



(10) **DE 199 46 447 B4** 2012.01.19

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **199 46 447.2**
(22) Anmeldetag: **28.09.1999**
(43) Offenlegungstag: **20.04.2000**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **19.01.2012**

(51) Int Cl.: **H01J 37/317 (2006.01)**
H01J 37/12 (2006.01)
G03F 7/20 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
1715/98 **13.10.1998** **AT**

(73) Patentinhaber:
IMS Nanofabrication AG, Wien, AT

(74) Vertreter:
Stroschänk und Kollegen, 85521, Ottobrunn, DE

(72) Erfinder:
Buschbeck, Herbert, Dipl.-Ing., Wien, AT; Lammer, Getraud, Dr., Wien, AT; Chalupka, Alfred, Dr., Wien, AT; Loeschner, Hans, Dr., Wien, AT; Stengl, Gerhard, Dr., Wernberg, AT

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

DE	27 02 445	B2
DE	197 34 059	A1
EP	0 564 438	A1
WO	95/ 19 637	A1

B. J. G. M. Roelofs et al.: Feasibility of multi-beam electron lithography. In: Microelectronic Engineering, 2, 1984, 259-279.

(54) Bezeichnung: **Teilchenoptisches Abbildungssystem für Lithographiezwecke**

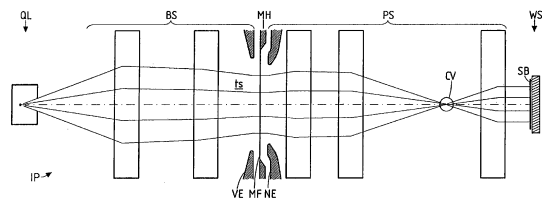
(57) Hauptanspruch: Teilchenoptisches Abbildungssystem (IP) für Lithographiezwecke, welches entlang seiner optischen Achse

– ein Beleuchtungssystem mit einer Teilchenquelle (QL) und einer ersten elektrostatischen Linsenordnung (BS) zur Erzeugung eines im Wesentlichen telezentrischen oder homozentrischen Teilchenstrahles (ts),

– eine Maskenhalterung (MH) zur Positionierung einer mit einem durch Projektion in einer vorgegebenen Substratebene zu erzeugenden Strukturmuster in Gestalt einer Vielzahl für den Teilchenstrahl transparenter Stellen ausgestatteten Maskenfolie (MF) im Strahlengang des Teilchenstrahles und

– ein Projektionssystem mit einer zweiten elektrostatischen Linsenordnung (PS) zur Abbildung der Struktur der Maskenfolie (MF) mittels des Teilchenstrahles auf eine vorgegebene Substratebene (SB)

aufweist, wobei die zweite Linsenordnung (PS) an ihrer der Maskenhalterung zugewandten Seite zumindest eine Nach-Elektrode (NE) aufweist, welche als Ringelektrode ausgebildet ist, wobei unterschiedliche elektrostatische Potentiale an die Nach-Elektrode(n) (NE) und an die als Gitterelektrode wirkende Maskenfolie (MF) anlegbar sind und die Maskenfolie (MF) gemeinsam mit der bzw. den Nach-Elektrode(n) (NE) eine Gitterlinse mit...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein teilchenoptisches Abbildungssystem für Lithographiezwecke, welches entlang seiner optischen Achse

- ein Beleuchtungssystem mit einer Teilchenquelle und einer ersten elektrostatischen Linsenanordnung zur Erzeugung eines im wesentlichen telezentrischen oder homozentrischen Teilchenstrahles,
- eine Maskenhalterung zur Positionierung einer mit einer Struktur in Gestalt einer Vielzahl für den Teilchenstrahl transparenter Stellen, insbesondere Öffnungen, ausgestatteten Maskenfolie im Strahlengang des Teilchenstrahles und
- ein Projektionssystem mit einer zweiten elektrostatischen Linsenanordnung zur Abbildung der Struktur der Maskenfolie mittels des Teilchenstrahles auf eine vorgegebene Substratebene

aufweist, wobei die zweite Linsenanordnung an ihrer der Maskenhalterung zugewandten Seite zumindest eine Nach-Elektrode aufweist, welche als Ringelektrode ausgebildet ist, wobei unterschiedliche elektrostatische Potentiale an die Nach-Elektrode(n) und an die als Gitterelektrode wirkende Maskenfolie anlegbar sind und die Maskenfolie gemeinsam mit der bzw. den Nach-Elektrode(n) eine Gitterlinse mit negativer Brechkraft bilden.

