

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 709 768 B1

(51) Int. Cl.: G02B 1/14 (2015.01)  
C03C 17/42 (2006.01)  
G02B 1/11 (2015.01)

## Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

## (12) PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 00794/15

(22) Anmeldedatum: 03.06.2015

(43) Anmeldung veröffentlicht: 15.12.2015

(30) Priorität: 06.06.2014  
DE 102014108058.0

(24) Patent erteilt: 31.01.2019

(45) Patentschrift veröffentlicht: 31.01.2019

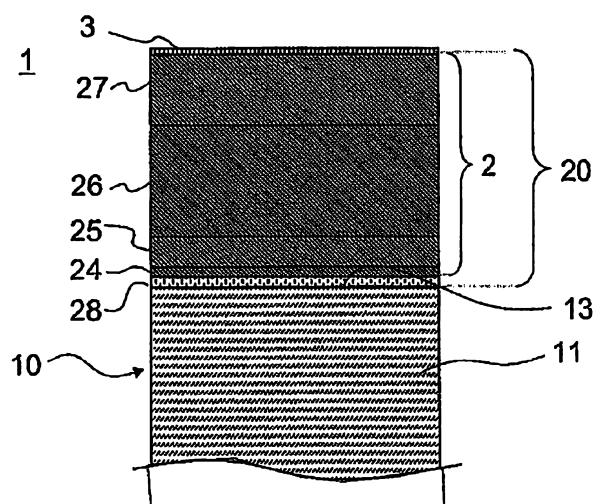
(73) Inhaber:  
Schott AG, Hattenbergstrasse 10  
55122 Mainz (DE)

(72) Erfinder:  
Dirk Apitz, 1012 Lausanne (CH)  
Marten Walther, 31061 Alfeld (DE)  
Christian Henn, 55546 Frei-Laubersheim (DE)

(74) Vertreter:  
BOVARD AG, Patent- und Markenanwälte  
Optingenstrasse 16  
3000 Bern 25 (CH)

### (54) Kratzbeständiges optisches Element.

(57) Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, eine harte Antireflexbeschichtung hinsichtlich der Kratzfestigkeit zu verbessern. Dazu ist ein optisches Element (1) mit einem im sichtbaren Spektralbereich transparenten Substrat (10) sowie einer auf dem Substrat (10) abgeschiedenen mehrlagigen Antireflexbeschichtung (2) vorgesehen, welche abwechselnd Lagen mit einem ersten Brechungsindex und einem zweiten, höheren Brechungsindex aufweist, wobei die Lagen mit höherem Brechungsindex Nitrid oder Oxinitrid und die Lagen mit erstem Brechungsindex Oxid von Silizium und zumindest einem weiteren Element enthalten, und wobei der molare Anteil von Silizium in den Lagen mit erstem Brechungsindex gegenüber molaren Anteilen des oder der weiteren Elemente überwiegt, und wobei die oberste Lage der mehrlagigen Antireflexbeschichtung eine Lage mit erstem Brechungsindex ist, und wobei auf der Antireflexbeschichtung eine Lage (3) kettenförmiger fluororganischer Moleküle angeordnet ist, wobei die Moleküle endseitig an die Oberfläche des optischen Elements gebunden sind.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft allgemein optische Elemente wie Sichtscheiben oder Deckgläser für optische Anzeigen, beispielsweise von Mobiltelefonen oder Uhren oder für optische Systeme, wie zum Beispiel Objektive oder optische Messgeräte. Im Speziellen betrifft die Erfindung Massnahmen, um die Beständigkeit der Oberfläche gegenüber Verkratzen zu verbessern.

**[0002]** Um Oberflächen optischer Elemente vor einem Verkratzen zu schützen, ist es bekannt, die Oberfläche mit einer harten Beschichtung zu versehen. Aus der EP 2 492 251 A1 ist dabei eine harte Antireflexbeschichtung bekannt. Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zu Grunde, die Kratzfestigkeit solcher Beschichtungen zu verbessern. Dieser Gegenstand wird durch den Gegenstand der Ansprüche gelöst.

**[0003]** Demgemäss sieht die Erfindung ein optisches Element mit hoher Kratzbeständigkeit vor, mit einem im sichtbaren Spektralbereich, insbesondere in zumindest einem Teilbereich des Wellenlängenbereichs von 380 Nanometern bis 780 Nanometern, transparenten Substrat. Auf dem Substrat ist eine mehrlagige Antireflexbeschichtung abgeschieden, welche abwechselnd Lagen mit einem ersten Brechungsindex und einem zweiten, höheren Brechungsindex aufweist, wobei die Lagen mit höherem Brechungsindex Nitrid oder Oxinitrid und die Lagen mit erstem Brechungsindex Oxid von Silizium und zumindest einem weiteren Element enthalten, wobei der molare Anteil von Silizium in den Lagen mit erstem Brechungsindex gegenüber molaren Anteilen des oder der weiteren Elemente überwiegt, und wobei die oberste Lage der mehrlagigen Antireflexbeschichtung eine Lage mit erstem Brechungsindex ist, und wobei auf der obersten Lage eine Lage kettenförmiger fluororganischer Moleküle angeordnet ist, wobei die Moleküle vorzugsweise endseitig an die Oberfläche der obersten Lage der Antireflexbeschichtung gebunden sind. Durch die endseitige Bindung an die Oberfläche sind die Ketten der fluororganischen Beschichtung weg von der Oberfläche orientiert beziehungsweise weisen eine Vorzugsorientierung entlang der Oberflächennormale auf.

**[0004]** Ein optisches Element ist dann im Sinne der Erfindung kratzbeständig, wenn nach einer abrasiv wirkenden Beanspruchung der Beschichtung Kratzer im Vergleich zum unbeschichteten Substrat zumindest visuell geringer auffällig beziehungsweise nicht sichtbar sind.

**[0005]** Die Nitrid oder Oxinitrid enthaltenden Lagen sind vorzugsweise ebenfalls wie die Lagen mit erstem Brechungsindex siliziumbasiert. Insbesondere können die Lagen mit zweitem Brechungsindex ebenso wie die Lagen mit erstem Brechungsindex mit zumindest einem weiteren Element dotiert sein. Gemäss dieser Ausführungsform enthalten die Lagen mit höherem Brechungsindex Nitrid oder Oxinitrid von Silizium und zumindest einem weiteren Element.

**[0006]** Es ist aber auch ebenso möglich, die Lagen mit zweitem, höherem Brechungsindex aus Nitriden oder Oxinitriden anderer Elemente ausser Silizium zu bilden. Genannt seien beispielsweise Lagen mit Nitriden oder Oxinitriden von Titan oder Chrom als alleinigem Bestandteil oder Hauptbestandteil.

**[0007]** Es wird nicht ausgeschlossen, dass sich zwischen den abwechselnden Lagen mit erstem und zweitem Brechungsindex auch noch Zwischenlagen befinden. Beispielsweise könnten zwischen Lagen mit erstem und zweitem Brechungsindex, die Siliziumoxid- beziehungsweise Nitrid-, vorzugsweise Siliziumnitrid-haltig sind, noch ebenso dotierte Siliziumoxinitrid-Lagen zwischengeschoben sein, wenn dies ein günstiges optisches Design ergibt.

**[0008]** Darüber hinaus sind als Zwischenlagen auch Gradienten von Schichten zu verstehen, welche zumindest teilweise den Sauerstoff- bzw. den Stickstoffgehalt verändern.

**[0009]** Es zeigt sich überraschend, dass die fluororganischen Moleküle die Kratzbeständigkeit der aufgrund der nitridischen Schichten bereits sehr harten Antireflexbeschichtung nochmals erheblich verbessern. Dies äussert sich bei Abnutzungstests in einer deutlich verlängerten Dauer, bis es zu einem signifikanten Anstieg von Lichtstreuung und Änderung der Antireflex-Eigenschaften kommt.

**[0010]** Insbesondere ist die Lage fluororganischer Moleküle besonders bevorzugt sehr dünn, nämlich monomolekular. Diese Molekül-Einzellage wird damit optisch nicht oder kaum wirksam und ist dementsprechend auch visuell unauffällig.

**[0011]** Es wird vermutet, dass die fluororganische Schicht, obwohl diese selbst nicht hart ist, die Wechselwirkung mit der Oberfläche vermindert. Hier kommt insbesondere auch zum Tragen, dass die oxidische oberste Lage der Antireflexbeschichtung eine geringere Härte aufweist als die aufgrund der abwechselnden Schichtabfolge darauffolgende nitridische Lage. Eine Wirkung basiert dabei auf einer Verminderung des Reibungskoeffizienten der Oberfläche durch die fluororganischen Moleküle.

**[0012]** Die fluororganische Schicht verhindert die Ausbildung von chemischen Bindungen zwischen Oberfläche und abrasivem Medium, wie sie bei einer effektiven Abrasion entsteht. So wird Glas beispielsweise gern mit Ceroxid poliert, weil dieser Stoff mit Glas kovalente Bindungen ausbildet und so den Abtrag deutlich steigert. Abrasion und Polieren ist typischerweise ein physikalisch-chemischer Prozess.

