



(10) **DE 10 2007 019 831 B4** 2012.03.01

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 019 831.2**  
(22) Anmeldetag: **25.04.2007**  
(43) Offenlegungstag: **06.11.2008**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **01.03.2012**

(51) Int Cl.: **G03F 7/20** (2006.01)  
**G02B 5/30** (2006.01)  
**G02B 27/42** (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Carl Zeiss SMT GmbH, 73447, Oberkochen, DE**

(72) Erfinder:  
**Fiolka, Damian, 73447, Oberkochen, DE**

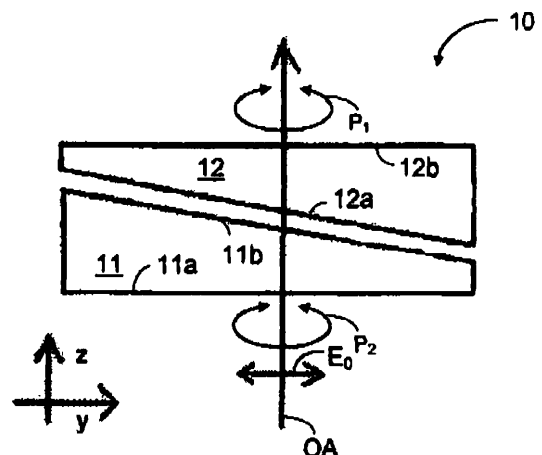
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

**DE 10 2006 031 807 A1**  
**US 2001 / 0 052 968 A1**  
**US 2006 / 0 055 834 A1**  
**WO 2006/ 131 517 A2**

(54) Bezeichnung: **Beleuchtungseinrichtung einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage**

(57) Hauptanspruch: Beleuchtungseinrichtung einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, mit einer optischen Achse (OA) und einer polarisationsbeeinflussenden Anordnung (10), wobei diese Anordnung (10, 40, 50) enthält:

- eine erste Keilplatte (11, 41, 51) mit einer ersten Keilrichtung, welche senkrecht zur optischen Achse (OA) in Richtung maximaler Dickenänderung der ersten Keilplatte (11, 41, 51) verläuft; und
- eine zweite Keilplatte (12, 42, 52) mit einer zweiten Keilrichtung, welche senkrecht zur optischen Achse (OA) in Richtung maximaler Dickenänderung der zweiten Keilplatte (12, 42, 52) verläuft;
- wobei die erste Keilplatte (11, 41, 51) und die zweite Keilplatte (12, 42, 52) um die optische Achse (OA) herum drehbar angeordnet sind;
- wobei die erste Keilplatte (11, 41, 51) und die zweite Keilplatte (12, 42, 52) jeweils aus doppelbrechendem Kristallmaterial mit jeweils einer optischen Kristallachse (oa-1, oa-2) hergestellt sind; und
- wobei in einer Ausgangsstellung der Anordnung (10, 40, 50), in welcher die erste...



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Beleuchtungseinrichtung einer mikrolithographischen Projektionsbeleuchtungsanlage.

**[0002]** In einer solchen Beleuchtungseinrichtung ist für manche Anwendungen die Erzeugung von möglichst unpolarisiertem Licht erwünscht, wozu es erforderlich ist, das von der Laserquelle ausgehende linear polarisierte Licht zu depolarisieren. Dabei tritt das Problem auf, dass Restpolarisationseffekte infolge polarisationsabhängiger Transmissions- bzw. Reflexionseigenschaften von Spiegeln sowie aufgrund von auf Linsen vorhandenen AR-Schichten auftreten, die in Ihrer Stärke sowie der jeweils erhaltenen Polarisationsvorzugsrichtung von dem jeweils verwendeten Beleuchtungssetting abhängig sind.

**[0003]** Aus US 2006/0055834 A1, US 2001/0052968 A1 und DE 10 2006 031 807 A1 sind jeweils Beleuchtungseinrichtungen mit einer polarisationsbeeinflussenden Anordnung bekannt. Die polarisationsbeeinflussende Anordnung enthält dabei jeweils ein Paar von Keilplatten, deren Keilrichtungen jeweils senkrecht zur optischen Achse der Beleuchtungseinrichtung in Richtung maximaler Dickenänderung verlaufen.

**[0004]** In US 2006/0055834 A1 sind die beiden Keilplatten zwar gemeinsam rotierbar, jedoch besteht nur eine Keilplatte aus einem doppelbrechenden Material, während die zweite Keilplatte aus Glas besteht.

**[0005]** In US 2001/0052968 A1 und DE 10 2006 031 807 A1 bestehen zwar beide Keilplatten aus doppelbrechendem Material, jedoch sind sie nicht rotierbar ausgeführt.

**[0006]** Aus JP 2005-333001 A ist es bekannt, in einer Beleuchtungseinrichtung eine Anordnung zur Modifikation des Polarisationsgrades zu verwenden, welche in Lichtausbreitungsrichtung aufeinanderfolgend eine Lambda/4-Platte, eine Lambda/2-Platte sowie keilförmige Ablenkprismen aufweist, welche frei drehbar sind, um mittels Änderung der Orientierung der optischen Kristallachsen eine Variation des Polarisationsgrades des Beleuchtungslichtes zwischen einem linearen Polarisationszustand und einem unpolarisierten Zustand zu erreichen.

**[0007]** Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Beleuchtungseinrichtung einer mikrolithographischen Projektionsbeleuchtungsanlage bereitzustellen, welche in flexibler Weise auch bei Variation des Beleuchtungssettings die weitgehende oder vollständige Eliminierung einer unerwünschten Polarisationsvorzugsrichtung ermöglicht.

