

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 1103/2009
(22) Anmeldetag: 14.07.2009
(45) Veröffentlicht am: 15.02.2013

(51) Int. Cl. : **G01S 7/486** (2006.01)
G01S 17/88 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
AT 409194 B EP 1329739 A2

(73) Patentinhaber:
RIEGL LASER MEASUREMENT SYSTEMS
GMBH
3580 HORN (AT)

(72) Erfinder:
ULLRICH ANDREAS DR.
GABLITZ (AT)
PFENNIGBAUER MARTIN DR.
TULLN (AT)

(54) VORRICHTUNG ZUR ENTFERNUNGSMESSUNG

(57) Eine Vorrichtung zur Entfernungsmessung mit einer opto-elektronischen Entfernungsmesseinrichtung nach einem Signal-Laufzeitverfahren umfasst eine Sendeeinrichtung zum Aussenden von optischen Signalen, insbesondere von Lasersignalen, und zumindest zwei Empfangseinrichtungen zum Empfangen von optischen Signalen, die von im Objektraum befindlichen Objekten reflektiert wurden. Den Empfangseinrichtungen ist eine Schaltstufe (33) nachgeschaltet, die bei der Messung jeweils das Signal jener Empfangseinrichtung (14a und 14b) zur Entfernungsmessung heranzieht, die von den empfangenen optischen Signalen in einem optimalen Dynamikbereich angesteuert wird. Optional ist eine Scan-Einrichtung zur Ablenkung der optischen Achsen von Sende- und Empfangseinrichtungen in eine oder zwei, vorzugsweise orthogonale Richtungen, vorgesehen. Eine Auswerteeinrichtung ermittelt aus der Laufzeit bzw. der Phasenlage zwischen den ausgesandten optischen Signalen und den empfangenen optischen Signalen Entfernungswerte. Die Empfangseinrichtungen (14a, 14b) sind in einem Strahlengang (20a) der empfangenen optischen Signale (20) hintereinander angeordnet und sind für die empfangenen optischen Signale (20) zumindest teilweise durchlässig.

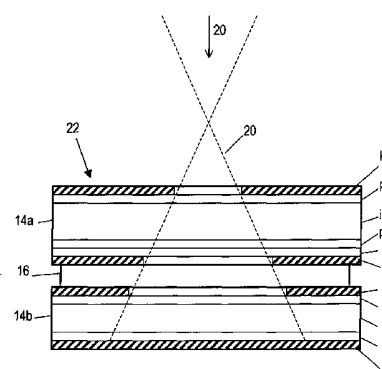


Fig. 2



Beschreibung

VORRICHTUNG ZUR ENTFERNUNGSMESSUNG

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur Entfernungsmessung mit einer optoelektronischen Entfernungsmesseinrichtung nach einem Signal-Laufzeitverfahren. Typische Vorrichtungen dieser Art umfassen eine Sendeeinrichtung zum Aussenden von optischen Signalen, insbesondere von Lasersignalen und einen oder mehrere Empfangseinrichtungen zum Empfangen von optischen Signalen, insbesondere von Lasersignalen, die von im Objektraum befindlichen Objekten reflektiert werden, sowie eine Auswerteeinrichtung, die gegebenenfalls eine mehrkanalige Zeitmesseinrichtung umfasst und aus der Laufzeit bzw. der Phasenlage zwischen den ausgesandten optischen Signalen und den empfangenen optischen Signalen Entfernungswerte ermittelt.

[0002] Werden mit einer solchen Vorrichtung Einzelmessungen durchgeführt und wird bei einer Messung der Dynamikbereich des Empfangskanals bzw. der Auswerteeinrichtung überschritten, so wird im Allgemeinen die Messung wiederholt, wobei entweder die Sendeleistung reduziert wird oder entsprechende Dämpfungseinrichtungen in den Empfangskanal eingebracht werden. Diese Dämpfungseinrichtungen können beispielsweise aus Graufiltern oder Aperturblenden bestehen, die in den Strahlengang der Empfangseinrichtung eingebracht werden. Solche Einrichtungen können auch zur Reduktion der Sendeleistung herangezogen werden. Die Wiederholung der Messung kann automatisch oder auch manuell durch den Benutzer ausgelöst werden.

