



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 603 06 438 T2 2007.01.04**

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 349 002 B1

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

(21) Deutsches Aktenzeichen: **603 06 438.8**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **03 251 875.5**

(96) Europäischer Anmeldetag: **25.03.2003**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **01.10.2003**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **28.06.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **04.01.2007**

(30) Unionspriorität:  
**366545 P 25.03.2002 US**

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

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

(72) Erfinder:  
**Van den Broeke, Douglas, Sunnyvale, CA 94087, US; Chen, Jang Fung, Cupertino, CA 95014, US; Laidig, Thomas, Point Richmond, CA 94801, US; Wampler, Kurt E., Sunnyvale, CA 94087, US; Hsu, Duan-Fu Stephen, Freemont, CA 94539, US**

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

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Zerlegung von Halbleiter-Bauelementmustern in Phasen- und Chromregionen für chromfreie Phasenlithographie**

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 eingelebt, 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 im allgemeinen die Erzeugung eines Maskenmusters zur Verwendung mit chromfreien Phasenlithographieverfahren und insbesondere zur Zerlegung eines Zieldesigns in ein entsprechendes Maskenmuster, das Strukturen unter Verwendung von sowohl Chrom- als auch Phasenverschiebungsverfahren druckt. Ferner betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Herstellung von Bauelementen unter Verwendung einer lithographischen Vorrichtung, die ein Strahlungssystem zur Bereitstellung eines Projektionsstrahls aus Strahlung, einen Maskentisch zum Halten einer Maske, die dazu dient, den Projektionsstrahl mit einem Muster zu versehen, einen Substrattisch zum Halten eines Substrats und ein Projektionssystem zum Projizieren des gemusterten Projektionsstrahls auf einen Zielabschnitt des Substrats umfasst.

**[0002]** Lithographische Projektionsvorrichtungen (Werkzeuge) können beispielsweise für die Herstellung von integrierten Schaltungen (ICs) verwendet werden. In so einem Fall enthält die Maske ein Schaltungsmuster entsprechend einer einzelnen Schicht der integrierten Schaltung 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 strahlungssensitivem Material (Schutzlack) 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 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 „Scan“-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.

**[0003]** Bei einem Herstellungsprozess, bei dem eine lithographische Projektionsvorrichtung eingesetzt wird, wird ein Maskenmuster 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/Inspizieren der abgebildeten Strukturen. Diese Folge von Verfahrensschritten wird als Basis verwendet, um eine einzelne 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 einzelne 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. Danach können die einzelnen Elemente auf einen Träger montiert, an Pins angeschlossen werden, 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.

**[0004]** Das lithographische Werkzeug kann derart sein, dass es 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.

**[0005]** Die vorstehend genannten photolithographischen Masken umfassen geometrische Muster, die den Schaltungskomponenten entsprechen, die auf einen Silizium-Wafer aufgebracht werden sollen. Die für die Herstellung derartiger Masken verwendeten Muster werden unter Verwendung von CAD-Programmen (rechnergestützte Programme) erzeugt, wobei dieser Vorgang oft mit EDA (Electronic Design Automation) bezeichnet wird. Die meisten CAD-Programme folgen bei der Herstellung von Funktionsmasken einem Satz von vorab bestimmten Designregeln. Diese Regeln sind durch Bearbeitungs- und Designeinschränkungen festgelegt. Beispielsweise definieren Designregeln die Abstandstoleranz zwischen Schaltungselementen (wie Gates, Kondensatoren etc.) oder Verbindungsleitungen, um dadurch ge-

währleisten zu können, dass sich die Schaltungselemente oder -leitungen nicht auf unerwünschte Weise gegenseitig beeinflussen.

**[0006]** Selbstverständlich besteht eins der Ziele bei der Herstellung integrierter Schaltungen darin, das ursprüngliche Schaltungsmuster gewissenhaft auf den Wafer (durch die Maske) zu reproduzieren. Ein weiteres Ziel ist es, so viel wie möglich von der Masse des Halbleiter-Wafers zu verwenden. Da die Größe einer integrierten Schaltung reduziert und ihre Dichte jedoch zugenommen hat, nähert sich die kritische Dimension (CD) ihres entsprechenden Maskenmusters der Auflösungsgrenze des optischen Belichtungswerkzeugs an. Die Auflösung für ein Belichtungswerkzeug ist als die kleinste Struktur definiert, die das Belichtungswerkzeug wiederholt auf den Wafer belichten kann. Der Auflösungswert gegenwärtiger Belichtungseinrichtungen engt die kritische Dimension vieler weiter entwickelter IC-Schaltungsmuster oft ein.

**[0007]** Ferner stehen die konstanten Verbesserungen der Mikroprozessor-Geschwindigkeit, der Speicherpackdichte und des niedrigen Stromverbrauchs für mikroelektronische Bauelemente direkt in Bezug zu der Fähigkeit lithographischer Verfahren, Muster auf die verschiedenen Schichten eines Halbleiterbauteils zu übertragen und dort zu bilden. Der momentane Stand der Technik erfordert eine Musteraufbringung von kritischen Dimensionen weit unterhalb der verfügbaren Wellenlängen von Lichtquellen. Beispielsweise wird die momentane Produktionswellenlänge von 248 nm gerade dahingehend entwickelt, kritische Dimensionen bei weniger als 100 nm zu mustern. Dieser industrielle Trend wird weiter anhalten und sich in den kommenden 5–10 Jahren möglicherweise beschleunigen, wie in der International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS 2000) beschrieben.

**[0008]** Ein Verfahren zur weiteren Verbesserung der Auflösungs-/Druckmöglichkeiten photolithographischer Ausrüstungen, das momentan zusätzliche Aufmerksamkeit in der Photolithographie erhält, wird als chromfreie Phasenlithographie „CPL“ bezeichnet. Ein Beispiel der Anwendung dieses Verfahrens ist im Artikel „Complex 2D Pattern Lithography at  $\lambda/4$  Resolution Using Chromeless Phase Lithography (CPL)“ von D. Van Den Broeke et al. Proceedings, SPIE Bd. 4691 (2002), S. 196–214 offenbart. Wie bekannt, umfasst bei der Verwendung von CPL-Verfahren das sich ergebende Maskenmuster gewöhnlich Strukturen (die den auf den Wafer aufzudruckenden Strukturen entsprechen), welche die Verwendung von Chrom nicht erforderlich machen (d.h. die Strukturen werden durch Phasenverschiebungsverfahren aufgedruckt) sowie solche, die Chrom verwenden. Daraus folgt, dass es für Maskendesigner tatsächlich erforderlich ist zu verifizieren, dass die Maskenstruktur-

ren, welche die verschiedenen Techniken verwenden, alle in akzeptabler Weise so miteinander in Wechselwirkung stehen, dass das gewünschte Muster auf den Wafer aufgedruckt wird. Dies kann jedoch aufgrund der Komplexität heutiger Masken ein langer, ermüdender und schwieriger Prozess sein.

**[0009]** Folglich besteht ein Bedarf an einem Verfahren, das eine einfache und systematische Herangehensweise zum Definieren eines Maskenmusters unter Verwendung von CPL-Verfahren schafft, das ein genaues Drucken des gewünschten Musters erlaubt.

**[0010]** Zur Lösung der vorstehend genannten Anforderungen ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Erzeugung eines Maskenmusters unter Verwendung von CPL-Verfahren von einem gewünschten Zielmuster oder Design zu schaffen. Noch wichtiger: es ist eine Aufgabe, ein einfaches und systematisches Verfahren zum Umwandeln des gewünschten Zielmusters in ein Maskenmuster zu schaffen, durch das die für das Maskendesign erforderliche Zeit reduziert wird, während gleichzeitig die Genauigkeit des auf den Wafer aufgedruckten Designs verbessert wird.

**[0011]** Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung bei einer exemplarischen Ausführungsform ein Verfahren zur Erzeugung einer Maske zum Aufdrucken eines Zielmusters auf ein Substrat. Das Verfahren umfasst folgende Schritte: (a) Bestimmen einer maximalen Breite von Strukturen, die auf das Substrat abzubilden sind unter Verwendung von in der Maske gebildeten Phasenstrukturen; (b) Identifizieren aller im Zielmuster enthaltenen Strukturen, deren Breite der maximalen Breite gleich ist oder darunter liegt; (c) Extrahieren aller Strukturen, deren Breite der maximalen Breite gleich ist oder darunter liegt, von dem Zielmuster; (d) Bilden von Phasenstrukturen in der Maske, die allen in Schritt (b) identifizierten Strukturen entsprechen; und (e) Bilden von Opakstrukturen in der Maske für alle Strukturen, die nach Durchführung von Schritt (c) im Zielmuster verbleiben.

