(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 09 306 T2** 2006.10.12

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 237 046 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 09 306.6**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 251 365.9**
(96) Europäischer Anmeldetag: **27.02.2002**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **04.09.2002**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **22.02.2006**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **12.10.2006**

(51) Int Cl.[8]: ***G03F 7/20*** (2006.01)
G03F 1/14 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

271722 P	**28.02.2001**	**US**
840305	**24.04.2001**	**US**

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

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

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

(72) Erfinder:
Shi, Xuelong, Santa Clara,CA 95054, US; Chen, Jang Fung, Cupertino,CA 95014, US; Hsu, Duan-Fu Stephen, Fremont,CA 94539, US

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Identifizierung von Regionen extremer Wechselwirkung, Verfahren zum Entwerfen von Maskenmustern und zur Herstellung von Masken, Verfahren zur Herstellung von Elementen und Computerprogramme**

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

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

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft die Photolithographie und insbesondere Korrekturverfahren optischer Nähe, die während der Entwicklung photolithographischer Masken zur Verwendung in lithographischen Vorrichtungen eingesetzt werden, mit:

– einem Strahlungssystem zum Bereitstellen eines Projektionsstrahls aus Strahlung;
– einer Stützkonstruktion zum Halten von Musteraufbringungseinrichtungen, wobei die Musteraufbringungseinrichtungen dazu dienen, den Projektionsstrahl gemäß einem gewünschten Muster zu mustern;
– einem Substrattisch zum Halten eines Substrats; und
– einem Projektionssystem zum Projizieren des gemusterten Strahls auf einen Zielabschnitt des Substrats.

[0002] Der hier verwendete Begriff „Musteraufbringungseinrichtung" sollte so weit interpretiert werden, dass er sich auf Einrichtungen bezieht, die dafür verwendet werden können, einem eingehenden Strahl aus Strahlung einen gemusterten Querschnitt aufzuprägen, gemäß einem Muster, das in einem Zielabschnitt des Substrats erzeugt werden soll; der Begriff „Lichtventil" ist in diesem Zusammenhang ebenfalls verwendet worden. Im Allgemeinen entspricht das besagte Muster einer bestimmten funktionalen Schicht in einem im Zielabschnitt erzeugten Bauelement, wie eine integrierte Schaltung oder ein anderes Bauelement (siehe unten). Beispiele einer derartigen Musteraufbringungseinrichtung umfassen:

– Eine Maske. Das Konzept einer Maske ist in der Lithographie gut bekannt und umfasst binäre, wechselnde Phasenverschiebungs- und reduzierte Phasenverschiebungsmaskenarten sowie verschiedene Arten von Hybridmasken. Die Anordnung einer derartigen Maske im Strahlungsstrahl bewirkt selektive Lichtdurchlässigkeit (im Falle einer lichtdurchlässigen Maske) bzw. Reflexion (im Falle einer reflektierenden Maske) der auf die Maske auftreffenden Strahlung gemäß dem Muster auf der Maske. Im Fall einer Maske ist die Stützkonstruktion im allgemeinen ein Maskentisch, der sicher stellt, dass die Maske in einer gewünschten Position im eingehenden Strahl aus Strahlung gehalten werden kann und dass sie, sofern erwünscht, bezogen auf den Strahl bewegt werden kann.
– 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 gebrochenes Licht reflektieren, wohingegen unadressierte Bereiche auftreffendes Licht als ungebrochenes Licht reflektieren. Wird ein geeigneter Filter verwendet, kann das besagte ungebrochene Licht aus dem reflektierten Strahl herausgefiltert werden, wobei nur das gebrochene Licht zurückgelassen wird; auf diese Weise wird der Strahl gemäß dem Adressierungsmuster der matrixadressierbaren Oberfläche gemustert. Eine alternative Ausführungsform eines programmierbaren Spiegelfeldes verwendet eine Matrixanordnung aus kleinen Spiegeln, von denen jeder individuell um eine Achse gekippt werden kann, indem ein geeignetes lokalisiertes elektrisches Feld angelegt wird oder in dem piezoelektrische Betätigungsmittel verwendet werden. Nochmals: Die Spiegel sind so matrixadressierbar, dass adressierte Spiegel einen einkommenden Strahlungsstrahl in eine andere Richtung zu unadressierten Spiegeln reflektieren; auf diese Weise wird der reflektierte Strahl gemäß dem adressierenden Muster der matrixadressierbaren Spiegel mit einem Muster versehen. Die erforderliche Matrixadressierung kann unter Verwendung geeigneter elektronischer Einrichtungen durchgeführt werden. Bei beiden vorstehend beschriebenen Situationen kann die Musteraufbringungseinrichtung einen oder mehr programmierbare Spiegelfelder aufweisen. Weitere Informationen über derartige Spiegelfelder können beispielsweise den US-Patenten 5,296,891 und US 5,523,193 sowie den PCT-Patentanmeldungen WO 98/38597 und WO 98/33096 entnommen werden. Im Fall eines programmierbaren Spiegelfeldes kann die besagte Stützkonstruktion als Gestell oder als Tisch ausgebildet sein, der bei Bedarf beispielsweise fixiert oder bewegbar sein kann.
– Ein programmierbares LCD-Feld. Ein Beispiel für eine derartige Konstruktion ist im US-Patent 5,229,872 gegeben. Wie im Vorstehenden kann in diesem Fall die Stützkonstruktion als Gestell oder als Tisch ausgebildet sein, der bei Bedarf beispielsweise fixiert oder bewegbar sein kann.

[0003] Aus Gründen der Vereinfachung kann sich der Rest dieses Textes an bestimmten Stellen speziell auf Beispiele beziehen, die einen Maskentisch und eine Maske verwenden; die in diesen Fällen erörterten allgemeinen Prinzipien sollten jedoch im weiteren Kontext der Musteraufbringungseinrichtung gesehen werden, wie er vorstehend festgelegt worden ist.

[0004] Lithographische Projektionsvorrichtungen können beispielsweise für die Herstellung von integrierten Schaltungen (ICs) verwendet werden. In so einem Fall kann die Musteraufbringungseinrichtung ein Schaltungsmuster entsprechend einer einzelnen Schicht der integrierten Schaltung erzeugen und dieses Muster kann auf einen Zielabschnitt (der z.B. einen oder mehrere Dies enthält) auf einem Substrat (Silizium-Wafer), das mit einer Schicht aus strahlungssensitivem Material (Schutzlack) überzogen worden ist, abgebildet wer-

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

[0005] Bei einem Herstellungsverfahren, bei dem ein lithographischer Projektionsapparat verwendet wird, wird ein Muster (z.B. in einer Maske) auf ein Substrat abgebildet, das wenigstens teilweise von einer Schicht aus strahlungssensitivem Material (Schutzschicht) 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. einem Post-Exposurebake (PEB), Entwicklung, einem Hardbake und Messen/Inspizieren der abgebildeten Strukturen. Diese Folge von Verfahrensschritten wird als Basis verwendet, um eine individuelle Schicht eines Bauelements, z.B. einer integrierten Schaltung, mit einem Muster zu versehen. Eine derart gemusterte Schicht kann dann mehreren Verfahrensschritten wie z.B. Ätzen, Ionenimplantation (Doping), Metallisierung, Oxydation, chemomechanisches Polieren etc. ausgesetzt werden, die alle dazu dienen, eine individuelle Schicht fertig zu stellen. Sind mehrere Schichten erforderlich, muss die gesamte Prozedur, oder eine Variante davon, für jede neue Schicht wiederholt werden. Schließlich befindet sich eine Gruppe von Bauelementen auf dem Substrat (Wafer). Diese Elemente werden dann durch ein Verfahren wie z.B. Teilen oder Sägen voneinander getrennt, wonach die einzelnen Elemente auf einen Träger montiert, mit Pins verbunden werden können, etc.. Weitere Informationen hinsichtlich derartiger Verfahrensschritte können zum Beispiel dem Buch „Microchip Fabrication: A Practical Guide to Semiconductor Processing", 3. Ausgabe, von Peter van Zant, McGraw Hill Publishing Co., 1997, ISBN 0-07-067250-4 entnommen werden.

[0006] Der Einfachheit halber kann das Projektionssystem im Folgenden als „Linse" bezeichnet werden; jedoch sollte dieser Begriff so weit interpretiert werden, dass er verschiedene Arten von Projektionssystemen umfasst, die beispielsweise lichtbrechende Optiken, reflektierende Optiken, und katadioptrische Systeme umfassen. Das Strahlungssystem kann auch Komponenten umfassen, die gemäß jeder dieser Konstruktionstypen zum Leiten, Formen oder Steuern des Projektionsstrahls aus Strahlung arbeiten, und derartige Komponenten können nachstehend auch zusammen oder einzeln als eine „Linse" bezeichnet werden. Ferner kann die lithographische Vorrichtung derart sein, dass sie zwei oder mehr Substrattische aufweist (und/oder zwei oder mehr Maskentische). 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.

[0007] Da die Technologie der Halbleiterherstellung schnell an die Grenzen der optischen Lithographie stößt, sind durch die Verfahren nach dem Stand der Technik bisher regelmäßig integrierte Schaltungen hergestellt worden, deren Strukturen kritische Dimensionen („CDs") aufweisen, die sich unter der Belichtungswellenlänge („λ") befinden. Eine „kritische Dimension" einer Schaltung ist definiert als die kleinste Breite einer Struktur oder als der kleinste Raum zwischen zwei Strukturen. Bei Strukturmustern, die kleiner als λ sind, ist festgestellt worden, dass der optische Naheffekt (OPE) viel schwerwiegender wird und in der Tat für Spitzenherstellungsprozesse unter λ nicht tolerierbar ist.

[0008] Optische Naheffekte sind eine gut bekannte Eigenschaft von Belichtungswerkzeugen zur optischen Projektion. Genauer gesagt: Naheffekte treten auf, wenn Schaltungsmuster mit sehr engem Abstand lithographisch auf eine Schutzschicht auf einem Wafer übertragen werden. Die Lichtwellen des Schaltungsmusters mit engem Abstand beeinflussen sich gegenseitig, wodurch die zuletzt übertragenen Musterstrukturen deformiert werden. In anderen Worten: Beugung bewirkt, dass benachbarte Strukturen sich auf eine Weise gegenseitig beeinflussen, dass musterabhängige Änderungen erzeugt werden. Die Größenordnung des optischen Naheffekts auf einer bestimmten Struktur hängt von der Platzierung der Struktur auf der Maske in Bezug auf andere

Strukturen ab.

[0009] Eines der durch derartige Naheffekte hervorgerufene primäre Problem besteht in einer unerwünschten Änderung der kritischen Struktur-Dimensionen. Bei jedem Spitzenhalbleiterherstellungsprozess besteht das primäre Herstellungsziel gewöhnlich darin, eine straffe Kontrolle über die kritischen Struktur-Dimensionen (d.h. Schaltungselemente und Verbindungen) zu erhalten, da dies einen direkten Einfluss auf die Qualitätsausbeute der Wafer und den Durchsatz des Endprodukts hat.

[0010] Es ist bekannt, dass die Änderungen der kritischen Dimensionen von Schaltungsstrukturen, die durch den optischen Naheffekt hervorgerufen worden sind, durch verschiedene Verfahren reduziert werden können. Bei einem dieser Verfahren werden die Beleuchtungscharakteristika des Belichtungswerkzeuges angepasst. Genauer gesagt: Indem das Verhältnis der numerischen Apertur des Beleuchtungskondensors („NAc") zu der numerischen Apertur der abbildenden Objektivlinse („NAo") ausgewählt wird (dieses Verhältnis bezieht sich auf das Teilkohärenzverhältnis -σ), kann der Grad des optischen Naheffekts einigermaßen manipuliert werden.

[0011] Zusätzlich zur Verwendung relativ inkohärenter Beleuchtung, wie sie vorstehend beschrieben worden ist, kann der optische Naheffekt (OPE) auch durch „Vorkorrektur" der Maskenstrukturen kompensiert werden. Diese Verfahrensfamilie ist allgemein bekannt als Korrekturverfahren der optischen Näherung (OPC).

[0012] So ist zum Beispiel im US-Patent Nr. 5,242,770 (das '770-Patent) das Verfahren zur Verwendung von Streustäben (scattering bars SBs) für das optische Näherungs-Korrekturverfahren beschrieben worden. Das '770-Patent demonstriert, dass das Verfahren zur Verwendung von Streustäben sehr effektiv ist zum Modifizieren isolierter Strukturen, so dass sich die Strukturen verhalten, wie wenn sie dicht gepackte Strukturen wären. Dadurch wird die Brennweite (DOF) für die isolierten Strukturen ebenfalls verbessert, wodurch der Verfahrensspielraum signifikant verbessert wird. Streustäbe (ebenfalls bekannt als Intensitätsausgleichsstäbe oder Hilfsstäbe) sind Korrekturmerkmale (gewöhnlich durch das Belichtungswerkzeug nicht auflösbar), die direkt neben Kanten isolierter Strukturen auf einer Maske angeordnet sind, um die Kantenintensitätsgradienten der isolierten Kanten einzustellen. Vorzugsweise entsprechen die eingestellten Kantenintensitätsgradienten der isolierten Kanten den Kantenintensitätsgradienten der dichten Strukturkanten, wodurch die durch Streustäbe unterstützten isolierten Strukturen fast die gleiche Breite aufweisen wie dicht gepackte Strukturen.

[0013] Es ist allgemein bekannt, dass der Verfahrensspielraum hinsichtlich dichter Strukturen besser ist, als der hinsichtlich isolierter Strukturen unter herkömmlicher Beleuchtung für große Strukturgrößen. In letzter Zeit sind jedoch aggressivere Beleuchtungsschemata wie z.B. Ringbeleuchtung oder Multipolbeleuchtung als Mittel zur verbesserten Auflösung eingesetzt worden, und bekannte optische Näherungs-Korrekturverfahren (OPCs) konnten mit diesen Beleuchtungsschemata nicht immer die gewünschten Effekte aufweisen.

[0014] Eine Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Optimierung von Maskenmustern zur Verwendung mit mehreren unterschiedlichen Beleuchtungsschemata zu schaffen.

[0015] Erfindungsgemäß schafft die vorliegende Erfindung, die in den beigefügten Ansprüchen definiert ist, ein Verfahren und eine Technik zum Identifizieren und Eliminieren verbotener Abstandsbereiche, welche die Gesamtdruckleistung mindern, um so eine Verbesserung der kritischen Dimensionen (CDs) und des Verfahrensspielraums zu ermöglichen, die durch Anwendung allgemein bekannter photolithographischer Werkzeuge und Verfahren erhalten werden können. Die „verbotenen Abstandsbereiche" sind Bereiche, in denen sowohl die kritische Dimension der Struktur als auch der Verfahrensspielraum der Struktur negativ beeinflusst werden.

