



(12) Ausschließungspatent

(19) DD (11) 254 792 A5

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

4(51) G 01 S 17/08

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) AP G 01 S / 299 119 8
(31) 8600202
8604427

(22) 06.01.87
(32) 06.01.86
22.02.86

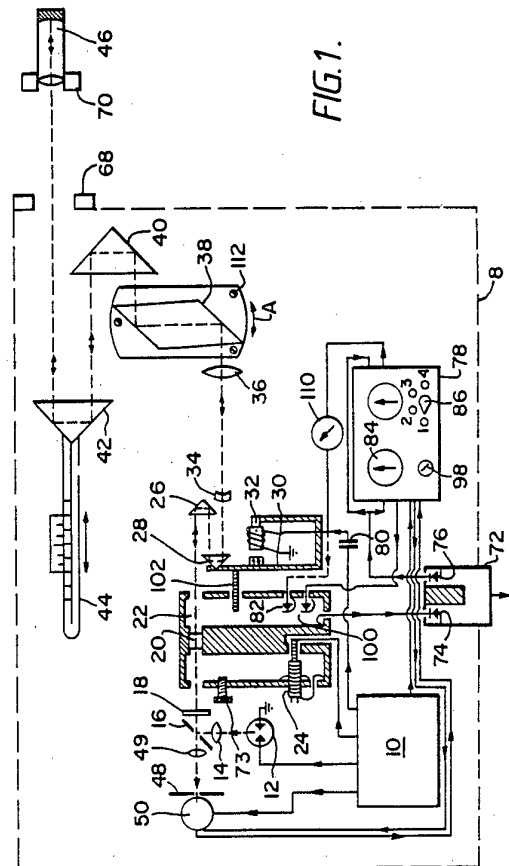
(44) 09.03.88
(33) GB

(71) siehe (73)
(72) Froome, Keith D., GB
(73) RANK TAYLOR HOBSON LIMITED, Leicester LE4 7JQ, 2 New Star Road, GB

(54) Meßgerät und Meßverfahren zur Entfernungsmessung mittels Polarisationsmodulation

(55) Meßsystem, Entfernung, Polarisation, elektrooptisch, zirkular, Filter, Kristall, Modulation

(57) Bei einem Entfernungsmesssystem wird polarisiertes Licht von einer Haupteinheit (8) zu einem Zielreflektor (46) projiziert und wieder reflektiert. Die Polarisation wird moduliert durch einen elektrooptischen Pockelsschen Kristall (20), der im Strahlenweg des projizierten und zurückgeworfenen Lichts angeordnet ist, wobei ein variabler Lichtweg (42, 44) so justiert wird, daß am Photodetektor (50) nach dem Durchgang des zurückgeworfenen Lichts durch ein Polarisationsfilter (18) ein Nullwert ermittelt wird. Damit ein einziges Filter (18) für die Polarisierung des projizierten Strahlenbündels und zur Filterung des zurückgeworfenen Strahlenbündels ausreicht, kann eine relative Phasenverzögerung von etwa einem Viertel Wellenlänge durch einen Rhombus (38) in das projizierte und zurückgeworfene Strahlenbündel eingeführt werden. Damit die sonst erforderliche Ausrichtung des Filters (18) mit den Achsen der quer zum Strahlenbündel verlaufenden Kristallachsen umgangen werden kann, ist der Rhombus vor dem Kristall (20) in dem projizierten Strahlenbündel anzubringen, so daß der Kristall im allgemeinen zirkular polarisiertes Licht empfängt. Zur Regulierung der Qualität des am Photodetektor erzielbaren Nullwertes, kann die Ausrichtung des Rhombus nachreguliert werden. Damit der Nullwert mit größerer Genauigkeit nachweisbar ist, können entweder die Modulationswellenlänge, die Länge des Lichtwegs oder die Zeitverzögerung des Lichtwegs gewobbelt werden. Um Meßwerte für eine Struktur zu entnehmen, die hinsichtlich einer Bezugstemperatur korrigiert sind, kann die Modulationswellenlänge für einen Bezugsresonator (72), der aus demselben Material wie die Struktur besteht und in Berührung mit dem Kristall angeordnet ist, festgelegt werden. Fig. 1



Patentansprüche:

1. Meßgerät zur Entfernungsmessung mittels Polarisationsmodulation bestehend aus:
einer Vorrichtung für die Projektion eines Bündels von polarisierten Strahlen und somit für das Zurückwerfen des Strahlenbündels längs im wesentlichen desselben Wegs; einer Vorrichtung für die Modulation der Polarisation des projizierten Teils des Strahlenbündels und des zurückgeworfenen Teils des Strahlenbündels, **gekennzeichnet durch** eine Phasenverschiebungsvorrichtung für die Einführung einer justierbaren unmodulierten relativen Phasenverschiebung im Strahlenbündel.
2. Meßgerät nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß die Phasenverschiebungsvorrichtung einen Rhombus (38) und eine Vorrichtung für die Justierung des Rhombus (38) um eine Achse senkrecht zur Ebene des Rhombus (38) umfaßt.
3. Meßgerät nach Anspruch 2, **gekennzeichnet durch** eine Vorrichtung für die Justierung der Schwenkbewegung des Rhombus (38) um zumindest eine Achse in der Ebene des Rhombus (38).
4. Meßgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **gekennzeichnet dadurch**, daß die Phasenverschiebungsvorrichtung ein Phasenverzögerungsplättchen und eine Vorrichtung für die Justierung dieses Plättchens um eine Achse senkrecht zur Ebene des Plättchens umfaßt.
5. Meßverfahren zur Entfernungsmessung mittels Polarisationsmodulation mit folgenden Schritten:
Projektion eines Bündels polarisierter Strahlung;
Zurückwerfen des polarisierten Strahlenbündels längs im wesentlichen desselben Strahlenwegs;
Modulation der Polarisation des projizierten Teils des Strahlenbündels und des zurückgeworfenen Teils des Strahlenbündels;
und
Nachweis des zurückgeworfenen Teils des Strahlenbündels nach der Modulation;
gekennzeichnet durch den Schritt der Einführung einer justierbaren unmodulierten relativen Phasenverschiebung im Strahlenbündel.

Hierzu 4 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Meßgerät und ein Meßverfahren für die Entfernungsmessung unter Anwendung der Polarisationsmodulation eines Strahlenbündels.

Ein erster Aspekt der Erfindung betrifft insbesondere ein Meßgerät, bestehend aus:

- einer Vorrichtung für die Projektion eines polarisierten Strahlenbündels, mit deren Hilfe das Strahlenbündel im wesentlichen entlang des gleichen Wegs zurückgeworfen (reflektiert) werden kann;
- einer Vorrichtung für die Modulation der Polarisation der projizierten und reflektierten Teile des Strahlenbündels; und
- einer Vorrichtung für den Nachweis des reflektierten Teils des Lichtstrahlenbündels nach der Modulation.