[0002] Ein Abbildungssystem dieser Art, welches insbesondere für Projektions-Lithographieverfahren in der Halbleiterindustrie verwendet wird, geht aus der WO 1995/19637 A1 (= US 5 801 388 A1) der Anmelderin hervor.

[0003] Bei der Herstellung von Halbleiter-Bauelementen stellt die Lithographie einen wichtigen Schritt bei der Strukturierung der Halbleiter-Substrate dar. Das Substrat, welches z. B. ein Silizium-Wafer sein kann, wird mit einer dünnen Schicht eines lichtempfindlichen Materials, eines sogenannten Photoresists, bedeckt. Mittels eines lithographischen Abbildungssystems wird ein Strukturmuster auf den Photoresist abgebildet; zur Belichtung des Photoresists können neben Licht bzw. Röntgenstrahlung auch Teilchen in Form eines Teilchenstrahles eingesetzt werden. Im darauffolgenden Entwicklungsschritt werden entweder die belichteten oder die unbelichteten Stellen des Photoresists von dem Substrat entfernt. Sodann wird das Substrat einem Prozessschritt wie beispielsweise Ätzen, Abscheidung, Oxidation, Dotierung od. dgl. unterworfen, wobei das Muster des Photoresists auf dem Substrate jene Stellen der Oberfläche bedeckt, die nicht prozessiert werden sollen. Nach dem Entfernen des Photoresists verbleibt das Substrat mit der neuen Struktur. Durch Wiederholen dieser Abfolge von Schritten kann schließlich eine Abfolge von Strukturschichten erzeugt werden,

welche die gewünschten Halbleiter-Strukturen wie z. B. Kleinstschaltkreise bildet.

[0004] In Projektionslithographiesystemen, die mit einem Teilchenstrahl arbeiten, werden Lochmasken benutzt, in denen die abzubildenden Muster als (Öffnungen geeigneter Formgebung in einer dünnen Membran von z. B. einigen wenigen Mikrometern Dicke geformt sind. Die Teilchen können lediglich die Maskenöffnungen durchdringen, sodass sich ein Strahlmuster ergibt, welches z. B. verkleinert auf das Substrat projiziert wird.

[0005] Als Teilchen können neben den hier in erster Linie betrachteten Ionen, insbesondere Wasserstoff- oder Helium-Ionen, auch jegliche andere elektrisch geladene Teilchen einschließlich Elektronen für die Lithographie verwendet werden. Die Vorteile der Verwendung von Teilchen gegenüber von Licht sind z. B. die deutlich kleineren Wellenlängen der Teilchen mit den damit verbundenen besseren Auflösungen und die größere Tiefenschärfe auf dem Substrat.

[0006] Optische Systeme, gleich ob dies licht- oder teilchenoptische Systeme sind, weisen Abbildungsfehler auf. Für teilchenoptische Abbildungssysteme sind elektrostatische Linsen in Form von zwei oder drei rotationssymmetrischen Ringelektroden, welche als Rohr, Ring oder Blende geformt sind, durch deren Mitte der Strahl hindurchtritt, und welche zumindest zum Teil auf unterschiedlichen elektrischen Potentialen liegen, bzw. Anordnungen durch Aneinanderreihung solcher Elemente, bekannt und gemeinhin gebräuchlich. Linsen dieser Art haben stets positive Brechkraft, sind somit Sammellinsen; zudem besitzen sie ausnahmslos beträchtliche Bildfehler dritter Ordnung, die durch die Formgebung der Linsengeometrie nur in geringem Umfang beeinflussbar sind.

[0007] Durch die Verwendung von zerstreuenden Linsen (negative Brechkraft) kann erreicht werden, dass die Bildfehler der aus Sammel- und Streulinien kombinierten Anordnung einander größtenteils kompensieren, wobei auch die übrigen Bildfehlerkoeffizienten klein gehalten werden können. Die Realisierung einer Linse negativer Brechkraft ist freilich nicht allein mittels nur mit Hilfe von Ringelektroden möglich, wie beispielsweise aus M. Szilagy, „Electron and Ion Optics“, Plenum Press, 1988 ersichtlich; vielmehr ist hierzu die Verwendung einer Platten- oder Gitter-Elektrode erforderlich, durch welche der Strahl verläuft.

