

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

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

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Veröffentlicht:

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

Verfahren zum Reparieren von reflektiven optischen Elementen für die EUV-Lithographie

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Reparieren von reflektiven optischen Elementen für die EUV-Lithographie, die ein Substrat und eine Beschichtung aufweist, die bei einer Arbeitswellenlänge im Bereich zwischen 5 nm und 20 nm reflektiert. Ferner bezieht sie sich auf einen Kollektorspiegel für die EUV-Lithographie, der ein Substrat und eine Beschichtung aufweist, die bei einer Arbeitswellenlänge im Bereich zwischen 5 nm und 20 nm reflektiert.

In EUV-Lithographievorrichtungen werden zur Lithographie von Halbleiterbauelementen reflektive optische Elemente für den extremen ultravioletten (EUV) Wellenlängenbereich (z.B. Wellenlängen zwischen ca. 5 nm und 20 nm) wie etwa Photomasken oder Spiegel auf der Basis von Viellagensystemen für quasi-normalen Einfall oder Spiegel mit metallischer Oberfläche für streifenden Einfall eingesetzt. Da EUV-Lithographievorrichtungen in der Regel mehrere reflektive optische Elemente aufweisen, müssen diese eine möglichst hohe Reflektivität aufweisen, um eine hinreichend hohe Gesamtreflektivität sicherzustellen. Die Reflektivität und die Lebensdauer der reflektiven optischen Elemente kann durch Kontamination der optisch genutzten Beschichtung der reflektiven optischen Elemente, die aufgrund der kurzwelligen Bestrahlung zusammen mit Restgasen in der Betriebsatmosphäre entsteht, reduziert werden. Da üblicherweise in einer EUV-Lithographievorrichtung mehrere reflektive optische Elemente hintereinander angeordnet sind, wirken sich auch schon geringere Kontaminationen auf jedem einzelnen reflektiven optischen Element in größerem Maße auf die Gesamtreflektivität aus.

Kontamination kann beispielsweise aufgrund von Feuchtigkeitsrückständen auftreten. Dabei werden Wassermoleküle durch die EUV-Strahlung aufgespalten und die resultierenden Sauerstoffradikale oxidieren die optisch aktiven Flächen der reflektiven optischen Elemente. Eine weitere Kontaminationsquelle sind Kohlenwasserstoffe, die beispielsweise aus den in EUV-Lithographievorrichtungen verwendeten Vakuumpumpen stammen können oder von Rückständen von Photolacken, die auf den zu strukturierenden Halbleitersubstraten verwendet werden, und die unter Einfluss der Betriebsstrahlung zu Kohlenstoffkontaminationen auf den reflektiven optischen Elementen führen. Bei Kollektorspiegeln, die in Verbindung mit einer laserbasierten EUV-Plasmalichtquelle im Einsatz sind, kommt als zusätzliche Kontaminationsquelle das Material, dass zu einem

Plasma angeregt wird, beispielsweise Zinn, hinzu. Während oxidative Kontaminationen in der Regel irreversibel sind, lassen sich insbesondere Kohlenstoffkontaminationen und ggf. Zinn u.a. durch Behandlung mit reaktivem Wasserstoff entfernen, indem der reaktive Wasserstoff damit zu flüchtigen Verbindungen reagiert. Bei reaktivem Wasserstoff kann es
5 sich um Wasserstoffradikale oder auch ionisierte Wasserstoffatome oder -moleküle handeln.

Es ist allerdings beobachtet worden, dass es unter dem Einfluss von reaktivem Wasserstoff, der zur Reinigung verwendet wird oder aufgrund der Wechselwirkung der EUV-Strahlung mit in der Restatmosphäre vorhandenem Wasserstoff entstehen kann, zur Blasenbildung bei
10 der reflektierenden Beschichtung und sogar zum Ablösen von Schichten oder einzelnen Lagen kommen kann, insbesondere dicht an der Oberfläche von Viellagensystemen. Die makroskopische Blasenbildung bzw. Delaminierung wird insbesondere bei Kollektorspiegeln beobachtet, die verglichen mit anderen reflektiven optischen Elementen einer EUV-Lithographievorrichtung in besonderem Maße reaktivem Wasserstoff ausgesetzt sind. Die
15 Blasenbildung oder Delaminierung kann insbesondere an Defekten in der Beschichtung der reflektiven optischen Elemente auftreten.

Die Delaminierung wird durch das Eindringen von reaktivem Wasserstoff in die reflektive Beschichtung, insbesondere an mechanischen oder bei der Beschichtung aufgetretenen
20 Defekten verursacht. Der eindiffundierte reaktive Wasserstoff kann zu molekularem Wasserstoff rekombinieren und so zu Blasenbildung und im schlimmsten Fall Aufbrechen bzw. Abblättern der Beschichtung führen. Derartige Schadstellen können eine hohe Reflexion im infraroten Wellenlängenbereich aufweisen. Dies ist insbesondere bei Kollektorspiegeln problematisch. Denn bei ihnen tritt die höchste Wärmelast auf, u.a.
25 aufgrund der Infrarotlaser, die in der Strahlungsquelle eingesetzt sein können, und bei Reflexion der Wärmestrahlung in Richtung Strahlengang der EUV-Lithographievorrichtung können insbesondere die nachfolgenden reflektiven optischen Elemente geschädigt werden.

Der bisherige Ansatz bestand bisher darin, insbesondere durch Wasserstoff-bedingte
30 Blasenbildung beschädigte reflektive optische Elemente dadurch zu reparieren, dass die beschädigte Beschichtung vollständig entfernt und das Substrat neu beschichtet wurde.

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen alternativen Weg zum Reparieren von durch Wasserstoff beschädigten reflektiven optischen Elementen für die EUV-
35 Lithographie vorzuschlagen.

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zum Reparieren von reflektiven optischen Elementen für die EUV-Lithographie, die ein Substrat und eine Beschichtung aufweist, die bei einer Arbeitswellenlänge im Bereich zwischen 5 nm und 20 nm reflektiert, mit den

5 Schritten:

- Lokalisieren einer Schadstelle in der Beschichtung;
- Abdecken der Schadstelle mit einem oder mehreren Materialien, indem auf die Schadstelle ein Abdeckelement aufgebracht wird, wobei das Abdeckelement mit einer Oberflächenstruktur, einer konvexen oder konkaven Oberfläche oder einer Beschichtung
- 10 entsprechend der Beschichtung des reflektiven optischen Elements oder einer Kombination davon ausgebildet wird.

Unter Beschichtung seien sowohl Beschichtungen auf Basis von Viellagensystemen, die besonders für den normalen und quasi-normalen Einfall geeignet sind und auf Bragg-
15 Reflexion beruhen, als auch Beschichtungen mit nur einer oder wenigen Lagen, die für den streifenden Einfall geeignet sind und auf Totalreflexion beruhen. Außerdem kann die Beschichtung zusätzliche Schichten wie u.a. Schutzschichtsysteme als Abschluss zum Vakuum, Polier- bzw. Glattschichten auf dem Substrat oder Spektralfilterschichten zum Ablenken von ungewollten Strahlungswellenlängenbereichen wie etwa Infrarotstrahlung
20 aufweisen.

Das Lokalisieren von Schadstellen, insbesondere Blasen, Abplatzungen, Kratzer und Risse kann händisch durch in Augenscheinnahme geschehen, da sie in vielen Fällen eine makroskopische Ausdehnung aufweisen. Es kann auch unterstützt durch
25 Inspektionssysteme geschehen, mit denen die Oberfläche der Beschichtung abgerastert wird.

Es hat sich herausgestellt, dass durch das gezielte Abdecken der Schadstellen mit einem Abdeckelement aus einem oder mehreren Materialien, insbesondere mit geringer
30 Wasserstoffdurchlässigkeit, eine hinreichend dauerhafte Reparatur beschädigter reflektiver optischer Element bei geringem zeitlichen und monetärem Aufwand erreicht werden kann, um den Betrieb einer EUV-Lithographievorrichtung aufrechterhalten zu können. Zudem können die Abdeckelemente bereits auf Vorrat vorbereitet werden können und, falls eine Schadstelle bei einer Inspektion lokalisiert wird, sofort aufgebracht werden oder ggf. schnell
35 an die Flächengestalt angepasst werden, um eine möglichst gute Abdeckung zu erreichen.

Dies erlaubt ein sehr schnelles Reparieren. Eine Oberflächenstruktur kann dazu beitragen, dass unerwünschte Strahlungsanteile wie beispielsweise aus dem ultravioletten oder infraroten Wellenlängenbereich in eine andere Richtung reflektiert werden als die Strahlung im Bereich der Arbeitswellenlänge. Dies kann auch mit konvexen oder konkaven

- 5 Oberflächen erreicht werden. Besonders bevorzugt sind Abdeckeinheiten in Form von konvexen Kappen. Sie haben zusätzlich den Vorteil, dass mit ihnen gleichermaßen Blasen und Abplatzungen gut abgedeckt werden können. Eine Beschichtung entsprechend der reflektiven Beschichtung auf der Oberfläche des Abdeckelements kann zu einer erhöhten Reflektivität im Bereich der Arbeitswellenlänge an der reparierten Stelle führen, im Idealfall ist sie so hoch wie an einer unbeschädigten Stelle.
- 10

Vorteilhafterweise wird das Abdeckelement mittels Klebstoffs auf der Beschichtung des reflektiven optischen Elements befestigt. Das Abdeckelement kann vollflächig oder durch Aufbringen von Klebstoffpunkten oder -teilflächen bzw. -linien befestigt werden. Bevorzugt werden Klebstoffe eingesetzt, die hitzebeständig sind und/oder im Vakuum möglichst wenig ausgasen. Weitere geeignete Möglichkeiten zur Befestigung von Abdeckelementen sind u.a. Löten, Schweißen, insbesondere Punktschweißen oder Ansprengen.