[0003] Bei kontinuierlichen oder quasikontinuierlichen Messungen ist eine solche Wiederholung einer Messung nur bedingt möglich. Kontinuierliche bzw. quasikontinuierliche Messungen sind für Systeme typisch, bei welchen eine Entfernungsmesseinrichtung der oben beschriebenen Art mit einer Scan-Einrichtung kombiniert ist, durch welche die optischen Achsen von Sendeeinrichtung und Empfangseinrichtung in eine oder zwei, vorzugsweise orthogonale Richtungen abgelenkt werden. Solche Einrichtungen werden eingesetzt, um von einem Objektraum, z.B. von einer Geländeform, von einem Gebäude oder einer Maschine bzw. Anlage einen 3D-Datensatz aufzuzeichnen.

[0004] Bei solchen kontinuierlichen oder quasikontinuierlichen Messungen kommt es zu Problemen, wenn nach einer Messung mit geringem Eingangspegel, der Entfernungsmesser ein stark reflektierendes Ziel, z.B. metallische Flächen, Verkehrstafeln oder Retro-Reflektoren erfasst, wie sie bei den oben beschriebenen Aufnahmen häufig als Referenzmarken eingesetzt werden.

[0005] Die sich hierbei ergebenden Pegel der optischen Empfangssignale können eine Dynamik von weit über 30 dB aufweisen und damit den Empfangskanal gegebenenfalls übersteuern. Dadurch kann der elektrische Empfangsimpuls stark verzerrt und der daraus ermittelte Entfernungswert entsprechend verfälscht werden.

[0006] Zur Lösung dieses Problems wird in dem österreichischen Patent AT 412 029 B vorgeschlagen, mindestens einen weiteren, kollinearen Empfangskanal mit reduzierter Empfindlichkeit vorzusehen und dem Empfangskanal eine Schaltstufe nachzuschalten, die bei der Messung jeweils das Signal jenes Empfangskanals zur Entfernungsmessung heranzieht, der vom Empfangssignal innerhalb seines optimalen Dynamikbereichs angesteuert wird.

[0007] Durch diese Maßnahme wird verhindert, dass die Signale eines gegebenenfalls übersteuernden Empfangskanals zur Auswertung herangezogen werden und dadurch ein verfälschter Entfernungswert ermittelt wird. Nachteilig an der bekannten Vorrichtung zur Aufnahme eines Objektraums mit einer optoelektronischen Entfernungsmesseinrichtung ist jedoch der komplizierte mechanische und optische Aufbau der Vorrichtung. Die für die Strahlenaufspaltung verwendeten teildurchlässigen Spiegel stellen teure Bauteile dar, und die gesamte Anordnung muss unter Einhaltung geringer Toleranzen gefertigt und justiert werden. Darüber hinaus weisen solche teildurchlässigen Strahlteiler im Allgemeinen ein polarisationsabhängiges Teilungs-

verhältnis auf, was zu zusätzlichen Problemen führen kann. Ein weiterer Nachteil dieser bekannten Vorrichtung liegt darin, dass die in verschiedenen Strahlengängen liegenden optoelektronischen Empfangseinrichtungen nicht dasselbe Gesichtsfeld aufweisen, wodurch die Messgenauigkeit reduziert werden kann.

[0008] Es ist somit die Aufgabe der vorliegenden Erfindung eine Vorrichtung zur Aufnahme eines Objektraumes mit einer opto-elektronischen Entfernungsmesseinrichtung bereitzustellen, die die geschilderten Nachteile des Standes der Technik vermeidet.