Des weiteren betrifft ein zweiter Aspekt der Erfindung ein entsprechendes Meßverfahren, das die folgenden Schritte umfaßt:

- Projektion eines polarisierten Strahlenbündels;
- Reflektion des polarisierten Strahlenbündels im wesentlichen längs desselben Wegs;
- Modulation der Polarisation der projizierten und reflektierten Teile des Strahlenbündels; und
- Nachweis des reflektierten Teils des Strahlenbündels nach der Modulation.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Ein derartiges Meßgerät und -verfahren werden in der GB-Patentschrift 1 172 668 beschrieben. Bei der in dieser Patentschrift offenbarten Anordnung wird das Strahlenbündel durch ein erstes Polarisationsfilter polarisiert und dann durch mindestens einen elektrooptischen Kristall moduliert. Der reflektierte Teil des Strahlenbündels wird mindestens durch einen weiteren solchen Kristall moduliert, der eine Kristallstruktur aufweist, dessen X- und Y-Achsen senkrecht zu jenen des ersten Kristalls ausgerichtet sind, und dann durch ein zweites Polarisationsfilter, dessen Polarisationsrichtung sich mit der des ersten Filters kreuzt, gefiltert.

Es wird eingeschätzt, daß mit zwei gleichen, genau ausgerichteten Kristallen, mit genau ausgerichteten Polarisationsfiltern und bei Ausschaltung von Streupolarisationseffekten oder natürlicher Doppelbrechung der Kristalle, keine Strahlung durch das zweite Polarisationsfilter hindurchgeht, wenn die Entfernung längs des optischen Weges vom ersten Kristall zum zweiten Kristall ein ganzzahliges Vielfaches der Modulationswellenlänge ist. Es ist jedoch schwierig, wenn nicht unmöglich, die Meßanordnung so auszubilden, daß sie perfekt funktioniert.

Ziel der Erfindung

Das Ziel der Erfindung besteht darin, sowohl die Herstellungskosten als auch den Justieraufwand zu reduzieren.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Meßgerät und ein Meßverfahren zur Entfernungsmessung mittels Polarisationsmodulation zu schaffen, das eine geringere Anzahl von Bauelementen und Baugruppen erfordert und bei dem alle durch die Modulationsvorrichtung oder durch die anderen optischen Bauteile verursachten unerwünschten Polarisationsseffekte kompensiert werden.

Gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung ist das Meßgerät gekennzeichnet durch eine Phasenverschiebungsvorrichtung für die Einführung einer justierbaren unmodulierten relativen Phasenverschiebung im Strahlenbündel. Ein entsprechendes Meßverfahren gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung ist gekennzeichnet durch den Schritt der Einführung einer justierbaren unmodulierten relativen Phasenverschiebung im Strahlenbündel. Somit können alle durch die Modulationsvorrichtung oder durch die anderen optischen Bauteile des Systems verursachten unerwünschten Polarisationsseffekte kompensiert werden. Die Phasenverschiebungsvorrichtung kann einen Rhombus und eine Einrichtung für die Justierung des Rhombus um eine Achse senkrecht zur Ebene des Rhombus umfassen, so daß die durch den Rhombus bewirkte Phasenverschiebung justiert werden kann. Es kann ebenfalls eine Einrichtung für die Justierung der Schwenkbewegung des Rhombus zumindest um eine Achse in der Ebene des Rhombus besitzen, mit der die Hauptachsen des Rhombus und der Modulationsvorrichtung genau ausgerichtet werden können. Wenn andererseits die Strahlung speziell oder zusätzlich Laserlicht ist, kann die Phasenverschiebungsvorrichtung ein Verzögerungsplättchen sowie eine Einrichtung für die Justierung des Plättchens um eine Achse senkrecht zur Plättchenebene umfassen, die für die Justierung der erforderlichen Phasenverschiebung bestimmt ist.

Ausführungsbeispiele

Es werden nun spezielle Ausführungsformen der Erfindung anhand eines Beispiels unter Bezugnahme auf die dazugehörige Zeichnung beschrieben. In der Zeichnung zeigen:

- Fig. 1: die schematische Darstellung einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Meßgerätes;
- Fig. 2 a bis 2 f: den Ausgang des Photodetektors des Gerätes gemäß Figur 1 unter verschiedenen Umständen, während die Länge des optischen Weges des Lichtstrahlenbündels durch eine Modulationswellenlänge variiert wird;
- Fig. 3: einen Bezugsresonator, der beim Meßgerät gemäß Figur 1 genutzt wird;
- Fig. 4: eine schematische Darstellung einer anderen Ausführungsform des Meßgerätes gemäß bestimmter erfindungsgemäßer Aspekte.

Als erstes wird der Aufbau der optischen Anordnung einer erfindungsgemäßen Ausführungsform beschrieben. Das Meßgerät von Figur 1 umfaßt eine Haupteinheit 8 und einen im bestimmten Abstand angeordneten Reflektor 46. In der Haupteinheit 8 erzeugt eine Xenon-Entladungsröhre 12 weißes Blitzlicht starker Intensität. Dieses Licht wird durch eine Zerstreuungslinse 14 kollimiert und dann mittels eines Spiegels 16 durch einen planen Polarisator 18 und auf einen Pockelsschen Kristall 20 reflektiert, der wie gezeigt, im Resonator 22 mit Modulationshohlraum befestigt ist. Der Kristall 20 kann im Resonator für die Schwenkjustierung montiert sein, und der Resonator kann durch Drehen um seine Längsachse eingestellt werden, so daß die Achse der Kristallstruktur mit dem Rest des Meßgerätes ausrichtbar ist. Das Licht tritt aus dem Kristall 22 aus, dringt in ein innenreflektierendes Porroprisma 26 ein und gelangt von dort zu einem zweiten Porroprisma 28, das auf einer Feder 30 montiert ist und durch einen Elektromagneten 32 angesteuert wird. Das vom Prisma 28 kommende Licht tritt in eine Negativlinse 34 kurzer Brennweite ein, die das Übertragungsobjektiv 36 mit Licht füllt. Das vom Objekt 36 kommende Licht tritt in einen total innenreflektierenden Glashrhombus 38 (TIR) ein. Das aus dem Rhombus 38 austretende übertragene Licht kreuzt einen Lichtweg variabler Länge (VLP), der ein befestigtes Porroprisma 40 und ein Porroprisma 42 einschließt, die auf einer beweglichen Skala 44 montiert sind. Diese Bewegung kann mittels eines dargestellten Nonius oder mittels eines herkömmlichen oder digitalen Mikrometers gemessen werden. Das Licht verläßt dann die Haupteinheit 8 und fällt auf den außerhalb des Meßgerätes angeordneten Zielreflektor 46. Der Reflektor 46 ist vorzugsweise vom Typ eines Katzenauges, das ein an der Frontseite versilberter konkaver Reflektor ist, der im Brennpunkt einer Zerstreuungslinse angeordnet wurde, wobei der Radius des Reflektors gleich dem Brennpunkt dieser Linse ist. Die Haupteinheit 8 und der Reflektor 46 haben komplementäre Bezugsflächen 68 bzw. 70. Vom Reflektor 46 aus gelangt das Licht durch das System entlang seines ursprünglichen Wegs zurück und dringt durch ein Loch in den Reflektor 16 ein. Das Licht wird dann durch eine Linse 49 auf eine Lochblende 48 fokussiert, um das durchtretende Tageslicht auf ein Minimum zu reduzieren, und fällt auf einen Photodetektor 50, bei dem es sich vorzugsweise um einen Photovervielfacher handelt.

