(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2023 129 890 A1** 2024.05.02

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2023 129 890.9**
(22) Anmeldetag: **30.10.2023**
(43) Offenlegungstag: **02.05.2024**

(51) Int Cl.: ***G02B 1/111*** (2015.01)
G02B 3/00 (2006.01)
G02B 13/00 (2006.01)
G03B 19/00 (2021.01)

(30) Unionspriorität:
2022-174119 31.10.2022 JP

(74) Vertreter:
TBK, 80336 München, DE

(71) Anmelder:
Canon Kabushiki Kaisha, Tokio, JP

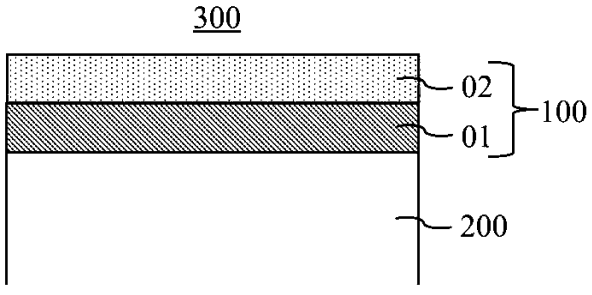
(72) Erfinder:
Uchida, Kazue, Tokyo, JP

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **OPTISCHES ELEMENT, OPTISCHES SYSTEM, BILDAUFNAHMEGERÄT UND OPTISCHES GERÄT**

(57) Zusammenfassung: Ein optisches Element (300) umfasst ein Substrat (200) und einen Entspiegelungsfilm (100). Der Entspiegelungsfilm (100) besteht aus einer ersten Lage (01), die auf dem Substrat (200) ausgebildet ist, und einer zweiten Lage (02), die auf der ersten Lage (01) ausgebildet ist. Die erste Lage (01) und die zweite Lage (02) enthalten jeweils eine organische Verbindung. Es sind vorbestimmte Ungleichungen erfüllt.



Beschreibung

HINTERGRUND

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein optisches Element, ein optisches System, ein Bildaufnahmegerät und ein optisches Gerät.

Beschreibung des Stands der Technik

[0002] Auf der Oberfläche eines optischen Elements, etwa einer Linse und eines Filters in einem optischen System, werden häufig dielektrische Multilayer (Entspiegelungsfilme) mit einer Entspiegelungsfunktion ausgebildet, um Streulicht und Geisterbilder zu verhindern, die durch unnötige Lichtreflektionen hervorgerufen werden.

[0003] Eine Hochleistungsentspiegelung lässt sich erzielen, wenn für die äußerste Lage ein Material mit einem niedrigen Brechungsindex verwendet wird.

[0004] Als Material mit niedrigem Brechungsindex werden bekanntlich ein anorganisches Material wie Siliziumdioxid und Magnesiumfluorid und ein organisches Material wie Silikonharz und amorphes Fluorharz verwendet. Diese Materialien können den Brechungsindex senken, indem sie in den Schichten Hohlräume ausbilden.

[0005] Die JP 2009- 162 989 A offenbart einen zweilagigen Entspiegelungsfilm, der auf einem Substrat mit einem Brechungsindex von 1,70 bis 1,95 ausgebildet ist, wobei er aus einer ersten Lage, die hauptsächlich Aluminiumoxid ist, und einer zweiten Lage besteht, die ein Siliziumdioxid-Aerogel mit einem Brechungsindex von 1,27 ist.

[0006] Allerdings wird der in der JP 2009- 162 989 A offenbarte Entspiegelungsfilm durch Dampfabscheidung der hauptsächlich aus Aluminiumoxid bestehenden ersten Lage ausgebildet. Aus diesem Grund gibt es bei einem Objektiv mit großem Öffnungswinkel (Weitwinkelobjektiv) das Problem einer Filmungleichmäßigkeit auf der Linsenoberfläche und einer unzureichenden Entspiegelung über die gesamte Linsenoberfläche. Da der Brechungsindex der Deckschicht etwa 1,27 beträgt, ist zudem die Entspiegelung nicht ausreichend, wenn der Brechungsindex des Substrats 1,70 oder weniger beträgt.

KURZDARSTELLUNG

[0007] Die vorliegende Erfindung stellt in ihrer ersten Ausgestaltung ein optisches Element zur Verfügung, wie es in den Ansprüchen 1 bis 16 angegeben ist.

[0008] Die vorliegende Erfindung stellt in ihrer zweiten Ausgestaltung ein optisches System zur Verfügung, wie es in Anspruch 17 angegeben ist.

[0009] Die vorliegende Erfindung stellt in ihrer dritten Ausgestaltung ein Bildaufnahmegerät zur Verfügung, wie es in Anspruch 18 angegeben ist.

[0010] Die vorliegende Erfindung stellt in ihrer vierten Ausgestaltung ein optisches Gerät zur Verfügung, wie es in Anspruch 19 angegeben ist.

[0011] Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen aus der folgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Fig. 1 ist ein schematisches Schaubild, das ein Ausführungsbeispiel eines optischen Elements darstellt.

Fig. 2 stellt eine schematische Schnittansicht optischer Elemente von Beispielen 1, 4, 5, 7, 9, 10 und Vergleichsbeispielen 1 und 2 dar.

Fig. 3 stellt eine schematische Schnittansicht optischer Elemente von Beispielen 2, 3, 6 und 8 dar.

Fig. 4 zeigt Reflexionsgrad-Kennlinien bei Einfallwinkeln von 0, 15, 30, 45 und 60 Grad an Position C im Beispiel 1.

Fig. 5 zeigt Reflexionsgrad-Kennlinien bei einem Einfallwinkel von 0 Grad an Positionen C und Q im Beispiel 1.

Fig. 6 zeigt Reflexionsgrad-Kennlinien bei Einfallswinkeln von 0, 15, 30, 45 und 60 Grad an Position C im Beispiel 2.

Fig. 7 zeigt Reflexionsgrad-Kennlinien bei einem Einfallwinkel von 0 Grad an Positionen C und Q im Beispiel 2.

Fig. 8 zeigt Reflexionsgrad-Kennlinien bei Einfallwinkeln von 0, 15, 30, 45 und 60 Grad an Position C im Beispiel 3.

Fig. 9 zeigt Reflexionsgrad-Kennlinien bei einem Einfallswinkel von 0 Grad an Positionen C und Q im Beispiel 3.

Fig. 10 zeigt Reflexionsgrad-Kennlinien bei Einfallswinkeln von 0, 15, 30, 45 und 60 Grad an Position C im Beispiel 4.

Fig. 11 zeigt Reflexionsgrad-Kennlinien bei einem Einfallswinkel von 0 Grad an Positionen C und Q im Beispiel 4.

Fig. 12 zeigt Reflexionsgrad-Kennlinien bei Einfallswinkeln von 0, 15, 30, 45 und 60 Grad an Position C im Beispiel 5.

Fig. 13 zeigt Reflexionsgrad-Kennlinien bei einem Einfallswinkel von 0 Grad an Positionen C und Q im Beispiel 5.

Fig. 14 zeigt Reflexionsgrad-Kennlinien bei Einfallswinkeln von 0, 15, 30, 45 und 60 Grad an Position C im Beispiel 6.

Fig. 15 zeigt Reflexionsgrad-Kennlinien bei einem Einfallswinkel von 0 Grad an Positionen C und Q im Beispiel 6.

Fig. 16 zeigt Reflexionsgrad-Kennlinien bei Einfallswinkeln von 0, 15, 30, 45 und 60 Grad an Position C im Beispiel 7.

Fig. 17 zeigt Reflexionsgrad-Kennlinien bei einem Einfallswinkel von 0 Grad an Positionen C und Q im Beispiel 7.

Fig. 18 zeigt Reflexionsgrad-Kennlinien bei Einfallswinkeln von 0, 15, 30, 45 und 60 Grad an Position C im Beispiel 8.

Fig. 19 zeigt Reflexionsgrad-Kennlinien bei einem Einfallswinkel von 0 Grad an Positionen C und Q im Beispiel 8.

Fig. 20 zeigt Reflexionsgrad-Kennlinien bei Einfallswinkeln von 0, 15, 30, 45 und 60 Grad an Position C im Beispiel 9.

Fig. 21 zeigt Reflexionsgrad-Kennlinien bei einem Einfallswinkel von 0 Grad an Positionen C und Q im Beispiel 9.

Fig. 22 zeigt Reflexionsgrad-Kennlinien bei Einfallswinkeln von 0, 15, 30, 45 und 60 Grad an Position C im Beispiel 10.

Fig. 23 zeigt Reflexionsgrad-Kennlinien bei einem Einfallswinkel von 0 Grad an Positionen C und Q im Beispiel 10.

Fig. 24 stellt eine Schnittansicht eines optischen Systems im Beispiel 11 dar.

Fig. 25 stellt eine externe Perspektivansicht eines Bildaufnahmegeräts im Beispiel 12 dar.

Fig. 26 zeigt Reflexionsgrad-Kennlinien bei Einfallswinkeln von 0, 15, 30, 45 und 60 Grad an Position C im Vergleichsbeispiel 1.

Fig. 27 zeigt Reflexionsgrad-Kennlinien bei einem Einfallswinkel von 0 Grad an Positionen C und Q im Vergleichsbeispiel 1.

Fig. 28 zeigt Reflexionsgrad-Kennlinien bei Einfallswinkeln von 0, 15, 30, 45 und 60 Grad an Position C im Vergleichsbeispiel 2.

BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSBEISPIELE

[0012] Unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen erfolgt nun eine ausführliche Beschreibung von erfindungsgemäßen Ausführungsbeispielen. Sich entsprechende Elemente in den jeweiligen Figuren werden mit den gleichen Bezugszahlen versehen, und eine doppelte Beschreibung davon wird weggelassen.

[0013] Fig. 1 ist ein schematisches Schaubild, das ein Ausführungsbeispiel eines optischen Elements 300 der vorliegenden Erfindung darstellt. Das optische Element 300 hat ein durchsichtiges Substrat (Basis oder Basismaterial) 200 und einen Entspiegelungsfilm 100, der ein zweilagiger Film ist. Der Entspiegelungsfilm 100 besteht aus einer ersten dünnen Filmlage (erste Lage) 01 und einer zweiten dünnen Filmlage (zweite Lage) 02, die in dieser Reihenfolge vom durchsichtigen Substrat 200 zur Luftseite ausgebildet sind. Mit anderen Worten ist die erste dünne Filmlage 01 auf dem durchsichtigen Substrat 200 ausgebildet und die zweite dünne Filmlage 02 ist auf der ersten dünnen Filmlage 01 ausgebildet.

[0014] Die erste dünne Filmlage 01 und die zweite dünne Filmlage 02 bestehen jeweils aus einem Material, das eine organische Verbindung enthält. Eine „organische Verbindung“ ist eine Verbindung, die Kohlenstoff enthält, wobei Verbindungen mit einfachen Strukturen wie Kohlenmonoxid und Kohlendioxid ausgeschlossen sind.

[0015] Die Bezugswellenlänge λ sei 550 nm und ns sei der Brechungsindex des durchsichtigen Substrats 200 bei einer Wellenlänge von 550 nm. n1 sei der Brechungsindex der ersten dünnen Filmlage 01 bei einer Wellenlänge von 550 nm und n2 sei der Brechungsindex der zweiten dünnen Filmlage 02 bei einer Wellenlänge von 550 nm. d1 (nm) sei die physikalische Filmdicke der ersten dünnen Filmlage 01 und d2 (nm) sei die physikalische Filmdicke der zweiten dünnen Filmlage 02. Das optische Element 300 erfüllt die folgenden Ungleichungen (1) bis (5).

$$1{,}30 \leq n1 \leq 1{,}70 \qquad (1)$$

$$1{,}10 \leq n2 \leq 1{,}26 \qquad (2)$$

$$-0{,}2 \leq (ns-1) - 2(n1-n2) \leq 0{,}2 \qquad (3)$$

$$100 \leq n1d1 \leq 155 \qquad (4)$$

$$100 \leq n2d2 \leq 155 \qquad (5)$$

[0016] Die Ungleichung (1) definiert den Brechungsindex n1 der ersten dünnen Filmlage 01 bei der Wellenlänge von 550 nm. In dem Fall, dass der Wert niedriger als die Untergrenze der Ungleichung (1) wird, wird der Brechungsindex n1 der ersten dünnen Filmlage 01 bezogen auf den Brechungsindex der darauf ausgebildeten zweiten dünnen Filmlage 02 zu gering und es kann keine ausreichende Entspiegelung erzielt werden. In dem Fall, dass der Wert höher als die Obergrenze der Ungleichung (1) wird, wird es andererseits schwierig, die erste dünne Filmlage 01, die aus einem Material besteht, das eine organische Verbindung enthält, mit einem Material anzufertigen, das üblicherweise verwendet wird.

[0017] Die Ungleichung (2) definiert den Brechungsindex (n2) der zweiten dünnen Filmlage 02 bei der Wellenlänge von 550 nm. In dem Fall, dass der Wert niedriger als die Untergrenze der Ungleichung (2) wird, wird es schwierig, die zweite dünne Filmlage 02, die aus einem Material besteht, das eine organische Verbindung enthält, mit einem Material anzufertigen, das üblicherweise verwendet wird. In dem Fall, dass der Wert höher als die Obergrenze der Ungleichung (2) wird, kann andererseits bei der zweilagigen Konfiguration der ersten dünnen Filmlage 01 und der zweiten dünnen Filmlage 02 kein Hochleistungsentspiegelungsfilm 100 erzielt werden.

[0018] Die Ungleichung (3) definiert den Reflexionsgrad des optischen Elements 300. In dem Fall, dass der Wert niedriger als die Untergrenze der Ungleichung (3) oder höher als die Obergrenze der Ungleichung (3) wird, wird der Reflexionsgrad zu hoch und es kann keine ausreichende Entspiegelung erzielt werden.

[0019] Die Ungleichung (4) definiert die optische Filmdicke der ersten dünnen Filmlage 01. In dem Fall, dass der Wert niedriger als die Untergrenze der Ungleichung (4) oder höher als die Obergrenze der Ungleichung (4) wird, wird die optische Filmdicke der ersten dünnen Filmlage 01 nicht bei etwa λ/4 liegen und es kann keine ausreichende Entspiegelung erzielt werden.

[0020] Die Ungleichung (5) definiert die optische Filmdicke der zweiten dünnen Filmlage 02. In dem Fall, dass der Wert niedriger als die Untergrenze der Ungleichung (5) oder höher als die Obergrenze der Ungleichung (5) wird, wird die optische Filmdichte der zweiten dünnen Filmlage 02 nicht bei etwa λ/4 liegen und es kann keine ausreichende Entspiegelung erzielt werden.

[0021] Die numerischen Bereiche der Ungleichungen (1) bis (5) sind besser noch die Bereiche der Ungleichungen (1a) bis (5a) unten.

$$1{,}40 \leq n1 \leq 1{,}68 \qquad (1a)$$

$$1{,}11 \leq n2 \leq 1{,}25 \qquad (2a)$$

$$-0{,}15 \leq (ns-1) - 2(n1-n2) \leq 0{,}15 \qquad (3a)$$

$$105 \leq n1d1 \leq 150 \qquad (4a)$$

$$105 \leq n2d2 \leq 150 \qquad (5a)$$

[0022] Des Weiteren sind die numerischen Bereiche der Ungleichungen (1) bis (5) besser noch die Bereiche der Ungleichungen (1b) bis (5b) unten.

$$1{,}42 \leq n1 \leq 1{,}65 \qquad (1b)$$

$$1{,}12 \leq n2 \leq 1{,}24 \qquad (2b)$$

$$-0{,}12 \leq (ns-1) - 2(n1-n2) \leq 0{,}12 \qquad (3b)$$

$$110 \leq n1d1 \leq 145 \qquad (4b)$$

$$110 \leq n2d2 \leq 145 \qquad (5b)$$

[0023] Es ist eher noch vorzuziehen, dass die Obergrenze der Ungleichung (2b) 1,22 beträgt.

[0024] In dem optischen Element 300 erfüllt der Brechungsindex ns des durchsichtigen Substrats 200 vorzugsweise die Ungleichung (6) unten.

$$1{,}50 \leq ns \leq 2{,}10 \qquad (6)$$

[0025] Die Ungleichung (6) definiert den Brechungsindex ns des durchsichtigen Substrats 200 bei der Wellenlänge von 550 nm. In dem Fall, dass der Wert niedriger als die Untergrenze der Ungleichung (6) wird, wird der Brechungsindex ns des durchsichtigen Substrats 200 bezogen auf die Brechungsindizes der darauf ausgebildeten ersten und zweiten dünnen Filmlage 01 und 02 zu niedrig, was unerwünscht ist, da keine ausreichende Entspiegelung erzielt werden kann. In dem Fall, dass der Wert höher als die Obergrenze der Ungleichung (6) wird, wird es andererseits schwierig, das durchsichtige Substrat 200 mit einem Material anzufertigen, das üblicherweise verwendet wird, was unerwünscht ist.

[0026] Der numerische Bereich der Ungleichung (6) ist besser noch der Bereich der Ungleichung (6a) unten.

$$1{,}52 \leq ns \leq 2{,}00 \qquad (6a)$$

[0027] Des Weiteren ist der numerische Bereich der Ungleichung (6) besser noch der Bereich der Ungleichung (6b) unten.

$$1{,}53 \leq ns \leq 1{,}95 \qquad (6b)$$

[0028] **Fig.** 2 stellt eine schematische Schnittansicht optischer Elemente 301 von Beispielen 1, 4, 5, 7, 9, 10 und Vergleichsbeispielen 1 und 2 dar. **Fig.** 3 stellt eine schematische Schnittansicht optischer Elemente 302 von Beispielen 2, 3, 6 und 8 dar.

[0029] Bei dem optischen Element 301 ist die Oberfläche des durchsichtigen Substrats 201, auf der der Entspiegelungsfilm 101 ausgebildet ist, konkav geformt. Bei dem optischen Element 302 ist die Oberfläche des durchsichtigen Substrats 202, auf der der Entspiegelungsfilm 102 ausgebildet ist, konvex geformt. Im Folgenden wird zur Erläuterung die in **Fig.** 2 gezeigte konkave Form verwendet, doch trifft das gleiche auch auf die in **Fig.** 3 gezeigte konvexe Form zu.

[0030] Bei dem optischen Element 301 hat eine optische Fläche, die den Entspiegelungsfilm 101 ausbildet, eine rotationssymmetrische Achse, d.h. die optische Fläche, die den Entspiegelungsfilm 101 ausbildet, hat eine rotationssymmetrische Form. In **Fig.** 2 ist die Position C der Rotationsmittelpunkt der Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201, die mit dem Entspiegelungsfilm 101 versehen ist. Mit anderen Worten ist die Position C die Schnittposition, an der sich die rotationssymmetrische Achse der Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201 (nachstehend als optische Achse L bezeichnet) und die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201 schneiden. Die Position Q ist andererseits die am weitesten entfernte Position von der Position C innerhalb des optisch wirksamen Bereichs auf der Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201. φ sei der Winkel zwischen der optischen Achse L und der Normalen an einem beliebigen Punkt auf der Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201 (nachstehend als halboffener Winkel bezeichnet). Der Winkel zwischen der optischen Achse L und der Normalen an der Position Q (halboffener Winkel φ an der Position Q) ist der Maximalwert des halboffenen Winkels φ in dem optisch wirksamen Bereich. Der halboffene Winkel φ an der Position Q ist der halboffene Winkel am maximal wirksamen Durchmesser der Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201. Wenn die Position C des Schnittpunkts der Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201 und der optischen Achse L der Mittelpunkt der optischen Achse ist, hat der Mittelpunkt der optischen Achse den halboffenen Winkel von 0 Grad, der ein Bezugspunkt der Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201 ist. Der Entspiegelungsfilm 101 besteht aus der ersten dünnen Filmlage 11 und der zweiten dünnen Filmlage 12, die in dieser Reihenfolge vom durchsichtigen Substrat 101 aus ausgebildet sind.

[0031] d1e (nm) sei die physikalische Filmdicke der ersten dünnen Filmlage 11 an der Position C, und d2c (nm) sei die physikalische Filmdicke der zweiten dünnen Filmlage 12 an der Position C. d1q (nm) sei die physikalische Filmdicke der ersten dünnen Filmlage 11 an der Position Q, und d2q (nm) sei die physikalische Filmdicke der zweiten dünnen Filmlage 12 an der Position Q. Das optische Element 301 erfüllt vorzugsweise die Ungleichungen (7) und (8) unten.

$$1{,}0 < d1q / d1c \leq 1{,}3 \qquad (7)$$

$$1{,}0 < d2q / d2c \leq 1{,}3 \qquad (8)$$

[0032] Die Ungleichung (7) definiert das Verhältnis der physikalischen Filmdicke (d1q) der ersten dünnen Filmlage 11 an der Position Q zur physikalischen Filmdicke die der ersten dünnen Filmlage 11 an der Position C sowie die Filmdickenverteilung zwischen dem Mittelpunkt und dem Rand der ersten dünnen Filmlage 11. Wie unten beschrieben wird, wird die erste dünne Filmlage 11 durch Rotationsbeschichtung angefertigt, um eine ungleichmäßige Filmdicke zu verhindern, doch ist es physikalisch unmöglich, dass der Wert niedriger als die Untergrenze der Ungleichung (7) wird. In dem Fall, dass der Wert höher als die Obergrenze der Ungleichung (7) wird, wird die Differenz der Filmdickenverteilung zwischen dem Mittelpunkt und dem Rand der ersten dünnen Filmlage 11 größer, was zu einer größeren Schwankung der Reflexionsgrad-Kennlinien zwischen dem Mittelpunkt und dem Rand führt, was unerwünscht ist.

[0033] Die Ungleichung (8) definiert das Verhältnis der physikalischen Filmdicke (d2q) der zweiten dünnen Filmlage 12 an der Position Q zur physikalischen Filmdicke d2c der zweiten dünnen Filmlage 12 an der Position C sowie die Filmdickenverteilung zwischen dem Mittelpunkt und dem Rand der zweiten dünnen Filmlage 12. Wie unten beschrieben wird, wird die zweite dünne Filmlage 12 durch Rotationsbeschichtung angefertigt, um eine ungleichmäßige Filmdicke zu verhindern, doch ist es physikalisch unmöglich, dass der Wert niedriger als die Untergrenze der Ungleichung (8) wird. In dem Fall, dass der Wert höher als die Obergrenze der Ungleichung (8) wird, wird die Differenz der Filmdickenverteilung zwischen dem Mittelpunkt und dem Rand der zweiten dünnen Filmlage 12 größer, was zu einer größeren Schwankung der Reflexionsgrad-Kennlinien zwischen dem Mittelpunkt und dem Rand führt, was unerwünscht ist.