[0008] Die EP 0 564 438 A1 (= US 5 378 917 A) der Anmelderin lehrt die Verwendung einer Dreielektrodenlinse in einem teilchenoptischen Abbildungssystem, wobei die Dreielektrodenlinse aus zwei Roh-elektroden besteht, zwischen denen sich eine Gitterelektrode befindet, sodass die Linse durch das Gitter in zwei Bereiche geteilt ist, die verschiedene Brech-

kraft aufweisen können. Insbesondere kann der eine Bereich eine positive Brechkraft aufweisen, der andere dagegen eine negative Brechkraft mit geringerem Absolutwert als die Brechkraft des Bereiches mit positiver Brechkraft aufweisen, sodass sich insgesamt eine Linse sammelnder Wirkung ergibt. Die Bildfehler des zerstreuen Bereiches können zur Kompensation der Bildfehler sammelnder Bereiche verwendet werden. Durch geeignete Gestaltung einer solchen Gitterlinse kann erreicht werden, dass die elektrischen Feldstärken zu beiden Seiten der Gitterelektrode hinsichtlich ihres Betrags und der Richtung gleich groß sind, wodurch auf dem sogenannten Aperturlinsen- oder Fly's Eyes-Effekt beruhende Abbildungsstörungen durch die Gitteröffnungen vermieden werden. Problematisch bei Gitterlinsen ist jedoch, dass das Gitter zum einen sehr dünn, aber doch insgesamt großflächig sein muss und daher sehr empfindlich gegenüber Beschädigungen ist, um so mehr als die Bestrahlung durch Teilchen, insbesondere Ionen, eine beträchtliche Belastung für das Gitter darstellt. Zum anderen muss es zur Vermeidung von Abbildungsstörungen hinreichend schnell um mindestens eine Gitterstegbreite in seiner Ebene bewegt werden, und die exakte Einhaltung der Lage des Gitters in einer Ebene stellt besonders hohe Anforderungen an die Bewegungsmechanik. Deshalb ist die Herstellung einer solchen Gitterlinse aufwendig, und das Gitter muss bei der Verwendung regelmäßig kontrolliert und gewartet werden.

[0009] Aus diesen Gründen wird in der oben genannten WO 1995/19637 A1 der Anmelderin vorgeschlagen, dass das Gitter der Gitterlinse durch die Maskenfolie selbst realisiert wird, welche die mittlere oder die in Strahlrichtung erste Elektrode der Gitterlinse bildet. Die so gebildete Maskenlinse weist, ebenso wie bei der EP 0 564 438 A1, die Gitterlinse einen Bereich positiver Brechkraft und einen negativer Brechkraft auf, wobei jedoch der Absolutbetrag der negativen Brechkraft geringer ist als die positive Brechkraft, sodass die gesamte Brechkraft der Dreielektrodenlinse positiv, d. h. sammelnd, ist.

[0010] Der Vollständigkeit halber sei auf die DE 197 34 059 A1 (= US 5 874 739 A) der Anmelderin hingewiesen, welche eine Anordnung zur Schattenwurf-Lithographie lehrt, worin eine Streulinse als Teil des Beleuchtungssystems für die Maske verwendet wird. Dabei bildet in einer bevorzugten Ausführungsform die Maske selbst das Gitter der Zerstreulinse. Freilich ist in dieser Schattenwurf-Anordnung kein Projektionssystem nach der Maske vorgesehen; vielmehr ist das Substrat unmittelbar hinter der Maske angeordnet, und die Strukturen der Maske werden unmittelbar auf das Substrat abgebildet. Aus diesem Grund ist die Lithographie-Anordnung der DE 197 34 059 A1 mangels eines optischen Systems zwischen Maske und Substrat als gattungsg-

fremd zu dem Gegenstand der vorliegenden Erfindung zu betrachten.

[0011] Der Artikel "Feasability of multi-beam electron lithography" von B. J. G. M. Roelofs und J. E. Barth, Microel. Eng. 2 (1984) 259–279, beschreibt in seiner Fig. 10 ein Vielstrahl-Belichtungssystem, in dem mehrere Netzelektroden und ein Blanker-Array verwendet werden. Eine divergierend wirkende Strahnteiler-Netzelektrode und eine konvergierende zweite Netzelektrode erzeugen ein vielfaches Bild der Quelle in der Ebene des Blanker-Arrays. In der hinteren Brennebene der ersten Netzelektrode wird die Quelle virtuell abgebildet. Ein zweites System aus einer divergierenden und einer konvergierenden Netzelektrode bildet die Quelle in die Aperturöffnung eines elektronenoptischen Linsensystems ab, das die Teilstrahlen auf das Wafer fokussiert.

