



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 654 932 A5

⑤① Int. Cl.⁴: G 02 B 13/14
G 02 B 23/00

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENT SCHRIFT** A5

⑳ Gesuchsnummer: 1488/81

㉔ Anmeldungsdatum: 05.03.1981

㉓ Priorität(en): 05.03.1980 GB 8007406

㉒ Patent erteilt: 14.03.1986

④⑤ Patentschrift
veröffentlicht: 14.03.1986

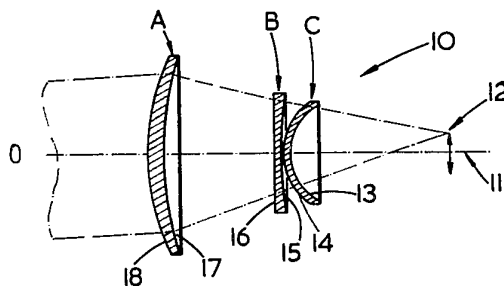
㉗ Inhaber:
Barr & Stroud Limited,
Anniesland/Glasgow/Schottland (GB)

㉚ Erfinder:
Lidwell, Michael Owen, Glasgow (GB)

㉜ Vertreter:
Bovard AG, Bern 25

⑤④ **Linsensystem für ein IR-Objektiv.**

⑤⑦ Das Linsensystem umfasst drei Linsen (A, B, C) mit gemeinsamer optischer Achse (11) aus Materialien, welche in einem brauchbaren Spektralband des Infrarotbereichs durchlässig sind, und zwar eine primäre Linse (A) in Gestalt einer Germanium-Sammellinse und eine Gruppe von zwei sekundären Linsen (B, C) von denen wenigstens eine, vorzugsweise die mittlere (B) der drei Linsen, aus einem Chalkogenid-Glas besteht und vorzugsweise eine Zerstreuungslinse ist. Vorzugsweise besteht die andere (C) der beiden sekundären Linsen entweder aus Germanium und ist dann eine Zerstreuungslinse oder sie ist als Sammellinse ausgebildet und besteht aus einem Chalkogenid-Glas oder einem kristallinen Halogenid-Material. Der Aufbau des Linsensystems entspricht dem eines Teleobjektivs: Die brechenden Oberflächen (13, 14, 15, 16, 17, 18) sind i.w. sphärisch und die effektive Brennweite des Systems ist grösser als der Abstand zwischen der ebenen Bildfläche (12) und der davon entfernt liegenden Oberfläche der primären Sammellinse (A), auf welche die Strahlung als erstes auftrifft. Das Linsensystem ist dank des gewählten Aufbaus im interessierenden Wellenlängenbereich ein Achromat und lässt sich in weitem Temperaturbereich temperaturstabil ausbilden, d.h., dass Temperaturänderungen keine Wanderung der Bildfläche bewirken.



PATENTANSPRÜCHE

1. Linsensystem (10) für das Objektiv eines Teleskops, bestehend aus einer primären Linse (A) und einer Gruppe von zwei sekundären Linsen (B, C), wobei die Linsen (A, B, C) auf einer gemeinsamen optischen Achse (11) angeordnet sind und eine den Ausgleich von monochromatischer Aberration bewirkende Gestalt und Brechkraftverteilung besitzen, dadurch gekennzeichnet, dass jede der Linsen (A, B, C) aus einem Material besteht, welches in einem im Infrarotbereich gelegenen Spektralband durchlässig ist, dass die beiden sekundären Linsen (B, C) i. w. sphärische brechende Oberflächen (13 bis 16) haben, welche von der optischen Achse (11) durchsetzt werden, dass das Linsensystem (10) eine ebene Bildfläche (12) und eine effektive Brennweite besitzt, welche grösser ist als der entlang der optischen Achse (11) gemessene Abstand zwischen der Bildfläche (12) und der am weitesten davon entfernt liegenden brechenden Oberfläche (18) des Linsensystems (10), wobei diese am weitesten von der Bildfläche (12) entfernt liegende brechende Oberfläche (18) auf der primären Linse (A) gebildet wird, welche aus Germanium besteht und eine positive Brechkraft besitzt, und dass wenigstens eine der beiden sekundären Linsen (B, C) zur Bildung eines im Infrarotbereich achromatischen Linsensystems (10) aus einem Chalkogenid-Glas besteht.

2. Linsensystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die mittlere der drei Linsen (B) negative Brechkraft besitzt und aus einem Chalkogenid-Glas besteht.

3. Linsensystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die der Bildfläche (12) benachbarte Linse (C) negative Brechkraft besitzt und aus Germanium besteht.

4. Linsensystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die der Bildfläche (12) benachbarte Linse (C) positive Brechkraft besitzt und aus einem Chalkogenid-Glas besteht.

5. Linsensystem nach den Ansprüchen 2 und 4, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden aus Chalkogenid-Glas bestehenden Linsen (B, C) aus demselben Chalkogenid-Glas bestehen.

6. Linsensystem nach den Ansprüchen 2 und 4, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden aus Chalkogenid-Glas bestehenden Linsen (B, C) aus unterschiedlichem Material bestehen, wobei die mittlere Linse (B) einen niedrigeren Dispersionskoeffizienten besitzt als die der Bildfläche (12) benachbarte Linse (C).

7. Linsensystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die der Bildfläche (12) benachbarte Linse (C) positive Brechkraft besitzt und aus einem kristallinen Halogenid-Material besteht.

8. Linsensystem nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das kristalline Halogenid-Material Thallium-Bromid-Iodid ist.

Die Erfindung befasst sich mit Linsensystemen für Objektive von Teleskopen, welche in einem im Infrarotbereich liegenden Spektralband durchlässig sind.

Das Aufspüren und Erkennen von Gegenständen über weite Entfernungen hinweg mit optischen Geräten, welche Bilder im infraroten Spektralbereich entwerfen, steht und fällt mit der Qualität des Teleskopobjektivs, welches ausserdem kompakt und preiswert in der Herstellung sein soll. Es sind für den Infrarotbereich geeignete Objektive bekannt, deren Linsen aus Germanium in einer optischen Anforderungen genügenden Qualität bestehen. Germanium besitzt einen hohen Brechungsindex und einen im Vergleich zu optischen Materialien, welche im sichtbaren Licht verwendet

werden, niedrigen Dispersionskoeffizienten. Die Gestalt und die räumliche Verteilung der Brechkraft hat man bei den Linsen in bekannter Weise so gewählt, dass eine chromatische Aberration kompensiert wird. Besonders wünschenswert ist die Ausbildung des Objektivs nach Art eines Teleobjektivs wegen seiner geringen Gesamtlänge; doch hat man gefunden, dass dadurch die chromatische Aberration des Linsensystems verstärkt und folglich die Breite des übertragbaren IR-Spektralbandes eingeschränkt wird. Die chromatische Aberration hat ihre Ursache in der zwar kleinen, aber spürbaren Dispersion des Germaniums. Zu der chromatischen Aberration tritt als weitere Schwierigkeit hinzu, dass wegen des hohen Temperaturkoeffizienten des Brechungsindex von Germanium bei spürbaren Änderungen der Umgebungstemperatur eine Wanderung der Bildfläche aus ihrer vorbestimmten Lage heraus auftritt. Deshalb muss eine Hilfseinrichtung vorgesehen werden, mit deren Hilfe die Wanderung der Bildfläche kompensiert werden kann, sobald diese ein solches Ausmass erreicht, dass unter den gegebenen Arbeitsbedingungen merkliche Abbildungsfehler entstehen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein gattungsgemässes Linsensystem in Teleobjektivanordnung auf preiswerte Art und Weise als Achromaten im Infrarot-Spektralbereich auszubilden.

Die Aufgabe ist gemäss der Erfindung gelöst durch ein Linsensystem mit den im Patentanspruch 1 angegebenen Merkmalen. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche.

Weil die effektive Brennweite des Linsensystems grösser ist als der entlang der optischen Achse gemessene Abstand zwischen der Bildfläche und der von dieser am weitesten entfernt liegenden brechenden Linsenoberfläche, auf welche die Strahlung als erstes auftritt, hat das Linsensystem den Aufbau eines Teleobjektivs; mit nur drei Linsen ist das System optisch und mechanisch einfach, und weil das Linsensystem sowohl auf monochromatische als auch auf chromatische Aberration kompensiert ist, kann in einem beachtlichen Wellenlängenband das Linsensystem den durch einsetzende Beugungseffekte begrenzten Arbeitsbereich ausnutzen.

