

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

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
15. September 2016 (15.09.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/142428 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

C03C 17/34 (2006.01) **C03C 17/36** (2006.01)
B23K 1/00 (2006.01) **G02B 5/08** (2006.01)
C06B 45/14 (2006.01)

(74) **Anwalt: EPPING HERMANN FISCHER**
PATENTANWALTSGESELLSCHAFT MBH;
Schloßschmidstr. 5, 80639 München (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/055036

(22) Internationales Anmeldedatum:
9. März 2016 (09.03.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2015 103 494.8 10. März 2015 (10.03.2015) DE

(71) **Anmelder: FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E. V.** [DE/DE]; Hansastraße 27 c, 80686 München (DE). **FRIEDRICH-SCHILLER-UNIVERSITÄT JENA** [DE/DE]; Fürstengraben 1, 07743 Jena (DE).

(72) **Erfinder: SCHÜRMANN, Mark;** Sankt-Jakob-Str. 14, 07743 Jena (DE). **SCHWINDE, Stefan;** Löbdergraben 25, 07743 Jena (DE). **MÜLLER, Robert;** Neue Welt 21, 99518 Niedertreba (DE). **KAISER, Norbert;** Am Katzenstein 1, 07745 Jena (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** METHOD FOR PRODUCING A REFLECTOR ELEMENT AND REFLECTOR ELEMENT

(54) **Bezeichnung :** VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES REFLEKTORELEMENTS UND REFLEKTORELEMENT

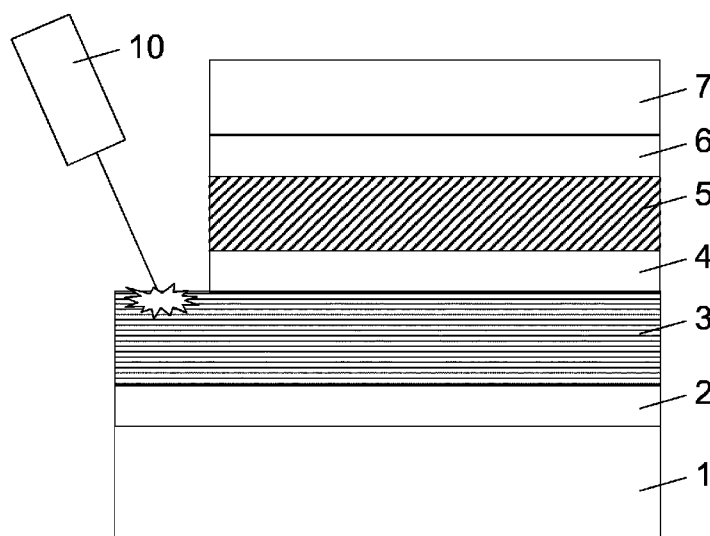


Fig. 1G

(57) **Abstract:** The invention relates to a method for producing a reflector element, in which a layer sequence is deposited, said layer sequence comprises at least one mirror layer (5, 9) and at least one reactive multi-layer system (3). The reactive multi-layer system (3) is triggered in order to activate a heat input in the layer sequence. The invention also relates to a reflector element which can be produced in said manner.

(57) **Zusammenfassung:** Es wird ein Verfahren zur Herstellung eines Reflektorelements angegeben, bei dem eine Schichtenfolge abgeschieden wird, die mindestens eine Spiegelschicht (5, 9) und mindestens ein reaktives Multischichtsystem (3) umfasst. Durch Zünden des reaktiven Multischichtsystems (3) wird ein Wärmeeintrag in die Schichtenfolge bewirkt. Weiterhin wird ein auf diese Weise herstellbares Reflektorelement angegeben.



Veröffentlicht:

- *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

Beschreibung

Verfahren zur Herstellung eines Reflektorelements und Reflektorelement

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Reflektorelements und ein Reflektorelement.

10 Diese Patentanmeldung beansprucht die Priorität der deutschen Patentanmeldung 10 2015 103 494.8, deren Offenbarungsgehalt hiermit durch Rückbezug aufgenommen wird.

Zahlreiche Anwendungen präzisionsoptischer Komponenten verlangen Reflektorelemente mit einer Spiegelschicht, die in
15 einem breiten Spektralbereich hochreflektierend ist, zum Beispiel für Anwendungen in der Astronomie oder in Weltraumoptiken (z.B. zur Erdbeobachtung). Metalle weisen eine hohe Reflexion in einem breiten Spektralbereich auf. Für Reflektoren werden je nach Spektralbereich in der Regel Gold,
20 Aluminium oder Silber genutzt.

Gold besitzt eine sehr gute chemische Beständigkeit und eine hohe Reflexion im IR-Bereich. Aluminium weist eine hohe Reflexion bis in den UV-Bereich auf. Silber weist von allen
25 Metallen die höchste Reflexion vom VIS- bis in den IR-Bereich auf. Wie die elektrische Leitfähigkeit ist auch die Reflexion von der Anzahl der Fehlstellen in dem jeweiligen Metall abhängig (Drude-Theorie). Um eine hohe gerichtete Reflexion zu erreichen, ist eine möglichst fehlstellenarme und glatte
30 Metallschicht notwendig. Es sind auch Lösungen für Reflektoren bekannt, in denen Metalle kombiniert werden. Für spezielle Anwendungen kann gezielt ein gewünschtes Verhältnis zwischen transmittierter und reflektierter Strahlung

eingestellt werden (Strahlteiler). Hierfür können dünne Metallschichten genutzt werden.

Bei Reflektoren, bei denen eine maximale Reflexion über eine begrenzte spektrale Bandbreite und Einfallswinkelbereich benötigt wird, können auch rein dielektrische Schichten (ohne reflektierende Metallschicht) für das Einstellen der Reflexion genutzt werden. Bei diesen Reflektoren wird der Interferenzeffekt genutzt. Es werden mehrere Schichten dielektrischer Materialien mit unterschiedlichen Brechungsindizes kombiniert.

Sowohl bei Reflektoren mit einem dielektrischen Schichtsystem als auch bei Reflektoren, die auf der Reflexion von Metallen beruhen, können Alterungserscheinungen und Defekte eintreten. Besonders bei Metallen besteht die Gefahr der Korrosion. Um diese zu vermeiden oder zu verringern werden die Metallschichten häufig mit einer Schutzschicht versehen. Während für Aluminium und Gold auch Anwendungen ohne aufgebrauchte Schutzschichten existieren, werden Silberreflektoren praktisch immer mit einer Schutzschicht versehen. Besonders anspruchsvoll ist die Herstellung von geschützten Reflektoren bei Vorderseitenspiegeln, die in einem breiten Spektralbereich maximale Reflektivität aufweisen sollen, da die Schutzschichten die optische Funktion der Schichten beeinflussen. Es können nur bestimmte dielektrische Materialien für die Schutzschicht eingesetzt werden, um die negative Beeinflussung der optischen Performance so gering wie möglich zu halten. Durch Nutzung des Interferenzeffektes kann durch eine Kombination von unterschiedlichen dielektrischen Materialien als Schutzschicht eine gezielte Reflexionserhöhung in bestimmten spektralen Bereichen erreicht werden.

Zum Schutz und zur Reflexionserhöhung von metallischen Reflektoren werden zum Beispiel Schutzschichten mittels PVD, CVD oder ALD auf das reflektierende Metall abgeschieden. Mit diesen Verfahren lassen sich die in Frage kommenden

5 dielektrischen Materialien mit genau definierten Schichtdicken auf den Reflektoren abscheiden. Es werden Abscheideparameter mit geringen Prozesstemperaturen (im Allgemeinen $T < 150^{\circ}\text{C}$) gewählt. Auch von nachträglichen Wärmebehandlungen bei $T > 150^{\circ}\text{C}$ wird in der Regel abgesehen.

10 Hohe Temperaturen werden vermieden, um einen Verzug der Reflektoren zu vermeiden. Beispielsweise können unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten von Schicht und Substrat in Kombination mit großen Temperaturschwankungen zum Verzug führen.

15 Um eine präzise Strahlführung in einem optischen Instrument realisieren zu können, darf kein Verzug zugelassen werden, bzw. muss eine hohe Formgenauigkeit der Reflektoren eingehalten werden. Zudem sind viele Substrate

20 temperaturempfindlich. Hohe Temperaturen oder schnelle Temperaturänderungen würden diese Substrate schädigen.

Unter anderen Gesichtspunkten könnten hohe Temperaturen jedoch zu einer Verbesserung der Reflektoren führen. Zum

25 Beispiel führt die Abscheidung bei möglichst geringen Temperaturen dazu, dass die dielektrischen Schichten porös sein können. In diesem Zustand bilden einige Materialien Schichten, die nicht dicht sind (Feuchte kann durch die Schicht an die zu schützende Metallschicht gelangen) oder sie

30 sind leicht löslich (in feuchter Umgebung wird die Schicht gelöst und so über die Zeit zersetzt). Eine Umwandlung in einen stabileren Zustand wäre mittels thermischer Behandlung z.B. in einem Ofen möglich. Zudem könnte eine solche

thermische Behandlung oder eine Abscheidung bei hohen Temperaturen die Absorption transparenter Schichten verringern oder die Reflexion von Metallschichten verbessern. Dies ist durch den dabei entstehenden Temperatureinfluss auf die Substrate und teilweise auch auf die zu schützende Metallschicht allerdings nicht oder nur sehr begrenzt möglich.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Reflektorelement und ein Verfahren zu dessen Herstellung anzugeben. Das Reflektorelement soll sich insbesondere durch eine verbesserte Reflexion und/oder eine verbesserte Beständigkeit auszeichnen.

