

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
17. Januar 2002 (17.01.2002)

PCT

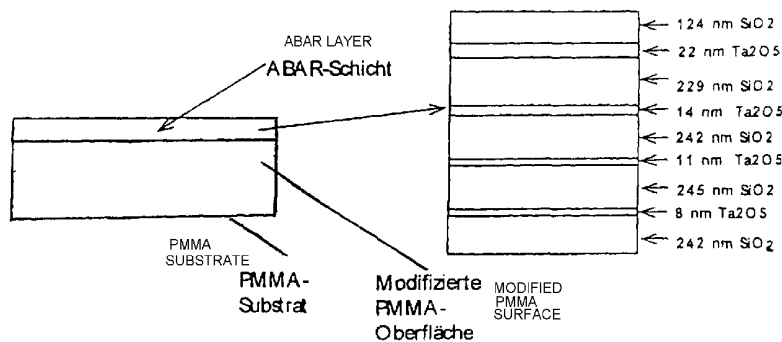
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 02/04374 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: C03C 17/00 (72) Erfinder; und  
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SCHULZ, Ulrike [DE/DE]; Vor dem Obertore 14, 07751 Kunitz (DE). KAISER, Norbert [DE/DE]; Am Katzenstein 1, 07745 Jena (DE). SCHALLENBERG, Uwe [DE/DE]; August-Bebel-Str. 30, 07743 Jena (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE01/02501
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
28. Juni 2001 (28.06.2001)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch (74) Anwalt: PFENNING, MEINIG & PARTNER GBR; Gostritzer Str. 61-63, 01217 Dresden (DE).
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch (81) Bestimmungsstaat (national): US.
- (30) Angaben zur Priorität:  
100 34 158.6 10. Juli 2000 (10.07.2000) DE (84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Leonrodstraße 54, 80636 München (DE).  
Veröffentlicht:  
— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: REFLECTION-REDUCING COATING

(54) Bezeichnung: REFLEXIONSMINDERNDE BESCHICHTUNG



Schematischer Aufbau eines abriebbeständiges Antireflex-Schichtsystem auf PMMA (Gesamtschichtdicke ca. 1.1µm).

SCHEMATIC STRUCTURE OF A WEAR-RESISTANT ANTI-REFLECTION LAYER SYSTEM ON PMMA (TOTAL LAYER THICKNESS APPROX. 1.1µm).

ABAR-Schichten= Abriebbeständige Antireflexbeschichtungen

ABAR LAYER = WEAR-RESISTANT ANTI-REFLECTION COATINGS

(57) Abstract: The invention relates to a reflection-reducing coating applied to a substrate. Said coating is comprised of an alternating layer system and of different layer materials each having a lower and higher refractive index. The invention can be advantageously used, in particular, on surfaces of substrates such as optical elements and, in particular, spectacle lenses. The aim of the invention is to be able to coat the most varied types of substrates and to prevent any impermissible heating of the respective substrate while applying a reflection-reducing coating. To this end, the invention provides the application of a coating in which the sum of the layer thicknesses of layers each having a higher refractive index is  $\leq 5\%$  of the total layer thickness of the coating, and the layers made of the material having a higher refractive index are uniformly distributed within the series of layers of the alternating layer system.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 02/04374 A2



---

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

---

**(57) Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft eine reflexionsvermindernde Beschichtung auf einem Substrat, die aus einem alternierenden Wechselschichtsystem, unterschiedlicher Schichtmaterialien mit jeweils niedrigerem und höherem Brechungsindex gebildet ist. Die Erfindung kann insbesondere auf Oberflächen von Substraten, wie optische Elemente und insbesondere Brillengläser vorteilhaft eingesetzt werden. Aufgabengemäss sollen unterschiedlichste Substrate beschichtet werden und beim Auftragen einer reflexionsvermindernden Beschichtung keine unzulässige Erwärmung des jeweiligen Substrates auftreten. Hierzu wird eine Beschichtung aufgebracht, bei der die Summe der Schichtdicken von Schichten mit jeweils höherem Brechungsindex  $\leq 5\%$  der Gesamtschichtdicke der Beschichtung ist und die Schichten aus dem Material mit höherem Brechungsindex innerhalb der Schichtfolge des Wechselschichtsystems gleichmässig verteilt sind.

### **Reflexionsmindernde Beschichtung**

Die Erfindung betrifft eine reflexionsmindernde Beschichtung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Mit  
5 der erfindungsgemäßen Lösung kann die Reflexion von  
auf die Oberfläche von Substraten auftreffendem Licht  
effektiv und in hohem Maße verringert werden, was für  
viele Anwendungsfälle, insbesondere für viele opti-  
sche Elemente (Linsen, Fenster, Prismen u.a.) oder  
10 optoelektronische Elemente und auch für Brillengläser  
wünschenswert ist. Die Beschichtung kann besonders  
vorteilhaft zur Reflexionsverminderung im sichtbaren  
Spektralbereich eingesetzt werden.

15 Für viele Applikationen und hier sollen Brillengläser  
explizit genannt werden, ist es ebenfalls erforder-  
lich, eine entsprechende "Antireflexbeschichtung" mit  
hoher Abriebbeständigkeit zur Verfügung zu stellen.

In der Vergangenheit hat sich auch Kunststoff, insbesondere wegen der Herstellungskosten und der im Vergleich zu Gläsern geringeren Dichte als Material für optische Elemente und Brillengläser durchgesetzt.

5

Kunststoff weist zwar äquivalente optische Eigenschaften gegenüber den bis dato verwendeten Gläsern auf, verfügt aber über eine wesentlich geringere Kratzfestigkeit, so dass bei mechanischen, abrasiv wirkenden Einflüssen die Oberflächen beschädigt und das optische Verhalten entsprechend verschlechtert wird.

10

Für optische Bauteile und insbesondere Brillengläser sind abriebbeständige und reflexionsvermindernde Oberflächen, die nur durch entsprechende Beschichtungen erhalten werden können, erforderlich.

15

Solche Beschichtungen müssen beispielsweise auch bei erforderlichen Reinigungsprozessen eine ausreichende Wischfestigkeit gemäß der Internationalen Norm ISO 9211-02 erfüllen, die mit Baumwolltüchern oder Radiergummi durchgeführt werden.

20

Insbesondere bei Brillengläsern werden Hartschichten mit einer Dicke von mehreren Mikrometern und darauf eine zusätzliche reflexionsmindernde Beschichtung aufgebracht.

25

Solche Hartschichten können durch Auftrag von Lack und dem nachfolgenden Aufdampfen einer reflexionsmindernden Beschichtung, wie von W. Köppen und E. Kamp-

30

meyer in DOZ 2(1995); Seiten 22 bis 26 beschrieben, hergestellt werden.