In Figur 1 werden die Ablenkungen des Strahlenbündels im rechten Winkel der Einfachheit halber in der Ebene des Zeichenblattes dargestellt. In der Praxis muß zur Vermeidung der Einführung unerwünschter relativer Phasenverschiebungen jede Ablenkung in einer Ebene durch eine entsprechende Ablenkung in einer senkrechten Ebene kompensiert werden, es ist jedoch nicht schwer, diesem Kriterium Rechnung zu tragen.

Anschließend wird die Wirkungsweise des optischen Meßgerätes beschrieben. Die Polarisation des Strahlenbündels im Falle eines perfekten Gerätes, bei dem keine Streupolarisation durch optische Bauteile eingeführt wird, bei dem keine natürliche Doppelbrechung des Kristalls 20 auftritt und dessen Kristallmodulation eine Tiefe von beispielsweise 90° aufweist, ist wie folgt: Das die Blitzlichtentladungsröhre 12 verlassende Licht ist unpolarisiert, aber nach seinem Durchgang durch den Polarisator 18 ist es linear polarisiert. Der Kristall 20 führt im Strahlenbündel eine Phasenverzögerung ein, die mit der Zeit zwischen plus und minus 90° sinusförmig variiert. Dies ist der Fall, da eine Modulation M von 90° Anwendung findet. Somit handelt es sich bei dem Strahlenbündel um elliptisch moduliertes, linear polarisiertes Licht, wobei die Grenzfälle der Modulation zirkular polarisiertes Licht entgegengesetzter Richtung sind. Der Rhombus 38 führt eine Phasenverzögerung von 90° in der y -Komponente des Strahlenbündels in bezug auf die x -Komponente ein, und somit alterniert die sich ergebende Phasenverzögerung mit der Zeit zwischen 0° und -180° . Somit ist das Strahlenbündel elliptisch polarisationsmoduliertes, zirkular polarisiertes Licht, wobei die Grenzfälle der Modulation linear polarisiertes Licht gekreuzter Richtung sind. Nach Ablenkung durch den im bestimmten Abstand angeordneten Reflektor 46, kann eine Phasenverzögerung von 180° sowohl in die x - als auch y -Komponente eingeführt werden, ohne daß sich eine relative Phasenveränderung zwischen den beiden Komponenten ergibt. Wenn das Strahlenbündel durch den Rhombus 38 zurückkehrt, wird eine weitere Phasenverzögerung von 90° eingeführt, so daß das übertragene Strahlenbündel elliptisch polarisationsmoduliertes, linear polarisiertes Licht ist, obwohl bemerkt werden muß, daß die Richtung der linearen Polarisation im rechten Winkel zur Polarisationsrichtung des abgehenden Strahlenbündels zwischen dem Kristall 20 und dem Rhombus 38 verläuft. Der Kristall 20 fügt der Phasenverzögerung 64 im einfallenden Strahlenbündel zwischen der x - und der y -Richtung eine weitere Phasenverzögerung hinzu, die mit der Zeit zwischen plus und minus 90° sinusförmig alterniert. Diese Phasenverzögerung geschieht in Phase mit der Phasenverzögerung, die dem abgehenden Strahlenbündel zugefügt wird. Die Phaseinstellung dieser beiden Phasenverzögerungen hängt jedoch von der Länge des Wegs ab, den das Strahlenbündel — gemessen vom Kristall 20 — zum außerhalb des Meßgerätes angeordneten Reflektor 46 und zurück zum Kristall durchwandert. Es muß erwähnt werden, daß bei einer zweckmäßigen Phaseinstellung dieser beiden Phasenverzögerungen die Summe der Phasenverzögerungen konstant ist und linear polarisiertes Licht erzeugt, dessen Richtung sich mit der des Polarisators 18 kreuzt. Auf diese Weise gelangt kein Licht durch den Polarisator und der Photodetektor 50 weist eine Lichtintensität von Null nach. Die Zeit T , die das Licht benötigt, um vom Kristall 20 zum Reflektor 46 und wieder zurück zu gelangen, beträgt:

$$T = 2d/c$$

wobei d die Entfernung zwischen Kristall und Reflektor längs des optischen Wegs und c die Lichtgeschwindigkeit ist. Eine angemessene Phaseinstellung zwischen der Phasenverzögerung des zurückgekehrten in den Kristall eintretenden Strahlenbündels und der Phasenverzögerung, die durch den Kristall verursacht wird, ergibt sich, wenn

$$T = 2d/c = (n + 0,5) 1/c; \text{ oder}$$

$$T = 2d/c = n 1/c,$$

je nach Art des Kristalls und der Art der Verwendung des Kristalls, wobei 1 die Modulationswellenlänge und n die Anzahl der kompletten Wellenlängen auf dem Weg vom Kristall und wieder zu diesem zurück ist. Deshalb ist der Abstand d gegeben durch:

$$d = (0,5n + 0,25) 1; \text{ oder}$$

$$d = 0,5n 1$$

Somit wird am Photodetektor 50 eine Phasendifferenz von Null ermittelt, wenn der Strahlweg in Abhängigkeit vom Kristall ein ganzzahliges Vielfaches der halben Wellenlänge plus einem Viertel der Wellenlänge, oder ein ganzzahliges Vielfaches der halben Wellenlänge ist.

Ein wichtiges Merkmal der Anordnung gemäß Figur 1 besteht darin, daß bei Nullmodulation und geeigneten Werten für d die Richtungen der Polarisation des projizierten, in den Kristall eintretenden Strahlenbündels und des reflektierten, den Kristall verlassenden Strahlenbündels sich kreuzen. Somit ist der Einsatz eines einzigen Kristalls 20 und eines einzigen Polarisators 18 ausreichend.

Ein weiteres wichtiges Merkmal der Meßanordnung gemäß Figur 1 besteht darin, daß Streupolarisationseffekte ohne weiteres kompensiert werden können. Wenn der Kristall 20 eine natürliche Doppelbrechung aufweist, die eine Phasenverzögerung der y -Komponente in bezug auf die x -Komponente des Strahlenbündels bei Nullmodulation erzeugt, dann kommt zur Phasenverzögerung, die durch den Rest des Meßgerätes bewirkt wird, der doppelte Betrag der Verzögerung hinzu. Wenn somit ein ganzzahliges Vielfaches der halben Wellenlängen (plus einer viertel Wellenlänge, je nach Kristalltyp) vorliegt, die vom Strahlenbündel hin und zurück durchwandert werden (das ist der Fall, wenn bei einem perfekten Meßgerät ein Nullwert ermittelt wird), dann wird das aus dem Kristall 20 austretende Strahlenbündel elliptisch polarisiert und weist eine Phasenverzögerung zwischen der x - und der y -Komponente von 180° (oder von einer halben Wellenlänge) plus der zweifachen Verzögerung, die durch die natürliche Doppelbrechung des Kristalls bewirkt wird, auf. Deshalb ist das Strahlenbündel kein linear polarisiertes Licht, dessen Richtung die Richtung des Polarisators kreuzt, und ein „perfekter“ Nullwert wird nicht beobachtet. Jedoch durch Justieren des Betrages der durch den Rhombus 38 bewirkten Phasenverzögerung — so daß anstelle einer Verzögerung von 90° zwischen der x - und der y -Komponente bei jedem Durchgang durch den Rhombus 38 eine Phasenverzögerung von 90° minus der durch die natürliche Doppelbrechung des Kristalls hervorgerufenen Verzögerung — bewirkt wird, wird die Wirkung der natürlichen Doppelbrechung aufgehoben und es ist ein Nullwert zu beobachten. In ähnlicher Weise kann durch eine Verspannung in den optischen Bauteilen des Meßgerätes zwischen der x - und der y -Komponente des Strahlenbündels eine ungewollte Phasenänderung verursacht werden, aber diese kann in derselben Weise durch Justieren des Betrages der durch den Rhombus 38 bewirkten Phasenverzögerung kompensiert werden. Dieser Betrag der Phasenverzögerung wird durch Verdrehen des Rhombus 38 in der Richtung A gemäß Figur 1 justiert.

