



(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2016 006 865.5**
(22) Anmeldetag: **01.06.2016**
(43) Offenlegungstag: –
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **29.06.2017**

(51) Int Cl.: **F24J 2/14 (2006.01)**
F24J 2/08 (2006.01)

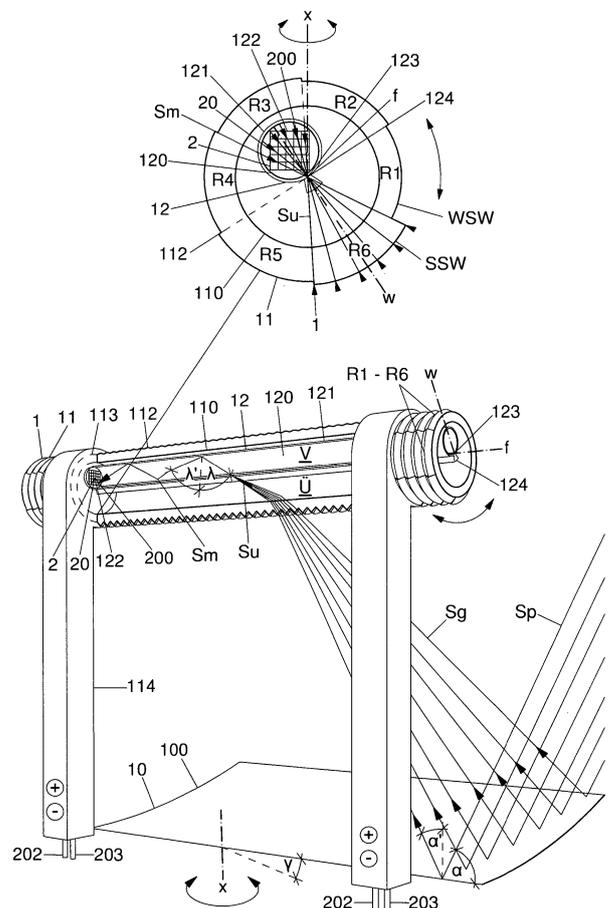
Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Grimm, Friedrich, Prof., 70376 Stuttgart, DE;
Herkommer, Alois, Prof. Dr., 73431 Aalen, DE

(72) Erfinder:
Grimm, Friedrich, Prof., 70376 Stuttgart, DE

(54) Bezeichnung: **Sonnenkollektormodul mit einer lichtleitenden Röhre**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein konzentrierendes Sonnenkollektormodul (1), das dazu ausgebildet ist, die tages- und jahreszeitlich bedingt in unterschiedlichen Höhenwinkeln (α) und in unterschiedlichen Azimutwinkeln (γ) einfallenden, annähernd parallelen Strahlen (Sp) der Sonne auf ein Empfängerelement (2) zu bündeln. Das Sonnenkollektormodul (1) besteht aus einem ersten Konzentratorelement (10), das die parallelen Strahlen (Sp) der Sonne als gebündelte Strahlen (Sg) mit einem Fokussierwinkel (α') auf eine Brennlinie (f) fokussiert und aus einem von einer um die Brennlinie (f) revolvierenden Prismenröhre (11) gebildeten Umlenkelement, das die gebündelten Strahlen (Sg) als umgelenkte Strahlen (Su) in ein zweites, innerhalb der Prismenröhre (11) angeordnetes, von einer lichtleitenden Röhre (12) gebildetes Konzentratorelement mit einer Verspiegelung (120), einer Längsseite (121) und Stirnseiten (122) eingekoppelt. Die Prismenröhre (11) ist konzentrisch und koaxial zu der Brennlinie (f) angeordnet und in eine Mehrzahl radialer Sektoren ($R1-Rn$) unterteilt und revolviert sektorweise um die Brennlinie (f). Die Verspiegelung (120) der lichtleitenden Röhre (12) wird von einem streifenförmigen Fenster (123) an ihrer Längsseite (121) unterbrochen, sodass die umgelenkten Strahlen (Su) durch das Fenster (123) in die lichtleitende Röhre (12) eingekoppelt und als mehrfach an der Verspiegelung (120) reflektierte Strahlen (Sm) mit einem Leitwinkel (λ, λ') auf das Empfängerelement (2) an einer der Stirnseiten (122) der lichtleitenden Röhre (12) konzentriert werden können.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein konzentrierendes Sonnenkollektormodul, das durch einachsige Drehung zum jeweiligen Stand der Sonne ausrichtbar ist und die tages- und jahreszeitlich bedingt in unterschiedlichen Winkeln einfallenden Sonnenstrahlen mit einer bis zu 1000-fachen Konzentration auf ein Empfängerelement konzentriert. Das Sonnenkollektormodul ist aus einem ersten Konzentratorelement, einem Umlenkelement und einem von einer lichtleitenden Röhre gebildeten, zweiten Konzentratorelement und aus einem Empfängerelement aufgebaut. Während das erste Konzentratorelement die parallel einfallenden Sonnenstrahlen auf eine Brennpunktlinie fokussiert und dabei bevorzugt aus einer verspiegelten Parabolrinne oder aus einem Fresnel-Spiegel oder aus einem Lamellenspiegel oder aus einer Anordnung totalreflektierender Prismen besteht, wird das Umlenkelement von einer koaxial zu der Brennpunktlinie des ersten Konzentratorelements angeordneten und um die Brennpunktlinie revolvierenden Prismenröhre gebildet. Das zweite Konzentratorelement besteht aus einer lichtleitenden Röhre mit einer innenseitigen Verspiegelung, die an ihrer Längsseite von einem streifenförmigen Fenster unterbrochen wird. Durch dieses Fenster werden die von dem ersten Konzentratorelement auf die Brennpunktlinie gebündelten Strahlen und die von jeweils einem radialen Sektor der Prismenröhre umgelenkten Strahlen in die lichtleitende Röhre eingekoppelt und dort als mehrfach reflektierte Strahlen mit einem stumpfen Leitwinkel auf das Empfängerelement an einer Stirnseite der lichtleitenden Röhre fokussiert. In einer bevorzugten Ausführungsvariante der Erfindung besteht das Empfängerelement aus hocheffizienten PV-Zellen, die an einer der Stirnseiten der lichtleitenden Röhre mit der Oberfläche eines Wärmeübertragers in Verbindung stehen. In einer zweiten Ausführungsvariante besteht das Empfängerelement aus einem Lichtleiter, der dazu ausgebildet ist, das konzentrierte Sonnenlicht ins Innere eines Gebäudes zu leiten, wo entweder hocheffiziente Solarzellen an der Oberfläche eines von einem Warmwasserbehälter gebildeten Wärmeübertragers, die in dem Lichtleiter geführte Lichtenergie empfangen und in Strom und Wärme wandeln oder ein Tageslichtsystem, das von dem Sonnenkollektormodul konzentrierte Sonnenlicht zu einer oder mehreren Tageslichtquellen im Inneren eines Gebäudes leitet. Die Erfindung betrifft auch ein Kollektorfeld, bei dem eine Mehrzahl von Sonnenkollektormodulen zu einer Solaranlage zusammengefasst sind.

Stand der Technik

[0002] Bekannte Konzentration-Photovoltaik-Systeme (CPV) nutzen Linsen und Spiegel zur Bündelung des Lichts auf die Solarzellen und erreichen dabei mit einer zweiachsigen Nachführung zum jeweiligen Sonnenstand einen Konzentrationsfaktor von 300–500. Mit punktfokussierenden Modulen, wie z. B. dem Flatcon- oder Concentrix-System der Firma Soitec, hat die Konzentration-Photovoltaik die Wettbewerbsfähigkeit mit herkömmlichen PV-Modulen erreicht, insbesondere in Ländern mit einer hohen Sonnenscheindauer. In Konzentration-Photovoltaik-Solarthermie-Systemen (CPVT) ist eine aktive Kühlung der PV-Zellen vorgesehen. Die kombinierte Nutzung des Energieangebots der Sonne durch Photovoltaik und Solarthermie ermöglicht Wirkungsgrade von mehr als 80%. Die aktive Kühlung der Mehrfach-Solarzellen ermöglicht außerdem einen höheren Konzentrationsfaktor des Sonnenlichts, z. B. eine 1000-fache Konzentration des Sonnenlichts durch einen zweiachsig nachgeführten Parabolspiegel. Bei einem bekannten CPVT-System ist eine Vielzahl von Solarzellen in einer Rasteranordnung auf einem mediendurchströmten Wärmetauscher im Brennpunkt eines Parabolspiegels angeordnet. Nachteilig dabei ist, dass die eingestrahlte Energie nicht gleichmäßig auf alle Solarzellen verteilt werden kann und die Übertragung der absorbierten Wärme auf ein Wärmeträgerfluid ebenfalls ungleichmäßig erfolgt. Ein wirksamer Schutz vor Korrosion und Verschmutzung für die PV-Zellen ist nicht gegeben, da sie den Einflüssen der Atmosphäre ausgesetzt sind.

[0003] Im Unterschied zu Silicium-Solarzellen bestehen Mehrfach-Solarzellen nicht nur aus einem Halbleitermaterial, sondern aus mehreren Halbleitermaterialien, die übereinander gestapelt jeweils einen anderen Wellenlängenbereich des Sonnenlichts nutzen, um Strom zu erzeugen. Die Halbleitermaterialien der Gruppen 3 und 5 des Periodensystems bestehen z. B. aus Germanium (Ge), aus Galliumarsenid (GaInAS) und aus Galliumindiumphosphid (GaInP) und werden mittels der metallorganischen Gasphasenepitaxie (MOVPE) in dünnen Schichten auf einem Wafer abgeschieden. Die Nutzung des Sonnenlichts vom blauen bis zum infraroten Spektralbereich ermöglicht einen Wirkungsgrad der Solarzellen größer als 40%. Am Fraunhofer ISE in Freiburg konnte im Labor ein Wirkungsgrad der Zellen von 46% gemessen werden. Dabei ist zu beachten, dass der Wirkungsgrad der Module bei etwa 32% und der Wirkungsgrad des gesamten CPV-Systems nur noch bei etwa 28% liegt. Damit zeichnen CPV- und CPVT-Systeme zurzeit im Vergleich zu der Silicium-basierten Photovoltaik durch einen etwa doppelt so großen Wirkungsgrad aus. Bei der Firma AZUR SPACE in Heilbronn werden ebenfalls Mehrfach-Solarzellen in unterschiedlichen Größen z. B. 3 × 3 mm, 5,5 × 5,5 mm oder 10 × 10 mm hergestellt, deren Wirkungsgrad, abhängig von der Konzentration des Sonnenlichts, ebenfalls über 40% liegt. Ein DCB-Board ist als spezielle Platine bekannt, bei der zwei dünne Kupferschichten mittels einer isolierenden Keramikschicht untereinander verbunden und gegeneinander isoliert werden. Ein DCB(direct

copper bonded)-Board (Platine) erlaubt die Ausbildung eines elektrischen Schaltelements und die Ausbildung voneinander getrennter Plus- und Minuspole zum Abgreifen des an der Solarzelle gewonnenen elektrischen Stroms. Auf einem DCB-Board kann entweder nur eine oder mehrere, z. B. in einer Reihe oder in einem Raster angeordnete PV-Zellen montiert werden. Der besondere Vorteil des DCB-Boards besteht in einer elektrisch-thermischen Verbindung über Kupfer, die eine optimale Ableitung der an den Solarzellen absorbierten Wärme ermöglicht. Ein DCB-Substrat ermöglicht die Ausbildung großflächiger metallischer Leiterbahnstrukturen, die eine Verschaltung der Solarzellen eines Kollektormoduls parallel oder in Reihe ermöglichen. Neben dem DCB-Board kann auch ein IMS-Substrat (insulated metal substrate) zur Anwendung kommen, bei dem die dem Wärmeübertrager zugewandte Schicht aus Aluminium statt aus Kupfer besteht. In beiden Fällen wird das Substrat durch eine Klebeverbindung oder eine Lötverbindung vollflächig und hohlraumfrei mit dem Wärmeübertrager verbunden, der seinerseits aus Kupfer oder Aluminium besteht. Bei einem Dense Array Modul ist eine Mehrzahl von PV-Zellen in einer lückenlosen Rasteranordnung auf ihrer strahlungsabgewandten Seite mit einem wasserdurchströmten Wärmeübertrager verbunden, der über Vor- und Rücklauf an einem Kühlkreislauf angeschlossen ist. Unter der Produktbezeichnung "ADAM" wird ein derartiges Dense Array Modul von der Firma AZUR SPACE in Heilbronn hergestellt. Bei großen Parabolspiegeln, die das Sonnenlicht auf einen Brennpunkt fokussieren, führen geringe Abweichungen der Parallelität der Sonnenstrahlen zu einer ungleichmäßigen Energieverteilung im Brennpunkt des Spiegels, was sich nachteilig auf die Leistungsbilanz und die Kühlung der PV-Zellen auswirkt. Bekannte photovoltaische und solarthermische Kollektoren benötigen eine zweifache Nachführung der Sonnenkollektormodule zu dem jeweiligen Stand der Sonne. Der damit verbundene Aufwand schränkt die Wettbewerbsfähigkeit der für die Nutzung hocheffizienter Solarzellen ausgelegten Kollektorsysteme so stark ein, dass sie gegenüber siliciumbasierten PV-Systemen ohne Konzentratortechnik nur schwer bestehen können. Die für die Stromerzeugung im kraftwerkstechnischen Maßstab erforderlichen Kollektorflächen sind erheblichen Windbelastungen ausgesetzt, sodass die Präzision der Konzentratortechnik darunter leidet. Außerdem sind die empfindlichen hocheffizienten Solarzellen gegenüber der Atmosphäre nicht vollständig abgekapselt, sodass der Wirkungsgrad im Laufe der Zeit aufgrund von Verschmutzung und Beschädigung degradiert. Zweiachsig nachgeführte PV-Systeme benötigen zudem untereinander einen Abstand, um eine gegenseitige Verschattung der Kollektorflächen zu vermeiden. Die schwedische Firma Parans stellt Tageslichtsysteme her, bei denen außerhalb einer Gebäudehülle konzentriertes Sonnenlicht über einen Lichtleiter ins Innere eines Gebäudes zu Tageslichtquellen geleitet wird. Die dafür verwendeten Linsensysteme benötigen eine aufwendige zweiachsige Nachführung zum jeweiligen Stand der Sonne.

[0004] Aus der US 7,763,840 B2 geht ein konzentrierender Sonnenkollektor hervor, bei dem das von einem Parabolspiegel oder einer Parabolrinne gebildete, erste Konzentratorelement die Sonnenstrahlen auf ein Empfängerelement mit einer definierten Längenausdehnung fokussiert. Aus der US 2008/0163922 A1 geht ein photovoltaischer und solarthermischer Sonnenkollektor hervor, bei dem die in unterschiedlichen Winkeln einfallenden Sonnenstrahlen über ein erstes und ein zweites Konzentratorelement auf PV-Zellen konzentriert werden, die von einem Wärmeträgerfluid mit Vor- und Rücklauf gekühlt werden. Dieser Sonnenkollektor benötigt eine zweiachsige Nachführung zum jeweiligen Stand der Sonne. Aus der DE 10 2011 000 455 A1 geht eine Vorrichtung zum Kühlen von PV-Zellen auf einer Platine hervor, bei der die Wärme auf ein Wärmeträgerfluid mit Vor- und Rücklauf übertragen wird. Aus der DE 27 38 667 A1 geht ein solarthermischer Kollektor mit einem Absorber hervor, dem eine Lichtfalle zugeordnet ist, die die über Spiegelflächen aufgefangene Sonnenstrahlung auf den Absorber lenkt. Aus der DE 44 30 517 A1 geht ein Parabolrinnenkollektor mit einem Absorberrohrkörper hervor, bei dem ein Wärmeträgerfluid zwischen dem Absorberrohrkörper und einem Verdampferrohr vorgesehen ist. Aus der DE 10 2011 078 300 A1 geht ein Parabolrinnenkollektor hervor, bei dem Solarzellen rückseitig mit einem thermoelektrischen Wandler verbunden sind.

[0005] Aus der DE 197 18 044 C1 geht ein solarthermischer Parabolrinnenkollektor hervor, bei dem das in einem Wärmeträgerrohr geführte Wärmeträgerfluid in zwei voneinander getrennten Kreisläufen geführt wird und ein von einem Linsenrohr gebildeter sekundärer Konzentrador vorgesehen ist. Aus der DE 197 32 481 A1 geht ein Röhrenkollektor hervor, bei dem lichtbrechende Prismen die Sonnenstrahlen auf ein Absorberrohr bündeln. Aus der US 7,813,061 B2 geht ein Tageslichtsystem hervor, bei dem über eine Mehrzahl von Sammellinsen Sonnenlicht in einen Lichtleiter eingekoppelt und ins Innere eines Gebäudes geleitet wird. Die Sammellinsen erfordern jeweils eine zweiachsige Nachführung zum jeweiligen Stand der Sonne. Aus der US 7,295,372 B2 geht ein Tageslichtsystem hervor, bei dem eine Mehrzahl konvexer und konkaver Linsen jeweils so gegeneinander verschoben wird, dass Tageslicht in eine Mehrzahl von Lichtleitern eingeleitet und ins Innere eines Gebäudes geführt wird. Aus der US 5 471 553 A ist eine lichtleitende Hohlleiter bekannt, die einen Außendurchmesser von 0,1–5 mm und einen Innendurchmesser von 0,05–4 mm aufweist. Die US 2009/0159115 A1 zeigt einen zweiachsig nachgeführten Sonnenkollektor, bei dem die an den PV-Zellen absorbierte Wärme auf ein Wärmeträgerfluid übertragen wird, wobei eine erste und eine zweite Konzentradorstufe vorgesehen sind. Bei diesem Sonnenkollektor besteht die erste Konzentradorstufe aus einem Spiegel, der aus einer Vielzahl einzel-

ner Flächen aufgebaut ist, die bei zweiachsiger Nachführung das Sonnenlicht auf eine Vielzahl von konzentrisch zur optischen Achse des Sonnenkollektors angeordneten Schalen fokussieren. Durch eine sekundäre Optik sind die Schalen dazu ausgebildet, das Sonnenlicht auf Empfängererelemente, die aus PV-Zellen oder von wärmeabsorbierenden Flächen bestehen, zu fokussieren.

[0006] Aus der DE 197 14 080 B4 geht ein Lichtleiter hervor, der eine Mikrohohlfaser aufweist, deren Oberfläche im Hohlfaser-Lumen oder auf dem Peripherieumfang verspiegelt ist. Aus der FR 2 471 564 A1 geht ein Kollektorfeld mit modular angeordneten konzentrierenden Sonnenkollektoren hervor, die an Land auf einem Drehteller und im Wasser auf einem Floß angeordnet sind und durch Drehung um eine vertikale Drehachse zur Sonne ausgerichtet werden. Aus der WO 2009/001225 A3 gehen neuartige konstruktive Lösungen für ein Kollektorfeld als künstliche rotierbare Insel hervor, die sowohl an Land als auch auf einer Wasseroberfläche realisiert werden kann. Aus der WO 2010/102408 A1 geht ein scheibenförmiger, um eine Achse rotierbarer Sonnenkollektor hervor, bei dem das in unterschiedlichen Winkeln einfallende Sonnenlicht auf eine lumineszierende Schicht trifft und als emittierte Strahlung durch Mehrfachreflexion auf ein Empfängererelement am Rand der Scheibe konzentriert wird. Aus der US 7,873,257 B2 geht ein konzentrierender Flachkollektor hervor, bei dem das Sonnenlicht von einer Vielzahl lichtlenkender Lamellen aufgenommen und auf eine lichtführende Schicht gelenkt wird, durch die das Licht in einer Vielzahl von Reflexionen auf hocheffiziente Solarzellen gelenkt wird. Aus der umfangreichen Schrift gehen sowohl starre als auch einachsige nachgeführte Flachkollektoren hervor. Die US 5 269 851 A zeigt einen rotationssymmetrisch aufgebauten Sonnenkollektor, der starr zur Sonne ausgerichtet ist mit einem Konzentratorelement, das von einem Parabolspiegel gebildet wird. Eine Vielzahl von Photovoltaikzellen ist in einer Ebene senkrecht zur optischen Achse des Parabolspiegels angeordnet. Zwischen dem Parabolspiegel und den PV-Zellen dient eine Prismenanordnung der Umlenkung unterschiedlich geneigter, an dem Parabolspiegel reflektierter Strahlenbündel auf die Solarzellen. Wasser als Wärmeträgerfluid leitet die an den Solarzellen absorbierte Wärme in einem Kreislaufsystem ab. Die Prismenstruktur ist dazu ausgebildet, die von dem Parabolspiegel in unterschiedlichen Winkeln reflektierten Strahlenbündel gleichmäßig auf die in einer Ebene angeordneten Solarzellen zu verteilen. Die US 5 882 434 A zeigt einen starr zur Sonne ausgerichteten rotationssymmetrisch aufgebauten konzentrierenden Sonnenkollektor, der ein primäres Konzentratorelement aus einem Parabolringspiegel mit einem Brennring offenbart. Ein sekundäres Konzentratorelement, das aus einer Vielzahl kegelförmiger Röhren aus Glas besteht und auf der Oberfläche eines kegelförmigen Absorberelements angeordnet ist, konzentriert die von dem Parabolringspiegel reflektierten Sonnenstrahlen auf streifenförmig an dem Kegelförmigen angeordnete Solarzellen. Zur Kühlung der Solarzellen werden die transparenten Kegelrohre von Wasser durchströmt und können so als optische Sammellinsen wirken. Eine exakte Konzentration der zentrierten Strahlenbündel auf einzelne Brennpunkte ist mit den in dieser Druckschrift beschriebenen Maßnahmen nicht möglich. Die DE 10 2014 006 126 B3 zeigt einen Röhrenkollektor mit einem Konzentratorelement aus totalreflektierenden Prismen, die bei einachsiger Nachführung das Sonnenlicht sehr präzise auf eine Brennnlinie fokussieren können. Die WO 2013/140285 A1 zeigt eine lichtleitende Platte mit Linsen und Prismen, die mit einer totalreflektierenden Schicht kombiniert sind. Die WO 2012/014088 A3 zeigt ein starr zur Sonne ausgerichtetes Sonnenkollektormodul mit einem rotationssymmetrisch ausgebildeten Lichtlenksystem, einer lichtleitenden Schicht und einer PV-Zelle im Zentrum.

