

(12)

Gebrauchsmusterschrift

(21) Anmeldenummer: GM 50067/2020
(22) Anmeldetag: 16.07.2013
(24) Beginn der Schutzdauer: 15.08.2021
(45) Veröffentlicht am: 15.08.2021

(51) Int. Cl.: **G02B 5/28** (2006.01)
G02B 1/115 (2015.01)

(60) Abzweigung aus EP 18190864.1
(30) Priorität:
16.07.2012 US 61672164 beansprucht.
(56) Entgegenhaltungen:
US 5398133 A
US 2003039847 A1
US 5472787 A

(73) Gebrauchsmusterinhaber:
Viavi Solutions Inc.
95002 San Jose, Kalifornien (US)
(72) Erfinder:
HENDRIX Karen Denise
95401 Santa Rosa, Kalifornien (US)
BRADLEY Richard
95401 Santa Rosa, Kalifornien (US)
GRIGONIS Marius
95405 Santa Rosa, Kalifornien (US)
OCKENFUSS Georg
95404 Santa Rosa, Kalifornien (US)
(74) Vertreter:
Redl Gerda Dipl.Ing. Dr.
1220 Wien (AT)
Loidl Manuela Dr.
1220 Wien (AT)
Gassner Birgitta Dipl.Ing.
1220 Wien (AT)

(54) OPTISCHER FILTER UND SENSORSYSTEM

(57) Ein optischer Filter, der einen Durchlassbereich aufweist, der mindestens teilweise mit einem Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm überlappt, wird bereitgestellt. Der optische Filter beinhaltet einen Filterstapel auf einer ersten Seite eines Substrats, wobei der Filterstapel abwechselnd Schichten aus hydriertem Silicium und Schichten aus einem Material mit niedrigerem Brechungsindex umfasst. Der optische Filter weist innerhalb des Durchlassbereichs einen Durchlässigkeitsgrad von mehr als 90 % auf.

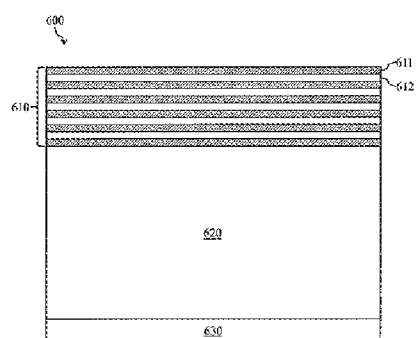


FIG. 6

Beschreibung

OPTISCHER FILTER UND SENSORSYSTEM

TECHNISCHES GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft optische Filter und optische Filter beinhaltende Sensorsysteme. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung optische Filter, die hydrierte Siliciumschichten umfassen, und Sensorsysteme, die solche optischen Filter beinhalten.

ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK

[0002] In einem typischen Gestenerkennungssystem emittiert eine Lichtquelle Nahinfrarotlicht in Richtung eines Benutzers. Ein dreidimensionaler (3D) Bildsensor detektiert das emittierte Licht, das von dem Benutzer reflektiert wird, um ein 3D-Bild des Benutzers bereitzustellen. Ein Verarbeitungssystem analysiert dann das 3D-Bild, um eine von dem Benutzer gemachte Geste zu erkennen.

[0003] Ein optischer Filter, insbesondere ein Bandpassfilter, wird verwendet, um das emittierte Licht zum 3D-Bildsensor durchzulassen, während Umgebungslicht im Wesentlichen blockiert wird. Mit anderen Worten dient der optische Filter zum Abschirmen von Umgebungslicht. Deshalb ist ein optischer Filter, der einen schmalen Durchlassbereich im Nahinfrarotwellenlängenbereich, d. h. 800 nm bis 1100 nm, aufweist, erforderlich. Des Weiteren muss der optische Filter einen hohen Durchlässigkeitsgrad innerhalb des Durchlassbereichs und einen hohen Blockierungsgrad außerhalb des Durchlassbereichs aufweisen.

[0004] Herkömmlicherweise umfasst der optische Filter einen Filterstapel und einen Blockierungsstapel, beschichtet auf entgegengesetzten Oberflächen eines Substrates. Jeder der Stapel ist aus abwechselnden Schichten mit hohem Brechungsindex und Schichten mit niedrigem Brechungsindex gebildet. Im Allgemeinen werden für die Schichten mit hohem Brechungsindex und die Schichten mit niedrigem Brechungsindex unterschiedliche Oxide, wie etwa TiO_2 , Nb_2O_5 , Ta_2O_5 , SiO_2 , und Mischungen daraus verwendet. Zum Beispiel umfassen einige herkömmliche optische Filter einen $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ -Filterstapel und einen $\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2$ -Blockierungsstapel, in denen die Schichten mit hohem Brechungsindex aus TiO_2 bzw. Ta_2O_5 bestehen und die Schichten mit niedrigem Brechungsindex aus SiO_2 bestehen.

[0005] In einem ersten herkömmlichen optischen Filter, der ausgestaltet ist, um Licht in einem Wellenlängenbereich von 829 nm bis 859 nm über einen Einfallswinkelbereich von 0° bis 30° durchzulassen, umfasst der Filterstapel 71 Schichten, umfasst der Blockierungsstapel 140 Schichten und beträgt die Gesamtbeschichtungsdicke etwa 24 μm . Die Durchlass-Spektren 100 und 101 bei Einfallswinkeln von 0° bzw. 30° sind für diesen optischen Filter in FIG. 1 aufgetragen. In einem zweiten herkömmlichen optischen Filter, der ausgestaltet ist, um Licht mit einer Wellenlänge von 825 nm über einen Einfallswinkelbereich von 0° bis 20° durchzulassen, umfasst der Filterstapel 43 Schichten, umfasst der Blockierungsstapel 82 Schichten und beträgt die Gesamtbeschichtungsdicke etwa 14 μm . Die Durchlass-Spektren 200 und 201 bei Einfallswinkeln von 0° bzw. 20° sind für diesen optischen Filter in FIG. 2 aufgetragen. In einem dritten herkömmlichen optischen Filter, der ausgestaltet ist, um Licht in einem Wellenlängenbereich von 845 nm bis 865 nm über einen Einfallswinkelbereich von 0° bis 24° durchzulassen, umfasst der Filterstapel 77 Schichten, umfasst der Blockierungsstapel 148 Schichten und beträgt die Gesamtbeschichtungsdicke etwa 26 μm . Die Durchlass-Spektren 300 und 301 bei Einfallswinkeln von 0° bzw. 24° sind für diesen optischen Filter in FIG. 3 aufgetragen.

[0006] Mit Bezug auf FIG. 1-3 weisen der erste, zweite und dritte herkömmliche optische Filter im Allgemeinen einen hohen Durchlässigkeitsgrad innerhalb des Durchlassbereichs und einen hohen Blockierungsgrad außerhalb des Durchlassbereichs auf. Die mittlere Wellenlänge des Durchlassbereichs erfährt jedoch bei Änderung des Einfallswinkels eine relativ große Verschiebung. Folglich muss der Durchlassbereich relativ breit sein, damit Licht über den erforderlichen

Einfallswinkelbereich akzeptiert wird, wodurch die Menge an Umgebungslicht, das durchgelassen wird, erhöht wird und das Signal-Rausch-Verhältnis von Systemen, die diese herkömmlichen optischen Filter enthalten, reduziert wird. Des Weiteren erhöht die Vielzahl von Schichten in den Filterstapeln und Blockierungsstapeln den Aufwand und die Beschichtungszeit, welche beim Fertigen dieser herkömmlichen optischen Filter benötigt werden. Auch die große Gesamtbeschichtungsdicke macht es schwierig, diese herkömmlichen optischen Filter zu strukturieren, z. B. durch Fotolithographie.

[0007] Um die Leistung des optischen Filters in dem Gestenerkennungssystem zu verbessern, wäre es wünschenswert, die Anzahl der Schichten, die Gesamtbeschichtungsdicke und die Verschiebung der mittleren Wellenlänge bei Änderung des Einfallswinkels zu reduzieren. Ein Ansatz ist, ein Material zu verwenden, das über den Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm für die Schichten mit hohem Brechungsindex einen höheren Brechungsindex aufweist als herkömmliche Oxide. Zusätzlich zu einem höheren Brechungsindex muss das Material über den Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm auch einen niedrigen Extinktionskoeffizienten aufweisen, um einen hohen Durchlässigkeitsgrad innerhalb des Durchlassbereichs bereitzustellen.

[0008] Die Verwendung von hydriertem Silicium (Si:H) für Schichten mit hohem Brechungsindex in optischen Filtern wird von Lairson et al. in einem Artikel mit dem Titel „Reduced Angle-Shift Infrared Bandpass Filter Coatings“ (Konferenzbericht der SPIE, 2007, Bd. 6545, Seiten 65451C-1 65451C-5) und von Gibbons et al. in einem Artikel mit dem Titel „Development and Implementation of a Hydrogenated a-Si Reactive Sputter Deposition Process“ (Konferenzbericht der Annual Technical Conference, Society of Vacuum Coaters, 2007, Bd. 50, Seiten 327-330) veröffentlicht. Lairson et al. offenbaren ein hydriertes Siliciummaterial, das bei einer Wellenlänge von 1500 nm einen Brechungsindex von 3,2 und bei Wellenlängen größer als 1000 nm einen Extinktionskoeffizienten von weniger als 0,001 aufweist. Gibbons et al. offenbaren ein hydriertes Siliciummaterial, das durch Wechselstrom-Sputtern (AC-Sputtern) hergestellt wird, das bei einer Wellenlänge von 830 nm einen Brechungsindex von 3,2 und bei einer Wellenlänge von 830 nm einen Extinktionskoeffizienten von 0,0005 aufweist. Leider weisen diese hydrierten Siliciummaterialien über den Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm keinen angemessen niedrigen Extinktionskoeffizienten auf.

ÜBERSICHT DER ERFINDUNG

[0009] Dementsprechend betrifft die vorliegende Erfindung einen optischen Filter, der einen Durchlassbereich aufweist, der mindestens teilweise mit einem Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm überlappt, beinhaltend: einen Filterstapel, umfassend: eine Vielzahl von hydrierten Siliciumschichten, die über den Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm jeweils einen Brechungsindex von größer als 3 und über den Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm einen Extinktionskoeffizienten von weniger als 0,0005 aufweisen; und eine Vielzahl von Schichten mit niedrigerem Brechungsindex, die über den Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm jeweils einen Brechungsindex von weniger als 3 aufweisen, abwechselnd mit der Vielzahl von hydrierten Siliciumschichten gestapelt.

[0010] Die vorliegende Erfindung betrifft auch ein Sensorsystem, beinhaltend: eine Lichtquelle zum Emittieren von Licht mit einer Emissionswellenlänge in einem Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm; einen optischen Filter, der einen Durchlassbereich aufweist, der die Emissionswellenlänge umfasst und mindestens teilweise mit dem Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm überlappt, angeordnet, um das emittierte Licht zu empfangen, zum Durchlassen des emittierten Lichts, während Umgebungslicht im Wesentlichen blockiert wird, wobei der optische Filter Folgendes beinhaltet: einen Filterstapel, umfassend: eine Vielzahl von hydrierten Siliciumschichten, die über den Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm jeweils einen Brechungsindex von größer als 3 und über den Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm jeweils einen Extinktionskoeffizienten von weniger als 0,0005 aufweisen; und eine Vielzahl von Schichten mit niedrigerem Brechungsindex, die über den Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm jeweils einen Brechungsindex von weniger als 3 aufweisen, abwechselnd mit der Vielzahl von hydrierten Siliciumschichten gestapelt; und einen Sensor, angeordnet, um das emittierte Licht nach dem

Durchlassen durch den optischen Filter zu empfangen, zum Detektieren des emittierten Lichts.