15

- Bevorzugt wird das Abdeckelement als Folie oder Abdeckeinheit ausgebildet. Eine Abdeckeinheit hat den Vorteil einer größeren mechanischen Stabilität und dass sie vorgefertigt werden kann. Eine Folie kann besser ad hoc an die zu reparierende Schadstelle sowie dem Oberflächenverlauf der Beschichtung im Bereich der Schadstelle angepasst werden.
- 20

- Bevorzugt wird das Abdeckelement mit eckiger und/oder gekrümmter Berandung ausgebildet. Insbesondere kann das Abdeckelement eine runde, eckige, polygonale oder völlig freie Form aufweisen. Vorteilhafterweise wird dabei die Berandung an die Form der Schadstelle angepasst. Besonders bevorzugt weist das Abdeckelement eine ellipsoide oder längliche Form auf. Durch geeignete Wahl der Orientierung relativ zur Scanrichtung einer EUV-Lithographievorrichtung, in der das reflektive optische Element eingesetzt wird, kann dadurch der Einfluss des Abdeckelements in Form eines abrupten Hell-Dunkelübergangs verringert werden, so dass die Abbildungsleistung der EUV-Lithographievorrichtung weniger unter der Reparatur des reflektiven optischen Elements mittels eines Abdeckelements leidet.
- 25
- 30

Bevorzugt wird ein Abdeckelement aufgebracht, das eines oder mehrere Materialien der Gruppe umfassend Metall, Stahl, Edelstahl, Invar, Aluminium, Molybdän, Tantal, Niob, Silizium, Titan, Zirkon, Hafnium, Scandium, Yttrium, Lanthan, Cer, Kupfer, Silber, Gold, Platin, Rhodium, Palladium, Ruthenium, Glas, Keramik und Aluminiumoxid aufweist. Bei diesen Materialien hat sich herausgestellt, dass besonders wenig reaktiver Wasserstoff in sie eindringt. Außerdem können aus ihnen gut Abdeckeinheiten oder Folien gefertigt werden. Ferner existieren Befestigungsmöglichkeiten, insbesondere Klebstoffe, um derartige Abdeckelemente gut auf der Beschichtung des zu reparierenden reflektiven optischen Elements zu befestigen.

In bevorzugten Ausführungsformen wird auf die Schadstelle eine Abdeckbeschichtung aufgebracht. Eine Abdeckbeschichtung ist vor allem geeignet, um bei abgeplatzten Blasen ein weiteres Delaminieren der Beschichtung möglichst zu reduzieren.

Bevorzugt wird die Abdeckbeschichtung durch Verzinnen, Vergolden, Galvanisieren, Oxidieren, Nitridisieren und/oder Abscheidung mittels Atmosphärendruck-Plasmas aufgebracht wird. Das Verzinnen und Vergolden kann beispielsweise über Metallschmelzen oder Folien geschehen. Die genannten Vorgehensweisen haben sich alle bewährt, um auf Schadstellen der Beschichtung von reflektiven optischen Elementen Material aufzubringen, das die Schadstelle abdeckt. So kann ein sich Vergrößern der Schadstelle unterdrückt werden. Die Vorgehensweisen können miteinander kombiniert werden, um verschiedene Schichten auf die Schadstelle aufzubringen. Das Aufbringen einer Abdeckbeschichtung kann händisch oder automatisiert mit Hilfe von beispielsweise einem Roboterarm durchgeführt werden.

Vorteilhafterweise wird als Abdeckbeschichtung eine Metallschicht aufweisend aufweisend Gold, Platin, Rhodium, Palladium, Ruthenium, Molybdän, Tantal, Niob, Silizium, Titan, Zirkon, Hafnium, Aluminium, Scandium, Yttrium, Lanthan und/oder Cer durch Galvanisieren aufgebracht oder mittels Atmosphärendruck-Plasma eine Abdeckbeschichtung aufweisend eines oder mehrere der Gruppe aus Molybdän, Tantal, Niob, Silizium, Titan, Zirkon, Hafnium, Aluminium, Scandium, Yttrium, Lanthan, Cer, deren Oxide, deren Nitride, deren Carbide, deren Boride, Gold, Platin, Rhodium, Palladium, Ruthenium, Kohlenstoff, Borkarbid und Bornitrid. Diese Materialien haften einerseits gut auf den üblichen Beschichtungsmaterialien von reflektiven optischen Elementen und bieten andererseits einen guten Schutz gegen reaktiven Wasserstoff.

In bevorzugten Ausführungsformen wird vor dem Abdecken der Schadstelle Beschichtungsmaterial in ihrem Bereich abgetragen. Insbesondere vor dem Aufbringen einer Folie, einer Abdeckeinheit oder einer Abdeckbeschichtung lässt sich durch diese Vorbehandlung ein Ausdehnen der Schadstelle mit der Zeit besser vermeiden. Auch die Festigkeit und die Dauerhaftigkeit der Abdeckelemente bzw. der Abdeckbeschichtung kann dadurch erhöht werden.

Ferner wird die Aufgabe gelöst durch einen Kollektorspiegel für die EUV-Lithographie, der ein Substrat und eine Beschichtung aufweist, die bei einer Arbeitswellenlänge im Bereich zwischen 5 nm und 20 nm reflektiert, wobei die Beschichtung lokal ein Abdeckelement aufweist, wobei das Abdeckelement eine Oberflächenstruktur, eine konvexe oder konkave Oberfläche oder eine Beschichtung entsprechend der Beschichtung des Kollektorspiegels oder eine Kombination davon aufweist.

Es hat sich herausgestellt, dass Kollektorspiegel, die wegen wasserstoffinduzierter Schadstellen mit Abdeckelementen repariert wurden eine gute Resistenz auch nach einem Reinigungszyklus mit reaktivem Wasserstoff oder während des laufenden Betriebs zusammen mit einer Plasmastrahlungsquelle gegen weitere wasserstoffinduzierte Schadstellen an den reparierten Stellen aufweisen. Zudem ist der Reparaturaufwand geringer als bei Entfernen und neuem Aufbringen der Beschichtung auf den Kollektorspiegel. Insbesondere sind die Stillstandzeiten einer EUV-Lithographievorrichtung, in der der Kollektorspiegel eingesetzt ist, deutlich reduziert. Eine Oberflächenstruktur kann dazu beitragen, dass unerwünschte Strahlungsanteile wie beispielsweise aus dem infraroten Wellenlängenbereich in eine andere Richtung reflektiert werden als die Strahlung im Bereich der Arbeitswellenlänge. Dies kann auch mit konvexen oder konkaven Oberflächen erreicht werden. Besonders bevorzugt sind Abdeckeinheiten in Form von konvexen Kappen. Sie haben zusätzlich den Vorteil, dass mit ihnen gleichermaßen Blasen und Abplatzungen gut abgedeckt werden können und insbesondere langwellige Strahlung wie Infrarotstrahlung in keine Vorzugsrichtung reflektieren. Eine Beschichtung entsprechend der reflektiven Beschichtung auf der Oberfläche des Abdeckelements kann zu einer erhöhten Reflektivität im Bereich der Arbeitswellenlänge an der reparierten Stelle führen, im Idealfall ist sie so hoch wie an einer unbeschädigten Stelle. Weitere bevorzugte Ausgestaltungen von Abdeckeinheiten sind beispielsweise Plättchen oder dünne Bleche.

In bevorzugten Ausführungsformen wird das Abdeckelement als Folie oder Abdeckeinheit ausgebildet. Eine Abdeckeinheit hat den Vorteil einer größeren mechanischen Stabilität und dass sie vorgefertigt werden kann. Eine Folie kann besser ad hoc an die zu reparierende Schadstelle sowie dem Oberflächenverlauf der Beschichtung im Bereich der Schadstelle angepasst werden.

Bevorzugt weist das Abdeckelement eines oder mehrere der Materialien der Gruppe Metall, Stahl, Edelstahl, Invar, Aluminium, Molybdän, Tantal, Niob, Silizium, Titan, Zirkon, Hafnium, Scandium, Yttrium, Lanthan, Cer, Kupfer, Silber, Gold, Platin, Rhodium, Palladium, Ruthenium, Glas, Keramik und Aluminiumoxid auf. Bei diesen Materialien hat sich herausgestellt, dass besonders wenig reaktiver Wasserstoff in sie eindringt. Außerdem kann aus ihnen gut Abdeckeinheiten oder Folien gefertigt werden. Ferner lassen sie sich gut auf der Beschichtung eines Kollektorspiegels für die EUV-Lithographie befestigen.

Vorteilhafterweise weist die Beschichtung lokal eine Abdeckbeschichtung auf, insbesondere zum Versiegeln einer Schadstelle.

In bevorzugten Ausführungsformen weist die Abdeckbeschichtung eines oder mehrere der Materialien der Gruppe Molybdän, Tantal, Niob, Silizium, Titan, Zirkon, Hafnium, Aluminium, Scandium, Yttrium, Lanthan, Cer, deren Oxide, deren Nitride, deren Karbide, deren Boride, Gold, Platin, Rhodium, Palladium, Ruthenium, Kohlenstoff, Borkarbid und Bornitrid auf. Diese Materialien haften einerseits gut auf den üblichen Beschichtungsmaterialien von Kollektorspiegeln für die EUV-Lithographie und bieten andererseits einen guten Schutz gegen reaktiven Wasserstoff.