Aufgabenstellung

[0007] Ausgehend von dem dargestellten Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Sonnenkollektormodul anzugeben, das mit einer einachsigen Nachführung zu den tages- und jahreszeitlich wechselnden Sonnenständen eine bis zu 1000-fache Konzentration des Sonnenlichts auf ein Empfängererelement ermöglicht. Es ist insbesondere die Aufgabe der Erfindung eine lichtleitende Glasröhre als zweite Konzentratorenstufe an einem konzentrierenden Sonnenkollektor anzugeben, um an dem Empfängererelement eine sehr hohe flächenbezogene Leistungsdichte zu realisieren. Allgemein besteht die Aufgabe der Erfindung darin, den für die Konzentration des Sonnenlichts erforderlichen Aufwand zu minimieren und eine aus gleichen Modulen aufgebaute technische Systemlösung vorzuschlagen, die einfach herzustellen ist und als Serienprodukt zu einem Kollektorfeld addiert werden kann. Diese Aufgabe wird mit den in Anspruch 1 genannten Merkmalen der Erfindung gelöst. Weitere Aufgaben und vorteilhafte Eigenschaften der Erfindung gehen aus den Unteransprüchen hervor. Das erste Konzentratorelement eines Sonnenkollektormoduls ist dazu ausgebildet, die tages- und jahreszeitlich bedingt in unterschiedlichen Winkeln einfallenden parallelen Strahlen der Sonne auf eine Brennnlinie fokussieren. In einer bevorzugten Ausführungsvariante besteht das erste Konzentratorelement aus einer verspiegelten Parabolrinne oder aus einem Fresnelspiegel. Ein Lamellenspiegel aus einer Mehrzahl parallel zueinander angeordneter Lamellen oder eine Anordnung totalreflektierender Prismen ist bei einachsiger Nachführung zum jeweiligen Sonnenstand ebenfalls geeignet die Sonnenstrahlen auf eine Brennnlinie zu fokussieren. Der besondere Vorteil der totalreflektierenden Prismen besteht darin, dass die von der Lichtbrechung an der Eintrittsseite hervorgerufene Lichtstreuung durch die Lichtbrechung an der Austrittsseite wieder

rückgängig gemacht wird, sodass eine exakte Bündelung der Sonnenstrahlen auf eine Brennlinie ermöglicht wird, ohne dass dabei, wie bei einem Spiegel, Absorptionsverluste auftreten. Die Prismen können in einem Strangziehverfahren ohne weitere Oberflächenbearbeitung aus Borosilikatglas hergestellt werden. Die Prismenröhre eines Sonnenkollektormoduls ist konzentrisch und koaxial zu der Brennlinie des ersten Konzentratorelements angeordnet und dabei in eine Mehrzahl radialer Sektoren unterteilt. Dabei weist ein erster radialer Sektor eine Zylinderfläche sowohl an der äußeren als auch an der inneren Mantelfläche der Prismenröhre auf, während alle weiteren Sektoren entweder an der äußeren oder an der inneren Mantelfläche sektorweise unterschiedlich ausgebildete und quer zu der Brennlinie des ersten Konzentratorelements angeordnete Prismen tragen. Von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang revolviert die Prismenröhre um die Brennlinie des ersten Konzentratorelements, wobei tages- und jahreszeitlich bedingt jedem Sektor eine vorbestimmte Einsatzdauer vorgegeben wird. Die Zeitspanne, in der ein radialer Sektor die auf die Brennlinie gebündelten Strahlen empfängt, hängt zum einen von der Anzahl der radialen Sektoren einer Prismenröhre und zum anderen von jeweiligen Tages- bzw. Jahreszeit ab. Der Kreislauf beginnt bei Sonnenaufgang mit dem ersten radialen Sektor und endet bei Sonnenuntergang ebenfalls mit dem ersten radialen Sektor. Bei einer Prismenröhre mit sechs radialen Sektoren z. B. ist jeder der sechs Sektoren zurzeit der Sommersonnenwende mehr als zwei Stunden im Einsatz, wobei der Umlauf der radialen Sektoren gegen den Uhrzeigersinn beginnt und sich am Nachmittag im Uhrzeigersinn zurückdreht oder umgekehrt. Eine Unterteilung der Prismenröhre in mindestens drei bis maximal zwölf radiale Sektoren erscheint sinnvoll. Eine genaue Untersuchung der Strahlführung an der Prismenröhre hat gezeigt, dass durch die Ausbildung eines Polygons mit sektorweise gleichen, konkav ausgebildeten Polygonseiten an der inneren Mantelfläche der Prismenröhre die Brechung der gebündelten Strahlen an jedem radialen Sektor so verbessert wird, dass die Anzahl der Reflexionen innerhalb der lichtleitenden Röhre auf ein Minimum reduziert wird. In diesem Fall ist die Prismenröhre in acht radiale Sektoren unterteilt. Eine Prismenröhre kann z. B. aus Borosilikatglas oder einem transparenten Kunststoff in einem Strangguss- oder einem Strangpressverfahren oder in einem Press-Blas-Verfahren hergestellt werden. Die lichtleitende Glasröhre ist innerhalb der Prismenröhre so angeordnet, dass die Brennlinie des ersten Konzentratorelements entweder direkt auf oder unmittelbar vor oder hinter dem Fenster an der Längsseite der lichtleitenden Röhre verläuft, während die Prismenröhre selbst eine koaxiale und konzentrische Stellung zu der Brennlinie des ersten Konzentratorelements einnimmt. Dabei kann die lichtleitende Röhre z. B. als beidseitig vakuumdicht verschlossene und innenverspiegelte Glasröhre hergestellt werden, bei der die Spiegelschicht von einem sich zwischen den Stirnseiten der Glasröhre erstreckenden transparenten Fenster unterbrochen wird. Die lichtleitende Röhre kann aber auch als offenes Hohlprofil aus Metall oder Kunststoff mit einer innenseitigen Verspiegelung ausgebildet werden, wobei in die Fensteröffnung ein Konzentratorelement in Form einer Linse oder eines trichterförmigen Glaskörpers mit totalreflektierenden Seitenwänden eingeklebt oder eingelötet wird. Bei einer zweischalig ausgebildeten, lichtleitenden Röhre ist der Zwischenraum mit einem Wärmeträgerfluid befüllt, um die an der Spiegelschicht absorbierte Wärme abzuleiten. Ein im Fenster eingebautes Konzentratorelement ermöglicht ein Verhältnis von 1:100 zwischen der Aperturweite z. B. einer Parabolrinne und der Aperturweite z. B. einer konvex-konkaven Linse, sodass an einem Kollektormodul unabhängig von seiner jeweiligen Größe eine bis zu 1000-fache Konzentration des Sonnenlichts auf hocheffiziente PV-Zellen ermöglicht wird. An der Stirnseite der lichtleitenden Röhre kann ein verspiegelter Krümmer vorgesehen sein, der die mehrfach reflektierten Strahlen z. B. um 90 Grad ablenkt, um sie auf ein Empfängerelement zu konzentrieren, das parallel zu der lichtleitenden Röhre ausgerichtet ist. Um bei einer Reihung der Sonnenkollektormodule die von der Mediensäule bewirkte Verschattung zu begrenzen, ermöglicht der Krümmer eine Anordnung des Empfängerelements innerhalb der Mediensäule. Alternativ zu der lichtleitenden Röhre könnte auch ein lichtleitendes stabförmiges Vollglaselement verwendet werden. Dabei erfolgt die Lichtleitung durch Totalreflexion innerhalb des stabförmigen Vollglaselements, das einen runden oder polygonalen Querschnitt hat. Aufgrund der hohen Dämpfung innerhalb eines stabförmigen Glaskörpers erweist sich jedoch die verspiegelte lichtleitende Röhre im Hinblick auf Notwendigkeit, Energieverluste so gering wie möglich zu halten, als die bessere Lösung. Das Empfängerelement besteht in einer bevorzugten Ausführungsvariante der Erfindung aus hocheffizienten PV-Zellen, die an einer Stirnseite der lichtleitenden Röhre zu einem Dense Array Modul zusammengefasst sind und an ihrer strahlungsabgewandten Seite vollflächig mit einem Wärmeübertrager in Verbindung stehen. In diesem Fall hat das Kollektormodul eine photovoltaische und eine solarthermische Komponente, wobei die PV-Zellen etwa die Hälfte der eingestrahnten Sonnenenergie in Strom wandeln, während die zweite Hälfte der Sonnenenergie von den Solarzellen absorbiert und als Wärme auf ein Wärmeträgerfluid übertragen wird. Eine Anwendung der Erfindung besteht in der Stromerzeugung in einem kraftwerkstechnischen Maßstab. Dabei ist eine Mehrzahl von Sonnenkollektormodulen längs und quer so miteinander verbunden, dass eine weitgehend flächendeckende, lückenlose Kollektorfläche gebildet wird, die über eine vertikale Drehachse zum jeweiligen Azimutwinkel der Sonne ausrichtbar ist. An Land ist diese Kollektorfläche auf einem Drehteller angeordnet, während sie auf einer Wasserfläche von einem schwimmenden Floß gebildet wird. Wird das erste Konzentratorelement von einer Parabolrinne gebildet, sind jeweils zwei Sonnenkollektormodule spiegelbildlich zueinander angeordnet, wobei an einer Mediensäule jeweils zwei Prismenröhren angeschlossen sind. Besteht das erste Konzentra-

torelement aus Anordnung von totalreflektierenden Prismen, kann auf einem Drehteller oder einem Floß einstrahlungsseitig eine lückenlose, nur durch Wartungsgänge unterbrochene Fläche aus einer Mehrzahl totalreflektierender Prismen pro Sonnenkollektormodul gebildet werden. Die lineare Anordnung der totalreflektierenden Prismen oder eines Lamellenspiegels als erstes Konzentratorelement ermöglicht den Einsatz kontinuierlich arbeitender Reinigungsroboter, um die Energieverluste durch Verschmutzung auszuschließen. Bei einem Tageslichtsystem besteht das Empfängererelement aus einem Lichtleiter, der dazu ausgebildet ist, das konzentrierte Sonnenlicht ins Innere eines Gebäudes zu leiten und über eine oder mehrere Tageslichtquellen Innenräume zu belichten. Am Ende des Lichtleiters können aber auch hocheffiziente PV-Zellen angeordnet werden, die an ihrer strahlungsabgewandten Seite mit einem Warmwasserbehälter verbunden sind, wobei die von den Solarzellen absorbierte Wärme für die Brauchwassererwärmung und die Heizungsunterstützung innerhalb eines Gebäudes genutzt wird. Schließlich kann ein Sonnenkollektormodul als Sonnenschutzlamelle an einer Gebäudehülle installiert werden und dem jeweiligen Höhenwinkel der Sonne folgen, um angrenzende Innenräume zu verschatten und dabei das eingestrahlte Sonnenlicht auf PV-Zellen zu konzentrieren oder als Tageslichtsystem in einen Lichtleiter einzukoppeln. Ein Sonnenkollektormodul mit einer standortabhängigen Leistung von 300–500 W ist z. B. 70 cm lang und 1 m breit, wobei die Prismenröhre einen Durchmesser von 120 mm und die lichtleitende Röhre einen Durchmesser von 40 mm hat. Ein Sonnenkollektormodul mit einer standortabhängigen Leistung von 3,2–5 kW ist z. B. 2,80 m lang und 4 m breit, wobei die Prismenröhre einen Durchmesser von 480 mm und die lichtleitende Röhre einen Durchmesser von 170 mm hat. Dabei sind die Abmessungen so gewählt, dass als Empfängererelement z. B. ein handelsübliches Dense Array Modul mit dem Produktnamen "ADAM" der Firma AZUR SPACE eingebaut werden kann. Die einzelnen Komponenten eines Sonnenkollektormoduls sind skalierbar. Die Untersuchung der Strahlführung hat gezeigt, dass die Anzahl der Reflexionen bei den o. g. Maßverhältnissen auf unter zehn Reflexionen reduziert werden kann, sodass unabhängig von der jeweiligen Größe eines Kollektormoduls eine bis zu 1000-fache Konzentration des Sonnenlichts auf die PV-Zellen ermöglicht wird. Das erste Konzentratorelement eines Sonnenkollektormoduls richtet sich z. B. über einen sensorgesteuerten Stellmotor zum jeweiligen Sonnenstand aus, während die jeweilige Einstellung der Prismenröhre z. B. mittels einer Zeitschaltuhr erfolgt. Grundsätzlich kann die Steuerung eines Sonnenkollektormoduls über ein Programm, in das standortspezifische astronomische Daten eingespeist sind oder unmittelbar über lichtempfindliche Sensoren erfolgen.

[0008] Die Figuren zeigen unterschiedliche Ausführungsmöglichkeiten und Anwendungen der Erfindung. Es zeigen:

[0009] Fig. 1 ein Sonnenkollektormodul mit Prismen an der äußeren Mantelfläche der Prismenröhre in der perspektivischen Ausschnittsdarstellung

[0010] Fig. 2 das Sonnenkollektormodul nach Fig. 1 in einem schematischen Querschnitt

[0011] Fig. 3 das Sonnenkollektormodul nach Fig. 1 und Fig. 2 in einem Detailquerschnitt

[0012] Fig. 4 das Sonnenkollektormodul nach Fig. 1–Fig. 3 in einem Detaillängsschnitt

[0013] Fig. 5 die Prismenröhre und die lichtleitende Röhre des Sonnenkollektormoduls nach Fig. 1–Fig. 4 in einem perspektivischen Ausschnitt mit schematischer Darstellung des Strahlengangs

[0014] Fig. 6 den Strahlengang an einem Sonnenkollektormodul nach Fig. 1–Fig. 5 zur Zeit der Sommersonnenwende in einer schematischen Übersicht

[0015] Fig. 7 den Strahlengang an einem Sonnenkollektormodul nach Fig. 1–Fig. 5 zur Zeit der Wintersonnenwende in einer schematischen Übersicht

[0016] Fig. 8 ein Sonnenkollektormodul mit Prismen an der inneren Mantelfläche der Prismenröhre in der perspektivischen Ausschnittsdarstellung

[0017] Fig. 9 das Sonnenkollektormodul nach Fig. 8 in einem schematischen Querschnitt

[0018] Fig. 10 das Sonnenkollektormodul nach Fig. 8 und Fig. 9 in einem Detailquerschnitt

[0019] Fig. 11 das Sonnenkollektormodul nach Fig. 8–Fig. 10 in einem Detaillängsschnitt

- [0020] Fig. 12 die Prismenröhre und die lichtleitende Röhre des Sonnenkollektormodul nach Fig. 8–Fig. 11 in einem perspektivischen Ausschnitt mit schematischer Darstellung des Strahlengangs
- [0021] Fig. 13 ein Sonnenkollektormodul mit Prismen an der äußeren Mantelfläche und Polygonflächen an der inneren Mantelfläche der Prismenröhre in der perspektivischen Ausschnittsdarstellung
- [0022] Fig. 14 das Sonnenkollektormodul nach Fig. 13 mit einer kreisrunden lichtleitenden Röhre in einem schematischen Querschnitt
- [0023] Fig. 15 das Sonnenkollektormodul nach Fig. 13 mit einer polygonalen lichtleitenden Röhre in einem schematischen Querschnitt
- [0024] Fig. 16 ein Sonnenkollektormodul, bei dem das erste Konzentratorelement von einem Fresnelspiegel gebildet wird, im schematischen Querschnitt
- [0025] Fig. 17 ein Sonnenkollektormodul, bei dem das erste Konzentratorelement von einer Mehrzahl totalreflektierender Prismen gebildet wird, im schematischen Querschnitt
- [0026] Fig. 18 ein Sonnenkollektormodul an einer Gebäudehülle als Tageslichtsystem in der isometrischen Übersicht
- [0027] Fig. 19 ein Sonnenkollektormodul an einer Gebäudehülle als photovoltaischer und solarthermischer Kollektor in der isometrischen Übersicht
- [0028] Fig. 20 das Empfängerelement des photovoltaischen und solarthermischen Kollektors nach Fig. 19 im Detailschnitt
- [0029] Fig. 21 zwei Sonnenkollektormodule als Sonnenschutz und als Tageslichtsystem an einer Gebäudehülle in einem schematischen Vertikalschnitt
- [0030] Fig. 22 die Anordnung von vier Sonnenkollektormodulen mit Parabolrinnen aus Faserzement in der perspektivischen Ausschnittsdarstellung
- [0031] Fig. 23 ein Kollektorfeld mit einer Mehrzahl von Sonnenkollektormodulen mit Parabolrinnen aus Faserzement auf einem Drehteller in der perspektivischen Übersicht
- [0032] Fig. 24 den Ausschnitt eines Kollektorfelds mit Lamellenspiegeln jeweils als erstes Konzentratorelement in der perspektivischen Darstellung
- [0033] Fig. 25 vier Sonnenkollektormodule jeweils mit einem Lamellenspiegel als erstes Konzentratorelement in einem schematischen Querschnitt
- [0034] Fig. 26 ein Kollektorfeld mit einer Mehrzahl von Sonnenkollektormodulen nach Fig. 24 und Fig. 25 auf einem Drehteller in der perspektivischen Übersicht
- [0035] Fig. 27 vier Sonnenkollektormodule jeweils mit einer Anordnung totalreflektierender Prismen als erstes Konzentratorelement in einem schematischen Querschnitt
- [0036] Fig. 28 den Ausschnitt eines Kollektorfelds mit einer Anordnung totalreflektierender Prismen als erstes Konzentratorelement in einer perspektivischen Darstellung
- [0037] Fig. 29 den Ausschnitt eines Sonnenkollektormoduls mit einer zweischalig aufgebauten, lichtleitenden Röhre in einer perspektivischen Darstellung
- [0038] Fig. 30 das Sonnenkollektormodul nach Fig. 29 in einem schematischen Querschnitt
- [0039] Fig. 1 zeigt ein Sonnenkollektormodul **1** bestehend aus einem von einer Parabolrinne **100** gebildeten, ersten Konzentratorelement **10**, einer Prismenröhre **11** und einer lichtleitenden Röhre **12** sowie einem Empfängerelement **2** und einer vertikalen Drehachse x für die Ausrichtung zum jeweiligen Azimutwinkel γ der Sonne. Die in unterschiedlichen Höhenwinkeln α einfallenden, parallelen Strahlen S_p der Sonne werden an der

Parabolrinne **100** reflektiert und als gebündelte Strahlen S_g mit einem Fokussierwinkel α' auf die Brennpunktlinie f fokussiert. Konzentrisch und coaxial zur der Brennpunktlinie f ist eine in sechs radiale Sektoren R1–R6 unterteilte Prismenröhre **11** angeordnet, deren äußere Mantelfläche an fünf Sektoren R2–R6 jeweils unterschiedliche Prismen **112** trägt und deren erster Sektor R1 sowohl an der inneren als auch an der äußeren Mantelfläche als Zylinderfläche **110** ausgebildet ist. Über die gesamte Dauer der Sonneneinstrahlung von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang empfangen die sechs radialen Sektoren R1–R6 der Prismenröhre **11** jeweils für eine bestimmte Zeitdauer die gebündelten Strahlen S_g und sind dazu ausgebildet, die gebündelten Strahlen S_g durch zweifache Brechung umzulenken und als umgelenkte Strahlen S_u durch das Fenster **123** mit vorgeschalteter Linse **124** in die lichtleitende Röhre **12** einzukoppeln, sodass die Anzahl der Reflexionen mit dem Leitwinkelpaar λ, λ' an der Verspiegelung **120** der lichtleitenden Röhre **12** auf unter zehn Reflexionen reduziert werden kann. Die mehrfach reflektierten Strahlen S_m werden auf ein von PV-Zellen **20** gebildetes Dense Array Modul **200** als Empfängerelement **2** an der Stirnseite **122** der lichtleitenden Röhre **12** konzentriert. Auf ihrer strahlungsabgewandten Seite stehen die PV-Zellen **20** mit einem Wärmeübertrager **201** in Verbindung. Der von den PV-Zellen **20** gewonnene Strom wird über eine Mediensäule **114** mit Anode (+) und Kathode (–) abgeleitet, während die von den PV-Zellen **20** absorbierte Wärme über Vor- und Rücklauf **202, 203** auf ein in dem Wärmeübertrager **201** zirkulierendes Wärmeträgerfluid **204** übertragen wird. An jeweils zwei Mediensäulen **114** ist die Prismenröhre **11** eines Sonnenkollektormoduls **1** revolvierbar an Drehlagern **113** gelagert und wechselt die radialen Sektoren R1–R6 entweder sensorgesteuert oder mittels einer Zeitschaltuhr.

