



19 **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

12 **Patentschrift**  
10 **DE 100 34 158 C 2**

51 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**C 08 J 7/06**  
C 03 C 17/34  
C 09 D 5/33  
B 32 B 17/06  
B 32 B 27/06  
C 09 D 1/00

21 Aktenzeichen: 100 34 158.6-43  
22 Anmeldetag: 10. 7. 2000  
43 Offenlegungstag: 7. 2. 2002  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 15. 5. 2003

**DE 100 34 158 C 2**

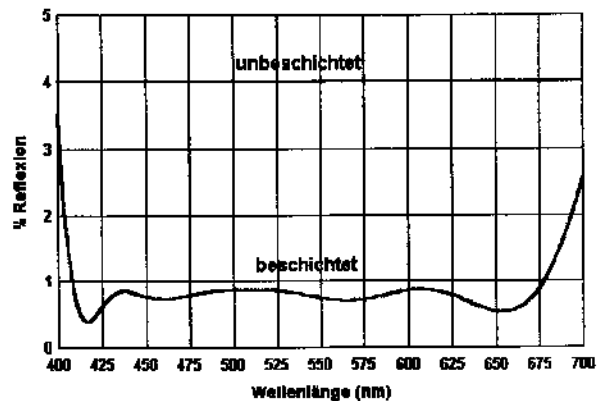
Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 **Patentinhaber:**  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE  
  
74 **Vertreter:**  
PFENNING MEINIG & PARTNER GbR, 01217  
Dresden

72 **Erfinder:**  
Schulz, Ulrike, Dipl.-Chem. Dr., 07751 Kunitz, DE;  
Kaiser, Norbert, Dipl.-Phys. Dr., 07745 Jena, DE;  
Schallenberg, Uwe, Dipl.-Phys., 07743 Jena, DE  
  
56 **Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:**  
US 47 98 994

64 **Reflexionsmindernde Beschichtung aus einem Wechselschichtsystem unterschiedlicher Schichtmaterialien mit jeweils niedrigerem und höherem Brechungsindex**

67 **Reflexionsmindernde Beschichtung auf einem Substrat, die aus einem alternierenden Wechselschichtsystem unterschiedlicher Schichtmaterialien mit jeweils niedrigerem und höherem Brechungsindex gebildet ist, 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 aus mindestens fünf Einzelschichten gebildeten Wechselschichtsystems gleichmäßig verteilt sind und die die Grenzschicht zu Luft bildende Schicht aus einem Material mit niedrigerem Brechungsindex gebildet 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).

**DE 100 34 158 C 2**

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine reflexionsmindernde Beschichtung aus einem Wechselschichtsystem unterschiedlicher Schichtmaterialien mit jeweils niedrigerem und höherem Brechungsindex gemäß den Patentansprüchen. Mit 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 optische Elemente (Linsen, Fenster, Prismen u. a.) oder optoelektronische Elemente und auch für Brillengläser wünschenswert ist. Die Beschichtung kann besonders vorteilhaft zur Reflexionsminderung im sichtbaren Spektralbereich eingesetzt werden.

**[0002]** Für viele Applikationen und hier sollen Brillengläser explizit genannt werden, ist es ebenfalls erforderlich, 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.

**[0003]** 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.

**[0004]** Für optische Bauteile und insbesondere Brillengläser sind abriebbeständige und reflexionsvermindernde Oberflächen, die nur durch entsprechende Beschichtungen erhalten werden können, erforderlich.

**[0005]** 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.

**[0006]** Insbesondere bei Brillengläsern werden Hartschichten mit einer Dicke von mehreren Mikrometern und darauf eine zusätzliche reflexionsmindernde Beschichtung aufgebracht.

**[0007]** Solche Hartschichten können durch Auftrag von Lack und dem nachfolgenden Aufdampfen einer reflexionsmindernden Beschichtung, wie von W. Köppen und E. Kampmeyer in DOZ 2(1995); Seiten 22 bis 26 beschrieben, hergestellt werden.

**[0008]** Die Erzeugung von Hartschichten durch Plasmopolymerisation 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 bei der letztgenannten Veröffentlichung um organisch modifizierte Quarzschichten handelt. Im Nachgang zum Aufbringen solcher Hartschichten ist es wiederum erforderlich, durch bekannte CVD- bzw. PVD-Verfahren die reflexionsmindernde Deckschicht aufzubringen.