[0016] Bei der Verwendung derartiger Beleuchtungsschemata haben die Erfinder der vorliegenden Erfindung festgestellt, dass einige optische Phänomene stärker wurden. Insbesondere haben die Erfinder ein Phänomen des verbotenen Abstands bemerkt. Genauer gesagt, es handelt sich um Abstandsbereiche, innerhalb derer der Verfahrensspielraum einer „dicht angeordneten" Hauptstruktur, insbesondere der Belichtungsspielraum, schlechter ist als der einer isolierten Struktur gleicher Größe. Diese wichtige Beobachtung zeigt, dass die Existenz der Nachbarstruktur für das Drucken der Hauptstruktur nicht immer gut ist, was im Gegensatz zu den allgemeinen Beobachtungen vor Entdeckung der vorliegenden Erfindung steht. Tatsächlich glauben die Erfinder der vorliegenden Erfindung, dass das Phänomen des verbotenen Abstands ein begrenzender Faktor in der modernen Photolithographie geworden ist. Daher wird das Unterdrücken des Phänomens des verbotenen Abstands notwendig sein, um die kritischen Dimensionen und den Verfahrensspielraum weiter zu verbessern, die durch Anwendung allgemein bekannter Werkzeuge und Verfahren zur Herstellung von Halbleitern und Verfahren erhalten werden können.

[0017] Genauer gesagt betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Identifizieren unerwünschter Abstände zwischen Strukturen beim Entwerten einer integrierten Schaltung (oder anderer Bauteile), die unter Verwendung eines lithographischen Belichtungswerkzeugs auf ein Substrat aufgebracht werden soll. Bei einer beispielhaften Ausführungsform umfasst das Verfahren die Schritte (a) Identifizieren von Abstandsbereichen mit extremer Wechselwirkung, indem Beleuchtungsintensitätspegel für einen bestimmten Beleuchtungswinkel über einen Bereich von Abständen bestimmt werden; und (b) Identifizieren der unerwünschten Abstände für jeden Abstandsbereich mit extremer Wechselwirkung, der in Schritt (a) identifiziert worden ist, indem Beleuchtungsintensitäten für einen bestimmten Abstandsbereich mit extremer Wechselwirkung über einen Bereich von Beleuchtungswinkeln bestimmt wird.

[0018] Gemäß der vorliegenden Erfindung ist gezeigt worden, dass die Variation der kritischen Dimension sowie der Verfahrensspielraum einer Hauptstruktur eine direkte Folge der Lichtfeldinterferenz zwischen der Hauptstruktur und den Nachbarstrukturen ist. In Abhängigkeit von der Phase des durch die Nachbarstrukturen erzeugten Feldes, kann die kritische Dimension und der Verfahrensspielraum der Hauptstruktur durch konstruktive Lichtfeldinterferenz verbessert oder durch destruktive Lichtfeldinterferenz verschlechtert werden. Die Phase des durch die Nachbarstrukturen erzeugten Feldes kann sowohl vom Abstand als auch vom Beleuchtungswinkel abhängig sein. Bei einem bestimmten Beleuchtungswinkel liegt der verbotene Abstand in dem Bereich, wo das durch die Nachbarstrukturen erzeugte Feld mit dem Feld der Hauptstruktur destruktive Interferenzen aufweist. Die vorliegende Erfindung schafft ein Verfahren zum Identifizieren der verbotenen Abstandsbereiche (d.h. Positionen) für jegliche Strukturgröße und jegliche Beleuchtungsbedingung. Wichtiger noch: die vorliegende Erfindung schafft ein Verfahren zum Durchführen einer Beleuchtungserstellung, um die verbotenen Abstandsphänomene zu unterdrücken, wodurch die damit verbundenen negativen Effekte unterdrückt werden. Ferner schafft die vorliegend Erfindung ein Verfahren zur Verwendung der Streustabanordnung zusammen mit der Unterdrückung der verbotenen Abstandsphänomene, um die optischen Naheffekte weiter zu minimieren und die Gesamtdruckleistung zu optimieren.

[0019] Wie nachfolgend noch genauer beschrieben sein wird, schafft die vorliegende Erfindung signifikante Vorteile gegenüber dem Stand der Technik. Am wichtigsten ist, dass die vorliegende Erfindung der Identifizierung und Eliminierung verbotener Abstandsbereiche dient, welche die Gesamtdruckleistung mindern, wodurch eine Verbesserung der kritischen Dimensionen und des Verfahrensspielraumes ermöglicht wird, die durch die Anwendung momentan bekannter photolithographischer Werkzeuge und Verfahren erzielt werden können.

[0020] Es ist klar, dass bei der vorliegenden Erfindung das „Maskenmuster" in einer Maske enthalten sein kann, jedoch auch unter Verwendung einer anderen Art eines Musteraufbringungsmittels aufgebracht werden kann; Beispiele hierfür finden sich vorstehend. Der Begriff „Maskenmuster" wird hier der Bequemlichkeit halber verwendet, soll jedoch nicht bedeuten, dass das Vorhandensein einer Maske erforderlich ist, solange es der Kontext nicht anders erfordert.

[0021] Obwohl in diesem Text speziell auf die Verwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung bei der Herstellung von integrierten Schaltungen hingewiesen werden kann, sollte klar sein, dass eine derartige Vorrichtung viele weitere Anwendungsmöglichkeiten hat. Sie kann zum Beispiel bei der Herstellung von integrierten optischen Systemen, Leit- und Erfassungsmustern für Magnetblasenspeicher, Flüssigkristall-Anzeigetafeln, Dünnschicht-Magnetköpfen verwendet werden. Der Fachmann wird erkennen, dass im Kontext mit derartigen alternativen Anwendungsmöglichkeiten jede Benutzung der Begriffe „Retikel", „Wafer" oder „Die" in diesem Text jeweils durch die allgemeineren Begriffe „Maske", „Substrat" und „Zielabschnitt" ersetzt worden sind.

[0022] 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 oder 126nm) und EUV (extrem ultraviolette Strahlung, z.B. mit einer Wellenlänge im Bereich 5–20nm) sowie Teilchenstrahlen wie z.B. Ionenstrahlen oder Elektronenstrahlen mit einzuschließen.

[0023] Weitere Vorteile der vorliegenden Erfindung werden dem Fachmann aus der folgenden detaillierten Beschreibung und den begleitenden Zeichnungen offenbar, wobei:

[0024] Fig. 1a ein exemplarisches Abbildungssystem zeigt;

[0025] Fig. 1b und Fig. 1c die Umwandlung eines Bildpunktes auf der Achse bei der Austrittspupille in einen entsprechenden Punkt in der zweidimensionalen Frequenzebene zeigt;

[0026] Fig. 2 ein exemplarisches Maskenmuster zeigt, das auf einen Wafer gedruckt werden soll;

[0027] Fig. 3a–Fig. 3d exemplarische Ergebnisse sowohl der Beleuchtung auf der Achse als auch der Beleuchtung neben der Achse zeigen;

[0028] Fig. 4a und Fig. 4b eine exemplarische Wechselwirkung zwischen Seitenstrukturen und der Hauptstruktur an zwei unterschiedlichen Abständen unter einem speziellen Beleuchtungswinkel zeigen;

[0029] Fig. 5 eine graphische Darstellung einer zweidimensionalen Beleuchtung ist;

[0030] Fig. 6 eine graphische Darstellung des konjugierten Beleuchtungsschemas ist, das für den Ausgleich der vertikalen und horizontalen Strukturleistung erforderlich ist;

[0031] Fig. 7 ein Flussdiagramm zeigt, in dem der Prozess des Definierens/Identifizierens der verbotenen Abstandsbereiche im Detail zu sehen ist;

[0032] Fig. 8 eine aus dem Prozess von Fig. 7 resultierende Darstellung ist, welche die Abstandsbereiche mit extremer Wechselwirkung zeigt;

[0033] Fig. 9 ein Flussdiagramm zeigt, das den Prozess des Erzeugens der Beleuchtungskarte für einen bestimmten Abstand im Detail zeigt;

[0034] Fig. 10a–Fig. 10c die Beleuchtungskarten zeigen, die den Abstandsbereichen mit extremer Wechselwirkung von 480nm, 560nm, 635nm entsprechen, die jeweils in Fig. 8 dargestellt sind;

[0035] Fig. 10d die Beleuchtungskarte zeigt, die dem Abstand von 310nm entspricht;

[0036] Fig. 11 eine Beleuchtungskonstruktion zeigt, die den Belichtungsspielraum beim Abstandsbereich von 480nm verbessert, während starke, konstruktive strukturelle Wechselwirkungen bei anderen Abstandsbereichen bewahrt werden;

[0037] Fig. 12 eine graphische Darstellung eines Vergleichs der Werte der log-Neigung ist, die mit Ring-, Quadrupol- und der modifizierten Quadrupolbeleuchtung verbunden sind;

[0038] Fig. 13 die Anordnungspositionen Kante-Kante mit extremer Wechselwirkung der Streustäbe um eine isolierte Hauptbahn zeigen;

[0039] Fig. 14a–d Beleuchtungskarten für Streustäbe mit variierender Trennung von einer Hauptstruktur zeigen;

[0040] Fig. 15 eine lithographische Projektionsvorrichtung zeigt.

[0041] Wie nachfolgend genauer erklärt, ist das Phänomen verbotener Abstände eine direkte Folge optischer Wechselwirkungen zwischen Nachbarstrukturen. Genauer gesagt: Die Feldphase der Nachbarstruktur bezogen auf die der Hauptstruktur hängt vom Beleuchtungswinkel und dem Trennungsabstand zwischen den Strukturen ab. Für einen bestimmten Beleuchtungswinkel gibt es Abstandsbereiche, innerhalb derer die durch die Nachbarstruktur erzeugte Feldphase im wesentlichen um 180° aus der Phase bezogen auf die Feldphase der Hauptstruktur ist, was zu destruktiven Interferenzen führt. Eine derartige destruktive Interferenz reduziert den Bildkontrast der Hauptstruktur und bewirkt als Ergebnis dessen einen Verlust an Belichtungsspielraum. Es sind diese Abstandsbereiche, die destruktive Interferenzen bewirken, die sich auf die verbotenen Abstandsbereiche beziehen, und die durch die Verfahren der vorliegenden Erfindung identifiziert und eliminiert werden.

[0042] Gemäß den Verfahren der vorliegenden Erfindung, und wie nachstehend erklärt, werden die verbotenen Abstandsbereiche (d.h. die Abstandsbereiche mit extremer struktureller Wechselwirkung) mittels einer Beleuchtungskarte ausgewiesen bzw. identifiziert. Bei einer Ausführungsform wird für jeden Abstand mit extremer struktureller Wechselwirkung eine entsprechende Beleuchtungskarte erzielt, die ihre bevorzugten Beleuchtungsbereiche und ihre nicht bevorzugten Beleuchtungsbereiche zeigt. Somit können durch Anwenden der Beleuchtungskarten die unerwünschten verbotenen Abstandsbereiche eliminiert werden. Wenn ferner die Größe der Nachbarstruktur auf die Größe des Streustabes geändert wird, können ähnliche konstruktive und destruktive Wechselwirkungsbereiche lokalisiert werden und es können auch ihre entsprechenden Beleuchtungskarten erhalten werden. Auf der Basis dieser Beleuchtungskarten ermöglicht die vorliegende Erfindung auch eine optimale Streustabanordnung, die für einen bestimmten Beleuchtungszustand zu bestimmen ist.

[0043] Bevor die Details der vorliegenden Erfindung erörtert werden, wird ein kurzer Bericht über die für das Verfahren der vorliegenden Erfindung relevante Theorie gegeben. Gemäß der Fourier-Optik kann die Bildverarbeitung als ein Doppelbeugungsprozess unter kohärenter Beleuchtung gesehen werden. Die Linse wirkt als das Fourier-Transformationsbauteil, das die geometrischen Daten des Objekts (d.h. das Retikel) in die Ortsfrequenzdaten des Objekts im Frequenzbereich umwandelt. Die Ortsfrequenzdaten des Objekts (d.h. die Frequenzkomponenten und deren Amplituden) werden an der Ausgangspupille des optischen Abbildungssystems angezeigt. Wenn die linearen Abmessungen der geometrischen Figuren am Objekt viel größer sind als die Beleuchtungswellenlänge und wenn die Topologie des Objekts viel kleiner ist als die Beleuchtungswellenlänge, kann das Objekt dann als rein geometrisch betrachtet werden und es kann die skalare Beugungstheorie angewendet werden.

[0044] Die vorstehenden Voraussetzungen werden momentan für ein optisches Abbildungssystem mit reduzierter Projektion mit einem binären Chrom-Retikel als gültig betrachtet. In derartigen Fällen wird das elektrische Feld an der Ausgangspupille mit der Übertragungsfunktion des Objekts durch die Fourier-Transformation in Bezug gesetzt, Auch wenn 4fach- oder 5fach-Reduktions-Projektionssysteme in praktischen Photolithographiesystemen eingesetzt werden, wird bei der folgenden Erörterung ein 1fach-System verwendet, um die Analyse zu vereinfachen. Das optische 1fach-Abbildungssystem vermeidet die Komplexität der Datenumwandlung von der Eingangspupille bis zur Ausgangspupille, die für ein 4fach- oder 5fach-Abbildungssystem mit optischer Reduktion erforderlich ist, d.h. die Ortsfrequenzumwandlung, die Feldgrößenumwandlung und die Polarisationsverfolgung. Festzustellen ist jedoch, dass die vorliegende Erfindung auf andere Systeme, einschließlich eines optischen 4fach- oder 5fach-Abbildungssystems mit optischer Reduktion oder jedes andere anwendbare System, anwendbar ist.