Gemäß einer Ausführungsform des Verfahrens zur Herstellung eines Reflektorelements wird eine Schichtenfolge abgeschieden, wobei die Schichtenfolge mindestens eine Spiegelschicht und mindestens ein reaktives Multischichtsystem umfasst. Die Schichtenfolge kann zum Beispiel auf die Oberfläche eines Substrats oder auf die Oberfläche einer auf ein Substrat aufgebrachten, vorzugsweise polierten Schicht, abgeschieden werden. Das Substrat und/oder die darauf aufgebrachte Schicht können eben oder gekrümmt sein. Das Reflektorelement kann zum Beispiel für Anwendungen in der Präzisionsoptik vorgesehen sein. Das Reflektorelement kann insbesondere für Anwendungen in der Astronomie und/oder für Anwendungen im Weltraum, zum Beispiel zur Erdbeobachtung, vorgesehen sein.

Die Spiegelschicht in der Schichtenfolge des Reflektorelements kann eine reflektierende Einzelschicht, insbesondere eine Metallschicht, oder ein reflektierendes

Schichtsystem, insbesondere ein dielektrisches Interferenzschichtsystem, umfassen.

Das reaktive Multischichtsystem enthält vorteilhaft eine
5 Vielzahl von abwechselnden Schichten. Die abwechselnden Schichten weisen bevorzugt eine periodische Anordnung auf. Das reaktive Multischichtsystem enthält insbesondere eine Vielzahl von Schichtpaaren, die jeweils eine erste Schicht aus einem ersten Material und eine zweite Schicht aus einem
10 zweiten Material aufweisen. Das erste Material und das zweite Material sind so gewählt, dass sie in einer exothermen Reaktion eine Verbindung bilden können.

Es ist möglich, dass die ersten Schichten und zweiten
15 Schichten der Schichtpaare jeweils durch eine Diffusionsbarriere aus einem dritten Material voneinander getrennt sind. Hierdurch kann eine vorzeitige Reaktion der Materialien, zum Beispiel während des Beschichtungsprozesses, verhindert werden. Die Reaktion wird vorteilhaft erst bei
20 einem definierten Mindestenergieeintrag, die vom Material der Diffusionsbarriere abhängt, gestartet. Die Diffusionsbarriere kann zum Beispiel Kohlenstoff aufweisen oder daraus bestehen.

Bei dem Verfahren zur Herstellung des Reflektorelements wird
25 das reaktive Multischichtsystem gezündet, um einen Wärmeeintrag in die Schichtenfolge zu bewirken. Das Zünden des reaktiven Multischichtsystems erfolgt durch einen Energieeintrag, zum Beispiel durch einen Laser oder durch das Anlegen einer elektrischen Spannung. Auf diese Weise wird die
30 exotherme Reaktion zwischen den Materialien der abwechselnden Schichten des reaktiven Multischichtsystems ausgelöst. Bei diesem Vorgang findet eine Senkung der Bindungsenthalpie bei der Bildung einer Mischphase/Legierung statt. Es erfolgt eine

sich selbst ausbreitende, exotherme Reaktion, wobei die entstehende Reaktionswärme an die Umgebung abgegeben wird. Das Zünden des reaktiven Multischichtsystems ermöglicht vorteilhaft eine einmalige, explosionsartige Freisetzung von
5 Wärme verbunden mit einer anschließenden Ausbreitung. Die explosionsartige Freisetzung kann von Raumtemperatur ausgehen.

Die Wärmeabgabe durch das gezündete reaktive
10 Multischichtsystem erfolgt vorteilhaft nur lokal in der Nähe des reaktiven Multischichtsystems. Aufgrund der geringen Wärmekapazität des reaktiven Multischichtsystems kann im Vergleich zur ganzheitlichen Aufheizung des Reflektorelements, wie beim Tempern in einem Ofen, beim
15 Zünden des reaktiven Multischichtsystems eine negative thermische Beeinflussung des gesamten Reflektorelements vorteilhaft vermieden werden. Insbesondere kann eine unerwünschte Verformung des Substrats durch den lokalen kurzzeitigen Wärmeeintrag in die Schichtenfolge vermieden
20 werden. Hohe Temperaturen entstehen nur für Bruchteile von Sekunden im Bereich des reaktiven Multischichtsystems und seiner unmittelbaren Umgebung.

Auf diese Weise kann insbesondere ein Wärmeeintrag in eine
25 dem reaktiven Multischichtsystem benachbarte Schicht, insbesondere in die Spiegelschicht oder in eine zum Schutz der Spiegelschicht vorgesehene Schutzschicht, erfolgen. Durch den Wärmeeintrag können die Schichteigenschaften vorteilhaft modifiziert werden. Auf diese Weise kann insbesondere eine
30 Erhöhung der Reflexion und/oder eine Verbesserung der Umweltbeständigkeit der Schichtenfolge erzielt werden. Aufgrund der sehr lokalen Wärmezufuhr kann eine Spiegelschicht oder Schutzschicht mit verbesserter Stabilität

und/oder erhöhter Reflexion auf einem Substrat erzeugt werden, ohne dass dieses verformt oder geschädigt wird.

Durch die Wahl der Materialien des reaktiven

- 5 Multischichtsystems, die Anzahl von Grenzflächen und der Schichtdicken kann eingestellt werden, welche Temperatur, Wärmemenge und Ausbreitungsgeschwindigkeit bei der Reaktion erreicht wird. Durch Einstellung dieser Parameter und Einstellung des reflektierenden Schichtsystems
- 10 (Materialkombinationen und Dicke der Schichten) kann der Wärmeeintrag über einen weiten Bereich eingestellt werden. Aufgrund der Reaktionswärme ist eine adiabatische Temperatur von bis zu 3000 °C an der Grenzfläche möglich, beispielsweise durch die Verwendung der Materialpaarung Hf und C.

15

- Bevorzugte Materialkombinationen für das reaktive Multischichtsystem sind: Ti und B (reagiert zu TiB_2), Zr und B (reagiert zu ZrB_2), Hf und B (reagiert zu HfB_2), V und B (reagiert zu VB_2), Nb und B (reagiert zu NbB_2), Ta und B (reagiert zu TaB_2), Ti und C (reagiert zu TiC), Zr und C (reagiert zu ZrC), Hf und C (reagiert zu HfC), V und C (reagiert zu VC), Nb und C (reagiert zu NbC), Ta und C (reagiert zu TaC), Ti und Si (reagiert zu Ti_5Si_3), Zr und Si (reagiert zu Zr_5Si_3), Hf und Si (reagiert zu Hf_5Si_3), V und Si (reagiert zu V_5Si_3), Nb und Si (reagiert zu Nb_5Si_3), Ta und Si (reagiert zu Ta_5Si_3), Ti und Al (reagiert zu TiAl), Zr und Al (reagiert zu ZrAl), Hf und Al (reagiert zu HfAl), Ni und Al (reagiert zu NiAl), Pd und Al (reagiert zu PdAl), Pt und Al (reagiert zu PtAl), Sc und Au (reagiert zu ScAu), Sc und Cu (reagiert zu ScCu), Sc und Ag (reagiert zu ScAg), Y und Au (reagiert zu YAu), Y und Cu (reagiert zu YCu), Y und Ag (reagiert zu YAg), Ru und Al (reagiert zu RuAl).
- 20
- 25
- 30

Das reaktive Multischichtsystem wird beispielsweise durch ein PVD-Verfahren (z.B. thermische Verdampfung, Elektronenstrahlverdampfung, plasmagestützte Bedampfung, Magnetronspütern, Ionenstrahlspütern), ein CVD-Verfahren
5 oder ALD (Atomic Layer Deposition) abgeschieden.

Das reaktive Multischichtsystem enthält vorzugsweise mindestens 20 Schichten, insbesondere zwischen 20 und 1000 Schichten. Vorteilhaft enthält das reaktive
10 Multischichtsystem mindestens 10 Schichtpaare aus jeweils einer ersten Schicht aus einem ersten Material und einer zweiten Schicht aus einem zweiten Material. Die Dicken der Schichten des reaktiven Multischichtsystems betragen bevorzugt zwischen 5 nm und 500 nm. Die Gesamtdicke des
15 reaktiven Multischichtsystems beträgt vorteilhaft zwischen 0,1 µm und 200 µm, bevorzugt zwischen 0,5 µm und 5 µm. Ein solches reaktives Multischichtsystem ist vorteilhaft, um eine zur Modifizierung der Schichteigenschaften mindestens einer Schicht der Schichtenfolge geeignete Temperatur zu erzeugen.

20 Bei einer bevorzugten Ausführungsform des Reflektorelements ist die Spiegelschicht eine Metallschicht. Die Metallschicht kann besondere Gold, Aluminium, Silber, Kupfer, Rhodium, Platin oder Iridium aufweisen. Wie die elektrische
25 Leitfähigkeit hängt die Reflexion einer Metallschicht stark von der Mikrostruktur der Metallschicht ab. Störstellen wie Korngrenzen führen zur Reduzierung der Reflexion. Eine raue Oberfläche führt zu einer ungerichteten Reflexion (Streuung). Die beste Reflexion ist daher mit einer glatten Schicht und
30 möglichst wenig Störstellen zu erreichen. Durch den Wärmeeintrag beim Zünden des reaktiven Multischichtsystems kann die Metallschicht vorteilhaft dahingehend modifiziert werden, ohne dabei das Substrat und die Formtreue negativ zu

beeinflussen. Der Wärmeeintrag beim Zünden des reaktiven Multischichtsystems kann ein kurzzeitiges lokales Aufschmelzen der Metallschicht bewirken. Dabei entstehen größere Körner, die eine bessere Leitfähigkeit und Reflexion der Metallschicht zur Folge haben. Zugleich bleibt die Rauheit der Metallschicht aber gering oder nimmt sogar ab, so dass es nicht zu erhöhten Streuverlusten kommt.

