



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 17 667 A1** 2004.11.18

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **103 17 667.5**

(22) Anmeldetag: **17.04.2003**

(43) Offenlegungstag: **18.11.2004**

(51) Int Cl.⁷: **G03F 7/20**
G02B 5/09, G21K 1/06

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

(74) Vertreter:
Dr. Weitzel & Partner, 89522 Heidenheim

(72) Erfinder:
**Singer, Wolfgang, Dr., 73431 Aalen, DE; Antoni,
Martin, 73431 Aalen, DE**

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

DE 199 03 807 A1

EP 12 62 836 A1

EP 10 26 547 A2

EP 10 24 408 A2

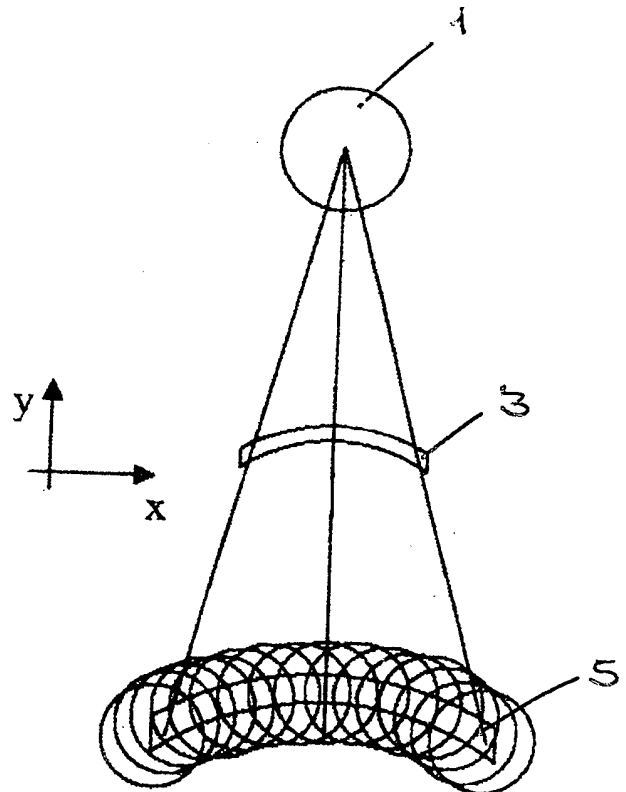
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Optisches Element für ein Beleuchtungssystem**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein optisches Element für ein Beleuchtungssystem mit Wellenlängen ≤ 193 nm; wobei das Beleuchtungssystem eine Lichtquelle, eine Feldebene sowie eine Austrittspupille aufweist. Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß das optische Element eine Vielzahl von Facetten aufweist, die so angeordnet sind und solche Ablenkwinkel aufweisen, daß jede Facette Licht von der Lichtquelle aufnimmt und auf einen diskreten Punkt in der Feldebene lenkt, wobei die diskreten Punkte derart gewählt sind, daß ein Feld in der Feldebene in vorbestimmter Form ausgeleuchtet wird.

Die zu jeweils einem diskreten Punkt in der Feldebene gehörenden Facetten leuchten den jeweils zugeordneten, diskreten Punkt in der Feldebene sowie einen zugeordneten Bereich der Austrittspupille des Beleuchtungssystems aus.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein optisches Element für ein Beleuchtungssystem mit Wellenlängen ≤ 193 nm, insbesondere für die EUV-Lithographie, wobei das Beleuchtungssystem eine Lichtquelle, eine Fellebene sowie eine Austrittspupille umfaßt und das Beleuchtungssystem eine Vielzahl von Facetten aufweist.

[0002] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform stellt die Erfindung ferner ein Beleuchtungssystem für Wellenlängen ≤ 193 nm, insbesondere für die EUV-Lithographie zur Verfügung, das sich dadurch auszeichnet, daß das optische Element eine Vielzahl von Facetten aufweist, wobei die Facetten auf dem optischen Element eine derartige Anordnung aufweisen, daß mit diesem optischen Element ein Feld in der Fellebene sowie die Austrittspupille in einer vorbestimmten Form ausgeleuchtet werden.

[0003] Um die Strukturbreiten für elektronische Bauteile noch weiter reduzieren zu können, insbesondere in den Submikron-Bereich, ist es erforderlich, die Wellenlänge des für die Mikrolithographie eingesetzten Lichtes zu verringern. Denkbar ist bei Wellenlängen kleiner als 193 nm beispielsweise die Lithographie mit weichen Röntgenstrahlen, die sogenannte EUV-Lithographie.

[0004] Ein für die EUV-Lithographie geeignetes Beleuchtungssystem soll mit möglichst wenigen Reflexionen das für die EUV-Lithographie vorgegebene Feld, insbesondere ein Ringfeldsegment, homogen, d.h. uniform, ausleuchten, des weiteren soll die Austrittspupille für jeden Feldpunkt nach dem Scanvorgang bis zu einem bestimmten Füllgrad σ ausgeleuchtet werden und die Austrittspupille des Beleuchtungssystems in der Eintrittspupille des nachfolgenden Objektivs liegen.

[0005] Aus der US 5,339,346 ist ein Beleuchtungssystem für eine Lithographieeinrichtung, die EUV-Strahlen verwendet, bekanntgeworden. Zur gleichmäßigen Beleuchtung in der Retikelebene und Füllung der Pupille schlägt die US 5,339,346 einen Kondensor vor, der als Kollektorlinse aufgebaut ist und wenigstens vier paarweise Spiegelfacetten, die symmetrisch angeordnet sind, umfaßt. Als Lichtquelle wird eine Plasma-Lichtquelle verwendet.

[0006] In der US 5,737,137 ist ein Beleuchtungssystem mit einer Plasma-Lichtquelle, umfassend einen Kondensorspiegel, gezeigt, bei dem mit Hilfe von sphärischen Spiegeln eine Ausleuchtung einer zu beleuchtenden Maske bzw. eines Retikels erzielt wird. Bei diesem Beleuchtungssystem handelt es sich um ein Beleuchtungssystem mit kritischer Beleuchtung.

[0007] Die US 5,361,292 zeigt ein Beleuchtungs-

system, bei dem eine Plasma-Lichtquelle vorgesehen ist und die punktförmige Plasma-Lichtquelle mit Hilfe eines Kondensors, der fünf asphärische, außermittig angeordnete Spiegel aufweist, in eine ringförmig ausgeleuchtete Fläche abgebildet wird. Mit Hilfe einer speziellen nachgeordneten Abfolge von grazing-incidence Spiegeln wird die ringförmig ausgeleuchtete Fläche dann in die Eintrittspupille abgebildet.

[0008] Aus der US 5,581,605 ist ein Beleuchtungssystem bekannt geworden, bei dem ein Photonenstrahler mit Hilfe eines Wabenkondensors in eine Vielzahl von sekundären Lichtquellen aufgespalten wird. Hierdurch wird eine gleichmäßige bzw. uniforme Ausleuchtung in der Retikelebene erreicht. Die Abbildung des Retikels auf den zu belichtenden Wafer erfolgt mit Hilfe einer herkömmlichen Reduktionsoptik. Im Beleuchtungsstrahlengang ist genau ein gerasterter Spiegel mit gleich gekrümmten Elementen vorgesehen.

[0009] Aus der US 4,195,913 ist ein facettiertes Spiegelement bekannt, bei dem die Facetten derart auf der Spiegeloberfläche angeordnet sind, daß sich die Vielzahl der von den Facetten reflektierten Lichtbündel in einer Ebene überlagern, so daß sich eine weitgehend gleichmäßige Energieverteilung in dieser Ebene ergibt. Eine bestimmte Form hat das Feld in der Ebene nicht.

[0010] Die US 4,289,380 zeigt einen einstellbaren facettierten Spiegel, der eine Vielzahl von rechteckigen Blocksegmenten umfaßt, die gegeneinander verkippt werden, so daß sich die vom Spiegel reflektierten Lichtbündel in einer Ebene überlagern. Wie bei der US 4,195,913 wird keine Aussage darüber gemacht, wie das Feld in der Ebene aussieht.

[0011] Aus der US 4,202,605 ist ein aktiver, segmentierter Spiegel bekanntgeworden, der gekühlte hexagonale Facetten umfaßt.

[0012] Zum Sammeln des Lichtes einer EUV-Strahlungsquelle, insbesondere der einer Synchrotron-Strahlungsquelle, schlägt die US 5,485,498 einen Kollektorspiegel vor, der eine Vielzahl von als Planspiegeln ausgelegten Facetten umfaßt, die derart angeordnet sind, daß die Quellstrahlung der EUV-Strahlungsquelle in ein paralleles Bündel umgelenkt wird.

[0013] Aus der DE 199 03 807 A1 ist ein EUV-Beleuchtungssystem bekanntgeworden, das zwei Spiegel oder Linsen mit Rasterelementen umfaßt. Derartige Systeme werden auch als doppelt facettierte EUV-Beleuchtungssysteme bezeichnet.

[0014] In der DE 199 03 807 A1 ist der prinzipielle Aufbau eines doppelt facettierten EUV-Beleuch-

tungssystems gezeigt. Die Ausleuchtung in der Austrittspupille des Beleuchtungssystems gemäß der DE 199 03 807 wird durch die Anordnung der Rasterelemente auf dem zweiten Spiegel bestimmt.

[0015] Die EP-A-1024408 schlägt ein EUV-Beleuchtungssystem vor, das wenigstens zwei nicht abbildende optische Elemente aufweist. Hierbei sammelt ein erstes nicht abbildendes optisches Element das Licht der Lichtquelle und stellt eine vorbestimmte Lichtverteilung zur Ausleuchtung der Ausgangspupille des EUV-Beleuchtungssystems zur Verfügung, wobei diese beispielsweise in der Form eines Kreistrings vorliegen kann. Dieser Kollektor erzeugt somit kein Bild der Lichtquelle im endlichen.