[0034] Die numerischen Bereiche der Ungleichungen (7) bis (8) sind besser noch die Bereiche der Ungleichungen (7a) bis (8a) unten.

$$1{,}01 \leq d1q / d1c \leq 1{,}25 \qquad (7a)$$

$1{,}01 \leq d2q / d2c \leq 1{,}25$ (8a)

[0035] Des Weiteren sind die numerischen Bereiche der Ungleichungen (7) bis (8) besser noch die Bereiche der Ungleichungen (7b) bis (8b) unten.

$1{,}015 \leq d1q / d1c \leq 1{,}200$ (7b)

$1{,}015 \leq d2q / d2c \leq 1{,}200$ (8b)

[0036] Bei der ersten dünnen Filmlage 11 und der zweiten dünnen Filmlage 12, die den Entspiegelungsfilm 101 bilden, ist die Filmdicke an der Position C, der der Mittelpunkt der optischen Achse ist, vorzugsweise jeweils die kleinste, wobei die Filmdicke mit zunehmendem Abstand vom Mittelpunkt der optischen Achse zunimmt.

[0037] Darüber hinaus erfüllt der halboffene Winkel φ (Grad) an der Position Q vorzugsweise die Ungleichung (9) unten.

$25 \leq \varphi < 90$ (9)

[0038] Die Ungleichung (9) definiert den halboffenen Winkel φ an der Position Q. In dem Fall, dass der Wert niedriger als die Untergrenze der Ungleichung (9) wird, ist der halboffene Winkel φ an der Position Q zu klein, und wenn das optische Element 301 als eine Linse verwendet wird, wird die Brechung eines außermittigen Lichtstrahls unter Lichtstrahlen, die durch die Linse gehen, schwach. Dies führt zu einer Abnahme der Randlichtmenge, was unerwünscht ist. Es ist physikalisch unmöglich, dass der Wert höher als die Obergrenze der Ungleichung (9) wird.

[0039] Der numerische Bereich der Ungleichung (9) ist besser noch der Bereich der Ungleichung (9a) unten.

$27 \leq \varphi < 70$ (9a)

[0040] Des Weiteren ist der numerische Bereich der Ungleichung (9) besser noch der Bereich der Ungleichung (9b) unten.

$29 \leq \varphi < 45$ (9b)

[0041] Die zweite dünne Filmlage 12 enthält vorzugsweise Hohlräume. Dadurch, dass in der zweiten dünnen Filmlage 12 Hohlräume oder Luft mit einem Brechungsindex von 1,0 enthalten sind, kann der Brechungsindex der zweiten dünnen Filmlage 12 auf den Bereich der Ungleichung (2) reduziert werden. In dem Fall, dass der Brechungsindex der zweiten dünnen Filmlage 12 weniger als 1,10 beträgt, wird die Filmfestigkeit aufgrund des großen Anteils von Hohlräumen in der Schicht schwach. In dem Fall, dass der Brechungsindex der zweiten dünnen Filmlage 12 größer als 1,26 ist, kann keine ausreichende Entspiegelung erzielt werden.

[0042] Die Oberfläche der zweiten dünnen Filmlage 12 kann bei Bedarf mit einer Antifoulingschicht versehen sein, die ein Fluorharz enthält. Beispiele für die Antifoulingschicht sind eine Fluorpolymerschicht, eine Fluorsilan-Einzelschicht, eine Titanoxidpartikelschicht und dergleichen.

[0043] Die zweite dünne Filmlage 12 enthält vorzugsweise mindestens eines von festen Partikeln, Kettenpartikeln oder hohlen Partikeln, und es ist noch wünschenswerter, dass sie hohle Partikel mit inneren Leerräumen enthält. Die Leerräume können entweder monoporös oder porös sein und sie können nach Belieben gewählt werden. Das Material der festen Partikel, Kettenpartikel oder hohlen Partikeln hat vorzugsweise einen niedrigen Brechungsindex, und Beispiele dafür sind organische Harze wie SiO2 (Siliziumdioxid), MgF2, Fluor, Silizium, usw. SiO2 ist wünschenswerter, da sich damit leichter Partikel anfertigen lassen. Der mittlere Partikeldurchmesser der hohlen Partikel beträgt vorzugsweise 15 nm oder mehr und 100 nm oder weniger, besser noch 15 nm oder mehr und 80 nm oder weniger. In dem Fall, dass der mittlere Partikeldurchmesser der hohlen Partikel weniger als 15 nm beträgt, lassen sich schwer stabil Kernpartikel herstellen. In dem Fall, dass der mittlere Partikeldurchmesser größer als 100 nm ist, wird die Größe der Hohlräume zwischen den Partikeln größer, was tendenziell größere Hohlräume und eine mit der Größe der Partikel verbundene Streuung erzeugt, was unerwünscht ist.

[0044] Die erste dünne Filmlage 11 besteht vorzugsweise aus einem Material, das Polyimidharz enthält, das eine „Polymerverbindung, die Imid- (-CO-NR-CO-)-Bindungen enthält“ ist. Die erste dünne Filmlage 11 besteht vorzugsweise aus einem Material, das ein Acrylharz enthält, das ein „Polymer aus Acrylat oder Methacrylat“ ist. Die erste dünne Filmlage 11 besteht vorzugsweise aus einem Material, das ein Epoxidharz enthält, das ein „gehärtetes Harz, das durch Vernetzen einer Epoxidgruppe erzielt wird, die in ihrer Strukturformel Oxacyclopropan (Oxiran) hat, das ein dreigliedriger Ringether ist“ ist. Alternativ besteht die erste dünne Filmlage 11 vorzugsweise aus einem Material, das feste Partikel, insbesondere feste Siliziumdioxidpartikel, enthält, die durch ein Bindemittel wie eine Siloxanbindung gebunden sind.

[0045] Als Verfahren zur Ausbildung der ersten dünnen Filmlage 11 und der zweiten dünnen Filmlage 12 ist ein Nassfilmbildungsverfahren vorzuziehen, bei dem eine Beschichtungslösung, die ein Filmmaterial enthält, aufgebracht und getrocknet oder gebacken wird. Das Nassfilmbildungsverfahren kann zu geringen Kosten große Flächen beschichten. Insbesondere ist das Rotationsbeschichtungsverfahren vorzuziehen, da die Filmdickenverteilung in der Ebene unterdrückt werden kann, indem die Beschichtung durchgeführt wird, während die rotierende Welle einer Beschichtungsoberfläche rotiert wird. Bei einem Trockenfilmbildungsverfahren wie einem Dampfabscheidungsverfahren und Sputterverfahren wird ein Film in einem solchen Lagezusammenhang ausgebildet, dass eine Verdampfungsquelle dem zentralen Abschnitt einer Linse zugewandt ist. Da der Einfallswinkel dampfabgeschiedenen Materials auf die Linsenoberfläche im Fall eines Objektivs mit großem Öffnungswinkel am Randabschnitt groß wird, ist die Filmdicke kleiner als im zentralen Abschnitt. Dies führt auf der Linsenoberfläche zu einer Filmungleichmäßigkeit, was zu einer ungleichmäßigen Entspiegelung führt. Um eine ungleichmäßige Filmabscheidung zu verhindern, ist es notwendig, Masken einzurichten und die Position und die Drehbewegung des Substrats zu steuern, was eine umfangreiche Ausrüstung erfordert und unerwünscht ist.

[0046] Das organische Lösungsmittel, das in der Beschichtungslösung verwendet werden kann, ist nicht besonders beschränkt, sofern es die Beschichtungseigenschaften oder die Leistung nicht beeinträchtigt, und es kann jedes bekannte Lösungsmittel verwendet werden. Beispiele dafür sind Folgende: einwertige Alkohole wie Methanol, Ethanol, 1-Propanol, 2-Propanol, 1-Butanol, 2-Butanol, 2-Methylpropanol, 1-Pentanol, 2-Pentanol, Cyclopentanol, 2-Methylbutanol, 3-Methylbutanol, 1-Hexanol, 2-Hexanol, 3-Hexanol, 4-Methyl-2-Pentanol, 2-Methyl-1-pentanol, 2-Ethylbutanol, 2,4-Dimethyl-3-pentanol, 3-Ethylbutanol, 1-Heptanol, 2-Heptanol, 1-Octanol, und 2-Octanol; zweiwertige oder höhere Alkohole wie Ethylenglycol und Triethylenglycol; Etheralkohole wie Methoxyethanol, Ethoxyethanol, Propoxyethanol, Isopropoxyethanol, Butoxyethanol, 1-Methoxy-2-propanol, 1-Ethoxy-2-propanol, und 1-Propoxy-2-propanol; Ether wie Dimethoxyethan, Diglyme, Tetrahydrofuran, Dioxan, Diisopropylether, Dibutylether, und Cyclopentylmethylether; Ester wie Ethylformat, Ethylacetat, n-Butylacetat, Methyllactat, Ethyllactat, Ethylenglycolmonomethyletheracetat, Ethylenglycolmonoethyletheracetat, Ethylenglycolmonobutyletheracetat, und Propylenglycolmonomethyletheracetat; verschiedene aliphatische oder alicyclische Kohlenwasserstoffe wie n-Hexan, n-Octan, Cyclohexan, Cyclopentan und Cyclooctan; verschiedene aromatische Kohlenwasserstoffe wie Toluol, Xylol und Ethylbenzen; verschiedene Ketone wie Aceton, Methylethylketon, Methylisobutylketon, Cyclopentanon und Cyclohexanon; verschiedene chlorierte Kohlenwasserstoffe wie Chloroform, Methylenchlorid, Tetrachlorkohlenstoff und Tetrachlorethan; und protonenfreie Polarlösungsmittel wie N-Methylpyrrolidon, N,N-Dimethylformamid, N,N-Dimethylacetamid, und Ethylencarbonat. Es können zwei oder mehr dieser Lösungsmittel gemischt und verwendet werden.

[0047] Bei Verwendung von festen Partikeln, Kettenpartikeln oder hohlen Partikeln für die zweite dünne Filmlage 12 und festen Partikeln für die erste dünne Filmlage 11 sind die Partikel vorzugsweise durch ein Bindemittel zusammengebunden, um die Festigkeit zu verbessern. Es ist wünschenswert, als Bindemittel Siloxanbindungen zu verwenden. Dies ist besonders geeignet, wenn Siliziumdioxidpartikel mit vielen Hydroxylgruppen auf den Oberflächen verwendet werden.

[0048] Da die erste dünne Filmlage 11 und die zweite dünne Filmlage 12 aus Materialien bestehen, die durch das Nassfilmbildungsverfahren ausgebildet werden können, enthalten die Materialien selbst oder die Bindemittel organische Verbindungen. Da der Entspiegelungsfilm 101 während eines Trocknungsvorgangs nach einem Beschichtungsvorgang nicht bei hoher Temperatur gebacken wird, ist es darüber hinaus möglich, für das durchsichtige Substrat 201 Kunststoffe oder andere Materialien zu verwenden, die für eine thermische Verformung anfällig sind.

[0049] Unten werden spezifische Beispiele 1 bis 10 angegeben. Allerdings sind dies nur Beispiele und die vorliegende Erfindung ist nicht auf den Umfang der Beispiele 1 bis 10 eingeschränkt. In dem optischen Element 300 beträgt der Reflexionsgrad des Entspiegelungsfilms in dem Wellenbereich von 450 nm bis 650 nm

an der Position C bei einem Einfallswinkel von 0 Grad 0,5% oder weniger und bei einem Einfallswinkel von 30 Grad 1,0% oder weniger.

BEISPIEL 1

[0050] **Fig.** 2 ist eine schematische Schnittansicht des optischen Elements 301 gemäß Beispiel 1. Das optische Element 301 in diesem Beispiel ist ein optisches Element, das den Entspiegelungsfilm 101 auf dem durchsichtigen Substrat 201 ausgebildet hat. Das durchsichtige Substrat 201 besteht aus S-TIL 26 (hergestellt von OHARA) mit einem Brechungsindex von 1,57 (Wellenlänge 550 nm). Die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201, auf dem der Entspiegelungsfilm 101 ausgebildet ist, ist konkav geformt. Der halboffene Winkel φ an der Position Q am maximalen wirksamen Durchmesser der Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201 beträgt 40 Grad. Als Schichtmaterialien besteht die erste dünne Filmlage 11 hauptsächlich aus festem Siliziumdioxid und die zweite dünne Filmlage 12 hauptsächlich aus hohlem Siliziumdioxid. Die Tabelle 1 zeigt die Einzelheiten der Filmzusammensetzung des optischen Elements 301 in diesem Beispiel. Der Brechungsindex und die Filmdicke von jedem Material erfüllen die Ungleichungen (1) bis (9).

[0051] Das Verfahren zum Ausbilden des Entspiegelungsfilms 101 ist in diesem Beispiel wie folgt.

- Hohlpartikel-Beschichtungslösung 1 -

[0052] Während 1-Ethoxy-2-propanol (nachstehend als 1E2P bezeichnet) zu 580 g einer Isopropylalkohol-Dispersionsflüssigkeit aus hohlen Siliziumdioxidpartikeln (hergestellt von JGC Catalysts and Chemicals, Suluria 4110, mittlerer Partikeldurchmesser: ca. 60 nm, Hüllendicke: ca. 12 nm, Feststoffkonzentration: 20,5 Masse-%) hinzugegeben wurde, wurde die Isopropylalkohol-Dispersionsflüssigkeit durch Erhitzen abdestilliert. Die Isopropylalkohol-Dispersionsflüssigkeit wurde auf eine Feststoffkonzentration von 19,5 Masse-% abdestilliert, um 610 g lösungsmittelsubstituierter 1E2P-Lösung aus hohlen Siliziumdioxidpartikeln (nachstehend als lösungsmittelsubstituierte Lösung 1 bezeichnet) anzufertigen. Zu der sich ergebenden lösungsmittelsubstituierten Lösung 1 wurde eine fluorhaltige organische Säure (hergestellt von Tokyo Chemical Industry, Trifluoressigsäure, Fluorzahl 3) hinzugegeben, so dass das Komponentenverhältnis der hohlen Siliziumdioxidpartikel zur fluorhaltigen organischen Säure 100/1 betrug, um eine Hohlpartikel-Dispersionsflüssigkeit 1 zu erzielen.

[0053] In einem separaten Gefäß wurden langsam 3,6 g Phosphinsäure, die mit reinem Wasser auf eine Konzentration 0,1% verdünnt war, 11,4 g 1-Proproxy-2-propanol und 4,5 g Methylpolysilicat (hergestellt von Colcoat, Methylsilicat 53A) zugegeben und 120 Minuten lang bei Zimmertemperatur gerührt. Es wurde ein Siliziumdioxid- bzw. Kieselsol mit einer Festkonzentration von 12,0 Masse-% (nachstehend als Siliziumdioxidsol 1 bezeichnet) angefertigt.

[0054] Nach Verdünnung der Hohlpartikel-Dispersionsflüsigkeit 1 mit Methyllactat auf eine Festkonzentration von 4,5 Masse-%, wurde das Siliziumdioxidsol 1 zugegeben, sodass das Komponentenverhältnis der hohlen Siliziumdioxidpartikel zum Siliziumdioxidsol 100/12 betrug. Indem zwei Stunden lang bei Zimmertemperatur gemischt und gerührt wurde, wurde die Hohlpartikel-Beschichtungslösung 1 erzielt, die hohle Siliziumdioxidpartikel enthielt.

- Zwischenschicht-Beschichtungslösung 1 -

[0055] Die Zwischenschicht-Beschichtungslösung 1 wurde angefertigt, indem 300 g 1-Methoxy-2-propanol und 5 g Siliziumdioxidsol 1 zu 25 g Siliziumdioxidpartikel-Dispersionsflüssigkeit PL-1 (hergestellt von Fuso Chemical) zugegeben wurden.

[0056] Um den Entspiegelungsfilm 101 auszubilden, werden die Zwischenschicht-Beschichtungslösung 1 und die Hohlpartikel-Beschichtungslösung 1 verwendet.

[0057] 0,2 ml der Zwischenschicht-Beschichtungslösung 1 wurden auf die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201 getropft und 20 Sekunden lang bei 4000 U/min rotationsbeschichtet. Als Nächstes wurden 0,2 ml der Hohlpartikel-Beschichtungslösung 1 kontinuierlich auf die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201 getropft und 20 Sekunden lang bei 4000 U/min rotationsbeschichtet. Dann wurde in einem Reinraum mindestens 24 Stunden lang bei einer Zimmertemperatur von 23°C eine Trocknung durchgeführt.

[0058] **Fig.** 4 zeigt die Reflexionsgrad-Kennlinien des Entspiegelungsfilms 101 bei Einfallwinkeln von 0, 15, 30, 45 und 60 Grad an der Position C. Der Reflexionsgrad ist bei einem Einfallswinkel von 0 Grad und bei Wellenlängen von 420 nm bis 680 nm kleiner oder gleich 0,2%, was auf sehr gute Reflexionsgradeigenschaften hindeutet. **Fig.** 5 zeigt die Reflexionsgrad-Kennlinien bei einem Einfallswinkel von 0 Grad an den Positionen C und Q. Die Tabelle 1 zeigt, dass zwar die Filmdicke von jeder dünnen Filmlage an der Position Q 4% dicker als an der Position C war, die Reflexionsgrad-Kennlinien an den Positionen C und Q aber beinahe die gleichen waren, was bestätigt, dass die Reflexionsgrad-Kennlinien gut sind.

TABELLE 1

			Brechungsindex	Physikalische Filmdicke (nm)	
				Position C	Position Q
Entspiegelungsfilm 101	Zweite dünne Filmlage 12	Hohles Siliziumdioxid	1,19	106,9	111,2
	Erste dünne Filmlage 11	Festes Siliziumdioxid	1,45	85,4	88,9
Durchsichtiges Substrat 201		S-TIL26	1,57	-	-

BEISPIEL 2

[0059] **Fig.** 3 ist eine schematische Schnittansicht des optischen Elements 302 gemäß Beispiel 2. Das optische Element 302 in diesem Beispiel ist ein optisches Element, das den Entspiegelungsfilm 102 auf dem durchsichtigen Substrat 202 ausgebildet hat. Das durchsichtige Substrat 202 besteht aus S-LAL12 (hergestellt von OHARA) mit einem Brechungsindex von 1,68 (Wellenlänge 550 nm). Die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 202, auf der der Entspiegelungsfilm 102 ausgebildet ist, ist konvex geformt. Der halboffene Winkel φ an der Position Q am maximalen wirksamen Durchmesser der Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 202 beträgt 30 Grad. Als Schichtmaterialien besteht die erste dünne Filmlage 21 hauptsächlich aus festem Siliziumdioxid und die zweite dünne Filmlage 22 hauptsächlich aus hohlem Siliziumdioxid. Die Tabelle 2 zeigt die Einzelheiten der Filmzusammensetzung des optischen Elements 302 in diesem Beispiel. Der Brechungsindex und die Filmdicke von jedem Material erfüllen die Ungleichungen (1) bis (9).

[0060] Das Verfahren zum Ausbilden des Entspiegelungsfilms 102 ist in diesem Beispiel wie folgt.

- Hohlpartikel-Beschichtungslösung 2 -

[0061] Das Anfertigungsverfahren für die Hohlpartikel-Dispersionsflüssigkeit 1 und das Siliziumdioxidsol 1 ist das gleiche wie für die Hohlpartikel-Beschichtungslösung 1. Nach einer Verdünnung der Hohlpartikel-Dispersionsflüssigkeit 1 mit Ethyllactat auf eine Feststoffkonzentration von 4,5 Masse-% wurde das Siliziumdioxidsol 1 hinzugegeben, sodass ein Komponentenverhältnis der hohlen Siliziumdioxidpartikel zum Siliziumdioxidsol 100/9 betrug. Indem zwei Stunden lang bei Zimmertemperatur gemischt und gerührt wurde, wurde die Hohlpartikel-Beschichtungslösung 2 erzielt, die hohle Siliziumdioxidpartikel enthielt.

[0062] Um den Entspiegelungsfilm 102 auszubilden, werden die Zwischenschicht-Beschichtungslösung 1 und die Hohlpartikel-Beschichtungslösung 2 verwendet.

[0063] 0,2 ml der Zwischenschicht-Beschichtungslösung 1 wurden auf die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 202 getropft und 20 Sekunden lang bei 4000 U/min rotationsbeschichtet. Als Nächstes wurden 0,2 ml der Hohlpartikel-Beschichtungslösung 2 kontinuierlich auf die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 202 getropft und 20 Sekunden lang bei 4000 U/min rotationsbeschichtet. Dann wurde in einem Reinraum mindestens 24 Stunden lang bei einer Zimmertemperatur von 23°C eine Trocknung durchgeführt.

[0064] **Fig.** 6 zeigt die Reflexionsgrad-Kennlinien des Entspiegelungsfilms 102 bei Einfallwinkeln von 0, 15, 30, 45 und 60 Grad an der Position C. Der Reflexionsgrad ist bei einem Einfallwinkel von 0 Grad und bei Wellenlängen von 420 nm bis 680 nm kleiner oder gleich 0,2%, was auf sehr gute Reflexionsgradeigenschaften hindeutet. **Fig.** 7 zeigt die Reflexionsgrad-Kennlinien bei einem Einfallwinkel von 0 Grad an den Positionen C

und Q. Die Tabelle zeigt, dass zwar die Filmdicke von jeder dünnen Filmlage an der Position Q 2% dicker als an der Position C ist, dass die Reflexionsgrad-Kennlinien an den Positionen C und Q aber beinahe die gleichen sind, was bestätigt, dass die Reflexionsgrad-Kennlinien gut sind.

