

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

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
17. August 2017 (17.08.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/137216 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
G02B 5/08 (2006.01) *G03F 7/00* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/050891
- (22) Internationales Anmeldedatum:
17. Januar 2017 (17.01.2017)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2016 201 850.7
8. Februar 2016 (08.02.2016) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **CARL ZEISS SMT GMBH** [DE/DE]; Rudolf-Eber-Strasse 2, 73447 Oberkochen (DE).

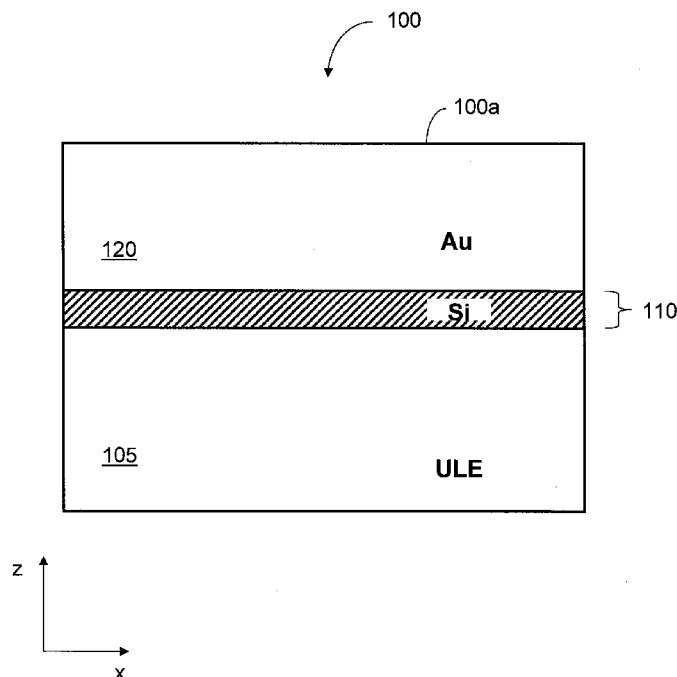
- (72) Erfinder; und
- (71) Anmelder (nur für US): **ENKISCH, Hartmut** [DE/DE]; Fichtestrasse 63, 73431 Aalen (DE). **MÜLLENDER, Stephan** [BE/DE]; Herbstgartenweg 43, 73432 Aalen (DE).
- (74) Anwalt: **FRANK, Hartmut**; Bonsmann · Bonsmann · Frank Patentanwälte, Reichspräsidentenstraße 21-25, 45470 Mülheim a.d. Ruhr (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, DJ, 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, KH, KN, KP, KR, KW, 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,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: MIRROR FOR THE EUV SPECTRAL RANGE

(54) Bezeichnung : SPIEGEL FÜR DEN EUV SPEKTRALBEREICH

Fig. 1



(57) Abstract: The invention relates to an optical element having a substrate (105), at least one reflection layer (120), the reflection layer having a plurality of zones (221, 222) made of different material, and an adhesion-enhancing layer (110) which is arranged between the substrate (105) and the reflection layer (120, 220). According to the invention, said adhesion-enhancing layer (110) exclusively consists of elements which are contained in the substrate (105) and/or in the reflection layer (120).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein optisches Element mit einem Substrat (105), wenigstens einer Reflexionsschicht (120), wobei die Reflexionsschicht eine Mehrzahl von Zonen (221, 222) aus unterschiedlichem Material aufweist, und einer adhäsionsverbessernden Schicht (110), welche zwischen dem Substrat (105) und der Reflexionsschicht (120, 220) angeordnet ist wobei diese adhäsionsverbessernde Schicht (110) ausschließlich aus Elementen besteht, die im Substrat (105) und/oder in der Reflexionsschicht (120) enthalten sind.



SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC,
VN, ZA, ZM, ZW.

CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD,
TG).

(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,

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Veröffentlicht:

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

SPIEGEL FÜR DEN EUV SPEKTRALBEREICH

5 Die vorliegende Anmeldung beansprucht die Priorität der Deutschen Patentanmeldung DE 10 2016 201 850.7, angemeldet am 08. Februar 2016. Der Inhalt dieser DE-Anmeldung wird durch Bezugnahme („incorporation by reference“) mit in den vorliegenden Anmeldungstext aufgenommen.

10

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Gebiet der Erfindung

15 Die Erfindung betrifft ein optisches Element.

Stand der Technik

20 Bei optischen Anwendungen im EUV-Bereich (z.B. Wellenlängen unterhalb von 20nm) oder im Röntgenbereich (z.B. Wellenlängen unterhalb von 0.1nm) werden mangels Verfügbarkeit geeigneter lichtdurchlässiger refraktiver Materialien Spiegel als optische Komponenten verwendet. Beispiele sind Synchrotronspiegel sowie EUV-Spiegel, welche in der Beleuchtungseinrichtung oder dem Projektionsobjektiv einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage eingesetzt werden.

