(12) **Ausschließungspatent**

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) **DD** (11) **282 475 A5**4(51) **C 23 C 14/54****PATENTAMT der DDR**

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	AP C 23 C / 327 813 3	(22)	20.04.89	(44)	12.09.90
(71)	siehe (73)				
(72)	Ehrlich, Ulrike, Dipl.-Phys.; Ehrig, Klaus, Dr.-Ing.; Ellsel, Martin, Dipl.-Ing.; Gerlach, Gottfried, Dipl.-Ing.; Gersdorf, Siegfried; Partuschke, Egon; Solger, Norbert, Dipl.-Ing., DD				
(73)	VEB Hochvakuum Dresden, Niedersedlitzer Straße 63, Dresden, 8017, DD				
(54)	Einrichtung zur Messung der Abscheidungsrate und zur Limitierung des Beschichtungsprozesses in Vakuumbeschichtungsanlagen				

(55) Vakuumbeschichtungsanlage; Beschichtungsprozeß; Abscheidungsrate; Limitierung; Verdampfungsquelle; Monitor; Meßeinheit

(57) Einrichtung zur Messung der Abscheidungsrate und zur Limitierung des Beschichtungsprozesses in Vakuumbeschichtungsanlagen. Die Erfindung ist besonders geeignet für Beschichtungsanlagen mit mehreren, parallel betriebenen Verdampfungsquellen, wie sie bei der Beschichtung bewegter großer Substrate, wie Astrospiegel, zur Anwendung kommen und bei der Präzisionsbeschichtung in Horizontalanlagen. Die Erfindung besteht darin, daß außerhalb der Prozeßzone eine aus mindestens einem stationären Monitor und mindestens einer zur Beschichtung des Monitors dienende Verdampfungsquelle bestehende Meßeinheit angeordnet ist.

Patentanspruch:

1. Einrichtung zur Messung der Abscheidungsrate und zur Limitierung des Beschichtungsprozesses in Vakuumbeschichtungsanlagen mit mehreren parallel betriebenen Verdampfungsquellen, **dadurch gekennzeichnet**, daß außerhalb der Prozeßzone (13) eine aus mindestens einem stationären Monitor (4) und mindestens einer zur Beschichtung des Monitors (4) und mindestens einer zur Beschichtung des Monitors (4) dienende Verdampfungsquelle (14) bestehende Meßeinheit angeordnet ist.
2. Einrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß in der Vakuumkammer (5) zwischen der Prozeßzone (13) und der Meßeinheit (11) eine Abschirmung (12) angeordnet ist.
3. Einrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Meßeinheit (11) in einer gesonderten Vakuumkammer angeordnet ist.

Hierzu 4 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zur Messung der Abscheidungsrate und zur Limitierung des Beschichtungsprozesses in Vakuumbeschichtungsanlagen mit mehreren parallel betriebenen Verdampfungsquellen. Sie ist besonders geeignet bei der Beschichtung bewegter großer Substrate, wie Astro-Spiegel, sowie bei der Präzisionsbeschichtung in Horizontalanlagen und überall dort, wo in Vakuumbeschichtungsanlagen die Messung der Schichteigenschaften in der Prozeßzone vor, auf oder hinter den Substraten nicht möglich oder auf Grund damit verbundener Nachteile nicht sinnvoll ist.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Eine üblicherweise durchgeführte Art von Beschichtungsprozessen ohne sinnvolle Meßmöglichkeiten am Substrat oder in dessen Nähe ist die Widerstandsverdampfung definierter Mengen von Verdampfungsmaterial. Eine derartige Mengeverdampfung zieht vor allem beim Parallelbetrieb mehrerer Verdampfungsquellen ein erforderliches Leeren der Einzelquellen nach sich. Dabei treten jedoch durch nicht völlig vermeidbare unterschiedliche Verdampfungsparameter der einzelnen Verdampfungsquellen Verunreinigungen der Schichten auf dem Substrat durch Abscheidung von Reaktionsprodukten von Beschichtungs- und Quellenmaterial auf. Von Nachteil ist weiterhin, daß zu Beginn und zum Ende der Mengenverdampfung Verdampfungsraten auftreten, die kleiner als die vorgegebenen Raten sind. Das ist nachteilig für rateabhängige Schichteigenschaften, z. B. für die Haftfestigkeit.

