



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 698 31 041 T2 2006.05.24

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 0 902 304 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 698 31 041.1

(96) Europäisches Aktenzeichen: 98 116 857.8

(96) Europäischer Anmeldetag: 07.09.1998

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 17.03.1999

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: 03.08.2005

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 24.05.2006

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: G02B 5/18 (2006.01)

G02B 5/32 (2006.01)

G02B 27/44 (2006.01)

(30) Unionspriorität:  
**26283397 10.09.1997 JP**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE, FR, GB, IT, NL**

(73) Patentinhaber:  
**Canon K.K., Tokio/Tokyo, JP**

(72) Erfinder:  
**Nakai, Takehiro, Ohta-ku, Tokyo, JP; Setani,  
Michitaka, Ohta-ku, Tokyo, JP**

(74) Vertreter:  
**TBK-Patent, 80336 München**

(54) Bezeichnung: **Diffraktives optisches Element und optisches System unter Verwendung desselben**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung****HINTERGRUND DER ERFINDUNG****Gebiet der Erfindung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft optische Beugungselemente und insbesondere ein optisches Beugungselement mit einer derartigen Gitterstruktur, bei der Lichtstrahlen mit einer Vielzahl von Wellenlängen oder einer spezifischen Wellenlänge sich auf Beugungslicht einer bestimmten Beugungsordnung (Entwurfsordnung) konzentrieren, sowie ein optisches System mit dem optischen Beugungselement.

**Stand der Technik**

**[0002]** Bis heute wurden verschiedene Verfahren zur Korrektur einer Farbabweichung bei einem optischen System bekannt. Gemäß einem der bekannten Verfahren werden zwei Glas(linsen)materialien, die sich in der Dispersion unterscheiden, miteinander für eine Verwendung zur Herabsetzung der Farbabweichung kombiniert.

**[0003]** Gemäß einem anderen bekannten Verfahren wird die Farbabweichung unter Verwendung eines beugenden optischen Elementes mit einer Beugungsfunktion für ein optisches System herabgesetzt, das eine Brechungslinse beinhaltet, wie es in der Optikliteratur wie etwa beispielsweise in SPIE, Band 1354, „International Lens Design Conference (1990)“, sowie in den Druckschriften JP-A-4-213421, JP-A-6-324262 und US-A-5 044 706 offenbart ist.

**[0004]** Dieses Verfahren wurde entwickelt, indem das physikalische Phänomen verwendet wurde, das die Richtung, in der eine Farbabweichung bei einem Lichtstrahl einer bestimmten Wellenlänge bezüglich eines Lichtstrahls einer Referenzwellenlänge auf einer Brechungsoberfläche auftritt, umgekehrt zu der auf einer Beugungsoberfläche wird.

**[0005]** Ferner kann ein derartiges optisches Beugungselement mit der Wirkung bereitgestellt werden, als eine asphärische Linse zu dienen, indem die Periode einer periodischen Struktur von dessen Beugungsgitter variiert wird, so dass Abweichungen vorteilhaft herabgesetzt werden können.

**[0006]** Im Vergleich von brechenden und beugenden Oberflächen bezüglich eines Brechungsvorgangs von Lichtstrahlen bleibt ein Lichtstrahl nach der Brechung auf einer Linsenoberfläche ein Lichtstrahl, wohingegen ein Lichtstrahl in Strahlen verschiedener Ordnungen aufgespalten wird, wenn er durch ein Beugungsgitter gebrochen wird.

**[0007]** Daher ist es bei der Verwendung eines optischen Beugungselementes für ein Linsensystem nö-

tig, die Gitterstruktur derart zu bestimmen, dass Lichtströme eines nützlichen Wellenlängenbereichs sich auf das Beugungslicht einer spezifischen Beugungsordnung (Entwurfsordnung) konzentrieren. Zur Verringerung der Leuchtintensität von Beugungslicht von Ordnungen, die von der Entwurfsordnung verschieden sind, wird es bei sich auf das Beugungslicht der Entwurfsordnung konzentrierenden Lichtströmen nötig, dass die Beugungseffizienz des Beugungslichts der Entwurfsordnung ausreichend hoch ist. Falls es zudem einige Lichtstrahlen von Beugungsordnungen gibt, die von der Entwurfsordnung verschieden sind, werden diese Strahlen zu Flimmerlicht, weil sie an einem von dem Abbildungsort der Strahlen der Entwurfsordnung verschiedenen Ort abgebildet werden.

**[0008]** Für ein optisches System mit einem optischen Beugungselement ist es daher wichtig, die spektrale Verteilung der Beugungseffizienz von Beugungslicht der Entwurfsordnung und außerdem das Verhalten von Beugungslicht von anderen Ordnungen als der Entwurfsordnung ausreichend zu beachten.

**[0009]** [Fig. 11](#) zeigt einen Fall, bei dem ein optisches Beugungselement 1 mit einem auf einer Basisplatte 2 ausgebildeten Beugungsgitter 4 auf einer bestimmten Oberfläche in einem optischen System ausgebildet ist. Dabei wird die Beugungseffizienz für Beugungslicht einer spezifischen Beugungsordnung gemäß [Fig. 12](#) erhalten, welche in einer graphischen Darstellung die Charakteristik der Beugungseffizienz zeigt. In [Fig. 12](#) gibt die Abszisse der graphischen Darstellung die Wellenlänge und die Ordinatenachse die Beugungseffizienz an. Das optische Beugungselement 1 ist mit der höchsten Beugungseffizienz bei der ersten Beugungsordnung (in [Fig. 12](#) als durchgezogene Linie gezeigt) im nutzbaren Wellenlängenbereich entworfen.

**[0010]** Die Entwurfsbeugungsordnung dieses optischen Beugungselementes ist mit anderen Worten die erste Ordnung. Die graphische Darstellung von [Fig. 12](#) zeigt außerdem die Beugungseffizienz des bei Beugungsordnungen nahe der Entwurfsordnung erhaltenen Beugungslichts, d.h. der nullten und der zweiten Ordnung ( $1 \pm 1$ ).

**[0011]** Gemäß [Fig. 12](#) wird die Beugungseffizienz bei der Entwurfsordnung bei einer bestimmten Wellenlänge (540 nm) am Höchsten (die nachstehend als die Entwurfswellenlänge bezeichnet wird) und verringert sich bei anderen Wellenlängen graduell. Ein derartiger verringelter Abschnitt der bei der Entwurfsordnung erhaltenen Beugungseffizienz wird Beugungslicht anderer Ordnungen, das dadurch als Flimmerlicht erscheint. Wenn zudem eine Vielzahl von optischen Beugungselementen verwendet wird, verursacht ein Abfall bei der Beugungseffizienz bei der

Entwurfswellenlänge verschiedenen Wellenlängen schließlich eine Verringerung beim Übertragungsfaktor.

**[0012]** Eine Anordnung zur Verringerung eines derartigen Abfalls bei der Beugungseffizienz ist in der Druckschrift JP-A-9-127321 sowie in der Druckschrift JP-A-9-127322 offenbart. Das in der Druckschrift JP-A-9-127321 offenbare optische Beugungselement ist in Querschnitt durch das Schichten von zwei Schichten **4** und **5** gemäß [Fig. 13](#) ausgebildet.

**[0013]** Das in der Druckschrift JP-A-9-127322 offenbare optische Beugungselement ist von einer derartigen Gitterstruktur, dass drei Schichten **4**, **5** und **6** gemäß [Fig. 14](#) geschichtet sind. Gemäß [Fig. 14](#) weist die zwischen zwei an den Grenzen der Schichten **4**, **5** und **6** bereitgestellten Beugungsgitteroberflächen **8** und **9** sandwichartig angeordnete Schicht **5** eine Dicke auf, die in Abschnitten variiert. Bei diesem optischen Beugungselement ist jede der Beugungsgitteroberflächen **8** und **9** zwischen zwei verschiedenen Materialien ausgebildet. Eine hohe Beugungseffizienz wird erzielt, indem eine Differenz bei der Brechungsleistung zwischen den vor und hinter der Grenze angeordneten Schichtmaterialien sowie die Gitterdicken der Beugungsgitteroberflächen optimiert werden. Das in der Druckschrift JP-A-9-127322 offenbare optische Beugungselement ist darüber hinaus als optisches Beugungselement in einer dünnen Bauart derart entworfen, dass die Beugungseffizienz eine relativ niedrige Wellenlängenabhängigkeit sowie eine niedrige Abhängigkeit vom Einfallswinkel aufweist.

**[0014]** Das in der Druckschrift JP-A-9-127322 offenbare optische Beugungselement und das erfundengemäße optische Beugungselement weisen beide die im Oberbegriff von Patentanspruch 1 angegebenen Merkmale auf.

**[0015]** Da die Anordnungen der vorstehend angeführten optischen Beugungselemente eine Wellenlängencharakteristik mit einer Differenz bei der Brechungsleistung zwischen den Materialien vor und nach den jeweiligen Gitterbereichen mit gewünschten Werten erfordern, ist die Bereitstellung einer größeren Differenz bei der Brechungsleistung als bei dem Fall, wenn ein Gitterbereich Luft auf einer Seite anstelle eines Schichtmaterials aufweist, unmöglich. Folglich müssen deren Gitter mit einer relativ großen Gitterdicke angeordnet sein. Im Falle des in der Druckschrift JP-A-9-127321 offenbarten optischen Beugungselements beträgt beispielsweise die Gitterdicke ungefähr 10 µm.

**[0016]** Im Falle des in der Druckschrift JP-A-9-127322 offenbarten optischen Beugungselementes wird die Anzahl von Schichten mit unterschiedlichen Materialien auf drei und die Anzahl von

Gitteroberflächen auf zwei erhöht. Eines der beiden Gitter misst zumindest 6 µm Dicke, so dass eine beachtlich tiefe Gitterform erkannt werden würde.

**[0017]** Bei der Herstellung von optischen Beugungselementen können die vorstehend angeführten Gitterformen durch Schneiden ausgebildet werden. Ein somit durch Schneiden erhaltenes Erzeugnis kann entweder unmittelbar als optisches Beugungselement verwendet werden, oder es kann als eine Gussform zum Duplizieren von optischen Beugungselementen verwendet werden.

**[0018]** Als vereinfachtes Herstellungsverfahren ist die Ausbildung einer gebogenen Beugungsgitteroberfläche mit einer Schneidewerkzeugkante **17** durch Drehen einer Basisplatte **2** denkbar, wie es in [Fig. 15](#) gezeigt ist. Während bei diesem Verfahren die Schneidewerkzeugkante **17** in Richtung des Gittermaßes bewegt wird, wird der Schneidevorgang ausgeführt, indem der Abstand zwischen der Basisplatte **2** und der Schneidewerkzeugkante **17** für den Erhalt einer gewünschten Gitterform variiert wird.

**[0019]** Falls gemäß diesem Herstellungsverfahren die Gitterdicke gemäß vorstehender Beschreibung groß ist, steigt das Schneideausmaß durch den Schneidevorgang, wobei die Schneidewerkzeugkante stark abgenutzt wird. Folglich unterscheidet sich die am Anfang des Schneidevorgangs erhaltene Werkzeugkante von ihrer am Ende des Schneidevorgangs erhaltenen Form. Ein derartiger Verschleiß führt dazu, dass die Gitterdicke zum Endzeitpunkt des Schneidevorgangs dünner als der gewünschte Wert wird. Da die Schneidewerkzeugkante durch den Verschleiß abgerundet wird, weicht zusätzlich die Gitterform von der gewünschten Sägezahnform ab.