Noch ein weiterer Vorteil der Meßanordnung gemäß Figur 1 besteht darin, daß der Kristall so ausgerichtet werden kann, daß für die Wanderung des Lichts längs der Z-Achse des Kristalls der Pockelssche Effekt (bei dem es sich um einen linearen Doppelbrechungs-Spannungs-Effekt) und der Kerrsche Effekt (bei dem es sich um einen quadratischen Doppelbrechungs-Spannungs-Effekt handelt) in Phase gebracht werden, so daß der Kerrsche Effekt die Qualität des zu erzielenden Nullwertes nicht verschlechtert.

Der Rhombus 38, der verwendet wird, muß kein perfekt gestalteter Fresnel'scher Rhombus sein, der einen speziellen Spitzenwinkel (oder Prismenwinkel) von annähernd 50° aufweist. Es kann ein Rhombus verwendet werden, der einen Spitzenwinkel im Bereich von z. B. zwischen 45° und 55° hat, vorausgesetzt, daß Vorrichtungen einbezogen sind, die eine geringe Justierung durch Drehen des Rhombus in Richtung A gemäß Figur 1 gestatten, um die durch den Rhombus 38 bewirkte Phasenverzögerung zu justieren.

Der Rhombus 38 ist nicht nur so eingebaut, daß er sich in Richtung A drehen kann, er ist auch so eingebaut, daß die Schwenkbewegung des Rhombus um die Achsen in der Ebene des Zeichenblattes mittels dreier Justierschrauben 112 justiert werden kann. Auf diese Weise können die Achsen des Rhombus 38 mit Hinblick auf die Achsen des Kristalls justiert werden. Bei einer modifizierten Ausführungsform der Meßanordnung gemäß Figur 1 ist der Rhombus 38 fest angebracht, und ein Breitbandverzögerungsplättchen wie beispielsweise ein Glimmerplättchen ist im Lichtweg angebracht und durch Drehen und Schwenken justierbar, damit beim Photomultiplikator ein Nullwert erreicht wird.

Bei einer weiteren modifizierten Ausführungsform sind der Rhombus 38 und/oder ein zusätzliches Verzögerungsplättchen in bezug auf die Richtung des projizierten Strahlenbündelteils vor dem Kristall 20 angeordnet. In diesem Fall kann ein kleinerer Rhombus verwendet werden. Des weiteren ist es wichtig, daß das in den Kristall eintretende projizierte Strahlenbündel im wesentlichen zirkular polarisiert wird und damit ist es wenig oder überhaupt nicht problematisch, die Kristallachsen senkrecht zur Richtung des Strahlenbündels auf die Polarisationsrichtung des Strahlenbündels auszurichten.

Die Bewegung des Prismas 42 führt zu einer Vergrößerung oder Verkleinerung der Länge des Strahlenbündelwegs zwischen Kristall 20 und Reflektor 46 um die doppelte Strecke, um die das Prisma bewegt wird. Wenn somit die Modulationsfrequenz f beispielsweise annähernd $1,5\text{ GHz}$ beträgt, so daß die Modulations-Halbwellenlänge $c/2f$ genau 100 mm beträgt, muß das Prisma 42 über eine Strecke von mindestens annähernd 50 mm bewegbar sein, damit ein Nullwert erzielt werden kann.

Figur 2A zeigt, wie der Ausgang I des Photomultiplikators 50 alterniert, wenn der Reflektor 46 um eine Modulationswellenlänge versetzt wird, wobei die Tiefe der Modulation M , die durch den Kristall 90° bewirkt wird, 90° und die gesamte konstante Phasenverschiebung P , die durch das Meßgerät bewirkt wird, 180° beträgt. Es bleibt zu erwähnen, daß die Nullpunkte bei einer Viertel Wellenlänge und drei Vierteln einer Wellenlänge erzielt werden und daß der Photodetektorausgang I sehr steile Gradienten auf beiden Seiten des Nullpunktes aufweist.

Figur 2B zeigt den Fall, bei dem die Tiefe der Modulation M größer als 90° ist. Es muß erwähnt werden, daß selbst noch steilere Gradienten des Photomultiplikatorausgangs I auf beiden Seiten aller Nullpunkte auftreten. Die Modulationstiefe sollte nicht allzuweit über 90° hinaus erhöht werden, da sonst des weiteren abgerundete Nullpunkte bei Null und den Halbwellenlängenpunkten, oder symmetrisch um diese Punkte herum, auftreten.

Figur 2C zeigt den Fall, bei dem die Tiefe der Modulation M kleiner als 90° ist. Es muß erwähnt werden, daß die Kurve neben dem Nullpunkt runder ist, und somit ist die Empfindlichkeit des Meßgerätes bei dieser geringeren Modulationstiefe vermindert.

Figur 2D entspricht Figur 2A mit der Ausnahme, daß die durch das System bewirkte konstante Phasenverschiebung nicht auf 180° eingestellt wird, sondern eine zusätzliche Phasenverschiebung von 45° eingeführt wird, so daß die gesamte konstante Phasenverschiebung 225° beträgt. Es ist ersichtlich, daß ein perfekter Nullpunkt nicht erzielt werden kann.

Die Figuren 2E und 2F entsprechen den Figuren 2B bzw. 2C, sie stellen jedoch den Fall dar, bei dem ähnlich wie bei Figur 2D die gesamte durch das System bewirkte Phasenverschiebung 225° anstelle von 180° beträgt.

