



(10) **DE 10 2011 007 828 A1** 2012.04.19

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2011 007 828.2**

(22) Anmeldetag: **21.04.2011**

(43) Offenlegungstag: **19.04.2012**

(51) Int Cl.: **G03F 7/20 (2011.01)**
H05G 2/00 (2011.01)

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

(72) Erfinder:
Walser, Reinhold, 64853, Otzberg, DE

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

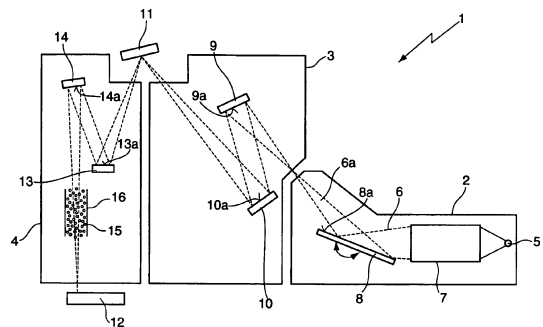
DE	10 2006 043 776	A1
US	2004 / 0 081 218	A1
US	2009 / 0 218 521	A1
US	3 494 687	A
US	3 589 797	A
US	3 617 108	A

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Füllgase mit optischer Wirkung für EUV-Lithographieanlagen**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine EUV-Lithographieanlage (1), umfassend: eine EUV-Lichtquelle (5) zur Erzeugung von EUV-Strahlung (6a), sowie mindestens eine Vakuum-Kammer (2, 3, 4), in der mindestens ein optisches Element (8, 9, 10, 11, 13, 14) angeordnet ist. Ein im Strahlengang (6) der EUV-Strahlung (6a) in der Vakuum-Kammer (4) befindliches Füllgas (15) weist die Wirkung eines optischen Elements auf.



Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft eine EUV-Lithographieanlage mit einer EUV-Lichtquelle sowie mit mindestens einer Vakuum-Kammer, in der mindestens ein optisches Element angeordnet ist.

[0002] Die zentrale Aufgabe der Lithographieanlagen- bzw. Lithographieobjektiventwicklung besteht in der Perfektionierung der Abbildungseigenschaften eines Projektionssystems unter Maximierung der energetischen Ausbeute. Dies erfordert ein perfektes Zusammenspiel von Lichtquelle, Beleuchtung, Maskendesign, Optikdesign, Schichtdesign und der mechanischen Konstruktion.

[0003] Verbleibende statische und im Betrieb erwachsende dynamische Restfehler werden beispielsweise mit mechanischen Manipulatoren, austauschbaren Linsenelementen oder steuerbaren Facettenspiegeln behoben. Diese etablierten Korrekturmethode sind aber auch mit großem konstruktivem Aufwand verbunden und haben ihre Beschränkungen.

Aufgabe der Erfindung

[0004] Aufgabe der Erfindung ist es, eine EUV-Lithographieanlage bereitzustellen, bei der alternative Methoden zur Beeinflussung der Propagation von EUV-Strahlung und insbesondere alternative Korrekturmethode zum Einsatz kommen.

Gegenstand der Erfindung

[0005] Diese Aufgabe wird gelöst durch eine EUV-Lithographieanlage der eingangs genannten Art, bei der ein im Strahlengang der EUV-Lichtquelle befindliches Füllgas die Wirkung eines optischen Elements aufweist.

[0006] Es ist bekannt, EUV-Lithographieanlagen in Vakuum-Gehäusen einzubetten und zur Reinigung der Spiegeloberflächen der EUV-Spiegel z. B. molekularen/atomaren Wasserstoff als Füllgas einzublasen, der kohlenstoffhaltige Verunreinigungen an den Oberflächen reduzieren soll. Bisher wird dem Raum zwischen den optischen Elementen (EUV-Spiegeln) und den darin vorhandenen Füllgasen aber keine optische Wirkung zugeordnet. Füllgase werden lediglich zu Reinigungszwecken der optischen Oberflächen benutzt.

[0007] Mit dem Motto „There's plenty of room at the bottom“ rief Richard Feynman 1959 die Nanotechnologie ins Leben. In diesem Sinne gibt es „viel optischen Weg zwischen den Spiegeln“, dem durch Manipulation der optischen Eigenschaften des stark ver-

dünnten Gases optische Wirkung entlockt werden kann.

[0008] Beispielsweise ist es bekannt, dass gasförmiger Stickstoff, der in Plasma-Lichtquellen für EUV-Lithographieanlagen vorhanden ist, durch die EUV-Strahlung angeregt wird und gleichförmig in alle Richtungen fluoresziert. Deshalb wird der durch den gasförmigen Stickstoff propagierende EUV-Lichtstrahl in Vorwärtsrichtung absorbiert, gestreut, phasenverzögert und verändert seinen geometrischen Strahlengang wie in einem „gradient index“(GRIN)-Medium.

