

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
10. September 2021 (10.09.2021)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2021/175910 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation: *G02B 17/02* (2006.01) *G02B 19/00* (2006.01) *G02B 17/08* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2021/055304
- (22) Internationales Anmeldedatum: 03. März 2021 (03.03.2021)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 10 2020 001 448.8
03. März 2020 (03.03.2020) DE
- (72) Erfinder; und
(71) Anmelder: GRIMM, Friedrich [DE/DE]; Züricher Str. 18, 70376 Stuttgart (DE).
- (74) Anwalt: RAIBLE DEISSLER LEHMANN PATENT-ANWÄLTE; Senefelderstr. 26, 70176 Stuttgart (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,

(54) Title: OPTICAL COMPONENT COMPRISING A HYBRID PRISM

(54) Bezeichnung: OPTISCHES BAUELEMENT MIT HYBRIDPRISMA

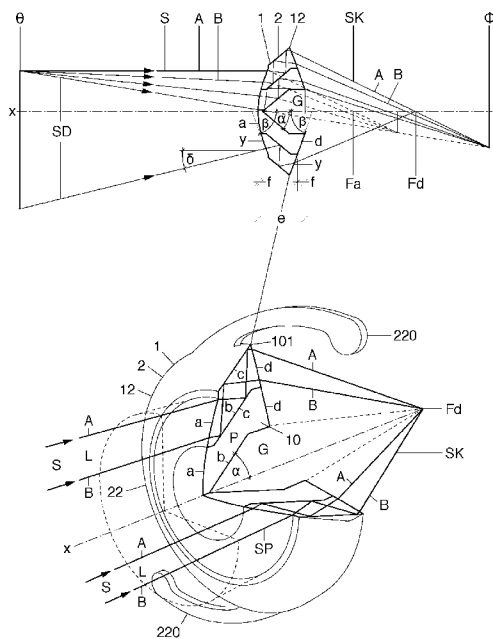


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to an optical component for an optical system (2), said optical component comprising at least one hybrid prism (1) for light (L) having a wavelength of 780 nm to 380 nm or for X-rays (R) having a wavelength of 1 nm to 30 pm or for infrared rays. The hybrid prism (1) has an optical axis (x) which combines properties of a lens with the properties of a reflection prism and is rotationally symmetrical, and said hybrid prism (1) is provided. The hybrid prism (1) has boundary surfaces (a-d) to the surrounding matter, the optical density changing at said boundary surfaces (a-d) and said boundary surfaces (a-d) comprising a front boundary surface (a), a rear boundary surface (d), and two inner boundary surfaces (b, c). The two inner boundary surfaces (b, c) are each arranged at an angle of inclination (α) to the optical axis (x). The hybrid prism (1) is designed to define the beam path over a length (e) in such a way that at least part of the beams (S) emanating from an object (Θ) enter the hybrid prism (1) at the front boundary surface (a), undergo an even number of total reflections at the two inner boundary surfaces (b, c), and emerge again from the rotationally symmetrical body (P) at a rear boundary surface (d). At least one of the boundary surfaces (a-d) has a generating curve (y) with an alternating tangent angle (β) in a longitudinal section (f), and the hybrid prism (1) is designed as a collecting prism (12) or as a dispersing prism (13) or as a hybrid condensing prism (14).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein optisches Bauelement für ein optisches System (2), welches optische Bauelement mindestens ein Hybridprisma (1) für Licht (L) mit einer Wellenlänge von 780 nm bis 380 nm oder für Röntgenstrahlen (R) mit einer Wellenlänge von 1 nm bis 30 pm oder für Infrarotstrahlen aufweist, welches Hybridprisma (1) eine optische Achse (x) aufweist, die Eigenschaften einer Linse mit den Eigenschaften eines



WO 2021/175910 A1

TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii)
- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, die Priorität einer früheren Anmeldung zu beanspruchen (Regel 4.17 Ziffer iii)

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

Reflexionsprismas in sich vereinigt und rotationssymmetrisch ausgebildet ist, welches Hybridprisma (1) vorgesehen ist, welches Hybridprisma (1) Grenzflächen (a-d) zur umgebenden Materie aufweist, an welchen Grenzflächen (a-d) sich die optische Dichte ändert, welche Grenzflächen (a-d) eine vordere Grenzfläche (a), eine hintere Grenzfläche (d) und zwei innere Grenzflächen (b,c) umfassen, welche zwei inneren Grenzflächen (b,c) jeweils mit einem Neigungswinkel (α) zur optischen Achse (x) angeordnet sind, und welches Hybridprisma (1) dazu ausgebildet ist, den Strahlengang über eine Länge (e) derart zu bestimmen, dass die von einem Objekt (\odot) ausgehenden Strahlen (S) zumindest teilweise an der vorderen Grenzfläche (a) in das Hybridprisma (1) eintreten, an den zwei inneren Grenzflächen (b,c) 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) als ein Sammelpisma (12) oder als ein Zerstreuprisma (13) oder als ein hybrides Kondensorprisma (14) ausgebildet ist.

Optisches Bauelement mit Hybridprisma

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 Kondensorprisma 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. Bei der Herstellung von elektronischen Bauteilen wie Mikrochips und Prozessoren ermöglichen spezielle Masken für Röntgenstrahlen die Realisierung einer Strukturgröße kleiner 5 nm. Das optische System kann für einen Petawatt Hochenergie Laser und für Röntgenstrahlen auch als Fusionsreaktor ausgebildet werden, bei dem eine Mehrzahl von Hybridprismen auf ein Target im Mittelpunkt eines Fusionsreaktorbehälters gerichtet sind.

Stand der Technik

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 Strahlenbündels 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. Eine weitere Anwendungsmöglichkeit für das erfindungsgemäße Hybridprisma ist die Kernfusion. Um die Kernfusion realisieren zu können, muss zunächst die sogenannte Coulomb-Kraft überwunden werden, mit der sich positiv geladene Atomkerne gegenseitig abstoßen. Gelingt die Anordnung zweier Atomkerne mit dem Abstand eines Mehrfachen ihres Kernradius, wirken starke anziehende Kräfte, die die Fusion der Kerne ermöglichen.

Diese Annäherung gelingt nur dann, wenn sich die Kerne mit großen Geschwindigkeiten aufeinander zu bewegen. Die für die Kernfusion notwendigen relativistischen Geschwindigkeiten laserbeschleunigter Elektronen können bei entsprechend hohen Temperaturen erreicht werden. Dies ist z.B. bei der Sonne der Fall, die vollständig aus einem Plasma des Wasserstoffs besteht. In der Sonne verschmelzen die Protonen des Wasserstoffs und setzen Energie frei. Auch auf der Erde ist Wasserstoff unbegrenzt vorhanden, sodass etwa seit 1958 versucht wird, eine kontrollierte Kernfusion künstlich zu erzeugen. Bei den für die Kernfusion erforderlichen Temperaturen liegt Wasserstoff als Plasma vor, bei dem sich die Elektronen und die Wasserstoffkerne unabhängig voneinander bewegen. Während das Plasma bei der Sonne durch Gravitation zusammengehalten wird, besteht diese Möglichkeit auf der Erde nicht. Bisher wurden zwei unterschiedliche Möglichkeiten für den Einschluss eines Plasmas in einem Gefäß entwickelt. Ein sogenannter Tokamak ist dazu ausgebildet, Elektronen und Protonen entlang der Magnetfeldlinien eines Magnetfelds auf Schraubenbahnen zu führen. Dazu sind starke Magnetspulen in radialer und konzentrischer Anordnung um einen torusförmigen Fusionsbehälter erforderlich. Bei der zweiten Möglichkeit, dem sogenannten Trägheitseinschluss, wird ein Target im Zentrum eines kugelförmigen Reaktionsbehälters durch Laser- oder Teilchenstrahlung beschossen, sodass die Fusionstemperatur sehr schnell erreicht wird und zahlreiche Fusionsreaktionen bereits stattgefunden haben, bevor für die Expansion des Plasmas genügend Zeit und Raum zur Verfügung stand. Das Problem kleinerer Fusionsreaktoren der Bauart Tokamak ist die sehr kurze Energie-Einschlusszeit, da das Plasma schneller als erwartet abkühlt. Für die Abkühlung sind innere Turbulenzen des Plasmas verantwortlich, die, vergleichbar zu den regelmäßig auftretenden Sonneneruptionen, große Energiemengen von dem heißen Kern der Sonne an die Oberfläche transportieren.

Aus der DE 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 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.

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 Figuren 1,2,5 und 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 ein EUV-Kollektor hervor, der EUV-Strahlung einer EUV-Strahlungsquelle teilweise durch mehrfache Reflexion an rotationssymmetrischen, gekrümmten Spiegelschalen in streifendem Einfall in einen Brennpunkt fokussiert.

Aus der DE 37 85 763 T2 geht aus der Beschreibung eine Vorrichtung hervor, die Röntgenstrahlung durch mehrfache Reflexion kollimiert oder fokussiert.

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.

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.

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.

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

Aufgabenstellung

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 Erfindung 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 Zerstreuungspisma oder als ein Kondensorprisma 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 bevorzugt zumindest teilweise 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 Kondensator 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 Kondensatorprismas als Objektiv für ein Röntgengerät, das ein von einer Röntgenröhre emittiertes divergentes Strahlenbündel exakt auf einen Mikrofokus bündelt,
- Angabe eines hybriden Kondensatorprismas, 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
- Angabe einer Anordnung von Hybridprismen, die Röntgenstrahlung in den Plasmakern eines torusförmigen Fusionsreaktors injizieren, um die Bildung von unerwünschten turbulenten Strömungen im Plasma zu unterdrücken.
- Angabe einer Mehrzahl von Hybridprismen in einer radialen Anordnung und mit einem gemeinsamen Brennpunkt für die Kollision von Röntgenstrahlung im Zentrum eines kugelförmigen Fusionsreaktors der ein teilchenstrahlungsinduziertes Plasma erzeugt.
- Angabe einer Wasserstoffkapsel für die Aufnahme der schweren Isotope des Wasserstoffs im Zentrum des kugelförmigen Fusionsreaktors.
- Angabe eines hybriden Kondensorprismas für einen Petawatt High-Energy Laser, der durch "isochores Heizen" einer dünnen Metallfolie, die eine Wasserstoffkapsel umgibt, eine Fusion der schweren Kerne des Wasserstoffs auslöst.

Die Aufgabe wird gelöst durch ein optisches Bauelement für ein optisches System, welches optische Bauelement mindestens ein Hybridprisma aufweist, welches Hybridprisma eine optische Achse aufweist, die Eigenschaften einer Linse mit den Eigenschaften eines Reflexionsprismas in sich vereinigt und rotationssymmetrisch ausgebildet ist, welches Hybridprisma vorgesehen ist, welches Hybridprisma Grenzflächen zur umgebenden Materie aufweist, an welchen Grenzflächen sich die optische Dichte ändert, welche Grenzflächen eine vordere Grenzfläche, eine hintere Grenzfläche und zwei innere Grenzflächen umfassen, welche zwei inneren Grenzflächen jeweils mit einem Neigungswinkel zur optischen Achse angeordnet sind, und welches Hybridprisma dazu ausgebildet ist, den Strahlengang über eine Länge derart zu bestimmen, dass die von einem Objekt ausgehenden Strahlen zumindest teilweise an der vorderen Grenzfläche in das Hybridprisma eintreten, an den zwei inneren Grenzflächen eine gerade Anzahl von Totalreflexionen durchlaufen und an einer hinteren Grenzfläche wieder aus dem rotationssymmetrischen Körper austreten, wobei mindestens eine der Grenzflächen in einem Längsabschnitt eine erzeugende Kurve mit einem wechselnden Tangentenwinkel aufweist und das Hybridprisma als ein Sammelpisma oder als ein Zerstreuungspisma oder als ein hybrides Kondensorprisma ausgebildet ist.

Ein solches Hybridprisma ermöglicht eine vorteilhafte optische Beeinflussung elektromagnetischer Wellen und eine Fokussierung.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist das optische Bauelement dazu ausgebildet, ein Parallelstrahlbündel auf einen Brennpunkt zu konzentrieren.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist das Hybridprisma als Körper ausgebildet, bevorzugt als Glaskörper.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform weist das optische Bauelement einen Hüllkörper auf, welcher Hüllkörper das Hybridprisma allseitig umgibt, wobei das Hybridprisma als Hohlraum ausgebildet ist. Dies ist insbesondere vorteilhaft zur optischen Beeinflussung von Röntgenstrahlen.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform weist der Hohlraum ein Vakuum auf.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist das optische Bauelement nach für mindestens eines der optischen Systeme ausgebildet aus der Systemgruppe bestehend aus

- Intraokularprisma für ein Auge,
- Lidar-System mit einem Scheinwerfer,
- Objektiv für eine Kamera oder für ein Fernrohr oder für ein Mikroskop,
- medizinisches Röntgengerät,
- Röntgenmikroskop, und
- Röntgenteleskop.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform sind die zwei inneren Grenzflächen für Licht oder für Röntgenstrahlen totalreflektierend ausgebildet.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform weist das optische Bauelement ein Hybridprisma oder eine Mehrzahl koaxial und konzentrisch zu der optischen Achse angeordnete Hybridprismen auf, die untereinander eine Anordnung bilden, bei der jeweils die vorderen und die hinteren Grenzflächen refraktiv, oder diffraktiv, oder refraktiv und diffraktiv ausgebildet sind, welche inneren Grenzflächen mindestens in einem Längsabschnitt ihrer Länge einen konstanten Neigungswinkel gegenüber der optischen Achse aufweisen, wobei mindestens eine der Grenzflächen mindestens in einem Längsabschnitt der Länge mindestens eine erzeugende Kurve mit einem kontinuierlich wechselnden Tangentenwinkel und mit einem zugehörigen Fokus aufweist und die erzeugende Kurve als ein Kreisbogen oder eine als eine Polynomkurve zweiten bis fünften Grades oder als eine Freiformkurve bestimmt ist.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist das Hybridprisma als Körper ausgebildet, und das Hybridprisma ermöglicht eine zweifache Totalreflexion oder eine vierfache Totalreflexion an den inneren Grenzflächen, wobei das Hybridprisma

- im Falle der zweifachen Totalreflexion an den inneren Grenzflächen eine als Installationsraum nutzbare Lücke aufweist und eine ringförmige Bildfläche mit einem Innendurchmesser bewirkt, und

- im Falle der vierfachen Totalreflexion an den inneren Grenzflächen eine in sich geschlossene Lücke und eine ununterbrochene Bildfläche bewirkt, wobei der Körper, bezogen auf die vordere und hintere Grenzfläche des rotationssymmetrischen Körpers bikonvex, plankonvex, konkav-konvex, plankonkav, bikonkav oder konvex-konkav oder mit einer diffraktiven Struktur ausgebildet ist.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist das Hybridprisma

- als hybrides Sammelpisma dazu ausgebildet, mittels einer erzeugenden konvexen Kurve in einem Längsabschnitt der Grenzfläche ein konvergentes Strahlenbündel mit einem Fokus zu erzeugen, oder

- als hybrides Zerstreuungsprisma dazu ausgebildet, mittels einer erzeugenden konkaven Kurve in einem Längsabschnitt der Grenzfläche ein divergentes Strahlenbündel mit einem Fokus zu erzeugen,

wobei die inneren Grenzflächen einer Mehrzahl konzentrisch und coaxial zu der optischen Achse angeordneter Körper einer Anordnung jeweils unterschiedliche Neigungswinkel aufweisen und das plankonkave hybride Sammelpisma oder das plankonvexe hybride Zerstreuungsprisma für das Objektiv einer Kamera, eines Teleskops oder eines Mikroskops oder für einen Scheinwerfer ausgebildet sind.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform weist das Hybridprisma als

Intraokularprisma für ein menschliches Auge mindestens zwei ringförmige, konzentrisch und coaxial zu der optischen Achse angeordnete Glaskörper auf, die untereinander eine Anordnung mit vorderen und hinteren Grenzflächen sowie mit inneren Grenzflächen bilden und die erzeugenden Kurven der Grenzflächen entweder als eine zusammenhängende Kurve oder als eine Fresnelstruktur jeweils mit einem Fokus auf der optischen Achse ausgebildet sind und die inneren Grenzflächen parallel zueinander mit einem einheitlichen Neigungswinkel bezüglich der optischen Achse ansteigen, sodass eine der inneren Grenzflächen eines zentralen Glaskörpers an eine andere der inneren Grenzflächen des jeweils nächstgrößeren ringförmigen Glaskörpers anschließt, welches Hybridprisma innerhalb eines Auges derart positionierbar ist, dass der Fokus

des hybriden Intraokularprismas innerhalb des Auges gerade so weit von der Netzhaut entfernt ist, dass auf der von der Netzhaut gebildeten Bildfläche eine kreisförmige Lücke entsteht, die dem Durchmesser der Makula entspricht und die Strahlen des Strahlengangs unter Umgehung der Makula eine in sich vollständige Abbildung auf die die Makula umgebende gesunde Netzhaut projizieren.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform weist das Hybridprisma ein Vakuum auf, das durch vier Grenzflächen zu einem zweischalig ausgebildeten Hüllkörper derart begrenzt wird, dass eine der inneren Grenzflächen eine zusammengesetzte erzeugende Kurve für eine konzentrisch und koaxial zu der optischen Achse angeordnete Spindel aufweist, welche erzeugende Kurve gerade Längsabschnitte mit einem Neigungswinkel gegenüber der optischen Achse sowie in mindestens einem Längsabschnitt der Länge des Hybridprismas eine Hyperbel oder eine Parabel aufweist, und dass eine der inneren Grenzflächen des Hybridprismas eine zusammengesetzte erzeugende Kurve für eine mit einem radialen Abstand konzentrisch und koaxial zu der Spindel angeordneten Hülse aufweist, welche erzeugende Kurve gerade Längsabschnitte mit einem Neigungswinkel gegenüber der optischen Achse sowie in mindestens einem Längsabschnitt der Länge eine Parabel oder Ellipse aufweist, und dass die vordere Grenzfläche und die hintere Grenzfläche des Hybridprismas jeweils an refraktiv oder diffraktiv oder refraktiv und diffraktiv ausgebildete Oberflächen einer Korrekturlinse anschließen, welches Hybridprisma dazu ausgebildet ist, die Strahlen des Strahlengangs von Röntgenstrahlen zumindest teilweise an der vorderen Korrekturlinse von der optischen Achse weg- und an der hinteren Korrekturlinse zu der optischen Achse hinzulenken und an den inneren Grenzflächen jeweils viermal totalzureflektieren, wobei die Spindel bevorzugt durch Permanentmagnete isotherm oder kryostatisch frei schwebend in der Hülse festgehalten ist oder durch ein Verbindungselement mit der Hülse verbunden ist, und wobei der zweischalig ausgebildete Hüllkörper bevorzugt aus Zerodur der Fa. Schott AG oder aus Metall ausgebildet ist.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist das Hybridprisma innerhalb der Grenzflächen zumindest für einen vorgegebenen Wellenlängenbereich optisch dichter als außerhalb der Grenzflächen.

