



(10) **DE 10 2012 006 244 A1** 2013.09.26

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2012 006 244.3**

(22) Anmeldetag: **21.03.2012**

(43) Offenlegungstag: **26.09.2013**

(51) Int Cl.: **G02B 13/00 (2012.01)**

(71) Anmelder:
**JENOPTIK Optical Systems GmbH, 07745, Jena,
DE**

(72) Erfinder:
**Krüger, Ullrich, 07751, Milda, DE; Wunderlich,
Jörg, 07554, Brahmenau, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

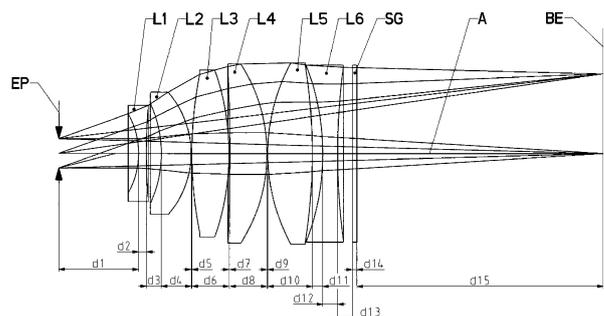
US 7 924 510 B2
US 2010 / 0 085 651 A1

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Farbkorrigiertes F-Theta-Objektiv für die Lasermaterialbearbeitung**

(57) Zusammenfassung: F-Theta-Objektiv welches für einen Wellenlängenbereich von 1065–1075 nm farbkorrigiert ist und für hohe Laserleistungen von mehr als 1 kW geeignet ist, mit sechs Einzellinsen L_1 – L_6 , wobei diese aus mindestens zwei verschiedenen Materialien bestehen.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein für eine breitbandige Laserstrahlung chromatisch korrigiertes F-Theta-Objektiv zur Fokussierung eines scannenden Hochleistungslaserstrahls in ein geebnetes Bildfeld und weist entlang der optischen Achse angeordnete Linsen verschiedener Materialien auf, die bei einer Laserleistung von mehr als 1 kW beständig sind.

[0002] In der Lasermaterialbearbeitung werden zunehmend Laser mit hohen Leistungen zum Schweißen oder Trennen von Teilen verwendet. Ein Nachteil dieser Laser ist ihre verhältnismäßig große chromatische Bandbreite und die Absorption der Laserstrahlung durch die Linsen des F-Theta-Objektivs und damit dessen Erwärmung.

[0003] Die chromatische Bandbreite und die Erwärmung haben Einfluss auf die Fokussierbarkeit der Laserstrahlung.

[0004] Ein für die Lasermaterialbearbeitung gewöhnliches F-Theta-Objektiv ist für monochromatische Strahlung ausgelegt. Die Lage der Fokusebene und die Geometrie des Scanfildes werden damit durch genau eine Wellenlänge bestimmt. Bei Verwendung chromatisch breitbandiger Laserstrahlung ergibt sich für jede Wellenlänge eine separate Fokusebene und eine je Wellenlänge verschiedene Scangeometrie. Der Effekt für die Lasermaterialbearbeitung ist ein Laserfokus, der sowohl in der räumlichen Tiefe (longitudinal) als auch orthogonal dazu (lateral) deutlich größer als bei Verwendung monochromatischer Strahlung ist. Damit ist die mit der Laserstrahlung beaufschlagte Bearbeitungsfläche auf dem zu bearbeitenden Material größer, die Leistungsdichte entsprechend geringer und die erforderliche Leistung zur Erreichung der gewünschten Bearbeitungseffekte höher.

[0005] Ein weiterer Effekt bei der Verwendung von F-Theta-Objektiven mit Hochleistungslaserstrahlung ist der Wärmeeintrag in das optische System. Dieser hat zur Folge, dass sich mit ändernder Temperatur des F-Theta-Objektivs die Lage der Fokusebene ändert. Der Abstand zwischen F-Theta-Objektiv und Bearbeitungsebene wird aber im Allgemeinen konstant gehalten, weshalb der Fokuspunkt longitudinal zur Bearbeitungsebene auswandert und die Laserstrahlung nicht mehr in der Bearbeitungsebene fokussiert wird, sondern hier ein defokussierter Strahlfleck abgebildet wird. Eine temperaturgesteuerte Nachführung der Bearbeitungsebene wäre äußerst aufwendig. Für die Materialbearbeitung heißt das, dass der auf der Bearbeitungsebene abgebildete Strahlfleck größer und damit die Leistungsdichte geringer ist. Im ungünstigsten Fall, findet keine Materialbearbeitung mehr statt, da die Leistungsdichte unter die Bearbeitungsschwelle gesunken ist.

