

(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. November 2019 (14.11.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2019/214892 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01B 9/02 (2006.01) G03F 7/20 (2006.01)
G01B 9/021 (2006.01) G01M 11/00 (2006.01)
G01B 11/24 (2006.01) G01M 11/02 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/059043

(22) Internationales Anmeldedatum:
10. April 2019 (10.04.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2018 207 081.4
07. Mai 2018 (07.05.2018) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **CARL ZEISS SMT GMBH** [DE/DE]; Rudolf-Eber-
Strasse 2, 73447 Oberkochen (DE).

(72) Erfinder; und

(71) Anmelder (nur für US): **MARZOK, Carsten** [DE/DE];
Erwin-Rommel-Strasse 15, 73430 Aalen (DE). **MÜLLER,
Henriette** [DE/DE]; Sauerbachstrasse 103, 73434 Aa-
len (DE). **SCHULTE, Stefan** [DE/DE]; Hauptstrasse 22,
73495 Stödden (DE). **HYBL, Ondrej** [DE/DE]; Friedenhö-
he 17, 89564 Nattheim (DE). **GOEDECKE, Uwe** [DE/DE];
Mozartstrasse 37/1, 73453 Abtsgmünd (DE).

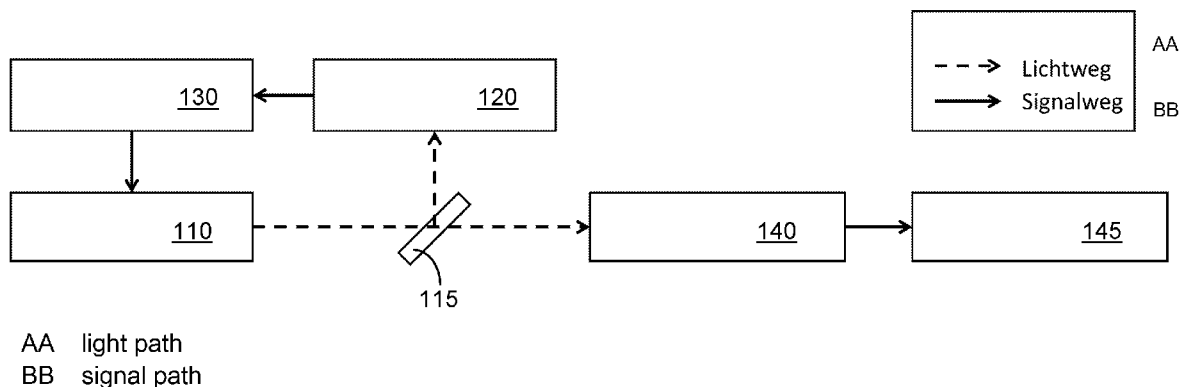
(74) Anwalt: **FRANK, Hartmut**; BONSMANN · BONSMANN · FRANK Patentanwälte, Reichspräsidentenstraße
21-25, 45470 Mülheim a.d. Ruhr (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

(54) Title: TESTING DEVICE AND METHOD FOR TESTING THE SURFACE SHAPE OF AN OPTICAL ELEMENT

(54) Bezeichnung: PRÜFVORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUM PRÜFEN DER OBERFLÄCHENFORM EINES OPTISCHEN ELEMENTS

Fig. 1



(57) **Abstract:** The invention relates to a testing device and a method for testing the surface shape of an optical element, in particular a mirror or a lens of a microlithographic projection exposure system. According to one aspect, the testing device according to the invention has a laser light source (110, 210), an interferometer (140, 240), by means of which at least one sub-surface area of the optical element can be tested by means of an interferometric superpositioning of a test wave, said test wave being produced by the laser light generated by the laser light source and deflected onto the optical element, and a reference wave, and a frequency stabilization device for stabilizing the frequency of the laser light generated by the laser light source on the basis of an atomic or molecular vapor resonance.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft eine Prüfvorrichtung und ein Verfahren zum Prüfen der Oberflächenform eines optischen Elements, insbesondere eines Spiegels oder einer Linse einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage. Gemäß einem Aspekt weist eine erfindungsgemäße Prüfvorrichtung eine Laserlichtquelle (110, 210), ein Interferometer (140, 240), mit welchem eine Prüfung zumindest einer Teilfläche des optischen Elements durch interferometrische Überlagerung einer aus dem von der Laserlichtquelle erzeugten Laserlicht hervorgegangenen und auf das optische Element gelenkten Prüfwellen und einer Referenzwellen durchführbar ist, und eine Frequenzstabilisierungseinrichtung zur Stabilisierung der Frequenz des von der Laserlichtquelle erzeugten Laserlichtes basierend auf einer Atom- oder Moleküldampfresonanz auf.



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, 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)*

Prüfvorrichtung und Verfahren zum Prüfen
der Oberflächenform eines optischen Elements

5

10

Die vorliegende Anmeldung beansprucht die Priorität der Deutschen Patentanmeldung DE 10 2018 207 081.4, angemeldet am 07. Mai 2018. Der Inhalt dieser DE-Anmeldung wird durch Bezugnahme („incorporation by reference“) mit in den vorliegenden Anmeldungstext aufgenommen.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

15

Gebiet der Erfindung

20

Die Erfindung betrifft eine Prüfvorrichtung und ein Verfahren zum Prüfen der Oberflächenform eines optischen Elements, insbesondere eines Spiegels oder einer Linse einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage.

25

30

Stand der Technik

Mikrolithographie wird zur Herstellung mikrostrukturierter Bauelemente, wie beispielsweise integrierter Schaltkreise oder LCDs, angewendet. Der Mikrolithographieprozess wird u.a. 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 der Bildebene des Projektionsobjektivs angeordnetes Substrat (z.B. ein Siliziumwafer) projiziert, um die Maskenstruktur auf die lichtempfindliche Beschichtung des Substrats zu übertragen.

In für den EUV-Bereich ausgelegten Projektionsobjektiven, d.h. bei Wellenlängen von z.B. etwa 13 nm oder etwa 7 nm, werden mangels Verfügbarkeit geeigneter lichtdurchlässiger refraktiver Materialien Spiegel als optische Komponenten für den Abbildungsprozess verwendet. Typische für EUV ausgelegte Projektionsobjektive, wie z.B. aus US 2016/0085061 A1 bekannt, können beispielsweise eine bildseitige numerische Apertur (NA) im Bereich von $NA = 0.55$ aufweisen und bilden ein (z.B. ringsegmentförmiges) Objektfeld in die Bildebene bzw. Waferebene 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 der Fertigung auch die Prüfung der Oberflächenform der Spiegel eine anspruchsvolle Herausforderung darstellt. Die hierbei zu bestimmende Abweichung von einer vorgegebenen Sollform der Oberfläche eines optischen Elements wird im Einklang mit der üblichen Terminologie als „Passe“ bezeichnet. Zur hochgenauen Passemessung kommen interferometrische Messverfahren zum Einsatz.

