



(10) **DE 10 2017 011 352 B4** 2020.01.30

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2017 011 352.1**  
(22) Anmeldetag: **07.12.2017**  
(43) Offenlegungstag: **13.06.2019**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **30.01.2020**

(51) Int Cl.: **G03B 19/00 (2006.01)**  
**H04N 5/225 (2006.01)**

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

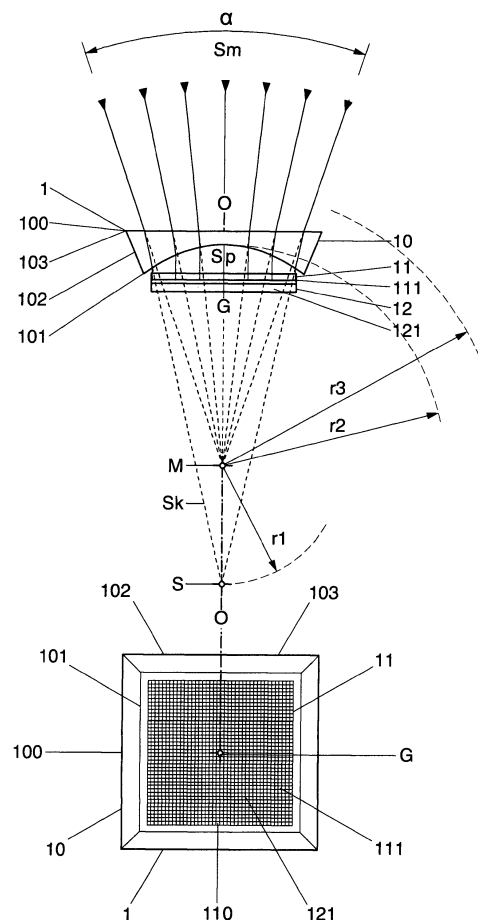
(73) Patentinhaber:  
**Grimm, Friedrich, Prof., 70376 Stuttgart, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:  
**siehe Folgeseiten**

(72) Erfinder:  
**gleich Patentinhaber**

(54) Bezeichnung: **Kameramoduleinheit für Digitalaufnahmen**

(57) Hauptanspruch: Kameramoduleinheit welche statische oder bewegte Bilder in Schwarzweiß oder Farbe aufzeichnet und als ein einzelnes Kameramodul (1) oder als ein aus einer Mehrzahl von Kameramodulen (1) aufgebautes flächenförmiges oder räumliches Array (13) mit einem Gerät (2) verbunden ist, wobei das einzelne Kameramodul (1) oder jedes Kameramodul (1) der Mehrzahl von Kameramodulen (1) als eine in sich starre Einheit ausgebildet ist, jeweils eine optische Achse (O) aufweist und jeweils aus einer Linse (10), umfassend eine objektseitige Außenfläche (100) und eine einen Scheitelpunkt (G) aufweisende bildseitige Innenfläche (101) oder eine objektseitige konkave Außenfläche (100) und eine bildseitige planebene Innenfläche (101), sowie umfassend einen polygonal oder rund ausgebildeten Rand (102), aus einer Vielzahl parallel zu der optischen Achse (O) ausgerichteter Mikrokanäle (11) sowie aus einem mit einer Vielzahl von Photozellen (121) bestückten Sensor (12) besteht, wobei bei dem einzelnen Kameramodul (1) oder bei jedem Kameramodul (1) der Mehrzahl von Kameramodulen (1) die Linse (10) dazu ausgebildet ist, ein objekt- oder bildseitig auf einen auf der optischen Achse (O) des Kameramoduls (1) gelegenen fiktiven Mittelpunkt (M) zentriertes Strahlenbündel (Sm) in ein zu der optischen Achse (O) paralleles Strahlenbündel (Sp) zu kollimieren, wobei bei dem einzelnen Kameramodul (1) oder bei jedem Kameramodul (1) der Mehrzahl von Kameramodulen (1) die Stirnseiten der Mikrokanäle ...



(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	101 49 747	C2
DE	43 11 982	A1
US	3 971 065	A
EP	1 779 166	B1
EP	2 120 451	B1
EP	3 190 566	A1

**CES: Ultradünne Kamera entwickelt  
„Facettenaugen für Industrie und Smartphone“  
Firmenschrift Forschung Kompakt Fraunhofer-  
Gesellschaft München Januar 2017**

**F.Sturm „Eine neue Welt“ IN Camera 6/2014,  
Seite 28-31**

**J. Duparré et al. „Thin compound-eye camera“  
IN APPLIED OPTICS Vol. 44, No.15, 2005, Seite  
2949-2956**

**www.golem.de „Insektenauge:  
Halbkugelförmige Kamera hat Sichtfeld von 160  
Grad“**

**www.n-tv.de „Weitwinkel dank „Facettenauge“  
Kamera mit Insektenblick entwickelt“ 02.05.2013**

**www.nature.com „Digital cameras with design  
inspired by the arthropod eye“ 01.05.2013**

**www.spiegel.de „Kamera mit 180 Linsen –  
Forscher bauen Facettenauge nach“ 02.05.2013**

**www.weltderphysik.de J. Löffken „Künstliches  
Facettenauge nach Vorbild der Natur“ 02.05.2013**

**www.youtube.com „Kamera mit Insektenblick“  
24.05.2013**

**„Fotowissen“ IN Fotomagazin 10/2017, Seite  
55-61**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Kameramoduleinheit, welche statische oder bewegte Bilder in Schwarz-Weiß oder Farbe aufzeichnet und als ein einzelnes Kameramodul oder als ein aus einer Mehrzahl von Kameramodulen aufgebautes, flächenförmiges oder räumliches Array mit einem Gerät verbunden ist. Das einzelne Kameramodul oder jedes Kameramodul der Mehrzahl von Kameramodulen ist als eine in sich starre Einheit ausgebildet und weist jeweils eine optische Achse und eine Linse, mit einer objektseitigen Außenfläche und einer einen Scheitelpunkt aufweisenden bildseitigen Innenfläche oder mit einer objektseitigen konkaven Außenfläche und einer bildseitigen planebenen Innenfläche sowie mit einem polygonal oder rund ausgebildeten Rand, und eine Vielzahl parallel zu der optischen Achse ausgerichteter Mikrokanäle und einen mit einer Vielzahl von Photozellen bestückten Sensor auf. Bei dem Kameramodul oder bei jedem Kameramodul der Mehrzahl von Kameramodulen ist die Linse dazu ausgebildet, ein objekt- oder bildseitig auf einen auf der optischen Achse des Kameramoduls gelegenen fiktiven Mittelpunkt zentriertes Strahlenbündel in ein zu der optischen Achse paralleles Strahlenbündel zu kollimieren, wobei bei dem Kameramodul oder bei jedem Kameramodul der Mehrzahl von Kameramodulen die Stirnseiten der Mikrokanäle objektseitig ein Rayon mit einer Vielzahl von Einfallfeldern bilden, die der Verteilung und Separierung des parallelen Strahlenbündels dienen. Dabei wirkt die longitudinale Ausdehnung der Mikrokanäle als Filterblende und absorbiert Streulicht, sodass die Photozellen des Sensors bevorzugt ausschließlich durch Licht aus dem parallelen Strahlenbündel belichtet werden und zwischen einem auf einen abzubildenden Objektpunkt bezogenen Strahlenkegel und dem einem bestimmten Mikrokanal zugehörigen, im Strahlenverlauf hinter dem bestimmten Mikrokanal angeordneten und aus mindestens einer Photozelle bestehenden Photozellenfeld des Sensors eine eindeutige Zuordnung hergestellt wird. Das Kameramodul ist als optisches System dazu ausgebildet, aus dem Licht, das von einem Objektpunkt in einem auf den Mittelpunkt des Kameramoduls gerichteten Strahlenkegel ausgeht, einen Bildpunkt zu erzeugen und dabei aus einer Vielzahl von Objektpunkten und Bildpunkten statische oder bewegte Bilder aufzuzeichnen. In einem flächenförmigen Array aus mehreren Kameramodulen, die in einer Reihe oder in einem Raster angeordnet sind, können die einzelnen Kameramodule jeweils für die Aufzeichnung einer bestimmten Lichtfarbe oder für die Erfassung eines unterschiedlichen diagonalen Bildwinkels spezifiziert werden. Ein räumliches Array betrifft den Zusammenschluss einer Mehrzahl von Kameramodulen zu einer Kugel oder zu einem regelmäßigen Polyeder und erlaubt eine omnidirektionale Bilderfassung, während die Teilkörper einer Kugel oder eines Polyeders als Schichtkörper eine 360°-Panoramaaufnahme und als Segmentkörper eine Weitwinkelaufnahme ermöglichen. Im Rahmen der Erfindung wird die Verbindung eines Kameramoduls mit unterschiedlichen Geräten, wie ein Smartphone, eine Brille, eine Taschenkamera, ein Endoskop und ein Auto näher erläutert.

## Stand der Technik

**[0002]** Die Urform einer Kamera ist eine Lochkamera, die aus einer dunklen Kammer mit einer bildseitigen, lochförmigen Öffnung und einem rückseitigen bildgebenden Schirm, der mit einem Abstand zu der lochförmigen Öffnung angeordnet ist, besteht. Strahlen, die in einem spitzen Lichtkegel von einem abzubildenden Objektpunkt ausgehen, überkreuzen sich in der lochförmigen Öffnung und projizieren einen Bildpunkt auf den Schirm. Durch Einfügen einer Sammellinse in das Loch kann ein helleres und schärferes Bild mit einer kleineren Kamera hergestellt werden. Dieser prinzipielle Aufbau einer Kamera gilt auch für die meisten heute gebräuchlichen Kameras, deren aus mehreren Linsen aufgebautes Objektiv eine Bildebene hat, auf die eine auf dem Kopf stehende Abbildung projiziert wird. Nachteile dieses Aufbaus bestehen in der Notwendigkeit, die Blendenöffnung und die Belichtungszeit zu steuern und das Linsensystem auf unterschiedliche Entfernungen einzustellen, sodass die dafür erforderliche Zeitspanne eine Bildaufnahme in Echtzeit ausschließt. In diesem Sinne kann auch das menschliche Auge als Kamera bezeichnet werden, bei dem eine durch Ziliarmuskeln an unterschiedliche Bildweiten akkomodierbare Kristalllinse die Bildstrahlen auf die lichtempfindliche Netzhaut des Augapfels projiziert. Die Sehorgane der Insekten verfügen über eine unendliche Tiefenschärfe und können in Echtzeit kleinste Bewegungen über einen weiten Halbraum registrieren. Das sog. Facettenauge der Insekten besteht aus einer Vielzahl von Ommatidien, die als Einzelaugen jeweils unabhängig voneinander Bildinformationen aufnehmen, die dann zu einem gesamten Rasterbild zusammengefügt werden. Ein Libellenauge z.B. ist aus bis zu 30.000 derartiger Einzelaugen aufgebaut. Aktuelle Forschungsprojekte an unterschiedlichen Universitäten widmen sich einer von dem Facettenauge inspirierten Bilderfassung, bei der eine Vielzahl einzelner Linsen über einen Lichtleiter direkt mit den Photozellen eines Sensors verbunden sind. Mikro- und Nanotechnologien ermöglichen heute die Herstellung geometrischer Strukturen im Nano- und Mikromaßstab. Aufbauende Verfahren, wie z.B. Laserdruckverfahren mit Polymeren, die durch hochfrequente Laserpulse während des Druckvorgangs ausgehärtet werden, ermöglichen die Herstellung optischer Strukturen aus transparenten und aus opaken Polymeren. Abtragende Verfahren, wie z.B. Laserpulse, sind geeignet z.B. aus einer Kohlenstoffschicht sog. Nanotubes herauszubrennen. Alternative Verfahren betreffen die sog. Gasphasenabscheidung, bei der auf einer Oberfläche 3D-Strukturen aus Kohlenstoff oder anderen Materialien

aufgebaut werden können. Diese Technologien arbeiten im Bereich der Größe einer Lichtwelle und ermöglichen dadurch die Miniaturisierung optischer Systeme in einem Maßstab weit jenseits der natürlichen Vorbilder. Kugelkameras, bei denen eine Mehrzahl von Kameraobjektiven konzentrisch um eine Mitte angeordnet ist, sind bekannt. Der Strahlengang der einzelnen Objektive geht hier von sich überkreuzenden Strahlen aus, die in einer Abbildungsebene fokussiert werden, um eine Abbildung zu erzeugen.

Aus der US 3,971,065 A geht der im Jahr 1976 von Bryce E. Bayer erfundene sog. Bayerfilter hervor, der die Sensoroberfläche in regelmäßige Felder unterschiedlicher Lichtdurchlässigkeit aufteilt, wobei 50% der Felder für Grün und jeweils 25% für Rot und Blau vorgesehen sind, um mit den Photozellen des Sensors Farbaufnahmen zu ermöglichen.

Aus der DE 101 49 747 C2 geht ein Kameramodul für ein Mobilfunkgerät hervor, das aus zwei zu einer Lochblende spiegelbildlich angeordneten Konvex-Konkav-Linsen besteht.

Aus der EP 2 120 451 B1 geht ein Herstellungsverfahren für ein Kameramodul hervor, bei dem zwischen einer Sammellinse und einem Sensor ein Filterelement vorgesehen ist, das insbesondere als Infrarotfilter dazu ausgebildet ist, einfallendes Licht mit einer vorgegebenen Wellenlänge zu unterbrechen.

Aus der DE 43 11 982 A1 geht eine optoelektronische Kamera mit einer in der Bildebene angeordneten Lochmaske hervor. Die Abmessungen der regelmäßigen Lochstruktur bestimmen die Auflösung des Bildaufnehmers. Zwischen der Lochmaske und dem Bildaufnehmer ist ein Bildverstärker angeordnet, der eine Mikrokanalplatte aufweist, wobei jedem Loch der Lochmaske mehrere benachbarte Mikrokanäle der Mikrokanalplatte zugeordnet sind, sodass ein Loch der Lochmaske mit einem zugeordneten lichtempfindlichen Bereich des Bildaufnehmers verbunden wird. Die Mikrokanalplatte wirkt als Lichtverstärker.

Aus der EP 1 779 166 B1 geht ein flächenförmiges Array aus einer Vielzahl von Kameramodulen, die im Wafermaßstab hergestellt werden, hervor. Ein Kameramodul besteht bildseitig aus mindestens zwei Linsen, zwischen denen eine nicht transparente Polymerplatte mit kegelförmigen Ausnehmungen die Systemapertur definiert und die aufgrund ihrer Dicke gleichzeitig als Feldblende wirkt. In **Fig. 5** ist der Strahlengang durch ein System mit drei Linsen für unterschiedliche Bildwinkel dargestellt, wobei das Kameraobjektiv parallel einfallende Strahlen in der Bildebene fokussiert.

Aus der EP 3 190 566 A1 geht ein räumliches Array aus sechs Kameramodulen hervor, die in einem Würfel integriert sind und eine omnidirektionale Bildaufnahme ermöglichen. Jedes der sechs Objektive weist mindestens eine Sammellinse und einen Sensor auf.

**[0003]** Aus dem Artikel „Fotowissen“ im Fotomagazin 10/2017 (S. 55-61) geht eine Beschreibung der für Kameras gebräuchlichen unterschiedlichen Sensoren hervor, deren lichtempfindliche Oberfläche eine lückenlose Matrix aus Mikrolinsen trägt. Die Mikrolinsen sind dazu ausgebildet, einfallendes parallel strahlendes Licht auf ein Photodiodensubstrat zu bündeln. Für den Empfang eines zentrierten Strahlenbündels mit einem Bildwinkel ist diese Aufnahmetechnik nicht geeignet. Um eine bessere Auflösung, vor allem im Bereich des Bildrands zu erreichen, wird im Rahmen dieses Zeitschriftenbeitrags auf S.61, mittlere Spalte unten, z.B. eine Krümmung der Sensorfläche diskutiert.

Aus dem Artikel von J. Duparre et al. „Thin compound-eye camera“ in APPLIED OPTICS Vol. 44 No.15 (S. 2949-2956) vom Mai 2005 gehen opake Mikrokanäle hervor, die an ihrem objektseitigen Ende Mikrolinsen tragen. Die Mikrolinsen sind dazu ausgebildet, ein schwach konvergentes Strahlenbündel auf voneinander durch die Mikrokanäle abgeschirmte Photozellen zu fokussieren. Eine Kollimation des divergenten Strahlenbündels durch eine vorgeschaltete Linse ist hier nicht vorgesehen. Die Linsen selbst sind als Fraktale einer zusammenhängenden Linsenoberfläche ausgebildet und weisen als Fresnel-Linsen jeweils eine unterschiedliche schwierig herzustellende Geometrie auf. Auch hier ist nur eine Aufnahme innerhalb eines stark begrenzten Bildwinkels möglich. Bereits für eine leichte Erweiterung des Bildwinkels ist eine konkave Form der Linsenmatrix erforderlich, siehe dazu Abbildung auf S.2956, linke Spalte oben.

Aus dem Artikel von F. Sturm „Eine neue Welt“ in Camera 6/2014 (S. 28-31) geht eine Lichtfeldkamera hervor, deren Sensor mit einer Vielzahl von Mikrolinsen bestückt ist. Das verstellbare Objektiv der Kamera und ein notwendiger Verschluss führen zu einer konstruktiven Längenentwicklung entlang der optischen Achse.

Aus dem Video „Kamera mit Insektenblick“ ([www.youtube.com](http://www.youtube.com)) vom 24.05.2013 geht ein Nachbau eines Facettenauges hervor, das aus einer Vielzahl von Sammellinsen, die auf einer Kugelschichtfläche angeordnet und mit einem ebenen Sensor verbunden sind, hervor.

**[0004]** Jede Linse wirkt dabei als Objektiv, sodass aus der Vielzahl von Objektiven eine Art Rasterbild erzeugt werden kann.

Aus der Firmenschrift „CES: Ultradünne Kamera entwickelt-Facettenaugen für Industrie und Smartphone“ der Forschung Kompakt Fraunhofer-Gesellschaft München von Januar 2017 geht eine am Fraunhofer-Institut entwickelte flache, in sich starre Kamera hervor, die ähnlich einem Insektenauge aus 135 winzigen Facetten aufgebaut ist. Durch den Versatz jeder Linse zu der ihr zugeordneten Blende, erhält jeder optische Kanal eine individuelle Blickrichtung, sodass jeweils ein Sektor des Bildwinkels aufgenommen werden kann. Durch ein



Datenverarbeitungsprogramm werden die, von den einzelnen Objektiven aufgenommenen, einzelnen Teilbilder rechnerisch zu einem Gesamtbild zusammengesetzt. Eine Kollimation des objektseitigen Lichtes durch eine vorgeschaltete, die Einzelobjektive überwölbende Linse, geht aus diesem Kamerakonzept nicht hervor.

#### Aufgabenstellung

**[0005]** Ausgehend von dem dargestellten Stand der Technik besteht die Aufgabe der Erfindung darin, ein verbessertes und in seinem Aufbau gegenüber dem Stand der Technik wesentlich vereinfachtes Kameramodul zur Erfassung statischer und bewegter Bilder in Schwarzweiß oder in Farbe anzugeben das mit unterschiedlichen Geräten verbunden werden kann. Es ist insbesondere die Aufgabe der Erfindung, eine von dem Facettenauge der Insekten inspirierte digitale Abbildungstechnik zu finden, die es ermöglicht, mit einem in sich starren Kameramodul Bilder zu erfassen und Bewegungen zu detektieren. Dabei ist ein einzelnes Kameramodul der modulare Baustein für eine optische Systemarchitektur, bei der eine Mehrzahl von Kameramodulen untereinander entweder zu einem flächenförmigen oder zu einem räumlichen Array kombinierbar sind. Die Erfindung geht von der Überlegung aus, dass ein in einem Euklidischen Raum wahrnehmbarer Objektpunkt auf den Mittelpunkt eines Kameramoduls bezogen werden kann, welcher dabei entweder bildseitig oder objektseitig angeordnet ist. Ausgehend von einem auf diesen Mittelpunkt zentrierten Strahlenbündel ist die Linse dazu ausgebildet, das zentrierte Strahlenbündel in ein parallel zu der optischen Achse des Kameramoduls ausgerichtetes Strahlenbündel zu kollimieren. Die Stirnseite der im Strahlengang sich anschließenden Mikrokanäle bildet ein Rayon mit einer Vielzahl von Einfallfeldern und erfüllt die Aufgabe der Verteilung und Separierung des kollimierten Strahlenbündels, während mit der longitudinalen Ausdehnung der Mikrokanäle die Aufgabe einer Filterblende erfüllt wird, indem unerwünschtes Streulicht absorbiert wird, sodass die Mikrokanäle ausschließlich für das kollimierte Licht durchlässig sind und eine eindeutige Relation zwischen einem abzubildenden Objektpunkt und mindestens eine Photozelle umfassenden Photozellenfeld herstellbar ist.