TABELLE 2

			Brechungsindex	Physikalische Filmdicke (nm)	
				Position C	Position Q
Entspiegelungsfilm 102	Zweite dünne Filmlage 22	Hohles Siliziumdioxid	1,14	111,3	113,5
	Erste dünne Filmlage 21	Festes Siliziumdioxid	1,45	87,6	89,3
Durchsichtiges Substrat 202		S-LAL12	1,68	-	-

BEISPIEL 3

[0065] Fig. 3 ist eine schematische Schnittansicht des optischen Elements 302 gemäß Beispiel 3. Das optische Element 302 in diesem Beispiel ist ein optisches Element, das auf dem durchsichtigen Substrat 202 den Entspiegelungsfilm 102 ausgebildet hat. Das durchsichtige Substrat 202 besteht aus S-LAL12 (hergestellt von OHARA) mit einem Brechungsindex von 1,68 (Wellenlänge 550 nm). Die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 202, auf dem der Entspiegelungsfilm 102 ausgebildet ist, ist konvex geformt. Der halboffene Winkel φ an der Position Q am maximalen wirksamen Durchmesser der Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 202 beträgt 30 Grad. Als Schichtmaterialien besteht die erste dünne Filmlage 21 hauptsächlich aus Acrylharz und die zweite dünne Filmlage 22 hauptsächlich aus hohlem Siliziumdioxid. Die Tabelle 3 zeigt die Einzelheiten der Filmzusammensetzung des optischen Elements 302 in diesem Beispiel. Der Brechungsindex und die Filmdicke von jedem Material erfüllen die Ungleichungen (1) bis (9).

[0066] Das Verfahren zur Ausbildung des Entspiegelungsfilms 102 ist in diesem Beispiel wie folgt.

- Zwischenschicht-Beschichtungslösung 2 -

[0067] In 24,8 g Toluol wurden 6,1 g N-Cyclohexylmaleimid (nachstehend als CHMI bezeichnet), 4,0 g 2,2,2-Trifluorethylmethylacrylat (Produktname M-3F; hergestellt von Kyoeisha Chemical), 0,45 g 3-(Methacryloxyloxy)-propyltrimethoxysilan (Produktname LS-3380; hergestellt von Shin-Etsu Chemical) und 0,08 g 2,2'-Azobis(isobutyronitril) (nachstehend als AIBN bezeichnet) gerührt und gelöst. Diese Lösung wurde wiederholt entgast und durch Stickstoff ausgetauscht, während sie in Eiswasser gekühlt wurde, und sie wurde dann unter einem Stickstoffstrom 7 Stunden lang bei 60-70°C gerührt. Die Polymerisationslösung wurde langsam in stark gerührtes Methanol eingebracht, und das ausgefällte Polymer wurde abgefiltert und mehrmals unter Rühren in Methanol gewaschen. Die filtrierten und gesammelten Polymere wurden bei 80-90°C vakuumgetrocknet. Es wurden 8,3 g (81% Ausbeute) eines weißen pulverförmigen Maleimid-Copolymers mit einem Maleimid-Copolymerisationsverhältnis von 0,57 erzielt. Indem 2,2 g des Pulvers des Maleimid-Copolymers in 97,8 g Cyclopentanon/Cyclohexanon-Mischlösungsmittel gelöst wurden, wurde eine Maleimid-Copolymer-Lösung 1 angefertigt, um die Zwischenschicht-Beschichtungslösung 2 zu erzeugen.

[0068] Um den Entspiegelungsfilm 102 auszubilden, werden die Zwischenschicht-Beschichtungslösung 2 und die Hohlpartikel-Beschichtungslösung 1 verwendet.

[0069] 0,2 ml der Zwischenschicht-Beschichtungslösung 2 wurden auf die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 202 getropft und 20 Sekunden lang bei 4000 U/min rotationsbeschichtet. Als Nächstes wurden 0,2 ml der Hohlpartikel-Beschichtungslösung 1 kontinuierlich auf die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 202 getropft und 20 Sekunden lang bei 4000 U/min rotationsbeschichtet. Dann wurde in einem Reinraum mindestens 24 Stunden lang bei einer Zimmertemperatur von 23°C eine Trocknung durchgeführt.

[0070] Fig. 8 zeigt die Reflexionsgrad-Kennlinien des Entspiegelungsfilms 102 bei Einfallwinkeln von 0, 15, 30, 45 und 60 Grad an der Position C. Der Reflexionsgrad ist bei einem Einfallwinkel von 0 Grad und Wellenlängen von 420 nm bis 680 nm kleiner oder gleich 0,2%, was auf sehr gute Reflexionsgradeigenschaften hin-

deutet. **Fig.** 9 zeigt die Reflexionsgrad-Kennlinien bei einem Einfallswinkel von 0 Grad an den Positionen C und Q. Die Tabelle 3 zeigt, dass die Filmdicke jeder dünnen Filmlage an der Position Q zwar 2% dicker als an der Position C ist, die Reflexionsgrad-Kennlinien an den Positionen C und Q aber beinahe die gleichen sind, was bestätigt, dass die Reflexionsgrad-Kennlinien gut sind.

TABELLE 3

			Brechungsindex	Physikalische Filmdicke (nm)	
				Position C	Position Q
Entspiegelungsfilm 102	Zweite dünne Filmlage 22	Hohles Siliziumdioxid	1,19	106,9	109,0
	Erste dünne Filmlage 21	Acrylharz	1,50	83,6	85,2
Durchsichtiges Substrat 202		S-LAL12	1,68	-	-

BEISPIEL 4

[0071] Fig. 2 ist eine schematische Schnittansicht des optischen Elements 301 gemäß Beispiel 4. Das optische Element 301 in diesem Beispiel ist ein optisches Element, das den Entspiegelungsfilm 101 auf dem durchsichtigen Substrat 201 ausgebildet hat. Das durchsichtige Substrat 201 besteht aus S-LAH53 (hergestellt von OHARA) mit einem Brechungsindex von 1,81 (Wellenlänge 550 nm). Die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201, auf dem der Entspiegelungsfilm 101 ausgebildet ist, ist konkav geformt. Der halboffene Winkel φ an der Position Q am maximalen wirksamen Durchmesser der Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201 beträgt 45 Grad. Als Schichtmaterialien besteht die erste dünne Filmlage 11 hauptsächlich aus Acrylharz und die zweite dünne Filmlage 12 hauptsächlich aus hohlem Siliziumdioxid. Die Tabelle 4 zeigt die Einzelheiten der Filmzusammensetzung des optischen Elements 301 in diesem Beispiel. Der Brechungsindex und die Filmdicke jedes Materials erfüllen die Ungleichungen in (1) bis (9).

[0072] Das Verfahren zur Ausbildung des Entspiegelungsfilms 101 ist in diesem Beispiel wie folgt.

[0073] Um den Entspiegelungsfilm 101 auszubilden, werden die Zwischenschicht-Beschichtungslösung 2 und die Hohlpartikel-Beschichtungslösung 2 verwendet.

[0074] 0,2 ml der Zwischenschicht-Beschichtungslösung 2 wurden auf die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201 getropft und 20 Sekunden lang bei 4000 U/min rotationsbeschichtet. Als Nächstes wurden 0,2 ml der Hohlpartikel-Beschichtungslösung 2 kontinuierlich auf die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201 getropft und 20 Sekunden lang bei 4000 U/min rotationsbeschichtet. Dann wurde in einen Reinraum mindestens 24 Stunden lang bei einer Zimmertemperatur von 23°C eine Trocknung durchgeführt.

[0075] Fig. 10 zeigt die Reflexionsgrad-Kennlinien des Entspiegelungsfilms 101 bei Einfallwinkeln von 0, 15, 30, 45 und 60 Grad an der Position C. Der Reflexionsgrad ist bei einem Einfallwinkel von 0 Grad und bei Wellenlängen von 420 nm bis 680 nm kleiner oder gleich 0,2%, was auf sehr gute Reflexionsgradeigenschaften hindeutet. **Fig.** 11 zeigt die Reflexionsgrad-Kennlinien bei einem Einfallwinkel von 0 Grad an den Positionen C und Q. Die Tabelle 4 zeigt, dass die Filmdicke jeder dünnen Filmlage an der Position Q zwar 5% dicker als an der Position C ist, die Reflexionsgrad-Kennlinien aber an den Positionen C und Q beinahe die gleichen sind, was bestätigt, dass die Reflexionsgrad-Kennlinien gut sind.

TABELLE 4

			Brechungsindex	Physikalische Filmdicke (nm)	
				Position C	Position Q
Entspiegelungsfilm 101	Zweite dünne Filmlage 12	Hohles Siliziumdioxid	1,14	112,2	117,8
	Erste dünne Filmlage 11	Acrylharz	1,50	85,0	89,2
Durchsichtiges Substrat 201		S-LAH53	1,81	-	-

BEISPIEL 5

[0076] Fig. 2 ist eine schematische Schnittansicht des optischen Elements 301 gemäß Beispiel 5. Das optische Element 301 in diesem Beispiel ist ein optisches Element, das den Entspiegelungsfilm 101 auf dem durchsichtigen Substrat 201 ausgebildet hat. Das durchsichtige Substrat 201 besteht aus S-LAH53 (hergestellt von OHARA) mit einem Brechungsindex von 1,81 (Wellenlänge 550 nm). Die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201, auf der der Entspiegelungsfilm 101 ausgebildet ist, ist konkav geformt. Der halboffene Winkel φ an der Position Q am maximalen wirksamen Durchmesser der Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201 beträgt 45 Grad. Als Schichtmaterialien besteht die erste dünne Filmlage 11 hauptsächlich aus Epoxidharz und die zweite dünne Filmlage 12 hauptsächlich aus hohlem Siliziumdioxid. Die Tabelle 5 zeigt die Einzelheiten der Filmzusammensetzung des optischen Elements 301 in diesem Beispiel. Der Brechungsindex und die Filmdicke jedes Materials erfüllen die Ungleichungen in (1) bis (9).

[0077] Das Verfahren zur Ausbildung des Entspiegelungsfilms 101 ist in diesem Beispiel wie folgt.

- Zwischenschicht-Beschichtungslösung 3 -

[0078] Die Zwischenschicht-Beschichtungslösung 3 wurde angefertigt, indem 500 g 1-Methoxy-2-propanol zu 25 g Epoxidharz jER828 (hergestellt von Mitsubishi Chemical) hinzugegeben wurden.

[0079] Um den Entspiegelungsfilm 101 auszubilden, werden die Zwischenschicht-Beschichtungslösung 3 und die Hohlpartikel-Beschichtungslösung 1 verwendet.

[0080] 0,2 ml der Zwischenschicht-Beschichtungslösung 3 wurden auf die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201 getropft und 20 Sekunden lang bei 4000 U/min rotationsbeschichtet. Als Nächstes wurden 0,2 ml der Hohlpartikel-Beschichtungslösung 1 kontinuierlich auf die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201 getropft und 20 Sekunden lang bei 4000 U/min rotationsbeschichtet. Dann wurde in einem Reinraum mindestens 24 Stunden lang bei einer Zimmertemperatur von 23°C eine Trocknung durchgeführt.

[0081] Fig. 12 zeigt die Reflexionsgrad-Kennlinien des Entspiegelungsfilms 101 bei Einfallswinkeln von 0, 15, 30, 45 und 60 Grad an der Position C. Der Reflexionsgrad ist bei einem Einfallswinkel von 0 Grad und bei Wellenlängen von 420 nm bis 680 nm kleiner oder gleich 0,2%, was auf sehr gute Reflexionsgradeigenschaften hindeutet. **Fig.** 13 zeigt die Reflexionsgrad-Kennlinien bei einem Einfallswinkel von 0 Grad an den Positionen C und Q. Die Tabelle 5 zeigt, dass die Filmdicke jeder dünnen Filmlage an der Position Q zwar 5% dicker als an der Position C ist, die Reflexionsgradeigenschaften an den Positionen C und Q aber beinahe die gleichen sind, was bestätigt, dass die Reflexionsgrad-Kennlinien gut sind.

TABELLE 5

			Brechungsindex	Physikalische Filmdicke (nm)	
				Position C	Position Q
Entspiegelungsfilm 101	Zweite dünne Filmlage 12	Hohles Siliziumdioxid	1,19	107,7	113,1
	Erste dünne Filmlage 11	Epoxidharz	1,56	81,4	85,5
Durchsichtiges Substrat 201		S-LAH53	1,81	-	-

BEISPIEL 6

[0082] Fig. 3 ist eine schematische Schnittansicht des optischen Elements 302 gemäß Beispiel 6. Das optische Element 302 in diesem Beispiel ist ein optisches Element, das den Entspiegelungsfilm 102 auf dem durchsichtigen Substrat 202 ausgebildet hat. Das durchsichtige Substrat 202 besteht aus S-NPH2 (hergestellt von OHARA) mit einem Brechungsindex von 1,92 (Wellenlänge 550 nm). Die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 202, auf der der Entspiegelungsfilm 102 ausgebildet ist, ist konvex geformt. Der halboffene Winkel φ an der Position Q am maximalen wirksamen Durchmesser der Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 202 beträgt 30 Grad. Als Schichtmaterialien besteht die erste dünne Filmlage 21 hauptsächlich aus Polyimidharz und die zweite dünne Filmlage 22 hauptsächlich aus hohlem Siliziumdioxid. Die Tabelle 6 zeigt die Einzelheiten der Filmzusammensetzung des optischen Elements 302 in diesem Beispiel. Der Brechungsindex und die Filmdicke jedes Materials erfüllen die Ungleichungen (1) bis (9).

[0083] Das Verfahren zur Ausbildung des Entspiegelungsfilms 102 ist in diesem Beispiel wie folgt.

- Zwischenschicht-Beschichtungslösung 4 -

[0084] Zu 200 g 4,4'-Methylethylenbis(aminocyclohexan) (nachstehend als DADCM bezeichnet, hergestellt von Tokio Chemical Industry) wurde unter Rückfluss allmählich Hexan zugegeben, um das Produkt vollständig aufzulösen. Nachdem das Erhitzen beendet und das Produkt mehrere Tage lang bei Zimmertemperatur stehen gelassen wurde, wurde das Präzipitat abgefiltert und unter reduziertem Druck getrocknet. Es wurden 58 g gereinigtes DADCM in weißer fester Form erzielt.

[0085] In N,N-Dimethylacetamid (nachstehend als DMAc bezeichnet) wurden drei Arten von Diaminen, alicyclisches Diamin DADCM, aromatisches Diamin 4,4'-bis(4-aminophenoxy)biphenyl (Produktname BODA, hergestellt von Wakayama Seika Kogyo) und siloxanhaltiges Diamin 1,3-bis(3-aminopropyl)tetramethyldisiloxan (Produktname PAM-E, hergestellt von Shin-Etsu Chemical) gelöst, sodass das Gesamtvolumen 12 mmol betrug.

[0086] Etwa 12 mmol Säuredianhydrid wurden zugegeben, während diese Diaminlösung in Wasser gekühlt wurde. Das Säuredianhydrid war 4-(2,5-Dioxotetrahydrotetrahydrofuran-3-yl)-1,2,3,4-tetrahydronaphthalen-1,2-dicarboxylanhydrid (Produktname TDA-100, hergestellt von New Japan Chemical) oder 5-(2,5-Dioxotetrahydrofuryl)-3-methyl-3-cyclo-3-methyl-3-cyclohexen-1,2-dicarbonsäureanhydrid (Produktname B-4400, hergestellt von DIC). Die Menge an DMAc wurde so eingestellt, dass die Gesamtmasse an Diamin und Säuredianhydrid 20 Gewicht-% betrug.

[0087] Diese Lösung wurde zur Polymerisationsreaktion 15 Stunden lang bei Zimmertemperatur gerührt. Nach einer weiteren Verdünnung mit DMAc auf 8 Gewicht-%, wurden 7,4 ml Pyridin und 3,8 ml Essigsäureanhydrid zugegeben, und die Lösung wurde 1 Stunde lang bei Zimmertemperatur gerührt. Das Gemisch wurde weitere 4 Stunden gerührt, während es in einem Ölbad auf 60 bis 70°C erhitzt wurde. Die Polymerisationslösung wurde in Methanol hineingegeben, und nach der Entfernung des Polymers, das in dem Methanol wieder ausgefällt wurde, wurde das Polymer mehrmals in dem Methanol gewaschen. Nach 24 Stunden Trocknung bei 60°C wurde weißes bis blassgelbes pulverförmiges Polyimid erzielt.

[0088] Das sich ergebende Polyimid wurde in Cyclohexanon auf eine Feststoffkonzentration von 2,5 Masse-% gelöst, um die Zwischenschicht-Beschichtungslösung 4 zu erzeugen.

[0089] Um den Entspiegelungsfilm 102 auszubilden, werden die Zwischenschicht-Beschichtungslösung 4 und die Hohlpartikel-Beschichtungslösung 1 verwendet.

[0090] 0,2 ml der Zwischenschicht-Beschichtungslösung 4 wurden auf die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 202 getropft und 20 Sekunden lang bei 4000 U/min rotationsbeschichtet. Als Nächstes wurden 0,2 ml der Hohlpartikel-Beschichtungslösung 1 kontinuierlich auf die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 202 getropft und 20 Sekunden lang bei 4000 U/min rotationsbeschichtet. Dann wurde in einem Reinraum mindestens 24 Stunden lang bei einer Zimmertemperatur von 23°C eine Trocknung durchgeführt.

[0091] **Fig.** 14 zeigt die Reflexionsgrad-Kennlinien des Entspiegelungsfilms 102 bei Einfallswinkeln von 0, 15, 30, 45 und 60 Grad an der Position C. Der Reflexionsgrad ist bei einem Einfallswinkel von 0 Grad und bei Wellenlängen von 420 nm bis 680 nm kleiner oder gleich 0,2%, was auf sehr gute Reflexionsgradeigenschaften hindeutet. **Fig.** 15 zeigt die Reflexionsgradeigenschaften bei einem Einfallswinkel von 0 Grad an den Positionen C und Q. Die Tabelle 6 zeigt, dass die Filmdicke jeder dünnen Filmlage an der Position Q zwar 2% dicker als an der Position C ist, die Reflexionsgrad-Kennlinien an den Positionen C und Q aber beinahe die gleichen sind, was bestätigt, dass die Reflexionsgrad-Kennlinien gut sind.

TABELLE 6

			Brechungsindex	Physikalische Filmdicke (nm)	
				Position C	Position Q
Entspiegelungsfilm 102	Zweite dünne Filmlage 22	Hohles Siliziumdioxid	1,19	109,7	111,9
	Erste dünne Filmlage 21	Polyimidharz	1,62	79,5	81,1
Durchsichtiges Substrat 202		S-NPH2	1,92	-	-

BEISPIEL 7

[0092] **Fig.** 2 ist eine schematische Schnittansicht des optischen Elements 301 gemäß Beispiel 7. Das optische Element 301 in diesem Beispiel ist ein optisches Element, das den Entspiegelungsfilm 101 auf dem durchsichtigen Substrat 201 ausgebildet hat. Das durchsichtige Substrat 201 besteht aus ZEONEX K22R (hergestellt von Nippon Zeon) mit einem Brechungsindex von 1,54 (Wellenlänge 550 nm). Die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201, auf der der Entspiegelungsfilm 101 ausgebildet ist, ist konkav geformt. Der halboffene Winkel φ an der Position Q am maximalen wirksamen Durchmesser der Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201 beträgt 30 Grad. Als Schichtmaterialien besteht die erste dünne Filmlage 11 hauptsächlich aus festem Siliziumdioxid und die zweite dünne Filmlage 12 hauptsächlich aus hohlem Siliziumdioxid. Die Tabelle 7 zeigt die Einzelheiten der Filmzusammensetzung des optischen Elements 301 in diesem Beispiel. Der Brechungsindex und die Filmdicke jedes Materials erfüllen die Ungleichungen (1) bis (9).

[0093] Das Verfahren zur Ausbildung des Entspiegelungsfilms 101 ist in diesem Beispiel wie folgt.

[0094] Um den Entspiegelungsfilm 101 auszubilden, werden die Zwischenschicht-Beschichtungslösung 1 und die Hohlpartikel-Beschichtungslösung 1 verwendet.

[0095] 0,2 ml der Zwischenschicht-Beschichtungslösung 1 wurden auf die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201 getropft und 20 Sekunden lang bei 4000 U/min rotationsbeschichtet. Als Nächstes wurden 0,2 ml der Hohlpartikel-Beschichtungslösung 1 kontinuierlich auf die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201 getropft und 20 Sekunden lang bei 4000 U/min rotationsbeschichtet. Dann wurde in einem Reinraum mindestens 24 Stunden lang bei einer Zimmertemperatur von 23°C eine Trocknung durchgeführt.

[0096] **Fig.** 16 zeigt die Reflexionsgrad-Kennlinien des Entspiegelungsfilms 101 bei Einfallswinkeln von 0, 15, 30, 45 und 60 Grad an der Position C. Der Reflexionsgrad ist bei einem Einfallswinkel von 0 Grad und bei Wellenlängen von 420 nm bis 680 nm kleiner oder gleich 0,2%, was auf sehr gute Reflexionsgradeigenschaften hindeutet. **Fig.** 17 zeigt die Reflexionsgrad-Kennlinien bei einem Einfallswinkel von 0 Grad an den

Positionen C und Q. Die Tabelle 7 zeigt, dass die Filmdicke jeder dünnen Filmlage an der Position Q zwar 2% dicker als an der Position C ist, die Reflexionsgrad-Kennlinien an den Positionen C und Q aber beinahe die gleichen sind, was bestätigt, dass die Reflexionsgrad-Kennlinien gut sind.

TABELLE 7

			Brechungsindex	Physikalische Filmdicke (nm)	
				Position C	Position Q
Entspiegelungsfilm 101	Zweite dünne Filmlage 12	Hohles Siliziumdioxid	1,19	107,2	109,3
	Erste dünne Filmlage 11	Festes Siliziumdioxid	1,45	85,5	87,2
Durchsichtiges Substrat 201		K22R	1,54	-	-

BEISPIEL 8

[0097] Fig. 3 ist eine schematische Schnittansicht des optischen Elements 302 gemäß Beispiel 8. Das optische Element 302 in diesem Beispiel ist ein optisches Element, das den Entspiegelungsfilm 102 auf dem durchsichtigen Substrat 202 ausgebildet hat. Das durchsichtige Substrat 202 besteht aus OKP-1 (hergestellt von Osaka Gas Chemical) mit einem Brechungsindex von 1,65 (Wellenlänge 550 nm). Die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 202, auf der der Entspiegelungsfilm 102 ausgebildet ist, ist konvex geformt. Der halboffene Winkel φ an der Position Q am maximalen wirksamen Durchmesser der Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 202 beträgt 35 Grad. Als Schichtmaterialien besteht die erste dünne Filmlage 21 hauptsächlich aus Acrylharz und die zweite dünne Filmlage 22 hauptsächlich aus hohlem Siliziumdioxid. Die Tabelle 8 zeigt die Einzelheiten der Filmzusammensetzung des optischen Elements 302 in diesem Beispiel. Der Brechungsindex und die Filmdicke jedes Materials erfüllen die Ungleichungen (1) bis (9).