Bevorzugt wird bei der Spiegelschicht ein Teilbereich ausgespart, um lokal einen direkten Zugang zu dem reaktiven Multischichtsystem zu ermöglichen. Dieser kann für die Zündung der Reaktion notwendig sein.

Bei einer bevorzugten Ausgestaltung folgt der Spiegelschicht eine Schutzschicht nach, welche insbesondere zum Schutz der Spiegelschicht vor Umgebungseinflüssen dient. Dies ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn die Spiegelschicht eine Metallschicht wie zum Beispiel eine Silberschicht ist. Die Schutzschicht kann eine Einzelschicht sein oder umfasst bevorzugt mehrere Teilschichten. Insbesondere kann die Schutzschicht eine oder mehrere dielektrische Schichten enthalten. Um eine hohe Reflexionen oder eine gleichmäßige und wellenlängenunabhängige optische Performance zu erreichen, werden für die Teilschichten der Schutzschicht bevorzugt ausschließlich dielektrische Schichtmaterialien verwendet, die im Spektralbereich, in denen das Reflektorelement angewendet werden soll, transparent sind. Insbesondere können dies Oxide oder Nitride wie SiO₂, Si₃N₄, Al₂O₃, AlN, ZrO₂, ZrN, HfO₂, HfN, TiO₂, TiN, Ta₂O₅, TaN, Nb₂O₅, NbN, Y₂O₃, YN, MgO, Fluoride wie MgF₂, LiF, AlF₃, LaF₃, GdF₃, Halbleiter wie Si oder SiC, leitfähige transparente Materialien wie ITO oder AZO, oder Mischungen aus diesen Materialien sein. Bevorzugt wird bei der

Schutzschicht wie bei der Spiegelschicht ein Teilbereich ausgespart, um lokal einen direkten Zugang zu dem reaktiven Multischichtsystem zu ermöglichen. Dieser kann für die Zündung der Reaktion notwendig sein.

5

Die Schichtmaterialien der Schutzschicht sind in dem jeweiligen Anwendungsbereich möglichst transparent. Aufgrund der geringen Abscheidetemperatur liegen die Schichtmaterialien (je nach Material) in amorphem oder polykristallinem Zustand vor und weisen viele - teils offene - Poren auf. Durch den Wärmeeintrag durch das reaktive Multischichtsystem kann die Schutzschicht in einen stabileren Zustand umgewandelt werden, ohne dass das Substrat und die Formtreue negativ beeinflusst werden. So kann aufgrund des Wärmeeintrags die Dichte der Schicht erhöht und die Porosität verringert werden, und/oder die Schicht wird in eine stabilere (polykristalline) Phase überführt. Dadurch kann eine wesentlich höhere Beständigkeit erreicht werden.

Die Schichtenfolge enthält vorteilhaft mindestens eine Haftschrift. Die Haftschrift kann bei der Herstellung der Schichtenfolge zum Beispiel durch ein PVD-Verfahren wie beispielsweise thermische Verdampfung, Elektronenstrahlverdampfung, plasmagestützte Verdampfung, Magnetronspattern oder Ionenstrahlspattern aufgebracht werden. Alternativ kann zum Aufbringen der Haftschrift ein CVD (Chemical Vapour Deposition)-Verfahren oder ein ALD (Atomic Layer Deposition)-Verfahren eingesetzt werden. Die Haftschrift hat insbesondere die Funktion, die Haftung einer darüber angeordneten Schicht, beispielsweise des reaktiven Multischichtsystems, der Spiegelschicht oder der Schutzschicht, zu verbessern. Die mindestens eine Haftschrift kann zum Beispiel zwischen dem Substrat und dem reaktiven

Multischichtsystem, zwischen dem reaktiven Multischichtsystem und der Spiegelschicht und/oder zwischen der Spiegelschicht und der Schutzschicht angeordnet sein. Weiterhin kann die Haftschrift gleichzeitig die Funktion einer

5 Diffusionsbarriereschicht aufweisen. In ihrer Eigenschaft als Diffusionsbarriereschicht kann die Haftschrift insbesondere die Diffusion zwischen Bestandteilen eines Substrats des Reflektorelements und den darüber angeordneten Schichten vermindern.

10

Die Haftschrift kann eine Einzelschicht oder eine Folge von mehreren Schichten sein. Geeignete Materialien für die Haftschrift sind beispielsweise Cr, Ti, Cu, Ru, Mo, W, leicht schmelzende Metalle wie Lötmaterial, Halbleiter wie Si oder

15 SiC oder dielektrische Schichten wie SiO₂, Si₃N₄, Al₂O₃, AlN, ZrO₂, ZrN, HfO₂, HfN, Ta₂O₅, TaN, Nb₂O₅, NbN, Y₂O₃, YN, oder Mischungen dieser Materialien. Die Haftschrift weist vorzugsweise eine Dicke zwischen 5 nm und 2000 nm auf.

20 Alternativ oder zusätzlich zu einer Metallschicht kann die Spiegelschicht ein dielektrisches Interferenzschichtsystem aufweisen. Das dielektrische Interferenzschichtsystem kann als alleinige Spiegelschicht fungieren oder zur Verstärkung der Reflexion auf eine Metallschicht aufgebracht werden. Das

25 dielektrische Interferenzschichtsystem weist vorteilhaft abwechselnde niedrigbrechende dielektrische Schichten mit einem Brechungsindex n_1 und hochbrechende dielektrische Schichten mit einem Brechungsindex $n_2 > n_1$ auf. Die Begriffe „niedrigbrechend“ und „hochbrechend“ sind jeweils relativ zum

30 Brechungsindex des anderen Schichttyps der abwechselnden Schichten zu verstehen. Unter niedrigbrechenden Schichten werden insbesondere solche Schichten verstanden, die einen Brechungsindex $n_1 \leq 1,6$ aufweisen. Unter hochbrechenden

Schichten werden insbesondere solche Schichten verstanden, die einen Brechungsindex $n_2 > 1,6$, vorzugsweise $n_2 > 2,0$, aufweisen. Das dielektrische Interferenzschichtsystem umfasst beispielsweise mindestens fünf, bevorzugt mindestens zehn
5 abwechselnde hochbrechende und niedrigbrechende Schichten.

Das dielektrische Interferenzschichtsystem kann insbesondere Oxide oder Nitride wie SiO_2 , Si_3N_4 , Al_2O_3 , AlN , ZrO_2 , ZrN , HfO_2 , HfN , TiO_2 , TiN , Ta_2O_5 , TaN , Nb_2O_5 , NbN , Y_2O_3 , YN , MgO ,
10 Fluoride wie MgF_2 , LiF , AlF_3 , LaF_3 , GdF_3 , Halbleiter wie Si oder SiC, oder leitfähige transparente Materialien wie ITO oder AZO, oder Mischungen aus diesen Materialien enthalten. Der Wärmeeintrag in das dielektrische Interferenzschichtsystem beim Zünden des reaktiven
15 Multischichtsystems hat die Vorteile, die zuvor im Zusammenhang mit der Schutzschicht erläutert wurden. Insbesondere kann aufgrund des Wärmeeintrags die Dichte der Schichten erhöht und die Porosität verringert werden, und/oder die Schichten werden in eine stabilere
20 (polykristalline) Phase überführt. Dadurch kann eine wesentlich höhere Beständigkeit erreicht werden.

Der bei dem Verfahren bewirkte Wärmeeintrag des reaktiven Multischichtsystems in die Schichtenfolge des
25 Reflektorelements hat weiterhin den Vorteil, dass eine gute Haftung auf dem Substrat und zwischen den Schichten eingestellt werden und/oder die Schichtspannung reduziert werden kann, ohne dass das Substrat und die Formtreue negativ beeinflusst werden. Der Wärmeeintrag bewirkt eine bessere
30 Haftung, da aufgrund der erhöhten Mobilität der Schichtteilchen eine bessere Benetzung und eine bessere Verbindung an den Grenzflächen ermöglicht werden. Die reduzierte Schichtspannung ist Folge eines

Relaxationsprozesses, der durch den Wärmeeintrag ermöglicht wird und durch den intrinsische Schichtspannungen abgebaut werden können.

- 5 Die Reduzierung von Spannungen ist besonders bei Schichtenfolgen mit vergleichsweise dicken und vielen dielektrischen Schichten von Bedeutung. Hierzu zählen insbesondere Schichtenfolgen, die als Spiegelschicht ein dielektrisches Interferenzschichtsystem oder eine
- 10 Metallschicht, auf der zusätzlich ein dielektrisches Interferenzschichtsystem zur Reflexionserhöhung abgeschieden wird, aufweisen. Die bessere Haftung auf dem Substrat oder zwischen den Schichten erhöht die Stabilität insbesondere von Reflektorelementen, die als Spiegelschicht eine
- 15 Edelmetallschicht enthalten, oder die großen thermomechanischen Belastungen ausgesetzt werden.

- Das mit dem hierin beschriebenen Verfahren herstellbare Reflektorelement weist eine auf ein Substrat aufgebrachte
- 20 Schichtenfolge auf, wobei die Schichtenfolge mindestens eine Spiegelschicht und mindestens eine durch Zündung eines reaktiven Multischichtsystems herstellbare Schicht aufweist. Die Schichtenfolge kann außerdem eine oder mehrere weitere der zuvor beschriebenen Schichten enthalten, insbesondere
- 25 eine oder mehrere Haftschichten und/oder eine oder mehrere Schutzschichten.