25

Dabei ist u.a. der Betrieb von Spiegeln unter streifendem Einfall bekannt. Unter solchen unter streifendem Einfall betriebenen Spiegeln werden hier und im Folgenden Spiegel verstanden, für welche die bei der Reflexion der elektromagnetischen Strahlung auftretenden, auf die jeweilige Oberflächennormale bezogenen Reflexionswinkel wenigstens 50° betragen. Solche Spiegel werden mitunter auch kurz als GI-Spiegel („**g**razing incidence“ = „streifender Einfall“)

30

bezeichnet. Grundsätzlich ist der Einsatz solcher GI-Spiegel u.a. im Hinblick auf die vergleichsweise hohen, erreichbaren Reflektivitäten (von z.B. 80% und mehr) wünschenswert. Im Unterschied etwa zu unter senkrechtem Einfall betriebenen Spiegeln (auch als NI-Spiegel, „normal incidence“ = „senkrechter Einfall“ bezeichnet) benötigen solche GI-Spiegel zur Erzielung der jeweiligen Reflektivitäten als Reflexionsschicht kein Vielfachschichtsystem in Form einer alternierenden Abfolge zahlreicher Einzelschichten aus wenigstens zwei unterschiedlichen Schichtmaterialien, sondern lediglich eine Einzelschicht, welche je nach der konkreten Anwendung (insbesondere dem jeweils abzudeckenden Einfallswinkel- sowie Wellenlängenbereich) typischerweise aus einem Edelmetall wie Gold (Au), Palladium (Pd), Rhodium (Rh) oder Ruthenium (Ru) bestehen und z.B. eine typische Schichtdicke im Bereich von (20-50)nm aufweisen kann.

Dabei können in der Praxis Probleme einer schlechten Haftung des betreffenden Materials der Reflexionsschicht wie z.B. Gold (Au) auf dem Substrat auftreten, welche insbesondere daraus resultieren können, dass sich etwa auf Silizium-haltigen Substratmaterialien bereits innerhalb weniger Minuten oder sogar Sekunden eine die Haftung behindernde, native Oxidschicht ausbildet.

Bekannte Ansätze zur Haftungsverbesserung umfassen insbesondere den Einsatz von Haftvermittlerschichten aus z.B. Chrom (Cr) oder Tantal (Ta). Der Einsatz solcher zur Haftverbesserung der Reflexionsschicht zwischen Spiegelsubstrat und Reflexionsschicht eingesetzten Materialien hat jedoch den weiteren Nachteil, dass – etwa bei Verwendung von Gold (Au) als Reflexionsschichtmaterial – eine Diffusion der betreffenden, zur Haftverbesserung eingesetzten Materialien durch die Reflexionsschicht hindurch an die optische Wirkfläche des Spiegels stattfinden kann. Dieser unerwünschte Effekt hat wiederum zur Folge, dass der Spiegel etwa beim Einsatz in einem Synchrotron bei bestimmten Wellenlängen (nämlich solchen, bei denen die Absorptionslinien der betreffenden, durch die Reflexionsschicht diffundierten Materialien liegen) für die Anwender der Synchrotronstrahlung nicht nutzbar ist, da z.B. die unter Verwendung der Synchrotronstrahlung jeweils erhaltenen Messergebnisse

durch Einflüsse des betreffenden, in der Strahlführung eingesetzten Spiegels verfälscht werden und damit eine Interpretation der Ergebnisse erschwert wird.

Weitere Ansätze zur Haftungsverbesserung basieren auf einer Entfernung der o.g. Oxidschicht z.B. durch Sputterverfahren, welche jedoch zum einen den apparativen und verfahrenstechnischen Aufwand erhöhen und zum anderen auch unerwünschte Nebeneffekte (wie z.B. eine erhöhte Rauigkeit des Spiegelsubstrats) zur Folge haben können.

Zum Stand der Technik wird lediglich beispielhaft auf US 6,534,412 B1, US 5,413,954, DE 102 07 130 B4, DE 177 17 65, sowie die Publikationen K.E. Haq et al.: „Adhesion Mechanism of Gold-Underlayer Film combinations to Oxide Substrate“, J. Vac. Sci. Technol. 6 (1969), S. 148-152, und X. Li et al.: „Improved adhesion of Au thin films to SiO_x/Si substrates by dendrimer mediation“, Thin Solid Films 473 (2005), S. 164-168, verwiesen.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Vor dem obigen Hintergrund ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein optisches Element bereitzustellen, welches einen Einsatz unter zumindest weitgehender Vermeidung der vorstehend beschriebenen Probleme ermöglicht.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des unabhängigen Patentanspruchs 1 gelöst.

Gemäß der Erfindung weist ein optisches Element auf:

- ein Substrat;
- wenigstens eine Reflexionsschicht, wobei die Reflexionsschicht eine Mehrzahl von Zonen aus unterschiedlichem Material aufweist; und

- eine adhäsionsverbessernde Schicht, welche zwischen dem Substrat und der Reflexionsschicht angeordnet ist;
- wobei diese adhäsionsverbessernde Schicht ausschließlich aus Elementen besteht, die entweder im Substrat oder in der Reflexionsschicht enthalten sind.

Da die erfindungsgemäße adhäsionsverbessernde Schicht ausschließlich aus (einem oder mehreren) chemischen Elementen besteht, die entweder im Substrat oder in der Reflexionsschicht bereits enthalten sind und demzufolge keinen zusätzlichen Materialtyp einführt, wird durch den Einsatz der adhäsionsverbessernden Schicht die Nutzbarkeit des optischen Elements etwa in der vorstehend genannten Anwendung eines Synchrotronspiegels nicht beeinträchtigt.

