

(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

20. Juni 2013 (20.06.2013)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer

WO 2013/087300 AI

(51) Internationale Patentklassifikation:
G03F 7/20 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/071895

(22) Internationales Anmeldedatum:
6. November 2012 (06. 11.2012)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 201 1 088 846.2
16. Dezember 2011 (16. 12.2011) DE

(71) Anmelder: CARL ZEISS SMT GMBH [DE/DE];
Rudolf-Eber-Strasse 2, 73447 Oberkochen (DE).

(72) Erfinder: FREIMANN, Rolf; Weisse Steige 20, 73431
Aalen (DE).

(74) Anwalt: KOHLER SCHMID MÖBUS;
Ruppmannstrasse 27, 70565 Stuttgart (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, IS, JP, KE, KG, KM, KN,
KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, 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, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: OPTICAL ARRANGEMENT AND OPTICAL ELEMENT FOR IMMERSION LITHOGRAPHY

(54) Bezeichnung : OPTISCHE ANORDNUNG UND OPTISCHES ELEMENT FÜR DIE IMMERSIONSLITHOGRAPHIE

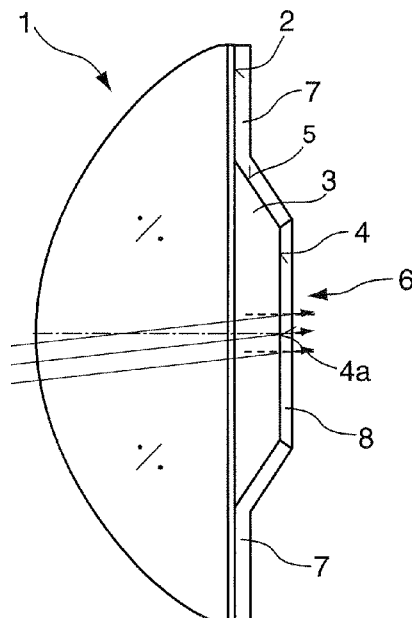


Fig. 1b

(57) Abstract: The invention relates to an optical arrangement for immersion lithography, more particularly a projection exposure apparatus, comprising: at least one component (1) which is at least partly wetted with water as immersion liquid (22) during the operation of the optical arrangement. The at least one component (1) has at least one layer (6) containing a material having a contact angle with the immersion liquid (22) that is adjustable optionally in a hydrophobic or hydrophilic manner. The material can be graphene or CO_3O_4 nanorod arrays, for example. The invention also relates to an optical element (1) which has at least one layer (6) composed of such a material and which can be used in an optical arrangement for immersion lithography.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine optische Anordnung für die Immersionslithographie, insbesondere eine Projektionsbelichtungsanlage, umfassend: mindestens ein Bauelement (1), welches beim Betrieb der optischen Anordnung zumindest teilweise mit Wasser als Immersionsflüssigkeit (22) benetzt ist. Das mindestens eine Bauelement (1) weist mindestens eine Schicht (6) auf, die ein Material enthält, dessen Kontaktwinkel mit der Immersionsflüssigkeit (22) wahlweise hydrophob oder hydrophil einstellbar ist. Bei dem Material kann es sich beispielsweise um Graphen oder um Co_3O_4 -Nanostäbchen-Arrays handeln. Die Erfindung betrifft auch ein optisches Element (1), welches mindestens eine Schicht (6) aus einem solchen Material aufweist und welches in einer optischen Anordnung für die Immersionslithographie Verwendung finden kann.



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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
V

5

Optische Anordnung und optisches Element für die Immersionslithographie

Bezugnahme auf verwandte Anmeldungen

10

Diese Anmeldung beansprucht die Priorität der deutschen Patentanmeldung DE 10 201 1 088 846.2 vom 16. Dezember 2011, deren gesamter Offenbarungsgehalt durch Bezugnahme zum Inhalt dieser Anmeldung gemacht wird.

15

Hintergrund der Erfindung

Die Erfindung betrifft eine optische Anordnung für die Immersionslithographie, umfassend: mindestens ein Bauelement, welches im Betrieb der optischen Anordnung zumindest teilweise mit Wasser als Immersionsflüssigkeit benetzt ist, sowie ein optisches Element aus einem für Wellenlängen im UV-Bereich transparenten Material.

Die Benetzung von Oberflächen von Bauteilen mit Flüssigkeiten, insbesondere mit Wasser, kann negative Auswirkungen auf deren Eigenschaften haben. Dies ist insbesondere bei optischen Elementen der Fall, bei denen sich durch die Benetzung Rückstände, z.B. Salze, ablagern können, welche die optischen Eigenschaften der optischen Elemente nachteilig beeinflussen können. Um eine Benetzung von optischen Elementen mit Wasser zu vermeiden oder um Wasser schnell von diesen zu entfernen ist es bekannt, optische Elemente mit hydrophoben (wasserabweisenden) Beschichtungen zu versehen.

Das Benetzungsverhalten von Oberflächen mit Flüssigkeiten wird durch den Kontaktwinkel beschrieben, den ein Flüssigkeitstropfen mit einer Oberfläche des optischen Elements einschließt. Benetzt die Flüssigkeit die Oberfläche
5 vollständig, liegt der (statische) Kontaktwinkel bei 0° , bei einem Kontaktwinkel von weniger als 90° spricht man bei Wasser als benetzender Flüssigkeit von einer hydrophilen Oberfläche, bei einem Kontaktwinkel von mehr als 90° von einer hydrophoben Oberfläche. Die Messung des Kontaktwinkels kann mittels eines Goniometers (üblicher Weise bei Raumtemperatur (20°C) und
10 Atmosphärendruck) an einem auf der Oberfläche angeordneten Flüssigkeitstropfen erfolgen. Bei der so genannten dynamischen Kontaktwinkelmessung wird dem Flüssigkeitstropfen bei gleicher Ausdehnung der Grenzfläche zwischen Tropfen und Oberfläche dynamisch ein Flüssigkeitsvolumen zugeführt, um den so genannten Fortschrittswinkel (engl.
15 „advancing angle“), d.h. den maximalen dynamischen Kontaktwinkel zu bestimmen. Entsprechend wird dem Flüssigkeitstropfen dynamisch Volumen entzogen, um den kleinstmöglichen Kontaktwinkel, den so genannten Rückzugswinkel (engl. „receding angle“) zu bestimmen. Der statische Kontaktwinkel liegt zwischen diesen beiden Werten.

20

Die Problematik der Benetzung von Bauteilen spielt auch bei der Mikrolithographie, speziell bei der Immersionslithographie, eine Rolle. In der Mikrolithographie werden zur Herstellung von Halbleiter-Bauelementen Strukturen auf einer Maske mittels eines Projektionsobjektivs in verkleinerndem
25 Maßstab auf ein lichtempfindliches Substrat abgebildet. Um die für derartige Anwendungen erforderliche hohe Auflösung zu erreichen, kann Beleuchtungsstrahlung eingesetzt werden, welche im UV-Wellenlängenbereich typischerweise unterhalb von 250 nm liegt. Um eine weitere Erhöhung der Auflösung und Tiefenschärfe zu erreichen, ist bei der Immersionslithographie
30 zwischen dem letzten optischen Element des Projektionsobjektivs und dem lichtempfindlichen Substrat eine Flüssigkeit, in der Regel destilliertes Wasser

(Reinstwasser), zur Erhöhung der Brechzahl eingebracht. Hierbei wird das letzte optische Element zumindest teilweise von Wasser benetzt, weshalb in den Bereichen des letzten optischen Elementes, in denen ein Kontakt mit Wasser vermieden werden soll, vermehrt hydrophobe Beschichtungen zum Einsatz kommen.

Die US 2010/0279232 A 1 offenbart eine Immersionslithographieanlage, bei der mindestens eine Oberfläche im Betrieb mit einer Immersionsflüssigkeit in Kontakt kommt, die bezüglich der Immersionsflüssigkeit einen dynamischen Kontaktwinkel (Rückzugswinkel) von 60° oder darüber aufweist und als hydrophob bezeichnet wird. Die Oberfläche kann eine Basis-Schicht mit einer Oberflächenrauigkeit R_a von $0,2 \mu\text{m}$ oder weniger und eine Beschichtung aufweisen, die beispielsweise aus SiO_xC_y gebildet ist. Durch eine derartige Ausgestaltung der Oberfläche sollen deren hydrophobe Eigenschaften beim Kontakt mit der Immersionsflüssigkeit für einen längeren Zeitraum erhalten bleiben.

Aus der US 2011/0013160 A 1 ist es bekannt, eine Projektionsbelichtungsanlage mit einem wasserabweisenden Bauteil bzw. ein optisches Element mit einer wasserabweisenden Beschichtung bereitzustellen, welche durch einen Protektor vor UV-Strahlung geschützt werden soll. Der Protektor kann z.B. als Strahlung abschirmende Schicht, z.B. in Form eines Metalloxidfilms, ausgebildet sein und ist auf einem optischen Element außerhalb von dessen optisch freiem Durchmesser angeordnet, um das wasserabweisende Bauteil bzw. die hydrophobe Beschichtung vor UV-Strahlung zu schützen. Auf diese Weise soll eine Degradation von deren Benetzungseigenschaften vermieden werden. Bei der in der US 2011/0013160 A 1 beschriebenen Lösung werden somit zwei Schichten benötigt, um die wasserabweisenden Eigenschaften der hydrophoben Schicht über einen längeren Zeitraum zu erhalten.

Auch die WO 2008/031 576 A 1 der Anmelderin beschreibt eine optische Anordnung für die Immersionslithographie, welche mindestens eine Komponente aufweist, auf die eine hydrophobe Beschichtung aufgebracht ist, wobei die Beschichtung mindestens eine Schicht aufweist, die UV-Strahlung
5 bei Wellenlängen von weniger als 260 nm absorbiert und/oder reflektiert.

Aufgabe der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, eine optische Anordnung für die
10 Immersionslithographie sowie ein optisches Element bereitzustellen, deren Eigenschaften im Hinblick auf die Benetzungseigenschaften mit Wasser als Immersionsflüssigkeit, insbesondere im Hinblick auf die Stabilität gegenüber einer Degradation durch die Immersionsflüssigkeit, verbessert sind.

15 Gegenstand der Erfindung

Diese Aufgabe wird gemäß einem ersten Aspekt gelöst durch eine optische Anordnung der eingangs genannten Art, bei welcher mindestens ein Bauelement mindestens eine Schicht aufweist, die ein Material enthält, dessen
20 Kontaktwinkel mit Wasser wahlweise hydrophil oder hydrophob einstellbar ist. Insbesondere kann das Material ausgebildet sein, den (statischen) Kontaktwinkel mit Wasser zwischen superhydrophil (statischer Kontaktwinkel $< 10^\circ$) und superhydrophob (statischer Kontaktwinkel $> 150^\circ$) einzustellen. Das Schichtmaterial erlaubt insbesondere eine gezielte Einstellung des
25 Kontaktwinkels auf einen vorgegebenen Wert. Durch ein solches Material können die Oberflächeneigenschaften eines mit der Schicht versehenen Bauelements somit gezielt beeinflusst werden, je nachdem, ob lokal eine Benetzung der Oberfläche des Bauelements mit Wasser oder ein Abperlen des Wassers von der Oberfläche des Bauelements erwünscht ist. Die Verwendung
30 eines solchen Materials ermöglicht es auch, Bauteile bereitzustellen, welche eine klar definierte Trennung zwischen von Wasser benetzten und unbenetzten

Oberflächenbereichen aufweisen. Es versteht sich, dass die Schicht direkt auf das Bauteil aufgebracht werden kann, dass die Schicht ggf. aber auch die oberste Schicht einer auf das Bauteil aufgetragenen Beschichtung darstellen kann, welche weitere funktionelle Schichten aufweist. Es versteht sich
5 weiterhin, dass die Schicht typischer Weise an einem Oberflächenbereich gebildet ist, der zumindest potentiell mit der Immersionsflüssigkeit in Berührung kommen kann.