[0009] Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung zur Entfernungsmessung mit einer optoelektronischen Entfernungsmesseinrichtung gelöst, die sich gegenüber dem Stand der Technik dadurch auszeichnet, dass die Empfangseinrichtungen der zumindest zwei Empfangskanäle in dem Strahlengang der empfangenen optischen Signale hintereinander angeordnet sind und, gegebenenfalls mit Ausnahme der hintersten Empfangseinrichtung, für die empfangenen optischen Signale zumindest teilweise durchlässig sind. Im Allgemeinen findet man mit zwei Empfangskanälen und somit zwei Empfangseinrichtungen das Auslangen, die Erfindung ist aber selbstverständlich nicht darauf beschränkt, sondern umfasst auch Aufnahmevorrichtungen mit drei und mehr Empfangseinrichtungen, die hintereinander in einem Strahlengang der empfangenen optischen Signale angeordnet und für die empfangenen optischen Signale zumindest teilweise durchlässig sind.

[0010] Durch diese Maßnahme vermeidet man die Aufteilung des Strahlengangs in verschiedene Teilkanäle mit all den geschilderten Nachteilen. Weiters ist es durch einfache Maßnahmen erreichbar, dass alle Empfangseinrichtungen dasselbe Gesichtsfeld haben, wodurch hervorragende Messgenauigkeit zusammen mit kompakter, billiger und mechanisch sowie optisch hochstabiler Bauweise erzielt wird.

[0011] Gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung ist zumindest eine Empfangseinrichtung so ausgebildet, dass sie die empfangenen optischen Signale dämpft und/oder filtert wodurch die empfangenen optischen Signale in abgeschwächter Form an die nachfolgende(n) Empfangseinrichtung(en) weitergeleitet werden. In einer alternativen Ausführungsform, die denselben Zweck erfüllt, sind zwischen benachbarten Empfangseinrichtungen optische Dämpfungs- und/oder Filterelemente angeordnet, wobei vorzugsweise der Dämpfungsgrad der Empfindlichkeit der jeweiligen Empfangseinrichtung und ihrem maximalen Dynamikbereich entsprechen. Dadurch resultiert im Prinzip ein Dynamikbereich des Empfangskanals der dem Produkt der Dynamikbereiche der einzelnen Empfangseinrichtungen entspricht. In der Regel wird man jedoch eine gewisse Überlappung zulassen. Damit ist es möglich, auch ohne optische Dämpfungselemente von sehr schwachen bis zu sehr starken Amplituden reichende empfangene optische Signale auszuwerten, indem von der Schaltstufe jeweils jene Empfangseinrichtung ausgewählt wird, die von den Signalen gerade innerhalb des am besten geeigneten Dynamikbereichs angesteuert wird. Die Empfangseinrichtungen können aus unterschiedlichen Technologien ausgewählt werden, die jeweils unterschiedliche Arbeitsbereiche bieten. Beispielsweise kann eine Empfangseinrichtung eine Avalanche-Photodiode beinhalten und eine weitere als pin-Diode ausgebildet sein.

[0012] Im Rahmen der Erfindung ist es aber auch möglich, identische Empfänger, z.B. pin-Dioden oder Avalanche-Photodioden mit gleichem Verstärker, einzusetzen, wobei mittels Dämpfungselementen und gegebenenfalls zusätzlichen Graufiltern im Strahlengang unterschiedlich empfindliche Empfangskanäle geschaffen werden.

[0013] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist zumindest an einer Empfangseinrichtung zumindest eine lichtundurchlässige Elektrode als den Strahlengang der reflektierten optischen Signale begrenzende Aperturblende ausgebildet, wodurch in vorteilhafter Weise der Einfluss von Streulicht minimiert wird. Es hat sich aus den genannten Gründen als günstig erwiesen, auf mehreren, vorzugsweise allen Empfangseinrichtungen jeweils zumindest eine lichtundurchlässige Elektrode als den Strahlengang der reflektierten optischen Signale begrenzende Aperturblende auszubilden, wobei - in Richtung des Strahlengangs gesehen - die Elektroden ansteigende Blendenöffnungen aufweisen. Dadurch wird die Energie der empfangenen

optischen Signale in den Empfangseinrichtungen optimal ausgenützt.

