



(10) **DE 10 2006 043 874 B4** 2020.07.09

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2006 043 874.4**  
(22) Anmeldetag: **15.09.2006**  
(43) Offenlegungstag: **27.03.2008**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **09.07.2020**

(51) Int Cl.: **G03F 1/72 (2012.01)**  
**G03F 1/74 (2012.01)**

Innerhalb von neun 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).

(73) Patentinhaber:  
**Carl Zeiss SMT GmbH, 73447 Oberkochen, DE**

(74) Vertreter:  
**Patentanwälte GEYER, FEHNERS & PARTNER  
mbB, 80687 München, DE**

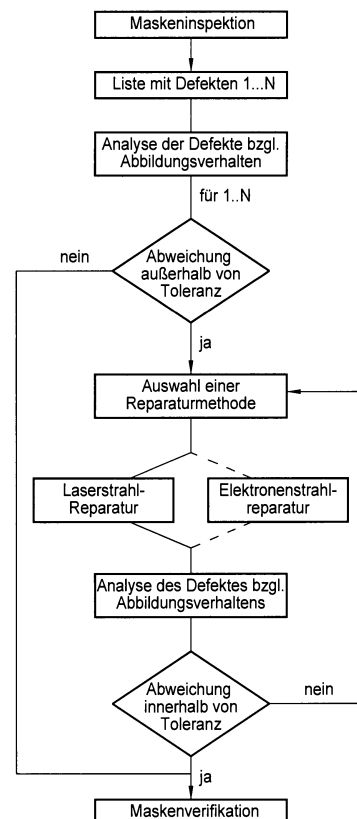
(72) Erfinder:  
**Harnisch, Wolfgang, 07778 Lehesten, DE; Zibold,  
Axel, 07749 Jena, DE; Kienzle, Oliver, 07745 Jena,  
DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:  
**siehe Folgeseiten**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Reparatur von Photolithographiemasken**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Reparatur von Photolithographiemasken, bei dem

- eine Photolithographiemaske auf das Vorhandensein von Defekten untersucht und eine Liste der Defekte erstellt wird, in der jedem Defekt mindestens ein Defekttyp, die Ausdehnung und die Lage des Defekts auf der Photolithographiemaske zugeordnet wird,
- und diese Defekte repariert werden, wobei als eine erste Reparaturmethode eine Reparatur mittels Elektronenstrahlen und als eine zweite Reparaturmethode eine Reparatur mittels Laserstrahlen vorgesehen ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Reparatur für jeden der zu reparierenden Defekte nach den folgenden Schritten erfolgt:
  - in Abhängigkeit von einem Maskentyp, nämlich einer mit einer Photolithographiemaske des Maskentyps erreichbaren strukturellen Auflösung, des Defekttyps und der Ausdehnung des Defekts wird eine der beiden Reparaturmethoden ausgewählt und eine Reparatur der Photolithographiemaske nach der ausgewählten Reparaturmethode durchgeführt,
  - der reparierte Defekt wird dahingehend analysiert, ob er bei der Abbildung Abweichungen von der einen oder den mehreren vorgegebenen Spezifikation/en erzeugt, die außerhalb vorgegebener Toleranzen liegen,
  - und die vorangegangenen beiden Schritte nochmals durchgeführt werden, falls die Abweichungen außerhalb der vorgegebenen Toleranzen liegen, und andernfalls die Reparatur des Defekts abgeschlossen und die Photolithographiemaske verifiziert wird.



(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	6 272 236	B1
US	6 709 554	B2
US	7 002 165	B2
US	2003 / 0 161 525	A1
US	2004 / 0 151 991	A1
US	2004 / 0 151 993	A1
US	2004 / 0 179 726	A1
US	2005 / 0 196 688	A1
US	2006 / 0 051 681	A1
US	4 778 693	A
US	4 727 234	A
US	5 795 685	A
US	4 906 326	A
WO	2004/ 006 013	A1

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Reparatur von Photolithographiemasken, bei dem eine Photolithographiemaske auf das Vorhandensein von Defekten untersucht und eine Liste der Defekte erstellt wird. In der Liste werden jedem Defekt mindestens die folgenden Eigenschaften zugeordnet: ein Defekttyp, die Ausdehnung und die Lage des Defekts auf der Photolithographiemaske. Diese Defekte werden dann repariert.

**[0002]** Eine erste Analyse der Defekte kann dabei anhand der Ausdehnung der Defekte erfolgen, da bei großflächigen Defekten ohne weiteres entschieden werden kann, daß diese Defekte repariert werden müssen. Eine zusätzliche und detailliertere, jedoch auch aufwendigere Analyse kann ggf. beispielsweise mit einem Scanner-Emulationssystem wie dem AIMS (Aerial Image Measurement System) von Zeiss erfolgen. Auf diese Weise lassen sich aber u.U. Defekte finden, die nicht repariert werden müssen. Bei der Analyse werden die in der Liste enthaltenen Defekte dahingehend analysiert, ob sie bei der photolithographischen Abbildung der Photolithographiemaske Abweichungen von einer oder mehreren vorgegebenen Spezifikationen erzeugen, die außerhalb vorgegebener Toleranzen liegen. Solche Defekte, bei denen die Abweichung außerhalb vorgegebener Toleranzen liegt, werden dann repariert.

**[0003]** Dabei kann die Maske hinsichtlich einer oder mehrerer Spezifikationen - auch in Abhängigkeit von einem Maskentyp - überprüft werden. Bei direkt abbildenden Masken kann beispielsweise die abgebildete Struktur hinsichtlich ihrer Ausdehnung überprüft werden, bei Phasenverschiebungsmasken wird man andere Spezifikationen verwenden. Auch muß nicht nur eine Spezifikation überprüft werden, es können auch komplexere Spezifikationen überprüft werden wie Prozeßfenster oder die kritische Dimension.