Diese Aufgaben werden mit den in Anspruch 1 genannten Merkmalen erfüllt. Weitere Aufgaben und vorteilhafte Eigenschaften der Erfindung gehen aus den Unteransprüchen hervor. Im Einzelnen löst die Erfindung die folgenden Aufgaben:

- Fotografieren mit einem in sich starren Kameramodul
- Reduktion der Bauhöhe eines Kameramoduls
- Herstellung einheitlicher Größenverhältnisse zwischen der Zerstreulinse, der Filterblende und dem Sensor
- Fotografieren mit einer nahezu unendlichen Tiefenschärfe
- Aufnahme makroskopischer Bilder mit einer Sammellinse
- Tele- und Weitwinkelaufnahmen mit einer Zerstreulinse
- Angabe einer Streulicht absorbierenden Filterblende
- Angabe einer digitalen Abbildungstechnik mit sich überschneidenden Objekt- und Bildpunkten für die Erfassung von Bewegungen in Echtzeit
- Angabe einer Mikrowabenstruktur und einer Mikrolochplatte mit unterschiedlich großen Mikrokanälen
- Bereitstellung einer gleichmäßigen Lichtstärke an den einzelnen Photozellen des Sensors
- Konzentration der auf ein Einfallfeld des Rayons entfallenden parallelen Strahlen auf eine Photozelle mittels einer Mikrosammellinse
- Angabe eines telezentrischen Strahlengangs mit variabler Bildebene
- Angabe einer rechnergestützten Korrektur des Projektionseffekts der Zerstreulinse
- Farbaufnahmen mit achromatischen oder apochromatischen Linsen
- Angabe eines wirtschaftlichen Herstellungsverfahrens für die einzelnen Komponenten eines Kameramoduls
- Angabe eines flächenförmigen Arrays aus einer Vielzahl von Kameramodulen, die jeweils für einen bestimmten Wellenlängenbereich ausgelegt sind.
- Angabe eines flächenförmigen Arrays aus einer Vielzahl von Kameramodulen, die jeweils einen unterschiedlichen Bildwinkel haben

- Angabe eines räumlichen Arrays aus einer Mehrzahl von Kameramodulen für eine omnidirektionale Bilderfassung
- Angabe eines omnidirektionalen Bewegungsdetektors mit z.B. nur 180 Mikrokanälen mit Mikrosammel-linsen pro Kameramodul
- Angabe eines Bayerfilters für Farbaufnahmen

#### Funktion und Aufbau der Linsen

**[0006]** Im Rahmen der Erfindung wird zwischen einer objektseitig angeordneten Zerstreuungslinse und einer objektseitig angeordneten Sammellinse unterschieden. Befindet sich der Mittelpunkt eines Kameramoduls auf der Bildseite, wird das zentrierte Strahlenbündel mittels einer Zerstreuungslinse kollimiert, die einen Bildwinkel von 5 Grad bis zu 72 Grad erfasst. Mit einem räumlichen Array aus einer Mehrzahl von Kameramodulen, die einen gemeinsamen Mittelpunkt haben, ist deshalb eine allseitige Bilderfassung der Umgebung möglich. Befindet sich der Mittelpunkt des Kameramoduls auf der Objektseite, ist eine Sammellinse erforderlich, um das auf den Mittelpunkt zentrierte Strahlenbündel zu kollimieren. Der Öffnungswinkel des zentrierten Strahlenbündels reicht im Falle plankonvexer Linsen von 5-30 Grad und im Falle bikonvexer Linsen von 5-50 Grad. Bei einem einzelnen Kameramodul befindet sich das aufzunehmende Objekt innerhalb des durch den Öffnungswinkel der Sammellinse begrenzten Sektors. Bei einem räumlichen Array befindet sich das aufzunehmende Objekt im Mittelpunkt des Arrays, sodass eine allseitige Makroaufnahme des Objekts ermöglicht wird. Die Linsen werden entweder als monolithische Linsen aus einem polymeren Werkstoff oder aus einem Verbund von Kron- und Flintglas als achromatische bzw. apochromatische Linsen hergestellt. Die chromatische Aberration eines aus unterschiedlichen Lichtfarben zusammengesetzten Lichtstrahls des zentrierten Strahlenbündels wird innerhalb der Linse korrigiert, sodass auch der an der Innenfläche der Zerstreuungslinse austretende Lichtstrahl des parallelen Strahlenbündels sowie der an der Außenfläche der Linse eintretende Lichtstrahl des zentrierten Strahlenbündels aus unterschiedlichen Lichtfarben zusammengesetzt ist. Der mehrschichtige Aufbau einer Linse gilt im Rahmen der Erfindung sowohl für eine Zerstreuungslinse, die entweder konvex-konkav, plankonkav oder bikonkav ausgebildet ist, als auch für eine Sammellinse, die entweder plankonvex oder bikonvex ausgebildet ist. Als Leichtbauelement, z.B. für die Verbindung eines Kameramoduls mit einem beweglichen Roboterarm, kann eine Linse auch als Fresnellinse ausgebildet werden. Farbaufnahmen werden durch einen den Photozellen des Sensors vorgeschalteten Bayerfilter ermöglicht, alternativ kann ein flächenförmiges Array aus einer Vielzahl von Kunststofflinsen vorgesehen werden, die jeweils nur eine Lichtfarbe abbilden, wobei eine Farbaufnahme durch Zusammenschaltung der einzelnen Module eines flächenförmigen Arrays hergestellt wird. Der polymere Kunststoff besteht bevorzugt aus Polymethylmethacrylat oder z.B. aus Polycarbonat oder Polystyrol oder einem Polymer auf Polycycloolefin-Basis, wobei eine Kunststofflinse dielektrisch und/oder durch Antireflexionsstrukturen beidseitig entspiegelt ist und bildseitig eine kratzfeste Beschichtung aufweist. Die Ränder der einzelnen runden oder polygonalen Linsen eines flächenförmigen Arrays sind geschwärzt, um den Eintritt von Streulicht zu vermeiden. Im Falle einer konvex-konkaven Linse mit einer sphärischen Außenfläche und im Falle einer plankonkaven Linse mit einer konkaven Außenfläche wird das auf den Mittelpunkt zentrierte Strahlenbündel jeweils nur einmal gebrochen, wobei der Brennpunkt der Außenfläche und der Mittelpunkt des Kameramoduls in einem Punkt zusammenfallen. Die sphärische Oberfläche einer konvex-konkaven Linse des Kameramoduls ermöglicht die Ausbildung eines räumlichen Arrays als Sphäre, die z.B. von fünf Kameramodulen gebildet wird, wobei die sechste Modulfläche für die Durchführung eines Leitungskanals vorgesehen ist. Eine Mehrzahl von Kameramodulen mit plankonkaven Zerstreuungslinsen können untereinander in einem räumlichen Array zu einem regelmäßigen Polyeder verbunden werden. Je nachdem, ob die ebene Fläche der plankonkaven Linse objektseitig oder bildseitig angeordnet ist, sind die geraden Kanten auf der Innen- oder der Außenseite des Polyeders ausgebildet. Im Falle von bikonkaven Zerstreuungslinsen hat der Polyeder konkave Außen- und Innenflächen. Der Umkreis eines Polyeders aus Glas und der Durchmesser einer Sphäre aus Glas liegen zwischen 10 mm und 60 mm, können z.B. aber auch bis zu 300 mm betragen. Die unterschiedlichen Ausbildungen der Zerstreuungslinsen unterscheiden sich jeweils im Strahlengang und in ihrem jeweiligen diagonalen Bildwinkel. Zur Herstellung eines räumlichen Arrays werden die Zerstreuungslinsen an ihren polygonalen Rändern untereinander verbunden. Bei der Verwendung von Kunststoff kann ein Schichtkörper oder ein Segmentkörper der Sphäre oder des Polyeders in einem Spritzgussverfahren hergestellt werden.

#### Die Mikrokanäle und der Sensor

**[0007]** Die Mikrokanäle sind parallel zu der optischen Achse des Kameramoduls ausgerichtet und werden entweder von einer Mikrowabenstruktur oder von einer Mikrolochplatte gebildet, deren Höhe einem Vielfachen des Durchmessers eines Mikrokanals entspricht. Die Mikrokanäle wirken als selektiver Filter, indem sie bevorzugt nur für parallele Lichtstrahlen durchlässig sind und unerwünschtes Streulicht absorbieren. Ein einzelner

Mikrokanal folgt dem Funktionsprinzip einer Lochkamera und arbeitet optimal, wenn die Beugungsunschärfe etwa gleich groß ist wie die geometrische Unschärfe. Bei einem angenommenen Pixelabstand von 30 µm beträgt die Bildweite z.B. 1000 µm, während der Lochdurchmesser mit 30 µm dem Pixelabstand entspricht. Demnach hat der Mikrokanal eine Länge von 1000 µm und einen Durchmesser von 30 µm, der bei einer Winkelauflösung von 1,7 Grad mit dem Pixelabstand übereinstimmt. Die Länge und der Durchmesser eines Mikrokanals bestimmen die Beugungsunschärfe und damit auch den Bildwinkel eines von einem Objektpunkt ausgehenden Strahlenkegels. Beträgt die Länge eines Mikrokanals etwa dem 10-fachen seines Durchmessers, ist sichergestellt, dass ausschließlich der auf den Mittelpunkt des Kameramoduls gerichtete Strahlenkegel von der Photozelle des Sensors abgebildet wird. Kürzere Mikrokanäle erhöhen die Lichtstärke in den Einfallfeldern eines Rayons, wobei sich die von einem Objektpunkt ausgehenden Strahlenkegel und die am Sensor aufgezeichneten Bildpunkte jeweils gegenseitig überschneiden. Für die Erfassung schneller Bewegungen in Echtzeit ist diese digitale Abbildungstechnik von Vorteil, da es hier nicht auf eine detailgetreue Wiedergabe der Umgebung ankommt. Ein Bewegungsdetektor hat deshalb z.B. einen Sensor mit nur 180 Photozellen, während längere Belichtungszeiten und eine Vielzahl von Photozellen scharfe Bildaufnahmen ermöglichen. Die Stirnseiten der Mikrokanäle bilden ein aus einer Vielzahl von Einfallfeldern aufgebautes Rayon zur Verteilung und Trennung der auf die einzelnen Mikrokanäle entfallenden unterschiedlichen Teilmengen des parallelen Strahlenbündels, das durch die Zerstreuungslinse einem Projektionseffekt unterworfen ist. Eine gleichmäßige Verteilung der Lichtstärke in den einzelnen Einfallfeldern des Rayons wird durch einen unterschiedlichen Durchmesser der Mikrokanäle erreicht. In den Randbereichen des Rayons ist die Lichtstärke größer als in der Mitte. Wird das Rayon von einer Wabenstruktur mit unterschiedlich großen Einfallfeldern gebildet, sind die Mikrokanäle im Bereich des Scheitelpunkts der Zerstreuungslinse am größten und nehmen in Höhe und Querschnitt zu den Rändern hin kontinuierlich ab, sodass an den Photozellen des Sensors eine einheitliche Lichtstärke herstellbar ist. Um Beugungseffekten an den in die Mikrokanäle eingeleiteten Lichtstrahlen vorzubeugen, haben die Mikrokanäle einen Durchmesser von 30-1000 µm, sodass jeweils für eine Teilmenge des parallelen Strahlenbündels eine eindeutige Relation zwischen einem mindestens eine Photozelle umfassenden Photozellenfeld des Sensors und einem Objektpunkt gegeben ist. Für Farbaufnahmen ist den Photozellen des Sensors ein Bayerfilter vorgeschaltet, wobei ein Einfallfeld z.B. sechs, neun oder zwölf Zellen des Bayerfilters umfasst. Eine Ausführungsvariante sieht vor, den Sensor durch ein Bandraster in eine Vielzahl einzelner Sensorinseln zu unterteilen, die z.B. jeweils eine Photozelle und vier zugeordnete Farbfilterzellen umfassen. Um unerwünschte Reflektionen innerhalb der Mikrokanäle zu vermeiden, wechselt die Wanddicke der Mikrokanäle quer zu ihrer Längsausdehnung regelmäßig, sodass schräg einfallende Lichtstrahlen von der Mikrowabenstruktur vollständig absorbiert werden. Für die Herstellung der Mikrokanäle kommen unterschiedliche Verfahren in Frage. Eine Mikrowabenstruktur kann z.B. in einem 3D-Laserdruckverfahren aus einem opaken Polymer hergestellt werden, wobei ein Femtosecond-Laser genutzt wird, um das Polymer während des Druckvorgangs schichtweise zu härten. Dabei wird die Mikrowabenstruktur in dem 3D-Laserdruckverfahren innerhalb des Bandrasters unmittelbar auf die Platine des Sensors gedruckt, wobei die Wanddicke der Mikrokanäle von Schicht zu Schicht wechselt. Sogenannte Colossal Carbon Tubes haben einen Durchmesser von 40-100 µm und bilden als parallel zueinander angeordnete Mikrokanäle mit einer Länge von z.B. 500 µm ein Rayon mit einheitlich großen Einfallfeldern. Auch aus Papier mit einem Flächengewicht von weniger als 25-30 g/m<sup>2</sup> kann eine Mikrowabenstruktur hergestellt werden. Alternativ kann ein abtragendes Verfahren zur Herstellung einer Mikrolochplatte aus einem opaken Material, das aus einem polymeren Kunststoff oder aus Kohlenstoff besteht, genutzt werden. Mikrokanäle mit einem Durchmesser von mehreren Mikrometern können dabei in einem Ätzverfahren in eine Platine eingebracht werden, während Mikrokanäle mit einem Durchmesser von 10-200 µm durch Laserbeschuss in eine opake Schicht eingebracht werden oder in einem Elektronenstrahl-Lithografie-Verfahren hergestellt werden. Herstellungsbedingt sind die einzelnen Mikrokanäle dabei zylindrisch oder konisch ausgebildet und in einem regelmäßigen Raster oder in einem Fibonacci-Muster angeordnet, sodass der freie Querschnitt der Kanäle zwischen 50% und 80% der Oberfläche einer Mikrolochplatte einnimmt. Die Bauhöhe einer Mikrolochplatte beträgt z.B. 100-2000 µm.

#### Funktion und Wirkung der Mikrosammellinsen

**[0008]** Eine höhere Lichtstärke an der Oberfläche des Sensors wird dadurch erreicht, dass an dem bildseitigen Ende eines Mikrokanals eine Mikrosammellinse vorgesehen ist, deren Brennpunkt auf einer Photozelle des Sensors liegt. Innerhalb eines Rayons entspricht die Anzahl und die Form der Mikrosammellinsen der Anzahl und dem Profil der Mikrokanäle, das kreisrund, quadratisch oder sechseckig oder kreisringsegmentförmig ausgebildet werden kann. In einer bevorzugten Ausführungsvariante der Erfindung sind die einzelnen Einfallfelder eines Rayons unterschiedlich groß ausgebildet, sodass die auf die Mikrosammellinsen gerichteten Teilstrahlbündel des kollimiert einfallenden Lichts jeweils eine gleiche Lichtstärke haben. Eine Linsenmatrix weist deshalb unterschiedlich große Mikrosammellinsen auf, wobei in Bildmitte größere Linsen vorgesehen sind, als an den Bildrändern und die Brennpunkte der Sammellinsen jeweils eine Photozelle mit einem vorgelagerten

Bayerfilter belichten. Die unterschiedlich großen Einfallfelder eines Rayons sind mit abnehmender Größe von innen nach außen in konzentrischen Ringen angeordnet. Die Mikrosammellinsen sind als bikonvexe oder als plankonvexe Linsen ausgebildet und bilden zweckmäßigerweise eine zusammenhängende Linsenmatrix, die z.B. in einem 3D-Druckverfahren oder in einem Spritzgussverfahren aus einem Polymer hergestellt wird. Die Verbindung mit den Mikrokanälen erfolgt durch eine Verklebung mit der ebenen, dem Sensor zugewandten Stirnseite einer Wabenstruktur oder einer Mikrolochplatte. Alternativ werden die Mikrolinsen und die Mikrowabenstruktur am Stück in einem 3D-Druckverfahren hergestellt.

#### Bildverarbeitung

**[0009]** Die objektseitige Linse verursacht auf der ebenen Oberfläche des Sensors einen Projektionseffekt, der eine Verzerrung der Abbildung insbesondere an den Bildrändern bewirkt, die rechnerisch korrigiert wird. Dabei ist ein Rechner für unterschiedliche Abbildungsfunktionen programmiert, sodass eine Abbildung winkeltreu, flächentreu, äquidistant, orthografisch oder gnomonisch aufbereitet werden kann. Eine Rechenfunktion besteht darin, den durch die Mikrokanäle maskierten Teil der Abbildung zu löschen. Je größer der diagonale Bildwinkel eines Kameraobjektivs ist, umso mehr tritt dieser Verzerrungseffekt auf. Deshalb ist im Falle eines räumlichen Arrays der Verzerrungseffekt von der Anzahl der Polygone abhängig und reduziert sich mit der ansteigenden Anzahl der Polygone eines regelmäßigen Polyeders im Falle eines platonischen Körpers vom Tetraeder mit 4 Flächen bis zum Ikosaeder mit 20 Flächen und im Falle eines archimedischen Körpers vom Tetraederstumpf mit 8 Flächen bis zum abgeschrägten Dodekaeder mit 92 Flächen. Der maximal mögliche diagonale Bildwinkel einer Polygonfläche liegt bei ca. 72 Grad, sodass eine lückenlose Erfassung aller Objektpunkte erst ab einem Polyeder mit mindestens 12 Flächen ermöglicht wird. Eine Kugel oder ein Polyeder können durch einen Raum bewegt werden, wobei die Übertragung der aufgezeichneten Bildinformationen auf einen externen Rechner durch einen Sender im Inneren des Polyeders oder der Kugel erfolgt. Bei einer innerhalb eines Bezugssystems ortsfest installierten, omnidirektional arbeitenden Kamera kann aber auch ein Kabelkanal für die Übertragung der Bildinformationen genutzt werden.

**[0010]** Die Figuren zeigen unterschiedliche Ausführungsmöglichkeiten und Anwendungen der Erfindung. Es zeigen:

**Fig. 1** ein Kameramodul mit einer polygonalen, plankonkaven Zerstreuungslinse in einem Querschnitt und in der Aufsicht

**Fig. 2** ein Kameramodul mit einer polygonalen, bikonkaven Zerstreuungslinse in einem Querschnitt und in der Aufsicht

**Fig. 3** ein Kameramodul mit einer polygonalen, konvex-konkaven Zerstreuungslinse in einem Querschnitt und in der Aufsicht

**Fig. 4** ein Kameramodul mit einer runden, konvex-konkaven Zerstreuungslinse in einem Querschnitt und in der Aufsicht

**Fig. 5** ein Kameramodul mit einer runden, plankonkaven Zerstreuungslinse in einem Querschnitt und in der Aufsicht

**Fig. 6** ein Kameramodul mit einer kreisrunden, plankonvexen Sammellinse in einem Querschnitt und in der Aufsicht

**Fig. 7** ein Kameramodul mit einer polygonalen, bikonvexen Sammellinse in einem Querschnitt und in der Aufsicht

**Fig. 8** ein Kameramodul mit einer achromatischen Zerstreuungslinse, das dem in **Fig. 1** gezeigten Beispiel entspricht, im Querschnitt

**Fig. 9** den Strahlengang am Ausschnitt einer konvex-konkaven Linse mit Mikrokanälen und Mikrosammellinse in einem Detailschnitt

**Fig. 10** eine Mikrowabenstruktur mit quadratischen Mikrokanälen und den Sensor eines Kameramoduls in einer isometrischen Ausschnittsdarstellung

**Fig. 11** eine Mikrolochplatte mit kreisrunden Mikrokanälen und eine Linsenmatrix sowie den Sensor eines Kameramoduls in einer isometrischen Ausschnittsdarstellung

**Fig. 12** eine Mikrowabenstruktur mit quadratischen Mikrokanälen und einer Linsenmatrix sowie den Sensor eines Kameramoduls in einer isometrischen Ausschnittsdarstellung

**Fig. 13** eine Mikrowabenstruktur mit sechseckigen Mikrokanälen und einer Linsenmatrix sowie den Sensor eines Kameramoduls in einer isometrischen Ausschnittsdarstellung

**Fig. 14** ein flächenförmiges Array aus drei in einer Reihe angeordneten Kameramodulen in einem Querschnitt und in der Aufsicht

**Fig. 15** ein räumliches Array als Sphäre aus fünf Kameramodulen in einer perspektivischen Explosionsdarstellung

**Fig. 16** das Kameramodul nach **Fig. 15** in einem schematischen Querschnitt

**Fig. 17** ein räumliches Array als Würfel in einem schematischen Querschnitt

**Fig. 18** eine 360°-Rundsichtkamera aus 11 Kameramodulen, die untereinander zu einem Dodekaeder verbunden sind und ein räumliches Array bilden, in einer perspektivischen Explosionsdarstellung

**Fig. 19** ein räumliches Array aus 17 Kameramodulen, die untereinander zu einem Rhombenkuboktaeder verbunden sind, in einer perspektivischen Übersichtsdarstellung

**Fig. 20** eine Rundsichtkamera als Schichtkörper des Rhombenkuboktaeders nach **Fig. 19** in der perspektivischen Explosionsdarstellung

**Fig. 21** die Rundsichtkamera nach **Fig. 20** in einem Vertikalschnitt

**Fig. 22** die Rundsichtkamera nach **Fig. 19-21** in einem Horizontalschnitt

**Fig. 23** einen Segmentkörper des Rhombenkuboktaeders nach **Fig. 19** aus drei Kameramodulen im Horizontalschnitt

**Fig. 24** ein Smartphone mit einem Kameramodul, das dem in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsbeispiel entspricht, in der isometrischen Darstellung

**Fig. 25** ein Endoskop mit einem Kameramodul, das dem in **Fig. 4** gezeigten Ausführungsbeispiel entspricht, in der isometrischen Darstellung

**Fig. 26** die Integration von Kameramodulen in ein Fahrzeug in der perspektivischen Übersicht

**Fig. 27** die Integration eines Kameramoduls in eine Brille in der perspektivischen Übersicht

**Fig. 28** eine Taschenkamera mit Sprungdeckel in der vorder- und rückseitigen perspektivischen Darstellung

**[0011]** **Fig. 1** zeigt den geometrischen Aufbau und den Strahlengang an einem Kameramodul **1**, dessen Linse **10** eine plankonkave Linse **103** mit einer ebenen Außenfläche **100**, einer konkaven Innenfläche **101** und einem polygonalen Rand **102** aufweist, die wie in **Fig. 8** näher erläutert, als Achromat ausgebildet ist. Zwischen der Linse **10** und dem Sensor **12** ist eine Vielzahl von Mikrokanälen **11** als Filterblende angeordnet, die an ihrem bildseitigen Ende, wie in den **Fig. 9-11** gezeigt mit einer Linsenmatrix **111** verbunden sind.

Die plankonkave Linse **103** transformiert ein ausgewähltes, auf den bildseitig angeordneten Mittelpunkt **M** zentriertes Strahlenbündel  $S_m$  durch eine erste Brechung an der Außenfläche **100** in ein konvergentes Strahlenbündel  $S_k$  mit einem Schnittpunkt **S** und durch eine zweite Brechung an der Innenfläche **101** in ein auf die Mikrokanäle **11** gerichtetes, paralleles Strahlenbündel  $S_p$ . Sowohl der Scheitelpunkt **G** der Innenfläche **101** als auch der Mittelpunkt **M** des zentrierten Strahlenbündels  $S_m$  und der Schnittpunkt **S** des konvergenten Strahlenbündels  $S_k$  liegen auf der optischen Achse **O** des Kameramoduls **1**, wobei der Schnittpunkt **S** durch einen Radius  $r_1$  und der Scheitelpunkt **G** durch einen Radius  $r_2$  um den Mittelpunkt **M** definiert sind, während die Eckpunkte der polygonalen Linse **10** auf einem Radius  $r_3$  um den Mittelpunkt **M** liegen. Der Bildwinkel  $\alpha$  beträgt bei diesem Ausführungsbeispiel 37 Grad.