**[0009]** Insbesondere an thermoplastische Polymere, wie Polymethylmethacrylat, Polycarbonat und andere solche Kunststoffe, werden die gleichen Anforderungen, wie an andere Substratmaterialien gestellt, wobei bisher entsprechend geeignete Beschichtungen nasschemisch oder durch Aufdampfen bzw. eine Kombination dieser Beschichtungsverfahren erhalten werden. So ist ein nasschemischer Auftrag mit bekannten Lackiertechniken ein zusätzlicher Herstellungsschritt, der vom Verfahrensschritt der Ausbildung der reflexionsmindernden Schicht entkoppelt ist, aufwendig und teuer. Für Präzisionsoptiken mit sehr unregelmäßig geform-

ten bzw. stark gekrümmten Oberflächen und bei kleinteiligen optischen Elementen sind solche Verfahren ungeeignet. Bei einer reflexionsmindernden Beschichtung, die auf eine relativ Dicke abriebfestere Hartschicht aufgebracht worden ist, tritt eine zusätzliche Welligkeit der spektralen Reflexion des Gesamtschichtsystems, infolge Interferenzwirkung bei unterschiedlichem Brechungsindize von Substratmaterial und Hartschicht auf.

**[0010]** 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.

**[0011]** Aus US 4,798,994 ist eine Antireflexionsbeschichtung bekannt, bei der mindestens drei Schichten einen Interferenzfilter der Oberfläche eines flächigen Substrates bilden, die jeweils einen höheren und niedrigeren Brechungsindex aufweisen.

**[0012]** 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.

**[0013]** 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.

**[0014]** 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 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 Lichtes sowie der optischen Eigenschaften der Schicht- und Substratmaterialien.

**[0015]** Das Substrat ist bevorzugt im Wellenlängenbereich, in dem die Reflexion verhindert werden soll, optisch transparent. Durch die Beschichtung wird die Transparenz erhöht.

**[0016]** Als Substratmaterial können neben den üblicherweise verwendeten optischen Gläsern auch die unterschiedlichsten Kunststoffe, wie z. B. Polycarbonat und Polymethylmethacrylat, aber auch temperaturempfindliche Kristallmaterialien eingesetzt werden, wobei die Beschichtung mit Verfahren für die Substratvorbehandlung und Schichtausbildung, wie sie in DE 197 03 538 A1 und DE 197 52 889 C1 beschrieben sind, aufgebracht werden kann. Mit der Erfindung ist es möglich, die unerwünschte Erwärmung des Substratmaterials auszuschließen.

**[0017]** 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).

**[0018]** Für die Schichten aus Materialien mit entspre-

chend niedrigerem Brechungsindex können vorteilhaft  $\text{SiO}_2$  und  $\text{MgF}_2$  eingesetzt werden, wobei insbesondere  $\text{SiO}_2$  günstige Eigenschaften als Hartschicht aufweist. Generell besteht die Grenzschicht zu Luft bildende Schicht aus niedrigbrechendem Material.

**[0019]** Das die Reflexion vermindernde Wechselschichtsystem kann aus Schichten lediglich zweier Materialien mit den entsprechenden Brechungsindizes gebildet sein. Es besteht aber auch die Möglichkeit, ein solches Wechselschichtsystem aus mehreren solcher Materialien auszubilden.

**[0020]** Ein solches Wechselschichtsystem kann auf einen vorgebbaren Wellenlängenbereich des Lichtes abgestimmt werden, wobei Möglichkeiten bestehen, eine Abstimmung für den Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichtes, des Lichtes im nahen Infrarotbereich und auch im UV-Bereich vorzunehmen.

**[0021]** Für das Wechselschichtsystem müssen mindestens fünf, bevorzugt mindestens neun Einzelschichten eingesetzt werden, wobei jedoch die Anzahl der Schichten auch wesentlich größer gewählt werden kann.

**[0022]** Die gesamte Beschichtung kann im sichtbaren Spektralbereich eine Gesamtdicke zwischen 500 und 2500 nm, bevorzugt zwischen 750 bis 2000 nm aufweisen.

**[0023]** Bei Bedarf kann die erfindungsgemäße Beschichtung auf eine auf der Substratoberfläche bereits vorhandener Schicht oder Beschichtung aufgebracht werden.

