



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 10 2005 000 734 A1 2005.08.11

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2005 000 734.1

(22) Anmeldetag: 04.01.2005

(43) Offenlegungstag: 11.08.2005

(51) Int Cl.7: G03F 1/14
G03F 7/20

(30) Unionspriorität:

10-2004-0001099 08.01.2004 KR
10-2004-0056426 20.07.2004 KR

(74) Vertreter:

Kuhnen & Wacker Patent- und
Rechtsanwaltsbüro, 85354 Freising

(71) Anmelder:

Samsung Electronics Co., Ltd., Suwon, Kyonggi,
KR

(72) Erfinder:

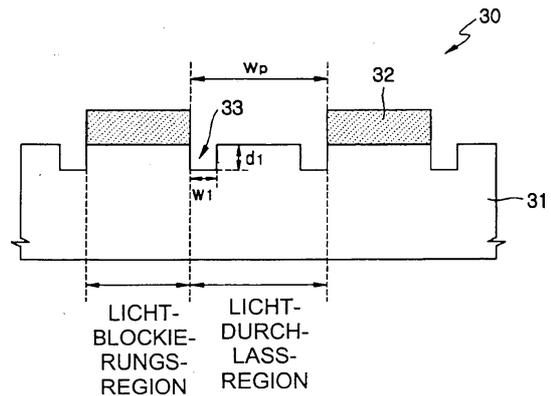
Huh, Sung-min, Yongin, Gyeonggi, KR; Kim,
Sung-hyuck, Suwon, Gyeonggi, KR; Shin, In-kyun,
Yongin, Gyeonggi, KR

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Einstellen einer Abweichung einer kritischen Abmessung von Mustern**

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren zum Einstellen einer Abweichung einer kritischen Abmessung von Mustern, die durch ein photolithographisches Verfahren gebildet werden, ist offenbart. Das Verfahren weist das Messen der Abweichung der kritischen Abmessung von Mustern, die durch das photolithographische Verfahren gebildet werden, und dann das Bilden einer Vertiefung (33), einer Unterschneidung oder einer isotropen Rille in einer Photomaske (30) auf. Die Vertiefung (33), die Unterschneidung oder die isotrope Rille werden derart gebildet, um Abmessungen aufzuweisen, die der Menge der Abweichung der kritischen Abmessung in den Mustern entsprechen. Die Abmessungen der Vertiefung (33), der Unterschneidung oder der isotropen Rille sind allgemein kleiner als eine Wellenlänge λ einer Belichtungsquelle, die bei dem photolithographischen Verfahren verwendet wird.



Beschreibung

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich allgemein auf ein photolithographisches Verfahren, und insbesondere auf ein Verfahren zum Einstellen der Abweichung einer kritischen Abmessung (CD; CD = Critical Dimension) von Mustern bzw. Strukturen, die durch ein photolithographisches Verfahren gebildet werden.

[0002] Es wird die Priorität der koreanischen Patentanmeldungen Nr. 10-2004-0056426 und Nr. 10-2004-0001099, eingereicht am 20. Juli 2004 bzw. am 8. Januar 2004, beansprucht. Die Offenbarungen dieser koreanischen Patentanmeldungen sind hierin in ihrer Gesamtheit durch Bezugnahme aufgenommen.

Stand der Technik

[0003] Sowie die Integrationsdichte in Halbleitervorrichtungen zunimmt, nimmt dementsprechend eine CD von Mustern, die in den Halbleitervorrichtungen gebildet sind, ab. Dort wo die CD eines Musters kleiner als die Wellenlänge von Licht von einer Belichtungsquelle ist, tritt ein optischer Näheeffekt aufgrund einer Beugung auf. Der optische Näheeffekt bezieht sich auf eine Verzerrung bzw. Verzeichnung der Muster, die durch eine Kombination von Faktoren, die den Unterschied in lokalen Musterdichten, benachbarten Mustern in einer Photomaske und die Abweichung der CD aufgrund von Belichtungsgrenzen aufweisen, verursacht werden. Die "Abweichung der CD" für die Muster bezieht sich auf eine Abweichung zwischen einer gewünschten CD und einer tatsächlichen CD. Da die Verzeichnung der Muster typischerweise der Abweichung der CD zugeordnet ist, wird die metrische Abweichung der CD derart aufgefasst, dass dieselbe allgemein eine Musterverzeichnung bzw. Musterverzerrung in einem weiteren Sinne mit sich bringt.

[0004] Ein herkömmliches Verfahren zum Einstellen der Abweichung einer CD verwendet ein optisches Nähekorrektur- (OPC-; OPC = Optical Proximity Correction) Verfahren. Das OPC-Verfahren verwendet eine überarbeitete Photomaske, um die Abweichung der CD einzustellen. Mit anderen Worten wird dort, wo eine Abweichung der CD auftritt, eine herkömmliche Photomaske überarbeitet, so dass dieselbe neue Muster aufweist, die die Abweichung der CD berücksichtigen. Eine lokale Abweichung der CD, z. B. eine CD-Verzeichnung in einem zentralen oder äußeren Abschnitt eines Musters, wird daher effektiv abgeschwächt.

[0005] Das OPC-Verfahren besitzt mindestens zwei

Nachteile. Das OPC-Verfahren ist erstens nicht ohne weiteres auf eine Abweichung einer CD, die durch die Dichte von benachbarten Mustern oder durch die Position von Mustern verursacht wird, anwendbar. Da das OPC-Verfahren eine Überarbeitung und Wiederherstellung einer Photomaske erfordert, ist dasselbe zweitens im Allgemeinen weder aufwands- noch zeiteffektiv.

[0006] Viele Halbleiterherstellungsverfahren umfassen ein Verfahren zum gleichzeitigen Bilden einer Mehrzahl von identischen Mustern, wie z. B. Gate-Leitungen, Bit-Leitungen und Metallverbindungsleitungen. Dort, wo ein solches Verfahren verwendet wird, um Muster an einem Halbleitersubstrat zu bilden, und eine Abweichung der CD auftritt, ist die Gleichmäßigkeit der Muster üblicherweise gefährdet. Bei einem Fall weist beispielsweise die CD eines äußeren Musters aus einer Mehrzahl von Mustern (auf die im Folgenden als die "CD des äußeren Musters" Bezug genommen wird) eine gewünschte Größe auf, die CD eines zentralen Musters aus der Mehrzahl von Mustern (im Folgenden die "CD des zentralen Musters") ist jedoch kleiner als die CD des äußeren Musters. Selbst dort, wo keine Abweichung der CD des äußeren Musters auftritt, kann mit anderen Worten eine Abweichung der CD des zentralen Musters auftreten. Obwohl die CD des zentralen Musters eine gewünschte Größe aufweist, ist bei einem weiteren Fall die CD des äußeren Musters größer als die CD des zentralen Musters. Bei einem weiteren Fall ist die CD des zentralen Musters kleiner als eine gewünschte Größe, und die CD eines äußeren Musters ist größer als die gewünschte Größe. Bei einem weiteren Fall ist die CD des zentralen Musters größer als die CD des äußeren Musters.

[0007] Um sich den beschriebenen Problemen der Abweichung der CD zuzuwenden, wird eine überarbeitete Photomaske typischerweise wie im Vorhergehenden beschrieben erzeugt und verwendet. Wie im Vorhergehenden erwähnt, ist das Überarbeiten und Wiedererzeugen einer Photomaske weder aufwandseffektiv noch zeiteffektiv. Es kommt häufig vor, dass bis zu drei oder mehr Überarbeitungen einer Photomaske erforderlich sind.

[0008] Ein weiteres Verfahren zum Einstellen der Abweichung der CD ist mit dem Bilden von Gittern auf einer hinteren Oberfläche einer Photomaske verbunden. **Fig. 1A** und **1B** stellen ein herkömmliches Verfahren zum Einstellen einer Abweichung einer CD unter Verwendung von Gittern dar. **Fig. 1A** zeigt einen Fall, bei dem keine Gitter gebildet sind, und **Fig. 1B** zeigt einen Fall, bei dem Gitter auf der hinteren Oberfläche einer Photomaske gebildet sind. In **Fig. 1A** und **1B** zeigt die Darstellung (a) eine relative Intensität von einfallendem Licht, (b) zeigt eine relative Intensität von Licht, das durch die Photomaske gelaufen ist, und (c) zeigt die relative Verteilung einer

CD eines äußeren Musters und einer CD eines zentralen Musters.

[0009] Bezug nehmend auf **Fig. 1A** wird ein einfallendes Licht mit einer gleichmäßigen Intensität auf eine gesamte Oberfläche einer Photomaske **10** projiziert, wie in **Fig. 1A(a)** gezeigt ist, und das einfallende Licht wird mit einer gleichmäßigen Intensität durch ein Quarzsubstrat **11** der Photomaske **10**, wie in **Fig. 1A(b)** gezeigt ist, transmittiert bzw. durchgelassen. Die CD von Mustern, die an einem Halbleitersubstrat unter Verwendung der Photomaske **10** gebildet werden, ist jedoch ziemlich ungleichmäßig, wie in **Fig. 1A(c)** gezeigt ist. In **Fig. 1A(c)** ist eine CD eines zentralen Abschnitts (CD1) größer als eine CD eines äußeren Abschnitts (CD2). Unter der Annahme, dass eine Ziel-CD CD1 ist, ist eine Abweichung der CD daher als $\Delta CD = CD2 - CD1$ definiert.

[0010] Bezug nehmend auf **Fig. 1B**, wird einfallendes Licht mit einer gleichmäßigen Intensität auf die gesamte Oberfläche einer Photomaske **20**, wie in **Fig. 1B(a)** gezeigt, projiziert, und das einfallende Licht wird mit einer ungleichmäßigen Intensität durch ein Quarz-Substrat **21** der Photomaske **20** gelassen, wie in **Fig. 1B(b)** gezeigt ist.

