(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
23. Januar 2014 (23.01.2014)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2014/012912 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G03F 7/20 (2006.01) *G02B 26/08* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/064963

(22) Internationales Anmeldedatum:
16. Juli 2013 (16.07.2013)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2012 212 664.3 19. Juli 2012 (19.07.2012) DE

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

(72) Erfinder: **ZIMMERMANN, Jörg**; Weilerstrasse 75, 73434 Aalen (DE). **STÜTZLE, Ralf**; Eibenweg 28, 73430 Aalen (DE). **GRÄUPNER, Paul**; Kälblesrainweg 21, 73430 Aalen (DE). **CONRADI, Olaf**; Weidenstrasse 31, 73463 Westhausen (DE).

(74) Anwalt: **RAU, SCHNECK & HÜBNER**; Königstrasse 2, 90402 Nürnberg (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR ADJUSTING AN ILLUMINATION SETTING

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUM EINSTELLEN EINES BELEUCHTUNGSSETTINGS

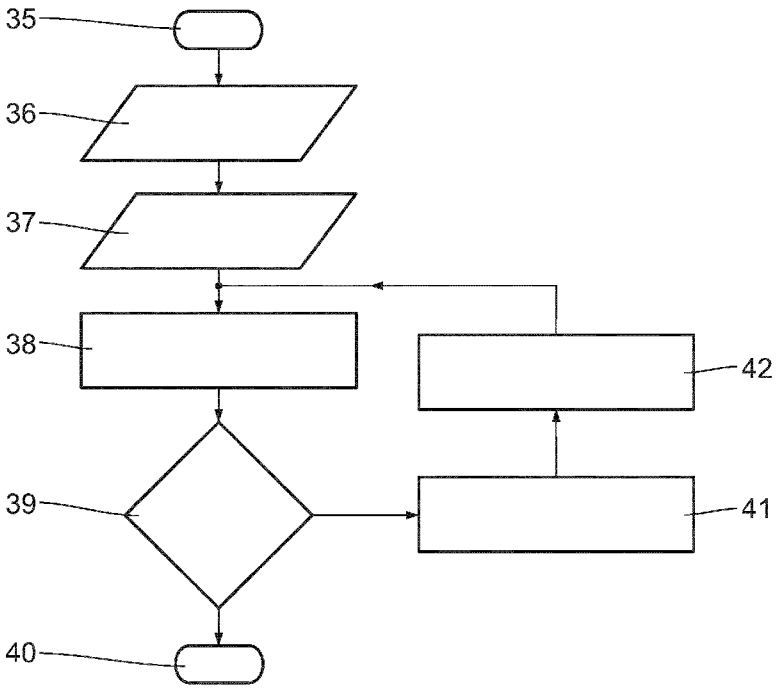


Fig. 4

(57) Abstract: Method for adjusting an illumination setting in an optical illumination system (4) by means of at least one controllable corrective device (23, 27) which includes a plurality of adjustable corrective elements to influence transmission. The illumination setting is varied to adjust a predefined imaging parameter in the area of an image field (8).

(57) Zusammenfassung: Verfahren zum Einstellen eines Beleuchtungssettings in einer Beleuchtungsoptik (4) mit mindestens einer steuerbaren Korrektureinrichtung (23, 27), welche eine Vielzahl von verstellbaren Korrektur-Elementen zur Beeinflussung der Transmission aufweist, wobei das Beleuchtungssetting zur Anpassung eines vorgegebenen Abbildungs-Parameters im Bereich eines Bildfelds (8) variiert wird.

WO 2014/012912 A1

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)*

— *vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)*

Verfahren zum Einstellen eines Beleuchtungssettings

Der Inhalt der deutschen Anmeldung 10 2012 212 664.3 wird durch Bezugnahme hierin aufgenommen.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Einstellen eines Beleuchtungssettings. Die Erfindung betrifft weiterhin eine Beleuchtungsoptik zur Durchführung eines derartigen Verfahrens, ein Beleuchtungssystem und eine Projektionsbelichtungsanlage mit einer derartigen Beleuchtungsoptik. Außerdem betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines mikro- oder nanostrukturierten Bauelements.

Projektionsbelichtungsanlagen für die Mikrolithographie sind beispielsweise bekannt aus der EP 1 349 009 A2. Letztlich entscheidend für die Qualität eines Lithographiesystems sind die Abbildungseigenschaften oder Abbildungsgrößen im Bereich des zu belichtenden Bildfeldes, d.h. auf dem Wafer.

Es ist eine Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum Einstellen eines Beleuchtungssettings anzugeben, mit welchem die Qualität einer Beleuchtungsoptik und damit einer Projektionsbelichtungsanlage mit einer entsprechenden Beleuchtungsoptik verbessert wird.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

Der Kern der Erfindung besteht darin, das Beleuchtungssetting zur Beleuchtung eines in einem Objektfeld angeordneten und in ein Bildfeld abzubildenden Retikels derart anzupassen, dass eine vorgegebene Abbildungsgröße im Bereich des Bildfeldes eingestellt, insbesondere optimiert

wird. Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass sich ein Beleuchtungssetting nicht nur im Hinblick auf Pupillen-Größen oder Eigenschaften der Beleuchtung eines Objektfeldes optimieren lässt, sondern auch im Hinblick auf Abbildungsgrößen im Bereich des Bildfeldes. Dies kann zum einen mittels geeigneter Korrektur-Elemente zur Beeinflussung der Transmission, zum anderen durch eine Variierung der ausgebildeten Beleuchtungskanäle geschehen.

Unter einem Beleuchtungssetting sei hierbei nicht nur die Einstellung einer bestimmten Intensitätsverteilung in einer Pupillenebene, sondern allgemein die Einstellung einer bestimmten Intensitäts- und Einfallswinkelverteilung im Objektfeld verstanden.

Als Korrektur-Elemente können beispielsweise Filter oder Blenden dienen. Es kann insbesondere vorgesehen sein, eine Korrektureinrichtung mit mindestens einer Korrekturblende und/oder einem Korrekturfilter im Strahlengang der Beleuchtungsoptik benachbart zu einem Pupillenfacettenspiegel anzuordnen. Der Filter und/oder die Blende kann insbesondere austauschbar sein. Mittels des Filters beziehungsweise der Blende kann eine vorgegebene Auswahl von Pupillenfacetten abgeschwächt beziehungsweise abgeblendet werden.

Alternativ oder zusätzlich zu einer derartigen, der Beleuchtungspupille zugeordneten Korrektureinrichtung kann die Transmission in einer Korrekturebene, welche in oder benachbart zu einer Feldebene, insbesondere benachbart zum Objektfeld, angeordnet ist, beeinflusst werden. Eine derartige Korrektureinrichtung, die auch als UNICOM oder Feldintensitäts-Korrekturelement bezeichnet wird, ist beispielsweise aus der DE 10 2011 005 881 A1, auf die hiermit verwiesen wird, bekannt.

Gemäß einem Aspekt der Erfindung kann zur Variierung des Beleuchtungssettings mindestens eines der Korrektur-Elemente der mindestens einen Korrektureinrichtung verstellt werden. Mittels der Korrektur-Elemente lässt sich auf besonders einfache Weise eine Korrektur der Intensität, insbesondere der einfallswinkelabhängigen Intensität, erreichen.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung kann zur Variierung des Beleuchtungssettings mindestens einer der Einzelspiegel des ersten Facettenspiegels verstellt werden. Beim ersten Facettenspiegel kann es sich insbesondere um einen Feldfacettenspiegel handeln. Er ist in einer zum Objektfeld optisch konjugierten Ebene angeordnet. Bei den Einzelspiegeln kann es sich jeweils um einzelne Feldfacetten, insbesondere makroskopische Feldfacetten, des Feldfacettenspiegels handeln. Die Feldfacetten sind insbesondere verstellbar. Für Details eines Feldfacettenspiegels mit verstellbaren Feldfacetten sei beispielsweise auf die WO 2011/076 500 A1 verwiesen. Die Feldfacetten können insbesondere verschwenkbar sein. Durch eine Verschwenkung der Feldfacetten lässt sich die Zuordnung derselben zu den Pupillenfacetten beeinflussen. Hierdurch lassen sich Strahlungskanäle gezielt individuell um- oder abschalten. Zur Variierung des Beleuchtungssettings kann mindestens einer der Einzelspiegel des ersten Facettenspiegels auch abgeblendet werden. Dies sei ebenfalls als eine Verstellung des bzw. der entsprechenden Einzelspiegel verstanden.

Der Feldfacettenspiegel kann auch als mikroelektromechanisches System (MEMS) mit einer Vielzahl von verstellbaren Einzelspiegeln, insbesondere Mikrospiegeln, ausgebildet sein. In diesem Fall kann eine Feldfacette eine Vielzahl von Einzelspiegeln umfassen. Für Details sei beispielsweise auf die WO 2009/100 856 A1 verwiesen. Durch eine derartige Ausbildung des

Feldfacettenspiegels wird die Variabilität der Beleuchtungsoptik, insbesondere die Einstellbarkeit des Beleuchtungssettings, weiter vergrößert.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung ist vorgesehen, dass zur Bestimmung des Istwertes der mindestens einen Abbildungsgröße eine im Objektfeld angeordnete Teststruktur in das Bildfeld abgebildet wird. Als Teststruktur kann auch eine Struktur des Retikel-Layouts dienen, welche zur Herstellung eines strukturierten Bauelements verwendet wird. Die Teststruktur wird insbesondere zur Belichtung einer lichtempfindlichen Schicht auf einem Wafer mittels einer Projektionsoptik auf diesen abgebildet. Anschließend kann der Istwert der einzustellenden Abbildungsgröße am Wafer gemessen werden.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung ist zur Bestimmung des Istwertes ein Simulationsverfahren vorgesehen. Dies ermöglicht eine besonders effiziente Optimierung des Beleuchtungssettings.

Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform kann die Bestimmung des Istwertes mittels eines Simulationsverfahrens und die tatsächliche Messung eines Istwertes an einem belichteten Wafer auch kombiniert werden. Es ist insbesondere möglich, mittels eines Simulationsverfahrens eine Vorauswahl an unterschiedlichen Beleuchtungssettings zu treffen, aus welchen dann mittels tatsächlichen Messungen das Beste ausgewählt wird.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird die mindestens eine einzustellende Abbildungsgröße ausgewählt aus folgenden Größen: Variation einer kritischen Dimension aufgrund von Feldvariationen, Projektionsaberrationen oder Systemvariationen, Unterschied der kritischen Dimension von horizontalen und vertikalen Strukturen (H-V-Differenz), Unter-

schied der kritischen Dimension von isolierten und dichten Strukturen (Iso-Dense-Bias), und Abbildungs-Telezentrie. Bei der einzustellenden Abbildungsgröße kann es sich insbesondere um eine Strukturbildgrößenvariation, insbesondere die Variation einer kritischen Dimension (Critical Dimension, CD), ΔCD, handeln.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird mindestens eine Randbedingung vorgegeben, welche bei der Variierung des Beleuchtungssettings erfüllt wird. Hierdurch wird zum einen der zur Verfügung stehende Parameterraum eingegrenzt und damit die Optimierung vereinfacht, andererseits kann hierdurch sichergestellt werden, dass das Beleuchtungssetting bestimmte Eigenschaften aufweist.

Als Randbedingung kann beispielsweise vorgegeben werden, dass das variierte Beleuchtungssetting einen Mindest-Transmissionswert von 90%, insbesondere 95%, insbesondere 99% des Transmissionswertes des ursprünglichen, d.h. des Ausgangs- oder Initial-Beleuchtungssettings aufweist. Hierdurch lässt sich mit anderen Worten sicherstellen, dass die Variierung nicht zu großen Transmissionseinbußen führt.

Als Randbedingung kann auch vorgegeben werden, dass maximal 10%, insbesondere maximal 5%, insbesondere maximal 1% der Beleuchtungskanäle variiert wird. Es kann insbesondere vorgegeben werden, dass maximal 10%, insbesondere maximal 5%, insbesondere maximal 1% der Beleuchtungskanäle ausgeschaltet wird. Ein Ausschalten eines Beleuchtungskanals kann sowohl mit einer entsprechenden Blende als auch durch geeignetes Verschwenken der entsprechenden Feldfacette erreicht werden.

Es kann auch vorgegeben werden, dass maximal 10%, insbesondere maximal 5%, insbesondere maximal 1% der Feldfacetten verstellt, insbesondere verschwenkt werden.

Durch eine Begrenzung der maximal zu variierenden Beleuchtungskanäle lässt sich die Komplexität des Optimierungsverfahrens reduzieren.