Fig. 4 zeigt eine schematische Darstellung zur Erläuterung des möglichen Aufbaus einer interferometrischen Prüfvorrichtung zur Prüfung eines Spiegels. Gemäß Fig. 4 tritt die von einer (nicht dargestellten) Lichtquelle erzeugte und aus der Austrittsfläche eines Lichtwellenleiters 401 austretende Beleuchtungsstrahlung als Eingangswelle 405 mit einer sphärischen Wellenfront aus, durchläuft einen Strahlteiler 410 und trifft anschließend auf ein diffraktives optisches Element in Form eines komplex kodierten Computer-generierten Hologramms (CGH) 420. Das CGH 420 erzeugt in Transmission im Beispiel gemäß seiner komplexen Kodierung aus der Eingangswelle 405 insgesamt vier Ausgangswellen, von denen eine Ausgangswelle als Prüfwelle auf die Oberfläche des Testobjekts in Form eines Spiegels 440 mit einer an die Sollform der Oberfläche dieses Spiegels 440 angepassten Wellenfront auftrifft. Des Weiteren erzeugt das CGH 420 aus der Eingangswelle 405 in Transmission drei weitere

Ausgangswellen, von denen jede auf jeweils ein weiteres reflektives optisches Element 431, 432 bzw. 433 trifft. Von diesen reflektiven optischen Elementen 431-433 sind die Elemente 431 und 432 im Beispiel jeweils als Planspiegel und das Element 433 als sphärischer Spiegel ausgestaltet. Mit „435“ ist ein Shutter bezeichnet. Das CGH 420 dient auch zur Überlagerung der vom Testobjekt bzw. Spiegel 440 reflektierten Prüfwellen sowie der von den Elementen 431-433 reflektierten Referenzwellen, welche als konvergente Strahlen wieder auf den Strahlteiler 410 treffen und von diesem in Richtung einer Interferometerkamera 460 reflektiert werden, wobei sie ein Okular 450 durchlaufen. Die Interferometerkamera 460 erfasst ein durch die interferierenden Wellen erzeugtes Interferogramm, aus welchem über eine (nicht dargestellte) Auswerteeinrichtung die tatsächliche Form der optischen Oberfläche des Spiegels 440 bestimmt wird.

In interferometrischen Prüfvorrichtungen wie der vorstehend beschriebenen Prüfvorrichtung geht die Genauigkeit der Einstellung bzw. Kenntnis der Wellenlänge des die Eingangswelle bildenden Laserlichts direkt in die bei der Passmessung erzielbare Messgenauigkeit ein und hat somit maßgeblichen Einfluss auf die präzisionsgefertigte Oberflächenform des betreffenden optischen Elements. Mit steigenden Pässeanforderungen stellt hierbei die hinreichend genaue Wellenlängeneinstellung eine anspruchsvolle Herausforderung dar. Dabei erweisen sich insbesondere herkömmliche Ansätze, welche auf einer Ermittlung der Wellenlänge mit einem kommerziell erhältlichen Wavemeter basieren und/oder bei denen in gewissen Zeitabständen eine Nachkalibrierung der (Laser-) Lichtquelle auf Basis einer geeigneten Referenzlichtquelle durchgeführt wird, u.a. aufgrund nicht hinreichend hoher thermischer Stabilität für die jeweiligen neuen Anforderungen als nicht mehr ausreichend.

Zum Stand der Technik wird lediglich beispielhaft auf DE 10 2015 209 490 A1 und die Publikationen T.W. Hänsch et al.: „*Complete Hyperfine Structure of a Molecular Iodine Line*“, Phys. Rev. Lett. Vol. 26 No. 16, 946-949 (1971), J. Ye et al.: „*Absolute Frequency Atlas of Molecular I₂ Lines at 532 nm*“, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 48, No. 2, April 1999, R.W.P. Drever et al.: „*Laser Phase and Frequency Stabilization using an Opti-*

cal Resonator", Appl. Phys. B 31, 97-105 (1983) und J.L. Hall et al.: "Stabilization and Frequency Measurement of the I_2 -Stabilized Nd:YAG Laser", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 48, No. 2, April 1999 verwiesen.

5

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

10 Vor dem obigen Hintergrund ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Prüfvorrichtung und ein Verfahren zum Prüfen der Oberflächenform eines optischen Elements, insbesondere eines Spiegels oder einer Linse einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, bereitzustellen, welche eine zuverlässige Charakterisierung der Oberflächenform unter zumindest teilweiser Vermeidung der vorstehend beschriebenen Probleme ermöglichen.

15

Diese Aufgabe wird gemäß den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche gelöst.

20

Eine erfindungsgemäße Prüfvorrichtung zum Prüfen der Oberflächenform eines optischen Elements weist auf:

25

- eine Laserlichtquelle;
- ein Interferometer, mit welchem eine Prüfung zumindest einer Teilfläche des optischen Elements durch interferometrische Überlagerung einer aus dem von der Laserlichtquelle erzeugten Laserlicht hervorgegangenen und auf das optische Element gelenkten Prüfwelle und einer Referenzwelle durchführbar ist; und
- eine Frequenzstabilisierungseinrichtung zur Stabilisierung der Frequenz des von der Laserlichtquelle erzeugten Laserlichtes basierend auf einer Atom- oder Moleküldampfresonanz.

30

Als Laserlichtquelle wird insbesondere eine Laserlichtquelle mit hoher zeitlicher Kohärenz (insbesondere mit einer einzigen Frequenz bzw. longitudinalen

Mode) sowie vorzugsweise auch einer einzigen transversalen Mode (z.B. TEM₀₀) verwendet.

Der Erfindung liegt insbesondere das Konzept zugrunde, bei der Bestimmung
5 der Passe eines optischen Elements in einer interferometrischen Prüfvorrichtung eine Steigerung der Messgenauigkeit dadurch zu erzielen, dass eine hochgenaue Kenntnis der (absoluten) Wellenlänge des die Eingangswelle eines Interferometers bildenden Laserlichts durch aktive Stabilisierung der
10 Laserlichtquelle auf eine atomare oder molekulare Resonanz realisiert wird.

Die Kenntnis der (absoluten) Wellenlänge ist besonders wichtig, wenn im
15 Prüfstrahlengang ein oder mehrere diffraktive optische Elemente (wie z.B. Computer-generierte Hologramme, kurz CGHs) verwendet werden, da derartige optische Elemente im Vergleich zu rein refraktiven Elementen sehr wellenlängensensitiv sind.

Dabei beinhaltet die erfindungsgemäße aktive Stabilisierung den Einsatz eines
20 geschlossenen Regelkreises mit der Folge, dass eine in herkömmlichen Ansätzen angewandte Nachkalibrierung - welche wie vorstehend ausgeführt mit steigenden Anforderungen an die Passebestimmung bzw. Präzisionsfertigung ohnehin gegebenenfalls nur unzureichende Genauigkeiten liefern würde - ent-
behrlich wird. Vielmehr ist erfindungsgemäß während der Passebestimmung die jeweils aktuell gültige Wellenlänge der in das Interferometer eingekoppelten
Strahlung im Sinne einer Echtzeitkorrektur jederzeit bekannt.

