



(10) **DE 10 2012 206 287 A1 2013.10.17**

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2012 206 287.4**

(51) Int Cl.: **G03F 7/20 (2012.01)**

(22) Anmeldetag: **17.04.2012**

G02B 27/28 (2012.01)

(43) Offenlegungstag: **17.10.2013**

G02B 5/30 (2012.01)

(71) Anmelder:

Carl Zeiss SMT GmbH, 73447, Oberkochen, DE

Beresna, M. et al.: „Radially polarized optical vortex converter created by femtosecond laser nanostructuring of glass”, Applied Physics Letters Vol.98, S.201101-1 bis S.201101-3 (2011)

(72) Erfinder:

Sänger, Ingo, 89522, Heidenheim, DE

Sudrie, L. et al.: „Study of damage in fused silica induced by ultra-short IR laser pulses”, Optics Communications Vol.191, S.333-S.339 (2001)

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

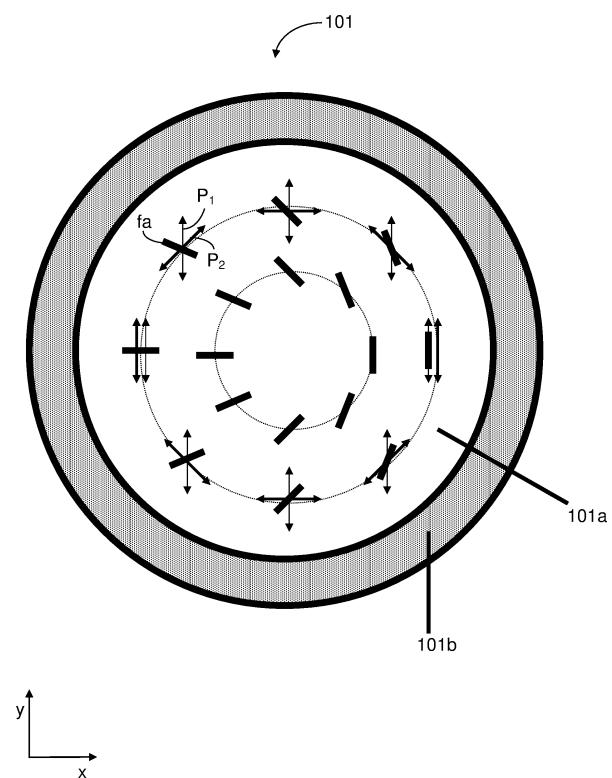
**US 2007 / 0 115 551 A1
US 2009 / 0 237 909 A1**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Optisches System, insbesondere einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein optisches System, insbesondere einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, mit einer optischen Systemachse (OA) und einer polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung (100, 400, 500), wobei diese polarisationsbeeinflussende optische Anordnung (100, 400, 500) wenigstens ein polarisationsbeeinflussendes optisches Element (101, 401–404, 510–504) aufweist, welches monolithisch ausgebildet ist und lineare Doppelbrechung aufweist, wobei der Gesamtbetrag der Doppelbrechung sämtlicher der polarisationsbeeinflussenden optischen Elemente (101, 401–404, 510–504) um maximal $\pm 15\%$ vom Wert $\lambda/2$ abweicht, wobei λ die Arbeitswellenlänge des optischen Systems ist, und wobei die Richtung der schnellen Achse dieser Doppelbrechung in dem wenigstens einen polarisationsbeeinflussenden optischen Element (101, 401–404, 510–504) in einer zur optischen Systemachse (OA) senkrechten Ebene variiert.



Beschreibung**HINTERGRUND DER ERFINDUNG****Gebiet der Erfindung**

[0001] Die Erfindung betrifft ein optisches System, insbesondere einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage. Insbesondere betrifft die Erfindung ein optisches System mit einer polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung, welche zum Einsatz in einer Beleuchtungseinrichtung oder einem Projektionsobjektiv einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage geeignet ist und die flexible Einstellung von unterschiedlichen Polarisationsverteilungen einschließlich einer gemischt tangential-radialen Polarisationsverteilung ermöglicht.

Stand der Technik

[0002] Mikrolithographie wird zur Herstellung mikrostrukturierter Bauelemente, wie beispielsweise integrierter Schaltkreise oder LCD's, angewendet. Der Mikrolithographieprozess wird in einer sogenannten Projektionsbelichtungsanlage durchgeführt, welche eine Beleuchtungseinrichtung und ein Projektionsobjektiv aufweist. Das Bild einer mittels der Beleuchtungseinrichtung beleuchteten Maske (= Retikel) wird hierbei mittels des Projektionsobjektivs auf ein mit einer lichtempfindlichen Schicht (Photoresist) beschichtetes und in der Bildebene des Projektionsobjektivs angeordnetes Substrat (z.B. ein Silizium-wafer) projiziert, um die Maskenstruktur auf die lichtempfindliche Beschichtung des Substrats zu übertragen.

[0003] Sowohl in der Beleuchtungseinrichtung als auch im Projektionsobjektiv ist es bekannt, für eine kontrastreiche Abbildung insbesondere eine tangentielle Polarisationsverteilung einzustellen. Unter „tangentialer Polarisation“ (oder „TE-Polarisation“) wird eine Polarisationsverteilung verstanden, bei der die Schwingungsebenen der elektrischen Feldstärkevektoren der einzelnen linear polarisierten Lichtstrahlen annähernd senkrecht zum auf die optische Systemachse gerichteten Radius orientiert sind. Hingegen wird unter „radialer Polarisation“ (oder „TM-Polarisation“) eine Polarisationsverteilung verstanden, bei der die Schwingungsebenen der elektrischen Feldstärkevektoren der einzelnen linear polarisierten Lichtstrahlen annähernd radial zur optischen Systemachse orientiert sind. Entsprechend wird unter einer quasi-tangentialen bzw. einer quasi-radialen Polarisationsverteilung eine Polarisationsverteilung verstanden, bei der die vorstehenden Kriterien zumindest näherungsweise erfüllt sind.

[0004] Darüberhinaus besteht auch ein Bedarf nach der Einstellung weiterer, über die Pupille der Beleuch-

tungseinrichtung variierender Polarisationsverteilungen.

[0005] Zum Stand der Technik wird lediglich beispielhaft auf WO 2005/069081 A2, US 2006/0055909 A1, WO 03/077011 A1 und DE 10 2009 055 184 B4 verwiesen.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0006] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein optisches System insbesondere einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage bereitzustellen, welches die Bereitstellung einer gewünschten Polarisationsverteilung (wie z.B. einer tangentialen Polarisationsverteilung) mit vergleichsweise geringem fertigungstechnischem Aufwand sowie hoher Genauigkeit ermöglicht.

[0007] Diese Aufgabe wird gemäß den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche gelöst.

[0008] Gemäß einem Aspekt der Erfindung weist ein optisches System, insbesondere einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, eine optische Systemachse und eine polarisationsbeeinflussende optische Anordnung auf, wobei diese polarisationsbeeinflussende optische Anordnung aufweist:

- wenigstens ein polarisationsbeeinflussendes optisches Element, welches monolithisch ausgebildet ist und lineare Doppelbrechung aufweist, wobei der Gesamtbetrag der Doppelbrechung sämtlicher der polarisationsbeeinflussenden optischen Elementen um maximal $\pm 15\%$ vom Wert $\Lambda/2$ abweicht, wobei Λ die Arbeitswellenlänge des optischen Systems ist; und
- wobei die Richtung der schnellen Achse dieser Doppelbrechung in dem wenigstens einen polarisationsbeeinflussenden optischen Element in einer zur optischen Systemachse senkrechten Ebene variiert.

