$ 。

【0029】

このスプリッタ機種の場合、値のばらつきはほとんどない。

【0030】

そのため / 4 遅延プレート 9 を有する変調コントラスト K_2 は係数 0.986 (透過分岐における / 4 遅延プレートの場合) だけ、および 0.981 (反射分岐における / 4 遅延プレート 9) だけ低減される。90°位相偏移は角度 $\delta_2 = 2.70^\circ$ 、 $\delta_2 = 2.71^\circ$ だけ障害を受ける。そのため障害の影響は無視できるくらい小さい。

【0031】

誘電体のスプリッタ層だけ有するビームスプリッタの場合は振幅比 a_s / a_p は 1 とは著しく異なり、それに応じて大きい影響を変調コントラストと 90°位相偏移を有する。図 5 と図 6 を参照。

【0032】

例えば振幅 a_s / a_p が 1 の近傍にあり、位相遅延 δ_1 が 0 の近傍にあるビーム機種が選定される。透過と反射の場合の相対遅延が著しく相異なる時は、/ 4 遅延プレート 9 を有するチャンネルを、相対位相遅延 δ_1 のより小さい値を有する分岐の中へ置く。

【0033】

2. / 4 遅延プレート 9 の位相エラーの付加的な影響：

実際に生じ得ることは、前述の障害の影響に付加的に、/ 4 遅延プレート 9 による位相遅延は、90°位相差よりもエラー角度 δ_3 だけずれる。係数 A_2 、 B_2 と 90°エラー δ_2 の場合、第 1 の偏光器 P_2 (分析器) は偏光方向 y に平行に配向されている (図 3 と図 4 に示されている S 偏向) 場合が当てはまる：

$$A_2 = (a_s^2 + a_p^2) / 2 - (a_s^2 - a_p^2) \cdot \sin \delta_3 / 2 \quad (9)$$

$$B_2 = \{ a_s^2 \cdot a_p^2 \cdot \cos^2 \delta_1 \cdot \cos^2 \delta_3 + [(a_s^2 - a_p^2) - (a_s^2 + a_p^2) \cdot \sin \delta_3]^2 / 4 \}^{0.5} \quad (10)$$

$$\varepsilon_2 = \arctan [(a_s^2 - a_p^2) - (a_s^2 + a_p^2) \cdot \sin \delta_3] / (\pm 2 \cdot a_s \cdot a_p \cdot \cos \delta_1 \cdot \cos \delta_3) \quad (11)$$

第 1 の偏光器 P_2 が偏光方向 x に平行な時は、式 (4) において B_2 と δ_2 の極性は変わる、即ち：

$$I_2(t) = I_0 \cdot [A_2 - B_2 \cdot \cos(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3)] / 2 \quad (12)$$

それに応じて式 (2) において第 2 の極性、式 (12) において第 3 の極性、式 (11) において第 2 の極性が変化する。

【0034】

エラー角度 $\delta_3 = 1.8^\circ$ の場合、 $\delta_1 = 1^\circ$ と $a_s / a_p = 0.954$ において 90°位相偏移からの次の値だけのずれとなる：

$\delta_2 = 0.90^\circ$ 、第 2 偏光器 (P_2) x および

$\delta_2 = 4.49^\circ$ 、第 2 偏光器 (P_2) y 。

【0035】

この著しく小さい障害の影響の場合、/ 4 遅延プレート 9 のエラー角度 δ_3 は、偏移位置に応じて上述の $\delta_3 = 0^\circ$ の場合に算出された 2.7° の 90°エラーが加算または減算される。そのため 90°エラーは初期の選定により δ_3 から 0 へ補償できる。

【0036】

第 1 の偏光器 P_1 の、 x から y への、および y から x への旋回は、90°位相偏移および変調コントラストへは作用しない。

10

20

30

40

50

【0037】

光学部材の不正確なアジマス配向から得られる障害の影響は考慮されない。実際に角度設定は、これらの障害の影響が何の役割も果たさないように、正確に行なわれる。

【0038】

3. 90°プリズム10の影響：

全反射の場合、90°プリズム10においてS偏光とP偏光との間に、プリズムの屈折率1.5の場合に位相偏移36.9°が生ずる。

【0039】

図2の90°プリズム10が / 4遅延プレート9のない受信チャンネルに設けられている場合は、図4に示されている角度配向の場合のこの位相偏移は、センサ信号に対して影響を与えない。図1と図3に示された90°プリズム10が / 4遅延プレート9を有する光路に設けられている時は、 / 4遅延プレート9と第2の偏光路P2は90°プリズムの手前に即ち90°プリズム10とビームスプリッタ1との間に設ける必要がある。90°プリズム10とコリメータK₂との間に配置すれば、このチャンネルにおける変調コントラストは係数、約0.8だけ低下してしまう。