[0012] Mit den beiden in der WO 1995/19637 A1 beschriebenen Ausführungsformen – Maske als Mittelelektrode bzw. als erste Elektrode einer Gitterlinse – können hervorragende Bildqualitäten sowohl hinsichtlich Auflösung als auch Verzeichnungsfreiheit erreicht werden. Nachteilig ist hier jedoch, dass die Feldstärken vor und hinter der Maske ziemlich unterschiedlich sind, sodass sich eine resultierende Kraft ergibt, welche zu einer Wölbung der dünnen Maskenfolie führt. Ein weiterer Nachteil ergibt sich dadurch, dass in beiden Ausführungsformen die Maske von einem divergenten Ionenstrahl beleuchtet wird. Um unzulässige Streuungen von Teilchen an der Maskenfolie zu vermeiden, welche Bildstörungen hervorrufen würden, müssen die Maskenöffnungen im Querschnitt durch die Folie der Divergenz des Strahls angepasst werden. Dies bedeutet ein kompliziertes Maskenherstellungsverfahren, welches die Kosten eines solchen Systems beträchtlich erhöht.

[0013] Es ist daher Aufgabe der Erfindung, diese in einem Abbildungssystem mit einem Beleuchtungs- und einem Projektionssystem auftretenden Nachteile zu vermeiden und zugleich die Abbildungseigenschaften weiter zu verbessern, insbesondere für Bildfelder in der Größenordnung von $25 \times 25 \text{ mm}^2$ bei Teilchenstromstärken in der Größenordnung von $3 \mu\text{A}$ Auflösungen unter 100 nm zu erreichen.

[0014] Die Aufgabe wird von einem Abbildungssystem der eingangs genannten Art gelöst, bei welchem erfindungsgemäß die erste Linsenanordnung an ihrer der Maskenhalterung zugewandten Seite zumindest eine als Ringelektrode ausgebildete Vor-Elektrode aufweist, an welche ein von dem Potential zumindest der Maskenfolie unterschiedliches elektrisches Potential anlegbar ist und welche zusammen mit der Maskenfolie eine Gitterlinse mit negativer Brechkraft bildet.

[0015] Durch diese Lösung wird die Maske in zweifacher Weise als Gitterelektrode ausgenutzt, und Inhomogenitäten des Beleuchtungssystems einerseits sowie Abbildungsfehler des Projektionssystems andererseits können mittels jeweils einer Zerstreulinse kompensiert werden.

[0016] Eine vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung ist ein ionenoptisches Abbildungssystem mit einer Ionenquelle als Teilchenquelle. Ionen bieten aufgrund ihrer sehr kurzen Wellenlängen besonders hohe erreichbare Auflösungen der abgebildeten Strukturen, sowie eine hohe Schärfentiefe.

[0017] In optischen Abbildungssystemen wird die das Objekt, in diesem Fall die Maskenstrukturen, beleuchtende Quelle im Bereich zwischen Objekt und Bild des Objektes abgebildet. Für den Fall einer punktförmigen Quelle und eines fehlerfreien Abbildungssystems ist auch das Bild der Quelle ein Punkt, d. h. alle Strahlen kreuzen sich in diesem Punkt. In einem System mit Abbildungsfehlern (Aberrationen) entsteht statt dem Kreuzungspunkt ein Kreuzungsbereich, ein sogenanntes „Crossover“, in welchem der Strahlquerschnitt ein Minimum annimmt. Wegen der abstoßenden Wirkung zwischen geladenen Teilchen kommt es zu zufallsverteilten Stößen zwischen den Teilchen im Strahl, welche zu einer „Verschmierung“ des Bildpunktes führen (sogenannte „stochastische“ Bildunschärfe). Da im Crossover die Stromdichte am höchsten ist, finden dort die meisten Stöße statt; je enger der Strahlquerschnitt im Crossover ist, um so höher wird bei einer bestimmten Stromstärke die stochastische Bildunschärfe. Es ist daher, falls der Strahlengang im Bereich des Projektionssystems einen Kreuzungspunkt mit der optischen Achse aufweist, weiters günstig, wenn der Kreuzungspunkt durch Einstellen der Linsenparameter eingestellt werden kann. Mittels einer Formgebung des Crossover können eine weitere Reduktion der Abbildungsfehler sowie eine einfache Realisierung eines verkleinerten Projektionssystems erreicht werden.