KURZBESCHREIBUNG DER FIGUREN

[0011] Die vorliegende Erfindung wird anhand der begleitenden Figuren näher beschrieben, wobei:

- [0012]** FIG. 1 eine Auftragung der Durchlässigkeitsspektren bei Einfallswinkeln von 0° und 30° für einen ersten herkömmlichen optischen Filter ist;
- [0013]** FIG. 2 eine Auftragung von Durchlässigkeitsspektren bei Einfallswinkeln von 0° und 20° für einen zweiten herkömmlichen optischen Filter ist;
- [0014]** FIG. 3 eine Auftragung von Durchlässigkeitsspektren bei Einfallswinkeln von 0° und 24° für einen dritten herkömmlichen optischen Filter ist;
- [0015]** FIG. 4 eine schematische Veranschaulichung eines Sputter-Abscheidungssystems ist;
- [0016]** FIG. 5A eine Auftragung von Durchlässigkeitsspektren für 1500 nm dicke Siliciumschichten, die bei Vorhandensein und bei Abwesenheit von Wasserstoff abgeschieden werden, ist;
- [0017]** FIG. 5B eine Auftragung der Absorptionskantenwellenlänge bei einem Durchlässigkeitsgrad von 50 % über der Wasserstoffdurchflussmenge für hydrierte Siliciumschichten (Si:H-Schichten) vor und nach einem Temperschnitt ist;
- [0018]** FIG. 5C eine Auftragung des Brechungsindex bei Wellenlängen von 800 nm bis 1120 nm über der Wasserstoffdurchflussmenge für hydrierte Siliciumschichten ist;
- [0019]** FIG. 5D eine Auftragung des Absorptionskoeffizienten bei Wellenlängen von 800 nm bis 880 nm über der Wasserstoffdurchflussmenge für hydrierte Siliciumschichten ist;
- [0020]** FIG. 6 eine schematische Veranschaulichung eines Querschnitts eines optischen Filters gemäß der vorliegenden Erfindung ist;
- [0021]** FIG. 7A eine Tabelle ist, die Eigenschaften des ersten herkömmlichen optischen Filters aus FIG. 1 und eines ersten beispielhaften optischen Filters gemäß der vorliegenden Erfindung vergleicht;
- [0022]** FIG. 7B eine Tabelle ist, die Schichtanzahlen, Materialien und Dicken für die Antireflex(AR)-Beschichtung des ersten beispielhaften optischen Filters auflistet;
- [0023]** FIG. 7C eine Tabelle ist, die Schichtanzahlen, Materialien und Dicken für den Filterstapel des ersten beispielhaften optischen Filters auflistet;
- [0024]** FIG. 7D eine Auftragung von Durchlässigkeitsspektren bei Einfallswinkeln von 0° und 30° für den ersten beispielhaften optischen Filter ist;
- [0025]** FIG. 7E eine Auftragung von Durchlässigkeitsspektren bei Einfallswinkeln von 0° und 30° für einen optischen Filter, der analog zu dem ersten beispielhaften optischen Filter ist, aber einen Si/SiO₂-Filterstapel umfasst, ist;
- [0026]** FIG. 8A eine Tabelle ist, die Eigenschaften des zweiten herkömmlichen optischen Filters aus FIG. 2 und eines zweiten beispielhaften optischen Filters gemäß der vorliegenden Erfindung vergleicht;
- [0027]** FIG. 8B eine Tabelle ist, die Schichtanzahlen, Materialien und Dicken für den Filterstapel des zweiten beispielhaften optischen Filters auflistet;
- [0028]** FIG. 8C eine Auftragung von Durchlässigkeitsspektren bei Einfallswinkeln von 0° und 20° für den zweiten beispielhaften optischen Filter ist;

- [0029]** FIG. 8D eine Auftragung von Durchlässigkeitsspektren bei Einfallswinkeln von 0° und 20° für einen optischen Filter, der analog zu dem zweiten beispielhaften optischen Filter ist, aber einen Si/SiO₂-Filterstapel umfasst, ist;
- [0030]** FIG. 9A eine Tabelle ist, die Schichtanzahlen, Materialien und Dicken für den Filterstapel eines dritten beispielhaften optischen Filters gemäß der vorliegenden Erfindung auflistet;
- [0031]** FIG. 9B eine Auftragung von Durchlässigkeitsspektren bei Einfallswinkeln von 0° und 40° für den dritten beispielhaften optischen Filter ist; und
- [0032]** FIG. 10 eine Blockdarstellung eines Sensorsystems gemäß der vorliegenden Erfindung ist.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0033] Die vorliegende Erfindung stellt einen hydrierte Siliciumschichten (Si:H-Schichten) umfassenden optischen Filter bereit, der für die Verwendung in einem Sensorsystem, wie etwa einem Näherungssensorsystem, einem dreidimensionalen (3D) Abbildungssystem oder einem Gestenerkennungssystem, besonders geeignet ist.

[0034] Der optische Filter der vorliegenden Erfindung verwendet ein verbessertes hydriertes Siliciummaterial, das über einen Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm, d. h. im Nahinfrarotwellenlängenbereich, sowohl einen hohen Brechungsindex als auch einen niedrigen Absorptionskoeffizienten aufweist. Typischerweise ist das hydrierte Siliciummaterial amorph. Das hydrierte Siliciummaterial wird vorzugsweise durch ein Sputterverfahren mit gepulstem Gleichstrom (DC-Sputtern) hergestellt. Ein Sputter-Abscheidungssystem, das zum Herstellen des hydrierten Siliciummaterials geeignet ist, wird in dem US-amerikanischen Patent Nr. 8,163,144 von Tilsch et al., veröffentlicht am 24. April 2012, beschrieben, welches hierin durch Verweis aufgenommen wird.

[0035] Mit Bezug auf FIG. 4 umfasst ein typisches Sputter-Abscheidungssystem 400, das zum Herstellen des hydrierten Siliciummaterials verwendet wird, eine Vakuumkammer 410, ein Substrat 420, eine Kathode 430, eine Kathodenstromversorgung 440, eine Anode 450, eine Plasmaaktivierungsquelle (Plasma Activation Source, PAS) 460 und eine PAS-Stromversorgung 470. Die Kathode 430 wird durch die Kathodenstromversorgung 440, die eine gepulste Gleichstrom-Stromversorgung ist, mit Strom versorgt. Die PAS 460 wird durch die PAS-Stromversorgung 470, die eine Funkfrequenz(RF)-Stromversorgung ist, mit Strom versorgt. Die Kathode 430 umfasst ein Siliciumziel 431, das in Gegenwart von Wasserstoff (H₂) gesputtert wird, sowie ein Edelgas, wie etwa Argon, um das hydrierte Siliciummaterial auf dem Substrat 420 als Schicht abzuscheiden. Das Edelgas wird in die Vakuumkammer 410 durch die Anode 450 und die PAS 460 eingeleitet. Alternativ können die Wände der Vakuumkammer 410 als Anode dienen, und das Edelgas kann an einem anderen Ort eingeleitet werden.

[0036] Wasserstoff wird in die Vakuumkammer 410 durch die PAS 460 eingeleitet, was zum Aktivieren des Wasserstoffs dient. Aktivierter Wasserstoff ist chemisch reaktiver und wird deshalb mit größerer Wahrscheinlichkeit Si-H-Bindungen eingehen, die als verantwortlich für die optischen Eigenschaften des hydrierten Siliciummaterials gelten. Die PAS 460 befindet sich in nächster Nähe zu der Kathode 430, wodurch das PAS-Plasma und das Kathodenplasma überlappen können. Es wird angenommen, dass sowohl atomare als auch molekulare Arten von aktiviertem Wasserstoff in den Plasmen vorhanden sind. Durch die Verwendung der PAS 460 kann die hydrierte Siliciumschicht mit einer relativ hohen Abscheidungsrate bei einem relativ niedrigen Wasserstoffgehalt abgeschieden werden. Typischerweise wird die hydrierte Siliciumschicht mit einer Abscheidungsrate von 0,05 nm/s bis 1,2 nm/s, vorzugsweise mit einer Abscheidungsrate von etwa 0,8 nm/s abgeschieden. Alternativ kann auch nur das Kathodenplasma für die Wasserstoffaktivierung verwendet werden.

[0037] Die optischen Eigenschaften des hydrierten Siliciummaterials hängen in erster Linie vom Wasserstoffgehalt in der Vakuumkammer 410 und somit von der Wasserstoffdurchflussmenge

ab. Sie werden jedoch auch durch andere Parameter beeinflusst, wie etwa die Durchflussmenge des Edelgases, den PAS-Leistungspegel, den Kathodenleistungspegel und die Abscheidungsrate.

[0038] FIG. 5A zeigt die Durchlass-Spektren 500 und 501 für 1500 nm dicke Siliciumschichten, die in Gegenwart von Wasserstoff bei einer Wasserstoffdurchflussmenge von 139 sccm bzw. in Abwesenheit von Wasserstoff abgeschieden wurden. Die Siliciumschicht, die in Gegenwart von Wasserstoff abgeschieden wurde, d. h. die hydrierte Siliciumschicht, weist über den Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm einen erheblich höheren Durchlässigkeitsgrad auf.

[0039] FIG. 5B zeigt die Kurven 510 und 511 der Absorptionskantenwellenlänge bei einem Durchlässigkeitsgrad von 50 % über der Wasserstoffdurchflussmenge für hydrierte Siliciumschichten vor bzw. nach einem Temperschnitt. Für die hydrierten Siliciumschichten wie abgeschieden verringert sich die Absorptionskantenwellenlänge mit der Erhöhung der Wasserstoffdurchflussmenge. Allgemein variiert die Absorptionskantenwellenlänge in etwa logarithmisch mit der Wasserstoffdurchflussmenge. Die Absorptionskantenwellenlänge wird durch den Temperschnitt, der bei einer Temperatur von etwa 300 °C für etwa 60 Minuten durchgeführt wurde, weiter verringert. Typischerweise werden, wenn ein optionaler Nachbeschichtungs-Temperschnitt durchgeführt wird, die hydrierten Siliciumschichten bei einer Temperatur von bis zu 350 °C für bis zu 120 Minuten, vorzugsweise bei einer Temperatur von 250 °C bis 350 °C für 30 bis 90 Minuten getempert. In einigen Fällen kann mehr als ein Temperschnitt durchgeführt werden.

[0040] Somit kann die Absorptionskantenwellenlänge des hydrierten Siliciummaterials durch Anpassung der Wasserstoffdurchflussmenge und optional durch Tempern abgestimmt werden. Gleichmaßen können der Brechungsindex und der Absorptionskoeffizient des hydrierten Siliciummaterials auch durch Anpassung der Wasserstoffdurchflussmenge und optional durch Tempern abgestimmt werden. Typischerweise werden die hydrierten Siliciumschichten mit einer Wasserstoffdurchflussmenge von größer als 80 sccm, vorzugsweise einer Wasserstoffdurchflussmenge von etwa 80 sccm abgeschieden. Es sei jedoch angemerkt, dass der dieser Durchflussmenge zugehörige Wasserstoffgehalt von der Pumpgeschwindigkeit des Vakuumsystems abhängt.

[0041] FIG. 5C zeigt eine Auftragung des Brechungsindex bei Wellenlängen von 800 nm bis 1120 nm über der Wasserstoffdurchflussmenge für hydrierte Siliciumschichten wie abgeschieden. Der Brechungsindex verringert sich mit der Erhöhung der Wasserstoffdurchflussmenge. Allgemein variiert der Brechungsindex in etwa linear mit der Wasserstoffdurchflussmenge. Insbesondere ist der Brechungsindex der hydrierten Siliciumschicht, die bei einer Wasserstoffdurchflussmenge von 80 sccm hergestellt wird, über den Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1120 nm größer als 3,55.

[0042] FIG. 5D zeigt eine Auftragung eines Absorptionskoeffizienten bei Wellenlängen von 800 nm bis 880 nm über der Wasserstoffdurchflussmenge für hydrierte Siliciumschichten wie abgeschieden (der Absorptionskoeffizient ist bei Wellenlängen von 920 nm bis 1120 nm kleiner als 0,0001). Der Absorptionskoeffizient verringert sich mit der Erhöhung der Wasserstoffdurchflussmenge. Allgemein variiert der Absorptionskoeffizient in etwa exponential mit der Wasserstoffdurchflussmenge. Insbesondere beträgt der Absorptionskoeffizient der hydrierten Siliciumschicht, die bei einer Wasserstoffdurchflussmenge von 80 sccm hergestellt wird, über den Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1120 nm weniger als 0,0004.