10

【0040】

図7は、ファイバカプラFKにおいてもビームスプリッタ1においても理想的な、損失のないかつ分割比が1:1の場合の、相対的な光学的なエネルギー状態を示す。光源LにおいてガラスファイバケーブルF1の中へ入力結合された光エネルギーは100%と前提される。ファイバカプラFKの出力側ではそのうちのなお50%が残っている。光は偏光されずに第1の偏光器P1に到来するため、光エネルギーは第1の偏光器P1によりもう1度半減されてもとの光エネルギーの25%になる。ビームスプリッタ1の2回の通過の後に、光強度は6.25%へ低減されている。これは、 $I_1(t)$ と $I_2(t)$ により与えられる電気光学的変調の最大値に相応する最大の光エネルギーである。この光エネルギーは分析器P1, P2により受信チャンネルの中へ達する。チャンネルにおいてこの光エネルギーはファイバカプラFKによりさらに1回半減される。その結果、光検出器D1, D2において変調の最大値において、最終的にもとの光エネルギーのなお3.125%および6.25%が入射する。

20

【0041】

S偏光のためにもP偏光のためにも透過と反射との比が2:1のビームスプリッタ1を用いると、両方の光検出器D1, D2へ入射する最大の光エネルギーを等しくできる。この光エネルギーはもとのエネルギーのそれぞれ5.55%の値を有する(括弧の中の値を比較のこと)。

30

【0042】

図8と図9は2つの別のセンサ実施例を示し、この場合、送信路と受信路が分離されている。この場合もセンサの各々は唯1つの光源Lしか必要としない。両方の90°位相偏移は電気光学結晶4における1つの共通の光路から導出される。そのため電気光学結晶の複屈折は90°位相偏移に影響を与えない。90°位相偏移を形成する光学部材は図1、図2、図3の場合と同じである。第2のガラスプレート3は第3のガラスプレート5と同様に光信号を透過させる層電極6である。入力光ビームの偏向はミラー7により行なわれるのではなく、第3のガラスプレート5の上の90°プリズムにより行なわれる。

40

【0043】

これらの両方のセンサの実施例の利点：

図1と図2によるセンサ実施例の場合、第1の光検出器D1において信号バックグラウンドノイズが不所望の反射に起因して光学的装置から発生する。この種の反射の原因は境界面における、特にファイバ区間における屈折率の跳躍的变化である。図8と図9によるセンサ構成の場合、この種の反射はほとんどなく、または著しく減衰された形式で検出器へ達するため、それほど障害とはならない。ファイバブラグの品質はより小さくなり得る。

【0044】

ファイバFKは省略される。

50

【 0 0 4 5 】

光検出器 D 1 , D 2 における光エネルギーはより高い。

【 0 0 4 6 】

これらの利点に対して次の欠点がある：

送信器側 / 受信器側とセンサヘッドとの間に付加的なガラスファイバ接続体が必要とされる。

【 0 0 4 7 】

第 3 のコリメータ K 3 と第 3 の偏光器 P 3 が必要とされる。

【 0 0 4 8 】

光学装置の横断面寸法がより大きくなる。そのため必要とされる、電気光学結晶 4 の最小横断面積よりも大きくなる。 10

【 0 0 4 9 】

振幅および位相の影響に関しては、図 1 と図 2 の場合と同じことが当てはまる。付加的に第 3 のガラスプレート 5 の上面における 90°プリズム 1 1 における 2 回の反射の場合の相対位相偏移は、S 偏光と P 偏光との間のそれぞれの角度 θ_2 だけ考察される。この場合、90°プリズム 1 1 の屈折率 1.5 の場合に $\theta_2 = 36.9^\circ$ の値となる。この位相偏移が 90°位相偏移の相対位相へ、および変調コントラストへ影響を与えないようにするために、プリズム底面の縁は電気光学結晶 4 の電気光学軸に平行に方向づけるべきである。90°位相偏移の両方の信号は共通に同じ位相角度 $2\theta_2$ だけ変位される。しかしこれらの相対位相は変化されない。光強度 I_1 と I_2 の場合の信号は式 (3) と式 (4) の変形式で示される： 20

$$I_1(t) = I_0 \cdot [A_1 + B_1 \cdot \cos(\theta_2 - \theta_1) - 2 \cdot \theta_2] / 2 \quad (13)$$

$$I_2(t) = I_0 \cdot [A_2 + B_2 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_1 / 2 - \theta_2) - 2 \cdot \theta_2] / 2 \quad (14)$$