[0014] Um eine kompakte erfindungsgemäße Vorrichtung zu erhalten, ist in einer Fortbildung der Erfindung vorgesehen, die Empfangseinrichtungen in fixem Abstand zueinander anzuordnen, wobei vorzugsweise der Raum zwischen benachbarten Empfangseinrichtungen mit einem transparenten oder lichtabschwächenden oder -filternden und/oder elektrisch isolierendem Material, z.B. einem Kleber, ausgefüllt ist. Durch diese Stapelbauweise können alle Empfangseinrichtungen in ein Bauelement integriert werden.

[0015] Um auch bei schwachen Empfangssignalen eine ausreichende Aussteuerung zumindest der vordersten Empfangseinrichtung zu erzielen, kann in einem Aspekt der Erfindung die vorderste Empfangseinrichtung im Fokus des Strahlengangs der reflektierten optischen Signale positioniert sein.

[0016] Um die erfindungsgemäße Vorrichtung zu einem Laser-Scanner fortzubilden, ist in weiteren Ausführungsformen der Erfindung vorgesehen, die erfindungsgemäße Vorrichtung mit einer Scan-Einrichtung zur Ablenkung der optischen Achsen von Sende- und Empfangseinrichtungen in eine Richtung oder in zwei, vorzugsweise orthogonale Richtungen auszustatten.

[0017] Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen und unter Bezugnahme auf die Zeichnung. In

[0018] Fig. 1 ist der Messkopf eines Laser-Scanners schematisch dargestellt.

[0019] Fig. 2 zeigt einen Längsschnitt durch ein Bauelement, in das zwei Empfangseinrichtungen integriert sind.

[0020] Um den Dynamikbereich des Instruments zu erhöhen, werden bei einer als Laser-Scanner ausgebildeten erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Aufnahme eines Objektraumes mit einer opto-elektronischen Entfernungsmesseinrichtung nach einem Signal-Laufzeitverfahren mindestens zwei Empfangseinrichtungen vorgesehen, wobei die Empfangseinrichtungen in dem Strahlengang der empfangenen optischen Signale hintereinander angeordnet sind und, gegebenenfalls mit Ausnahme der hintersten Empfangseinrichtung, für die empfangenen optischen Signale durchlässig sind. Entweder weisen die Empfangseinrichtungen unterschiedliche Empfindlichkeiten auf, oder die empfangenen optischen Signale werden den Empfangseinrichtungen in unterschiedlicher Signalstärke zugeführt, wie nachfolgend im Detail erläutert wird. In der Fig. 1 ist schematisch ein entsprechend ausgerüsteter Messkopf 1 eines Laser-Scanners dargestellt. Am Messkopfunterteil 1a, der auf einem nicht dargestellten Stativ befestigt ist, ist der Messkopfoberteil 1b um eine vertikale Achse 23 schwenkbar gelagert. Angetrieben wird der Messkopfoberteil 1b hierbei durch einen Motor 18. Ein auf derselben Achse angeordneter Winkeldecoder 19 meldet die jeweilige Winkelstellung des Messkopfes 1b an eine Auswerteeinrichtung 3 zurück. Der Messkopfoberteil 1b umfasst den Laser-Entfernungsmesser und ein Spiegelprisma 8, das um eine horizontale Achse 7 drehbar ist. Angetrieben wird das Spiegelprisma von einem Motor 11, auf dessen Welle ein Winkeldecoder 12 angeordnet ist. Gesteuert wird der Antrieb des Spiegelprismas 8 von der Auswerteeinrichtung 3, die auch die Signale des Winkeldecoders 12 verarbeitet.