In einer Ausführungsform enthält die Schicht Graphen. Eine Schicht, die
10 Graphen enthält, ist in vorteilhafter Weise bezüglich Wasser (z.B. in Form von destilliertem Wasser) als Immersionsflüssigkeit sowohl hydrophob als auch hydrophil einstellbar. Wie aus dem Artikel „Transparent, Conductive Graphene Electrodes for Dye-Sensitized Solar Cells“, Xuan Wang et al., Nano Letters 2008, vol. 8, No. 1, Seiten 323-327 bekannt ist, können durch eine Behandlung
15 des Graphens mit einem Argonplasma Kontaktwinkel zwischen 2,2° und 69° eingestellt werden. Auch ist es aus dem Artikel „Superhydrophobic to Superhydrophilic Wetting Control in Graphene Films“, J. Rafiee et al., Advanced Materials 2010, 22, Seiten 2151-2154 bekannt, dass der Kontaktwinkel von Graphen durch ein Ultraschall-Bad in Wasser hydrophil
20 eingestellt werden kann, während ein Ultraschall-Bad mit Aceton die Bereitstellung von hydrophobem Graphen ermöglicht. Durch den relativen Anteil von Wasser und Aceton in der jeweils verwendeten Lösung kann der Kontaktwinkel der resultierenden Graphen-Schicht über einen weiten Kontaktwinkel-Bereich (von superhydrophob bis superhydrophil!) eingestellt
25 werden. Es versteht sich, dass das in der Schicht vorhandene Graphen nach der Einstellung des Kontaktwinkels z.B. mit Hilfe der oben beschriebenen Ultraschall-Behandlung typischer Weise in seiner Struktur modifiziert ist.

Bei Graphen handelt es sich um ein sehr hartes Material mit einem
30 Elastizitätsmodul von ca. 1000 GPa und einer Zugfestigkeit von $1,25 \times 10^{11}$ Pa. Auch weist Graphen eine hohe elektrische Leitfähigkeit auf. Vorteilhaft ist, dass

Graphen im Gegensatz zu Metalloxid-Schichten eine hohe chemische Beständigkeit gegenüber starken Säuren, z.B. gegenüber Salzsäure (HCl), aufweist. Daher ist eine Kontamination der Immersionsflüssigkeit mit Ionen durch das Degradieren der Graphen-Schicht bzw. durch das ggf. durch die
5 Degradation freigelegte beschichtete Bauteil bzw. Substrat nicht sehr wahrscheinlich. Eine Ablagerung von bei der Degradation gebildeten Ionen an anderer Stelle und damit einhergehend eine Kontamination von weiteren Bauteilen, die zumindest zeitweise mit der Immersionsflüssigkeit in Berührung kommen, kann daher weitestgehend verhindert werden.

10

Zur Herstellung von Graphen sind verschiedene Verfahren bekannt. Ein gängiges mechanisches Verfahren stellt die so genannte Exfoliationsmethode dar, bei der wiederholt hochgeordneter pyrolytischer Graphit (engl. Highly
15 Odered Pyrolytic Graphite, HOPG) abgeschält bzw. abgeblättert und auf das zu beschichtende Objekt übertragen wird. Auf diese Weise lassen sich lokal dünne Graphenschichten herstellen. Chemische Verfahren zur Herstellung von Graphen sind ebenfalls bekannt, beispielsweise die Reduktion von Graphenoxid sowie die chemische Abblätterung aus Graphit durch organische Lösungsmittel. Des Weiteren sind zur Graphengewinnung auch die thermische
20 Zersetzung hexagonaler Siliciumcarbid-Oberflächen sowie das epitaktische Wachstum auf metallischen Substraten bekannt.

25

In einer Ausführungsform ist die Schicht aus Co_3O_4 -Nanostäbchen-Arrays, genauer gesagt aus geordneten hierarchischen Co_3O_4 -Nanostäbchen-Arrays
gebildet. Auch bei diesem Material lässt sich der Kontaktwinkel in einem weiten Bereich einstellen, vgl. den Artikel „Ordered Co_3O_4 Hierarchical Nanorod
Arrays: Tunable Superhydrophilicity Without UV Irradiation and Transition to
Superhydrophobicity“, Liang Li et al., J. Mater. Chem., 2009, Seiten 8366-8371 ,
und zwar indem eine chemische Modifikation des Materials durch eine
30 Behandlung mit Fluorosilan erfolgt, welche zu einer Änderung der Benetzungseigenschaften von superhydrophil zu hydrophob oder

superhydrophob bewirken kann. Ohne eine solche Behandlung weist das Material typischer Weise (super-)hydrophile Eigenschaften auf und eignet sich daher besonders gut zur Herstellung einer langzeitstabilen hydrophilen Schicht.

- 5 Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft eine optische Anordnung der eingangs genannten Art, bei welcher das Bauteil mindestens eine Schicht mit mindestens einem hydrophilen Oberflächenbereich aufweist. Die Schicht kann insbesondere wie oben beschrieben ausgebildet sein, d.h. aus einem Material hergestellt sein, bei dem der Kontaktwinkel hydrophob oder hydrophil
- 10 einstellbar ist. Obgleich in der optischen Anordnung Wasser als Immersionsflüssigkeit verwendet wird, kann es günstig sein, wenn mindestens ein Bauteil zumindest in einem (Teil-)bereich seiner Oberfläche mit einer hydrophilen Schicht bzw. Beschichtung versehen wird, um auf dem Bauteil gezielt einen Wasserfilm zu belassen, wenn das als Immersionsflüssigkeit
- 15 dienende Wasser z.B. während einer Belichtungspause abfließt. Dies ist in solchen Oberflächenbereichen von Vorteil, in denen eine gleichmäßige Benetzung mit Wasser erwünscht ist. Beispielsweise können in einem Oberflächenbereich, an dem das Bauteil gewollt mit Wasser in Kontakt gebracht wird, unerwünschte Lufteinschlüsse vermieden werden, die ggf. zu
- 20 Abbildungsfehlern führen können. Auch kann durch die gleichmäßige Benetzung mit Wasser das Auftreten von Verdunstungskälte zumindest reduziert werden, da die Verdunstungskälte aufgrund der Benetzung nicht unmittelbar an der Oberfläche der Schicht auftritt. Weiterhin kann durch die gleichmäßige Benetzung eine Homogenisierung der örtlichen Variation der
- 25 Verdunstungskälte erreicht werden, um eine inhomogene Änderung des Brechungsindex des optischen Materials des optischen Elements in dem hydrophil beschichteten Oberflächenbereich zu vermeiden.

- Bei einer weiteren Ausführungsform weist die Schicht mindestens einen
- 30 hydrophoben Oberflächenbereich auf. An einem solchen hydrophoben Oberflächenbereich kann die Benetzung mit Wasser reduziert bzw. vermieden

werden bzw. auch ein Kontakt mit Wasser führt zu einer schnellen Entfernung des Wassers von der Oberfläche. Dies ist abhängig von dem jeweiligen Ort des Oberflächenbereichs des Bauteils von Vorteil, da ein zügiger Abfluss von Wasser bzw. die Vermeidung von Wasserkontakt die Bildung von

5 Verdunstungskälte sowie das Zurückbleiben von Wasserrückständen an dem Bauteil verhindert, wodurch beispielsweise im Falle eines optischen Elements Abbildungsfehler durch Verdunstungskälte verringert bzw. vermieden werden können.

10 Bei einer weiteren Ausführungsform weist die Schicht aus Graphen mindestens einen Oberflächenbereich auf, an dem der Kontaktwinkel ortsabhängig (insbesondere kontinuierlich) variiert. Durch die Einstellbarkeit des Kontaktwinkels ist es möglich, zusammenhängende Schichten aus ein- und demselben Material herzustellen, welche ein örtlich variierendes

15 Benetzungsverhalten gegenüber Wasser zeigen. So kann beispielsweise ein Oberflächenbereich derart ausgestaltet sein, dass er an einer Stelle stark hydrophobe und an einer anderen Stelle schwächer hydrophobe Eigenschaften zeigt. Genauso kann ein weiterer Oberflächenbereich sowohl stark hydrophile als auch schwächer hydrophile Stellen aufweisen. Schließlich kann in einem

20 weiteren Oberflächenbereich der Kontaktwinkel so eingestellt sein, dass er an einer Stelle hydrophob und an einer anderen Stelle hydrophil gegenüber Wasser wirkt. Es versteht sich, dass zwischen den Orten hydrophober und hydrophiler Wirkung Übergangsbereiche mit variablem Kontaktwinkelverlauf vorgesehen sein können.

25

Bei einer weiteren Ausführungsform ist das Bauteil als optisches Element aus einem für Wellenlängen im UV-Bereich transparenten Material gebildet. Das Anbringen einer wie oben beschrieben ausgebildeten Schicht bzw.

Beschichtung ermöglicht es, die Benetzungseigenschaften und insbesondere

30 die Verdunstungskälte an dem optischen Element zu reduzieren oder (im Idealfall) das Auftreten von Verdunstungskälte vollständig zu verhindern. Durch

das Vorsehen einer (langzeitbeständigen) Schicht kann auch das (Substrat-Material des optischen Elements, welches z.B. aus Quarzglas bestehen kann, vor der Immersionsflüssigkeit geschützt werden, so dass dieses nicht durch das Immersionswasser (teilweise) abgetragen und das Immersionswasser und
5 andere mit dem Immersionswasser in Kontakt kommende Bauteile verschmutzt werden. Insbesondere Graphen als Schichtmaterial ermöglicht das Bereitstellen einer langzeitstabilen und damit kontaminationsarmen Beschichtung.

Bei einer Weiterbildung umfasst die optische Anordnung ein Projektionsobjektiv
10 zur Ausbildung einer Struktur auf einem lichtempfindlichen Substrat, wobei das optische Element in dem Projektionsobjektiv vorgesehen ist und das in Projektionsrichtung letzte oder vorletzte optische Element (in Bezug auf das Substrat) bildet. An dem letzten optischen Element ist in vorteilhafter Weise zumindest ein Oberflächenbereich zum Durchtritt von Strahlung gebildet, der
15 von einer sich außerhalb des Projektionsobjektivs befindenden Immersionsflüssigkeit benetzt wird. Ferner ist es möglich, zwischen dem vorletzten und letzten optischen Element ebenfalls eine Immersionsflüssigkeit einzubringen, um den Brechungsindex zu erhöhen. Grundsätzlich ist das Einbringen von Immersionsflüssigkeiten auch in weiteren Kammern
20 (Zwischenräume zwischen benachbarten optischen Elementen) des Projektionsobjektivs möglich. Unter dem „letzten“ optischen Element in Projektionsrichtung wird das optische Element verstanden, das von dem im Beleuchtungssystem erzeugten Projektionsstrahl beim Hindurchtreten durch das Projektionsobjektiv als letztes getroffen wird. Das letzte optische Element
25 kann ein z.B. plankonvexes Linsenelement sein, es ist aber auch möglich, dass das letzte optische Element in Form einer Abschlussplatte ausgebildet ist. In beiden Fällen ist typischer Weise an dem optischen Element ein konischer Volumenbereich vorgesehen, an dem das optische Element zumindest teilweise in die Immersionsflüssigkeit eintaucht. Bei einer solchen optischen
30 Anordnung können durch die aufgebrachte Schicht Abbildungsfehler vermieden werden, welche durch die Benetzung mit der Immersionsflüssigkeit

beispielsweise aufgrund von Verdunstungskälte beim Abfließen der Immersionsflüssigkeit vom letzten bzw. vom vorletzten optischen Element auftreten können.

5 In einer Weiterbildung ist an dem optischen Element ein Oberflächenbereich zum Durchtritt von Strahlung des Projektionsobjektivs gebildet, der von der Schicht überdeckt ist, d.h. die Schicht z.B. aus Graphen ist auch innerhalb des Oberflächenbereichs gebildet, welcher auch als optisch freier Durchmesser bezeichnet wird und insbesondere an einer Stirnseite des konisch geformten
10 Volumenbereichs angeordnet sein kann. In der Immersionslithographie wird diejenige Oberfläche des optischen Elements, welche die Lichtaustrittsfläche bildet, in eine Immersionsflüssigkeit eingetaucht, um die numerische Apertur des Objektivs zu erhöhen. An der Oberfläche ist ein Oberflächenbereich (optisch freier Durchmesser) zum gerichteten Durchtritt von Strahlung
15 vorgesehen, d.h. ein Bereich, in dem die Strahlung zur Abbildung beiträgt. Der optisch freie Durchmesser kann hierbei insbesondere durch den Bereich der Oberfläche festgelegt sein, an dem diese poliert ist, wohingegen der Bereich außerhalb dieses Durchmessers ggf. eine unpolierte, matte und damit raue Oberfläche aufweisen kann. Die Schicht kann in dem Oberflächenbereich zum
20 gerichteten Durchtritt von Strahlung insbesondere hydrophil eingestellt sein, wodurch in vorteilhafter Weise eine besonders gleichmäßige Benetzung innerhalb des optisch freien Durchmessers erzielt wird. Die Schicht, insbesondere aus Graphen, kann im Bereich des optisch freien Durchmessers auch in vorteilhafter Weise als Korrosionsschutzschicht dienen.