[0009] Der vorliegenden Erfindung liegt insbesondere das Konzept zugrunde, mittels wenigstens eines monolithisch ausgebildeten optischen Elements mit örtlich variierender Richtung der schnellen Achse der Doppelbrechung, wobei diese Doppelbrechungswirkung bzw. die bewirkte Verzögerung betragsmäßig insgesamt im Wesentlichen $\Lambda/2$ beträgt, eine gewünschte (Ausgangs-)Polarisationsverteilung zu erzeugen, wobei der in einer $\Lambda/2$ -Platte stattfindende Effekt der Spiegelung der Polarisationsrichtung an der schnellen Achse der Doppelbrechung ausgenutzt wird. Dabei können erfindungsgemäß infolge der Erzeugung der variierenden Richtung der schnellen Achse der Doppelbrechung in einem monolithischen Element zum einen Segmentzwischenräumen vermieden werden. Des Weiteren ist auch die Erzeugung variierender Dickenprofile und ein damit u.U. einhergehender fertigungstechnischer Aufwand

entbehrlich, da die polarisationsbeeinflussende Wirkung gerade nicht auf einer Variation der Dicke des vom Licht durchlaufenen Materials, sondern auf der örtlichen Variation der schnellen Achse der Doppelbrechung beruht.

[0010] Die erfindungsgemäße örtliche Variation der schnellen Achse der Doppelbrechung kann zudem – wie im Weiteren noch näher erläutert – mit vergleichsweise hoher Genauigkeit eingestellt werden, so dass auch die Erzeugung der gewünschten Ausgangs-)Polarisationsverteilung mit relativ hoher Genauigkeit möglich ist. Ein weiterer Vorteil des o.g. erfindungsgemäßen Ansatzes ist es, dass erforderlichenfalls eine „Nachbearbeitung“ des polarisationsbeeinflussenden optischen Elements zwecks Modifikation der polarisationsbeeinflussenden Wirkung etwa relativ zu einer Änderung des Dickenprofils vergleichsweise einfach durchführbar ist. Dabei kann mittels eines geeigneten Polarimetrie-Aufbaus in für sich bekannter Weise die gesamte Doppelbrechung der polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung vermessen und sodann eine geeignete Nachbearbeitung des wenigstens einen polarisationsbeeinflussenden optischen Elements zur Modifikation der örtlichen Variation der schnellen Achse der Doppelbrechung erfolgen.

[0011] Gemäß einer Ausführungsform weicht der Gesamtbetrag der Doppelbrechung sämtlicher der polarisationsbeeinflussenden optischen Elemente um maximal $\pm 10\%$, insbesondere um maximal $\pm 5\%$, weiter insbesondere um maximal $\pm 3\%$ vom Wert $\Lambda/2$ ab.

[0012] Gemäß einer Ausführungsform wandelt die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung im Betrieb des optischen Systems eine konstant lineare Eingangspolarisationsverteilung von auf die Anordnung auftreffendem Licht in eine zumindest näherungsweise tangentiale, eine zumindest näherungsweise radiale oder eine gemischt radial-tangentielle Ausgangspolarisationsverteilung um.

[0013] Unter einer „gemischt tangential-radialen Polarisationsverteilung“ (welche auch als TE/TM-Polarisationsverteilung oder TM/TE-Polarisationsverteilung bezeichnet werden kann) ist hier und im Folgenden eine Polarisationsverteilung zu verstehen, welche einen (kontinuierlichen oder schrittweisen) Übergang zwischen einer tangentialen und einer radialen Polarisationsverteilung aufweist. Mit anderen Worten weist eine solche Polarisationsverteilung im Übergang zwischen Orten in der Pupille, in denen die Schwingungsebenen der elektrischen Feldstärkevektoren der einzelnen linear polarisierten Lichtstrahlen annähernd senkrecht zum auf die optische Systemachse gerichteten Radius orientiert sind, und Orten, in denen die Schwingungsebenen der elektrischen Feldstärkevektoren der einzelnen linear polarisierten

Lichtstrahlen annähernd parallel zum auf die optische Systemachse gerichteten Radius orientiert sind, Orte auf, in denen die Schwingungsebenen der elektrischen Feldstärkevektoren zwischen diesen beiden „extremen“ Positionen liegen und kontinuierlich oder schrittweise über die Pupille von der tangentialen zur radialen Ausrichtung übergehen.

[0014] Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung auch ein optisches System, insbesondere einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, mit einer optischen Systemachse und einer polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung, wobei diese polarisationsbeeinflussende optische Anordnung aufweist:

- wenigstens ein polarisationsbeeinflussendes optisches Element, welches monolithisch ausgebildet ist und lineare Doppelbrechung aufweist, wobei die Richtung der schnellen Achse dieser Doppelbrechung in einer zur optischen Systemachse (OA) senkrechten Ebene variiert; und
- wobei das polarisationsbeeinflussende optische Element im Betrieb des optischen Systems eine konstant lineare Eingangspolarisationsverteilung von auf die Anordnung auftreffendem Licht in eine zumindest näherungsweise tangentiale, eine zumindest näherungsweise radiale oder eine gemischt radial-tangentielle Ausgangspolarisationsverteilung umwandelt.

[0015] Gemäß einer Ausführungsform wird die Verteilung der schnellen Achse der Doppelbrechung des polarisationsbeeinflussenden optischen Elements durch strahlungsinduzierte Defekte bewirkt, welche sich in wenigstens einem optisch nicht genutzten Bereich des Elements befinden.

[0016] Die Erzeugung der erfindungsgemäß ausgenutzten örtlichen Variation der schnellen Achse der Doppelbrechung mittels strahlungsinduzierter Defekte beruht auf der Erkenntnis, das durch Bestrahlung eines amorphen Materials wie z.B. Quarzglas (SiO_2) mit insbesondere Infrarotstrahlung in gezielter Weise eine durch die strahlungsinduzierten Defekte bewirkte lineare Doppelbrechung in dem Material erzeugt werden kann, welche sich auch in den nicht unmittelbar bestrahlten Bereichen ausbildet, so dass die strahlungsinduzierten Defekte auch in einem optisch gar nicht genutzten Bereich erzeugt werden können. Die Erfindung ist insoweit jedoch nicht auf die Erzeugung strahlungsinduzierter Defekte in einem optisch nicht genutzten Bereich beschränkt. Vielmehr können auch Bereiche des optischen Elements bestrahlt bzw. mit Defekten versehen werden, durch welche im Betrieb des optischen Systems durchaus Licht hindurchtritt, wenn etwa der Polarisationszustand bzw. dessen Beeinflussung durch die strahlungsinduzierten Defekte in den betreffenden Bereichen für die Performance des optischen Systems vergleichsweise unbedeutend ist, was beispielsweise in

einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage für einen bezogen auf optische Systemachse zentralen Bereich in der Regel erfüllt ist.

[0017] Mittels des vorstehend beschriebenen Ansatzes kann die erfindungsgemäße örtliche Variation der schnellen Achse der Doppelbrechung zur Erzeugung einer gewünschten Ausgangspolarisationsverteilung mit besonders hoher Genauigkeit eingestellt werden.

[0018] Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung auch ein optisches System, insbesondere einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, mit einer optischen Systemachse und einer polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung, wobei diese polarisationsbeeinflussende optische Anordnung aufweist:

- wenigstens ein polarisationsbeeinflussendes optisches Element, welches monolithisch ausgebildet ist und lineare Doppelbrechung aufweist, wobei der Betrag dieser Doppelbrechung um maximal $\pm 15\%$ von einem vorgegebenen konstanten Wert abweicht und wobei die Richtung der schnellen Achse dieser Doppelbrechung in dem wenigstens einen polarisationsbeeinflussenden optischen Element in einer zur optischen Systemachsenkrechten Ebene variiert; und
- wobei die Verteilung der schnellen Achse der Doppelbrechung des polarisationsbeeinflussenden optischen Elements durch strahlungsinduzierte Defekte bewirkt wird, welche sich in wenigstens einem optisch nicht genutzten Bereich des Elements befinden.

[0019] Gemäß einer Ausführungsform besitzt der optisch nicht genutzte Bereich des Elements, in welchem die strahlungsinduzierten Defekte erzeugt werden, eine annulare Geometrie.