[0009] Die grundsätzlichen Parameter einer lasergepumpten Quecksilber-Plasma-Strahlungsquelle sind an der Eingangsseite z. B. nominell 100 W und hinter dem Retikel (Maske) 16 W, wobei EUV-Strahlung bei einer Wellenlänge von 13,5 nm verwendet wird. Diese zeitgemittelte Leistung wird gepulst bei einer Repetitionsrate von 50–100 kHz erreicht. Die Pulsdauer liegt zwischen 20 und 2000 ns (FWHM – “Full Width at Half Maximum”). Allerdings sind für optische Übergänge in Atomen nicht nur zeitgemittelte Leistungen relevant, sondern auch der zeitliche Feldstärkenverlauf. Der Restgasdruck in einer EUV-Lithographieanlage beträgt derzeit ca. 0,1 mbar. Mithilfe der Gasgleichung ($pV = N k_B T$) findet man, dass dies einer Dichte von $n = 2,4 \cdot 10^{15} \text{ 1/cm}^3$ entspricht, welches mit den im Weiteren beschriebenen Effekten kompatibel ist.

[0010] In einer Ausführungsform umfasst die EUV-Lithographieanlage eine Falle zur berührungsfreien, räumlichen Lokalisierung des Füllgases, z. B. durch elektromagnetische Kräfte bzw. durch Laserstrahlung.

[0011] Die Technologie, um neutrale und ionisierte atomare Ensembles in Vakuum-Kammern berührungsfrei mit elektromagnetischen Kräften aus einem Hintergrundgas einzufangen, zu halten und auch zu kühlen ist heute eine wohl entwickelte Technik, die seit vielen Jahren breite Anwendung findet. Diese Ideen waren von so grundlegender Bedeutung, dass sie unter anderem mit drei Nobelpreisen in Physik gewürdigt wurden:

1989 für die Entwicklung von Ionenfallen: N. Ramsey, H. Dehmelt, H. Paul. “For the separated oscillatory fields method and its use in the hydrogen maser and other atomic clocks/for the development of the iontrap technique”. Nobelpreis für Physik. 1989.

1997 für das Fangen und Kühlen der kinetischen Bewegung von Atomen mit Licht: S. Chu, C. Cohen-Tannoudji, B. Phillips. „For development of methods to cool and trap atoms with laser light”. Nobelpreis für Physik. 1997, sowie

2001 für die Bose-Einstein-Kondensation von Gasen: E. Cornell, C. Wiemann, W. Ketterle. „For the achievement of Bose-Einstein condensation in dilute gases of alkali atoms, and for early fundamental studies

of the properties of the condensates". Nobelpreis für Physik, 2001.

[0012] Nachfolgend werden verschiedene Möglichkeiten aufgezeigt, um eine räumliche Lokalisierung von gasförmigen Objekten zu ermöglichen, diese im Strahlengang an geeigneten Stellen zu platzieren, ggf. berührungsfrei mit Hilfe von elektromagnetischen Kräften zu halten, sowie bei Bedarf deren mechanische Bewegung zu kühlen.

[0013] In einer Ausführungsform ist die Falle als Atomfalle oder als Ionenfalle ausgebildet. Mit einer Ionenfalle können einzelne Ionen gefangen, ionische Plasmen oder ionische Wigner-Kristalle erzeugt werden. Bei einer Atomfalle können gefangene neutrale, atomare Ensembles in lokalisierten elektromagnetischen, lasergenerierten Fallen (MOT magneto-optische Falle, optische Dipolfalle) oder optisch, periodischen Gittern (stehende Laserwellen) räumlich lokalisiert gehalten werden und auf diese Weise z. B. Bose-Einstein Kondensate erzeugt werden.

[0014] In einer Ausführungsform dient das Füllgas zur Brechung der EUV-Strahlung und weist insbesondere die optische Wirkung einer Linse oder eines Wellenleiters auf. Die abbildenden optischen Eigenschaften von passiven, linearen, gasförmigen Medien sind aus dem Alltag z. B. in Form von Schlieren oder Fata Morganas wohlbekannt und können auch im Zusammenhang mit stark verdünnten Gasen in Vakuum-Kammern angewendet werden. Die Brechung von EUV-Strahlung an dem Füllgas kann auch genutzt werden, um Wellenleiter oder Strahlteiler zu realisieren. Es versteht sich, dass durch gezielte Veränderung der räumlichen Verteilung des Füllgases (z. B. durch zeitliche Variation der zur Lokalisierung verwendeten elektromagnetischen Felder) auch eine aktive Linsenwirkung erzielt werden kann, d. h. die Abbildungseigenschaften der Linse können sich zeitabhängig verändern und z. B. geeignet angepasst werden, um Abbildungsfehler zu vermeiden bzw. zu reduzieren.

