



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

① CH 654 934 A5

⑤ Int. Cl.4: G 02 B 23/00
G 02 B 13/14
G 02 B 15/16

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ PATENTSCHRIFT A5

⑲ Gesuchsnummer: 3500/81

⑲ Inhaber:
Barr & Stroud Limited,
Anniesland/Glasgow/Schottland (GB)

⑳ Anmeldungsdatum: 27.05.1981

⑳ Priorität(en): 30.05.1980 GB 8017264

⑳ Erfinder:
Neil, Iain Alexander, Glasgow (GB)

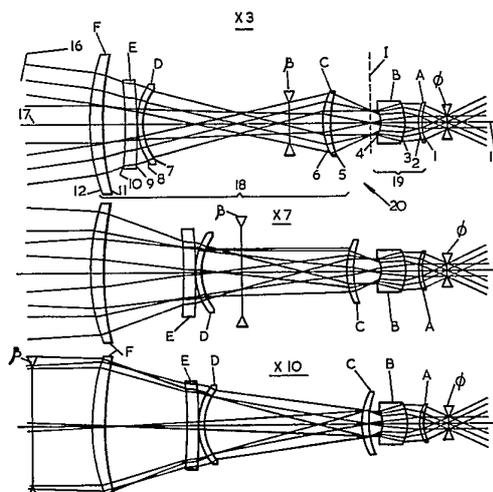
㉑ Patent erteilt: 14.03.1986

㉒ Patentschrift
veröffentlicht: 14.03.1986

㉒ Vertreter:
Bovard AG, Bern 25

⑤④ Afokales Zoom-Linsenfernrohr.

⑤⑦ Es wird ein afokales Linsenfernrohr zur Verwendung im infraroten Spektralbereich mit achromatischem Zoom-Objektiv (18) und mit einem Okular (19) mit fester Brennweite beschrieben, welche auf gemeinsamer optischer Achse (17) liegen und derart angeordnet sind, dass innerhalb des Fernrohrs ein reelles Bild I entsteht. Das Okular (19) besteht aus zwei Linsen (A und B) und das Objektiv (18) aus vier Linsen (C bis F), welche sämtlich i.w. sphärisch sind. Die der primären Objektivlinse (F) benachbarte Objektivlinse (E) ist farbkorrigierend, besitzt eine Abbesche Zahl von mindestens 120, einen geringeren Brechungsindex als die übrigen Objektivlinsen und negative Brechkraft; sie ist mit der benachbarten Objektivlinse (D) starr gekoppelt und mit dieser zusammen relativ zur primären Objektivlinse (F) entlang der optischen Achse (17) verschiebbar. Die dem Okular (19) benachbarte Objektivlinse (C) ist gesondert entlang der optischen Achse (17) verschiebbar. Das Linsenpaar (D und E) einerseits und die Linse (C) werden gleichzeitig verschoben und dadurch die Vergrößerung variiert.