[0011] Während das einfallende Licht, das durch einen zentralen Abschnitt des Quarzsubstrats **21** transmittiert wird, eine relativ niedrige Intensität aufweist, weist einfallendes Licht, das durch äußere Abschnitte des Quarzsubstrats **21** transmittiert wird, eine relativ hohe Intensität auf. Die ungleichmäßige Intensität von einfallendem Licht, das durch das Quarzsubstrat **21** transmittiert bzw. durchgelassen wird, wird durch Gitter **23** verursacht, die auf einer hinteren Oberfläche der Photomaske **20** gebildet sind. Bezug nehmend auf **Fig. 1B(b)** sind die Gitter **23** in dem zentralen Abschnitt der Photomaske **20** dichter gebildet als in den äußeren Abschnitten derselben. Durch Steuern der Intensität von einfallendem Licht unter Verwendung der Gitter **23** kann die CD von Mustern, die an einem Halbleitersubstrat durch die Photomaske **20** gebildet werden, als gleichmäßig eingestellt werden, wie in **Fig. 1B(c)** gezeigt ist.

[0012] Die Bildung von Gittern **23** an der Photomaske **20** verschlechtert ungünstigerweise die Auflösung der Muster durch Absenken des Kontrasts von Musterbildern und Reduzieren der entsprechenden normierten logarithmischen Bildsteigung (NILS; NILS = Normalized Image Log Slope). **Fig. 2A** ist eine graphische Darstellung, die den Kontrast von Musterbildern als eine Funktion der Gitterdichte für die Photomaske **20** zeigt. **Fig. 2B** ist eine graphische Darstellung, die die NILS als eine Funktion der Gitterdichte für die Photomaske **20** zeigt. Die in **Fig. 2A** und **2B** gezeigten Resultate wurden unter Verwendung einer 8% gedämpften Phasenverschiebungsmaske mit einer numerischen Apertur (NA) von 0,7, ringförmigen

Öffnungen und 150-nm-Linien-und-Zwischenraum-Mustern erhalten. Bezug nehmend auf **Fig. 2A** und **2B** nehmen der Kontrast von Musterbildern und die NILS ab, sowie die Dichte der Gitter **23** an der Photomaske **20** zunimmt.

[0013] Die Bildung von Gittern **23** an der Photomaske **20** kann zusätzlich die vordere Oberfläche der Photomaske **20** beschädigen. Es ist ferner allgemein schwierig, die Gittermuster gemäß einer gegebenen Abweichung der CD genau anzupassen. Obwohl das vorhergehende Verfahren eine allgemeine Abweichung der CD gemäß Positionen an dem Halbleitersubstrat erfolgreich einstellt, versagt dasselbe außerdem dabei, die lokale Abweichung der CD einzustellen.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0014] Die vorliegende Erfindung schafft ein Verfahren zum Einstellen der Abweichung einer CD für Muster, die durch ein photolithographisches Verfahren gebildet werden. Die Abweichung einer CD wird durch Bilden einer Vertiefung bzw. Ausnehmung, einer Unterschneidung und/oder einer isotropen Rille in einem transparenten Substrat einer Photomaske mit einer Größe, die kleiner als die Wellenlänge von einfallendem Licht ist, das bei dem photolithographischen Verfahren verwendet wird, eingestellt. Dort, wo eine Vertiefung und eine Unterschneidung gebildet sind, wird die Abweichung der CD typischerweise um einen größeren Betrag eingestellt als dort, wo eine Vertiefung und eine isotrope Rille gebildet sind. Ein Verfahren zum Einstellen der Abweichung der CD durch Bilden der Vertiefung und der Unterschneidung wird dementsprechend vorzugsweise verwendet, um die CD eines allgemeinen Musters über ein gesamtes Substrat zu vergrößern oder zu verkleinern, während ein Verfahren zum Einstellen der Abweichung der CD durch Bilden der Vertiefung und der isotropen Rille vorzugsweise verwendet wird, um eine CD eines feinen Musters in einem ausgewählten Abschnitt des Substrats zu vergrößern oder zu verkleinern.

[0015] Die vorliegende Erfindung verhindert die Verschlechterung des Kontrasts von Musterbildern und die Reduzierung der normierten logarithmischen Bildsteigung. Die vorliegende Erfindung verhindert ferner, dass die Photomaske beschädigt wird, wenn die Abweichung der CD eingestellt wird. Dort, wo ferner unterschiedliche CDs für verschiedene Muster, die an einem Substrat gebildet sind, anwendbar sind, schafft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Einstellen der Abweichung der CD über das gesamte Substrat durch lediglich einmaliges Durchführen eines Ätzmaskenbildungsverfahrens.

[0016] Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zum Einstellen der Abweichung einer CD für Muster, die an einem Vorrich-

tungssubstrat durch ein photolithographisches Verfahren unter Verwendung einer Belichtungsquelle mit einer Wellenlänge λ gebildet werden, geschaffen. Das Verfahren weist das Bereitstellen einer Photomaske auf, die ein transparentes Substrat und ein Lichtblockierungsmuster, das an dem transparenten Substrat gebildet ist, aufweist. Das Verfahren weist ferner das Durchführen des photolithographischen Verfahrens unter Verwendung der Photomaske und das Ätzen einer Region mit einer CD-Abweichung in dem transparenten Substrat bis zu einer Tiefe auf, die kleiner als die Wellenlänge λ ist, wobei die Region mit der CD-Abweichung einer Region in dem Vorrichtungssubstrat entspricht, in der die CD-Abweichung sonst als ein Resultat des photolithographischen Verfahrens auftritt.

[0017] Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zum Einstellen einer CD für Muster, die an einem Vorrichtungssubstrat durch ein photolithographisches Verfahren unter Verwendung einer Belichtungsquelle mit einer Wellenlänge λ gebildet werden, geschaffen. Das Verfahren weist das Bereitstellen einer Photomaske, die ein transparentes Substrat und ein Lichtblockierungsmuster, das an dem transparenten Substrat gebildet ist, aufweist, und das Bilden eines Materialmusters an dem Vorrichtungssubstrat aus einer Materialschicht unter Verwendung eines photolithographischen Verfahrens und eines Ätzverfahrens unter Verwendung der Photomaske auf. Das Verfahren weist ferner das Messen einer CD für das Materialmuster, das Definieren einer Region mit einer positiven CD-Abweichung und einer Region mit einer negativen CD-Abweichung in dem transparenten Substrat durch Berechnen einer Abweichung der CD für das Materialmuster auf, wobei die Abweichung der CD für das Materialmuster durch Vergleichen der gemessenen CD des Materialmusters mit einer Ziel-CD berechnet wird. Das Verfahren weist ferner das Bilden einer Vertiefung in der Region mit der positiven CD-Abweichung und das Bilden einer Unterschneidung in der Region mit der negativen CD-Abweichung auf.

[0018] Eine Tiefe der Vertiefung und eine Breite der Unterschneidung werden vorzugsweise durch experimentelle Daten, die unter experimentellen Bedingungen, die gleich den Verarbeitungs- bzw. Verfahrensbedingungen sind, bestimmt. Die Vertiefung wird vorzugsweise durch Durchführen eines anisotropen Ätzverfahrens unter Verwendung des Lichtblockierungsmusters als eine Ätzmaske gebildet. Die Unterschneidung wird vorzugsweise durch Durchführen eines chemischen Trockenätzverfahrens oder eines Nassätzverfahrens unter Verwendung des Lichtblockierungsmusters als eine Ätzmaske gebildet.

[0019] Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zum Einstellen ei-

ner CD für Muster, die an einem Vorrichtungssubstrat durch ein photolithographisches Verfahren unter Verwendung einer Belichtungsquelle einer Wellenlänge λ gebildet werden, geschaffen. Das Verfahren weist das Bereitstellen einer Photomaske, die ein transparentes Substrat und ein Lichtblockierungsmuster, das an dem transparenten Substrat gebildet ist, aufweist, und das Bilden eines Materialmusters an dem Vorrichtungssubstrat aus einer Materialschicht unter Verwendung des photolithographischen Verfahrens und eines Ätzverfahrens unter Verwendung der Photomaske auf. Das Verfahren weist ferner das Messen einer CD für das Materialmuster, das Definieren einer Region mit einer positiven CD-Abweichung und einer Region mit einer negativen CD-Abweichung in dem transparenten Substrat durch Berechnen einer Abweichung der CD für das Materialmuster, wobei das Berechnen der Abweichung der CD für das Materialmuster das Vergleichen der gemessenen CD mit einer Ziel-CD für das Materialmuster aufweist, das Bilden einer isotropen Rille mit einer vorbestimmten Tiefe in der Region mit der positiven CD-Abweichung und das Bilden einer Vertiefung mit einer vorbestimmten Tiefe in der Region mit der negativen CD-Abweichung auf.

[0020] Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zum Einstellen der Abweichung einer CD für Muster, die an einem Vorrichtungssubstrat unter Verwendung einer Photomaske gebildet werden, geschaffen. Das Verfahren weist das Bereitstellen der Photomaske, bei dem die Photomaske ein transparentes Substrat aufweist, und das Definieren einer ersten Region mit einer positiven CD-Abweichung, einer zweiten Region mit einer positiven CD-Abweichung und einer dritten Region mit einer positiven CD-Abweichung in der Photomaske auf, wobei die erste, die zweite und die dritte Region mit der positiven CD-Abweichung jeweiligen Mustern entsprechen, die von einer ersten CD, einer zweiten CD und einer dritten CD abweichen. Das Verfahren weist ferner das Bilden einer Vertiefung mit einer vorbestimmten Tiefe in dem transparenten Substrat in jeder der ersten bis dritten Region mit der CD-Abweichung und das Bilden einer zweiten Vertiefung und/oder einer isotropen Rille innerhalb der Vertiefung auf.