Der Erfindung liegt insbesondere das Konzept zugrunde, zur Verbesserung der Haftung einer (z.B. ein Edelmetall wie beispielweise Gold enthaltenden) Reflexionsschicht auf einem (z.B. siliziumhaltigen) Substratmaterial eine adhäsionsverbessernde Schicht einzusetzen, welche ihrerseits aus einem im Substrat und/oder in der Reflexionsschicht ohnehin vorhandenen Material (beispielweise Silizium) hergestellt ist.

Dabei macht sich die Erfindung zum einen die Erkenntnis zu Nutze, dass eine gute Haftung z.B. von Gold (Au) auf (nicht oxidiertem) Silizium problemlos realisierbar ist, wobei zudem durch besagte adhäsionsverbessernde Schicht auch eine auf dem Substrat typischerweise bereits vorhandene Siliziumdioxidschicht abgedeckt wird.

Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, dass eine gegebenenfalls auf dem (z.B. siliziumhaltigen) Substratmaterial typischerweise bereits vorhandene native Oxidschicht (z.B. Siliziumdioxidschicht) nicht etwa durch aufwendige (z.B. Sputter-)Verfahren entfernt werden muss, sondern einfach durch die erfindungsgemäße adhäsionsverbessernde Schicht abgedeckt wird, wobei zur

Aufbringung der adhäsionsverbessernden Schicht beispielsweise einfache Aufdampfverfahren (PVD), etwa mit Elektronenstrahlverdampfung, ausreichend sind. Die erfindungsgemäß zusätzlich im Schichtaufbau erzeugte adhäsionsverbessernde Schicht erfordert somit letztlich im
5 Herstellungsprozess lediglich eine zusätzliche Materialquelle (etwa für amorphes Silizium). Dabei ist während der Fertigung des optischen Elements lediglich dafür Sorge zu tragen, dass die Aufbringung der adhäsionsverbessernden Schicht sowie die nachfolgende Aufbringung der (z.B. aus Gold bestehenden) Reflexionsschicht in demselben Vakuumsystem ohne „Brechen“
10 des Vakuums durch zwischenzeitliche Belüftung erfolgt, also die erneute Bildung einer nativen Oxidschicht, welche wiederum die Haftung der Reflexionsschicht behindern würde, vermieden wird.

Die Reflexionsschicht weist eine Mehrzahl von Zonen aus unterschiedlichem
15 Material (z.B. Gold (Au) und Platin (Pt)) auf, welche z.B. in lateraler Richtung zueinander benachbart sein können.

Gemäß einer Ausführungsform ist das Substrat aus einem Silizium (Si) aufweisenden Substratmaterial hergestellt.

Gemäß einer Ausführungsform ist das Substratmaterial aus der Gruppe ausgewählt, die ULE, Silizium (Si), Siliziumdioxid (SiO_2) oder Zerodur enthält.

Gemäß einer Ausführungsform weist die Reflexionsschicht wenigstens ein
25 Edelmetall auf.

Gemäß einer Ausführungsform ist das in der Reflexionsschicht vorhandene Edelmetall aus der Gruppe ausgewählt, die Gold (Au), Palladium (Pd), Rhodium (Rh) oder Ruthenium (Ru) enthält.

Gemäß einer Ausführungsform ist das in der Reflexionsschicht vorhandene Edelmetall Gold (Au).

Gemäß einer Ausführungsform weist die adhäsionsverbessernde Schicht Silizium (Si) auf. Insbesondere kann die adhäsionsverbessernde Schicht ausschließlich aus Silizium (Si) bestehen.

5 Gemäß einer Ausführungsform weist das optische Element eine optische Wirkfläche auf, wobei die Reflexionsschicht derart ausgestaltet ist, dass das optische Element für elektromagnetische Strahlung einer vorgegebenen Arbeitswellenlänge, welche auf die optische Wirkfläche unter einem auf die jeweilige
10 Oberflächennormale bezogenen Einfallswinkel von wenigstens 50°, insbesondere von wenigstens 65°, auftrifft, eine Reflektivität von wenigstens 50% besitzt.

Gemäß einer Ausführungsform weist die Reflexionsschicht eine Dicke im Bereich von 10nm bis 100nm, insbesondere im Bereich von 20nm bis 50nm, auf.

15 Gemäß einer Ausführungsform weist die adhäsionsverbessernde Schicht eine Dicke im Bereich von 1nm bis 20nm auf.

Gemäß einer Ausführungsform ist das optische Element ein Spiegel, insbesondere ein Synchrotronspiegel oder ein Spiegel zur Verwendung im Strahlengang eines Freie-Elektronen-Lasers (FEL).

20 Gemäß einer Ausführungsform ist das optische Element für eine Arbeitswellenlänge kleiner als 35nm, insbesondere für eine Arbeitswellenlänge im Bereich von 0.05nm bis 35nm, ausgelegt.

25 Die Erfindung betrifft weiter ein Verfahren zum Herstellen eines optischen Elements, insbesondere mit den vorstehend beschriebenen Merkmalen, mit folgenden Schritten:

- 30 – Bereitstellen eines Substrats;
- Aufbringen einer adhäsionsverbessernden Schicht auf das Substrat; und

- Aufbringen einer Reflexionsschicht auf die adhäsionsverbessernde Schicht;
- wobei die adhäsionsverbessernde Schicht ausschließlich aus Elementen besteht, die im Substrat und/oder in der Reflexionsschicht enthalten sind; und
- wobei die Schritte des Aufbringens der Reflexionsschicht und der adhäsionsverbessernde Schicht unter permanenter Vakuum-Aufrechterhaltung durchgeführt werden.