25

Bei einer Weiterbildung ist die Schicht zumindest in dem Oberflächenbereich des optischen Elements, welche den optisch freien Durchmesser bildet, aus Graphen hergestellt, welches eine Dicke von höchstens 10 nm, bevorzugt von höchstens 5 nm aufweist. Bei der Anbringung der Schicht innerhalb des optisch
30 freien Durchmessers ist zu bedenken, dass Graphen für UV-Strahlung eine vergleichsweise hohe Absorption aufweist. Daher ist es günstig, eine möglichst

dünne Schicht aus Graphen, insbesondere eine Monolage aufzubringen, welche im für die Immersionslithographie relevanten UV-Wellenlängenbereich einen (theoretischen) Minimalwert der Absorption von ca. 2,5 % aufweist. Es versteht sich, dass mit zunehmender Schichtdicke der Absorptionsgrad
5 zunimmt und bei Schichtdicken im Bereich zwischen ca. 10 nm bis ca. 20 nm Absorptionsgrade von 10-20% (vgl. Artikel „Graphene-Based Optically Transparent Electrodes for Spectroelectrochemistry in the UV-Vis Region, M. Weber et al., small 2010, 6, No. 2, Seiten 184-189) auftreten können, wodurch die Leistungsfähigkeit des optischen Elements bzw. der optischen Anordnung
10 ggf. herabgesetzt werden kann.

Es sind mehrere Verfahren zur Erzeugung von Graphen bekannt, welche als Endprodukt Monolagen aus Graphen liefern, z.B. die chemische Reduktion von Graphitoxid in flüssigem Hydrazin oder das thermische Zersetzen hexagonaler
15 Siliciumcarbid-Oberflächen. Die Herstellung eines optischen Elements mit einer Monolage aus Graphen als Beschichtung ist somit vergleichsweise einfach zu bewerkstelligen. Auch bei der Verwendung von anderen Materialien, z.B. von Co_3O_4 -Nanostäbchen-Arrays, sollte durch die Wahl einer geeigneten (geringen) Schichtdicke darauf geachtet werden, dass die Absorption im Bereich des
20 optisch freien Durchmessers nicht zu groß wird.

Eine vorteilhafte Ausführungsform der optischen Anordnung umfasst des Weiteren eine Temperiereinrichtung zum Temperieren des mindestens einen optischen Elements. Durch eine Temperiereinrichtung kann die Temperatur des
25 optischen Elements in der optischen Anordnung gezielt, insbesondere auch ortsabhängig, beim Betrieb der optischen Anordnung in einem vorgesehenen Temperaturbereich gehalten werden, um Temperaturschwankungen z.B. durch Verdunstungskälte oder ggf. durch eine Erwärmung des optischen Elements durch die im Bereich des optischen Durchmessers vorgesehene Schicht (s.o.)
30 auszugleichen.

Bei einer Weiterbildung der optischen Anordnung umfasst die Temperiereinrichtung eine Kühleinrichtung zum Kühlen des optischen Elements. Bei einer derartigen optischen Anordnung kann die durch die UV-Bestrahlung in dem optischen Element bzw. an der innerhalb des optisch freien Durchmessers angeordneten Schicht entstehende Absorptionswärme abgeführt werden, sodass sich keine ggf. inhomogene Aufheizung des transparenten Materials des optischen Elements einstellen kann, welche zu Abbildungsfehlern führen kann. Die Kühleinrichtung kann beispielsweise eine oder mehrere Kühlelektroden aufweisen, welche am Rand des optischen Elements angebracht werden und eine lokale Kühlung ermöglichen. Eine gewisse Kühlung erfolgt auch durch die Immersionsflüssigkeit bzw. durch deren Austausch, sofern diese eine entsprechend geringe Temperatur aufweist.

Eine Weiterbildung der optischen Anordnung sieht vor, dass die Temperiereinrichtung eine Heizeinrichtung zum Heizen des optischen Elements, bevorzugt zum Heizen zumindest eines Teilbereichs der Schicht, insbesondere zum elektrischen (resistiven) Heizen zumindest eines Teilbereichs der Schicht umfasst. Bei einer derartigen optischen Anordnung kann Verdunstungskälte, die möglicherweise in lokalisierten Teilbereichen des optischen Elements durch das Verdunsten von Resten der Immersionsflüssigkeit entsteht, durch eine entsprechende Heizleistung kompensiert werden, die günstiger Weise in mindestens einen entsprechenden lokalen Teilbereich der Schicht eingebracht wird. Die Heizleistung kann auf besonders einfache Weise in die Schicht eingebracht werden, wenn diese aus einem elektrisch leitfähigen Material wie z.B. Graphen besteht. In diesem Fall können an dem optischen Element, genauer gesagt an der Schicht, zur elektrisch resistiven Heizung elektrische Kontakte angebracht sein, die der Stromzufuhr und Stromabfuhr in die jeweils zu heizenden Teilbereiche der Schicht dienen, die typischer Weise zwischen den Kontakten angeordnet sind.

- Bevorzugt ist auch eine Weiterbildung der optischen Anordnung, bei der diese weiter umfasst: ein lichtempfindliches Substrat, sowie eine Immersionsflüssigkeit, die zwischen dem lichtempfindlichen Substrat und dem benachbart zum Substrat angeordneten letzten optischen Element und/oder zwischen dem vorletzten und dem letzten optischen Element des Projektionsobjektivs eingebracht ist. Eine derart ausgebildete optische Anordnung ermöglicht die Abbildung von kleinsten Strukturen mit hoher Auflösung und Tiefenschärfe. Das letzte bzw. vorletzte optische Element weist typischerweise einen konisch geformten Volumenbereich auf und ist zumindest an einer Stirnseite des konisch geformten Volumenbereichs in die Immersionsflüssigkeit eintaucht. Durch das Eintauchen der Stirnseite in die Immersionsflüssigkeit kann die optische Abbildung der optischen Anordnung verbessert werden.
- Eine bevorzugte Ausführungsform der optischen Anordnung sieht vor, dass das Bauelement als Wafertisch zum Halten und Manipulieren eines lichtempfindlichen Substrats ausgebildet ist. Bei der Immersionslithographie ist es üblich, dass sich die Immersionsflüssigkeit nicht nur zwischen dem lichtempfindlichen Substrat und dem letzten optischen Element befindet, sondern dass auch der Wafertisch zumindest im Bereich des gehaltenen Substrats in die Immersionsflüssigkeit eintaucht. Die Immersionsflüssigkeit wird über Zu- und Abführkanäle gefördert, die in die Nähe des Substrats angebracht sind und die z.B. an dem Wafertisch selbst vorgesehen werden können. Nach dem Abfluss von Immersionsflüssigkeit z.B. für einen Austausch des lichtempfindlichen Substrats ist es möglich, dass Reste der Immersionsflüssigkeit an Teilen des Wafertisches verbleiben. Wird an dem Wafertisch in den benetzten Oberflächenbereichen eine Schicht mit hydrophoben Eigenschaften aufgebracht, so kann in vorteilhafter Weise das Zurückbleiben von Flüssigkeitsresten durch das Abperlen der Flüssigkeit vermieden werden. Gegebenenfalls kann die Schicht zumindest in einem Teilbereich hydrophile auch Eigenschaften aufweisen, um einen (dünnen)

Flüssigkeitsfilm auf dem Wafertisch zu erhalten. Es versteht sich, dass auch andere Bauteile der optischen Anordnung, die potentiell mit dem Immersionswasser in Berührung kommen können, mit einer Schicht versehen werden können, die wie oben beschrieben ausgebildet ist.

5

Schließlich ist es auch möglich, eine aus der GB 2470049 B bekannte Lehre im Rahmen einer der oben beschriebenen optischen Anordnungen anzuwenden. Die GB 2470049 B, welche durch Bezugnahme zum Inhalt dieser Anmeldung gemacht wird, lehrt, an einem optischen Element, welches während des

10 Belichtungsprozesses benachbart zu einer Immersionszone angeordnet ist, eine Flüssigkeit abweisende Einrichtung vorzusehen, welche zur Erzeugung eines elektrischen Feldes ausgebildet ist. Durch das elektrische Feld soll die Immersionsflüssigkeit derart beeinflusst werden, dass eine gerichtete abstoßende Kraft auf diese ausgeübt wird, um Teile der Immersionsflüssigkeit
15 von einem Oberflächenbereich des optischen Elements fernzuhalten, der nicht mit der Immersionsflüssigkeit in Kontakt kommen soll. Wird die mindestens eine Schicht aus einem elektrisch leitfähigen Material gebildet, im vorliegenden Fall z.B. aus Graphen, kann diese als Teil der Flüssigkeit abweisenden Einrichtung bzw. zur Erzeugung des elektrischen Feldes dienen, und somit zu
20 einer Beeinflussung der Immersionsflüssigkeit gemäß der GB 2470049 B verwendet werden, um während des Belichtungsbetriebes Flüssigkeitsrückstände wie Tropfen oder dergleichen aktiv aus Oberflächenbereichen entfernen, die nicht benetzt werden sollen.

25 Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein optisches Element aus einem für UV-Strahlung transparenten Material, an dem mindestens eine Schicht angebracht ist, die ein Material enthält, dessen Kontaktwinkel mit Wasser wahlweise hydrophob oder hydrophil einstellbar ist. Ein solches optisches Element weist die oben im Zusammenhang mit der optischen Anordnung
30 dargestellten Vorteile auf, so dass auf die Vorteile an dieser Stelle nicht mehr eingegangen wird.

Bei einer Ausführungsform ist die Schicht aus Graphen gebildet bzw. die Schicht enthält Graphen, bei einer weiteren Ausführungsform enthält die Schicht Co_3O_4 -Nanostäbchen-Arrays als Schichtmaterial. Wie ebenfalls weiter
5 oben beschrieben wurde, ist bei diesen Materialien eine gezielte Einstellung des Kontaktwinkels mit Wasser möglich. Es versteht sich, dass auch andere Materialien, welche eine derartige gezielte Einstellung des Kontaktwinkels ermöglichen, als Schichtmaterialien in Frage kommen. Insbesondere Graphen hat aber die zusätzliche Eigenschaft, bei der Benetzung mit Wasser besonders
10 korrosionsbeständig zu sein.

Eine Ausführungsform des optischen Elements weist einen planen Oberflächenbereich auf, an den sich ein konisch geformter Volumenbereich anschließt. Ein solches optisches Element wird bevorzugt als letztes bzw.
15 vorletztes optisches Element eines Projektionsobjektivs für die Immersionslithographie verwendet. Der konisch geformte Linsenteil wird hierbei mit seiner Stirnseite mit der Immersionsflüssigkeit in Kontakt gebracht, um die numerische Apertur des Objektivs zu erhöhen. Das optische Element kann z.B. als planparallele Platte oder als Plankonvexlinse ausgebildet sein.

20 Bevorzugt ist auch eine Ausführungsform, bei der die Schicht aus Graphen in einem Bereich außerhalb des optisch freien Durchmessers, insbesondere an einer umlaufenden Mantelfläche des konisch geformten Volumenbereichs und/oder an dem planen Oberflächenbereich angeordnet ist. Bei der
25 Immersionslithographie kann der Bereich außerhalb des optisch freien Durchmessers (z.B. zumindest ein Teilbereich der Mantelfläche des konisch geformten Linsenteils und/oder der plane Oberflächenbereich) mit einer hydrophoben Schicht versehen werden, um ein Abperlen der Immersionsflüssigkeit bzw. eine Benetzung dieses Bereiches zu verhindern.
30 Die umlaufende Mantelfläche des konischen Volumenbereichs bildet dann

gewissermaßen einen hydrophoben Ring um den optisch freien Durchmesser, welcher an der Stirnseite gebildet ist.