**[0020]** Da zudem die Gitterdicke bezüglich des Gittermaßes dick ist, neigt sich die geneigte Ebene des Gitters steiler als das bekannte optische Beugungselement der Einschichtbauart. Daher muss das vordere Ende der Schneidewerkzeugkante in einem schärferen Winkel als die geneigte Ebene des Gitters ausgebildet sein. Dies erfordert die Verwendung einer Schneidewerkzeugkante mit einem schärferen Winkel als eine Schneidewerkzeugkante für ein bekanntes optisches Element in der Einschichtbauart. Der schärfere Winkel der Schneidewerkzeugkante verursacht wiederum einen leichten Verschleiß der Schneidewerkzeugkante.

**[0021]** Die Abnutzung der Schneidewerkzeugkante kann vermindert werden, indem ihr vorderes Endteil mit einem stumpferen Winkel angeordnet wird. Der stumpfere Werkzeugkantenwinkel erfordert jedoch, dass die Neigungsebene des sägezahnförmigen (oder gezahnten) Gitters einen stumpferen Winkel aufweist, damit es davor bewahrt wird, die Schneidewerkzeugkante störend zu beeinflussen. Die Verwen-

dung der Schichtstruktur verursacht eine stärkere Gitterdicke und eine steilere Neigungsebene als bei einem Gitter eines gewöhnlichen optischen Beugungselementes in der Einschichtbauart. Ein Versuch, den Winkel der Neigungsebene der Schichtstruktur zu mäßigen, verursacht jedoch einen starken Anstieg im Gittermaß. Der brauchbare Bereich eines derartigen optischen Beugungselementes würde dadurch durch den Anstieg beim Gittermaß beschränkt.

#### ERFINDUNGSZUSAMMENFASSUNG

**[0022]** Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein optisches Beugungselement mit einer hohen Brechungseffizienz und einer geringen Einfallswinkelabhängigkeit der Beugungseffizienz bereitzustellen, das derart entworfen ist, dass die Herstellung des optischen Beugungselementes erleichtert ist.

**[0023]** Diese Aufgabe wird durch das optische Beugungselement gemäß Patentanspruch 1 gelöst.

**[0024]** Vorteilhafte Entwicklungen der Erfindung sind in den abhängigen Patentansprüche definiert.

**[0025]** Erfindungsgemäß können optische Systeme verschiedener Arten wie etwa ein optisches Fotoaufnahmesystem und ein optisches Betrachtungssystem angeordnet werden, um das in den Patentansprüchen definierte optische Beugungselement zu enthalten.

**[0026]** Die vorstehende und andere Aufgaben und Merkmale der Erfindung werden aus der nachstehenden näheren Beschreibung deren bevorzugter Ausführungsbeispiele in Verbindung mit der beiliegenden Zeichnung ersichtlich.

#### KURZBESCHREIBUNG DER VERSCHIEDENEN ANSICHTEN DER ZEICHNUNG

**[0027]** [Fig. 1](#) zeigt eine Vorderansicht von wesentlichen Teilen eines optischen Beugungselementes gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

**[0028]** [Fig. 2](#) zeigt eine Schnittansicht von wesentlichen Teilen des optischen Beugungselementes gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

**[0029]** [Fig. 3](#) zeigt eine graphische Darstellung der Beugungseffizienz des optischen Beugungselementes gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

**[0030]** [Fig. 4](#) zeigt eine erfindungsbezogene Beugungslinse.

**[0031]** [Fig. 5](#) zeigt eine Schnittansicht von wesentlichen Teilen eines optischen Beugungselementes gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

**[0032]** Die [Fig. 6A](#) bis [Fig. 6D](#) zeigen Schnittansichten des Verfahrens zur Herstellung des optischen Beugungselementes gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

**[0033]** Die [Fig. 7A](#) bis [Fig. 7C](#) zeigen graphische Darstellungen der Einfallswinkelcharakteristik des optischen Beugungselementes gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

**[0034]** Die [Fig. 8A](#) bis [Fig. 8C](#) zeigen graphische Darstellungen der Einfallswinkelcharakteristik des optischen Beugungselementes gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

**[0035]** [Fig. 9](#) zeigt eine schematische Darstellung eines optischen Systems mit einem optischen Beugungselement gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

**[0036]** [Fig. 10](#) zeigt eine schematische Darstellung eines optischen Systems mit einem optischen Beugungselement gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

**[0037]** [Fig. 11](#) zeigt eine Schnittansicht von wesentlichen Teilen eines bekannten optischen Beugungselementes.

**[0038]** [Fig. 12](#) zeigt die Beugungseffizienz des bekannten optischen Beugungselementes.

**[0039]** [Fig. 13](#) zeigt die Gitterform eines bekannten optischen Beugungselementes.

**[0040]** [Fig. 14](#) zeigt die Gitterform eines weiteren bekannten optischen Beugungselementes.

**[0041]** [Fig. 15](#) zeigt das Verfahren zur Herstellung eines bekannten optischen Beugungselementes.

**[0042]** Die [Fig. 16A](#) bis [Fig. 16C](#) zeigen die Beugungseffizienz eines optischen Beugungselementes gemäß einem Vergleichsbeispiel.

**[0043]** Die [Fig. 17A](#) bis [Fig. 17C](#) zeigen die Beugungseffizienz des optischen Beugungselementes gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

**[0044]** Die [Fig. 18A](#) bis [Fig. 18C](#) zeigen die Beugungseffizienz des optischen Beugungselementes gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

## AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

**[0045]** Nachstehend werden bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher beschrieben.

**[0046]** [Fig. 1](#) zeigt eine Vorderansicht eines optischen Beugungselementes gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung. Das in [Fig. 1](#) gezeigte optische Beugungselement **1** beinhaltet eine Basisplatte **2** und ein Schichtungsteil (Beugungsgitterteil) **3**, das auf der Oberfläche der Basisplatte **2** ausgebildet und aus einer Vielzahl von in [Fig. 2](#) gezeigten Schichten (Beugungsgittern) **4**, **5**, **6** und **7** zusammengesetzt ist.

**[0047]** [Fig. 2](#) zeigt eine Schnittansicht des optischen Beugungselementes **1** entlang einer in [Fig. 1](#) gezeigten Linie A-A'. In [Fig. 2](#) ist das optische Beugungselement **1** in der Tiefenrichtung des Beugungsgitterteils **3** in übertriebener Form gezeigt.

**[0048]** Gemäß den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) ist das optische Beugungselement **1** durch Schichtung von insgesamt **4** Schichten auf der Basisplatte **2** ausgebildet, d.h. der ersten Schicht **4**, der zweiten Schicht **5**, der dritten Schicht **6** und der vierten Schicht **7**. Eine erste Beugungsgitteroberfläche **8** ist zwischen der ersten Schicht **4** und der zweiten Schicht **5** ausgebildet. Eine zweite Beugungsgitteroberfläche **9** ist zwischen der dritten Schicht **6** und der vierten Schicht **7** ausgebildet.

**[0049]** Ein Grenzteil zwischen der zweiten Schicht **5** und der dritten Schicht **6** ist als ein flacher Teil ohne Gitter ausgebildet. Die erste Schicht **4** und die dritte Schicht **6** sind aus demselben Material ausgebildet. Die zweite Schicht **5** und die vierte Schicht **7** sind aus demselben Material ausgebildet. Zudem sind alle Schichten **4**, **5**, **6** und **7** kombiniert, damit sie als ein optisches Beugungselement **1** wirken.

**[0050]** Im Falle des ersten Ausführungsbeispiels wird jede Schicht (**4**, **5**, **6** oder **7**), die eine auf einer Seite ausgebildete Beugungsgitteroberfläche aufweist, und bei der sich die Dicke ihres Schichtmaterials in einem Zyklus der Länge **P** (nachstehend als Gittermaß bezeichnet) ändert, ein Beugungsgitter genannt.

**[0051]** Jedes der Beugungsgitter bei dem ersten Ausführungsbeispiel ist als Beugungsgitter in der geflammt Bauart angeordnet, das durch Annähern der sogenannten Kinoform mit einer dreieckigen Welle erhalten wird.

**[0052]** Ferner wird vorliegend die Höhendifferenz zwischen dem Scheitelpunkt und dem Tiefpunkt der Beugungsgitteroberfläche die Gitterdicke **d** des Beu-

gungsgitters genannt.

**[0053]** Bei dem ersten Ausführungsbeispiel ist das optische Beugungselement in einer Gitterstruktur angeordnet, bei der zumindest drei Beugungsgitter, d.h. zumindest zwei Beugungsgitteroberflächen aus zumindest zwei Materialien, die sich voneinander bezüglich der Dispersion (der Abbe'schen Zahl **vd**) unterscheiden, auf der Basisplatte **2** geschichtet sind, damit sie eine hohe Beugungseffizienz bei einer spezifischen (Entwurfs-) Beugungsordnung innerhalb eines nutzbaren Wellenlängenbereichs (sichtbares Spektrum) aufweisen, und damit die Gitterdicke **d** jedes Beugungsgitters so gering im Vergleich zu deren Gittermaß **P** ist, dass die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$d/P < 1/6.$$

**[0054]** Zudem ist mit den vorliegend konkret angegebenen numerischen Werten die nachstehende Bedingung erfüllt:

$$1 \mu\text{m} < d < 6 \mu\text{m}.$$

**[0055]** Bei [Fig. 2](#) sind die Neigungsrichtungen der Beugungsgitteroberflächen einer Vielzahl von Beugungsgittern identisch.

**[0056]** Die Beugungseffizienz des optischen Beugungselementes gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung ist nachstehend beschrieben.

**[0057]** Bei einem optischen Beugungselement **1** der Transmissionsbauart mit einer Beugungsgitteroberfläche **6** an eine Grenze zwischen zwei Schichten **4** und **5** gemäß [Fig. 13](#) muss für den Erhalt einer maximalen Beugungseffizienz für eine Entwurfswellenlänge  $\lambda_0$  die Differenz  $d_0$  in der optischen Pfadlänge (nachstehend als die optische Pfadlängendifferenz einer Beugungsgitteroberfläche angegeben) ein geradzahliges Vielfaches der Entwurfswellenlänge  $\lambda_0$  sein, wenn ein Lichtstrom senkrecht auf das optische Beugungselement einfällt. Diese Bedingung kann wie folgt ausgedrückt werden:

$$d_0 = (n_{01} - n_{02}) d = m \lambda_0 \quad (1),$$

wobei „ $n_{01}$ “ den Brechungsindex des Materials der Schicht **4** für die Entwurfswellenlänge  $\lambda_0$  bezeichnet, „ $n_{02}$ “ den Brechungsindex des Materials der anderen Schicht **5** für die Entwurfswellenlänge  $\lambda_0$  bezeichnet, „ $d$ “ die Gitterdicke des Beugungsgitters **4** oder **5** bezeichnet, und „ $m$ “ eine Entwurfsbeugungsordnung bezeichnet.