[0098] Das Verfahren zur Ausbildung des Entspiegelungsfilms 102 ist in diesem Beispiel wie folgt.

[0099] Um den Entspiegelungsfilm 102 auszubilden, werden die Zwischenschicht-Beschichtungslösung 2 und die Hohlpartikel-Beschichtungslösung 1 verwendet.

[0100] 0,2 ml der Zwischenschicht-Beschichtungslösung 2 wurden auf die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 202 getropft und 20 Sekunden lang bei 4000 U/min rotationsbeschichtet. Als Nächstes wurden 0,2 ml der Hohlpartikel-Beschichtungslösung 1 kontinuierlich auf die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 202 getropft und 20 Sekunden lang bei 4000 U/min rotationsbeschichtet. Dann wurde in einem Reinraum mindestens 24 Stunden lang bei einer Zimmertemperatur von 23°C eine Trocknung durchgeführt.

[0101] Fig. 18 zeigt die Reflexionsgrad-Kennlinien des Entspiegelungsfilms 102 bei Einfallwinkeln von 0, 15, 30, 45 und 60 Grad an der Position C. Der Reflexionsgrad ist bei einem Einfallswinkel von 0 Grad und bei Wellenlängen von 420 nm bis 680 nm kleiner oder gleich 0,2%, was auf sehr gute Reflexionsgradeigenschaften hindeutet. **Fig.** 19 zeigt die Reflexionsgrad-Kennlinien bei einem Einfallswinkel von 0 Grad an den Positionen C und Q. Die Tabelle 8 zeigt, dass die Filmdicke jeder dünnen Filmlage an der Position Q zwar 3% dicker als an der Position C ist, die Reflexionsgrad-Kennlinien an den Positionen C und Q aber beinahe die gleichen sind, was bestätigt, dass die Reflexionsgrad-Kennlinien gut sind.

TABELLE 8

			Brechungsindex	Physikalische Filmdicke (nm)	
				Position C	Position Q
Entspiegelungsfilm 102	Zweite dünne Filmlage 22	Hohles Siliziumdioxid	1,19	109,3	111,5
	Erste dünne Filmlage 21	Acrylharz	1,50	85,2	86,9

			Brechungsindex	Physikalische Filmdicke (nm)	
				Position C	Position Q
Durchsichtiges Substrat 202		OKP-1	1,65	-	-

BEISPIEL 9

[0102] Fig. 2 ist eine schematische Schnittansicht des optischen Elements 301 gemäß Beispiel 9. Das optische Element 301 in diesem Beispiel ist ein optisches Element, das den Entspiegelungsfilm 101 auf dem durchsichtigen Substrat 201 ausgebildet hat. Es wird ein optisches Element verwendet, das ein Replikatelement genannt wird, in dem das durchsichtige Substrat 201 auf der Oberfläche eines (nicht in der Figur gezeigten) Glassubstrats ausgebildet ist, das als ein Grundmaterial dient. Das durchsichtige Substrat 201 besteht aus LPQ-1500 (hergestellt von Mitsubishi Gas Chemical) mit einem Brechungsindex von 1,59 (Wellenlänge 550 nm). Die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201, auf der der Entspiegelungsfilm 101 ausgebildet ist, ist konkav geformt. Der halboffene Winkel φ an der Position Q am maximalen wirksamen Durchmesser der Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201 beträgt 30 Grad. Als Schichtmaterialien besteht die erste dünne Filmlage 11 hauptsächlich aus festem Siliziumdioxid und die zweite dünne Filmlage 12 hauptsächlich aus hohlem Siliziumdioxid. Die Tabelle 9 zeigt die Einzelheiten der Filmzusammensetzung des optischen Elements 301 in diesem Beispiel. Der Brechungsindex und die Filmdicke jedes Materials erfüllen die Ungleichungen in (1) bis (9).

[0103] Das Verfahren zur Ausbildung des Entspiegelungsfilms 101 ist in diesem Beispiel wie folgt.

[0104] Um den Entspiegelungsfilm 101 auszubilden, werden die Zwischenschicht-Beschichtungslösung 1 und die Hohlpartikel-Beschichtungslösung 1 verwendet.

[0105] 0,2 ml der Zwischenschicht-Beschichtungslösung 1 wurden auf die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201 getropft und 20 Sekunden lang bei 4000 U/min rotationsbeschichtet. Als Nächstes wurden 0,2 ml der Hohlpartikel-Beschichtungslösung 1 kontinuierlich auf die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201 getropft und 20 Sekunden lang bei 4000 U/min rotationsbeschichtet. Dann wurde in einem Reinraum mindestens 24 Stunden lang bei einer Zimmertemperatur von 23°C eine Trocknung durchgeführt.

[0106] Fig. 20 zeigt die Reflexionsgrad-Kennlinien des Entspiegelungsfilms 101 bei Einfallswinkeln von 0, 15, 30, 45 und 60 Grad an der Position C. Der Reflexionsgrad ist bei einem Einfallswinkel von 0 Grad und bei Wellenlängen von 420 nm bis 680 nm kleiner oder gleich 0,2%, was auf sehr gute Reflexionsgradeigenschaften hindeutet. **Fig.** 21 zeigt die Reflexionsgrad-Kennlinien bei einem Einfallswinkel von 0 Grad an den Positionen C und Q. Die Tabelle 9 zeigt, dass die Filmdicke jeder dünnen Filmlage an der Position Q zwar 2% dicker als an der Position C ist, die Reflexionsgrad-Kennlinien an den Positionen C und Q aber beinahe die gleichen sind, was bestätigt, dass die Reflexionsgrad-Kennlinien gut sind.

TABELLE 9

			Brechungsindex	Physikalische Filmdicke (nm)	
				Position C	Position Q
Entspiegelungsfilm 101	Zweite dünne Filmlage 12	Hohles Siliziumdioxid	1,19	106,3	108,4
	Erste dünne Filmlage 11	Festes Siliziumdioxid	1,45	85,0	86,7
Durchsichtiges Substrat 201		LPQ-1500	1,59	-	-

BEISPIEL 10

[0107] Fig. 2 ist eine schematische Schnittansicht des optischen Elements 301 gemäß Beispiel 10. Das optische Element 301 in diesem Beispiel ist ein optisches Element, das den Entspiegelungsfilm 102 auf dem durchsichtigen Substrat 201 ausgebildet hat. Das durchsichtige Substrat 201 besteht aus S-LAH 53 (hergestellt von OHARA) mit einem Brechungsindex von 1,81 (Wellenlänge 550 nm). Die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201, auf der der Entspiegelungsfilm 101 ausgebildet ist, ist konkav geformt. Der halboffene Winkel φ an der Position Q am maximalen wirksamen Durchmesser der Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201 beträgt 30 Grad. Als Schichtmaterialien besteht die erste dünne Filmlage 11 hauptsächlich aus Polyimidharz und die zweite dünne Filmlage 12 hauptsächlich aus Kettensiliziumdioxid. Die Tabelle 10 zeigt die Einzelheiten der Filmzusammensetzung des optischen Elements 301 in diesem Beispiel. Der Brechungsindex und die Filmdicke jedes Materials erfüllen die Ungleichungen (1) bis (9).

[0108] Das Verfahren zur Ausbildung des Entspiegelungsfilms 101 ist in diesem Beispiel wie folgt.

- Kettenpartikel-Beschichtungslösung 3 -

[0109] Das Lösungsmittel 2-Propanol in der 2-Propanol- (IPA)-Dispersionsflüssigkeit von Kettensiliziumdioxidpartikeln (hergestellt von Nissan Chemical, IPA-ST-UP, mittlerer Partikeldurchmesser 12 nm, Feststoffkonzentration: 15 Masse-%) wurde unter Verwendung eines Verdampfers durch 1-Propoxy-2-propanol (hergestellt von Sigma) ersetzt, um eine 1-Propoxy-2-propanol-Dispersionsflüssigkeit (Feststoffkonzentration 17 Gew.-%) zu erzeugen. Dies war die Dispersionsflüssigkeit 2. Als Nächstes wurden 18,5 g Tetraethoxysilan (TEOS, hergestellt von Tokio Chemical Industry) und 16,0 g 0,1 Gew.-% Phosphinsäure in 10 Äquivalenten zu TEOS als Katalysatorwasser hinzugegeben und 60 Minuten lang in einem 20°C Wasserbad gemischt und gerührt, um die Bindemittellösung 2 zu erzielen.

[0110] Zu 251,3 g der Dispersionsflüssigkeit 2 wurden 33,4 g der Bindemittellösung 2 zugegeben. Dann wurden 174,5 g 1-Propoxy-2-propanol und 546,5 g Ethyllactat zugegeben und 60 Minuten lang gerührt, um die Kettenpartikel-Beschichtungslösung 3 zu erzielen.

[0111] Um den Entspiegelungsfilm 101 auszubilden, werden die Zwischenschicht-Beschichtungslösung 4 und die Kettenpartikel-Beschichtungslösung 3 verwendet.

[0112] 0,2 ml der Zwischenschicht-Beschichtungslösung 4 wurden auf die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201 getropft und 20 Sekunden lang bei 4000 U/min rotationsbeschichtet. Als Nächstes wurden 0,2 ml der Kettenpartikel-Beschichtungslösung 3 kontinuierlich auf die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201 getropft und 20 Sekunden lang bei 4000 U/min rotationsbeschichtet. Dann wurde in einen Reinraum mindestens 24 Stunden lang bei einer Zimmertemperatur von 23°C eine Trocknung durchgeführt.

[0113] Fig. 22 zeigt die Reflexionsgrad-Kennlinien des Entspiegelungsfilms 101 bei Einfallswinkeln von 0, 15, 30, 45 und 60 Grad an der Position C. Der Reflexionsgrad ist bei einem Einfallswinkel von 0 Grad und bei Wellenlängen von 420 nm bis 680 nm kleiner oder gleich 0,2%, was auf sehr gute Reflexionsgradeigenschaften hindeutet. **Fig.** 23 zeigt die Reflexionsgrad-Kennlinien bei einem Einfallswinkel von 0 Grad an den Positionen C und Q. Die Tabelle 10 zeigt, dass die Filmdicke jeder dünnen Filmlage an der Position Q zwar 2% dicker als an der Position C ist, die Reflexionsgrad-Kennlinien an den Positionen C und Q aber beinahe die gleichen sind, was bestätigt, dass die Reflexionsgrad-Kennlinien gut sind.

TABELLE 10

			Brechungsindex	Physikalische Filmdicke (nm)	
				Position C	Position Q
Entspiegelungsfilm 101	Zweite dünne Filmlage 12	Kettensiliziumdioxid	1,24	101,7	103,7
	Erste dünne Filmlage 11	Polyimidharz	1,62	76,6	78,1
Durchsichtiges Substrat 201		S-LAH53	1,81	-	-

BEISPIEL 11

[0114] Unter Bezugnahme auf **Fig.** 24 wird das optische System 401 gemäß Beispiel 11 beschrieben. **Fig.** 24 ist eine Schnittansicht des optischen Systems 401 in diesem Beispiel. Das optische System 401 hat eine Vielzahl von optischen Elementen G401 - G416. Die Bezugszahl 402 gibt eine Aperturblende an und die Bezugszahl 403 eine Abbildungsebene. Die optischen Elemente G401 - G411 sind jeweils Linsen. Mindestens eine von der Einfallsfläche und der Austrittsfläche von jeder der Linsen G401 - G411 ist mit dem Entspiegelungsfilm gemäß einem der Beispiele 1 bis 10 versehen. Und zwar hat das optische System 401 eine Vielzahl von optischen Elementen G401 - G416, wobei die optischen Elemente G403, G412 und G413 die optischen Elemente mit dem Entspiegelungsfilm gemäß einem der Beispiele 1 bis 10 sind.

[0115] Das optische System 400 in diesem Beispiel ist nicht auf ein optisches Bildaufnahmesystem beschränkt, das in dem unten beschriebenen Bildaufnahmegerät verwendet wird, sondern es kann bei optischen Systemen für verschiedene Anwendungen bei Ferngläsern, Projektoren, Teleskopen und anderen optischen Geräten verwendet werden.

BEISPIEL 12

[0116] Als Nächstes wird unter Bezugnahme auf **Fig.** 25 das Bildaufnahmegerät 500 gemäß Beispiel 12 beschrieben. **Fig.** 25 ist eine externe Perspektivansicht des Bildaufnahmegeräts (Digitalkamera) 500 in diesem Beispiel.

[0117] Die Digitalkamera 500 hat einen Kamerakörper 502 und eine Linsenvorrichtung 501, die als eine Einheit mit dem Kamerakörper 502 konfiguriert ist. Allerdings ist dieses Beispiel nicht darauf beschränkt und die Linsenvorrichtung 501 kann eine abnehmbare, austauschbare Linse für den Kamerakörper 502 sein, etwa für Spiegelreflexkameras oder spiegellose Kameras. Die Linsenvorrichtung 501 hat das optische System 401 gemäß dem Beispiel 11. Der Kamerakörper 502 hat einen Bildsensor 503, etwa einen CMOS-Sensor oder CCD-Sensor. Der Bildsensor 503 ist auf der Abbildungsebene 403 des optischen Systems 401 platziert.

[0118] Unten werden Vergleichsbeispiele 1 und 2 beschrieben.

VERGLEICHSBEISPIEL 1

[0119] **Fig.** 2 ist eine schematische Schnittansicht des optischen Elements 301 gemäß Vergleichsbeispiel 1. Das optische Element 301 in diesem Vergleichsbeispiel ist ein optisches Element, das den Entspiegelungsfilm 101 auf dem durchsichtigen Substrat 201 ausgebildet hat. Das durchsichtige Substrat 201 besteht aus S-TIL26 (hergestellt von OHARA) mit einem Brechungsindex von 1,57 (Wellenlänge 550 nm). Die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201, auf dem der Entspiegelungsfilm 101 ausgebildet ist, ist konkav geformt. Der halboffene Winkel φ an der Position Q auf dem maximal wirksamen Durchmesser der Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201 beträgt 40 Grad. Als Schichtmaterialien besteht die erste dünne Filmlage 11 aus SiO2, das durch Dampfabscheidung ausgebildet ist, und die zweite dünne Filmlage 12 hauptsächlich aus hohlem Siliziumdioxid. Die Tabelle 11 zeigt die Einzelheiten der Filmzusammensetzung des optischen Elements 301 in diesem Vergleichsbeispiel. Der Brechungsindex und die Filmdicke jedes Materials erfüllen die Ungleichungen (1) bis (6), aber nicht die Ungleichungen (7) und (8).

[0120] Das Verfahren zur Ausbildung des Entspiegelungsfilms 101 ist in diesem Vergleichsbeispiel wie folgt.

[0121] Die erste dünne Filmlage 11 wurde durch Dampfabscheidung ausgebildet. Die Vakuumkammer der Verdampfungsvorrichtung wurde auf einen Hochvakuumbereich nahe 2×10^{-3} (Pa) evakuiert. Nach der Bestätigung, dass das Innere der Vakuumkammer einen Hochvakuumzustand erreicht hatte, wurde in die Vakuumkammer Sauerstoff eingeleitet, um einen Vakuumdruck von etwa 1×10^{-2} (Pa) zur SiO2-Abscheidung zu erzeugen.

[0122] Nachdem die Filmausbildung der ersten dünnen Filmlage 11 beendet war, wurden 0,2 ml der Hohlpartikel-Beschichtungslösung 1 auf die erste dünne Filmlage 11 getropft und 20 Sekunden lang bei 4000 U/min rotationsbeschichtet. Dann wurde in einem Reinraum mindestens 24 Stunden lang bei einer Zimmertemperatur von 23°C eine Trocknung durchgeführt.

[0123] **Fig.** 26 zeigt die Reflexionsgrad-Kennlinien des Entspiegelungsfilms 101 bei Einfallswinkeln von 0, 15, 30, 45 und 60 Grad an der Position C. Der Reflexionsgrad ist bei einem Einfallswinkel von 0 Grad und

bei Wellenlängen von 420 nm bis 680 nm kleiner oder gleich 0,2%, was auf sehr gute Reflexionsgradeigenschaften hindeutet. Werden jedoch die Reflexionsgrad-Kennlinien beim Einfallswinkel von 0 Grad zwischen der Position C und der Position Q in **Fig.** 27 verglichen, ist zu erkennen, dass die Reflexionsgrad-Kennlinie an der Position Q schlechter als die an der Position C ist. Gemäß der Tabelle 11 ist die Filmdicke der zweiten dünnen Filmlage 12 an der Position Q 4% dicker als an der Position C, doch ist die Filmdicke der ersten dünnen Filmlage 11 an der Position Q 13% kleiner als an der Position C. Daher lässt sich sagen, dass sich die Reflexionsgradeigenschaft an der Position Q verschlechtert hat.

TABELLE 11

			Brechungsindex	Physikalische Filmdicke (nm)	
				Position C	Position Q
Entspiegelungsfilm 101	Zweite dünne Filmlage 12	Hohles Siliziumdioxid	1,19	106,9	111,2
	Erste dünne Filmlage 11	SiO2	1,45	85,4	74,0
Durchsichtiges Substrat 201		S-TIL26	1,57	-	-

VERGLEICHSBEISPIEL 2

[0124] Fig. 2 ist eine schematische Schnittansicht des optischen Elements 301 gemäß Vergleichsbeispiel 2. Das optische Element 301 in diesem Vergleichsbeispiel ist ein optisches Element, das den Entspiegelungsfilm 101 auf dem durchsichtigen Substrat 201 ausgebildet hat. Das durchsichtige Substrat 201 besteht aus S-LAH53 (hergestellt von OHARA) mit einem Brechungsindex von 1,81 (Wellenlänge 550 nm). Die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201, auf der der Entspiegelungsfilm 101 ausgebildet ist, ist konkav geformt. Der halboffene Winkel φ an der Position Q am maximalen wirksamen Durchmesser der Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201 beträgt 30 Grad. Als Schichtmaterialien besteht die erste dünne Filmlage 11 hauptsächlich aus Polyimidharz und die zweite dünne Filmlage 12 hauptsächlich aus Kettensiliziumdioxid. Die Tabelle 12 zeigt die Einzelheiten der Filmzusammensetzung des optischen Elements 301 in diesem Vergleichsbeispiel. Der Brechungsindex der zweiten dünnen Filmlage erfüllt nicht die Ungleichung (2).

[0125] Das Verfahren zur Ausbildung des Entspiegelungsfilms 101 ist in diesem Vergleichsbeispiel wie folgt.

- Kettenpartikel-Beschichtungslösung 4 -

[0126] Die Anfertigung der Kettenpartikel-Dispersionsflüssigkeit 2 und der Bindemittellösung 2 ist die gleiche wie für die Hohlpartikel-Beschichtungslösung 1.

[0127] Zu 251,3 g der Kettenpartikel-Dispersionsflüssigkeit 2 wurden 78,0 g der Bindemittellösung 2 hinzugegeben. Dann wurden 174,5 g 1-Propoxy-2-propanol und 510,8 g Ethyllactat hinzugegeben und 60 Minuten lang gerührt, um die Kettenpartikel-Beschichtungslösung 4 zu erzielen.

[0128] Um den Entspiegelungsfilm 101 auszubilden, werden die Zwischenschicht-Beschichtungslösung 4 und die Kettenpartikel-Beschichtungslösung 4 verwendet.

[0129] 0,2 ml der Zwischenschicht-Beschichtungslösung 4 wurden auf die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201 getropft und 20 Sekunden lang bei 4000 U/min rotationsbeschichtet. Als Nächstes wurden 0,2 ml der Kettenpartikel-Beschichtungslösung 4 kontinuierlich auf die Linsenoberfläche des durchsichtigen Substrats 201 getropft und 20 Sekunden lang bei 4000 U/min rotationsbeschichtet. Dann wurde in einen Reinraum mindestens 24 Stunden lang bei einer Zimmertemperatur von 23°C eine Trocknung durchgeführt.

[0130] Fig. 28 zeigt die Reflexionsgrad-Kennlinien des Entspiegelungsfilms 101 bei Einfallwinkeln von 0, 15, 30, 45 und 60 Grad an der Position C. Der Reflexionsgrad ist bei einem Einfallswinkel von 0 Grad und bei Wellenlängen von 420 nm bis 680 nm größer oder gleich 0,2%, was bedeutet, dass keine ausreichenden Entspiegelungseigenschaften erreicht worden sind.

TABELLE 12

			Brechungsindex	Physikalische Filmdicke (nm)
				Position C
Entspiegelungsfilm 101	Zweite dünne Filmlage 12	Kettensiliziumdioxid	1,28	95,1
	Erste dünne Filmlage 11	Polyimidharz	1,62	73,5
Durchsichtiges Substrat 201		S-LAH53	1,81	-

[0131] Die Erfindung ist zwar unter Bezugnahme auf Ausführungsbeispiele beschrieben worden, doch versteht sich, dass die Erfindung nicht auf die offenbarten Ausführungsbeispiele beschränkt ist. Der Umfang der folgenden Ansprüche ist so weit auszulegen, dass er alle solchen Abwandlungen und äquivalenten Strukturen und Funktionen umfasst.

[0132] Erfindungsgemäß ist es möglich, ein optisches Element zur Verfügung zu stellen, welches über die gesamte Linsenoberfläche eine ausreichende Reflexionsgradreduzierung ermöglicht.

Patentansprüche

1. Optisches Element (300; 301; 302) mit:
einem Substrat (200; 201; 202); und
einem Entspiegelungsfilm (100; 101; 102),
dadurch gekennzeichnet, dass der Entspiegelungsfilm aus einer ersten Lage (01; 11; 21), die auf dem Substrat ausgebildet ist, und einer zweiten Lage (02; 12; 22) besteht, die auf der ersten Lage ausgebildet ist,
wobei die erste Lage und die zweite Lage jeweils eine organische Verbindung enthalten und
wobei die folgenden Ungleichungen erfüllt sind:

$$1{,}30 \leq n1 \leq 1{,}70$$

$$1{,}10 \leq n2 \leq 1{,}26$$

$$-0{,}2 \leq (ns-1) - 2(n1-n2) \leq 0{,}2$$

$$100 \leq n1d1 \leq 155$$

$$100 \leq n2d2 \leq 155$$

wobei ns ein Brechungsindex des Substrats bei einer Wellenlänge von 550 nm ist, n1 ein Brechungsindex der ersten Lage bei einer Wellenlänge von 550 nm ist, n2 ein Brechungsindex der zweiten Lage bei einer Wellenlänge von 550 nm ist, d1 (nm) eine physikalische Filmdicke der ersten Lage ist und d2 (nm) eine physikalische Filmdicke der zweiten Lage ist.