Es werden nun die Grundschrötte für die Ausführung der Entfernungsmessung beschrieben. Zunächst wird der Reflektor 46 mit seinen Bezugsflächen 70 flach gegen die Bezugsflächen 68 der Haupteinheit 8 gelegt. Der variable Lichtweg wird dann so justiert, daß am Photodetektor 50 ein Nullpunkt erzeugt wird. Die Lage der Bezugsebene (Normalfixpunkt) des variablen Lichtweges kann dann auf Null eingestellt werden, oder aber der Meßwert kann abgelesen werden. Wenn der Reflektor dann um eine Strecke zurückbewegt und der veränderliche Lichtweg durch Bewegen des Prismas 42 nach rechts (wie aus Figur 1 zu entnehmen ist) so eingestellt wird, daß ein Nullpunkt erzeugt wird, so entspricht die Differenz zwischen der eingestellten Stellung und dem Normalfixpunkt am Nonius 44 einer Hälfte der Strecke zwischen den Bezugsflächen 68 und 70 mehr als ein ganzzahliges Vielfaches der Modulationshalbwellenlängen. Für die meisten gerätetechnischen Messungen ist die erforderliche Entfernung grob bekannt, und mit Hilfe des veränderlichen Lichtweges ist es dann möglich, diese Entfernung genauer zu messen. Wird angenommen, daß die angenäherte Entfernung zwischen den Bezugsflächen 68 und 70 $28,85\text{ m}$ beträgt und die Bewegung des Prismas 42 nach rechts (Figur 1) von der Bezugsstellung aus zur Erreichung eines Nullpunkts $36,745\text{ mm}$ beträgt, dann beträgt die Verkürzung der Länge des veränderlichen Lichtweges $2 \times 36,745 = 73,49\text{ mm}$ und somit ist es offenbar, daß die genaue Entfernung $28,87349\text{ m}$ beträgt, wenn die Modulationshalbwelle 100 mm beträgt.

Im folgenden wird die Ansteuerung der Meßanordnung gemäß Figur 1 beschrieben. Ein Pulsgenerator 10 liefert die folgenden Ausgänge:

- einen Hochspannungsimpuls (z. B. 1000 V) mit einer Dauer von 30 Mikrosekunden und einer Wiederholungszeit von 10 Millisekunden für die Anode einer keramischen Triodenröhre 24 mit geerdetem Gitter, die parallel zum Modulationsresonator 22 geschaltet ist;
- einen Triggerimpuls für eine Blitzlichtröhre 12, die zeitlich so gesteuert wird, daß sie etwa 12 Mikrosekunden nach den einzelnen Impulsen der Triodenröhre 24 angegeben werden, so daß bei Triggerung der Blitzlichtröhre 12 ein hoher stetiger Leistungspegel im Modulationsresonator 22 erzielt wird. Der durch die Röhre erzeugte Blitz hat eine Dauer von etwa 3 Mikrosekunden ;
- ein $50\text{-Hz-Synchronrechteckwellensignal}$ (erstens) zum Elektromagneten 32 über einen Kondensator 80 für das Prisma 28, so daß sich bei Triggerung der Blitzlichtröhre 12 das Prisma 28 abwechselnd an einem oder dem anderen Ende seines Bewegungsbereichs befindet, und/oder zweitens zum Varactor 82 (Kapazitätsvariationsdiode), der in den Modulationsresonator 22 eingebaut ist;
- ein $50\text{-Hz-Rechteckwellenbezugssignal}$ für ein Synchronnachweisgeräteteil 78; und
- ein $100\text{-Hz-Rechteckwellensteuersignal}$ zur Zuschaltung (d. h. Sperrung) einer oder mehrerer der Dynoden des Photomultiplikators 50, wenn kein Licht empfangen wird.

Der an die Triode 24 angelegte Impuls läßt den Modulationsresonator 22 bei einer Mikrowellenfrequenz von annähernd 1,5 GHz in Resonanz geraten. Der Modulationsresonator 22 wird anfänglich mittels einer Abstimmerschraube 73 auf den Bezugsresonator 72 abgestimmt. Der Bezugsresonator hat eine Resonanzfrequenz von 4,5 GHz und eine Q-Röhre von zwischen 4000 und 5000. Eine Kopplungsschleife 75 in der Basis des Modulationsresonators 22 ist über ein Koaxialkabel an eine Mikrowellendiode der Vorspannung Null 74 in den Bezugsresonator 72 eingefügt. Eine in Durchlaßrichtung vorgespannte Mikrowellendiode 76, die in den Bezugsresonator 72 eingefügt ist, ist mittels eines Koaxialkabels an das Synchronnachweisgeräteeil 78 angeschlossen. Eine Aufgabe des Synchronnachweisgeräteeils 78 besteht darin, die Abstimmung des Modulationsresonators 22 auf den Bezugsresonator 72 nachzuweisen und auf einem Meßgerät mit symmetrischer Skala 84 anzuzeigen. Die Abstimmerschraube 73 wird justiert bis das Meßgerät 84 auf den Nullpunkt in der Skalenmitte eingestellt ist und anzeigt, daß der Modulationsresonator 22 so abgestimmt ist, daß der Bezugsresonator 72 als dritte Harmonische des Modulationsresonators mitschwingt, was heißt, daß der Modulationsresonator 22 bei genau 1,5 GHz mitschwingt. Zur genauen Ermittlung der Frequenz des Bezugsresonators wird die Frequenz des Modulationsresonators um annähernd $\frac{1}{5000}$ gewobbeln oder oszilliert mittels einer Tauchkernspule 102, die aus einer Feder 30 durch eine Öffnung im Modulationsresonator 22 hervorrage und bei 50 Hz vibriert, und/oder mittels des Varaktors 82, der durch dasselbe Signal wie der Elektromagnet 32 angesteuert wird. Diese Frequenzveränderung von $\frac{1}{5000}$ bewirkt, daß die Modulationsfrequenz bei jedem Impuls von einer Schulter der Resonanzkurve des Bezugsresonators zur anderen springt. Auf diese Weise kann die Frequenz des Modulationsresonators genauer eingestellt werden, und zwar beispielsweise auf eine Genauigkeit in der Größenordnung von einem Millionstel, was durch Abstimmen der Frequenz des Modulationsresonators auf den Spitzenwert der Resonanzkurve des Bezugsresonators erreicht werden kann. Sobald der Modulationsresonator 22 abgestimmt ist, wird dieser mit dem Bezugsresonator 72 durch manuelle Betätigung eines Wahlschalters 86 mit Hilfe eines Varaktors 100, der im Modulationshohlraum angebracht ist, phasenverriegelt. Die Phasenverriegelung kann durch Anlegen einer GS-Vorspannung an den Elektromagnet 32 oder an den Varaktor 82 genau beibehalten werden, wobei der Kondensator 80 die GS-Rückkopplung zum Phasengenerator 10 blockiert. Schwankungen bei der gemessenen Entfernung (z. B. durch thermische Veränderungen) können dann durch ein Fehlermeßgerät 110 in der Phasenverriegelungsschleife zum Elektromagnet 32 oder zum Varaktor 82 überwacht werden. Nach der Einstellung der Frequenz des Modulationsresonators 22 wird der Nachweisgeräteeil 78 durch manuelles Betätigen des Wahlschalters 86 eingestellt, damit der Wert des Fotovervielfacherausgangs am Meßgerät 96 angezeigt wird, und die Ausrichtung von Haupteinheit 8 und Reflektor 46 können dann so eingestellt werden, daß ein maximaler Wert am Meßgerät 96 erzielt wird. Das Nachweisgeräteeil 78 enthält eine automatische Verstärkungsregelung 98 und liefert ein (automatisches) Verstärkungsregelungssignal (AGC) zum Fotovervielfacher. Die Verstärkungsregelung kann somit auf einen zweckmäßigen Pegel eingestellt werden. Die Aufgabe der automatischen Verstärkungsregelung besteht darin, die vom Fotovervielfacher wahrgenommenen Lichtimpulse auf einen durchschnittlichen konstanten Pegel zu bringen, so daß die Empfindlichkeit des Gerätes um so größer ist, je kleiner die Abweichung von einem Lichtminimum ist. Für den Nachweis eines Nullpunktes bei einem Fotovervielfacher 50 wird die Länge des Lichtweges mittels eines Schwingprismas 28 gewobbeln oder oszilliert. Dazu wird nicht ein Nullpunkt 104 (siehe Figur 3A) nachgewiesen, sondern es werden die Intensitäten 106 und 108 auf beiden Seiten des Nullpunktes nachgewiesen, wobei das Synchronnachweisgeräteeil 78 in Aktion tritt, um die Gleichheit dieser Intensitäten nachzuweisen. Bei voller Verstärkung des Fotovervielfachers ergibt sich dabei eine Empfindlichkeit des Meßgerätes von 0,01 mm.