Als Randbedingung kann auch vorgegeben werden, dass das variierte Beleuchtungssetting eine Beleuchtungspupille aufweist, welche maximal um einen vorgegebenen Betrag von der Initial-Beleuchtungspupille abweicht. Wird die Pupillenform in einem zylindrischen Pupillenkoordinatensystem beschrieben, welches einen auf 1 normierten Radius σ aufweist, kann insbesondere als Randbedingung vorgegeben werden, dass maximal 5% der Spots, insbesondere maximal 1% der Spots, insbesondere überhaupt kein Spot außerhalb eines durch $\sigma = 0{,}9$ definierten Bereichs liegt. Unter einem Spot sei hierbei das Bild eines Beleuchtungskanals in der Pupillenebene bezeichnet. Entsprechend kann als Randbedingung vorgegeben werden, dass maximal 5% der Spots, insbesondere maximal 1% der Spots, insbesondere überhaupt kein Spot innerhalb eines durch $\sigma = 0{,}5$ definierten Bereichs liegt. Es lässt sich mit anderen Worten vorgeben, dass die variierte Beleuchtungspupille in einem annularen Bereich liegt. Als Obergrenze für den äußeren Rand kann auch $\sigma = 0{,}95$ oder ein anderer Wert gewählt werden. Als Untergrenze für den inneren Rand kann auch $\sigma = 0{,}4$ oder $\sigma = 0{,}6$ oder ein anderer Wert gewählt werden.

Ausgehend von einem Initial-Beleuchtungssetting mit einer Initial-Beleuchtungspupille mit einem maximalen σ -Wert, σ_{max}, und einem minimalen σ -Wert, σ_{min}, kann als Randbedingung auch vorgegeben werden, dass maximal 5% der Spots, insbesondere maximal 1% der Spots, insbe-

sondere überhaupt kein Spot in einem Bereich der Pupille liegen, welche einen σ -Wert aufweist, der um 0,2 größer ist als σ_{max} bzw. um 0,2 kleiner ist als σ_{min}. Hierbei kann der erlaubte Bereich auch enger gefasst werden, indem die maximale Abweichung auf 0,1, insbesondere 0,05 gesetzt wird.

Gemäß einem Aspekt der Erfindung ist vorgesehen, die Variierung des Beleuchtungssettings nach einem iterativen, diskreten linearen Optimierungsverfahren durchzuführen.

Weitere Aufgaben der Erfindung bestehen darin, eine Beleuchtungsoptik und ein Beleuchtungssystem für eine Projektionsbelichtungsanlage und eine Projektionsbelichtungsanlage zu verbessern. Diese Aufgaben werden durch die Merkmale der Ansprüche 11, 13 und 14 gelöst.

Die Vorteile der Beleuchtungsoptik und der Projektionsbelichtungsanlage mit einer derartigen Beleuchtungsoptik ergeben sich aus den Vorteilen des Verfahrens zur Einstellung des Beleuchtungssettings.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren zur Herstellung eines mikro- oder nanostrukturierten Bauelements zu verbessern. Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 15 gelöst. Die Vorteile ergeben sich aus denen des Verfahrens zum Einstellen eines Beleuchtungssettings. Es lassen sich insbesondere Bauelemente mit Strukturen einer geringeren kritischen Dimension herstellen. Hierdurch wird insbesondere die Integrationsdichte vergrößert.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnungen. Es zeigen:

Fig. 1 schematisch einen Meridionalschnitt durch eine Projektionsbelichtungsanlage für die EUV-Projektions-Mikrolithographie,

Fig. 2 eine schematische Darstellung mehrerer abzubildender Teststrukturen mit horizontalen und vertikalen Linien und unterschiedlichem Linienabstand (Pitch),

Fig. 3 exemplarische Darstellung einer annularen Beleuchtungspupille,

Fig. 4 schematisch ein Ablaufdiagramm zur Verdeutlichung der einzelnen Verfahrensschritte zur Einstellung des Beleuchtungssettings,

Fig. 5a exemplarische Darstellung der annularen Beleuchtungspupille eines initialen Beleuchtungssettings,

Fig. 5b exemplarische Darstellung einer entsprechenden Beleuchtungspupille nach Variieren des Beleuchtungssettings,

Fig. 6 exemplarisch die Variation einer kritischen Dimension (ΔCD) in Abhängigkeit vom Linienabstand (Pitch) der abzubildenden Strukturen bei Verwendung des initialen Beleuchtungssettings,

Fig. 7 eine schematische Darstellung entsprechend Fig. 6 unter Verwendung eines variierten Beleuchtungssettings mit einer Beleuchtungspupille gemäß Fig. 5b,

Fig. 8 eine Darstellung entsprechend Fig. 5b, wobei das Beleuchtungssetting unter der Randbedingung variiert wurde, wonach kein Spot des Beleuchtungssettings innerhalb eines Bereichs mit $\sigma = 0{,}5$ liegen darf,

Fig. 9 eine Darstellung entsprechend Fig. 7 mit einem Beleuchtungssetting mit der Beleuchtungspupille gemäß Fig. 8,

Fig. 10a eine Beleuchtungspupille eines Referenz-Beleuchtungssystems mit einer ersten EUV-Quelle,

Fig. 10b eine entsprechende Beleuchtungspupille nach Austausch der EUV-Quelle,

Fig. 10c eine schematische Darstellung einer ausgehend von der Beleuchtungspupille gemäß Fig. 10b optimierten Beleuchtungspupille,

Fig. 11 eine Darstellung der Variation der kritischen Dimension (ΔCD) in Abhängigkeit vom Linienabstand (Pitch) der abzubildenden Strukturen bei Verwendung des Beleuchtungssettings gemäß Fig. 10b,

Fig. 12 eine Darstellung entsprechend Fig. 11 bei Verwendung des Beleuchtungssettings gemäß Fig. 10c,

Fig. 13 eine Beleuchtungspupille zur Einstellung eines positiven Iso-Dense-Bias,

Fig. 14 eine Darstellung der kritischen Dimension (CD) über den Linienabstand (Pitch) bei Verwendung des Beleuchtungssettings gemäß Fig. 13,

Fig. 15 und Fig. 16 Darstellungen gemäß den Fig. 13 und 14 bei Einstellung eines negativen Iso-Dense-Bias,

Fig. 17 eine Beleuchtungspupille zur Einstellung eines positiven H-V-Offsets,

Fig. 18 eine schematische Darstellung der kritischen Dimension (CD) über den Linienabstand (Pitch) bei Verwendung eines Beleuchtungssettings gemäß Fig. 17 und

Fig. 19 und Fig. 20 Darstellungen entsprechend den Fig. 17 und 18 für ein Beleuchtungssetting zum Einstellen eines negativen H-V-Offsets.

Zunächst werden unter Bezugnahme auf die Fig. 1 die wesentlichen Bestandteile und der prinzipielle Aufbau einer Projektionsbelichtungsanlage 1 beschrieben. Ein Beleuchtungssystem 2 der Projektionsbelichtungsanlage 1 hat neben einer Licht- bzw. Strahlungsquelle 3 eine Beleuchtungsoptik 4 zur Belichtung eines Objektfeldes 5 in einer Objektebene 6. Belichtet wird

hierbei ein im Objektfeld 5 angeordnetes und in der Zeichnung nicht dargestelltes Retikel. Eine Projektionsoptik 7 dient zur Abbildung des Objektfeldes 5 in ein Bildfeld 8 in einer Bildebene 9. Abgelichtet wird eine Struktur auf dem Retikel auf eine lichtempfindliche Schicht eines im Bereich des Bildfeldes 8 in der Bildebene 9 angeordneten Wafers, der in der Zeichnung ebenfalls nicht dargestellt ist.

Bei der Strahlungsquelle 3 handelt es sich um eine EUV-Strahlungsquelle mit einer emittierten Nutzstrahlung im Bereich zwischen 5 nm und 30 nm. Es kann sich insbesondere um eine Plasmaquelle, beispielsweise um eine DPP-Quelle (Plasmaerzeugung durch Entladung, Discharge Produced Plasma) oder um eine LPP-Quelle (Plasmaerzeugung durch Laser, Laser Produced Plasma) handeln. EUV-Strahlung 10, die von der Strahlungsquelle 3 ausgeht, wird von einem Kollektor 11 gebündelt. Ein entsprechender Kollektor ist aus der EP 1 225 481 A bekannt. Nach dem Kollektor 11 propagiert die EUV-Strahlung 10 durch eine Zwischenfokusebene 12, bevor sie auf einen Feldfacettenspiegel 13 mit einer Vielzahl von Feldfacetten 14 trifft.

Die EUV-Strahlung 10 wird nachfolgend auch als Beleuchtungs- oder Abbildungslicht bezeichnet.

Zur Erleichterung der Darstellung ist in der Fig. 1 ein kartesisches xyz-Koordinatensystem eingezeichnet. Die x-Richtung verläuft in der Fig. 1 senkrecht zur Zeichenebene in diese hinein. Die y-Richtung verläuft in der Fig. 1 nach links. Die y-Richtung bildet die Scannrichtung des Retikels bzw. des Wafers. Die z-Richtung läuft in der Fig. 1 nach oben.

Die Projektionsbelichtungsanlage 1 ist vom Scanner-Typ. Dies bedeutet, dass während des Betriebs der Projektionsbelichtungsanlage 1 sowohl das Retikel in der Objektebene 6 als auch der Wafer in der Bildebene 9 in y-Richtung kontinuierlich bewegt werden.

Die Feldfacetten 14 können spalten- und zeilenweise in Facettengruppen angeordnet sein. Für Details sei beispielsweise auf die DE 10 2009 045 491 A1 verwiesen.

Die Feldfacetten 14 können auch als mikroelektromechanisches System (MEMS) ausgebildet sein. Sie umfassen in diesem Fall eine Vielzahl von Mikrospiegeln, insbesondere verlagerbaren Mikrospiegeln. Für Details sei auf die WO 2009/100 856 A1 verwiesen.

Die vom Feldfacettenspiegel 13 reflektierte EUV-Strahlung 10 ist aus einer Vielzahl von Strahlungs-Teilbündeln aufgebaut, wobei jedes Teilbündel von einer bestimmten Feldfacette14 reflektiert wird. Jedes Teilbündel trifft auf eine einer Feldfacette 14 zugeordnete Pupillenfacette 16 auf einem Pupillenfacettenspiegel 17. Das Strahlungsbündel, welches von einer spezifischen Feldfacette 14 auf eine zugeordnete Pupillenfacette 16 reflektiert wird, bildet jeweils einen sogenannten Beleuchtungskanal.

Die Pupillenfacetten 16 können rund sein. Sie sind vorzugsweise dicht gepackt auf dem Pupillenfacettenspiegel 17 angeordnet.

Der Pupillenfacettenspiegel 17 ist in einer Ebene der Beleuchtungsoptik 4 angeordnet, die mit einer Pupillenebene der Projektionsoptik 7 zusammenfällt oder zu dieser optisch konjugiert ist. Die Intensitätsverteilung der EUV-Strahlung 10 auf dem Pupillenfacettenspiegel 17 ist daher direkt kor-

reliert mit einer Beleuchtungswinkelverteilung der Beleuchtung des Objektfeldes 5 in der Objektebene 6. Die Intensitätsverteilung der EUV-Strahlung 10 auf dem Pupillenfacettenspiegel 17 wird auch als Beleuchtungspupille bezeichnet. Die Gesamtheit aller Strahlungskanäle wird auch als Beleuchtungssetting bezeichnet.

Mit Hilfe des Pupillenfacettenspiegels 17 und einer abbildenden optischen Baugruppe in Form einer Übertragungsoptik 19 werden die Feldfacetten 14 des Feldfacettenspiegels 13 in die Objektebene 6 abgebildet. Die Übertragungsoptik 19 weist drei dem Pupillenfacettenspiegel 17 nachgeordnete reflektierende Spiegel 20, 21 und 22 auf. Je nach Auslegung der nachgeschalteten Projektionsoptik 7 kann auf einzelne oder alle der Spiegel der Übertragungsoptik 19 auch verzichtet werden.

Die Feldfacetten 14 können eine Form aufweisen, welche der Form des auszuleuchtenden Objektfeldes 5 entspricht. Derartige Feldfacetten sind beispielsweise aus der US 6,452,661 und der US 6,195,201 bekannt. Soweit beispielsweise der letzte Spiegel 22 vor dem Objektfeld 5 für eine Feldformung sorgt, kann sich die Form der Feldfacetten 14 auch von der Form des auszuleuchtenden Objektfeldes 5 unterscheiden. Die Feldfacetten 14 können insbesondere rechteckig oder gebogen ausgeführt sein.