[0006] Es ist also erforderlich sowohl die Lage der Fokusebene als auch die Scangeometrie für die chromatische Bandbreite zu korrigieren. Außerdem sollte möglichst kein oder nur geringer Wärmeeintrag in das Objektiv erfolgen bzw. sollte eine Temperaturänderung des Objektivs keinen oder nur geringen Einfluss auf die Lage der Fokusebene haben.

[0007] Farbkorrigierte F-Theta-Objektive für Laseranwendungen sind aus dem Stand der Technik für separate Wellenlängen z. B. für 808 nm und 940 nm bekannt. Diese Objektive sind zwar für zwei oder mehr Wellenlängen korrigiert, allerdings nur für separate monochromatische Emissionslinien.

[0008] Außerdem sind farbkorrigierte F-Theta-Objektive bekannt, die für eine bestimmte monochromatische Emissionslinie eines Bearbeitungslasers konzipiert sind und dazu einen korrigierten Wellenlängenbereich zur Beobachtung des Arbeitsbereiches haben.

[0009] Ein derartiges Objektiv ist aus der Patentanmeldung EP 1 477 258 A1 bekannt. Das hier offenbarte F-Theta-Objektiv ist Bestandteil einer Vorrichtung zur lokalen Temperaturbehandlung, mit dem eine punktgenaue Temperaturbehandlung zusammen mit einer integrierten Überwachung des Arbeitsbereiches ermöglicht werden soll. Zur scharfen Abbildung des Arbeitsbereiches muss das Objektiv zusätzlich zur Wellenlänge des Bearbeitungslasers auch für den Wellenlängenbereich der Beleuchtungsstrahlung korrigiert werden.

[0010] Das hier offenbarte F-Theta-Objektiv umfasst drei Elemente, davon zwei Elemente mit sammelnder und ein Element mit zerstreuer Wirkung, wobei eines der sammelnden Elemente ein Kittglied darstellt um die erforderliche Abbildungsqualität zu erreichen. Durch geeignete Kombination der Glassorten der Elemente, wozu keine genaueren Angaben gemacht sind, soll die Farbkorrektur für die entsprechenden Wellenlängenbereiche erreicht werden.

[0011] Als Bearbeitungslaser sind beispielsweise als Festkörperlaser ein Nd-YAG-Laser, Faserlaser, Scheibenlaser bzw. Halbleiterlaser genannt. Derartige Laser weisen eine oder auch mehrere monochromatische Emissionslinien auf, für welche das F-Theta-Objektiv korrigiert wird.

[0012] Es ist die Aufgabe der Erfindung ein F-Theta-Objektiv zu finden, welches für eine chromatisch breitbandige Hochleistungslaserstrahlung im Bereich von 1065–1075 nm farbkorrigiert ist und für eine Laserleistung von mehr als 1 kW thermisch stabil ist. Diese Aufgabe wird für ein F-Theta-Objektiv mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausführungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

[0013] Die Erfindung soll nachfolgend anhand einer Zeichnung näher erläutert werden. Hierzu zeigt

[0014] **Fig. 1** das geometrische Optikschemata eines erfindungsgemäßen Objektivs. Ein erfindungsgemäßes F-Theta-Objektiv weist eine dem F-Theta-Objektiv vorgeordnet beabstandete Eintrittspupille EP auf, die in einer Ebene, in der ein Scannerspiegel, bzw. bei Verwendung von zwei Scannerspiegeln eine hierfür gerechnete Ersatzebene liegt, angeordnet werden kann, und umfasst sechs, auf einer gemeinsamen optischen Achse A angeordnete, Einzellinsen L_1 – L_6 .

[0015] Die Einkopplung eines Laserstrahles in das F-Theta-Objektiv erfolgt aus Richtung der Eintrittspupille EP, womit die Strahldurchtrittsrichtung bestimmt ist.

[0016] Die erste Linse L_1 ist eine Bikonkavlinse, die zweite Linse L_2 ist ein Meniskus, die dritte Linse L_3 ist eine Bikonvexlinse, die vierte Linse L_4 ist eine Plankonvexlinse, die fünfte Linse L_5 ist eine Bikonvexlinse und die sechste Linse L_6 ist eine Bikonkavlinse.