**[0013]** Die Beschichtung des optischen Elements wird damit widerstandsfähiger gegen Verkratzen, solange die fluororganischen Moleküle an der Oberfläche gebunden sind. Ein Ablösen der fluororganischen Moleküle kann aber geschehen, wenn etwa die Oberfläche chemisch durch die fluororganische Lage hindurch oder an Stellen, wo die fluororganische Lage abgebaut wurde, angegriffen wird. Hier kommt das in der obersten Lage als Oxid vorliegende weitere Element zum Tra-

gen. Mittels dieses zumindest einen weiteren Elements kann nämlich die chemische Resistenz der Oberfläche erheblich verbessert und damit indirekt auch die Haltbarkeit der fluororganischen Moleküle verbessert werden.

**[0014]** Gemäss einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist daher die Lage fluororganischer Moleküle direkt auf die Oberfläche der obersten, oxidischen Lage der Antireflexbeschichtung abgeschieden. Gegebenenfalls kann aber auch noch eine dünne, optisch nicht wirksame Zwischenschicht vorgesehen werden, die als Haftvermittler dient. Eine solche Haftvermittlerschicht weist vorzugsweise eine Schichtstärke von kleiner 10 nm, bevorzugt kleiner 8 nm, besonders bevorzugt von kleiner 6 nm, auf, um optisch nicht wirksam zu sein. Geeignet für eine solche Haftvermittlerschicht ist eine Siliziumoxid-haltige Schicht, insbesondere eine Mischoxidschicht mit Siliziumoxid als Hauptbestandteil.

**[0015]** Die harte Antireflexbeschichtung mit der Lage fluororganische Moleküle eignet sich besonders auch für ebenfalls harte Substrate mit hoher Knoop-Härte und/oder einem hohen Elastizitätsmodul. Eine hohe Knoop-Härte wird dabei auch nach der Beschichtung im Wesentlichen beibehalten oder sogar noch verbessert. Demgemäss beträgt nach einer Ausführungsform der Erfindung die Knoop-Härte des optischen Elements auf der beschichteten Oberfläche mindestens 600 Kilogramm pro Quadratmillimeter (600 kg/mm<sup>2</sup>). Gemäss einer weiteren Ausführungsform wird ein Substrat ausgewählt, welches einen Elastizitätsmodul von mindestens 50 GPa aufweist. Eines der bevorzugten Materialien für das Substrat ist Saphir beziehungsweise Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

**[0016]** Die Erfindung wird nachfolgend genauer, auch unter Bezugnahme auf die beigezeichneten Zeichnungen näher erläutert.

**[0017]** Es zeigen:

- Fig. 1                    einen Querschnitt durch ein optisches Element gemäss einer ersten Ausführungsform,
- Fig. 2                    einen Querschnitt durch eine Variante des in Fig. 1 gezeigten Beispiels,
- Fig. 3                    Diagramme der spektralen Reflektivität gemessen an zwei Proben vor und nach einem Abrasionstest,
- Fig. 4                    Balkendiagramme der prozentualen Zunahme des Haze-Wertes nach einem Sandpapiertest für ein unbeschichtetes, chemisch vorgespanntes Glassubstrat und für drei verschieden beschichtete, chemisch vorgespannte Glassubstrate,
- Fig. 5 und Fig. 6       Diagramme der Zunahme des Haze-Werts und der Reflektivität abhängig von verschiedenen Einflussgrössen, und
- Fig. 7 und Fig. 8       weitere Ausführungsbeispiele von optischen Elementen.

**[0018]** Fig. 1 und Fig. 2 zeigen Beispiele erfindungsgemässer optischer Elemente 1 mit hoher Kratzbeständigkeit, mit einem im sichtbaren Spektralbereich transparenten Substrat 10 und einer auf dem Substrat 10 abgeschiedenen mehrlagigen Antireflexbeschichtung 2. Lagen 25, 27 der Antireflexbeschichtung 2 mit einem ersten Brechungsindex wechseln sich mit Lagen 24, 26 mit einem zweiten, gegenüber dem ersten Brechungsindex höheren Brechungsindex ab.

**[0019]** Auf der obersten Lage 27 der Antireflexbeschichtung ist eine Lage 3 kettenförmiger fluororganischer Moleküle angeordnet, wobei die Moleküle endseitig an die Oberfläche der obersten Lage 27 der Antireflexbeschichtung 2 gebunden sind.

**[0020]** Vorzugsweise enthalten die fluororganischen Moleküle perfluorierte Kohlenstoffketten, bei denen insbesondere auch alle Wasserstoffatome durch Fluoratome ausgetauscht sein können. Weiterhin sind die fluororganischen Moleküle vorzugsweise einzeln kovalent an die Oberfläche des optischen Elements 1 gebunden. Die einzelnen Moleküle können auch mehr als nur eine kovalente Bindung mit der Oberfläche eingehen.

**[0021]** Geeignet für die Lage 3 sind ohne Beschränkung auf die speziellen Ausführungsbeispiele insbesondere Perfluorether mit endständigem Silanrest, beispielsweise die «Optool™ AES4-E»-Beschichtung oder die «Optool™ DSX»-Beschichtung der Daikin Industries LTD, Perfluorether mit zwei endständigen Silanresten, beispielsweise die «Fluorolink S10»-Beschichtung Solvay Solexis, Perfluoralkylsilan, vorzugsweise mit rein anorganischem Siliziumoxid-Anteil.

**[0022]** Vorzugsweise erfolgt das Beschichten durch Flüssigbeschichtung mittels eines Beschichtungsfluids. Geeignet ist hierzu beispielsweise das Roll-Coating-, Spin-Coating, Tauchbeschichtung oder das Sprüh-Verfahren.

**[0023]** Gemäss noch einer Ausführungsform der Erfindung erfolgt das Aufbringen der Lage 3 durch einen Vakuumbeschichtungsprozess, wobei die fluororganischen Moleküle im Vakuum verdampft und auf der mit der Antireflexbeschichtung 2 beschichteten Oberfläche des Substrats 10 abgeschieden werden. Geeignet ist beispielsweise das in Tablettenform vertriebene «Duralon UltraTec» der Cotec GmbH, Karlstein.

**[0024]** Eine Haftvermittlerschicht zwischen der Lage 3 und der Antireflexbeschichtung 2, wie sie etwa gemäss der WO 2012/163 946 A1 vorgesehen ist, ist nicht notwendig, um die Verbesserung der Kratzbeständigkeit der Oberfläche eines erfindungsgemässen optischen Elements 1 zu erzielen.

**[0025]** Die Lagen 24, 26 mit höherem Brechungsindex enthalten im Wesentlichen Nitrid oder Oxinitrid und die Lagen mit erstem Brechungsindex Oxid von Silizium und zumindest einem weiteren Element. Der Haupt-Mengenanteil der nitridisch oder oxidisch vorliegenden Elemente wird gemäss einer bevorzugten Ausführungsform, aber jedenfalls durch Silizium gebildet, sodass der molare Anteil von Silizium in den Lagen gegenüber molaren Anteilen des oder der weiteren Elemente überwiegt. Vorzugsweise beträgt das Verhältnis der Stoffmengen von Silizium und dem oder den weiteren Elementen in den einzelnen Lagen der Antireflexbeschichtung mindestens 5:1, vorzugsweise mindestens 8:1. Mit anderen Worten ist in der Antireflexbeschichtung 2 mindestens fünfmal, vorzugsweise mindestens achtmal, mehr Silizium, verglichen mit der Menge des zumindest einen weiteren Elements enthalten.

**[0026]** Das zumindest eine weitere Element ist ausgewählt aus den Elementen Aluminium, Zinn, Magnesium, Phosphor, Cer, Zirkon, Titan, Barium, Strontium, Caesium, Niob, Bor.

**[0027]** Diese Elemente bilden sowohl Oxide als auch Nitride und verbessern gleichzeitig die chemische Resistenz der Beschichtung.

**[0028]** Gemäss einer anderen Ausführungsform werden für die Lagen mit zweitem, höherem Brechungsindex als Hauptbestandteil oder sogar alleinigem Bestandteil Nitride oder Oxinitride eines von Silizium verschiedenen Elements verwendet. Gedacht ist beispielsweise an Titanitrid, Bornitrid, Aluminiumnitrid und/oder Chromnitrid oder an Oxinitride von Titan, Bor, Aluminium und/oder Chrom.

**[0029]** Die Verbesserung der chemischen Beständigkeit der erfindungsgemässen Beschichtung kann beispielsweise mittels eines Salzwassersprühnebel-Tests, vorzugsweise nach DIN EN 1096-2:2001-05 nachgewiesen werden.