[0016] Das zweite nicht abbildende optische Element nimmt das Licht der Lichtquelle auf, wobei dieses eine so geformte Grundform aufweist, daß das Licht in im wesentlichen in der Form ebener oder sphärischer Wellen abgestrahlt wird. Dabei ist die Grundform des zweiten optischen Elements so gestaltet, daß die Lichtquelle durch die Kombination des ersten und des zweiten optischen Elements in eine konjugierte Ebene, die entweder im unendlichen oder im endlichen liegt, abgebildet wird.

[0017] Das zweite nicht abbildende optische Element dient gemäß der EP-A-1024408 ausschließlich der Feldformung und umfaßt eine Vielzahl von Facetten bzw. Rasterelementen, die der Grundform des zweiten optischen Elements überlagert sind, um in der Feldebene eine gleichmäßige Ausleuchtung zur Verfügung zu stellen. Diese Facetten werden vorzugsweise mit einer Flächengröße von 4 bis 10 μm^2 ausgebildet und sind in der Nähe der Ebene, welche durch die Eingangspupille des EUV-Beleuchtungssystems festgelegt wird, angeordnet.

[0018] Nachfolgend zu den beiden genannten, nicht abbildenden optischen Elementen, werden in der EP-A-1024408 zusätzliche konventionelle optische Elemente zwischen diesem zweiten nicht abbildenden Element und der Feldebene angeordnet, um die gewünschte Feldausformung zu erzielen. Da jedes zusätzliche optische Element einen erhöhten Lichtverlust bedeutet, insbesondere wenn aufgrund der kleinen Wellenlängen reflektive Optiken eingesetzt werden, ist die in der EP-A-1024408 vorgeschlagene Lösung wegen der Vielzahl der optischen Komponenten nachteilig.

[0019] Des weiteren sind in der EP-A-1024408 keinerlei Angaben darüber gemacht, wie die Ablenkwinkel und Anordnung der Facetten auf dem zweiten nicht abbildenden optischen Element zu wählen sind, um das Ringfeldsegment in der Feldebene zu formen.

[0020] Ein weiterer Nachteil der EP-A-1024408 ist,

daß stets zwei nicht abbildende optische Elemente, nämlich ein Kollektor und ein feldformendes Element, benötigt werden, um eine Lichtverteilung in der Austrittspupille zur Verfügung zu stellen und das Feld in der Feldebene auszuleuchten.

[0021] Aufgabe der Erfindung ist es, die Nachteile des Standes der Technik zu überwinden, insbesondere soll die Anzahl der Komponenten eines EUV-Beleuchtungssystems reduziert und die Lichtverluste minimiert werden.

[0022] Die Erfinder haben nun überraschenderweise erkannt, daß bei einem optischen Element, das eine Vielzahl von Facetten umfaßt, die Anordnung und die Ablenkwinkel der Facetten auf dem optischen Element so gewählt werden können, daß mit diesem optischen Element sowohl ein Feld in der Feldebene wie auch die Austrittspupille des Beleuchtungssystems in einer vorbestimmten Weise ausgeleuchtet werden.

[0023] Bevorzugt ist das auszuleuchtende Feld in der Feldebene ein Ringfeldsegment, wobei bei einem Scanning-Beleuchtungssystem die radiale Richtung in der Mitte des Ringfeldsegments die Scanrichtung des Beleuchtungssystems definiert.

[0024] Bei dem erfindungsgemäßen optischen Element kann die Ringfeldformung durch das optische Element selbst erfolgen.

[0025] Die Ausleuchtung des Ringfeldsegments kann alternativ über ein weiteres feldformendes optisches Element erfolgen, was das facettierte optische Element vereinfacht. Zur Vermeidung von Lichtverlusten wird hierfür bevorzugt ein grazing-incidence Spiegel verwendet. Bei einem grazing-incidence Spiegel müssen hinreichend große Einfallswinkel zur Flächennormalen vorliegen; die größer als 60° und bevorzugt größer als 70° eingestellt werden. Ferner kann eine Abbildungsoptik, die das facettierte optische Element in die Austrittspupille des Beleuchtungssystems abbildet, vorgesehen sein.

[0026] Die Verwendung bzw. das Entfallen von zusätzlichen optischen Komponenten wie feldformenden und/oder abbildenden optischen Elementen im Beleuchtungssystem wirkt sich nur auf die Anordnung und den Ablenkwinkel der Facetten des erfindungsgemäßen facettierten optischen Elementes aus, so daß durch den Einsatz eines derartigen Elementes EUV-Beleuchtungssysteme sehr flexibel gestaltet werden können.

[0027] Das erfindungsgemäße Beleuchtungssystem ist vorzugsweise als kritisches Beleuchtungssystem ausgebildet. Unter einem kritischen Beleuchtungssystem wird ein solches verstanden, das die Lichtquelle auf die Feldebene abbildet. Hiervon aus-

gehend werden Anordnung und Ablenkwinkel der Facetten auf dem erfindungsgemäßen optischen Element vorzugsweise mit der Gitternetztransformation bestimmt.

[0028] Bei einer Gitternetztransformation wird zunächst jede zu einem Feldpunkt gehörende Pupille durch ein Netzgitter repräsentiert. Entsprechend der Ausdehnung der Lichtquellen, welche in die Feldebene des Beleuchtungssystems abgebildet werden, und unter Berücksichtigung der Telezentrianforderung wird eine Anzahl von diskreten Feldpunkten gewählt, mit denen in der Feldebene im Ringfeldsegment eine weitgehend gleichmäßige Beleuchtungsintensität erzielt wird. Sodann wird das Netzgitter der Pupillen über jeden Feldpunkt in die Ebene des optischen Elementes zurückverfolgt, so daß in der Ebene des optischen Elementes ein Facettennetz entsteht. In der Ebene des optischen Elementes wird ein Transformationsnetz berechnet, für welches die Bedingung einer gleichen Strahlungsstärke pro Zelle erfüllt ist. Sodann wird das Facettennetz auf das Transformationsnetz gelegt und beide Netze derart transformiert, daß das Transformationsnetz ein kartesisches, d.h. ein äquidistantes und rechtwinkliges Netz wird. Um jeden Gitterpunkt des transformierten Facettennetzes wird eine Facette gezogen, deren Größe durch den maximal erlaubten Abstand zum nächsten Gitterpunkt bestimmt wird. Nachfolgend wird das Facettennetz auf dem Transformationsnetz wieder zurücktransformiert. In dem zuletzt erhaltenen Facettennetz sind dann die Neigungswinkel der einzelnen Facetten durch die zugeordneten Feldpunkte definiert. In einer weitergebildeten Ausführungsform kann vorgesehen sein, daß, um einen minimalen Lichtverlust zu erreichen, eine Optimierung der Netzpunkte in der Pupille und dem Feld vorgenommen wird.

[0029] Neben dem erfindungsgemäßen optischen Element stellt die Erfindung auch ein Beleuchtungssystem mit einem nicht abbildenden optischen Element zur Verfügung, das sich durch gegenüber dem Stand der Technik in Form der EP-A-1024408 verminderte Lichtverluste auszeichnet.

[0030] Im Gegensatz zu dem aus der EP-A-1024408 bekannten Beleuchtungssystem weist das erfindungsgemäße Beleuchtungssystem ein einziges facettierte optisches Element auf, das sowohl das Feld in der Feldebene wie auch die Austrittspupille in einer vorbestimmten Form, beispielsweise annular, quadrupolar oder kreisförmig ausleuchtet. Bei einem derartigen facettierten optischen Element weisen die Facetten auf dem optischen Element eine derartige Anordnung und einen derartigen Ablenkwinkel auf, daß sowohl das Feld in der Feldebene wie die Austrittspupille in einer vorbestimmten Form ausgeleuchtet werden.

[0031] Ein solches Element wird auch als spekulärer Reflektor bezeichnet. Es zeichnet sich dadurch aus, daß eine einfallende Welle an bestimmten Orten des Reflektors nur in bestimmte Winkel reflektiert wird. Eine Lagefestsetzung des spekularen Reflektors, beispielsweise auf die Ebene der Eingangspupille des Beleuchtungssystems, ist nicht notwendig, so daß in bezug auf die Bauraumgestaltung des erfindungsgemäßen Beleuchtungssystems keine Einschränkungen vorliegen.

[0032] Der spekulare Reflektor gemäß der Erfindung wird bevorzugt in einem kritischen Beleuchtungssystem eingesetzt. Gemäß Lexikon der Optik, herausgegeben von Heinz Haferkorn, Leipzig, 1990, S. 192, ist eine kritische Beleuchtung eine Beleuchtung, bei der die Lichtquelle direkt in das Objekt, das im vorliegenden Fall die Feldebene ist, abgebildet wird.

[0033] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform weisen die Facetten auf dem optischen Element eine hexagonale Anordnung auf.

[0034] Im Lichtweg zwischen dem optischen Element und der Feldebene können feldformende optische Elemente oder optische Elemente mit abbildender Wirkung vorgesehen sein. Auch das Einbringen mehrerer optischer Elemente unter Bildung eines Zwischenbildes des Ringfeldsegments für den Einsatz von Blenden wäre möglich.

[0035] Um verschiedene Beleuchtungs-Settings, beispielsweise ein annulares oder quadrupolares Beleuchtungs-Setting, in der Austrittspupille des Beleuchtungssystems einzustellen bzw. verschiedene Ringfeldsegmente zu erzeugen, kann vorgesehen sein, das optische Element austauschbar, beispielsweise in einer Wechseltrommel, zu gestalten.

