(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2016 221 261 A1** 2018.05.03

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2016 221 261.3**
(22) Anmeldetag: **28.10.2016**
(43) Offenlegungstag: **03.05.2018**

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

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

(72) Erfinder:
Patra, Michael, 73447 Oberkochen, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

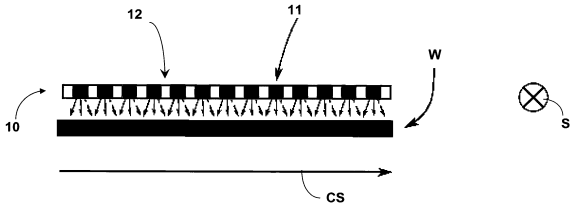
US	**2015 / 0 241 793**	**A1**
US	**2016 / 0 048 080**	**A1**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur mikrolithographischen Herstellung mikrostrukturierter Bauelemente**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur mikrolithographischen Herstellung mikrostrukturierter Bauelemente. Ein erfindungsgemäßes Verfahren weist folgende Schritte auf: Bereitstellen eines Wafers, auf den zumindest teilweise ein Photoresist aufgebracht ist, Bereitstellen einer Maske, die abzubildende Strukturen aufweist, Bereitstellen einer Projektionsbelichtungsanlage, welche eine Beleuchtungseinrichtung und ein Projektionsobjektiv aufweist, Belichten des Photoresists durch Projizieren wenigstens eines Teils der Maske auf einen Bereich des Photoresists mit Hilfe der Projektionsbelichtungsanlage, Ermitteln einer Abweichung wenigstens einer Struktureigenschaft der auf dem belichteten Wafer erzeugten Strukturen von einer vorgegebenen Soll-Struktureigenschaft, Nachbehandeln des Wafers auf Basis der ermittelten Abweichung, und chemisches Entwickeln des nachbehandelten Wafers.



Beschreibung

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur mikrolithographischen Herstellung mikrostrukturierter Bauelemente, sowie eine Vorrichtung zur Nachbehandlung eines mikrolithographisch belichteten Wafers.

Stand der Technik

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

[0003] Zur hochgenauen Erzeugung mikrostrukturierter Bauelemente bzw. Schaltkreise sind diverse Ansätze bekannt, um das zur Strukturierung auf dem Wafer mikrolithographisch erzeugte Lichtfeld mit möglichst hoher Genauigkeit zu kontrollieren, was insbesondere auch eine möglichst gute Stabilisierung der Beleuchtungseinrichtung beinhaltet.

[0004] Diese Kontrolle sowie Stabilisierung stellt in vielfacher Hinsicht eine anspruchsvolle Herausforderung dar, wobei insbesondere hohe Anforderungen beispielsweise an die Ausgestaltung von zur Einstellung bestimmter Beleuchtungssettings eingesetzter optischer Komponenten (z.B. eines diffraktiven optischen Elements oder einer Spiegelanordnung mit einer Vielzahl unabhängig voneinander verstellbarer Spiegelelemente) zu stellen sind. Weitere Maßnahmen zur hochgenauen Kontrolle des Lichtfeldes beinhalten die Einstellung einer hochgenauen Uniformität sowie Dosisstabilität der elektromagnetischen Strahlung sowie die Bereitstellung entsprechender Messeinrichtungen.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0005] Vor dem obigen Hintergrund ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur mikrolithographischen Herstellung mikrostrukturierter Bauelemente sowie eine Vorrichtung zur Nachbehandlung eines mikrolithographisch belichteten Wafers bereitzustellen, welche die hochgenaue Fertigung mikrostrukturierter Bauelemente bzw. Schaltkreise mit geringerem apparativem Aufwand ermöglichen.

[0006] Diese Aufgabe wird gemäß den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche gelöst.

[0007] Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur mikrolithographischen Herstellung mikrostrukturierter Bauelemente weist folgende Schritte auf:

- Bereitstellen eines Wafers, auf den zumindest teilweise ein Photoresist aufgebracht ist;
- Bereitstellen einer Maske, die abzubildende Strukturen aufweist;
- Bereitstellen einer Projektionsbelichtungsanlage, welche eine Beleuchtungseinrichtung und ein Projektionsobjektiv aufweist;
- Belichten des Photoresists durch Projizieren wenigstens eines Teils der Maske auf einen Bereich des Photoresists mit Hilfe der Projektionsbelichtungsanlage;
- Ermitteln einer Abweichung wenigstens einer Struktureigenschaft der auf dem belichteten Wafer erzeugten Strukturen von einer vorgegebenen Soll-Struktureigenschaft;
- Nachbehandeln des Wafers auf Basis der ermittelten Abweichung; und
- Chemisches Entwickeln des nachbehandelten Wafers.

[0008] Der Erfindung liegt insbesondere das Konzept zugrunde, den in der Beleuchtungseinrichtung und/oder dem Projektionsobjektiv einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage hinsichtlich der Kontrolle und Stabilisierung des auf dem Wafer erzeugten Lichtfeldes zu treibenden Aufwand dadurch zu reduzieren, dass von vorneherein Abweichungen dieses Lichtfeldes bzw. der auf dem Wafer durch diese Belichtung erzeugten Strukturen in Kauf genommen werden, welche sich gegebenenfalls im Belichtungsprozess hinsichtlich dieses Lichtfeldes sowie der auf dem Wafer durch das besagte Lichtfeld erzeugten Struktureigenschaften ergeben. Dabei beinhaltet die Erfindung weiter das Konzept, diese in Kauf genommenen Abweichungen zunächst zu ermitteln und auf Basis dieser Ermittlung eine geeignete Nachbehandlung des belichteten Wafers bzw. Photoresists vorzunehmen.

[0009] Hierbei geht die Erfindung von der Überlegung aus, dass im Laufe des mikrolithographischen Herstellungsprozesses zwar bei der Waferbelichtung durch auf den Photoresist auftreffende Photonen Säuren bzw. freie Wasserstoff-Ionen erzeugt werden, welche wiederum letztlich über ein Auseinanderschneiden von im Photoresist enthaltenen Poly-

meren die für die Strukturierung ausschlaggebende Änderung der Löslichkeit des Photoresists bewirken, jedoch das besagte Auseinanderschneiden der Polymere erst in einem der Belichtung nachfolgenden separaten Prozessschritt, nämlich einem nachträglichen „Backvorgang“ (= „Post Exposure Bake“, typischerweise bei einer Temperatur von 80°C - 90°C) erfolgt. Diesen Umstand macht sich die Erfindung dadurch zunutze, dass die zwischen der eigentlichen Waferbelichtung und dem anschließenden Backvorgang verbleibende Zeitspanne noch für eine Nachbehandlung des Wafers dahingehend genutzt wird, dass etwaige, durch die eigentliche Waferbelichtung erzeugte unerwünschte Abweichungen bestimmter Struktureigenschaften des Wafers im Wege der Nachbehandlung wenigstens teilweise kompensiert werden.

[0010] Diese Nachbehandlung kann, wie im Weiteren noch näher erläutert, beispielsweise die Bereitstellung zusätzlicher Säuren bzw. freier Wasserstoff-Ionen oder auch eine Nachbelichtung mit von der eigentlichen Arbeitswellenlänge der Projektionsbelichtungsanlage abweichender Wellenlänge umfassen.

[0011] Im Ergebnis kann so der während des eigentlichen Belichtungsprozesses auf Seiten der Beleuchtungseinrichtung sowie des Projektionsobjektivs hinsichtlich der Kontrolle sowie Stabilisierung des auf dem Wafer erzeugten Lichtfeldes zu treibende Aufwand deutlich reduziert werden, da auftretende „Fehler“ nicht von vorneherein vermieden werden müssen, sondern lediglich ermittelt (z.B. gemessen oder abgeschätzt) und dann - wie vorstehend beschrieben - im Nachhinein korrigiert werden können.

[0012] Ein wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht hierbei darin, dass die bei der erfindungsgemäßen Nachbehandlung zur Korrektur von Struktureigenschaften des Wafers zu treffenden Einstellungen typischerweise auf wesentlich größerer Längenskala erfolgen können als die letztlich auf dem Wafer zu erzeugenden Strukturgrößen. Während nämlich letztere typischerweise in der Größenordnung von (10-20)nm liegen, beträgt die Längenskala typischer, durch die Beleuchtungseinrichtung und/oder das Projektionsobjektiv eingeführter Abweichungen von Struktureigenschaften größenordnungsmäßig etwa 1mm mit der Folge, das auch die zur Messung bzw. Beeinflussung der erzeugten Fehler eingesetzten Vorrichtungen wesentlich einfacher und kostengünstiger realisiert werden können.

[0013] Gemäß einer Ausführungsform umfasst die wenigstens eine Struktureigenschaft eine Strukturgröße der auf dem belichteten Wafer erzeugten Strukturen.

[0014] Gemäß einer Ausführungsform umfasst das Nachbehandeln des Wafers das Verändern einer Konzentration von in dem Photoresist nach dem Belichten vorhandenen freien Wasserstoff-Ionen. Dieses Verändern der Konzentration von freien Wasserstoff-Ionen kann insbesondere das Aufbringen einer Säure oder eines Säurefängers auf den Photoresist umfassen. Des Weiteren kann das Verändern der Konzentration von freien Wasserstoff-Ionen auch eine Nachbelichtung des Photoresists mit Licht einer von einer Arbeitswellenlänge der Projektionsbelichtungsanlage abweichenden Wellenlänge umfassen.

[0015] Gemäß einer Ausführungsform erfolgt die Nachbelichtung des Photoresists ohne Verwendung einer Maske.

[0016] Gemäß einer Ausführungsform erfolgt das Nachbehandeln des Wafers mit einer Ortsauflösung, die gröber als das Zehnfache der mittleren Strukturgröße auf dem Wafer ist.

[0017] Gemäß einer Ausführungsform wird eine bei dem chemischen Entwickeln des nachbehandelten Wafers eingestellte Temperatur in Abhängigkeit von der ermittelten Abweichung modifiziert.

[0018] Gemäß einer Ausführungsform erfolgt das Ermitteln einer Abweichung wenigstens einer Struktureigenschaft durch Impedanzmessung und/oder Infrarotspektroskopie.

[0019] Gemäß einer Ausführungsform umfasst das Ermitteln einer Abweichung wenigstens einer Struktureigenschaft eine ortsabhängige Messung der bei Ausleuchtung der Maske durch die Beleuchtungseinrichtung erzeugten Intensitätsverteilung.

[0020] Gemäß einer Ausführungsform umfasst das Ermitteln einer Abweichung wenigstens einer Struktureigenschaft eine ortsabhängige Messung von Transmissionseigenschaften des Projektionsobjektivs.

[0021] Gemäß einer Ausführungsform umfasst die wenigstens eine Struktureigenschaft eine Strukturlage der auf dem belichteten Wafer erzeugten Strukturen.

[0022] Gemäß einer Ausführungsform umfasst das Nachbehandeln des Wafers das Durchführen eines Ätzprozesses.

[0023] Gemäß einer Ausführungsform umfasst das Nachbehandeln des Wafers ein Erwärmen des Photoresists sowie ein Bewegen der auf dem belichteten Wafer erzeugten Strukturen durch lokale Bewegung des Photoresists.

[0024] Gemäß einer Ausführungsform umfasst das Ermitteln einer Abweichung wenigstens einer Struktureigenschaft die Messung der Ausleuchtung we-

nigstens einer Pupillenebene in der Projektionsbelichtungsanlage.

[0025] Die Erfindung betrifft weiter eine Vorrichtung zur Nachbehandlung eines mikrolithographisch belichteten Wafers, wobei auf den Wafer zumindest teilweise ein Photoresist aufgebracht ist, wobei die Vorrichtung dazu konfiguriert ist, einen für eine in dem Photoresist bei einem anschließenden Backvorgang bestehende Polymerdurchschneiderate charakteristischen Parameter zu ändern.

[0026] Gemäß einer Ausführungsform erfolgt diese Änderung mit einer Ortswellenlänge im Bereich von 50pm bis 5mm. Hierdurch kommt zum Ausdruck, dass die Längenskala, auf welcher die erfindungsgemäße Korrektur von Struktureigenschaften zu erfolgen hat, wesentlich größer ist als die während des eigentlichen Lithographieprozesses auf dem Wafer bzw. Resist stattfindende (im nm-Bereich liegende) Strukturierung.

[0027] Gemäß einer Ausführungsform umfasst das Nachbehandeln des Wafers das Verändern einer Konzentration von in dem Photoresist nach dem Belichten vorhandenen freien Wasserstoff-Ionen.

[0028] Gemäß einer Ausführungsform umfasst das Nachbehandeln des Wafers das Durchführen eines Ätzprozesses.

[0029] Gemäß einer Ausführungsform umfasst das Nachbehandeln des Wafers ein Erwärmen des Photoresists sowie ein Bewegen der auf dem belichteten Wafer erzeugten Strukturen durch lokale Bewegung des Photoresists.

[0030] Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind der Beschreibung sowie den Unteransprüchen zu entnehmen.

[0031] Die Erfindung wird nachstehend anhand von in den beigefügten Abbildungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert.

Figurenliste

[0032] Es zeigen:

Fig. 1-**Fig. 4** schematische Darstellungen zur Erläuterung unterschiedlicher Ausführungsformen zur Korrektur von Strukturgrößen-Fehlern auf einem belichteten Wafer;

Fig. 5-**Fig. 7** schematische Darstellungen zur Erläuterung unterschiedlicher Ausführungsformen zur Korrektur von Strukturlagen-Fehlern auf einem belichteten Wafer;

Fig. 8-**Fig. 14** schematische Darstellungen zur Erläuterung unterschiedlicher Ausführungsformen zur Ermittlung von Strukturgrößen-Fehlern auf einem belichteten Wafer;

Fig. 15-**Fig. 17** schematische Darstellungen zur Erläuterung unterschiedlicher Ausführungsformen zur Ermittlung von Strukturlagen-Fehlern auf einem belichteten Wafer;

Fig. 18 eine schematische Darstellung zur Erläuterung einer alternativen Ausführungsform zur Korrektur von Strukturgrößen-Fehlern auf einem belichteten Wafer; und

Fig. 19-**Fig. 20** schematische Darstellungen unterschiedlicher Ausführungen einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0033] Den im Weiteren unter Bezugnahme auf die schematischen Darstellungen von **Fig. 1** bis **Fig. 18** beschriebenen Ausführungsformen ist gemeinsam, dass hinsichtlich wenigstens einer Struktureigenschaft der auf einem mikrolithographisch belichteten Wafer erzeugten Strukturen Abweichungen vom jeweiligen Sollwert zunächst auf geeignete Weise ermittelt und anschließend - im Wege einer Nachbehandlung des Wafers bzw. Photoresists - wenigstens teilweise korrigiert werden.

[0034] Dabei wird erfindungsgemäß bei der jeweiligen Vorgehensweise sowohl hinsichtlich der Ermittlung der besagten Abweichungen als auch hinsichtlich der Korrektur der ermittelten Abweichungen eine Unterscheidung hinsichtlich des Typs dieser Struktureigenschaften getroffen, nämlich zwischen (a) Strukturgröße und (b) Strukturlage.