**[0058]** Wenn die Schicht **5** Luft ist ( $n_{02} = 1$ ), entspricht das optische Beugungselement dem in [Fig. 11](#) gezeigten und aus einer Schicht zusammengesetzten optischen Beugungselement **1**.

**[0059]** Ein optisches Beugungselement mit einer aus zwei oder mehr Schichten zusammengesetzten Struktur, d.h. mit zwei oder mehr Beugungsgittern, ist grundsätzlich anhand desselben Konzepts angeordnet. Damit alle Schichten als ein Beugungsgitter wirken, muss das optische Beugungselement derart konfiguriert sein, dass ein durch Zusammenaddieren von allen Werten der optischen Pfadlängendifferenz zwischen dem Scheitelpunkt und dem Tiefspunkt der an den Grenzen zwischen den Schichten ausgebildeten Beugungsgitteroberflächen erhaltener Summenwert ein geradzahliges Vielfaches der Entwurfswellenlänge wird. Daher wird im Falle des in [Fig. 2](#) gezeigten ersten Ausführungsbeispiels die Bedingung wie folgt:

$$(n_1 - n_2) d_1 + (n_1 - n_2) d_2 = m\lambda_0 \\ (n_1 - n_2) (d_1 + d_2) = m\lambda_0, \quad (2)$$

wobei „ $n_1$ “ den Brechungsindex des Materials der ersten und dritten Schicht **4** und **6** für die Entwurfswellenlänge  $\lambda_0$  bezeichnet, „ $n_2$ “ den Brechungsindex des Materials der zweiten und vierten Schicht **5** und **7** für die Entwurfswellenlänge  $\lambda_0$  bezeichnet, und „ $d_1$ “ und „ $d_2$ “ die Gitterdicken des ersten (zweiten) Beugungsgitters bzw. des dritten (vierten) Beugungsgitters bezeichnen.

**[0060]** Aus der vorstehend angegebenen Bedingung ist ersichtlich, dass selbst falls ein Beugungsgitter mit einer spezifischen Gitterdicke bei dem optischen Beugungselement **1** in eine Vielzahl von Beugungsgittern (**4**, **5** und **6**, **7**) mit willkürlicher Gitterdicke aufgeteilt wird, die Beugungseffizienz durch die Unterteilung nicht beeinflusst wird, solange die Materialien an den Beugungsgitteroberflächen verschiedene Materialien sind, falls ein Lichtstrom senkrecht auf das optische Beugungselement **1** einfällt.

**[0061]** Im Falle eines optischen Beugungselements mit der bekannten geschichteten Zweischichtstruktur ist die maschinelle Bearbeitung des optischen Beugungselementes schwierig, da der Erhalt einer ausreichenden Differenz im Brechungsindex zwischen denen eine Grenze ausbildenden Materialien schwierig ist. Bei dem erfindungsgemäßen optischen Beugungselement wird andererseits ein optisches Beugungselement in eine Vielzahl von Beugungsgittern mit dünnen Gitterdicken unterteilt, die leicht verarbeitet werden können, und die somit erhaltenen Beugungsgitter werden geschichtet.

**[0062]** Der Unterschied zwischen der erfindungsgemäßen Anordnung und der bekannten Anordnung ist nachstehend durch den Vergleich von konkreten Beispielen von optischen Beugungselementen beschrieben. Zunächst ist eine in [Fig. 13](#) gezeigte bekannte Zweischichtstruktur anhand eines Beispiels beschrieben. Dabei wird bei der bekannten Zweischichtstruktur das von Sumita Optical Glass Co. hergestellte op-

tische Glasmaterial LaFK 60 ( $nd = 1,63246$  und  $vd = 63,8$ ) für die erste Schicht und ein Plastikmaterial PC ( $nd = 1,5831$  und  $vd = 30,2$ ) für die zweite Schicht verwendet.

**[0063]** Bei diesem bekannten Anordnungsbeispiel beträgt die Gitterdicke des ersten Beugungsgitters **4**  $11,9 \mu\text{m}$ . Bei der Herstellung einer Beugungslinse mit diesem optischen Beugungselement der geschichteten Struktur wird ein für die Linse erforderliches minimales Maß beispielsweise zu  $40 \mu\text{m}$  angenommen. Dann wird der Winkel der Neigungsebene der Beugungsgitteroberfläche  $16,6^\circ$  bei dem minimalen Maß. Falls das Beugungsgitter durch den vorstehend beschriebenen Schneidevorgang auszubilden ist, muss der Kantenwinkel der Schneidewerkzeugkante so angeordnet werden, dass er  $73,4^\circ$  nicht überschreitet.

**[0064]** Die erfindungsgemäße Anordnung ist nachstehend beschrieben. Die Gitterstruktur des optischen Beugungselementes wird gemäß [Fig. 2](#) angenommen. Dieselben vorstehend angeführten Materialien werden zur Verwendung für die Ausbildung der Beugungsgitter angenommen. Die erste Schicht **4** und die dritte Schicht **6** sind daher aus dem durch Sumita Optical Glass Co. hergestellten optischen Glas LaFK 60 ( $nd = 1,63246$  und  $vd = 63,8$ ), und die zweite Schicht **5** und die vierte Schicht **7** sind aus dem Plastikmaterial PC ( $nd = 1,5831$  und  $vd = 30,2$ ). Die Gitterdicke  $d_1$  des ersten (zweiten) Beugungsgitters und die Gitterdicke  $d_2$  des dritten (vierten) Beugungsgitters sind beide  $5,95 \mu\text{m}$ .

**[0065]** Die Gitterdicken  $d_1$  und  $d_2$  können beliebige Werte annehmen, solange ihre Summe gleich dem vorstehend angegebenen Wert von  $11,9 \mu\text{m}$  ist. Sie werden jedoch vorzugsweise zueinander gleich angeordnet, weil eine derartige Anwendung die Verwendung einer gemeinsamen Gussform für beide erlaubt, wenn die Beugungsgitter durch Gießen ausgebildet werden, sowie die Verwendung von einer gemeinsamen Werkzeugkante für beide erlaubt, falls die Beugungsgitter anstelle eines Gussvorgangs durch einen Schneidevorgang auszubilden sind.

**[0066]** [Fig. 3](#) zeigt die für den nutzbaren Wellenlängenbereich erhaltene Beugungseffizienz der Struktur gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel. Gemäß [Fig. 3](#) weist das erste Ausführungsbeispiel eine hohe Beugungseffizienz bei der Entwurfsbeugungsordnung in derselben Weise wie die bekannte Anordnung auf.

**[0067]** Dabei sei vorliegend angenommen, dass eine Beugungslinse mit dem erfindungsgemäßen optischen Beugungselement hergestellt wird, die ein minimales Maß  $P$  von  $40 \mu\text{m}$  aufweist. Dabei wird der Winkel der Neigungsebene der Beugungsgitteroberflächen  $8,5^\circ$  bei dem minimalen Maß  $P$ .

**[0068]** Bei der Herstellung der Beugungsgitter durch den vorstehend angegebenen Schneidevorgang kann der Kantenwinkel der Schneidewerkzeugkante so angeordnet werden, dass er  $81,5^\circ$  nicht überschreitet.

**[0069]** Gemäß vorstehender Beschreibung kann der Kantenwinkel der Schneidewerkzeugkante stumpfer als bei der bekannten Anordnung sein. Da zudem die Gitterdicke jedes Beugungsgitters lediglich die Hälfte von der gemäß der bekannten Anordnung beträgt, liegt das Schneideausmaß für die Beugungsgitteroberfläche lediglich bei der Hälfte von dem bei der bekannten Anordnung. Aufgrund dieser beiden vorteilhaften Punkte wird der Verschleiß der Schneidewerkzeugkante in großem Ausmaß reduziert, so dass das optische Beugungselement mit einer homogenen Gitterdicke über seine gesamte Fläche leicht hergestellt werden kann.

**[0070]** Der Kantenwinkel der Schneidewerkzeugkante ist vorzugsweise ein zumindest  $80^\circ$  messender stumpfer Winkel. Mit der zu „d“ angenommenen Gitterdicke des Beugungsgitters und dem zu „P“ angenommenen Gittermaß des Beugungsgitters wird die Gitterdicke jedes der Beugungsgitter so bestimmt, dass es die Bedingung  $d/P \leq 1/6$  erfüllt. Außerdem ist es möglich, den Verschleiß der Schneidewerkzeugkante durch Kombination von dünnen Beugungsgittern zu verringern, die lediglich  $6 \mu\text{m}$  oder weniger in der Gitterdicke messen, damit das Schneideausmaß verringert wird.

**[0071]** Da das Beugungsgitter gemäß dem Beispiel mit der bekannten Anordnung etwa  $12 \mu\text{m}$  Gitterdicke misst, zeigt das erfindungsgemäße optische Beugungselement eine bessere Bearbeitbarkeit durch Aufteilen des Beugungsgitters auf zwei. Wenn zudem die Kombination von Materialien einen weiteren Anstieg bei der Gitterdicke verursacht, kann die verbesserte Bearbeitbarkeit durch Aufteilen des optischen Beugungselementes nicht nur auf drei, sondern auf eine größere Anzahl von Teilen wie etwa vier Teilen und anschließendes Schichten dieser unterteilten Beugungsgitter bewahrt werden.

**[0072]** Während die Anordnung gemäß dem vorstehend beschriebenen ersten Ausführungsbeispiel auf das optische Beugungselement der in der Druckschrift JP-A-9127321 offenbarten Bauart angewendet wird, wird sie ebenso auf das optische Beugungselement einer in der Druckschrift JP-A-9127322 offenbarten anderen Bauart angewendet, die von einer geschichteten Struktur mit verschiedenen Gitterdicken ist. Dabei wird die vorstehend beschriebene erfindungsgemäße Anordnung, durch die eine Vielzahl von dünnen Beugungsgittern miteinander kombiniert wird, auf eine der zwei Beugungsgitter mit einer dickeren Gitterdicke als das andere angewendet.

**[0073]** Die Beugungsgitterform ist vorstehend beschrieben, indem sie auf eine Form beschränkt wird, die innerhalb einer Periode eines Beugungsgitters erhalten wird. Es ist jedoch bekannt, dass die Beugungseffizienz grundsätzlich nicht durch das Maß des Beugungsgitters beeinflusst ist. Die vorstehend beschriebene Anordnung gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel ist mit anderen Worten nicht nur auf das in [Fig. 1](#) gezeigte eindimensionale optische Beugungselement anwendbar, sondern ebenso auf optische Beugungselemente von beliebigen verschiedenen Gitterformen wie etwa die in [Fig. 4](#) gezeigte Beugungslinse.

**[0074]** Das vorstehend beschriebene erste Ausführungsbeispiel ist ein optisches Beugungselement mit auf einer flachen Platte angeordneten Beugungsgittern. Dieselbe vorteilhafte Wirkung kann jedoch erzielt werden, indem die Beugungsgitter auf einer gekrümmten Linsenoberfläche angeordnet werden.