Dadurch, dass bei der erfindungsgemäßen aktiven Stabilisierung der verwen-
25 deten Laserlichtquelle diese Stabilisierung direkt auf eine Atom- oder Molekülresonanz erfolgt, können im Ergebnis besonders hohe Genauigkeiten hinsichtlich der Kenntnis der absoluten Wellenlänge, typischerweise auf Genauigkeiten von weniger als 100 Femtometern (fm), erreicht werden. Dies ermöglicht wieder-
30 derum hochgenaue Passebestimmungen mit Genauigkeiten, welche einem RMS-Fehler (d.h. einem quadratischen Mittelwert des Fehlers) von weniger als 0.1nm entsprechen.

Dabei ist zur berücksichtigen, dass erfindungsgemäß bewusst ein signifikanter technischer Mehraufwand u.a. im Hinblick auf den zusätzlich erforderlichen Aufbau des vorstehend genannten geschlossenen Regelkreises in Kauf genommen wird, um im Gegenzug die insbesondere bei der avisierten Mikrolithographie-Anwendung geltenden Genauigkeitsanforderungen hinsichtlich der Kenntnis der absoluten Wellenlänge und der Passebestimmung zu erfüllen.

Gemäß einer Ausführungsform weist die Frequenzstabilisierungseinrichtung einen ersten Regelkreis zur Regelung der Frequenz des von der Laserlichtquelle erzeugten Laserlichtes auf.

Gemäß einer Ausführungsform weist die Prüfvorrichtung eine an den ersten Regelkreis gekoppelte Spektroskopie-Einheit zur Durchführung der Atom- oder Moleküldampfspektroskopie zur Bereitstellung einer Absolutfrequenz-Referenz auf.

Gemäß einer Ausführungsform weist die Prüfvorrichtung ferner eine Referenz-Laserlichtquelle auf, wobei eine aktive Frequenzstabilisierung des von der Laserlichtquelle erzeugten Laserlichtes über den ersten Regelkreis auf Basis einer Messung der Differenzfrequenz zwischen der Frequenz des von der Laserlichtquelle erzeugten Laserlichtes und der Frequenz des von der Referenz-Laserlichtquelle erzeugten Laserlichtes erfolgt.

Gemäß einer Ausführungsform weist die Frequenzstabilisierungseinrichtung einen zweiten Regelkreis zur Regelung der Frequenz des von der Referenz-Laserlichtquelle erzeugten Laserlichtes auf.

Gemäß einer Ausführungsform weist die Prüfvorrichtung eine an den zweiten Regelkreis gekoppelte Spektroskopie-Einheit zur Durchführung der Atom- oder Moleküldampfspektroskopie zur Bereitstellung einer Absolutfrequenz-Referenz auf.

Gemäß einer Ausführungsform ist das hinsichtlich seiner Oberflächenform zu prüfende optische Element ein Spiegel oder eine Linse.

5 Gemäß einer Ausführungsform ist das hinsichtlich seiner Oberflächenform zu prüfende optische Element ein optisches Element einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage.

10 Gemäß einer Ausführungsform ist in einem Strahlengang des von der Laserlichtquelle erzeugten Laserlichts zumindest ein diffraktives optisches Element angeordnet.

Gemäß einer Ausführungsform ist das diffraktive optische Element ein computer-generiertes Hologramm.

15 Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung auch eine Prüfvorrichtung zum Prüfen der Oberflächenform eines optischen Elements, mit

- einer Laserlichtquelle;
- einem Interferometer, mit welchem eine Prüfung zumindest einer Teilfläche des optischen Elements durch interferometrische Überlagerung
20 einer aus dem von der Laserlichtquelle erzeugten Laserlicht hervorgegangenen und auf das optische Element gelenkten Prüfwellen und einer Referenzwellen durchführbar ist;
- zumindest einem in einem Strahlengang des von der Laserlichtquelle erzeugten Laserlichts angeordneten diffraktiven optischen Element; und
- 25 – einer Frequenzstabilisierungseinrichtung zur Stabilisierung der Frequenz des von der Laserlichtquelle erzeugten Laserlichtes basierend auf einem Frequenzkamm.

30 Gemäß einer Ausführungsform ist das diffraktive optische Element ein computer-generiertes Hologramm.

Gemäß einer Ausführungsform ist das optische Element ein Spiegel oder eine Linse.

Die Erfindung betrifft weiter ein Verfahren zum Prüfen der Oberflächenform eines optischen Elements, insbesondere eines optischen Elements einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage,

- wobei eine Prüfung zumindest einer Teilfläche des optischen Elements durch interferometrische Überlagerung einer aus dem von der Laserlichtquelle erzeugten Laserlicht hervorgegangenen und auf das optische Element gelenkten Prüfwelle und einer Referenzwelle durchgeführt wird; und
- wobei die Frequenz des von der Laserlichtquelle erzeugten Laserlichtes basierend auf einer Atom- oder Moleküldampfresonanz stabilisiert wird.

Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung auch Verfahren zum Prüfen der Oberflächenform eines optischen Elements, insbesondere eines optischen Elements einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage,

- wobei eine Prüfung zumindest einer Teilfläche des optischen Elements durch interferometrische Überlagerung einer aus dem von einer Laserlichtquelle erzeugten Laserlicht hervorgegangenen und auf das optische Element gelenkten Prüfwelle und einer Referenzwelle durchgeführt wird;
- wobei in einem Strahlengang des von der Laserlichtquelle erzeugten Laserlichts zumindest ein diffraktives optisches Element angeordnet wird; und
- wobei die Frequenz des von der Laserlichtquelle erzeugten Laserlichtes basierend auf einem Frequenzkamm stabilisiert wird.

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

Die Erfindung wird nachstehend anhand von in den beigefügten Abbildungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

5 Es zeigen:

Figur 1-3 schematische Darstellungen zur Erläuterung beispielhafter Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung;

10 Figur 4 eine schematische Darstellung eines möglichen Aufbaus einer interferometrischen Prüfvorrichtung; und

Figur 5 eine schematische Darstellung einer für den Betrieb im EUV ausgelegten Projektionsbelichtungsanlage.