Benachbart zur reflektierenden Oberfläche des Pupillenfacettenspiegels 17 angeordnet ist eine Blendeneinrichtung 23 mit einer Mehrzahl von Korrekturblenden 24, die in einem in der Fig. 1 schematisch dargestellten Wechselhalter 25 untergebracht sind. Jeweils eine ausgewählte Korrekturblende 24, die in der Fig. 1 mit 24' bezeichnet ist, kann über den Wechselhalter 25 in einen Strahlengang des Beleuchtungslichts 10 benachbart zum Pupillenfacettenspiegel 17 angeordnet werden. Die EUV-Strahlung 10, welche die

Beleuchtungsoptik 4 durchläuft, muss die Korrekturblende 24 passieren. Beim Strahlengang der EUV-Strahlung 10 gemäß Fig. 1 passiert die EUV-Strahlung 10 die Korrekturblende 24' zweimal. Es können auch mehrere der Korrekturblenden 24 im Strahlengang des Beleuchtungslichts 10 angeordnet sein, die dann zusammenwirken.

Anstelle einer Korrekturblende 24 kann auch ein Korrekturfilter in den Strahlengang der EUV-Strahlung 10 eingebracht werden. Mittels eines Filters lässt sich die Transmission, insbesondere die Intensität der EUV-Strahlung 10, abschwächen. Es ist insbesondere möglich, die Transmission einzelner Beleuchtungskanäle gezielt zu regeln.

Bezüglich weiterer Details der Korrekturblenden 24 sei auf die DE 10 2009 05 491 A1 verwiesen.

Außerdem kann in einer Korrekturebene 26 benachbart zum Objektfeld 5 eine Feldintensitätskorrektureinrichtung 27 angeordnet sein. Die Korrektureinrichtung 27 wird auch als UNICOM bezeichnet. Sie dient der Einstellung einer scanintegrierten, also in y-Richtung integrierten Intensitätsverteilung über das Objektfeld 5. Die Korrektureinrichtung 27 wird von einer Steuereinrichtung 28 angesteuert. Für Details der Korrektureinrichtung 27 sei auf die DE 10 2011 005 881 A1, insbesondere Absatz [0040] und die darin angegebenen Druckschriften verwiesen. Die Korrektureinrichtung 27 kann entsprechend der Blendeneinrichtung 23 unterschiedliche Blenden-Elemente und/oder Filter-Elemente aufweisen.

Außerdem umfasst die Projektionsbelichtungsanlage 1 eine Steuereinrichtung 15, mittels welcher die Variierung des Beleuchtungssettings steuerbar ist. Die Steuereinrichtung 15 ist mit der Blendeneinrichtung 23 und/oder

der Steuereinrichtung 28 der Feldintensitäts-Korrektureinrichtung 27 und/oder mit einer in den Fig. nicht dargestellten Steuereinrichtung zur Steuerung der Verlagerung der verlagerbaren Facetten 14 des Feldfacettenspiegels 13 in signalübertragenderweise verbunden.

Um ein Beleuchtungssetting, insbesondere eine Beleuchtungspupille einzustellen, können mittels der Steuereinrichtung 15 einzelne Strahlungskanäle mittels eines Filter-Elements abgeschwächt, mittels eines Blenden-Elements abgeblendet, d.h. ausgelöscht, oder durch ein Verschwenken der Feldfacetten 14 umgeschaltet oder ausgeschaltet werden. Kombinationen dieser Möglichkeiten sind ebenfalls möglich. Außerdem kann die Feldintensitäts-Korrektureinrichtung 27 eingesetzt werden. Sie verändert nicht nur die pupillenintegrierte Intensität als Funktion eines Feldpunktes, sondern auch die Details der Pupillenform.

In der Fig. 2 sind exemplarisch Linienstrukturen 29 mit horizontalen (H) Linien 30 bzw. vertikalen (V) Linien 31 dargestellt. Bei den in Fig. 2 dargestellten Strukturen 29 weisen sämtliche Linien 30, 31 eine einheitliche Linienbreite b auf. Sie unterscheiden sich jedoch in einem Linienabstand l, der auch als Pitch bezeichnet wird. Abgesehen von einem Verkleinerungsfaktor durch die Projektionsoptik 7 entsprechen die in Fig. 2 dargestellten Strukturen der abzubildenden Maske den Zielstrukturen auf dem Wafer. Die Linienbreite auf der Maske kann jedoch von der Ziel-Linienbreite auf dem Wafer abweichen (sogenannter Proximity-Effekt, bzw. OPC („optical proximity correction“)). Hierbei wird die erzeugte Linienbreite auf dem Wafer auch als kritische Linienbreite oder kritische Dimension (Critical Dimension, CD) bezeichnet. Variationen der kritischen Dimension (ΔCD) bilden ein Maß für die optische Qualität der Projektionsbelichtungsanlage 1.

In der Fig. 3 ist exemplarisch eine annulare Beleuchtungspupille dargestellt. Die Beleuchtungspupille entspricht gerade der Intensitätsverteilung der EUV-Strahlung 10 auf den Pupillenfacetten 16 des Pupillenfacettenspiegels 17. In der Fig. 3 entspricht jeder Spot 32 einer mit EUV-Strahlung 10 beaufschlagten Pupillenfacette 16. Hierbei entspricht der Spot-Radius der Intensität der EUV-Strahlung 10 an diesem Ort der Beleuchtungspupille.

Außerdem ist in Fig. 3 eine äußere Berandung 33 und eine innere Berandung 34 der Beleuchtungspupille verdeutlicht. Üblicherweise wird die Beleuchtungspupille in einem zylindrischen Pupillenkoordinatensystem beschrieben. Hierbei wird für einen Radius σ der Beleuchtungspupille eine derart normierte Koordinate verwendet, dass am Pupillenrand, d.h. bei der numerischen Apertur des Beleuchtungssystems 2, gilt: $\sigma = 1$. In Fig. 3 entspricht die äußere Berandung 33 dem Wert $\sigma = 1$, während die innere Berandung 34 dem Wert $\sigma = 0{,}5$ entspricht.

Im Folgenden wird ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Einstellen eines Beleuchtungssettings beschrieben. Zur Initialisierung 35 wird das Beleuchtungssystem 2 mit der Beleuchtungsoptik 4 und der Strahlungsquelle 3 bereitgestellt. Sodann wird in einem ersten Schritt 36 ein Ausgangs- oder Initial-Beleuchtungssetting mit einer Initial-Transmission und einer Initial-Beleuchtungspupille erzeugt.

Des Weiteren wird eine einzustellende Abbildungsgröße vorgegeben. Hierbei handelt es sich insbesondere um eine Abbildungsgröße im Bereich des Bildfeldes 8. Es kann sich beispielsweise um eine Variation der kritischen Dimension aufgrund von Feldvariationen, Projektionsaberrationen

oder Systemvariationen handeln. Es kann sich auch um den Unterschied der kritischen Dimension von horizontalen (H) und vertikalen (V) Strukturen 29 (H-V-Differenz) handeln. Es kann sich auch um den Unterschied der kritischen Dimensionen von isolierten und dichten Strukturen 29 (Iso-Dense-Bias) handeln. Es kann sich auch um eine Abhängigkeit der kritischen Dimension vom Linienabstand (sogenannter Through-Pitch-Verlauf) handeln. Es kann sich auch um einen Wert zur Kennzeichnung der Abbildungs-Telezentrie handeln.

Außerdem wird ein Zielwert und gegebenenfalls ein Toleranzbereich für die mindestens eine einzustellende Abbildungsgröße vorgegeben.

Sodann wird in einem Bestimmungs-Schritt 37 ein Istwert für die mindestens eine Abbildungsgröße bestimmt. Hierfür kann entweder eine vorgegebene Teststruktur 29 mit horizontalen und/oder vertikalen Linien 30, 31 auf einen Wafer abgebildet und die entsprechende Abbildungsgröße gemessen werden, oder ein Simulationsverfahren verwendet werden.

Sodann wird in einem Berechnungsschritt 38 eine Abweichung der bestimmten Istwerte vom Zielwert berechnet. Hierfür wird eine geeignete Merit-Funktion verwendet. Im Folgenden werden einige Beispiele für Merit-Funktionen angegeben:

Die Merit-Funktion kann beispielsweise durch den Maximalwert von $|\Delta CD|$ über alle Pitches und Feldpunkte, d.h. die Abweichung vom Soll-Verlauf der CD-Kurve, gegeben sein. Alternativ hierzu kann die Merit-Funktion durch den Maximalwert von |H – V -Differenz| über alle Pitches und Feldpunkte gegeben sein. Sie kann auch durch das quadratische Mittel (RMS, root mean squared) von ΔCD über alle Pitches und Feldpunkte oder

über das quadratische Mittel (RMS) von |H – V -Differenz| über alle Pitches und Feldpunkte gegeben sein. Sie kann auch als Maximalwert des Betrags der Imaging-Telezentrie (TC) über alle Pitches und Feldpunkte oder über den quadratischen Mittelwert derselben gegeben sein. Sie kann auch beliebige Kombinationen, insbesondere Linearkombinationen dieser Werte umfassen.

Zielwerte für den Maximalwert von |ΔCD| beziehungsweise den Maximalwert |H – V -Differenz| können sein: maximal 1,0 nm, insbesondere maximal 0,5 nm, insbesondere maximal 0,3 nm, insbesondere maximal 0,1 nm. Zielwerte für die Imaging-Telezentrie (TC) können sein: maximal 5 mrad, insbesondere maximal 2 mrad, insbesondere maximal 1 mrad.

In der Merit-Funktion können insbesondere Randbedingungen berücksichtigt werden. Es kann insbesondere vorgesehen sein, Randbedingungen vorzugeben, welche bei der Einstellung des Beleuchtungssettings erfüllt sein müssen. Eine mögliche Randbedingung ist beispielsweise, dass das einzustellende Beleuchtungssetting einen Mindest-Transmissionswert aufweist. Dieser kann bei mindestens 90%, insbesondere mindestens 95%, insbesondere mindestens 99% der Initial-Transmission liegen.

Eine weitere Randbedingung kann darin bestehen, dass maximal 10%, insbesondere maximal 5%, insbesondere maximal 1% der Beleuchtungskanäle des Initial-Beleuchtungssettings variiert werden. Eine weitere Randbedingung kann darin bestehen, dass das einzustellende Beleuchtungssetting eine Beleuchtungspupille aufweist, bei welcher maximal 5%, insbesondere maximal 1%, insbesondere überhaupt keiner der Beleuchtungskanäle um mehr als einen vorgegebenen Maximalbetrag außerhalb der äußeren Berandung 33 oder innerhalb der inneren Berandung 34 der Initial-

Beleuchtungspupille liegt. Die maximale Abweichung kann beispielsweise relativ zu dem auf 1 normierten Radius σ der Initial-Beleuchtungspupille auf 0,2 σ, 0,1 σ oder 0,05 σ vorgegeben werden.

Als Randbedingung kann auch ein Mindestwert für die Imaging-Telezentrie vorgegeben werden. Für weitere Alternativen und Details sei auf die WO 2011/076 500 A1 verwiesen.

Nach Berechnung der Merit-Funktion im Berechnungsschritt 38 wird in einem Überprüfungs-Schritt 39 überprüft, ob die Merit-Funktion ein vorgegebenes Kriterium erfüllt. Das vorgegebene Kriterium kann darin bestehen, dass die Merit-Funktion einen Wert annimmt, welcher kleiner ist als ein absoluter Zielwert. Hierbei kann ggf. ein vorgegebener Toleranzbereich berücksichtigt werden. Das Kriterium kann auch darin bestehen, dass die Merit-Funktion einen Wert annimmt, welcher um einen Mindestbetrag oder um einen relativen Anteil kleiner ist als der Wert bei der vorigen Iteration. Ist das Kriterium erfüllt, kann der Algorithmus zum Einstellen des Beleuchtungssettings beendet werden; das Ende 40 des Verfahrens zum Einstellen des Beleuchtungssettings ist erreicht.

Sofern das Kriterium nicht erfüllt ist, wird das Beleuchtungssetting, insbesondere die Beleuchtungspupille, in einem Variierungs-Schritt 41 variiert. Hierzu werden insbesondere einzelne Beleuchtungskanäle ab- oder umgeschaltet. Sodann wird in einem weiteren Bestimmungs-Schritt 42 der Istwert der Abbildungsgröße der neuen, d.h. der variierten Beleuchtungspupille, ermittelt. Dies geschieht wie im Bestimmungs-Schritt 37.

