

(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
26. Juli 2018 (26.07.2018)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2018/134215 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation: *G03F 7/20* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2018/051042
- (22) Internationales Anmeldedatum: 17. Januar 2018 (17.01.2018)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 10 2017 200 935.7
20. Januar 2017 (20.01.2017) DE
- (71) Anmelder: CARL ZEISS SMT GMBH [DE/DE]; Rudolf-Eber-Strasse 2, 73447 Oberkochen (DE).
- (72) Erfinder: FREIMANN, Rolf; Weiße Steige 20, 73431 Aalen (DE).
- (74) Anwalt: RAU, SCHNECK & HÜBNER PATENTANWÄLTE RECHTSANWÄLTE PARTGMBB; 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, 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.

(54) Title: IMAGING OPTICAL UNIT FOR GUIDING EUV IMAGING LIGHT, AND ADJUSTMENT ARRANGEMENT FOR SUCH AN IMAGING OPTICAL UNIT

(54) Bezeichnung: ABBILDENDE OPTIK ZUR FÜHRUNG VON EUV-ABBILDUNGSLICHT SOWIE JUSTAGEANORDNUNG FÜR EINE DERARTIGE ABBILDENDE OPTIK

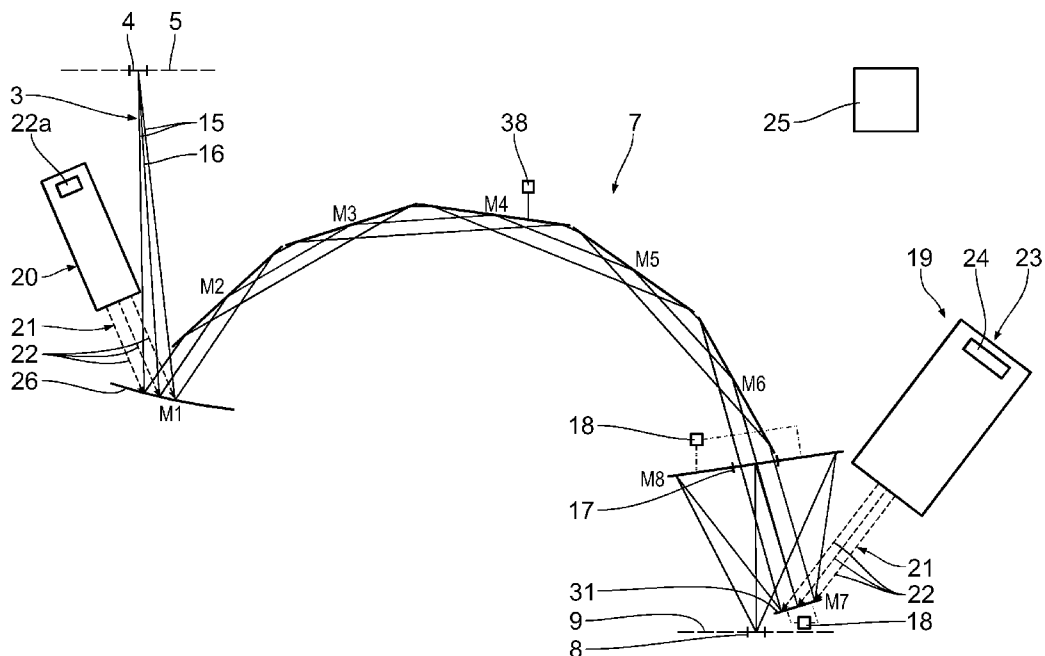


Fig. 2

(57) Abstract: An imaging optical unit (7) serves for imaging guidance of EUV imaging light (3) from an object field (4) to an image field (8) along an imaging beam path. The imaging optical unit (7) has a plurality of mirrors (M1 to M8) that are arranged in the imaging beam path and that have reflection layers (26, 31) for the EUV imaging light (3). At least one of the reflection layers is configured as an input coupling diffraction layer (26) such that test light (21) with a test light wavelength of at least 157 nm extends along the imaging beam path after diffraction at the diffraction layer (26). Before striking the input coupling diffraction layer (26), the test light



WO 2018/134215 A1

(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).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(21) extends along a test light beam path separated from the imaging light beam path. This results in an imaging optical unit in which an adjustment quality can be measured with greater precision and using a more compact structure. An adjustment arrangement (19) for such an imaging optical unit has a test light source (22a) and a test light detector (24), and also an adjustment component that is able to be influenced depending on the measurement result of the test light detector (24).

(57) Zusammenfassung: Eine abbildende Optik (7) dient zur abbildenden Führung von EUV-Abbildungslicht (3) von einem Objektfeld (4) zu einem Bildfeld (8) längs eines Abbildungs-Strahlengangs. Die abbildende Optik (7) hat eine Mehrzahl von im Abbildungs-Strahlengang angeordneten Spiegeln (M1 bis M8), die Reflexionsschichten (26, 31) für das EUV-Abbildungslicht (3) tragen. Mindestens eine der Reflexionsschichten ist als Einkoppel-Beugungsschicht (26) so ausgeführt, dass Prüflicht (21) einer Prüflicht-Wellenlänge, die mindestens 157 nm beträgt, nach Beugung an der Beugungsschicht (26) längs des Abbildungs-Strahlengangs verläuft. Das Prüflicht (21) verläuft vor Auftreffen auf der Einkoppel-Beugungsschicht (26) längs eines vom Abbildungs-Strahlengang getrennten Prüflicht-Strahlengangs. Es resultiert eine abbildende Optik, bei der eine Justagequalität mit hoher Präzision und kompaktem Aufbau vermessen werden kann. Eine Justageanordnung (19) für eine derartige abbildende Optik hat eine Prüflicht-Quelle (22a) und einen Prüflicht-Detektor (24) sowie eine Justagekomponente, die abhängig vom Messergebnis des Prüflicht-Detektors (24) beeinflussbar ist.

Abbildende Optik zur Führung von EUV-Abbildungslicht sowie Justageanordnung für eine derartige abbildende Optik

Die vorliegende Patentanmeldung nimmt die Priorität der deutschen Patentanmeldung DE 10 2017 200 935.7 in Anspruch, deren Inhalt durch Bezugnahme hierin aufgenommen wird.

Die Erfindung betrifft eine abbildende Optik zur abbildenden Führung von EUV-Abbildungslicht. Ferner betrifft die Erfindung eine Justageanordnung für eine derartige abbildende Optik. Weiterhin betrifft die Erfindung ein optisches System mit einer Beleuchtungsoptik, einer derartigen Justageanordnung und einer derartigen abbildenden Optik, eine Projektionsbelichtungsanlage mit einem derartigen optischen System, ein Verfahren zur Herstellung eines mikro- bzw. nanostrukturierten Bauteils mit einer derartigen Projektionsbelichtungsanlage sowie ein mit diesem Verfahren hergestelltes mikro- bzw. nanostrukturiertes Bauteil.

Eine abbildende Optik der eingangs genannten Art ist bekannt aus der US 2016/0085061 A1. Die US 9 372 413 B2 zeigt Strukturen, die wellenlängenabhängig reflektierend oder streuend wirken. Die US 8 228 485 B2 beschreibt eine Anordnung zur Vermessung genau eines Spiegels in einem Projektionsstrahlengang. Die DE 10 2008 000 990 B3 zeigt Varianten einer Prüflichteinkopplung in eine Beleuchtungs- sowie in eine Abbildungsoptik einer Projektionsbelichtungsanlage.

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine abbildende Optik der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, dass eine Justagequalität der abbildenden Optik mit hoher Präzision und kompaktem Aufbau vermessen werden kann.

Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß gelöst durch eine abbildende Optik mit dem im Anspruch 1 angegebenen Merkmalen. Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass es ohne unerwünschte Beeinträchtigung der Reflexionseigen-
5 schaften eines EUV-Spiegels möglich ist, dessen Reflexionsschicht gleichzeitig als Einkoppel-Beugungsschicht für Prüflicht einer im Vergleich zu EUV-Licht größeren Wellenlänge auszugestalten. Ein ggf. geringer Beugungswirkungsgrad einer solchen Einkoppel-Beugungsschicht für das Prüflicht kann hingenommen werden, da das Prüflicht mit ausreichender Inten-
10 sität bereitgestellt werden kann. Das Prüflicht kann exakt auf dem Abbildungs-Strahlengang verlaufend eingekoppelt werden. In diesem Fall ist die Einkoppel-Beugungsschicht derart ausgeführt, dass in 100 % einer Fläche des Footprints des Abbildungs-Strahlengangs das Prüflicht eingekoppelt wird. Dies kann auch als Einkopplung des Prüflichts im beugungsbegrenz-
15 ten Strahlengang des Abbildungslichts verstanden werden.

Alternativ ist auch eine geringe Abweichung zwischen dem Abbildungs-Strahlengang und dem Prüflicht-Strahlengang hinsichtlich Lage und/oder Richtung und/oder auch eine Einkopplung des Prüflichts in weniger als die
20 gesamte Fläche des Footprints des Abbildungs-Strahlengangs möglich. Die Einkoppel-Beugungsschicht ist jeweils derart ausgeführt, dass in mindestens 50 % einer Fläche des Footprints des Abbildungs-Strahlengangs das Prüflicht eingekoppelt wird. Diese untere Grenze für die Footprint-Einkop-
25 pelfläche des Prüflichts kann auch größer sein als 50 % und kann 55 %, 60 %, 65 %, 70 %, 75 %, 80 %, 85 %, 90 %, 95 %, oder bei exakter Einkopplung des Prüflichts auf dem Abbildungs-Strahlengang, 100 % betragen. Das Prüflicht wird bevorzugt in Flächenanteilen des Footprints des Abbildungs-Strahlengangs eingekoppelt, die das Prüflicht auf Wegen führen, für die Abbildungsfehler zu erwarten sind.

Je nach gewählter Einkopplungsvariante sind aufgrund der Prüflicht-Einkopplung eine gute Kontrolle der Abbildungseigenschaften sowie eine Prüfung der Abbildungsoptik auf Abbildungsfehler möglich.

