



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 039 519 A1** 2007.02.22

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 039 519.8**

(22) Anmeldetag: **20.08.2005**

(43) Offenlegungstag: **22.02.2007**

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

G02B 6/00 (2006.01)

G02B 1/02 (2006.01)

G02B 5/30 (2006.01)

(71) Anmelder:
Carl Zeiss SMT AG, 73447 Oberkochen, DE

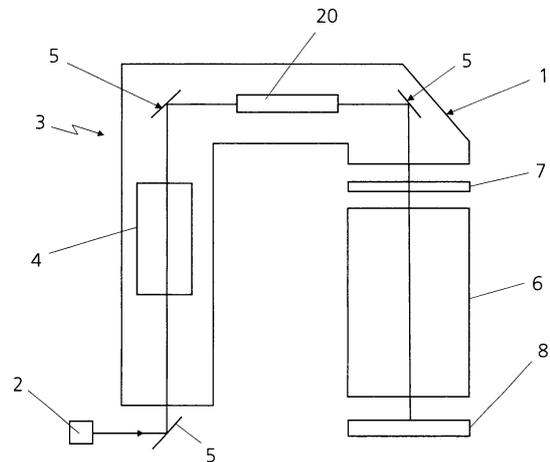
(72) Erfinder:
Schuster, Karl-Heinz, 89551 Königsbronn, DE

(74) Vertreter:
Lorenz und Kollegen, 89522 Heidenheim

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Projektionsbelichtungsanlage**

(57) Zusammenfassung: Eine Projektionsbelichtungsanlage, insbesondere für die Mikrolithographie zur Herstellung von Halbleiterbauelementen, ist mit einer polarisierendes Licht erzeugenden Lichtquelle (3), einem Beleuchtungssystem und einem Projektionsobjektiv (7) versehen. Das Beleuchtungssystem enthält einen Lichtleiter (20, 20'). Der Lichtleiter (20, 20') ist aus einem optisch einachsigen Kristall gebildet, wobei sich die kristallographische Hauptachse wenigstens annähernd senkrecht oder wenigstens annähernd parallel zur Längenerstreckung des Lichtleiters (20, 20') erstreckt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Projektionsbelichtungsanlage, insbesondere für die Mikrolithographie zur Herstellung von Halbleiterbauelementen mit einer polarisiertes Licht erzeugenden Lichtquelle, einem Beleuchtungssystem und einem Projektionsobjektiv, wobei das Beleuchtungssystem einen Lichtleiter enthält. Die Erfindung betrifft auch einen Lichtleiter für eine Lichtquelle, die polarisiertes Licht erzeugt.

Stand der Technik

[0002] Eine Projektionsbelichtungsanlage der eingangs erwähnten Art mit einem Lichtleiter ist aus der DE 102 55 735 A1 bekannt.

[0003] Lichtleiter dienen zur Bündelung, Homogenisierung und zu einer eventuellen Lichtleitwerterhöhung eines von einer Lichtquelle kommenden Lichtes, zum Beispiel von einem Laser. Nachteilig bei den bekannten Lichtleitern in Form von länglichen, quaderförmigen Lichtleiterstäben oder von Lichtleiterstäben mit zylindrischem Querschnitt ist jedoch, dass das von der Lichtquelle ankommende polarisierte Licht beim Durchgang teilweise oder vollständig depolarisiert wird.

[0004] Bei Projektionsbelichtungsanlagen, insbesondere bei Projektionsbelichtungsanlagen mit Systemaperturen deutlich größer 1,0 sollte jedoch mit polarisiertem Licht gearbeitet werden. Auch bei katadioptrischen Systemen ist man auf den Erhalt des Polarisationszustandes angewiesen. Wenn man katadioptrisch unpolarisiert einen sogenannten Intensitätsstrahlteiler benutzen würde, hätte man einen sehr hohen Verlust, mindestens 75 %, am Strahlteiler zu erwarten. Bei einem Excimerlaser, der zum Beispiel linear polarisiertes Licht erzeugt, läuft das Licht verlustarm durch den Strahlteiler, wird anschließend durch zweimaliges Passieren einer $\lambda/4$ Platte um 90 Grad gedreht bezüglich seines elektrischen Vektors und verlässt dann den Strahlteiler auf einem anderen Kanal. Dies bedeutet, man benötigt hierzu linear polarisiertes Licht. Auch die Erzeugung tangential linear polarisierten Lichtes erfordert eine polarisationserhaltende Beleuchtungseinheit.

[0005] Die bisher verwendeten Lichtleiterstäbe sind entweder aus optischem Glas oder aus Kieselglas (SiO_2) oder aus einem isotropen Kristall. Alle diese Werkstoffe besitzen mehr oder weniger die Eigenschaft, sich bei Strahlungsbelastung zu erwärmen. Aufgrund der Erwärmung, die im allgemeinen ungleichmäßig erfolgt, entstehen mechanische Spannungen in dem Material des Lichtleiters. Diese Spannungen wiederum machen das ursprünglich isotrope Material anisotrop. Man bekommt verschiedene Brechzahlen im Material und zwar je nachdem, wie der elektrische Vektor des linear polarisierten Lichtes

zu den Materialspannungen orientiert ist. Insbesondere bei kubischen Fluoridkristallen sind aufgrund ihrer hohen thermischen Ausdehnung und der spannungsoptischen Koeffizienten die Auswirkungen beträchtlich. Schon allein bei einem geraden Durchgang durch einen langen Stab, wäre die Polarisationsveränderung nicht mehr tolerierbar. Die Verhältnisse bei Kieselglas sind zwar etwas günstiger, denn infolge der geringeren thermischen Ausdehnung bleiben die mechanischen Spannungen kleiner, welche durch die Strahlenbelastung hervorgerufen werden, aber verfügbare Quarzstäbe sind immer noch mit kleineren herstellungsbedingten Spannungsdoppelbrechungen behaftet, so dass selbst im unbelasteten, einfachen Durchtritt durch den Lichtleiter ohne seitliche Totalreflexion kein akzeptabler Polarisationsdurchtritt erfolgt. Zwar könnten sorgfältige Feinkühlungen und eine sehr hohe Qualitätsauswahl des Kieselglases bezüglich seiner Spannungsdoppelbrechungswerte hier Abhilfe bereiten, aber dies würde zu einem sehr hohen Aufwand und damit zu hohen Kosten führen.

[0006] Gravierender sind jedoch die Phasenverschiebungen, die durch die gewünschten Totalreflexionen an der Wandung des Lichtleiters bei schrägem Strahlungseinfall auftreten. Die mehrfachen Totalreflexionen beinhalten ja die eigentliche Aufgabe eines Lichtleiters zur Lichtleitwerterhöhung.