**[0004]** Die Erfindung betrifft auch eine Vorrichtung zur Reparatur von Photolithographiemasken. Eine solche Vorrichtung umfaßt ein Inspektionsmodul, in dem eine Photolithographiemaske auf das Vorhandensein von Defekten untersucht und eine Liste der Defekte erstellt wird, in der jedem Defekt mindestens ein Defekttyp, die Ausdehnung und die Lage des Defektes auf der Photolithographiemaske zugeordnet wird, sowie eine Emulationsmodul, in dem die Defekte dahingehend analysiert werden, ob sie bei der photolithographischen Abbildung der Photolithographiemaske Abweichungen von einer oder mehreren vorgegebenen Spezifikationen erzeugen, die außerhalb vorgegebener Toleranzen liegen. Zunächst wird also im Inspektionsmodul die gesamte Maske untersucht und eine Liste der Defekte erstellt. In dieser Liste werden jedem Defekt mindestens die folgenden Eigenschaften zugeordnet: ein Defekttyp, die

Ausdehnung des Defektes, sowie die Lage des Defektes auf der Photolithographiemaske. Im Inspektionsmodul wird auch eine erste Analyse vorgenommen, ob sich Defekte bei der Abbildung negativ bemerkbar machen oder nicht. Überschreiten die Defekte eine gewisse Ausdehnung, so müssen diese Defekte nicht weiter untersucht werden, sondern es kann sofort entschieden werden, daß diese Defekte repariert werden müssen. Bei Defekten mit kleineren Ausdehnungen kann optional eine detailliertere Analyse mit dem Emulationsmodul - beispielsweise dem AIMS von Zeiss - durchgeführt werden. Selbstverständlich können auch alle im Inspektionsmodul gefundenen Defekte einer ersten Reparatur zugeführt werden.

**[0005]** Im Stand der Technik sind verschiedene Reparaturmethoden bekannt, die zur Reparatur von Photolithographiemasken eingesetzt werden können. Reparaturen können beispielsweise mit Ionenstrahlen oder mit sogenanntem Nano-Machining durchgeführt werden. Für großflächige Defekte gut geeignet ist eine Reparatur basierend auf der Bestrahlung des Materials mit Laserstrahlen. Diese Methode ist besonders gut für „opake“ Defekte geeignet, d.h. für Defekte bei denen überschüssiges Material vorhanden ist und abgetragen werden muß. Ergänzt man den Laserstrahl durch eine Depositionseinrichtung zur Deposition von Material, so können auch „durchsichtige“ Defekte ausgebessert werden, d.h. Defekte, bei denen Material fehlt. Für Defekte mit besonders kleinen Strukturen und für Masken, mit denen eine hohe strukturelle Auflösung erzielt werden soll, eignen sich wiederum andere Methoden besser, wie beispielsweise eine auf Elektronenstrahlen basierende Reparaturmethode. Dabei kann im Falle „opaker“ Defekte sowohl Material abgetragen werden als auch im Falle „durchsichtiger“ Defekte Material hinzugefügt werden. Dies geschieht mittels einer zusätzlichen Depositionseinrichtung, wobei der Elektronenstrahl im Depositionsmaterial eine chemische Reaktion induziert, so daß sich die hinzugefügten Moleküle mit der Materialstruktur verbinden. Bei großflächigen Defekten ist diese Methode jedoch sehr langsam, so daß sie nur für kleine Defekte effizient einsetzbar ist. Mittels der Reparatur durch Laserstrahlen lassen sich auf der anderen Seite großflächige Defekte behandeln, das Verfahren ist jedoch aufgrund seiner geringen Auflösung sehr ungenau.

**[0006]** In den Reparaturvorrichtungen, die im Stand der Technik bekannt sind, ist üblicherweise nur eine der Methoden implementiert. Da jedoch auf einem Maskentyp große und kleine Defekte auftreten können, wird die Reparatur der Defekte aufwendig und dauert unter Umständen sehr lange. Auch ist eine solche Vorrichtung unflexibel, was die Reparatur verschiedener Maskentypen - jeder Typ steht für eine mit dieser Maske erreichbare strukturelle Auflösung auf

einem Wafer, wie beispielsweise 32 nm, 45 nm, 65 nm, oder 90 nm - betrifft.

**[0007]** In der WO 2004/00613 A1 wird eine Anordnung zur Herstellung von Photomasken beschrieben, die über ein Defektkontrollsystem und ein oder mehrere miteinander kombinierbare Reparatursysteme verfügt, unter anderem ein elektronenstrahlbasiertes Abscheidesystem und ein Laserabtragsystem. Die Auswahl des jeweiligen Reparatursystems erfolgt in Abhängigkeit vom Defekttyp, der anhand eines Abgleichs mit einer Datenbank bestimmt werden kann.

**[0008]** In der US 2004/0151991 A1 wird eine Maskenreparaturvorrichtung beschrieben, wobei ein Schwerpunkt dabei auf der Analyse des Defekts im Hinblick auf seine Abbildungseigenschaften liegt.

**[0009]** Die US 2006/0051681 A1 beschreibt ein Verfahren zur Reparatur insbesondere von Phasenverschiebungsmasken, bei dem die Maske zunächst inspiziert und eine Datei angelegt wird, aus der sich die Ausdehnung der Defekte und ihre Positionen auf der Maske bestimmen lassen, um eine Reparaturdatei anzulegen. Diese wird zum erneuten lokalen Beschreiben der Maske verwendet, nachdem diese abermals mit einer photosensitiven Schicht überzogen wurde.