[0040] Fig. 2 zeigt eine Übersicht als Vertikalschnitt durch das Sonnenkollektormodul **1** nach Fig. 1 mit einem von einer Parabolrinne **100** gebildeten ersten Konzentratorelement **10** und einer in sechs radiale Sektoren R1–R6 unterteilten Prismenröhre **11** sowie der lichtleitenden Röhre **12**, die an ihrer Innenseite eine Verspiegelung **120** trägt und an deren Stirnseite **122** ein von PV-Zellen **20** in einem Dense Array Modul **200** gebildetes Empfängerelement **2** angeordnet ist. Die parallelen Strahlen S_p der Sonne werden an der Parabolrinne **100** reflektiert und als gebündelte Strahlen S_g auf die Brennpunktlinie f der Parabolrinne **100** fokussiert. Über das Fenster **123** mit einer vorgeschalteten konvex-konkaven Linse **124** werden die gebündelten Strahlen S_g in die lichtleitende Röhre **12** eingekoppelt, wo sie als mehrfach reflektierte Strahlen S_m auf das Empfängerelement **2** an der Stirnseite **122** der lichtleitenden Röhre **12** geleitet werden. Von Sonnenaufgang bis mittags dreht sich die Prismenröhre **11** mit ihren sechs radialen Sektoren R1–R6 gegen den Uhrzeigersinn, während sie sich von mittags bis Sonnenuntergang im Uhrzeigersinn zurückdreht. Dabei wird jeder radiale Sektor R1–R6 für eine bestimmte Zeit mit seiner Winkelhalbierenden w auf die gebündelten Strahlen S_g ausgerichtet.

[0041] Fig. 3 zeigt einen Detailschnitt durch das Sonnenkollektormodul **1** nach Fig. 1 und Fig. 2 als Vertikalschnitt durch die Prismenröhre **11** und die lichtleitende Röhre **12**. Der mit seiner Winkelhalbierenden w auf die gebündelten Strahlen S_g ausgerichtete radiale Sektor R6 zeigt eine Betriebsphase des Sonnenkollektormoduls **1** zur Zeit der Sommersonnenwende SSW mit steil einfallenden gebündelten Strahlen S_g . An dem radialen Sektor R1, dessen innere und äußere Oberfläche von einer Zylinderfläche **110** gebildet wird, beginnt und endet der revolvierende Umlauf der Prismenröhre **11** jeweils mit dem Sonnenaufgang und dem Sonnenuntergang. Zur Zeit der Wintersonnenwende WSW kommt der radiale Sektor R1 am längsten zum Einsatz.

[0042] Fig. 4 zeigt einen Detailschnitt durch das Sonnenkollektormodul **1** nach Fig. 1–Fig. 3 als Längsschnitt durch die Prismenröhre **11** und die lichtleitende Röhre **12**. Die gebündelten Strahlen S_g werden an den Prismen **112** jeweils mit einem Einfallswinkel β, δ und einem Ausfallswinkel β', δ' zweifach gebrochen und als umgelenkte Strahlen S_u durch das von einer Linse **124** als Konzentratorelement gebildete Fenster **123** in die lichtleitende Röhre **12** eingekoppelt und innerhalb der lichtleitenden Röhre **12** als mehrfach reflektierte Strahlen S_m auf das Empfängerelement **2** an der Stirnseite **122** der lichtleitenden Röhre **12** konzentriert, wobei das Leitwinkelpaar λ, λ' einen stumpfen Winkel bildet.

[0043] Fig. 5 zeigt die Prismenröhre **11** und die lichtleitende Röhre **12** des Sonnenkollektormoduls **1** nach Fig. 1–Fig. 4 in einer Ausschnittsperspektive mit räumlicher Darstellung des Strahlengangs. Die Apertur des Fensters **123** wird durch ein Konzentratorelement in Form einer konvex-konkaven Linse **124** erweitert, sodass ein Verhältnis von 1:100 zwischen der Apertur des Fensters **123** und der in den Fig. 1 und Fig. 2 dargestellten Parabolrinne **100** ermöglicht wird.

[0044] Fig. 6 zeigt winkelgetreu und schematisch den Strahlengang an einem Sonnenkollektormodul **1** nach Fig. 1–Fig. 5 mit dem steilsten Höhenwinkel α zur Zeit der Sommersonnenwende SSW. Die parallelen Strahlen S_p der Sonne fallen mit einem Höhenwinkel α von ca. 65 Grad ein und werden an dem von einer Parabolrinne **100** gebildeten ersten Konzentratorelement **10** mit einem Fokussierwinkel α' reflektiert und als gebündelte Strahlen S_g auf ein Prisma **112** des radialen Sektors R6 fokussiert. An dem Prisma **112** werden die gebündelten Strahlen S_g jeweils mit Einfallswinkeln β, δ und Ausfallswinkeln β', δ' zweifach gebrochen, sodass sie als

umgelenkte Strahlen S_u durch das Fenster **123** in die lichtleitende Röhre **12** eingekoppelt und als mehrfach reflektierte Strahlen S_m mit einem Leitwinkelpaar λ, λ' , das jeweils einen stumpfen Winkel aufweist, auf das von einem Dense Array Modul **200** gebildete Empfängerelement **2** an der Stirnseite **122** der lichtleitenden Röhre **12** geleitet werden. Der stumpfe Winkel des Leitwinkelpaars λ, λ' bewirkt eine Begrenzung der Anzahl von Reflexionen innerhalb der lichtleitenden Röhre **12** auf weniger als zehn. **Fig. 7** zeigt winkelgetreu und schematisch den Strahlengang an dem radialen Sektor R1 des Sonnenkollektormoduls **1** nach **Fig. 1–Fig. 5**. Der dargestellte flache Höhenwinkel α tritt täglich nach Sonnenaufgang und vor Sonnenuntergang auf, wobei die Einstrahlung in einem flachen Höhenwinkel α zur Zeit der Wintersonnenwende WSW am längsten dauert. Die parallelen Strahlen S_p der Sonne fallen mit einem Höhenwinkel α von etwa 20 Grad ein und werden an dem von der Parabolrinne **100** gebildeten ersten Konzentratorelement **10** mit einem Fokussierwinkel α' reflektiert und als gebündelte Strahlen S_g auf den radialen Sektor R1 der Prismenröhre **11**, dessen äußere und innere Oberfläche eine Zylinderfläche **110** aufweist, fokussiert und mit einem Einfallswinkel β, δ und einem Ausfallswinkel β', δ' als umgelenkte Strahlen S_u in die lichtleitende Röhre **12** eingekoppelt und als mehrfach reflektierte Strahlen S_m mit dem Leitwinkelpaar λ, λ' auf das von einem Dense Array Modul **200** gebildeten Empfängerelement **2** an der Stirnseite **122** der lichtleitenden Röhre **12** geleitet.

[0045] **Fig. 8** zeigt die Verbindung von zwei Sonnenkollektormodulen **1**, die jeweils über ein Drehlager **113** an eine Mediensäule **114** angeschlossen sind, in der perspektivischen Ausschnittsdarstellung. Der Aufbau des Sonnenkollektormoduls **1** entspricht im Wesentlichen dem in den **Fig. 1–Fig. 7** dargestellten Ausführungsbeispiel mit dem Unterschied, dass hier die Prismen **112** auf der Innenseite der Prismenröhre **11** angeordnet sind und das Fenster **123** in der lichtleitenden Röhre **12** von einer Unterbrechung der Verspiegelung **120** auf der Innenseite der Glasröhre gebildet wird. Ein Vakuum \underline{V} innerhalb der lichtleitenden Röhre **12** stellt sicher, dass die PV-Zellen **20** an der Stirnseite **122** der lichtleitenden Röhre **12** vor Verschmutzung und Beschädigung geschützt sind. Ein Überdruck $\underline{Ü}$ zwischen der Prismenröhre **11** und der lichtleitenden Röhre **12** schützt die Prismen **112** bzw. die Zylinderfläche **110** in den radialen Sektoren R1–R6 vor Verschmutzung. Die PV-Zellen **20** sind rückseitig mit einem Wärmeübertrager **201** verbunden und an eine Wasserkühlung mit Vorlauf **202** und Rücklauf **203** angeschlossen, die zusammen mit der Anode (+) und der Kathode (–) der Stromleitung in die Mediensäule **114** integriert sind.

[0046] **Fig. 9** zeigt ein Sonnenkollektormodul **1** nach **Fig. 8** in einem schematischen Vertikalschnitt, wobei der radiale Sektor R6 der Prismenröhre **11** mit seiner Winkelhalbierenden w zu den von der Parabolrinne **100** gebündelten Strahlen S_g ausgerichtet ist.

[0047] **Fig. 10** zeigt einen Detailschnitt durch ein Sonnenkollektormodul **1** nach **Fig. 8** und **Fig. 9** als Vertikalschnitt durch die Prismenröhre **11** und die lichtleitende Röhre **12**. Wie in **Fig. 9** gezeigt, ist der radiale Sektor R6 mit seiner Winkelhalbierenden w zu den gebündelten Strahlen S_g ausgerichtet. Über das Fenster **123** in der lichtleitenden Röhre **12** werden die von den Prismen **112** umgelenkten Strahlen S_u in die lichtleitenden Röhre **12** eingekoppelt.

[0048] **Fig. 11** zeigt einen Detailschnitt durch ein Sonnenkollektormodul **1** nach **Fig. 8–Fig. 10** als Längsschnitt durch die Prismenröhre **11** und die lichtleitende Röhre **12**. Der Längsschnitt ist entlang der Winkelhalbierenden w des radialen Sektors R6, der für die mit einem steilen Fokussierwinkel α' einfallenden gebündelten Strahlen S_g zur Zeit der Sommersonnenwende SSW ausgelegt ist, geführt und zeigt die Abflachung der an den Prismen **112** zweifach gebrochenen, gebündelten Strahlen S_g jeweils mit Einfallswinkeln β, δ und Ausfallswinkeln β', δ' , die als umgelenkte Strahlen S_u in die lichtleitende Röhre **12** eingekoppelt und dort mit dem Leitwinkelpaar λ, λ' auf das von PV-Zellen **20** an der Stirnseite **122** der lichtleitenden Röhre **12** angeordnete Empfängerelement **2** konzentriert werden. Das Vakuum \underline{V} in der lichtleitenden Röhre **12** schützt die PV-Zellen **20** vor Verschmutzung und Beschädigung, während der Überdruck $\underline{Ü}$ innerhalb der Prismenröhre **11** die innenliegenden Prismen **112** schützt.

[0049] **Fig. 12** zeigt die Prismenröhre **11** und die lichtleitende Röhre **12** eines Sonnenkollektormoduls **1** nach **Fig. 8–Fig. 11** in einer Ausschnittsperspektive mit räumlicher Darstellung des Strahlengangs.

[0050] **Fig. 13** zeigt die Verbindung von zwei Sonnenkollektormodulen **1**, die jeweils über ein Drehlager **113** an eine Mediensäule **114** angeschlossen sind, in der perspektivischen Ausschnittsdarstellung. Das Sonnenkollektormodul **1** besteht aus einem von einer Parabolrinne **100** gebildeten ersten Konzentratorelement **10**, einer Prismenröhre **11**, die in acht radiale Sektoren R1–R8 unterteilt ist, und aus einer lichtleitenden Röhre **12** mit einem von einer Linse **124** gebildeten Fenster **123** an ihrer Längsseite **121**. Die Sektoren R2–R8 der Prismenröhre **11** tragen jeweils an der Außenseite unterschiedliche Prismen **112**, während die Innenseite der Prismenröhre **11** acht Polygonseiten **111** aufweist und die äußere Oberfläche des Sektors R1 als Zylinderflä-

che **110** ausgebildet ist. Die parallelen Strahlen S_p der Sonne treffen mit einem steilen Höhenwinkel α auf die Parabolrinne **100** und werden als gebündelte Strahlen S_g mit einem Fokussierwinkel α' auf die Brennpunktlinie f der Parabolrinne **100** fokussiert. Zwischen der Parabolrinne **100** und dem Fenster **123** an der Längsseite **121** der lichtleitenden Röhre **12** ist die revolvierende Prismenröhre **11** mit ihren acht radialen Sektoren R_1 – R_8 angeordnet. Die Zeichnung zeigt die Wirkungsweise des radialen Sektors R_8 , dessen Prismen **112** die gebündelten Strahlen S_g durch zweifache Brechung umlenken und als umgelenkte Strahlen S_u durch das Fenster **123** die lichtleitende Röhre **12** einkoppeln, wo sie als mehrfach reflektierte Strahlen S_m mit dem Leitwinkelpaar λ, λ' mit nur wenigen Reflexionen auf das von PV-Zellen **20** gebildete Empfängerelement **2** an der Stirnseite **122** der lichtleitenden Röhre **12** geleitet werden. Eine genaue Untersuchung des Strahlengangs hat gezeigt, dass die Anzahl der Reflexionen der mehrfach reflektierten Strahlen S_m innerhalb der lichtleitenden Röhre **12** durch die Kombination von Polygonseiten **111** an der Innenseite und Prismen **112** an der Außenseite der Prismenröhre **11** im Vergleich zu dem in **Fig. 1–Fig. 12** dargestellten Ausführungsbeispiel weiter reduziert werden kann. Die PV-Zellen **20** sind rückseitig mit einem Wärmeübertrager **201** verbunden und an eine Wasserkühlung mit Vorlauf **202** und Rücklauf **203** angeschlossen, die zusammen mit der Anode (+) und der Kathode (–) der Stromleitung in die Mediensäule **114** integriert sind.

[0051] **Fig. 14** zeigt das Sonnenkollektormodul **1** nach **Fig. 13** im Vertikalschnitt durch die Prismenröhre **11** und die lichtleitende Röhre **12**. Der radiale Sektor R_8 ist mit seiner Winkelhalbierenden w zu den gebündelten Strahlen S_g ausgerichtet. Das Fenster **123** in der lichtleitenden Röhre **12** wird von einer konvex-konkaven Linse **124** gebildet, die als Konzentratorelement die umgelenkten Strahlen S_u in die lichtleitende Röhre **12** einkoppelt.

[0052] **Fig. 15** zeigt den Detailschnitt des Sonnenkollektormoduls **1** nach **Fig. 13** und **Fig. 14** mit einer polygonal ausgebildeten, lichtleitenden Röhre **12**, bei der das Fenster **123** eine Linse **124** als plankonvexe Linse aufweist. Die lichtleitende Röhre **12** kann aus Glas oder Metall hergestellt werden.

[0053] **Fig. 16** zeigt den schematischen Querschnitt durch ein Sonnenkollektormodul **1**, bei dem das erste Konzentratorelement **10** von einem Fresnelspiegel **101** gebildet wird und dessen weitere Komponenten, wie Prismenröhre **11**, lichtleitende Röhre **12** und Empfängerelement **2** im Wesentlichen dem in **Fig. 8** und **Fig. 9** beschriebenen Ausführungsbeispiel entsprechen.

[0054] **Fig. 17** zeigt ein Sonnenkollektormodul **1** mit einer vertikalen Drehachse x , bei dem das erste Konzentratorelement **10** von einer Mehrzahl totalreflektierender Prismen **103** gebildet wird und dessen weitere Komponenten, wie Prismenröhre **11**, lichtleitende Röhre **12** und Empfängerelement **2** im Wesentlichen dem in **Fig. 1–Fig. 7** beschriebenen Ausführungsbeispiel entsprechen.

[0055] **Fig. 18** zeigt ein Sonnenkollektormodul **1** mit einer vertikalen Drehachse x , einem aus einer Parabolrinne **100** bestehenden ersten Konzentratorelement **10**, einer Prismenröhre **11**, einer lichtleitenden Röhre **12** und einem Empfängerelement **2**, das von einem Lichtleiter **21** gebildet wird. Die Konzentration der parallelen Strahlen S_p der Sonne auf das Empfängerelement **2** entspricht auch bei diesem Ausführungsbeispiel der in **Fig. 1–Fig. 7** beschriebenen Konzentratortechnik. Der Lichtleiter **21** als Empfängerelement **2** an der Stirnseite **122** der lichtleitenden Röhre **12** bildet ein Tageslichtsystem zur Versorgung von Räumen im Inneren des Gebäudes **23** mit einer oder mehreren Tageslichtquellen **233**. Der Lichtleiter **21** ist entweder als Faserbündel **210** oder als ein mit einer lichtleitenden Flüssigkeit befüllter Schlauch **211** ausgebildet.

[0056] **Fig. 19** zeigt ein Sonnenkollektormodul **1** als photovoltaischen und thermischen Sonnenkollektor, das in seinem Aufbau dem in **Fig. 18** beschriebenen Ausführungsbeispiel entspricht, bei dem der Lichtleiter **21** das Empfängerelement **2** des Sonnenkollektormoduls **1** bildet und konzentriertes Sonnenlicht auf ein Dense Array Modul **200** aus PV-Zellen **20** leitet, die innerhalb eines Gebäudes **23** an einen Warmwasserbehälter **206** mit Vor- und Rücklauf **202, 203** angeschlossen sind.

[0057] **Fig. 20** zeigt den Warmwasserbehälter **206** nach **Fig. 19** in einem Detailschnitt durch den Wärmeübertrager **201** an der Schnittstelle zwischen den PV-Zellen **20** und dem Lichtleiter **21**, der das von dem in **Fig. 19** gezeigten Sonnenkollektormodul **1** konzentrierte Sonnenlicht über eine Linse **124** auf die PV-Zellen **20** leitet. Der von einem Wärmeträgerfluid **204** in einem geschlossenen Kreislauf durchströmte Wärmeübertrager **201** wird von einer Heizwendel **205** im Inneren des wärmeisolierten Warmwasserbehälters **206** gebildet. Das Dense Array Modul **200** ist mit seiner strahlungsabgewandten Seite vollflächig mit einer Erweiterung der Heizwendel **205** verbunden, sodass die an den PV-Zellen **20** absorbierte Wärme auf das in der Heizwendel zirkulierende Wärmeträgerfluid **204** übertragen wird. Das Anschlussdetail zwischen dem Warmwasserbehälter **206** und dem Lichtleiter **21** zeigt eine Gewindebuchse mit Elektroanschluss für Anode (+) und Kathode (–) und

den Wärmeübertrager **201**, der etwa die Hälfte der von den PV-Zellen **20** absorbierten Energie auf das in der Heizwendel **205** zirkulierende Wärmeträgerfluid **204** innerhalb des Warmwasserbehälters **206** überträgt.

