



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 012 034 A1** 2007.09.20

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 012 034.5**

(22) Anmeldetag: **14.03.2006**

(43) Offenlegungstag: **20.09.2007**

(51) Int Cl.⁸: **G03F 7/20** (2006.01)
G02B 27/18 (2006.01)

(71) Anmelder:

Carl Zeiss SMT AG, 73447 Oberkochen, DE

(74) Vertreter:

Frank, H., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 45470 Mülheim

(72) Erfinder:

Schuster, Karl-Heinz, 89551 Königsbrunn, DE; Hartmaier, Jürgen, 73447 Oberkochen, DE; Maul, Manfred, 73434 Aalen, DE; Schmerek, Dieter, 73460 Hüttlingen, DE; Müller, Detlef, 73479 Ellwangen, DE; Hahnemann, Otto, 86720 Nördlingen, DE; Marianek, Frank, 73447 Oberkochen, DE; Weiß, Gundula, 73434 Aalen, DE; Fiolka, Damian, 73447 Oberkochen, DE

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

US2003/02 31 395 A1

US 2002/0 03 661 A1

WO 2005/1 21 900 A1

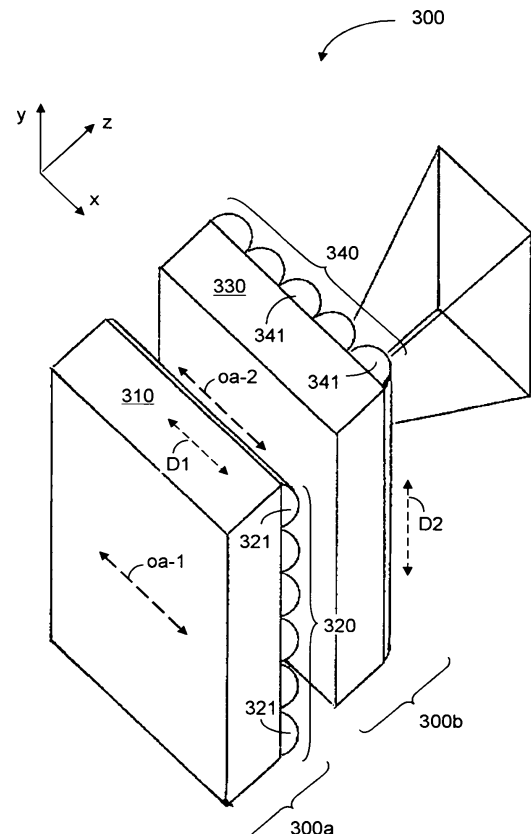
WO 2005/0 06 774 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

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

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein optisches System, insbesondere in einer Beleuchtungseinrichtung einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, mit wenigstens einem ersten lichtleitwerterhöhenden Element (100, 200, 300a, 400, 500a), welches eine Mehrzahl von sich in einer gemeinsamen ersten Vorzugsrichtung (D1) erstreckenden diffraktiv oder refraktiv strahl-ableitenden Strukturen aufweist, wobei das lichtleitwerterhöhende Element ein optisch einachsiges Kristallmaterial derart aufweist, dass die optische Kristallachse dieses Kristallmaterials im Wesentlichen parallel oder im Wesentlichen senkrecht zu der ersten Vorzugsrichtung (D1) ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein optisches System, insbesondere in einer Beleuchtungseinrichtung einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, mit wenigstens einem lichtleitwerterhöhenden Element bei dem eine Erzeugung von Lichtleitwert unter Erhaltung des Polarisationszustandes ermöglicht wird.

[0002] In einer Beleuchtungseinrichtung einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage werden häufig insbesondere am Eintritt diffraktive optische Elemente (DOE's) eingesetzt, um über eine durch die jeweilige beugende Oberflächenstruktur definierte Winkelabstrahlcharakteristik des DOE z.B. in einer Pupillenebene eine gewünschte Intensitätsverteilung (z.B. Dipol- oder Quadrupolverteilung) herzustellen.

[0003] Gerade bei einem Einsatz in Bereichen hoher Energiedichte des Laserstrahls ist das Material des DOE sehr starken Belastungen ausgesetzt. Bei Einsatz von DOE aus Quarzglas führt das kurzwellige Laserlicht zur sogenannten Kompaktierung, d.h. lokalen Dichteänderungen und lokalen Anisotropien im Material. Auch infolge von Absorption und dem damit verbundenen Wärmeeintrag und den daraus resultierenden Verspannungen des Materials stellt sich schließlich eine weitere nichtdeterministische Doppelbrechungsverteilung ein, die den Polarisationszustand des Laserlichts zerstört, was dann nur noch durch einen Austausch des DOE zu vermeiden ist.

[0004] Eine Zerstörung des Polarisationszustands des Laserlichts kann auch bei Bildung des DOE's aus isotropem Kristallmaterial infolge von Kristallbaufehlern, spannungsinduzierter und/oder intrinsischer Doppelbrechung resultieren.

[0005] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein optisches System, insbesondere in einer Beleuchtungseinrichtung einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, bereitzustellen, welches eine Erzeugung von Lichtleitwert ohne Zerstörung des Polarisationszustandes ermöglicht.

[0006] Ein erfindungsgemäßes optisches System weist wenigstens ein erstes lichtleitwerterhöhendes Element auf, welches eine Mehrzahl von sich in einer gemeinsamen ersten Vorzugsrichtung erstreckenden diffraktiv oder refraktiv strahlableitenden Strukturen aufweist, wobei das lichtleitwerterhöhende Element ein optisch einachsiges Kristallmaterial derart aufweist, dass die optische Kristallachse dieses Kristallmaterials im Wesentlichen parallel oder im Wesentlichen senkrecht zu der ersten Vorzugsrichtung ist.

[0007] Infolge der Verwendung von kristallinem Material wird zunächst erreicht, dass (anders als etwa

bei Einsatz von Quarzglas) aufgrund der zwischen den an vorgegebenen Gitterplätzen befindlichen Ionen wirkenden Kräfte keine Kompaktierungen bzw. Verspannungen entstehen, so dass auch bei hohen Belastungen keine kompaktierungsbedingte Zerstörung des Polarisationszustandes erfolgt. Des Weiteren hat der Einsatz von optisch einachsigem Kristallmaterial zur Folge, dass der von einem solchen Kristallmaterial bereitgestellte permanente Doppelbrechungs-Tensor erheblich (typischerweise um wenigstens einen Faktor von 10^2 bis 10^3) größer ist als der z.B. durch Kristallbaufehler erzeugte Doppelbrechungs-Tensor, so dass der Polarisationszustand durch Anisotropien wie Kristallbaufehler, intrinsische oder spannungsinduzierte Doppelbrechung praktisch nicht mehr gestört wird.

[0008] Insbesondere wird erfindungsgemäß bevorzugt das doppelbrechende Material so verwendet, dass es mit Eigenzuständen bezüglich der Polarisation bestrahlt wird, und die ablenkenden (diffraktiven oder refraktiven) Strukturen parallel oder senkrecht zu den Eigenzuständen angeordnet sind. Dadurch wird erreicht, dass die induzierten Doppelbrechungseffekte hinsichtlich Polarisation keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielen.

[0009] Die Formulierung „im Wesentlichen parallel“ oder „im Wesentlichen senkrecht“ ist im Sinne der vorliegenden Anmeldung so zu verstehen, dass erfindungsgemäß auch noch geringfügige Abweichungen von der exakt parallelen bzw. senkrechten Positionierung (z.B. Abweichungen von weniger als 10 mrad) möglich sind und von der vorliegenden Anmeldung umfasst werden.

[0010] Bevorzugt sind die strahlableitenden Strukturen auf einem Substrat aus optisch einachsigem Kristallmaterial ausgebildet, wobei die optische Kristallachse dieses Kristallmaterials im Wesentlichen parallel zur Substratfläche orientiert ist.

[0011] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform weist das optisch einachsige Kristallmaterial eine Fluorid-Verbindung, eine Nitrid-Verbindung oder eine Oxid-Verbindung auf. Das optisch einachsige Kristallmaterial kann insbesondere aus der Gruppe ausgewählt sein, welche kristallines Quarz (SiO_2), Magnesium-Fluorid (MgF_2), Lanthan-Fluorid (LaF_3) und Saphir (Al_2O_3) enthält.

[0012] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist dem ersten lichtleitwerterhöhenden Element in Lichtausbreitungsrichtung ein zweites lichtleitwerterhöhendes Element nachgeordnet, welches eine Mehrzahl von sich in einer zweiten Vorzugsrichtung erstreckenden diffraktiv oder refraktiv strahlableitenden Strukturen aufweist, wobei die zweite Vorzugsrichtung von der ersten Vorzugsrichtung verschieden ist.

[0013] Die zweite Vorzugsrichtung ist dabei vorzugsweise im Wesentlichen senkrecht zur ersten Vorzugsrichtung.

[0014] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist das zweite lichtleitwerterhöhende Element zumindest im Bereich der strahlableitenden Strukturen aus einem optisch isotropen Material hergestellt.

[0015] Das isotrope Material kann insbesondere aus der Gruppe ausgewählt sein, welche Kalzium-Fluorid (CaF_2), Strontium-Fluorid (SrF_2), Magnesiumoxid (MgO) und YAG enthält. Das isotrope Material kann ferner auch ein amorphes Material, insbesondere Quarzglas, sein.

[0016] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform sind die strahlableitenden Strukturen des zweiten lichtleitwerterhöhenden Elements auf einem Substrat aus optisch einachsigem Kristallmaterial ausgebildet. Dabei ist vorzugsweise die optische Kristallachse dieses Kristallmaterials im Wesentlichen parallel zur Substratfläche orientiert.

[0017] Vorzugsweise ist die optische Kristallachse des Kristallmaterials des zweiten lichtleitwerterhöhenden Elements im Wesentlichen parallel oder im Wesentlichen senkrecht zu der zweiten Vorzugsrichtung.

[0018] Die Mehrzahl von strahlableitenden Strukturen des zweiten lichtleitwerterhöhenden Elements kann sowohl durch eine Anordnung von Zylinderlinsen als auch durch ein diffraktives optisches Element gebildet werden.

[0019] Die Erfindung betrifft auch ein diffraktives optisches Element, eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage, ein Verfahren zur mikrolithographischen Herstellung mikrostrukturierter Bauelemente und ein mikrostrukturiertes Bauelement.

[0020] Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind der Beschreibung sowie den Unteransprüchen zu entnehmen.