5 Die Erzeugung von Hartschichten durch Plasmapolymere-  
sation geht auf J. Bötschi, F. Thieboud zurück und  
ist in DOZ 10 (1992); Seiten 26 bis 27 und für das  
Aufdampfen solcher Hartschichten von D. Giessner in  
NOJ 5 (1995); Seiten 62 bis 64 erwähnt, wobei es sich  
10 bei der letztgenannten Veröffentlichung um organisch  
modifizierte Quarzschichten handelt. Im Nachgang zum  
Aufbringen solcher Hartschichten ist es wiederum er-  
forderlich, durch bekannte CVD- bzw. PVD-Verfahren  
die reflexionsmindernde Deckschicht aufzubringen.

15 Insbesondere an thermoplastische Polymere, wie Poly-  
methacrylat, Polycarbonat und andere solche  
Kunststoffe, werden die gleichen Anforderungen, wie  
an andere Substratmaterialien gestellt, wobei bisher  
entsprechend geeignete Beschichtungen nasschemisch  
20 oder durch Aufdampfen bzw. eine Kombination dieser  
Beschichtungsverfahren erhalten werden. So ist ein  
nasschemischer Auftrag mit bekannten Lackiertechniken  
ein zusätzlicher Herstellungsschritt, der vom Verfah-  
rensschritt der Ausbildung der reflexionsmindernden  
25 Schicht entkoppelt ist, aufwendig und teuer. Für Prä-  
zisionsoptiken mit sehr unregelmäßig geformten bzw.  
stark gekrümmten Oberflächen und bei kleinteiligen  
optischen Elementen sind solche Verfahren ungeeignet.  
Bei einer reflexionsmindernden Beschichtung, die auf  
30 eine relativ Dicke abriebfestere Hartschicht aufge-  
bracht worden ist, tritt eine zusätzliche Welligkeit  
der spektralen Reflexion des Gesamtschichtsystems,

infolge Interferenzwirkung bei unterschiedlichem Brechungsindize von Substratmaterial und Hartschicht auf.

5 Für breitbandige reflexionsvermindernde Beschichtungen, die beispielsweise den Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichtes abdecken, sind zwei bis sechs Einzelschichten erforderlich. Bei den bekannten Wechselschichtsystemen kann es zu einer Erwärmung des Substrates kommen. Es können Temperaturen erreicht werden, die oberhalb von kritischen Erweichungstemperaturen (z.B. 80 bis 110 °C bei Acrylaten) des Substratmaterials liegen. Die Erwärmung erfolgt dabei im Wesentlichen durch die Verdampfung des hochbrechenden Schichtmaterials.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, eine reflexionsmindernde Beschichtung auf einem Substrat zur Verfügung zu stellen, die auf beliebigen Substraten aufgebracht werden kann, ohne dass beim Auftragen eine unzulässige Erwärmung auftritt.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe mit einer Beschichtung gemäß Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungsformen und Weiterbildungen der Erfindung können mit den in den untergeordneten Ansprüchen genannten Merkmalen erreicht werden.

Die erfindungsgemäße reflexionsmindernde Beschichtung wird aus einem alternierenden Wechselschichtsystem, unterschiedlicher Schichtmaterialien mit jeweils niedrigerem und höherem Brechungsindex, gebildet.

Dabei wird das Schichtsystem so ausgelegt, dass die Summe der Schichtdicken von Schichten mit höherem Brechungsindex  $\leq 5\%$ , der Gesamtschichtdicke der Beschichtung beträgt. Diese Schichten sind innerhalb  
5 der Schichtfolge des Wechselschichtsystems weitestgehend gleichmäßig verteilt angeordnet. Die gleichmäßige Verteilung und Auswahl der Dicken der sehr dünnen höherbrechenden Schichten erfolgt unter Berücksichtigung eines vorgegebenen Wellenlängenbereiches des  
10 Lichtes sowie der optischen Eigenschaften der Schicht- und Substratmaterialien.

Das Substrat ist bevorzugt im Wellenlängenbereich, in dem die Reflexion verhindert werden soll, optisch  
15 transparent. Durch die Beschichtung wird die Transparenz erhöht.

Als Substratmaterial können neben den üblicherweise verwendeten optischen Gläsern auch die unterschiedlichsten Kunststoffe, wie z.B. Polycarbonat und Polymethylmethacrylat, aber auch temperaturempfindliche  
20 Kristallmaterialien eingesetzt werden, wobei die Beschichtung mit Verfahren für die Substratvorbehandlung und Schichtausbildung, wie sie in DE 197 03 538  
25 A1 und DE 197 52 889 C1 beschrieben sind, aufgebracht werden kann. Mit der Erfindung ist es möglich, die unerwünschte Erwärmung des Substratmaterials auszuschließen.

30 Als Schichtmaterialien für die Einzelschichten des Wechselschichtsystems mit höherem Brechungsindex können Oxide oder Fluoride bevorzugt von Elementen der

IV. und V. Nebengruppen eingesetzt werden. Beispiele sind  $Ta_2O_5$ ,  $ZrO_2$ ,  $HfO_2$ ,  $TiO_2$  oder auch Indium-Zinn-Oxid (ITO).

5 Für die Schichten aus Materialien mit entsprechend niedrigerem Brechungsindex können vorteilhaft  $SiO_2$  und  $MgF_2$  eingesetzt werden, wobei insbesondere  $SiO_2$  günstige Eigenschaften als Hartschicht aufweist. Generell besteht die die Grenzschicht zu Luft bildende  
10 Schicht aus niedrigbrechendem Material.

Das die Reflexion vermindernde Wechselschichtsystem kann aus Schichten lediglich zweier Materialien mit den entsprechenden Brechungsindex gebildet sein. Es  
15 besteht aber auch die Möglichkeit, ein solches Wechselschichtsystem aus mehreren solcher Materialien auszubilden.

Ein solches Wechselschichtsystem kann auf einen vorgebbaren Wellenlängenbereich des Lichtes abgestimmt  
20 werden, wobei Möglichkeiten bestehen, eine Abstimmung für den Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichtes, des Lichtes im nahen Infrarotbereich und auch im UV-Bereich vorzunehmen.

25 Für das Wechselschichtsystem müssen mindestens fünf, bevorzugt mindestens neun Einzelschichten eingesetzt werden, wobei jedoch die Anzahl der Schichten auch wesentlich größer gewählt werden kann.

30 Die gesamte Beschichtung kann im sichtbaren Spektral-

bereich eine Gesamtdicke zwischen 500 und 2500 nm, bevorzugt zwischen 750 bis 2000 nm aufweisen.

5 Bei Bedarf kann die erfindungsgemäße Beschichtung auf eine auf der Substratoberfläche bereits vorhandener Schicht oder Beschichtung aufgebracht werden.