[0020] Gemäß einer Ausführungsform wird die Verteilung der schnellen Achse der Doppelbrechung des polarisationsbeeinflussenden optischen Elements durch strahlungsinduzierte Defekte bewirkt, welche sich in einem ersten, in Bezug auf die optische Systemachse radial inneren Bereich und in einem zweiten, in Bezug auf die optische Systemachse radial äußeren Bereich befinden. Hierdurch wird die vorstehend bereits erwähnte Erkenntnis ausgenutzt, dass in einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage in der Regel der Polarisationszustand des hindurchtretenden Lichtes für einen bezogen auf die optische Systemachse zentralen Bereich vergleichsweise unbedeutend oder zumindest von geringerer Relevanz ist, so dass die Erzeugung der strahlungsinduzierten Defekte nicht nur in optisch ungenutzten (z.B. bezogen auf die optische Systemachse radial äußeren Bereichen) sondern eben auch in einem radial inneren und optisch je nach Beleuchtungssetting durchaus genutzten Bereich erfolgen kann. Hierbei kann zudem gegebenenfalls in vor-

teilhafter Weise eine noch genauere Einstellung der räumlichen Verteilung der schnellen Achse der Doppelbrechung erzielt werden, da die besagte Doppelbrechungsverteilung gewissermaßen von zwei Seiten aus (radial innen sowie radial außen bezogen auf die optische Wirkfläche) erzeugt werden kann.

[0021] Gemäß einer Ausführungsform besitzt das polarisationsbeeinflussende optische Element eine plan-parallele Geometrie. Eine solche Ausgestaltung ist sowohl fertigungstechnisch als auch im Hinblick auf die erzielte Genauigkeit der polarisationsoptischen Wirkung über den Lichtbündelquerschnitt besonders vorteilhaft und macht sich insbesondere das eingangs erläuterte, erfindungsgemäß ausgenutzte Prinzip, wonach ein variierendes Dickenprofil zur Erzeugung einer gewünschten Ausgangspolarisationsverteilung entbehrlich ist, zunutze.

[0022] Gemäß einer Ausführungsform ist das polarisationsbeeinflussende optische Element aus einem amorphen Material, insbesondere Quarzglas (SiO_2), hergestellt.

[0023] Gemäß einer Ausführungsform weist das optische System ferner in Lichtausbreitungsrichtung vor der polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung eine Lambda/4-Platte auf. Mittels einer solchen Lambda/4-Platte kann zunächst Licht mit ursprünglich konstanter linearer Eingangspolarisationsverteilung im optischen System (wie sie etwa durch eine Laserlichtquelle bereitgestellt wird) in zirkular polarisiertes Licht umgewandelt werden. Hierdurch wird es wiederum – wie im Weiteren noch näher erläutert – ermöglicht, beispielsweise in Verbindung mit einem „nachgeschalteten“ (d.h. auf die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung folgenden) 45° -Rotator das wenigstens eine die örtliche Verteilung der schnellen Achse der Doppelbrechung aufweisende polarisationsbeeinflussende optische Element derart auszustalten, dass diese örtliche Verteilung eine radiale oder tangentiale Verteilung ist. Dies eröffnet wiederum die Möglichkeit, die betreffende Doppelbrechung durch Beaufschlagung mit äußerem (in radialer Richtung bezogen auf die optische Systemachse wirkendem) Druck, welcher z.B. über piezoelektrische Elemente aufgebracht werden kann, zu erzeugen.

[0024] Gemäß einer Ausführungsform weist das optische System somit ferner in Lichtausbreitungsrichtung nach der polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung einen 45° -Rotator auf, welcher eine Drehung der Polarisationsrichtung von auftreffendem Licht um einen Polarisationsdrehwinkel von 45° bewirkt.

[0025] Gemäß einer Ausführungsform weist das optische System ferner einen 90° -Rotator auf, welcher eine Drehung der Polarisationsrichtung von auftref-

fendem Licht um einen Polarisationsdrehwinkel von 90° bewirkt. Das Vorhandensein eines solchen 90°-Rotators kann insbesondere im Hinblick darauf vorteilhaft sein, dass mittels geeigneter Positionierung des 90°-Rotators ein über die erfundungsgemäße Einstellung einer gewünschten Polarisierungseinstellung hinausgehender Effekt einer Retardierungskompenstation erzielt werden kann: Da nämlich eine im optischen System vorhandene unerwünschte Polarisationselliptizität, welche im bezogen auf die Lichtausbreitungsrichtung dem 90°-Rotator vorausgehenden („ersten“) Teil des optischen Systems erzeugt bzw. aufgesammelt wurde, durch die Wirkung des 90°-Rotators umgekehrt wird (d.h. von rechtszirkular elliptisch in linkszirkular elliptisch oder umgekehrt), kann eine zumindest teilweise Kompensation einer unerwünschten Systemretardierung durch die im auf den 90°-Rotator bezogen auf die Lichtausbreitungsrichtung nachfolgenden („zweiten“) Teil des Systems erzeugte bzw. aufgesammelte Polarisationselliptizität erzielt und eine zumindest teilweise Kompensation einer unerwünschten Systemretardierung bewirkt werden.

[0026] Gemäß einer Ausführungsform wird somit eine in dem optischen System bezogen auf die Lichtausbreitungsrichtung vor dem 90°-Rotator erzeugte Systemretardierung durch eine in dem optischen System bezogen auf die Lichtausbreitungsrichtung nach dem 90°-Rotator erzeugte Systemretardierung wenigstens teilweise kompensiert.

[0027] Gemäß einer Ausführungsform weist die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung eine Mehrzahl von erfundungsgemäß ausgestalteten polarisationsbeeinflussenden optischen Elementen auf, welche in Lichtausbreitungsrichtung nacheinander angeordnet sind. Diese Elemente können insbesondere unmittelbar aufeinanderfolgend angeordnet sein.

[0028] Gemäß einer Ausführungsform ist sowohl in Lichtausbreitungsrichtung vor dem 90°-Rotator als auch in Lichtausbreitungsrichtung nach dem 90°-Rotator jeweils wenigstens eines dieser polarisationsbeeinflussenden optischen Elemente angeordnet. Bei dieser Ausgestaltung kann erforderlichenfalls die Doppelbrechung der in Lichtausbreitungsrichtung vor dem 90°-Rotator angeordneten polarisationsbeeinflussenden optischen Elementen durch die Doppelbrechung der in Lichtausbreitungsrichtung nach dem 90°-Rotator angeordneten polarisationsbeeinflussenden optischen Elemente wie vorstehend erläutert gerade kompensiert werden.

[0029] Gemäß einer Ausführungsform weist das optische System ferner eine Aktuatorvorrichtung auf, mittels der wenigstens eines der Elemente Lambda/4-Platte, 45°-Rotator und 90°-Rotator, insbesondere sämtliche dieser Elemente, unabhängig vonein-

ander zwischen einer Position innerhalb des optischen Strahlengangs und einer Position außerhalb des optischen Strahlengangs bewegbar ist. Auf diese Weise kann erforderlichenfalls auch eine Umschaltung der erzeugten Ausgangspolarisationsverteilung (z.B. von einer tangentialen Polarisationsverteilung auf eine konstant lineare Polarisationsverteilung) erzielt werden.

[0030] Die Erfindung betrifft ferner eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage sowie ein Verfahren zur mikrolithographischen Herstellung mikrostrukturierter Bauelemente.

[0031] Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind der Beschreibung sowie den Unteransprüchen zu entnehmen.

