



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 603 09 238 T2** 2007.06.06

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 357 427 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **603 09 238.1**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **03 251 348.3**

(96) Europäischer Anmeldetag: **06.03.2003**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **29.10.2003**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **25.10.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **06.06.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G03F 1/14** (2006.01)  
**G03F 7/20** (2006.01)

(30) Unionspriorität:  
**02251652 08.03.2002 EP**

(73) Patentinhaber:  
**ASML Netherlands B.V., Veldhoven, NL**

(74) Vertreter:  
**WUESTHOFF & WUESTHOFF Patent- und  
Rechtsanwälte, 81541 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE, FR, GB, IT, NL**

(72) Erfinder:  
**Eurlings, Markus Franciscus Antonius, 5045 TH  
Tilburg, NL; Van Dijsseldonk, Antonius Johannes  
Josephus, 5527 BH Hapert, NL; Dierichs, Marcel  
Mathijs Theodore Marie, 5914 WR Venlo, NL**

(54) Bezeichnung: **Lithographische Maske, lithographischer Apparat und Verfahren zur Herstellung einer Vorrichtung**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft Masken zur Verwendung in einer lithographischen Projektionsvorrichtung, mit:

- einem Strahlungssystem zur Bereitstellung eines Projektionsstrahls aus Strahlung;
- einer Haltekonstruktion zum Halten einer Maske, die dazu dient, den Projektionsstrahl gemäß einem gewünschten Muster zu mustern;
- einem Substrattisch zum Halten eines Substrats; und
- einem Projektionssystem zum Projizieren des gemusterten Strahls auf einen Zielabschnitt des Substrats.

**[0002]** Die Maske ist ein Beispiel für eine „Muster-aufbringungseinrichtung“, wobei dieser Begriff so weit interpretiert werden sollte, dass er sich auf Einrichtungen bezieht, die dafür verwendet werden können, einem eingehenden Strahl aus Strahlung einen gemusterten Querschnitt gemäß einem Muster aufzuprägen, das in einem Zielabschnitt des Substrats erzeugt werden soll; der Begriff „Lichtventil“ kann in diesem Zusammenhang ebenfalls verwendet werden. Im Allgemeinen entspricht das besagte Muster einer bestimmten Funktionsschicht in einem im Zielabschnitt erzeugten Bauelement, wie einer integrierten Schaltung oder einem anderen Bauelement (siehe unten). Das Konzept einer Maske ist in der Lithographie gut bekannt und umfasst binäre, wechselnde Phasenverschiebungs- und reduzierte Phasenverschiebungsmaskenarten sowie verschiedene Arten von Hybridmasken. Die Anordnung einer derartigen Maske im Strahlungsstrahl bewirkt selektive Lichtdurchlässigkeit (im Falle einer lichtdurchlässigen Maske) bzw. Reflexion (im Falle einer reflektierenden Maske) der auf die Maske auftreffenden Strahlung gemäß dem Muster auf der Maske. Im Fall einer Maske ist die Haltekonstruktion im allgemeinen ein Maskentisch, der gewährleistet, dass die Maske in einer gewünschten Position im eingehenden Strahl aus Strahlung gehalten werden kann und dass sie, sofern erwünscht, bezogen auf den Strahl bewegt werden kann.

**[0003]** Lithographische Projektionsvorrichtungen können beispielsweise für die Herstellung von integrierten Schaltungen (ICs) verwendet werden. In so einem Fall kann die Musteraufbringungseinrichtung ein Schaltungsmuster entsprechend einer einzelnen Schicht der integrierten Schaltung erzeugen und dieses Muster kann auf einen Zielabschnitt (der z.B. einen oder mehrere Dies enthält) auf einem Substrat (Silizium-Wafer), das mit einer Schicht aus strahlungsensitivem Material (Resist) überzogen worden ist, abgebildet werden. Im allgemeinen enthält ein einzelner Wafer ein ganzes Netzwerk benachbarter Zielabschnitte, die sukzessive einer nach dem anderen durch das Projektionssystem bestrahlt werden.

Bei den allgemein üblichen Vorrichtungen, bei denen die Musteraufbringung über eine Maske auf einem Maskentisch erfolgt, kann zwischen zwei unterschiedlichen Maschinentypen unterschieden werden. Bei einer Art von lithographischer Projektionsvorrichtung wird jeder Zielabschnitt bestrahlt, indem das gesamte Maskenmuster in einem Schritt auf den Zielabschnitt aufgebracht wird; eine derartige Vorrichtung wird im allgemeinen als Wafer-Stepper bezeichnet. Bei einer anderen Vorrichtung – die im allgemeinen als Step-and-Scan-Vorrichtung bezeichnet wird – wird jeder Zielabschnitt bestrahlt, indem das Maskenmuster unter dem Projektionsstrahl in einer vorbestimmten Referenzrichtung (der „abtastenden“ Richtung) fortschreitend abgetastet wird, während der Substrattisch parallel oder antiparallel zu dieser Richtung synchron abgetastet wird; da das Projektionssystem im allgemeinen einen Vergrößerungsfaktor  $M$  (im allgemeinen  $< 1$ ) aufweist, ist die Geschwindigkeit  $V$ , bei welcher der Substrattisch abgetastet wird, um einen Faktor  $M$  mal so groß wie diejenige, bei welcher der Maskentisch abgetastet wird. Weitere Informationen hinsichtlich lithographischer Vorrichtungen, wie sie hier beschrieben sind, können beispielsweise der US 6,046,792 entnommen werden.

**[0004]** Bei einem Herstellungsprozess, bei dem eine lithographische Projektionsvorrichtung eingesetzt wird, wird ein Muster (z.B. in einer Maske) auf ein Substrat abgebildet, das zumindest teilweise von einer Schicht aus strahlungsempfindlichem Material (Resist) bedeckt ist. Vor diesem Abbildungsschritt kann das Substrat mehreren Verfahrensschritten unterzogen werden, wie z.B. Grundieren, Schutzlackbeschichtung und ein Softbake. Nach der Belichtung kann das Substrat weiteren Verfahrensschritten ausgesetzt werden, wie z.B. Post-Exposurebake (PEB), Entwicklung, Hardbake und Messen/Inspeizieren der abgebildeten Strukturen. Diese Folge von Verfahrensschritten wird als Basis verwendet, um eine individuelle Schicht eines Bauelements, z.B. einer integrierten Schaltung, mit einem Muster zu versehen. Eine derart gemusterte Schicht kann dann mehreren Verfahrensschritten wie z.B. Ätzen, Ionenimplantation (Doping), Metallisierung, Oxydation, chemo-mechanisches Polieren etc. ausgesetzt werden, die alle dazu dienen, eine individuelle Schicht fertig zu stellen. Sind mehrere Schichten erforderlich, muss die gesamte Prozedur, oder eine Variante davon, für jede neue Schicht wiederholt werden. Schließlich befindet sich eine Gruppe von Bauelementen auf dem Substrat (Wafer). Diese Elemente werden dann durch ein Verfahren wie z.B. Teilen (Dicing) oder Sägen voneinander getrennt, wonach die einzelnen Elemente auf einen Träger montiert, an Pins angeschlossen werden können, etc.. Weitere Informationen hinsichtlich derartiger Verfahrensschritte können zum Beispiel dem Buch „Microchip Fabrication: A Practical Guide to Semiconductor Processing“, 3. Ausgabe, von Peter van Zant, McGraw Hill Publishing Co., 1997, ISBN

0-07-067250-4 entnommen werden.