5

Über eingekoppeltes Prüflicht kann eine Justagequalität der abbildenden Optik vermessen, beurteilt und ggf. korrigiert werden. Eine derartige Prüfung ist auch während des abbildenden Betriebs der abbildenden Optik möglich. Die Prüfung kann insbesondere während oder nach einer baulichen Integration der z. B. zunächst vorjustierten abbildenden Optik in eine Projektionsbelichtungsanlage erfolgen. Der Prüflicht-Strahlengang verläuft auch dann längs des Abbildungs-Strahlengangs, wenn die beiden Strahlengänge nicht exakt aufeinanderliegen bzw. exakt in der gleichen Richtung verlaufen. Ein Strahlversatz, der kleiner ist als 100 μm und der größer sein kann als 0,5 μm , größer sein kann als 1 μm , größer sein kann als 2 μm und beispielsweise im Bereich von 10 μm liegen kann, ist möglich. Auch ein Winkelversatz, der kleiner ist als 5 $^\circ$ und der größer sein kann als 5 mrad, größer sein als 10 mrad, größer als 20 mrad und auch größer sein als 50 mrad, ist möglich.

20

Die Beugungsschicht kann mit Hilfe eines chemischen oder physikalischen Verfahrens auf den jeweiligen Spiegel aufgebracht werden. Die Beugungsschicht kann als computergeneriertes Hologramm (CGH) ausgeführt sein.

25

Eine Einkoppel-Beugungsschicht mit Gitterstruktur nach Anspruch 2 hat sich für die Einkopplung des Prüflichts als besonders geeignet herausgestellt. Ein reflexionsmindernder Einfluss für das EUV-Abbildungslicht kann gering gehalten werden.

Eine Ausgestaltung der Gitterstrukturen nach Anspruch 3 führt zu einem besonders geringen Einfluss der Beugungsschicht auf die Reflektivität des diese Beugungsschicht tragenden Spiegels hinsichtlich des EUV-Abbildungslichts. Die Gitterstrukturen können als Silizium-Streifen ausgeführt
5 sein. Die Gitterstrukturen können normal zur reflektierenden Schicht, auf die sie aufgebracht sind, eine Stärke im Bereich zwischen 10 und 100 nm und beispielsweise im Bereich von 20 nm haben.

Der Prüflicht-Strahlengang kann ab einem ersten Spiegel der abbildenden
10 Optik längs des Abbildungslicht-Strahlengangs verlaufen. Der Prüflicht-Strahlengang kann bis zu einem vorletzten oder bis zu einem letzten Spiegel der abbildenden Optik längs dem Abbildungs-Strahlengang verlaufen.

Die Vorteile einer Auskoppel-Beleuchtungsschicht nach Anspruch 4 entsprechen denen, die vorstehend im Zusammenhang mit der Einkoppel-
15 Beugungsschicht bereits erläutert wurden. Das Prüflicht kann dann exakt auf dem Abbildungs-Strahlengang zwischen der Einkopplung und der Auskopplung verlaufen. Eine Trennung des Prüflichts vom EUV-Abbildungslicht an der Auskoppel-Beugungsschicht kann durch unterschiedliche
20 Ausfallswinkel des EUV-Abbildungslichts einerseits und des Prüflichts andererseits herbeigeführt werden.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, eine Justageanordnung für eine derartige abbildende Optik anzugeben. Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß
25 gelöst durch eine Justageanordnung mit den im Anspruch 5 angegebenen Merkmalen.

Mit dieser Justageanordnung wird direkt über das Prüflicht eine Messung von Auswirkungen der längs dem vermessenen Abbildungs-Strahlengang

liegenden Spiegel der abbildenden Optik auf die Prüflicht-Wellenfront möglich. Da das Prüflicht zumindest abschnittsweise längs des Abbildungs-Strahlengangs verläuft, ist die mit der Justageanordnung zugängliche Überprüfung der Abbildungseigenschaften der abbildenden Optik sehr gut an dessen abbildungslichtführende Wirkung angepasst. Der Prüflicht-Detektor kann zur Wellenfrontvermessung des Prüflichts ausgeführt sein. Hierüber kann insbesondere eine Wellenfrontabweichung, also die Abweichung eines Wellenfront-Istwertes von einem vorgegebenen Wellenfront-Sollwert, ermittelt werden. Mit der Justageanordnung kann mindestens ein Spiegel der abbildenden Optik nach dem Einbau in die Optik justiert werden.

Alternativ oder zusätzlich kann der Prüflicht-Detektor zur Vermessung einer Spiegellage und/oder einer Spiegelorientierung ausgeführt sein. Der Prüflicht-Detektor kann als Kamera ausgeführt sein.

Als Wellenfrontmesstechnik kann ein Punktbeugungs-Interferometer (point diffraction interferometer; PDI) nach Art desjenigen zum Einsatz kommen, welches in der US 6,100,978 beschrieben ist.

Mindestens ein deformierbarer Spiegel nach Anspruch 6 führt zur Möglichkeit, über die Justageanordnung eine Justageregelung herbeizuführen. Die Abweichung eines Detektions-Istwertes des Prüflicht-Detektors von einem vorgegebenen Detektions-Sollwert kann dann genutzt werden, um über die Justageanordnung die abbildende Optik auf einen Zielwert hin zu optimieren. Es kann noch beispielsweise eine Wellenfrontabweichung oder die Abweichung von Komponenten der Wellenfront als Detektionsgröße für die Zielwertoptimierung herangezogen werden.

Alternativ kann eine Justagekomponente der Justageanordnung durch eine manuell zu beginnende Justageeinheit gebildet sein. Eine Justagekomponente kann auch über die Beeinflussung einer Temperierung mindestens einer Komponente der abbildenden Optik beispielsweise über eine Kühleinrichtung realisiert sein. Alternativ oder zusätzlich kann eine Justagekomponente als Verlagerungsaktor für ein abzubildendes Objekt oder für ein Substrat, auf welches mit der abbildenden Optik abgebildet wird, realisiert sein. Eine Justagekomponente kann weiterhin realisiert sein über eine variable Schwingungsdämpfung, auf die abhängig vom Messergebnis des Prüflicht-Detektors Einfluss genommen wird.

Eine Einkoppel-Optik nach Anspruch 7 kann eine Blende aufweisen. Die Einkoppel-Optik kann mindestens eine Einkoppel-Linse aufweisen, die als Kondensor ausgeführt sein kann. Die Einkoppel-Optik kann eine Wellenfrontanpassungseinheit für eine Prüflicht-Wellenfront aufweisen. Eine derartige Anpassungseinheit kann als computergeneriertes Hologramm (CGH) ausgeführt sein.

Eine Detektionsoptik nach Anspruch 8 kann eine Blende aufweisen. Die Detektionsoptik kann mindestens eine Detektionslinse aufweisen, die als Kondensor ausgeführt sein kann. Die Detektionsoptik kann ein Schergitter aufweisen. Die Detektionsoptik kann zur Aufnahme eines Scherogramms ausgeführt sein.

Eine entgegengesetzte Verlaufsrichtung der Strahlengänge nach Anspruch 9 kann dazu genutzt werden, unerwünscht auf das Bildfeld treffendes Prüflicht zu vermeiden.

- Mindestens eine der Spiegel-Reflexionsschichten der abbildenden Optik kann als Retroreflexions-Beugungsschicht so ausgeführt sein, dass das Prüflicht, welches vor der Reflexion an der Beugungsschicht längs des Abbildungs-Strahlengangs verläuft, nach der Reflexion an der Beugungsschicht retroreflektiert und wiederum längs des Abbildungs-Strahlengangs verläuft. In diesem Fall kann durch eine Einkoppel-Beugungsschicht auf einem der Spiegel der abbildenden Optik auch eine Auskopplung des Prüflichts erfolgen. Eine Detektion der Justageanordnung kann von einer Prüflichtquelle über einen teildurchlässigen Spiegel getrennt sein.
- 10 Die Beugungsschicht, die zur Einkopplung und/oder Auskopplung und/oder Retroreflexion des Prüflichts zum Einsatz kommt, kann als computergeneriertes Hologramm (CGH) ausgeführt sein.
- 15 Die Vorteile eines Retroreflektors nach Anspruch 10 entsprechen denen, die vorstehend im Zusammenhang mit der Retroreflexions-Beugungsschicht erläutert wurden. Der Retroreflektor kann als Planspiegel, als sphärischer Spiegel oder auch als asphärischer Spiegel ausgeführt sein. Der Retroreflektor kann als Freiformflächen-Spiegel ausgeführt sein.
- 20 Beim Einsatz einer Retroreflexion kann zur Detektion auf der Einkoppel-seite der Justageanordnung auch ein Fizeau-Interferometer angeordnet sein. Dem Retroreflektor kann eine Wellenfront-Anpassungseinheit vorgelagert sein. Diese Anpassungseinheit kann im Doppeldurchlauf betrieben sein.
- 25 Die Anpassungseinheit kann als computergeneriertes Hologramm (CGH) ausgeführt sein.

Die Vorteile einer Justageanordnung nach Anspruch 11 entsprechen denen, die vorstehend im Zusammenhang mit der abbildenden Optik einerseits und der Justageanordnung andererseits bereits erläutert wurden.