Die Schlaufe aus Variierungs-Schritt 41 zur Variierung des Beleuchtungssettings, insbesondere der Beleuchtungspupille, dem Bestimmungs-Schritt

zur Ermittlung des Istwerts der mindestens einen einzustellenden Abbildungsgröße, des Berechnungs-Schritts 38 zur Berechnung der Merit-Funktion, insbesondere der Abweichung des Istwerts der Abbildungsgröße zum Zielwert und des Überprüfungs-Schritts 39 zur Überprüfung des Wertes der Merit-Funktion kann mehrmals durchlaufen werden. Zur Variierung des Beleuchtungssettings ist mit anderen Worten ein iteratives Verfahren vorgesehen. Es handelt sich insbesondere um ein sogenanntes diskretes Optimierungsverfahren.

Zur Optimierung des Beleuchtungssettings ist es beispielsweise möglich, mittels eines Simulationsverfahrens zunächst eine Vorauswahl der Beleuchtungssettings zu treffen und sodann nach Auswahl einer bestimmten Anzahl an Beleuchtungssettings diese auszuprobieren und die tatsächlich resultierende Abbildungsgröße am Wafer zu messen.

Zur Optimierung des Beleuchtungssettings ist es beispielsweise auch möglich, der Reihe nach jeden Beleuchtungskanal testweise abzuschalten oder durch Verkippung der entsprechenden Feldfacette 14 umzuschalten. Die Abschaltung oder Umschaltung kann hierbei beibehalten werden, falls sie den Wert der Merit-Funktion verbessert. Sobald alle Beleuchtungskanäle durchlaufen sind, wird das Verfahren wieder von vorne gestartet.

Es ist auch möglich, ein globales Optimierungsverfahren, z. B. einen genetischen Algorithmus, oder ein sogenanntes Simulated Annealing anzuwenden. Hierbei kann eine Teilmenge der Beleuchtungskanäle abgeschaltet oder umgeschaltet werden. Bei den sogenannten globalen Verfahren wird gelegentlich die Merit-Funktion verschlechtert, um dadurch zu vermeiden, in einem lokalen Minimum gefangen zu bleiben.

Entsprechend wie zur Bestimmung des Istwertes der einzustellenden Abbildungsgröße eine tatsächliche Abbildung einer Teststruktur und Messung der im Bildfeld erzeugten Strukturen und ein Simulationsverfahren möglich ist, ist auch zur Einstellung eines variierten Beleuchtungssettings eine tatsächliche Beeinflussung des Beleuchtungssettings insbesondere mittels einer Korrektureinrichtung und/oder durch Verstellen einer Anzahl der Feldfacetten 14 und damit eine Um- oder Abschaltung einzelner Beleuchtungskanäle oder eine Variierung des Beleuchtungssettings mit Hilfe eines Vorhersage-Modells (Pupil Predictor) möglich.

Im Folgenden werden die Vorteile der erfindungsgemäßen Einstellung des Beleuchtungssettings anhand einiger exemplarischer Beispiele anhand der Figuren erläutert.

In der Fig. 5a ist eine Ausgangs- oder Initial-Beleuchtungspupille eines Initial-Beleuchtungssettings dargestellt. Wie zuvor beschrieben, geben die einzelnen Spots 32 die Intensität der Beleuchtungsstrahlung 10 auf dem Pupillenfacettenspiegel 17 wieder. Es handelt sich um ein annulares Beleuchtungssetting.

In Fig. 6 ist die Abweichung der kritischen Dimension (ΔCD) als Funktion des Linienabstandes (Pitch) bei Verwendung des Beleuchtungssettings gemäß Fig. 5a für Linienstrukturen 29 mit horizontalen Linien H bzw. vertikalen Linien V dargestellt. In dieser und den entsprechenden nachfolgenden Figuren stellen die Kurven jeweils über die Feldpunkte gemittelte Werte dar. Die Linienstrukturen 29 hatten eine Linienbreite b, welche zu einer kritischen Dimension von 16 nm auf dem Wafer führte. Die maximale absolute Abweichung der kritischen Dimension (ΔCD_{max}) gemittelt über die Feldpunkte des Bildfeldes beträgt 0,89 nm.

Die in den Figuren dargestellten Ausgangs-Beleuchtungssettings sind exemplarisch zu verstehen. Als Ausgangs-Setting kann ein beliebiges Beleuchtungssetting dienen, welches aus welchen Gründen auch immer für eine Anwendung gewählt wurde.

Eine Variierung des Beleuchtungssettings gemäß Fig. 5a führte zu der in Fig. 5b dargestellten Intensitätsverteilung auf dem Pupillenfacettenspiegel 17. Wie der Fig. 5b zu entnehmen ist, wurden einige Beleuchtungskanäle umgeschaltet, so dass es sich beim variierten Beleuchtungssetting gemäß Fig. 5b nicht mehr um ein perfekt annulares Beleuchtungssetting handelt.

Mit dem Beleuchtungssetting gemäß Fig. 5b wurde die maximale Abweichung der kritischen Dimension (ΔCD_{max}) gemittelt über die Feldpunkte auf 0,19 nm reduziert, wie in Fig. 7 dargestellt.

In Fig. 8 ist eine Beleuchtungspupille entsprechend der in Fig. 5b gezeigten dargestellt, wobei als Randbedingung vorgegeben wurde, die Form des Initial-Beleuchtungssettings, d.h. den Annulus, möglichst wenig zu verändern.

Als Randbedingung kann insbesondere vorgegeben werden, dass die Spots 32 um einen σ-Wert von höchstens 0,02, insbesondere höchstens 0,01, insbesondere höchstens 0,005 oder überhaupt nicht außerhalb des Bereichs der σ-Werte des Initial-Beleuchtungssettings liegen.

Es wurde insbesondere vorgegeben, dass sämtliche Spots 32 innerhalb des Ringfeldes, welches durch die Kreise mit $\sigma = 0,5$ und $\sigma = 1$ begrenzt ist, liegen.

Der mit diesem Beleuchtungssetting erreichte Verlauf der Abweichung der kritischen Dimension in Abhängigkeit vom Linienabstand ist in Fig. 9 dargestellt. Die maximale Abweichung der kritischen Dimension (ΔCD_{max}) gemittelt über die Feldpunkte betrug 0,29 nm.

Eine weitere Quelle von Abweichungen der kritischen Dimension kann sein, dass abzubildende Retikel mit unterschiedlichen Projektionsbelichtungsanlagen 1 verwendet werden. Sie können auch auf einen Austausch der Strahlungsquelle 3 zurückzuführen sein. Ein Austausch der Strahlungsquelle 3 führt zu einer Veränderung der Intensitätsverteilung im Fernfeld. Dies führt zu einer Veränderung der Intensitätsverteilung der Pupillen-Spots 32 und damit zu einer Abweichung des Verlaufs der kritischen Dimension über den Linienabstand (sogenanntes CD-Through-Pitch-Verhalten).

In Fig. 10a ist die Beleuchtungspupille eines ersten Beleuchtungssystems 2 dargestellt. Es handelt sich um eine sogenannte Quasar-Beleuchtung. Die zu erzielende kritische Dimension auf dem Wafer betrug 18 nm.

Fig. 10b zeigt entsprechend die Beleuchtungspupille nach Austausch der Strahlungsquelle 3 bzw. bei Verwendung eines anderen Beleuchtungssystems 2, dessen Einstellungen im Übrigen denen des Referenz-Systems entsprechen. Wie qualitativ zu erkennen ist, führt der Austausch der Strahlungsquelle 3 bzw. die Verwendung eines zweiten Beleuchtungssystems 2 zu einer veränderten Intensitätsverteilung der Beleuchtungspupille. Der entsprechende Einfluss auf die Abweichung der kritischen Dimension ist in Fig. 11 dargestellt. Die maximale Abweichung der kritischen Dimension (ΔCD_{max}) betrug 0,48 nm.

In Fig. 10c ist eine verfahrensgemäß angepasste Beleuchtungspupille dargestellt. Wie qualitativ zu erkennen ist, wurden wiederum einzelne Beleuchtungskanäle um- bzw. abgeschaltet. Der zugehörige ΔCD-Through-Pitch-Verlauf ist in Fig. 12 dargestellt. Die maximale Abweichung der kritischen Dimension (ΔCD_{max}) betrug 0,16 nm.

In Fig. 13 ist eine Beleuchtungspupille dargestellt, bei welcher ausgehend von einer konventionellen Beleuchtung, bei welcher die gesamte Kreisfläche innerhalb eines Maximal-Radius gefüllt, d.h. ausgeleuchtet ist, mit sämtlichen Pupillenfacettenspiegeln 17 das Beleuchtungssetting variiert wurde, um eine positive Änderung des sogenannten Iso-Dense-Bias zu erzeugen, d.h. eine Veränderung des mittleren Offsets der kritischen Dimension zwischen Linienstrukturen 29 mit isolierten Linien 30, 31, d.h. Linien mit einem großen Linienabstand l, und dichten Linien 30, 31. Beim variierten Beleuchtungssetting gemäß Fig. 13 wurden einhunderteins Beleuchtungskanäle von insgesamt über vierhundert Beleuchtungskanälen ausgeschaltet. Der resultierende CD-Through-Pitch-Verlauf ist in Fig. 14 dargestellt. Hierbei gibt die durchgezogene Kurve den Wert am zentralen Feldpunkt (x = 0) wieder. Die Variation über 13 unterschiedliche Feldpunkte ist schraffiert verdeutlicht. Die kritische Dimension betrug 27 nm.

In den Fig. 15 und 16 ist ein entsprechendes Ergebnis zur Einstellung einer negativen Änderung des Iso-Dense-Bias wiedergegeben.

Entsprechend ist in den Fig. 17 bis 20 die Einstellung eines positiven bzw. negativen H-V-Offsets durch Abschalten von Beleuchtungskanälen verdeutlicht.

Wie aus sämtlichen Beispielen deutlich wird, ist mit dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Einstellung des Beleuchtungssettings eine deutliche Verbesserung der relevanten Abbildungsgrößen auf dem Wafer möglich.

Zur Herstellung eines mikro- oder nanostrukturierten Bauelements wird die Projektionsbelichtungsanlage 1 folgendermaßen eingesetzt: Zunächst werden das Retikel und der Wafer bereitgestellt. Anschließend wird ein Beleuchtungssetting gemäß dem vorhergehend beschriebenen Verfahren eingestellt. Sodann wird eine Struktur auf dem Retikel auf eine lichtempfindliche Schicht des Wafers mit Hilfe der Projektionsbelichtungsanlage 1 projiziert. Durch Entwicklung der lichtempfindlichen Schicht wird dann eine Mikrostruktur auf dem Wafer und somit das mikro- bzw. nanostrukturierte Bauteil erzeugt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Einstellen eines Beleuchtungssettings umfassend die folgenden Schritte:
   - Bereitstellen einer Beleuchtungsoptik (4) zur Formung eines vorgebbaren Beleuchtungssettings zur Beleuchtung eines in einem Objektfeld (5) angeordneten, in ein Bildfeld (8) abzubildenden Retikels umfassend
     -- einen ersten Facettenspiegel (13), der eine Vielzahl von Einzelspiegeln (14) umfasst,
     -- einen zweiten Facettenspiegel (17), der eine Vielzahl von Einzelspiegeln (16) umfasst,
        --- wobei der zweite Facettenspiegel (17) dem ersten Facettenspiegel (13) im Strahlengang der Beleuchtungsoptik (4) nachgeordnet ist, und
        --- wobei zumindest eine Teilmenge der Einzelspiegel (14) des ersten Facettenspiegels (13) zur Ausbildung von Beleuchtungskanälen des Beleuchtungssettings einer Teilmenge der Einzelspiegel (16) des zweiten Facettenspiegels (17) eindeutig zuordenbar ist, und
     -- mindestens ein Mittel zur Variierung des Beleuchtungssettings,
        --- wobei das mindestens eine Mittel zur Variierung des Beleuchtungssettings mindestens eine steuerbare Korrektureinrichtung (23, 27) umfasst, welche eine Vielzahl von verstellbaren Korrektur-Elementen zur Beeinflussung der Transmission aufweist,
   - Vorgabe eines Initial-Beleuchtungssettings mit einer Initial-Transmission und einer Initial-Beleuchtungspupille,

- Vorgabe mindestens einer einzustellenden Abbildungsgröße im Bereich des Bildfeldes (8),
- Vorgabe eines Zielwertes für die mindestens eine Abbildungsgröße,
- Bestimmung eines Istwertes für die mindestens eine Abbildungsgröße,
- Variieren des Beleuchtungssettings bis der Istwert mit dem Zielwert innerhalb vorgegebener Toleranzen übereinstimmt.

2. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Variierung des Beleuchtungssettings mindestens eines der Korrektur-Elemente der mindestens einen Korrektureinrichtung (23, 27) verstellt wird.

3. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Variierung des Beleuchtungssettings mindestens einer der Einzelspiegel (14) des ersten Facettenspiegels (13) verstellt wird.

4. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Bestimmung des Istwertes eine im Objektfeld (5) angeordnete Teststruktur in das Bildfeld (8) abgebildet und/oder ein Simulationsverfahren verwendet wird.

5. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mindestens eine einzustellende Abbildungsgröße aus folgenden Größen ausgewählt wird: Variation einer kritischen Dimension (critical dimension, CD) aufgrund eines unterschiedlichen Linienabstands, von Feldvariationen, Projektionsaberrationen

oder Systemvariationen, Unterschied der kritischen Dimension von horizontalen und vertikalen Strukturen (H-V-Differenz), Unterschied der kritischen Dimension von isolierten und dichten Strukturen (Iso-Dense-Bias) und Abbildungs-Telezentrie.

6. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens eine Randbedingung vorgegeben wird, welche bei der Variierung des Beleuchtungssettings erfüllt wird.

7 Verfahren gemäß Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Randbedingung für das variierte Beleuchtungssetting ein Mindest-Transmissionswert von 90% der Initial-Transmission vorgegeben wird.

8. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 6 bis 7, **gekennzeichnet durch** die Randbedingung, dass maximal 10% der Beleuchtungskanäle variiert wird.

9. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 6 bis 7, **gekennzeichnet durch** die Randbedingung, dass das variierte Beleuchtungssetting eine Beleuchtungspupille aufweist, bei welcher maximal 5% der Beleuchtungskanäle um mehr als 20% eines auf 1 normalisierten Radius von einer Berandung (33, 34) der Initial-Beleuchtungspupille entfernt liegen.

10. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Variierung des Beleuchtungssettings nach einem iterativen, diskreten Optimierungsverfahren durchgeführt wird.

11. Beleuchtungsoptik (4) zur Durchführung des Verfahrens gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche umfassend
    a) eine Beleuchtungsoptik (4) zur Beleuchtung eines Objektfeldes (5) mit einem vorgebbaren Beleuchtungssetting umfassend
        i. einen ersten Facettenspiegel (13), der eine Vielzahl von Einzelspiegeln (14) umfasst,
        ii. einen zweiten Facettenspiegel (17), der eine Vielzahl von Einzelspiegeln (16) umfasst,
        iii. wobei zumindest eine Teilmenge der Einzelspiegel (14) des ersten Facettenspiegels (13) zur Ausbildung von Beleuchtungskanälen des Beleuchtungssettings eine Teilmenge der Einzelspiegel (16) des zweiten Facettenspiegels (17) zuordenbar ist, und
    b) mindestens ein Mittel zur Variierung des Beleuchtungssettings,
    c) wobei das mindestens eine Mittel zur Variierung des Beleuchtungssettings mindestens eine steuerbare Korrektureinrichtung (23, 27) umfasst, welche eine Vielzahl von verstellbaren Korrektur-Elementen zur Beeinflussung der Transmission aufweist, und
    d) eine Steuereinrichtung (15) zur Steuerung des Beleuchtungssettings.

12. Beleuchtungsoptik (4) gemäß Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Korrektur-Elemente ausgewählt sind aus Filtern und Blenden und einem Feldintensitäts-Korrekturelement, wobei die Filter und Blenden zur Abschwächung oder Abblendung einer vorgegebenen Auswahl der Einzelspiegel (16) des zweiten Facettenspiegels (17) dienen.

13. Beleuchtungssystem (2) mit

a) einer Strahlungsquelle (3) und

b) einer Beleuchtungsoptik gemäß Anspruch 12.

14. Projektionsbelichtungsanlage (1) mit einem Beleuchtungssystem (2) gemäß Anspruch 13 und einer Projektionsoptik (7).

15. Verfahren zur Herstellung eines mikro- oder nanostrukturierten Bauelements umfassend die folgenden Schritte:

- Bereitstellen einer Projektionsbelichtungsanlage (1) gemäß Anspruch 14,
- Bereitstellen eines Retikels, das abzubildende Strukturen aufweist,
- Bereitstellen eines Wafers, auf dem zumindest teilweise eine Schicht aus einem lichtempfindlichen Material aufgebracht ist,
- Projizieren wenigstens eines Teils des Retikels auf einen Bereich der Schicht mit Hilfe der Projektionsoptik (7) der Projektionsbelichtungsanlage (1),
- wobei zur Einstellung eines Beleuchtungssettings ein Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11 vorgesehen ist.

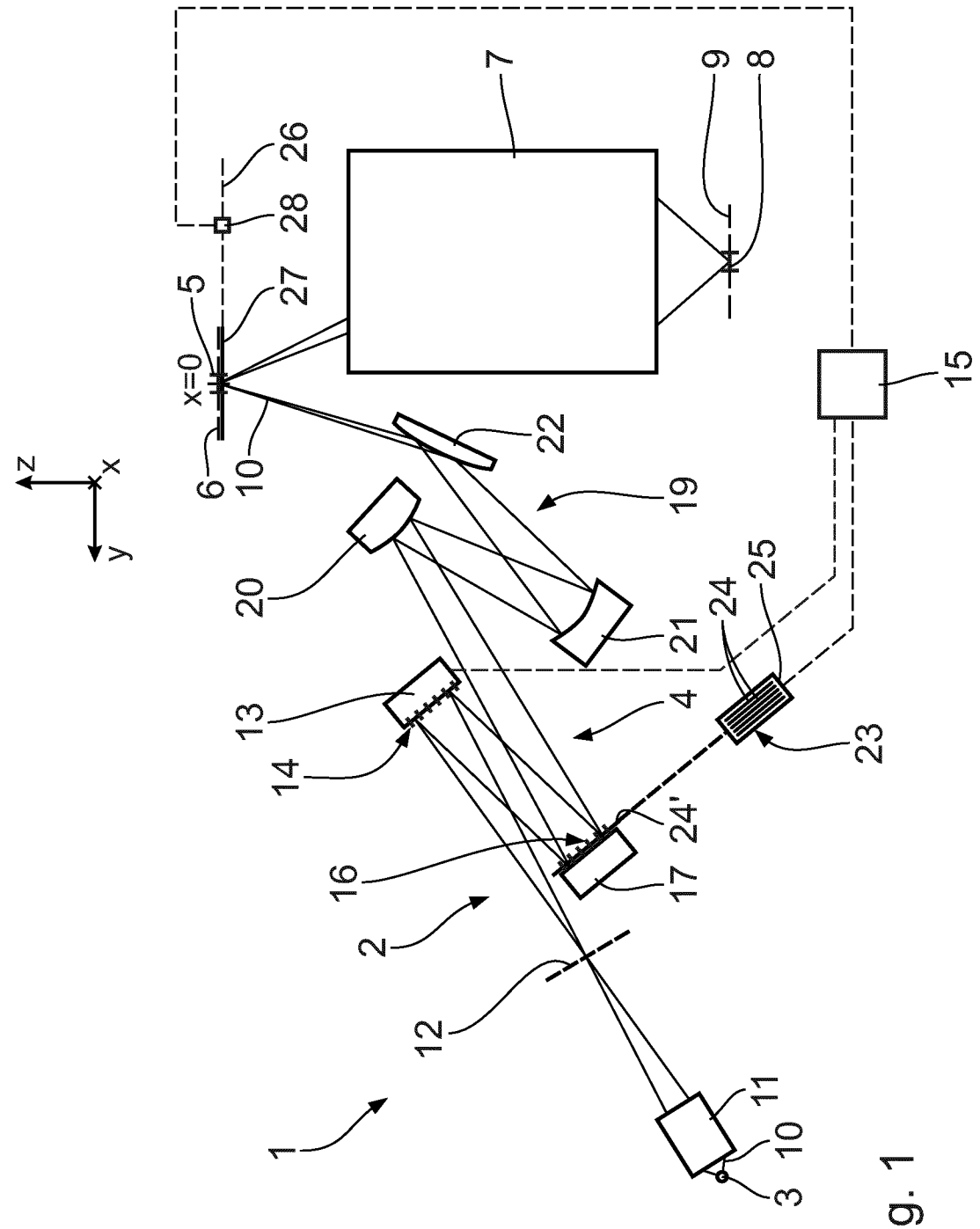

z
x
y
x=0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
19
20
21
22
23
24
24'
25
26
27
28
M