[0036] Betreffend die Einstellung unterschiedlicher Beleuchtungs-Settings wird auf die Deutsche Patentanmeldung 100 53 587.9, eingereicht am 27.10.2000, der Anmelderin verwiesen, deren Offenbarungsgehalt vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung mit aufgenommen wird.

[0037] Besonders vorteilhaft ist es, wenn man zur Kompensation einer ungleichmäßigen Beleuchtungsstärke der Lichtquelle die einzelnen Facetten des optischen Elementes mit Brechkraft ausstattet. Auf diese Art und Weise können in der Austrittspupille des Beleuchtungssystems in etwa gleich groß ausgeleuchtete Punkte erhalten werden. Im Feld erhält man bei einer derartigen Anordnung eine Verwaschung der kritischen Beleuchtung, was aber unerheblich ist, solange der Feldbereich nicht überstrahlt wird und keine Leistung verloren geht.

[0038] Mögliche Herstellungsverfahren für die nicht

abbildenden optischen Elemente sind die Grautonlithographie oder direkt schreibende Lithographie in Verbindung mit Ätztechniken, das Zusammensetzen des Elementes aus vielen kleinen Stäben, welche entsprechende Neigungswinkel an der Stirnseite aufweisen sowie das galvanische Abformen eines mit Hilfe der Grautonlithographie oder der direkt schreibenden Lithographie hergestellten Grundmusters.

[0039] Die Erfindung soll nachfolgend anhand der Zeichnungen beispielhaft beschrieben werden:

[0040] Es zeigen:

[0041] Fig. 1: das Prinzip eines spekularen Reflektors für eine homozentrische Pupille

[0042] Fig. 2: das Prinzip eines spekularen Reflektors für eine nicht homozentrische Pupille

[0043] Fig. 3: ringförmiges Feld in der Feldebene eines Beleuchtungssystems

[0044] Fig. 4: ein Pupillennetz für einen Feldpunkt

[0045] Fig. 5: das ausgeleuchtete Ringfeldsegment mit darin angeordneten Feldpunkten

[0046] Fig. 6: das Facettennetz in der Ebene des nicht abbildenden optischen Elementes

[0047] Fig. 7: das Facettennetz, das sich bei Zugrundelegen einer homogenen Beleuchtung ergibt

[0048] Fig. 8: Beleuchtungssystem mit einem spekularen Reflektor als einzige optische Komponente

[0049] Fig. 9: Projektionsbelichtungsanlage mit einem Beleuchtungssystem gemäß Fig. 8

[0050] Fig. 10 Beleuchtungssystem mit einem spekularen Reflektor und einem feldformenden Element

[0051] Fig. 11 Projektionsbelichtungsanlage mit einem Beleuchtungssystem gemäß Fig. 10

[0052] Fig. 12 Beleuchtungssystem mit einem spekularen Reflektor und einem abbildenden Element

[0053] Fig. 13 Projektionsbelichtungsanlage mit einem Beleuchtungssystem mit einem abbildenden und einem feldformenden Spiegel

[0054] Fig. 14A: spekularen Reflektor mit hexagonaler Anordnung der Facetten auf dem Spiegel

[0055] Fig. 14B: Ausschnitt eines Facettenspiegels gemäß Fig. 13A Mit dem erfindungsgemäßen optischen Element soll ein in einer Feldebene fokussiertes Bündel so abgelenkt werden, daß in der Felde-

bene ein Ringfeldsegment geformt wird, als auch – betrachtet von einem bestimmten Feldpunkt aus – eine Pupille in einer vorgegeben Form, beispielsweise annular oder quadripolar, ausgeleuchtet wird.

[0056] Hierzu wird in die zu einem Feldpunkt gehörende Pupille eine bestimmte Menge des einfallenden Lichtes gelenkt. Dies kann zum Beispiel durch kleine Planfacetten erfolgen. Die Planfacetten werden dabei so angeordnet, daß das Feld in der Feldebene homogen ausgeleuchtet wird und für jeden Feldpunkt eine homogen gefüllte Pupille geformt wird, i.e. die Pupille mit diskreten, aber gezielt verteilten "Punkten" gefüllt wird. In Fig. 1 ist dieses Prinzip, das auch als Prinzip des spekularen Reflektors bezeichnet wird, für eine homozentrische Pupille, d.h. die Pupillenanlage ist für alle Feldpunkte identisch, gezeigt.

[0057] Die Pupille 1 wird durch diskrete Punkte auf dem Ringfeldsegment 3 zum Beispiel in eine Ebene 5 zurückprojiziert. Ohne dazwischengeschaltete optische Elemente, wie zum Beispiel einen feldformenden Spiegel, ergibt sich eine nierenförmige Ausleuchtung. In der Region der Ausleuchtung werden kleine Facettenspiegel so angeordnet, daß sie sowohl die diskreten Punkte im Ringfeldsegment 3 als auch die zugeordneten Pupillen 1 homogen ausleuchten.

[0058] In Fig. 2 ist das Prinzip des spekularen Reflektors für beliebige Eintrittspupillen, d.h. nicht homozentrische, sondern feldabhängige Pupillenanlagen 1.1, 1.2 gezeigt. Es ergibt sich lediglich eine andere Überlagerung der rückprojizierten Pupillen.

[0059] In Fig. 3 ist das Ringfeldsegment 3 in der Feldebene des Beleuchtungssystems mit einem kartesischen Koordinatensystem umfassend eine x- und eine y-Richtung gezeigt. Die Bezugsziffer 10 bezeichnet einen Feldpunkt in der Mitte des Ringfeldsegments, die Bezugsziffer 12 einen Feldpunkt am Rand des Ringfeldsegments. Die y-Richtung ist die Scanrichtung des Beleuchtungssystems; die x-Richtung die Richtung senkrecht auf der Scanrichtung. Der Abstand vom Feldpunkt in der Mitte des Ringfeldsegments 10 in x-Richtung wird als Feldhöhe x bezeichnet.

[0060] Da herkömmliche Lichtquellen ausgedehnt sind, d.h. das nicht abbildende optische Element an jedem Ort mit einer bestimmten Winkeldivergenz ausgeleuchtet wird, ist es möglich, auch nur bei einer Beschränkung auf die Auswahl endlich vieler diskreter Feldpunkte eine homogene Ausleuchtung in der Feldebene zu erzielen.

[0061] Die Anordnung der Facetten und deren Ablenkwinkel können mit Methoden der Gitternetztransformation bestimmt werden.

[0062] Bei der Gitternetztransformation wird jede zu einem Feldpunkt gehörende Pupille durch ein bestimmtes Netzgitter repräsentiert. Das Netzgitter wird entsprechend dem gewünschten Setting gewählt. Das Setting kann zum Beispiel ein Quadrupol oder annulares Setting sein. In **Fig. 4** ist ein derartiges Netzgitter **20** für eine kreisförmig ausgeleuchtete Pupille **1** gezeigt. Das Gitter **20** weist Zellen **22** gleicher Größe auf, wobei die gleiche Zellengröße gleiche Flächenleistungsdichte, d.h. Bestrahlungsstärke, bedeutet.

[0063] Entsprechend der Ausdehnung der hier nicht dargestellten Lichtquelle des Beleuchtungssystems, welche bei kritischer Beleuchtung in eine Feldebene abgebildet wird, und unter Berücksichtigung der Telezentrieanforderung in der Austrittspupille wird eine Anzahl von diskreten Feldpunkten gewählt, mit denen eine homogene Ausleuchtung der Pupille erzielt wird.

[0064] In **Fig. 5** sind die Feldpunkte durch eine Vielzahl von Lichtquellenbilder **24** in der Feldebene, in der das Ringfeldsegment **3** ausgebildet wird, dargestellt.

[0065] Das Netzgitter **20** der Pupillen wird über jeden Feldpunkt **24** in der Feldebene und eventuelle optische Komponenten, wie beispielsweise feldformende oder abbildende optische Komponenten, in die Ebene des erfindungsgemäßen facettierten bzw. spekularen Reflektors des optischen Elementes zurückverfolgt. Dort entsteht durch Überlagerung ein kompliziertes Netz, in dem verschiedene Knotenpunkte unterschiedlichen Feldpunkten zugeordnet sind. Dieses Netz wird als Facettennetz **26** bezeichnet. Ein derartiges Facettennetz **26** ist in **Fig. 6** gezeigt.

[0066] Auf dem spekularen Reflektor wird ein Transformationsnetz berechnet, wobei die Randbedingung gleiche Bestrahlungsstärke pro Zelle erfüllt wird. Das Facettennetz **26** wird auf das Transformationsnetz gelegt und beide werden so transformiert, daß das Transformationsnetz kartesisch, d.h. äquidistant und rechtwinklig, wird.

[0067] Um jeden Gitterpunkt des transformierten Facettennetzes wird nun eine Facette gezogen. Sodann wird das Facettennetz auf das Transformationsnetz zurücktransformiert. Es resultieren dann Facetten unterschiedlicher Größe und Position, deren Neigungswinkel durch einen zugeordneten Feldpunkt definiert ist. Der Neigungswinkel wird so eingestellt, daß der einfallende Strahl z. B. aus dem Zentrum der Lichtquelle in Richtung des zugeordneten Feldpunktes gelenkt wird.

[0068] In den verbleibenden Lücken schickt man die nicht nutzbare einfallende Strahlung durch bestimm-

te andere Facettenwinkel in einen Strahlensumpf oder man bringt keine Facetten an.