[0015] In einer Ausführungsform dient das Füllgas zur Beugung der EUV-Strahlung und weist die optische Wirkung eines Gitters auf. Dies kann erreicht werden, indem ein Ionen-Plasma, z. B. in Form von Beryllium-Ionen, in einer Ionenfalle, z. B. in einer Penning-Falle, so weit abgekühlt wird, dass das Ionen-Plasma in eine kristalline Phase übergeht und einen Wigner-Kristall bildet.

[0016] Wenn man eine solche Falle im Zwischenbild eines Projektions-Objektives platziert, so wird der Überlapp mit der gepulsten EUV-Strahlung maximal.

[0017] In einer weiteren Ausführungsform dient das Füllgas zur Streuung der EUV-Strahlung und weist die optische Wirkung eines Diffusors auf. Komple-

mentär zu der abbildenden Eigenschaft eines inhomogenen Gases ist auf der Beleuchtungsseite, d. h. vor der Maske, die inkohärente Streuungswirkung von lokalisierten Gasen relevant. Im Gegensatz zum Brechungsindex von Festkörpern, die i. A. ein spektral breites, strukturloses Dispersions- und Absorptionsverhalten aufweisen, sind in Gasen viele schmale, wohlisolierte Resonanzlinien zu finden. Diese können je nach Bandbreite des EUV-Pulses, resonant im Bereich der Doppler-, Stoßzahl- oder Leistungsverbreiterung angeregt werden und selbst wiederum spontan, inkohärent in alle Richtungen der Dipolkeule emittieren. Diese Eigenschaft kann genutzt werden, um das Gas als Diffusorlinse zu verwenden, um damit die Homogenität der Ausleuchtung von Beleuchtungsfeld und Pupille zu verbessern. Es versteht sich, dass auch ein insbesondere den relevanten Bauraum homogen ausfüllendes, stark verdünntes Gas in die Vakuum-Kammer eingebracht werden kann, um als Absorber für die EUV-Strahlung zu dienen.

[0018] Die oben beschriebenen Füllgase, welche eine optische Wirkung aufweisen, können somit einerseits dazu verwendet werden, um vor der Maske eine inkohärente gleichförmigere Ausleuchtung in Feld und Pupille zu erreichen, andererseits aber auch, um hinter der Maske im Projektionsobjektiv kohärent kleine Wellenfrontkorrekturen vorzunehmen.

[0019] In einer weiteren Ausführungsform weist die EUV-Lithographieanlage einen Feldgenerator zur Erzeugung von (ggf. zeitlich veränderlichen) elektromagnetischen Feldern auf. Der Feldgenerator kann zur räumlichen Lokalisierung der Gasatome oder Gas-Ionen dienen. Neben der Lokalisierung der gasförmigen Materie kann der Feldgenerator selbstverständlich auch dazu dienen, die optischen Eigenschaften der lokalisierten gasförmigen Materie durch zusätzliche elektromagnetische Felder zu kontrollieren bzw. zu beeinflussen. Hierbei kann es sich beispielsweise um Modifikationen der linearen Dispersionsrelation, nichtlineare dispersive oder aktive verstärkende Effekte handeln.

[0020] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung, anhand der Figuren der Zeichnung, die erfindungswesentliche Einzelheiten zeigen, und aus den Ansprüchen. Die einzelnen Merkmale können je einzeln für sich oder zu mehreren in beliebiger Kombination bei einer Variante der Erfindung verwirklicht sein.

Zeichnung

[0021] Ausführungsbeispiele sind in der schematischen Zeichnung dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung erläutert. Es zeigt:

[0022] **Fig. 1** eine schematische Darstellung einer EUV-Lithographieanlage mit einem Füllgas mit optischer Wirkung,

[0023] **Fig. 2** eine schematische Darstellung einer Penning-Falle für die EUV-Lithographieanlage von **Fig. 1**, und

[0024] **Fig. 3** eine schematische Darstellung einer gasförmigen Diffusorlinse zur inkohärenten Beleuchtung einer Maske.

[0025] In **Fig. 1** ist schematisch eine EUV-Lithographieanlage **1** gezeigt, welche aus einem Strahlformungssystem **2**, einem Beleuchtungssystem **3** und einem Projektionssystem **4** besteht, die in separaten Vakuum-Gehäusen bzw. Vakuum-Kammern untergebracht und aufeinander folgend in einem von einer EUV-Lichtquelle **5** des Strahlformungssystems **2** ausgehenden Strahlengang **6** der von der EUV-Lichtquelle **5** erzeugten, gepulsten EUV-Strahlung **6a** angeordnet sind. Den Vakuum-Kammern **2**, **3**, **4** ist eine (nicht gezeigte) Vakuum-Pumpe zugeordnet, die zur Erzeugung eines Restgasdrucks von z. B. 0,1 mbar dient.

