CH 664 023 A5

(19) SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 664 023 A5

(51) Int. Cl.⁴: G 02 B 5/28
G 02 B 1/10

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

(12) PATENTSCHRIFT A5

(21) Gesuchsnummer: 6806/83

(22) Anmeldungsdatum: 21.12.1983

(30) Priorität(en): 28.01.1983 DE 3302827

(24) Patent erteilt: 29.01.1988

(45) Patentschrift veröffentlicht: 29.01.1988

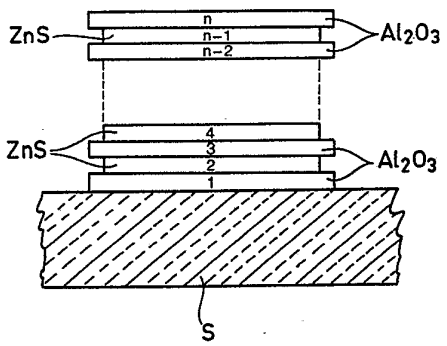
(73) Inhaber:
Leybold-Heraeus GmbH, Köln 51 (DE)

(72) Erfinder:
Born, Reinhard, Bruchköbel (DE)
Herbert, Werner, Hanau a.M. 7 (DE)
Lotz, Hans-Georg, Erlensee (DE)
Rückert, Norbert, Karlstein (DE)

(74) Vertreter:
Kemény AG Patentanwaltbüro, Luzern

(54) Verfahren zum Herstellen von optischen Elementen mit Interferenzschichten.

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen von optischen Elementen, insbesondere von Filtern, mit Interferenzschichten. Die Interferenzschichten werden aus wechselnd niedrig- und hochbrechenden dielektrischen Schichten aufgebaut, die auf Substraten kondensiert werden. Erfindungsgemäss wird als erste Schicht auf das Substrat Al_2O_3 als niedrigbrechende Schicht aufgebracht, worauf in abwechselnder Reihenfolge weitere Schichten aus ZnS und Al_2O_3 aufgebracht werden. Die letzte Schicht besteht aus Al_2O_3. Derartige Schichten können bei niedrigen Temperaturen auf ebenen sowie insbesondere auch auf stark gekrümmten Substraten bei geringeren Herstellkosten aufgebracht werden und haben die optischen Eigenschaften bekannter Interferenzschichten. Die Widerstandsfähigkeit gegenüber äusseren Einflüssen ist jedoch beträchtlich erhöht. Bei mineralischen Substaten haben die Schichten zusätzlich eine erhebliche Widerstandsfähigkeit gegenüber dem Kochtest.



PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Herstellen von optischen Elementen, mit Interferenzschichten aus abwechselnd niedrig- und hochbrechenden di-elektrischen Schichten auf einem organischen oder anorganischen Substrat, dadurch gekennzeichnet, dass als erste Schicht auf das Substrat Al_2O_3 als niedrigbrechende Schicht aufgebracht wird, worauf in abwechselnder Reihenfolge weitere Schichten aus ZnS und Al_2O_3 aufgebracht werden, und dass als letzte Schicht eine solche aus Al_2O_3 aufgebracht wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Schicht bei einer Substrattemperatur von 20 bis 180°C aufgebracht wird.

3. Verfahren nach Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die Beschichtung durch ein Aufdampfverfahren bei Drücken zwischen $1{,}3 \times 10^{-3}$ und 1,05 Pa durchgeführt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Al_2O_3 bei einer Aufdampfrate zwischen 1 und 1,5 nm/sec und das ZnS bei einer Aufdampfrate zwischen 1 und 3 nm/sec aufgedampft wird.

5. Anwendung des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 4 auf die Herstellung von Filtern.

6. Anwendung nach Anspruch 5 auf die Herstellung von subtraktiven und additiven Farbtrennungsfiltern, Kaltlichtspiegeln, Wärmereflexionsfiltern, Farbtemperaturumwandlungsfiltern, Farbtemperaturumwandlungsreflektoren, dielektrischen Schmalbandfiltern, Strahlenteilern in Verbindung mit Glas-, Saphir- und Kunststoff-Substraten.