[0043] Das verbesserte hydrierte Siliciummaterial, das abgestimmt ist, um geeignete optische Eigenschaften aufzuweisen, wird in dem optischen Filter der vorliegenden Erfindung verwendet. Mit Bezug auf FIG. 6 umfasst der optische Filter 600 einen Filterstapel 610, der auf einer ersten Oberfläche eines Substrats 620 angeordnet ist. In den meisten Fällen ist das Substrat 620 ein freistehendes Substrat, typischerweise ein Glassubstrat, z. B. ein Borofloat-Glassubstrat.

[0044] Alternativ kann das Substrat 620 ein Sensor oder eine andere Einrichtung sein. Wenn das Substrat 620 ein freistehendes Substrat ist, wird eine Antireflex(AR)-Beschichtung 630 häufig auf einer zweiten Oberfläche des Substrats 620 gegenüber der ersten Oberfläche angeordnet. Typi-

scherweise ist die AR-Beschichtung 630 eine Mehrschicht-Interferenzbeschichtung, z. B. eine $\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2$ -Beschichtung. Typischerweise weist die AR-Beschichtung 630 auch eine Dicke von $0,1\text{ }\mu\text{m}$ bis $1\text{ }\mu\text{m}$ auf.

[0045] Der Filterstapel 610 umfasst eine Vielzahl hydrierter Siliciumschichten 611, die als Schichten mit höherem Brechungsindex dienen, und eine Vielzahl von Schichten mit niedrigerem Brechungsindex 612, die abwechselnd gestapelt sind. Üblicherweise besteht der Filterstapel 610 aus einer Vielzahl hydrierter Siliciumschichten 611 und einer Vielzahl von Schichten mit niedrigerem Brechungsindex 612, die in einer Sequenz von $(\text{H/L})_n$, $(\text{H/L})_n\text{H}$ oder $\text{L}(\text{H/L})_n$ gestapelt sind. Typischerweise umfasst der Filterstapel 610 insgesamt 10 bis 100 Schichten, d. h. $5 \leq n \leq 50$. Typischerweise weisen die hydrierten Siliciumschichten 611 und die Schichten mit niedrigerem Brechungsindex 612 auch jeweils eine Dicke von 3 nm bis 300 nm auf, und der Filterstapel 610 weist eine Dicke von $1\text{ }\mu\text{m}$ bis $10\text{ }\mu\text{m}$ auf. Allgemein werden die Schichtanzahlen und Dicken gemäß einer bestimmten optischen Ausgestaltung ausgewählt. Vorzugsweise weist der optische Filter 600 eine Gesamtbeschichtungsdicke, d. h. die Dicke des Filterstapels 610 und der AR-Beschichtung 630, von weniger als $10\text{ }\mu\text{m}$ auf.

[0046] Die hydrierten Siliciumschichten 611 bestehen aus dem verbesserten hydrierten Siliciummaterial, das abgestimmt ist, um über den Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm einen Brechungsindex von größer als 3 und einen Extinktionskoeffizienten von weniger als 0,0005 aufzuweisen. Vorzugsweise weist das hydrierte Siliciummaterial über den Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm einen Brechungsindex von größer als 3,5, z. B. einen Brechungsindex von größer als 3,64, auf, d. h. etwa 3,6 bei einer Wellenlänge von 830 nm. Ein höherer Brechungsindex ist üblicherweise wünschenswert. Im Allgemeinen weist das hydrierte Siliciummaterial über den Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm jedoch einen Brechungsindex von weniger als 4,5 auf.

[0047] Vorzugsweise weist das hydrierte Siliciummaterial über den Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm einen Extinktionskoeffizienten von weniger als 0,0004 auf, über den Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm besonders bevorzugt einen Extinktionskoeffizienten von weniger als 0,0003. Typischerweise weist das hydrierte Siliciummaterial einen Extinktionskoeffizienten von größer als 0,01 bei Wellenlängen von weniger als 600 nm auf, vorzugsweise einen Extinktionskoeffizienten von größer als 0,05 bei Wellenlängen von weniger als 650 nm. Da das hydrierte Siliciummaterial bei Wellenlängen von weniger als 600 nm relativ stark absorbierend ist, ist ein zusätzlicher Blockierungsstapel im optischen Filter 600 nicht notwendig.

[0048] Die Schichten mit niedrigerem Brechungsindex 612 bestehen aus einem Material mit niedrigerem Brechungsindex, welches über den Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm einen Brechungsindex aufweist, der niedriger ist als der der hydrierten Siliciumschichten 611. Typischerweise weist das Material mit niedrigerem Brechungsindex über den Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm einen Brechungsindex von weniger als 3 auf. Vorzugsweise weist das Material mit niedrigerem Brechungsindex über den Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm einen Brechungsindex von weniger als 2,5 auf, über den Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm besonders bevorzugt einen Brechungsindex von weniger als 2.

[0049] Ein niedrigerer Brechungsindex ist für die Schichten mit niedrigerem Brechungsindex 612 üblicherweise wünschenswert, um die Breite des Blockierungswellenlängenbereichs, d. h. das Sperrband, des optischen Filters 600 zu erhöhen, was ermöglicht, dass derselbe Blockierungsgrad mit weniger Schichten in dem Filterstapel 610 erreicht werden kann. In einigen Fällen kann jedoch ein etwas höherer Brechungsindex, der immer noch niedriger ist als der von hydrierten Siliciumschichten 611, wünschenswert sein, um die Verschiebung der mittleren Wellenlänge bei Änderung des Einfallswinkels, d. h. die Winkelverschiebung, des optischen Filters 600 zu reduzieren.

[0050] In den meisten Fällen ist das Material mit niedrigerem Brechungsindex ein dielektrisches Material, typischerweise ein Oxid. Geeignete Materialien mit niedrigerem Brechungsindex umfassen Siliciumdioxid (SiO_2), Aluminiumoxid (Al_2O_3), Titandioxid (TiO_2), Niobiumpentoxid (Nb_2O_5), Tantalpentoxid (Ta_2O_5) und Mischungen daraus, d. h. gemischte Oxide.

[0051] Der optische Filter 600 kann unter Verwendung eines Sputterprozesses gefertigt werden.

[0052] Typischerweise wird das Substrat 620 in der Vakuumkammer eines Sputter- Abscheidungssystems bereitgestellt, das dem in FIG. 4 veranschaulichten ähnlich ist. Die hydrierten Siliciumschichten 611 und die Schichten mit niedrigerem Brechungsindex 612 werden dann aufeinander folgend auf der ersten Oberfläche des Substrats 620 abgeschieden, um den Filterstapel 610 als Mehrschichtbeschichtung zu bilden. Typischerweise werden die hydrierten Siliciumschichten 611 durch gepulstes Gleichstrom-Sputtern von einem Siliciumziel in Gegenwart von Wasserstoff, wie zuvor beschrieben, abgeschieden. Typischerweise werden auch die Schichten mit niedrigerem Brechungsindex 612 durch gepulstes Gleichstrom-Sputtern von einem oder mehreren geeigneten Metallzielen, z. B. einem Siliciumziel, einem Aluminiumziel, einem Titanziel, einem Niobiumziel und/oder einem Tantalziel, in Gegenwart von Sauerstoff abgeschieden. Die AR-Beschichtung 630 wird auf der zweiten Oberfläche des Substrats 620 auf ähnliche Weise abgeschieden. Es sei angemerkt, dass die Reihenfolge bei der Bildung des Filterstapels 610 und der AR-Beschichtung 630 üblicherweise unwichtig ist. Der optische Filter 600 ist ein Interferenzfilter, der einen Durchlassbereich aufweist, der mindestens teilweise mit dem Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm überlappt. Der Durchlassbereich kann den gesamten Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm umfassen oder, noch typischer, nur einen Teil des Wellenlängenbereiches. Der Durchlassbereich kann auf einen Teil oder den gesamten Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm beschränkt werden oder kann sich über den Wellenlängenbereich hinaus erstrecken. Vorzugsweise weist der optische Filter 600 über den Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm einen Durchlässigkeitsgrad innerhalb des Durchlassbereichs von mehr als 90 % auf. Der optische Filter 600 stellt ein Blockieren außerhalb des Durchlassbereichs, d. h. ein Sperrband, auf einer oder beiden Seiten des Durchlassbereichs, typischerweise über einen Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1100 nm, vorzugsweise über einen Wellenlängenbereich von 300 nm bis 1100 nm bereit. Vorzugsweise weist der optische Filter 600 über den Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1100 nm einen Blockierungsgrad außerhalb des Durchlassbereichs von größer als OD2, besonders bevorzugt einen Blockierungsgrad von größer als OD3 über den Wellenlängenbereich von 300 nm bis 1100 nm auf.

[0053] In einigen Fällen ist der optische Filter 600 ein Langwellenpass-Kantenfilter, und der Durchlassbereich weist eine Kantenwellenlänge im Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm auf. In den meisten Fällen ist der optische Filter 600 jedoch ein Bandpassfilter, vorzugsweise ein schmaler Bandpassfilter. Typischerweise weist der Durchlassbereich eine mittlere Wellenlänge im Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm auf. Vorzugsweise weist der Durchlassbereich eine Halbwertsbreite (Full Width at Half Maximum, FWHM) von weniger als 50 nm auf. Häufig liegt der gesamte Durchlassbereich innerhalb des Wellenlängenbereiches von 800 nm bis 1100 nm.

[0054] Allgemein weist der optische Filter 600 eine niedrige Verschiebung der mittleren Wellenlänge bei Änderung des Einfallswinkels auf. Vorzugsweise verschiebt sich bei einer Änderung des Einfallswinkels von 0° bis 30° die mittlere Wellenlänge des Durchlassbereichs größtmäßig um weniger als 20 nm. Dementsprechend weist der optische Filter 600 einen breiten Einfallswinkels-Akzeptanzbereich auf. Der optische Filter 600 kann eine Vielfalt von optischen Ausgestaltungen aufweisen. Im Allgemeinen wird die optische Ausgestaltung des optischen Filters 600 für einen bestimmten Durchlassbereich optimiert, indem geeignete Schichtanzahlen, Materialien und/oder Dicken für den Filterstapel 610 ausgewählt werden. Einige beispielhafte optische Filter, die nachfolgend beschrieben werden, umfassen einen Si:H/SiO₂-Filterstapel und eine Ta₂O₅/SiO₂-AR-Beschichtung, die auf entgegengesetzten Oberflächen eines Borofloat-Glassubstrats beschichtet sind.

[0055] Mit Bezug auf FIG. 7 ist ein erster beispielhafter optischer Filter ein schmaler Bandpassfilter, der ausgestaltet ist, um Licht in einem Wellenlängenbereich von 829 nm bis 859 nm über einen Einfallswinkelbereich von 0° bis 30° durchzulassen. Der erste beispielhafte optische Filter aus FIG. 7 ist mit dem ersten herkömmlichen optischen Filter aus FIG. 1 vergleichbar und einige Eigenschaften der optischen Filter werden in FIG. 7A verglichen. Ausgestaltungsdaten, d. h. Schichtanzahlen (vom Substrat bis zur Luft), Materialien und Dicken für die AR-Beschichtung und

den Filterstapel des ersten beispielhaften Filters werden in FIG. 7B bzw. 7C aufgelistet. Der Filterstapel umfasst 48 Schichten, die AR-Beschichtung umfasst 5 Schichten und die Gesamtbeschichtungsdicke beträgt etwa 5,7 μm .

[0056] Die Durchlass-Spektren 700 und 701 bei Einfallswinkeln von 0° bzw. 30° sind für den ersten beispielhaften optischen Filter in FIG. 7D aufgetragen. Der erste beispielhafte optische Filter weist einen Durchlässigkeitsgrad innerhalb des Durchlassbereichs von mehr als 90 % und einen Blockierungsgrad außerhalb des Durchlassbereichs von größer als OD3 über einen Wellenlängenbereich von 450 nm bis 1050 nm auf. Der Durchlassbereich weist eine mittlere Wellenlänge von etwa 850 nm und eine FWHM von etwa 46,5 nm bei einem Einfallswinkel von 0° auf. Bei Änderung des Einfallswinkels von 0° bis 30° verschiebt sich die mittlere Wellenlänge des Durchlassbereichs um etwa -12,2 nm.

