



(10) **DE 10 2020 001 448 B3** 2021.04.22

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2020 001 448.8**
 (22) Anmeldetag: **03.03.2020**
 (43) Offenlegungstag: –
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **22.04.2021**

(51) Int Cl.: **G02B 5/04 (2006.01)**
G02B 3/00 (2006.01)
G02B 27/00 (2006.01)
G02B 5/00 (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, 70376 Stuttgart, DE

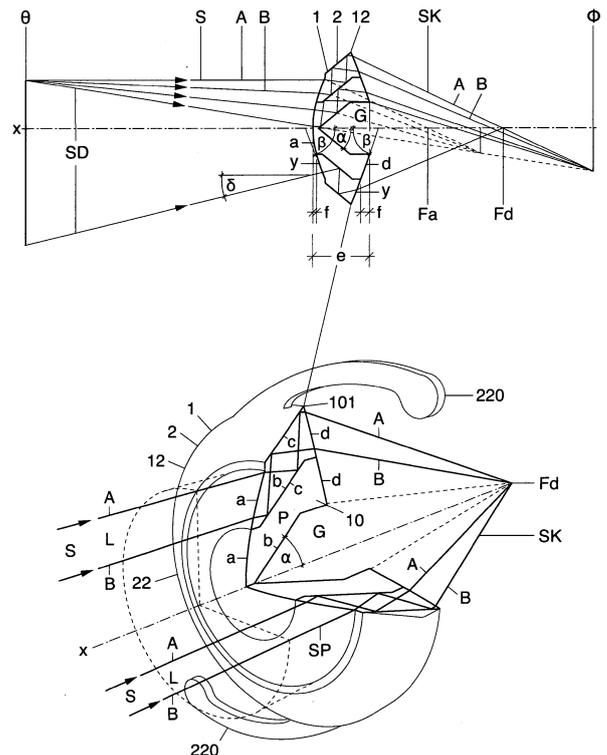
(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2012 220 465	A1
DE	37 85 763	T2
US	2013 / 0 235 980	A1

(72) Erfinder:
gleich Patentinhaber

(54) Bezeichnung: **Hybridprisma als Bauelement für optische Systeme**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Hybridprisma (1) für ein optisches System (2), das als ein optisches Bauelement die Eigenschaften einer Linse mit den Eigenschaften eines Reflexionsprismas in sich vereinigt und einen einem Rotationsrhomboid ähnlichen rotationsymmetrischen Körper (P) aufweist. Das Hybridprisma (1) ist optisch dichter als die umgebende Materie und wird für Licht (L) mit einer Wellenlänge A von 780 nm bis 380 nm von mindestens einem Glaskörper (10) und für Röntgenstrahlung (R) mit einer Wellenlänge A von 1 nm bis 30 pm von einem Vakuum (V) in einem allseitig umgebenden Hüllkörper (11) gebildet. Der rotationsymmetrische Körper (P) bestimmt durch vier Grenzflächen (a-d) zu optisch dünnerer Materie über eine Länge (e) den Strahlengang derart, dass die von einem Objekt (Θ) ausgehenden Strahlen (S) mit Beispielstrahlen (A,B) in einem verketteten Strahlengang an einer vorderen Grenzfläche (a) in den rotationsymmetrischen Körper (P) eintreten und an zwei inneren totalreflektierenden Grenzflächen (b,c), die in einem Längsabschnitt (f) der Länge (e) eine erzeugende Kurve (y) mit einem kontinuierlich wechselnden Tangentenwinkel (β) aufweisen, eine gerade Anzahl von Totalreflexionen durchlaufen und an einer hinteren Grenzfläche (d) wieder aus dem rotationsymmetrischen Körper (P) austreten, um eine Abbildung des Objekts (Θ) auf einer Bildfläche (Φ) zu erzeugen.



Beschreibung**Stand der Technik**

[0001] Die Erfindung betrifft ein optisches Bauelement, das die Eigenschaften einer Linse mit den Eigenschaften eines Reflexionsprismas in sich vereinigt und im Folgenden als Hybridprisma bezeichnet wird. Ein Prisma besteht aus einer Grund- und einer Deckfläche sowie aus einer prinzipiell unbegrenzten Mehrzahl von Seitenflächen, die die Grund- und Deckfläche miteinander verbinden, sodass z.B. auch ein bezüglich der umgebenden Materie optisch dichter Glaszylinder als Prisma bezeichnet werden kann. Ein Reflexionsprisma dient der Richtungsänderung von Licht an zwei einander gegenüberliegenden totalreflektierenden Grenzflächen, während eine Linse zwei rotationssymmetrisch ausgebildete refraktive Flächen hat, von denen wenigstens eine so ausgebildet ist, dass sich parallel einfallende Lichtstrahlen in einem Brennpunkt kreuzen. Das Hybridprisma für optische Systeme mit unterschiedlichen Spektralbereichen besteht aus einem Rotationsrhomboid ähnlichen rotationssymmetrischen Körper, der dichter ist als die umgebende Materie und weist für Licht mit einer Wellenlänge von 780 nm bis 380 nm mindestens einen Glaskörper und für Röntgenstrahlung mit einer Wellenlänge von 1 nm bis 30 pm ein Vakuum innerhalb eines allseitig umgebenden Hüllkörpers auf. Der rotationssymmetrische Körper bestimmt jeweils mit vier Grenzflächen zu optisch dünnerer Materie über seine Länge den Strahlengang innerhalb eines optischen Systems derart, dass die von einem Objekt ausgehenden Strahlen in einem verketteten Strahlengang eine Abbildung des Objekts auf einer Bildfläche ermöglichen, wobei sie an einer vorderen Grenzfläche in den rotationssymmetrischen Körper eintreten und an zwei inneren Grenzflächen, die jeweils einen Neigungswinkel zu der optischen Achse aufweisen, eine gerade Anzahl von Totalreflexionen durchlaufen und an einer hinteren Grenzfläche wieder aus dem rotationssymmetrischen Körper austreten. Mindestens eine der vier Grenzflächen des rotationssymmetrischen Körpers weist in einem Längsabschnitt eine erzeugende Kurve mit einem kontinuierlich wechselnden Tangentenwinkel auf. Das Hybridprisma ist entweder als ein Sammelpisma oder als ein Zerstreuungspisma oder als ein Kondensorpisma ausgebildet. Im Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichts ist das optische System insbesondere als ein menschliches Auge mit einem hybriden Intraokularprisma oder als ein Lidar-System mit einem Scheinwerfer oder als ein Projektor und allgemein als ein Objektiv für eine Kamera, ein Teleskop oder ein Mikroskop ausgebildet. Im Wellenlängenbereich der Röntgenstrahlung ist das optische System als ein medizinisches Röntgengerät und insbesondere als ein Tomograf oder als ein Röntgenmikroskop mit einer Ortsauflösung kleiner-gleich 20 nm oder als ein terrestrisches oder satellitengestütztes Röntgenteleskop ausgebildet.

[0002] Konvexe Linsen als Sehhilfen sind seit der Antike bekannt. An die Technik des Linsenschleifens anknüpfend, hat Galileo Galilei 1609 ein Fernrohr gebaut, dessen optisches System aus einer Sammellinse und einer Zerstreuungslinse besteht, um zu erkennen, dass nicht die Sonne um die Erde kreist, sondern die Sonne den Mittelpunkt unseres Planetensystems bildet. Johannes Kepler kombinierte für sein Fernrohr 1611 zwei Sammellinsen, um die Umlaufbahnen der Planeten zu beobachten. Antoni van Leeuwenhoek gilt als Pionier der Mikroskopie und baute ab 1658 mehr als 300 Mikroskope. Isaac Newton erkennt durch Versuche an Prismen die Wellennatur des Lichts und entdeckt durch Experimente mit Licht am Spaltdurchgang und an Prismen die Zusammensetzung von weißem Licht als ein Spektrum unterschiedlicher Farben und veröffentlicht diese Erkenntnisse 1704 unter dem Titel „Opticks: or a Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections and Colours of Light“. Durch seine Versuche bemerkte er, dass auch Linsen dem Effekt der farblichen Dispersion unterworfen sind und schlug alternativ zu Fernrohren ein Teleskop mit Spiegeln vor, das ab 1672 auch gebaut wurde. Der durch chromatische Aberration hervorgerufene Abbildungsfehler kann heute durch die Kombination von Linsen aus unterschiedlichen Gläsern vermieden werden. Ein Abbildungsfehler tritt immer dann auf, wenn sich die von einem Objekt ausgehenden Lichtstrahlen nicht alle in einem Brennpunkt eines optischen Systems treffen. Gravierende Abbildungsfehler sind die sphärische und die chromatische Aberration. Sphärische und chromatische Abbildungsfehler können heute durch Systeme aus mehreren Linsen verschiedener Glassorten, sphärische Abbildungsfehler durch asphärische Linsen oder Gradientenlinsen behoben werden. Künstliche Intraokularlinsen sind dazu ausgebildet, Fehlsichtigkeiten des menschlichen Auges zu korrigieren. Bei einer Makuladegeneration im Endstadium gelingt dies bisher kaum. Folgt man der Gutenberg-Gesundheitsstudie, in der Zahlen und Fakten zu Augenkrankheiten in Deutschland aufgeführt werden, stellt die Makuladegeneration (AMD) die häufigste Ursache für schwere Sehbehinderungen dar und betrifft 20% der 65- bis 74-jährigen und 35% der 75- bis 84-jährigen. Von der AMD im Endstadium sind ca. 5% der 75- bis 84-jährigen betroffen. Der Begriff Lidar ist die englische Abkürzung für (light detection and ranging) und steht, wie auch der Begriff Ladar (laser detection and ranging), für ein dem Radar verwandtes Verfahren, bei dem nicht Radiowellen wie beim Radar sondern Laserstrahlen für die Detektion und Abstandsmessung von Objekten verwendet werden. Für das angekündigte und mit Einschränkungen bereits stattfindende autonome Bewegen von Fahrzeugen nimmt diese Technik eine Schlüsselstellung ein. Bereits bekannte Methoden zur praktischen Anwendung der Technik nutzen mittels einer Vielzahl

beweglicher Spiegel geführte Suchstrahlen für das Scanning des Vorfelds eines Fahrzeugs. Eine alternative Methode betrifft das flächenhafte Scannen mit einem divergenten Bündel von Laserstrahlen. Ein Lidar-System, das auch als Scheinwerfer für Abblendlicht genutzt wird, ist eine wünschenswerte Option für die Fahrzeuginsassen, ob sie nun gefahren werden oder selbst fahren. Seit mehr als 100 Jahren ist bekannt, dass Röntgenstrahlung, anders als sichtbares Licht, Stoffe wie Haut, Gewebe, Faszien, Muskeln, Sehnen, Bänder und Knochen durchdringen kann. Aus der von Conrad Röntgen genutzten Vakuumröhre und dem damit verbundenen einfachen Projektionsverfahren entwickelten sich rasch die auch heute noch verwendeten Röntgengeräte als vielseitig verwendbare Instrumente der medizinischen Diagnostik, die durch einfache Projektion ein Bild auf einem belichteten Film erzeugen. Bereits Ende des 19. Jahrhunderts hatte Wilhelm Conrad Röntgen mittels von Prismen aus unterschiedlichen Materialien versucht, die nach ihm benannten Strahlen zu brechen, was ihm nicht gelang. Erst im Jahr 1996 gelang es eine Brechungslinse für Röntgenstrahlen herzustellen und damit die bis dahin geltende Schulbuchweisheit zu widerlegen, dass Röntgenstrahlen nicht zu brechen seien. Zunächst dienten etwa 50 eng benachbarte zylindrische Löcher mit einem Durchmesser von 0,5 mm in einem Aluminiumblock als eine Vorrichtung zur Brechung der Röntgenstrahlung. Ab 2001 gelang es an der RWTH Aachen Linsen mit rotationsparabolischem Profil zu entwickeln und herzustellen, die die Röntgenstrahlung in beiden Richtungen fokussieren können und frei von sphärischer Aberration sind. Ein aus einem Synchrotron ausgekoppelter monochromatischer Röntgenstrahl von etwa 1 mm Durchmesser kann mittels einer Vielzahl von Linsen fokussiert werden, um ein Bild eines durchstrahlten Objekts zu erzeugen. Nachteilig dabei ist die Tatsache, dass sehr viele derartige Linsen auf einer optischen Achse hintereinander angeordnet werden müssen, um die gewünschte Fokussierung zu erreichen. Heute stehen für röntgenanalytische Verfahren Spiegel aus Mehrschichten für den streifenden Strahlungseinfall, Röntgengitter und Röntgenlinsen zur Verfügung, um in der Röntgenanalytik eine hohe Ortsauflösung zu erzielen, die mit der bisher bekannten Röntgendiagnostik als einfache Projektion der divergenten Röntgenstrahlung auf einen Schirm so nicht möglich war. Im Bereich der Röntgenmikroskopie sind nach dem aktuellen Stand der Technik immer zwei optische Systeme erforderlich, um zuerst die monochromatisierte Röntgenstrahlung zu kondensieren, anschließend ein Objekt zu durchleuchten und dann mittels eines Röntgenobjektivs und eines Detektors auf einer Bildfläche ein Bild zu erzeugen. Bei der Kondensation der Röntgenstrahlen mittels einer Zonenplatte und einer Lochblende, werden die Röntgenstrahlen nullter Ordnung von einer strahlungsundurchlässigen Blende ausgeblendet, sodass mittels eines hohlkegelförmigen divergenten Strahlen-

bündels nur ein unvollständiges Bild des Objekts erzeugt werden kann. Für die Fokussierung eines monochromatischen Parallelstrahlbündels ist eine Kondensoroptik vorgesehen, die z.B. von einem Refokussierspiegel oder von einem Zonenplattenkondensor gebildet wird und das Parallelstrahlbündel zunächst auf einen Fokus des Kondensors konzentriert, um dann ein divergentes Strahlenbündel in eine kapillare Optik einzuleiten, die z.B. von einem Rotationsparaboloid gebildet wird. Da das Rotationsparaboloid die mittleren Strahlen eines divergenten oder parallelen Strahlenbündels nicht reflektieren kann, überträgt sich diese Fehlstelle über das Röntgenobjektiv auf den CCD-Sensor einer Kamera. Die Verwendung von zwei optischen Systemen ist in der Röntgenmikroskopie mit der Schwierigkeit behaftet, das zu untersuchende Objekt im Brennpunkt oder in unmittelbarer Nähe Brennpunkts anordnen zu müssen oder eine Offset-Lösung zu wählen, um auf der Bildfläche des Detektors ein Bild aufzeichnen zu können. Dadurch unterliegt die Röntgenmikroskopie einer Reihe methodisch bedingter Zwänge, die die Anordnung der Bauelemente des optischen Systems und die Größe und Anordnung des zu untersuchenden Objekts stark einschränken.

[0003] Aus der DE 20 2011 110 144 U1 geht eine Intraokularlinse mit unterschiedlichen Beugungsprofilen hervor, die jeweils einen Fokus auf der optischen Achse der Intraokularlinse haben. Aus der WO 94/11765 A1 geht eine bifokale Sammellinse hervor, bei der mindestens eine der beiden Oberflächen diffraktiv ausgebildet ist.

Aus der WO 2007/092949 A1 geht eine Intraokularlinse hervor, die im Randbereich refraktive und in der Mitte diffraktive Grenzflächen aufweist.

Aus der US 6 536 899 B1 geht eine multifokale Linse hervor, die in eine Mehrzahl ringförmiger Zonen unterteilt ist, wobei nur jede zweite Zone refraktiv ausgebildet ist.

[0004] Aus der US 7 381 221 B2 geht eine multizonal aufgebaute, monofokale Intraokularlinse hervor.

Aus der US 7 156 516 B2 geht eine Intraokularlinse hervor, die mindestens zwei diffraktive Oberflächen aufweist und die aus mehr als einem Glaskörper aufgebaut werden kann.

Aus der DE 36 26 869 A1 geht eine Intraokularlinse mit einem von der Haptik gebildeten Rahmenmodul und einem auswechselbaren Optikmodul hervor.

Aus der US 2013/0 235 980 A1 geht aus der Beschreibung der **Fig. 1, Fig. 2, Fig. 5** und **Fig. 7** eine Vorrichtung hervor, bei der von einer Punktlichtquelle ausgehende Röntgenstrahlung im streifenden Einfall an mehreren zueinander parallel angeordneten und reflektierenden, gekrümmten Flächen mehrfach reflektiert wird, um kollimiert oder fokussiert zu werden.

Aus der DE 10 2012 220 465 A1 geht aus der Beschreibung der **Fig. 4** und **Fig. 6** ein EUV-Kollek-

tor hervor, der EUV-Strahlung einer EUV-Strahlungsquelle teilweise durch mehrfache Reflexion an rotationssymmetrischen, gekrümmten Spiegelschalen in streifendem Einfall in einen Brennpunkt fokussiert.

[0005] Aus der DE 37 85 763 T2 geht aus der Beschreibung der **Fig. 6** und **Fig. 12** sowie aus Absatz [0017] eine Vorrichtung hervor, die Röntgenstrahlung durch mehrfache Reflexion kollimiert oder fokussiert.

[0006] Aus der DE 10 2005 056 404 B4 geht ein Röntgenmikroskop mit einer Kondensor-Monochromator-Anordnung für eine hohe spektrale Auflösung hervor. Das Röntgenmikroskop weist eine Kapillaroptik mit einer ringförmigen Apertur auf, die einen raumfest positionierten Fokusfleck in einer Entfernung von einigen Millimetern hinter der Kapillaroptik hat, wobei das zu untersuchende Objekt in unmittelbarer Nähe zu dem Fokusfleck angeordnet ist. Mit der in dieser Druckschrift erläuterten ringförmigen Kapillaroptik ist es nicht möglich, ein in sich vollständiges Bild des durchstrahlten Objekts mit einem CCD-Sensor in der Bildebene zu empfangen, da der verkettete Strahlengang eine zentrale Lücke aufweist.

[0007] Aus der US 2004 / 0 125 442 A1 geht ein Phasenkontrast-Röntgenmikroskop hervor, dessen Kondensor eine Wolter-Optik aufweist und dessen Röntgenobjektiv von einer Zonenplatte gebildet wird.

[0008] Aus der DE 197 00 615 A1 geht eine Monochromator-Anordnung für ein Röntgenmikroskop hervor, bei dem das durchstrahlte Objekt mit einem Versatz zu der optischen Achse angeordnet ist, sodass nur ein Sektor der Röntgenstrahlung für die Abbildung mittels einer CCD-Kamera genutzt werden kann.

Aus der DE 44 32 811 A1 geht ein Röntgenmikroskop mit einem ringförmigen Kondensor-Spiegel hervor, bei dem das durchstrahlte Objekt unmittelbar im Fokus der Röntgenstrahlung liegt.

Aus der DE 10 2017 011 352 B4 geht eine Kameramoduleinheit für Digitalaufnahmen hervor, die in sich starr ausgebildet ist und Aufnahmen mit unendlicher Tiefenschärfe in Echtzeit ermöglicht.

[0009] Wie von Conrad Röntgen bereits vermutet, ist auch ein Prisma für die Fokussierung von Röntgenstrahlung geeignet, wie im Folgenden gezeigt wird.