[0026] Als EUV-Lichtquelle **5** kann beispielsweise eine Plasmaquelle dienen. Die aus dieser austretende Strahlung im Wellenlängenbereich zwischen ca. 5 nm und ca. 20 nm wird zunächst in einem Kollimator **7** gebündelt. Mit Hilfe eines nachfolgenden Monochromators **8** wird durch Variation des Einfallswinkels, wie durch einen Doppelpfeil angedeutet, die gewünschte Betriebswellenlänge herausgefiltert. Im genannten Wellenlängenbereich sind der Kollimator **7** und der Monochromator **8** üblicherweise als reflektive optische Elemente ausgebildet, wobei zumindest der Monochromator **8** an seiner optischen Oberfläche kein Mehrschichtsystem aufweist, um einen möglichst breitbandigen Wellenlängenbereich zu reflektieren.

[0027] Der im Strahlformungssystem **2** im Hinblick auf Wellenlänge und räumliche Verteilung behandelte Strahlung wird in das Beleuchtungssystem **3** eingeführt, welches ein erstes und zweites reflektives optisches Element **9**, **10** aufweist. Die beiden reflektiven optischen Elemente **9**, **10** leiten die Strahlung auf eine Photomaske **11** als weiterem reflektiven optischen Element, welche eine Struktur aufweist, die mittels des Projektionssystems **4** in verkleinertem Maßstab auf einen Wafer **12** abgebildet wird. Hierzu sind im Projektionssystem **4** ein drittes und viertes reflektives optisches Element **13**, **14** vorgesehen. Die reflektiven optischen Elemente **9**, **10**, **11**, **12**, **13**, **14** weisen jeweils eine optische Oberfläche **9a**, **10a**, **11a**, **12a**, **13a**, **14a** auf, die im Strahlengang **6** der EUV-Lithographieanlage **1** angeordnet ist.

[0028] Es gibt heutzutage verschiedene Möglichkeiten, weiche Röntgenstrahlung bzw. EUV-Strahlung **6a** bei einer Wellenlänge von ca. 13,5 nm zu erzeugen. Grundsätzlich entspricht diese Wellenlänge einer Photonenenergie mit $(1/2\pi) h \omega = 91,8$ eV und ist ein Vielfaches der Rydberg-Energie von 13,61 eV, welche die Ionisierungsschwelle von atomarem Wasserstoff angibt. Besonders prominent sind Großforschungseinrichtungen, wie der free-electron-laser FLASH in Hamburg [1], der seit rund 2 Jahren in Betrieb ist und kohärente Strahlungspulse liefert. Damit werden z. B. derzeit die Ionisierungspfade von vielen Gasen, wie z. B. Xenon [2] bei höchst möglichen Leistungsdichten untersucht. Daneben gibt noch andere inkohärente Synchrotronstrahlungsquellen an Beschleunigerringen oder wie im EBIT am Lawrence Livermore National Laboratory [3], die Röntgenemission aus Plasmen untersuchen.

[0029] Neben diesen Großforschungseinrichtungen, die mit größtem Aufwand die maximal erzielbaren Leistungen erreichen, existieren heute aber auch „table-top“ Experimente, die mit verhältnismäßig geringem Aufwand EUV-Strahlung erzeugen [4]. Dies geschieht durch „higher harmonics generation“ mittels gepulster optischer Laserstrahlung und generiert kohärente weiche und harte Röntgenstrahlung von moderater Leistung [5].

Nutzung von Füllgasen mit optischer Wirkung

[0030] Die oben genannten und ggf. weitere Quellen können in der EUV-Lithographieanlage **1** genutzt werden, um simultan zur Plasma-Lichtquelle **5** das gasförmige Medium in den Vakuum-Kammern **2**, **3**, **4** bzw. gezielt dort eingebrachte Füllgase zu bestrahlen und hierbei u. U. auch Quanteninterferenzeffekte zu nutzen.

[0031] Ferner sind die bei gasförmigen Medien erzeugten Dispersionen stark kontrollierbar. Daher kann man einen Teilstrahl der EUV-Strahlung **6a** der EUV-Lichtquelle **5**, die oben erwähnten alternativen bzw. zusätzlichen EUV-Lichtquellen oder optische Multiphotonübergänge nutzen, um die gefangenen Gase im Projektionssystem **4** simultan zum EUV-Beleuchtungsstrahl **6a** zu treiben. Dies führt mittels Quanteninterferenz zu Überhöhungen, aktiven Verstärkung oder vollkommenen Auslöschung der Brechzahlen. Auf diese Weise wurde die Ausbreitungsgeschwindigkeit eines sichtbaren Lichtpulses in einem gasförmigen Medium zeitlich verzögert und sogar bis zum vollständigen Stillstand (bis auf 0 m/s) reduziert: „stopping of light“ [6], [7].

