



19



**SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT**  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

11 CH 689 595 A5

51 Int. Cl.<sup>6</sup>: C 23 C 016/54  
G 02 B 001/10  
C 23 C 016/30

**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

## 12 PATENTSCHRIFT A5

21 Gesuchsnummer: 03356/94

22 Anmeldungsdatum: 09.11.1994

30 Priorität: 13.12.1993 DE A4342463.5

24 Patent erteilt: 30.06.1999

45 Patentschrift veröffentlicht: 30.06.1999

73 Inhaber:  
Leybold Aktiengesellschaft, Wilhelm-Rohn-Strasse 25,  
63450 Hanau (DE)

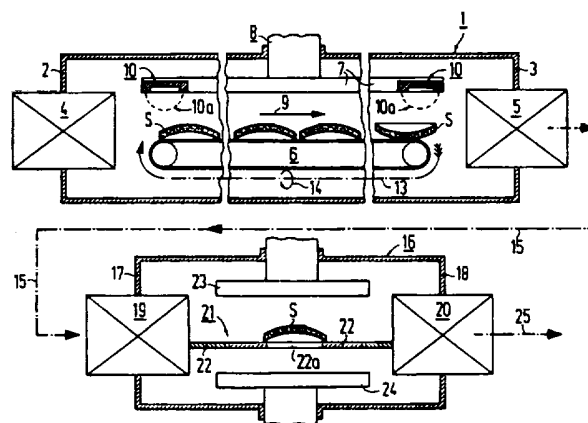
72 Erfinder:  
Beisswenger, Siegfried, Alzenau (DE)

74 Vertreter:  
Patentanwaltsbüro Feldmann AG, Kanalstrasse 17,  
Postfach, 8152 Opfikon-Glattbrugg (CH)

**54 Verfahren und Vorrichtung zum Beschichten von optischen Linsen mit Schutzschichten und mit optischen Schichten im Vakuum.**

57 Bei einem In-Line-Verfahren und einer Vorrichtung zum Beschichten von optischen Linsen (S), insbesondere aus Kunststoffen, mit transparenten Schutzschichten und mit transparenten optischen Ein- oder Mehrfach-Schichten werden mindestens zwei Verfahrensschritte im Vakuum angewandt. Im ersten Verfahrensschritt wird gleichzeitig eine vorgegebene Menge von Linsen in einer Beschichtungszone mittels eines PCVD-Verfahrens mit einer transparenten Schutzschicht versehen, die eine Dicke zwischen 0,5 und 10 µm besitzt. Der Beschichtungszone des ersten Verfahrensschritts wird mittels eines Durchlaufverfahrens laufend eine Teilmenge neuer Linsen zugeführt und nach Beschichtung eine Teilmenge entnommen. Im zweiten Verfahrensschritt wird die dem ersten Verfahrensschritt entnommene Teilmenge mittels eines weiteren Durchlaufverfahrens mit der optischen, transparenten reflexmindernden Ein- oder Mehrfachschicht mit einer geringeren Dicke als die Schutzschicht versehen. Dabei werden die Transportgeschwindigkeiten bzw. Taktfrequenzen der Linsen (S) in beiden Verfahrensschritten so eingestellt, dass pro Zeiteinheit im Mittel durch jeden Verfahrensschritt gleiche Mengen an beschichteten Linsen hergestellt werden. Vorzugsweise beträgt die dem ersten Verfahrensschritt entnommene und dem zweiten Verfahrensschritt zugeführte Teilmenge ein

bis zwei Linsen, die bevorzugt Brillengläser aus Kunststoff sind.



## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Beschichten von optischen Linsen gemäss Patentanspruch 1.

Durch die DE-OS 4 128 547 ist es bekannt, Schutzschichten aus  $\text{SiO}_2$  und nachfolgend optische Schichten aus abwechselnd hoch- und niedrigbrechenden Schichtmaterialien chargenweise, d.h. nacheinander, in einer einzigen Vakuumkammer auf Substraten aufzubringen. Die Schutzschichten sind dabei verhältnismässig dick und sollen das Substrat gegen mechanische und chemische Einflüsse schützen. Bei Substraten aus Kunststoffen, die gegenüber Substraten aus mineralischen Stoffen verhältnismässig weich sind, haben die Schutzschichten die zusätzliche Aufgabe, ein «Eindrücken» der optischen Schichten in das Kunststoffsubstrat unter der Einwirkung örtlicher Kräfte zu verhindern, eine Eigenschaft, die besonders bei Brillengläsern von ausschlaggebender Bedeutung ist, da diese durch häufige Reinigungsvorgänge einer besonders starken Belastung ausgesetzt sind. Bei dem bekannten Verfahren wird die Schutzschicht durch Elektronenstrahlverdampfung von  $\text{SiO}_2$  bei gleichzeitigem Betrieb einer Plasmaquelle aufgebracht, der Argon zugeführt wird. Auch die Herstellung der optischen Schichten erfolgt mittels eines Elektronenstrahlverdampfers, wobei der Vakuumkammer zusätzlich ein reaktives Gas wie Sauerstoff und/oder Stickstoff zugeführt werden kann.

Die bekannte Vorrichtung und das darin ausgeübte Verfahren lassen sich jedoch nicht in einen kontinuierlich oder quasi-kontinuierlich durchgeführten Produktionsprozess integrieren, da stets eine relativ grosse Menge an endgültig beschichteten Substraten gleichzeitig fertiggestellt wird. Sämtliche Substrate werden dabei gleichzeitig von einem klottenförmigen Substrathalter getragen, der wegen der Notwendigkeit einer gleichmässigen Schichtdickenverteilung nicht nur auf den einzelnen Substraten, sondern auf der Gesamtheit aller Substrate einen erheblichen Abstand sowohl von dem Elektronenstrahlverdampfer als auch von der Plasmaquelle haben muss. Für einen taktweisen Betrieb unter Freigabe von ein oder zwei Substraten in Übereinstimmung mit vor- und nachgeschalteten Produktionsprozessen sind weder das bekannte Verfahren noch die Vorrichtung geeignet.

Durch die DE-OS 2 900 724 ist ein Verfahren bekannt, bei dem Substrate, über deren Beschaffenheit und/oder Geometrie nichts ausgesagt ist, abwechselnd mit Schichten aus Glimmpolymerisaten und Metallschichten versehen werden. Eine Metallbeschichtung scheidet zunächst bei optischen Linsen aus, insbesondere dann, wenn die Metallschichten eine entsprechende Dicke aufweisen. Über die Schichtdickenverhältnisse werden keinerlei Aussagen gemacht, auch nicht über die Beschichtungsraten in den einzelnen Beschichtungsstationen. Ganz offensichtlich sollen auch dickere Schichten durch mehrmaliges Umlaufen der Substrate erzeugt werden, bevor diese der Vorrichtung entnommen werden. Es entstehen also abwechselnd Schichten aus Glimmpolymerisaten und Me-

tallen auf Substraten, die ganz offensichtlich keine Linsen, insbesondere keine Brillengläser sind.

Durch die DE-OS 3 623 970 ist es bekannt, zweidimensionale Substrathalter in senkrechter Lage mittels eines Rollensystems durch eine Beschichtungsanlage zu führen, in der auch eine beidseitige Beschichtung stattfinden kann. Optische Linsen sind nicht erwähnt, und die betreffende Schrift enthält auch keinerlei Angaben über Schichtdickenverhältnisse, und gegebenenfalls unterschiedliche Transportgeschwindigkeiten oder Taktfrequenzen, wenn es darum gehen könnte, Schichten mit stark voneinander verschiedenen Schichtdicken nacheinander im gleichen Durchlauf aufzubringen.