**[0012]** Auch wenn in diesem Text ein spezieller Bezug auf die Anwendung der Erfindung bei der Herstellung von integrierten Schaltungen genommen werden kann, sollte es selbstverständlich sein, dass die Erfindung 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 werden können.

**[0013]** 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 von 5–20 nm) mit einzuschließen.

**[0014]** Der Begriff Maske, wie er in diesem Text verwendet wird, kann so weit interpretiert werden, dass er sich auf generische Musteraufbringungseinrichtungen bezieht, die dafür verwendet werden können, einen eingehenden Strahl aus Strahlung mit einem gemusterten Querschnitt zu versehen, der einem Muster entspricht, das in einem Zielabschnitt des Substrats erzeugt werden soll; der Begriff „Lichtventil“ kann in diesem Zusammenhang ebenfalls verwendet werden. Neben der klassischen Maske (lichtdurchlässig oder reflektierend; binär, phasenverschiebend, hybrid, etc.) umfassen Beispiele für weitere Musteraufbringungseinrichtungen folgendes:

a) Ein programmierbares Spiegelfeld. Ein Beispiel für ein derartiges Element ist eine matrixadressierbare Oberfläche, die eine viskoelastische Steuerschicht und eine reflektierende Oberfläche aufweist. Das Grundprinzip hinter einer derartigen Vorrichtung ist, dass (zum Beispiel) adressierte Bereiche der reflektierenden Oberfläche auftreffendes Licht als gebeugtes Licht reflektieren, wohingegen unadressierte Bereiche auftreffendes Licht als ungebeugtes Licht reflektieren. Wird ein geeigneter Filter verwendet, kann das besagte ungebeugte Licht aus dem reflektierten Strahl herausgefiltert werden, wobei nur das gebeugte Licht zurückgelassen wird; auf diese Weise wird der Strahl gemäß dem Adressierungsmuster der matrixadressierbaren Oberfläche gemustert. Die erforderliche Matrixadressierung kann unter Verwendung geeigneter elektronischer Einrichtungen durchgeführt werden. Weitere Informationen über derartige Spiegelfelder können beispielsweise den US-Patenten 5,296,891 und US 5,523,193 entnommen werden.

b) Ein programmierbares LCD-Feld. Ein Beispiel für eine derartige Konstruktion ist im US-Patent 5,229,872 gegeben.

**[0015]** Das Verfahren der vorliegenden Erfindung schafft wichtige Vorteile gegenüber dem Stand der Technik. So schafft zum Beispiel das vorgenannte Verfahren des Zerlegens eines Zielmusters in Phasenstrukturen und Opakstrukturen zum Definieren/Erzeugen einer Maske, die zum Drucken des Zielmusters verwendet wird, ein einfaches und systematisches Verfahren zum Umwandeln des Zielmusters in ein Maskenmuster, das die für das Maskendesign erforderliche Zeit reduziert, während gleichzeitig die Genauigkeit des auf den Wafer aufgedruckten Designs zunimmt.

**[0016]** Weitere Vorteile der vorliegenden Erfindung werden dem Fachmann anhand der folgenden detaillierten Beschreibung exemplarischer Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung klar.

**[0017]** Die Erfindung selbst wird zusammen mit weiteren Zielen und Vorteilen anhand der folgenden detaillierten Beschreibung und der begleitenden Zeichnungen besser verständlich, wobei:

**[0018]** [Fig. 1](#) ein exemplarisches Flussdiagramm ist, welches eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt.

**[0019]** [Fig. 2a](#)–[Fig. 2c](#) drei exemplarische Muster und die Identifikation der Vertikalstrukturen, die dann vom Muster extrahiert werden, darstellen.

**[0020]** [Fig. 3a](#)–[Fig. 3c](#) jeweils den in [Fig. 2a](#)–[Fig. 2c](#) dargestellten Mustern entsprechen und die vom Muster zu extrahierenden Horizontalstrukturen darstellen.

**[0021]** [Fig. 4a](#)–[Fig. 4c](#) die Schnittpunktbereiche zwischen den Vertikal- und den Horizontalmustern darstellen, die jeweils in den [Fig. 2a](#)–[Fig. 2c](#) und [Fig. 3a](#)–[Fig. 3c](#) extrahiert worden sind.

**[0022]** [Fig. 5a](#)–[Fig. 5c](#) das entsprechende Enddesign der Maske für die entsprechenden Muster darstellen, die jeweils in den [Fig. 2a](#), [Fig. 3a](#) und [Fig. 4a](#); [Fig. 2b](#), [Fig. 3b](#) und [Fig. 4b](#) und [Fig. 2c](#), [Fig. 3c](#) und [Fig. 4c](#) festgelegt worden sind.

**[0023]** [Fig. 6a](#)–[Fig. 6c](#) verschiedene Unter-Auflösungsmuster darstellen, mit denen Streulicht reduziert werden kann.

**[0024]** [Fig. 7](#) das Verhältnis zwischen dem Durchlässigkeitsgrad eines Chrom-Unterauflösungsmusters und dem gleichen Muster, das aus 180°-Phasenstrukturen besteht, zeigt.

**[0025]** [Fig. 8](#) eine schematische Darstellung einer lithographischen Projektionsvorrichtung darstellt, die für die Verwendung der Masken geeignet ist, die mit Hilfe der vorliegenden Erfindung entwickelt worden sind.

**[0026]** Wie im Folgenden genauer erläutert, betrifft die bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ein Verfahren zum Zerlegen eines (auf einen Wafer aufzudruckenden) gewünschten Zielmusters, um ein Maskenmuster (d.h. Retikel) zu erzeugen, das dazu verwendet werden kann, den Wafer/das Substrat mit einer Abbildung zu versehen und das Zielmuster darauf zu erzeugen. Gemäß der vorliegenden Erfindung verwendet das zu erzeugende Maskenmuster CPL-Verfahren. Als solches umfasst das Maskenmuster Bereiche, die annähernd 100%

Durchlässigkeit und null Phasenverschiebung aufweisen, Bereiche, die annähernd 100% Durchlässigkeit und 180° Phasenverschiebung aufweisen und Bereiche, die annähernd 0% Durchlässigkeit aufweisen. Aufgrund dieser unterschiedlichen Arten von Bereichen, die zum Aufdrucken von Strukturen bei Verwendung von CPL-Verfahren in Kombination mit der Komplexität typischer Masken verwendet werden, kann die Entwicklung von Masken eine schwierige und zeitaufwändige Aufgabe sein. Wie nachstehend genauer erläutert, reduziert die vorliegende Erfindung die zur Maskenerzeugung erforderliche Zeit, indem ein einfaches Zerlegungsverfahren geschaffen worden ist, das zum Erzeugen eines Maskenmusters direkt vom Zielmuster verwendet werden kann. Ferner ist festzustellen, dass das erfindungsgemäße Verfahren unter Verwendung eines CAD-Standardsystems (wie die vorstehend genannten) durchgeführt werden kann, das so programmiert ist, dass es gemäß der folgenden Beschreibung arbeitet.

**[0027]** [Fig. 1](#) ist ein Flussdiagramm, das den erfindungsgemäßen Herstellungsvorgang der Maske im allgemeinen zeigt. Wie vorstehend gesagt, ist bei Anwendung von CPL-Verfahren die sich daraus ergebende Maske in der Lage, Strukturen zum Beispiel unter Verwendung von Phasenverschiebungen oder Phasenkanten, die im Maskenretikel gebildet sind, zu drucken (d.h. ohne Chrom) und Strukturen zu drucken, die zumindest teilweise Chromstrukturen in der Maske verwenden. Nach [Fig. 1](#) besteht der erste Schritt, Schritt **11**, des Verfahrens darin, die maximale Breite der Strukturen zu bestimmen, die unter Verwendung von Phasenstrukturen (d.h. ohne Chrom) gedruckt werden können. In anderen Worten: es ist erforderlich, die Strukturbreite zu definieren, bei der es erforderlich ist, die Verwendung von Chrom einzufügen, um die Struktur präzise auf den Wafer reproduzieren zu können. Diese maximale Breite, die bestimmt werden kann auf der Basis der Abbildungssystemparameter wie beispielsweise, jedoch nicht ausschließlich, Wellenlänge, numerische Apertur, Beleuchtungs- und Wafer-Stepper-Konditionen, kann durch bekannte Verfahren wie beispielsweise die Verwendung eines Luftbildsimulators leicht bestimmt werden. Insbesondere ist es durch die Verwendung eines Luftbildsimulators möglich zu bestimmen, bei welcher Breite der Phasenstruktur das Bild beginnt sich zu zerlegen. Die maximale Breite würde auf unter diesen Zerlegungspunkt eingestellt werden. Die maximale Breite kann auch auf der Basis einer Definition der kritischen Strukturen innerhalb des gewünschten Musters, wie beispielsweise Mindestgröße der Struktur, Mindestabstand und maximaler Auslastungsgrad, bestimmt werden. Um die maximale Breite auf der Basis der kritischen Strukturen zu bestimmen, ist die maximale Phasengröße so eingestellt, dass alle kritischen Kleinststrukturen in den Phasenbereich fallen. Dann werden unter Verwen-

dung dieser Breite die Beleuchtungseinstellungen bestimmt, die geeignete Abbildungsergebnisse für diese Phasengröße bereitstellen. Dies geschieht auch mit einem Luftbildsimulator. In anderen Worten: die Beleuchtung wird festgelegt und die maximale Breite wird bestimmt, bzw. die maximale Breite der kritischen Geometrie wird festgelegt und danach wird die erforderliche Beleuchtung bestimmt. Folglich wird in Schritt **11** die maximale Breite der Strukturen bestimmt, die unter Verwendung von Phasenverschiebungsschritten aufgedruckt werden können. Alle Strukturen, die diese Breite übersteigen, müssen für eine geeignete Abbildung auf den Wafer Chrom verwenden.