**[0024]** Wird beispielsweise  $\text{SiO}_2$  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.

#### Beispiel 1

**[0025]** Eine Beschichtung für den sichtbaren Spektralbereich im Wellenlängenbereich zwischen  $\lambda_1 = 420$  nm und  $\lambda_2 = 670$  nm kann z. B. folgendes Schichtdesign aufweisen, das mit konstanten Brechzahlen von 1,5 für das Substrat 1,46 für die  $\text{SiO}_2$ -Schichten, 2,1 für die  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ -Schichten und 1,0 für Luft berechnet wurde. Das Reflexionsverhalten im Wellenlängenbereich ist in Fig. 1 grafisch dargestellt.

#### Substrat PMMA

1. Schicht 210 nm  $\text{SiO}_2$
2. Schicht 4 nm  $\text{Ta}_2\text{O}_5$
3. Schicht 251 nm  $\text{SiO}_2$
4. Schicht 6 nm  $\text{Ta}_2\text{O}_5$
5. Schicht 248 nm  $\text{SiO}_2$
6. Schicht 9 nm  $\text{Ta}_2\text{O}_5$
7. Schicht 237 nm  $\text{SiO}_2$
8. Schicht 16 nm  $\text{Ta}_2\text{O}_5$
9. Schicht 119 nm  $\text{SiO}_2$  Luft

**[0026]** Die Gesamtdicke der Schichtfolge beträgt 1100 nm, davon entfallen 1065 nm auf die in der Summe als Hartschicht wirkenden  $\text{SiO}_2$ -Schichten und lediglich 35 nm auf die für die zusätzliche Antireflexwirkung notwendigen  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ -Schichten.

**[0027]** Durch Einbau weiterer Schichtpaare aus  $\text{SiO}_2$  und  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  ähnlicher Dicke nach der fünften Schicht kann die Gesamtschichtdicke und damit die mechanische Stabilität des Schichtsystems erhöht werden. Durch Entfernen der Schichten 4 und 5 bzw. 4 bis 7 kann das Schichtdesign reduziert werden, ohne dass die Antireflexwirkung verloren geht.

**[0028]** Das entsprechende Reflexionsverhalten dieser Schichtsysteme ist in dem in Fig. 2 gezeigten Diagramm

verdeutlicht.

**[0029]** Beschichtungen aus  $\text{SiO}_2$ - und  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ -Schichten auf Kunststoffen sind im sichtbaren Spektralbereich z. B. mit folgenden Schichtenzahlen und Gesamtschichtdicken möglich:

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

#### Beispiel 2

**[0030]** 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  $\text{SiO}_2$ -Schichten, 2,1 für die  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ -Schichten und 1,0 für Luft berechnet.

#### Substrat Kunststoff

1. Schicht 349 nm  $\text{SiO}_2$
2. Schicht 6,5 nm  $\text{Ta}_2\text{O}_5$
3. Schicht 417 nm  $\text{SiO}_2$
4. Schicht 10 nm  $\text{Ta}_2\text{O}_5$
5. Schicht 412 nm  $\text{SiO}_2$
6. Schicht 15 nm  $\text{Ta}_2\text{O}_5$
7. Schicht 393,5 nm  $\text{SiO}_2$
8. Schicht 26,5 nm  $\text{Ta}_2\text{O}_5$
9. Schicht 197,5 nm  $\text{SiO}_2$  Luft

**[0031]** Die Gesamtdicke der Schichtfolge beträgt 1827 nm, davon entfallen 1769 nm auf die in der Summe als Hartschicht wirkenden  $\text{SiO}_2$ -Schichten und lediglich 58 nm auf die für die Antireflexwirkung notwendigen  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ -Schichten.

**[0032]** Das Reflexionsverhalten für diesen Wellenlängenbereich ist im Diagramm Fig. 3 verdeutlicht worden.

#### Beispiel 3

**[0033]** 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  $\text{SiO}_2$ -Schichten, 2,1 für die  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ -Schichten und 1,0 für Luft berechnet.

