

(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
14. April 2022 (14.04.2022)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2022/073610 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G03F 7/20 (2006.01) G01B 11/24 (2006.01)
G02B 5/08 (2006.01) G01M 11/00 (2006.01)
G02B 7/18 (2021.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2020/078193

(22) Internationales Anmeldedatum:
08. Oktober 2020 (08.10.2020)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

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

(72) Erfinder: **STIEPAN, Hans Michael**; Gartenstraße 111, 73430 Aalen (DE). **MONZ, Thomas**; Wolfstraße 26, 73278 Schlierbach (DE). **KALLER, Julian**; Steinheimer Weg 10, 89551 Königsbrunn (DE). **LÖRING, Ulrich**; Zeitblomstraße 29/2, 89073 Ulm (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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)

(54) Title: PRODUCTION METHOD AND MEASUREMENT METHOD

(54) Bezeichnung: HERSTELLUNGSVERFAHREN UND MESSVERFAHREN

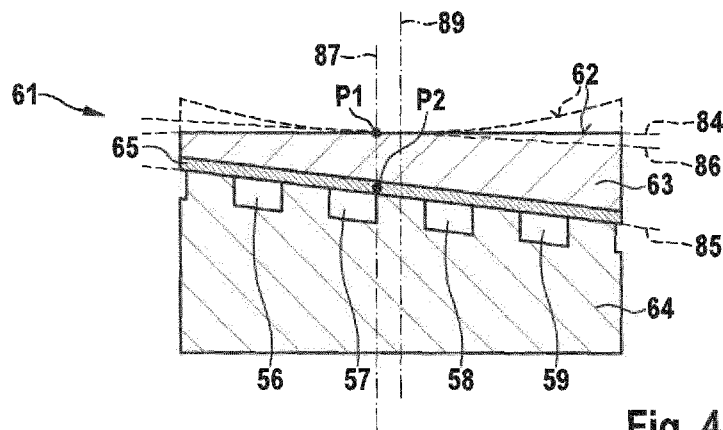


Fig. 4

(57) Abstract: The invention relates to a method for producing an optical element, wherein the optical element (2, 52, 61) has a main body (18) with a substrate (19, 53, 64) and a reflective surface (20, 54, 62), and wherein at least one cooling duct (21, 45, 46, 47, 56, 57, 58, 59) for receiving a coolant (22) is formed in the substrate (19, 53, 64), and wherein the cooling duct (21, 45, 46, 47, 56, 57, 58, 59) is formed by means of a cutting production process and/or by means of an etching process.

(57) Zusammenfassung: Verfahren zur Herstellung eines optischen Elements, wobei das optische Element (2, 52, 61) einen Grundkörper (18) mit einem Substrat (19, 53, 64) und einer reflektierenden Fläche (20, 54, 62) aufweist, und wobei in dem Substrat (19, 53, 64) zumindest ein Kühlkanal (21, 45, 46, 47, 56, 57, 58, 59) zur Aufnahme eines Kühlmittels (22) ausgebildet wird, und wobei der Kühlkanal (21, 45, 46, 47, 56, 57, 58, 59) durch einen spanenden Fertigungsverfahren und/oder durch einen Ätzprozess ausgebildet wird.



WO 2022/073610 A1

Herstellungsverfahren und Messverfahren

Die vorliegende Anmeldung beansprucht die Priorität der Deutschen Patentanmeldung DE 10 2019 215 828.5, angemeldet am 15. Oktober 2019. Der Inhalt dieser Deutschen Patentanmeldung wird durch Bezugnahme („incorporation by reference“) mit in den vorliegenden Anmeldungstext aufgenommen.

Hintergrund der Erfindung

10 Gebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Vermessen einer Oberflächenform eines optischen Elements in einer Messumgebung, wobei das optische Element einen Grundkörper mit einem Substrat und einer reflektierenden Fläche aufweist, und wobei in dem Substrat zumindest ein Kühlkanal zur Aufnahme eines Kühlmittels ausgebildet ist.

Die Erfindung betrifft ferner eine Messvorrichtung zum Vermessen der Oberflächenform des optischen Elements, ein Verfahren zur Herstellung des optischen Elements sowie eine Projektionsbelichtungsanlage.

20

Stand der Technik

Mikrolithographie wird zur Herstellung mikrostrukturierter Bauelemente, wie beispielsweise integrierter Schaltkreise oder LCDs (Liquid Crystal Displays), angewendet. Der Mikrolithographieprozess wird unter anderem in einer sogenannten Projektionsbelichtungsanlage durchgeführt, welche eine Beleuchtungseinrichtung und ein Projektionsobjektiv aufweist. Das Bild einer mittels der Beleuchtungseinrichtung beleuchteten Maske (= Retikel) wird hierbei mittels des Projektionsobjektivs auf ein mit einer lichtempfindlichen Schicht (Photoresist) beschichtetes und in einer Bildebene des Projektionsobjektivs angeordnetes Substrat (beispielsweise ein Siliziumwafer) projiziert, um die Maskenstruktur auf die lichtempfindliche Beschichtung des Substrats zu übertragen.

In für den EUV (extreme ultra violet) - Bereich ausgelegten Projektionsobjektiven, das heißt bei Wellenlängen von beispielsweise etwa 13 nm oder etwa 7 nm, werden mangels Verfügbarkeit geeigneter lichtdurchlässiger refraktiver Materialien insbesondere Spiegel als optische Elemente für einen Abbildungsprozess verwendet. Typische für EUV ausgelegte Projektionsobjektive, wie beispielsweise aus US 2016/0085061 A1 bekannt, können beispielsweise eine bildseitige numerische Apertur (NA) im Bereich von $NA = 0.55$ aufweisen und bilden ein (beispielsweise ringsegmentförmiges) Objektfeld in die Bildebene beziehungsweise Waferenebene ab. Mit der Erhöhung der bildseitigen numerischen Apertur (NA) geht typischerweise eine Vergrößerung der erforderlichen Spiegelflächen der in der Projektionsbelichtungsanlage eingesetzten Spiegel einher. Dies hat wiederum zur Folge, dass neben einer Fertigung auch eine Prüfung oder Vermessung der Oberflächenform der optischen Elemente eine anspruchsvolle Herausforderung darstellt. Die hierbei zu bestimmende Abweichung einer Istform von einer vorgegebenen Sollform der Oberfläche eines optischen Elements wird im Einklang mit der üblichen Terminologie als „Passe“ bezeichnet. Zur hochgenauen Passmessung oder Vermessung der Oberflächenform des optischen Elements kommen üblicherweise interferometrische Messverfahren zum Einsatz.

Weiterhin ist bekannt, dass sich im Betrieb, insbesondere in einem EUV-Betrieb, eines optischen Systems, beispielsweise einer Projektionsbelichtungsanlage, in welcher ein solches optisches Element verwendet wird, das optische Element in Folge einer Absorption des im Betrieb verwendeten Nutzlichtes, insbesondere EUV-Lichtes, aufheizt. Durch das Aufheizen des optischen Elements ergibt sich insbesondere das Problem, dass das optische Element thermisch deformiert wird, sich beispielsweise ausdehnt, so dass ein optisches Leistungsvermögen des Systems, in dem das optische Element verwendet wird, nicht mehr vorgebbaren Spezifikationen entspricht.

Zur Vermeidung eines Aufheizens des optischen Elements wurden Kühlkonzepte entwickelt, um die im Betrieb im optischen Element entstehende Wärme abzuführen. Bekannte Kühlkonzepte bestehen insbesondere darin, im ansonsten massiven Grundkörper oder Substrat des optischen Elements zumindest einen Kühlkanal zur Aufnahme eines Kühlmittels auszubilden. Optische Elemente, welche zumindest einen solchen Kühlkanal aufweisen sind aus WO 2012/126830 A1, US 7,591,561 B2, DE 10

2018 208 783 A1, DE 10 2010 034 476 A1, WO 2009/046955 A2, DE 10 2017 221 388 A1 und DE 10 2018 202 687 A1 bekannt.

Eine Herausforderung bei optischen Elementen, welche zumindest einen solchen Kühlkanal aufweisen, besteht in der hochgenauen interferometrischen Vermessung dieser optischen Elemente.

So besteht ein Problem darin, dass sich üblicherweise bei einer Verwendung des optischen Elements unter typischen EUV-Bedingungen, insbesondere bei einer Verwendung unter Vakuumbedingungen, eine aus einem Umgebungsdruck und einem Kühlkanaldruck resultierende Druckdifferenz ausbildet, die sich von einer Druckdifferenz unterscheidet, die sich bei einer Vermessung des optischen Elements unter Messbedingungen beziehungsweise unter von EUV-Bedingungen abweichenden Messbedingungen ausbildet. Diese unterschiedlichen Druckdifferenzen führen dann zu einer unerwünschten Verformung insbesondere der Oberfläche des optischen Elements bei einem Übergang von EUV-Bedingungen zu von EUV-Bedingungen abweichenden Messbedingungen oder umgekehrt. Eine unter solchen Messbedingungen vermessene Oberflächenform unterscheidet sich somit von der sich im EUV-Betrieb ausbildenden Oberflächenform. Eine unerwünschte Auswirkung der Verformung ist, dass das optische Element, insbesondere im EUV-Betrieb des optischen Systems, vorgebbare Spezifikationen nicht mehr erfüllt oder erfüllen kann. Beispielsweise kann durch eine Verformung eine Wellenfront auf unerwünschte Weise beeinflusst werden oder es wird Streulicht generiert, welches eine Abbildungsqualität des Projektionsobjektivs auf unerwünschte Weise beeinflusst.

Ein weiteres Problem besteht darin, dass das Material des Substrats und insbesondere der üblicherweise mit Luft gefüllte Kühlkanal unterschiedliche Brechzahlen aufweisen. Die unterschiedlichen Brechzahlen führen bei einer Vermessung der Oberflächenform mit Messlicht zu einer unerwünschten Rückreflexion des insbesondere an einer Grenzfläche zwischen Substrat und Kühlkanal reflektierten Messlichts.

Vor dem obigen Hintergrund ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Messvorrichtung bereitzustellen, womit die vorgenannten Probleme gelöst werden, insbesondere womit die Oberflächenform eines optischen Elements,

welches zumindest einen Kühlkanal aufweist, zuverlässig und hochgenau vermessen werden kann. Eine weitere Aufgabe besteht darin, ein Herstellungsverfahren für ein zuverlässig und hochgenau vermessbares optisches Element sowie ein solches optisches Element bereitzustellen.

5

Diese Aufgaben werden gemäß den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche gelöst.

Zusammenfassung der Erfindung

10

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, das Verfahren zum Vermessen der Oberflächenform des optischen Elements mit folgenden Schritten durchzuführen: a) Erfassen eines Kühlkanaldruckes; b) Erfassen eines Messumgebungsdruckes; c) Bestimmen einer Ist-Druckdifferenz auf Basis des Kühlkanaldruckes und des Messumgebungsdruckes; d) Vergleichen der Ist-Druckdifferenz mit einer vorgebbaren Soll-Druckdifferenz; e) Überwachen auf eine Abweichung zwischen Ist-Druckdifferenz und Soll-Druckdifferenz, wobei dann, wenn auf eine Abweichung größer einem vorgebbaren Grenzwert erkannt wird, der Kühlkanaldruck derart angepasst wird, dass die Abweichung kleiner oder gleich dem vorgebbaren Grenzwert wird; f) Vermessen der Oberflächenform, wenn die Abweichung kleiner oder gleich dem vorgebbaren Grenzwert ist. Das erfindungsgemäße Verfahren hat den Vorteil, dass auf besonders einfache Art und Weise die Ist-Druckdifferenz an die Soll-Druckdifferenz anpassbar oder angleichbar ist, insbesondere durch Anpassung lediglich eines Parameters, also des Kühlkanaldruckes. Eine sich unter einer beliebig vorgebbaren Soll-Druckdifferenz ausbildende Soll-Oberflächenform kann somit besonders einfach durch eine entsprechende Anpassung der Ist-Druckdifferenz erzeugt und anschließend vermessen werden. Vorliegend bedeutet „Messumgebung“ eine Umgebung, in welcher ein vorzugsweise vorgebbarer Messumgebungsdruck herrscht, und in welcher das optische Element vermessen und/oder betrieben wird.

30

Gemäß einer Weiterbildung ist vorgesehen, dass der Kühlkanaldruck derart angepasst wird, dass die Abweichung kleiner als 10 mbar, insbesondere kleiner als 1 mbar, vorzugsweise kleiner als 0,5 mbar, wird. Der Vorteil hierbei ist, dass die Ist-Druckdifferenz besonders genau an die Soll-Druckdifferenz angepasst oder angeglichen wird. Die

vermessene Oberflächenform oder die sich unter der Ist-Druckdifferenz ausbildende Oberflächenform entspricht somit besonders genau der sich unter der Soll-Druckdifferenz ausbildenden Oberflächenform. Vorzugsweise ist vorgesehen, dass der Kühlkanaldruck derart angepasst wird, dass die Abweichung gleich Null wird.