[0058] Fig. 21 zeigt den Vertikalschnitt durch eine Gebäudehülle **230**, bei der die Sonnenkollektormodule **1** als Sonnenschutzlamellen **231** ausgebildet sind und das konzentrierte Sonnenlicht in einem Tageslichtsystem über Tageslichtquellen **233** im Inneren des Gebäudes **23** verteilen. Das Sonnenkollektormodul **1** folgt mit einer horizontalen Drehachse x über einen nicht näher bezeichneten Spindeltrieb dem jeweiligen Höhenwinkel α der Sonne und entspricht in seiner optischen Wirkungsweise dem in Fig. 1–Fig. 7 beschriebenen Ausführungsbeispiel. Das Sonnenkollektormodul **1** als Sonnenschutzlamelle **231** kann alternativ auch als photovoltaischer und solarthermischer Kollektor ausgebildet werden und dient in diesem Fall der Stromversorgung und der thermischen Konditionierung des Gebäudes **23** einschließlich der Möglichkeit, den Wärmeüberschuss über einen Adsorptions- oder Absorptionswärmetauscher zur Kühlung des Gebäudes zu nutzen.

[0059] Fig. 22 zeigt die parallele Verkettung von vier Sonnenkollektormodulen **1**, bei denen das erste Konzentratorelement **10** von einer Parabolrinne **100** gebildet wird und die als photovoltaische und solarthermische Sonnenkollektormodule **1** in ihrem Aufbau den in den Fig. 1–Fig. 16 beschriebenen Ausführungsbeispielen entsprechen. Die dargestellte Anordnung der Sonnenkollektormodule **1** dient, wie auch in Fig. 22 gezeigt, der Stromerzeugung im kraftwerkstechnischen Maßstab. Im Sinne einer wirtschaftlichen Herstellung der Komponenten sind die Parabolrinnen **100** aus Stahl- bzw. Faserbetonfertigteilen mit einem Spiegel aus hochreflektierendem Aluminium oder aus Dünnglaselementen hergestellt und zeigen einschließlich der Mediensäulen **114**, an die jeweils zwei Prismenröhren **11** angeschlossen sind, einen standardisierten Aufbau.

[0060] Fig. 23 zeigt ein Kollektorfeld **22** mit einer Mehrzahl von Sonnenkollektormodulen **1**, die in ihrer Anordnung dem in Fig. 21 gezeigten Schema entsprechen und an Land auf einem Drehteller **220** und im Wasser auf einem Floß **221** angeordnet werden und durch Drehung um die vertikale Drehachse x dem jeweiligen Azimutwinkel γ der Sonne folgen. Mit der hier dargestellten einachsigen Nachführung um die vertikale Drehachse x wird jeweils an einem Sonnenkollektormodul **1**, dessen Konzentratortechnik den in Fig. 1–Fig. 16 beschriebenen Ausführungsbeispielen entspricht, eine bis zu 1000-fache Konzentration des Sonnenlichts auf hocheffiziente PV-Zellen **20** erreicht. Nicht näher bezeichnete Wartungsgänge zwischen den Parabolrinnen **100** tragen zum wirtschaftlichen Betrieb der nur einachsigen nachgeführten Sonnenkollektormodule **1** bei.

[0061] Fig. 24 zeigt den Ausschnitt eines Kollektorfelds **22** mit vier Sonnenkollektormodulen **1**, die in ihrem Aufbau bzgl. der Prismenröhre **11**, der lichtleitenden Röhre **12** und dem Empfängererelement dem in Fig. 13 und Fig. 14 beschriebenen Ausführungsbeispiel entspricht. Das erste Konzentratorelement **10** wird hier von einem Lamellenspiegel **102** gebildet. Auf Stützen **222**, Hauptträgern **223** und Nebenträgern **224** ist jeweils eine Mehrzahl von verspiegelten Glaslamellen in einer kammartigen Struktur so angeordnet, dass bei Nachführung um die vertikale Drehachse x die parallelen Strahlen S_p der Sonne, wie in Fig. 25 gezeigt, auf die Brennnlinie f des Lamellenspiegels **102** fokussiert werden. Die Mediensäulen **114** dienen jeweils der Ableitung des an den PV-Zellen **20** gewonnenen elektrischen Stroms über Anode (+) und Kathode (–) und der von den PV-Zellen **20** absorbierten Wärme durch ein Wärmeträgerfluid **204** mit Vorlauf **202** und Rücklauf **203**.

[0062] Fig. 25 zeigt die Reihung der Sonnenkollektormodule **1** nach Fig. 24 als vertikaler Querschnitt mit Darstellung der Fokussierung der parallelen Strahlen S_p als gebündelte Strahlen S_g auf die Brennnlinie f der vier Lamellenspiegel **102**. Die einzelnen Lamellen eines Lamellenspiegels **102** bestehen aus streifenförmigen Glasplatten, die in einer Kammstruktur auf die Nebenträger **224** des von Stützen **222** und Hauptträgern **223** gebildeten Tragwerks des Kollektorfelds **22** aufgesteckt werden. Unter den Lamellenspiegeln **102** wird ein Raum für Wartung und Inspektion des auf einem Drehteller **220** schwimmend gelagerten Kollektorfelds **22** gebildet.

[0063] Fig. 26 zeigt ein modular aufgebautes Kollektorfeld **22**, das an Land auf einem Drehteller **220** und auf einer Wasserfläche auf einem Floß **221** gelagert ist, in einer schematischen perspektivischen Aufsicht mit Darstellung des von Stützen **222**, Hauptträgern **223** und Nebenträgern **224** gebildeten Tragwerks für die Lamellenspiegel **102** entsprechend Fig. 24 und Fig. 25.

[0064] Fig. 27 zeigt den Ausschnitt eines Kollektorfelds **22** nach Fig. 26 mit vier Sonnenkollektormodulen **1**, deren erstes Konzentratorelement **10** aus einer Anordnung totalreflektierender Prismen **103** besteht.

[0065] Fig. 28 zeigt die totalreflektierenden Prismen **103** nach Fig. 27 auf einem von Stützen **222**, Hauptträgern **223** und Nebenträgern **224** gebildeten Tragwerk in einem perspektivischen Ausschnitt mit acht jeweils an Mediensäulen **114** gelagerten Prismenröhren **11**. Der große Vorteil der totalreflektierenden Prismen **103** im

Vergleich zu dem in **Fig. 24–Fig. 26** gezeigten Lamellenspiegel **102** besteht darin, dass die totalreflektierenden Prismen **103** die parallelen Strahlen S_p der Sonne verlustfrei auf die Brennpunkte f der Sonnenkollektormodule **1** fokussieren können, ohne dass dabei, wie bei einem Spiegel, mit einem Absorptionsverlust von 2% der Sonnenenergie gerechnet werden muss. Die totalreflektierenden Prismen **103** können in einem kontinuierlichen Ziehverfahren aus Borosilikatglas oberflächenfertig hergestellt werden. Ein nicht näher dargestelltes, durch Überdruck gestütztes Foliendach schützt das Kollektorfeld **22** und die totalreflektierenden Prismen **103** vor Verschmutzung. Alternativ kann ein Roboter zur Reinigung der Prismenoberflächen eingesetzt werden.

[0066] **Fig. 29** zeigt die Prismenröhre **11** und die lichtleitende Röhre **12** sowie eine Teilansicht der Mediensäule **114** eines Sonnenkollektormoduls **1** als photovoltaisches und solarthermisches Modul, bei dem eine Mehrzahl von PV-Zellen **20** auf einem wassergekühlten Wärmeübertrager **201** mit Vor- und Rücklauf **202, 203** montiert ist. Ein derartiges Dense Array Modul **200** mit einer elektrischen Leistung von 3,20 kW wird von der Firma AZUR SPACE mit der Produktbezeichnung "ADAM" als Empfängerelement für einen zweiachsig nachgeführten Parabolspiegel hergestellt und vertrieben. Um an dem erfindungsgemäßen Sonnenkollektormodul **1** mit einachsiger Nachführung um die Drehachse x eine 700-fache Konzentration des Sonnenlichts zu ermöglichen, ist die Parabolrinne 4 m breit und 2,80 m lang. Die Länge von 2,80 m bezieht sich auch auf die Prismenröhre **11** mit einem Außendurchmesser von 480 mm und die lichtleitende Röhre **12** mit einem Durchmesser von 170 mm. Die lichtleitende Röhre **12** besteht aus einem zweischaligen Kupferrohr, bei dem der Zwischenraum mit einem Wärmeträgerfluid **204** beaufschlagt und an den Kühlkreislauf des Dense Array Moduls **200** mit Vor- und Rücklauf **202, 203** angeschlossen ist. Das Fenster **123** wird von einer konvex-konkaven Linse **124** als Konzentratorelement gebildet, die mit der zweischaligen Röhre vakuumdicht verlötet ist, sodass das Innere der lichtleitenden Röhre **12** durch ein Vakuum \underline{V} von der Atmosphäre getrennt ist. Ein Überdruck $\underline{Ü}$ zwischen der Prismenröhre **11**, die mit ihren sechs radialen Sektoren R_1 – R_6 mit innenliegenden Prismen **112** dem in den **Fig. 8–Fig. 12** beschriebenen Ausführungsbeispiel entspricht, schützt die Prismen **112** vor Verschmutzung. Dieses Ausführungsbeispiel steht für die Skalierbarkeit der erfindungsgemäßen Anordnung von einem ersten Konzentratorelement **10**, einer Prismenröhre **11** und einer lichtleitenden Röhre **12** sowie dem von einer Mehrzahl von PV-Zelle **20** gebildeten Empfängerelement **2**. Dabei weist die Apertur der Parabolrinne und die Apertur der Linse **124** ein Verhältnis von 1:100 auf.

[0067] **Fig. 30** zeigt das Sonnenkollektormodul **1** mit einer Leistung von 3,20 kW nach **Fig. 29** mit einem als Dense Array Modul **200** aus PV-Zellen **20** gebildeten Empfängerelement **2** an der Stirnseite **122** der lichtleitenden Röhre **12**. Die von den PV-Zellen **20** absorbierte Wärme wird von einem Wärmeübertrager **201** auf ein Wärmeträgerfluid **204** übertragen, wobei der Zwischenraum der zweischalig aufgebauten, lichtleitenden Röhre **12** den Vorlauf **202** für das Wärmeträgerfluid **204** bildet und der Rücklauf **203** an das Dense Array Modul **200** angeschlossen ist. Die in sechs radiale Sektoren R_1 – R_6 unterteilte Prismenröhre **11** ist konzentrisch zu der Brennpunktlinie f angeordnet und revolviert um die Brennpunktlinie f in einem Drehlager **113** an der Mediensäule **114**. Über Anode (+) und Kathode (–) wird der an den PV-Zellen **20** gewonnene Strom abgeleitet.

Bezugszeichenübersicht

Sonnenkollektormodul	1	Empfängerelement	2
Drehachse	x	PV-Zellen	20
Erstes Konzentratorelement	10	Dense Array Modul	200
Parabolrinne	100	Wärmeübertrager	201
Fresnelspiegel	101	Vorlauf	202
Lamellenspiegel	102	Rücklauf	203
Totalreflektierende Prismen	103	Wärmeträgerfluid	204
Brennpunktlinie	f	Heizwendel	205
Parallele Strahlen	S_p	Warmwasserbehälter	206
Gebündelte Strahlen	S_g	Anode	(+)
Prismenröhre	11	Kathode	(–)
Zylinderfläche	110	Lichtleiter	21
Polygonseite	111	Faserbündel	210
Prismen	112	Schlauch	211

Drehlager	113	Kollektorfeld	22
Mediensäule	114	Drehteller	220
Radialer Sektor	R1–Rn	Floß	221
Winkelhalbierende	w	Stütze	222
Umgelenkte Strahlen	Su	Hauptträger	223
Lichtleitende Röhre	12	Nebenträger	224
Verspiegelung	120	Gebäude	23
Längsseite	121	Gebäudehülle	230
Stirnseite	122	Sonnenschutzlamelle	231
Fenster	123	Tageslichtquelle	233
Linse	124	Sommersonnenwende	SSW
Mehrfach reflektierte Strahlen	Sm	Wintersonnenwende	WSW
Azimutwinkel	γ	Vakuum	<u>V</u>
Höhenwinkel	α	Überdruck	<u>Ü</u>
Fokussierwinkel	α'		
Einfallswinkel	β, δ		
Ausfallswinkel	β', δ'		
Leitwinkelpaar	λ, λ'		

Patentansprüche

1. Sonnenkollektormodul (**1**), das dazu ausgebildet ist, die tages- und jahreszeitlich bedingt in unterschiedlichen Höhenwinkeln (α) und in unterschiedlichen Azimutwinkeln (γ) einfallenden, parallelen Strahlen (Sp) der Sonne auf ein Empfängerelement (**2**) zu bündeln, welches Sonnenkollektormodul (**1**) aus einem ersten Konzentratorelement (**10**), das die annähernd parallelen Strahlen (Sp) der Sonne als gebündelte Strahlen (Sg) mit einem Fokussierwinkel (α') auf eine Brennlinie (f) fokussiert und aus einem von einer um die Brennlinie (f) revolvierenden Prismenröhre (**11**) gebildeten Umlenkelement, das die gebündelten Strahlen (Sg) als umgelenkte Strahlen (Su) in ein zweites, innerhalb der Prismenröhre (**11**) angeordnetes, von einer lichtleitenden Röhre (**12**) gebildetes Konzentratorelement mit einer Verspiegelung (**120**), einer Längsseite (**121**) und Stirnseiten (**122**) einkoppelt, besteht, welche Prismenröhre (**11**) konzentrisch und koaxial zu der Brennlinie (f) angeordnet und in eine Mehrzahl radialer Sektoren (R1–Rn) unterteilt ist und sektorweise um die Brennlinie (f) revolviert, und welche Verspiegelung (**120**) der lichtleitenden Röhre (**12**) von einem streifenförmigen Fenster (**123**) an ihrer Längsseite (**121**) unterbrochen wird, sodass die umgelenkten Strahlen (Su) durch das Fenster (**123**) in die lichtleitende Röhre (**12**) eingekoppelt und als mehrfach an der Verspiegelung (**120**) reflektierte Strahlen (Sm) mit einem Leitwinkel (λ, λ') auf das Empfängerelement (**2**) an einer der Stirnseiten (**122**) der lichtleitenden Röhre (**12**) konzentriert werden können.

2. Sonnenkollektormodul (**1**) nach Anspruch 1, bei welchem das erste Konzentratorelement (**10**) bevorzugt von einer Parabolrinne (**100**) oder von einem Fresnelspiegel (**101**) oder von einem Lamellenspiegel (**102**) oder von einer Mehrzahl totalreflektierender Prismen (**103**) gebildet wird und das Sonnenkollektormodul (**1**) durch einachsige Nachführung um die Drehachse (x) entweder dem tages- und jahreszeitlich wechselnden Azimutwinkel (γ) oder dem tages- und jahreszeitlich wechselnden Höhenwinkel (α) der Sonneneinstrahlung folgt, wobei die parallelen Strahlen (Sp) der Sonne als gebündelte Strahlen (Sg) mit einem Fokussierwinkel (α') auf die Brennlinie (f) des ersten Konzentratorelements (**10**) fokussiert werden und die Drehachse (x) dabei horizontal oder vertikal oder geneigt angeordnet ist.

3. Sonnenkollektormodul (**1**) nach Anspruch 1, bei welchem die lichtleitende Röhre (**12**) aus Glas, Metall oder Kunststoff besteht und die Brennlinie (f) dem Fenster (**123**) in der lichtleitenden Röhre (**12**) zugeordnet ist und dabei einen Schnittpunkt mit der Winkelhalbierenden (w) eines radialen Sektors (R1–Rn) der Prismenröhre (**11**) aufweist, wobei das Fenster (**123**) entweder als transparenter Abschnitt der lichtleitenden Röhre (**12**) oder als

Konzentratorelement in Form einer Linse (**124**) oder eines trichterförmigen Glaskörpers mit totalreflektierenden Seitenwänden ausgebildet ist.

4. Sonnenkollektormodul (**1**) nach Anspruch 1, bei welchem die Stirnseite (**122**) der lichtleitenden Röhre (**12**) einen vollverspiegelten Krümmer aufweist, der die mehrfach reflektierten Strahlen (S_m) auf ein gegenüber der lichtleitenden Röhre (**12**) z. B. um 90 Grad abgewinkelt angeordnetes Empfängerelement (**2**) konzentriert.

5. Sonnenkollektormodul (**1**) nach Anspruch 1, bei welchem eine Mehrzahl von Prismen (**112**) entweder der inneren oder der äußeren Mantelfläche der Prismenröhre (**11**) zugeordnet ist und die radialen Sektoren (R_2 – R_n) sektorweise unterschiedliche, quer zu der Brennnlinie (f) angeordnete Prismen (**112**) tragen, wobei die innere und die äußere Mantelfläche der Prismenröhre (**11**) in dem radialen Sektor (R_1) als Zylinderflächen (**110**) ausgebildet sind.

6. Sonnenkollektormodul (**1**) nach Anspruch 1, bei welchem die innere Mantelfläche der Prismenröhre (**11**) ein Polygon aufweist und die Polygonseiten (**111**) der radialen Sektoren (R_1 – R_n) jeweils als gleiche konkave Flächen ausgebildet sind und die äußere Mantelfläche in den radialen Sektoren (R_2 – R_n) sektorweise unterschiedliche, quer zu der Brennnlinie (f) angeordnete Prismen (**112**) trägt, wobei die Prismenröhre (**11**) aus einem Borosilikatglas oder einem transparenten Kunststoff in einem Strangguss- oder einem Strangpressverfahren oder in einem Press-Blas-Verfahren hergestellt wird.

7. Sonnenkollektormodul (**1**) nach Anspruch 1, bei welchem die Prismenröhre (**11**) an stirnseitigen Drehlagern (**113**) um die Brennnlinie (f) revolviert und im Laufe eines Tages in eine der Anzahl der radialen Sektoren (R_1 – R_n) entsprechende Anzahl temporärer Stellungen drehbar ist, wobei an den radialen Sektoren (R_1 – R_n) der jeweilige Fokussierwinkel (α') durch zweifache Brechung an den Prismen (**112**) mit den Einfallswinkeln (β , δ) und den Ausfallswinkeln (β' , δ') so gebrochen wird, dass das Leitwinkelpaar (λ , λ') der mehrfach reflektierten Strahlen (S_m) im Inneren der lichtleitenden Röhre (**12**) einen stumpfen Winkel aufweist, sodass eine Reduktion der Anzahl von Reflexionen an der Verspiegelung (**120**) ermöglicht wird.

8. Sonnenkollektormodul (**1**) nach Anspruch 1, bei welchem das an der Stirnseite (**122**) der lichtleitenden Röhre (**12**) angeordnete Empfängerelement (**2**) von hocheffizienten PV-Zellen (**20**) gebildet wird, die in einem DENSE Array Modul (**200**) zusammengefasst und rückseitig mit einem Wärmeübertrager (**201**) verbunden sind.

9. Sonnenkollektormodul (**1**) nach Anspruch 1, welches als Tageslichtsystem Tageslicht zu mindestens einer Tageslichtquelle (**233**) im Inneren eines Gebäudes (**23**) leitet, wobei das Empfängerelement (**2**) einen Lichtleiter (**21**) aufweist, der entweder als Faserbündel (**210**) oder als ein mit einer lichtleitenden Flüssigkeit befüllter Schlauch (**211**) ausgebildet ist.

10. Sonnenkollektormodul (**1**) nach Anspruch 1, welches über einen Lichtleiter (**21**) mit einem Warmwasserbehälter (**206**) mit Vor- und Rücklauf (**202**, **203**) im Inneren eines Gebäudes (**23**) verbunden ist, wobei der Lichtleiter (**21**) das Empfängerelement (**2**) bildet und die von dem Sonnenkollektormodul (**1**) konzentrierte Strahlung zu PV-Zellen (**20**) an der Außenoberfläche des Warmwasserbehälters (**206**) leitet und die von den PV-Zellen (**20**) absorbierte Wärme mittels einer Heizwendel (**205**) innerhalb des Warmwasserbehälters (**206**) auf ein Wärmeträgerfluid (**204**) übertragen wird und entweder der Brauchwassererwärmung oder der Heizungsunterstützung dient.