[0069] Dabei muß sich durch die Vielzahl der Facetten, die auf einen Feldpunkt Licht lenken, nicht unbedingt eine vollständig ausgeleuchtete Austrittspupille der gewünschten Form einstellen. Bei scannender Belichtung, d.h. Retikel-Maske und Wafer werden während der Belichtung synchron in oder entgegen der y-Richtung verfahren, ist es vielmehr ausreichend, wenn sich nach Scanintegration über eine bestimmte Feldhöhe x die gewünschte Ausleuchtung der Austrittspupille einstellt. Daher kann auch der Neigungswinkel jeder Facette so eingestellt werden, daß eine Vielzahl von Facetten jeweils einen anderen Feldpunkt beispielsweise innerhalb des auszuleuchtenden Feldes entlang des Scanwegs in y-Richtung ausleuchtet, so daß sich erst nach Scanintegration eine vollständig ausgeleuchtete Austrittspupille einstellt.

[0070] In **Fig. 7** ist das sich unter der Randbedingung gleicher Bestrahlungsstärke pro Zelle ergebende transformierte Transformationsnetz **27** für ein Ausführungsbeispiel ohne zusätzliche abbildende oder feldformende Komponenten gezeigt. Dargestellt ist eine Vielzahl von rechteckigen Facetten, welche über ihre individuellen Neigungswinkel jeweils eine Vielzahl von diskreten Feldpunkten und zugeordneten Pupillenorte ausleuchten. Gekennzeichnet in **Fig. 7** sind die auf den spekularen Reflektor zurückprojizierten Feldpunkte **29**, wobei im Sinne der Anschaulichkeit die Kontur des ausgeleuchteten Feldes in das transformierte Transformationsnetz **27** skizziert ist. In **Fig. 7** ist ferner einer dieser zurückprojizierten Feldpunkte **29** hervorgehoben, um die diesem Feldpunkt zugeordneten Facetten **31**, hier dunkel unterlegt, exemplarisch darstellen zu können.

[0071] In einem weiteren Schritt kann man eine Optimierung der Netzpunkte in der Pupille, zum Beispiel durch feldpunktabhängige Gestaltung des Netzes in der Pupille und dem Feld durch abweichende Wahl der Feldpunkte unter Berücksichtigung der Uniformität in Scanrichtung, vornehmen, so daß sich ein minimaler Lichtverlust im Strahlensumpf einstellt.

[0072] Zur Berechnung der Uniformität in Scanrichtung wird von einer Ausleuchtung der Feldebene in der Form eines Ringfeldsegments gemäß **Fig. 3** ausgegangen. Im dargestellten Ringfeldsegment ist ein x,y-Koordinatensystem eingezeichnet, wobei die Scanrichtung parallel zur y-Richtung des Koordinatensystems verläuft. Die Scanenergie (SE) in Abhängigkeit der zur Scanrichtung senkrechten Richtung x berechnet sich wie folgt: $SE(x) = \int E(x,y)dy$ wobei E in Abhängigkeit von x und y die Intensitätsverteilung in der xy-Feldebene ist. Will man nun eine gleichmäßige Belichtung erhalten, so ist es vorteilhaft, wenn die Scanenergie weitgehend unabhängig von der x-Posi-

tion ist. Die Uniformität in Scanrichtung ist demgemäß wie folgt definiert: Uniformität [%] = $100\% \cdot (SE_{\max} - SE_{\min}) / (SE_{\max} + SE_{\min})$

[0073] Dabei ist SE_{\max} die maximal und SE_{\min} die minimal auftretende Scanenergie im ausgeleuchteten Feldbereich.

[0074] Für eine verbesserte Ausleuchtung der Ausgangspupille des Beleuchtungssystems können auch zusätzlich die Facettenparameter des spekularen Reflektors so eingestellt werden, daß für jede Integration der Beleuchtungsanteile aller Punkte in der Feldebene, die auf einer in Scanrichtung verlaufenden Geraden liegen, die gleiche integrierte Teilbeleuchtung der Austrittspupille resultiert.

[0075] Mit dem erfindungsgemäßen optischen Element bzw. spekularen Reflektor, bei dem die Ablenkungswinkel und die Anordnung der Facetten wie oben beschrieben gewählt wurde, kann man Beleuchtungssysteme aufbauen, die nur mit wenigen, im Extremfall nur mit einer einzigen, optischen Komponente arbeiten. Da die Verluste durch Reflexion bei EUV-Strahlung erheblich sind, sind derartige Beleuchtungssysteme besonders vorteilhaft. Nachfolgend sollen beispielhaft Beleuchtungssysteme mit einem erfindungsgemäßen optischen Element näher beschrieben werden.

[0076] In **Fig. 8** ist ein Beleuchtungssystem gemäß der Erfindung gezeigt, bei dem das Beleuchtungssystem nur eine einzige optische Komponente umfaßt, nämlich das erfindungsgemäße facettierte optische Element bzw. den spekularen Reflektor **100**, der gleichzeitig als Kollektor für das Licht der Lichtquelle **102** wirkt.

[0077] Der spekulare Reflektor **100** des einspiegeligen Beleuchtungssystems hat annähernd Nierenform und führt sowohl die Abbildung der Lichtquelle **102** in die Feldebene **108**, die Ringfeldformung und die Ausleuchtung der Pupille **106** aus. Die Berechnung der Neigungswinkel und die Anordnung der Facetten erfolgt wieder über die Gitternetztransformation. Der spekulare Reflektor **100** gemäß **Fig. 8** umfaßt beispielsweise mehrere 1000 einzelne Facetten.

[0078] Zur Formung der Pupille **106** kann es erforderlich sein, einzelne Facetten des spekularen Reflektors **100** mit Brechkraft auszustatten. Nimmt beispielsweise die Beleuchtungsstärke durch die Lichtquelle zu den Rändern nun ab, müssen dort die Facetten größer werden, um entsprechend mehr Licht einzusammeln. Dann ist es möglich, sie mit geringer Brechkraft auszustatten, damit in der Austrittspupille **106** wieder gleich groß ausgeleuchtete Punkte erhalten werden. In der Feldebene erhält man dadurch eine Verwaschung der kritischen Beleuchtung, was aber solange unerheblich ist, solange der Feldbe-

reich nicht überstrahlt und damit Leistung verloren geht.

[0079] Bei der Projektionsbelichtungsanlage gemäß **Fig. 9** fällt die Austrittspupille **106** des Beleuchtungssystems gemäß **Fig. 8** mit der Eintrittspupille des nachfolgenden Projektionsbelichtungsobjektivs **112** zusammen. Das nachfolgende Projektionsobjektiv **112** ist ein 6-Spiegel-Projektionsobjektiv mit Spiegeln **114.1**, **114.2**, **114.3**, **114.4**, **114.5** und **114.6**, wie beispielsweise in der DE-A-10037870.6 oder der US 60/255214, eingereicht am 13.12.2000 beim US-Patentamt für die Anmelderin, offenbart, deren Offenbarungsgehalt vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung mit aufgenommen wird.

[0080] Das Projektionsobjektiv **112** bildet eine in der Feldebene **108** angeordnete Maske, die auch als Retikel bezeichnet wird, in die Bildebene **116**, in der ein lichtempfindliches Objekt, beispielsweise ein Wafer, angeordnet ist, ab. Sowohl die Maske wie das lichtempfindliche Objekt können in der Feld- bzw. Bildebene beweglich angeordnet sein.

[0081] Der geometrische Lichtverlust durch den nierenförmig auszulegenden spekularen Reflektor **100** wird aufgrund der hohen Reflexionsverluste, wie sie bei EUV-Strahlung auftreten, kompensiert. Andere Beleuchtungssysteme mit mehreren Spiegeln haben möglicherweise geringere geometrische Verluste, d.h. eine höhere geometrische Kollektionseffizienz, daß Licht geht aber durch die vielfache Reflexion mit weniger als 70% Reflektivität ebenso oder sogar noch mehr verloren.

[0082] In **Fig. 10** ist in einem weiteren Ausführungsbeispiel ein Beleuchtungssystem mit spekularem Reflektor **100** mit einem feldformenden Element **110** gezeigt. Gleiche Bauteile wie in **Fig. 8** sind mit denselben Bezugsziffern belegt.

[0083] Der spekulare Reflektor **100** wird bei diesem Ausführungsbeispiel für ein rechteckiges Feld ausgelegt. Die Ringfeldformung erfolgt über das feldformende Element **110**, das vorliegend ein feldformender grazing-incidence Spiegel ist. Zur Ausleuchtung eines Ringfeldsegments werden bevorzugt Feldspiegel mit konvexer Form verwendet.

[0084] Der spekulare Reflektor **100** besitzt in der Ausführungsform gemäß **Fig. 9** eine elliptische Form. Die Facetten haben beliebige Form und sind zum Beispiel durch eine Gitternetztransformation berechnet.

[0085] In **Fig. 11** ist eine Projektionsbelichtungsanlage mit einem Beleuchtungssystem gemäß **Fig. 10** gezeigt. Gleiche Bauteile wie in **Fig. 9** sind mit denselben Bezugsziffern belegt.

[0086] Bei der Ausführungsform gemäß **Fig. 8** bzw. **Fig. 10** können die Facettenspiegel des spekularen Reflektors zur Erhöhung der Kollektionseffizienz auch auf einem gekrümmten Träger angeordnet werden. Die Lichtquelle **102** kann in einer weiteren Variante auch über einen abbildenden Kollektor gesammelt und mit einem zusätzlichen Spiegel in die Feldebene **108** abgebildet werden. Auch kann die Lichtquelle **102** ein Bild der Lichtquelle darstellen.