Fig. 1

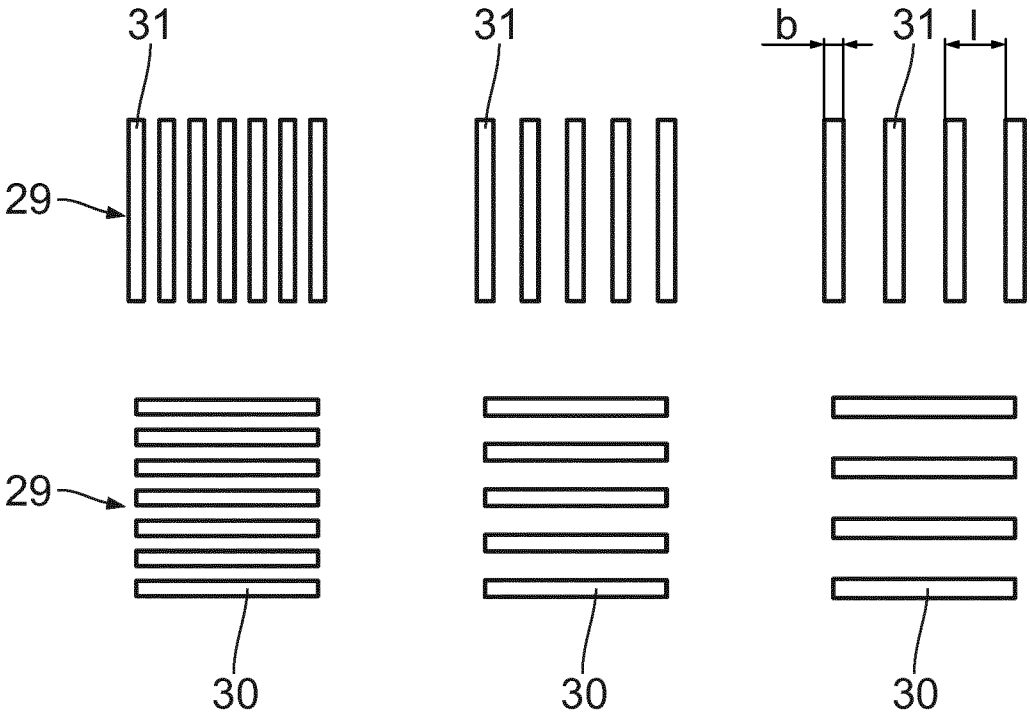


Fig. 2

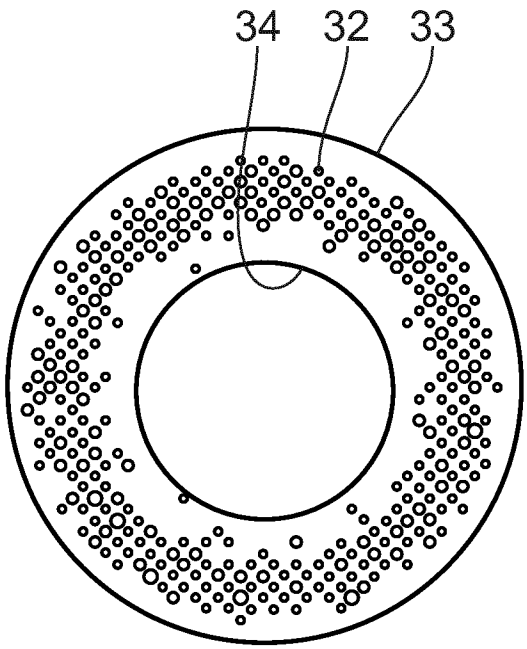


Fig. 3

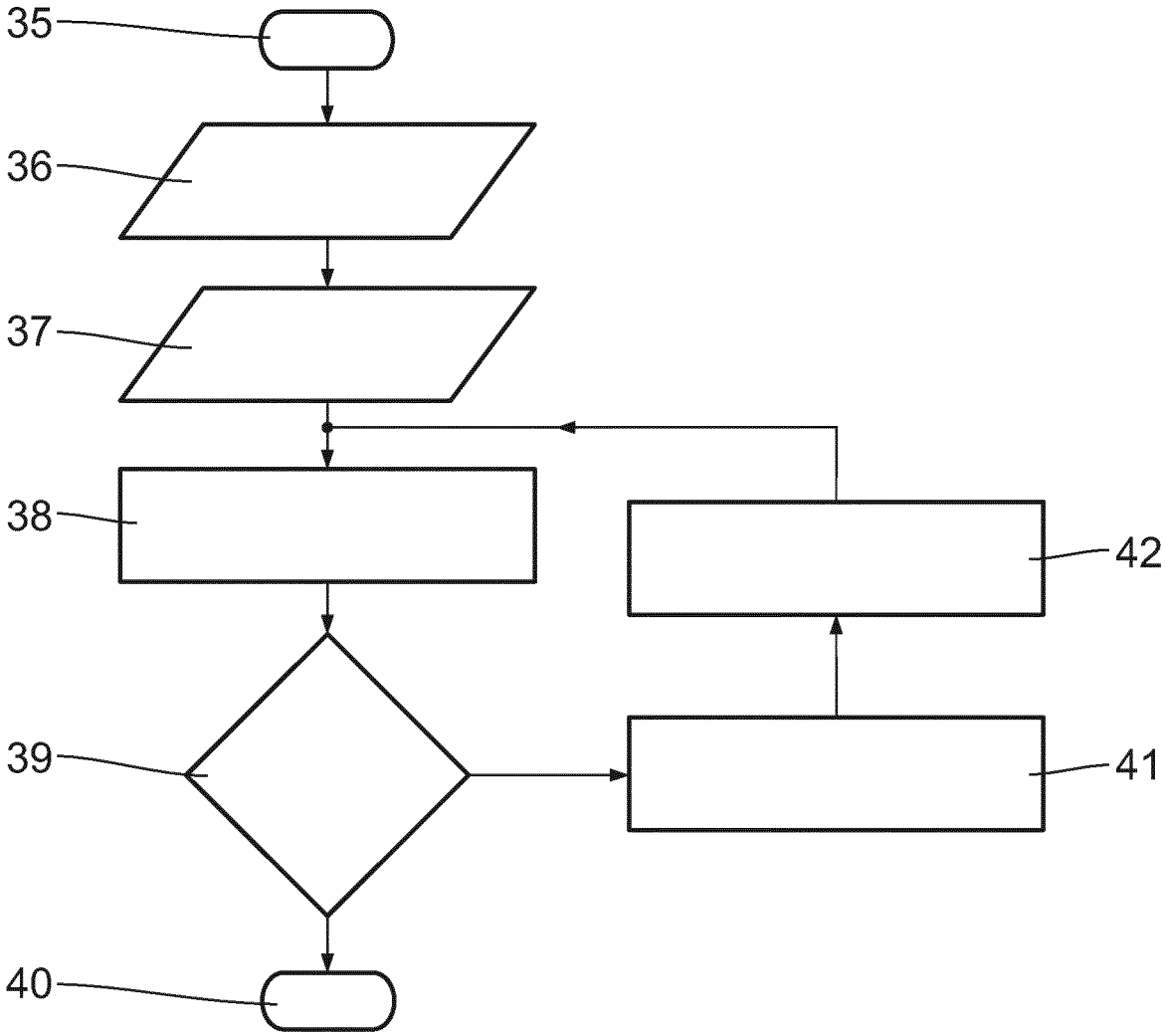


Fig. 4

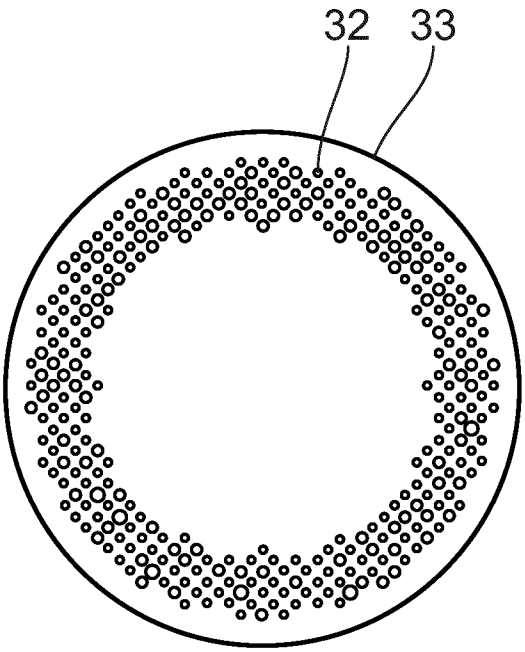


Fig. 5a

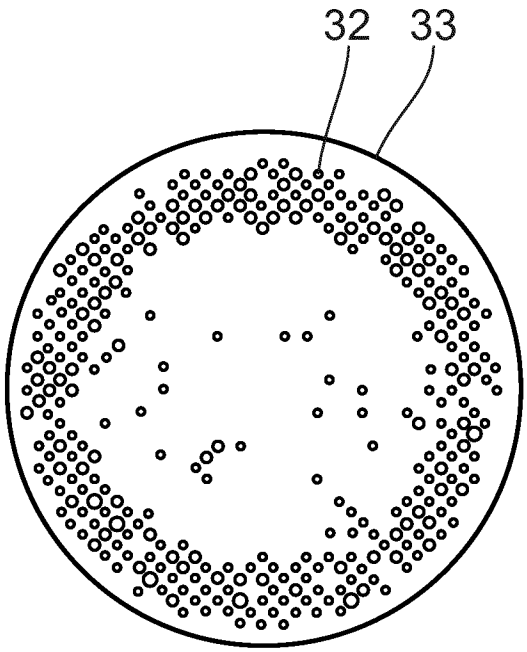


Fig. 5b

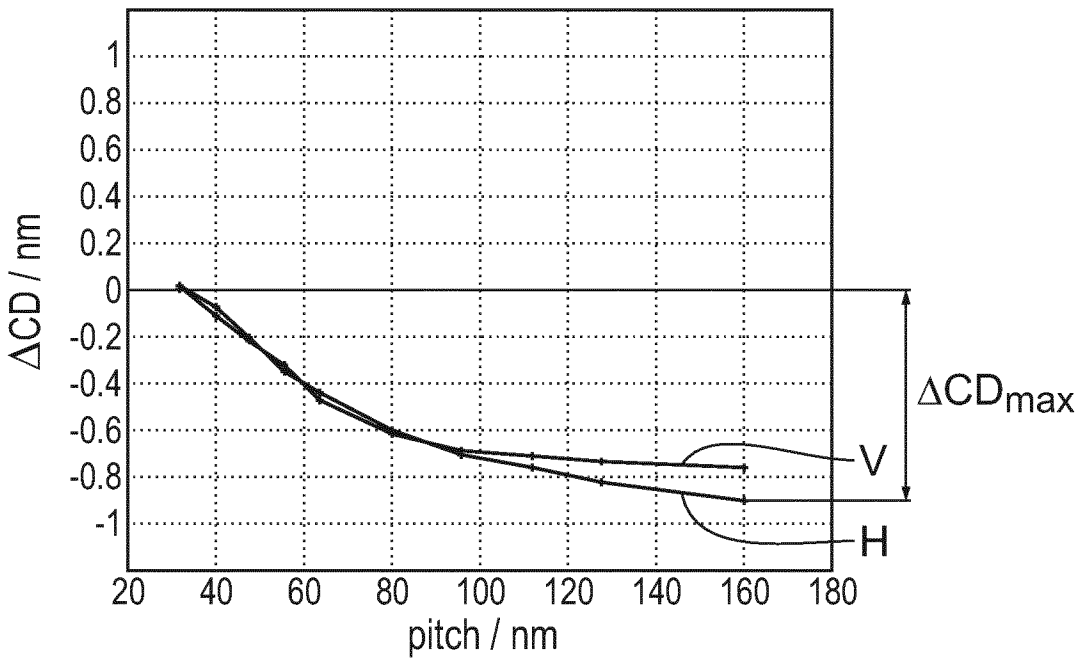


Fig. 6

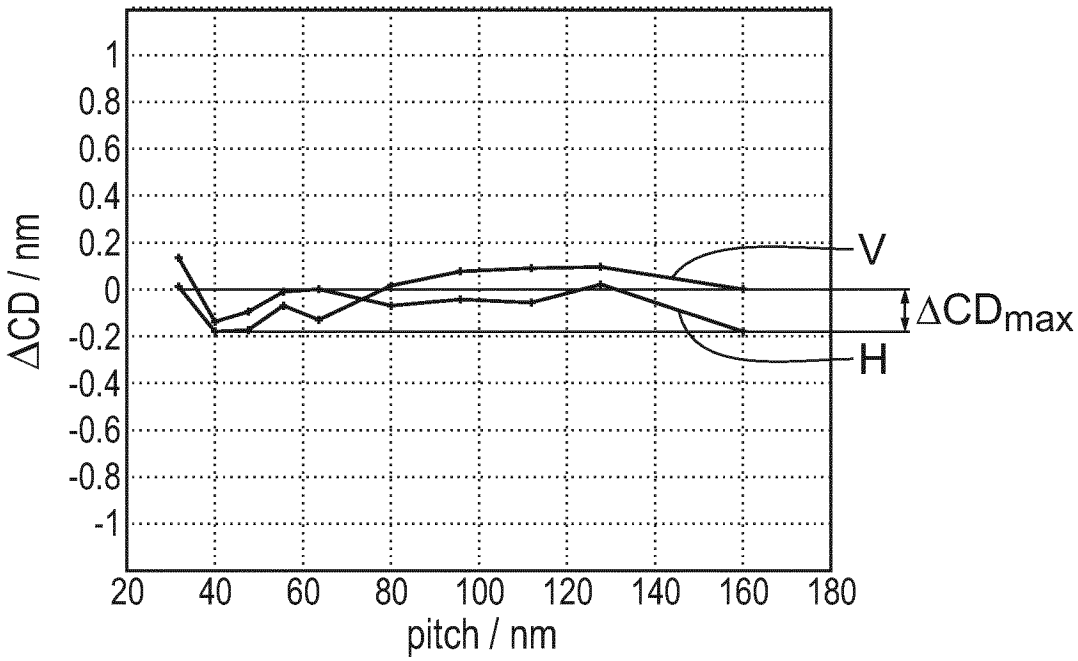

1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1
ΔCD / nm
20
40
60
80
100
120
140
160
180
pitch / nm
V
H
ΔCDmax

Fig. 7

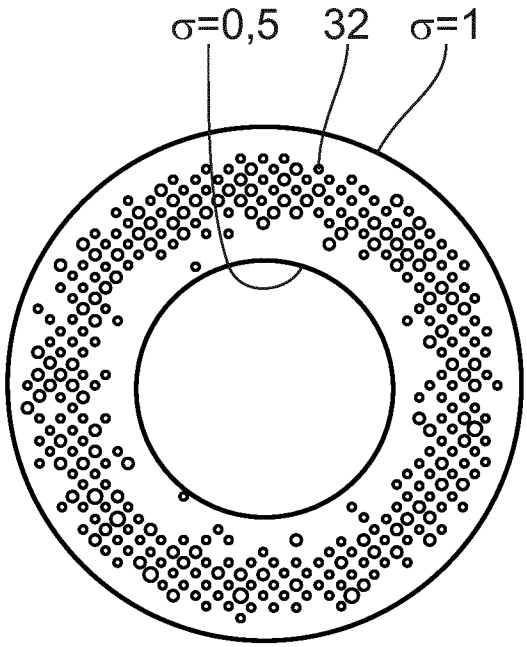

σ=0,5
32
σ=1

Fig. 8

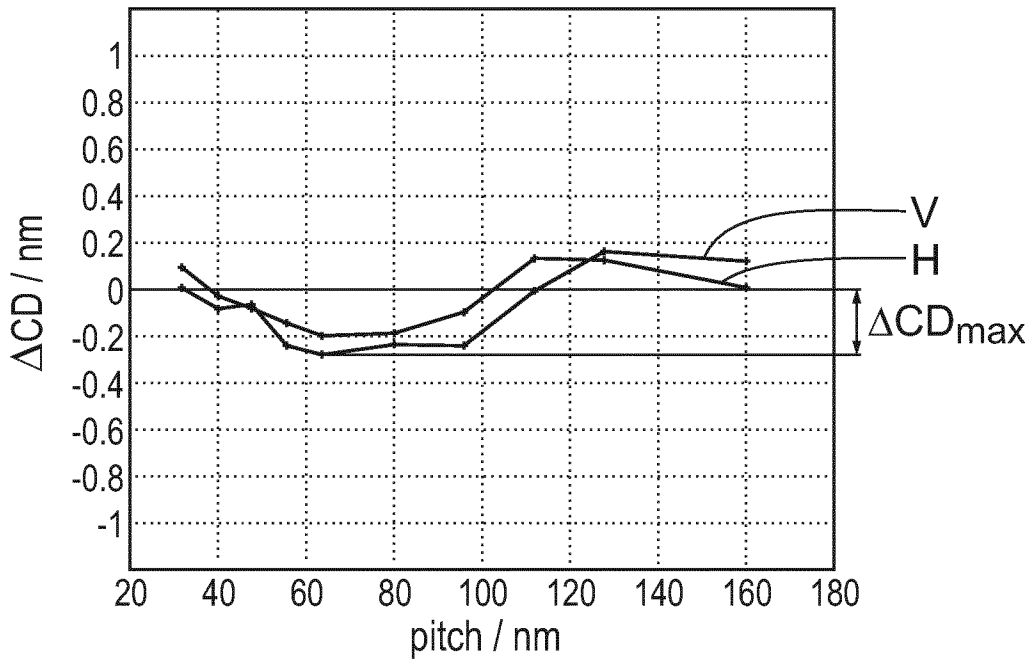

1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1
ΔCD / nm
20
40
60
80
100
120
140
160
180
pitch / nm
V
H
ΔCDmax