[0018] Vorteilhafterweise ist der Kreuzungspunkt mit der optischen Achse für die weiter außen gelegenen Strahlteile gegenüber den achsnahen Strahlteilen entlang der optischen Achse verschoben. Eine solche Realisierung des Crossover als „aberriertes Crossover“ ergibt eine Verringerung des stochastischen Fehlers. Hierbei kann der Kreuzungspunkt für die weiter außen gelegenen Strahlteile gegenüber den achsnahen Strahlteilen von der Substratebene, oder aber von der Maskenfolie abgerückt sein.

[0019] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform sind die Feldstärken zumindest im Bereich der Ausleuchtung durch den Teilchenstrahl zu beiden Seiten der Maskenfolie dem Betrage nach im wesentlichen gleich, wodurch eine Kraftwirkung des elek-

trischen Feldes auf die Maskenelektrode vermieden wird.

[0020] Die Erfindung wird im folgenden anhand einer beispielhaften Ausführungsform näher erläutert, welche in den beigefügten Figuren dargestellt ist. Die Figuren zeigen:

[0021] [Fig. 1](#) in einer schematisierten Seitenansicht ein erfindungsgemäßes Abbildungssystem;

[0022] [Fig. 2](#) einen vergrößerten Ausschnitt aus [Fig. 1](#), welcher den Crossover-Bereich zeigt.

[0023] Das in [Fig. 1](#) gezeigte Abbildungssystem IP dient der Erzeugung eines Strukturmusters auf einem Substrat SB durch Projektion der auf einer Maskenfolie MF befindlichen Strukturen mittels eines Ionenstrahls ts. Hierbei werden vorteilhafterweise die Strukturen der Maske MF auf das Substrat SB verkleinert abgebildet. Die Ionen des Ionenstrahles werden von einer Ionenquelle QL ausgesendet, welche eine ausreichend geringe virtuelle Quellgröße (z. B. 10 μm) aufweist. Die von der Quelle QL ausgehenden Ionen werden durch ein Beleuchtungssystem BL in einen homozentrischen, vorteilhafterweise telezentrischen, Ionenstrahl gebündelt.

[0024] Der Ionenstrahl ts beleuchtet die Maske MF. Die Maskenfolie MF weist ein Strukturmuster in Form einer oder mehreren Öffnungen und/oder anderen für den Teilchenstrahl transparenten Stellen auf, welche auf der Folie entsprechend dem auf dem Substrat zu erzeugenden Strukturmuster gestaltet sind. Die Maskenfolie MF wird von einer Maskenhalterung MH an der erforderlichen Position im Strahlengang des Ionenstrahles positioniert. Zumeist ist die Maskenhalterung MH Teil einer Maskenstation, welche eine Anzahl von Masken beispielsweise für aufeinanderfolgende Belichtungsschritte aufweist. Die Maske MF gestattet dem Ionenstrahl ts den Durchtritt nur an den Stellen der Maskenöffnungen und überträgt somit ihr Strukturmuster auf den Ionenstrahl.

[0025] Der aus der Maske austretende Ionenstrahl wird von einem nach der Maske MF angeordneten Projektionssystem PS auf das Substrat SB projiziert. Das Substrat SB, welches beispielsweise ein Siliziumwafer mit einer Photoresist-Schicht ist, wird mittels einer Waferstation WS in Bezug auf den Ionenstrahl und das auf dem Wafer gewünschte Belichtungsfeld ausgerichtet. Das Projektionssystem PS erzeugt ein möglichst ebenes Bild der Maskenstrukturen in der Nähe der Gauß'schen Bildebene; die Waferstation WS positioniert den Wafer SB bzw. die zu belichtende Oberfläche des Wafers SB so in die Nähe der Bildebene, dass die dort auftretenden Bildfehler möglichst gering sind.

[0026] Das Beleuchtungssystem BS und ebenso das Projektionssystem PS weisen jeweils eine Linsenordnung auf, welche aus einer Abfolge von Ringelektroden gebildet sind und jeweils eine oder mehrere elektrostatische Sammellinsen realisieren. Elektrostatische Sammellinsen sind in der Verwendung für ein Beleuchtungs- bzw. Projektionssystem dem Fachmann wohlbekannt, weshalb unter Hinweis auf die bereits erwähnten Schriften hier nicht näher darauf eingegangen werden soll. Das Beleuchtungssystem BS ist, mit Ausnahme seiner letzten Ringelektrode VE, in [Fig. 1](#) vereinfachend durch Rechtecke dargestellt, welche das sammelnd wirkende Linsensystem des Beleuchtungssystems symbolisieren. Ebenso ist für das Projektionssystem PS das System sammelnder elektrostatischer Linsen nur als symbolische Rechtecke, mit Ausnahme der ersten Ringelektrode NE nach der Maske, dargestellt.