Die vorliegende Erfindung soll unter Bezugnahme auf bevorzugte Ausführungsbeispiele näher erläutert werden. Dazu zeigen

Figur 1 schematisch eine Ausführungsform einer EUV-Lithographievorrichtung mit reflektiven optischen Elementen;

Figur 2 schematisch den Aufbau eines exemplarischen reflektiven optischen Elements für die EUV-Lithographie, das als Kollektorspiegel ausgebildet ist;

Figur 3 schematisch ein reflektives optisches Element für die EUV-Lithographie mit unterschiedlichen Schadstellen;

Figur 4 das reflektive optische Element aus Figur 3, nachdem die unterschiedlichen Schadstellen auf verschiedene Weise repariert wurden;

Figur 5a schematisch ein weiteres reflektives optisches Element, das mit Hilfe eines Abdeckelements repariert wurde; und

Figuren 5b-e schematisch verschiedene Ausführungen des Abdeckelements aus Figur 5a.

In Figur 1 ist schematisch eine EUV-Lithographievorrichtung 10 dargestellt. Wesentliche Komponenten sind das Beleuchtungssystem 14, die Photomaske 17 und das Projektionssystem 20. Die EUV-Lithographievorrichtung 10 wird unter Vakuumbedingungen betrieben, damit die EUV-Strahlung in ihrem Inneren möglichst wenig absorbiert wird.

Als Strahlungsquelle 12 kann beispielsweise eine Plasmaquelle oder auch ein Synchrotron dienen. Im hier dargestellten Beispiel handelt es sich um eine Plasmaquelle. Die emittierte Strahlung im Wellenlängenbereich von etwa 5 nm bis 20 nm wird zunächst vom Kollektorspiegel 13 gebündelt. Der Betriebsstrahl wird dann in das Beleuchtungssystem 14 eingeführt. Im in Figur 1 dargestellten Beispiel weist das Beleuchtungssystem 14 zwei Spiegel 15, 16 auf. Die Spiegel 15, 16 leiten den Strahl auf die Photomaske 17, die die Struktur aufweist, die auf den Wafer 21 abgebildet werden soll. Bei der Photomaske 17 handelt es sich ebenfalls um ein reflektives optisches Element für den EUV- und weichen Röntgenwellenlängenbereich, das je nach Herstellungsprozess ausgewechselt wird. Mit Hilfe des Projektionssystems 20 wird der von der Photomaske 17 reflektierte Strahl auf den Wafer 21 projiziert und dadurch die Struktur der Photomaske auf ihn abgebildet. Das Projektionssystem 20 weist im dargestellten Beispiel zwei Spiegel 18, 19 auf. Es sei darauf hingewiesen, dass sowohl das Projektionssystem 20 als auch das Beleuchtungssystem 14 jeweils nur einen oder auch drei, vier, fünf und mehr Spiegel aufweisen können.

Im hier dargestellten Beispiel handelt es sich bei dem Kollektorspiegel 13 um einen Spiegel für quasi-normalen Einfall, dessen Beschichtung 52 auf einem Viellagensystem 54

basiert, wie schematisch in Figur 2 dargestellt. Dabei handelt es sich um alternierend aufgetragene Schichten eines Materials mit höherem Realteil des Brechungsindex bei der Arbeitswellenlänge, bei der beispielsweise die lithographische Belichtung durchgeführt wird, (auch Spacer 57 genannt) und eines Materials mit niedrigerem Realteil des Brechungsindex bei der Arbeitswellenlänge (auch Absorber 56 genannt), wobei ein Absorber-Spacer-Paar einen Stapel 55 bildet. Dadurch wird in gewisser Weise ein Kristall simuliert, dessen Netzebenen den Absorberschichten entsprechen, an denen Bragg-Reflexion stattfindet. Die Dicken der einzelnen Schichten 57, 56 wie auch der sich wiederholenden Stapel 55 können über das gesamte Viellagensystem 54 konstant sein oder auch variieren, je nach dem, welches spektrale oder winkelabhängige Reflexionsprofil erreicht werden soll. Das Reflexionsprofil kann auch gezielt beeinflusst werden, indem die Grundstruktur aus Absorber 56 und Spacer 57 um weitere mehr und weniger absorbierende Materialien ergänzt wird, um die mögliche maximale Reflektivität bei der jeweiligen Arbeitswellenlänge zu erhöhen. Dazu können in manchen Stapeln Absorber und/oder Spacer-Materialien gegeneinander ausgetauscht werden oder die Stapel aus mehr als einem Absorber- und/oder Spacermaterial aufgebaut werden. Die Absorber- und Spacermaterialien können über alle Stapel konstante oder auch variierende Dicken aufweisen, um die Reflektivität zu optimieren. Ferner können auch zusätzliche Schichten als Diffusionsbarrieren zwischen Spacer- und Absorberschichten 57, 56 vorgesehen werden. Eine beispielsweise für eine Arbeitswellenlänge von 13,4 nm übliche Materialkombination ist Molybdän als Absorber- und Silizium als Spacermaterial. Dabei hat ein Stapel 55 meist eine Dicke von 6,7 nm, wobei die Spacerlage 57 meist dicker ist als die Absorberschicht 56.

Im hier dargestellten Beispiel weist die Beschichtung 52 auch eine Schutzschicht 53 auf, die auch aus mehr als einer Lage bestehen kann, sowie eine Spektralfilterschicht 58, die dazu dient, Strahlung aus ungewollten Wellenlängenbereichen wie etwa von der Strahlungsquelle 12 ebenfalls emittierte ultraviolette Strahlung oder die Infrarotstrahlung mit der das Plasma der Strahlungsquelle 12 angeregt wird, aus dem Strahlengang der Arbeitsstrahlung im EUV-Wellenlängenbereich zu filtern. Dazu kann die Spektralfilterschicht 58 beispielsweise eine Beugungsgitterstruktur aufweisen. In vielen Fällen ist sie aus Metalllegierungen, insbesondere aus gut bearbeitbaren und gut im Mikrometerdickenbereich aufbringbare Metalle wie Nickel-Phosphor, Kupfer, Silber oder Gold. Die Schutzschicht 53 kann beispielsweise bei einem Molybdän-Silizium-Viellagensystem u.a. aus einer Lage Siliziumnitrid und einer Lage Ruthenium als Abschluss zum Vakuum aufgebaut sein. Die Beschichtung 52 ist auf einem Substrat 51 angeordnet. Typische Substratmaterialien für

reflektive optische Elemente für die EUV-Lithographie, insbesondere Kollektorspiegel, sind Glaskeramik, Quarzglas, dotiertes Quarzglas, Silizium, Siliziumkarbid, siliziuminfiltriertes Siliziumkarbid, Kupfer, Aluminium sowie deren Legierungen.

- 5 In einer hier nicht dargestellten Variante kann der Kollektorspiegel auch als Spiegel für streifenden Einfall ausgebildet sein. Dazu kann er beispielsweise auf einem Substrat aus einer Kupfer- oder Aluminiumlegierung eine Polierschicht aus u.a. Nickel-Phosphor oder amorphem Silizium sowie darüber eine Rutheniumschicht als Beschichtung aufweisen. Optional kann er zusätzlich eine Spektralfilterschicht aufweisen. Bei einem metallischen
- 10 Substrat kann auch dieses strukturiert sein, um beispielsweise ultraviolette oder Infrarotstrahlung aus dem Strahlengang herauszufiltern.

- In dem hier dargestellten Beispiel kann die Strahlungsquelle eine Plasmastrahlungsquelle sein, bei der Zinntröpfchen mittels CO₂-Laser zu einem Plasma angeregt werden, das
- 15 Strahlung im EUV-Wellenlängenbereich emittiert. Dabei kann Zinn in die EUV-Lithographievorrichtung eindringen und sich insbesondere auf der Oberfläche des Kollektorspiegels niederschlagen. Bei den im Strahlengang folgenden reflektiven optischen Elementen ist die Zinnkontamination vernachlässigbar und es kann vor allem Kontamination auf der Basis von Sauerstoff oder Kohlenstoff auftreten. Um insbesondere die Zinn- und
- 20 Kohlenstoff-Kontamination auf den Beschichtungen der reflektiven optischen Elemente einer EUV-Lithographievorrichtung zu reduzieren, werden sie im Vakuum mit einer Beimischung von Wasserstoff bei geringem Partialdruck betrieben. Unter Einfluss der EUV-Strahlung bildet sich aus dem molekularen Wasserstoff reaktiver Wasserstoff in der Form von Wasserstoffradikalen und Wasserstoffionen. Letztere wandeln sich durch Wandstöße zu
- 25 einem großen Teil in Wasserstoffradikale um. Der reaktive Wasserstoff bildet zusammen mit den Kontaminationen flüchtige Zinn- bzw. Kohlenstoffverbindungen, die abgepumpt werden können.