11. Sonnenkollektormodul (**1**) nach Anspruch 1, welches als Einzelelement eines photovoltaischen und solarthermischen Kollektorfelds (**22**) elektrischen Strom und Wärme erzeugt und dabei entweder auf einem landgestützten Drehteller (**220**) oder auf einem schwimmenden Floß (**221**) angeordnet ist, wobei das Sonnenkollektormodul (**1**) um eine vertikale Drehachse (x) dem jeweiligen Azimutwinkel (γ) der Sonne folgt.

12. Sonnenkollektormodul (**1**) nach Anspruch 1, welches als Sonnenschutzlamelle (**231**) an der Fassade (**230**) eines Gebäudes (**23**) angeordnet ist und als photovoltaischer und solarthermischer Kollektor elektrischen Strom und Wärme erzeugt oder als Tageslichtsystem Sonnenlicht ins Innere des Gebäudes (**23**) zu einer oder einer Mehrzahl von Tageslichtquellen (**233**) leitet.

13. Sonnenkollektormodul (**1**) nach Anspruch 1, bei welchem die Prismenröhre (**11**) an ihren stirnseitigen Enden über Drehlager (**113**) mit Stellmotor an eine Mediensäule (**114**) angeschlossen ist, die der Ableitung

des an den PV-Zellen (**20**) gewonnenen Stroms mit Anode (+) und Kathode (–) und der an den PV-Zellen (**20**) absorbierten Wärme über ein Wärmeträgerfluid (**204**) mit Vorlauf (**202**) und Rücklauf (**203**) dient.