[0021] Die Erfindung wird nachstehend anhand von in den beigefügten Abbildungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert.

[0022] Es zeigen:

[0023] [Fig. 1](#) ein lichtleitwerterhöhendes Element gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung;

[0024] [Fig. 2](#) ein lichtleitwerterhöhendes Element gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung;

[0025] [Fig. 3](#) eine erfindungsgemäße Anordnung

aus einem ersten und einem zweiten lichtleitwerterhöhenden Element gemäß einer bevorzugten Ausführungsform;

[0026] [Fig. 4](#) eine weitere Ausführungsform, in welcher ein erstes und ein zweites lichtleitwerterhöhendes Element auf einem gemeinsamen Träger angeordnet sind;

[0027] [Fig. 5](#) ein erfindungsgemäßes optisches System mit einem zwischen einem ersten und einem zweiten lichtleitwerterhöhenden Element angeordneten Integratorstab;

[0028] [Fig. 6](#) eine weitere Ausführungsform mit mehreren aufeinanderfolgend angeordneten lichtleitwerterhöhenden Elementen und Integratorstäben;

[0029] [Fig. 7a–c](#) schematische Darstellungen zur Erläuterung bevorzugter Ausführungsformen eines erfindungsgemäßen optischen Systems mit Einsatz von DOE's;

[0030] [Fig. 8a–e](#) schematische Darstellungen zur Erläuterung möglicher Ausgestaltungen von erfindungsgemäß eingesetzten DOE's; und

[0031] [Fig. 9](#) den Aufbau einer Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage, in welchem ein erfindungsgemäßes optisches System eingesetzt ist.

[0032] [Fig. 1](#) zeigt ein lichtleitwerterhöhendes Element **100** gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0033] Das Element **100** gemäß [Fig. 1](#) ist gebildet aus einer Trägerplatte **110** aus optisch einachsigem, doppelbrechendem Kristallmaterial, gemäß dem Ausführungsbeispiel Magnesium-Fluorid (MgF_2).

[0034] Auf der Lichtaustrittsfläche der Trägerplatte **110** befindet sich eine Mehrzahl von strahlableitenden Strukturen **120**, welche gemäß dem Ausführungsbeispiel durch eine Anordnung von Zylinderlinsen **121** gebildet ist, und zwar derart, dass die (in [Fig. 1](#) mit „D“ bezeichnete) Richtung der Längsachsen dieser Zylinderlinsen **121** zueinander parallel sowie auch parallel zu der mit „oa“ bezeichneten optischen Kristallachse des optisch einachsigen Kristallmaterials der Trägerplatte **110** ist.

[0035] Die Zylinderlinsen **121** des Elements **100** sind ebenfalls auf einem optisch einachsigem Kristallmaterial hergestellt, und zwar gemäß dem Ausführungsbeispiel ebenfalls aus Magnesium-Fluorid (MgF_2). Anstelle des verwendeten MgF_2 kann als Material für die Trägerplatte **110** bzw. die Zylinderlinsen **121** auch ein anderes geeignetes optisch einachsiges Kristallmaterial verwendet werden, beispielsweise kristallines Quarz (SiO_2), Lanthan-Fluorid (LaF_3)

und Saphir (Al_2O_3). Bei Verwendung von kristallinem Quarz muss die optische Aktivität beachtet werden. Ist die Kristallachse in Platten- bzw. Substratebene orientiert und wird senkrecht zur Platten- bzw. Substratebene kollimiert beleuchtet, gibt es keine Wirkung. In allen anderen Fällen kann auch durch Kombination von links- und rechtsdrehendem Quarz eine schädliche Wirkung verhindert werden.

[0036] Die Trägerplatte **110** und die Zylinderlinsen **121** können aus dem gleichen Kristallmaterial oder auch aus unterschiedlichen Kristallmaterialien bestehen. Des Weiteren können die Zylinderlinsen **121** anstelle der in [Fig. 1](#) gezeigten plankonvexen Form auch eine plankonkave Form aufweisen, sowie ferner auch alternativ an der Lichteintrittsfläche der Trägerplatte **110** angeordnet sein.

[0037] Das Element **100** gemäß [Fig. 1](#) dient zum Einsatz in einem optischen System, insbesondere in einer Beleuchtungseinrichtung einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage (in [Fig. 1](#) nicht dargestellt), wobei eine Lichtausbreitungsrichtung des auf das Element **100** treffenden Lichtes in [Fig. 1](#) anhand des Pfeils **130** angedeutet ist. Bezeichnet ist ferner mittels des Pfeils **131** die Polarisationsvorzugsrichtung dieses Lichtes, d.h. im Falle von linear polarisiertem Licht die Schwingungsrichtung des elektrischen Feldvektors E . Im Ausführungsbeispiel verläuft diese Polarisationsvorzugsrichtung parallel zur optischen Kristallachse „oa“. Gemäß einer gleichermaßen bevorzugten Ausführungsform kann, wie durch den gestrichelten Pfeil **132** angedeutet ist, die Polarisationsrichtung auch senkrecht zur optischen Kristallachse „oa“ orientiert sein.

[0038] Das in [Fig. 2](#) dargestellte lichtleitwerterhöhende optische Element **200** entspricht dem in [Fig. 1](#) dargestellten Element **100**, wobei entsprechende Elemente mit um 100 erhöhten Bezugswerten bezeichnet wurden. Das Element **200** unterscheidet sich vom Element **100** lediglich dadurch, dass die optische Kristallachse „oa“ des Materials der Trägerplatte **210** senkrecht zu der mit „D“ bezeichneten Richtung der Längsachsen der Zylinderlinsen **221** verläuft.

[0039] Gemäß [Fig. 3](#) umfasst ein optisches System **300** gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung zusätzlich zu einem ersten lichtleitwerterhöhenden Element **300a** (dessen Aufbau im Ausführungsbeispiel demjenigen von [Fig. 1](#) entspricht) ein zweites lichtleitwerterhöhendes Element **300b**. Das erste Element **300a** weist der Lichtaustrittsfläche einer Trägerplatte **310** eine Mehrzahl von Zylinderlinsen **321** auf, deren (in [Fig. 3](#) mit „D1“ bezeichnete) Längsachse wie in [Fig. 1](#) parallel zur optischen Kristallachse „oa-1“ des Kristallmaterials der Trägerplatte **310** ist. Das zweite lichtleitwerterhöhende Element **300b** umfasst wie das erste

lichtleitwerterhöhende Element **300a** eine Trägerplatte **330** aus optisch einachsigen kristallinem Material (zum Beispiel MgF_2), dessen optische Kristallachse oa-2 parallel zu der optischen Kristallachse „oa-1“ des Kristallmaterials der ersten Trägerplatte **310** ist. An der Lichtaustrittsfläche der Trägerplatte **330** des zweiten Elements **300b** befindet sich eine Anordnung **340** aus Zylinderlinsen **341**, wobei die (in [Fig. 3](#) mit „D2“ bezeichnete) Orientierung der Längsachsen dieser Zylinderlinsen **341** senkrecht zu der Orientierung „D1“ der Zylinderlinsen **321** steht. Das optische System **300** umfasst somit insbesondere zueinander gekreuzte Anordnungen **320** und **340** von Zylinderlinsen **321** bzw. **341**, durch welche, wie in [Fig. 3](#) ebenfalls angedeutet, eine Lichtleitwerterhöhung in zwei zueinander senkrechten Raumrichtungen (gemäß dem in der Figur angegebenen Koordinatensystem in x-Richtung sowie in y-Richtung) erfolgt.

[0040] Im Gegensatz zu den Zylinderlinsen **321** der Anordnung **320** bestehen jedoch die Zylinderlinsen **341** der Anordnung **340** nicht aus optisch einachsigen Kristallmaterial, sondern sind aus optisch isotropem Material, insbesondere kubisch kristallinem Material. Gemäß dem Ausführungsbeispiel ist dieses optisch isotrope Material Kalzium-Fluorid (CaF_2), es kann jedoch auch ein anderes bei Arbeitswellenlänge transparentes Material verwendet werden, beispielsweise Strontium-Fluorid (SrF_2), Magnesiumoxid (MgO) oder YAG. Des Weiteren kann in einer alternativen Ausführungsform als optisch isotropes Material auch ein amorphes Material, insbesondere Quarzglas verwendet werden.

[0041] Selbstverständlich können die Anordnungen **320** bzw. **340** der Zylinderlinsen **321** bzw. **341** alternativ auch an der Lichteintrittsfläche der jeweiligen Trägerplatte **310** bzw. **330** vorgesehen sein.

[0042] In einem weiteren, in [Fig. 4](#) dargestellten Ausführungsbeispiel können gekreuzte Zylinderlinsenanordnungen **420** und **430** mit Zylinderlinsen **421** bzw. **431** auch auf einer gemeinsamen Trägerplatte **410** ausgebildet sein. Das Material der Trägerplatte **410** ist wiederum ein optisch einachsigen Kristallmaterial (zum Beispiel MgF_2), wobei die optische Kristallachse „oa“ in dem Ausführungsbeispiel parallel zur Orientierung „D1“ der Längsachsen der Zylinderlinsen **421** und senkrecht zur Orientierung „D2“ der Längsachsen der Zylinderlinsen **431** ist. Analog zu [Fig. 3](#) sind die Zylinderlinsen **421** der ersten Anordnung **420** aus optisch einachsigen Kristallmaterial hergestellt, wohingegen die die zweite Anordnung bildenden Zylinderlinsen **431** aus optisch isotropem Material hergestellt sind.

[0043] Gemäß [Fig. 5](#) ist in einer weiteren Ausführungsform eines erfindungsgemäßen optischen Systems **500** ein erstes lichtleitwerterhöhendes Element **500a** an der Lichteintrittsfläche eines Integratorsta-

bes **520** angeordnet, und ein zweites lichtleitwerterhöhendes Element **500b** ist an der Lichtaustrittsfläche des Integratorstabes **520** angeordnet. Der Aufbau des ersten bzw. zweiten lichtleitwerterhöhenden Elements **500a** bzw. **500b** entspricht demjenigen des ersten bzw. zweiten lichtleitwerterhöhenden Elements **300a** bzw. **300b** von [Fig. 3](#), so dass auf eine detaillierte Beschreibung hier verzichtet wird.

[0044] Der Integratorstab **520** ist wiederum aus einem optisch einachsigen Kristallmaterial, zum Beispiel MgF_2 hergestellt.