10 Die Erfindung betrifft weiter ein optisches System, welches ein optisches Element mit den vorstehend beschriebenen Merkmalen aufweist.

15 Dabei kann das optische Element in dem optischen System derart angeordnet sein, dass die im Betrieb des optischen Systems bei Reflexion elektromagnetischer Strahlung an dem optischen Element auftretenden, auf die jeweilige Oberflächennormale bezogenen Reflexionswinkel wenigstens 50° , insbesondere wenigstens 65° , betragen.

20 Gemäß einer Ausführungsform ist das optische System ein Synchrotron.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist das optische System ein Freielektronen-Laser (FEL).

25 Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind der Beschreibung sowie den Unteransprüchen zu entnehmen.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

30 Die Erfindung wird nachstehend anhand eines in den beigefügten Abbildungen dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert.

Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung zur Erläuterung des möglichen Aufbaus eines optischen Elements in einer beispielhaften Ausführungsform der Erfindung;

Figur 2 eine schematische Darstellung zur Erläuterung des möglichen Aufbaus eines optischen Elements in weiteren beispielhaften Ausführungsform der Erfindung; und

Figur 3 eine schematische Darstellung zur Erläuterung einer möglichen Anwendung eines erfindungsgemäßen optischen Elements in Form eines Synchrotronspiegels.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSFORMEN

Der im Weiteren erläuterte erfindungsgemäße Aufbau eines unter streifendem Einfall betriebenen optischen Elements bzw. Spiegels kann beispielsweise bei einem Synchrotronspiegel realisiert sein.

Gemäß Fig. 1 kann ein für den Betrieb unter streifendem Einfall ausgelegter Spiegel 100 in einer Ausführungsform in für sich bekannter Weise ein Substrat 105 sowie eine die optische Wirkfläche 100a ausbildende Reflexionsschicht 120 aufweisen, welche im Ausführungsbeispiel aus Gold (Au) hergestellt ist und eine typische beispielhafte Dicke im Bereich von 20 nm bis 50 nm aufweisen kann. In weiteren Ausführungsformen kann die Reflexionsschicht 120 auch aus einem anderen Edelmetall hergestellt sein, beispielsweise Platin (Pt), Rhodium (Rh), Silber (Ag), Ruthenium (Ru), Palladium (Pd), Osmium (Os) oder Iridium (Ir).

Als Substratmaterial wird im Ausführungsbeispiel ein unter der Bezeichnung ULE[®] von der Firma Corning Inc. vertriebenes Titanium-Silikatglas verwendet. In weiteren Ausführungsformen kann das Substrat 105 auch aus kristallinem Silizium (Si) oder einem anderen, Silizium aufweisenden Substratmaterial hergestellt sein, beispielsweise Siliziumdioxid (SiO₂) oder Zerodur[®] (der Firma Schott AG).

Zwischen dem Substrat 105 und der Reflexionsschicht 120 befindet sich gemäß Fig. 1 eine adhäsionsverbessernde Schicht 110, welche im Ausführungsbeispiel aus amorphem Silizium mit einer typischen Dicke im Bereich von 1nm bis 20nm hergestellt ist. Diese amorphe Siliziumschicht kann bei Fertigung des Spiegels 100 unter Vakuumbedingungen über ein Aufdampfverfahren (PVD) auf das Substrat 105 aufgebracht werden, wobei sie eine typischerweise auf dem Substrat 105 vorhandene Oxidschicht (welche sich z.B. bei Lagerung oder Transport des Substrats 105 ausgebildet hat) abdeckt. Anschließend erfolgt, z.B. ebenfalls durch Aufdampfen, die Aufbringung der Reflexionsschicht 120 auf der adhäsionsverbessernden Schicht 110.

Zur Aufbringung der adhäsionsverbessernden Schicht 110 und/oder der Reflexionsschicht 120 sind auch weitere bekannte Verfahren geeignet, wobei hier lediglich beispielhaft Atomlagenabscheidung (ALD), chemische Gasphasenabscheidung (CVD) oder Sputtern genannt werden.

Die im Ausführungsbeispiel aus Gold (Au) bestehende Reflexionsschicht 120 wird nicht unmittelbar auf die gegebenenfalls auf dem Substrat 105 vorhandene Oxidschicht - auf der etwa Gold (Au) nur sehr schlecht haften würde - aufgebracht, sondern auf das amorphe Silizium der adhäsionsverbessernden Schicht 110, auf welcher ein Wachstum bzw. Haften der Reflexionsschicht 120 problemlos möglich ist.

In weiteren Ausführungsformen kann die Reflexionsschicht auch eine Mehrzahl von (in lateraler Richtung zueinander benachbarten) Zonen bzw. Bereichen aus unterschiedlichen Materialien aufweisen, wie dies in Fig. 2 lediglich sche-

5 matisch in Draufsicht dargestellt ist. Beispielsweise kann die Reflexionsschicht 220 eine erste Zone 221 aus Gold (Au) und eine zweite Zone 222 aus Platin (Pt) aufweisen. In weiteren Ausführungsformen können auch mehr als zwei Zonen bzw. Materialien vorgesehen sein. Dabei können abhängig von den jeweiligen Materialien der einzelnen Zonen eine einheitliche adhäsionsverbessernde Schicht (aus ein- und demselben Material) oder auch unterschiedliche adhäsionsverbessernde Schichten bzw. Materialien im Bereich zwischen den einzelnen Zonen und dem Substrat vorgesehen sein.