Ist die Schicht aus Graphen in einem Bereich außerhalb des optisch freien Durchmessers angeordnet, so kann ferner in vorteilhafter Weise das Graphen als abschattende Schicht zum Schutz bzw. als Abschirmung für andere Komponenten, z.B. von Dichtungen etc. dienen, die potentiell von Streustrahlung aus dem Inneren des optischen Elements getroffen werden können. In diesem Fall kann die Graphenschicht vergleichsweise dick ausgebildet sein, um eine Abschattung zu gewährleisten.

Der Bereich außerhalb des optisch freien Durchmessers kann jedoch auch in vorteilhafter Weise mit einer hydrophil eingestellten Material-Schicht versehen sein. Dies führt zu einer gleichmäßigen Benetzung dieses Bereichs, die auch nach einem möglichen Abfluss der Immersionsflüssigkeit bestehen bleibt. Durch die gleichmäßige Benetzung ist die Problematik der lokal auftretenden Verdunstungskälte verringert, da eine Verdunstung gleichmäßig über den gesamten (Oberflächen-)Bereich erfolgt und somit keine oder nur geringe lokale Unterschiede auftreten.

Die Schicht kann sich auch auf eine Stirnseite des konisch geformten Volumenbereichs, insbesondere in einen Oberflächenbereich zum Durchtritt von UV-Strahlung, d.h. in den optisch freien Durchmesser erstrecken. Es kann z.B. ein den optisch freien Durchmesser umgebender, im Wesentlichen ringförmiger Oberflächenbereich an der Stirnseite mit einer Schicht versehen werden, an der das Schichtmaterial hydrophob oder ggf. hydrophil eingestellt werden kann. Gegebenenfalls kann auch im Bereich des optisch freien Durchmessers eine in der Regel hydrophil eingestellte Schicht vorgesehen werden, um die Benetzung zu verbessern bzw. als Korrosionsschutzschicht zu dienen.

Bei einer weiteren Ausführungsform weist die Schicht mindestens einen Oberflächenbereich auf, in dem der Kontaktwinkel ortsabhängig variiert. Ein solcher Bereich kann beispielsweise an einer Stirnseite des konischen Volumenbereichs vorgesehen werden, wobei ausgehend von dem optisch genutzten Bereich, in dem das Schichtmaterial für die Benetzung mit Wasser hydrophil eingestellt ist, der Kontaktwinkel entlang der Stirnseite radial nach außen, d.h. zur angrenzenden Mantelfläche des konischen Volumenbereichs, möglichst kontinuierlich zunimmt und am Rand der Stirnseite, d.h. am Übergang zur Mantelfläche, hydrophob eingestellt ist. Es versteht sich, dass das Vorsehen einer Schicht aus einem Material mit einstellbarem Kontaktwinkel nicht nur auf die hier beschriebenen Oberflächenbereiche beschränkt ist, sondern dass die Schicht grundsätzlich an jedem beliebigen Oberflächenbereich des optischen Elements vorgesehen werden kann, z.B. auch auf der dem konischen Volumenbereich gegenüber liegenden Oberseite des optischen Elements.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung, anhand der Figuren der Zeichnung, die erfindungswesentliche Einzelheiten zeigen, und aus den Ansprüchen. Die einzelnen Merkmale können je einzeln für sich oder zu mehreren in beliebiger Kombination bei einer Variante der Erfindung verwirklicht sein.

Zeichnungen

25

Ausführungsbeispiele sind in den schematischen Zeichnungen dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung erläutert. Es zeigen:

Fig. 1a eine schematische Darstellung eines als Plankonvexlinse ausgebildeten optischen Elements in einer perspektivischen Darstellung,

30

- 5 **Fig. 1b** eine Schnittdarstellung des optischen Elements von Fig. 1a mit einer Schicht aus Graphen, die einen ersten hydrophob eingestellten und einen zweiten hydrophil eingestellten Oberflächenbereich aufweist,
- 10 **Fig. 1c** eine Schnittdarstellung des optischen Elements von Fig. 1a mit einer Schicht aus Graphen, die einen zusammenhängenden Oberflächenbereich aufweist, dessen Benetzungseigenschaften ortsabhängig variieren,
- 15 **Fig. 2** eine schematische Darstellung einer Projektionsbeleuchtungsanlage für die Immersionslithographie mit dem optischen Element nach Fig. 1b bzw. Fig. 1c,
- 20 **Fig. 3** eine schematische Darstellung analog Fig. 1b mit einem weiteren optischen Element, das als planparallele Platte ausgebildet ist,
- 25 **Fig. 4** eine schematische Darstellung eines Ausschnitts aus einem Projektionsobjektiv mit einer Temperiereinrichtung im Bereich des letzten optischen Elements,
- 30 **Fig. 5** eine schematische Darstellung eines optischen Elements mit einer Heizeinrichtung zum Heizen des optischen Elements,
- Fig. 6** eine schematische Darstellung eines Ausschnitts einer optischen Anordnung, die einen Wafertisch mit einer Schicht aus Graphen umfasst, und
- Fig. 7** eine schematische Darstellung eines Ausschnitts einer optischen Anordnung, die einen Wafertisch mit einer Schicht aus Graphen

sowie eine Einrichtung zum lokalen und dynamischen Aufbringen von Immersionsflüssigkeit aufweist.

In der folgenden Beschreibung der Zeichnungen werden für gleiche bzw.
5 funktionsgleiche Bauteile identischen Bezugszeichen verwendet.

In **Fig. 1a** ist schematisch ein optisches Element 1 gezeigt, welches im vorliegenden Beispiel aus synthetischem, amorphem Quarzglas (SiO_2) besteht, als Plankonvexlinse ausgebildet ist und eine plane Oberfläche 2 aufweist, an
10 welche sich ein radial innen liegender konischer Linsenteil 3 anschließt. Der konische Linsenteil 3 weist eine umlaufende Mantelfläche 5 sowie eine plane Stirnseite 4 auf. Es versteht sich, dass optische Elemente für die Immersionslitographie nicht zwingend die oben beschriebene plankonvexe Geometrie aufweisen müssen, ein konisch ausgeformter Volumenbereich 3 ist
15 jedoch für derartige optische Elemente typisch. Das optische Element 1 kann auch aus einem anderen Material bestehen, welches oberhalb einer Wellenlänge von 250 nm bzw. 193 nm transparent ist, beispielsweise aus kristallinem Quarzglas (SiO_2), Bariumfluorid (BaF_2) oder Germaniumdioxid (GeO_2).

20

Fig. **1b** zeigt das als Plankonvexlinse ausgebildete optische Element 1 mit einer Schicht 6 aus Graphen, die einen ersten hydrophob eingestellten Oberflächenbereich 7 und einen zweiten hydrophil eingestellten Oberflächenbereich 8 aufweist. Die Schicht 6 aus Graphen erstreckt sich
25 ausgehend von der Stirnseite 4 über die Mantelfläche 5 des konischen Linsenteils 3 weiter über die plane Linsenfläche 2, wobei der hydrophil eingestellte Oberflächenbereich 8 auf der Stirnseite 4 des konischen Linsenteils 3 und der hydrophob eingestellte Oberflächenbereich 7 an der Mantelfläche 5 sowie an der planen Linsenfläche 2 gebildet ist. Es versteht sich, dass anders
30 als in Fig. 1b gezeigt die Schicht 6 lediglich auf einen Oberflächenbereich der umlaufenden Mantelfläche 5 des konischen Volumenbereichs 3 beschränkt

sein kann, welcher sich z.B. an die Stirnseite 4 anschließt und an dem die Schicht 6 hydrophobe Eigenschaften aufweist.

Es versteht sich auch, dass die Schicht 6 aus Graphen nicht wie in Fig. 1b
5 gezeigt unmittelbar auf das optische Element 1 bzw. auf das Substrat
aufgebracht werden muss, sondern dass ggf. zwischen der Schicht 6 aus
Graphen und dem jeweiligen Oberflächenbereich 2, 4, 5 des Substrats noch
zusätzliche funktionelle Schichten vorgesehen sein können. Beispielsweise
können (nicht dargestellte) zusätzliche Haftvermittlerschichten z.B. aus SiO₂
10 oder aus einem anderen Material vorgesehen sein, um die Haftung der Schicht
6 zu verbessern. Gegebenenfalls kann an der Stirnseite 4 auch eine Antireflex-
Beschichtung vorgesehen werden. Wie in Fig. 1b zu erkennen ist, ist an der
Stirnseite 4 ein Teilbereich 4a gebildet, durch den im Betrieb des optischen
Elements 1 Strahlung gerichtet hindurch tritt und welcher als optisch freier
15 Durchmesser bezeichnet wird (obwohl dieser Bereich nicht zwingend eine
runde Geometrie aufweisen muss).

Durch die Hydrophobizität des ersten Oberflächenbereichs 7 der Schicht 6 aus
Graphen wird der Bereich außerhalb der Stirnfläche 4, d.h. die konische
20 Mantelfläche 5 des konisch geformten Linsenteils 3 sowie die plane
Linsenfläche 2 vor der Benetzung mit einer polaren Immersionsflüssigkeit, z.B.
in Form von Reinstwasser, geschützt. Eine Benetzung des hydrophoben
Oberflächenbereiches 7 wird somit verhindert. Die konische Mantelfläche 5 des
konischen Linsenteils 3 bildet hierbei einen hydrophoben Ring um die Stirnseite
25 4 des optischen Elements 1, an der eine Benetzung mit Immersionswasser
gewünscht ist.

Da die hydrophil eingestellte Schicht 6 im Bereich der Stirnseite 4 auch den
bereich 4a des optisch freien Durchmessers überdeckt, sollte die Schicht 6
30 zumindest in diesem Bereich 4a eine geringe Dicke von typischer Weise
weniger als 10 nm, günstiger von weniger als 5 nm aufweisen. Im Idealfall ist

die Schicht 6 aus Graphen zumindest im Bereich 4a des optisch freien Durchmessers als Monolage ausgebildet. Auf diese Weise kann die Absorption der Schicht 6 für die hindurch tretende Strahlung gering gehalten werden. Das Aufbringen der Schicht 6 auch im Bereich 4a des optisch freien Durchmessers hat sich als günstig erwiesen, da Graphen als Korrosions-Schutzschicht dienen kann, welche eine teilweise Ablösung des Linsenmaterials durch den Kontakt mit der Immersionsflüssigkeit verhindert, was sich insbesondere im Bereich des optisch freien Durchmessers 4a günstig auf die Abbildungseigenschaften des optischen Elements 1 auswirkt.

10

Die Schicht 6 aus Graphen kann im ersten Oberflächenbereich 7 die Funktion einer abschattenden Schicht übernehmen, wenn sie ausreichend dick ausgebildet ist. Auf diese Weise wird verhindert, dass Streulicht aus dem Inneren des optischen Elements 1 durch den Oberflächenbereich außerhalb des optisch freien Durchmessers 4a auf weitere (nicht gezeigte) Bauteile, z.B. auf Dichtungen etc. trifft und deren Eigenschaften ungünstig beeinflusst. Damit die Schicht 6 aus Graphen als abschattende Schicht wirkt, sind üblicher Weise Schichtdicken von mindestens $1 \mu\text{m}$ erforderlich.