Mögliche Beschichtungsmessungen mittels stationärer Monitore, wie Testglas oder Meßquarz als Vergleichsmeßstellen, die im gleichen Beschichtungsmaterialdampfstrahl wie die bewegten Substrate liegen, haben vor allem bei Parallelbetrieb mehrerer Verdampfungsquellen mit unterschiedlichen Positionen den Nachteil, daß die Meßposition jeweils nur von einer von maximal zwei Verdampfungsquellen wirkungsvoll mit Beschichtungsmaterial versorgt werden können. Damit ist eine solche Meßwertfassung nicht immer repräsentativ für alle Verdampfungsquellen; denn wenn z. B. eine Abweichung der Verdampfungsrate einer gleichzeitig am Beschichtungsvorgang und an der Meßortversorgung beteiligten Quelle zu den anderen, z. B. bis zehn parallel betriebenen Quellen vorliegt, wird die Gesamtleistung nach dieser Quelle orientiert, und es erfolgt unter Umständen eine erhebliche ungleichförmige Beschichtung.

Dieser Sachverhalt soll anhand Fig. 1 a bis 1 d näher erläutert werden:

In Fig. 1 a ist schematisch eine horizontale Bedampfungsanlage mit den Verdampfungsquellen 1 und mit einem zylindrischen Drehkorb 2 dargestellt, an dem die Substrate 3 angeordnet sind. Ein außerhalb des Drehkorbes 2 angeordneter Meßquarz 4 dient in bekannter Weise als Monitor. Mit Hilfe des Meßquarzes 4 soll bei Erreichen einer bestimmten Schichtdicke der Aufdampfprozeß unterbrochen werden. Die Schichtdicke auf dem Meßquarz 4 wird vor allem durch die am nächsten liegende Verdampfungsquelle 1 bestimmt.

In Fig. 1 b ist gezeigt, wie die Schichtdicke d längs der x-Achse des Drehkorbes verteilt ist, wenn alle fünf Verdampfungsquellen mit annähernd gleicher Aufdampfrate dampfen. In diesem Fall ist die am Meßquarz 4 ermittelte Schichtdicke repräsentativ für die Schichtdickenverteilung auf allen Substraten. Ist jedoch die dem Meßort 4 am nächsten liegende Aufdampfrate kleiner als die der anderen Verdampfungsquellen, dann wird die Zielschichtdicke am Meßquarz später als zuvor dargestellt erreicht. Dadurch wird die Schichtdicke d auf dem größten Teil der Substrate zu groß (Fig. 1 c).

Ist die von der Verdampfungsquelle 1 erzeugte Aufdampfrate größer als die der anderen Verdampfungsquellen, wird die Zielschichtdicke am Meßquarz eher als zuvor erreicht. Die Schichtdicke d wird dadurch auf dem größten Teil der Substrate zu klein (Fig. 1 d).

Solche wesentlichen Abweichungen von der durchschnittlichen Aufdampfrate werden vor allem durch Veränderungen der Verdampfeigenschaften verursacht, wie sie mit zunehmender Einsatzdauer des Verdampfers beobachtet werden. Insbesondere ändern sich der Schiffchenwiderstand und die Verdampfungscharakteristik. Solche Veränderungen der Verdampfeigenschaften sind unvermeidbar und werden mit wachsender Anzahl der Verdampfungen aus einem Verdampfer immer spürbarer. Es ist aber, besonders bei gleichzeitigem Einsatz von vielen Verdampfern, eine Forderung an die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens, daß die Verdampfer möglichst oft verwendet werden, da die Materialien, aus denen die Verdampfer bestehen, teuer sind. In diesem Fall sind die Schichteigenschaften um so schwerer reproduzierbar, je länger die Zeit ist, die ein Verdampfer in Betrieb war, d. h. je mehr sich sein Zustand vom Ausgangszustand unterscheidet.

Während in Vertikalbeschichtungsanlagen, soweit möglich, der stationäre Meßort meist repräsentativ im Zentrum rotierender Substraträger mit Mittenaussparung angeordnet ist, sind in Horizontalanlagen für Messungen am stationären Meßort nur Positionen vor den Substraten mit zusätzlicher Schattenwirkung oder hinter bzw. neben den Substraten, z. B. peripher, außerhalb eines Drehkorbes, bei zusätzlichem Nachteil eines alternierenden Meßsignals, möglich.

