



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 016 582 A1** 2007.10.11

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 016 582.9**

(22) Anmeldetag: **06.04.2006**

(43) Offenlegungstag: **11.10.2007**

(51) Int Cl.⁸: **G03B 21/00** (2006.01)
G02B 3/08 (2006.01)

(71) Anmelder:
OC Oerlikon Balzers AG, Balzers, LI

(74) Vertreter:
Kempkens, A., Rechtsanwalt, 86899 Landsberg

(72) Erfinder:
Francis, Melvin, Morrison, Col., US

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

US 67 29 730 B2

US 64 91 396 B2

US2006/00 44 531 A1

US2002/00 08 855 A1

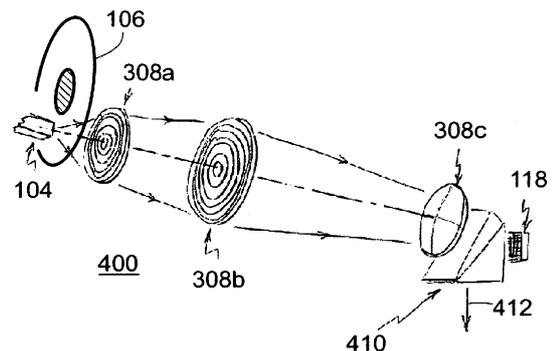
EP 10 08 012 B1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

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

(54) Bezeichnung: **Projektions- Beleuchtungssystem, in dem Linsen mit diffraktiv optischen Elementen verwendet werden**

(57) Zusammenfassung: In einem Projektor mit einer Beleuchtungsvorrichtung, die eine Lichtquelle und optische Elemente zur Abbildung des durch die Lichtquelle erzeugten Lichtfeldes auf ein Lichtventil aufweist, können sowohl refraktive Linsen als auch diffraktiv optische Elemente eingesetzt werden. In einer Ausführungsform wird eine Fresnellinse verwendet in deren Oberfläche eine Kinoform integriert ist. Diese Linse lässt sich durch Spritzguss in einem einzigen Schritt herstellen.



Beschreibung

[0001] Diese Erfindung bezieht sich auf Beleuchtungssysteme in denen sowohl refraktive Linsen als auch diffraktiv optische Elemente eingesetzt werden. Insbesondere bezieht sich diese Erfindung auf Beleuchtungssysteme in Projektoren, in denen die sonst zur Korrektur der Farbfehler eingesetzten, auf Beugung beruhenden Linsen zumindest teilweise durch diffraktive optische Linsen ersetzt wurden.

[0002] [Fig. 1](#) zeigt, gemäß dem Stand der Technik, einen typischen Projektor **100**. Solch ein System kann beispielsweise in einem Frontprojektor oder einem Rückprojektionsgerät verwendet werden. Ein bekanntes Anwendungsbeispiel ist der Fernseher.

[0003] Die Lampe **102** stellt Licht zur Verfügung, das mittels des Integrators **104** homogenisiert wird. Integrator **104** kann beispielsweise ein nach innen verspiegelter Hohlraum sein. Das Licht von der Lampe **102** wird dann auf seinem Weg durch den Hohlraum vielfach von der Verspiegelung reflektiert. Da der Hohlraum einen rechteckigen Querschnitt hat entsteht dadurch am Ausgang des Integrators **104** ein rechteckiges, gleichmäßig ausgeleuchtetes Lichtfeld.

[0004] Farbfilter **106** werden dergestalt gewählt, dass das Lichtventil (SLM = Spacial Light Modulator) **118** mit Licht der gemäß aktueller Programmierung des SLM korrekten Farbe beaufschlagt wird. Die Linsen **108** im Beleuchtungsstrahlengang können beispielsweise drei asphärische Glaslinsen **108-L1**, **108-L2** und **108-L3** umfassen, wie in [Fig. 2](#) gezeigt.

[0005] Die Linsen **108** im Beleuchtungsstrahlengang haben die Aufgabe das homogene Lichtfeld am Ausgang des Integrators **104** durch das Prisma **110** auf das SLM **118** zu projizieren. Die Verwendung dieser Linsen ist aber mit einigen Problemen behaftet. Erstens sind asphärische Glaslinsen nämlich schwer, massiv und teuer herzustellen. Zweitens zeigen solche Systeme häufig Fehler, beispielsweise chromatische Aberrationen. Dies geht darauf zurück, dass die Linsen für unterschiedliche Wellenlängen des Lichtes unterschiedliche Brennweiten aufweisen. Das bedeutet, dass das homogene Lichtfeld am Ausgang des Integrators **104** inhomogen in Bezug auf Größe und Farbe auf das SLM **118** projiziert wird. Teure Linsenkombinationen aus teilweise unterschiedlichen Glasmaterialien müssen daher verwendet werden, um die Aberrationen genügend weit zu unterdrücken.

[0006] Es besteht daher das Bedürfnis nach einem gegenüber dem Stand der Technik kostengünstigeren Beleuchtungssystem mit verbesserten optischen Eigenschaften in Bezug auf chromatische Aberration.