- Das Reflektorelement weist insbesondere eine Schicht auf, die durch Zündung eines reaktiven Multischichtsystems hergestellt
- 30 ist. Insbesondere kann das Reflektorelement eine Schicht enthalten, die eine Verbindung aus mindestens einem der folgenden Materialpaare aufweist: Ti und B, Zr und B, Hf und B, V und B, Nb und B, Ta und B, Ti und C, Zr und C, Hf und C,

V und C, Nb und C, Ta und C, Ti und Si, Zr und Si, Hf und Si, V und Si, Nb und Si, Ta und Si, Ti und Al, Zr und Al, Hf und Al, Ni und Al, Pd und Al, Pt und Al, Sc und Au, Sc und Cu, Sc und Ag, Y und Au, Y und Cu, Y und Ag, Ru und Al. Die

- 5 Verbindung entsteht vorteilhaft bei der exothermen Reaktion zwischen den verschiedenen Materialien des reaktiven Multischichtsystems. Die entstehende Verbindung kann zumindest bereichsweise eine stöchiometrische Zusammensetzung aufweisen. Die durch Zündung des reaktiven
- 10 Multischichtsystems herstellbare Schicht kann insbesondere mindestens eine der folgenden Verbindungen aufweisen: TiB_2 , ZrB_2 , HfB_2 , VB_2 , NbB_2 , TaB_2 , TiC , ZrC , HfC , VC , NbC , TaC , Ti_5Si_3 , Zr_5Si_3 , Hf_5Si_3 , V_5Si_3 , Nb_5Si_3 , Ta_5Si_3 , $TiAl$, $ZrAl$, $HfAl$, $NiAl$, $PdAl$, $PtAl$, $ScAu$, $ScCu$, $ScAg$, YAu , YCu , YAg , $RuAl$. Es
- 15 ist auch möglich, dass die durch Zündung des reaktiven Multischichtsystems entstehende Verbindung ganz oder bereichsweise eine nicht- stöchiometrische Zusammensetzung aufweist.

- 20 Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des Reflektorelements ergeben sich aus der vorherigen Beschreibung des Verfahrens und umgekehrt.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand von

- 25 Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit den Figuren 1 bis 4 näher erläutert.

Es zeigen:

- 30 Figur 1A bis 1G eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels des Verfahrens zur Herstellung des Reflektorelements anhand von Zwischenschritten,

Figur 2 eine schematische Darstellung eines Querschnitts durch ein Reflektorelement gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel,

- 5 Figur 3 eine schematische Darstellung eines Querschnitts durch ein Reflektorelement gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel, und

- Figur 4 eine schematische Darstellung eines Querschnitts durch ein Reflektorelement gemäß einem dritten
10 Ausführungsbeispiel.

- Gleiche oder gleich wirkende Bestandteile sind in den Figuren jeweils mit den gleichen Bezugszeichen versehen. Die
15 dargestellten Bestandteile sowie die Größenverhältnisse der Bestandteile untereinander sind nicht als maßstabsgerecht anzusehen.

- Bei dem Ausführungsbeispiel des Verfahrens wird bei dem in
20 Figur 1A dargestellten ersten Schritt eine Haftschrift 2 auf ein Substrat 1 aufgebracht. Das Substrat 1 kann ein ebenes oder ein gekrümmtes Substrat sein und beispielsweise Glas, Kunststoff, Metall oder eine Keramik aufweisen. Das Substrat 1 weist vorzugsweise eine Oberfläche mit geringer Rauheit
25 auf. Es ist auch möglich, das auf dem Substrat 1 eine vorzugsweise polierte technologische Schicht aufgebracht ist (nicht dargestellt). Die Haftschrift 2 kann wie die im Folgenden beschriebenen nachfolgenden Schichten zum Beispiel durch ein PVD-Verfahren (z.B. thermische Verdampfung,
30 Elektronenstrahlverdampfung, plasmagestützte Bedampfung, Magnetronspütern, Ionenstrahlspütern), ein CVD-Verfahren oder ein ALD-Verfahren aufgebracht werden.

Die Haftschrift 2 dient insbesondere zur Verbesserung der Haftung der nachfolgenden Schichten auf dem Substrat 1. Die Haftschrift 2 kann zugleich als Diffusionsbarriere dienen. Außerdem kann durch die Haftschrift 2 der Wärmeeintrag, der durch die Reaktion des reaktiven Multischichtsystems frei wird und auch auf das Substrat 1 einwirken könnte, reguliert werden. Die Haftschrift 2 kann eine Einzelschicht oder eine Kombination mehrerer dünner Schichten sein. Als Schichtmaterialien kommen alle Materialien in Frage, die eine gute Adhäsion des reaktiven Multischichtsystems auf dem Substrat gewährleisten. Insbesondere können dies Metalle wie Cr, Ti, Cu, Ru, Mo, W, leicht schmelzende Metalle wie Lötmaterial, Halbleiter wie Si oder SiC, oder dielektrische Schichten wie SiO₂, Si₃N₄, Al₂O₃, AlN, ZrO₂, ZrN, HfO₂, HfN, Ta₂O₅, TaN, Nb₂O₅, NbN, Y₂O₃, YN oder Mischungen dieser Materialien sein. Die Dicke der Haftschrift 2 beträgt zwischen 5 nm und 2000 nm, bevorzugt zwischen 10 nm und 100 nm.

Auf die Haftschrift 2 wird in dem in Figur 1B dargestellten zweiten Schritt mindestens ein reaktives Multischichtsystem 3 aufgebracht. Das reaktive Multischichtsystem 3 enthält einen vorzugsweise periodischen Schichtstapel aus abwechselnden Schichten, deren Materialien in einer exothermen Reaktion eine Verbindung bilden können. Geeignete Materialkombinationen für das reaktive Multischichtsystem 3 sind insbesondere: Ti und B (reagiert zu TiB₂), Zr und B (reagiert zu ZrB₂), Hf und B (reagiert zu HfB₂), V und B (reagiert zu VB₂), Nb und B (reagiert zu NbB₂), Ta und B (reagiert zu TaB₂), Ti und C (reagiert zu TiC), Zr und C (reagiert zu ZrC), Hf und C (reagiert zu HfC), V und C (reagiert zu VC), Nb und C (reagiert zu NbC), Ta und C (reagiert zu TaC), Ti und Si (reagiert zu Ti₅Si₃), Zr und Si

(reagiert zu Zr_5Si_3), Hf und Si (reagiert zu Hf_5Si_3), V und Si (reagiert zu V_5Si_3), Nb und Si (reagiert zu Nb_5Si_3), Ta und Si (reagiert zu Ta_5Si_3), Ti und Al (reagiert zu TiAl), Zr und Al (reagiert zu ZrAl), Hf und Al (reagiert zu HfAl), Ni und Al (reagiert zu NiAl), Pd und Al (reagiert zu PdAl), Pt und Al (reagiert zu PtAl) Sc und Au (reagiert zu ScAu), Sc und Cu (reagiert zu ScCu), Sc und Ag (reagiert zu ScAg), Y und Au (reagiert zu YAu), Y und Cu (reagiert zu YCu), Y und Ag (reagiert zu YAg), Ru und Al (reagiert zu RuAl).

10

Die Dicke des reaktiven Multischichtsystems 3 beträgt zwischen 0,1 μm und 200 μm , bevorzugt zwischen 0,5 μm und 5 μm .

15 In einem optionalen dritten Schritt, der in Figur 1C dargestellt ist, kann auf das reaktive Multischichtsystem 3 eine zweite Haftschrift 4 aufgebracht werden, die zugleich als Diffusionsbarriere dienen kann, die die Diffusion zwischen dem reaktiven Multischichtsystem 3 und der im
20 folgenden Verfahrensschritt aufgetragenen Metallschicht unterbindet. Vorteilhafte Ausgestaltungen der zweiten Haftschrift 4 entsprechen der zuvor beschriebenen Haftschrift 2. Bevorzugt wird bei der zweiten Haftschrift 4 wie bei allen nachfolgenden Schichten mindestens ein Teilbereich
25 ausgespart, um lokal einen direkten Zugang zu dem reaktiven Multischichtsystem 3 zu ermöglichen. Dieser kann für die Zündung der Reaktion notwendig sein.

Auf die zweite Haftschrift 4 wird in einem in Figur 1D
30 dargestellten vierten Schritt eine breitbandig reflektierende Metallschicht 5 als Spiegelschicht aufgebracht. Die Metallschicht 5 weist vorzugsweise ein hochreflektierendes Metall wie Au, Al, Ag, Cu, Rh, Pt oder Ir oder eine

Legierung dieser Metalle auf. Die Dicke der Metallschicht 5 wird vorzugsweise an die freiwerdende Energie des reaktiven Multischichtsystems 3 angepasst und kann zum Beispiel zwischen 10 nm und 5000 nm betragen. Bevorzugt wird bei der

5 Metallschicht 5 wie bei allen folgenden Schichten ein Teilbereich ausgespart um lokal einen direkten Zugang zu dem reaktiven Multischichtsystem 3 zu ermöglichen. Dieser kann für die Zündung der Reaktion notwendig sein.

- 10 In einem optionalen in Figur 1E dargestellten fünften Schritt kann auf die reflektierende Metallschicht 5 eine dritte Haftschi-
cht 6 aufgebracht werden, die zugleich als Diffusionsbarriere dienen kann, die die Diffusion zwischen der Metallschicht 5 und einer nachfolgenden Schutzschicht
- 15 unterbindet. Die dritte Haftschi-
cht 6 kann sowohl eine Einzelschicht als auch eine Kombination mehrerer dünner Schichten sein. Als Schichtmaterialien kommen alle Materialien in Frage, die eine gute Adhäsion der Schutzschicht auf der Metallschicht 5 gewährleisten. Zugleich
- 20 darf die dritte Haftschi-
cht 6 die Reflexion der darunterliegenden hochreflektierenden Metallschicht 5 nur möglichst geringfügig beeinflussen. Die dritte Haftschi-
cht 6 ist deshalb bevorzugt möglichst dünn und/oder aus einem Material mit geeigneten optischen Eigenschaften gebildet.
- 25 Geeignet sind Metalle wie Cr, Ti, Cu, Ru, Mo, W, Halbleiter wie Si oder SiC, dielektrische Schichten wie SiO₂, Si₃N₄, Al₂O₃, AlN, ZrO₂, ZrN, HfO₂, HfN, Ta₂O₅, TaN, Nb₂O₅, NbN, Y₂O₃, YN, Fluoride wie MgF₂, AlF₃, LiF, LaF₃, GdF₃, oder Mischungen dieser Materialien. Die Dicke der dritten
- 30 Haftschi-
cht 6 liegt zwischen 0,5 nm und 100 nm, bevorzugt zwischen 1 nm und 30 nm. Bevorzugt wird bei der dritten Haftschi-
cht 6 wie bei allen folgenden Schichten ein Teilbereich ausgespart, um lokal einen direkten Zugang zu dem

reaktiven Multischichtsystem 3 zu ermöglichen. Dieser kann für die Zündung der Reaktion notwendig sein.