5

Gemäß einer Weiterbildung ist vorgesehen, dass der Kühlkanal mit einem gasförmigen oder flüssigen Kühlmittel beaufschlagt wird, wobei zur Anpassung des Kühlkanaldruckes ein Druck auf das Kühlmittel erhöht oder verringert wird. Der Vorteil hierbei ist, dass der Kühlkanaldruck durch die Erhöhung oder Verringerung des Drucks auf das Kühlmittel selbst auf besonders einfache Art und Weise angepasst wird oder anpassbar ist.

10

Gemäß einer Weiterbildung ist vorgesehen, dass eine Erhöhung oder Verringerung des Drucks auf das Kühlmittel hydraulisch oder pneumatisch erfolgt. Hierbei ergibt sich der Vorteil, dass die Anpassung des Kühlkanaldrucks besonders einfach erfolgt. Zur hydraulischen oder pneumatischen Erhöhung oder Verringerung des Drucks auf das Kühlmittel wird vorzugsweise eine ansteuerbare Hydraulikpumpe oder Pneumatikpumpe verwendet. Alternativ erfolgt die Anpassung elektronisch mittels einer ansteuerbaren Elektropumpe. Eine Erhöhung oder Verringerung des Drucks erfolgt insbesondere in Abhängigkeit einer Erhöhung oder Verringerung einer Förderleistung der entsprechenden Pumpe, beispielsweise durch Anpassung einer Drehzahl oder Förderdrehzahl.

15

20

Gemäß einer Weiterbildung ist vorgesehen, dass der Kühlkanal durch das Kühlmittel mit einer vorgebbaren Strömungsgeschwindigkeit durchströmt wird. Vorzugsweise ist die vorgebbare Strömungsgeschwindigkeit zumindest im Wesentlichen gleich der Strömungsgeschwindigkeit, mit welcher das Kühlmittel den Kühlkanal insbesondere im Betrieb einer EUV-Lithografieanlage unter EUV-Bedingungen durchströmt. Dies gewährleistet, dass die Vermessung in Bezug auf die Strömungsgeschwindigkeit unter EUV-Bedingungen erfolgt. Zusätzlich oder alternativ ist bevorzugt vorgesehen, dass die Wahl der Strömungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit einer Geometrie oder eines Querschnittes des Kühlkanals erfolgt. Bevorzugt wird die Strömungsgeschwindigkeit derart gewählt, dass sich in dem Kühlkanal eine laminare Strömung ausbildet. Kriti-

25

30

sche Druckverluste infolge von turbulenten Strömungen und daraus resultierende Vibrationen oder Schwingungen des optischen Elements werden somit vermieden. Zusätzlich ist bevorzugt vorgesehen, dass eine dynamische Viskosität des Kühlmittels derart gewählt oder eingestellt wird, dass diese zumindest im Wesentlichen gleich der von Wasser ist, insbesondere wenigstens 0,89 mPa·s und höchstens 1,52 mPa·s.

Gemäß einer Weiterbildung ist vorgesehen, dass die Soll-Druckdifferenz in Abhängigkeit eines vorgebbaren Soll-Messumgebungsdruckes und eines vorgebbaren Soll-Kühlkanaldruckes bestimmt wird, wobei der Soll-Messumgebungsdruck wenigstens 0,01 mbar und höchstens 0,20 mbar und der Soll-Kühlkanaldruck wenigstens 200 mbar und höchstens 10000 mbar ist. Der Vorteil hierbei ist, dass auf Basis der vorgebbaren oder wählbaren Soll-Messumgebungsdrücke und Soll-Kühlkanaldrücke eine Vielzahl von Soll-Druckdifferenzen bestimmbar oder einstellbar ist, welche bei der Verwendung oder im Betrieb des optischen Elements, insbesondere unter EUV-Bedingungen, vorliegen oder vorliegen können. Die zu vermessende Oberflächenform oder die sich unter der Ist-Druckdifferenz ausbildende Oberflächenform entspricht somit einer sich insbesondere unter EUV-Bedingungen ausbildenden Oberflächenform. Alternativ ist vorzugsweise vorgesehen, dass der Soll-Messumgebungsdruck wenigstens 0,01 mbar und höchstens 1000 mbar ist. Bevorzugt ist vorgesehen, dass der Soll-Messumgebungsdruck 1000 mbar ist und der Soll-Kühlkanaldruck wenigstens 1200 mbar und höchstens 10000 mbar ist. Hierbei entspricht die vermessene Oberflächenform oder die sich unter der Ist-Druckdifferenz ausbildende Oberflächenform einer sich insbesondere unter Atmosphärendruckbedingungen ausbildenden Oberflächenform.

Gemäß einer Weiterbildung ist vorgesehen, dass der vorgebbare Soll-Messumgebungsdruck wenigstens 0,03 mbar und höchstens 0,1 mbar und der Soll-Kühlkanaldruck wenigstens 500 mbar und höchstens 1000 mbar ist. Der Vorteil hierbei ist, dass die Soll-Druckdifferenz bestimmt wird auf Basis eines besonders eng gewählten Soll-Messumgebungsdruckintervalls und Soll-Kühlkanaldruckintervalls. Insbesondere entspricht eine aus diesem Soll-Messumgebungsdruckintervall und Soll-Kühlkanaldruckintervall gewählte Soll-Druckdifferenz einer Druckdifferenz, wie sie üblicherweise bei einer Verwendung oder einem Betrieb des optischen Elements unter EUV-Bedingungen vorliegt.

Gemäß einer Weiterbildung ist vorgesehen, dass der vorgebbare Soll-Messumgebungsdruck 0,05 mbar und der vorgebbare Soll-Kühlkanaldruck 500 mbar ist. Der Vorteil ist, dass auf Basis dieses Soll-Messumgebungsdruckes und dieses Soll-Kühlkanaldruckes eine fest bestimmte Soll-Druckdifferenz vorgegeben wird. Insbesondere entspricht diese fest bestimmte Soll-Druckdifferenz einer Druckdifferenz, wie sie üblicherweise bei einer Verwendung oder einem Betrieb des optischen Elements unter EUV-Bedingungen vorliegt. Die vermessene Oberflächenform oder die sich unter der Ist-Druckdifferenz ausbildende Oberflächenform entspricht somit besonders genau der sich unter EUV-Bedingungen ausbildenden Oberflächenform.

Ferner betrifft die Erfindung eine Messvorrichtung zum Vermessen einer Oberflächenform eines optischen Elements, wobei das optische Element einen Grundkörper mit einem Substrat und einer reflektierenden Fläche aufweist, und wobei in dem Substrat zumindest ein Kühlkanal zur Aufnahme eines Kühlmittels ausgebildet ist, wobei die Messvorrichtung aufweist: i) eine Messlichtquelle; ii) ein Interferometer, mit welchem eine Vermessung zumindest einer Teilfläche einer Oberfläche des optischen Elements durch interferometrische Überlagerung einer aus einer von der Messlichtquelle erzeugten Messlicht hervorgegangenen und auf das optische Element gelenkten Prüfwellen und einer Referenzwellen durchführbar ist; iii) zumindest ein ansteuerbares Kühlmittelreservoir zur Bevorratung von Kühlmittel, und iv) ein Steuergerät aus, das dazu ausgebildet ist, bei bestimmungsgemäßem Gebrauch das Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 16 durchzuführen. Es ergeben sich hierdurch die bereits genannten Vorteile. Weitere Vorteile und bevorzugte Merkmale ergeben sich aus dem zuvor Beschriebenen sowie aus den Ansprüchen.

Gemäß einer Weiterbildung der Messvorrichtung ist vorgesehen, dass das Kühlmittel eine Brechzahl aufweist, die zumindest im Wesentlichen gleich einer Brechzahl des Substrats des zu prüfenden optischen Elements ist. Es ergibt sich der Vorteil einer besonders genauen, insbesondere störreflexminimierten, Vermessung oder Vermessbarkeit der Oberflächenform des optischen Elements. Unerwünschte Rückreflexionen des insbesondere an einer Grenzfläche zwischen Substrat und Kühlkanal aufgrund eines Brechzahlunterschiedes reflektierten Messlichts werden durch die entsprechende Wahl der Brechzahl des Kühlmittels verhindert. Insbesondere werden dadurch

Interferenzen des an der reflektierenden Fläche reflektierten Messlichts mit den unerwünschten Rückreflexionen vermieden. Optional ist zusätzlich vorgesehen, dass die Kühlkanäle, insbesondere die Wände der Kühlkanäle, zur Gewährleistung einer diffusen Streuwirkung eine vorgebbare Rauigkeit aufweisen. Durch die diffuse Streuung werden Störreflexe reduziert. Bevorzugt ist vorgesehen, dass eine dynamische Viskosität des Kühlmittels zumindest im Wesentlichen gleich der von Wasser ist, insbesondere wenigstens 0,89 mPa·s und höchstens 1,52 mPa·s.

Gemäß einer Weiterbildung ist vorgesehen, dass das Kühlmittel eine Lösung einer anorganischen oder organischen Substanz in Wasser ist. Der Vorteil hierbei ist, dass die Brechzahl insbesondere in Abhängigkeit einer vorgebbaren Konzentration der Substanz variabel einstellbar ist. Die Substanz ist beispielsweise Zucker oder Kaliumiodid.

Gemäß einer Weiterbildung ist vorgesehen, dass die Substanz bei Mischung mit Wasser eine homogene Phase bildet. „Homogene Phase“ bedeutet hierbei, dass die Verteilung der Substanz im Wasser an jedem Ort gleich ist. Damit wird insbesondere gewährleistet, dass die Brechzahl des Kühlmittels an jeder Stelle des mit Kühlmittel beaufschlagten Kühlkanals gleich ist.

Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Herstellung eines optischen Elements, wobei das optische Element einen Grundkörper mit einem Substrat und einer reflektierenden Fläche aufweist, und wobei in dem Substrat zumindest ein Kühlkanal zur Aufnahme eines Kühlmittels ausgebildet wird, und wobei der Kühlkanal durch einen spanenden Fertigungsprozess, insbesondere Bohren, und/oder durch einen Ätzprozess ausgebildet wird. Das Substrat und die reflektierende Fläche sind insbesondere einstückig ausgebildet.

In einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens ist vorgesehen, dass ein Spiegelkörper die reflektierende Fläche aufweist, wobei das Substrat und der die reflektierende Fläche aufweisende Spiegelkörper durch einen Fügeprozess, insbesondere Bonden, miteinander verbunden werden. In diesem Fall wird der Kühlkanal insbesondere durch einen Ätzprozess, durch ein Schleifen und/oder durch ein Fräsen in dem Substrat ausgebildet. Gemäß dieser Weiterbildung sind das Substrat und die reflektierende Fläche nicht einstückig ausgebildet. Vorzugsweise sind der

Spiegelkörper und das Substrat aus demselben Material gefertigt. Alternativ wird der Kühlkanal in dem die reflektierende Fläche aufweisenden Spiegelkörper ausgebildet, insbesondere durch ein Schleifen, Fräsen und/oder Ätzen. In diesem Fall wird vorzugsweise das Substrat zumindest bereichsweise poliert, so dass das Substrat und
5 der die reflektierende Fläche aufweisende Spiegelkörper durch den Fügeprozess besonders vorteilhaft miteinander verbunden werden können beziehungsweise verbindbar sind.

Gemäß einer Weiterbildung ist vorgesehen, dass der Fügeprozess derart durchgeführt
10 wird, dass die reflektierende Fläche und eine sich durch den Fügeprozess zwischen reflektierender Fläche und Substrat ausbildende Grenzschicht zumindest bereichsweise nicht deckungsgleich zueinander ausgerichtet sind. „Nicht deckungsgleich“ bedeutet, dass eine erste Tangentialebene in einem vorgebbaren Punkt der reflektierenden Fläche und eine zweite Tangentialebene in einem vorgebbaren Punkt der Grenzschicht nicht parallel zueinander ausgerichtet sind. Anders ausgedrückt: Ein Normalenvektor der ersten Tangentialebene und ein Normalenvektor der zweiten Tangentialebene weisen eine Abweichung größer null zueinander auf. Der vorgebbare Punkt der reflektierenden Fläche und der vorgebbare Punkt der Grenzschicht sind vorzugsweise entlang einer Geraden angeordnet, wobei die Gerade parallel zu einer optischen
15 Achse des optischen Elements ausgerichtet ist. Der Vorteil hierbei ist, dass eine Überlagerung des an der reflektierenden Fläche und des an der Grenzschicht reflektierten Messlichts besonders effektiv vermieden wird. So wird ein auf die Grenzschicht einfallender Messlichtstrahl einen Ausfallswinkel aufweisen, welcher sich von einem Ausfallswinkel eines auf die reflektierende Fläche einfallenden Messlichtstrahles unterscheidet. Dies ist insbesondere dann von Vorteil, wenn die sich ausbildende Grenzschicht eine Brechzahl aufweist, welche sich von der Brechzahl des Substrats oder des die reflektierende Fläche aufweisenden Spiegelkörpers unterscheidet. Die reflektierende Fläche und die Grenzschicht können jeweils planar, also ohne Krümmung, ausgebildet sein oder eine Krümmung aufweisen.
20

Gemäß einer Weiterbildung ist vorgesehen, auf die reflektierende Fläche zumindest bereichsweise eine Schicht aufzubringen, welche dazu ausgebildet ist, Licht einer Wellenlänge von mindestens 193 nm und höchstens 633 nm zu reflektieren, insbesondere von mindestens 532 nm und höchstens 633 nm. Hierbei ergibt sich der Vorteil, dass
30

das optische Element hochgenau mittels Messlicht, also Licht einer Wellenlänge von mindestens 193 nm und höchstens 633 nm vermessbar ist. Zudem wird durch die Schicht oder Messschicht vermieden, dass der Messlichtstrahl auf eine sich durch den Fügeprozess zwischen reflektierender Fläche und Substrat ausbildende Grenzschicht gelangt oder gelangen kann. Die Schicht weist vorzugsweise zumindest eine Siliziumschicht und/oder zumindest eine Chromschicht auf. In vorteilhafter Weise kann vorgesehen sein, dass eine Bearbeitung der reflektierenden Fläche durch Ionenstrahlbearbeitung erfolgt.