#### Substrat Kunststoff

1. Schicht 147 nm  $\text{SiO}_2$
2. Schicht 3 nm  $\text{Ta}_2\text{O}_5$
3. Schicht 176 nm  $\text{SiO}_2$
4. Schicht 4,5 nm  $\text{Ta}_2\text{O}_5$
5. Schicht 174 nm  $\text{SiO}_2$
6. Schicht 6,5 nm  $\text{Ta}_2\text{O}_5$
7. Schicht 166 nm  $\text{SiO}_2$
8. Schicht 11 nm  $\text{Ta}_2\text{O}_5$
9. Schicht 83,5 nm  $\text{SiO}_2$  Luft

**[0034]** Fig. 4 zeigt das entsprechende Reflexionsverhalten diagrammartig.

**[0035]** Die Gesamtdicke der Schichtfolge beträgt 771 nm,

davon entfallen 746,5 nm auf die in der Summe als Hartschicht wirkenden  $\text{SiO}_2$ -Schichten und lediglich 25 nm auf die für die Antireflexwirkung notwendigen  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ -Schichten.

[0036] Die Güte der Antireflexwirkung ist abhängig von der Brechzahl des niedrigbrechenden Schichtmaterials. Neben dem bisher angeführten  $\text{SiO}_2$  mit einer Brechzahl von 1,46 ist als niedrigbrechendes Material z. B. auch  $\text{MgF}_2$  mit einer Brechzahl von 1,38 möglich. Auch die hochbrechenden Schichten können aus einem anderen Material, z. B. aus  $\text{ZrO}_2$  mit einer Brechzahl von 2,0 bestehen. Bei Verwendung eines Materials mit einer geringeren Brechzahl als  $\text{SiO}_2$  kann für die mittlere Restreflexion im Wellenlängenbereich zwischen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$ , z. B. mit  $\text{MgF}_2$  ein Wert kleiner als 0,5% erreicht werden.

#### Beispiel 4

[0037] 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 Fig. 5 dargestellt.

#### Substrat Kunststoff

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  $\text{MgF}_2$
  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

[0038] 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.

[0039] 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 Material kann jedoch in einer Beschichtung durchaus variieren und außenseitig eine abriebfestere Deckschicht mit entsprechendem Brechungsindex aufgebracht werden. In der Kombination mit  $\text{SiO}_2$  als Hartschicht sind 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 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.

#### Beispiel 5

[0040] Ein Anwendungsbeispiel ist die Entspiegelung von Brillengläsern sowie von optischen Fenstern aus 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.

[0041] 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 Stromdichte von ca. 0,1 mA/cm<sup>2</sup> beschossen.

[0042] 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.

[0043] 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.

[0044] Für die Herstellung der Beschichtung werden abwechselnd Schichten aus  $\text{SiO}_2$  und  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  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 mA/cm<sup>2</sup> 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.

[0045] 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 Fig. 6 zeigt die gemessene Transmission bei einseitiger Beschichtung eines so hergestellten Schichtsystems.

[0046] Die Fig. 7 zeigt den Aufbau eines Schichtsystems in einem Prinzipschema.

#### Patentansprüche

1. Reflexionsmindernde Beschichtung auf einem Substrat, die aus einem alternierenden Wechselschichtsystem unterschiedlicher Schichtmaterialien mit jeweils niedrigerem und höherem Brechungsindex gebildet ist, **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 aus mindestens fünf Einzelschichten gebildeten Wechselschichtsystems gleichmäßig verteilt sind und die die Grenzschicht zu Luft bildende Schicht aus einem Ma-

- terial mit niedrigerem Brechungsindex gebildet ist.
2. Reflexionsmindernde Beschichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Beschichtung auf einem optisch transparentem Substrat aufgebracht ist.
3. Reflexionsmindernde Beschichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat aus einem Kunststoffmaterial oder einem temperaturempfindlichen Kristallmaterial besteht.
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.
5. Reflexionsmindernde Beschichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Schichtmaterial für die Schichten mit höherem Brechungsindex  $Ta_2O_5$ ,  $ZrO_2$ ,  $HfO_2$  oder  $TiO_2$  ist.
6. Reflexionsmindernde Beschichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Schichtmaterial für die Schichten mit höherem Brechungsindex Indium-Zinn-Oxid ist.
7. Reflexionsmindernde Beschichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass  $SiO_2$  ein Schichtmaterial für die Schichten mit niedrigerem Brechungsindex ist.
8. Reflexionsmindernde Beschichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass  $MgF_2$  ein Schichtmaterial für die Schichten mit niedrigerem Brechungsindex ist.
9. Reflexionsmindernde Beschichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass höher brechende Schichten aus unterschiedlichen Materialien im Schichtsystem angeordnet sind.
10. Reflexionsmindernde Beschichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Beschichtung eine Gesamtdicke zwischen 500 und 2500 nm aufweist.
11. Reflexionsmindernde Beschichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat ein optisches oder optoelektronisches Element ist.
12. Reflexionsmindernde Beschichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat ein Brillenglas ist.