2. Optisches Element nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die folgende Ungleichung erfüllt ist:

$$1{,}12 \leq n2 \leq 1{,}22.$$

3. Optisches Element nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine optische Fläche, die den Entspiegelungsfilm bildet, eine rotationssymmetrische Achse hat, wobei die folgenden Ungleichungen erfüllt sind:

$$1{,}0 < d1q / d1c \leq 1{,}3$$

$$1{,}0 < d2q / d2c \leq 1{,}3$$

wobei die (nm) eine physikalische Filmdicke der ersten Lage an einem Schnittpunkt der optischen Fläche und der rotationssymmetrischen Achse ist, d2c (nm) eine physikalische Filmdicke der zweiten Lage an einem Schnittpunkt der optischen Fläche und der rotationssymmetrischen Achse ist, d1q (nm) eine physikalische Filmdicke der ersten Lage an einer am weitesten entfernten Position vom Schnittpunkt innerhalb eines optisch wirksamen Bereichs auf der optischen Fläche ist und d2q (nm) eine physikalische Filmdicke der zweiten Lage an einer am weitesten entfernten Position vom Schnittpunkt innerhalb eines optisch wirksamen Bereichs auf der optischen Fläche ist.

4. Optisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine optische Fläche, die den Entspiegelungsfilm bildet,
eine rotationssymmetrische Achse hat,
wobei, wenn ein Schnittpunkt der optischen Fläche und der rotationssymmetrischen Achse ein Mittelpunkt der optischen Achse ist und der Mittelpunkt der optischen Achse einen halboffenen Winkel von 0 Grad hat, der ein Bezugspunkt der optischen Fläche ist, ein halboffener Winkel φ (Grad) an einem maximalen wirksamen Durchmesser der optischen Fläche die folgende Ungleichung erfüllt:

$25 \leq \varphi < 90$.

5. Optisches Element nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass in jeder der ersten Lage und der zweiten Lage eine Filmdicke am Mittelpunkt der optischen Achse am kleinsten ist und die Filmdicke mit zunehmendem Abstand vom Mittelpunkt der optischen Achse zunimmt.

6. Optisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Lage einen Hohlraum enthält.

7. Optisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Lage mindestens eines von einem festen Partikel, einem Kettenpartikel oder einem hohlen Partikel enthält.

8. Optisches Element nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Lage mindestens eines von einem festen Partikel aus Siliziumdioxid, einem Kettenpartikel aus Siliziumdioxid oder einem hohlen Partikel aus Siliziumdioxid enthält.

9. Optisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Lage ein Polyimidharz enthält.

10. Optisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Lage ein Epoxidharz enthält.

11. Optisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Lage ein Acrylharz enthält.

12. Optisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Lage ein festes Partikel enthält.

13. Optisches Element nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Lage ein festes Partikel aus Siliziumdioxid enthält.

14. Optisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine optische Fläche, die den Entspiegelungsfilm bildet,
eine rotationssymmetrische Achse hat,
wobei in einem Wellenlängenbereich von 450 nm bis 650 nm ein Reflexionsgrad an einem Schnittpunkt der optischen Fläche des Entspiegelungsfilms und der rotationssymmetrischen Achse bei einem Eintrittswinkel von 0 Grad 0,5% oder weniger und bei einem Eintrittswinkel von 30 Grad 1,0% oder weniger beträgt.

15. Optisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Oberfläche der zweiten Lage mit einer Antifoulingschicht versehen ist, die ein Fluorharz enthält.

16. Optisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass die folgende Ungleichung erfüllt ist:

$1{,}50 \leq ns \leq 2{,}10$.

17. Optisches System (401) mit einer Vielzahl von optischen Elementen (300), **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vielzahl von optischen Elementen das optische Element gemäß einem der Ansprüche 1 bis 16 enthält.

18. Bildaufnahmegerät (500) mit:
einem optischen System (401), das das optische Element (300) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 16 enthält; und
einem Bildsensor (503), der so konfiguriert ist, dass er über das optische System ein Bild eines Objekts aufnimmt.

19. Optisches Gerät mit dem optischen Element (300) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 16.

Es folgen 15 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

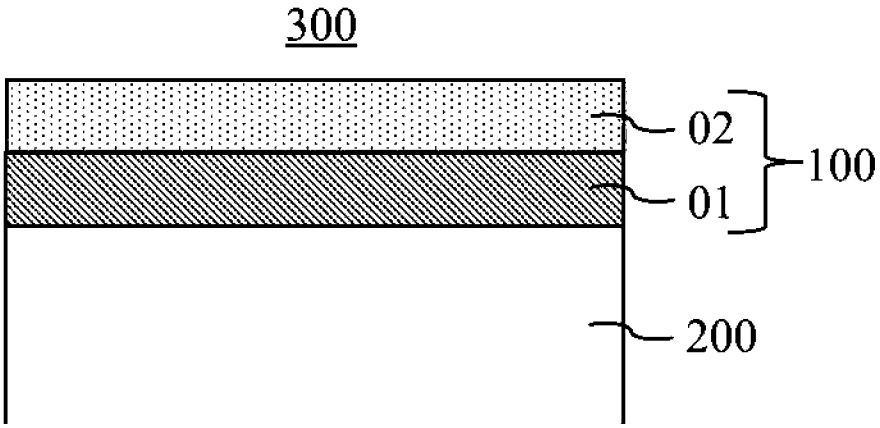


FIG. 1

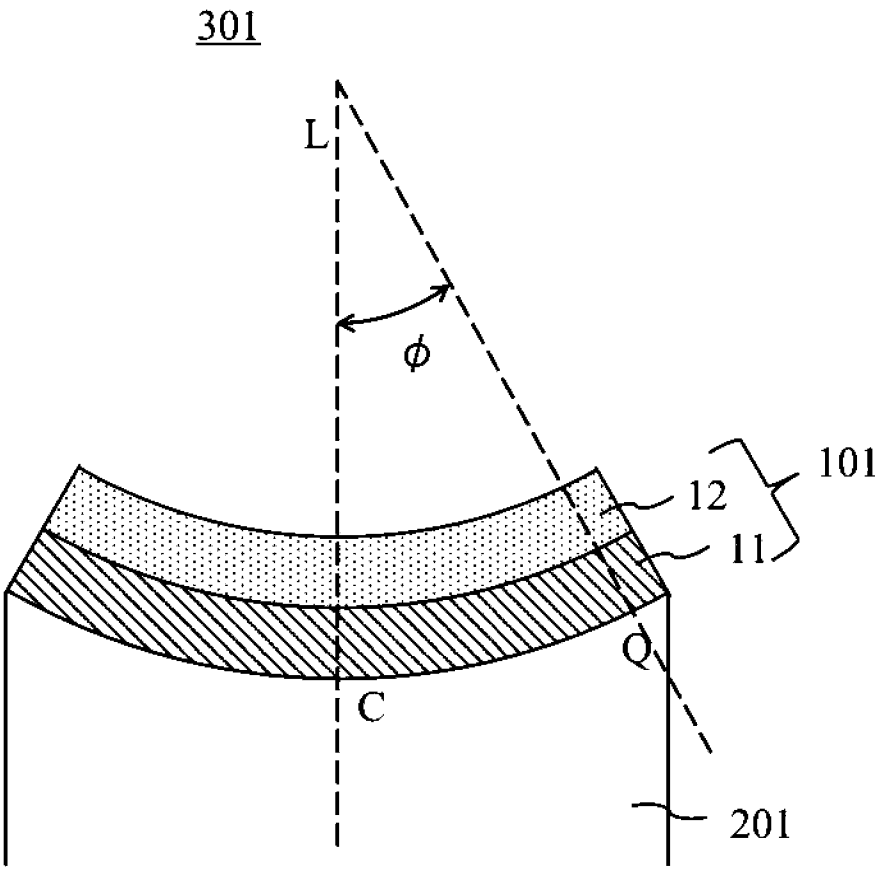


FIG. 2

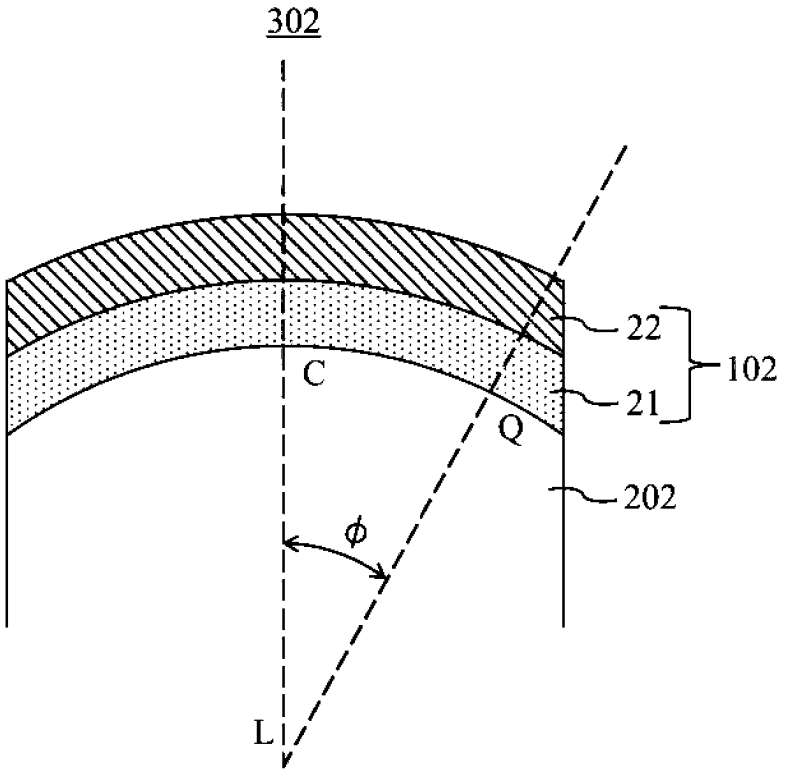

302
22
102
C
21
Q
202
ϕ
L

FIG. 3

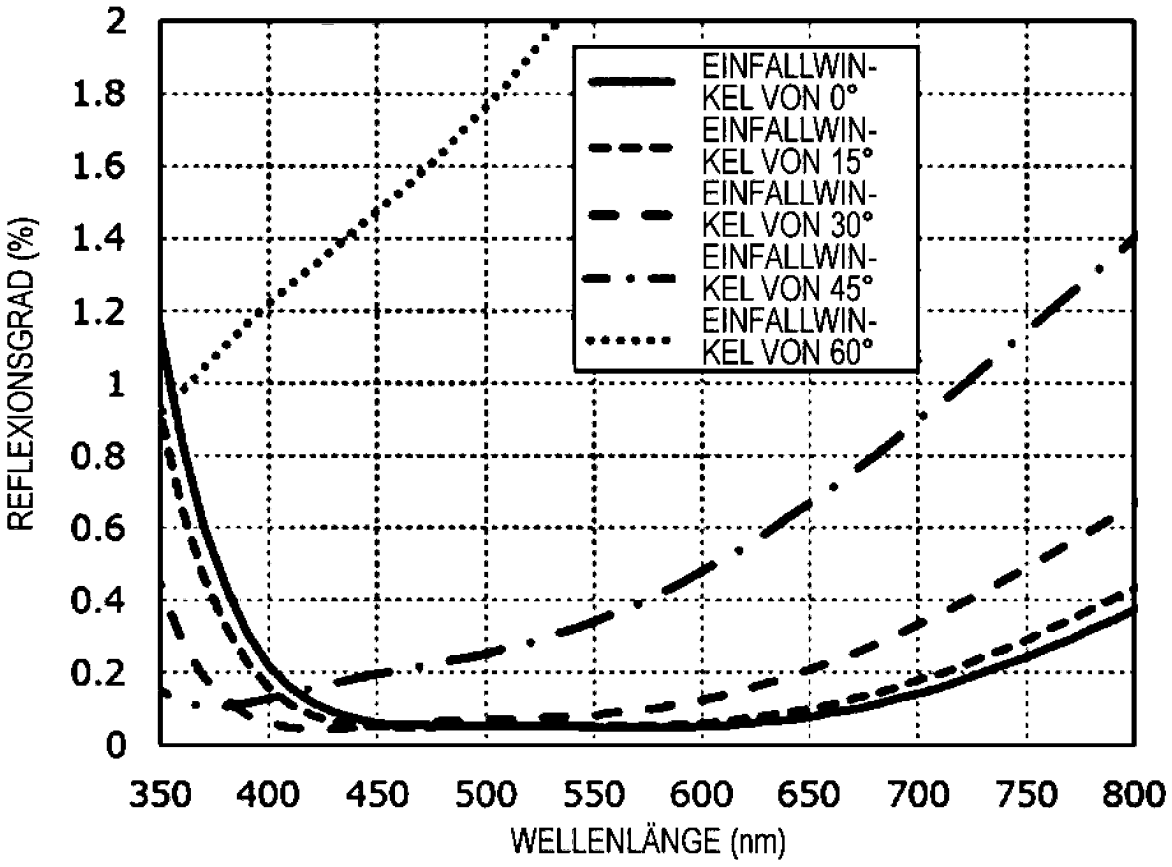

REFLEXIONSGRAD (%)
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
350
400
450
500
550
600
650
700
750
800
WELLENLÄNGE (nm)
EINFALLWIN-KEL VON 0°
EINFALLWIN-KEL VON 15°
EINFALLWIN-KEL VON 30°
EINFALLWIN-KEL VON 45°
EINFALLWIN-KEL VON 60°

FIG. 4

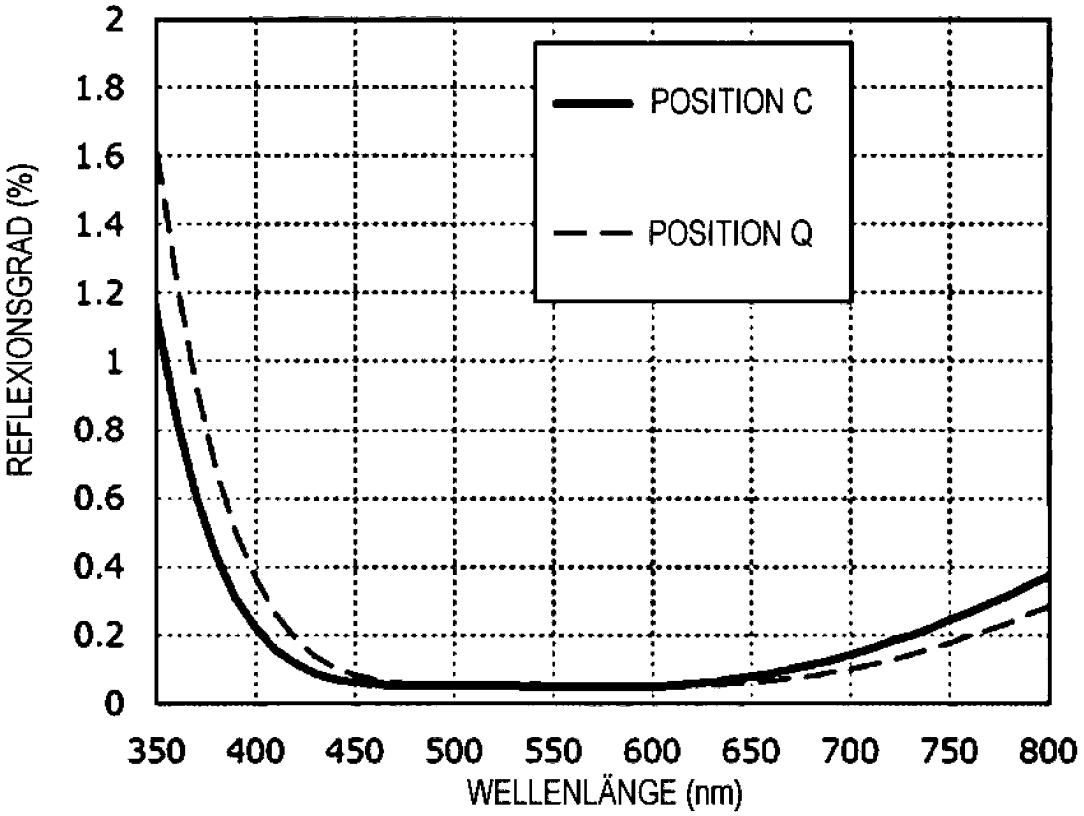

POSITION C
POSITION Q
REFLEXIONSGRAD (%)
WELLENLÄNGE (nm)
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2
350
400
450
500
550
600
650
700
750
800

FIG. 5

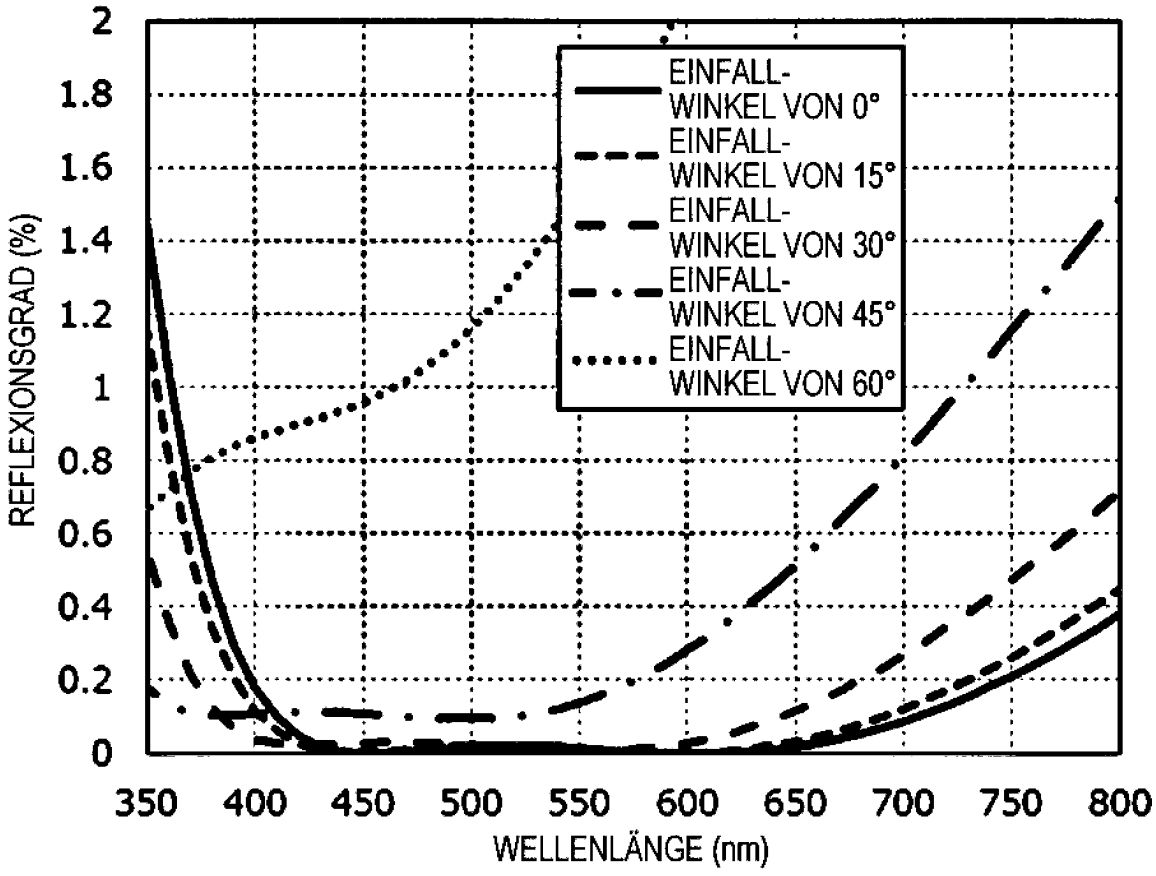

EINFALL-WINKEL VON 0°
EINFALL-WINKEL VON 15°
EINFALL-WINKEL VON 30°
EINFALL-WINKEL VON 45°
EINFALL-WINKEL VON 60°
REFLEXIONSGRAD (%)
WELLENLÄNGE (nm)
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2
350
400
450
500
550
600
650
700
750
800

FIG. 6

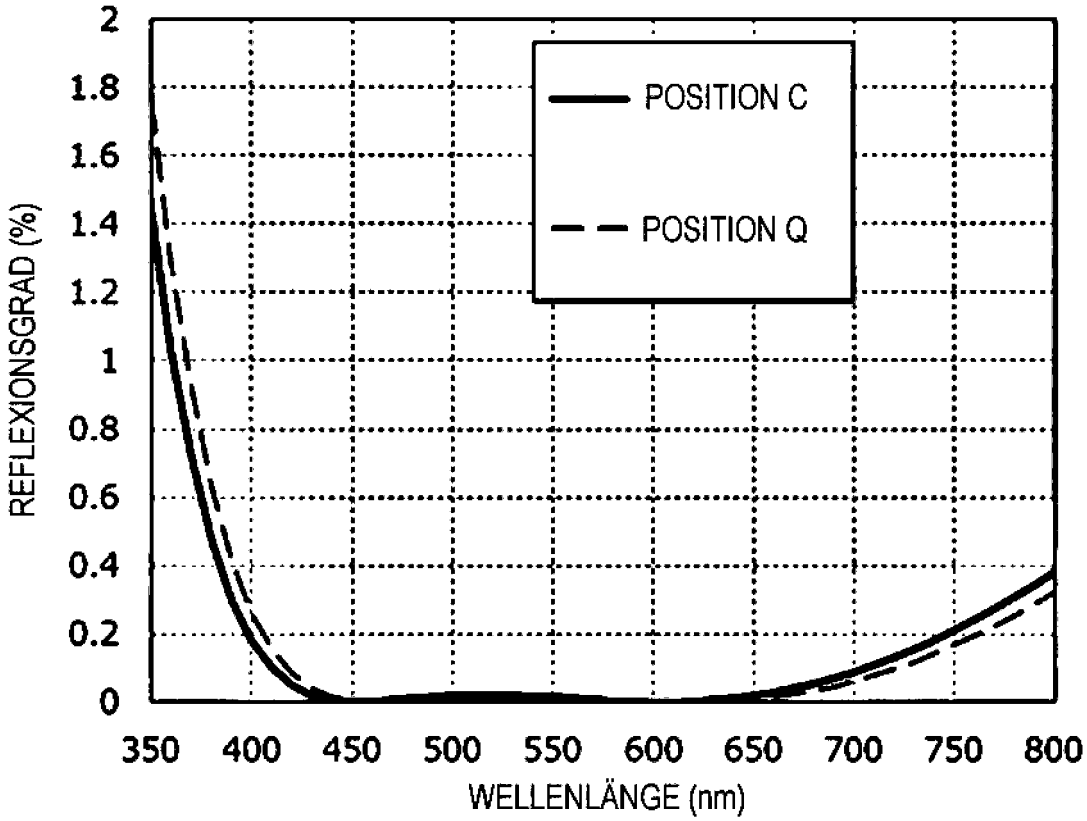

POSITION C
POSITION Q
REFLEXIONSGRAD (%)
WELLENLÄNGE (nm)
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2
350
400
450
500
550
600
650
700
750
800

