



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 004 070 B3** 2006.08.03

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 004 070.5**

(22) Anmeldetag: **28.01.2005**

(43) Offenlegungstag: –

(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **03.08.2006**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G03F 1/14** (2006.01)  
**G03F 1/00** (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. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Infineon Technologies AG, 81669 München, DE**

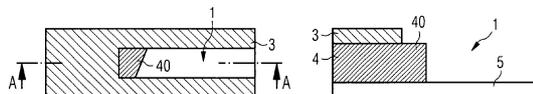
(74) Vertreter:  
**Wilhelm & Beck, 80636 München**

(72) Erfinder:  
**Nölscher, Christoph, 90419 Nürnberg, DE;**  
**Verbeek, Martin, 81929 München, DE; Crell,**  
**Christian, 01097 Dresden, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
**DE 103 10 136 A1**  
**US 60 16 357 A**  
**EP 09 61 168 A1**  
**JP 07-1 91 450 A**  
**JP 03-1 39 647 A**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Entfernen von Defektmaterial einer Lithographiemaske**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Entfernen von Defektmaterial (40) in einem transmittierenden Bereich (1; 2) einer Lithographiemaske, welche transmittierendes Trägermaterial (4; 5) und Absorbermaterial (3) aufweist. In einem ersten Verfahrensschritt wird Defektmaterial (40) und Absorbermaterial (3) in einem Bearbeitungsbereich entfernt. In einem zweiten Verfahrensschritt wird ein absorbierendes Material (7) in einem Außenbereich aufgebracht, wobei der Außenbereich von dem Teilbereich des Bearbeitungsbereichs abhängt, der zuvor mit Absorbermaterial (3) bedeckt war.



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Entfernen von Defektmaterial in einem transmittierenden Bereich einer Lithographiemaske, welche transmittierendes Trägermaterial und Absorbermaterial aufweist.

### Stand der Technik

**[0002]** Zur Herstellung hochintegrierter elektrischer Schaltkreise mit geringen Strukturdimensionen auf einer Halbleitersubstratscheibe werden in der Regel photolithographische Strukturierungsverfahren eingesetzt. Hierbei wird eine strahlungsempfindliche Photolackschicht auf eine zu strukturierende Oberfläche der Substratscheibe aufgebracht und mithilfe von elektromagnetischer Strahlung durch eine Lithographiemaske belichtet. Bei dem Belichtungsvorgang werden Maskenstrukturen, welche durch aneinander grenzende transmittierende und absorbierende Bereiche der Lithographiemaske vorgegeben sind, mithilfe eines Linsensystems auf die Photolackschicht abgebildet und mittels eines nachfolgenden Entwicklungsprozesses in die Photolackschicht übertragen. Die auf diese Weise strukturierte Photolackschicht kann direkt als Maske in einem Ätzprozess oder einer Implantationsdotierung zur Herstellung von elektronischen Schaltkreisstrukturen in der Oberfläche der Substratscheibe eingesetzt werden.

**[0003]** Hauptzielsetzung der Halbleiterindustrie ist die stetige Leistungssteigerung durch immer schnellere Schaltkreise, welche verknüpft ist mit einer Miniaturisierung der elektronischen Strukturen. Zur Herstellung kleinerer Strukturen besteht vor allem die Möglichkeit, zu kürzeren Wellenlängen der eingesetzten Belichtungsstrahlung überzugehen. Aus wirtschaftlichen Gründen wird jedoch gleichzeitig angestrebt, die jeweils verwendete Lithographietechnik möglichst lange zu nutzen, bevor zur Erzielung weiterer Strukturverkleinerungen zur nächstkürzeren Belichtungswellenlänge übergegangen wird. Um bei gleichbleibender Belichtungswellenlänge die Auflösungsgrenze zur Herstellung kleinerer Strukturen zu erhöhen werden in der Photo- bzw. Mikrolithographie deshalb zunehmend sogenannte „resolution enhancement techniques“ (RET) eingesetzt. Hierunter fällt insbesondere der Einsatz sogenannter Phasenschiebermasken („phase shifting mask“, PSM), welche auch als Phasenmasken bezeichnet werden.

**[0004]** Gegenüber Standardchrommasken bzw. binären Masken, bei welchen die abzubildenden Strukturen mittels einer auf einem transmittierenden Träger angeordneten strukturierten absorbierenden Chromschicht wiedergegeben werden, unterscheiden sich Phasenmasken dadurch, dass sie zwei Arten von transmittierenden Bereichen aufweisen, zwischen denen eine Phasendifferenz von  $180^\circ$  besteht.

Hierdurch resultiert ein scharfer hell-dunkel Übergang der durch eine Phasenmaske transmittierten Belichtungsstrahlung an den Kanten der Maskenstrukturen, was zu einem verbesserten Auflösungsvermögen führt.