[0035] Unter der „Strukturgröße“ wird hierbei die räumliche Ausdehnung bzw. Erstreckung der jeweiligen auf dem Wafer erzeugten Strukturen verstanden, wobei die zugehörige Abweichung vom Sollwert auch als „CD“-Fehler (CD = „Critical Dimension“) bezeichnet wird. Unter „Strukturlage“ wird die räumliche Position bzw. Lage der auf dem Wafer erzeugten Strukturen verstanden, wobei die entsprechende Abweichung von der Soll-Strukturlage auch als „Overlay-Fehler“ bezeichnet wird.

[0036] Im Weiteren werden zunächst mögliche Ausführungsformen der Erfindung zur Veränderung der Strukturgröße unter Bezug auf **Fig. 1** bis **Fig. 4** und **Fig. 18** beschrieben, wohingegen Ausführungsformen zur Veränderung der Strukturlage unter Bezugnahme auf **Fig. 5** bis **Fig. 7** beschrieben werden.

[0037] Des Weiteren werden Ausführungsformen zur Bestimmung der Strukturgröße unter Bezugnahme auf **Fig. 8** bis **Fig. 14** beschrieben, wohingegen Ausführungsformen zur Bestimmung der Strukturla-

ge anhand von **Fig. 15** bis **Fig. 17** beschrieben werden.

[0038] Was zunächst die erfindungsgemäße Veränderung der Strukturgröße im Wege einer auf den eigentlichen Belichtungsprozess folgenden Nachbehandlung des Wafers bzw. Photoresists betrifft, so kann in einer ersten Ausführungsform gemäß **Fig. 1** unmittelbar Einfluss auf die im Photoresist vorhandenen freien Wasserstoff-Ionen genommen werden, indem Säuren (zur Erhöhung der Konzentration an freien Wasserstoff-Ionen) und/oder Säurefänger („Base Quencher“) (zur Verringerung der Konzentration an freien Wasserstoff-Ionen) mittels entsprechender Sprühvorrichtungen **11** (zur Säureaufbringung) bzw. 12 (zur Aufbringung von Säurefängern) auf den Wafer W bzw. dem Photoresist aufgesprüht werden. Mit „S“ ist in **Fig. 1** die Scanrichtung, mit „CS“ die hierzu in der Waferebene senkrecht verlaufende Richtung („Cross-Scan-Richtung“) bezeichnet.

[0039] Die genannten Säurefänger bzw. „Base Quencher“ haben dabei in für sich bekannter Weise die Eigenschaft, sich an freie Wasserstoff-Ionen irreversibel zu binden, wodurch ein schwellenwertabhängiges Verhalten des Photoresists (dahingehend, dass erst oberhalb einer bestimmten Lichtdosis freie Wasserstoff-Ionen für chemische Reaktionen zur Verfügung stehen) erreicht wird. Bei Säurefängern kann es sich insbesondere um Basen handeln, da diese Säuren unter Bildung eines Salzes binden können.

[0040] Die gemäß **Fig. 1** mögliche Hinzufügung sowohl von Säuren als auch von Säurefängern ermöglicht es dabei, die letztendlich bei der nachfolgenden chemischen Entwicklung für die Polymerdurchschneiderate und damit die Löslichkeit maßgebliche Anzahl an zur Verfügung stehenden freien Wasserstoff-Ionen wahlweise zu erhöhen oder zu senken. Dabei hat eine Erhöhung der Anzahl freier Wasserstoff-Ionen in einem sogenannten Positivresist während des nachfolgenden, bereits eingangs erwähnten „Backvorgangs“ („Post Exposure Bake“) eine Erhöhung der Rate des Auseinanderschneidens der im Photoresist vorhandenen Polymere und damit letztlich eine gesteigerte Löslichkeit des Photoresists zur Folge, wohingegen eine Verringerung der Anzahl freier Wasserstoff-Ionen zum entgegengesetzten Effekt führt. Für einen sogenannten Negativresist ist der Zusammenhang zwischen Anzahl freier Wasserstoff-Ionen und Löslichkeit des Photoresists genau umgekehrt zu dem eines Positivresists.

[0041] In einer weiteren Ausführungsform kann zur Veränderung der Strukturgröße auch eine Nachbelichtung des Photoresists mit einer von der Arbeitswellenlänge der Projektionsbelichtungsanlage abweichenden Wellenlänge durchgeführt werden. Hierbei kann ausgenutzt werden, dass gebräuchliche Photoresist-Materialien in der Regel über einen größeren Wellenlängenbereich hinweg empfindlich sind, so dass auch Licht mit einer von der Arbeitswellenlänge der Projektionsbelichtungsanlage abweichenden Wellenlänge zur Nachbelichtung verwendet werden kann.

[0042] Lediglich beispielhaft ist gemäß **Fig. 3** eine Anordnung von lichtemittierenden Dioden (LED's) 31 verwendbar. Die Bestrahlung des bereits belichteten Wafers W unter Verwendung solcher LED's führt wie in **Fig. 2** angedeutet dazu, dass die betreffende ortsabhängige Kurve der Säurekonzentration nach oben bzw. zu höheren Werten der Säurekonzentration hin verschoben wird mit der Folge, dass - wie ein qualitativer Vergleich der Kurven „B“ („vor Nachbelichtung“) und „A“ („nach Nachbelichtung“) zeigt - aufgrund der unverändert bleibenden Lackschwelle eine Veränderung der Strukturgröße der jeweils mikrolithographisch gedruckten Struktur erreicht wird. Dabei ist zu beachten, dass gemäß dieser Ausführungsform eine Veränderung der Strukturgröße jeweils „nur in einer Richtung“ (d.h. nur im Sinne einer Vergrößerung oder nur im Sinne einer Verkleinerung) - abhängig davon, ob ein Positivresist oder ein Negativresist verwendet wird - durchführbar ist. Bei diesem Ansatz ist somit vorzugsweise dafür Sorge zu tragen, dass die tatsächliche, durch die Projektionsbelichtungsanlage erzeugte Strahlungsdosis immer unterhalb der Zieldosis liegt.

[0043] Gemäß einer weiteren, nicht explizit dargestellten Ausführungsform können lichtemittierende Dioden **31** gemäß **Fig. 3** mit Säurefänger abgebenden Sprühvorrichtungen **12** gemäß **Fig. 1** kombiniert werden, so dass eine Veränderung der Säurekonzentration „in beide Richtungen“ ermöglicht wird.

[0044] Am weitesten verbreitet sind Photoresiste der bisher beschriebenen Art, bei denen die Absorption eines Photons einer Arbeitswellenlänge genauso wie eine Absorption von einem Photon in einem gewissen von der Arbeitswellenlänge verschiedenen ersten Wellenlängenbereich zur Säureerzeugung führt. Aus US 2016/0048080 A1 ist bekannt, auf einem Wafer W eine Schicht, die nicht nur einen Photoresist im eigentlichen Sinne sondern weitere zu einer Reaktion auf Licht fähige Substanzen aufweist, aufzutragen.

[0045] Diese Schicht kann insbesondere Substanzen (photodestruktive Basen), die unter Belichtung Säurefänger, insbesondere also Basen freisetzen, enthalten. Diese Substanzen können insbesondere in einem zweiten Wellenlängenbereich, im dem der eigentliche Photoresist bei Belichtung keine freien Säuren abgibt, empfindlich sein.

[0046] Gemäß einer weiteren, in **Fig. 18** dargestellten Ausführungsform wird ein mit einer derartigen Schicht versehener Wafer W von ersten Leuchtdi-

oden **32**, welche Strahlung aus einem ersten Wellenlängenbereich abgeben, bestrahlt, wodurch freie Säuren erzeugt werden können, und von zweiten Leuchtdioden **33**, welche Strahlung aus einem zweiten Wellenlängenbereich abgeben, bestrahlt, wodurch Säurefänger erzeugt werden.

[0047] Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann die auf den Wafer W aufgetragene Schicht einen Photosensibilisatorvorläufer („photo sensitizer precursor“) enthalten. Photosensibilatoren sind aus US 2016/0048080 A1 bekannt. Bei Belichtung mit Strahlung der ersten Arbeitswellenlänge wird der Photosensibilisatorvorläufer zu einem Photosensibilator („photo sensitizer“) aufgespalten. Bei nachfolgender Beleuchtung mit Strahlung eines dritten Wellenlängenbereichs führt der Photosensibilator (aber nicht der Photosensibilisatorvorläufer) zur Erzeugung freier Säure. Die lokale Dichte erzeugter Säure ist also proportional zur Intensität der Arbeitswellenlänge multipliziert mit der Intensität im dritten Wellenlängenbereich. In einer Ausführung gemäß **Fig. 3** können die Leuchtdioden **31** Strahlung eines solchen dritten Wellenlängenbereichs abgeben, sofern die Schicht auf dem Wafer W einen Photosensibilisatorvorläufer aufweist.

[0048] Gemäß einer weiteren, in **Fig. 4** schematisch angedeuteten Ausführungsform kann eine Beeinflussung der Strukturgröße auch durch Veränderung der Temperatur, welche beim nachträglichen Backvorgang („Post Exposure Bake“) eingestellt wird, erreicht werden. Mit diesem Ansatz kann dem Umstand Rechnung getragen werden, dass die während des nachträglichen Backvorganges durch die hierbei wirksamen freien Wasserstoff-Ionen erzielte Wirkung bzw. Polymerschneiderate temperaturabhängig ist. Gemäß **Fig. 4** kann ein globaler Temperaturoffset unter Verwendung eines Ofens **45** eingestellt werden, wobei lokale Temperaturunterschiede auf dem Photoresist unter Verwendung einer Infrarot-Beleuchtungseinheit **41** einstellbar sind. Die Infrarot-Beleuchtungseinheit **41** kann insbesondere eine zweidimensionale matrixartige Anordnung aus einzelnen Infrarotquellen umfassen. In weiteren Ausführungsformen kann auch eine eindimensionale Anordnung von Infrarotquellen in Verbindung mit einer die Infrarotstrahlung in einer Raumrichtung bzw. Dimension ablenkenden Vorrichtung oder auch eine im Wesentlichen punktförmige Infrarotquelle in Verbindung mit einer die Infrarotstrahl in zwei zueinander senkrechten Raumrichtungen bzw. zweidimensional ablenkenden Vorrichtung verwendet werden.

[0049] Alternativ zur Verwendung einer ein- und/oder zweidimensionalen Ablenkvorrichtung für die von einer Infrarot-Beleuchtungseinheit **41** abgegebenen Strahlung kann eine Veränderung der Auftrefforte der Strahlung auf dem Wafer W auch durch eine geeignete Bewegung des Wafers W relativ zur Infrarot-Beleuchtungseinheit erreicht werden.

[0050] Im Weiteren werden unter Bezugnahme auf **Fig. 5** bis **Fig. 7** unterschiedliche Ausführungsformen zur Veränderung der Strukturlage (d.h. zur Behebung etwaiger Overlay-Fehler) beschrieben. Diese Ausführungsformen unterscheiden sich von den vorstehend anhand von **Fig. 1** bis **Fig. 4** beschriebenen Maßnahmen zur Veränderung der Strukturgröße prinzipiell dadurch, dass zur Veränderung der Strukturlage grundsätzlich eine Vorzugsrichtung ausgezeichnet ist, entlang der eine Verschiebung des Schwerpunkts der jeweiligen Struktur erfolgt.

[0051] Gemäß **Fig. 5** kann hierzu ein Ätzprozess genutzt werden, bei welchem in für sich bekannter Weise ein schräges Auftreffen der auf die jeweilige Oberfläche gelenkten Ionen zum gezielten Wegätzen von Flanken der betreffenden Struktur (welches mit einer Verschiebung bzw. einem „Wandern“ des Schwerpunkts der Struktur einhergeht) führt. Je nach gewünschter Veränderung der Strukturlage in einem Bereich des Wafers W treffen die zum Ätzen verwendeten Ionen unter einem anpassten Vorgabewinkel auf diesem Bereich auf. Gemäß **Fig. 5a-c** können dabei auch Bereiche eines Wafers W, welche mit voneinander verschiedenen Einfallswinkeln geätzt werden sollen, zeitlich nacheinander (d.h. zu unterschiedlichen Zeitpunkten t_1, t_2 bzw. t_3) geätzt werden.

[0052] Eine gegebenenfalls infolge des Ätzprozesses zusätzliche stattfindende Größenveränderung der Struktur kann mit Hilfe eines der zuvor anhand von **Fig. 1** bis **Fig. 4** beschriebenen Verfahren korrigiert werden.

[0053] In einer weiteren Ausführungsform kann zur Veränderung der Strukturlage auch ein Erwärmen des Photoresists in Verbindung mit einer Verschiebung der darin erzeugten Strukturen durch Erzeugung definierter Kräfte erfolgen: Während durch Erwärmung des Photoresists über seine Flusstemperatur hinaus (welche z.B. in der Größenordnung von 120°C liegen kann) ein Fließen des Photoresists bewirkt wird, kann eine Asymmetrie dieses Fließens über eine parallel zur Waferoberfläche wirkende Kraft erreicht werden. Letzteres kann z.B. über eine wiederholte außeraxiale Rotation des Wafers (mit jeweils unterschiedlicher Orientierung des Wafers relativ zur Verbindungsachse „Wafer-Drehachse“) erreicht werden, wie lediglich schematisch in **Fig. 6a-d** dargestellt ist (wobei die jeweilige Orientierung des Wafers durch die Orientierung des Buchstabens „A“ angedeutet ist). Bei jeder Rotation (mit jeweils vorgegebener Ausrichtung des Wafers zur Verbindungsachse „Wafer-Drehachse“) kann eine Verschiebung der betreffenden Struktur in eine bestimmte Richtung erreicht werden, wobei das Ausmaß dieser Bewegung

durch die über eine ortsabhängige Aufheizung lokal einstellbare Temperatur des Photoresists bestimmt werden kann. Hierzu kann wiederum eine zu **Fig. 4** analoge Anordnung eingesetzt werden.

[0054] In weiteren Ausführungsformen kann eine Verschiebung der auf dem Wafer erzeugten Strukturlagen auch über eine ortsaufgelöste nachträgliche IR-Beleuchtung unter Verwendung einer zur Ausführungsform von **Fig. 3** analogen Vorrichtung erfolgen, wobei die Stärke des Fließens des Photoresists hier ebenfalls ortsabhängig verändert werden kann. Zur Verschiebung einer Strukturlage muss dieses mit dem Aufprägen einer gerichteten Kraft mit einer Komponente tangential zur Oberfläche des Wafers W kombiniert werden, z.B. entsprechend einer Ausführungsform gemäß **Fig. 6**.

[0055] Gemäß einer weiteren, in **Fig. 7** lediglich schematisch dargestellten Ausführungsform kann eine ortsabhängige Verschiebung von Strukturlagen auch durch zeitliche Variation eines aufgeheizten Bereichs **75** des Photoresists erreicht werden, indem ein (im Beispiel linienförmiger) Bereich **75**, in welchem der Photoresist erhitzt wird, über den Wafer in einer bestimmten Bewegungsrichtung **71** hinweg bewegt wird.