[0045] In der Anordnung gemäß [Fig. 5](#) bewirkt das erste lichtleitwerterhöhende Element **500a** eine Erhöhung des Lichtleitwerts in einer ersten Raumrichtung, und zwar gemäß dem angegebenen Koordinatensystem in positiver und negativer y-Richtung. Durch den Integratorstab **520** erfolgt eine Lichtmischung ebenfalls in y-Richtung, so dass nur zwei der Seitenflächen des Integratorstabes **520** (in [Fig. 5](#) die obere und die untere Fläche) optisch planparallel bearbeitet sein müssen. Das zweite lichtleitwerterhöhende Element **500b** bewirkt eine Lichtleitwerterhöhung sowie Durchmischung des aus dem Integratorstab **520** austretenden Lichtes in einer zweiten, zur ersten senkrechten Raumrichtung (gemäß [Fig. 5](#) in positiver und negativer x-Richtung).

[0046] Gemäß weiteren, nicht dargestellten Ausführungsbeispielen können dem in [Fig. 5](#) gezeigten lichtleitwerterhöhenden Element **500b** weitere lichtleitwerterhöhende Elemente nachgeordnet sein, die eine weitere Durchmischung des aus dem zweiten Element **500b** austretenden Lichtes bewirken.

[0047] Gemäß [Fig. 6](#) ist in einer weiteren Ausführungsform eines erfindungsgemäßen optischen Systems **600** ein erstes lichtleitwerterhöhendes Element **610** an der Lichteintrittsfläche eines ersten Integratorstabes **620** angeordnet, und ein zweites lichtleitwerterhöhendes Element **630** ist an der Lichtaustrittsfläche des Integratorstabes **620** angeordnet. Durch das erste lichtleitwerterhöhende Element **610** erfolgt eine Aufweitung senkrecht zur Zeichenebene (gemäß dem in der Figur angegebenen Koordinatensystem in positive und negative x-Richtung), und durch das zweite lichtleitwerterhöhende Element **630** erfolgt eine Aperturerzeugung in der Zeichenebene (d.h. in positive und negative y-Richtung). In Lichtausbreitungsrichtung (z-Richtung) nach dem zweiten lichtleitwerterhöhenden Element **630** sind aufeinanderfolgend ein drittes lichtleitwerterhöhendes Element **640**, ein zweiter Integratorstab **650**, ein viertes lichtleitwerterhöhendes Element **670** und ein dritter Integratorstab **660** angeordnet. In Verallgemeinerung der Anordnung von [Fig. 6](#) umfasst die dem zweiten lichtleitwerterhöhenden Element **620** nachgeordnete Lichtmischeinrichtung eine Mehrzahl von in Lichtausbreitungsrichtung aufeinanderfolgend an-

geordneten Integratorstäben **650**, **660** ... zwischen den jeweils ein weiteres lichtleitwerterhöhendes Element **670**, ... angeordnet ist. In der Anordnung von [Fig. 6](#) ist der Integratorstab **620** wiederum vorzugsweise aus einem optisch einachsigen Kristallmaterial, z. B. MgF_2 , hergestellt, wobei die optische Kristallachse „oa“ analog zur Ausführungsform von [Fig. 5](#) wiederum parallel zur Vorzugsrichtung der strahlableitenden Strukturen des ersten lichtleitwerterhöhenden Elements **610** und senkrecht zur Vorzugsrichtung der strahlableitenden Strukturen des zweiten lichtwerterhöhenden Elements **630** (oder umgekehrt) ist. Die lichtleitwerterhöhenden Elemente **610**, **630**, **640** und **670** gemäß [Fig. 6](#) sind jedoch anders als in den zuvor beschriebenen Ausführungsformen als diffraktive optische Elemente (DOE's) ausgebildet, so dass die jeweilige Vorzugsrichtung der strahlableitenden Strukturen jeweils der Erstreckungsrichtung der auf diesen DOE's vorhandenen linearen Strukturen entspricht.

[0048] Die Integratorstäbe **650** und **660** sind im Gegensatz zum Integratorstab **620** aus optisch isotropem Material, im Ausführungsbeispiel aus MgAl_2O_4 ausgebildet. Alternativ kann auch ein anderes kubisch kristallines Material oder auch ein amorphes Material (z.B. Quarzglas) als optisch isotropes Material verwendet werden.

[0049] Das in [Fig. 6](#) gezeigte optische System **600** ist vorzugsweise vor dem Eingang eines in einer Beleuchtungseinrichtung einer mikrolithographischen Projektionsanlage vorhandenen REMA-Objektivs angeordnet.

[0050] In den zuvor beschriebenen Ausführungsformen können dort, wo als lichtleitwerterhöhende Elemente Zylinderlinsenanordnungen vorgesehen sind, alternativ auch DOE's angeordnet werden, und umgekehrt.

[0051] Gemäß [Fig. 7a](#) kann etwa analog zu dem in [Fig. 3](#) gezeigten Ausführungsbeispiel eine entsprechende Anordnung **710** aus einem auf einem ersten Träger **711** angeordneten ersten DOE **712** und einem in Lichtausbreitungsrichtung nachgeordneten, auf einem zweiten Träger **713** angeordneten zweiten DOE **714** vorgesehen sein, wobei durch die DOE's **712** und **714** jeweils Lichtleitwerterhöhungen in zueinander senkrechten Raumrichtungen erfolgen.

[0052] Das DOE kann in bekannter Weise durch Ausbildung lichtundurchlässiger Strukturen auf einem Träger oder in Form lichtdurchlässiger Strukturen in bestimmten Bereichen mit variierender Brechzahl und/oder variierender geometrischer Dicke ausgebildet werden. Diese Strukturen eines DOE's können beispielsweise durch entsprechende Materialabtragung in einer Trägerplatte aus optisch einachsigen Kristallmaterial ausgebildet werden. In einem

weiteren Ausführungsbeispiel kann auch auf eine Trägerplatte aus optisch einachsigem Kristallmaterial eine amorphe Schicht aus Quarzglas aufgedampft werden, in welche dann anschließend die Strukturierung durch Ätzen eingebracht wird. Letztere Ausführung hat den Vorteil, dass bei Strukturierung der amorphen Schicht eine gleichmäßigere Ausbildung der in den Strukturen vorhandenen Kanten als bei direkter Strukturierung der kristallinen Trägerplatte möglich ist.

[0053] In der Anordnung **710** von **Fig. 7a** ist der Träger **711** (und damit bei einstückiger Ausbildung mit dem DOE auch die Strukturen des DOE's **712**) aus optisch einachsigem Kristallmaterial, z. B. MgF_2 , hergestellt. Im Falle einer einstückigen Ausbildung des zweiten lichtleitwerterhöhenden Elements (durch Ausbildung des DOE's **714** mittels Materialabtragung im Träger **713**) ist der Träger **713** vorzugsweise analog zur Ausführungsform von **Fig. 3** aus einem optisch isotropen Material, d. h. entweder einem kubisch kristallinen Material oder einem amorphen Material (z. B. Quarzglas) hergestellt. In einer bevorzugten Ausführungsform ist jedoch der zweite Träger **713** ebenso wie der erste Träger aus optisch einachsigem Kristallmaterial hergestellt, und das DOE **714** ist durch Aufdampfen und anschließendes Ätzen einer amorphen Schicht, insbesondere aus Quarzglas, hergestellt.

[0054] Die DOE's **712**, **714** können selbstverständlich auch auf der jeweiligen Lichteintrittsfläche des Trägers **711** bzw. **713** angeordnet sein.

[0055] Gemäß **Fig. 7b** können ferner auch DOE's **722** und **723** auf einem gemeinsamen Träger **721** angeordnet sein. In dieser Anordnung **720** ist der Träger **721** aus einem optisch einachsigen Kristallmaterial, z. B. MgF_2 , hergestellt, und das an der Lichteintrittsfläche des Trägers **721** angeordnete DOE **723** wird wie zuvor beschrieben durch Aufdampfen und Ätzen einer amorphen Schicht aus z.B. Quarzglas ausgebildet. Das an der Lichteintrittsfläche des Trägers **721** angeordnete DOE **722** kann wahlweise aus optisch einachsigem Kristallmaterial (insbesondere also einstückig mit dem Träger **721** durch entsprechende Materialabtragung) oder ebenfalls mittels Aufdampfen und Ätzen einer amorphen Schicht aus z. B. Quarzglas ausgebildet sein.

[0056] Ferner ist es auch möglich, wie in **Fig. 7c** angedeutet, auf einem Träger **731** (wiederum aus optisch einachsigem Kristallmaterial) eine komplexere DOE-Struktur **732** mit Ablenkung in beliebige Raumrichtungen auszubilden, welche wiederum durch Aufdampfen und Ätzen einer amorphen Schicht aus z.B. Quarzglas hergestellt wird.

[0057] In weiteren bevorzugten Ausführungsformen können die erfindungsgemäß eingesetzten diffrakti-

ven optischen Elemente (DOE's), welche wie oben erläutert ein optisch einachsiges Kristallmaterial aufweisen, auch mit einer Blaze-Wirkung ausgestattet sein, um gezielt Strahlungsintensität in eine gewünschte Beugungsordnung, insbesondere etwa die erste Beugungsordnung, zu lenken. Hierzu kann in für sich bekannter Weise das jeweilige DOE mit einem typischerweise Sägezahn- oder Stufenprofil mit entsprechenden periodischen Strukturen **801**, **802**, **802**, ... ausgebildet werden, wie anhand von **Fig. 8a** in einer beispielhaften schematischen Anordnung **800** gezeigt.

[0058] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist ein erfindungsgemäßes DOE, welches wie oben erläutert ein optisch einachsiges Kristallmaterial aufweist, derart polarisationsselektiv ausgebildet, dass die Blazewirkung für einen von zwei zueinander senkrechten Polarisationszuständen (insbesondere s-Polarisation und p-Polarisation) stärker als für den anderen dieser Polarisationszustände ist. Beispielsweise kann das DOE derart ausgebildet sein, dass die s-polarisierte Komponente von auf das DOE auftreffendem Licht überwiegend in ± 1 -te Beugungsordnung und die p-polarisierte Komponente von auf das DOE auftreffendem Licht überwiegend in nullte Beugungsordnung gelenkt wird.