[0021] Die Auswerteeinrichtung 3 umfasst auch die Elektronik des Entfernungsmessers und steuert einen Laser 9 an. Mit 10 ist eine Optik bezeichnet, die im allgemeinen so justiert ist, dass sie die vom Laser 9 generierten Laser-Signale 15 ins Unendliche abbildet. Durch das rotierende Spiegelprisma 8 werden die Laser-Signale 15 als Mess-Strahl in Richtung des Pfeils α abgelenkt. Parallel zu den gesendeten Laser-Signalen 15 werden von Objekten im Objektraum reflektierte Laser-Signale 20 entlang einer optischen Achse empfangen, die durch das Spiegelprisma 8 parallel zu den Laser-Signalen 15 des ausgesendeten Mess-Strahls abgelenkt wird. Durch eine Optik 13 werden die empfangenen Laser-Signale auf Empfangseinrichtungen 14a und 14b gelenkt, wobei die Empfangseinrichtungen 14a und 14b im durch die Optik 13 definierten Strahlengang 20a hintereinander in einer Reihe angeordnet sind. Die vordere Empfangseinrichtung 14a ist genau im Fokus 20b des Strahlengangs 20 angeordnet und umfasst eine hochempfindliche Avalanche-Photodiode. Die Empfangseinrichtung 14a lässt die empfan-

genen Laser-Signale 20 in abgeschwächter Form passieren. In einer besonderen Ausführung der Vorrichtung kann zwischen dem ersten und dem zweiten Empfangselement eine abschwächende Schicht, z.B. eine Graufilter-Schicht, vorgesehen werden. Der durch die vordere Empfangseinrichtung 14a hindurchgegangene Anteil der empfangenen Laser-Signale gelangt zur zweiten Empfangseinrichtung 14b, die beispielsweise als pin-Diode ausgebildet ist. Alternativ kann diese ebenfalls als Avalanche-Photodiode ausgebildet sein.

[0022] Fig. 2 zeigt einen Längsschnitt durch ein Bauelement 22, in das eine vordere und eine hintere Empfangseinrichtung 14a, 14b integriert sind. Das Bauelement 22 ist so in dem Strahlengang 20a der empfangenen Laser-Signale 20 positioniert, dass seine Längsachse mit der optischen Achse des Strahlengangs 20a zusammenfällt.

[0023] Die vordere Empfangseinrichtung 14a ist als Avalanche-Photodiode mit hoher Empfindlichkeit ausgebildet. Sie besitzt einen Stapelschichtaufbau, bestehend aus einer ersten p-dotierten Halbleiterschicht p1, einer eigenleitenden (intrinsischen), aber hochohmigen Schicht i, einer zweiten p-dotierten Halbleiterschicht p2 und einer n-dotierten Halbleiterschicht n. Zwei Elektroden, nämlich eine Kathode k und eine Anode a sind auf den Oberflächen der ersten p-dotierten Halbleiterschicht p1 bzw. der n-dotierten Halbleiterschicht n ausgebildet. Alle Schichten der Avalanche-Photodiode sind teillichtdurchlässig ausgebildet, so dass die empfangenen Laser-Signale 20 gedämpft durch die Avalanche-Photodiode hindurchtreten können.

[0024] Die hintere Empfangseinrichtung 14b ist als pin-Diode mit hoher Empfindlichkeit ausgebildet. Sie besitzt einen Stapelschichtaufbau, bestehend aus einer p-dotierten Halbleiterschicht p, einer eigenleitenden (intrinsischen), aber hochohmigen Schicht i und einer n-dotierten Halbleiterschicht n. Zwei Elektroden, nämlich eine Kathode k und eine Anode a sind auf den Oberflächen der p-dotierten Halbleiterschicht p bzw. der n-dotierten Halbleiterschicht n ausgebildet.

[0025] Die Elektroden a, k beider Empfangseinrichtungen 14a und 14b haben im Allgemeinen kreisförmige Öffnungen und bilden somit AperturbLENden für den Strahlengang 20a der reflektierten Laser-Signale 20 begrenzende AperturbLENde ausgebildet. Die Blendenöffnungen dieser AperturbLENden begrenzen die aktiven Flächen der jeweiligen Empfangseinrichtung 14a und 14b, wodurch der Einfluss von Streulicht minimiert wird. Wie aus Fig. 4 ersichtlich nimmt der Durchmesser der Blendenöffnungen der AperturbLENden - in Richtung des Strahlengangs 20a gesehen - zu bzw. ist jeweils an den breiter werdenden Strahlengang 20a angepasst.