[0007] Bei jedem windschiefen Einfall in einen Lichtleiter ist die Polarisation zwangsweise bereits spätestens nach der zweiten Reflexion aufgrund der Phasenverschiebung durch Totalreflexion für polarisiertes Licht zerstört.

[0008] Zum allgemeinen Stand der Technik wird auf die DE 34 17 888 A1, die EP 0 447 390 B1, die US 4,930,731, US 5,001,093, US 5,244,849, US 5,461,500 und die Patent Abstract of Japan 59-136825, 01-182659 und 01-286935 A verwiesen.

Aufgabenstellung

[0009] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Lichtleiter für die eingangs erwähnte Projektionsbelichtungsanlage zu schaffen, der den Polarisationszustand eines von einer Lichtquelle stammenden Lichtes auch nach Durchgang durch den Lichtleiter wenigstens weitgehend unverändert beibehält.

[0010] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die im kennzeichnenden Teil von Anspruch 1 genannten Merkmale gelöst.

[0011] Mit der erfindungsgemäßen Materialauswahl und Ausgestaltung des Lichtleiters wird erreicht, dass das in den Lichtleiter eintretende linear polarisierte Licht am Ausgang des Lichtleiters den gleichen Pola-

risationszustand besitzt.

[0012] Der Erfinder hat festgestellt, dass praktisch eine gewisse einheitliche Mindestdoppelbrechung notwendig ist, um die Polarisierung über eine größere Wegstrecke zu erhalten. Dazu wird ein doppelbrechender einachsiger Kristall verwendet. Der einachsige Kristall ist entweder tetragonal oder hexagonal oder trigonal (rhomboedrisch). Er besitzt eine kristallographische Hauptachse. Entlang der kristallographischen Hauptachse liegt nur eine Brechzahl vor, wenn man den Kristall aber schräg oder senkrecht zu der kristallographischen Hauptachse betrachtet, liegen zwei Brechzahlen vor. Die Differenz der beiden Brechzahlen ist bekannt und diese Differenz führt dazu, dass keine induzierte, sondern eine permanente Doppelbrechung in dem Kristall vorliegt; d.h. keine Doppelbrechung etwa durch einen Kristallbaufehler oder aufgrund von Spannungen, sondern eine permanente Doppelbrechung mit einem großen Vektor der Doppelbrechung. Zu der großen, permanenten Doppelbrechung kann allerdings eine kleine Doppelbrechung durch einen Kristallbaufehler hinzukommen, welcher eine beliebige Richtung aufweist. Dieser kleine hinzukommende Fehler ist jedoch praktisch im Vergleich zu dem großen "eingebauten" Doppelbrechungsvektor bzw. zu dessen Orientierung nicht mehr in der Lage, die Richtung und/oder die Größe dieser großen akkumulierenden Wirkung der Doppelbrechung zu ändern.

[0013] Dies bedeutet, wenn die Richtung der einfallenden linearen Polarisierung wenigstens annähernd senkrecht oder parallel zu der kristallographischen Hauptachse schwingt und die kristallographische Hauptachse ebenfalls senkrecht zur größten Längserstreckung des Lichtleiters ausgerichtet ist, dann bleibt die Polarisierung am Ausgang des Lichtleiters in den Hauptschnitten vollständig erhalten. Die Polarisierung bleibt auch dann erhalten, wenn der Lichtleiter unter mechanischer Spannung deformiert wird oder Wärmespannungen ausgesetzt wird.

[0014] Bei einem quaderförmigen Lichtleiter wird man zusätzlich die kristallographische Hauptachse des optisch einachsigen Kristalls, wenigstens annähernd parallel zu den Außenflächen des Lichtleiters des Quaders orientieren.

[0015] In vorteilhafter Weise kann vorgesehen sein, dass der quaderförmige Lichtleiterstab mit linearpolarisiertem Licht beaufschlagt ist, wobei der elektrische Vektor des linear polarisierten Lichtes wenigstens annähernd senkrecht oder parallel zu einer der Eintrittskanten des Lichtleiters steht.

[0016] Davon abweichend wird bei einem Lichtleiter mit zylindrischem Querschnitt die kristallographische Hauptachse des optisch einachsigen Kristalls wenigstens annähernd parallel zur Zylinderachse orientiert.

Diese Art von Lichtleiter verringert den räumlichen Kohärenzgrad von Laserlicht zur Waferbelichtung, was vorteilhaft ist, da es Speckle-Effekten vorbeugt.

[0017] In vorteilhafter Weise wird man bei dem Lichtleiter mit zylindrischem Querschnitt tangential polarisiertes Licht oder radial polarisiertes Licht symmetrisch auf die Eintrittsfläche des Lichtleiters richten und das einfallende Strahlenbündel wenigstens annähernd symmetrisch zur Zylinderachse des Lichtleiterstabes ausrichten.

[0018] Als besonders vorteilhaftes Material für den erfindungsgemäßen Lichtleiter hat sich Magnesiumfluorid herausgestellt. Magnesiumfluorid ist insbesondere bei Anwendung von extrem kurzwelligem UV-Licht, insbesondere bei Wellenlängen von 193 nm und kleiner, sehr gut geeignet, da es in diesem Bereich noch sehr transparent ist. Außer Magnesiumfluorid sind jedoch auch noch andere einachsige Kristalle geeignet, wie z.B. Lanthanfluorid, Saphir oder Berylliumoxid.

[0019] In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann weiterhin vorgesehen sein, dass zur Aufweitung und/oder zur Umwandlung des Lichtes in eine oder beide Raumrichtungen vor dem Lichtleiter ein diffraktives oder refraktives optisches Element angeordnet ist.

[0020] Die Anordnung eines diffraktiven oder refraktiven optischen Elements vor dem Lichtleiter führt dazu, dass aus einem kollimierten Lichtstrahl ein aufgeweitetes Bündel für den Eintritt in den Lichtleiter zur Verfügung steht. Auf diese Weise kommt es zu den mehrfachen Totalreflexionen an den Wänden des Lichtleiters.

[0021] Vorteilhafte Weiterbildungen und Ausgestaltungen ergeben sich aus den übrigen Unteransprüchen und aus den nachfolgend anhand der Zeichnung prinzipmäßig beschriebenen Ausführungsbeispielen.

Ausführungsbeispiel

[0022] Es zeigt:

[0023] [Fig. 1](#) eine Prinzipdarstellung einer Projektionsbelichtungsanlage;

[0024] [Fig. 2](#) eine perspektivische Darstellung eines quaderförmigen Lichtleiterstabes mit zwei Möglichkeiten für die kristallographischen Hauptachsen;

[0025] [Fig. 3](#) eine perspektivische Darstellung eines Lichtleiterstabes mit zylindrischer Form;

[0026] [Fig. 4](#) eine Seitenansicht eines Lichtleiters

mit einem diffraktiven/refraktiven optischen Element und einer Immersionsflüssigkeit am Eingang;

[0027] [Fig. 5](#) eine Prinzipdarstellung von mehreren hintereinander angeordneten Lichtleitern;

[0028] [Fig. 6](#) zwei direkt hintereinander angeordnete Lichtleiter;

[0029] [Fig. 7-Fig. 10](#) Prinzipdarstellungen von verschiedenen Eingangsf lächen eines zylinderförmigen Lichtleiters.