**[0005]** Ein bedeutender Phasenmaskentyp sind die sogenannten alternierenden Phasenmasken („alternating phase shifting mask“, AltPSM), welche abwechselnd transmittierende Bereiche mit einer Phase von  $0^\circ$  und einer Phase bzw. Phasenverschiebung von  $180^\circ$  aufweisen, zwischen denen jeweils mit Absorbermaterial versehene absorbierende Bereiche angeordnet sind. Die transmittierenden Bereiche mit einer Phasenverschiebung von  $180^\circ$ , im Folgenden als Phasenverschiebungsbereiche bezeichnet, sind dabei in der Regel in das transmittierende Trägermaterial der Phasenmasken eingätzt, wodurch ein Laufzeitunterschied der eingesetzten Belichtungsstrahlung und damit die gewünschte Phasenverschiebung von  $180^\circ$  erzielt wird.

**[0006]** Ein Hauptproblem bei alternierenden Phasenmasken sind übrig gebliebene Reste von transmittierendem Trägermaterial in den Phasenverschiebungsbereichen, welche zur Erzielung der Phasenverschiebung von  $180^\circ$  eigentlich vollständig freigeätzt sein sollten. Ursache dieser im Folgenden als Defektmaterial bezeichneten Reste sind vor allem überschüssige Reste des Absorbermaterials oder auch Partikel, die vor der Ätzung des transmittierenden Trägermaterials über den jeweiligen herzustellenden Phasenverschiebungsbereichen liegen.

**[0007]** Häufig rufen derartige Defekte, welche in oder an den Phasenverschiebungsbereichen liegen, eine Phase der Belichtungsstrahlung von  $0^\circ$  hervor. Infolgedessen wird die Belichtungsstrahlung an den Kanten der Defekte aufgrund von destruktiver Interferenz ausgelöscht, wodurch die Defekte dunkel wirken und daher selbst bei kleinen lateralen Dimensionen schädlich sind. Insbesondere in eng begrenzten bzw. schmalen Phasenverschiebungsbereichen, welche beispielsweise als Linien bzw. Gräben oder Kontaktlöcher ausgebildet sind, sowie in sogenannten „ $180^\circ$ -Phasenassists“, sind die Defekte besonders kritisch. Ebenfalls kritisch sind transparente oder auch teil- oder intransparente Defekte mit gekrümmter Oberfläche in Gräben der Maske.

**[0008]** Zur Vermeidung solcher Defekte werden die absorbierenden Bereiche der Phasenmasken vor dem Ätzen des transmittierenden Trägermaterials in der Regel im Hinblick auf überschüssige Absorberreste inspiziert und diese gegebenenfalls mit einem fokussierten Ionenstrahl repariert. Nachteilig ist jedoch, dass Reste des Absorbermaterials übersehen werden können und darüber hinaus zwischen der Inspektion und der Ätzung des Trägermaterials Partikel auf herzustellende Phasenverschiebungsbereiche

einer Phasenmaske gelangen können, durch welche die Defekte gebildet werden.

**[0009]** Des weiteren ist es bekannt, hergestellte Phasenverschiebungsbereiche von alternierenden Phasenmasken mithilfe eines Rasterkraftmikroskops („atomic force microscope“, AFM) zu vermessen und störendes Defektmaterial mithilfe der Messspitze des Rasterkraftmikroskops abzuhebeln, d.h., schichtweise abzutragen. Das abgehobelte Defektmaterial wird anschließend in einem Reinigungsprozess entfernt. Diese auch als „nanomachining“ bezeichnete und beispielsweise in M. Verbeek et al., „High precision mask repair using nanomachining“, Seiten 1 bis 8, EMC 2002 sowie in Y. Morikawa et al., „Alternating-PSM repair by nanomachining“, Seiten 18 bis 20, Microlithography World, November 2003 beschriebene Vorgehensweise kann jedoch nur dann effektiv angewendet werden, wenn an beiden Seiten der Hobelrichtung genügend Verfahrensweg existiert. Das Verfahren lässt sich daher nicht dazu einsetzen, um Defekte in Phasenverschiebungsbereichen mit eingeschränkten lateralen Platzverhältnissen wie beispielsweise in Kontaktlöchern und an Grabenenden zu beseitigen.

**[0010]** Alternativ ist die Möglichkeit gegeben, Defektmaterial in Quarzgräben mithilfe eines fokussierten Ionenstrahls zu entfernen. Von Nachteil ist jedoch eine ungenügende Ortsauflösung dieses Verfahrens, welche sich insbesondere bei kleinen Löchern bemerkbar macht. Darüber hinaus wird der Transmissionsgrad eines auf diese Weise reparierten Phasenverschiebungsbereichs durch implantierte Ionen des eingesetzten Ionenstrahls reduziert. Ferner kann der Einsatz eines fokussierten Ionenstrahls eine störende Oberflächenrauigkeit des Bodens sowie der Kanten des bearbeiteten Phasenverschiebungsbereichs zur Folge haben.

**[0011]** Ein Verfahren zum Entfernen von Defektmaterial in einem transmittierenden Bereich in einer Lithographiemaske mit dem Merkmal des Oberbegriffs des Anspruchs 1 oder 2 ist aus der JP 3 – 139 647 A bekannt. Ein ähnliches Verfahren ist in der JP 7 – 191 450 A beschrieben. Die EP 0 961 168 A1 beschreibt die Verwendung eines fokussierten Ionenstrahls zur Abtragung von Defektmaterial. Aus der US 6 016 357 A ist ein Verfahren bekannt, bei dem absorbierendes Material zum Vergrößern des transmittierenden Bereichs der Lithographiemaske aufgebracht wird.