Ferner sind Messungen an bewegten Objekten und In-situ-Messungen an bewegten Substraten allgemein bekannt. Besonders die letztgenannten Messungen erfordern aber einen erheblichen Aufwand für die Gewährleistung von geometrisch stabilen Bedingungen z. B. für Reflexionsmessungen. Eine solche Meßanordnung ist nur bei gleichzeitiger Realisierung von Präzisionslagerungen und -bewegungen für die Substrate sinnvoll, wobei auch thermisch bedingte Form- und Lageänderungen zu kompensieren sind. Problematisch sind dabei ortstypische Meßwertschwankungen, die Fehler bei der Auswertung bzw. Ausschuerungen hervorrufen. Besonders bei großen Beschichtungsanlagen mit technisch begrenzten Drehzahlen für die Substraträger, z. B. 2 bis 8 min⁻¹, treten, bedingt durch die große Zeitdifferenz zwischen zwei Meßwerten, bei fortschreitendem Beschichtungsprozeß besondere Schwierigkeiten auf, die sich bei der Präzisionsbeschichtung, z. B. bei der Erzeugung von Interferenzschichten mit $\frac{\lambda}{4}$ -Limitierungen, besonders bemerkbar machen.

Problematisch ist also bei großen Beschichtungsanlagen, insbesondere bei solchen mit Vielfach-Parallel-Quellensystemen, die Bestimmung des repräsentativen Meßortes und der Geberort für die Steuerung des Beschichtungsprozesses.

Durch die DE 33 15 666 ist es bekannt, einen oder mehrere Schwingquarze als Meßsonde in einer Prozeßkammer exakt den gleichen Verfahrensprozeß wie die Prozeßsubstrate durchlaufen zu lassen. Dabei besteht die Meßsonde aus einer Transporthalterung, die mit einem oder mehreren Schwingquarzen bestückt ist. Bei auf Substratposition angeordneten Meßsonden ist jedoch besonders in Horizontalanlagen die Signalübertragung aus dem bewegten Substraträger schwierig. In der DE 33 15 666 wird auch nur eine Messung der Schichtdicke nach der Beschichtung beschrieben. Eine Messung nach der Beschichtung schließt jedoch den Nachteil des Verzichts auf eine Quellenregelung während der Beschichtung ein. Weitere Nachteile von Meßanordnungen, die den gleichen Verfahrensprozeß wie die Substrate in der Prozeßkammer durchlaufen, sind bei Schwingquarzmonitorierung vor allem die thermischen Belastungen der Geber durch solche Prozeßschritte, wie Glimmen oder Substratheizen.

Zur Realisierung ständiger Frequenzmessung von Meßquarzen auf bewegten Substrathaltern während des Beschichtungsprozesses ist durch die DE 34 12 724 eine berührungsfreie Übertragung der Meßdaten durch elektromagnetische Strahlung zu einem stationären Empfänger in oder außerhalb des Rezipienten bekannt. Nachteilig ist neben dem technischen Aufwand vor allem die Einschränkung auf eine Schwingquarz-Monitorierung. Bei der Herstellung optischer Schichten oder Schichtsysteme wird jedoch vorteilhaft neben einer Regelung der Aufdampfrate über Schwingquarz-Monitorierung eine Limitierung des Beschichtungsprozesses mittels fotometrischer Schichtdickenmessung angewendet. Dies ist nach diesem Verfahren nicht möglich.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, bei Vakuumbeschichtungsprozessen mit mehreren parallel betriebenen Verdampfungsquellen, insbesondere bei Großbeschichtungsanlagen mit bewegten Substraten, die Aufdampfrate und bei der Herstellung von optischen Schichten die Reflexion und Transmission und/oder die geometrische Schichtdicke und deren zeitlichen Verlauf zu messen und zu limitieren.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Einrichtung solcher Art zu schaffen und derart anzuordnen, daß während der Beschichtung des oder der Substrate eine repräsentative Meßwerterfassung unter Vermeidung von zusätzlichen thermischen Belastungen und Monitorschattenbildungen auf dem oder den Substraten bei Schaffung der Möglichkeit einer einfachen Signalübertragung zur Steuerung der Schichteigenschaften möglich ist.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß außerhalb der Prozeßzone eine aus mindestens einem stationären Monitor und mindestens einer zur Beschichtung des Monitors dienende Verdampfungsquelle bestehenden Meßeinheit angeordnet ist.