[0087] Alternativ kann ein Projektionsbelichtungssystem ein Beleuchtungssystem gemäß der Erfindung umfassen, das neben dem feldformenden Element zusätzlich ein oder mehrere abbildende Elemente **104** umfassen kann. Eine solches Beleuchtungssystem ist in **Fig. 12** dargestellt; während die entsprechende Projektionsbelichtungsanlage in **Fig. 13** gezeigt wird. Gleiche Bauteile wie in **Fig. 11** tragen dieselben Bezugsziffern.

[0088] Das Element mit abbildender Wirkung **104** bildet den spekularen Reflektor **100** in die Austrittspupille **106** des Beleuchtungssystems ab. Möglich sind selbstverständlich auch mehrere abbildende optische Elemente, welche gegebenenfalls sogar ein Zwischenbild des Ringfeldsegments **3** in der Feldebene **108** für den Einsatz von Blenden formen. Der Einsatz zusätzlicher abbildender oder anderer Spiegel kann vorteilhaft sein, wenn der Strahlengang zusätzlich gefaltet werden muß, um beispielsweise die Lichtquelle in einen besser zugänglichen Bauraum zu bringen. Dies ist in **Fig. 13** offensichtlich. Hier ist die Lichtquelle weiter entfernt von der Retikelmaste als im Vergleichsbeispiel der **Fig. 9**. Zusätzliche Spiegel zur Faltung des Strahlenganges sind besonders vorteilhaft für Lichtquellen, welche einen großen Bauraum beanspruchen.

[0089] Nachfolgend soll ein konkretes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen facettierten optischen Elementes beschrieben werden.

[0090] Bei einer Telezentrieanforderung von 1 mrad und einer Schnittweite der Eintrittspupille, die als Länge des Schwerpunktstrahls zwischen Feldebene und Austrittspupille definiert ist, von etwa 1 m ergibt sich ein idealer Abstand der Lichtquellenbilder in der Feldebene **108** von < 2 mm. Dann ist der Telezentriefehler in der Austrittspupille **106** mit einem Punkt auf dem Feld in der Feldebene **108** zwischen zwei gewählten Zielpunkten unterhalb 1 mrad. Auf dem facettierten optischen Element **100** sind mehr als 50 Zielpunkte erforderlich.

[0091] Legt man die Lichtquellenbilder größer aus, so sehen Feldpunkte zwischen den Zielpunkten immer Licht aus der Pupille zu mindestens zwei Zielpunkten. In diesem Fall wird die Telezentrie auch bei weniger Zielpunkten erfüllt, zum Beispiel bei 30 Zielpunkten. In den **Fig. 14A** und **14B** ist für einen Aus-

schnitt des erfindungsgemäßen facettierten optischen Elementes ein solches mit hexagonalen Facetten dargestellt.

[0092] In **Fig. 14A** ist das facettierte optische Element mit hexagonalen Facetten **130** beispielhaft gezeigt. Bezugsziffer **132** bezeichnet einen Ausschnitt des facettierten optischen Elementes. Wie **Fig. 14B** zeigt, besteht das gesamte facettierte optische Element aus ähnlichen Zellen mit mindestens 30 einzelnen Facetten, welche einem Feldpunkt zugeordnet sind.

[0093] Rechnet man mit mehr als 50 Punkten für die Pupille, so benötigt man ein nicht abbildendes optisches Element mit etwa 2000 bis 5000 Facetten. Bei einem Spiegeldurchmesser von 250 mm kommt man also auf eine Facettengröße von etwa $5 \times 5 \text{ mm}^2$ – also eine durchaus makroskopische Elementgröße.

[0094] Als Herstellverfahren kommen die nachfolgenden Verfahren in Betracht:

- die Grautonlithographie oder direktschreibende Lithographie in Verbindung mit Ätztechnik (RIE)
- das Zusammensetzen aus vielen kleinen Stäben, welche entsprechende Neigungswinkel an der Stirnseite aufweisen
- das galvanische Abformen (GA) eines nach obigen Methoden hergestellten Masters

[0095] Mit der vorliegenden Erfindung wird erstmals ein optisches Element angegeben, bei dem durch die Art der Anordnung der Facetten und der Ablenkwinkel der Facetten auf dem optischen Element die Feldebene und gleichzeitig die Austrittspupille ausgeleuchtet wird.

[0096] Des weiteren stellt die Erfindung ein Beleuchtungssystem zur Verfügung, das sich dadurch auszeichnet, daß es lediglich ein facettiertes optisches Element umfaßt.

Bezugszeichenliste

| | |
|-----------------|--|
| 1 | Pupille |
| 1.1, 1.2 | unterschiedliche Pupillenlagen |
| 3 | Ringfeldsegment |
| 5 | Ebene des facettierten optischen Elementes |
| 10 | Feldpunkt in der Mitte des Ringfeldsegments 3 |
| 12 | Feldpunkt am Rand des Ringfeldsegments 3 |
| 20 | Netzgitter |
| 22 | Zellen des Netzgitters |
| 24 | Feldpunkte in der Feldebene |
| 26 | Facettennetz |
| 27 | transformiertes Transformationsnetz |
| 29 | Feldpunkt, zurückprojiziert auf den spekularen Reflektor |

| | |
|---------------------|---|
| 31 | zugeordnete Facette des facettierten optischen Elements |
| 100 | facettiertes optisches Element |
| 102 | Lichtquelle |
| 104 | abbildende Optik |
| 106 | Austrittspupille des Beleuchtungssystems |
| 108 | Feldebene |
| 110 | feldformendes optisches Element |
| 112 | Projektionsobjektiv |
| 114.1, 114.2 | |
| 114.3, 114.4 | |
| 114.5, 114.6 | Spiegel des Projektionsobjektivs |
| 116 | Bildebene |
| 130 | hexagonale Facetten |
| 132 | Ausschnitt des facettierten, optischen Elements |
| x-Richtung | Richtung in der Feldebene senkrecht zur Scanrichtung |
| y-Richtung | Richtung in der Feldebene in Scanrichtung |

Patentansprüche

1. Optisches Element (**100**) für ein Beleuchtungssystem mit Wellenlängen ≤ 193 nm;
 1.1 wobei das Beleuchtungssystem eine Lichtquelle (**102**), eine Feldebene (**108**) sowie eine Austrittspupille (**106**) aufweist;

gekennzeichnet durch die folgenden Merkmale

1.2 das optische Element (**100**) weist eine Vielzahl von Facetten auf, die so angeordnet sind und solche Ablenkwinkel aufweisen, daß jede Facette Licht von der Lichtquelle (**102**) aufnimmt und auf einen zugeordneten, diskreten Punkt in der Feldebene (**24**) lenkt, wobei die diskreten Punkte derart gewählt sind, daß ein Feld in der Feldebene (**108**) in vorbestimmter Form ausgeleuchtet wird;

1.3 und daß jede Facette über den jeweils zugeordneten, diskreten Punkt in der Feldebene (**24**) einen zugeordneten Bereich der Austrittspupille (**106**) des Beleuchtungssystems ausleuchtet.

2. Optisches Element (**100**) gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Vielzahl von Facetten so angeordnet sind und solche Ablenkwinkel sowie solche Größen aufweisen, daß die integrierte Ausleuchtung der Austrittspupille (**106**), welche von Feldpunkten entlang eines Wegs in Scanrichtung resultiert, weitgehend homogen ist.

3. Optisches Element (**100**) gemäß Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die integrierte Ausleuchtung der Austrittspupille (**106**), welche von Feldpunkten entlang eines beliebigen Wegs in Scanrichtung resultiert, vorzugsweise kreisrund oder quadrupolar oder annular ist.

4. Optisches Element (**100**) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das

Feld in der Feldebene (**108**) ein Ringfeldsegment ist, wobei die radiale Richtung in der Mitte des Ringfeldsegments eine Scanrichtung des Beleuchtungssystems definiert.

5. Optisches Element (**100**) gemäß Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß für jede Integration der Beleuchtungsanteile aller Punkte in der Feldebene, die auf einer in Scanrichtung verlaufenden Geraden liegen, die gleiche integrierte Teilbeleuchtung der Austrittspupille (**106**) resultiert.

6. Optisches Element (**100**) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das optische Element (**100**) eine Vielzahl von Lichtquellenbildern erzeugt und diese in die Feldebene (**108**) abbildet.

7. Optisches Element (**100**) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Strahlengang von der Lichtquelle (**102**) zum optischen Element (**100**) kein weiteres optisches Element aufweist.

8. Optisches Element (**100**) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Ablenkwinkel der Facetten eine sammelnde Wirkung erzeugen.

9. Optisches Element (**100**) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine Facette eine optische Brechkraft aufweist.

10. Optisches Element (**100**) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine Facette des optischen Elementes eine Planfacette ist.

11. Beleuchtungssystem für Wellenlängen ≤ 193 nm, insbesondere für die EUV-Lithographie, umfassend

11.1 eine Lichtquelle (**102**),

11.2 eine Feldebene (**108**),

11.3 ein optisches Element (**100**),

11.4 eine Austrittspupille (**106**), dadurch gekennzeichnet, daß

11.5 das optische Element (**100**) eine Vielzahl von Facetten aufweist, die so angeordnet sind und einen solchen Ablenkwinkel aufweisen, daß jede Facette Licht von der Lichtquelle (**102**) aufnimmt und auf einen diskreten Punkt in der Feldebene lenkt, wobei die diskreten Punkte derart gewählt sind, daß ein Feld in der Feldebene (**108**) in vorbestimmter Form ausgeleuchtet wird;

11.6 und daß jede Facette über den jeweils zugeordneten, diskreten Punkt in der Feldebene (**24**) einen zugeordneten Bereich der Austrittspupille (**106**) des Beleuchtungssystems ausleuchtet.