[0007] Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist

es daher, ein gegenüber dem Stand der Technik kostengünstigeres Beleuchtungssystem mit verbesserten optischen Eigenschaften in Bezug auf chromatische Aberration anzugeben.

[0008] Dies wird erfindungsgemäß dadurch erreicht, dass zumindest teilweise die asphärischen Linsen des Beleuchtungssystems durch Linsen ersetzt werden, die weniger schwer, weniger massiv und auch kostengünstiger herzustellen sind. Beispiele für solche Alternativen sind refraktive Fresnellinsen. Diese umfassen eine bestimmte Anzahl von ringförmigen Fresnelzonen. Innerhalb dieser Zonen verläuft das Profil einer Fresnellinse entsprechend dem Profil einer konventionellen refraktiven Linse. Allerdings wird zwischen den Zonen jeweils ein Sprung, d.h. eine Diskontinuität im Profil eingeführt, mit dessen Hilfe die Gesamtdicke der Linse erheblich reduziert wird.

[0009] Da diese Linsen weitaus weniger dick sind und diese aus Plastik beispielsweise mittels Spritzguss hergestellt werden können, ist deren Verwendung in Beleuchtungssystemen bereits ein grosser Vorteil. Leider führen solche Fresnellinsen weiterhin zu chromatischen Aberrationen.

[0010] Gemäß eines weiteren Aspekts der vorliegenden Erfindung ist es daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Beleuchtungssystem mit reduzierten chromatischen Aberrationen anzugeben.

[0011] Ein Effekt, der die chromatischen Aberrationen in hohem Maße beeinflusst ist die Dispersion des Linsenmaterials. Typischerweise nimmt der Brechungsindex eines transparenten Materials mit zunehmender Wellenlänge ab. Refraktion (=Brechung) kann mittels des Gesetzes von Snellius beschrieben werden: $n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$. Hierbei bezeichnen n_1 und n_2 jeweils die Brechungsindizes der Materialien auf beiden Seiten der die Linse begrenzenden Oberfläche und α und β sind die mit der Propagationsrichtung zusammenhängenden Winkel.

[0012] Die Brennweite einer in der Praxis verwendeten konvexen oder plankonvexen Linse ist daher für blaues Licht typischerweise kleiner als für rotes Licht. Dies trifft sowohl für die klassische Brechungslinse mit kontinuierlichem Profil als auch für die oben diskutierte Fresnellinse zu.

[0013] In diesem Zusammenhang ist interessant, dass diffraktiv optische Elemente ein völlig anderes Dispersionsverhalten aufweisen. Diffraktion ist dann der dominierende Effekt, wenn zwei oder mehrere, räumlich lateral getrennte Strahlen kohärent kombiniert werden und interferieren, beispielsweise konstruktiv oder destruktiv. Dies führt zu einem so genannten Beugungsmuster.

[0014] Dabei spielt die räumliche Kohärenz der Strahlung eine Rolle. Daher muss ein diffraktiv optisches Element Strukturen aufweisen, die klein genug sind, um räumlich kohärente Strahlen in gewünschter Weise zu kombinieren. Das bekannteste unter diesen diffraktiv optischen Elementen ist das Beugungsgitter. Die Winkel der Beugungsordnungen eines Beugungsgitters können mittels der Gittergleichung berechnet werden: $n_1 \sin \alpha - n_2 \sin \beta = m \frac{\Lambda}{\lambda}$ wobei n_1 und n_2 die Brechungsindizes der umgebenden Medien sind, die gleich 1 gesetzt werden können, falls es sich dabei um Luft handelt. Die ganze Zahl m gibt die Beugungsordnung an, λ ist die Wellenlänge der verwendeten Strahlung und Λ ist die Gitterperiode des Beugungsgitters. Aus dieser Gittergleichung kann abgelesen werden, dass Licht mit kürzerer Wellenlänge (als beispielsweise blaues Licht) in geringere Winkel gebeugt wird als Licht mit längerer Wellenlänge also beispielsweise rotes Licht.

[0015] Wie bereits gesagt, führt der Trick Diskontinuitäten in eine Linse einzufügen, zu einer dramatischen Reduktion der Gesamttiefe. Es resultiert eine Stufenlinse mit mehreren ringförmigen Fresnelzonen. Je mehr die Gesamttiefe reduziert werden soll, umso mehr Diskontinuitäten müssen eingeführt werden und umso kleiner wird die Breite der Fresnelzonen. Wenn die Breite der Zonen zu Dimensionen reduziert wird, in denen die räumliche Kohärenzlänge des Beleuchtungslichtes zum tragen kommt, werden Beugungseffekte dominant. Dann wird von einer diffraktiven Fresnellinse gesprochen. In den meisten Fällen haben bei Fresnellinsen die äußersten Zonen die geringste Breite. Um Fresnellinsen für die Zwecke dieser Beschreibung zu klassifizieren wird der Ausdruck „refraktive Fresnellinse“ für Fresnellinsen verwendet deren minimale Zonenbreite größer oder gleich $200\mu\text{m}$ beträgt. Demgegenüber wird der Ausdruck „diffraktive Fresnellinse“ verwendet für Linsen mit Fresnelzonen die eine Breite kleiner als $200\mu\text{m}$ besitzen.