Die DE-OS 4 203 631 offenbart ein Verfahren und eine Vorrichtung für die Behandlung einer Oxidschicht, die sich bereits vorher auf einer Folie befunden haben kann, oder die in einer Art Vorkammer vor einer Behandlungsstation auf die Folie aufgebracht wird. Es geht also nicht um die Herstellung von zwei oder mehr aufeinanderfolgenden Schichten, sondern lediglich um die Nachbehandlung einer Schicht, beispielsweise um diese aufzuheilen. Hiermit stellt sich die Problematik einer Kontrolle der Schichtdickenverteilung überhaupt nicht.

Es ist auch bekannt, Schutzschichten der beschriebenen Art durch ein sogenanntes PCVD-Verfahren (Plasma-Chemical-Vapour-Deposition) herzustellen, bei denen die Substrate gleichfalls chargenweise beschichtet werden. Es ist weiterhin bekannt, die Substrate bei einem derartigen Verfahren auf der Aussenseite einer drehbaren Trommel anzuordnen und die Substrate durch Drehung der Trommel durch eine oder mehrere Beschichtungszone hindurchzuführen. Auch hierbei werden sämtliche Substrate gleichzeitig fertiggestellt, d.h. ein taktweiser Betrieb und eine Integration in einen weitgehend automatischen Produktionsprozess mit vor- und nachgeschalteten Bearbeitungsstufen sind nicht möglich.

Um die Problematik bei der Herstellung «dicker» Schutzschichten aufzuzeigen, sei auf folgendes verwiesen:

Beim sogenannten thermischen Verdampfen (Beheizung des Verdampfungsmaterials durch Elektronenstrahlbeschuss, Lichtbogen, oder durch Stromwärme, die durch ein Verdampferschiffchen geleitet wird) entstehen auf einem ungeheizten Substrat relativ locker gepackte Schichten. Typisch ist eine «Stengelstruktur» die mit zunehmender Schichtdicke immer ausgeprägter wird. Diesem Effekt kann durch eine Temperaturerhöhung der Substrate entgegengewirkt werden, wodurch aber die Anwendbarkeit eines solchen Verfahrens für zahlreiche Substratwerkstoffe ausscheidet. Ausserdem ist bei derartigen Verfahren der bereits weiter oben beschriebene grosse Abstand zwischen den Beschichtungsquellen und den Substraten erforderlich. In jedem Falle aber ist die Beschichtungsrate relativ klein, sie liegt je nach Material zwischen 0,1 und 5 nm/s.

Für die Beschichtung von Kunststoff-Linsen, insbesondere für die Beschichtung von Brillengläsern aus Kunststoffen, wurden daher sogenannte Lackierverfahren entwickelt, durch die in einem nass-

chemischen Prozess auf die fertig geschliffene Linsenoberfläche Hartlacke aufgebracht werden. Nach dem Trocknen und Aushärten dieser Hartlacke können dann die transparenten reflexmindernden Ein- oder Mehrfachsichten im Vakuum aufgebracht werden. Auch ein solches Verfahren lässt sich nicht in ein taktweise betriebenes Produktionsverfahren integrieren. Zudem ist die nasschemische Lackiertechnik relativ aufwendig, zumal die Lacke erst kurz vor der Verarbeitung aufbereitet werden dürfen.

Die nass-chemische Vorlackierung der Substrate wird zwar bei einem Verfahren nach der bereits genannten DE-OS 4 128 547, das auch als «ionenunterstütztes Verdampfen» bezeichnet wird, überflüssig, jedoch kann auch dieses Verfahren – wie bereits gesagt – nicht in einen kontinuierlichen oder quasi-kontinuierlichen bzw. taktweisen Produktionsprozess integriert werden.

Beim PCVD-Verfahren wird die Schicht nicht von einem festen Beschichtungsmaterial wie bei der Kationenzerstäubung oder beim Verdampfen aufgebaut, sondern aus der Gasphase abgeschieden. Mittels eines Plasmas wird ein entsprechendes Gas «aktiviert». An der Substratoberfläche laufen alsdann chemische Reaktionen ab, die zum Schichtaufbau führen. Der Leistungsbedarf zur Erzeugung des Plasmas liegt bei gleichen Abscheideraten ungefähr bei 10% der beim Sputtern oder Aufdampfen notwendigen Leistungen. Die mittels PCVD erzeugten dielektrischen Schichten sind in der Regel elastischer und dichter als vergleichbare aufgedampfte oder aufgesputterte Schichten. Von einem solchen PCVD-Verfahren geht die Erfindung aus.

Bei den PCVD-Verfahren werden als schichtbildende Stoffe gasförmige bzw. leicht verdampfbare Flüssigkeiten eingesetzt. So kann z.B. eine quarzähnliche Schicht aus den Ausgangsstoffen TMDS oder HMDSO oder aus einem Gasgemisch aus Silan einerseits und Sauerstoff oder Lachgas andererseits abgeschieden werden, wobei häufig ein merklicher Wasserstoffanteil eine starke Vernetzung der Schicht bewirkt. Die Anregung des Niederdruck-Plasmas kann dabei mittels Gleichstrom-Elektroden oder mittels Wechselstrom auf induktivem Wege (mit bestimmten Frequenzen gespeiste Spulen) und /oder auf kapazitivem Wege (an entsprechende Energiequellen angeschlossene Elektroden) oder durch Einspeisen von Mikrowellen-Energie erfolgen. Man erhält hierdurch äusserst einfach aufgebaute Apparaturen, die in einem grossen Druckbereich, z.B. zwischen  $10^{-3}$  und 10 mbar sehr zuverlässig arbeiten.

Die Beschichtung einer geringen Anzahl von klotenförmigen Substraten bis hin zur Beschichtung eines einzigen Substrats nach dem PCVD-Verfahren ist zur Herstellung sogenannter Kaltlichtspiegel bereits durch die DE-PS 4 008 405 bekannt, jedoch sind auch hierbei Massnahmen oder Mittel zum taktweisen Betrieb einer solchen Anlage zwecks Integration in einen komplexen Produktionsprozess nicht angegeben.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs beschriebenen Gattung anzugeben, das taktweise betrieben und in einen komplexen Produktionsprozess mit Vor- und Nach-

behandlungsstufen integriert werden kann. Insbesondere soll hierdurch die Möglichkeit einer «just-in-time-Versorgung» nachgeschalteter Produktionsprozesse bzw. Produktionsstufen ermöglicht werden.

Die Lösung der gestellten Aufgabe erfolgt bei dem eingangs beschriebenen Verfahren erfindungsgemäss dadurch, dass

a) der Beschichtungszone des ersten Verfahrensschritts mittels eines Durchlaufverfahrens laufend eine Teilmenge neuer Linsen zugeführt und nach Beschichtung eine Teilmenge entnommen wird,

b) im zweiten Verfahrensschritt entnommene Teilmenge mittels eines weiteren Durchlaufverfahrens mit der optischen, transparenten, reflexmindernden Ein- oder Mehrfachsicht versehen wird, und dass

c) die Transportgeschwindigkeiten bzw. Taktfrequenzen der Linsen in beiden Verfahrensschritten so eingestellt werden, dass pro Zeiteinheit im Mittel durch jeden Verfahrensschritt gleiche Mengen an beschichteten Linsen hergestellt werden.