Gemäß einer Weiterbildung ist vorgesehen, dass das Substrat ein Material aufweist, das derart ausgebildet wird, dass es Licht einer vorgebbaren Wellenlänge, insbesondere einer Wellenlänge von mindestens 193 nm und höchstens 633 nm, insbesondere von mindestens 532 nm und höchstens 633 nm, absorbiert. Vorzugsweise wird das Material des Substrats mit einem die Absorption erhöhenden Material dotiert. Vorzugsweise sind das Substrat und die reflektierende Fläche einstückig ausgebildet. Sind das Substrat und ein die reflektierende Fläche aufweisender Spiegelkörper durch Bonden miteinander verbunden, so ist vorzugsweise vorgesehen, dass der Spiegelkörper das Material aufweist, das zur Absorption des Lichts vorgegebbarer Wellenlänge ausgebildet ist.

Ferner betrifft die Erfindung eine Projektionsbelichtungsanlage für die Halbleiterlithografie, aufweisend: i) eine Beleuchtungseinrichtung; ii) ein Projektionsobjektiv und iii) zumindest ein optisches Element, das einen Grundkörper mit einem Substrat und einer reflektierenden Fläche aufweist, wobei in dem Substrat zumindest ein Kühlkanal zur Aufnahme eines Kühlmittels ausgebildet ist. Die Projektionsbelichtungsanlage zeichnet sich dadurch aus, dass das optische Element hergestellt ist durch ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Im Folgenden soll die Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert werden. Dazu zeigen

- Figur 1 eine schematische Darstellung einer Messvorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel,
- 5 Figur 2 eine schematische Darstellung eines optischen Elements gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel,
- Figur 3 eine schematische Darstellung eines optischen Elements gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel,
- 10 Figur 4 eine schematische Darstellung eines optischen Elements gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel,
- Figur 5 ein Flussdiagramm zur Darstellung eines Verfahrens zur Vermessung einer Oberflächenform eines optischen Elements und
- 15 Figur 6 eine schematische Darstellung einer für den Betrieb im EUV ausgelegten Projektionsbelichtungsanlage.

20 Detaillierte Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen

Figur 1 zeigt eine schematische Darstellung einer insbesondere interferometrischen Messvorrichtung 1 zur Vermessung einer Oberflächenform eines optischen Elements 2, insbesondere eines Spiegels 3, einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage. Die Messvorrichtung 1 weist zumindest eine (vorliegend nicht dargestellte) Messlichtquelle 4, ein Interferometer 5 sowie ein Kühlmittelreservoir 6 auf.

Die Messlichtquelle 4 erzeugt Messlicht oder eine Messlichtstrahlung einer vorgebbaren Wellenlänge oder mehrerer vorgebbarer Wellenlängen, beispielsweise 193nm, 532 nm und/oder 633 nm. Die Messlichtstrahlung tritt aus einer Austrittsfläche eines Lichtwellenleiters 7 als Eingangswelle 8 mit einer sphärischen Wellenfront in das Interferometer 5 ein.

Das Interferometer 5 umfasst, ohne hierauf beschränkt zu sein, einen Strahlteiler 9, ein diffraktives optisches Element 10 in Form eines insbesondere komplex kodierten

Computer-generierten Hologramms (CGH) 11, drei reflektive Elemente 12, 13, 14, das zu vermessende optische Element 2 sowie eine Interferometerkamera 15. Optional ist vorgesehen, dass das Interferometer 5 weniger oder mehr als die beschriebenen Komponenten umfasst. So kann das Interferometer 5 weniger als drei oder mehr als drei
5 reflektive Elemente 12, 13, 14, oder zusätzlich auch die Messlichtquelle 4 umfassen

Die Messlichtstrahlung oder Eingangswelle 8 durchläuft den Strahlteiler 9 und trifft anschließend auf das CGH 11. Das CGH 11 erzeugt in Transmission gemäß seiner komplexen Kodierung aus der Eingangswelle 8 insgesamt vier Ausgangswellen, von denen
10 eine Ausgangswelle als Prüfwelle auf eine Oberfläche des zu vermessenden optischen Elements 2 mit einer an eine Sollform der Oberfläche des optischen Elements 2 angepassten Wellenfront auftrifft.

Gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel erzeugt das CGH 11 aus der Eingangswelle 8 in Transmission drei weitere Ausgangswellen, von denen jede auf jeweils
15 eines der reflektiven Elemente 12, 13, 14 trifft. Von diesen reflektiven Elementen 12, 13, 14 sind die Elemente 12 und 13 im Ausführungsbeispiel jeweils als Planspiegel und das reflektive Element 14 als sphärischer Spiegel ausgestaltet. Mit dem Bezugszeichen 16 ist ein optional vorgesehener Shutter bezeichnet. Das CGH 11 dient auch
20 zur Überlagerung der von dem zu vermessenden optischen Element 2 reflektierten Prüfwelle sowie der von den reflektiven Elementen 12, 13, 14 reflektierten Referenzwellen, welche als konvergente Strahlen wieder auf den Strahlteiler 9 treffen und von diesem in Richtung der Interferometerkamera 15 reflektiert werden, wobei sie ein Okular 17 durchlaufen. Die Interferometerkamera 15 erfasst ein durch die interferierenden
25 Wellen erzeugtes Interferogramm, aus welchem durch eine (nicht dargestellte) Auswerteeinrichtung eine Istform oder die Oberflächenform des optischen Elements 2 bestimmt wird.

Das optische Element 2 weist vorliegend einen Grundkörper 18 mit einem Substrat 19 und einer reflektierenden Fläche 20 auf, wobei in dem Substrat 19 zumindest ein (hier
30 nicht dargestellter) Kühlkanal 21 zur Aufnahme eines gasförmigen oder flüssigen Kühlmittels 22 ausgebildet ist. Das Material des Substrats 19 ist beispielsweise ein Glasmaterial wie beispielsweise Quarzglas oder ein Glaskeramikmaterial wie beispielsweise Zerodur®, hergestellt von der Firma Glaswerke Schott, oder ULE® (ultra low

expansion)-Glas, hergestellt von der Firma Corning. Quarzglas weist bei einer Wellenlänge von 546,1 nm eine Brechzahl von 1,45, ULE® -Glas eine Brechzahl von 1,4828 und Zerodur® eine Brechzahl von 1,5447 auf.

- 5 Zur Bevorratung von Kühlmittel 22 weist die Messvorrichtung 1 das Kühlmittelreservoir 6 auf. Vorzugsweise weist die Messvorrichtung 1 zusätzlich eine ansteuerbare und mit dem Kühlmittelreservoir 6 verbundene Fördereinrichtung 23, insbesondere eine Pumpe 24, zum Fördern des Kühlmittels 22 aus dem Kühlmittelreservoir 6 und damit zum Beaufschlagen des Kühlkanals 21 mit Kühlmittel 22 und/oder zum Unterdrucksetzen des Kühlmittels 22 auf. Die Fördereinrichtung 23 ist vorzugsweise eine Hydraulikpumpe, Pneumatikpumpe oder Elektropumpe.
- 10

Vorliegend wird durch eine mit dem Kühlmittelreservoir 6 verbundene Zuleitung 25 das Kühlmittel 22 dem optischen Element 2, insbesondere dem Kühlkanal 21, zugeführt und durch eine mit dem Kühlmittelreservoir verbundene Ableitung 26 aus dem optischen Element 2, insbesondere dem Kühlkanal 21, abgeführt. Vorzugsweise gelangt das Kühlmittel 22 durch die Ableitung 26 wieder zum Kühlmittelreservoir 6, um von dort neu gefördert werden zu können. Zuleitung 25 und Ableitung 26 bilden vorliegend eine Förderleitung 27. Vorzugsweise sind die Zuleitung 25 und die Ableitung 26 jeweils mit dem optischen Element 2 verbindbar, insbesondere für eine lösbare Verbindung, ausgestaltet. Die Zuleitung 25 und/oder die Ableitung 26 können jeweils als Schlauch mit vorgebbarem Durchmesser ausgebildet sein. Die Zuleitung 25 und die Ableitung 26 sind insbesondere derart ausgestaltet, dass Schwingung oder Vibrationen, die während eines Betriebes der Messvorrichtung 1, insbesondere während eines Förderns von Kühlmittel 22 aus dem Kühlmittelreservoir 6 erfolgen können, gedämpft oder unterdrückt werden. Das optische Element 2 wird somit durch Schwingungen und Vibrationen während des Förderns von Kühlmittel 22 aus dem Kühlmittelreservoir 6 nicht beeinflusst, insbesondere wird das optische Element 2 nicht selbst zu Schwingungen und Vibrationen angeregt.

15

20

25

30

Zur Schwingungsdämpfung ist die Zuleitung 25 beispielsweise durchhängend beziehungsweise nicht gestrafft zwischen dem optischen Element 2 und einem Sensor 37, insbesondere einem Durchflusssensor, oder zwischen dem optischen Element 2 und der Druckerfassungseinrichtung 35 oder zwischen dem optischen Element 2 und der

Ausgangsseite 32 der Druckregeleinrichtung 28 angeordnet. Soll die Zuleitung 25 beispielsweise zwischen dem optischen Element 2 und dem Sensor 37 durchhängend angeordnet sein, so wird zur Gewährleistung des Durchhängens eine Länge der Zuleitung 25, insbesondere eine Länge eines Zuleitungsabschnitts 88 zwischen optischem Element 2 und Sensor 37, größer gewählt als der Abstand zwischen optischem Element 2 und Sensor 37 ist. Zur Schwingungsdämpfung ist die Ableitung 26 beispielsweise durchhängend beziehungsweise nicht gestrafft zwischen dem optischen Element 2 und der Druckerfassungseinrichtung 36 oder zwischen dem optischen Element 2 und der Druckregeleinrichtung 34 angeordnet.

Das Kühlmittel 22 wird vorzugsweise derart aus dem Kühlmittelreservoir 6 gefördert, dass sich in dem zumindest einen Kühlkanal 21 ein Druck oder Kühlkanaldruck von wenigstens 200 mbar und höchstens 10000 mbar ausbildet. Zur Erhöhung oder Verringerung des Kühlkanaldruckes beziehungsweise zum Unterdrucksetzen des Kühlmittels 22 wird ein Druck auf das Kühlmittel 22 erhöht oder verringert. Die Anpassung des Drucks erfolgt vorzugsweise durch eine Anpassung, also Erhöhung oder Verringerung, einer Förderleistung der Fördereinrichtung 23, beispielsweise durch Anpassung einer Förderdrehzahl der Pumpe 24. Vorzugsweise erfolgt die Einstellung einer vorgebbaren Strömungsgeschwindigkeit oder eines Volumenstroms, mit welchem das Kühlmittel 22 durch die Förderleitung 27, insbesondere den Kühlkanal 21, strömt, ebenfalls durch die Anpassung der Förderleistung der Fördereinrichtung 23.

Zur Gewährleistung einer Einstellbarkeit oder Einstellung eines vorgebbaren oder definierten Kühlkanaldruckes, welcher sich in dem Kühlkanal 21 ausbildet, weist vorzugsweise die Zuleitung 25 zumindest eine ansteuerbare Druckregeleinrichtung 28, insbesondere ein Zwei-Wege-Druckregelventil 29 oder Drei-Wege-Druckregelventil 30 auf. Die Druckregeleinrichtung 28 weist eine dem Kühlmittelreservoir 6 zugeordnete Eingangsseite 31 und eine dem optischen Element 2 oder Kühlkanal 21 zugeordnete Ausgangsseite 32 auf. Das Zwei-Wege-Druckregelventil 29 und das Drei-Wege-Druckregelventil 30 sind vorzugsweise jeweils dazu ausgebildet, einen eingangsseitigen Druck in einen vorgebbaren ausgangsseitigen Druck umzuwandeln. Insbesondere das Drei-Wege-Druckregelventil 30 ist vorzugsweise dazu ausgebildet, bei Überschreitung eines vorgebbaren Druckes auf der Eingangsseite 31 zu öffnen, so dass der Druck auf

der Ausgangsseite 32 geringer ist als der Druck auf der Eingangsseite 31. Vorzugsweise weist das Drei-Wege-Druckregelventil 30 einen Überlaufausgang 33 auf, der mit dem Kühlmittelreservoir 6 verbunden ist, so dass bei Überschreitung des vorgebbaren Drucks auf der Eingangsseite 31 der Überlaufausgang 33 öffnet und aus dem Druckregelventil 28 Kühlmittel 22 abgeführt und zum Kühlmittelreservoir 6 zurückgeführt werden kann. Optional weist die Ableitung 26 eine weitere ansteuerbare Druckregel-
einrichtung 34 auf. Optional ist vorgesehen, dass die Druckregel-
einrichtung 28 direkt mit dem optischen Element 2 verbindbar oder verbunden ist oder dass das optische Element 2 die Druckregel-
einrichtung 28 aufweist.