[0017] Es ist erfindungswesentlich, dass die sechs Linsen L_1 – L_6 aus wenigstens zwei verschiedenen Materialien hergestellt sind, wobei die wenigstens zwei Materialien so ausgewählt sind, dass sie für den Bereich von 1065–1070 nm möglichst gering absorbierend sind und einen unterschiedlichen Brechungsindex aufweisen, der sich gegenläufig temperaturabhängig verändert. Das heißt, während der Brechungsindex des einen Materials für eine konstante Wellenlänge mit zunehmender Temperatur größer wird, wird der Brechungsindex des anderen Materials für die gleiche Wellenlänge mit zunehmender Temperatur geringer. Damit können temperaturabhängige Änderungen der Materialeigenschaften der Einzellinsen L_1 – L_6 kompensiert werden.

[0018] Den sechs Einzellinsen L_1 – L_6 kann ein Schutzglas SG nachgeordnet sein.

[0019] Der nützliche Effekt, welcher mit einem erfindungsgemäßen F-Theta-Objektiv erreicht wird, besteht darin, dass es für eine chromatisch breitbandige Hochleistungslaserstrahlung, im Bereich von 1065–1075 nm chromatisch korrigiert ist und für Laserleistung von mehr als 1 kW thermisch stabil ist.

[0020] Die spezifische Struktur und die Parameter eines Ausführungsbeispiels für ein solches F-Theta-Objektiv sind nachfolgend beschrieben.

[0021] Die Eintrittspupille EP des F-Theta-Objektivs liegt in einem Abstand von d_1 vor dem vorderen Scheitelpunkt der ersten Linse L_1 , einer Bikonkavlinse mit einer Dicke d_2 , deren vordere Oberfläche einen Radius r_1 und deren hintere Oberfläche einen Radius r_2 aufweist. Dieser ersten Linse L_1 folgt mit einem Luftabstand d_3 die zweite Linse L_2 , ein Meniskus mit einer Dicke d_4 , dessen vordere Oberfläche einen Radius r_3 und deren hintere Oberfläche einen Radius r_4 aufweist. Mit einem Luftabstand d_5 folgt die dritte Linse L_3 , eine Bikonvexlinse mit einer Dicke d_6 , deren vordere Oberfläche einen Radius von r_5 und deren hintere Oberfläche einen Radius von r_6 aufweist. Die vierte Linse L_4 , eine Plankonvexlinse mit einer Dicke d_8 , deren vordere Oberfläche einen Radius von r_7 und deren hintere Oberfläche einen Radius von r_8 aufweist, folgt mit einem Luftabstand d_7 . Mit einem Luftabstand von d_9 folgt die fünfte Linse L_5 , eine Bikonvexlinse mit einer Dicke d_{10} , deren vordere Oberfläche einen Radius von r_9 und deren hintere Oberfläche einen Radius von r_{10} aufweist. Mit einem Luftabstand d_{11} folgt die sechste Linse L_6 , mit einer Dicke d_{12} , deren vordere Oberfläche einen Radius von r_{11} und deren hintere Oberfläche einen Radius von r_{12} aufweist. Danach folgt in einem Abstand von D_{13} ein planparalleles Schutzglas SG mit einer Dicke von d_{14} . Das Bildfeld BE entsteht in einem Abstand von d_{15} zum Schutzglas SG.

[0022] Als Material für die erste und sechste Einzellinse L_1 , L_6 wurde Quarzglas gewählt. Quarzglas weist eine Brechzahl auf, die sich über den Wellenlängenbereich von 1065–1075 nm von 1,449559 zu 1,449499 hin ändert.

[0023] Als Material für die zweite bis fünfte Einzellinse L_2 – L_5 wurde Kalziumfluorid gewählt. Kalziumfluorid weist eine Brechzahl auf, die sich über den Wellenlängenbereich von 1065–1075 nm von 1,428442 zu 1,428412 hin ändert.

[0024] Sowohl Quarzglas als auch Kalziumfluorid sind für den genannten Wellenlängenbereich nur gering absorbierend, weshalb nur eine geringe Erwärmung der Einzellinsen L_1 – L_6 erfolgt.