[0045] **Fig.** 1 zeigt ein exemplarisches Abbildungssystem **10**, das für die Beschreibung der Arbeitsweise der vorliegenden Erfindung hilfreich ist. Wie dargestellt, umfasst das Abbildungssystem **10** eine monochromatische Lichtquelle **12**, einen Kondensor **14**, ein Retikel **16** und eine Projektionslinse **18**. Wie ebenfalls dargestellt, erzeugt das Abbildungsverfahren eine Ausgangspupille **20** und eine Abbildungsebene **22**. Bei diesem System ist das Beleuchtungsschema Köhlersche Befeuchtung, so dass eine einheitliche Beleuchtung erzielt wird. Wenn darüber hinaus eine einstellbare Blendenstufe an der hinteren Brennebene der Projektionslinse **18** angeordnet ist, wird die hintere Brennebene dann zur Ausgangspupille, weil sich dort keine optischen Elemente zwischen der hinteren Brennebene und der Abbildungsebene befinden. Wenn die Ausgangspupille vom Abbildungspunkt auf der Achse untersucht wird, entspricht jeder geometrische Punkt an der Ausgangspupille **20** einem Paar von Winkelkoordinaten (θ,ϕ), die zu einem entsprechenden Punkt in der zweidimensionalen Frequenzebene durch die folgende Transformation umgewandelt werden können, die durch die Gleichung (1) beschrieben und in den **Fig. 1b** und **Fig. 1c** dargestellt ist:

$$k_x = \sin\theta\cos\phi,\ k_y = \sin\theta\sin\phi \qquad (1)$$

[0046] Betrachtet man nun ein Objekt mit einer Transmissionsfunktion wie sie in **Fig. 2** dargestellt ist, kann ein derartiges Objekt als ein eindimensionales Objekt betrachtet werden, wobei dessen Transmissionsfunktion ausgedrückt wird als:

$$f(x_o) = 1 - (1+d)\left\{rect\left(\frac{x_o}{a}\right) + rect\left[\frac{x_o - (b + a/2 + c/2)}{c}\right] + rect\left[\frac{x_o + (b + a/2 + c/2)}{c}\right]\right\} \qquad \text{--- (2)}$$

wobei

$$rect\left(\frac{x_o}{a}\right) = \begin{cases} 1; & |x_o| < a/2 \\ 0; & |x_o| > a/2 \end{cases} \qquad (3)$$

a ist die Breite der Hauptstruktur (Mittelstruktur), c ist die Breite der Seitenstruktur(en) und b ist der Trennabstand Kante-Kante zwischen der Haupt- und der Seitenstruktur. Das in **Fig. 2** gezeigte Objekt stellt ein verallgemeinertes Maskenmuster dar. Wenn d = 0, handelt es sich um eine binäre Maske, d = sqrt (0,06) = 0,24 für eine auf 6% gedämpfte Phasenverschiebungsmaske, und d = 1,0 für eine chromlose Phasenverschiebungsmaske.

[0047] Unter kohärenter Beleuchtung auf der Achse ($\sin\theta_o = 0$) mit quasi-monochromatischer Lichtquelle ist

das Feld an der Ausgangspupille

$$F(k_x) \propto -\frac{1}{\lambda}\int_{-\infty}^{+\infty} f(x_o)\, e^{-2\pi i k_x x_o/\lambda}\, d x_o \qquad (4)$$

wobei $k_x = \sin\theta$ die Ortsfrequenz in der Frequenzebene entlang der k_x-Achse ist. Festzustellen ist, dass durch eine quasi-monochromatische Lichtquelle die Kohärenzlänge des Lichts viel länger ist als der optische Wegunterschied zwischen jedem in Erwägung gezogenem Lichtstrahlenpaar. Diese Approximation bewährt sich gut bei Lichtquellen, die in der Photolithographie verwendet werden, insbesondere bei der KrF-Excimer-Lichtquelle, deren Bandbreite weniger als 1,0 Picometer beträgt.

[0048] Die Fig. 3a–Fig. 3d zeigen die Ergebnisse sowohl der Beleuchtung auf der Achse als auch der Beleuchtung neben der Achse entlang der x-Achse. Wie in den Fig. 3a und Fig. 3b gezeigt, bei Beleuchtung auf der Achse, wird das Spektrum des Objekts zentriert. Jedoch wird bei Beleuchtung neben der Achse entlang der x-Achse, wie in den Fig. 3c und Fig. 3d gezeigt, das Spektrum des Objekts bezogen auf die Ausgangspupille verschoben, und das Feld bei der Ausgangspupille wird zu:

$$F(k_x) \propto -\frac{1}{\lambda}\int_{-\infty}^{+\infty} f(x_o)\, e^{2\pi i k_{xo} x_o/\lambda}\, e^{-2\pi i k_x x_o/\lambda}\, d x_o \qquad (5)$$

wobei $k_{xo} = \sin\theta_o$ und θ_o ist der Beleuchtungswinkel. Der Phasenterm $e^{2\pi i k x o x o/\lambda}$ hat eine einfache geometrische Interpretation und trägt dem Phasenunterschied des Beleuchtungsfeldes bei unterschiedlichen Objektpunkten Rechnung, wie in Fig. 3c dargestellt.

[0049] Wird Gleichung (2) in Gleichung (5) eingefügt, erhält man:

$$F(k_x) \propto \delta(k_x - k_{xo}) - (1+d)\left\{\frac{a}{\lambda}\frac{\sin[\pi\frac{a}{\lambda}(k_x - k_{xo})]}{\pi\frac{a}{\lambda}(k_x - k_{xo})} + e^{-2\pi i p(k_x - k_{xo})/\lambda}\frac{c}{\lambda}\frac{\sin[\pi\frac{c}{\lambda}(k_x - k_{xo})]}{\pi\frac{c}{\lambda}(k_x - k_{xo})}\right.$$

$$\left. + e^{2\pi i p(k_x - k_{xo})/\lambda}\frac{c}{\lambda}\frac{\sin[\pi\frac{c}{\lambda}(k_x - k_{xo})]}{\pi\frac{c}{\lambda}(k_x - k_{xo})}\right\} \qquad (6)$$

wobei p = b + a/2 + c/2 als Abstand des Musters definiert ist.

[0050] Das elektrische Feld bei der Bildebene ist gemäß der Fourier-Optik

$$g(x_i) \propto \frac{1}{\lambda}\int_{-NA}^{+NA} F(k_x)\, e^{2\pi i k_x x_i/\lambda}\, d k_x \qquad (7)$$

[0051] Festzustellen ist, dass die in den Gleichungen (6) und (7) festgelegten Mengen so neu skaliert werden können, dass alle geometrischen Dimensionen auf λ/NA normiert werden, und k_x und k_{xo} werden auf NA normiert. Deutlich ausgedrückt, diese neu skalierten Mengen können ausgedrückt sein als:

$$a_r = a\cdot NA/\lambda \quad , \quad b_r = b\cdot NA/\lambda \quad , \quad c_r = c\cdot NA/\lambda \quad , \quad p_r = p\cdot NA/\lambda$$
$$x_i' = x_i\cdot NA/\lambda \quad , \quad k_x^r = k_x/NA, \quad k_{xo}^r = k_{xo}/NA = s \qquad (8)$$

[0052] Werden diese neu skalierten Mengen verwendet, wird das elektrische Feld bei der Bildebene zu:

$$g(x_i^r) \propto e^{2\pi i x_i^r} - (1+\alpha)\int_{-1}^{+1}\{a_r \frac{\sin[\pi a_r(k_x^r - s)]}{\pi a_r(k_x^r - s)} + e^{-2\pi i p_r(k_x^r - s)} c_r \frac{\sin[\pi c_r(k_x^r - s)]}{\pi c_r(k_x^r - s)} + e^{2\pi i p_r(k_x^r - s)} c_r \frac{\sin[\pi c_r(k_x^r - s)]}{\pi c_r(k_x^r - s)}\} e^{2\pi i x_i^r k_x^r} d k_x^r \quad (9)$$

oder

$$g(x_i^r) \propto e^{2\pi i x_i^r} - (1+\alpha)\int_{-1}^{+1}\{a_r \frac{\sin[\pi a_r(k_x^r - s)]}{\pi a_r(k_x^r - s)}\} e^{2\pi i x_i^r k_x^r} d k_x^r - (1+\alpha) e^{2\pi i p_r s}\int_{-1}^{+1}\{c_r \frac{\sin[\pi c_r(k_x^r - s)]}{\pi c_r(k_x^r - s)} e^{2\pi i (x_i^r - p_r) k_x^r}\} d k_x^r - (1+\alpha) e^{-2\pi i p_r s}\int_{-1}^{+1}\{c_r \frac{\sin[\pi c_r(k_x^r - s)]}{\pi c_r(k_x^r - s)} e^{2\pi i (x_i^r + p_r) k_x^r}\} d k_x^r \quad (9')$$

wobei s auf den Beleuchtungswinkel bezogen ist, Aus Gleichung (9') ist klar, dass die durch die Seitenstrukturen erzeugten Felder einen Phasenterm

$e^{+/-2\pi i p_r s}$

haben. Es ist dieser Phasenterm der die zentrale Rolle bei der Bestimmung und Eliminierung der verbotenen Abstandsbereiche spielt.

[0053] Festzustellen ist, dass Gleichung (9) bzw. (9') für eindimensionale Beleuchtung angewendet wird. Wie nachfolgend gezeigt, kann jedoch die in der Photolithographie angewendete zweidimensionale Beleuchtung als eine eindimensionale Beleuchtung für lange Bahn- oder Grabenstrukturen angenähert werden.

[0054] Wie nachfolgend genauer erläutert, ist festgelegt worden, dass unter bestimmten Beleuchtungsbedingungen einige Abstandsbereiche vorhanden sind, innerhalb derer die Belichtungsspielräume der Hauptstruktur sehr klein werden, sogar kleiner als diejenigen der isolierten Struktur. Derartige Abstandsbereiche werden verbotene Abstandsbereiche genannt und entstehen durch destruktive Wechselwirkung zwischen der Hauptstruktur und den Seitenstrukturen unter jenen Beleuchtungsbedingungen. Ob das Vorhandensein der Seitenstrukturen den Prozessspielraum der Hauptstruktur verbessert oder den Prozessspielraum der Hauptstruktur verschlechtert, hängt von den durch diese Seitenstrukturen beim Gaußschen Bildpunkt der Hauptstruktur erzeugten Feldern ab. Wenn die Felder der Seitenstrukturen die gleiche Phase aufweisen wie das Feld der Hauptstruktur bei der Bildstelle der Hauptstruktur, kann eine konstruktive Interferenz zwischen diesen Feldern den Prozessspielraum der Hauptstruktur verbessern. Wenn die Felder der Seitenstrukturen einen 180°-Phasenunterschied bezogen auf das Feld der Hauptstruktur bei der Bildstelle der Hauptstruktur aufweisen, bewirkt die destruktive Interferenz zwischen den Feldern dann eine Verschlechterung des Prozessspielraums für die Hauptstruktur. Die verbotenen Abstandsbereiche liegen an den Stellen, wo destruktive Interferenz unter einer bestimmten Beleuchtungsbedingung auftritt. Wenn eine derartige Situation eintritt, ist der Prozessspielraum der Hauptstruktur schlechter als derjenige der isolierten Struktur. Da die Feldzeichen (die von Phasen abhängen) und ihre Größenordnungen von den Seitenstrukturen durch den Abstand, den Beleuchtungswinkel (s) und die numerische Apertur (NA) bestimmt werden, können Abstandsbereiche mit konstruktiver und destruktiver Wechselwirkung mittels Gleichung (9') lokalisiert werden. Die **Fig. 4a** und **Fig. 4b** zeigen Beispiele der Wechselwirkung zwischen Seitenstrukturen und der Hauptstruktur bei zwei verschiedenen Abständen unter einem speziellen Beleuchtungswinkel. Bei den gegebenen Beispielen beträgt die Größe der Struktur 130nm, NA = 0,65, und s = 0,4 für eine binäre Maske (d = 0). Wie in **Fig. 4a** gezeigt, liegt bei einem Abstand von ca. 470nm die Mindestintensität der Hauptstruktur (gestrichelte Linie) bei ihrem Gaußschen Bildpunkt über derjenigen einer isolierten Struktur (durchgehende Linie), was zu einem schwächeren Bildkontrast und einem kleineren Belichtungsspielraum führt. Wie in **Fig. 4b** gezeigt, liegt bei einem Abstand von ca. 680nm die Mindestintensität der Hauptstruktur (gestrichelte Linie) bei ihrem Gaußschen Bildpunkt unter derjenigen einer isolierten Struktur (durchgehende Linie), was zu einem stärkeren Bildkontrast und größerem Belichtungsspielraum führt.

[0055] Wie vorstehend festgestellt, basiert die vorgenannte Analyse verbotener Abstandsbereiche auf eindimensionaler Beleuchtung, d.h. ($k_y = 0$). In Wirklichkeit sind die bei der Photolithographie eingesetzten Beleuch-

tungsschemata zweidimensional. Jedoch kann bei Strukturen, die als eindimensional genähert werden können, wie z.B. sehr lange Bahnen oder Gräben, das zweidimensionale Beleuchtungsproblem auf ein eindimensionales Problem reduziert werden. Das Vorgenannte wird unter Verwendung von Fig. 5 dargestellt. Gemäß Fig. 5 hat, vorausgesetzt, die Strukturen sind in der y-Richtung unendlich lang, das Fourier-Transformationsspektrum der Struktur an der Ausgangspupille eine Nullbreite in der k_y-Richtung. Unter diesem Szenario ist eine zweidimensionale Beleuchtung (NA, k_x, k_y) äquivalent zu einer eindimensionalen Beleuchtung ($NA_{effektiv}$, $S_{effektiv}$). Das Verhältnis zwischen der zweidimensionalen Beleuchtung und ihrer entsprechenden eindimensionalen Beleuchtung wird gut abgeleitet von

$$NA_{effektiv} = \sqrt{NA^2 - \beta^2}$$

$$S_{effektiv} = \frac{\alpha}{\sqrt{NA^2 - \beta^2}}, \beta < NA \qquad (10)$$

wobei NA in Gleichung (10) die Einstellung der numerischen Apertur bei der verwendeten lithographischen Projektionsvorrichtung ist.

[0056] Eine weitere detaillierte Analyse des verbotenen Abstandsphänomens und optischer Beleuchtungskonstruktion zum Unterdrücken verbotener Abstandsbereiche muss den Leistungsausgleich zwischen „vertikalen" und „horizontalen" Strukturen (d.h. Strukturen in y- und x-Richtung) berücksichtigen. Um diesen Leistungsausgleich erreichen zu können, muss ein Beleuchtungsquellenpunkt (α, β) im (k_x>0, k_y>0)-Beleuchtungsraum einen entsprechenden konjugierten Beleuchtungsquellenpunkt (–β, α) im (k_x<0, k_y>0)-Beleuchtungsraum haben, wie in Fig. 6 dargestellt. Ein derartiger Leistungsausgleich zwischen „vertikalen" und „horizontalen" Strukturen ist für einzelne Belichtungsschemata erforderlich, die heutzutage in großem Umfang verwendet werden. Jedoch ist bei Mehrfachbelichtungsschemata wie z.B. einer Dipolbeleuchtung eine konjugierte Beleuchtungsquelle mit doppeltem Belichtungsschema nicht erforderlich. Trotzdem kann die nachfolgend hervorgehobene Theorie und Methodologie auch auf Mehrfachbelichtungsschemata angewendet werden, wobei einige Modifikationen verwendet werden, die auf dem Beleuchtungsschema basieren. Bei einem Einfachbelichtungsschema weist jeder Beleuchtungspunkt im ersten Quadranten eine Rotationssymmetrie von 90 Grad mit einem entsprechenden Beleuchtungspunkt im zweiten Quadranten auf. In anderen Worten, jeder Beleuchtungspunkt im ersten Quadranten weist eine Rotationssymmetrie von 90 Grad mit einem entsprechenden Beleuchtungspunkt im zweiten Quadranten auf. Ebenso muss im reduzierten eindimensionalen Beleuchtungsraum jeder Beleuchtungsquellenpunkt ($NA_{effektiv}$, $S_{effektiv}$) einen konjugierten Beleuchtungspunkt ($\sqrt{NA^2} - NA^2_{effektiv} S^2_{effektiv}$, $- \sqrt{NA^2} - NA^2_{effektiv}/\sqrt{NA^2} - NA^2_{effektiv} S^2_{effektiv}$) aufweisen.