**[0030]** Für die Herstellung der Antireflexbeschichtung eignen sich insbesondere Vakuumabscheideverfahren. Demgemäss sieht die Erfindung allgemein, ohne Beschränkung auf das dargestellte Beispiel, ein Verfahren zur Herstellung eines erfindungsgemässen optischen Elements 1 vor, bei welchem

- ein im sichtbaren Spektralbereich transparentes Substrat 10 bereitgestellt und
- auf dem Substrat 10 eine mehrlagige Antireflexbeschichtung 2 aufgebracht wird, indem
- mittels eines Vakuumabscheideverfahrens abwechselnd Lagen mit einem ersten Brechungsindex und einem zweiten, höheren Brechungsindex abgeschieden werden, wobei die Lagen mit höherem Brechungsindex Nitrid oder Oxinitrid und die Lagen mit erstem Brechungsindex Oxid von Silizium und zumindest einem weiteren Element enthalten, und wobei der molare Anteil von Silizium in den Lagen mit erstem Brechungsindex gegenüber molaren Anteilen des oder der weiteren Elemente überwiegt, und wobei die oberste Lage der mehrlagigen Antireflexbeschichtung eine Lage mit erstem Brechungsindex ist, und wobei auf der Antireflexbeschichtung eine Beschichtung mit einer Lage 3 kettenförmiger fluororganischer Moleküle aufgebracht wird, wobei die Moleküle endseitig an die Oberfläche des optischen Elements, besonders vorzugsweise an die oberste Lage 27 der Antireflexbeschichtung 2, gebunden werden.

**[0031]** Weiterhin wird bevorzugt, dass die Lagen 24, 25, 26, 27 der Antireflexbeschichtung 2 durch reaktives Magnetronspütern abgeschieden werden. Dazu kann ein Silizium-Sputtertarget verwendet werden, welches mit zumindest einem weiteren Element dotiert ist. Besonders bevorzugt als weiteres Element ist Aluminium, vorzugsweise mit einem Gehalt von höchstens 20 Mol% im Target. Die Schichten der Antireflexbeschichtung 2, welche mittels eines solchen Targets hergestellt werden, sind daher oxidische Lagen mit erstem Brechungsindex und nitridische Lagen mit zweitem Brechungsindex von Silizium und Aluminium, wobei das Mengenverhältnis von Silizium zu Aluminium mindestens 5:1 beträgt. Es können aber anstelle von Aluminium auch die anderen genannten Elemente oder neben Aluminium zumindest ein weiteres der genannten Elemente vorhanden sein.

**[0032]** Alternativ zur Abscheidung durch reaktives Magnetronspütern kann auch Ionenstrahl-Sputtern eingesetzt werden, um die Lagen der Antireflexbeschichtung aufzubringen.

**[0033]** Gemäss einer besonders bevorzugten Ausführungsform, auf welcher auch die Ausführungsbeispiele der Fig. 1 und Fig. 2 beruhen, ist eine Antireflexbeschichtung 2, die einen Schichtstapel aus vier aufeinanderfolgenden Lagen 24, 25, 26, 27 umfasst, auf dem Substrat 1 abgeschieden. Die unterste Lage 24 eine Siliziumnitrid-haltige höherbrechende Lage ist, wobei die weitere Siliziumnitrid-haltige höherbrechende Lage 26, welche die oberste hochbrechende Lage des Schichtstapels bildet, die grösste Schichtdicke innerhalb des Schichtstapels aufweist, und wobei die oberste Lage 27 des Schichtstapels eine Lage mit niedrigerem Brechungsindex aus Siliziumoxid, vorzugsweise mit einem Anteil von Aluminium, bildet und die zweitgrösste Schichtdicke unter den Lagen des Schichtstapels aufweist, wobei die erste Lage 24 und die zweite Lage 25, welche wie die oberste Lage 27 eine Lage mit niedrigerem Brechungsindex aus Siliziumoxid mit einem Anteil von Aluminium ist, zusammengesetzt eine Schichtdicke aufweisen, die dünner als die Schichtdicke der obersten Lage ist.

**[0034]** Insbesondere bei dem in Fig. 2 gezeigten Beispiel ist die Schichtdicke der obersten hochbrechenden Lage der ebenfalls vierlagigen Antireflexbeschichtung sehr gross. Das in Fig. 2 gezeigte Beispiel ist auf eine sehr hohe Kratzbeständigkeit optimiert. Überraschend sind jedoch die Entspiegelungseigenschaften nur geringfügig schlechter als bei dem in Fig. 1 dargestellten, auf niedrige Reflektivität optimierten Beispiel.

**[0035]** Die Beschichtung der Oberfläche 13 des Substrats 10 kann zusätzlich zu der Antireflexbeschichtung 2 auch noch weitere Schichten umfassen. Gemäss einer Ausführungsform ist dazu allgemein, ohne Beschränkung auf die in den Fi-

guren gezeigten Beispiele vorgesehen, dass auf der Oberfläche 13 des Substrats 10 eine Siliziumoxid-haltige Lage 28 abgeschieden, die als Haftvermittler für die nachfolgend abgeschiedene Antireflexbeschichtung 2 dient. Die Lage 28 bildet mit der Antireflexbeschichtung 2 zusammen eine anorganische Beschichtung 20. Geeignet für die Lage 28 ist beispielsweise eine dünne Siliziumoxid-Schicht, insbesondere eine Schicht mit einer Zusammensetzung, wie sie auch die niedrigbrechenden Lagen 25, 26 der Antireflex-Beschichtung 2 aufweisen.

**[0036]** Eine solche Haftvermittlerschicht in Form einer Lage 28 aus Siliziumoxid ist besonders geeignet, um die harte Antireflex-Beschichtung mit harten Substraten zu koppeln. Insbesondere eignet sich eine solche Beschichtung für ein Substrat 10 aus Saphir beziehungsweise  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Gemäss einer Ausführungsform der Erfindung ist dabei ein optisches Element 1 in Form eines Uhrenglases mit Saphir-Substrat 10 und erfindungsgemässer Beschichtung vorgesehen. Die Beschichtung ermöglicht es, die Kratzbeständigkeit von unbeschichtetem Saphir zu erreichen, oder sich dieser zumindest anzunähern, gleichzeitig aber auch die optischen Eigenschaften hinsichtlich der Reflektivität zu verbessern. Saphir weist einen hohen Brechungsindex von über 1,7 auf, sodass Saphir-Gläser stark reflektieren. Dieser Nachteil wird mit der Antireflexbeschichtung vermieden.

**[0037]** Die oben zum Ausführungsbeispiel der Fig. 1 erläuterten relativen Dicken der Lagen sind auch bei dem in Fig. 2 gezeigten Beispiel erfüllt und gelten vorzugsweise auch für die nachfolgend erläuterte Ausführungsform mit sehr dicker oberster Lage 26 mit hohem Brechungsindex.

**[0038]** Bei der Variante der Fig. 2 ist die oberste Siliziumnitrid-haltige Lage beziehungsweise die oberste Lage 26 mit zweitem Brechungsindex deutlich dicker als bei dem in Fig. 1 gezeigten Beispiel. Allgemein, ohne Beschränkung auf das spezielle dargestellte Beispiel, ist dazu gemäss einer Ausführungsform der Erfindung vorgesehen, dass die Antireflexbeschichtung 2 einen Schichtstapel aus vier aufeinanderfolgenden Lagen 24, 25, 26, 27 mit zwei Lagen 24, 26 mit zweitem, höherem Brechungsindex umfasst, bei welcher die obere der beiden Lagen 26 mit zweitem, höherem Brechungsindex eine Schichtdicke aufweist, die mindestens 40% der Dicke der Antireflexbeschichtung 2, bevorzugt mindestens 60% der Dicke der Antireflexbeschichtung 2, besonders bevorzugt mindestens 70% der Dicke der Antireflexbeschichtung 2, beträgt.

**[0039]** Bei dem in Fig. 2 gezeigten Beispiel beträgt dabei die Dicke der Lage 26 sogar mehr als 70% der Schichtdicke der Antireflexbeschichtung 2.

**[0040]** Gemäss noch einer Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die Antireflexbeschichtung 2 einen Schichtstapel umfasst, bei welchem die oberste Schicht 26 mit zweitem Brechungsindex die grösste Schichtdicke aller Lagen der Antireflexionsbeschichtung aufweist und eine Schichtdicke im Bereich von 100 nm bis 700 nm, bevorzugt von 300 nm bis 600 nm, ganz besonders bevorzugt von 400 nm bis 500 nm, hat. Diese Ausführungsform der Erfindung trifft vorzugsweise auch auf die in den Fig. 1 und 2 gezeigten Beispielen zu, kann aber auch auf andere Antireflexbeschichtungen mit mehr oder weniger Lagen angewendet werden. Die Dicke der oberen nitridischen Hartstoffschicht sorgt für eine hohe Widerstandsfähigkeit.