15

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG BEVORZUGTER
AUSFÜHRUNGSFORMEN

20 Gemäß Fig. 1 weist eine erfindungsgemäße Prüfvorrichtung zunächst in für sich bekannter Weise eine Laserlichtquelle 110 sowie ein Interferometer 140 (welches lediglich beispielhaft den eingangs anhand von Fig. 4 beschriebenen Aufbau besitzen kann) auf. Im Lichtweg zwischen Laserlichtquelle 110 und Interferometer 140 befindet sich gemäß Fig. 1 ein Strahlteiler 115, über
25 welchen ein Teil des Laserlichts ausgekoppelt und einer zur Durchführung einer Atom- bzw. Moleküldampfspektroskopie ausgelegten Spektroskopie-Einheit 120 zugeführt wird. Diese Spektroskopie-Einheit 120 kann z.B. als Absorptionsspektroskopie oder als dopplerfreie Sättigungsspektroskopie ausgeführt sein. Grundsätzlich passiert der Laserstrahl dabei typischerweise
30 eine Zelle, in der die zu spektroskopierende Atom-/Molekülsorte in Gasphase vorliegt. Ein geeigneter Photodetektor erzeugt das relevante Absorptions-/Sättigungssignal, welches als Eingangssignal für die Regelungsschleife 130 verwendet wird. Über die aktive Regelungsschleife 130 wird die Laserlicht-

quelle 110 hinsichtlich der bereitgestellten Frequenz des in das Interferometer 140 eingekoppelten Laserlichts stabilisiert.

Die Auswahl der durch die Spektroskopie-Einheit 120 realisierten Spektroskopie-Methode bzw. der verwendeten Atom- oder Molekülsorte erfolgt in Abhängigkeit von der jeweils angestrebten Wellenlängengenauigkeit sowie in Abhängigkeit von der optischen Auslegung des Interferometers 140. In einem konkreten Ausführungsbeispiel kann z.B. bei einer Arbeitswellenlänge von etwa 532nm eine Moleküldampf-Spektroskopie auf Basis der molekularen Resonanz von Iod-Molekülen (I_2) durchgeführt werden, wobei ausgenutzt werden kann, dass das Iod-Molekül eine vergleichsweise hohe Anzahl extrem schmaler Frequenzlinien zur Verfügung stellt. In weiteren Ausführungsformen können auch andere geeignete Atom- oder Molekülsorten gewählt werden, wobei insbesondere Alkalimetalle, Erdalkalimetalle sowie auch Übergangsmetalle geeignete Resonanzen zur Verfügung stellen können.

Fig. 2 zeigt in schematischer Darstellung eine weitere mögliche Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung, wobei im Vergleich zu Fig. 1 analoge bzw. im Wesentlichen funktionsgleiche Komponenten mit um „100“ erhöhten Bezugsziffern bezeichnet sind.

Die Ausführungsform gemäß Fig. 2 unterscheidet sich von derjenigen aus Fig. 1 dadurch, dass die erfindungsgemäß zur Stabilisierung in Kombination mit einer aktiven Regelungsschleife eingesetzte Spektroskopie-Einheit nicht die zur Erzeugung des in das Interferometer 240 eingekoppelten Laserlichts verwendete Laserlichtquelle 210 selbst, sondern eine Referenz-Laserlichtquelle 250 stabilisiert. Hierzu wird das von der Referenz-Laserlichtquelle 250 erzeugte Laserlicht über einen weiteren Strahlteiler 255 wie aus Fig. 2 ersichtlich aufgeteilt, wobei ein Anteil dieses Laserlichts der zur Durchführung einer Atom- bzw. Moleküldampfspektroskopie ausgelegten Spektroskopie-Einheit 220 zugeführt wird. Das von dieser Spektroskopie-Einheit 220 bereitgestellte Ausgangssignal wird in zu Fig. 1 analoger Weise einer aktiven Regelungsschleife 260 zugeführt, über welche die Referenz-Laserlichtquelle 250 bzw. das von ihr

erzeugte Laserlicht auf eine feste Referenzfrequenz geregelt wird. Die auf diese Weise erzielte Stabilisierung der Referenz-Laserlichtquelle 250 kann wiederum lediglich beispielhaft auf Basis der molekularen Resonanz von Iod-Molekülen (I_2) durchgeführt werden.

5

10

Des Weiteren ist gemäß Fig. 2 eine Frequenzvergleichseinheit 225 zum Vergleich der besagten Referenzfrequenz und der Frequenz des von der Laserlichtquelle 210 erzeugten Laserlichts (typischerweise durch Differenzfrequenz- bzw. Schwebungsfrequenzmessung) vorgesehen. Das durch besagte Frequenzvergleichseinheit 225 bereitgestellte Ausgangssignal wird gemäß Fig. 2 einer weiteren aktiven Regelungsschleife 230 zugeführt, über welche wiederum die Frequenz des von der Laserlichtquelle 210 erzeugten Laserlichts konstant gehalten wird.

15

20

Die Ausführungsform gemäß Fig. 2 hat u.a. den Vorteil, dass die zur Erzeugung des in das Interferometer 240 eingekoppelten Laserlichts dienende Laserlichtquelle 210 über einen vergleichsweise großen Frequenzbereich (z.B. über einen Frequenzbereich von mehr als 10 GHz) durchgestimmt werden kann, ohne dass der erfindungswesentliche Bezug zu der durch die Spektroskopie-Einheit 220 bereitgestellten Atom- bzw. Molekülresonanz verloren geht. Mit anderen Worten wird im Ausführungsbeispiel von Fig. 2 eine interferometrische Passemessung mit über einen vergleichsweise großen Wellenlängenbereich variabler Arbeitswellenlänge bei zugleich hochgenauer Kenntnis der absoluten Wellenlänge und damit hoher Messgenauigkeit ermöglicht.

25

30

Den vorstehend anhand von Fig. 1 und Fig. 2 beschriebenen Ausführungsformen ist gemeinsam, dass zur Erzielung besonders hoher absoluter Frequenzstabilitäten (im Bereich von wenigen MHz bis einigen 10MHz) auf Seiten der Spektroskopie-Einheit 120 bzw. 220 vorzugsweise eine Sättigungsspektroskopie realisiert wird, wobei zugleich die eigentliche interferometrische Messung im Interferometer 140 bzw. 240 unter Vakuumbedingungen durchgeführt werden sollte, um signifikante Ungenauigkeiten bei einer ansonsten erforderlichen Umrechnung von Werten der Wellenlänge im Vakuum auf Werte der Wellen-

länge z.B. in Luft (infolge unzureichend genauer Kenntnis von Koeffizienten der Edlén-Gleichung) zu vermeiden.

In Anwendungsszenarien mit vergleichsweise geringeren Anforderungen an die Frequenzgenauigkeit, z.B. bei einer geforderten absoluten Frequenzstabilität von mehreren 100 Megahertz (MHz) (entsprechend etwa 100 Femtometern Wellenlängengenauigkeit bei einer Wellenlänge von 532nm) bis einigen Gigahertz (GHz) (entsprechend einer Wellenlängengenauigkeit von einigen Pikometern bei einer Wellenlänge von 532nm) kann hingegen auf Seiten der Spektroskopie-Einheit 120 bzw. 220 auch eine vergleichsweise einfache Absorptionsspektroskopie ausreichend sein.

Fig. 3 zeigt eine weitere mögliche Ausgestaltung einer erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung, wobei wiederum im Vergleich zu Fig. 1 analoge bzw. im Wesentlichen funktionsgleiche Komponenten mit um „200“ erhöhten Bezugsziffern bezeichnet sind.