- Insbesondere wenn in der Beschichtung im Betrieb oder bereits in der Fertigung
- 30 entstandene Störstellen vorliegen, wie etwa Poren, Einschlüsse, Versetzungen oder mechanische Beschädigungen, wie etwa Kratzer oder Risse, kann ein Eindringen von reaktiven Wasserstoff in die Beschichtung beobachtet werden, der innerhalb der Beschichtung oder an der Grenze zum Substrat rekombinieren kann. Die Umwandlung in molekularen Wasserstoff führt zu einer Volumenvergrößerung. Es bilden sich Blasen unter
- 35 der Oberfläche, was zu einem lokalen Abblättern eines Teils oder der gesamten

Beschichtung führen kann. Delaminierte Stellen können eine hohe Reflektivität im Infrarot-Bereich aufweisen. Dies ist insbesondere bei Kollektorspiegeln problematisch, wenn sie in Verbindung mit einer Laserplasmastrahlungsquelle eingesetzt werden, aus der wegen des Lasers nicht nur EUV-Strahlung, sondern auch Infrarot-Strahlung austritt. Sollte zu viel Infrarotstrahlung in den weiteren Strahlengang eingekoppelt werden, könnten die nachfolgenden Spiegel des optischen Systems und die Photomaske beschädigt werden.

Bislang mussten durch Wasserstoffeinfluss beschädigte reflektive optische Elemente quasi neu hergestellt werden, indem die gesamte Beschichtung entfernt und das Substrat neu beschichtet werden musste.

In Figur 3 sind exemplarisch und schematisch wasserstoffbedingte Schadstellen 63, 64, 65, 66 in einer Beschichtung 62 eines reflektiven optischen Elements 60 für die EUV-Lithographie, etwa einem Kollektorspiegel, auf einem Substrat 61 dargestellt. Die Beschichtung 62 kann beispielsweise wie zuvor bei Figur 2 erläutert aufgebaut sein, insbesondere für normalen oder quasi-normalen Einfallswinkel, oder auch wie für streifenden Einfall erläutert. Im hier dargestellten Beispiel ist die Beschichtung 62 nicht bis hinunter zum Substrat 61 beschädigt, aber dies kann bei allen Schadstellen vorkommen.

Bei der Schadstelle 63 handelt es sich um eine Blase, die durch eine Anreicherung von molekularem Wasserstoff in der Beschichtung 62 verursacht ist. Eine bereits aufgeplatzte Blase ist als Schadstelle 65 dargestellt. Bei der Schadstelle 64 ist der abgeplatzte Teil der Beschichtung 62 bereits ganz abgebrochen und liegt der darunterliegende Teil der Beschichtung 62 frei und kann durch Kontamination oder eindiffundierenden Wasserstoff beschädigt werden. An den Schadstellen 63, 64, 65 kann es zu störenden Infrarot-Reflexen kommen.

Um nun das reflektive optische Element 60 für die EUV-Lithographie, das ein Substrat 61 und eine Beschichtung 62 aufweist, die bei einer Arbeitswellenlänge im Bereich zwischen 5 nm und 20 nm reflektiert, zu reparieren, muss zunächst eine Schadstelle in der Beschichtung lokalisiert werden. Das Lokalisieren von insbesondere durch Wasserstoff bedingten Schadstellen, speziell Blasen und Abplatzungen kann beispielsweise durch Inaugenscheinnahme geschehen, da sie in vielen Fällen eine makroskopische Ausdehnung, etwa im Submillimeter bis Zentimeterbereich aufweisen. Es kann auch unterstützt durch

Inspektionssysteme geschehen, mit denen die Oberfläche der Beschichtung abgerastert wird.

5 Bevor nun die lokalisierte Schadstelle mit einem oder mehreren Materialien, bevorzugt mit geringer Wasserstoffdurchlässigkeit, abgedeckt wird, kann vor dem Abdecken Beschichtungsmaterial im Bereich der Schadstelle abgetragen werden. Dies ist beispielsweise bei der in Figur 3 dargestellten Schadstelle 66 geschehen und kann beispielsweise durch Schleifen, Bohren, Fräsen oder ähnliche Prozesse erfolgen. Man kann dabei beispielsweise in nicht-delaminierte Bereiche der Beschichtung 62 vordringen oder
10 lediglich eine Blase öffnen bzw. abtragen. Das Abtragen von Beschichtungsmaterial hat den Vorteil, dass ein weiteres Delaminieren an der Schadstelle besser unterbunden werden kann bzw. die Schadstelle besser abgedeckt werden kann.

Verschiedene Abdeckmöglichkeiten sind in Figur 4 exemplarisch und schematisch für das
15 nunmehr reparierte reflektive optische Element 70, das etwa als Kollektorspiegel ausgebildet sein kann, dargestellt. Es sei darauf hingewiesen, dass alle Abdeckmöglichkeiten mit allen Schadstellenarten beliebig kombiniert werden können.

Beispielsweise können auf Schadstellen Abdeckelemente aufgebracht werden, die unter
20 anderem als Abdeckeinheit oder Folie ausgebildet sein können. In dem in Figur 4 dargestellten Beispiel ist die Schadstelle 63 in Form einer Blase mit einer Abdeckeinheit 71 in Form einer Kappe abgedeckt worden. Die Kappe 71 ist aus einem wasserstoffundurchlässigen Material wie z.B. Keramik, beispielsweise Aluminiumoxid, Glas oder Metall, insbesondere Aluminium, Molybdän, Edelstahl oder Invar. Die Kappe 71 kann
25 auch aus Tantal, Niob, Silizium, Titan, Zirkon, Hafnium, Scandium, Yttrium, Lanthan, Cer, Kupfer, Silber, Gold, Platin, Rhodium, Palladium, Ruthenium oder einer beliebigen Kombination zweier oder mehreren dieser oder der zuvor genannten Materialien sein oder eines oder mehrere der genannten Materialien beinhalten. Die Kappe 71 wurde durch Kleben mit einem ausgasungsarmen Klebstoff wie etwa einem mineralisch gefüllten
30 Epoxidkleber befestigt. Die Kappe 71 kann vollflächig oder nur mittels Punkten oder einem Ring verklebt werden. Überquellender Klebstoff ist weitgehend unkritisch, da er im Betrieb bei Bestrahlung mit EUV-Strahlung in Gegenwart von Wasserstoff verbrennt. Auch ein Spalt in der Verklebung ist als unkritisch anzusehen, da der reaktive Wasserstoff im Spalt zwischen Kappe 71 und Beschichtung 62 durch Wandstöße zu unschädlichem molekularen
35 Wasserstoff rekombiniert.

Die Kappe 71 weist eine konvexe Oberseite auf. Dies hat den Vorteil, dass Infrarotstrahlung an der Kappe 71 diffus gestreut wird. Um diesen Effekt zu verstärken, kann die Kappenoberfläche zusätzlich durch Schmirgeln, Sandstrahlen, Ätzen o.ä. aufgeraut werden. Ferner kann die Kappe 71 durch eine galvanische Schicht passiviert sein.

Bei der Wahl des Kappenmaterials ist es von Vorteil den Wärmeausdehnungskoeffizienten möglichst ähnlich dem des Substrats 61 zu wählen. Alternativ oder zusätzlich kann der Kappenquerschnitt durch vorzugsweise rotationssymmetrisch angebrachte Kerben, Nuten 711 oder Lamellen geschwächt werden, wie bei der dargestellten Kappe 71 geschehen, um thermische Spannungen des Kappenmaterials gegenüber dem Substratmaterial zu reduzieren. Zur Vermeidung von Spannungen aufgrund von unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten können auch flexible Kappenmaterialien von Vorteil sein.

Abdeckelemente, insbesondere Abdeckeinheiten können auf die unbeschädigte Beschichtung 62 um eine Schadstelle 63, 64, 65 herum aufgeklebt werden. Gerade mit kappenförmigen Abdeckeinheiten können auch bei konkavem Untergrund, wie er häufig bei Kollektorspiegeln vorhanden sein kann, sogar Blasen und Aufwerfungen überdeckt werden.

Insbesondere falls die Beschichtung nicht sehr gut auf dem Substrat haftet oder eine Blase zu groß ist, kann die Beschichtung an der entsprechenden Schadstelle teilweise, beispielsweise bis zur Spektralfilterschicht oder auch ganz bis zum Substrat durch u.a. Schleifen, Ätzen, Ionenstrahlbeschluss oder Plasmaätzen entfernt werden. Das Abdeckelement, insbesondere eine kappenförmige Abdeckeinheit kann dann auf dem Substrat oder einem haftfesten Beschichtungsbereich aufgeklebt werden. Es ist von Vorteil, wenn im Randbereich des Abdeckelements einige Millimeter unbeschädigter Beschichtung vorhanden sind, die von dem Abdeckelement überdeckt werden können, um Eindringen von reaktivem Wasserstoff unter das Abdeckelement möglichst zu verhindern. Dazu kann das Abdeckelement auch beispielsweise eine Auskrugung als Kleberand aufweisen. Die Abdeckeinheit kann im Übrigen auch beispielsweise als Plättchen oder Blech ausgebildet sein.

Anstelle einer kappenförmigen Abdeckeinheit kann auch eine Folie 72 auf eine Schadstelle aufgebracht werden, wie im in Figur 4 dargestellten Beispiel bei Schadstelle 64 geschehen.