**[0041]** Um die Kratzresistenz der erfindungsgemässen optischen Elemente zu testen und zu vergleichen, kann ein Abrasionstest durchgeführt werden. Der für die Untersuchungen verwendete Test ist ein modifizierter Bayertest nach ASTM F735-11. Dabei werden die zu testenden optischen Elemente in einer Wanne mit einem granulären, abrasiven Medium bedeckt und die Wanne in Oszillation versetzt. Als Abrasivmedium wurde Aluminiumoxid-Sand mit einer Korngrösse zwischen 297  $\mu\text{m}$  und 420  $\mu\text{m}$  und einer Mohs-Härte von 9 verwendet. Die Wanne wurde mit einer Menge von 2 kg Sand befüllt, sodass sich eine Sandschicht von etwa 18 mm Dicke ergibt. Die Wanne oszilliert mit 150 Zyklen pro Minute.

**[0042]** Fig. 3 zeigt die spektrale Reflektivität zweier optischer Elemente im sichtbaren Spektralbereich zwischen 450 nm und 700 nm, jeweils gemessen vor und nach einem wie oben beschriebenen Abrasionstest mit 8000 Zyklen.

**[0043]** Kurve «A» ist die Reflektivität eines mit einer vierlagigen Antireflexbeschichtung beschichteten Saphir-Substrats, Kurve «C» die Reflektivität dieser Probe nach dem Abrasionstest.

**[0044]** Kurve «B» zeigt die spektrale Reflektivität eines erfindungsgemässen optischen Elements mit Saphir-Substrat, bei welchem die Antireflexbeschichtung 2 zusätzlich mit einer Schicht fluororganischer Moleküle 3 beschichtet wurde. Kurve «D» schliesslich zeigt die Reflektivität dieser Probe nach dem Abrasionstest. Wie anhand der Kurven ersichtlich, ändert sich die spektrale Reflektivität bei dem erfindungsgemässen optischen Element nach dem Abrasionstest (d.h. von Kurve «B» nach Kurve «D») weniger als bei der Antireflexbeschichtung ohne fluororganische Beschichtung (Kurven «A» und «C»). Die Differenz zwischen den Kurven «A» und «B» liegt sowohl an Fluktuationen in Prozessparametern beim Beschichten als auch am Vorhandensein der fluororganischen Beschichtung.

**[0045]** Die Wirkung der mechanischen Beständigkeit bzw. die Wirksamkeit hinsichtlich der Kratzanfälligkeit der erfindungsgemäss beschichteten optischen Elemente kann auch mit einem Sandpapiertest durchgeführt werden. Im Folgenden wird die Wirkung des erfindungsgemässen Schichtsystems anhand chemisch vorgespannter Glaselemente erläutert. Dabei wird die Wirkung von Sandkörnern auf die Glaselemente simuliert.

**[0046]** Es wurden Messungen der prozentualen Zunahme des Haze-Wertes infolge des Sandpapiertests an Antireflexbeschichtungen, wie sie auch die Fig. 1 und Fig. 2 zeigen, durchgeführt. Als transparentes Substrat 10 dient hier ein chemisch vorgespanntes Alumosilikatglas.

**[0047]** Die Haze-Messung erfolgt gemäss dem Standard ASTM D1003-95. Dabei wird bei dem durch das Glaselement transmittierten Licht der Anteil von Streulicht mit der Intensität des gesamten transmittierten Lichts verglichen.

**[0048]** Die Streustrahlung ist dabei ein Mass für den Anteil der durch Kratzer geschädigten Fläche. Ein Defekt in der Oberfläche des Glases führt zu einer Ablenkung des senkrecht zur Glasoberfläche einfallenden Strahls und wird von seiner einfallenden Richtung abgelenkt. Je mehr Schädigungen auf der Oberfläche sind, desto mehr Strahlung wird vom Detektor ferngehalten. Somit ist der Haze-Wert, angegeben in Prozent, ein Mass für den Schädigungsgrad der Oberfläche.

**[0049]** Die Ergebnisse der Haze-Messungen sind in Fig. 4 als Balkendiagramme dargestellt. Die Messwerte in Fig. 4 geben somit die prozentuale Zunahme des Streulichtanteils aufgrund von Kratzern und anderen Beschädigungen der Substratoberfläche nach dem Sandpapiertest wieder. Die mit «Design 8» bezeichnete Probe weist einen vierlagigen Schichtaufbau ähnlich zu dem Beispiel der Fig. 1 auf. Bei der mit «Design 1» bezeichneten Probe entspricht der Schichtaufbau des vierlagigen Schichtaufbaus gemäss Fig. 2, bei welcher die obere Lage 26 mit zweitem Brechungsindex eine Schichtdicke aufweist, die mehr als 70% der Gesamtschichtdicke der Antireflexbeschichtung 2 ausmacht.

**[0050]** Die Änderung des Haze-Wertes nach dem Sandpapiertest zeigt, dass die Beschichtung des Glassubstrats mit dem Schichtsystem nach Design 1, das mit einer besonders grossen Schichtdicke der oberen nitridischen Hartstoffschicht der Antireflexionsbeschichtung 2 auf die Kratzbeständigkeit hin optimiert ist, eine überraschend deutliche Verbesserung gegenüber dem unbeschichteten Glassubstrat und auch gegenüber dem Schichtsystem des Designs 8 (nach Fig. 1), dessen obere Lage 26 mit zweitem Brechungsindex der Antireflexionsbeschichtung 2 weniger als ein Drittel so dick ist wie die nach Design 1.

**[0051]** Überraschenderweise zeigt sich weiterhin, dass ein erfindungsgemässes Schichtsystem, bei dem zusätzlich eine Schicht 3 fluororganischer Moleküle aufgebracht ist, die Vermeidung von Kratzern erheblich verbessert. Wie aus Fig. 4 ersichtlich ist, wird die gemessene Zunahme des Haze-Werts nochmals um einen Faktor drei gegenüber der harten Antireflexbeschichtung ohne Schicht 3 reduziert und beträgt nur noch 0,2%. Demgegenüber ist die Zunahme des Haze-Wertes bei der unbeschichteten, chemisch vorgespannten Alumosilikatglas-Referenzprobe mit 21,8% um über einen Faktor 100 grösser.

**[0052]** Im Folgenden wird anhand der Fig. 5 und Fig. 6 erläutert, welchen Effekt einzelne Einflussgrössen auf die Kratzbeständigkeit haben. Die Fig. 5 und Fig. 6 zeigen Diagramme der Zunahme des Haze-Werts (als «haze\_diff» bezeichnet) und der Zunahme der Reflektivität (als «R\_diff» bezeichnet) durch einen Abrasionstest (modifizierter Bayertest mit 8000 Abrasions-Zyklen), abhängig von den verschiedenen Einflussgrössen. Die Diagramme wurden durch Vergleich einer Vielzahl von Proben, jeweils mit unterschiedlichem Material des Substrats 10, mit und ohne Antireflexbeschichtung 2, mit und ohne chemischer Vorspannung, sowie mit und ohne Lage 3 fluororganischer Moleküle erstellt.

**[0053]** Damit kann der Effekt der einzelnen Einflussgrössen isoliert werden. Bei Fig. 5 sind diese Einflussgrössen jeweils an optischen Elementen ohne Schicht 3, bei Fig. 6 mit einer aufgetragenen Schicht 3 ausgewertet. Die Skala auf der Abszisse gibt jeweils an, zu welchem Anteil die Einflussgrösse vorhanden ist. Es sind jeweils vier Diagramme nebeneinandergestellt, welche von links nach rechts die Einflussgrössen Substratmaterial (Diagrammbezeichnung «material»), chemische Vorspannung (Diagrammbezeichnung «chem.str»), Antireflexbeschichtung 2 (Diagrammbezeichnung «AR») und fluororganische Lage 3 (Diagrammbezeichnung «FOC») darstellen. Der Wert «0» stellt dabei bis auf das Diagramm «material» das Fehlen der Einflussgrösse und der Wert «1» deren Vorhandensein dar. Bei dem Diagramm «material» bezeichnet der Wert «0» ein Borosilikat-Floatglas und der Wert «1» ein Alumosilikatglas. Bei der Reflektivität handelt es sich um den Durchschnittswert im Wellenlängenbereich von 380 bis 780 nm.

**[0054]** Mit fluororganischer Beschichtung nimmt beim Abrasionstest die Reflektivität durchschnittlich um 0,55 % zu. Ohne fluororganischer Beschichtung beträgt diese Zunahme durch Abrasion 0,61%. D. h. durch die fluororganische Lage 3 wird die abrasionsbedingte Reflektivitätszunahme um 10% vermindert.

**[0055]** Mit fluororganischer Beschichtung nimmt beim Abrasionstest der Haze (die Lichtstreuung) durchschnittlich um 0,037 % zu. Ohne eine Lage 3 beträgt diese Zunahme durch Abrasion 0,051 %. Dies bedeutet, dass durch die Lage 3 die abrasionsbedingte Haze-Zunahme um 27% vermindert wird.