**[0028]** Dann wird in Schritt **12** das Zielmuster untersucht, und alle vertikalen Komponenten/Strukturen, die der maximalen Breite gleich sind oder darunter liegen, werden identifiziert und vom ursprünglichen Design extrahiert. Die [Fig. 2a](#)–[Fig. 2c](#) zeigen drei exemplarische Muster und die Identifikation der Vertikalstrukturen, die dann vom Muster extrahiert werden. Wie in jeder der [Fig. 2a](#)–[Fig. 2c](#) gezeigt, entsprechen die Vertikalstrukturen **21** den Vertikalstrukturen, die der in Schritt **11** bestimmten maximalen Breite gleich sind oder darunter liegen und werden daher vom ursprünglichen Design (d.h. Zielmuster) in ein separates Muster extrahiert, das als Muster A bezeichnet wird. Wie in [Fig. 2b](#) gezeigt, werden die Vertikalstrukturen, welche die maximale Breite übersteigen (siehe z.B. die vertikale Struktur **23**), nicht extrahiert. Festzustellen ist, dass die extrahierten und in Muster A angeordneten Strukturen unter Verwendung von Phasenstrukturen gedruckt werden können. Ferner ist festzustellen, dass die Vertikalstrukturen **21**, sobald sie einmal identifiziert worden sind, vom Zielmuster unter Verwendung von allgemein bekannten Booleschen Operationen extrahiert werden können.

**[0029]** In gleicher Weise werden in Schritt **13** alle horizontalen Komponenten/Strukturen, die der maximalen Breite gleich sind oder darunter liegen, identifiziert und vom Zielmuster extrahiert. Die [Fig. 3a](#)–[Fig. 3c](#) entsprechen den jeweils in den [Fig. 2a](#)–[Fig. 2c](#) dargestellten. Wie in jeder der [Fig. 3b](#)–[Fig. 3c](#) gezeigt, entsprechen die Horizontalstrukturen **31** Horizontalstrukturen, die der in Schritt **11** bestimmten maximalen Breite gleich sind oder darunter liegen und werden daher vom ursprünglichen Design in ein separates Muster extrahiert, das als Muster B bezeichnet ist. Wie in den [Fig. 3a](#)–[Fig. 3c](#) gezeigt, werden die Horizontalstrukturen, welche die maximale Breite übersteigen (siehe z.B. Horizontalstrukturen **33**) nicht extrahiert. Festzustellen ist, dass die extrahierten und in Muster B angeordneten Strukturen unter Verwendung von Phasenstrukturen gedruckt werden können. Ferner ist festzustellen, dass die Horizontalstrukturen **31**, sobald sie einmal identifiziert worden sind, vom ur-

sprünglichen Muster unter Verwendung von allgemein bekannten Booleschen Operationen extrahiert werden können.

**[0030]** Der nächste Verfahrensschritt, Schritt **14**, bewirkt die Identifizierung der Schnittpunkte zwischen den Vertikalstrukturen **21** und den Horizontalstrukturen **31**, die unter Verwendung von Phasenstrukturen gedruckt werden. Wie im Folgenden genauer erläutert, ist es manchmal erforderlich, derartige Schnittpunkte zu identifizieren, so dass die Menge des an den Schnittpunkten angelegten Chroms unabhängig von dem an anderen Mustern angelegten Chrom gesteuert werden kann. Schritt **14**, der bei dem Verfahren ein optionaler Schritt ist, ist manchmal erforderlich, um sicherzustellen, dass die Schnittpunkte korrekt auf das Substrat gedruckt werden (d.h. ohne Unterbrechung der Leitung). Die Identifizierung der Schnittpunkte erfolgt folgendermaßen. Zunächst werden die im Muster A enthaltenen Vertikalstrukturen entlang der Vertikalrichtung an beiden Enden jeder Struktur verlängert. Dann werden die im Muster B enthaltenen Horizontalstrukturen entlang der Horizontalrichtung an beiden Enden jeder Struktur verlängert. Diese Vergrößerung der in den Mustern A und B enthaltenen Vertikal- und Horizontalstrukturen ist erforderlich, um eine richtige Identifizierung der Schnittpunkte zu gewährleisten. Angenommen, eine Struktur weist beispielsweise eine L-Form auf, geht beim Extrahieren des vertikalen (bzw. horizontalen) Bereichs dieser Struktur der Bereich der Vertikalstruktur, der ebenfalls Teil des Schnittpunktes ist, verloren (d.h. er wird nicht extrahiert). Indem die Länge der Vertikalstruktur um eine vorab bestimmte Größe verlängert wird, wird der im Schnittpunkt befindliche Bereich der Vertikalstruktur zurückgeholt. Das Gleiche gilt für die Horizontalstrukturen. Festzustellen ist, dass sowohl die vertikalen als auch die horizontalen Strukturen vorzugsweise um die gleiche Größe verlängert werden. Ferner ist festzustellen, dass eine allgemeine Regel hinsichtlich der Größe der Zunahme 2 mal die maximale Phasenbreite beträgt.

**[0031]** Danach wird, sobald die Vertikalstrukturen in Muster A und die Horizontalstrukturen in Muster B verlängert worden sind, eine Boolesche „UND“-Operation unter Verwendung von Muster A und Muster B durchgeführt, deren Ergebnis (als Muster C bezeichnet) die Schnittpunkte zwischen den unter Verwendung von Phasenstrukturen zu druckenden Vertikal- und Horizontalstrukturen identifiziert. Das Ergebnis dieser Operation für die in den [Fig. 2a–Fig. 2c](#) und [Fig. 3a–Fig. 3c](#) genannten exemplarischen Muster ist jeweils in den [Fig. 4a–Fig. 4c](#) dargestellt. Genauer gesagt: in [Fig. 4a](#) sind keine Schnittpunkte identifiziert, da das in [Fig. 3a](#) gezeigte entsprechende horizontale Muster keinerlei unter Verwendung von Phasenstrukturen zu druckende Horizontalstrukturen aufwies. Die Bezugsziffer **41** in [Fig. 4b](#) und [Fig. 4c](#) bezeichnet die Schnittpunkte zwischen den in den

[Fig. 2b](#) und [Fig. 3b](#) und [Fig. 2c](#) und [Fig. 3c](#) jeweils identifizierten Vertikal- und Horizontalstrukturen. Festzustellen ist, dass nach der Trennung der Schnittpunkte vom Rest des Zielmusters zusätzliche Behandlungen wie z.B. Klassieren bei dem Chrom-Schnittpunktmuster erfolgen können.

**[0032]** Dann bewirkt der nächste Schritt, Schritt **15**, sobald der vorstehend erwähnte Vorgang durchgeführt wird, die Zerlegung des Musters in Phasenbereiche (z.B. 100% Durchlässigkeit und 180° Phasenverschiebung) und Opakbereiche (z.B. null Durchlässigkeit). Festzustellen ist, dass die vorstehenden Anforderungen im Hinblick auf Phasenbereiche nur exemplarisch sind, es können weitere Konditionen, die für den Druck der Phasenstrukturen geeignet sind, eingesetzt werden. Beispielsweise ist es möglich, dass das Verfahren 25% Durchlässigkeit oder 50% Durchlässigkeit verwenden kann oder multiple Durchlässigkeiten auf der Photomaske schafft. Im Hinblick auf die Zerlegung wird zunächst das Phasenmuster definiert, indem eine Boolesche „ODER“-Verknüpfung von Muster A und Muster B durchgeführt wird. Das Ergebnis dieser „ODER“-Verknüpfung (die als Muster D bezeichnet wird) ist ein Muster, das sowohl Vertikal- als auch Horizontalstrukturen enthält, die unter Verwendung nur von Phasenstrukturen (d.h. ohne Chrom) zu drucken sind. Als zweites wird der Bereich des ursprünglichen Musters identifiziert, der nicht unter Verwendung von Phasenstrukturen zu drucken ist und der kein Schnittpunkt zwischen vertikalen und horizontalen Phasenstrukturen ist, indem Muster D und Muster C vom ursprünglichen Muster subtrahiert werden. Das sich daraus ergebende Muster, das als Muster E bezeichnet wird, kann erzielt werden, indem die folgende Boolesche Operation durchgeführt wird: Muster E = das „ursprüngliche Muster“ – (Muster C „ODER“ Muster D). Muster E repräsentiert als solches jene Bereiche des Musters, die unter Verwendung von Null-Durchlässigkeitsstrukturen auf die Maske aufgedruckt werden (d.h. Chromstrukturen).