Als geeignete Materialien haben sich Aluminium, Aluminiumlegierungen, Titan, Kupfer,

Stahl, Silber, Gold, aber auch Keramiken und Gläser erwiesen, die von Wasserstoffradikalen nur sehr wenig durchdrungen werden. Weitere geeignete Materialien sind allgemein Metalle, Edelstahl, Invar, Molybdän, Tantal, Niob, Silizium, Zirkon, Hafnium, Scandium, Yttrium, Lanthan, Cer, Platin, Rhodium, Palladium, Ruthenium, Kombinationen

5 der genannten Materialien oder Materialien, die sie oder ihre Kombinationen aufweisen. Sie können Dicken im Bereich von wenigen Atomlagen, wie bei Blattgold, bis zu einigen hundert Mikrometern aufweisen. Ein Vorteil von Folien liegt darin, dass sie einfach zugeschnitten und der Form der abzudeckenden Schadstelle angepasst werden können. Dadurch eignen sie sich insbesondere für langgestreckte und unregelmäßig geformte Schadstellen,

10 beispielsweise auch für Kratzer. Außerdem üben sie wegen ihrer eher geringen Dicke bei Temperaturänderungen weniger Scherkräfte auf eine Klebverbindung auf. Dadurch kann wird auch der negative Einfluss unterschiedlicher thermischer Ausdehnungskoeffizienten auf die Haftfestigkeit reduziert werden. Insgesamt können sie mit Klebstoffen mit geringerer Haftfestigkeit als Abdeckeinheiten auf der Beschichtung 62 befestigt werden. Ferner können

15 sie relativ leicht wieder entfernt werden, falls es zu einer Überarbeitung des reflektiven optischen Elements 70 kommen sollte. Sie könnten vom Klebstoff abgeschält werden und Klebstoffreste könnten durch Kälteschock entfernt werden.

Es ist von Vorteil insbesondere bei Kollektorspiegeln, die eine gekrümmte Oberfläche

20 aufweisen, die Folie 72 der Form des reflektiven optischen Elements 70 folgend aufzukleben. Dazu kann die Folie vorher beispielsweise konkav vorgeformt werden oder mit einem flächigen, weichen Werkzeug, wie etwa einem Wattestäbchen oder einem Schaumstoffstempel, direkt an der Oberfläche angeformt werden. Je nach Krümmungsgrad kann aber auch ein planes Stück Folie oder dünnes Blech aufgebracht werden. Indem die

25 Folie eine runde Form hat, können auch Schadstellen in Beschichtungen von reflektiven optischen Elementen mit etwas höherem Krümmungsgrad wasserstoffdicht repariert werden. Besonders hat sich auch bewährt, die Folie konkav vorzuformen und einen umlaufenden oder mindestens zwei Kragenabschnitte als Kleberand vorzusehen.

30 Die Befestigung der Folie 72 kann wie zuvor für das als Kappe ausgebildete Abdeckelement 71 erläutert erfolgen. Bevorzugt wird ein gefüllter Klebstoff verwendet und kann die Klebung flächig, in Punkten oder als Klebering oder Abschnitte davon erfolgen. Auch anorganische Klebsysteme wie etwas Natronwasserglas können verwendet werden.

Insbesondere bei Folien ist aber auch ein Befestigen durch beispielsweise Elektroschweißen, Laserschweißen oder Löten möglich, was jeweils auch punktuell erfolgen kann. Beispielsweise durch elektrostatische Anziehung kann insbesondere die Folie vorläufig fixiert werden, um das Befestigen durch Schweißen oder Löten zu erleichtern.

5

Es ist auch möglich, selbstklebende Folienstücke vorzubereiten. Beispielsweise sind selbstklebende Aluminiumfolien mit Klebstoff auf Acrylharzbasis kommerziell erhältlich. Man kann insbesondere aushärtbare Klebstoff auf eine Folie oder dünnes Blech oder auch eine Abdeckeinheit von einer Schutzfolie geschützt aufbringen, damit der Klebstoff erst nach Entfernen der Schutzfolie und nach Aufbringen des Abdeckelements insbesondere durch Kontakt mit Luftfeuchtigkeit, Sauerstoff oder UV-Strahlung aushärtet. Ferner kann ein chemischer Aktivator vor Aufbringen aufgesprüht werden, falls das Abdeckelement, insbesondere in der Ausführung als Folie nicht alle Komponenten des Klebstoffes aufweist und die fehlende oder fehlenden Komponenten beim Applizieren hinzuzufügen sind. In einer weiteren Variante kann die aufzubringende Folie von beiden Seiten mit Hilfsfolien bedeckt sein. Vor dem Aufbringen der Folie wird die kleberseitige Hilfsfolie entfernt. Anschließend wird die Folie auf die zu reparierende Schadstelle gelegt und durch punktuellen Druck auf die andere Hilfsfolie wird die klebstoffbeschichtete Seite der Folie auf der Beschichtung um die Schadstelle befestigt. Diese Vorgehensweise hat den Vorteil, dass die Größe und Form der tatsächlich aufgetragenen Folie erst im Moment des Aufbringens festgelegt werden muss.

10

15

20

Um insbesondere bei Kollektorspiegeln Reflexion von Strahlung in ungewollten Wellenlängenbereichen in den Strahlengang der EUV-Lithographievorrichtung möglichst zu verhindern, können die Folien mit einer makroskopischen Oberflächenstruktur versehen werden, wie beispielsweise in Figur 4 beim Abdeckelement 72 exemplarisch als Oberflächenstruktur 721 angedeutet. Beispielsweise können sie geknittert oder geprägt werden, um gerichtete Reflexion von UV- oder IR-Strahlung zu reduzieren. Grobgeprägte Folie ist kommerziell erhältlich. Man kann auch eigene Prägematrizen verwenden.

25

30

Insbesondere eingeprägte Muster aus Tetraedern haben sich als geeignet erwiesen, bei entsprechender Ausrichtung UV- oder IR-Reflexe in den weiteren Strahlengang der EUV-Lithographie zu vermeiden. Um insbesondere IR-Strahlung möglichst diffus zu reflektieren, können die Folien oder dünnen Bleche mit einer Infrarotstrahlung schlecht reflektierenden Schicht versehen werden, beispielsweise durch Eloxieren, Oxidieren, Beizen oder Ätzen, etwa mit Säure.

35

Insbesondere können Abdeckelemente auch eine Beschichtung entsprechend der Beschichtung des zu reparierenden reflektiven optischen Elements aufweisen, also zur Reflexion von EUV-Strahlung. Ein als Plättchen 732 mit einer zur Reflexion von EUV-Strahlung geeigneten Beschichtung 731 ausgebildetes Abdeckelement 73 ist in Figur 4 angedeutet. Vorteilhafterweise ist es in seiner Krümmung an die Krümmung der Oberfläche des reflektiven optischen Elements 70 angepasst. Das Plättchen 732 kann beispielsweise aus Silizium, Glas, Saphir bzw. Aluminiumoxid oder allgemein einem Metall hergestellt sein. Je nachdem aus welchem Material das beschichtete Plättchen 73 ist und auf welchem Untergrund, also welchem Teil der Beschichtung 62 oder auf dem Substrat 61 es aufgebracht wird, kann es geklebt, gelötet oder aufgesprengt werden. In bevorzugten Varianten weist das beschichtete Plättchen 73 außerdem eine Oberflächenstrukturierung auf, um Strahlung aus unerwünschten Wellenlängenbereichen, insbesondere Infrarotstrahlung aus dem Strahlengang herauszulenken.

Eine weitere Möglichkeit der Reparatur, die sich im Übrigen gut mit den zuvor beschriebenen Vorgehensweisen kombinieren lässt, besteht darin, auf die Schadstelle eine Abdeckbeschichtung aufzubringen, wie etwa in Figur 4 als 74 angedeutet. Die Schadstelle 66 wurde in dem vorliegenden Beispiel vorbereitet, indem vor dem Abdecken der Schadstelle 66 Beschichtungsmaterial in ihrem Bereich abgetragen wurde. Dies kann u.a. durch Schleifen, Bohren oder Fräsen geschehen.

Eine erste Möglichkeit, eine Abdeckbeschichtung aufzubringen besteht darin, das an der Schadstelle 66 freiliegende Material zu oxidieren. Dies kann beispielsweise durch eine Säurebehandlung mit einer oxidierenden Säure wie etwa Salpetersäure geschehen, was insbesondere geeignet ist, wenn Nickel-Phosphor freiliegt. Das Oxidieren kann auch mittels eines Atmosphärendruck-Luft- und/oder -Sauerstoffplasmas erfolgen. Mittels eines Atmosphärendruck-Edelgas-Plasmas, insbesondere mit Argon oder Helium, und den entsprechenden flüchtigen Verbindungen können auch Schutzbeschichtungen aufgebracht werden, die eines oder mehrere der Materialien der Gruppe Molybdän, Tantal, Niob, Silizium, Titan, Zirkon, Hafnium, Aluminium, Scandium, Yttrium, Lanthan, Cer, deren Oxide, deren Nitride, deren Karbide, deren Boride, Gold, Platin, Rhodium, Palladium, Ruthenium, Kohlenstoff, Borkarbid und Bornitrid aufweisen oder daraus bestehen. Mittels eines Atmosphären-Luft-Plasmas kann freiliegendes Material an der Schadstelle auch nitridisiert werden. Es existieren verschiedenste kommerziell erhältliche Atmosphärendruck-

Plasmageräte, u.a. solche, bei denen die Plasmaeinheit kaum größer als ein Stift ist und auch so gehandhabt werden kann. Eine solche Plasmaeinheit kann händisch oder in Kombination mit einem Roboterarm automatisiert werden. Die zweite Möglichkeit wird vor

5 allem bevorzugt, wenn Gase eingesetzt werden, die für Menschen schädlich wären. Ein besonderer Vorteil des Atmosphärendruck-Plasmas besteht auch darin, dass ein sehr dichtes Plasma bei sehr niedrigem Aufheizeffekt bereitgestellt werden kann und so auch besonders empfindliche Beschichtungen bearbeitet werden können. Insbesondere wenn für das Atmosphärendruck-Plasma Druckluft als Prozessgas eingesetzt werden kann, sind die Betriebskosten sehr niedrig.