[0057] Unter Verwendung dieses konjugierten Beleuchtungsschemas können die verbotenen Abstandsbereiche identifiziert und eliminiert werden. Fig. 7 zeigt ein Flussdiagramm, in dem der Prozess des Definierens/Identifizierens der verbotenen Abstandsbereiche genauer dargestellt ist. Der erste Teil des Prozesses hat die Bestimmung der Abstandsbereiche mit Wechselwirkung für ein bestimmtes (α, β) zur Folge. Gemäß Fig. 7 wird dies erreicht, indem Gleichung 9 oder 9' angewendet wird, die, wie vorstehend erklärt, den der eindimensionalen Beleuchtung zugeordneten Berechnungsmechanismus darstellt. Genauer gesagt, für einen bestimmten Beleuchtungspunkt (d.h. α, β sind festgelegt) wird Gleichung 9 oder 9' zur Berechnung der Beleuchtungsintensität bei einem bestimmten Abstand I(α, β, Abstand) (Schritt **70**) verwendet. Darüber hinaus wird Gleichung 9 oder 9' für die Berechnung der Beleuchtungsintensität des entsprechenden 90 Grad-Rotationssymmetriepunkts beim gleichen Abstand I(–β, α, Abstand) (Schritt **72**) verwendet. Die beiden Beleuchtungsintensitäten werden dann zusammenaddiert (Schritt **74**), um I_{total}(α, ß, Abstand) (Schritt **78**, **80**) zu erhalten, und dann wird die log-Neigung von I_{total} berechnet (Schritt **76**). Dieser Prozess wird dann für jeden Abstand von Bedeutung I(α, β, Abstand) (Schritt **78**, **80**) wiederholt.

[0058] Fig. 8 zeigt eine Darstellung der Ergebnisse des Prozesses von Fig. 7, der die Bereiche zeigt, die Abstandsbereiche mit extremer Wechselwirkung aufweisen. Gemäß Fig. 8 werden die Stellen der Abstandsbereiche mit extremer Wechselwirkung von jenen Bereichen identifiziert, die eine erhebliche Menge an Kreisen aufweisen. Genauer gesagt, die Stellen der Abstandsbereiche mit extremer Wechselwirkung können unter Verwendung der folgenden Gleichung identifiziert werden:

$$d(\text{log-Neigung von } I_{total})/d(\text{Abstand}) \sim 0. \qquad (11)$$

[0059] Insbesondere sind die Stellen, die sich der der vorstehenden Gleichung entsprechenden Stelle annä-

hern, Stellen mit extremer Abstandswechselwirkung. In anderen Worten, während die vorgenannte Bedingung zum Lokalisieren der Stellen extremer Abstandswechselwirkung eine spezielle Stelle spezifiziert, ist der tatsächliche verbotene Abstand ein Bereich um diese Stelle herum. Der tatsächliche Bereich hängt von der Wellenlänge und der numerischen Apertur (NA) der Belichtungsvorrichtung ab. Testuntersuchungen haben bestimmt, dass der verbotene Abstandsbereich um eine bestimmte spezielle Stelle annähernd +/–0,12 Wellenlänge/NA beträgt. Wenn zum Beispiel die Belichtungsvorrichtung eine Quelle mit 248nm verwendet und eine NA = 0,65, dann beträgt der Abstandsbereich mit extremer Wechselwirkung annähernd +/–45nm. Es wird ferner festgestellt, dass, obwohl die Abstandsstellen mit extremer Wechselwirkung relativ stabil sind, sie nicht stationär sind. Abstandsstellen mit extremer Wechselwirkung können sich mit Änderungen des Beleuchtungswinkels leicht verschieben.

[0060] Wieder mit Bezug auf Fig. 8 wird festgestellt, dass das in Fig. 8 gezeigte Beispiel unter Verwendung einer eingestellten Strukturgröße von 130nm, einem Scanner NA = 0,65 und s effektiv = 0,65 durchgeführt worden ist. Wie dargestellt, gibt es vier eindeutige Abstandsbereiche mit extremer Wechselwirkung im Zwischenabstandsbereich (300nm bis 700nm), die sich bei annähernd 370nm, 480nm, 560nm und 630nm befinden. Es wird ferner festgestellt, dass Fig. 8 nicht zeigt, ob die Abstandsbereiche mit extremer Wechselwirkung konstruktiv oder destruktiv sind, sondern nur, ob derartige Bereiche existieren oder nicht. Auch variieren gewöhnlich die Abstandsbereiche mit extremer Wechselwirkung nicht in bemerkenswerter Weise mit dem Beleuchtungswinkel. Die Bereiche reagieren nicht sehr empfindlich auf Beleuchtungswinkel.

[0061] Sobald die Abstandsbereiche mit extremer Wechselwirkung einmal identifiziert worden sind, bewirkt der nächste Teil des Prozesses die Erzeugung von Beleuchtungskarten für die Abstände von Bedeutung/Interesse (d.h. die Abstandsbereiche mit extremer Wechselwirkung). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass für jeden Abstandsbereich mit extremer Wechselwirkung die log-Neigung des Hauptstrukturbildes am Maskenrand als eine Funktion des Beleuchtungswinkels berechnet wird. Fig. 9 zeigt ein Flussdiagramm, das den Prozess des Erzeugens der Beleuchtungskarte für einen bestimmten Abstandsbereich mit extremer Wechselwirkung genauer darstellt.

[0062] Gemäß Fig. 9 wird, wieder unter Verwendung von Gleichung 9 oder 9', die Beleuchtungsintensität für einen ersten Beleuchtungswinkel (α, β) und den festgelegten Abstand berechnet (Schritt **90**), und es wird die Beleuchtungsintensität des entsprechenden 90°-Rotationssymmetriepunktes beim gleichen Abstand berechnet (Schritt **92**). Die beiden Beleuchtungsintensitäten werden dann zusammenaddiert (Schritt **94**), um I_{total}(α, β, Abstand) zu erhalten, und dann wird die log-Neigung von I_{total} berechnet (Schritt **96**). Dieser Prozess wird dann für eine Vielzahl von Beleuchtungswinkeln wiederholt, so dass es ermöglicht wird, dass die Beleuchtungskarte wenigstens einen Quadranten (d.h. $0 \le k_x \le 1$, $0 \le k_y \le 1$) (Schritt **98**, **100**) bedeckt. Die Fig. 10a–Fig. 10c zeigen die Beleuchtungskarten, die den in Fig. 8 dargestellten Abstandsbereichen mit extremer Wechselwirkung von 480nm, 560nm, 635nm jeweils entsprechen. Fig. 10d zeigt die Beleuchtungskarte, die dem Mindestabstand von 310nm entspricht.

[0063] Wiederum gemäß Fig. 10a–Fig. 10d sind die Beleuchtungswinkel, die höheren Werten der log-Neigung von I_{total} entsprechen, diejenigen Beleuchtungswinkel, die für den bestimmten Abstand optimale Leistung bieten. In anderen Worten, je höher der Wert der log-Neigung von I_{total} ist, um so besser ist die Leistung. So beträgt zum Beispiel, gemäß Fig. 10a, der optimale Beleuchtungswinkel für diesen Abstand (d.h. 480nm) annähernd null. Jeglicher Beleuchtungswinkel, der Werten von $k_x > 0{,}2$ und $k_y > 0{,}2$ entspricht, führt zu niedrigen Werten der log-Neigung von I_{total} und ist daher nicht erwünscht. Wie in Fig. 10a gezeigt, tritt der höchste Wert der log-Neigung auf, wenn sowohl k_x als auch k_y annähernd null sind. Gemäß Fig. 10b sind die optimalen Beleuchtungswinkel für den Abstand mit 560nm Winkel, die entweder annähernd $k_x = 0{,}5$ und $k_y = 0$ oder $k_x = 0$ und $k_y = 0{,}5$ entsprechen. Gemäß Fig. 10c sind die optimalen Beleuchtungswinkel für den Abstand mit 635nm Winkel, die annähernd $k_x = 0{,}3$ und $k_y = 0{,}3$ entsprechen. Gemäß Fig. 10d schließlich sind die optimalen Beleuchtungswinkel für den Abstand mit 310nm Winkel, die annähernd $k_x = 0{,}5$ und $k_y = 0{,}5$ entsprechen.

[0064] Folglich ist aus den Beleuchtungskarten klar, dass es von der verwendeten Beleuchtung abhängt, ob ein Abstand mit extremer Wechselwirkung ein verbotener Abstandsbereich oder ein günstiger Abstandsbereich wird. Die weitere Untersuchung der Beleuchtungskarten ergibt, dass die Beleuchtungskarte bei Abstand 480nm komplementär ist zu den Beleuchtungskarten bei 635nm und 310nm. Genauer gesagt, bei Abstand 480nm entsprechen die erwünschten Beleuchtungswinkel k_x und k_y gleich annähernd null, und die unerwünschten Bereiche entsprechen k_x und k_y gleich annähernd 0,5. Umgekehrt entsprechen bei Abständen von 635nm und 310nm die erwünschten Beleuchtungswinkel k_x und k_y gleich annähernd 0,5 und unerwünschten Bereiche entsprechen k_x und k_y gleich annähernd 0. Diese innewohnende Komplementäreigenschaft verhindert so lange die Vorteilsnutzung der Quadrupolbeleuchtung für die Photolithographie bei 130nm, bis Struktu-

ren mit einem Abstand um 480nm auf der Schicht gegeben sind. Die Analyse der vorstehend genannten Beleuchtungskarten erlaubt es den Konstrukteuren, den/die zu verwendenden Beleuchtungswinkel so auszuwählen, dass die Druckleistung optimiert ist, und, noch wichtiger, dass die Abstandsbereiche mit extremer Wechselwirkung verhindert werden, die zu destruktiver Interferenz führen.

[0065] Festzustellen ist, dass der Mindestwert der log-Neigung von I_{total} der einer akzeptablen Leistung zugeordnet ist, zum Teil von der verwendeten Schutzschicht abhängt. Zum Beispiel haben verschiedene Schutzschichten verschiedene Kontraste zur Folge, die Mindestwerte der log-Neigung von I_{total}, erfordern, die optimalen Leistungsbereichen entsprechen. Als allgemeine Regel gilt jedoch, dass ein Wert der log-Neigung von I_{total}, annähernd gleich oder größer als 15 zu einem akzeptablen Prozess führt.

[0066] Im Hinblick auf die Optimierung der Druckleistung wird, mit Bezug auf die in den Fig. 10a–Fig. 10d gezeigten exemplarischen Beleuchtungskarten, festgestellt, dass im Vergleich mit der Quadrupolbeleuchtung die Ringbeleuchtung (σ_in = 0,55 und σ_out = 0,85, zum Beispiel) den Bildkontrast um den Abstandsbereich mit 480nm verbessern kann, indem der Bildkontrast bei anderen Abstandsbereichen verschlechtert wird. Durch einen derartigen Ansatz werden die strukturellen Wechselwirkungen bei unterschiedlichen Abständen reduziert, indem die konstruktiven und die destruktiven Wechselwirkungen innerhalb des Beleuchtungsraumes Bemittelt werden.

[0067] Zum Beispiel zeigt Fig. 11 eine Beleuchtungskonstruktion, die den Belichtungsspielraum beim Abstandsbereich von 480nm verbessert, während starke konstruktive strukturelle Wechselwirkungen bei anderen Abstandsbereichen bewahrt werden. Genauer gesagt, Fig. 11 zeigt eine Beleuchtungskonstruktion, die eine gewisse Beleuchtung beim Beleuchtungsmittelpunkt bereitstellt, da die vorteilhafte Beleuchtung für den Abstandsbereich von 480nm um den Mittelpunkt ($k_x = 0$, $k_y = 0$) liegt. Allerdings muss der Leistungsausgleich berücksichtigt werden, wenn beim Mittelpunkt Beleuchtung hinzugefügt wird, da die Beleuchtung beim Mittelpunkt den Bildkontrast beim Mindestabstandsbereich von 310nm in unvorteilhafter Weise verschlechtert. Ein Vergleich der log-Neigung unter Verwendung von Solid-C-Simulationssoftware der Ring-, Quadrupol- und der modifizierten Quadrupol-Beleuchtung (σ_center = 0,15 und σ_center = 0,2) ist in Fig. 12 dargestellt. Die Strukturen sind Bahnen von 130nm auf einer auf 6% gedämpften Phasenverschiebungsmaske. Wie die Simulationsergebnisse zeigen, schafft der Quadrupol mit dem Zentrum σ = 0,2 einen besseren Gesamtprozess und ermöglicht auch den gesamten Vorteil des Nutzens der Hilfsstruktur.

[0068] Festzustellen ist, dass sich der in den Figuren verwendete Begriff QUASAR auf die Erzeugung der Quadrupolbeleuchtung unter Verwendung eines optischen Beugungselements (DOE) bezieht, das den eingehenden Strahlungsfluss eher neu verteilt, als ihn zu stoppen/durchzulassen. Insbesondere bezieht sich 30°-QUASAR auf ein Quadrupolmuster, bei dem die 4 Pole Segmente eines Kreises sind und jeder begrenzt einen 30°-Winkel mit dem Zentrum des Kreises.

[0069] Es ist ebenfalls möglich, die vorstehenden Beleuchtungskarten für die Anordnung von Streustäben zu verwenden, die dazu dienen, optische Näherungseffekte mindern. Die Verwendung derartige Streustäbe ist im vorstehend genannten US-Patent Nr. 5,242,770 beschrieben worden. Wie im Patent '770 genauer erklärt, ist es bekannt, Hilfsstrukturen dünne (d.h. isolierte) Strukturen für aggressiven Druck in der Photolithographie hinzuzufügen, um einen herstellbaren Prozess erreichen zu können. Das Hinzufügen derartiger Hilfsstrukturen ist jedoch sehr kritisch, um den optimalen und erwünschten Effekt zu erzielen. Genauer gesagt, wie bei Nachbarstrukturen, ist es durch inkorrekte Anordnung von Streustäben um die Hauptstruktur möglich, den Prozessspielraum der Hauptstruktur zu verschlechtern. Zum Beispiel wenn der Streustab in einem verbotenen Abstandsbereich angeordnet wird. Folglich kann die vorliegende Erfindung auch für die Anordnung von Streustäben verwendet werden, um sicherzustellen, dass die Streustäbe nicht in einem verbotenen Abstandsbereich für einen bestimmten Beleuchtungswinkel angeordnet sind.