**[0033]** Somit sind, sobald der vorgenannte Schritt beendet worden ist, die folgenden drei bestimmten Bereiche der Maske definiert worden: (1) Muster D – die Vertikal- und Horizontalstrukturen, die unter Verwendung von Phasenstrukturen aufzudrucken sind, (2) Muster C – die Schnittpunkte zwischen den Vertikal- und Horizontalstrukturen, die unter Verwendung von Opakstrukturen (d.h. Null-Durchlässigkeitsstrukturen) aufzudrucken sind und (3) Muster E – alle übrigen im ursprünglichen Design-Muster enthaltenen Strukturen, die nicht in Muster C oder D enthalten sind. Festzustellen ist, dass Muster C und Muster E zu einem einzelnen Muster kombiniert werden können, da alle in jedem Muster enthaltenen Strukturen mit einer Opakstruktur (d.h. Null-Durchlässigkeit) aufgedruckt sind. Die Kombination von Muster C und E wird als Muster F bezeichnet.

**[0034]** Im letzten Schritt werden die vorgenannten Muster verwendet, um die Maske zu erzeugen, die zum Abbilden des gewünschten Musters auf das Substrat verwendet werden. Genauer gesagt: Muster D und Muster F werden kombiniert, so dass sie eine einzelne Maske bilden, was unter Anwendung einer Booleschen „ADDIER“-Funktion erreicht werden kann. Nach den [Fig. 5a–Fig. 5c](#), die das entsprechende endgültige Maskendesign für die entsprechenden in den [Fig. 2a](#), [Fig. 3a](#) und [Fig. 4a](#); [Fig. 2b](#), [Fig. 3b](#) und [Fig. 4b](#); und [Fig. 2c](#), [Fig. 3c](#) und [Fig. 4c](#) jeweils dargestellten Muster repräsentieren, enthält die endgültige Maske Phasenstrukturen **51** zum Drucken der vertikalen und horizontalen Komponenten, deren Breite zum Drucken mit Phasenstrukturen geeignet ist, und Opakstrukturen **53** zum Drucken von Komponenten, die zum Drucken mit Phasenstrukturen nicht geeignet sind, sowie die Schnittpunkte zwischen den vertikalen und horizontalen Komponenten, die mit Opakstrukturen zu drucken sind. Bei der exemplarischen Ausführungsform ist der in der Maske von [Fig. 5c](#) enthaltene Hintergrundbereich **55** mit 100% Durchlässigkeit und 0° Phasenverschiebung definiert, die Phasenstrukturen **51** sind mit 100% Durchlässigkeit und 180° Phasenverschiebung definiert und die Opakstrukturen **53** sind mit 0% Durchlässigkeit definiert. Festzustellen ist, dass der Hintergrundbereich der Maske mit den Phasenstrukturen **51** zusammenarbeitet, um die in Muster D festgelegten Vertikal- und Horizontalkomponenten zu drucken. Ferner ist festzustellen, dass das vorstehend genannte Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung nicht auf die vorgenannten speziellen Charakteristika der Durchlässigkeit und der Phasenverschiebung eingeschränkt sein soll. Variationen des Vorgenannten sind selbstverständlich möglich.

**[0035]** Ferner ist es auch möglich, durch das Verfahren der vorliegenden Erfindung optische Näherungskorrekturverfahren oder Kantenabschrägungen durchzuführen. Es ist beispielsweise möglich, die Verwendung von Streustäben in das sich ergebende Maskendesign einzufügen. Darüber hinaus können die Streustäbe bei unterschiedlichen Verfahrensschritten in das Maskendesign eingefügt werden. Wie bekannt, können Streustäbe als Opak-Streustäbe oder als Phasenkanten-Streustäbe konstruiert sein. Eine der wichtigen Anforderungen besteht darin, dass die Streustäbe unter der Auflösungsgrenze bleiben. Die [Fig. 5a–Fig. 5c](#) zeigen exemplarische Streustäbe **57**, die in das endgültige Maskendesign eingefügt sind.

**[0036]** Wie vorstehend festgestellt, schafft das vorgenannte Verfahren der Zerlegung eines Zielmusters in Phasenstrukturen und in Opakstrukturen, um eine Maske zu definieren/erzeugen zu können, die zum Drucken des Zielmusters verwendet wird, einen einfachen und systematischen Vorgang zum Umwandeln des Zielmusters in ein Maskenmuster, wodurch

die für das Maskendesign erforderliche Zeit reduziert wird, während gleichzeitig die Genauigkeit des auf den Wafer aufgedruckten Designs verbessert wird.

**[0037]** Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft eine weitere Modifikation des Maskenmusters, um die Auswirkungen von „Streulicht“ im mit einer Abbildung versehenen Substrat zu reduzieren. Wie bekannt, entspricht „Streulicht“ unerwünschtem Hintergrundlicht, welches die Qualität des Luftbildes auf der Bildebene (d.h. gewöhnlich der Oberfläche des Wafers) mindert. Die Auswirkungen des Streulichts sind jedoch weitreichend (d.h. die Menge an Streulicht an einem bestimmten Punkt hängt von einem großen Bereich um den bestimmten Punkt herum ab) und können daher nicht durch Anwenden herkömmlicher OPC-Verfahren korrigiert werden. Einige momentan geltende Theorien hinsichtlich der Ursachen für Streulicht sind: Zerstreuen von Licht innerhalb des optischen Systems; der Kontrast des Luftbildes und nicht ausgelöschtes Licht nullter Ordnung. Festzustellen ist, dass das Hintergrundlicht oder Streulicht, das auf eine spezielle Geometrie stößt, von einem großen Bereich um die Geometrie herum, nicht von der Geometrie selbst, kommt. Somit kann die Reduzierung der Intensität der Energie in den großen hellen Bereichen des Musters um nur 30% einen sehr großen positiven Effekt auf die Reduzierung der ungewünschten Streulichtkomponente ausüben.

**[0038]** Im Folgenden werden verschiedene Verfahren zum Reduzieren der Streulichtkomponente vom Luftbild genannt. Vor der Erörterung der Verfahren wird festgestellt, dass die folgenden Verfahren auf die großen Bereiche der Maske implementiert werden, die keine zu druckenden Strukturen oder Komponenten enthalten. Zum Beispiel wird mit Bezug auf [Fig. 6a–Fig. 6c](#) die folgende Modifikation in Maskenbereiche außerhalb der in diesen Figuren gezeigten Bereiche implementiert.

**[0039]** Gemäß des ersten Verfahrens nach [Fig. 6a](#) werden Unter-Auflösungs-Opakmuster dem Maskenmuster in Bereichen hinzugefügt, die der freien Fläche des Designs entsprechen (z.B. Bereiche, die 200nm oder mehr von jeglicher Mustergeometrie entfernt sind). Wie in der Figur dargestellt, wirkt ein Schachbrettmuster aus Chromstrukturen **61**, das die freie Fläche zu 25% ausfüllt, so, dass die Intensität im Feldbereich auf annähernd 82% der einfallenden Intensität reduziert wird. Bei einem zweiten Verfahren, das in [Fig. 6b](#) gezeigt ist, wird ein Schachbrettmuster aus um 180° phasenverschobenen Strukturen **63**, das die freie Fläche zu 25% ausfüllt, der freien Fläche hinzugefügt. Mit diesem Muster wird die Intensität im Feldbereich auf annähernd 35% der einfallenden Intensität reduziert. Bei einem dritten Verfahren, das in [Fig. 6c](#) gezeigt ist, wird ein Schachbrettmuster aus um 120° phasenverschobenen Strukturen **65**, das die freie Fläche zu 25% ausfüllt, der freien Fläche hinzu-

gefügt. Mit diesem Muster wird die Intensität im Feldbereich auf annähernd 75% der einfallenden Intensität reduziert. Es ist festzustellen, dass die Energiestärke auf dem großen Feldbereich direkt vom Füllgrad im Streulicht-reduzierten Muster abhängt.