**[0008]** Diese Aufgabe wird gemäß den Merkmalen des unabhängigen Patentanspruches 1 gelöst.

**[0009]** Eine erfindungsgemäße Beleuchtungseinrichtung einer mikrolithographischen Projektionsbeleuchtungsanlage weist eine optische Achse und eine polarisationsbeeinflussende Anordnung auf, wobei diese Anordnung enthält:

- eine erste Keilplatte mit einer ersten Keilrichtung, welche senkrecht zur optischen Achse in Richtung maximaler Dickenänderung der ersten Keilplatte verläuft; und
- eine zweite Keilplatte mit einer zweiten Keilrichtung, welche senkrecht zur optischen Achse in Richtung maximaler Dickenänderung der zweiten Keilplatte verläuft;
- wobei die erste Keilplatte und die zweite Keilplatte um die optische Achse herum drehbar angeordnet sind;
- wobei die erste Keilplatte und die zweite Keilplatte jeweils aus doppelbrechendem Kristallmaterial mit jeweils einer optischen Kristallachse hergestellt sind; und
- wobei in einer Ausgangsstellung der Anordnung, in welcher die erste Keilrichtung und die zweite Keilrichtung parallel zueinander verlaufen, die optische Kristallachse der ersten Keilplatte und die optische Kristallachse der zweiten Keilplatte unter einem Winkel von  $45 \pm 3^\circ$  zueinander orientiert sind, wobei eine dieser beiden Kristallachsen senkrecht oder parallel zu der Polarisationsvorzugsrichtung des auf die Anordnung auftreffenden Lichtes orientiert ist.

**[0010]** Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass mittels unabhängiger Drehbarkeit der Keilplatten aus der erfindungsgemäßen Ausgangsstellung eine sehr flexible Einstellung eines gewünschten orientierten Restpolarisationsgrades sowohl bezüglich der Stärke als auch bezüglich der Richtung dieser Restpolarisation erfolgen kann, und zwar mit vergleichsweise geringen Verdrehwinkeln der Keilplatten von nur wenigen Grad.

**[0011]** Dabei kann in der erfindungsgemäß gewählten Ausgangsstellung der Keilplatten eine unerwünschte Strahlablenkung – bei gegenseitiger Kompensation der beiden Keilplatten hinsichtlich ihrer Strahlablenkung – vollständig vermieden werden und kann bei relativer Verdrehung der Keilplatten aus der erfindungsgemäß gewählten Ausgangsstellung wegen der niedrigen erforderlichen Verdrehwinkel gering gehalten werden. Gegebenenfalls noch verbleibende geringe Strahlablenkungen können mittels Nachjustierung des Laserstrahls bzw. Neuausrichtung dessen Pointing-Vektors nachjustiert werden.

**[0012]** Die quantitative Vorhersage bzw. Bestimmung der mittels der erfindungsgemäßen Anordnung bereitgestellten, orientierten Restpolarisation in ihrer

Stärke und ihrer Polarisationsvorzugsrichtung kann dabei in einfacher Weise anhand von Simulationsrechnungen unter Annahme eines in Lichtausbreitungsrichtung nachgeordneten weiteren Polarisators erfolgen, welcher das aus der erfindungsgemäßen Keilplatten-Anordnung austretende Licht analysiert. Eine Drehung des besagten Polarisators um die optische Achse der Beleuchtungseinrichtung ergibt dann in Abhängigkeit von der jeweiligen Verdrehung der erfindungsgemäßen Keilplatten eine unterschiedliche Intensitätsmodulation. Während bei unpolarisiertem Zustand des aus der erfindungsgemäßen Anordnung austretenden Lichtes das nach Austritt aus dem besagten Polarisator erhaltene Intensitätssignal über den Drehwinkel dieses Polarisators konstant ist, ergeben sich im Falle eines zumindest teilweise linearen Polarisationszustandes bzw. einer linearen Restpolarisation des aus der erfindungsgemäßen Anordnung austretenden Lichtes je nach Stärke und Polarisationsvorzugsrichtung dieser orientierten Restpolarisation unterschiedliche Modulationsverläufe der Intensität über den Drehwinkel des besagten Polarisators, wobei sich die Stärke der orientierten Restpolarisation aus dem Kontrastverhältnis der Maxima und Minima der besagten Intensitätsmodulation ( $= [I_{\text{Max}} - I_{\text{Min}}] / [I_{\text{Max}} + I_{\text{Min}}]$ ) ergibt und wobei sich die Polarisationsvorzugsrichtung aus der Lage der Maxima der jeweiligen Intensitätsmodulation ergibt.

**[0013]** Im Ergebnis kann durch die erfindungsgemäße Anordnung in flexibler Weise und abhängig vom jeweils verwendeten Beleuchtungssetting (z. B. Dipol-Setting, Quadrupol-Setting etc.) eine vollständige oder weitgehende Eliminierung einer unerwünschten, anderenorts in der Beleuchtungseinrichtung erzeugten Polarisationsvorzugsrichtung erreicht werden, indem eine durch die erfindungsgemäße Anordnung in kontrollierter Weise bereitgestellte, orientierte Restpolarisation je nach Stärke und Richtung der zu kompensierenden, anderenorts in der Beleuchtungseinrichtung (durch Spiegel, AR-Schichten etc.) hervorgerufenen Polarisierungseffekte eingestellt wird. Dabei kann im Rahmen der Erfindung insbesondere auf zusätzliche rotierbare Lambda/2- und/oder Lambda/4-Platten zur Einstellung der Polarisationsvorzugsrichtung in Bezug auf die Ausrichtung der Keilplatten verzichtet werden.

**[0014]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform sind in der Ausgangsstellung der Anordnung die optische Kristallachse der ersten Keilplatte und die optische Kristallachse der zweiten Keilplatte unter einem Winkel von  $45^\circ \pm 2^\circ$ , bevorzugt unter einem Winkel von  $45^\circ \pm 1^\circ$ , noch bevorzugter unter einem Winkel von  $45^\circ \pm 0.5^\circ$  zueinander orientiert.

**[0015]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform befindet sich die erfindungsgemäße Keilplatten-Anordnung im Eintrittsbereich der Beleuchtungseinrichtung, vorzugsweise in unmittelbarer Nähe des dort

typischerweise vorhandenen diffraktiven optischen Elementes (DOE). Dies hat den Vorteil, dass im Bereich der Keilplatten-Anordnung dann noch vergleichsweise geringe Strahlwinkel sowie relativ kleine Strahlbündelquerschnitte auftreten, was im Hinblick auf die dann geringeren Mindestabmessungen der Keilplatten angesichts der begrenzten Verfügbarkeit des kristallinen Materials (z. B. kristallines Quarz) von Vorteil ist.