**[0056]** Werden bei einer Auswertung alle Muster unabhängig von anderen Parametern betrachtet, sieht man nicht den Vergleich zur Einflussstärke der anderen Parameter, sondern nur den Einfluss der fluororganischen Lage und kommt auf folgende Werte: Mit fluororganischer Lage 3 nimmt beim Abrasionstest die Reflektivität aller Muster durchschnittlich um 0,527% zu. Ohne fluororganische Beschichtung beträgt diese Zunahme durch Abrasion 0,565%. Das heisst, durch die fluororganische Beschichtung wird die abrasionsbedingte Reflektivitätszunahme um 7% vermindert. Mit fluororganischer Beschichtung nimmt beim harschen Abrasionstest der Haze (die Lichtstreuung) an allen Mustern durchschnittlich um 0,025% zu. Ohne fluororganische Lage 3 beträgt diese Zunahme durch Abrasion 0,041 %. Das heisst, durch die fluororganische Lage 3 wird die abrasionsbedingte Haze-Zunahme um 38% vermindert.

**[0057]** Anhand der Diagramme (Fig. 5 und Fig. 6) ist ersichtlich, dass der Einfluss auf Abrasionsresistenz (Änderung von Reflektivität oder Haze durch Abrasion) stärker von Material, Vorspannung und Antireflexbeschichtung abhängt. Der Einfluss der fluororganischen Lage 3 ist dennoch deutlich vorhanden.

**[0058]** Es zeigt sich aber darüber hinaus, dass die Kombination der fluororganischen Lage 3 mit der Antireflexbeschichtung 2 einen deutlich stärkeren Effekt ergibt, als beide Einflussgrößen für sich genommen. So ist der Effekt bei der in Fig. 4 gezeigten Auswirkung eines Sandpapiertests wesentlich grösser. Die Antireflexbeschichtung 2 alleine bewirkt eine Verringerung der Haze-Zunahme um einen Faktor 30. Mit der Lage 3 wird dieser Effekt nochmals erheblich verstärkt und bewirkt eine Verringerung um einen Faktor 100. Der nur durch die fluororganische Lage 3 verursachte Effekt nach den Fig. 5 und 6 (modifizierter Bayertest mit 8000 Zyklen) ist wesentlich kleiner, auch wenn zu berücksichtigen ist, dass der Abrasionstest der Fig. 5 und 6 deutlich härtere Bedingungen simuliert und die Ergebnisse daher nicht direkt vergleichbar sind.

**[0059]** Dass ein Zusammenwirken der Lage 3 mit der erfindungsgemässen Antireflexbeschichtung 2 vorhanden ist, wird auch an der nachfolgenden Tabelle deutlich:

|         | Haze-Zunahme mit Lage 3 | Haze-Zunahme ohne Lage 3 | Verbesserung bei Haze-Zunahme |
|---------|-------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| ohne AR | 0,04                    | 0,07                     | 43%                           |
| mit AR  | 0,06                    | 0,3                      | 80%                           |

**[0060]** Die Tabelle zeigt den Effekt der Lage 3 für ein Borosilikat-Floatglas-Substrat 10 mit und ohne Antireflexbeschichtung 2 anhand der prozentualen Verbesserung bei der Zunahme des Haze-Wertes nach dem Abrasionstest. Eine prozentual hohe Verbesserung bedeutet dabei, dass die Zunahme des Haze-Werts gegenüber der Probe vor dem Abrasionstest niedrig ist. Die Lage 3 vermindert demnach die Haze-Zunahme gegenüber dem unbeschichteten Substrat.

**[0061]** Wird aber demgegenüber eine erfindungsgemässe Kombination von Antireflexbeschichtung 2 und fluororganischer Lage 3 verwendet, zeigt sich eine nochmals wesentlich deutlichere Verbesserung bei der Zunahme von Lichtstreuung (Haze) gegenüber einer mit Antireflexbeschichtung 2, aber ohne Lage 3 beschichteten Probe. Die Verbesserung bei der Zunahme des Haze-Werts ist mit 80% fast doppelt so hoch, wie bei der unbeschichteten Probe. Bei der Zunahme der Reflektivität ist der Effekt zwar geringer (siehe Fig. 3), aber dennoch deutlich. Hierbei ist auch zu beachten, dass die Reflektivität bei einer Antireflexbeschichtung empfindlich auf eine Verminderung der Schichtdicke der obersten Lage 27 ist. Wird die Schichtdicke durch Abrasion reduziert, so führt dies zu einer spektralen Verschiebung der Interferenzeffekte. Demgegenüber ändert sich bei einem unbeschichteten Glas bei einer Abrasion der Brechungsindex und damit die Reflektivität an sich nicht. Insofern stellt die durch die Lage 3 bei der auf Abrasion hinsichtlich der Reflektivität empfindlicheren Antireflexbeschichtung erzielte Verbesserung ebenfalls einen sehr deutlichen Effekt dar.

**[0062]** Der überproportional grosse Effekt bei der Verbesserung der Kratzbeständigkeit wird auf ein Zusammenwirken der Dotierung der obersten Lage 27 der Antireflexbeschichtung mit der Beschichtung mittels der Lage 3 fluororganischer Moleküle zurückgeführt. Zum einen wird durch das neben Siliziumoxid zumindest eine weitere Oxid die chemische Beständigkeit erhöht. Möglicherweise nimmt dieses Oxid eines weiteren Elements auch Einfluss auf die kovalente Bindung der fluororganischen Moleküle an die Oberfläche der obersten Lage 27 der Antireflexbeschichtung.

**[0063]** Nachfolgend werden Beispiele optischer Elemente 1 erläutert.

**[0064]** Ein bevorzugtes Substrat 10 ist ein chemisch vorgespanntes Glas, insbesondere in Form einer chemisch vorgespannten Glasscheibe. Fig. 7 zeigt ein solches Beispiel. Das scheibenförmige Substrat 10 weist an beiden Seitenflächen 100, 101 Austauschschichten 11, 12 auf, welche durch Austausch von Alkaliionen des Glases durch grössere Homologe (insbesondere durch einen Austausch von Na<sup>+</sup>-Ionen durch K<sup>+</sup>-Ionen) unter Druckspannung stehen. Die beiden Seitenflächen 100, 101 bilden die Oberfläche, die mit der Antireflexbeschichtung 2 versehen sind. Alternativ kann, je nach Verwendungszweck, auch nur eine der Seitenflächen 100, 101 mit einer Antireflexbeschichtung 2 versehen sein.

**[0065]** Ebenso wie bei den in den Fig. 1 und 2 gezeigten Beispielen kann es auch bei einem chemisch vorgespannten Substrat 10 günstig sein, eine Siliziumoxid-haltige Lage 28 als Haftvermittler für die nachfolgend abgeschiedene Antireflexbeschichtung 2 abzuscheiden. Diese Lage 28 weist vorzugsweise die gleiche Zusammensetzung wie die Lagen der Antireflexbeschichtung 2 mit erstem Brechungsindex auf.

**[0066]** Das optische Element 1 kann beispielsweise als Abschlusselement oder Fenster der Optik einer Kamera oder eines anderen optischen Sensors verwendet werden. Auch kann das optische Element ein Deckglas einer optischen Anzeige eines mobilen elektronischen Geräts, wie beispielsweise eines Smart-Phones, eines Tablet-PCs oder einer Uhr, sein.

**[0067]** Für solche Anzeigen kann weiterhin auch Saphir beziehungsweise Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> als Substrat 10 verwendet und mit der erfindungsgemässen Beschichtung mit Antireflexbeschichtung 2 und fluororganischer Lage 3 versehen werden. Auch hier wird, wie bereits oben erwähnt, vorzugsweise eine Siliziumoxid-haltige Lage 28 als Haftvermittler zwischen Saphir-Oberfläche und Antireflexbeschichtung 2 verwendet. Die Vorteile sind die gleichen, wie bei der oben erläuterten Ausführungsform eines Saphir-Uhrglases.

**[0068]** Gemäss noch einer Ausführungsform der Erfindung wird ein Substrat 10 aus oder mit Zirkoniumoxid, ZrO<sub>2</sub> verwendet. Vorzugsweise wird für ein solches Substrat ein ZrO<sub>2</sub>-Mischkristall verwendet, um eine Kristallphase, wie die kubische Phase zu stabilisieren. Als Stabilisatoren sind dabei beispielsweise Calciumoxid, Magnesiumoxid oder Yttriumoxid enthalten.

**[0069]**  $\text{ZrO}_2$  weist einen hohen Elastizitätsmodul von etwa 200 GPa auf. Die Biegesteifigkeit ist sogar noch höher als bei Saphir. Insofern kommt auch dieses Material für Anwendungen in Betracht, bei denen es auf eine hohe Substratfestigkeit ankommt. Mit der erfindungsgemässen Beschichtung werden damit zudem Kratzbeständigkeiten ähnlich zu Saphir erzielt. Zudem werden störende Reflexionen durch den sehr hohen Brechungsindex von über 2 unterdrückt.