[0016] Abhängig vom Herstellungsprozess gibt es unterschiedliche Ausgestaltungen einer diffraktiven Fresnellinse. Wenn innerhalb der Fresnelzonen ein kontinuierliches Profil vorliegt, wird der Ausdruck „Kinoform“ verwendet. Dies ist zu unterscheiden von einer diffraktiven Fresnellinse, bei der das Profil innerhalb einer Zone mit einer binären Treppenfunktion angenähert wird.

[0017] Entsprechend einem Aspekt der vorliegenden Erfindung können verbesserte chromatische Eigenschaften dadurch erzielt werden, dass in einem Beleuchtungssystem eine refraktive Linse mit einer diffraktiven Fresnellinse dergestalt kombiniert wird, dass die Materialdispersion weitgehend durch die Dispersion, die auf die Beugung zurückgeht, kompensiert wird.

[0018] Die refraktive Linse und die diffraktive Fresnellinse können auf verschiedenen Substraten realisiert werden. Allerdings wird, gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung, vorzugsweise die diffraktive Fresnellinse auf einer Oberfläche (Vorder- oder Rückseite) einer der refraktiven Linsen des Beleuchtungssystems realisiert.

[0019] Eine Ausführungsform, die gut funktioniert ist eine refraktive Fresnellinse aus Plastik in deren Fresnel-Oberfläche eine Kinoform realisiert ist. Solche aus Plastik geformten Linsen sind dünn, leicht und einfach herzustellen. Die Verwendung der Kinoform führt zu verbesserten chromatischen Eigenschaften des Beleuchtungssystems.

[0020] [Fig. 1](#) zeigt ein Blockdiagramm eines Projektors gemäß dem Stand der Technik, der ein typisches Beleuchtungssystem umfasst.

[0021] [Fig. 2](#) zeigt einen Querschnitt der Linsen die ein Beleuchtungssystem gemäß dem Stand der Technik bilden.

[0022] [Fig. 3](#) zeigt einen Querschnitt von Linsen gemäß einer ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Beleuchtungssystems.

[0023] [Fig. 4](#) zeigt eine perspektivische Sicht eines Projektors mit dem Beleuchtungssystem gemäß [Fig. 3](#).

[0024] [Fig. 5A](#) bis [Fig. 5c](#) zeigen Ansichten der Rückseite, der Vorderseite und des Querschnitts einer der Linsen aus [Fig. 3](#).

[0025] [Fig. 6](#) zeigt eine erste Ausführungsform einer Linse in [Fig. 3](#). Details sind aus Ansehungsgründen übertrieben gross dargestellt.

[0026] [Fig. 7](#) zeigt eine zweite Ausführungsform einer Linse in [Fig. 3](#). Details sind aus Ansehungsgründen übertrieben gross dargestellt.

[0027] [Fig. 8](#) zeigt eine dritte Ausführungsform einer Linse in [Fig. 3](#). Details sind aus Ansehungsgründen übertrieben gross dargestellt.

[0028] Die [Fig. 3](#) zeigt einen Querschnitt der Linsen **308-L1**, **308-L2** und **308-L3**, welche eine erste Ausführungsform der Beleuchtungsoptik gemäß der vorliegenden Erfindung bildet. In dieser speziellen Ausführungsform ist Linse **308-L1** eine refraktive Fresnellinse und **308-L2** ein Element, welches eine refraktive und eine diffraktive Fresnellinse umfasst, während die Linse **308-L3** eine klassische Sammellinse ist.

[0029] Von der Abbildung in [Fig. 3](#) kann man nicht erkennen, dass die Linse **308-L2** eine Oberfläche mit

einer diffraktiven Fresnellinse zur Korrektur von chromatischen Aberrationen umfasst. Dies wird besser in den [Fig. 6](#) bis [Fig. 8](#) gezeigt, wobei hier deutlich wird, dass die für dieses Beispiel herangezogene diffraktive Fresnellinse eine Kinoform ist.

[0030] Diese Linsenkombination funktioniert zwar sehr gut. Allerdings sind viele weitere Variationen möglich. Beispielsweise könnten alle drei Substrate refraktive Fresnellinsen umfassen, oder alle drei Substrate könnten refraktive klassische Sammellinsen umfassen. Ausserdem könnte mehr als eine der Linsen oder Oberflächen könnten diffraktiv optische Elemente umfassen.