10 Der Spiegel 100 kann z.B. als Umlenkspiegel bzw. strahlführende optische Komponente in einem Synchrotron eingesetzt werden, wie dies in Fig. 3 lediglich schematisch dargestellt ist. Dabei kann in vorteilhafter Weise der Umstand ausgenutzt werden, dass das vorstehend beschriebene gute Haften der Reflexionsschicht 120 auf dem Substrat 105 ohne Einführung zusätzlicher Material-
15 typen wie z.B. Chrom (Cr) oder Tantal (Ta) und somit ohne unerwünschte Bereitstellung zusätzlicher Absorptionslinien (welche gegebenenfalls zu einer Verfälschung von unter Verwendung der Synchrotronstrahlung erzielter Messergebnisse führen würden) erreicht wurde.

20 Gemäß Fig. 3 trifft in einem Synchrotron die durch Beschleunigung bzw. Ablenkung eines Elektronenstrahls 370 erzeugte elektromagnetische Strahlung 350 (im Beispiel in Form eines divergenten Röntgenstrahls) auf einen in Form eines erfindungsgemäßen optischen Elements ausgestalteten Spiegel 300. Dabei ist ein im Beispiel auf dem Spiegel 300 erzeugter elliptischer „Footprint“
25 mit „301“ bezeichnet, und die nach Reflexion vom Spiegel 300 ausgehende elektromagnetische Strahlung (im Beispiel in Form eines konvergenten Röntgenstrahls) ist mit „360“ bezeichnet. Im dargestellten Beispiel ist der Spiegel 300 zur Erzielung einer fokussierenden Wirkung als Toroidspiegel ausgestaltet. In weiteren Ausführungsformen kann der Spiegel 300 jedoch auch eine sphäri-
30 sche, zylindrische oder plane Geometrie besitzen.

Die Erfindung ist ferner auch in einer Beleuchtungseinrichtung oder einem Projektionsobjektiv realisierbar, welches wenigstens einen Spiegel für streifenden

Einfall des Beleuchtungslichts (mit Einfallswinkeln größer als 50°) aufweist, beispielsweise in einem Projektionsobjektiv wie in DE 10 2012 202 675 A1 gezeigt. In weiteren Ausführungsbeispielen kann die Erfindung auch in Projektionsobjektiven mit anderem Aufbau oder in anderen optischen Systemen realisiert werden.

Wenn die Erfindung auch anhand spezieller Ausführungsformen beschrieben wurde, erschließen sich für den Fachmann zahlreiche Variationen und alternative Ausführungsformen, z.B. durch Kombination und/oder Austausch von Merkmalen einzelner Ausführungsformen. Dementsprechend versteht es sich für den Fachmann, dass derartige Variationen und alternative Ausführungsformen von der vorliegenden Erfindung mit umfasst sind, und die Reichweite der Erfindung nur im Sinne der beigefügten Patentansprüche und deren Äquivalente beschränkt ist.

Patentansprüche

1. Optisches Element, mit
 - einem Substrat (105);
 - 5 • wenigstens einer Reflexionsschicht (120, 220), wobei die Reflexionsschicht eine Mehrzahl von Zonen (221, 222) aus unterschiedlichem Material aufweist; und
 - einer adhäsionsverbessernden Schicht (110), welche zwischen dem Substrat (105) und der Reflexionsschicht (120, 220) angeordnet ist;
 - 10 • wobei diese adhäsionsverbessernde Schicht (110) ausschließlich aus Elementen besteht, die im Substrat (105) und/oder in der Reflexionsschicht (120) enthalten sind.
- 15 2. Optisches Element nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat (105) aus einem Silizium (Si) aufweisenden Substratmaterial hergestellt ist.
- 20 3. Optisches Element nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Substratmaterial aus der Gruppe ausgewählt ist, die ULE, Silizium (Si), Siliziumdioxid (SiO₂) oder Zerodur enthält.
- 25 4. Optisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Reflexionsschicht (120, 220) wenigstens ein Edelmetall aufweist.
- 30 5. Optisches Element nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das in der Reflexionsschicht (120, 220) vorhandene Edelmetall aus der Gruppe ausgewählt ist, die Gold (Au), Palladium (Pd), Rhodium (Rh) oder Ruthenium (Ru) enthält.