- 5 Die Vorteile eines optischen Systems nach Anspruch 12, einer Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 13, eines Herstellungsverfahrens nach Anspruch 14 sowie eines mikro- bzw. nanostrukturierten Bauteils nach Anspruch 15 entsprechen denen, die vorstehend unter Bezugnahme auf die abbildende Optik einerseits und die Justageanordnung andererseits bereits
- 10 erläutert wurden. Beim optischen System nach Anspruch 12 kann es sich um eine Baugruppe für eine Projektionsbelichtungsanlage vom Scannertyp, insbesondere vom Typ „EUV-Scanner“, handeln. Teil des optischen Systems, also Teil der Beleuchtungsoptik und/oder der abbildenden Optik, kann eine anarmoptische optische Einheit sein. Entsprechende anarmoptische optische Einheiten sind beschrieben in der WO 2016/012 426
- 15 A1, der WO 2016/012 425 A2, der US 2013/0128251 A1, der US 2016/0327868 A1, der DE 10 2014 208 770 A1 und der WO 2016/078 819 A1.
- 20 Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert. In dieser zeigen:

Fig. 1 schematisch eine Projektionsbelichtungsanlage für die EUV-Mikrolithografie;

25

Fig. 2 in einem Meridionalschnitt eine Ausführung einer abbildenden Optik, die als Projektionsobjektiv in der Projektionsbelichtungsanlage nach Fig. 1 zum Einsatz kommt, wobei ein EUV-Abbildungsstrahl für einen Hauptstrahl sowie für einen oberen und einen unteren

ren Komastrahl eines zentralen Feldpunktes dargestellt ist, wobei
zusätzlich neben der abbildenden Optik Komponenten einer Justa-
geanordnung für die abbildende Optik, beinhaltend eine Prüflicht-
Quelle und einen Prüflicht-Detektor, dargestellt sind, wobei zusätz-
5 lich dort, wo ein Prüflicht-Strahlengang vom Abbildungslicht-
Strahlengang abweicht, der Prüflicht-Strahlengang gestrichelt dar-
gestellt ist;

Fig. 3 schematisch einen Schnitt durch einen der Spiegel der abbildenden
10 Optik nach Fig. 2, der eine Reflexionsschicht trägt, die als Einkop-
pel-Beugungsschicht für das Prüflicht ausgeführt ist, wobei wieder-
um im Bereich einer Reflexion bzw. Beugung an der Einkoppel-
Beugungsschicht einerseits der Abbildungs-Strahlengang und an-
dererseits der Prüflicht-Strahlengang dargestellt sind;

15 Fig. 4 eine Ausschnittsvergrößerung des Details IV in der Fig. 3, die ei-
nen Schichtaufbau der Einkoppel-Beugungsschicht einschließlich
dort aufgebrachtter Gitterstrukturen zeigt;

20 Fig. 5 Details einer Einkoppel-Optik der Justageanordnung zwischen der
Prüflicht-Quelle und der Einkoppel-Beugungsschicht;

Fig. 6 Details einer Detektionsoptik der Justageanordnung im Prüflicht-
Strahlengang nach dem Durchlauf durch Komponenten der abbil-
25 denden Optik;

Fig. 7 und 8 jeweils in einer zu Fig. 2 ähnlichen Darstellung weitere Aus-
führungen der Justageanordnung; und

Fig. 9 Details einer Reflexionseinheit als Bestandteil der Ausführung der Justageanordnung nach Fig. 8, beinhaltend einen Retroreflektor.

Eine Projektionsbelichtungsanlage 1 für die Mikrolithographie hat eine
5 Lichtquelle 2 für Beleuchtungslicht bzw. Abbildungslicht 3. Bei der Licht-
quelle 2 handelt es sich um eine EUV-Lichtquelle, die Licht in einem Wel-
lenlängenbereich beispielsweise zwischen 5 nm und 30 nm, insbesondere
zwischen 5 nm und 15 nm, erzeugt. Bei der Lichtquelle 2 kann es sich ins-
besondere um eine Lichtquelle mit einer Wellenlänge von 13,5 nm oder um
10 eine Lichtquelle mit einer Wellenlänge von 6,9 nm handeln. Auch andere
EUV-Wellenlängen sind möglich. Bei der Lichtquelle 2 kann es sich um
eine EUV-Lichtquelle vom Typ „Plasmaerzeugung durch Gasentladung
(Gasdischarge produced Plasma, GDP)“, vom Typ „Laserinduzierte Plas-
maerzeugung (Laser produced Plasma, LPP)“ oder um eine synchrotronba-
15 sierte EUV-Lichtquelle, beispielsweise um einen Freie-Elektronen-Laser
(FEL), handeln. Ein Strahlengang des Beleuchtungslichts 3 ist in der Fig. 1
äußerst schematisch dargestellt.

Zur Führung des Beleuchtungslichts 3 von der Lichtquelle 2 hin zu einem
20 Objektfeld 4 in einer Objektebene 5 dient eine Beleuchtungsoptik 6. Mit
einer Projektionsoptik bzw. abbildenden Optik 7 wird das Objektfeld 4 in
ein Bildfeld 8 in einer Bildebene 9 mit einem vorgegebenen Verkleine-
rungsmaßstab abgebildet.

25 Zur Erleichterung der Beschreibung der Projektionsbelichtungsanlage 1
sowie der verschiedenen Ausführungen der Projektionsoptik 7 ist in der
Zeichnung ein kartesisches xyz-Koordinatensystem angegeben, aus dem
sich die jeweilige Lagebeziehung der in den Figuren dargestellten Kompo-
nenten ergibt. In der Fig. 1 verläuft die x-Richtung senkrecht zur Zeichen-

ebene in diese hinein. Die y-Richtung verläuft nach links und die z-Richtung nach oben.

Das Objektfeld 4 und das Bildfeld 8 sind rechteckförmig. Alternativ ist es
5 auch möglich, das Objektfeld 4 und Bildfeld 8 gebogen bzw. gekrümmt,
also insbesondere teiltringförmig auszuführen. Das Objektfeld 4 und das
Bildfeld 8 haben ein xy-Aspektverhältnis größer als 1. Das Objektfeld 4 hat
also eine längere Objektfelddimension in der x-Richtung und eine kürzere
Objektfelddimension in der y-Richtung. Diese Objektfelddimensionen ver-
10 laufen längs der Feldkoordinaten x und y.

Für die Projektionsoptik 7 kann eines der in den Figuren 2 ff. dargestellten
Ausführungsbeispiele eingesetzt werden. Die Projektionsoptik 7 nach Fig.
2 verkleinert um einen Faktor 8. Auch andere Verkleinerungsmaßstäbe
15 sind möglich, zum Beispiel 4x, 5x oder auch Verkleinerungsmaßstäbe, die
größer sind als 8x. Die Bildebene 9 ist bei der Projektionsoptik 7 in den
Ausführungen nach den Fig. 2 und 5 ff. parallel zur Objektebene 5 ange-
ordnet. Abgebildet wird hierbei ein Objekt in Form eines mit dem Objekt-
feld 4 zusammenfallenden Ausschnitts einer Reflexionsmaske 10, die auch
20 als Retikel bezeichnet wird. Das Retikel 10 wird von einem Retikelhalter
10a getragen. Der Retikelhalter 10a wird von einem Retikelverlagerungs-
antrieb 10b verlagert.

Die Abbildung durch die Projektionsoptik 7 erfolgt auf die Oberfläche ei-
25 nes Substrats 11 in Form eines Wafers, der von einem Substrathalter 12
getragen wird. Der Substrathalter 12 wird von einem Wafer- bzw. Substrat-
verlagerungsantrieb 12a verlagert.

- 12 -

In der Fig. 1 ist schematisch zwischen dem Retikel 10 und der Projektionsoptik 7 ein in diese einlaufendes Strahlenbündel 13 des Beleuchtungslichts 3 und zwischen der Projektionsoptik 7 und dem Substrat 11 ein aus der Projektionsoptik 7 auslaufendes Strahlenbündel 14 des Beleuchtungslichts 3 dargestellt. Eine bildfeldseitige numerische Apertur (NA) der Projektionsoptik 7 ist in der Fig. 1 nicht maßstäblich wiedergegeben.

Die Projektionsbelichtungsanlage 1 ist vom Scannertyp. Sowohl das Retikel 10 als auch das Substrat 11 werden beim Betrieb der Projektionsbelichtungsanlage 1 in der y-Richtung gescannt. Auch ein Steppertyp der Projektionsbelichtungsanlage 1, bei dem zwischen einzelnen Belichtungen des Substrats 11 eine schrittweise Verlagerung des Retikels 10 und des Substrats 11 in der y-Richtung erfolgt, ist möglich. Diese Verlagerungen erfolgen synchronisiert zueinander durch entsprechende Ansteuerung der Verlagerungsantriebe 10b und 12a.

Fig. 2 zeigt das optische Design einer ersten Ausführung der Projektionsoptik 7. Dargestellt ist in der Fig. 2 ein Abbildungs-Strahlengang des Abbildungslichts 3 am Beispiel dreier Einzelstrahlen 15, die von einem zentralen Objektfeldpunkt ausgehen. Dargestellt sind ein Hauptstrahl 16, also ein Einzelstrahl 15, der durch das Zentrum einer Pupille in einer Pupillenebene der Projektionsoptik 7 verläuft, sowie ein oberer und ein unterer Komastrahl dieses Objektfeldpunktes. Ausgehend vom Objektfeld 4 schließt der Hauptstrahl 16 mit einer Normalen auf die Objektebene 5 einen Winkel von z. B. $5,5^\circ$ ein.

Der Abbildungs-Strahlengang des Abbildungslichts 3 ist ein vom optischen Design der Projektionsoptik 7 vorgegebener Kanal zwischen dem Objektfeld 4 und dem Bildfeld 8, über den die Führung des Abbildungslichts 3

und damit die Abbildung von Strukturen auf dem Retikel 10 innerhalb vorgegebener Abbildungsfehler-Toleranzen möglich ist. Der Abbildungs-Strahlengang ist unabhängig davon, ob dort tatsächlich überall das Abbildungslicht 3 propagiert. Der Abbildungs-Strahlengang ist ausschließlich vom Design der Reflexionsflächen der Spiegel M1 bis M8 der Projektionsoptik 7 und ggf. von Randkonturen einer Aperturblende und/oder einer Obskurationsblende der Projektionsoptik 7 abhängig.

Eine Querschnittsfläche des Abbildungs-Strahlengangs auf einer der Reflexionsflächen der Spiegel M1 bis M10 einerseits und eine Querschnittsfläche des Abbildungs-Strahlengangs zwischen diesen Spiegeln senkrecht zum jeweiligen Verlauf des Hauptstrahls 16 andererseits wird auch als Footprint bezeichnet.

Details zur Projektionsoptik 7 sind bekannt aus der US 2016/0085061 A1 (vgl. die dortige Fig. 12).

Die acht Spiegel der abbildenden Optik 7 sind in der Reihenfolge ihrer Beaufschlagung mit dem Abbildungslicht 3 von M1 bis M8 (M_i , $i = 1$ bis 8) durchnummeriert, die schematisch als Planspiegel dargestellt sind, tatsächlich aber jeweils eine gekrümmte Spiegelfläche aufweisen. Die Spiegel M1 bis M8 tragen Reflexionsschichten für das EUV-Abbildungslicht. Der im Abbildungs-Strahlengang letzte Spiegel M8 weist eine Durchtrittöffnung 17 zum Durchtritt des Abbildungslichts 3, welches zwischen den Spiegeln M6 und M7 verläuft, auf.