**[0005]** Der Einfachheit halber kann das Projektions-system im Folgenden als „Linse“ bezeichnet werden; jedoch sollte dieser Begriff so weit interpretiert werden, dass er verschiedene Arten von Projektionssystemen umfasst, die beispielsweise lichtbrechende Optiken, reflektierende Optiken, und katadioptrische Systeme umfassen. Das Strahlungssystem kann auch Komponenten umfassen, die gemäß jeder dieser Konstruktionstypen zum Leiten, Formen oder Steuern des Projektionsstrahls aus Strahlung arbeiten, und derartige Komponenten können nachstehend auch zusammen oder einzeln als eine „Linse“ bezeichnet werden. Ferner kann die lithographische Vorrichtung derart sein, dass sie zwei oder mehr Substrattische (und/oder zwei oder mehr Maskentische) aufweist. Bei derartigen „mehrstufigen“ Geräten können die zusätzlichen Tische parallel verwendet werden, bzw. es können an einem oder an mehreren Tischen vorbereitende Schritte durchgeführt werden, während ein oder mehrere weitere Tische für Belichtungen verwendet werden. Zweistufige lithographische Vorrichtungen sind zum Beispiel in der US 5,969,441 und in der WO 98/40791 beschrieben.

**[0006]** Um die Größe von Strukturen, die abgebildet werden können, zu reduzieren, sind lithographische Vorrichtungen entwickelt worden, die als Belichtungsstrahlung extreme ultraviolette (EUV) Strahlung verwenden, z.B. mit einer Wellenlänge im Bereich zwischen 9 bis 16nm. Bei diesen Wellenlängen sind bestehende Verfahren zur Lichtmanipulation oftmals nicht mehr anwendbar, zum Beispiel weil sie Strukturen erfordern, die nicht ausreichend verkleinert werden können. Da kein Material bekannt ist, das für die Herstellung brechender optischer Elemente bei derartigen Wellenlängen geeignet ist, verwenden lithographische EUV Vorrichtungen reflektierende optische Systeme und auch reflektierende Masken. Um einen nahezu senkrechten Einfallspiegel für EUV mit hoher Reflektionsfähigkeit zu erzeugen, ist es erforderlich, einen Mehrschichtstapel auf einem Substrat zu verwenden, wobei die Mehrschicht wechselladende Schichten aus Materialien umfasst, die unterschiedliche Brechungsindizes und Schichtdicken aufweisen, die auf die spezielle zu verwendende Wellenlänge abgestimmt sind. Um eine Maske herzustellen oder um einen Teil eines Spiegels zu verdunkeln, wird eine Schicht eines absorbierenden Materials wie z.B. Chrom (Cr) oder Wolfram (W), Tantal (Ta) oder eine Zusammensetzung wie z.B. Tantalnitrid (TaN) selektiv oben auf den Mehrschichtstapel aufgebracht. Im Falle einer Maske wird die absorbierende Schicht im allgemeinen so aufgebracht, dass sie die gesamte Maske bedeckt und wird dann photolithographisch bearbeitet und weggeätzt, um das Maskenmuster zu bilden. Es kann auch ein Elektronenstrahlschreiber verwendet werden. Die hellen Bereiche einer derartigen Maske reflektieren gewöhnlich

ca. 65% der einfallenden Strahlung, wohingegen die dunklen Bereiche weniger als 0,5% reflektieren, wodurch ein hoher Kontrast gegeben ist. Wenn sich jedoch Mehrfachbelichtungen eines dunklen Bereiches überlagern, kann die vom Substrat empfangene kumulative Dosis ausreichen, um einen unerwünschten Kontrastverlust zu bewirken. Dies kann auftreten, wenn eine sogenannte Fokus-Energie-Matrix (FEM) für Kalibrierungszwecke belichtet wird oder wenn eine große Anzahl von dicht gepackten kleinen Dies ohne Retikel-Maskierblenden belichtet wird.

**[0007]** Die US-A-2001 051304 beschreibt eine reflektierende Maske mit nichtreflektierenden und reflektierenden Bereichen. Die reflektierenden Bereiche reflektieren Licht sowohl bei einer Prüfwellenlänge als auch bei einer Halbleiter-Bearbeitungswellenlänge, und die nichtreflektierenden Bereiche reflektieren im wesentlichen bei gleichen Prüf- und Halbleiter-Bearbeitungswellenlängen kein Licht. Es werden Bearbeitungsstufen beschrieben, durch die die Oberfläche des absorbierenden Materials im nichtreflektierenden Bereich aufgeraut wird, um reflektiertes Prüfwellenlängenlicht von einer Sammellinse wegzustreuen.

**[0008]** Die US-A-5 501 925 beschreibt eine Transparentphasen-Retikelmaske, die aus einem ersten Abschnitt zum Zerstreuen von einfallendem Licht über den Raumwinkel eines Abbildungssystems hinaus und einem zweiten Abschnitt besteht, bei dem eine Projektion einfallenden Lichts durch ein Abbildungssystem auftreten kann. Ziel ist es, Masken zu verbessern, bei denen der nichtübertragende Abschnitt Licht einfach blockiert, da derartige Masken mit Quellen hoher Intensität einen schnellen Güteabfall erfahren. Als Streubereich der Maske werden zwei Lösungen vorgeschlagen. Die erste ist ein Phasengitter, das einfallendes Licht jenseits der Linse des Abbildungssystems beugt. Der zweite Lösungsansatz besteht darin, die Oberfläche phasenrau zu machen, so dass das meiste einfallende Licht vom Abbildungssystem weggestreut wird.

**[0009]** Aufgaben der vorliegenden Erfindung sind es, Probleme zu vermeiden oder zu vermindern, die auf Kontrastverlust zurückzuführen sind, der durch Strahlung hervorgerufen worden ist, die erstens von den dunklen Bereichen einer Maske und zweitens von anderen absorbierenden Schichten in einer lithographischen Vorrichtung reflektiert worden ist.

**[0010]** Die erste und weitere Aufgaben werden erfindungsgemäß in einer reflektierenden Maske zur Verwendung in einer lithographischen Vorrichtung, wie sie in der Einleitung spezifiziert worden ist, gelöst, wobei die Maske Bereiche mit relativ hohem Reflexionsgrad und Bereiche mit relativ niedrigem Reflexionsgrad aufweist, wodurch ein Maskenmuster kleinster Druckstrukturgröße definiert ist, wobei: die

Bereiche mit niedrigem Reflexionsgrad eine Schicht aufweisen, deren Textur um eine Größenordnung kleiner ist als die kleinste Druckstrukturgröße, so dass eine gerichtete Reflexion von den Bereichen mit niedrigem Reflexionsgrad reduziert wird, und dadurch gekennzeichnet, dass die besagte Textur ein Phasengitter umfasst.

**[0011]** Durch Bereitstellen der Textur auf den Bereichen mit niedrigem Reflexionsgrad (dunkle Bereiche) wird die gerichtete Reflexion von diesen Bereichen reduziert, verglichen zu dem Fall, bei dem die dunklen Bereiche glatt waren. In der Vergangenheit wurde die absorbierende Schicht in einer Maske durch Verfahren aufgebracht, die eine optisch glatte (bei der Wellenlänge des Projektionsstrahls) Oberfläche schaffen und die dunklen Bereiche während des nachfolgenden Ätzens zum Bilden des Maskenmusters durch eine Schutzschicht (Resist) geschützt werden. Die dunklen Bereiche bleiben daher glatt. Daher wird ein hoher Anteil des Projektionssystems und wird auf das Substrat geleitet. Die erfindungsgemäß verwendete Textur ist um eine Größenordnung kleiner als die kleinste Druckstrukturgröße im Maskenmuster und beschädigt diese optische Glätte, wodurch die gerichtete Reflexion von den dunklen Bereichen reduziert wird. Festzustellen ist, dass die Textur eine Größenordnung aufweisen kann, die verglichen mit der Wellenlänge von sichtbarem Licht klein genug sein kann, so dass die dunklen Bereiche für das bloße Auge immer noch glatt erscheinen.

**[0012]** Es ist allgemein bekannt, dass eine Maske Druckstrukturen aufweisen kann, d.h. Strukturen, die aufgedruckt werden, wenn die Maske in einem lithographischen Prozess eingesetzt wird, sowie Nichtdruckstrukturen, die auch als Teilauflösungsstrukturen bezeichnet werden, die nicht direkt im Druckmuster erscheinen, aber die Form und/oder Position der gedruckten Strukturen beeinflussen. Derartige Strukturen umfassen optische Näherungskorrekturlemente, Serife, Streustäbe, etc. Die Textur der Erfindung muss eine kleinere Größenordnung als die Druckstrukturen, jedoch nicht unbedingt kleiner als die Nichtdruckstrukturen aufweisen.