Die Ausführungsform gemäß Fig. 3 unterscheidet sich von derjenigen aus Fig. 1 dadurch, dass anstelle der Spektroskopie-Einheit 120 ein sogenannter Frequenzkamm 320 in Kombination mit der aktiven Regelungsschleife 330 zur Stabilisierung der Laserlichtquelle 310 verwendet wird, welche das in das Interferometer 340 eingekoppelte Laserlicht erzeugt. Hinsichtlich des für sich bekannten Konzepts des laserbasierten Frequenzkamms zur Bereitstellung eines Frequenznormals wird lediglich beispielhaft auf DE 10 2004 022 037 A1 sowie US 2008/069159 A1 verwiesen. Die Ausführungsform von Fig. 3 hat gegenüber derjenigen von Fig. 1 den Vorteil, dass Einschränkungen auf eine feste Frequenz der Laserlichtquelle 210 entfallen.

Fig. 5 zeigt eine schematische Darstellung einer beispielhaften für den Betrieb im EUV ausgelegten Projektionsbelichtungsanlage, welche mit einem erfindungsgemäßen Verfahren prüfbare Spiegel aufweist.

Gemäß Fig. 5 weist eine Beleuchtungseinrichtung in einer für EUV ausgeleg-

ten Projektionsbelichtungsanlage 410 einen Feldfacettenspiegel 503 und einen Pupillenfacettenspiegel 504 auf. Auf den Feldfacettenspiegel 503 wird das Licht einer Lichtquelleneinheit, welche eine Plasmalichtquelle 501 und einen Kollektorspiegel 502 umfasst, gelenkt. Im Lichtweg nach dem Pupillenfacettenspiegel 504 sind ein erster Teleskopspiegel 505 und ein zweiter Teleskopspiegel 506 angeordnet. Im Lichtweg nachfolgend ist ein Umlenkspiegel 507 angeordnet, der die auf ihn treffende Strahlung auf ein Objektfeld in der Objektebene eines sechs Spiegel 521-526 umfassenden Projektionsobjektivs lenkt. Am Ort des Objektfeldes ist eine reflektive strukturtragende Maske 531 auf einem Maskentisch 530 angeordnet, die mit Hilfe des Projektionsobjektivs in eine Bildebene abgebildet wird, in welcher sich ein mit einer lichtempfindlichen Schicht (Photoresist) beschichtetes Substrat 541 auf einem Wafertisch 540 befindet.

Bei dem im Rahmen der Erfindung hinsichtlich seiner Oberflächenform bzw. Passe untersuchten optischen Element kann es sich z.B. um einen beliebigen Spiegel der Projektionsbelichtungsanlage 510, beispielsweise den (vergleichsweise großen) bildebenenseitig letzten Spiegel 526 des Projektionsobjektivs handeln. In weiteren Anwendungen kann es sich bei dem optischen Element auch um eine Linse z.B. einer für den Betrieb im DUV (z.B. bei Wellenlängen kleiner als 250nm, insbesondere kleiner als 200nm) ausgelegten Projektionsbelichtungsanlage handeln.

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

Patentansprüche

1. Prüfvorrichtung zum Prüfen der Oberflächenform eines optischen Elements, mit

- einer Laserlichtquelle (110, 210);
- einem Interferometer (140, 240), mit welchem eine Prüfung zumindest einer Teilfläche des optischen Elements durch interferometrische Überlagerung einer aus dem von der Laserlichtquelle (110, 210) erzeugten Laserlicht hervorgegangenen und auf das optische Element gelenkten Prüfwellen und einer Referenzwellen durchführbar ist; und
- einer Frequenzstabilisierungseinrichtung zur Stabilisierung der Frequenz des von der Laserlichtquelle (110, 210) erzeugten Laserlichtes basierend auf einer Atom- oder Moleküldampfbresonanz.

2. Prüfvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Frequenzstabilisierungseinrichtung einen ersten Regelkreis (130, 230) zur Regelung der Frequenz des von der Laserlichtquelle (110, 210) erzeugten Laserlichtes aufweist.

3. Prüfvorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass diese eine an den ersten Regelkreis (130) gekoppelte Spektroskopie-Einheit (120) zur Durchführung der Atom- oder Moleküldampfspektroskopie zur Bereitstellung einer Absolutfrequenz-Referenz aufweist.

4. Prüfvorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass diese ferner eine Referenz-Laserlichtquelle (250) aufweist, wobei eine aktive Frequenzstabilisierung des von der Laserlichtquelle (210) erzeugten Laserlichtes über den ersten Regelkreis (230) auf Basis einer Messung der Differenzfrequenz zwischen der Frequenz des von der Laserlichtquelle (210) erzeugten Laserlichtes und der Frequenz des von der Referenz-Laserlichtquelle (250) erzeugten Laserlichtes erfolgt.

5. Prüfvorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Frequenzstabilisierungseinrichtung einen zweiten Regelkreis (260) zur Regelung der Frequenz des von der Referenz-Laserlichtquelle (250) erzeugten Laserlichtes aufweist.
6. Prüfvorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass diese eine an den zweiten Regelkreis (260) gekoppelte Spektroskopie-Einheit (220) zur Durchführung der Atom- oder Moleküldampfspektroskopie zur Bereitstellung einer Absolutfrequenz-Referenz aufweist.
7. Prüfvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Element ein Spiegel oder eine Linse ist.
8. Prüfvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Element ein optisches Element einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage ist.
9. Prüfvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch zumindest ein in einem Strahlengang des von der Laserlichtquelle (110, 210) erzeugten Laserlichts angeordnetes diffraktives optisches Element.
10. Prüfvorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das diffraktive optische Element ein computer-generiertes Hologramm ist.
11. Prüfvorrichtung zum Prüfen der Oberflächenform eines optischen Elements, mit
- einer Laserlichtquelle (310);
 - einem Interferometer (340), mit welchem eine Prüfung zumindest einer Teilfläche des optischen Elements durch interferometrische

Überlagerung einer aus dem von der Laserlichtquelle (310) erzeugten Laserlicht hervorgegangenen und auf das optische Element gelenkten Prüfwelle und einer Referenzwelle durchführbar ist;

- zumindest einem in einem Strahlengang des von der Laserlichtquelle (310) erzeugten Laserlichts angeordneten diffraktiven optischen Element; und
- einer Frequenzstabilisierungseinrichtung zur Stabilisierung der Frequenz des von der Laserlichtquelle (310) erzeugten Laserlichtes basierend auf einem Frequenzkamm.

12. Prüfvorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass das diffraktive optische Element ein computer-generiertes Hologramm ist.