Zweckmässigerweise ist die mittlere der drei Linsen eine Zerstreuungslinse und besteht aus einem Chalkogenid-Glas (Chalkogene sind die Elemente der VI. Hauptgruppe des Periodischen Systems). Die der Bildfläche benachbarte Linse kann eine Sammellinse oder eine Zerstreuungslinse sein und aus Germanium oder aus einem Chalkogenid-Glas bestehen. Die beiden sekundären Linsen können auch aus demselben Chalkogenid-Glas bestehen; alternativ können sie auch aus unterschiedlichen Chalkogenid-Glassorten bestehen, wobei dann die mittlere Linse einen höheren Dispersionskoeffizienten besitzt als die der Bildfläche benachbarte Linse.

Die Linse, welche erfindungsgemäss bewirkt, dass das Linsensystem zu einem Achromaten wird, kann aus Chalkogenid-Gläsern unterschiedlicher Zusammensetzung bestehen; geeignete Chalkogenid-Glassorten sind jene, welche von der Fa. Barr & Stroud unter den Bezeichnungen BSA, BS1 oder BS2, von der Fa. Texas Instruments Inc. (U.S.A.) unter den Bezeichnungen TI20 oder TI 1173, und von der Fa. Amorphous Materials Inc. in Garland (Texas, U.S.A.) unter der Bezeichnung AMTIR-1 in den Handel gebracht werden.

Soweit die Gruppe der beiden sekundären Linsen eine Sammellinse umfasst, besteht diese bevorzugt aus einem kristallinen Halogenid-Werkstoff, welcher einen positiven Temperaturkoeffizienten des Brechungsindex besitzt, um dadurch das Linsensystem unempfindlich gegen Temperaturschwankungen zu machen.

Geeignete Halogenid-Werkstoffe mit einem im Infrarotbereich liegenden Durchlässigkeitsbereich sind die von der Fa.

Harshaw Chemical Co., 6801 Cochran Road, Selon (Ohio, U.S.A.) unter den Bezeichnungen KRS5 (Thallium-Bromid-Iodid) und KRS6 (Thallium-Bromid-Chlorid) in den Handel gebrachten Werkstoffe. Bei einem Linsensystem mit derart ausgewählter, aus Halogenid-Werkstoff bestehender Linse werden die drei Linsen des Systems vorzugsweise in festen Abständen untereinander fest angeordnet, wobei Abstandstücke zwischengefügt werden, die einen korrekt angepassten Wärmeausdehnungskoeffizienten besitzen, z.B. Abstandstücke aus Dural*), um zu verhindern, dass sich die Bildfläche unter Temperatureinflüssen verschiebt und eine Bildverschlechterung bewirkt. Es ist möglich, dies im Temperaturbereich zwischen -30°C und $+50^{\circ}\text{C}$ zuverlässig zu verhindern.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den beige-fügten Zeichnungen schematisch dargestellt und werden nachfolgend erläutert.

Fig. 1 zeigt ein Linsensystem mit relativ flacher mittlerer Linse,

Fig. 2 zeigt ein Linsensystem, bei dem die Linse, welche der Bildfläche benachbart ist, relativ flach ist, und

Fig. 3 zeigt ein Linsensystem, bei dem die beiden der Bildfläche benachbarten Linsen relativ flach sind.

In allen drei Figuren umfasst das Linsensystem 10 des Objektivs drei durch Luftzwischenräume voneinander getrennte Linsen A, B und C, die auf einer gemeinsamen optischen Achse 11 angeordnet sind. Am Ort 12 liegt eine ebene Bildfläche. Die Linse A stellt die primäre Linse des Objektivs dar, und die beiden anderen Linsen B und C bilden gemeinsam das sekundäre Linsensystem des Objektivs. Jede der beiden sekundären Linsen B und C besitzt sphärische brechende Oberflächen 13 bis 16, welche – von der Bildebene 12 kommend – nacheinander von der optischen Achse 11 durchsetzt werden. Die brechenden Oberflächen 17 und 18 der primären Linse A können sphärisch oder asphärisch sein. Strahlung, die vom Gegenstand 0 ausgeht, trifft auf die brechende Oberfläche 18 auf, wird dann durch die Linsen A, B und C gebrochen und erzeugt in der Bildebene 12 ein Bild.