10 Wird beispielsweise SiO<sub>2</sub> als Hartschichtkomponente in einem Wechselschichtsystem für eine erfindungsgemäß auf einem optisch transparenten Substrat ausgebildete Beschichtung eingesetzt, bildet das Schichtsystem eine Einheit, die gleichzeitig eine hohe Abriebfestigkeit und eine hohe reflexionsmindernde Wirkung aufweist.

15

Beispiel 1

Eine Beschichtung für den sichtbaren Spektralbereich im Wellenlängenbereich zwischen  $\lambda_1 = 420$  nm und  
20  $\lambda_2 = 670$  nm kann z.B. folgendes Schichtdesign aufweisen, das mit konstanten Brechzahlen von 1,5 für das Substrat 1,46 für die SiO<sub>2</sub>-Schichten, 2,1 für die Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Schichten und 1,0 für Luft berechnet wurde. Das Reflexionsverhalten im Wellenlängenbereich ist in Fi-  
25 gur 1 grafisch dargestellt.

Substrat PMMA

1. Schicht 210 nm SiO<sub>2</sub>
2. Schicht 4 nm Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
- 30 3. Schicht 251 nm SiO<sub>2</sub>

4. Schicht 6 nm Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
  5. Schicht 248 nm SiO<sub>2</sub>
  6. Schicht 9 nm Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
  7. Schicht 237 nm SiO<sub>2</sub>
  - 5 8. Schicht 16 nm Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
  9. Schicht 119 nm SiO<sub>2</sub>
- Luft

Die Gesamtdicke der Schichtfolge beträgt 1100 nm, da-  
10 von entfallen 1065 nm auf die in der Summe als Hart-  
schicht wirkenden SiO<sub>2</sub>-Schichten und lediglich 35 nm  
auf die für die zusätzliche Antireflexwirkung notwen-  
digen Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Schichten.

15 Durch Einbau weiterer Schichtpaare aus SiO<sub>2</sub> und Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>  
ähnlicher Dicke nach der fünften Schicht kann die Ge-  
samtschichtdicke und damit die mechanische Stabilität  
des Schichtsystems erhöht werden. Durch Entfernen der  
Schichten 4 und 5 bzw. 4 bis 7 kann das Schichtdesign  
20 reduziert werden, ohne dass die Antireflexwirkung  
verloren geht.

Das entsprechende Reflexionsverhalten dieser Schicht-  
systeme ist in dem in Figur 2 gezeigten Diagramm ver-  
25 deutlicht.

Beschichtungen aus SiO<sub>2</sub>- und Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Schichten auf  
Kunststoffen sind im sichtbaren Spektralbereich z.B.  
mit folgenden Schichtenzahlen und Gesamtschichtdicken  
30 möglich:

	7 Schichten: ca.	850 nm
	9 Schichten: ca.	1100 nm
	11 Schichten: ca.	1300 nm
5	13 Schichten: ca.	1600 nm
	15 Schichten: ca.	1850 nm
	17 Schichten: ca.	2100 nm

## Beispiel 2

10

Neben Beschichtungen für den VIS-Bereich sind auch analoge Schichtfolgen für den NIR- und den UV-Bereich möglich, welche sowohl abriebfest sind, wie auch reflexionsmindernd wirken und auf die genannten empfindlichen Substratmaterialien aufgebracht werden können. Für den NIR-Wellenlängenbereich zwischen  $\lambda_1 = 700$  nm und  $\lambda_2 = 1100$  nm ist folgende Schichtfolge mit neun Einzelschichten möglich. Sie wurde mit konstanten Brechzahlen von 1,5 für das Substrat, 1,46 für die SiO<sub>2</sub>-Schichten, 2,1 für die Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Schichten und 1,0 für Luft berechnet.

15

20

Substrat Kunststoff

1. Schicht 349 nm SiO<sub>2</sub>
- 25 2. Schicht 6,5 nm Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
3. Schicht 417 nm SiO<sub>2</sub>
4. Schicht 10 nm Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
5. Schicht 412 nm SiO<sub>2</sub>
6. Schicht 15 nm Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
- 30 7. Schicht 393,5 nm SiO<sub>2</sub>

8. Schicht 26,5 nm Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
  9. Schicht 197,5 nm SiO<sub>2</sub>
- Luft

5 Die Gesamtdicke der Schichtfolge beträgt 1827 nm, davon entfallen 1769 nm auf die in der Summe als Hart-schicht wirkenden SiO<sub>2</sub>-Schichten und lediglich 58 nm auf die für die Antireflexwirkung notwendigen Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Schichten.

10

Das Reflexionsverhalten für diesen Wellenlängenbereich ist im Diagramm Figur 3 verdeutlicht worden.

### Beispiel 3

15

Für den UV-Wellenlängenbereich zwischen  $\lambda_1 = 290$  nm und  $\lambda_2 = 470$  nm ist folgende Schichtfolge mit neun Einzelschichten möglich. Sie wurde mit konstanten Brechzahlen von 1,5 für das Substrat, 1,46 für die SiO<sub>2</sub>-Schichten, 2,1 für die Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Schichten und 1,0 für Luft berechnet.

20

#### Substrat Kunststoff

25

1. Schicht 147 nm SiO<sub>2</sub>
2. Schicht 3 nm Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
3. Schicht 176 nm SiO<sub>2</sub>
4. Schicht 4,5 nm Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
5. Schicht 174 nm SiO<sub>2</sub>
6. Schicht 6,5 nm Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

7. Schicht 166 nm SiO<sub>2</sub>
  8. Schicht 11 nm Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
  9. Schicht 83,5 nm SiO<sub>2</sub>
- Luft

5

Figur 4 zeigt das entsprechende Reflexionsverhalten diagrammartig.

10

Die Gesamtdicke der Schichtfolge beträgt 771 nm, davon entfallen 746,5 nm auf die in der Summe als Hart-schicht wirkenden SiO<sub>2</sub>-Schichten und lediglich 25 nm auf die für die Antireflexwirkung notwendigen Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Schichten.

15

Die Güte der Antireflexwirkung ist abhängig von der Brechzahl des niedrigbrechenden Schichtmaterials. Neben dem bisher angeführten SiO<sub>2</sub> mit einer Brechzahl von 1,46 ist als niedrigbrechendes Material z.B. auch MgF<sub>2</sub> mit einer Brechzahl von 1,38 möglich. Auch die hochbrechenden Schichten können aus einem anderen Material, z.B. aus ZrO<sub>2</sub> mit einer Brechzahl von 2,0 bestehen. Bei Verwendung eines Materials mit einer geringeren Brechzahl als SiO<sub>2</sub> kann für die mittlere Restreflexion im Wellenlängenbereich zwischen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$ , z.B. mit MgF<sub>2</sub> ein Wert kleiner als 0,5% erreicht werden.