FIG. 7

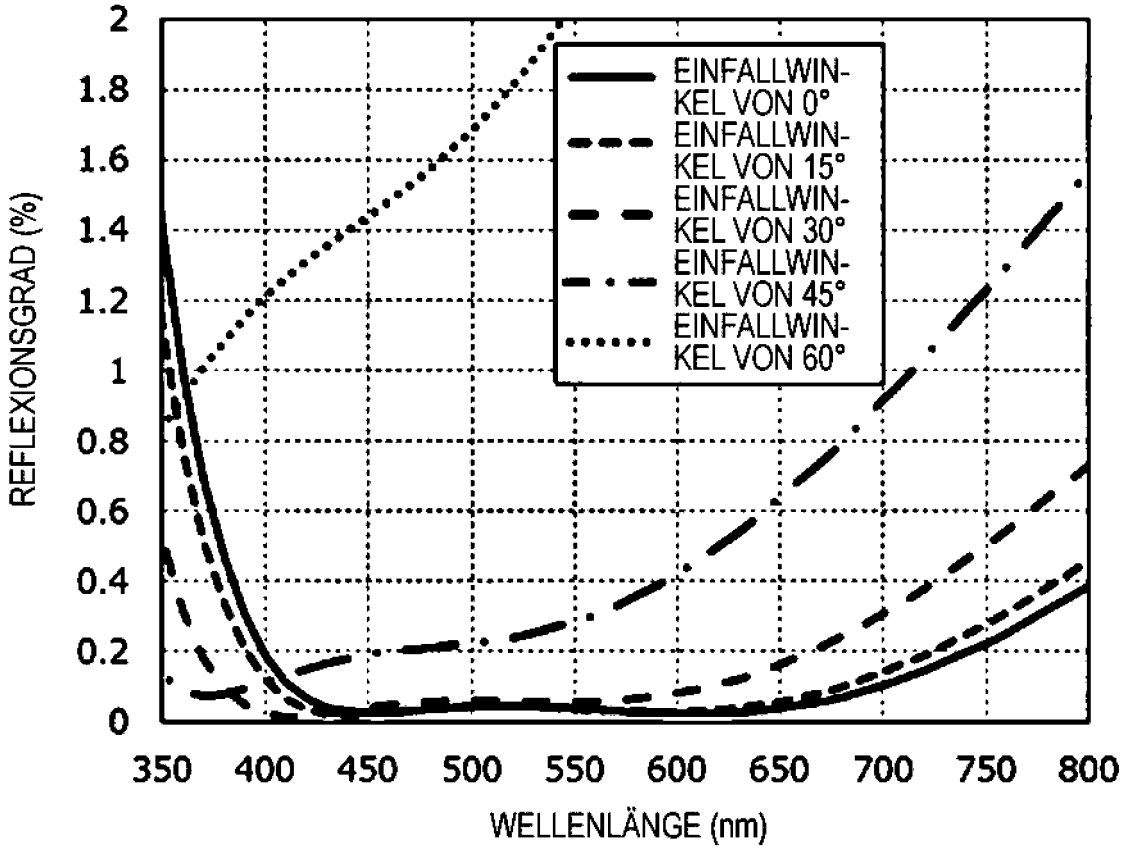

EINFALLWIN-KEL VON 0°
EINFALLWIN-KEL VON 15°
EINFALLWIN-KEL VON 30°
EINFALLWIN-KEL VON 45°
EINFALLWIN-KEL VON 60°
REFLEXIONSGRAD (%)
WELLENLÄNGE (nm)
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2
350
400
450
500
550
600
650
700
750
800

FIG. 8

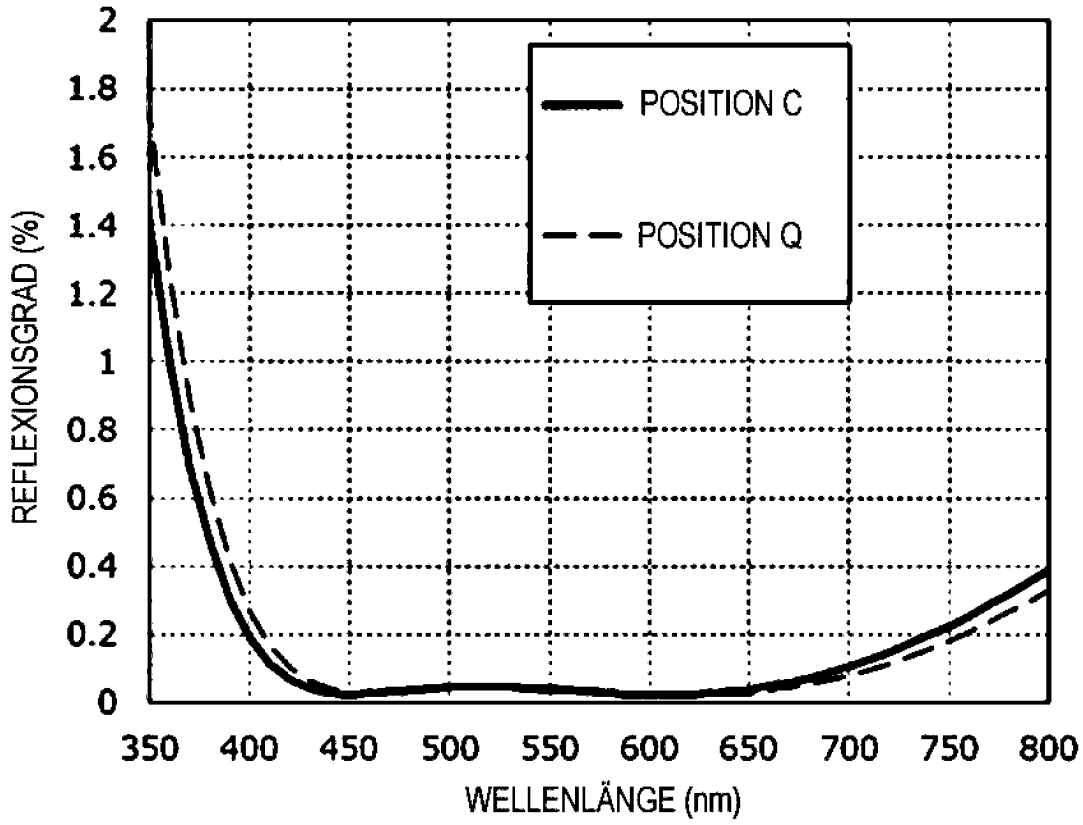

POSITION C
POSITION Q
REFLEXIONSGRAD (%)
WELLENLÄNGE (nm)
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2
350
400
450
500
550
600
650
700
750
800

FIG. 9

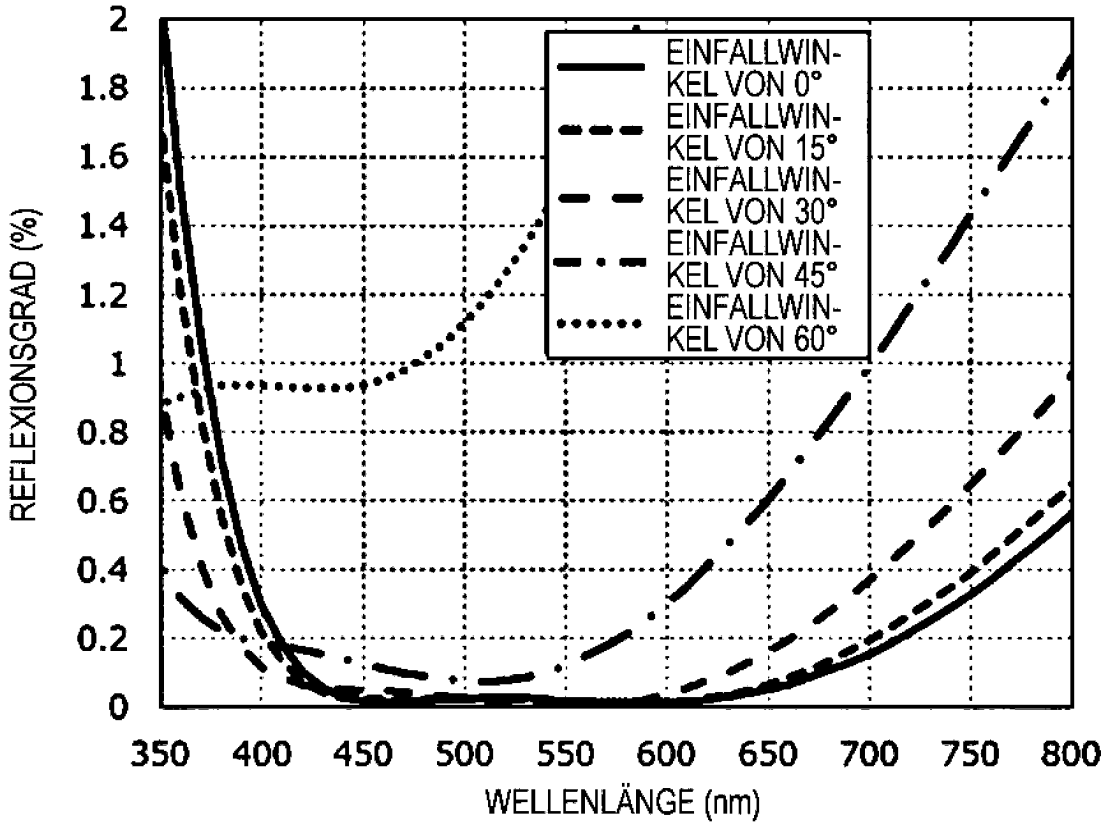

EINFALLWINKEL VON 0°
EINFALLWINKEL VON 15°
EINFALLWINKEL VON 30°
EINFALLWINKEL VON 45°
EINFALLWINKEL VON 60°
REFLEXIONSGRAD (%)
WELLENLÄNGE (nm)
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2
350
400
450
500
550
600
650
700
750
800

FIG. 10

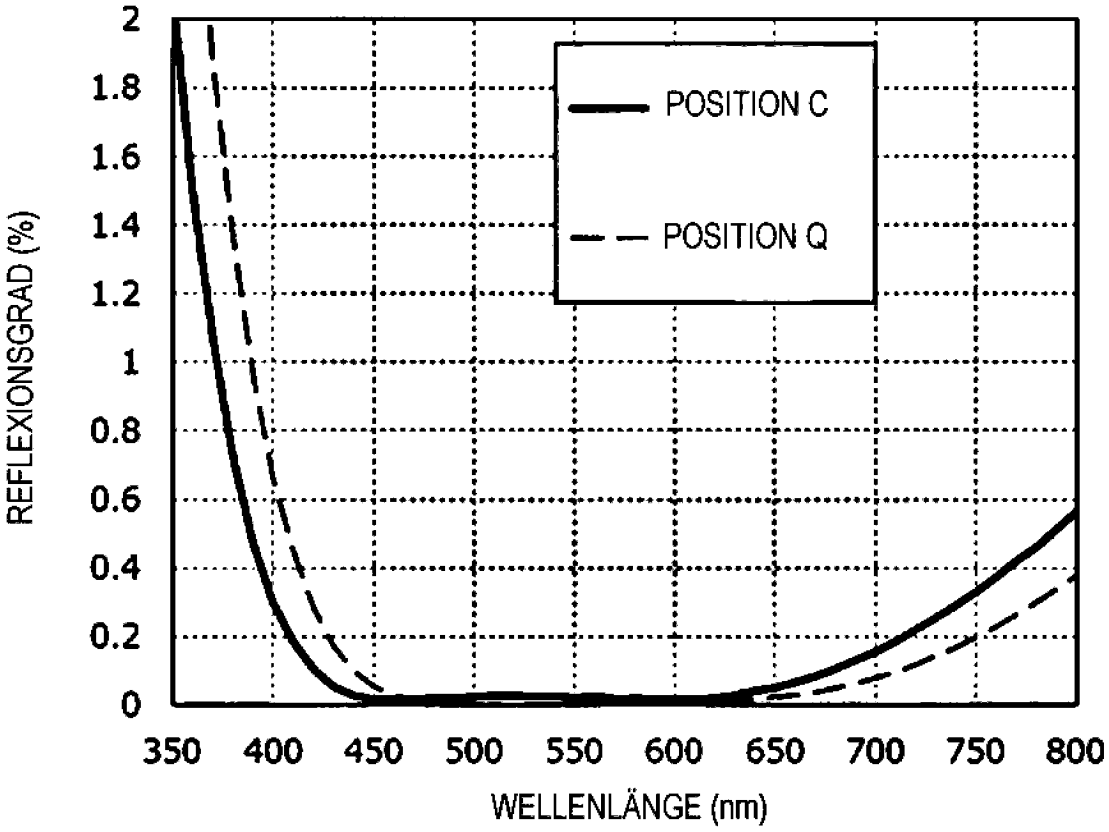

REFLEXIONSGRAD (%)
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
350
400
450
500
550
600
650
700
750
800
WELLENLÄNGE (nm)
POSITION C
POSITION Q

FIG. 11

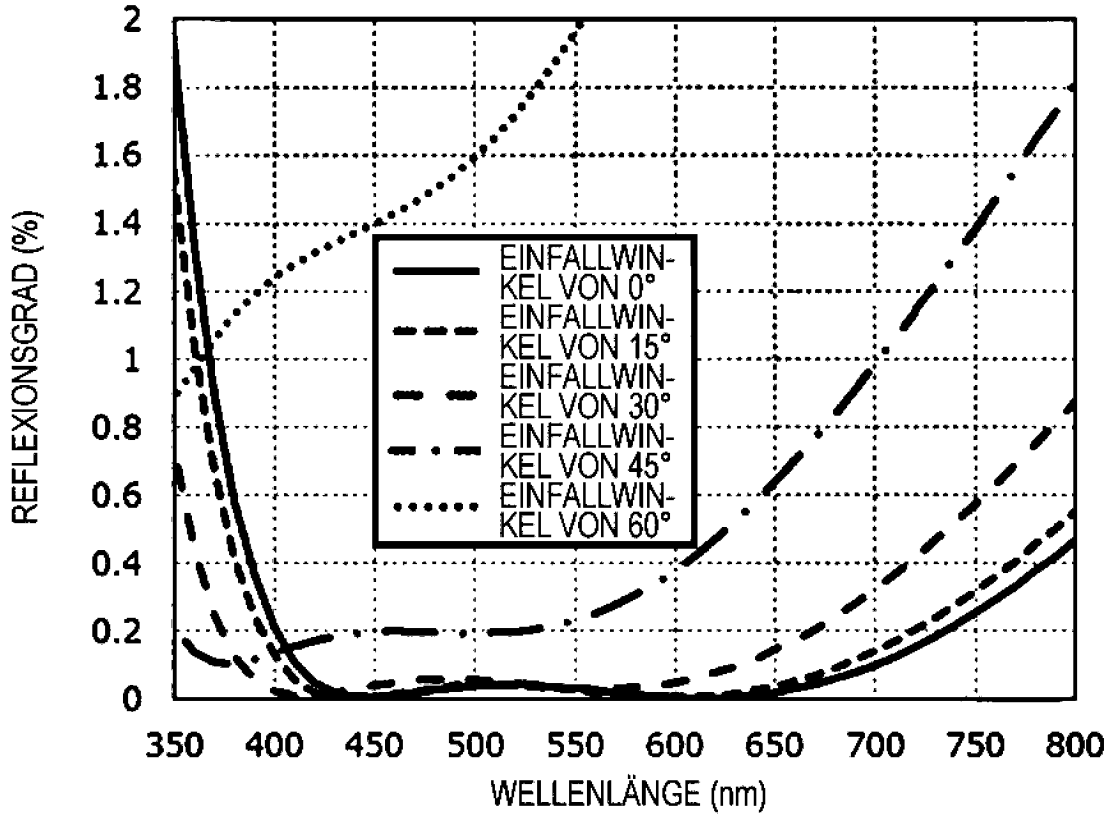

REFLEXIONSGRAD (%)
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
350
400
450
500
550
600
650
700
750
800
WELLENLÄNGE (nm)
EINFALLWINKEL VON 0°
EINFALLWINKEL VON 15°
EINFALLWINKEL VON 30°
EINFALLWINKEL VON 45°
EINFALLWINKEL VON 60°

FIG. 12

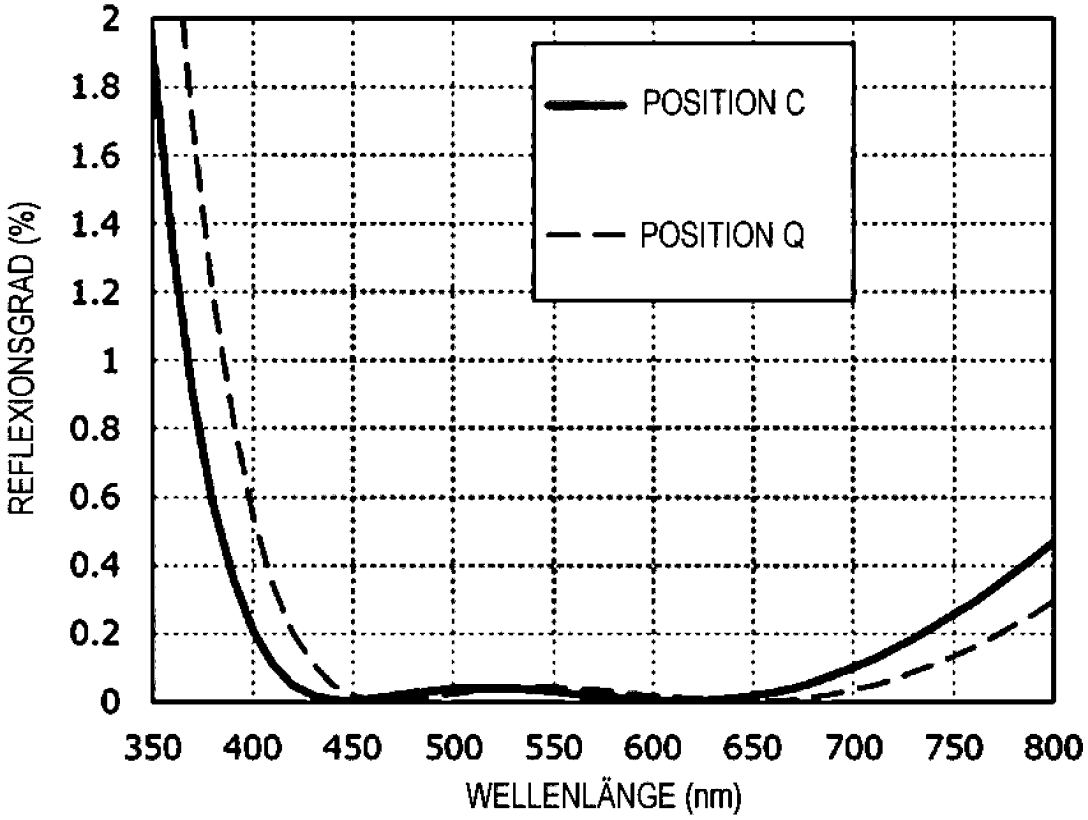

POSITION C
POSITION Q
REFLEXIONSGRAD (%)
WELLENLÄNGE (nm)
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2
350
400
450
500
550
600
650
700
750
800

FIG. 13

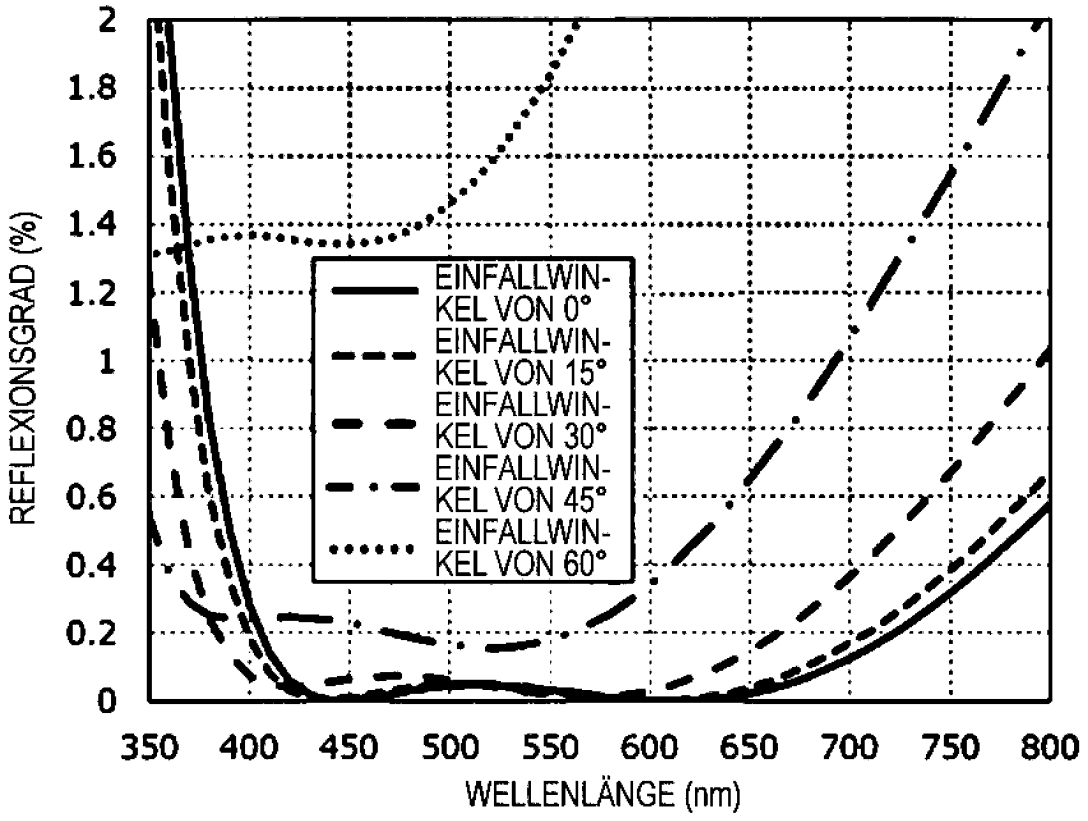

EINFALLWIN-KEL VON 0°
EINFALLWIN-KEL VON 15°
EINFALLWIN-KEL VON 30°
EINFALLWIN-KEL VON 45°
EINFALLWIN-KEL VON 60°
REFLEXIONSGRAD (%)
WELLENLÄNGE (nm)
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2
350
400
450
500
550
600
650
700
750
800