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

45

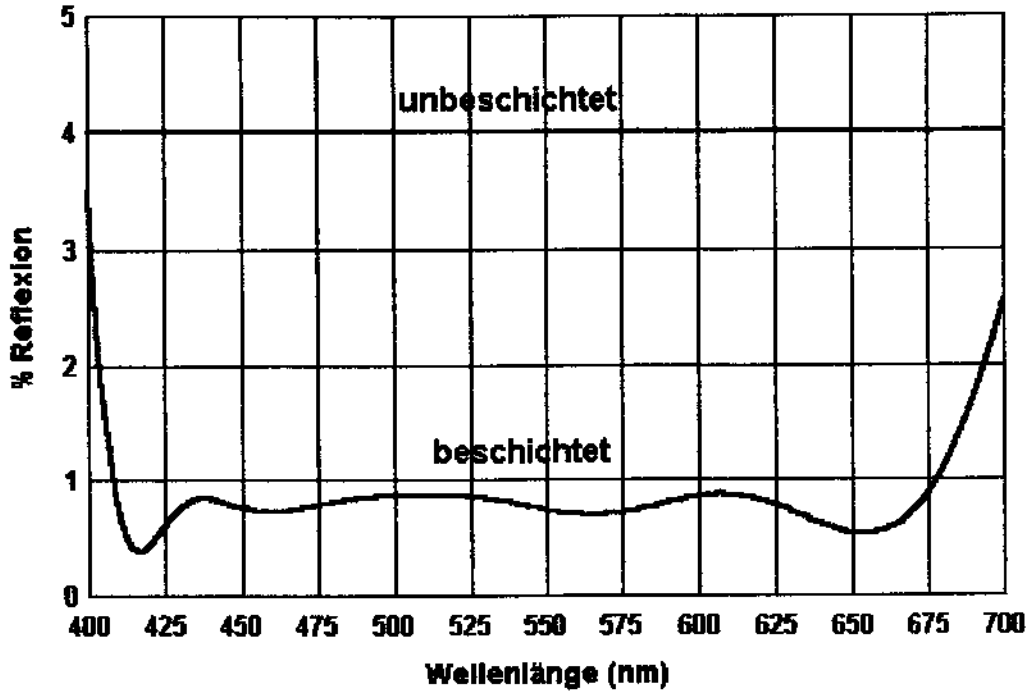
50

55

60

65

- Leerseite -