[0057] Vorteilhafterweise umfasst der erste beispielhafte optische Filter aus FIG. 7 weniger Schichten und weist eine geringere Gesamtbeschichtungsdicke auf als der erste herkömmliche optische Filter aus FIG. 1. Insbesondere beträgt die Gesamtbeschichtungsdicke des ersten beispielhaften optischen Filters etwa ein Viertel der Gesamtbeschichtungsdicke des ersten herkömmlichen optischen Filters. Deshalb ist der erste beispielhafte optische Filter weniger teuer in der Herstellung und leichter zu strukturieren. Ebenfalls vorteilhafterweise weist der erste beispielhafte optische Filter eine geringere Verschiebung der mittleren Wellenlänge bei Änderung des Einfallswinkels auf. Deshalb kann der Durchlassbereich des ersten beispielhaften optischen Filters erheblich schmaler sein, während er Licht über denselben Einfallswinkelbereich akzeptiert, wodurch das Signal-Rausch-Verhältnis von Systemen, die den ersten beispielhaften optischen Filter enthalten, verbessert wird.

[0058] Der erste beispielhafte optische Filter kann auch verglichen werden mit einem analogen optischen Filter, der einen Si/SiO₂-Filterstapel umfasst, d. h. einen Filterstapel, der nichthydrierte Siliciumschichten statt eines Si:H/SiO₂-Filterstapels umfasst. Die Durchlass-Spektren 710 und 711 bei Einfallswinkeln von 0° bzw. 30° sind für diesen optischen Filter in FIG. 7E aufgetragen. Der Durchlässigkeitsgrad innerhalb des Durchlassbereichs dieses optischen Filters ist zu niedrig, um von Nutzen zu sein.

[0059] Mit Bezug auf FIG. 8 ist ein zweiter beispielhafter optischer Filter ein schmalerer Bandpassfilter, der ausgestaltet ist, um Licht mit einer Wellenlänge von 825 nm über einen Einfallswinkelbereich von 0° bis 20° durchzulassen. Der zweite beispielhafte optische Filter aus FIG. 8 ist mit dem zweiten herkömmlichen optischen Filter aus FIG. 2 vergleichbar und einige Eigenschaften der optischen Filter werden in FIG. 8A verglichen. Ausgestaltungsdaten für die AR-Beschichtung des zweiten beispielhaften optischen Filters, die dieselbe ist wie die des ersten beispielhaften optischen Filters, werden in FIG. 7B aufgelistet. Ausgestaltungsdaten für den Filterstapel des zweiten beispielhaften optischen Filters werden in FIG. 8B aufgelistet. Der Filterstapel umfasst 25 Schichten, die AR-Beschichtung umfasst 5 Schichten und die Gesamtbeschichtungsdicke beträgt etwa 3,3 μm .

[0060] Die Durchlass-Spektren 800 und 801 bei Einfallswinkeln von 0° bzw. 20° sind für den zweiten beispielhaften optischen Filter in FIG. 8C aufgetragen. Der zweite beispielhafte optische Filter weist einen Durchlässigkeitsgrad innerhalb des Durchlassbereichs von mehr als 90 % und einen Blockierungsgrad außerhalb des Durchlassbereichs von größer als OD2 über einen Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1100 nm auf. Der Durchlassbereich weist eine mittlere Wellenlänge von etwa 829 nm und eine FWHM von etwa 29,6 nm bei einem Einfallswinkel von 0° auf. Bei Änderung des Einfallswinkels von 0° bis 20° verschiebt sich die mittlere Wellenlänge des Durchlassbereichs um etwa -7,8 nm.

[0061] Ähnlich wie im ersten beispielhaften optischen Filter aus FIG. 7 umfasst der zweite beispielhafte optische Filter aus FIG. 8 vorteilhafterweise weniger Schichten, er weist eine kleinere Gesamtbeschichtungsdicke auf und weist eine geringere Verschiebung der mittleren Wellenlänge bei Änderung des Einfallswinkels auf als der zweite herkömmliche optische Filter aus FIG. 2.

[0062] Der zweite beispielhafte optische Filter kann auch verglichen werden mit einem analogen

optischen Filter, der einen Si/SiO₂-Filterstapel statt eines Si:H/SiO₂-Filterstapels umfasst. Die Durchlass-Spektren 810 und 811 bei Einfallswinkeln von 0° bzw. 20° sind für diesen optischen Filter in FIG. 8D aufgetragen. Der Durchlässigkeitsgrad innerhalb des Durchlassbereichs dieses optischen Filters ist zu niedrig, um von Nutzen zu sein.

[0063] Mit Bezug auf FIG. 9 ist ein dritter beispielhafter optischer Filter ein schmaler Bandpassfilter, der ausgestaltet ist, um Licht über einen Wellenlängenbereich von 845 nm bis 865 nm über einen Einfallswinkelbereich von 0° bis 40° durchzulassen. Der dritte beispielhafte optische Filter aus FIG. 9 ist mit dem dritten herkömmlichen optischen Filter aus FIG. 3 vergleichbar.

[0064] Ausgestaltungsdaten für die AR-Beschichtung des dritten beispielhaften optischen Filters, die dieselbe ist wie die des ersten beispielhaften optischen Filters, werden in FIG. 7B aufgelistet. Ausgestaltungsdaten für den Filterstapel des dritten beispielhaften optischen Filters werden in FIG. 9A aufgelistet. Der Filterstapel umfasst 29 Schichten, die AR-Beschichtung umfasst 5 Schichten und die Gesamtbeschichtungsdicke beträgt etwa 4,8 µm.

[0065] Die Durchlass-Spektren 900 und 901 bei Einfallswinkeln von 0° bzw. 40° sind für den dritten beispielhaften optischen Filter in FIG. 9B aufgetragen. Der dritte beispielhafte optische Filter aus FIG. 9 weist im Wesentlichen dieselbe Durchlassbereichsbreite auf wie der dritte herkömmliche optische Filter aus FIG. 3, er weist jedoch einen etwas geringeren Durchlässigkeitsgrad innerhalb des Durchlassbereichs auf. Vorteilhafterweise akzeptiert jedoch der dritte beispielhafte optische Filter Licht über einen erheblich größeren Einfallswinkelbereich von 0° bis 40° als der dritte herkömmliche optische Filter, der Licht über einen Einfallswinkelbereich von nur 0° bis 24° akzeptiert. Mit anderen Worten weist der dritte beispielhafte optische Filter einen erheblich breiteren Einfallswinkel-Akzeptanzbereich auf. Ebenfalls vorteilhafterweise umfasst der dritte beispielhafte optische Filter weniger Schichten und weist eine geringere Gesamtbeschichtungsdicke auf, etwa ein Fünftel der Gesamtbeschichtungsdicke des dritten herkömmlichen optischen Filters.

[0066] Wie oben erwähnt, ist der optische Filter der vorliegenden Erfindung besonders nützlich, wenn er einen Teil eines Sensorsystems, wie etwa eines Näherungssensorsystems, eines 3D-Abbildungssystems oder eines Gestenerkennungssystems, bildet. Mit Bezug auf FIG. 10 umfasst ein typisches Sensorsystem 1000 eine Lichtquelle 1010, einen optischen Filter 1020 gemäß der vorliegenden Erfindung und einen Sensor 1030. Es sei darauf hingewiesen, dass andere Elemente, die üblicherweise in einem Sensorsystem enthalten sind, wie etwa Optik, zur einfacheren Veranschaulichung weggelassen wurden.

[0067] Die Lichtquelle 1010 emittiert Licht mit einer Emissionswellenlänge in einem Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm. Typischerweise emittiert die Lichtquelle 1010 modulierte Licht, z. B. Lichtimpulse. Vorzugsweise ist die Lichtquelle 1010 eine Leuchtdiode (Light-Emitting Diode, LED), eine LED-Anordnung, eine Laserdiode oder eine Laserdiodenanordnung. Die Lichtquelle 1010 emittiert Licht in Richtung eines Ziels 1040, welches das emittierte Licht zurück in Richtung des Sensorsystems 1000 reflektiert. Wenn das Sensorsystem 1000 ein Gestenerkennungssystem ist, ist das Ziel 1040 ein Benutzer des Gestenerkennungssystems.

[0068] Der optische Filter 1020 ist angeordnet, um das emittierte Licht nach der Reflexion durch das Ziel 1040 zu empfangen. Der optische Filter 1020 weist einen Durchlassbereich auf, der die Emissionswellenlänge umfasst und mindestens teilweise mit dem Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm überlappt. Typischerweise ist der optische Filter 1020 ein Bandpassfilter, vorzugsweise ein schmaler Bandpassfilter wie zuvor beschrieben. Der optische Filter 1020 lässt das emittierte Licht von der Lichtquelle 1010 durch, während er Umgebungslicht im Wesentlichen blockiert. Kurz gesagt, der optische Filter 1020 empfängt das emittierte Licht von der Lichtquelle 1010, nach der Reflexion durch das Ziel 1040, und lässt das emittierte Licht zum Sensor 1030 durch.

[0069] Der Sensor 1030 ist angeordnet, um das emittierte Licht nach dem Durchlassen durch den optischen Filter 1020 zu empfangen, d. h. der Sensor 1030 ist hinter dem optischen Filter 1020 angeordnet. In einigen Fällen ist der optische Filter 1020 direkt auf dem Sensor 1030 gebildet und somit auf dem Sensor 1030 angeordnet. Zum Beispiel kann der optische Filter 1020 auf

Sensoren, z. B. Näherungssensoren, aufbeschichtet und strukturiert sein, z. B. durch Fotolithographie, in der Verarbeitung auf Waferebene (Wafer Level Processing, WLP).

[0070] Wenn das Sensorsystem 1000 ein Näherungssensorsystem ist, ist der Sensor 1030 ein Näherungssensor, der das emittierte Licht detektiert, um eine Nähe des Ziels 1040 gemäß bekannten Verfahren zu erfassen. Wenn das Sensorsystem 1000 ein 3D-Abbildungssystem oder ein Gestenerkennungssystem ist, ist der Sensor 1030 ein 3D-Bildsensor, z. B. ein Chip einer ladungsgekoppelten Einrichtung (Charge-Coupled Device, CCD) oder ein Chip mit komplementärem Metalloxid-Halbleiter (Complementary Metal Oxide Semiconductor, CMOS), der das emittierte Licht detektiert, um ein 3D-Bild des Ziels 1040 bereitzustellen, das in einigen Fällen der Benutzer ist. Typischerweise wandelt der 3D-Bildsensor die optischen Informationen in ein elektrisches Signal zur Verarbeitung durch ein Verarbeitungssystem, z. B. einen Chip mit anwendungsspezifischer integrierter Schaltung (Application-Specific Integrated Circuit, ASIC) oder einen Chip eines digitalen Signalprozessors (Digital Signal Processor, DSP), gemäß bekannten Verfahren. Wenn das Sensorsystem 1000 zum Beispiel ein Gestenerkennungssystem ist, verarbeitet das Verarbeitungssystem das 3D-Bild des Benutzers, um eine Geste des Benutzers zu erkennen.