**[0070]** Weitere Zirkonium-enthaltende mögliche Substrate sind Hartstoffmaterialien wie Zirkoncarbid und Zirkonnitrid. Diese Materialien sind allerdings im Allgemeinen nicht oder nicht sehr transparent. Noch ein weiteres mögliches hartes Substratmaterial ist Siliziumcarbid, welches auch als Material in der Optik verwendet wird.

**[0071]** Anstelle ein Deckglas für eine Optik zu verwenden, kann auch direkt eine Linse als optisches Element 1 mit erfindungsgemässer Beschichtung hergestellt werden. Fig. 8 zeigt ein solches Beispiel. Das Substrat 10 in Form einer Linse 8 ist bei dem dargestellten Beispiel nur einseitig mit der Antireflexbeschichtung 2 und der darauf aufgetragenen fluororganischen Lage 3 versehen. Dies ist beispielsweise sinnvoll, wenn die Linse 8 mit einer weiteren Linse auf der nicht beschichteten Linsenfläche verkittet werden soll. Selbstverständlich können aber auch hier beide Linsenflächen beschichtet sein. Für das Substrat 10 werden vorzugsweise optische Gläser, wie etwa Kron- oder Flintgläser oder hochbrechende Gläser, verwendet.

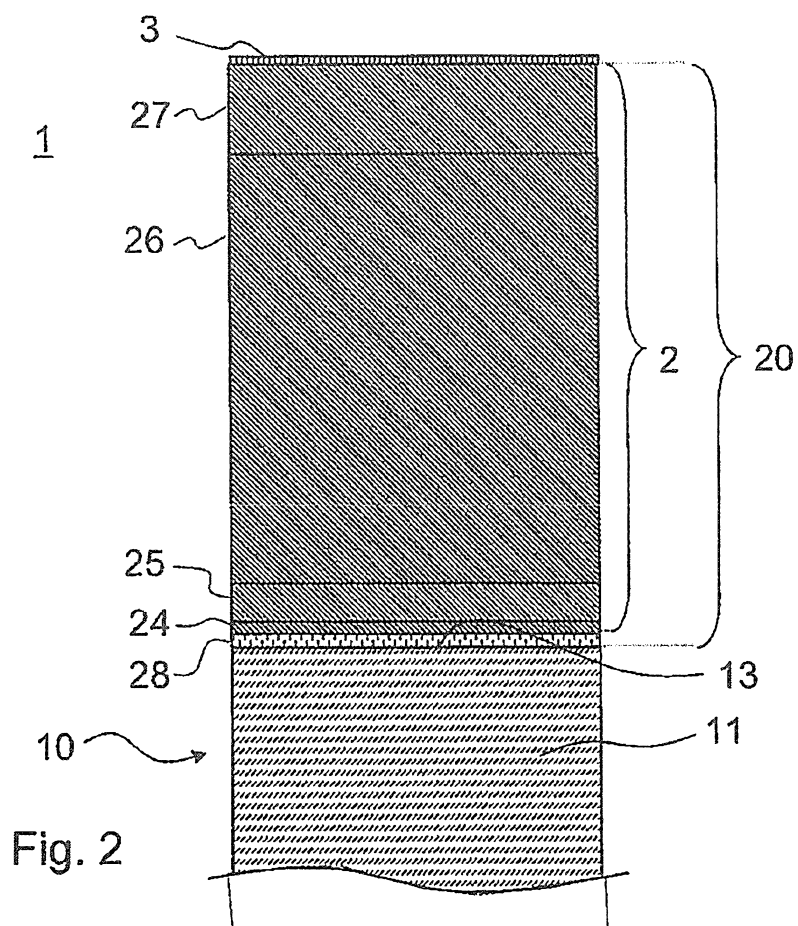
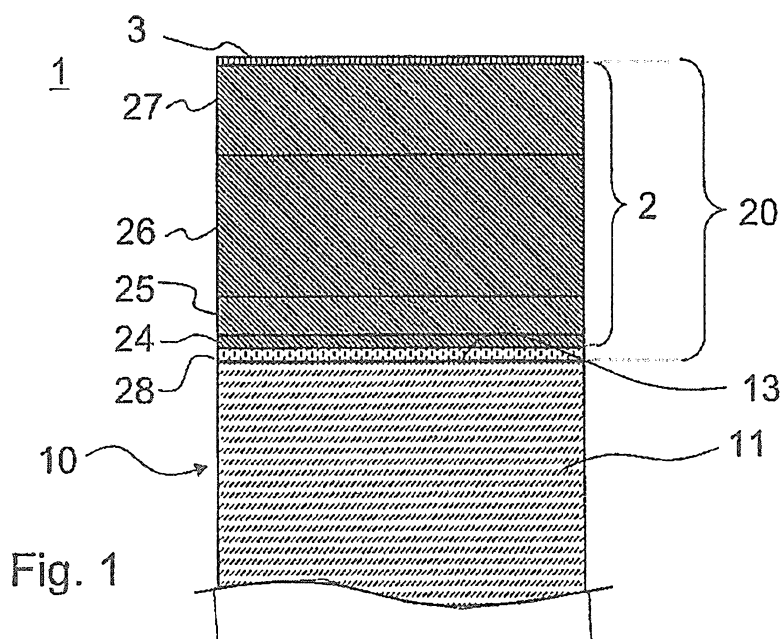
**[0072]** Solche Linsen 8 können vorteilhaft mit der Lage 3 nach aussen weisend eine Objektiv- oder Okularlinse eines Objektivs, beispielsweise einer Kameraoptik, eines Mikroskops oder eines Fernrohrs bilden.

### Patentansprüche

1. Optisches Element (1) mit einem im sichtbaren Spektralbereich transparenten Substrat (10) sowie einer auf dem Substrat (10) abgeschiedenen mehrlagigen Antireflexbeschichtung (2), welche abwechselnd Lagen mit einem ersten Brechungsindex und einem zweiten, höheren Brechungsindex aufweist, wobei die Lagen mit höherem Brechungsindex Nitrid oder Oxinitrid und die Lagen mit erstem Brechungsindex Oxid von Silizium und zumindest einem weiteren Element enthalten, welches ausgewählt ist aus den Elementen Aluminium, Zinn, Magnesium, Phosphor, Cer, Zirkon, Titan, Barium, Strontium, Niob, Bor und wobei der molare Anteil von Silizium in den Lagen mit erstem Brechungsindex gegenüber molaren Anteilen des oder der weiteren Elemente überwiegt, und wobei die oberste Lage der mehrlagigen Antireflexbeschichtung eine Lage mit erstem Brechungsindex ist, und wobei auf der Antireflexbeschichtung eine Lage (3) kettenförmiger fluororganischer Moleküle angeordnet ist, wobei die Moleküle endseitig an die Oberfläche des optischen Elements, vorzugsweise an die oberste Lage (27) der Antireflexbeschichtung (2), gebunden sind.
2. Optisches Element gemäss Anspruch 1, wobei die Lage kettenförmiger fluororganischer Moleküle eine monomolekulare Lage ist.
3. Optisches Element gemäss einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die fluororganischen Moleküle perfluorierte Kohlenstoffketten enthalten.
4. Optisches Element gemäss einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch ein Saphir-Substrat.
5. Optisches Element gemäss einem der Ansprüche 1 bis 3, gekennzeichnet durch ein chemisch vorgespanntes Glassubstrat.
6. Optisches Element gemäss einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Antireflexbeschichtung (2) einen Schichtstapel aus vier aufeinanderfolgenden Lagen (24, 25, 26, 27) umfasst, bei welcher die unterste Lage (24) eine siliziumnitrid-haltige höherbrechende Lage ist, wobei die weitere siliziumnitrid-haltige höherbrechende Lage (26), welche die oberste hochbrechende Lage des Schichtstapels bildet, die grösste Schichtdicke innerhalb des Schichtstapels aufweist, und wobei die oberste Lage (27) des Schichtstapels eine Lage mit niedrigerem Brechungsindex aus Siliziumoxid, vorzugsweise mit einem Anteil von Aluminium, bildet und die zweitgrösste Schichtdicke unter den Lagen des Schichtstapels aufweist, wobei die erste Lage (24) und die zweite Lage (25), welche wie die oberste Lage (27) eine Lage mit niedrigerem Brechungsindex aus Siliziumoxid mit einem Anteil von Aluminium ist, zusammengesetzt eine Schichtdicke aufweisen, die dünner als die Schichtdicke der obersten Lage (27) ist.
7. Optisches Element gemäss einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Antireflexbeschichtung (2) einen Schichtstapel umfasst, bei welchem die oberste Schicht (26) mit zweitem Brechungsindex die grösste Schichtdicke der Antireflexionsbeschichtung aufweist und eine Schichtdicke im Bereich von 100 nm bis 700 nm, bevorzugt von 300 nm bis 600 nm, ganz besonders bevorzugt von 400 nm bis 500 nm, hat.
8. Optisches Element gemäss einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis der Stoffmengen von Silizium und dem zumindest einen weiteren Element in den einzelnen Lagen der Antireflexbeschichtung mindestens 5:1, vorzugsweise mindestens 8:1, beträgt.
9. Optisches Element gemäss einem der vorstehenden Ansprüche, wobei
  - die Knoop-Härte des optischen Elements (1) auf dessen beschichteter Oberfläche (13) mindestens 600 kg/mm<sup>2</sup> beträgt, oder
  - wobei das Substrat (10) einen Elastizitätsmodul von mindestens 50 GPa aufweist.