Ausführungsbeispiel

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0021] Die beigefügten Zeichnungen stellen mehrere ausgewählte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung dar und sind in dieser Beschreibung enthalten und bilden einen Teil derselben. Es zeigen:

[0022] [Fig. 1A](#) und [Fig. 1B](#) ein herkömmliches Verfahren zum Einstellen einer Abweichung einer CD von Mustern unter Verwendung von Gittern;

[0023] [Fig. 2A](#) eine graphische Darstellung, die einen Kontrast als eine Funktion der Gitterdichte für Musterbilder, die durch eine Photomaske in [Fig. 1B](#) gebildet werden, zeigt;

[0024] [Fig. 2B](#) eine graphische Darstellung, die die NILS als eine Funktion der Gitterdichte für Musterbilder, die durch die Photomaske in [Fig. 1B](#) gebildet werden, zeigt;

[0025] [Fig. 3A](#) eine Querschnittsansicht einer Photomaske, die bei einem Verfahren zum Einstellen der Abweichung einer CD gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung verwendet wird;

[0026] [Fig. 3B](#) eine Querschnittsansicht einer Photomaske, die bei einem Verfahren zum Einstellen der Abweichung einer CD gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung verwendet wird;

[0027] [Fig. 4A](#) eine Querschnittsansicht einer Photomaske mit einer Vertiefung;

[0028] [Fig. 4B](#) eine Querschnittsansicht einer Photomaske mit einer Unterschneidung;

[0029] [Fig. 5A](#) eine graphische Darstellung, die eine optische Intensität für Licht zeigt, das durch die Photomaske in [Fig. 4A](#) durchgelassen bzw. transmittiert wird, als eine Funktion des Abstands von der Mitte der Photomaske;

[0030] [Fig. 5B](#) eine graphische Darstellung, die eine CD von Mustern, die unter Verwendung der Photomaske in [Fig. 4A](#) gebildet werden, als eine Funktion der Tiefe der Vertiefung in der Photomaske zeigt, dort gemessen, wo eine optische Schwellenintensität basierend auf der in [Fig. 5A](#) gezeigten graphischen Darstellung auf 0,2 eingestellt ist;

[0031] [Fig. 6A](#) eine graphische Darstellung, die eine optische Intensität für Licht zeigt, das durch die Photomaske in [Fig. 4B](#) durchgelassen wird, als eine Funktion eines Abstands von einer Mitte der Photomaske;

[0032] [Fig. 6B](#) eine graphische Darstellung, die eine CD für Muster, die unter Verwendung der Photomaske in [Fig. 4B](#) gebildet werden, als eine Funktion einer Breite der Unterschneidung in der Photomaske zeigt, dort gemessen, wo die optische Schwellenintensität basierend auf der in [Fig. 6A](#) gezeigten graphischen Darstellung auf 0,2 eingestellt ist;

[0033] [Fig. 7A](#) eine Querschnittsansicht einer Photomaske mit einer Vertiefung;

[0034] [Fig. 7B](#) eine Querschnittsansicht einer Photomaske mit einer isotropen Rille;

[0035] [Fig. 8A](#) eine graphische Darstellung, die eine CD für Muster, die unter Verwendung der Photomaske in [Fig. 7A](#) gebildet werden, als eine Funktion der Breite der Vertiefung zeigt;

[0036] [Fig. 8B](#) eine graphische Darstellung, die eine CD für Muster, die unter Verwendung der Photomaske in [Fig. 7B](#) gebildet werden, als eine Funktion einer Öffnungsgröße der isotropen Rille zeigt;

[0037] [Fig. 9A](#) eine Querschnittsansicht einer Photomaske mit einer ersten Vertiefung und einer zweiten Vertiefung;

[0038] [Fig. 9B](#) eine Querschnittsansicht einer Photomaske mit einer Vertiefung und einer isotropen Rille;

[0039] [Fig. 10A](#) eine graphische Darstellung, die eine CD für Muster, die unter Verwendung der Photomaske in [Fig. 9A](#) gebildet werden, als eine Funktion der Breite der zweiten Vertiefung zeigt;

[0040] [Fig. 10B](#) eine graphische Darstellung, die eine CD für Muster, die unter Verwendung der Photomaske in [Fig. 9B](#) gebildet werden, als eine Funktion der Öffnungsgröße der isotropen Rille zeigt;

[0041] [Fig. 11](#) ein Flussdiagramm, das ein Verfahren zum Einstellen der Abweichung einer CD für Muster gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung darstellt;

[0042] [Fig. 12A](#) bis [Fig. 12C](#) Querschnittsansichten, die ein Verfahren zum Einstellen der Abweichung einer CD für Muster, die durch eine Photomaske mit einer Region mit einer positiven CD-Abweichung gebildet werden, darstellen;

[0043] [Fig. 13A](#) bis [Fig. 13C](#) Querschnittsansichten, die ein Verfahren zum Einstellen einer Abweichung einer CD für Muster, die unter Verwendung einer Photomaske mit einer Region mit einer negativen CD-Abweichung gebildet werden, darstellen; und

[0044] [Fig. 14A](#) und [Fig. 14B](#) Querschnittsansichten, die ein Verfahren zum Einstellen der Abweichung einer CD für Muster, die unter Verwendung einer Photomaske mit einer Mehrzahl von unterschiedlich großen Regionen mit einer CD-Abweichung gebildet werden, darstellen.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0045] Die vorliegende Erfindung ist im Folgenden vollständiger unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben, in denen mehrere exemplarische Ausführungsbeispiele der Erfindung gezeigt sind. In den Zeichnungen sind die Dicken von Schich-

ten zur Klarheit übertrieben dargestellt. Gleiche Bezugswerte beziehen sich ferner durch die Zeichnungen und die geschriebene Beschreibung auf gleiche Elemente.

[0046] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird eine Abweichung einer CD für Muster durch Bilden einer Vertiefung und/oder einer Unterschneidung in einem transparenten Substrat in einer Photomaske eingestellt. Die Vertiefung und/oder die Unterschneidung werden allgemein durch ein anisotropes Trockenätzen und/oder ein isotropes Ätzen an einer vorderen Oberfläche der Photomaske, d. h. einer Oberfläche der Photomaske, an der ein Lichtblockierungsmuster gebildet ist, gebildet. Die Vertiefung und/oder Unterschneidung stellen die Abweichung einer CD durch Variieren der Intensität von einfallendem Licht, das durch die Photomaske durchgelassen wird, ein. Die Vertiefung und/oder die Unterschneidung weisen typischerweise eine kleinere Tiefe oder Breite als die Wellenlänge des einfallenden Lichts auf.

[0047] [Fig. 3A](#) ist eine Querschnittsansicht einer Photomaske **30**, die bei einem Verfahren zum Einstellen der Abweichung einer CD gemäß der vorliegenden Erfindung verwendet wird. In der Photomaske **30** ist eine Vertiefung **33** in einer Lichtdurchlassregion eines transparenten Substrats **31** gebildet. Die Vertiefung **33** wird vorzugsweise durch Durchführen eines anisotropen Trockenätzens unter Verwendung eines Photoresist-Musters (nicht gezeigt) und/oder eines Lichtblockierungsmusters **32** gebildet.

[0048] Bezug nehmend auf [Fig. 3A](#) ist die Vertiefung **33** in dem transparenten Substrat **31** der Photomaske **30** mit einer vorbestimmten Breite w_1 und Tiefe d_1 gebildet. Die Abweichung einer CD für Muster, die unter Verwendung der Photomaske **30** gebildet werden, variiert gemäß der Breite w_1 und der Tiefe d_1 . Eine Beziehung zwischen der Abweichung einer CD und der Breite w_1 und der Tiefe d_1 ist detaillierter im Folgenden beschrieben.

[0049] Die Breite w_1 ist vorzugsweise kleiner oder gleich einem Abstand "wp" über eine Lücke in dem Lichtblockierungsmuster **32**. Die Tiefe d_1 ist vorzugsweise kleiner als eine Wellenlänge von einfallendem Licht, das durch die Photomaske **30** empfangen wird. Dieses bevorzugte Merkmal der vorliegenden Erfindung verhindert, dass die Phase von Licht, das durch die Photomaske **30** durchgelassen wird, invertiert bzw. umgekehrt wird.

[0050] [Fig. 3B](#) ist eine Querschnittsansicht einer Photomaske **40**, die zur Verwendung innerhalb eines Verfahrens zum Einstellen der Abweichung einer CD für Muster gemäß der vorliegenden Erfindung angepasst ist. In der Photomaske **40** ist eine Unterschneidung **43** in einem transparenten Substrat **41** gebildet. Die Unterschneidung **43** wird vorzugsweise durch

isotropes Nassätzen oder isotropes Trockenätzen unter Verwendung eines Photoresist-Musters (nicht gezeigt) und/oder eines Lichtblockierungsmusters **42** gebildet. Als ein Resultat des isotropen Ätzens wird eine Unterschneidung **43** in sowohl einer Lichtblockierungsregion als auch einer Lichtdurchlassregion des transparenten Substrats **41** gebildet. Obwohl es eine Korrelation zwischen einer horizontalen Ätzrate und einer vertikalen Ätzrate für das transparente Substrat **41** gibt, ist die horizontale Ätzrate typischerweise höher als die vertikale Ätzrate.

[0051] Bezug nehmend auf [Fig. 3B](#) weist ein Abschnitt der Unterschneidung **43**, der in der Lichtblockierungsregion des transparenten Substrats **41** gebildet ist, eine vorbestimmte Breite w_2 , eine Öffnungsgröße w_2' und eine Tiefe d_2 auf. Abweichungen einer CD für Muster, die unter Verwendung der Photomaske **40** gebildet werden, variieren gemäß der Breite w_2 , der Öffnungsgröße w_2' und der Tiefe d_2 . Die Beziehung zwischen der Abweichung einer CD, der Breite w_2 , der Öffnungsgröße w_2' und der Tiefe d_2 ist detaillierter im Folgenden beschrieben.