In einem sechsten Schritt, der in Figur 1F dargestellt ist, wird auf die Metallschicht 5 oder auf die dritte Haftschicht 6 eine Schutzschicht 7 abgeschieden. Die Schutzschicht 7 kann aus einer oder mehreren dielektrischen Schichten aufgebaut sein. Um eine hohe Reflexion oder eine gleichmäßige und wellenlängenunabhängige optische Performance zu erreichen, weist die Schutzschicht 7 ein oder mehrere dielektrische Schichtmaterialien auf, die im Spektralbereich, in dem das Reflektorelement angewendet werden soll, transparent sind. Insbesondere kann die Schutzschicht 7 Oxide oder Nitride wie SiO₂, Si₃N₄, Al₂O₃, AlN, ZrO₂, ZrN, HfO₂, HfN, TiO₂, TiN, Ta₂O₅, TaN, Nb₂O₅, NbN, Y₂O₃, YN, MgO, Fluoride wie MgF₂, LiF, AlF₃, LaF₃, GdF₃, Halbleiter wie Si oder SiC, leitfähige transparente Materialien wie ITO oder AZO, oder Mischungen aus diesen Materialien enthalten. Bevorzugt wird bei der Schutzschicht 7 ein Teilbereich ausgespart, um lokal einen direkten Zugang zu dem reaktiven Multischichtsystem 3 zu ermöglichen. Dieser kann für die Zündung der Reaktion notwendig sein.

In einem in Figur 1G dargestellten siebten Schritt wird die Reaktion des reaktiven Multischichtsystems 3 durch einen Energieeintrag, zum Beispiel mittels eines Lasers 10 oder Anlegen einer elektrischen Spannung, gezündet. Durch die dann ablaufende, sich selbst ausbreitende, exotherme Reaktion wird eine Wärmemenge freigesetzt. Die freigesetzte Wärmemenge wirkt in den Schichten, die das reaktive Multischichtsystem 3 umgeben, wodurch diese modifiziert werden. Da es sich um einen lokalen Wärmeeintrag handelt, ist die Wärmebelastung

für das Substrat 1 so gering, dass kein Verzug und damit keine Formabweichungen entstehen.

Das auf diese Weise hergestellte Reflektorelement ist in
5 Figur 2 dargestellt. Das Reflektorelement enthält eine durch
Zündung des reaktiven Multischichtsystems hergestellte
Schicht 8, die eine Verbindung der zuvor in dem reaktiven
Multischichtsystem enthaltenen Schichtmaterialien aufweist.
Die durch Zündung des reaktiven Multischichtsystems
10 hergestellte Schicht 8 kann insbesondere mindestens eine der
folgenden Verbindungen aufweisen: TiB_2 , ZrB_2 , HfB_2 , VB_2 , NbB_2 ,
 TaB_2 , TiC , ZrC , HfC , VC , NbC , TaC , Ti_5Si_3 , Zr_5Si_3 , Hf_5Si_3 , V_5Si_3 ,
 Nb_5Si_3 , Ta_5Si_3 , $TiAl$, $ZrAl$, $HfAl$, $NiAl$, $PdAl$, $PtAl$, $ScAu$,
 $ScCu$, $ScAg$, YAu , YCu , YAg , $RuAl$.

15 Bei dem Ausführungsbeispiel der Figur 2 ist das
Reflektorelement ein so genannter Vorderseiten-Reflektor, bei
dem ein einfallender Lichtstrahl 11 vor dem Auftreffen auf
das Substrat 1 an der Spiegelschicht 5 reflektiert wird. Die
20 dritte Haftschiicht 6 und die Schutzschicht 7 sind vorteilhaft
transparent, so dass der einfallende Lichtstrahl 11 erst an
der Spiegelschicht 5 reflektiert wird. Bei der Ausgestaltung
des Reflektorelements als Vorderseitenreflektor sind das
reaktive Multischichtsystem 3 bzw. die durch Zündung des
25 reaktiven Multischichtsystems 3 hergestellte Schicht 8
zwischen dem Substrat 1 und der Spiegelschicht 5 angeordnet.

Im Folgenden werden drei Beispiele A, B, C zur Herstellung
eines Reflektorelements gemäß den Figuren 1A bis 1G und 2
30 beschrieben.

Beispiel A: Reflektorelement mit einer Silberbeschichtung und
einer Al_2O_3 -Schutzschicht

Auf ein Substrat 1 für präzisionsoptische Anwendungen, das eine polierte technologische Schicht aus NiP aufweist, wird in einem ersten Schritt eine Haftschrift 2 aus Cr aufgebracht. In einem zweiten Schritt wird ein reaktives

5 Multischichtsystem 3 aus Pd und Al aufgebracht. Das reaktive Pd-Al-Multischichtsystem 3 besteht aus einem Schichtstapel mit 20 Perioden und einer Periodendicke 200 nm. Auf das reaktive Multischichtsystem 3 wird eine 10 nm dicke Cr-Schicht als zweite Haftschrift 4 und auf diese eine 150 nm

10 dicke Ag-Schicht als Spiegelschicht 5 abgeschieden. Auf die Ag-Schicht 5 wird eine ca. 100 nm dicke Al_2O_3 -Schicht als Schutzschicht 7 abgeschieden. Nach dem Abscheiden dieser Schichten wird das reaktive Multischichtsystem 3 gezündet. Durch Zündung des reaktiven Multischichtsystems 3 stellt sich

15 kurzzeitig eine adiabatische Temperatur von bis zu 2380 °C ein. Diese Temperatur ist ausreichend, um die auf dem reaktiven Multischichtsystem 3 aufgebrachte Silberschicht 5 aufzuschmelzen (Schmelzpunkt: 962°C). Auch die auf der Silberschicht 5 aufgebrachte amorphe Al_2O_3 -Schutzschicht 7

20 wird durch die Wärmeinwirkung modifiziert. Die amorphe Al_2O_3 -Schutzschicht 7 wird in die stabilere α - Al_2O_3 -Phase überführt (Phasenübergang 750°C-800°C bei PVD-Schichten). Durch das Aufschmelzen der Ag-Schicht 5 kann bei der Erstarrung an der Schutzschicht 7 (Al_2O_3) eine sehr glatte Grenzfläche

25 eingestellt werden, was für eine hohe und gerichtete Reflexion vorteilhaft ist. Die Umwandlung der amorphen Al_2O_3 -Schutzschicht 7 in die stabilere α - Al_2O_3 -Phase führt zu einer wesentlich besseren Beständigkeit. Die α - Al_2O_3 -Phase weist eine wesentlich geringere Wasserlöslichkeit als amorphes

30 Al_2O_3 auf. Der Reflektor weist damit im Vergleich zu herkömmlichen Reflektoren eine verbesserte Stabilität insbesondere in feuchten Umgebungen auf.

Beispiel B: Reflektorelement mit einer Aluminiumbeschichtung und einer fluoridischen Schutzschicht

Auf ein poliertes Substrat 1 aus z.B. Silizium, Quarzglas
5 oder CaF_2 wird in einem ersten Schritt eine Ti-Haftschrift 2 von 10 nm Dicke aufgebracht. Auf die Ti-Haftschrift 2 wird in einem weiteren Schritt ein reaktives Multischichtsystem 3 abgeschieden. Das reaktive Multischichtsystem 3 besteht aus einem Schichtstapel aus abwechselnden Ti-Schichten und Al-
10 Schichten mit 20 Perioden der Periodendicke 100 nm. Auf das reaktive Multischichtsystem 3 wird mittels Verdampfen eine 50 nm bis 200 nm dicke Al-Schicht als Spiegelschicht 5 aufgebracht. Auf die Spiegelschicht 5 wird eine fluoridische Schutzschicht 7, z.B. eine MgF_2 -Schicht oder eine Kombination
15 von fluoridischen Schichten, von denen eine Schicht eine MgF_2 -Schicht ist, bei geringer Prozesstemperatur ($< 150^\circ\text{C}$) aufgedampft. MgF_2 ist bis weit in den tiefen UV-Bereich transparent. Es ist bekannt, dass durch Aufdampfen bei hohen Prozesstemperaturen eine deutlich geringere Absorption der
20 Schicht und eine erhöhte Umweltstabilität erreichbar sind. Die geringere Absorption und erhöhte Umweltstabilität von MgF_2 könnten auch durch ein nachträgliches Tempern erreicht werden. Aufgrund temperaturempfindlicher Substrate oder entstehender hoher thermischer Schichtspannungen ist das
25 allerdings häufig nicht möglich. Durch Zündung des reaktiven Multischichtsystems 3 stellt sich lokal eine adiabatische Temperatur von 1227°C ein, wodurch die mindestens eine Fluoridschicht in einen stabilen Zustand überführt wird und zugleich die Absorption der Fluoridschicht im tiefen UV-
30 Bereich verringert wird. Der Reflektor weist damit im Vergleich zu herkömmlichen Reflektoren eine verbesserte Stabilität insbesondere in feuchten Umgebungen auf.