Zur Erfassung des Kühlkanaldruckes, insbesondere zur Erfassung des Druckes des Kühlmittels 22 in der Zuleitung 25, ist vorzugsweise zwischen der Druckregel-
einrichtung 28 und dem optischen Element 2, insbesondere dem Kühlkanal 21 oder einer
Eingangsseite des Kühlkanals 21, eine Druckerfassungseinrichtung 35, beispielsweise
ein Drucksensor oder Manometer, angeordnet. Optional ist eine weitere Druckerfas-
sungseinrichtung 36 zwischen dem optischen Element 2, insbesondere dem Kühlkanal
21 oder einer Ausgangsseite des Kühlkanals 21, und der weiteren Druckregel-
einrichtung 34 vorgesehen.

Zur Erfassung einer Strömungsgeschwindigkeit oder eines Volumenstroms des Kühl-
mittels 22 in dem Kühlkanal 21 ist vorzugsweise zwischen der Druckregel-
einrichtung 28 und dem optischen Element 2, insbesondere dem Kühlkanal 21 oder der Eingangs-
seite des Kühlkanals 21, ein Sensor 37, insbesondere ein Durchflusssensor, angeord-
net. Alternativ wird die Strömungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit der durch die
Druckerfassungseinrichtung 35 und der weiteren Druckerfassungseinrichtung 36 er-
fassten Drücke ermittelt.

Zur Temperierung, insbesondere zur Kühlung oder Erwärmung des Kühlmittels 22,
weist die Messvorrichtung 1 optional eine mit dem Kühlmittelreservoir 6 verbundene
Temperiereinrichtung 83 auf. Da eine dynamische Viskosität des Kühlmittels 22 von
Temperatur und Druck abhängig sind, erfolgt eine Temperierung des Kühlmittels 22
vorzugsweise derart, dass die dynamische Viskosität des Kühlmittels 22 einer vorgeb-
baren dynamischen Viskosität entspricht, insbesondere der von Wasser, vorzugs-
weise mindestens 0,891 mPas und höchstens 1,52 mPas. Optional wird das Kühlmittel

22 derart temperiert, dass eine Kühlmitteltemperatur zumindest im Wesentlichen gleich einer vorgebbaren Temperatur, beispielsweise einer Betriebstemperatur einer EUV-Lithografieanlage, ist. Zusätzlich oder alternativ wird zur Änderung der dynamischen Viskosität der Druck auf das Kühlmittel 22 angepasst. Zur Erfassung einer Temperatur des Kühlmittels 22 weist die Messvorrichtung 1 oder die Temperiereinrichtung 83 vorzugsweise einen Temperatursensor auf.

Gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel ist die Messvorrichtung 1 in einem einen Innenraum 38 oder eine Messumgebung 39 umschließenden Gehäuse 40, insbesondere einer Vakuumkammer 41, angeordnet. Dem Gehäuse 40 ist zumindest eine ansteuerbare Vakuumerzeugungseinheit 42, beispielsweise eine Vakuumpumpe, zur Erzeugung eines Vakuums in dem Innenraum 38 oder der Messumgebung 39 zugeordnet. Die Vakuumerzeugungseinheit 42 ist vorzugsweise dazu ausgebildet, in dem Gehäuse 40 ein Vakuum mit einem Gesamtdruck oder Messumgebungsdruck von mindestens 0,01 mbar, insbesondere kleiner als 0,01 mbar, und höchstens 0,1 mbar zu erzeugen. Dies gewährleistet, dass eine Vermessung der Oberflächenform des optischen Elements 2 bei einem Messumgebungsdruck erfolgt oder erfolgen kann, welcher einem Druck entspricht, der bei Verwendung des optischen Elements 2, insbesondere in Kombination mit einer EUV-Lithografieanlage, in einem EUV-Betriebsvakuum vorliegt. Alternativ erfolgt die Vermessung der Oberflächenform bei dem Luftdruck, der am Ort der Vermessung herrscht, insbesondere bei Atmosphärendruck von 1 bar, oder einem beliebigen vorgebbaren Messumgebungsdruck. Zur Erfassung des Messumgebungsdrucks weist die Messvorrichtung 1 vorzugsweise einen Drucksensor 43 auf.

Alternativ ist die Messanordnung 1 nicht in dem Gehäuse 40 oder der Vakuumkammer 41 angeordnet. Dann erfolgt die Vermessung der Oberflächenform bei Luftdruck, insbesondere Atmosphärendruck. Die Messumgebung kann dann der Innenraum 38 oder eine sonstige, insbesondere eine nicht durch ein Gehäuse geschlossene Messumgebung sein.

Weiterhin weist die Messvorrichtung 1 ein Steuergerät 44 auf. Das Steuergerät 44 ist speziell dazu hergerichtet, insbesondere die Fördereinrichtung 23 und/oder zumindest

eines der Druckregelventile 29, 30 insbesondere das Druckregelventil 29, anzusteuern. Das Steuergerät 44 ist vorliegend, ohne hierauf beschränkt zu sein, mit der Fördereinrichtung 23, zumindest einer der Druckregeleinrichtungen 28, 34, dem Drucksensor 43, zumindest einer der Druckerfassungseinrichtungen 35, 36, dem Durchflusssensor 37 und vorzugsweise der Messlichtquelle 4 signaltechnisch, insbesondere durch eine drahtbasierte Datenleitung oder drahtlose Datenleitung, verbunden.

Das Kühlmittel 22 weist vorzugsweise eine Brechzahl auf, die zumindest im Wesentlichen gleich einer Brechzahl des Substrats 19 beziehungsweise des Substratmaterials des zu vermessenden optischen Elements 2 ist. Dies gewährleistet eine besonders vorteilhafte Vermessbarkeit der optischen Elements 2, da unerwünschte Rückreflexionen an einer Grenzfläche zwischen Substrat 19 und Kühlkanal 21 minimiert werden. Das Kühlmittel 22 weist vorzugsweise eine anorganische oder organische Substanz auf, welche vorzugsweise mit Wasser mischbar ist, insbesondere bei Mischung mit Wasser eine homogene Phase bildet. Vorzugsweise weist das Kühlmittel 22 einen sehr niedrigen oder einen sehr hohen Dampfdruck auf. Dadurch wird insbesondere gewährleistet, dass bei geringen Drücken oder unter Vakuumdruckbedingungen das Kühlmittel 22 flüssig bleibt. Bei einer Verschleppung des Kühlmittels 22 in ein Vakuumsystem ist das Kühlmittel 22 somit leicht oder mit geringem Aufwand aus dem Kühlkanal 21 entfernbar. Vorzugsweise ist die Substanz oder das Kühlmittel 22 kein Gefahrstoff, also gefahrlos handhabbar sowie umweltfreundlich entsorgbar.

Die Substanz ist beispielsweise Zucker, insbesondere eine 79 gewichtsprozentige Lösung von Saccharose mit Wasser. Vorzugsweise wird diese Saccharoselösung durch ein Lösen von Zucker in Wasser bei mindestens 70°C und anschließendem Abkühlen hergestellt. Dabei ergibt sich eine Brechzahl von 1,483 bei einer Temperatur von 20°C, wobei diese Brechzahl zumindest im Wesentlichen der Brechzahl des ULE® - Glases entspricht. Alternativ ist die Substanz Kaliumiodid, wobei in Abhängigkeit eines vorgebbaren Anteils von Kaliumiodid in Wasser eine Brechzahl von wenigstens 1,33 (Kaliumiodidanteil null Prozent) und höchstens 1,502 (gesättigte Kaliumiodidlösung) einstellbar ist. Alternativ ist das Kühlmittel 22 Glycerin (Brechzahl: 1,474).

Alternativ ist das Kühlmittel 22 eine Natriumpolywolframatlösung, wobei in Abhängigkeit eines vorgebbaren Anteils der Substanz Natriumpolywolframat in Wasser eine

Brechzahl von wenigstens 1,33 (Natriumpolywolframat null Prozent) und höchstens 1,55 (gesättigte Natriumpolywolframatlösung) einstellbar ist. Alternativ sind folgende Öle oder organischen Substanzen als Kühlmittel 22 vorgesehen: Tetrahydronaphthalin (Brechzahl: 1,541), Salycilsäuremethylester (Brechzahl: 1,535) oder Eugenol (Brechzahl: 1,541). Diese Brechzahlen entsprechen zumindest im Wesentlichen der Brechzahl insbesondere von Zerodur®.

Da die Brechzahl eine Funktion von Wellenlänge und Temperatur ist, wird vorzugsweise bei der Wahl des Kühlmittels 22 oder der Brechzahl des Kühlmittels 22 eine Temperatur der Messumgebung 39 sowie die Wellenlänge der Messlichtstrahlung berücksichtigt. Ist die Messlichtquelle 4 dazu ausgebildet, Messlichtstrahlung verschiedener Wellenlängen zu emittieren, beispielsweise 532 nm und 633 nm, so werden eine erste und eine zweite Brechzahl des Substrats 19 für eine jeweilige Wellenlänge bestimmt und daraus der Mittelwert der Brechzahl gebildet. Gemäß dem gebildeten Mittelwert wird dann das Kühlmittel 22 derart gewählt, dass dessen Brechzahl zumindest im Wesentlichen gleich dem Mittelwert ist. Alternativ wird die Brechzahl in Abhängigkeit einer Abbé Zahl des Materials des Substrats 19 und des Temperaturkoeffizienten der Brechzahl, welcher als dn/dT definiert ist, berechnet, wobei n die Brechzahl des Substrats 19 und T die Temperatur der Messumgebung ist. Alternativ wird die Brechzahl des Substrats 19 gemessen, beispielsweise durch ein Refraktometer, Spektrometer, Interferometer, oder Immersions- und ellipsometrischer Methoden. Die oben genannten Brechzahlen der jeweiligen Kühlmittel 22 und Substrate 19 beziehungsweise Substratmaterialien sind somit als beispielhaft zu verstehen. Tatsächliche Brechzahlen können insbesondere in Abhängigkeit der Wellenlänge der Messlichtstrahlung und der Temperatur der Messumgebung 39 von den genannten Brechzahlen abweichen.

Alternativ ist das Kühlmittel ein gasförmiges Kühlmittel, beispielsweise Stickstoff oder trockene Luft, also Luft mit einer vorgebbaren relativen Luftfeuchtigkeit, beispielsweise kleiner als 40%. Alternativ ist das flüssige Kühlmittel beispielsweise Wasser, insbesondere Reinstwasser.

Figur 2 zeigt eine vereinfachte Querschnittsdarstellung des optischen Elements 2 gemäß einer ersten Ausführungsform. Das optische Element 2 weist den Grundkörper 18 mit dem Substrat 19 und der reflektierenden Fläche 20 auf. In dem Substrat 19

ist/sind zumindest ein Kühlkanal 21, vorliegend mehrere zueinander benachbarte Kühlkanäle 21, 45, 46, 47, zur Aufnahme des Kühlmittels 22 ausgebildet. Der Abstand zwischen jeweils zwei zueinander benachbarten Kühlkanälen 21, 45, 46, 47 beträgt vorzugsweise mindestens 1 mm und höchstens 12 mm. Die zueinander benachbarten Kühlkanäle 21, 45, 46, 47 sind vorliegend in einer Ebene oder Kühlkanalebene 50 angeordnet. Optional weist das Substrat 19 zumindest eine weitere Kühlkanalebene auf, welche insbesondere unterhalb der Kühlkanalebene 50 angeordnet ist.

In dem Substrat 19 sind vorzugsweise mindestens 20 und höchstens 200 Kühlkanäle 21 ausgebildet. Ein jeweiliger Kühlkanal 21 weist vorzugsweise einen rechteckigen oder kreisförmigen Querschnitt auf, wobei ein Durchmesser des jeweiligen Kühlkanals 21 mindestens 0,5 mm und höchstens 5 mm ist. Die Kühlkanäle 21, 45, 46, 47, sind beispielsweise mäanderförmig oder parallel zueinander ausgebildet. Der Abstand des Kühlkanals 21, insbesondere einer oberen Kühlkanalwand 90 eines jeweiligen Kühlkanals 21, 45, 46, 47 zur reflektierenden Fläche 20 beträgt vorzugsweise mindestens 2 mm und höchstens 30 mm.