[0032] Nachfolgend wird beschrieben, wie neutrale oder ionisierte atomare Ensembles von Füllgasen in den Vakuum-Kammern **2**, **3**, **4** berührungsfrei mit Hilfe von elektromagnetischen Kräften aus einem Hintergrundgas eingefangen, gehalten und auch gekühlt

werden können, um diese im Strahlengang **6** an geeigneten Stellen zu platzieren. Es versteht sich, dass zur Zuführung der Füllgase in die Vakuum-Kammern **2, 3, 4** (nicht gezeigte) Gaszuführungsleitungen sowie – falls erforderlich – geeignete Gasabführungsleitungen vorgesehen sein können. Die berührungsfrei gehaltenen Füllgase können z. B. als passive oder aktive Linsen, periodische Gitter oder Diffusoren verwendet werden, wie nachfolgend näher beschrieben wird.

1.) Gaslinsen und Wellenleiter

[0033] Die abbildenden optischen Eigenschaften von passiven, linearen, gasförmigen Medien sind wohlbekannt. Im Zusammenhang mit stark verdünnten Gasen in Vakuum-Kammern **2, 3, 4** wurden Effekte wie „lensing“, „wave guiding“ oder „optical lattices“ in jüngster Zeit intensiv untersucht, vgl. z. B. [8]. So ist in Ref. [8] die fokussierende Wirkung eines stark verdünnten „zigarrenförmigen“ Gases auf einen Laserstahl beschrieben, welches aus ^{87}Rb mit einer Dichte von $n = 10^{12} \text{ 1}/(\text{cm}^3)$ besteht. Ein solches „zigarrenförmiges“ Füllgas **16** ist in **Fig. 1** im Projektionssystem **4** im Strahlengang **6** der EUV-Lichtquelle **5** gezeigt. Zur Erzeugung eines ultrakalten Mediums wird (wie in [8]) eine Atomfalle **16** in Form einer magneto-optischen Falle „magneto-optic trap“ MOT verwendet, welche (nicht gezeigte) Ferromagnete zur Erzeugung magnetischer Felder aufweist, die einen starken radialen Einschluss des Füllgases **15** ermöglichen, wobei gleichzeitig eine (nicht gezeigte) Laserkühlung erfolgt. Aufgrund des speziellen Aufbaues wird in [8] eine optisch verstärkende Wirkung beobachtet, welche dazu führt, dass das Füllgas **15** bzw. die Atomwolke je nach Anwendung als konvexe bzw. konkave Linse dienen kann.

[0034] Im gleichen Experiment [8] wurden auch die Wellenleitereigenschaften der gasförmigen quasilinearen Struktur (radial eingeschlossenes Füllgas **15**) untersucht. Dort wurde gezeigt, dass bei (in **Fig. 1** nicht gezeigten) unterschiedlichen Eintrittswinkeln in das als Wellenleiter dienende Füllgas **15** der Anteil von in den Wellenleiter eingekoppelter Strahlung verändert werden kann. Insbesondere kann der Wellenleiter aufgrund dieser Eigenschaft auch als Strahlteiler genutzt werden.

[0035] Das als Linse dienende „zigarrenförmige“ Füllgas **15** im Projektionssystem **4** kann z. B. dazu dienen, kohärent kleine Wellenfrontkorrekturen anzubringen.

2.) Selbstorganisierende ionische Gitter in Ionenfallen

[0036] Sowohl einzelne hochgeladene Ionen [9] als auch gasförmige kalte Plasmen bieten sich als optische Elemente für die EUV-Lithographieanlage **1**

an. Dies ist einerseits durch die innere elektronische Struktur von mehrfach geladenen Ionen zu verstehen, andererseits auch durch die Möglichkeit, kalte Plasmen in kristalline Phasen zu verwandeln (Wigner-Kristall).

[0037] Wenn einem neutralen Gasatom alle bis auf das letzte (äußerste) Schalen-Elektron entrissen wird, so verbleibt ein „alkaliartiges“ Ion, welches eine Ionisierungsschwelle $\gg 13,6 \text{ eV}$ hat, z. B. Xe^{6+} mit ungefähr 93 eV [2] oder Rubidium-artiger Wolfram W^{37+} [10]. Ein solches Ion hat nun wiederum wohl definierte Spektrallinien, die im Wellenlängenbereich um $13,5 \text{ nm}$ selektiv benutzt werden können.