BESCHREIBUNG

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen von optischen Elementen, insbesondere von Filtern, mit Interferenzschichten aus abwechselnd niedrig- und hochbrechenden dielektrischen Schichten auf organischen und anorganischen Substraten.

Die Herstellung von Interferenzschichten ist seit langem bekannt. Die einzelnen Schichtdicken liegen dabei je nach Anforderung an das Endprodukt zwischen $\lambda/4$ und $\lambda/8$ der sogenannten Bezugswellenlänge, für die die Berechnung des Systems durchgeführt wurde. Endprodukte sind beispielsweise optische Elemente aus der Gruppe subtraktive und additive Farbtrennungsfilter, Kaltlichtspiegel, Wärmereflexionsfilter, Farbtemperaturumwandlungsfilter, Farbtemperaturumwandlungsreflektor, dielektrische Schmalbandfilter, Strahlenteiler. Als Substratmaterialien dienen dabei durchsichtige oder durchscheinende Materialien aus der Gruppe Glas, Saphir und Kunststoff sowie Metalle. Als Kunststoff kommt bevorzugt ein Material in Frage, das als CR 39 bekannt ist.

Derartige optische Elemente müssen bestimmten Anforderungen genügen, und zwar im Hinblick auf ihre optischen Eigenschaften wie Absorptionsfreiheit, Stabilität der Kantenlage etc., und im Hinblick auf ihre mechanisch-chemischen Eigenschaften wie Abriebfestigkeit, Haftfestigkeit, Kochfestigkeit, Temperaturbeständigkeit sowie Beständigkeit gegenüber Säuren etc.

Die Anforderungen im Hinblick auf die vorstehend genannten Eigenschaften sind im Laufe der Zeit ständig gestiegen, so dass man von der Benutzung «weicher» Substanzen wie ZnS, Kryolith etc., die sich thermisch verdampfen lassen, Abstand genommen hat und den Weg hin zu «harten», oxidischen Schichten wie TiO_2 und SiO_2 etc. fand, zu deren Verdampfung man Elektronenstrahlkanonen benutzt.

Die bisher für Interferenzschichtsysteme verwendeten Schichtmaterialien waren im allgemeinen Oxide des Titans als hochbrechende Schicht und Oxide des Silizium als niedrigbrechende Schicht. Der Aufdampfvorgang wurde üblicherweise bei $< 1{,}3 \times 10^{-2}$ Pa und bei einer Substrattemperatur zwischen 200 und 350°C begonnen. Die Zeitdauer für das Erreichen des genannten Drucks sowie einer Temperatur oberhalb 250°C konnte dabei bis zu 90 Minuten betragen. Typische Verdampfungsraten lagen dabei für SiO_2 bei etwa 15 Å/sec und für TiO_2 bei etwa 3 Å/sec (10 Å = 1nm). Die Aufdampfzeit für die Herstellung von 15 Schichten für eine Bezugswellenlänge von $\lambda_0 = 400$ nm konnte infolgedessen durchaus bis zu 50 Minuten betragen. Hinzu kam wegen der hocherhitzten Substrate eine beträchtliche Abkühlzeit, die gleichfalls bis zu 150 Minuten betragen konnte. Für wärmeempfindliche Subtrate wie beispielsweise Kunststoffe schied das bekannte Schichtsystem ohnehin aus. Die Kochfestigkeit entsprach bei ebenen Substratoberflächen DIN 58 196 Teil C 60 und bei stark gewölbten Substraten DIN 58 196 Teil 2 C 15. Bei stark gekrümmten Substraten wird nach einer Behandlung gemäss DIN 58 196 Teil 2 C 15 überhaupt keine Haftfestigkeit mehr nach MIL C 675C erreicht.