#### Aufgabenstellung

**[0012]** Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein verbessertes Verfahren zum Entfernen von Defektmaterial in einem transmittierenden Bereich einer Lithographiemaske sowie eine defektfreie Lithographiemaske bereit zu stellen.

**[0013]** Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2 gelöst. Weitere vorteilhafte Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

**[0014]** Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zum Entfernen von Defektmaterial in einem transmittierenden Bereich einer Lithographiemaske vorgeschlagen, welche transmittierendes Trägermaterial und Absorbermaterial aufweist. Hierbei werden in einem ersten Verfahrensschritt Defektmaterial und an sich intaktes Absorbermaterial in einem Bearbeitungsbereich abgetragen und in einem zweiten Verfahrensschritt ein absorbierendes Material in einem Außenbereich aufgebracht, wobei der Außenbereich von dem Teilbereich des Bearbeitungsbereichs abhängt, der zuvor mit Absorbermaterial bedeckt war. Damit wird der Defekt beseitigt und die gewünschte Absorptionsgeometrie wieder hergestellt.

**[0015]** Das erfindungsgemäße Verfahren basiert darauf, zunächst in einem Bearbeitungsbereich sowohl Defektmaterial als auch Absorbermaterial und gegebenenfalls unterhalb des Absorbermaterials angeordnetes transmittierendes Trägermaterial zu entfernen und anschließend absorbierendes Material in einem Außenbereich aufzubringen, um erneut einen vorgegebenen transmittierenden Bereich gewünschter Phasenverschiebung auf der Lithographiemaske auszubilden. Auf diese Weise bietet das erfindungsgemäße Verfahren die Möglichkeit, einen Defekt in einem transmittierenden Bereich selbst bei eingeschränkten Platzverhältnissen, wie sie beispielsweise in Löchern bzw. an Grabenenden vorliegen, zuverlässig zu entfernen. Das Verfahren kann insbesondere zum Beseitigen von Defekten in Phasenverschiebungsbereichen von alternierenden Phasenmasken eingesetzt werden, lässt sich aber auch zur Defektentfernung auf andere Lithographiemasken wie beispielsweise binäre Masken anwenden.

**[0016]** Dabei wird in dem ersten Verfahrensschritt zum Abtragen von Defektmaterial und Absorbermaterial sowie gegebenenfalls von transmittierendem Trägermaterial ein fokussierter Ionenstrahl eingesetzt. Diese Vorgehensweise ermöglicht eine einfache und schnelle Beseitigung eines Defekts in einem transmittierenden Bereich einer Lithographiemaske. Die betreffenden Materialien werden hierbei vorzugsweise bis zu einer bzw. bis unterhalb einer Ebene abgetragen, welche durch den Boden des transmittierenden Bereichs vorgegeben wird.

**[0017]** In einer erfindungsgemäßen Ausführungsform wird in dem ersten Verfahrensschritt zunächst mithilfe eines fokussierten Ionenstrahls ein Hilfsloch angrenzend an den oder in der Nähe des transmittierenden Bereichs ausgebildet und nachfolgend mithilfe eines Mikrohobels Defektmaterial oder Defektmaterial und Absorbermaterial sowie gegebenenfalls

transmittierendes Trägermaterial entfernt. Durch die Ausbildung eines Hilfslochs wird ein ausreichender Verfahrensweg für den eingesetzten Mikrohobel geschaffen, bei dem es sich beispielsweise um die Messspitze eines Rasterkraftmikroskops handelt. Infolgedessen ist diese Ausführungsform des Verfahrens insbesondere zum Entfernen von Defektmaterial in einem transmittierenden Bereich einer Lithographiemaske mit engen Platzverhältnissen, beispielsweise an einem Grabenende eines als Graben vorliegenden transmittierenden Bereichs, geeignet. Aufgrund des Einsatzes eines Mikrohobels weist ein auf diese Weise reparierter transmittierender Bereich einen Boden und Seitenflächen mit einer ebenen und glatten Oberfläche sowie gerade Kanten auf. Bei der Ausbildung des Hilfslochs werden die betreffenden Maskenmaterialien entsprechend der vorstehend beschriebenen Ausführungsform vorzugsweise bis zu bzw. bis unterhalb einer Ebene abgetragen, welche durch den Boden des transmittierenden Bereichs vorgegeben ist.

**[0018]** Gemäß einer alternativen erfindungsgemäßen Ausführungsform werden in dem ersten Verfahrensschritt zunächst mithilfe eines fokussierten Ionenstrahls zwei Hilfslöcher angrenzend an und/oder in der Nähe von gegenüber liegende(n) Seiten des transmittierenden Bereichs ausgebildet. Nachfolgend wird mithilfe eines Mikrohobels Defektmaterial oder Defektmaterial und Absorbermaterial sowie gegebenenfalls transmittierendes Trägermaterial entfernt. Auch diese Ausführungsform kann vorteilhaft zum Entfernen eines Defekts in einem transmittierenden Bereich mit eingeschränkten Platzverhältnissen eingesetzt werden, wie sie beispielsweise in einem engen Loch vorliegen, da mittels der zwei Hilfslöcher ein ausreichender Verfahrensweg für den Mikrohobel geschaffen wird.