Erfindungsgemäss bestehen die drei Linsen A, B und C aus Werkstoffen, welche für ein im infraroten Wellenlängenbereich gelegenes Band des Spektrums hinreichend durchlässig sind, und zwar insbesondere bei Wellenlängen zwischen 8 und $13\ \mu\text{m}$, und die effektive Brennweite des Objektivs 10 ist grösser als der entlang der optischen Achse 11 gemessene Abstand zwischen der Brechungsfläche 18 am Eingang des Objektivs 10 und der Bildfläche 12, d.h. das Objektiv 10 ist ein Teleobjektiv.

Bei allen drei Figuren ist die primäre Linse A eine Sammellinse (positive Brechkraft) und besteht aus Germanium in einer für optische Zwecke geeigneten Qualität. Im Beispiel gemäss Fig. 1 besteht auch die Linse C aus Germanium, ist jedoch eine Zerstreuungslinse (negative Brechkraft); bei der Linse B hingegen handelt es sich um eine Zerstreuungslinse (negative Brechkraft) aus Chalkogenid-Glas. Im Beispiel gemäss Fig. 2 ist die Linse B eine aus Germanium bestehende Zerstreuungslinse (negative Brechkraft), während die Linse C eine Zerstreuungslinse (negative Brechkraft) aus einem Chalkogenid-Glas ist. Im Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 3 ist die Linse B eine Zerstreuungslinse aus einem Chalkogenid-Glas und die Linse C ist eine Sammellinse (positive Brechkraft), welche entweder aus einem Chalkogenid-Glas oder aus einem kristallinen Halogenid-Material besteht.

Die Linsensysteme 10 in den Beispielen der Fig. 1 und 2 sind wegen der verwendeten Chalkogenid-Glaslinse B bzw. C

Achromate, denn Chalkogenid-Gläser zeigen eine stärkere Dispersion als Germanium. Wenn im Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 3 die beiden sekundären Linsen B und C beide aus Chalkogenid-Glas bestehen, dann werden die Materialien dafür aus Gründen der Effektivität hinsichtlich ihrer Dispersionen vorzugsweise derart gewählt, dass unter Vermeidung jeglicher chromatischer Aberration (im massgebenden Spektralbereich) die Gesamtlänge des Linsensystems des Objektivs 10 möglichst klein wird.

In allen drei Figuren ist die aus Chalkogenid-Glas bestehende Linse relativ klein und relativ flach (d.h. ihre brechenden Oberflächen besitzen einen grossen Krümmungsradius). Der Vorteil dieser Bemessung liegt darin, dass bekannte Chalkogenid-Gläser mit sehr grosser Oberfläche i.d.R. über diese grosse Oberfläche optisch nicht homogen sind, sondern einen örtlich variierenden Brechungsindex aufweisen.

Nachfolgend werden nun vier besondere Ausführungsbeispiele der in den Fig. 1-3 dargestellten Objektivs beschrieben, wobei die Linsen aus Germanium oder Chalkogenid-Glas bestehen und die brechenden Linsenoberflächen sämtlich sphärisch sind.

Beispiel 1 befasst sich mit der in Fig. 1 dargestellten Linsen-anordnung. Die Linsen A und C bestehen aus Germanium, die Linse B aus einem von Barr & Stroud Limited hergestellten Chalkogenid-Glas mit der Bezeichnung BS 1.* Die effektive Brennweite beträgt 375 mm, die hintere Brennweite des Linsensystems 10 beträgt 157,4 mm, und die Krümmungsradien der brechenden Oberflächen 13 bis 18 sowie deren entlang der optischen Achse 11 gemessenen Abstände untereinander, beginnend an der Oberfläche 18 und fortschreitend in Richtung auf die Bildfläche 12 zu, sind – in mm gemessen – in der nachstehenden Tabelle angegeben:

Fläche Nr.	Abstand	Radius
18	–	208,3
17	14,1	283,7
16	108,5	1262,3
15	8,0	482,8
14	0,5	59,9
13	5,6	53,1

*Ein Glas, welches Arsen, Selen und Germanium als wesentliche Bestandteile enthält.

Liegt der Krümmungsmittelpunkt auf der der Bildfläche 12 zugewandten Seite der Linsen A, B, C, so erhält der Krümmungsradius ein positives Vorzeichen; liegt der Krümmungsmittelpunkt jedoch auf der entgegengesetzten Seite der Linsen A, B, C, dann erhält der Krümmungsradius ein negatives Vorzeichen (vergl. Beispiel 2).