**[0075]** Zudem ist vorstehend das erste Ausführungsbeispiel für einen Fall beschrieben, bei dem die Entwurfsbeugungsordnung die erste Ordnung ist. Die Erfindung ist jedoch nicht auf die erste Ordnung beschränkt. Mit einer von der ersten Ordnung verschiedenen angeordneten Entwurfsbeugungsordnung wie etwa der zweiten Ordnung kann dieselbe vorteilhafte Wirkung erzielt werden, indem eine zusammengesetzte optische Pfadlängendifferenz so eingestellt wird, dass sie eine gewünschte Entwurfswellenlänge mit der gewünschten Beugungsordnung wird. Ferner kann ein und dasselbe Material sowohl für die Basisplatte **2** als auch für das erste Beugungsgitter **4** verwendet werden.

**[0076]** Ein anderer Grund für das Einstellen der Gitterdicke  $d$  und des Gittermaßes  $P$ , „ $d/P < 1/6$ “ gemäß der vorliegenden Erfindung ist nachstehend beschrieben.

**[0077]** Der numerische Wertebereich des Wertes  $d/P$  gemäß vorstehender Beschreibung ist auch bezüglich der Abhängigkeit der Beugungseffizienz vom Einfallsinkel der auf das optische Beugungselement einfallenden Lichtwelle wichtig, wie nachstehend beschrieben ist. Die [Fig. 7A](#), [Fig. 7B](#) und [Fig. 7C](#) zeigen die Einfallsinkelabhängigkeit der Beugungseffizienz bei einem Fall, wenn das erste Ausführungsbeispiel mit einem Gittermaß  $P$  bei  $59,5 \mu\text{m}$  mit den bei  $5,95 \mu\text{m}$  eingestellten Gitterdicken  $d_1$  und  $d_2$  angeordnet ist. Wie aus [Fig. 7B](#) ersichtlich ist, weist die Beugungseffizienz bezüglich der Einfallsinkelabhängigkeit der Beugungseffizienz für Beugungslicht der zweiten Ordnung große Werte bei Einfallswinkeln von  $\theta < -15^\circ$  und über Wellenlängen von  $550 \text{ nm}$  und  $450 \text{ nm}$  auf. Daher ist zur allgemeinen Verwendung die Beugungseffizienz durch die Einfallsinkel beschränkt (ein parasitärer Beugungslichtanteil ist innerhalb von 3% zu unterdrücken). Bei

diesem Beispiel ist der Wert von d/P gleich 1/10.

**[0078]** Die [Fig. 16A](#), [Fig. 16B](#) und [Fig. 16C](#) zeigen die Einfallswinkelabhängigkeit der durch die strukturelle Anordnung gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel erhaltenen Beugungseffizienz, wobei ein LAL12 ( $nd = 1,67790$  und  $vd = 55,3$ ) genanntes Material für die erste und dritte Schicht verwendet wird, ein S-TiM27 ( $nd = 1,6398$  und  $vd = 34,5$ ) genanntes Material für die zweite und vierte Schicht verwendet wird, die Gitterdicken  $d_1$  und  $d_2$  auf  $8 \mu\text{m}$  ( $d_1 = d_2 = 8 \mu\text{m}$ ) und das Gittermaß P auf  $40 \mu\text{m}$  eingestellt sind. Dabei steigt die Beugungseffizienz für das Beugungslicht der zweiten Ordnung hervorragend bei Winkeln von ungefähr  $\theta < -7^\circ$ , und die Beugungseffizienz für Beugungslicht der nullten Ordnung steigt hervorragend auf der positiven (+) Seite eines Winkels von ungefähr  $\theta < -5^\circ$ . Dies verursacht einen deutlichen Flimmerlichtanteil, der bezüglich der Bildausbildungsleistungsfähigkeit kaum wünschenswert ist. Bei dem vorliegenden Beispiel ist der Wert für d/P gleich 1/5.

**[0079]** Die [Fig. 17A](#), [Fig. 17B](#) und [Fig. 17C](#) zeigen als weiteres Beispiel die Einfallswinkelabhängigkeit der durch dieselbe strukturelle Anordnung erhaltenen Beugungseffizienz mit Materialien von zwei Arten, d.h. einem Material mit  $nd = 1,632$  und  $vd = 63,8$  sowie einem Material mit  $nd = 1,484$  und  $vd = 15,1$ , welche für die Schichten verwendet sind, wobei die Gitterdicken  $d_1$  und  $d_2$  auf  $2 \mu\text{m}$  und das Gittermaß P auf  $40 \mu\text{m}$  eingestellt sind. Die [Fig. 18A](#), [Fig. 18B](#) und [Fig. 18C](#) zeigen als weiteres Beispiel die Einfallswinkelabhängigkeit der Beugungseffizienz derselben strukturellen Anordnung mit für die Schichten verwendeten zwei Arten von Materialien, d.h. einem Material mit  $nd = 1,632$  und  $vd = 63,8$  sowie einem Material mit  $nd = 1,558$  und  $vd = 23,0$ , wobei die Gitterdicken  $d_1$  und  $d_2$  zu  $4 \mu\text{m}$  und das Gittermaß P zu  $80 \mu\text{m}$  eingestellt sind. Bei diesen beiden Beispielen ist die Beugungseffizienz sowohl für das Beugungslicht der zweiten als auch der nullten Ordnung innerhalb eines Einfallwinkelbereichs von  $\theta = \pm 20^\circ$  ausreichend niedrig. Es ist daher ersichtlich, dass die widrige Wirkung von Flimmerlicht auf einen niedrigen Pegel gedrückt wird. In jedem dieser Fälle ist der Wert von d/P gleich 1/20.

**[0080]** Wie aus diesen Beispielen ersichtlich ist, ist ein optisches Beugungselement mit der geschichteten Struktur mit in derselben Richtung in der Gitterschnittform geneigten Beugungsgittern so angeordnet, dass es einen Wert von d/P von weniger als 1/6 aufweist.

**[0081]** [Fig. 5](#) zeigt eine Schnittansicht von wesentlichen Teilen eines optischen Beugungselementes gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung. Bei dem vorstehend beschriebenen ersten Ausführungsbeispiel sind die beiden aufgeteilten

Beugungsgitteroberflächen mit derselben Neigungsrichtung angeordnet. Bei der Gitterstruktur gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel ist andererseits zumindest eines einer Vielzahl von Beugungsgittern mit einer Gitteroberfläche mit einer Neigungsrichtung angeordnet, die sich von der Neigungsrichtung der Gitteroberflächen der anderen Beugungsgitter unterscheidet.

**[0082]** Das optische Beugungselement gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung ist aus drei Schichten zusammengesetzt, d.h. einer ersten Schicht **4**, einer zweiten Schicht **5** und einer dritten Schicht **6**, wie es in [Fig. 5](#) gezeigt ist. Dabei unterscheidet sich die Gitterrichtung (oder Neigungsrichtung) der ersten Beugungsgitteroberfläche **8** von der zweiten Beugungsgitteroberfläche **9**. Obwohl die Gitterrichtungen dieser Beugungsgitteroberflächen sich voneinander unterscheiden, ist die Beugungseffizienz gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel dieselbe wie die gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel für einen senkrecht einfallenden Lichtstrom, da die Materialien an der Grenze der Beugungsgitteroberfläche **9** umgekehrt zu jenen gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel angeordnet sind.

**[0083]** Die Anordnung gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel ist gekennzeichnet durch die Dünne der Gitter, so dass die Bearbeitbarkeit des optischen Beugungselementes stark verbessert werden kann. Im Falle eines Beugungsgitters mit einer flachen Bezugsfläche gemäß [Fig. 5](#) sind die Gitterform der ersten Schicht **4** und die der dritten Schicht **6** zueinander identisch, falls die Absolutwerte der Gitterdicken  $d_1$  und  $d_2$  des ersten und dritten Beugungsgitters **4** und **6** zueinander gleich sind. Daher kann das optische Beugungselement gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel durch ein Herstellungsverfahren gemäß den [Fig. 6A](#) bis [Fig. 6D](#) hergestellt werden.

**[0084]** Im Einzelnen kann der Gitterteil der ersten Schicht **4** und derjenige der dritten Schicht **6** durch diesen mit ein und derselben Gussform ausgebildet werden, wie es in den [Fig. 6A](#) und [Fig. 6B](#) gezeigt ist. Dann wird das Material der zweiten Schicht **5** in einen Raum zwischen den beiden Gitterteilen gefüllt, wie es in [Fig. 6C](#) gezeigt ist, so dass das optische Beugungselement **1** gemäß [Fig. 6D](#) ausgebildet wird. Im Vergleich mit dem optischen Beugungselement des ersten Ausführungsbeispiels verkürzt das gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel die Herstellungsvorgänge, da es eine um eins geringere Anzahl von Schichten als das erste Ausführungsbeispiel aufweist.

**[0085]** Wenn ein optisches Beugungselement als Teil eines optischen Bildausbildungssystems verwendet wird, wird das optische System selten so angeordnet, dass lediglich ein Lichtstrom senkrecht auf das optische Beugungselement einfällt. Das optische

Beugungselement wird daher im Allgemeinen für einen Bereich von spezifischen Einfallswinkeln verwendet.

**[0086]** Für verschiedene Einfallwinkel stattfindende Variationen der Beugungseffizienz werden nachstehend für die in [Fig. 2](#) gezeigte Gitterstruktur gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel sowie für die in [Fig. 5](#) gezeigte gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel beschrieben. Die [Fig. 7A](#), [Fig. 7B](#) und [Fig. 7C](#) zeigen den Zusammenhang zwischen der Beugungseffizienz und dem Einfallwinkel bei dem ersten Ausführungsbeispiel. Die [Fig. 8A](#), [Fig. 8B](#) und [Fig. 8C](#) zeigen den Zusammenhang zwischen der Beugungseffizienz und dem Einfallwinkel bei dem zweiten Ausführungsbeispiel.

**[0087]** Dabei zeigen die [Fig. 7A](#) und [Fig. 8A](#) die Variationen der Beugungseffizienz bezüglich des Einfallwinkels des Beugungslichtes der ersten Ordnung, die [Fig. 7B](#) und [Fig. 8B](#) zeigen die Variationen der Beugungseffizienz bezüglich des Einfallwinkels von Beugungslicht der zweiten Ordnung, und die [Fig. 7C](#) und [Fig. 8C](#) zeigen die Variationen der Beugungseffizienz bezüglich des Einfallwinkels des Beugungslichts der nullten Ordnung. Bei diesem Beispiel liegt der einfallende Lichtstrom innerhalb einer durch die Gittermaßrichtung des Beugungsgitters und der Normalen der Beugungsgitteroberfläche definierten Ebene. Der Beugungslichtstrom wird mit anderen Worten innerhalb einer Ebene angenommen. Bezüglich des Vorzeichens des Einfallwinkels wird die in [Fig. 2](#) gezeigte Richtung von  $\theta$  mit positiven Werten angenommen. Zudem betragen die Gitterdicken insgesamt 8  $\mu\text{m}$ , und das Gittermaß liegt bei 40  $\mu\text{m}$ .

**[0088]** Wie aus diesen Figuren ersichtlich ist, werden die Variationen der Beugungseffizienz bei negativen (-) Einfallwinkeln in der Gitterstruktur gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel in einem größeren Ausmaß als bei der Gitterstruktur gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel unterdrückt. Um die Beugungseffizienz für die von der Entwurfsordnung verschiedenen Beugungsordnungen auf 3% oder weniger zu unterdrücken muss der Einfallswinkel  $\theta$  innerhalb eines Bereichs von  $-15^\circ \leq \theta \leq 20^\circ$  im Falle des ersten Ausführungsbeispiels liegen, wohingegen das zweite Ausführungsbeispiel für den Einfallswinkel  $\theta$  einen breiteren Bereich von  $-20^\circ \leq \theta \leq 20^\circ$  erlaubt.