[0025] Vorteilhaft für diese Materialien ist außerdem, dass die Brechzahlen, sich mit ändernder Temperatur gegenläufig verändern. So ist der Temperaturkoeffizient der Brechzahl bei Quarz für eine Wellenlänge von 1060 nm 8.9 in einem Temperaturbereich von ca. -30°C und 9.4 in einem Temperaturbereich von ca. $+30^\circ\text{C}$. Hingegen ist der Temperaturkoeffizient der Brechzahl bei Kalziumfluorid für eine Wellenlänge von 1060 nm -8.4 in einem Temperaturbereich von ca. -30°C und -10.4 in einem Temperaturbereich von ca. $+30^\circ\text{C}$.

[0026] Durch die Kombination der beiden Materialien in Verbindung mit den geometrischen Parametern der Anordnung der Einzellinsen L_1 – L_6 kann Einfluss auf die temperaturbedingten Änderungen der Eigenschaften des F-Theta-Objektives genommen werden und somit das F-Theta-Objektiv gegenüber thermischen Einflüssen stabilisiert werden.

[0027] Die Radien r der Einzellinsen L_1 – L_6 , deren Dicken und deren Abstände d sind in nachfolgender Tabelle angegeben.

Medium	r	Radius	d Dicke
Luft		**	d1 53,49
L1	r1	-55,493	d2 5,30
	r2	429,101	
Luft			d3 10,00
L2	r3	-81,262	d4 20,00
	r4	-63,383	
Luft			d5 0,50
L3	r5	279,297	d6 25,00
	r6	-171,994	
Luft			d7 0,50
L4	r7	-1373,769	d8 25,00
	r8	-113,823	
Luft			d9 0,50
L5	r9	129,543	d10 30,00
	r10	-383,533	
Luft			d11 7,00
L6	r11	-167,614	d12 10,00
	r12	443,137	
Luft			d13 10,00
SG	r13	**	d14 3,00
	r14	**	
Luft			d15 165,16

[0028] Die Abstände und Dicken sind gleichermaßen als d gekennzeichnet und in ihrer Abfolge entlang der optischen Achse A des F-Theta-Objektives in Strahldurchtrittsrichtung durchnummeriert sowie in [Fig. 1](#) als d_1 – d_{15} angegeben.

[0029] Die Angaben „vordere“ und „hintere“ Oberfläche sind auf die Strahldurchtrittsrichtung bezogen. Die Radien r_1 – r_{14} können durch den Bezug auf die betreffenden Linsen L_1 – L_6 und das Schutzglas SG zweifelsfrei zugeordnet werden und sind daher der guten Übersichtlichkeit halber in [Fig. 1](#) nicht angegeben.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- EP 1477258 A1 [[0009](#)]

Patentansprüche

1. Breitbandig farbkorrigiertes und thermisch stabiles F-Theta-Objektiv umfassend sechs Einzellinsen mit einer ersten Einzellinse L_1 als Bikonkavlinse, einer zweiten Einzellinse L_2 als Meniskus, einer dritten Einzellinse L_3 als Bikonvexlinse, einer vierten Einzellinse L_4 als Plankonvexlinse, einer fünften Einzellinse L_5 als Bikonvexlinse und einer sechsten Einzellinse L_6 als Bikonkavlinse, wobei für die Einzellinsen wenigstens zwei verschiedene Materialien verwendet werden, die für den Wellenlängenbereich von 1065–1075 nm möglichst gering absorbierend sind und sich deren Brechkraft in diesem Wellenlängenbereich gegenläufig temperaturabhängig verändert.

2. F-Theta-Objektiv nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Material für die erste und sechste Einzellinse L_1 , L_6 Quarzglas und das Material für die zweite bis fünfte Einzellinse L_2 – L_5 Kalziumfluorid ist.

3. F-Theta-Objektiv nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Einzellinsen L_1 – L_6 und deren Anordnung entlang einer optischen Achse folgenden Bedingungen genügen:

Medium	r	Radius	d Dicke
Luft		**	d1 53,49
L1	r1	–55,493	d2 5,30
	r2	429,101	
Luft			d3 10,00
L2	r3	–81,262	d4 20,00
	r4	–63,383	
Luft			d5 0,50
L3	r5	279,297	d6 25,00
	r6	–171,994	
Luft			d7 0,50
L4	r7	–1373,769	d8 25,00
	r8	–113,823	
Luft			d9 0,50
L5	r9	129,543	d10 30,00
	r10	–383,533	
Luft			d11 7,00
L6	r11	–167,614	d12 10,00
	r12	443,137	
Luft			d13 10,00
SG	r13	**	d14 3,00
	r14	**	
Luft			d15 165,16

wobei r die Radien der optisch wirksamen Oberflächen der Linsen L_1 – L_6 und eines nachgeordneten Schutzglases SG und d die Dicken und Abstände der Linsen L_1 – L_6 und des Schutzglases SG, sowie einer der ersten Linse L_1 vorgeordneten Eintrittspupille EP und einer dem Schutzglas SG nachgeordneten Bildfeldebene BE entlang der optischen Achse A in Strahldurchtrittsrichtung durchnummeriert sind.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