[0027] Erfindungsgemäß wirkt die Maskenfolie MF zweifach als Gitterelektrode je einer Linse mit negativer Brechkraft, nämlich zum einem in Verbindung mit einer oder mehreren Ringelektroden VE des Beleuchtungssystems BS zur Korrektur von Linsenfehlern der Beleuchtungsoptik und zum anderen in Verbindung mit einer oder mehreren Ringelektroden NE des Projektionssystems PS zur Verbesserung der Abbildungseigenschaften des Projektionssystems. Durch die zweifache Ausnutzung der Maske als Gitterlinse können die günstigen Eigenschaften von Gitterlinsen streuender Wirkung für beide optischen Systeme der Beleuchtung und der Projektion eingesetzt werden.

[0028] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass die brechenden Bereiche zu beiden Seiten der als Gitterelektrode wirkenden Maske MF als Zerstreuungslinsen mit voneinander unabhängigen Wirkungen verwendbar sind, anstatt sie wie bisher als Teile einer Gitterlinse aufzufassen, welche zumindest eine Ringelektrode vor dem Gitter, das Gitter (d. h. die Maske) selbst und zumindest eine Ringelektrode nach dem Gitter umfasst.

[0029] In dem in [Fig. 1](#) gezeigten Ausführungsbeispiel wirkt die der Maske MF nächste Elektrode VE des Beleuchtungssystems BS zusammen mit der Maske als streuende Maskenlinse zur Erreichung einer höheren Winkelhomogenität der Ausleuchtung der auf den Wafer SB abzubildenden Maskenstrukturen. Diese Elektrode wird hier, da sie in Strahlrichtung unmittelbar vor der Maske positioniert ist, „Vor-Elektrode“ genannt.

[0030] Infolge der Linsenfehler sammelnder Linsen hat ein aus Sammellinsen bestehendes Beleuchtungssystem BS, welches einen im wesentlichen telezentrischen Ionenstrahl ts erzeugt, die Eigenschaft, dass z. B. die achsnahen Strahlen zwar parallel zur optischen Achse, jedoch die achsfernen Strah-

len etwas konvergent sind. Dies würde in den äußeren Bereichen der Maske zu Schatteneffekten aufgrund der geneigten Durchleuchtung der Strukturöffnungen führen; eine Maßnahme zur Vermeidung dieser Schatteneffekte, nämlich die Herstellung von entsprechend gegen die Achse geneigten Strukturöffnungen ist technologisch überaus aufwendig. Durch eine zusätzliche, hinter der Sammellinsenordnung angeordnete vordere Zerstreuungslinse VE, MF kann dieser Fehler korrigiert und die übermäßige Konvergenz der achsfernen Strahlen kompensiert werden. Dadurch kann der Bereich der Winkelhomogenität, in dem der die Maske beleuchtende Ionenstrahl ts als ausreichend achsparallel betrachtet werden kann, auf zumindest das gesamte Strukturfeld der Maske ausgedehnt werden.

[0031] Im genannten Ausführungsbeispiel wird an die Vor-Elektrode VE ein elektrisches Potential angelegt, welches gegenüber dem Potential der Maske so gewählt ist, dass sich eine Beschleunigung der Ionen bei der Annäherung an die Maske MF ergibt; dies ergibt für eine Gitterlinse, welche aus einer Ringelektrode und nachfolgender Gitterelektrode gebildet ist, die gewünschte streuende Wirkung, d. h. negative Brechkraft. Im übrigen können anstelle einer einzelnen Ringelektrode auch mehrere Ringelektroden vorgesehen sein, welche an geeignete elektrische Potentiale anlegbar sind, welche insgesamt eine zerstreue Wirkung auf den Ionenstrahl ausüben und derart als Vor-Elektroden einer Maskenlinse zur Verbesserung der optischen Eigenschaften des Beleuchtungssystems BS dienen.

[0032] Zugleich bildet die Maske MF zusammen mit den vordersten Ringelektroden NE des Projektionssystems PS eine zweite Zerstreuungslinse, welche eine günstigere Einstellung der Abbildungseigenschaften des Projektionssystems ermöglicht. Diese Elektroden, die in Strahlrichtung gesehen der Maske unmittelbar folgen, werden hier als „Nach-Elektroden“ bezeichnet. In dem in [Fig. 1](#) gezeigten Ausführungsbeispiel ist beispielsweise lediglich eine Nach-Elektrode vorgesehen.