Beispiel 2 befasst sich mit der in Fig. 2 dargestellten Linsen-anordnung. Die beiden Linsen A und B bestehen aus Germanium, während die Linse C aus dem Chalkogenid-Glas mit der Bezeichnung BS1 besteht. Die effektive Brennweite beträgt (normiert) 1,00, die hintere Brennweite beträgt 0,393 und die Krümmungsradien der brechenden Oberflächen 13 bis 18 und deren Abstände untereinander sind – wie im Beispiel 1 bei der brechenden Oberfläche 18 beginnend und in Richtung auf die Bildfläche 12 fortschreitend – in der nachstehenden Tabelle angegeben. Alle Massangaben in diesem Beispiel sind auf die effektive Brennweite normiert.

*) eine aushärtbare Aluminium-Knetlegierung vom Typ AlCuMg

Fläche Nr.	Abstand	Radius
18	–	0,5011
17	0,0400	0,6291
16	0,2538	0,1549
15	0,0150	0,1382
14	0,1000	–0,4366
13	0,0200	–0,5156

Beispiel 3 befasst sich mit dem in Fig. 3 dargestellten Linsensystem. Die Linse A besteht aus Germanium, wohingegen die beiden Linsen B und C aus dem Chalkogenid-Glas mit der Bezeichnung BS1 bestehen. Die effektive Brennweite beträgt (normiert) 1,00, die hintere Brennweite beträgt 0,3994 und die Krümmungsradien der brechenden Oberflächen 13 bis 18 und ihre entlang der optischen Achse 11 gemessenen Abstände untereinander sind – beginnend bei der brechenden Oberfläche 18 und in Richtung auf die Bildfläche 12 zuschreitend – in der nachstehenden Tabelle angegeben. Alle Massangaben in diesem Beispiel sind auf die effektive Brennweite normiert.

Fläche Nr.	Abstand	Radius
18	–	0,5926
17	0,0427	0,7692
16	0,3948	–3,2968
15	0,0160	0,3825
14	0,0267	0,6204
13	0,0267	–1,5895

Beispiel 4 befasst sich ebenfalls mit dem in Fig. 3 dargestellten Linsensystem. Die Linse A besteht aus Germanium, die Linse B besteht aus einem von Barr & Stroud Limited hergestellten Chalkogenid-Glas mit der Bezeichnung BSA, und die Linse C besteht aus dem Chalkogenid-Glas mit der Bezeichnung BS1. Die effektive Brennweite beträgt 375 mm, die hintere Brennweite beträgt 138, 178 mm, und die Krümmungsradien der brechenden Oberflächen 13 bis 18 sowie deren Abstände untereinander sind – beginnend bei der brechenden Oberfläche 18 und fortschreitend in Richtung auf die Bildfläche 12 – in der nachstehenden Tabelle angegeben. Alle Massangaben in diesem Beispiel sind in mm.

Fläche Nr.	Abstand	Radius
18	–	195,33
17	15,65	268,99
16	113,37	825,5
15	6,05	109,22
14	10,98	199,06
13	10,00	–2583,9

Wegen des hohen Temperaturkoeffizienten des Brechungsindex von Germanium lässt sich die Brennweite bei solchen unter Verwendung von Germaniumlinsen aufgebauten Linsensystemen über einen grösseren Temperaturbereich hinweg nur dadurch konstant halten, dass man die primäre Linse A oder die sekundären Linsen B und C in Richtung der optischen Achse merklich verschiebt. Eine wesentliche Verbesserung der thermischen Stabilität der Bildfläche 12 eines solchen Linsensystems erreicht man dadurch, dass man – wie

im Beispiel der Fig. 3 alternativ vorgesehen – die Linse C aus einem handelsüblichen, für infrarotes Licht durchlässigen kristallinen Halogenid-Material herstellt. Dadurch wird es möglich, die Linsen unverschieblich zu montieren und durch einen Werkstoff mit gewöhnlicher Wärmeausdehnung auf Abstand zu halten. In den Zahlenbeispielen 3 und 4 zu dem in Fig. 3 dargestellten Linsensystem kann man in Ausführung dieser Lehre anstelle einer Linse C aus dem Chalkogenid-Glas BS1 eine solche aus dem Halogenid-Material mit der Bezeichnung KRS5 einsetzen, und weil KRS5 eine geringere Dispersion aufweist als BS1, benötigt man für die Linse B ebenfalls ein Material mit geringerer Dispersion; geeignet für die Linse B ist das von Barr & Stroud Limited hergestellte Chalkogenid-Glas mit der Bezeichnung BS2.