**[0089]** Wenn tatsächlich eine Beugungslinse gemäß jedem der Ausführungsbeispiele auf tatsächliche optische Systeme angewendet wird, weisen die Breite des Lichtstroms und das Gittermaß der Beugungslinse varierende Werte auf. Daher muss der nützliche Bereich für die Sichtwinkel und eine erlaubbare Beugungseffizienz für die Entwurfsbeugungsordnung für jeden Fall in der passendsten Kombination bestimmt werden.

**[0090]** Gemäß vorstehender Beschreibung liegt ein Vorteil der Gitterstruktur gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel darin, dass die Variationen der Beugungseffizienz für Variationen im Einfallswinkel unterdrückt werden können. Ein anderer Vorteil gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel liegt darin, dass wenn die Form einer Bezugsebene eine flachere Oberfläche ist, die Herstellungsvorgänge für das optische Beugungselement verkürzt werden können.

**[0091]** [Fig. 9](#) zeigt eine Schnittansicht eines optischen Systems mit dem erfindungsgemäßen optischen Beugungselement gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel. Das optische System ist ein optisches Bildausbildungssystem einer Kamera oder dergleichen. Bezugnehmend auf [Fig. 9](#) beinhaltet eine Fotoaufnahmelinse **10** eine Blende **11** und das optische Beugungselement **1**. Eine Bildausbildungsfläche **12** stellt einen Film oder eine CCD dar.

**[0092]** Die Wellenlängenabhängigkeit der Beugungseffizienz gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel wird durch die Verwendung des optischen Beugungselementes **1** stark verbessert, welches eine geschichtete Struktur aufweist. Daher zeigt die Fotoaufnahmelinse nicht sehr viel Flimmern, weist eine starke Auflösung bei geringen Frequenzen auf und zeigt somit eine hohe Leistungsfähigkeit. Da das optische Beugungselement erfindungsgemäß einfach ausgebildet werden kann, kann die Fotoaufnahmelinse durch eine Massenproduktion bei geringen Kosten hergestellt werden.

**[0093]** Bei dem in [Fig. 9](#) gezeigten dritten Ausführungsbeispiel ist das optische Beugungselement **1** auf der flachen Glasoberfläche nahe der Blende **11** angeordnet. Die Anordnung des optischen Beugungselementes ist jedoch nicht auf diese Position beschränkt und kann auch auf der gekrümmten Oberfläche einer Linse liegen. Zudem kann eine Vielzahl von optischen Beugungselementen innerhalb der Fotoaufnahmelinse angeordnet sein.

**[0094]** Während die Erfindung auf die Fotoaufnahmelinse einer Kamera bei dem dritten Ausführungsbeispiel angewendet wird, ist die Erfindung nicht darauf beschränkt.

**[0095]** Dieselben Vorteile können durch Anwenden der Erfindung auf die Fotoaufnahmelinse einer Videokamera, eine Bildabtastvorrichtung einer Büromaschine, eine Leselinse einer digitalen Kopiermaschine usw. erzielt werden.

**[0096]** [Fig. 10](#) zeigt eine Schnittansicht eines optischen Systems mit dem erfindungsgemäßen optischen Beugungselement gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel. Das optische System ist ein optisches Betrachtungssystem eines Fernglases oder dergleichen. Das in [Fig. 10](#) gezeigte optische Sys-

tem beinhaltet eine Objektivlinse **13**, ein Bildinversionsprisma **14** zum Aufrichten eines Bildes, einen Okularlinse **15**, und eine Bewertungsebene (Pupillen-nebene) **16**.

**[0097]** In [Fig. 10](#) bezeichnet das Bezugszeichen **1** das optische Beugungselement, das zum Zwecke der Farbabweichungskorrektur der Objektivlinse **13** verwendet wird, die auf der Bildausbildungsebene **12** auftritt.

**[0098]** Die Wellenlängenabhängigkeit der Beugungseffizienz gemäß dem vierten Ausführungsbeispiel wird durch die Verwendung des optischen Beugungselementes **1** mit der geschichteten Struktur stark verbessert. Die Objektivlinse weist daher nicht sehr viel Flimmern auf, zeigt eine hohe Auflösung bei geringen Frequenzen und somit eine hohe Leistungsfähigkeit. Da zudem das erfindungsgemäße optische Beugungselement einfach ausgebildet werden kann, kann das optische Betrachtungssystem durch Massenproduktion bei geringen Kosten hergestellt werden.

**[0099]** Bei dem vierten Ausführungsbeispiel ist das optische Beugungselement **1** auf der Objektivlinse **13** ausgebildet. Dieselben vorteilhaften Wirkungen können jedoch erzielt werden, wenn das optische Beugungselement **1** entweder auf der Oberfläche des Prisma **14** oder innerhalb der Okularlinse **15** angeordnet ist. Da die Wirkung einer herabgesetzten Farbabweichung alleine durch die Objektivlinse **13** mit dem auf der Objektseite der Bildausbildungsebene **12** angeordneten optischen Beugungselement **1** erzielt werden kann, wird das optische Beugungselement **1** vorzugsweise zumindest auf der Seite der Objektivlinse **13** im Falle eines optischen Betrachtungssystems angeordnet.

**[0100]** Bei dem vorstehend beschriebenen vierten Ausführungsbeispiel wird die Erfindung auf ein Fernglas angewendet. Die Anordnung gemäß dem vierten Ausführungsbeispiel trifft jedoch nicht nur darauf zu, sondern auch auf ein Erdteleskop, ein astronomisches Teleskop oder dergleichen. Dieselben Vorteile können außerdem durch Anwenden der Anordnung auf einen optischen Bildsucher einer Kamera in Linsenverschlussbauart, einer Videokamera oder dergleichen erzielt werden.

### Patentansprüche

1. Optisches Beugungselement mit:  
einer Vielzahl von geschichteten Beugungsgittern (**4**, **5**, **6**, **7**), die zwischen sich eine Vielzahl von Beugungsgitteroberflächen (**8**, **9**) ausbilden,  
wobei die Materialien von den jeweiligen Beugungsgittern (**4**, **5**, **6**, **7**) ausbildenden angrenzenden Schichten sich voneinander hinsichtlich der Dispersion unterscheiden, und

wobei die Vielzahl von geschichteten Beugungsgittern (**4**, **5**, **6**, **7**) im Wesentlichen identische Maßverteilungen aufweisen,

**dadurch gekennzeichnet**, dass

wenn das minimale Gittermaß und die Gitterdicke jedes der Beugungsgitter (**4**, **5**, **6**, **7**) durch P bzw. d bezeichnet ist, die nachstehend aufgeführten Bedingungen durch jedes Beugungsgitter (**4**, **5**, **6**, **7**) erfüllt werden:

$$d/P < 1/6$$

$$1 \mu\text{m} < d < 6 \mu\text{m}$$

2. Optisches Beugungselement nach Anspruch 1, wobei jedes der Beugungsgitter (**4**, **5**, **6**) ein Beugungsgitter in geflampter Bauart ist, und wobei eine Neigungsrichtung der Gitteroberfläche (**8**) von zumindest einem der Beugungsgitter entgegengesetzt zu der einer Gitteroberfläche (**9**) eines anderen der Beugungsgitter (**4**, **5**, **6**) ist.

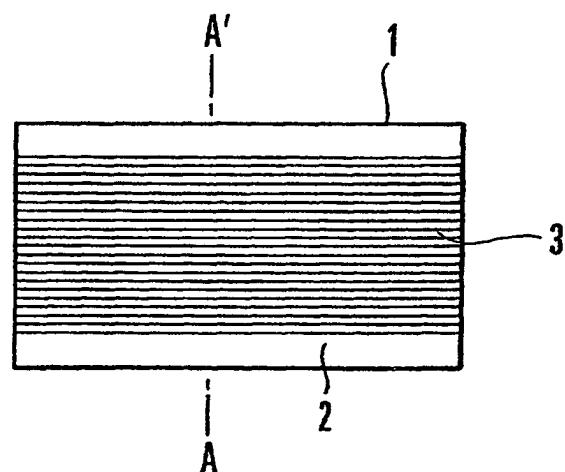
3. Optisches Beugungselement nach Anspruch 1 oder 2, wobei ein Entwurfswellenlängenbereich ein sichtbares Spektrum ist, und wobei die Gitterdicken so bestimmt sind, dass eine Beugungseffizienz von Beugungslicht einer spezifischen Ordnung ungleich einer nullten Ordnung über dem sichtbaren Spektrum hoch ist.

4. Optisches Beugungselement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das optische Beugungselement eine Linsenfunktion aufweist.

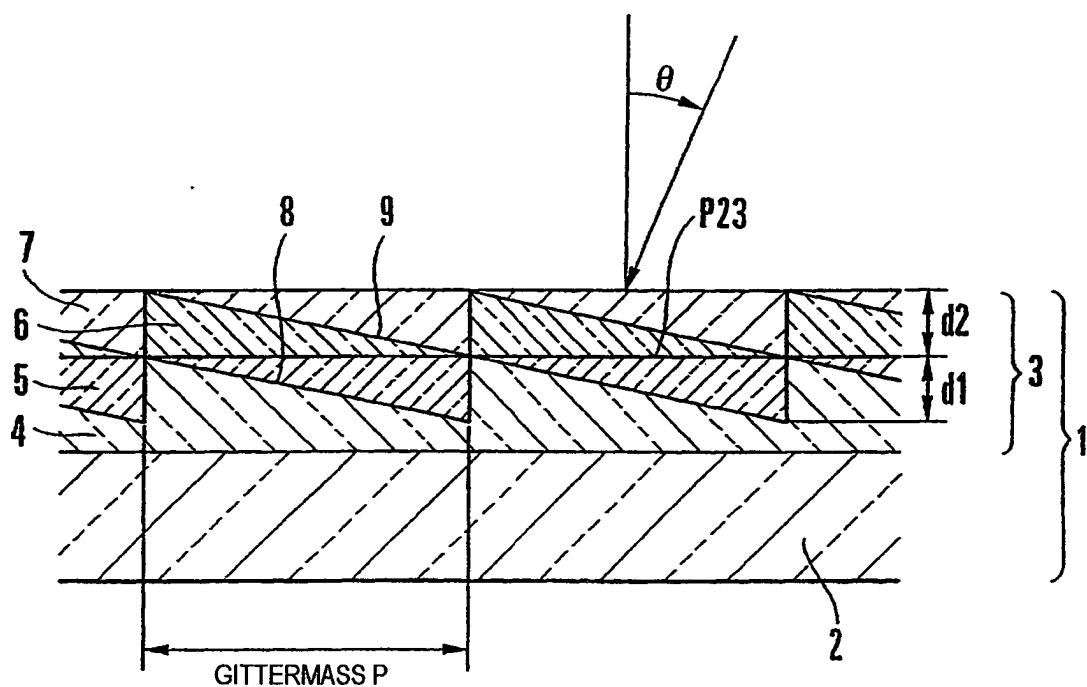
5. Optisches System wie etwa ein optisches Fotoaufnahmesystem oder ein optisches Betrachtungssystem mit einem optischen Beugungselement (**1**) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4.