**[0012]** **Fig. 2** zeigt den geometrischen Aufbau und den Strahlengang an einem Kameramodul **1**, dessen Linse **10** vorzugsweise als Achromat ausgebildet ist und von einer bikonkaven Linse **104** mit einer konkaven Außenfläche **100** und einer konkaven Innenfläche **101** gebildet wird. Der Rand **102** der bikonkaven Linse **104** weist eine geschwungene Polygonform auf, sodass **12** Kameramodule **1**, wie in **Fig. 16** gezeigt, zu einem räumlichen Array **13** in Form eines Dodekaeders verbunden werden können. Zwischen der bikonkaven Linse **104** und dem Sensor **12** ist eine Vielzahl von Mikrokanälen **11** angeordnet, die ein Rayon mit einer Vielzahl von Einfallfeldern bilden, in denen jeweils ein Teilbündel des parallelen Strahlenbündels  $S_p$  zu einer Linsenmatrix **111** aus einer Vielzahl von Mikrosammellinsen **110** geleitet wird. Wie in **Fig. 8** gezeigt, fokussiert jeweils eine Mikrosammellinse **110** der Linsenmatrix **111** einen Anteil des parallelen Strahlenbündels  $S_p$  auf den Sensor **12**. Die bikonkave Linse **104** transformiert ein ausgewähltes, auf den bildseitig angeordneten Mittelpunkt **M** zentriertes Strahlenbündel  $S_m$  durch eine erste Brechung an der Außenfläche **100** in ein konvergentes Strahlenbündel  $S_k$

mit dem Schnittpunkt **S** und kollimiert in einer zweiten Brechung an der Innenfläche **101** das Strahlenbündel **Sk** in ein auf die Mikrokanäle **11** gerichtetes, paralleles Strahlenbündel **Sp**. Sowohl der Scheitelpunkt **G** der Innenfläche **101** als auch der Mittelpunkt **M** und der Schnittpunkt **S** liegen auf der optischen Achse **O** des Kameramoduls **1**, wobei der Schnittpunkt **S** durch einen Radius **r1** und der Scheitelpunkt **G** durch einen Radius **r2** um den Mittelpunkt **M** definiert sind, während die Eckpunkte der polygonalen Linse **10** auf einem Radius **r3** um den Mittelpunkt **M** liegen. Gegenüber dem in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsbeispiel ermöglicht die bikonkave Linse **104** einen erweiterten Bildwinkel  $\alpha$  von 54 Grad.

**[0013]** **Fig. 3** zeigt den geometrischen Aufbau und den Strahlengang an einem Kameramodul **1**, dessen Linse **10** von einer achromatischen konvex-konkaven Linse **105** mit einer konvexen Außenfläche **100** und einer konkaven Innenfläche **101** gebildet wird. Der Rand **102** der konvex-konkaven Linse **105** weist eine geschwungene Polygonform auf, sodass jeweils 6 Kameramodule, wie in **Fig. 13** und **Fig. 14** gezeigt, zu einem räumlichen Array **13** in Form einer hohlen Sphäre **132** verbunden werden können. Zwischen der konvex-konkaven Linse **105** und dem Sensor **12** ist ein aus einer Vielzahl von Mikrokanälen **11** gebildetes Rayon angeordnet. Das auf den bildseitigen Mittelpunkt **M** zentrierte Strahlenbündel **Sm** durchquert die sphärisch ausgebildete Außenfläche **100** der konvex-konkaven Linse **105** richtungsstabil, sodass das zentrierte Strahlenbündel **Sm** durch einmalige Brechung an der konkaven Innenfläche **101** der Zerstreulinse in ein auf die einzelnen Einfallfelder des Rayons verteiltes, paralleles Strahlenbündel **Sp** kollimiert wird. Der Radius **r2** um den Mittelpunkt **M** definiert den Abstand des Scheitelpunkts **G** der Innenfläche **101**, während der Radius **r3** die sphärische Außenfläche **100** des Kameramoduls **1** definiert. Die Aufsicht zeigt die gleich groß ausgebildeten Einfallfelder des Rayons, die von den bildseitigen Stirnseiten der Mikrokanäle **11** gebildet werden. An der bildseitigen Stirnseite der Mikrokanäle **11** ist, wie in **Fig. 8** gezeigt, eine Linsenmatrix **111** vorgesehen, die von einer der Vielzahl der Mikrokanäle **11** entsprechenden Anzahl von Mikrosammellinsen **110** gebildet wird. Die konvex-konkave Linse **105** ermöglicht einen diagonalen Bildwinkel  $\alpha$  von 72 Grad.

**[0014]** **Fig. 4** zeigt ein Kameramodul **1**, bei dem die Linse **10** wie in **Fig. 3** eine konvex-konkave Linse **105** aufweist. Im Unterschied zu **Fig. 4** sind die Mikrokanäle **11** hier nicht als planparallele Platte ausgebildet, sondern nehmen zum Scheitelpunkt **G** auf der bildseitigen Innenfläche **101** in ihrer Länge kontinuierlich zu, um der in der Aufsicht schematisch dargestellten unterschiedlichen Querschnittsfläche zu entsprechen. Das auf den Mittelpunkt **M** zentrierte Strahlenbündel **Sm** durchquert die objektseitige Außenfläche **100** der konvex-konkaven Linse **105** richtungsstabil und wird an der Innenfläche **101** zu einem parallelen Strahlenbündel **Sp** kollimiert, das auf die in der Aufsicht dargestellten Einfallfelder der Mikrokanäle **11** verteilt wird. Am bildseitigen Ende der Mikrokanäle **11** ist, wie in **Fig. 9** dargestellt, eine Linsenmatrix **111** vorgesehen, die die parallelen Strahlenbündel **Sp** jedes Mikrokanals **11** mittels einer Mikrosammellinse **110** auf eine Photozelle **121** des Sensors **12** fokussiert. Der Rand **102** der konvex-konkaven Linse **105** ist rund ausgebildet, sodass das Kameramodul **1** mit einem Bildwinkel  $\alpha$  gleich 72 Grad z.B. in das in **Fig. 25** gezeigte Endoskop **21** eingesetzt werden kann.

**[0015]** **Fig. 5** zeigt ein Kameramodul **1** bestehend aus einer Zerstreulinse in Form einer plankonkaven Linse **103**, einer Vielzahl von Mikrokanälen **11**, die, wie in der Aufsicht gezeigt, ein Rayon mit einer Vielzahl unterschiedlich großer Einfallfelder bilden. Die plankonkave Linse **103** hat eine konkav gekrümmte Außenfläche **100**, sodass das auf den bildseitig angeordneten Mittelpunkt **M** zentrierte Strahlenbündel **Sm** durch einmalige Brechung zu einem parallelen Strahlenbündel **Sp** kollimiert wird. Die objektseitige Stirnfläche der Mikrokanäle **11** bildet ein Rayon mit unterschiedlich großen kreisringsegmentförmigen Einfallfeldern. An dem bildseitigen Ende der Mikrokanäle **11** ist eine Linsenmatrix **111** mit einer Vielzahl jeweils unterschiedlich groß ausgebildeter Mikrosammellinsen **110** vorgesehen, die das parallele Strahlenbündel **Sp** jeweils auf eine Photozelle **121** des Sensors **12** fokussieren. Die plankonkave Linse **103** hat einen runden Rand **102** und einen Scheitelpunkt **G** am Schnittpunkt **S** der optischen Achse **O** mit der Innenfläche **101**, der durch einen Kreis mit Radius **r2** um den Mittelpunkt **M** definiert ist. Der Bildwinkel  $\alpha$  beträgt bei diesem Beispiel 35 Grad.

**[0016]** **Fig. 6** zeigt ein Kameramodul **1**, bei dem die Linse **10** von einer plankonvexen Sammellinse **106** gebildet wird. Der Mittelpunkt **M** des Kameramoduls **1** ist hier objektseitig angeordnet, wobei das abzubildende Objekt im Mittelpunkt **M** selbst oder innerhalb des von dem Öffnungswinkel  $\delta$  begrenzten Sektors liegt, der bei dem gezeigten Beispiel 29 Grad beträgt. Das Kameramodul **1** selbst ist größer als der Abbildungsgegenstand, der von einer Lichtquelle beleuchtet wird. Das auf den Mittelpunkt **M** zentrierte Strahlenbündel **Sm** wird an der objektseitigen Außenfläche **100** der plankonvexen Linse **106** gebrochen und als divergentes Strahlenbündel **Sd** an der bildseitigen Innenfläche **101** zu einem parallelen Strahlenbündel **Sp** kollimiert. Die Aufsicht zeigt eine Vielzahl von Mikrokanälen **11** mit gleichgroß ausgebildeten Einfallfeldern für das parallele Strahlenbündel **Sp**. An dem bildseitigen Ende der Mikrokanäle **11** ist eine Linsenmatrix **111** vorgesehen, die, wie in **Fig. 8** gezeigt, das parallele Strahlenbündel **Sp** auf die Photozellen **121** des Sensors **12** fokussiert.

**[0017]** Fig. 7 zeigt ein Kameramodul **1** mit einem objektseitig angeordneten Mittelpunkt **M**, das im Falle der dargestellten bikonvexen Linse **107** einen Öffnungswinkel  $\delta$  von 50 Grad aufweist. Durch Rotation eines Kameramoduls **1** um den Mittelpunkt **M** wird ein regelmäßiger Polyeder **131** gebildet, der als räumliches Array **13** eine allseitige Aufnahme eines sich im Mittelpunkt **M** angeordneten Objekts ermöglicht. Das von dem Objekt ausgehende Strahlenbündel  $S_m$  wird an der objektseitigen Außenfläche **100** der bikonvexen Linse **107** gebrochen und in ein divergentes Strahlenbündel  $S_d$ , das an der bildseitigen Innenfläche **101** zum zweiten Mal gebrochen und zu einem parallelen Strahlenbündel  $S_p$  kollimiert wird. Um die Photozellen **121** des Sensors **12** mit einer ausreichenden Lichtstärke zu belichten, ist an dem bildseitigen Ende der Mikrokanäle **11** eine Linsenmatrix **111** vorgesehen, die die an der bildseitigen Innenfläche **101** der Linse **10** kollimierten Lichtstrahlen des parallelen Strahlenbündels  $S_p$ , wie in Fig. 8 gezeigt, auf die Oberfläche des Sensors **12** fokussiert. Zudem wird das Objekt von einer nicht näher dargestellten externen Lichtquelle beleuchtet. Das Kameramodul **1** ist für Makroaufnahmen mit einer hohen Auflösung ausgelegt und kann durch Rotation um den Mittelpunkt **M** zu einem räumlichen Array **13** erweitert werden, das eine allseitige Bilderfassung des Objekts ermöglicht.

**[0018]** Fig. 8 zeigt den Querschnitt durch ein Kameramodul **1**, das dem in Fig. 1 gezeigten Ausführungsbeispiel entspricht. Die als Achromat ausgebildete Zerstreuungslinse korrigiert die chromatische Aberration. Beim Eintritt in die Außenfläche **100** der plankonkaven Linse **103** werden die Strahlen des auf den Mittelpunkt **M** zentrierten Strahlenbündels  $S_m$  gebrochen, wobei blaues, grünes und rotes Licht jeweils einen unterschiedlichen Weg durch das objektseitig angeordnete Flintglas und das bildseitige Kronglas der achromatischen Zerstreuungslinse nimmt. Von oben nach unten betrachtet, entspricht die dargestellte Brechung des oberen Lichtstrahls blauem Licht, während der mittlere Lichtstrahl grünes Licht und der der optischen Achse **O** zugewandte Lichtstrahl rotes Licht repräsentiert. Während die Spreizung zwischen Blau und Rot am Übergang von Flint- zu Kronglas am größten ist, vereinigen sich die Farben beim Austritt aus der Zerstreuungslinse wieder, sodass der an der Innenfläche **101** der plankonkaven Linse **103** austretende Strahl des parallelen Strahlenbündels  $S_p$  wieder alle Lichtfarben vereinigt. Die Mikrokanäle **11** bilden an ihrem objektseitigen Ende ein Rayon mit einer Vielzahl von Einfallfeldern für das parallele Strahlenbündel  $S_p$  und fokussieren den jeweils auf einen Mikrokanal **11** entfallenden Anteil des parallelen Strahlenbündels  $S_p$  mittels einer Linsenmatrix **111** auf die Oberfläche des Sensors **12**. Die Linsenmatrix **111** besteht aus einer Vielzahl gleichgroß ausgebildeter Mikrosammellinsen **110** mit einer Vielzahl von Brennpunkten **F** auf der Oberfläche des Sensors **12**. Wie in Fig. 10-13 dargestellt, ermöglicht der dem Sensor **12** vorgeschaltete Bayerfilter **120** Farbaufnahmen durch die Photozellen **121**.

**[0019]** Fig. 9 zeigt den Ausschnitt eines Kameramoduls **1**, das im Wesentlichen dem in Fig. 4 dargestellten Ausführungsbeispiel entspricht. Der Detailschnitt durch die konvex-konkave Linse **105** und durch die Mikrowabenstruktur **113** mit einer Vielzahl von Mikrokanälen **11**, die jeweils einen unterschiedlichen Durchmesser und eine unterschiedliche Höhe **h** aufweisen, zeigt an dem bildseitigen Ende der Mikrokanäle **11** eine Linsenmatrix **111**, die aus einer Vielzahl jeweils unterschiedlich ausgebildeter Mikrosammellinsen **110** aufgebaut ist. Die Brennpunkte **F** der Mikrosammellinsen **110** liegen auf der Oberfläche des Sensors **12**. Jedem Brennpunkt **F** ist eine Photozelle **121** mit vorgeschaltetem Bayerfilter **120** zugeordnet. Die konvex-konkave Linse **105** hat einen Bildwinkel  $\alpha$  von 72 Grad. Mit der dargestellten Mikrowabenstruktur **113** ist es möglich, jede einzelne Photozelle **121** des Sensors **12** mit gleicher Lichtstärke zu belichten.

**[0020]** Fig. 10 zeigt den Ausschnitt einer von einer Vielzahl von Mikrokanälen **11** gebildeten Filterblende und eines Sensors **12** als Explosionsisometrie. Die Mikrowabenstruktur **113** wird von einer Vielzahl quadratischer Mikrokanäle **11** gebildet, die unmittelbar auf der Oberfläche des Sensors **12** angeordnet sind, wobei jeweils vier Zellen eines Bayerfilters **120** einem Mikrokanal **11** zugeordnet sind. Die Höhe **h** der Mikrowabenstruktur **113** entspricht hier mindestens dem 10-fachen des Durchmessers eines Mikrokanals **11**. Die in den Fig. 12 und Fig. 13 dargestellten Mikrowabenstrukturen **113** können z.B. in einem 3D-Laserdruckverfahren hergestellt werden, bei dem ein sog. Femtosecond-Laser für die Aushärtung eines gedruckten, opaken Polymers genutzt wird.

**[0021]** Fig. 11 zeigt den Ausschnitt einer Mikrolochplatte **112** mit einer Vielzahl kreisrunder Mikrokanäle **11**. Während das objektseitige Ende der Mikrolochplatte **112** ein Rayon aus gleichgroßen Einfallfeldern zur gleichmäßigen Verteilung des parallelen Strahlenbündels  $S_p$  bildet, wird das bildseitige Ende der Mikrolochplatte **112** mit einer Linsenmatrix **111** aus einer Vielzahl von Mikrosammellinsen **110** verbunden, die jeweils den auf einen Mikrokanal **11** entfallenden Anteil des parallelen Strahlenbündels  $S_p$  auf eine Sensorinsel **122** des Sensors **12** fokussieren. Ein Bandraster **123** teilt den Sensor **12** in eine Vielzahl einzelner Sensorinseln **122**, die jeweils mit mindestens einer Photozelle **121** mit vorgelagertem Bayerfilter **120** gebildet werden.

**[0022]** Fig. 12 zeigt ein Ausführungsbeispiel, bei dem eine Mikrowabenstruktur **113** und der Sensor **12** eine strukturelle Einheit bilden. Ein Bandraster **123** unterteilt den Sensor **12** in eine Vielzahl von Sensorinseln **122**,

die jeweils durch das Bandraster **123** voneinander getrennt sind, wobei die Wanddicke der Mikrowabenstruktur **113** regelmäßig wechselt um Reflexionen an den Wänden der Mikrowabenstruktur **113** zu vermeiden. Eine Sensorinsel **122** repräsentiert jeweils ein Pixelfeld einer Abbildung und umfasst bei dem gezeigten Beispiel 6x6 Photozellen **121** mit einem vorgeschalteten Bayerfilter **120**. An dem bildseitigen Endabschnitt der Mikrokanäle **11** ist eine Linsenmatrix **111** aus einer Vielzahl von quadratischen Mikrosammellinsen **110** vorgesehen die das parallele Strahlenbündel Sp auf die einzelnen Sensorinseln **122** fokussiert. Die Seitenlänge der quadratischen Mikrokanäle **11** beträgt hier z.B. 60  $\mu\text{m}$ .

**[0023]** Fig. 13 zeigt den Ausschnitt einer Mikrowabenstruktur **113** aus einer Vielzahl von sechseckigen Mikrokanälen **11**, an deren bildseitigen Ende eine Linsenmatrix **111** aus einer Vielzahl von Mikrosammellinsen **110** das an der Stirnseite auf die Mikrokanäle **11** verteilte parallele Strahlenbündel Sp auf die Photozellen **121** des Sensors **12** fokussiert. Der Durchmesser eines Mikrokanals **11** ist hier mit 20-60  $\mu\text{m}$  angenommen, wobei die Höhe h der Mikrowabenstruktur **113** ein Mehrfaches des Durchmessers eines Mikrokanals **11** beträgt.

**[0024]** Fig. 14 zeigt ein flächenförmiges Array **13**, bei dem drei Kameramodule **1** in einer Reihe **130** angeordnet sind und jeweils einen unterschiedlichen Bildwinkel  $\alpha$  erfassen, in einem schematischen Querschnitt und in der Aufsicht. Das Array **13** kann mit dem Bildschirm **200** eines Geräts **2** verbunden werden. Das Kameramodul **1** mit einer plankonkaven Linse **103** entspricht dem in Fig. 1 erläuterten Ausführungsbeispiel, während das Kameramodul **1** mit einer bikonkaven Linse **104** dem in Fig. 2 erläuterten Ausführungsbeispiel und das Kameramodul **1** mit einer konvex-konkaven Linse **105** dem in Fig. 3 erläuterten Ausführungsbeispiel entspricht. Ein derartiges flächenförmiges Array **13** kann für die simultane Erfassung unterschiedlicher Bildausschnitte z.B. für Nahaufnahmen, Fernaufnahmen und Weitwinkelaufnahmen genutzt werden. Ein weiterer Vorzug eines flächenförmigen Arrays **13** besteht in der Verwendung von Sensoren **12** mit unterschiedlicher Lichtempfindlichkeit, sodass Aufnahmen untertags, während der Dämmerung und auch Infrarotaufnahmen in der Nacht ermöglicht werden.

**[0025]** Fig. 15 zeigt ein räumliches Array **13**, das aus fünf Kameramodulen **1** aufgebaut ist, die dem in Fig. 3 erläuterten Ausführungsbeispiel entsprechen. Die konvexen Außenflächen **100** der konvex-konkaven Linsen **105** sind jeweils sphärisch ausgebildet, sodass durch die Fügung an den Rändern **102** der Zerstreuungslinsen eine Sphäre **132** aus Glas gebildet wird. Im Inneren der Sphäre **132** befindet sich ein würfelförmiger Polyeder **131**, der sich aus der Filterblende, dem Sensor **12** und einem nicht näher bezeichneten Träger aufbaut. Die sechste Modulfläche des Polyeders **131** und der Sphäre **132** ist für die Durchführung eines Leitungskanals **137** vorgesehen, der die Kameramodule **1** mit einem externen Rechner verbindet.

**[0026]** Fig. 16 zeigt einen Horizontalschnitt durch das räumliche Array **13** nach Fig. 15. Vier konvexkonkave Linsen **105** aus einem polymeren Kunststoff werden jeweils an ihren Rändern **102**, wie in Fig. 13 gezeigt, zu einer hohlen Sphäre **132** aus Glas verklebt, wobei im Inneren der Sphäre **132** die Mikrokanäle **11** und der Sensor **12** untereinander zu einem Würfel verbunden sind. Der diagonale Bildwinkel  $\alpha$  eines Kameramoduls **1** beträgt 72 Grad.

**[0027]** Fig. 17 zeigt den Horizontalschnitt durch ein räumliches Array **13** aus sechs Kameramodulen **1**, die jeweils aus einer Zerstreuungslinse, den Mikrokanälen **11** und dem Sensor **12** aufgebaut sind. Ein Kameramodul **1** entspricht im Wesentlichen dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel und deckt einen diagonalen Bildwinkel  $\alpha$  von 54 Grad ab. An ihren Rändern **102** sind sechs plankonkave Linsen **103** mit ebenen Außenflächen **100** und konkaven Innenflächen **101** zu einem regelmäßigen Polyeder **131** verbunden, der als Würfel zur Gruppe der platonischen Körper **135** gehört.

**[0028]** Fig. 18 zeigt eine omnidirektionale Rundblickkamera in Form eines regelmäßigen Polyeders **131**, der als platonischer Körper **135** einen Dodekaeder aufweist und ein räumliches Array **13** aus 11 Kameramodulen **1** bildet. Die Außenflächen **100** der konvex-konkaven Linsen **105** sind jeweils an ihren Rändern **102** untereinander zu einem Dodekaeder mit gewölbten Außenflächen **100** zusammengeschlossen. Im Inneren des Dodekaeders befindet sich ein weiterer, aus den Mikrokanälen **11** und den Sensoren **12** aufgebauter Dodekaeder. Das zwölfte Modul des Dodekaeders ist für die Durchführung eines Leitungskanals **137** vorgesehen, der die Kameramodule **1** mit einem externen Rechner verbindet. Alternativ kann im Inneren des Polyeders **131** ein Sender angeordnet werden, sodass ein durch den Raum bewegter Polyeder **131** eine omnidirektionale Bildaufzeichnung ermöglicht.

**[0029]** Fig. 19 zeigt ein räumliches Array **13**, das einen regelmäßigen Polyeder **131** mit 18 quadratischen Flächen und 8 gleichseitigen Dreiecken aufweist, der als Rhombenkuboktaeder zu der Gruppe der archimedischen Körper **136** gehört. Das räumliche Array **13** weist einen äußeren Rhombenkuboktaeder auf, der wie in



**Fig. 22** zeigt, von den Zerstreuungslinsen der Kameramodule **1** gebildet wird, die dem in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsbeispiel entsprechen. An dem Rhombenkuboktaeder ist das 18-te Feld für die Durchführung eines Leitungskanals **137** vorgesehen.