[0030] Die in der [Fig. 1](#) prinzipmäßig dargestellte Projektionsbelichtungsanlage ist grundsätzlich von bekanntem Aufbau, weshalb nachfolgend nur kurz darauf näher eingegangen wird. Hierzu wird beispielsweise auf die bereits erwähnte DE 102 55 735 A1 verwiesen.

[0031] Zum Aufbau und Wirkungsweise einer Projektionsbelichtungsanlage wird auch auf die US 5, 638, 223 und US 6, 252, 712 B1 verwiesen.

[0032] Eine Projektionsbelichtungsanlage **1** besteht im wesentlichen aus einer Lichtquelle **2**, zum Beispiel einem Laser, einem Beleuchtungssystem **3** mit einer Optikeinrichtung **4** und Umlenkspiegeln **5**. Zwischen dem Beleuchtungssystem **3** und einem Projektionsobjektiv **6** ist ein sogenanntes Reticle **7** angeordnet, dessen Struktur in einem wesentlich verkleinerten Maßstab auf einen Wafer **8** abgebildet wird.

[0033] In dem Beleuchtungssystem **3** ist weiterhin ein Spiegelstab bzw. Lichtleiter **20** angeordnet.

[0034] In der [Fig. 2](#) und folgende Figuren ist der in der [Fig. 1](#) dargestellte Lichtleiter **20** vergrößert in perspektivischer Darstellung als länglicher, quaderförmiger Lichtleiterstab dargestellt **20**. Der Lichtleiterstab **20** kann zum Beispiel aus Magnesiumfluorid bestehen. Die kristallographische Hauptachse des optisch einachsigen Magnesiumfluorid-Kristalls ist immer senkrecht zur Längserstreckung bzw. Längsachse **21** des Lichtleiterstabes **20** ausgerichtet, wie dies mit "HA1" dargestellt ist oder, wie dies mit "HA2" dargestellt ist. Wenn der quaderförmige Lichtleiterstab **20** nach der [Fig. 2](#) mit linear polarisiertem Licht des Lasers **2** beaufschlagt wird, so verlässt dieses den Lichtleiterstab **20** nach mehreren Reflexionen in den Hauptschnitten an den Wänden des Stabes ebenfalls in den Hauptschnitten linear polarisiert.

[0035] Um aus dem im allgemeinen kollimierten Lichtstrahl ein aufgeweitetes Büschel zu bekommen, das zur Lichtleiterhöhung in dieser Form in den Lichtleiter **20** eintreten soll, ist am Eingang **22** des Lichtleiters ein refraktives oder ein diffraktives optisches Element **23** angeordnet, wie dies aus der [Fig. 4](#) ersichtlich ist. Gegebenenfalls kann am Ausgang **24** des

Lichtleiters **20** ebenfalls nochmals ein refraktives oder diffraktives optisches Element **25** vorgesehen sein.

[0036] Die [Fig. 3](#) zeigt einen Lichtleiter **20'** in Zylinderform mit seiner Hauptachse "HA". Der Lichtleiter **20'** in Zylinderform ist für einen Durchgang mit radial polarisiertem Licht (siehe Pfeile **26**) oder tangential polarisiertem Licht (siehe gestrichelte Darstellung **27**) vorgesehen. Beide Arten von polarisiertem Licht sollen symmetrisch auf die Eintrittsfläche **22'** des Lichtleiters **20'** einfallen.

[0037] Wie aus der [Fig. 4](#) weiterhin ersichtlich ist, kann zwischen dem refraktiven oder diffraktiven optischen Element **23** und dem Lichtleiter **20** in optischer Kopplung eine Immersionsflüssigkeit **28** eingebracht werden. Durch die zusätzliche Anordnung einer Immersionsflüssigkeit **28**, die in einem nicht näher dargestellten Behälter, einer Fassung oder dergleichen angeordnet ist, wird erreicht, dass nach dem Aufweiten des Lichtes kein Wechsel im Medium mehr stattfindet. Durch diese Maßnahme ändert sich dann die Polarisationsrichtung nicht mehr, wofür lediglich dafür zu sorgen ist, dass die Brechzahl der Immersionsflüssigkeit entsprechend an die des refraktiven oder diffraktiven optischen Elements **23** angepasst ist. Beim Austritt aus dem Lichtleiter **20** findet zwar eine leichte Elliptisierung statt, da aber im Lichtleiter selbst eine Vielzahl von Totalreflexionen erfolgt ist, ist diese leichte Elliptisierung bedeutungslos.

[0038] Das Grundprinzip lautet praktisch: Sehr gut polarisiertes Licht sollte im Medium dieselbe Polarisationsrichtung besitzen wie die Richtung der Kanten des Lichtleiterstabes.

[0039] Statt Polarisationserhaltung, kann auch eine Polarisationsmischung erreicht werden. Dazu zeigt die kristallographische Hauptachse senkrecht zur Längserstreckung des Lichtleiters, die Richtung des elektrischen Vektors des linear polarisierten Lichtes wird etwa unter 45 Grad zu den Kanten der Eintrittsfläche **22** des Lichtleiters **20** gelegt. Auf diese Weise wird erreicht, dass durch die Phasenverschiebung, bedingt durch innere Totalreflexionen, voll wirksam und winkelabhängig der Polarisationszustand kontinuierlich gemischt wird. Gleichzeitig bewirkt die Doppelbrechung des Kristalls, dass ebenfalls winkelabhängig zusätzliche Phasenverschiebungen stattfinden. Lediglich für wenige Bogensekunden Winkelbereich und nur im direkten Durchgang, ohne Totalreflexion, kommt linear polarisiertes Licht durch den Lichtleiter. Da aber der Winkelbereich viele Grad aufweist, ist dies völlig vernachlässigbar.

[0040] Legt man die optische Achse des Kristalls parallel zu den Kanten des Quaders der Eintrittsfläche **22** legen und dazu den elektrischen Vektor des linear polarisierten Lichts, hat man polarisationserhal-

tende Verhältnisse in den Hauptschnitten für alle Winkel.

[0041] Da Magnesiumfluorid im allgemeinen nicht in den für Lichtleiter **20** üblichen Dimensionen hergestellt wird, kann man gegebenenfalls mehrere kürzere Lichtleiter direkt hintereinander anordnen, um die gewünschte Länge zu erzielen, wie dies in der [Fig. 5](#) angedeutet ist. Die Verbindung zwischen den einzelnen Lichtleiterteilen kann zum Beispiel durch eine mechanische Kopplung erfolgen. Die einzelnen Teillichtleiter können optisch angekoppelt werden über Ansprenge, Immersion, LTB (Low Temperature Bonding).