Vorzugsweise weist das optische Element 2, insbesondere das Substrat 19, eine erste und eine zweite Verbindungsöffnung 48, 49 auf, wobei die erste und die zweite Verbindungsöffnung 48, 49 derart ausgebildet sind, dass die erste Verbindungsöffnung 48 mit der Zuleitung 25 und die zweite Verbindungsöffnung 49 mit der Ableitung 26 oder umgekehrt verbindbar sind. Alternativ oder zusätzlich ist zumindest eine der Verbindungsöffnungen 48, 49 für eine direkte Verbindung, also ohne Zwischenschaltung einer Zuleitung 25, mit der Druckregeleinrichtung 28 ausgebildet. Vorzugsweise münden insbesondere die parallel zueinander ausgebildeten oder ausgerichteten Kühlkanäle 21, 45, 46, 47 einerseits jeweils in die erste Verbindungsöffnung 48 und andererseits jeweils in die zweite Verbindungsöffnung 49. Der Abstand der Verbindungsöffnungen 48, 49 zueinander ist vorzugsweise mindestens 50 mm und höchstens 1000 mm.

Auf der reflektierenden Oberfläche oder Fläche 20 ist vorzugsweise eine einlagige oder mehrlagige Reflexionsschicht 51 aufgebracht, die insbesondere für eine Reflexion von Messlichtstrahlung einer Wellenlänge von insbesondere 193 nm, 532 nm und/oder 633 nm ausgebildet ist. Dies gewährleistet eine zuverlässige Reflexion der Messlicht-

strahlung und damit eine zuverlässige Vermessung oder Vermessbarkeit der Oberflächenform des optischen Elements 2. Die einlagige oder mehrlagige Reflexionsschicht 51 weist vorzugsweise gesputtertes Chrom und/oder Silizium auf, insbesondere zumindest eine Chromschicht und/oder eine Siliziumschicht. Optional oder zusätzlich ist
5 vorgesehen, dass das Material des Substrats 19 derart ausgebildet, insbesondere dotiert, wird, dass es die Messlichtstrahlung absorbiert.

Optional ist auf der reflektierenden Oberfläche oder Fläche 20 keine Reflexionsschicht 51 aufgebracht.

10

Die Kühlkanäle 21, 45, 46, 47 werden oder sind vorzugsweise durch ein spanendes Fertigungsverfahren, beispielsweise durch Bohren, hergestellt. Vorliegend sind das Substrat 19 und die reflektierende Fläche 20 einstückig ausgebildet.

15 Optional weist das optische Element 2 die Druckregeleinrichtung 28 auf. Vorzugsweise ist dabei die Druckregeleinrichtung 28 unmittelbar, beispielsweise unter Zwischenschaltung einer Verbindungselements wie der Zuleitung 25, oder unmittelbar, also direkt, an einer der Verbindungsöffnungen 48, 49 angeordnet.

20 Figur 3 zeigt in eine vereinfachte Querschnittsdarstellung das optische Element 52 gemäß einer zweiten Ausführungsform. Das optische Element 52 entspricht im Wesentlichen dem optischen Element aus Figur 2. Der Unterschied ist jedoch, dass ein Spiegelkörper 55 die reflektierende Fläche 20, 54 aufweist, und dass das Substrat 53 und die reflektierende Fläche 20, 54 beziehungsweise das Substrat 53 und der die
25 reflektierende Fläche 20, 54 aufweisender Spiegelkörper 55 nicht einstückig ausgebildet sind.

Vorzugsweise werden oder sind insbesondere in dem Substrat 53 die Strukturen zur Bildung der Kühlkanäle 56, 57, 58, 59 durch Fräsen, Schleifen und/oder Ätzen einge-
30 bracht oder hergestellt. Vorzugsweise erfolgt anschließend an das Fräsen und/oder Schleifen ein Ätzen des Substrats 53 oder des Substratmaterials. Optional sind die Strukturen der Kühlkanäle 56, 57, 58, 59 durch ein laserbasiertes Verfahren, beispielsweise Laserablation oder selektives Laserätzen hergestellt. Alternativ wird der Kühlkanal 56, 57, 58, 59 in dem die reflektierende Fläche 20, 54 aufweisenden Spiegelkörper

55 ausgebildet, insbesondere durch ein Schleifen, Fräsen und/oder Ätzen. In diesem Fall wird das Substrat 53 vorzugsweise zumindest bereichsweise poliert, so dass das Substrat 53 und der die reflektierende Fläche 20, 54 aufweisende Spiegelkörper 55 durch den Fügeprozess besonders vorteilhaft miteinander verbunden werden können beziehungsweise verbindbar sind.

Vorliegend sind oder werden die reflektierende Fläche 20, 54 beziehungsweise der die reflektierende Fläche 20, 54 aufweisende Spiegelkörper 55 und das Substrat 53 durch einen Fügeprozess verbunden, insbesondere gebondet. Durch das Bonden werden insbesondere rundum, also an allen Kühlkanalseiten, verschlossene Kühlkanäle 56, 57, 58, 59 ausgebildet. Vorzugsweise sind das Substrat 53 und die reflektierende Fläche 20, 54 beziehungsweise der die reflektierende Fläche 20, 54 aufweisende Spiegelkörper 55 aus demselben Material, insbesondere aus dem Material des Substrats 53, gefertigt.

Durch das Bonden kann sich eine Grenzschicht 60 ausbilden. Vorliegend ist eine solche sich ausbildende Grenzschicht 60 dargestellt. Die Grenzschicht 60 weist üblicherweise eine Brechzahl auf, welche sich von der Brechzahl des Substratmaterials unterscheidet.

Um störende oder ungewollte Reflexionen des Messlichtes oder der Messlichtstrahlung an der Grenzschicht 60 zu vermeiden, weist das optische Element 52 vorzugsweise die Reflexionsschicht 51 auf. Optional weist das optische Element 52 keine Reflexionsschicht auf. In diesem Fall ist das Substratmaterial und/oder der Spiegelkörper 55 zur Vermeidung eines Eindringens von Messlichtstrahlung in das Substrat 53 und/oder in den Spiegelkörper 55 und damit insbesondere zur Grenzschicht 60 vorzugsweise derart ausgebildet, insbesondere dotiert, dass es die Messlichtstrahlung absorbiert. Alternativ wird das Material der Grenzschicht 60 derart dotiert, dass es Licht einer vorgebbaren Wellenlänge, insbesondere einer Wellenlänge von mindestens 193 nm und höchstens 633 nm, insbesondere mindestens 532 nm und höchstens 633 nm, absorbiert. Optional ist vorgesehen, dass die Kühlkanäle, insbesondere die Wände der Kühlkanäle, zur Gewährleistung einer diffusen Streuwirkung eine vorgebbare Rauigkeit aufweisen. Die Rauigkeit wird insbesondere durch einen entsprechenden Ätzprozess erzielt.

Figur 4 zeigt in eine vereinfachte Querschnittsdarstellung ein weiteres optisches Element 61, bei welchem die reflektierende Fläche 62 beziehungsweise der die reflektierende Fläche 62 aufweisende Spiegelkörper 63 und das Substrat 64 durch einen Fügeprozess verbunden, insbesondere gebondet, sind.

Gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel erfolgt das Bonden derart, dass die reflektierende Fläche 62 und die sich dabei ausbildende Grenzschicht 65 zumindest bereichsweise nicht deckungsgleich zueinander ausgerichtet sind. „Nicht deckungsgleich“ bedeutet, dass eine erste Tangentialebene 84 in einem vorgebbaren Punkt, vorliegend dem Punkt P1, der reflektierenden Fläche 62 und eine zweite Tangentialebene 85 in einem vorgebbaren Punkt, vorliegend dem Punkt P2, der Grenzschicht 65 nicht parallel zueinander ausgerichtet sind. Anders ausgedrückt: Ein Normalenvektor der ersten Tangentialebene 84 und ein Normalenvektor der zweiten Tangentialebene 85 weisen zueinander eine Abweichung größer null auf.

Sind, so wie vorliegend, die reflektierende Fläche 62 und die sich ausbildende Grenzschicht 65 beispielsweise jeweils planar, also ohne Krümmung, ausgebildet, so bedeutet „nicht deckungsgleich“, dass die reflektierende Fläche 62 oder die erste Tangentialebene 84 und die sich ausbildende Grenzschicht 65 oder die zweite Tangentialebene 85 nicht parallel zueinander ausgerichtet sind.

Ist beispielsweise nur die Grenzschicht 65 planar ausgebildet und ist die reflektierende Fläche 62 zumindest bereichsweise gekrümmt ausgebildet (oder umgekehrt), wie vorliegend gestrichelt dargestellt, so bedeutet „nicht deckungsgleich“, dass die Grenzschicht 65 oder die zweite Tangentialebene 85 und die reflektierende Fläche 62, insbesondere eine in Zusammenhang mit der gekrümmt ausgebildeten reflektierenden Fläche 62 in Punkt P1 vorliegende dritte Tangentialebene 86, nicht parallel zueinander ausgerichtet sind.

Sind sowohl die reflektierende Fläche 62 als auch die Grenzschicht 65 zumindest bereichsweise gekrümmt ausgebildet, so bedeutet „nicht deckungsgleich“, dass die Tan-

gentialebene in einem vorgebbaren Punkt P2 der Grenzschicht und die Tangentialebene in einem vorgebbaren Punkt P1 der reflektierenden Fläche nicht parallel zueinander ausgerichtet sind.

- 5 Der vorgebbare Punkt P1 und der vorgebbare Punkt P2 sind vorzugsweise entlang einer Geraden 87 angeordnet, wobei die Gerade 87 parallel zu einer optischen Achse 89 des optischen Elements 2, 52, 61 ausgerichtet ist.

10 Eine Reflexionsschicht ist gemäß dieser Ausführungsform nicht vorgesehen, kann aber optional vorgesehen sein.

Optional weist das Substrat 64 und/oder der Spiegelkörper 63 ein Material auf, das derart ausgebildet wird, dass es Licht einer vorgebbaren Wellenlänge, insbesondere einer Wellenlänge von mindestens 193 nm und höchstens 633 nm, insbesondere von
15 mindestens 532 nm und höchstens 633 nm, absorbiert. Alternativ wird das Material der Grenzschicht 65 derart dotiert, dass es Licht einer vorgebbaren Wellenlänge, insbesondere einer Wellenlänge von mindestens 193 nm und höchstens 633 nm, insbesondere mindestens 532 nm und höchstens 633 nm, absorbiert.

20 Figur 5 zeigt ein Ablaufdiagramm zur Durchführung eines Verfahrens zum Vermessen der Oberflächenform des optischen Elements 2, 52, 61 mittels der Messvorrichtung 1 in einer Messumgebung 39 gemäß einem Ausführungsbeispiel. Vorzugsweise erfolgt die Durchführung des Verfahrens durch das Steuergerät 44. Das Steuergerät 44 weist dazu vorzugsweise einen Mikroprozessor, insbesondere zum Ausführen eines Computer-Programms, dessen Programmcode die Durchführung des beschriebenen Verfahrens bewirkt, sowie einen RAM- und einen ROM-Baustein auf, wobei auf dem ROM-Baustein vorzugsweise Daten, beispielsweise vorgebbare Soll-Drücke, und Programme, beispielsweise Algorithmen, abgespeichert sind. Der Einfachheit halber wird das Verfahren mit Bezugnahme auf lediglich den Kühlkanal 21 beschrieben, ohne auf
25 diesen beschränkt zu sein.

In einem ersten Schritt S1 wird das optische Element 2, 52, 61 bereitgestellt.

In einem zweiten Schritt S2 wird der Kühlkanal 21 mit einem flüssigen oder gasförmigen Kühlmittel 22 beaufschlagt. Dies erfolgt insbesondere durch Ansteuerung der mit dem Kühlmittelreservoir 6 verbundenen Fördereinrichtung 23. Das Kühlmittel 22 wird oder ist dabei derart gewählt, dass die Brechzahl des Kühlmittels 22 zumindest im Wesentlichen gleich der Brechzahl des Substrats 19 des optischen Elements 2, 52, 61 ist.

In einem dritten Schritt S3 wird der Kühlkanaldruck erfasst, insbesondere durch die Druckerfassungseinrichtung 35.

10

In einem vierten Schritt S4 wird der Messumgebungsdruck erfasst, insbesondere durch den Drucksensor 43.

In einem fünften Schritt S5 wird auf Basis des erfassten Kühlkanaldruckes oder Ist-Kühlkanaldruckes $p_{K,IST}$ und des erfassten Messumgebungsdruckes oder Ist-Messumgebungsdruckes $p_{M,IST}$ eine Ist-Druckdifferenz $\Delta p_{IST} = p_{K,IST} - p_{M,IST}$ bestimmt.