Mit dem erfindungsgemässen Verfahren wird es möglich, die Linsen mit kurzer Taktzeit sowohl mit einer sehr dicken kratzfesten und chemisch resistenten sowie farblosen transparenten Schutzschicht zu versehen, als auch nachfolgend reflexmindernde Ein- oder Mehrfachsichten mit gleicher Taktfolge herzustellen, so dass die Bereitstellung einer entsprechenden Anzahl von Linsen bis hin zu einer einzigen Linse «just-in-time» ermöglicht wird.

Die Kombination des «just-in-time» Anlagenprinzips unter Einbeziehung der PCVD-Beschichtungstechnik schafft das Potential für eine Verbesserung der Wirtschaftlichkeit bei der industriellen Beschichtung von Linsen bei gleichzeitiger Erhöhung der Schichtqualität und der Funktionalität.

Die Anwendung des Verfahrens ist dabei mit besonderem Vorteil bei Linsen aus Kunststoffen möglich, hierauf aber keineswegs beschränkt, sondern auch bei transparenten Linsen aus mineralischen Werkstoffen anwendbar, da aufgrund der relativ geringen Temperaturbelastung der Linsen der Einfluss unterschiedlicher thermischer Ausdehnungskoeffizienten auf die Schichtqualität reduziert wird. Als Kunststoffe kommen hierbei in Frage:

CR 39 = Diallyldiethylenglykolkarbonat

PMMA = Polymethylmethacrylat

PS = Polystyrol

PC = Polycarbonat,

jedoch ist das erfindungsgemässe Verfahren nicht auf den Einsatz dieser Werkstoffe beschränkt. CR 39 hat beispielsweise einen Brechungsindex von 1,5; es wurden jedoch zwischenzeitlich Kunststoffe entwickelt, deren Brechungsindex oberhalb von 1,6 liegt. Optische Linsen, insbesondere Brillengläser, mit vorgegebener Dioptrienzahl können um so leichter gehalten werden, je höher der Brechungsindex ist.

Für den zweiten Verfahrensschritt kommen auch andere Verfahren als das PCVD-Verfahren in Frage, beispielsweise eine Beschichtung durch thermi-

sche Verdampfung, Katodenzerstäubung und/oder die Ionenunterstützte Verdampfung, beispielsweise nach der DE-OS 4 128 547. Es ist allerdings besonders vorteilhaft, auch den zweiten Verfahrensschritt, bei dem Ein- oder Mehrschichten mit sehr viel geringerer Schichtdicke erzeugt werden, nach dem PCVD-Verfahren durchzuführen, wobei hierbei ein ganz besonders kleines Kammervolumen eingehalten werden kann, weil hierbei die Notwendigkeit einer Dampfstreuung wie beim thermischen Verdampfen nicht vorliegt. Durch entsprechend kleine Kammervolumina bzw. eine Begrenzung des vom Plasma erfüllten Raumes ist es möglich, sehr kurzfristig einen Gaswechsel bzw. Gasaustausch vorzunehmen, um hier durch abwechselnd unterschiedliche Schichtmaterialien aufbringen zu können. Derartige Schichtsysteme bestehen beispielsweise abwechselnd aus hoch- und niedrigbrechenden Schichtmaterialien.

Der Kern der Erfindung besteht darin, Verfahrensschritte, bei denen Schichten äusserst unterschiedlicher Dicke aufgebracht werden, so aufeinander abzustimmen, dass eine taktweise Anlieferung fertig beschichteter Linsen, z.B. einzeln oder paarweise ermöglicht wird, ohne dass hierdurch die Produktivität des Gesamtverfahrens leidet. Es ist insbesondere nicht mehr erforderlich, eine Zwischenlagerung von teilbeschichteten Linsen vorzunehmen. Bei einer solchen Zwischenlagerung hat die unvermeidliche Aufnahme von Wasserdampf seitens der Linsen einen besonders störenden Einfluss.

Das erfindungsgemässe Verfahren ermöglicht es, die aus dem ersten Verfahrensschritt hervorgegangenen Linsen ohne Berührung durch die Atmosphäre dem zweiten Verfahrensschritt zuzuführen.

Durch das erfindungsgemässe Verfahren kann mit einer Zykluszeit zwischen beispielsweise 30 und 60 Sekunden in jeweils einer Beschichtungszone ein komplettes Mehrschichtsystem auf eine Linse aufgebracht werden.

Wichtig ist bei manchen Linsen, insbesondere bei solchen aus Kunststoffen, insbesondere bei Brillengläsern aus Kunststoffen, die beidseitige Beschichtung der Linsen. Die beidseitige Beschichtung kann gleichzeitig oder nacheinander erfolgen:

Im ersten Falle verfährt man in besonders vorteilhafter Weise so, dass man die von einem zwischen einer Eintragsschleuse und einer Austragsschleuse bewegten Substratträger gehaltenen Linsen zunächst einseitig beschichtet, die einseitig beschichteten Linsen um 180 Grad wendet und wieder in Richtung auf die Eintragsschleuse zurückfördert, an den Substrathalter übergibt und in gewendetem Zustand die zweite Seite beschichtet und danach die Linsen über die Austragsschleuse austrägt.

Im zweiten Fall verwendet man Substratträger, die mit entsprechenden Durchbrechungen versehen sind, in Verbindung mit Anregungsquellen, die auf beiden Seiten des Transportweges der Linsen angeordnet sind.

Es ist dabei besonders vorteilhaft, wenn man die Anregungsenergie für das Plasma mittels mindestens einer im Vakuum angeordneten rechteckigen Elektrode an das Plasma ankoppelt, wobei die

Hauptebene und die längste Achse der Elektrode parallel zu dem mindestens einen Transportweg der Linsen verlaufen.

Unter rechteckigen Elektroden werden auch solche langgestreckten Elektroden verstanden, die abgerundete Enden aufweisen, sowie solche mit nicht-planarer Oberfläche, beispielsweise mit einer strukturierten Oberfläche, wobei die Strukturierung durch Vorsprünge wie Rippen oder Rücksprünge erzielt werden kann.

Die Leistungsfähigkeit des PCVD-Beschichtungsverfahrens kann in besonders vorteilhafter Weise dadurch gesteigert werden, dass man das Plasma durch einen dem Umfang der Elektrode geometrisch ähnlichen geschlossenen magnetischen Tunnel mit Schmalseiten und Langseiten auf die den Linsen zugekehrte Seite der Elektrode konzentriert.

Auf diese Weise erhält die Elektrode die Wirkung einer Magneton-Katode, ohne dass bei einem PCVD-Verfahren jedoch ein zerstäubungsfähiges Target verwendet würde. Vielmehr wird zweckmässigerweise durch Werkstoffauswahl und/oder Verfahrensparameter dafür gesorgt, dass das Elektrodenmaterial während des PCVD-Prozesses selbst nicht zerstäubt wird.

Die Erfindung betrifft auch eine Vorrichtung zur Durchführung des ersten Verfahrensschritts des obengenannten erfindungsgemässen Verfahrens mit einer Vakuumkammer, einer Eintragsschleuse, einer Austragsschleuse und einer die beiden Schleusen miteinander verbindenden Transporteinrichtung mit mindestens einem Transportweg für die Linsen sowie mit mindestens einer in der Vakuumkammer angeordneten Elektrode für die Eintragung einer Anregungsenergie in ein Plasma.