Der Aufbau des Hybridprismas

Das Hybridprisma hat bevorzugt einen einem Rotationsrhomboid ähnlichen

rotationssymmetrischen Körper, an dem mindestens in einem Längsabschnitt eine erzeugende Kurve mit einem wechselnden Tangentenwinkel ausgebildet ist. Er 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 rotationssymmetrische 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 rotationssymmetrischen 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 rotationssymmetrischer Körper ausgebildet oder besteht aus einer Mehrzahl coaxial und konzentrisch zu der optischen Achse angeordneter ringförmiger rotationssymmetrischer Körper, die untereinander zu einem Array verbunden sind. Die vordere und die hintere Grenzfläche des rotationssymmetrischen 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 rotationssymmetrischen 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. Als Strahlungsquelle sind allgemein auch Laser nutzbar, die ultraviolette Strahlung erzeugen.

Hybridprismen für Licht und Laserlicht

Für Licht und für Laserlicht ist der rotationssymmetrische 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.

Vermeidung der chromatischen Aberration

Mit einer besonders vorteilhaften Ausführungsform des Hybridprismas gelingt es eine chromatische Aberration der Strahlen vollkommen zu vermeiden. Ein plankonkaves Sammelpisma mit einem Glaskörper konvergiert ein Parallelstrahlbündel allein durch Totalreflexion an einer erzeugenden konvexen Kurve der inneren, der optischen Achse abgewandten Grenzfläche des Rotationsrhomboids, wobei die hintere Grenzfläche des Glaskörpers konkav ausgebildet ist und eine Parabel als erzeugende Kurve hat. Ein plankonvexes Zerstreuprisma dagegen divergiert ein Parallelstrahlbündel allein durch Totalreflexion an einer erzeugenden konkaven Kurve der inneren, der optischen Achse abgewandten Grenzfläche des Rotationsrhomboids, wobei die hintere Grenzfläche des Glaskörpers konvex ausgebildet ist und eine Parabel als erzeugende Kurve hat. Dabei weisen die totalreflektierenden inneren Grenzflächen der Glaskörper eines Arrays jeweils unterschiedliche Neigungswinkel auf, sodass eine chromatische Aberration der Strahlen des verketteten Strahlengangs sowohl bei dem hybriden Sammelpisma als auch bei dem hybriden Zerstreuprisma ausgeschlossen ist und derartige Hybridprismen in besonderer Weise für das Objektiv einer Kamera, eines Teleskops oder eines Mikroskops und mit umgekehrtem Strahlengang für einen Scheinwerfer geeignet sind. Bevorzugt haben die vordere und hintere Grenzfläche eine diffraktive Struktur zur Beugung des

Lichts. Bevorzugt haben die inneren Grenzflächen eine dichromatische oder polychromatische Beschichtung zur Korrektur der chromatischen Aberration.

Das hybride Intraokularprisma

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 ausgerichtet 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 soweit 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.

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 optischen 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

Mit einem realen Anteil der Brechzahl < 1 ist für Röntgenstrahlung das Vakuum optisch dichter als die umgebende Materie. Deshalb weist ein 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, 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 Verbindungsstegen 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 Strukturbiochemie über die Grenz- und Oberflächenphysik bis hin zur Atom- und Molekülphysik.

Medizinische Röntgengeräte

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 Kondensatorprisma ausgebildet ist, dessen vorderer Fokus deckungsgleich mit der punktförmig angenommenen Strahlungsquelle der Röntgenröhre angeordnet wird. Das Kondensatorprisma 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 Zellendetektors auf einer zylindrischen Bildfläche scharfe Schichtbilder des Objekts empfangen werden können.

Röntgenmikroskope

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 Sammelpisma 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 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

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.

Fusionsreaktoren

Durchdringt Röntgenstrahlung ein Vakuum, kommt es zu einer Phasenverschiebung der Röntgenstrahlung, die eine Brechzahl kleiner als 1 bewirkt. Diese Phasenverschiebung kann auch die Ursache der Turbulenzen sein, die in Fusionsreaktoren zu einer Energieeinschlusszeit von nur wenigen Millisekunden führt, sodass die Zündung des Plasmas, d.h. die Kernfusion, nicht in Gang kommen kann. In dem Plasma bewirkt α -Strahlung die Aufheizung des Plasmas, während durch die Abgabe von γ -Strahlung ein kontinuierlicher Wärmestrom von dem heißen Kern des Plasmas in Richtung der Behälterwand stattfindet. In einer besonders vorteilhaften Ausführung der Erfindung wird Röntgenstrahlung mittels einer Mehrzahl von Hybridprismen von außen nach innen in das Plasma injiziert. Die von außen zugeführte Röntgenstrahlung erfährt ebenfalls eine Phasenverschiebung im Plasma, sodass Resonanzeffekte innerhalb der relativistischen Teilchenbewegung eine Temperaturerhöhung im Plasma bewirken können um die Energieeinschlusszeit z. B. bei einem Tokamak-Reaktor deutlich zu erhöhen, sodass eine Fusionsreaktion mit einer positiven Energiebilanz auch bei kleineren Reaktorbehältern möglich erscheint.

In einer ersten vorteilhaften Ausführungsvariante für einen Fusionsreaktor besteht das optische System aus einer Mehrzahl von hybriden Kondensorprismen, die mit einer kurzen Brennweite ausgebildet sind. Der Brennpunkt ist jeweils unmittelbar hinter der hinteren Grenzfläche angeordnet, sodass sich im Anschluss an den Brennpunkt ein divergentes Strahlenbündel bildet und eine Anordnung einer Mehrzahl derartiger Kondensorprismen dazu ausgebildet ist, Röntgenstrahlung als divergente Strahlenbündel im Inneren des Fusionsreaktors in das Plasma zu injizieren, um eine Wechselwirkung mit den Teilchen des Plasmas zu induzieren. Durch die permanente Einleitung externer Energie in das Plasma

kann das Temperaturgefälle zwischen dem extrem heißen Inneren des Plasmas und dem relativ dazu weniger heißen, dem Reaktorbehälter zugewandten Bereich des Plasmas, verringert werden, sodass unerwünschte turbulente Strömungen in dem Plasma vermieden werden und dadurch die Energieeinschlusszeit verlängert wird. Dabei kann der Fusionsreaktor selbst für eine Trägheitsfusion oder als Tokamak-Reaktor für eine elektromagnetisch induzierte Fusion ausgelegt werden. Die bereits erwähnten Resonanzeffekte aus der Wechselwirkung zwischen inneren Teilchenbewegungen und mittels der Röntgenstrahlung zusätzlich angeregten Teilchenbewegungen sind geeignet die Energieeinschlusszeit zu verlängern.

Bei einer weiteren Ausführungsvariante des Fusionsreaktors sind einer Mehrzahl von hybriden Kondensorprismen für hochenergetische Röntgenstrahlen im Bereich von z.B. jeweils 20 keV an der Außenschale eines Druckbehälters angeordnet und haben einen gemeinsamen Brennpunkt in der Mitte einer Wasserstoffkapsel. Die Kollision der Röntgenstrahlen erzeugt ein Plasma bei dem die Kerne der schweren Isotope des Wasserstoffs Deuterium und Tritium zu dem chemischen Element Helium fusioniert werden, sodass sich eine von dem gemeinsamen Brennpunkt der Kondensorprismen im Zentrum der Wasserstoffkapsel ausgehende Schockwelle von innen nach außen ausbreitet. Dabei verläuft die fluiddynamische Expansion des Plasmas langsamer als die Fusion der Kerne selbst, sodass die Fusion einige Sekunden lang andauern kann und deshalb einen Energieüberschuss erzeugt.

Bei einer bevorzugten Ausführungsvariante für einen Fusionsreaktor weist das optische System eine konzentrische radiale Anordnung von mehreren Kondensorprismen für einen Petawatt Laser auf. Am Helmholtz-Zentrum GSI für Schwerionen-Forschung in Darmstadt ist ein derartiger High-Energy Laser mit der Bezeichnung "Phelix-Laser" dazu ausgebildet, Plasmazustände der Materie zu erzeugen. Mit einer Wellenlänge von 527 nm arbeitet der Laser mit hochintensiver Ultraviolett-Strahlung außerhalb des für das menschliche Auge wahrnehmbaren Lichts. Deshalb wird im Rahmen der Erfindung ein Hybridprisma für einen derartiger Laser vorgeschlagen. Das Hybridprisma ist als ein Kondensorprisma ausgebildet und weist einen Hüllkörper mit vier Grenzflächen zu optisch dichter Materie auf. Der Hüllkörper wird von einer inneren, konzentrisch zu der optischen Achse ausgebildeten Spindel und von einer umgebenden Hülse gebildet, die untereinander einen evakuierten Hohlraum in Form eines Rotationsrhomboids einschließen. Die Spindel und die Hülse

können jeweils aus dem Werkstoff Zerudur der Firma Schott hergestellt werden. Der Brennpunkt des hybriden Kondensorsprismas ist auf der äußeren Mantelfläche einer von einer Metallfolie umhüllten Wasserstoffkapsel für die schweren Isotope Deuterium und Tritium des Wasserstoffs angeordnet. Durch isochtones Heizen der Metallfolie im Bereich des Brennpunkts bildet sich ein Plasma, das sich mit einer Schockwelle ausgehend von der äußeren Metallfolie in das Innere der Wasserstoffkapsel ausbreitet. Dabei werden die schweren Kerne des Wasserstoffs fusioniert, wobei die fluiddynamische Expansion des Plasmas langsamer abläuft als die Kernfusion selbst, sodass der Fusionsprozess einige Sekunden lang aufrecht erhalten werden kann um einen Energiegewinn zu erzielen.

Die Figuren zeigen unterschiedliche Ausführungsmöglichkeiten und Anwendungen der Erfindung.

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. 14 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 Zerstreuungsprisma 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 Sammelprisma mit diffraktiven Korrekturlinsen ausgebildet ist, in einem Querschnitt entlang der optischen Achse x ,

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

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

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

Fig. 25 zeigt ein hybrides Kondensorprisma mit kurzer Brennweite, das dazu ausgebildet ist, innerhalb des Druckbehälters eines Fusionsreaktors ein divergentes Strahlenbündel in das Plasma zu injizieren, im schematischen Querschnitt, Fig. 26 zeigt einen Fusionsreaktor mit vier hybriden Kondensorprismen für Röntgenstrahlen die einen gemeinsamen Brennpunkt im Mittelpunkt eines kugelförmigen Druckbehälters haben im schematischen Querschnitt, Fig. 27 zeigt eine Anordnung einer Mehrzahl von hybriden Kondensorprismen an einem Fusionsreaktor deren Brennpunkte für Laserstrahlen an der Oberfläche einer Wasserstoffkapsel liegen in der perspektivischen Ausschnittsdarstellung.

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 optische 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 F_a 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 F_d 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 Θ 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 F_d 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 Bildfläche Φ mit einem inneren Durchmesser D bewirkt, sodass die Ausblendung der degenerierten Makula 222 ermöglicht wird. Die perspektivische

Ausschnittsdarstellung des Intraokularprimas 22 zeigt Haptiken 220 für den Einbau in ein menschliches Auge.

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 F_d konzentriert zu werden. Der Fokus F_d 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.

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.

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.

Fig.4 unten zeigt das von vier Glaskörpern 10 gebildete Array 101 für ein Intraokularprisma 22 in einer schematischen Ausschnittperspektive. 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.

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 Einzelementen 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.

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.

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 coaxial und konzentrisch zu der optischen Achse x umgeben. Das Array 101 mit insgesamt vier Glaskörpern 10 hat eine Länge e, die jeweils in einem konvexen 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.

Fig. 8 zeigt eine vereinfachte Form des in Fig. 7 beschriebenen hybriden Sammelpismas 12, das von fünf konzentrisch und coaxial 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.

Fig. 9 zeigt das Array 101 eines hybriden Zerstreungsprismas 13, das aus drei Glaskörpern 10 aufgebaut ist, in einem Querschnitt entlang der optischen Achse x. Das Zerstreungsprisma 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 Zerstreungsprisma 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 Strahlendbündel SD, die als Installationsraum genutzt werden kann.

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 Strahlendbündel SD mit einem Öffnungswinkel δ ausbreiten. An einem Objekt Θ werden die Strahlen S des divergenten Strahlendbündels 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.

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 F_d 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 coaxial zu der optischen Achse x angeordnetes Array 101 bilden.

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 F_d des hybriden Sammelpismas 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 Θ 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 F_d konzentriert werden, um anschließend von dem ringförmigen Lidar-Sensor 281 der CCD-Kamera 280 empfangen zu werden.

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 Sammelpisma 12 als Parallelstrahlbündel S_p ein und wird an den inneren Grenzflächen b,c des Glaskörpers 10 jeweils viermal totalreflektiert, um innerhalb des Glaskörpers 10 auf einen Fokus F_d konzentriert zu werden und um den Glaskörper 10 an der hinteren Grenzfläche d als ein divergentes Strahlenbündel S_d 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.

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.

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.

Fig. 16 zeigt ein Objektiv 28 für Röntgenstrahlung R, das als ein hybrides Kondensorprisma 14 ausgebildet ist, dessen vorderer Fokus F_a deckungsgleich zu der punktförmig angenommenen Strahlungsquelle Q einer Röntgenröhre 21 angeordnet ist. Die Röntgenröhre 21 emittiert ein divergentes Strahlenbündel SD mit einem Öffnungswinkel δ kleiner-gleich 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 F_d 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 F_d zu konzentrieren. Durch die zusätzliche Beugung der Röntgenstrahlung R an den Korrekturlinsen 110 kann ein sehr exakter Fokus F_d mit einem Durchmesser kleiner-gleich 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.

Fig. 17 zeigt das Kondensorprisma 14 für Röntgenstrahlung R nach Fig. 16 in einer Ausschnittperspektive mit Darstellung des verketteten Strahlengangs von der Strahlungsquelle Q bis zu dem der hinteren Korrekturlinse 110 zugeordneten Brennpunkt F_d , wobei die Beispielstrahlen A,B der Röntgenstrahlung R innerhalb des Vakuums V jeweils einer vierfachen 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.

Fig. 18 zeigt den Längsschnitt eines hybriden Kondensorprismas 14, das als ein Objektiv 28 für die von einer Strahlungsquelle Q ausgehende Röntgenstrahlung R ausgebildet ist. Das Objektiv 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 F_a 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 Zerstreungslinsen plankonvex oder bikonvex ausgebildet sind. Dementsprechend ist die vordere Korrekturlinse 110 bikonvex ausgebildet und lenkt die Beispielstrahlen A, B des Parallelstrahlbündels S_p 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 F_d konzentriert. Die eigentliche Bündelung auf den der hinteren Grenzfläche d zugeordneten Fokus F_d 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 F_d 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.

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.

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 Zellen-detektor 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 Objektiv 28 auf, sodass die Röntgendiagnostik durch detaillierte hochaufgelöste Röntgenaufnahmen wesentlich verbessert werden kann.

Fig. 21 zeigt ein Objektiv 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 F_d den rotationssymmetrischen Körper P zu verlassen.

Fig. 22 zeigt ein hybrides Sammelpisma 12 für Röntgenstrahlung R , das in seinem Aufbau im Wesentlichen dem in Fig. 21 gezeigten Ausführungsbeispiel 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 Zerstreulinse 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.

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.

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

Fig. 25 zeigt ein hybrides Kondensorprisma 14 mit kürzerer Brennweite als dem Abstand zwischen der hinteren Grenzfläche d und dem Brennpunkt F_d , das in unterschiedlichen Größen z.B. aus Zerodur, einem Glaskeramik-Werkstoff der Firma Schott, hergestellt werden kann. Das hybride Kondensorprisma 14 ist dazu ausgebildet, ein divergentes Strahlenbündel SD aus Röntgenstrahlen R in das Plasma 301 eines Fusionsreaktors 30 mit einem Vakuum V zu injizieren. In seinem geometrischen Aufbau entspricht das hybride Kondensorprisma 14 dem in Fig. 18 und Fig. 19 beschriebenen Ausführungsbeispiel. Die Röntgenstrahlen R haben eine nicht näher dargestellte Strahlungsquelle Q , die dem in Fig. 23 gezeigten Ausführungsbeispiel entspricht und ein Synchrotron 210 und einen Undulator 211 umfasst. Die divergenten Strahlenbündel SD der Mehrzahl von hybriden Kondensorprismen 14 heizen das Plasma 301 insbesondere in dem der Innenwand des Druckbehälters 302 zugewandten weniger heißen Bereich des Plasmas 301 auf. Dabei wird mit den divergenten Strahlenbündeln SD dem Plasma 301 während der Fusion Energie zugeführt, sodass das Temperaturgefälle zwischen dem heißen Kern und den relativ kühleren Randbereichen verringert wird. Das periphere Heizen des Plasmas 301 erfolgt durch Ionisierung möglichst vieler Teilchen. Das Wärmepotenzial des Plasmas 301 wird bisher nur zum Teil genutzt, da die Plasmabildung bereits bei einer Ionisierung jedes zehntausendsten Teilchens stattfindet. Durch das Heizen des Plasmas 301 mittels von Röntgenstrahlen R wird eine gleichmäßigere Wärmeverteilung in dem Plasma 301 ermöglicht, sodass die Bildung unerwünschter turbulenter Strömungen in dem Plasma 301 vermieden werden kann. Gelingt es, die Energieeinschlusszeit zu verlängern kann auch ein vergleichsweise klein kalibrierter Fusionsreaktor mit einem beträchtlichen Energieüberschuss betrieben werden.