[0071] Weitere Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung umfassen die folgenden Paragraphen:

1. Ein optischer Filter, der einen Durchlassbereich aufweist, der mindestens teilweise mit einem Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm überlappt, wobei der optische Filter Folgendes beinhaltet:
einen Filterstapel, umfassend:
eine Vielzahl von hydrierten Siliciumschichten, die über den Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm jeweils einen Brechungsindex von größer als 3 und über den Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm jeweils einen Extinktionskoeffizienten von weniger als 0,0005 aufweisen; und
eine Vielzahl von Schichten mit niedrigerem Brechungsindex, die über den Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm jeweils einen Brechungsindex von weniger als 3 aufweisen, abwechselnd mit der Vielzahl von hydrierten Siliciumschichten gestapelt.
2. Optischer Filter gemäß Abschnitt 1, wobei die hydrierten Siliciumschichten bei einer Wellenlänge von 830 nm jeweils einen Brechungsindex von größer als 3,6 aufweisen.
3. Optischer Filter gemäß Paragraph 1, wobei die hydrierten Siliciumschichten über den Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm jeweils einen Brechungsindex von größer als 3,5 aufweisen.
4. Optischer Filter gemäß Paragraph 1, wobei die hydrierten Siliciumschichten über den Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm jeweils einen Absorptionskoeffizienten von weniger als 0,0004 aufweisen.
5. Optischer Filter gemäß Paragraph 1, wobei die Schichten mit niedrigerem Brechungsindex über den Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm jeweils einen Brechungsindex von weniger als 2,5 aufweisen.
6. Optischer Filter gemäß Paragraph 1, wobei die Schichten mit niedrigerem Brechungsindex aus Siliciumdioxid (SiO_2), Aluminiumoxid (Al_2O_3), Titandioxid (TiO_2), Niobumpentoxid (Nb_2O_5), Tantalpentoxid (Ta_2O_5) oder einer Mischung daraus bestehen.
7. Optischer Filter gemäß Paragraph 1, wobei der optische Filter ein Langwellenpass-Kantenfilter ist und wobei der Durchlassbereich eine Kantenwellenlänge im Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm aufweist.
8. Optischer Filter gemäß Paragraph 1, wobei der optische Filter ein Bandpassfilter ist und wobei der Durchlassbereich eine mittlere Wellenlänge im Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm aufweist.

9. Optischer Filter gemäß Paragraph 8, wobei der Durchlassbereich eine Halbwertsbreite (FWHM) von weniger als 50 nm aufweist.
10. Optischer Filter gemäß Paragraph 8, wobei sich bei einer Änderung des Einfallswinkels von 0° bis 30° die mittlere Wellenlänge größenmäßig um weniger als 20 nm verschiebt.
11. Ein Sensorsystem, das Folgendes beinhaltet:
 - eine Lichtquelle zum Emittieren von Licht mit einer Emissionswellenlänge in einem Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm;
 - den optischen Filter gemäß einem der Paragraphen 1 bis 10, wobei der Durchlassbereich die Emissionswellenlänge umfasst, angeordnet, um das emittierte Licht zu empfangen, zum Durchlassen des emittierten Lichts; und
 - einen Sensor, angeordnet, um das emittierte Licht nach dem Durchlassen durch den optischen Filter zu empfangen, zum Detektieren des emittierten Lichts.
12. Sensorsystem gemäß Paragraph 11, wobei der optische Filter auf dem Sensor angeordnet ist.
13. Sensorsystem gemäß Paragraph 11, wobei das Sensorsystem ein Näherungssensorsystem ist, wobei die Lichtquelle zum Emittieren von Licht in Richtung eines Ziels dient, wobei der optische Filter angeordnet ist, um das emittierte Licht nach der Reflexion durch das Ziel zu empfangen, und wobei der Sensor ein Näherungssensor zum Detektieren des emittierten Lichts, um eine Nähe des Ziels zu erfassen, ist.
14. Sensorsystem gemäß Paragraph 11, wobei das Sensorsystem ein dreidimensionales (3D) Abbildungssystem ist, wobei die Lichtquelle zum Emittieren von Licht in Richtung eines Ziels dient, wobei der optische Filter angeordnet ist, um das emittierte Licht nach der Reflexion durch das Ziel zu empfangen, und wobei der Sensor ein 3D-Bildsensor zum Detektieren des emittierten Lichts, um ein 3D-Bild des Ziels bereitzustellen, ist.
15. Sensorsystem gemäß Paragraph 14, wobei das 3D-Abbildungssystem ein Gestenerkennungssystem ist und wobei das Ziel ein Benutzer des Gestenerkennungssystems ist, ferner beinhaltend ein Verarbeitungssystem zum Verarbeiten des 3D-Bilds des Benutzers, um eine Geste des Benutzers zu erkennen.

Ansprüche

1. Ein optischer Filter, der einen Durchlassbereich aufweist, der mindestens teilweise mit einem Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm überlappt, wobei der optische Filter Folgendes beinhaltet:
einen Filterstapel auf einer ersten Seite eines Substrats, wobei der Filterstapel abwechselnd Schichten aus hydriertem Silicium und Schichten aus einem Material mit niedrigerem Brechungsindex umfasst; wobei der optische Filter innerhalb des Durchlassbereichs einen Durchlässigkeitsgrad von mehr als 90 % aufweist.
2. Optischer Filter gemäß Anspruch 1, wobei die Schichten aus hydriertem Silicium bei einer Wellenlänge von 830 nm einen Brechungsindex von größer als 3,6 aufweisen.
3. Optischer Filter gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei mindestens eine der Schichten aus hydriertem Silicium dicker ist als mindestens eine der Schichten aus dem Material mit niedrigerem Brechungsindex.
4. Optischer Filter gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der optische Filter ein Bandpassfilter ist und wobei der Durchlassbereich eine mittlere Wellenlänge im Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm aufweist.
5. Optischer Filter gemäß Anspruch 4, wobei sich bei einer Änderung des Einfallswinkels von 0° bis 30° die mittlere Wellenlänge größenmäßig um weniger als 20 nm verschiebt.
6. Optischer Filter gemäß Anspruch 5, wobei sich bei einer Änderung des Einfallswinkels die mittlere Wellenlänge des Durchlassbereichs größenmäßig um weniger als 12,2 nm verschiebt.
7. Optischer Filter gemäß Anspruch 4, wobei der Durchlassbereich eine Halbwertsbreite (FWHM) von weniger als 50 nm aufweist.
8. Optischer Filter gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der optische Filter über den Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1100 nm einen Blockierungsgrad außerhalb des Durchlassbereichs von größer als OD2 aufweist.
9. Optischer Filter gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das hydrierte Silicium bei Wellenlängen von weniger als 600 nm einen Extinktionskoeffizienten von größer als 0,01 aufweist.
10. Optischer Filter gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das hydrierte Silicium bei Wellenlängen von weniger als 650 nm einen Extinktionskoeffizienten von größer als 0,05 aufweist.
11. Optischer Filter gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, der ferner eine Mehrschichtbeschichtung auf einer zweiten, gegenüberliegenden Seite des Substrats beinhaltet.
12. Optischer Filter gemäß Anspruch 11, wobei die Mehrschichtbeschichtung mindestens eines von Siliciumdioxid (SiO_2) oder Tantalpentoxid (Ta_2O_5) umfasst.
13. Optischer Filter gemäß Anspruch 11 oder Anspruch 12, wobei die Mehrschichtbeschichtung eine Dicke von 0,1 μm bis 1 μm aufweist.
14. Optischer Filter gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der optische Filter eine Gesamtbeschichtungsdicke von weniger als 10 μm aufweist.
15. Ein Sensorsystem, das Folgendes beinhaltet:
eine Lichtquelle zum Emittieren von Licht mit einer Emissionswellenlänge in einem Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1100 nm;
den optischen Filter gemäß einem der Ansprüche 1 bis 14, wobei der Durchlassbereich die Emissionswellenlänge umfasst, angeordnet, um das emittierte Licht zu empfangen, zum Durchlassen des emittierten Lichts; und

einen Sensor, angeordnet, um das emittierte Licht nach dem Durchlassen durch den optischen Filter zu empfangen, zum Detektieren des emittierten Lichts.