[0070] Der Einsatz der Streustabtechnologie umfasst die Bestimmung der Streustabgröße und -anordnung. Auch wenn die größte Streustabgröße innerhalb der Kontrastfähigkeit der Schutzschicht verwendet werden sollte, muss die praktische Konstruktion weitere Faktoren in Betracht ziehen, wie z.B. die Maßfehler von Streustäben, die vom Maskenherstellungsprozess herrühren. Die momentan verwendete Streustabgröße beträgt gewöhnlich ca. 60–80nm. Die Streustabanordnung basiert hauptsächlich auf den Anordnungsregeln, die sich aus Tests ergeben haben, wobei ein speziell entwickeltes Retikel wie das Mask Tool's LINESWEEPER™-Retikel verwendet wird. Das Prinzip der Streustabanordnung ähnelt dem vorstehend beschriebenen der verbotenen Abstandsphänomene.

[0071] Genauer gesagt, der erste Schritt betrifft das Identifizieren der Stellen mit extremer Wechselwirkung

zwischen den Streustäben und den Hauptstrukturen. Der Prozess zum Identifizieren der Stellen mit extremer Wechselwirkung ist im wesentlichen der gleiche wie der vorstehend beschriebene Prozess zum Identifizieren der Abstandsbereiche mit extremer Wechselwirkung. Allerdings werden anstelle der Identifizierung kleiner log-Neigungsbereiche, wie sie zum Identifizieren verbotener Abstandsbereiche erforderlich ist, Bereiche identifiziert, die eine große log-Neigung für die Hauptstruktur zeigen. Fig. 13 zeigt die Anordnungspositionen mit extremer Wechselwirkung Kante-Kante der Streustäbe um eine isolierte Hauptbahn. Wie gezeigt, betragen diese extremen Positionen von Kante zu Kante ca. 235nm, 375nm, 510, 655nm, etc.

[0072] Sobald die Stellen mit extremer Wechselwirkung einmal identifiziert worden sind, besteht der nächste Schritt darin, diejenigen auszuwählen, die eine ähnliche Beleuchtungskarte wie die bereits für den Prozess ausgewählten Beleuchtungsbedingungen aufweisen. Festzustellen ist, dass es nicht immer stimmt, dass es umso besser ist, je enger der Streustab um die isolierte Hauptstruktur angeordnet ist, da jede Anordnungsposition ihren eigenen günstigen Beleuchtungsbereich hat. Die Fig. 14a–d sind Beleuchtungskarten, die für Streustäbe mit variierender Trennung von der Hauptstruktur erzeugt worden sind. Gemäß den Fig. 14a–Fig. 14d werden starke Streustabeffekte erwartet, wenn Streustäbe um 235nm oder 510nm angeordnet sind. Jedoch wird durch eine falsche Anordnung von Streustäben um 375nm oder 650nm der Bildkontrast der isolierten Hauptstruktur unter Quadrupolbeleuchtung verschlechtert. Wenn um die dünnen Strukturen Raum vorhanden ist, kann ein zweites Paar von Streustäben hinzugefügt werden. Bei Anwendung von Ringbeleuchtung werden konstruktive und destruktive strukturelle Wechselwirkungen von Streustäben bis zu einem gewissen Maß Bemittelt, und der Nutzen der Hilfsstrukturen wird daher stark reduziert. Es wird somit aus dem Vorstehenden deutlich, dass die Anordnung von Streustäben stark von der gewählten Beleuchtung abhängt. Es ist ferner festzustellen, dass dann, wenn Mehrfachstreustäbe erforderlich sind, deren Beleuchtungskarten zur gleichen Klasse gehören sollten (d.h. die Beleuchtungskarten sollten sich ähneln).

[0073] Zusammenfassend lässt sich sagen: da sowohl die verbotenen Abstandsphänomene als auch die Streustabtechnologie eine direkte Folge optischer Wechselwirkungen zwischen Nachbarstrukturen sind, können sie als ein gemeinsames System behandelt und verstanden werden. Aus dem Vorhergehenden wird klar, dass die Feldphase der Nachbarstruktur bezogen auf diejenige der Hauptstruktur von der Beleuchtung und dem Trennabstand abhängt. Bei einem bestimmten Beleuchtungswinkel sind Abstandsbereiche vorhanden, innerhalb derer die durch die Nachbarstruktur erzeugte Feldphase um 180° außerhalb der Phase bezogen auf die Feldphase der Hauptstruktur ist, was zu destruktiver Interferenz führt. Eine derartige destruktive Interferenz reduziert den Bildkontrast der Hauptstruktur und bewirkt daher einen Verlust von Belichtungsspielraum. Die verbotenen Abstandsbereiche, oder genauer gesagt: die Abstandsbereiche mit extremer struktureller Wechselwirkung, können leicht ausgewiesen und wie vorstehend erläutert bestimmt werden. Für jeden Abstand mit extremer struktureller Wechselwirkung kann eine entsprechende Beleuchtungskarte erzielt werden, die seine bevorzugten Beleuchtungsbereiche und seine nicht bevorzugten Beleuchtungsbereiche zeigt. Die Beleuchtungskarten werden dann als eine Referenz für die Beleuchtungskonstruktion verwendet. Wenn die Größe der Nachbarstruktur auf die Größe des Streustabes geändert wird, können ähnliche konstruktive und destruktive Interferenzbereiche lokalisiert und ihre entsprechenden Beleuchtungskarten ebenfalls erzielt werden. Basierend auf diesen Beleuchtungskarten kann die optimale Streustabplatzierung für eine bestimmte Beleuchtungsbedingung bestimmt werden. Folglich sollten Streustäbe im allgemeinen bei den Abstandsbereichen platziert werden, bei denen sich Felder von Streustäben in Phase mit dem Feld von der Hauptstruktur beim Gaußschen Bildpunkt der Hauptstruktur unter einer bestimmten Beleuchtungsbedingung befinden. Wenn das verwendete Beleuchtungsschema geändert wird, sollten die Streustabplatzierungen entsprechend eingestellt werden. Wenn Mehrfachstreustäbe erforderlich sind, sollten ihre Beleuchtungskarten Ähnlichkeit aufweisen, damit sie den maximalen Nutzen erzielen können.

[0074] Wie vorstehend beschrieben, schafft das Verfahren der vorliegenden Erfindung signifikante Vorteile gegenüber dem Stand der Technik. Am wichtigsten ist: die vorliegende Erfindung stellt die Identifizierung und Eliminierung verbotener Abstandsbereiche bereit, welche die Gesamtdruckleistung verschlechtern, wodurch eine Verbesserung der kritischen Dimensionen und des Prozessspielraums ermöglicht wird, die unter Verwendung momentan bekannter Photolithographiewerkzeuge und -verfahren erzielt werden können.

[0075] Obwohl bestimmte spezielle Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung offenbart worden sind, ist festzustellen, dass die vorliegende Erfindung andere Formen aufweisen kann, ohne von ihren wesentlichen Merkmalen abzuweichen. Die vorliegenden Ausführungsformen sind daher in jeder Hinsicht als darstellend und nicht einschränkend zu betrachten, wobei der Geist der Erfindung durch die beigefügten Ansprüche aufgezeigt ist, folglich sollen sämtliche Änderungen der Bedeutung und des Äquivalzenbereichs der Ansprüche darin enthalten sein.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Identifizieren eines Abstandsbereiches mit extremer Wechselwirkung beim Entwerfen eines Maskenmusters zur Übertragung eines lithographischen Musters auf ein Substrat unter Verwendung einer Lithographievorrichtung, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:
(a) Bestimmen einer Beleuchtungsintensität für einen ersten Abstand und einen ersten Beleuchtungswinkel,
(b) Bestimmen einer Beleuchtungsintensität für den genannten ersten Abstand und einen zweiten Beleuchtungswinkel, wobei der zweite Beleuchtungswinkel in Bezug auf den ersten Beleuchtungswinkel rotationssymmetrisch ist,
(c) Bestimmen einer Gesamtbeleuchtungsintensität für den genannten ersten Abstand durch Kombination der Beleuchtungsintensität, die zu dem genannten ersten Beleuchtungswinkel und dem genannten zweiten Beleuchtungswinkel gehört,
(d) Bestimmen der log-Neigung der genannten Gesamtbeleuchtungsintensität, und
(e) Identifizieren eines Abstandsbereiches, der den genannten ersten Abstand als einen Abstandsbereich mit extremer Wechselwirkung enthält wenn der Wert der Ableitung der log-Neigung der genannten Gesamtbeleuchtungsintensität über dem Abstand angenähert gleich Null ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, weiterhin den folgenden Schritt aufweisend:
Wiederholen der Schritte (a)–(e) für eine Mehrzahl unterschiedlicher Abstände.

3. Verfahren nach Anspruch 2, weiterhin aufweisend eine Wiederholung der Schritte (a)–(e) für eine Mehrzahl von Beleuchtungswinkeln, wobei ein Abstand als Abstandsbereich extremer Wechselwirkung identifiziert wird wenn der Wert der Ableitung der log-Neigung der Gesamtbeleuchtungsintensität über dem Abstand angenähert gleich Null für jeden der genannten Mehrzahl an Beleuchtungswinkeln ist.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der genannte Beleuchtungswinkel eine 90°-Rotationssymmetrie in Bezug auf den ersten Beleuchtungswinkel hat.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der genannte Abstandsbereich ein Bereich von Abständen ist mit +/– 0,12 × λ/NA innerhalb eines bestimmten Abstandes, wobei λ die Wellenlänge der Belichtungsstrahlung der genannten Lithographievorrichtung und NA die numerische Apertur des Projektionssystems der Lithographievorrichtung sind.

6. Verfahren gemäss einem der vorhergehenden Ansprüche, weiterhin die folgenden Schritte aufweisend: für einen gegebenen Abstand, der als Abstandsbereich mit extremer Wechselwirkung identifiziert ist:
(f) Bestimmen einer Beleuchtungsintensität für den genannten gegebenen Abstand und einen dritten Beleuchtungswinkel,
(g) Bestimmen einer Beleuchtungsintensität für den genannten gegebenen Abstand und einen vierten Beleuchtungswinkel, wobei der vierte Beleuchtungswinkel in Bezug auf den dritten Beleuchtungswinkel rotationssymmetrisch ist,
(h) Bestimmen einer zweiten Gesamtbeleuchtungsintensität für den genannten Abstand durch Kombination der Beleuchtungsintensität, die zu dem dritten Beleuchtungswinkel gehört, und dem genannten vierten Beleuchtungswinkel,
(i) Bestimmen der log-Neigung der genannten zweiten Gesamtbeleuchtungsintensität,
(j) Identifizieren eines gegebenen Beleuchtungswinkels als unerwünscht in Bezug auf den gegebenen Abstand wenn die genannte log-Neigung der genannten Gesamtbeleuchtungsintensität kleiner ist als ein vorgegebener Wert und
(k) Wiederholen der Schritte (f)–(j) für eine Mehrzahl von unterschiedlichen Beleuchtungswinkeln,

7. Verfahren zum Erstellen eines Maskenmusters zum Übertragen eines lithographischen Musters auf ein Substrat unter Verwendung einer Lithographievorrichtung mit einem gewünschtem Beleuchtungsschema, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:
Identifizieren von Abstandbereichen extremer Wechselwirkung und zugehörigen unerwünschten Beleuchtungswinkeln gemäss dem Verfahren nach Anspruch 6; und
Erstellen des genannten Maskenmusters durch Anordnen von Merkmalen derart, dass keine Kombination von Merkmalen in dem genannten Maskenmuster einen Abstand in einem Abstandsbereich extremer Wechselwirkung aufweist, für den Beleuchtungswinkel in dem genannten gewünschten Beleuchtungsschema unerwünscht sind.

8. Verfahren gemäss Anspruch 7, wobei das genannte Maskenmuster Hauptmerkmale und Korrekturele-

mente optischer Nachbarschaft aufweist und wobei der genannte Schritt des Entwerfens beinhaltet, dass die genannten Korrekturelemente optischer Nachbarschaft derart angeordnet werden, dass keine Abstände zwischen Hauptmerkmalen und den Korrekturelementen optischer Nähe erzeugt werden, die in einen Abstandsbereich extremer Wechselwirkung fallen, für den Beleuchtungswinkel in dem genannten Beleuchtungsschema unerwünscht sind.

9. Verfahren zum Herstellen einer Maske, folgende Schritte aufweisen:
Erstellen eines Maskenmusters gemäss den Verfahren nach den Ansprüchen 7 oder 8; und Herstellen einer Maske unter Verwendung des erstellten Maskenmusters.

10. Verfahren zum Herstellen eines Produktes mit folgenden Schritten:
Bereitstellen eines Substrates, das zumindest teilweise durch eine Schicht aus strahlungsempfindlichem Material abgedeckt ist;
Bereitstellen eines Projektionsstrahls aus Strahlung unter Verwendung eines Strahlungssystem;
Verwenden von Musterungsmitteln, um dem Projektionsstrahl ein Muster über seinen Querschnitt aufzuprägen;
Projizieren des gemusterten Strahls auf einen Zielabschnitt der Schicht aus strahlungsempfindlichem Material, gekennzeichnet durch:
Identifizieren von Abstandbereichen mit extremer Wechselwirkung in dem genannten gewünschten Muster entsprechend dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1–5;
Erstellen von Beleuchtungskarten für die genannten Abstandsbereiche extremer Wechselwirkung in den genannten gewünschten Mustern, wobei die Beleuchtungskarte eine log-Form der genannten Gesamtbeleuchtungsintensität als Funktion des Beleuchtungswinkels enthält; und
Identifizierten von bevorzugten Beleuchtungswinkeln aufgrund der genannten Beleuchtungskarten;
wobei in dem genannten Schritt der Bereitstellung eines Projektionsstrahls der Projektionsstrahl so angeordnet wird, dass er die genannte Maske im Wesentlich nur unter Winkeln beleuchtet, die in all den genannten Beleuchtungskarten als bevorzugte Beleuchtungswinkel identifiziert sind.

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei in dem genannten Schritt der Identifizierung von Beleuchtungsbereichen extremer Wechselwirkung zumindest erste und zweite Abstandsbereiche extremer Wechselwirkung identifiziert werden;
in dem genannten Schritt der Identifizierung bevorzugter Beleuchtungswinkel erste und zweite Sätze von bevorzugten Beleuchtungswinkeln für die genannten ersten und zweiten Abstandbereiche extremer Wechselwirkung identifiziert werden; und
wobei die genannten Schritte der Bereitstellung eines Projektionsstrahls, unter Verwendung von Musterungsmitteln und bei Projektion des gemusterten Strahls, zwei Mal durchgeführt werden, einmal unter Verwendung des genannten ersten Satzes von bevorzugten Beleuchtungswinkeln und zum Anderen unter Verwendung des genannten zweiten Satzes.