**[0040]** [Fig. 7](#) zeigt das Verhältnis zwischen dem Durchlässigkeitsgrad eines Chrom-Unterauflösungsmusters und des gleichen Musters, das aus 180° Phasenstrukturen besteht. Wie dargestellt, weist dann, wenn ein Chrom-Muster 50% des einfallenden Lichts durchlässt, das gleiche Muster mit 180° Phasenverschiebung, 100% Durchlässigkeitsstrukturen null Intensität auf.

**[0041]** Ferner ist festzustellen, dass das vorstehend genannte Schachbrettmuster und die Größen der Phasenverschiebung oder Verwendung von Chrom rein exemplarisch sind. Variationen des Vorgenannten können durchgeführt werden, bis die gewünschte Menge an Streulichtreduzierung erzielt wird. Beispielsweise könnte das mögliche Muster folgendes umfassen, jedoch nicht darauf beschränkt sein: Linien-/Leerraummuster, rechteckiges Schachbrett, alternierende Horizontal- und Vertikallinien, übereinstimmende Linien-/Leerraummuster, etc. Der wichtige Aspekt ist, dass die im Streulicht-reduzierten Muster enthaltenen Strukturen unter der Auflösungsgrenze bleiben.

**[0042]** [Fig. 8](#) ist eine schematische Darstellung einer lithographischen Projektionsvorrichtung, die für eine Verwendung mit Masken geeignet ist, die mit Hilfe der vorliegenden Erfindung entwickelt worden sind. Die Vorrichtung umfasst:

- ein Strahlungssystem Ex, IL, zum Liefern eines Projektionsstrahls PB aus Strahlung. In diesem speziellen Fall umfasst das Strahlungssystem auch eine Strahlungsquelle LA;
- einen ersten Objektisch (Maskentisch) MT, der einen Maskenhalter zum Halten einer Maske MA (z.B. ein Retikel) aufweist und mit ersten Positionierungsmitteln zur akkurate Positionierung der Maske in Bezug auf Gegenstand PL verbunden ist;
- einen zweiten Objektisch (Substrattisch) WT, der einen Substrathalter zum Halten eines Substrats W (z.B. ein mit einer Schutzschicht überzogener Silizium-Wafer) aufweist und mit zweiten Positionierungsmitteln zur akkurate Positionierung des Substrats in Bezug auf Gegenstand PL verbunden ist;
- ein Projektionssystem („Linse“) PL (z.B. ein brechendes, katoptrisches oder katadioptrisches optisches System) zum Abbilden eines bestrahlten Abschnitts der Maske MA auf einen Zielabschnitt C (der z.B. einen oder mehrere Dies aufweist) des Substrats W.

**[0043]** Wie hier dargestellt, ist die Vorrichtung licht-

durchlässiger Art (d.h. sie weist eine durchlässige Maske auf). Im allgemeinen kann sie jedoch zum Beispiel auch reflektierender Art sein (mit einer reflektierenden Maske). Alternativ kann die Vorrichtung eine weitere Art von Musteraufbringungseinrichtung als Alternative zur Verwendung einer Maske verwenden; Beispiele umfassen ein programmierbares Spiegelfeld oder eine LCD-Matrix.

**[0044]** Die Quelle LA (z.B. eine Quecksilberlampe, ein Excimer-Laser oder eine Plasmaabführquelle) erzeugt einen Strahl aus Strahlung. Dieser Strahl wird zu einem Beleuchtungssystem (Illuminator) IL 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 einen Kondensator CO. Auf diese Weise erhält der auf die Maske MA auftreffende Strahl PB in seinem Querschnitt eine gewünschte Gleichmäßigkeit und Intensitätsverteilung.

**[0045]** Mit Bezug auf [Fig. 8](#) 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 (der z.B. auf KrF-, ArF- oder F<sub>2</sub>-Laserbetrieb basiert). Die vorliegende Erfindung und ihre Ansprüche beinhalten beide Szenarien.

**[0046]** Danach tritt der Strahl PB in die Maske MA ein, die in einem Maskenhalter auf einem Maskentisch MT gehalten wird. Nachdem er die Maske MA durchquert hat, 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. 8](#) 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 Betätigungsselement verbunden werden, oder er kann fixiert sein.

**[0047]** Die gezeigte Vorrichtung kann auf zwei unterschiedliche Arten eingesetzt werden:

- 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.
- Im Scan-Modus geschieht im wesentlichen das Gleiche, mit der Ausnahme, dass ein bestimmter Zielabschnitt C nicht in einem einzigen „Flash“ belichtet 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  $M = 1/4$  oder  $1/5$ ). Auf diese Weise kann ein relativ großer Zielabschnitt C belichtet werden, ohne dass hinsichtlich der Auflösung Kompromisse eingegangen werden müssen.

**[0048]** Die vorliegenden Ausführungsformen sind in jeder Hinsicht als darstellend und nicht als einschränkend zu betrachten, wobei der Umfang der Erfindung durch die beigefügten Ansprüche gezeigt wird.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung eines Maskenmusters beim Aufdrucken eines Zielmusters auf ein Substrat, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:

- (a) Bestimmen (11) einer maximalen Breite von Strukturen, die auf das Substrat abzubilden sind unter Verwendung von in dem besagten Maskenmuster gebildeten Phasenstrukturen;
- (b) Identifizieren (12, 13) aller in dem Zielmuster enthaltenen Strukturen, deren Breite der maximalen Breite gleich ist oder darunter liegt;
- (c) Extrahieren (12, 13) aller Strukturen, deren Breite der maximalen Breite gleich ist oder darunter liegt, von dem besagten Zielmuster;
- (d) Bilden (15) von Phasenstrukturen in dem besagten Maskenmuster, die allen in Schritt (b) identifizierten Strukturen entsprechen; und
- (e) Bilden (15) von Opakstrukturen in dem besagten Maskenmuster für alle Strukturen, die nach Durchführung von Schritt (c) im besagten Zielmuster ver-

bleiben.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei Schritt (b) folgende Schritte umfasst:

- (f) Identifizieren (12) aller Vertikalstrukturen, deren Breite der maximalen Breite gleich ist oder darunter liegt;
- (g) Extrahieren (12) aller in Schritt (f) identifizierten Vertikalstrukturen;
- (h) Identifizieren (13) aller Horizontalstrukturen, deren Breite der maximalen Breite gleich ist oder darunter liegt;
- (i) Extrahieren (13) aller in Schritt (h) identifizierten Horizontalstrukturen.

3. Verfahren nach Anspruch 2, ferner umfassend die Schritte des Identifizierens (14) aller Schnittpunkte zwischen den besagten in Schritt (f) identifizierten Vertikalstrukturen und den besagten in Schritt (h) identifizierten Horizontalstrukturen, und des Bildens (15) von Opakstrukturen in dem besagten Maskenmuster, die allen besagten Schnittpunkten entsprechen.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die besagten Schnittpunkte identifiziert werden, indem eine Boolsche „UND“-Funktion zwischen den in Schritt (g) extrahierten Vertikalstrukturen und den in Schritt (h) extrahierten Horizontalstrukturen durchgeführt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4, wobei die besagten Phasenstrukturen in dem besagten Maskenmuster durch Bereiche gebildet werden, die im wesentlichen 100%ige Durchlässigkeit und  $180^\circ$  Phasenverschiebung aufweisen, und die Opakstrukturen in dem besagten Maskenmuster durch Bereiche gebildet werden, die eine 0%ige Durchlässigkeit aufweisen.

6. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3, 4 oder 5, ferner umfassend den Schritt des Einschließens von Korrekturmerkmalen optischer Nähe oder Kantschrägen in dem besagten Maskenmuster.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit dem weiteren Schritt des Bildens einer mit dem besagten Maskenmuster versehenen Maske.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 6, mit dem weiteren Schritt des Bildens eines Datensatzes zum Steuern einer programmierbaren Musteraufbringungseinrichtung, wobei der Datensatz das besagte Maskenmuster enthält.