20

25

#### Beispiel 4

30

Eine Beschichtung für den sichtbaren Spektralbereich

in dem Wellenlängenbereich zwischen  $\lambda_1 = 420$  nm und  $\lambda_2 = 670$  nm unter Verwendung der Materialien  $\text{MgF}_2$  und  $\text{ZrO}_2$  ist z.B. folgendes Schichtdesign möglich. Es wurde mit konstanten Brechzahlen für 1,5 für das Substrat, 1,38 für die  $\text{MgF}_2$ -Schichten, 2,0 für die  $\text{ZrO}_2$ -Schichten und 1,0 Luft berechnet. Das Reflexionsverhalten ist in Figur 5 dargestellt.

Substrat Kunststoff

- 10           1. Schicht 222 nm  $\text{MgF}_2$
2. Schicht 7 nm  $\text{ZrO}_2$
3. Schicht 256 nm  $\text{MgF}_2$
4. Schicht 10 nm  $\text{ZrO}_2$
5. Schicht 255 nm  $\text{MgF}_2$
- 15           6. Schicht 13 nm  $\text{ZrO}_2$
7. Schicht 245 nm  $\text{MgF}_2$
8. Schicht 20,5 nm  $\text{ZrO}_2$
9. Schicht 121 nm  $\text{MgF}_2$
- Luft

20

Die Gesamtdicke der Schichtfolie beträgt 1149,5 nm, davon entfallen 1099 nm auf die  $\text{MgF}_2$ -Schichten und 50,5 nm auf die für die Antireflexwirkung notwendigen  $\text{ZrO}_2$ -Schichten.

25

Diese Schichtfolge und das dabei eingesetzte niedrigbrechende Material  $\text{MgF}_2$  zeigen jedoch nur die prinzipielle Antireflexwirkung, da eine Hartschicht aus  $\text{MgF}_2$  i.a. nicht möglich ist. Das hochbrechende Mate-

rial kann jedoch in einer Beschichtung durchaus variieren und außenseitig eine abriebfestere Deckschicht mit entsprechendem Brechnungsindex aufgebracht werden. In der Kombination mit  $\text{SiO}_2$  als Hartschicht sind  
5 dabei außer den schon genannten  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  z.B. für den UV-Bereich  $\text{ZrO}_2$  sowie  $\text{HfO}_2$  und im VIS- und NIR-Bereich  $\text{TiO}_2$  oder ITO (Indium-Zinn-Oxid) möglich. Wesentlich für die Verwendung des hochbrechenden Materials ist dabei dessen geringe Gesamtdicke unter  $1/20$   
10 der Gesamtdicke der Schichtfolge, wodurch gesichert ist, dass bei der Herstellung der Beschichtung eine minimale Wärmebelastung des Kunststoffsubstrates auftritt. Bei Verwendung von Indium-Zinn-Oxid (ITO) kann die Beschichtung zusätzlich antistatisch wirken.

15

#### Beispiel 5

Ein Anwendungsbeispiel ist die Entspiegelung von Brillengläsern sowie von optischen Fenstern aus  
20 transparenten Kunststoffen (Polycarbonat oder PMMA), z.B. für Anzeigen von Messgeräten und in Fahrzeugen, welche nach der Beschichtung eine Abriebbeständigkeit nach ISO 9211-02-04 (Radiergummitest, 40 Hübe mit einer Kraft von 10 N) aufweisen sollen.

25

Die zu beschichtenden Substrate werden in einer Beschichtungsanlage mit Plasma-Ionenquelle vor der eigentlichen Schichtabscheidung 30 Sekunden lang mit Argonionen einer Energie von ca. 100 eV und einer  
30 Stromdichte von ca.  $0.1 \text{ mA/cm}^2$  beschossen.

Wenn es sich um Substrate aus PMMA handelt, wird diese Vorbehandlung durch eine Oberflächenmodifizierung von Polymethylmethacrylat, wie sie ausführlich in DE 197 03 538 A1, auf deren Offenbarungsgehalt vollumfänglich Bezug genommen wird, beschrieben ist, ersetzt.

Dabei wird zur Erhöhung der Haftfähigkeit und Stabilität der Beschichtung eine Plasmabehandlung im Vakuum vor dem Aufbringen der Beschichtung durchgeführt. Bei der Plasmabehandlung wird Sauerstoff und ein Wasser enthaltendes Gas zugeführt. Es sollte vorzugsweise ein äquivalenter Anteil von Wasser, der einer relativen Luftfeuchtigkeit von mindestens 40 % entspricht, eingehalten werden. Das Substratmaterial wird dadurch an der Oberfläche abgetragen und parallel dazu eine chemische Reaktion eingeleitet, bei der die Oberfläche des Substrates unter Ausbildung einer Polymerschicht verändert wird. Die an der Oberfläche des Substrates ausgebildete Polymerschicht unterscheidet sich in ihrer chemischen Zusammensetzung und dementsprechend auch mit ihren Eigenschaften deutlich vom unbehandelten Substratmaterial. Dieses oberflächliche Polymermaterial weist einen besonders hohen Anteil von Methyl- und Hydroxylgruppen auf. Bei PMMA als Substrat sind während dieser, die Oberfläche modifizierenden Vorbehandlung die charakteristischen C-O und C=O-Gruppierungen abgebaut worden.

Für die Herstellung der Beschichtung werden abwechselnd Schichten aus SiO<sub>2</sub> und Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> abgeschieden, wobei die wachsende Schicht mit Ar-Ionen einer Energie

von 80 eV ( $\text{SiO}_2$ ) und 120 eV ( $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ) und einer Stromdichte von ca.  $0.1 \text{ mA/cm}^2$  beschossen wird. Durch Abscheidung des in Beispiel 1 angegebenen Schichtsystems wird die Reflexion einer beschichteten Fläche im sichtbaren Spektralbereich von 420 nm bis 670 nm auf  $< 1\%$  verringert. Die Durchlässigkeit für sichtbares Licht (Transmission) wird durch eine beidseitige Beschichtung von 92% auf  $> 98\%$  erhöht. Das Beschichtungsverfahren mit der Argonionenbehandlung ist umfassend in DE 197 52 889 C1 beschrieben.

Die Beschichtung besteht den Abriebtest nach ISO 9211-02-04 ohne Defektbildung sowie einen Abriebtest mit Stahlwolle. Die Kratzfestigkeit wurde damit gegenüber der des unbeschichteten Substrates wesentlich verbessert. Die Figur 6 zeigt die gemessene Transmission bei einseitiger Beschichtung eines so hergestellten Schichtsystems.

#### Beispiel 6

Auf einem Substrat eines Cyklo-Olefin-Polymer oder eines Cyklo-Olefin-Copolymer, wie sei beispielsweise unter den Handelsbezeichnungen „Zeonex“ und „Topas“ kommerziell erhältlich sind, wurde eine reflexionsmindernde Beschichtung aus einem alternierenden Wechselschichtsystem, bestehend aus Einzelschichten, die aus  $\text{SiO}_2$  und  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  gebildet sind, aufgebracht. Diese Beschichtung besteht aus insgesamt 27 Einzelschichten und es kann so eine hohe mechanische Stabilität erreicht werden.