[0026] Die beiden Empfangseinrichtungen 14a, 14b sind im Abstand voneinander angeordnet. Im Raum dazwischen ist ein optisches Dämpfungselement 16, z.B. ein Graufilter angeordnet. Dieses Dämpfungselement 16 kann beispielsweise durch einen Kleber mit definierter Lichtdurchlässigkeit gebildet werden. Alternativ dazu ist das Dämpfungselement 16 aus Glas oder Kunststoff hergestellt und mit den beiden Empfangseinrichtungen 14a, 14b verklebt.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Entfernungsmessung mit einer opto-elektronischen Entfernungsmesseinrichtung nach einem Signal-Laufzeitverfahren, mit einer Sendeeinrichtung zum vorzugsweise kontinuierlichen bzw. quasikontinuierlichen Aussenden von optischen Signalen, insbesondere von Lasersignalen, und zumindest zwei Empfangseinrichtungen zum Empfangen von optischen Signalen, insbes. von Lasersignalen, die von im Objektraum befindlichen Objekten reflektiert werden, wobei den Empfangseinrichtungen eine Schaltstufe nachgeschaltet ist, die bei der Messung jeweils das Signal jener Empfangseinrichtung (14a und 14b) zur Entfernungsmessung heranzieht, die von den empfangenen optischen Signalen innerhalb ihres optimalen Dynamikbereichs angesteuert wird, ferner mit einer Auswerteeinrichtung, die gegebenenfalls eine mehrkanalige Zeitmesseinrichtung umfasst und aus der Laufzeit bzw. der Phasenlage zwischen den ausgesandten optischen Signalen und den empfangenen optischen Signalen Entfernungswerte ermittelt,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Empfangseinrichtungen (14a und 14b) in einem Strahlengang (20a) der empfangenen optischen Signale (20) hintereinander angeordnet sind und, gegebenenfalls mit Ausnahme

- der hintersten Empfangseinrichtung (14b), für die empfangenen optischen Signale (20) zumindest teilweise durchlässig sind.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest eine Empfangseinrichtung (14a oder 14b) die empfangenen optischen Signale dämpft und/oder filtert.
 3. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen den Empfangseinrichtungen ein optisches Dämpfungs- (16) und/oder Filterelement angeordnet ist, wobei vorzugsweise der Dämpfungsgrad dem maximalen Dynamikbereich der ersten Empfangseinrichtung (14a) entspricht.
 4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Empfangseinrichtungen (14a und 14b) unterschiedlich große Dynamikbereiche aufweisen.
 5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest eine Empfangseinrichtung als Avalanche-Photodiode ausgebildet ist.
 6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest eine Empfangseinrichtung als pin-Diode ausgebildet ist.
 7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf zumindest einer Empfangseinrichtung (14a, 14b) zumindest eine lichtundurchlässige Elektrode (a, k) als den Strahlengang (20a) der empfangenen optischen Signale (20) begrenzende Aperturblende ausgebildet ist.
 8. Vorrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf mehreren, vorzugsweise allen Empfangseinrichtungen (14a, 14b) jeweils zumindest eine lichtundurchlässige Elektrode (a, k) als den Strahlengang (20a) der empfangenen optischen Signale (20) begrenzende Aperturblende ausgebildet ist, wobei - in Richtung des Strahlengangs (20a) gesehen - die Elektroden größer werdende Blendenöffnungen aufweisen.
 9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Empfangseinrichtungen (14a, 14b) in fixem Abstand zueinander angeordnet sind, wobei vorzugsweise der Raum zwischen benachbarten Empfangseinrichtungen mit einem transparenten oder lichtabschwächenden oder -filternden und/oder elektrisch isolierendem Material, z.B. einem Kleber, ausgefüllt ist.
 10. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass alle Empfangseinrichtungen in ein Bauelement (22) integriert sind.
 11. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die vorderste Empfangseinrichtung (14) im Fokus (20b) des Strahlengangs (20a) der empfangenen optischen Signale (20) positioniert ist.
 12. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** eine Scan-Einrichtung zur Ablenkung der optischen Achsen von Sende- und Empfangseinrichtungen in eine Richtung.
 13. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** eine Scan-Einrichtung zur Ablenkung der optischen Achsen von Sende- und Empfangseinrichtungen in zwei, vorzugsweise orthogonale Richtungen.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