PATENTANSPRÜCHE

1. Afokales Zoom-Linsenfernrohr (20) mit einem achromatischen Objektiv (18) mit veränderlicher Vergrößerung und mit einem Okular (19) mit fester Brennweite, welche derart auf einer gemeinsamen optischen Achse (17) angeordnet sind, dass im Innern des Fernrohrs (20) ein reelles Bild (I) entsteht, wobei das Objektiv (18) aus vier Linsen (C, D, E, F) und das Okular (19) aus zwei Linsen (A, B) besteht und alle sechs Linsen (A bis F) aus einem Material bestehen, welches ein im infraroten Wellenlängenbereich durchlässiges Spektralband aufweist, und wobei die im wesentlichen sphärisch gekrümmten brechenden Oberflächen (1 bis 12) der sechs Linsen (A bis F) von der optischen Achse (17) durchsetzt werden, dadurch gekennzeichnet, dass die der ersten Linse (F) des Objektivs (18) benachbarte Linse (E) des Objektivs (18) farbkorrigierend mit einer im gespannten Spektralband definierten Abbe'schen Zahl von nicht weniger als 120 gewählt ist und negative Brechkraft sowie einen geringeren Brechungsindex als die übrigen Linsen (C, D, F) des Objektivs (18) besitzt und fest mit jener benachbarten Linse (D), welche auf ihrer der ersten Linse (F) des Objektivs (18) abgewandten Seite liegt, gekoppelt und gemeinsam mit dieser entlang eines ersten Weges entlang der optischen Achse (17) verschiebbar ist, dass jene Linse (D) des Objektivs (18), welche zwischen der dem Okular (19) benachbarten Linse (C) und der der ersten Objektivlinse (F) benachbarten Linse (E) liegt, eine ausgeprägte Meniskusstform besitzt und ihre konkave Oberfläche (7) dem inneren reellen Bild (I) zugekehrt ist, dass die Distanz zwischen den benachbarten brechenden Oberflächen (8, 9) der fest miteinander gekoppelten und gemeinsam entlang der optischen Achse verschiebbaren Linsen (E, D) im Bereich der optischen Achse (17) im wesentlichen Null ist und sich mit zunehmendem Abstand von der optischen Achse vergrößert, dass die dem Okular (19) benachbarte Linse (C) des Objektivs (18) entlang eines zweiten Weges entlang der optischen Achse (17) verschiebbar ist, und dass zur Veränderung der Vergrößerung des Fernrohrs (20) im Bereich zwischen einem unteren und einem oberen Vergrößerungsfaktor Verschiebmittel vorgesehen sind, durch welche die drei verschiebbaren Linsen (E, D, C) des Objektivs (18) gleichzeitig entlang ihrer Verschiebewege bewegbar sind, wobei zwischen den Verschiebewegen und der Änderung der Vergrößerung ein nichtlinearer Zusammenhang besteht.

2. Fernrohr nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die der ersten Objektivlinse (F) benachbarte farbkorrigierende Linse (E) des Objektivs (20) aus einem Chalkogenidglas besteht, wohingegen die übrigen Linsen (A, B, C, D, F) des Fernrohrs (20) aus Germanium bestehen.

3. Fernrohr nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die farbkorrigierende Linse (E) des Objektivs (18) aus einem Chalkogenidglas mit Arsen, Selen und Germanium als wesentlichen Bestandteilen besteht.

4. Fernrohr nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die der ersten Objektivlinse (F) benachbarte, farbkorrigierende Linse (E) des Objektivs (18) einen bei einer Temperatur von 20°C und einer Wellenlänge von 10 µm bestimmten Brechungsindex von nicht weniger als 2,45 besitzt, wohingegen alle übrigen Linsen (A, B, C, D und F) des Fernrohrs (20) aus einem Material bestehen, welches einen unter denselben Bedingungen bestimmten Brechungsindex von nicht weniger als 4,0 besitzt.

5. Fernrohr nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Blendenzahl am inneren reellen Bild (I) über den gesamten einstellbaren Vergrößerungsbe-
reich den Wert 2,51 besitzt.

6. Fernrohr nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Verschiebeweg der dem Okular (19) benachbarten

Linse (C) des Objektivs (18) in der Weise begrenzt ist, dass diese Linse (C) sich nicht durch das innere reelle Bild (I) hindurchbewegen kann.

5

Die Erfindung geht aus von einem afokalen Zoom-Linsenfernrohr gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruches 1.

10 In der US-PS Nr. 4 030 805 ist eine Infrarot-Linsenanordnung für ein bis sechs Linsen aufweisendes afokales Linsenfernrohr beschrieben. Die bekannte Linsenanordnung besitzt ein bewegliches Linsenpaar und eine einzelne bewegliche Linse und nimmt viel Raum in Anspruch, d.h., sie hat einen kompakten Aufbau.

15 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein derartiges Fernrohr kompakt und kurz mit minimalem Übermass der primären Objektivlinse zu bauen.