Hierzu 14 Blatt Zeichnungen

1/14

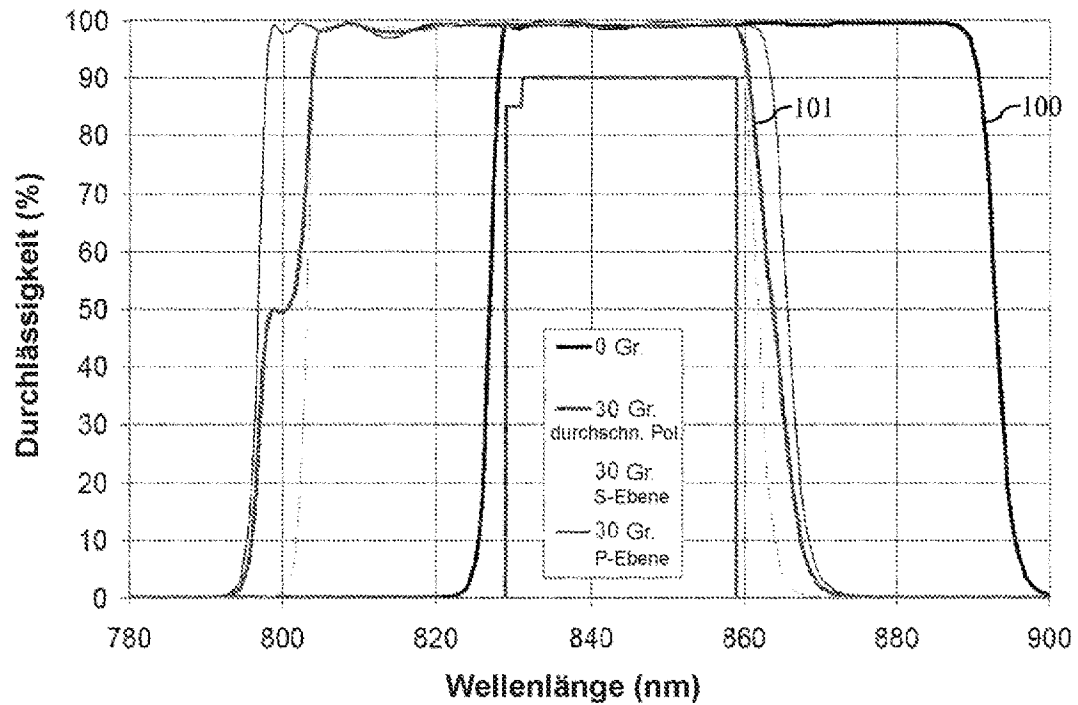


FIG. 1
STAND DER TECHNIK

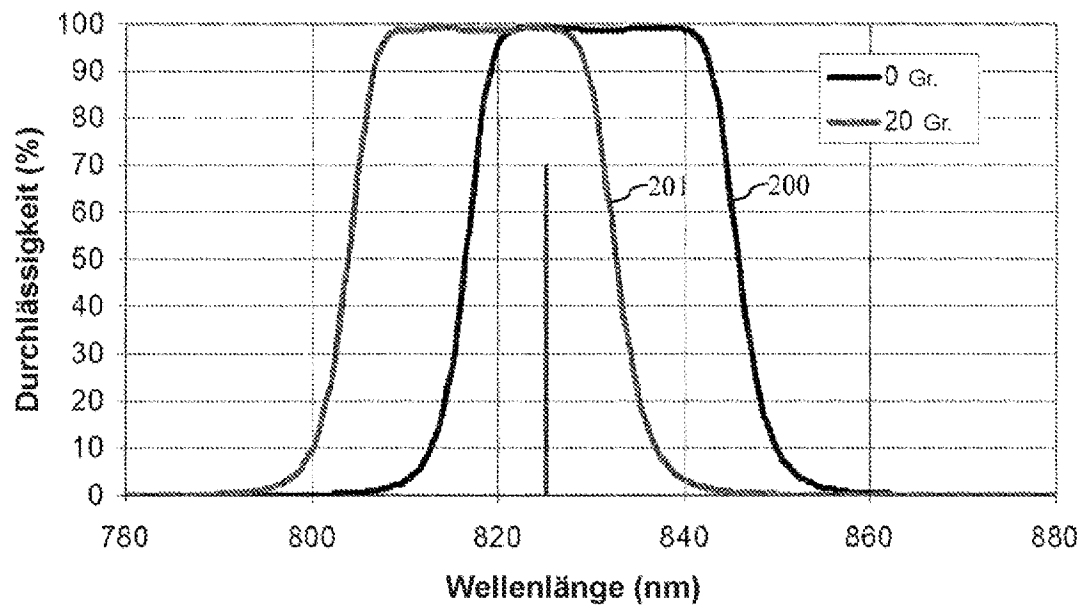


FIG. 2
STAND DER TECHNIK

2/14

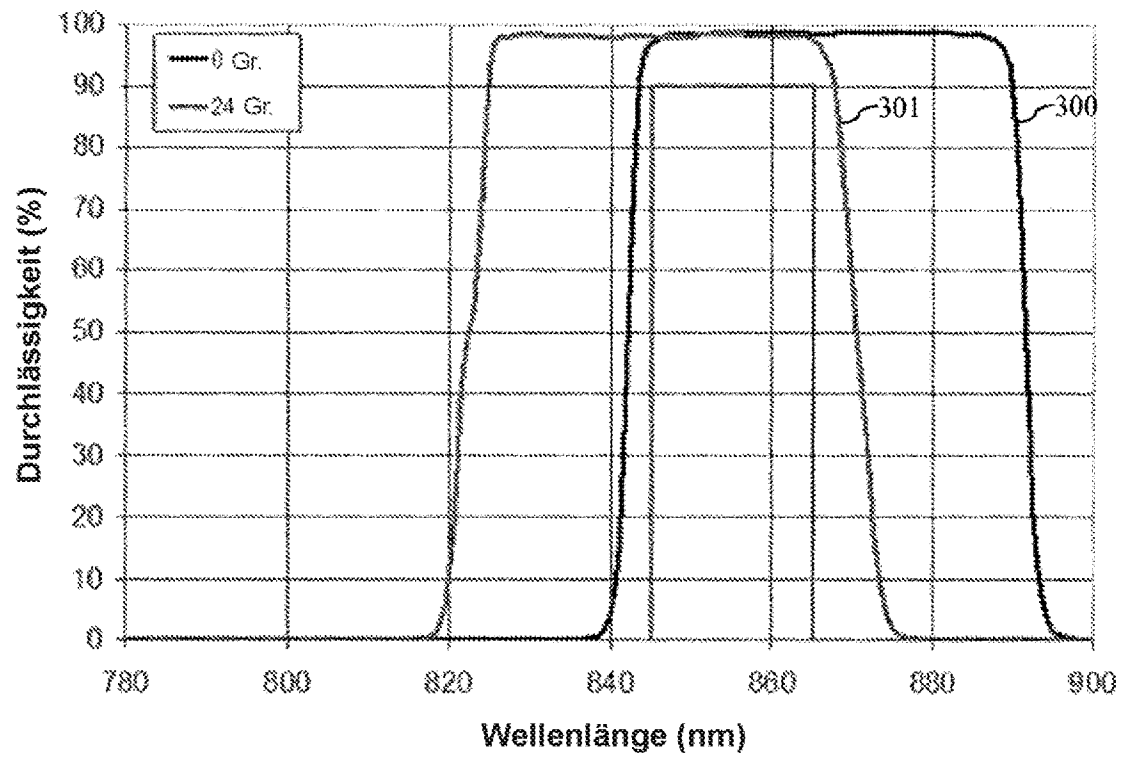


FIG. 3
STAND DER TECHNIK

3/14

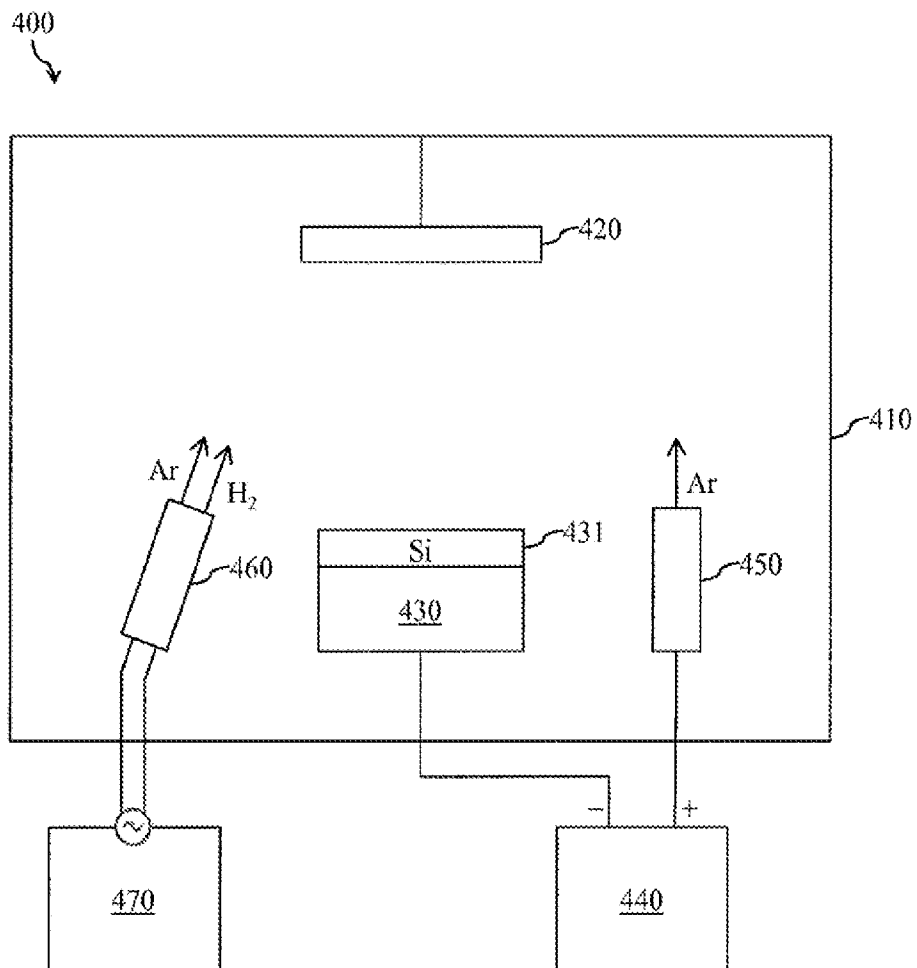


FIG. 4

4/14

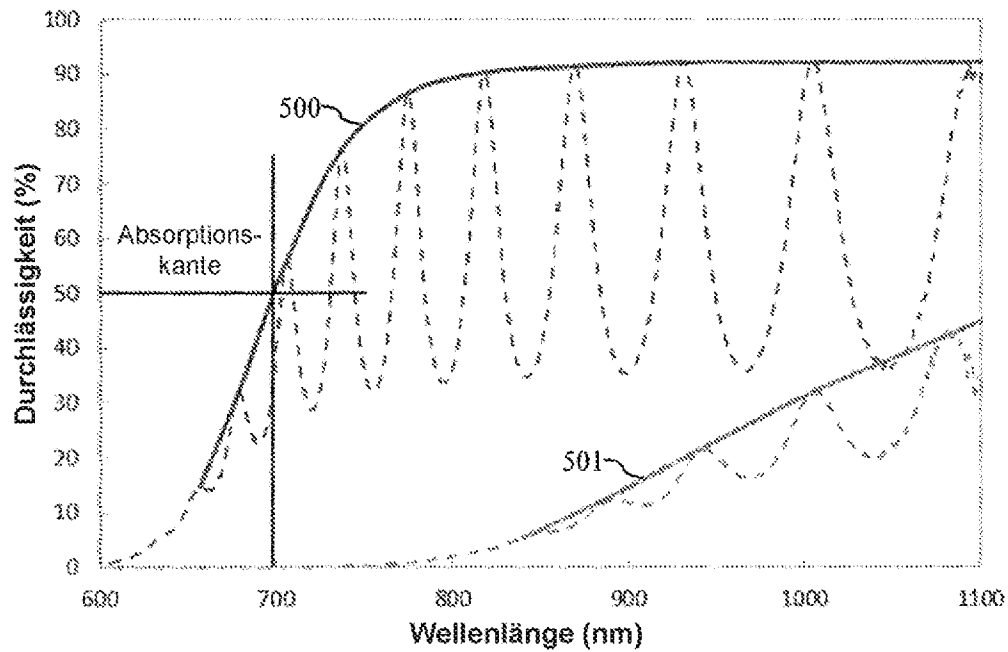


FIG. 5A

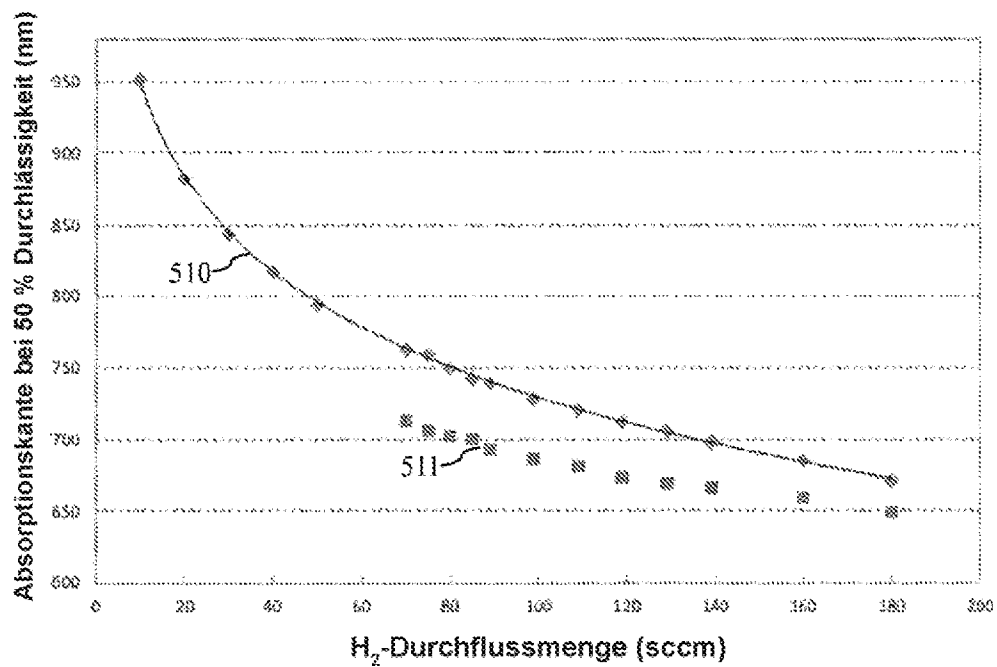


FIG. 5B

5/14

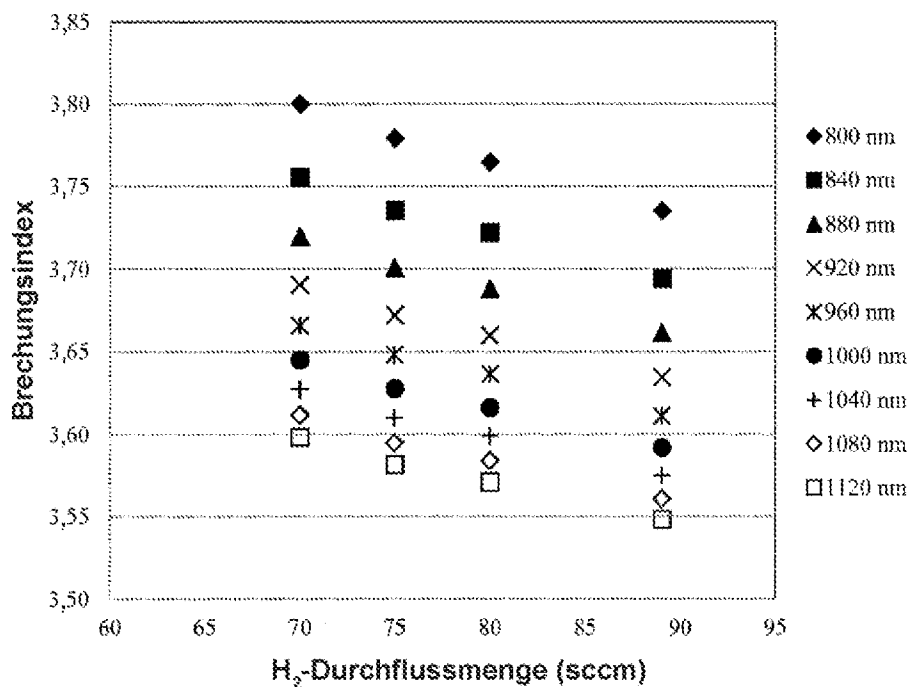


FIG. 5C

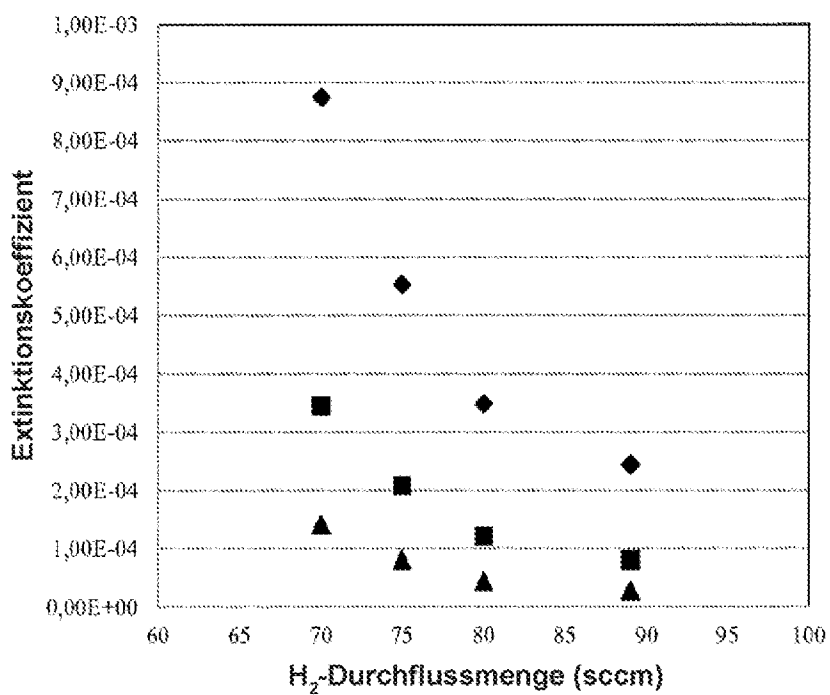


FIG. 5D

6/14

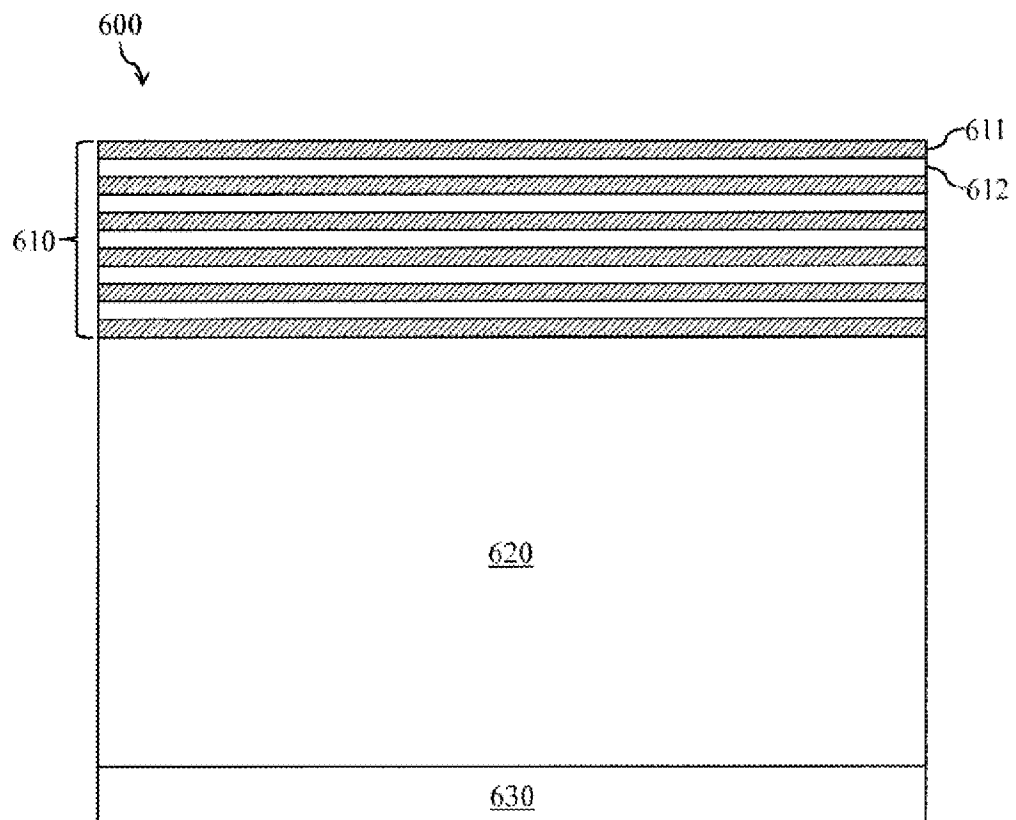


FIG. 6

7/14

Vergleich erster herkömmlicher optischer Filter und erster beispielhafter optischer Filter		
Eigenschaft	Erster herkömmlicher optischer Filter	Erster beispielhafter optischer Filter
FWHM (nm)	66,0	46,5
Verschiebung der mittleren Wellenlänge, 0° bis 30° (nm)	-29,1	-12,2
Hintergrunddurchlässigkeit für 2856 K Schwarzkörper (%)	14,8	9,75
Gesamtbeschichtungsdicke (nm)	24432	5688

FIG. 7A

AR-Beschichtung des ersten beispielhaften optischen Filters		
Schicht-Nr.	Material	Dicke (nm)
1	SiO ₂	153,5852
2	Ta ₂ O ₅	32,39649
3	SiO ₂	47,88567
4	Ta ₂ O ₅	112,6954
5	SiO ₂	146,4009

FIG. 7B

8/14

Filterstapel des ersten beispielhaften optischen Filters					
Schicht-Nr.	Material	Dicke (nm)	Schicht-Nr.	Material	Dicke (nm)