20 Zusätzlich oder alternativ zum Aufbringen der Schicht 6 auf die Oberflächen 2, 4, 5 der Linse 1 kann diese auch an einem Linsenrand, z.B. an einer zylinderförmig umlaufenden Seitenfläche, mit der Schicht 6 aus Graphen versehen werden. Hierdurch kann vermieden werden, dass bei einem in eine optische Anordnung eingebauten optischen Element 1 in einen Spalt zwischen dem optischen Element 1 und einer Halterung Wasser eindringen kann. Auch
25 können an Stelle einer einzelnen Schicht 6 aus Graphen Beschichtungen mit mehreren Schichten zum Einsatz kommen. Die Schicht 6 kann gegebenenfalls auch zumindest in einem Teilbereich der konvex gekrümmten Oberfläche aufgebracht werden, welche dem konisch geformten Volumenbereich 3 gegenüber liegt.
30

- Der zweite Oberflächenbereich 8 der Schicht aus Graphen 6 im Bereich der Stirnseite 4 des konischen Linsenteils 3 weist hydrophile Eigenschaften auf. Der hydrophile Oberflächenbereich 8 stellt sicher, dass das optische Element 1 beim Kontakt mit Wasser eine gute Benetzung aufweist, wobei der
- 5 Kontaktwinkel bevorzugt bei weniger als 30° , besonders bevorzugt bei weniger als 5° liegt. Eine Reduzierung des Kontaktwinkels kann beispielsweise durch eine Behandlung der Schicht 6 mit einem Argon-Plasma oder durch ein Ultraschallbad beim Aufbringen der Schicht 6 erzeugt werden.
- 10 **Fig. 1c** zeigt ein als Plankonvexlinse ausgebildetes optisches Element 1 mit einer Schicht 6 aus Graphen, die im dort gezeigten Beispiel einen zusammenhängenden Oberflächenbereich 9 bildet, der ortsabhängig variierend hydrophobe und hydrophile Eigenschaften aufweist. Mit anderen Worten: Der zusammenhängende Oberflächenbereich 9 kann mit Wasser einen
- 15 ortsabhängig variierenden Kontaktwinkel zwischen 0° und 180° einnehmen. Die Schicht 6 aus Graphen erstreckt sich insgesamt ausgehend von der Stirnseite 4 über die Mantelfläche 5 des konischen Linsenteils 3 weiter über die plane Linsenfläche 2. Die Benetzbarkeit der Schicht 6 aus Graphen kann z.B. durch eine Argonplasmabehandlung von hydrophoben bis hin zu hydrophilen
- 20 Eigenschaften verändert werden. Es versteht sich, dass zwischen den Orten hydrophober und hydrophiler Wirkung Übergangsbereiche mit ortsabhängig variablem Kontaktwinkelverlauf vorgesehen sein können.
- Beispielsweise kann in dem Bereich 4a des optisch freien Durchmessers das
- 25 Graphen-Material hydrophil eingestellt werden und der Kontaktwinkel ausgehend von diesem Bereich 4a auf der Stirnseite 4 nach außen zur Mantelfläche 5 kontinuierlich zunehmen. Alternativ kann auf das Vorsehen der Schicht 6 im Bereich 4a des optisch freien Durchmessers verzichtet werden. In diesem Fall kann die Schicht 6 ebenfalls einen ortsabhängig variierenden
- 30 Kontaktwinkel aufweisen, oder der Kontaktwinkel kann z.B. konstant sein, so dass die Schicht 6 vollständig hydrophil bzw. hydrophob ist.

Das Aufbringen der Schicht 6 aus Graphen auf das optische Element 1 kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. In der Regel wird das Graphen vor dem Einbau des optischen Elements 1 in eine Projektionsbelichtungsanlage
5 aufgebracht. Insbesondere das Aufbringen des Graphens wie in dem eingangs zitierten Artikel „Transparent, Conductive Graphene Electrodes for Dye-Sensitized Solar Cells“, Xuan Wang et al., Nano Letters 2008, vol. 8, No. 1, Seiten 323-327 dargestellt sichert hierbei eine hohe Beständigkeit des Graphens. Zum Verbessern der Beständigkeit des Graphens kann nach dem
10 Aufbringen ein zusätzlicher Temperschritt erfolgen, bei dem das optische Element 1 auf Temperaturen von z.B. ca. 100°C aufgeheizt wird.

Auch das nachträgliche Anbringen von Graphen an einem bereits im Betrieb bzw. im eingebauten Zustand in einer Projektionsbelichtungsanlage
15 befindlichen optischen Element kommt in Frage, beispielsweise mittels eines aus der Literatur bekannten Transferverfahrens, wie es z.B. in dem Artikel „Wafer-Scale Synthesis and Transfer of Graphene Films“, Youngbin Lee et al., Nano Letters, 2010, Vol. 10 (2), Seiten 490 bis 493, beschrieben ist. Verliert das Graphen im Laufe der Zeit seine hydrophilen Eigenschaften, kann an der
20 bereits aufgebrachten Schicht eine Argonplasmabehandlung erfolgen, um den Kontaktwinkel wieder zu niedrigeren Werten zu verschieben.

Die Funktionsweise des optischen Elements 1 wird zweckmäßiger Weise im Zusammenhang mit dem Belichtungsbetrieb einer optischen Anordnung 10 für
25 die Mikrolithographie beschrieben, wie sie in Fig. 2 in Form eines Wafer-Scanners zur Herstellung von hochintegrierten Halbleiterbauelementen gezeigt ist.

Die Optische Anordnung 10 umfasst als Lichtquelle einen Excimer-Laser 11 mit
30 einer Arbeitswellenlänge von 193 nm, wobei auch andere Arbeitswellenlängen, beispielsweise 248 nm, möglich sind. Ein nachgeschaltetes

Beleuchtungssystem 12 erzeugt in seiner Austrittsebene ein großes, scharf begrenztes, sehr homogen beleuchtetes und an die Telezentrie-Erfordernisse eines nachgeschalteten Projektionsobjektivs 13 angepasstes Bildfeld.

- 5 Hinter dem Beleuchtungssystem 12 ist eine Einrichtung 14 zum Halten und Manipulieren einer (nicht gezeigten) Photomaske so angeordnet, dass diese in der Objektebene 15 des Projektionsobjektivs 13 liegt und in dieser Ebene zum Scanbetrieb in einer durch einen Pfeil 16 angedeutete Abfahrri-
10 chtung bewegbar ist.

- Hinter der auch als Maskenebene bezeichneten Ebene 15 folgt das Projektionsobjektiv 13, das ein Bild der Photomaske mit reduziertem Maßstab, beispielsweise im Maßstab 4:1 oder 5:1 oder 10:1, auf einen mit einer Photoresistschicht belegten Wafer 17 abbildet. Der als lichtempfindliches
15 Substrat dienende Wafer 17 ist so angeordnet, dass die ebene Substratoberfläche 18 mit der Photoresistschicht im Wesentlichen mit der Bildebene 19 des Projektionsobjektivs 13 zusammenfällt. Der Wafer 17 wird durch eine Einrichtung 20 gehalten, die einen Scannerantrieb umfasst, um den Wafer 17 synchron zur Photomaske und parallel zu dieser zu bewegen. Die
20 Einrichtung 20 umfasst auch Manipulatoren, um den Wafer sowohl in z-Richtung parallel zu einer optischen Achse 21 des Projektionsobjektivs, als auch in x- und y-Richtung senkrecht zu dieser Achse zu verfahren.

- Das Projektionsobjektiv 13 hat als der Bildebene 19 benachbartes Abschluss-
25 element das optische Element 1 von Fig. 1b oder Fig. 1c, d.h. eine transparente Plankonvexlinse mit einem konischen Linsenteil 3, dessen Stirnseite 4 die letzte optische Fläche des Projektionsobjektivs 13 bildet und welche in einem Arbeitsabstand oberhalb der Substratoberfläche 18 angeordnet ist. Zwischen der Stirnseite 4 und der Substratoberfläche 18 ist
30 eine Immersionsflüssigkeit 22, im vorliegenden Fall Wasser, genauer gesagt Reinstwasser, angeordnet, welche die ausgangsseitige numerische Apertur des

Projektionsobjektivs 13 erhöht. Mittels der Immersionsflüssigkeit 22 kann die Abbildung von Strukturen auf der Photomaske mit einer höheren Auflösung und Tiefenschärfe erfolgen als dies möglich ist, wenn der Zwischenraum zwischen dem optischen Element 1 und dem Wafer 17 mit einem Medium mit einer
5 geringeren Brechzahl, z.B. Luft, ausgefüllt ist. Der Spalt, der den Zwischenraum ausbildet, ist in der Regel zwischen 2 mm und 4 mm groß.

Es versteht sich, dass optische Elemente 1 mit einer Schicht 6 wie oben beschrieben neben der Verwendung als Abschlusselement von
10 Projektionsobjektiven 13 für die Mikroithographie auch in anderen Bereichen vorteilhaft verwendet werden können, und zwar immer dann, wenn in einer optischen Anordnung ein optisches Element 1 vorgesehen ist, welches zumindest teilweise in eine Flüssigkeit 22 eingetaucht werden soll. Es versteht sich, dass auch andere Materialien, welche einen einstellbaren Kontaktwinkel
15 mit Wasser aufweisen, zur Ausbildung der Schicht 6 in Frage kommen, beispielsweise Co_3O_4 -Nanostäbchen-Arrays, bei denen ebenfalls eine Einstellung des Kontaktwinkels von (super-)hydrophil bis (super-)hydrophob möglich ist.

20 Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung eines endseitigen Abschnitts eines Projektionsobjektivs 13 mit einem optischen Element 1 in Form einer Plankonvexlinse, welches als vorletztes optisches Element des Projektionsobjektivs 13 dient. Als letztes optisches Element ist in dem Projektionsobjektiv 13 ein plattenartiges optisches Element 1a angebracht. Das
25 Projektionsobjektiv 13 entspricht im Wesentlichen dem Aufbau, wie er in der US 7,697,111 B2 beschrieben ist, welche durch Bezugnahme zum Inhalt dieser Anmeldung gemacht wird. Für Details des Aufbaus des Projektionsobjektivs 13 sei auf die US 7,697,111 B2 verwiesen.

30 Im vorliegenden Beispiel ist sowohl zwischen der Platte 1a als letztem optischen Element und dem (in Fig. 3 nicht gezeigten) Substrat als auch

zwischen dem letzten optischen Element 1a und dem vorletzten optischen Element 1 eine Immersionsflüssigkeit 22 in Form von Reinstwasser angeordnet. Das plattenförmige optische Element 1a weist ebenfalls einen konischen Volumenbereich auf, der mit seiner Stirnseite in die

5 Immersionsflüssigkeit 22 eintaucht. Bei dem in Fig. 3 gezeigten Beispiel ist die Schicht 6 lediglich im Bereich der umlaufenden Mantelfläche 5 des jeweiligen optischen Elements 1, 1a aufgebracht und weist in beiden Fällen hydrophile Eigenschaften auf. Auf diese Weise kommt es an der Mantelfläche 5 zu einer dauerhaften Benetzung, die auch nach dem Abfluss der Immersionsflüssigkeit

10 22 erhalten bleibt. Zusätzlich kann die hydrophile Schicht 6 auch an der jeweiligen Stirnseite des optischen Elements 1, 1a vorgesehen werden, wobei die Schicht 6 auf den Bereich außerhalb des optisch freien Durchmessers beschränkt bleiben kann oder sich wie oben beschrieben in den Bereich des optisch freien Durchmessers hinein erstrecken kann.

15 Zusätzlich kann auch auf der Oberseite des plattenförmigen Elements 1a eine Schicht 6 mit hydrophilen Eigenschaften aufgebracht werden, um die Benetzung mit der Immersionsflüssigkeit 22 zu verbessern. Wie in Fig. 3 ebenfalls zu erkennen ist, kann die Schicht 6 im Bereich der Mantelfläche 5

20 dick aufgetragen werden, so dass Bauteile wie z.B. Dichtungen 24 vor Streustrahlung aus dem Inneren des jeweiligen optischen Elements 1, 1a geschützt werden.

In Fig. 4 ist ein Teilbereich eines Projektionsobjektivs 13 mit einem Ausbruch

25 gezeigt, sodass ein als Abschlusselement im Inneren des Projektionsobjektivs 13 angeordnetes optisches Element 1 in Form einer Plankonvexlinse erkennbar ist. Um während des Betriebs des Projektionsobjektivs 13 aufgetretene Wärme aus dem optischen Element 1 ableiten zu können, ist eine als Kühleinrichtung 40 ausgebildete Temperiereinrichtung am Projektionsobjektiv 13 vorgesehen.

30 Die Kühleinrichtung 40 umfasst Kühlelemente 41, die mit dem optischen Element 1 in Kontakt stehen und die im Bereich einer Halterung 42 des

optischen Elements 1 vorgesehen sind, um einen guten Wärmeübergang sicherzustellen.