«C60» bzw. «C15» in den Kochfestigkeitsangaben nach DIN 58 196 Teil 2 bedeuten, dass die Beschichtung sich während einer Kochdauer von 60 Minuten bzw. 15 Minuten nicht von selbst abgelöst hat. So widerstanden die TiO_2/SiO_2-Schichten auf ebenen Substraten dem Kochtest etwa 20 Stunden, auf stark gewölbten Substraten (Halbkugelflächen) jedoch nur etwa 15 Minuten. Dies bedeutet jedoch noch nicht, dass die betreffende Schicht auch dem Haftfestigkeitstest nach MIL C 675 C Widerstand geleistet hat.

Insbesondere zeigt gerade der zuletzt geschilderte Haftfestigkeitstest, dass das bekannte Schichtsystem auf stark gekrümmten Substraten, wie sie insbesondere bei optischen Linsen, Kaltlichtspiegeln etc. vorkommen, nach einer Kochdauer von nur 15 Minuten überhaupt keine Haftfestigkeit mehr besass.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs beschriebenen Art anzugeben, das wirtschaftlicher durchzuführen ist, kochbeständige und haftfeste Schichten auch bei stark gekrümmter Substratoberfläche ermöglicht, und das auch zur Beschichtung von Kunststoffen geeignet ist.

Die Lösung der gestellten Aufgabe erfolgt bei dem eingangs beschriebenen Verfahren erfindungsgemäss dadurch, dass als erste Schicht auf das Substrat Al_2O_3 als niedrigbrechende Schicht aufgebracht wird, worauf in abwechselnder Reihenfolge weitere Schichten aus ZnS und Al_2O_3 aufgebracht werden, und dass als letzte Schicht eine solche aus Al_2O_3 aufgebracht wird.

Während die Aufbringung einer Al_2O_3-Schicht als Deck- oder Schutzschicht – für sich genommen – bekannt ist, ist die darunterliegende Schichtkombination neu und zwar einschliesslich des Merkmals, dass als erste Schicht auf das Substrat eine Al_2O_3-Schicht aufgebracht wird. Es hat sich dabei überraschend gezeigt, dass Al_2O_3 ganz offensichtlich ein vorzüglicher Haftvermittler ist, der auch bei extremer Schrägbedampfung seine Wirkung entfaltet, wie dies beispielsweise am Rande von halbkugelförmigen Glaskalotten der Fall ist. Die umgekehrte Reihenfolge, nämlich als erste Schicht ZnS aufzubringen, hat jedenfalls nicht zu der vorzüglichen Haftfestigkeit geführt, wie dies beim erfindungsgemässen Vorgehen erzielt wird. Die hohe Haft- und Kochfestigkeit wird ganz offensichtlich durch die erste Al_2O_3-Schicht bewirkt, die als Haftvermittler fungiert und Dicken zwischen 10 nm und 300 nm haben kann, ohne dass sich nennenswerte Schwankungen in den Werten der Haftfestigkeit und Kochfestigkeit ergeben. Die übrigen mechanisch-chemischen Eigenschaften

hängen im wesentlichen von der äusseren Al_2O_3-Schicht ab, die eine Dicke bis zu mehreren Vielfachen der Bezugswellenlänge haben kann.

Das erfindungsgemässe Verfahren eignet sich für die Herstellung von optischen Elementen, die bei Wellenlängen zwischen 0,39 µm und 6 µm optisch wirksam sind. Für sich genommen ist es bekannt, dass ZnS für optische Elemente verwendet werden kann, die zwischen 0,39 µm (Beginn der Eigen-Absorption) und 14 µm optisch wirksam sind. Al_2O_3 kann zwischen 0,2 µm (Beginn der Eigen-Absorption) und 7 µm verwendet werden. Da Al_2O_3 jedoch zur Rissbildung neigt, ist der Bereich aus praktischen Gründen enger. Durch die Verwendung von «weichen» ZnS-Zwischenschichten wird nun überraschend die Rissbildungstendenz soweit verringert, dass der Bereich bis auf ca. 6 µm ausgedehnt werden kann.