1	Si:H	12,06225	25	Si:H	123,9279
2	SiO ₂	207,0239	26	SiO ₂	73,3697
3	Si:H	112,2893	27	Si:H	92,284
4	SiO ₂	131,3289	28	SiO ₂	93,71968
5	Si:H	58,57214	29	Si:H	57,99244
6	SiO ₂	123,472	30	SiO ₂	129,6102
7	Si:H	121,8488	31	Si:H	118,8611
8	SiO ₂	62,37868	32	SiO ₂	121,0311
9	Si:H	94,08999	33	Si:H	58,78395
10	SiO ₂	91,40882	34	SiO ₂	126,8949
11	Si:H	68,58871	35	Si:H	27,06202
12	SiO ₂	97,34483	36	SiO ₂	265,4308
13	Si:H	126,2579	37	Si:H	107,9248
14	SiO ₂	65,22393	38	SiO ₂	103,3531
15	Si:H	87,89165	39	Si:H	33,0597
16	SiO ₂	95,32283	40	SiO ₂	225,0774
17	Si:H	68,92315	41	Si:H	32,91478
18	SiO ₂	96,5938	42	SiO ₂	284,8275
19	Si:H	126,1687	43	Si:H	90,36095
20	SiO ₂	66,16271	44	SiO ₂	79,30571
21	Si:H	88,58283	45	Si:H	55,39493
22	SiO ₂	96,5938	46	SiO ₂	247,4205
23	Si:H	63,19303	47	Si:H	95,3999
24	SiO ₂	103,7141	48	SiO ₂	285,9541

FIG. 7C

9/14

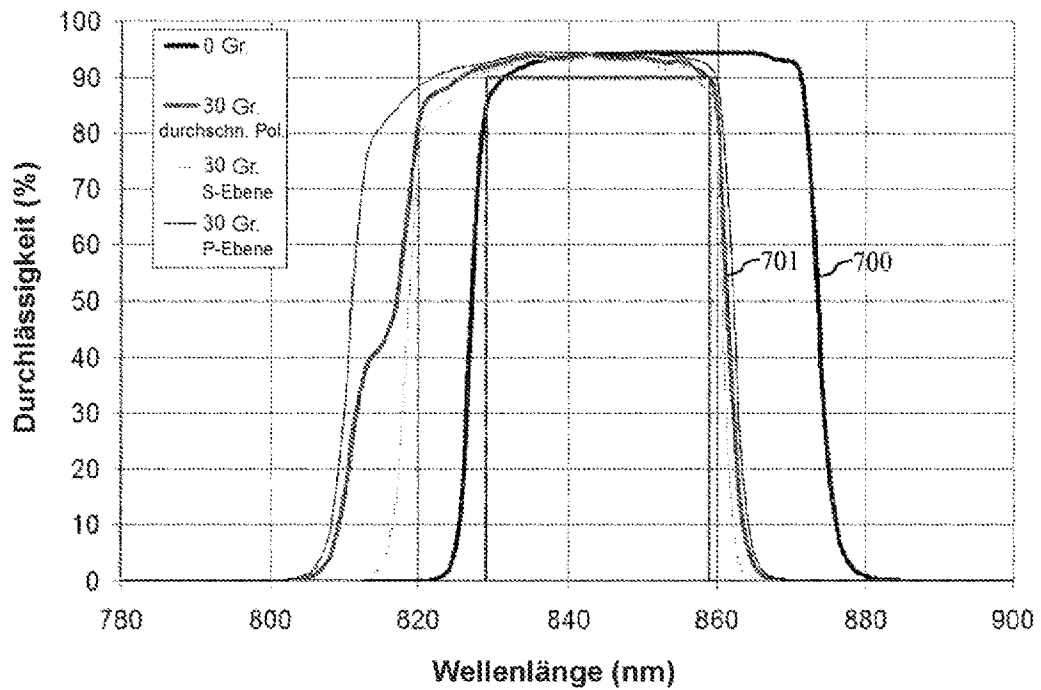


FIG. 7D

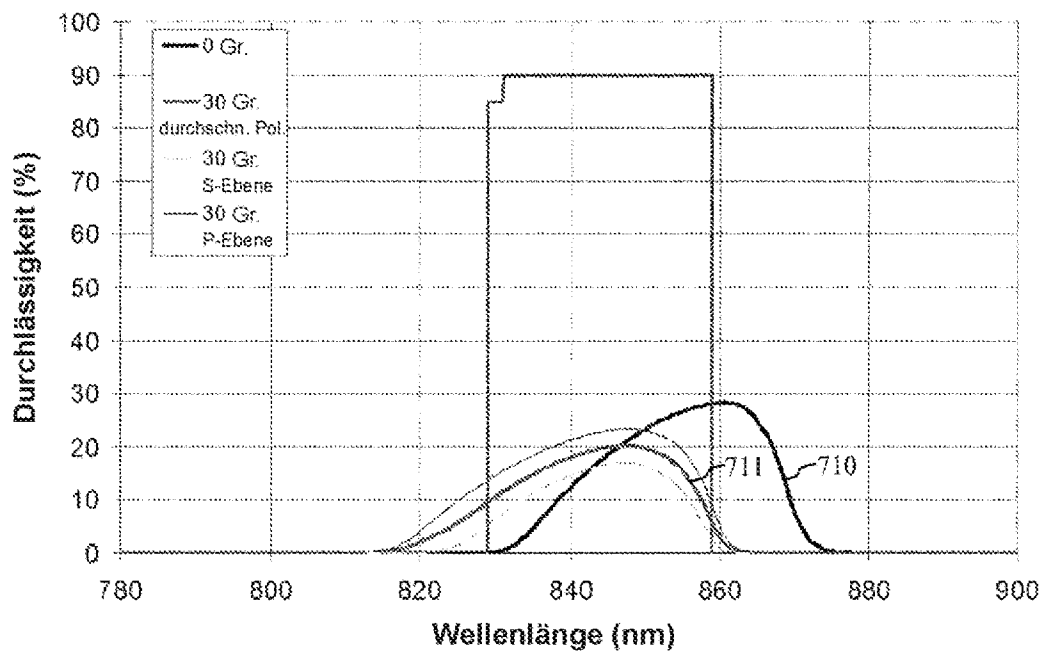


FIG. 7E

10/14

Vergleich zweiter herkömmlicher optischer Filter und zweiter beispielhafter optischer Filter		
Eigenschaft	Zweiter herkömmlicher optischer Filter	Zweiter beispielhafter optischer Filter
FWHM (nm)	29,1	29,6
Verschiebung der mittleren Wellenlänge, 0° bis 20° (nm)	-12,7	-7,8
Hintergrunddurchlässigkeit für 2856 K Schwarzkörper (%)	5,84	5,54
Gesamtbeschichtungsdicke (nm)	13780	3312