13. Prüfvorrichtung nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Element ein Spiegel oder eine Linse ist.

14. Verfahren zum Prüfen der Oberflächenform eines optischen Elements, insbesondere eines optischen Elements einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage,

- wobei eine Prüfung zumindest einer Teilfläche des optischen Elements durch interferometrische Überlagerung einer aus dem von einer Laserlichtquelle (110, 210) erzeugten Laserlicht hervorgegangenen und auf das optische Element gelenkten Prüfwelle und einer Referenzwelle durchgeführt wird; und

- wobei die Frequenz des von der Laserlichtquelle (110, 210) erzeugten Laserlichtes basierend auf einer Atom- oder Moleküldampfresonanz stabilisiert wird.

15. Verfahren zum Prüfen der Oberflächenform eines optischen Elements, insbesondere eines optischen Elements einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage,

- wobei eine Prüfung zumindest einer Teilfläche des optischen Elements durch interferometrische Überlagerung einer aus dem von einer Laserlichtquelle (310) erzeugten Laserlicht hervorgegangenen und auf das optische Element gelenkten Prüfwelle und einer Referenzwelle durchgeführt wird;
- wobei in einem Strahlengang des von der Laserlichtquelle (310) erzeugten Laserlichts zumindest ein diffraktives optisches Element angeordnet wird; und
- wobei die Frequenz des von der Laserlichtquelle (310) erzeugten Laserlichtes basierend auf einem Frequenzkamm stabilisiert wird.