Bei der Durchführung des erfindungsgemässen Verfahrens kann der Druck zu Beginn des Aufdampfvorganges oberhalb $1{,}3 \times 10^{-2}$ Pa liegen, beispielsweise im Bereich zwischen diesem Wert und 1,05 Pa. Ausserdem kann der Beschichtungsvorgang mit kalten Substraten, d.h. solchen von Raumtemperatur, begonnen werden, so dass eine Vorheizzeit nicht erforderlich ist. Infolgedessen verringert sich die Zeit bis zum Aufdampfbeginn auf Werte unterhalb 30 Minuten; dies ist ein Drittel des auf Seite 5, Zeile 7, zum Stande der Technik genannten Wertes, identische Daten der Aufdampfvorrichtung vorausgesetzt. Durch die ausserordentlich hohe mögliche Verdampfungsrate von ZnS, die typischerweise etwa 20 Å/sec gegenüber etwa 3 Å/sec bei TiO_2 beträgt (10 Å = 1 nm) lässt sich die Aufdampfzeit für 15 Schichten auf Werte unterhalb etwa 15 Minuten reduzieren. Dies ist wiederum weniger als ein Drittel des auf Seite 5, Zeile 11, zum Stande der Technik genannten Wertes. Infolge der ausserordentlich niedrigen Substrattemperatur ist auch eine Abkühlzeit entbehrlich.

Damit steigt die Zahl der Chargen bei vergleichbarer Grösse der Aufdampfvorrichtung auf etwa den dreifachen Wert pro Zeiteinheit, so dass sich sehr viel niedrigere Herstellkosten ergeben.

Das erfindungsgemässe Verfahren wird dabei in besonders vorteilhafter Weise bei Substrattemperaturen zwischen 20°C und 180°C durchgeführt, wobei das Verfahren zweckmässigerweise am unteren Ende des Temperaturbereichs ausgeübt wird. Dies schafft - im Gegensatz zum Stand der Technik - die Möglichkeit, auch Kunststoffe zu bedampfen, beispielsweise den Werkstoff CR 39.

Durch die geringe Abpumpzeit wegen des schlechteren Vakuums, das Entfallen einer Aufheiz- und Abkühlzeit und durch die höheren Verdampfungsraten wird, wie bereits gesagt, eine wesentlich geringere Prozesszeit gegenüber der Herstellung der herkömmlichen oxidischen Schichten erzielt.

Es ist zwar bereits bekannt, Interferenzschichten unter extremer Schrägbedampfung von Substratflächen herzustellen. Hierbei wurde als Schichtmaterial neben ZnS MgF_2 oder Kryolith unter Streugas aufgedampft, wobei auch ZnS durch getrennte Verdampfung von Zn und S erzeugt werden konnte. Die damit hergestellten Interferenzschichtsysteme besitzen aber bei weitem nicht die mechanisch-chemischen und thermischen Eigenschaften wie die erfindungsgemäss hergestellten Schichten. Andererseits muss man bei der Herstellung von Schichtsystemen aus ausschliesslich «harten» oxidischen Schichtmaterialien feststellen, dass bei starker Schrägbedampfung die Haft- und Kochfestigkeit allmählich auf Null abfällt.

Beim erfindungsgemässen Verfahren wurde die Kochfestigkeit sowohl auf ebenen Substraten als auch auf stark gekrümmten Substraten (beispielsweise auf halbkugelförmigen Substraten) nach DIN 58 196 Teil 2 C60 untersucht. In beiden Fällen fand auch nach 60 Stunden Dauerkochtest keinerlei Schichtablösung, keine Beeinträchtigung der Abriebfestigkeit und der Haftfestigkeit statt, jeweils bestimmt nach MIL C675 C.