[0059] Gemäß **Fig. 8b** weist ein diffraktives optisches Element ein erstes Blazegitter **810** und ein zweites Blazegitter **820** auf, wobei das zweite Blazegitter **820** der Lichteintrittsfläche des ersten Blazegitters **810** überlagert ist. Das zweite Blazegitter **820** weist hierbei eine Anordnung aus Substrukturen **820a–820e** auf, die als kamm- oder rippenförmig beschrieben werden kann, wobei die einzelnen Substrukturen **820a–820e** (die lediglich schematisch dargestellt sind und typischerweise in wesentlich größerer Anzahl vorliegen) kleiner als die Arbeitswellenlänge (von beispielsweise $\lambda = 193 \text{ nm}$) sind, für die das DOE ausgelegt ist.

[0060] Gemäß dem Ausführungsbeispiel von **Fig. 8b** nimmt in dem die Subwellenlängenstrukturierung aus Substrukturen **820a–820e** aufweisenden Blazegitter **820** das Füllverhältnis entlang der Erstreckungsrichtung „D“ dieses Blazegitters **820** von links nach rechts ab. Dabei ist unter dem „Füllverhältnis“ das Verhältnis der Abmessung der Substrukturen **820a–820e** in Erstreckungsrichtung „D“ relativ zur Periode „g“ des die Subwellenlängenstrukturierung aufweisenden Blazegitters **820** zu verstehen, so dass die Breite der Substrukturen **820a–820e** innerhalb jeder Periode des ersten Beugungsgitters **810** in Erstreckungsrichtung „D“ von links nach rechts abnimmt, um bei entsprechender Optimierung zu erreichen, dass die s-polarisierte Komponente von auf das DOE auftreffendem Licht überwiegend in die erste Beugungsordnung und die p-polarisierte Komponente von auf das DOE auftreffendem Licht überwie-

gend in nullte Beugungsordnung gelenkt wird.

[0061] Die Ausbildung eines DOE's mit Blazewirkung bei zugleich polarisationsselektiver Wirkung in Sinne der Optimierung der Blazewirkung nur für einen von zwei zueinander senkrechten Polarisationszuständen ist nicht auf die in **Fig. 8b** schematisch dargestellte Anordnung **850** beschränkt. So können die Substrukturen **820a–820e** auch in für sich bekannter Weise über die Periode des zweiten Blazegitters **820** gleichbleibend (d.h. mit konstanter Breite und Länge) ausgebildet sein, um bei entsprechender Optimierung eine Ablenkung etwa der s-polarisierten Komponente in die (± 1)-te Beugungsordnung zu erzielen. Ferner können die Substrukturen **820a–820e** auch in Abwandlung der in **Fig. 8b** gezeigten Anordnung mit konstanter Breite und variabler Länge (d.h. variabler Ausdehnung senkrecht zur Erstreckungsrichtung „D“ des Blazegitters **820**) ausgebildet sein, z. B. mit innerhalb jeder Periode des ersten Beugungsgitters **810** in Erstreckungsrichtung „D“ von links nach rechts abnehmender Länge.

[0062] In **Fig. 8c–e** ist der Aufbau weiterer möglicher Ausführungsformen von DOE'S gemäß der vorliegenden Erfindung schematisch dargestellt.

[0063] Gemäß **Fig. 8c** sind beispielsweise, wie anhand eines Teilbereichs **860** eines DOE's dargestellt, in einem kristallinen Substratmaterial aus z.B. Quarz oder Saphir (Al_2O_3) typische DOE-Strukturen **861**, **862** und **863** durch entsprechende Materialabtragung ausgebildet. **Fig. 8d** zeigt anhand eines Teilbereichs **870** eines weiteren DOE's auf einem Substrat **871** aus z.B. kristallinem Quarz oder Saphir (Al_2O_3) aufgebraute DOE-Strukturen **872**, **873** und **874**, die jeweils eine Vielfachschicht aus Schichten, die jeweils aus einer Oxid- oder Fluoridverbindung (z.B. MgF_2 oder Al_2O_3) bestehen, aufweisen. **Fig. 8e** zeigt anhand eines Teilbereichs **880** eines weiteren DOE's auf einem Substrat **881** aus z.B. kristallinem Quarz oder Saphir (Al_2O_3) aufgebraute einstückige DOE-Strukturen **882**, **883** und **884**, die jeweils aus einer Oxid- oder Fluoridverbindung, z.B. Kalzium-Fluorid (CaF_2) bestehen.

[0064] Die optische Kristallachse des jeweils verwendeten optisch einachsigen Kristallmaterials, insbesondere in dem Substrat (beispielsweise also dem kristallinen Quarz), ist jeweils parallel zur Substratfläche. Vorzugsweise ist die optische Kristallachse des jeweils in dem Substrat verwendeten optisch einachsigen Kristallmaterials außerdem parallel oder senkrecht zu der Vorzugsrichtung der strahlableitenden Strukturen, sowie ferner parallel oder senkrecht zur Polarisationsvorzugsrichtung von auf das lichtleitwerterhöhende Element auftreffendem Licht. Ferner weist das Substrat bevorzugt jeweils eine Dicke auf, die ein ganzzahliges Vielfaches der verwendeten Arbeitswellenlänge (z.B. 193 nm oder 157 nm) beträgt.

[0065] **Fig. 9** zeigt in schematischer Darstellung eine Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage **133** mit einer Lichtquelleneinheit **135**, eine Beleuchtungseinrichtung **139**, einer Struktur tragenden 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.

[0066] Das parallele Lichtbündel trifft gemäß dem Ausführungsbeispiel zunächst auf ein lichtleitwerterhöhendes Element **137**, dass über eine durch die jeweilige diffraktiv oder refraktiv strahlableitende Struktur in einer Pupillenebene **145** eine gewünschte Intensitätsverteilung, z.B. Dipol- oder Quadrupolverteilung, erzeugt und das wie in den zuvor dargestellten Ausführungsformen beschrieben ausgestaltet sein kann. In Lichtausbreitungsrichtung nach dem lichtleitwerterhöhenden Element **137** befindet sich ein Zoom-Objektiv **140**, 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 lichtleitwerterhöhenden Element **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. 9** durch die Elemente **146** und **147** repräsentiert) aufweist. Bei dem Lichtmischsystem **148** 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 Struktur tragende Maske (Retikel) **153** abgebildet wird und dadurch den ausgeleuchteten Bereich auf dem Retikel **153** begrenzt. Die Struktur tragende Maske **153** wird mit einem Projektionsobjektiv **155** auf ein lichtempfindliches Substrat **159** abgebildet. Zwischen einem letzten optischen Element **157** des Projektionsobjektivs **155** und dem lichtempfindlichen Substrat **159** befindet sich in dem dargestellten Ausführungsbeispiel eine Immersionsflüssigkeit **161** mit einem von Luft verschiedenen Brechungsindex.

[0067] Wenn die Erfindung auch anhand spezieller Ausführungsformen beschrieben wurde, erschließen sich für den Fachmann zahlreiche Variationen und alternative Ausführungsformen, z.B. durch Kombinati-

on 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. Optisches System, insbesondere in einer Beleuchtungseinrichtung einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, mit

- wenigstens einem ersten lichtleitwerterhöhenden Element (**100**, **200**, **300a**, **400**, **500a**), welches eine Mehrzahl von sich in einer gemeinsamen ersten Vorzugsrichtung (D1) erstreckenden diffraktiv oder refraktiv strahlableitenden Strukturen aufweist;
- wobei das lichtleitwerterhöhende Element ein optisch einachsiges Kristallmaterial derart aufweist, dass die optische Kristallachse dieses Kristallmaterials im Wesentlichen parallel oder im Wesentlichen senkrecht zu der ersten Vorzugsrichtung (D1) ist.

2. Optisches System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das lichtleitwerterhöhende Element derart angeordnet ist, dass die optische Kristallachse im Wesentlichen parallel oder im Wesentlichen senkrecht zur Polarisationsvorzugsrichtung von auf das lichtleitwerterhöhende Element auftreffendem Licht ist.

3. Optisches System nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die strahlableitenden Strukturen auf einem Substrat aus optisch einachsigem Kristallmaterial ausgebildet sind, wobei die optische Kristallachse dieses Kristallmaterials im Wesentlichen parallel zur Substratfläche orientiert ist.

4. Optisches System nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Mehrzahl von strahlableitenden Strukturen des ersten lichtleitwerterhöhenden Elements durch eine Anordnung von Zylinderlinsen (**121**, **221**, **321**, **421**, **511**) gebildet wird.

5. Optisches System nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Mehrzahl von strahlableitenden Strukturen des ersten lichtleitwerterhöhenden Elements durch ein diffraktives optisches Element (DOE) gebildet wird.

6. Optisches System nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das diffraktive optische Element (DOE) wenigstens ein Blazegitter aufweist.

7. Optisches System nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass das diffraktive optische Element (DOE) derart ausgebildet ist, dass die Blazewirkung für einen von zwei zueinander senkrechten Po-

larisationszuständen stärker als für den anderen dieser Polarisationszustände ist.

8. Optisches System nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass diese zwei zueinander senkrechten Polarisationszustände s-Polarisation und p-Polarisation sind.

9. Optisches System nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die s-polarisierte Komponente von auf das diffraktive optische Element (DOE) auftreffendem Licht überwiegend in ± 1 -te Beugungsordnung und die p-polarisierte Komponente von auf das diffraktive optische Element (DOE) auftreffendem Licht überwiegend in nullte Beugungsordnung gelenkt wird.

10. Optisches System nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass das diffraktive optische Element (DOE) ein erstes Blazegitter (**810**) und wenigstens ein zweites Blazegitter (**820**) aufweist, wobei Gitterstrukturen von wenigstens einem dieser Blazegitter kleiner als eine Arbeitswellenlänge sind, für welche das diffraktive optische Element (DOE) ausgelegt ist.

11. Optisches System nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Gitterstrukturen des zweiten Blazegitters (**820**) auf dem ersten Blazegitter (**810**) ausgebildet sind.

12. Optisches System nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite Blazegitter (**820**) einer Lichtaustrittsfläche des ersten Blazegitters (**810**) überlagert ist.

13. Optisches System nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eines dieser Blazegitter (**820**) eine im Wesentlichen rippenförmige Struktur aufweist.

14. Optisches System nach einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Blazegitter (**810**) eine im Wesentlichen stufenförmige oder eine im Wesentlichen sägezahnförmige Geometrie aufweist.

15. Optisches System nach einem der Ansprüche 10 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite Blazegitter (**820**) aus entlang einer Erstreckungsrichtung (D) nebeneinander angeordneten Substrukturen (**820a–820e**) ausgebildet sind, welche kleiner als eine Arbeitswellenlänge sind, für welche das diffraktive optische Element (DOE) ausgelegt ist.