Fig. 9

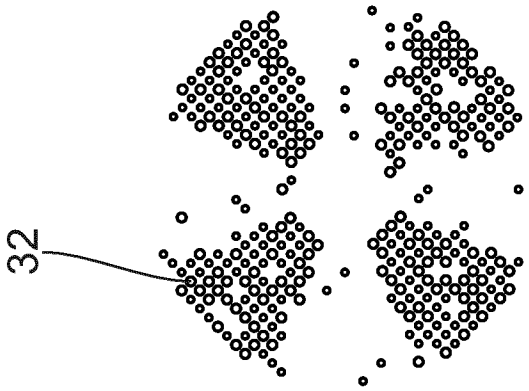


Fig. 10c

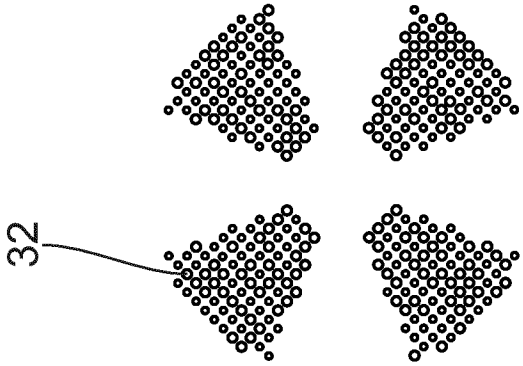


Fig. 10b

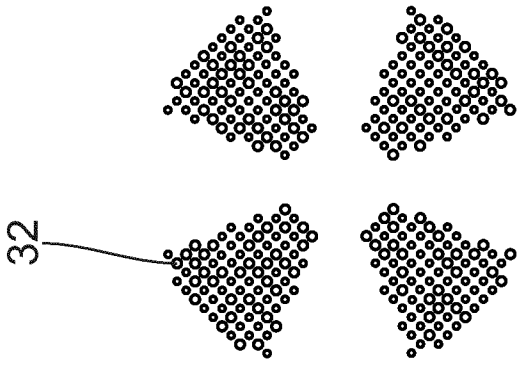


Fig. 10a

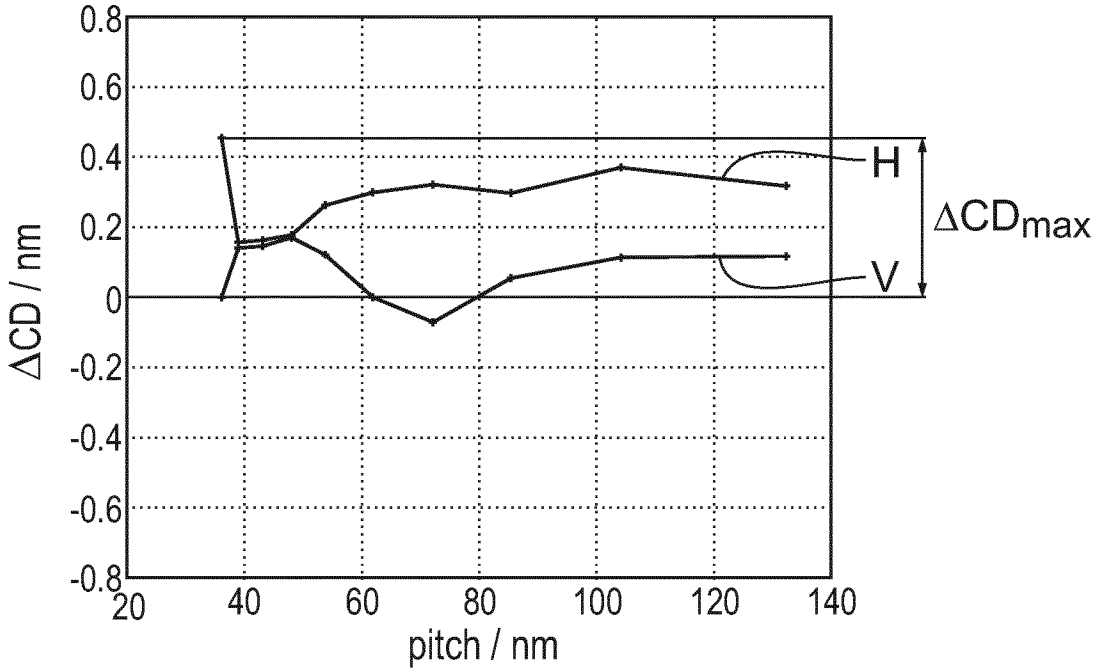

0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
ΔCD / nm
20
40
60
80
100
120
140
pitch / nm
H
V
ΔCDmax

Fig. 11

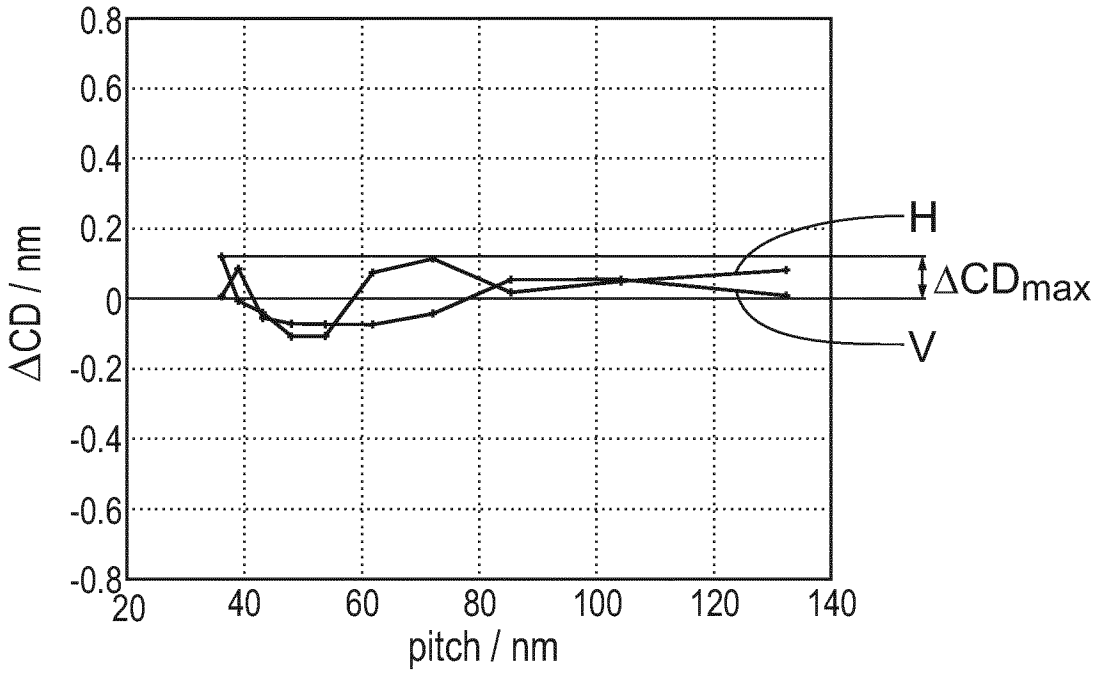

0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
ΔCD / nm
20
40
60
80
100
120
140
pitch / nm
H
V
ΔCDmax

Fig. 12

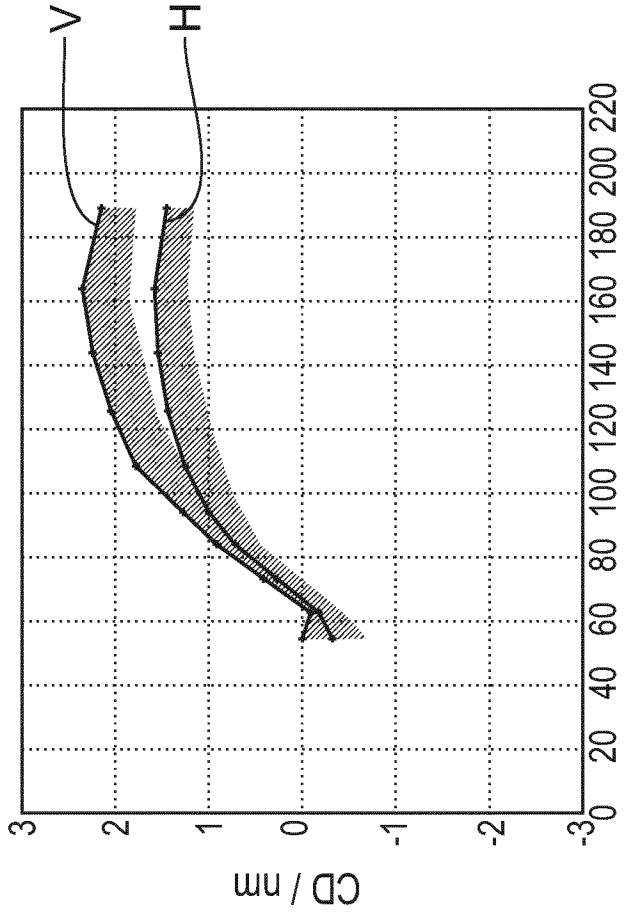

V
H
CD / nm
3
2
1
0
-1
-2
-3
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
220
pitch / nm

Fig. 14

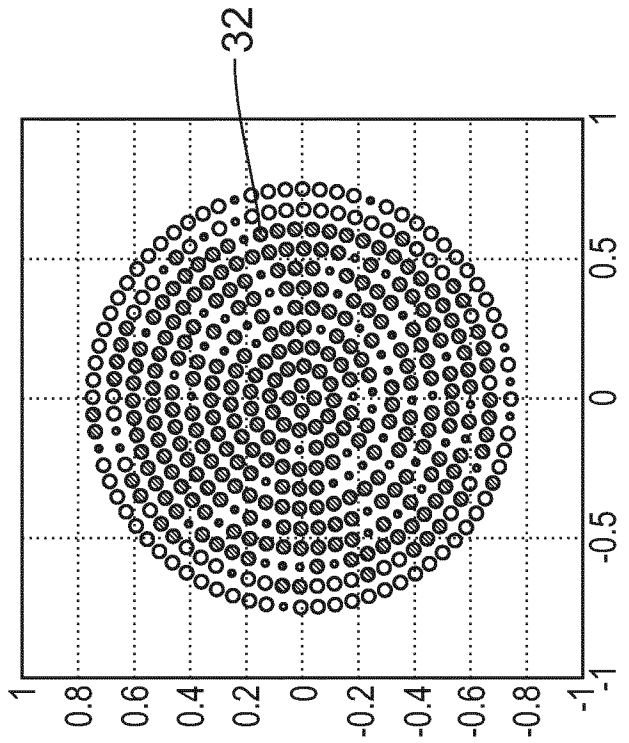

32
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1
1
0.5
0
-0.5
-1

Fig. 13

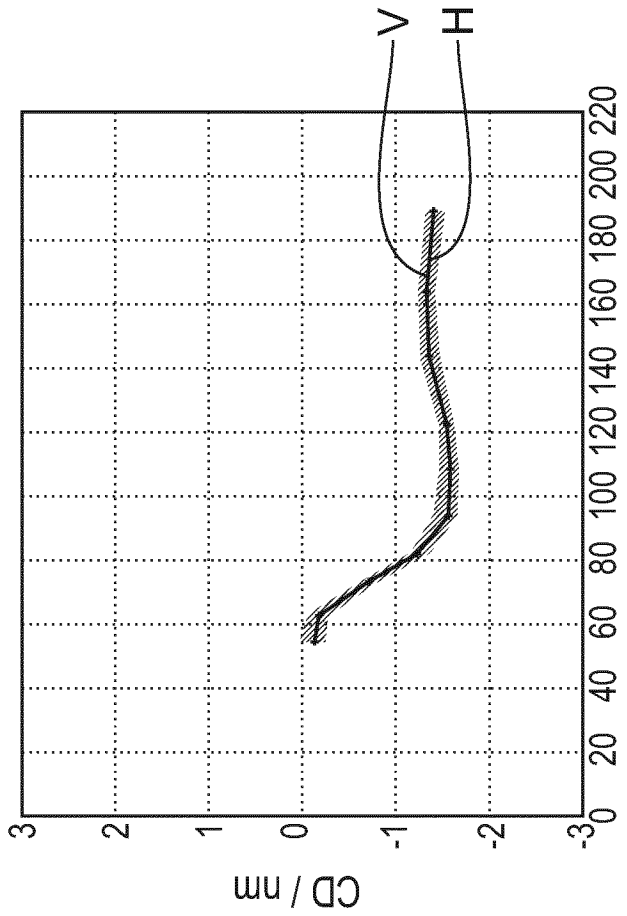

V
H
CD / nm
3
2
1
0
-1
-2
-3
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
220
pitch / nm