Fig. 26 zeigt die exemplarische Anordnung von vier hybriden Kondensorprismen 14 für Röntgenstrahlen R , die in ihrem geometrischen Aufbau den in Fig. 18 und Fig. 19 gezeigten Ausführungsbeispielen entsprechen, mit einer Strahlungsquelle Q , die dem in Fig. 23 gezeigten Ausführungsbeispiel entspricht. Bei dieser Anordnung des optischen Systems 2 ist der gemeinsame Brennpunkt F_d der hybriden Kondensorprismen 14 im

Zentrum des Druckbehälters 302 eines Fusionsreaktors 30, der nach dem Prinzip der Trägheitsfusion arbeitet, angeordnet. Sowohl der den Druckbehälter 302 umgebende Raum als auch der von dem Druckbehälter 302 eingeschlossene Raum weist ein Vakuum V auf. Konzentrisch zu dem gemeinsamen Brennpunkt F_d der hybriden Kondensorprismen 14 ist eine kugelförmige Wasserstoffkapsel 300 angeordnet, deren Außenhülle aus einer Metallfolie, z.B. aus Silber, besteht, und die als Brennstoff des Fusionsreaktors 30 die schweren Isotope Deuterium und Tritium des Wasserstoffs enthält. Die Kollision der Röntgenstrahlen R mit einer Energie von 20 bis 100 keV in dem gemeinsamen Brennpunkt F_d , der einen Durchmesser von 5 nm oder kleiner haben kann, führt zu einer sich von dem Brennpunkt F_d ausbreitenden Fusionsreaktion mit einer Schockwelle im Inneren der Wasserstoffkapsel 300, die sich innerhalb des Druckbehälters 302 von innen nach außen ausbreitet. Da die fluiddynamische Ausdehnung des Plasmas 301 langsamer abläuft als die Kernfusion selbst, kann die Energieeinschlusszeit so weit verlängert werden, dass die Fusion einen gewaltigen Energieüberschuss liefert. Für die Auslösung der Kernfusion durch Kollision der Röntgenstrahlen R können an dem Druckbehälter 302 mindestens zwei oder eine Mehrzahl von hybriden Kondensorprismen 14 angeordnet werden.

Fig. 27 zeigt eine Mehrzahl hybrider Kondensorprismen 14, an deren vorderen Grenzflächen a jeweils ein Petawatt-Hochenergielaser in die hybriden Kondensorprismen 14 eintritt, an den inneren Grenzflächen b, c totalreflektiert, und an den hinteren Grenzflächen d auf Brennpunkte F_d fokussiert wird. Das hybride Kondensorprisma 14 kann z.B. aus Glas hergestellt werden und besitzt einen zweiteiligen Hüllkörper 11 mit einer vorderen und einer hinteren Korrekturlinse 110 und mit den Grenzflächen a und d , sowie einer konzentrisch zu der optischen Achse x angeordneten Spindel 111 mit der Grenzfläche b und einer die Spindel 111 umgebenden Hülse 112 mit der Grenzfläche c , sodass der Hüllkörper 11 vier Grenzflächen $a-d$ zu optisch dünnerer Materie aufweist. Da der Brennpunkt F_d einen Durchmesser > 5 nm haben kann, steht an dem Brennpunkt F_d eine sehr große Energiedichte zur Verfügung, die dafür ausreicht an der Außenseite einer Wasserstoffkapsel 300, die von einer Metall-Folie umgeben wird, eine sich ins Innere der Wasserstoffkapsel 300 ausbreitende Schockwelle hervorzurufen, sodass sich im Inneren der Wasserstoffkapsel 300 ein Plasma 301 von außen nach innen ausbreitet und eine Kernfusion der schweren Isotope des Wasserstoffs, Deuterium und Tritium,

sehr schnell ausgelöst werden kann. Da die Ausdehnung des Plasmas 301 langsamer verläuft als die Kernfusion selbst, ist eine verlängerte Energieeinschlusszeit möglich, sodass der Fusionsprozess einen Energieüberschuss erzielen kann. Wasser ist ein geeignetes Wärmeträgerfluid, um die gewonnene Wärmeenergie aus dem Fusionsreaktor 30 abzuleiten und z.B. an einer Dampfturbine mit angeschlossenem Generator in Strom zu wandeln. Mit den in den Fig. 26 und 27 gezeigten optischen Systemen 2 ist es möglich, einen Resonanzeffekt mittels von sich gegenläufig ausbreitenden Schockwellen zu erzielen, wobei sämtliche Teilchen des Plasmas 301 ionisiert werden und die Temperatur des Plasmas 301 über einen längeren Zeitraum hinweg ansteigt. Auch hier führt die verlängerte Energieeinschlusszeit wiederum zu einem Energieüberschuss aus der Kernfusion.

Naturgemäß sind im Rahmen der Erfindung vielfältige Abwandlungen und Modifikationen möglich.

Bezugszeichenübersicht

Hybridprisma	1	Optisches System	2
Strahlen	S	Optische Achse	x
Beispielstrahlen	A,B	Fokus	Fa-Fd
Licht	L	Strahlungsquelle	Q
Röntgenstrahlen	R	Röntgenröhre	21
Divergentes Strahlenbündel	SD	Synchrotron	210
Parallelstrahlbündel	SP	Undulator	211
Konvergentes Strahlenbündel	SK	Objekt	Θ
Rotationssymmetrischer Körper	P	Bildfläche	Φ
Neigungswinkel	α	Intraokularprisma	22
Tangentenwinkel	β	Haptik	220
Öffnungswinkel	δ	Kapselsack	221
Glaskörper	10	Makula	222
Einzelelement	100	Netzhaut	223
Array	101	Innerer Durchmesser	D
Lücke	G	Lidar-System	23
Vakuum	V	Laser	230
Hüllkörper	11	Filterelement	231
Korrekturlinse	110	Röntgengerät	25
Spindel	111	Tomograf	250
Hülse	112	Zellendetektor	251
Vordere Grenzfläche	a	Röntgenmikroskop	26
Innere Grenzflächen	b,c	Röntgenteleskop	27
Hintere Grenzfläche	d	Objektiv	28
Länge	e	CCD-Kamera	280
Längsabschnitt	f	CCD-Sensor	281
Erzeugende Kurve	y	Scheinwerfer	29
Fresnelstruktur	z	Fusionsreaktor	30
Hybrides Sammelpisma	12	Wasserstoffkapsel	300
Hybrides Zerstreungsprisma	13	Plasma	301
Hybrides Kondensorprisma	14	Druckbehälter	302

Patentansprüche

1. Optisches Bauelement für ein optisches System (2), welches optische Bauelement mindestens ein Hybridprisma (1) für Licht (L) mit einer Wellenlänge von 780 nm bis 380 nm oder für Röntgenstrahlen (R) mit einer Wellenlänge von 1 nm bis 30 pm oder für Infrarotstrahlen aufweist, welches Hybridprisma (1) eine optische Achse (x) aufweist, die Eigenschaften einer Linse mit den Eigenschaften eines Reflexionsprismas in sich vereinigt und rotationssymmetrisch ausgebildet ist, welches Hybridprisma (1) vorgesehen ist, welches Hybridprisma (1) Grenzflächen (a-d) zur umgebenden Materie aufweist, an welchen Grenzflächen (a-d) sich die optische Dichte ändert, welche Grenzflächen (a-d) eine vordere Grenzfläche (a), eine hintere Grenzfläche (d) und zwei innere Grenzflächen (b,c) umfassen, welche zwei inneren Grenzflächen (b,c) jeweils mit einem Neigungswinkel (α) zur optischen Achse (x) angeordnet sind, und welches Hybridprisma (1) dazu ausgebildet ist, den Strahlengang über eine Länge (e) derart zu bestimmen, dass die von einem Objekt (Θ) ausgehenden Strahlen (S) zumindest teilweise an der vorderen Grenzfläche (a) in das Hybridprisma (1) eintreten, an den zwei inneren Grenzflächen (b,c) 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) als ein Sammelpisma (12) oder als ein Zerstreungsprisma (13) oder als ein hybrides Kondensorprisma (14) ausgebildet ist.
2. Optisches Bauelement nach Anspruch 1, welches dazu ausgebildet ist, ein Parallelstrahlbündel (SP) auf einen Brennpunkt (F_d) zu konzentrieren.
3. Optisches Bauelement nach Anspruch 1 oder 2, bei welchem das Hybridprisma (1) als Körper (P) ausgebildet ist, bevorzugt als Glaskörper (10).
4. Optisches Bauelement nach Anspruch 1 oder 2, welches einen Hüllkörper (11) aufweist, welcher Hüllkörper (11) das Hybridprisma (1) allseitig umgibt, wobei das Hybridprisma (1) als Hohlraum ausgebildet ist.
5. Optisches Bauelement nach Anspruch 4, bei welchem der Hohlraum ein Vakuum (V) aufweist.

6. Optisches Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welches für mindestens eines der optischen Systeme ausgebildet ist aus der Systemgruppe bestehend aus

- Intraokularprisma (22) für ein Auge,
- Lidar-System (23) mit einem Scheinwerfer (29),
- Objektiv (28) für eine Kamera (280) oder für ein Fernrohr oder für ein Mikroskop,
- medizinisches Röntgengerät (25),
- Röntgenmikroskop (26), und
- Röntgenteleskop (27).

7. Optisches Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die zwei inneren Grenzflächen (b,c) für Licht (L) oder für Röntgenstrahlen (R) totalreflektierend ausgebildet sind.

8. Optisches Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welches ein Hybridprisma (1) oder eine Mehrzahl koaxial und konzentrisch zu der optischen Achse (x) angeordnete Hybridprismen (1) aufweist, die untereinander eine Anordnung bilden, bei der jeweils die vorderen und die hinteren Grenzflächen (a,d) refraktiv und/oder diffraktiv ausgebildet sind, welche inneren Grenzflächen (b,c) 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.

9. Optisches Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem das Hybridprisma (1) als Körper (P) ausgebildet ist, und welches Hybridprisma (1) eine zweifache Totalreflexion oder eine vierfache Totalreflexion an den inneren Grenzflächen (b,c) ermöglicht, wobei das Hybridprisma (1)

- im Falle der zweifachen Totalreflexion an den inneren Grenzflächen (b,c) eine als Installationsraum nutzbare Lücke (G) aufweist und eine ringförmige Bildfläche (Φ) mit einem Innendurchmesser (D) bewirkt, und

- im Falle der vierfachen Totalreflexion an den inneren Grenzflächen (b,c) eine in sich geschlossene Lücke (G) und eine ununterbrochene Bildfläche (Φ) bewirkt, wobei der Körper (P), bezogen auf die vordere und hintere Grenzfläche (a,d) des rotationssymmetrischen Körpers (P) bikonvex, plankonvex, konkav-konvex, plankonkav, bikonkav oder konvex-konkav oder mit einer diffraktiven Struktur ausgebildet ist.

10. Optisches Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem das Hybridprisma (1)

- als 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

- als 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 coaxial zu der optischen Achse (x) angeordneter Körper (10) einer Anordnung jeweils unterschiedliche Neigungswinkel (α) aufweisen und das plankonkave hybride Sammelpisma (12) oder das plankonvexe hybride Zerstreuungsprisma (13) für das Objektiv (28) einer Kamera (280), eines Teleskops oder eines Mikroskops oder für einen Scheinwerfer (29) ausgebildet sind.

11. Optisches Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem das Hybridprisma (1) als Intraokularprisma (22) für ein menschliches Auge mindestens zwei ringförmige, konzentrisch und coaxial zu der optischen Achse (x) angeordnete Glaskörper (10) aufweist, die untereinander eine Anordnung mit vorderen und hinteren Grenzflächen (a,d) sowie mit inneren 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 inneren Grenzflächen (b,c) parallel zueinander mit einem einheitlichen Neigungswinkel (α) bezüglich der optischen Achse (x) ansteigen, sodass eine der inneren Grenzflächen (c) eines zentralen Glaskörpers (10) an eine andere der inneren Grenzflächen (b) des jeweils nächstgrößeren ringförmigen Glaskörpers (10) anschließt, welches Hybridprisma (1) innerhalb eines Auges derart positionierbar ist, dass 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 Strahlengangs unter Umgehung der Makula (222) eine in sich vollständige Abbildung auf die die Makula (222) umgebende gesunde Netzhaut (223) projizieren.

12. Optisches Bauelement nach einem der vorausgehenden Ansprüche, bei welchem das Hybridprisma (1) ein Vakuum (V) aufweist, das durch vier Grenzflächen (a-d) zu einem zweischalig ausgebildeten Hüllkörper (11) derart begrenzt wird, dass eine der inneren Grenzflächen (b) 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 eine der inneren Grenzflächen (c) des Hybridprismas (1) 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 Hybridprismas (1) jeweils an refraktiv und/oder diffraktiv ausgebildete Oberflächen einer Korrekturlinse (110) anschließen, welches Hybridprisma (1) dazu ausgebildet ist, die Strahlen (A, B) des Strahlengangs von Röntgenstrahlen (R) zumindest teilweise an der vorderen Korrekturlinse (110) von der optischen Achse (x) weg- und an der hinteren Korrekturlinse (110) zu der optischen Achse (x) hinzulenken und an den inneren Grenzflächen (b,c) jeweils viermal totalzureflektieren, wobei die Spindel (111) bevorzugt durch Permanentmagnete isotherm oder kryostatisch frei schwebend in der Hülse (112) festgehalten ist oder durch ein Verbindungselement mit der Hülse (112) verbunden ist, und wobei der zweischalig ausgebildete Hüllkörper (11) bevorzugt aus Zerodur der Fa. Schott AG oder aus Metall ausgebildet ist.

13. Optisches Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem das Hybridprisma innerhalb der Grenzflächen (a-d) zumindest für einen vorgegebenen Wellenlängenbereich optisch dichter ist als außerhalb der Grenzflächen (a-d).

14. Optisches System (2), welches mindestens ein optisches Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche aufweist.

15. Optisches System (2) nach Anspruch 14, welches ein Lidar-System (23) mit einer Sendeeinheit und mit einer Empfängereinheit aufweist, wobei die Sendeeinheit eine Strahlungsquelle (Q) für einen Laser (230) mit gepulstem Licht (L) und ein Filterelement (231) zur Herstellung von weißem Licht (L) aufweist, welches optische System ein erstes Hybridprisma (1) und zweite Hybridprismen (1) aufweist, welches erste Hybridprisma (1) als hybrides Sammelpisma (12) mit einem Glaskörper (10) 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) eine Anordnung der zweiten Hybridprismen (1) aufweist, welche zweiten Hybridprismen (1) konzentrisch und koaxial zum ersten Hybridprisma (1) der Sendeeinheit angeordnet sind und ringförmige rotationssymmetrische Körper (P) aufweisen und dazu ausgebildet sind, 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 bevorzugt das autonome Fahren ermöglicht und dabei gleichzeitig als ein Scheinwerfer (29) dient, der in das Scheinwerfergehäuse eines Fahrzeugs einbaubar ist.

16. Optisches System (2) nach Anspruch 14 oder 15, welches als Lidar-System (23) mit einer Sendeeinheit, einem Filterelement (231), einem Laser (230), einer Empfängereinheit und einem CCD-Sensor (281) ausgebildet ist, bei welchem die Sendeeinheit eine Mehrzahl von Scheinwerfern (29) jeweils mit einer optischen Achse (x) für den Laser (230), für das 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 ist 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.

17. Optisches System (2) nach einem der Ansprüche 14 bis 16, welches als medizinisches Röntgengerät (25) mit einer Strahlungsquelle (Q) ausgebildet ist, welches Hybridprisma (1) als Kondensorprisma (14) mit einem rotationssymmetrischen Körper (P) ausgebildet ist, welche Strahlungsquelle (Q) punktförmig ausgebildet ist und von einer Röntgenröhre (21) gebildet ist, die ein divergentes Strahlenbündel (SD) mit einem nutzbaren Öffnungswinkel (δ) kleiner-gleich 10 Grad als harte Röntgenstrahlen (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, Röntgenstrahlen (R) mittels einer vorderen Korrekturlinse (110) aus Aluminium zu homogenisieren und von der optischen Achse (x) wegzulenken, sodass die Röntgenstrahlen (R) an den inneren Grenzflächen (b,c) des rotationssymmetrischen Körpers (P) viermal totalreflektiert werden und an einer hinteren Korrekturlinse (110) aus Aluminium auf den Fokus (Fd) auf der optischen Achse (x) konzentriert werden, um anschließend als divergentes Strahlenbündel (SD) ein von einem Körper oder Körperteil gebildetes Objekt (Θ) zu durchleuchten, wobei bevorzugt das Röntgengerät (25) und das Objekt (Θ) entweder eine starre Position zueinander einnehmen, oder bevorzugt das Röntgengerät (25) als ein Tomograf (250) ausgebildet ist und um das Objekt (Θ) rotiert, sodass mittels eines Zellendetektors (251) auf einer zylindrischen Bildfläche (Φ) schichtweise in sich vollständige scharfe Röntgenbilder des Objekts (Θ) empfangen werden, wobei der Fokus (Fd) bevorzugt einen Durchmesser kleiner als 5 nm hat.