**[0013]** Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfasst die Textur ein Phasengitter. Das Gitter umfasst vorzugsweise Stege und Aussparungen, die eine relative Phasenverschiebung von im wesentlichen  $\pi$ -Radianten bewirken, was durch Bereitstellen einer hohen Differenz zwischen den Stegen und den Aussparungen erzielt werden kann, die im wesentlichen einem Viertel der Wellenlänge der Belichtungsstrahlung gleich ist.

**[0014]** Es ist vorzuziehen, dass die Stege und Aussparungen jeweils nahezu 50% des Gesamtbereichs der Bereiche mit relativ niedrigem Reflexionsgrad einnehmen, um eine maximale Unterdrückung der

gerichteten Reflexion zu schaffen.

**[0015]** Der Abstand eines derartigen Phasengitters ist vorzugsweise so gewählt, dass die gebeugten Strahlen erster Ordnung (und höher) außerhalb der Pupille des Projektionssystems liegen. Auf diese Weise kann unerwünschtes Licht, das in das Projektionssystem eintritt, auf im wesentlichen Null reduziert werden. Folglich sollte der Abstand  $p$  des Phasengitters auf Substratniveau folgende Ungleichheit erfüllen:

$$p < \frac{\lambda}{(1 + \sigma) \cdot NA \cdot |M|}$$

wobei  $\lambda$  die Wellenlänge der Belichtungsstrahlung und  $NA$ ,  $M$  und  $\sigma$  jeweils die numerische Apertur, die Vergrößerung und das Pupillenfüllverhältnis des Projektionssystems sind. Wenn das zu verwendende Pupillenfüllverhältnis bei der Herstellung der Maske nicht bekannt ist, kann angenommen werden, dass es 1 beträgt, um zu gewährleisten, dass die erste Ordnung außerhalb der Pupille des Projektionssystems liegt.

**[0016]** Die genaue Form des Gitters kann vom Maskenmuster abhängen. Vorzugsweise ist das Gitter zweidimensional, um unerwünschte Auswirkungen zu vermeiden, die auftreten können, wenn sich Linien eines eindimensionalen Gitters mit linearen Strukturen des Maskenmusters anordnen müssen. Bei Maskenmustern ohne lineare Struktur oder mit linearen Strukturen, die nur in eine Richtung oder eine begrenzte Anzahl oder einen Bereich von Richtungen verlaufen, kann eine eindimensionale Gitterstruktur verwendet werden, welche die Linien des Maskenmusters kreuzt.

**[0017]** Bei einer alternativen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung sind die dunklen Bereiche so behandelt, dass sie als Diffusor zum Verteilen der reflektierten Strahlung in einen großen räumlichen Winkel wirken. Dadurch wird immer noch etwas Strahlung in das Projektionssystem reflektiert, je größer jedoch der Raumwinkel ist, in den die Strahlung verteilt wird, umso kleiner ist der Bruchteil, der in das Projektionssystem eintritt. Als Diffusor kann ein Zufalls- oder Pseudozufallsmuster auf die absorbierende Schicht aufgebracht werden. Dies kann durch chemisches oder mechanisches Aufrauen der Oberfläche der absorbierenden Schicht oder durch geeignete Manipulation des Ablagerungsverfahrens erfolgen, z.B. durch Einbringen von Schmutzstoffen. Die absorbierende Schicht kann so aufgebaut sein, dass ein zusätzliches Zerstreuen durch das Innere der Schicht erfolgt. Schichten von relativ dicker Dicke sind in dieser Hinsicht effektiver, bringen jedoch unerwünschte Defokussierungseffekte mit sich. Dies kann gelöst werden, indem die absorbierende Schicht gekörnt wird, um eine große Anzahl interner Grenzflächen zu

erzielen, durch die das Zerstreuen erhöht wird.

**[0018]** Besonders effektive Materialien für absorbierende Schichten sind Tantal (Ta) und Tantalnitrid (TaN).

**[0019]** Die vorliegende Erfindung schafft auch ein Verfahren zum Herstellen von Bauelementen, das folgende Schritte umfasst:

- Bereitstellen eines Substrats, das zumindest teilweise von einer Schicht aus strahlungsempfindlichem Material bedeckt ist;
- Bereitstellen eines Projektionsstrahls aus Strahlung unter Verwendung eines Strahlungssystems;
- Verwenden von Musteraufbringungseinrichtungen, um den Projektionsstrahl in seinem Querschnitt mit einem Muster zu versehen;
- Projizieren des gemusterten Strahls aus Strahlung auf einen Zielabschnitt der Schicht aus strahlungsempfindlichem Material unter Verwendung eines Projektionssystems;

wobei der Schritt des Verwendens von Musteraufbringungseinrichtungen das Positionieren einer Maske umfasst, die Bereiche mit relativ hohem Reflexionsgrad und Bereiche mit relativ niedrigem Reflexionsgrad aufweist, die das Muster definieren; wobei die Bereiche mit niedrigem Reflexionsgrad eine Schicht mit einer Oberflächentextur aufweisen, die um eine Größenordnung kleiner als die kleinste Druckstruktur in dem Muster ist, die auf dem Substrat durch das Projektionssystem aufgelöst werden kann, und dadurch gekennzeichnet, dass die Textur ein Phasengitter umfasst.

**[0020]** Die zweite Aufgabe der Erfindung wird in einer lithographischen Projektionsvorrichtung erzielt, die folgendes umfasst:

- ein Strahlungssystem zur Bereitstellung eines Projektionsstrahls aus Strahlung;
- eine Haltekonstruktion zum Halten von Musteraufbringungseinrichtungen, wobei die Musteraufbringungseinrichtungen dazu dienen, den Projektionsstrahl gemäß einem gewünschten Muster zu mustern;
- einen Substrattisch zum Halten eines Substrats;
- ein Projektionssystem zum Projizieren des gemusterten Strahls auf einen Zielabschnitt des Substrats;
- ein optisches Element, das in dem Strahlungssystem oder dem Projektionssystem enthalten ist, wobei wenigstens ein Teil davon mit einer absorbierenden Schicht versehen ist; wobei;

die absorbierende Schicht des optischen Elements mit einer Textur versehen ist, die um eine Größenordnung kleiner ist als die kleinste Strukturgröße, die von dem Projektionssystem aufgelöst werden kann, so dass eine gerichtete Reflexion von der absorbierenden Schicht reduziert wird, und dadurch gekenn-

zeichnet, dass die Textur ein Phasengitter umfasst.

**[0021]** Auf diese Weise kann das gleiche erfinderische Konzept, das auf Masken angelegt wird, für die Reduzierung unerwünschter Reflexionen von anderen optischen Elementen, die zumindest teilweise absorbierend sind, verwendet werden. Derartige Elemente können Spiegel im Strahlungssystem umfassen, die teilweise verdunkelt worden sind, um die Form des Strahls, des Beleuchtungsfeldes oder anderer Beleuchtungseinstellungen, Blenden zum Maskieren von Bereichen weiterer optischer Elemente wie z.B. einem Retikel, sowie Raumfiltern, Pupillen- oder Aperturblenden und Blenden zum Definieren der numerischen Apertur zu definieren.

**[0022]** Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung ist ein Verfahren zum Herstellen von Bauelementen geschaffen worden, das folgende Schritte umfasst:

- Bereitstellen eines Substrats, das zumindest teilweise von einer Schicht aus strahlungsempfindlichem Material bedeckt ist;
- Bereitstellen eines Projektionsstrahls aus Strahlung unter Verwendung eines Strahlungssystems;
- Verwenden von Musteraufbringungseinrichtungen, um den Projektionsstrahl in seinem Querschnitt mit einem Muster zu versehen;
- Projizieren des gemusterten Strahls aus Strahlung auf einen Zielabschnitt der Schicht aus strahlungsempfindlichem Material; und
- Absorbieren eines Teils des Projektionsstrahls in einer absorbierenden Schicht, die auf einem optischen Element bereitgestellt ist, wobei die absorbierende Schicht des optischen Elements mit einer Textur versehen ist, die um eine Größenordnung kleiner ist, als die kleinste Strukturgröße, die von dem Projektionssystem aufgelöst werden kann, so dass eine gerichtete Reflexion von der absorbierenden Schicht reduziert wird, und dadurch gekennzeichnet, dass die Textur ein Phasengitter umfasst.