In einem sechsten Schritt S6 wird die Ist-Druckdifferenz Δp_{IST} mit einer Soll-Druckdifferenz Δp_{SOLL} verglichen. Die Soll-Druckdifferenz wird vorzugsweise in Abhängigkeit eines vorgebbaren Soll-Messumgebungsdruckes $p_{M,SOLL}$ und eines vorgebbaren Soll-Kühlkanaldruckes $p_{K,SOLL}$ bestimmt: $\Delta p_{SOLL} = p_{K,SOLL} - p_{M,SOLL}$. Dabei werden der Soll-Messumgebungsdruck und der Soll-Kühlkanaldruck derart gewählt, dass der Soll-Messumgebungsdruck wenigstens 0,01 mbar und höchstens 0,20 mbar und der Soll-Kühlkanaldruck wenigstens 200 mbar und höchstens 10000 mbar ist, insbesondere wobei der vorgebbare Soll-Messumgebungsdruck wenigstens 0,03 mbar und höchstens 0,1 mbar und der Soll-Kühlkanaldruck wenigstens 500 mbar und höchstens 1000 mbar ist. Dies gewährleistet, dass die Soll-Bedingungen, also der Soll-Kühlkanaldruck und der Soll-Messumgebungsdruck, zumindest im Wesentlichen EUV-Bedingungen entsprechen, also Druckbedingungen, die üblicherweise im Betrieb einer EUV-Lithografieanlage im Vakuum vorliegen. Der Soll-Kühlkanaldruck wird insbesondere zur Ausbildung eines Überdrucks im Kühlkanal 21 zur Gewährleistung eines Kühlmitteltransports größer gewählt als der Soll-Messumgebungsdruck. Vorzugsweise werden der Soll-Messumgebungsdruck und der Soll-Kühlkanaldruck derart gewählt, dass der

20
25
30

vorgebbare Soll-Messumgebungsdruck 0,05 mbar und der vorgebbare Soll-Kühlkanal-
druck 500 mbar ist. Der Soll-Messumgebungsdruck entspricht vorzugsweise einem
Umgebungsdruck, insbesondere Betriebsumgebungsdruck, in einer EUV-Lithografie-
anlage beziehungsweise einer für einen Betrieb im EUV ausgelegten Projektionsbe-
lichtungsanlage, insbesondere einer als Scanner ausgelegten Projektionsbelichtungs-
anlage für die Halbleiterlithografie. Der Soll-Messumgebungsdruck ist somit beispiels-
weise ein Soll-Scannerumgebungsdruck.

In einem siebten Schritt S7 wird auf eine Abweichung zwischen Ist-Druckdifferenz und
Soll-Druckdifferenz überwacht, wobei dann, wenn auf eine Abweichung zwischen Ist-
Druckdifferenz und Soll-Druckdifferenz größer einem vorgebbaren Grenzwert erkannt
wird, der Kühlkanaldruck derart angepasst wird, dass die Abweichung kleiner oder
gleich dem vorgebbaren Grenzwert wird. Ist der Grenzwert beispielsweise 10 mbar
und wird auf eine Abweichung größer als 10 mbar erkannt, so wird der Kühlkanaldruck
durch Ansteuerung der Fördereinrichtung 23 und/oder zumindest eines der Druckre-
gelventile 28, 29 derart angepasst, dass die Abweichung kleiner oder gleich 10 mbar
wird. Die Abweichung wird vorzugsweise auf Basis der Gleichung

$$\Delta p_{\text{SOLL}} = \Delta p_{\text{IST}}, \quad (1)$$

insbesondere auf Basis der Umformung von (1) zu

$$p_{\text{K,IST}} = p_{\text{K,SOLL}} - p_{\text{M,SOLL}} + p_{\text{M,IST}} \quad (2)$$

bestimmt.

Dadurch, dass der Messumgebungsdruck beziehungsweise der Ist-Messumgebungs-
druck $p_{\text{M,IST}}$ vorzugsweise kontinuierlich erfasst wird, werden dynamische Druck-
schwankungen in der Messumgebung 39 bei der Bestimmung der Abweichung und
damit bei der Anpassung des Ist-Kühlkanaldrucks berücksichtigt. Alternativ ist der
Grenzwert bevorzugt kleiner oder gleich 1 mbar, insbesondere kleiner oder gleich 0,5
mbar, insbesondere gleich Null bar. Vorzugsweise erfolgt die Einstellung einer vorgeb-
baren Strömungsgeschwindigkeit oder eines Volumenstroms, mit welchem das Kühl-

mittel 22 den Kühlkanal 21 durchströmt, ebenfalls durch die Anpassung der Förderleistung der Fördereinrichtung 23. Optional wird eine vorgebbare Strömungsgeschwindigkeit eingestellt, wobei die Vermessung der Oberflächenform bei zwei unterschiedlichen Ist-Druckdifferenzen, insbesondere zwei unterschiedlichen Messumgebungsdrücken, erfolgt und anschließend ein Mittelwert der Messergebnisse gebildet. Zur Temperierung, insbesondere zur Kühlung oder Erwärmung des Kühlmittels 22, insbesondere zur Einstellung einer vorgebbaren dynamischen Viskosität des Kühlmittels 22, wird optional eine mit dem Kühlmittelreservoir 6 verbundene Temperiereinrichtung 83 angesteuert.

Wenn die Abweichung kleiner oder gleich dem vorgebbaren Grenzwert ist, wird in einem achten Schritt S8 die Oberflächenform vermessen. Insbesondere wird dazu die Messlichtquelle 4 und/oder zumindest eine Komponente des Interferometers 5 angesteuert oder aktiviert. Zur Gewährleistung, dass die Abweichung während der Vermessung kleiner als die vorgebbare Abweichung bleibt, werden vorzugsweise während der Vermessung die Schritte S1 bis S7 weiterhin durchgeführt beziehungsweise wiederholt. Wenn erkannt wird, dass die Abweichung größer als der Grenzwert ist, wird die Vermessung vorzugsweise unterbrochen und erst dann fortgeführt, wenn die Abweichung kleiner oder gleich dem Grenzwert ist.

Der Vorteil des beschriebenen Verfahrens ist, dass die Vermessung der Oberflächenform unter einer Ist-Druckdifferenz erfolgt, welche zumindest im Wesentlichen einer Soll-Druckdifferenz unter EUV-Bedingungen entspricht. Dies gewährleistet, dass ein ermitteltes Messergebnis oder eine ermittelte Oberflächenform des optischen Elements 2, 52, 61 der Oberflächenform entspricht, welche sich insbesondere unter EUV-Bedingungen ausbildet oder ausbilden kann. Damit wird ein besonders zuverlässiger Betrieb des optischen Elements 2, 52, 61 beziehungsweise einer Projektionsbelichtungsanlage, welche ein solches optisches Element 2, 52, 61 aufweist, gewährleistet. Die Vermessung kann dabei unter beliebigen Messumgebungsdrücken erfolgen, also beispielsweise unter Atmosphärendruck oder Vakuumdruck.

„EUV-Bedingungen“ bezieht sich vorliegend auf Bedingungen, wie sie typischerweise während eines EUV-Betriebes einer Projektionsbelichtungsanlage oder EUV-Lithogra-

fieranlage vorliegen. Diese Bedingungen beziehen sich insbesondere auf den Betriebsmessumgebungsdruck, vorliegend definiert durch den Soll-Messumgebungsdruck, und den Betriebskühlkanaldruck, vorliegend definiert durch den Soll-Kühlkanaldruck. Optional, ohne hierauf beschränkt zu sein, beziehen sich diese Bedingungen zusätzlich auf die Strömungsgeschwindigkeit des Kühlmittels im Kühlkanal, die Betriebstemperatur der EUV-Lithografieanlage und/oder die Wellenlänge des EUV-Lichtes.

Figur 6 zeigt stark schematisch eine für den Betrieb im EUV ausgelegte Projektionsbelichtungsanlage 66 beziehungsweise ein EUV-Lithographiesystem in Form einer EUV-Lithografieanlage, welche zumindest ein optisches Element 2, 52, 61 aufweist, das insbesondere auf die oben beschriebene Weise hergestellt und/oder vermessen wurde. Die Projektionsbelichtungsanlage 66 weist eine EUV-Lichtquelle 67 zur Erzeugung von EUV-Strahlung auf, die in einem EUV-Wellenlängenbereich unter 50 nm, insbesondere zwischen ca. 5 nm und ca. 15 nm, eine hohe Energiedichte aufweist. Die EUV-Lichtquelle 67 kann beispielsweise in Form einer Plasma-Lichtquelle zur Erzeugung eines laserinduzierten Plasmas oder als Synchrotron-Strahlungsquelle ausgebildet sein. Insbesondere im ersteren Fall kann wie in Figur 6 gezeigt ein Kollektor-Spiegel 68 verwendet werden, um die EUV-Strahlung der EUV-Lichtquelle 67 zu einem Beleuchtungsstrahl 69 zu bündeln und auf diese Weise die Energiedichte weiter zu erhöhen. Der Beleuchtungsstrahl 69 dient zur Beleuchtung eines strukturierten Objekts M mittels einer Beleuchtungseinrichtung 70, welches im vorliegenden Beispiel fünf reflektierende optische Elemente 71 bis 75 (Spiegel) aufweist.

Bei dem strukturierten Objekt M kann es sich beispielsweise um eine reflektive Maske oder ein Retikel handeln, die reflektierende und nicht reflektierende oder zumindest weniger stark reflektierende Bereiche zur Erzeugung mindestens einer Struktur an dem Objekt M aufweist.

Das strukturierte Objekt M reflektiert einen Teil des Beleuchtungsstrahls 69 und formt einen Projektionsstrahlengang 75, der die Information über die Struktur des strukturierten Objekts M trägt und der in ein Projektionsobjektiv 76 eingestrahlt wird, welches eine Abbildung des strukturierten Objekts M beziehungsweise eines jeweiligen Teilbereichs davon auf einem Substrat W erzeugt. Das Substrat W, beispielsweise ein Wafer,

weist ein Halbleitermaterial, beispielsweise Silizium, auf und ist auf einer Halterung angeordnet, welche auch als Wafer-Stage WS bezeichnet wird.

- 5 Im vorliegenden Beispiel weist das Projektionsobjektiv 76 sechs reflektive optische Elemente 77 bis 82 (Spiegel) auf, um ein Bild der an dem strukturierten Objekt M vorhandenen Struktur auf dem Wafer W zu erzeugen. Typischerweise liegt die Zahl der Spiegel in einem Projektionsobjektiv 76 zwischen vier und zehn, gegebenenfalls können aber auch nur zwei Spiegel verwendet werden.
- 10 Bei dem im Rahmen der Erfindung hinsichtlich seiner Oberflächenform beziehungsweise Pässe untersuchten optischen Element 2, 52, 61 kann es sich um einen beliebigen Spiegel der Projektionsbelichtungsanlage 66 handeln, beispielsweise den Kollektor-Spiegel 68, einen der Spiegel 71 bis 75 der Beleuchtungseinrichtung 70 oder
- 15 um einen der Spiegel 77 bis 82 des Projektionsobjektivs 76. Vorzugsweise ist zumindest einer dieser Spiegel gemäß dem oben beschriebenen Verfahren hergestellt und/oder vermessen.

Bezugszeichenliste

	1	Messvorrichtung
	2	optisches Element
5	3	Spiegel
	4	Messlichtquelle
	5	Interferometer
	6	Kühlmittelreservoir
	7	Lichtwellenleiter
10	8	Eingangswelle
	9	Strahlteiler
	10	diffraktives optisches Element
	11	Computer-generiertes Hologramm (CGH)
	12	reflektives Element
15	13	reflektives Element
	14	reflektives Element
	15	Interferometerkamera
	16	Shutter
	17	Okular
20	18	Grundkörper
	19	Substrat
	20	reflektierende Fläche
	21	Kühlkanal
	22	Kühlmittel
25	23	Fördereinrichtung
	24	Pumpe
	25	Zuleitung
	26	Ableitung
	27	Förderleitung
30	28	Druckregeleinrichtung
	29	Zwei-Wege-Druckregelventil
	30	Drei-Wege-Druckregelventil
	31	Eingangsseite
	32	Ausgangsseite

	33	Überlaufausgang
	34	Druckregeleinrichtung
	35	Druckerfassungseinrichtung
	36	Druckerfassungseinrichtung
5	37	Sensor
	38	Innenraum
	39	Messumgebung
	40	Gehäuse
	41	Vakuumkammer
10	42	Vakuumerzeugungseinheit
	43	Drucksensor
	44	Steuergerät
	45	Kühlkanal
	46	Kühlkanal
15	47	Kühlkanal
	48	erste Verbindungsöffnung
	49	zweite Verbindungsöffnung
	50	Kühlkanalebene
	51	Kühlkanalwand
20	52	optisches Element
	53	Substrat
	54	reflektierende Fläche
	55	Spiegelkörper
	56	Kühlkanal
25	57	Kühlkanal
	58	Kühlkanal
	59	Kühlkanal
	60	Grenzschicht
	61	optisches Element
30	62	reflektierende Fläche
	63	Spiegelkörper
	64	Substrat
	65	Grenzschicht
	66	Projektionsbelichtungsanlage