**[0010]** In der US 2003/01 61 525 A1 wird ein automatisiertes System zur Analyse von Defekten in Masken beschrieben, wobei die Maskeninspektion die Größe des Defekts, die Lage des Defekts auf der Maske und den Defekttyp - opak oder durchsichtig - analysiert.

**[0011]** Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren und eine Vorrichtung zu entwickeln, mit der Photolithographiemasken verschiedener Maskentypen mit hoher Effizienz bezüglich Durchsatz und Kosten repariert werden können.

**[0012]** Die Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs beschriebenen Art dadurch gelöst, daß die Reparatur für jeden der zu reparierenden Defekte nach den folgenden Schritten erfolgt: (i) In Abhängigkeit von einem Maskentyp, nämlich einer mit einer Photolithographiemaske des Maskentyps erreichbaren strukturellen Auflösung, des Defekttyps sowie der Ausdehnung des Defekts wird eine von zwei vorgegebenen Reparaturmethoden ausgewählt, wobei als eine erste Reparaturmethode eine Reparatur mittels Elektronenstrahlen und als eine zweite Reparaturmethode eine Reparatur mittels Laserstrahlen vorgesehen ist, und eine Reparatur der Photolithographiemaske nach der ausgewählten Reparaturmethode durchgeführt. (ii) Der reparierte Defekt wird dann erneut dahingehend analysiert, ob er bei der Abbildung Abweichungen von einen oder mehreren vorgegebenen Spezifikationen erzeugt, die außerhalb vorgegebener Toleranzen liegen. (iii) Die vorangegangenen bei-

den Schritte (i) und (ii) werden nochmals durchgeführt, falls die Abweichungen außerhalb der vorgegebenen Toleranzen liegen, andernfalls wird die Reparatur des Defekts abgeschlossen und die Photolithographiemaske verifiziert. Da für jeden Defekt und jeden Maskentyp eine individuelle Reparaturmethode ausgewählt werden kann, ergibt sich gegenüber dem Stand der Technik eine Steigerung der Effizienz.

**[0013]** Liegen die Abweichungen außerhalb der vorgegebenen Toleranzen, so muß bei der erneuten Reparatur nicht zwangsweise dieselbe Reparaturmethode gewählt werden. Vielmehr wird anhand des Analyseergebnisses festgelegt, welche Reparaturmethode verwendet wird. So ist es durchaus möglich, daß sich ein Defekt mit einem Defekttyp „opak“ durch zu hohen Materialabtrag in einen Defekt vom Typ „durchsichtig“ umwandelt. Auch wird sich regelmäßig die Ausdehnung des Defekts auf der Photolithographiemaske, d.h. Länge, Breite und/oder Durchmesser des Defekts bei der Reparatur ändern. In Abhängigkeit von der Ausdehnung der Defekte sowie ihres Typs können also in den folgenden Reparaturschritten verschiedene Reparaturmethoden ausgewählt werden. Diese Merkmale werden daher bei der Analyse des reparierten Defektes vorzugsweise ebenfalls neu bestimmt.

**[0014]** Optional können die in der Liste aufgeführten Defekte ganz oder teilweise auch vor der Reparatur dahingehend analysiert werden, ob sie bei der photolithographischen Abbildung der Photolithographiemaske Abweichungen von einer oder mehreren vorgegebenen Spezifikationen erzeugen, die außerhalb vorgegebener Toleranzen liegen. Auf diese Weise ist eine Vorauswahl möglich, ob der analysierte Defekt überhaupt repariert werden muß. Dies ist insbesondere bei Phasenverschiebungsmasken, deren Strukturen nicht direkt auf den Wafer abgebildet werden, vorteilhaft. Mit dieser Untersuchung, die beispielsweise im AIMS durchgeführt werden kann, lassen sich u.U. einige Defekte ausschließen, die somit nicht repariert werden müssen, dafür ist die Analyse jedoch mit höherem Aufwand verbunden als die Maskeninspektion.

**[0015]** Während es verschiedene Reparaturmethoden für die Reparatur von Photolithographiemasken gibt, kombiniert man in dem Verfahren die beiden extremen Methoden, d.h. als erste Reparaturmethode ist eine Reparatur mittels Elektronenstrahlen und als eine zweite Reparaturmethode eine Reparatur mittels Laserstrahlen vorgesehen. Die erste Reparaturmethode mittels Elektronenstrahlen eignet sich besonders gut für kleine Strukturen, sowohl von der Defektgröße her als auch vom Maskentyp her. Die Elektronenstrahlreparatur kann auch mit Materialdeposition verbunden werden, so daß auch Material angelagert werden kann und Defekte vom Typ „durchsichtig“ ebenfalls beseitigt werden können. Die zweite Repa-

raturmethode eignet sich insbesondere für Maskentypen, die größere Strukturen erzeugen sowie für Defekte größerer Ausdehnung. Auch hier kann zusätzlich Material angelagert werden, so daß sowohl Defekte vom Typ „opak“ als auch vom Typ „durchsichtig“ repariert werden können. Selbstverständlich können auch mehr als zwei Reparaturmethoden vorgesehen sein.

**[0016]** Für Maskentypen zur Erzeugung von Strukturen von 65 nm Ausdehnung - 65-nm-node - und darunter wird zweckmäßig aufgrund der höheren Genauigkeit die erste Reparaturmethode gewählt, andernfalls wird zunächst die zweite Reparaturmethode gewählt. Dies bedeutet eine Effizienzsteigerung bei Maskentypen für Strukturen von 90 nm Ausdehnung und mehr gegenüber eine Behandlung ausschließlich mit der ersten Reparaturmethode, die nur auf kleinen Flächen arbeitet und somit für die Ausbesserung einer Fläche vorgegebenen Maßes deutlich länger braucht als die zweite Reparaturmethode.