Zur Lösung der gleichen Aufgabe hat die mindestens eine Elektrode eine solche Länge, dass sie sich mindestens über den mindestens einen Transportweg der Linsen erstreckt, beim Vorhandensein von mehreren Transportwegen über sämtliche Transportwege der Linsen.

Der Transportweg muss nicht notwendigerweise geradlinig verlaufen; für das PCVD-Verfahren des ersten und des zweiten Verfahrensschritts können auch sogenannte Karussell-Anlagen mit rotierenden Substrathaltern verwendet werden, denen die Linsen über mindestens eine Schleuse kontinuierlich oder quasi-kontinuierlich zugeführt und wieder entnommen werden. Es ist jedoch besonders zweckmässig, den mindestens einen Transportweg geradlinig zu gestalten und die Elektrode rechteckig auszubilden und deren längste Achse parallel zu dem mindestens einen Transportweg der Linsen auszurichten.

Mit dem Ausdruck «Durchlaufverfahren» werden sowohl kontinuierliche Transportverfahren für die Linsen von Schleuse zu Schleuse bezeichnet als auch quasi-kontinuierliche Transportverfahren, bei denen die Linsen schrittweise von Schleuse zu Schleuse bewegt werden und auf ihrem Transportweg auch vorübergehend angehalten werden. Eine schrittweise Transportbewegung kann sich dadurch ergeben, dass der Schleusenbetrieb durch Öffnen und Schliessen der Schleusenventile einen absatzweisen Transport der Linsen mit sich bringt.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemässen Verfahrens und der erfindungsgemässen Vorrichtung ergeben sich aus den übrigen abhängigen Patentansprüchen.

Ein Verfahrensprodukt sowie zwei Ausführungsbeispiele einer Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemässen Verfahrens werden nachfolgend anhand der Fig. 1 bis 5 näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 einen teilweisen Schnitt durch eine Linse bzw. ein Brillenglas im Endzustand,

Fig. 2 einen Vertikalschnitt durch eine Vorrichtung zur einseitigen Beschichtung mehrerer Linsen in einem ersten Verfahrensschritt und zur beidseitigen Beschichtung einer einzelnen Linse während des zweiten Verfahrensschritts,

Fig. 3 eine Draufsicht auf eine bandförmige Transporteinrichtung für die Vorrichtung nach Fig. 2 mit mehreren Linsen während des ersten Verfahrensschritts unter besonderer Hervorhebung des zweiseitigen Transportweges,

Fig. 4 einen Vertikalschnitt durch eine Vorrichtung analog Fig. 2, jedoch mit einer Transporteinrichtung für die Linsen mit Durchbrechungen für die gleichzeitige beidseitige Beschichtung der Linsen im ersten Verfahrensschritt und für die beidseitige Beschichtung zweier Linsen im zweiten Verfahrensschritt und

Fig. 5 eine Draufsicht auf die Transporteinrichtung nach Fig. 4 mit zwei parallelen Transportwegen.

In Fig. 1 ist eine Linse S dargestellt, die durch ein Brillenglas aus CR 39 mit einem Brechungsindex  $n = 1,5$  repräsentiert wird. Alternative transparente Werkstoffe mit gleichen oder höheren Brechungsindices sind in der allgemeinen Beschreibung erwähnt. Auf diese Linse wurde in einem ersten Verfahrensschritt eine Schutzschicht P mit einer Dicke von  $3 \mu\text{m}$  aus  $\text{SiO}_2$  mit einem Brechungsindex  $n = 1,5$  aufgebracht. Der Brechungsindex der Schutzschicht P sollte möglichst weit dem Brechungsindex der Linse S angenähert werden. Bei Verwendung eines Substratwerkstoffs mit einem Brechungsindex oberhalb von  $n = 1,5$  empfiehlt es sich, die Schutzschicht P aus einem Schichtwerkstoff mit der Formel  $\text{SiO}_x\text{N}_y$  aufzubauen. Zur Anpassung des Brechungsindex können die Werte für x und y variiert werden. Hierbei können die Werte für x und y alternativ auch Null sein. Soll der Brechungsindex sich dem Wert  $n = 1,7$  nähern, so wird zweckmässigerweise Siliziumnitrid mit der Formel  $\text{Si}_3\text{N}_4$  erzeugt. Das optische Schichtsystem besteht im vorliegenden Fall aus vier Einzelschichten, die abwechseln hochbrechend (H) und niedrigbrechend (L) sind. Für die hochbrechenden Schichten kann beispielsweise  $\text{TiO}_2$  oder  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  mit einem Brechungsindex von bis über 2,2 verwendet werden, für die niedrigbrechenden Schichten  $\text{SiO}_2$ . Die Schichtdicken der Einzelschichten des optischen Systems O liegen hierbei im Bereich einer Viertel-Wellenlänge des verwendeten Messlichts. Die Summe der einzelnen Schichtdicken innerhalb der optischen Schicht O ist also eindeutig geringer als die Dicke der Schutzschicht P.

Fig. 2 zeigt eine langgestreckte Vakuumkammer 1, die in ihren Stirnwänden 2 und 3 je eine Eintragsschleuse 4 und eine Austragsschleuse 5 besitzt. Die beiden Schleusen sind von bekannter Bauart und besitzen jeweils zwei Schleusenventile, zwischen denen sich eine mechanische Übergabe-einrichtung für die Linsen befindet. Es ist infolgedessen nicht erforderlich, die Einzelheiten dieser Schleusen darzustellen. Gleichfalls nicht dargestellt sind der Saugstutzen für die Erzeugung des Vakuums sowie Gaszuleitungen für die benötigten Reaktionsgase.

Zwischen den Schleusen befindet sich eine Transporteinrichtung 6, die aus einem Endlos-Förderband besteht, und auf der die Linsen S aus der Eintragsschleuse 4 heraus abgelegt werden. Am Ende der Transporteinrichtung 6 werden die Linsen S dann wieder von der Austragsschleuse 5 übernommen.

Oberhalb der Transporteinrichtung 6 befindet sich eine rechteckige Elektrode 7, die mittels einer Isolierdurchführung 8 an der Decke der Vakuumkammer 1 aufgehängt ist. Die Elektrode 7 dient zur Eintragung der Anregungsenergie für das Plasma und hat eine rechteckige Form, deren längste Achse parallel zum Transportweg (Pfeil 9) der Linsen S verläuft. Die Elektrode 7 besteht aus einer Hülle aus amagnetischem, nicht zerstäubbarem Material und ist auf der den Linsen abgekehrten Seite mit einem Magnetsystem 10 versehen, das im Schnitt dargestellt ist. Dieses Magnetsystem erzeugt auf der den Linsen zugekehrten Seite der Elektrode einen magnetischen Tunnel 10a, der durch gestrichelte Feldlinien angedeutet ist. Sowohl das Magnetsystem 10 als auch der magnetische Tunnel 10a erstrecken sich über den gesamten Umfang der Elektrode 7, sind also in sich räumlich geschlossen. Infolge der Rechteckform der Elektrode 7, die sich senkrecht zur Zeichenebene erstreckt, hat auch der magnetische Tunnel 10a einen rechteckigen Verlauf und besitzt zwei Schmalseiten und zwei Langseiten. Fig. 2 zeigt den Schnitt durch die beiden Schmalseiten. Die beiden Langseiten verlaufen parallel zur Transportrichtung der Linsen (Pfeil 9).