Bei der alternierenden Ausbildung der einzelnen Schichten im Vakuum kann vorteilhaft ein ionen-  
gestütztes Verfahren durchgeführt werden, wobei die je-  
weilige Schicht mit Argon-Ionen beschossen wird. Bei  
5 einer  $\text{SiO}_2$ -Schicht kann vorteilhaft mit einer Energie  
von 80 eV und bei einer  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ -Schicht mit einer Ener-  
gie von 120 eV und jeweils einer Stromdichte von ca.  
 $0,1 \text{ mA/cm}^2$  gearbeitet werden.

10 Eine solche Beschichtung ist, obwohl sehr dünne hoch-  
brechende Schichten aus  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  ausgebildet worden  
sind, unempfindlich gegen systematische Schichtdik-  
kenfehler und es werden keine höheren Ansprüche an  
die genaue Einhaltung von Schichtdicken gestellt.

15 Die Beschichtung widersteht dem Abriebtest nach ISO  
9211-02-04 ohne Defektbildung und auch einem Abrieb-  
test mit Stahlwolle. Die Kratzfestigkeit ist äquiva-  
lent zu einer reinen  $\text{SiO}_2$ -Schicht mit gleicher Dicke.

20 Ein Substrat mit einer solchen Beschichtung weist ei-  
ne sehr gute Klimabeständigkeit auf und es konnten  
bei Temperaturen zwischen  $-35^\circ\text{C}$  und  $+100^\circ\text{C}$  keiner-  
lei Rissbildung oder Ablösung der Beschichtung fest-  
25 gestellt werden, so dass die Klimabeständigkeit deut-  
lich höher als die von reinen  $\text{SiO}_2$ -Einzelschichten  
oder anderen bekannten reflexionsmindernden Schichten  
oder Schichtsystemen ist.

30 Für die reflexionsmindernde Beschichtung bei diesem  
Beispiel wurde folgender Aufbau gewählt:

Substrat Cyklo-Olefin-Polymer oder Cyklo-Olefin-Copolymer

1. Schicht 34 nm SiO<sub>2</sub>
  - 5 2. Schicht 3 nm Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
  3. Schicht 236 nm SiO<sub>2</sub>
  4. Schicht 2 nm Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
  5. Schicht 254 nm SiO<sub>2</sub>
  6. Schicht 2 nm Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
  - 10 7. Schicht 255 nm SiO<sub>2</sub>
  8. Schicht 3 nm Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
  9. Schicht 255 nm SiO<sub>2</sub>
  10. Schicht 3 nm Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
  11. Schicht 254 nm SiO<sub>2</sub>
  - 15 12. Schicht 4 nm Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
  13. Schicht 254 nm SiO<sub>2</sub>
  14. Schicht 4 nm Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
  15. Schicht 253 nm SiO<sub>2</sub>
  16. Schicht 4 nm Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
  - 20 17. Schicht 253 nm SiO<sub>2</sub>
  18. Schicht 4 nm Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
  19. Schicht 254 nm SiO<sub>2</sub>
  20. Schicht 3 nm Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
  21. Schicht 424 nm SiO<sub>2</sub>
  - 25 22. Schicht 5 nm Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
  23. Schicht 225 nm SiO<sub>2</sub>
  24. Schicht 30 nm Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
  25. Schicht 23 nm SiO<sub>2</sub>
  26. Schicht 56 nm Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
  - 30 27. Schicht 92 nm SiO<sub>2</sub>
- Luft

In der Figur 7 ist das Reflexionsverhalten eines beidseitig beschichteten Cyklo-Olefin-Polymer mit der Handelsbezeichnung „Zeonex“ dargestellt.

5 Mit dem Diagramm wird deutlich, dass die Reflexion im sichtbaren Spektralbereich des Lichtes, also bei Wellenlängen zwischen 420 nm bis 670 nm sehr gleichmäßig unter 0,5% gehalten werden kann. Gleichzeitig kann die Durchlässigkeit für sichtbares Licht (Transmission) von 92% auf > 98% erhöht werden, so dass sehr gute optische Eigenschaften gewährleistet sind.

10

Die Figur 8 zeigt den Aufbau eines Schichtsystems in einem Prinzipschema.

15

20

25

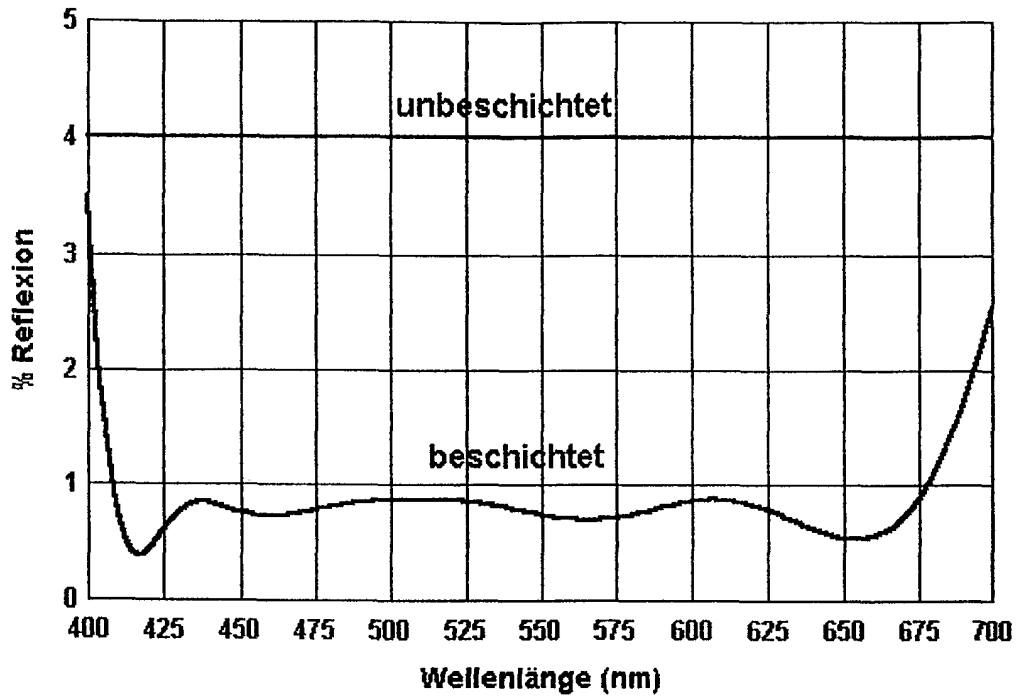
30

## Patentansprüche

1. Reflexionsmindernde Beschichtung auf einem Substrat, die aus einem alternierenden Wechselschichtsystem, unterschiedlicher Schichtmaterialien mit jeweils niedrigerem und höherem Brechungsindex gebildet ist,  
5  
dadurch gekennzeichnet, dass die Summe der Schichtdicken von Schichten mit höherem Brechungsindex  $\leq 5\%$  der Gesamtschichtdicke der Beschichtung ist und die Schichten aus dem Material mit höherem Brechungsindex innerhalb der Schichtfolge des Wechselschichtsystems gleichmäßig verteilt sind.  
10  
15
2. Reflexionsmindernde Beschichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Beschichtung auf optisch transparentem Substrat aufgebracht ist.  
20
3. Reflexionsmindernde Beschichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat aus einem Kunststoffmaterial oder einem temperaturempfindlichen Kristallmaterial besteht.  
25
4. Reflexionsmindernde Beschichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Schichtmaterial mit höherem Brechungsindex ausgewählt aus Oxiden oder Fluoriden der Elemente der IV. und V. Nebengruppen ist.  
30