[0032] Die Erfindung wird nachstehend anhand von in den beigefügten Abbildungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0033] Es zeigen:

[0034] [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung zur Erläuterung des Aufbaus einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage mit einer polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung gemäß einer Ausführungsform der Erfindung;

[0035] [Fig. 2](#) eine schematische Darstellung zur Erläuterung von Aufbau und Funktionsweise eines polarisationsbeeinflussenden optischen Elements gemäß einer Ausführungsform der Erfindung;

[0036] [Fig. 2](#) eine schematische Darstellung zur Erläuterung einer weiteren Ausführungsform eines polarisationsbeeinflussenden optischen Elements; und

[0037] [Fig. 3–Fig. 5](#) schematische Darstellungen zur Erläuterung weiterer beispielhafter Ausführungsformen einer polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0038] Im Weiteren wird zunächst unter Bezugnahme auf [Fig. 1](#) ein beispielhafter Aufbau einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage mit einem erfundungsgemäßen optischen System erläutert. Die Projektionsbelichtungsanlage weist eine Beleuchtungseinrichtung **10** sowie ein Projektionsobjektiv **20** auf. Die Beleuchtungseinrichtung **10** dient zur Beleuchtung einer Struktur tragenden Maske (Retikel) **30** mit Licht von einer Lichtquelleneinheit **1**, welche beispielsweise einen ArF-Excimerlaser für eine Arbeitswellenlänge von 193 nm sowie eine ein par-

alleles Lichtbündel erzeugende Strahlformungsoptik umfasst. Generell sind die Beleuchtungseinrichtung **10** sowie das Projektionsobjektiv **20** bevorzugt für eine Arbeitswellenlänge von weniger als 400 nm, insbesondere weniger als 250 nm, weiter insbesondere weniger als 200 nm, ausgelegt.

[0039] Die Beleuchtungseinrichtung **10** weist eine optische Einheit **11** auf, die u.a. im dargestellten Beispiel einen Umlenkspiegel **13** umfasst. In Ausführungsformen der Erfindung kann die Beleuchtungseinrichtung zur Erzeugung unterschiedlicher Beleuchtungskonfigurationen wie in [Fig. 1](#) ange-deutet eine Spiegelanordnung **12** aufweisen, welche eine Vielzahl unabhängig voneinander einstellbarer Spiegelelemente umfasst und wie sie z.B. aus WO 2005/026843 A2 bekannt ist. Diese Spiegelelemente können jeweils individuell, z.B. in einem Winkelbereich von -2° bis $+2^\circ$, insbesondere -5° bis $+5^\circ$, weiter insbesondere -10° bis $+10^\circ$, verkippt werden. Durch eine geeignete Verkippungsanordnung der Spiegelelemente in der Spiegelanordnung kann in einer Pupillenebene PP eine gewünschte Lichtverteilung, z.B. ein annulares Beleuchtungssetting oder auch ein Dipol-Setting oder ein Quadrupol-Setting, ausgebildet werden, indem das zuvor homogenisierte und kollimierte Laserlicht je nach gewünschtem Beleuchtungssetting durch die Spiegelelemente jeweils in die entsprechende Richtung gelenkt wird. In weiteren Ausführungsformen kann die Beleuchtungseinrichtung auch anstelle der Spiegelanordnung ein Divergenz erhöhendes optisches Element wie z.B. ein DOE sowie ein Zoom-Objektiv in Verbindung mit einem Axikon aufweisen.

[0040] In Lichtausbreitungsrichtung nach der optischen Einheit **11** befindet sich im Strahlengang eine Lichtmischeinrichtung (nicht dargestellt), welche z.B. in für sich bekannter Weise eine zur Erzielung einer Lichtmischung geeignete Anordnung aus mikrooptischen Elementen aufweisen kann, sowie eine Linsengruppe **14**, hinter der sich eine Feldebene mit einem Retikel-Maskierungssystem (REMA) befindet, welches durch ein in Lichtausbreitungsrichtung nachfolgendes REMA-Objektiv **15** auf die Struktur tragende, in einer weiteren Feldebene angeordnete Maske (Retikel) **30** abgebildet wird und dadurch den ausgeleuchteten Bereich auf dem Retikel begrenzt. Die Struktur tragende Maske **30** wird mit dem Projektionsobjektiv **20** auf ein mit einer lichtempfindlichen Schicht versehenes Substrat **40** bzw. einen Wafer abgebildet. Das Projektionsobjektiv **20** kann insbesondere für den Immersionsbetrieb ausgelegt sein. Ferner kann es eine numerische Apertur NA größer als 0.85, insbesondere größer als 1.1, aufweisen.

[0041] Gemäß der Erfindung ist Bestandteil der Beleuchtungseinrichtung **10** eine polarisationsbeeinflussende optische Anordnung **100**, welche wenigstens ein polarisationsbeeinflussendes optisches Ele-

ment **101** aufweist, das sich im Ausführungsbeispiel von [Fig. 1](#) in der Pupillenebene PP oder in deren unmittelbarer Nähe befindet und im Weiteren unter Bezugnahme auf [Fig. 2ff.](#) näher erläutert wird.

[0042] [Fig. 2](#) zeigt eine schematische Darstellung zur Erläuterung von Aufbau und Funktion eines polarisationsbeeinflussenden optischen Elements **101**. Das Element **101** besteht aus einem amorphen Material wie z.B. Quarzglas (SiO_2) und weist, wie in [Fig. 2](#) schematisch angedeutet, infolge einer geeigneten, im Weiteren näher erläuterten Bearbeitung lineare Doppelbrechung auf, welche über einen der optischen Wirkfläche entsprechenden Bereich **301a** betragsmäßig im Wesentlichen konstant ist und hinsichtlich der Ausrichtung der schnellen Achse der Doppelbrechung über diese optische Wirkfläche örtlich variiert. In [Fig. 2](#) ist die jeweilige Lage der schnellen Achse durch die Striche größter Dicke symbolisiert und mit „fa“ bezeichnet. Die Doppelpfeile kleinerer Dicke (mit „P₁“ bezeichnet) geben die Richtung der Eingangspolarisation an, welche im dargestellten Beispiel entlang der y-Achse im eingezeichneten Koordinatensystem verläuft, und die Doppelpfeile mittlerer Dicke (mit P₂ bezeichnet) geben die Richtung der Ausgangspolarisation an.

[0043] Wie aus [Fig. 2](#) ersichtlich variiert die Richtung der Ausgangspolarisation infolge der örtlichen Variation der Richtung der schnellen Achse der Doppelbrechung, wobei sich die Polarisationsrichtung des aus dem Element **101** austretenden Lichtes für den Fall, dass die Doppelbrechung des Elements **101** bzw. die in dem Element bewirkte Verzögerung betragsmäßig $\Lambda/2$ beträgt (wobei Λ die Arbeitswellenlänge bezeichnet), als Spiegelung der Eingangspolarisationsrichtung an der schnellen Achse „fa“ ergibt.

[0044] In dem konkreten Ausführungsbeispiel von [Fig. 2](#) wird die örtliche Variation der schnellen Achse der Doppelbrechung in dem Element **101** gerade so erzeugt, dass die Ausgangspolarisationsverteilung einer tangentialen Polarisationsverteilung entspricht. Die Erfindung ist jedoch hierauf nicht beschränkt, wobei in weiteren Ausführungsformen – je nach konkreter Anwendung bzw. abhängig von den Erfordernissen im optischen System – auch z.B. eine radiale Ausgangspolarisationsverteilung oder eine gemischt tangential-radiale Ausgangspolarisationsverteilung erzeugt werden kann.

[0045] Mit „**101b**“ ist in [Fig. 2](#) ein optisch nicht genutzter Bereich bezeichnet, welche im konkreten Ausführungsbeispiel eine annulare Geometrie aufweist und in dem zur Erzeugung der vorstehend beschriebenen linearen Doppelbrechung mit örtlicher Variation der schnellen Achse im amorphen Material des Elements **101** strahlungsinduzierte Defekte durch Infrarotbestrahlung erzeugt werden. Hierbei geht die Erfindung von der Erkenntnis aus, dass

durch eine lokal auf einen vorgegebenen Bereich (im Beispiel den Bereich **101b**) beschränkte Erzeugung strahlungsinduzierter Defekte dazu führt, dass auch in einem anderen Bereich (im Beispiel im Bereich **101a**) des betreffenden Elements **101** eine lineare Doppelbrechung bewirkt wird, wobei durch geeignete Anordnung der strahlungsinduzierten Defekte die sich hierbei ergebende örtliche Verteilung der schnellen Achse der Doppelbrechung gezielt eingestellt werden kann. Dabei haben durchgeführte Studien ergeben, dass z.B. Werte der Verzögerung bzw. Retardierung (d.h. der Differenz der optischen Weglängen für zueinander orthogonale bzw. senkrechte Polarisationszustände) von mehr als 10 nm pro Zentimeter Materialweg mit hoher Genauigkeit einstellbar sind. Beträgt beispielsweise die Arbeitswellenlänge ca. 193 nm, entspricht eine Verzögerung von $\lambda/2$ etwa 96.5 nm und somit einem erforderlichen Materialweg von weniger als 9 cm, der durch ein oder auch mehrere der dargestellten polarisationsbeeinflussenden optischen Elemente **101** bereitgestellt werden kann.