1/2

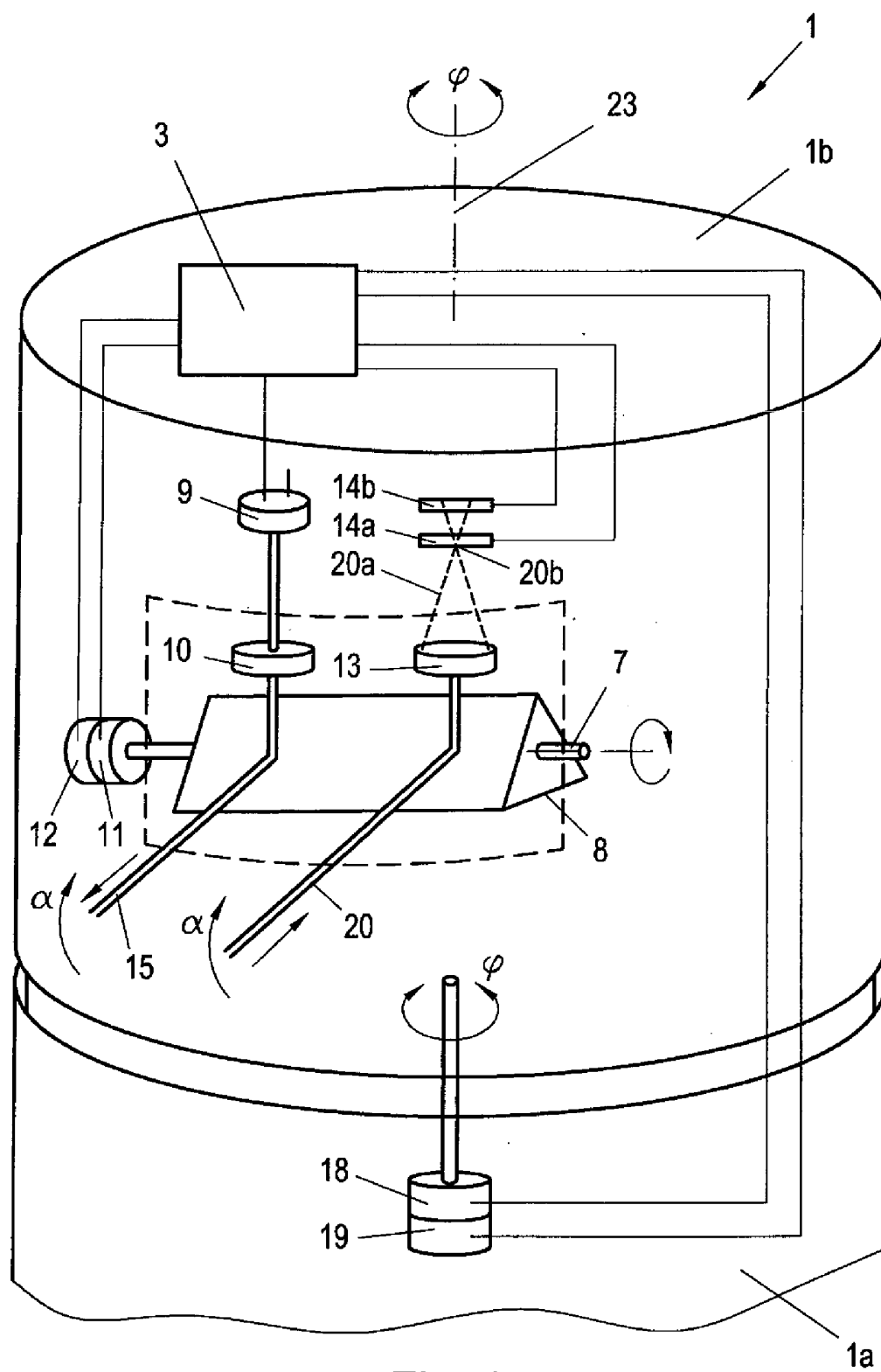


Fig. 1