18. Optisches System (2) nach einem der Ansprüche 14 bis 17, welches als Röntgenmikroskop (27) ausgebildet ist, dessen Objektiv (28) von dem als hybrides Sammelpisma (12) ausgebildeten Hybridprisma (1) gebildet wird und 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 Röntgenstrahlen (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 einen CCD-Sensor (281) einer CCD-Kamera (280) eine mikroskopische Aufnahme des von dem Parallelstrahlbündel (SP) der Röntgenstrahlen (R) in einer Objektebene durchstrahlten Objekts (Θ) zu erzeugen, oder bei dem das optische System (2) als Röntgenmikroskop (27) ausgebildet ist, wobei

das Hybridprisma (1) als hybrides Kondensorprisma (14) dazu ausgebildet ist, ein von einem Synchrotron (210) emittiertes divergentes Strahlenbündel (SD) der Röntgenstrahlen (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 Hybridprismas (1) zu konzentrieren, um anschließend auf einer Bildfläche (Φ) eine mikroskopische Aufnahme des von dem divergenten Strahlenbündel (SD) der Röntgenstrahlen (R) in einer Objektebene durchstrahlten Objekts (Θ) mittels des CCD-Sensors (281) einer CCD-Kamera (280) zu erhalten, wobei der Fokus (Fd) bevorzugt einen Durchmesser kleiner als 5 nm hat.

19. Optisches System (2) nach einem der Ansprüche 14 bis 18, welches als satellitengestütztes Röntgenteleskop (27) ausgebildet ist, dessen Objektiv (28) von dem als hybrides Sammelpisma (12) mit einem Durchmesser von mindestens einem Meter ausgebildeten Hybridprisma (1) gebildet wird und dazu ausgebildet ist, Röntgenstrahlen (R), die im Bereich von 0,1 keV bis 2,0 keV von einer Strahlungsquelle (Q) emittiert werden, mittels einer CCD-Kamera (280) abzubilden, wobei die inneren Grenzflächen (b,c) des hybriden Sammelpismas (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 Röntgenstrahlen (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 werden, 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.

20. Optisches System (2) nach einem der Ansprüche 14 bis 19, bei welchem

- 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, oder
- eine Strahlungsquelle (Q) für Infrarotstrahlen und sichtbares Licht (L) mit einer Wellenlänge von 1400 nm bis 400 nm aus einem Laser (230) besteht, oder
- eine Strahlungsquelle (Q) für Röntgenstrahlen (R) mit einer Wellenlänge von 1 nm bis 30

pm eine Röntgenröhre (21) oder ein Synchrotron (210) mit einem Undulator (211) aufweist.

21. Optisches System (2) nach einem der Ansprüche 14 bis 20, welches eine Anordnung von mehreren als hybride Kondensorprismen (14) mit einem Brennpunkt (Fd) und mit einer kurzen Brennweite für Röntgenstrahlen (R) ausgebildeten Hybridprismen (1) aufweist, und das dazu ausgebildet ist, die Röntgenstrahlen (R) von einer Mehrzahl von hybriden Kondensorprismen (14) jeweils als divergente Strahlenbündel (SD) im Inneren eines Fusionsreaktors (30) in ein Plasma (301) zu injizieren, um möglichst viele Teilchen des Plasmas (301) zu ionisieren, sodass das Plasma (301) insbesondere in den dem Druckbehälter (302) zugewandten äußeren Bereichen weiter aufgeheizt wird, um das Temperaturgefälle zu der heißen Kernzone zu verringern, um durch Vermeidung unerwünschter turbulenter Strömungen in dem Plasma (301) die Energieeinschlusszeit zu verlängern.

22. Optisches System (2) nach einem der Ansprüche 14 bis 21, welches eine Anordnung von mehreren als hybride Kondensorprismen (14) für hochenergetische Röntgenstrahlen (R) im Bereich von jeweils 20 keV bis 600 keV ausgebildeten Hybridprismen (1) aufweist, die einen gemeinsamen Brennpunkt (Fd) in der Mitte einer Wasserstoffkapsel (300) und in der Mitte eines kugelförmigen Druckbehälters (302) haben, sodass die Kollision der Röntgenstrahlen (R) eine Fusion der Atomkerne der schweren Isotope des Wasserstoffs Deuterium und Tritium zu dem chemischen Element Helium mit einer sich von dem gemeinsamen Brennpunkt (Fd) ausgehenden Schockwelle im Zentrum der Wasserstoffkapsel (300) auslöst, wobei die fluiddynamische Expansion des Plasmas (301) von innen nach außen erfolgt und langsamer abläuft als die Fusion der Kerne selbst, und der Fusionsprozess einen Energieüberschuss produziert.

23. Optisches System (2) nach einem der Ansprüche 14 bis 22, welches eine Anordnung von mehreren Petawatt-Lasern (230) aufweist, die dazu ausgebildet sind, die Strahlen (A,B) an den vorderen Grenzflächen (a) der als Kondensorprismen (14) ausgebildeten Hybridprismen (1) eintreten zu lassen und die Strahlen (A,B) an den hinteren Grenzflächen (d) der Hüllkörper (11) auf Brennpunkte (Fd) auf der äußeren Mantelfläche einer von einer Metallfolie umhüllten Wasserstoffkapsel (300) für die Aufnahme der schweren Isotope Deuterium und Tritium des Wasserstoffs zu fokussieren, sodass die Metallfolie durch isochtones Heizen im Bereich der Brennpunkte (Fd) eine relativistische Bewegung der

Elektronen, Protonen und Kerne der Metallfolie bewirkt, die sich als eine Schockwelle in das Innere der Wasserstoffkapsel (300) ausbreitet, und eine Fusion der schweren Kerne des Wasserstoffs zu dem chemischen Element Helium auslöst, wobei die fluiddynamische Expansion des Plasmas (301) langsamer abläuft als die Kernfusion selbst, sodass der Fusionsprozess über eine vorgegebene Zeitdauer aufrecht erhalten werden kann und einen nutzbaren Energiegewinn produziert.