[0056] Wenngleich vorstehend diverse Ausführungsformen zur Realisierung der erfindungsgemäßen Nachbehandlung des Wafers zwecks Korrektur von Abweichungen von Struktureigenschaften (d.h. Strukturgröße und/oder Strukturlage) auf dem belichteten Wafer beschrieben wurden, hat im Rahmen der vorliegenden Erfindung zeitlich zunächst die Ermittlung der betreffenden Abweichungen zu erfolgen.

[0057] Hierfür werden im Weiteren unterschiedliche Ausführungsformen unter Bezugnahme auf **Fig. 8** bis **Fig. 17** beschrieben, wobei auch hier wiederum zwischen Strukturgröße bzw. CD-Fehler und Strukturlage bzw. Overlay-Fehler unterschieden wird. Konkret werden anhand von **Fig. 8** bis **Fig. 14** Ausführungsformen zur Ermittlung von Abweichungen hinsichtlich der Strukturgröße beschrieben (welche dann z.B. gemäß einer der Ausführungsformen von **Fig. 1** bis **Fig. 4** korrigiert werden können), wohingegen anhand von **Fig. 15** bis **Fig. 17** Ausführungsformen zur Bestimmung von Abweichungen der Strukturlage beschrieben werden (welche dann z.B. gemäß einer der Ausführungsformen von **Fig. 5** bis **Fig. 7** korrigiert werden können).

[0058] Was zunächst die Ermittlung von Abweichungen hinsichtlich der Strukturgröße betrifft, so kann diese erfindungsgemäß basierend auf der Konzentration von im Photoresist bzw. auf dem Wafer erzeugten freien Wasserstoff-Ionen erfolgen. Da Korrekturverfahren für die Strukturgröße insbesondere die Anzahl freier Wasserstoff-Ionen verändern, kann durch Ermittlung der tatsächlichen Anzahl vorhandener Wasserstoff-Ionen die notwendige Korrektur direkt bestimmt werden, ohne das hierfür eine Strukturgröße auf dem Wafer explizit bestimmt werden müsste.

[0059] Die Konzentration freier Wasserstoff-Ionen kann z.B. auf Basis einer Messung der Impedanzänderung des Photoresists bestimmt werden. Hierbei kann ausgenutzt werden, dass die bei der Belichtung erzeugten freien Wasserstoff-Ionen bzw. Säuren die Impedanz des Photoresists verändern, wobei aus einer Messung dieser Impedanzänderung wiederum die lokale Säuredichte abgeleitet werden kann. Hierzu wird auf die Publikationen C. M. Berger, J. D. Byers, und C. L. Henderson, J. Electrochem. Soc., 151, G119 2004; C. M. Berger und C. L. Henderson, J. Vac. Sci. Technol. B, 22, 1163 2004 sowie C. Berger und C. L. Henderson, Proc. SPIE, 5753, 1076 2005 verwiesen.

[0060] In einer weiteren Ausführungsform kann eine Ermittlung der relevanten Resistparameter (d.h. insbesondere der lokalen Säuredichte bzw. der Konzentration an freien Wasserstoff-Atomen) auch mit Hilfe von Infrarotspektroskopie erfolgen. Hier ist insbesondere ein sogenanntes Fourier-Transformations-Infrarotspektrometer (FTIR-Spektrometer) geeignet, da eine hierbei erfolgende Messung der Zeitabhängigkeit der Feldstärke messtechnisch einfacher durchführbar ist als eine Ermittlung dieser Größe als Funktion der Wellenlänge.

[0061] In weiteren Ausführungsformen kann anstelle der Messung der im Photoresist vorhandenen Konzentration an freien Wasserstoff-Ionen auch die Ursache für die Entstehung dieser Konzentration, d.h. die innerhalb der Beleuchtungseinrichtung oder des Projektionsobjektivs jeweils erzeugte Intensitätsverteilung bzw. Pupillenfüllung ermittelt werden.

[0062] Hierzu kann gemäß **Fig. 8** in einem für den Betrieb bei Wellenlängen im DUV-Bereich (z.B. 193 nm) ausgelegten System eine Ermittlung der lokalen Beleuchtungsdosis dadurch erfolgen, dass ein vergleichsweise geringer Anteil der elektromagnetischen Strahlung mit Hilfe eines perforierten Spiegels ausgekoppelt wird. Ein solcher Spiegel ist in **Fig. 8** mit „81“ bezeichnet, wobei in Lichtausbreitungsrichtung vor bzw. nach dem perforierten Spiegel **81** lediglich vereinfacht nur jeweils eine Linse **83** bzw. **84** eingezeichnet ist. Mit „82“ ist in **Fig. 8** ein Energiesensor zur Messung der Energie der über den perforierten Spiegel **81** ausgekoppelten Strahlung bezeichnet. Die Verwendung eines perforierten Spiegels **81** hat gegenüber einem (grundsätzlich ebenfalls verwendbaren) teildurchlässigen Spiegel den Vorteil einer größeren Langzeitkonstanz des für die elektromagnetische Strahlung eingestellten Teilungsverhältnisses.

[0063] Die (zur Dosiskontrolle der Lichtquelle für sich bereits bekannte) Funktionalität des perforierten Spiegels **81** kann nun erfindungsgemäß im Sinne einer ortsaufgelösten Messung der Intensität erweitert werden, um die Ortsabhängigkeit der Ausleuchtung am Retikel berechnen zu können. Hier ist der Sensor **82** so zu gestalten, dass er zusätzlich zu Gesamtbeleuchtungsdosis, also der über den gesamten Sensor integrierten Dosis, auch eine ortsabhängige Dosis bestimmen kann. Während die Gesamtbeleuchtungsdosis vergleichsweise schnell bestimmbar sein muss, da die Gesamtbeleuchtungsdosis zur Nachregelung der Lichtquellenleistung verwendet wird, kann die ortsaufgelöste Messung - da sie nicht zur Nachregelung der Lichtquellenleistung dient - vergleichsweise langsam (z.B. auf einer Zeitskala von 1s oder mehr) durchgeführt werden.

[0064] **Fig. 9** zeigt in schematischer Darstellung einen Aufbau, in welchem die unterschiedliche Zeitskala der beiden Messungen dahingehend genutzt wird, dass hierfür zwei getrennte Messvorrichtungen verwendet werden. Die Bestimmung der Ortsabhängigkeit der Ausleuchtung am Retikel R erfolgt mit einem Energie- bzw. Intensitätssensor **96**, der in geeigneten zeitlichen Abständen in den Strahlengang in der Nähe des Retikels gebracht wird. Ein zu **Fig. 8** analoger perforierter Spiegel ist in **Fig. 9** mit „91“ bezeichnet, wobei in Lichtausbreitungsrichtung vor dem perforierten Spiegel **91** lediglich vereinfacht nur jeweils eine Linse **93** eingezeichnet ist und nach dem perforierten Spiegel **91** eine Linse **94**, ein Umlenkspiegel **95** und eine weitere Linse **97** eingezeichnet sind. Mit „92“ ist ein Energiesensor zur (ständigen und ortsunabhängigen) Messung der Energie der durch den perforierten Spiegel **91** ausgekoppelten Strahlung bezeichnet.

[0065] In weiteren Ausführungsformen kann die benötigte Information über die Ortsabhängigkeit der Retikelausleuchtung auch in einer für den Betrieb im EUV ausgelegten Projektionsbelichtungsanlage bestimmt werden, wozu im Weiteren Ausführungsformen unter Bezugnahme auf **Fig. 10** bis **Fig. 12** beschrieben werden.

[0066] Grundsätzlich kann hierzu von Zeit zu Zeit eine Messung des in der Beleuchtungseinrichtung erzeugten Intensitätsprofils durchgeführt werden. Gemäß **Fig. 10** können hierzu z.B. in einer in der Beleuchtungseinrichtung vorgesehenen Spiegelanordnung aus einer Vielzahl von unabhängig voneinander verstellbaren Spiegelelementen **101** einzelne dieser Spiegelelemente zur Ausleuchtung geeignet positionierter Energiesensoren verwendet werden. Auf diese Weise kann insbesondere die Auswirkung von Schwankungen der Lichtquelle auf die ortsabhängige Ausleuchtung des Retikels R bestimmt werden. In weiteren Ausführungsformen kann gemäß **Fig. 11** die Strahlung einzelner Feldfacetten **111** bzw. Pupillenfacetten **112** auf einen vom Retikel R beabstandeten Sensor **113** zur Messung der Lichtintensität gelenkt werden, um entsprechend ortsaufgelöste Intensitätsdaten zu erhalten. Dabei ist **Fig. 11** der Zwischenfokus zwischen Lichtquelle und Beleuchtungseinrichtung mit „IF“ bezeichnet.

[0067] Gemäß **Fig. 12** kann in einer weiteren Ausführungsform ein Teil der elektromagnetischen Beleuchtungsstrahlung mit Hilfe einer für sich bekannten Einrichtung **121**, welche in einer feldnahen Ebene unabhängig voneinander in den Strahlengang selektiv einschiebbare, im Wesentlichen stabförmige Elemente aufweist, ausgekoppelt und zu einem Sensor geführt werden. **Fig. 13** zeigt eine Draufsicht auf diese Einrichtung **121**, mit welcher entlang der quer zur Scanrichtung verlaufenden und mit „CS“ bezeichneten Richtung eine ortsaufgelöste Intensitätsmessung realisierbar ist. In **Fig. 12** sind auf das Retikel R gelenkte Strahlen mit „A1“ bzw. „A2“, am Retikel R reflektierte Strahlen mit „B1“ bzw. „B2“ und ein in Richtung zum (nicht eingezeichneten) Sensor ausgekoppelter Strahl mit „C1“ bezeichnet.

[0068] **Fig. 14** zeigt lediglich schematisch eine bei dem erfindungsgemäßen Verfahren ebenfalls nutzbare Anordnung zur Ermittlung von Transmissionsschwankungen im Projektionsobjektiv einer für den Betrieb im EUV-Bereich ausgelegten Projektionsbelichtungsanlage. Gemäß **Fig. 14** durchläuft ein Lichtstrahl das Projektionsobjektiv über Spiegel **142**-**145** zunächst bis zu einem benachbart zum Wafer W angeordneten Gitter **146** und von diesem Gitter **146** zurück zu einem benachbart zum Retikel R angeordneten Sensor **141**. Mit diesem Sensor **141** kann die im Projektionsobjektiv stattfindende Abschwächung des Strahls gemessen werde, woraus wiederum Informationen über den Gasdruck im Projektionsobjektiv abgeleitet werden können.

[0069] **Fig. 15** bis **Fig. 17** zeigen schematische Darstellungen zur Veranschaulichung unterschiedlicher Ausführungsformen zur Ermittlung von Abweichungen der Strukturlage bzw. von Overlay-Fehlern. Wenngleich eine Bestimmung von Overlay-Fehlern grundsätzlich mit Hilfe einer direkt auf dem Wafer erfolgenden Messung möglich ist, erfolgt stattdessen in den erfindungsgemäßen Ausführungsformen -im Sinne der angestrebten Vereinfachung des konstruktiven Aufwands - eine Untersuchung der Ursachen der betreffenden Strukturlagen- bzw. Overlay-Fehler. Die kann wiederum konkret eine Bestimmung der Pupilleneigenschaften, insbesondere der Telezentrie-Eigenschaften, umfassen. Zusammen mit Informationen über den aktuellen Defokus, die auf Grund der Ausmessung des Wafers vor der Belichtung sowie des Nachführen des Wafers normal zu seiner zu belichtenden Oberfläche während der Belichtung typischerweise vorliegen, können aus Pupilleneigenschaften Strukturlageeigenschaften bestimmt werden.

[0070] Grundsätzlich kann hierzu in einem für den Betrieb im DUV-Bereich (z.B. bei Wellenlängen von etwa 193nm) ausgelegten System wiederum ein perforierter Spiegel analog zu **Fig. 8** und **Fig. 9** verwendet werden, wobei hier die Intensitätsinformationen nicht für eine Feldebene (also konjugiert zum Retikel), sondern für eine Pupillenebene abgeleitet werden.

[0071] Des Weiteren kann in einem in **Fig. 15** schematisch dargestellten Aufbau zur ortsaufgelösten Telezentriemessung Licht mit einer analog zu **Fig. 13** ausgestalteten Anordnung **151** aus unabhängig voneinander in den Strahlengang selektiv einführbaren, im Wesentlichen stabförmigen Elementen ausgekoppelt werden, welche bezogen auf die Lichtausbreitungsrichtung kurz vor einer zur Retikelebene konjungierten Feldebene verschiebbar angeordnet sind. Mit „152“ sind REMA-Blenden eines Retikelmaskierungssystems bezeichnet. Die mit „E1“ bzw. „E2“ bezeichneten Strahlen gelangen gemäß **Fig. 15** zu einer (nicht gezeigten) Messeinrichtung.

[0072] Gemäß einer weiteren, in **Fig. 16** schematisch dargestellten Ausführungsform kann auch in einer für Wellenlängen im DUV-Bereich ausgelegten Projektionsbelichtungsanlage Licht über eine Streuscheibe **161**, welche sich nahe einer Pupillenebene PP bzw. einem dort angeordneten felddefinierenden Element **162** befindet, zu einem kamerabasierten Sensor (nicht dargestellt) zur Pupillenmessung gelenkt werden, um eine (hier nicht ortsaufgelöste) Telezentriebestimmung zu realisieren. Alternativ zur Verwendung einer Streuscheibe kann auch der Reflex des Beleuchtungslichts an einer in der Nähe einer Pupillenebene PP angeordneten optischen Komponente genutzt werden.

[0073] **Fig. 17** zeigt lediglich schematisch eine Ausführungsform in einer Beleuchtungseinrichtung einer für den Betrieb im EUV ausgelegten Projektionsbelichtungsanlage, wobei hier der Zwischenfokus mit „IF“, ein Feldfacettenspiegel mit „171“ und ein Pupillenfacettenspiegel mit „172“ bezeichnet ist. Die elektromagnetische Strahlung bewirkt einen signifikanten Wärmeeintrag in den Pupillenfacettenspiegel **172**, was wiederum unter Verwendung einer Wärmebildkamera **173** beobachtet bzw. erfasst werden kann. In alternativen Ausführungsformen kann auch die durch eine Kühlvorrichtung abgeführte Wärmemenge ausgewertet werden. Durch Vergleich der an unterschiedlichen Orten auf dem Pupillenfacettenspiegel **172** abgelenkten Strahlung bzw. abgeführten Wärmemenge kann der Ort des Schwerpunkts des Wärmeeintrags auf den Pupillenfacettenspiegel **172** und damit der Schwerpunkt der Beleuchtungspupille bzw. die Größe der Telezentrie der Beleuchtungspupille ermittelt werden.

[0074] **Fig. 19** und **Fig. 20** zeigen schematische Darstellungen unterschiedlicher Ausführungen einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage.

[0075] **Fig. 19** zeigt zunächst eine schematische Darstellung einer für den Betrieb im EUV ausgelegten Projektionsbelichtungsanlage **100**, in welcher die Erfindung beispielsweise realisierbar ist.