[0052] Obwohl sich eine Unterschneidung typischerweise auf ein Merkmal bezieht, das unterhalb etwas anderem auftritt, sollte die Unterschneidung **43** derart interpretiert werden, dass sie sowohl einen geätzten Abschnitt, der in der Lichtblockierungsregion (z. B. einer Region unter dem Lichtblockierungsmuster **42**) gebildet ist, als auch einen geätzten Abschnitt, der in der Lichtdurchlassregion gebildet ist, aufweist. Die Breite w_2 bezieht sich auf eine Breite des geätzten Abschnitts der Unterschneidung **43**, die in der Lichtblockierungsregion gebildet ist. Die Öffnungsgröße w_2' bezieht sich auf eine Breite des geätzten Abschnitts der Unterschneidung **43**, die in der Lichtdurchlassregion gebildet ist. Die Öffnungsgröße w_2' der Unterschneidung **43** ist typischerweise kleiner oder gleich einem Abstand "wp" über eine Lücke in dem Lichtblockierungsmuster **42**. Der Ausdruck "Unterschneidung" wird hierin allgemein dort verwendet, wo die Öffnungsgröße etwa gleich dem Abstand über eine Lücke in dem Lichtblockierungsmuster ist, während der Ausdruck "isotrope Rille" dort verwendet wird, wo die Öffnungsgröße kleiner als der Abstand über eine Lücke in dem Lichtblockierungsmuster ist.

[0053] [Fig. 4A](#) und [Fig. 4B](#) stellen Photomasken dar, die bei einem ersten experimentellen Beispiel verwendet werden, das die vorliegende Erfindung erklärt. [Fig. 4A](#) ist eine Querschnittsansicht einer Photomaske **130** mit einer Vertiefung **133**, und [Fig. 4B](#) ist eine Querschnittsansicht einer Photomaske **140** mit einer Unterschneidung **143**.

[0054] Bezug nehmend auf [Fig. 4A](#) ist eine Vertiefung **133** über eine gesamte Lichtdurchlassregion einer Photomaske **130** gebildet. Die Vertiefung **133** weist eine Breite w_3 gleich einem Abstand "wp" über

eine Lücke in einem Lichtblockierungsmuster **132** und eine Tiefe d_3 in einem transparenten Substrat **131** auf.

[0055] Bezug nehmend auf [Fig. 4B](#) ist die Unterschneidung **143** über eine gesamte Lichtdurchlassregion der Photomaske **140** gebildet. Die Unterschneidung **143** weist eine Öffnungsgröße w_4' gleich einem Abstand "wp" über eine Lücke in einem Lichtblockierungsmuster **142**, eine Breite w_4 und eine Tiefe d_4 in einem transparenten Substrat **141** auf.

[0056] [Fig. 4A](#) und [Fig. 4B](#) können als spezielle Beispiele von Photomasken **30** und **40**, die in [Fig. 3A](#) bzw. [Fig. 3B](#) gezeigt sind, betrachtet werden.

[0057] [Fig. 5A](#) ist eine graphische Darstellung, die eine optische Intensität von Licht, das durch die Photomaske **130** durchgelassen wird, als eine Funktion der Tiefe d_3 zeigt. Die optische Intensität ist für Werte einer Tiefe d_3 , die kleiner als eine Wellenlänge λ von einfallendem Licht ist, gemessen. Die optische Intensität ist insbesondere für Werte in einem Bereich von 0 bis 240 nm in Intervallen von 40 nm gemessen. Diese Messungen sind mit einem einfallenden Licht mit einer Wellenlänge von 248 nm verbunden. Die experimentellen Beobachtungen sind insbesondere mit einer 248-nm-KrF-Lichtquelle verbunden. Bezug nehmend auf [Fig. 5A](#), in der die Tiefe d_3 kleiner als die Wellenlänge λ ist, verringert eine zunehmende Tiefe d_3 die größte optische Intensität von Licht, das durch die Photomaske **130** durchgelassen wird.

[0058] [Fig. 5B](#) ist eine graphische Darstellung, die eine Variation einer CD von Mustern zeigt, die dort gemessen wird, wo die optische Schwellenintensität auf der Basis der graphischen Darstellung, die in [Fig. 5A](#) gezeigt ist, auf 0,2 eingestellt ist. Dort, wo die optische Schwellenintensität auf andere Werte als 0,2 eingestellt ist, verändern sich die Werte für die CD von Mustern, jedoch zeigen relative Unterschiede zwischen den CDs von Mustern den gleichen allgemeinen Trend, der in [Fig. 5B](#) sichtbar ist. Bezug nehmend auf [Fig. 5B](#) tendiert die CD von Mustern dazu abzunehmen, sowie die Tiefe d_3 zunimmt.

[0059] Eine CD von Mustern wird daher durch Bilden der Vertiefung **133** mit einer Breite w_3 , die gleich dem Abstand "wp" ist, und dann durch Vergrößern der Tiefe d_3 der Vertiefung **133** reduziert. Die Menge einer Einstellung einer CD von Mustern variiert daher durch Steuern der Tiefe d_3 der Vertiefung **133**. Bei dem ersten experimentellen Beispiel stellt das Vergrößern der Tiefe d_3 um 10 nm die CD von Mustern um etwa 3 nm ein. Das Verfahren zum Einstellen der CD von Mustern durch Bilden der Vertiefung **133** in der gesamten Lichtdurchlassregion des transparenten Substrats **131** kann dementsprechend in einer Region mit einer positiven CD-Abweichung in einer Photomaske angewendet werden, insbesondere,

wenn die CD von Mustern um einen relativ großen Wert eingestellt wird, wie es aus einem zweiten experimentellen Beispiel klarer sichtbar ist.

[0060] [Fig. 6A](#) ist eine graphische Darstellung, die eine optische Intensität als eine Funktion einer Breite w_4 einer Unterschneidung **143**, die in [Fig. 4B](#) gezeigt ist, zeigt. Die Breite w_4 ist vorzugsweise kleiner als eine Wellenlänge λ von einfallendem Licht. [Fig. 6A](#) zeigt eine optische Intensität für Licht, das durch eine Photomaske **140** durchgelassen wird, für unterschiedliche Werte von w_4 in der Unterschneidung **143**. Die optische Intensität ist in [Fig. 6A](#) für Werte von Breiten w_4 von 0 nm bis 200 nm, gezeigt in Intervallen von 50 nm, gezeigt.

[0061] Bezug nehmend auf [Fig. 6A](#) tendiert die maximale optische Intensität von Licht, das durch die Photomaske **140** läuft, dazu, genauso zuzunehmen, wie die Breite w_4 der Unterschneidung **143** zunimmt. Unterdessen ist dort, wo die Breite w_4 der Unterschneidung **143** 0 nm ist, die maximale optische Intensität niedriger als dort, wo eine binäre Maske (BM) verwendet wird. Dies liegt daran, dass dort, wo die Breite w_4 der Unterschneidung **143** 0 nm ist, lediglich eine Vertiefung mit einer vorbestimmten Tiefe in der Lichtdurchlassregion der Photomaske **140** gebildet wird.

[0062] [Fig. 6B](#) ist eine graphische Darstellung, die eine Variation der CD von Mustern zeigt, die dort gemessen wird, wo die optische Intensität auf der Basis der graphischen Darstellung, die in [Fig. 6A](#) gezeigt ist, auf 0,2 eingestellt ist. Bezug nehmend auf [Fig. 6B](#) nimmt die CD von Mustern monoton zu, sowie die Breite w_4 der Unterschneidung **143** zunimmt.

[0063] Eine CD von Mustern wird daher durch Bilden einer Unterschneidung **143** unter dem Lichtblockierungsmuster **142** vergrößert. Sowie die Breite w_4 der Unterschneidung **143** zunimmt, wird außerdem die CD von Mustern um eine größere Menge eingestellt. Bei diesem ersten experimentellen Beispiel wird dort, wo die Breite w_4 der Unterschneidung **143** um 10 nm vergrößert wird, die CD von Mustern um etwa 5 nm eingestellt. Das Verfahren zum Einstellen einer CD von Mustern durch Bilden der Unterschneidung **143** in dem transparenten Substrat **141** kann dementsprechend in einer Region mit einer negativen CD-Abweichung einer Photomaske angewendet werden, insbesondere dort, wo die CD von Mustern um einen relativ großen Wert eingestellt wird, wie es bei einem zweiten experimentellen Beispiel klarer sichtbar werden wird.

[0064] Die optische Intensität von Licht, das durch die Photomasken **130** und **140** durchgelassen wird, variiert zusammenfassend gemäß der Tiefe d_3 der Vertiefung **133**, die in der Photomaske **130** gebildet wird, und der Breite w_4 der Unterschneidung **143**, die

in der Photomaske **140** gebildet wird. Durch Steuern der Tiefe d_3 und der Breite w_4 kann eine CD eines Musters, das einer Vertiefung **133** oder einer Unterschneidung **143** entspricht, ohne weiteres eingestellt werden. Die CD des Musters wird durch Bilden der Vertiefung **133** in der Photomaske **130** zu einer geeigneten Tiefe d_3 und durch Bilden der Unterschneidung **143** in der Photomaske **140** zu einer geeigneten Breite w_4 eingestellt. Ein Ätzmaskenbildungsverfahren wird typischerweise zweimal oder mehrere Male durchgeführt, um die Vertiefung **130** oder die Unterschneidung **143** zu unterschiedlichen Tiefen d_3 bzw. Breiten w_4 gemäß Positionen der Lichtdurchlassregion zu bilden. Dies liegt daran, dass die Tiefe d_3 der Vertiefung **130** und die Breite w_4 der Unterschneidung **143** jeweils von der Verfahrenszeit bzw. Prozesszeit abhängen. Das Verfahren zum Einstellen der CD von Mustern, das bei dem ersten experimentellen Beispiel dargestellt ist, ist dennoch beim Einstellen einer CD von Mustern um einen großen Wert und beim Einstellen einer CD von Mustern für eine gesamte Photomaske nützlich.

[0065] [Fig. 7A](#) und [Fig. 7B](#) stellen Photomasken dar, die bei einem zweiten experimentellen Beispiel verwendet werden, das die vorliegende Erfindung erklärt. [Fig. 7A](#) ist eine Querschnittsansicht einer Photomaske **230** mit einer Vertiefung **233**, und [Fig. 7B](#) ist eine Querschnittsansicht einer Photomaske **240** mit einer isotropen Rille **243**.