**[0030]** **Fig. 20** zeigt einen Schichtkörper **133** des in **Fig. 19** dargestellten archimedischen Körpers **136**, der aus acht Kameramodulen **1**, die dem in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsbeispiel entsprechen und eine 360°-Panoramakamera bilden. Der Leitungskanal **137** leitet die von dem räumlichen Array **13** aufgezeichneten Bild-daten zu einer externen Rechereinheit.

**[0031]** **Fig. 21** zeigt den Schichtkörper **133** nach **Fig. 20** in einem vertikalen Querschnitt mit Darstellung des auf den Mittelpunkt **M** zentrierten Strahlenbündels  $S_m$ , das an der plankonkaven Linse **103** zweimal gebrochen wird, um in ein paralleles Strahlenbündel  $S_p$  transformiert zu werden. Die Brennpunkte **F** der Außenfläche **100** liegen jeweils auf den optischen Achsen **O** der Kameramodule **1**, die sich in dem Mittelpunkt **M** schneiden.

**[0032]** **Fig. 22** zeigt einen Horizontalschnitt durch acht Kameramodule **1**, die untereinander als räumliches Array **13** zu einem achteckigen Ring verbunden sind, der den in **Fig. 19-21** dargestellten Ausführungsbeispielen zugeordnet ist, wobei ein einzelnes Kameramodul **1** dem in **Fig. 1** erläuterten Ausführungsbeispiel entspricht. Die optischen Achsen **O** der acht Kameramodule **1** schneiden sich in einem gemeinsamen Mittelpunkt **M**, wobei die Schnittpunkte **S** der an den Außenflächen **100** der Zerstreuungslinsen gebrochenen, konvergenten Strahlenbündel  $S_k$  auf der optischen Achsen **O** jeweils hinter dem Mittelpunkt **M** angeordnet sind. Das räumliche Array **13** ermöglicht, wie in **Fig. 19** gezeigt, eine fast lückenlose räumliche Bilderfassung und kann, wie in **Fig. 20** und **Fig. 21** gezeigt, auch als Schichtkörper **133** des Rhombenkuboktaeders ausgebildet werden, um eine 360°-Panoramaaufnahme zu ermöglichen.

**[0033]** **Fig. 23** zeigt einen Segmentkörper **134** des in **Fig. 19** dargestellten Rhombenkuboktaeders aus der Gruppe der archimedischen Körper **136**, der aus drei Kameramodulen **1**, die dem in **Fig. 1** erläuterten Ausführungsbeispiel entsprechen und einen diagonalen Bildwinkel  $\alpha$  von 135 Grad abdecken.

**[0034]** **Fig. 24** zeigt ein Gerät **2** als Smartphone, bei dem ein Kameramodul **1** mit der Glasscheibe **20** des Displays verbunden ist, in einer perspektivischen Übersichtsdarstellung und einem schematischen Querschnitt des Kameramoduls **1**, das im Wesentlichen dem in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsbeispiel entspricht. Die plankonkave Linse **103** kann unmittelbar und vollflächig mit der Glasscheibe **20** des Displays verbunden werden. Die vergleichsweise geringe Bauhöhe des Kameramoduls **1** erlaubt den Einbau eines großflächigen Sensors **12** in das Smartphone.

**[0035]** **Fig. 25** zeigt ein Gerät **2** als Endoskop **21**, an dessen Stirnseite ein Kameramodul **1**, das einen Bildwinkel  $\alpha$  von 72 Grad abdeckt, eingebaut ist und das dem in **Fig. 4** erläuterten Ausführungsbeispiel entspricht, in einer Stirnansicht und in einem schematischen Querschnitt. Das Endoskop **21** besteht aus einem flexiblen Kunststoffschlauch und ist mit einem Kanal für ein Videokabel **210**, mit zwei Lichtkanälen **211** und einem Werkzeugkanal **212** ausgestattet. Alternativ kann an der Stirnseite des Endoskops **21** auch eine Sphäre **132**, wie in **Fig. 15** gezeigt, als räumliches Array **13** eingebaut werden, sodass eine Rundumaufnahme des inspizierten Hohlraums ermöglicht wird.

**[0036]** **Fig. 26** zeigt ein Fahrzeug als Gerät **2** mit einem Innenspiegel **201**, zwei Außenspiegeln **202**, zwei Frontscheinwerfern jeweils mit einem Scheinwerferglas **203**, sowie einer Frontscheibe **204** und einer Heckscheibe **205**. An diesen ausgewählten Stellen kann jeweils mindestens ein Kameramodul **1** oder ein räumliches Array **13** aus einer Mehrzahl von Kameramodulen **1** eingebaut werden, um eine möglichst allseitige Bilderfassung der näheren und weiteren Umgebung des Fahrzeugs zu ermöglichen. Für einen zukünftigen autonomen Betrieb eines Fahrzeugs kommt es darauf an, Bewegungen in der Fahrzeugumgebung durch redundante Systeme in Echtzeit zu erfassen, um ein Höchstmaß an Betriebssicherheit zu gewährleisten. Die hier beschriebene Systemarchitektur für Kameramodule **1** löst diese Aufgabe.

**[0037]** **Fig. 27** zeigt ein Gerät **2** als Brille **22**. In das Brillengestell ist ein Kameramodul **1** mit einer runden plankonkaven Linse **103** integriert, das dem in **Fig. 1** dargestellten Ausführungsbeispiel entspricht, um die Umgebung aufzuzeichnen und über ein Verbindungskabel **220** an ein von dem Brillenträger mitgeführtes Smartphone weiterzuleiten. Das Kameramodul **1** und das Smartphone ermöglichen eine Erkennung der jeweiligen Umgebung, sodass z.B. Informationen zu touristischen Sehenswürdigkeiten auf dem Display des Smartphones zu lesen sind.

**[0038]** Fig. 28 zeigt ein Gerät 2 als Taschenkamera, bei dem ein Kameramodul 1 mit einer konvex-konkaven Linse 105, das dem in Fig. 4 und Fig. 9 vorgestellten Ausführungsbeispiel entspricht, in ein Gehäuse mit einem die konvex-konkave Linse 105 schützenden Sprungdeckel und einem, wie in der unteren Perspektive gezeigt, rückseitigen Display mit einer Glasscheibe 20 integriert ist. Mit dem Öffnen des Sprungdeckels durch einen Druckknopf an dem Gehäuse beginnt die Taschenkamera mit der Aufzeichnung von Bildern, die mit dem Schließen des Sprungdeckels beendet wird. Auf dem rückseitigen Display erscheinen die aufgezeichneten Bilder und die Uhrzeit.

#### Bezugszeichenliste

Kameramodul	1	Gerät	2
Linse	10	Zentriertes Strahlenbündel	Sm
Objektseitige Außenfläche	100	Konvergentes Strahlenbündel	Sk
Bildseitige Innenfläche	101	Divergentes Strahlenbündel	Sd
Rand	102	Paralleles Strahlenbündel	Sp
Plankonkave Linse	103	Optische Achse	O
Bikonkave Linse	104	Mittelpunkt	M
Konvex-konkave Linse	105	Radius	r1
Plankonvexe Linse	106	Radius	r2
Bikonvexe Linse	107	Radius	r3
Mikrokanal	11	Brennpunkt	F
Mikrosammellinse	110	Schnittpunkt	S
Linsenmatrix	111	Scheitelpunkt	G
Mikrolochplatte	112	Bildwinkel	$\alpha$
Mikrowabenstruktur	113	Öffnungswinkel	$\delta$
Sensor	12	Höhe	h
Bayerfilter	120	Glasscheibe	20
Photozelle	121	Bildschirm	200
Sensorinsel	122	Innenspiegel	201
Bandraster	123	Außenspiegel	202
Array	13	Scheinwerferglas	203
Reihe	130	Frontscheibe	204
Polyeder	131	Heckscheibe	205
Sphäre	132	Endoskop	21
Schichtkörper	133	Video kabel	210
Segmentkörper	134	Lichtkanal	211
Platonischer Körper	135	Werkzeugkanal	212
Archimedischer Körper	136	Brille	22
Leitungskanal	137	Verbindungs kabel	220

#### Patentansprüche

1. Kameramoduleinheit welche statische oder bewegte Bilder in Schwarzweiß oder Farbe aufzeichnet und als ein einzelnes Kameramodul (1) oder als ein aus einer Mehrzahl von Kameramodulen (1) aufgebautes flächenförmiges oder räumliches Array (13) mit einem Gerät (2) verbunden ist, wobei das einzelne Kameramodul (1) oder jedes Kameramodul (1) der Mehrzahl von Kameramodulen (1) als eine in sich starre Einheit ausgebildet ist, jeweils eine optische Achse (O) aufweist und jeweils aus einer Linse (10), umfassend eine objektseitige Außenfläche (100) und eine einen Scheitelpunkt (G) aufweisende bild-

seitige Innenfläche (101) oder eine objektseitige konkave Außenfläche (100) und eine bildseitige planebene Innenfläche (101), sowie umfassend einen polygonal oder rund ausgebildeten Rand (102), aus einer Vielzahl parallel zu der optischen Achse (O) ausgerichteter Mikrokanäle (11) sowie aus einem mit einer Vielzahl von Photozellen (121) bestückten Sensor (12) besteht, wobei bei dem einzelnen Kameramodul (1) oder bei jedem Kameramodul (1) der Mehrzahl von Kameramodulen (1) die Linse (10) dazu ausgebildet ist, ein objekt- oder bildseitig auf einen auf der optischen Achse (O) des Kameramoduls (1) gelegenen fiktiven Mittelpunkt (M) zentriertes Strahlenbündel (Sm) in ein zu der optischen Achse (O) paralleles Strahlenbündel (Sp) zu kollimieren, wobei bei dem einzelnen Kameramodul (1) oder bei jedem Kameramodul (1) der Mehrzahl von Kameramodulen (1) die Stirnseiten der Mikrokanäle (11) objektseitig ein Rayon mit einer Vielzahl von Einfallfeldern bilden, die der Verteilung und Separierung des parallelen Strahlenbündels (Sp) dienen und die longitudinale Ausdehnung der Mikrokanäle (11) als Filterblende wirkt und Streulicht absorbiert, sodass die Photozellen (121) des Sensors (12), bevorzugt ausschließlich, durch Licht aus dem parallelen Strahlenbündel (Sp) belichtet werden und zwischen einem auf einen abzubildenden Objektpunkt bezogenen Strahlenkegel und dem einem bestimmten Mikrokanal (11) zugehörigen, im Strahlenverlauf hinter dem bestimmten Mikrokanal (11) angeordneten und aus mindestens einer Photozelle (121) bestehenden Photozellenfeld des Sensors (12) eine eindeutige Zuordnung hergestellt wird.

2. Kameramoduleinheit nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Mikrokanäle (11) entweder einen einheitlichen Durchmesser von mindestens 30  $\mu\text{m}$  haben oder unterschiedliche Durchmesser aufweisen, wobei die Mikrokanäle (11) aus einem opaken, Licht absorbierenden Material bestehen und entweder von einer Mikrowabenstruktur (113) oder von einer Mikrolochplatte (112) gebildet werden, deren Höhe (h) einem Mehrfachen des Durchmessers eines Mikrokanals (11) entspricht.

3. Kameramoduleinheit nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Sensor (12) durch ein Bandraster (123) in eine Vielzahl einzelner Sensorinseln (122) mit jeweils mindestens einer Photozelle (121) unterteilt ist und jeder Mikrokanal (11) an seinem sensorseitigen Ende eine Mikrosammellinse (110) aufweist, die die auf den Mikrokanal (11) entfallende Teilmenge des parallelen Strahlenbündels (Sp) in einem Brennpunkt (F) auf eine Photozelle (121) des Sensors (122) fokussiert, wobei die Mikrosammellinsen (110) untereinander eine zusammenhängende Linsenmatrix (111) bilden, die mit der sensorseitigen Stirnseite einer Mikrowabenstruktur (113) oder einer Mikrolochplatte (112) verbunden ist.

4. Kameramoduleinheit nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Mikrokanäle (11) unterschiedliche Durchmesser und Längen aufweisen, sodass an der Oberfläche des Sensors (12) in den Brennpunkten (F) der Linsenmatrix (111) eine einheitliche Lichtstärke herstellbar ist, und eine Abbildung mittels eines Rechners entweder äquidistant, oder winkeltreu, oder flächentreu, oder orthografisch, oder gnomonisch aufbereitet werden kann.

5. Kameramoduleinheit nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Mittelpunkt (M) des zentrierten Strahlenbündels (Sm) bildseitig angeordnet ist, wobei die Linse (10) als eine achromatische Zerstreuungslinse (103, 104, 105) ausgebildet ist, die entweder eine plankonkave Linse (103) mit einer planebenen oder konkaven, objektseitigen Außenfläche (100) oder eine bikonkave Linse (104) oder eine konvex-konkave Linse (105) mit einer sphärischen objektseitigen Außenfläche (100) aufweist und das zentrierte Strahlenbündel (Sm) im Falle einer plankonkaven Linse (103) mit einer planebenen objektseitigen Außenfläche (100) und einer bikonkaven Linse (104) jeweils durch eine erste Brechung an der objektseitigen Außenfläche (100) der Zerstreuungslinse (103, 104) zu einem konvergenten Strahlenbündel (Sk) mit einem Schnittpunkt (S) transformiert wird und erst durch eine zweite Brechung an der bildseitigen Innenfläche (101) der Zerstreuungslinse (103, 104) zu einem parallelen Strahlenbündel (Sp) kollimiert wird, oder dass im Falle einer plankonkaven Linse (103) mit einer konkaven objektseitigen Außenfläche (100) und im Falle einer konvex-konkaven Linse (105) mit einer sphärischen objektseitigen Außenfläche (100) das zentrierte Strahlenbündel (Sm) jeweils nur einmal gebrochen wird, um es zu kollimieren.

6. Kameramoduleinheit nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Mittelpunkt (M) des zentrierten Strahlenbündels (Sm) objektseitig angeordnet ist und das zentrierte Strahlenbündel (Sm) einen Öffnungswinkel ( $\delta$ ) aufweist, wobei die Kameramoduleinheit für Makroaufnahmen ausgelegt ist und die Linse (10) als eine achromatische Sammellinse (106, 107) ausgebildet ist und entweder eine plankonvexe Linse (106) oder eine bikonvexe Linse (107) aufweist, sodass das zentrierte Strahlenbündel (Sm) jeweils durch eine erste Brechung an der objektseitigen Außenfläche (100) der Sammellinse (106, 107) zu einem divergenten Strahlenbündel (Sd) transformiert wird und durch eine zweite Brechung an der bildseitigen Innenfläche (101) der Sammellinse (106, 107) zu einem parallelen Strahlenbündel (Sp) kollimiert wird.

7. Kameramoduleinheit nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein flächenförmiges Array (13) durch die Anordnung einer Mehrzahl von Kameramodulen (1) in mindestens einer Reihe (130) gebildet wird und die Mehrzahl von jeweils eine Zerstreuungslinse umfassenden Kameramodulen (1) jeweils einen unterschiedlichen Bildwinkel ( $\alpha$ ) abdecken oder die Mehrzahl von jeweils eine Sammellinse (106, 107) umfassenden Kameramodulen (1) jeweils einen unterschiedlichen Öffnungswinkel  $\delta$  abdecken oder jeweils nur eine bestimmte Lichtfarbe aufnehmen.

8. Kameramoduleinheit nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein räumliches Array (13) von Kameramodulen (1) durch Rotation eines Kameramoduls (1) um den Mittelpunkt (M) des zentrierten Strahlenbündels ( $S_m$ ) gebildet wird und alle Linsen (10) untereinander jeweils an ihren polygonalen Rändern (102) entweder zu einem hohlen und regelmäßigen Polyeder (131) oder zu einer hohlen Kugel (132) oder zu einem Schicht- oder Segmentkörper (133, 134) des Polyeders (131) oder der Kugel (132) verbunden werden, wobei die Scheitelpunkte (G) der bildseitigen Innenflächen (101) aller Linsen (10) auf einem Kreis mit einem Radius ( $r_2$ ) um den Mittelpunkt (M) und die Eckpunkte des Polyeders (131) oder die Oberfläche der Kugel (132) auf einem Kreis mit einem Radius ( $r_3$ ) um den Mittelpunkt (M) liegen.

9. Kameramoduleinheit nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass sich an einem räumlichen Array (13) die optischen Achsen (O) einer Mehrzahl von Kameramodulen (1) in dem gemeinsamen Mittelpunkt (M) der zentrierten Strahlenbündel ( $S_m$ ) schneiden, sodass eine lückenlose Bilderfassung in allen Raumrichtungen ermöglicht wird, wobei eine Mehrzahl von Linsen (10) untereinander zu einem regelmäßigen, hohlen Polyeder (131) oder zu einer hohlen Kugel (132) verbunden sind.

10. Kameramoduleinheit nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gerät (2) eine transparente Glasscheibe (20) aufweist, die z.B. den Bildschirm (200) eines Mobiltelefons oder eines Computers bildet oder als transparenter Teil des Innenspiegels (201) oder des Außenspiegels (202) eines Fahrzeugs ausgebildet ist, wobei die ebene objektseitige Außenfläche (100) der plankonkaven Linse (103) eines einzelnen Kameramoduls (1) vollflächig mit der Glasscheibe (20) verbunden ist, oder dass ein räumliches Array (13) aus Kameramodulen (1) als Polyeder oder als Kugel (131, 132) innerhalb eines Scheinwerfergehäuses (203) oder in dem Innenraum eines Fahrzeugs unmittelbar hinter den Front- und Heckscheiben (204, 205) oder auf der Außenseite der Karosserie des Fahrzeugs angeordnet ist.

11. Kameramoduleinheit nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gerät (2) ein Endoskop (21) aufweist und die Linse (10) des einzelnen Kameramoduls (1) einen diagonalen Bildwinkel ( $\alpha$ ) von bis zu 72 Grad abdeckt, oder dass ein kugelförmiges, räumliches Array (13) aus, z.B. fünf, Kameramodulen (1) im Umkreis von 360 Grad einen Bildwinkel ( $\alpha$ ) von 216 Grad abdeckt und das Endoskop (21) mit einem Kanal für ein Videokabel (210), mindestens einem Lichtkanal (211) und einem Werkzeugkanal (212) ausgebildet ist.

12. Kameramoduleinheit nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das einzelne Kameramodul (1) in eine Brille (22) integriert ist, wobei das Brillengestell einen Kanal für die Aufnahme eines Verbindungskabels (220) zu einem Smartphone aufweist, oder dass das einzelne Kameramodul (1) zu einer Taschenkamera mit Sprungdeckel weitergebildet ist.