Es folgen 23 Seiten Zeichnungen

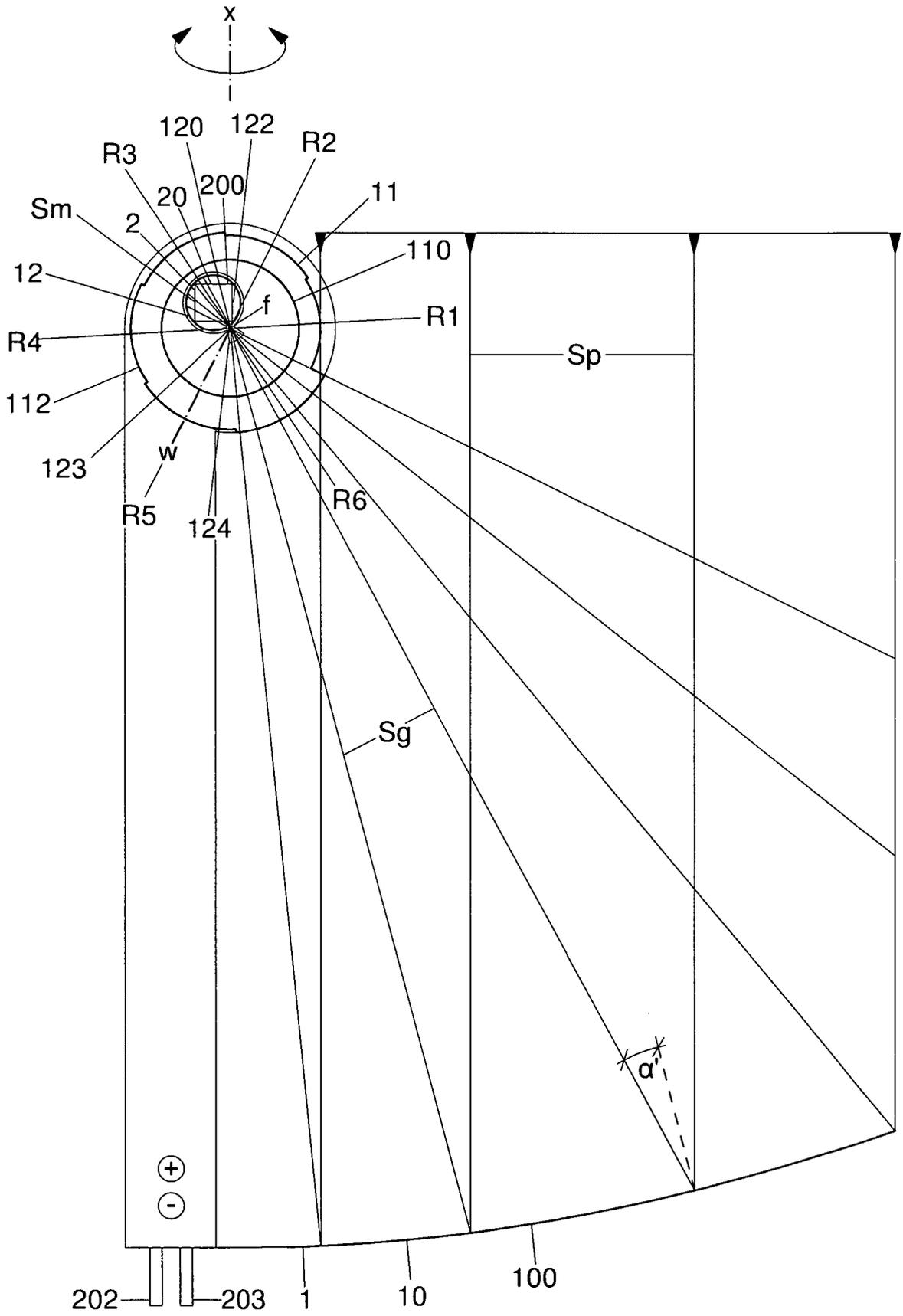


Fig. 2

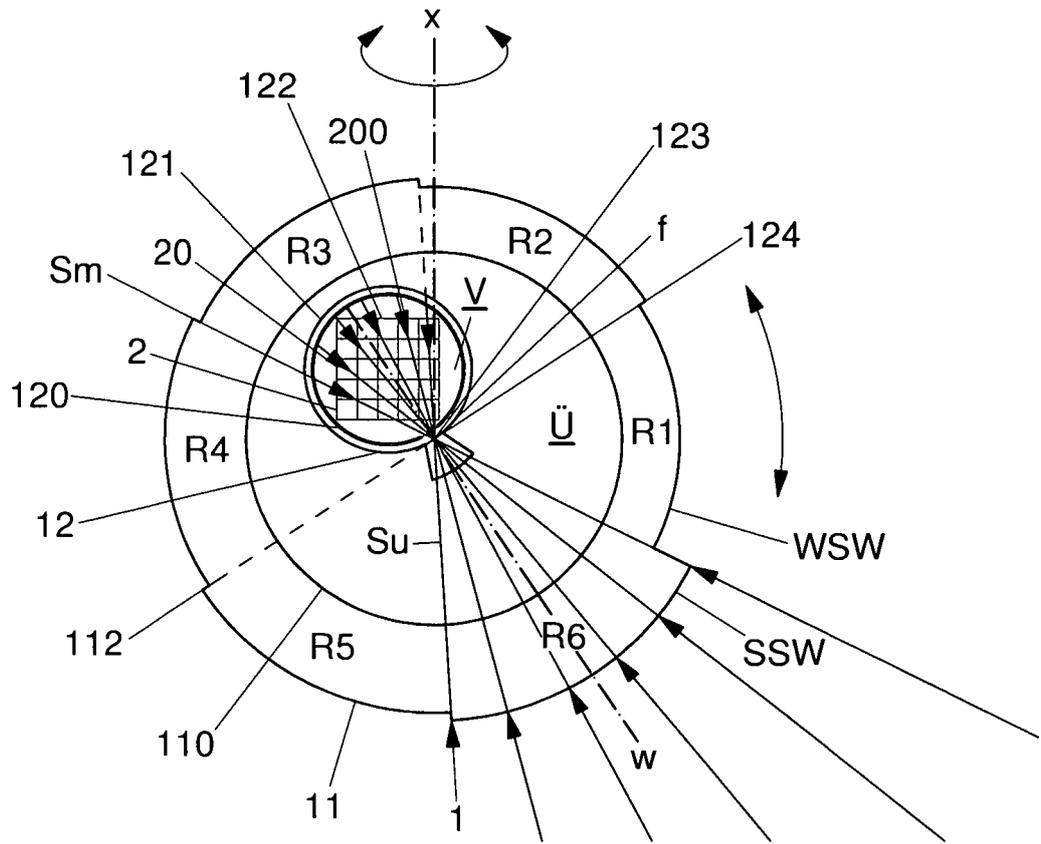


Fig. 3

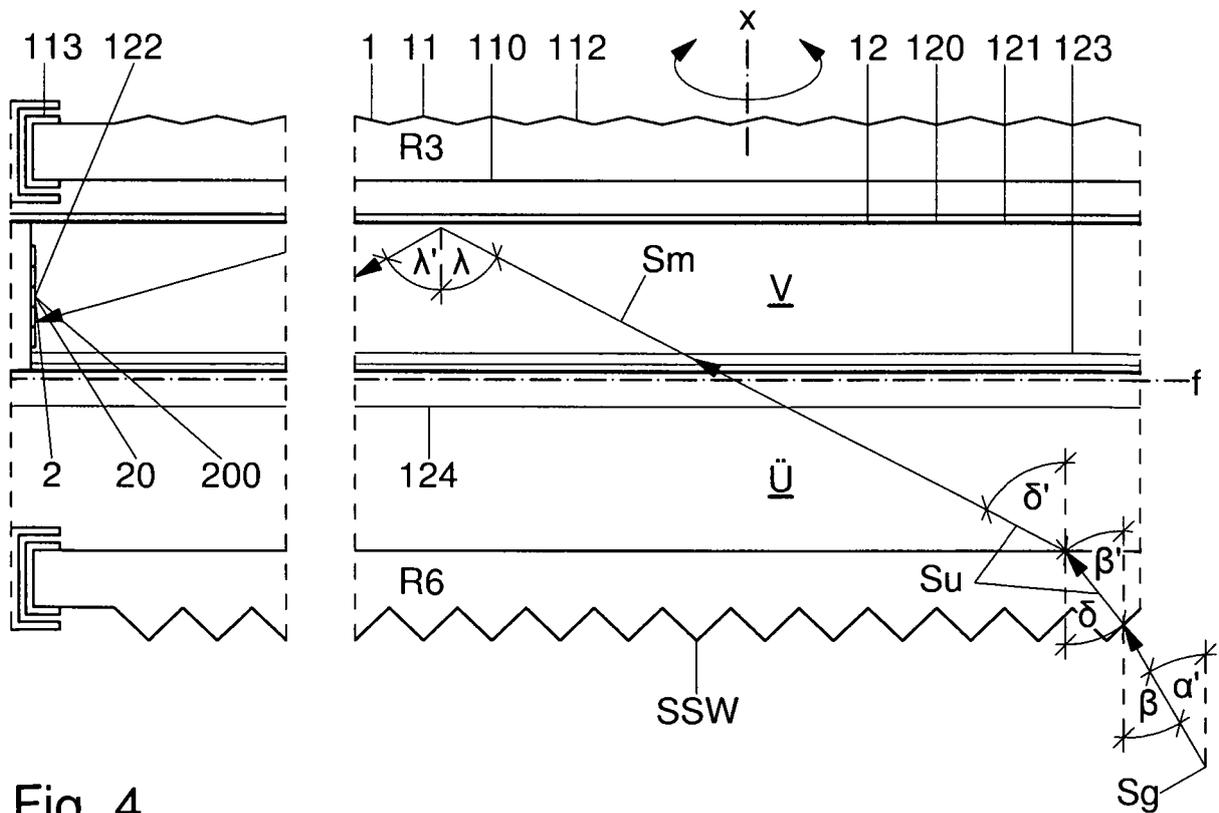


Fig. 4

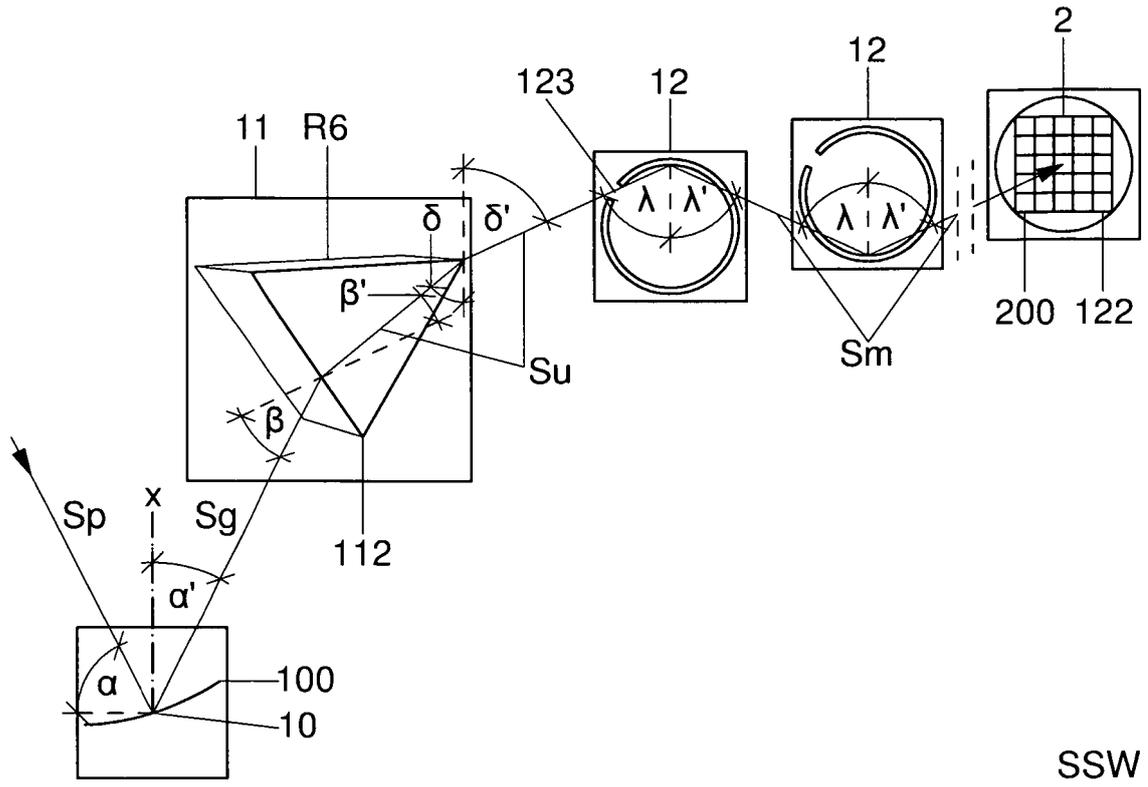


Fig. 6

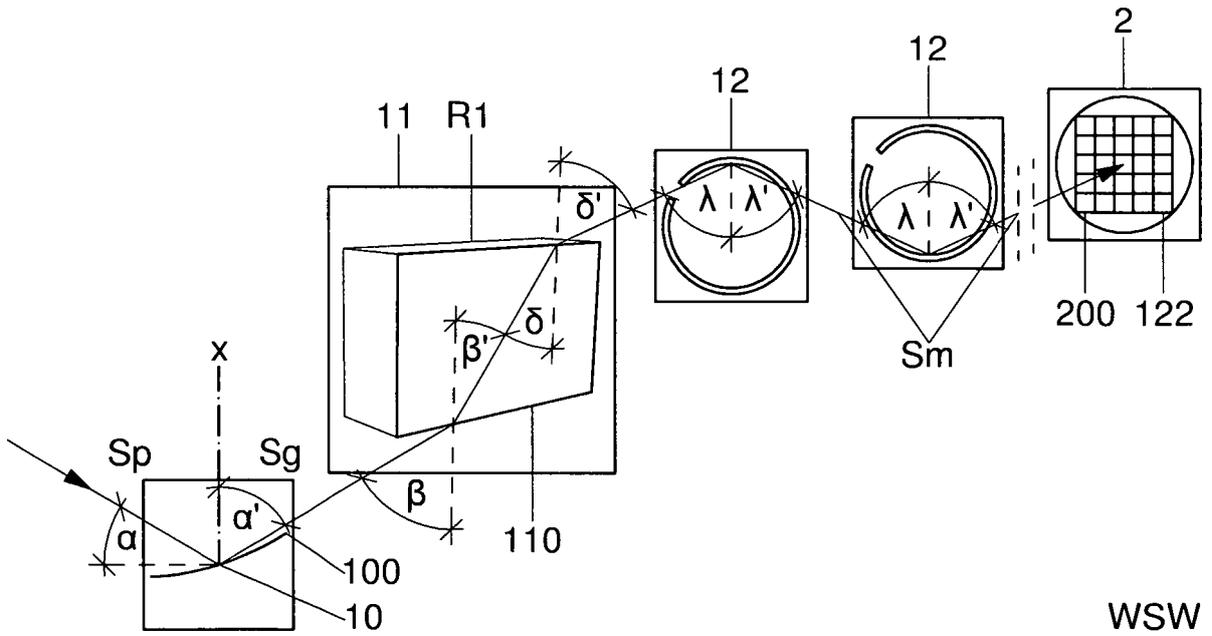


Fig. 7

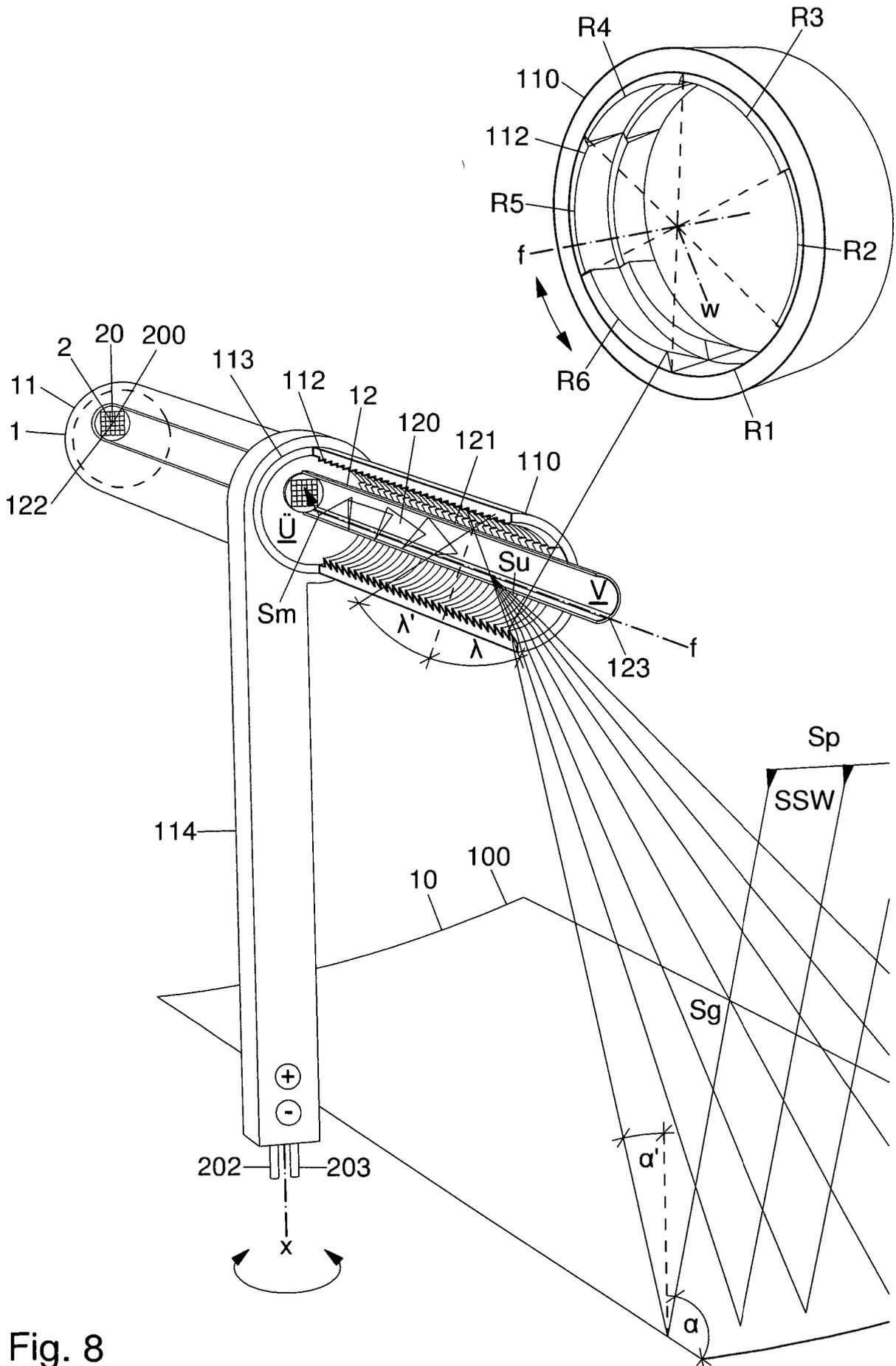


Fig. 8

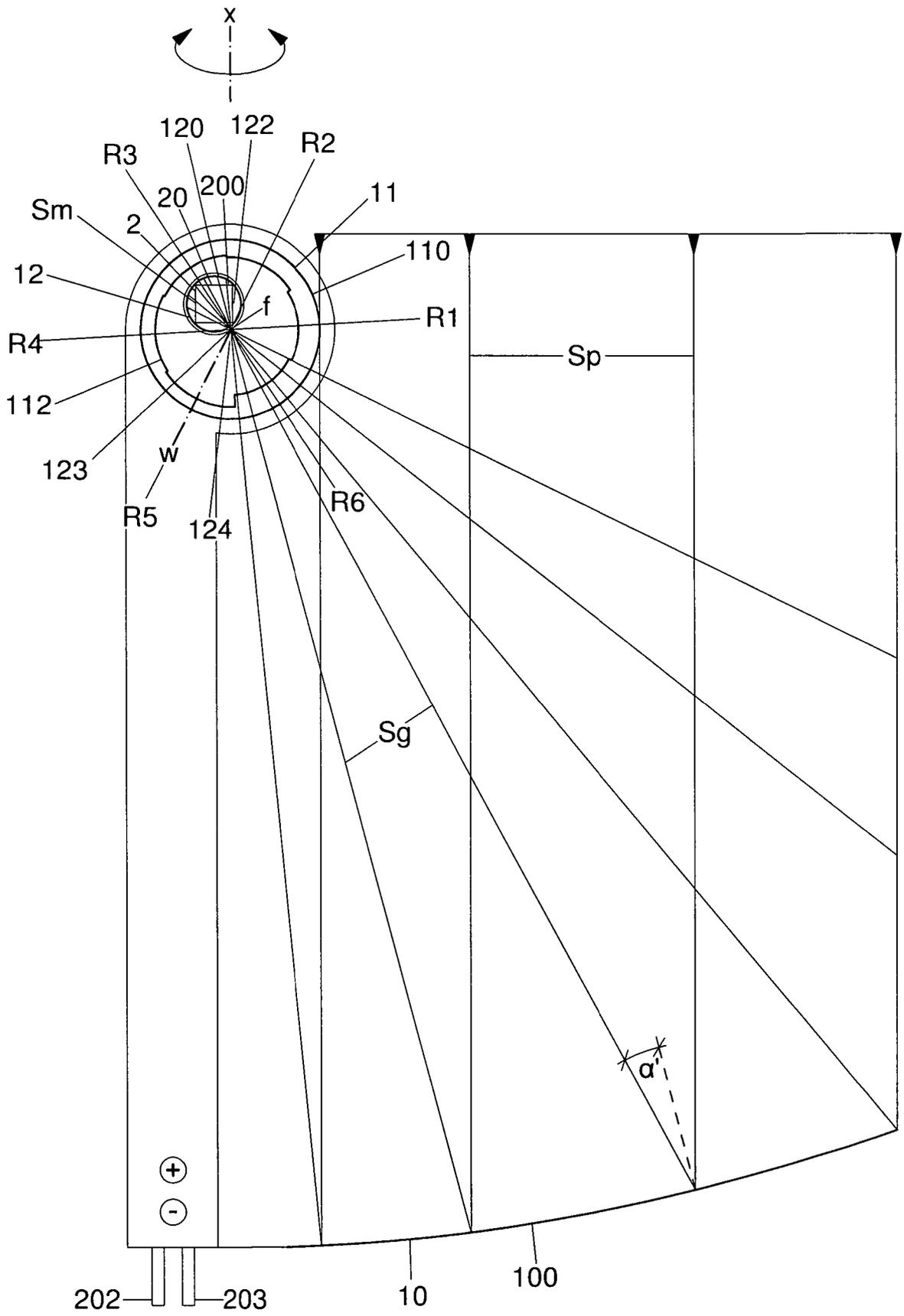


Fig. 9

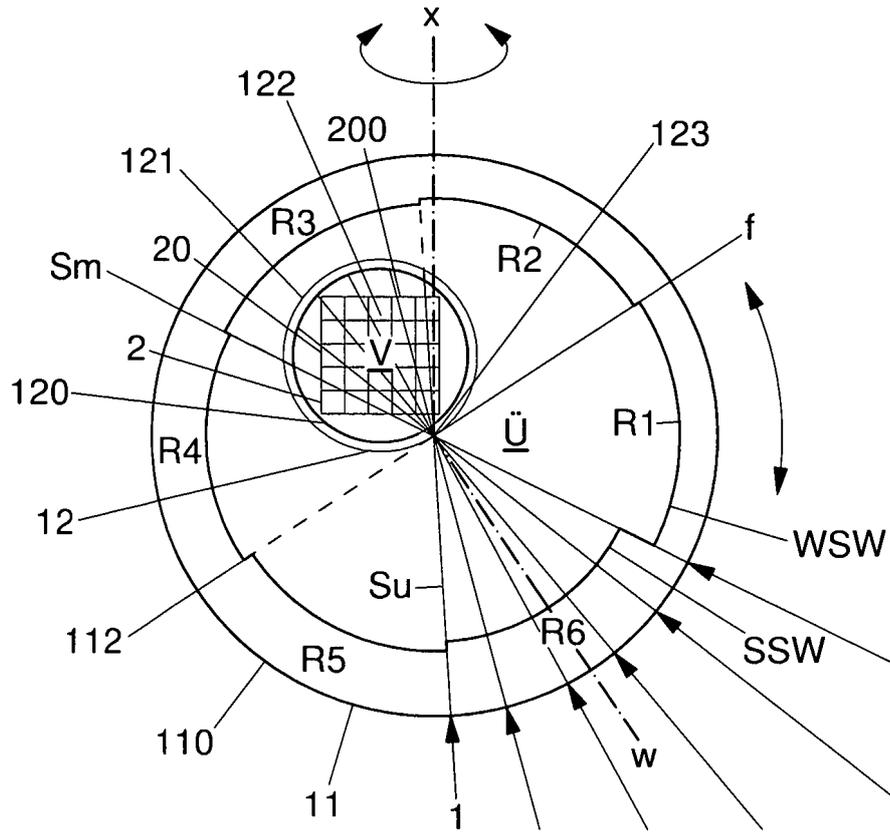