FIG. 14

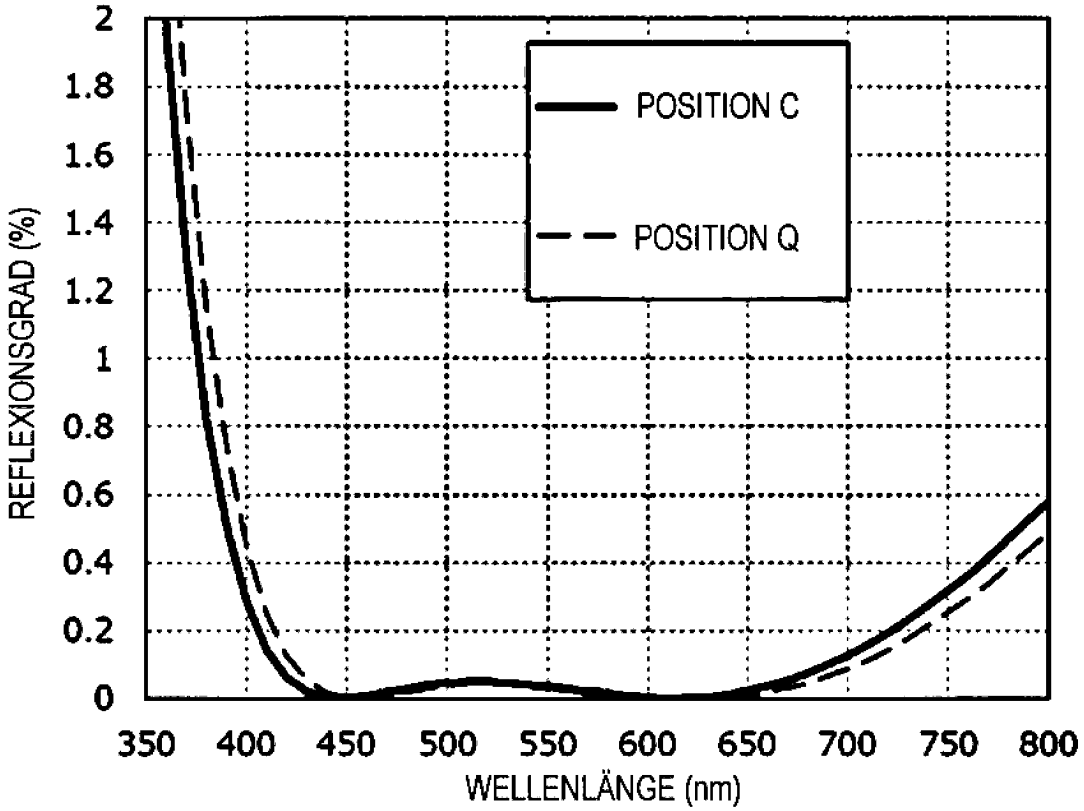

POSITION C
POSITION Q
REFLEXIONSGRAD (%)
WELLENLÄNGE (nm)
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2
350
400
450
500
550
600
650
700
750
800

FIG. 15

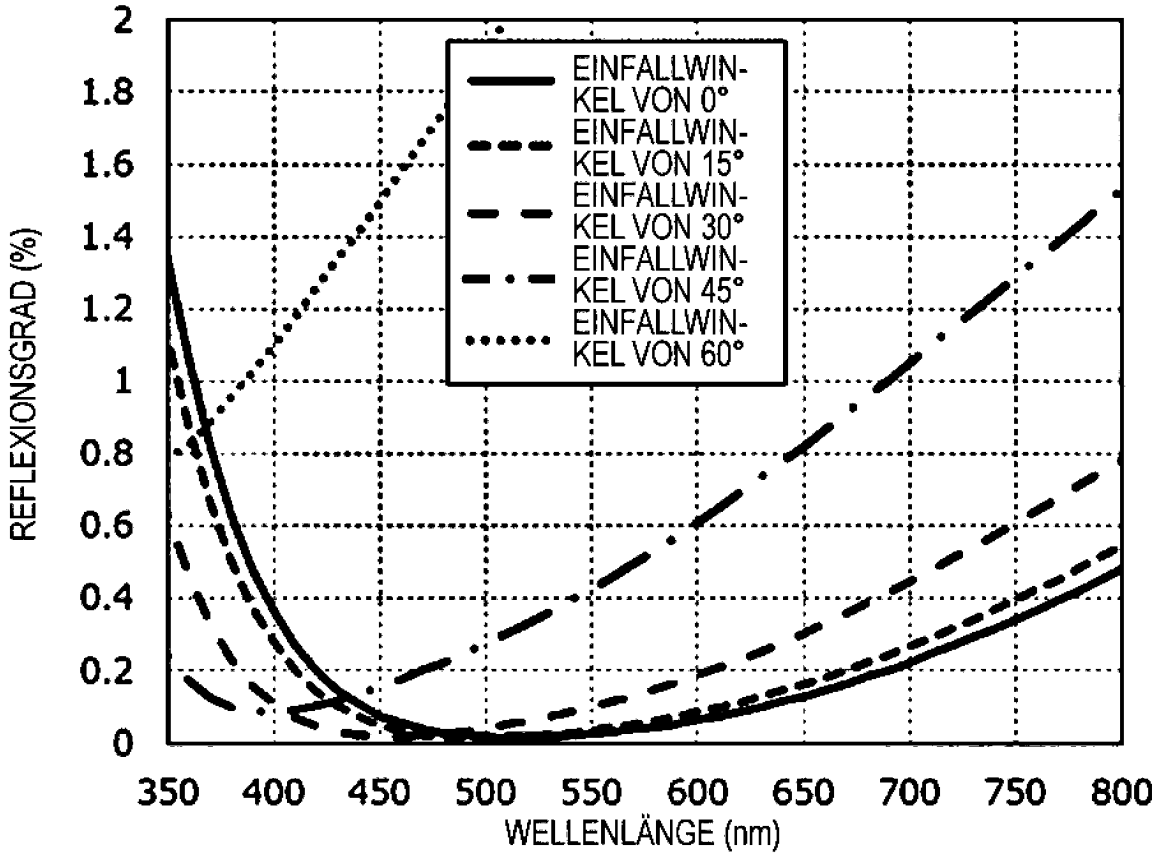

EINFALLWIN-KEL VON 0°
EINFALLWIN-KEL VON 15°
EINFALLWIN-KEL VON 30°
EINFALLWIN-KEL VON 45°
EINFALLWIN-KEL VON 60°
REFLEXIONSGRAD (%)
WELLENLÄNGE (nm)
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2
350
400
450
500
550
600
650
700
750
800

FIG. 16

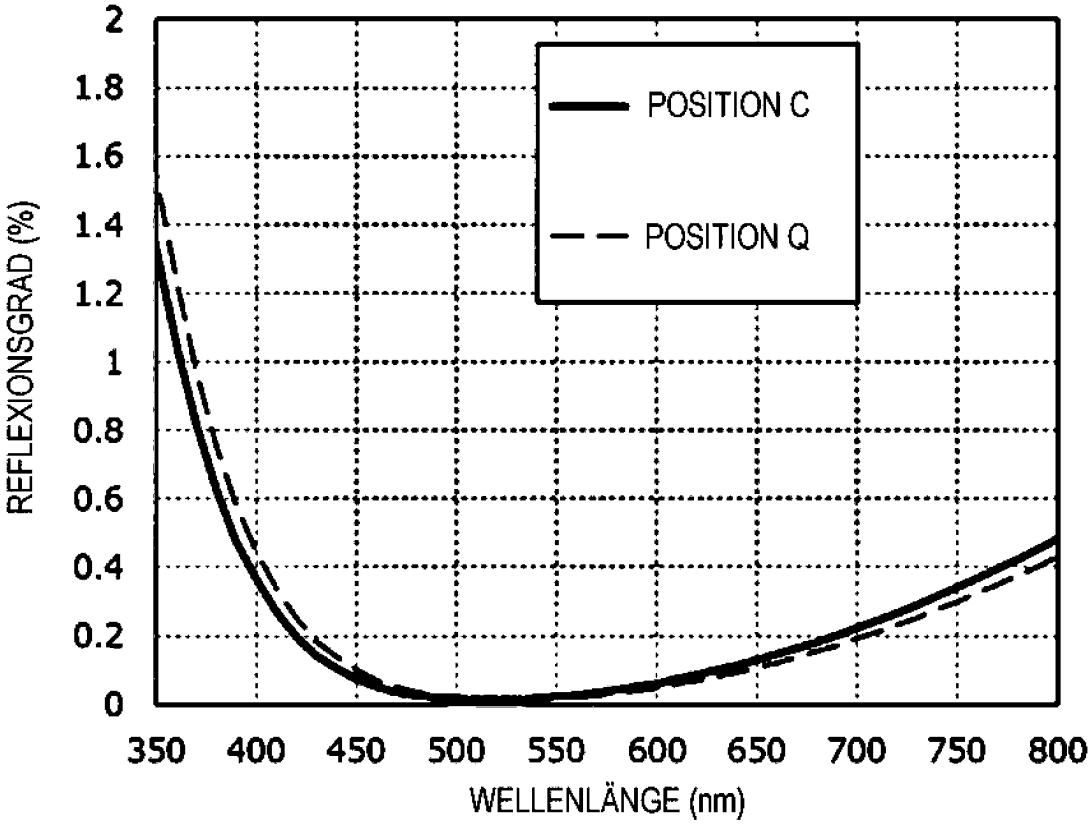

POSITION C
POSITION Q
REFLEXIONSGRAD (%)
WELLENLÄNGE (nm)
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2
350
400
450
500
550
600
650
700
750
800

FIG. 17

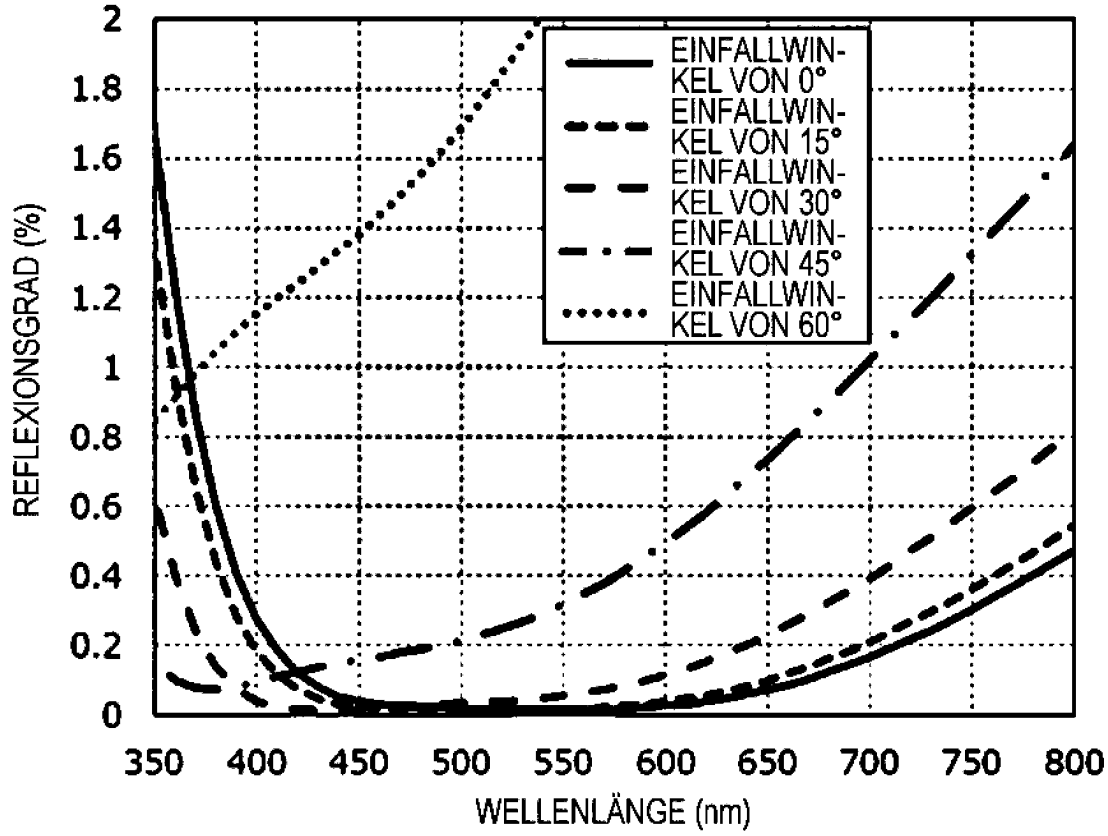

EINFALLWINKEL VON 0°
EINFALLWINKEL VON 15°
EINFALLWINKEL VON 30°
EINFALLWINKEL VON 45°
EINFALLWINKEL VON 60°
REFLEXIONSGRAD (%)
WELLENLÄNGE (nm)
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2
350
400
450
500
550
600
650
700
750
800

FIG. 18

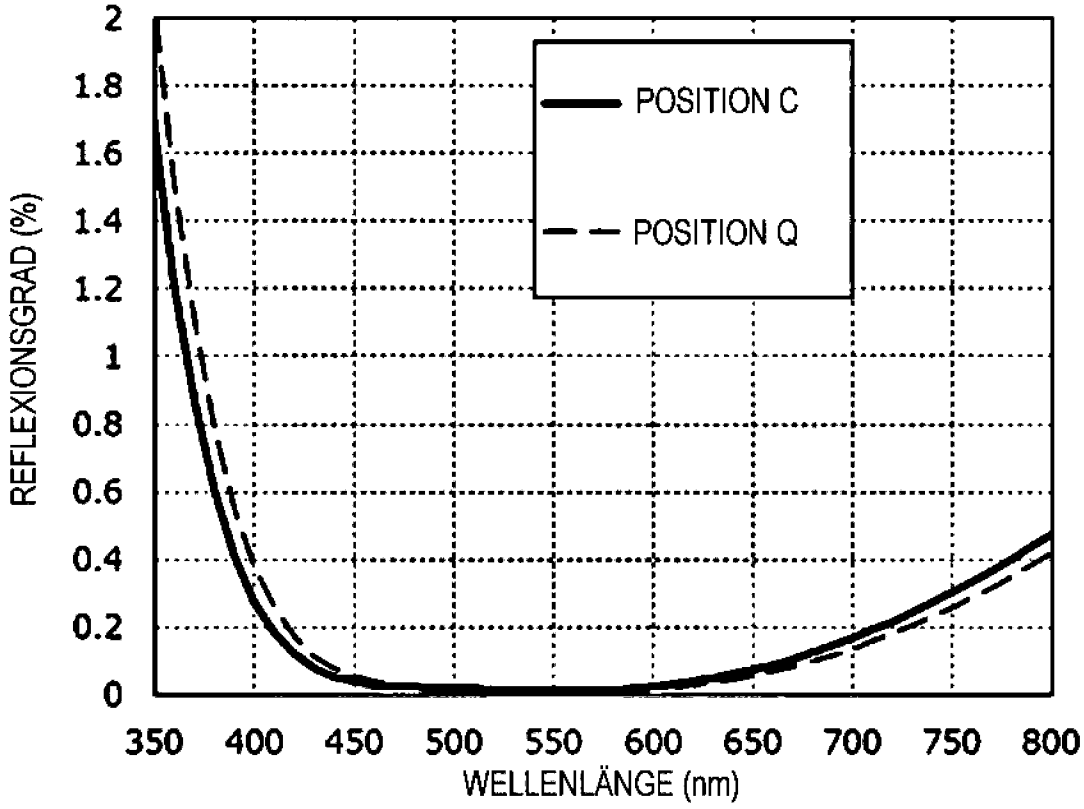

POSITION C
POSITION Q
REFLEXIONSGRAD (%)
WELLENLÄNGE (nm)
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2
350
400
450
500
550
600
650
700
750
800

FIG. 19

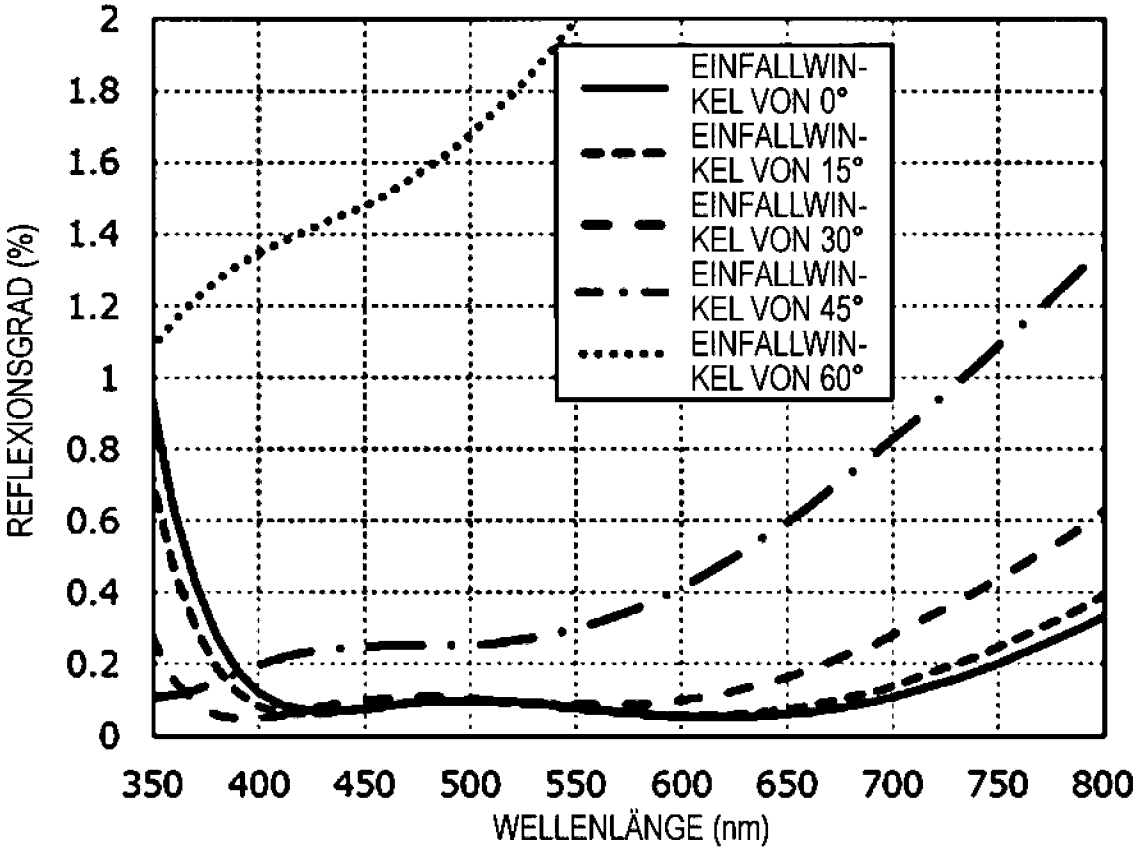

EINFALLWIN-KEL VON 0°
EINFALLWIN-KEL VON 15°
EINFALLWIN-KEL VON 30°
EINFALLWIN-KEL VON 45°
EINFALLWIN-KEL VON 60°
REFLEXIONSGRAD (%)
WELLENLÄNGE (nm)
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2
350
400
450
500
550
600
650
700
750
800

FIG. 20

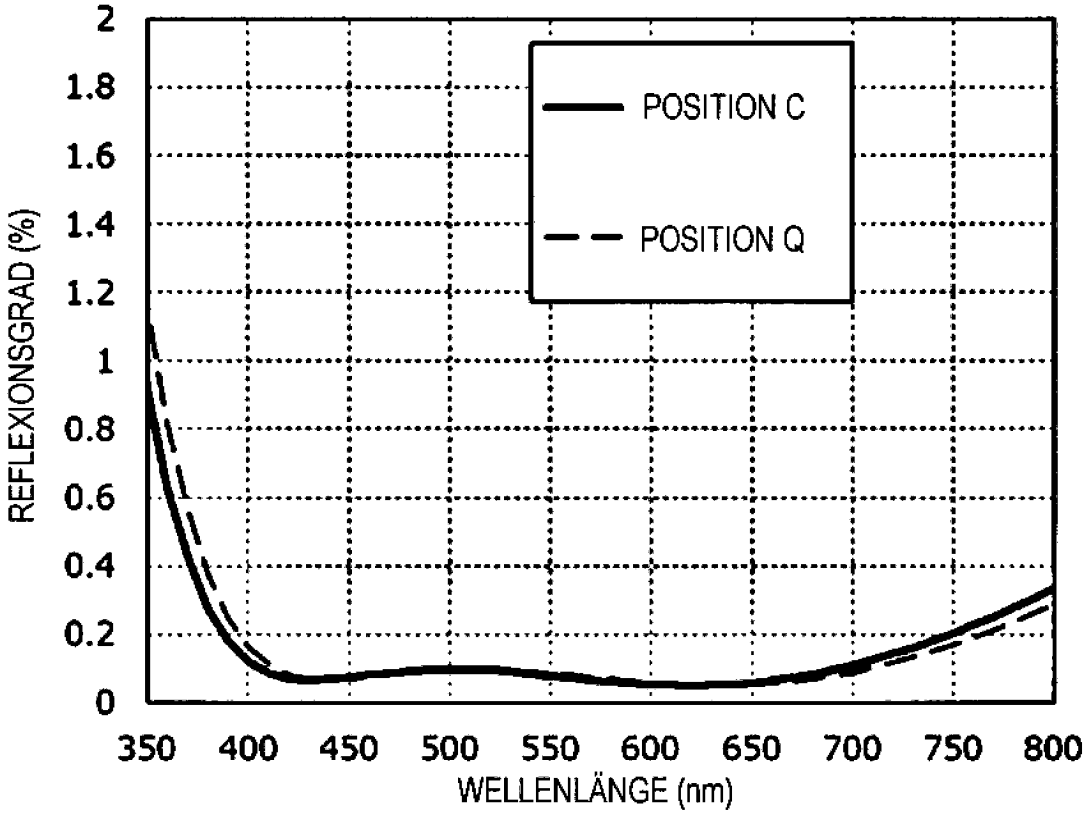

POSITION C
POSITION Q
REFLEXIONSGRAD (%)
WELLENLÄNGE (nm)
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2
350
400
450
500
550
600
650
700
750
800