Das Wobbeln des Lichtweges durch das Prisma 28 und das Wobbeln der Modulationsfrequenz durch die Tauchkernspule oder durch den Varaktor 82 verstärken sich gegenseitig und es kann sein, daß das Wobbeln der Modulationsfrequenz wie beispielsweise durch den Varaktor 82 für den Nachweis der Bezugsfrequenz und des Photovervielfacher-Nullpunktes ausreicht.

Es folgt nunmehr eine Beschreibung des Bezugsresonators 22 unter Hinweis auf Figur 3.

Der Resonator 22 hat einen im allgemeinen zylindrischen Körper 88, der einen Hohlraum mit einer Resonanzfrequenz von einem Viertel der Wellenlänge aufweist. Die Innenfläche des Resonators ist mit Kupfer oder Silber plattiert. Ein mit einem Schraubengewinde versehener Metalltauchkern 90 ist in dem zylindrischen Körper montiert und kann zur Justierung der Resonanzfrequenz in axialer Richtung bewegt werden. Die Innenseite des Resonators wird zur Atmosphäre hin durch ein sehr feines Loch 92 entlüftet, und es sind Silicagelkörnchen 94 in den Resonator eingebracht. Auf diese Weise wird die Luft im Resonator trocken und auf Umgebungstemperatur und -druck gehalten; dies ist gleichzeitig eine gute Maßnahme der Kompensation atmosphärischer Lichtbrechungsänderungen. Der Körper 88 des Resonators kann aus einem Material mit niedrigem Wärmeausdehnungskoeffizienten konstruiert sein wie beispielsweise aus Quarz oder „Invar“ (36% Nickel-Stahl), so daß er durch Temperaturänderungen nicht wesentlich beeinträchtigt wird. Ist andererseits die Messung der Struktur eines bekannten Materials erwünscht, so kann der Körper des Resonators aus demselben Material wie diese Struktur oder aus einem Material mit einem ähnlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten gefertigt sein. Im letzteren Fall kann die Resonanzfrequenz des Resonators bei einer bestimmten Bezugstemperatur wie beispielsweise bei 20°C kalibriert sein, und der Resonator kann auf der zu messenden Struktur befestigt werden. Infolge der Änderung der Resonanzfrequenz mit der Temperatur liefert das Meßgerät Meßwerte von der Struktur, die auf die Bezugstemperatur umgerechnet sind, und nicht die tatsächlichen Meßwerte bei der vorherrschenden Temperatur.

Hier nachfolgend wird nunmehr unter Bezugnahme auf Figur 4 eine weitere Ausführungsform eines bestimmten Aspektes der Erfindung beschrieben. In Figur 4 wurden die den in Figur 1 entsprechenden Bauteile mit den gleichen Bezugszahlen gekennzeichnet.

Während die Meßanordnung gemäß Figur 1 ein koaxiales System ist, das heißt, die projizierten und reflektierten Strahlenbündelteile längs eines gemeinsamen Weges wandern, ist die Meßanordnung gemäß Figur 4 ein quasikoaxiales System, bei dem sich die projizierten und reflektierten Strahlenbündelteile parallel dicht nebeneinander fortbewegen.

Anstelle von nur einem einzigen Kristall werden zwei Kristalle 20A und 20B im projizierten und reflektierten Strahlenbündelteil angebracht. Die Kristalle können so angeordnet werden, daß die Z-Achsen der Kristallstrukturen parallel zum Lichtstrahl verlaufen, so daß die X-Achsen der Kristallstrukturen rechtwinklig zueinander verlaufen. Wenn die Abmessungen der Kristalle 20A und 20B in der Strahlrichtung innerhalb einiger Wellenlängen des Lichtes gleich sind, dann kompensiert diese Anordnung der Kristallachsen die natürliche Doppelbrechung der Kristalle. Zur Ausschaltung jeder Differenz zwischen der natürlichen Doppelbrechung der Kristalle 20A und 20B

ist für die Feinjustierung ein Breitband-Phasenverschieberplättchen in den optischen Weg des polarisierten Lichtstrahlenbündels eingefügt, das der Justierung durch Drehen oder Schwenken dient. Für den Fall, daß weißes Licht verwendet wird, kann ein solches Phasenverzögerungsplättchen aus Glimmer sein.

Zwei Polarisationsfilter 18 A und 18 B sind in den projizierten bzw. reflektierten Strahlenbündelteilen angeordnet. Die Richtungen der Polarisationsfilter kreuzen sich gegenseitig.

Zur Wobblung der effektiven Länge des Lichtwegs, die zu dem Zweck der Erzielung eines Nullwerts beim Fotovervielfacher 50 vorgenommen wird, ist eine drehbare Anordnung für die Erzeugung eines alternierenden Lichtwegs vorgesehen. Ein Glasblock 114 und ein verhältnismäßig kurzer Glasblock 116 werden an radial gegenüberliegenden, aus einer durch einen Motor 118 getriebenen Welle herausragenden Armen befestigt. Es ist ein Wellenstellungsdetektor 120 vorgesehen, und der Motor wird synchron mit den Lichtblitzen der Blitzlichtröhre 12 angesteuert, so daß für abwechselnde Blitze der lange Block 114 und der kurze Block 116 im projizierten Teil des Strahlenbündels angebracht sind. Das Licht benötigt länger um durch den langen Block 114 zu gelangen als durch den kurzen Block 116, wodurch bewirkt wird, daß die Zeit, die das Licht benötigt, um durch das Meßgerät zu gelangen, gewobbeln wird.

Die Meßanordnung gemäß Figur 4 arbeitet mit einem optischen Resonator 124 und nicht mit einem Mikrowellenresonator als Wellenlängenstandard. Der optische Resonator 124 ist ein multiples Reflektionssystem, das ein Reflektorpaar 126 und 128 besitzt, die durch Stäbe 130 aus einem wärmebeständigen Material oder aus irgendeinem zweckmäßigen Material je nach gewünschtem Ausdehnungskoeffizienten voneinander getrennt sind. Es ist ein Temperaturfühler 132 vorgesehen, und die Temperatur des optischen Resonators wird auf einem Meßgerät 134 angezeigt, so daß jede zweckmäßige Temperaturkorrektur berechnet werden kann.