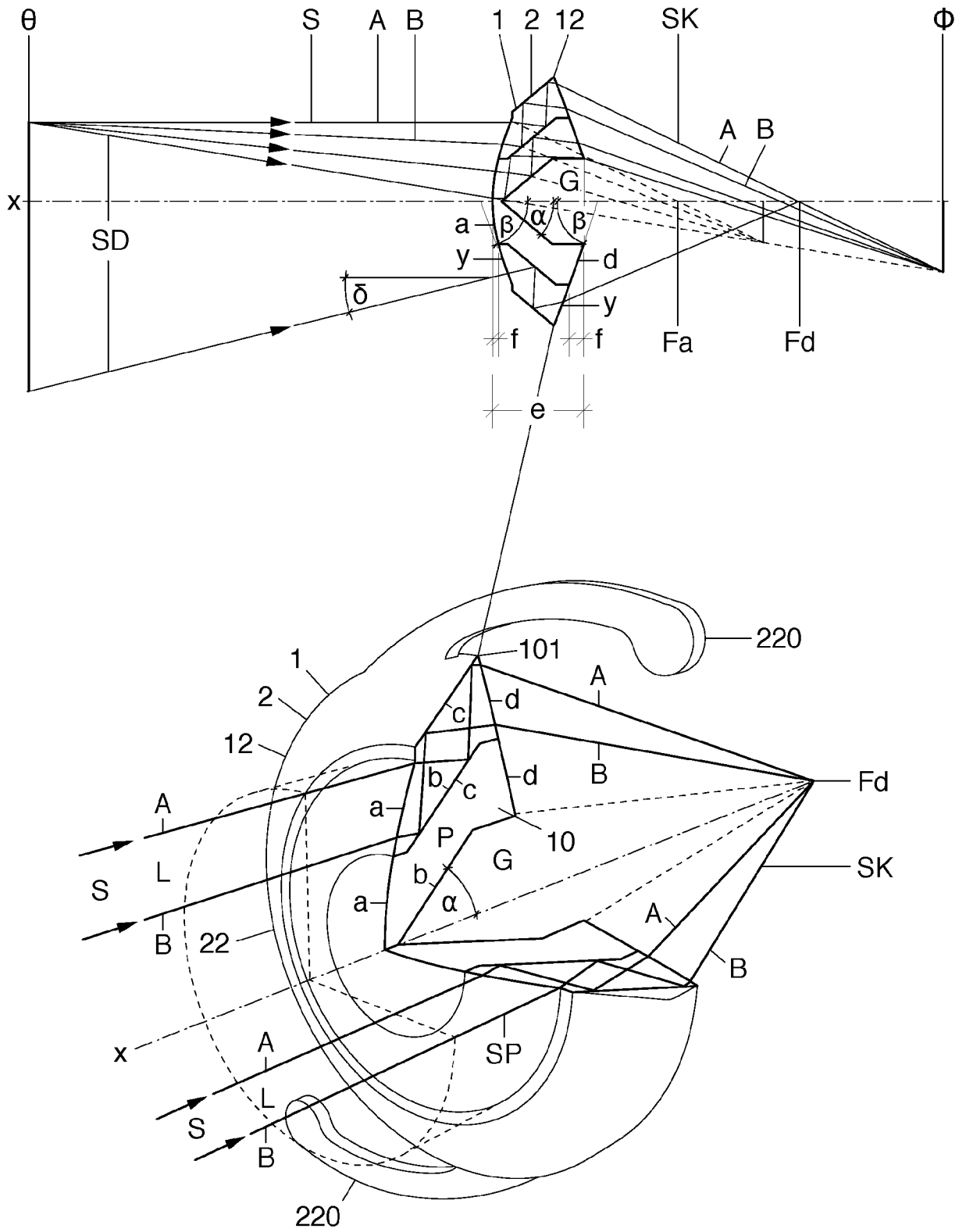


Fig.1

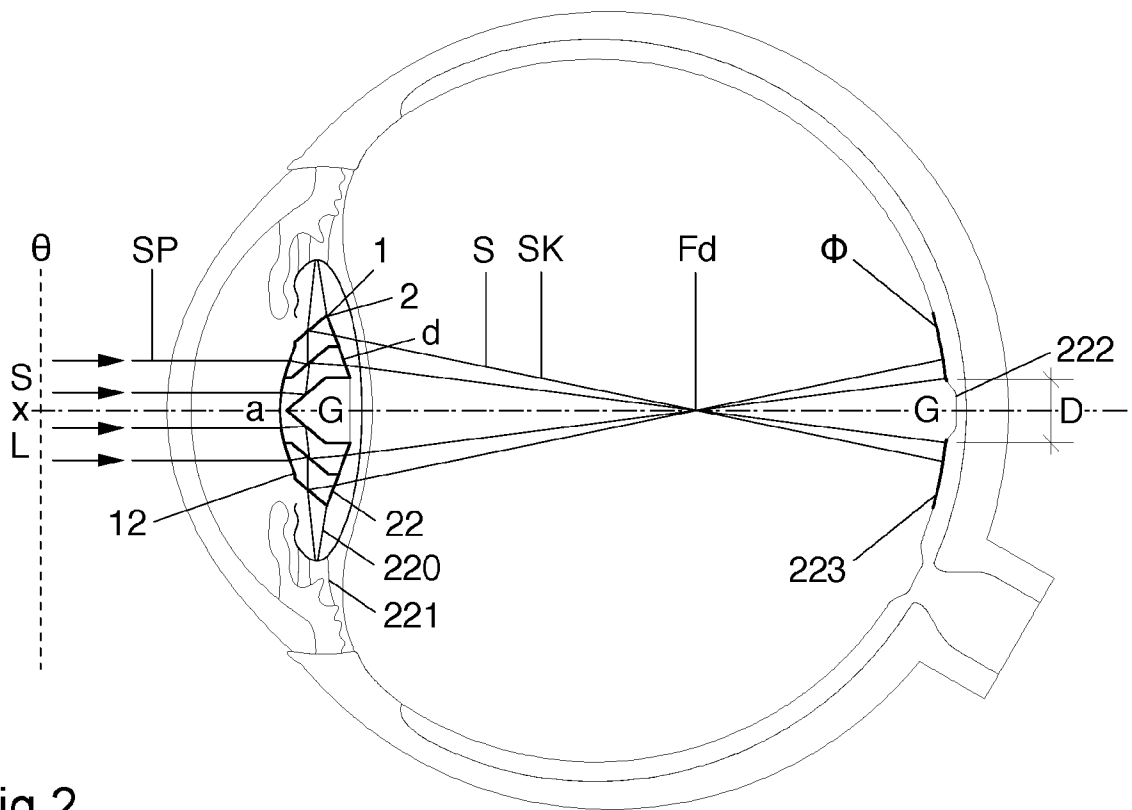


Fig.2

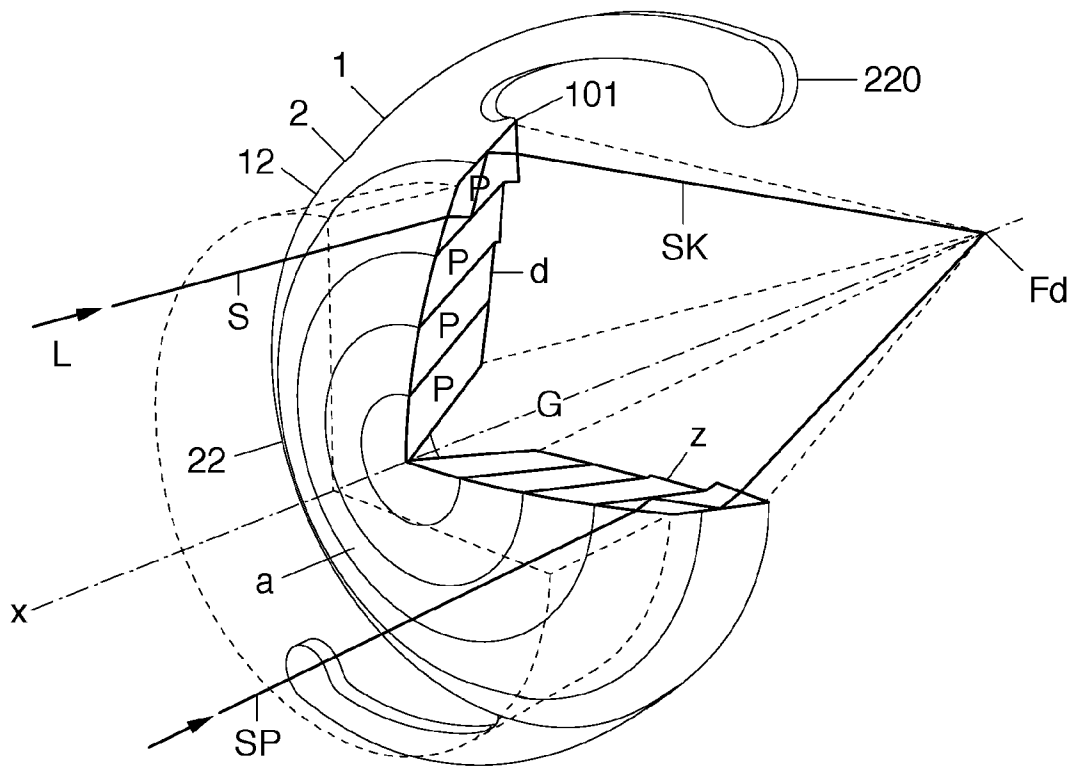


Fig.3

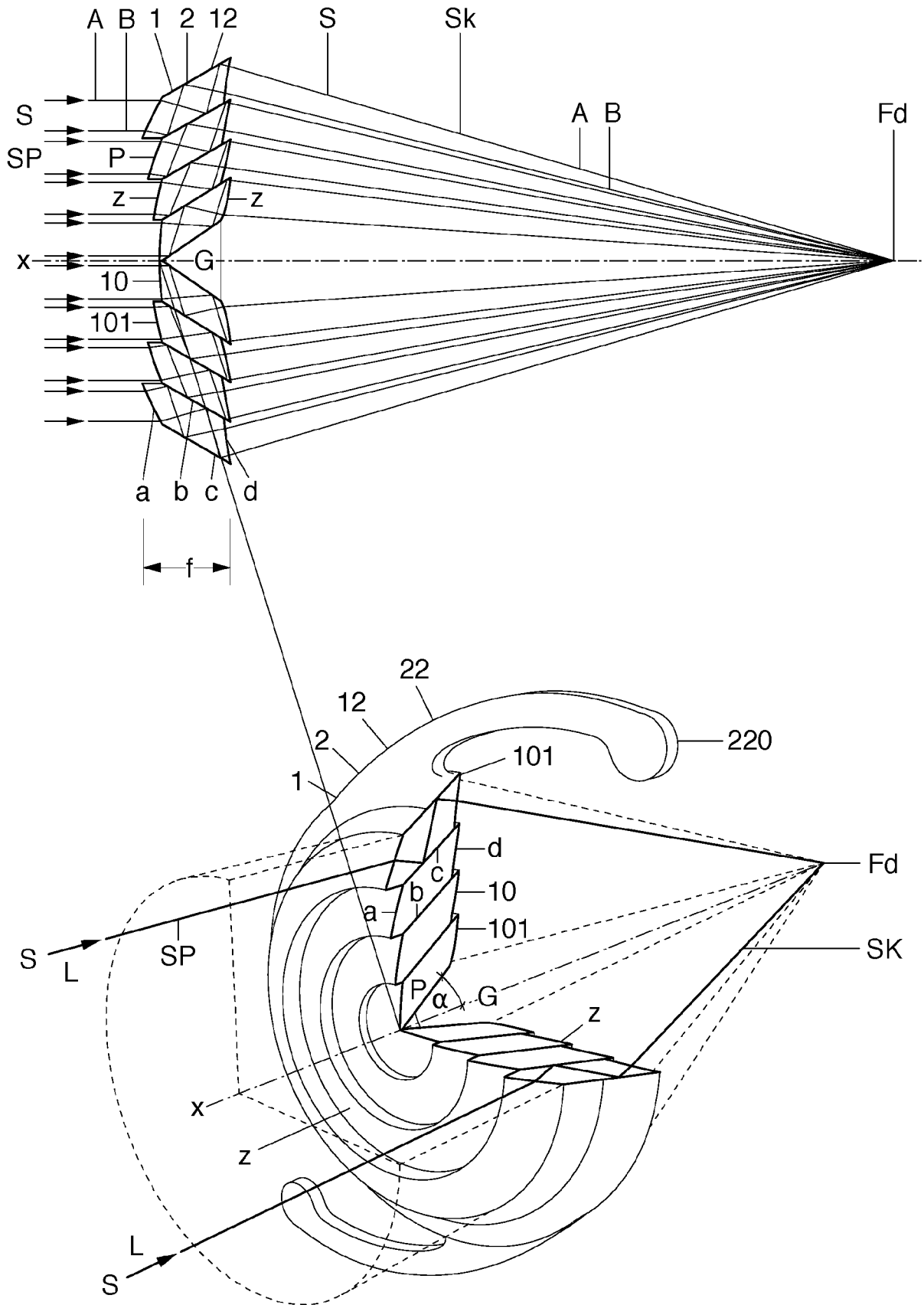


Fig.4

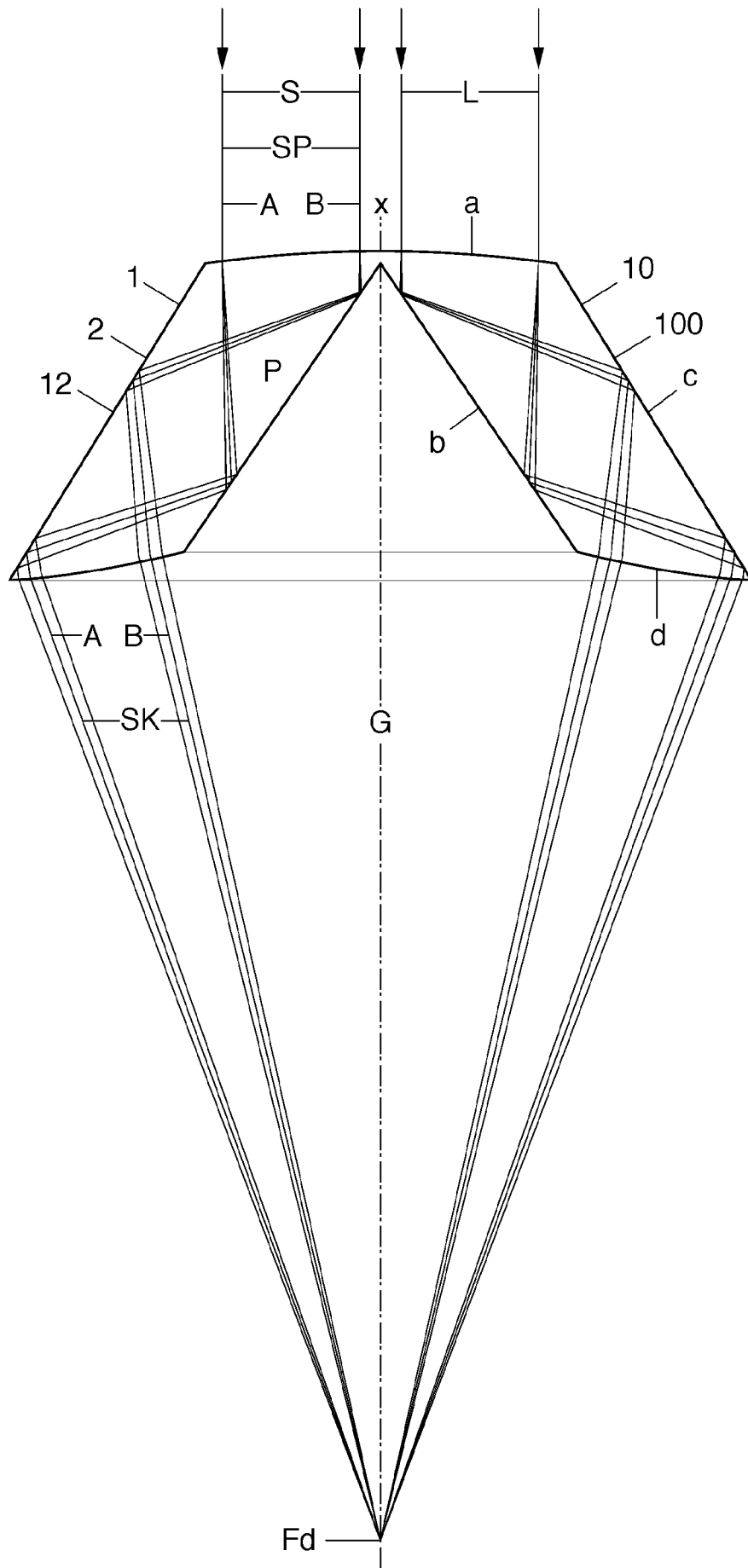


Fig.5

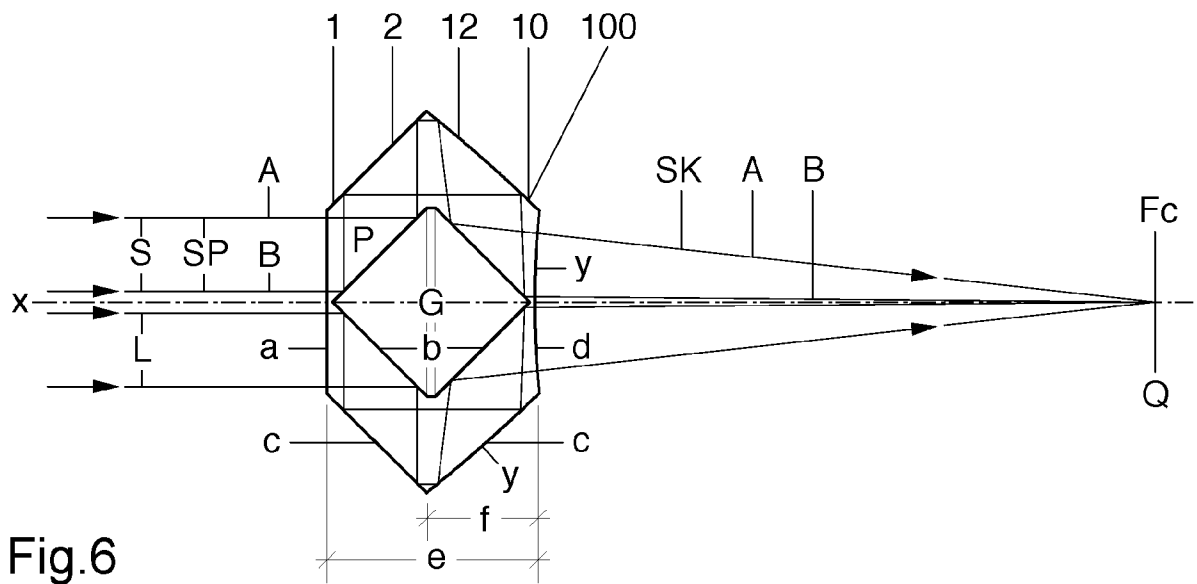


Fig.6

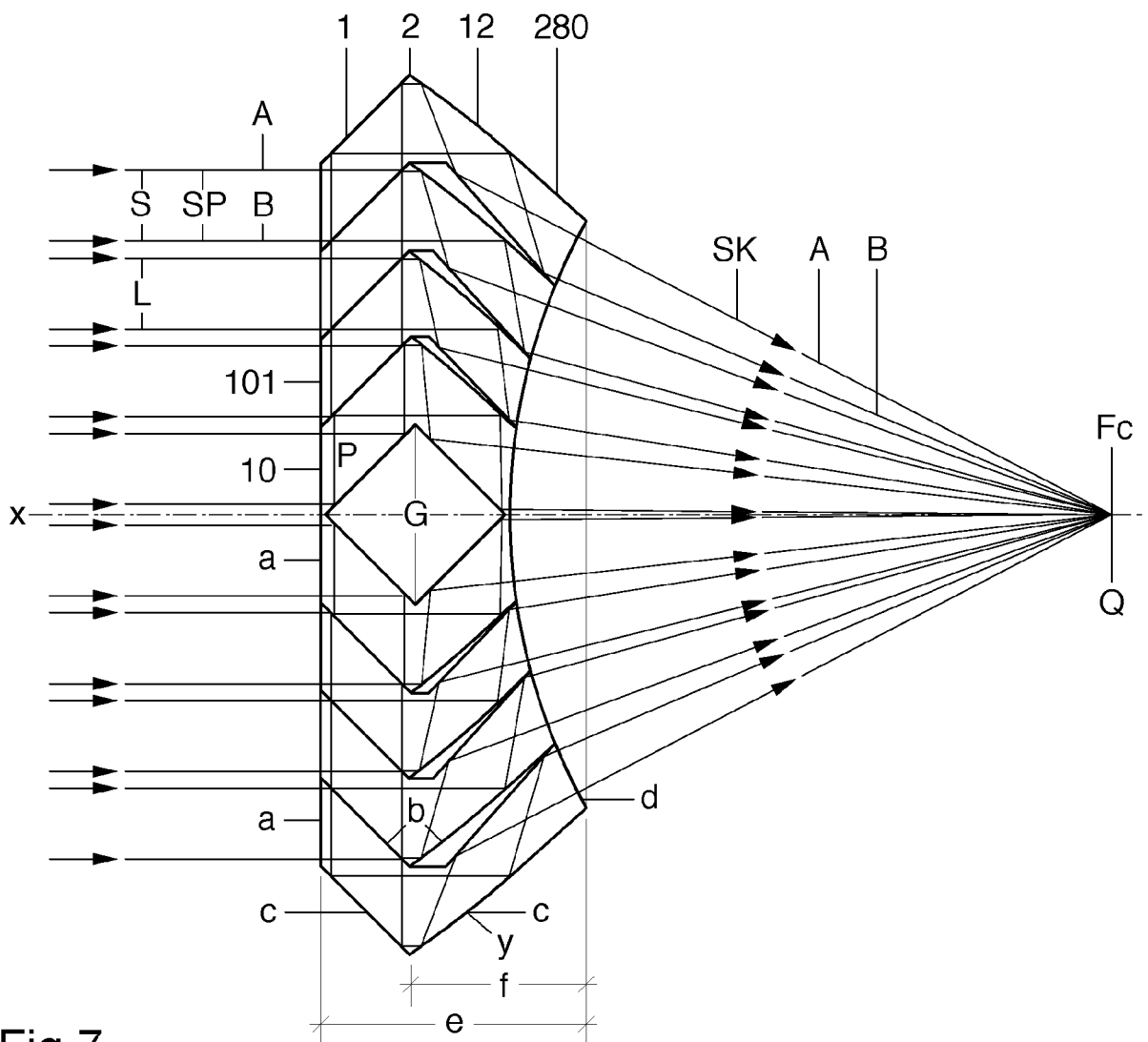


Fig.7

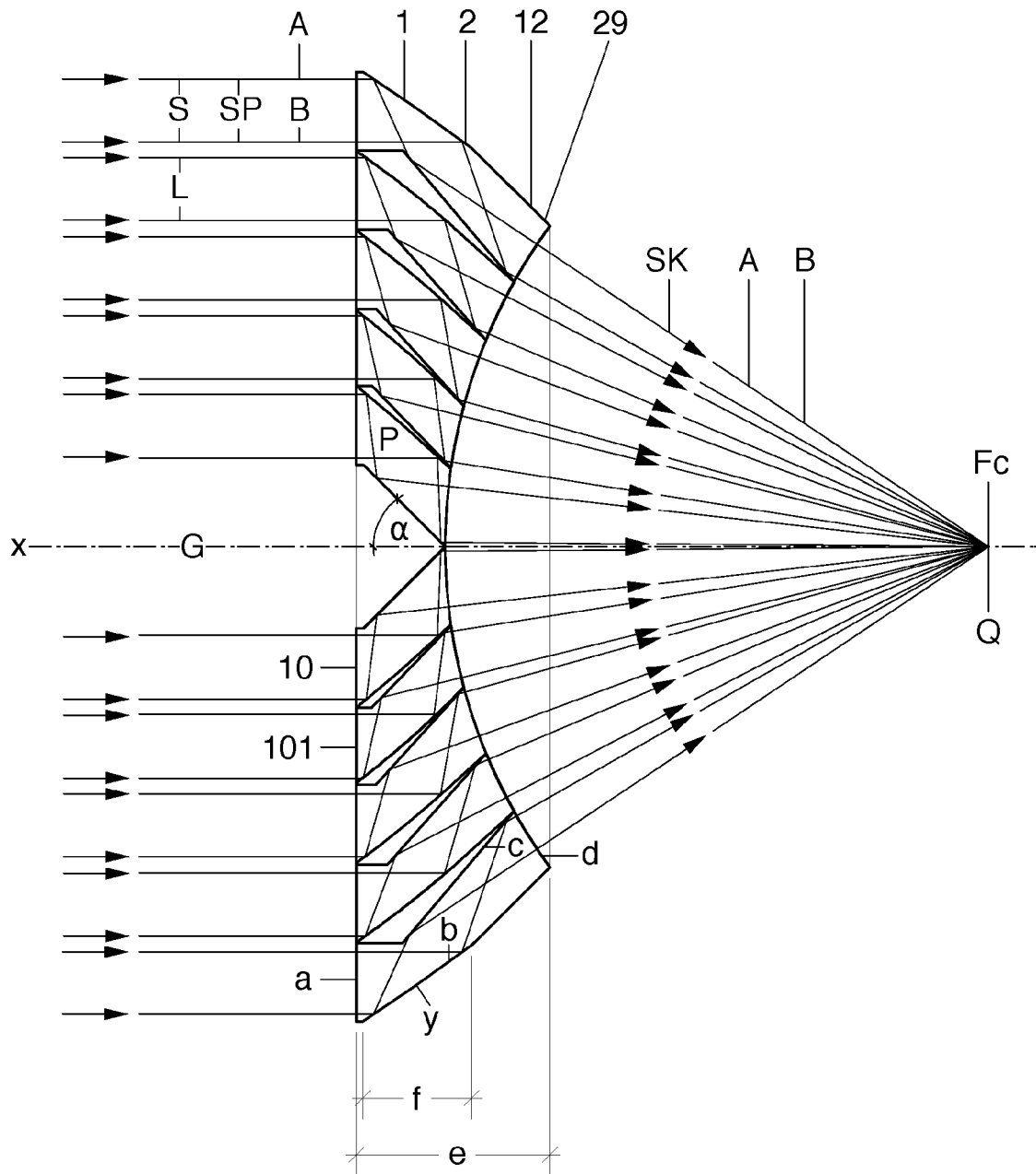


Fig.8

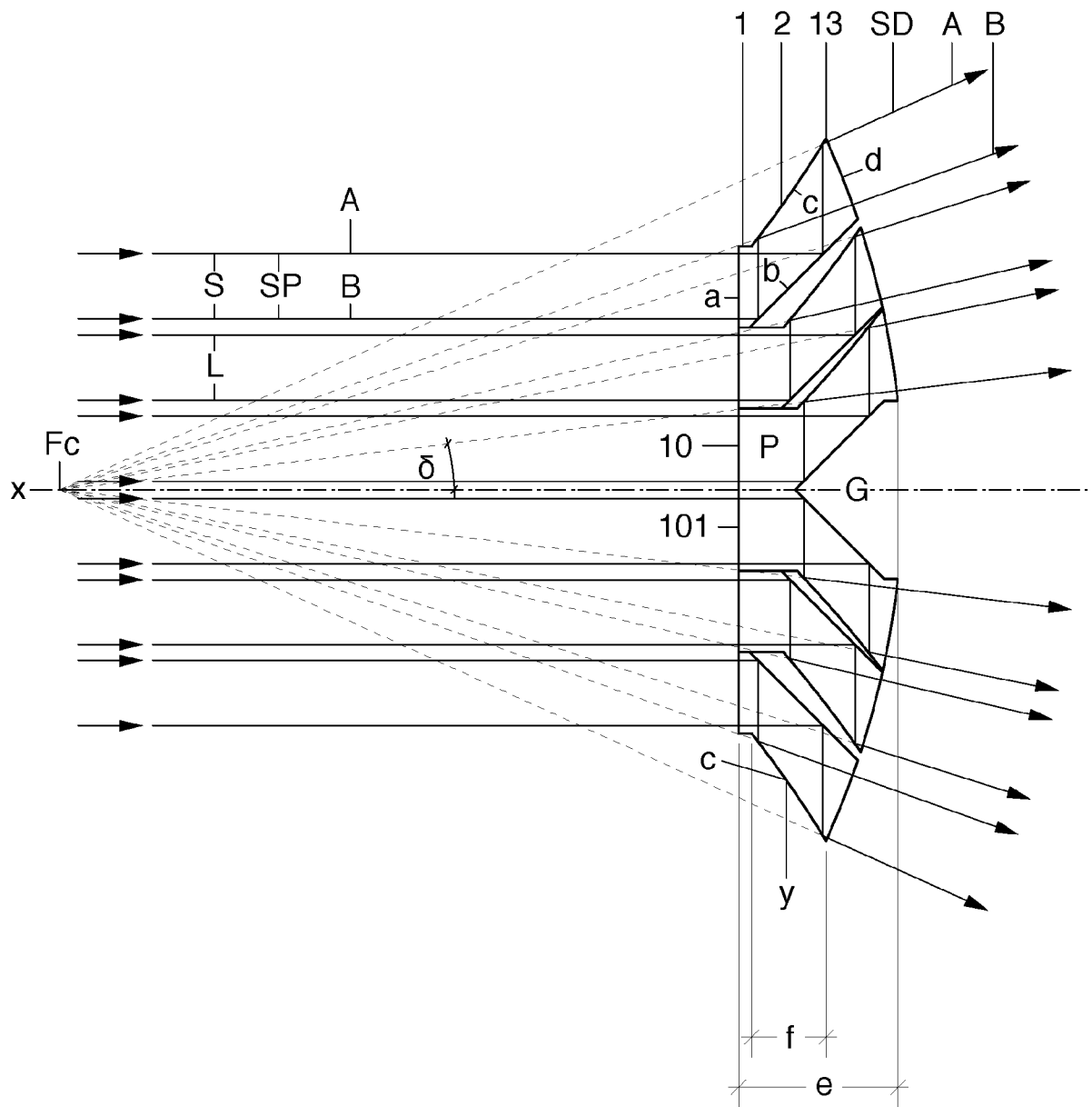


Fig.9

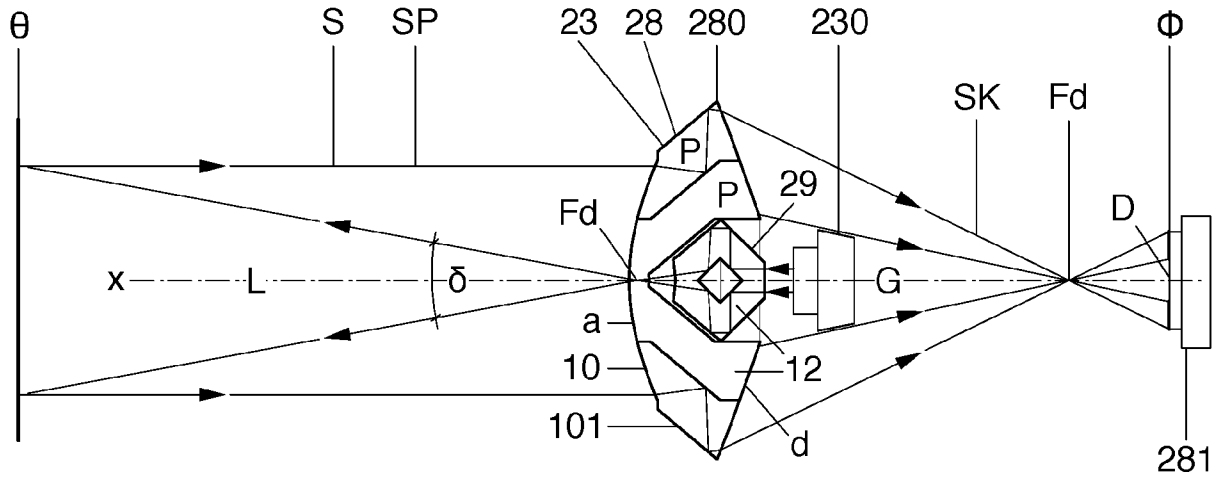


Fig.10

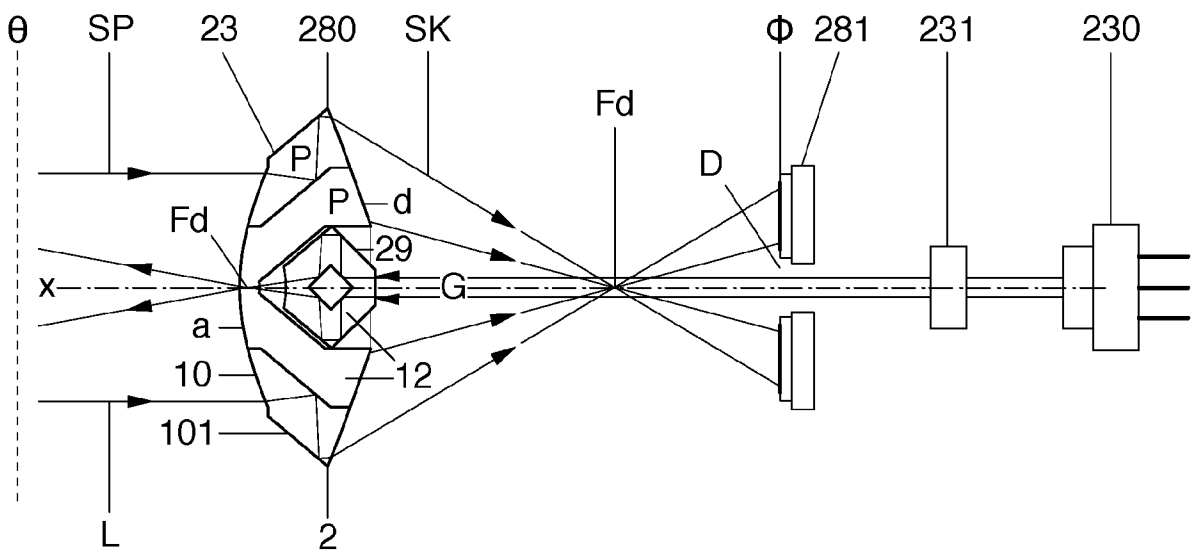


Fig.11

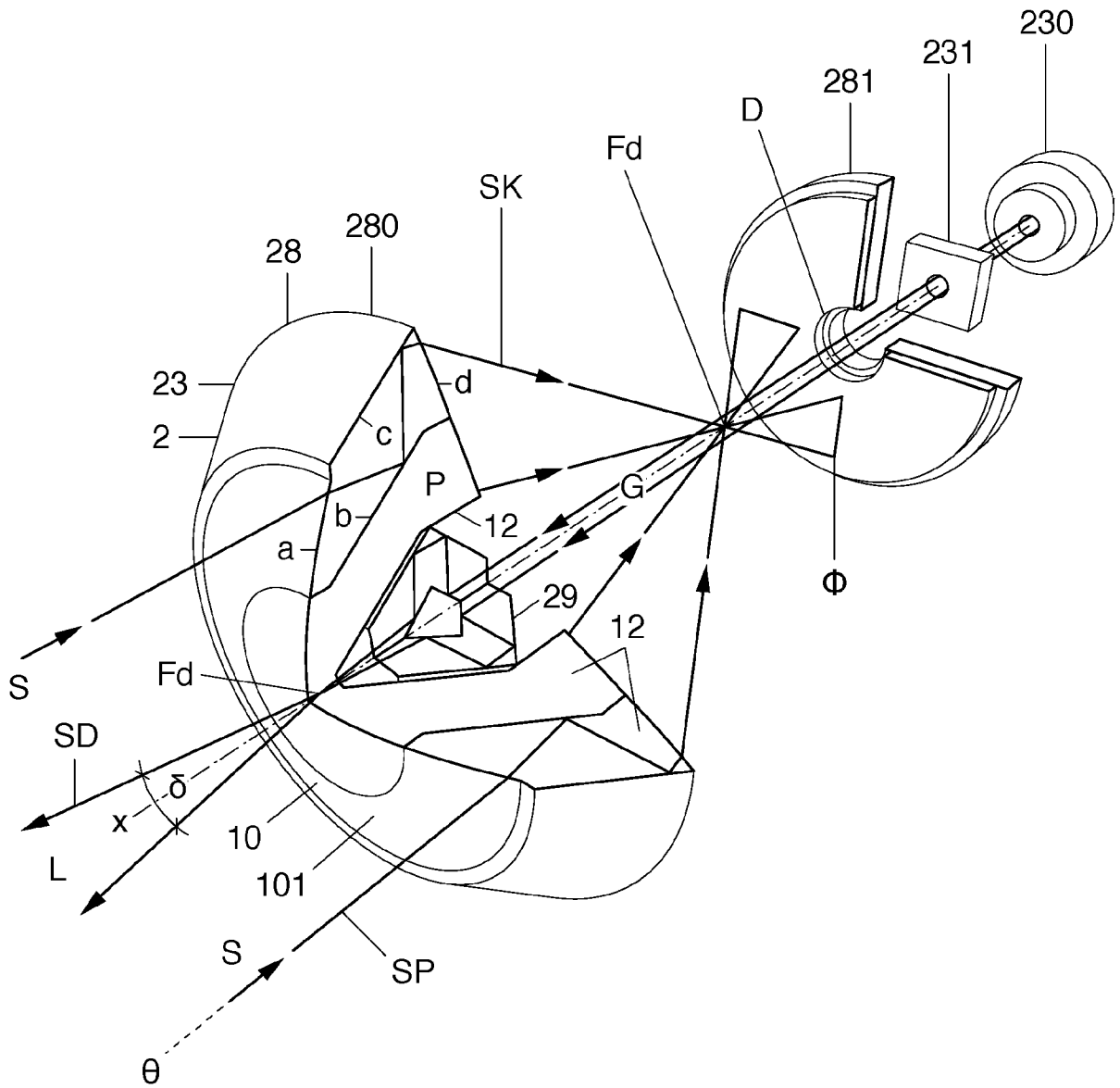


Fig.12

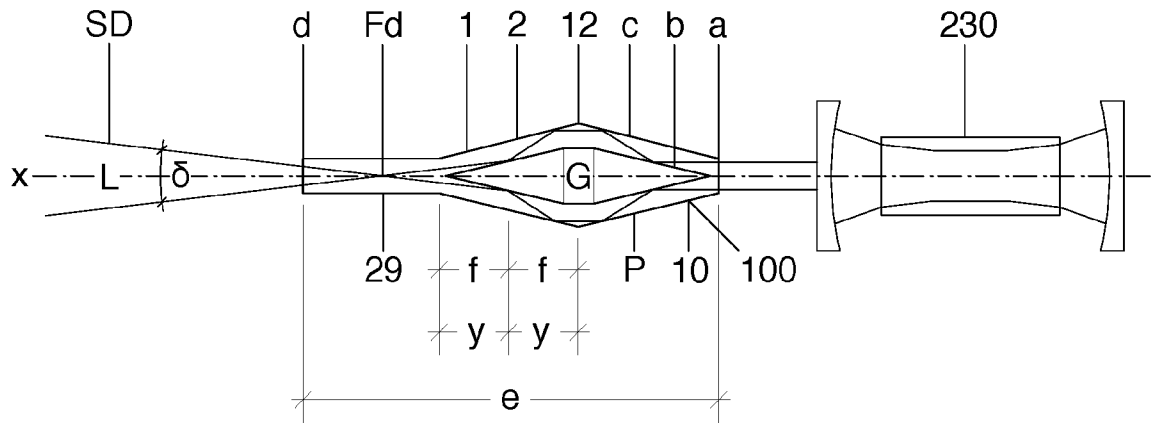


Fig.13

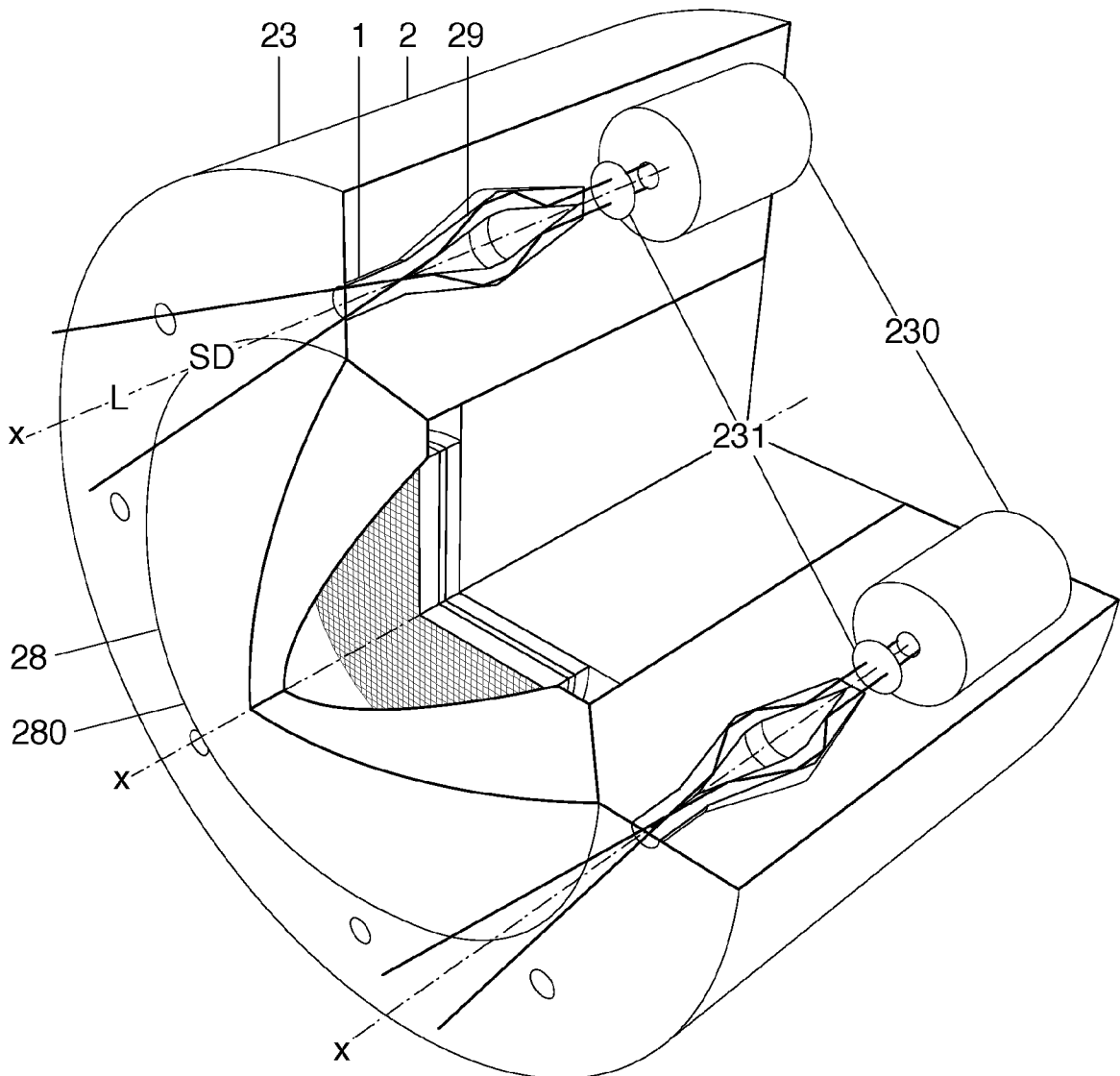


Fig.14

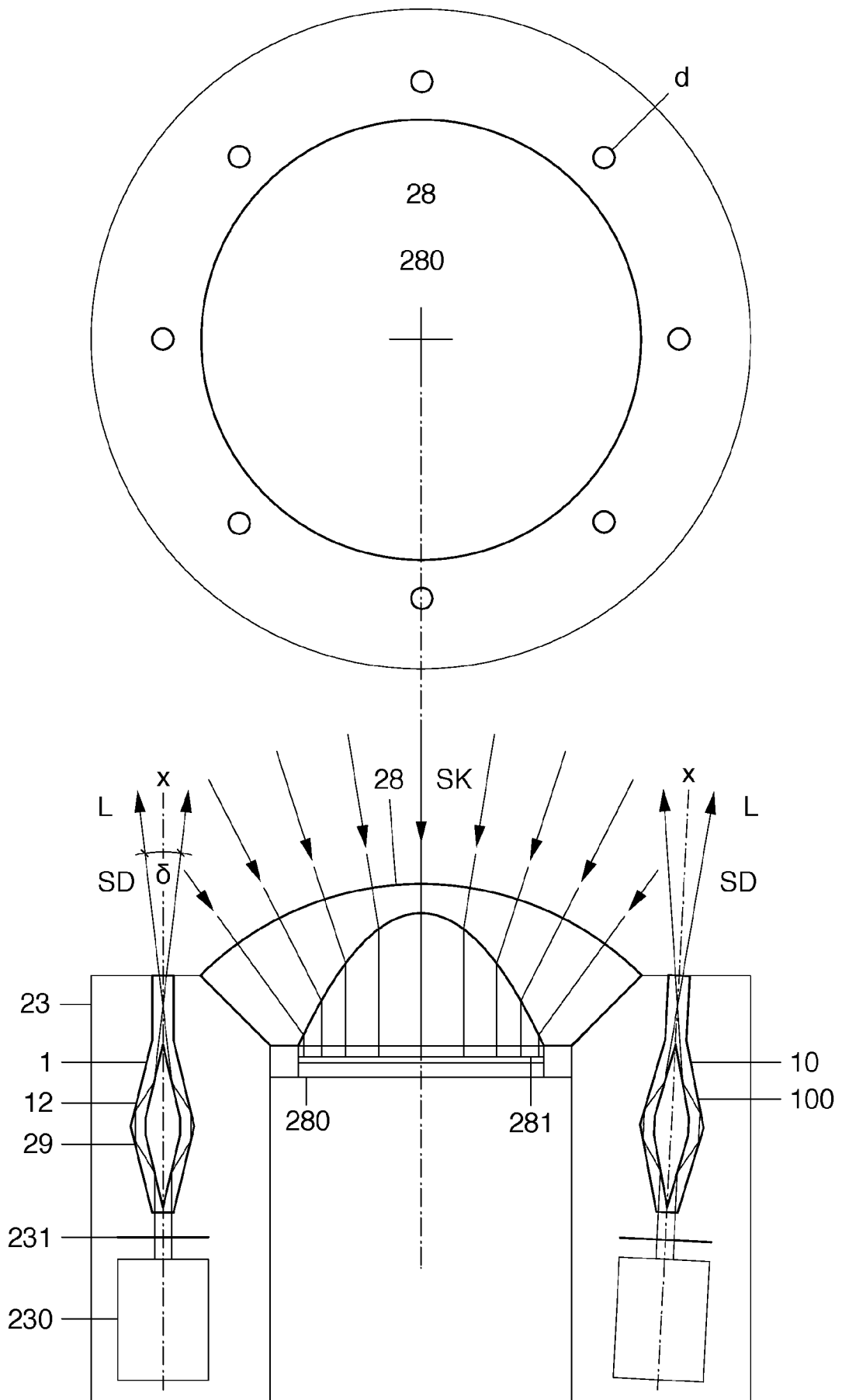


Fig.15

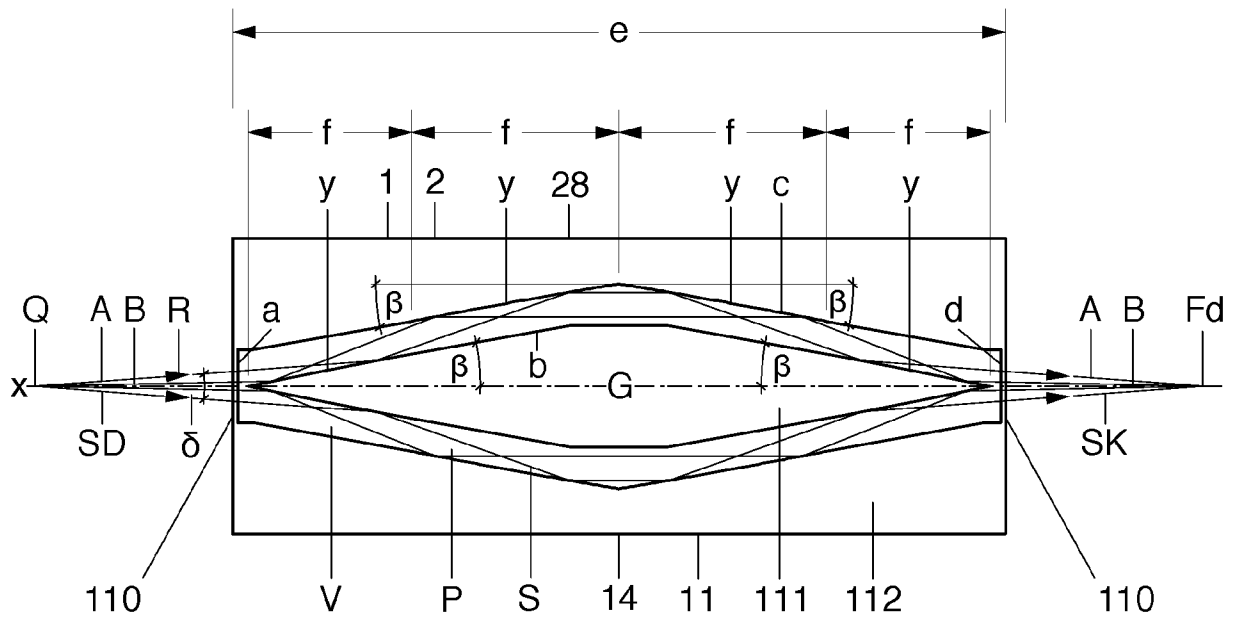


Fig.16

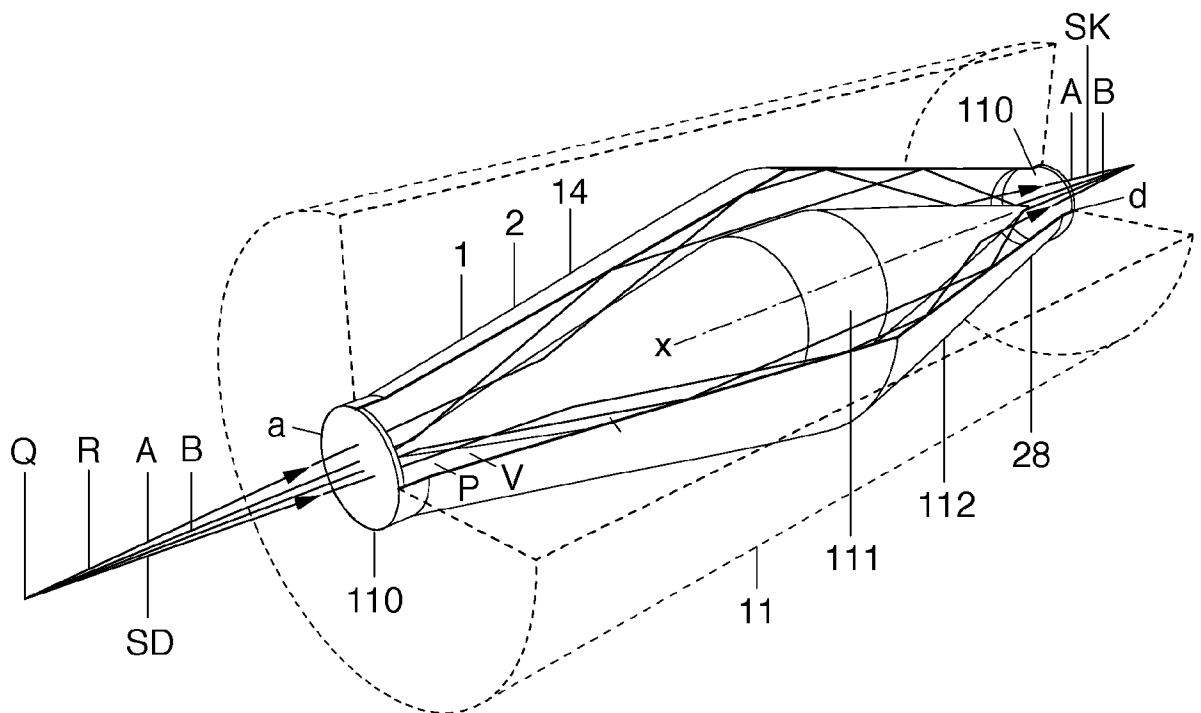


Fig.17

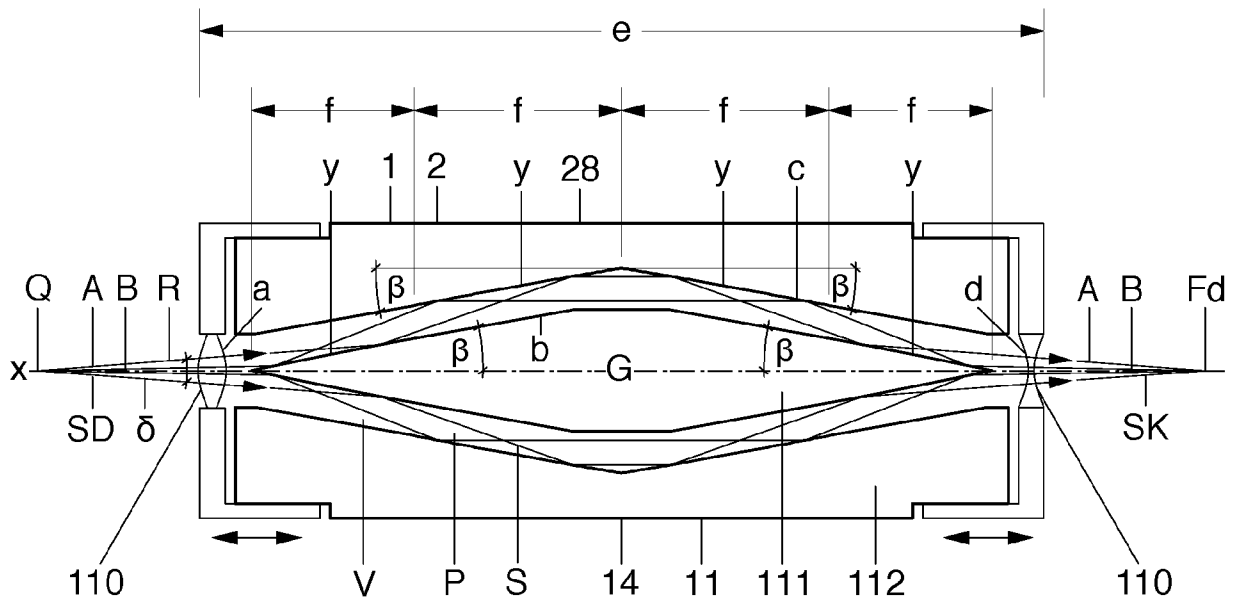


Fig.18

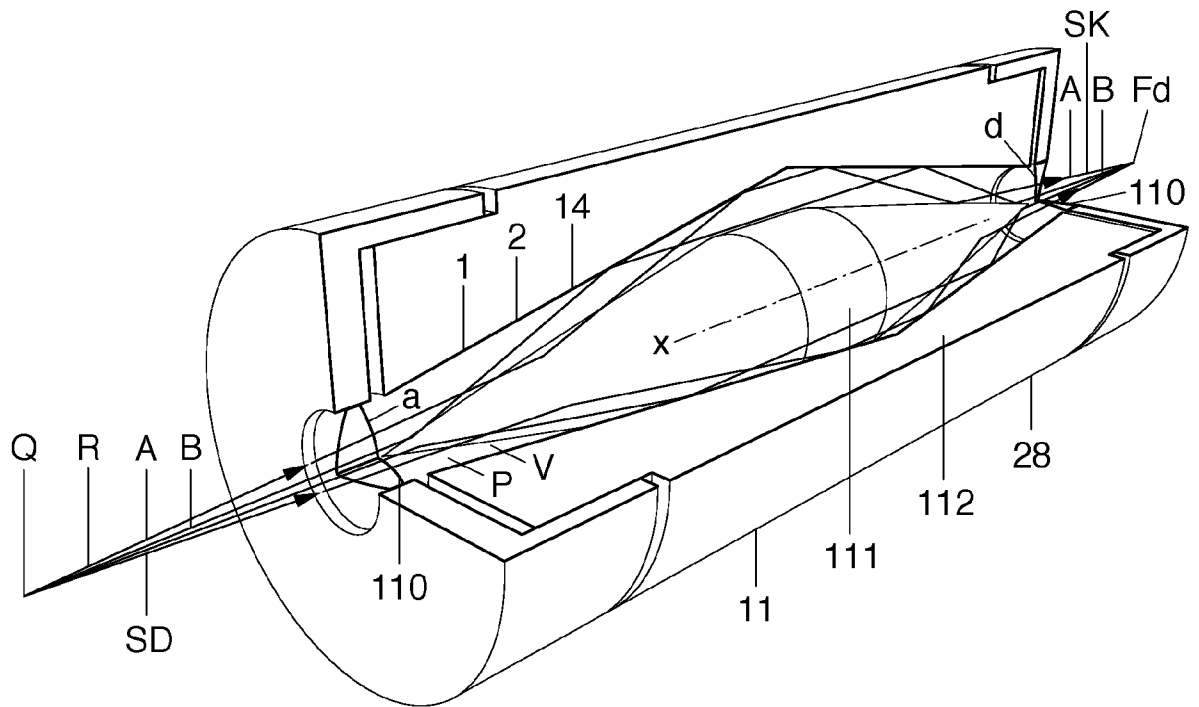


Fig.19

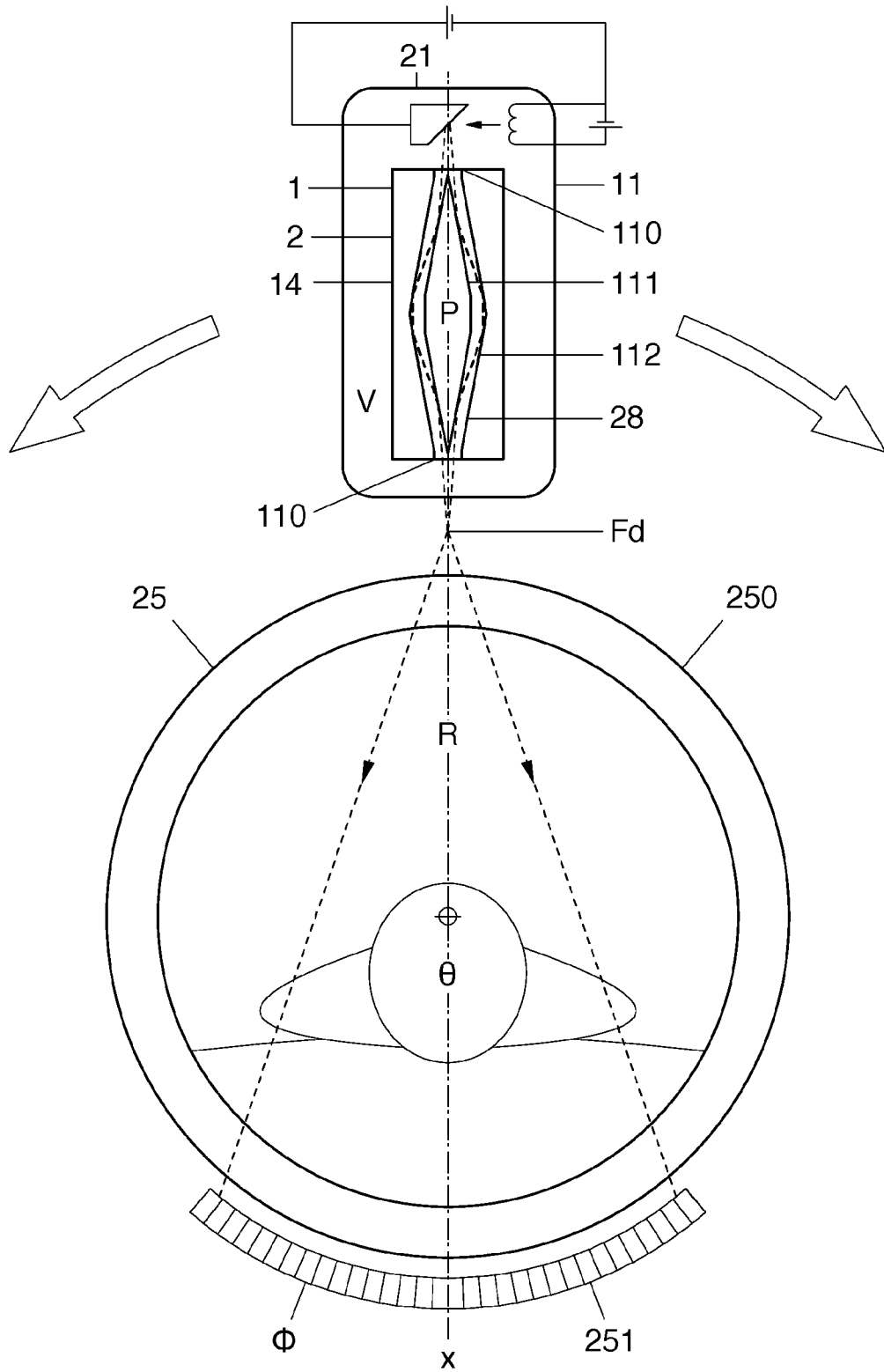


Fig.20

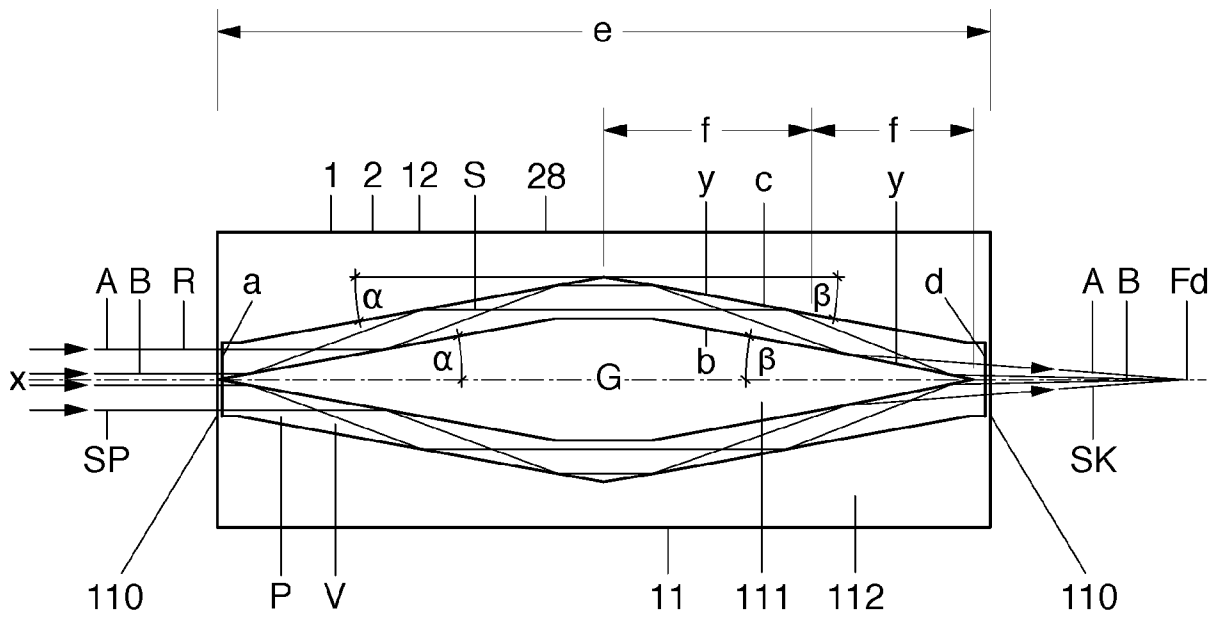


Fig.21

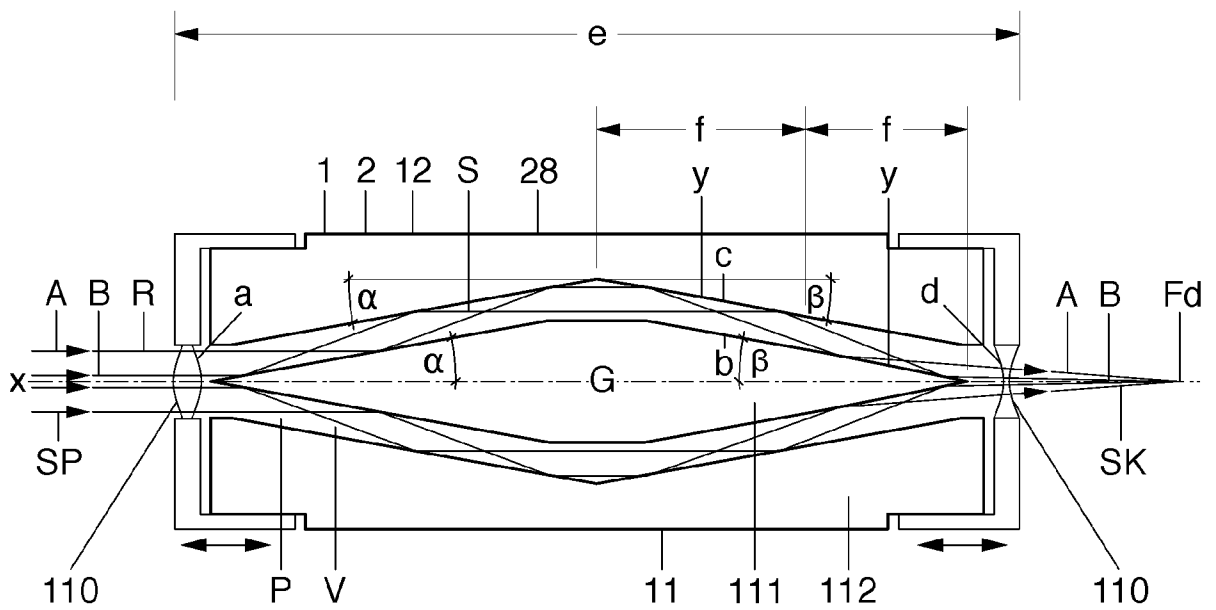


Fig.22

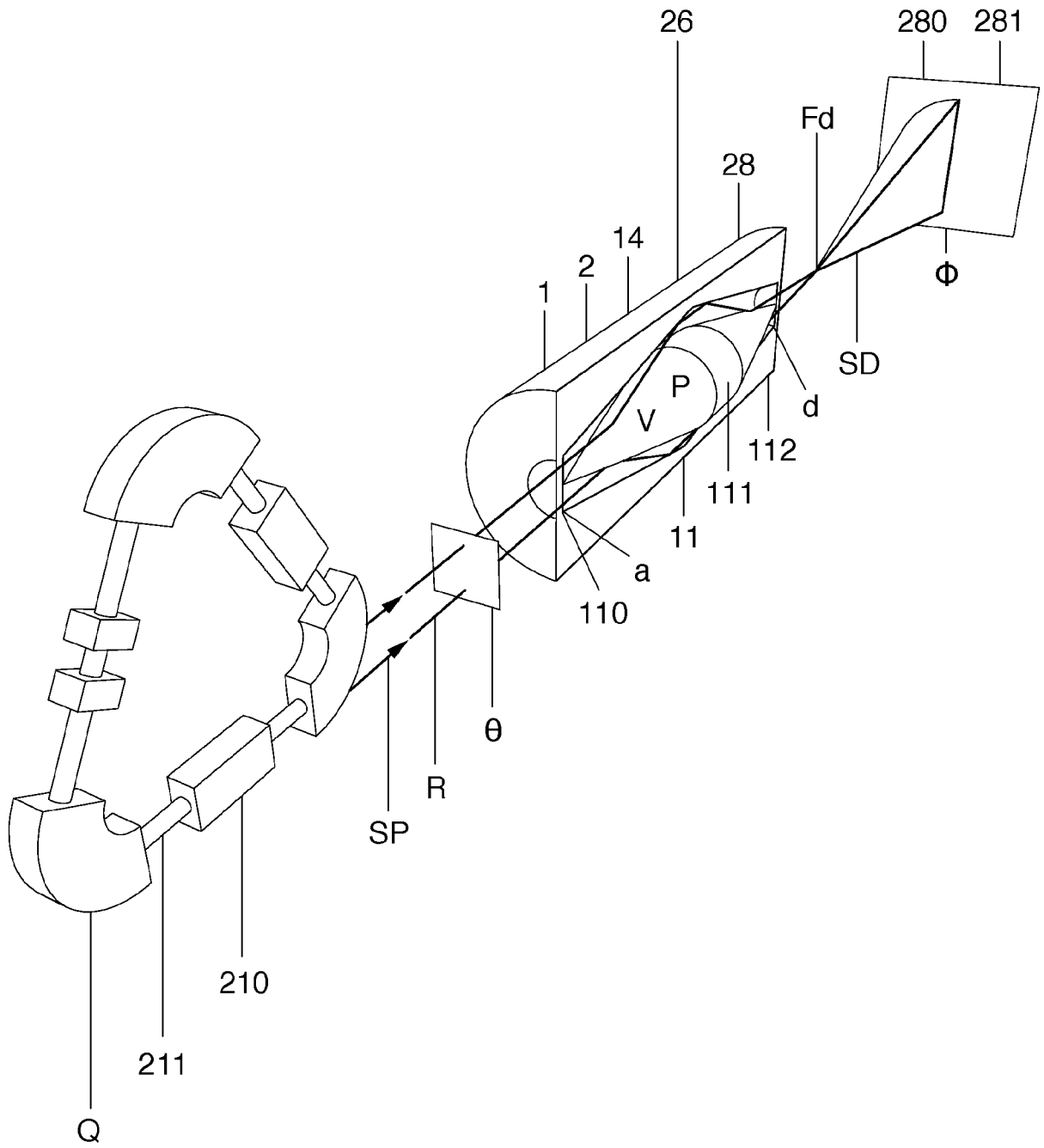


Fig.23

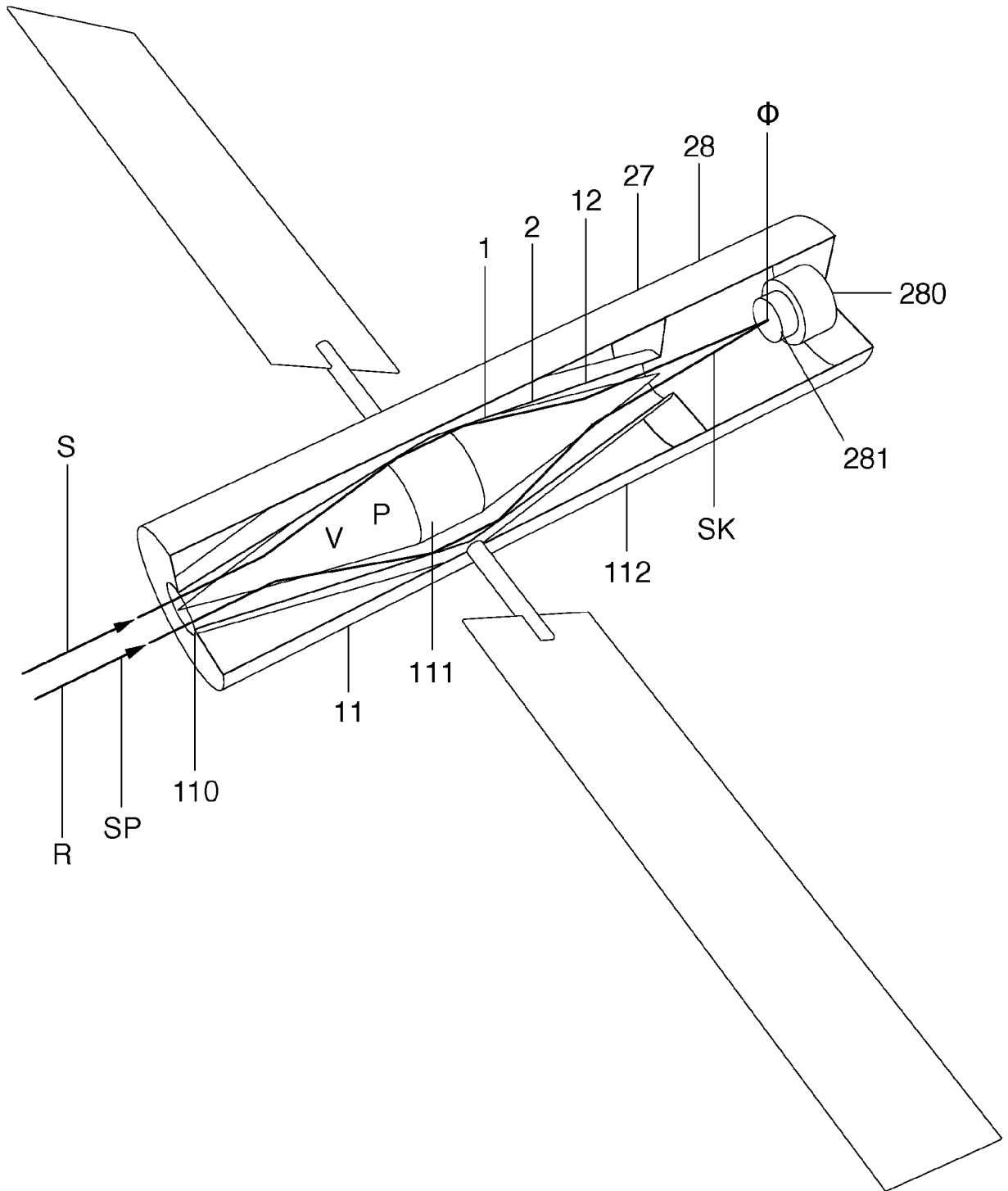


Fig.24

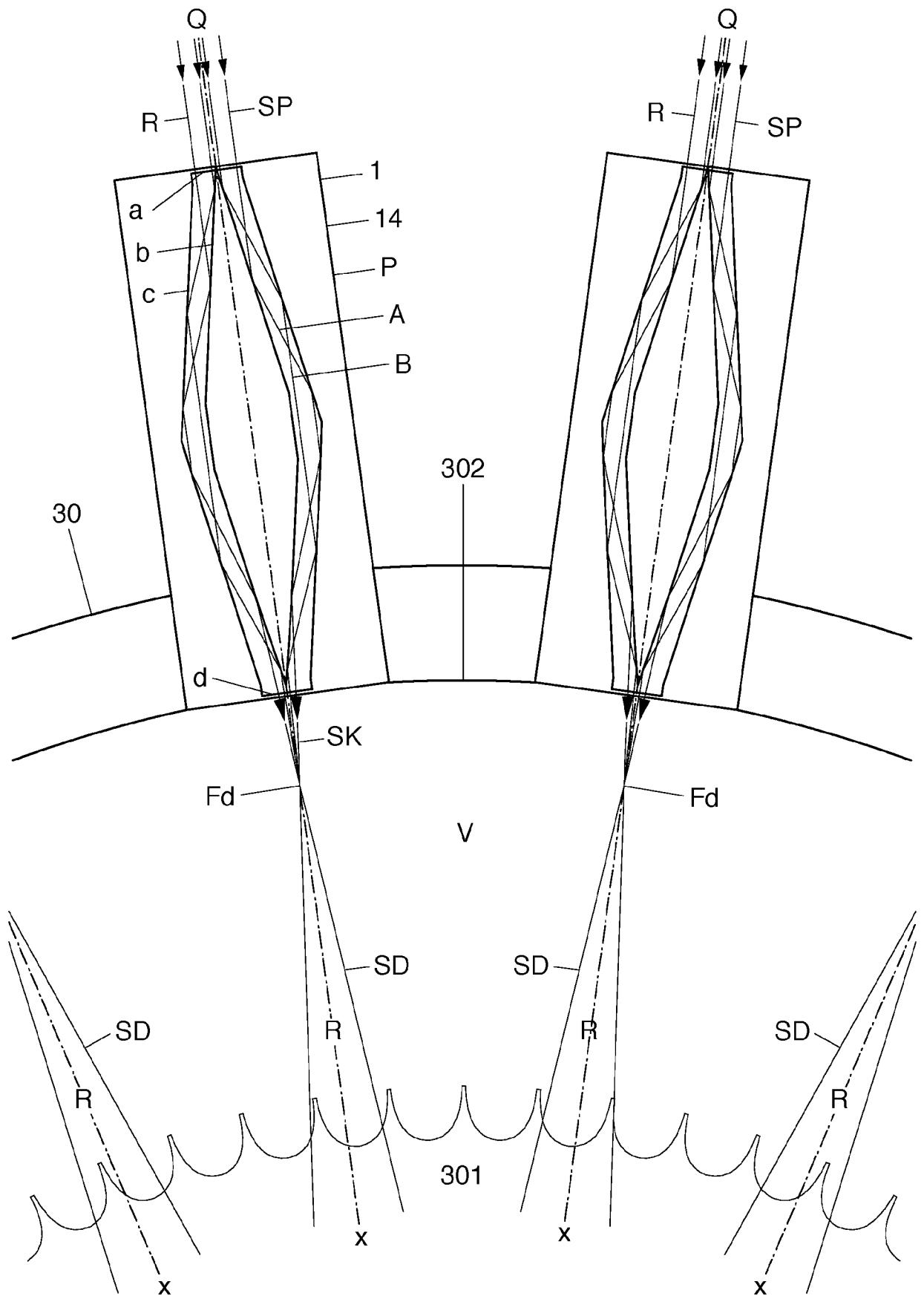


Fig.25

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2021/055304

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>G02B 17/02</i> (2006.01)i; <i>G02B 17/08</i> (2006.01)i; <i>G02B 19/00</i> (2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G02B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 2327927 A1 (ERCO GMBH [DE]) 01 June 2011 (2011-06-01) paragraphs [0009], [0063] - [0083], [0096]; claim 2; figures 2-4, 10	1,3,7,13,14,20
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 07 May 2021		Date of mailing of the international search report 30 June 2021
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Zwenger, Markus Telephone No.

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