Es folgen 12 Blatt Zeichnungen

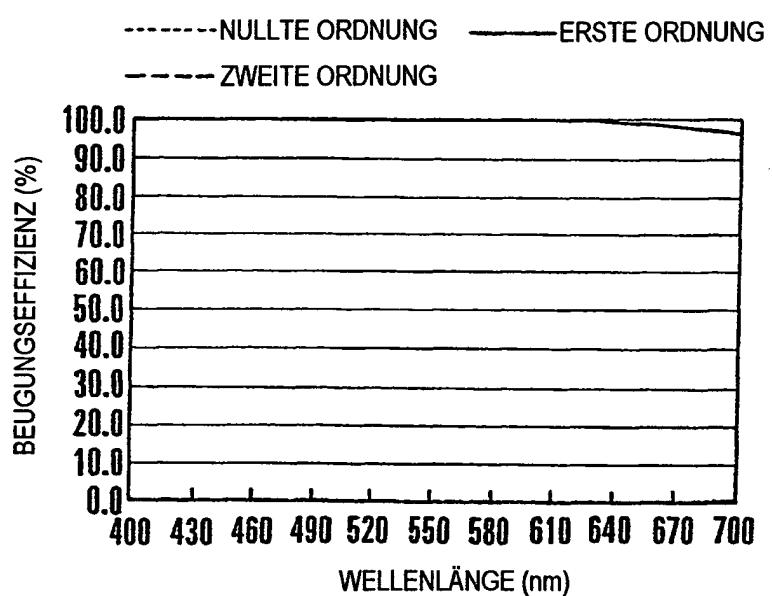
F I G. 1



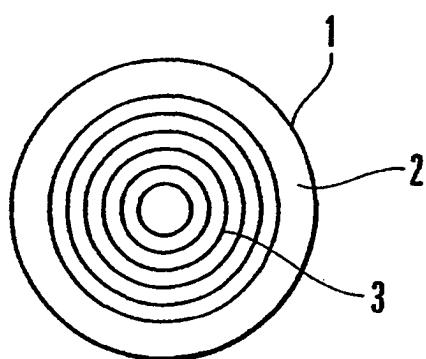
F I G. 2



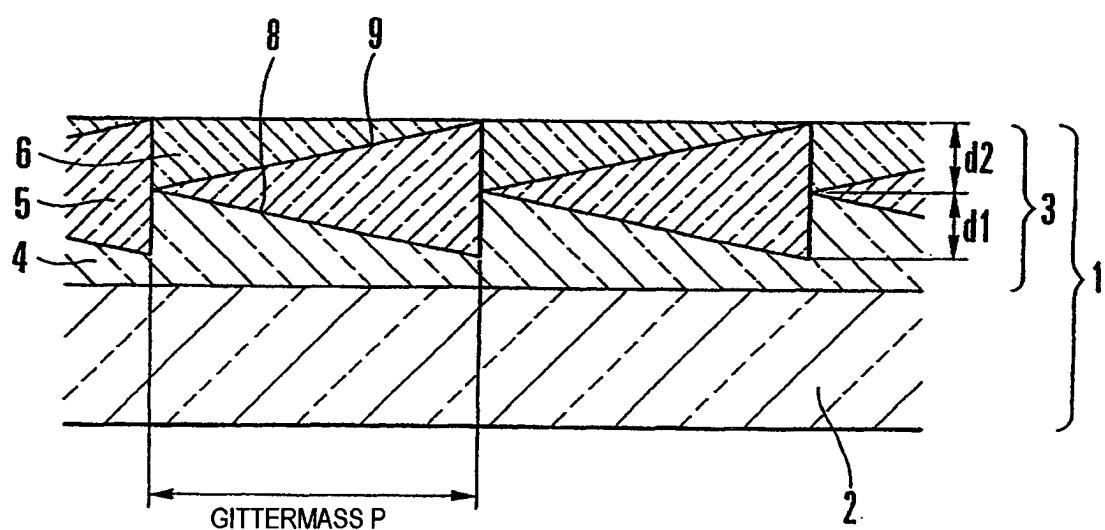
### F I G. 3



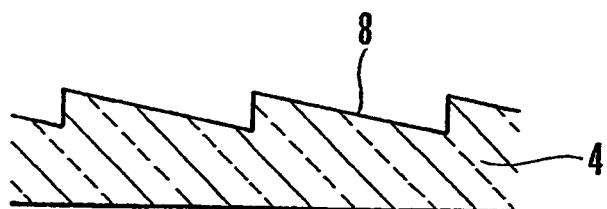
F I G. 4



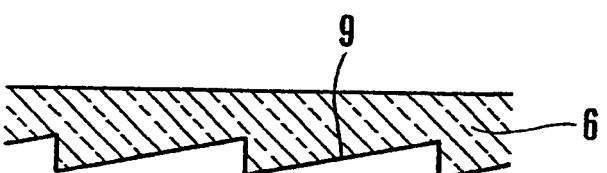
F I G. 5



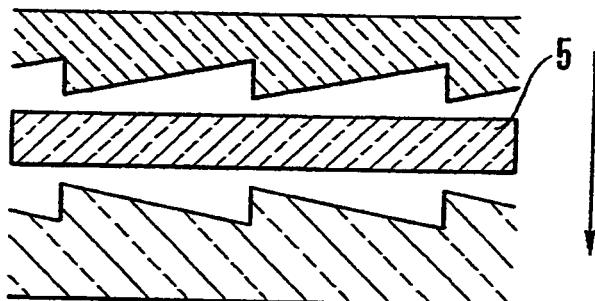
**F I G . 6 A**



**F I G . 6 B**



**F I G . 6 C**



**F I G . 6 D**

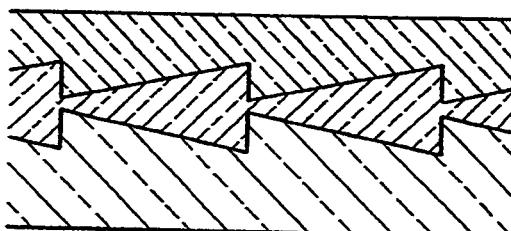


FIG. 7 A

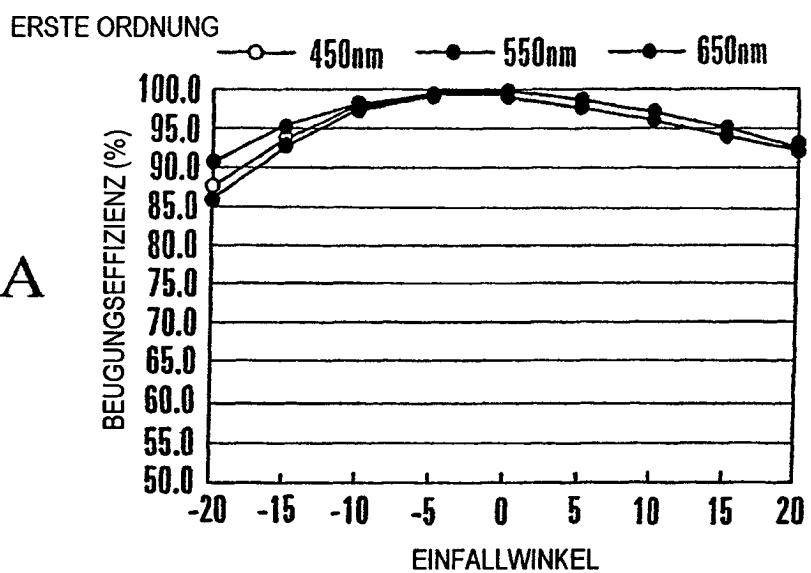


FIG. 7 B

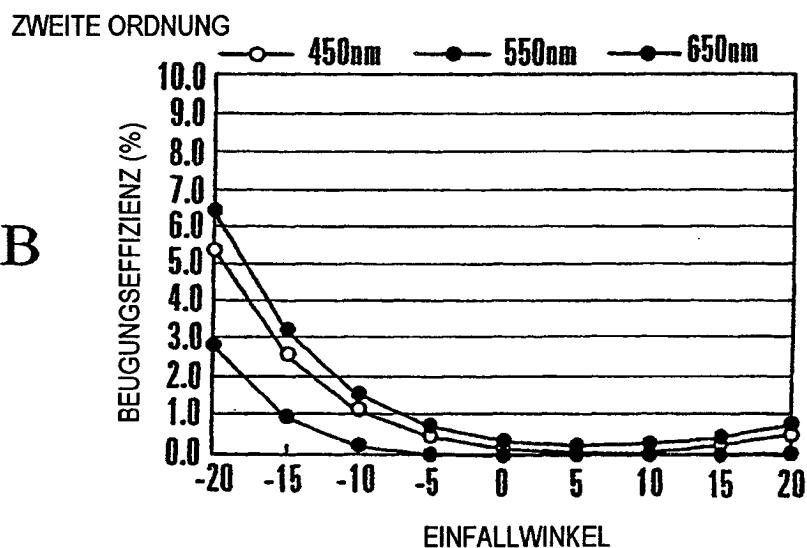


FIG. 7 C

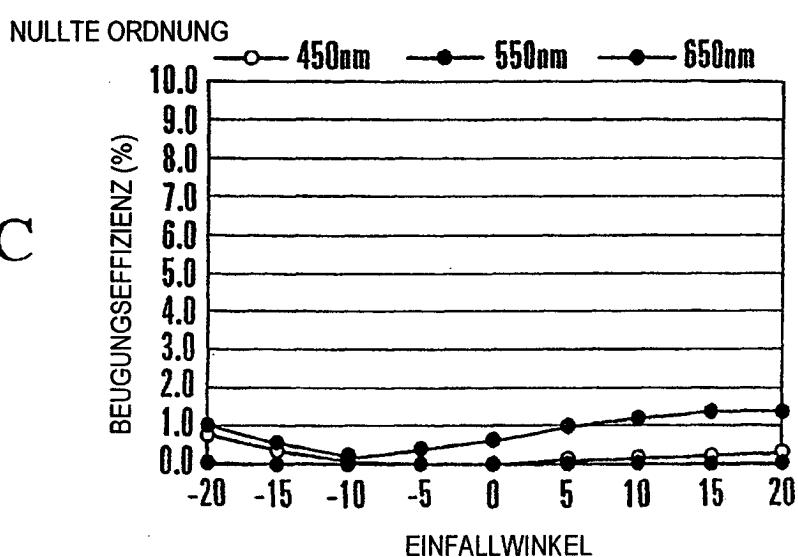


FIG. 8A

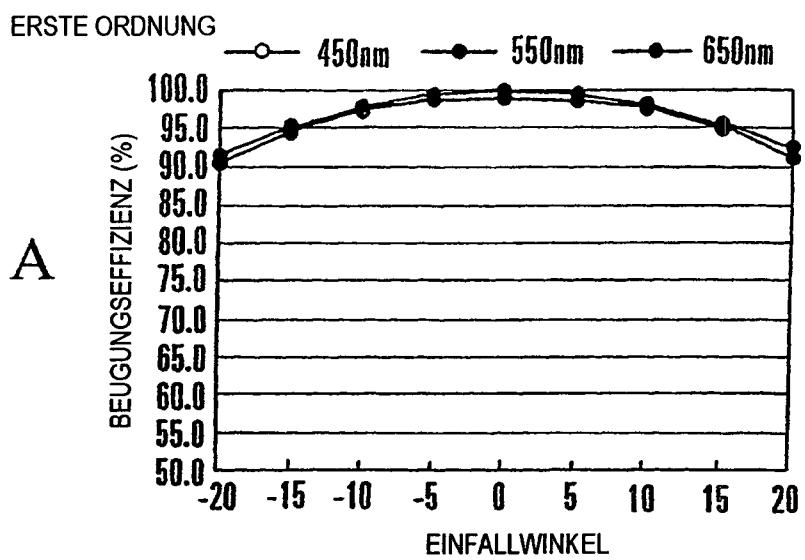


FIG. 8B

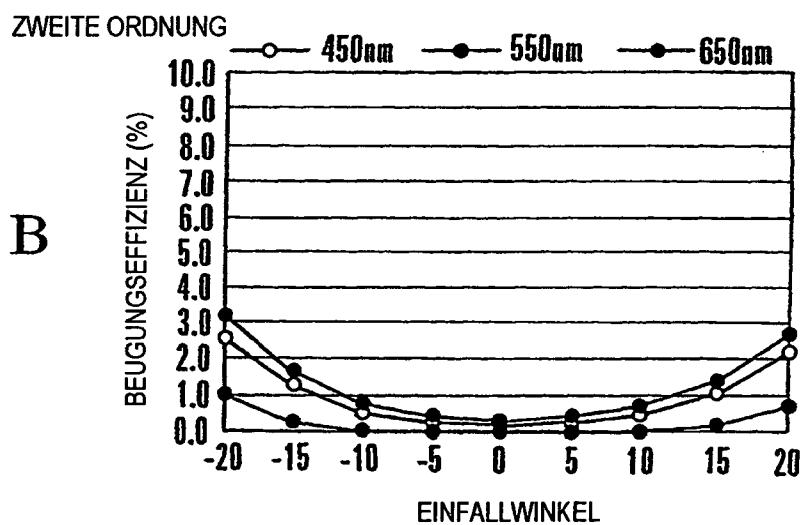
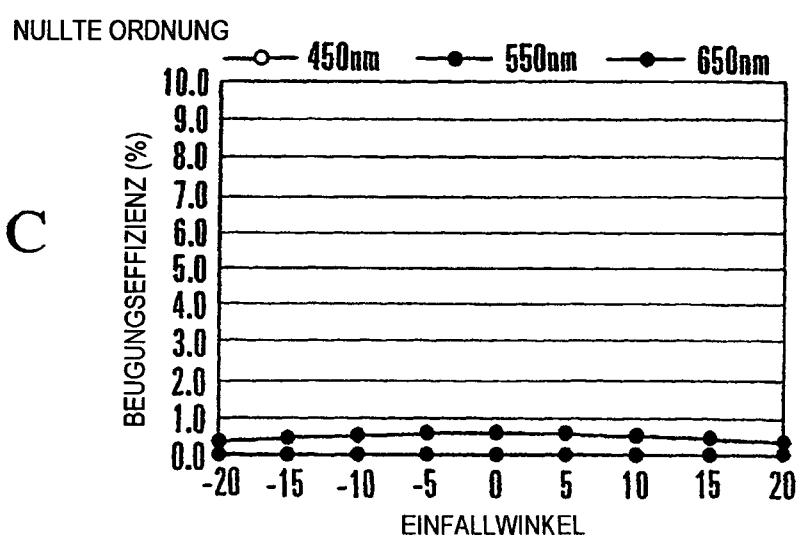
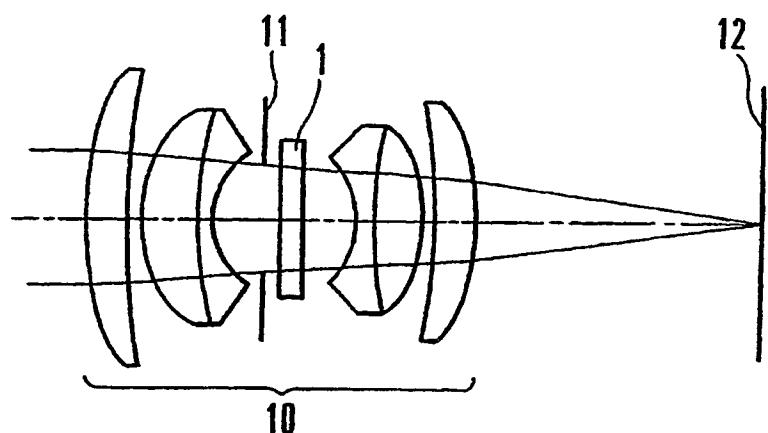