Ein Ventilator 136 unterstützt den optischen Resonanzkörper bei der Aufrechterhaltung der Umgebungstemperatur.

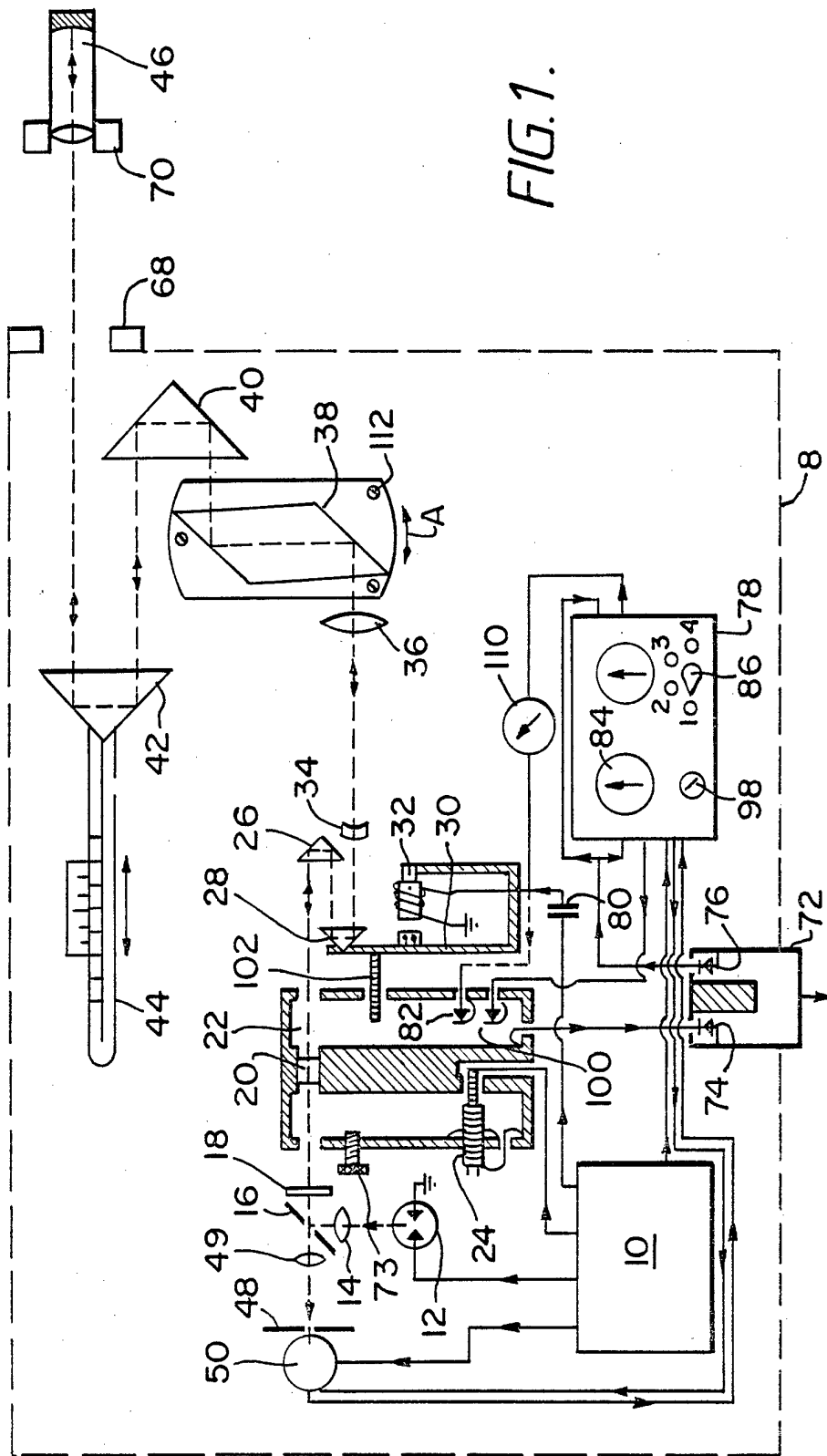
Der optische Resonator hat eine Einlaßöffnung 138 und eine Auslaßöffnung 140. Zur Abstimmung des Modulationshohlraumes werden die beweglichen Spiegel 142 und 144 in den projizierten und reflektierten Strahlenbündelteilen in die in der Figur 4 gezeigten Stellungen gebracht, so daß das projizierte Strahlenbündel über den beweglichen Spiegel 142 und einen weiteren Spiegel 146 zur Eintrittsöffnung 138 des optischen Resonanzkörpers 124 ausgerichtet wird, und das Strahlenbündel von der Austrittsöffnung 140 wird über einen Spiegel 148 und über den beweglichen Spiegel 144 zurück zum Modulationsresonator 22 geschickt. Die gesamte optische Weglänge, die somit erzielt wurde, beträgt 10 m, wodurch eine Empfindlichkeit von bis zu einem Millionstel erreicht werden kann. Die Abstimmerschraube 73 wird solange nachgeregelt, bis das Synchronnachweisgerät 78 anzeigt, daß eine Phasenverriegelungseinheit 150 die Modulations-Halbwellenlänge auf 100 mm blockiert hat. Wie bei der Meßanordnung gemäß Figur 1 zum Nachweis der Modulationsfrequenz wird die Frequenz durch einen Varaktor gewobbeln, der dem Varaktor 82 gemäß Figur 1 ähnlich ist, oder durch ein bewegliches Blindleistungsbauerelement ähnlich dem der oszillierenden Tauchkernspule 102 in Figur 1. Sobald der Modulationsresonator 22 abgestimmt ist, werden die beweglichen Spiegel 142 und 144 so gedreht, daß das projizierte Strahlenbündel zum Zielreflektor übertragen werden kann und das reflektierte Strahlenbündel zum Modulationsresonator zurückgeworfen wird.

In der Meßanordnung gemäß Figur 4 wird die gesamte Haupteinheit 8 in bezug auf die Skale 152 gleitbar angebracht, und eine Noniussskale 154 ist ebenso vorgesehen, so daß auf einen variablen Lichtweg gemäß Figur 1 verzichtet werden kann.

Bei einer Modifikation der Meßanordnung gemäß Fig. 4 durch in gewisser Weise Neuordnung der Reflektoren 142 und 144 kann der optische Resonator als permanenter Bestandteil des Lichtübertragungswegs integriert werden. In diesem Fall kann die Haupteinheit 8 dadurch kalibriert werden, daß der Zielreflektor mit der Front der Haupteinheit 8 in Berührung gebracht wird, wobei die Reflektoren 146 und 148 in seitlicher Richtung geringfügig justiert werden können, um sicherzustellen, daß die Modulations-Halbwellenlänge genau 100 mm beträgt, wenn die Phasenverriegelung beibehalten wird. Der Vorteil dieser Modifikation besteht darin, daß, wenn die optische Weglänge im optischen Resonanzkörper z. B. 10 m und die Frequenzänderung zwischen den abwechselnden Impulsen der Modulatorwobbelung $1/5000$ beträgt, dann kann ohne die Verwendung des mechanischen Lichtwegalternators unter Nutzung der Glasblöcke 114 und 116 eine angemessene Empfindlichkeit erreicht werden.