	67	EUV-Lichtquelle
	68	Kollektor-Spiegel
	69	Beleuchtungsstrahl
	70	Beleuchtungseinrichtung
5	71	optisches Element
	72	optisches Element
	73	optisches Element
	74	optisches Element
	75	optisches Element
10	76	Projektionsobjektiv
	77	optisches Element
	78	optisches Element
	79	optisches Element
	80	optisches Element
15	81	optisches Element
	82	optisches Element
	83	Temperiereinrichtung
	84	erste Tangentialebene
	85	zweite Tangentialebene
20	86	dritte Tangentialebene
	87	Gerade
	88	Zuleitungsabschnitt
	89	optische Achse

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines optischen Elements, wobei das optische Element (2, 52, 61) einen Grundkörper (18) mit einem Substrat (19, 53, 64) und einer reflektierenden Fläche (20, 54, 62) aufweist, und wobei in dem Substrat (19, 53, 64) zumindest ein Kühlkanal (21, 45, 46, 47, 56, 57, 58, 59) zur Aufnahme eines Kühlmittels (22) ausgebildet wird, und wobei der Kühlkanal (21, 45, 46, 47, 56, 57, 58, 59) durch einen spanenden Fertigungsprozess und/oder durch einen Ätzprozess ausgebildet wird.
5
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Spiegelkörper (63) die reflektierende Fläche (54, 62) aufweist, wobei das Substrat (53, 64) und der die reflektierende Fläche (54, 62) aufweisende Spiegelkörper (63) durch einen Fügeprozess miteinander verbunden werden.
10
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Fügeprozess derart durchgeführt wird, dass die reflektierende Fläche (62) und eine sich durch den Fügeprozess zwischen reflektierender Fläche (62) und Substrat (64) ausbildende Grenzschicht (60,65) zumindest bereichsweise nicht deckungsgleich zueinander ausgerichtet sind.
15
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die reflektierende Fläche (62) und die Grenzschicht (60, 65) derart zueinander ausgerichtet sind, dass eine erste Tangentialebene (84) in einem vorgebbaren Punkt P1 der reflektierenden Fläche (62) und eine zweite Tangentialebene (85) in einem vorgebbaren Punkt P2 der Grenzschicht (60, 65) nicht parallel zueinander ausgerichtet sind.
20
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der vorgebbare Punkt P1 und der vorgebbare Punkt P2 entlang einer Geraden (87) angeordnet sind, wobei die Gerade (87) parallel zu einer optischen Achse (89) des optischen Elements (2, 52, 61) ausgerichtet ist.
25
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass auf die reflektierende Fläche (20, 54, 62) zumindest bereichsweise eine Schicht
30

aufgebracht wird, welche dazu ausgebildet ist, Licht einer Wellenlänge von mindestens 193 nm und höchstens 633 nm zu reflektieren

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat (19, 53, 64) ein Material aufweist, das derart ausgebildet wird, dass es Licht einer Wellenlänge von mindestens 193 nm und höchstens 633 nm absorbiert.

8. Optisches Element (2, 52, 61), hergestellt durch ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7.

9. Projektionsbelichtungsanlage (66) für die Halbleiterlithografie, aufweisend:

i) eine Beleuchtungseinrichtung (70),

ii) ein Projektionsobjektiv (76) und

iii) zumindest ein optisches Element (2, 52, 61), das einen Grundkörper (18) mit einem Substrat (19, 53, 64) und einer reflektierenden Fläche (20, 54, 62) aufweist, wobei in dem Substrat (19, 53, 64) zumindest ein Kühlkanal (21, 45, 46, 47, 56, 57, 58, 59) zur Aufnahme eines Kühlmittels (22) ausgebildet ist,

dadurch gekennzeichnet, dass das optische Element (2, 52, 61) hergestellt ist durch ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7.

10. Verfahren zum Vermessen einer Oberflächenform eines optischen Elements (2, 52, 61) in einer vorgebbaren Messumgebung (39), wobei das optische Element (2, 52, 61) einen Grundkörper (18) mit einem Substrat (19, 53, 64) und einer reflektierenden Fläche (20, 54, 62) aufweist, und wobei in dem Substrat (19, 53, 64) zumindest ein Kühlkanal (21, 45, 46, 47, 56, 57, 58, 59) zur Aufnahme eines Kühlmittels (22) ausgebildet ist,

umfassend folgende Schritte:

a) Erfassen eines Kühlkanaldruckes,

b) Erfassen eines Messumgebungsdruckes,

c) Bestimmen einer Ist-Druckdifferenz auf Basis des Kühlkanaldruckes und des Messumgebungsdruckes,

d) Vergleichen der Ist-Druckdifferenz mit einer vorgebbaren Soll-Druckdifferenz,

e) Überwachen auf eine Abweichung zwischen Ist-Druckdifferenz und Soll-Druckdifferenz, wobei dann, wenn auf eine Abweichung größer einem vorgebbaren Grenzwert

erkannt wird, der Kühlkanaldruck derart angepasst wird, dass die Abweichung kleiner oder gleich dem vorgebbaren Grenzwert wird,

f) Vermessen der Oberflächenform, wenn die Abweichung kleiner oder gleich dem vorgebbaren Grenzwert ist.

5

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Kühlkanaldruck derart angepasst wird, dass die Abweichung kleiner als 10 mbar, insbesondere kleiner als 1 mbar, vorzugsweise kleiner als 0,5 mbar, wird.

10

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Kühlkanal (21, 45, 46, 47, 56, 57, 58, 59) mit einem flüssigen oder gasförmigen Kühlmittel (22) beaufschlagt wird, wobei zur Anpassung des Kühlkanaldruckes ein Druck auf das Kühlmittel (22) erhöht oder verringert wird.

15

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass eine Erhöhung oder Verringerung des Drucks auf das Kühlmittel (22) hydraulisch oder pneumatisch erfolgt.

20

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Kühlkanal (21, 45, 46, 47, 56, 57, 58, 59) durch das Kühlmittel (22) mit einer vorgebbaren Strömungsgeschwindigkeit durchströmt wird.

25

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 10 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Soll-Druckdifferenz in Abhängigkeit eines vorgebbaren Soll-Messumgebungsdruckes und eines vorgebbaren Soll-Kühlkanaldruckes bestimmt wird, wobei der Soll-Messumgebungsdruck wenigstens 0,01 mbar und höchstens 0,20 mbar und der Soll-Kühlkanaldruck wenigstens 200 mbar und höchstens 10000 mbar ist, insbesondere wobei der vorgebbare Soll-Messumgebungsdruck wenigstens 0,03 mbar und höchstens 0,1 mbar und der Soll-Kühlkanaldruck wenigstens 500 mbar und höchstens 1000 mbar ist.

30

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass der vorgebbare Soll-Messumgebungsdruck 0,05 mbar und der vorgebbare Soll-Kühlkanaldruck 500 mbar ist.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass das Kühlmittel (22) derart gewählt wird, dass die Brechzahl des Kühlmittels (22) zumindest im Wesentlichen gleich der Brechzahl des Substrats (19) des optischen Elements (2, 52, 61) ist.

5

18. Messvorrichtung (1) zum Prüfen einer Oberflächenform eines optischen Elements (2, 52, 61), wobei das optische Element (2, 52, 61) einen Grundkörper (18) mit einem Substrat (19, 53, 64) und einer reflektierenden Fläche (20, 54, 62) aufweist, und wobei in dem Substrat zumindest ein Kühlkanal (21, 45, 46, 47, 56, 57, 58, 59) zur Aufnahme eines Kühlmittels (22) ausgebildet ist, aufweisend:

10

i) eine Messlichtquelle (4),

ii) ein Interferometer (5), mit welchem eine Prüfung zumindest einer Teilfläche einer Oberfläche des optischen Elements (2, 52, 61) durch interferometrische Überlagerung einer aus einer von der Messlichtquelle (4) erzeugten Messlicht hervorgegangenen und auf das optische Element (2, 52, 61) gelenkten Prüfwellen und einer Referenzwellen durchführbar ist;

15

iii) zumindest ein ansteuerbares Kühlmittelreservoir (6) zur Bevorratung von Kühlmittel (22), und

iv) ein Steuergerät (44), das dazu ausgebildet ist, bei bestimmungsgemäßem Gebrauch das Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 16 durchzuführen.

20

19. Messvorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass das Kühlmittel (22) eine Brechzahl aufweist, die zumindest im Wesentlichen gleich einer Brechzahl des Substrats (19, 53, 64) des zu prüfenden optischen Elements (2, 52, 61) ist.

25

20. Messvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, dass das Kühlmittel (22) eine Lösung einer anorganischen oder organischen Substanz in Wasser ist.

30

21. Messvorrichtung nach Anspruch 20 dadurch gekennzeichnet, dass die Substanz bei Mischung mit Wasser eine homogene Phase bildet.