[0066] Bezug nehmend auf [Fig. 7A](#) ist die Vertiefung **233** in einer Lichtdurchlassregion eines transparenten Substrats **231** gebildet. Die Vertiefung **233** weist eine Breite w_5 und eine Tiefe d_5 auf. Ein Lichtblockierungsmuster **232** ist über einer Lichtblockierungsregion des transparenten Substrats **231** gebildet, und ein Abstand "wp" überspannt eine Lücke in dem Lichtblockierungsmuster **232**. Die Photomaske **230** unterscheidet sich von der in [Fig. 4A](#) gezeigten und bei dem ersten experimentellen Beispiel verwendeten Photomaske **130** dahingehend, dass die Breite w_5 in der Vertiefung **233** kleiner als "wp" ist.

[0067] Bezug nehmend auf [Fig. 7B](#) ist die isotrope Rille **243** in einer Lichtdurchlassregion in einem transparenten Substrat **241** gebildet. Die isotrope Rille **243** weist eine Öffnungsgröße w_6' , eine Breite w_6 und eine Tiefe d_6 auf. Ein Lichtblockierungsmuster **242** ist über einer Lichtblockierungsregion des transparenten Substrats **241** gebildet, und ein Abstand "wp" überspannt eine Lücke in dem Lichtblockierungsmuster **242**. Die Photomaske **240**, die in [Fig. 7B](#) gezeigt ist, unterscheidet sich von der in [Fig. 4B](#) gezeigten und bei dem ersten experimentellen Beispiel verwendeten Photomaske **140** dahingehend, dass die Öffnungsgröße w_6' in der isotropen Rille **243** kleiner als der Abstand "wp" ist.

[0068] Bei dem zweiten experimentellen Beispiel

wird die Tiefe d_5 der Vertiefung **233** in der Photomaske **230** in [Fig. 7A](#) konstant gehalten, während die Breite w_5 variiert wird. Bei dem zweiten experimentellen Beispiel werden die Tiefe d_6 und die Breite w_6 der isotropen Rille **243** in der Photomaske **240**, die in [Fig. 7B](#) gezeigt ist, ebenfalls konstant gehalten, während die Öffnungsgröße w_6' variiert wird.

[0069] Die Photomasken **230** und **240**, die in [Fig. 7A](#) und [Fig. 7B](#) gezeigt sind, können als spezielle Beispiele von Photomasken **30** und **40**, die in [Fig. 3A](#) bzw. [Fig. 3B](#) gezeigt sind, betrachtet werden.

[0070] [Fig. 8A](#) ist eine graphische Darstellung, die eine CD von Mustern als eine Funktion einer Breite w_5 der Vertiefung **233**, die in [Fig. 7A](#) gezeigt ist, zeigt. [Fig. 8B](#) ist eine graphische Darstellung, die die CD von Mustern als eine Funktion der Öffnungsgröße w_6' der in [Fig. 7B](#) gezeigten isotropen Rille **243** zeigt.

[0071] Experimente werden unter Verwendung der Photomasken **230** und **240** durchgeführt, die jeweils 600-nm-1:3-Linien-und-Zwischenraum-Muster, eine ArF-Lichtquelle, eine Linse mit einer numerischen Apertur (NA) von 0,85 und ringförmige Aperturen von 0,55/0,85 aufweisen. Die graphischen Darstellungen, die in [Fig. 8A](#) und [Fig. 8B](#) gezeigt sind, werden durch ein Verfahren ähnlich zu demselben, das bei dem ersten experimentellen Beispiel unter Bezugnahme auf die [Fig. 5B](#) und [Fig. 6B](#) beschrieben ist, erhalten.

[0072] Bezug nehmend auf [Fig. 8A](#) ist dort, wo die Vertiefung **233** mit einer Tiefe d_5 von 28,8 nm (d. h. 30° einer ArF-Wellenlänge) und einer Breite w_5 , die kleiner als der Abstand "wp" ist, gebildet ist, die CD von Mustern größer als dort, wo die Vertiefung **233** nicht gebildet ist (d. h. dort, wo die Breite w_5 0 nm ist). Sowie die Breite w_5 der Vertiefung **233** zunimmt, nimmt ferner die CD von Mustern zuerst zu und beginnt dann, nachdem dieselbe einen bestimmten Wert erreicht hat, abzunehmen.

[0073] Die CD von Mustern kann daher ohne weiteres durch Variieren der Breite w_5 der Vertiefung **233** vergrößert werden. Bei diesem experimentellen Beispiel nimmt die CD von Mustern um etwa 0,1 nm zu, sowie die Breite w_5 der Vertiefung **233** um 10 nm zunimmt. Das Verfahren zum Einstellen einer CD von Mustern durch Bilden der Vertiefung **233** ist dementsprechend ohne weiteres auf eine Region mit einer negativen CD-Abweichung anwendbar, insbesondere, wenn eine relativ feine CD-Einstellung erforderlich ist, wie es bei dem ersten experimentellen Beispiel gezeigt ist.

[0074] Bezug nehmend auf [Fig. 8B](#) ist dort, wo die isotrope Rille **243** mit einer Breite w_6 von 28,68 nm (d. h. 30° der ArF-Wellenlänge) und einer Öffnungsgröße w_6' , die kleiner als der Abstand "wp" ist, gebil-

det ist, die CD von Mustern kleiner als dort, wo die isotrope Rille **243** nicht gebildet ist (d. h. dort, wo die Öffnungsgröße $w_6' = 0$ nm ist). Einem Muster ähnlich zu demselben der graphischen Darstellung, die in [Fig. 8A](#) gezeigt ist, folgend, nimmt jedoch die CD von Mustern zu, sowie die Öffnungsgröße w_6' zunimmt. Sobald die Öffnungsgröße einen bestimmten Wert erreicht, wird die CD von Mustern schließlich beginnen abzunehmen.

[0075] Die CD von Mustern wird daher ohne weiteres durch Variieren der Öffnungsgröße w_6' der isotropen Rille **243** reduziert. Bei diesem experimentellen Beispiel vergrößert dort, wo die Öffnungsgröße w_6' zwischen 30 und 90 nm liegt, das Vergrößern der Öffnungsgröße w_6' der isotropen Rille **243** um 10 nm die CD von Mustern um etwa 0,7 nm. Das Verfahren zum Einstellen einer CD von Mustern durch Bilden einer isotropen Rille **243** ist dementsprechend auf eine Region mit einer positiven CD-Abweichung insbesondere dort ohne weiteres anwendbar, wo eine relativ feine CD-Einstellung erforderlich ist, wie es bei dem ersten experimentellen Beispiel gezeigt ist.

[0076] Die optische Intensität von einfallendem Licht, das durch die Photomasken **230** und **240** durchgelassen wird, variiert folglich mit der Breite w_5 der Vertiefung **233** und der Öffnungsgröße w_6' der isotropen Rille **243**. Durch Steuern der Breite w_5 der Vertiefung **233**, die in der Photomaske **230** gebildet ist, und der Öffnungsgröße w_6' der isotropen Rille **243**, die in der Photomaske **240** gebildet ist, wird somit eine CD von Mustern, die der Vertiefung **233** und der isotropen Rille **243** entsprechen, gesteuert. Die CD von Mustern wird durch Bilden der Vertiefung **233** in der Photomaske **230** zu einer geeigneten Breite w_5 und Bilden der isotropen Rille **243** in der Photomaske **240** zu einer geeigneten Öffnungsgröße w_6' als ein Resultat ohne weiteres eingestellt.

[0077] Die Breite w_5 der Vertiefung **233** und die Öffnungsgröße w_6' der isotropen Rille **243** werden durch Steuern der Größe eines geätzten Maskenmusters, das verwendet wird, um die Photomasken **230** bzw. **240** zu bilden, fein gesteuert. Die Tiefe d_5 der Vertiefung **233** und die Tiefe d_6 der isotropen Rille **243**, die jeweils eine Funktion der Verfahrenszeit sind, werden mit konstanten Werten über die belichtete bzw. freigelegte Lichtdurchlassregion aufgrund einer Ätzmaste gebildet. Wie es bei dem zweiten experimentellen Beispiel sichtbar ist, kann eine CD von Mustern daher durch geeignetes Bilden von Photomasken **230** und **240** durch lediglich einmaliges Durchführen eines Ätzmastverfahrens ohne weiteres eingestellt werden.

[0078] [Fig. 9A](#) und [Fig. 9B](#) stellen Photomasken dar, die bei einem dritten experimentellen Beispiel, das die vorliegende Erfindung erklärt, verwendet werden.

[0079] Bezug nehmend auf [Fig. 9A](#) ist eine erste Vertiefung mit einer Tiefe R in einer Lichtdurchlassregion eines transparenten Substrats **331** einer Photomaske **330** gebildet. Eine zweite Vertiefung **333** ist in einem Abschnitt der Lichtdurchlassregion gebildet. Ein Lichtblockierungsmuster **332** ist über einer Lichtblockierungsregion des transparenten Substrats **331** gebildet, und eine Lücke, die einen Abstand " w_p " überspannt, ist in dem Lichtblockierungsmuster **332** gebildet. Eine zweite Vertiefung **333** ist mit einer Tiefe d_7 und einer Breite w_7 gebildet. Bei dem dritten experimentellen Beispiel werden die Tiefe d_7 und die Tiefe R konstant gehalten, während die Breite w_7 variiert wird.

[0080] Bezug nehmend auf [Fig. 9B](#) ist eine Vertiefung zu einer Tiefe R in einer Lichtdurchlassregion eines transparenten Substrats **341** einer Photomaske **340** gebildet. Eine isotrope Rille **343** ist in einem Abschnitt der Lichtdurchlassregion gebildet. Ein Lichtblockierungsmuster **342** ist über einer Lichtblockierungsregion des transparenten Substrats **341** gebildet, und eine Lücke, die einen Abstand " w_p " überspannt, ist in dem Lichtblockierungsmuster **342** gebildet. Die isotrope Rille **343** ist mit einer Breite w_8 , einer Öffnungsgröße w_8' und einer Tiefe d_8 gebildet. Bei dem dritten experimentellen Beispiel werden die Tiefe d_8 , die Tiefe R und die Breite w_8 konstant gehalten, während die Öffnungsgröße w_8' variiert wird.