**[0023]** Obwohl in diesem Text speziell auf die Verwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung bei der Herstellung von integrierten Schaltungen hingewiesen werden kann, sollte klar sein, dass eine derartige Vorrichtung viele weitere Anwendungsmöglichkeiten hat. Sie kann zum Beispiel bei der Herstellung von integrierten optischen Systemen, Leit- und Erfassungsmustern für Magnetblasenspeicher, Flüssigkristall-Anzeigetafeln, Dünnschicht-Magnetköpfen und dergleichen verwendet werden. Der Fachmann wird erkennen, dass im Kontext mit derartigen alternativen Anwendungsmöglichkeiten jede Benutzung der Begriffe „Retikel“, „Wafer“ oder „Die“ in diesem Text jeweils durch die allgemeineren Begriffe „Maske“, „Substrat“ und „Zielabschnitt“ ersetzt worden sind.

**[0024]** Im vorliegenden Dokument werden die Begriffe „Strahlung“ und „Strahl“ verwendet, um alle Arten elektromagnetischer Strahlung, einschließlich ultravioletter Strahlung (z.B. mit einer Wellenlänge von 365, 248, 193, 157 bzw. 126 nm) und EUV (extrem ultraviolette Strahlung z.B. mit einer Wellenlänge zwischen 5–20nm) sowie Teilchenstrahlen wie z.B. Ionenstrahlen oder Elektronenstrahlen mit einzuschließen.

**[0025]** Ausführungsformen der Erfindung werden im Folgenden rein beispielhaft mit Bezug auf die begleitenden schematischen Zeichnungen beschrieben, wobei:

**[0026]** [Fig. 1](#) eine lithographische Projektionsvorrichtung zeigt, bei der Masken gemäß erfindungsgemäßer Ausführungsformen verwendet werden können;

**[0027]** [Fig. 2](#) ein Beispiel eines Maskenmusters zeigt, das für die Erklärung der Arbeitsweise der Erfindung verwendet wird;

**[0028]** [Fig. 3](#) ein Teilauflösungsmuster zeigt, das bei einer Maske gemäß einer erfindungsgemäßen Ausführungsform angelegt wird;

**[0029]** [Fig. 4](#) das Maskenmuster von [Fig. 2](#) zeigt, welches das Teilauflösungsmuster von [Fig. 3](#) überlagert;

**[0030]** [Fig. 5](#) ein Diagramm ist, welches zur Erklärung, wie eine Maske gemäß der ersten Ausführungsform arbeitet, verwendet wird;

**[0031]** [Fig. 6](#) eine graphische Darstellung ist, welche die relative Leistung in der gerichteten Reflexion als eine Funktion des Auslastverhältnisses und des Phasenschrittes im Teilauflösungsmuster zeigt;

**[0032]** [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) Muster einer ersten und einer zweiten stehenden Welle zeigen, die zur Belichtung einer Schutzschicht in einem Verfahren zum Herstellen einer Maske gemäß einer erfindungsgemäßen Ausführungsform verwendet werden;

**[0033]** [Fig. 9](#) das kombinierte Bild aus den Belichtungen der Muster der stehenden Wellen von [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) zeigt; und

**[0034]** [Fig. 10](#) bis [Fig. 13](#) Schritte in einem Verfahren zum Herstellen einer Maske gemäß einer erfindungsgemäßen Ausführungsform zeigen; und

**[0035]** [Fig. 14](#) ein Diagramm ist, das für die Erklärung, wie eine Maske gemäß einer zweiten erfindungsgemäßen Ausführungsform arbeitet, verwendet wird.

**[0036]** In den Figuren zeigen entsprechende Bezugssymbole entsprechende Teile an.

#### Ausführungsform 1

**[0037]** [Fig. 1](#) ist eine schematische Darstellung einer lithographischen Projektionsvorrichtung, bei der eine Maske gemäß einer speziellen erfindungsgemäßen Ausführungsform verwendet werden kann. Die Vorrichtung umfasst:

- ein Strahlungssystem Ex, IL zum Bereitstellen eines aus Strahlung (z.B. EUV-Strahlung) bestehenden Projektionsstrahls PB, das in diesem speziellen Fall auch eine Strahlungsquelle LA umfasst;
- einen ersten Objektisch (Maskentisch) MT, der einen Maskenhalter zum Halten einer Maske MA (z.B. eines Retikels) aufweist und mit ersten Positionierungsmitteln zur genauen Positionierung der Maske im Hinblick auf den Gegenstand PL verbunden ist;
- einen zweiten Objektisch (Substrattisch) WT, der einen Substrathalter zum Halten eines Substrats W (z.B. ein mit einer Schutzschicht beschichteten Silizium-Wafer) aufweist und mit zweiten Positionierungsmitteln zur genauen Positionierung des Substrats im Hinblick auf den Gegenstand PL verbunden ist;
- ein Projektionssystem („Linse“) PL (z.B. ein Spiegelfeld) zum Abbilden eines bestrahlten Bereichs der Maske MA auf einen Zielabschnitt C (der z.B. einen oder mehrere Dies aufweist) des Substrats W.

**[0038]** Wie hier gezeigt, ist die Vorrichtung reflektierender Art (d.h. mit einer reflektierenden Maske). Sie kann zum Beispiel jedoch im allgemeinen auch lichtdurchlässiger Art sein (mit einer lichtdurchlässigen Maske).

**[0039]** Die Quelle LA (z.B. eine durch Laser erzeugte bzw. Plasmaquelle) erzeugt einen Strahl aus Strahlung. Dieser Strahl wird zu einem Beleuchtungssystem IL (Illuminator) geführt, entweder direkt oder nachdem er Konditionierungseinrichtungen wie zum Beispiel einen Strahlexpander Ex durchlaufen hat. Der Illuminator IL kann Anpassungsmittel AM zum Anpassen der äußeren und/oder inneren radialen Erstreckung (im allgemeinen jeweils mit  $\sigma$ -innen und  $\sigma$ -außen bezeichnet) der Intensitätsverteilung im Strahl umfassen. Darüber hinaus umfasst er im allgemeinen verschiedene andere Bauelemente wie z.B. einen Integrator IN und einem Kondensator CO. Auf diese Weise erhält der auf die Maske MA auftreffende Strahl PB in seinem Querschnitt eine gewünschte Gleichmäßigkeit und Intensitätsverteilung.

**[0040]** Mit Bezug auf [Fig. 1](#) ist festzustellen, dass die Quelle LA innerhalb des Gehäuses der lithographischen Projektionsvorrichtung angeordnet sein

kann (wie es oft der Fall ist, wenn die Quelle LA beispielsweise eine Quecksilberlampe ist), sie kann sich jedoch auch entfernt von der lithographischen Projektionsvorrichtung befinden, wobei der durch sie erzeugte Strahlungsstrahl in die Vorrichtung geleitet wird (z.B. mit Hilfe geeigneter Leitungsspiegel); dieses letztgenannte Szenario ist oft gegeben, wenn die Quelle LA ein Excimer-Laser ist. Die vorliegende Erfindung und ihre Ansprüche beinhalten beide Szenarien.