[0031] [Fig. 4](#) zeigt eine perspektivische Ansicht eines Projektionssystems **400**, in dem eine Beleuchtungsoptik gemäß [Fig. 3](#) verwendet wird. Dieses System ist über große Bereiche der [Fig. 1](#) ähnlich und gleiche Elemente haben gleiche Bezugszeichen. Der Lichtintegrator **104** strahlt auf den Farbfilter **106**, der in diesem Fall ein Farbrad ist, eine homogene Lichtverteilung. Die Linsen **308a** und **308b** umfassen refraktive Fresnellinsen während die Linse **308c** eine klassische asphärische kontinuierliche Sammellinse ist.

[0032] Das Prismenbauteil **410** transmittiert Licht von der Linse **308c** zu dem SLM **118**. Das SLM ist beispielsweise eine MEMS-Element (Micro-Electro-Mechanical-System) mit einer Vielzahl von Spiegeln, die unabhängig voneinander verkippt werden können und damit jeweils einen An- oder einen Auszustand darstellen. Diejenigen Spiegel, die derart verkippt sind, dass sie den Anzustand repräsentieren, reflektieren das einfallende Licht unter einem solchen Winkel, dass es vom Prisma **410** totalreflektiert wird. Derart moduliertes Licht **412** wird zur Projektionslinse **114** transmittiert. Licht von denjenigen Spiegeln, die derart verkippt sind, dass sie den Auszustand repräsentieren, wird dagegen nicht totalreflektiert und wird beispielsweise über das Prisma **410** hinaus transmittiert und entfernt.

[0033] In diesem Beispiel wurde als SLM ein MEMS-Device herangezogen. Andere Projektoren umfassen als SLM ein LCD-Device. Das Prinzip der vorliegenden Erfindung ist dabei ohne weiteres wie geschildert übertragbar.

[0034] Die [Fig. 5A](#) bis [Fig. 5C](#) zeigen Rück-Seiten- und Frontansicht einer Ausführungsform einer der Linsen in [Fig. 3](#). Die Größe der Strukturen ist übertrieben, um die Fresnelzonen zu zeigen. Beide Linsen (**308-L1** und Linse **308-L2**) sehen so aus, da die Kinoform nicht sichtbar ist ohne dass die Ansicht viel weiter vergrößert wird (siehe [Fig. 6-Fig. 8](#)).

[0035] [Fig. 5A](#) zeigt die Rückansicht einer Linse. [Fig. 5B](#) zeigt einen Querschnitt der die übertriebenen

Fresnelzonen verdeutlicht. [Fig. 5C](#) ist eine Frontansicht. Hier werden die Fresnelringe verdeutlicht.

[0036] Die [Fig. 6A](#) und [Fig. 6B](#) zeigen eine erste Ausführungsform der Linse **308-L1**. Die Strukturen sind stark übertrieben groß dargestellt. [Fig. 6A](#) zeigt einen Querschnitt der Linse und [Fig. 6B](#) zeigt einen vergrößerten Ausschnitt dieses Querschnitts. [Fig. 6A](#) ist mit [Fig. 5B](#) identisch. Die Kinoform ist daher nicht sichtbar. [Fig. 6B](#) zeigt dagegen die Kinoform auf der flachen Rückseite der Linse. Es sei nochmals betont dass die Fresnelzonen der refraktiven Linse und der Kinoform hier stark vergrößert dargestellt sind um sie in die Figur zu veranschaulichen.

[0037] Um ein Konkretes Design-Beispiel anzugeben wird von einer plankonvexen parabolischen kontinuierlichen Linse ausgegangen. Das Profil der Linse kann mit der Formel

$$D_F(r) = 10\text{mm} - 4/(90\text{mm}) \cdot r^2$$

beschrieben werden, wobei r der radial Abstand vom Zentrum der Linse ist. Dies führt zu einem Linsendurchmesser von 30mm.

[0038] Diese Linse wird nun in eine Fresnellinse modifiziert. Ausgehend vom äußeren Rand der Linse wird, wann immer deren Dicke 1mm übersteigt eine Diskontinuität eingeführt und die Dicke zu null reduziert. Dies markiert den Start einer neuen Fresnelzone. Die Radien dieser Diskontinuitäten werden durch folgende Formel beschrieben:

$$R_N = \frac{3}{2} \text{mm} \cdot \sqrt{10N}$$

[0039] Dabei wird deutlich dass es für diese Linse mit einem Durchmesser von 30mm zu 10 Fresnelzonen kommt. N = 1 gehört zur zentralen Zone, die keinen Ring sondern einen linsenförmigen zentralen Bereich bildet. Dieser zentrale Bereich hat einen Radius von $R_1 \approx 4.74\text{mm}$ Die äußerste Zone hat eine Breite von $\Delta R = R_{10} - R_9 \approx 0.77\text{mm}$. Daraus ist deutlich erkennbar, dass diese Fresnellinse eine im Sinne dieser Beschreibung refraktive Linse ist und diffraktive Effekte keine wichtige Rolle spielen.