Beispiel C: Reflektorelement mit einer Goldschicht

Auf ein Substrat 1 für präzisionsoptische Anwendungen, das eine polierte technologische Schicht aus NiP aufweist, wird
5 in einem ersten Schritt mittels Magnetronspütern eine Haftschrift 2 aus Cr oder Ti aufgebracht. In einem zweiten Schritt wird ein reaktives Multischichtsystem 3 aufgebracht, das einen Schichtstapel aus abwechselnden Pd-Schichten und Al-Schichten mit 15 Perioden der Periodendicke 80 nm
10 aufweist. Auf das reaktive Multischichtsystem 3 wird eine dünne Cr- oder Ti-Schicht als Haftschrift 4 und auf diese eine 350 nm dicke Au-Schicht als Spiegelschicht 5 mit einer nachfolgenden ca. 400 nm dicken Y_2O_3 -Schutzschicht 7
15 abgeschieden. Nach dem Abscheiden dieser Schichten wird das reaktive Multischichtsystem 3 gezündet. Durch Zündung des reaktiven Multischichtsystems 3 stellt sich lokal eine adiabatische Temperatur von bis zu 2380°C ein. Die Temperatur ist ausreichend um das Gold, welches im direkten Kontakt mit dem reaktiven Multischichtsystem 3 steht, kurzzeitig
20 aufzuschmelzen. Auch die auf der Spiegelschicht 5 aufgebraute amorphe Y_2O_3 -Schutzschicht 7 wird durch die Wärmeinwirkung modifiziert. Dadurch kann eine gute Haftung der Spiegelschicht 5 auf dem Substrat und der Y_2O_3 -Schutzschicht 7 auf der Spiegelschicht 5 aus Gold erreicht
25 werden.

In Figur 3 ist eine alternative Ausgestaltung des Reflektorelements dargestellt, bei dem die Spiegelschicht als dielektrisches Interferenzschichtsystem 9 ausgestaltet ist.
30 Die Herstellung kann im Wesentlichen analog zu dem zuvor beschriebenen Verfahren erfolgen, wobei nach dem in Figur 1C dargestellten Verfahrensschritt das dielektrische Interferenzschichtsystem 9 unmittelbar auf das reaktive

Multischichtsystem 3 aufgebracht werden kann. Auf die zweite Haftschrift 4, dritte Haftschrift 6 sowie die Schutzschicht 7 kann bei dieser Ausgestaltung verzichtet werden. In dem fertig gestellten Reflektorelement kann das als

5 Spiegelschicht fungierende dielektrische Interferenzschichtsystem 9 beispielsweise unmittelbar auf der durch Zündung des reaktiven Multischichtsystems hergestellten Schicht 8 angeordnet sein. Wie bei dem vorherigen Ausführungsbeispiel handelt es sich bei dem

10 Ausführungsbeispiel der Figur 3 um einen Vorderseitenreflektor, bei dem ein einfallende Lichtstrahl 11 vor dem Auftreffen auf das Substrat 1 an der Spiegelschicht in Form des dielektrischen Interferenzschichtsystem 9 reflektiert wird.

15

In Figur 4 ist eine weitere mögliche Ausgestaltung des Reflektorelements dargestellt. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist das Reflektorelement ein so genannter Rückseitenreflektor, bei dem ein einfallender Lichtstrahl 11

20 das Substrat 1 durchquert, bevor er an der Spiegelschicht 5 reflektiert wird. Der Rückseitenreflektor unterscheidet sich von dem in Figur 2 dargestellten Vorderseitenreflektor durch eine veränderte Schichtanordnung. Beispielsweise ist auf dem Substrat 1 eine Schichtenfolge aus der vorteilhaft

25 transparenten ersten Haftschrift 2, der Metallschicht 5 als Spiegelschicht, der zweiten Haftschrift 4, der durch Zündung des reaktiven Multischichtsystems hergestellten Schicht 8, der dritten Haftschrift 6 und der Schutzschicht 7 angeordnet. Bei dieser Ausgestaltung ist die Spiegelschicht 5 vorteilhaft

30 zwischen dem Substrat 1 und der durch Zündung des reaktiven Multischichtsystems hergestellten Schicht 8 angeordnet. Die Herstellung des Rückseitenreflektors kann analog zu den im Zusammenhang mit der Figur 1 beschriebenen

Verfahrensschritten, abgesehen von der unterschiedlichen Reihenfolge der Schichten, erfolgen.

Die Erfindung ist nicht durch die Beschreibung anhand der
5 Ausführungsbeispiele beschränkt. Vielmehr umfasst die
Erfindung jedes neue Merkmal sowie jede Kombination von
Merkmalen, was insbesondere jede Kombination von Merkmalen in
den Patentansprüchen beinhaltet, auch wenn dieses Merkmal
oder diese Kombination selbst nicht explizit in den
10 Patentansprüchen oder Ausführungsbeispielen angegeben ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Reflektorelements,
umfassend die Schritte:
 - 5 - Abscheiden einer Schichtenfolge, wobei die
Schichtenfolge mindestens eine Spiegelschicht (5, 9) und
mindestens ein reaktives Multischichtsystem (3) umfasst,
und
 - Zünden des reaktiven Multischichtsystems (3), um einen
10 Wärmeeintrag in die Schichtenfolge zu bewirken.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
wobei das reaktive Multischichtsystem (3) eine Vielzahl
von abwechselnden Schichten eines der folgenden
15 Materialpaare aufweist:
Ti und B, Zr und B, Hf und B, V und B, Nb und B, Ta und
B, Ti und C, Zr und C, Hf und C, V und C, Nb und C, Ta
und C, Ti und Si, Zr und Si, Hf und Si, V und Si, Nb und
Si, Ta und Si, Ti und Al, Zr und Al, Hf und Al, Ni und
20 Al, Pd und Al, Pt und Al, Sc und Au, Sc und Cu, Sc und
Ag, Y und Au, Y und Cu, Y und Ag, Ru und Al.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei das reaktive Multischichtsystem (3) mindestens 20
25 Schichten enthält.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei das reaktive Multischichtsystem (3) Schichten mit
Dicken zwischen 5 nm und 500 nm aufweist.
30
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei die Spiegelschicht eine Metallschicht (5)

aufweist.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei die Schichtenfolge eine über der Spiegelschicht
5 (5) angeordnete Schutzschicht (7) aufweist, und wobei
die Schutzschicht (7) durch den Wärmeeintrag modifiziert
wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6,
10 wobei die Schutzschicht (7) MgF_2 , Y_2O_3 oder Al_2O_3
aufweist.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei die Schichtenfolge mindestens eine Haftschrift (2,
15 4, 6) aufweist.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei die Spiegelschicht ein dielektrisches
Interferenzschichtsystem (9) aufweist.
20
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei ein Teilbereich der Spiegelschicht (5, 9)
ausgespart wird, um einen direkten Zugang zu dem
reaktiven Multischichtsystem (3) zu ermöglichen.
25
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei das reaktive Multischichtsystem (3) abwechselnde
Schichten aus einem ersten Material und einem zweiten
Material aufweist, die durch Diffusionsbarrieren aus
30 einem dritten Material voneinander getrennt sind.

12. Verfahren nach Anspruch 11,
wobei das dritte Material Kohlenstoff ist.
13. Reflektorelement, umfassend eine auf ein Substrat (1)
5 aufgebraute Schichtenfolge,
wobei die Schichtenfolge mindestens eine Spiegelschicht
(5, 9) und mindestens eine durch Zündung eines reaktiven
Multischichtsystems (3) herstellbare Schicht (8)
aufweist.
- 10 14. Reflektorelement nach Anspruch 13,
wobei die durch Zündung eines reaktiven
Multischichtsystems (3) herstellbare Schicht (8)
mindestens eine Verbindung aus einem der folgenden
15 Materialpaare aufweist:
Ti und B, Zr und B, Hf und B, V und B, Nb und B, Ta und
B, Ti und C, Zr und C, Hf und C, V und C, Nb und C, Ta
und C, Ti und Si, Zr und Si, Hf und Si, V und Si, Nb und
Si, Ta und Si, Ti und Al, Zr und Al, Hf und Al, Ni und
20 Al, Pd und Al, Pt und Al, Sc und Au, Sc und Cu, Sc und
Ag, Y und Au, Y und Cu, Y und Ag, Ru und Al.
15. Reflektorelement nach Anspruch 13 oder 14,
wobei die durch Zündung eines reaktiven
25 Multischichtsystems (3) herstellbare Schicht (8)
mindestens eine der folgenden Verbindungen aufweist:
TiB₂, ZrB₂, HfB₂, VB₂, NbB₂, TaB₂, TiC, ZrC, HfC, VC, NbC,
TaC, Ti₅Si₃, Zr₅Si₃, Hf₅Si₃, V₅Si₃, Nb₅Si₃, Ta₅Si₃, TiAl,
ZrAl, HfAl, NiAl, PdAl, PtAl, ScAu, ScCu, ScAg, YAu,
30 YCu, YAg, RuAl.