In der Vakuumkammer 1 nach Fig. 2 erfolgt zunächst nur eine einseitige Beschichtung der Linsen S. Das Zustandekommen der beidseitigen Beschichtung wird anhand von Fig. 3 näher erläutert.

Wie aus Fig. 3 ersichtlich ist, bildet die Transporteinrichtung 6 zwei parallele Transportwege 11 und 12 für die Linsen S. Zunächst werden die Linsen S am linken Ende des Transportweges 11 in einer Lage aufgelegt, wie sie in Fig. 2, oben, links, dargestellt ist. Im Einflussbereich der Elektrode 7 befindet sich gleichzeitig eine Vielzahl von Linsen S, die auf dem Transportweg 11 einseitig, d.h. mit ihrer Oberseite, beschichtet werden. Nach dem Verlassen des Transportweges 11 werden die Linsen von der Transporteinrichtung 6 abgenommen und entlang des strichpunktierten Weges 13 an den Anfang der Transporteinrichtung 6 zurückgeführt, hierbei jedoch durch eine Wendeeinrichtung 14, die nur symbolisch dargestellt ist, um 180 Grad gewendet und danach wieder auf den Anfang der Transporteinrichtung 6 aufgelegt, und zwar in einer Position,

die in Fig. 2, oben, rechts, dargestellt ist. Das Auflegen geschieht am Anfang eines zweiten Transportweges 12, der zum ersten Transportweg 11 parallel verläuft, so dass sich auf der Transporteinrichtung 6 zwei parallele Reihen von Linsen S befinden. Am Ende des zweiten Transportweges 12 werden die Linsen auf eine hier nicht gezeigte Weise von der Austragsschleuse 5 übernommen und ausgeschleust. Die beiden Transportwege 11 und 12 befinden sich unterhalb der beiden Langseiten des Magnetsystems 10 bzw. des magnetischen Tunnels 10a, da hier die Beschichtungsrate den grösstmöglichen Wert hat.

Wie sich weiterhin aus Fig. 2 ergibt, werden die aus der Austragsschleuse 5 ausgetragenen Linsen auf einem äusseren Transportweg 15 zu einer weiteren Vakuumkammer 16 transportiert, deren beide Stirnwände 17 und 18 gleichfalls mit je einer Eintragsschleuse 19 und einer Austragsschleuse 20 ausgerüstet sind. Auch die Vakuumkammer 16 besitzt eine Transporteinrichtung 21, die die beiden Schleusen miteinander verbindet. Im vorliegenden Fall besteht diese Transporteinrichtung 21 jedoch aus einzelnen Paletten 22, die in der Mitte jeweils eine Durchbrechung 22a besitzen, auf deren Rand der Rand einer Linse S aufgelegt ist. In diesem Falle befinden sich oberhalb und unterhalb der Transporteinrichtung 21 zwei Elektroden 23 und 24, die gleichfalls ein hier nicht näher dargestelltes Magnetsystem aufweisen können. Durch diese Anordnung wird in Verbindung mit der Durchbrechung 22a eine beidseitige Beschichtung der Linse ermöglicht. Die Paletten 22 werden durch die Eintragsschleuse 19 eingeschleust und durch die Austragsschleuse 20 wieder ausgeschleust und in Richtung eines weiteren äusseren Transportweges 25 einer hier nicht gezeigten Weiterbearbeitungsstation zugeführt. Es ist aus Fig. 2 ersichtlich, dass die Vakuumkammer 1 jeweils mit einer einzelnen Linse beschickt wird und dass die Vakuumkammer 16 über den Transportweg 25 jeweils eine einzelne Linse zur Weiterbearbeitung zur Verfügung stellt. Die sogenannte «Teilmenge» ist also in diesem Falle 1. Es geht aus Fig. 1 ebenso hervor, dass zwischen den Vakuumkammern 1 und 16 eine Taktabstimmung vorliegt, d.h. die einzelnen Vakuumkammern versorgen sich gegenseitig «just-in-time».

Es versteht sich, dass die beiden Vakuumkammern 1 und 16 nicht räumlich voneinander getrennt sein müssen. Vielmehr ist es möglich, die Austragsschleuse 5 und die Eintragsschleuse 19 unmittelbar miteinander zu verbinden oder durch eine einzige gemeinsame Schleuse zu ersetzen. Weiterhin ist es möglich, an Stelle einer Verbindungsschleuse eine ohne Absperrorgane ausgestattete Druckstufenstrecke vorzusehen, in der durch Zwischenabsaugungen dafür Sorge getragen wird, dass zwischen den Vakuumkammern 1 und 16 keine sogenannte «Querkontamination» stattfindet.

Bezüglich des Zahlenverhältnisses der gleichzeitig den einzelnen Beschichtungsverfahren ausgesetzten Beschichtungsflächen ergibt sich folgende Überlegung: Massgebend hierfür sind die Anzahl und die Beschichtungsdauer der Beschichtungsflächen in der Vakuumkammer 16. Es sei

angenommen, dass die vollständige Beschichtung mit einem vierlagigen optischen Schichtsystem nach Fig. 1 30 Sekunden in Anspruch nimmt. Innerhalb dieser Zeit wird eine beidseitig beschichtete Linse S zur Verfügung gestellt. Die Vakuumkammer 1 muss also gleichfalls alle 30 Sekunden eine beidseitig beschichtete Linse zur Verfügung stellen. Da infolge der sehr viel grösseren in der Vakuumkammer 1 zu erzeugenden Schichtdicke der Beschichtungsprozess dort etwa 600 Sekunden, also 10 Minuten dauert, müssten sich in der Vakuumkammer 1 bei beidseitiger Beschichtung 20 Linsen in der durch die Elektrode 7 definierten Beschichtungszone befinden. Da bei dem Verfahren nach den Fig. 3 und 3 aber jeweils nur die nach oben gerichtete Seite der Linsen beschichtet wird, muss die Beschichtungszone insgesamt 40 Linsen aufnehmen, was gemäss Fig. 3 in zwei parallelen Reihen zu je 20 Linsen geschieht. In Fig. 3 ist nur ein Ausschnitt aus dieser Anordnung dargestellt.

Fig. 4 zeigt nun im oberen Teil eine analoge Vakuumkammer 1, die jedoch mit zwei planparallel zueinander ausgerichteten rechteckigen Elektroden 7 und 7a ausgestattet ist, die mit der Elektrode 7 in Fig. 2 übereinstimmen.

Die Transporteinrichtung 26, die die Eintragsschleuse 4 mit der Austragsschleuse 5 verbindet, besitzt jedoch im vorliegenden Fall aneinander gereihte Paletten 27, die jeweils mit zwei nebeneinander liegenden Durchbrechungen 27a versehen sind, so dass eine gleichzeitige beidseitige Beschichtung möglich ist. Dadurch entstehen gleichfalls zwei parallele Transportwege 28 und 29. Die Eintragsschleuse 4 liefert also gleichzeitig zwei Linsen an, und die Austragsschleuse 5 führt gleichzeitig zwei beidseitig beschichtete Linsen ab. Die Teilmenge ist in diesem Fall also 2. Ein Zurückführen und ein Wenden der Linsen ist auf diese Weise entbehrlich. Auch in diesem Falle ist der Vakuumkammer 1 eine zweite Vakuumkammer 16 nachgeschaltet, die mit einer Ausnahme mit derjenigen nach Fig. 2 übereinstimmt: Die Paletten 27 mit zwei nebeneinander angeordneten Durchbrechungen 27a werden auch für die Vakuumkammer 16 verwendet, so dass pro Arbeitstakt über den Transportweg 25 zwei beidseitig beschichtete Linsen S angeliefert werden. Bei gleichem Verhältnis der Beschichtungsdauern in den Vakuumkammer 1 und 16 müssen also in der Vakuumkammer 1 gleichzeitig 40 Linsen beidseitig beschichtet werden. Da dies in Doppelreihen erfolgt, besteht jede Linsenreihe innerhalb der Beschichtungszone gleichfalls nur aus 20 Linsen. Der Liefergrad der gesamten Anlage ist aber bei dem Beispiel nach Fig. 4 verdoppelt.