Aufgabenstellung

[0010] Ausgehend von dem dargestellten Stand der Technik besteht die Aufgabe der Erfindung darin, ein neues optisches Bauelement für unterschiedliche Spektralbereiche elektromagnetischer Wellen anzugeben, das die Eigenschaften einer Linse mit den Eigenschaften eines Reflexionsprismas verbindet und im Rahmen der Erfindung als Hybridprisma bezeichnet wird. Es ist insbesondere die Aufgabe der Er-

findung ein Hybridprisma bereitzustellen, das Lichtstrahlen in einem Glaskörper und Röntgenstrahlen in einem Vakuum exakt auf einen Fokus konzentriert, sodass das Hybridprisma als Objektiv in einem optischen System eine Abbildung eines Objekts ermöglicht. Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Hybridprisma entweder als ein Sammelpisma oder als ein Zerstreuprisma oder als ein Kondensprisma oder als ein Intraokularprisma auszubilden, sodass der verkettete Strahlengang mit einer geraden Anzahl von Totalreflexionen für unterschiedliche optische Systeme und Aufgaben genutzt werden kann, die im Bereich des sichtbaren Lichts z.B. ein menschliches Auge mit einem Intraokularprisma oder ein Lidar-System als Scheinwerfer und allgemein ein Objektiv für eine Kamera, ein Teleskop oder ein Mikroskop und im Bereich der Röntgenstrahlung ein medizinisches Röntgengerät oder ein Röntgenmikroskop oder ein Röntgenteleskop betreffen. Weitere Aufgaben und vorteilhafte Eigenschaften der Erfindung gehen aus den Unteransprüchen hervor. Im Einzelnen löst die Erfindung die folgenden Aufgaben:

- Angabe eines Intraokularprismas, das verkettete Strahlen innerhalb des menschlichen Auges um die Makula herum lenkt,
- Angabe eines Intraokularprismas, das eine ringförmige Bildfläche rund um die Makula ermöglicht,
- Angabe eines Lidar-Systems, bei dem eine Sende- und eine Empfängereinheit eine gemeinsame optische Achse aufweisen,
- Angabe eines Lidar-Systems mit mehreren Scheinwerfern für Laserlicht, die eine Kamera konzentrisch umgeben,
- Angabe eines optischen Bauelements mit einer Lücke im Strahlengang, die als Installationsraum genutzt werden kann,
- Angabe eines optischen Bauelements mit vier Grenzflächen, an denen der verkettete Strahlengang gesteuert werden kann,
- Vereinigung von Kondensor und Objektiv für Röntgenstrahlung in einem optischen Bauelement,
- Angabe eines Objektivs für Röntgenstrahlung, das ein vollständiges Bild eines durchstrahlten Objekts herstellen kann,
- Angabe eines hybriden Kondensprismas als Objektiv für ein Röntgengerät, das ein von einer Röntgenröhre emittiertes divergentes Strahlenbündel exakt auf einen Mikrofokus bündelt,
- Angabe eines hybriden Kondensprismas, dessen vorderer Fokus deckungsgleich mit der Strahlungsquelle für Röntgenstrahlung innerhalb einer Röntgenröhre angeordnet ist,

- Angabe eines Tomografs für ein Schichtbildverfahren mit einem Objektiv für Röntgenstrahlung,
- Angabe eines hybriden Sammelp Prismas als ein Objektiv für ein Röntgenmikroskop, das ein von einem Synchrotron erzeugtes Parallelstrahlbündel exakt auf einen hinteren Fokus bündelt,
- Angabe eines hybriden Sammelp Prismas als ein Objektiv für ein Röntgenteleskop, das Röntgenstrahlung abbilden kann,
- Angabe eines Objektivs für Röntgenstrahlung, das auch die Strahlen nullter Ordnung für eine Abbildung nutzen kann,
- Angabe eines Objektivs für Röntgenstrahlung mit einem hohen Transmissionsgrad und mit einem geringen Absorptionsgrad,
- Angabe eines Objektivs für Röntgenstrahlung mit einer vorderen und mit einer hinteren Korrekturlinse,
- Angabe eines zweiteiligen Hüllkörpers für ein Vakuum als Objektiv für Röntgenstrahlung

Der Aufbau des Hybridprismas

[0011] Das Hybridprisma hat einen einem Rotationsrhomboide ähnlichen rotationsymmetrischen Körper, an dem mindestens in einem Längsabschnitt eine erzeugende Kurve mit einem wechselnden Tangentenwinkel ausgebildet ist und weist für Licht und für Laserlicht im Wellenlängenbereich von 1400 nm bis 380 nm einen Glaskörper auf, der optisch dichter ist als die umgebende Materie und eine Brechzahl > 1 hat. Röntgenstrahlung, die Materie mit einer Wellenlänge von 1 nm bis 30 pm durchdringt, ist einer Phasenverschiebung unterworfen und wird teilweise absorbiert, sodass der tatsächliche Anteil der Brechzahl < 1 ist. Das Vakuum ist deshalb für die Röntgenstrahlung optisch dichter als die umgebende Materie. Dementsprechend wird der rotationsymmetrische Körper mit vier Grenzflächen durch einen optisch dünneren Hüllkörper allseitig begrenzt. Sowohl für Licht und Laserlicht als auch für Röntgenstrahlung bestimmen die vier Grenzflächen des rotationsymmetrischen Körpers zu der optisch dünneren Materie den Strahlengang derart, dass die von einem Objekt ausgehenden Strahlen in einem verketteten Strahlengang eine Abbildung des Objekts auf einer Bildfläche ermöglichen. Das Hybridprisma ist entweder als ein einzelner rotationsymmetrischer Körper ausgebildet oder besteht aus einer Mehrzahl koaxial und konzentrisch zu der optischen Achse angeordneter ringförmiger rotationsymmetrischer Körper, die untereinander zu einem Array verbunden sind. Die vordere und die hintere Grenzfläche des rotationsymmetrischen Körpers ist refraktiv und/oder diffraktiv ausgebildet, während die totalreflektierenden inneren Grenzflächen einen Neigungswinkel gegenüber

der optischen Achse haben. Mindestens eine der vier Grenzflächen weist mindestens in einem Längsabschnitt ihrer Länge eine erzeugende Kurve mit einem kontinuierlich wechselnden Tangentenwinkel für den Fokus des rotationsymmetrischen Körpers auf. Die erzeugende Kurve ist als ein Kreisbogen oder als eine Polynomkurve zweiten bis fünften Grades oder als eine Freiformkurve ausgebildet. Optische Systeme, die für sichtbares Licht mit einer Wellenlänge von 780 nm bis 380 nm ausgelegt sind, haben die Sonne oder eine LED-Anordnung als Strahlungsquelle, während ein Lidar-System einen Laser aufweist, dessen Strahlungsquelle in einem Wellenlängenbereich von 1400 nm bis 400 nm liegt und in den nicht sichtbaren Infrarotbereich hineinreicht. Als Strahlungsquelle für Röntgenstrahlung mit einer Wellenlänge von 1 nm bis 30 pm dient entweder eine Röntgenröhre oder ein Synchrotron mit einem Undulator.

Hybridprismen für Licht und Laserlicht

[0012] Für Licht und für Laserlicht ist der rotationsymmetrische Körper als ein Glaskörper ausgebildet. Die Strahlen des verketteten Strahlengangs werden an den vier Grenzflächen des Glaskörpers derart umgelenkt, dass eine Lücke entsteht, die innerhalb des Strahlengangs einen Installationsraum bildet und eine ringförmige Bildfläche mit einem Innendurchmesser bewirkt. In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform des Hybridprismas wird diese Lücke in dem verketteten Strahlengang durch eine vierfache Totalreflexion an den inneren Grenzflächen des Glaskörpers geschlossen, sodass die Ausbildung einer kreisförmigen oder rechteckigen Bildfläche ermöglicht wird. Analog zu einer Linse sind die vordere und rückwärtige Seite des Glaskörpers entweder bikonvex, plankonvex, konkav-konvex, bikonkav, plankonkav oder konvex-konkav ausgebildet, wobei die Grenzflächen der Glaskörper eine Korrektur der chromatischen Aberration ermöglichen und die koaxial und konzentrisch zu der optischen Achse angeordneten ringförmigen Glaskörper eines Arrays untereinander einen Zwischenraum aufweisen, der für die Aufnahme eines optisch dünneren UV-Klebkitts vorgesehen ist.

Das hybride Intraokularprisma

[0013] Bei einer bevorzugten Ausführungsvariante betrifft das optische System ein menschliches Auge mit einem hybriden Intraokularprisma, das aus mindestens zwei ringförmigen, konzentrisch und koaxial zu der optischen Achse angeordneten Glaskörpern besteht. Für Patienten, die an einer Makuladegeneration leiden, kann das Intraokularprisma die Sehkraft wiederherstellen. Zwei oder mehrere Glaskörper bilden untereinander ein Array, bei dem die inneren totalreflektierenden Grenzflächen mit einem einheitlichen Neigungswinkel bezüglich der optischen Achse ansteigen und jeweils parallel zueinander ausge-

richtet sind, wobei die totalreflektierende Grenzfläche eines zentralen Glaskörpers an die totalreflektierende Grenzfläche eines nächst größeren ringförmigen Glaskörpers anschließt und der hintere Fokus des hybriden Intraokularprismas innerhalb des Auges gerade so weit von der Netzhaut beabstandet ist, dass auf der von der Netzhaut gebildeten Bildfläche eine kreisförmige Lücke entsteht, die dem Durchmesser der Makula entspricht, sodass die Strahlen des verketteten Strahlengangs unter Umgehung der Makula an der Augeninnenseite eine in sich vollständige Abbildung auf die die Makula umgebende gesunde Netzhaut projizieren.

[0014] Lidar-Systeme Bei einer bevorzugten Ausführungsvariante des Hybridprismas ist das optische System als ein Lidar-System mit einer Sendeeinheit und mit einer Empfängereinheit ausgebildet. Die Sendeeinheit besteht aus einer Strahlungsquelle für einen Laser mit gepulstem Licht und aus einem Filterelement zur Herstellung von weißem Licht sowie aus einem hybriden Sammelpisma mit einem Glaskörper, das als Scheinwerfer dazu ausgebildet ist, das Parallelstrahlbündel des Laserstrahls mit einem Durchmesser von 1,5 mm bis 6 mm zu einem konvergenten Strahlenbündel zu transformieren und innerhalb des Glaskörpers für den Scheinwerfer auf einen Fokus zu konzentrieren, sodass das Lidar-Licht als divergentes Strahlenbündel mit einem Öffnungswinkel von 20-30 Grad den Bereich vor einem Fahrzeug ausleuchten kann. Die Empfängereinheit besteht aus einer Kamera, deren Objektiv ein Array aus einer Mehrzahl von konzentrisch und koaxial zu dem hybriden Sammelpisma der Sendeeinheit angeordneter ringförmiger rotationssymmetrischer Körper aufweist und dazu ausgebildet ist, die von einem Objekt reflektierten Strahlen des gepulsten Lichts über den Fokus des Objektivs auf einen ringförmigen Lidar-Sensor zu projizieren, sodass das Lidar-System Objekte im Vorfeld eines Fahrzeugs in Echtzeit erfassen und erkennen kann und gleichzeitig den Fahrzeuginsassen als Abblendlicht dient und in das Scheinwerfergehäuse eines Fahrzeugs eingebaut werden kann. Bei einer alternativen Ausführungsform für das Lidar-System wird das Vorfeld des Fahrzeugs mittels einer Mehrzahl von Scheinwerfern für gepulstes Laserlicht gezielt ausgeleuchtet, wobei bei Gegenverkehr einzelne Scheinwerfer abgeschaltet werden, um Blendung zu vermeiden. Jeder der Scheinwerfer hat eine optische Achse für den Laser, für ein Filterelement und für den Glaskörper eines hybriden Sammelpismas, der den Laserstrahl gezielt verteilt. Die Empfängereinheit für das von der Umgebung und von den Objekten reflektierte Licht besteht aus einer in sich starren Kamera mit einem Lidar-Sensor, deren Objektiv von den Laser-Scheinwerfern umgeben ist. Die reflektierten Lichtstrahlen können von der Kamera mit einem Bildwinkel von bis zu 72 Grad erfasst und als ein Parallelstrahlbündel auf den CCD-Sensor der Kamera gelenkt werden.

Hybridprismen für Röntgenstrahlung

[0015] Mit einem realen Anteil der Brechzahl < 1 ist für Röntgenstrahlung das Vakuum optisch dichter als die umgebende Materie. Deshalb weist ein erfindungsgemäßer rotationssymmetrischer Körper für Röntgenstrahlung im Wellenlängenbereich von 0,1-5 nm ein Vakuum auf, das vier Grenzflächen zu einem optisch dünneren, zweiteilig ausgebildeten Hüllkörper hat, der von einer konzentrisch und koaxial zu der optischen Achse angeordneten Spindel sowie von einer mit einem radialen Abstand zu der Spindel angeordneten Hülse gebildet wird. Der rotationssymmetrische Körper weist eine zusammengesetzte erzeugende Kurve für die konzentrisch und koaxial zu der optischen Achse angeordnete Spindel auf. Die erzeugende Kurve der Spindel besteht aus geraden Längsabschnitten jeweils mit einem konstanten Neigungswinkel gegenüber der optischen Achse und in mindestens einem Längsabschnitt der Länge aus einer Hyperbel oder Parabel. Die erzeugende Kurve für die Hülse des Hüllkörpers besteht ebenfalls aus geraden Längsabschnitten mit einem konstanten Neigungswinkel gegenüber der optischen Achse und in mindestens einem Längsabschnitt der Länge aus einer Parabel oder einer Ellipse. Die vordere und die hintere Grenzfläche des rotationssymmetrischen Körpers wird jeweils von einer refraktiv und/oder diffraktiv ausgebildeten Oberfläche einer Korrekturlinse gebildet, sodass die Röntgenstrahlung an der vorderen Korrekturlinse von der optischen Achse weg- und an der hinteren Korrekturlinse zu der optischen Achse hingelenkt und an den beiden von der Spindel und der Hülse gebildeten Grenzflächen des rotationssymmetrischen Körpers jeweils viermal totalreflektiert wird. Mit dieser Anordnung gelingt es, es den Kondensator und die bildgebende Optik eines Röntgenmikroskops in einem von einem hybriden Sammelpisma gebildeten Objektiv zusammenzufassen und Röntgenstrahlung, die als ein brillantes, monochromatisches Parallelstrahlbündel aus einem Synchrotron mit Undulator ausgekoppelt wird, exakt auf einen Brennpunkt kleiner-gleich 0,1 mm zu fokussieren. Für Röntgenstrahlung, die als ein leicht divergentes Strahlenbündel aus dem Synchrotron ausgekoppelt wird, ist das hybride Kondensatorprisma als Objektiv vorgesehen, um die Röntgenstrahlung auf einen Brennpunkt kleiner-gleich 0,1 mm zu fokussieren und mittels eines CCD-Sensors auf der Bildfläche des Röntgenmikroskops eine mikroskopische Abbildung eines durchleuchteten Objekts herzustellen. Bezüglich der Anordnung und Größe des zu untersuchenden Objekts besteht dabei eine bisher nicht gekannte Freiheit. Die Korrekturlinsen am vorderen und hinteren Ende eines Hybridprismas verbessern die Abbildungsqualität erheblich, indem sie mögliche Winkeltangentenfehler im Zusammenhang mit dem streifenden Einfall der Röntgenstrahlung an Spindel und Hülse des Hüllkörpers begrenzen. Die Spindel des Hüllkörpers wird entweder berührungslos oder mittels von Ver-

bindungsstegen in der Hülse festgehalten. Die Verwendung eines Hybridprismas als ein Objektiv für Röntgenstrahlung eröffnet der Röntgenanalyse neuartige bildgebende Verfahren, die den ganzen Querschnitt eines Parallelstrahlbündels bzw. den gesamten Strahlenkegel eines divergenten Strahlenbündels für die Durchstrahlung eines Objekts und damit auch für die Aufzeichnung einer in sich vollständigen Abbildung des Objekts nutzen können. Das Anwendungsspektrum des neuartigen bildgebenden Verfahrens für die Röntgenanalyse reicht von der Strukturbiologie über die Grenz- und Oberflächenphysik bis hin zur Atom- und Molekülphysik.

Medizinische Röntgengeräte

[0016] Bei einem Röntgengerät wird die Strahlungsquelle von einer Röntgenröhre mit einer punktförmigen Strahlungsquelle gebildet, die ein divergentes Strahlenbündel mit einem nutzbaren Öffnungswinkel kleiner-gleich 10 Grad als harte Röntgenstrahlung im Bereich von 25 keV bis zu 125 keV emittiert. Innerhalb der Röntgenröhre ist ein Objektiv für die Röntgenstrahlung angeordnet, das als ein hybrides Kondensorprisma ausgebildet ist, dessen vorderer Fokus deckungsgleich mit der punktförmigen angenommenen Strahlungsquelle der Röntgenröhre angeordnet wird. Das Kondensorprisma ist dazu ausgebildet, die Röntgenstrahlung mittels der vorderen Korrekturlinse zu homogenisieren und an den Grenzflächen des rotationssymmetrischen Körpers in einem verketteten Strahlengang mit vierfacher Totalreflexion auf einen hinteren Fokus der hinteren Korrekturlinse zu konzentrieren. Anschließend wird ein von einem Körper oder Körperteil gebildetes Objekt durchleuchtet. Das Röntgengerät kann z.B. als ein Tomograf ausgebildet werden, der um das Objekt rotiert, sodass mittels eines Zellen-detektors auf einer zylindrischen Bildfläche scharfe Schichtbilder des Objekts empfangen werden können.

Röntgenmikroskope

[0017] Bei einem Röntgenmikroskop weist das optische System ein hybrides Sammelpisma auf und ist dazu ausgebildet, das an einem Synchrotron mit einem Undulator ausgekoppelte monochromatische Parallelstrahlbündel mit einem Strahldurchmesser von 1,0 mm bis 10 mm als harte Röntgenstrahlung im Bereich von 10 keV bis zu 125 keV mittels eines Objektivs, das von dem hybriden Sammelpismas gebildet wird, auf einen der hinteren Grenzfläche zugeordneten Fokus des rotationssymmetrischen Körpers zu konzentrieren. Anschließend wird ein divergentes Strahlenbündel auf eine Bildfläche projiziert, um eine mikroskopische Aufnahme des von dem Parallelstrahlbündel der Röntgenstrahlung durchstrahlten Objekts mittels eines CCD-Sensors einer CCD-Kamera zu erhalten. Alternativ kann das optische System des Röntgenmikroskops ein hybrides

des Kondensorprisma aufweisen. Das Kondensorprisma vereinigt in sich die Funktion eines Kondensors und eines bildgebenden Objektivs, wobei zunächst das von einem Synchrotron emittierte divergente Strahlenbündel der Röntgenstrahlung im Bereich von 10 keV bis zu 125 keV auf einen der hinteren Grenzfläche zugeordneten Fokus des rotationssymmetrischen Körpers konzentriert wird, um anschließend auf einer Bildfläche eine mikroskopische Aufnahme des von dem divergenten Strahlenbündel der Röntgenstrahlung durchstrahlten Objekts mittels des CCD-Sensors einer CCD-Kamera zu erhalten.

Röntgenteleskope

[0018] Bei einem terrestrisch oder satellitengestützten Röntgenteleskop hat das hybride Sammelpisma einen Durchmesser von mindestens 1 m und ist dazu ausgebildet, Röntgenstrahlung im Bereich von 0,1 keV bis 2,0 keV, die von bekannten und unbekanntem Strahlungsquellen emittiert wird, mittels einer CCD-Kamera abzubilden. Die totalreflektierenden Grenzflächen des hybriden Sammelpismas werden von einer koaxial und konzentrisch zu der optischen Achse angeordneten Spindel und von einer die Spindel in einem radialen Abstand konzentrisch umgebenden Hülse gebildet, die mit inneren Grenzflächen das Vakuum definieren. Jeweils in einem Längsabschnitt ihrer Länge weisen die Spindel und die Hülse eine erzeugende Kurve für den rotationssymmetrischen Körper auf. An den inneren Grenzflächen des rotationssymmetrischen Körpers wird die Röntgenstrahlung in einem verketteten Strahlengang jeweils viermal totalreflektiert und auf einen hinteren Fokus konzentriert, sodass anschließend auf der Bildfläche des optischen Systems mittels des CCD-Sensors einer CCD-Kamera eine Abbildung der Strahlungsquelle aufgezeichnet werden kann.

[0019] Die Figuren zeigen unterschiedliche Ausführungsmöglichkeiten und Anwendungen der Erfindung.

[0020] Es zeigen:

Fig. 1 oben den verketteten Strahlengang einer Intraokularlinse im Querschnitt, unten die Intraokularlinse aus zwei rotationssymmetrischen Körpern in einer perspektivischen Ausschnittsdarstellung,

Fig. 2 die Intraokularlinse nach **Fig. 1** in einem Querschnitt des menschlichen Auges,

Fig. 3 eine Intraokularlinse aus vier rotationssymmetrischen Körpern in einer perspektivischen Ausschnittsdarstellung,

Fig. 4 oben eine Intraokularlinse aus vier rotationssymmetrischen Körpern mit einer Fresnelstruktur im Querschnitt entlang der optischen

Achse x und unten in einer perspektivischen Ausschnittsdarstellung,

Fig. 5 den zentralen rotationssymmetrischen Körper der Intraokularlinse nach **Fig. 1-4** in einem Querschnitt,

Fig. 6 ein hybrides Sammelpisma frei von chromatischer Aberration als Einzelelement in einem Querschnitt,

Fig. 7 ein hybrides Sammelpisma als ein Array aus vier Glaskörpern frei von chromatischer Aberration in einem Querschnitt,

Fig. 8 ein hybrides Sammelpisma als ein Array aus fünf Glaskörpern frei von chromatischer Aberration in einem Querschnitt,

Fig. 9 ein hybrides Zerstreungsprisma als ein Array aus drei ringförmigen Glaskörpern frei von chromatischer Aberration in einem Querschnitt,

Fig. 10 ein Lidar-System für infrarotes Licht in einem schematischen Querschnitt entlang der optischen Achse x ,

Fig. 11 ein Lidar-System als Scheinwerfer in einem schematischen Querschnitt entlang der optischen Achse x ,

Fig. 12 das Lidarsystem nach **Fig. 11** in einer perspektivischen Ausschnittsdarstellung,

Fig. 13 den Scheinwerfer für ein Lidar-System in einem Querschnitt entlang der optischen Achse x ,

Fig. 14 ein Lidar-System mit acht Scheinwerfern nach **Fig. 13** in einer perspektivischen Ausschnittsdarstellung,

Fig. 15 das Lidar-System nach **Fig. 14** oben in einer Ansicht, unten im schematischen Querschnitt,

Fig. 16 ein Objektiv für Röntgenstrahlung, das als ein hybrides Kondensorprisma mit diffraktiven Korrekturlinsen ausgebildet ist,

in einem Querschnitt entlang der optischen Achse x ,

Fig. 17 das hybride Kondensorprisma für Röntgenstrahlung nach

Fig. 16 in einer Ausschnittsperspektive,

Fig. 18 ein Objektiv für Röntgenstrahlung, das als ein hybrides Kondensorprisma mit refraktiven Korrekturlinsen ausgebildet ist,

in einem Querschnitt entlang der optischen Achse x ,

Fig. 19 das hybride Kondensorprisma für Röntgenstrahlung mit refraktiven Korrekturlinsen nach **Fig. 18** in einer Ausschnittsperspektive,

Fig. 20 ein Röntgengerät, das als ein Tomograf ausgebildet ist, mit einem hybriden Kondensorprisma innerhalb einer Röntgenröhre in einem schematischen Querschnitt,

Fig. 21 ein Objektiv für Röntgenstrahlung, das als ein hybrides Sammelpisma mit diffraktiven Korrekturlinsen ausgebildet ist, in einem Querschnitt entlang der optischen Achse x ,

Fig. 22 ein Objektiv für Röntgenstrahlung, das als ein hybrides Sammelpisma mit refraktiven Korrekturlinsen ausgebildet ist, in einem Querschnitt entlang der optischen Achse x ,

Fig. 23 ein Röntgenmikroskop, dessen Objektiv von einem hybriden Sammelpisma nach **Fig. 21-22** und dessen Strahlungsquelle von einem Synchrotron gebildet wird, in einer schematischen Perspektive,

Fig. 24 ein Röntgenteleskop mit einem hybriden Sammelpisma in einer perspektivischen Ausschnittsdarstellung.