[0040] Das Vorgehen zum Design der Kinoform ist dem vorangegangenen Vorgehen recht ähnlich. Man startet wieder von einer plankonvexen parabolischen kontinuierlichen Linse. Das Profil der Linse kann mit der Formel

$$D_K(r) = 0.580\text{mm} - (0.580/225\text{mm}) \cdot r^2$$

beschrieben werden, wobei r der radiale Abstand vom Zentrum der Linse ist. Dies führt zu wiederum zu einem Linsendurchmesser von 30mm.

[0041] Diese Linse wird nun in eine Stufenlinse mo-

difiziert. Ausgehend vom äußeren Rand der Linse wird, wann immer deren Dicke $1\mu\text{m}$ übersteigt eine Diskontinuität eingeführt und die Dicke zu null reduziert. Dies markiert den Start einer neuen Fresnelzone. Die Radien dieser Diskontinuitäten werden durch folgende Formel beschrieben:

$$R_N = 15\text{mm} * \sqrt{\frac{1\mu\text{m}}{5800\text{nm}}} N$$

[0042] Dabei wird deutlich dass für diese Linse mit einem Durchmesser von 30mm es zu 580 Fresnelzonen kommt. $N = 1$ gehört zur zentralen Zone, die keinen Ring sondern einen linsenförmigen zentralen Bereich bildet. Dieser zentrale Bereich hat einen Radius von $R_1 \approx 623\mu\text{m}$ Die äußerste Zone hat eine Breite von $\Delta R = R_{580} - R_{579} \approx 13\mu\text{m}$. Daraus wird deutlich dass es sich bei dieser Fresnellinse um eine diffraktive Linse handelt, bei der Beugungseffekte eine wesentliche Rolle spielen.

[0043] Die beiden oben beschriebenen Linsen könnten auf separaten Substraten in den Beleuchtungsstrahlengang eingebracht werden. Allerdings ist es, entsprechend einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung vorteilhaft, beide Linsen aus demselben Substrat zu realisieren. Solch ein Substrat könnte ein scheibenförmiges Plastiksubstrat sein. Es ist möglich die refraktive Fresnellinse auf einer Seite der Scheibe zu realisieren und die Kinoform auf der anderen Seite zu realisieren. Eine andere Möglichkeit ist es die Kinoform direkt in das Profil der refraktiven Fresnellinse zu integrieren.

Patentansprüche

1. Beleuchtungsrichtung für einen Projektor mit einer Lichtquelle und mit optischen Elementen zur Abbildungen des durch die Lichtquelle erzeugten Lichtfeldes auf ein Lichtventil, wobei zumindest eines der optischen Elemente eine auf Lichtbrechung beruhende Linse umfasst und zumindest eines der optischen Elemente eine diffraktive Linse umfasst.

2. Beleuchtungsrichtung nach Anspruch 1, wobei die auf Lichtbrechung beruhende Linse eine Fresnellinse ist.

3. Beleuchtungsrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei die diffraktive Linse eine Kinoform umfasst.

4. Beleuchtungsrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die diffraktive Linse und die auf Lichtbrechung beruhende Linse auf demselben Substrat realisiert sind.

5. Beleuchtungsrichtung nach Anspruch 4, wobei die diffraktive Linse auf einer ersten Seite des Substrates und die auf Lichtbrechung beruhende Lin-