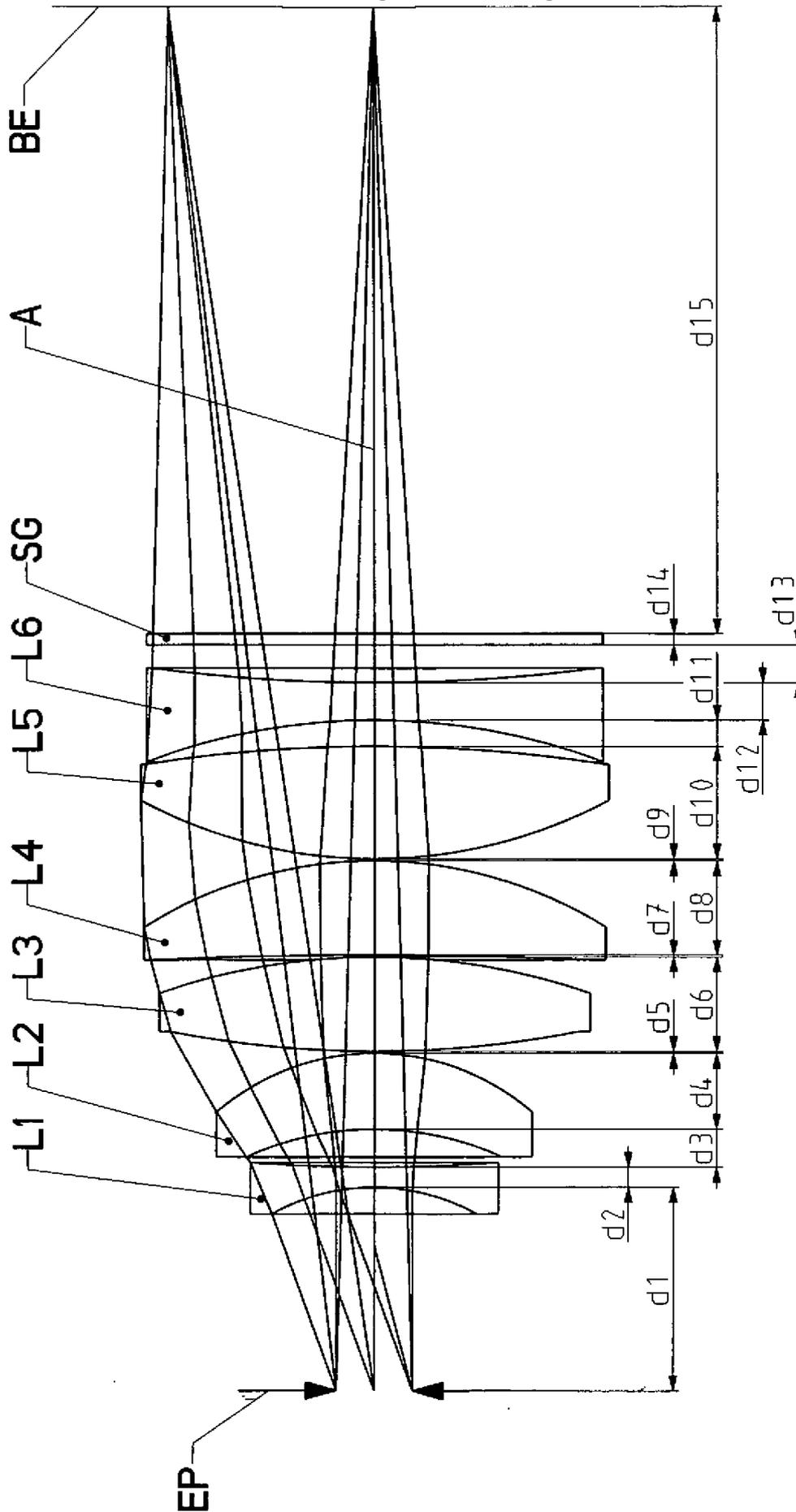


Fig. 1