[0021] Fig. 1 zeigt ein Hybridprisma **1**, das als ein hybrides Sammelpisma **12** ausgebildet ist und z.B. als ein Intraokularprisma **22** in ein menschliches Auge eingesetzt werden kann, sodass, wie in **Fig. 2** gezeigt, ein optisches System **2** gebildet wird. Das Intraokularprisma **22** besteht aus zwei Glaskörpern **10**, die untereinander ein Array **101** bilden und jeweils einen rotationssymmetrischen Körper **P** mit einer vorderen Grenzfläche **a**, zwei einander gegenüberliegenden inneren Grenzflächen **b,c** mit einem Neigungswinkel α gegenüber der optischen Achse x sowie mit einer hinteren Grenzfläche **d** aufweisen. Die vorderen und die hinteren Grenzflächen **a,d** der rotationssymmetrischen Körper **P** sind konvex ausgebildet und weisen in einem Längsabschnitt **f** der Länge **e** des Hybridprismas **1** jeweils einen kontinuierlich wechselnden Tangentenwinkel β auf. Der vordere Fokus **Fa** auf der optischen Achse x bezieht sich auf eine virtuelle bikonvexe Linse, deren Vorderseite die vordere Grenzfläche **a** des hybriden Sammelpismas **12** bildet und einen Kreisbogen als erzeugende Kurve **y** aufweist, während der hintere Fokus **Fd** des hybriden Sammelpismas **12** ebenfalls auf der optischen Achse x liegt und eine Parabel als erzeugende Kurve **y** hat. Die Strahlen **S**, die ausgehend von einem Objekt **O** als divergentes Strahlenbündel **SD** mit einem Öffnungswinkel δ auf das Intraokularprisma **22** treffen, werden an der vorderen Grenzfläche **a** gebrochen und an den inneren Grenzflächen **b,c** jeweils zweimal totalreflektiert, um an der hinteren Grenzfläche **d** erneut gebrochen und als konvergentes Strahlenbündel **SK** auf den Fokus **Fd** konzentriert zu werden. Der verkettete Strahlengang mit den Beispielstrahlen **A,B** weist eine Lücke **G** auf, die als Installationsraum z.B. für den Sensor eines Blutzuckermessgeräts genutzt werden kann und, wie in **Fig. 2** gezeigt, auf der Netzhaut **223** eine ringförmige Bildflä-

che Φ mit einem inneren Durchmesser D bewirkt, so dass die Ausblendung der degenerierten Makula **222** ermöglicht wird. Die perspektivische Ausschnittsdarstellung des Intraokularprimas **22** zeigt Haptiken **220** für den Einbau in ein menschliches Auge.

[0022] Fig. 2 zeigt den Querschnitt durch ein menschliches Auge, bei dem die Augenlinse durch ein künstliches Intraokularprisma **22**, das dem in Fig. 1 gezeigten Ausführungsbeispiel entspricht, ersetzt wurde. Mit den Haptiken **220** wird das Intraokularprisma **22** in den Kapselsack **221** des Auges eingesetzt. Das von einem Objekt Θ reflektierte Licht L trifft auf das Intraokularprisma **22** und wird in einem verketteten Strahlengang an der vorderen Grenzfläche a gebrochen und, wie in Fig. 1 gezeigt, an den inneren Grenzflächen b,c jeweils zweimal totalreflektiert um an der hinteren Grenzfläche d auf den Fokus Fd konzentriert zu werden. Der Fokus Fd des konvergenten Strahlenbündels SK liegt innerhalb des Auges und ist so weit von der Netzhaut **223** entfernt, dass die von einem Objekt Θ reflektierten Strahlen S unter Umgehung der degenerierten Makula **222** eine in sich vollständige Abbildung des Objekts Θ auf einer von der Netzhaut **223** gebildeten ringförmigen Bildfläche Φ mit einem inneren Durchmesser D ermöglichen. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass alle Bildinformationen eines Objekts Θ in einer Objektebene von den Rezeptoren der Netzhaut **223** aufgenommen werden können. Nach dem Ersatz der Augenlinse durch das hybride Intraokularprisma **22** in einer Kataraktoperation wird der Patient zunächst ein Bild mit einer zentralen Fehlstelle wahrnehmen, das jedoch alle Bildinformationen enthält. Es besteht die begründete Hoffnung, dass der Patient nach einer Eingewöhnungszeit aufgrund einer neuronalen Anpassungsleistung des neuronalen Netzwerks der Sehnerven und des Gehirns wieder ein vollständiges Bild ohne jede Fehlstelle wahrnehmen kann.

[0023] Fig. 3 zeigt ein hybrides Intraokularprisma **22** mit einem Array **101**, das von insgesamt vier konzentrisch und koaxial zu der optischen Achse x angeordneten Glaskörpern **10** gebildet wird. Während die vorderen Grenzflächen a eine zusammenhängende sphärische Wölbung aufweisen, sind die hinteren Grenzflächen d mit einer Fresnelstruktur z ausgebildet.

[0024] Fig. 4 oben zeigt ein Array **101** aus vier Glaskörpern **10**, die untereinander zu einer Fresnelstruktur z verbunden sind, in einem Querschnitt entlang der optischen Achse x . Das als ein Array **101** aus vier rotationssymmetrischen Körpern P aufgebaute Hybridprisma **1** ist als ein hybrides Sammelpisma **12** ausgebildet und fokussiert das parallele Strahlenbündel SP mit den Beispielstrahlen A,B in einem verketteten Strahlengang mit zweimaliger Totalreflexion an den inneren Grenzflächen b,c der von Glaskörpern

10 gebildeten rotationssymmetrischen Körpern P auf einen Fokus Fd .

[0025] Fig. 4 unten zeigt das von vier Glaskörpern **10** gebildete Array **101** für ein Intraokularprisma **22** in einer schematischen Ausschnittsperspektive. Der verkettete Strahlengang weist eine Lücke G auf, die, wie in Fig. 2 gezeigt, eine Projektion der Strahlen S des Lichts L auf eine ringförmige Bildfläche Φ ermöglicht, die von der Netzhaut **223** rund um die Makula **222** gebildet wird. Über den Abstand des Fokus Fd zu der Netzhaut **223** wird der innere Durchmesser D , der von der Netzhaut **223** gebildeten ringförmigen Bildfläche Φ definiert. Die einzelnen rotationssymmetrischen Glaskörper **10** können in einem 3D-Druckverfahren mit einem Femto-Sekundenlaser aus transparentem Kunststoff so hergestellt werden, dass sich jeweils zwischen den einzelnen Rotationsrhomboiden optisch wirksame Grenzflächen c,b ausbilden.

[0026] Fig. 5 zeigt den zentralen Glaskörper **10** für ein hybrides Intraokularprisma **22** nach Fig. 1-4, das jeweils als ein Array **101** aus mindestens zwei Elementen **100** aufgebaut ist. Der rotationssymmetrische Körper P hat eine vordere konvexe Grenzfläche a , zwei innere Grenzflächen b,c und eine hintere konvexe Grenzfläche d . Die Strahlen S des Lichts L werden als ein Parallelstrahlbündel SP mit den Beispielstrahlen A,B an der vorderen Grenzfläche a gebrochen und an den inneren Grenzflächen b,c jeweils zweimal totalreflektiert. Mit der konvexen hinteren Grenzfläche d des rotationssymmetrischen Körpers P gelingt es die einzelnen Lichtfarben an dem Fokus Fd wieder zusammenzuführen.

[0027] Fig. 6 zeigt ein hybrides Sammelpisma **12**, das von einem Glaskörper **10** mit einer zentralen Lücke G gebildet wird. Der als rotationssymmetrischer Körper P ausgebildete Glaskörper **10** hat eine Länge e und weist in einem konvexen Längsabschnitt f der inneren Grenzfläche c eine von einer Parabel gebildete erzeugende Kurve y mit einem zugehörigen Fokus Fc auf, wobei die konkave hintere Grenzfläche d eine Parabel als erzeugende Kurve y hat. Das hybride Sammelpisma **12** eignet sich für unterschiedliche optische Systeme und kann z.B. als Objektiv für eine Kamera, für ein Teleskop oder für ein Mikroskop verwendet werden. Mit einer Strahlungsquelle Q in dem Brennpunkt Fc kann das hybride Sammelpisma **12** mit einem umgekehrten Strahlengang, als Scheinwerfer genutzt werden, der perfekt kollimiertes Licht L abstrahlt.

[0028] Fig. 7 zeigt das hybride Sammelpisma **12** nach Fig. 6 als zentralen Glaskörper **10** eines Arrays **101**, das von drei weiteren rotationssymmetrischen Körpern P gebildet wird, die den zentralen Glaskörper **10** koaxial und konzentrisch zu der optischen Achse x umgeben. Das Array **101** mit insgesamt vier Glaskörpern **10** hat eine Länge e , die jeweils in einem konve-

den Längsabschnitt **f** der inneren Grenzfläche **c** eine von einer erzeugenden parabolischen Kurve **y** gebildete Wölbung aufweist, um das Parallelstrahlbündel **SP** mit den Beispielstrahlen **A, B** auf einen der Grenzfläche **c** zugeordneten Fokus **Fc** zu konzentrieren. Dabei sind die Grenzflächen **b, c** nicht parallel zueinander angeordnet, sodass zwischen den einzelnen rotationssymmetrischen Körpern **P** Fugen entstehen, die mit einem UV-Klebstoffkitt ausgefüllt sind. Die hintere Grenzfläche **d** ist konkav ausgebildet, sodass die Beispielstrahlen **A, B** des konvergenten Strahlenbündels **SK** die Grenzfläche **d** ungebrochen durchqueren. Das hybride Sammelpisma **12** ist für das Objektiv **28** einer Kamera ebenso geeignet wie mit umgekehrtem Strahlengang für einen Scheinwerfer mit einer Strahlungsquelle **Q** in dem Brennpunkt **Fc**, der perfekt kollimiertes Licht **L** abstrahlt.

[0029] Fig. 8 zeigt eine vereinfachte Form des in Fig. 7 beschriebenen hybriden Sammelpismas **12**, das von fünf konzentrisch und koaxial zu der optischen Achse **x** angeordneten rotationssymmetrischen Körpern **P** gebildet wird. Das Sammelpisma **12** hat eine Länge **e** und weist in einem konvex ausgebildeten Längsabschnitt **f** der inneren Grenzfläche **c** eine erzeugende konvexe Kurve **y** auf, die als Parabel ausgebildet ist. Die hinteren Grenzflächen **d** der rotationssymmetrischen Körper **P** weisen eine zusammenhängende konkave Wölbung auf, die von einer erzeugenden Parabel gebildet wird. Die inneren Grenzflächen **b, c** eines Rotationsparaboloids **P** weisen jeweils unterschiedliche Neigungswinkel α gegenüber der optischen Achse auf und sind nicht parallel zueinander angeordnet, sodass zwischen den einzelnen Glaskörpern **10** des Arrays **101** offene Fugen gebildet werden, die mit einem UV-Klebstoffkitt ausgefüllt sind. Jeweils der konvexe Längsabschnitt **f** der inneren Grenzfläche **c** bewirkt die Konzentration auf den Fokus **Fc**. Das Parallelstrahlbündel **SP** hat eine Lücke **G**, die von dem zentralen Glaskörper **10** gebildet wird. Das Sammelpisma kann als Konzentratorelement für einen Sonnenkollektor oder mit einem umgekehrten verketteten Strahlengang als Scheinwerfer **29** mit einer Strahlungsquelle **Q** in dem Fokus **Fc** genutzt werden.

[0030] Fig. 9 zeigt das Array **101** eines hybriden Zerstreuungsprismas **13**, das aus drei Glaskörpern **10** aufgebaut ist, in einem Querschnitt entlang der optischen Achse **x**. Das Zerstreuungsprisma **13** hat eine Länge **e** und weist in einem konkaven Längsabschnitt **f** der inneren Grenzfläche **c** eines jeden rotationssymmetrischen Körpers **P** eine von einer Parabel gebildete erzeugende Kurve **y** auf. Die inneren Grenzflächen **b, c** sind nicht parallel zueinander ausgerichtet, sodass zwischen den einzelnen Glaskörpern **10** offene Fugen gebildet werden, die mit einem UV-Klebstoffkitt ausgefüllt sind. Das Zerstreuungsprisma **13** konvergiert das Parallelstrahlbündel **SP** mit den Beispielstrahlen **A, B** zu einem divergenten Strahlendbündel

SD mit einem Öffnungswinkel δ und mit einem virtuellen Fokus **Fc**. Der mittlere Glaskörper **10** hat eine Lücke **G** in dem divergenten Strahlenbündel **SD**, die als Installationsraum genutzt werden kann.

[0031] Fig. 10 zeigt ein optisches System **2**, das als ein Lidar-System **23** mit einer Sendeeinheit und mit einer Empfängereinheit ausgebildet ist, in einem schematischen Querschnitt. Die Sendeeinheit besteht aus einem Laser **230** und aus einem hybriden Sammelpisma **12**, das als ein Scheinwerfer **29** den von dem Laser **230** emittierten Laserstrahl aus infrarotem Licht **L** jeweils vierfach totalreflektiert und auf einen Fokus **Fd** konzentriert, von dem aus sich die Laserstrahlen in einem divergenten Strahlenbündel **SD** mit einem Öffnungswinkel δ ausbreiten. An einem Objekt Θ werden die Strahlen **S** des divergenten Strahlenbündels **SD** reflektiert und können von dem Objektiv **28** einer CCD-Kamera **280**, das konzentrisch und koaxial zu dem Scheinwerfer **29** der Sendeeinheit angeordnet ist, empfangen werden. An den vorderen und hinteren Grenzflächen **a, d** der hybriden Sammellinse **12** wird das Parallelstrahlbündel **SP** zweimal gebrochen, während es an den inneren Grenzflächen **b, c** des rotationssymmetrischen Körpers **P** jeweils zweimal totalreflektiert wird, sodass es unter Bildung einer Lücke **G** auf einen Fokus **Fd** konzentriert und von dem Sensor **281** auf einer ringförmigen Bildfläche Φ empfangen wird. Der Laser **230** ist innerhalb der von dem verketteten Strahlengang gebildete Lücke **G** angeordnet. Der Sensor **281** der CCD-Kamera **280** ist ringförmig ausgebildet und weist einen zentralen, nicht belichteten Bereich mit einem Innendurchmesser **D** auf.

[0032] Fig. 11 zeigt ein Lidar-System **23**, bei dem, im Unterschied zu dem vorangehenden Ausführungsbeispiel, der Laser **230** und ein Filterelement **231** hinter dem ringförmigen Sensor **281** der CCD-Kamera **280** angeordnet sind. Das Objektiv **28** der CCD-Kamera **280** besteht aus zwei rotationssymmetrischen Körpern **P**, die untereinander ein Array **101** aus zwei Glaskörpern **10** bilden. Sowohl der von dem Laser **230** emittierte Laserstrahl als auch der Fokus **Fd** der hybriden Sammellinse **12** des Objektivs **28** der CCD-Kamera **280** liegen auf der optischen Achse **x**. Das Filterelement **231** wird von einem Filterelement **231** aus Phosphor gebildet. Die hybride Sammellinse **12** der Sendeeinheit ist innerhalb der von dem Objektiv **28** der CCD-Kamera **280** gebildeten Lücke **G** angeordnet, sodass Sender und Empfänger ein konzentrisch und koaxial zu der optischen Achse **x** angeordnetes Array **101** bilden.

[0033] Fig. 12 zeigt das Lidar-System **23** nach Fig. 11 in einer perspektivischen Darstellung. Das hybride Sammelpisma **12** der als Scheinwerfer **29** ausgebildeten Sendeeinheit des Lidar-Systems **23** ist innerhalb der von dem Objektiv **28** gebildeten Lücke **G** der CCD-Kamera **280** angeordnet. Die hybride

Sammellinse **12** bündelt noch innerhalb des Glaskörpers **10** des zentralen rotationssymmetrischen Körpers **P** den Laserstrahl auf einen Fokus **Fd** des hybriden Sammelp Prismas **12** der Sendeeinheit, sodass der Laserstrahl in ein divergentes Strahlenbündel **SD** mit einem Öffnungswinkel δ aufgefächert wird. Wie in **Fig. 10** und **Fig. 11** gezeigt, werden die Laserstrahlen von einem Objekt **O** reflektiert und durchlaufen als reflektierte Strahlen **S** das Objektiv **28** der CCD-Kamera **280**, wobei sie in einem verketteten Strahlengang jeweils zweimal totalreflektiert und auf einen der hinteren Grenzfläche **d** eines rotationssymmetrischen Körpers **P** zugeordneten Fokus **Fd** konzentriert werden, um anschließend von dem ringförmigen Lidar-Sensor **281** der CCD-Kamera **280** empfangen zu werden.

[0034] **Fig. 13** zeigt einen Scheinwerfer **29** für das in **Fig. 14** und **Fig. 15** dargestellte Lidar-System **23** in einem schematischen Querschnitt. Der von einem Laser **230** erzeugte Laserstrahl tritt an der vorderen Grenzfläche **a** in ein von einem Glaskörper **10** gebildetes hybrides Sammelp Prisma **12** als Parallelstrahlbündel **Sp** ein und wird an den inneren Grenzflächen **b,c** des Glaskörpers **10** jeweils viermal totalreflektiert, um innerhalb des Glaskörpers **10** auf einen Fokus **Fd** konzentriert zu werden und um den Glaskörper **10** an der hinteren Grenzfläche **d** als ein divergentes Strahlenbündel **Sd** mit einem Öffnungswinkel δ zu verlassen. Die inneren Grenzflächen **b,c** des Glaskörpers **10** mit einer zentralen Lücke **G** weisen jeweils in einem Längsabschnitt **f** der Länge **e** eine erzeugende Kurve **y** für den rotationssymmetrischen Körper **P** auf.

[0035] **Fig. 14** zeigt ein Lidar-System **23** mit einer Sendeeinheit und einer Empfängereinheit in einer perspektivischen Ausschnittsdarstellung. Die Sendeeinheit wird von acht Scheinwerfern **29** für Laserlicht **L** gebildet, die dem in **Fig. 13** beschriebenen Beispiel entsprechen und mit einem regelmäßigen Abstand um eine CCD-Kamera **280** und mit einem regelmäßigen Abstand gleichmäßig um das Objektiv **28** einer CCD-Kamera **280** angeordnet sind. Die CCD-Kamera **280** entspricht der im Stand der Technik aufgeführten Patentschrift DE 10 2017 011 352 B4 für eine Kameramoduleinheit.

[0036] **Fig. 15** zeigt das Lidar-System **23** nach **Fig. 13-14**, oben in einer schematischen Ansicht und unten in einem schematischen Querschnitt. Die acht Scheinwerfer **29** sind auf einem Kreis rund um das Objektiv **28** der CCD-Kamera **280** angeordnet und treten jeweils mit ihrer hinteren Grenzfläche **d** nach außen in Erscheinung. Wie in dem schematischen Querschnitt gezeigt, können die Scheinwerfer **29** einen einheitlichen Öffnungswinkel δ aufweisen, wobei die optische Achse **x** jeweils in unterschiedliche Richtungen zeigt, sodass der Bildwinkel der Kamera, der bei diesem Ausführungsbeispiel 72 Grad beträgt, vollständig ausgeleuchtet wird. Alternativ können die

Scheinwerfer **29** jeweils unterschiedliche Öffnungswinkel δ aufweisen. Die CCD-Kamera **280** mit einem Lidar-Sensor **281** ist in sich starr ausgebildet und liefert Bilder in Echtzeit mit einer unendlichen Tiefenschärfe.