Fig. 1

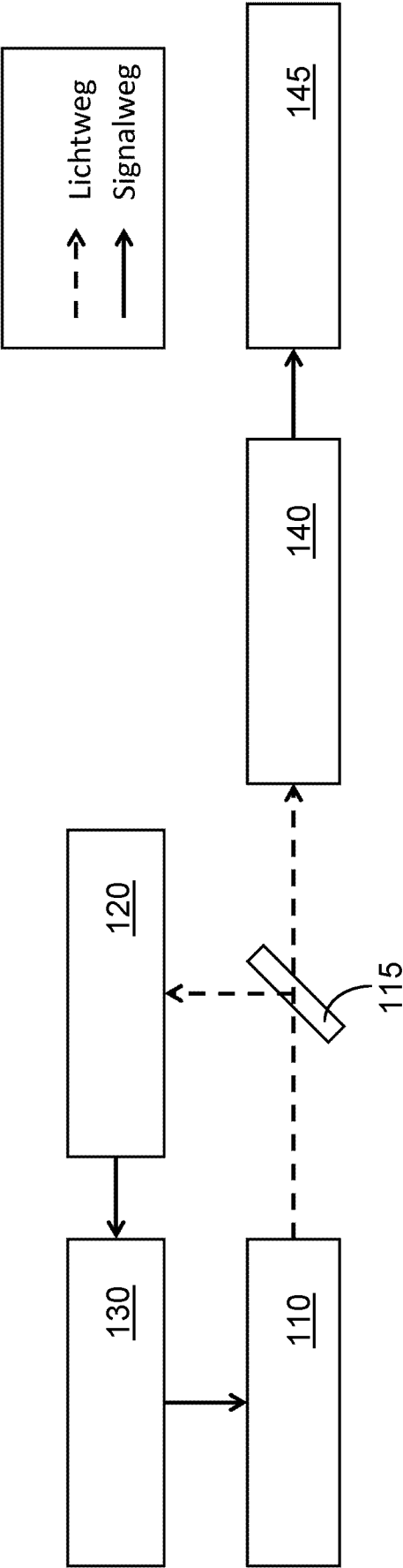


Fig. 2

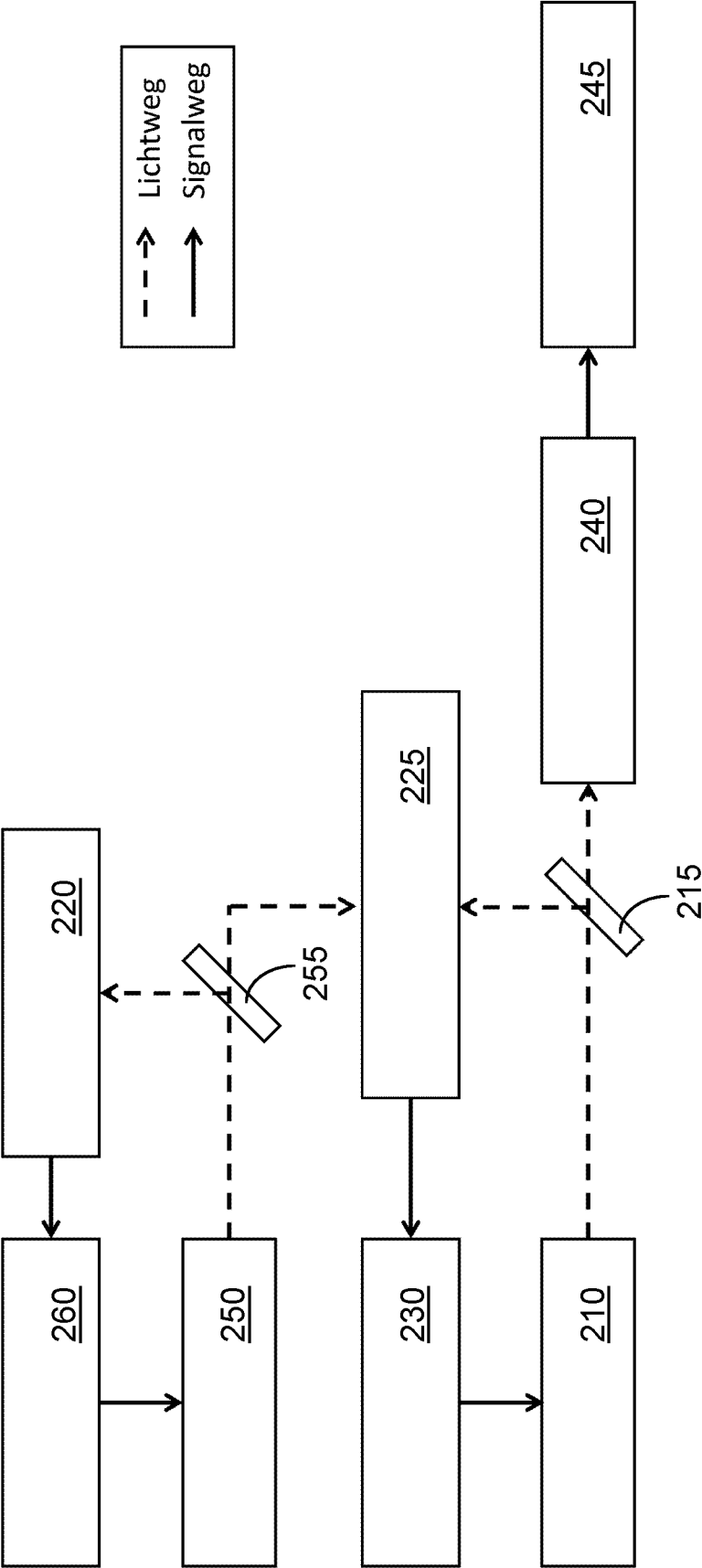


Fig. 3

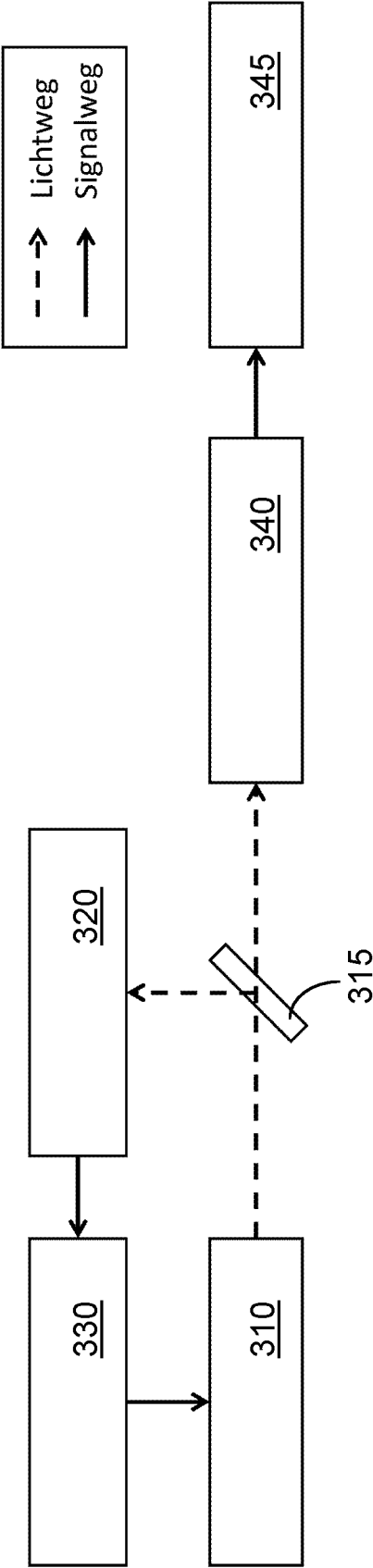


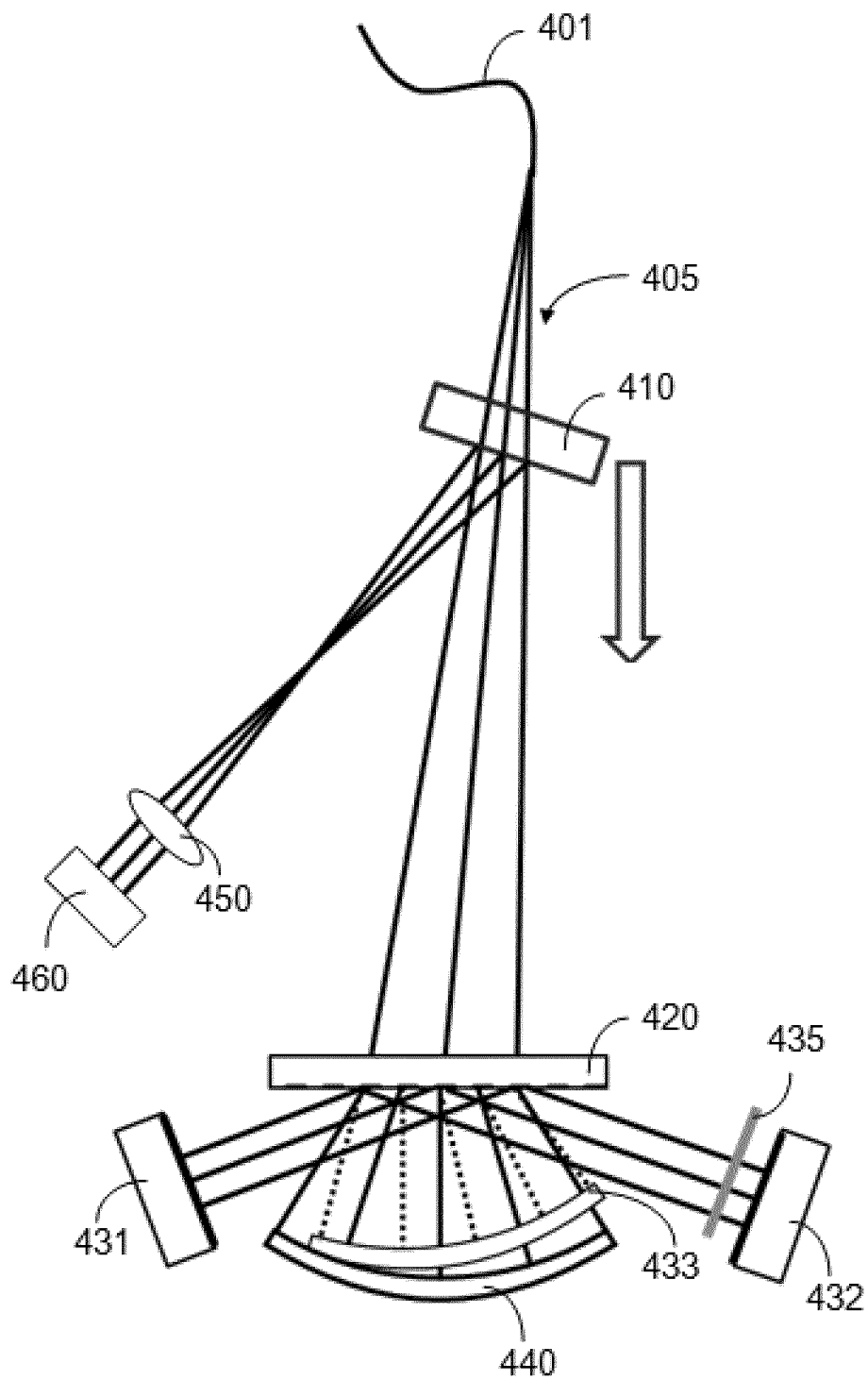
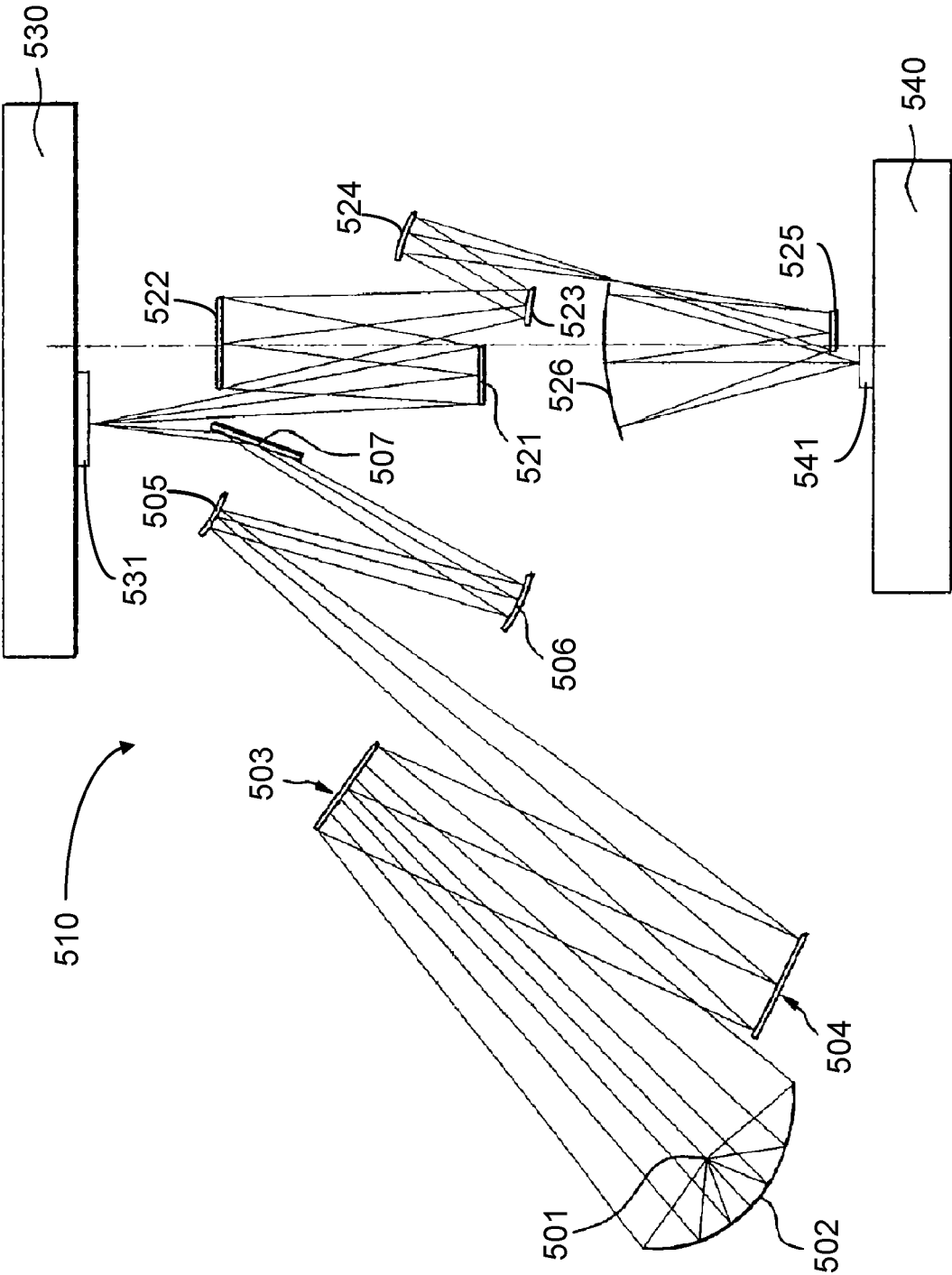
Fig. 4**Stand der Technik**