[0076] Gemäß **Fig. 19** weist eine Beleuchtungseinrichtung der Projektionsbelichtungsanlage **100** einen Feldfacettenspiegel **103** und einen Pupillenfacettenspiegel **104** auf. Auf den Feldfacettenspiegel **103** wird das Licht einer Lichtquelleneinheit, welche im Beispiel eine EUV-Lichtquelle (Plasmalichtquelle) **101** und einen Kollektorspiegel **102** umfasst, gelenkt. Im Lichtweg nach dem Pupillenfacettenspiegel **104** sind ein erster Teleskopspiegel **105** und ein zweiter Teleskopspiegel **106** angeordnet. Im Lichtweg nachfolgend ist ein Umlenkspiegel **107** angeordnet, der die auf ihn treffende Strahlung auf ein Objektfeld in der Objektebene eines sechs Spiegel **121**-**126** umfassenden Projektionsobjektivs lenkt. Am Ort des Objektfeldes ist eine reflektive strukturtragende Maske **131** auf einem Maskentisch **130** angeordnet, die mit Hilfe des Projektionsobjektivs in eine Bildebene abgebildet wird, in welcher sich ein mit einer lichtempfindlichen Schicht (Photoresist) beschichtetes Substrat **141** auf einem Wafertisch **140** befindet.

[0077] **Fig. 20** zeigt eine schematische Darstellung eines weiteren möglichen Aufbaus einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage **200**, welche für den Betrieb bei Wellenlängen im DUV-Bereich (z.B. ca. 193nm) ausgelegt ist und ebenfalls eine Beleuchtungseinrichtung **201** und ein Projektionsobjektiv **208** aufweist.

[0078] Die Beleuchtungseinrichtung **201** umfasst eine Lichtquelle **202** und eine in stark vereinfachter Weise durch Linsen **203**, **204** und eine Blende **205** symbolisierte Beleuchtungsoptik. Die Arbeitswellenlänge der Projektionsbelichtungsanlage **200** beträgt in dem gezeigten Beispiel 193 nm bei Verwendung eines ArF-Excimerlasers als Lichtquelle **202**. Die Arbeitswellenlänge kann jedoch beispielsweise auch 248 nm bei Verwendung eines KrF-Excimerlasers oder 157 nm bei Verwendung eines F_2-Lasers als Lichtquelle **202** betragen. Zwischen der Beleuchtungseinrichtung **201** und dem Projektionsobjektiv **208** ist eine Maske **207** in der Objektebene OP des Projektionsobjektivs **208** angeordnet, die mittels eines Maskenhalters **206** im Strahlengang gehalten wird. Die Maske **207** weist eine Struktur im Mikrometer- bis Nanometer-Bereich auf, die mittels des Projektionsobjektives **208** beispielsweise um den Faktor **4** oder **5** verkleinert auf eine Bildebene IP des Projektionsobjektivs **208** abgebildet wird. Das Projektionsobjektiv **208** umfasst eine ebenfalls lediglich in stark vereinfachter Weise durch Linsen **209** bis **212** sym-

bolisierte Linsenanordnung, durch die eine optische Achse OA definiert wird. In der Bildebene IP des Projektionsobjektivs **208** wird ein durch einen Substrathalter **218** positioniertes und mit einer lichtempfindlichen Schicht **215** versehenes Substrat **216**, bzw. ein Wafer, gehalten. Zwischen dem bildebenenseitig letzten optischen Element **220** des Projektionsobjektivs **208** und der lichtempfindlichen Schicht **215** befindet sich ein Immersionsmedium **250**, bei dem es sich beispielsweise um deionisiertes Wasser handeln kann.

[0079] Wenn die Erfindung auch anhand spezieller Ausführungsformen beschrieben wurde, erschließen sich für den Fachmann zahlreiche Variationen und alternative Ausführungsformen, z.B. durch Kombination und/oder Austausch von Merkmalen einzelner Ausführungsformen. Dementsprechend versteht es sich für den Fachmann, dass derartige Variationen und alternative Ausführungsformen von der vorliegenden Erfindung mit umfasst sind, und die Reichweite der Erfindung nur im Sinne der beigefügten Patentansprüche und deren Äquivalente beschränkt ist.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- US 2016/0048080 A1 [0044, 0047]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- C. M. Berger, J. D. Byers, und C. L. Henderson, J. Electrochem. Soc., 151, G119 2004; C. M. Berger und C. L. Henderson, J. Vac. Sci. Technol. B, 22, 1163 2004 sowie C. Berger und C. L. Henderson, Proc. SPIE, 5753, 1076 2005 [0059]

Patentansprüche

1. Verfahren zur mikrolithographischen Herstellung mikrostrukturierter Bauelemente mit folgenden Schritten:
• Bereitstellen eines Wafers, auf den zumindest teilweise ein Photoresist aufgebracht ist;
• Bereitstellen einer Maske, die abzubildende Strukturen aufweist;
• Bereitstellen einer Projektionsbelichtungsanlage, welche eine Beleuchtungseinrichtung und ein Projektionsobjektiv aufweist;
• Belichten des Photoresists durch Projizieren wenigstens eines Teils der Maske auf einen Bereich des Photoresists mit Hilfe der Projektionsbelichtungsanlage;
• Ermitteln einer Abweichung wenigstens einer Struktureigenschaft der auf dem belichteten Wafer erzeugten Strukturen von einer vorgegebenen Soll-Struktureigenschaft;
• Nachbehandeln des Wafers auf Basis der ermittelten Abweichung; und
• Chemisches Entwickeln des nachbehandelten Wafers.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die wenigstens eine Struktureigenschaft eine Strukturgröße der auf dem belichteten Wafer erzeugten Strukturen umfasst.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Nachbehandeln des Wafers das Verändern einer Konzentration von in dem Photoresist nach dem Belichten vorhandenen freien Wasserstoff-Ionen umfasst.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass dieses Verändern der Konzentration von freien Wasserstoff-Ionen das Aufbringen einer Säure oder eines Säurefängers auf den Photoresist umfasst.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass dieses Verändern der Konzentration von freien Wasserstoff-Ionen eine Nachbelichtung des Photoresists mit Licht einer von einer Arbeitswellenlänge der Projektionsbelichtungsanlage abweichenden Wellenlänge umfasst.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Nachbelichtung des Photoresists ohne Verwendung einer Maske erfolgt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Nachbehandeln des Wafers mit einer Ortsauflösung erfolgt, die gröber als das Zehnfache der mittleren Strukturgröße auf dem Wafer ist.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine bei dem chemischen Entwickeln des nachbehandelten Wafers eingestellte Temperatur in Abhängigkeit von der ermittelten Abweichung modifiziert wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Ermitteln einer Abweichung wenigstens einer Struktureigenschaft durch Impedanzmessung und/oder Infrarotspektroskopie erfolgt.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Ermitteln einer Abweichung wenigstens einer Struktureigenschaft eine ortsabhängige Messung der bei Ausleuchtung der Maske durch die Beleuchtungseinrichtung erzeugten Intensitätsverteilung umfasst.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Ermitteln einer Abweichung wenigstens einer Struktureigenschaft eine ortsabhängige Messung von Transmissionseigenschaften des Projektionsobjektivs umfasst.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die wenigstens eine Struktureigenschaft eine Strukturlage der auf dem belichteten Wafer erzeugten Strukturen umfasst.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Nachbehandeln des Wafers das Durchführen eines Ätzprozesses umfasst.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Nachbehandeln des Wafers ein Erwärmen des Photoresists sowie ein Bewegen der auf dem belichteten Wafer erzeugten Strukturen durch lokale Bewegung des Photoresists umfasst.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Ermitteln einer Abweichung wenigstens einer Struktureigenschaft die Messung der Ausleuchtung wenigstens einer Pupillenebene in der Projektionsbelichtungsanlage umfasst.

16. Vorrichtung zur Nachbehandlung eines mikrolithographisch belichteten Wafers, wobei auf den Wafer zumindest teilweise ein Photoresist aufgebracht ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung dazu konfiguriert ist, einen für eine in dem Photoresist bei einem anschließenden Backvorgang bestehende Polymerdurchschneiderate charakteristischen Parameter zu ändern.

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass diese Änderung mit einer Ortswellenlänge im Bereich von 50pm bis 5mm erfolgt.

18. Vorrichtung nach Anspruch 16 oder 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Nachbehandeln des Wafers das Verändern einer Konzentration von in dem Photoresist nach dem Belichten vorhandenen freien Wasserstoff-Ionen umfasst.

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Nachbehandeln des Wafers das Durchführen eines Ätzprozesses umfasst.

20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 16 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Nachbehandeln des Wafers ein Erwärmen des Photoresists sowie ein Bewegen der auf dem belichteten Wafer erzeugten Strukturen durch lokale Bewegung des Photoresists umfasst.