16. Optisches System nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass diese Substrukturen (**820a–820e**) jeweils auf den im Wesentlichen stufenförmigen oder im Wesentlichen sägezahnförmigen Abschnitten des ersten Blazegitters (**810**) ausgebil-

det sind.

17. Optisches System nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Anordnung dieser Substrukturen (**820a–820e**) in Erstreckungsrichtung (D) variiert.

18. Optisches System nach einem der Ansprüche 15 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Anordnung dieser Substrukturen (**820a–820e**) senkrecht zur Erstreckungsrichtung (D) variiert.

19. Optisches System nach einem der Ansprüche 15 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass das Füllverhältnis dieser Substrukturen (**820a–820e**) entlang der Erstreckungsrichtung (D) konstant ist.

20. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das optisch einachsige Kristallmaterial ein nicht optisch-aktives Material ist.

21. Optisches System nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass das optisch einachsige Kristallmaterial ein optisch aktives Material ist, welches sowohl in einer linksdrehenden als auch in einer rechtsdrehenden Form vorhanden ist.

22. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das optisch einachsige Kristallmaterial eine Fluorid-Verbindung aufweist.

23. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das optisch einachsige Kristallmaterial eine Nitrid-Verbindung aufweist.

24. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das optisch einachsige Kristallmaterial eine Oxid-Verbindung aufweist.

25. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das optisch einachsige Kristallmaterial aus der Gruppe ausgewählt ist, welche kristallines Quarz (SiO_2), Magnesium-Fluorid (MgF_2), Lanthan-Fluorid (LaF_3) und Saphir (Al_2O_3) enthält.

26. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dem ersten lichtleitwerterhöhenden Element (**300a**, **500a**) in Lichtausbreitungsrichtung ein zweites lichtleitwerterhöhendes Element (**300b**, **500b**) nachgeordnet ist, welches eine Mehrzahl von sich in einer zweiten Vorzugsrichtung (D2) erstreckenden diffraktiv oder refraktiv strahlableitenden Strukturen aufweist, wobei die zweite Vorzugsrichtung (D2) von der ersten Vor-

zugsrichtung (D1) verschieden ist.

27. Optisches System nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Vorzugsrichtung (D2) im Wesentlichen senkrecht zur ersten Vorzugsrichtung (D1) ist.

28. Optisches System nach Anspruch 26 oder 27, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite lichtleitwerterhöhende Element (**300b**, **500b**) zumindest im Bereich der strahlableitenden Strukturen aus einem optisch isotropen Material hergestellt ist.

29. Optisches System nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass das optisch isotrope Material aus der Gruppe ausgewählt ist, welche Kalzium-Fluorid (CaF_2), Strontium-Fluorid (SrF_2), Magnesiumoxid (MgO) und YAG enthält.

30. Optisches System nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass das optisch isotrope Material ein amorphes Material, insbesondere Quarzglas, ist.

31. Optisches System nach einem der Ansprüche 26 bis 30, dadurch gekennzeichnet, dass die strahlableitenden Strukturen des zweiten lichtleitwerterhöhenden Elements (**300b**, **500b**) auf einem Substrat aus optisch einachsigem Kristallmaterial (**530**) ausgebildet sind.

32. Optisches System nach einem der Ansprüche 26 bis 31, dadurch gekennzeichnet, dass die optische Kristallachse des Kristallmaterials des zweiten lichtleitwerterhöhenden Elements im Wesentlichen parallel oder im Wesentlichen senkrecht zu der zweiten Vorzugsrichtung ist.

33. Optisches System nach einem der Ansprüche 26 bis 32, dadurch gekennzeichnet, dass die Mehrzahl von strahlableitenden Strukturen des zweiten lichtleitwerterhöhenden Elements (**300b**, **500b**) durch eine Anordnung von Zylinderlinsen (**341**, **541**) gebildet wird.

34. Optisches System nach einem der Ansprüche 26 bis 32, dadurch gekennzeichnet, dass die Mehrzahl von strahlableitenden Strukturen des zweiten lichtleitwerterhöhenden Elements durch ein diffraktives optisches Element (DOE) gebildet wird.

35. Optisches System nach einem der Ansprüche 26 bis 34, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem ersten lichtleitwerterhöhenden Element (**500a**) und dem zweiten lichtleitwerterhöhenden Element (**500b**) eine erste Lichtmischeinrichtung angeordnet ist.

36. Optisches System nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Lichtmischein-

richtung ein Integratorstab (**520**) ist.

37. Optisches System nach Anspruch 36, dadurch gekennzeichnet, dass das erste lichtleitwerterhöhende Element (**500a**) an einer Lichteintrittsfläche des Integratorstabs (**520**) angeordnet ist.

38. Optisches System nach Anspruch 36 oder 37, dadurch gekennzeichnet, dass auf der dem ersten lichtleitwerterhöhenden Element abgewandten Seite des zweiten lichtleitwerterhöhenden Elements wenigstens eine zweite Lichtmischeinrichtung angeordnet ist.

39. Optisches System nach Anspruch 38, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Lichtmischeinrichtung ein Integratorstab ist.

40. Optisches System nach Anspruch 38, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Lichtmischeinrichtung eine Mehrzahl von in Lichtausbreitungsrichtung aufeinanderfolgend angeordneten Integratorstäben umfasst, zwischen denen jeweils ein lichtleitwerterhöhendes Element angeordnet ist.

41. Optisches System nach einem der Ansprüche 36 bis 40, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein Integratorstab von dem ersten Integratorstab, dem zweiten Integratorstab und den weiteren Integratorstäben aus einem doppelbrechenden Material, insbesondere Quarz (SiO_2), Magnesium-Fluorid (MgF_2), Lanthan-Fluorid (LaF_3) oder Saphir (Al_2O_3) hergestellt ist.

42. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Arbeitswellenlänge, für welche das optische System ausgelegt ist, weniger als 250 nm, bevorzugt weniger als 200 nm, und noch bevorzugter weniger als 160 nm beträgt.

43. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein lichtleitwerterhöhendes ein Substrat aus einem optisch einachsigen Kristallmaterial mit einer Dicke aufweist, die ein ganzzahliges Vielfaches der verwendeten Arbeitswellenlänge beträgt.

44. Diffraktives optisches Element mit wenigstens einem ersten Blazegitter (**810**) und einem zweiten Blazegitter (**820**), wobei das zweite Blazegitter (**820**) einer Lichtaustrittsfläche des ersten Blazegitters (**810**) überlagert ist und eine im Wesentlichen rippenförmige Anordnung aus Substrukturen (**820a–820e**) aufweist, welche kleiner als eine Arbeitswellenlänge sind, für die das diffraktive optische Element (DOE) ausgelegt ist, dadurch gekennzeichnet, dass das diffraktive optische Element ein optisch einachsiges Kristallmaterial aufweist, wobei die optische Kristallachse dieses Kristallmaterials im We-

sentlichen parallel oder im Wesentlichen senkrecht zu Gitterstrukturen des ersten und/oder des zweiten Blazegitters ist.

45. Optisches System nach Anspruch 44, dadurch gekennzeichnet, dass das optisch einachsige Kristallmaterial eine Fluorid-Verbindung aufweist.

46. Optisches System nach Anspruch 44 oder 45, dadurch gekennzeichnet, dass das optisch einachsige Kristallmaterial eine Nitrid-Verbindung aufweist.

47. Optisches System nach einem der Ansprüche 44 bis 46, dadurch gekennzeichnet, dass das optisch einachsige Kristallmaterial eine nicht halbleitende Oxidverbindung aufweist.

48. Optisches System nach einem der Ansprüche 44 bis 47, dadurch gekennzeichnet, dass das optisch einachsige Kristallmaterial bei einer Arbeitswellenlänge, für welche das optische System ausgelegt ist, eine Brechzahl n von wenigstens 1.6 aufweist.

49. Diffraktives optisches Element mit wenigstens einem ersten Blazegitter (**810**) und einem zweiten Blazegitter (**820**), wobei das zweite Blazegitter (**820**) einer Lichtaustrittsfläche des ersten Blazegitters (**810**) überlagert ist und eine im Wesentlichen rippenförmige Anordnung aus Substrukturen (**820a–820e**) aufweist, welche kleiner als eine Arbeitswellenlänge sind, für die das diffraktive optische Element (DOE) ausgelegt ist, dadurch gekennzeichnet, dass das diffraktive optische Element ein optisch einachsiges Kristallmaterial aufweist, welches aus der Gruppe ausgewählt ist, die Magnesium-Fluorid (MgF_2), Lanthan-Fluorid (LaF_3) und Saphir (Al_2O_3) enthält.

50. Diffraktives optisches Element mit wenigstens einem ersten Blazegitter (**810**) und einem zweiten Blazegitter (**820**), wobei das zweite Blazegitter (**820**) einer Lichtaustrittsfläche des ersten Blazegitters (**810**) überlagert ist und eine im Wesentlichen rippenförmige Anordnung aus Substrukturen (**820a–820e**) aufweist, welche kleiner als eine Arbeitswellenlänge sind, für die das diffraktive optische Element (DOE) ausgelegt ist, dadurch gekennzeichnet, dass das diffraktive optische Element ein natürlich doppelbrechendes, nicht optisch aktives Kristallmaterial aufweist.

51. Beleuchtungseinrichtung einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, dadurch gekennzeichnet, dass diese ein optisches System nach einem der Ansprüche 1 bis 43 und/oder ein diffraktives optisches Element nach einem der Ansprüche 44 bis 50 aufweist.

52. Mikrolithographische Projektionsbelichtungs-

anlage (**900**), welche eine Beleuchtungseinrichtung (**802**) nach Anspruch 51 aufweist.

53. 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 Projektionsbelichtungsanlage (**133**) nach Anspruch 52;
- Projizieren wenigstens eines Teils der Maske (**153**) auf einen Bereich der Schicht mit Hilfe der Projektionsbelichtungsanlage (**133**).