Nach weiteren Erfindungsmerkmalen kann in der Vakuumkammer zwischen der Prozeßzone und der Meßeinheit eine Abschirmung angeordnet oder die Meßeinheit in einer gesonderten Vakuumkammer untergebracht sein. Die Meßeinheit dient zur Führung des Beschichtungsprozesses. Beim Prozeß sind die Beschichtungsbedingungen der Meßeinheit so zu wählen, daß sie den Bedingungen in der Prozeßzone möglichst nahe kommen. Vorteilhaft ist es, die erwartungsgemäße mittlere Aufdampfrate in der Prozeßzone als Aufdampfrate in der Meßeinheit zu wählen. Ferner ist es vorteilhaft, die Beschichtungsgeometrie der Meßeinheit, insbesondere den Abstand der zur Beschichtung des Monitors dienende Verdampfungsquelle, die auch als Meßquelle bezeichnet werden kann, zum Monitor in Verhältnis zum Arbeitsdruck so zu wählen, daß bezüglich der Gasstreuung und der Getterung in diesem stationären System annähernd gleiche Bedingungen wie für die Beschichtung der bewegten Substrate in der Prozeßzone vorliegen. Um bei mehreren aufeinanderfolgenden Verdampfungen die Reproduzierbarkeit des Beschichtungsprozesses deutlich zu verbessern ist es günstig, die Meßquelle zu erneuern, sobald sich erste Veränderungen der Verdampfeigenschaften der Meßquelle bemerkbar machen. Damit wird gewährleistet, daß die Meß- und Regelbedingungen in der Meßeinheit immer repräsentativ für die Bedingungen in der Prozeßzone sind, auch wenn an einzelnen der parallel betriebenen Verdampfer in der Prozeßzone schon Veränderungen der Verdampfeigenschaften z. B. durch Korrosion, Kurzschlüsse o. ä. aufgetreten sind. Hieraus ergibt sich als wesentlicher ökonomischer Effekt, daß die pro Verdampfer mögliche Betriebsdauer bzw. Chargenzahl erhöht werden kann, da das übliche prophylaktische Austauschen aller Verdampfer entfällt und dafür z. B. nur eine Meßquelle ausgetauscht wird. Die Zahl der insgesamt für den Beschichtungsprozeß notwendigen Verdampfer wird somit reduziert. Die Leistung der Meßquelle sowie in einem definierten Verhältnis zu den Leistungen der parallel arbeitenden Verdampfungsquellen in der Prozeßzone stehen.

In der Meßeinheit können auch mehrere Meßquellen und Monitore enthalten sein. Es ist zur Führung des Beschichtungsprozesses auch möglich, daß die Bedingungen der Beschichtung in der Meßeinheit von den in der Prozeßzone gezielt abweichen. Wichtig ist die Erzielung der Reproduzierbarkeit der Beschichtung der Substrate. So können sich die Meßquellen bezüglich der Art und Abmessungen von den Verdampfungsquellen in der Prozeßzone unterscheiden. Die Meßeinheit kann auch, sofern sie in einer gesonderten Vakuumkammer angeordnet ist, bei anderen Total- und Partialdrücken als die in der Prozeßzone herrschenden betrieben werden.

Durch die erfindungsgemäße Anordnung der Meßeinheit außerhalb der Prozeßzone ist eine Steuerung der Schichteigenschaften auf bewegten oder unbewegten Substraten in Vakuumbeschichtungsanlagen mit mehreren parallel betriebenen Verdampfungsquellen repräsentativ möglich geworden, ohne daß eine Messung an bewegten Substraten erforderlich ist und daß ein Verlust an bedampfbarer Substratfläche durch Monitorschattenbildung auftritt. Durch entsprechende Wertevorgaben und die Monitorierung der Aufdampfrate der Meßquelle mittels Meßquarzes und/oder fotometrischer Einrichtungen ist eine dem Mittelwert der Verdampfungsquellen in der Prozeßzone entsprechende Prozeßführung für die Prozeßzone für eine Reihe von Beschichtungsaufgaben besonders vorteilhaft, z. B. für reaktive Aufdampfprozesse.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung wird nachstehend an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert.
Es zeigen:

Fig. 2: schematisch einen Schnitt durch eine zylindrische horizontale Vakuumbeschichtungskammer,
Fig. 3: schematisch einen Schnitt gem. Fig. 2 durch die Prozeßzone der Vakuumbeschichtungskammer,
Fig. 4: schematisch einen Schnitt gem. Fig. 2 durch die Wirkungszone der Meßeinheit.