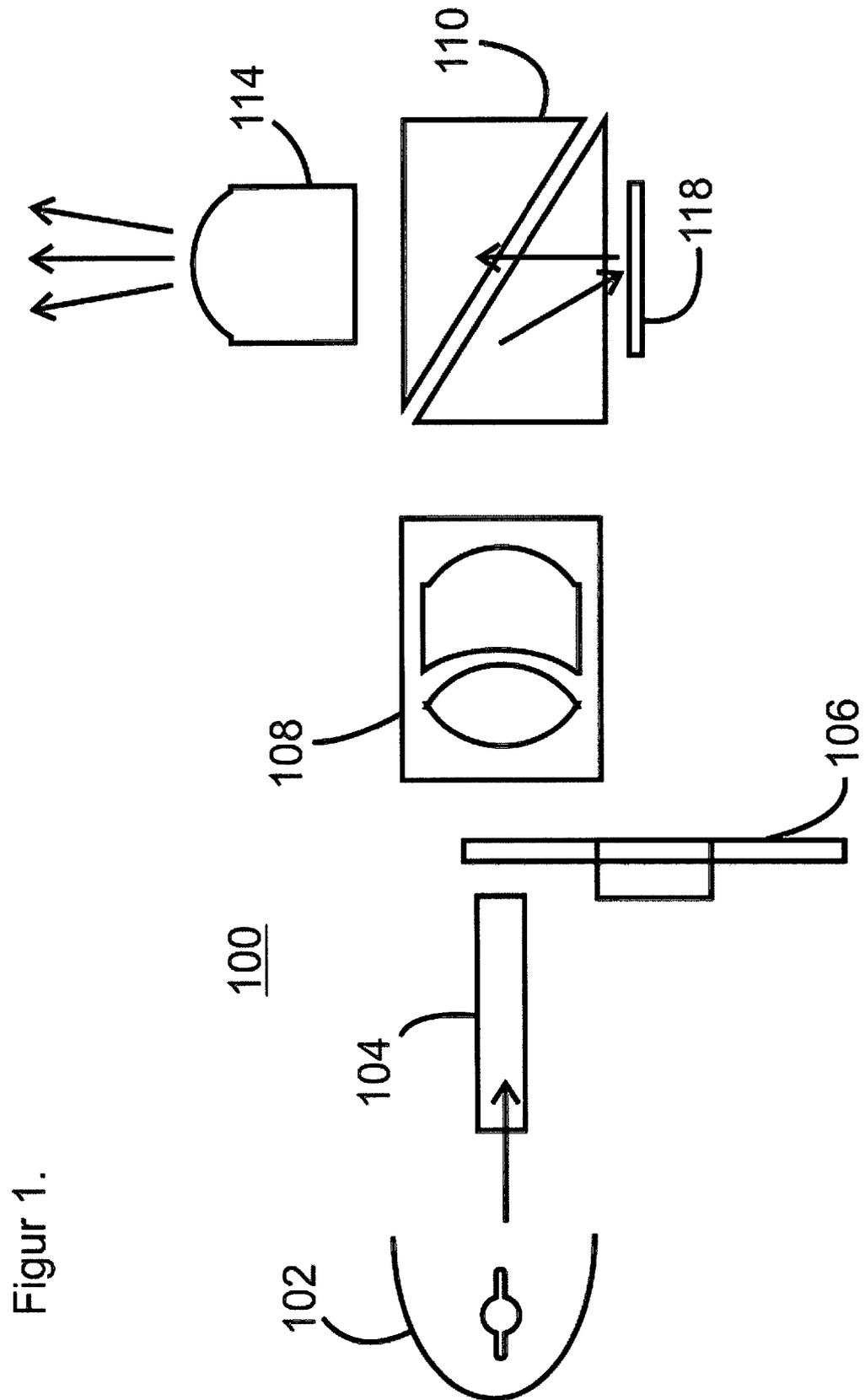
se auf einer zweiten Seite des Substrates realisiert sind.

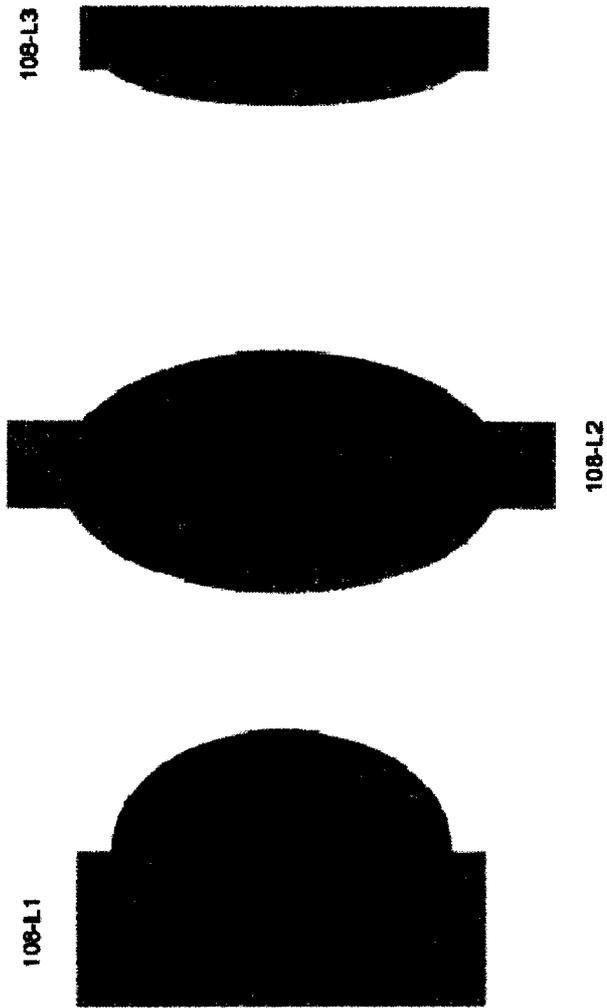
6. Beleuchtungsrichtung nach Anspruch 4, wobei die Oberfläche der diffraktiven Linse in die Oberfläche der auf Lichtbrechung beruhenden Linse integriert ist.

7. Beleuchtungsrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei die diffraktive Linse eine durch Spritzguss hergestellte Linse ist.