12. Beleuchtungssystem gemäß Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Vielzahl von Facetten so angeordnet sind und solche Ablenkwinkel sowie solche Größen aufweisen, daß die integrierte Ausleuchtung der Austrittspupille (**106**), welche von Feldpunkten entlang eines Wegs in Scanrichtung resultiert, weitgehend homogen ist.

13. Beleuchtungssystem gemäß Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die integrierte Ausleuchtung der Austrittspupille (**106**), welche von Feldpunkten entlang eines beliebigen Wegs in Scanrichtung resultiert, vorzugsweise kreisrund oder quadrupolar oder annular ist.

14. Beleuchtungssystem gemäß einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Feld in der Feldebene (**108**) ein Ringfeldsegment ist, wobei die radiale Richtung in der Mitte des Ringfeldsegments eine Scanrichtung des Beleuchtungssystems definiert.

15. Beleuchtungssystem gemäß Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß das optische Element (**100**) das Ringfeldsegment in der Feldebene (**108**) formt.

16. Beleuchtungssystem gemäß einem der Ansprüche 11 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß das optische Element (**100**) eine Vielzahl von Lichtquellenbildern erzeugt und diese in die Feldebene (**108**) abbildet.

17. Optisches Element (**100**) gemäß einem der Ansprüche 11 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Strahlengang von der Lichtquelle (**102**) zum optischen Element (**100**) kein weiteres optisches Element aufweist.

18. Beleuchtungssystem gemäß einem der Ansprüche 11 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß das Beleuchtungssystem des weiteren einen grazingincidence Feldspiegel (**110**) zur Formung des Ringfeldsegments in der Feldebene (**108**) umfaßt.

19. Beleuchtungssystem gemäß Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß der grazing-incidence Feldspiegel (**110**) eine konvexe Form aufweist.

20. Beleuchtungssystem gemäß einem der Ansprüche 11 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß das Beleuchtungssystem des weiteren einen Konkav-Spiegel als abbildendes optisches Element (**104**) zur Abbildung des optischen Elementes (**100**) in die Austrittspupille umfaßt.

21. Beleuchtungssystem gemäß einem der Ansprüche 11 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß für jede Integration der Beleuchtungsanteile aller Punkte in der Feldebene, die auf einer in Scanrichtung ver-

laufenden Geraden liegen, die gleiche integrierte Teilbeleuchtung der Austrittspupille (**106**) resultiert.

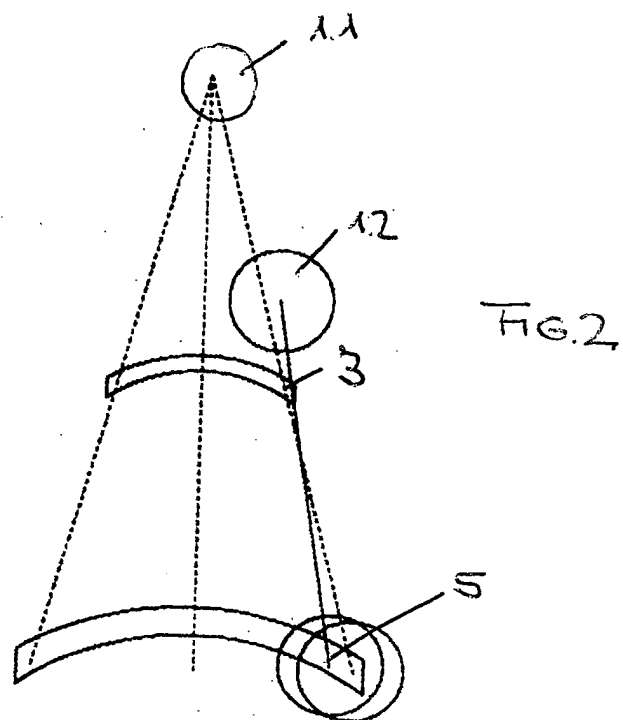
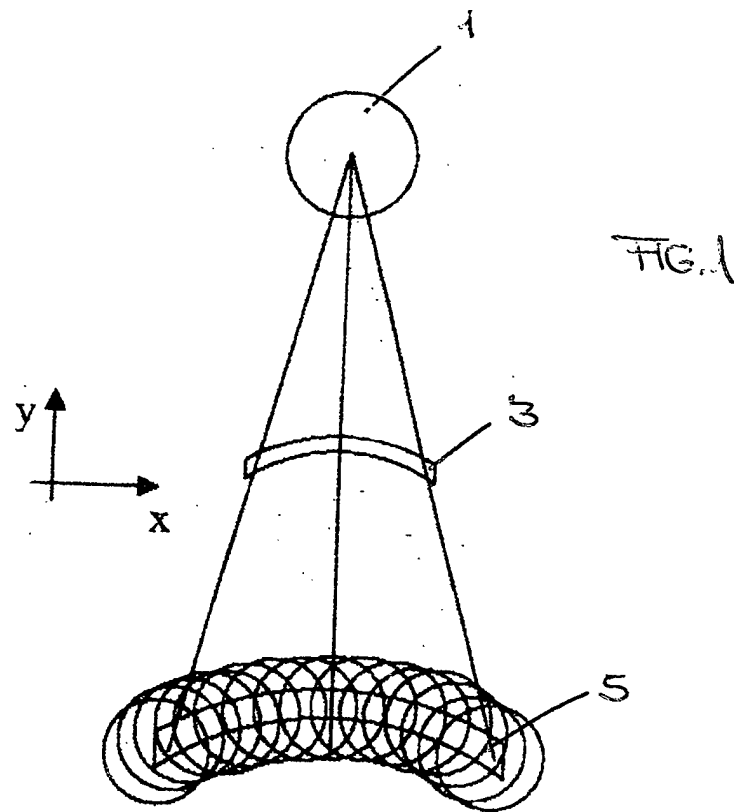
22. Beleuchtungssystem gemäß einem der Ansprüche 11 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß das optische Element austauschbar ist, so daß verschiedene Formen der Ausleuchtung in der Austrittspupille (**106**) erzeugt werden können.

23. Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithographie mit einem Beleuchtungssystem gemäß der Ansprüche 11 bis 22 sowie einer Maske, einem Projektionsobjektiv (**112**) und einem lichtempfindlichen Objekt, insbesondere einem Wafer auf einem Trägersystem.

24. Verfahren zur Herstellung mikroelektronischer Bauteile, insbesondere Halbleiterchips, mit einer Projektionsbelichtungsanlage gemäß Anspruch 19.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