10. Optisches Element gemäss einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Antireflexbeschichtung (2) einen Schichtstapel aus vier aufeinanderfolgenden Lagen (24, 25, 26, 27) mit zwei Lagen (24, 26) mit zweitem, höherem Brechungsindex umfasst, bei welcher die obere der beiden Lagen (26) mit zweitem, höherem Brechungsindex eine Schichtdicke aufweist, die mindestens 40% der Dicke der Antireflexbeschichtung (2), bevorzugt mindestens 60% der Dicke der Antireflexbeschichtung (2), besonders bevorzugt mindestens 70% der Dicke der Antireflexbeschichtung (2), beträgt.
11. Verfahren zur Herstellung eines optischen Elements (1) gemäss einem der vorstehenden Ansprüche, bei welchem
  - ein im sichtbaren Spektralbereich transparentes Substrat (10) bereitgestellt und
  - auf dem Substrat (10) eine mehrlagige Antireflexbeschichtung (2) aufgebracht wird, indem
  - mittels eines Vakuumabscheidungsverfahrens abwechselnd Lagen mit einem ersten Brechungsindex und einem zweiten, höheren Brechungsindex abgeschieden werden, wobei die Lagen mit höherem Brechungsindex Nitrid oder Oxinitrid und die Lagen mit erstem Brechungsindex Oxid von Silizium und zumindest einem weiteren Element enthalten, und wobei der molare Anteil von Silizium in den Lagen mit erstem Brechungsindex gegenüber molaren Anteilen des oder der weiteren Elemente überwiegt, und wobei die oberste Lage der mehrlagigen Antireflexbeschichtung eine Lage mit erstem Brechungsindex ist, und wobei auf der Antireflexbeschichtung eine Beschichtung mit einer Lage (3) kettenförmiger fluororganischer Moleküle aufgebracht wird, wobei die Moleküle endseitig an die Oberfläche des optischen Elements, vorzugsweise an die oberste Lage (27) der Antireflexbeschichtung (2), gebunden werden.
12. Verfahren gemäss Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Lagen (24, 25, 26, 27) der Antireflexbeschichtung (2) durch reaktives Magnetronspütern abgeschieden werden.
13. Verfahren gemäss Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Lage (3) fluororganischer Moleküle durch Flüssigbeschichtung oder durch Verdampfen in einem Vakuumabscheidungsverfahren aufgebracht wird.