6. Optisches Element nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass das in der Reflexionsschicht (120, 220) vorhandene Edelmetall Gold (Au) ist.
- 5 7. Optisches Element nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die adhäsionsverbessernde Schicht (110) Silizium (Si) aufweist.
- 10 8. Optisches Element nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die adhäsionsverbessernde Schicht (110) aus Silizium (Si) besteht.
- 15 9. Optisches Element nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass dieses eine optische Wirkfläche (100a) aufweist, wobei die Reflexionsschicht (120, 220) derart ausgestaltet ist, dass das optische Element für elektromagnetische Strahlung einer vorgegebenen Arbeitswellenlänge, welche auf die optische Wirkfläche (100a) unter einem auf die jeweilige Oberflächennormale bezogenen Einfallswinkel von wenigstens 50°, insbesondere von wenigstens 65°, auftrifft, eine Reflektivität von wenigstens 50% besitzt.
- 20 10. Optisches Element nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Reflexionsschicht (120, 220) eine Dicke im Bereich von 10nm bis 100nm, insbesondere im Bereich von 20nm bis 50nm, aufweist.
- 25 11. Optisches Element nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die adhäsionsverbessernde Schicht (110) eine Dicke im Bereich von 1nm bis 20nm aufweist.
- 30 12. Optisches Element nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass dieses ein Spiegel (100, 200) ist.

13. Optisches Element nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass dieses ein Synchrotronspiegel ist.
- 5 14. Optisches Element nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass dieses ein Spiegel zur Verwendung im Strahlengang eines Freie-Elektronen-Lasers (FEL) ist.
- 10 15. Optisches Element nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass dieses für eine Arbeitswellenlänge kleiner als 35nm ausgelegt ist.
- 15 16. Optisches Element nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass dieses für eine Arbeitswellenlänge im Bereich von 0.05nm bis 35nm ausgelegt ist.
- 20 17. Verfahren zum Herstellen eines optischen Elements, insbesondere nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit folgenden Schritten:
- a) Bereitstellen eines Substrats (105);
 - b) Aufbringen einer adhäsionsverbessernden Schicht (110) auf das Substrat (105); und
 - c) Aufbringen einer Reflexionsschicht (120, 220) auf die adhäsionsverbessernde Schicht (110);
- 25 wobei die adhäsionsverbessernde Schicht (110) ausschließlich aus Elementen besteht, die im Substrat (105) und/oder in der Reflexionsschicht (120) enthalten sind; und
- wobei die Schritte b) und c) unter permanenter Vakuum-Aufrechterhaltung durchgeführt werden.
- 30 18. Optisches System, dadurch gekennzeichnet, dass dieses ein optisches Element (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 16 aufweist.

19. Optisches System nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Element in dem optischen System derart angeordnet ist, dass die im Betrieb des optischen Systems bei Reflexion elektromagnetischer Strahlung an dem optischen Element auftretenden, auf die jeweilige Oberflächennormale bezogenen Reflexionswinkel wenigstens 50° , insbesondere wenigstens 65° , betragen.

20. Optisches System nach Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, dass dieses ein Synchrotron ist.

21. Optisches System nach Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, dass dieses ein Freie-Elektronen-Laser (FEL) ist.