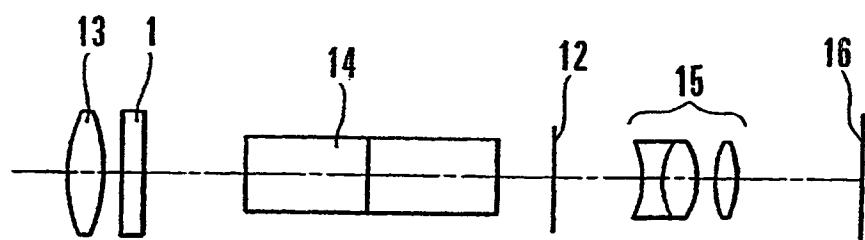
FIG. 8C



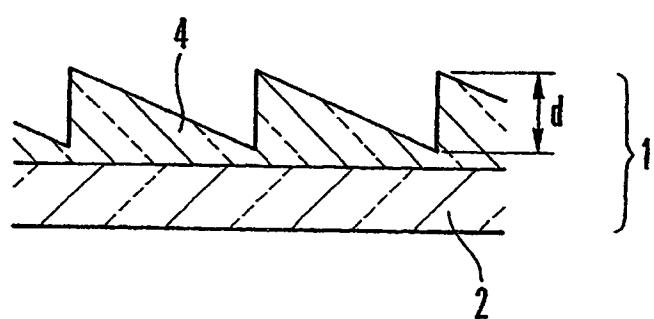
F I G. 9



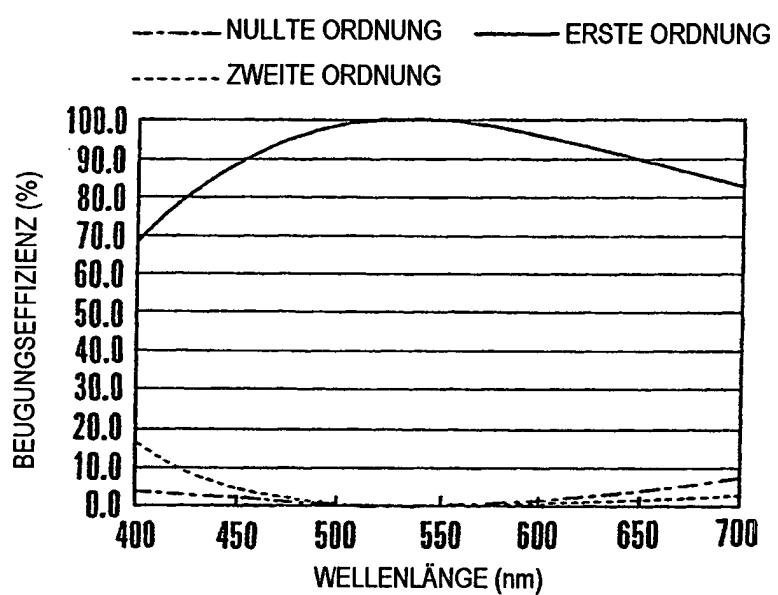
F I G. 10



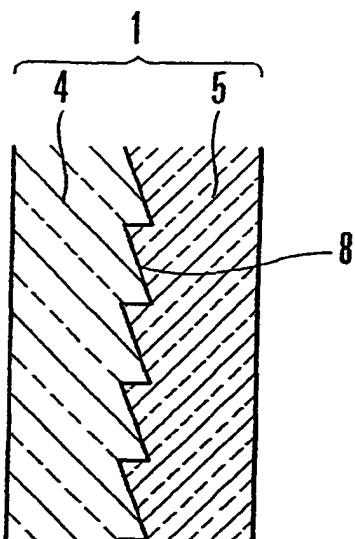
F I G. 11



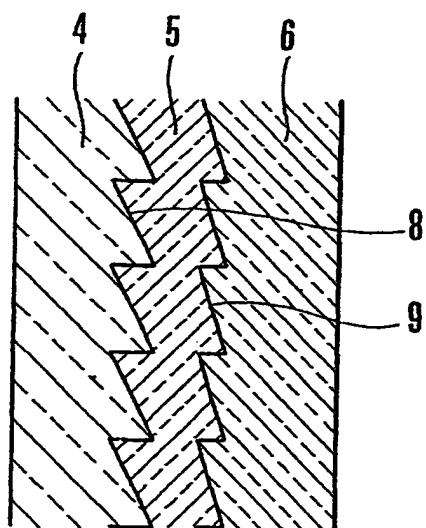
F I G. 12



F I G. 13



F I G. 14



F I G. 15

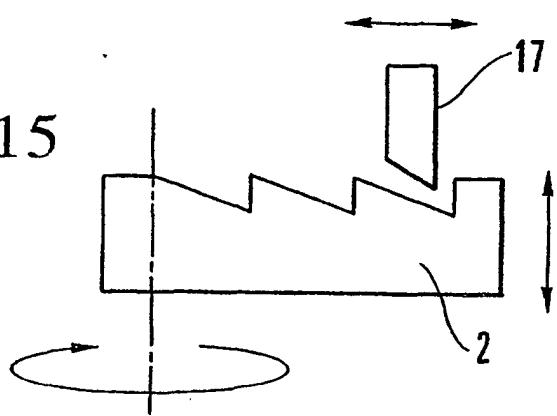


FIG. 16 A

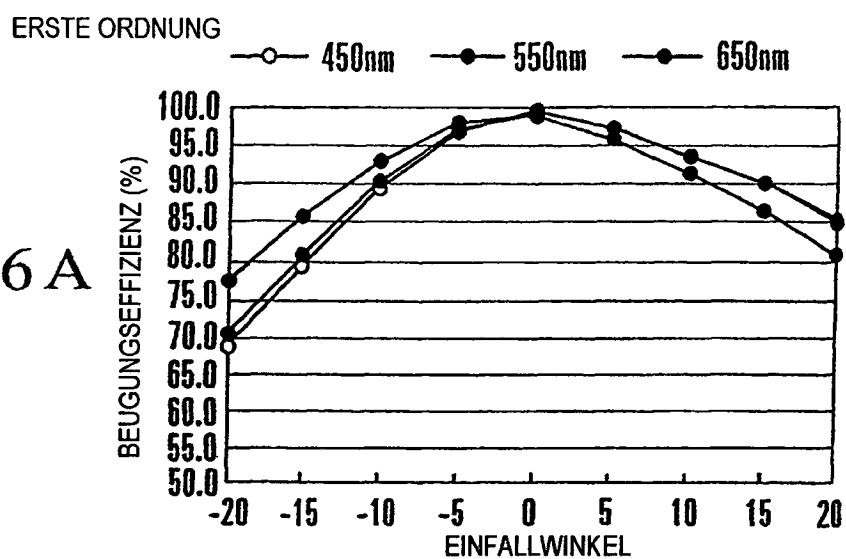