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei der genannte Schritt der Identifizierung bevorzugter Beleuchtungswinkel einschließt, dass die Beleuchtungswinkel identifiziert werden mit den höchsten Werten der log-Form der Beleuchtungsintensität.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 oder 11, wobei der genannte Schritt der genannten Identifizierung bevorzugter Beleuchtungswinkel umfass, dass die Beleuchtungswinkel identifiziert werden mit einem Wert der log-förmigen Beleuchtungsintensität, der größer ist als ein vorgegebener Wert.

14. Computerprogramm mit einem Programmcode, der bei Ausführung auf einem Computer diesen instruiert, ein Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1–8 auszuführen.

15. Computerprogramm mit einem Programmcode zum Steuern einer Lithographievorrichtung, um ein Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1–13 auszuführen.

16. Verfahren zum Identifizieren unerwünschter Abstände zwischen Merkmalen beim entwerfen von integrierten Schaltungen, die auf einem Substrat unter Verwendung einer Lithographievorrichtung ausgeformt werden, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:
(a) Identifizieren von Abstandsbereichen extremer Wechselwirkung durch Bestimmen von Beleuchtungsintensitäten für einen gegebenen Beleuchtungswinkel über einen Bereich von Abständen; und
(b) Identifizieren von unerwünschten Abständen für jeden Abstandsbereich extremer Wechselwirkung, der in Schritt (a) identifiziert ist, durch Bestimmen von Beleuchtungsintensitäten für einen gegebenen Abstandsbe-

reich extremer Wechselwirkung über einen Bereich von Beleuchtungswinkeln.

17. Verfahren gemäss Anspruch 16, wobei die genannten Abstandsbereiche extremer Wechselwirkung Bereiche definieren, welche entweder eine wesentliche konstruktive optische Interferenz oder eine wesentliche destruktive optische Interferenz aufweisen.

18. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 16 oder 17, wobei die genannten unerwünschten Abstände jeweils entsprechende Beleuchtungsintensitäten haben, die einen vorgegebenen Wert überschreiten.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 16, 17 oder 18, wobei die genannten Merkmale ein Hauptmerkmal und ein Korrekturelement optischer Nähe enthalten.

Es folgen 14 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig.1a.

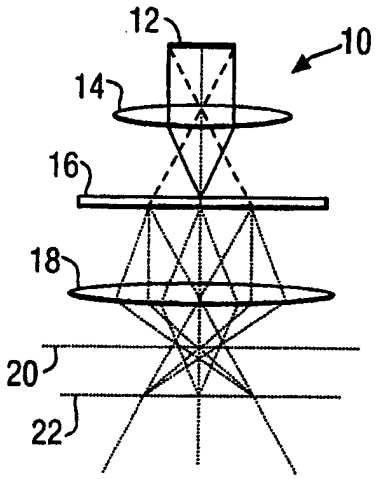


Fig.1b.

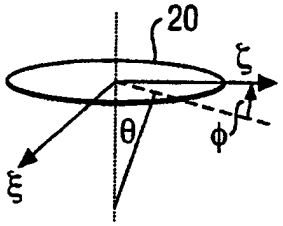


Fig.1c.

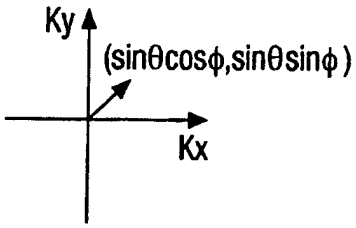


Fig.2.

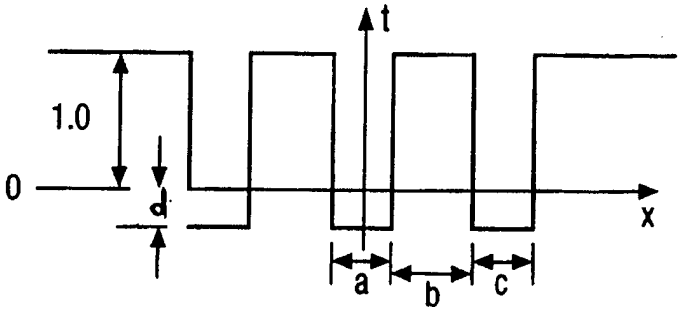


Fig.3a.

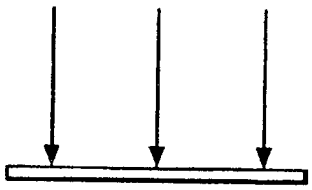


Fig.3c.

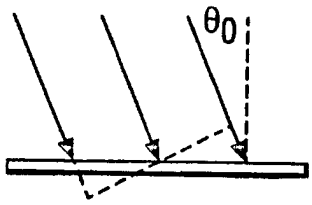


Fig.3b.

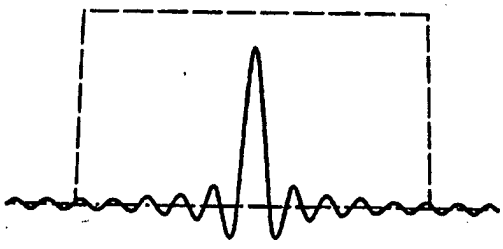


Fig.3d.

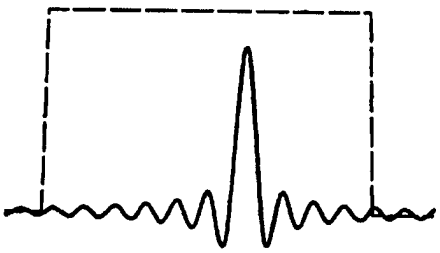


Fig.4a.

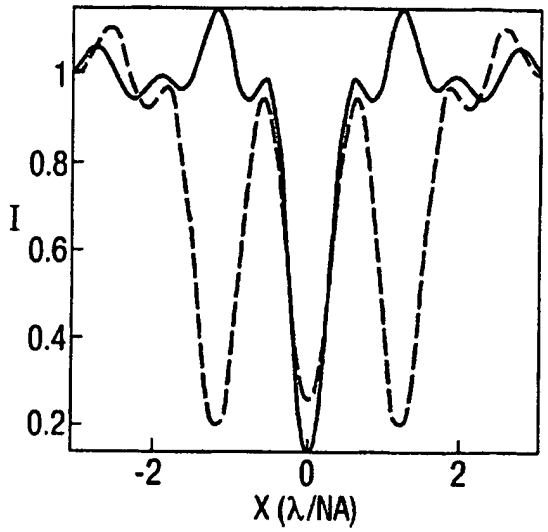


Fig.4b.

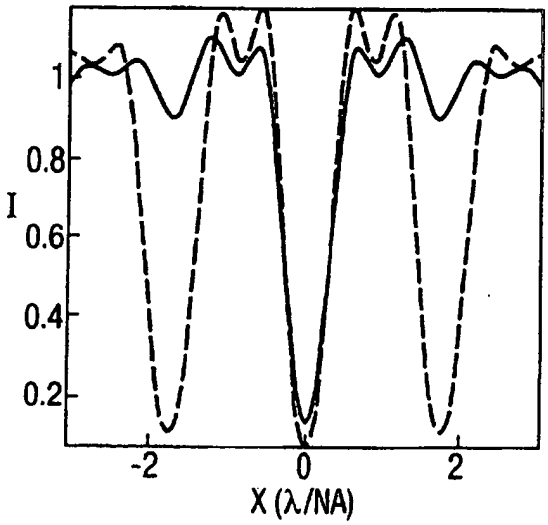


Fig.5.

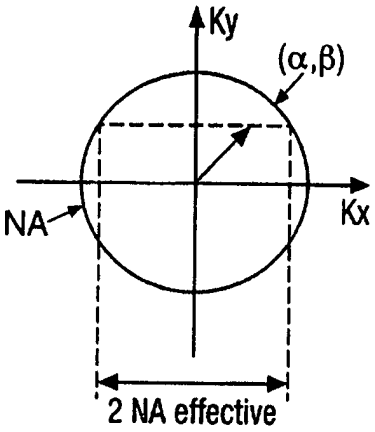


Fig.6.

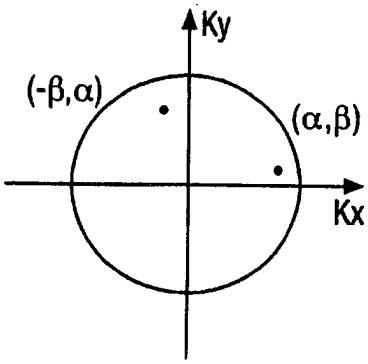
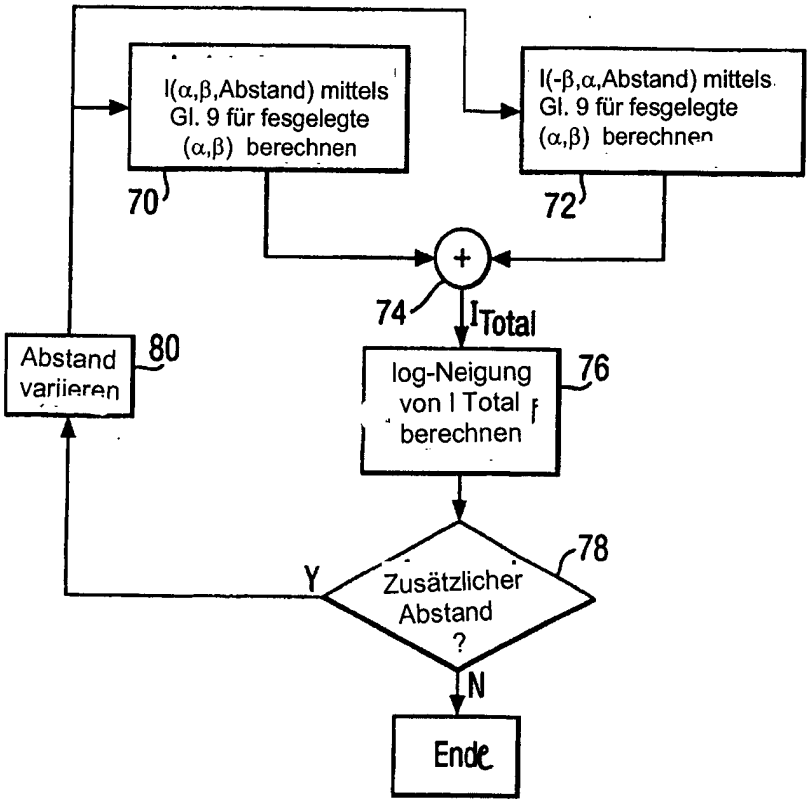


Fig.7.



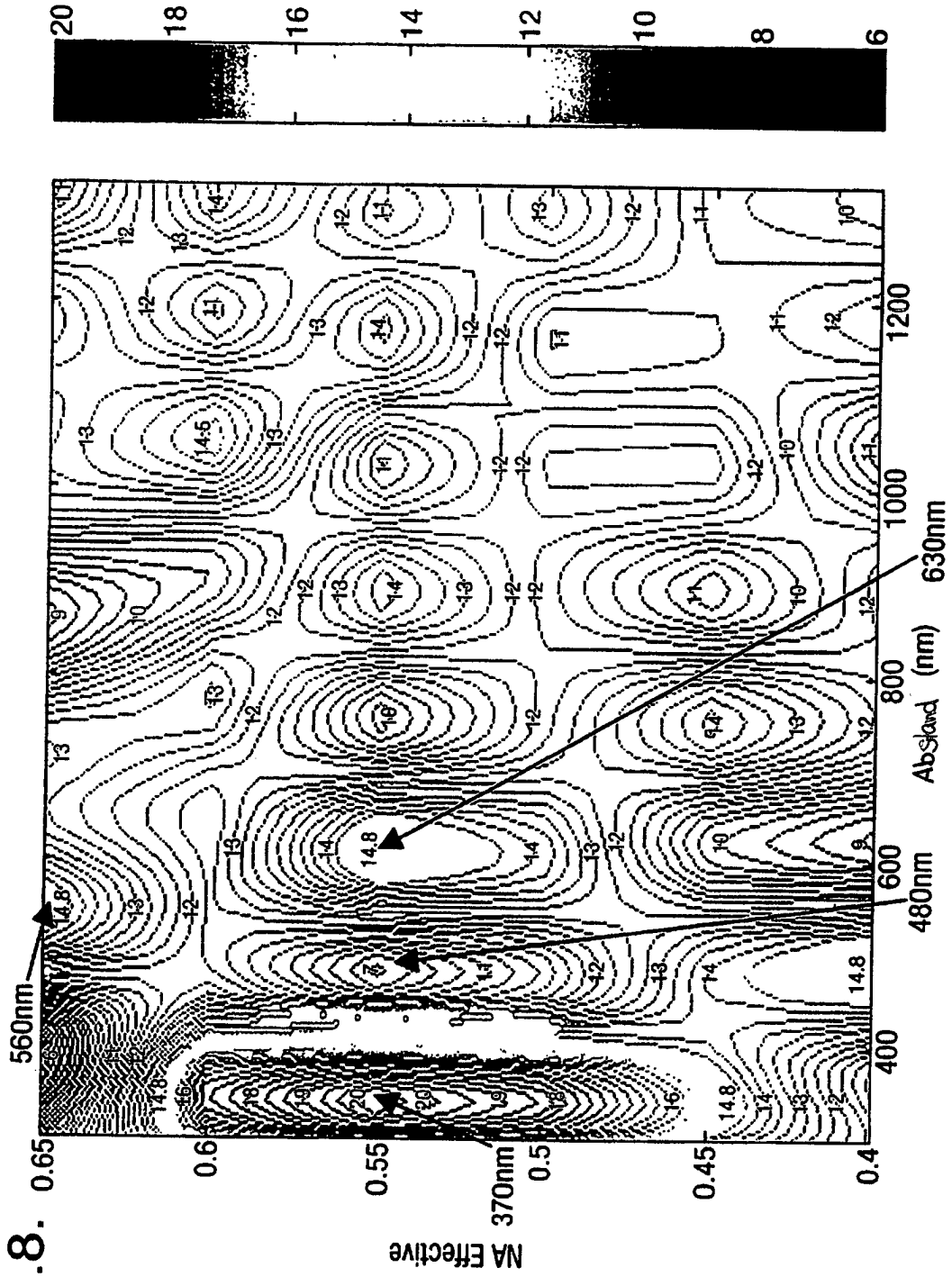

20
18
16
14
12
10
8
6
560nm
370nm
630nm
480nm
0.65
0.6
0.55
0.5
0.45
0.4
400
600
800
1000
1200
NA Effective
Abstand (nm)

Fig.8.

Fig.9.