式 (1 3) は $\theta_1 / 4$ 遅延プレート 9 を有しないチャンネルに当てはまり、式 (1 4) は $\theta_1 / 4$ 遅延プレート 9 を有するチャンネルに当てはまる。

【 0 0 5 0 】

これらの両方の式 1 3 , 1 4 から、作用電界すなわち高電圧 8 に比例する光学的位相偏移が求められる。このことは前述の米国特許第 A - 4 9 0 4 9 3 1 号公報に示されている。所期の電圧振幅すなわち測定結果信号 S は光学的位相偏移 θ_2 に依存して較正により定められる。 30

【 0 0 5 1 】

センサ特性は零点偏移により劣化されない。所望の場合はセンサ特性は、遅延 $2\theta_2$ を有する各 1 つの付加的な遅延プレートにより両方のチャンネルにおいて補償できる。

【 0 0 5 2 】

90°プリズム 1 1 の縁を 45°の角度で、電気光学結晶 4 の電気光学軸 H 1 、 H 2 に配向すれば、90°プリズム 1 1 の相対位相遅延に付加的な障害となる影響を生ぜしめることになる。

【 0 0 5 3 】

付加的な 90°プリズム 1 1 を回避する目的で、入力光ビームを、電気光学結晶 4 の第 3 の電気光学軸 H 3 に、わずかに斜めに走行させて、次に再び第 3 のガラスプレート 5 の鏡面 7 において反射させることができる。このことは図 1 0 に記入されている光路 1 2 に示されている。1 3 で、ビームスプリッタ 1、 $\theta_1 / 4$ 遅延プレート 9、偏光器 P 1 , P 2 , P 3、コリメータ K 1 , K 2 , K 3 および 90°プリズム 1 0 から成る光学部材を示す。 40

【 0 0 5 4 】

光学的エネルギー状態は両方のセンサ構成の場合に同じであり、図 1 1 において損失のない理想的な場合が示されている。電気光学的変調の最大値において、両方の光検出器 D 1 , D 2 にもとの光出力のそれぞれ 25% が到来する。

【 0 0 5 5 】

例えばセンサ光学部材の内部の多重反射の場合に干渉の影響が生じないようにする目的で、光源 L は例えば短いコヒーレント長さを有すべきである。干渉の影響は高められたノイ 50

ズにより、測定された光強度 I_1 と I_2 へ障害として作用することがある。例えば光を放出する半導体ダイオード LED またはマルチモードレーザダイオードが用いられる。

【0056】

これらのガラスファイバ接続体はマルチモードファイバケーブル F_1 , F_2 である。レーザダイオードを光源 L として用いる場合、送信路用のガラスファイバケーブル F_1 は少なくとも次の長さ（通常は数 10 m）に選定される。すなわちセンサヘッドに到来する光が十分に偏光解除されさらに十分に非コヒーレントであるように、選定される。その目的は、偏光の変動と干渉の影響に起因する信号変動とノイズを阻止するためである。図 8 と図 9 に示されているように送信路と受信路との分離の場合、マルチモードレーザダイオードが光源 L として選定される時は、偏光形成用のモノモードファイバ F_3 も適する。発光半導体ダイオードを用いるとすると、モノモードファイバへ入力結合される光エネルギーは小さすぎる。センサヘッドにおいてファイバ軸線は、偏光方向が入力偏光器 P_3 の順方向に平行になるように、方向づけられる。

10

【0057】

図 1 と図 2 による一体化された送信路と受信路の場合、モノモードファイバは不適切である。何故ならばファイバへの光の再入力結合の目的で、センサ構造の機械的な安定性に対する要求は、小さいファイバ直径に起因して著しく大きくなるからである。