[0081] [Fig. 10A](#) ist eine graphische Darstellung, die eine CD als eine Funktion der Breite w_7 der in [Fig. 9A](#) gezeigten zweiten Vertiefung **333** zeigt. [Fig. 10B](#) ist eine graphische Darstellung, die eine CD von Mustern als eine Funktion der Öffnungsgröße w_8' der in [Fig. 9B](#) gezeigten isotropen Rille **343** zeigt. Experimente wurden unter Verwendung der Photomasken **330** und **340** durchgeführt, wobei jede derselben 600-nm-1:3-Linien-und-Zwischenraum-Muster, eine ArF-Lichtquelle, eine Linse mit einer NA von 0,85 und ringförmige Aperturen von 0,55/0,85 aufweist. Die in [Fig. 10A](#) und [Fig. 10B](#) gezeigten graphischen Darstellungen werden durch das in dem ersten experimentellen Beispiel unter Bezugnahme auf [Fig. 5B](#) und [Fig. 6B](#) beschriebenen Verfahren erhalten.

[0082] Die in [Fig. 10A](#) und [Fig. 10B](#) gezeigten graphischen Darstellungen sind ähnlich zu den in [Fig. 8A](#) bzw. [Fig. 8B](#) gezeigten graphischen Darstellungen. Jede der Photomasken **330** und **340**, die verwendet werden, um die in [Fig. 10A](#) und [Fig. 10B](#) gezeigten graphischen Darstellungen zu erhalten, werden anfangs zu einer vorbestimmten Tiefe R vertieft. Dort, wo die gleiche optische Schwellenintensität angewendet wird und eine Vertiefung mit der gleichen Breite und Tiefe gebildet ist, ist dementsprechend die CD von Mustern, die unter Verwendung der Photomaske **230**, die in [Fig. 7A](#) gezeigt ist, gebildet werden, allgemein größer als die CD von Mustern, die durch die in [Fig. 9A](#) gezeigte Photomaske **330** gebil-

det werden. Dort, wo die gleiche optische Schwellenintensität angewendet wird und eine isotrope Rille mit der gleichen Breite, Öffnungsgröße und Tiefe gebildet ist, ist ähnlich die CD von Mustern, die unter Verwendung der in [Fig. 7B](#) gezeigten Photomaske **240** gebildet werden, allgemein größer als die CD von Mustern, die unter Verwendung der in [Fig. 9B](#) gezeigten Photomaske **230** gebildet werden.

[0083] Das dritte experimentelle Beispiel kombiniert bestimmte Aspekte des ersten und des zweiten experimentellen Beispiels. Das dritte experimentelle Beispiel stellt insbesondere dar, was mit einer CD von Mustern dort passiert, wo eine Tiefe einer Vertiefung oder einer isotropen Rille versetzt bzw. fehljustiert ist und eine Breite derselben variiert wird. Das dritte experimentelle Beispiel kann dementsprechend geeignet dort angewendet werden, wo eine globale CD-Einstellung über die gesamte Photomaske und eine feine CD-Einstellung in einem Abschnitt der Photomaske erforderlich sind.

[0084] Ein Verfahren zum Einstellen der Abweichung einer CD von Mustern ist im Folgenden unter Bezugnahme auf [Fig. 11](#) beschrieben.

[0085] [Fig. 11](#) ist ein Flussdiagramm, das ein Verfahren zum Einstellen einer Abweichung einer CD von Mustern unter Verwendung des ersten experimentellen Beispiels gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung darstellt.

[0086] Bezug nehmend auf [Fig. 11](#) wird eine Photomaske bei einem Schritt S11 vorbereitet. Die Photomaske ist eine binäre Maske (BM), die ein Lichtblockierungsmuster und ein transparentes Substrat aufweist. Das Lichtblockierungsmuster ist an einer vorderen Oberfläche des transparenten Substrats gebildet. Eine Lichtblockierungsregion und eine Lichtdurchlassregion sind durch das Lichtblockierungsmuster an dem transparenten Substrat definiert. Das Lichtblockierungsmuster ist zu einer vorbestimmten Größe gemäß einer Ziel-CD von Mustern gebildet. Dort, wo beispielsweise die Ziel-CD von Mustern für eine 4X-Photomaske 150 nm ist, weist das Lichtblockierungsmuster eine Größe von 600 nm auf.

[0087] Ein Materialmuster wird als Nächstes an einem Vorrichtungssubstrat durch Durchführen eines Belichtungsverfahrens und eines Entwicklungsverfahrens unter Verwendung der Photomaske bei einem Schritt S12 gebildet. Ein anisotropes Trockenätzverfahren wird zusätzlich dort durchgeführt, wo es notwendig ist, das Materialmuster zu bilden. Das Belichtungsverfahren wird unter Verwendung einer Lichtquelle durchgeführt, die Licht mit einer Wellenlänge λ emittiert. Bei der vorliegenden Erfindung kann jeder Typ einer Lichtquelle verwendet werden. Es wird beispielsweise typischerweise eine 248-nm-KrF-Lichtquelle oder eine 196-nm-ArF-Licht-

quelle verwendet. Das Materialmuster kann ferner aus jeder Materialart, beispielsweise Photoresist, einem isolierenden Material, wie z. B. Siliziumoxid, einem leitfähigen Material, wie z. B. Aluminium und Wolfram, oder einem Material, wie z. B. Chrom, zum Bilden eines Lichtblockierungsmusters einer Photomaske gebildet werden.

[0088] Die CD des Materialmusters wird danach bei einem Schritt S13 gemessen. Die CD des Materialmusters wird typischerweise unter Verwendung eines Raumbildmesssystems (AIMS; AIMS = Aerial Image Measurement System) oder eines Rasterelektronenmikroskops (SEM; SEM = Scanning Electronic Microscope) gemessen. Diese Vorrichtungen ermöglichen die Messung einer Verteilung einer CD gemäß Positionen an dem Vorrichtungssubstrat sowie der maximalen und der minimalen CD.

[0089] Die CD, die bei dem Schritt S13 gemessen wird, wird danach bei einem Schritt S14 mit der Ziel-CD verglichen. In einigen Fällen unterscheidet sich die gemessene CD von der Ziel-CD aufgrund der photolithographischen Grenze infolge einer Reduzierung von Entwurfsregeln und eines optischen Näheeffekts (OPE; OPE = Optical Proximity Effect). Die gemessene CD ist, mit anderen Worten, manchmal größer als die Ziel-CD, worauf als eine positive Abweichung der CD Bezug genommen wird. Die gemessene CD ist alternativ manchmal kleiner als die Ziel-CD, worauf als eine negative Abweichung der CD Bezug genommen wird. Bei einigen Fällen tritt keine Abweichung der CD auf. In einigen Fällen tritt die positive Abweichung der CD oder die negative Abweichung der CD mit einem konstanten Wert über das gesamte Substrat auf. In anderen Fällen unterscheidet sich alternativ eine Abweichung der CD von Mustern gemäß Positionen an einem Substrat. Bei weiteren Fällen treten eine positive Abweichung der CD und eine negative Abweichung der CD sogar auf einem einzelnen Substrat gleichzeitig auf.

[0090] Bei einem folgenden Schritt S14 wird eine Region mit einer positiven CD-Abweichung an der Photomaske definiert, die einem Abschnitt des Vorrichtungssubstrats entspricht, in dem eine positive Abweichung der CD auftritt, und eine Region mit einer negativen CD-Abweichung wird an der Photomaske definiert, die einem Abschnitt des Vorrichtungssubstrats entspricht, in dem eine negative Abweichung der CD auftritt. In einer Region der Photomaske, die einem Abschnitt des Vorrichtungssubstrats entspricht, in dem die gemessene CD gleich der Ziel-CD ist, ist keine Einstellung der CD von Mustern erforderlich.

[0091] Bei einem Schritt S15 wird ein Verfahren zum Einstellen einer Abweichung der CD basierend auf dem Resultat des Vergleichsschritts S14 durchgeführt. Um die Abweichung der CD einzustellen, wird

ein Ätzverfahren zum Bilden einer Vertiefung oder einer Unterschneidung in der Photomaske durchgeführt, wie es bei dem ersten experimentellen Beispiel beschrieben ist. Eine isotrope Rille oder eine Vertiefung wird alternativ in der Photomaske gebildet, wie es bei dem zweiten experimentellen Beispiel beschrieben ist. Eine Lichtdurchlassregion wird andernfalls zu einer vorbestimmten Tiefe vertieft, und dann können eine isotrope Rille oder eine Vertiefung, wie bei dem dritten experimentellen Beispiel beschrieben, gebildet werden.

[0092] Eine Vertiefung oder eine isotrope Rille können beispielsweise in der Region mit der positiven CD-Abweichung der Photomaske gebildet werden. Eine Unterschneidung oder eine Vertiefung können in der Region mit der negativen CD-Abweichung der Photomaske gebildet werden. Dort, wo sowohl eine Region mit einer positiven CD-Abweichung als auch eine Region mit einer negativen CD-Abweichung in einer einzelnen Photomaske definiert sind, werden die Vertiefung oder die isotrope Rille typischerweise in der Region mit der positiven CD-Abweichung gebildet, und die Unterschneidung oder die Vertiefung werden typischerweise in der Region mit der negativen CD-Abweichung gebildet. In diesem Fall ist es nicht erforderlich, dass die Vertiefung, die isotrope Rille und die Unterschneidung in einer spezifischen Reihenfolge gebildet werden.

[0093] Das im Vorhergehenden beschriebene Einstellungsverfahren ist im Folgenden detaillierter beschrieben.

[0094] [Fig. 12A](#) bis [Fig. 12C](#) stellen ein Verfahren zum Einstellen einer CD von Mustern dar, die einer Region mit einer positiven CD-Abweichung einer Photomaske entsprechen.

[0095] [Fig. 12A](#) ist eine Querschnittsansicht einer Photomaske, in der eine Region mit einer positiven CD-Abweichung definiert ist. [Fig. 12B](#) und [Fig. 12C](#) sind Querschnittsansichten, die ein Verfahren zum Einstellen einer CD von Mustern, die unter Verwendung der in [Fig. 12A](#) gezeigten Photomaske gebildet werden, darstellen.