**[0016]** Die Erfindung betrifft ferner eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage, ein Verfahren zur mikrolithographischen Herstellung mikrostrukturierter Bauelemente sowie ein mikrostrukturiertes Bauelement.

**[0017]** Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind der Beschreibung sowie den Unteransprüchen zu entnehmen.

**[0018]** Die Erfindung wird nachstehend anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die beigelegten Abbildungen erläutert.

**[0019]** Es zeigen:

**[0020]** Fig. 1a–c schematische Darstellungen einer erfindungsgemäßen polarisationsbeeinflussenden Anordnung im Querschnitt (Fig. 1a) sowie in Draufsicht auf deren beide Keilplatten (Fig. 1b und Fig. 1c) gemäß einer bevorzugten Ausführungsform;

**[0021]** Fig. 2a–o unterschiedliche Intensitätsmodulationsverläufe, welche unter Annahme eines in Lichtausbreitungsrichtung nachfolgend der erfindungsgemäßen Anordnung angeordneten, um die optische Achse rotierenden Polarisators ermittelt wurden, und zwar für jeweils unterschiedliche Verdrehwinkel der erfindungsgemäßen Keilplatten;

**[0022]** Fig. 3 eine schematische Darstellung zur Erläuterung der Wirkungsweise der erfindungsgemäßen Anordnung in der Ausgangsstellung von Fig. 1;

**[0023]** Fig. 4–Fig. 5 schematische Darstellungen zur Erläuterung jeweils einer polarisationsbeeinflussenden Anordnung gemäß alternativer Ausführungsformen der Erfindung; und

**[0024]** Fig. 6 eine schematische Darstellung des Aufbaus einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage mit einer erfindungsgemäßen Beleuchtungseinrichtung.

**[0025]** Fig. 1a–c zeigen eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen polarisationsbeeinflussenden Anordnung 10. Die Anordnung 10 weist gemäß der in Fig. 1a gezeigten Querschnittsansicht zwei entlang einer optischen Achse OA aufeinanderfolgend angeordnete Keilplatten 11 und 12 auf, de-

ren jeweilige Lichteintrittsflächen mit **11a** bzw. **12a** und deren jeweilige Lichtaustrittsflächen mit **11b** bzw. **12b** bezeichnet sind. Wie durch die Doppelpfeile P1 und P2 angedeutet ist, sind die beiden Keilplatten **11** und **12** unabhängig voneinander um die optische Achse OA drehbar angeordnet. Der Abstand der beiden Keilplatten **11** und **12** ist so gewählt, dass diese bei deren relativer Verdrehung um die optische Achse OA herum zumindest für die erfindungsgemäß eingestellten, typischerweise geringen Verdrehwinkel (z. B. im Bereich von  $-2^\circ$  bis  $+2^\circ$ ) nicht miteinander kollidieren.

**[0026]** Dabei ergänzen sich in der in **Fig. 1** gezeigten Ausgangsstellung beide Keilplatten **11** und **12** zu einer planparallelen Geometrie, in welcher die Lichtaustrittsfläche **11b** der ersten Keilplatte **11** und die Lichteintrittsfläche **12a** der zweiten Keilplatte **12** parallel zueinander orientiert, d. h. durch einer Spalt konstanter Dicke voneinander getrennt sind. Demgegenüber verlaufen die Lichteintrittsfläche **11a** der ersten Keilplatte **11** und die Lichtaustrittsfläche **12b** der zweiten Keilplatte **12** jeweils senkrecht zu der (in z-Richtung angeordneten) optischen Achse OA.

**[0027]** Allgemein sind die beiden Keilplatten in der Ausgangsstellung so angeordnet, dass deren Keilrichtungen parallel zueinander orientiert sind. Dabei wird hier unter der Keilrichtung jeweils die zur Lichtausbreitungsrichtung (d. h. in **Fig. 1a** zur z-Richtung) senkrechte Richtung verstanden, in welcher die Dickenänderung (d. h. der Dickengradient bzw. die Steigung) der betreffenden Keilplatte maximal ist. In **Fig. 1a** verläuft die Keilrichtung beider Keilplatten jeweils in y-Richtung.

**[0028]** Die beiden Keilplatten **11** und **12** sind jeweils aus doppelbrechendem Material, z. B. kristallines Quarz oder Magnesiumfluorid ( $\text{MgF}_2$ ), hergestellt.

**[0029]** **Fig. 1b** zeigt für die Ausgangsstellung der Anordnung **10** aus **Fig. 1a** eine Draufsicht auf die zweite Keilplatte **12**, und **Fig. 1c** zeigt für die Ausgangsstellung aus **Fig. 1a** eine Draufsicht auf die erste Keilplatte **11**. Dabei ist jeweils die Orientierung der optischen Kristallachse in den doppelbrechenden Keilplatten **11** bzw. **12** angegeben, wobei diese in **Fig. 1b** mit oa-2 und in **Fig. 1c** mit oa-1 bezeichnet ist. Auf die Lichteintrittsfläche **11a** der ersten Keilplatte **11** trifft gemäß **Fig. 1a** linear polarisiertes Licht von einer (in **Fig. 1** nicht dargestellten) Laserquelle (beispielsweise einem ArF-Laser für eine Arbeitswellenlänge von 193 nm), wobei die Schwingungsrichtung des (mit  $E_0$  bezeichneten) elektrischen Feldstärkevektors gemäß dem dargestellten Ausführungsbeispiel in y-Richtung orientiert ist. Gemäß **Fig. 1b–c** verläuft in der Ausgangsstellung die optische Kristallachse oa-1 in der ersten Keilplatte **11** parallel zu dieser Polarisationsvorzugsrichtung, wohingegen die optische Kristallachse oa-2 in der zweiten Keilplatte **12** unter ei-

nem Winkel von  $45^\circ$  zu der besagten Polarisationsvorzugsrichtung (d. h. hier zur y-Achse) orientiert ist.