【0058】

電界の線積分に対して適切でかつ電圧が加わらない時は複屈折する結晶族と結晶配向が次の表 1 に示されている。

20

【0059】

【表 1】

表 1

族	結晶軸 光伝播方向 に平行(H3)	電子光学主軸 の方向	材 料
$\overline{4}3m(T_d)$	$\overline{4}$ つの軸 [001]	[110]および $[1\overline{1}0]$	$Bi_4(SiO_4)_3$ (BSO) $Bi_4(GeO_4)_3$ (BGO) ZnS, ZnSe, CuCl
$\overline{4}2m(D_{2d})$	$\overline{4}$ つの軸 [001]	[110]および $[1\overline{1}0]$	カリウムジヒドロ ゲンりん酸塩 KH_2PO_4 (KDP)
$23m(T)$	2つの軸 [001]	[110]および $[1\overline{1}0]$	ナトリウム 塩素酸塩 $NaClO_3$

30

40

50

【 0 0 6 0 】

この結晶族は国際的な表記法であり括弧の中もシェーンフリース表記法で示されている。

【 0 0 6 1 】

表 2 に示された両方の結晶族は電界の加わらない時は複屈折性である。真性複屈折の主軸は電気光学主軸と一致する。その結果、真性複屈折は一定の残存する調整偏差として、電界により誘起される複屈折へ加算される。

【 0 0 6 2 】

【表 2】

表 2

族	結 晶 軸 光伝播方向 に平行(H3)	電子光学主軸 の方向	材 料
$\bar{6}m2 (D_{3h})$	2つの軸	および ⊥	LiNaCO ₃
2mm (C _{2v})	2つの軸 [001]	[100]および[010]	MgBaF ₄

10

20

【 0 0 6 3 】

これらと並んで別の結晶族がある。これは基本的に積分にも適するであろうが、真性複屈折の軸と電界により生ぜされる複屈折の軸とは異なる方向を有する。この結晶族についてはこれ以上は説明しない。

【 0 0 6 4 】

重要なことは、0°および90°とは異なる偏光を有する光は、電気光学軸H1に対して40°~50°の範囲において例えば45°で電気光学結晶4の中へ入射されることである。電気光学結晶4の2回の通過(往復)の後に光はビームスプリッタ1において2つの部分ビームT1, T2へ分解される。第1の部分ビームT1の中に偏光器P1が設けられており、この偏光器はこのチャンネル用の分析器として作用する。第2の部分ビームT2は、両方のチャンネルの間に90°位相偏移を形成する / 4遅延プレートを介して走行し、次に分析器P2も走行する。ビームスプリッタ1において反射された光ビームはさらに90°プリズム10を介して偏向される。その結果、両方のチャンネルに対して平行なビーム方向が得られる。このことがコンパクトな構造を可能にする。光学部材の特性、配向および配置は次のように選定されている。すなわち境界面(ビームスプリッタ1、90°プリズム10)における透過と反射の際のS偏光とP偏光の場合の相異なる位相偏移が、両チャンネル間の位相差と変調コントラストに実質的に影響を与えないように、選定されている。

30

40

【 0 0 6 5 】

温度補償：

検出された電気光学信号すなわち光強度I₁とI₂は通常のように温度に依存する。Bi₄(GeO₄)₃(BGO)の場合は尺度となる電気光学係数の温度係数は約2.4 × 10⁻⁴ K⁻¹の値を有する、すなわち温度が100Kだけ上昇すると信号は、印加電圧が一定の場合には2.4%だけ上昇する。そのため正確な電圧測定のために付加的な温度測定が必要とされる。別個の温度センサを回避する目的で、 / 4遅延プレート9が用いられる。このプレートの遅延作用は適切な大きさの温度依存性を有する。両方の電気光学信号I₁, I₂の位相差の測定から / 4遅延プレート9とそれの近傍の温度が求められる。電圧信号す

50

なわち測定結果信号 S は相応に補正できる。温度が 50 K だけ変化する時に、水晶から成る 0 次の $\lambda/4$ 遅延プレートの場合、波長 633 nm の場合の遅延は約 0.5° だけである。より大きい温度依存性はより高い次数の $\lambda/4$ 遅延プレート 9 の使用により得られる。なぜならば温度により定められる位相変化は次数と共に増加するからである。例えば 2.25 次の、すなわち 2.25 波長の相対遅延を有する $\lambda/4$ 遅延プレート 9 の場合は、温度が 50 K だけ変化する時に 4.5° だけ遅延が変化する。