Geht man von der Überlegung aus, dass in der Vakuumkammer 16 nach Fig. 4 jeweils nur eine einzelne Linse S beidseitig beschichtet wird, wie dies im Zusammenhang mit Fig. 2 bereits erläutert wurde, dann kann die Anzahl der gleichzeitig in der Vakuumkammer 1 der beidseitigen Beschichtung ausgesetzten Linsen auf 20 Linsen verringert werden. Da auch hier die Beschichtungsdauer in der Vakuumkammer 16 die Taktfolge bestimmt, kann die Länge der Elektroden 7 und 7a in der Vakuumkammer 1 und damit die Beschichtungszone auf

etwa die Hälfte der Länge verkürzt werden, und auch die Transportgeschwindigkeit der Transportvorrichtung 26 kann auf die Hälfte reduziert werden, so dass die Verweildauer der Linsen in der Beschichtungszone wieder übereinstimmt. Da in diesem Falle pro Arbeitstakt am Ausgang der Austragsschleuse 5 jeweils zwei Linsen zur Verfügung gestellt werden, ist es für den zuletzt beschriebenen Fall lediglich erforderlich, diese Linsen einzeln in die Vakuumkammer 16 einzuschleusen, wodurch aber für die jeweils zweite Linse lediglich eine kurze Zeitverzögerung von 30 Sekunden entsteht.

In jedem Falle sind die Prozesse in den einzelnen Vakuumkammern 1 und 16 sehr unterschiedlich zu steuern bzw. zu regeln, so dass eine breite Palette an Schichtsystemen taktweise bzw. «just-in-time» zur Verfügung gestellt werden kann.

Die anhand der Fig. 4 und 5 beschriebene paarweise Beschichtung von Linsen ist jedoch besonders für die Beschichtung von Brillengläsern geeignet, da Brillengläser in der Regel paarweise bestellt werden. In diesem Fall werden in der Vakuumkammer 16 gleichzeitig vier Beschichtungsoberflächen beschichtet, und aufgrund des Verhältnisses der Beschichtungsdauer der beiden Verfahrensschritte müssen in diesem Falle in der ersten Vakuumkammer 1 gleichzeitig 80 Beschichtungsoberflächen dem Beschichtungsverfahren ausgesetzt sein, d.h. bei gleichzeitiger beidseitiger Beschichtung 40 Linsen mit jeweils zwei Beschichtungsoberflächen. Dies wird durch die Anordnung von jeweils 20 Linsen hintereinander auf den beiden Transportwegen 28 und 29 erreicht.

Anstelle der durchgehenden Elektroden 7 und 7a in den Fig. 2 und 4 kann auch jeweils eine Reihen-anordnung einzelner Elektroden vorgesehen werden, die im Zusammenwirken Beschichtungszone gleicher Länge erzeugen. Hierbei ist es möglich, durch getrennte Regelung der einzelnen Elektroden eine Optimierung des Schichtwachstums durchzuführen.

Es ist weiterhin möglich, das Verfahren in der zweiten Vakuumkammer 16 dadurch zeitlich zu dehnen, dass man die Elektroden in der zweiten Vakuumkammer im Impulsbetrieb betreibt. Hierdurch kann die Länge der Beschichtungszone in der ersten Vakuumkammer entsprechend verkürzt werden, allerdings bei proportionaler Verringerung der Transportgeschwindigkeit. In jedem Falle aber entscheidet die Beschichtungsdauer in der zweiten Vakuumkammer über die Verfahrensparameter in der ersten Vakuumkammer.

Es ist weiterhin möglich, am Anfang der ersten Vakuumkammer oder in einer vorgeschalteten weiteren Vakuumkammer zusätzliche Behandlungsverfahren für die Linsenoberflächen vorzusehen, beispielsweise zum Zwecke einer Oberflächenveränderung durch Plasmabehandlung einschliesslich des Abscheidens von haftvermittelnden Schichten zur Verbesserung der Haftung zwischen dem Linsenwerkstoff und der Schutzschicht.

## Patentansprüche

### 1. Verfahren zum Beschichten von optischen Lin-

sen (S), mit transparenten Schutzschichten (P) und mit transparenten optischen Ein- oder Mehrfach-Schichten (O) in mindestens zwei Verfahrensschritten im Vakuum, wobei im ersten Verfahrensschritt gleichzeitig eine vorgegebene Menge von Linsen in einer Beschichtungszone mittels eines PCVD-Verfahrens mit einer transparenten Schutzschicht (P) versehen wird, die zumindest überwiegend aus Sauerstoff- und/oder Stickstoffverbindungen des Siliziums besteht, eine Dicke zwischen 0,5 und 10  $\mu\text{m}$ , vorzugsweise zwischen 1 und 5  $\mu\text{m}$ , und einen Brechungsindex besitzt, der möglichst weitgehend demjenigen des Linsenwerkstoffs angenähert ist, und wobei im zweiten Verfahrensschritt die optische Schicht (O) mit einer geringeren Dicke als die Schutzschicht (P) erzeugt wird, dadurch gekennzeichnet, dass

a) der Beschichtungszone des ersten Verfahrensschritts mittels eines Durchlaufverfahrens laufend eine Teilmenge neuer Linsen zugeführt und nach Beschichtung eine Teilmenge entnommen wird,

b) im zweiten Verfahrensschritt die dem ersten Verfahrensschritt entnommene Teilmenge mittels eines weiteren Durchlaufverfahrens mit einer optischen, transparenten, reflexmindernden Ein- oder Mehrfachschicht (O) versehen wird, und dass

c) die Transportgeschwindigkeiten bzw. Taktfrequenzen der Linsen (S) in beiden Verfahrensschritten so eingestellt werden, dass pro Zeiteinheit im Mittel durch jeden Verfahrensschritt gleiche Mengen an beschichteten Linsen hergestellt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl der gleichzeitig dem ersten Verfahrensschritt ausgesetzten Beschichtungsoberflächen der Linsen (S) zumindest im wesentlichen dem Quotienten aus den Beschichtungsdauern im ersten und im zweiten Verfahrensschritt, multipliziert mit der Anzahl der im zweiten Verfahrensschritt beschichteten Beschichtungsoberflächen, entspricht.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die dem ersten Verfahrensschritt entnommene und dem zweiten Verfahrensschritt zugeführte Teilmenge 1 bis 2 Linsen beträgt.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass man im ersten Verfahrensschritt die von einer zwischen einer Eintragsschleuse (4) und einer Austragsschleuse (5) bewegten Transporteinrichtung (6) gehaltenen Linsen (S) zunächst einseitig beschichtet, die einseitig beschichteten Linsen um 180 Grad wendet und wieder in Richtung auf die Eintragsschleuse (4) zurückfördert, an die Transporteinrichtung (6) übergibt und im gewendeten Zustand die zweite Seite beschichtet und danach die Linsen (S) über die Austragsschleuse (5) austrägt.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass man die Linsen (S) während des Beschichtens der ersten Seite durch die Transporteinrichtung (6) auf einem ersten Transportweg (11) führt und danach die gewendeten Linsen (S) mittels der gleichen Transporteinrichtung (6) auf einem zweiten, zum ersten Transportweg (11) parallelen Transportweg (12) bewegt.