**[0030]** Wie im Weiteren unter Bezugnahme auf **Fig. 3** erläutert wird, ergibt sich für die vorstehend anhand von **Fig. 1** gezeigte Ausgangsposition (d. h. ohne Verdrehung der Keilplatten **11** und **12** gegeneinander oder gemeinsam als Einheit in Bezug auf die in y-Richtung verlaufende Polarisationsvorzugsrichtung des auf die Anordnung **10** treffenden Lichtes) bei Austritt aus der Anordnung **10** unpolarisiertes Licht. Dies gilt, wie in der früheren Patentanmeldung WO 2006/131517 A2 der Anmelderin beschrieben ist, in guter Näherung auch noch für geringe Abweichungen der Orientierung der linearen Polarisation von der (in y-Richtung verlaufenden) Sollorientierung bei Eintritt in die Anordnung **10**. Von den hier in der schematischen Darstellung von **Fig. 3** eingezeichneten Lichtstrahlen überlagern sich Strahl **1** (dessen Polarisationszustand nach Austritt aus der Anordnung **10** unverändert bleibt) und Strahl **3** (dessen Polarisationsrichtung nach Austritt aus der Anordnung **10** senkrecht auf der Polarisationsrichtung von Strahl **1** liegt) inkohärent und heben sich somit zu unpolarisiertem Licht auf. Die mit **2** und **9** bezeichneten Strahlen ergeben jeweils nach Austritt aus der Anordnung **10** zirkular polarisiertes Licht mit Händigkeiten entgegengesetzten Vorzeichens, wobei lediglich im Falle einer Abweichung der Orientierung der Eingangspolarisation von der idealen Orientierung entlang der y-Richtung eine Vorzugsrichtung in x- oder y-Richtung verbleibt.

**[0031]** Erfindungswesentlich ist nun, dass infolge der unabhängigen Drehbarkeit der Keilplatten **11** und **12** um die optische Achse OA sowohl deren relative Position zueinander (und damit die Orientierung der jeweiligen optischen Kristallachsen oa-1 bzw. oa-2 zur Polarisationsvorzugsrichtung des einfallenden Lichtes) als auch die Orientierung der gesamten Anordnung **10** in Bezug auf die Polarisationsvorzugsrichtung des einfallenden Lichtes kontinuierlich und gezielt verändert werden können.

**[0032]** Wie im Weiteren unter Bezugnahme auf **Fig. 2a–o** erläutert wird, lassen sich bereits bei geringen Verdrehwinkeln der Keilplatten **11** und **12** (z. B. im Bereich von  $-2^\circ$  bis  $+2^\circ$ ) signifikante Variationen einer durch die Anordnung **10** erzeugten orientierten Restpolarisation bewirken. Diese orientierte Restpolarisation kann wiederum dazu dienen, einen orientierten Vorhalt für eine anderenorts in der Beleuchtungseinrichtung vorhandene (z. B. durch Spiegel oder AR-Schichten bewirkte) Restpolarisation zu schaffen, wobei durch die flexible Verdrehbarkeit der Keilplatten **11** und **12** einer Variation der letztgenannten, zu kompensierenden Polarisation bei Wechsel des Beleuchtungssettings gezielt Rechnung getragen werden kann.

**[0033]** Die in **Fig. 2a–o** wiedergegebenen Diagramme zeigen jeweils Ergebnisse von Simulationsrechnungen, bei welchen ein nach der erfindungsgemäßen Anordnung **10** vorhandener Polarisator zur Analyse des Polarisationszustandes des aus der Anordnung **10** heraustretenden Lichtes zugrundegelegt wird. Auf der horizontalen Achse dieser Diagramme ist jeweils der Verdrehwinkel dieses Polarisators um die optische Achse OA der Einheit rad angegeben. Auf der vertikalen Achse ist die Intensität des aus besagtem Polarisator heraustretenden Lichtes aufgetragen. Die zuoberst von jedem dieser Diagramme angegebenen Wertepaare bezeichnen jeweils die Verdrehwinkel der Keilplatten **11** und **12** aus der anhand von **Fig. 1** erläuterten Ausgangsposition, wobei jeweils der erste Winkel des jeweiligen Wertepaares den Verdrehwinkel der zweiten Keilplatte **12** und der zweite Winkel des jeweiligen Wertepaares den Verdrehwinkel der ersten Keilplatte **11** angibt. Das Diagramm von **Fig. 2h** entspricht somit der anhand von **Fig. 1** erläuterten Ausgangsposition, da die beiden vorstehend definierten Verdrehwinkel jeweils den Wert  $0^\circ$  besitzen.

**[0034]** Da für diese Ausgangsposition das in den der Simulationsrechnung zugrunde gelegten Polarisator eintretende Licht keine Vorzugsrichtung aufweist, ergibt sich hier ein konstanter Intensitätsverlauf über den gesamten Bereich von Verdrehwinkeln des Polarisators. Des Weiteren führt, wie aus den übrigen Diagrammen **Fig. 2a–g** sowie **Fig. 2i–o** ersichtlich, bereits eine Verdrehung im Bereich bis zu  $\pm 2^\circ$  von einer der Keilplatten **11** und **12** oder beiden Keilplatten **11**, **12** zu einer signifikanten orientierten Restpolarisation des in den in der Simulationsrechnung angenommenen Polarisator eintretenden Lichtes, wobei sowohl Stärke als auch Richtung dieser orientierten Restpolarisation bereits bei den angegebenen, vergleichsweise niedrigen Verdrehwinkeln der Keilplatten in einem weiten Bereich variiert werden können. Dabei ergibt sich jeweils die Stärke der orientierten Restpolarisation aus dem Kontrastverhältnis (Maximum – Minimum/Maximum + Minimum) der Intensitätsmaxima und -minima in den Diagrammen von **Fig. 2a–o**, wohingegen die Polarisationsvorzugsrichtung aus der Lage der Maxima folgt, da für diese der Lichtdurchtritt durch den gedachten bzw. der Simulationsrechnung zugrunde gelegten Polarisator maximal ist. Beispielsweise ergibt sich aus dem Diagramm von **Fig. 2a** für einen Verdrehwinkel der zweiten Keilplatte **12** von  $-2^\circ$  und einen Verdrehwinkel der ersten Keilplatte **11** von  $+1^\circ$  die Lage des ersten Maximums in der Intensitätsmodulation bei etwa  $\phi = 2$  rad, was einem Winkel der Polarisationsvorzugsrichtung von etwa  $114.6^\circ$  bezogen auf die (hier ohne Beschränkung der Allgemeinheit als durch den Ursprung verlaufend angenommene y-Achse) entspricht.