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*

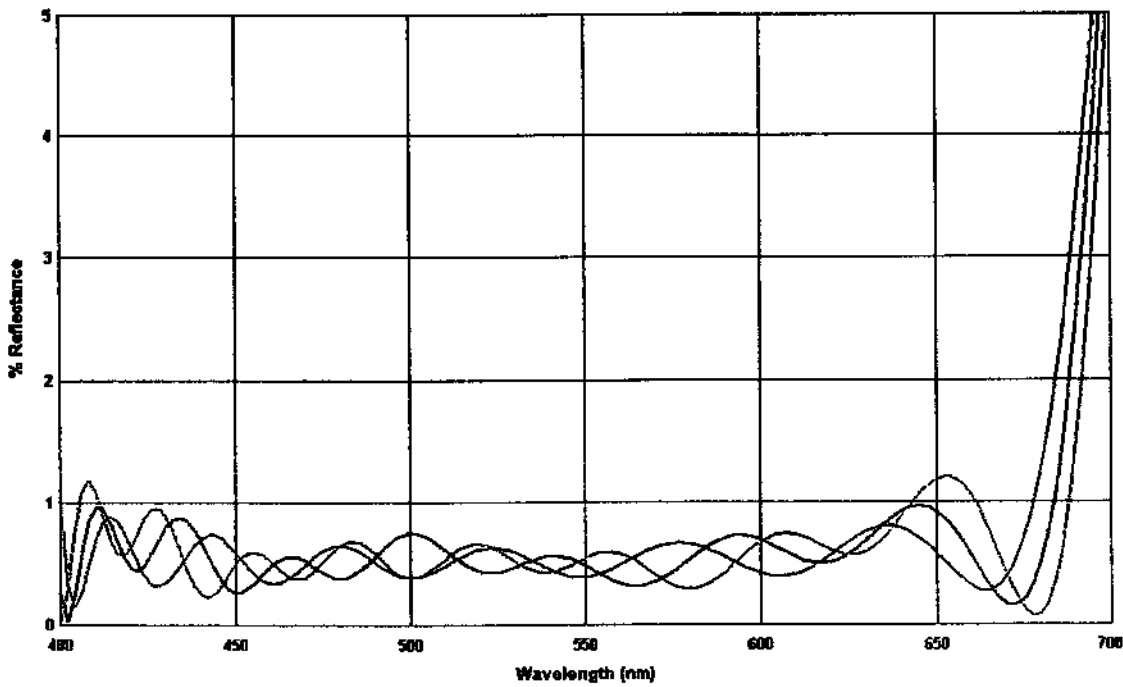
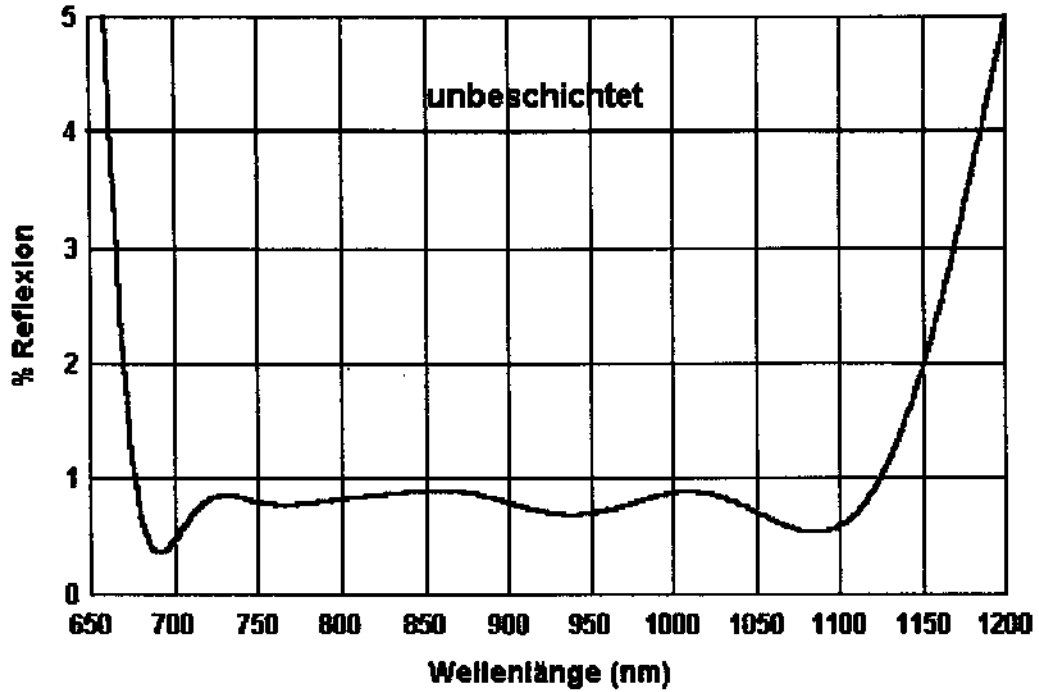