Mindestens einer der Spiegel M1 bis M8 kann als deformierbarer Spiegel ausgeführt sein, was am Beispiel des Spiegels M7 erläutert wird. Zum deformierbaren Spiegel M7 gehört ein Deformationsaktor 18, der mit zumin-

dest einem Abschnitt des Spiegels M7 in mechanischer Wirkverbindung steht, was in der Fig. 2 durch strichpunktierte Linien angedeutet ist. Über den Deformationsaktor 18 kann beispielsweise definiert Druck auf einen oder mehrere Abschnitte einer Spiegelfläche des Spiegels M7 ausgeübt werden, was zu einer entsprechenden, definierten Deformation dieser Spiegelfläche führt. Alternativ oder zusätzlich kann die Spiegelfläche zumindest abschnittsweise als verlagerbarer und/oder verkippbarer Spiegelabschnitt, beispielsweise in Form einer Spiegelfacette, ausgeführt sein.

- 10 Der Deformationsaktor 18 ist Teil einer Justageanordnung 19 zur Justage des Abbildungs-Strahlengangs der abbildenden Optik 7.

Je nach Ausführung der Justageanordnung 19 können auch mehrere der Spiegel Mi der abbildenden Optik 7 mit mindestens einem derartigen Deformationsaktor 18 ausgerüstet sein. Beispielfhaft ist auch beim Spiegel M8 ein entsprechender Deformationsaktor 18 angedeutet, der auf verschiedene Abschnitte des Spiegels M8 wirkt, zwischen denen die Durchtrittöffnung 17 liegt. Der Spiegel M8 kann mit einer Mehrzahl derartiger Deformationsaktoren 18 ausgerüstet sein.

20

Zur Justageanordnung 19 gehört eine Sendeeinheit 20 für Prüflicht 21, wobei wiederum Teil der Sendeeinheit 20 eine Prüflicht-Quelle 22a ist. Das Prüflicht 21 hat eine Prüflicht-Wellenlänge, die mindestens 157 nm beträgt. Beim Prüflicht 21 handelt es sich also um Licht mit einer Wellenlänge, die größer ist als eine EUV-Wellenlänge. Das Prüflicht 21 kann eine DUV- (Deep Ultra Violet), UV, VIS (Visuell) oder auch eine IR(Infrarot)-Wellenlänge haben oder auch eine Kombination dieser Wellenlängen.

25

Dargestellt sind in der Fig. 2 wiederum beispielhaft drei Einzelstrahlen 22 des Prüflichts 21, die dem Hauptstrahl 16 des Abbildungslichts 3 sowie dem unteren und dem oberen Komastrahl des Abbildungslichts 3, also jeweils einem der drei dargestellten Einzelstrahlen 15, zugeordnet sind.

5

Zur Justageanordnung 19 gehört weiterhin eine Prüflicht-Empfangseinheit 23 mit mindestens einem Prüflicht-Detektor 24 zur Erfassung des Prüflichts 21, welches entweder den gesamten Abbildungs-Strahlengang durch die abbildende Optik 7 oder zumindest einen Abschnitt dieses Abbildungs-
10 Strahlengangs durchlaufen hat. Bei dem Prüflicht-Detektor 24 kann es sich um eine Kamera und/oder um einen CCD- bzw. CMOS-Detektor handeln.

Bestandteil der Justageanordnung 19 ist weiterhin eine zentrale Steuer/Regeleinheit 25. Letztere steht in Signalverbindung mit der Sendeeinheit
15 20, insbesondere mit der Prüflicht-Quelle 22a, mit der Empfangseinheit 23, insbesondere mit dem Prüflicht-Detektor 24, und mit dem mindestens einen Deformationsaktor 18. Weiterhin kann die Steuer/Regeleinheit 25 auch mit dem Retikelverlagerungsantrieb 10b und/oder mit dem Waferverlagerungsantrieb 12a in Signalverbindung stehen, die dann ebenfalls zur Justageanordnung 19 gehören können.
20

Mit dem Prüflicht-Detektor 24 kann eine Wellenfront des Prüflichts 21 vermessen werden. Alternativ oder zusätzlich ist es möglich, mit dem Prüflicht-Detektor 24 eine Vermessung von Spiegellagen der Spiegel M1 bis
25 M8 bzw. von Spiegelorientierungen der Spiegel M1 bis M8 durchzuführen.

Fig. 3 und 4 zeigen Details einer Reflexionsschicht 26 einer Spiegelfläche des Spiegels M1 der abbildenden Optik 7, die einerseits als Reflexions-

schicht für das EUV-Abbildungslicht 3 und andererseits als Einkoppel-
Beugungsschicht für das Prüflicht 21 ausgeführt ist. Die Form eines
Substrats 27 des Spiegels M1 ist in der Fig. 3 lediglich schematisch darge-
stellt.

5

Die Reflexionsschicht 26 hat zunächst eine Mehrzahl von Einzellagen 28,
die eine hoch reflektierende Schicht 29, nämlich einen hoch reflektierenden
Multilayer, für das EUV-Abbildungslicht 3 bilden. Dieser Multilayer kann
beispielsweise mit einer Mehrzahl von Bilagen, alternierend aus Molybdän
10 und Silizium, aufgebaut sein. Alternativ und insbesondere dort, wo das
EUV-Abbildungslicht 3 von den Spiegeln Mi der abbildenden Optik 7
streifend abgelenkt wird, kann auch ein Aufbau mit mindestens einer für
das EUV-Abbildungslicht 3 hochreflektierenden Schicht, beispielsweise
mit mindestens einer Ruthenium-Schicht, zum Einsatz kommen.

15

Auf dieser reflektierenden Schicht 29 durch ein physikalisches oder chemi-
sches Beschichtungsverfahren aufgebracht ist als Beugungsschicht eine
Mehrzahl von regelmäßig auf der reflektierenden Schicht 29 angeordneten
reflektierenden Gitterstrukturen 30. Bei diesen Gitterstrukturen 30 kann es
20 sich um Silizium-Pads oder um Silizium-Streifen handeln. Die Gitterstruk-
turen 30 können normal zur Schicht 29 eine Stärke im Bereich zwischen 10
nm und 100 nm, beispielsweise eine Stärke im Bereich von 20 nm, aufwei-
sen. Einzelne Strukturen in Form von Plättchen oder Pads, die zum Aufbau
derartiger Gitterstrukturen 30 herangezogen werden können, sind bekannt
25 aus der US 9 372 413 B2. Aufgrund der geringen Stärke der Gitterstruktu-
ren 30 ist deren Beugungs-Wirkungsgrad für das Prüflicht 21 vergleichs-
weise gering, was aber toleriert werden kann.

In der Schichtebene der Einkoppel-Beugungsschicht 26 haben die Gitterstrukturen 30 eine Ausdehnung und/oder einen Abstand zueinander, dass die Gitterstrukturen 30 qualitativ einer Beugungsgleichung der Form:

$$5 \quad d (\sin \alpha + \sin \beta) = m\lambda$$

genügen. Hierbei ist d die Periode der Gitterstrukturen 30. α ist Einfallswinkel des Prüflichts 21 auf die Einkoppel-Beugungsschicht 26 (vgl. Fig. 3). β ist ein Ausfallswinkel des Prüflichts 21 nach Beugung an der Einkoppel-Beugungsschicht 26, der genauso groß ist wie der Ausfallwinkel des reflektierten EUV-Abbildungslichts 3. m ist die Beugungsordnung des Prüflichts 21 und beträgt beispielsweise +/- 1 oder +/- 2. Auch eine höhere Beugungsordnung ist möglich. λ ist die Wellenlänge des Prüflichts 21.

15 Die Gitterperiode d ist durch Vorgabe der Ausdehnung und/oder des Abstandes der Gitterstrukturen 30 in der Schichtebene der Einkoppel-Beugungsschicht 26 so angepasst, dass bei gegebenem Einfallswinkel α des Prüflichts 21 auf die Einkoppel-Beugungsschicht 26 der Beugungs-Ausfallswinkel β des Prüflichts 21 genauso groß ist wie ein Reflexions-Ausfallswinkel β des EUV-Abbildungslichts 3.

Nach erfolgter Einkopplung des Prüflichts 21 in den Abbildungs-Strahlengang an der Einkoppel-Beugungsschicht 26 verläuft das Prüflicht 21 längs des Abbildungs-Strahlengangs durch die abbildende Optik 7 bis zur Reflexion am vorletzten Spiegel M7. Eine Reflexionsschicht 31 des Spiegels M7 ist als Auskoppel-Beugungsschicht ausgeführt, deren Funktion anhand des umgekehrten Strahlengangs an der Reflexionsschicht 26 nach Fig. 3 deutlich wird. Die Auskoppel-Beugungsschicht 31 des Spiegels M7 weist wiederum Gitterstrukturen entsprechend den Gitterstrukturen 30 derart auf,

dass das Prüflicht 21, welches vor der Reflexion an der Auskoppel-Beugungsschicht 31 längs des Abbildungs-Strahlengangs verläuft, nach der Reflexion an der Auskoppel-Beugungsschicht 31 (Einfallswinkel jeweils β) längs eines Prüflicht-Strahlengangs hin zur Empfangseinheit 23 verläuft, 5 der vom Abbildungs-Strahlengang des EUV-Abbildungslichts 3 getrennt ist (Ausfalls- bzw. Reflexionswinkel β für das reflektierte EUV-Abbildungslicht 3 sowie α für das gebeugte Prüflicht 21).