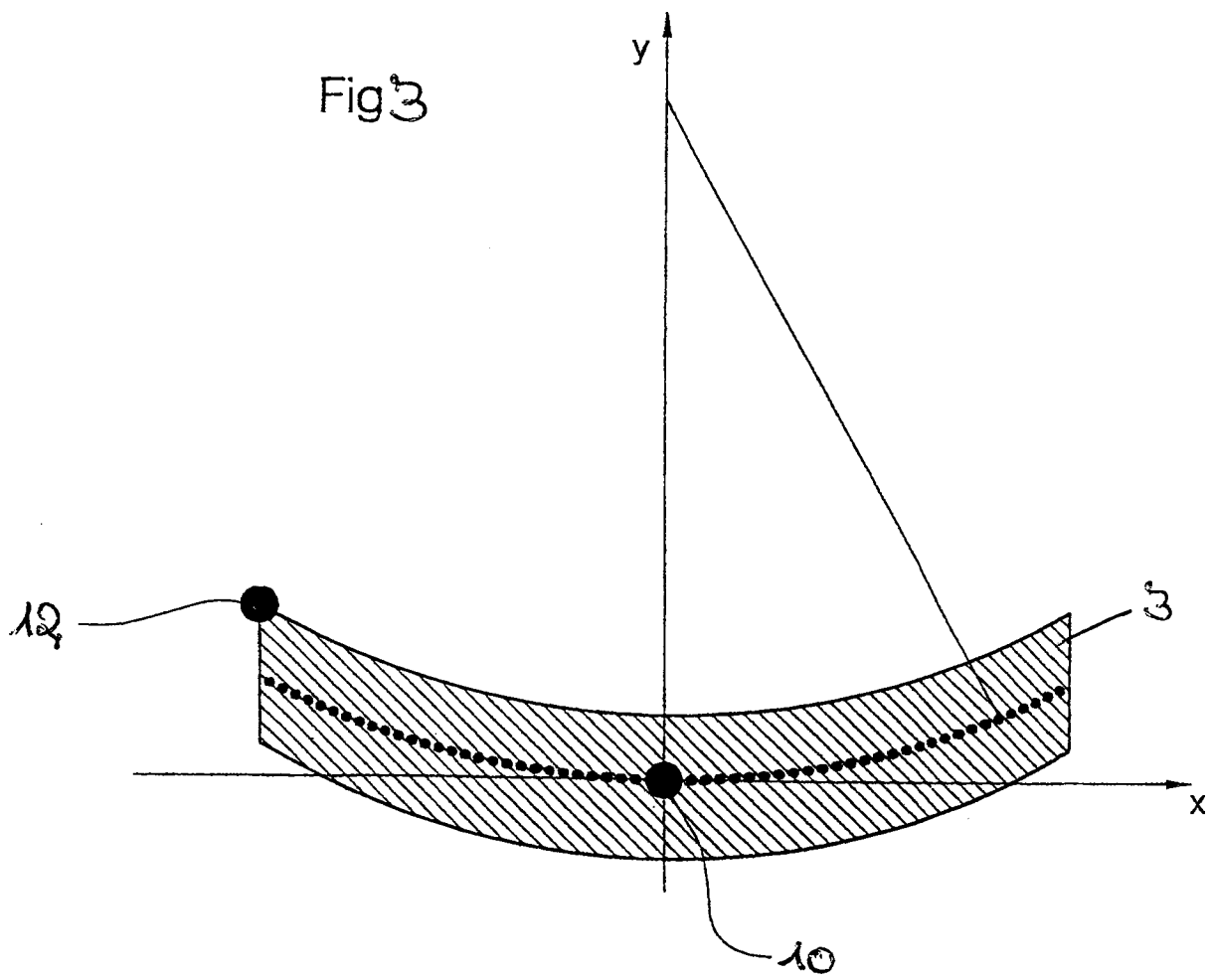


FIG. 4

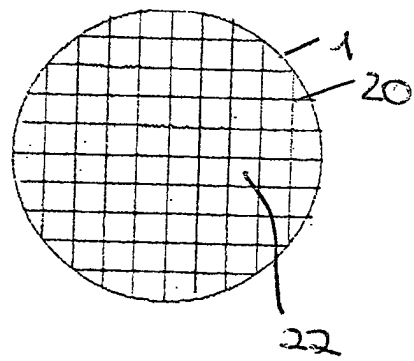


FIG. 5

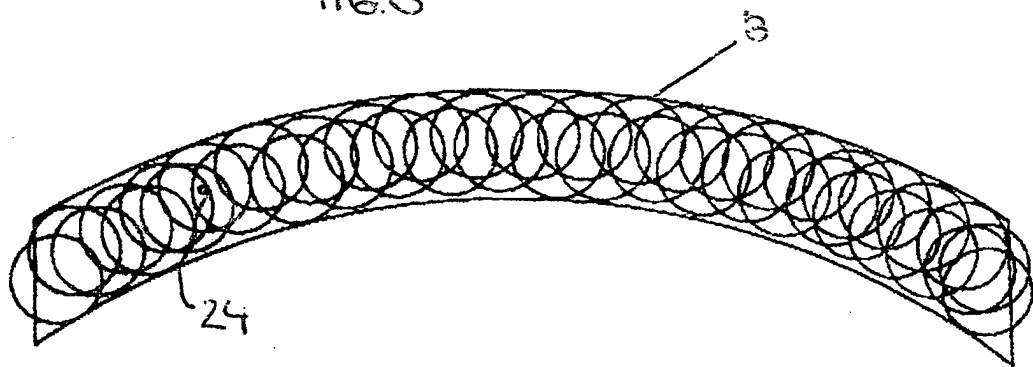


FIG. 6

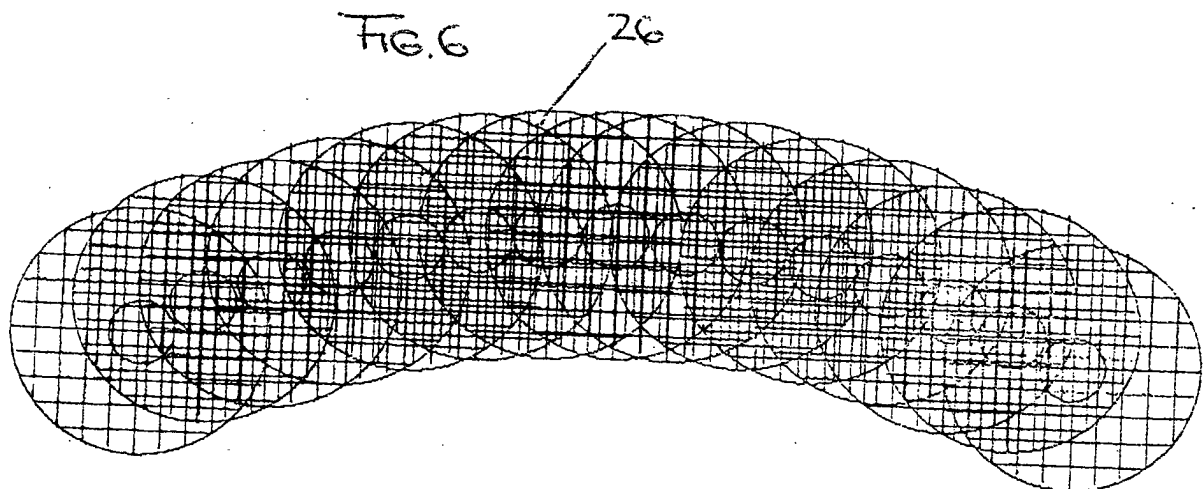


Fig. 7

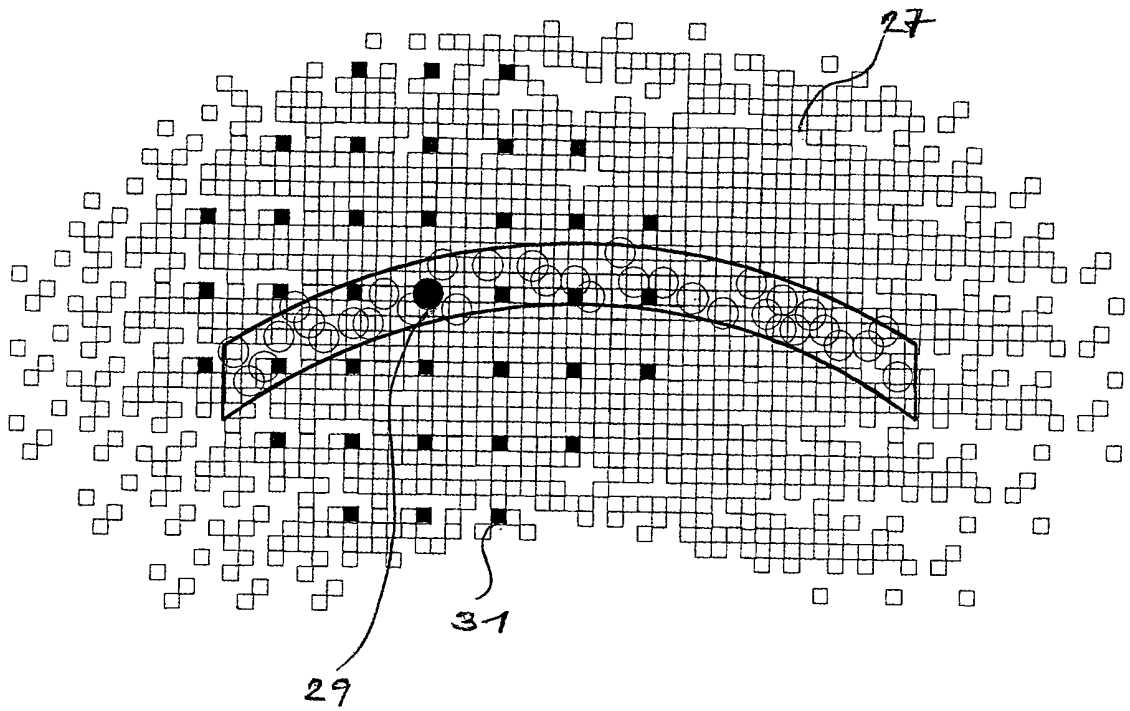


Fig. 8

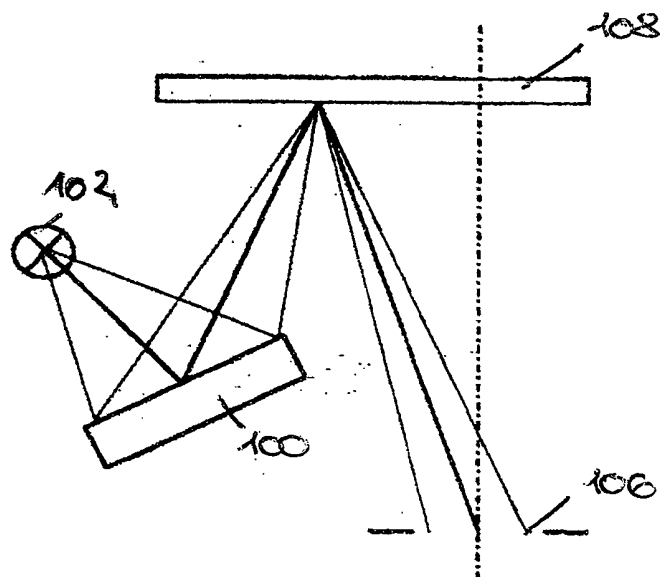


Fig. 9