Nachfolgend wird noch ein besonderes *Beispiel 5* angegeben, bei dem der Einfluss von Abstandhaltern aus Dural *) kompensiert ist. Die Massangaben sind auf den Wert der effektiven Brennweite zu 1,00 normiert. Die hintere Brennweite beträgt dann 0,4934, und die Krümmungsradien der brechenden Oberfläche 13 bis 18 und deren entlang der optischen Achse 11 gemessenen Abstände untereinander sind – beginnend bei der brechenden Oberfläche 18 und fortschreitend in Richtung auf die Bildfläche 12 zu – in der nachstehenden Tabelle angegeben:

*) eine aushärtbare Aluminium-Knetlegierung vom Typ AlCuMg

Fläche Nr.	Abstand	Radius
18	–	0,5117
17	0,0427	0,6424
16	0,3028	7,6224
15	0,016	0,3796
14	0,0267	0,5813
13	0,0267	–1,2106

Die in den fünf Beispielen angegebenen Abmessungen können massstäblich verändert werden, soweit nicht die Homogenität der optischen Materialien und – bezogen auf eine Wellenlänge von 10µm – einsetzende Beugungserscheinungen eine Grenze setzen. Die Beispiele sind optimiert worden für relative, auf die Brennweite bezogene Aperturen zwischen f/2 und f/3 und für ein Gesichtsfeld von ungefähr 6° und werden gewöhnlich mit Öffnungsweiten von bis zu 250 mm (Durchmesser) benutzt, nahe an der durch Beugungserscheinungen gesetzten Grenze. Wie bei der Auslegung von Linsen üblich, kann die relative Apertur durch Einsatz einer asphärischen Oberfläche auf der primären Linse A erhöht werden; in diesem Fall lassen sich ohne Beeinträchtigung der Eigenschaften des Linsensystems relative Aperturen bis über f/1,5 und Öffnungsweiten bis zu 500 mm (Durchmesser) erreichen.

Optische Eigenschaften von Germanium und von kristallinen Halogenid-Materialien sind in Tabelle 1 angegeben. Tabelle 2 enthält entsprechende Angaben über einige handelsübliche Chalkogenid-Gläser.

Tabelle 1

Eigenschaften optischer Materialien bei einer Wellenlänge von 10µm

Material	Brechungsindex	Dispersionskoeffizient	Temperaturkoeffizient
Germanium	4,0032	0,00085	–0,00474
KRS 5	2,3704	0,00385	+0,00621
KRS 6	2,1768	0,01054	+0,00489*

* geschätzt

Tabelle 2
Eigenschaften von Chalkogenid-Gläsern bei einer
Wellenlänge von 10µm

Material	Brechungsindex	Dispersionskoeffi- zient	Temperaturkoeffi- zient
TI 1173	2,6001	0,00705	-0,00171
Ti 20	2,4919	0,00696	-0,00174
AMTIR-1	2,4975	0,00592	-0,00170
BSA	2,7792	0,00479	0,00128
BS1	2,4916	0,00660	-0,00171
BS2	2,8563	0,00404	-0,00171*