9. Vorrichtung zum Erzeugen eines Maskenmusters beim Aufdrucken eines Zielmusters auf ein Substrat, wobei die Vorrichtung folgendes umfasst: Mittel zum Bestimmen (11) einer maximalen Breite von Strukturen, die unter Verwendung von in dem be-

sagten Maskenmuster gebildeten Phasenstrukturen auf das besagte Substrat abzubilden sind;

Mittel zum Identifizieren (12, 13) aller in dem besagten Maskenmuster enthaltenen Strukturen, deren Breite der besagten maximalen Breite gleich ist oder darunter liegt;

Mittel zum Extrahieren (12, 13) aller Strukturen, deren Breite der besagten maximalen Breite gleich ist oder darunter liegt, von dem besagten Zielmuster; Mittel zum Bilden von Phasenstrukturen (15) in dem besagten Maskenmuster, die allen Strukturen entsprechen, deren Breite der besagten maximalen Breite gleich ist oder darunter liegt; und

Mittel zum Bilden von Opakstrukturen (15) in dem besagten Maskenmuster für alle Strukturen, deren Breite größer ist als die besagte maximale Breite.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, wobei die Mittel zum Identifizieren aller in dem besagten Zielmuster enthaltenen Strukturen, deren Breite der maximalen Breite gleich ist oder darunter liegt, folgendes umfassen:

Mittel zum Identifizieren aller Vertikalstrukturen (12), deren Breite der maximalen Breite gleich ist oder darunter liegt;

Mittel zum Extrahieren aller Vertikalstrukturen (12), deren Breite der maximalen Breite gleich ist oder darunter liegt;

Mittel zum Identifizieren aller Horizontalstrukturen (13), deren Breite der maximalen Breite gleich ist oder darunter liegt; und

Mittel zum Extrahieren aller Horizontalstrukturen (13), deren Breite der maximalen Breite gleich ist oder darunter liegt.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, wobei ferner Mittel zum Identifizieren (14) aller Schnittstellen zwischen den besagten Vertikalstrukturen, deren Breite der maximalen Breite gleich ist oder darunter liegt, und den besagten Horizontalstrukturen, deren Breite der maximalen Breite gleich ist oder darunter liegt, vorgesehen sind, und Opakstrukturen (15) in der besagten Maske gebildet werden, die sämtlichen der besagten Schnittstellen entsprechen.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, wobei die besagten Schnittstellen identifiziert werden, indem eine Boolsche „UND“-Funktion zwischen den durch das Mittel zum Extrahieren aller Vertikalstrukturen extrahierten Vertikalstrukturen und den durch das Mittel zum Extrahieren aller Horizontalstrukturen extrahierten Horizontalstrukturen durchgeführt wird.

13. Vorrichtung nach Anspruch 9, 10, 11 oder 12, wobei die besagten Phasenstrukturen in dem besagten Maskenmuster durch Bereiche gebildet werden, die im wesentlichen 100%ige Durchlässigkeit und 180° Phasenverschiebung aufweisen, und die besagten Opakstrukturen in dem besagten Maskenmuster durch Bereiche gebildet werden, die eine

0%ige Durchlässigkeit aufweisen.

14. Vorrichtung nach Anspruch 9, 10, 11, 12 oder 13, ferner mit Mitteln, die optische Korrekturfähigkeiten oder Kantenschrägen in dem besagten Maskenmuster umfassen.

15. Computerprogramm, mit Programmcodemitteln, die bei Einsatz in einem Computersystem das Computersystem anweisen, das Verfahren nach jedem der Ansprüche 1 bis 6 und 8 durchzuführen.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