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekenn-

zeichnet, dass man beide Seiten der Linsen (S) gleichzeitig beschichtet.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass man die Linsen (S) auf mehreren zueinander parallelen Transportwegen (11, 12) führt.

8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass man eine Anregungsenergie für ein Plasma mittels mindestens einer im Vakuum angeordneten rechteckigen Elektrode (7, 7a) an das Plasma ankoppelt, wobei die Linsen (S) auf mindestens einem Transportweg (11, 12) geführt werden, der parallel zur Hauptebene und zur längsten Achse der Elektrode(n) (7, 7a) verläuft.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass man das Plasma durch einen dem Umfang der Elektrode(n) (7, 7a) geometrisch ähnlichen geschlossenen magnetischen Tunnel (10a) mit Schmalseiten und Langseiten auf die den Linsen (S) zugekehrte(n) Seite(n) der Elektrode(n) (7, 7a) konzentriert.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass man zwei parallele Transportwege (11, 12) den Langseiten des magnetischen Tunnels zuordnet.

11. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass man die Linsen (S) während der Beschichtung um eine zur Mitte der Beschichtungsflächen senkrecht stehende Achse rotieren lässt.

12. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass man im zweiten Verfahrensschritt maximal zwei Beschichtungsflächen gleichzeitig beschichtet.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass man eine Vakuum-Beschichtungsanlage für den ersten Verfahrensschritt und eine Vakuum-Beschichtungsanlage für den zweiten Verfahrensschritt in Reihe anordnet und im gleichen Takt betreibt.

14. Vorrichtung zur Durchführung des ersten Verfahrensschritts des Verfahrens nach Anspruch 1, mit einer Vakuumkammer (1), einer Eintragsschleuse (4), einer Austragsschleuse (5) und einer die beiden Schleusen miteinander verbindenden Transporteinrichtung (6) mit mindestens einem Transportweg (11, 12) für die Linsen (S) sowie mit mindestens einer in der Vakuumkammer (1) angeordneten Elektrode (7, 7a) für die Eintragung einer Anregungsenergie in ein Plasma, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Elektrode (7, 7a) sich mindestens über den mindestens einen Transportweg (11, 12) der Linsen (S) erstreckt.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Transportweg (11, 12) geradlinig verläuft und die mindestens eine Elektrode (7, 7a) rechteckig ausgebildet ist und ihre längste Achse parallel zu dem mindestens einen Transportweg (11, 12) verläuft.

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Elektrode (7, 7a) aus amagnetischem, nicht zerstäubbarem Material besteht und auf der den Linsen (S) abgekehrten Seite mit einem Magnetsystem (10) ausgestattet ist, durch das auf der den Linsen (S) zuge-

kehrten Seite der mindestens einen Elektrode (7, 7a) ein umlaufender, in sich geschlossener magnetischer Tunnel (10a) mit zwei Schmalseiten und zwei Langseiten gebildet ist, und dass bei Vorhandensein zweier Transportwege (11, 12) die beiden Transportwege (11, 12) den Langseiten des magnetischen Tunnels zugeordnet sind.

17. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass der Transporteinrichtung (6) eine Rückführungs- und Wendeeinrichtung (14) zugeordnet ist, durch die die Linsen (S) vom Ende des ersten Transportweges (11) abgenommen, in Über-Kopf-Lage gebracht und dem Anfang des zweiten Transportweges (12) zugeführt werden.