[0046] Bei dem bzw. den optischen Element(en) **101** kann es sich um ein oder mehrere zusätzliche, eigens zur Erzeugung der gewünschten Doppelbrechung bzw. Polarisationswirkung in das optische System eingebrachte Elemente handeln oder auch um optische Elemente bzw. Linsen, welche ohnehin bereits im optischen System (wie z.B. der Beleuchtungseinrichtung einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage) vorhanden sind.

[0047] [Fig. 3](#) zeigt eine schematische Darstellung zur Erläuterung von Aufbau und Funktion eines polarisationsbeeinflussenden optischen Elements **301** gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung. Die Ausführungsform gemäß [Fig. 3](#) unterscheidet sich von derjenigen gemäß [Fig. 2](#) dadurch, dass die vorstehend beschriebenen strahlungsinduzierten Defekte nicht nur in einem optisch ungenutzten, bezogen auf die optische Systemachse OA radial äußeren Bereich **301b**, sondern zusätzlich auch in einem bezogen auf die optische Systemachse OA radial inneren Bereich **301c** ausgebildet sind.

[0048] In weiteren Ausführungsformen der Erfindung kann die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung anstelle nur eines einzigen polarisationsbeeinflussenden optischen Elements mit örtlich variierender Richtung der schnellen Achse der Doppelbrechung auch mehrere solcher polarisationsbeeinflussender optische Elemente aufweisen, welche bezogen auf die Lichtausbreitungsrichtung hintereinander (insbesondere, jedoch nicht notwendigerweise, unmittelbar aufeinanderfolgend) angeordnet sein können. Eine solche Ausgestaltung hat den Vorteil, dass die Herstellung weiter vereinfacht wird, da jedes der polarisationsbeeinflussenden optischen Elemen-

te jeweils nur einen kleineren Beitrag zur insgesamt erzielten Doppelbrechung liefern muss.

[0049] [Fig. 4](#) zeigt in schematischer Darstellung ein Ausführungsbeispiel, bei welchem eine erfindungsgemäße polarisationsbeeinflussende optische Anordnung **400** vier polarisationsbeeinflussende optische Elemente **401–404** aufweist, von denen jedes wie vorstehend beschrieben linear doppelbrechend und mit örtlicher Variation der schnellen Achse der Doppelbrechung ausgestaltet ist.

[0050] Zusätzlich sind gemäß [Fig. 4](#) bezogen auf die Lichtausbreitungsrichtung (durch den Pfeil „L“ bezeichnet) vor der Anordnung **400** eine Lambda/4-Platte **410** und bezogen auf die Lichtausbreitungsrichtung nach der Anordnung **400** ein 45°-Rotator **420** vorgesehen. Die Lambda/4-Platte **410** kann in beliebiger Weise aus einem geeigneten optisch einachsigen Kristallmaterial wie z.B. Magnesiumfluorid (MgF_2), Saphir (Al_2O_3) oder auch kristallinem Quarz mit zur Lichtausbreitungsrichtung senkrechter Ausrichtung der optischen Kristallachse hergestellt sein. Der 45°-Rotator **420** kann zur Bereitstellung der gewünschten Polarisationsdrehung um einen Winkel von 45° z.B. aus optisch aktivem kristallinem Quarz mit zur Lichtausbreitungsrichtung paralleler Ausrichtung der optischen Kristallachse und geeigneter Dicke hergestellt sein.

[0051] Wie im unteren Teil der Abbildung von [Fig. 4](#) angedeutet hat die vorstehend beschriebene Anordnung der einzelnen Komponenten zur Folge, dass eine zunächst konstant lineare Eingangspolarisationsverteilung P41 infolge der Lambda/4-Platte **410** in eine Polarisationsverteilung P42 mit konstant zirkularer Polarisierung umgewandelt wird. Die einzelnen polarisationsbeeinflussenden optischen Elemente **401–404** der Anordnung **400** weisen jeweils eine radiale Verteilung der schnellen Achse der Doppelbrechung auf, was zur Folge hat, dass nach Durchlaufen der Anordnung **400** eine Polarisationsverteilung P43 erhalten wird, welche relativ zur letztlich gewünschten tangentialen Polarisationsverteilung P44 noch um einen Winkel von 45° gedreht ist, so dass die letztlich gewünschte tangentielle Polarisationsverteilung P44 erst durch den 45°-Rotator **420** hergestellt wird.

[0052] Der Umstand, dass es sich infolge des zusätzlichen Einsatzes der Lambda/4-Platte **410** sowie des 45°-Rotators **420** bei der Verteilung der schnellen Achse der Doppelbrechung in den Elementen **401–404** jeweils um eine radiale Verteilung handelt, hat zur Folge, dass (anders als etwa bei der Verteilung der schnellen Achse der Doppelbrechung im Beispiel von [Fig. 1](#)) die betreffende örtliche Verteilung der schnellen Achse der Doppelbrechung auch durch äußeren Druck (z.B. unter Einsatz von piezoelektrischen Elementen) erzeugt werden kann. Selbstver-

ständlich kann aber auch analog zum zuvor anhand von [Fig. 1](#) beschriebenen Ausführungsbeispiel die Erzeugung strahlungsinduzierter Defekte angewandt werden.

[0053] [Fig. 5](#) zeigt in schematischer Darstellung eine weitere Ausführungsform der Erfindung. Diese unterscheidet sich von derjenigen aus [Fig. 4](#) insbesondere dadurch, dass als weitere Komponente ein 90°-Rotator **530** vorgesehen ist, wobei dieser 90°-Rotator **530** insbesondere (ohne dass die Erfindung hierauf beschränkt wäre) zwischen aufeinanderfolgenden polarisationsbeeinflussenden optischen Elementen **502**, **503** der polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung **500** angeordnet sein kann.

[0054] Des Weiteren sind gemäß [Fig. 5](#), wie durch die eingezeichneten Pfeile angedeutet, sowohl der 90°-Rotator **530** als auch die analog zu [Fig. 4](#) vorhandenen Komponenten, d.h. die Lambda/4-Platte **510** sowie der 45°-Rotator **520**, jeweils unabhängig voneinander zwischen einer Position außerhalb des Strahlengangs und einer Position innerhalb des optischen Strahlengangs verschiebbar. Wie im unteren Teil von [Fig. 5](#) angedeutet kann infolgedessen insbesondere eine Umschaltung dahingehend erfolgen, dass die letztlich erzeugte Ausgangspolarisationsverteilung keine tangentiale Polarisationsverteilung, sondern wiederum eine konstant lineare Polarisationsverteilung P52 ist, indem nämlich nur der 90°-Rotator **530** im optischen Strahlengang platziert wird. In diesem Falle wird die Doppelbrechungswirkung der bezogen auf die Lichtausbreitungsrichtung vor dem 90°-Rotator **530** befindlichen Elemente **501**, **502** durch die bezogen auf die Lichtausbreitungsrichtung nach dem 90°-Rotator **530** befindlichen Elemente **503** und **504** (unter der Voraussetzung von insgesamt betragsmäßig übereinstimmenden Doppelbrechungsbeiträgen der Elemente **501**, **502** einerseits mit den Elementen **503**, **504** andererseits) vollständig kompensiert, so dass letztlich die konstant lineare Polarisationsverteilung P52 entsprechend der ursprünglichen Polarisationsverteilung P51 erhalten wird. Des Weiteren kann durch Bewegen des 90°-Rotators **530** in eine Position außerhalb des optischen Strahlenganges und Platzieren der Lambda/4-Platte **510** und des 45°-Rotators **520** jeweils in eine Position innerhalb des optischen Strahlenganges die bereits unter [Fig. 4](#) beschriebene Erzeugung einer tangentialen Ausgangspolarisationsverteilung realisiert werden. Im Ergebnis kann somit in dem Ausführungsbeispiel von [Fig. 5](#) flexibel zwischen einer tangentialen und einer konstant linearen Ausgangspolarisationsverteilung umgeschaltet werden.