Fig. 16

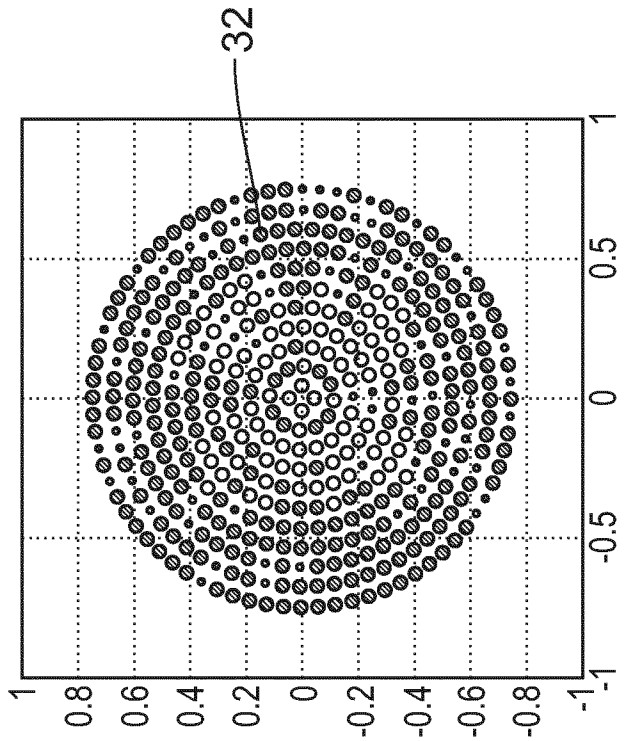

32
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1
1
0.5
0
-0.5
-1

Fig. 15

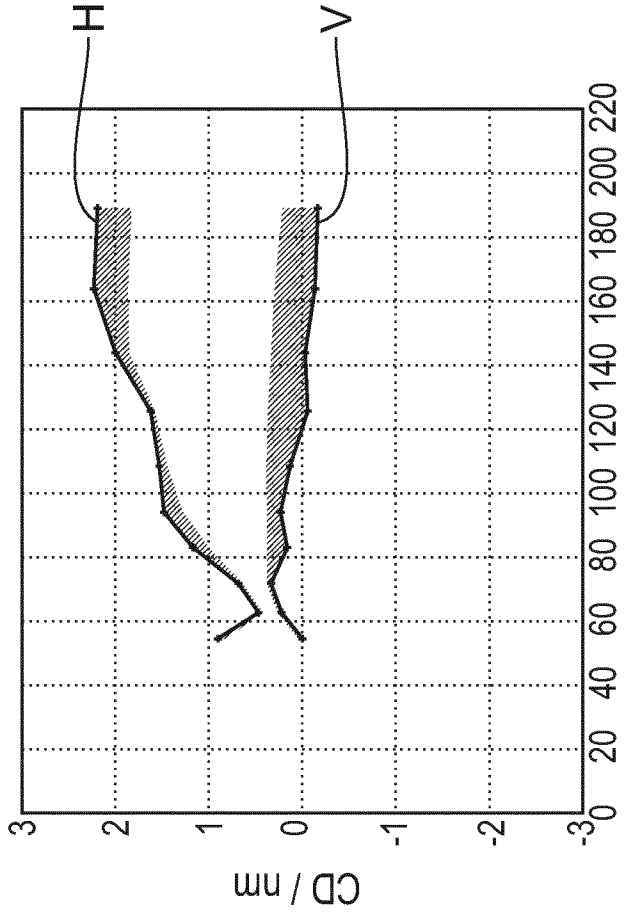

H
V
CD / nm
3
2
1
0
-1
-2
-3
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
220
pitch / nm

Fig. 18

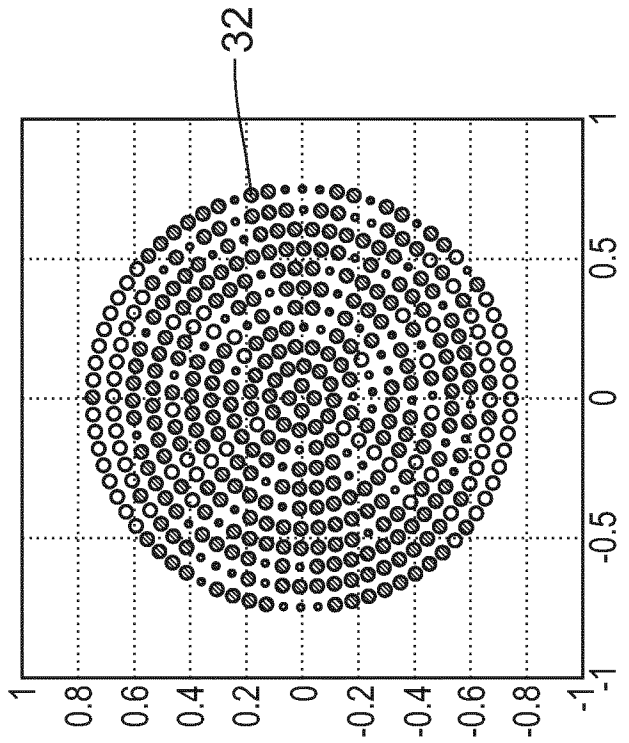

32
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1
1
0.5
0
-0.5
-1

Fig. 17

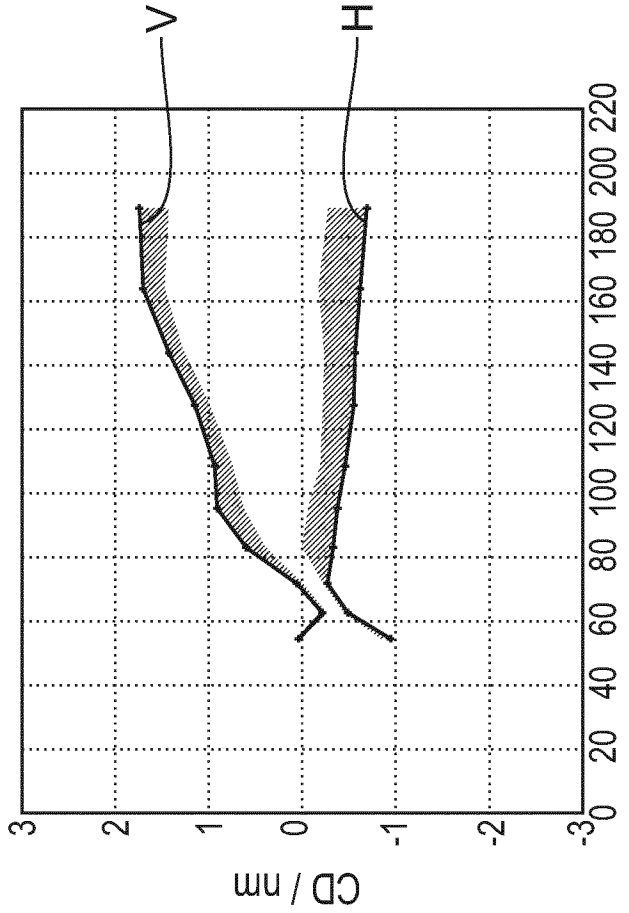

V
H
CD / nm
3
2
1
0
-1
-2
-3
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 220
pitch / nm

Fig. 20

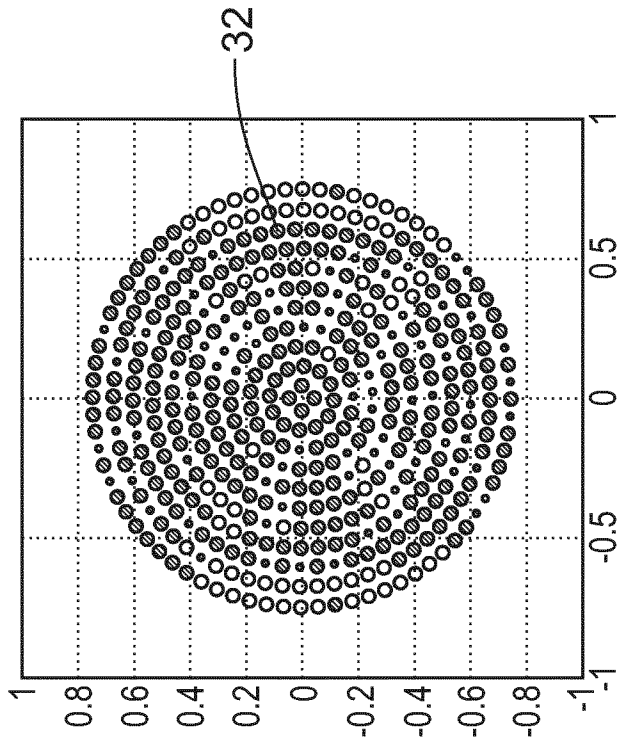

32
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1
1 0.5 0 -0.5 -1

Fig. 19

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2013/064963

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G03F7/20 G02B26/08
ADD.

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G03F G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, INSPEC, 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 Y	WO 2011/076500 A1 (ASML NETHERLANDS BV [NL]; VAN INGEN SCHENAU KOEN [NL]; VAN SCHOOT JAN) 30 June 2011 (2011-06-30) cited in the application paragraphs [0046] - [0082]; figures 2, 12-14, 18, 19 -----	1-6,8, 10,11, 13-15 7,9,12
Y	DE 10 2009 045491 A1 (ZEISS CARL SMT AG [DE]) 25 November 2010 (2010-11-25) cited in the application paragraphs [0051], [0052]; figure 1 -----	7,9,12
Y	DE 10 2011 005881 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 3 May 2012 (2012-05-03) cited in the application paragraphs [0040], [0075]; figures 1, 11 -----	7,9,12

☐ 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	Date of mailing of the international search report
7 November 2013	27/11/2013

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Eisner, Klaus

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2013/064963

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2011076500 A1	30-06-2011	CN 102695988 A	26-09-2012
		JP 2013516055 A	09-05-2013
		KR 20130007541 A	18-01-2013
		TW 201128322 A	16-08-2011
		US 2012262689 A1	18-10-2012
		WO 2011076500 A1	30-06-2011
DE 102009045491 A1	25-11-2010	NONE	
DE 102011005881 A1	03-05-2012	DE 102011005881 A1	03-05-2012
		US 2012242968 A1	27-09-2012

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2013/064963

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G03F7/20 G02B26/08
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G03F G02B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, INSPEC, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2011/076500 A1 (ASML NETHERLANDS BV [NL]; VAN INGEN SCHENAU KOEN [NL]; VAN SCHOOT JAN) 30. Juni 2011 (2011-06-30) in der Anmeldung erwähnt	1-6,8, 10,11, 13-15
Y	Absätze [0046] - [0082]; Abbildungen 2, 12-14, 18, 19	7,9,12

Y	DE 10 2009 045491 A1 (ZEISS CARL SMT AG [DE]) 25. November 2010 (2010-11-25) in der Anmeldung erwähnt Absätze [0051], [0052]; Abbildung 1	7,9,12

Y	DE 10 2011 005881 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 3. Mai 2012 (2012-05-03) in der Anmeldung erwähnt Absätze [0040], [0075]; Abbildungen 1, 11	7,9,12

☐ 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
7. November 2013	27/11/2013

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Eisner, Klaus

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2013/064963

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2011076500 A1	30-06-2011	CN 102695988 A	26-09-2012
		JP 2013516055 A	09-05-2013
		KR 20130007541 A	18-01-2013
		TW 201128322 A	16-08-2011
		US 2012262689 A1	18-10-2012
		WO 2011076500 A1	30-06-2011
DE 102009045491 A1	25-11-2010	KEINE	
DE 102011005881 A1	03-05-2012	DE 102011005881 A1	03-05-2012
		US 2012242968 A1	27-09-2012