Es folgen 23 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

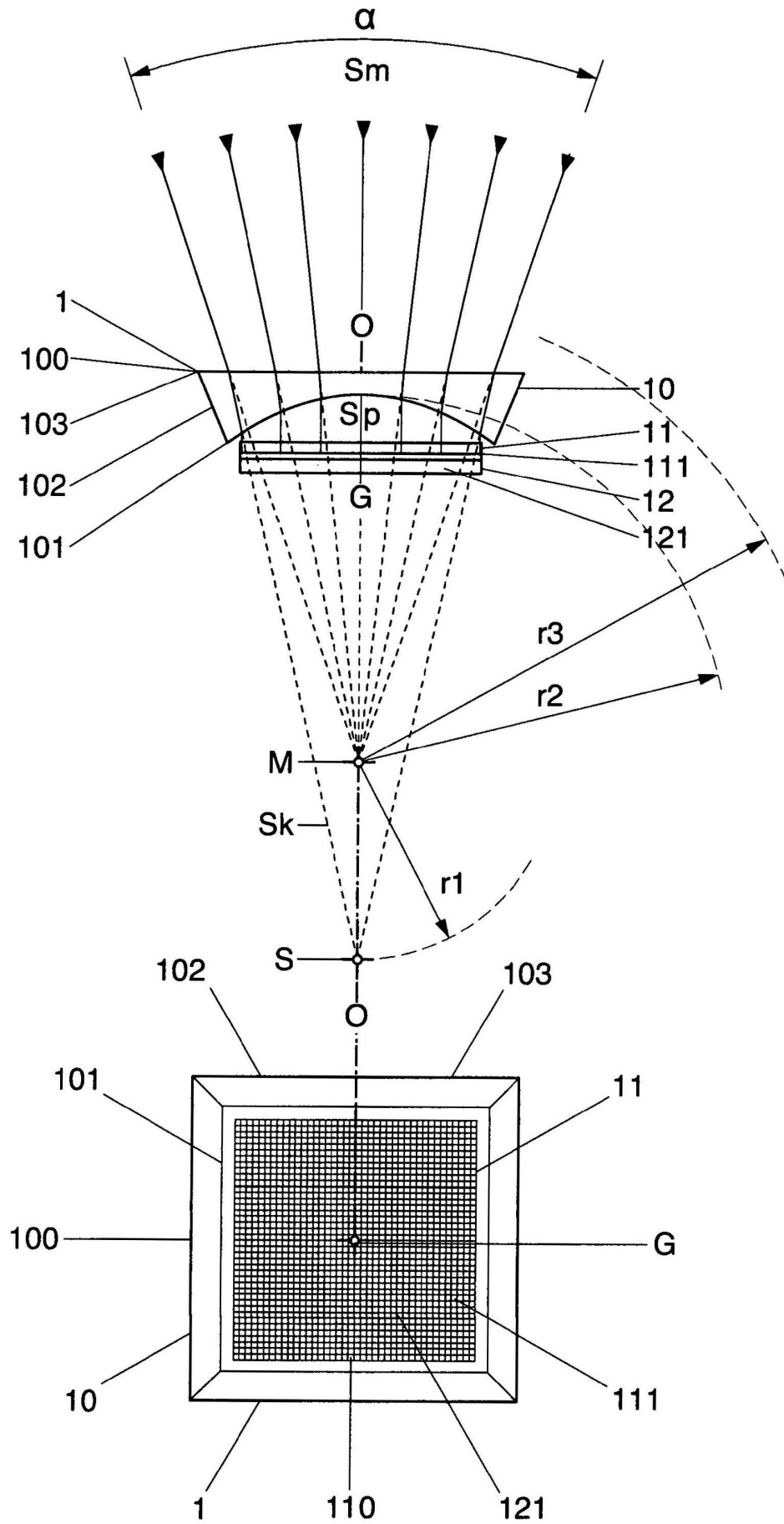


Fig.1

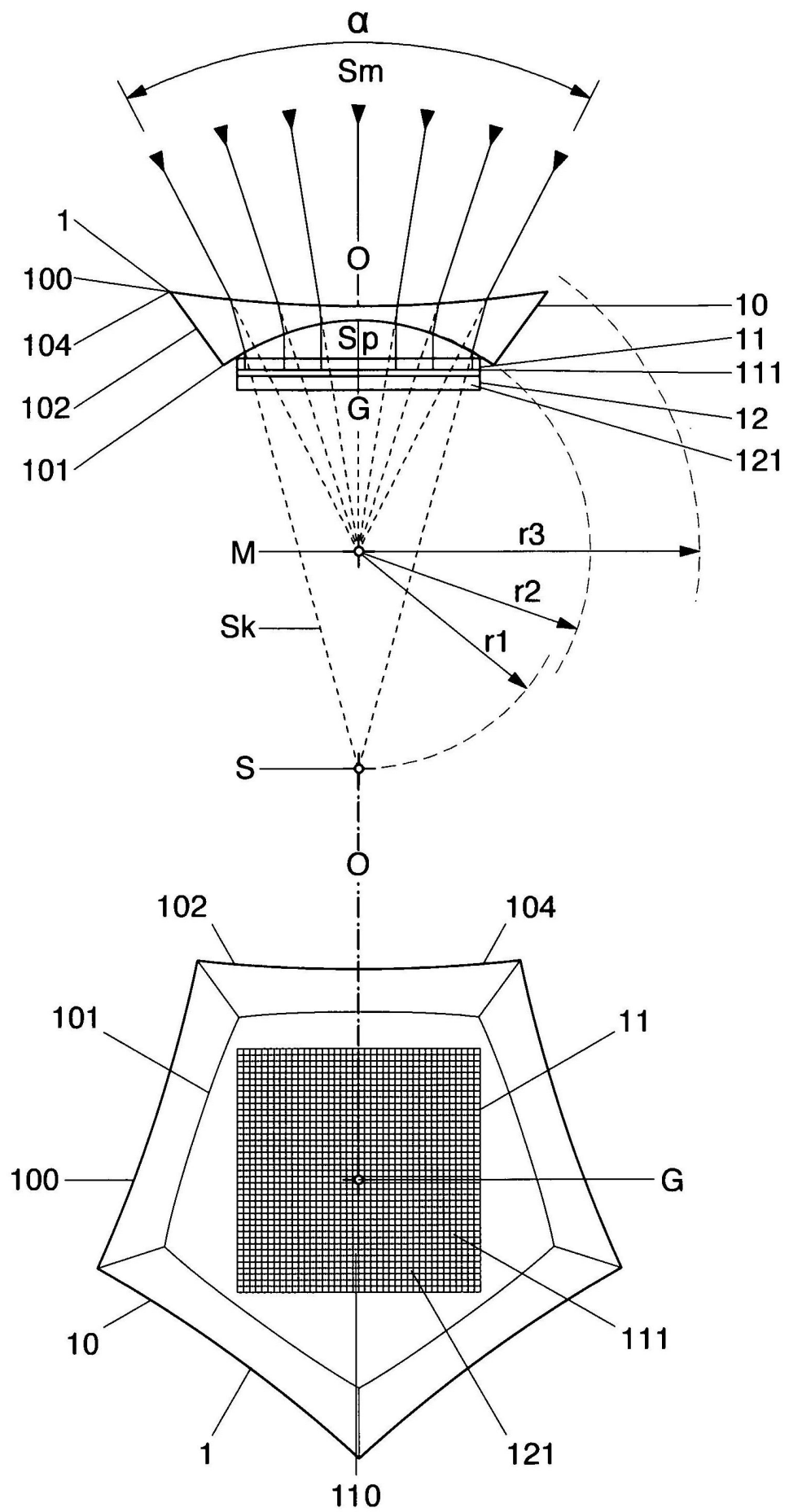


Fig.2

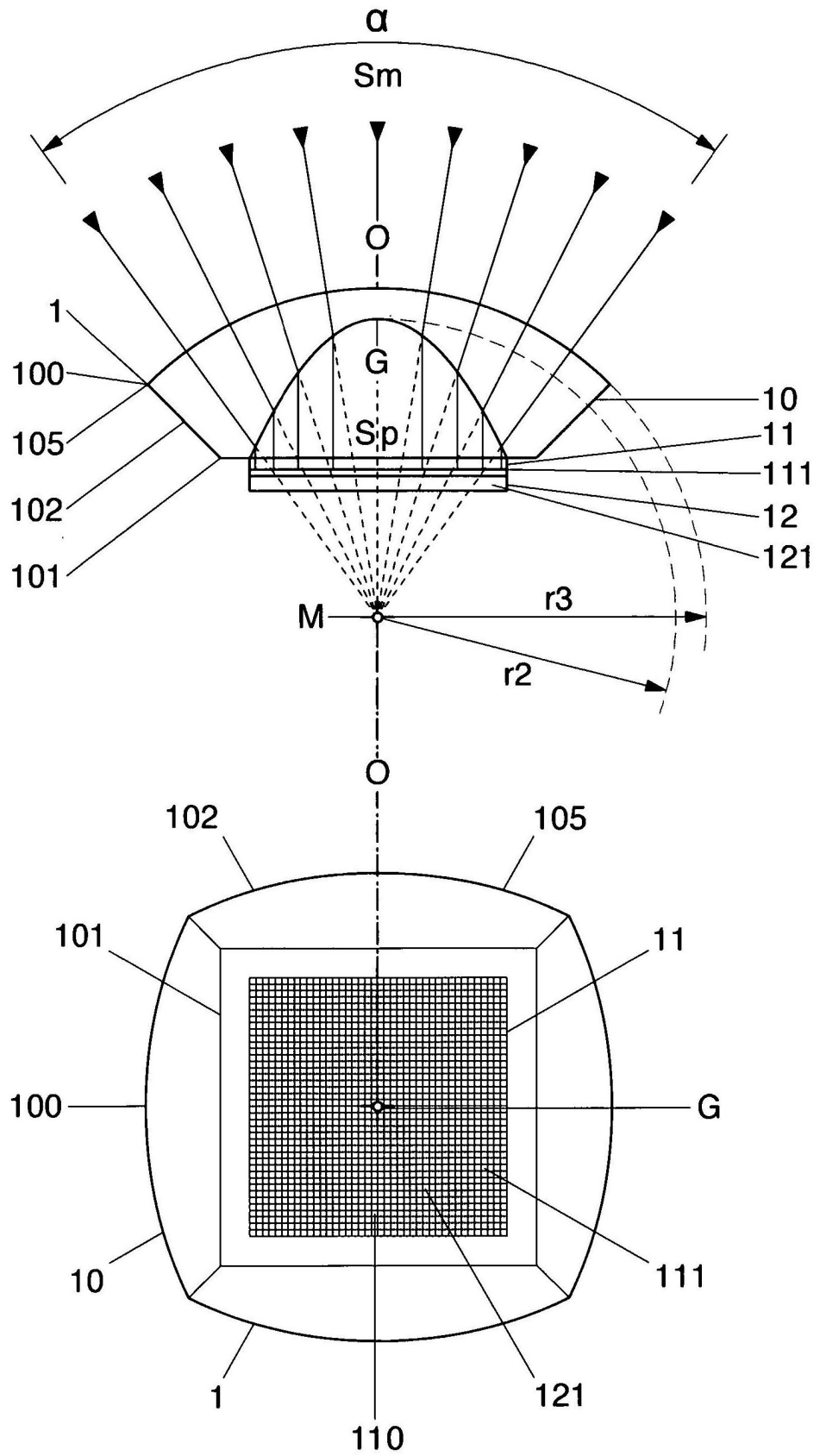


Fig.3

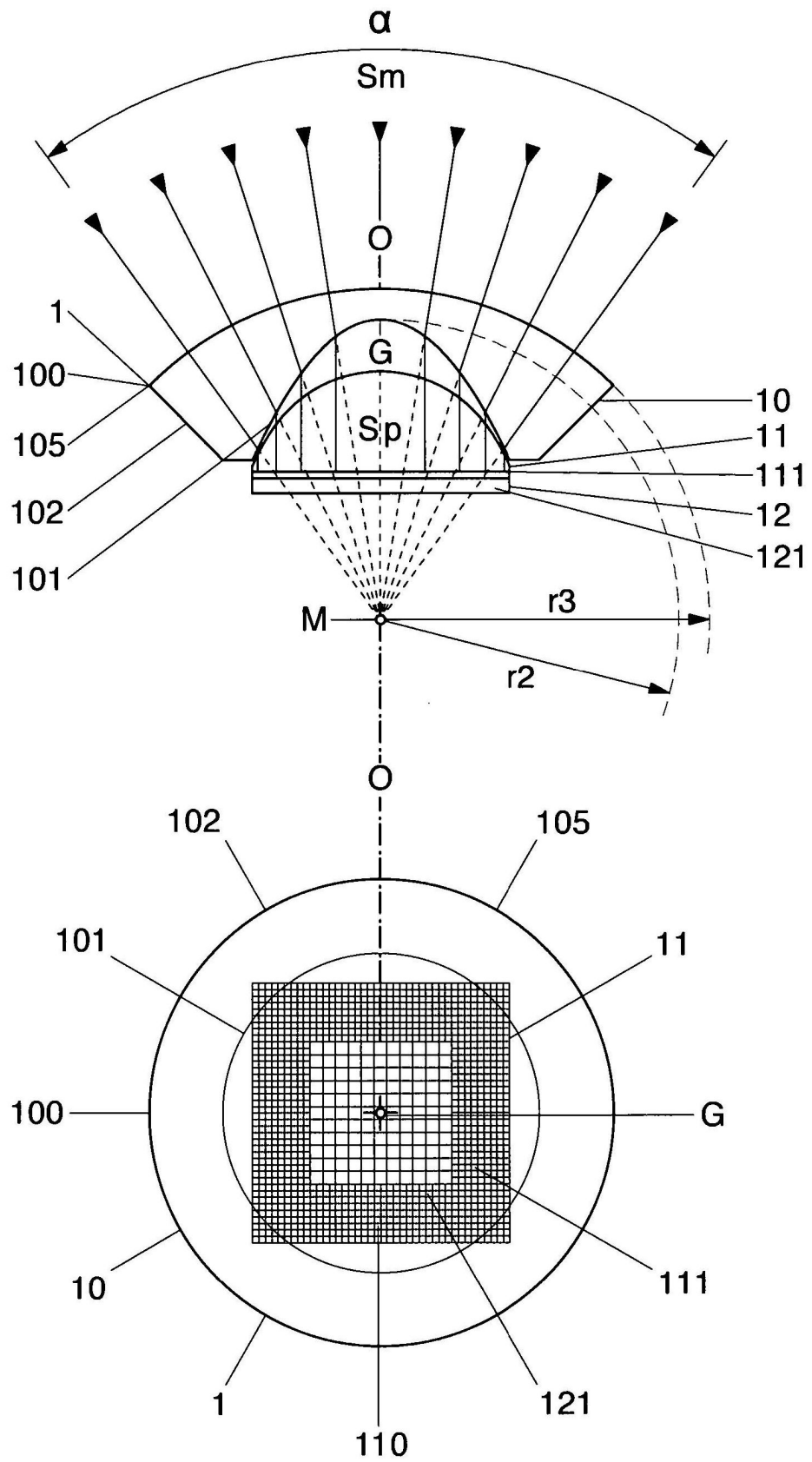


Fig.4



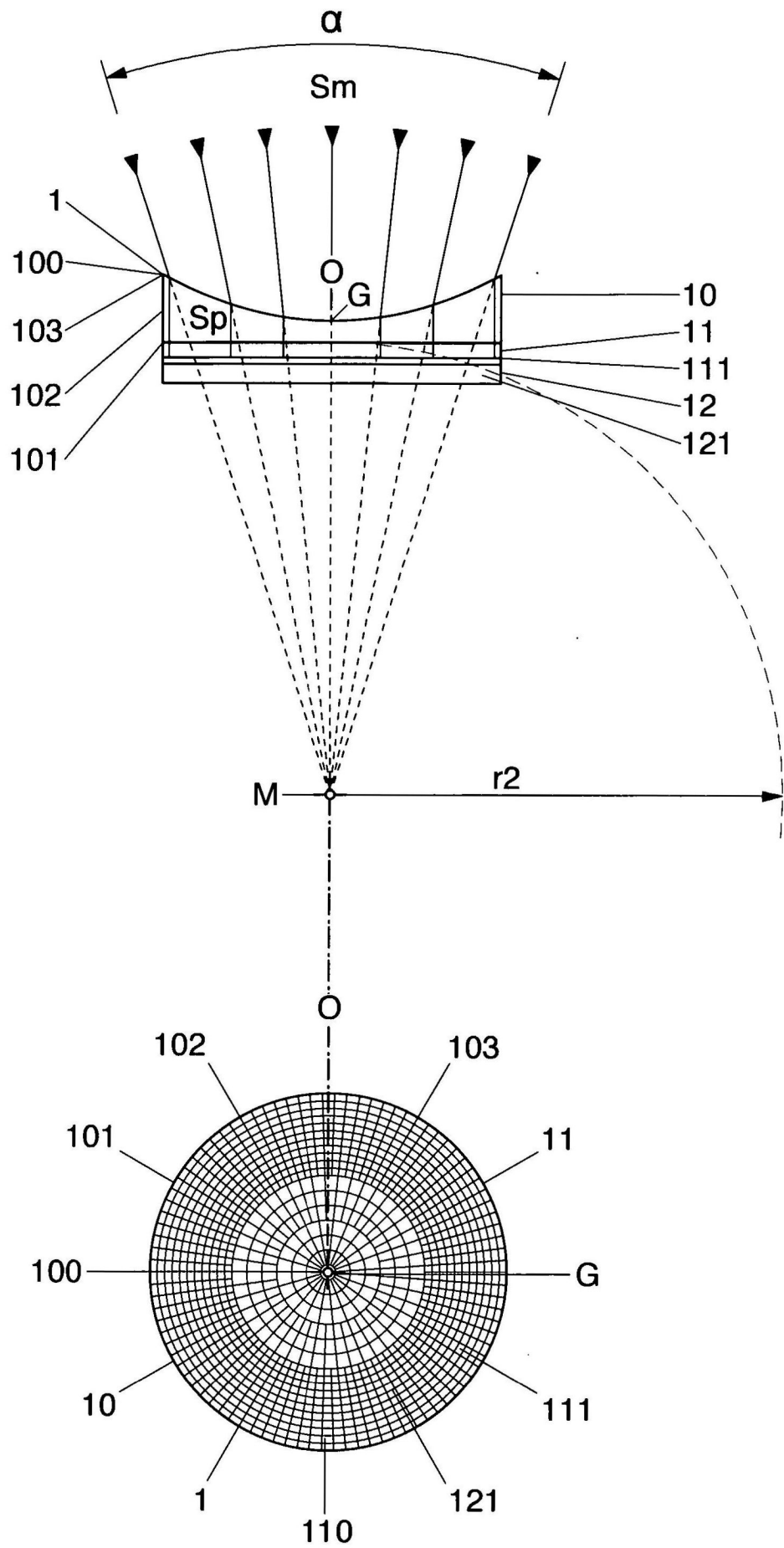


Fig.5

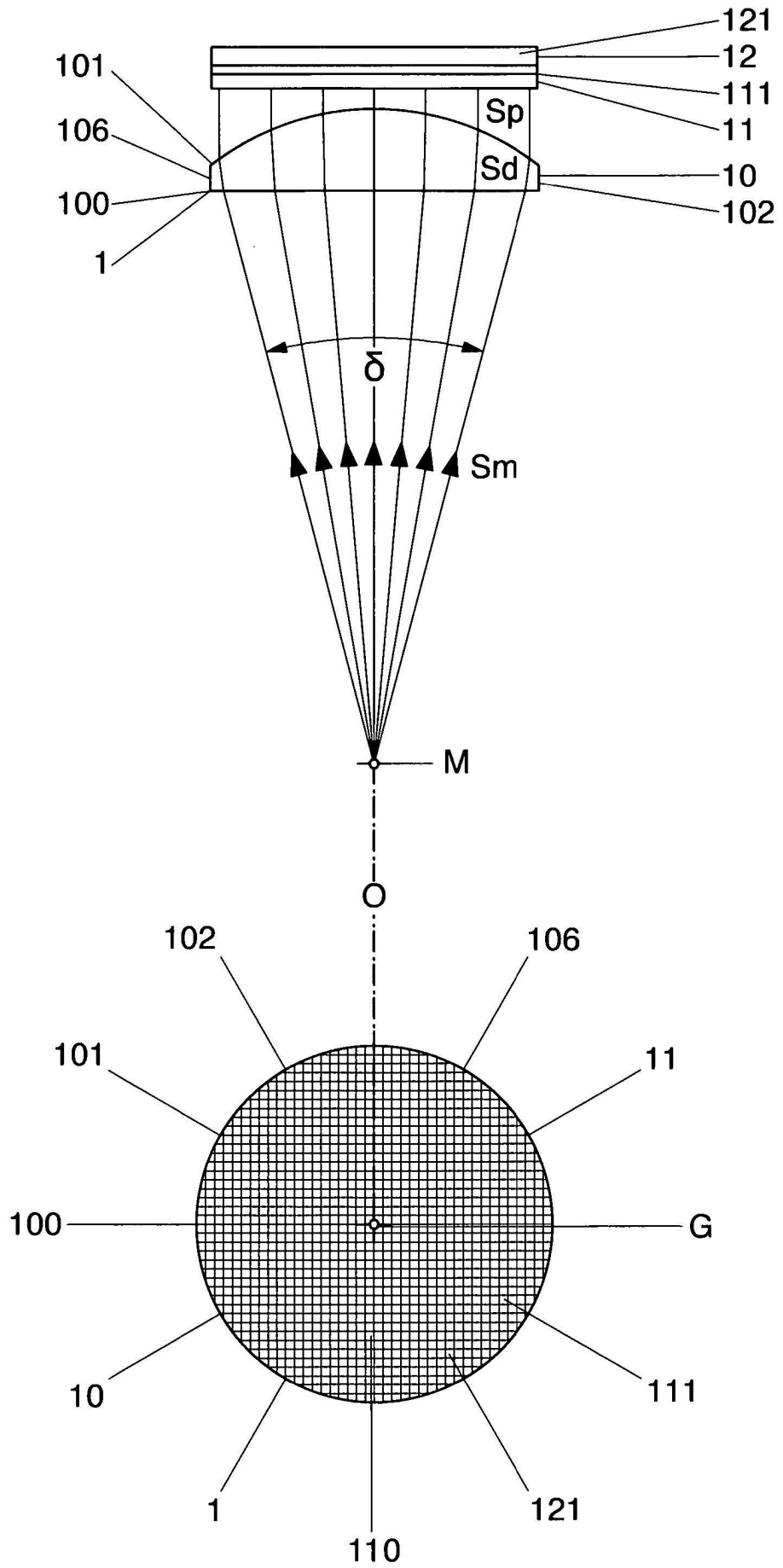


Fig.6