**[0041]** Danach tritt der Strahl PB in die Maske MA ein, die auf einem Maskentisch MT gehalten wird. Nachdem er von der Maske MA selektiv reflektiert worden ist, läuft der Strahl PB durch die Linse PL, die den Strahl PB auf einen Zielabschnitt C des Substrats W fokussiert. Mit Hilfe des zweiten Positionierungsmittels (und interferometrischen Messmittels IF) kann der Substrattisch WT genau bewegt werden, zum Beispiel um unterschiedliche Zielabschnitte C im Weg des Strahls PB zu positionieren. Auf gleiche Weise kann das erste Positionierungsmittel verwendet werden, um die Maske MA im Hinblick auf den Weg des Strahls PB genau zu positionieren, zum Beispiel nachdem die Maske MA mechanisch von einer Maskenbibliothek geholt worden ist oder während einer Abtastung. Im allgemeinen wird die Bewegung der Objektische MT, WT mit Hilfe eines langhubigen Moduls (Grobpositionierung) und eines kurzhubigen Moduls (Feinpositionierung) durchgeführt, die in [Fig. 1](#) nicht explizit dargestellt sind. Allerdings kann im Falle eines Wafer-Steppers (im Gegensatz zu einer Step-and-scan-Vorrichtung) der Maskentisch MT nur mit einem kurzhubigen Betätigungselement verbunden werden, oder er kann fixiert sein.

**[0042]** Die gezeigte Vorrichtung kann auf zwei unterschiedliche Arten eingesetzt werden:

- 1) Im Step-Modus wird der Maskentisch MT im wesentlichen stationär gehalten, und ein ganzes Maskenbild wird in einem Schritt (d.h. einem einzelnen „Flash“) auf einen Zielabschnitt C projiziert. Der Substrattisch WT wird dann in x- und/oder y-Richtung verschoben, so dass ein anderer Zielabschnitt C durch den Strahl PB bestrahlt werden kann.
- 2) Im Scan-Modus geschieht im wesentlichen das Gleiche, mit der Ausnahme, dass ein bestimmter Zielabschnitt C nicht in einem einzigen „Flash“ beleuchtet wird. Stattdessen ist der Maskentisch MT in einer vorgegebenen Richtung (der sogenannten „Abtastrichtung“, z.B. der y-Richtung) mit einer Geschwindigkeit  $v$  bewegbar, um zu veranlassen, dass der Projektionsstrahl PB ein Maskenbild abtastet; gleichzeitig wird der Substrattisch WT simultan in die gleiche oder entgegengesetzte Richtung mit einer Geschwindigkeit  $V = Mv$  bewegt, wobei  $M$  die Vergrößerung der Linse PL ist (gewöhnlich ist  $M = \frac{1}{4}$  oder  $\frac{1}{5}$ ). Auf diese Weise kann ein relativ großer Zielabschnitt C beleuchtet

werden, ohne dass hinsichtlich der Auflösung Kompromisse eingegangen werden müssen.

**[0043]** Die Maske MA weist ein Maskenmuster MP auf, das durch eine Vielzahl reflektierender und absorbierender Bereiche R, A definiert ist, wie beispielhaft in [Fig. 2](#) gezeigt. Eine derartige Maske kann z.B. mittels Ätzen gebildet werden, indem in den reflektierenden Bereichen R eine absorbierende Schicht entfernt wird, die oben auf einem Mehrschichtstapel vorgesehen ist, die zu Reflexionszwecken im erwarteten Einfallswinkel und der Wellenlänge des Projektionsstrahls optimiert worden ist. Die absorbierenden Bereiche A befinden sich dort, wo die absorbierende Schicht noch besteht.

**[0044]** Gemäß der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist die Oberfläche der absorbierenden Schicht mit einer Textur **10** versehen, die durch Stege **11** und Aussparungen **12** in einem Schachbrettmuster gebildet ist, wie in [Fig. 3](#) dargestellt. Die Stege **11** und die Aussparungen **12** weisen einen Abstand auf, der kleiner ist als die kleinste Strukturgröße, die im Maskenmuster erscheint und/oder durch das Projektionssystem PL auf Substratniveau auflösbar ist, und allgemein gesagt in zweidimensionalem Muster angeordnet sind, um ein zweidimensionales Phasengitter zu bilden. Zur Maximierung des Phasenkontrastes beträgt der Höhenunterschied zwischen den Stegen **11** und den Aussparungen **12** vorzugsweise im wesentlichen ein Viertel der Wellenlänge der Strahlung des Projektionsstrahls PB.

**[0045]** [Fig. 4](#) zeigt das Ergebnis der Kombination von Maskenmuster MP und Teilauflösungs-Phasengitter **10**. In den reflektierenden Bereichen R ist der Mehrschichtstapel freigelegt worden, wohingegen in den absorbierenden Bereichen A das Teilauflösungsmuster **10** auf der Oberfläche der absorbierenden Schicht zu sehen ist. Festzustellen ist, dass die genaue Form, Position und Ausrichtung des Teilauflösungsmusters **10** unwichtig ist, vorausgesetzt, dass in jedem der absorbierenden Bereiche A zumindest ein eindimensionales Phasenkontrastgitter sichtbar ist. Textur und Maskenmuster sind in den [Fig. 2](#), [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) nicht maßstäblich dargestellt sind.

**[0046]** [Fig. 5](#) zeigt, wie die Maske gemäß der zweiten erfindungsgemäßen Ausführungsform arbeitet. (Festzustellen ist, dass die in [Fig. 5](#) gezeigten Winkel nur zu darstellenden Zwecken ausgewählt worden sind und dass bei einer tatsächlichen erfindungsgemäßen Ausführungsform der Projektionsstrahl in einem Winkel einfällt, der viel näher an der Senkrechten ist.) Der Projektionsstrahl PB-I wird auf die Maske MA durch das Beleuchtungssystem IL projiziert und reflektiert, um den gemusterten Projektionsstrahl PB-R zu bilden, der in die Pupille des Projektionslinsensystems P-PL eintritt. Der größte Teil der Energie

im Projektionsstrahl PB-I, der auf die absorbierenden Bereiche A im Maskenmuster MP auftrifft, wird absorbiert. Etwas Energie wird jedoch reflektiert. Wegen des auf der Oberfläche der absorbierenden Bereiche A angeordneten Phasenkontrastgitters **10** wird die durch die absorbierenden Bereiche A reflektierte Strahlung eher gebeugt als einfach gerichtet reflektiert. Indem sichergestellt ist, dass das Verhältnis der Gesamtbereiche von Stegen **11** zu Aussparungen **12** möglichst nahe bei 1 liegt und dass die relative Phasendifferenz zwischen der von den Stegen und von den Aussparungen reflektierten Strahlung  $\pi$ -Radianen beträgt, wird der Strahl nullter Ordnung (gerichtete Reflexion) unterdrückt und im wesentlichen die gesamte Strahlung in die Strahlen geleitet, die in erster Ordnung  $R_{-1}$ ,  $R_{+1}$  und in höheren Ordnungen gebeugt sind. Die von den absorbierenden Bereichen A reflektierte Strahlung wird somit räumlich vom gemusterten Projektionsstrahl PB-R getrennt. Durch geeignete Auswahl des Abstands des Phasenkontrastgitters **10** kann gewährleistet werden, dass die gebeugten Strahlen erster (und höherer) Ordnung außerhalb der Pupille der Projektionslinse P-PL liegen und somit nicht auf das Substrat abgebildet werden. Daher ist die den dunklen Bereichen des Substrats zugeführte Menge erheblich reduziert worden.

**[0047]** Von der Beugungsgleichung kann abgeleitet werden, dass der Abstand  $p$  des Teilauf Lösungsmusters **10** für die ersten Ordnungen außerhalb der Pupille des Projektionssystems folgender Ungleichheit entsprechen muss:

$$p < \frac{\lambda}{(1 + \sigma) \cdot NA \cdot |M|}$$

wobei  $\lambda$  die Wellenlänge der Belichtungsstrahlung im Projektionsstrahl PB und  $\sigma$ , NA und M jeweils das Pupillenfüllverhältnis, die numerische Apertur und die Vergrößerung des Projektionssystems PL sind.

**[0048]** Wie vorstehend erwähnt, ist es wünschenswert, die von den absorbierenden Bereichen A gerichtete Reflexion vollständig zu unterdrücken, was erreicht wird, indem die Phasendifferenz  $\Delta\phi$  zwischen der von den Stegen **11** und von den Aussparungen **12** reflektierten Strahlung  $\pi$ -Radianen gleicht und indem das Verhältnis des gesamten Stegbereichs zum gesamten Aussparungsbereich **1** ist. Der letztgenannte Zustand kann auch als Phasenkontrastgitter mit einem Auslastverhältnis DR von 0,5 bezeichnet werden.