[0042] Da Magnesiumfluorid nicht gut ansprengbar ist, können die einzelnen Teile auch durch eine UV-durchlässige Immersion **28**, wie in der [Fig. 4](#) angedeutet, miteinander optisch gekoppelt werden. Die optischen Achsen der einzelnen Stabteile **20** liegen alle in einer Richtung und zwar senkrecht zur gemeinsamen Stabachse. Der elektrische Vektor des linear polarisierten Lichts steht auch hier unter 0°C oder 90°C zu den Kanten der Ein- und Austrittsflächen **22** und **24**, falls diese senkrecht aufeinander stehen. Damit man stets gleiche Dicken bekommt, sollte man die Stabteile **20** gemeinsam bearbeiten.

[0043] In der [Fig. 6](#) ist ein Lichtleiter aus einem optisch einachsigen Kristall, zum Beispiel Magnesiumfluorid, dargestellt, an den sich ein zweiter Lichtleiter **29** aus isotropem Material, zum Beispiel Siliziumdioxid anschließt. Wie ersichtlich ist der zweite Lichtleiter **29** ein Kuchen- bzw. Zylindersegment in seiner Form, wobei sich der Zylinderbogenabschnitt **30** auf der von der Austrittsseite **24** des ersten Lichtleiters **20** abgewandten Seite befindet. Wie ersichtlich ist der zweite Lichtleiter **29** auf der dem Zylinderbogenabschnitt **30** gegenüberliegenden Seite mit einer Stirnseite ausgebildet, die in etwa doppelt so groß ist wie die Austrittsseite **24** des ersten Lichtleiters. Zwischen der Austrittsseite **24** des ersten Lichtleiters und einem Eintrittsabschnitt **31** des zweiten Lichtleiters **29** in gleicher Größe kann wiederum ein refraktives oder diffraktives optisches Element **25** angeordnet sein.

[0044] Mit dem ersten Lichtleiter **20** erfolgt praktisch eine Lichtleitenaufwertung in eine Raumrichtung und im zweiten Lichtleiter **29**, für den isotropes Material verwendet werden kann, erfolgt eine Erhöhung des Lichtleitewertes in eine weitere Raumrichtung. Auf diese Weise hat man praktisch eine Lichtleitererhöhung in zwei Raumrichtungen erhalten.

[0045] Ein zweiter Stirnseitenabschnitt **32** des zweiten Lichtleiters **29** ist für den Austritt der Lichtstrahlen nach einer Totalreflexion an dem Zylinderbogenabschnitt **30** vorgesehen. Zur weiteren Strahlumlenkung kann sich an den Stirnseitenabschnitt **32** ein

Prisma **33** oder ein Spiegel anschließen. Bevorzugt erhalten das Prisma oder der Spiegel einen phasenkorrigierenden Belag um den Polarisationszustand des abgelenkten Lichtes zu erhalten. Auch bei dieser Ausgestaltung liegt nach dem Durchgang durch die beiden Lichtleiter **20** und **29** am Ausgang weiterhin polarisiertes Licht vor.

[0046] Bei beiden Lichtleitern **20** und **29** sollten die Kanten bzw. Wände gut reflektierend ausgebildet sein. Dies gilt insbesondere für den Zylinderbogenabschnitt **30** mit einer entsprechend verspiegelten Fläche. Die verspiegelte Fläche ist für das Winkelspektrum bevorzugt phasenkorrigierend und damit Polarisationserhaltend.

[0047] Die beiden refraktiven oder diffraktiven optischen Elemente **23** und **25** sollten so ausgebildet sein, dass zum Beispiel das optische Element am Eingang nur eine Ablenkung in y-Richtung und das optische Element am Ausgang nur eine Ablenkung in x-Richtung bewirkt.

[0048] Mit dem zweiteiligen Aufbau der Lichtleiter **20** und **29** ist es möglich, sehr gut in einer Hälfte mit doppelbrechenden einachsigen Kristallen zu arbeiten. Während isotrope Gläser und Kieselglas durch Strahlungsbelastung anisotrop werden und sich lokale Kristallachsen in beliebiger Raumrichtung ausbilden, ist die Kristallachse von doppelbrechenden, einachsigen Kristallen eindeutig festgelegt. Wird ein solches Kristall thermisch hoch belastet, verteilt er zusätzlich die Wärme durch seine gute bis sehr gute Wärmeleitfähigkeit sehr gleichmäßig. Die verbliebenen Wärmeunterschiede erzeugen mechanische Spannungen, die eine zusätzliche Spannungsdoppelbrechung in beliebiger Richtung bedeuten, diese bleibt in Summe gegenüber der permanenten Doppelbrechung des Kristalls bedeutungslos.

[0049] In den [Fig. 7](#) bis [Fig. 11](#) sind verschiedene Ausgestaltungen von Lichtleitern **20** in Zylinderform dargestellt.

[0050] Licht, welches aus der Beleuchtung kommt, fällt konvergent auf die Eintrittsfläche eines runden bzw. zylinderförmigen Lichtleiters. Die Eintrittsfläche **22a** kann gemäß [Fig. 7](#) konkav nach innen sphärisch geformt sein, während die Austrittsfläche plan ist. Falls diese gekrümmt ist, darf die numerische Apertur nicht zu groß beim Einkoppeln sein, damit an der planen Austrittsfläche keine Totalreflexion auftritt. Bei dieser Ausgestaltung bleibt die tangentiale oder radiale Polarisation erhalten.

[0051] Anstelle einer konkaven Eintrittsfläche, wie in der [Fig. 7](#) dargestellt, können die einfallenden Lichtstrahlen auch auf eine Kegelfläche **22b**, wie in der [Fig. 8](#) dargestellt, treffen. Die [Fig. 9](#) zeigt eine konkav nach innen gerichtete Eintrittsfläche, die in ei-

ner Ringstruktur **22c** ausgebildet ist.

[0052] Die [Fig. 10](#) zeigt eine Ausführungsform mit einer sphärisch nach außen gerichteten Eintrittsfläche **22d**, die mit einer glatten Oberfläche oder ebenfalls in einer Ringstruktur (wie dargestellt) ausgebildet sein kann.

[0053] Anstelle von sphärischen Eintrittsflächen, wie in den [Fig. 7](#) bis [Fig. 10](#) dargestellt, kann auch die Eintrittsfläche bei einem runden bzw. zylinderförmigen Lichtleiter **20** plan verbleiben, wenn das einfallende Licht vorher schon "axial" aufbereitet wurde. Dies kann zum Beispiel durch ein vorgeschaltetes Axikon **34** erfolgen.