FIG. 8A

Filterstapel des zweiten beispielhaften optischen Filters					
Schicht-Nr.	Material	Dicke (nm)	Schicht-Nr.	Material	Dicke (nm)
1	SiO ₂	169,8593	14	Si:H	42,95783
2	Si:H	25,36196	15	SiO ₂	151,3625
3	SiO ₂	169,8593	16	Si:H	108,6165
4	Si:H	108,6165	17	SiO ₂	141,1964
5	SiO ₂	141,1964	18	Si:H	54,30826
6	Si:H	54,30826	19	SiO ₂	173,3892
7	SiO ₂	173,3892	20	Si:H	22,70085
8	Si:H	22,70085	21	SiO ₂	173,3892
9	SiO ₂	173,3892	22	Si:H	108,6165
10	Si:H	108,6165	23	SiO ₂	155,1748
11	SiO ₂	141,1964	24	Si:H	38,8304
12	Si:H	54,30826	25	SiO ₂	155,1748
13	SiO ₂	151,3625			

FIG. 8B

11/14

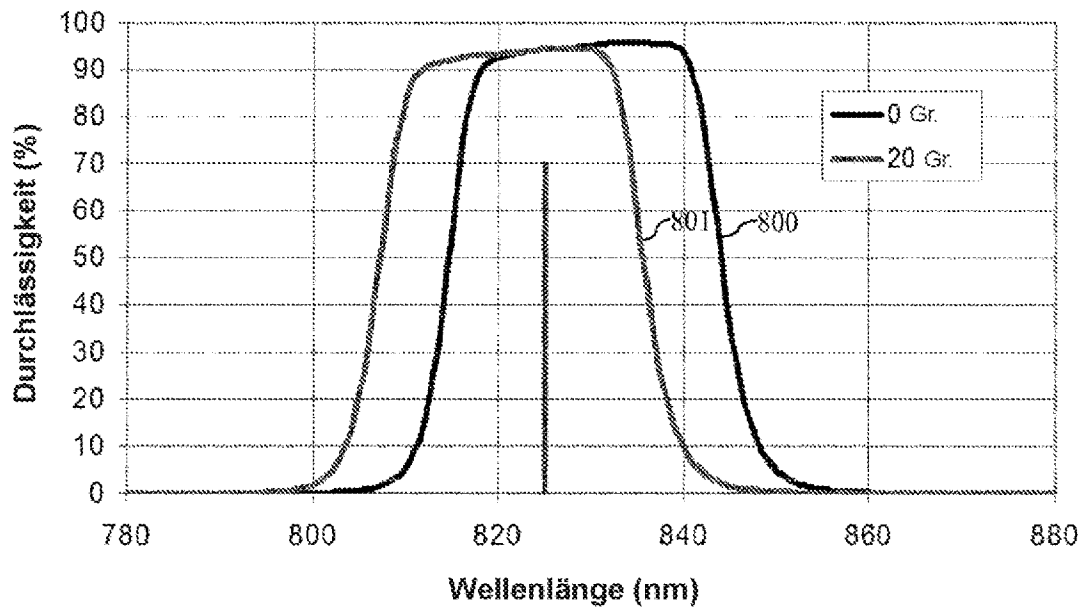


FIG. 8C

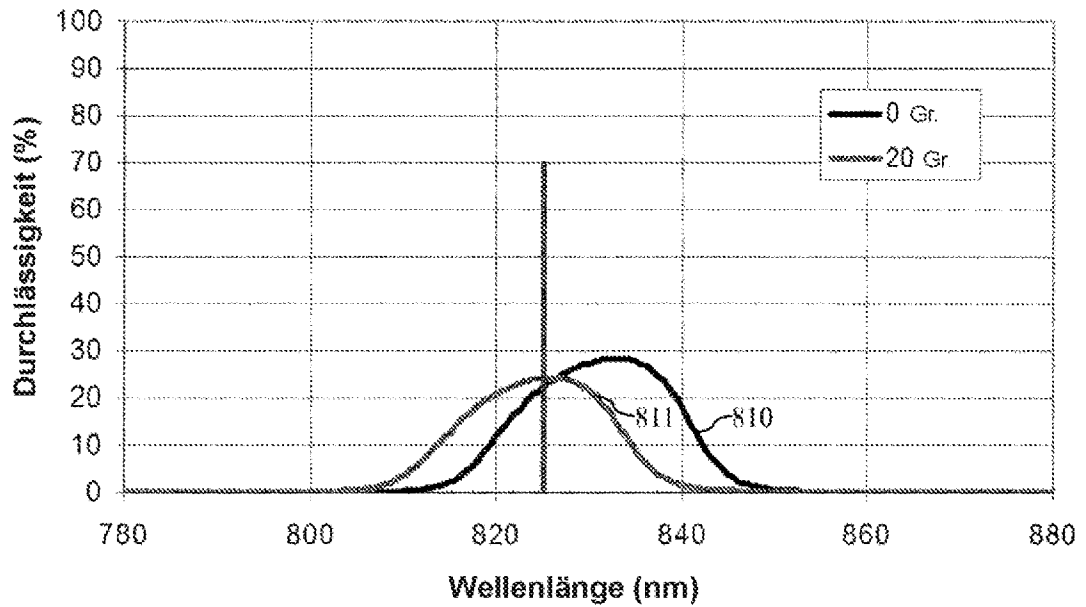


FIG. 8D

12/14

Filterstapel des dritten beispielhaften optischen Filters					
Schicht-Nr.	Material	Dicke (nm)	Schicht-Nr.	Material	Dicke (nm)
1	Si:H	48,99656	16	SiO ₂	144,9036
2	SiO ₂	27,72806	17	Si:H	172,5048
3	Si:H	261,865	18	SiO ₂	144,8237
4	SiO ₂	175,7108	19	Si:H	229,229
5	Si:H	67,55759	20	SiO ₂	131,8658
6	SiO ₂	48,09467	21	Si:H	77,24942
7	Si:H	245,3538	22	SiO ₂	139,1643
8	SiO ₂	157,5898	23	Si:H	225,9625
9	Si:H	53,78669	24	SiO ₂	115,736
10	SiO ₂	117,5423	25	Si:H	97,86642
11	Si:H	234,1488	26	SiO ₂	170,7001
12	SiO ₂	146,2907	27	Si:H	232,4637
13	Si:H	172,8534	28	SiO ₂	168,9233
14	SiO ₂	143,1595	29	Si:H	118,3322
15	Si:H	230,0482			

FIG. 9A

13/14

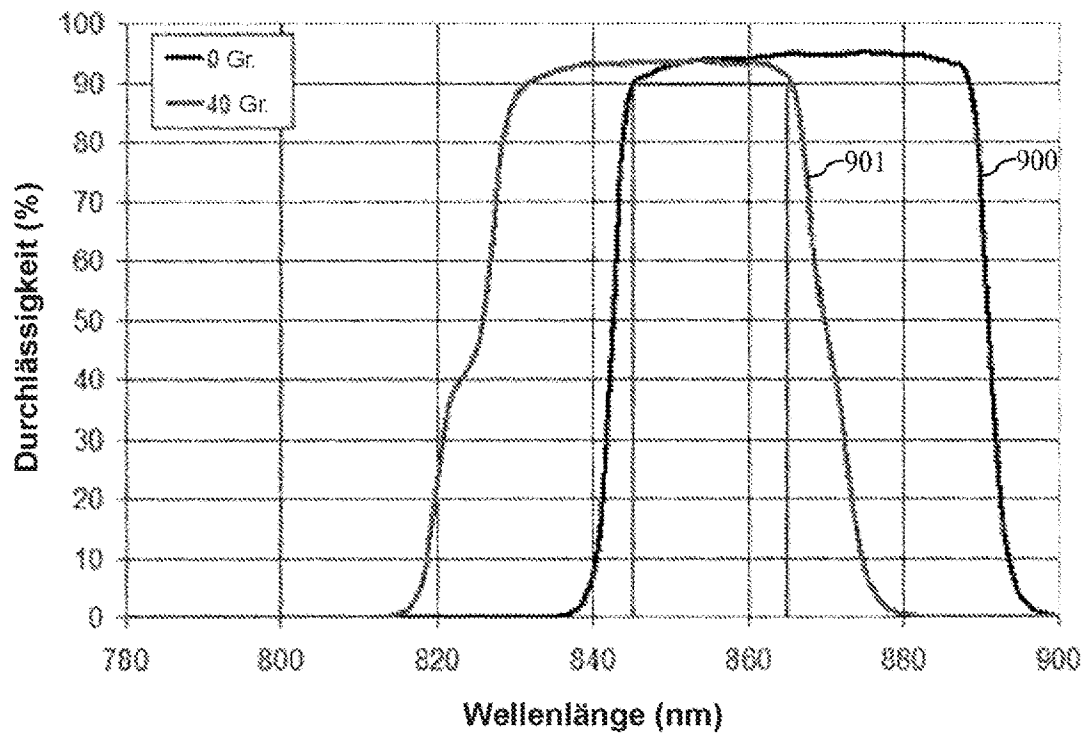


FIG. 9B

14/14

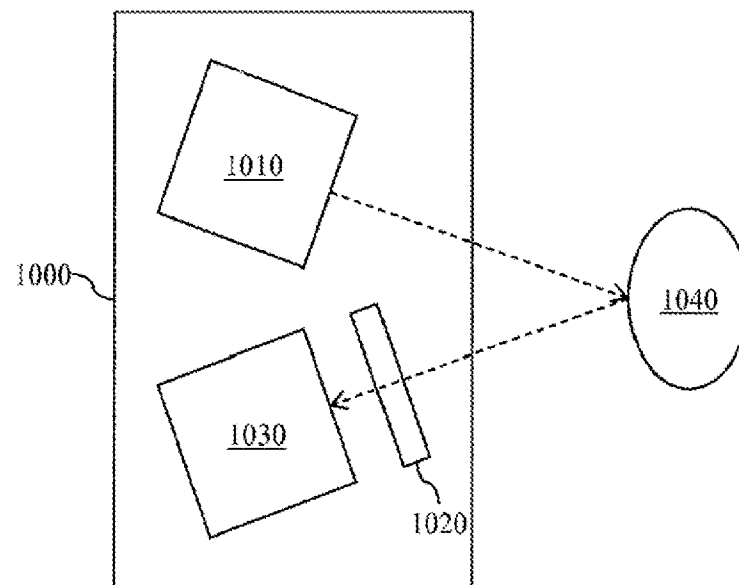


FIG. 10

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC: G02B 5/28 (2006.01); G02B 1/115 (2015.01)		
Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC: G02B 5/281 (2013.01); G02B 5/285 (2016.05); G02B 1/115 (2015.01)		
Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation): G02B		
Konsultierte Online-Datenbank: EPODOC; TXT NN		
Dieser Recherchenbericht wurde zu den am 04.06.2020 eingereichten Ansprüchen 1-15 erstellt.		
Kategorie ^{*)}	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
A	US 5398133 A (TSAI RUNG-YWAN ET AL) 14. März 1995 (14.03.1995) ganzes Dokument	1-15
A	US 2003039847 A1 (DALAKOS) 27. Februar 2003 (27.02.2003) ganzes Dokument	1-15
A	US 5472787 A (JOHNSON ET AL) 05. Dezember 1995 (05.12.1995) ganzes Dokument	1-15
Datum der Beendigung der Recherche: 12.03.2021 Seite 1 von 1 Prüfer(in): BABUREK Gerhard		
^{*)} Kategorien der angeführten Dokumente:		
X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung : der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.	A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert. P Dokument, das von Bedeutung ist (Kategorien X oder Y), jedoch nach dem Prioritätstag der Anmeldung veröffentlicht wurde.	
Y Veröffentlichung von Bedeutung : der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist.	E Dokument, das von besonderer Bedeutung ist (Kategorie X), aus dem ein „ älteres Recht “ hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen). & Veröffentlichung, die Mitglied der selben Patentfamilie ist.	