10 Eine Schadstelle kann auch durch Galvanisieren repariert und gegen reaktiven Wasserstoff passiviert werden. Ein Beispiel ist das Galvanisieren mit Hilfe kommerziell erhältlicher Geräte, deren Galvanisiereinheit im Prinzip als eine Art Wattebausch ausgestaltet ist, der über einen Stromanschluss unter Strom gesetzt werden kann. Besonders bevorzugt ist das
15 galvanische Aufbringen von einem oder mehreren Edel- oder Halbedelmetallen, insbesondere Gold, Silber, Platin oder Ruthenium. Weitere geeignete Materialien sind Rhodium, Palladium, Molybdän, Tantal, Niob, Silizium, Titan, Zirkon, Hafnium, Aluminium, Scandium, Yttrium, Lanthan und Cer. Es können reine Metalle, Kombinationen davon bzw. Legierungen oder Materialien, die sie enthalten, aufgebracht werden.

20 Man kann auch eine Schadstelle verzinnen. Insbesondere bevor das reflektive optische Element intensiv mittels Wasserstoffs gereinigt werden soll, kann durch Zinntropfen einer Größe im Millimeterbereich eine Schadstelle versiegelt werden. Dazu kann die Schadstelle wie Schadstelle 66 durch Ablation vorbereitet werden. Man kann auch eine Blase wie
25 Schadstelle 63 anbohren oder anfräsen, so dass das Zinn in die offene Blase eindringt. Eine bereits mit Zinn abgedeckte Schadstelle kann zusätzlich mit weiteren Schichten oder Abdeckelementen bedeckt werden. Besonders vorteilhaft ist es auch, die verzinnte Schadstelle zusätzlich zu vergolden, beispielsweise durch Applizieren von Blattgold und ggf. dessen Befestigung durch Löten oder Schweißen zu befestigen oder durch galvanisches
30 Aufbringen des Goldes. Statt Gold kann auch ein anderes Edel- oder Halbedelmetall aufgebracht werden.

In Figur 5 ist schematisch ein weiteres als Kollektorspiegel 80 ausgebildetes reflektives optisches Element dargestellt. Der Kollektorspiegel 80 weist in seiner Beschichtung 62 auf
35 dem Substrat 61 eine Schadstelle 67 auf. Die Schadstelle 67 wurde durch Aufbringen eines

- Abdeckelements 75 repariert, das als Abdeckeinheit mit konkaver Oberfläche ausgebildet ist. Das Abdeckelement 75 kann in verschiedenen Varianten unterschiedlich geformt sein. Beispielhafte Varianten sind in den Figuren 5b bis 5e schematisch dargestellt. Das Abdeckelement 75a aus Figur 5b weist eine rechteckige Berandung auf; das
- 5 Abdeckelement 75b aus Figur 5c weist eine elliptische Berandung auf; das Abdeckelement 75c aus Figur 5d weist eine polygonale Berandung auf; und das Abdeckelement 75d aus Figur 5e weist eine frei geformte, überwiegend gekrümmte Berandung auf. Die Form der Berandung kann an die Form der jeweiligen Schadstelle angepasst werden. Insbesondere bei länglich geformten Abdeckelementen kann bei geeigneter Orientierung relativ zur
- 10 Scanrichtung einer EUV-Lithographievorrichtung, in der das reflektive optische Element eingesetzt wird, der Einfluss des Abdeckelements in Form eines abrupten Hell-Dunkelübergangs verringert werden. Dadurch leidet die Abbildungsleistung der EUV-Lithographievorrichtung weniger unter der Reparatur.
- 15 Kollektorspiegel für die EUV-Lithographie, die mit Zinnplasma-Quellen betrieben und auf die vorbeschriebene Weise repariert werden, zeigen weder nach einer Zinnreinigung mit Wasserstoffradikalen noch nach langandauerndem Betrieb mit einer Zinnplasma-Quelle wasserstoffgeneriertes Blasenwachstum an den reparierten Schadstellen.
- 20 Es sei darauf hingewiesen, dass das hier vorgestellte Reparaturverfahren auch zur Reparatur von Schadstellen in der Form von Kratzern oder Rissen geeignet sein kann.

Bezugszeichen

	10	EUV-Lithographievorrichtung
	12	EUV-Strahlungsquelle
5	13	Kollektorspiegel
	14	Beleuchtungssystem
	15	erster Spiegel
	16	zweiter Spiegel
	17	Maske
10	18	dritter Spiegel
	19	vierter Spiegel
	20	Projektionssystem
	21	Wafer
	50	reflektives optisches Element
15	51	Substrat
	52	Beschichtung
	53	Schutzschicht
	54	Viellagensystem
	55	Lagenpaar
20	56	Absorber
	57	Spacer
	58	Spektralfilterschicht
	60	Kollektorspiegel
	61	Substrat
25	62	Beschichtung
	63	Schadstelle
	64	Schadstelle
	65	Schadstelle
	66	Schadstelle
30	67	Schadstelle
	70	Kollektorspiegel
	71	Abdeckelement
	711	Nut
	72	Abdeckelement
35	721	Oberflächenstruktur

	73	Abdeckelement
	731	Beschichtung
	732	Plättchen
	74	Abdeckbeschichtung
5	75	Abdeckelement
	75a	Abdeckelement
	75b	Abdeckelement
	75c	Abdeckelement
	75d	Abdeckelement
10	80	Kollektorspiegel