[0037] **Fig. 16** zeigt ein Objektiv **28** für Röntgenstrahlung **R**, das als ein hybrides Kondensorprisma **14** ausgebildet ist, dessen vorderer Fokus **Fa** deckungsgleich zu der punktförmig angenommenen Strahlungsquelle **Q** einer Röntgenröhre **21** angeordnet ist. Die Röntgenröhre **21** emittiert ein divergentes Strahlenbündel **SD** mit einem Öffnungswinkel δ kleinergleich 10 Grad. Das Vakuum **V** ist optisch dichter als ein zweiteilig ausgebildeter Hüllkörper **11** für den rotationssymmetrischen Körper **P** mit den vier Grenzflächen **a-d**. Der Hüllkörper **11** wird von einer konzentrisch und koaxial zu der optischen Achse **x** angeordneten Spindel **111** und von einer die Spindel **111** mit einem radialen Abstand umgebenden Hülse **112** gebildet, wobei die vordere und die hintere Grenzfläche **a,d** jeweils dem Vakuum **V** zugewandt sind und Bestandteil einer diffraktiven Korrekturlinse **110** mit einem Durchmesser von 2-6 mm sind. Während die vordere Korrekturlinse **110** die Beispielstrahlen **A,B** des divergenten Strahlenbündels **SD** kaum merklich von der optischen Achse **x** weglenkt, werden sie an den inneren Grenzfläche **b,c** im streifenden Einfall insgesamt viermal totalreflektiert, um an der hinteren Grenzfläche **d** der Korrekturlinse **110** präzise auf den Fokus **Fd** gebündelt zu werden. In zwei Längsabschnitten **f** der Länge **e** des hybriden Kondensorprismas **14** weist die Grenzfläche **b** eine erzeugende Kurve **y** für die Spindel **111** auf, die von einer Hyperbel gebildet wird, während die äußere Grenzfläche **c** in zwei Längsabschnitten **f** eine erzeugende Kurve **y** für die Hülse **112** aufweist, die von einer Parabel gebildet wird. Auf diese Weise gelingt es in den Längsabschnitten **f** mit wechselnden Tangentenwinkeln β der Grenzflächen **b,c** die von der Strahlungsquelle **Q** ausgehende Röntgenstrahlung **R** exakt auf einen hinteren Fokus **Fd** zu konzentrieren. Durch die zusätzliche Beugung der Röntgenstrahlung **R** an den Korrekturlinsen **110** kann ein sehr exakter Fokus **Fd** mit einem Durchmesser kleinergleich 0,1 mm hergestellt werden. Der verkettete Strahlengang der Röntgenstrahlung **R** mit den Beispielstrahlen **A,B** weist eine zentrale Lücke **G** auf, die von einer Spindel **111** mit einem Installationsraum eingenommen wird. Eine berührungslose Lagerung der Spindel **111** in der Hülse **112** wird durch Permanentmagnete innerhalb des Installationsraums der Spindel **111** ermöglicht.

[0038] **Fig. 17** zeigt das Kondensorprisma **14** für Röntgenstrahlung **R** nach **Fig. 16** in einer Ausschnittsperspektive mit Darstellung des verketteten Strahlengangs von der Strahlungsquelle **Q** bis zu dem der hinteren Korrekturlinse **110** zugeordneten Brennpunkt **Fd**, wobei die Beispielstrahlen **A,B** der Röntgenstrahlung **R** innerhalb des Vakuums **V** jeweils einer vier-

fachen Totalreflexion unterworfen sind. Das optisch dichtere Vakuum **V** hat innere Grenzflächen **b,c** zu einem zweiteilig ausgebildeten, optisch dünneren Hüllkörper **11**, der z.B. aus Metall oder Glas bestehen kann.

[0039] Fig. 18 zeigt den Längsschnitt eines hybriden Kondensorprismas **14**, das als ein Ojektiv **28** für die von einer Strahlungsquelle **Q** ausgehende Röntgenstrahlung **R** ausgebildet ist. Das Ojektiv **28** weist einen zweiteiligen Hüllkörper **11** für den rotationssymmetrischen Körper **P** mit Vakuum **V** auf, der von einer die optische Achse **x** koaxial und konzentrisch umgebenden Spindel **111** und von einer die Spindel **111** mit einem Abstand umgebenden Hülse **112** gebildet wird. Das hybride Kondensorprisma **14** kann, wie in Fig. 20 gezeigt, innerhalb des Hochvakuums einer Röntgenröhre **21** mit dem vorderen Brennpunkt **Fa** deckungsgleich zu der als punktförmig angenommenen Strahlungsquelle **Q** der Röntgenröhre **21** angeordnet werden, sodass die Röntgenstrahlung **R** als divergentes Strahlenbündel **SD** mit einem nutzbaren Öffnungswinkel δ kleiner-gleich 10 Grad im Vakuum **V** eine bikonvexe Korrekturlinse **110** z.B. aus Aluminium passiert, die die vordere Grenzfläche **a** des hybriden Kondensorprismas **14** bildet. Die Tatsache, dass das Vakuum für Röntgenstrahlung **R** optisch dichter ist als Materie, bedeutet für die Ausbildung refraktiver Linsen, dass im Vakuum Sammellinsen plankonkav oder bikonkav und Zerstreuungslinsen plankonvex oder bikonvex ausgebildet sind. Dementsprechend ist die vordere Korrekturlinse **110** bikonvex ausgebildet und lenkt die Beispielstrahlen **A,B** des Parallelstrahlbündels **Sp** der Röntgenstrahlung **R** kaum merklich von der optischen Achse **x** weg, während die hintere Korrekturlinse **110** des hybriden Kondensorprismas **14** bikonkav ausgebildet ist und die Beispielstrahlen **A,B** der Röntgenstrahlung **R** vollends auf den Fokus **Fd** konzentriert. Die eigentliche Bündelung auf den der hinteren Grenzfläche **d** zugeordneten Fokus **Fd** erfolgt jedoch im streifenden Einfall der Röntgenstrahlung **R** mit den Beispielstrahlen **A,B**, durch Totalreflexion an den inneren Grenzflächen **b,c** des rotationssymmetrischen Körpers **P**, die jeweils in zwei Längsabschnitten **f** der Länge **e** des hybriden Kondensorprismas **12** spiegelbildlich zur Mitte der Länge **e** angeordnete erzeugende Kurven **y** aufweisen, die an der Grenzfläche **b** der Spindel **111** als Hyperbel oder als Parabel und an der Grenzfläche **c** der Hülse **112** als Parabel oder als Ellipse ausgebildet sind. An den inneren Grenzflächen **b,c** werden die Beispielstrahlen **A,B** des von der Strahlungsquelle **Q** ausgehenden divergenten Strahlenbündels **SD** jeweils viermal totalreflektiert, bevor sie das hybride Kondensorprisma **14** an der, von einer bikonkaven Korrekturlinse **110** gebildeten Grenzfläche **d**, wieder verlassen und als konvergentes Strahlenbündel **SK** auf den Fokus **Fd** konzentriert werden. Mit einem derartigen hybriden Kondensorprisma **14**, das, wie in Fig. 20 gezeigt, innerhalb des Hochvakuums einer Röntgenröhre **21**

angeordnet ist, gelingt es, schärfere und detailliertere Röntgenaufnahmen herzustellen.

[0040] Fig. 19 zeigt das hybride Kondensorprisma **14** nach Fig. 18 in einer Ausschnittperspektive mit Darstellung des verketteten Strahlengangs der Röntgenstrahlung **R** mit den Beispielstrahlen **A,B**, die im Vakuum **V** innerhalb des von der Spindel **111** und der Hülse **112** gebildeten kapillaren rotationssymmetrischen Körper **P** geführt werden. Besteht der Hüllkörper **11** aus Metall, kann die Spindel **111** berührungslos, z.B. durch elektromagnetische Kräfte oder durch Supraleitung, innerhalb des Vakuums **V** freischwebend festgehalten werden, sodass eine vollständige Abbildung eines durchleuchteten Objekts ermöglicht wird. Das hybride Kondensorprisma **14** kann z.B. mit einer Länge **e** von 60 mm und mit einem Außendurchmesser von 20 mm aus Aluminium oder Glas hergestellt werden.

[0041] Fig. 20 zeigt ein Röntgengerät **25**, das als ein Tomograf **250** ausgebildet ist, wobei die von der Röntgenröhre **21** gebildete Strahlungsquelle **Q** einschließlich eines hybriden Kondensorprismas **14**, das einem der in Fig. 16-19 dargestellten Ausführungsbeispiele entspricht, innerhalb der mit einem Vakuum **V** beaufschlagten Röntgenröhre **21** angeordnet ist und in einer Drehbewegung um einen ringförmigen Hohlraum rotiert, durch den der als Objekt **Θ** bezeichnete Patient sukzessive hindurch geschoben wird. Die zylinderschalenförmige Bildfläche **Φ** weist einen Zellendetektor **251** auf, der schichtweise detaillierte, scharfe Röntgenbilder des Patienten liefert. Das optische System **2** für Röntgengeräte **25** jeder Art, weist ein von einem hybriden Kondensorprisma **14** gebildetes Ojektiv **28** auf, sodass die Röntgendiagnostik durch detaillierte hochaufgelöste Röntgenaufnahmen wesentlich verbessert werden kann.

[0042] Fig. 21 zeigt ein Ojektiv **28**, das als ein hybrides Sammelpisma **12** ausgebildet ist, bei dem, wie in Fig. 23 gezeigt, die Strahlungsquelle **Q** ein Synchrotron **210** und einen Undulator **211** aufweist, der ein Parallelstrahlbündel **SP** mit einem einheitlichen Durchmesser von z.B. 1 mm mit einem hohen Photonenfluss und einer großen spektralen Brillanz erzeugt. An der vorderen, diffraktiv ausgebildeten Grenzfläche **a** der Korrekturlinse **110** tritt hier ein homogenisierter, kohärenter Röntgenstrahl als Parallelstrahlbündel **SP** in das Vakuum **V** ein und durchläuft an den inneren Grenzflächen **b,c** des Hüllkörpers **11** eine vierfache Totalreflexion, um an der hinteren diffraktiven Grenzfläche **d** zu dem Vakuum **V** als konvergentes Strahlenbündel **SK** mit einem Fokus **Fd** den rotationssymmetrischen Körper **P** zu verlassen.

[0043] Fig. 22 zeigt ein hybrides Sammelpisma **12** für Röntgenstrahlung **R**, das in seinem Aufbau im Wesentlichen dem in Fig. 21 gezeigten Ausführungs-

beispiel entspricht, wobei der Unterschied die Ausbildung der Grenzflächen **a,b** betrifft. Das für Röntgenstrahlung **R** optisch dichtere Vakuum **V** hat zur Folge, dass die refraktive Korrekturlinse **110** an der vorderen Grenzfläche **a** des rotationssymmetrischen Körpers **P** bikonvex ausgebildet ist, um als Zerstreuungslinse zu wirken, und die refraktive Korrekturlinse **110** an der hinteren Grenzfläche **d** des rotationssymmetrischen Körpers **P** bikonkav ausgebildet ist, um als Sammellinse zu wirken. Die eigentliche Bündelung der Röntgenstrahlung **R** mit den Beispielstrahlen **A,B** auf den der hinteren Grenzfläche **d** zugeordneten Fokus **Fd** erfolgt jedoch durch Totalreflexion im streifenden Einfall an den inneren Grenzflächen **b,c** des rotationssymmetrischen Körpers **P**, die in den Längsabschnitten **f** der Länge **e** des hybriden Sammelpisma **12** jeweils eine erzeugende Kurve **y** aufweisen, die an der Grenzfläche **b** der Spindel **111** als Hyperbel oder Parabel und an der Grenzfläche **c** der Hülse **112** als Parabel oder Ellipse ausgebildet sind.

[0044] Fig. 23 zeigt ein Röntgenmikroskop **26** mit einem von einem hybriden Sammelpisma **12** gebildeten Objektiv **28** in einer schematischen perspektivischen Darstellung. Die Strahlungsquelle **Q** des Röntgenmikroskops **26** wird von einem Synchrotron **210** mit einem Undulator **211** gebildet, sodass ein homogenisierter monochromatischer Röntgenstrahl hoher spektraler Brillanz mit den Beispielstrahlen **A,B** und mit einem Durchmesser von 1-10 mm als Parallelstrahlbündel **SP** aus dem Synchrotron **210** ausgekoppelt werden kann und ein von einem Objektträger in einer Objektebene gehaltenes Objekt **Θ** durchstrahlt und anschließend von dem hybriden Sammelpisma **12**, das einem der in Fig. 21-22 dargestellten Ausführungsbeispiele entspricht, auf einen Fokus **Fd** gebündelt wird, um danach als divergentes Strahlenbündel **SD** in einer Bildfläche **Φ** den CCD-Sensor **281** einer CCD-Kamera **280** lückenlos zu belichten.

[0045] Fig. 24 zeigt ein satellitengestütztes Röntgenteleskop **27** in der perspektivischen Ausschnittsdarstellung. Das Röntgenteleskop **27** hat ein Objektiv **28**, das von einem hybriden Sammelpisma **12** gebildet wird und im Wesentlichen den in Fig. 21-22 dargestellten Ausführungsbeispielen entspricht. Das Objektiv **28** des Röntgenteleskops **27** hat jedoch einen Durchmesser von mindestens 1 m und besteht aus einer Schalenkonstruktion in Leichtbauweise. Die Strahlen **S** des Parallelstrahlbündels **SP** werden in dem von der Spindel **111** und der Hülse **112** gebildeten Rotationsparaboloid **P** jeweils viermal totalreflektiert, sodass sie in einer abbildungsgerechten Ordnung an der von einem CCD-Sensor **281** gebildeten Bildfläche **Φ** empfangen werden können. Die Lücke **G** in dem verketteten Strahlengang der Röntgenstrahlung **R** wird von der Spindel **111** des Hüllkörpers **11** eingenommen, die ihrerseits einen Installationsraum für die technische Ausrüstung des Satelliten bildet. Im Unterschied zu der bisher üblichen Wol-

ter-Optik genügt hier ein einzelnes hybrides Sammelpisma **12** zur Detektion und Aufzeichnung bekannter und unbekannter Strahlungsquellen im Weltraum.

Bezugszeichenliste

1	Hybridprisma
S	Strahlen
A,B	Beispielstrahlen
SD	Divergentes Strahlenbündel
SP	Parallelstrahlbündel
SK	Konvergentes Strahlenbündel
P	Rotationssymmetrischer Körper
α	Neigungswinkel
β	Tangentenwinkel
δ	Öffnungswinkel
10	Glaskörper
100	Einzelelement
101	Array
G	Lücke
V	Vakuum
11	Hüllkörper
110	Korrekturlinse
111	Spindel
112	Hülse
a	Vordere Grenzfläche
b,c	Innere Grenzflächen
d	Hintere Grenzfläche
e	Länge
f	Längsabschnitt
y	Erzeugende Kurve
z	Fresnelstruktur
12	Hybrides Sammelpisma
13	Hybrides Zerstreuungsprisma
14	Hybrides Kondensorprisma
2	Optisches System
x	Optische Achse
Fa-Fd	Fokus
Q	Strahlungsquelle
L	Licht
R	Röntgenstrahlen
21	Röntgenröhre

210	Synchrotron
211	Undulator
Θ	Objekt
Φ	Bildfläche
22	Intraokularprisma
220	Haptik
221	Kapselsack
222	Makula
223	Netzhaut
D	Innerer Durchmesser
23	Lidar-System
230	Laser
231	Filterelement
25	Röntgengerät
250	Tomograf
251	Zellendetektor
26	Röntgenmikroskop
27	Röntgenteleskop
28	Objektiv
280	CCD-Kamera
281	CCD-Sensor
29	Scheinwerfer

Patentansprüche

1. Hybridprisma (1) für ein optisches System (2), das als ein optisches Bauelement die Eigenschaften einer Linse mit den Eigenschaften eines Reflexionsprismas in sich vereinigt und einen einem Rotationsrhomboid ähnlichen rotationssymmetrischen Körper (P) aufweist, welches Hybridprisma (1) optisch dichter ist als die umgebende Materie und für Licht (L) mit einer Wellenlänge von 1400 nm bis 380 nm mindestens einen Glaskörper (10) und für Röntgenstrahlung (R) mit einer Wellenlänge von 1 nm bis 30 pm ein Vakuum (V) innerhalb eines allseitig umgebenden Hüllkörpers (11) aufweist, welcher rotationssymmetrische Körper (P) mit vier Grenzflächen (a-d) zu optisch dünnerer Materie über eine Länge (e) den Strahlengang derart bestimmt, dass die von einem Objekt (Θ) ausgehenden Strahlen (S) mit Beispielstrahlen (A,B) in einem verketteten Strahlengang eine Abbildung des Objekts (Θ) auf einer Bildfläche (Φ) ermöglichen und die Strahlen (S) an einer vorderen Grenzfläche (a) in den rotationssymmetrischen Körper (P) eintreten und an zwei inneren totalreflektierenden Grenzflächen (b,c), die jeweils mit einem Neigungswinkel (α) zu der optischen Achse (x) angeordnet sind, eine gerade Anzahl von Totalreflexionen durchlaufen und an einer hinteren Grenzfläche (d)

wieder aus dem rotationssymmetrischen Körper (P) austreten, wobei mindestens eine der Grenzflächen (a-d) in einem Längsabschnitt (f) eine erzeugende Kurve (y) mit einem wechselnden Tangentenwinkel (β) aufweist und das Hybridprisma (1) jeweils als ein Sammelpisma (12) oder als ein Zerstreuungspisma (13) oder als ein hybrides Kondensatorprisma (14) ausgebildet ist und das optische System (2) für sichtbares Licht (L) ein Auge mit einem Intraokularprisma (22) oder ein Lidar-System (23) mit einem Scheinwerfer (29) und allgemein ein Objektiv (28) für eine Kamera (280) oder für ein Fernrohr oder für ein Mikroskop aufweist, während das optische System (2) für Röntgenstrahlung (R) als medizinisches Röntgengerät (25) oder als Röntgenmikroskop (26) oder als Röntgenteleskop (27) ausgebildet ist.

2. Hybridprisma (1) nach Anspruch 1, das mindestens einen einzelnen rotationssymmetrischen Körper (P) oder eine Mehrzahl koaxial und konzentrisch zu der optischen Achse (x) angeordneter, ringförmiger rotationssymmetrischer Körper (P) aufweist, die untereinander ein Array (101) bilden, bei dem jeweils die vorderen und die hinteren Grenzflächen (a,d) refraktiv und/oder diffraktiv ausgebildet sind und die inneren Grenzflächen (b,c) totalreflektierend und mindestens in einem Längsabschnitt (f) ihrer Länge (e) einen konstanten Neigungswinkel (α) gegenüber der optischen Achse (x) aufweisen, wobei mindestens eine der Grenzflächen (a-d) mindestens in einem Längsabschnitt (f) der Länge (e) mindestens eine erzeugende Kurve (y) mit einem kontinuierlich wechselnden Tangentenwinkel (β) und mit einem zugehörigen Fokus (Fa-Fd) aufweist und die erzeugende Kurve (y) als ein Kreisbogen oder eine als eine Polynomkurve zweiten bis fünften Grades oder als eine Freiformkurve bestimmt ist.

3. Hybridprisma (1) nach Anspruch 1, bei dem ein für eine zweifache Totalreflexion an den inneren Grenzflächen (b,c) ausgebildeter rotationssymmetrischer Körper (P) eine als Installationsraum nutzbare Lücke (G) und eine ringförmige Bildfläche (Φ) mit einem Innendurchmesser (D) bewirkt und bei dem ein für eine vierfache Totalreflexion an den inneren Grenzflächen (b,c) ausgebildeter rotationssymmetrischer Körper (P) eine in sich geschlossene Lücke (G) und eine ununterbrochene Bildfläche (Φ) bewirkt, wobei ein Glaskörper (10), bezogen auf die vordere und hintere Grenzfläche (a,d) des rotationssymmetrischen Körpers (P) bikonvex, plankonvex, konkavkonvex, plankonkav, bikonkav oder konvex-konkav ausgebildet ist.