5

10

15

20

25

30

35

40

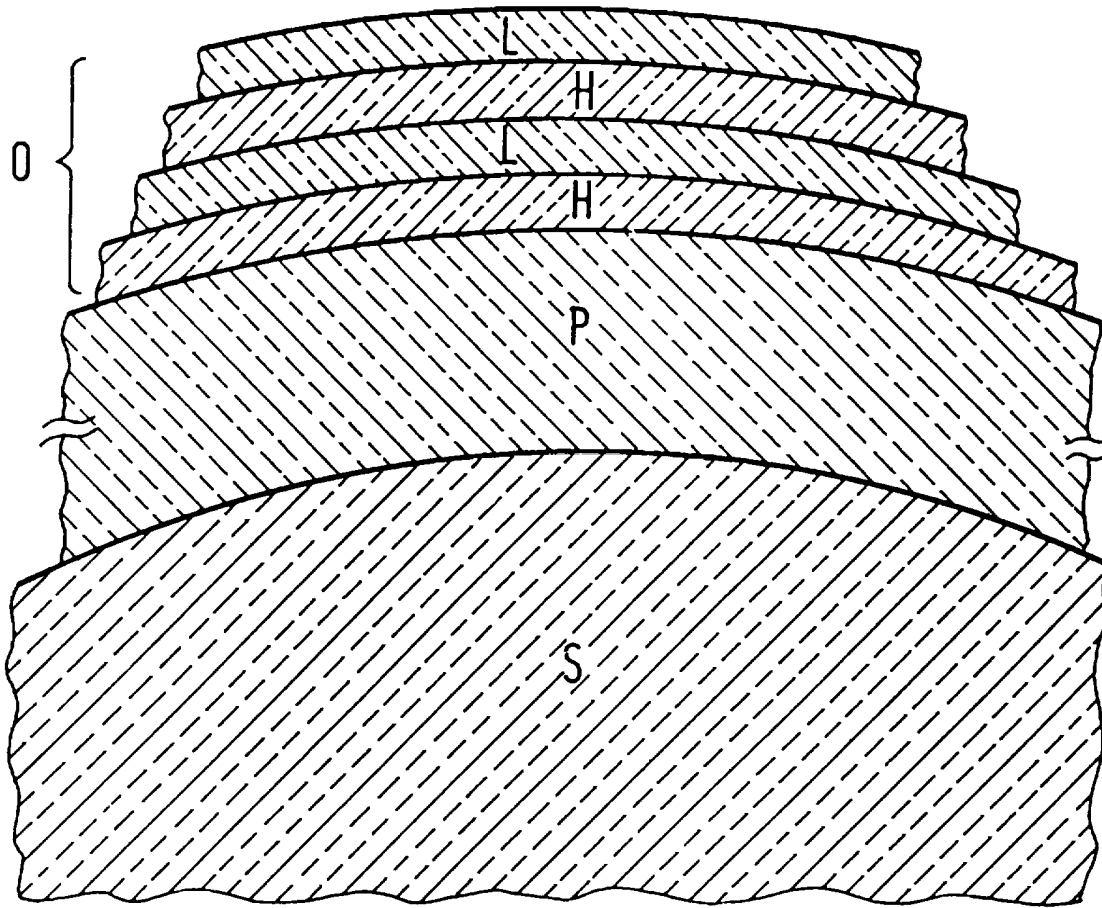
45

50

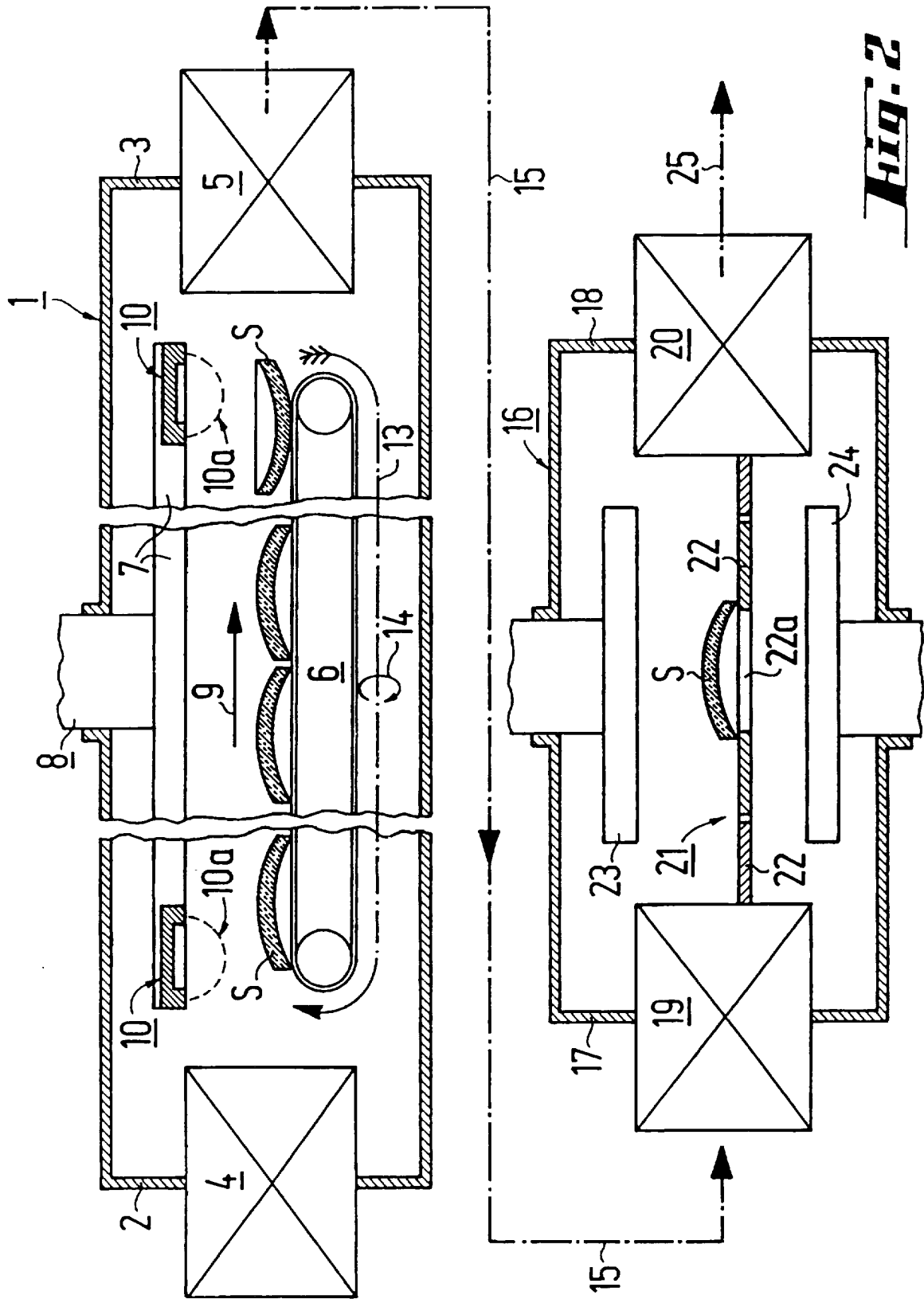
55

60

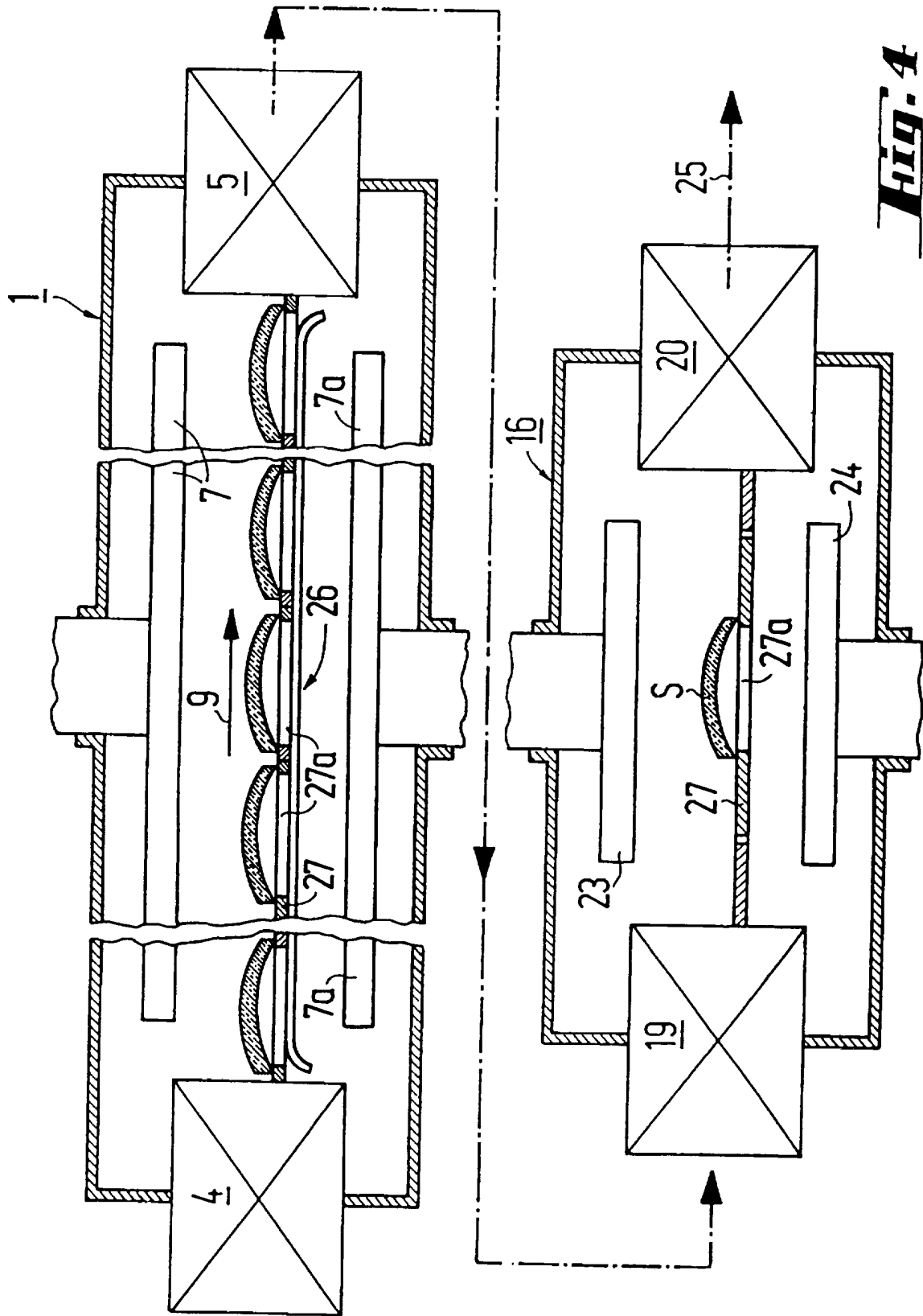
65



***Fig. 1***



**Fig. 2**



**Fig. 4**