**[0017]** Für Maskentypen zur Erzeugung von Strukturen von 65 nm Ausdehnung und darunter wird bevorzugt dann die erste Reparaturmethode gewählt, wenn dem Defekt ein Defekttyp „durchsichtig“ zugeordnet ist, und für Defekte, denen ein Defekttyp „opak“ zugeordnet ist, in Abhängigkeit von der Ausdehnung dieser Defekte die erste oder zweite Reparaturmethode. Dies bedeutet eine weitere Effizienzsteigerung: Um eine möglichst hohe Effizienz zu erreichen, wird man versuchen, möglichst viele Defekte mittels der zweiten Reparaturmethode, der Laserstrahlbehandlung, zu reparieren, da mit dieser Methode größere Flächen in kürzerer Zeit bearbeitet werden können. Für bestimmte Maskentypen, nämlich solchen Photolithographiemasken, die zur Erzeugung von Strukturen von 65 nm Ausdehnung und darunter, als auch für 45 nm oder 32 nm vorgesehen sind, ist aufgrund der Größe der Strukturen fast ausschließlich die erste Reparaturmethode mittels Elektronenstrahlbehandlung geeignet. Bei besonders großflächigen Defekten mit Ausdehnungen von beispielsweise mehr als 100 nm ist jedoch auch eine - wenn auch gröbere - Reparatur mittels der zweiten Methode, die auf Laserstrahlbehandlung basiert, möglich.

**[0018]** Bevorzugt wird mit der ersten Reparaturmethode zum Abschluß eine Feinbearbeitung eines oder mehrerer der reparierten Defekte durchgeführt. Dies ist insbesondere bei den Defekten, die bei den Masken, die zur Erzeugung von Strukturen von 65 nm Ausdehnung und kleiner dienen, angebracht, die jedoch aufgrund ihrer Größe zunächst mit der zweiten Reparaturmethode behandelt worden waren.

**[0019]** Den reparierten Defekt analysiert man anschließend zweckmäßig mit einer Emulationseinrichtung für Photolithographiescanner dahingehend, ob

er bei der Abbildung Abweichungen von einer oder mehreren vorgegebenen Spezifikationen erzeugt, die außerhalb vorgegebener Toleranzen liegen. Auch der Defekttyp und die Ausdehnung des Defekts können dabei neuerlich bestimmt werden. Eine solche Emulationseinrichtung bietet den Vorteil, daß sie das Abbildungsverhalten eines Photolithographiescanners, also den Einsatz der Maske realitätsgetreu emuliert, wobei jedoch die Maske nicht wie beim Scanner vierfach verkleinert, sondern um ein vielfaches vergrößert abgebildet wird. Auf diese Weise ist eine viel genauere Analyse als beispielsweise bei der Maskeninspektion möglich. Das Verfahren kann dabei so durchgeführt werden, daß die Defekte einzeln nacheinander vollständig repariert werden. Alternativ kann auch eine erste Reparatur für alle Defekte durchgeführt werden, wobei anschließend alle Defekte analysiert werden, und die Defekte, die noch nicht den Toleranzkriterien genügen, einer erneuten Reparatur zugeführt werden.

**[0020]** Das Verfahren kann auch mit weiteren Schritten, die bei der Maskenherstellung relevant sind, kombiniert werden. So kann beispielsweise eine Reinigungsstufe eingeschaltet werden, oder eine Analyse der kritischen Dimension mittels Sekundärelektronenmikroskopie.

**[0021]** Für eine Vorrichtung der eingangs beschriebenen Art wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß bei der Vorrichtung mehrere Reparaturmodule zur Reparatur der Defekte vorgesehen sind, wobei in jedem der Reparaturmodule eine Reparaturmethode implementiert ist, die von den in den anderen Reparaturmodulen implementierten Reparaturmethoden verschieden ist, sowie ein Steuermodul vorgesehen ist, welches mindestens die Reparaturmodule und das Emulationsmodul ansteuert und in Abhängigkeit von einem Maskentyp, des Defekttyps und der Ausdehnung des Defekts eines der Reparaturmodule auswählt, an das die Photolithographiemaske zur Reparatur übergeben wird. Das Steuermodul kann darüber hinaus auch das Inspektionsmodul ansteuern, zumindest muß dem Steuermodul die Liste der Defekte, die im Inspektionsmodul erzeugt wurde, bekannt sein.

**[0022]** Die erfindungsgemäße Vorrichtung eignet sich insbesondere auch zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, insbesondere auch zur automatisierten Durchführung des Verfahrens.

**[0023]** Im Steuermodul wird die Liste mit den Defekten, die repariert werden müssen, Punkt für Punkt entsprechend abgearbeitet, bis alle Defekte repariert sind. Vorteilhaft kann also für jeden Defekt und jeden Maskentyp die entsprechend effizienteste Reparaturmethode ausgewählt werden. In der Regel ist die Reparatur eines Defektes jedoch ein iterativer Prozeß, der solange durchgeführt wird, bis die Abweichungen von vorgegebenen Spezifikationen innerhalb vorge-

gebener Toleranzen liegen. Dazu ist die Vorrichtung zweckmäßig so ausgestaltet, daß sie die Photolithographiemaske nach der Reparatur im Emulationsmodul analysiert. In Abhängigkeit von dem Ergebnis von der Analyse wird ggf. durch das Steuermodul erneut ein Reparaturmodul ausgewählt, dem die Photolithographiemaske zur weiteren Reparatur übergeben wird. Im Gegensatz zum Stand der Technik kann dabei auch ein anderes Reparaturmodul ausgewählt werden, je nachdem, ob sich bei der Analyse des Defekts entsprechende Änderungen bezüglich des Typs und/oder seiner Ausdehnung ergeben haben. Defektyp und/oder Ausdehnung des Defekts werden daher zweckmäßig ebenfalls analysiert. Die Vorrichtung reagiert also flexibel auf solche Änderungen, womit sich der Reparaturprozeß effizienter gestalten läßt.