Die Kühleinrichtung 40 weist ferner eine (nicht dargestellte) Sensorik sowie
5 eine Regelungseinrichtung 43 auf, um durch die Wärmeabfuhr eine möglichst konstante Temperatur innerhalb des optischen Elements 1 zu erreichen. Alternativ oder zusätzlich kann die Kühleinrichtung 40 auch Kühleinheiten, z.B. in Form von Kühlelektroden, am Rand des optischen Elements 1, insbesondere im Bereich des konisch geformten Linsenteils 3 aufweisen. Letzteres ist
10 insbesondere günstig, wenn die Schicht 6 auf der Stirnseite 4 auch im Bereich des optisch freien Durchmessers aufgebracht ist, da in diesem Fall die bei der Absorption von UV-Strahlung in der Schicht 6 erzeugte Wärme abgeführt werden kann.

15 **Fig. 5** zeigt des Weiteren eine als Heizeinrichtung 50 ausgebildete Temperiereinrichtung, mit der Teilbereiche 51 der Schicht 6 aus Graphen, die im vorliegenden Fall im unteren Bereich der Mantelfläche des konisch geformten Volumenbereichs 3 angebracht ist, lokal aufgeheizt werden können. Die Heizeinrichtung 50 ist im vorliegenden Beispiel analog zu Fig. 4 im Bereich
20 des Projektionsobjektivs 13 angeordnet, in dem auch die Halterung für das optische Element 1 vorgesehen ist. Die Heizeinrichtung 50 weist eine Stromquelle 52 zur Erzeugung eines Stromflusses durch die Schicht 6 aus Graphen auf, welche zu einer Aufheizung des Graphens führt. Die Heizeinrichtung 50 weist ferner eine (nicht dargestellte) Sensorik sowie eine
25 Regelungseinrichtung auf, um gegebenenfalls durch Verdunstungskälte lokal auftretende Wärmesenken im optischen Element 1 durch eine gezielte, lokale Wärmezufuhr auszugleichen.

Um besonders einfach mit der Heizeinrichtung 50 zusammenzuarbeiten, weist
30 das in Fig. 5 in einer Draufsicht dargestellte optische Element 1 drei elektrische Kontakte 53 (Anschlusselektroden) auf, welche mit der Schicht 6 verbunden

sind. Die Kontakte 53 stehen über drei auf dem optischen Element 1 verlaufenden Leiterbahnen 54 mit drei unterschiedlichen Anschlüssen der Stromquelle 52 in Verbindung. Zwischen jeweils zwei der Anschlüsse kann eine Spannung angelegt werden, um einen Stromfluss durch die Schicht 6 in einem
5 jeweiligen Teilbereich 51 zu ermöglichen, der zwischen den zwei aktiven, benachbarten Elektroden 53 gebildet ist. Zur Heizung der lokalen Wärmezufuhrbereiche 51 wird ein Strom lokal durch das Graphen geleitet, sodass sich aufgrund des Leitungswiderstandes eine Wärmeentwicklung einstellt (resistives Heizen). Auf diese Weise kann jeweils ein sich über ca.
10 120° erstreckender Teilbereich 51 der Schicht 6 bzw. des optischen Elements 1 gezielt aufgeheizt werden, um eine dort ggf. vorhandene Wärmesenke gezielt zu kompensieren. Es versteht sich, dass an Stelle von drei elektrischen Kontakten eine Vielzahl von Kontakten 53 vorgesehen sein kann, um ein verfeinertes Muster lokaler Wärmezufuhrbereiche 51 zu erhalten. Es versteht
15 sich weiterhin, dass die Schicht 6 aus Graphen sich anders als in Fig. 5 gezeigt auch vollständig über den konischen Linsenteil 3 und beispielsweise weiter über den planen Oberflächenbereich 2 erstrecken kann.

Fig. 6 zeigt einen Ausschnitt eines Projektionsobjektivs 13 einer optischen
20 Anordnung für die Immersionslithographie, bei welcher der Wafer 17 auf einem Wafertisch 60 gelagert ist, an dem eine Schicht 6 aus Graphen gebildet ist. Der Wafertisch 60 ist zum Halten und Manipulieren des lichtempfindlichen Substrats 17 bzw. Wafers ausgebildet und die Schicht 6 aus Graphen weist im vorliegenden Beispiel hydrophobe Eigenschaften auf.

25

Wie aus Fig. 6 ersichtlich, kann sich die Immersionsflüssigkeit 22 nicht nur zwischen dem lichtempfindlichen Substrat 17 und dem letzten optischen Element 1 befinden, sondern darüber hinaus große Teile an der Oberseite des Wafertisches 60 bedecken, welcher zur Aufnahme der Immersionsflüssigkeit 22
30 einen umlaufenden Rand 63 aufweist. Der Wafertisch 60 bildet hierbei eine Art

Becken, das mit der Immersionsflüssigkeit 22 gefüllt ist und in das das Substrat 17 zumindest an seiner Oberseite eingetaucht ist.

Die Immersionsflüssigkeit 22 wird über Zu- und Abführkanäle 61, 62 des Wafertischs 60 in das Becken gefördert. Die hydrophobe Schicht 6 aus Graphen am Wafertisch 60 vermeidet das Zurückbleiben von Flüssigkeitsresten nach einem Abfluss der Immersionsflüssigkeit 22 aus dem beckenförmigen Bereich. Um dies zu erreichen sollte der Kontaktwinkel der hydrophoben Schicht 6 mit dem Immersionswasser größer sein als der Kontaktwinkel, den das Immersionswasser mit den Zu- und Abführkanälen 61, 62 einschließt. Es versteht sich, dass zusätzlich oder alternativ auch weitere Bauelemente, welche mit der Immersionsflüssigkeit 22 in Berührung kommen können, zumindest in einem Teilbereich mit einer Schicht 6 versehen werden können, welche wie oben beschrieben ausgebildet ist, und zwar insbesondere in Bereichen, die abwechselnd von Immersionswasser benetzt werden und trockenliegen.

Schließlich zeigt Fig. 7 ausschnittsweise ein Projektionsobjektiv 13 sowie einen auf einem Wafertisch 60 gelagerten, als lichtempfindliches Substrat dienenden Wafer 17, wobei sich die in Fig. 7 gezeigte Anordnung von der in Fig. 6 gezeigten Anordnung im Wesentlichen dadurch unterscheidet, dass die Ausdehnung der Immersionsflüssigkeit 22 auf einen Bereich 72 zwischen dem Wafer 17 und dem letzten optischen Element 1 des Projektionsobjektivs 13 beschränkt ist. Der Wafer 17 ist hierbei so angeordnet, dass seine ebene Substratoberfläche 18 im Wesentlichen mit der Bildebene 19 des Projektionsobjektivs 13 zusammenfällt. Der Wafertisch 60 und mit ihm der Wafer 17 ist mittels einer nicht dargestellten Verschiebe-Einrichtung in X-Richtung verfahrbar, so dass bei der Belichtung unterschiedliche Bereiche auf dem Wafer 17 angefahren werden können.

Durch eine Zuführeinrichtung 70 und eine Absaugeinrichtung 71 wird die Immersionsflüssigkeit 22 einerseits dem Bereich 72 zwischen dem letzten

optischen Element 1 und dem Wafer 17 zugeführt und andererseits aus diesem abgesaugt, so dass die Immersionsflüssigkeit 22 auch während der Bewegung des Wafertisches 60 auf den Bereich 72 zwischen der Zuführeinrichtung 70 und der Absaugeinrichtung 71 begrenzt bleibt. Die Absaugeinrichtung 71
5 arbeitet in der Regel mit einem Unterdruck gegenüber der Umgebung, sodass die Immersionsflüssigkeit 22 leicht über einen Einlass 73 aufgenommen werden kann. Dadurch kann ein kontinuierlicher (und dynamischer) Austausch der Immersionsflüssigkeit 22 erfolgen, die auf den gerade zur Belichtung verwendeten Teilbereich der Substratoberfläche 18 begrenzt bleibt.

10

Die lokale Benetzung im Bereich 72 bietet den Vorteil, dass nur kleine Mengen an Immersionsflüssigkeit 22 bei der Verschiebung des Wafertisches 60 beschleunigt werden müssen. Damit kommt es nicht zu unerwünschten Turbulenzen in der Immersionsflüssigkeit 22 und auch eine Wellenbildung
15 aufgrund der Trägheit der Immersionsflüssigkeit 22 kann vermieden werden.

20

An dem Wafertisch 60, genauer gesagt an seiner Oberseite 64, ist im vorliegenden Beispiel eine Schicht 6 aus Graphen gebildet, welche hydrophobe Eigenschaften aufweist. Auf diese Weise kann beispielsweise bei einer
ruckartigen Bewegung des Wafertisches 60 und/oder beim Austausch des Wafers 17 gegen einen anderen Wafer (z.B. in X-Richtung) verhindert werden, dass Teile der Immersionsflüssigkeit, die nicht von der Absaugeinrichtung 71 aufgenommen werden und auf einen nicht vom Wafer 17 bedeckten Bereich der Oberseite 64 des Wafertisches 60 gelangen, diese in unerwünschter Weise
25 benetzen.

30

Hierbei erweist es sich als günstig, dass der Wafertisch 60 in der Regel während des Betriebs verschoben und beschleunigt wird, wobei aufgrund der hydrophoben Eigenschaften der Schicht 6 die Reste der Immersionsflüssigkeit
22 auf der Oberseite 64 des Wafertisches 60 aufgrund der Trägheit nicht mit beschleunigt werden und somit entgegen der Beschleunigungsrichtung des

Wafertisches 60 bewegt werden bzw. zurück bleiben. Auf diese Weise können die Flüssigkeitsreste bis zum Rand des Wafertisches 60 gelangen und dort abperlen oder ggf. mittels einer geeigneten Auffang-Einrichtung aufgefangen werden. Um eine möglichst hohe Beweglichkeit der Flüssigkeitstropfen auf der

5 Oberfläche 64 sicherzustellen, sollte der Kontaktwinkel der hydrophoben Schicht 6 mit dem Immersionswasser 22 ausreichend groß gewählt werden.

Patentansprüche

1. Optische Anordnung für die Immersionslithographie, insbesondere Projektionsbelichtungsanlage (10), umfassend:
mindestens ein Bauelement (1, 1a, 60), welches beim Betrieb der optischen Anordnung (10) zumindest teilweise mit Wasser als Immersionsflüssigkeit (22) benetzt ist,
dadurch gekennzeichnet,
dass das mindestens eine Bauelement (1, 1a, 60) mindestens eine Schicht (6) aufweist, die ein Material enthält, dessen Kontaktwinkel mit der Immersionsflüssigkeit (22) wahlweise hydrophob oder hydrophil einstellbar ist.
2. Optische Anordnung nach Anspruch 1, bei welcher die Schicht (6) Graphen enthält.
3. Optische Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, bei welcher die Schicht (6) Co_3O_4 -Nanostäbchen-Arrays enthält.
4. Optische Anordnung nach dem Oberbegriff von Anspruch 1, insbesondere nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher das mindestens eine Bauelement (1, 1a) mindestens eine Schicht (6) mit mindestens einem hydrophilen Oberflächenbereich (8) aufweist.
5. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher die Schicht (6) mindestens einen hydrophoben Oberflächenbereich (7) aufweist.

6. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher die Schicht (6) mindestens einen Oberflächenbereich (9) aufweist, an dem der Kontaktwinkel ortsabhängig variiert.
7. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welcher das Bauteil als optisches Element (1, 1a) aus einem für Wellenlängen im UV-Bereich transparenten Material gebildet ist.
8. Optische Anordnung nach Anspruch 7, weiter umfassend:
ein Projektionsobjektiv (13) zur Ausbildung einer Struktur auf einem lichtempfindlichen Substrat (17), wobei das optische Element (1, 1a) in dem Projektionsobjektiv (13) vorgesehen ist und das in Projektionsrichtung letzte oder vorletzte optische Element (1, 1a) bildet.
9. Optische Anordnung nach Anspruch 8, bei welcher an dem optischen Element (1) ein Oberflächenbereich (4a) zum Durchtritt von Strahlung des Projektionsobjektivs (13) gebildet ist, der von der Schicht (6) überdeckt ist.
10. Optische Anordnung nach Anspruch 9, bei welcher die Schicht (6) zumindest in dem Oberflächenbereich (4a) zum Durchtritt von Strahlung aus Graphen gebildet ist, welches eine Dicke von höchstens 10 nm aufweist.
11. Optische Anordnung nach einem der Ansprüche 7 bis 10, weiter umfassend: eine Temperiereinrichtung (40, 50) zum Temperieren des mindestens einen optischen Elements (1).
12. Optische Anordnung nach Anspruch 11, bei der die Temperiereinrichtung eine Kühleinrichtung (40) zum Kühlen zumindest eines Teilbereichs des optischen Elements (1) umfasst.