20 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss durch ein Fernrohr mit den im Patentanspruch 1 angegebenen Merkmalen gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachfolgend anhand der beigefügten Zeichnungen beschrieben.

25

Fig. 1 zeigt schematisch den Aufbau eines erfindungsgemässen Fernrohrs bei drei verschiedenen Vergrößerungen, und

30 Fig. 2 und 3 zeigen in graphischer Darstellung die relative Lage der beweglichen Komponenten des Fernrohrs in Abhängigkeit von der Vergrößerung des Fernrohrs.

Das in Fig. 1 dargestellte Fernrohr 20 enthält ein Okular 19 aus zwei feststehenden Linsen A und B und ein Objektiv 18 aus vier Linsen C, D, E und F, von denen die Linse F feststehend angeordnet ist, die Linsen D und E miteinander gekoppelt und gemeinsam entlang eines ersten Weges verschiebbar sind und die Linse C entlang eines zweiten Weges verschiebbar ist. Die Linsen A bis F sind auf einer gemeinsamen optischen Achse 17 angeordnet und besitzen brechende Oberflächen 1 bis 12 von im wesentlichen sphärischer Gestalt. Das Objektiv 18, welches im infraroten Wellenlängenbereich zwischen 3 µm und 13 µm hinreichend durchlässig ist, empfängt Strahlung aus dem Gegenstandsraum 16 und erzeugt daraus ein innerhalb des Fernrohrs 20 gelegenes reelles Bild I. Das Okular 19, welches ebenfalls im infraroten Wellenlängenbereich hinreichend durchlässig ist, sammelt die vom reellen Bild I ausgehenden Strahlen und überträgt sie durch eine Pupille Ø hindurch in den Bildraum S.

50 Die Linse E besteht aus einem Material mit geringerem Brechungsindex als die übrigen Linsen, besitzt negative Brechkraft und eine v-Zahl von wenigstens 120. Die v-Zahl wird auch als Abbesche Zahl bezeichnet. Sie berechnet sich als das Verhältnis des um 1 verminderten Brechungsindex bei 10 µm zur Differenz des Brechungsindex bei 8,5 µm und des Brechungsindex bei 11,5 µm:

$$v = \frac{n(10 \mu\text{m}) - 1}{n(8,5 \mu\text{m}) - n(11,5 \mu\text{m})}$$

60

Die Linse E wirkt deshalb relativ zu den anderen drei Objektivlinsen C, D und F farbkorrigierend. Vorzugsweise besteht zu diesem Zweck die Linse E aus einem Chalkogenidglas mit der Bezeichnung BS1. BS1 ist eine Handelsbezeichnung der Fa. Barr & Stroud Limited für ein Chalkogenidglas mit Arsen, Selen und Germanium als wesentlichen Bestandteilen, während alle übrigen Linsen aus Germanium bestehen.

65

Um auch dicke Strahlenbündel verkräften zu können, ist die Linse D eine Linse mit positiver Brechkraft und hat eine ausgeprägte Meniskusstform. Die Linsen D und E sind miteinander verbunden und gemeinsam entlang der optischen Achse 17 verschieblich. Die Distanz zwischen den brechenden Oberflächen 8 und 9 der beiden Linsen D und E im Bereich der optischen Achse 17 ist im wesentlichen gleich Null. Mit zunehmendem Abstand von der optischen Achse 17 wird diese Distanz grösser. Zwischen dem Verschiebeweg und dem Vergrößerungsfaktor besteht der in Fig. 2 dargestellte nichtlineare Zusammenhang (Kurve G); in Fig. 2 ist auf der Abszissenachse der Abstand zwischen den brechenden Oberflächen 10 und 11 und auf der Ordinatenachse der Vergrößerungsfaktor aufgetragen; eine entsprechende Verschiebung der Linse C über deren eigenen Verschiebeweg entlang der optischen Achse 17 bewirkt ebenfalls eine nichtlinear vom Verschiebeweg abhängende Änderung des Vergrößerungsfaktors; die Kurve H in Fig. 3 zeigt diesen Zusammenhang, wobei auf der Abszissenachse der Abstand zwischen den brechenden Oberflächen 4 und 5 und auf der Ordinatenachse der Vergrößerungsfaktor angegeben ist. Vorzugsweise ist die Beweglichkeit der Linse C derart begrenzt, dass sie nicht durch das innere reelle Bild I hindurch bewegt werden kann und dies begrenzt – wie in den Zeichnungen dargestellt, den maximalen Vergrößerungsfaktor auf den Wert X10. Wenn jedoch das Material, aus welchem die Linse C besteht, frei von Inhomogenitäten ist, dann kann diese Linse C sogar durch die Fläche des reellen Bildes I hindurchbewegt und dadurch der Vergrößerungsfaktor gesteigert werden. Zu diesem Zweck kann man die Linse C z.B. aus Zinkselenid herstellen, welches gewöhnlich weniger inhomogen ist als Germanium.