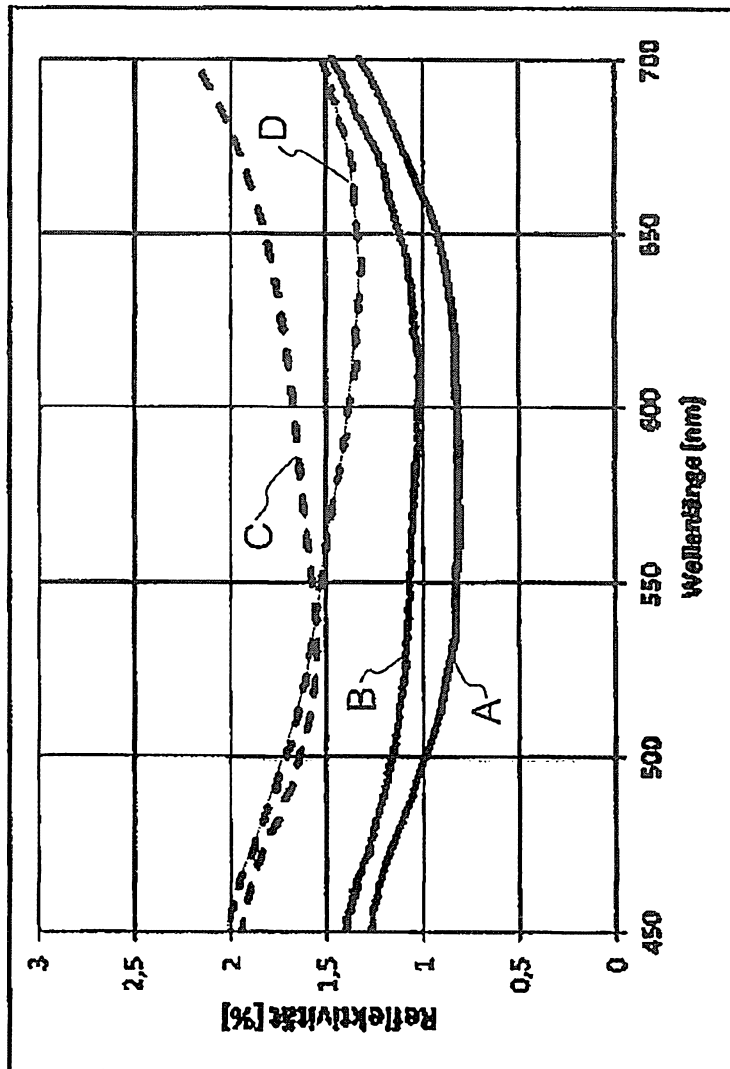


Fig. 3

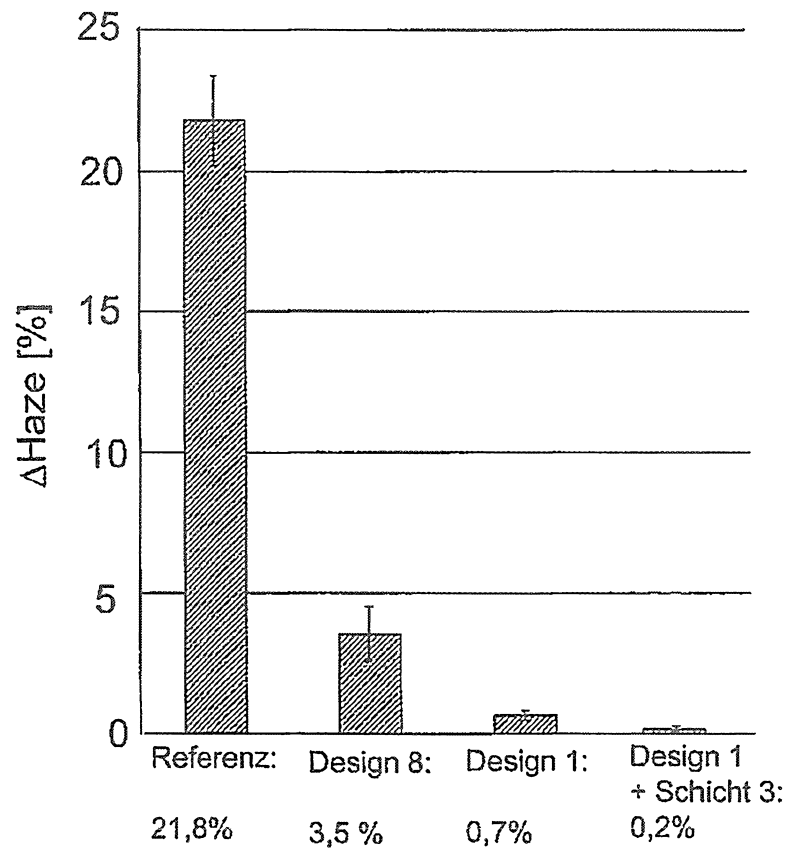


Fig. 4

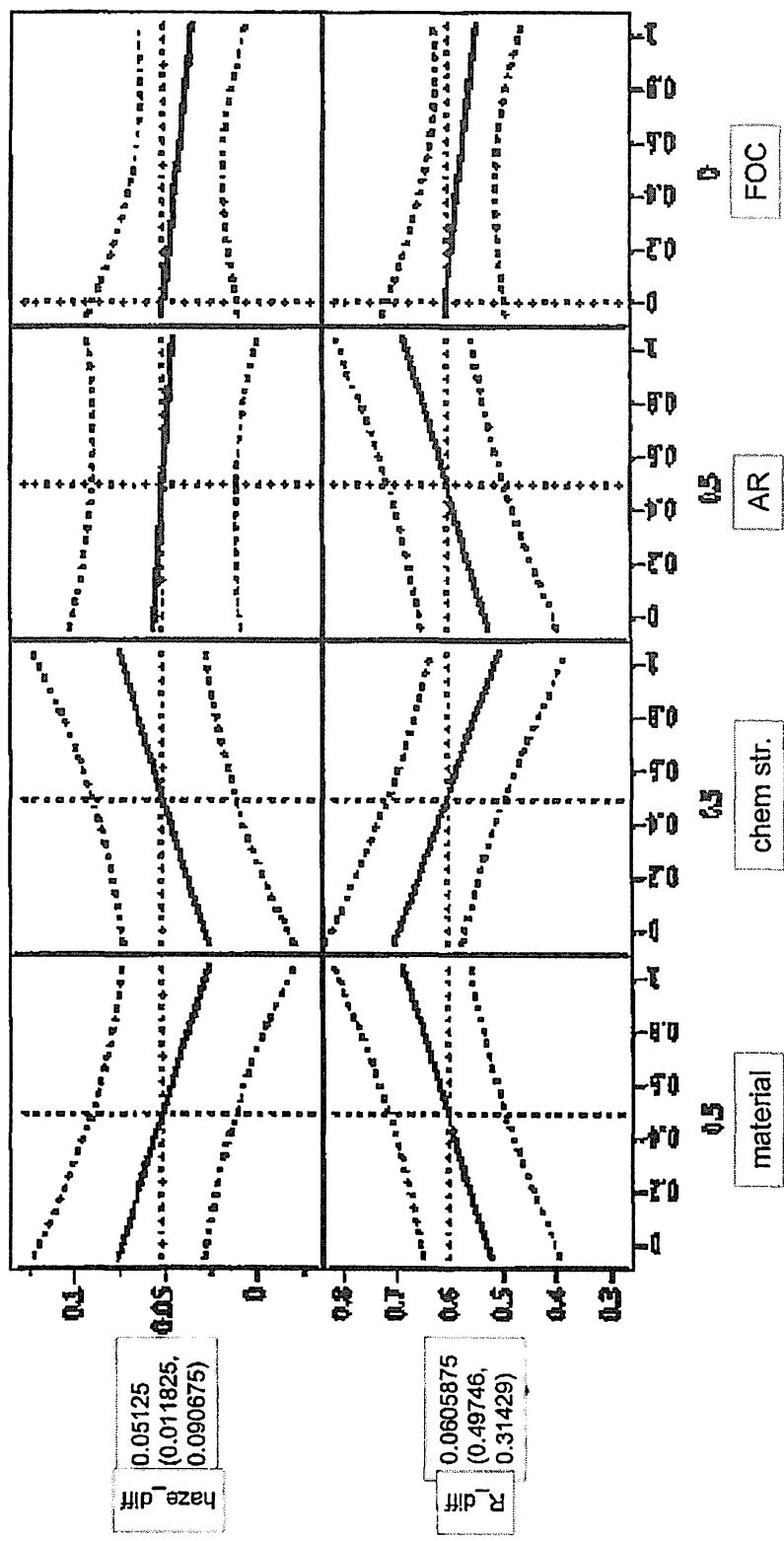


Fig. 5

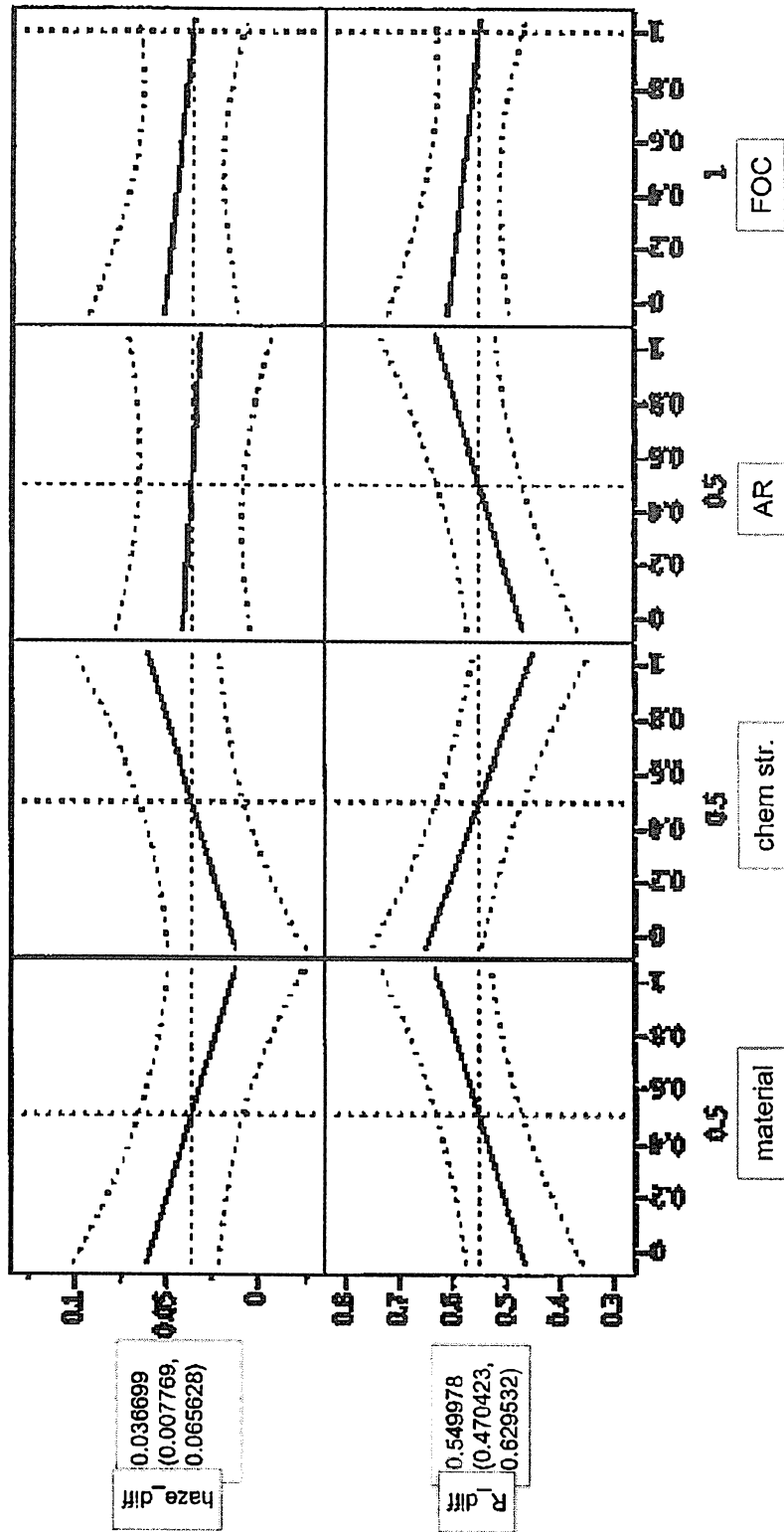


Fig. 6

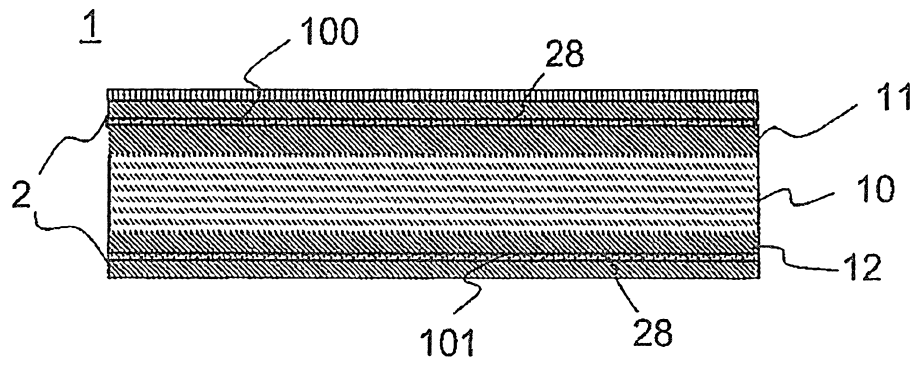


Fig. 7

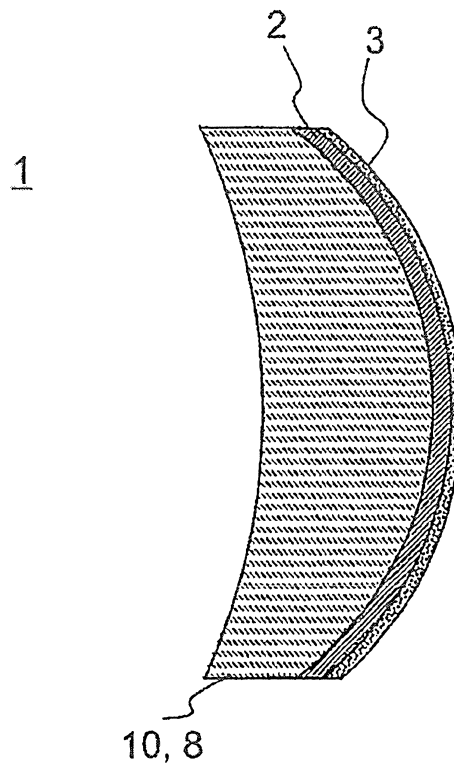


Fig. 8