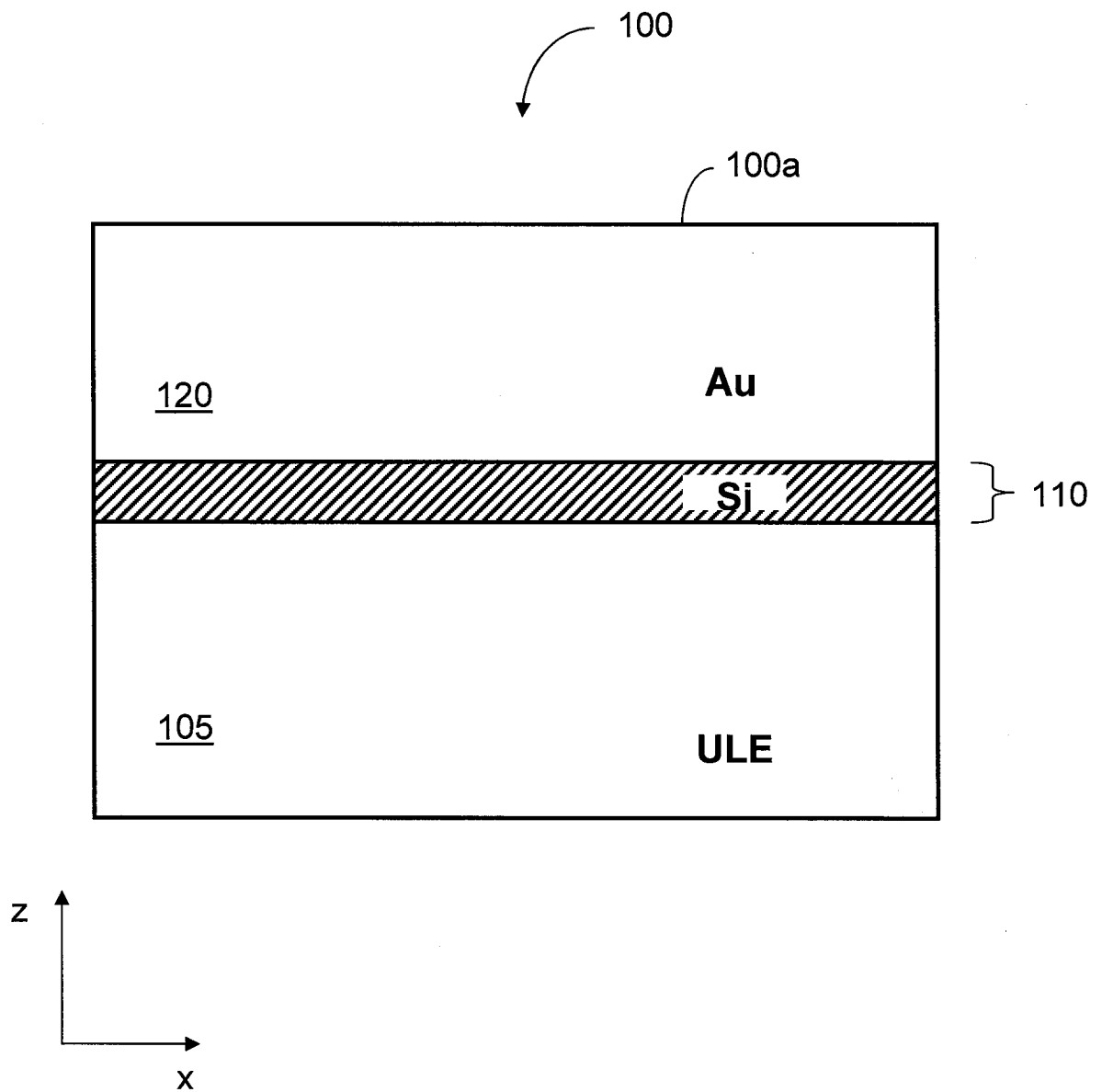
Fig. 1

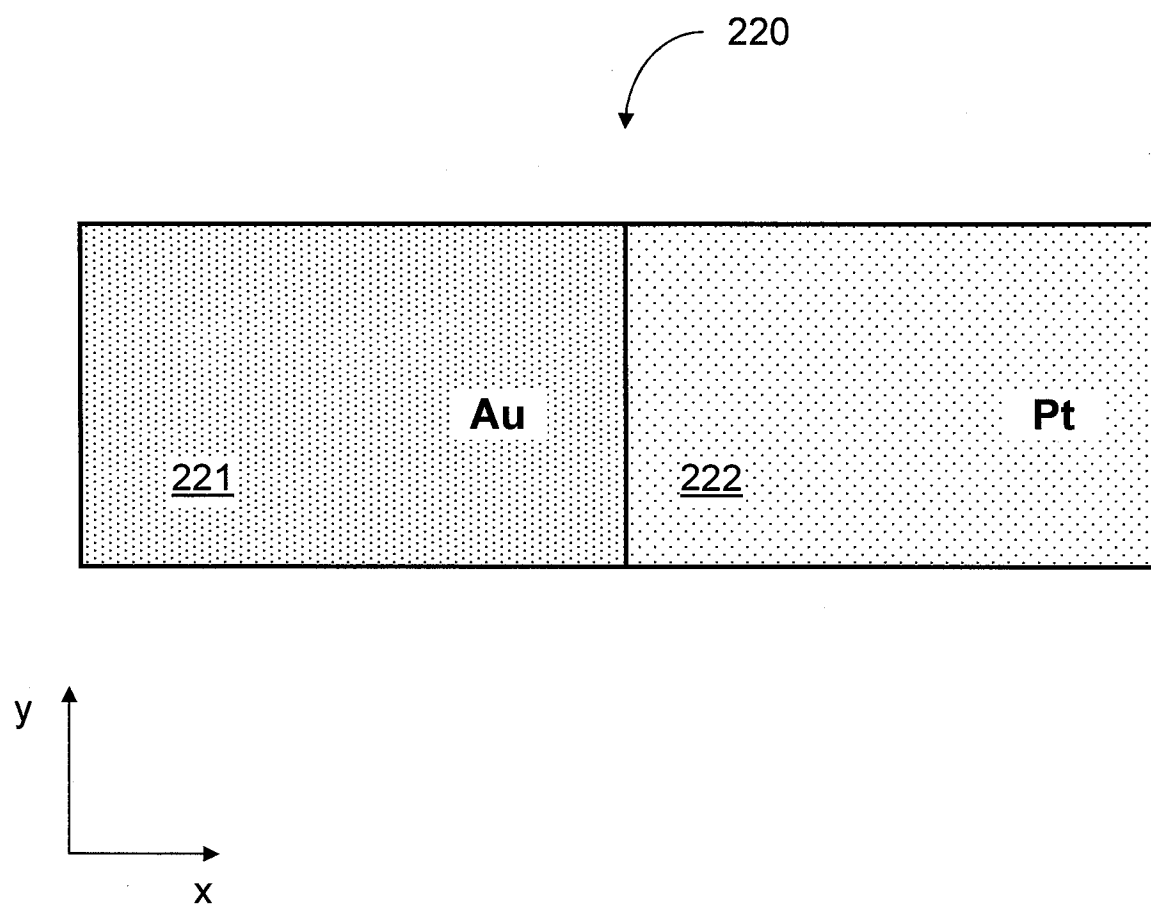
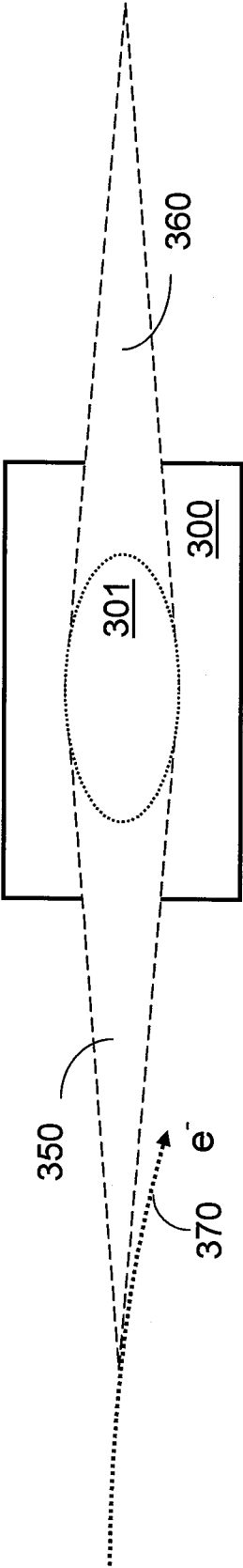
Fig. 2