[0038] Die Ionenfallen-Technologie kennt viele verschiedenen Konfigurationen: Paul-, Penning- oder Kingdonfallen, die ja nach Anwendung Vorzüge haben. In **Fig. 2** sieht man einen Schnitt durch eine Penning-Falle **18** zur Speicherung eines Plasmas von Beryllium-Ionen **17**. Die Penning-Falle **18** umfasst einen Feldgenerator, der aus einer Zylinderspule **19** zur Erzeugung eines magnetischen Feldes B sowie einer Elektrodenanordnung **20a–c** mit einer Ringelektrode **20a** sowie mit einer oberen und unteren Endkappe **20b, c** besteht, die sich auf gleichem Potential befinden und die ein elektrisches Feld E erzeugen, welches die Beryllium-Ionen **17** in axialer Richtung einfängt. Zusätzlich dienen zwei gekreuzte Laserstrahlen **21a, 21b** der Laserkühlung der Beryllium-Ionen **17**.

[0039] Die Penning-Falle **18** ermöglicht im Allgemeinen einen sehr guten optischen Zugang. Wenn man eine solche Falle im Zwischenbild eines Projektionssystems platziert, so wird der Überlapp mit der EUV-Strahlung bzw. einzelnen EUV-Pulsen maximal.

[0040] Wird durch die Laserkühlung ein ultrakaltes Plasma erzeugt, kann ein Phasenübergang der Beryllium-Ionen **17** in eine feste Phase stattfinden, sobald die Coulomb-Abstoßung die thermische Energie übertrifft. In der festen Phase bildet das Beryllium-Plasma **17** einen defektfreien Wigner-Kristall, der verschieden kristalline Formen annehmen kann (vgl. [11]). Die den Wigner-Kristall bildenden Beryllium-Ionen **17** können somit ein Gitter bzw. eine beugende Struktur für die EUV-Strahlung **6a**, z. B. in dem Projektionssystem **4** von **Fig. 1**, bilden.

[0041] Die optischen Eigenschaften der gasförmigen Materie können ferner durch zusätzliche (externe) elektromagnetische Felder kontrolliert werden. Auf diese Weise können Modifikation der linearen Dispersionsrelation, nichtlineare dispersive oder aktive verstärkende Effekte erreicht werden.

3.) Optische Gitter für neutrale Atome

[0042] Mit Hilfe stehender optischer Laserwellen kann man periodische, defektfreie, optische Potentialfelder in 1, 2, oder 3 Raumdimensionen erzeugen. Polarisierbare Atome lassen sich in diese konservativen Kraftfelder laden und stellen nun für Licht ein Materiewellengitter dar, welches wiederum die optische Wirkung eines optischen Gitters hat.

4.) Diffusorlinsen

[0043] Komplementär zu der abbildenden Eigenschaft eines inhomogenen Gases ist auf der Beleuchtungsseite, d. h. im Beleuchtungssystem **3** vor der Maske **11** die inkohärente Streuungswirkung eines inhomogenen Gases relevant. Im Gegensatz zum Brechungsindex von Festkörpern, die i. A. ein spektral breites, strukturloses Dispersions- und Absorptionsverhalten aufweisen, sind in Gasen viele schmale, wohlisolierte Resonanzlinien zu finden. Diese können je nach Bandbreite des EUV-Pulses resonant im Bereich der Doppler-, Stoßzahl- oder Leistungsverbreiterung angeregt werden und selbst wiederum spontan, inkohärent in alle Richtungen der Dipolkeule emittieren. Diese Eigenschaft kann ausgenutzt werden, um eine in **Fig. 3** dargestellte Fallenanordnung **22** zur Erzeugung einer gasförmigen Diffusorlinse zu bilden. Durch optische Lichtkräfte, die von einem Hilfslaser (optische Fallenlaserstrahlen) **21a**, **21b** sowie Hilfslinsen **24a**, **24b** erzeugt werden, kann man ein Füllgas **23** im Intensitätszentrum eines Gaußschen Strahls lokalisieren. Wenn nun EUV-Strahlung **6a** diese gefangenen Atome durchdringt, so werden aufgrund von stimulierten und spontanen Streuprozessen (vgl. **Fig. 3**) Feld- und Pupillenbereiche des geometrischen Strahlenraumes homogenisiert und somit die Homogenität der Ausleuchtung von Beleuchtungsfeld und Pupille verbessert.

[0044] Zusammenfassend kann auf die oben beschriebene Weise die Strahlpropagation von EUV-Beleuchtungsstrahlung **6a** durch die kontrollierbare, räumliche Lokalisierung der Gase **15**, **17**, **23** mit Hilfe von Fallen **16**, **18**, **22** geformt werden und dadurch die optische Wirkung von optischen Elementen wie Linsen und Wellenleitern, Gittern und Diffusoren erzeugt werden.