**[0024]** Erfindungsgemäß ist in einem ersten Reparaturmodul eine Reparaturmethode mittels Elektronenstrahlen implementiert und in einem zweiten Reparaturmodul eine Reparaturmethode mittels Laserstrahlen. Dies sind, wie oben schon näher erläutert, die beiden extremen Reparaturmethoden für besonders großflächige bzw. kleine Strukturen. Auf diese Weise stehen dem Anwender die wichtigsten Reparaturmethoden zur Verfügung, selbstverständlich können auch weitere Module mit weiteren Methoden, wie beispielsweise der Reparaturmethode mittels fokussiertem Ionenstrahl vorgesehen sein, die Verwendung der beiden genannten Reparaturmodule ist jedoch die kostengünstigere und effizientere Alternative, da auf diese Weise alle Bereiche abgedeckt werden können. Dies trifft insbesondere dann zu, wenn in den Modulen zusätzlich Einrichtungen für die Deposition von Material auf der Maske vorgesehen sind.

**[0025]** Zweckmäßig ist im zweiten Reparaturmodul eine zuschaltbare Membran vorgesehen, durch die hindurch die Laserstrahlen auf die Photolithographiemaske geleitet werden. Diese Membran weist üblicherweise eine Dicke von 50 bis 100 nm auf und ist etwa 7 mm über der Maskenoberfläche angebracht. Sie ist optisch unwirksam und dient im wesentlichen dem Schutz der reparierten Stelle vor Verunreinigungen.

**[0026]** Schließlich können auch weitere Module vorgesehen sein, die bei der Herstellung und Verifizierung von Photolithographiemasken eine Rolle spielen. So kann beispielsweise ein Reinigungsmodul vorgesehen sein, oder auch ein Modul, welches anhand von Sekundärelektronenmikroskopie die kritische Dimension überprüft.

**[0027]** Die Erfindung soll im folgenden anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert werden. In den dazugehörigen Zeichnungen zeigt:

**Fig. 1** den Ablauf des Verfahrens und

**Fig. 2** die Prinzipskizze einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, die auch zur Durchführung des Verfahrens geeignet ist.

**[0028]** In **Fig. 1** ist der grundlegende Ablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt. Die Maske wird zunächst in ein Maskeninspektionssystem auf das Vorhandensein von Defekten in untersucht. Im vorliegenden Beispiel werden N Defekte auf der Maske gefunden. Für diese Defekte wird eine Liste erstellt, in der jedem Defekt unter anderem ein Defektyp, die Ausdehnung, sowie die Lage des Defekts auf der Photolithographiemaske zugeordnet wird. Diese Defekte werden dann bezüglich ihres Abbildungsverhaltens analysiert, d.h. sie werden dahingehend untersucht, ob sie bei der photolithographischen Abbildung der Maske Abweichungen von einer oder mehreren vorgegebenen Spezifikationen erzeugt, die außerhalb vorgegebener Toleranzen liegen. Bei einigen großflächigen Defekten läßt sich dies schon bei der Inspektion ohne weiteres feststellen, andere können oder müssen detaillierter, beispielsweise mittels einer Emulationseinrichtung, die das Abbildungsverhalten eines Photolithographiescanners emuliert, untersucht werden. Je nach Maskentyp können die vorgegebenen Spezifikationen unterschiedlich sein. So werden die Spezifikationen bei Phasenverschiebungsmasken andere sein als bei reinen Durchlichtmasken. Auch in Abhängigkeit von der Größe der zu erzeugenden Strukturen - ob beispielsweise ein 65-nm-node-Maske oder eine 90-nm-node-Maske verwendet wird - können sich andere Spezifikationen und Toleranzen beispielsweise bezüglich eines Prozeßfensters ergeben. Liegen die Abweichungen innerhalb der Toleranzen, so sind keine weiteren Schritte erforderlich, der Defekt erfordert keine weitere Betrachtung und kann aus der Liste als repariert gestrichen werden. Liegt jedoch eine der Abweichungen außerhalb einer vorgegebenen Toleranz - eine Abweichung reicht dabei in der Regel aus, um den Reparaturzyklus anzuwerfen -, so wird dieser Defekt repariert. Dazu wird zunächst in Abhängigkeit von einem Maskentyp, dem Defektyp, sowie der Ausdehnung des Defekts eine von mehreren vorgegebenen Reparaturmethoden ausgewählt. Im vorliegenden Beispiel stehen zwei Reparaturmethoden zur Verfügung, dies ist jedoch nur beispielhaft zu verstehen, es können auch mehrere Reparaturmethoden zur Verfügung stehen. Im Beispiel stehen eine Reparaturmethode mittels Laserstrahlbehandlung für großflächige Strukturen, sowie eine Reparaturmethode basierend auf Elektronenstrahlbehandlung für kleinere Strukturen zur Verfügung. In Abhängigkeit vom Maskentyp, den Defektyp und der Ausdehnung des Defekts wird dann die eine oder andere Methode ausgewählt. Wird beispielsweise eine Photolithographiemaske verwendet, die zur Erzeugung von Strukturen von 90 nm ausgelegt ist (90-nm-node), so kann unabhängig vom Defektyp - beispielsweise „durch-