**[0019]** Des Weiteren ist es bevorzugt, die Lithographiemaske nach Entfernen des Defektmaterials oder des Defektmaterials und des Absorbermaterials sowie gegebenenfalls des transmittierenden Trägermaterials mithilfe des Mikrohobels einem zusätzlichen Reinigungsprozess zu unterziehen. Auf diese Weise wird das bzw. werden die durch den Mikrohobel abgetragenen Materialien vollständig von der Lithographiemaske entfernt.

**[0020]** Sofern zur Materialentfernung ein fokussierter Ionenstrahl eingesetzt wird, kann es vorkommen, dass Ionen des Ionenstrahls in dem transmittierenden Bereich der Lithographiemaske implantiert werden, was eine Erniedrigung des Transmissionsgrads des reparierten transmittierenden Bereichs zur Folge hat. Um diesen Effekt zu kompensieren, wird in dem zweiten Verfahrensschritt das absorbierende Material derart in dem Außenbereich bzw. in dem/den Hilfslöchern aufgebracht, dass ein gegenüber dem ursprünglichen transmittierenden Bereich vergrößerter

transmittierender Bereich der Lithographiemaske ausgebildet wird. Um die Transmissionsreduktion kompensieren zu können, wird der wegzuätzende Bereich ggfs. von vornherein etwas größer gewählt als allein zur Entfernung des vorliegenden Defekts nötig wäre. Nach der oben beschriebenen Aufbringung des Absorbermaterials sind dann sowohl das Defektmaterial entfernt als auch die in der Abbildung optisch wirksame lokale Transmission nahe am Idealzustand.

**[0021]** Andererseits besteht die Möglichkeit, dass ein an einer Kante reparierter transmittierender Bereich einer Lithographiemaske gegenüber einem defektfreien idealen transmittierenden Bereich eine erhöhte Transmission von Belichtungsstrahlung zeigt. Ursache dieses Effekts ist eine reduzierte Streuung der Belichtungsstrahlung an der Kante aufgrund einer nach der Defektbeseitigung vorliegenden von einer idealen Kantenstruktur abweichenden Kantenstruktur. In einem solchen Fall ist es bevorzugt, in dem zweiten Verfahrensschritt das absorbierende Material derart in dem Außenbereich aufzubringen, dass ein gegenüber dem ursprünglichen transmittierenden Bereich verkleinerter transmittierender Bereich der Lithographiemaske ausgebildet wird, um diesen Effekt auszugleichen.

**[0022]** Im Hinblick auf die beiden letztgenannten gegensätzlichen Ausführungsformen des Verfahrens ist es gegebenenfalls vorzuziehen, vor Durchführen des zweiten Verfahrensschritts das optische Abbildungsverhalten der Lithographiemaske zu simulieren. Auf diese Weise kann das absorbierende Material entsprechend einem gewünschten optimalen Abbildungsverhalten aufgebracht werden. Um die Parameter der Simulation zu bestimmen, wird die Maskegeometrie vor und ggfs. während der Reparatur mit Verfahren nach dem Stand der Technik vermessen, also z.B. mit einem optischen Mikroskop (AIMS), Elektronenmikroskop, Ionenmikroskop oder Rasterkraftmikroskop.

**[0023]** Erfindungsgemäß wird ferner eine Lithographiemaske mit einem transmittierenden Bereich vorgeschlagen, bei welcher Defektmaterial mit dem erfindungsgemäßen Verfahren bzw. einer der bevorzugten Ausführungsformen entfernt ist. Da mithilfe des Verfahrens bzw. der bevorzugten Ausführungsformen Defekte zuverlässig und insbesondere auch in transmittierenden Bereichen mit engen Platzverhältnissen effizient entfernt werden können, zeichnet sich eine derartige defektfreie Lithographiemaske durch ein gutes optisches Abbildungsverhalten aus.

**[0024]** In der Regel weist eine solche Lithographiemaske einen transmittierenden Bereich auf, welcher bezüglich einer Oberfläche der Lithographiemaske von einem bzw. mehreren Absorbermaterialien eingefasst wird, wobei das bzw. die Absorbermaterialien

in unterschiedlichen horizontalen Ebenen auf der Lithographiemaske angeordnet sind.

**[0025]** Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigen:

**[0026]** [Fig. 1](#) bis [Fig. 4](#) einen Ausschnitt eines transmittierenden Phasenverschiebungsbereichs einer Phasenmaske mit einem Defekt sowie dessen Entfernung gemäß einer ersten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens jeweils in der Draufsicht und in einer seitlichen Schnittdarstellung;

**[0027]** [Fig. 5](#) bis [Fig. 8](#) einen weiteren transmittierenden Phasenverschiebungsbereich einer Phasenmaske mit einem Defekt sowie dessen Entfernung gemäß einer zweiten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens jeweils in der Draufsicht und in einer seitlichen Schnittdarstellung; und

**[0028]** [Fig. 9](#) bis [Fig. 11](#) die Entfernung des Defekts des Phasenverschiebungsbereichs von [Fig. 5](#) gemäß einer dritten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens jeweils in der Draufsicht und in einer seitlichen Schnittdarstellung.