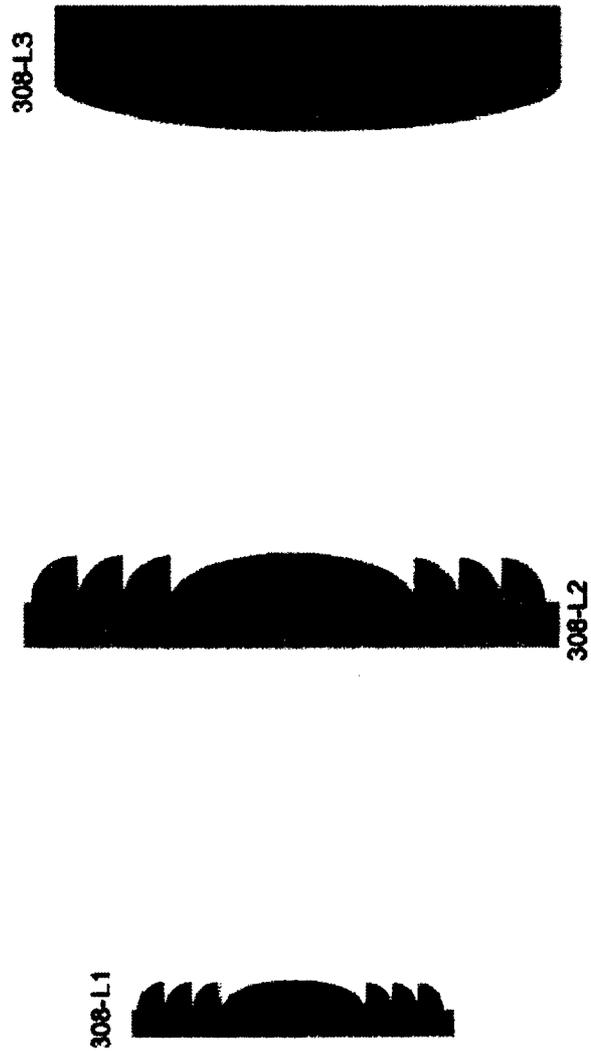
Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