Fig. 10

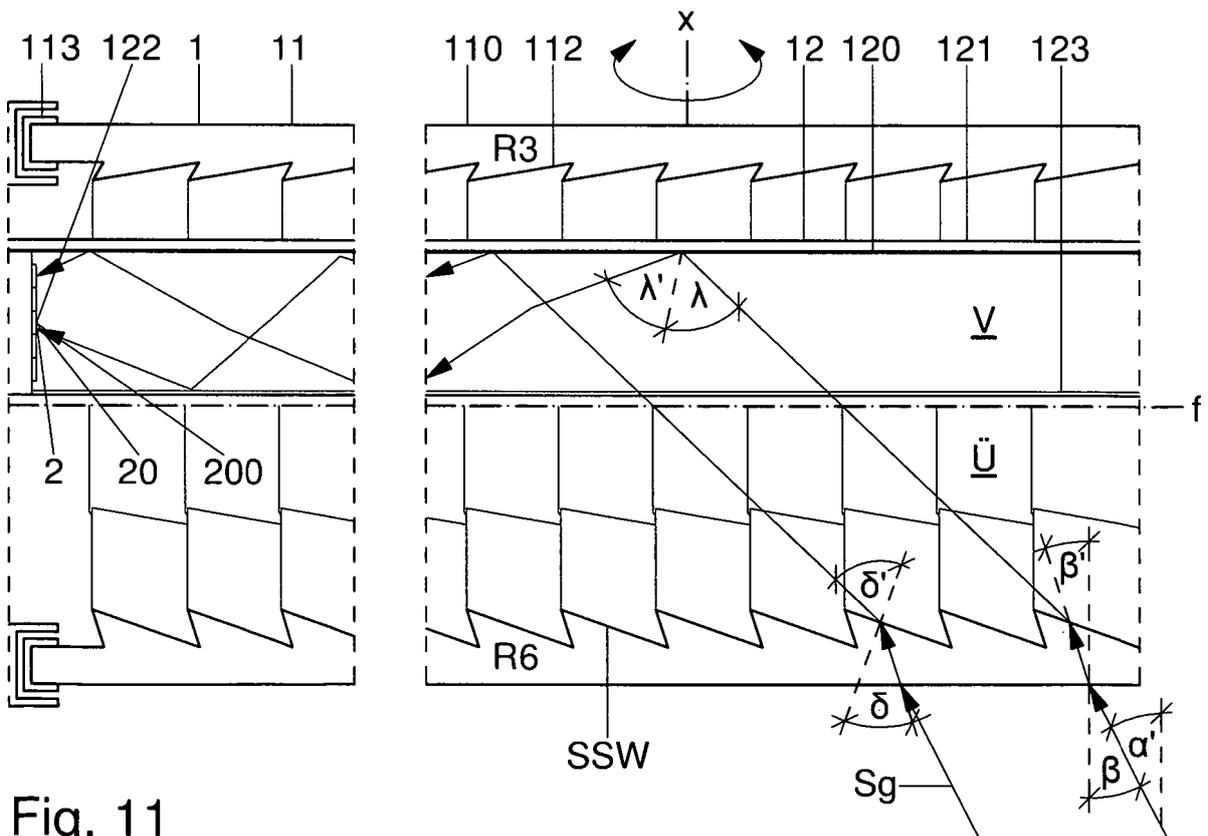


Fig. 11

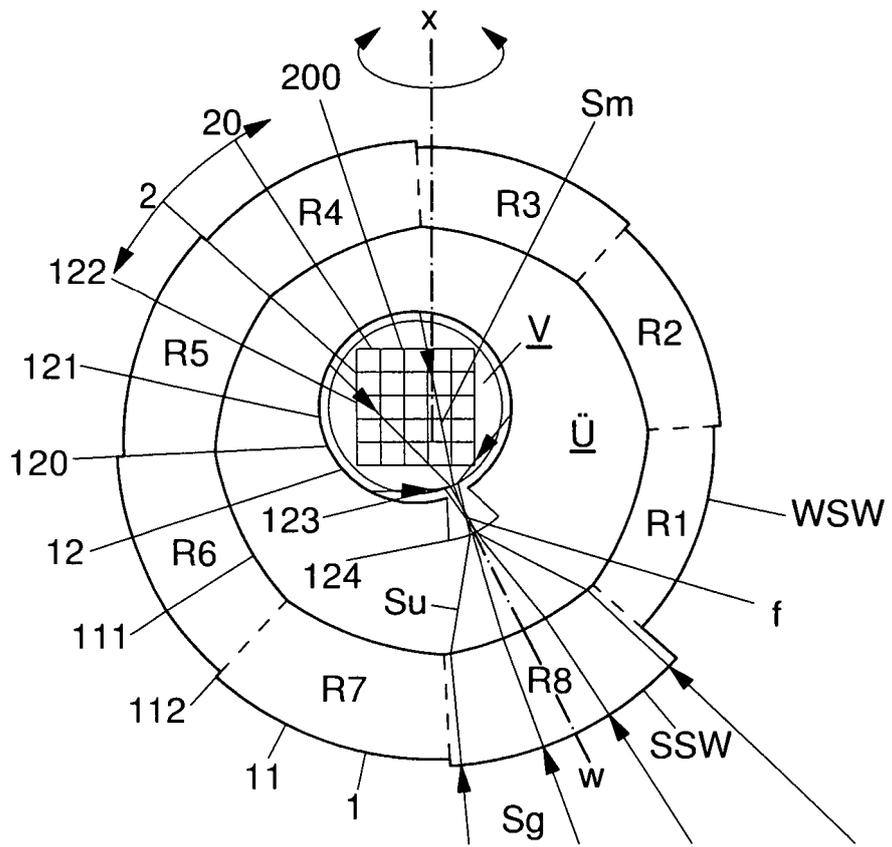


Fig. 14

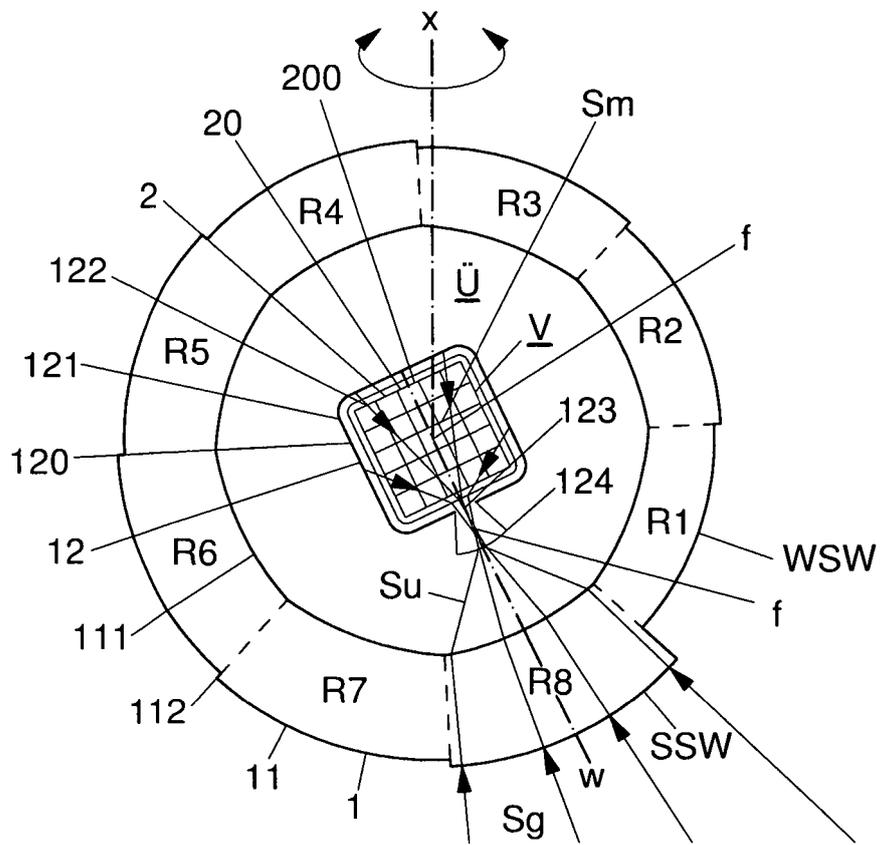


Fig. 15

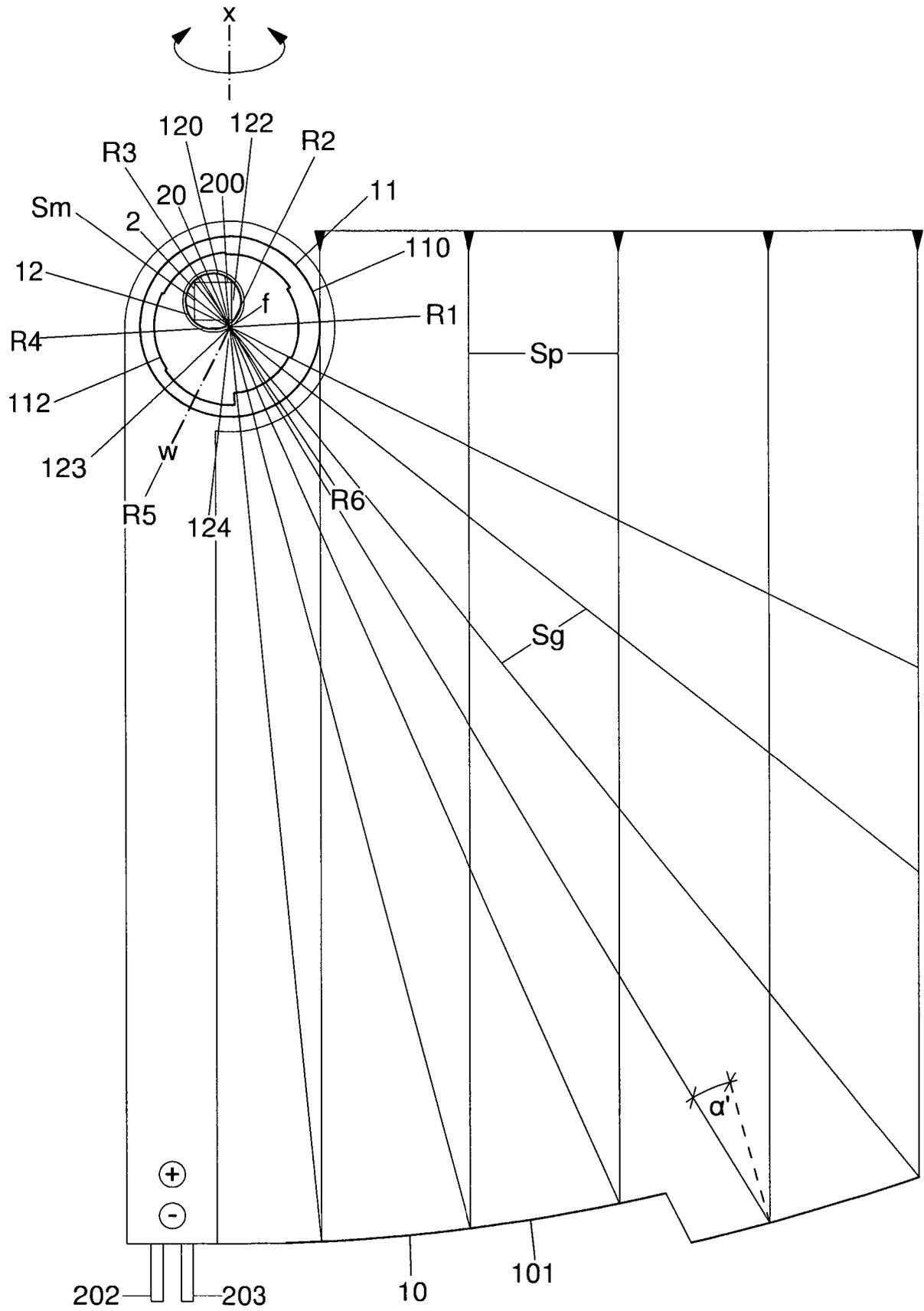


Fig. 16

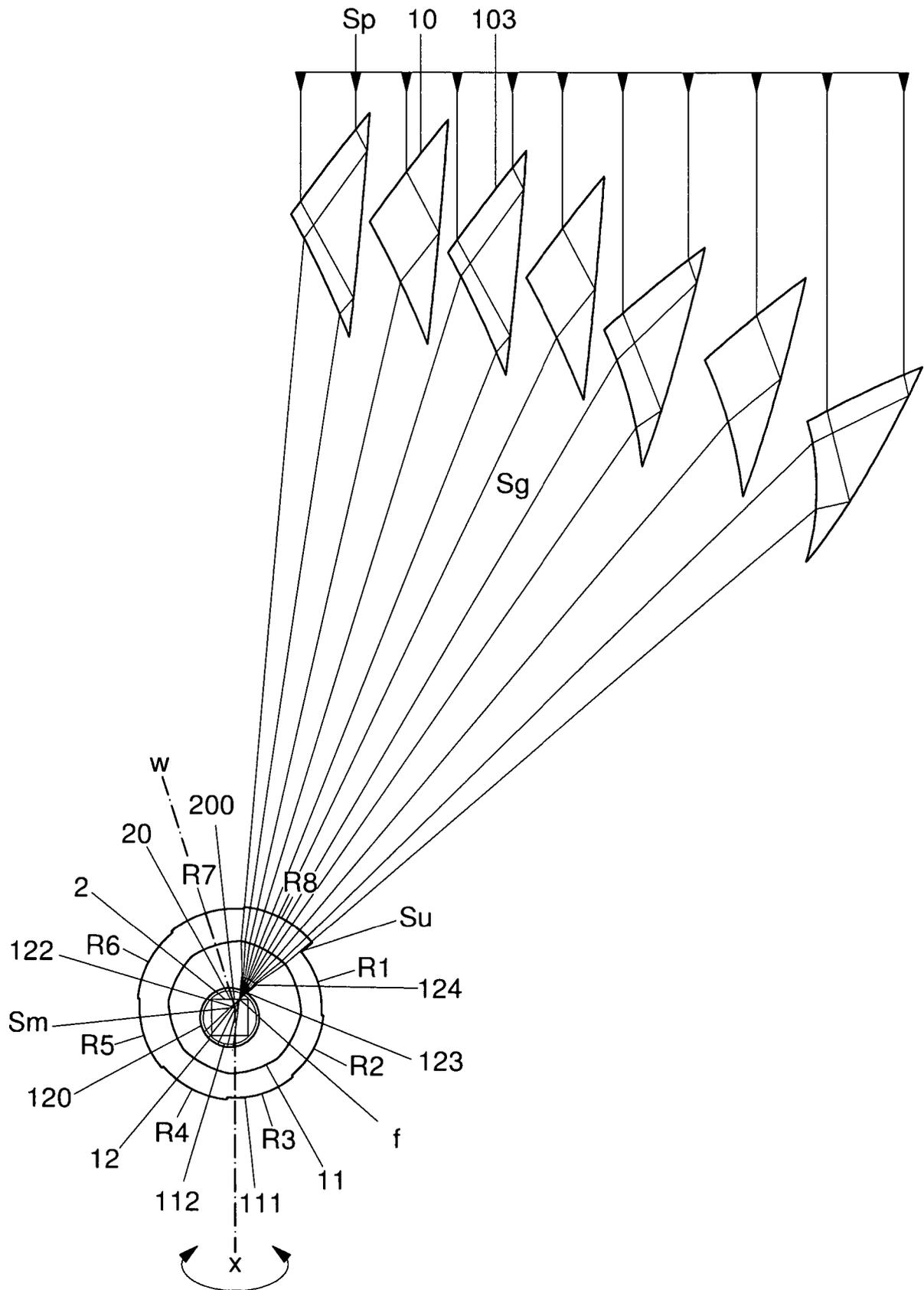


Fig. 17

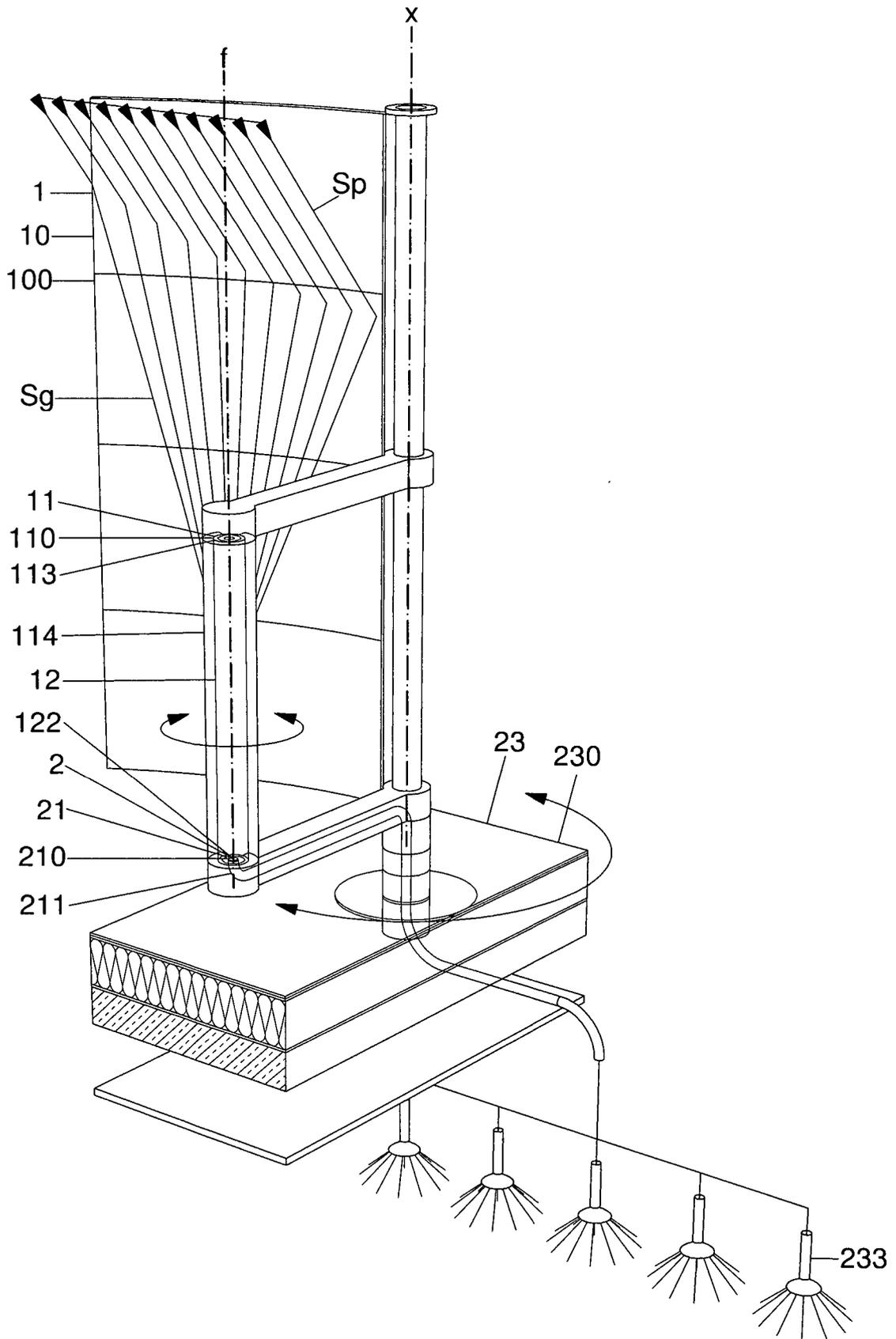


Fig. 18

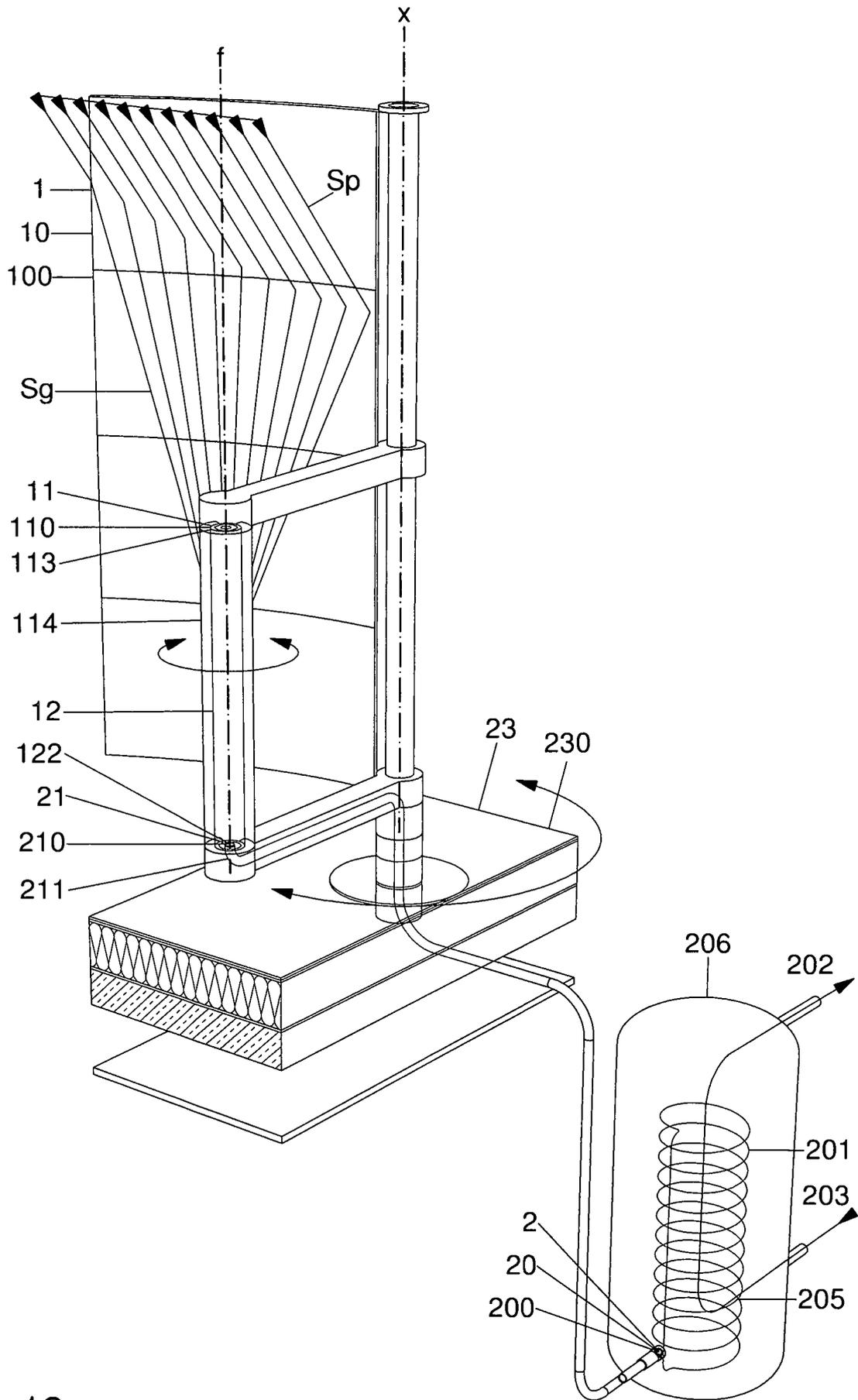


Fig. 19

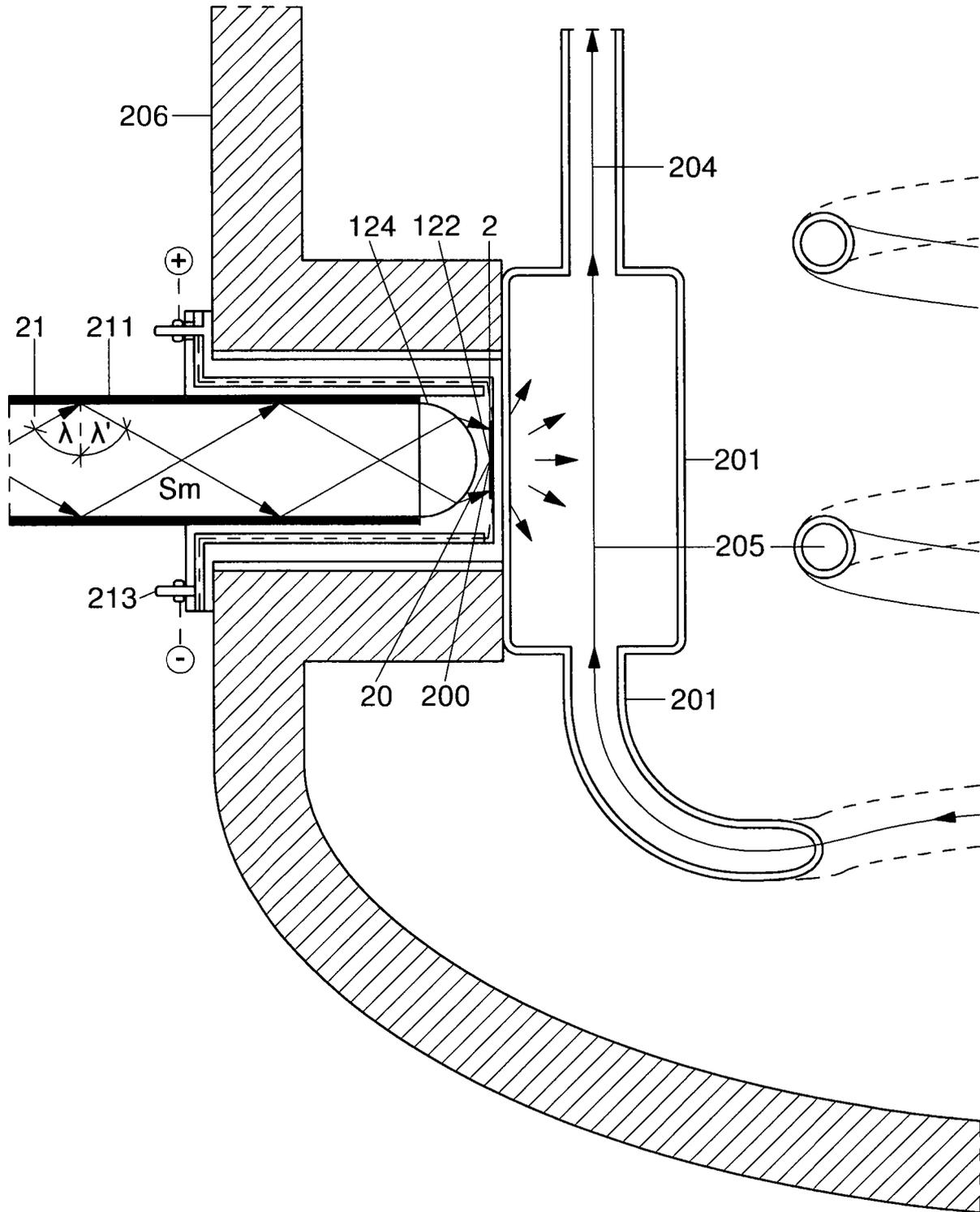