#### Ausführungsbeispiel

**[0029]** [Fig. 1](#) zeigt einen Ausschnitt eines transmittierenden Phasenverschiebungsbereichs einer alternierenden Phasenmaske, im Folgenden als transmittierender Bereich **1** bezeichnet, in einer schematischen Draufsicht sowie in einer schematischen Schnittdarstellung. Die Schnittlinie für die Schnittdarstellung verläuft hierbei wie auch in den folgenden Figuren entlang der Schnittlinie AA der entsprechenden Draufsicht. Der transmittierende Bereich **1** liegt als Graben in einer Oberfläche der Phasenmaske vor und wird, wie anhand der Draufsicht von [Fig. 1](#) erkennbar ist, bezüglich der Oberfläche von einem Absorbermaterial **3** wie beispielsweise Chrom eingefasst. Der transmittierende Bereich **1** weist eine Breite von beispielsweise 400 nm auf.

**[0030]** Anhand der seitlichen Schnittdarstellung von [Fig. 1](#) ist der weitere Aufbau der Phasenmaske erkennbar. Die Phasenmaske weist eine Schicht eines transmittierenden Trägermaterials **5** sowie eine weitere zwischen dem Absorber **3** und dem Trägermaterial **5** angeordnete Schicht eines transmittierenden Trägermaterials **4** auf. Üblicherweise handelt es sich bei den Trägermaterialien **4**, **5** um das gleiche transmittierende Material wie beispielsweise Quarz.

**[0031]** Im Rahmen der Herstellung der Phasenmaske wird das nicht von dem Absorbermaterial **3** bedeckte Trägermaterial **4** bis zur Oberfläche des Trägermaterials **5** weggeätzt, um die oben beschriebene Phasenverschiebung von 180° einer bei einer lithographischen Belichtung eingesetzten elektromagne-

tischen Strahlung hervorzurufen. Der Absorber **3** weist beispielsweise eine Dicke von 80 nm auf. Die Schicht des transmittierenden Trägermaterials **4** weist beispielsweise eine Dicke von 170 nm auf, um bei einer Belichtungswellenlänge von 193 nm eine Phasenverschiebung von 180° hervorzurufen.

**[0032]** [Fig. 1](#) zeigt weiter einen Defekt **40** an einem Grabenende des transmittierenden Bereichs **1**, welcher aus einem Rest von nicht weggeätztem Trägermaterial **4** hervorgeht. Ursache eines derartigen Defekts **40** ist beispielsweise ein vor der Ätzung auf dem Trägermaterial **4** angeordneter überschüssiger Rest des Absorbermaterials **3** bzw. ein Partikel. Dieser Defekt **40** führt beispielsweise zu einer Phase einer Belichtungsstrahlung von lediglich 0°, wodurch die Belichtungsstrahlung an der Kante des Defekts **40** aufgrund von destruktiver Interferenz ausgelöscht wird. Infolgedessen ruft der Defekt **40** eine störende Verdunkelung der Kante bzw. des Grabenendes während einer lithographischen Belichtung hervor. Entsprechende Verdunkelungseffekte können auch bei von 0° verschiedenen Phasenverschiebungen aufgrund eines Defekts oder bei Streuung an dem Defekt auftreten.

**[0033]** Um den Defekt bzw. Defektmaterial **40** zu entfernen, wird gemäß einer ersten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens wie in [Fig. 2](#) dargestellt zunächst in einem Außenbereich in der Nähe des Defekts **40** angrenzend an den transmittierenden Bereich **1** ein Hilfsloch **6** mithilfe eines fokussierten Ionenstrahls geätzt. Hierbei wird Absorbermaterial **3** und Trägermaterial **4** sowie, wie anhand von [Fig. 2](#) ersichtlich wird, gegebenenfalls auch ein kleiner Teil des Trägermaterials **5** abgetragen.

**[0034]** Nachfolgend wird wie in [Fig. 3](#) dargestellt mithilfe eines nicht dargestellten Mikrohobels das Defektmaterial **40** entfernt. Hierbei wird das Defektmaterial **40** vorzugsweise in Richtung des bzw. in das Hilfsloch **6** geschoben. Als Mikrohobel fungiert beispielsweise die Messspitze eines Rasterkraftmikroskops. Dieses Rasterkraftmikroskops kann gleichzeitig vorab zum Ausmessen des transmittierenden Bereichs **1** sowie des Defekts **40** herangezogen werden.

**[0035]** Anschließend wird wie in [Fig. 4](#) dargestellt auf den freigelegten Außenbereich bzw. das Hilfsloch **6** eine Schicht eines absorbierenden Materials **7** mit einer Dicke von beispielsweise 40 nm aufgebracht. Als absorbierendes Material **7** wird vorzugsweise Kohlenstoff oder ein Metall wie Chrom eingesetzt, welches beispielsweise mithilfe eines Standardprozesses in dem Außenbereich abgeschieden wird. Auf diese Weise wird ein neuer transmittierender Bereich **10** der Phasenmaske ausgebildet.