Die Einkoppel-Beugungsschicht 26 ist derart ausgeführt, dass in mindestens 50 % einer Fläche des Footprints des Abbildungs-Strahlengangs das Prüflicht 21 eingekoppelt wird. Mindestens die Hälfte einer Querschnittsfläche des Abbildungs-Strahlengangs wird also längs des Verlaufs des Prüflichts 21 in der Projektionsoptik 7 mit dem Prüflicht 21 beaufschlagt. In der in der Fig. 2 dargestellten Ausführung der Prüflicht-Einkopplung 15 wird tatsächlich in die gesamte Fläche des Footprints des Abbildungs-Strahlengangs das Prüflicht 21 eingekoppelt. Je nach Ausgestaltung der Prüflicht-Einkopplung kann in mindestens 55 %, in mindestens 60 %, in mindestens 65 %, in mindestens 70 %, in mindestens 75 %, in mindestens 80 %, in mindestens 85 %, in mindestens 90 % oder in mindestens 95 % 20 der Fläche des Footprints des Abbildungs-Strahlengangs das Prüflicht 21 eingekoppelt werden.

Soweit, anders als in der in der Fig. 2 dargestellten Ausführung, in weniger als 100 % der Fläche des Footprints des Abbildungs-Strahlengangs das Prüflicht 21 eingekoppelt wird, kann diese Prüflicht-Einkopplung derart 25 gestaltet sein, dass das Prüflicht 21 bevorzugt im Bereich eines äußeren Umfangs an der Fläche des Footprints des Abbildungs-Strahlengangs eingekoppelt wird. Wird beispielsweise das Prüflicht in 50 % der Fläche des Footprints des Abbildungs-Strahlengangs eingekoppelt, kann diese Ein-

kopplung nach Art eines umfangsseitigen Rings innerhalb der Fläche des Footprints des Abbildungs-Strahlengangs erfolgen.

Fig. 5 zeigt Details der Sendeeinheit 20. Nach der Prüflicht-Quelle 22a ist
5 zunächst eine Prüflicht-Blende 32 angeordnet. Soweit in der Empfangseinheit 23 ein Sinusgitter zum Einsatz kommt, kann die Prüflicht-Blende 32 als Lochblende gestaltet sein. Soweit in der Empfangseinheit 23 ein geradliniges Gitter zum Einsatz kommt, kann die Prüflicht-Blende 32 als Schachbrettblende ausgeführt sein.

10

Zur Sendeeinheit 20 gehört im Prüflicht-Strahlengang nach der Prüflicht-Blende 32 ein Kondensator 33, beispielsweise in Form einer Kondensatorlinse, und nachfolgend eine optische Anpassungseinheit 34 für eine Prüflicht-Wellenfront 35 zur Anpassung an die Abbildungslicht-Wellenfront im Bereich der Einkopplung des Prüflichts 21 in den Abbildungs-Strahlengang.
15 Bei der Anpassungseinheit 34 kann es sich um ein computergeneriertes Hologramm (CGH) handeln. Die Komponenten 32 bis 34 stellen eine Einkoppel-Optik der Justageanordnung 19 dar.

20 Fig. 6 zeigt Details der Empfangseinheit 23 der Justageanordnung 19. Die Empfangseinheit 23 wird am Beispiel der Aufnahme eines Prüflicht-Scherogramms erläutert. Die ausgekoppelte Projektionslicht-Wellenfront 35 durchläuft zunächst einen Kondensator 36 der Empfangseinheit 23, bei dem es sich wiederum um eine Kondensatorlinse handeln kann, und anschließend eine Gitteranordnung 37 der Empfangseinheit 23. Die Komponenten 36 und 37 stellen eine Detektionsoptik der Justageanordnung 19
25 dar. Bei der Gitteranordnung kann es sich um ein Sinusgitter oder um ein geradliniges Gitter handeln. Der Gitteranordnung 37 nachgeordnet ist der

Prüflicht-Detektor 24 in Form einer Kamera zur Aufnahme des Scherogramms.

Die Justageanordnung 19 wird folgendermaßen eingesetzt:

5

Zur Justage der abbildenden Optik 7 wird das Prüflicht 21 über die Einkoppel-Beugungsschicht 26 in den Abbildungs-Strahlengang der abbildenden Optik 7 eingekoppelt. Das Prüflicht 21 verläuft dann längs dem Abbildungs-Strahlengang, ausgehend von der Reflexion am Spiegel M1 bis zur

10 Reflexion am Spiegel M7 und wird dort an der Auskoppel-Beugungsschicht 31 aus dem Abbildungs-Strahlengang wieder ausgekoppelt. Eine Beeinflussung der Prüflicht-Wellenfront 35 über die Reflexionen an den Spiegeln M1 bis M7 wird dann mit Hilfe der Empfangseinheit 23 ausgewertet.

15

Diese Auswertung liefert Informationen beispielsweise über eine von einer Soll-Spiegellage abweichende Ist-Spiegellage mindestens eines der Spiegel M1 bis M7, also beispielsweise Informationen über eine Spiegel-Verlagerung und/oder über eine Spiegel-Deformation. Diese Informationen werden

20 in der Steuer/Regeleinheit 25 ausgewertet. Durch Ausgabe entsprechender Stellsignale, beispielsweise an dem mindestens einen Deformationsaktor 18, kann dann eine Differenz zwischen der gemessenen Ist-Prüflicht-Wellenfront 35 und einer vorgegebenen Soll-Prüflicht-Wellenfront 35 minimiert werden.

25

Alternativ oder zusätzlich können die gewonnenen Informationen zur Verfeinerung eines Temperaturmodells der abbildenden Optik 7 genutzt werden, was beispielsweise zur entsprechenden Auslegung und/oder Ansteuerung einer Kühleinrichtung für mindestens einen der Spiegel der abbilden-

den Optik 7 genutzt werden kann. Eine derartige Kühleinrichtung 38 ist in der Fig. 2 schematisch beim Spiegel M4 dargestellt. Es kann sich um eine aktive und/oder um eine passive Kühleinrichtung handeln. Gekühlt werden kann mit einem gasförmigen oder flüssigen Kühlmedium, welches in einem Kühlkreislauf geführt werden kann. Die Kühleinrichtung 38 kann mindestens einen Wärmetauscher beinhalten.

Wiederum alternativ oder zusätzlich können die über die Justageanordnung 19 gewonnenen Prüflicht-Informationen zur Verfeinerung eines Schwingungsmodells hinsichtlich einer Lagerung der optischen Komponenten der abbildenden Optik 7 genutzt werden. Mit diesen Informationen kann dann eine Optimierung der Halteanordnungen für diese optischen Komponenten vorgenommen werden, beispielsweise eine gezielte Vibrationsdämpfung.

Die Justageanordnung 19 kann insbesondere bei einer Fertigung der Projektionsbelichtungsanlage 1 genutzt werden, wenn die abbildenden Optik 7 als Baugruppe in die Projektionsbelichtungsanlage 1 integriert wird. Die abbildende Optik ist vor einer solchen Integration regelmäßig vorjustiert. Mit Hilfe der Justageanordnung 19 kann diese Justage dann nach der Integration überprüft und ggf. korrigiert werden.

Mit der Justageanordnung 19 ist eine Überwachung der Justage der optischen Komponenten der abbildenden Optik 7 im Projektionsbetrieb der Projektionsbelichtungsanlage 1 möglich.

Alternativ oder zusätzlich können die über das Prüflicht 21 in der Empfangseinheit 23 gewonnenen Informationen, insbesondere die Wellenfront-Messergebnisse, genutzt werden, um auf eine genaue Lage, also eine Position und/oder Orientierung, des Bildfeldes 8 im Raum zu schließen.

Dies kann genutzt werden, um durch entsprechende Ansteuerung von Verlagerungsaktoren des Substrathalters 12 eine Bildlagekorrektur herbeizuführen.

- 5 Anhand der Fig. 7 wird nachfolgend eine weitere Ausführung einer Justageanordnung 39 beschrieben, die anstelle der Justageanordnung 19 nach Fig. 2 zum Einsatz kommt. Komponenten und Funktionen, die denjenigen entsprechen, die vorstehend unter Bezugnahme auf die Fig. 1 bis 6 bereits erläutert wurden, tragen die gleichen Bezugsziffern und werden nicht
10 nochmals im Einzelnen diskutiert.

Bei der Justageanordnung 39 ist eine Verlaufsrichtung des Prüflichts 21 längs des Abbildungs-Strahlengangs genau entgegen einer Verlaufsrichtung des EUV-Abbildungslichts 3. Über die Reflexionsschicht 31 auf dem
15 Spiegel M7 erfolgt dann eine Einkopplung des Prüflichts 21 entsprechend dem, was vorstehend im Zusammenhang mit der Reflexionsschicht 26 des Spiegels M1 bei der Justageanordnung 19 erläutert wurde, und über die Reflexionsschicht 26 des Spiegels M1 erfolgt bei der Justageanordnung 39 eine Auskopplung des Prüflichts 21, wiederum entsprechend dem, was vor-
20 stehend im Zusammenhang mit der Reflexionsschicht 31 des Spiegels M7 bei der Justageanordnung 19 erläutert wurde. Die Einkoppel- und Auskopplungsschichten vertauschen also beim Vergleich zwischen den Justageanordnungen 19, 39 der Fig. 2 und 7 ihre Rollen.

- 25 Entsprechend ist bei der Justageanordnung 39 die Sendeeinheit 20 benachbart zum Spiegel M7 und die Empfangseinheit 23 benachbart zum Spiegel M1 angeordnet.

Anhand der Fig. 8 wird nachfolgend eine weitere Ausführung einer Justageanordnung 40 beschrieben, die anstelle der Justageanordnung 19 nach Fig. 2 zum Einsatz kommt. Komponenten und Funktionen, die denjenigen entsprechen, die vorstehend unter Bezugnahme auf die Fig. 1 bis 7 bereits
5 erläutert wurden, tragen die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

Anstelle der Sendeeinheit 20 der Justageanordnung 19 tritt bei der Justageanordnung 40 eine Interferometereinheit 41. Anstelle der Empfangseinheit 23 der Justageanordnung 19 tritt bei der Justageanordnung 40 eine Reflexionseinheit 42.
10

Fig. 9 zeigt Details der Reflexionseinheit 42. Die Prüflicht-Wellenfront 35 durchläuft wiederum eine Wellenfront-Anordnungseinheit 43 in Form eines computergenerierten Hologramms. Anschließend wird das Prüflicht 21 an einem Retroreflektor 44 in sich zurückreflektiert. Bei dem Retroreflektor 44 kann es sich um einen Spiegel handeln, der plan, sphärisch, oder auch asphärisch geformt sein kann. Der Spiegel 44 kann auch eine Reflexionsfläche in Form einer Freiformfläche haben. Die Freiformfläche kann
15 formal beschrieben werden, wie beispielsweise in der US 2016/0085061 A1 und den dort angegebenen Referenzen beschrieben.