13. Optische Anordnung nach Anspruch 11 oder 12, bei dem die Temperiereinrichtung eine Heizeinrichtung (50) zum Heizen des optischen Elements (1), bevorzugt zumindest eines Teilbereichs (51) der Schicht (6), insbesondere zum elektrischen resistiven Heizen zumindest eines Teilbereichs (51) der Schicht (6), umfasst.
14. Optische Anordnung nach einem der Ansprüche 8 bis 13, weiter umfassend:
ein lichtempfindliches Substrat (17), sowie Wasser als Immersionsflüssigkeit (22), welche zwischen dem lichtempfindlichen Substrat (17) und dem benachbart zum Substrat (17) angeordneten optischen Element (1; 1a) und/oder zwischen dem letzten und dem vorletzten optischen Element (1, 1a) des Projektionsobjektivs (13) eingebracht ist.
15. Optische Anordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der das Bauelement als Wafertisch (60) zum Halten und Manipulieren eines lichtempfindlichen Substrats (17) ausgebildet ist.
16. Optisches Element (1, 1a) aus einem für UV-Strahlung transparenten Material,
dadurch gekennzeichnet,
dass an dem optischen Element (1, 1a) mindestens eine Schicht (6) angebracht ist, die ein Material enthält, dessen Kontaktwinkel mit Wasser wahlweise hydrophob oder hydrophil einstellbar ist.
17. Optisches Element nach Anspruch 16, bei welchem die Schicht (6) Graphen enthält.
18. Optisches Element nach Anspruch 16 oder 17, bei welchem die Schicht (6) Co_3O_4 -Nanostäbchen-Arrays enthält.

19. Optisches Element nach einem der Ansprüche 16 bis 18, welches einen planen Oberflächenbereich (2) aufweist, an den sich ein konisch geformter Volumenbereich (3) anschließt.
20. Optisches Element nach Anspruch 19, bei welchem die Schicht (6) an einer konischen Mantelfläche (5) des konisch geformten Volumenbereichs (3) und/oder an dem planen Oberflächenbereich (2) gebildet ist.
21. Optisches Element nach Anspruch 19 oder 20, bei welchem die Schicht (6) sich auf eine Stirnseite (4) des konisch geformten Volumenbereichs (3), insbesondere in einen Oberflächenbereich (4a) zum Durchtritt von UV-Strahlung, erstreckt.
22. Optisches Element nach einem der Ansprüche 16 bis 21, welches mindestens einen Oberflächenbereich (9) aufweist, an dem der Kontaktwinkel ortsabhängig variiert.