Patentansprüche

1. Projektionsbelichtungsanlage, insbesondere für die Mikrolithographie zur Herstellung von Halbleiterbauelementen, mit einer polarisiertes Licht erzeugenden Lichtquelle, einem Beleuchtungssystem und einem Projektionsobjektiv, wobei das Beleuchtungssystem einen Lichtleiter enthält, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Lichtleiter (**20, 20'**) aus einem optisch einachsigen Kristall gebildet ist, wobei sich die kristallographische Hauptachse wenigstens annähernd senkrecht oder wenigstens annähernd parallel zur Längenerstreckung des Lichtleiters (**20, 20'**) erstreckt.

2. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass bei einem quaderförmigen Lichtleiterstab (**20**) als Lichtleiter die kristallographische Hauptachse des optisch einachsigen Kristalls wenigstens annähernd parallel zu den Außenflächen des Lichtleiterstabes (**20**), oder wenigstens annähernd senkrecht zur größten Längenerstreckung des Lichtleiterstabes (**20**) orientiert ist.

3. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der quaderförmige Lichtleiterstab (**20**) mit linear polarisiertem Licht beaufschlagt ist, wobei der elektrische Vektor des linear polarisierten Lichtes wenigstens annähernd senkrecht oder parallel zu einer der Eintrittskanten des Lichtleiterstabes (**20**) steht.

4. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass bei einem Lichtleiter (**20'**) mit zylindrischem Querschnitt die kristallographische Hauptachse des optisch einachsigen Kristalls wenigstens annähernd parallel zur Zylinderachse orientiert ist.

5. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass bei dem Lichtleiter tangential polarisiertes Licht oder radial polarisiertes Licht symmetrisch auf die Eintrittsfläche des Lichtleiters gerichtet ist und dass das einfallende Strahlen-

bündel wenigstens annähernd symmetrisch zur Zylinderachse des Lichtleiters (**20'**) gerichtet ist.

6. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass eine Eintrittsfläche (**22a-22d**) des zylindrischen Lichtleiters (**20'**) sphärisch ausgebildet ist.

7. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Eintrittsfläche (**22a**) konkav nach innen sphärisch ist.

8. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Eintrittsfläche (**22d**) konkav nach außen sphärisch ist.

9. Projektionsbelichtungsanlage nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die sphärische Eintrittsfläche (**22c**) eine Ringstruktur aufweist.

10. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Eintrittsfläche (**22b**) eine Kegelform aufweist.

11. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass vor der planen Eintrittsfläche (**22'**) ein Axikon (**34**) angeordnet ist.

12. Projektionsbelichtungsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass zur Aufweitung und/oder Umwandlung des Lichtes in eine oder beide Raumrichtungen vor dem Lichtleiter (**20, 20'**) ein diffraktives oder refraktives optisches Element (**23**) angeordnet ist.

13. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem diffraktiven oder dem refraktiven optischen Element (**23**) und dem Lichtleiter (**20, 20'**) eine Immersionsflüssigkeit (**28**) eingebracht ist.

14. Projektionsbelichtungsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Lichtleiterteilabschnitte direkt hintereinander angeordnet sind.

15. Projektionsbelichtungsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass das optisch einachsige Kristall Magnesiumfluorid, Lanthanfluorid oder Saphir ist.

16. Projektionsbelichtungsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass sich an den Lichtleiter (**20, 20'**) aus dem optisch einachsigen Kristall ein weiterer Lichtleiter (**29**) anschließt, der wenigstens weitgehend aus isotropem Material besteht.

17. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass in Lichtleitrichtung hinter dem ersten Lichtleiter (**20**, **20'**) wenigstens ein zweiter Lichtleiter (**29**) vorgesehen ist, wobei zwischen den beiden Lichtleitern (**20**, **20'** und **29**) ein diffraktives oder ein refraktives optisches Element (**23**) angeordnet ist.

18. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, dass der weitere Lichtleiter (**29**) wenigstens annähernd als Zylindersegment ausgebildet ist, wobei ein Zylinderbogenabschnitt (**30**) als Reflexionsfläche auf der von der Austrittsfläche (**24**) des Lichtleiters (**20**, **20'**) aus dem optisch einachsigen Kristall abgewandten Seite angeordnet ist.

19. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass die dem Zylinderbogenabschnitt (**30**) gegenüberliegende Stirnseite (**32**) wenigstens annähernd doppelt so groß ist wie die Austrittsfläche (**24**) des Lichtleiters (**20**, **20'**) aus dem optisch einachsigen Kristall, wobei ein Stirnseitenbereich (**31**) eine Eintrittsfläche für den zweiten Lichtleiter (**29**) und ein zweiter Stirnseitenbereich (**32**) eine Austrittsfläche bildet.

20. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass sich in Lichtlaufrichtung an die Austrittsfläche (**32**) ein Strahlumlenkglied (**33**) anschließt.

21. Lichtleiter für eine Lichtquelle, die polarisiertes Licht erzeugt, dadurch gekennzeichnet, dass er aus einem optisch einachsigen Kristall gebildet ist, wobei sich die kristallographische Hauptachse wenigstens annähernd senkrecht oder wenigstens annähernd parallel zur Längenerstreckung des Lichtleiters (**20**, **20'**) erstreckt.

22. Lichtleiter nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass bei einem quaderförmigen Lichtleiterstab (**20**) als Lichtleiter die kristallographische Hauptachse des optisch einachsigen Kristalls wenigstens annähernd parallel zu den Außenflächen des Lichtleiterstabes (**20**), aber wenigstens annähernd senkrecht zur größten Längenerstreckung des Lichtleiterstabes (**20**) orientiert ist.

23. Lichtleiter nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass der quaderförmige Lichtleiterstab (**20**) mit linear polarisiertem Licht beaufschlagt ist, wobei der elektrische Vektor des linear polarisierten Lichtes wenigstens annähernd senkrecht oder parallel zu einer der Eintrittskanten des Lichtleiterstabes (**20**) steht.