**[0035]** **Fig. 4** und **Fig. 5** zeigen schematische Darstellungen zur Erläuterung jeweils einer polarisati-

onsbeeinflussenden Anordnung gemäß alternativer Ausführungsformen der Erfindung.

**[0036]** In **Fig. 4** ist lediglich schematisch eine polarisationsbeeinflussende Anordnung **40** dargestellt, welche analog zu **Fig. 1** aus zwei unabhängig voneinander um die optische Achse OA herum drehbar angeordneten Keilplatten **41** und **42** aus jeweils doppelbrechendem Material (z. B. kristallinem Quarz oder Magnesiumfluorid) aufgebaut ist.

**[0037]** Im Unterschied zu der Anordnung **10** von **Fig. 1a** sind jedoch bei der Anordnung **40** aus **Fig. 4** die jeweils zur optischen Achse DA geneigten Keilflächen **41a** und **42b** der Keilplatten **41** und **42** „außen“, d. h. auf der jeweils von der anderen Keilplatte abgewandten Seite angeordnet, wohingegen die zur optischen Achse OA senkrechten Keilflächen **41b** und **42a** jeweils „innen“, d. h. auf der der jeweils anderen Keilplatte zugewandten Seite angeordnet sind. Die „außen“ liegenden, zur optischen Achse OA geneigten Keilflächen **41a** und **42b**, d. h. die Lichteintrittsfläche der ersten Keilplatte **41** und die Lichtaustrittsfläche der zweiten Keilplatte **42**, sind wiederum parallel zueinander angeordnet. Im Ergebnis wird durch die Anordnung **40** somit lediglich ein in einfacher Weise korrigierbarer Strahlversatz eingeführt.

**[0038]** Bezüglich der Orientierungen der optischen Kristallachsen in den Keilplatten **41** und **42** gelten die Ausführungen zur Anordnung **10** aus **Fig. 1** analog. Dies bedeutet, dass wiederum die optischen Kristallachsen der Keilplatten **41** und **42** unter einem Winkel von  $45^\circ$  zueinander orientiert sind, wobei eine dieser beiden optischen Kristallachsen entweder senkrecht oder parallel zur Schwingungsrichtung des (mit  $E_0$  bezeichneten) elektrischen Feldstärkevektors (gemäß dem dargestellten Ausführungsbeispiel in y-Richtung verlaufend) orientiert ist.

**[0039]** Gemäß einer weiteren, in **Fig. 5** schematisch dargestellten Ausführungsform einer Anordnung **50** mit Keilplatten **51** und **52**, bei der ebenfalls die zur optischen Achse OA geneigten Keilflächen **51a** und **52b** „außen“, d. h. auf der von der jeweils anderen Keilplatte abgewandten Seite angeordnet sind, können diese geneigten Keilflächen **51a** und **52b** auch zueinander nicht-parallel, sondern vielmehr aufeinander zu laufend ausgebildet sein. Wie bei der vorstehend beschriebenen Anordnung **40** aus **Fig. 4** verlaufen jedoch auch bei der Anordnung **50** aus **Fig. 5** die Keilrichtungen der Keilplatten **51** und **52** parallel zueinander. Die Keilrichtung ist dabei definiert als diejenige zur optischen Achse OA bzw. zur Lichtausbreitungsrichtung senkrechte Richtung, in welcher die Dickenänderung der betreffenden Keilplatte maximal ist. In den Ausführungsbeispielen von **Fig. 4** und **Fig. 5** verlaufen jeweils sämtliche Keilrichtungen der Keilplatten **41** und **42** bzw. **51** und **52** in y-Richtung gemäß dem eingezeichneten Koordinatensystem.



**[0040]** Im Übrigen gelten für die Orientierungen der optischen Kristallachsen der Keilplatten **51** und **52** der Anordnung **50** aus **Fig. 5** die Ausführungen zu **Fig. 1** bzw. **Fig. 4** analog, d. h. die optischen Kristallachsen der Keilplatten **51** und **52** sind wiederum in der dargestellten Ausgangsstellung zueinander in einem Winkel von  $45^\circ$  orientiert, wobei eine dieser beiden optischen Kristallachsen parallel oder senkrecht zur Polarisationsvorzugsrichtung des auf die Anordnung **50** treffenden Lichtes ist.

**[0041]** Ein durch die Anordnung **50** von **Fig. 5** eingeführter Strahlwinkel kann in einfacher Weise durch Laserpointing kompensiert werden.

**[0042]** **Fig. 6** zeigt zur Erläuterung der Anwendung der erfindungsgemäßen Anordnung in schematischer Darstellung eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage **133** mit einer Lichtquelleneinheit **135**, einer Beleuchtungseinrichtung **139**, einer strukturtragenden Maske **153**, einem Projektionsobjektiv **155** und einem zu belichtenden Substrat **159**. Die Lichtquelleneinheit **135** kann als Lichtquelle beispielsweise einen ArF-Laser für eine Arbeitswellenlänge von 193 nm sowie eine Strahlformungsoptik, welche ein paralleles Lichtbündel erzeugt, umfassen.

**[0043]** Das parallele Lichtbündel trifft gemäß dem Ausführungsbeispiel zunächst auf ein diffraktives optisches Element **137**. Das diffraktive optische Element **137** erzeugt über eine durch die jeweilige beugende Oberflächenstruktur definierte Winkelabstrahlcharakteristik in einer Pupillenebene **145** eine gewünschte Intensitätsverteilung, z. B. Dipol- oder Quadrupolverteilung. In Lichtausbreitungsrichtung nach dem diffraktiven optischen Element **137** befindet sich gemäß **Fig. 6** die erfindungsgemäße polarisationsbeeinflussende Anordnung **10** mit unabhängig voneinander verdrehbaren Keilplatten. Die Verdrehwinkel dieser Keilplatten können (vorzugsweise mittels einer nicht dargestellten Steuereinrichtung und geeigneten Aktuatoren) in Abhängigkeit von dem jeweils aktuell verwendeten Beleuchtungssetting flexibel eingestellt werden.