Fig. 3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/050891

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G02B5/08
ADD. G03F7/00

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)
G02B G03F

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 2014 216109 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 20 November 2014 (2014-11-20) figures 1,2 paragraph [0004] paragraph [0010] paragraph [0029] - paragraph [0035] -----	1-5,8, 12-18, 20,21
X	DE 10 2011 080052 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 31 January 2013 (2013-01-31) figures 1,2,10 paragraph [0001] - paragraph [0009] paragraph [0013] paragraph [0024] - paragraph [0030] ----- -/-	1-5,7, 12-16, 18,20,21



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

19 April 2017

Date of mailing of the international search report

28/04/2017

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

Beutter, Matthias

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/050891

C(Continuation). 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 107192 A1 (ZEISS CARL LASER OPTICS GMBH [DE]) 8 January 2015 (2015-01-08) figures 1-9 paragraph [0001] - paragraph [0012] paragraph [0026] - paragraph [0032] -----	1,2,4-6, 9-21
X	DE 10 2011 080636 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 29 March 2012 (2012-03-29) figures 1,2 paragraph [0036] - paragraph [0046] -----	1
A	DE 10 2013 201857 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 23 January 2014 (2014-01-23) paragraph [0017] - paragraph [0018] -----	11
A	DE 10 2009 040785 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 10 March 2011 (2011-03-10) the whole document -----	1-21

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/050891

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102014216109 A1	20-11-2014	DE 102014216109 A1	20-11-2014
		DE 102015208705 A1	18-02-2016

DE 102011080052 A1	31-01-2013	DE 102011080052 A1	31-01-2013
		WO 2013014182 A1	31-01-2013

DE 102013107192 A1	08-01-2015	DE 102013107192 A1	08-01-2015
		EP 2824487 A1	14-01-2015
		JP 2015029092 A	12-02-2015
		US 2015009480 A1	08-01-2015

DE 102011080636 A1	29-03-2012	NONE	

DE 102013201857 A1	23-01-2014	NONE	

DE 102009040785 A1	10-03-2011	DE 102009040785 A1	10-03-2011
		EP 2470683 A1	04-07-2012
		JP 5956926 B2	27-07-2016
		JP 2013504095 A	04-02-2013
		US 2013057952 A1	07-03-2013
		WO 2011029603 A1	17-03-2011

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. G02B5/08

ADD. G03F7/00

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

G02B G03F

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 2014 216109 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 20. November 2014 (2014-11-20) Abbildungen 1,2 Absatz [0004] Absatz [0010] Absatz [0029] - Absatz [0035] -----	1-5,8, 12-18, 20,21
X	DE 10 2011 080052 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 31. Januar 2013 (2013-01-31) Abbildungen 1,2,10 Absatz [0001] - Absatz [0009] Absatz [0013] Absatz [0024] - Absatz [0030] ----- -/-	1-5,7, 12-16, 18,20,21



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

19. April 2017

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

28/04/2017

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

Beutter, Matthias

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2013 107192 A1 (ZEISS CARL LASER OPTICS GMBH [DE]) 8. Januar 2015 (2015-01-08) Abbildungen 1-9 Absatz [0001] - Absatz [0012] Absatz [0026] - Absatz [0032] -----	1,2,4-6, 9-21
X	DE 10 2011 080636 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 29. März 2012 (2012-03-29) Abbildungen 1,2 Absatz [0036] - Absatz [0046] -----	1
A	DE 10 2013 201857 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 23. Januar 2014 (2014-01-23) Absatz [0017] - Absatz [0018] -----	11
A	DE 10 2009 040785 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 10. März 2011 (2011-03-10) das ganze Dokument -----	1-21

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/050891

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102014216109 A1	20-11-2014	DE 102014216109 A1	20-11-2014
		DE 102015208705 A1	18-02-2016

DE 102011080052 A1	31-01-2013	DE 102011080052 A1	31-01-2013
		WO 2013014182 A1	31-01-2013

DE 102013107192 A1	08-01-2015	DE 102013107192 A1	08-01-2015
		EP 2824487 A1	14-01-2015
		JP 2015029092 A	12-02-2015
		US 2015009480 A1	08-01-2015

DE 102011080636 A1	29-03-2012	KEINE	

DE 102013201857 A1	23-01-2014	KEINE	

DE 102009040785 A1	10-03-2011	DE 102009040785 A1	10-03-2011
		EP 2470683 A1	04-07-2012
		JP 5956926 B2	27-07-2016
		JP 2013504095 A	04-02-2013
		US 2013057952 A1	07-03-2013
		WO 2011029603 A1	17-03-2011