54. Mikrostrukturiertes Bauelement, das nach einem Verfahren gemäß Anspruch 53 hergestellt ist.

Es folgen 10 Blatt Zeichnungen

Fig. 1

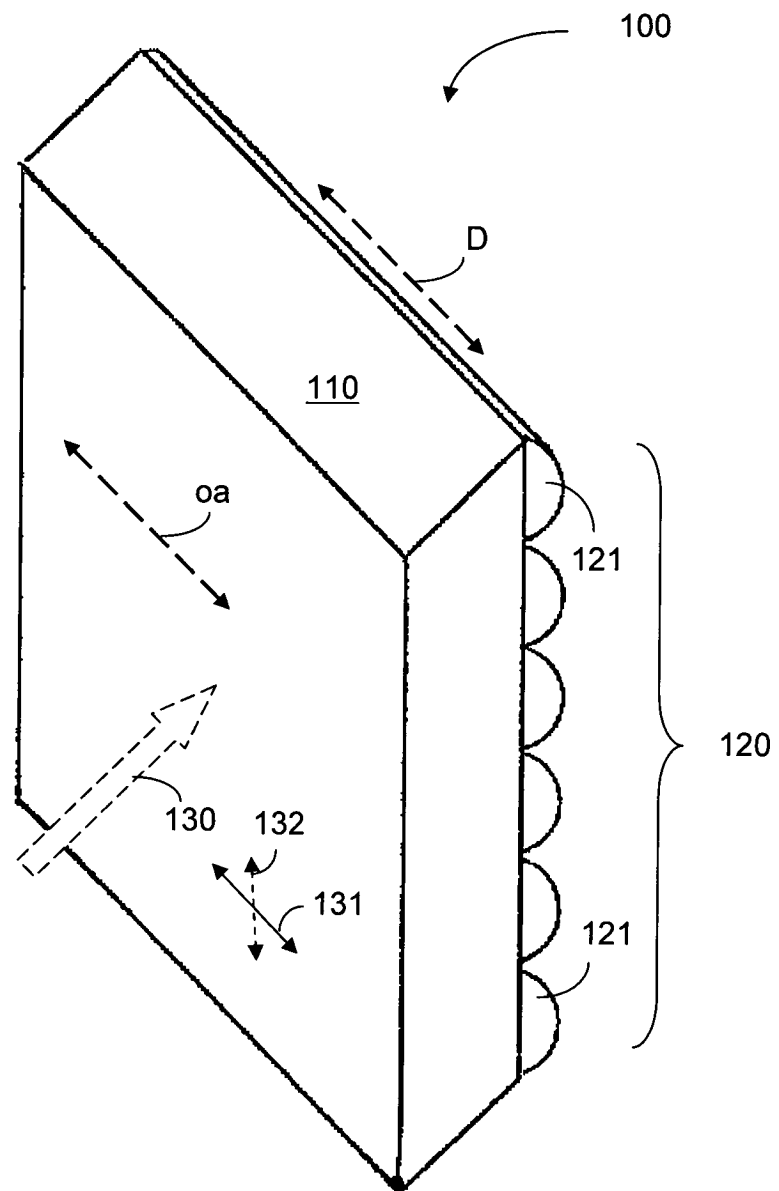


Fig. 2