Der veränderbare optische Weg, der durch die Meßanordnung einschließlich der Glasblöcke 114 und 116 möglich wird, kann in die Meßanordnung gemäß Figur 1 eingefügt werden, so daß auf die Verwendung des Schwingprismas 28 verzichtet werden kann. Des Weiteren kann der unter Bezugnahme auf Figur 4 beschriebene optische Resonator — anstelle des Mikrowellen-Hohlraumresonators 72 — auch in der Meßanordnung gemäß Figur 1 eingesetzt werden.

Während verschiedene Ausführungsformen und Modifikationen der unterschiedlichen erfindungsgemäßen Aspekte oben beschrieben wurden, muß eingeschätzt werden, daß andere Modifikationen und Entwicklungen innerhalb des Geltungsbereichs der Erfindung möglich sind.



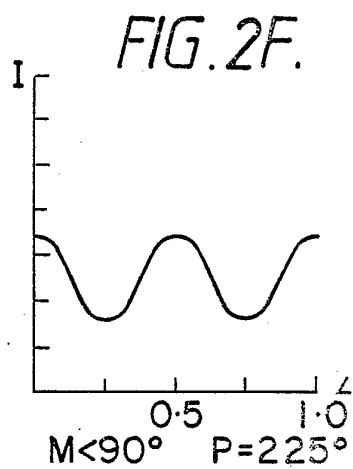
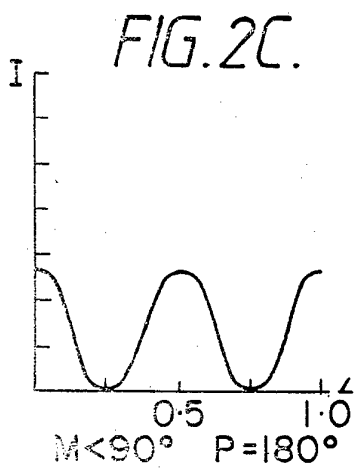
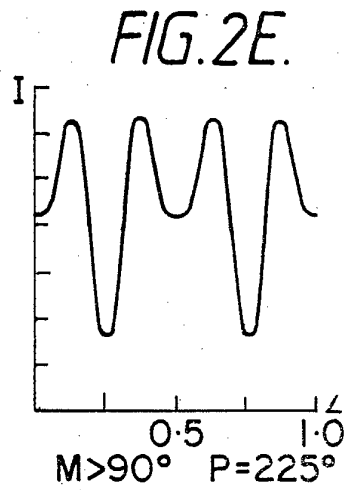
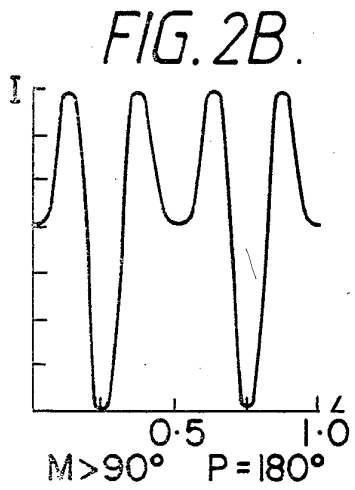
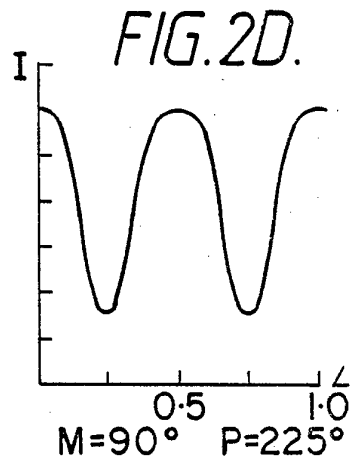
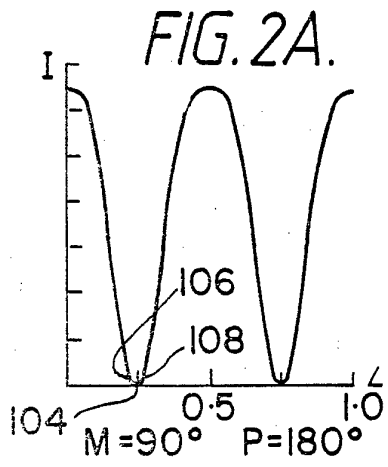


FIG. 3.

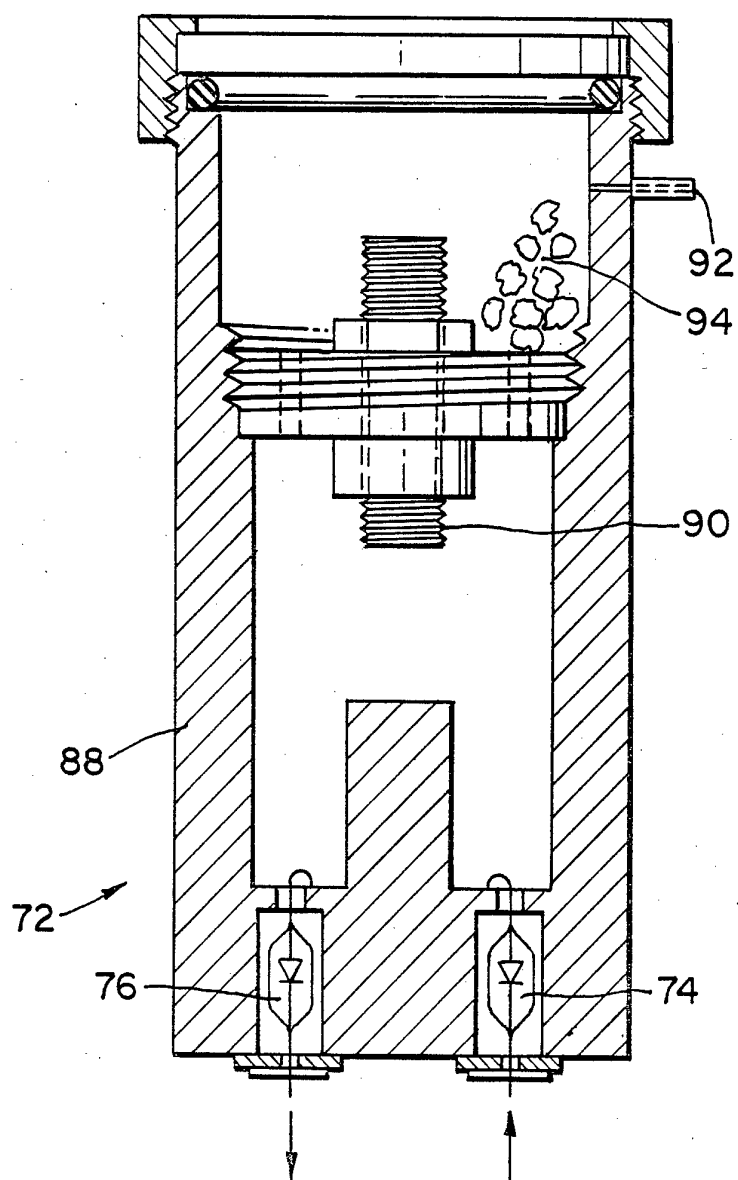


FIG. 4.