[0033] Die streuende Wirkung der aus der von der Maske MF und den Nach-Elektroden NE gebildeten Linse wird dadurch erreicht, dass an die Nach-Elektroden und an die als Gitterelektrode wirkende Maske unterschiedliche elektrostatische Potentiale anlegbar sind, wobei eine beschleunigende Wirkung auf den Ionenstrahl nach dem Durchtritt durch die Maske ausgeübt wird. Dies ergibt sich im Vergleich zur vorderen Zerstreuungslinse VE, MF aufgrund der entgegengesetzten Wölbung der Potentialflächen im Bereich dieser Linse MF, NE.

[0034] Da der Ionenstrahl ts beim Durchtritt durch die Maske telezentrisch, also annähernd achsparallel, ist, führt die zerstreue Wirkung der zwei-

ten Maskenlinse MF, NE zu einer Divergenz des Ionenstrahles beim Eintritt in die Anordnung von Sammellinsen des Projektionssystems PS. Unter Zuhilfenahme der Zerstreulinse kann die Position des Crossover CV in axialer Richtung auf einfachere Weise eingestellt werden. Zugleich können aufgrund der Erfindung durch den Einsatz der zweiten Zerstreulinse die Schärfe, d. h. die räumliche Ausdehnung, des Crossover gesteuert werden.

[0035] In dem gezeigten Ausführungsbeispiel wird das Crossover dahingehend eingestellt, dass sich ein „aberriertes“ Crossover ergibt, welches wie in [Fig. 2](#) gezeigt über einen Bereich auf der optischen Achse verteilt ist und in welchem der Kreuzungspunkt für die achsnahen Strahlen ns in Richtung zum Substrat verschoben ist und für achsfernere Strahlen ds zunehmend vom Substrat SB weg in Richtung Maske MF rückt. Dadurch ergibt sich eine Verringerung des stochastischen Fehlers aufgrund der deutlich reduzierten Raumladungsdichte im Crossover-Bereich CV.

[0036] Durch Veränderung der Potentiale an den beiden Zerstreulinse kann jedoch auch erreicht werden, dass der Kreuzungspunkt für weiter außen liegende Strahlen näher beim Substrat liegt als der Kreuzungspunkt der achsnahen Strahlen. Durch diese Maßnahme kann beispielsweise die Bildfeldwölbung verringert werden. Die Einstellung des „aberrierten“ Crossover erfolgt in Abhängigkeit von solchen anderen zu korrigierenden Abbildungsfehlern wie z. B. der Bildfeldwölbung.

[0037] Das Vorliegen eines stark aberrierten Crossovers CV kann zu einer entsprechenden Verzeichnung des Bildes der Maskenstrukturen auf dem Substrat führen. Sofern diese nicht durch die Abbildungseigenschaften des Projektionssystems einschließlich dessen Abbildungsfehlern ausgeglichen werden, können die Abbildungsverzeichnungen vorteilhafterweise durch entsprechende Korrekturen der Anordnung der Strukturen in der Maske selbst korrigiert sein. Durch die Berücksichtigung der Bildverzerrung in den Maskenstrukturen können die Anforderungen an das abbildende System hinsichtlich anderer Abbildungsfehler, wie z. B. der bereits erwähnten stochastischen Unschärfe, oder der chromatischen Unschärfe oder einer Bildfeldwölbung besser erfüllt werden.

[0038] Wie aus dem weiter oben Gesagten hervorgeht, ist in dem genannten Ausführungsbeispiel das elektrische Potential auf beiden Seite der Maske zunehmend. In anderen Ausführungsvarianten kann die zerstreue Wirkung vor der Maske dadurch erzeugt werden, dass die Feldstärke vor der Maske verzögernd ist; dies ist dann der Fall, wenn der vom Beleuchtungssystem kommende Strahl zunächst eher divergent ist. Vorteilhafterweise können die elektrischen Feldstärken zu beiden Seiten der Maske MF

dem Betrage nach gleich groß oder zumindest nur geringfügig verschieden eingestellt werden. Dadurch kann eine Gesamtkraftwirkung auf die Maskenfolie vermieden werden, welche sich aufgrund ihrer geringen Dicke in Richtung der herrschenden Kraft wölben und somit Veränderungen der Positionen der Maskenstrukturen hervorrufen würde.