sichtig“ für Defekte mit fehlenden Material und „opak“ für Defekte, bei denen zuviel Material auf der Maske liegt - die Reparatur zunächst mittels Laserstrahl-Behandlung durchgeführt werden. Sowohl bei der Laserstrahlreparatur als auch bei der Elektronenstrahlreparatur ist eine Möglichkeit zur Deposition von Material auf der Maske vorgesehen, so daß auch „durchsichtige“ Defekte repariert werden können. Die ausgewählte Reparaturmethode ist hier mit durchsichtigen Linien gekennzeichnet, die andere zur Verfügung stehende, jedoch in diesem Schritt nicht ausgewählte Methode ist über die gestrichelte Verzweigung zu erreichen. Diese Methode wäre beispielsweise für Maskentypen, die zur Erzeugung von Strukturen von 65 nm Ausdehnung und darunter ausgelegt sind, zu bevorzugen, es sei denn, die Defekte hätten eine besonders große Ausdehnung von beispielsweise mehr als 100 nm.

**[0029]** Nach der Reparatur des Defektes findet eine erstmalige oder erneute Analyse bezüglich der Abweichungen bei der Abbildung von einer oder mehreren vorgegebenen Spezifikationen statt. Dabei wird zweckmäßig auch der Defekttyp erneut bestimmt, sowie die Ausdehnung des Defektes. Liegend die Abweichungen außerhalb der vorgegebenen Toleranz, so wird erneut eine Reparaturmethode anhand der oben genannten Kriterien ausgewählt und eine erneute Reparatur durchgeführt. Dieser Zyklus wird solange wiederholt, bis die Abweichungen für den reparierten Defekt innerhalb der Toleranzen liegen. Ist dieser Reparaturzyklus für alle Defekte, die der Reparatur bedürften, durchgeführt, so kann die Maske abschließend verifiziert werden.

**[0030]** In **Fig. 2** ist beispielhaft die Skizze einer Vorrichtung, die das erfindungsgemäße Verfahren durchführen kann, dargestellt. Die Maske wird zunächst im Inspektionsmodul **1** auf das Vorhandensein von Defekten untersucht, anschließend wird eine entsprechende Liste der Defekte mit mindestens den oben genannten Einträgen erstellt. Die in der Liste enthaltenen Defekte werden anschließend ggf. analysiert, ob sie bei der photolithographischen Abbildung Abweichungen von einer oder mehreren vorgegebenen Spezifikationen erzeugen, die außerhalb vorgegebener Toleranzen liegen. Eine detailliertere Analyse kann ggf. in einem Emulationsmodul **2** vorgenommen werden, falls die oberflächliche Analyse im Inspektionsmodul **1** nicht ausreicht. Beim Emulationsmodul **2** kann es sich beispielsweise um ein Aerial Image Measurement System (AIMS) von Zeiss handeln.

**[0031]** Inspektionsmodul **1** und Emulationsmodul **2** sind dabei mit einem Steuermodul **3** gekoppelt. Das Steuermodul **3** steuert diese beiden Module sowie zwei Reparaturmodule **4** und **5** an, und wählt in Abhängigkeit vom Typ der Maske, des Defekttyps, sowie der Ausdehnung des Defektes eines der

beiden Reparaturmodule **4** oder **5**, in denen jeweils unterschiedliche Reparaturmethoden implementiert sind, zur Reparatur aus. So kann im Reparaturmodul **4** beispielsweise eine Reparaturmethode mit Elektronenstrahlen implementiert sein - wie beispielsweise im MeRiT von Zeiss - und im Reparaturmodul **5** eine Reparaturmethode, die auf Laserstrahlenbehandlung basiert. Bei beiden Reparaturmodulen kann eine Depositionseinrichtung vorgesehen sein, die dem Materialauftrag dient, um „durchsichtige“ Defekte zu reparieren. Auch weitere Reparaturmodule, in denen andere Reparaturmethoden implementiert sind, können vorgesehen sein, sowie weitere, bei der Herstellung und Kontrolle zweckmäßige Module, wie ein Reinigungsmodul etc. In Abhängigkeit von den genannten Parametern wird also eines der Reparaturmodule **4** oder **5** ausgewählt. Die Vorrichtung ist dabei so ausgelegt, daß die Auswahl und die Reparatur automatisch erfolgen können. Die Wege, die die Maske in der Vorrichtung zurücklegt, sind durch gestrichelte Linien dargestellt. Auch eine direkte Übermittlung der zur reparierenden Maske vom Inspektionsmodul an eines der Reparaturmodule **4** oder **5** ist möglich, jedoch der Übersichtlichkeit halber nicht eingezeichnet. Dabei sind grundsätzlich zwei Varianten möglich, zunächst kann für jeden Defekt eine erste Reparatur durchgeführt werden, wobei dann unter Umständen die Maske zwischen den Reparaturmodul **4** und **5** hin und her transportiert werden muß. Nach dieser ersten Reparatur werden alle reparierten Defekte im Emulationsmodul analysiert und gegebenenfalls aus der Liste gestrichen, falls die Abweichungen nun innerhalb der Toleranz liegen. Andernfalls wird eine erneute Reparatur durchgeführt. Alternativ dazu kann auch die Reparatur für jeden der Defekte so vollständig wie möglich durchgeführt werden. Dabei wird die Maske nach dem ersten Reparaturschritt in das Emulationsmodul verfahren, wo der reparierte Defekt untersucht wird, anschließend wird eine erneute Reparatur durchgeführt, falls bei der Abbildung die Abweichungen von einer oder mehreren der vorgegebenen Spezifikationen außerhalb der vorgegebenen Toleranzen liegen. Die im zweiten Schritt ausgewählte Methode und damit das Reparaturmodul kann sich dabei von der im ersten Schritt verwendeten Methode unterscheiden. Mit beiden Vorgehensweisen wird das gleiche erreicht, sie sind daher als äquivalent anzusehen.