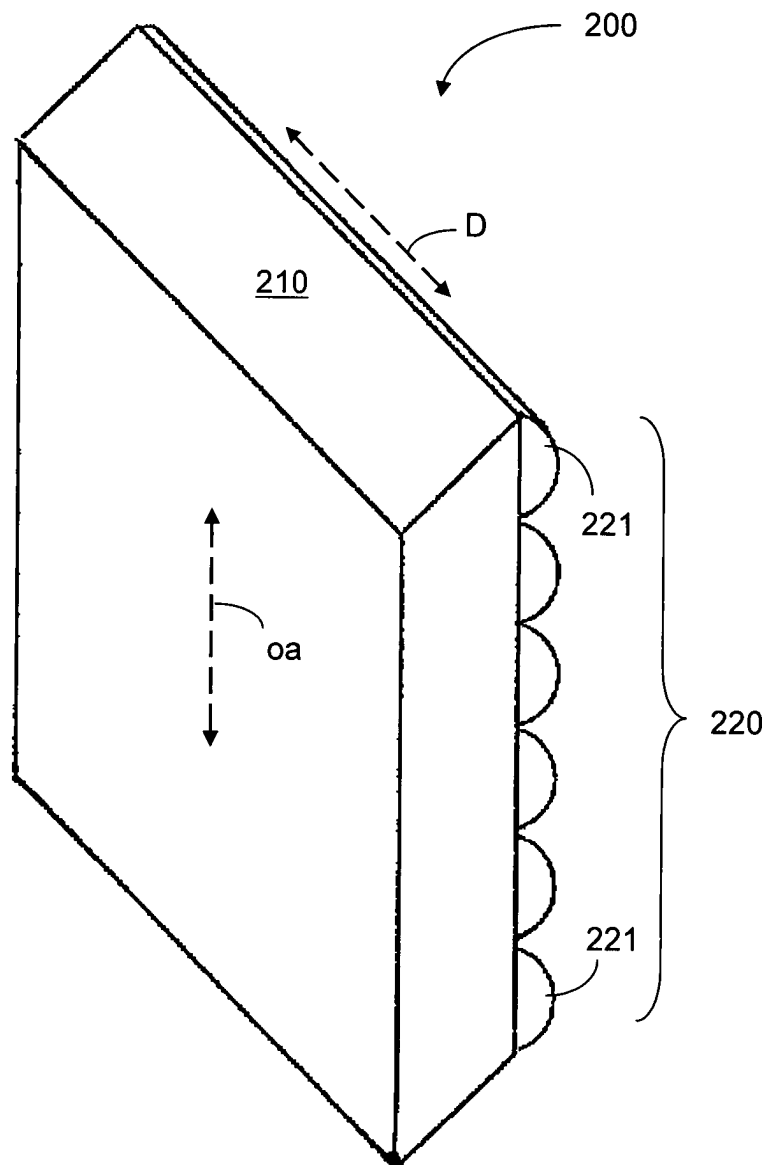


Fig. 4

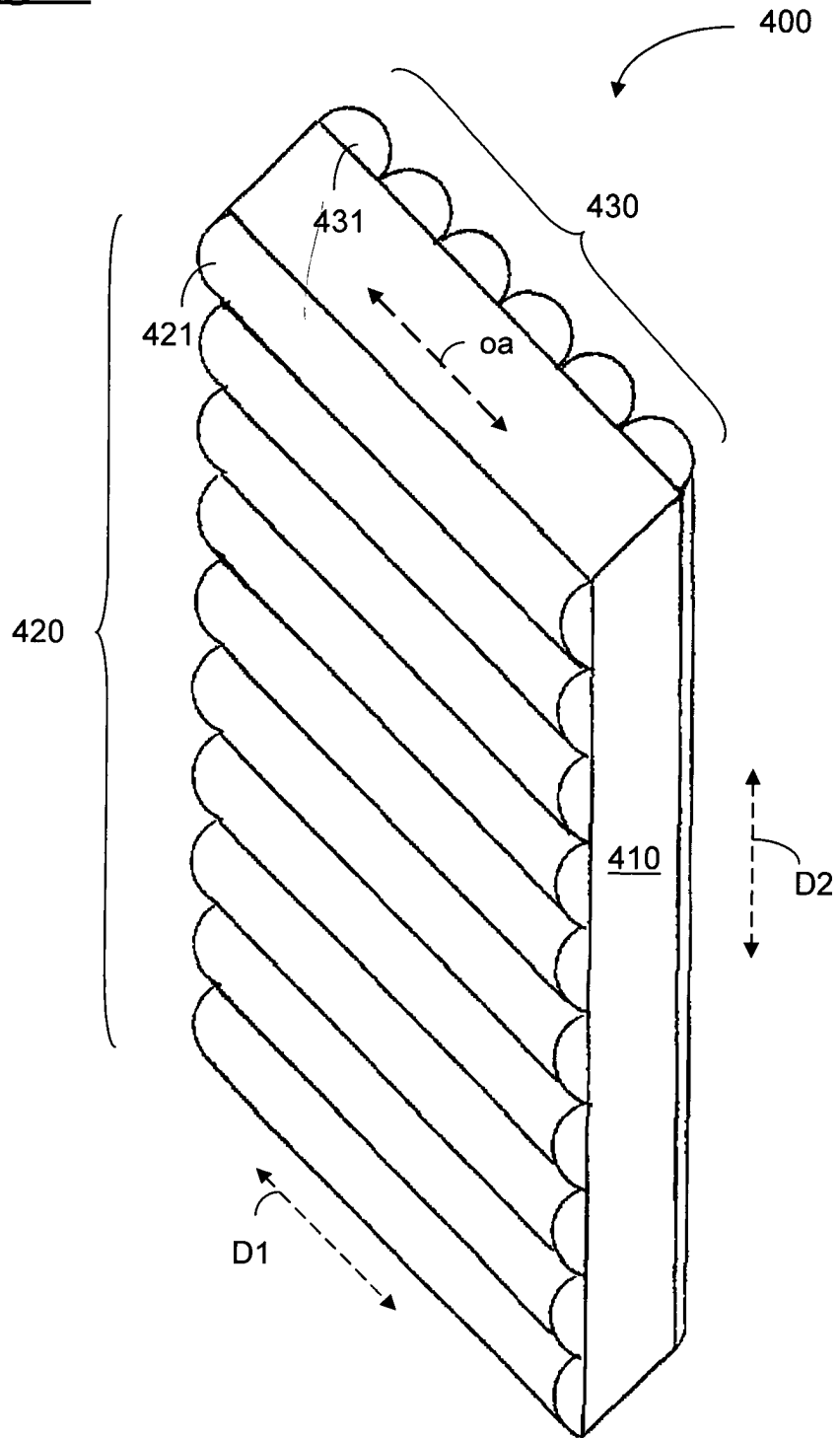


Fig. 5

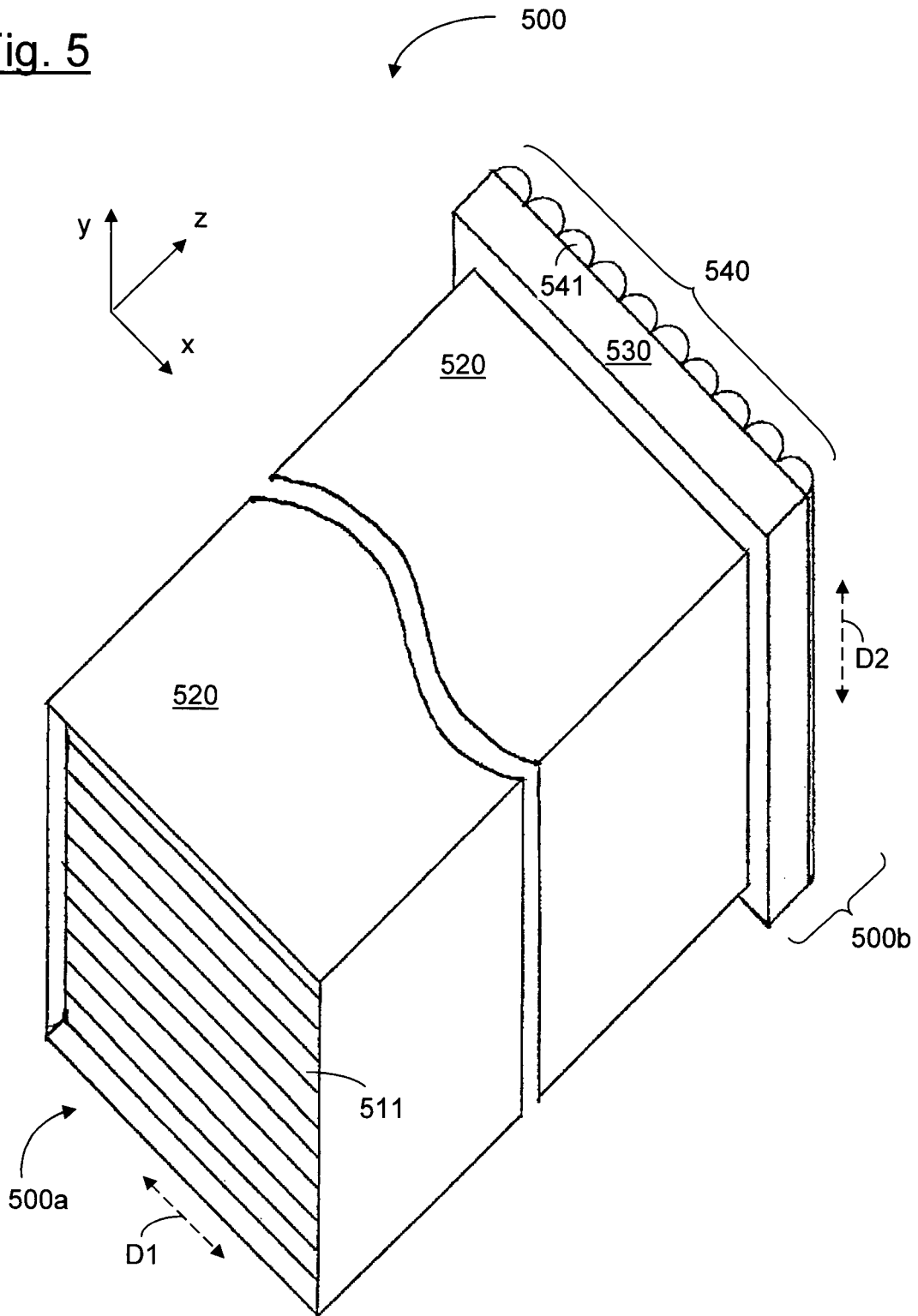


Fig. 6

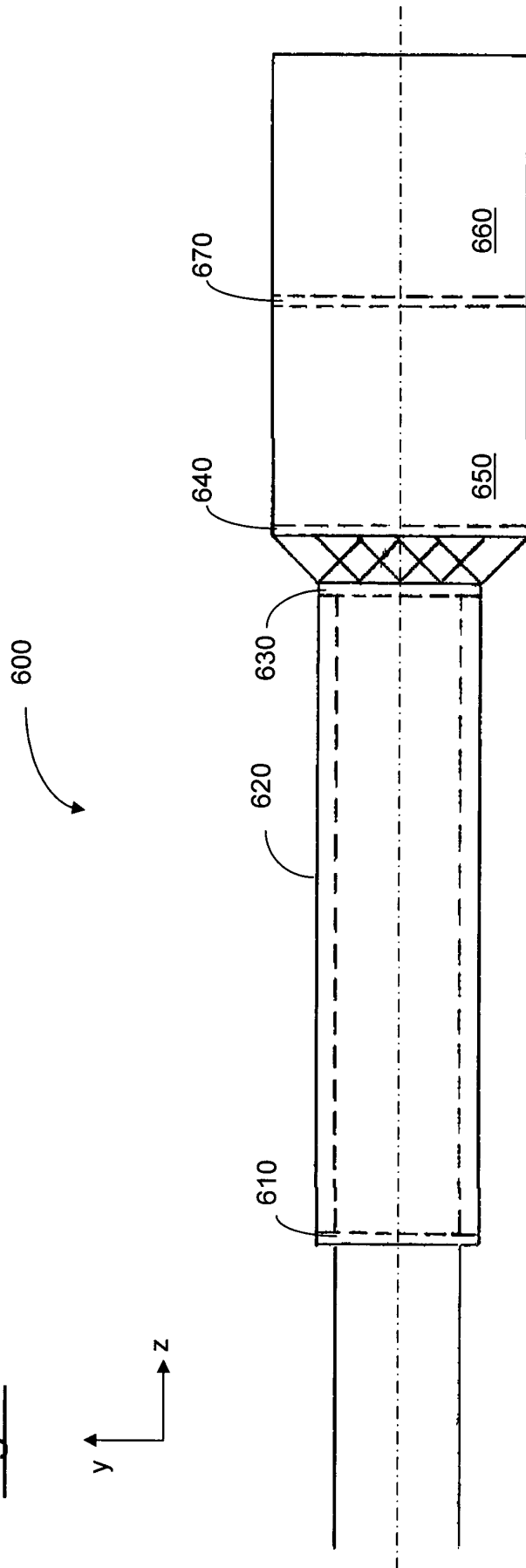