4. Hybridprisma (1) nach einem der vorausgehenden Ansprüche, das als ein hybrides Sammelpisma (12) dazu ausgebildet ist, mittels einer erzeugenden konvexen Kurve (y) in einem Längsabschnitt (f) der Grenzfläche (c) ein konvergentes Strahlenbündel (SK) mit einem Fokus (Fc) zu erzeugen, oder das als

ein hybrides Zerstreuungsprisma (13) dazu ausgebildet ist, mittels einer erzeugenden konkaven Kurve (y) in einem Längsabschnitt (f) der Grenzfläche (c) ein divergentes Strahlenbündel (SD) mit einem Fokus (Fc) zu erzeugen, wobei die inneren Grenzflächen (b,c) einer Mehrzahl konzentrisch und koaxial zu der optischen Achse (x) angeordneter Glaskörper (10) eines Arrays (101) jeweils unterschiedliche Neigungswinkel (α) aufweisen und das plankonkave hybride Sammelpisma (12) und das plankonvexe hybride Zerstreuungsprisma (13) für das Objektiv (28) einer Kamera (280), eines Teleskops oder eines Mikroskops oder für einen Scheinwerfer (29) geeignet sind.

5. Hybridprisma (1) nach Anspruch 1, bei dem das optische System (2) ein menschliches Auge mit einem hybriden Intraokularprisma (22) aus mindestens zwei ringförmigen, konzentrisch und koaxial zu der optischen Achse (x) angeordneten Glaskörpern (10) aufweist, die untereinander ein Array (101) mit vorderen und hinteren Grenzflächen (a,d) sowie mit inneren totalreflektierenden Grenzflächen (b,c) bilden und die erzeugenden Kurven (y) der Grenzflächen (a, d) entweder als eine zusammenhängende Kurve (y) oder als eine Fresnelstruktur (z) jeweils mit einem Fokus (Fa,Fd) auf der optischen Achse (x) ausgebildet sind und die totalreflektierenden inneren Grenzflächen (b,c) parallel zueinander mit einem einheitlichen Neigungswinkel (α) bezüglich der optischen Achse (x) ansteigen, sodass die totalreflektierende Grenzfläche (c) eines zentralen Glaskörpers (10) an die totalreflektierende Grenzfläche (b) des jeweils nächstgrößeren ringförmigen Glaskörpers (10) anschließt, wobei der Fokus (Fd) des hybriden Intraokularprismas (22) innerhalb des Auges gerade so weit von der Netzhaut (223) entfernt ist, dass auf der von der Netzhaut (223) gebildeten Bildfläche (Φ) eine kreisförmige Lücke (G) entsteht, die dem Durchmesser (D) der Makula (222) entspricht und die Strahlen (S) des verketteten Strahlengangs mit den Beispielstrahlen (A, B) unter Umgehung der Makula (222) eine in sich vollständige Abbildung auf die die Makula (222) umgebende gesunde Netzhaut (223) projizieren.

6. Hybridprisma (1) nach einem der vorausgehenden Ansprüche, bei dem das optische System (2) ein Lidar-System (23) mit einer Sendeeinheit und mit einer Empfängereinheit aufweist, wobei die Sendeeinheit aus einer Strahlungsquelle (Q) für einen Laser (230) mit gepulstem Licht (L) und aus einem Filterelement (231) zur Herstellung von weißem Licht (L) sowie aus einem hybriden Sammelpisma (12) mit einem Glaskörper (10) besteht und dazu ausgebildet ist, ein Parallelstrahlbündel (SP) mit einem Durchmesser des Laserstrahls von 1-2 mm innerhalb des als Scheinwerfer (29) ausgebildeten Glaskörpers (10) auf einen Brennpunkt (Fd) zu konzentrieren, während die Empfängereinheit eine Kamera (280) aufweist, deren Objektiv (28) ein Array (101) aus einer Mehrzahl konzentrisch und koaxial zu dem

hybriden Sammelpisma (12) der Sendeeinheit angeordneter, ringförmiger rotationssymmetrischer Körper (P) aufweist und dazu ausgebildet ist, die von einem Objekt (Θ) reflektierten Strahlen (S) des gepulsten Lichts (L) über den Fokus (Fd) des Objektivs (28) auf einen ringförmigen CCD-Sensor (281) zu projizieren, sodass das Lidar-System (23) für die Erfassung und Erkennung von Objekten Θ ausgebildet ist und das autonome Fahren ermöglicht und dabei gleichzeitig als ein Scheinwerfer (29) dient, der in das Scheinwerfergehäuse eines Fahrzeugs eingebaut wird.

7. Hybridprisma (1) nach Anspruch 6, bei dem die Sendeeinheit des Lidar-Systems (23) eine Mehrzahl von Scheinwerfern (29) jeweils mit einer optischen Achse (x) für den Laser (230), für ein Filterelement (231) und für den Glaskörper (10) des hybriden Sammelpismas (12) mit einem Brennpunkt (Fd) innerhalb des Glaskörpers (10) aufweist, wobei die Empfängereinheit von einer in sich starren Kamera (280) mit einem Lidar-Sensor (281) gebildet wird und ein von einem beleuchteten Objekt (Θ) reflektiertes, konvergentes Strahlenbündel (SK) mit einem Öffnungswinkel (δ) von bis zu 72 Grad als ein Parallelstrahlbündel (SP) auf den CCD-Sensor (281) lenkt.

8. Hybridprisma (1) nach einem der vorausgehenden Ansprüche, bei dem der rotationssymmetrische Körper (P) ein Vakuum (V) aufweist, das durch vier allseitige Grenzflächen (a-d) zu einem für Röntgenstrahlung (R) optisch dünneren und zweischalig ausgebildeten Hüllkörper (11) derart begrenzt wird, dass die totalreflektierende Grenzfläche (b) des rotationssymmetrischen Körpers (P) eine zusammengesetzte erzeugende Kurve (y) für eine konzentrisch und koaxial zu der optischen Achse (x) angeordnete Spindel (111) aufweist, welche erzeugende Kurve (y) gerade Längsabschnitte (f) mit einem Neigungswinkel (α) gegenüber der optischen Achse (x) sowie in mindestens einem Längsabschnitt (f) der Länge (e) des Hybridprismas (1) eine Hyperbel oder eine Parabel aufweist, und dass die totalreflektierende Grenzfläche (c) des rotationssymmetrischen Körpers (P) eine zusammengesetzte erzeugende Kurve (y) für eine mit einem radialen Abstand konzentrisch und koaxial zu der Spindel (111) angeordneten Hülse (112) aufweist, welche erzeugende Kurve (y) gerade Längsabschnitte (f) mit einem Neigungswinkel (α) gegenüber der optischen Achse (x) sowie in mindestens einem Längsabschnitt (f) der Länge (e) eine Parabel oder Ellipse aufweist, und dass die vordere Grenzfläche (a) und die hintere Grenzfläche (d) des rotationssymmetrischen Körpers (P) jeweils an refraktiv und/oder diffraktiv ausgebildete Oberflächen einer Korrekturlinse (110) anschließen, wobei die Beispielstrahlen (A, B) des verketteten Strahlengangs der Röntgenstrahlung (R) an der vorderen Korrekturlinse (110) von der optischen Achse (x) weg- und an der hinteren Korrekturlinse (110) zu der optischen Achse (x) hinge-

lenkt und an den inneren Grenzflächen (b,c) jeweils viermal totalreflektiert werden und die Spindel (111) durch Permanentmagnete isotherm oder kryostatisch frei schwebend in der Hülse (112) festgehalten wird oder durch ein Verbindungselement mit der Hülse (112) verbunden ist.

9. Hybridprisma (1) nach Anspruch 8, bei dem das optische System (2) ein medizinisches Röntgengerät (25) mit einem hybriden Kondensorprisma (14) aufweist, dessen Strahlungsquelle (Q) punktförmig ausgebildet ist und von einer Röntgenröhre (21) gebildet wird, die ein divergentes Strahlenbündel (SD) mit einem nutzbaren Öffnungswinkel (δ) kleiner-gleich 10 Grad als harte Röntgenstrahlung (R) im Bereich von 50 keV bis zu 600 keV emittiert, bei welchem Kondensorprisma (14) ein vorderer Fokus (Fa) deckungsgleich mit der punktförmig angenommenen Strahlungsquelle (Q) angeordnet ist und das Kondensorprisma (14) als ein Objektiv (28) dazu ausgebildet ist, Röntgenstrahlung (R) mittels einer vorderen Korrekturlinse (110) aus Aluminium zu homogenisieren und von der optischen Achse (x) wegzulenken, sodass die Röntgenstrahlung (R) an den inneren Grenzflächen (b,c) des rotationssymmetrischen Körpers (P) viermal totalreflektiert wird und an einer hinteren Korrekturlinse (110) aus Aluminium vollends auf den Fokus (Fd) auf der optischen Achse (x) konzentriert wird, um anschließend als divergentes Strahlenbündel (SD) ein von einem Körper oder Körperteil gebildetes Objekt (Θ) zu durchleuchten, wobei das Röntgengerät (25) und das Objekt (Θ) entweder eine starre Position zueinander einnehmen, oder dass das Röntgengerät (25) als ein Tomograf (250) ausgebildet ist und um das Objekt (Θ) rotiert, sodass mittels eines Zellen-detektors (251) auf einer zylindrischen Bildfläche (Φ) schichtweise in sich vollständige scharfe Röntgenbilder des Objekts (Θ) empfangen werden.

10. Hybridprisma (1) nach Anspruch 8, bei dem das optische System (2) ein Röntgenmikroskop (27) mit einem Objektiv (28) aufweist, das als ein hybrides Sammelpolprisma (12) dazu ausgebildet ist, die von einem Synchrotron (210) mit einem Undulator (211) als ein monochromatisches Parallelstrahlbündel (SP) mit einem Strahldurchmesser von 1,0 mm bis 10 mm emittierte harte Röntgenstrahlung (R) im Bereich von 10 keV bis zu 125 keV in einem konvergenten Strahlenbündel SK auf den der hinteren Grenzfläche (d) zugeordneten Fokus (Fd) des rotationssymmetrischen Körpers (P) zu konzentrieren, um anschließend mit einem divergenten Strahlenbündel SD auf einer Bildfläche (Φ) für den CCD-Sensor (281) einer CCD-Kamera (280) eine mikroskopische Aufnahme des von dem Parallelstrahlbündel (SP) der Röntgenstrahlung (R) in einer Objektebene durchstrahlten Objekts (Θ) zu erzeugen, oder bei dem das optische System (2) ein Röntgenmikroskop (27) mit einem hybriden Kondensorprisma (14) aufweist und dazu ausgebildet ist, ein von einem Synchrotron (210) emit-

iertes divergentes Strahlenbündel (SD) der Röntgenstrahlung (R) im Bereich von 10 keV bis zu 125 keV mittels des hybriden Kondensorprismas (14) auf den der hinteren Grenzfläche (d) zugeordneten Fokus (Fd) des rotationssymmetrischen Körpers (P) zu konzentrieren, um anschließend auf einer Bildfläche (Φ) eine mikroskopische Aufnahme des von dem divergenten Strahlenbündel (SD) der Röntgenstrahlung (R) in einer Objektebene durchstrahlten Objekts (Θ) mittels des CCD-Sensors (281) einer CCD-Kamera (280) zu erhalten.

11. Hybridprisma (1) nach Anspruch 8, bei dem das optische System (2) ein satellitengestütztes Röntgenteleskop (27) aufweist, dessen Objektiv (28) von einem hybriden Sammelpolprisma (12) mit einem Durchmesser von mindestens einem Meter gebildet wird und dazu ausgebildet ist, Röntgenstrahlung (R), die im Bereich von 0,1 keV bis 2,0 keV von einer Strahlungsquelle (Q) emittiert wird, mittels einer CCD-Kamera (280) abzubilden, wobei die totalreflektierenden Grenzflächen (b,c) des hybriden Sammelpolprismas (12) von einer koaxial und konzentrisch zu der optischen Achse (x) angeordneten Spindel (111) und von einer die Spindel (111) in einem radialen Abstand konzentrisch umgebenden Hülse (112) gebildet werden, die jeweils in zwei Längsabschnitten (f) ihrer Länge (e) eine erzeugende Kurve für den rotationssymmetrischen Körper (P) aufweisen, sodass die Röntgenstrahlung (R) in dem verketteten Strahlengang an den inneren Grenzflächen (b,c) des rotationssymmetrischen Körpers (P) jeweils viermal totalreflektiert und auf einen hinteren Fokus (Fd) konzentriert wird, um anschließend auf der Bildfläche (Φ) des optischen Systems (2) mittels eines CCD-Sensors (281) der CCD-Kamera (280) eine Abbildung der Strahlungsquelle (Q) aufzuzeichnen.

12. Hybridprisma (1) nach Anspruch 9, bei dem eine Strahlungsquelle (Q) für sichtbares Licht (L) mit einer Wellenlänge von 780 nm bis 380 nm aus der Sonne oder aus einer LED-Anordnung besteht und für Infrarot- und sichtbares Licht (L) mit einer Wellenlänge von 1400 nm bis 400 nm aus einem Laser (230) besteht und die Strahlungsquelle (Q) für Röntgenstrahlung (R) mit einer Wellenlänge von 1 nm bis 30 pm entweder eine Röntgenröhre (21) oder ein Synchrotron (210) mit einem Undulator (211) aufweist.