1. claims: 3, 13, 14(in full); 1, 7, 20(in part)

Light having a wavelength of 780 nm to 380 nm; body; boundary surfaces for light are totally reflecting; hybrid prism having a higher optical density; optical system; sun or LED arrangement.

1.1. claim: 3

Body.

1.2. claim: 7(in part)

Boundary surfaces for light are totally reflecting.

1.3. claim: 13

Hybrid prism having a higher optical density.

1.4. claim: 14

Optical system.

1.5. claim: 20(in part)

Sun or LED arrangement.

2. claims: 12, 17-19, 21, 22(in full); 1, 6, 7, 20(in part)

X-rays.

3. claims: 1, 20(all in part)

Infrared beams.

4. claim: 2(in full); 10(in part)

Focal point; focus.

5. claims: 4, 5

Enveloping body.

6. claim: 11(in full); 6(in part)

Intraocular prism.

7. claims: 15, 16(in full); 6(in part)

Lidar system.

8. claims: 6, 10(all in part)

Lens for camera or telescope or microscope.

9. claim: 8

Plurality of hybrid prisms which are coaxially and concentrically arranged with relation to the optical axis.

10. claim: 9

Gap.

11. claim: 10(in part)

Hybrid dispersion prism, divergent beam bundle.

12. claim: 23

Nuclear fusion.

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.: **3, 13, 14(in full); 1, 7, 20(in part)**

Remark on Protest

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2021/055304

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
EP	2327927	A1	01 June 2011	CN	102072457	A	25 May 2011
				DE	102009053422	A1	01 June 2011
				EP	2327927	A1	01 June 2011
				ES	2398649	T3	20 March 2013
.....							

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2021/055304

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G02B17/02 G02B17/08 G02B19/00 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G02B		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 2 327 927 A1 (ERCO GMBH [DE]) 1. Juni 2011 (2011-06-01) Absätze [0009], [0063] - [0083], [0096]; Anspruch 2; Abbildungen 2-4, 10 -----	1,3,7, 13,14,20