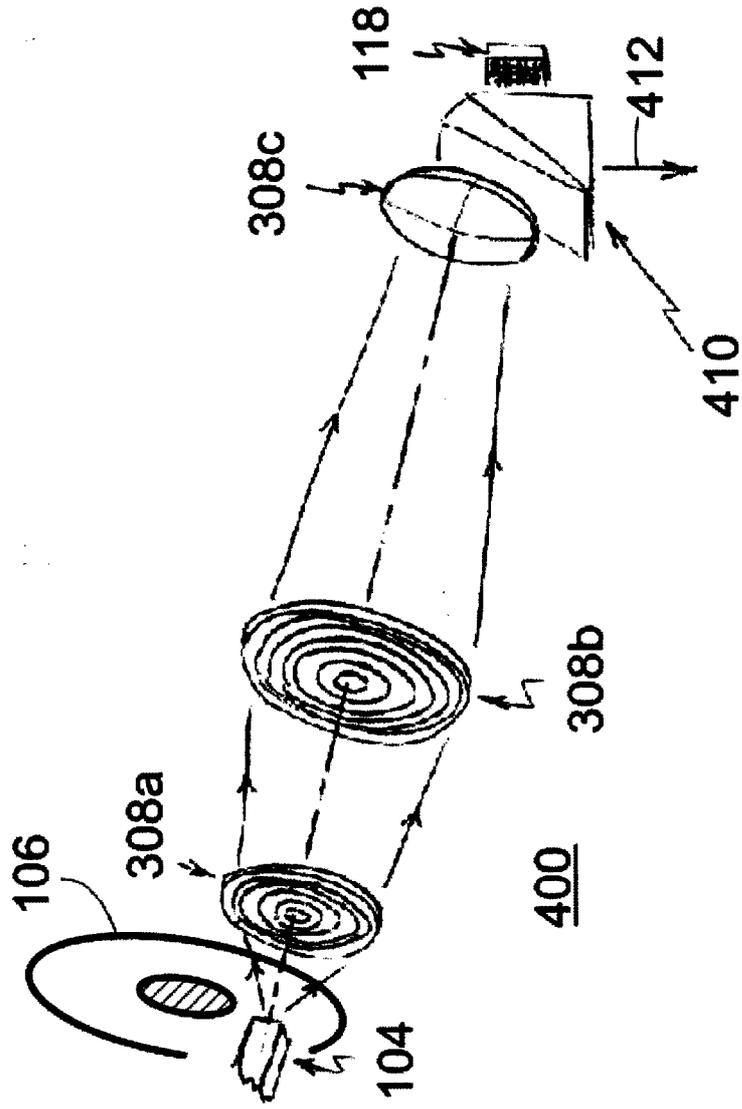




Figur 2



Figur 3



Figur 4

Fig. 5A

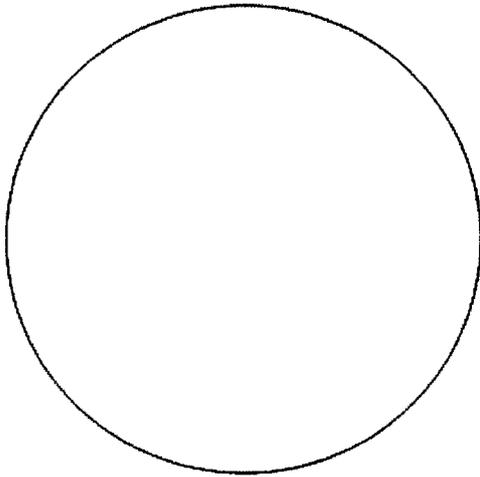
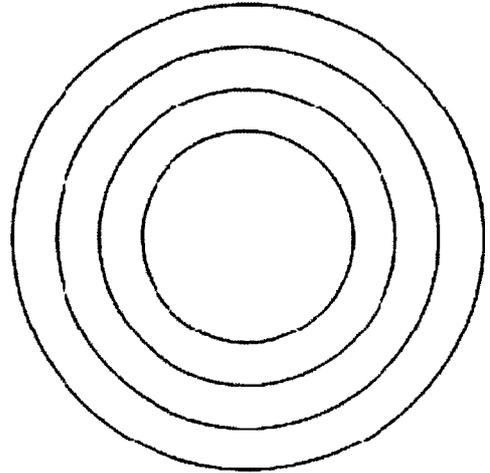


Fig. 5B



Fig. 5C



Figur 5

Figur 6

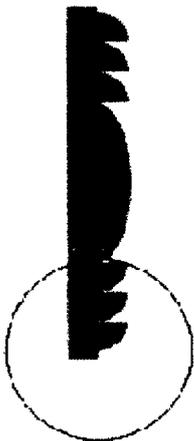


Fig. 6A

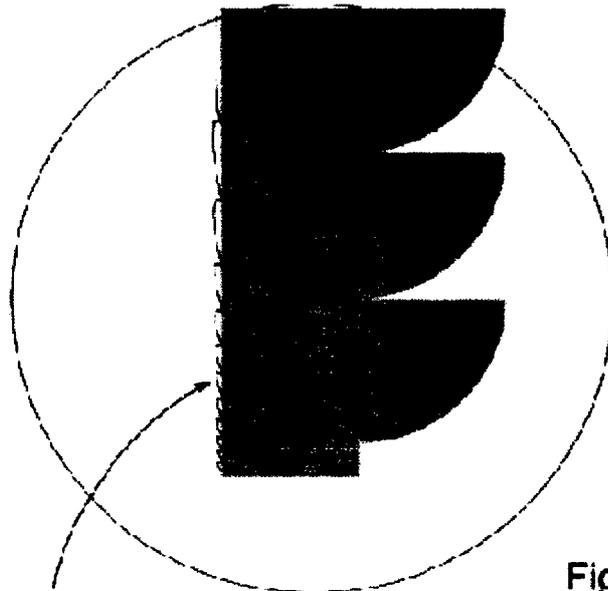


Fig 6B

Figur 7



Fig. 7A

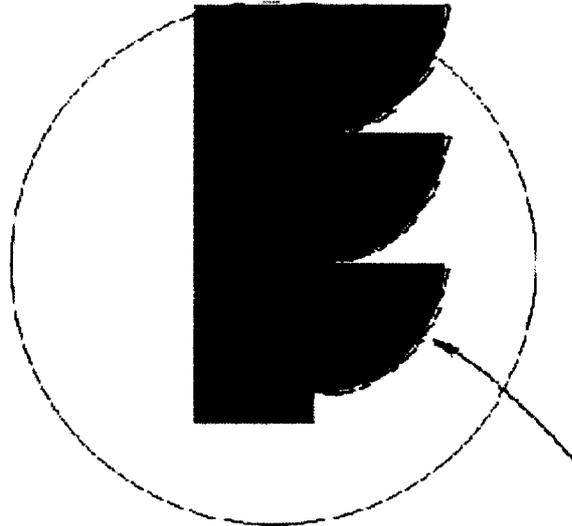


Fig. 7B

Figur 8

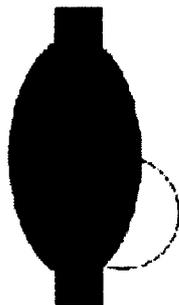


Fig. 8A

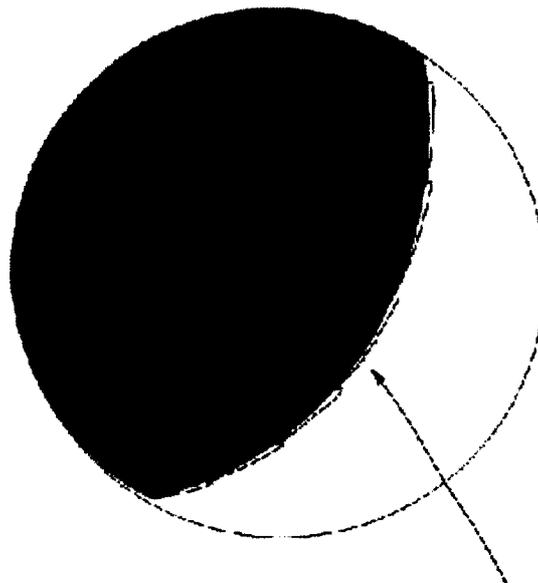


Fig. 8B