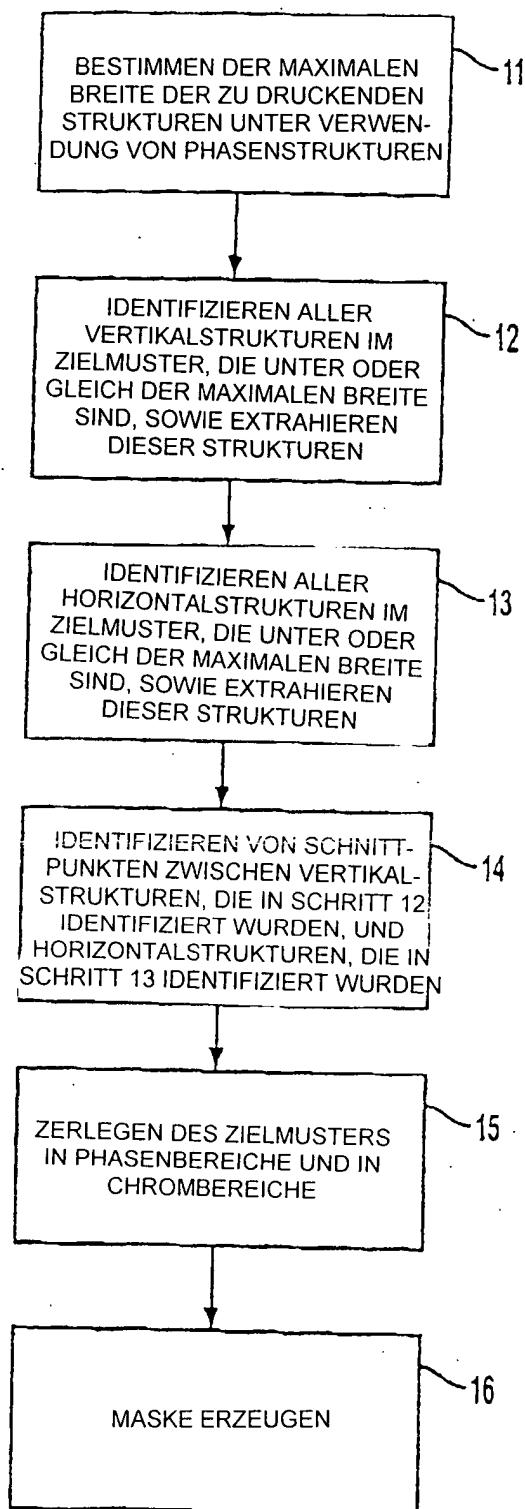


FIG. 1

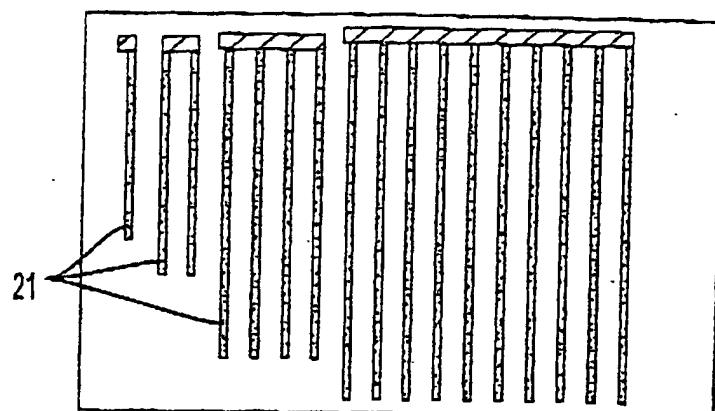


FIG. 2a

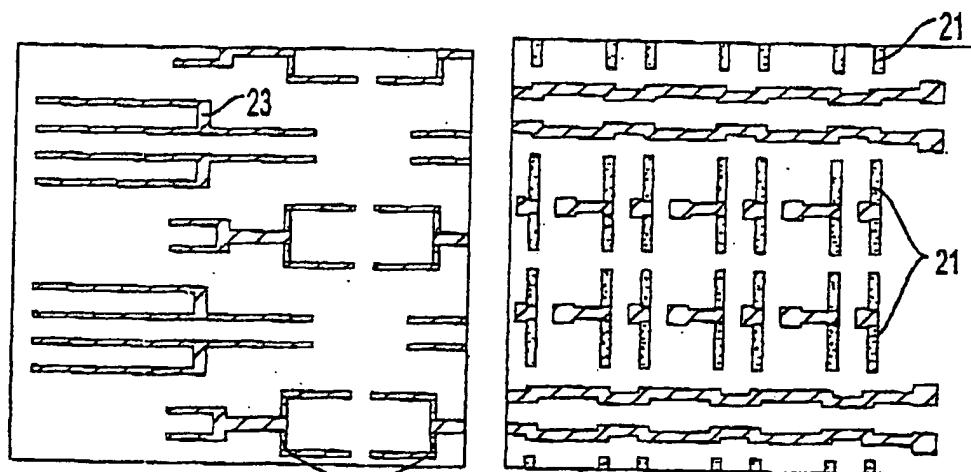


FIG. 2b

FIG. 2c

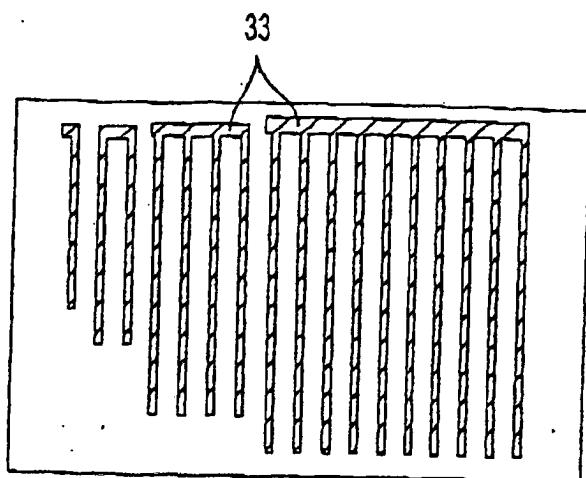


FIG. 3a

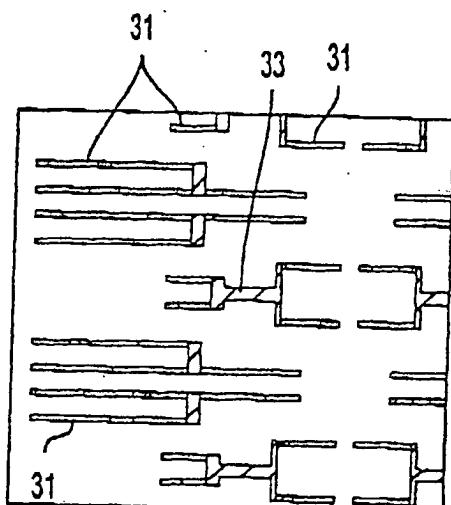


FIG. 3b

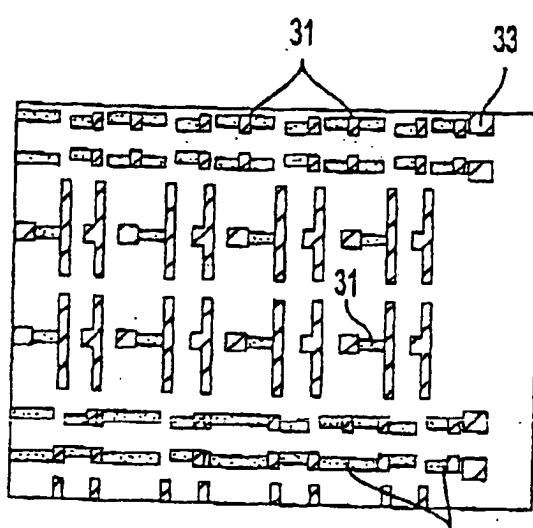


FIG. 3c 31

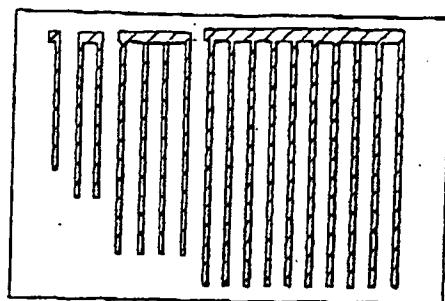


FIG. 4a

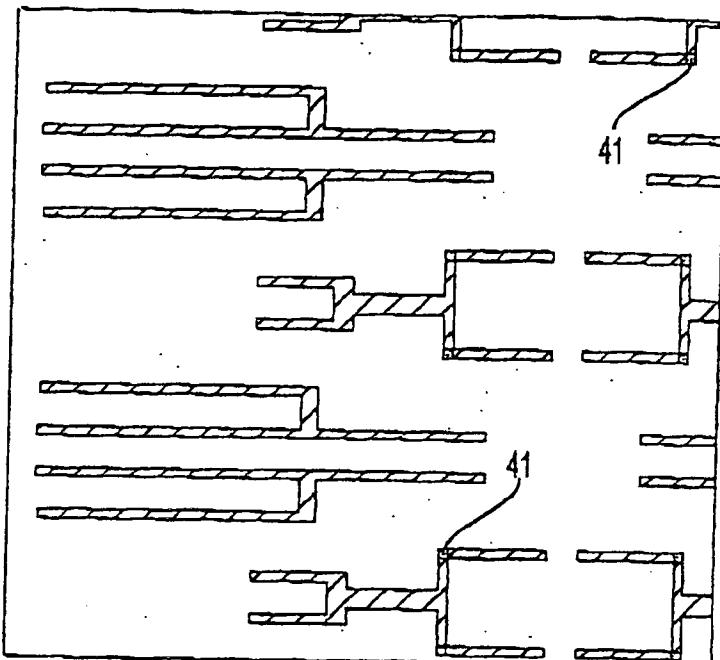


FIG. 4b