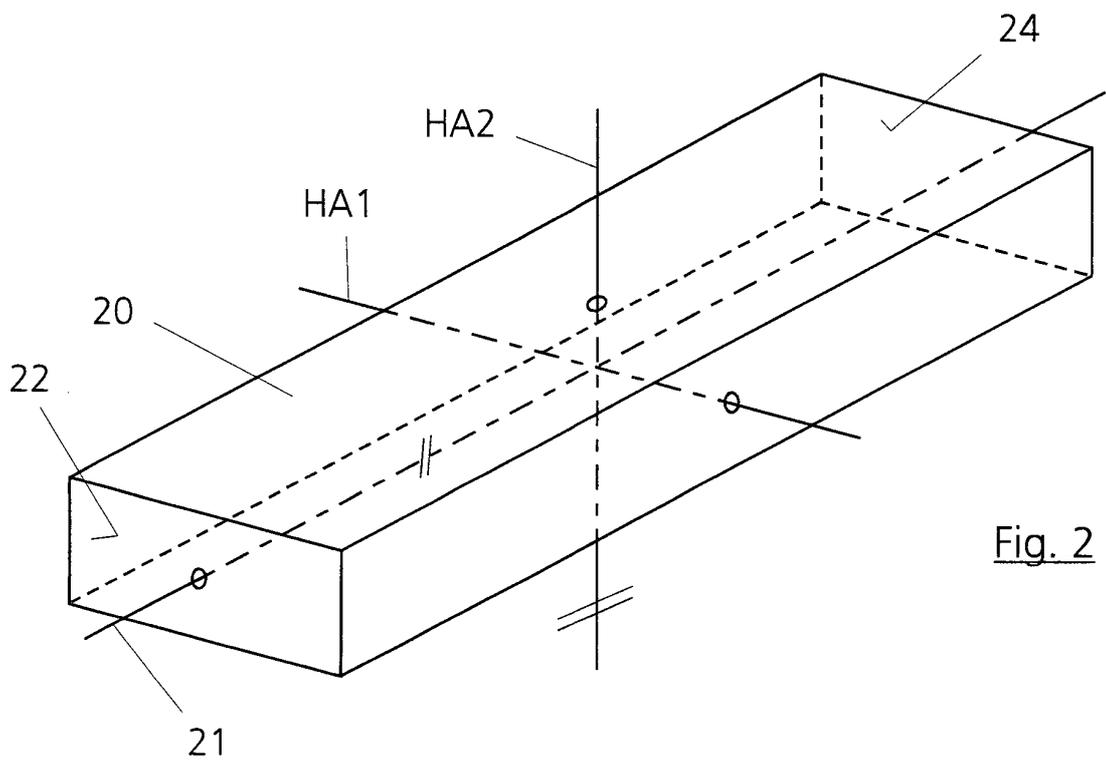
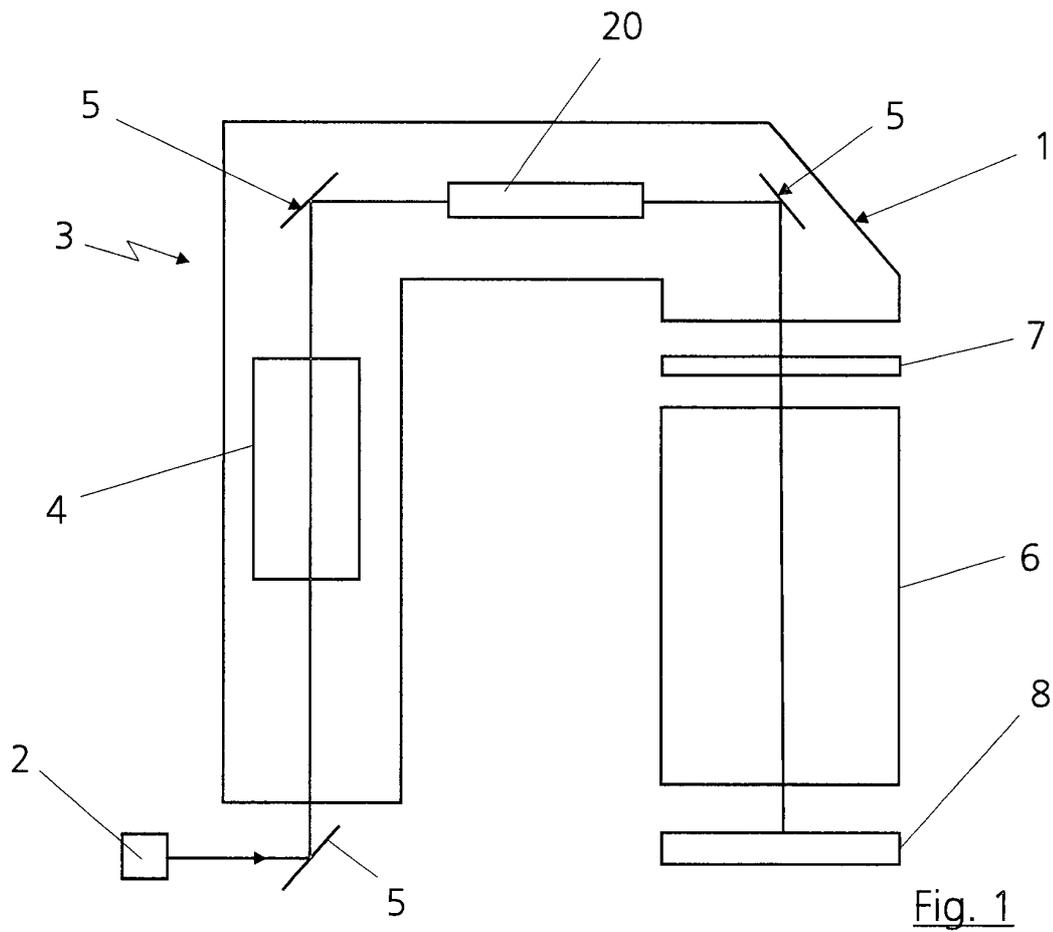
24. Lichtleiter nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass bei einem Lichtleiter (**20'**) mit zylindrischem Querschnitt die kristallographische