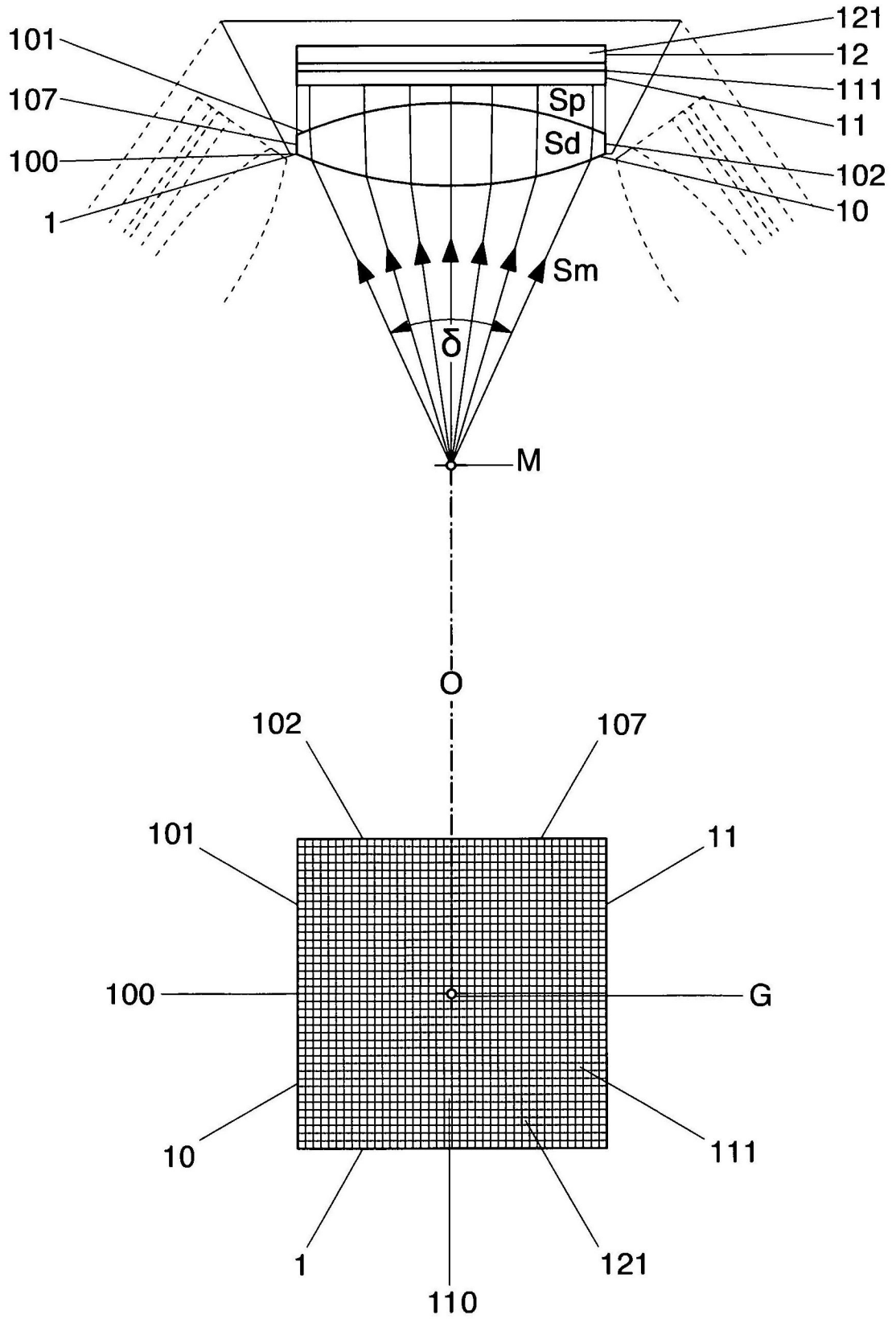


Fig.7

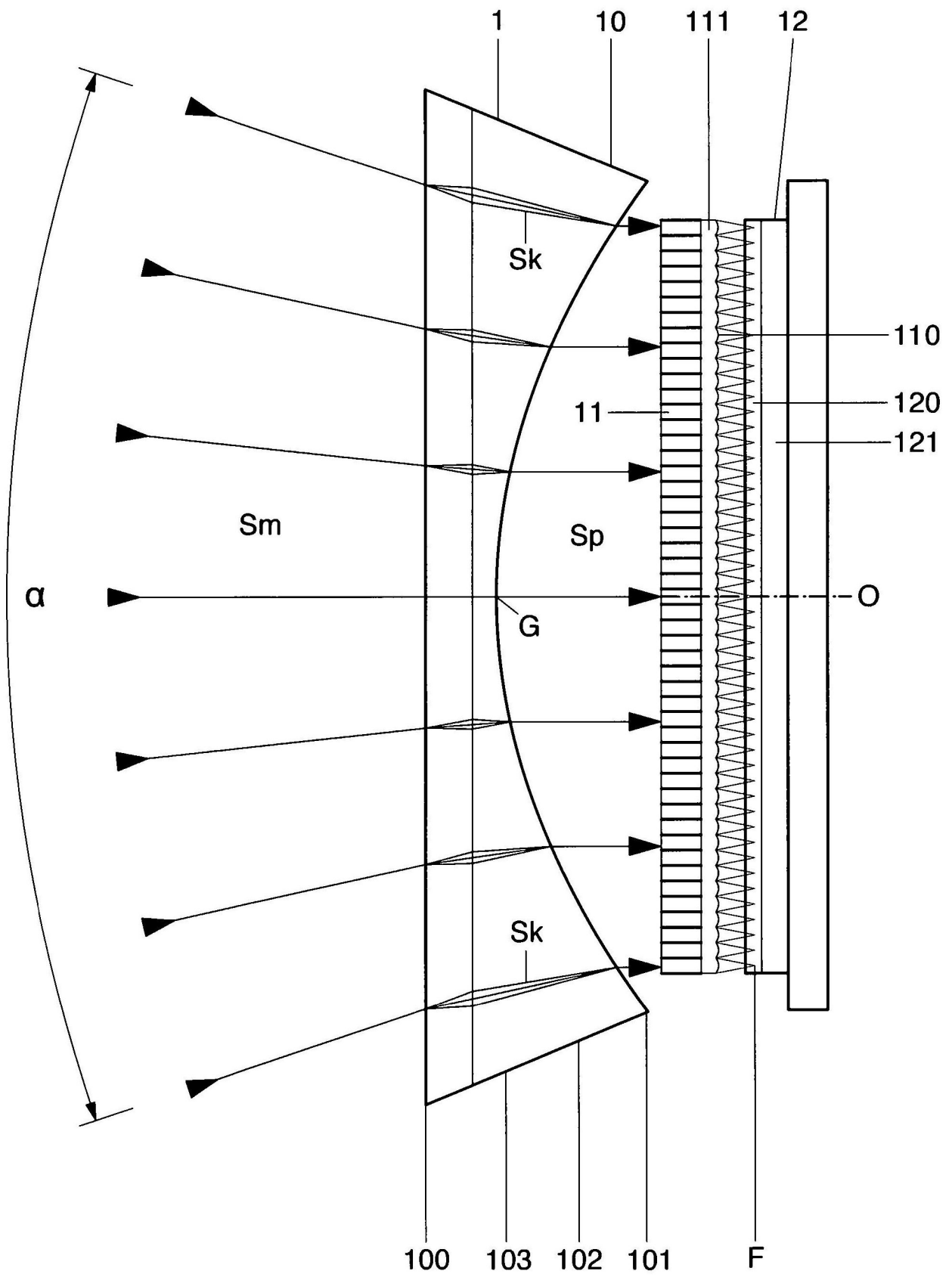


Fig.8

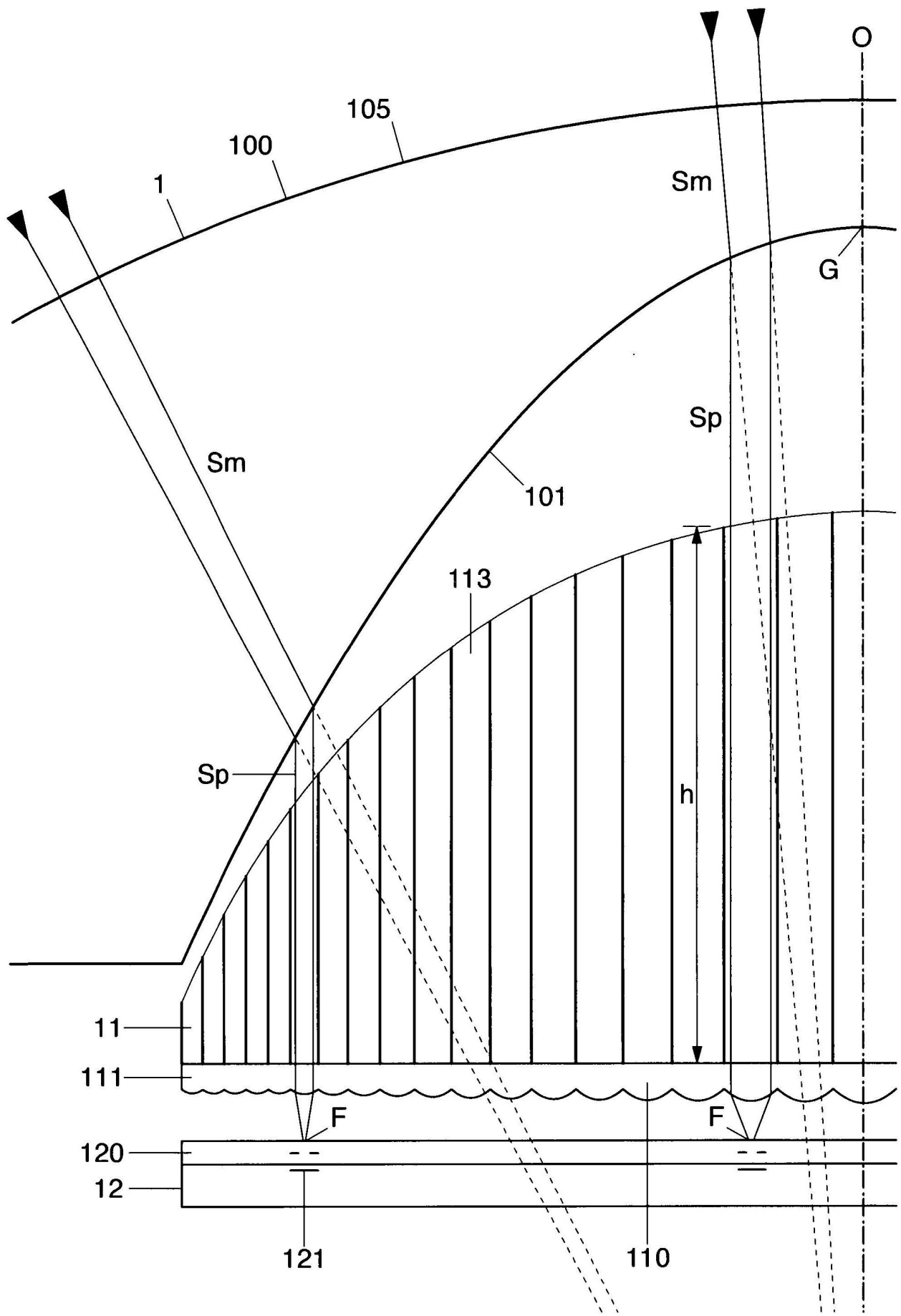


Fig.9

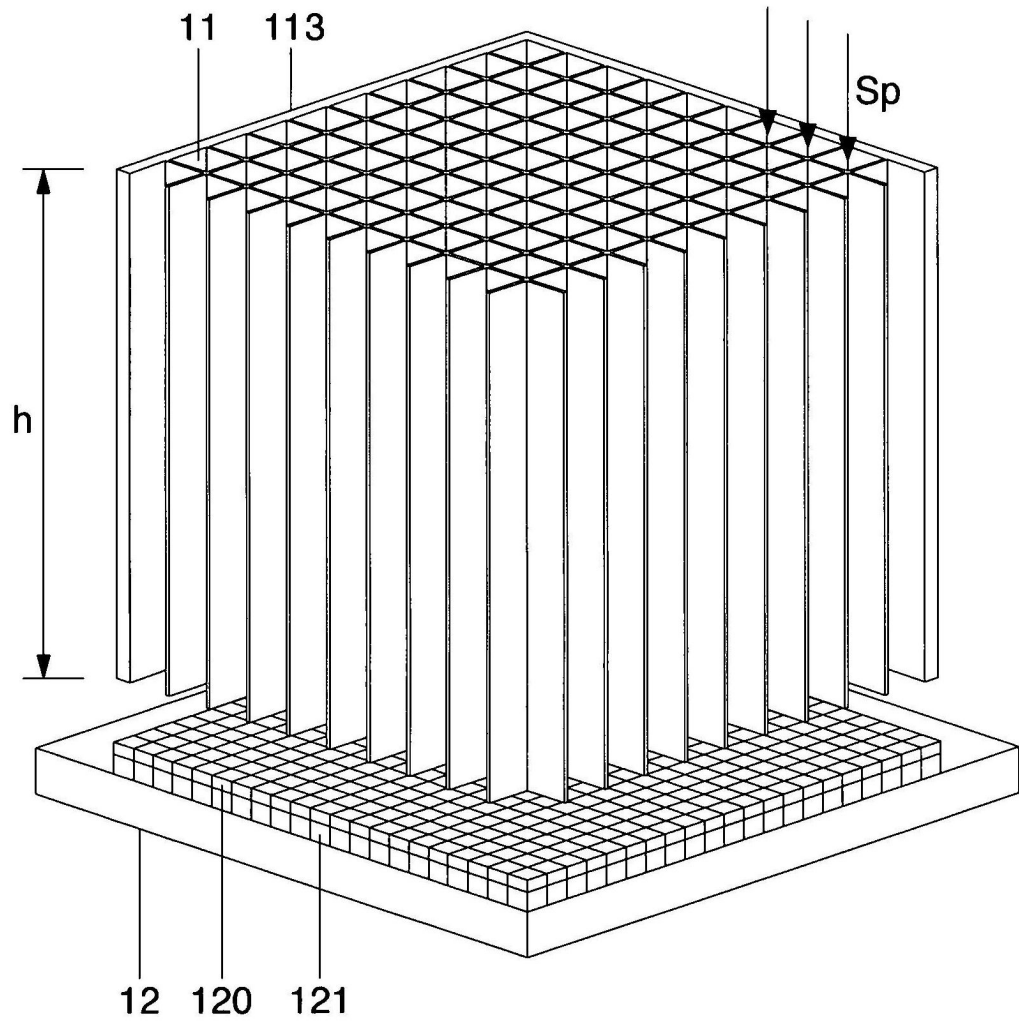


Fig.10

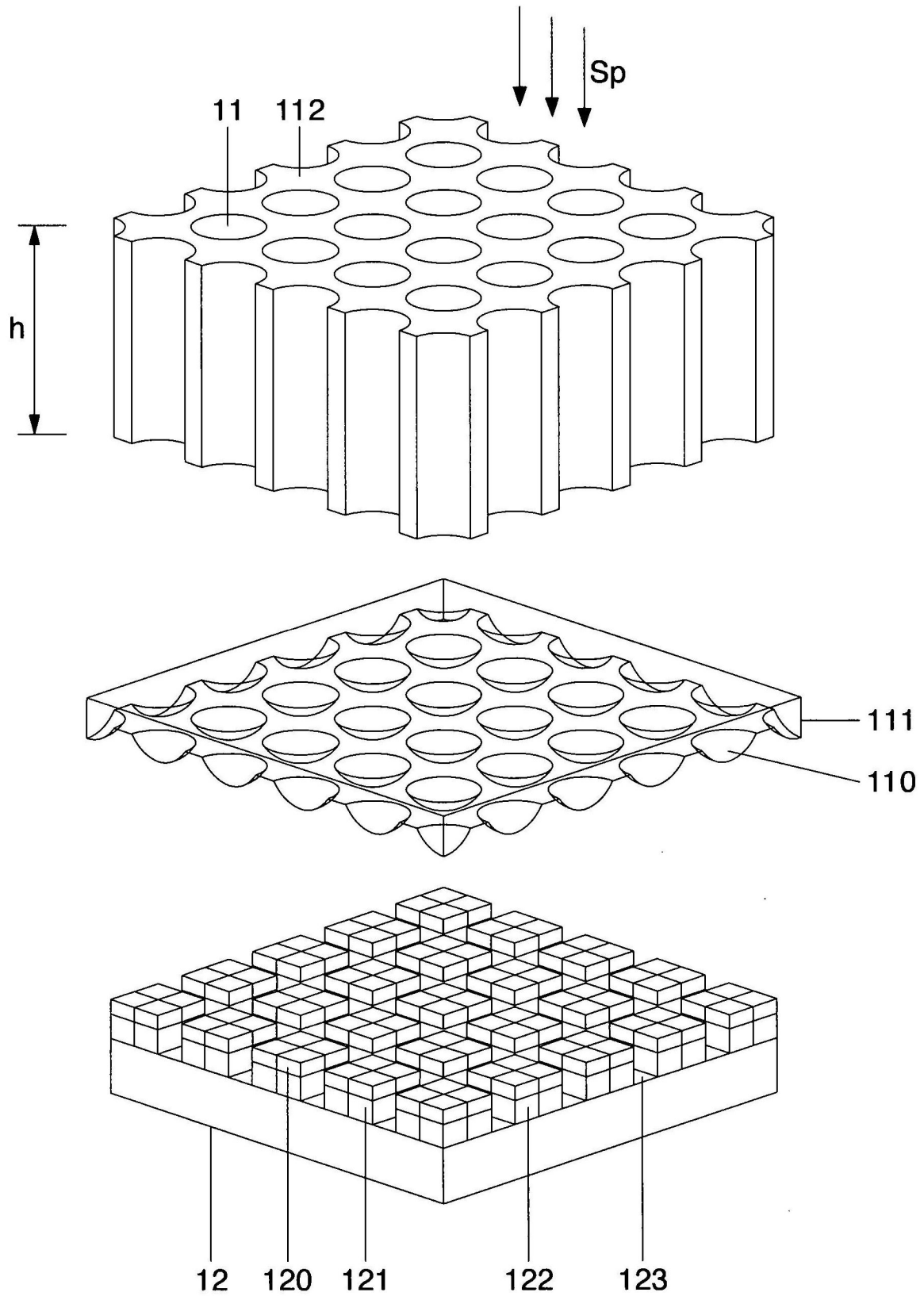


Fig.11

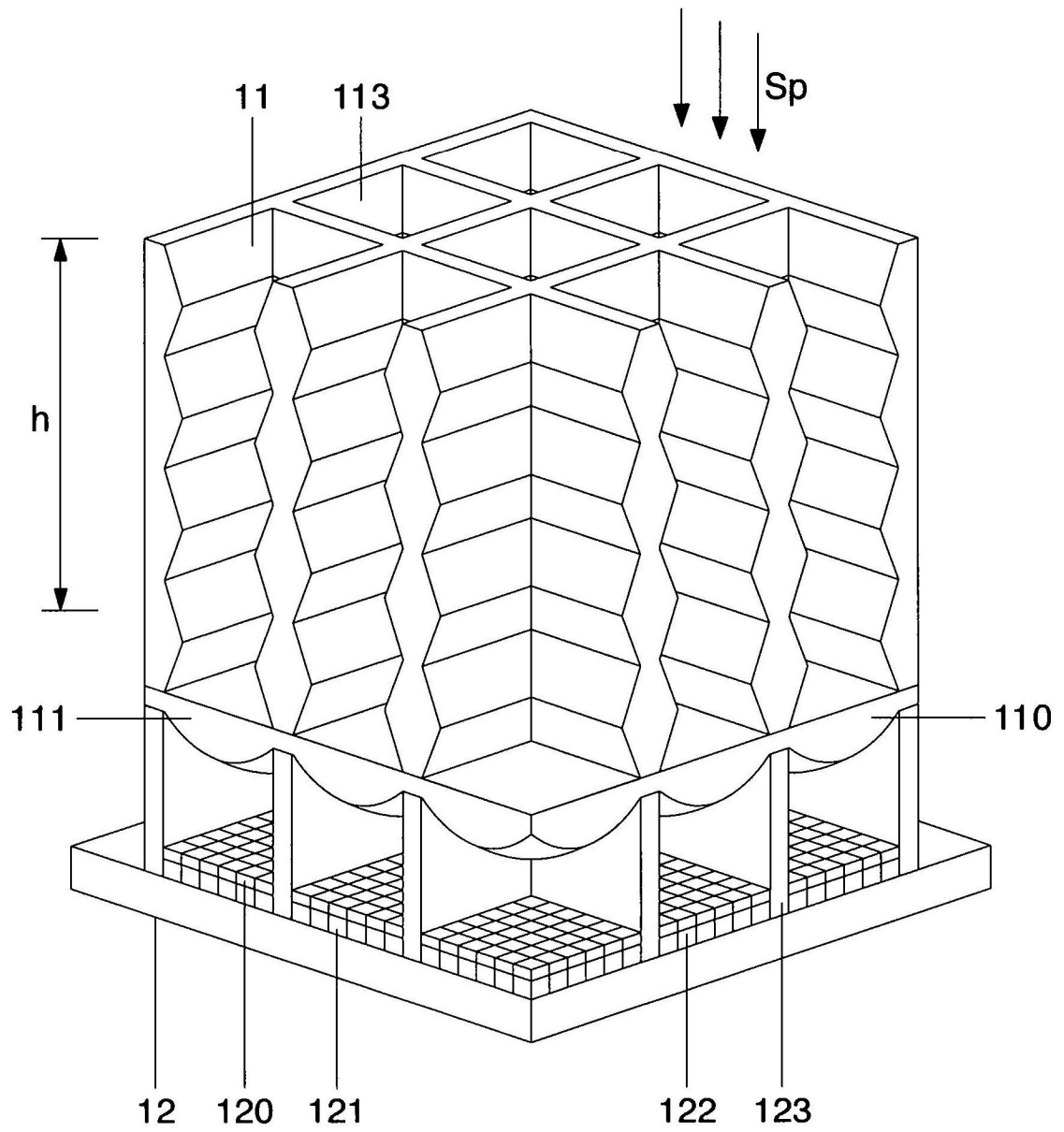


Fig.12



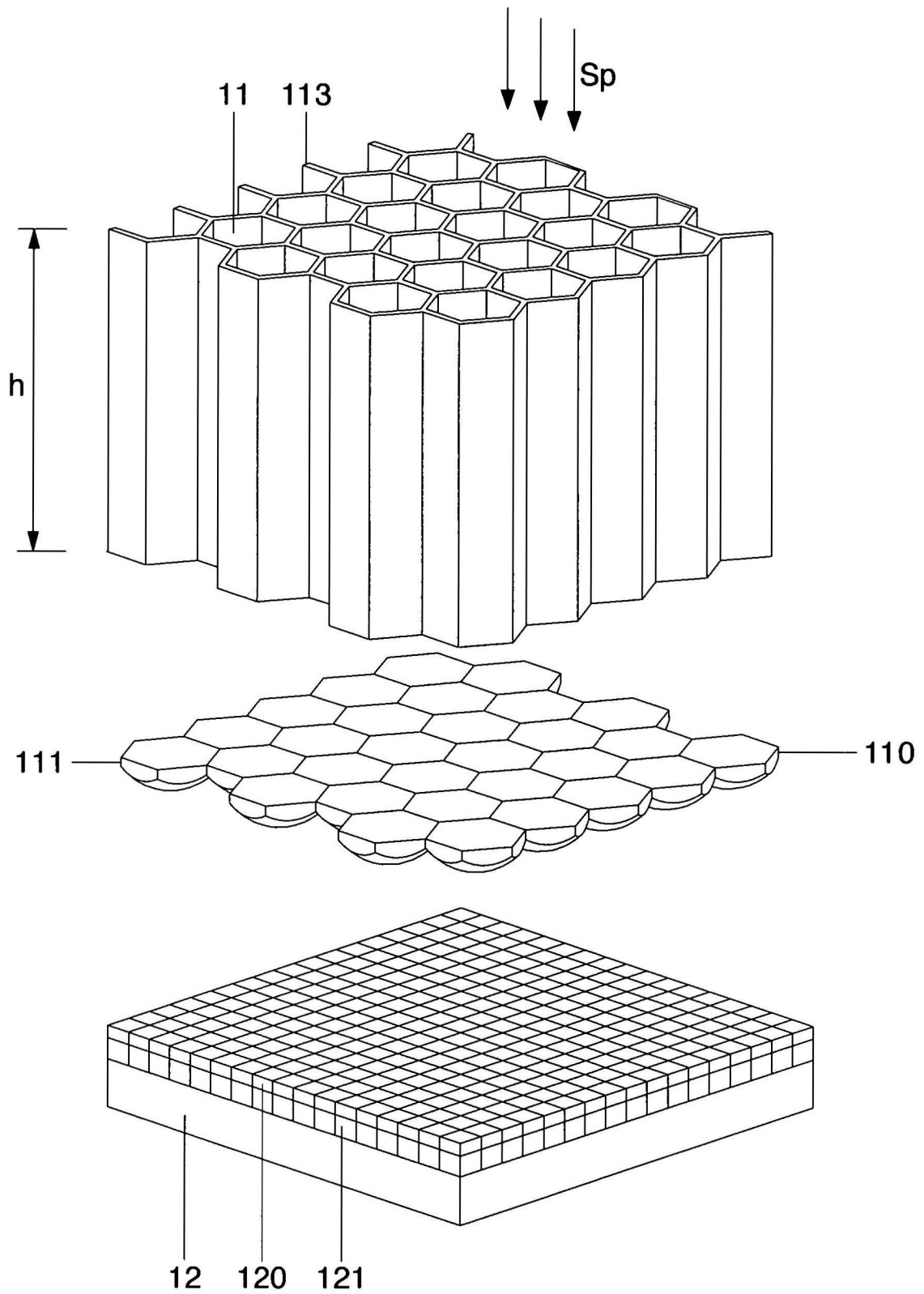


Fig.13