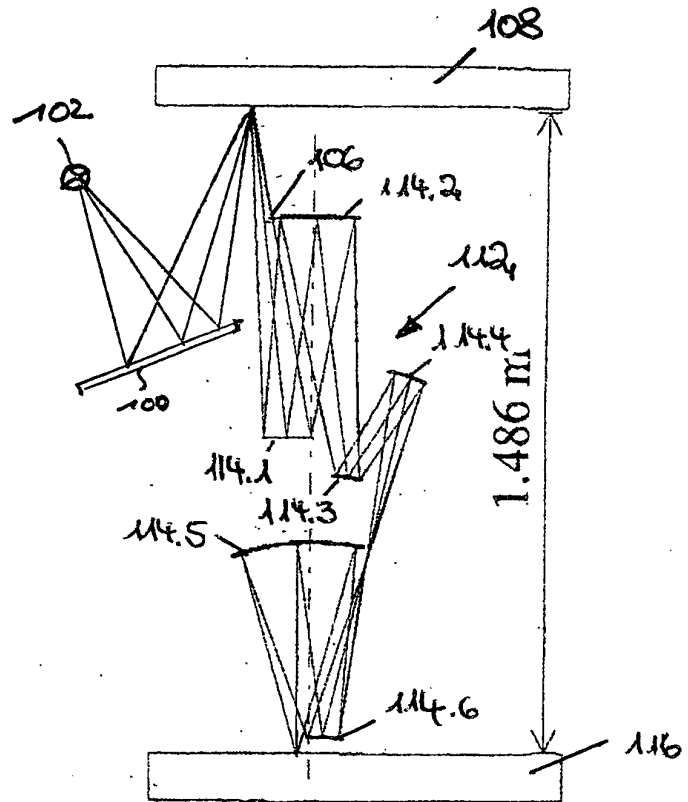


Fig. 10

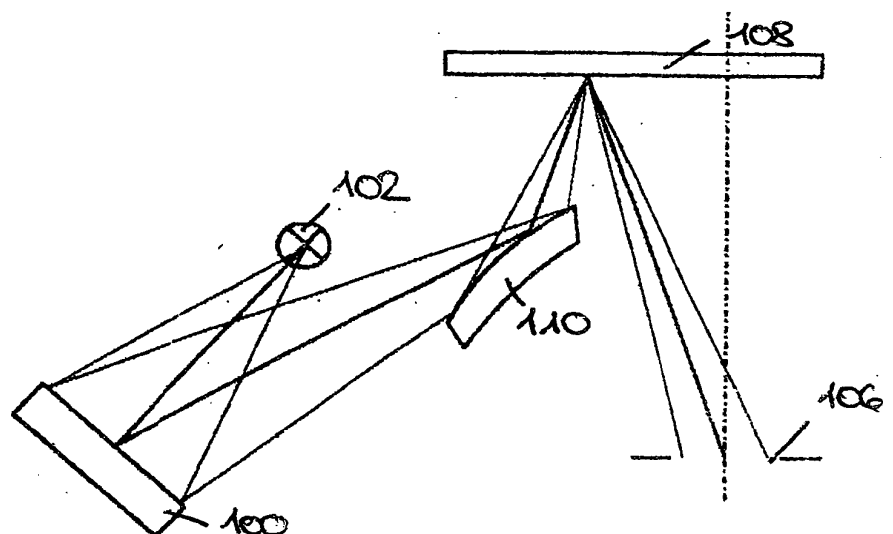


Fig. 11

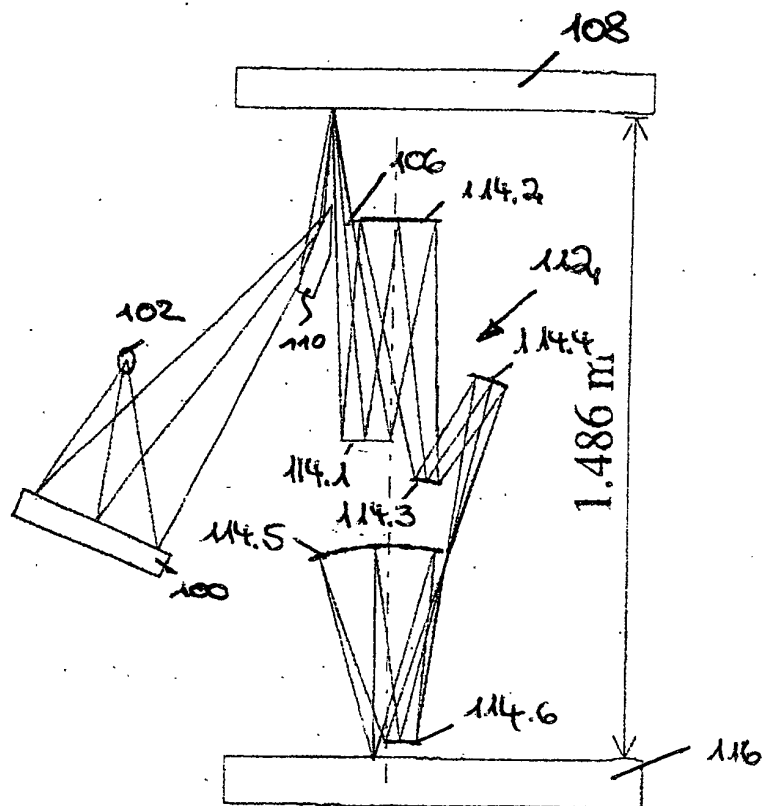


Fig. 12

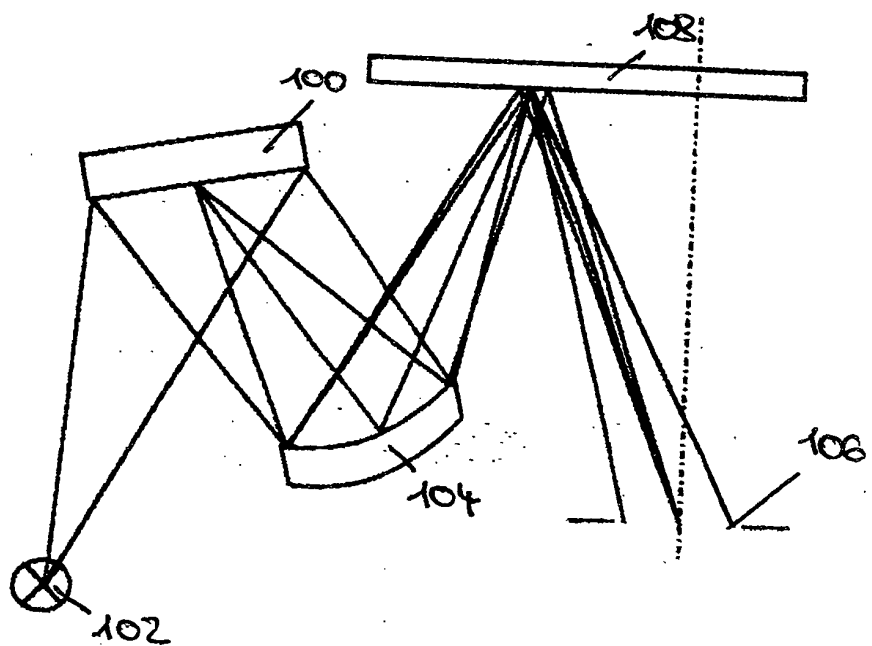


Fig. 13

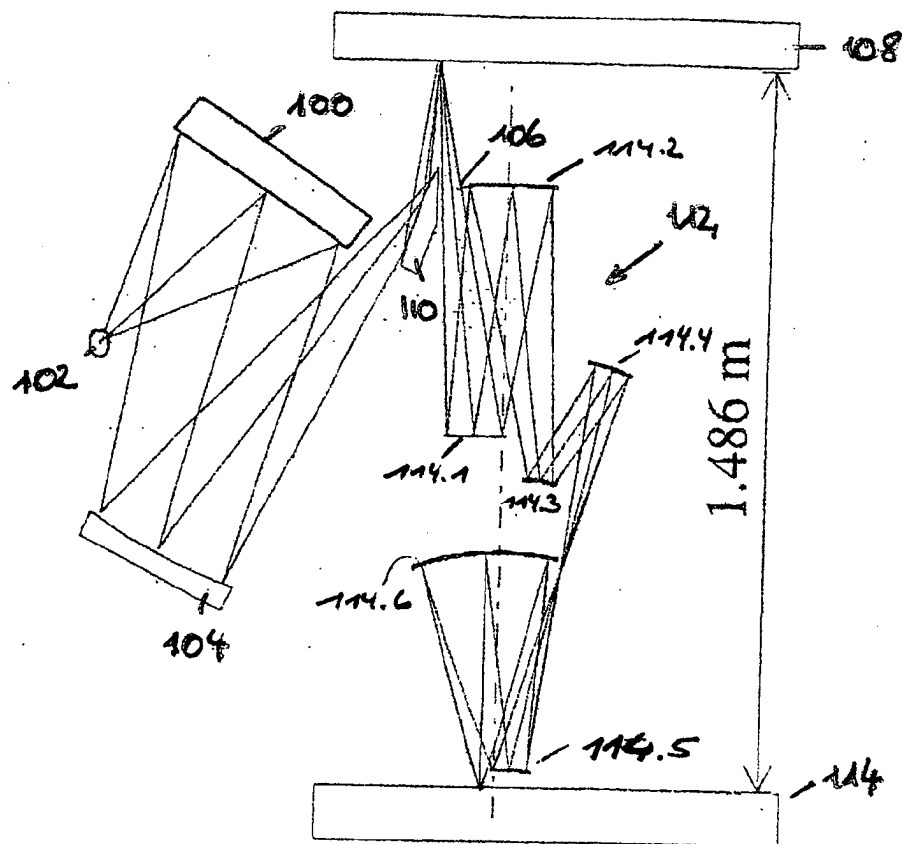


Fig. 14A

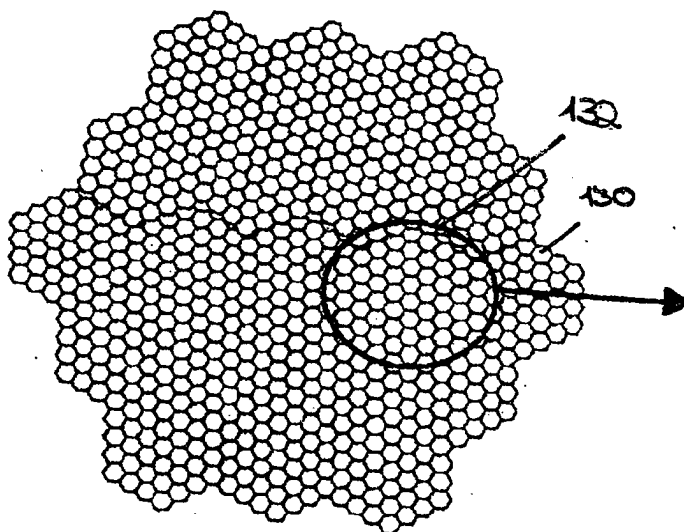


Fig. 14B