Es folgen 20 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

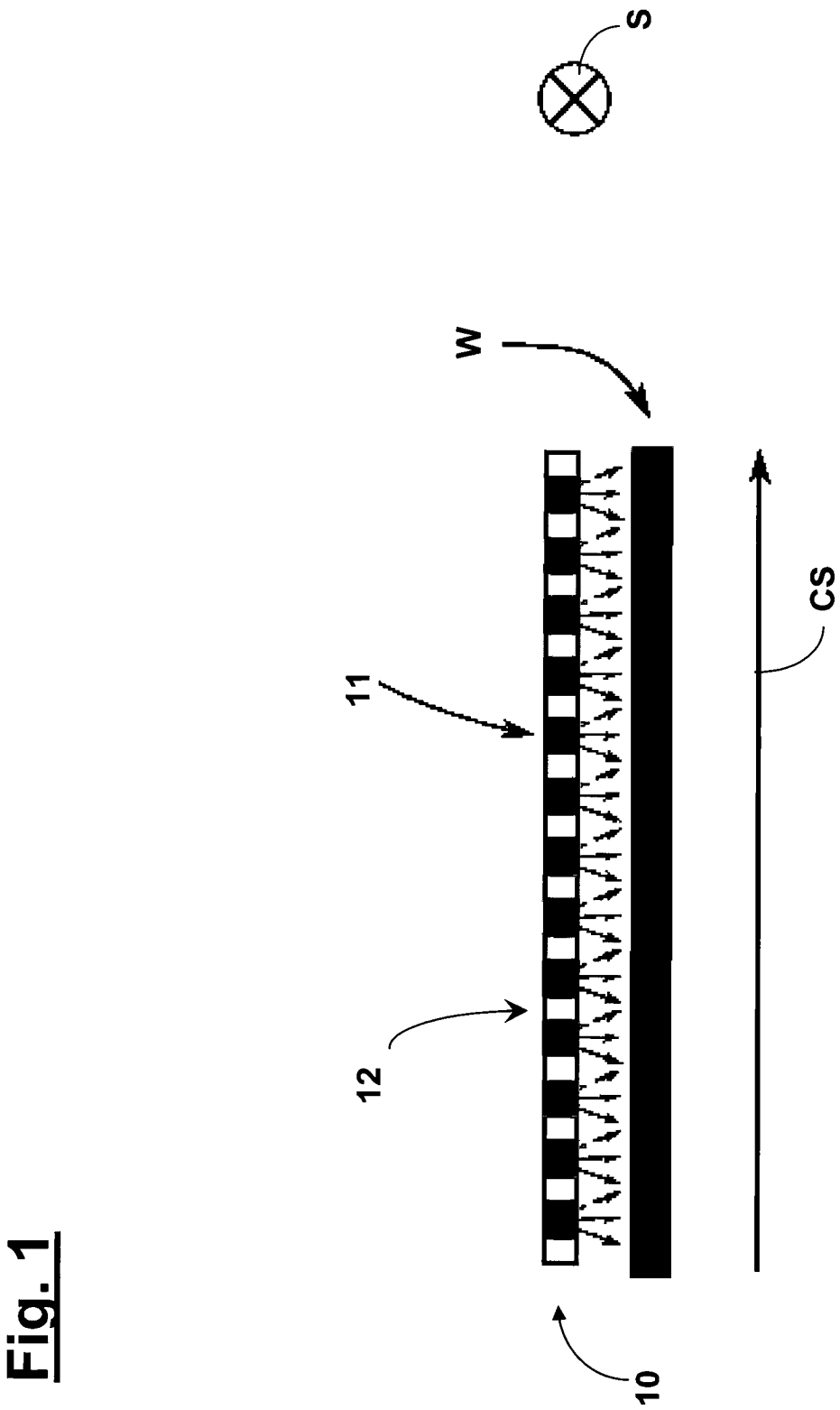


Fig. 1

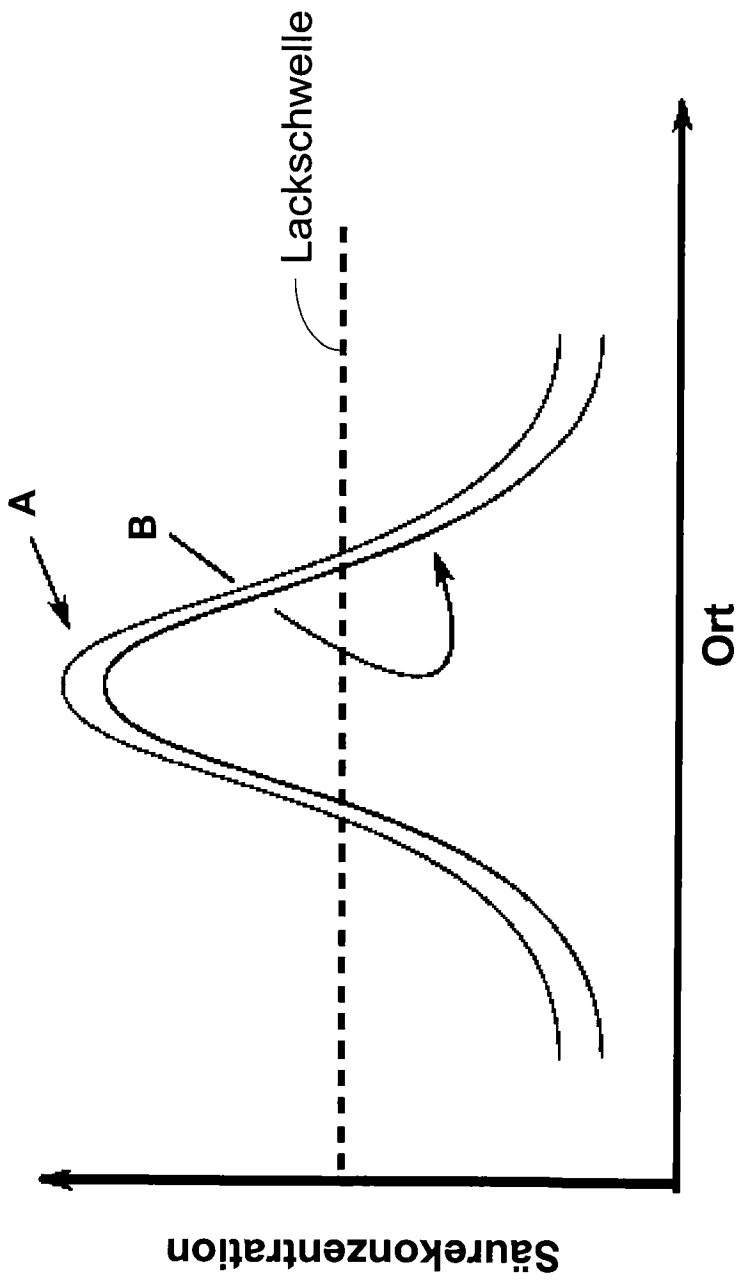


Fig. 2

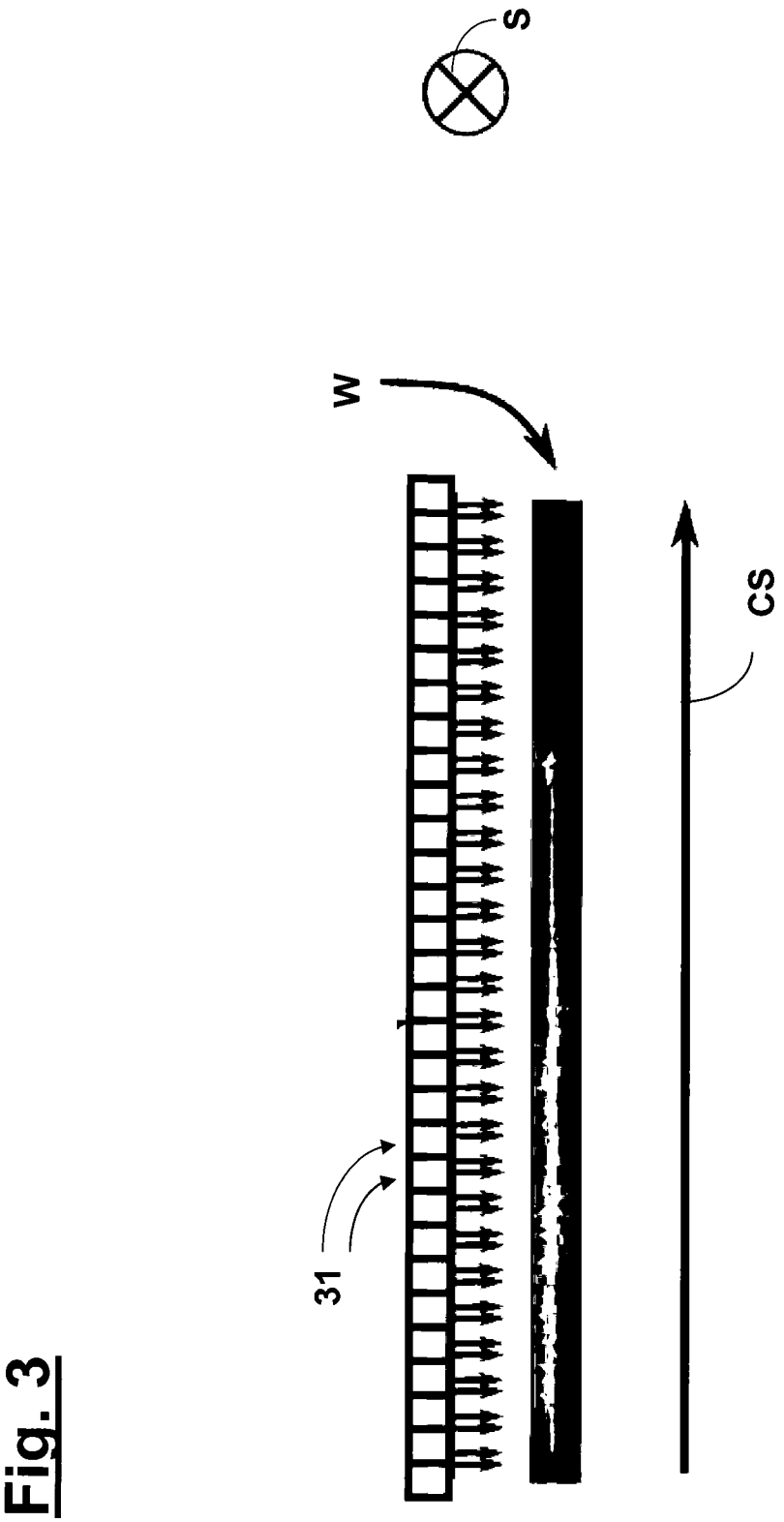


Fig. 3