FIG. 21

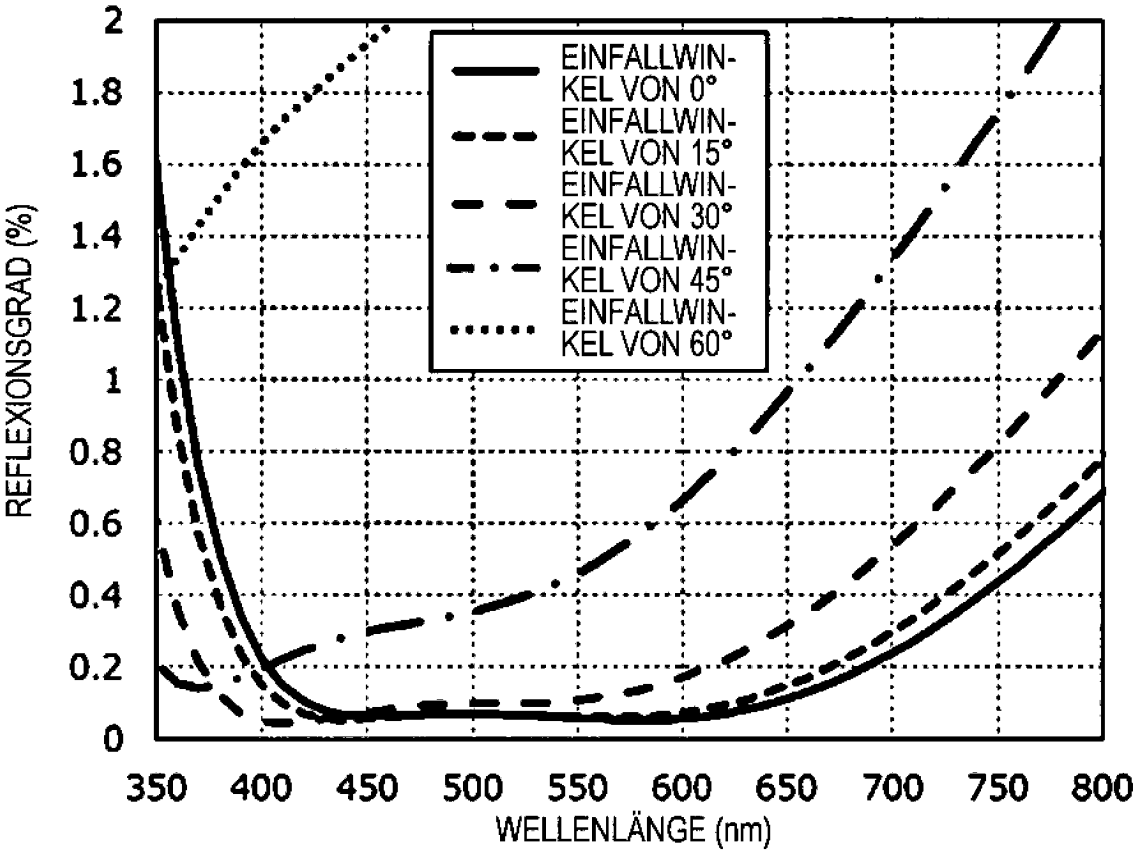

EINFALLWIN-KEL VON 0°
EINFALLWIN-KEL VON 15°
EINFALLWIN-KEL VON 30°
EINFALLWIN-KEL VON 45°
EINFALLWIN-KEL VON 60°
REFLEXIONSGRAD (%)
WELLENLÄNGE (nm)
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2
350
400
450
500
550
600
650
700
750
800

FIG. 22

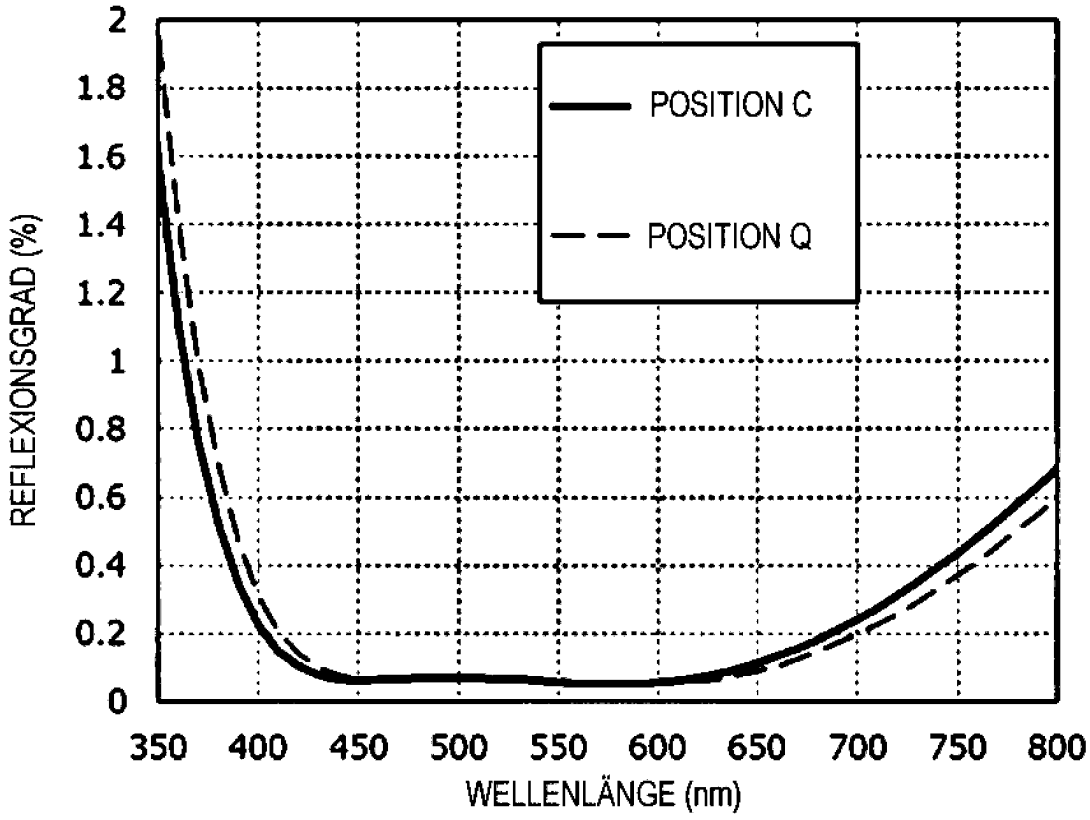

2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
REFLEXIONSGRAD (%)
POSITION C
POSITION Q
350
400
450
500
550
600
650
700
750
800
WELLENLÄNGE (nm)

FIG. 23

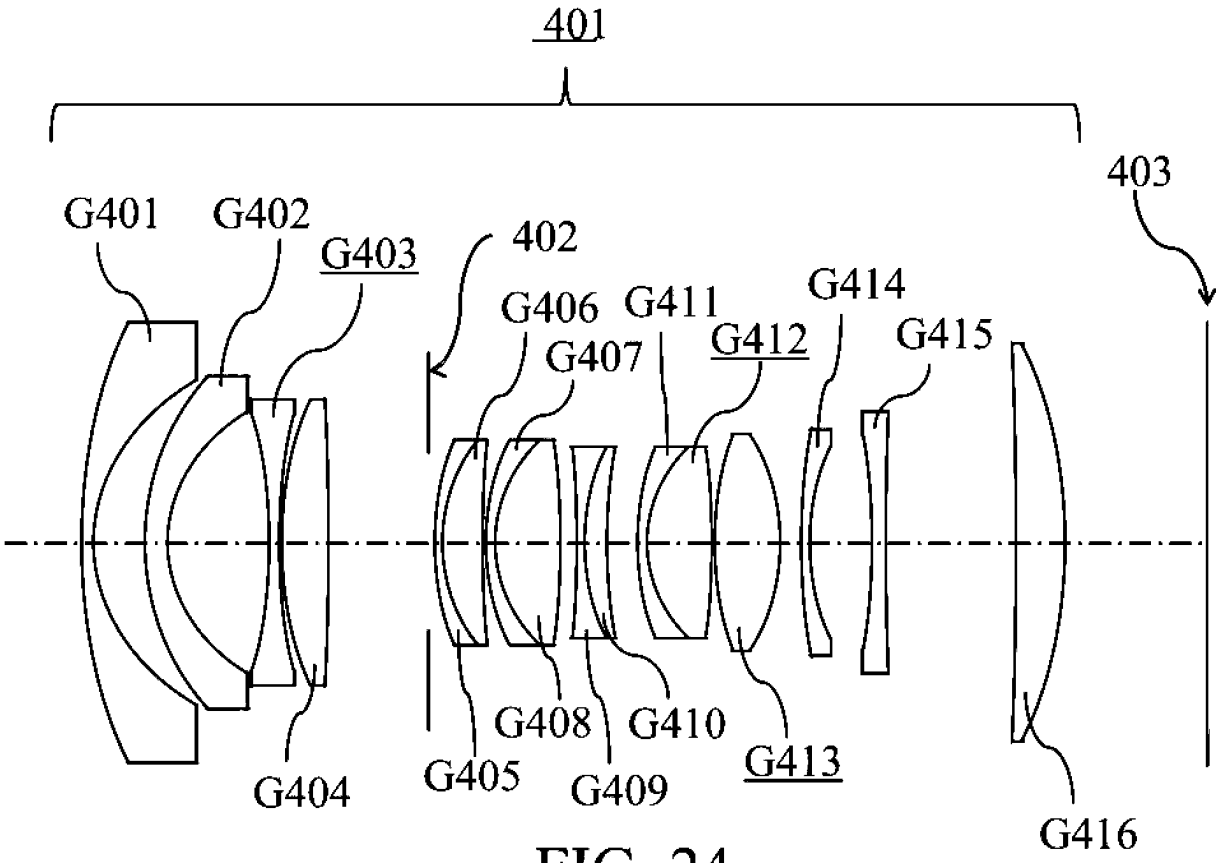

401
403
G401
G402
G403
402
G406
G411
G414
G407
G412
G415
G408
G410
G405
G409
G413
G404
G416

FIG. 24

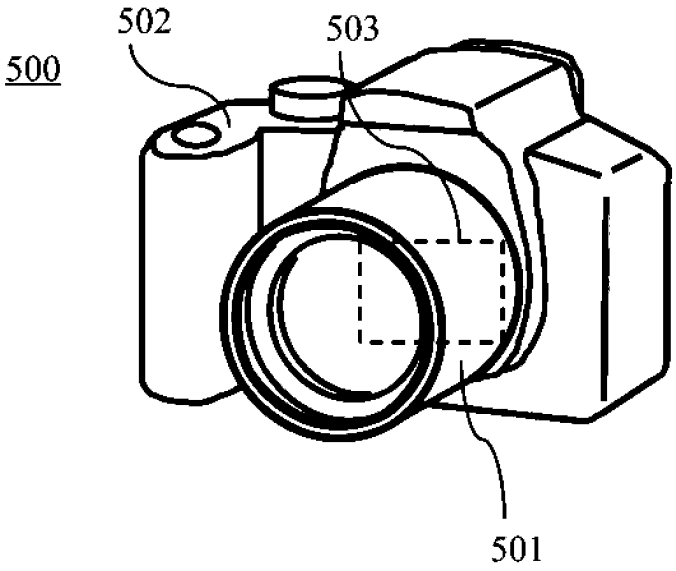

500
502
503
501

FIG. 25

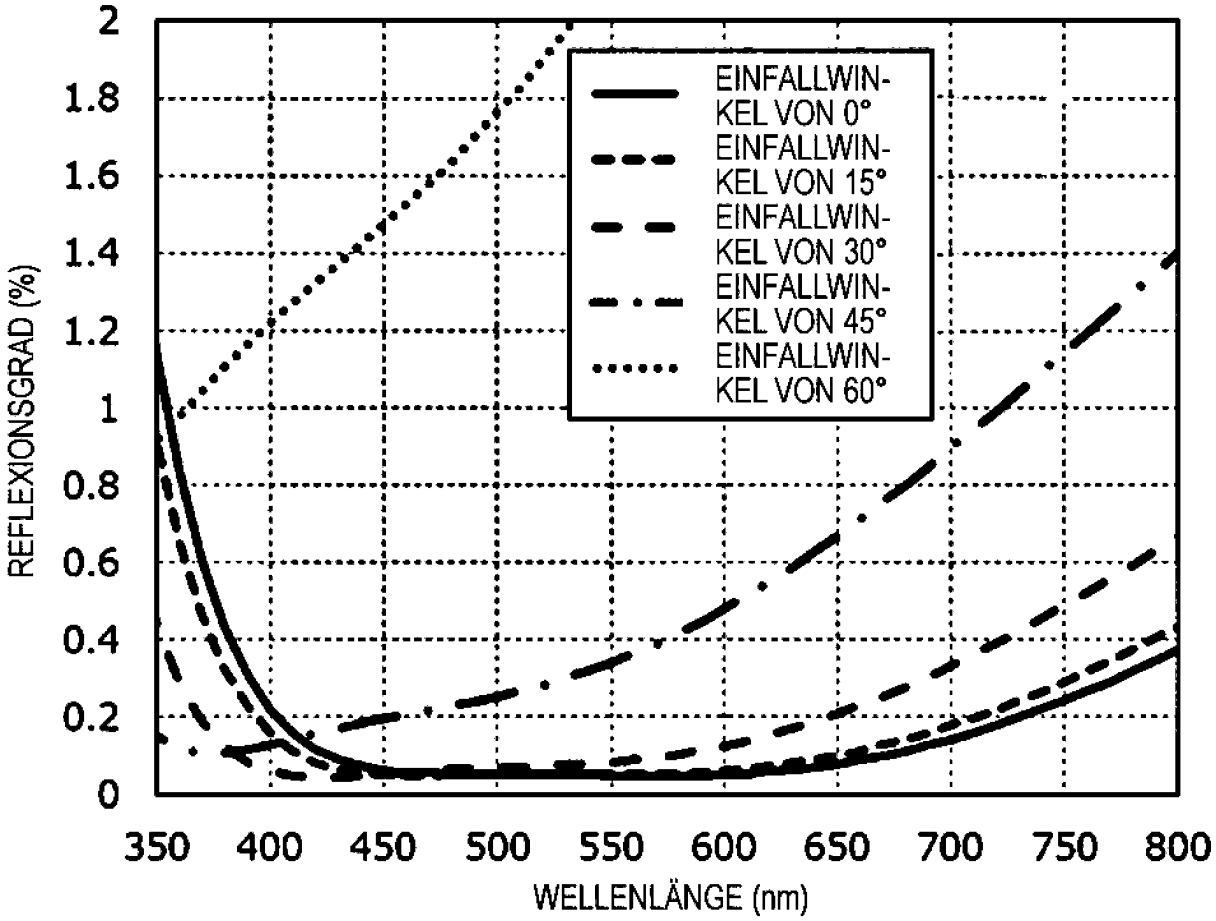

REFLEXIONSGRAD (%)
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
350
400
450
500
550
600
650
700
750
800
WELLENLÄNGE (nm)
EINFALLWIN-KEL VON 0°
EINFALLWIN-KEL VON 15°
EINFALLWIN-KEL VON 30°
EINFALLWIN-KEL VON 45°
EINFALLWIN-KEL VON 60°

FIG. 26

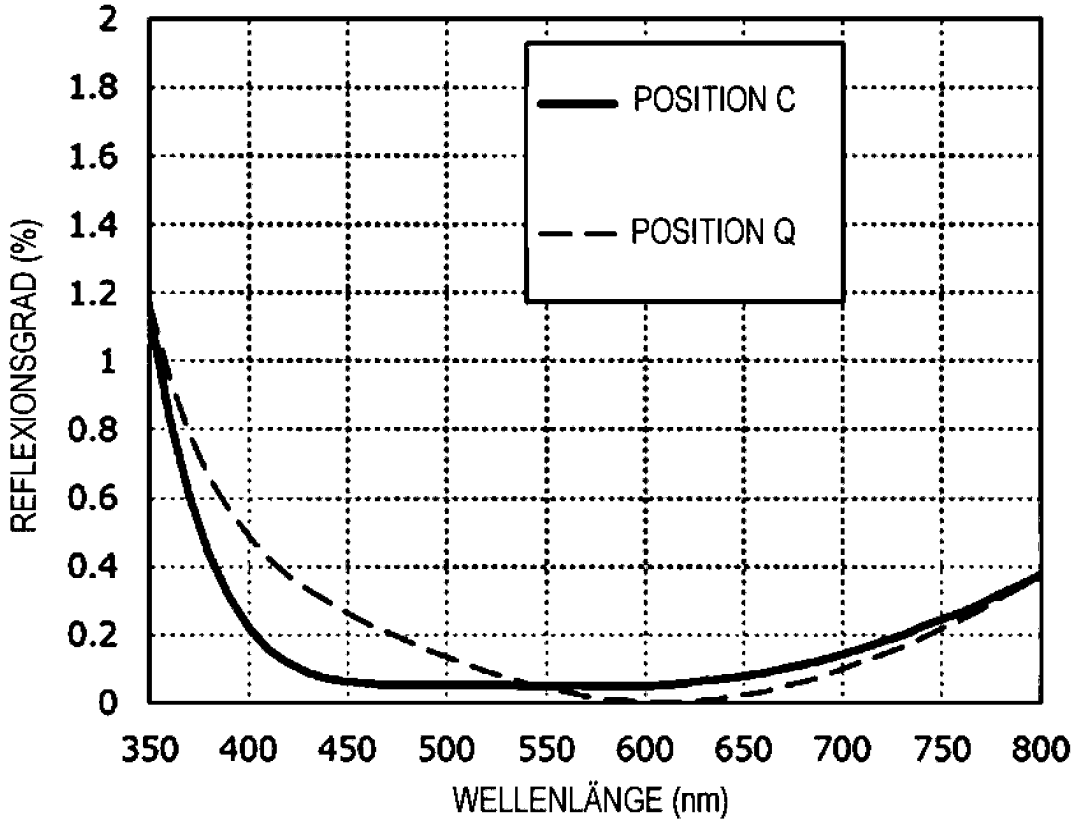


FIG. 27

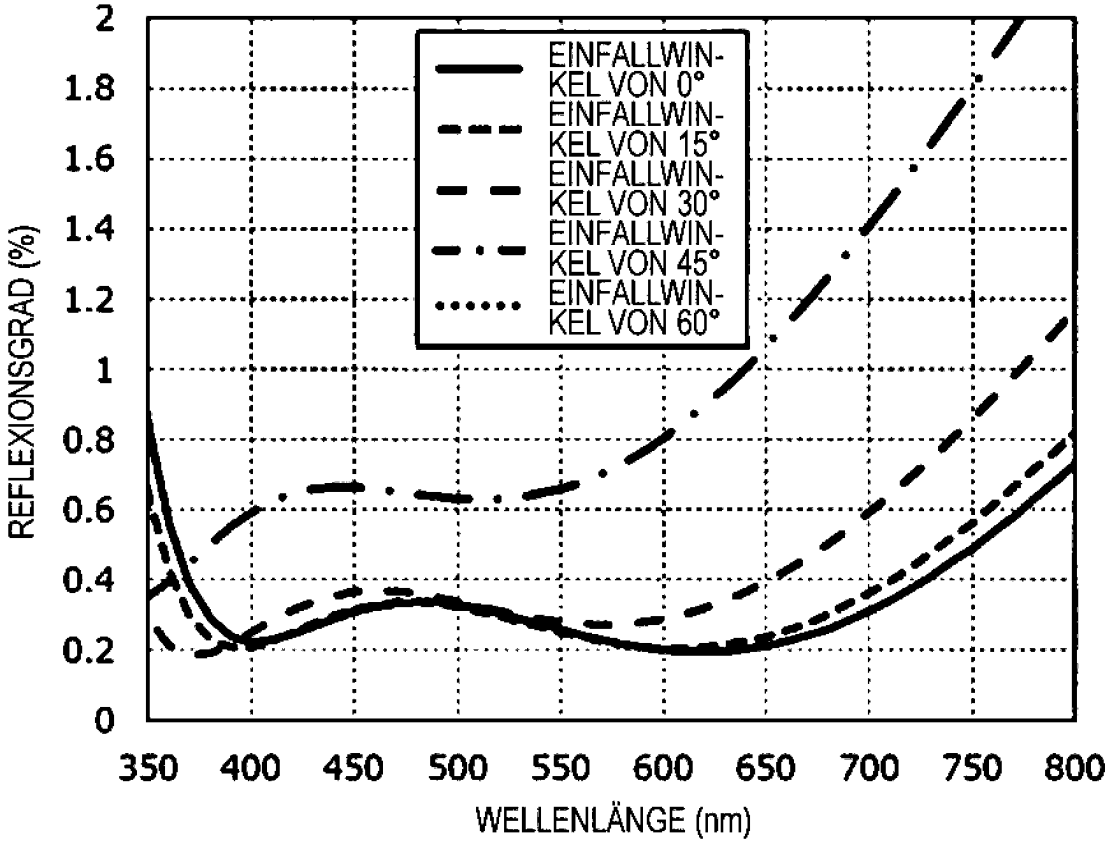


FIG. 28

 Das Dokument wurde durch die Firma Luminess hergestellt.