Nach der Retroreflexion am Retroreflektor 44 durchläuft das Prüflicht 21 wiederum die Wellenfront-Anpassungseinheit 43 und tritt dann über die Reflexionsschicht 31, die gleichzeitig als Auskoppel- und als Einkoppel-
25 Schicht dient, wieder in den Abbildungs-Strahlengang der abbildenden Optik 7 ein. Das Prüflicht 21 durchläuft im Falle der Justageanordnung 40 den Abbildungs-Strahlengang der abbildenden Optik 7 zwischen den Spiegeln M1 und M7, also im Doppeldurchlauf.

- Nach diesem Doppeldurchlauf und erfolgter Auskopplung des Prüflichts 21 am Spiegel M1 wird das ausgekoppelte Prüflicht 21 in der Interferometereinheit 41, die als Fizeau-Interferometer ausgeführt sein kann, vermessen.
- 5 Die Interferometereinheit 41 hat also sowohl die Funktion der Sendeeinheit 20 als auch diejenige der Empfangseinheit 23, wie vorstehend im Zusammenhang mit den Justageanordnungen 19 und 39 beschrieben. Der Prüflicht-Strahlengang verläuft näherungsweise exakt entlang dem Abbildungs-Strahlengang.
- 10 Was den Prüflicht-Strahlengang angeht, kann die Empfangseinheit bei der Justageanordnung 40 von der Sendeeinheit beispielsweise über einen teildurchlässigen Spiegel getrennt sein.
- 15 Alternativ zur Interferometereinheit 41 können also an deren Stelle bei der Justageanordnung 40 sowohl die Sendeeinheit 20 als auch die Empfangseinheit 23 angeordnet sein, wobei sich beide Einheiten 20 und 23 einen Strahlengang teilen und eine Ein- bzw. Auskopplung in nur von der Sendeeinheit 20 bzw. nur von der Empfangseinheit 23 genutzte Teilstrahlengänge über entsprechende, für das Prüflicht 21 teildurchlässige Spiegel erfolgen kann.
- 20 Zur Herstellung eines mikro- oder nanostrukturierten Bauteils wird die Projektionsbelichtungsanlage 1 folgendermaßen eingesetzt: Zunächst werden die Reflexionsmaske 10 bzw. das Retikel und das Substrat bzw. der Wafer 11 bereitgestellt. Anschließend wird eine Struktur auf dem Retikel 10 auf eine lichtempfindliche Schicht des Wafers 11 mithilfe der Projektionsbelichtungsanlage 1 projiziert. Durch Entwicklung der Lichtempfindlichen

- 25 -

Schicht wird dann eine Mikro- oder Nanostruktur auf dem Wafer 11 und somit das mikrostrukturierte Bauteil erzeugt.

Bei der Projektionsbelichtung kann, wie vorstehend erläutert, die Justageanordnung in einer der beschriebenen Ausführungen genutzt werden.

Patentansprüche

1. Abbildende Optik (7) zur abbildenden Führung von EUV-Abbildungslicht (3) von einem Objektfeld (4) zu einem Bildfeld (8) längs eines
5 Abbildungs-Strahlengangs,
 - mit einer Mehrzahl von im Abbildungs-Strahlengang angeordneten Spiegeln (M1 bis M8), die Reflexionsschichten (26, 31) für das EUV-Abbildungslicht (3) tragen,
 - wobei mindestens eine der Reflexionsschichten als Einkoppel-
10 Beugungsschicht (26) so ausgeführt ist, dass Prüflicht (21) einer Prüflicht-Wellenlänge, die mindestens 157 nm beträgt, welches vor einem Auftreffen auf der Einkoppel-Beugungsschicht (26) längs eines Prüflicht-Strahlengangs verläuft, der vom Abbildungs-Strahlengang getrennt ist, nach Beugung an der Beugungsschicht
15 (26) längs des Abbildungs-Strahlengangs verläuft,
 - wobei die Einkoppel-Beugungsschicht (26) derart ausgeführt ist, dass in mindestens 50 % einer Fläche eines Footprints des Abbildungs-Strahlengangs das Prüflicht (21) eingekoppelt wird.

- 20 2. Abbildende Optik nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Einkoppel-Beugungsschicht (26) eine Mehrzahl von regelmäßig auf einer reflektierenden Schicht (29) angeordneten reflektierenden Gitterstrukturen (30) aufweist, welche eine Ausdehnung und/oder einen Abstand zueinander derart aufweisen, dass einer Gitter-Beugungsgleichung genügt wird, so dass bei gegebenem Einfallswinkel (α) des Prüflichts (21) auf die Einkoppel-Beugungsschicht (26) der Beugungsausfallwinkel (β) des Prüflichts (21) genauso groß ist wie ein Reflexions-Ausfallwinkel des EUV-Abbildungslichts (3).
25

3. Abbildende Optik nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Gitterstrukturen (30) als Silizium-Pads ausgeführt sind.
4. Abbildende Optik nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens eine der Reflexionsschichten als Auskoppel-Beugungsschicht (31) so ausgeführt ist, dass das Prüflicht (21), welches vor der Reflexion an der Auskoppel-Beugungsschicht (31) längs des Abbildungs-Strahlengangs verläuft, nach der Reflexion an der Auskoppel-Beugungsschicht (31) längs eines Prüflicht-Strahlengangs verläuft, der vom Abbildungs-Strahlengang getrennt ist.
5. Justageanordnung (19; 39; 40) für eine abbildende Optik nach einem der Ansprüche 1 bis 4
 - mit einer Prüflicht-Quelle (22a) zur Erzeugung des Prüflichts (21),
 - mit einem Prüflicht-Detektor (24) zur Erfassung des Prüflichts (21), welches zumindest einen Abschnitt des Abbildungs-Strahlengangs durchlaufen hat,
 - mit einer Justagekomponente, die abhängig vom Messergebnis des Prüflicht-Detektors (24) beeinflussbar ist.
6. Justageanordnung nach Anspruch 5, **gekennzeichnet durch** mindestens einen deformierbaren Spiegel (M7) der abbildenden Optik (7) mit mindestens einem Deformationsaktor (18), der mit den Prüflicht-Detektor (24) über eine Steuer/Regeleinheit (25) in Signalverbindung steht.
7. Justageanordnung nach Anspruch 5 oder 6, **gekennzeichnet durch** eine Einkoppel-Optik (32, 33, 34) in einem Prüflicht-Strahlengang nach der Prüflicht-Quelle (22a).

8. Justageanordnung nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **gekennzeichnet durch** eine Detektionsoptik (36, 37) im Prüflicht-Strahlengang vor dem Prüflicht-Detektor (24).
- 5
9. Justageanordnung nach einem der Ansprüche 5 bis 8, **gekennzeichnet durch** eine Ausgestaltung derart, dass bei mit der abbildenden Optik als Baugruppe ausgeführten Justageanordnung eine Verlaufsrichtung des Prüflichts (21) längs des Abbildungs-Strahlengangs genau entgegen einer Verlaufsrichtung des EUV-Abbildungslichts (3) ist.
- 10
10. Justageanordnung nach einem der Ansprüche 5 bis 9, **gekennzeichnet durch** mindestens einen Retroreflektor (44), der so ausgeführt ist, dass das Prüflicht (21) zumindest einen Abschnitt des Abbildungs-Strahlengangs im Doppeldurchlauf durchläuft.
- 15
11. Justageanordnung nach einem der Ansprüche 5 bis 10, **gekennzeichnet durch** eine abbildende Optik nach einem der Ansprüche 1 bis 4.
- 20
12. Optisches System mit einer Beleuchtungsoptik (6) zur Beleuchtung eines Objektfeldes (4) sowie einer Justageanordnung nach einem der Ansprüche 5 bis 11 und einer abbildenden Optik zur Abbildung des Objektfeldes (4) in ein Bildfeld (8).
- 25
13. Projektionsbelichtungsanlage mit einem optischen System nach Anspruch 12 und einer EUV-Lichtquelle (2).
14. Verfahren zur Herstellung eines strukturierten Bauteils mit folgenden Verfahrensschritten:

- 29 -

- Bereitstellen eines Retikels (10) und eines Wafers (11),
- Projizieren einer Struktur auf dem Retikel (10) auf eine lichtempfindliche Schicht des Wafers (11) mithilfe der Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 13,
- 5 - Erzeugen einer Mikro- bzw. Nanostruktur auf dem Wafer (11).