[0039] Wenn die Feldstärken zu beiden Seiten der Maskenfolie MF verschieden sind, tritt an den Orten der Maskenöffnungen der bereits erwähnte Aperturlinsen-Effekt auf. Diesem kann dadurch entgegengewirkt werden, dass aufgrund der Potentialdifferenzen und der Formgebung der Vor- und Nachelektroden die Feldstärkenunterschiede auf der Maskenfolie gering sind. Aperturlinsen-Effekte der Maskenöffnungen sind jedoch insofern von untergeordneter Bedeutung, als ja die Maske selbst der durch das Projektionssystem PS abzubildende Gegenstand ist und, somit ein Punkt der Maske selbst bei einer geringen Ablenkung des von diesem Punkt ausgehenden Ionenstrahles ts auf den entsprechenden Bildpunkt in der Substratebene SB abgebildet wird.

Patentansprüche

1. Teilchenoptisches Abbildungssystem (IP) für Lithographiezwecke, welches entlang seiner optischen Achse
 - ein Beleuchtungssystem mit einer Teilchenquelle (QL) und einer ersten elektrostatischen Linsenanordnung (BS) zur Erzeugung eines im Wesentlichen telezentrischen oder homozentrischen Teilchenstrahles (ts),
 - eine Maskenhalterung (MH) zur Positionierung einer mit einem durch Projektion in einer vorgegebenen Substratebene zu erzeugenden Strukturmuster in Gestalt einer Vielzahl für den Teilchenstrahl transparenter Stellen ausgestatteten Maskenfolie (MF) im Strahlengang des Teilchenstrahles und
 - ein Projektionssystem mit einer zweiten elektrostatischen Linsenanordnung (PS) zur Abbildung der Struktur der Maskenfolie (MF) mittels des Teilchenstrahles auf eine vorgegebene Substratebene (SB) aufweist, wobei die zweite Linsenanordnung (PS) an ihrer der Maskenhalterung zugewandten Seite zumindest eine Nach-Elektrode (NE) aufweist, welche als Ringelektrode ausgebildet ist, wobei unterschiedliche elektrostatische Potentiale an die Nach-Elektrode(n) (NE) und an die als Gitterelektrode wirkende Maskenfolie (MF) anlegbar sind und die Maskenfolie (MF) gemeinsam mit der bzw. den Nach-Elektrode(n) (NE) eine Gitterlinse mit negativer Brechkraft bildet, **dadurch gekennzeichnet**, daß die erste Linsenanordnung (BS) an ihrer der Maskenhalterung zugewandten Seite zumindest eine als Ringelektrode ausgebildete Vor-Elektrode (VE) aufweist, an welche ein von dem Potential zumindest der Maskenfolie (MF) unterschiedliches elektrisches Potential anlegbar ist und welche zusammen mit der Mas-

kenfolie (MF) eine Gitterlinse mit negativer Brechkraft bildet.

2. Abbildungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß es ein ionenoptisches Abbildungssystem mit einer Ionenquelle als Teilchenquelle ist.

3. Abbildungssystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Strahlengang im Bereich des Projektionssystems (PS) einen Crossover (CV) mit der optischen Achse aufweist und daß der Crossover (CV) mit der optischen Achse für die weiter außen gelegenen Strahlteile (ds) gegenüber den achsnahen Strahlteilen (ns) entlang der optischen Achse verschoben ist.

4. Abbildungssystem nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Crossover (CV) mit der optischen Achse für die weiter außen gelegenen Strahlteile gegenüber den achsnahen Strahlteilen von der Substratebene (SB) abgerückt ist.

5. Abbildungssystem nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Crossover (CV) mit der optischen Achse für die weiter außen gelegenen Strahlteile gegenüber den achsnahen Strahlteilen von der Maskenfolie (MF) abgerückt ist.

6. Abbildungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Feldstärken zumindest im Bereich der Ausleuchtung durch den Teilchenstrahl zu beiden Seiten der Maskenfolie (MF) entgegengesetzt ausgerichtet, jedoch dem Betrage nach im Wesentlichen gleich sind.

7. Abbildungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Feldstärken zumindest im Bereich der Ausleuchtung durch den Teilchenstrahl zu beiden Seiten der Maskenfolie (MF) gleich gerichtet und dem Betrage nach im Wesentlichen gleich sind.

8. Abbildungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die transparenten Stellen der Maskenfolie Öffnungen sind.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