Die niedrige Substrattemperatur macht es dabei erstmalig möglich, alle optischen Elemente mit dünnen Schichten, die eine Absorption von noch ca. 1% erlauben, auch aus temperaturempfindlichen Kunststoffen herzustellen, und zwar mit Eigenschaften, wie man sie bisher nur von oxidischen Materialien kennt. Ausgenommen hiervon ist nur die Temperaturstabilität, die durch das Substrat Kunststoff eingeengt ist, sowie der Kochtest.

Ein erfindungsgemäss hergestelltes Schichtsystem ist in Figur 1 näher erläutert, in der das aus Glas bestehende Substrat mit «S» bezeichnet ist. Die Schichten sind in der Reihenfolge ihres Aufbringens beziffert, wobei die Schicht Nr. «n» die oberste oder Deckschicht ist, die aus Al_2O_3 besteht. Die Schichten 1, 3, . . ., n-2 und n bestehen dabei aus Al_2O_3, während die Schichten 2, 4, . . ., n-1 aus ZnS bestehen.

1. Beispiel «Gelbfilter auf Glas»:

Eine Aufdampfanlage des Typs 1100 Q (Hersteller: Firma Leybold-Heraeus GmbH in Hanau, Bundesrepublik Deutschland) wurde mit scheibenförmigen Substraten aus Glas bestückt und innerhalb von 6 Minuten auf einen Druck von 10 Pa abgepumpt. Anschliessend wurden die Substrate in bekannter Weise durch eine Glimmentladung gereinigt. Danach wurde die Anlage auf einen Druck von 5×10^{-3} Pa in weiteren 14 Minuten evakuiert, worauf als Streugas Sauerstoff bis zu einem Druck von 2×10^{-2} Pa eingelassen wurde. Daraufhin wurde Al_2O_3 mit einer Elektronenstrahlkanone für die Dauer von 2 Minuten entgast, bis der Druck stabil blieb. Im Anschluss daran wurde das Al_2O_3 als erste Schicht bzw. Haftvermittler mit einer Aufdampfrate von 13 Å/sec (10Å = 1 nm) aufgedampft. Die Regelung der Rate und die Steuerung der Blenden (für die Abdeckung der Verdampfer) geschah dabei mittels der Schwingquarzmethode. Im Anschluss an die Al_2O_3-Schicht wurde die erste ZnS-Schicht mit einer Aufdampfrate von 10 Å/sec (1 nm/sec) aufgedampft, während das Al_2O_3 durch geringe Energiezufuhr auf erhöhtem Temperaturniveau gehalten wurde. Nach dem Schliessen der Blende für den ZnS-Verdampfer (thermischer Verdampfer) wurde dieser ebenfalls durch geringe Energiezufuhr auf einem erhöhten Temperaturniveau gehalten, und die Elektronenstrahlkanone wurde erneut auf die Verdampfungsleistung hochgefahren. Durch abwechselnde Wiederholung dieser Beschichtungsverfahren wurden insgesamt 17 Einzelschichten der nachstehenden Beschaffenheit und Schichtdicke niedergeschlagen.

1. Schicht	Al_2O_3	1 × λ/4 für 450 nm (Bezugswellenlänge)
2. Schicht	ZnS	0,45 × λ/4 für 450 nm
3. Schicht	Al_2O_3	0,9 × λ/4 für 450 nm
4. Schicht	ZnS	0,95 × λ/4 für 450 nm
5. Schicht	Al_2O_3	1 × λ/4 für 450 nm
6. Schicht	ZnS	1 × λ/4 für 450 nm
7. Schicht	Al_2O_3	1 × λ/4 für 450 nm
8. Schicht	ZnS	1 × λ/4 für 450 nm
9. Schicht	Al_2O_3	1 × λ/4 für 450 nm
10. Schicht	ZnS	1 × λ/4 für 450 nm
11. Schicht	Al_2O_3	1 × λ/4 für 450 nm
12. Schicht	ZnS	1 × λ/4 für 450 nm
13. Schicht	Al_2O_3	1 × λ/4 für 450 nm
14. Schicht	ZnS	1 × λ/4 für 450 nm
15. Schicht	Al_2O_3	1 × λ/4 für 450 nm
16. Schicht	ZnS	1 × λ/4 für 450 nm