FIG. 16 B

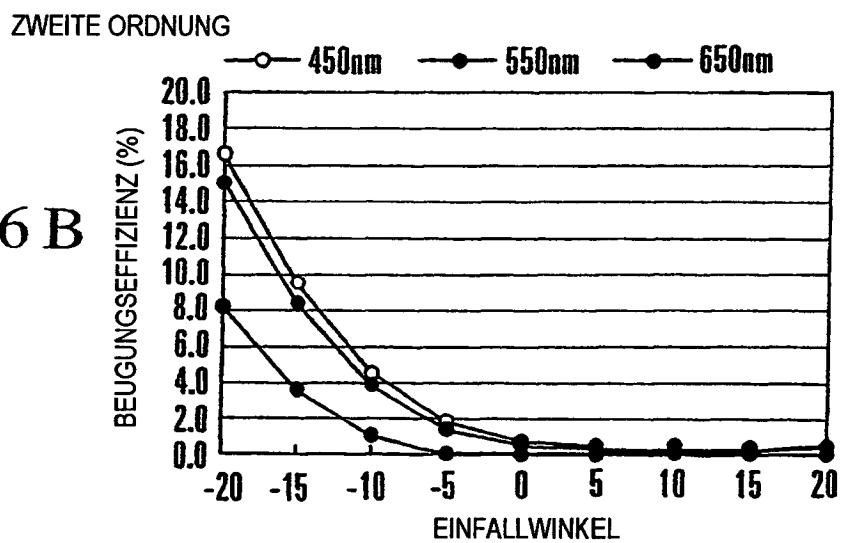


FIG. 16 C

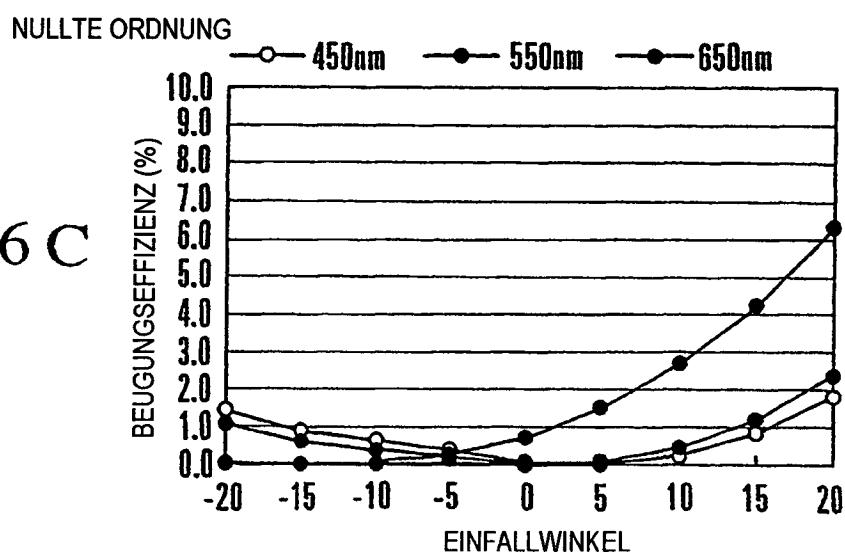


FIG. 17 A

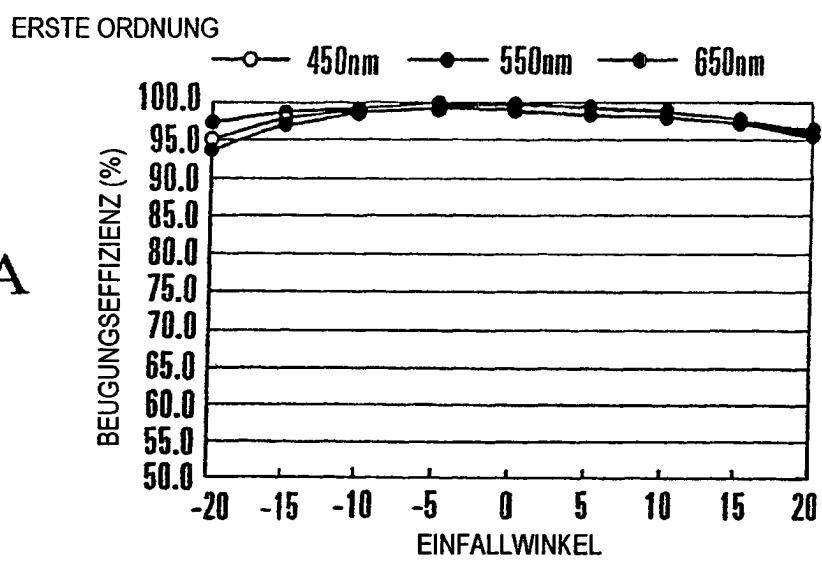


FIG. 17 B

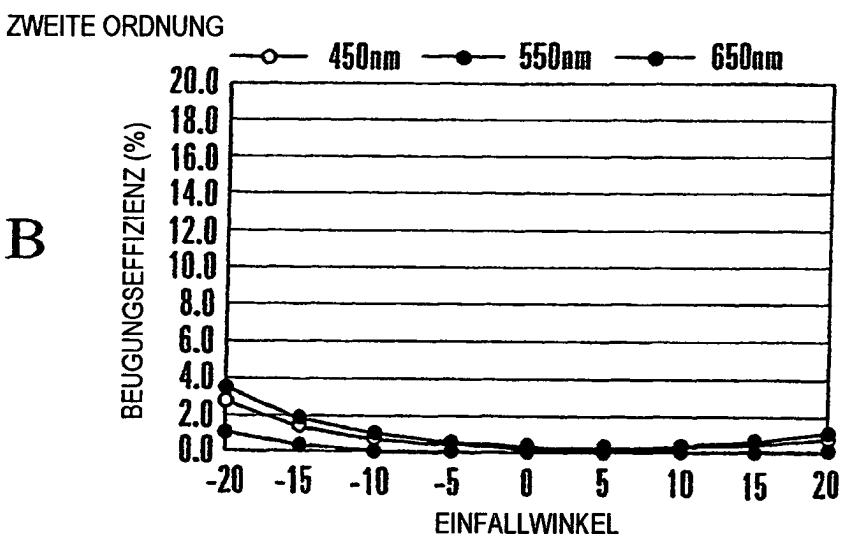


FIG. 17 C

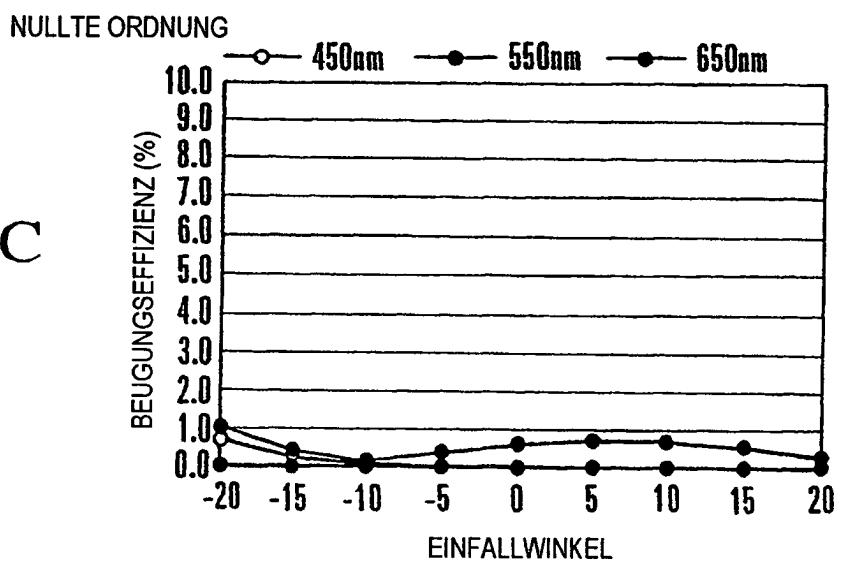


FIG.18A

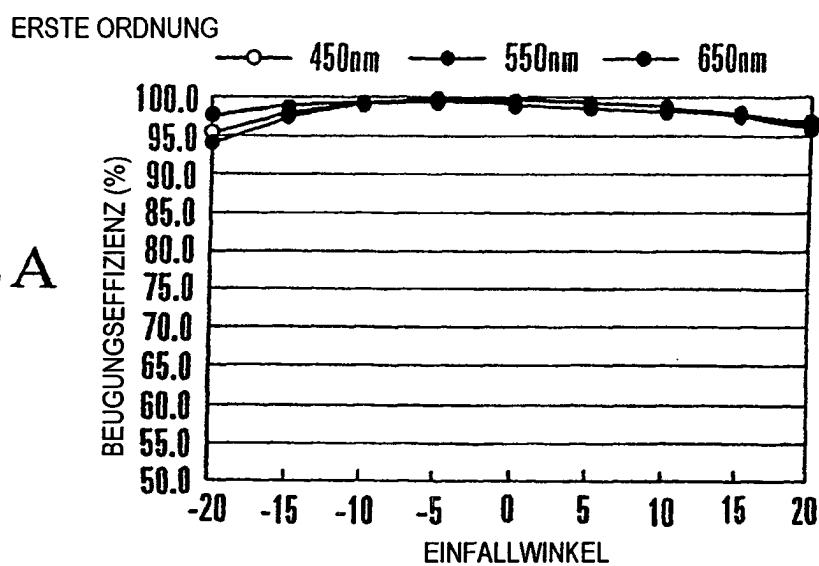


FIG.18 B

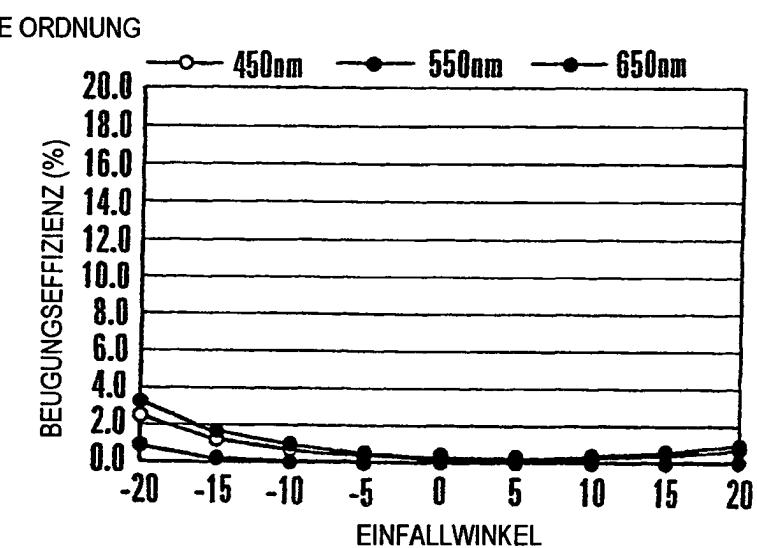


FIG.18 C