5. Reflexionsmindernde Beschichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Schichtmaterial für die Schichten mit höherem Brechungsindex  $Ta_2O_5$ ,  $ZrO_2$ ,  $HfO_2$ ,  $TiO_2$  oder Indium-Zinn-Oxid ist.
- 5
6. Reflexionsmindernde Beschichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass  $SiO_2$  ein Schichtmaterial für die Schichten mit niedrigerem Brechungsindex ist.
- 10
7. Reflexionsmindernde Beschichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass  $MgF_2$  ein Schichtmaterial für die Schichten mit niedrigerem Brechungsindex ist.
- 15
8. Reflexionsmindernde Beschichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die die Grenzschicht zu Luft bildende Schicht aus einem Material mit niedrigerem Brechungsindex gebildet ist.
- 20
9. Reflexionsmindernde Beschichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass höher brechende Schichten aus unterschiedlichen Materialien im Schichtsystem angeordnet sind.
- 25
10. Reflexionsmindernde Beschichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Schichtsystem auf einen vorgebbaren Wellenlängenbereich des Lichtes abgestimmt ist.
- 30

- 5 11. Reflexionsmindernde Beschichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens fünf Einzelschichten das Schichtsystem bilden.
- 10 12. Reflexionsmindernde Beschichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Beschichtung eine Gesamtdicke zwischen 500 und 2500 nm aufweist.
- 15 13. Reflexionsmindernde Beschichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat ein optisches oder optoelektronisches Element ist.
- 20 14. Reflexionsmindernde Beschichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat ein Brillenglas ist.



Berechnetes Reflexionsspektrum für eine ABAR-Beschichtung auf einem Kunststoffsubstrat gegen Luft, bestehend aus 9 Einzelschichten und einer Gesamtdicke von 1100 nm (siehe Beispiel 1).

*Figur 1*

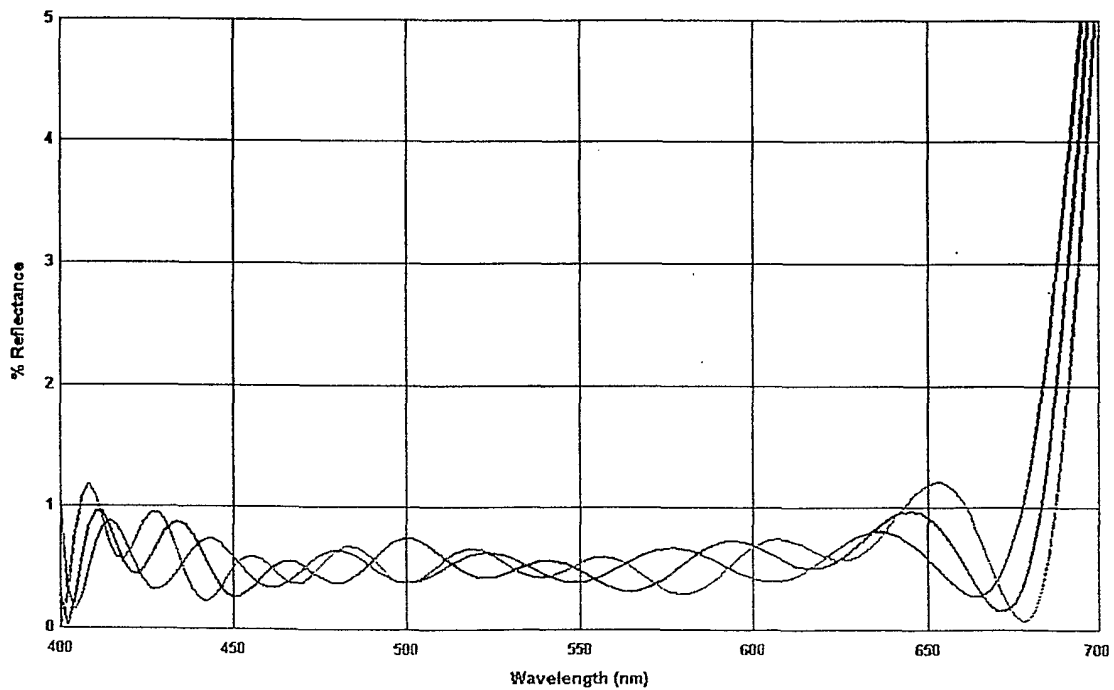
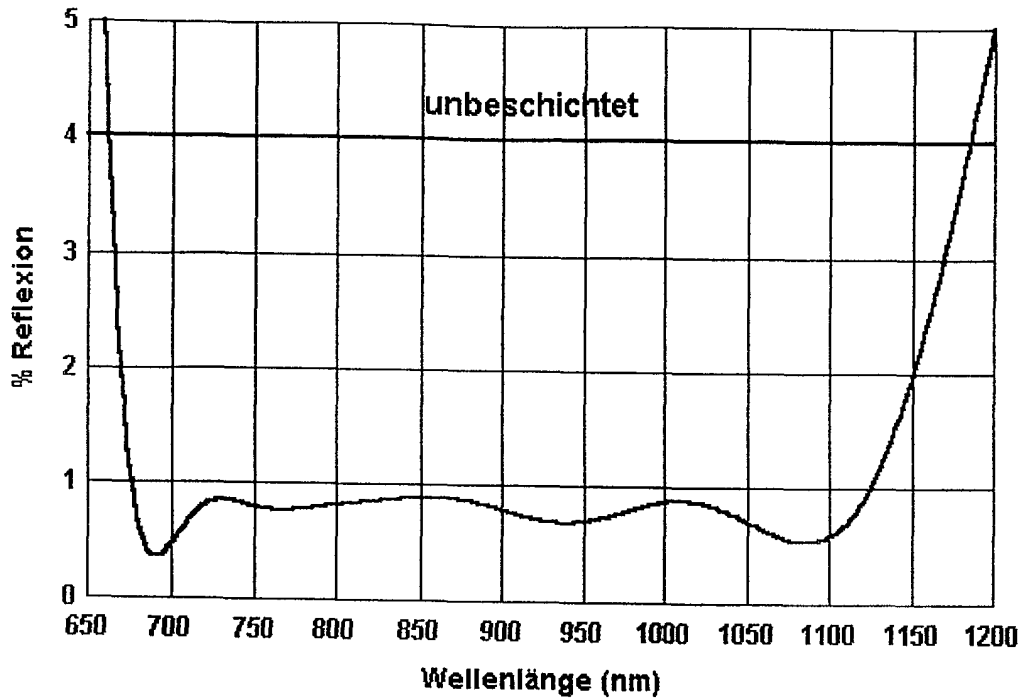