Es folgen 17 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

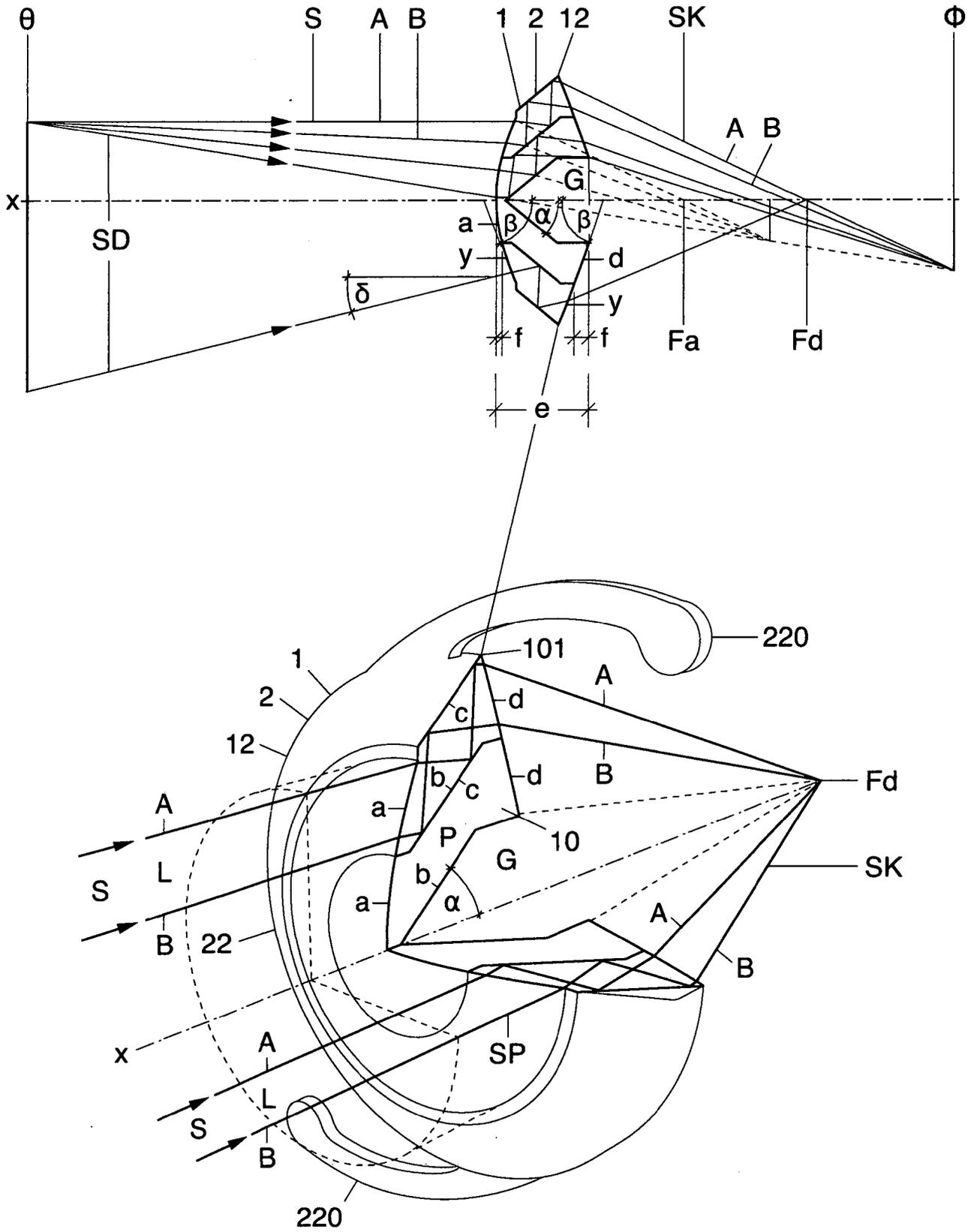


Fig.1

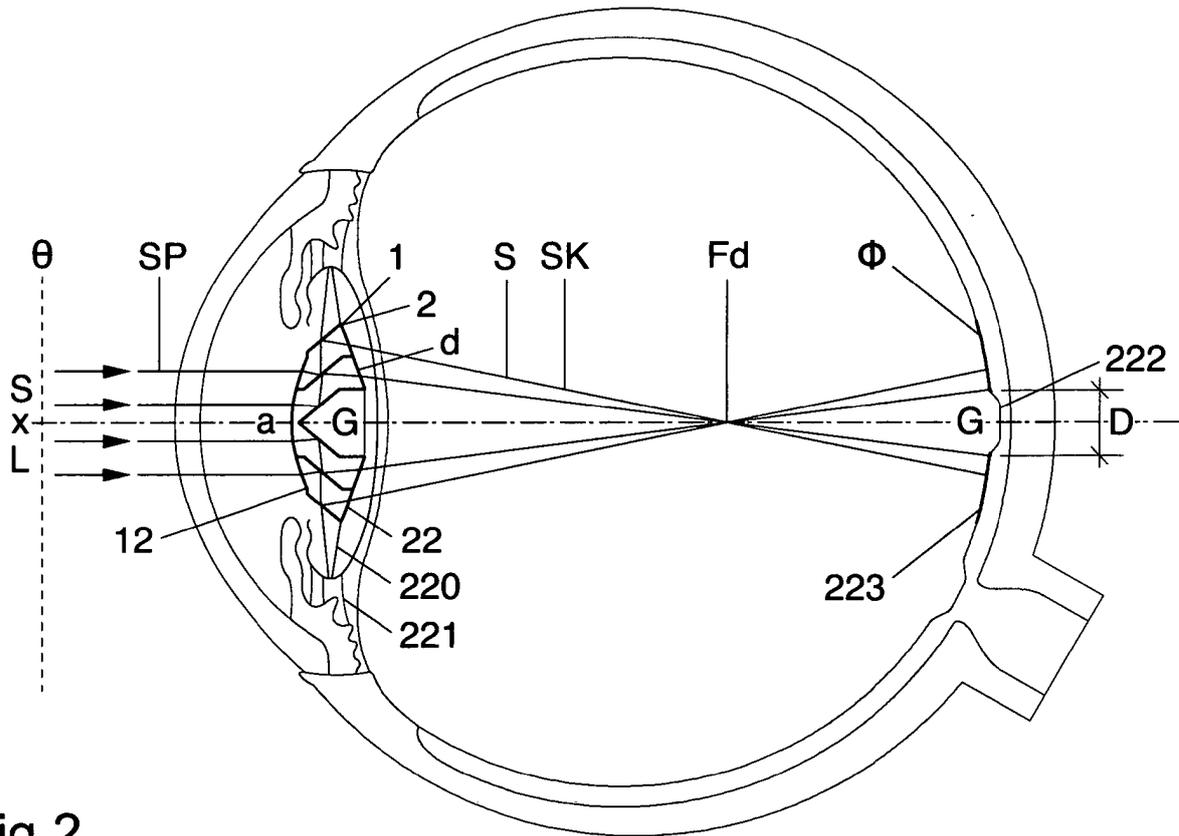


Fig.2

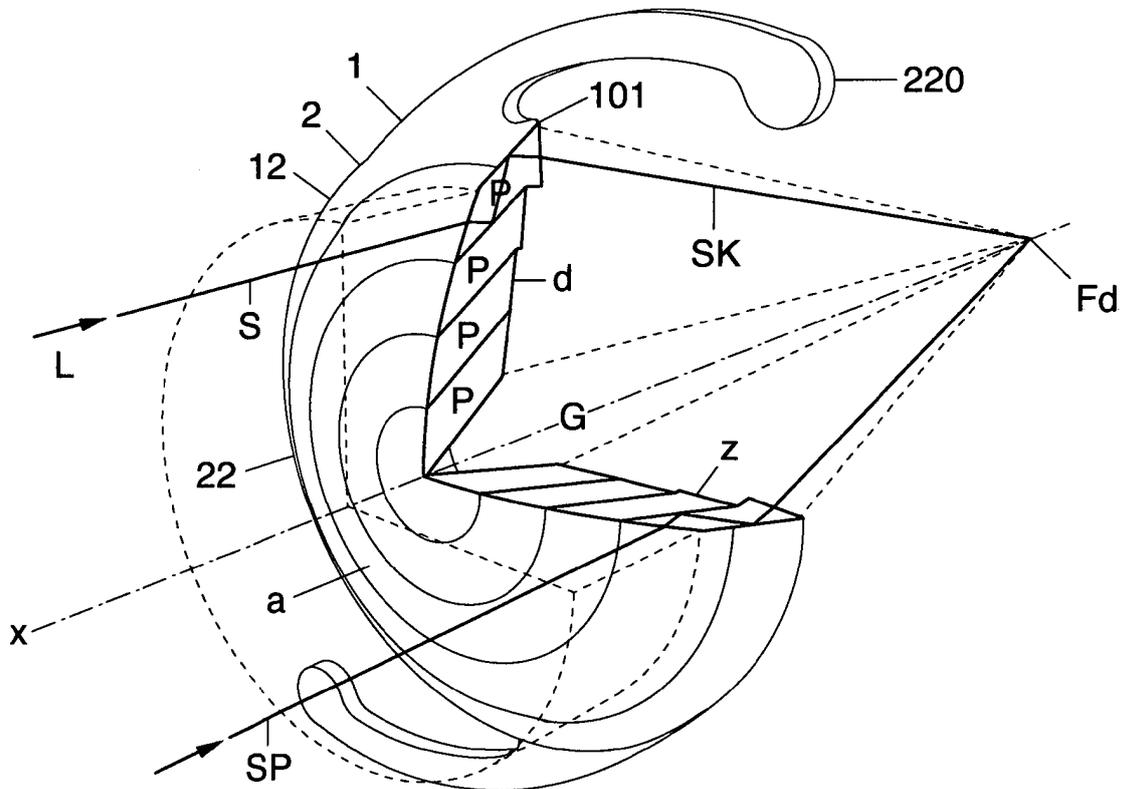


Fig.3

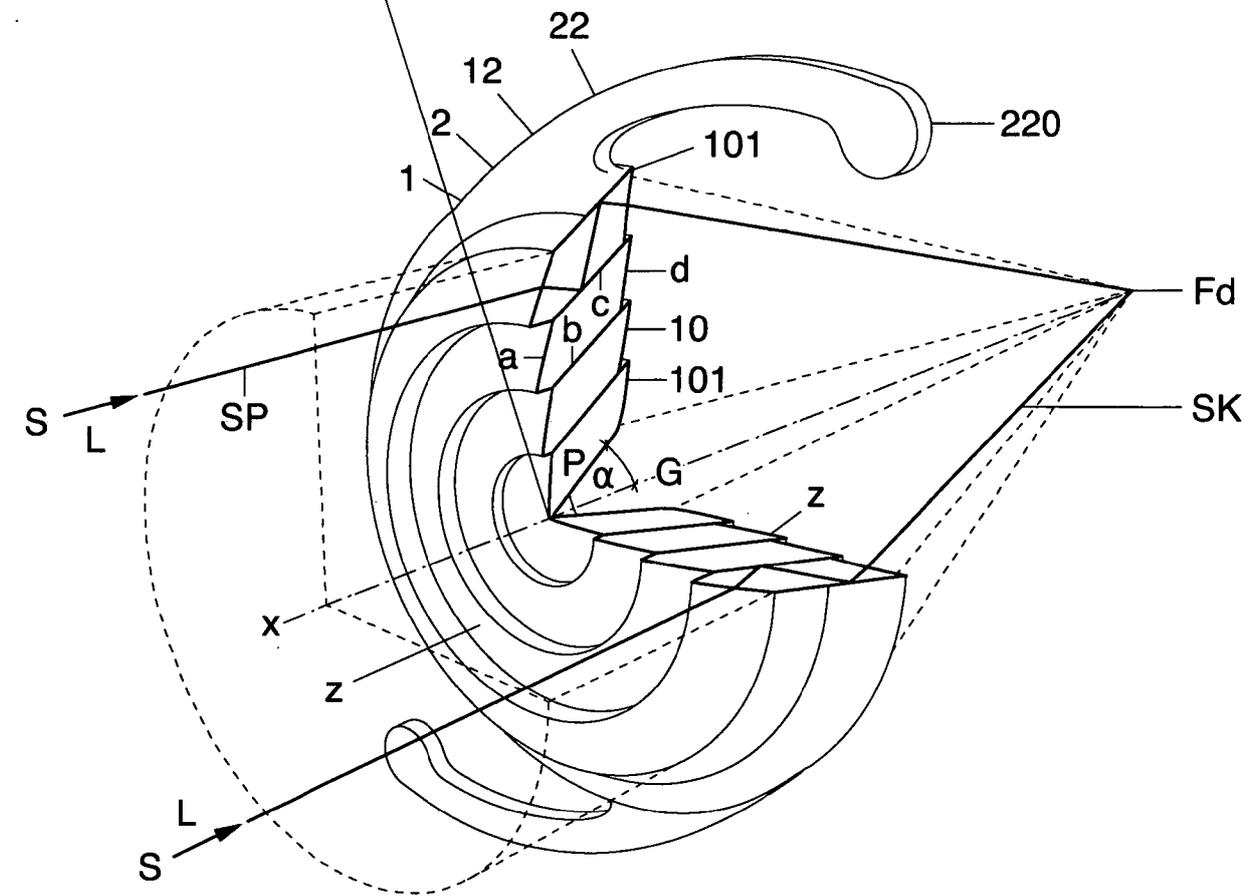
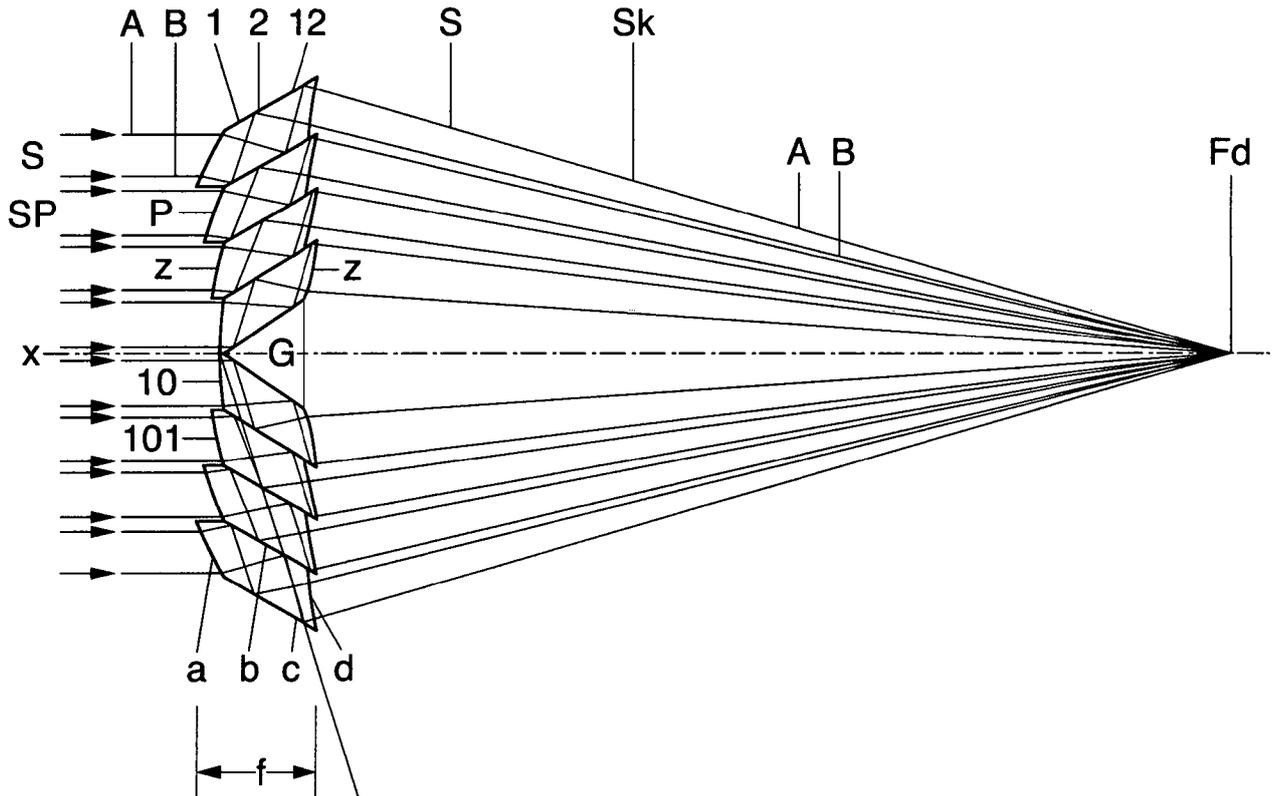