In einer Vakuumkammer 5 einer horizontalen Beschichtungsanlage ist ein Drehkorb 2 auf einem Roll- und Ausfahrssystem 6 gelagert. Mehrere Verdampfungsquellen 1 sind in bestimmter Aufteilung an coaxialen Stromschienen 7, etwa in Drehkorbmittle, angeordnet. Eine Stromdurchführung 8 mit den Stromschienen 7 und deren Befestigung 9 befinden sich im verfahrbaren Teil 10 der Vakuumkammer 5. Eine Meßeinheit 11 zur Ermittlung und Steuerung der Schichteigenschaften auf den bewegten Substraten 3 befindet sich hinter einer Abschirmung 12 außerhalb der Prozeßzone 13 der Vakuumkammer 5. Die Meßeinheit 11 besteht aus einer Meßquelle 14 mit Anpaßwiderstand 15 und den Monitorierungseinrichtungen Meßquarz 4 zur Aufdampfratemessung, Testglas 16 zur Messung der optischen Eigenschaften Reflexion und Transmission sowie den Fotometerteilen Lichtsender 17 am Fenster 18 und den Empfängern für Transmission 19 am Fenster 20 und für Reflexion am Fenster 21.

Fig. 4 zeigt die Anordnung der Umlenkspiegel 23 bei Transmissions- und Reflexionsmessung. Der Meßlichtstrahl 22 tritt senkrecht zur Zeichnungsebene durch das Fenster 18 in die Meßeinheit 11 ein.

Das Testglas 16 ist bezüglich seines Abstandes zur Meßquelle und seiner Neigung zur Achse des Meßlichtstrahles 22 verstellbar. Dies in Verbindung mit den verstellbaren Umlenkspiegeln 23 ist eine Voraussetzung für müheloses Einrichten der Meßeinheit 11.

In einer Beschichtungsanlage sollen z. B. Glasplatten mit einer teildurchlässigen Schicht aus Zinksulfid bedampft werden. Bedingung für die Limitierung des Prozesses ist, daß die Reflexion der bedampften Gläser maximal sein soll. Dazu wird folgendes Verfahren angewandt: Die Gläser werden auf dem Drehkorb angeordnet. Als Verdampfungsquellen dienen 12 Tantalschiffchen, die so auf den coaxialen Stromschienen verteilt sind, daß sich eine gute Schichtdickengleichmäßigkeit auf allen Substraten ergibt. Verdampfungsmaterial ist ein Zinksulfid-Granulat. In der Meßeinheit sind ein Tantalschiffchen als Meßquelle, ebenfalls gefüllt mit Zinksulfid, ein Testglas und ein Meßquarz angeordnet. Die Verdampfungsrate, die mit Hilfe des Meßquarzes gemessen und konstant gehalten wird, ist so groß gewählt, daß in der Zeit, die für eine Umdrehung des Drehkorbs notwendig ist, auf dem Testglas die gleiche Schichtdicke aufgedampft wird, wie auf einem auf dem Drehkorb befindlichen Glas. Durch das Aufdampfen der Zinksulfid-Schicht steigt die Reflexion der beschichteten Gläser an, bis ein Maximum erreicht ist. Mit Hilfe des Reflexionsmaximums wird über ein Limitsignal die Bedampfung beendet.

Die Reflexion der auf dem Drehkorb angeordneten Gläser entspricht im Mittel der Reflexion des Testglases, womit das Ziel der Messung erreicht ist.