1 / 5

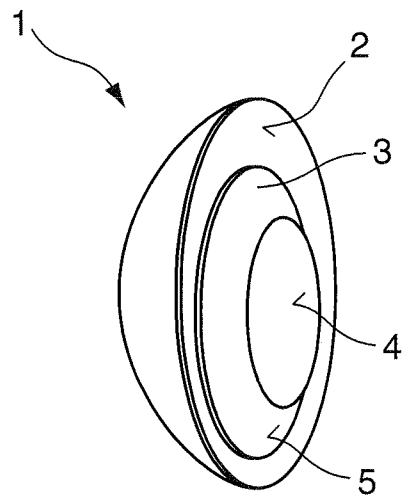


Fig. 1a

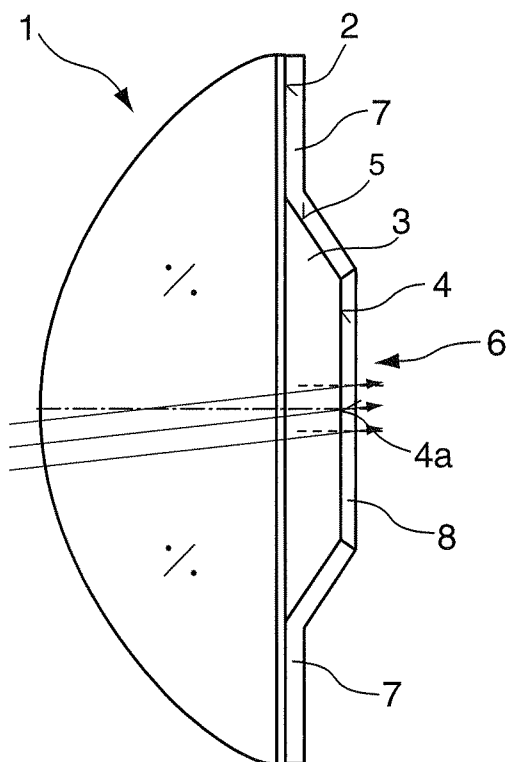


Fig. 1b

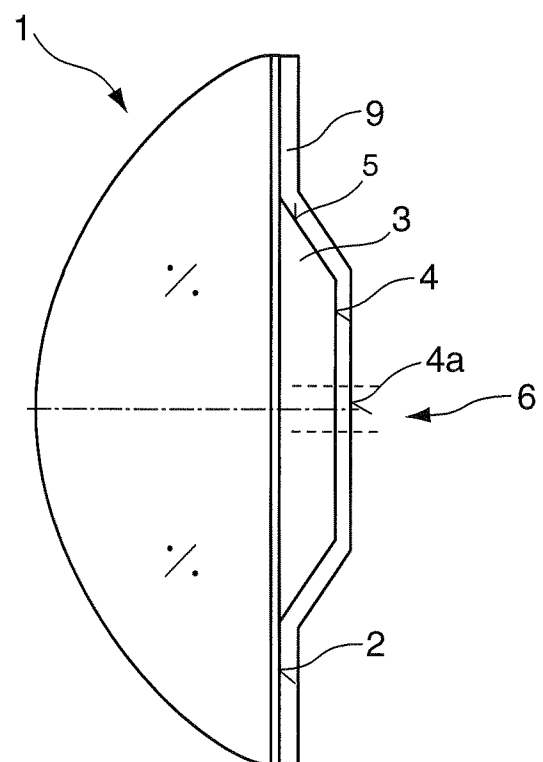


Fig. 1c

2 / 5

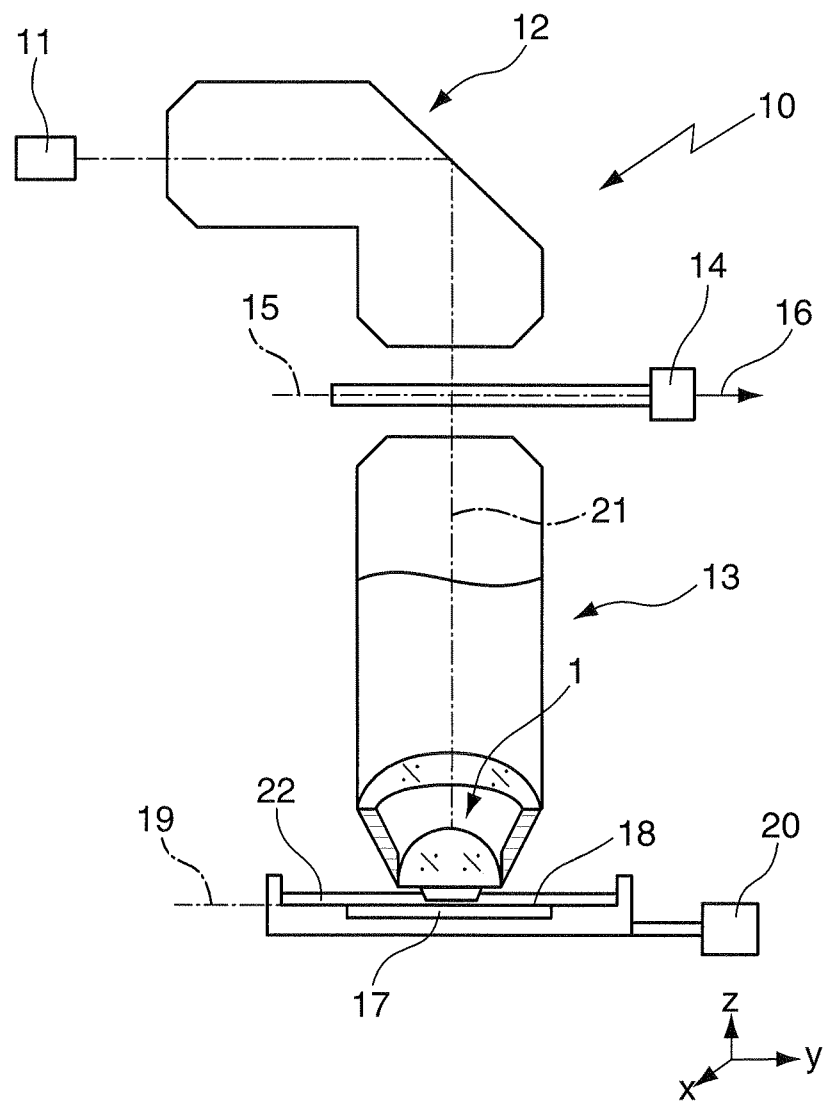


Fig. 2

3 / 5

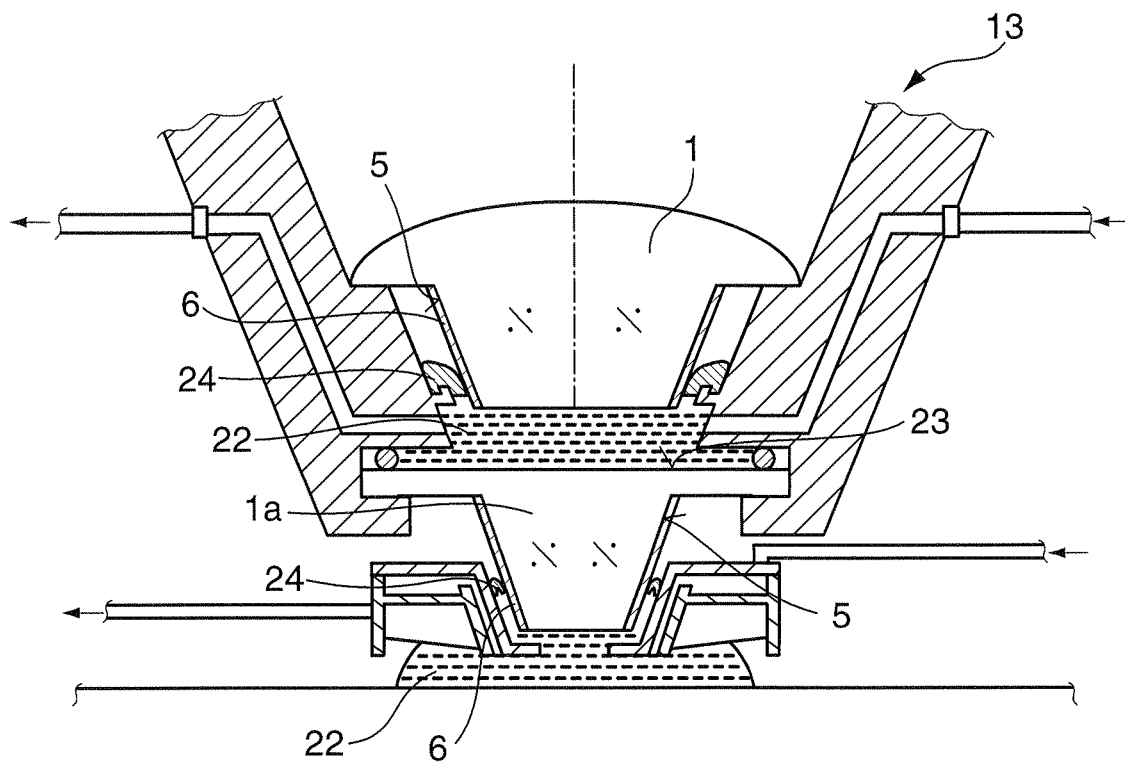


Fig. 3

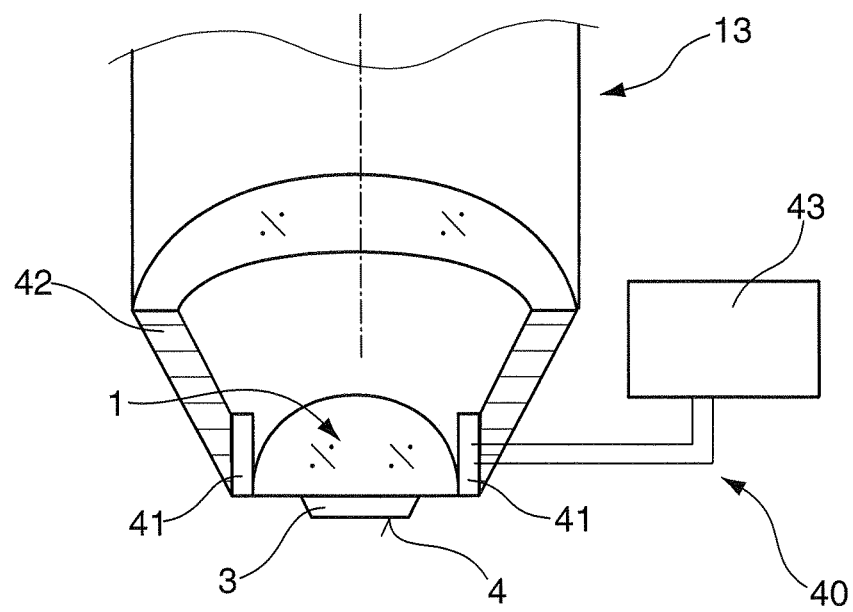


Fig. 4

4 / 5

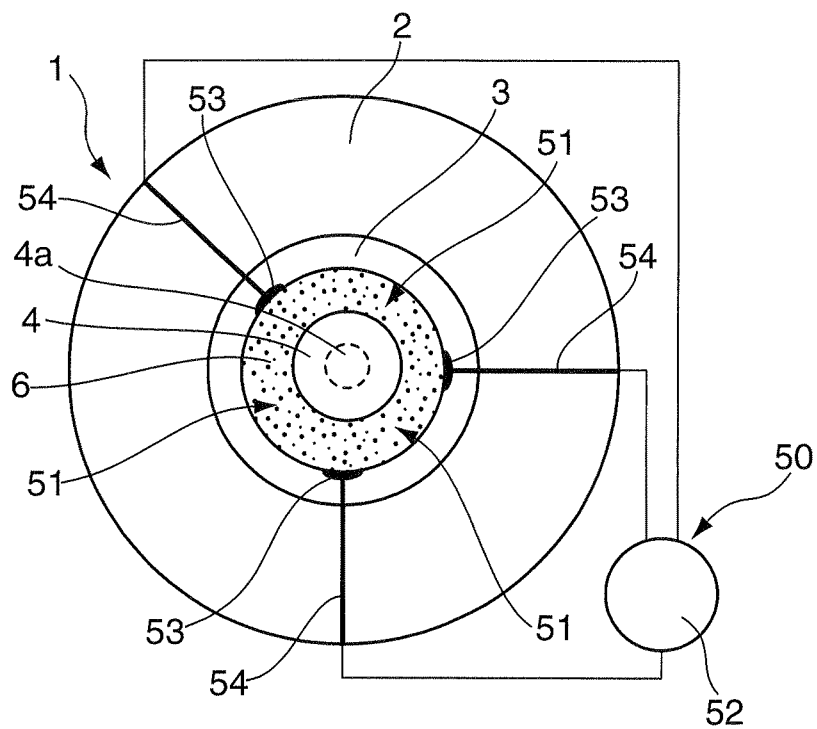


Fig. 5

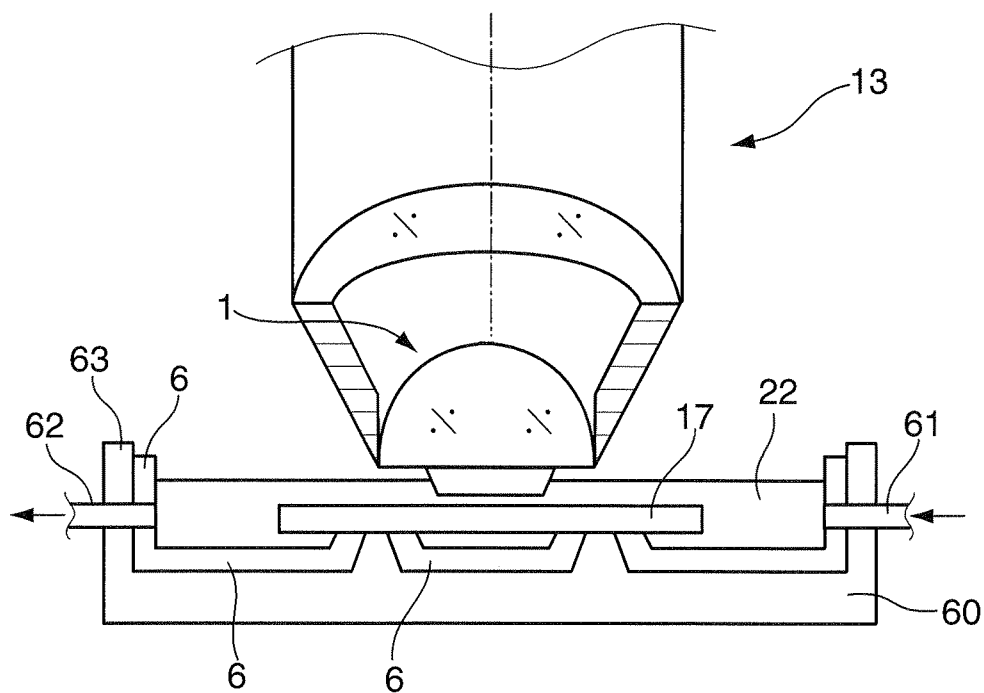


Fig. 6

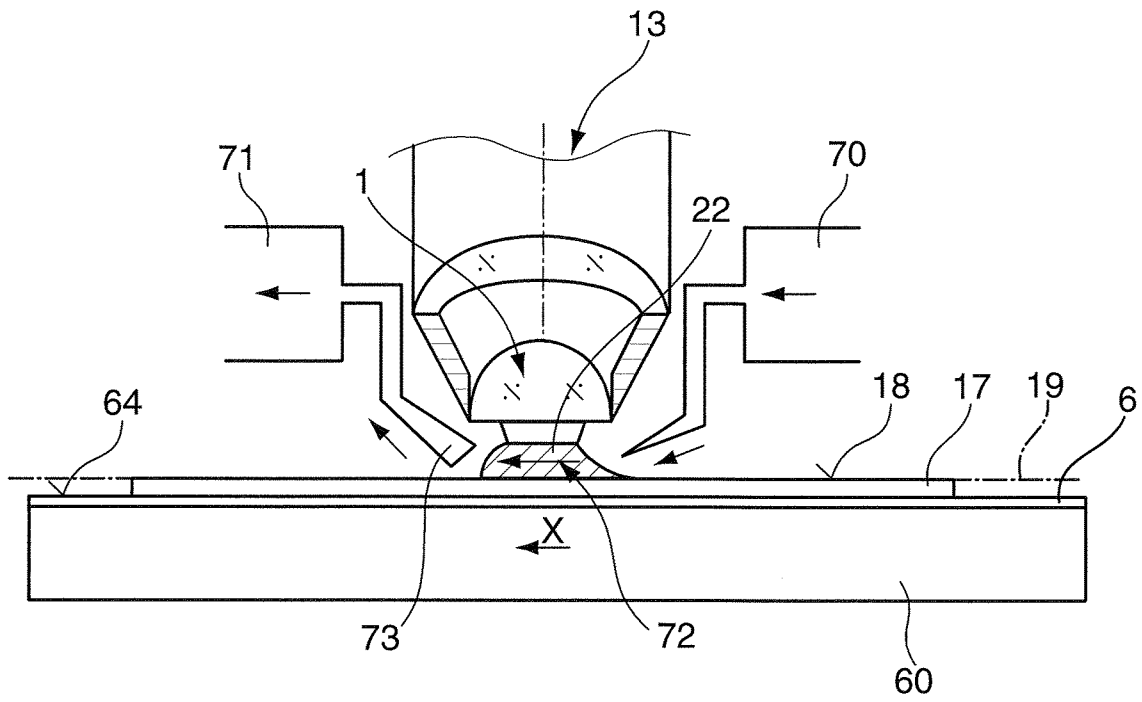


Fig. 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/071895

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G03F7/20
ADD.

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (Classification system followed by classification symbols)
H01L G03F 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	US 2009/103062 AI (VAN DE KERKHOF MARCUS ADRIANUS [NL] ET AL) 23 April 2009 (2009-04-23) abstract figures 1,5,7 paragraphs [0002] , [0057] - [0062] -----	1,4-8, 11-14, 16, 19-22
X	US 2009/168032 AI (KATE NICOLAAS TEN [NL] ET AL TEN KATE NICOLAAS [NL] ET AL TEN KATE NIC) 2 July 2009 (2009-07-02) abstract figure 1 paragraphs [0002] , [0134] - [0137] ----- - / - -	1,4-9 , 11-14, 16, 19,22



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

5 February 2013

Date of mailing of the international search report

27/02/2013

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

Andersen, Ole

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/071895

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to Claim No.
X	us 2010/283979 AI (NAKANO KATSUSHI [JP] ET AL) 11 November 2010 (2010-11-11) abstract figures 1-3 paragraphs [0003] , [0077] - [0080] -----	1,4-6, 15
A	JP 6 228343 A (HAMAMATSU PHOTONICS KK) 16 August 1994 (1994-08-16) abstract figures 1-5 -----	1, 16

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2012/071895

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2009103062	AI	23-04-2009	JP 4795411 B2 19-10-2011
			JP 2009164573 A 23-07-2009
			JP 2011238961 A 24-11-2011
			NL 1035908 AI 26-03-2009
			US 2009103062 AI 23-04-2009
			US 2012274912 AI 01-11-2012

US 2009168032	AI	02-07-2009	JP 5008640 B2 22-08-2012
			JP 2009141357 A 25-06-2009
			NL 1036187 AI 04-06-2009
			US 2009168032 AI 02-07-2009

US 2010283979	AI	11-11-2010	TW 201017347 A 01-05-2010
			US 2010283979 AI 11-11-2010
			WO 2010050240 AI 06-05-2010

JP 6228343	A	16-08-1994	NONE

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2012/071895

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. G03F7/20

ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

H01L G03F 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	US 2009/103062 AI (VAN DE KERKHOF MARCUS ADRIANUS [NL] ET AL) 23. April 2009 (2009-04-23) Zusammenfassung Abbildungen 1,5,7 Absätze [0002] , [0057] - [0062] -----	1,4-8, 11-14, 16, 19-22
X	US 2009/168032 AI (KATE NICOLAAS TEN [NL] ET AL TEN KATE NICOLAAS [NL] ET AL TEN KATE NICOLAAS [NL] ET AL TEN) 2. Juli 2009 (2009-07-02) Zusammenfassung Abbildung 1 Absätze [0002] , [0134] - [0137] ----- - / - -	1,4-9 , 11-14, 16, 19, 22

☒ 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

5. Februar 2013

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

27/02/2013

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

Andersen, Ole

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2012/071895

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2010/283979 AI (NAKANO KATSUSHI [JP] ET AL) 11. November 2010 (2010-11-11) Zusammenfassung Abbildungen 1-3 Absätze [0003] , [0077] - [0080] -----	1,4-6, 15
A	JP 6 228343 A (HAMAMATSU PHOTONICS KK) 16. August 1994 (1994-08-16) Zusammenfassung Abbildungen 1-5 -----	1, 16

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2012/071895

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2009103062 AI	23-04-2009	JP 4795411 B2	19-10-2011
		JP 2009164573 A	23-07-2009
		JP 2011238961 A	24-11-2011
		NL 1035908 AI	26-03-2009
		US 2009103062 AI	23-04-2009
		US 2012274912 AI	01-11-2012

US 2009168032 AI	02-07-2009	JP 5008640 B2	22-08-2012
		JP 2009141357 A	25-06-2009
		NL 1036187 AI	04-06-2009
		US 2009168032 AI	02-07-2009

US 2010283979 AI	11-11-2010	TW 201017347 A	01-05-2010
		US 2010283979 AI	11-11-2010
		WO 2010050240 AI	06-05-2010

JP 6228343 A	16-08-1994	KEI 11E	