Fig.4

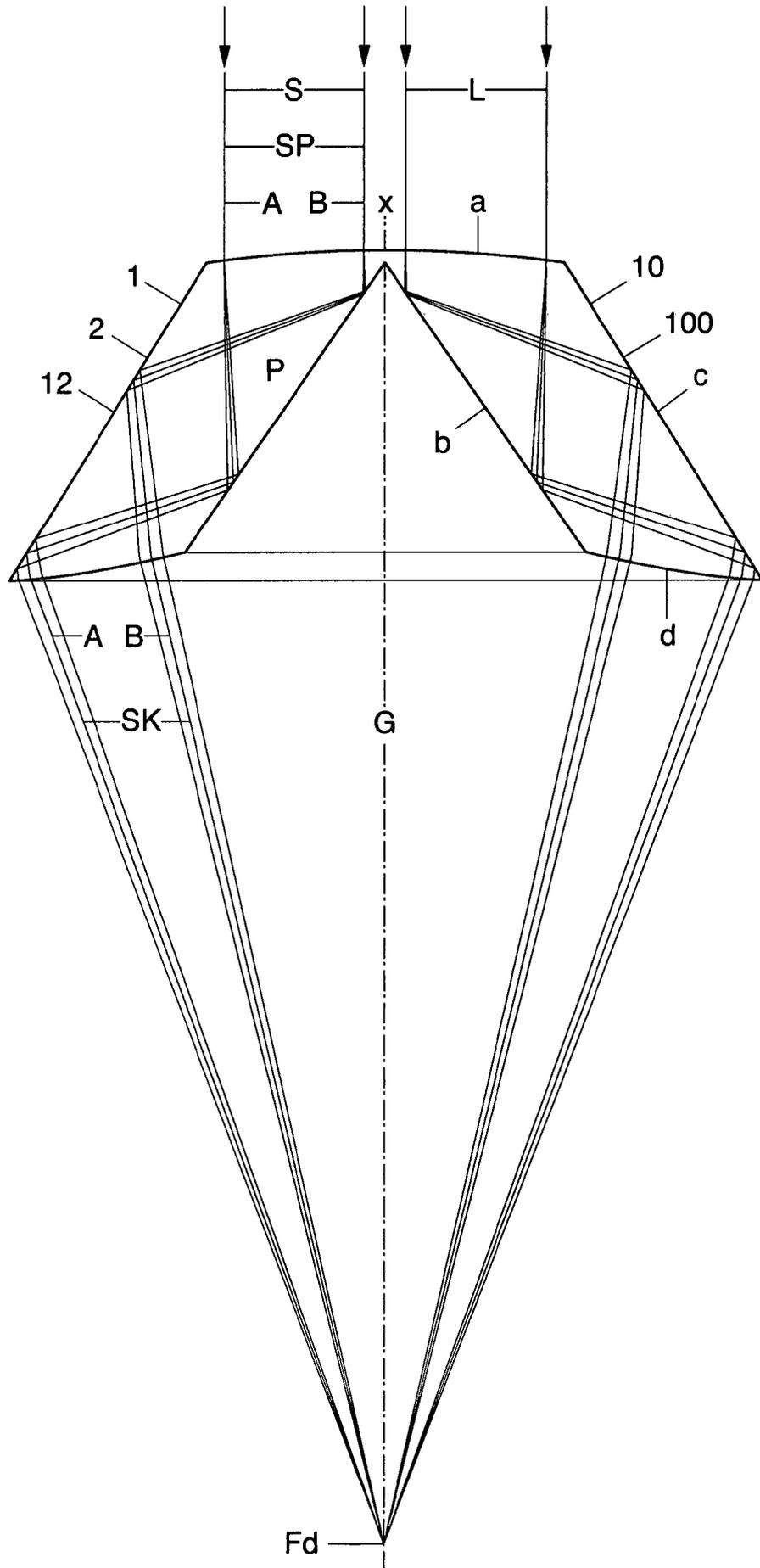


Fig.5

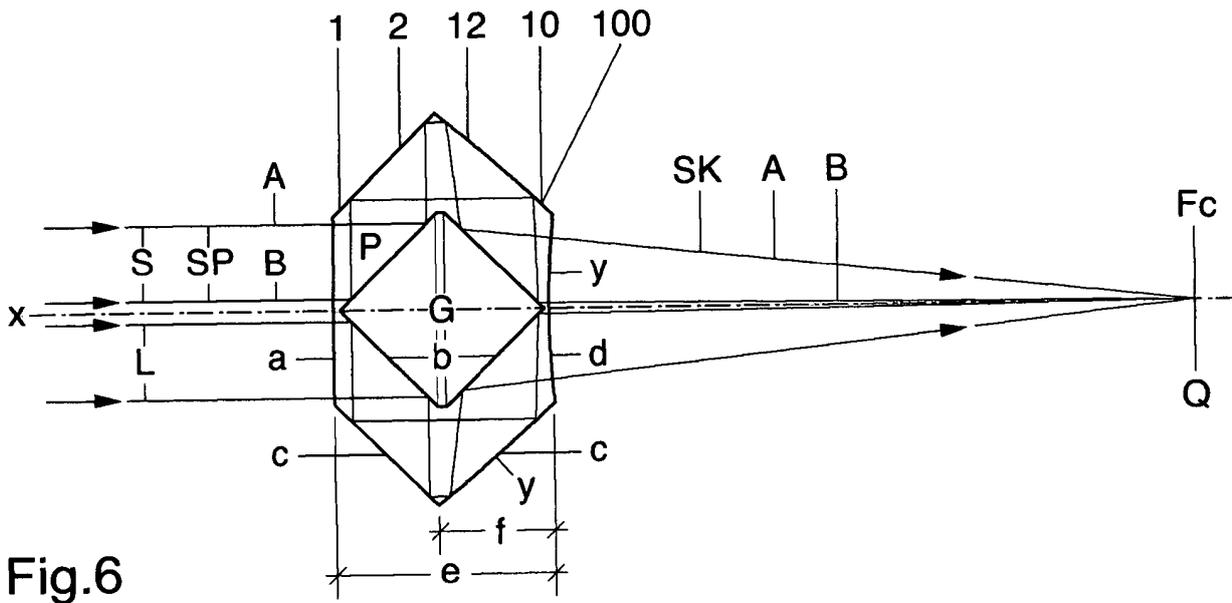


Fig.6

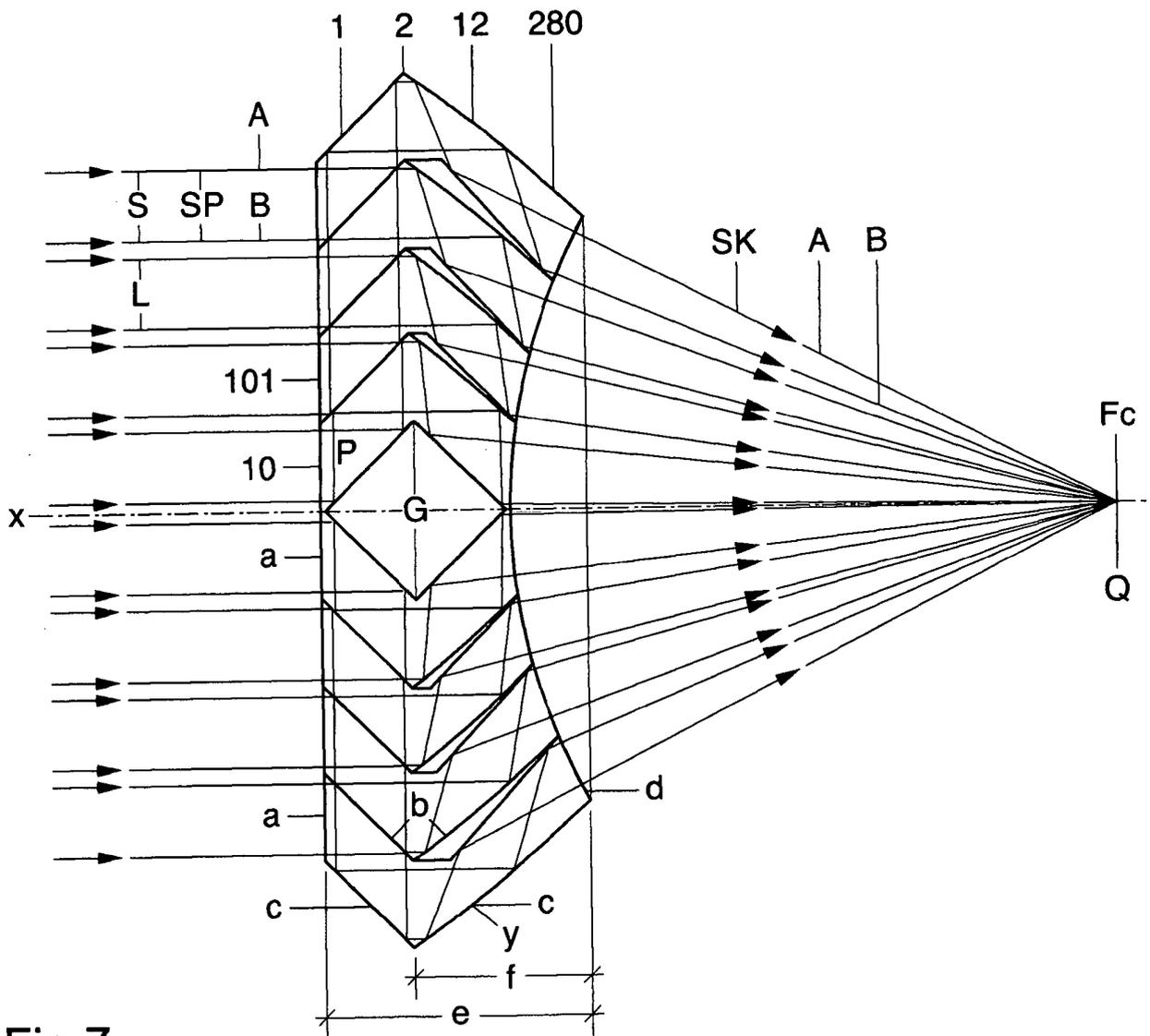


Fig.7

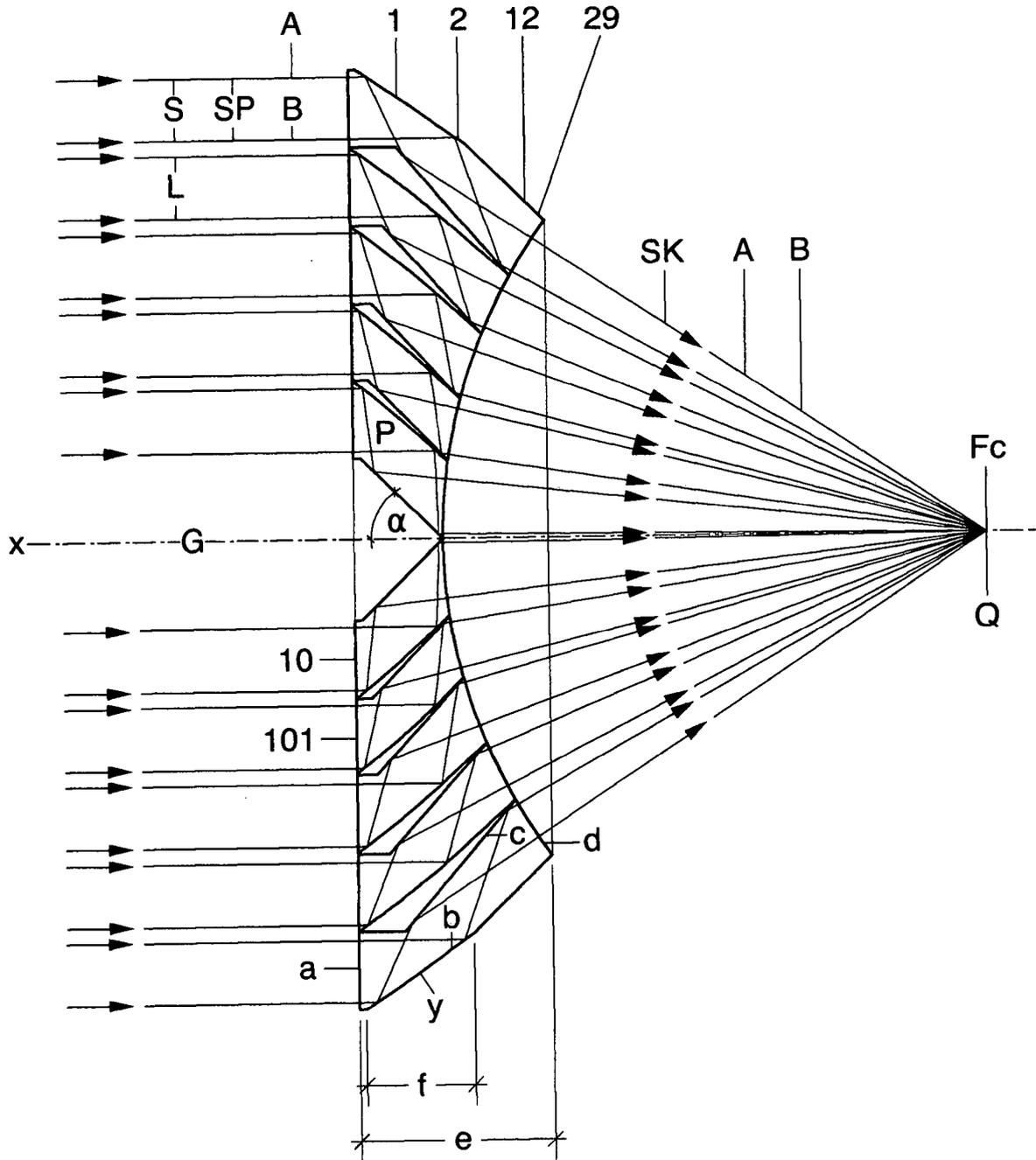


Fig.8

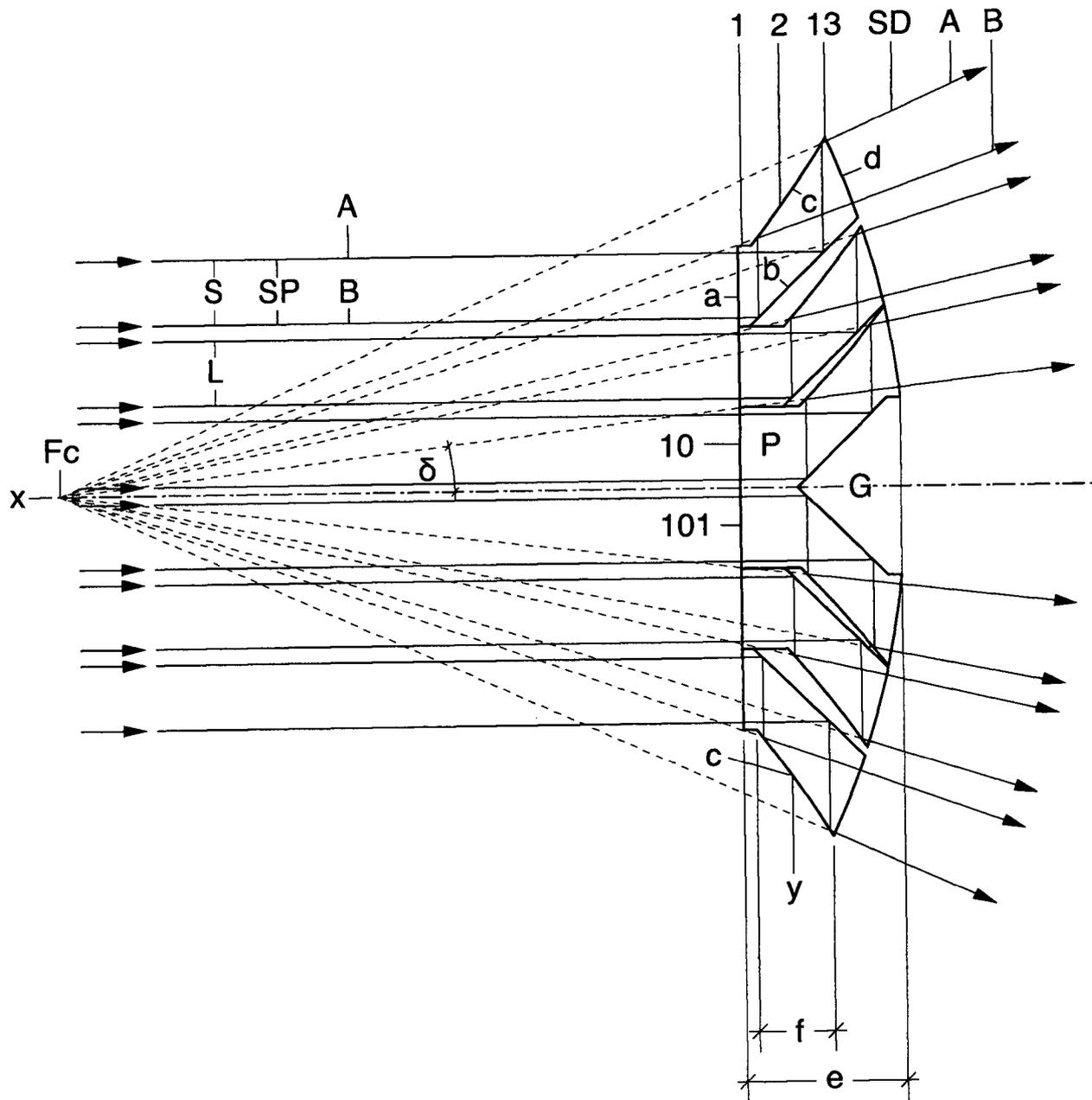


Fig.9

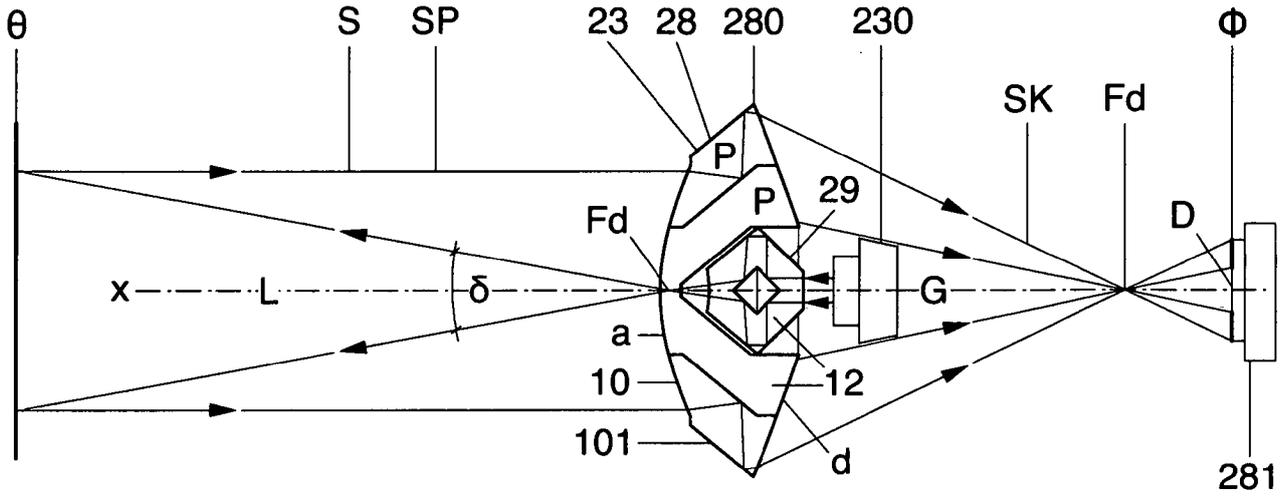


Fig.10

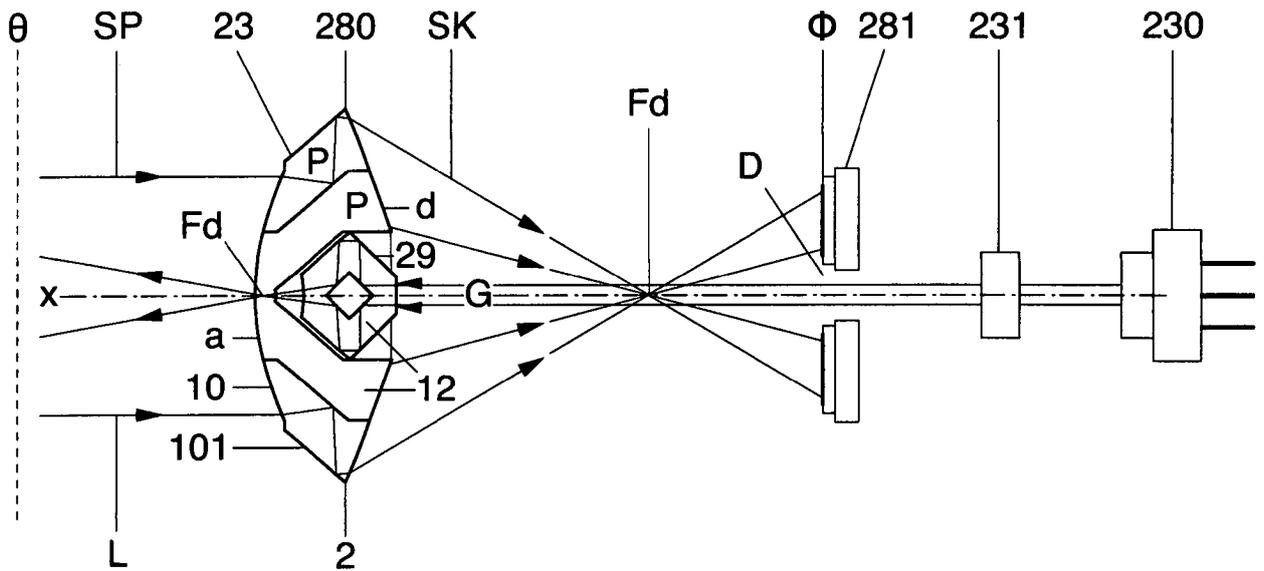


Fig.11

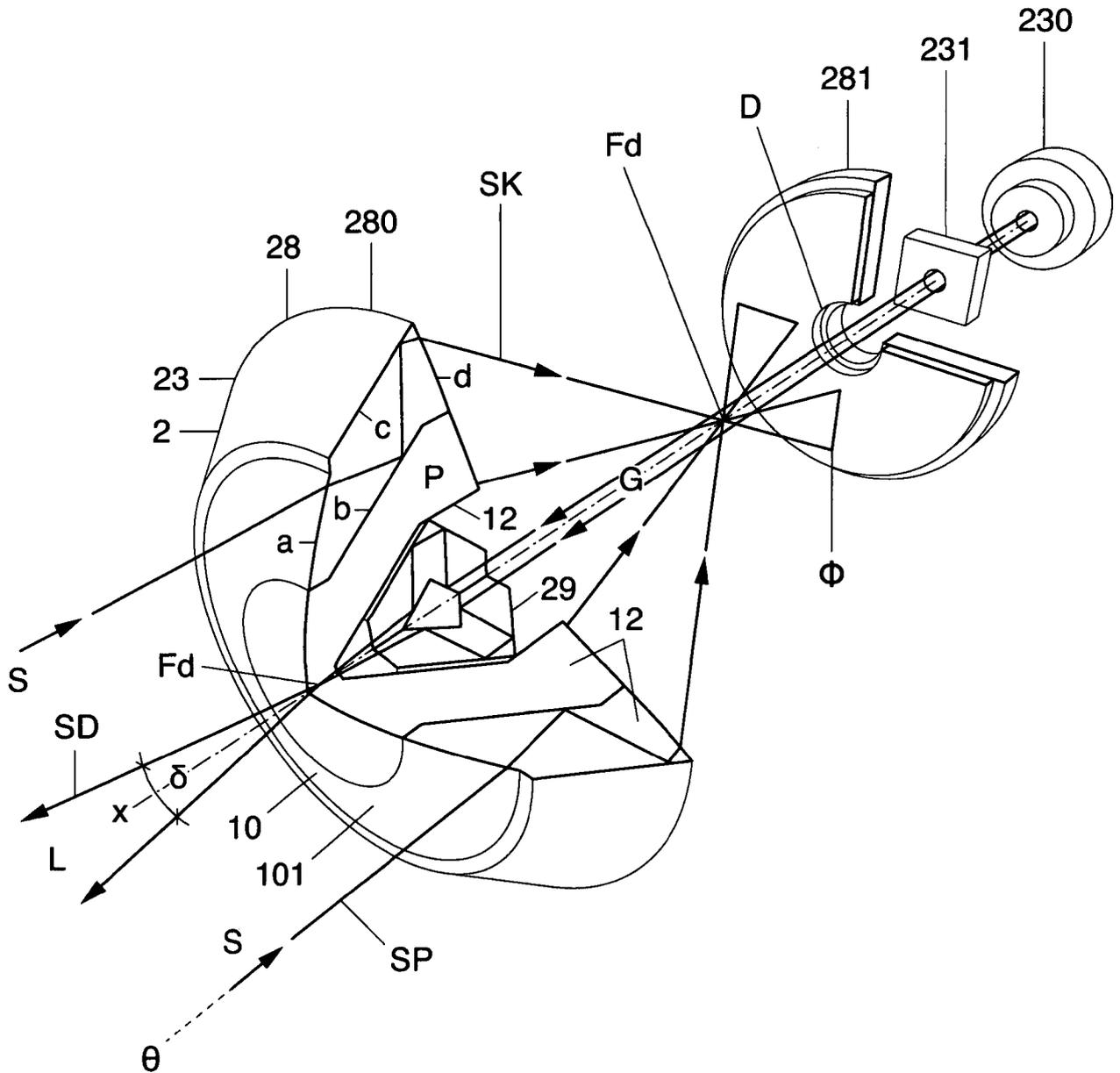


Fig.12

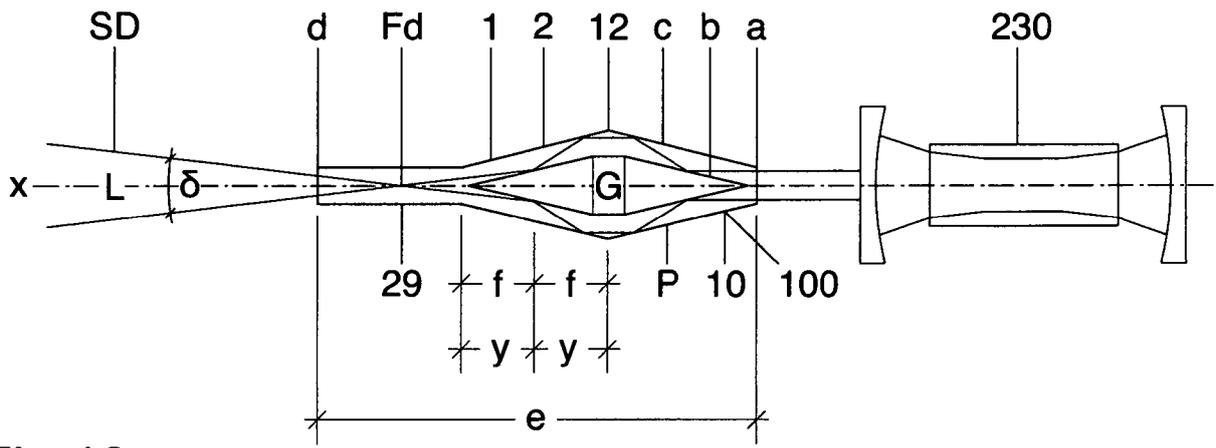