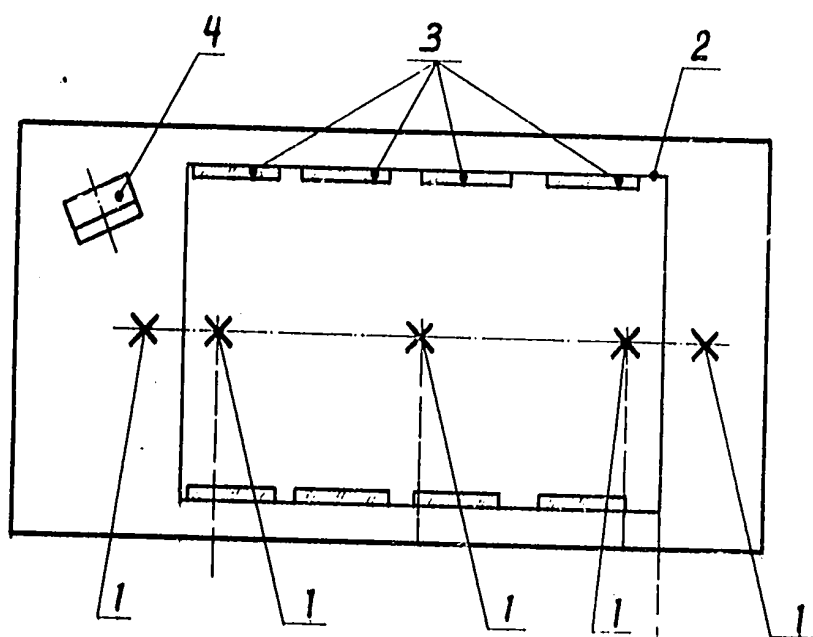


Fig. 1a

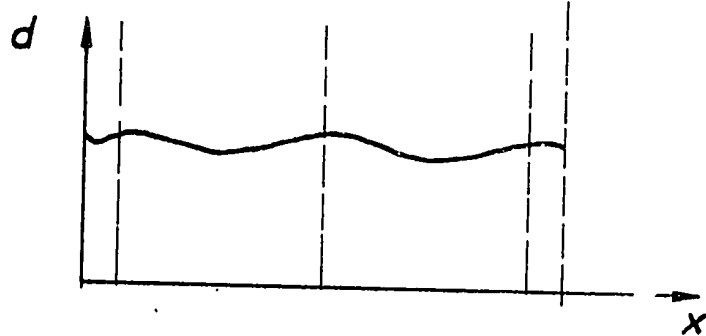


Fig. 1b