[0096] Bezug nehmend auf [Fig. 12A](#) weist eine Photomaske ein transparentes Substrat **51** und Lichtblockierungsmuster **52** (**52a**, **52b** und **52c**) auf. Eine nicht eingestellte Region und eine Region mit einer positiven CD-Abweichung sind in der Photomaske definiert. Die Lichtblockierungsmuster **52a**, **52b** und **52c**, die in [Fig. 12A](#) gezeigt sind, sind beispielsweise dargestellt.

[0097] Bezug nehmend auf [Fig. 12B](#) wird ein Photoresist-Muster **55** an den Lichtblockierungsmustern **52a** und **52c** gebildet, um eine Lichtdurchlassregion in der Region mit der positiven CD-Abweichung zu

belichten. Das Photoresist-Muster **55** bedeckt ferner die gesamte nicht eingestellte Region. In einigen Fällen wird das Photoresist-Muster **55** an dem Lichtblockierungsmuster **52b** ebenso selektiv gebildet. Ein anisotropes Trockenätzverfahren wird durchgeführt, um eine Vertiefung mit einem vertikalen Profil zu bilden. Dort, wo das anisotrope Trockenätzverfahren durchgeführt wird, werden das Photoresist-Muster **55** und das Lichtblockierungsmuster **52b**, das in der Region mit der positiven CD-Abweichung belichtet wird, als eine Ätzmaske verwendet. Als ein Resultat wird eine Vertiefung **53** mit einer vorbestimmten Tiefe d_9 in einer Lichtdurchlassregion eines transparenten Substrats **51a** in der Region mit der positiven CD-Abweichung der Photomaske gebildet. Eine Tiefe d_9 der Vertiefung **53** variiert gemäß einer CD-Abweichung und ist vorzugsweise kleiner als eine Wellenlänge λ eines einfallenden Lichts. Wie im Vorhergehenden beschrieben, kann dort, wo die Tiefe der Vertiefung **53** kleiner als die Wellenlänge λ ist, die CD eines Musters reduziert werden. Dort, wo beispielsweise eine ArF-Lichtquelle verwendet wird, ist die Tiefe d_9 der Vertiefung **53** 240 nm oder kleiner. Sobald die Vertiefung gebildet ist, wird das Photoresist-Muster **55** entfernt. Somit wird eine Photomaske, die verwendet wird, um Muster zu bilden, mit einer eingestellten CD erhalten.

[0098] Dort, wo die CD von Mustern, die durch die Photomaske gebildet werden, mit unterschiedlichen Werten gemäß unterschiedlichen Positionen eingestellt wird, wird ein Ätzverfahren typischerweise zweimal oder mehrmals durchgeführt. Es sei beispielsweise angenommen, dass eine erste Region der Photomaske eine erste Vertiefung mit einer ersten Tiefe erfordert, eine zweite Region erfordert eine zweite Vertiefung mit einer zweiten Tiefe, und die zweite Tiefe ist größer als die erste Tiefe. In diesem Fall wird ein erstes Photoresist-Muster gebildet, um sowohl die erste Region als auch die zweite Region zu belichten. Unter Verwendung des ersten Photoresist-Musters als eine Photomaske werden die erste und die zweite Region der Photomaske bis zu der ersten Tiefe geätzt, wodurch die erste Vertiefung gebildet wird. Dann wird das erste Photoresist-Muster entfernt, und ein zweites Photoresist-Muster wird gebildet, um die zweite Region zu belichten. Die zweite Region der Photomaske wird dann zu der zweiten Tiefe unter Verwendung des zweiten Photoresist-Musters als eine Ätzmaske geätzt, wodurch die zweite Vertiefung gebildet wird. Dann wird das zweite Photoresist-Muster entfernt. Die erste Vertiefung mit der ersten Tiefe wird somit in der ersten Region der Photomaske gebildet, und die zweite Vertiefung mit der zweiten Tiefe wird in der zweiten Region der Photomaske gebildet.

[0099] Bezug nehmend auf [Fig. 12C](#) wird eine Photoresist-Muster **55a** an dem transparenten Substrat **51a** gebildet, um lediglich einen Abschnitt der Licht-

durchlassregion in der Region mit der positiven CD-Abweichung zu belichten. Das Photoresist-Muster **55a** wird zu einer geeigneten Größe in Anbetracht einer Öffnungsgröße w_{10} einer isotropen Rille **54**, die während eines anschließenden Verfahrens gebildet werden soll, gebildet. Das Photoresist-Muster **55a** wird gebildet, um die gesamte nicht eingestellte Region zu bedecken. In einigen Fällen wird das Photoresist-Muster **55a** selektiv teilweise oder vollständig ebenso an den Lichtblockierungsmustern **52a**, **52b** und **52c** gebildet. Ein isotropes Trocken- oder Nassätzverfahren wird durchgeführt, um die isotrope Rille **54** zu bilden. Das Ätzverfahren wird unter Verwendung des Photoresist-Musters **55a** und des Lichtblockierungsmusters **52**, das auf die Region mit der positiven CD-Abweichung belichtet wird, als eine Ätzmaske durchgeführt. Als ein Resultat werden die isotrope Rille **54** mit einer vorbestimmten Tiefe d_{10} , Breite w_{10} und Öffnungsgröße w_{10} in einem transparenten Substrat **51b** der Region mit der positiven CD-Abweichung gebildet. Das Photoresist-Muster **55a** wird dann entfernt. Eine Photomaske, die verwendet wird, um Muster mit einer eingestellten CD zu bilden, wird somit erhalten.

[0100] Dort, wo die CD von Mustern, die durch die Photomaske gebildet werden, mit einem unterschiedlichen Wert gemäß unterschiedlichen Positionen eingestellt wird, wird ein Photoresist-Muster typischerweise derart gebildet, dass sich eine Größe "A" der Lichtdurchlassregion, die durch das Photoresist-Muster belichtet wird, gemäß den Positionen der Photomaske unterscheidet. Es sei beispielsweise angenommen, dass eine erste Region der Photomaske eine erste isotrope Rille mit einer ersten Öffnungsgröße erfordert und eine zweite Region der Photomaske eine zweite isotrope Rille mit einer zweiten Öffnungsgröße erfordert, und die zweite Öffnungsgröße größer als die erste Öffnungsgröße ist. In diesem Fall wird das Photoresist-Muster typischerweise derart gebildet, dass die Größe "A" der Lichtdurchlassregion, die durch das Photoresist-Muster belichtet wird, in der zweiten Region größer als in der ersten Region ist. Dann wird ein isotropes Ätzverfahren unter Verwendung des Photoresist-Musters als eine Ätzmaske durchgeführt, und das Photoresist-Muster wird entfernt. Die erste isotrope Rille mit der ersten Öffnungsgröße wird somit in der ersten Region gebildet, und die zweite isotrope Rille mit der zweiten Öffnungsgröße, die größer als die erste Öffnungsgröße ist, wird in der zweiten Region gebildet.

[0101] Ein Verfahren zum Ätzen einer Photomaske, bei dem eine Region mit einer negativen CD-Abweichung definiert wird, ist im Folgenden beschrieben.

[0102] [Fig. 13A](#) bis [Fig. 13C](#) stellen ein Verfahren zum Einstellen einer CD in einer Region mit einer negativen CD-Abweichung dar.

[0103] [Fig. 13A](#) ist eine Querschnittsansicht einer Photomaske, in der eine Region mit einer negativen CD-Abweichung definiert ist. [Fig. 13B](#) und [Fig. 13C](#) sind Querschnittsansichten, die ein Verfahren zum Einstellen einer CD von Mustern der in [Fig. 13A](#) gezeigten Photomaske darstellen.

[0104] Bezug nehmend auf [Fig. 13A](#) weist eine Photomaske ein transparentes Substrat **151** und Lichtblockierungsmuster **152** (**152a**, **152b** und **152c**) auf. Eine nicht eingestellte Region und eine Region mit einer negativen CD-Abweichung sind in der Photomaske definiert. Die Lichtblockierungsmuster **152a**, **152b** und **152c** sind in [Fig. 13A](#) beispielsweise gezeigt.

[0105] Bezug nehmend auf [Fig. 13B](#) wird ein Photoresist-Muster **155** an den Lichtblockierungsmustern **152a** und **152c** gebildet, um die gesamte Lichtdurchlassregion der Region mit der negativen CD-Abweichung zu belichten. Das Photoresist-Muster **155** bedeckt ferner die gesamte nicht eingestellte Region. In einigen Fällen wird das Photoresist-Muster **155** ferner an den Lichtblockierungsmustern **152b** selektiv gebildet.

[0106] Ein isotropes Ätzverfahren wird durchgeführt, um eine Unterschneidung **153** zu bilden. Wenn das isotrope Ätzverfahren durchgeführt wird, werden das Photoresist-Muster **155** und das Lichtblockierungsmuster **152b**, das auf die Region mit der negativen CD-Abweichung belichtet wird, als eine Ätzmaske verwendet. Als ein Resultat wird eine Unterschneidung **153**, die eine vorbestimmte Breite w_{11} aufweist, unter der Lichtdurchlassregion eines transparenten Substrats **151a** und den Lichtblockierungsmustern **152** in der Region mit der negativen CD-Abweichung gebildet. Die Breite w_{11} der Unterschneidung **153** variiert mit einer Abweichung der CD und ist vorzugsweise kleiner als eine Wellenlänge λ eines einfallenden Lichts und kleiner als $1/2$ einer Breite von jedem Lichtblockierungsmuster **152**. Das Photoresist-Muster **155** wird danach entfernt. Eine Photomaske, die verwendet wird, um Muster mit einer eingestellten CD zu bilden, wird somit erhalten.