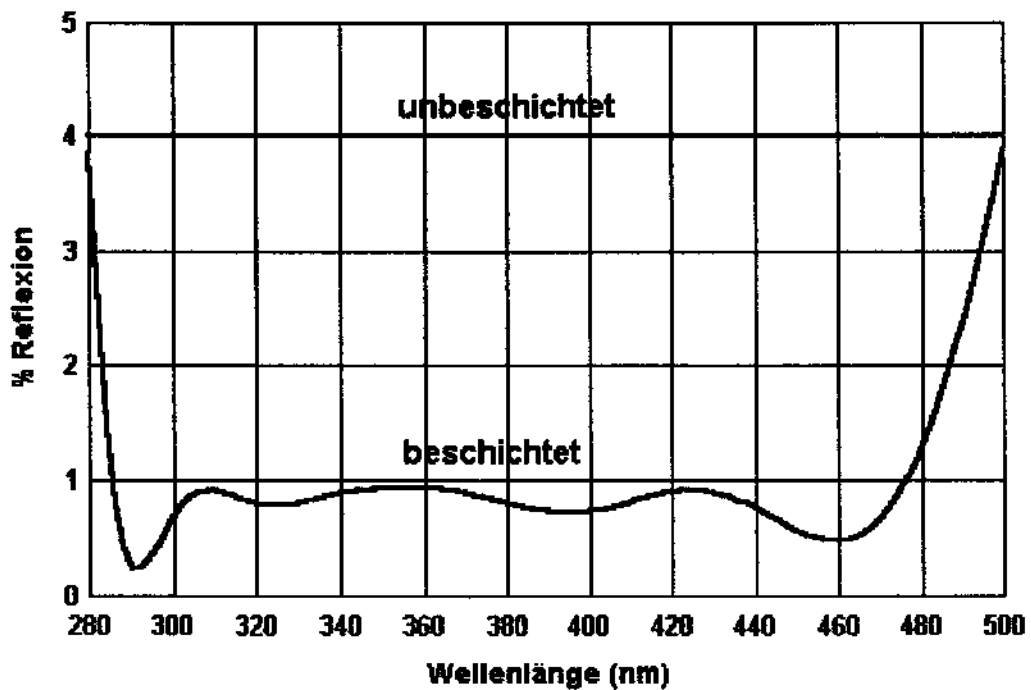
Abb. 2: Berechnete Reflexionsspektren für ABAR-Schichten für den sichtbaren Spektralbereich mit unterschiedlichen Gesamtschichtdicken (blau – 13 Schichten, violett – 15 Schichten, gelb – 17 Schichten).

*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).

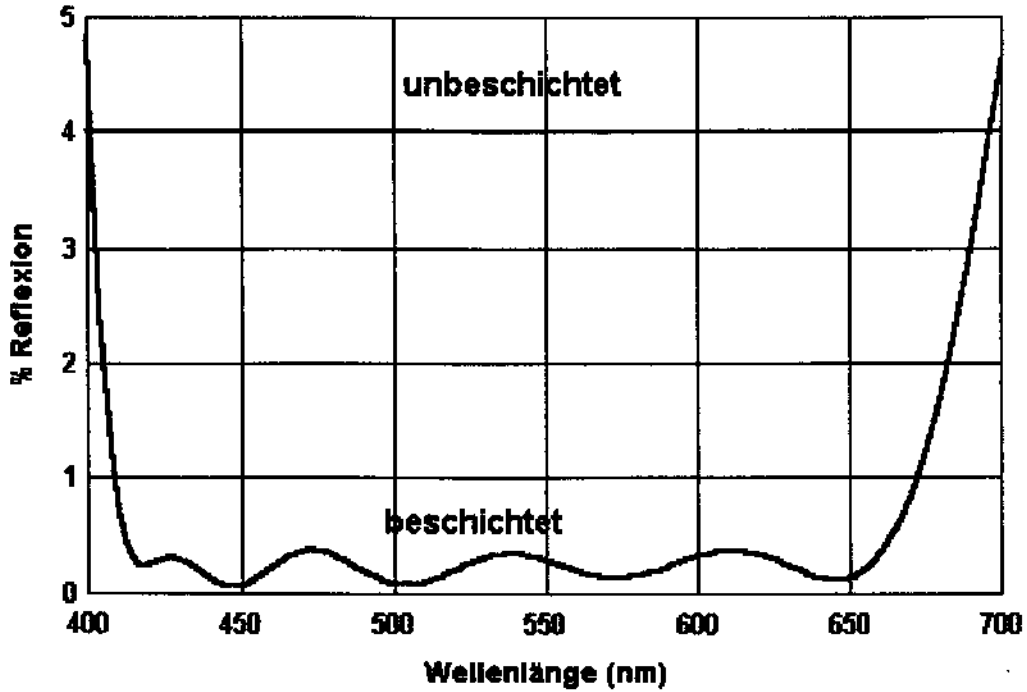
*Figur 3*



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).