17. Schicht Al_2O_3 2,1 × λ/4 für 450 nm.

Die Substrattemperatur stellt sich dabei im Mittel auf ca. 50°C ein.

Während des gesamten Prozesses wurde der Druck konstant gehalten. Nach dem Aufdampfen der letzten (17.) Schicht wurden die Verdampfer ausgeschaltet und nach deren Abkühlen nach einer Minute wurde die Auflage geflutet.

Es ergaben sich auf allen Substraten Interferenzschichten, die den weiter oben beschriebenen Tests hinsichtlich Abriebfestigkeit, Haftfestigkeit und Kochfestigkeit entsprachen. Zusätzlich ergab sich eine Absorption unterhalb 1%, eine Langzeitstabilität der Kantenlage (Steilabfall der Messkurve bei der Transmissionsmessung) von 10 nm vom Öffnen der Anlage bis zum Stillstand.

2. Beispiel «Gelbfilter auf CR 39»:

Das Beispiel 1 wurde wiederholt, jedoch mit dem einzigen Unterschied, dass anstelle der Glassubstrate solche aus dem Kunststoff CR 39 verwendet wurden. Die Kunststoffsubstrate heizten sich während der Dauer der Beschichtung von Raumtemperatur auf ca. 50°C auf. Das Endprodukt entsprach einwandfrei den gestellten optischen und mechanischen Anforderungen; lediglich der Kochtest wurde unterlassen. Insbesondere ergab sich eine ausgezeichnete Abrieb- und Haftfestigkeit nach MIL C 675 C.

3. Beispiel «Kaltlichtspiegel auf Halbkugelfläche»:

Die Aufdampfanlage nach Beispiel 1 wurde mit Substraten für Kaltlichtspiegel aus Glas bestückt. Dabei handelte es sich um Halbkugeln mit einem Durchmesser von 32 bzw. 54 mm und einer zentralen Öffnung, wie sie beispielsweise für Projektorlampen verwendet werden.

Die Verfahrensparameter für das Evakuieren, die Reinigung durch Glimmentladung und für den Arbeitsdruck einschliesslich des Einlassens von Sauerstoff als Streugas stimmten ebenso wie die Aufdampfraten für die einzelnen Schichten mit denen in Beispiel 1 überein. Bei dem «erhöhten Temperaturniveau» handelte es sich um ein solches Temperaturniveau, von dem aus eine spontane Verdampfung eingeleitet werden konnte, ohne dass die betreffenden Substanzen jedoch einen für eine merkliche Verdampfung ausreichenden Dampfdruck entwickeln konnten. Durch abwechselnde Wiederholung der einzelnen Beschichtungsvorgänge wurden insgesamt 35 Einzelschichten der in der nachfolgenden Tabelle angegebenen Beschaffenheit und Schichtdicken niedergeschlagen.

Die Substrattemperatur stellte sich dabei im Mittel auf ca. 50°C ein. Während des gesamten Prozesses wurde der Druck konstant gehalten. Nach dem Aufdampfen der letzten (35.) Schicht wurden die Verdampfer ausgeschaltet und nach deren Abkühlen nach einer Minute wurde die Anlage geflutet.