[0055] Wenn die Erfindung auch anhand spezieller Ausführungsformen beschrieben wurde, erschließen sich für den Fachmann zahlreiche Variationen und alternative Ausführungsformen, z.B. durch Kombination und/oder Austausch von Merkmalen einzelner

Ausführungsformen. Dementsprechend versteht es sich für den Fachmann, dass derartige Variationen und alternative Ausführungsformen von der vorliegenden Erfindung mit umfasst sind, und die Reichweite der Erfindung nur im Sinne der beigefügten Patentansprüche und deren Äquivalente beschränkt ist.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- WO 2005/069081 A2 [[0005](#)]
- US 2006/0055909 A1 [[0005](#)]
- WO 03/077011 A1 [[0005](#)]
- DE 102009055184 B4 [[0005](#)]
- WO 2005/026843 A2 [[0039](#)]

Patentansprüche

1. Optisches System, insbesondere einer mikroolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, mit einer optischen Systemachse (OA) und einer polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung (100, 400, 500), wobei diese polarisationsbeeinflussende optische Anordnung (100, 400, 500) aufweist:

- wenigstens ein polarisationsbeeinflussendes optisches Element (101, 401–404, 510–504), welches monolithisch ausgebildet ist und lineare Doppelbrechung aufweist, wobei der Gesamtbetrag der Doppelbrechung sämtlicher dieser polarisationsbeeinflussenden optischen Elemente (101, 401–404, 510–504) um maximal $\pm 15\%$ vom Wert $\Lambda/2$ abweicht, wobei Λ die Arbeitswellenlänge des optischen Systems ist; und
- wobei die Richtung der schnellen Achse dieser Doppelbrechung in dem wenigstens einen polarisationsbeeinflussenden optischen Element (101, 401–404, 510–504) in einer zur optischen Systemachse (OA) senkrechten Ebene variiert.

2. Optisches System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Gesamtbetrag der Doppelbrechung sämtlicher dieser polarisationsbeeinflussenden optischen Elemente (101, 401–404, 510–504) um maximal $\pm 10\%$, insbesondere um maximal $\pm 5\%$, weiter insbesondere um maximal $\pm 3\%$ vom Wert $\Lambda/2$ abweicht.

3. Optisches System nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung (100, 400, 500) im Betrieb des optischen Systems eine konstant lineare Eingangspolarisationsverteilung von auf die Anordnung (100, 400, 500) auftreffendem Licht in eine zumindest näherungsweise tangentiale, eine zumindest näherungsweise radiale oder eine gemischt radialtangentielle Ausgangspolarisationsverteilung umwandelt.

4. Optisches System, insbesondere einer mikroolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, mit einer optischen Systemachse (OA) und einer polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung (100, 400, 500), wobei diese polarisationsbeeinflussende optische Anordnung (100, 400, 500) aufweist:

- wenigstens ein polarisationsbeeinflussendes optisches Element (101, 401–404, 510–504), welches monolithisch ausgebildet ist und lineare Doppelbrechung aufweist, wobei die Richtung der schnellen Achse dieser Doppelbrechung in einer zur optischen Systemachse (OA) senkrechten Ebene variiert; und
- wobei das polarisationsbeeinflussende optische Element (101, 401–404, 510–504) im Betrieb des optischen Systems eine konstant lineare Eingangspolarisationsverteilung von auf die Anordnung (100, 400, 500) auftreffendem Licht in eine zumindest näherungsweise tangentiale, eine zumindest näherungsweise

weise radiale oder eine gemischt radial-tangentielle Ausgangspolarisationsverteilung umwandelt.

5. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Verteilung der schnellen Achse der Doppelbrechung des polarisationsbeeinflussenden optischen Elements (101, 401–404, 510–504) durch strahlungsinduzierte Defekte bewirkt wird, welche sich in wenigstens einem optisch nicht genutzten Bereich (101b, 301b, 301c) des Elements (101, 301) befinden.

6. Optisches System, insbesondere einer mikroolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, mit einer optischen Systemachse (OA) und einer polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung (100, 400, 500), wobei diese polarisationsbeeinflussende optische Anordnung (100, 400, 500) aufweist:

- wenigstens ein polarisationsbeeinflussendes optisches Element (101, 401–404, 510–504), welches monolithisch ausgebildet ist und lineare Doppelbrechung aufweist, wobei der Betrag dieser Doppelbrechung um maximal $\pm 15\%$ von einem vorgegebenen konstanten Wert abweicht und wobei die Richtung der schnellen Achse dieser Doppelbrechung in dem wenigstens einen polarisationsbeeinflussenden optischen Element (101, 401–404, 510–504) in einer zur optischen Systemachse (OA) senkrechten Ebene variiert; und
- wobei die Verteilung der schnellen Achse der Doppelbrechung des polarisationsbeeinflussenden optischen Elements durch strahlungsinduzierte Defekte bewirkt wird, welche sich in wenigstens einem optisch nicht genutzten Bereich (101b, 301b, 301c) des Elements befinden.

7. Optisches System nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass der optisch nicht genutzte Bereich (101b, 301b, 301c) des Elements eine annulare Geometrie besitzt.

8. Optisches System nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Verteilung der schnellen Achse der Doppelbrechung des polarisationsbeeinflussenden optischen Elements durch strahlungsinduzierte Defekte bewirkt wird, welche sich in einem ersten, in Bezug auf die optische Systemachse radial inneren Bereich (301c) und in einem zweiten, in Bezug auf die optische Systemachse radial äußeren Bereich (301b) befinden.

9. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das polarisationsbeeinflussende optische Element (101, 401–404, 510–504) eine planparallele Geometrie besitzt.

10. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

das polarisationsbeeinflussende optische Element (**101, 401–404, 510–504**) aus einem amorphen Material, insbesondere Quarzglas (SiO_2), hergestellt ist.

11. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass dieses ferner in Lichtausbreitungsrichtung vor der polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung (**400, 500**) eine Lambda/4-Platte (**410, 510**) aufweist.

12. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass dieses ferner in Lichtausbreitungsrichtung nach der polarisationsbeeinflussenden optischen Anordnung (**400, 500**) einen 45° -Rotator (**420, 520**) aufweist, welcher eine Drehung der Polarisationsrichtung von auftreffendem Licht um einen Polarisationsdrehwinkel von 45° bewirkt.

13. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass dieses ferner einen 90° -Rotator (**530**) aufweist, welcher eine Drehung der Polarisationsrichtung von auftreffendem Licht um einen Polarisationsdrehwinkel von 90° bewirkt.

14. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die polarisationsbeeinflussende optische Anordnung (**400, 500**) eine Mehrzahl solcher polarisationsbeeinflussender optischer Elemente (**401–404, 510–504**) aufweist, welche in Lichtausbreitungsrichtung aufeinanderfolgend angeordnet sind.

15. Optisches System nach Anspruch 13 und 14, dadurch gekennzeichnet, dass sowohl in Lichtausbreitungsrichtung vor dem 90° -Rotator (**530**) als auch in Lichtausbreitungsrichtung nach dem 90° -Rotator (**530**) jeweils wenigstens eines dieser polarisationsbeeinflussenden optischen Elemente (**501–504**) angeordnet ist.

16. Optisches System nach einem der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass eine in dem optischen System bezogen auf die Lichtausbreitungsrichtung vor dem 90° -Rotator (**530**) erzeugte Systemretardierung durch eine in dem optischen System bezogen auf die Lichtausbreitungsrichtung nach dem 90° -Rotator (**530**) erzeugte Systemretardierung wenigstens teilweise kompensiert wird.