**[0032]** Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist gegenüber dem Stand der Technik, in dem für eine Maske jeweils nur eine Reparaturmethode zur Verfügung steht, ein erheblicher Fortschritt erzielt worden, was die Effizienz der Maskenreparatur betrifft.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Reparatur von Photolithographiemasken, bei dem

- eine Photolithographiemaske auf das Vorhandensein von Defekten untersucht und eine Liste der Defekte erstellt wird, in der jedem Defekt mindestens ein Defekttyp, die Ausdehnung und die Lage des Defekts auf der Photolithographiemaske zugeordnet wird,  
 - und diese Defekte repariert werden, wobei als eine erste Reparaturmethode eine Reparatur mittels Elektronenstrahlen und als eine zweite Reparaturmethode eine Reparatur mittels Laserstrahlen vorgesehen ist,

**dadurch gekennzeichnet**, daß die Reparatur für jeden der zu reparierenden Defekte nach den folgenden Schritten erfolgt:

- in Abhängigkeit von einem Maskentyp, nämlich einer mit einer Photolithographiemaske des Maskentyps erreichbaren strukturellen Auflösung, des Defekttyps und der Ausdehnung des Defekts wird eine der beiden Reparaturmethoden ausgewählt und eine Reparatur der Photolithographiemaske nach der ausgewählten Reparaturmethode durchgeführt,  
 - der reparierte Defekt wird dahingehend analysiert, ob er bei der Abbildung Abweichungen von der einen oder den mehreren vorgegebenen Spezifikationen erzeugt, die außerhalb vorgegebener Toleranzen liegen,  
 - und die vorangegangenen beiden Schritte nochmals durchgeführt werden, falls die Abweichungen außerhalb der vorgegebenen Toleranzen liegen, und andernfalls die Reparatur des Defekts abgeschlossen und die Photolithographiemaske verifiziert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die in der Liste enthaltenen Defekte gegebenenfalls vor der Reparatur dahingehend analysiert werden, ob sie bei der photolithographischen Abbildung der Photolithographiemaske Abweichungen von einer oder mehreren vorgegebenen Spezifikation/en erzeugen, die außerhalb vorgegebener Toleranzen liegen.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei der Analyse des reparierten Defekts die Ausdehnung des Defekts und/oder der Defekttyp neu bestimmt werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß für Maskentypen zur Erzeugung von Strukturen von 65 nm Ausdehnung und darunter die erste Reparaturmethode gewählt wird und andernfalls zunächst die zweite Reparaturmethode.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß für Maskentypen zur Erzeugung von Strukturen von 65 nm Ausdehnung und darunter die erste Reparaturmethode gewählt wird, wenn dem Defekt ein Defekttyp „durchsichtig“ zugeordnet ist, und in Abhängigkeit von der Ausdehnung der Defekte die erste oder zweite Reparaturme-

thode für Defekte, denen ein Defekttyp „opak“ zugeordnet ist.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine abschließende Feinbearbeitung eines oder mehrerer der Defekte mit der ersten Reparaturmethode durchgeführt wird.

7. Vorrichtung zur Reparatur von Photolithographiemasken, umfassend

- ein Inspektionsmodul (1), in dem eine Photolithographiemaske auf das Vorhandensein von Defekten untersucht und eine Liste der Defekte erstellt wird, in der jedem Defekt mindestens ein Defekttyp, die Ausdehnung und die Lage des Defekts auf der Photolithographiemaske zugeordnet wird, sowie

- ein Emulationsmodul (2), in dem die Defekte dahingehend analysiert werden, ob sie bei der photolithographischen Abbildung der Photolithographiemaske Abweichungen von einer oder mehreren vorgegebenen Spezifikationen erzeugen, die außerhalb vorgegebener Toleranzen liegen,

**dadurch gekennzeichnet**, daß

- mehrere Reparaturmodule (4, 5) zur Reparatur der Defekte vorgesehen sind, wobei in einem ersten Reparaturmodul (4) eine Reparaturmethode mittels Elektronenstrahlen implementiert ist und in einem zweiten Reparaturmodul (5) eine Reparaturmethode mittels Laserstrahlen, sowie

- ein Steuermodul (3) vorgesehen ist, welches mindestens die Reparaturmodule (4, 5) und das Emulationsmodul (2) ansteuert und in Abhängigkeit von einem Maskentyp, nämlich einer mit einer Photolithographiemaske des Maskentyps erreichbaren strukturellen Auflösung, des Defekttyps und der Ausdehnung des Defekts eines der Reparaturmodule (4, 5) auswählt, an das die Photolithographiemaske zur Reparatur übergeben wird.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Vorrichtung die Photolithographiemaske nach der Reparatur im Emulationsmodul (2) analysiert und das Steuermodul (3) gegebenenfalls erneut ein Reparaturmodul (4, 5) auswählt, an das die Photolithographiemaske zur weiteren Reparatur übergeben wird.

9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Emulationsmodul (2) bei der Analyse des reparierten Defekts die Ausdehnung des Defekts und/oder den Defekttyp neu bestimmt .