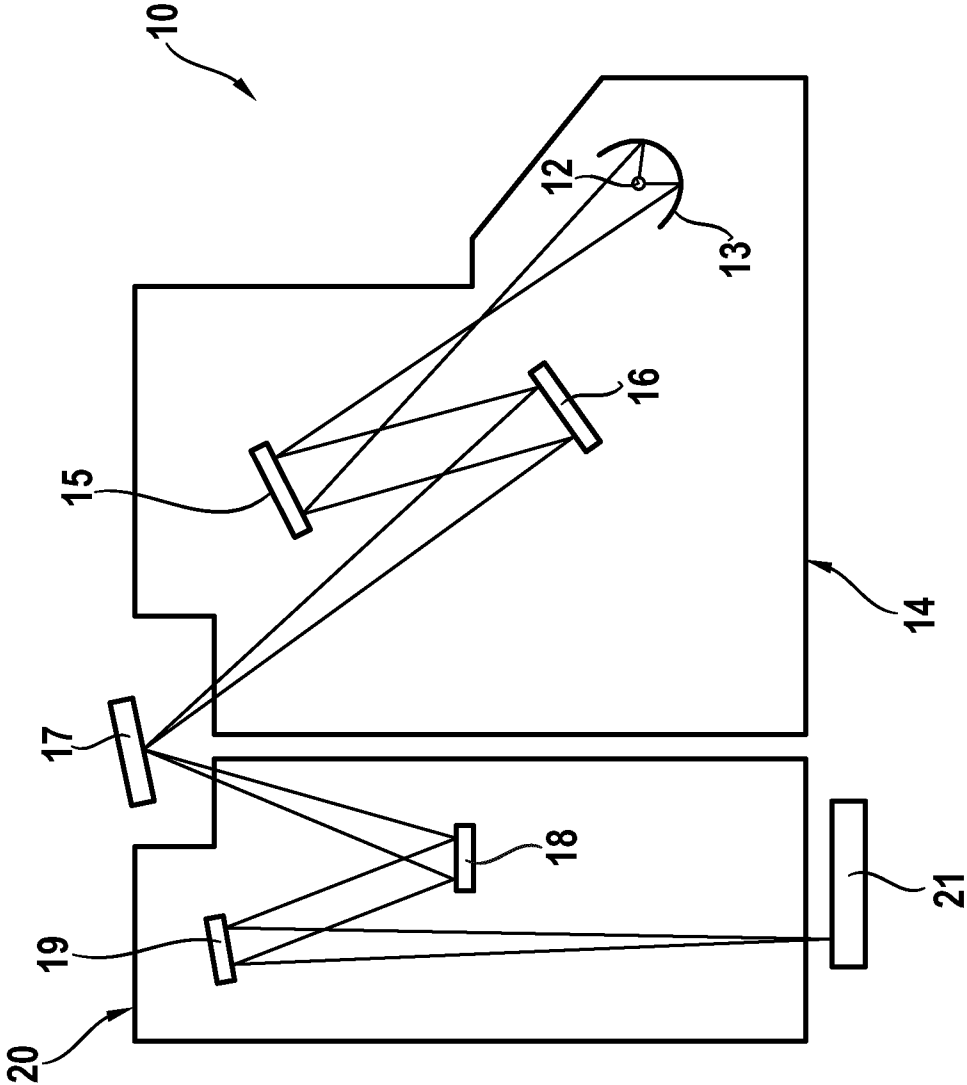
Patentansprüche

1. Verfahren zum Reparieren von reflektiven optischen Elementen für die EUV-
5 Lithographie, die ein Substrat und eine Beschichtung aufweisen, die bei einer
Arbeitswellenlänge im Bereich zwischen 5 nm und 20 nm reflektiert, mit den Schritten:
- Lokalisieren einer Schadstelle in der Beschichtung;
- Abdecken der Schadstelle mit einem oder mehreren Materialien, indem auf die
Schadstelle ein Abdeckelement aufgebracht wird, wobei das Abdeckelement mit einer
10 Oberflächenstruktur, einer konvexen oder konkaven Oberfläche oder einer
Beschichtung entsprechend der Beschichtung des reflektiven optischen Elements oder
einer Kombination davon ausgebildet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Abdeckelement
15 mittels Klebstoffs auf der Beschichtung befestigt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das
Abdeckelement als Folie oder Abdeckeinheit ausgebildet wird.
- 20 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das
Abdeckelement mit eckiger und/oder gekrümmter Berandung ausgebildet wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass ein
Abdeckelement aufgebracht wird, das eines oder mehrere Materialien der Gruppe
25 Metall, Stahl, Edelstahl, Invar, Aluminium, Molybdän, Tantal, Niob, Silizium, Titan,
Zirkon, Hafnium, Scandium, Yttrium, Lanthan, Cer, Kupfer, Silber, Gold, Platin,
Rhodium, Palladium, Ruthenium, Glas, Keramik und Aluminiumoxid aufweist.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass auf die
30 Schadstelle eine Abdeckbeschichtung aufgebracht wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Abdeckbeschichtung
durch Verzinnen, Vergolden, Galvanisieren, Oxidieren, Nitridisieren und/oder
Abscheidung mittels Atmosphärendruck-Plasmas aufgebracht wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass als Abdeckbeschichtung eine Metallschicht aufweisend Gold, Platin, Rhodium, Palladium, Ruthenium, Molybdän, Tantal, Niob, Silizium, Titan, Zirkon, Hafnium, Aluminium, Scandium, Yttrium, Lanthan und/oder Cer durch Galvanisieren aufgebracht wird oder mittels Atmosphärendruck-Plasma eine Abdeckbeschichtung aufweisend eines oder mehrere der Gruppe aus Molybdän, Tantal, Niob, Silizium, Titan, Zirkon, Hafnium, Aluminium, Scandium, Yttrium, Lanthan, Cer, deren Oxide, deren Nitride, deren Karbide, deren Boride, Gold, Platin, Rhodium, Palladium, Ruthenium, Kohlenstoff, Borkarbid und Bornitrid aufgebracht wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass vor dem Abdecken der Schadstelle Beschichtungsmaterial in ihrem Bereich abgetragen wird.
10. Kollektorspiegel für die EUV-Lithographie, der ein Substrat und eine Beschichtung aufweist, die bei einer Arbeitswellenlänge im Bereich zwischen 5 nm und 20 nm reflektiert, dadurch gekennzeichnet, dass die Beschichtung (62) lokal ein Abdeckelement (71, 72, 73) aufweist, wobei das Abdeckelement (71, 72, 73) eine Oberflächenstruktur (721), eine konvexe oder konkave Oberfläche oder eine Beschichtung (731) entsprechend der Beschichtung (62) des Kollektorspiegels (70) oder eine Kombination davon aufweist.
11. Kollektorspiegel nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Abdeckelement als Folie (72) oder Abdeckeinheit (71, 73) ausgebildet ist.
12. Kollektorspiegel nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Abdeckelement (71, 72, 73) eines oder mehrere der Materialien der Gruppe Metall, Stahl, Edelstahl, Invar, Aluminium, Molybdän, Tantal, Niob, Silizium, Titan, Zirkon, Hafnium, Scandium, Yttrium, Lanthan, Cer, Kupfer, Silber, Gold, Platin, Rhodium, Palladium, Ruthenium, Glas, Keramik und Aluminiumoxid aufweist.
13. Kollektorspiegel nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Beschichtung lokal eine Abdeckbeschichtung (74) aufweist.
14. Kollektorspiegel nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Abdeckbeschichtung (74) eines oder mehrere der Materialien der Gruppe Molybdän, Tantal, Niob, Silizium, Titan, Zirkon, Hafnium, Aluminium, Scandium, Yttrium, Lanthan,

Cer, deren Oxide, deren Nitride, deren Karbide, deren Boride, Gold, Platin, Rhodium, Palladium, Ruthenium, Kohlenstoff, Borkarbid und Bornitrid aufweist.