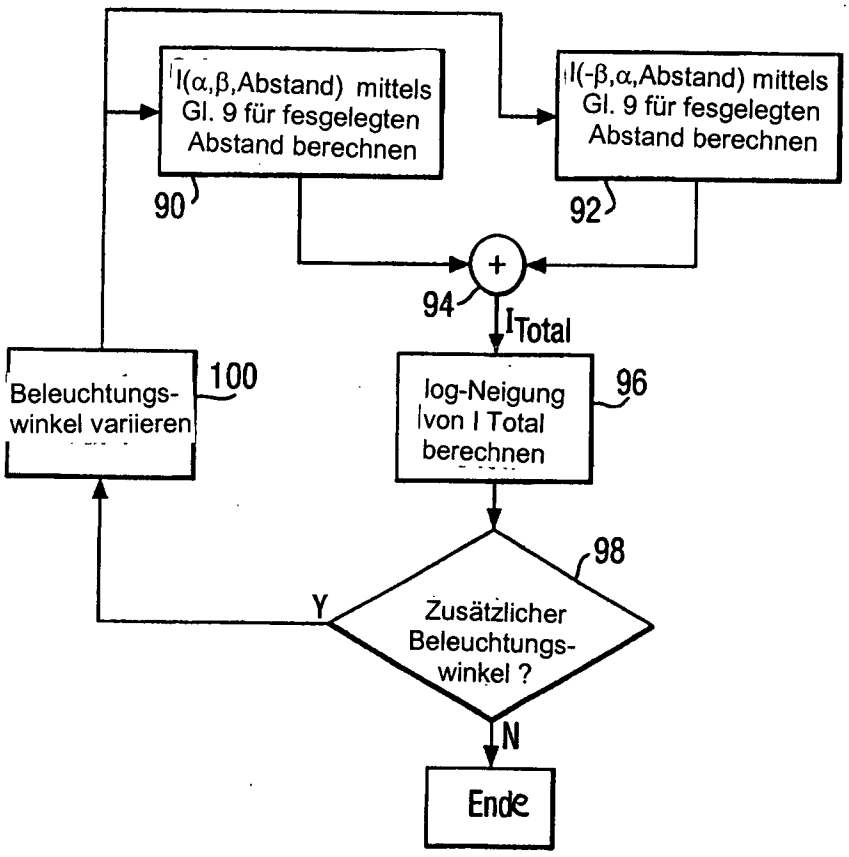

I(α,β,Abstand) mittels Gl. 9 für fesgelegten Abstand berechnen
90
I(-β,α,Abstand) mittels Gl. 9 für fesgelegten Abstand berechnen
92
+
94
ITotal
Beleuchtungs-winkel variieren
100
log-Neigung von I Total berechnen
96
98
Y
Zusätzlicher Beleuchtungs-winkel ?
N
Ende

Fig.10a.

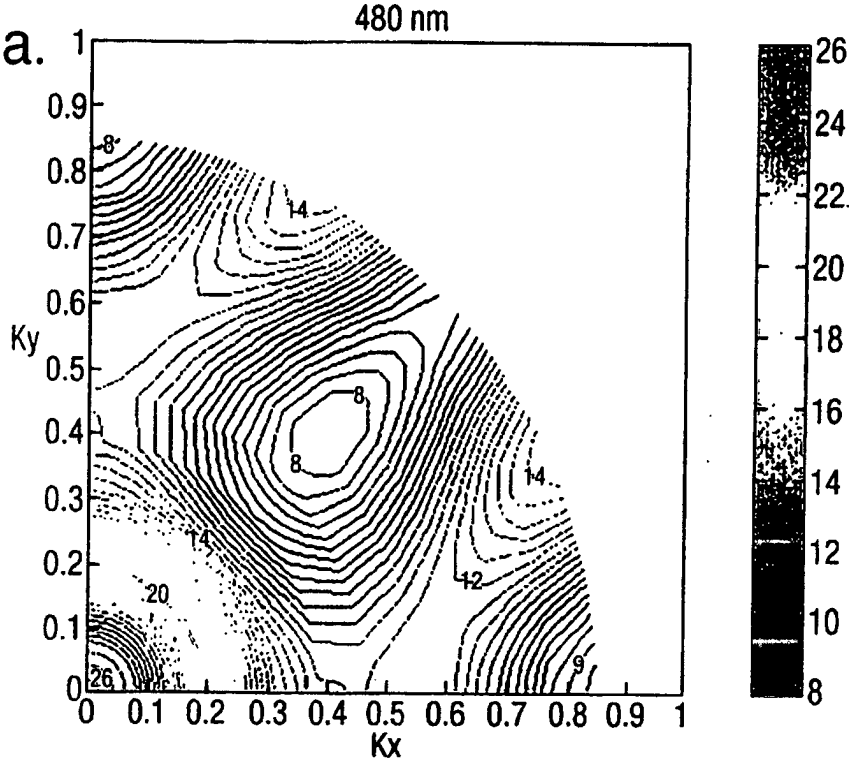


Fig.10b.

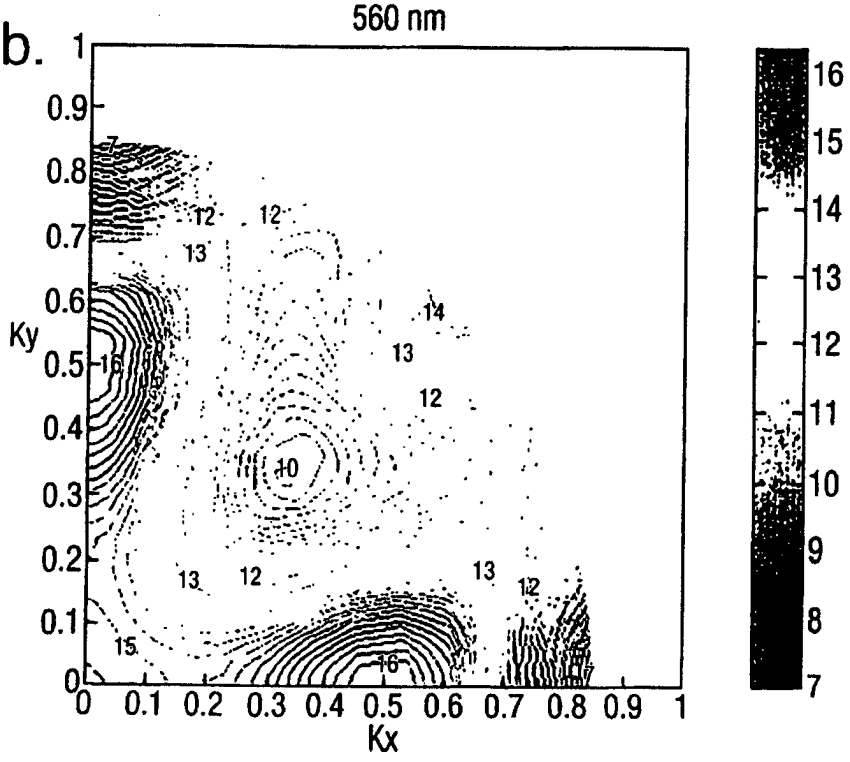


Fig.10c.

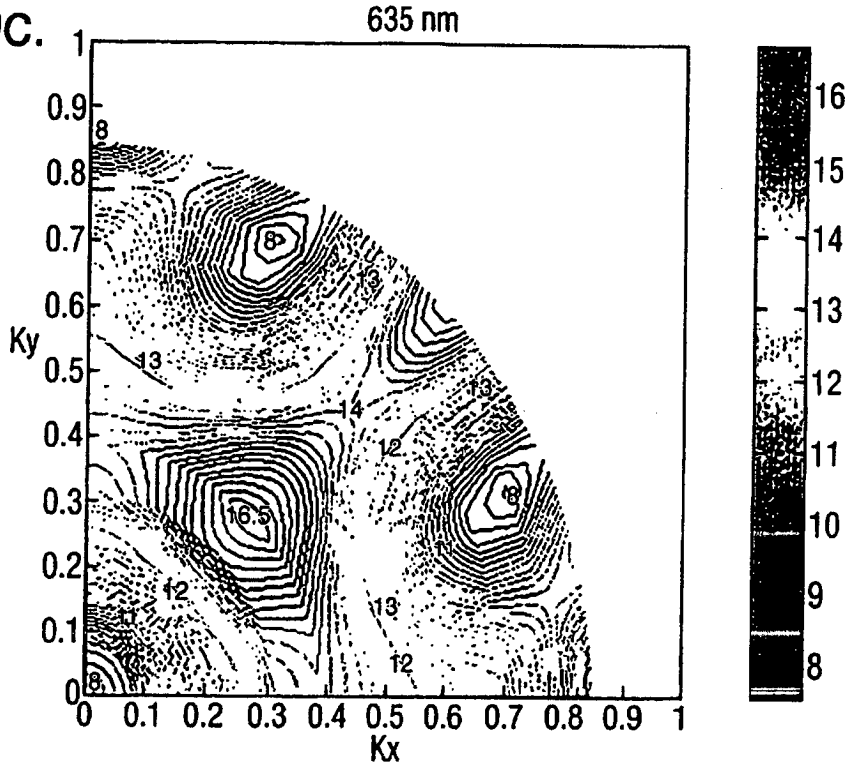


Fig.10d.

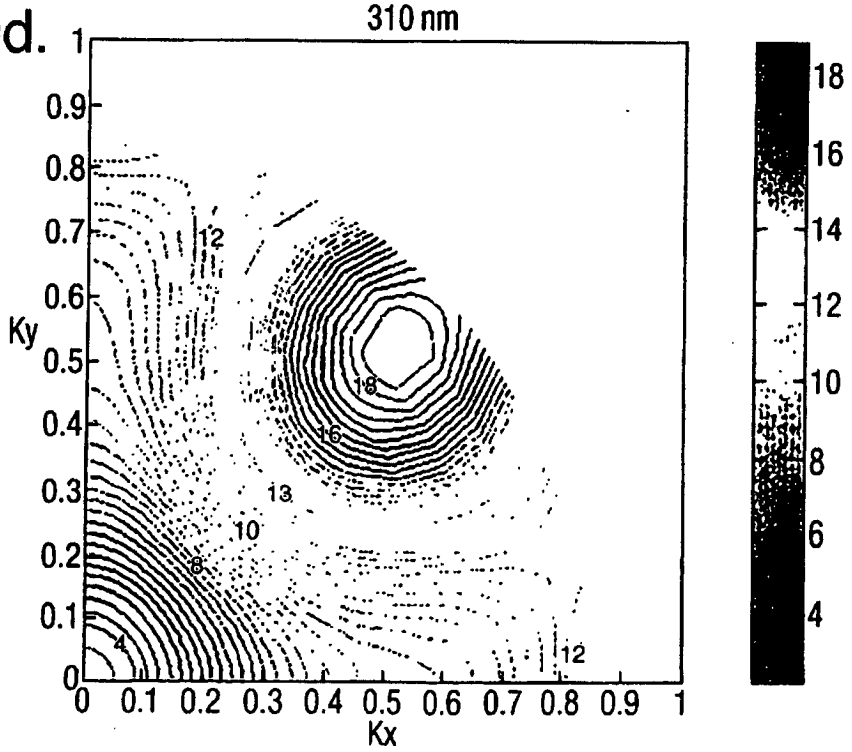


Fig.11.

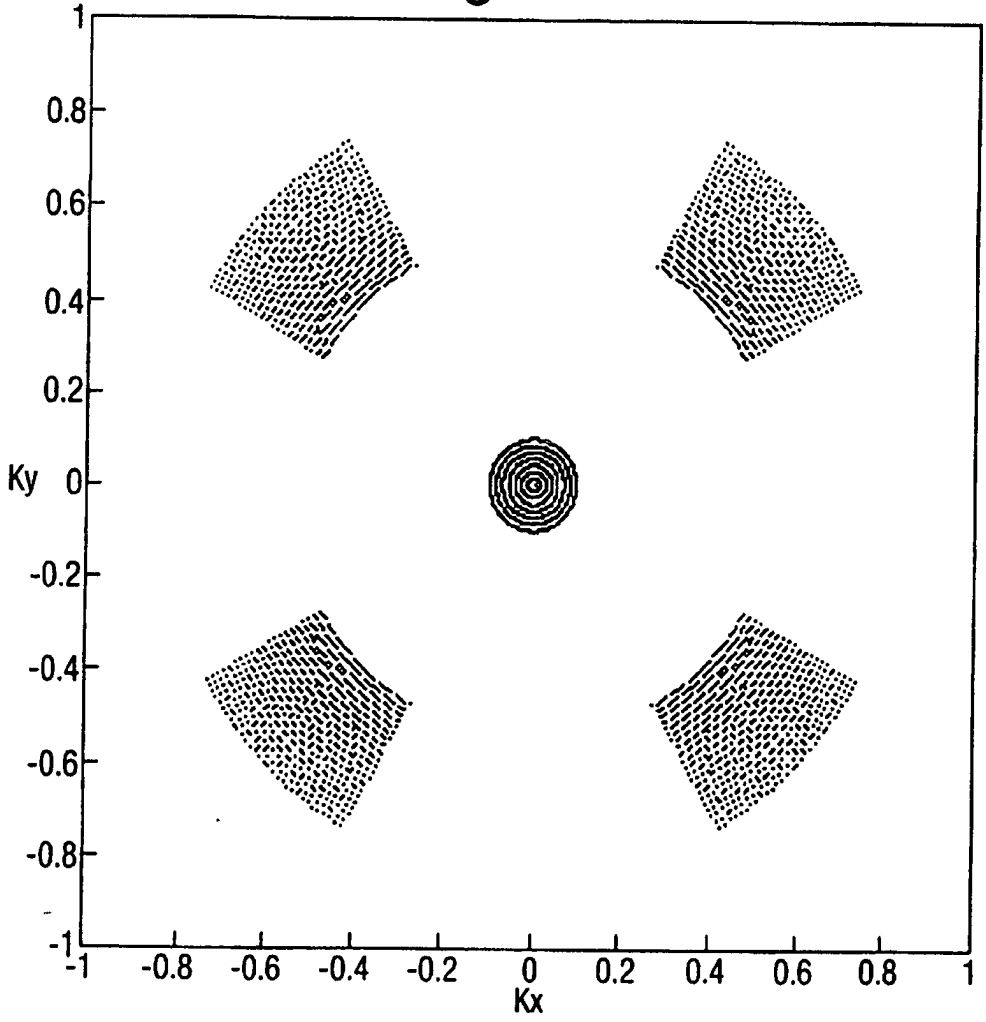
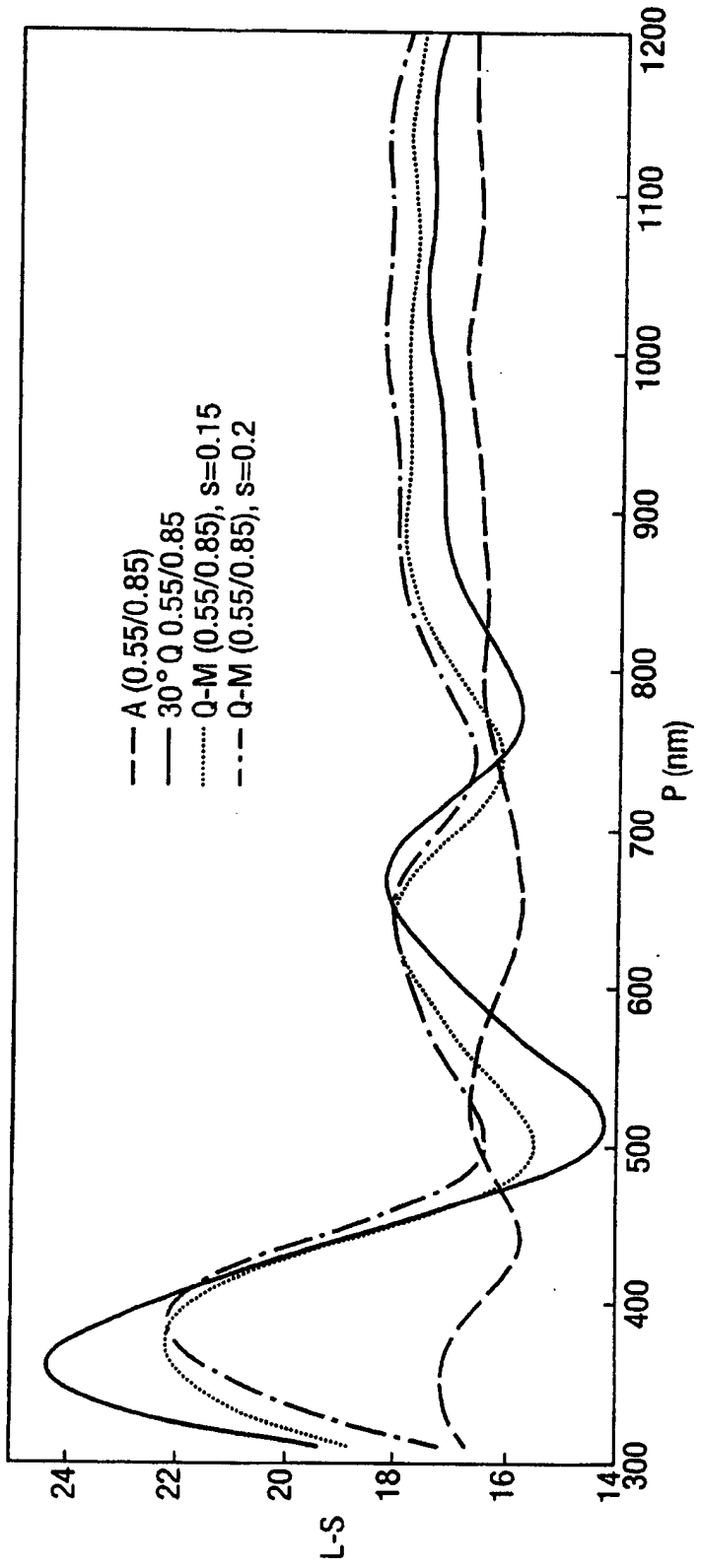