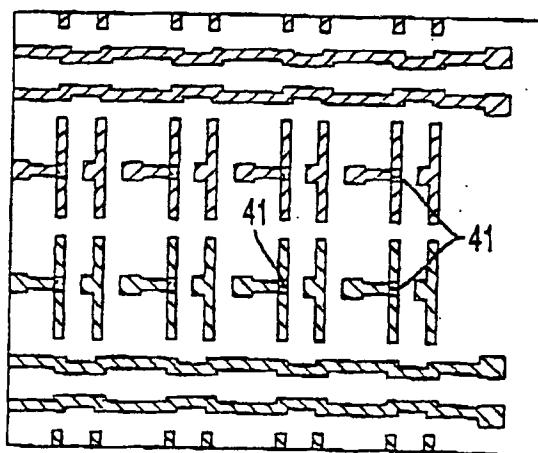


FIG. 4c

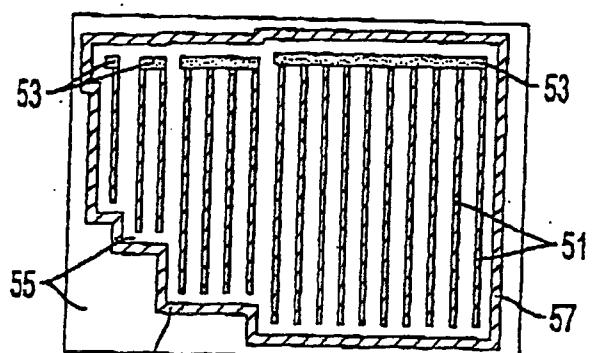


FIG. 5a

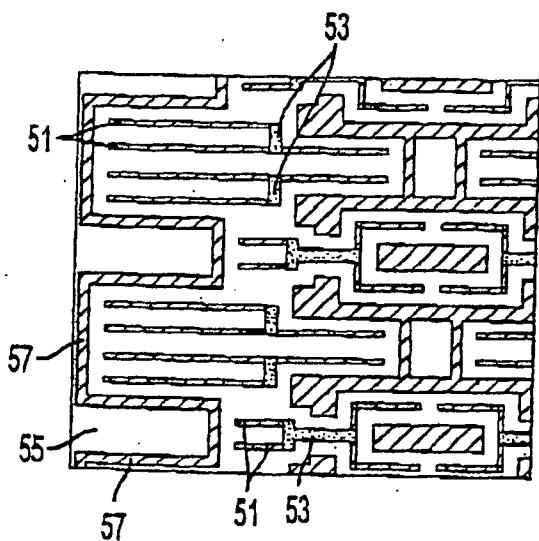


FIG. 5b

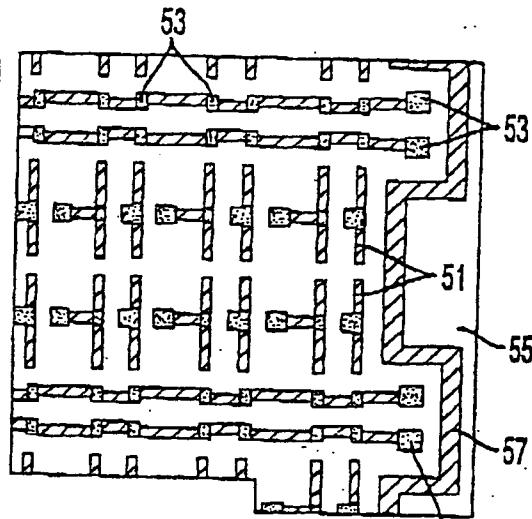


FIG. 5c

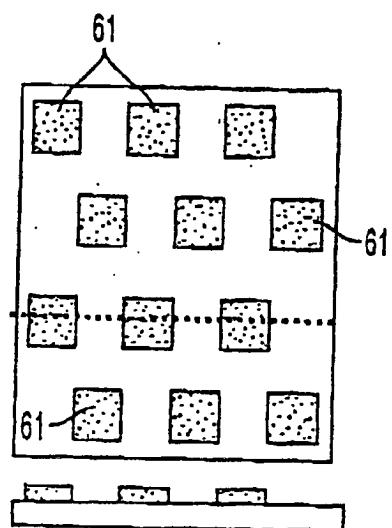


FIG. 6a

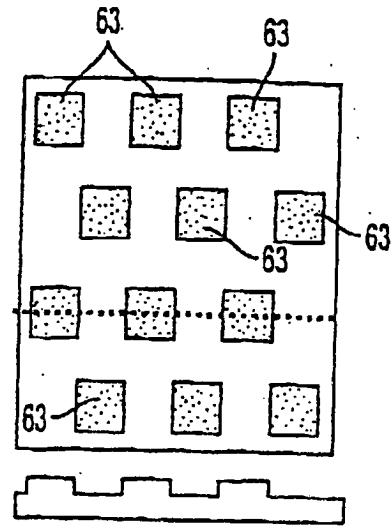


FIG. 6b

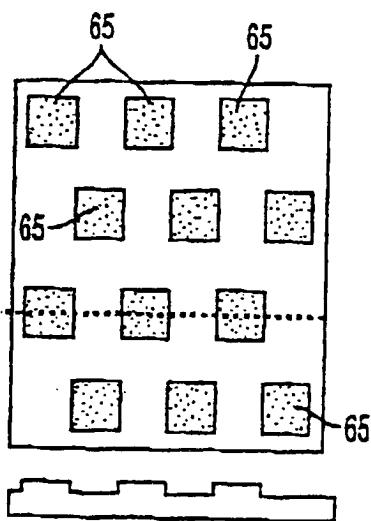


FIG. 6c

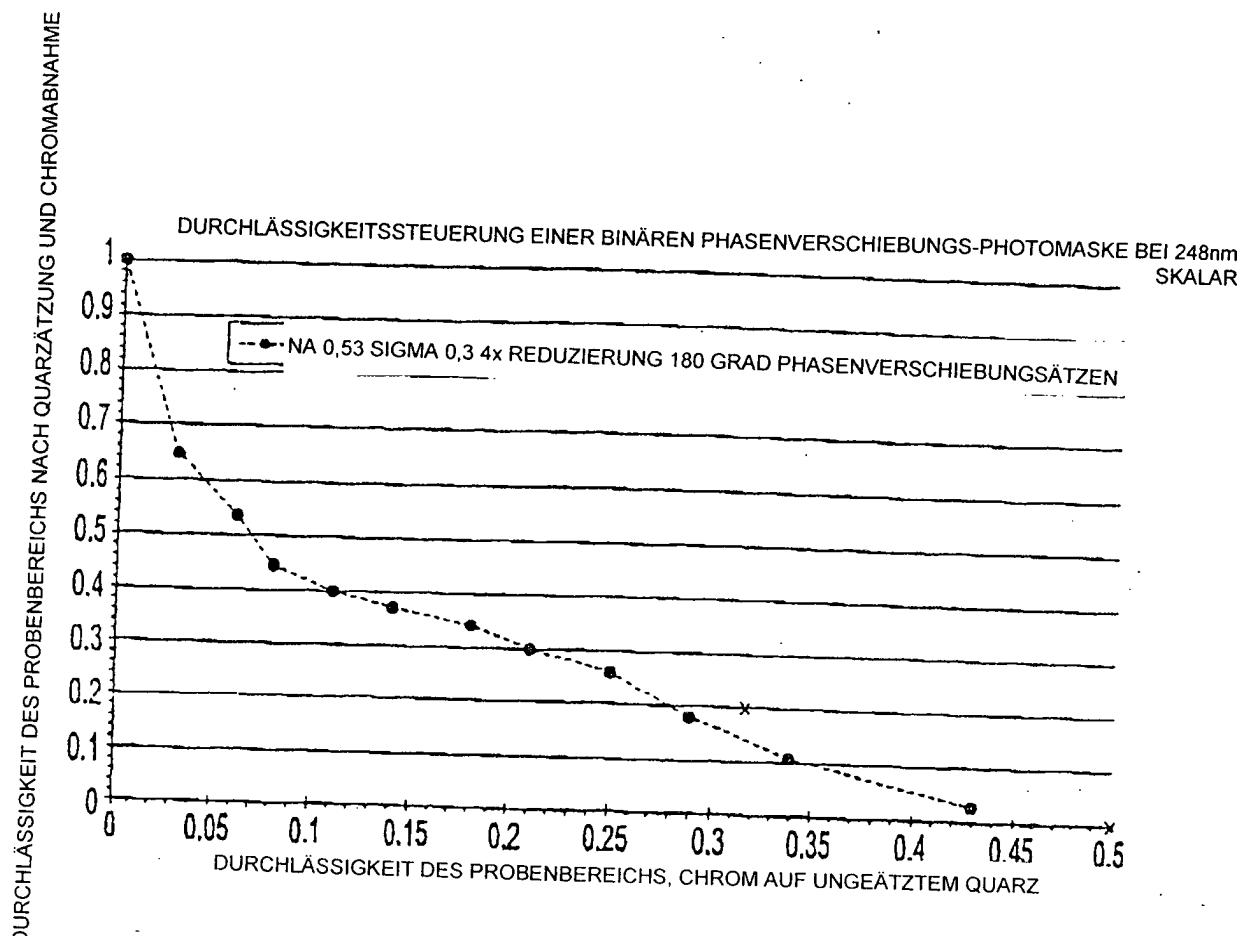


FIG. 7

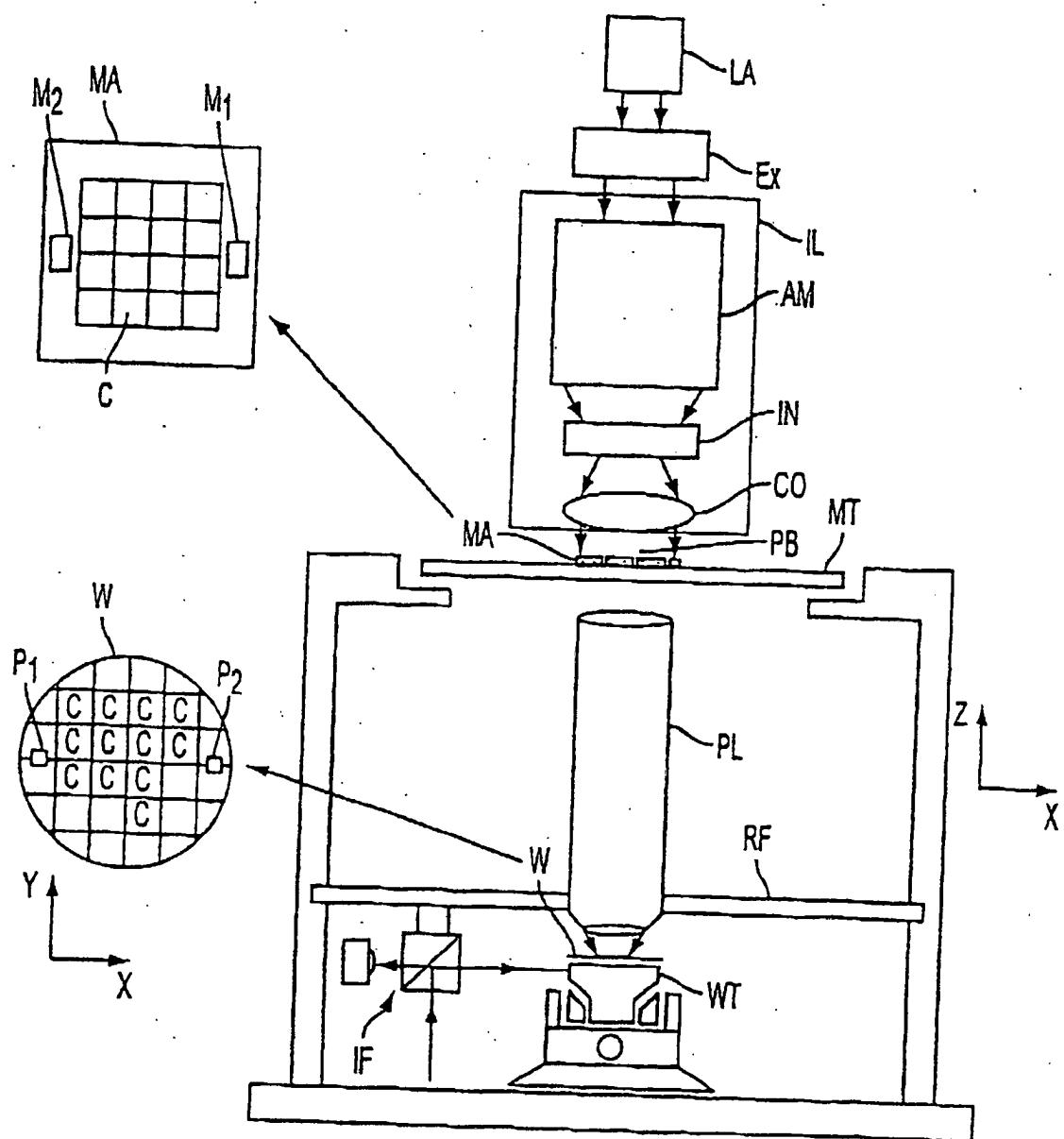


FIG. 8