* geschätzt

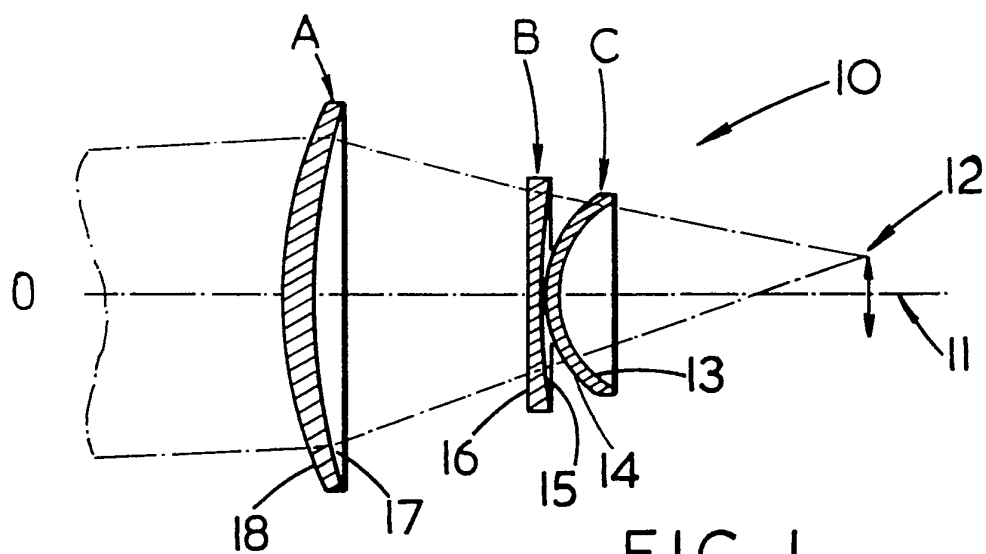


FIG. 1

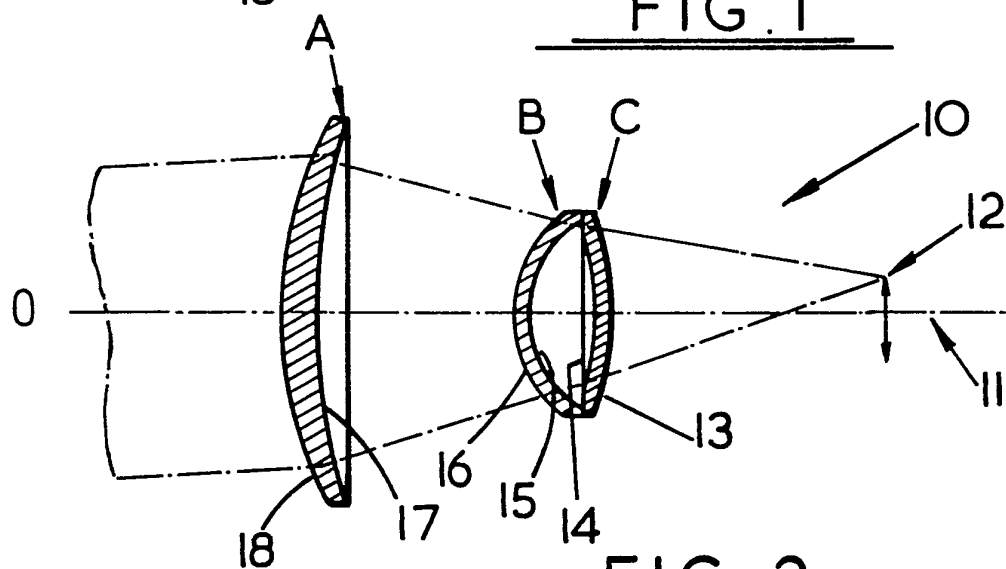


FIG. 2

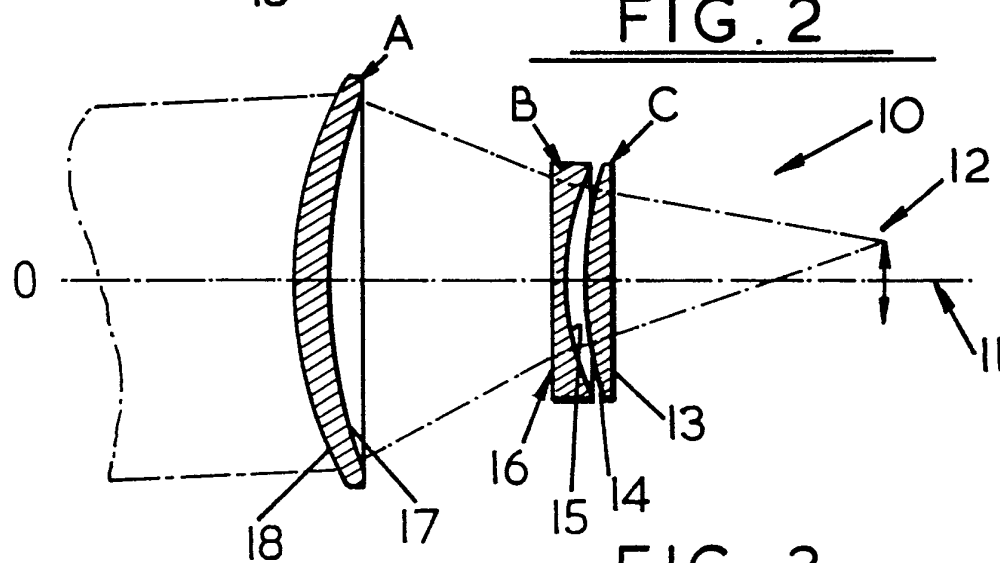


FIG. 3