Fig.12.


A (0.55/0.85)
30° Q 0.55/0.85
Q-M (0.55/0.85), s=0.15
Q-M (0.55/0.85), s=0.2
L-S
P (nm)
24
22
20
18
16
14
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200

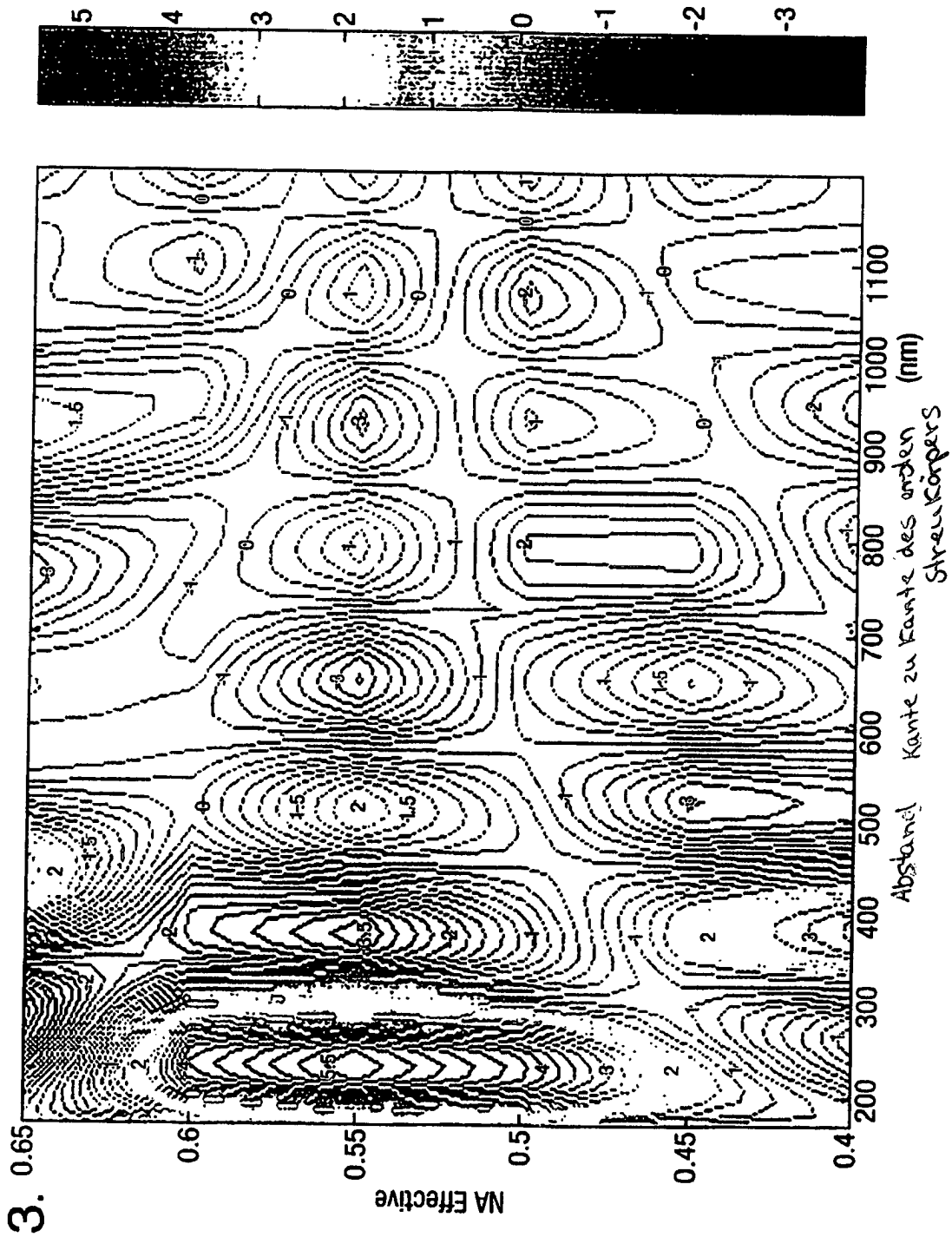

5
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
NA Effective
0.65
0.6
0.55
0.5
0.45
0.4
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
(nm)
Abstand Kante zu Kante des anderen Streukörpers

Fig.13.

Fig.14a.

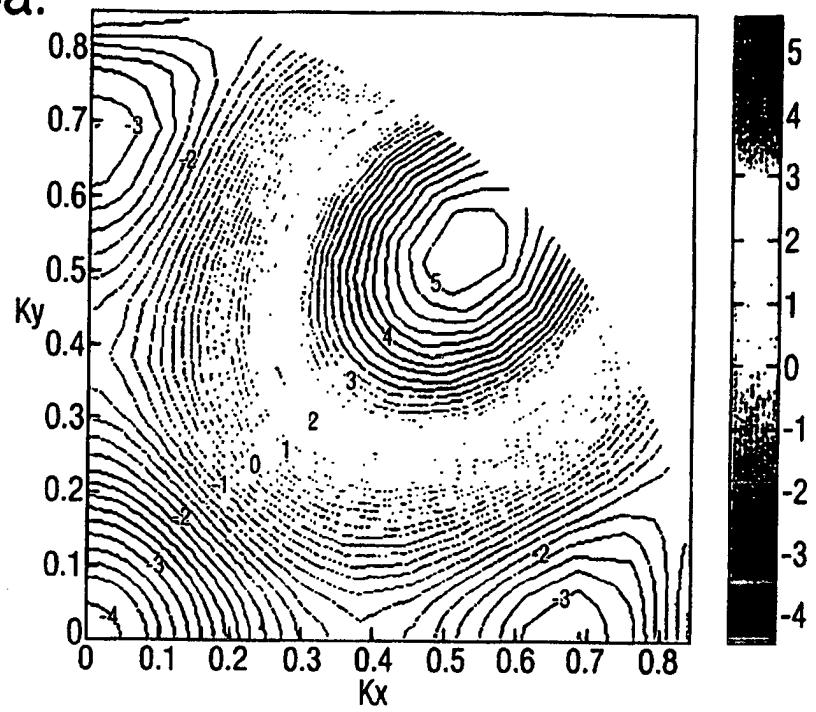


Fig.14b.

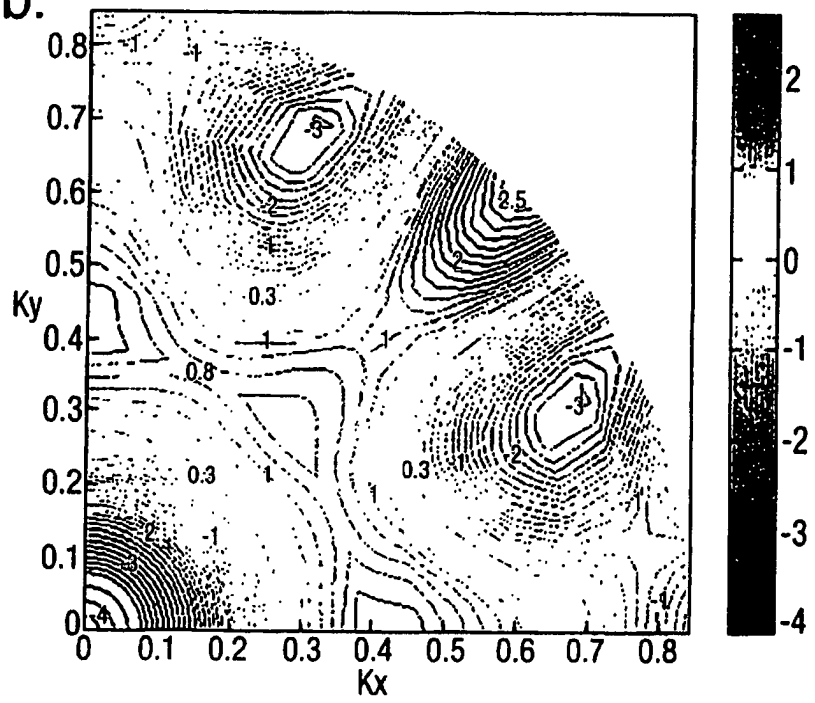


Fig.14c.

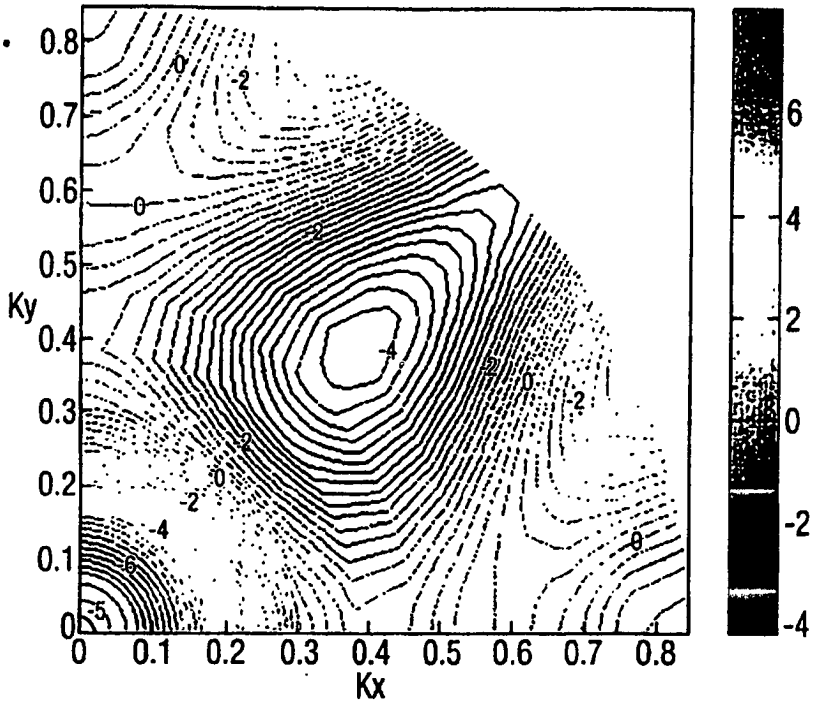


Fig.14d.

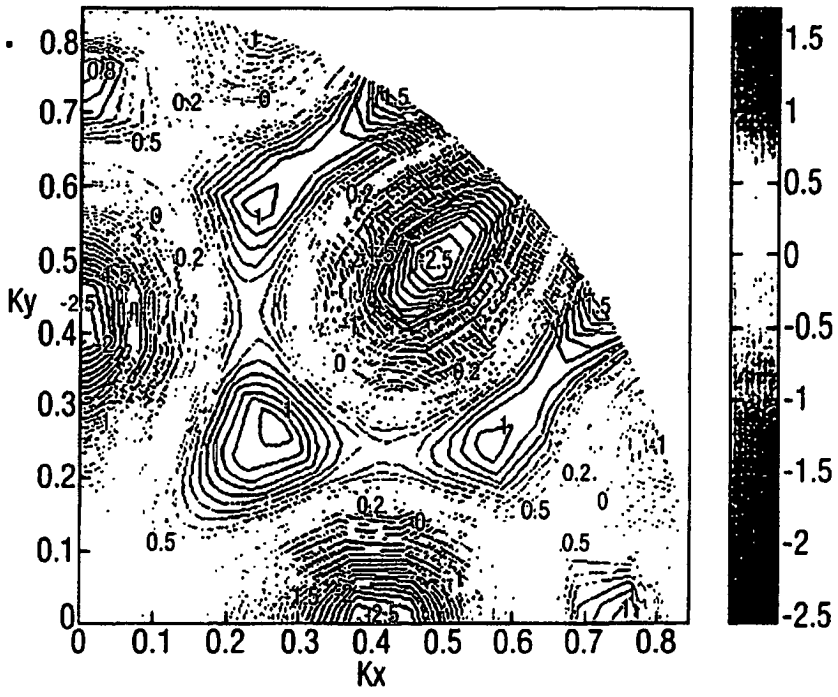


Fig.15.