Fig.13

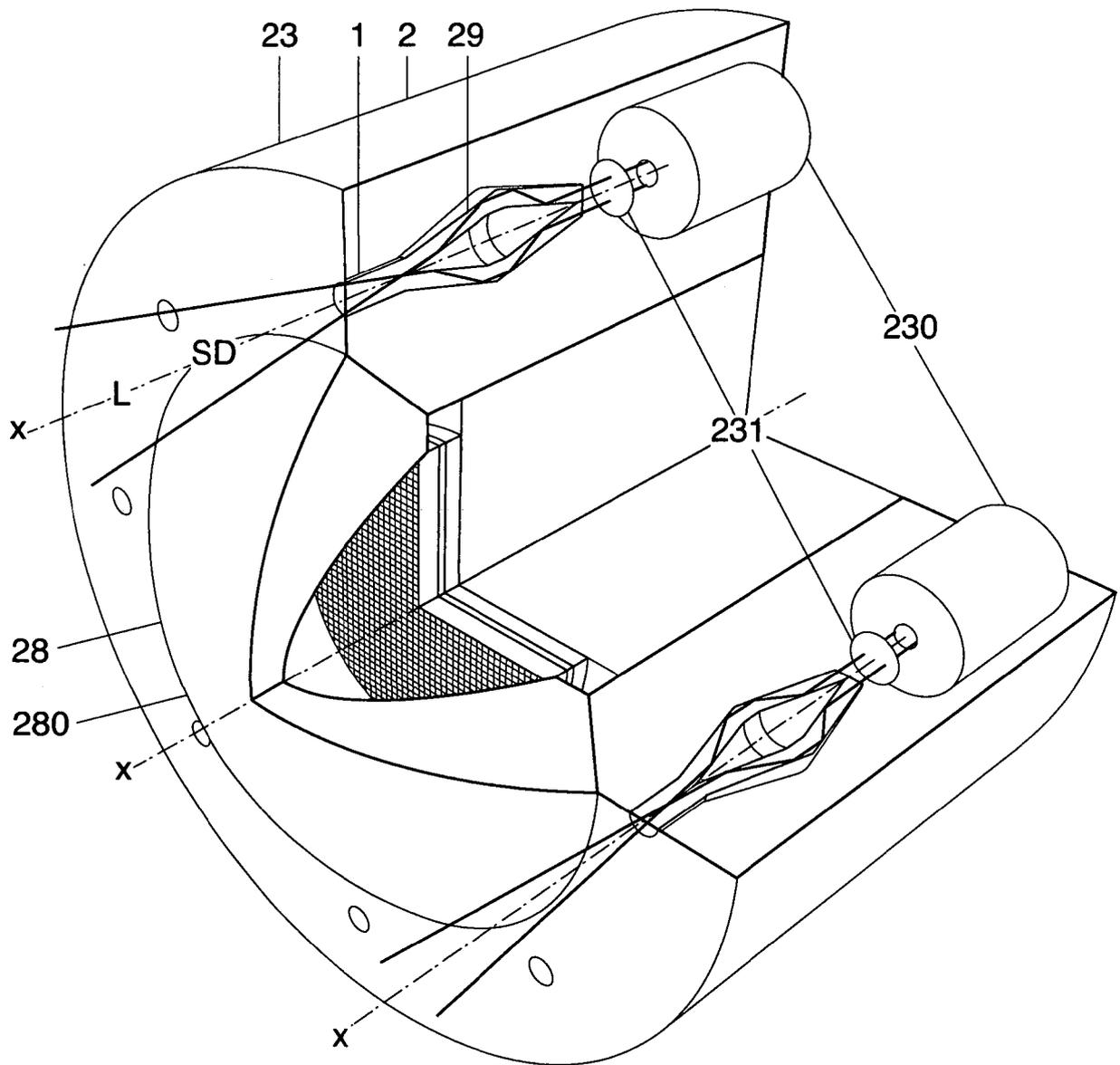


Fig.14

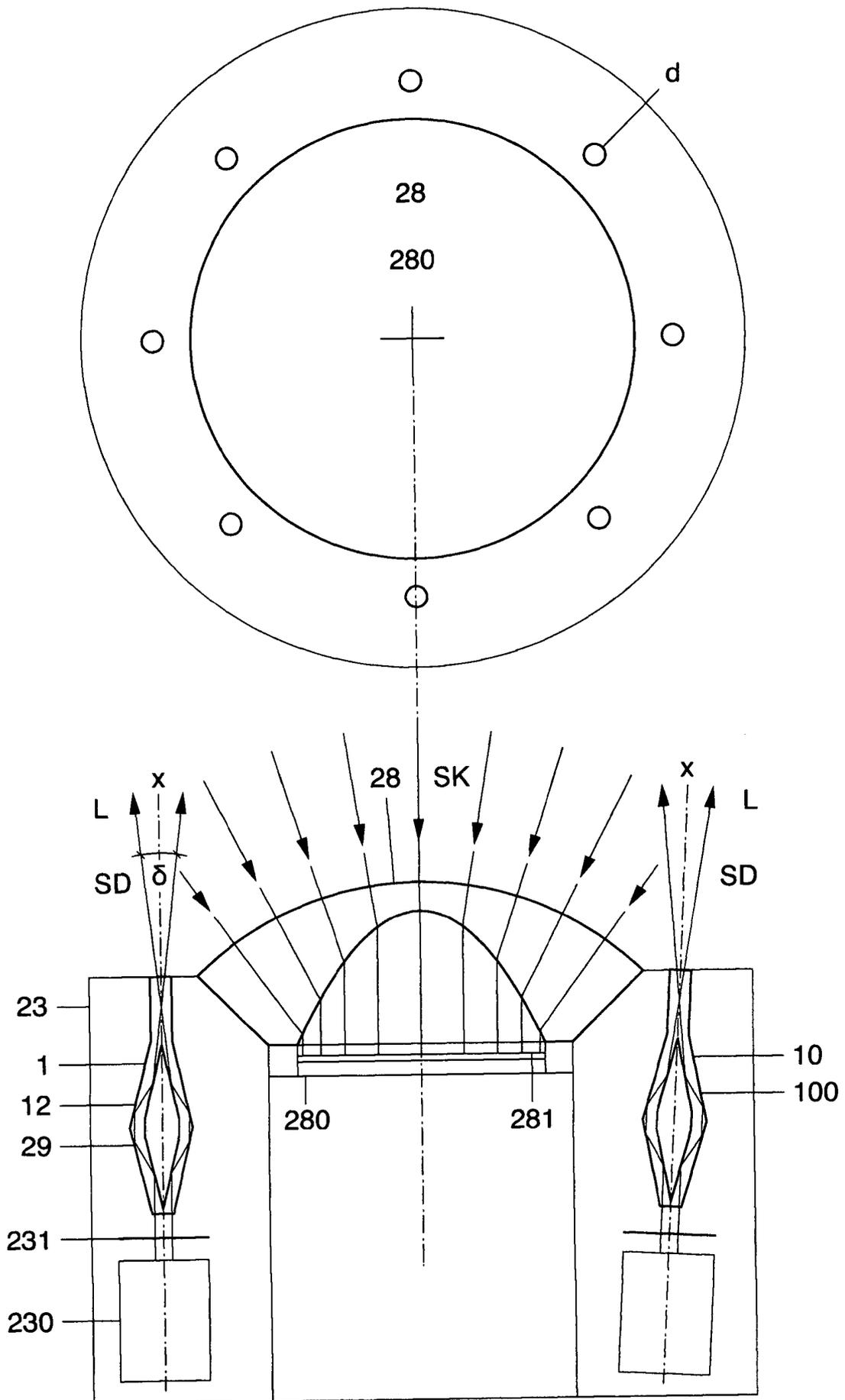


Fig.15

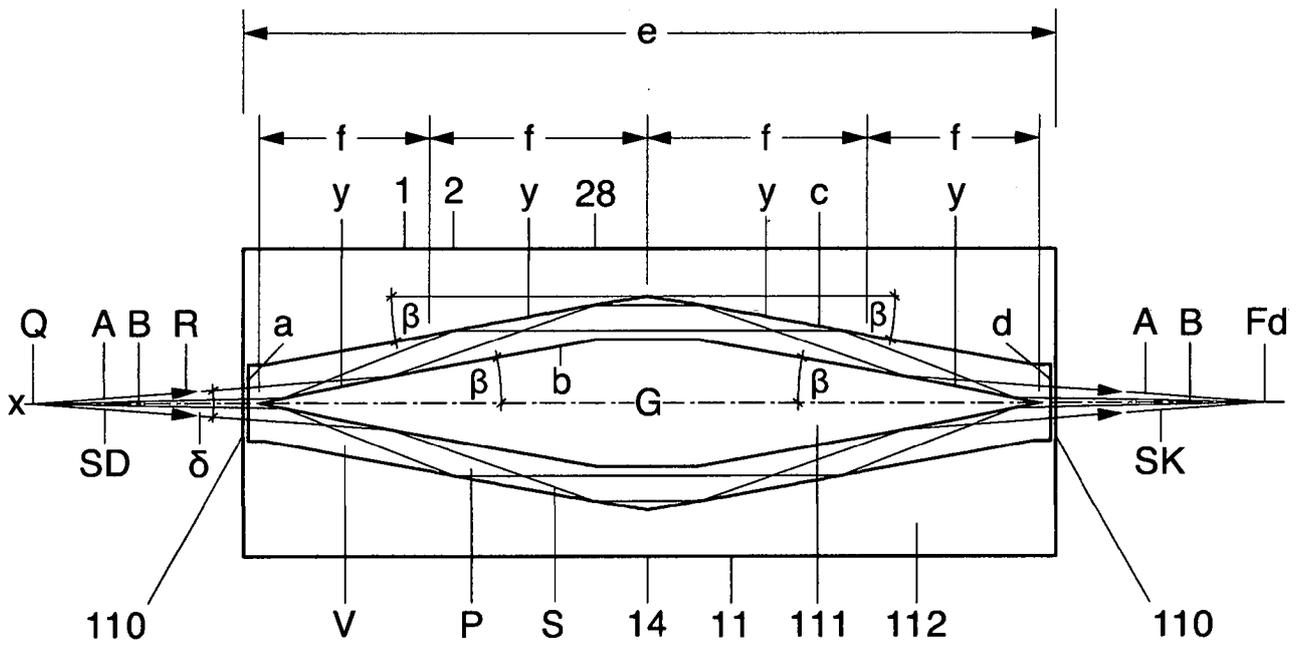


Fig.16

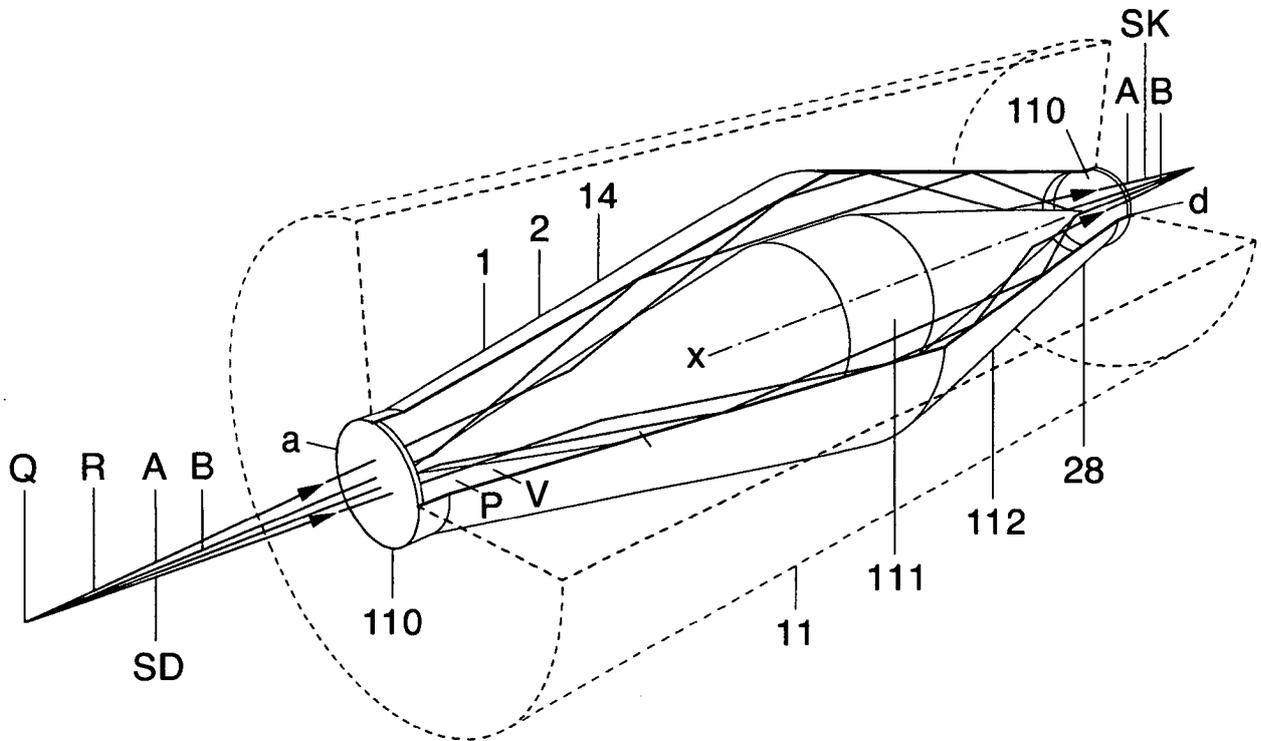


Fig.17

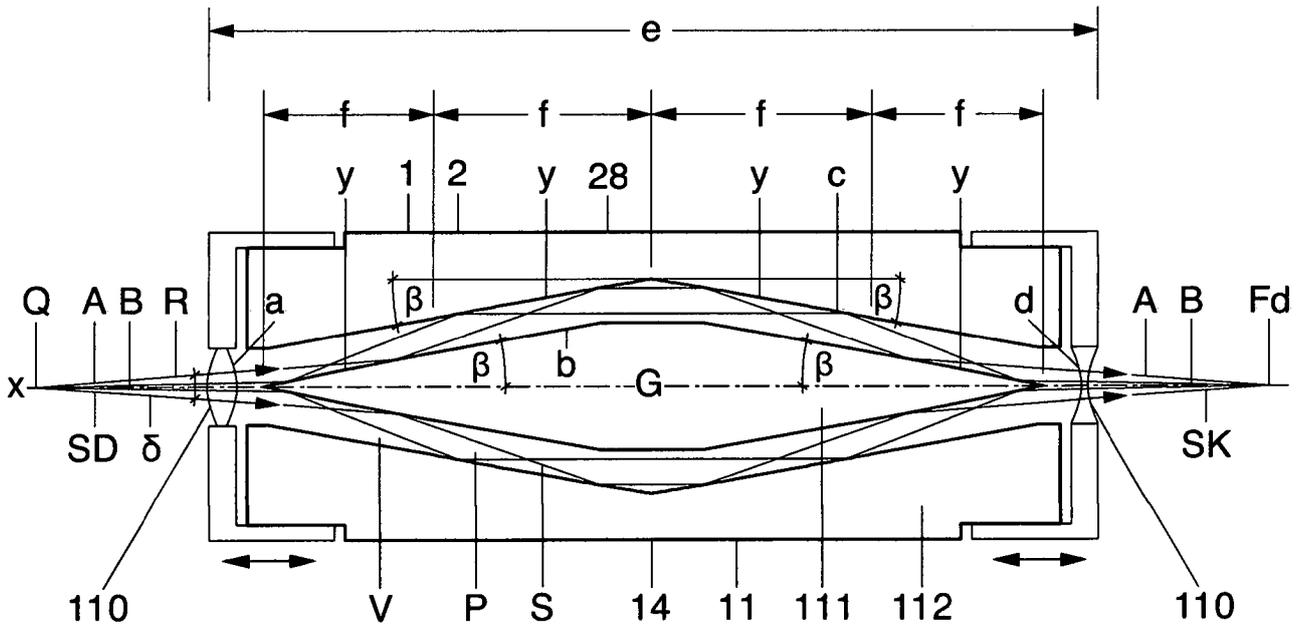


Fig.18

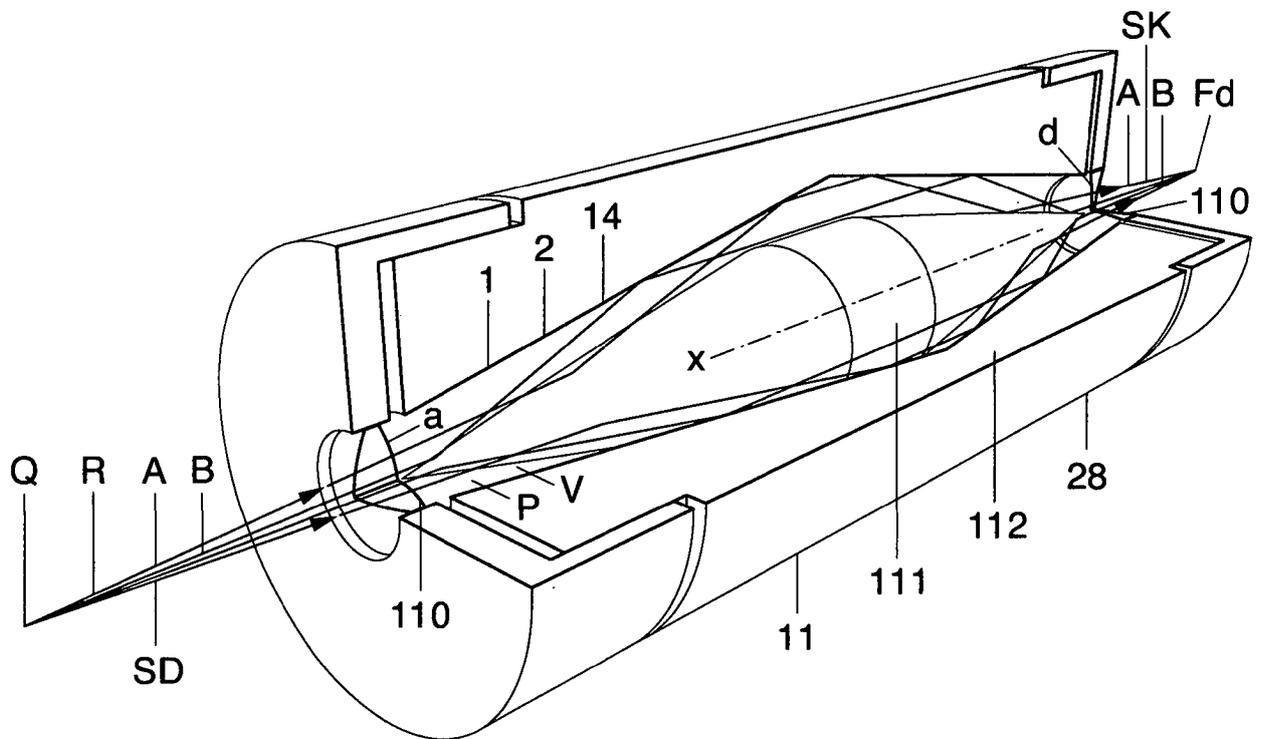


Fig.19

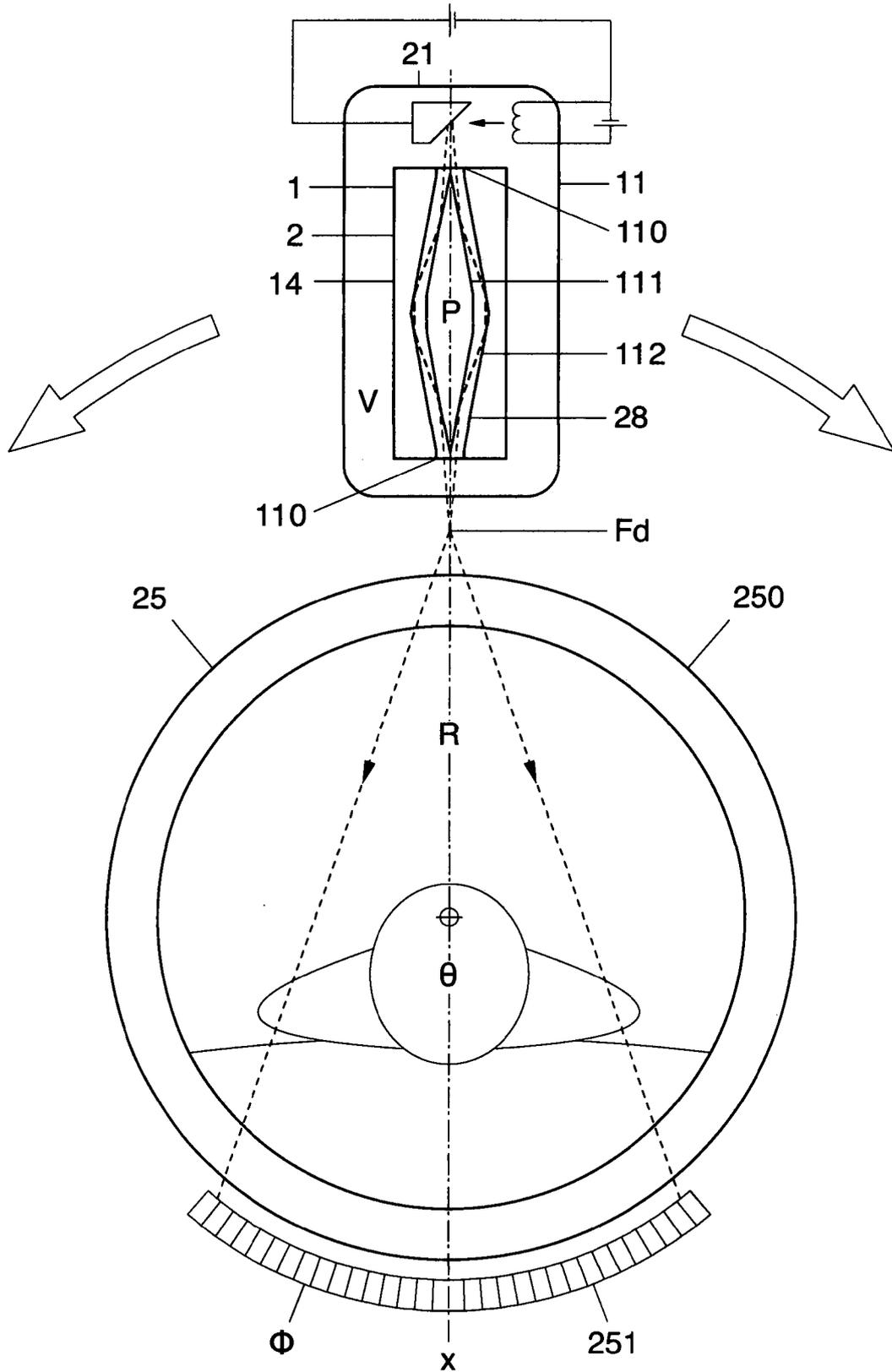


Fig.20

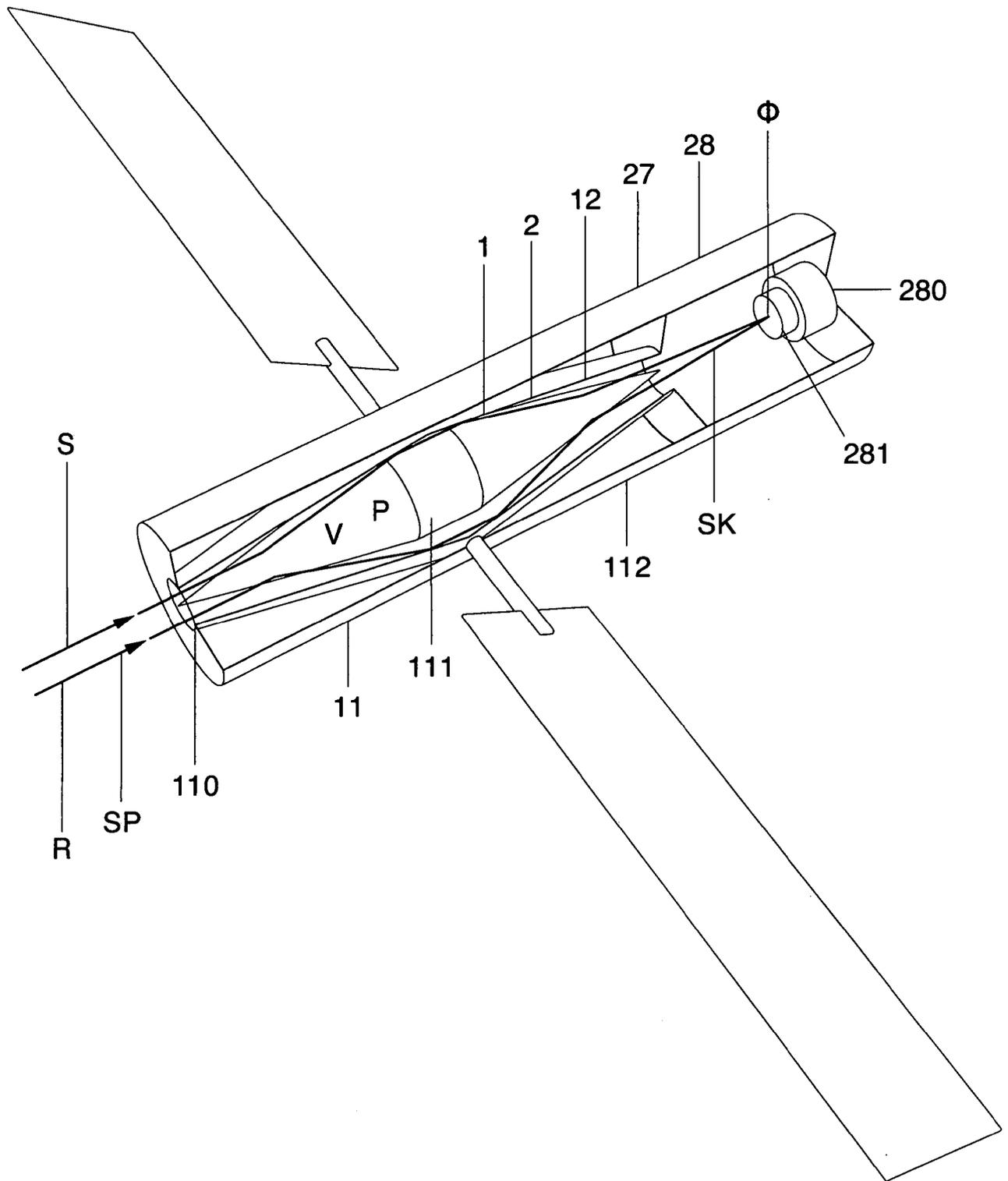


Fig.24