**[0036]** Wie anhand der punktierten Linie der [Fig. 1](#)

bis [Fig. 4](#) erkennbar ist, ragt das absorbierende Material **7** in den ursprünglichen transmittierenden Bereich **1** hinein, wodurch der transmittierende Bereich **10** lateral etwas kleiner ausgebildet ist als der ursprüngliche transmittierende Bereich **1**. Hierdurch wird eine erhöhte Transmission von Belichtungsstrahlung bei einer Belichtung ausgeglichen. Ursache dieser erhöhten Transmission ist eine an dem reparierten defektfreien Grabenende des transmittierenden Bereichs **10** reduzierte Streuung der Belichtungsstrahlung aufgrund einer durch die Defektbeseitigung geänderten Kantenstruktur, welche von einer idealen Kantenstruktur abweicht.

**[0037]** Gegebenenfalls ist es vorzuziehen, die Phasenmaske vor dem Aufbringen des absorbierenden Materials **7** einem zusätzlichen Reinigungsprozess zu unterziehen. Auf diese Weise wird das von dem Mikrohobel abgetragene Defektmaterial **40** vollständig von der Phasenmaske entfernt, so dass das absorbierende Material **7** lediglich auf das Trägermaterial **5** und nicht auf in dem Hilfsloch **6** bzw. am Rand des Hilfslochs **6** befindliches Defektmaterial aufgebracht wird. Gegebenenfalls kann das verschobene Defektmaterial auch mit Absorber bedeckt werden, wenn die reparierte Struktur dann noch stabil gegen eine spätere Reinigung ist, oder auf eine solche Reinigung verzichtet werden kann.

**[0038]** Anstelle das Hilfsloch **6** wie in [Fig. 2](#) dargestellt angrenzend an den transmittierenden Bereich auszubilden, ist es auch möglich, das Hilfsloch mit einem geringen Abstand in der Nähe des transmittierenden Bereichs auszubilden. Infolgedessen, werden mithilfe des Mikrohobels neben dem Defektmaterial **40** auch zusätzlich zwischen dem Defekt **40** und dem Hilfsloch vorliegendes Absorbermaterial **3** und unterhalb des Absorbermaterials **3** befindliches Trägermaterial **4** abgetragen.

**[0039]** Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, anstelle lediglich eines Hilfslochs **6** zwei Hilfslöcher angrenzend an und/oder in der Nähe von gegenüberliegenden Seiten des transmittierenden Bereichs **1** auszubilden. Diese Hilfslöcher werden beispielsweise an den beiden Längsseiten des transmittierenden Bereichs **1** in der Nähe des Defekts **40** ausgebildet. Die Ausbildung von zwei Hilfslöchern ist insbesondere zur Defektbeseitigung bei einem als Loch mit relativ kleinen lateralen Abmessungen vorliegenden transmittierenden Bereich einer Phasenmaske vorzuziehen. Dies wird anhand der folgenden [Fig. 5](#) bis [Fig. 8](#) näher erläutert.

**[0040]** [Fig. 5](#) zeigt einen weiteren transmittierenden Phasenverschiebungsbereich einer Phasenmaske, im Folgenden als transmittierender Bereich **2** bezeichnet, mit einem Defekt **40**, welcher wiederum aus einem Rest von nicht weggeätzttem Trägermaterial **4** an einem Ende des transmittierenden Bereichs **2** her-

vorgeht. Der als Loch ausgebildete transmittierende Bereich **2** ist entsprechend bezüglich einer Oberfläche der Phasenmaske von einem Absorbermaterial **3** wie beispielsweise Chrom eingefasst und weist beispielsweise eine Breite von 400 nm und eine Länge von 800 nm auf.

**[0041]** Unterhalb des Absorbers **3** sind wiederum zwei Schichten aus transmittierendem Trägermaterial **4**, **5** angeordnet, welche üblicherweise beide aus Quarz bestehen. Der Absorber **3** weist erneut beispielsweise eine Dicke von 80 nm auf. Die Dicke der Schicht des transmittierenden Trägermaterials **4** beträgt wiederum beispielsweise 170 nm, um bei einer Belichtungswellenlänge von 193 nm eine Phasenverschiebung der Belichtungsstrahlung von 180° hervorzurufen.

**[0042]** Zum Entfernen des Defekts **40** werden wie in [Fig. 6](#) dargestellt zwei Hilfslöcher **6** mithilfe eines fokussierten Ionenstrahls in einem Außenbereich an gegenüberliegenden Seiten des transmittierenden Bereichs **2** ausgebildet. Bei der Herstellung der Hilfslöcher **6** wird Absorbermaterial **3** und Trägermaterial **4** sowie gegebenenfalls auch ein kleiner Teil des Trägermaterials **5** abgetragen.

**[0043]** Anhand von [Fig. 6](#) ist weiter ersichtlich, dass das linke Hilfsloch **6** beispielsweise angrenzend an den transmittierenden Bereich **2** und das rechte Hilfsloch **6** beispielsweise in einem geringen Abstand in der Nähe des transmittierenden Bereichs **2** ausgebildet ist. Selbstverständlich besteht die Möglichkeit, beide Hilfslöcher **6** zusammen angrenzend an oder in der Nähe des transmittierenden Bereichs **2** auszubilden.