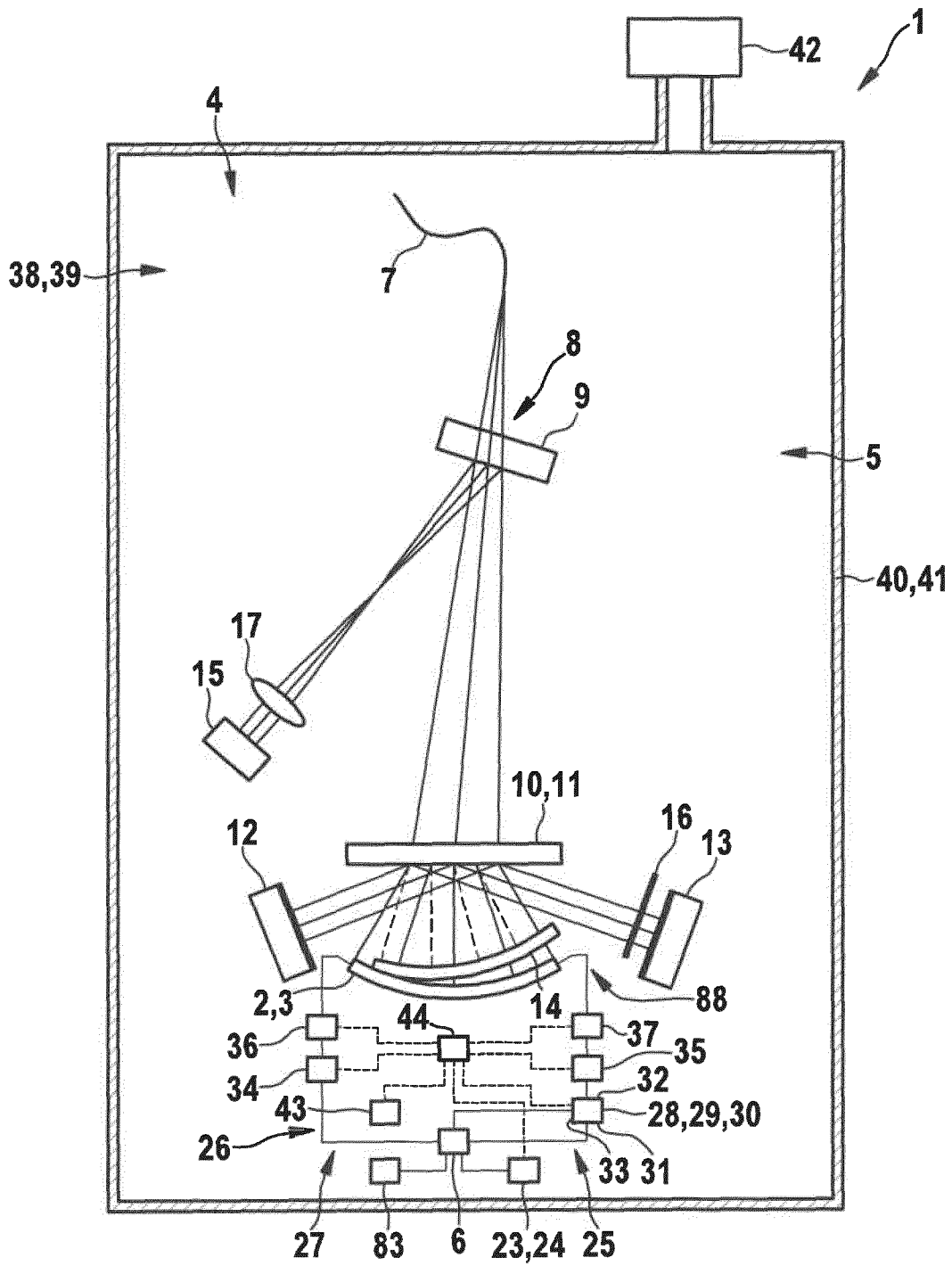


Fig. 1

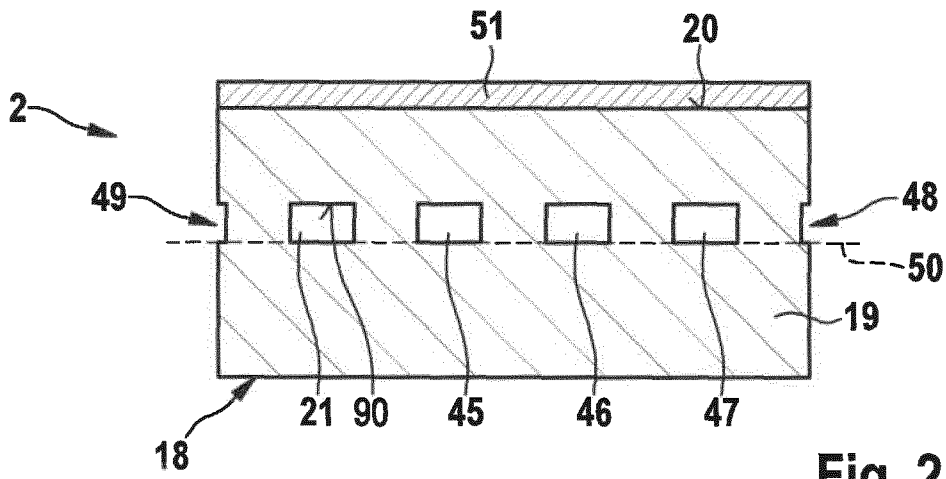


Fig. 2

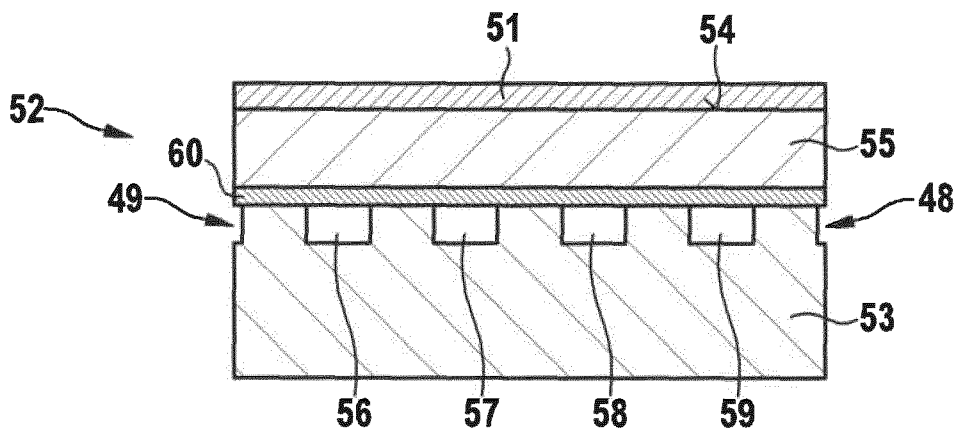


Fig. 3

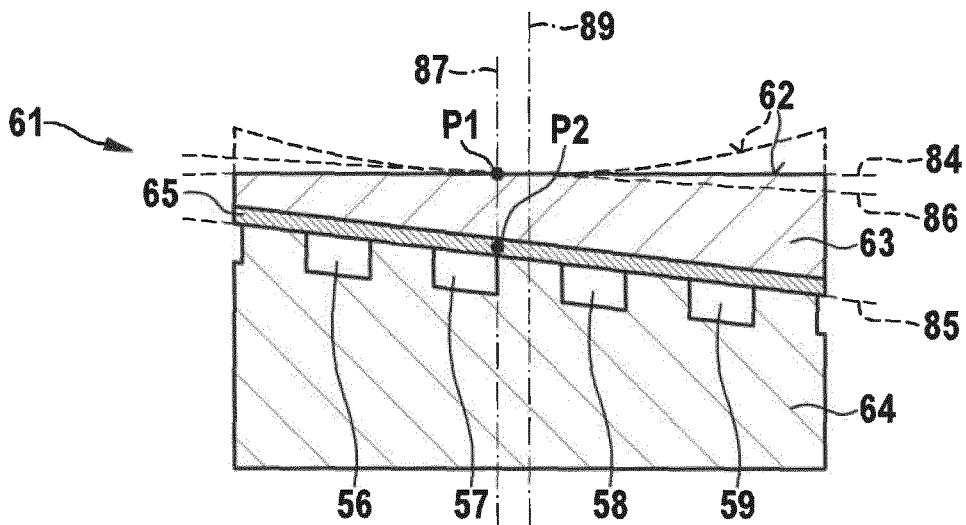


Fig. 4

3 / 4

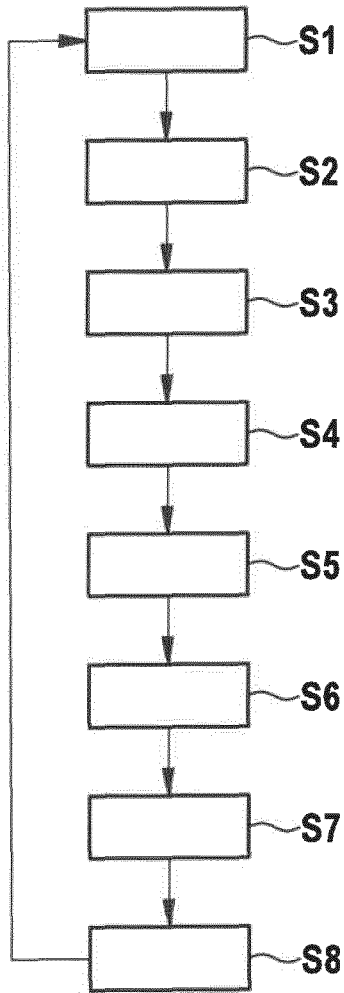


Fig. 5

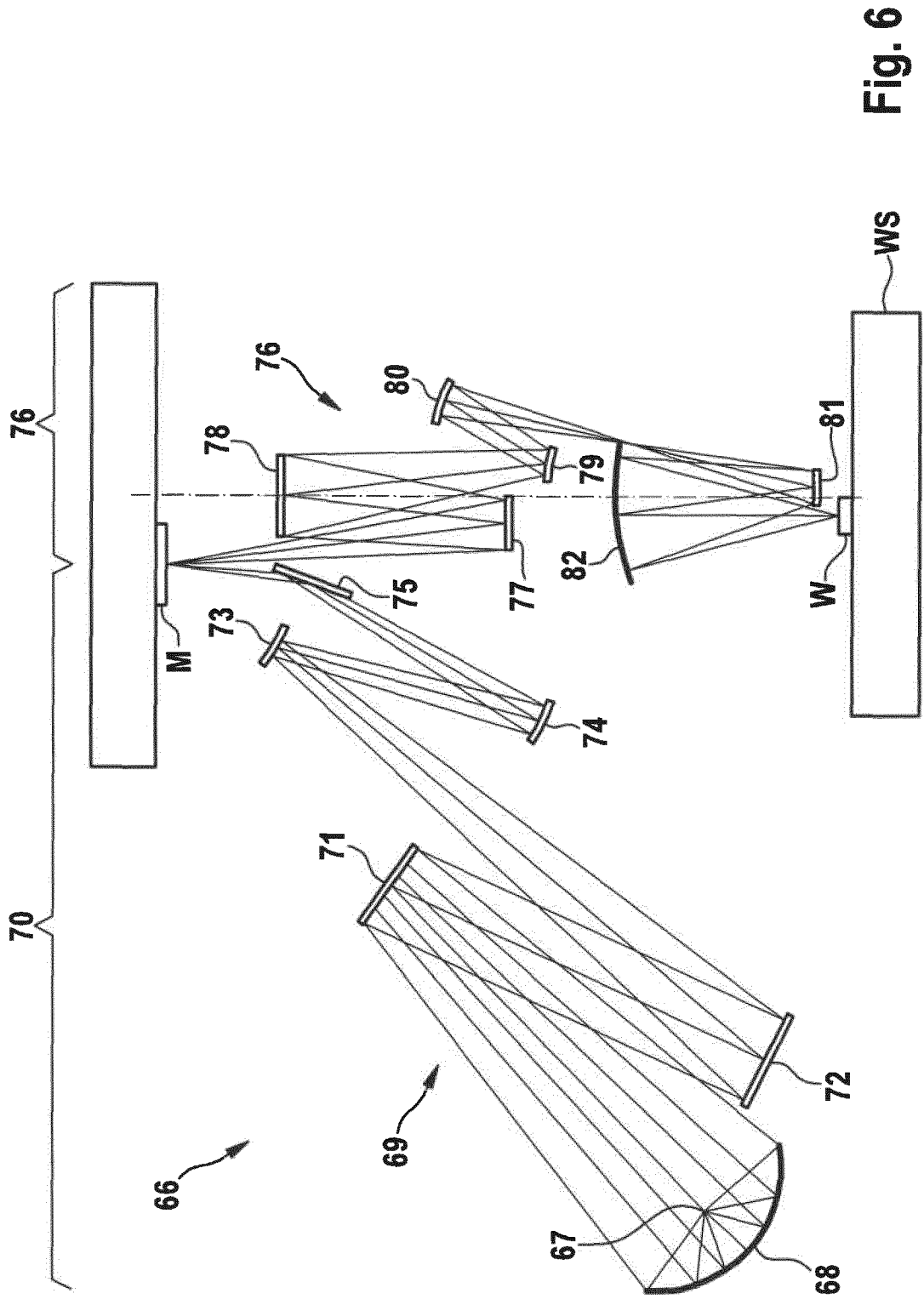


Fig. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/078193

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>G03F 7/20</i> (2006.01)i; <i>G02B 5/08</i> (2006.01)i; <i>G02B 7/18</i> (2021.01)i; <i>G01B 11/24</i> (2006.01)i; <i>G01M 11/00</i> (2006.01)i		
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) G03F; G02B; G01M; G01B		
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 A	DE 102019217530 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 24 December 2019 (2019-12-24) abstract figures 2,3,7 paragraphs [0001], [0026], [0044] - [0047], [0063] - [0086]	1-4,8,9 5-7,10-21
A	DE 102009039400 A1 (ZEISS CARL LASER OPTICS GMBH [DE]) 03 March 2011 (2011-03-03) abstract figure 1 paragraphs [0001], [0008], [0032]	1-21
A	DE 102015209490 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 24 November 2016 (2016-11-24) abstract figure 1 paragraphs [0001], [0055] - [0060]	1-21
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 09 June 2021		Date of mailing of the international search report 17 June 2021
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Andersen, Ole Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/078193

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2017299969 A1 (VAN DE RIJDT JOHANNES HUBERTUS ANTONIUS [NL]) 19 October 2017 (2017-10-19) abstract figures 4A,8 paragraphs [0002], [0056] - [0058], [0075] - [0078]	1-21

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2020/078193

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
DE	102019217530	A1	24 December 2019	NONE	
DE	102009039400	A1	03 March 2011	DE 102009039400 A1	03 March 2011
				JP 5829389 B2	09 December 2015
				JP 2011053687 A	17 March 2011
				US 2011051267 A1	03 March 2011
DE	102015209490	A1	24 November 2016	CN 107646087 A	30 January 2018
				DE 102015209490 A1	24 November 2016
				EP 3298343 A2	28 March 2018
				US 2018106591 A1	19 April 2018
				WO 2016188620 A2	01 December 2016
US	2017299969	A1	19 October 2017	EP 3213149 A1	06 September 2017
				JP 6445148 B2	26 December 2018
				JP 2017532597 A	02 November 2017
				NL 2015584 A	31 August 2016
				US 2017299969 A1	19 October 2017
				WO 2016066392 A1	06 May 2016

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G03F7/20 G02B5/08 G02B7/18 G01B11/24 G01M11/00 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G03F G02B G01M G01B		
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 A A	DE 10 2019 217530 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 24. Dezember 2019 (2019-12-24) Zusammenfassung Abbildungen 2,3,7 Absätze [0001], [0026], [0044] - [0047], [0063] - [0086] ----- DE 10 2009 039400 A1 (ZEISS CARL LASER OPTICS GMBH [DE]) 3. März 2011 (2011-03-03) Zusammenfassung Abbildung 1 Absätze [0001], [0008], [0032] ----- -/--	1-4,8,9 5-7, 10-21 1-21
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> 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	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts	
9. Juni 2021	17/06/2021	
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	

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 10 2015 209490 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 24. November 2016 (2016-11-24) Zusammenfassung Abbildung 1 Absätze [0001], [0055] - [0060] -----	1-21
A	US 2017/299969 A1 (VAN DE RIJDT JOHANNES HUBERTUS ANTONIUS [NL]) 19. Oktober 2017 (2017-10-19) Zusammenfassung Abbildungen 4A,8 Absätze [0002], [0056] - [0058], [0075] - [0078] -----	1-21

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2020/078193

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102019217530 A1	24-12-2019	KEINE	

DE 102009039400 A1	03-03-2011	DE 102009039400 A1 JP 5829389 B2 JP 2011053687 A US 2011051267 A1	03-03-2011 09-12-2015 17-03-2011 03-03-2011

DE 102015209490 A1	24-11-2016	CN 107646087 A DE 102015209490 A1 EP 3298343 A2 US 2018106591 A1 WO 2016188620 A2	30-01-2018 24-11-2016 28-03-2018 19-04-2018 01-12-2016

US 2017299969 A1	19-10-2017	EP 3213149 A1 JP 6445148 B2 JP 2017532597 A NL 2015584 A US 2017299969 A1 WO 2016066392 A1	06-09-2017 26-12-2018 02-11-2017 31-08-2016 19-10-2017 06-05-2016