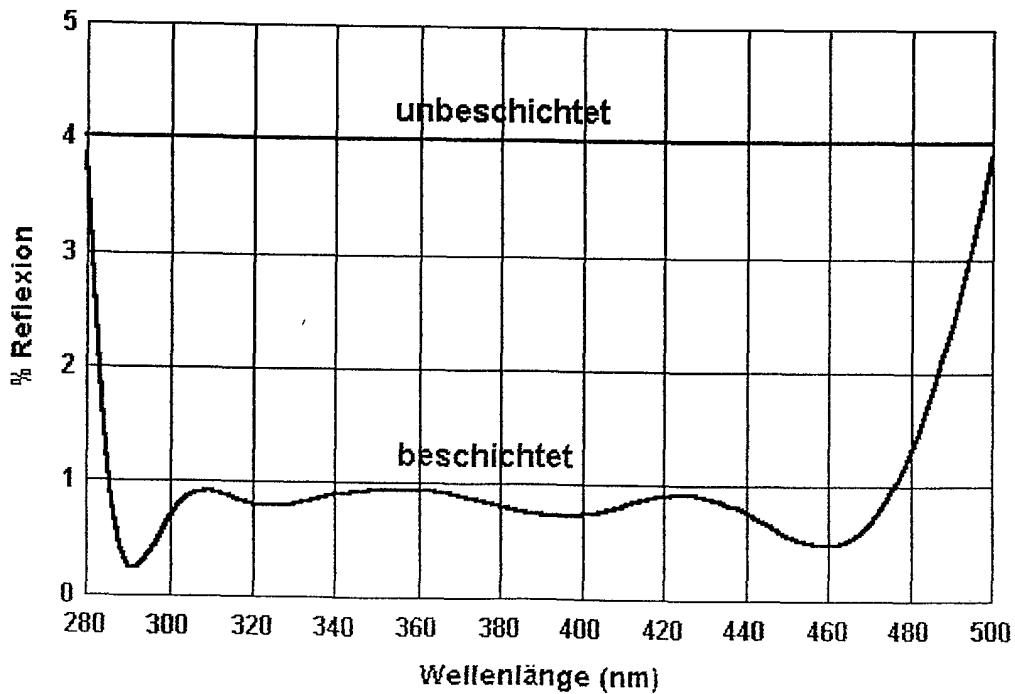
Abb. 2: Berechnete Reflexionsspektren für ABAR-Schichten für den sichtbaren Spektralbereich mit unterschiedlichen Gesamtschichtdicken (blau – 13 Schichten, violett – 15 Schichten, gelb – 17 Schichten).

*Figur 2*



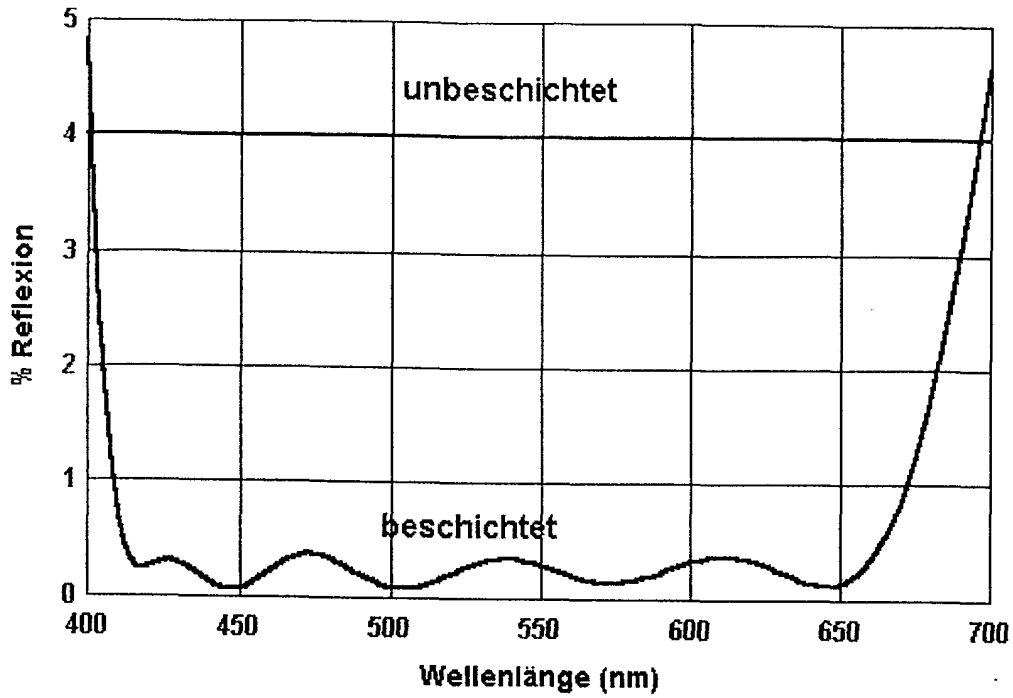
Berechnetes Reflexionsspektrum für eine ABAR-Beschichtung auf einem Kunststoffsubstrat gegen Luft im NIR-Bereich, bestehend aus 9 Einzelschichten und einer Gesamtdicke von 1827 nm (siehe Beispiel 2).