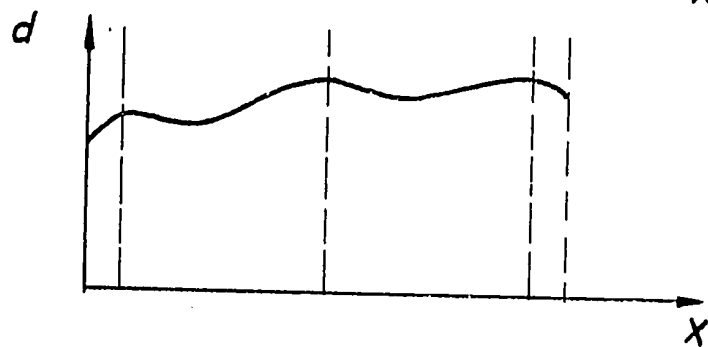


Fig. 1c



Fig. 1d

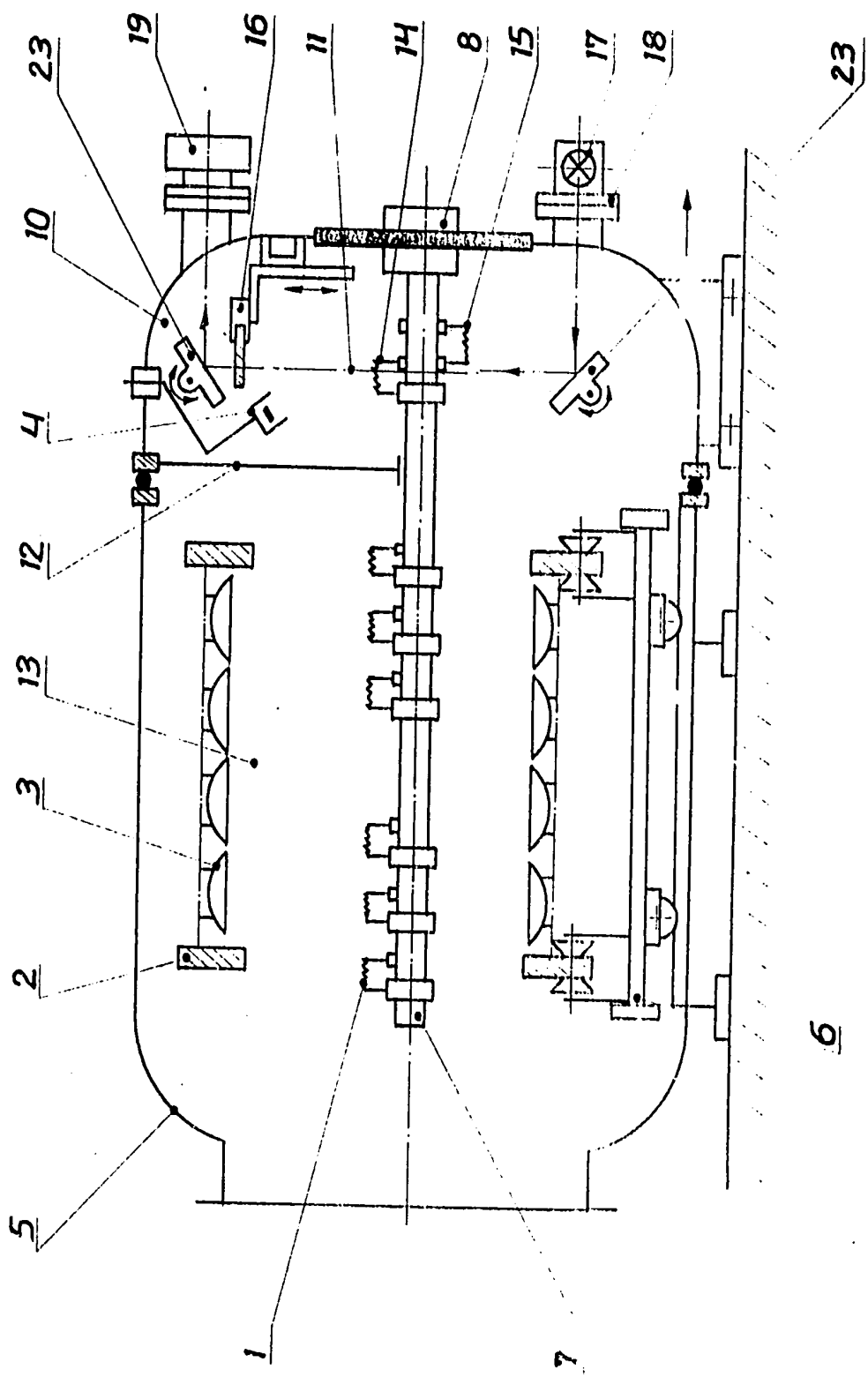