Es ergaben sich auf allen Substraten Interferenzschichten, die den weiter oben beschriebenen Tests hinsichtlich Abriebfestigkeit, Haftfestigkeit und Kochfestigkeit entsprachen. Dies galt auch und insbesondere für die Kaltlichtspiegel mit einem Durchmesser von 32 mm, die aufgrund des geringen Krümmungsradius im Hinblick auf die Kochfestigkeit ganz besonders kritisch sind. Zusätzlich ergaben sich eine Absorption unterhalb 1%, eine Langzeitstabilität der Kantenlage von 10 nm vom Öffnen der Anlage bis zum Stillstand.

1. Schicht Al_2O_3 2,27 × λ/4 für 400 nm
2. Schicht ZnS 1,80 × λ/4 für 400 nm
3. Schicht Al_2O_3 1,67 × λ/4 für 400 nm
4. Schicht ZnS 1,21 × λ/4 für 400 nm
5. Schicht Al_2O_3 1,85 × λ/4 für 400 nm
6. Schicht ZnS 1,63 × λ/4 für 400 nm
7. Schicht Al_2O_3 1,81 × λ/4 für 400 nm
8. Schicht ZnS 1,62 × λ/4 für 400 nm
9. Schicht Al_2O_3 1,60 × λ/4 für 400 nm
10. Schicht ZnS 1,78 × λ/4 für 400 nm
11. Schicht Al_2O_3 1,65 × λ/4 für 400 nm
12. Schicht ZnS 1,59 × λ/4 für 400 nm
13. Schicht Al_2O_3 1,44 × λ/4 für 400 nm
14. Schicht ZnS 1,63 × λ/4 für 400 nm
15. Schicht Al_2O_3 1,52 × λ/4 für 400 nm
16. Schicht ZnS 1,43 × λ/4 für 400 nm
17. Schicht Al_2O_3 1,40 × λ/4 für 400 nm
18. Schicht ZnS 1,34 × λ/4 für 400 nm
19. Schicht Al_2O_3 1,40 × λ/4 für 400 nm
20. Schicht ZnS 1,32 × λ/4 für 400 nm
21. Schicht Al_2O_3 1,40 × λ/4 für 400 nm
22. Schicht ZnS 1,46 × λ/4 für 400 nm
23. Schicht Al_2O_3 1,28 × λ/4 für 400 nm
24. Schicht ZnS 1,12 × λ/4 für 400 nm
25. Schicht Al_2O_3 1,13 × λ/4 für 400 nm
26. Schicht ZnS 1,14 × λ/4 für 400 nm
27. Schicht Al_2O_3 1,14 × λ/4 für 400 nm
28. Schicht ZnS 1,08 × λ/4 für 400 nm
29. Schicht Al_2O_3 1,06 × λ/4 für 400 nm
30. Schicht ZnS 0,91 × λ/4 für 400 nm
31. Schicht Al_2O_3 1,08 × λ/4 für 400 nm
32. Schicht ZnS 1,26 × λ/4 für 400 nm
33. Schicht Al_2O_3 1,05 × λ/4 für 400 nm
34. Schicht ZnS 0,55 × λ/4 für 400 nm
35. Schicht Al_2O_3 1,06 × λ/4 für 400 nm

4. Beispiel «Antireflexschichten»:

Die Aufdampfanlage nach Beispiel 1 wurde mit unterschiedlichen plattenförmigen Substraten mit den Abmessungen 50 mm × 2 mm aus folgenden Werkstoffen beschickt:

Glas (BK7)
Polykarbonat («Makrolon» von BAYER)
CR 39.

Die Verfahrensparameter entsprachen dabei denen des Beispiels 1, jedoch mit der Ausnahme, dass kein Sauerstoff eingeleitet wurde und dass die Blendensteuerung durch Fotometer-Messung erfolgte.