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 Nicht-Patentliteratur

- N. Ramsey, H. Dehmelt, H. Paul. "For the separated oscillatory fields method and its use in the hydrogen maser and other atomic clocks/for the development of the iontrap technique". Nobelpreis für Physik. 1989
[\[0011\]](#)
- S. Chu, C. Cohen-Tannudji, B. Phillips. „For development of methods to cool and trap atoms with laser light“. Nobelpreis für Physik. 1997 [\[0011\]](#)
- E. Cornell, C. Wiemann, W. Ketterle. „For the achievement of Bose-Einstein condensation in dilute gases of alkali atoms, and for early fundamental studies of the properties of the condensates“. Nobelpreis für Physik, 2001
[\[0011\]](#)

Patentansprüche

1. EUV-Lithographieanlage (1), umfassend:
eine EUV-Lichtquelle (5) zur Erzeugung von EUV-Strahlung (6a), sowie mindestens eine Vakuum-Kammer (2, 3, 4), in der mindestens ein optisches Element (8, 9, 10, 11, 13, 14) angeordnet ist, gekennzeichnet durch
ein im Strahlengang (6) der EUV-Strahlung (6a) in der Vakuum-Kammer (2, 3, 4) befindliches Füllgas (15, 17, 23), das die Wirkung eines optischen Elements aufweist.

2. EUV-Lithographieanlage nach Anspruch 1, weiter umfassend:
eine Falle (16, 18, 22) zur berührungsfreien, räumlichen Lokalisierung des Füllgases (15, 17, 23).

3. EUV-Lithographieanlage nach Anspruch 2, bei der die Falle als Atomfalle (16, 22) oder als Ionenfalle (18) ausgebildet ist.

4. EUV-Lithographieanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der das Füllgas (15) zur Brechung der EUV-Strahlung (6a) dient und die optische Wirkung einer Linse oder eines Wellenleiters aufweist.

5. EUV-Lithographieanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der das Füllgas (17) zur Beugung der EUV-Strahlung (6a) dient und die optische Wirkung eines Gitters aufweist.

6. EUV-Lithographieanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der das Füllgas (23) zur Streuung der EUV-Strahlung (6a) dient und die optische Wirkung eines Diffusors aufweist.

7. EUV-Lithographieanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiter umfassend:
eine Feldgenerator (19, 20a-c) zur Erzeugung von elektromagnetischen Feldern.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