Fig. 2

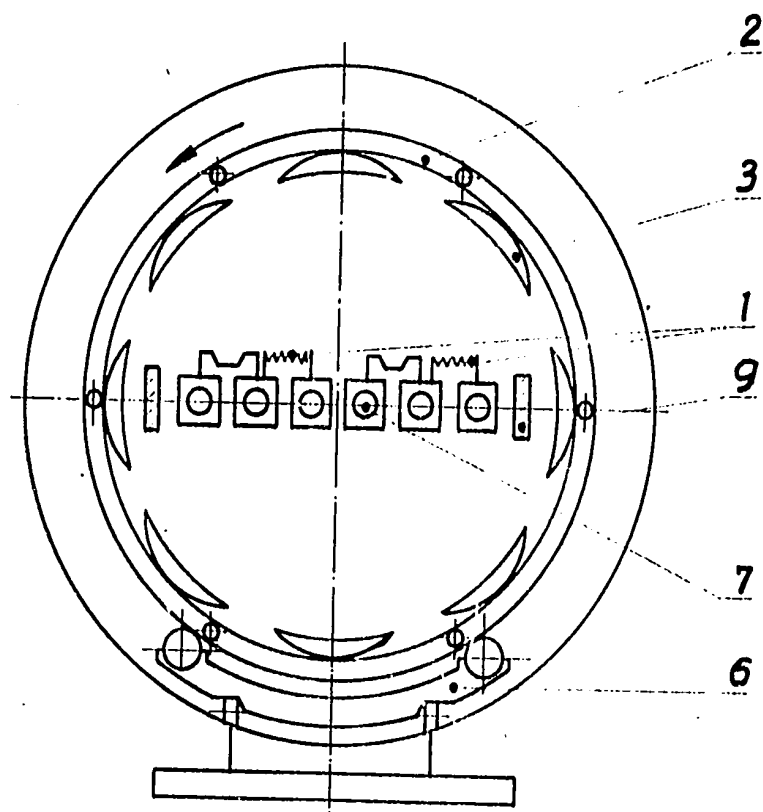


Fig. 3

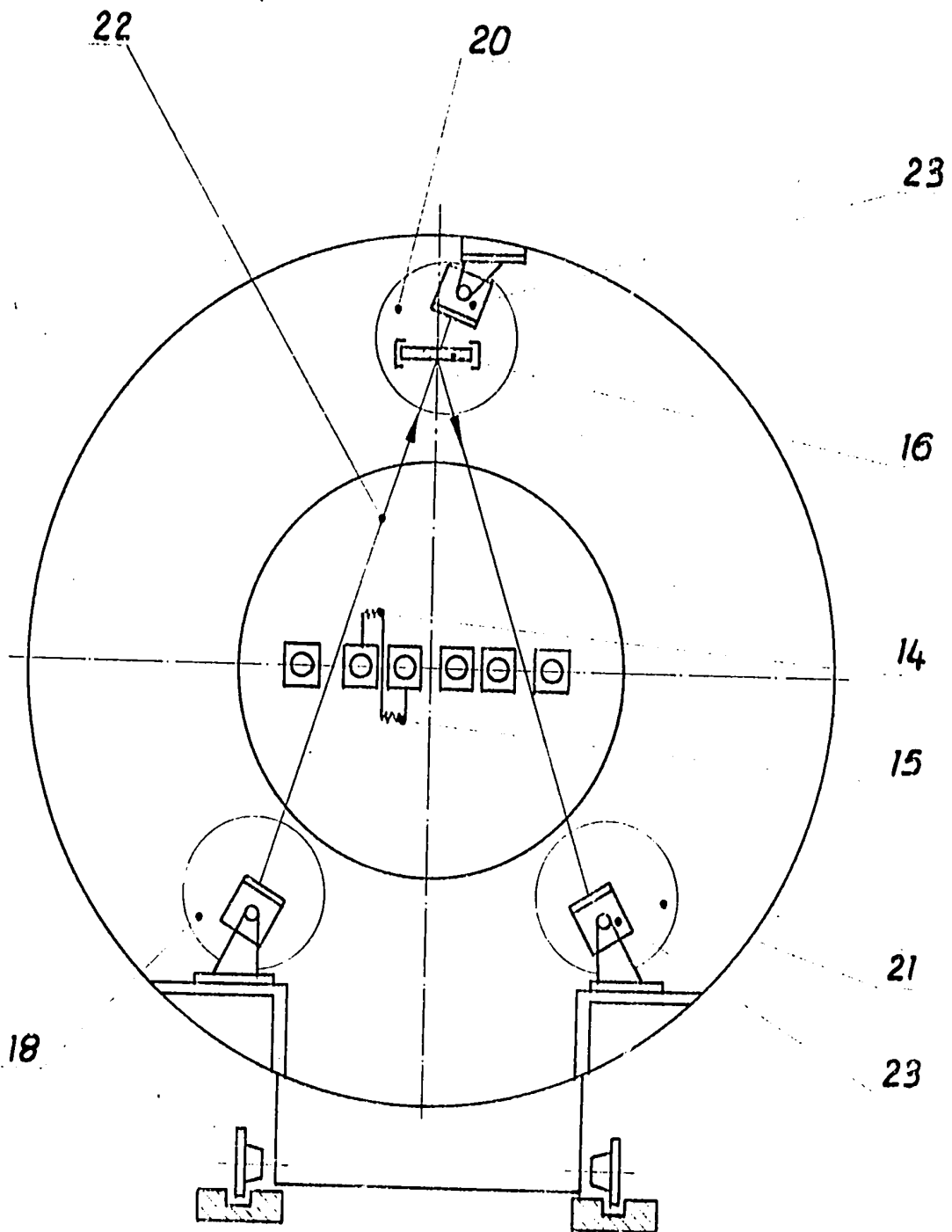


Fig. 4