**[0044]** Nachfolgend wird wie in [Fig. 7](#) dargestellt mithilfe eines nicht dargestellten Mikrohobels, bei dem es sich wiederum um die Messspitze eines Rastertkraftmikroskops handeln kann, das Defektmaterial **40** sowie am Rand des rechten Hilfslochs **6** befindliches Absorbermaterial **3** und darunter angeordnetes Trägermaterial **4** abgetragen. Die betreffenden Materialien werden dabei vorzugsweise in Richtung der bzw. in die Hilfslöcher **6** geschoben.

**[0045]** Nach einem optionalen Reinigungsprozess der Phasenmaske, in welchem die mithilfe des Mikrohobels abgetragenen Materialien vollständig beseitigt werden, werden der Außenbereich bzw. die Hilfslöcher **6** wie in [Fig. 8](#) dargestellt mit einer Schicht eines absorbierenden Materials **7** wie beispielsweise Kohlenstoff oder Metall bedeckt, so dass ein transmittierender Bereich **20** bereitgestellt wird. Die Schicht des absorbierenden Materials **7** weist wiederum eine Dicke von beispielsweise 40 nm auf.

**[0046]** Anhand der in den [Fig. 5](#) bis [Fig. 8](#) dargestellten punktierten Linien ist ersichtlich, dass der

transmittierende Bereich **20** wiederum kleiner ausgebildet ist als der ursprüngliche transmittierende Bereich **2**. Auf diese Weise wird erneut eine durch eine reduzierte Streuung von Belichtungsstrahlung an der Kante des transmittierenden Bereichs **20** hervorgerufene erhöhte Transmission kompensiert.

[0047] Wie anhand der [Fig. 4](#) und [Fig. 8](#) erkennbar ist, weisen die reparierten Phasenmasken jeweils einen transmittierenden Bereich **10** bzw. **20** auf, welcher bezüglich einer Oberfläche der Phasenmasken von einem Absorbermaterial bzw. für den Fall, dass sich das aufgebrachte absorbierende Material **7** von dem Absorbermaterial **3** unterscheidet, von mehreren Absorbermaterialien eingefasst wird. Hierbei ist das bzw. sind die Absorbermaterialien in unterschiedlichen horizontalen Ebenen auf den Phasenmasken angeordnet.

[0048] Die [Fig. 9](#) bis [Fig. 11](#) zeigen die Entfernung des Defekts **40** in dem als Loch ausgebildeten transmittierenden Bereich **2** der Phasenmaske gemäß einer dritten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens, in welchem auf den Einsatz eines Mikrohobels verzichtet wird. Hierbei wird lediglich ein fokussierter Ionenstrahl eingesetzt, um Defektmaterial **40**, Absorbermaterial **3** sowie darunter liegendes Trägermaterial **4** und gegebenenfalls einen geringen Teil des Trägermaterials **5** wie in [Fig. 10](#) dargestellt abzutragen. Auf diese Weise wird ein Hilfsloch **6** ausgebildet, welches einen relativ großen Teilbereich des transmittierenden Bereichs **2** einnimmt. Nach einem optionalen Reinigungsprozess der Phasenmaske wird wiederum, wie in [Fig. 11](#) gezeigt, absorbierendes Material **7** in einem Außenbereich aufgebracht, um einen transmittierenden Bereich **21** der Phasenmaske auszubilden.

[0049] Diese dritte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens lässt sich ebenfalls zur Defektbeseitigung an transmittierenden Bereichen mit einer anderen Geometrie einsetzen. Auf diese Weise könnte beispielsweise auch der Defekt **40** in dem in [Fig. 1](#) dargestellten als Graben vorliegenden transmittierenden Bereich **1** entfernt werden.

[0050] Anhand der punktierten Linien der [Fig. 9](#) bis [Fig. 11](#) ist erkennbar, dass der transmittierende Bereich **21** gegenüber dem ursprünglichen transmittierenden Bereich **2** lateral etwas größer ausgebildet ist. Auf diese Weise wird eine reduzierte Transmission von Belichtungsstrahlung in dem transmittierenden Bereich **21** ausgeglichen. Ursache der reduzierten Transmission sind in dem transmittierenden Bereich **21** implantierte Ionen des Ionenstrahls, welcher wie oben beschrieben in einem relativ großen Teilbereich des ursprünglichen transmittierenden Bereichs **2** zur Materialentfernung eingesetzt wird.

[0051] Grundsätzlich ist es vorzuziehen, vor einem

Aufbringen des absorbierenden Materials **7** das optische Abbildungsverhalten der Phasenmaske mithilfe von Simulationen vorauszuberechnen. Auf der Grundlage dieser Simulationen kann das absorbierende Material **7** anschließend entsprechend einem gewünschten optimalen Abbildungsverhalten der Phasenmaske aufgebracht werden, so dass ein gegenüber dem ursprünglichen transmittierenden Bereich vergrößerter oder auch verkleinerter transmittierender Bereich ausgebildet wird. Möglich ist es auch, einen mit den Abmessungen des ursprünglichen transmittierenden Bereichs übereinstimmenden transmittierenden Bereich auszubilden.