Fig. 20

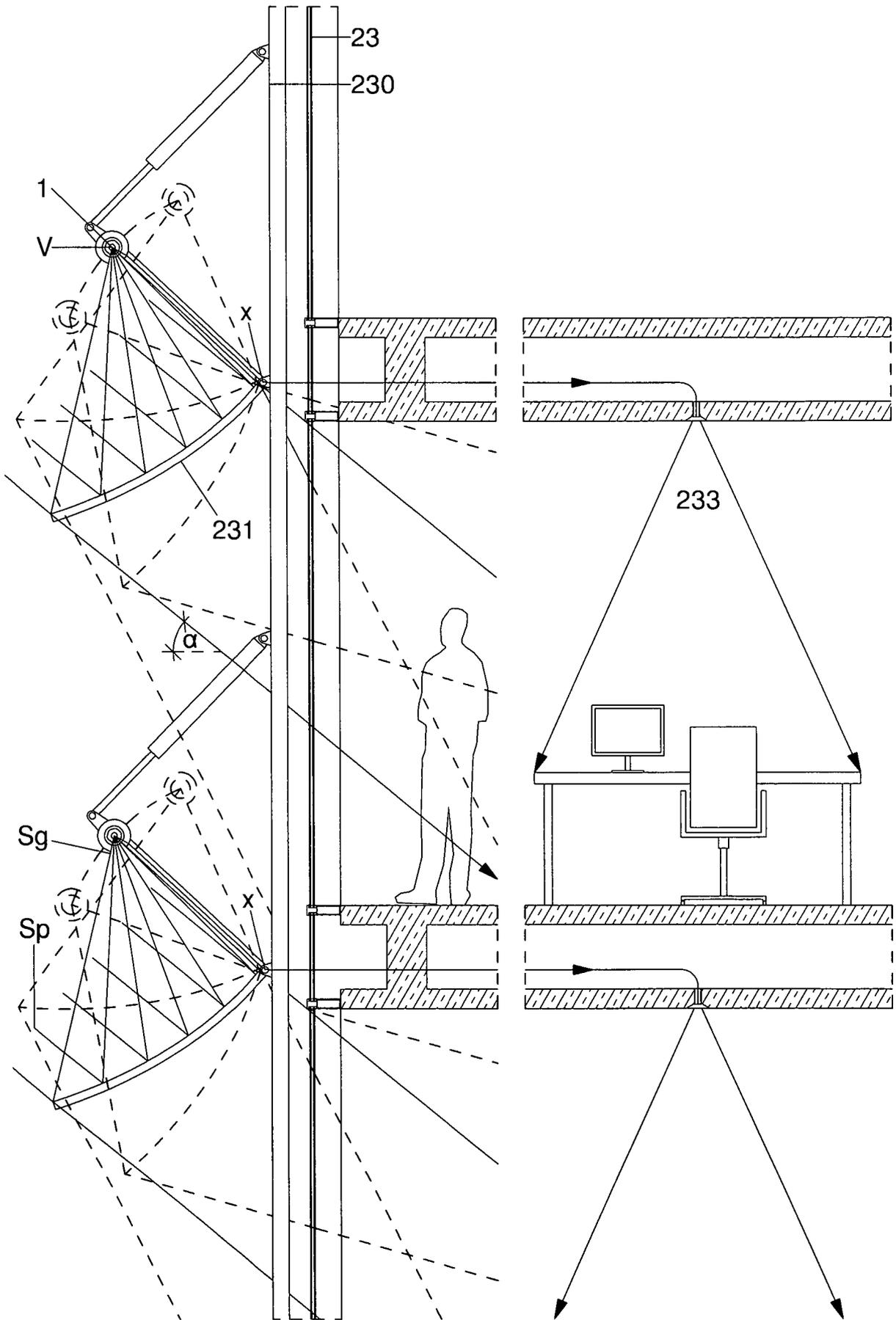


Fig. 21

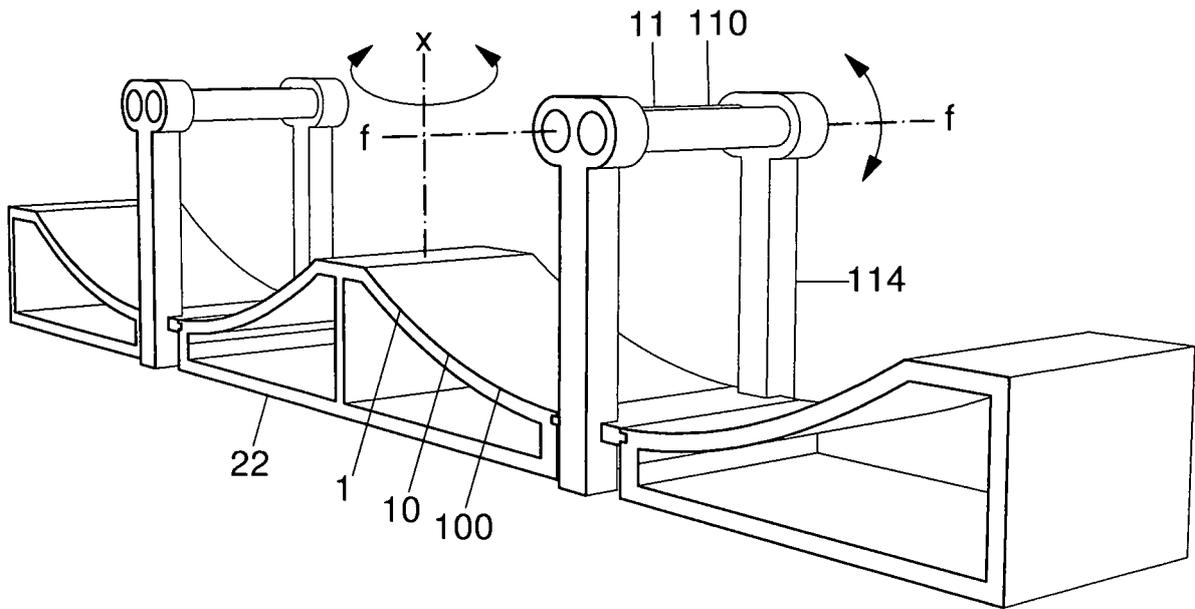


Fig. 22

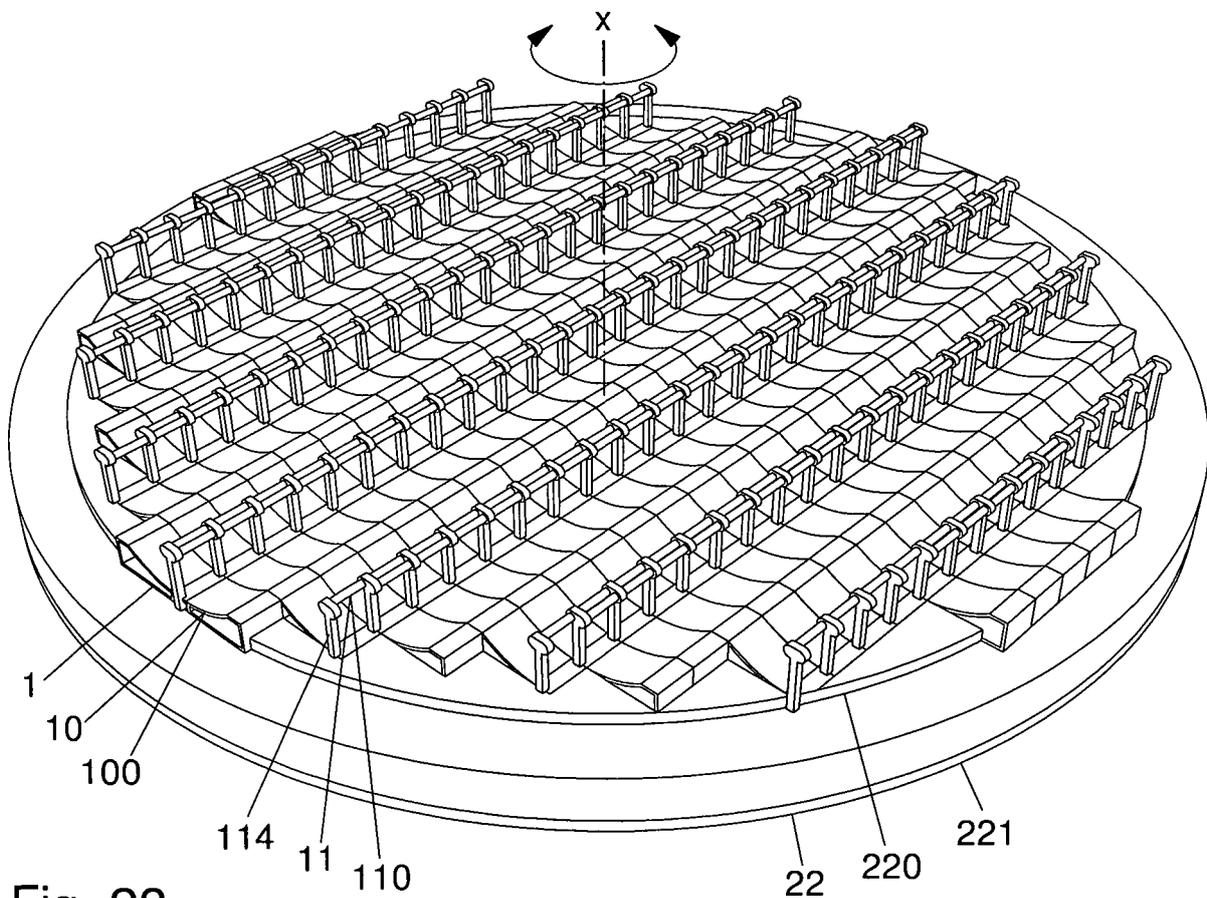


Fig. 23

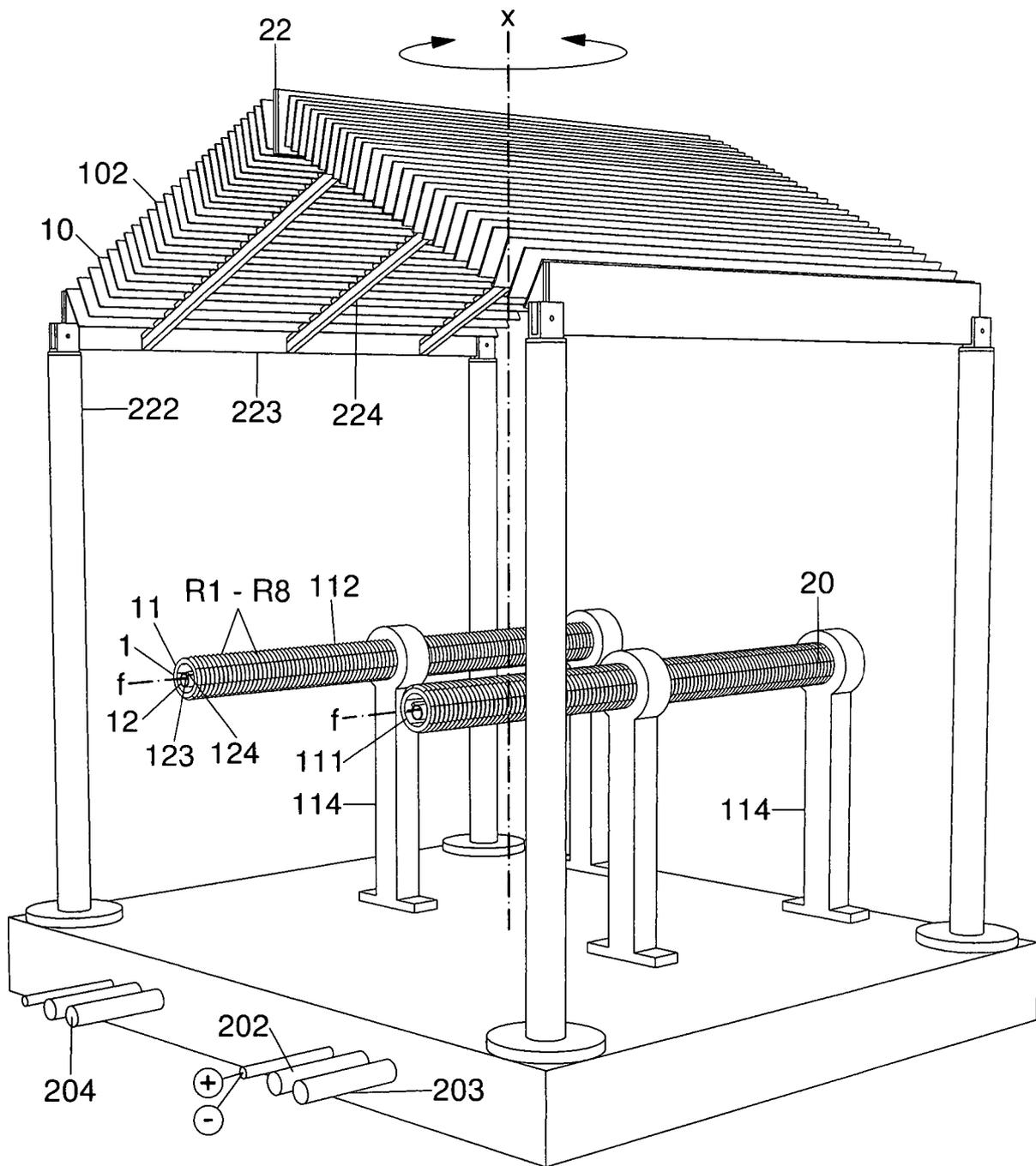


Fig. 24

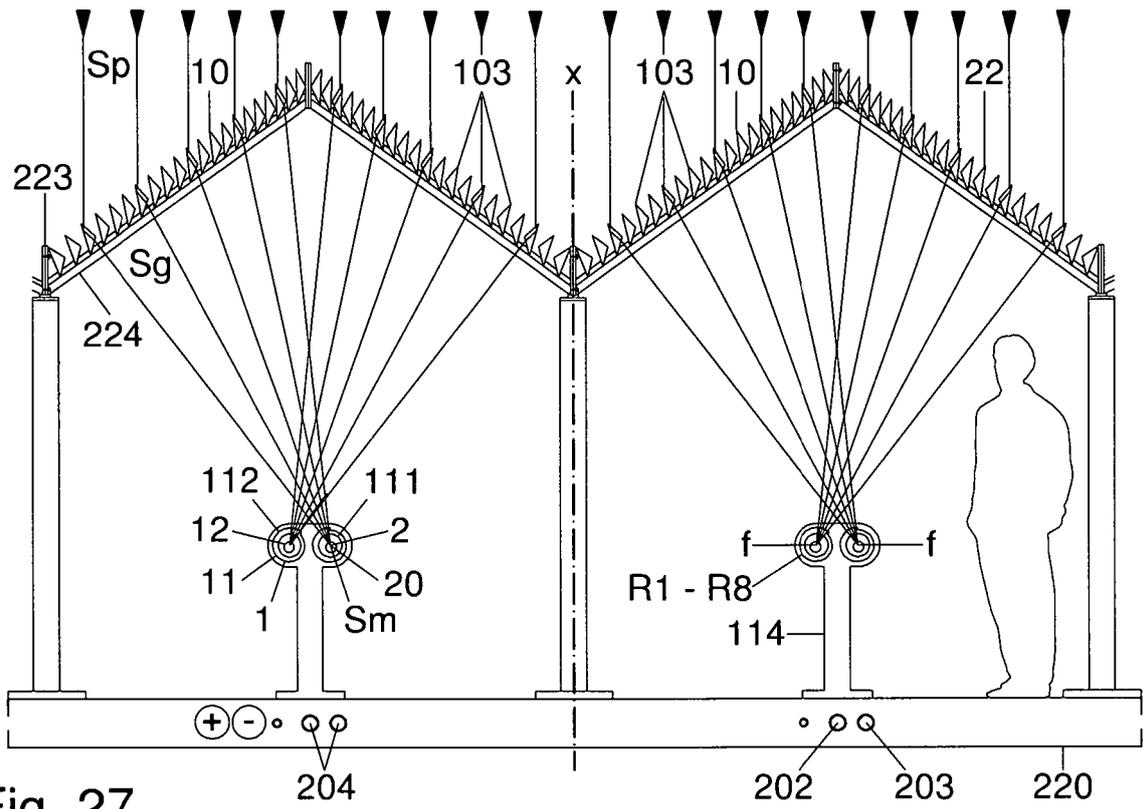


Fig. 27

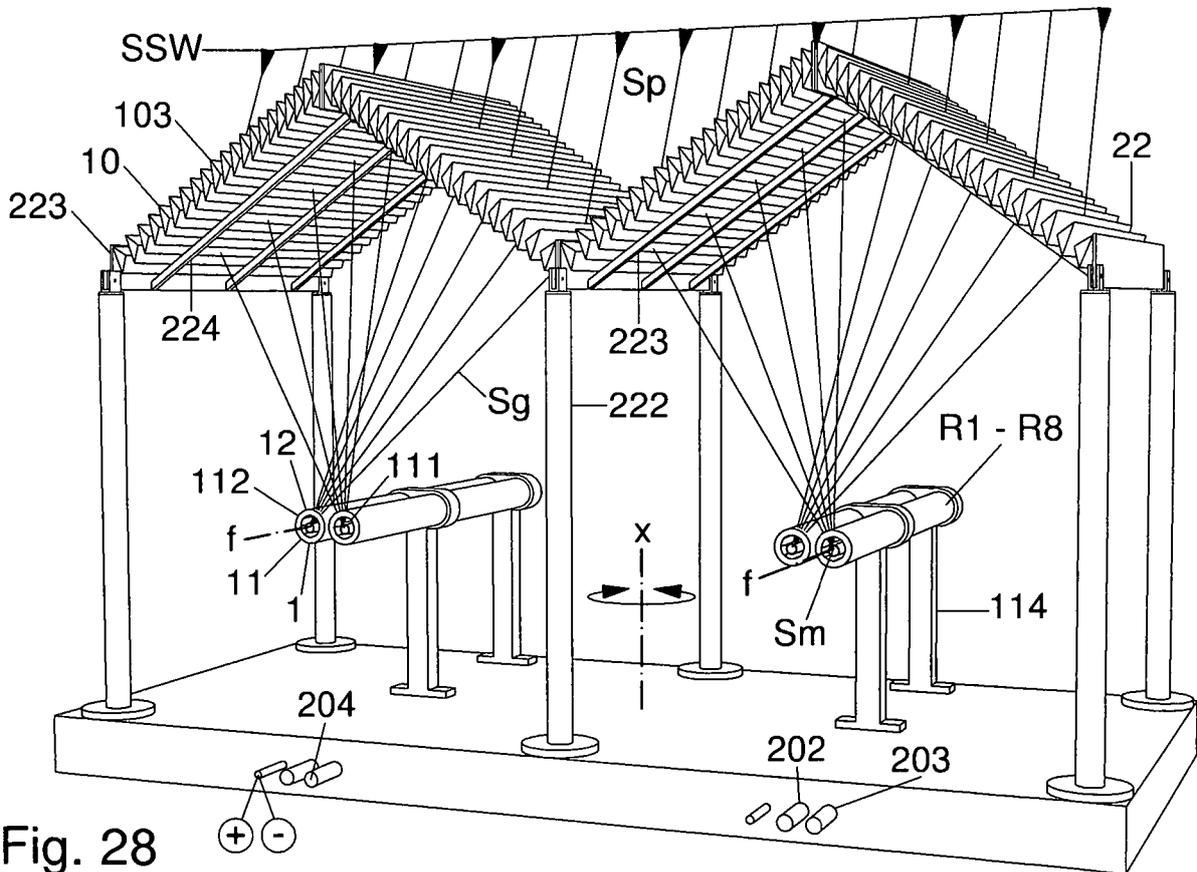


Fig. 28

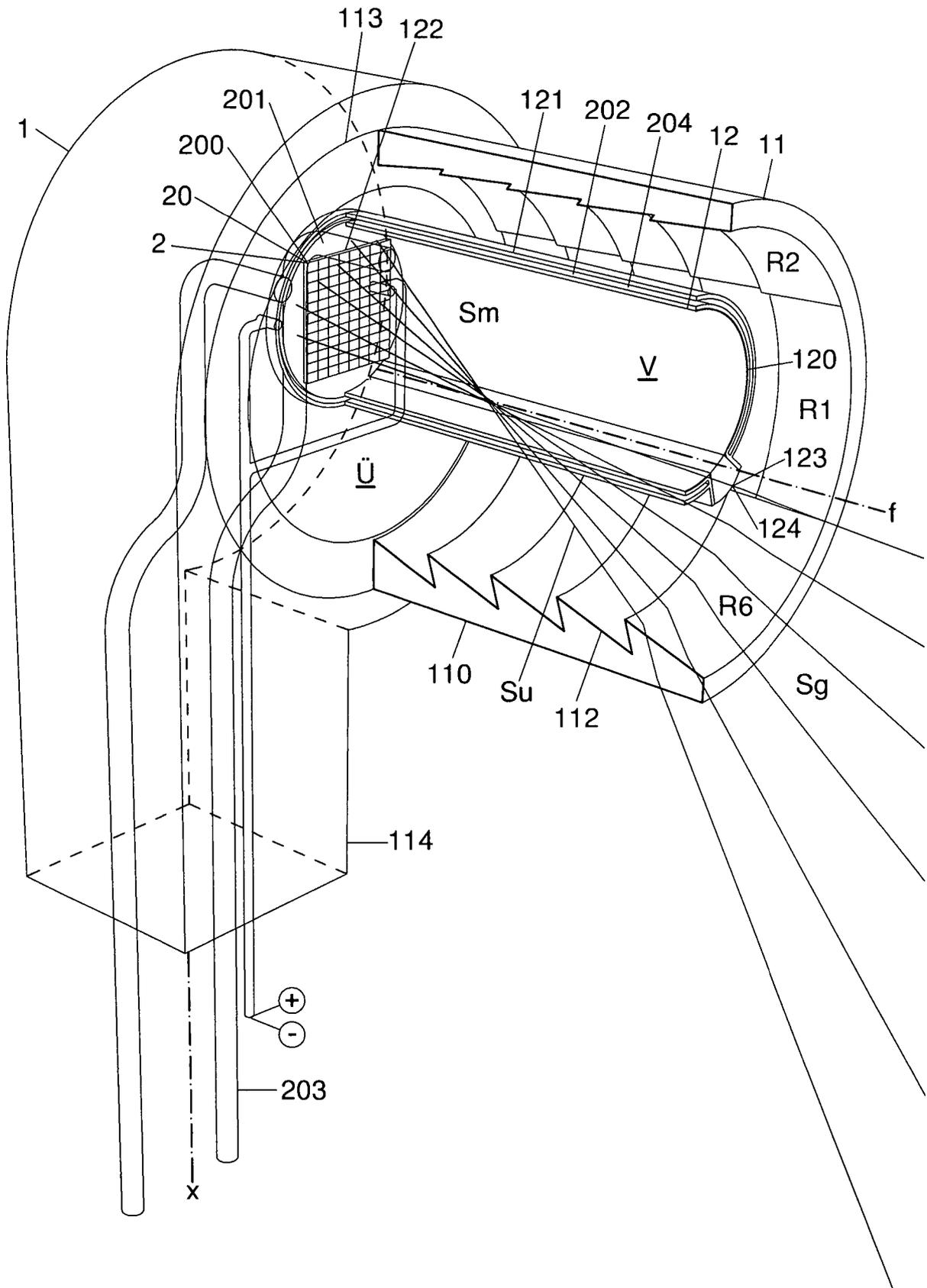


Fig. 29

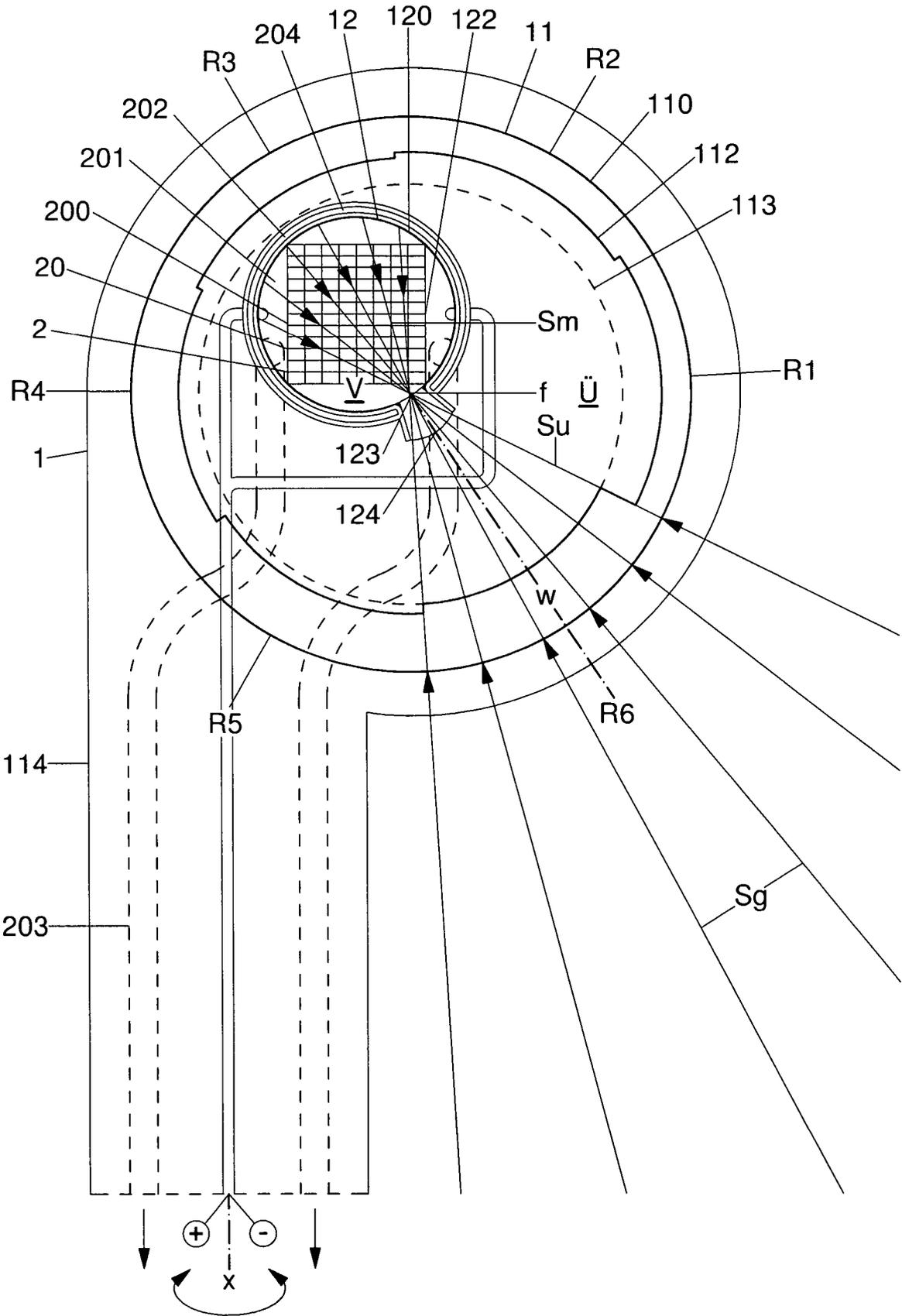


Fig. 30