*Figur 3*



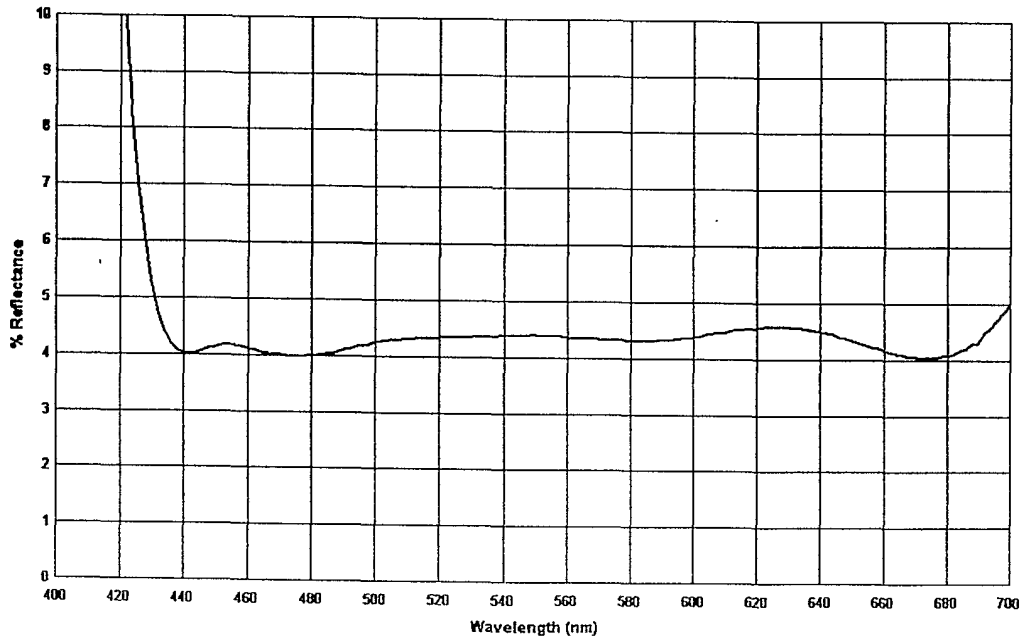
Berechnetes Reflexionsspektrum für eine ABAR-Beschichtung auf einem Kunststoffsubstrat gegen Luft im UV-Bereich, bestehend aus 9 Einzelschichten und einer Gesamtdicke von 771,5 nm (siehe Beispiel 4).

*Figur 4*



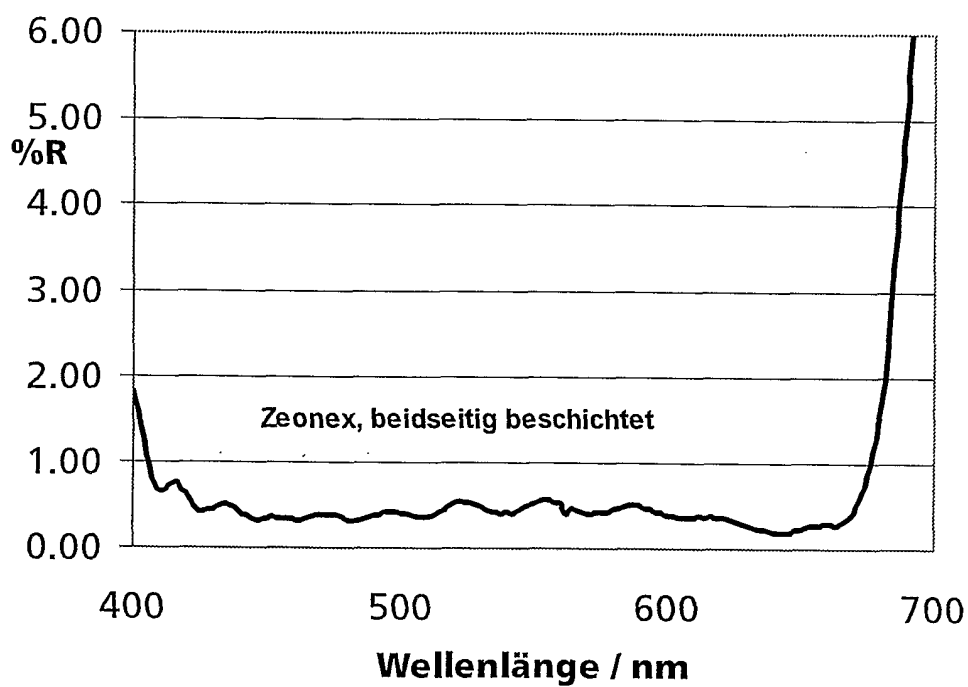
Berechnetes Reflexionsspektrum für eine ABAR-Beschichtung auf einem Kunststoffsubstrat gegen Luft im VIS-Bereich mit einer Restreflexion  $< 0,5\%$ , bestehend aus 9 Einzelschichten und einer Gesamtdicke von 771,5 nm (siehe Beispiel 4).

*Figur 5*

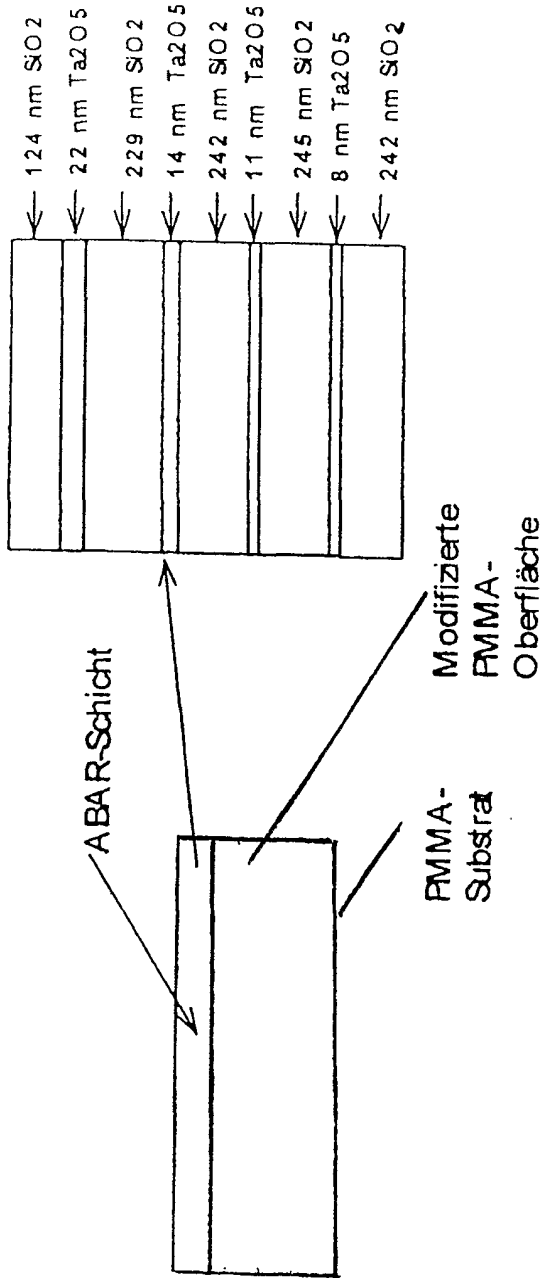


Gemessenes Transmissionsspektrum einer einseitig mit einem ABAR-Schichtsystem nach Beispiel 1 ausgeführten Beschichtung eines PMMA-Substrates (Reflexion der unbeschichteten Rückseite: 4%).

*Figur 6*



Figur 7



Schematischer Aufbau eines abriebbeständiges Antireflex-Schichtsystem auf FMMA (Gesamtschichtdicke ca. 1.1µm).

Figur 8

ABAR-Schichten= Abriebbeständige Antireflexbeschichtungen