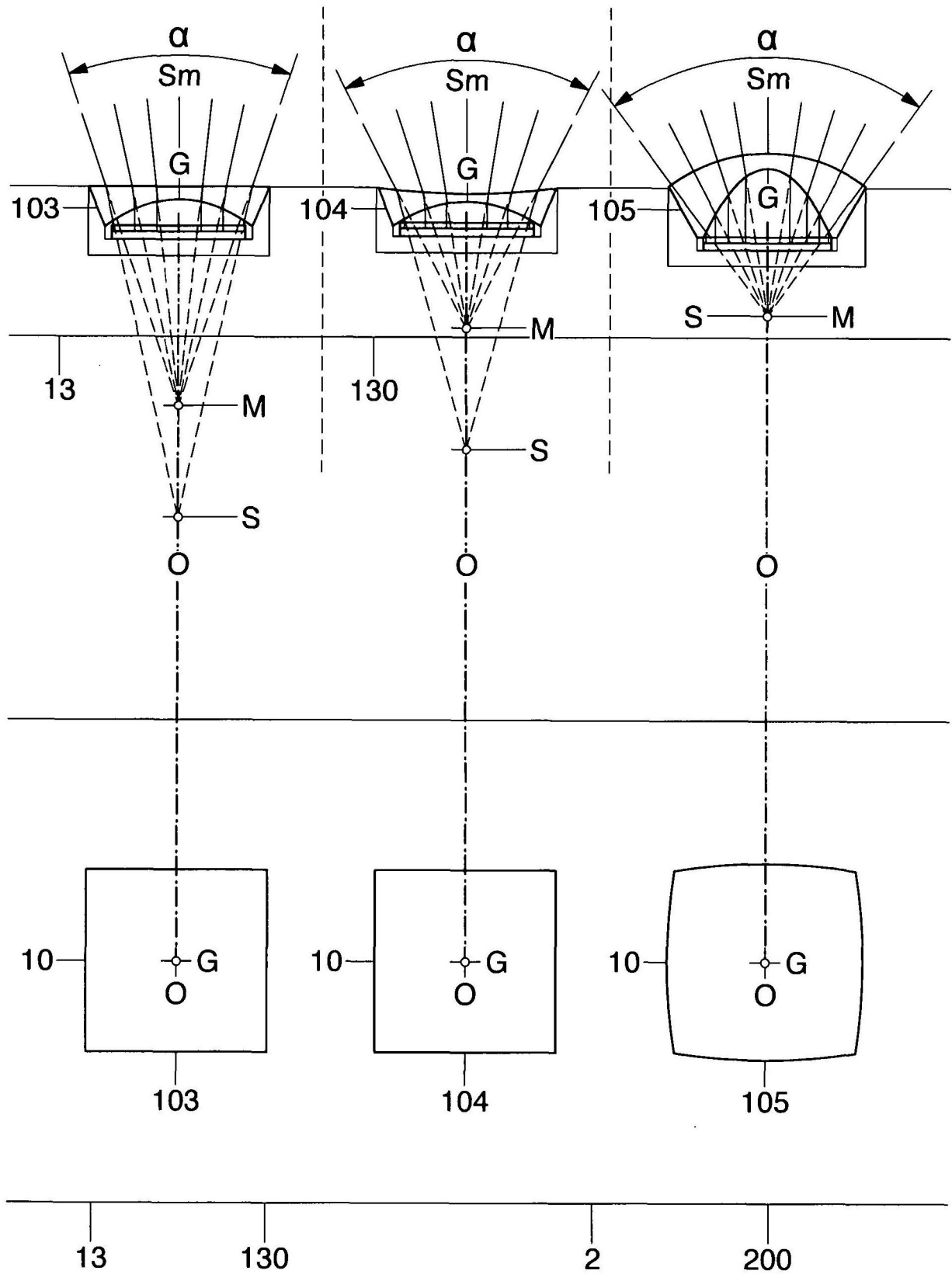


Fig.14

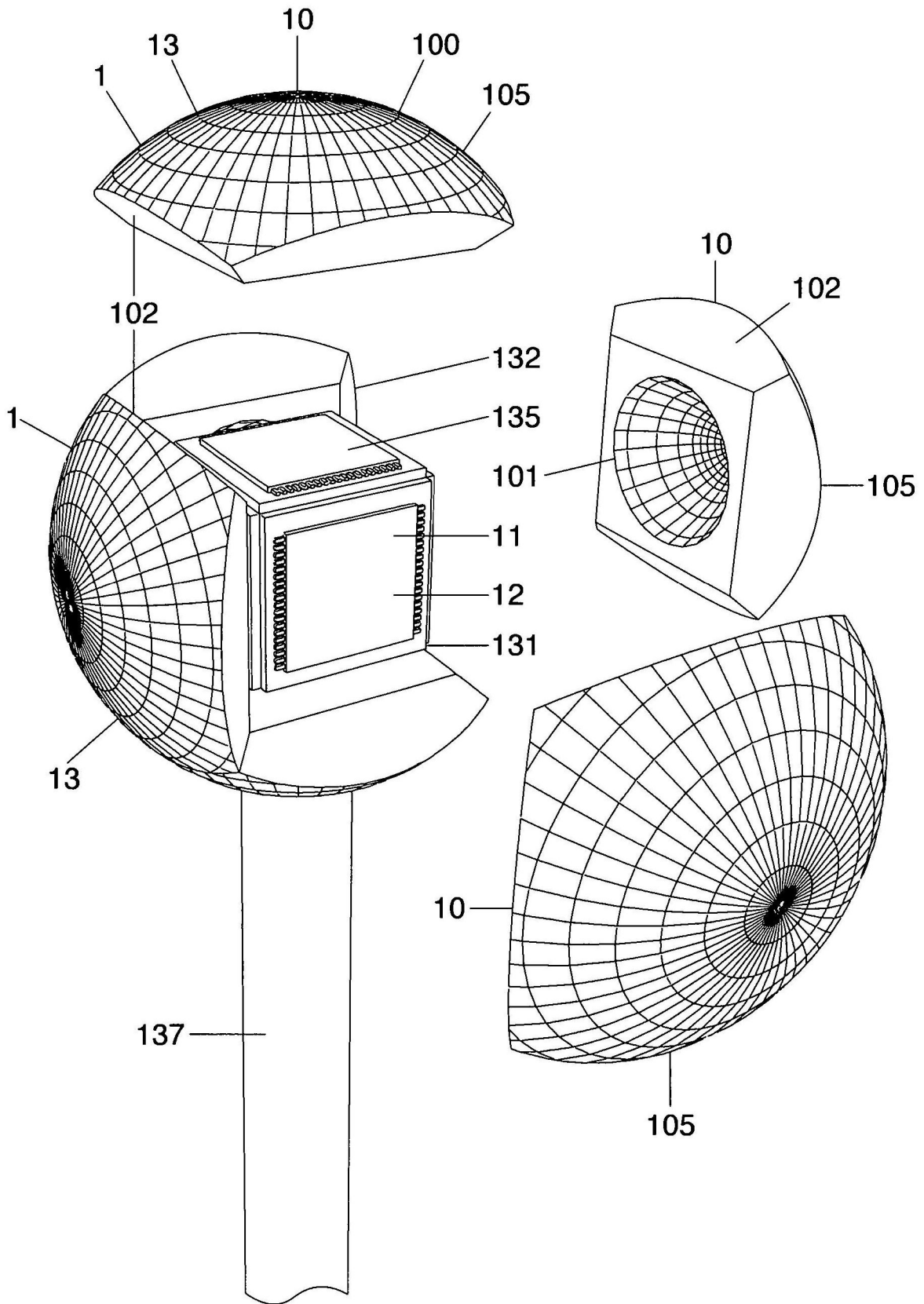


Fig.15

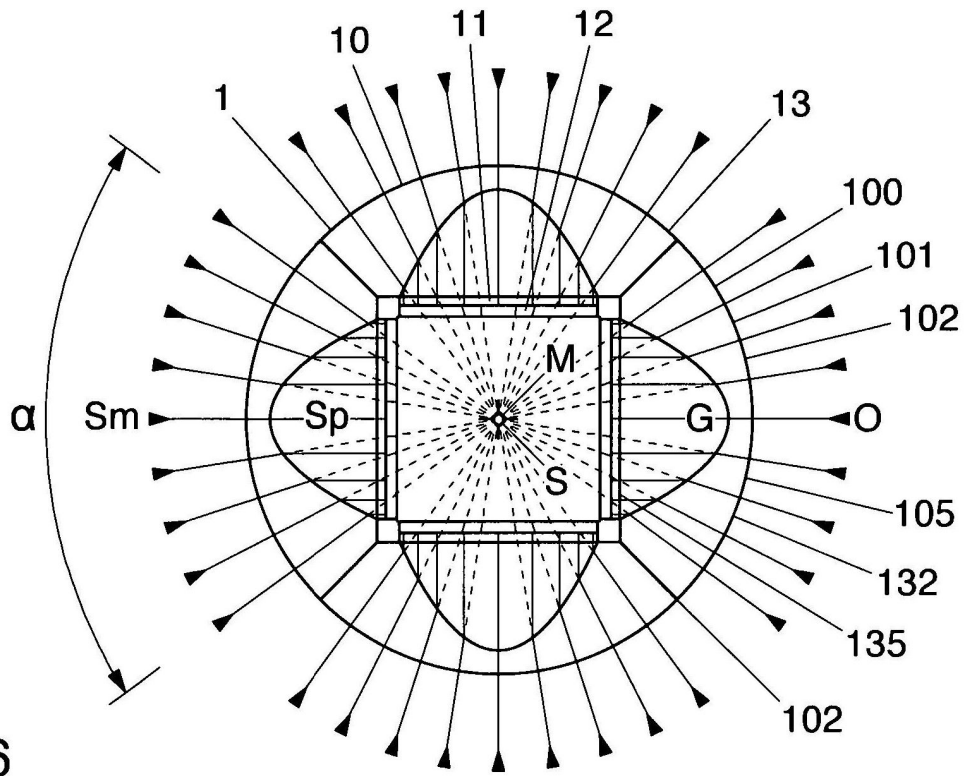


Fig.16

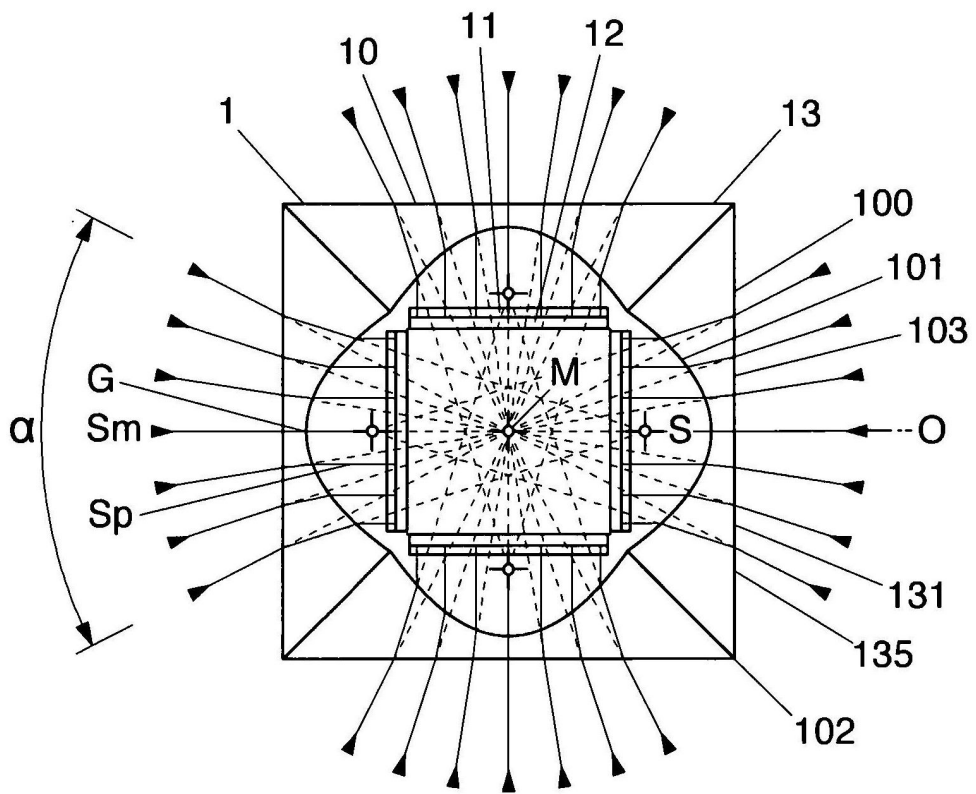


Fig.17

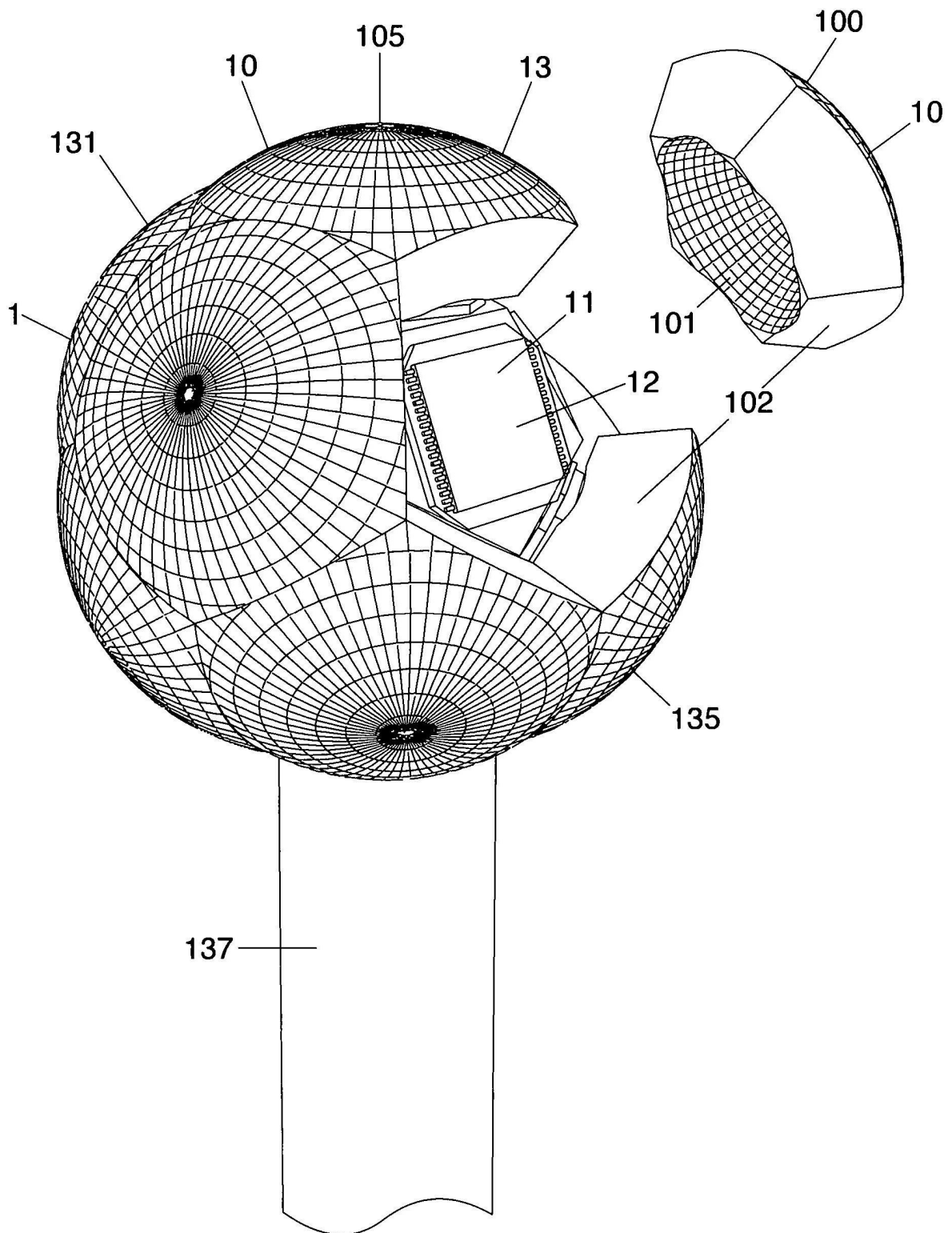


Fig.18

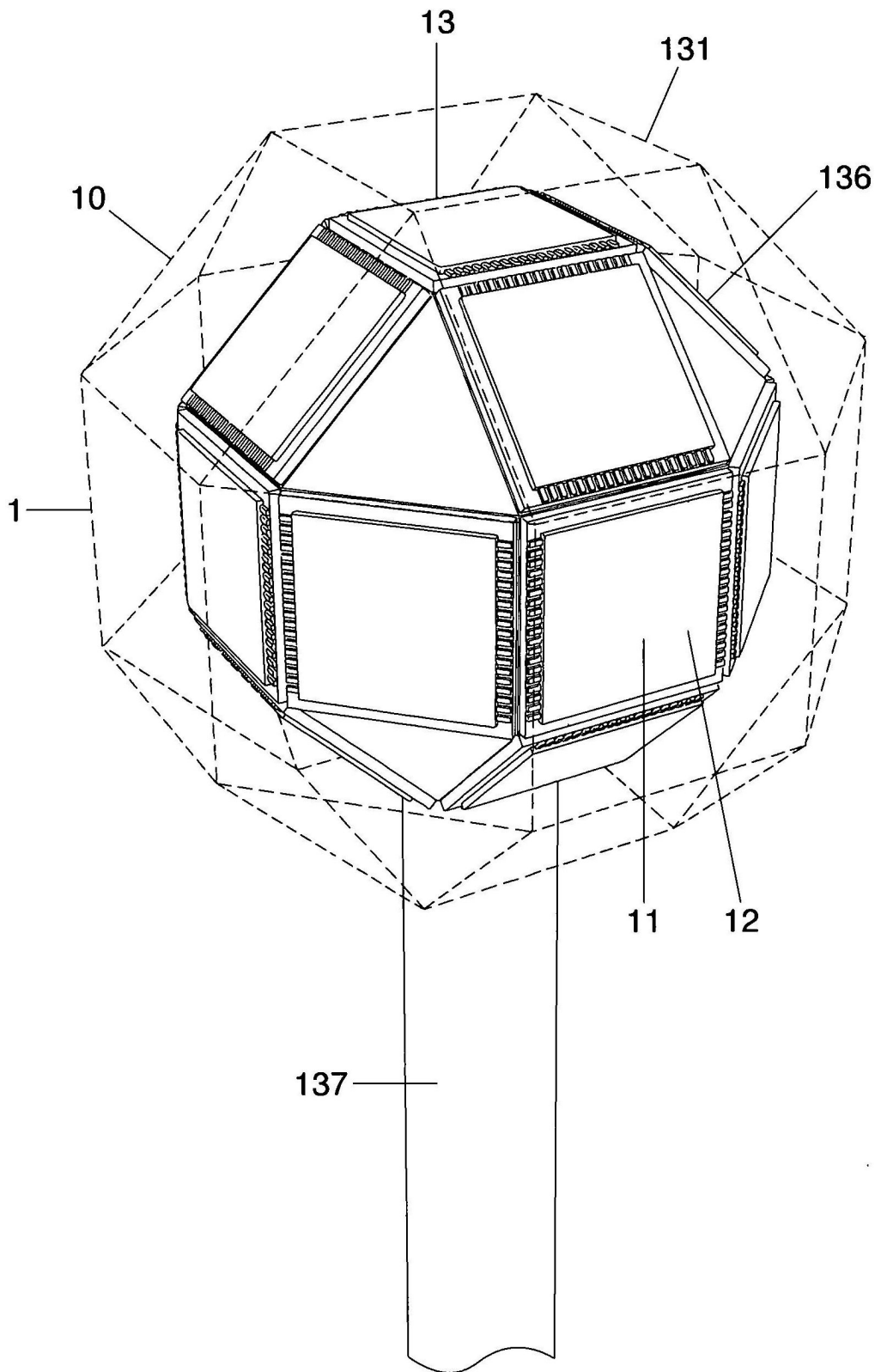


Fig.19

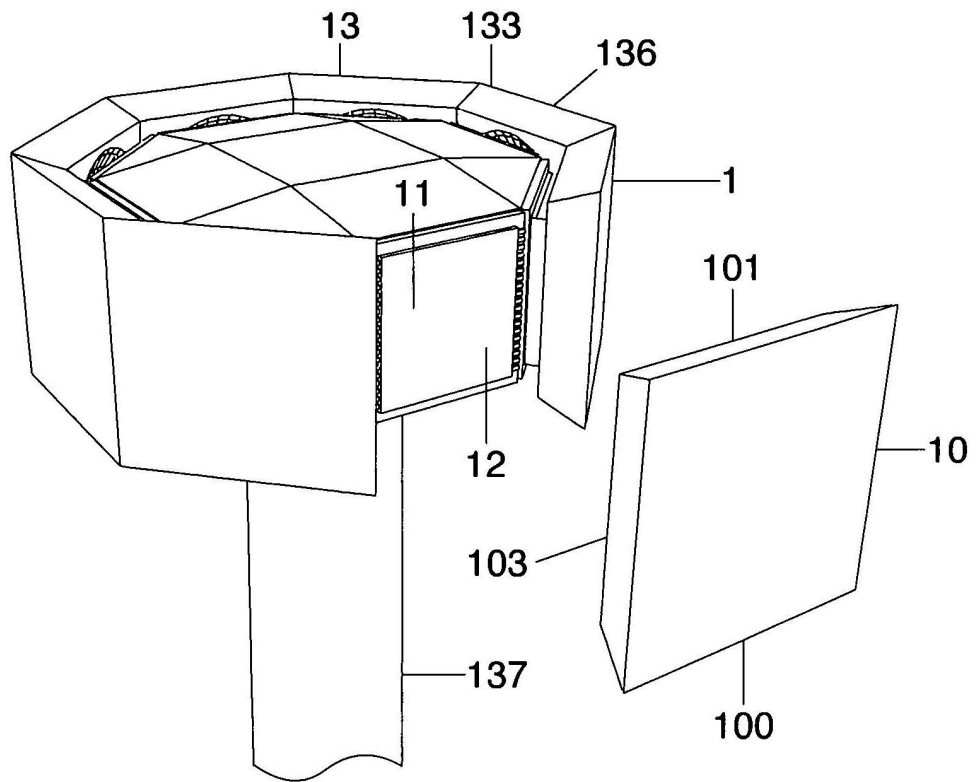


Fig.20

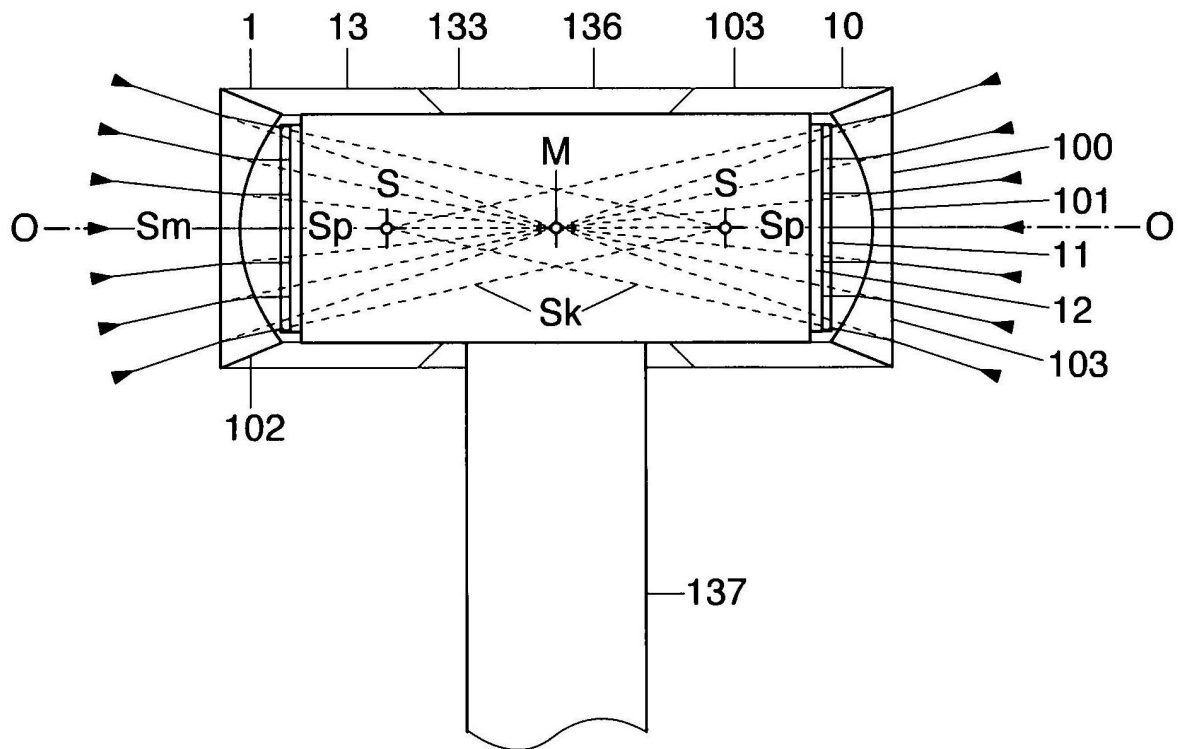