Die Linse E besitzt vorzugsweise einen bei 20°C und bei einer Wellenlänge von 10 µm gemessenen Brechungsindex von mindestens 2,45, wohingegen die übrigen Linsen jeweils einen Brechungsindex von nicht weniger als 4,0 aufweisen. Mit Vorteil kann ferner jede der brechenden Oberflächen 1 bis 12 mit einer reflexmindernden Beschichtung versehen sein. Die Linsen D und E lassen sich unabhängig von der Linse C verschieben, um die Brennweite des Fernrohrs zu verstellen oder den Einfluss von Schwankungen der Umgebungstemperatur auf die Brennweite kompensieren zu können.

Tabelle I enthält ein Bemessungsbeispiel für ein Fernrohr mit dem in Fig. 1 gezeigten Aufbau. An diesem Bemessungsbeispiel sieht man, dass das Fernrohr in der Tat recht kompakt ist bei einer Blendenzahl am Ort des reellen Bildes I von 2,51 über den gesamten Vergrößerungsbereich von X3 bis X10, wobei das Fernrohr bis nahe an die durch Beugungseffekte bestimmte Leistungsgrenze eine sehr hohe Abbildungsgüte über das gesamte Gesichtsfeld und bei praktisch allen Vergrößerungen aufweist. Tabelle II enthält Angaben über die Abbildungsgüte des Fernrohres.

Das Fernrohr gemäss Tabelle I lässt wenigstens 60% der im Wellenlängenbereich von 8 µm bis 13 µm einfallenden Infrarotstrahlung durch und der Durchmesser der Pupille Ø (d.i. die Austrittspupille des Fernrohrs 20) ist über den gesamten Vergrößerungsbereich konstant, wohingegen die Eintrittspupille β des Objektivs in Grösse und Lage vom Vergrößerungsfaktor abhängt; bei den Vergrößerungsfaktoren X3 und X7 ist die Eintrittspupille β virtuell.

Die Kurve G in Fig. 2 verläuft annähernd exponentiell, d.h. wenn der Vergrößerungsfaktor ausgehend vom kleinsten Vergrößerungsfaktor X3 erhöht wird, dann erfordert die Erhöhung zunächst einen grossen, bei Annäherung an die stärkste Vergrößerung X10 schliesslich aber nur noch einen recht kleinen Verschiebeweg der Linsen D und E. In der Kurve H in Fig. 3 kommt ein annähernd kubischer Zusammenhang zwischen dem Verschiebeweg der Linse C und dem Vergrößerungsfaktor zum Ausdruck, wobei die kubische Abhängigkeit ungefähr bei einem Vergrößerungsfaktor von X6,5 ihren Ausgang nimmt. Je kompakter das Fernrohr ist, d.h. je höher die Blendenzahl (f-Zahl) des Fernrohrs ist, desto ausgeprägter ist der kubische Charakter der Kurve H.