17. Optisches System nach einem Ansprache 11 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass diese ferner eine Aktuatorvorrichtung aufweist, mittels der wenigstens eines der Elemente Lambda/4-Platte (**410, 510**), 45° -Rotator (**420, 520**) und 90° -Rotator (**530**), insbesondere sämtliche dieser Elemente, unabhängig von einander zwischen einer Position innerhalb des optischen Strahlengangs und einer Position außerhalb des optischen Strahlengangs bewegbar ist.

18. Mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage mit einer Beleuchtungseinrichtung (**10**) und einem Projektionsobjektiv (**20**), wobei die Beleuchtungseinrichtung (**10**) und/oder das Projektionsobjektiv (**20**) ein optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche aufweisen.

19. Verfahren zur mikrolithographischen Herstellung mikrostrukturierter Bauelemente mit folgenden Schritten:

- Bereitstellen eines Substrats (**40**), auf das zumindest teilweise eine Schicht aus einem lichtempfindlichen Material aufgebracht ist;
- Bereitstellen einer Maske (**30**), die abzubildende Strukturen aufweist;
- Bereitstellen einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 18; und
- Projizieren wenigstens eines Teils der Maske (**30**) auf einen Bereich der Schicht mit Hilfe der Projektionsbelichtungsanlage.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

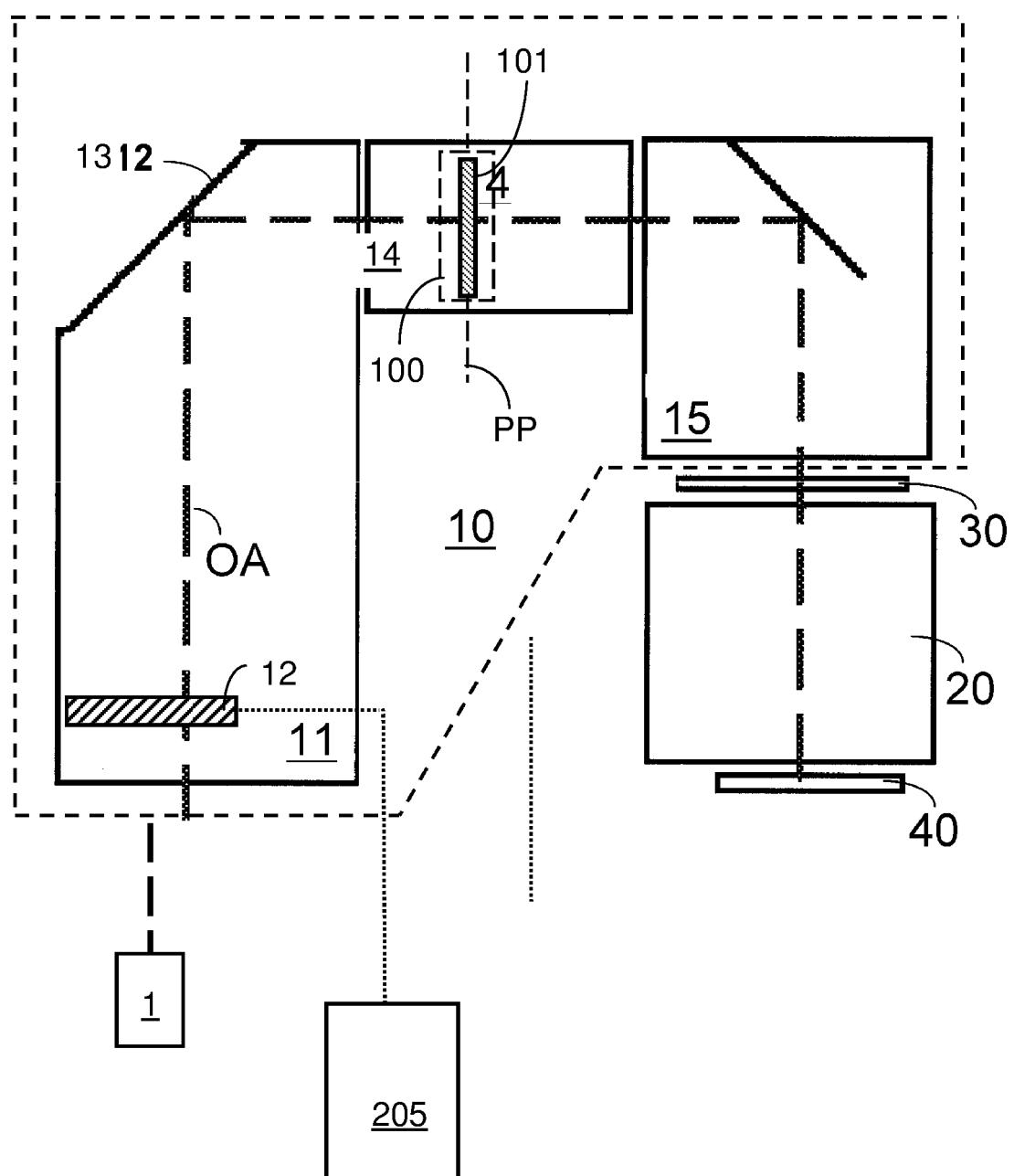
Fig. 1

Fig. 2

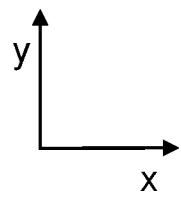
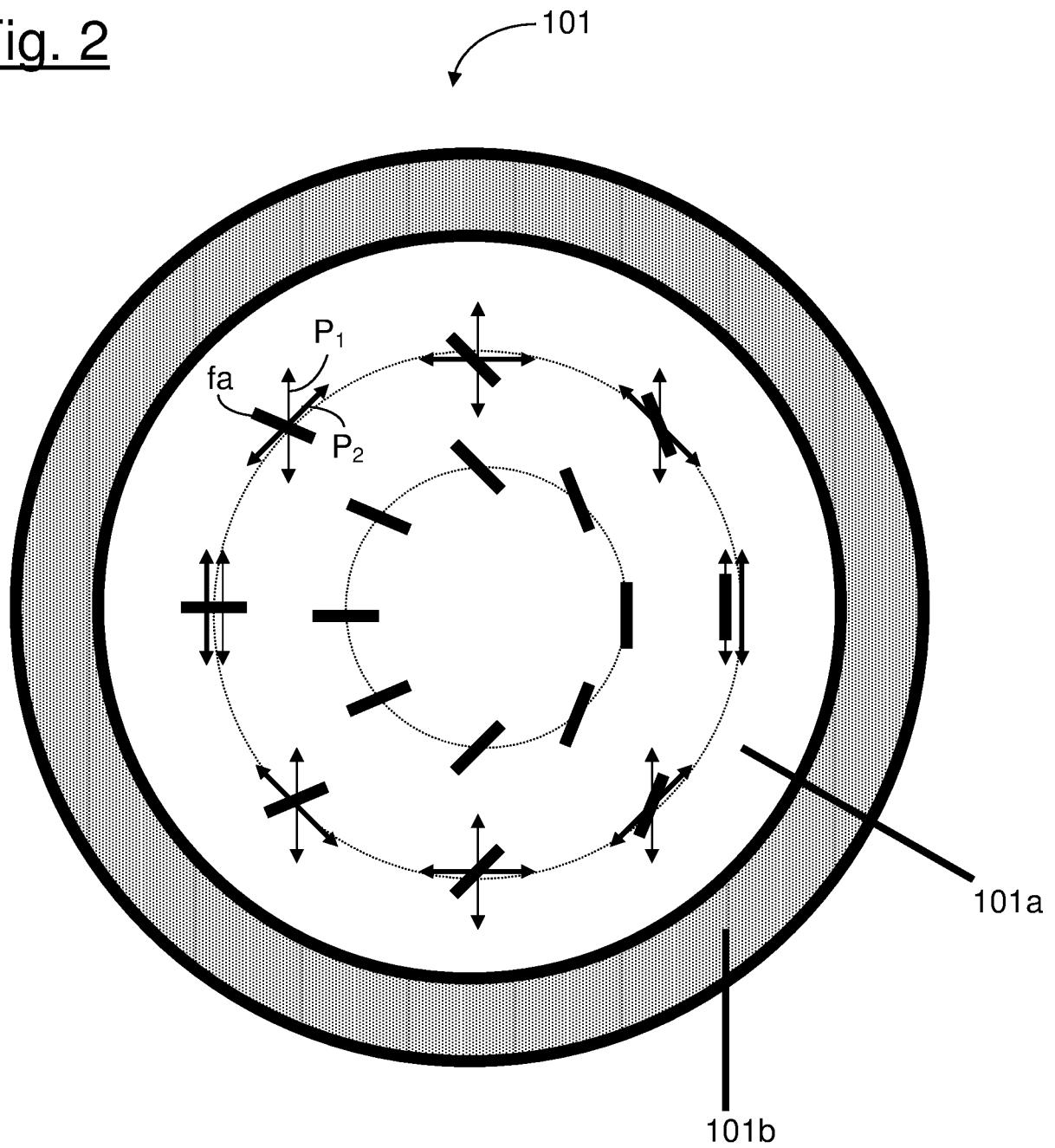