【0066】

両方の電気光学信号 I_1, I_2 の間の位相差 ϕ の測定を図 9 を用いて説明する。図 9 にこの電気光学信号 I_1, I_2 は時間 t に依存して示されている。

【0067】

両方の電気光学信号 I_1, I_2 の間の位相差 ϕ は、 $\lambda/4$ 遅延プレート 9 により生ぜしめられた遅延に相応する。遅延は温度に依存する。位相差 ϕ は、 I_2 と I_1 が $I_{\text{max}}/2$ を通過する時点 t_0, t_1, t_2 の測定から次の式を用いて求められる。

【0068】

$$\phi = 180^\circ \cdot (t_0 - t_1) / (t_2 - t_1) \quad (15)$$

90° からの位相差 ϕ の偏差は次の式で示される： $\phi = \phi_0 - 90^\circ$ 。

【0069】

$\lambda/4$ 遅延プレート 9 は、室温 (293 K) の場合の ϕ_0 を 90° に、従って $\phi = 0$ になるように設計すべきである。 ϕ_0 は次のように絶対温度 T に依存する：

$$\phi_0(T) = \phi_0(293) + \alpha(T - 293) \quad (16)$$

ただし α は $\lambda/4$ 遅延プレート 9 の温度係数である。 2.25 次の $\lambda/4$ 遅延プレートの場合には次の値を有する。

【0070】

$$\alpha = 0.09^\circ \text{ K}^{-1} \quad (17)$$

センサヘッドの温度 T はケルビン度で測定できる：

$$T = (\phi_0(T) / \alpha) + 293 \quad (18)$$

既知の温度 T によりマイクロプロセッサ 14 により電気光学信号 I_1, I_2 から得られた測定結果信号 S は温度 T に関して補正できる：

$$S_K = S \cdot \beta(T) \quad (19)$$

ただし $\beta(T)$ は次の式で与えられている：

$$\beta(T) = 1 + \gamma(T - 293) \quad (20)$$

γ は電気光学位相差の温度係数である。 $\text{Bi}_4(\text{GeO}_4)_3(\text{BGO})$ の場合は、 γ は約 $2.4 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ の値を有する。

【0071】

センサの較正は、 $T = 293$ で $\beta(293\text{ K}) = 1$ の場合に所望の信号 S が形成されるように、行なわれる。センサが力測定のために用いられる(以下参照)時は、機械的に生ぜしめられる複屈折の温度係数が式(20)において用いられる。

【0072】

真性複屈折を有する 6 mm と 2 mm の結晶の場合、この複屈折の温度依存性を温度測定のために用いることができる。複屈折の変化が、両方の電気光学信号 I_1, I_2 の付加的な緩慢な位相偏移を生ぜさせる。この位相偏移は両方の電気光学信号 I_1, I_2 に対して大きさが等しい。さらに $\lambda/4$ 遅延プレート 9 の温度依存性にもとづく、 I_1, I_2 の相対位相の温度に依存する変化が加わる。しかしこの変化は絶対偏移に比較して無視できるくらい小さい。

【0073】

温度に依存する緩慢な位相偏移は、 90° のインクリメントで、両方の電気光学信号 I_1, I_2 の零点通過の合計数から求められる。

【0074】

正の極性を有する正の位相偏移の場合の零点通過と、負の極性を有する負の位相偏移の場合の零点通過とを計数すると、交流電圧(8)の各々の完全な周期の後の印加された交流

10

20

30

40

50

電圧 8 にもとづく累積された零点通過は $= 0$ となる。付加的に発生した全部の零点通過は温度変化または直流電圧成分に起因する。しかし直流電圧による零点通過の個数は温度により生ぜしめられた零点通過と比較して無視できるくらい小さい。

【 0 0 7 5 】

真性複屈折にもとづく位相偏移は光が電気光学結晶を 2 回通過した際に次に式で与えられる：

$$= 4 \cdot \cdot L \cdot n / \quad (21)$$

ただし L は結晶の長さ、 λ は光の波長、 n は複屈折の場合の屈折率の差である。

【 0 0 7 6 】

温度変化 ΔT の場合、位相は次の値だけ変化する。

【 0 0 7 7 】

【 外 2 】

$$\delta \Gamma (\Delta T) = \Delta \Gamma \cdot \gamma_{\Delta n} \cdot \Delta T \quad (22)$$