**[0049]** Dennoch kann eine wesentliche und wünschenswerte Reduzierung der in der gerichteten Reflexion enthaltenen Leistung selbst dann erreicht werden, wenn die Phasendifferenz  $\Delta\phi$  und das Auslastverhältnis DR wesentlich von ihren Idealwerten abweichen. **Fig. 6** zeigt den Anteil S der von absorbierenden Bereichen A reflektierten Gesamtleistung,

der in der gerichteten Reflexion als eine Funktion der Phasendifferenz  $\Delta\phi$  und des Auslastverhältnisses DR des Phasengitters **10** enthalten ist. Es ist zu sehen, dass ein relativ großer Phasenfehler, der innerhalb  $\pm\pi/5$  der idealen Phasenstufe von  $\pi$  liegt, immer noch in 90%iger Dämpfung der nullten Ordnung existiert. Ein derartiger Phasenfehler ist zu einem 0,7nm Tiefenfehler auf einer Stufe von 3,4nm äquivalent, wobei  $\lambda = 13,5\text{nm}$ . Folglich kann die vorliegende Erfindung erhebliche Vorteile schaffen, selbst wenn relativ hohe Toleranzen bei der Herstellung des Phasenkontrastgitters **10** gegeben sind.

**[0050]** Ein geeignetes Phasenkontrastgitter **10** kann relativ einfach durch Ätzen des in **Fig. 3** gezeigten Schachbrettmusters in die Oberfläche der absorbierenden Schicht geformt werden, bevor diese selektiv entfernt wird, um das Maskenmuster MP zu bilden. Hierfür ist es zunächst erforderlich, eine oben auf der absorbierenden Schicht vorgesehene Schutzschicht in einem geeigneten Muster zu belichten. Es ist bekannt, eine Schutzschicht zu belichten, um ein lineares Gitter zu bilden, indem sie mit zwei kohärenten Strahlen aus Strahlung bestrahlt wird, die zueinander geneigt sind, so dass eine Störung zwischen den beiden Strahlen in der Schutzschicht ein Muster einer stehenden Welle bildet. **Fig. 7** zeigt die Intensitätsverteilung eines derartigen Musters einer stehenden Welle. Die Schrittweite dieses Musters ist durch die Wellenlänge der für die Belichtung verwendeten Strahlung und den Neigungswinkel der beiden Strahlen bestimmt. Erfindungsgemäß wird die Schutzschicht auch mit einem Muster einer zweiten stehenden Welle belichtet, siehe **Fig. 8**, die um  $90^\circ$  zum Muster der ersten stehenden Welle ausgerichtet ist, was zu einer Gesamtbelichtung führt, wie sie in **Fig. 9** gezeigt ist. Der Winkel zwischen den Mustern der beiden stehenden Wellen kann weniger als  $90^\circ$  betragen, was zu einem Gitter führt, das in orthogonalen Richtungen verschiedene Schrittweiten aufweist – was akzeptabel ist, vorausgesetzt, die Schicht der Schrittweiten ist klein genug. Natürlich kann die gesamte Belichtung in einem Schritt unter Verwendung von vier Strahlen bzw. in zwei Schritten unter Verwendung von zwei Strahlen und einer relativen Drehung zwischen den Strahlen und den Maskenrohlingen zwischen den Schritten durchgeführt werden.

**[0051]** Die **Fig. 10** bis **Fig. 13** zeigen den gesamten Prozess. Der in **Fig. 10** dargestellte ursprüngliche Maskenrohling MB umfasst ein Substrat **20**, einen Mehrschichtstapel **21**, der für eine Reflexionsfähigkeit bei der Wellenlänge der Projektionsstrahlung optimiert ist, und eine absorbierende Schicht **22**, welche die gesamte Oberfläche des Maskenrohlings MB bedeckt. Dieser wird zunächst mit einer (nicht dargestellten) Schutzschicht überzogen, die wie vorstehend beschrieben mit orthogonalen Mustern einer stehenden Welle belichtet wird. Die belichtete Schutzschicht wird entwickelt, um ein Schachbrett-

muster zu bilden, und die belichteten Bereiche der absorbierenden Schicht **22** werden in einer Tiefe geätzt, die einem Viertel der Wellenlänge der Strahlung des Projektionsstrahls gleicht, um so ein Oberflächenmuster **23** wie in [Fig. 12](#) dargestellt zu bilden.

**[0052]** Für die Erzeugung des Maskenmusters MP wird die absorbierende Schicht erneut mit einer Schutzschicht überzogen, die belichtet wird, um das Maskenmuster zu definieren, z.B. unter Verwendung der Projektionslithographie oder eines Elektronendirektstrahlenschreibers. Die Schutzschicht wird entwickelt und die absorbierende Schicht **22** wird vollständig weggeätzt, um die reflektierenden Bereiche des Maskenmusters MP zu bilden. Folglich weist die in [Fig. 13](#) gezeigte Maske MA Bereiche auf, bei denen der Mehrschichtstapel **21** belichtet ist sowie Bereiche, bei denen er von der absorbierenden Schicht **22** bedeckt ist, wodurch auf ihrer Oberfläche ein Teilauf Lösungsmuster **23** beibehalten wird.

**[0053]** Das Muster der Oberfläche kann selbstverständlich durch andere Verfahren gebildet werden und kann gleichzeitig mit dem Muster der Maske oder vorab auf einem Maskenrohling gebildet werden. Weitere Herstellungsverfahren zur Bildung des Oberflächenmusters umfassen die Belichtung einer Schutzschicht mit einem geeigneten Muster (beispielsweise unter Verwendung einer lithographischen Vorrichtung, eines Elektronendirektstrahlenschreibers, eines Ionenstrahl-Direktstrahlenschreibers oder durch Kontakt- bzw. kontaktfreie Bestrahlung mittels Röntgenstrahlen), dann das Entwickeln der Schutzschicht und Ätzen der darunter liegenden absorbierenden Schicht. Das Oberflächenmuster kann in der absorbierenden Schicht durch Verfahren wie Prägen oder Ionenstrahlätzen auch direkt gebildet werden.

#### Ausführungsform 2

**[0054]** Bei einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, die, mit Ausnahme des im nachstehenden Beschriebenen, die gleiche ist wie die erste Ausführungsform, bildet die auf die absorbierende Schicht aufgebrachte Textur eher einen Diffusor als ein Phasenkontrastgitter. Die Arbeitsweise der Maske gemäß der zweiten Ausführungsform nach der vorliegenden Erfindung ist in [Fig. 14](#) dargestellt.

**[0055]** Wie bei der ersten Ausführungsform wird der auftreffende Projektionsstrahl vom Maskenmuster MP, das sich auf der Maske MA befindet, gemustert und reflektiert und der gemusterte, reflektierte Strahl PB-R wird von der Pupille P-PL des Projektionssystems eingefangen. Die von den dunklen Bereichen reflektierte Strahlung wird in einem Kegel R-D, der im Vergleich zur numerischen Apertur des Projektionssystems PL einen großen Raumwinkel aufweist, durch den Diffusor verteilt, der durch die Textur **30** in den absorbierenden Bereichen des Maskenmusters

gebildet ist. Genauer: bei dieser erfindungsgemäßen Ausführungsform tritt etwas des von den dunklen Bereichen des Muster reflektierten Lichts in das Projektionssystem PL ein, der Anteil dessen kann jedoch erheblich reduziert werden, indem der Raumwinkel, in den das Licht verteilt wird, so groß wie möglich ist.

**[0056]** Um als Diffusor wirken zu können, könnte der Textur der absorbierenden Schicht eine zufällige oder pseudozufällige Textur gegeben werden. Dies kann lithographisch oder durch chemisches oder mechanisches Aufrauen der Oberfläche der absorbierenden Schicht vor Bildung des Maskenmusters MP erreicht werden. Ferner ist es möglich, die erforderliche Rauheit zu schaffen, indem die Erzeugung der absorbierenden Schicht auf geeignete Weise beeinflusst wird, z.B. durch Ablagerung. Die absorbierende Schicht kann so beschaffen sein, dass sie sowohl innen als auch an der Oberfläche ein Zerstreuen bewirkt. Dies kann erreicht werden, indem eine große Anzahl optischer Grenzflächen, d.h. Veränderungen des Brechungsindex, in das Innere der absorbierenden Schicht eingeführt wird, eventuell durch Körnung der absorbierenden Schicht.