[0052] Gegebenenfalls ist es zusätzlich vorzuziehen, an einer mithilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. der beschriebenen Ausführungsformen reparierten Phasenmaske vor einem Lithographie-einsatz eine als „aerial image“ bezeichnete Intensitätsverteilung einer Belichtungsstrahlung nach Durchstrahlen der Phasenmaske und eines Linsensystems zu messen und dadurch das Abbildungsverhalten der Phasenmaske zu überprüfen. Hierzu kann ein gängiges „aerial image measuring system“ (AIMS) eingesetzt werden.

[0053] Neben den anhand der Figuren beschriebenen Ausführungsformen des Verfahrens sind weitere Ausführungsformen vorstellbar. Beispielsweise ist es denkbar, in einem ersten Verfahrensschritt lediglich Defekt- und Absorbermaterial und kein unterhalb des Absorbers befindliches transmittierendes Trägermaterial in einem Bearbeitungsbereich zu entfernen.

[0054] Darüber hinaus sind das erfindungsgemäße Verfahren bzw. die beschriebenen Ausführungsformen nicht nur zum Entfernen von Defektmaterial in transmittierenden Phasenverschiebungsbereichen von alternierenden Phasenmasken einsetzbar. Das Verfahren bzw. die beschriebenen Ausführungsformen lassen sich auch zur Defekt- bzw. Materialentfernung in transmittierenden Bereichen mit einer Phase von  $0^\circ$  sowie grundsätzlich auch zur Materialentfernung oder auch zum Entfernen von Partikeln in transmittierenden Bereichen anderer Lithographiemasken wie beispielsweise binärer Lithographiemasken oder reflektierender EUV-Masken heranziehen.

#### Bezugszeichenliste

<b>1, 10</b>	Transmittierender Bereich
<b>2, 20, 21</b>	Transmittierender Bereich
<b>3</b>	Absorber material)
<b>4, 5</b>	Trägermaterial
<b>40</b>	Defektmaterial)
<b>6</b>	Hilfsloch
<b>7</b>	Absorbierendes Material
<b>AA</b>	Schnittlinie

**Patentansprüche**

1. Verfahren zum Entfernen von Defektmaterial (40) in einem transmittierenden Bereich (1; 2) einer Lithographiemaske, welche transmittierendes Trägermaterial (4; 5) und Absorbermaterial (3) aufweist, umfassend die Verfahrensschritte:

a) Abtragen von Defektmaterial (40) und Absorbermaterial (3) in einem Bearbeitungsbereich; und  
 b) Aufbringen eines absorbierenden Materials (7) in einem Außenbereich, wobei der Außenbereich von dem Teilbereich des Bearbeitungsbereichs abhängt, der zuvor mit Absorbermaterial (3) bedeckt war, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Verfahrensschritt a) zunächst ein Hilfsloch (6) angrenzend an den oder in der Nähe des transmittierenden Bereichs (1) ausgebildet und nachfolgend mithilfe eines Mikrohobels Defektmaterial (40) oder Defektmaterial (40) und Absorbermaterial (3) entfernt wird.

2. Verfahren zum Entfernen von Defektmaterial (40) in einem transmittierenden Bereich (1; 2) einer Lithographiemaske, welche transmittierendes Trägermaterial (4; 5) und Absorbermaterial (3) aufweist, umfassend die Verfahrensschritte:

a) Abtragen von Defektmaterial (40) und Absorbermaterial (3) in einem Bearbeitungsbereich; und  
 b) Aufbringen eines absorbierenden Materials (7) in einem Außenbereich, wobei der Außenbereich von dem Teilbereich des Bearbeitungsbereichs abhängt, der zuvor mit Absorbermaterial (3) bedeckt war, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Verfahrensschritt a) zunächst zwei Hilfslöcher (6) angrenzend an und/oder in der Nähe von gegenüberliegende(n) Seiten des transmittierenden Bereichs (2) ausgebildet werden und nachfolgend mithilfe eines Mikrohobels Defektmaterial (40) oder Defektmaterial (40) und Absorbermaterial (3) entfernt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei im Verfahrensschritt a) zur Hilfslochbildung ein fokussierter Ionenstrahl eingesetzt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lithographiemaske nach Entfernen des Defektmaterials (40) oder des Defektmaterials (40) und des Absorbermaterials (3) mithilfe des Mikrohobels einem zusätzlichen Reinigungsprozess unterzogen wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Verfahrensschritt b) das absorbierende Material (7) derart in dem Außenbereich aufgebracht wird, dass ein gegenüber dem ursprünglichen transmittierenden Bereich (2) vergrößerter transmittierender Bereich (21) der Lithographiemaske ausgebildet wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

**dadurch gekennzeichnet**, dass in Verfahrensschritt b) das absorbierende Material (7) derart in dem Außenbereich aufgebracht wird, dass ein gegenüber dem ursprünglichen transmittierenden Bereich (1; 2) verkleinerter transmittierender Bereich (10; 20) der Lithographiemaske ausgebildet wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass in Verfahrensschritt b) als absorbierendes Material (7) Kohlenstoff oder Metall eingesetzt wird.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