Fig. 7

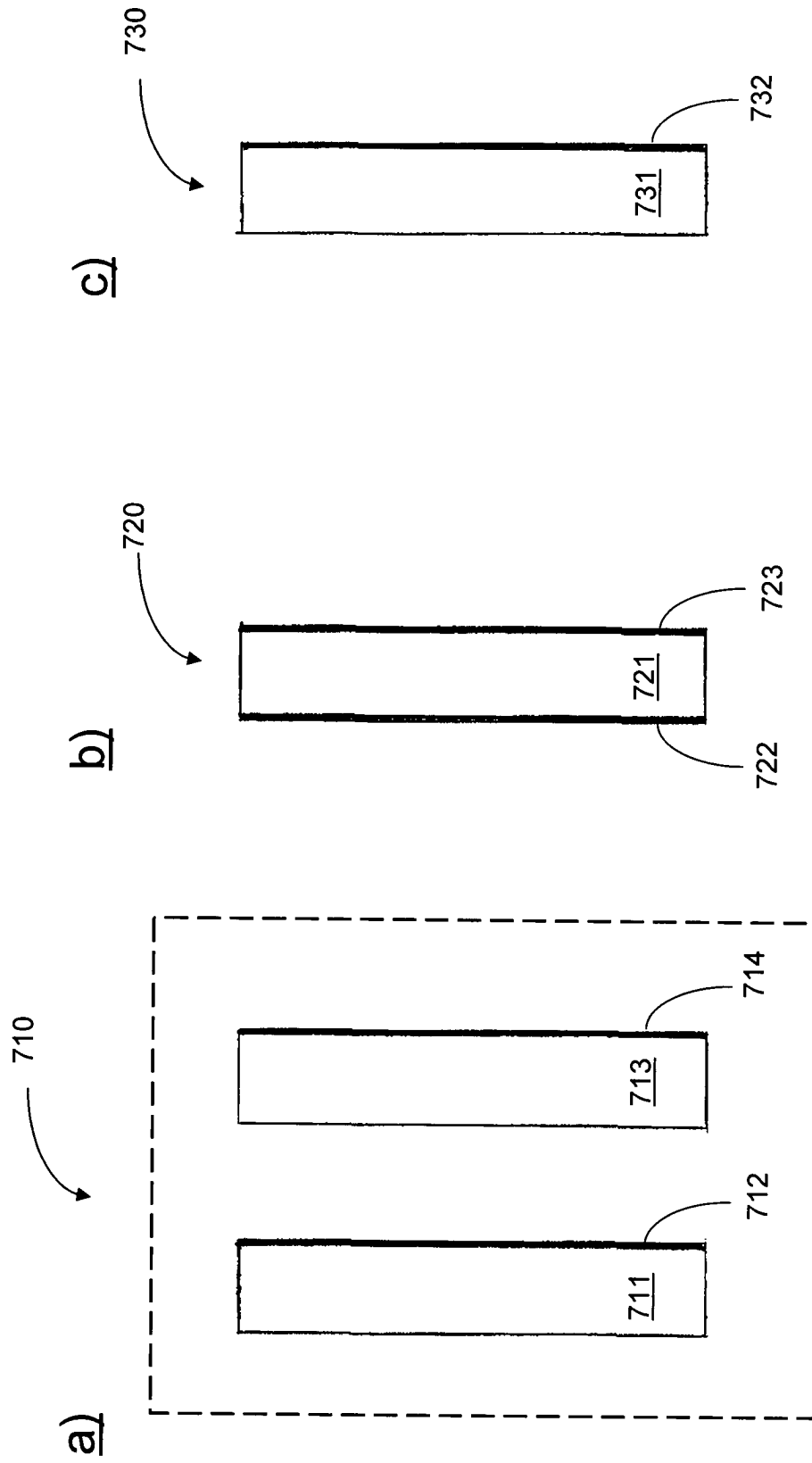
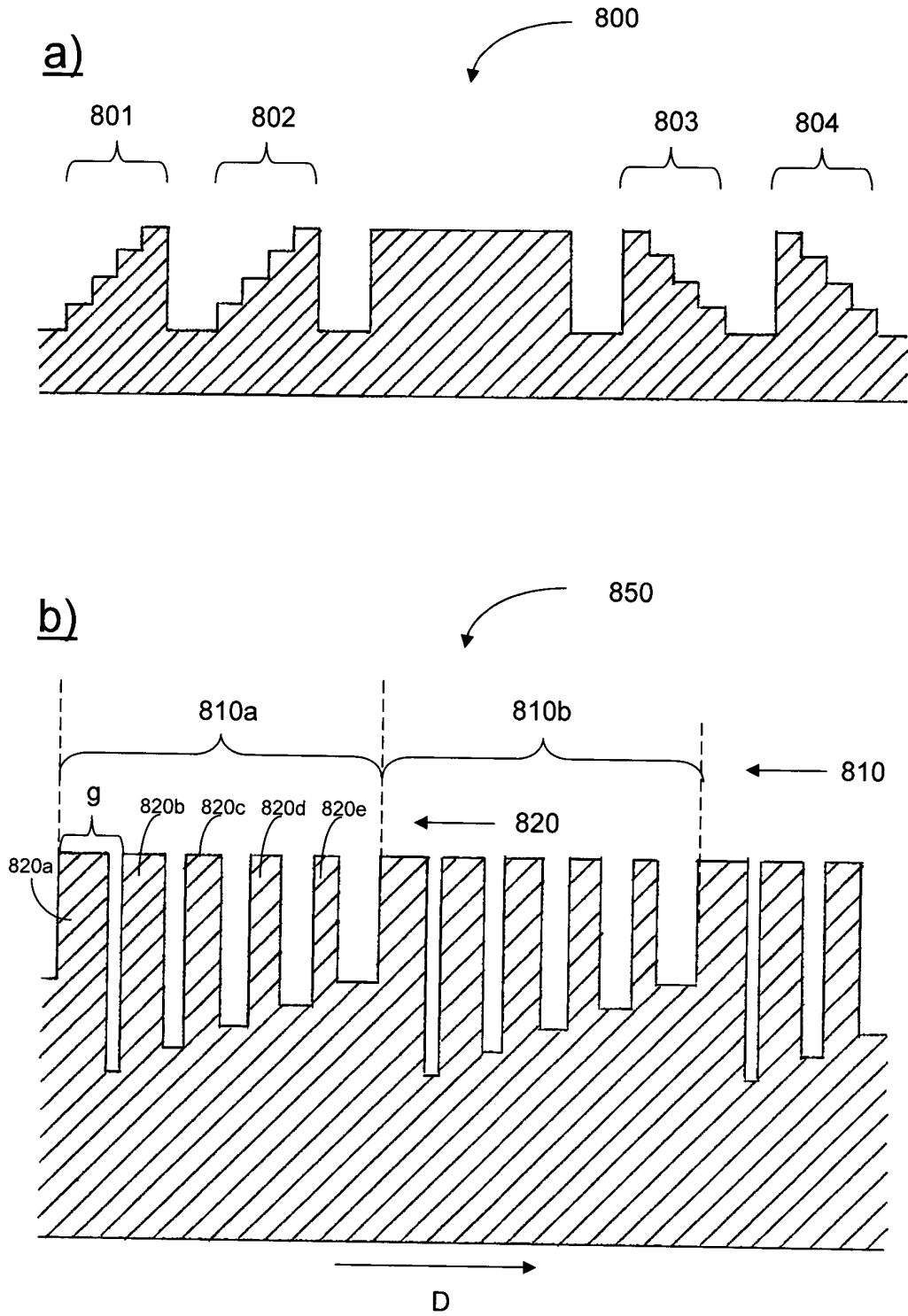
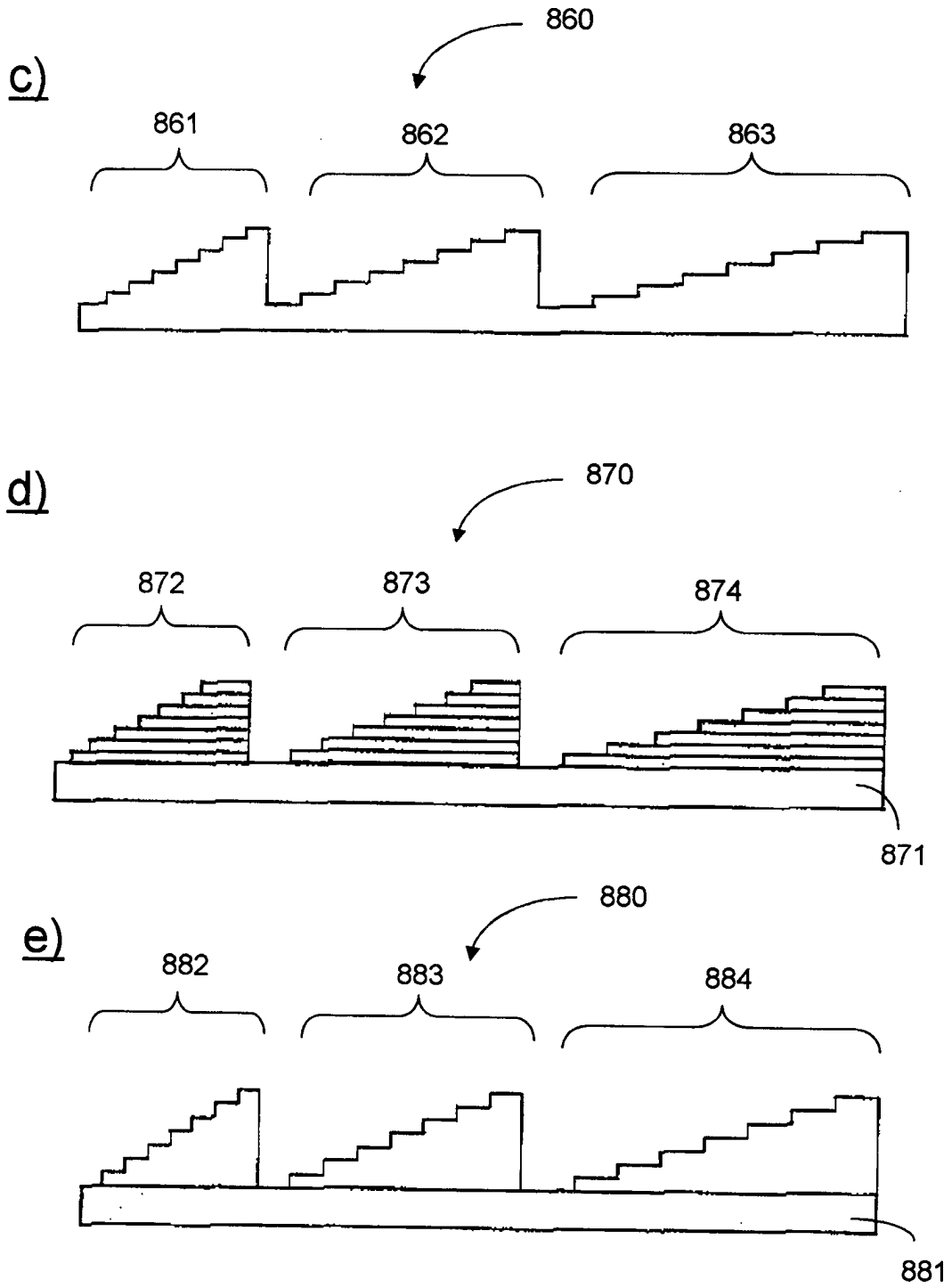


Fig. 8





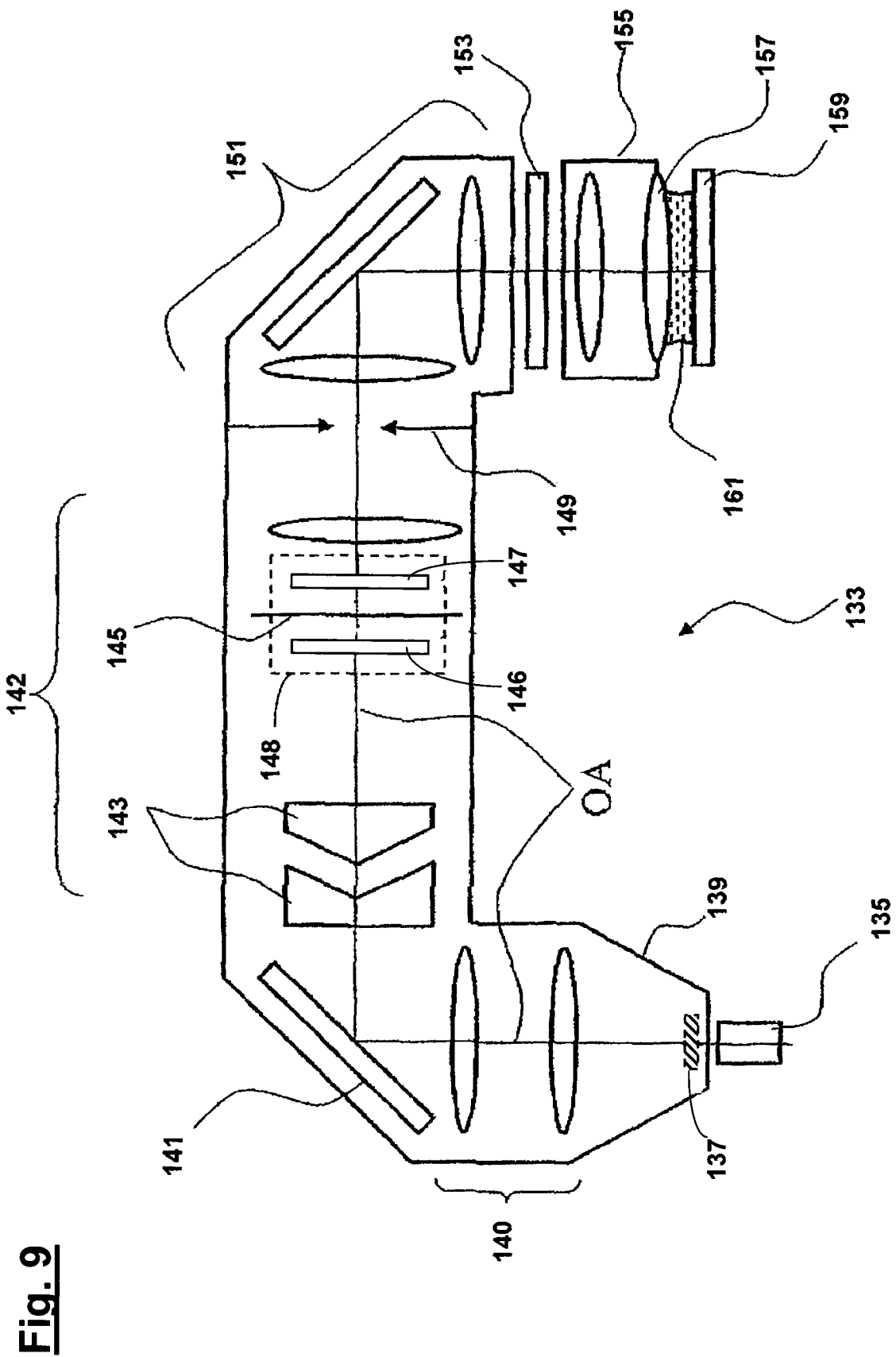


Fig. 9