**[0057]** Dort, wo die absorbierende Schicht durch Ablagerung gebildet worden ist, kann die Rauigkeit erreicht werden, indem Parameter wie Druck und Temperatur des Ablagerungsprozesses sowie das Verdampfungs- oder Sputterverhältnis manipuliert werden oder indem Verunreinigungen eingebracht werden.

**[0058]** Der passende Rauheitsgrad zur Erzeugung des gewünschten Effekts kann aus der folgenden Gleichung bestimmt werden:

$$F = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{4\pi^2}{\lambda} \right) \sigma^2 \right]$$

wobei F der Anteil der Einfallstrahlung ist, der eher diffus als gerichtet reflektiert wird,  $\lambda$  die Wellenlänge der Strahlung und  $\sigma$  die rms-Oberflächenrauigkeit ist. Bei einer Strahlung von 13,5 ergibt eine rms-Oberflächenrauigkeit von 1nm 57% diffuse Reflexion, wohingegen 2nm 97% ergeben.

**[0059]** Auch wenn spezielle Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beschrieben worden sind, ist festzustellen, dass die Erfindung auch anders als beschrieben durchgeführt werden kann. Die Beschreibung soll die Erfindung nicht einschränken.

#### Patentansprüche

1. Reflektierende Maske (MA) zur Verwendung in einer lithographischen Vorrichtung, wobei die Maske (MA) Bereiche mit relativ hohem Reflexionsgrad (R) und Bereiche mit relativ niedrigem Reflexionsgrad (A) aufweist, die ein Maskenmuster mit kleinster

Druckstrukturgröße definieren, wobei:

die Bereiche mit niedrigem Reflexionsgrad (A) eine Schicht aufweisen, deren Textur um eine Größenordnung kleiner ist als die kleinste Druckstrukturgröße, so dass eine gerichtete Reflexion von den Bereichen mit niedrigem Reflexionsgrad (A) reduziert wird, und **dadurch gekennzeichnet**, dass die besagte Textur ein Phasengitter (10) umfasst.

2. Maske nach Anspruch 1, wobei das Gitter (10) Stege (11) und Aussparungen (12) derart aufweist, dass eine Phasenverschiebung von im wesentlichen  $\pi$ -Radianten zwischen der Belichtungsstrahlung gegeben ist, die von den Stegen (11) und den Aussparungen (12) reflektiert wird.

3. Maske nach Anspruch 2, wobei das Verhältnis der Gesamtfläche der Stege (11) zur Gesamtfläche der Aussparungen (12) zwischen 2/3 bis 3/2 liegt.

4. Maske nach Anspruch 1, 2 oder 3, wobei das Phasengitter (10) einen derartigen Abstand aufweist, dass die gebeugten Strahlen erster Ordnung außerhalb der Pupille des Projektionssystems (PL) der lithographischen Vorrichtung liegen.

5. Maske nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4, wobei das Gitter (10) zweidimensional ist.

6. Maske nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Schicht aus Tantal (Ta) und/oder Tantal-Nitrid (Ta<sub>N</sub>) gebildet ist.

7. Maske nach Anspruch 6, wobei die Textur eine rms-Rauigkeit aufweist, die größer oder gleich 1nm ist.

8. Verfahren zum Herstellen von Bauelementen, das folgende Schritte umfasst:

- Bereitstellen eines Substrats (W), das zumindest teilweise von einer Schicht aus strahlungsempfindlichem Material bedeckt ist;
- Bereitstellen eines Projektionsstrahls (PB) aus Strahlung unter Verwendung eines Strahlungssystems;
- Verwenden von Musteraufbringungseinrichtungen, um den Projektionsstrahl (PB) in seinem Querschnitt mit einem Muster zu versehen;
- Projizieren des gemusterten Strahls (PB) aus Strahlung auf einen Zielabschnitt der Schicht aus strahlungsempfindlichem Material unter Verwendung eines Projektionssystems (PL); wobei der Schritt des Verwendens von Musteraufbringungseinrichtungen das Positionieren einer Maske (MA) umfasst, die Bereiche mit relativ hohem Reflexionsgrad (R) und Bereiche mit relativ niedrigem Reflexionsgrad (A) aufweist, die das Muster definieren; wobei die Bereiche mit niedrigem Reflexionsgrad (A) eine Schicht aufweisen, die um eine Größenordnung klei-

ner als die kleinste Druckstruktur in dem Muster ist, die auf dem Substrat (W) durch das Projektionssystem (PL) aufgelöst werden kann, und dadurch gekennzeichnet, dass die Textur ein Phasengitter (10) umfasst.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei das Phasengitter (10) Stege (11) und Aussparungen (12) derart aufweist, dass eine Phasenverschiebung von im wesentlichen  $\pi$ -Radianten zwischen der Strahlung des Projektionsstrahls (PB) gegeben ist, die von den Stegen (11) und den Aussparungen (12) reflektiert wird.

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, wobei das Phasengitter (10) einen Abstand p aufweist, der folgende Ungleichheit erfüllt:

$$p < \frac{\lambda}{(1 + \sigma) \cdot NA \cdot |M|}$$

wobei  $\lambda$  die Wellenlänge der Strahlung des Projektionsstrahls (PB) ist und  $\sigma$ , NA und M jeweils das Pupillenfüllverhältnis, die numerische Apertur und die Vergrößerung des Projektionssystems (PL) sind.

11. Lithographische Projektionsvorrichtung, mit:

- einem Strahlungssystem zur Bereitstellung eines Projektionsstrahls (PB) aus Strahlung;
- einer Haltekonstruktion zum Halten von Musteraufbringungseinrichtungen, wobei die Musteraufbringungseinrichtungen dazu dienen, den Projektionsstrahl (PB) gemäß einem gewünschten Muster zu mustern; einem Substrattisch (WT) zum Halten eines Substrats (W);
- einem Projektionssystem (PL) zum Projizieren des gemusterten Strahls
- auf einen Zielabschnitt des Substrats (W);
- einem optischen Element, das in dem Strahlungssystem oder dem Projektionssystem (PL) enthalten ist, wobei wenigstens ein Teil davon mit einer absorbierenden Schicht (22) versehen ist; wobei die absorbierende Schicht (22) des optischen Elements mit einer Textur versehen ist, die um eine Größenordnung kleiner ist als die kleinste Strukturgröße, die von dem Projektionssystem (PL) aufgelöst werden kann, so dass eine gerichtete Reflexion von der absorbierenden Schicht (22) reduziert wird, und dadurch gekennzeichnet, dass die Textur ein Phasengitter (23) umfasst.