ただし $\gamma_{\Delta n} = \delta \Delta n / (\Delta n \cdot \delta T)$ は複屈折の温度計数である。

10

20

【 0 0 7 8 】

(ΔT) は付加的な零点通過の個数 $N(\Delta T)$ から $\pi / 2$ すなわち 90° のインクリメントで次の式により求められる：

$$(\Delta T) = N(\Delta T) \cdot \pi / 2 \quad (23)$$

温度依存性は次の式で示されている：

【 0 0 7 9 】

【 数 1 】

$$\Delta T = [N(\Delta T) \cdot \pi] / (2 \cdot \Delta \Gamma \cdot \gamma_{\Delta n}) \quad (24)$$

30

【 0 0 8 0 】

この方法の場合、温度変化だけが求められる。初期温度 T_a はセンサの作動開始ごとに新たに次のように入力する必要がある：

$$T = T_a + \Delta T \quad (25)$$

数値例

【 0 0 8 1 】

【 外 3 】

40

複屈折率 $\Delta n = 0.01$ 、複屈折率の温度係数 $\gamma_{\Delta n} = 10^{-4} \text{K}^{-1}$ 、結晶の長さ $L = 10 \text{cm}$ 、波長 $\lambda = 780 \text{nm}$ 、電子光学結晶 4 の中を 2 回通過の場合に (26) (27) が得られる：

【 0 0 8 2 】

全部の位相偏移 $= 1.6 \cdot 10^4$ ラジアン (26)

50

温度変化が T だけの場合の位相偏移： $\Delta\phi = 1.61 \cdot T$ 。 $T = 1 \text{ K}$ の場合、
 $\Delta\phi = 1.61$ ラジアン 92° (27)

センサは基本的に光圧および力のダイナミック測定のためにも使用できる。そのための構成は図10に示されている。力15は光伝播方向 X_1 に平行に作用する。結晶族と結晶配向の適切な選定の下で、光伝播方向 X_1 に沿って伝播する光のための電気光学結晶4は複屈折性である。族23 (T) または $m3$ (Th) の立方結晶4の場合、光伝播方向 X_3 は3つの立体軸の1つと一致する。立体軸に平行な偏光方向のための3つの主屈折率は次のように変化する：

$$\begin{aligned} n_1 &= -n_0^3 \cdot \gamma_{11} \cdot F / 2 \\ n_2 &= -n_0^3 \cdot \gamma_{13} \cdot F / 2 \\ n_3 &= -n_0^3 \cdot \gamma_{12} \cdot F / 2 \end{aligned}$$

10

ただし n_0 は力15の加わらない場合の屈折率、 F は単位面積当りに加えられる力15、 γ_{ij} は光弾性係数を示す。3つの別の立方族 $43m$, 432 , $m3m$ (Td , O , On) のうちの1つに所属する電気光学結晶の場合は $\gamma_{12} = \gamma_{13}$ であり、そのため $n_2 = n_3$ である。そのためこれらの族は図10に示された構成における圧力測定のためには適切ではない。

【0083】

族23と $m3$ の場合は複屈折は次の式で与えられる：

$$n = n_2 - n_3 = -n_0^3 \cdot (\gamma_{13} - \gamma_{12}) \cdot F / 2$$

入射光の偏光方向は X_2 軸と X_3 軸により例えば角度 45° を形成する。長さ L の電気光学結晶4を2回通過した際の X_2 と X_3 に平行な両方の直交する偏光成分が累積する合成の位相差は式(26)により与えられている。

20

【0084】

数値例：

差 $\gamma_{13} - \gamma_{12}$ は通常は $10^{-12} \text{ m}^2 / \text{N}$ のオーダーを有する。 $n_0 = 2$ 、 $L = 0.1 \text{ m}$ 、 $F = 10^6 \text{ N} / \text{m}^2$ 、 $\lambda = 780 \text{ nm}$ の場合、 $\Delta\phi = 6.44$ ラジアンすなわち 360° となる。

【0085】

力測定の目的で非立方結晶族を用いることもできる。

【0086】

30

力15を長手方向へ電気光学結晶4へではなく、横方向へ横断面の示されているガラスロッド16へ作用させることもできる。このこともできる。入射する光の偏光は力15の方向と例えば 45° の角度にする必要がある。H1とH2は生ぜしめられた複屈折の主軸を示す。