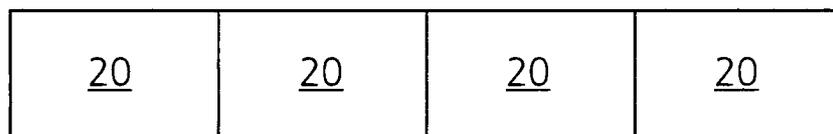
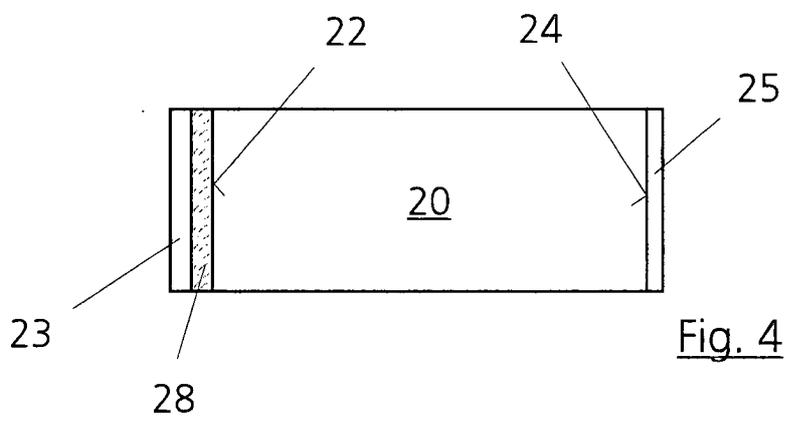
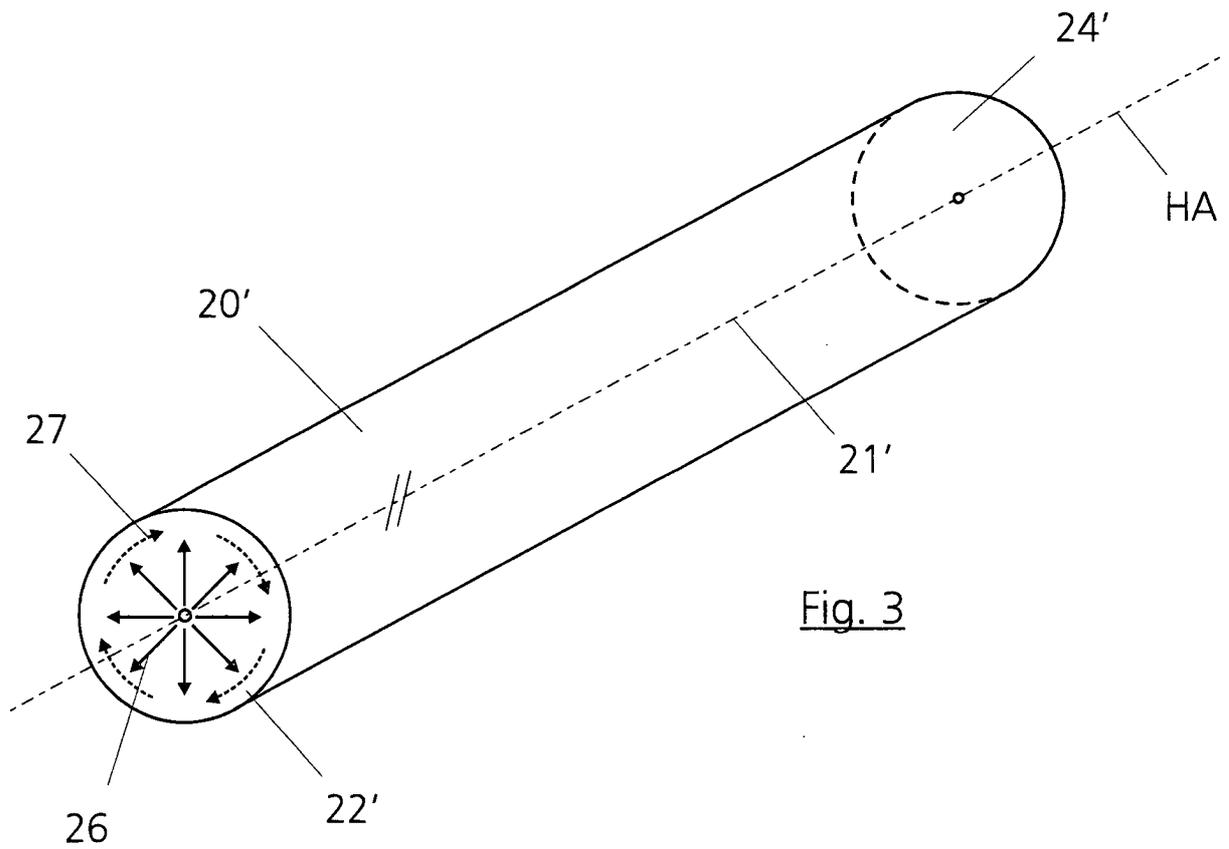
Hauptachse des optisch einachsigen Kristalls wenigstens annähernd parallel zur Zylinderachse orientiert ist.

25. Lichtleiter nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass bei dem Lichtleiter (**20'**) tangential polarisiertes Licht oder radial polarisiertes Licht symmetrisch auf die Eintrittsfläche des Lichtleiters (**20'**) gerichtet ist und dass das einfallende Strahlenbündel wenigstens annähernd symmetrisch zur Zylinderachse des Lichtleiters (**20'**) gerichtet ist.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen