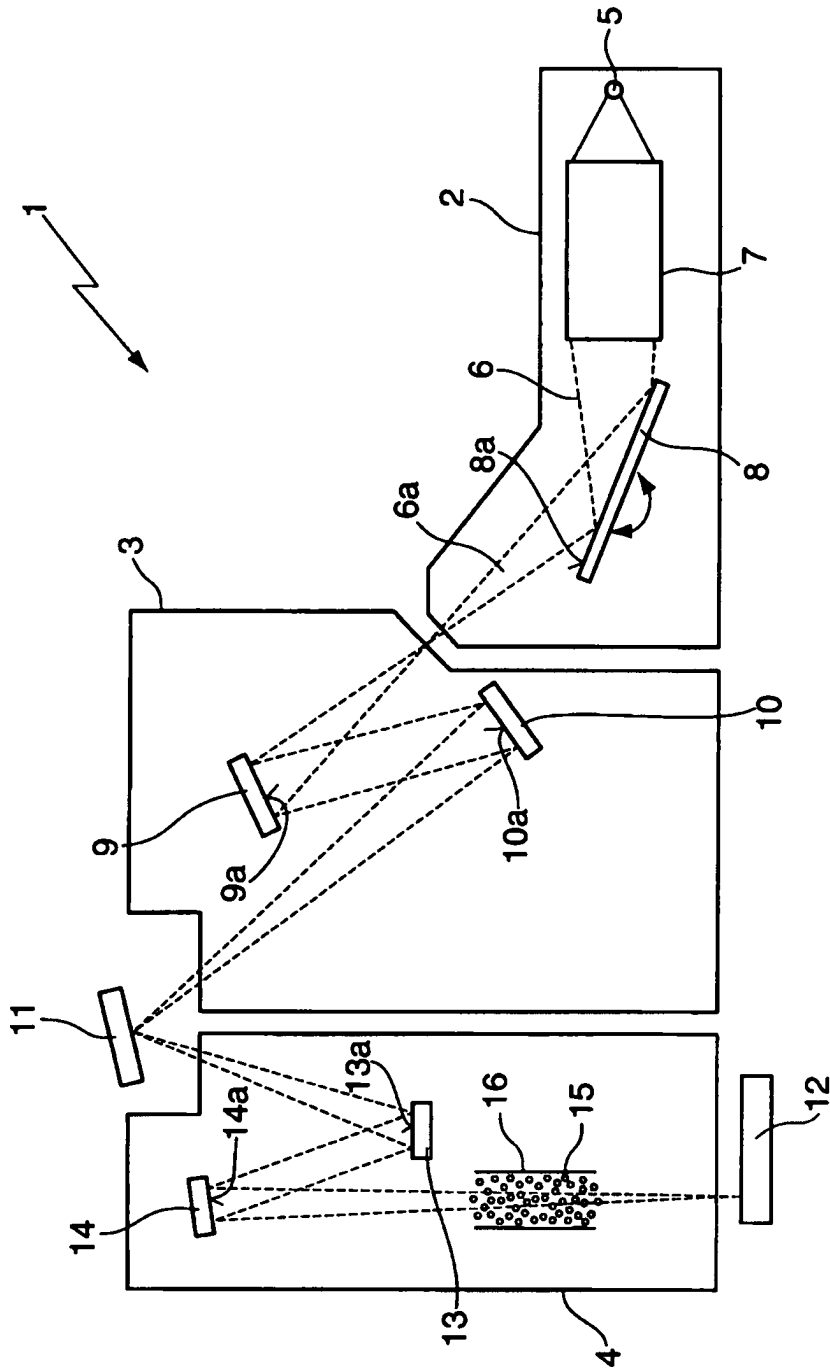


Fig. 1

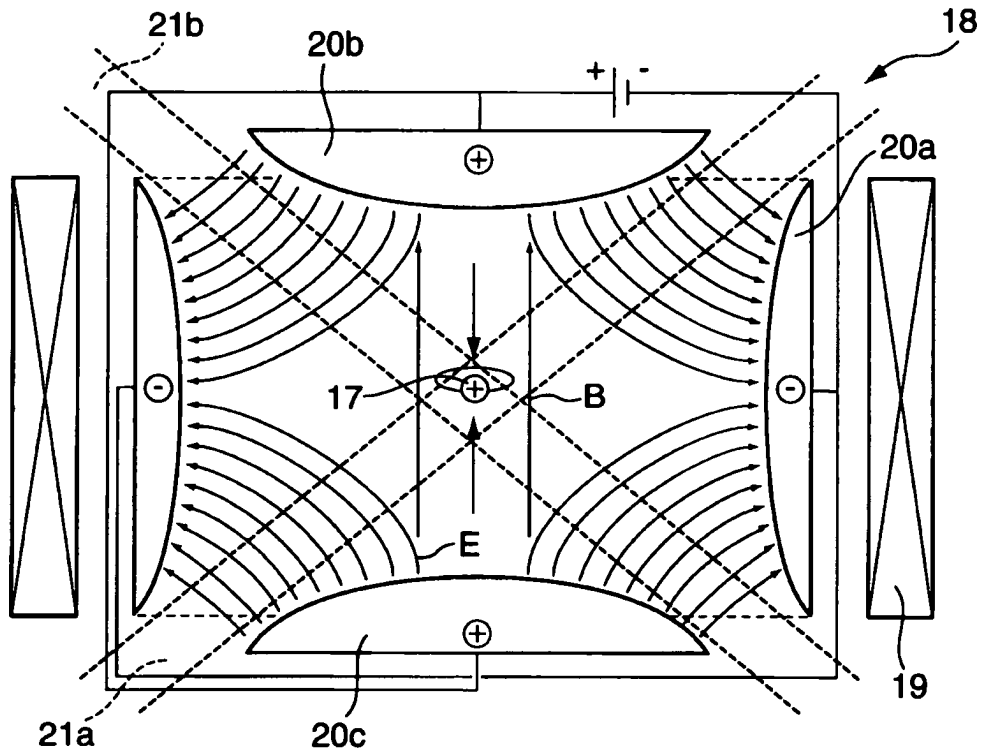


Fig. 2

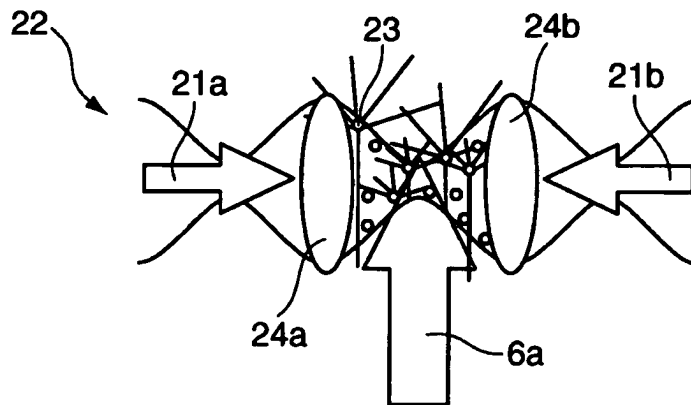


Fig. 3