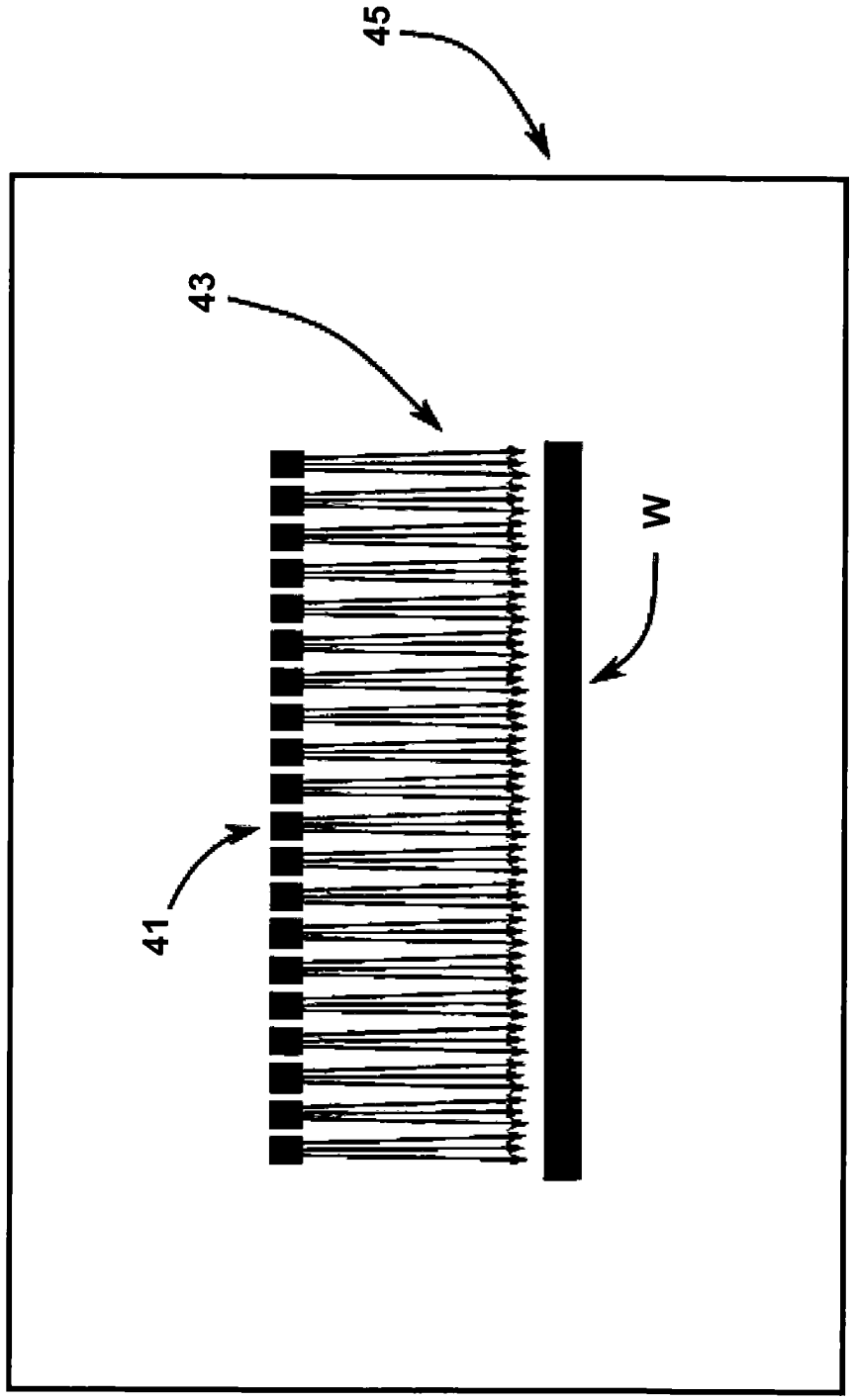


Fig. 4

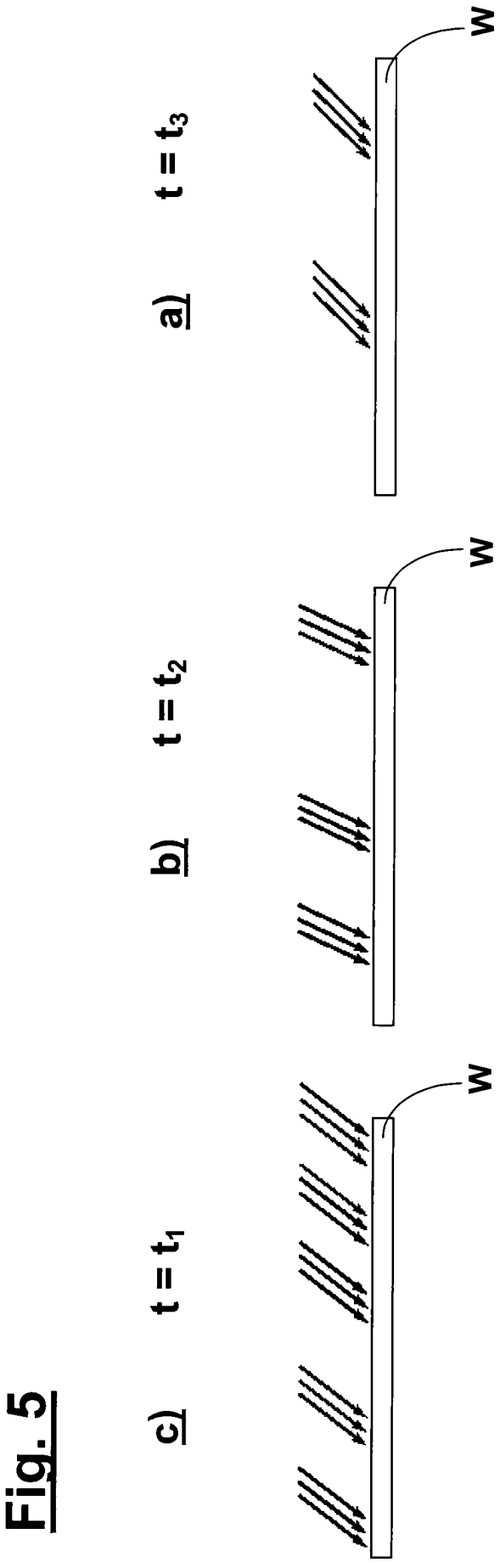


Fig. 5

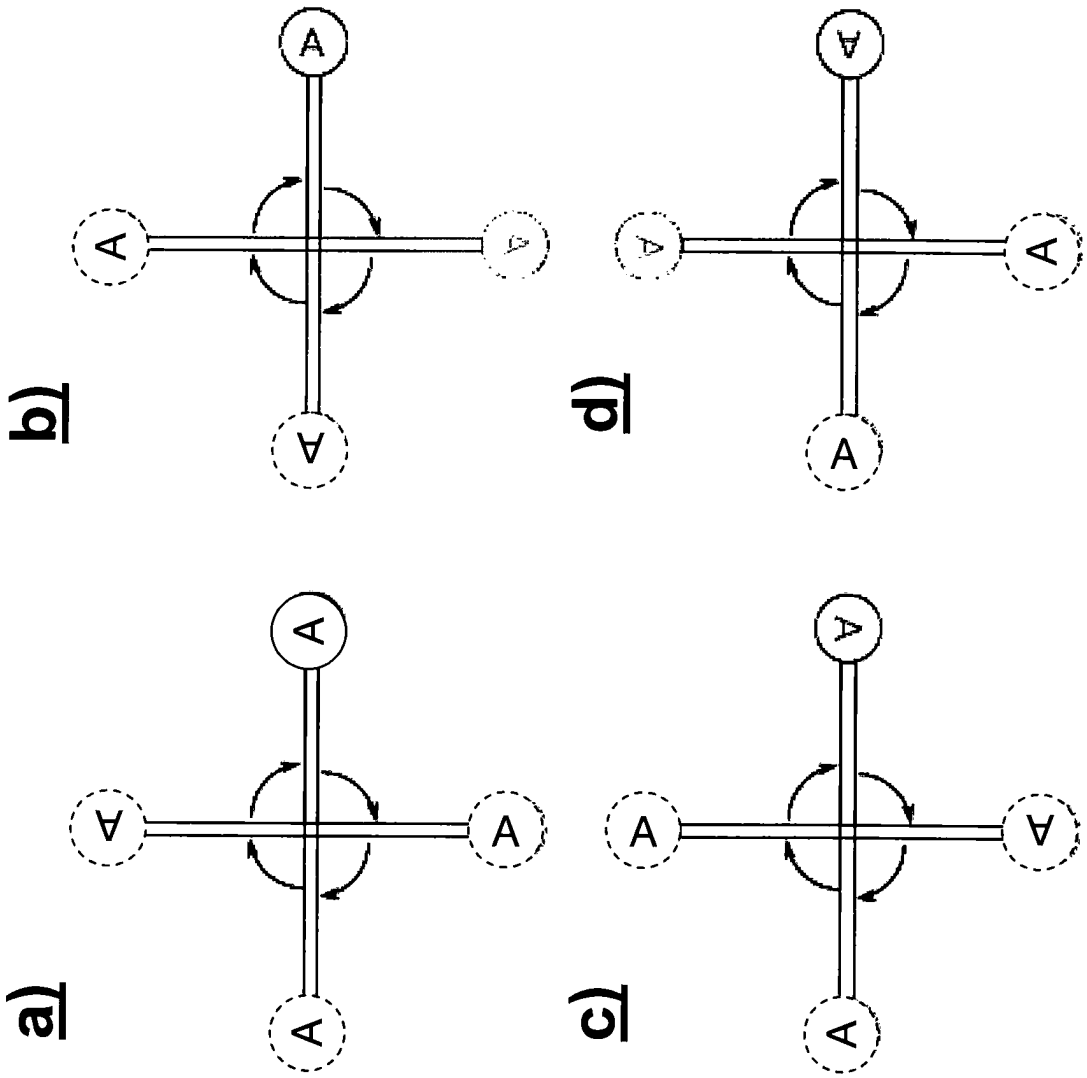


Fig. 6

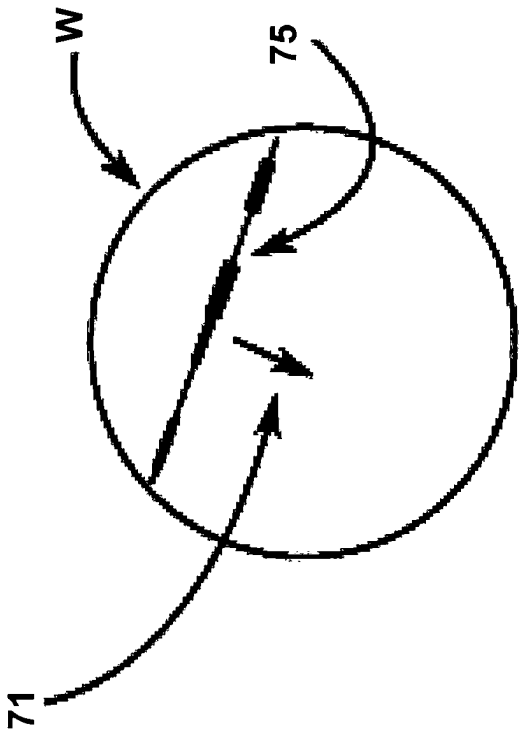
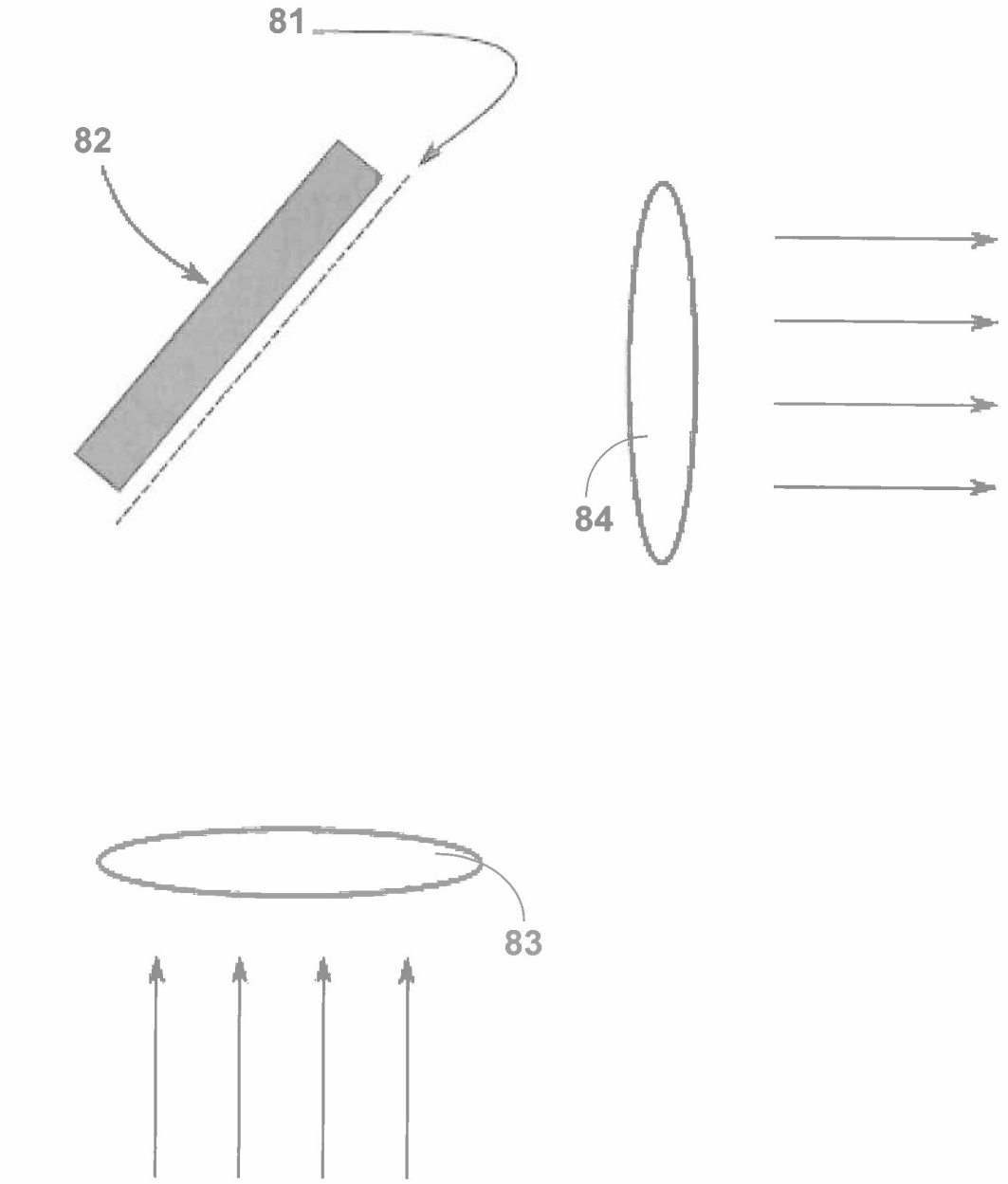