Fig. 3

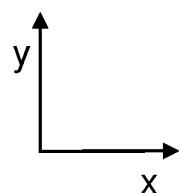
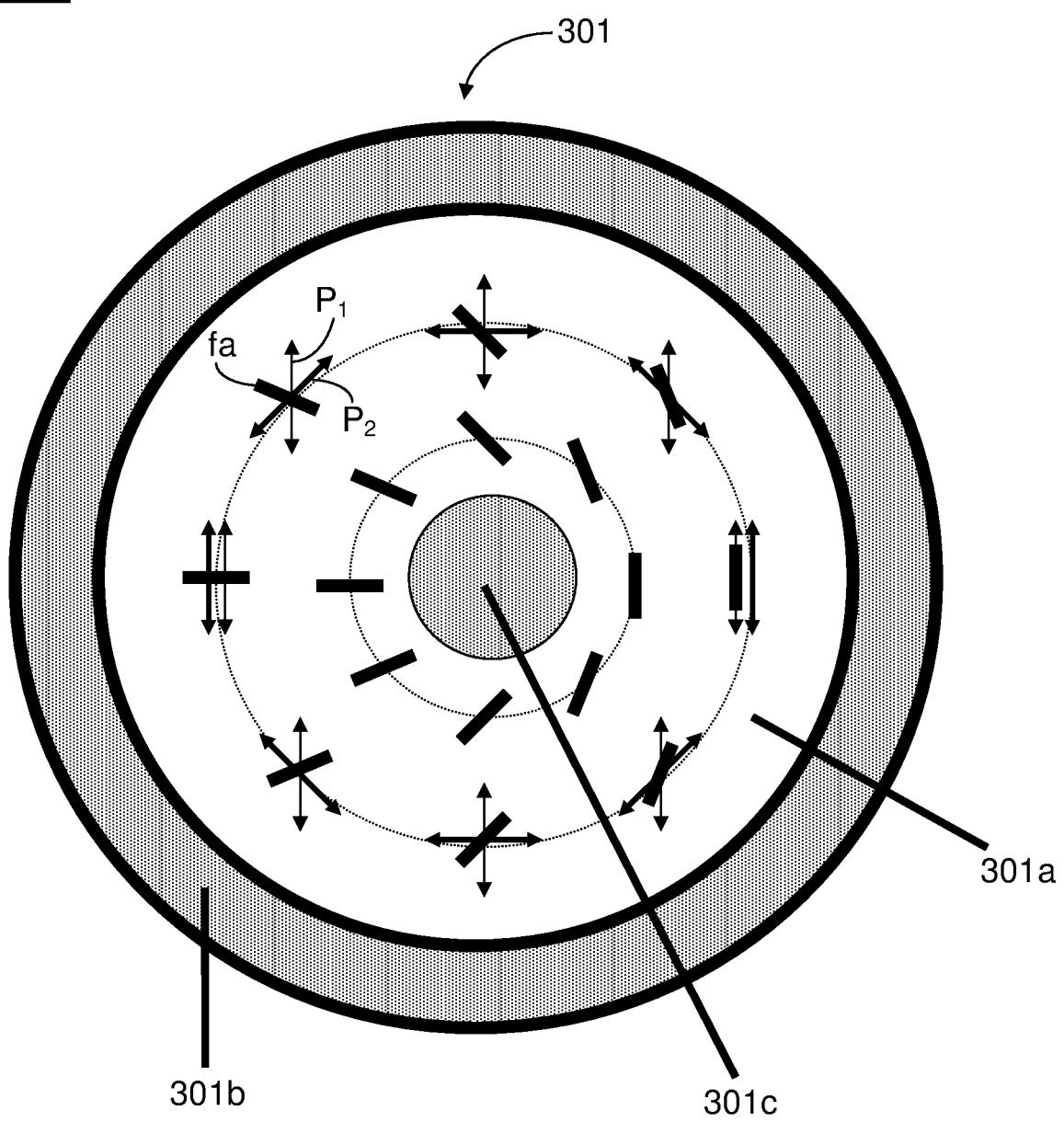


Fig. 4

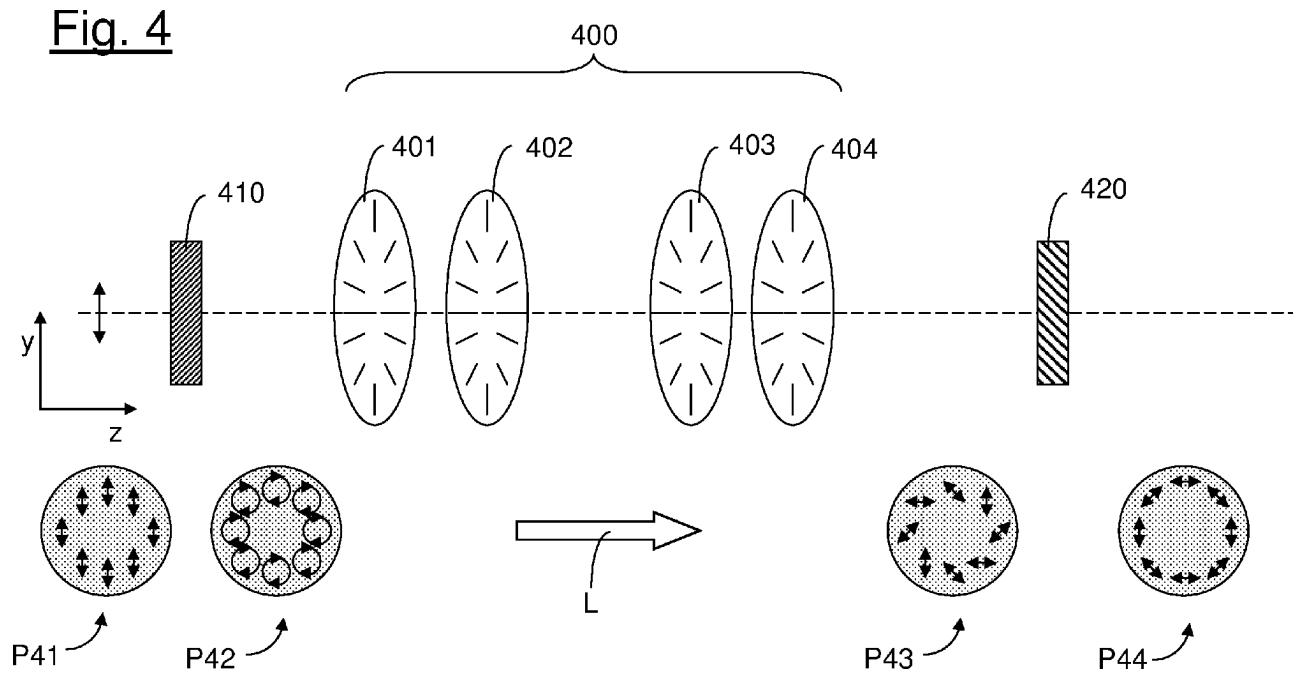


Fig. 5