<input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 7. Mai 2021		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 30/06/2021
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Zwerger, Markus

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2021/055304

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 2327927	A1	01-06-2011	
		CN 102072457 A	25-05-2011
		DE 102009053422 A1	01-06-2011
		EP 2327927 A1	01-06-2011
		ES 2398649 T3	20-03-2013

Feld Nr. II Bemerkungen zu den Ansprüchen, die sich als nicht recherchierbar erwiesen haben (Fortsetzung von Punkt 2 auf Blatt 1)

Gemäß Artikel 17(2)a) wurde aus folgenden Gründen für bestimmte Ansprüche kein internationaler Recherchenbericht erstellt:

1. Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Gegenstände beziehen, zu deren Recherche diese Behörde nicht verpflichtet ist, nämlich

2. Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Teile der internationalen Anmeldung beziehen, die den vorgeschriebenen Anforderungen so wenig entsprechen, dass eine sinnvolle internationale Recherche nicht durchgeführt werden kann, nämlich

3. Ansprüche Nr.
weil es sich dabei um abhängige Ansprüche handelt, die nicht entsprechend Satz 2 und 3 der Regel 6.4 a) abgefasst sind.

Feld Nr. III Bemerkungen bei mangelnder Einheitlichkeit der Erfindung (Fortsetzung von Punkt 3 auf Blatt 1)

Diese Internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere Erfindungen enthält:

siehe Zusatzblatt

1. Da der Anmelder alle erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht auf alle recherchierbaren Ansprüche.

2. Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, hat die Behörde nicht zur Zahlung solcher Gebühren aufgefordert.

3. Da der Anmelder nur einige der erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht nur auf die Ansprüche, für die Gebühren entrichtet worden sind, nämlich auf die Ansprüche Nr.

4. Der Anmelder hat die erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren nicht rechtzeitig entrichtet. Dieser internationale Recherchenbericht beschränkt sich daher auf die in den Ansprüchen zuerst erwähnte Erfindung; diese ist in folgenden Ansprüchen erfasst:
3, 13, 14(vollständig); 1, 7, 20(teilweise)

Bemerkungen hinsichtlich eines Widerspruchs

- Der Anmelder hat die zusätzlichen Recherchegebühren unter Widerspruch entrichtet und die gegebenenfalls erforderliche Widerspruchsgebühr gezahlt.
- Die zusätzlichen Recherchegebühren wurden vom Anmelder unter Widerspruch gezahlt, jedoch wurde die entsprechende Widerspruchsgebühr nicht innerhalb der in der Aufforderung angegebenen Frist entrichtet.
- Die Zahlung der zusätzlichen Recherchegebühren erfolgte ohne Widerspruch.

WEITERE ANGABEN

PCT/ISA/ 210

Die internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere (Gruppen von) Erfindungen enthält, nämlich:

1. Ansprüche: 3, 13, 14(vollständig); 1, 7, 20(teilweise)

Licht mit einer Wellenlänge von 780 nm bis 380 nm;
Körper;
Grenzflächen für Licht totalreflektierend;
optisch dichteres Hybridprisma;
optisches System;
Sonne oder LED-Anordnung

1.1. Anspruch: 3

Körper

1.2. Anspruch: 7(teilweise)

Grenzflächen für Licht totalreflektierend

1.3. Anspruch: 13

optisch dichteres Hybridprisma

1.4. Anspruch: 14

optisches System

1.5. Anspruch: 20(teilweise)

Sonne oder LED-Anordnung

2. Ansprüche: 12, 17-19, 21, 22(vollständig); 1, 6, 7,
20(teilweise)

Röntgenstrahlen

3. Ansprüche: 1, 20(alle teilweise)

Infrarotstrahlen

4. Ansprüche: 2(vollständig); 10(teilweise)

Brennpunkt;
Fokus

5. Ansprüche: 4, 5

Hüllkörper

WEITERE ANGABEN

PCT/ISA/ 210

6. Ansprüche: 11(vollständig); 6(teilweise)

Intraokularprisma

7. Ansprüche: 15, 16(vollständig); 6(teilweise)

Lidar-System

8. Ansprüche: 6, 10(alle teilweise)

Objektiv für Kamera oder Fernrohr oder Mikroskop

9. Anspruch: 8

Mehrzahl koaxial und konzentrisch zu der optischen Achse
angeordnete Hybridprismen

10. Anspruch: 9

Lücke

11. Anspruch: 10(teilweise)

hybrides Zerstreungsprisma, divergentes Strahlenbündel

12. Anspruch: 23

Kernfusion