Die Objektivlinsen C bis F können ausgehend von den Massen in Tabelle I massstäblich verändert und dadurch unterschiedliche Vergrößerungsbereiche und unterschiedliche minimale und maximale Vergrößerungsfaktoren verwirklicht werden. Derartige Veränderungen ziehen auch Änderungen der Blendenzahl zwischen den Linsenoberflächen 6 und 7 nach sich, und je kompakter das Objektiv 18 gerät, desto ausgeprägter ist die Nichtlinearität der Kurve H. Die Kurven in Fig. 2 und 3 sind bei allen Vergrößerungen unter Zugrundelegung von Paraxialstrahlen für eine Brennpunktentfernung von 1000 m ermittelt worden, d.h. das untersuchte Fernrohr 20 war praktisch afokal.

Tabelle I

Linse	brechende Oberfläche Nr.	Abstände (in mm) der Linsenoberflächen untereinander	bei Vergrößerungsfaktor	Krümmungsradius (mm)***	Material	Maximale Öffnung (mm Durchmesser)
Austrittspupille*	Ø	0	jedem	plan	Luft	15,30
A	1	33,29**	jedem	- 64,39	Luft	43,00
	2	5,00	jedem	- 52,00	Ge	44,60
B	3	17,50	jedem	66,72	Luft	48,30
	4	33,32	jedem	45,97	Ge	31,50
C	5	66,00	X3,1	-117,96	Luft	73,50
		35,42	X7,0			
16,93		X9,7				
	6	10,02	jedem	- 79,60	Ge	77,00

Tabelle I (Fortsetzung)

Linse	brechende Oberfläche Nr.	Abstände (in mm) der Linsenoberflächen untereinander	bei Vergrößerungs-faktor	Krümmungsradius (mm)***	Material	Maximale Öffnung (mm Durchmesser)
D	7	$\left\{ \begin{array}{l} 240,46 \\ 193,53 \\ 210,27 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} X3,1 \\ X7,0 \\ X9,7 \end{array} \right\}$	- 72,30	Luft	90,00
	8	8,00	jedem	- 82,25	Ge	98,00
E	9	0,50	jedem	1301,07	Luft	106,50
	10	15,30	jedem	843,67	BS1	109,00
F	11	$\left\{ \begin{array}{l} 30,60 \\ 108,12 \\ 109,86 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} X3,1 \\ X7,0 \\ X9,7 \end{array} \right\}$	-334,75	Luft	168,00
	12	16,00	jedem	-249,09	Ge	174,00

* maximaler Gesichtsfeldwinkel an der Austrittspupille = 46,4°

** Abstand der Oberfläche I von der Austrittspupille Ø

*** negatives Vorzeichen zeigt an, dass der Krümmungsmittelpunkt auf jener Seite der jeweiligen Linse liegt, auf der auch die Austrittspupille Ø liegt.

Tabelle II

Ungefähre quadratische Mittelwerte der scheinbaren Grösse eines durch das Fernrohr abgebildeten Punktes im Gegenstandraum bei unterschiedlicher Ausnutzung des Gesichtfeldes.

Vergrößerung	bei monochromatischem Licht von 9,6 µm			bei chromatischem Licht von 8,5 µm bis 11,5 µm*		
	Gesichtsfeld:			Gesichtsfeld:		
	Achsis-	halb-	¼-	Achsis-	halb-	¼-
	strahlen	strahlen	strahlen	strahlen	strahlen	strahlen
× 9,7	0,059	0,058	0,075	0,069	0,070	0,086
× 7,0	0,305	0,373	0,524	0,306	0,375	0,526
× 3,1	0,559	0,726	0,899	0,560	0,727	0,900

für das innen 81,9 91,3 97,4 81,9 91,5 109,8 } \$
liegende reelle
Bild

* bestimmt aus gleich gewichteten Messungen bei den Wellenlängen 8,5 µm, 9,6 µm und 11,5 µm

in milliradian

\$ in µm