Fig. 7

Fig. 8



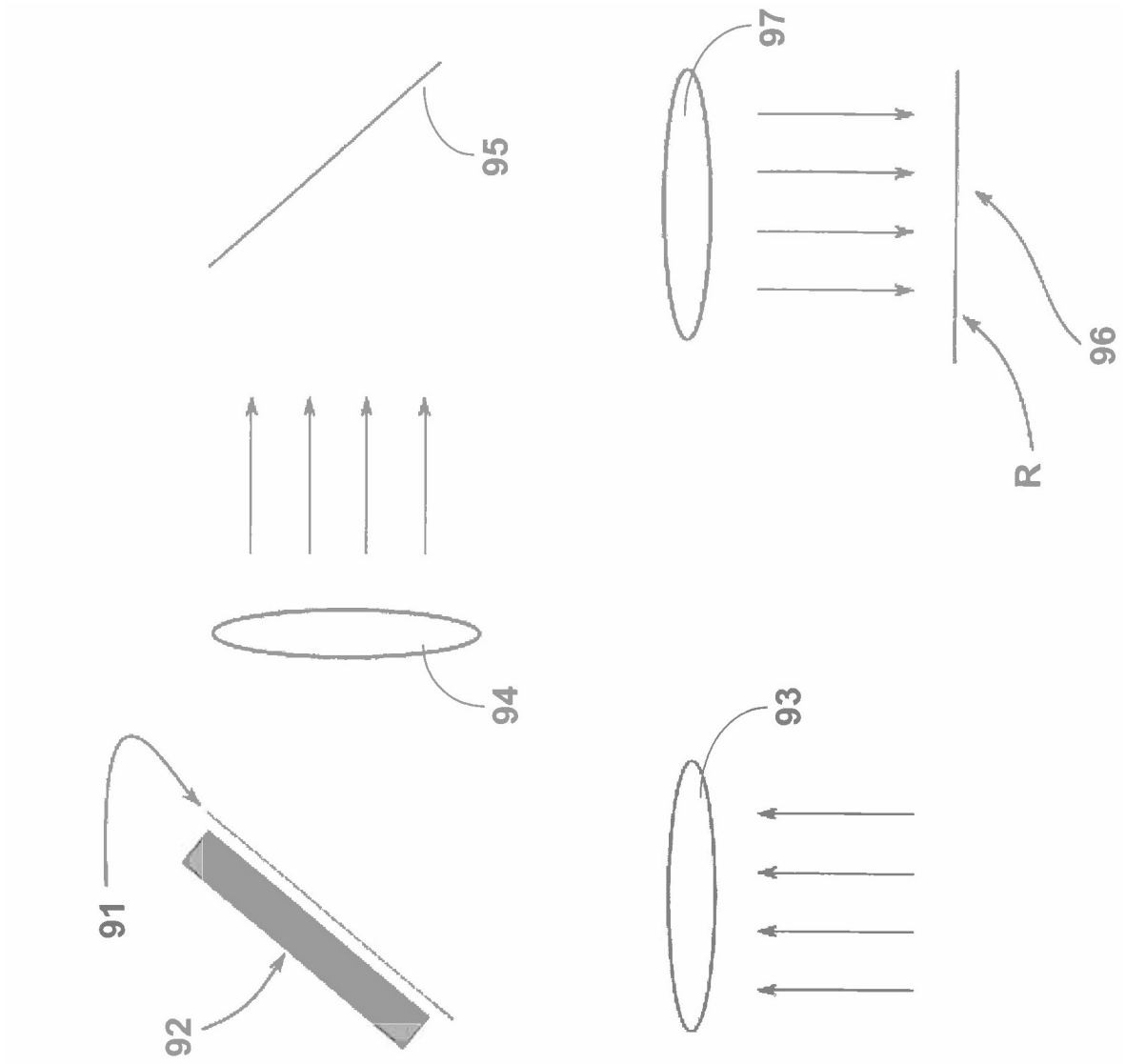


Fig. 9

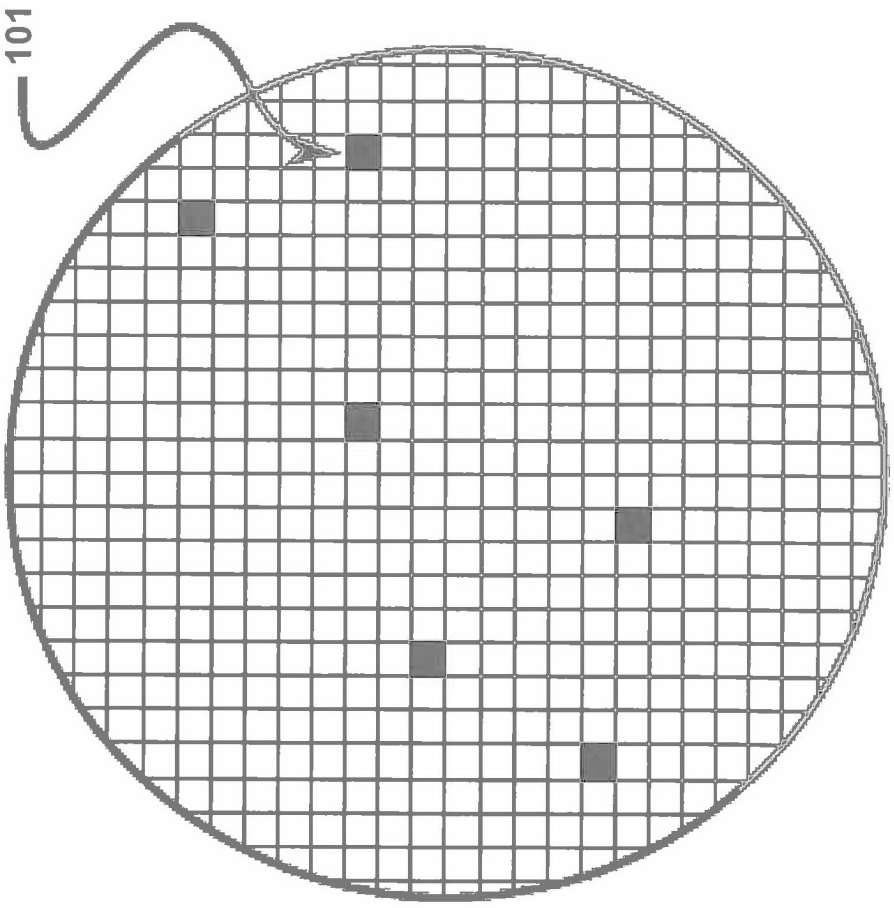


Fig. 10

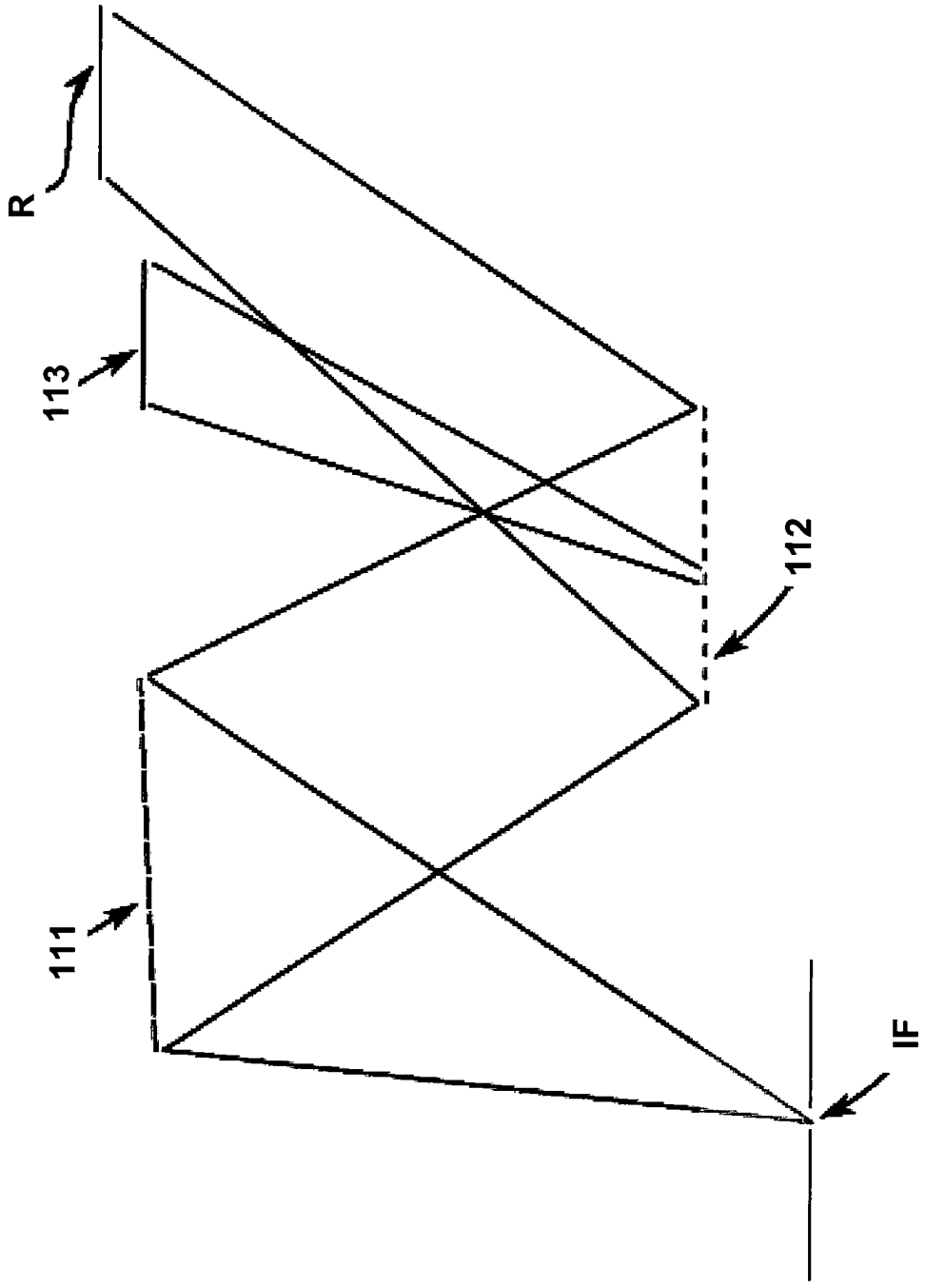


Fig. 11

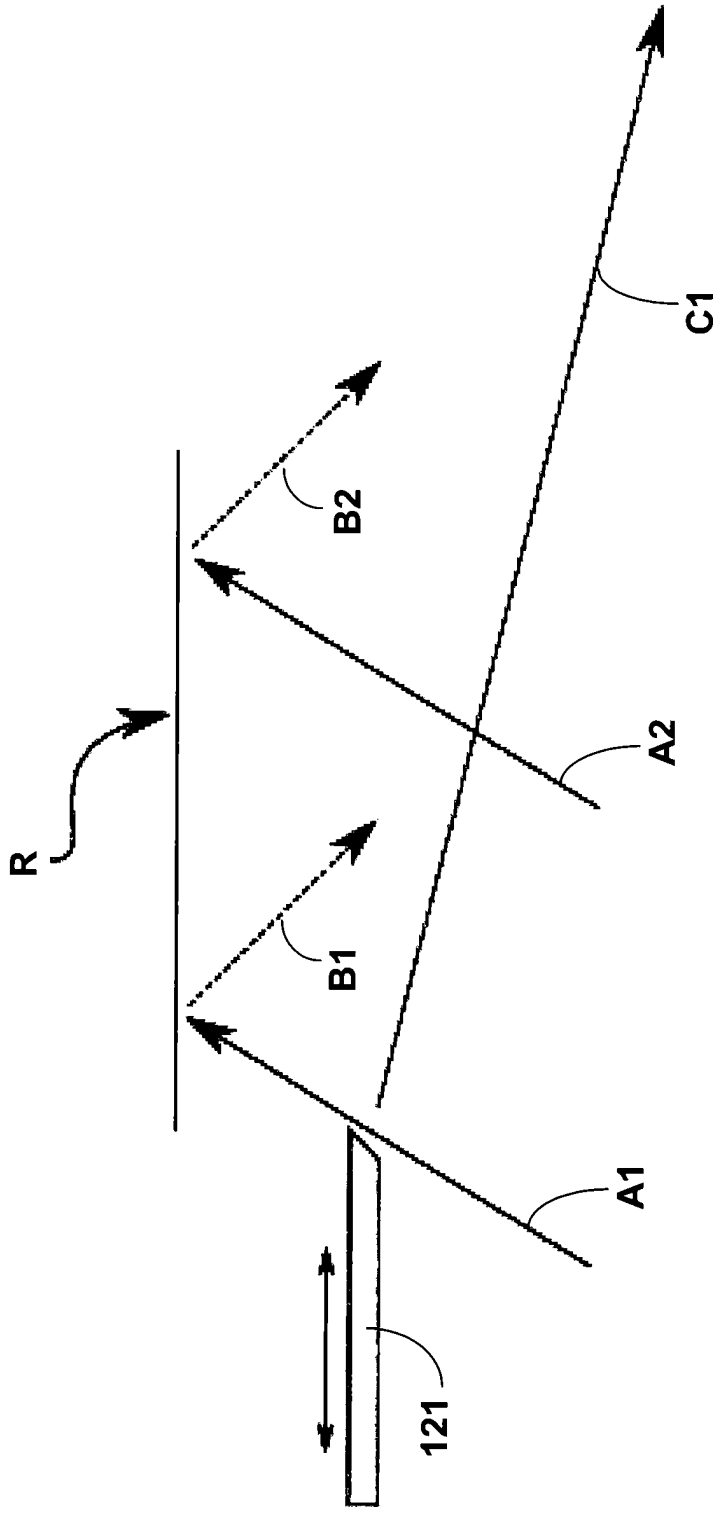


Fig. 12

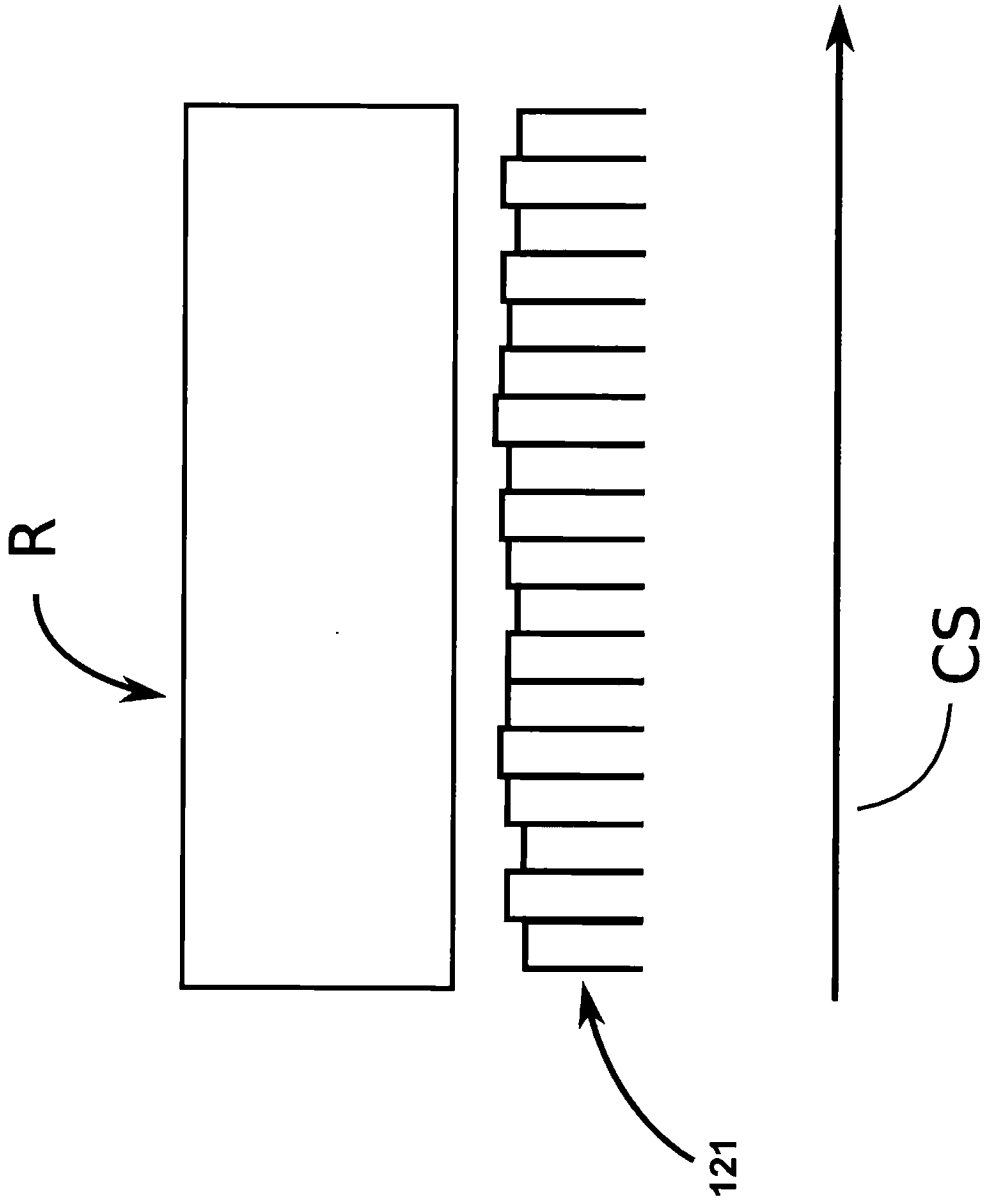
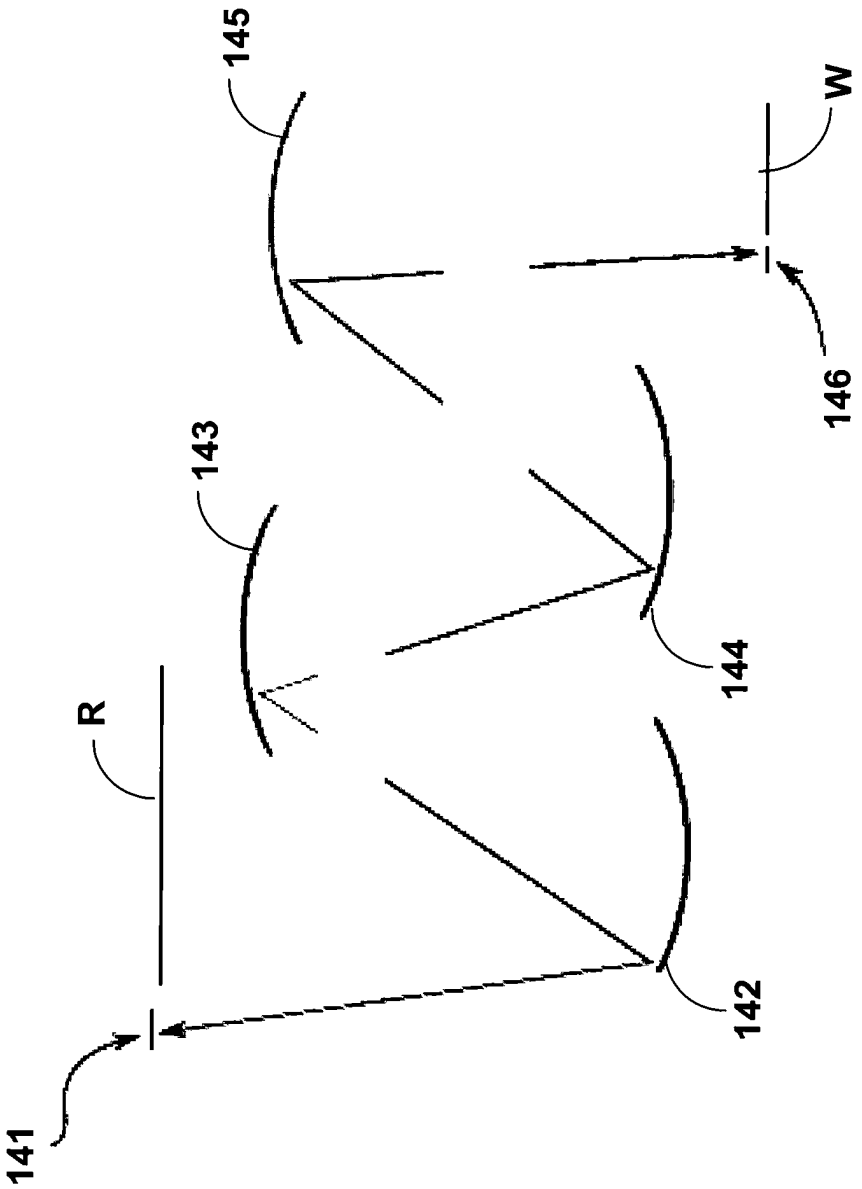