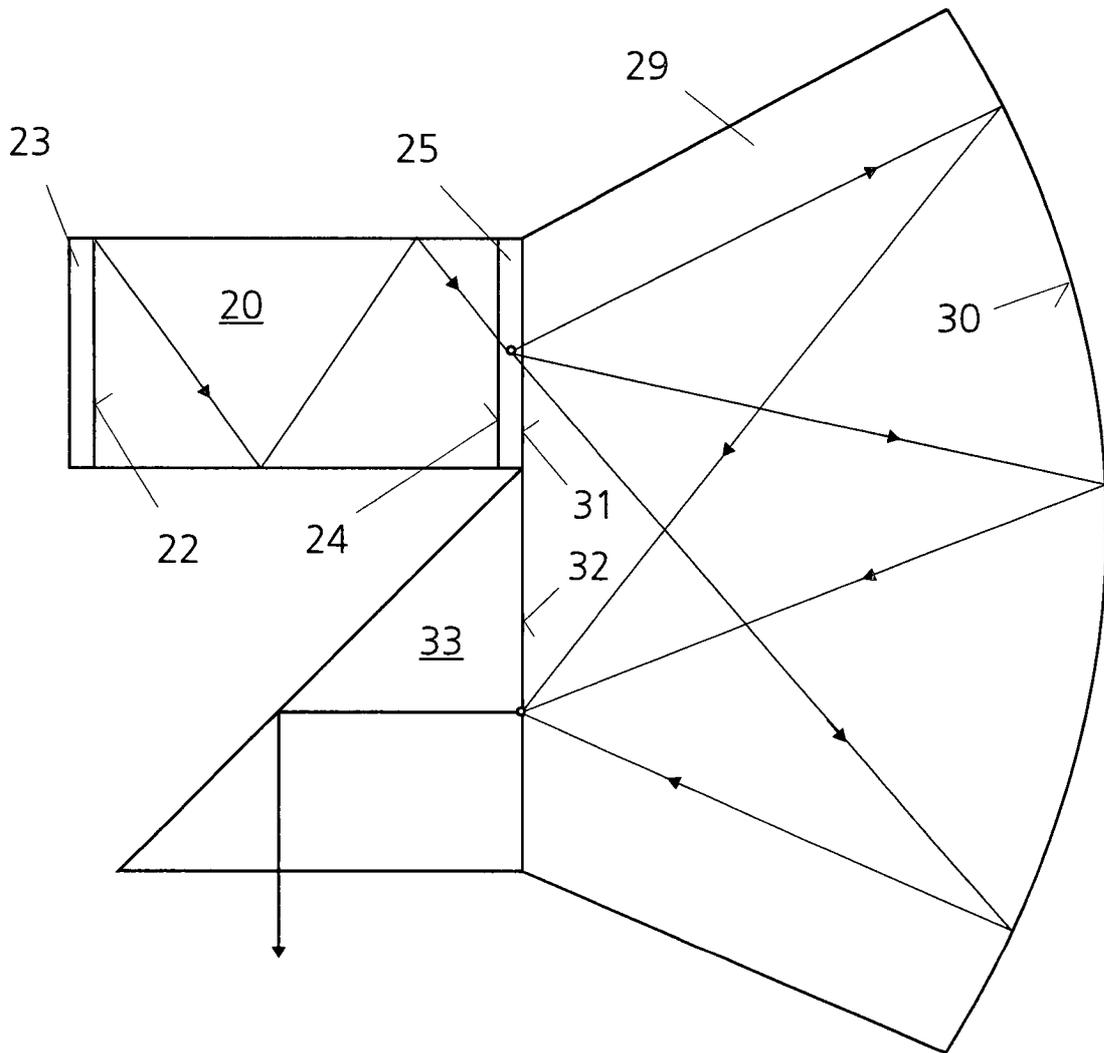


Fig. 6

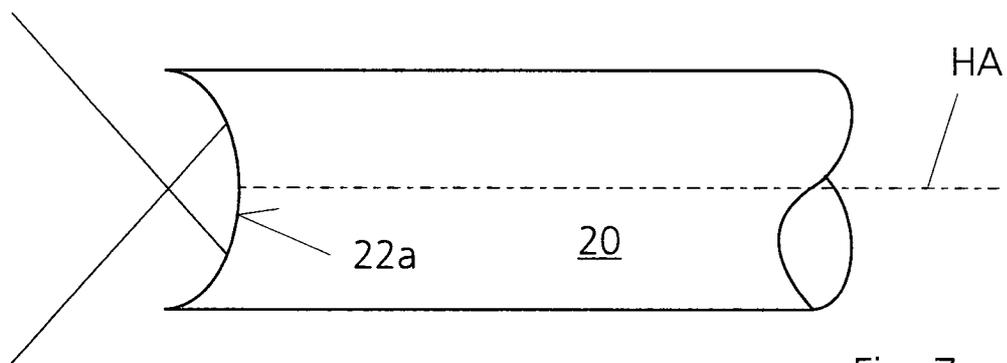


Fig. 7

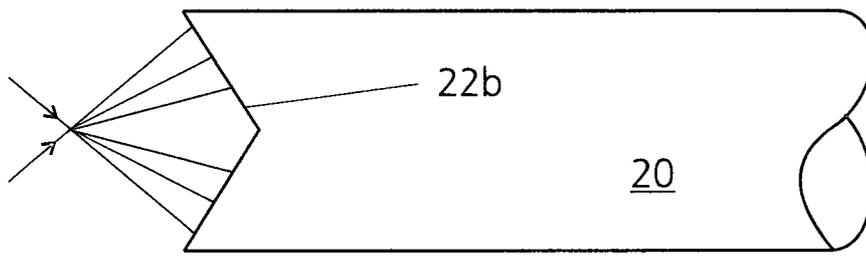


Fig. 8

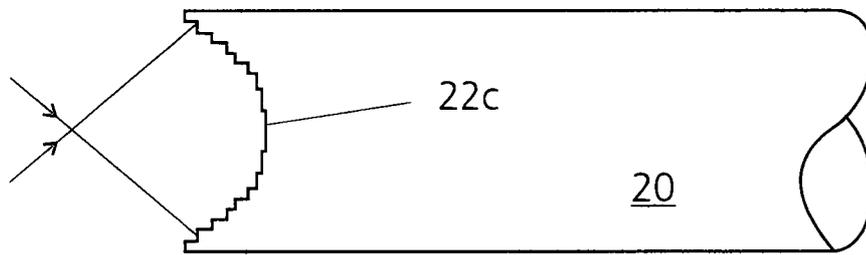


Fig. 9

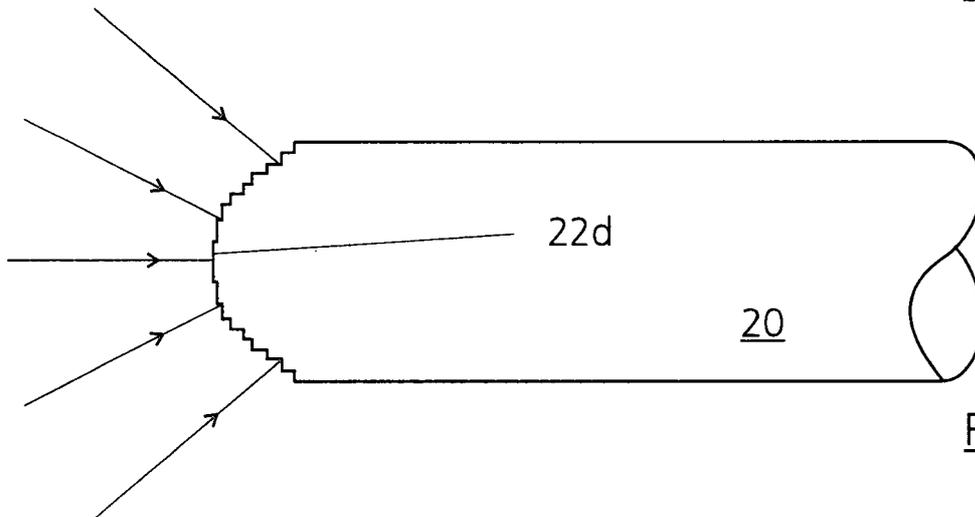


Fig. 10

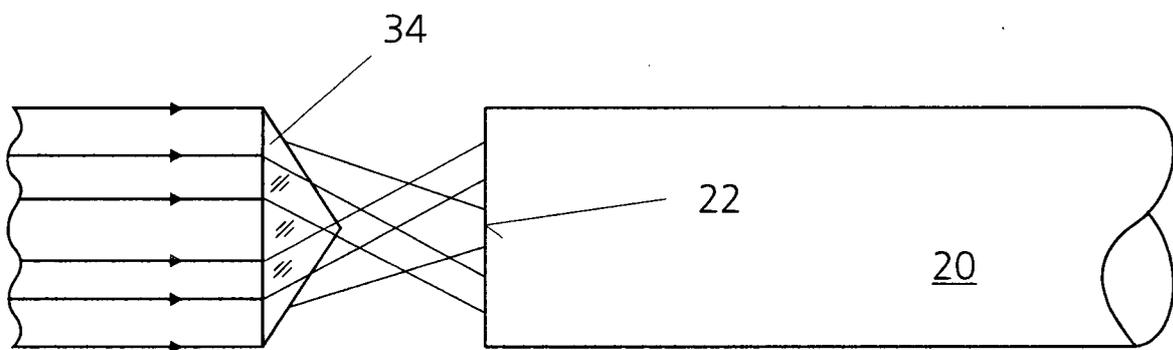


Fig. 11