**[0044]** Gemäß einer weiteren Anwendung der erfindungsgemäßen Anordnung **10** kann auch zunächst eine in der Beleuchtungseinrichtung **139** anderenorts vorhandene (z. B. durch Spiegel, AR-Schichten etc. hervorgerufene), zu kompensierende Restpolarisation ermittelt, dann die geeignete Relativposition der Keilplatten **11** und **12** entsprechend gewählt und die Anordnung **10** schließlich in einer dementsprechenden, feststehenden Position in die Beleuchtungseinrichtung **139** eingebaut werden.

**[0045]** Ein im Strahlengang entlang der optischen Achse OA nachfolgendes Objektiv **140** ist als Zoom-Objektiv ausgelegt, welches ein paralleles Lichtbündel

mit variablem Durchmesser erzeugt. Das parallele Lichtbündel wird durch einen Umlenkspiegel **141** auf eine optische Einheit **142** gerichtet, die ein Axikon **143** aufweist. Durch das Zoom-Objektiv **140** in Verbindung mit dem vorgeschalteten DOE **137** und dem Axikon **143** werden in der Pupillenebene **145** je nach Zoom-Stellung und Position der Axikonelemente unterschiedliche Beleuchtungskonfigurationen erzeugt. Die optische Einheit **142** umfasst nach dem Axikon **143** ein im Bereich der Pupillenebene **145** angeordnetes Lichtmischsystem **148**, welches hier in für sich bekannter Weise eine zur Erzielung einer Lichtmischung geeignete Anordnung aus mikrooptischen Elementen (in **Fig. 6** durch die Elemente **146** und **147** repräsentiert) aufweist. Bei dem Lichtmischsystem kann es sich alternativ auch um einen Wabenkondensator oder einen Stabintegrator aus für Licht der Arbeitswellenlänge transparentem Material wie z. B. Quarzglas oder auch kristallinem Kalzium-Fluorid handeln. Auf die optische Einheit **142** folgt ein Retikel-Maskierungssystem (REMA) **149**, welches durch ein REMA-Objektiv **151** auf die strukturtragende Maske (Retikel) **153** abgebildet wird und dadurch den ausgeleuchteten Bereich auf dem Retikel **153** begrenzt. Die strukturtragende Maske **153** wird mit einem Projektionsobjektiv **155** auf ein zu belichtendes Substrat **159** abgebildet. Zwischen einem letzten optischen Element **157** des Projektionsobjektivs und dem lichtempfindlichen Substrat **159** befindet sich in dem dargestellten Ausführungsbeispiel eine Immersionsflüssigkeit **161** mit einem von Luft verschiedenen Brechungsindex.

**[0046]** Wenn die Erfindung auch anhand spezieller Ausführungsformen beschrieben wurde, erschließen sich für den Fachmann zahlreiche Variationen und alternative Ausführungsformen, z. B. durch Kombination und/oder Austausch von Merkmalen einzelner Ausführungsformen. Dementsprechend versteht es sich für den Fachmann, dass derartige Variationen und alternative Ausführungsformen von der vorliegenden Erfindung mit umfasst sind, und die Reichweite der Erfindung nur im Sinne der beigefügten Patentansprüche und deren Äquivalente beschränkt ist.

## Patentansprüche

1. Beleuchtungseinrichtung einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, mit einer optischen Achse (OA) und einer polarisationsbeeinflussenden Anordnung (**10**), wobei diese Anordnung (**10**, **40**, **50**) enthält:

- eine erste Keilplatte (**11**, **41**, **51**) mit einer ersten Keilrichtung, welche senkrecht zur optischen Achse (OA) in Richtung maximaler Dickenänderung der ersten Keilplatte (**11**, **41**, **51**) verläuft; und
- eine zweite Keilplatte (**12**, **42**, **52**) mit einer zweiten Keilrichtung, welche senkrecht zur optischen Achse (OA) in Richtung maximaler Dickenänderung der zweiten Keilplatte (**12**, **42**, **52**) verläuft;

- wobei die erste Keilplatte (**11, 41, 51**) und die zweite Keilplatte (**12, 42, 52**) um die optische Achse (OA) herum drehbar angeordnet sind;
- wobei die erste Keilplatte (**11, 41, 51**) und die zweite Keilplatte (**12, 42, 52**) jeweils aus doppelbrechendem Kristallmaterial mit jeweils einer optischen Kristallachse (oa-1, oa-2) hergestellt sind; und
- wobei in einer Ausgangsstellung der Anordnung (**10, 40, 50**), in welcher die erste Keilrichtung und die zweite Keilrichtung parallel zueinander verlaufen, die optische Kristallachse (oa-1) der ersten Keilplatte (**11, 41, 51**) und die optische Kristallachse (oa-2) der zweiten Keilplatte (**12, 42, 52**) unter einem Winkel von  $45^\circ \pm 3^\circ$  zueinander orientiert sind, wobei eine dieser beiden Kristallachsen (oa-1, oa-2) senkrecht oder parallel zu der Polarisationsvorzugsrichtung des auf die Anordnung (**10**) auftreffenden Lichtes orientiert ist.

2. Beleuchtungseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Keilplatte (**11, 41, 51**) und die zweite Keilplatte (**12, 42, 52**) unabhängig voneinander um die optische Achse (OA) herum drehbar sind.

3. Beleuchtungseinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass in der Ausgangsstellung der Anordnung (**10, 40, 50**) die optische Kristallachse (oa-1) der ersten Keilplatte (**11, 41, 51**) und die optische Kristallachse (oa-2) der zweiten Keilplatte (**12, 42, 52**) unter einem Winkel von  $45^\circ \pm 2^\circ$  zueinander orientiert sind.

4. Beleuchtungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass diese ein diffraktives optisches Element (**137**) aufweist, wobei die Anordnung (**10**) in Lichtausbreitungsrichtung unmittelbar nachfolgend zu diesem diffraktiven optischen Element (**137**) angeordnet ist.

5. Beleuchtungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass eine Steuereinrichtung sowie Aktuatoren vorhanden sind, wobei über die Steuereinrichtung die Aktuatoren zur Einstellung eines ersten Verdrehwinkels der ersten Keilplatte (**11, 41, 51**) aus der Ausgangsstellung und eines zweiten Verdrehwinkels der zweiten Keilplatte (**12, 42, 52**) aus der Ausgangsstellung ansteuerbar sind.

6. Beleuchtungseinrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinrichtung derart ausgelegt ist, dass die Ansteuerung der Aktuatoren in Abhängigkeit von einem aktuell in der Beleuchtungseinrichtung verwendeten Beleuchtungssetting erfolgt.

7. Beleuchtungseinrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinrichtung zur Ansteuerung der Aktuatoren derart ausgelegt ist, dass eine anderenorts in der Beleuchtungs-

einrichtung hervorgerufene Störung der Polarisationsverteilung durch die polarisationsbeeinflussende Anordnung (**10, 40, 50**) wenigstens teilweise kompensiert wird.

8. Beleuchtungseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Keilplatte (**11**) eine plane, zur optischen Achse (OA) senkrechte Lichteintrittsfläche (**11a**) und eine plane, zur optischen Achse (OA) geneigte Lichtaustrittsfläche (**11b**) aufweist, und die zweite Keilplatte (**12**) eine plane, zur optischen Achse (OA) geneigte Lichteintrittsfläche (**12a**) und eine plane, zur optischen Achse (OA) senkrechte Lichtaustrittsfläche (**12b**) aufweist, wobei in der Ausgangsstellung die Lichtaustrittsfläche (**11b**) der ersten Keilplatte (**11**) parallel zur Lichteintrittsfläche (**12a**) der zweiten Keilplatte (**12**) orientiert ist.

9. Beleuchtungseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das doppelbrechende Material der ersten Keilplatte (**11**) und/oder der zweiten Keilplatte (**12**) kristallines Quarz oder Magnesiumfluorid ( $\text{MgF}_2$ ) ist.

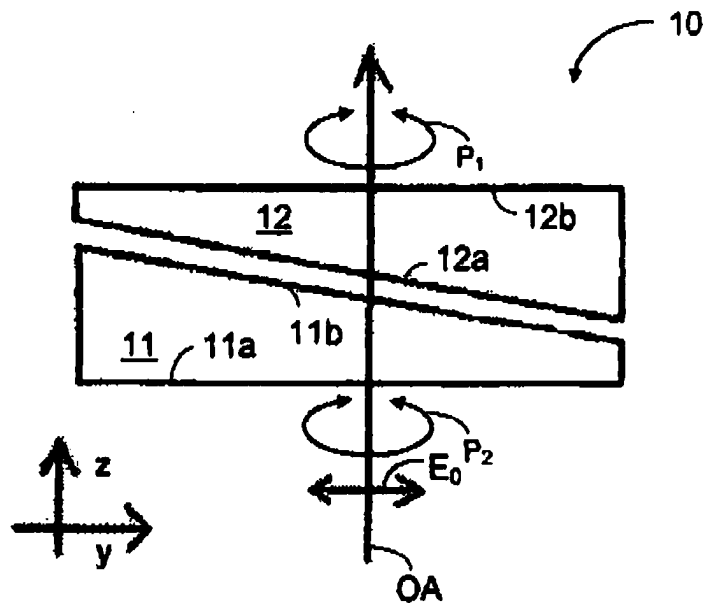
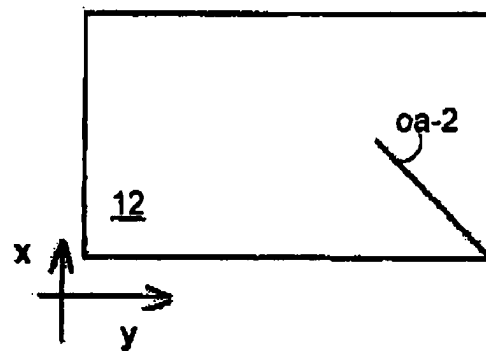
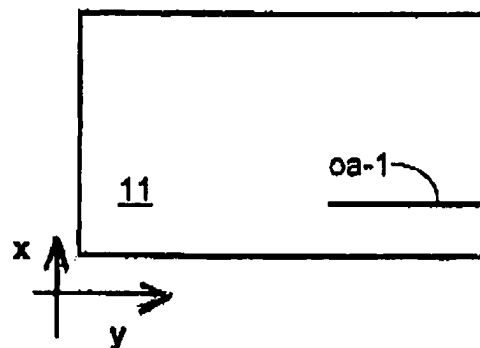
10. Mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage, welche eine Beleuchtungseinrichtung (**139**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche aufweist.

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

- Bereitstellen eines Substrats (**159**), auf das zumindest teilweise eine Schicht aus einem lichtempfindlichen Material aufgebracht ist;
- Bereitstellen einer Maske (**153**), die abzubildende Strukturen aufweist;
- Bereitstellen einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage (**133**) nach Anspruch 10; und
- Projizieren wenigstens eines Teils der Maske (**153**) auf einen Bereich der Schicht mit Hilfe der Projektionsbelichtungsanlage (**133**).