15. Strukturiertes Bauteil, hergestellt nach einem Verfahren nach Anspruch 14.

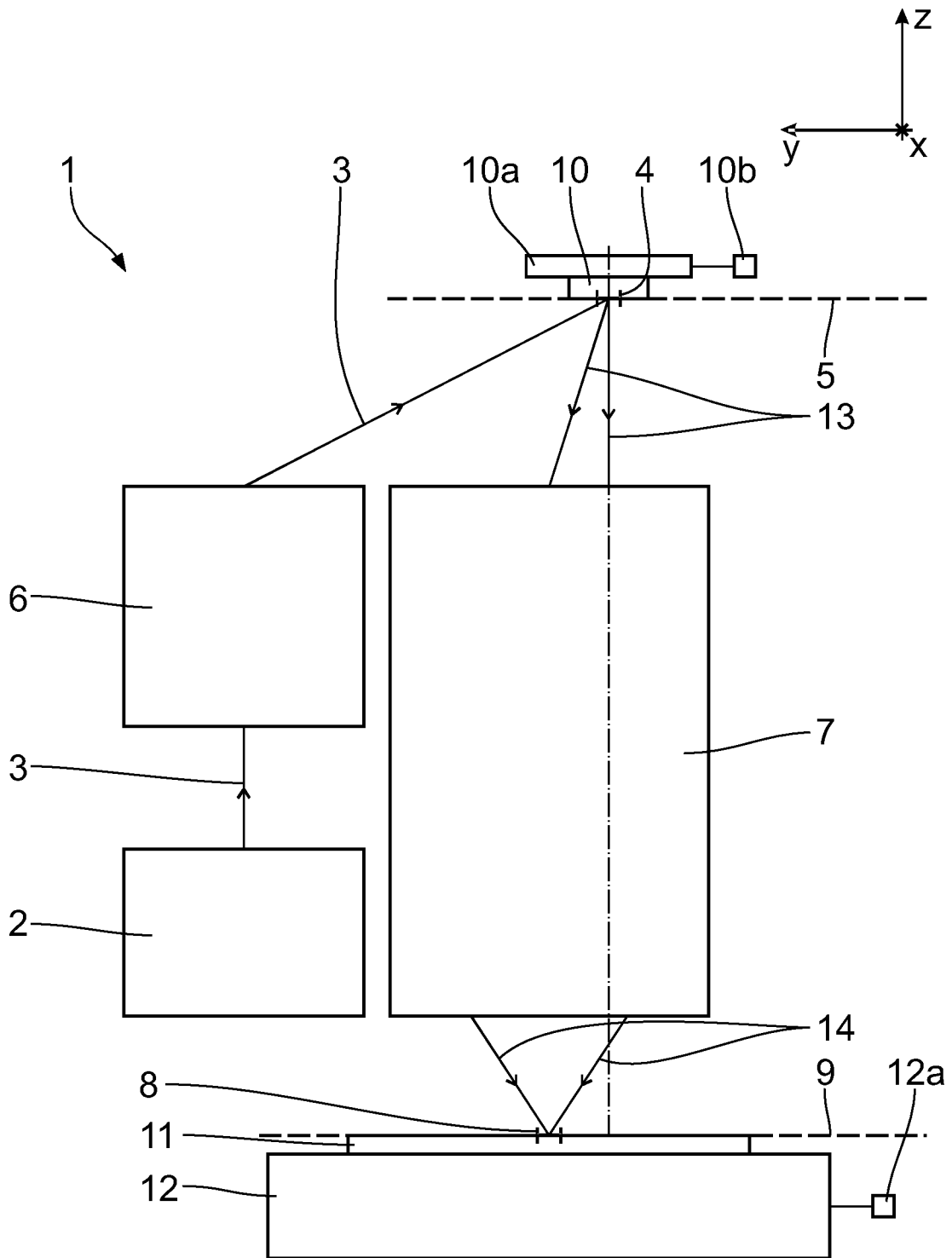


Fig. 1

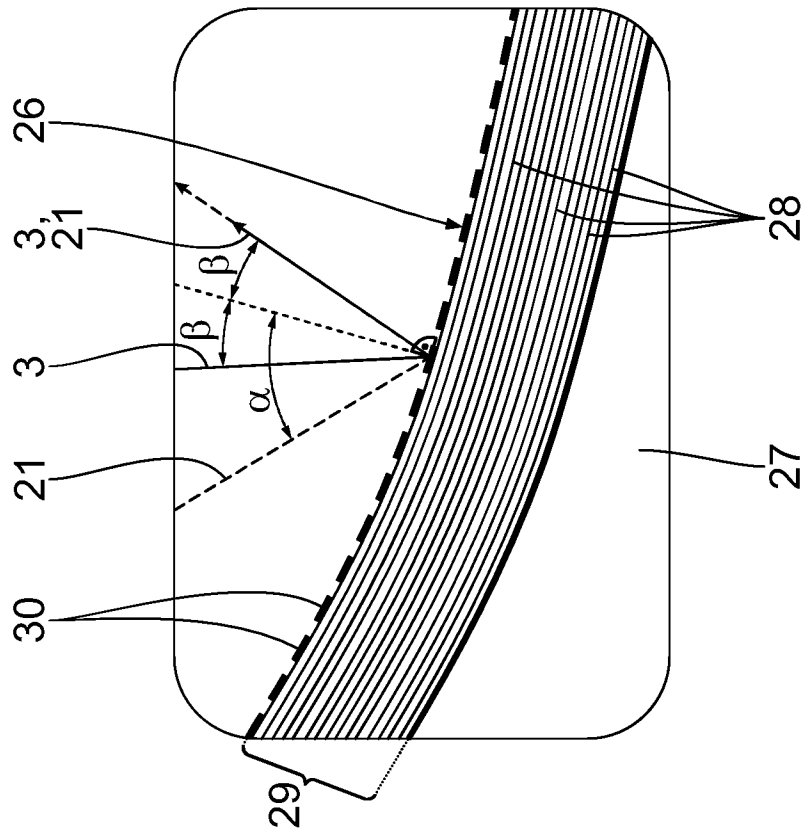


Fig. 3

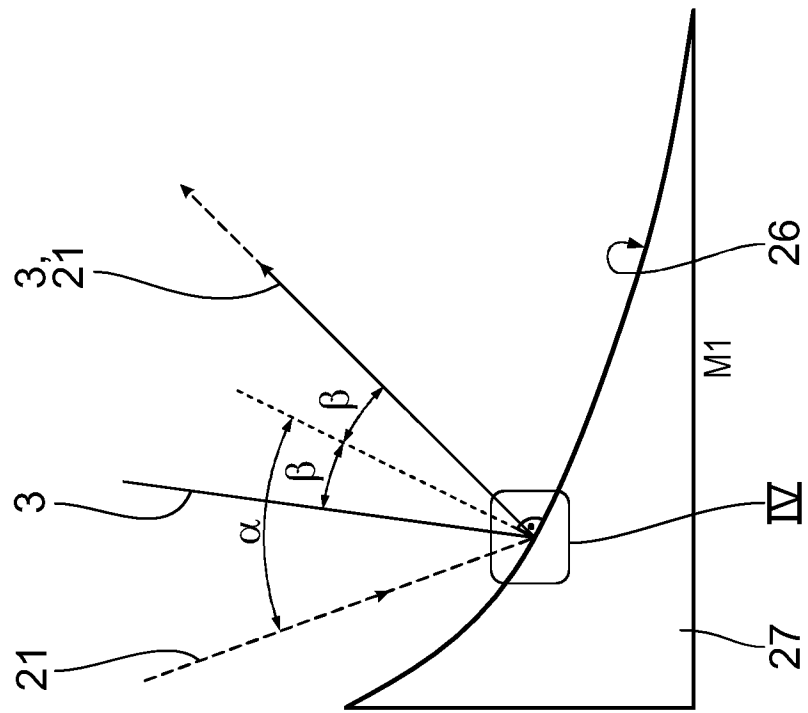


Fig. 4

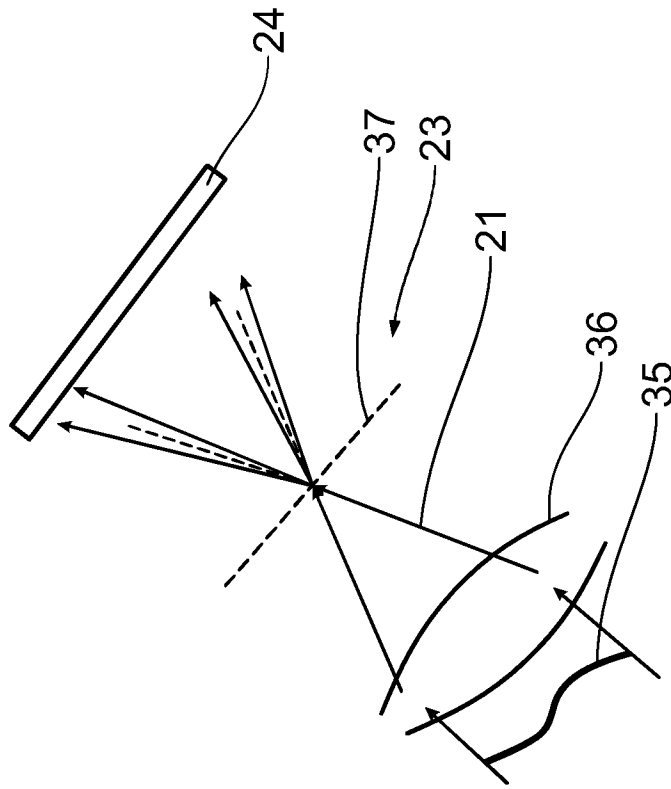


Fig. 6

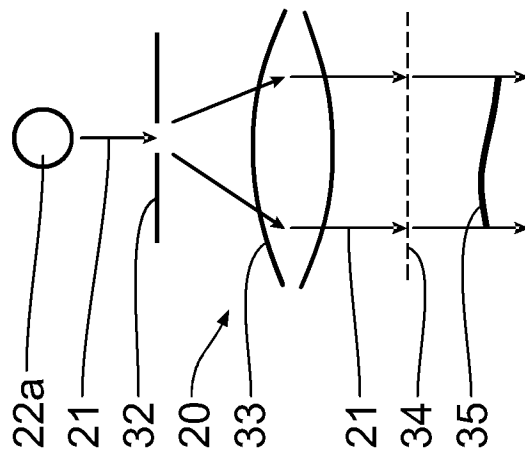


Fig. 5

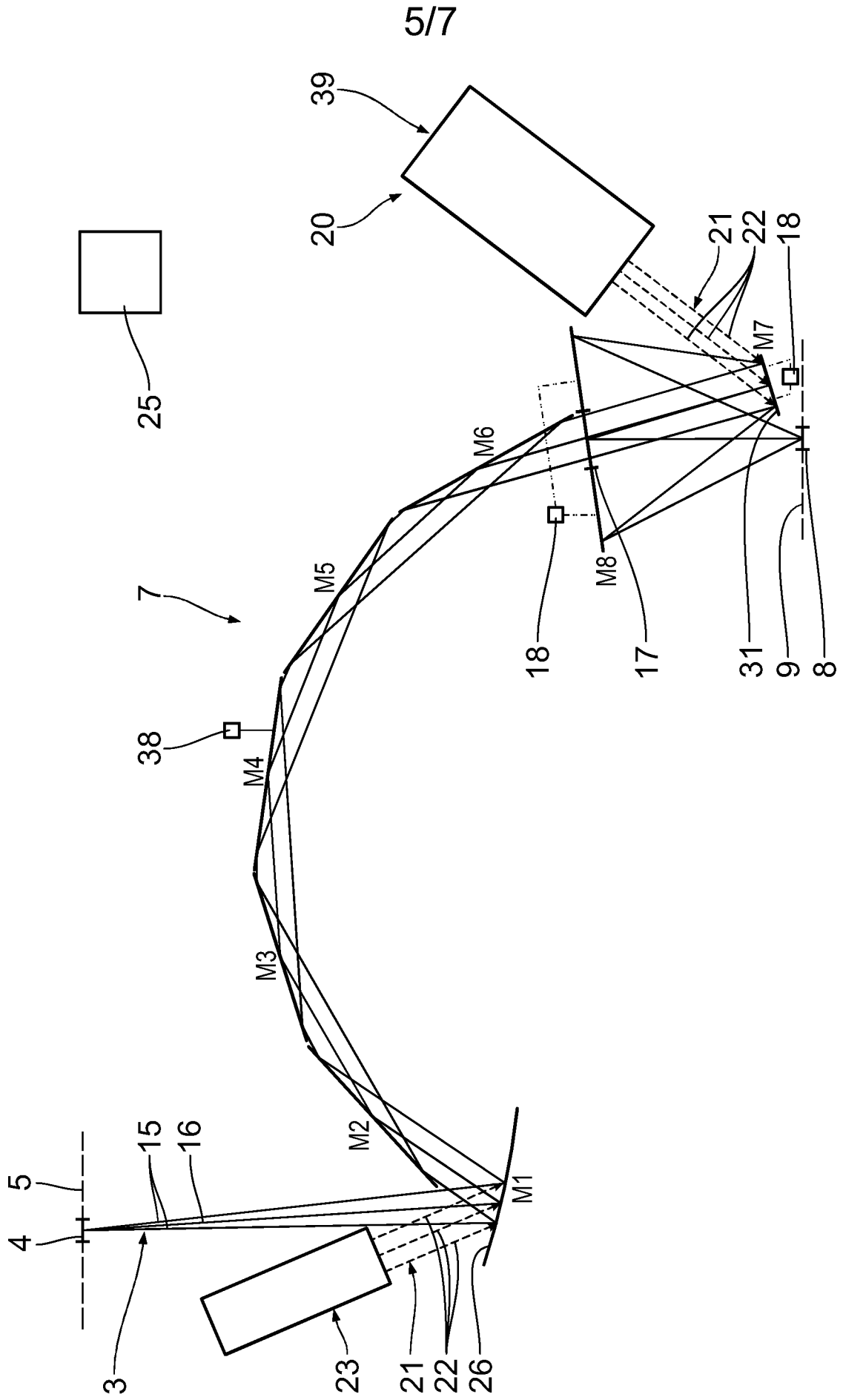


Fig. 7

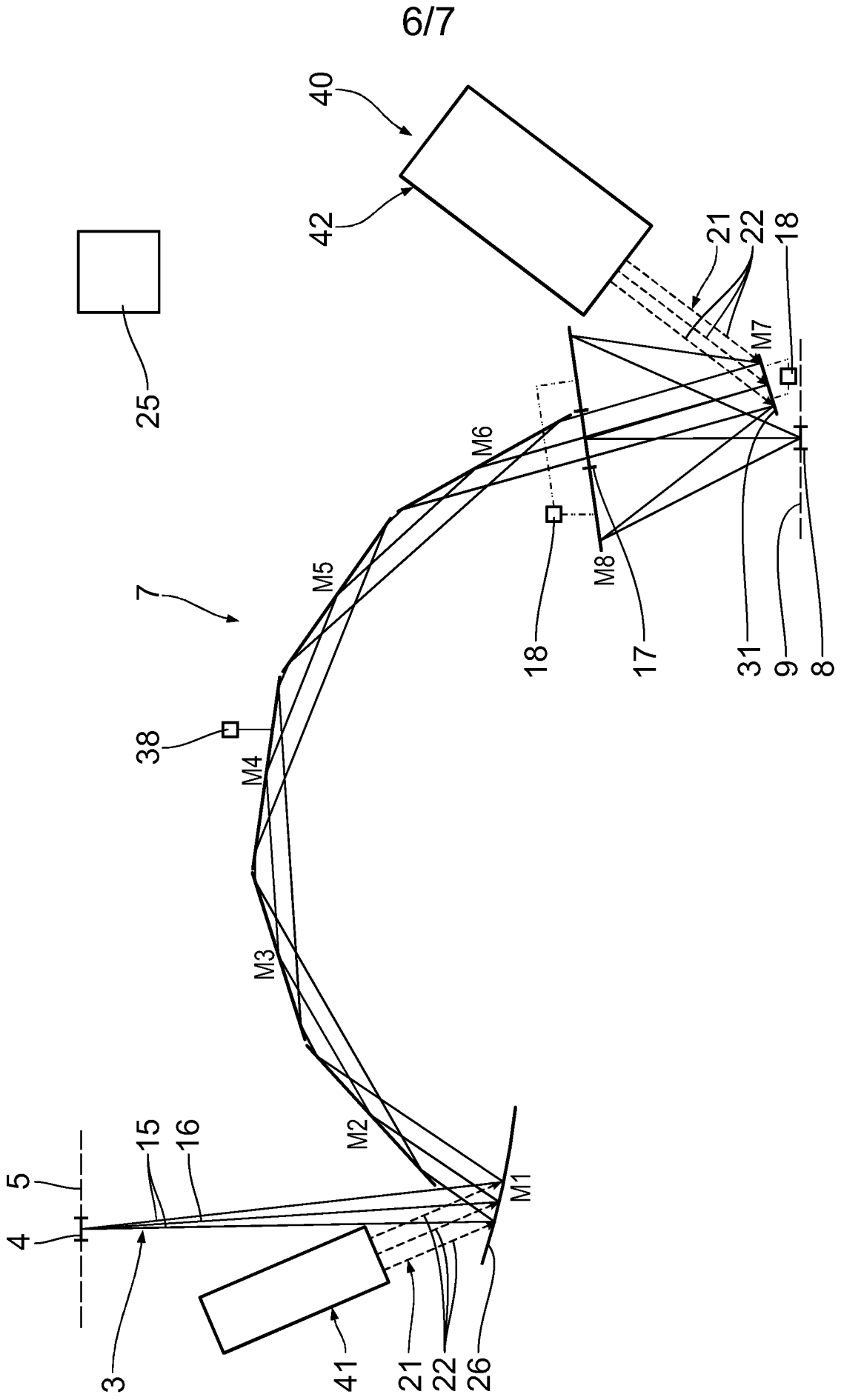


Fig. 8

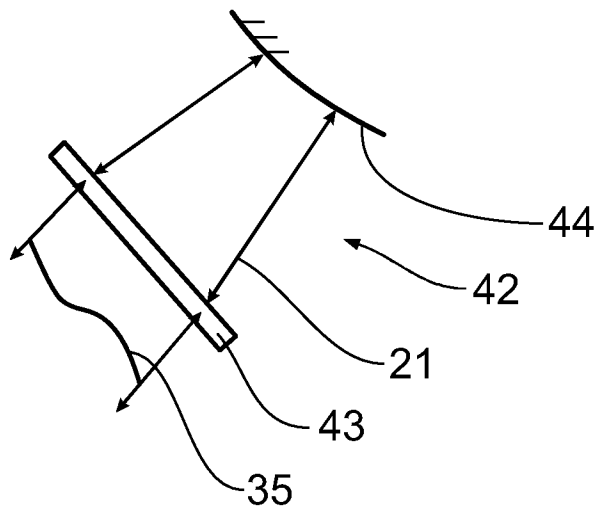


Fig. 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2018/051042

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

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

B. FIELDS SEARCHED
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G03F

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

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, 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	DE 10 2008 000990 B3 (ZEISS CARL SMT AG [DE]) 5 November 2009 (2009-11-05) cited in the application	1,2,4-14
Y	paragraphs [0036], [0042] - [0044], [0051] - [0053]; figures 4, 7	3,10
X	EP 1 197 803 A2 (ASM LITHOGRAPHY BV [NL]) 17 April 2002 (2002-04-17)	15
Y	paragraphs [0040] - [0042]; figures 7, 8	3
Y	US 2006/039006 A1 (VAN DER PASCH ENGELBERTUS A F [NL]) 23 February 2006 (2006-02-23) paragraph [0006]	10
A	JP 2004 128307 A (NIKON CORP) 22 April 2004 (2004-04-22) abstract	1-14

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

26 April 2018

Date of mailing of the international search report

07/05/2018

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Eisner, Klaus

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2018/051042