2/2

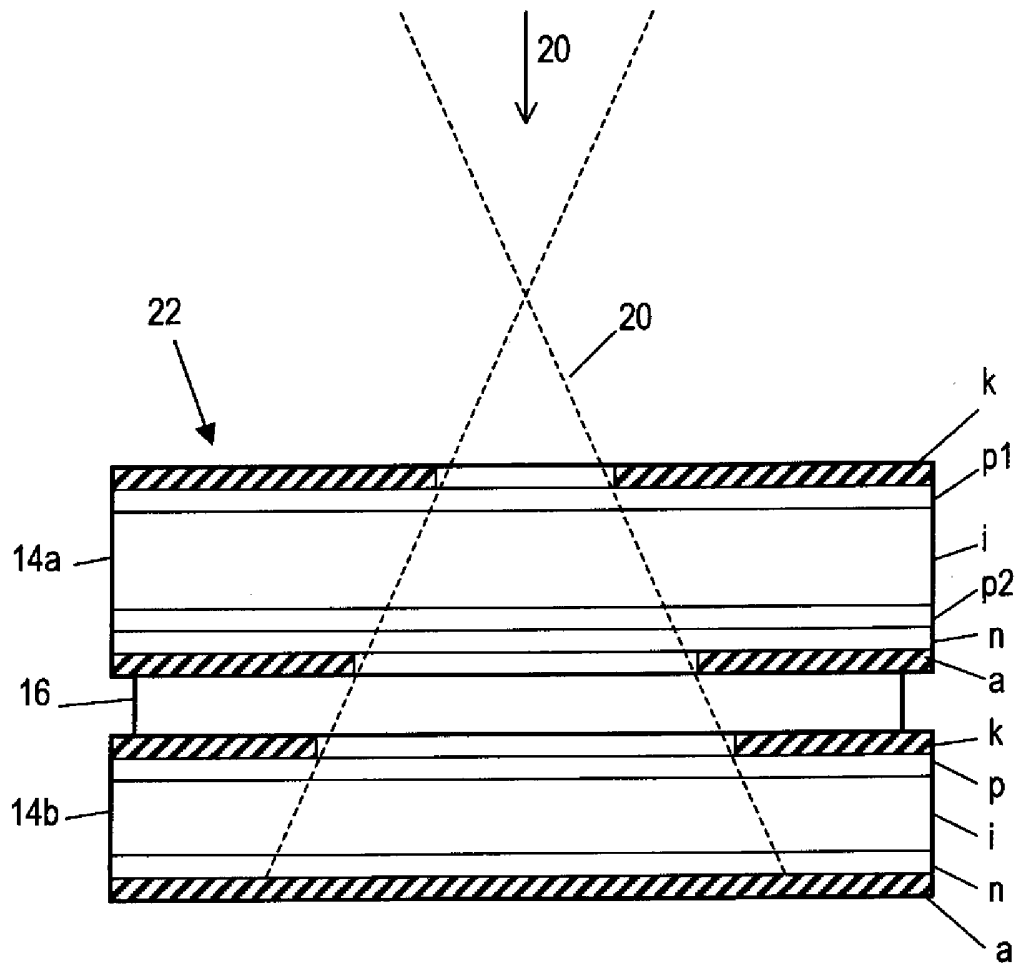


Fig. 2