12. Verfahren zum Herstellen von Bauelementen, das folgende Schritte umfasst:

- Bereitstellen eines Substrats (W), das zumindest teilweise von einer Schicht aus strahlungsempfindlichem Material bedeckt ist;
- Bereitstellen eines Projektionsstrahls (PB) aus Strahlung unter Verwendung eines Strahlungssystems;
- Verwenden von Musteraufbringungseinrichtungen,

um den Projektionsstrahl (PB) in seinem Querschnitt mit einem Muster zu versehen;

– Projizieren des gemusterten Strahls aus Strahlung auf einen Zielabschnitt der Schicht aus strahlungsempfindlichem Material; und

– Absorbieren eines Teils des Projektionsstrahls (PB) in einer absorbierenden Schicht (**22**), die auf einem optischen Element bereitgestellt ist, wobei die absorbierende Schicht (**22**) des optischen Elements mit einer Textur versehen ist, die um eine Größenordnung kleiner ist, als die kleinste Strukturgröße, die von dem Projektionssystem (PL) aufgelöst werden kann, so dass eine gerichtete Reflexion von der absorbierenden Schicht (**22**) reduziert wird, und dadurch gekennzeichnet, dass die Textur ein Phasengitter (**23**) umfasst.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

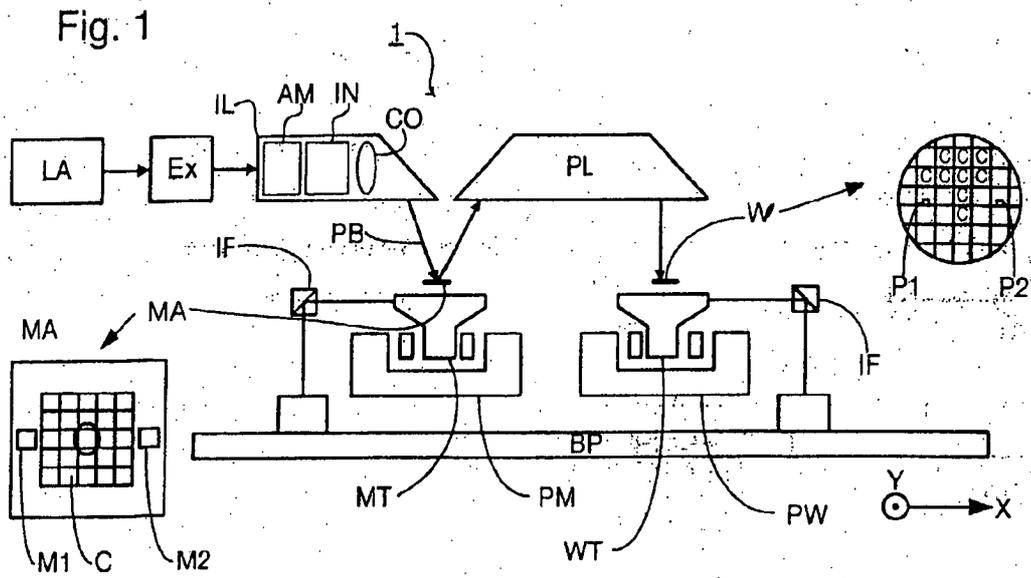


Fig. 2

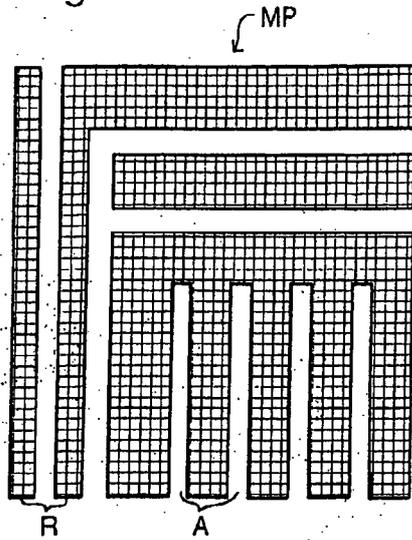


Fig. 3

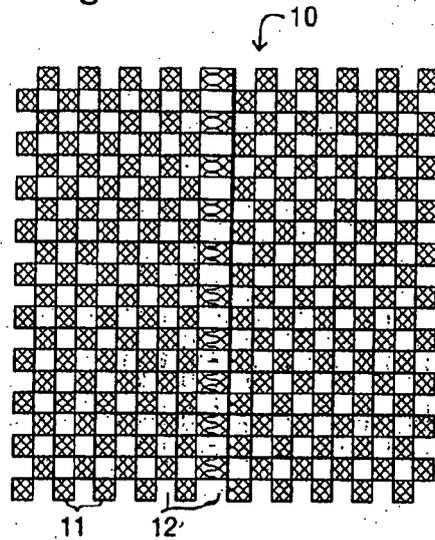


Fig. 4

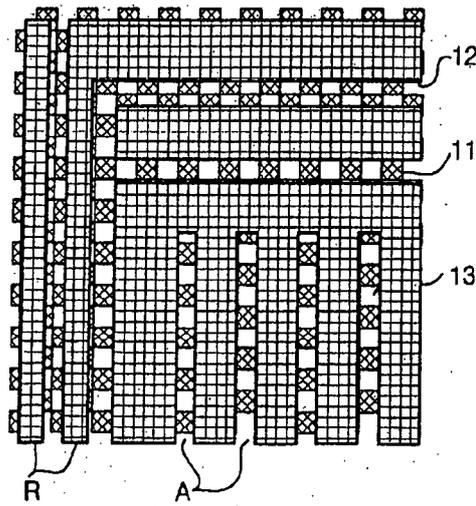


Fig. 5

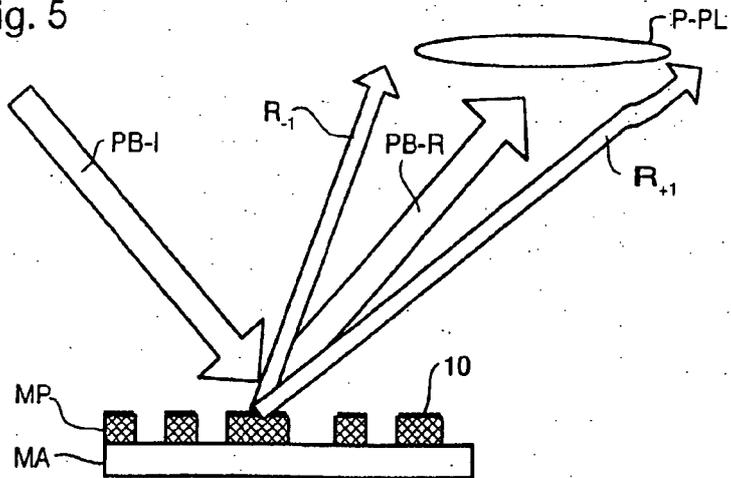


Fig. 6

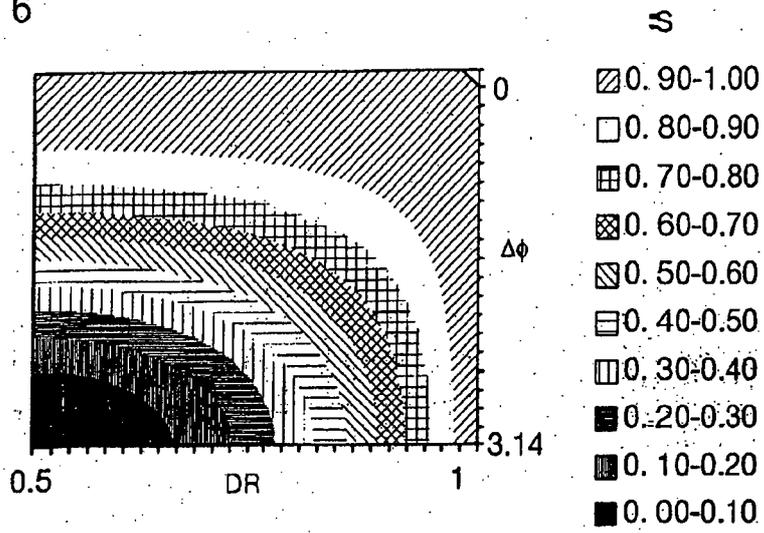


Fig. 7

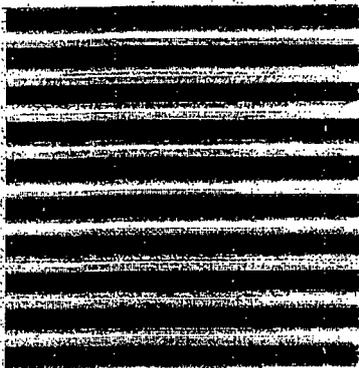


Fig. 8

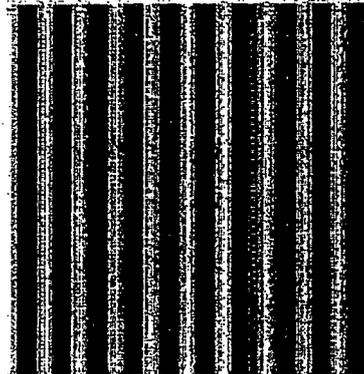


Fig. 9