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102008000990 B3	05-11-2009	DE 102008000990 B3 WO 2009121546 A1	05-11-2009 08-10-2009
EP 1197803 A2	17-04-2002	NONE	
US 2006039006 A1	23-02-2006	JP 4476195 B2 JP 2006060229 A US 2006039006 A1	09-06-2010 02-03-2006 23-02-2006
JP 2004128307 A	22-04-2004	NONE	

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

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 G03F

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

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, 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	DE 10 2008 000990 B3 (ZEISS CARL SMT AG [DE]) 5. November 2009 (2009-11-05) in der Anmeldung erwähnt	1,2,4-14
Y	Absätze [0036], [0042] - [0044], [0051] - [0053]; Abbildungen 4, 7	3,10

X	EP 1 197 803 A2 (ASM LITHOGRAPHY BV [NL]) 17. April 2002 (2002-04-17)	15
Y	Absätze [0040] - [0042]; Abbildungen 7, 8	3

Y	US 2006/039006 A1 (VAN DER PASCH ENGELBERTUS A F [NL]) 23. Februar 2006 (2006-02-23)	10
	Absatz [0006]	

A	JP 2004 128307 A (NIKON CORP) 22. April 2004 (2004-04-22) Zusammenfassung	1-14



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

26. April 2018

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

07/05/2018

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

Bevollmächtigter Bediensteter

Eisner, Klaus

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/051042

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102008000990 B3	05-11-2009	DE 102008000990 B3 WO 2009121546 A1	05-11-2009 08-10-2009

EP 1197803 A2	17-04-2002	KEINE	

US 2006039006 A1	23-02-2006	JP 4476195 B2 JP 2006060229 A US 2006039006 A1	09-06-2010 02-03-2006 23-02-2006

JP 2004128307 A	22-04-2004	KEINE	