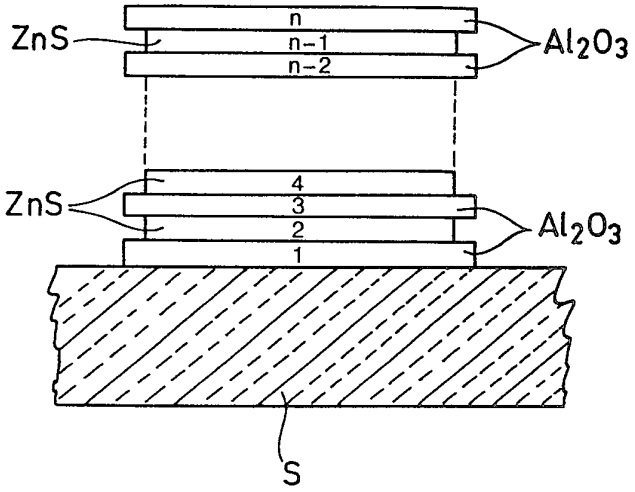
Es wurden insgesamt sieben Schichten gemäss der nachfolgenden Tabelle aufgedampft, wobei es als überraschend anzusehen war, dass, obwohl beide Komponenten Brechungsindices aufwiesen, die über dem des Substrats lagen, einwandfreie Entspiegelungsschichten erzeugt werden konnten, die auch noch vorzügliche mechanische und chemische Beständigkeit aufwiesen.

1. Schicht Al_2O_3 1 × λ/4 für 913 nm
2. Schicht ZnS 1 × λ/4 für 127 nm
3. Schicht Al_2O_3 1 × λ/4 für 556 nm
4. Schicht ZnS 1 × λ/4 für 264 nm
5. Schicht Al_2O_3 1 × λ/4 für 242 nm
6. Schicht ZnS 1 × λ/4 für 619 nm
7. Schicht Al_2O_3 1 × λ/4 für 616 nm

Die Reflexionseigenschaften sind in Figur 2 grafisch dargestellt, wobei auf der Ordinate die Reflexionswerte in

Prozent aufgetragen sind. Es handelt sich um eine gute Breitbandentspiegelung zwischen etwa 460 und 640 nm, die für Kunststoffsubstrate sogar als sehr gut zu bezeichnen ist.

FIG. 1


n
n-1
n-2
ZnS
Al_2O_3
4
3
2
1
ZnS
Al_2O_3
S

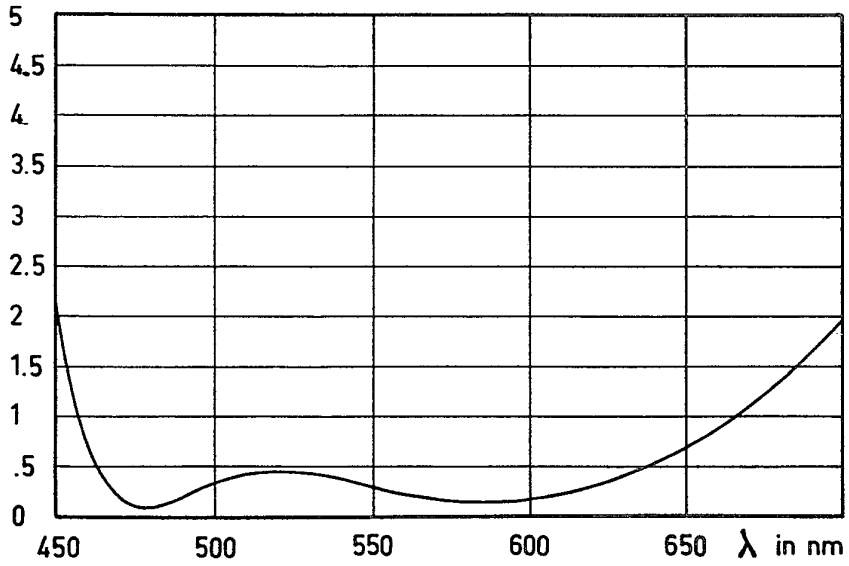

5
4.5
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
.5
0
450
500
550
600
650
λ in nm

FIG. 2