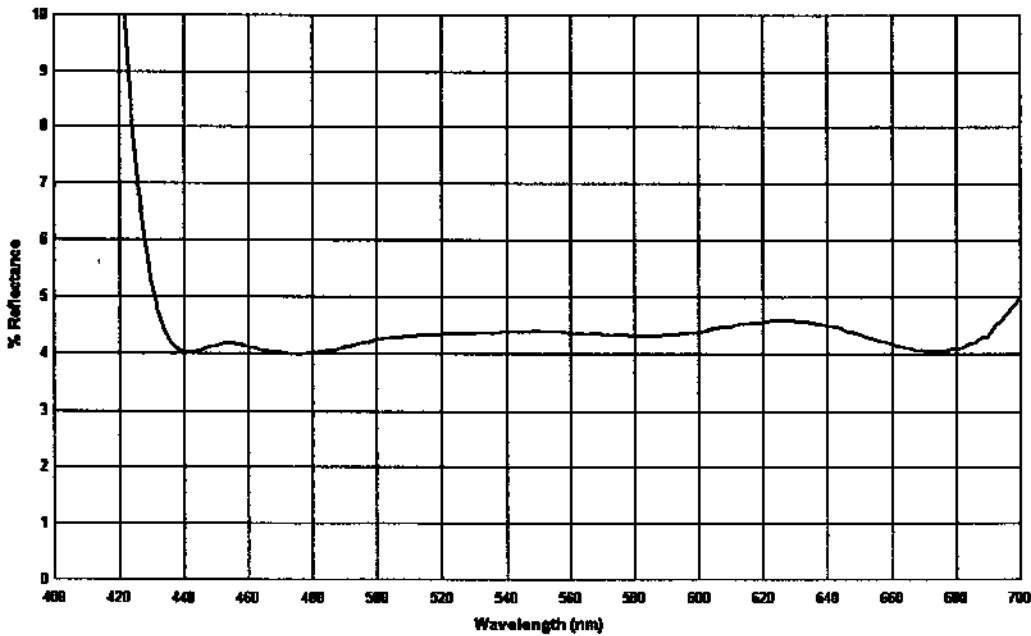
*Figur 4*





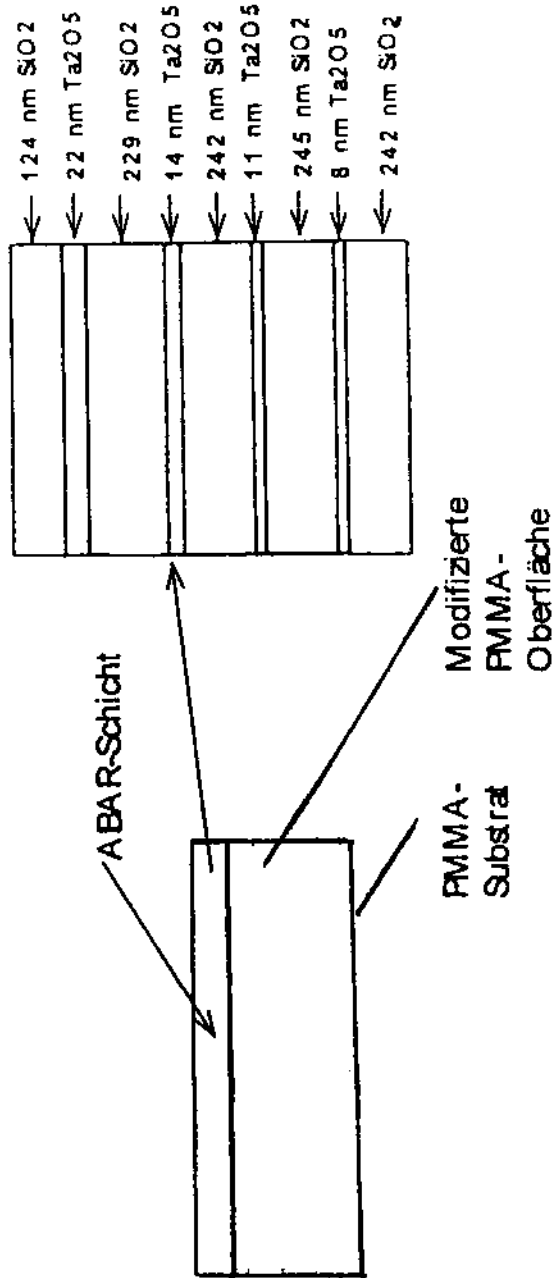
Berechnetes Reflexionsspektrum für eine ABAR-Beschichtung auf einem Kunststoffsubstrat gegen Luft im VIS-Bereich mit einer Restreflexion < 0,5 %, bestehend aus 9 Einzelschichten und einer Gesamtdicke von 771,5 nm (siehe Beispiel 4).

*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*



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

Figur 7

ABAR-Schichten= Abriebbeständige Antireflexbeschichtungen