Fig. 13

Fig. 14



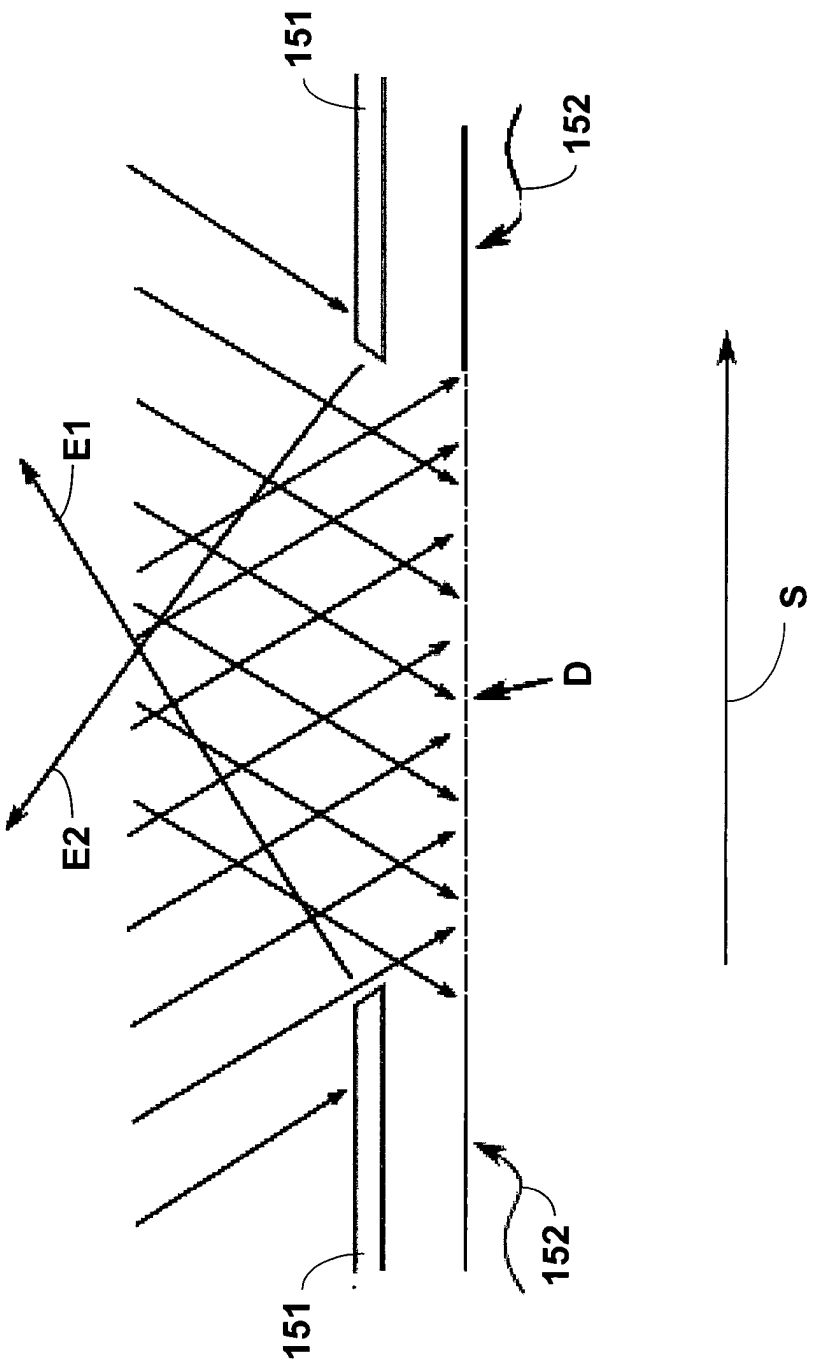


Fig. 15

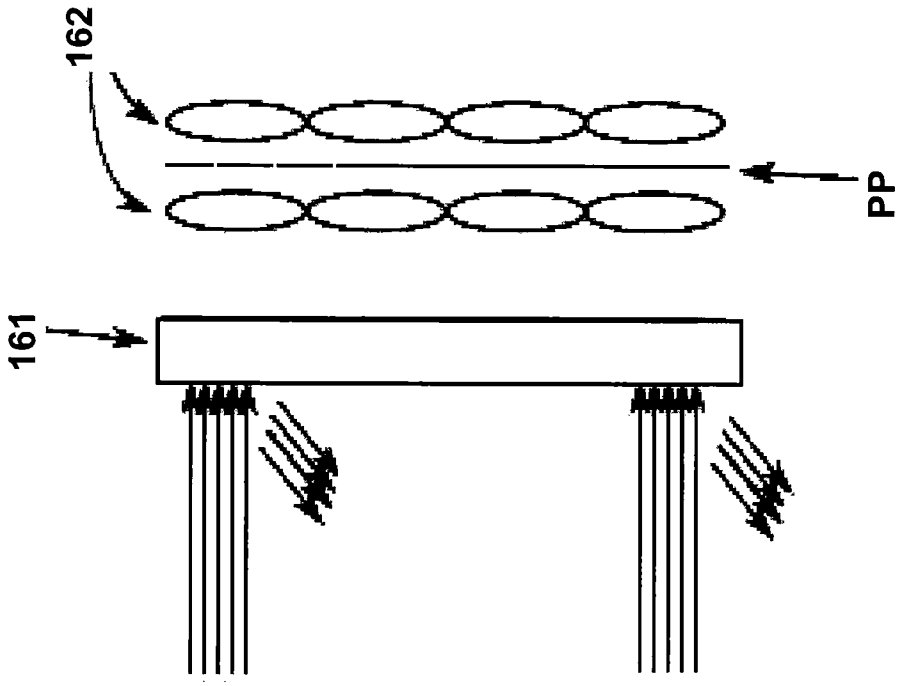


Fig. 16

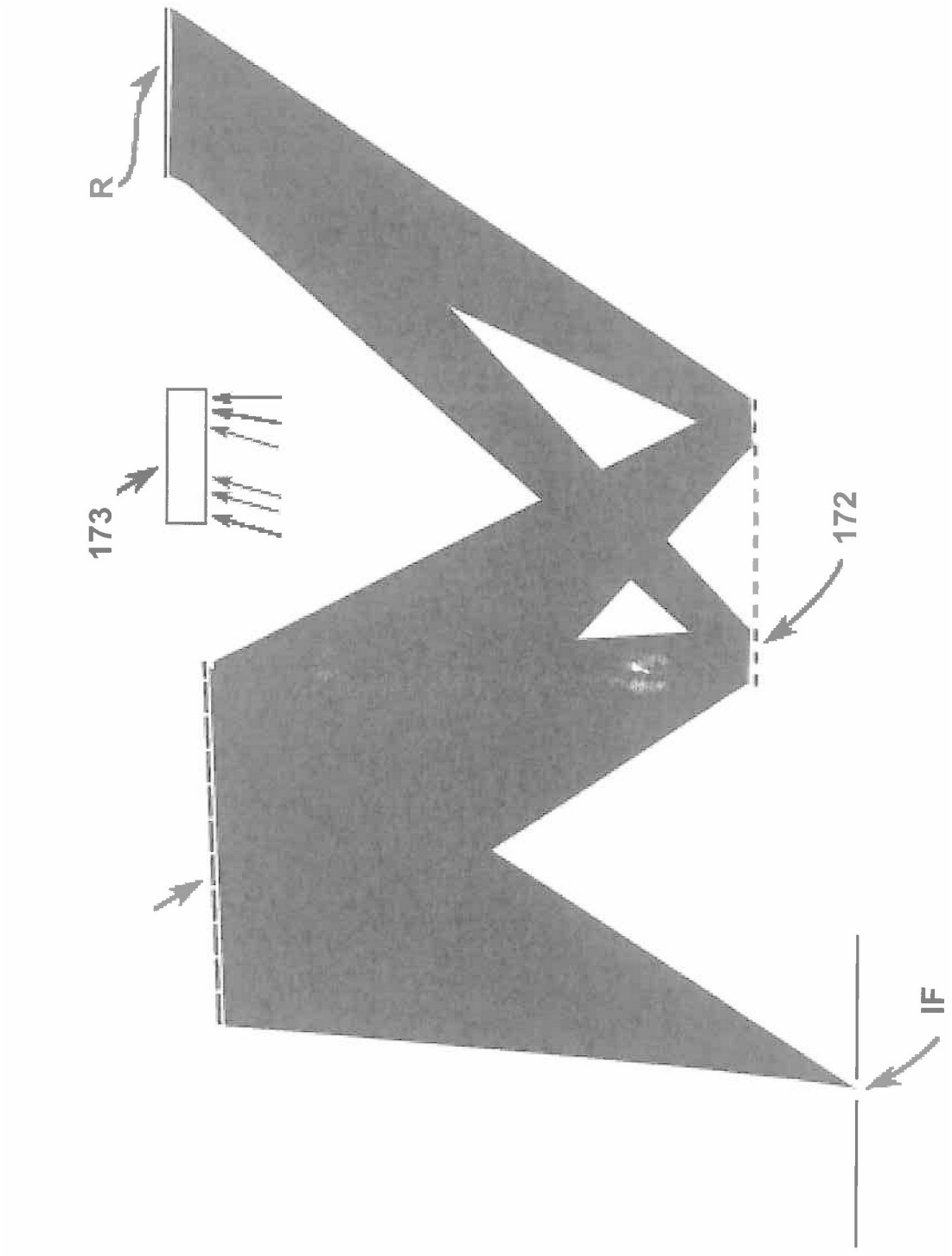


Fig. 17

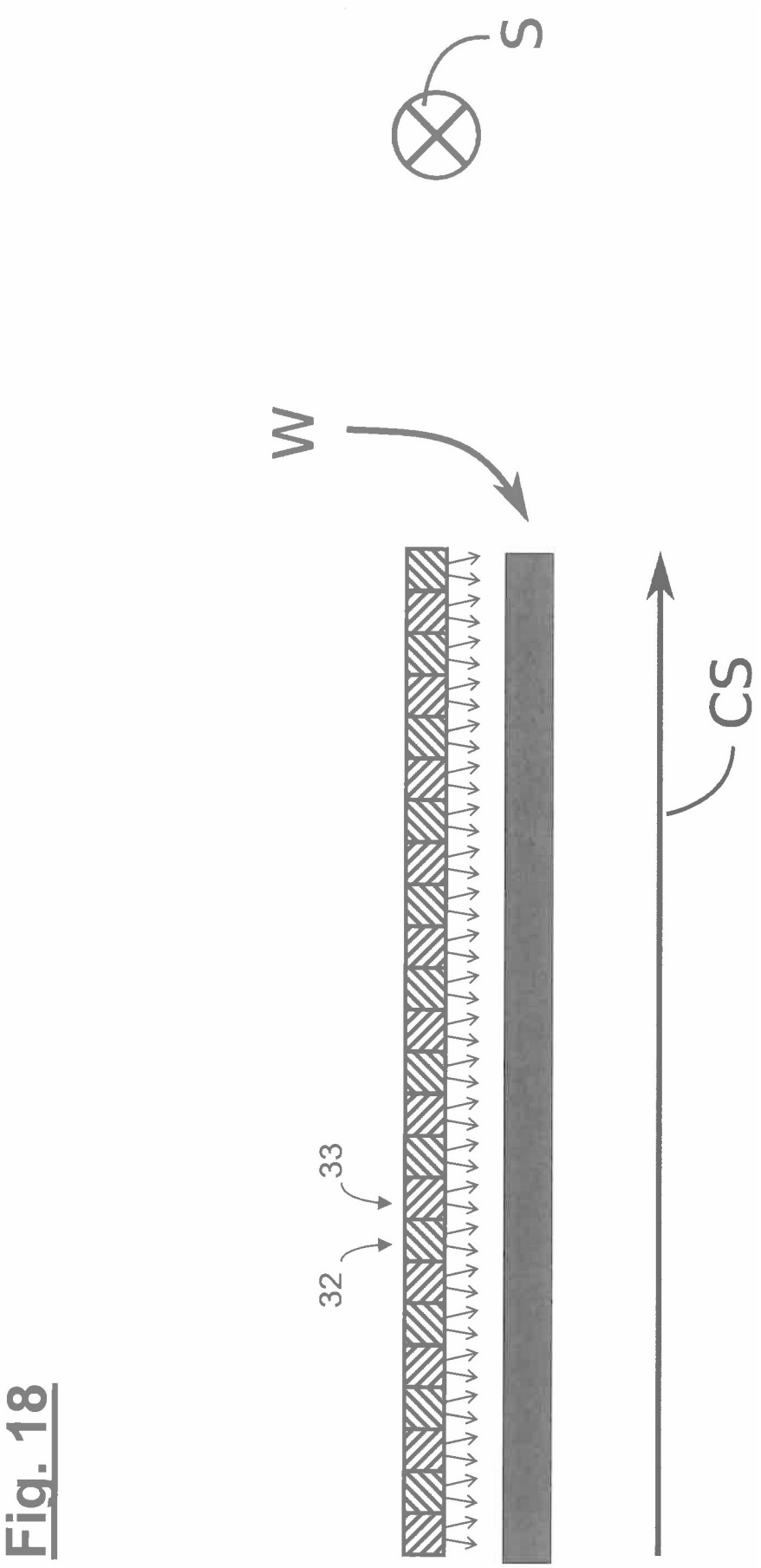


Fig. 18

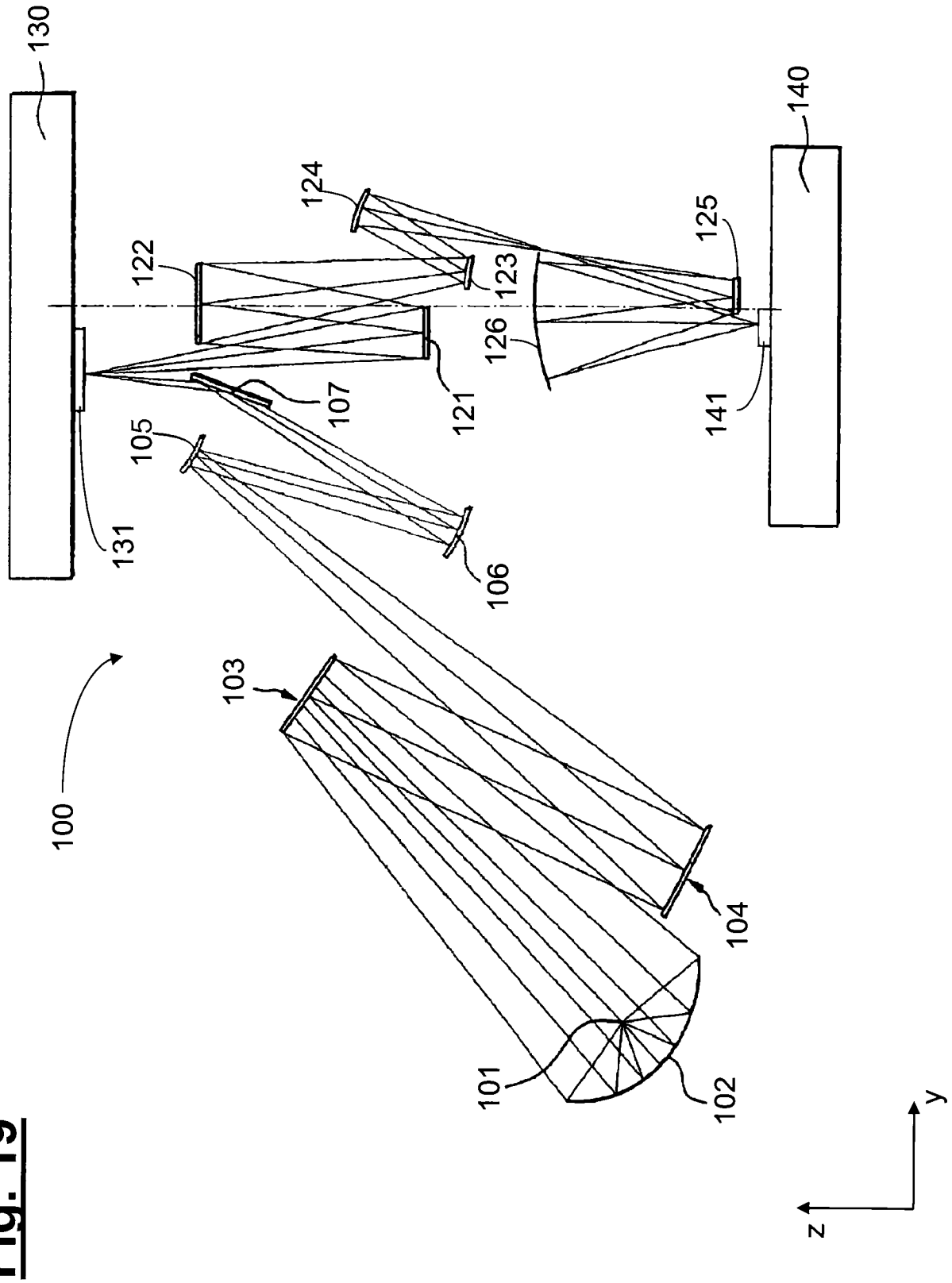
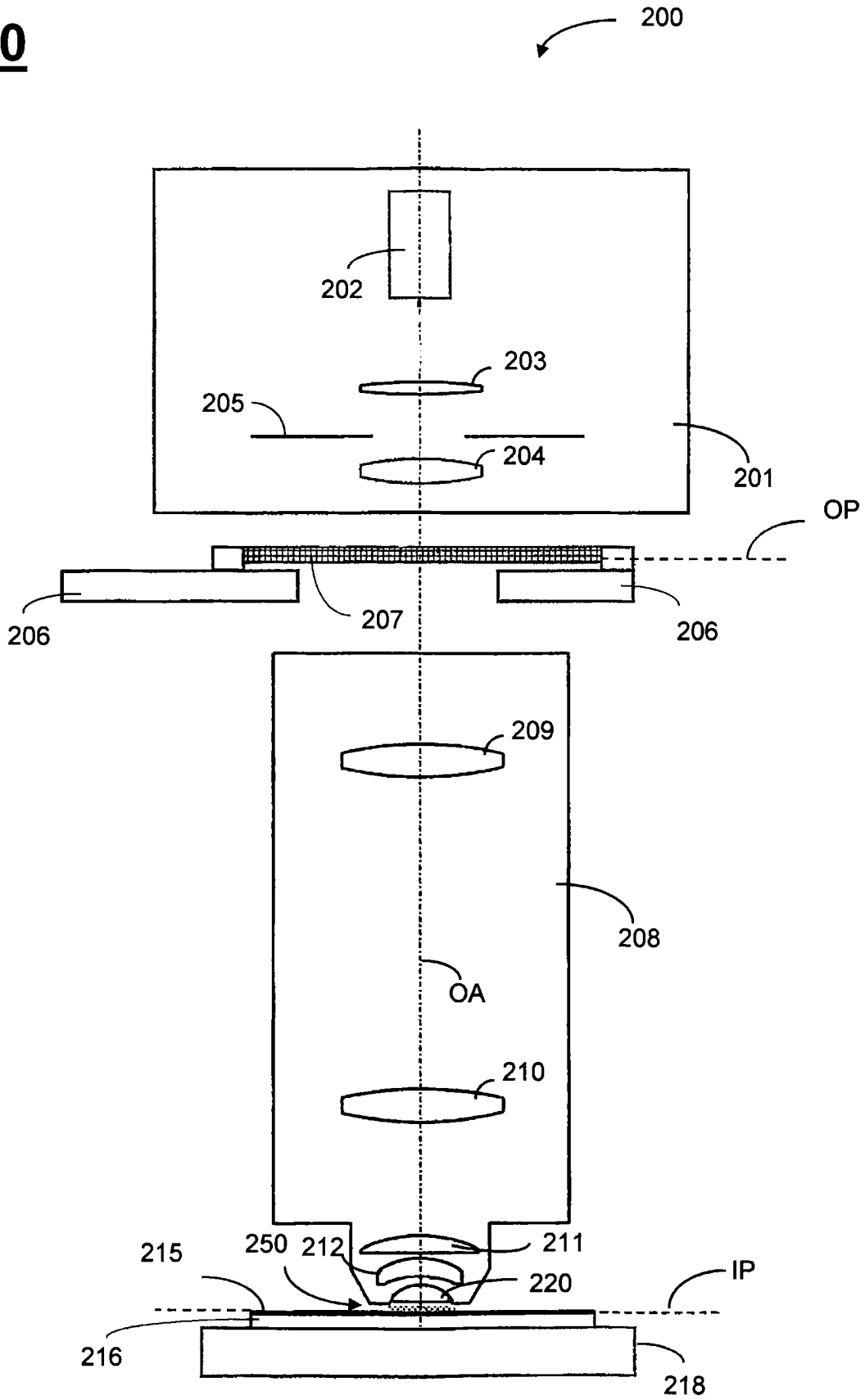

130
140
124
125
122
123
126
107
121
141
105
131
106
103
100
104
101
102
y
z

Fig. 19

Fig. 20


200
202
203
205
204
201
OP
206
207
206
209
208
OA
210
215
250
212
211
220
IP
216
218