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

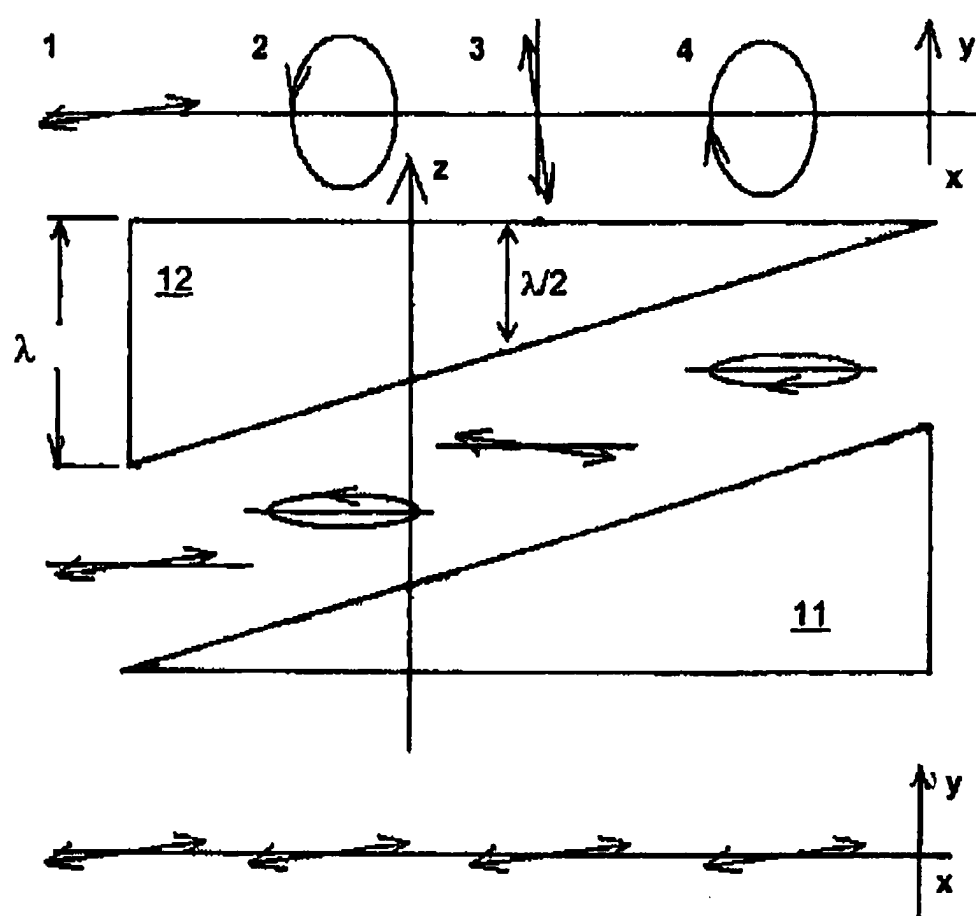
## Anhängende Zeichnungen

**Fig. 1****a)****b)****c)**

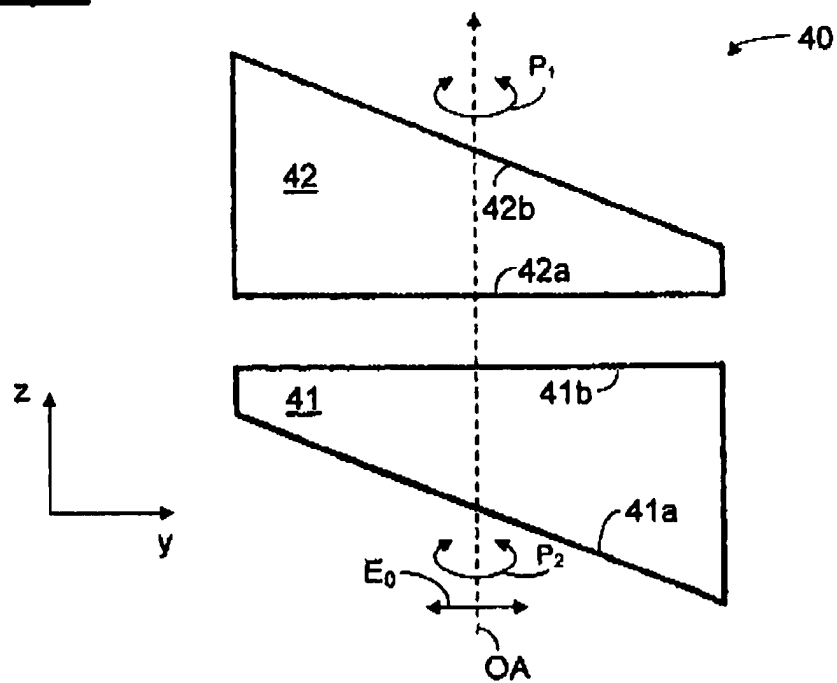




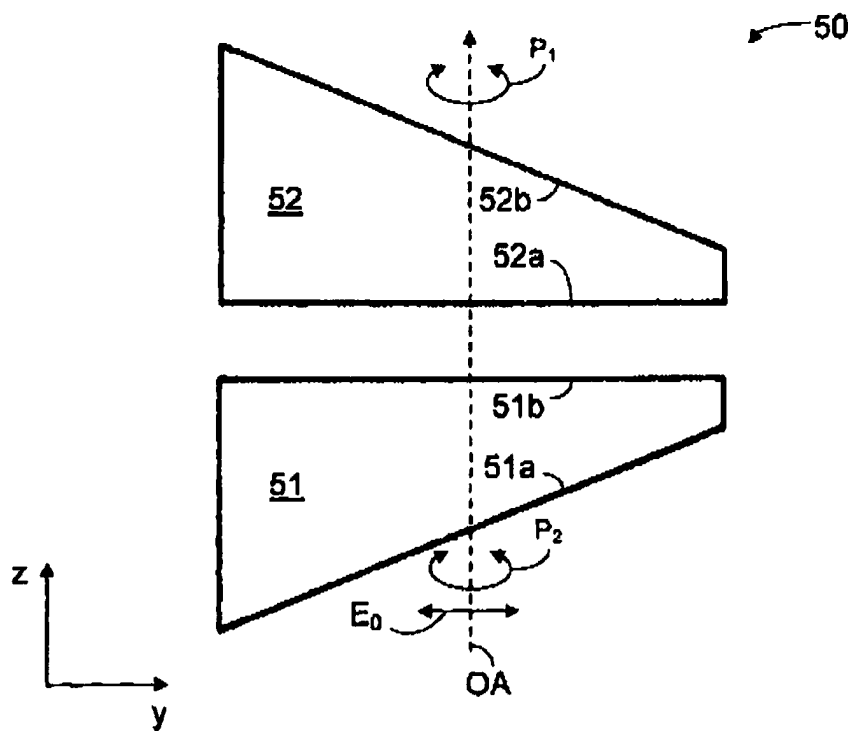
**Fig. 3**



**Fig. 4**



**Fig. 5**



**Fig. 6**