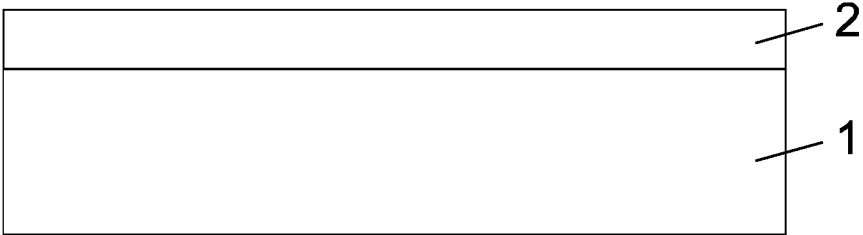


Fig. 1A

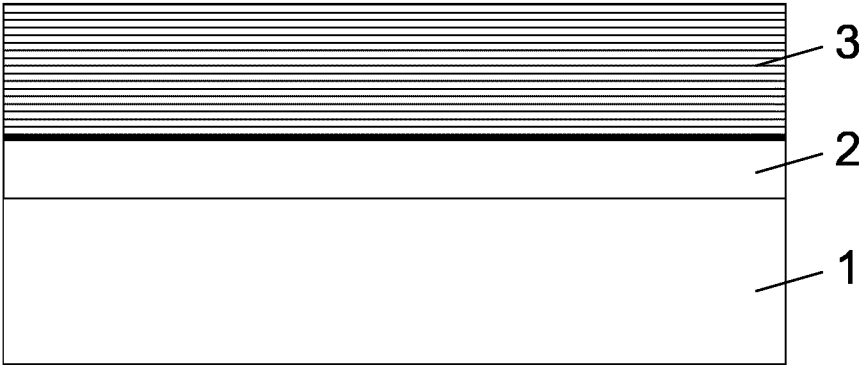


Fig. 1B

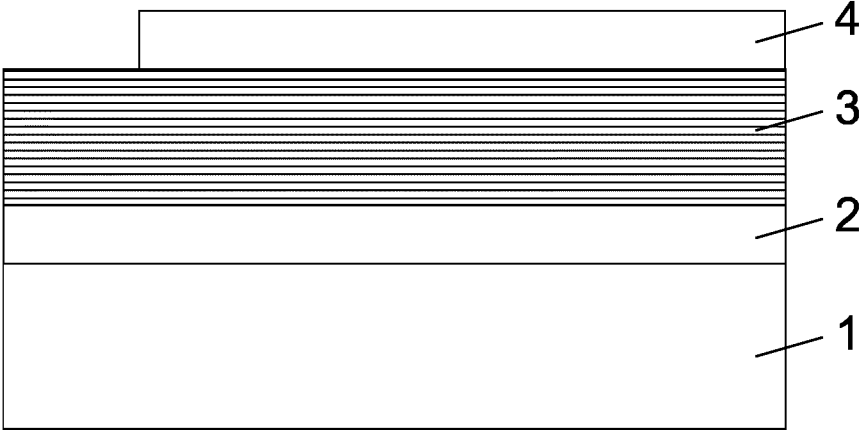


Fig. 1C



Fig. 1D

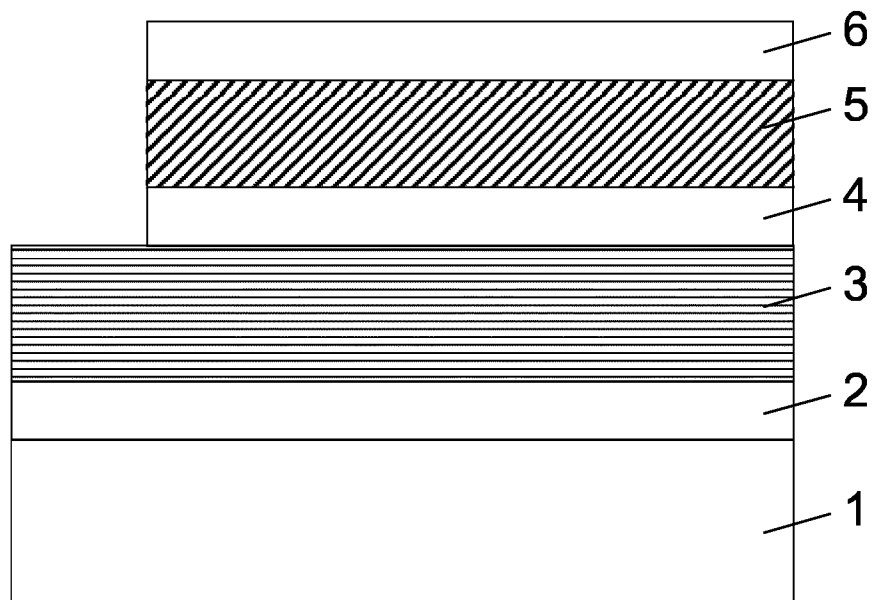


Fig. 1E

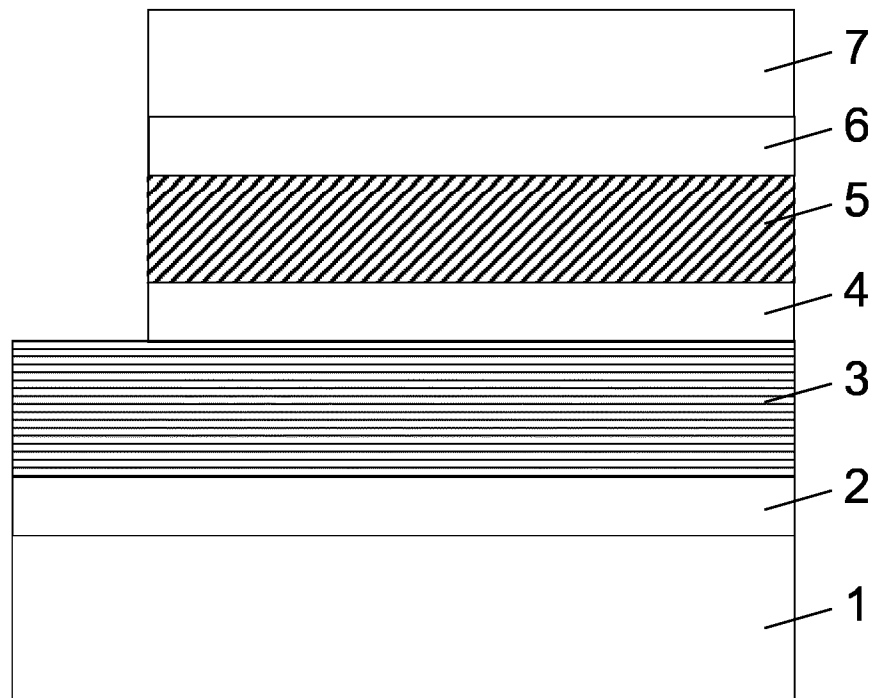


Fig. 1F

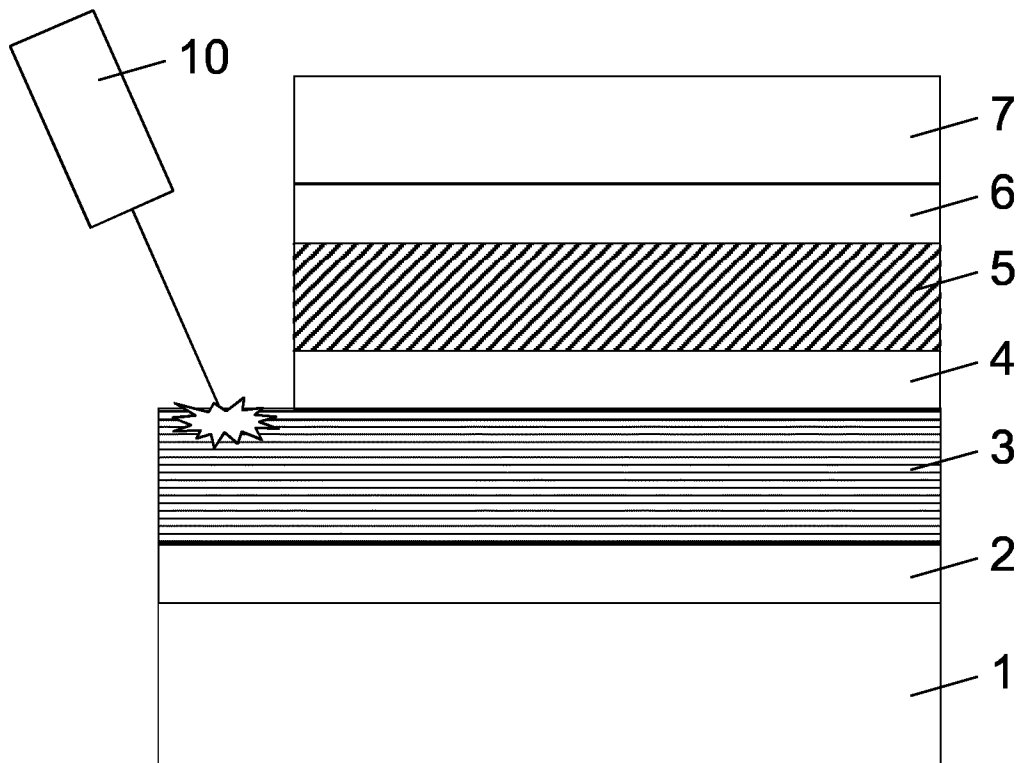


Fig. 1G

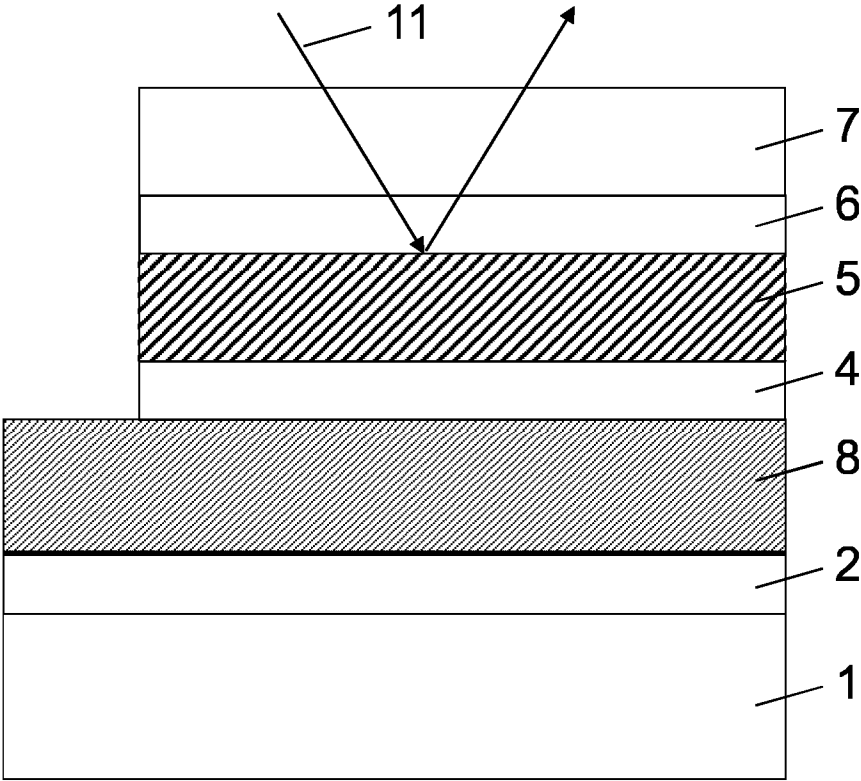


Fig. 2

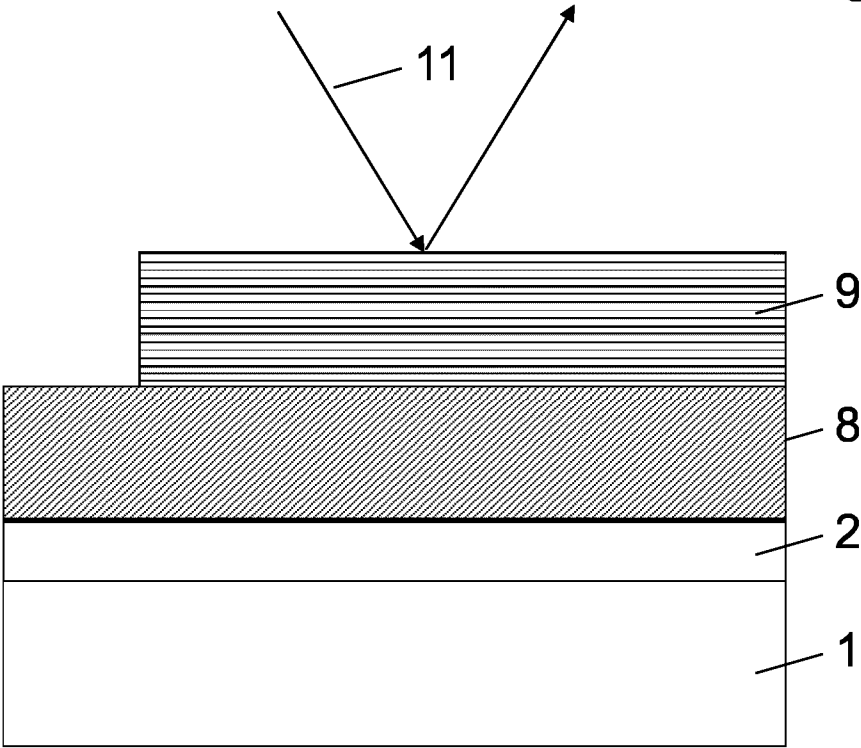


Fig. 3

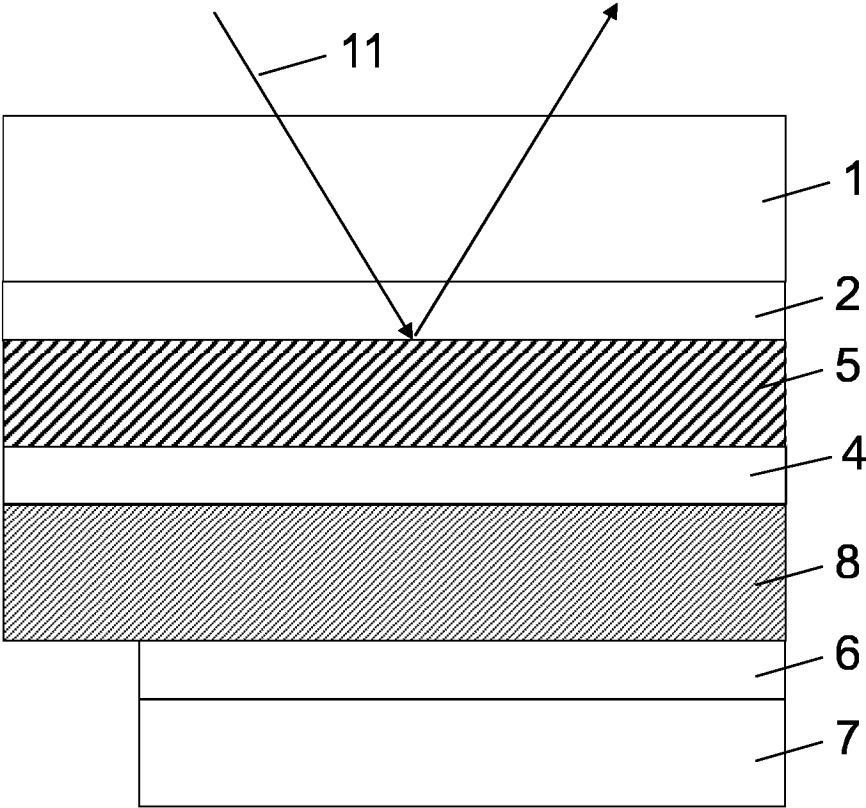


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/055036

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. C03C17/34 B23K1/00 C06B45/14 C03C17/36 G02B5/08
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
C03C B23K C06B G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 10 2013 001417 A1 (FRAUNHOFER GES ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E V [DE]) 24 July 2014 (2014-07-24)	13-15
A	[0001], [0002], [0005], [0008]-[0012], [0015]-[0017], [0019]-[0021], [0023]-[0024], [0027], [0032]-[0038]	1-12
Y	DE 10 2012 202047 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 17 January 2013 (2013-01-17) paragraph [0037]	14,15
Y	DE 10 2013 009835 A1 (FRAUNHOFER GES ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E V [DE]) 11 December 2014 (2014-12-11) paragraph [0018] - paragraph [0019]	14,15
	- / - -	



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

3 May 2016

Date of mailing of the international search report

12/05/2016

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Deckwerth, Martin

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/055036

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2013/330567 A1 (WOLL KARSTEN [DE] ET AL) 12 December 2013 (2013-12-12) paragraphs [0002] - [0004] - paragraph [0008]	1-15
A	----- NAMAZU T ET AL: "Self-Propagating Explosive Reactions in Nanostructured AL/Ni Multilayer Films As a Localized Heat Process Technique Formers", MICRO ELECTRO MECHANICAL SYSTEMS, 2006. MEMS 2006 ISTANBUL. 19TH IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ISTANBUL, TURKEY 22-26 JAN. 2006, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 22 January 2006 (2006-01-22), pages 286-289, XP010914240, DOI: 10.1109/MEMSYS.2006.1627792 ISBN: 978-0-7803-9475-9 the whole document -----	1-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/055036

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102013001417 A1	24-07-2014	DE 102013001417 A1	24-07-2014
		EP 2948266 A1	02-12-2015
		US 2016011413 A1	14-01-2016