【図面の簡単な説明】

【図1】一体化された送信路と受信路を有するセンサ構成体の構造図である。

【図2】一体化された送信路と受信路を有するセンサ構成体の構造図である。

【図3】図1に示されたセンサ構成体の光学部材の角度配向図である。

【図4】図2に示されたセンサ構成体の光学部材の角度配向図である。

【図5】 90° 位相差のエラー曲線を、図1と図2に示されるセンサ構成体のビームスプリッタにおけるS偏光とP偏光との間の位相遅延の関数として示す線図である。

40

【図6】 $\lambda/4$ プレートを有するチャンネルにおける電気光学変調のコントラストを、ビームスプリッタにおけるS偏波とP偏波との間の相対位相遅延の関数として示す線図である。

【図7】図1と図2によるセンサ構成体の場合の相対光エネルギーを示す線図である。

【図8】分離された送信路と受信路を有するセンサ構成体の構造図である。

【図9】分離された送信路と受信路を有するセンサ構成体の構造図である。

【図10】図8と図9に示したセンサ構成体において、プリズムではなくミラーを用いた場合の電気光学結晶における光路図である。

【図11】図8と図9に示されたセンサ構成体においてビームスプリッタの分割比が1：

50

1 の下での相対光エネルギーを示す図である。

【図 1 2】 温度補償を示すために 2 つの電気光学信号を時間の関数として示す信号ダイヤグラム図である。

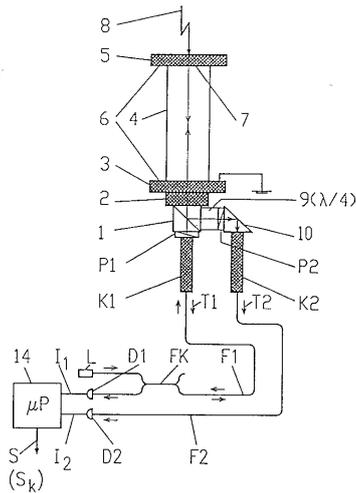
【図 1 3】 圧力および光の光学的ダイナミック測定のためのセンサ構成図である。

【図 1 4】 光の光学的ダイナミック測定のためのセンサ構成図である。

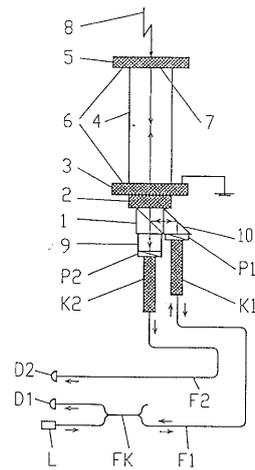
【符号の説明】

1 ビームスプリッタ、 2, 3, 5 ガラスプレート、 4 電気光学結晶、 6 層電極、 7 ミラー、 8 高電圧、 9 位相遅延プレート、 10, 11 90°プリズム、 12 光路、 13 光学部材、 14 評価電子装置、 15 力、 16 ガラスロッド