Fig. 5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/059043**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

G01B 9/02(2006.01)i; **G01B 9/021**(2006.01)i; **G01B 11/24**(2006.01)i; **G03F 7/20**(2006.01)i; **G01M 11/00**(2006.01)i;
G01M 11/02(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)

G01B; G03F; G01M

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	WEIPENG ZHANG ET AL. "Comb-referenced frequency-sweeping interferometry for precisely measuring large stepped structures" <i>APPLIED OPTICS</i> , US, Vol. 57, No. 5, 11 January 2018 (2018-01-11), page 1247 DOI: 10.1364/AO.57.001247 ISSN: 1559-128X, XP055594190	1-15
Y	the whole document	1-15
X	US 2004174535 A1 (KURAMOTO YOSHIYUKI [JP]) 09 September 2004 (2004-09-09)	1-10,14
Y	abstract paragraphs [0002], [0040] - [0082]; figures 1-4	1-10,14
X	DE 10256273 B3 (CARL MAHR HOLDING GMBH [DE]) 18 March 2004 (2004-03-18)	1,7-10
	abstract paragraphs [0027], [0028], [0044] - [0048]; figures 1,2	
Y	DE 10258248 A1 (ZEISS CARL SMT AG [DE]) 15 July 2004 (2004-07-15)	1-15
	the whole document	



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

05 June 2019

Date of mailing of the international search report

18 June 2019

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

Burkart, Johannes

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/059043

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2015331109 A1 (CHRISTENSEN CALEB A [US] ET AL) 19 November 2015 (2015-11-19) abstract paragraphs [0080] - [0093]; figures 8A-C	4-6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2019/059043

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2004174535	A1	09 September 2004	JP	4343559	B2	14 October 2009
				JP	2004273665	A	30 September 2004
				US	2004174535	A1	09 September 2004
DE	10256273	B3	18 March 2004	NONE			
DE	10258248	A1	15 July 2004	DE	10258248	A1	15 July 2004
				US	2004174531	A1	09 September 2004
US	2015331109	A1	19 November 2015	NONE			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV.	G01B9/02	G01B9/021
	G01M11/02	
		G01B11/24
		G03F7/20
		G01M11/00
ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)		
G01B G03F G01M		
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	WEIPENG ZHANG ET AL: "Comb-referenced frequency-sweeping interferometry for precisely measuring large stepped structures", APPLIED OPTICS, Bd. 57, Nr. 5, 11. Januar 2018 (2018-01-11), Seite 1247, XP055594190, US ISSN: 1559-128X, DOI: 10.1364/AO.57.001247	1-15
Y	das ganze Dokument	1-15
X	US 2004/174535 A1 (KURAMOTO YOSHIYUKI [JP]) 9. September 2004 (2004-09-09)	1-10,14
Y	Zusammenfassung Absätze [0002], [0040] - [0082]; Abbildungen 1-4	1-10,14
	----- -/-	
☒ 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		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
5. Juni 2019		18/06/2019
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 Burkart, Johannes

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 102 56 273 B3 (CARL MAHR HOLDING GMBH [DE]) 18. März 2004 (2004-03-18) Zusammenfassung Absätze [0027], [0028], [0044] - [0048]; Abbildungen 1,2 -----	1,7-10
Y	DE 102 58 248 A1 (ZEISS CARL SMT AG [DE]) 15. Juli 2004 (2004-07-15) das ganze Dokument -----	1-15
Y	US 2015/331109 A1 (CHRISTENSEN CALEB A [US] ET AL) 19. November 2015 (2015-11-19) Zusammenfassung Absätze [0080] - [0093]; Abbildungen 8A-C -----	4-6

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/059043

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2004174535 A1	09-09-2004	JP 4343559 B2	14-10-2009
		JP 2004273665 A	30-09-2004
		US 2004174535 A1	09-09-2004
DE 10256273 B3	18-03-2004	KEINE	
DE 10258248 A1	15-07-2004	DE 10258248 A1	15-07-2004
		US 2004174531 A1	09-09-2004
US 2015331109 A1	19-11-2015	KEINE	