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß im zweiten Reparaturmodul (5) eine zuschaltbare, optisch unwirksame Membran zum Schutz von reparierten Stellen vor Verunreinigungen vorgesehen ist, durch die hin-



durch die Laserstrahlen auf die Photolithographie-  
maske geleitet werden.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

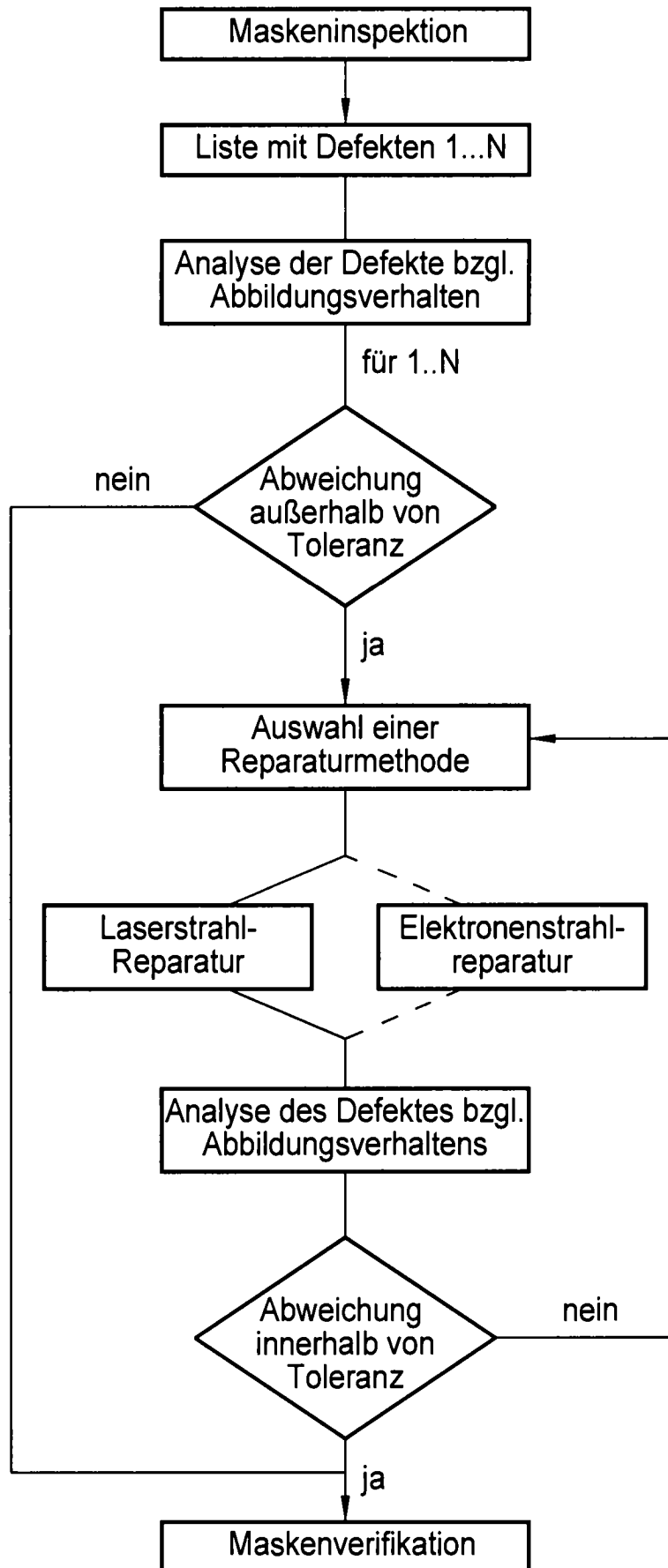


Fig.1

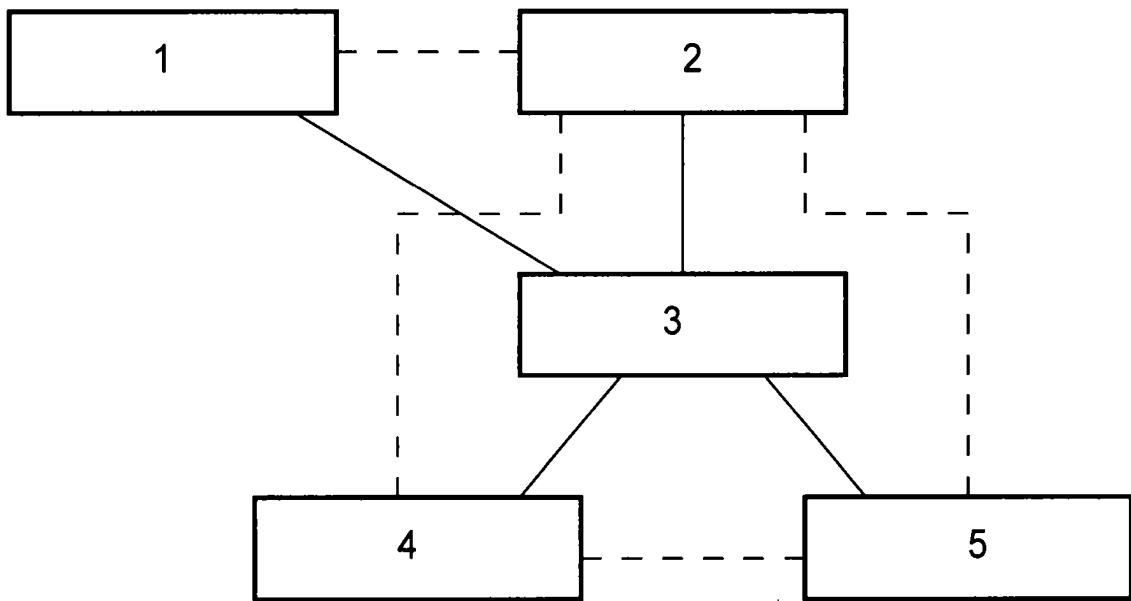


Fig.2