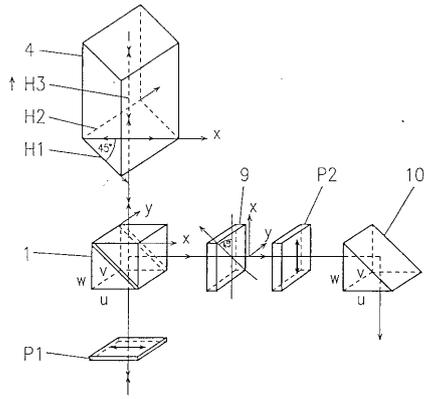
【図 1】



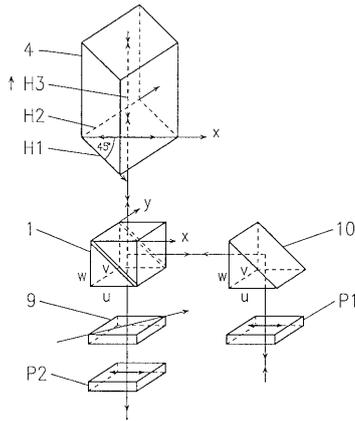
【図 2】



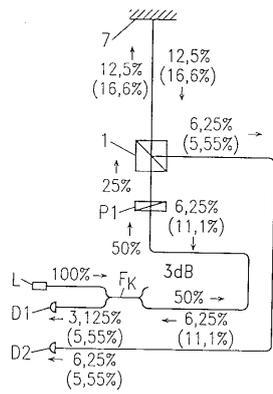
【 図 3 】



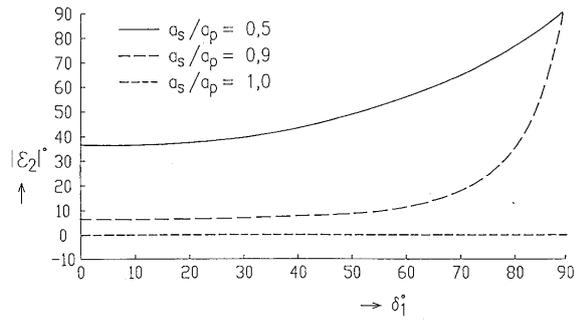
【 図 4 】



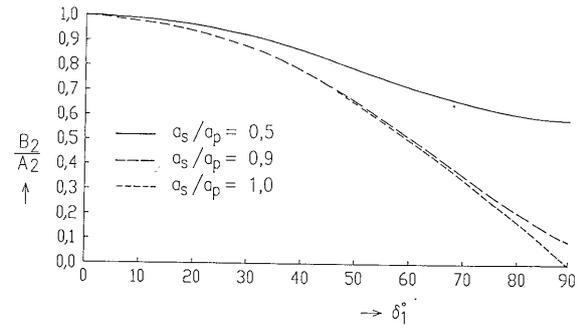
【 図 7 】



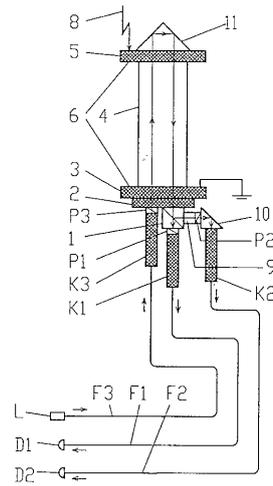
【 図 5 】



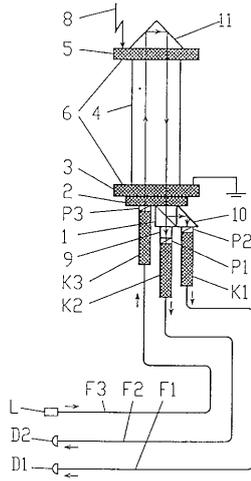
【 図 6 】



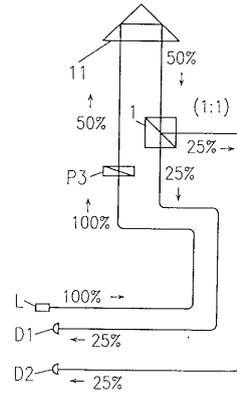
【 図 8 】



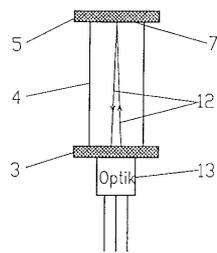
【 図 9 】



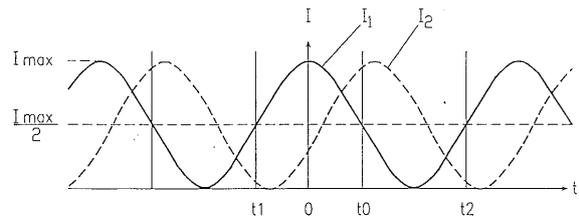
【 図 1 1 】



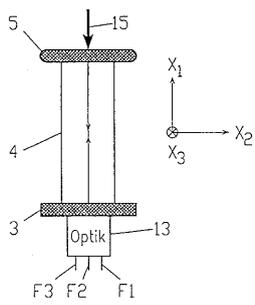
【 図 1 0 】



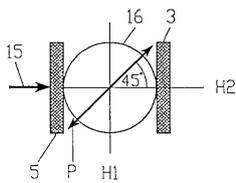
【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



フロントページの続き

(72)発明者 ユルゲン ネーリング
スイス国 ヴェッティンゲン ノイシュトラーセ 47

審査官 堀 圭史

(56)参考文献 特開昭58-137768(JP,A)
西独国特許出願公開第03729382(DE,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)
G01R 15/00-26