Fig.21

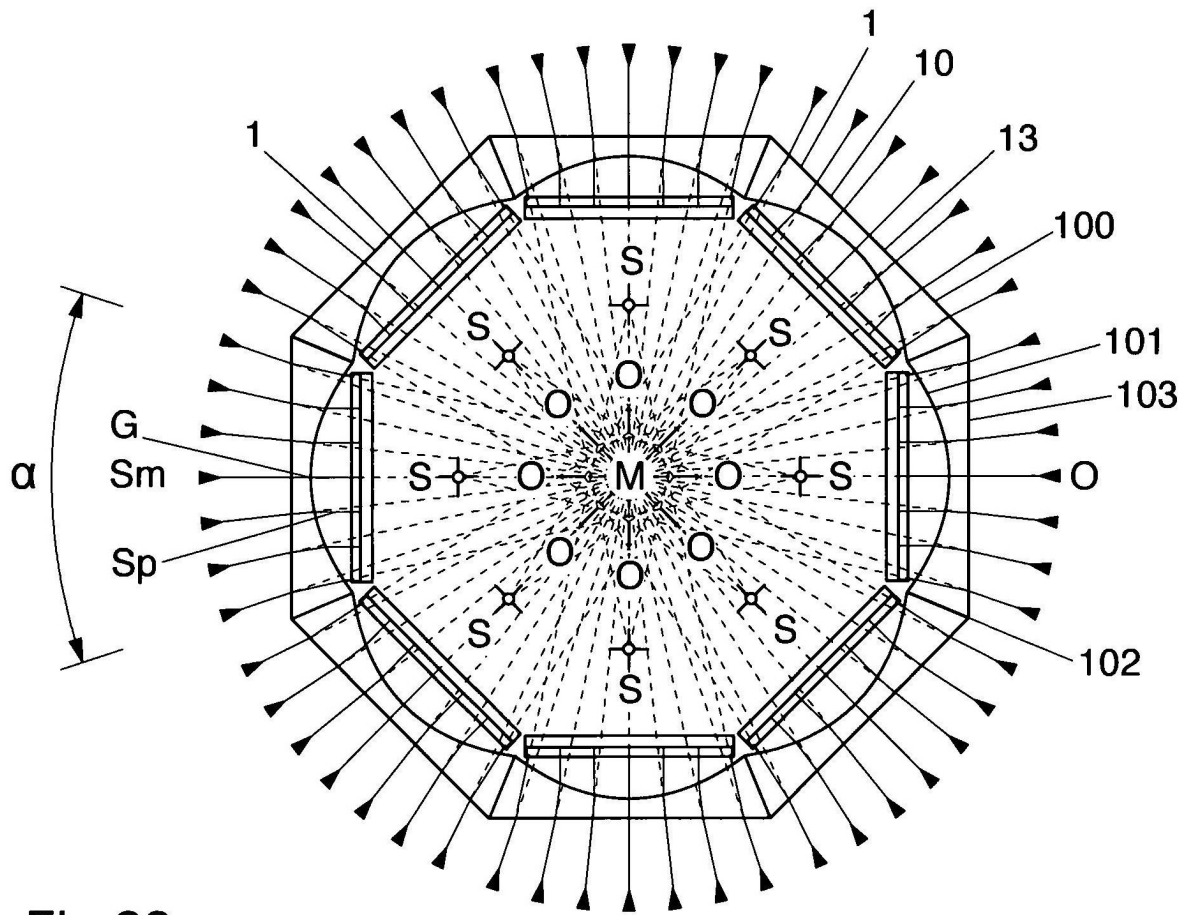


Fig. 22

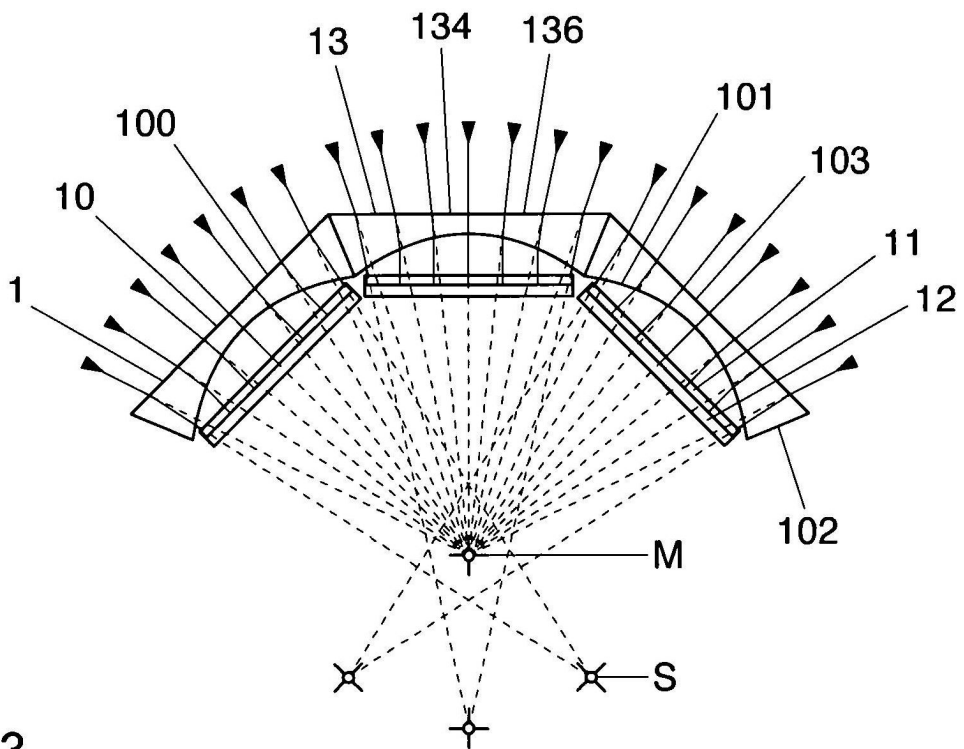


Fig. 23



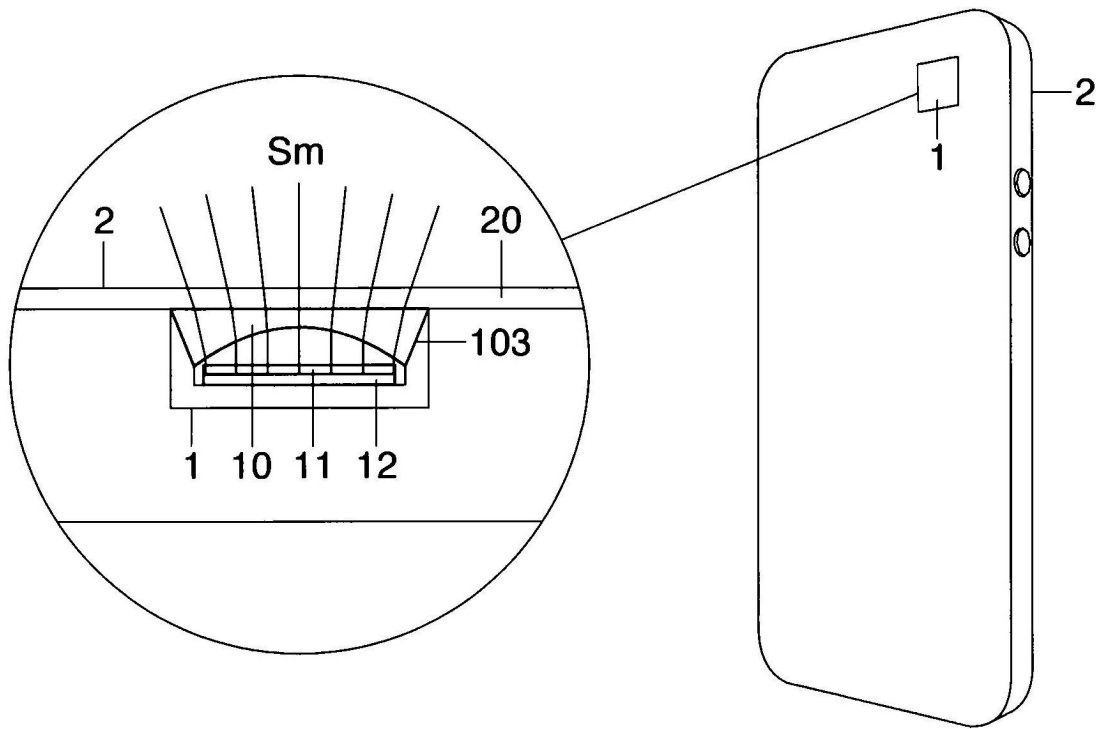


Fig.24

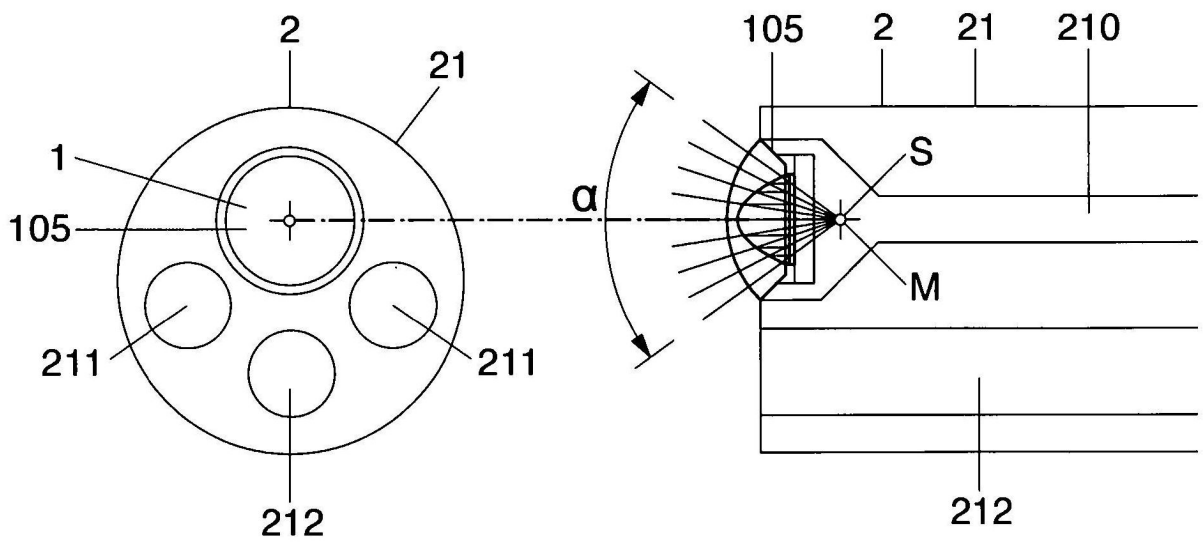


Fig.25

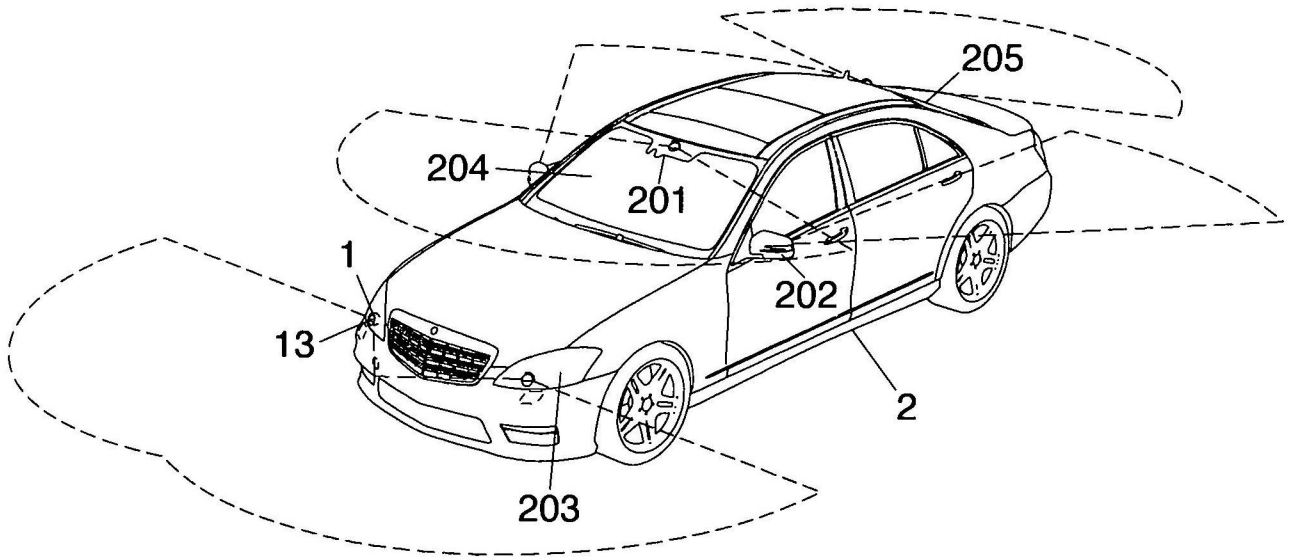


Fig.26

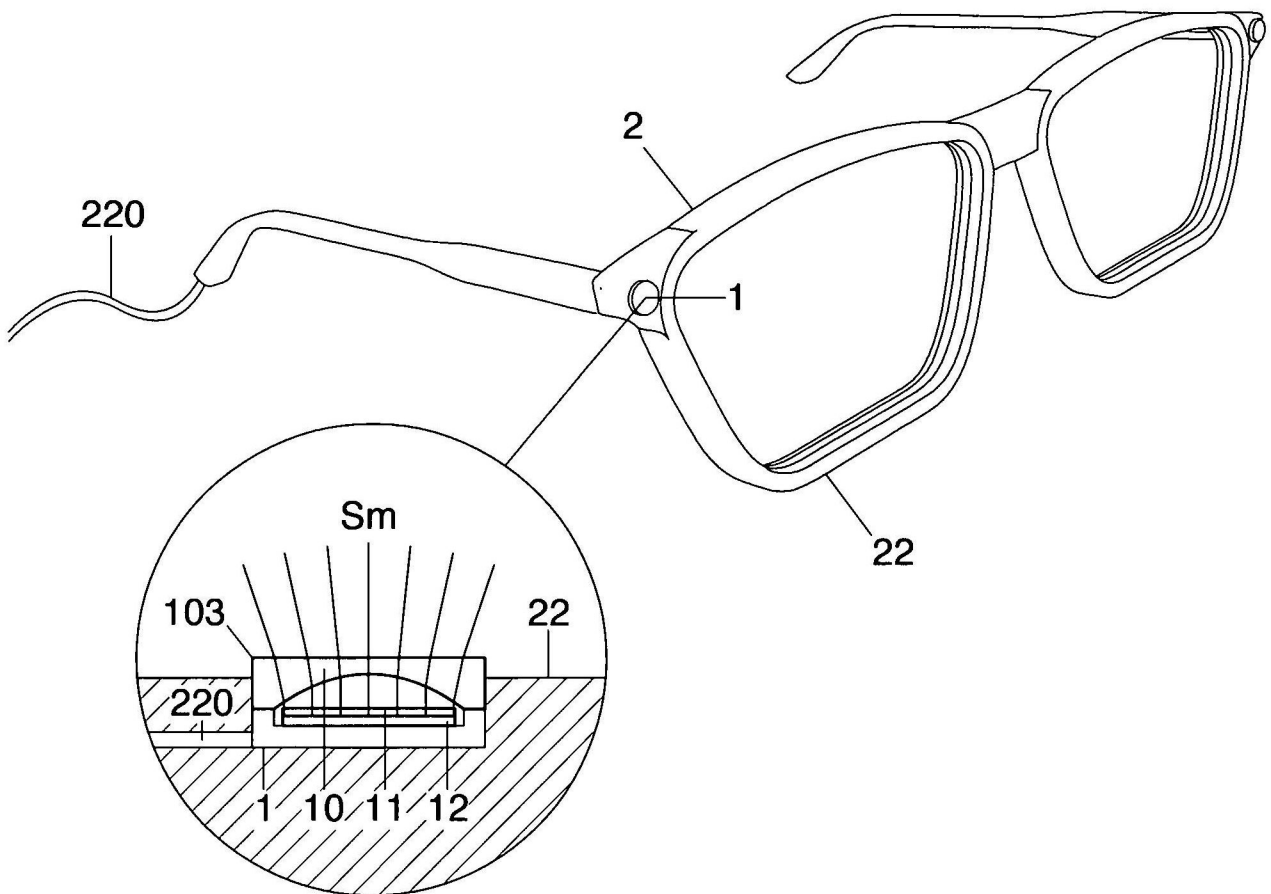


Fig.27

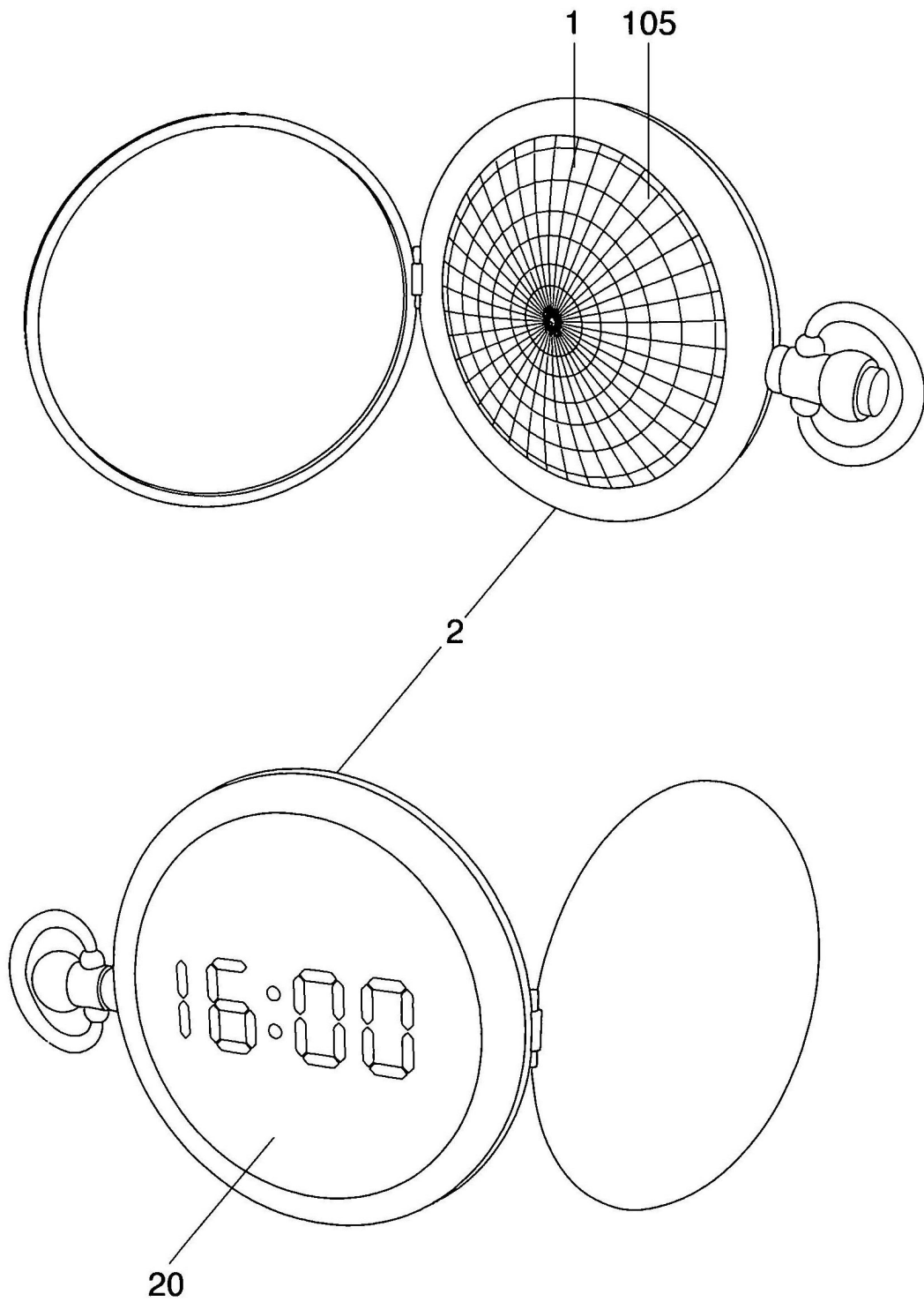


Fig.28