Fig. 1



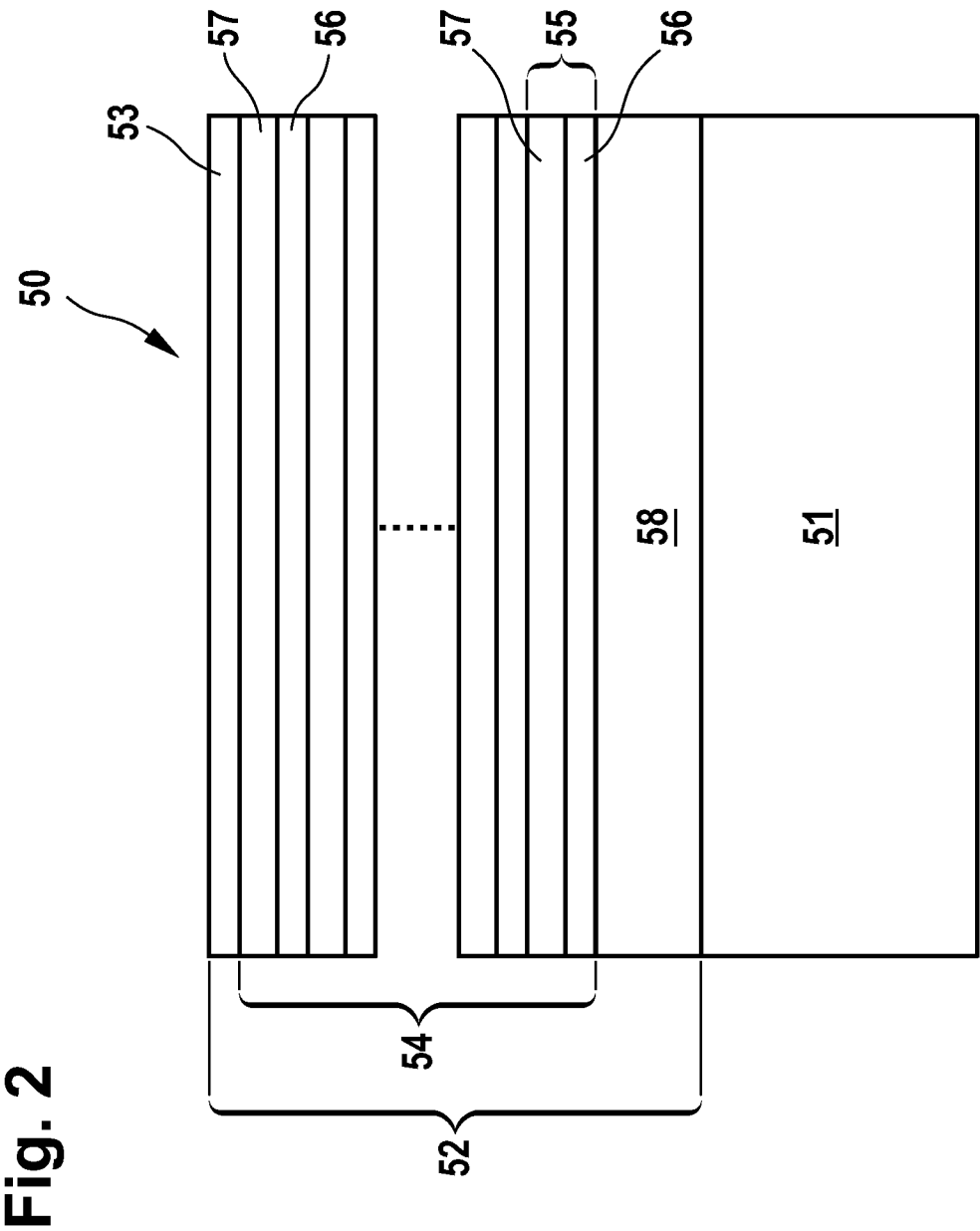


Fig. 3

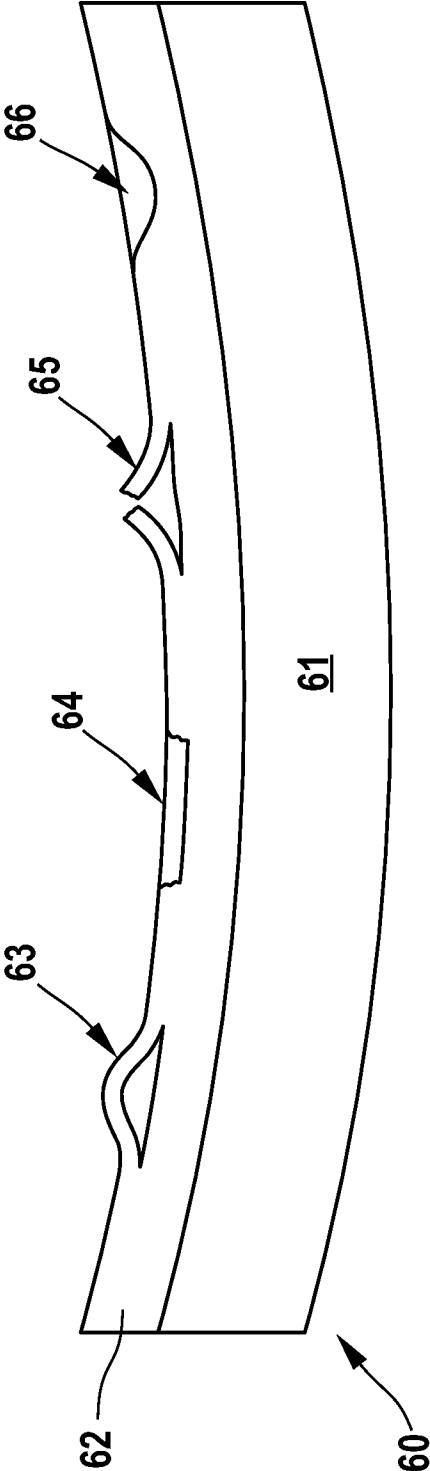
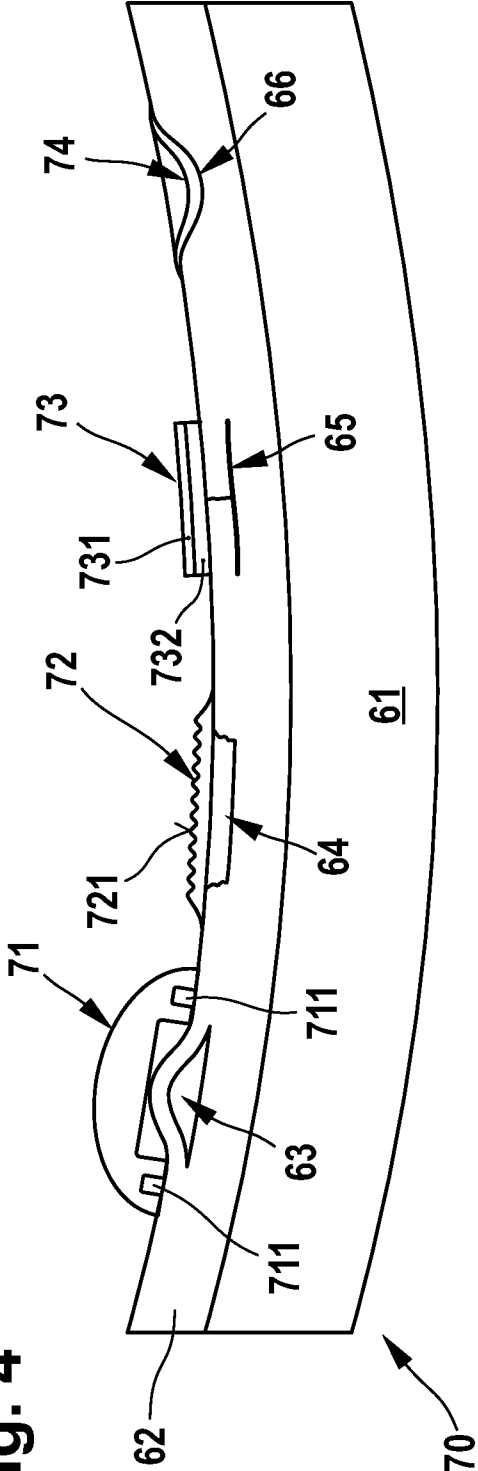
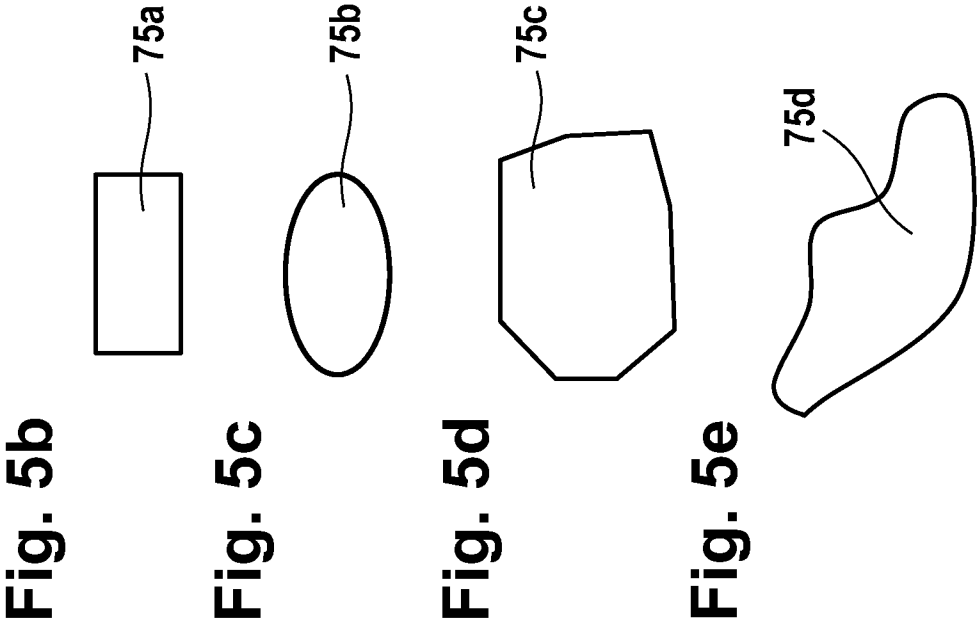
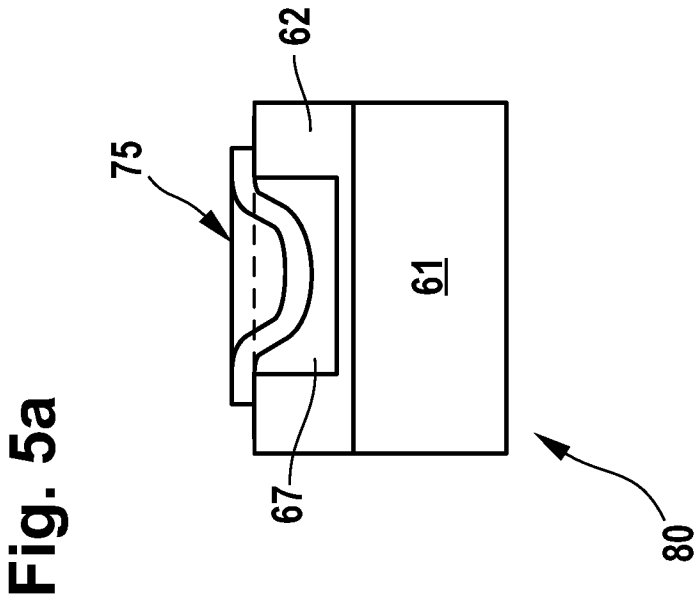


Fig. 4





INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2017/080645

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G21K1/06 G03F7/20
ADD.

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G21K 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, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2007/202423 A1 (TANABE MASAYUKI [JP] ET AL) 30 August 2007 (2007-08-30)	1,4,9,10
Y	paragraphs [0027], [0044], [0053] -	1,10
A	[0063]; figures 2, 3	2,3,11
X	US 2005/109278 A1 (LIANG TED [US] ET AL) 26 May 2005 (2005-05-26)	1,4-8, 10,12-14
A	paragraphs [0020] - [0027]; figures 2, 5	2,3,11
X	DE 10 2009 045008 A1 (ZEISS CARL SMT AG [DE]) 29 April 2010 (2010-04-29)	1,4-8, 10,12-14
A	paragraph [0051]	2,3,11
Y	WO 2016/128029 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 18 August 2016 (2016-08-18)	1,10
	claim 16	



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

9 February 2018

Date of mailing of the international search report

06/03/2018

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

Eisner, Klaus

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/080645

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2007202423 A1	30-08-2007	JP 2007234822 A KR 20070089633 A TW 200745725 A US 2007202423 A1	13-09-2007 31-08-2007 16-12-2007 30-08-2007
US 2005109278 A1	26-05-2005	NONE	
DE 102009045008 A1	29-04-2010	CN 102187281 A DE 102009045008 A1 JP 5586611 B2 JP 2012506134 A KR 20110069083 A US 2011279799 A1 WO 2010043398 A1	14-09-2011 29-04-2010 10-09-2014 08-03-2012 22-06-2011 17-11-2011 22-04-2010
WO 2016128029 A1	18-08-2016	EP 3257054 A1 US 2017365371 A1 WO 2016128029 A1	20-12-2017 21-12-2017 18-08-2016

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G21K1/06 G03F7/20
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G21K 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, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2007/202423 A1 (TANABE MASAYUKI [JP] ET AL) 30. August 2007 (2007-08-30)	1,4,9,10
Y	Absätze [0027], [0044], [0053] - [0063];	1,10
A	Abbildungen 2, 3	2,3,11

X	US 2005/109278 A1 (LIANG TED [US] ET AL) 26. Mai 2005 (2005-05-26)	1,4-8, 10,12-14
A	Absätze [0020] - [0027]; Abbildungen 2, 5	2,3,11

X	DE 10 2009 045008 A1 (ZEISS CARL SMT AG [DE]) 29. April 2010 (2010-04-29)	1,4-8, 10,12-14
A	Absatz [0051]	2,3,11

Y	WO 2016/128029 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 18. August 2016 (2016-08-18)	1,10
	Anspruch 16	



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

9. Februar 2018

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

06/03/2018

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

Eisner, Klaus

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/080645

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2007202423 A1	30-08-2007	JP 2007234822 A	13-09-2007
		KR 20070089633 A	31-08-2007
		TW 200745725 A	16-12-2007
		US 2007202423 A1	30-08-2007

US 2005109278 A1	26-05-2005	KEINE	

DE 102009045008 A1	29-04-2010	CN 102187281 A	14-09-2011
		DE 102009045008 A1	29-04-2010
		JP 5586611 B2	10-09-2014
		JP 2012506134 A	08-03-2012
		KR 20110069083 A	22-06-2011
		US 2011279799 A1	17-11-2011
		WO 2010043398 A1	22-04-2010

WO 2016128029 A1	18-08-2016	EP 3257054 A1	20-12-2017
		US 2017365371 A1	21-12-2017
		WO 2016128029 A1	18-08-2016