		WO 2014114591 A1	31-07-2014

DE 102012202047 A1	17-01-2013	NONE	

DE 102013009835 A1	11-12-2014	DE 102013009835 A1	11-12-2014
		WO 2014195368 A1	11-12-2014

US 2013330567 A1	12-12-2013	DE 102010060937 A1	06-06-2012
		EP 2646599 A1	09-10-2013
		US 2013330567 A1	12-12-2013
		WO 2012072073 A1	07-06-2012

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. C03C17/34 B23K1/00 C06B45/14 C03C17/36 G02B5/08
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 C03C B23K C06B G02B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2013 001417 A1 (FRAUNHOFER GES ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E V [DE]) 24. Juli 2014 (2014-07-24)	13-15
A	[0001], [0002], [0005], [0008]-[0012], [0015]-[0017], [0019]-[0021], [0023]-[0024], [0027], [0032]-[0038]	1-12
Y	DE 10 2012 202047 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 17. Januar 2013 (2013-01-17) Absatz [0037]	14,15
Y	DE 10 2013 009835 A1 (FRAUNHOFER GES ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E V [DE]) 11. Dezember 2014 (2014-12-11) Absatz [0018] - Absatz [0019]	14,15
	- / - -	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

3. Mai 2016

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

12/05/2016

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Deckwerth, Martin

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 2013/330567 A1 (WOLL KARSTEN [DE] ET AL) 12. Dezember 2013 (2013-12-12) Absätze [0002] - [0004] - Absatz [0008] -----	1-15
A	NAMAZU T ET AL: "Self-Propagating Explosive Reactions in Nanostructured AL/Ni Multilayer Films As a Localized Heat Process Technique Formers", MICRO ELECTRO MECHANICAL SYSTEMS, 2006. MEMS 2006 ISTANBUL. 19TH IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ISTANBUL, TURKEY 22-26 JAN. 2006, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 22. Januar 2006 (2006-01-22), Seiten 286-289, XP010914240, DOI: 10.1109/MEMSYS.2006.1627792 ISBN: 978-0-7803-9475-9 das ganze Dokument -----	1-15

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/055036

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102013001417 A1	24-07-2014	DE 102013001417 A1	24-07-2014
		EP 2948266 A1	02-12-2015
		US 2016011413 A1	14-01-2016
		WO 2014114591 A1	31-07-2014

DE 102012202047 A1	17-01-2013	KEINE	

DE 102013009835 A1	11-12-2014	DE 102013009835 A1	11-12-2014
		WO 2014195368 A1	11-12-2014

US 2013330567 A1	12-12-2013	DE 102010060937 A1	06-06-2012
		EP 2646599 A1	09-10-2013
		US 2013330567 A1	12-12-2013
		WO 2012072073 A1	07-06-2012