[0107] Dort, wo die CD der Photomaske mit einem unterschiedlichen Wert gemäß unterschiedlichen Positionen eingestellt wird, wird ein Ätzverfahren typischerweise zweimal oder mehrmals durchgeführt. Es sei beispielsweise angenommen, dass eine erste Region der Photomaske eine erste Unterschneidung mit einer ersten Breite erfordert, eine zweite Region derselben eine zweite Unterschneidung mit einer zweiten Breite erfordert, und die zweite Breite größer als die erste Breite ist. In diesem Fall wird das erste Photoresist-Muster gebildet, um sowohl die erste Region als auch die zweite Region zu belichten. Unter Verwendung des ersten Photoresist-Musters als eine Photomaske werden die erste und die zweite Region

der Photomaske isotrop geätzt, wodurch die erste Unterschneidung mit der ersten Breite gebildet wird. Das erste Photoresist-Muster wird dann entfernt, und ein zweites Photoresist-Muster wird gebildet, um die zweite Region zu belichten. Unter Verwendung des zweiten Photoresist-Musters als eine Ätzmaske wird danach die zweite Region der Photomaske isotrop geätzt, wodurch die zweite Unterschneidung mit der zweiten Breite gebildet wird. Das zweite Photoresist-Muster wird dann entfernt. Die erste Unterschneidung mit der ersten Breite wird somit in der ersten Region der Photomaske gebildet, und die zweite Unterschneidung mit der zweiten Breite wird in der zweiten Region der Photomaske gebildet.

[0108] Bezug nehmend auf [Fig. 13C](#) wird ein Photoresist-Muster **155a** an dem transparenten Substrat **151a** gebildet, um lediglich einen Abschnitt der Lichtdurchlassregion in der Region mit der negativen CD-Abweichung zu belichten. Das Photoresist-Muster **155a** wird zu einer geeigneten Größe gemäß einer Breite w_{11} einer Vertiefung **154**, die während eines anschließenden Verfahrens gebildet werden soll, gebildet. Das Photoresist-Muster **155a** wird gebildet, um die gesamte nicht eingestellte Region zu bedecken. In einigen Fällen wird der Photoresist **155a** ferner teilweise oder vollständig an den Lichtblockierungsmustern **152a**, **152** und **152c** gebildet.

[0109] Ein anisotropes Trockenätzverfahren wird durchgeführt, um die Vertiefung **154** zu bilden. Das Ätzverfahren wird unter Verwendung des Photoresist-Musters **155a** und des Lichtblockierungsmusters **152**, das in der Region mit der negativen CD-Abweichung belichtet ist, als eine Ätzmaske durchgeführt. Als ein Resultat wird die Vertiefung **154**, die eine vorbestimmte Tiefe d_{12} und eine Breite w_{12} aufweist, in einem transparenten Substrat **151b** der Region mit der negativen CD-Abweichung gebildet. Das Photoresist-Muster **155** wird dann entfernt. Eine Photomaske, die verwendet wird, um Muster mit einer eingestellten CD zu bilden, wird somit erhalten.

[0110] Dort, wo die CD der Photomaske mit einem unterschiedlichen Wert gemäß unterschiedlichen Positionen eingestellt wird, wird ein Photoresist-Muster typischerweise derart gebildet, dass sich die Breite w_{12} der Lichtdurchlassregion, die durch das Photoresist-Muster belichtet wird, gemäß Positionen innerhalb der Photomaske unterscheidet. Es sei beispielsweise angenommen, dass eine erste Region der Photomaske eine erste Vertiefung mit einer ersten Breite erfordert, eine zweite Region der Photomaske eine zweite Vertiefung mit einer zweiten Breite erfordert, und die zweite Breite größer als die erste Breite ist. In diesem Fall wird das Photoresist-Muster derart gebildet, dass die Breite w_{12} der Lichtdurchlassregion, die durch das Photoresist-Muster belichtet wird, in der zweiten Region größer als in der ersten Region ist. Dann wird ein anisotropes Trockenätzverfahren

unter Verwendung des Photoresist-Musters als eine Ätzmaske durchgeführt, und das Photoresist-Muster wird entfernt. Die erste Vertiefung mit der ersten Breite wird somit in der ersten Region gebildet, und die zweite Vertiefung mit der zweiten Breite, die größer als die erste Breite ist, wird in der zweiten Region gebildet.

[0111] Die vorliegende Erfindung wird nicht nur verwendet, um die CD von einzelnen Mustern, die an einem Vorrichtungssubstrat gebildet werden, einzustellen, sondern ferner, um die Gleichmäßigkeit von Mustern durch Einstellen einer allgemeinen Abweichung der CD von Mustern zu verbessern. Um die Gleichmäßigkeit von Mustern zu verbessern, wird das gesamte Vorrichtungssubstrat allgemein in jeweilige Regionen aufgeteilt, und die CD von Mustern wird in den jeweiligen Regionen eingestellt. Die im Vorhergehenden beschriebenen ersten bis dritten experimentellen Beispiele können auf die gleiche Art und Weise angewendet werden.

[0112] Im Folgenden ist ein detailliertes Verfahren zum Verbessern der Gleichmäßigkeit von Mustern unter Bezugnahme auf [Fig. 14A](#) und [Fig. 14B](#) beschrieben.

[0113] [Fig. 14A](#) und [Fig. 14B](#) stellen ein Verfahren zum Einstellen der Abweichung einer CD von Mustern in einer Photomaske, bei dem eine Mehrzahl von Regionen mit unterschiedlich großen CD-Abweichungen definiert wird, dar. [Fig. 14A](#) ist eine Querschnittsansicht einer Photomaske, bevor eine Abweichung einer CD von Mustern eingestellt wird, und [Fig. 14B](#) ist eine graphische Darstellung, die eine CD von Mustern für jeweilige Regionen zeigt.

[0114] Bezug nehmend auf [Fig. 14A](#) werden Lichtblockierungsmuster **420** (**421**, **422**, **423**, **424**, **425** und **426**) mit der gleichen Größe vollständig oder teilweise an einem transparenten Substrat **410** einer Photomaske **400** gebildet. Die Photomaske **400** ist in Regionen I bis VI aufgeteilt, um eine Erklärung zu erleichtern. Die Lichtblockierungsmuster **420** sind typischerweise Linientypmuster. Dort, wo die Lichtblockierungsmuster **420** Linientypmuster sind, ist die Photomaske **400** allgemein eine Photomaske, die verwendet wird, um Bit-Leitungen oder Metallverbindungsleitungen zu bilden.

[0115] [Fig. 14B](#) zeigt eine relative CD von Mustern hinsichtlich von Positionen der Muster an einem Substrat, wenn ein photolithographisches Verfahren unter Verwendung der Photomaske **400** durchgeführt wird. Bezug nehmend auf [Fig. 14B](#) ist die CD von einem Muster in Abschnitten eines Vorrichtungssubstrats, die äußeren Abschnitten der Photomaske **400** entsprechen, größer als in Abschnitten des Vorrichtungssubstrats, die zentralen Abschnitten der Photomaske **400** entsprechen. Die CD von Mustern, die in

den Abschnitten des Vorrichtungssubstrats, die den Regionen I und VI der Photomaske **400** entsprechen, gebildet sind, ist CD3, und die CD von Mustern, die in den Abschnitten des Vorrichtungssubstrats, die den Regionen III und IV entsprechen, gebildet sind, ist CD5.

[0116] Zusätzlich zu dem Beispiel in [Fig. 14B](#) gibt es Fälle, bei denen die CD von Mustern in Abschnitten des Vorrichtungssubstrats, die äußeren Abschnitten einer Photomaske entsprechen, kleiner als in Abschnitten des Vorrichtungssubstrats, die zentralen Abschnitten der Photomaske entsprechen, ist. Die CD von Mustern kann alternativ die Form einer Sinuswelle aufweisen. In diesen und anderen Fällen wird die Einstellung der CD von Mustern unter Verwendung des Verfahrens der vorliegenden Erfindung erreicht.

[0117] Einen ersten Fall beschreibend, ist eine Ziel-CD CD3 und die Regionen II bis V sind als Regionen mit negativer CD-Abweichung definiert. In dem Fall von [Fig. 14A](#) und [Fig. 14B](#) wird die CD von Mustern, die den Regionen II bis V der Photomaske **400** entsprechen, auf CD3 durch Ätzen der Regionen II bis V unter Verwendung der hinsichtlich der [Fig. 13B](#) oder [Fig. 13C](#) beschriebenen Verfahren eingestellt.

[0118] Unter Verwendung des hinsichtlich [Fig. 13B](#) beschriebenen Verfahrens wird eine Unterschneidung mit einer ersten Breite in jeder der Regionen II und V gebildet, und eine Unterschneidung mit einer zweiten Breite wird in jeder der Regionen III und IV gebildet. Die zweite Breite ist hier größer als die erste Breite. Die erste und die zweite Breite variieren gemäß mehrerer Parameter, die beispielsweise die Wellenlänge von einfallendem Licht, den Typ der Apertur, die Menge der CD-Abweichung, den Typ und die Größe eines Lichtblockierungsmusters und den Abstand zwischen benachbarten Lichtblockierungsmustern aufweisen. Die erste und die zweite Breite werden allgemein unter Verwendung von Experimenten, die mit jeweiligen Verfahrensbedingungen verbunden sind, bestimmt. Wie im Vorhergehenden angegeben, sollte ein Ätzmaskenbildungsverfahren mehrere Male durchgeführt werden, um Unterschneidungen mit unterschiedlichen Breiten in den jeweiligen Regionen einer Photomaske zu bilden.

[0119] Unter Verwendung des Verfahrens, das hinsichtlich der [Fig. 13B](#) beschrieben ist, wird eine Vertiefung mit einer ersten Breite in jeder der Regionen II und V gebildet, und eine Vertiefung mit einer zweiten Breite, die größer als die erste Breite ist, wird in jeder der Regionen III und IV gebildet. Die erste und die zweite Breite variieren gemäß mehrerer Parameter, die beispielsweise die Tiefe einer Vertiefung, die Wellenlänge eines einfallenden Lichts, den Typ einer Apertur, die Menge der CD-Abweichung, den Typ und die Größe eines Lichtblockierungsmusters und den

Abstand zwischen benachbarten Lichtblockierungsmustern aufweisen. Die erste und die zweite Breite werden typischerweise unter Verwendung von Experimenten, die mit jeweiligen Verfahrensbedingungen verbunden sind, bestimmt. Wie im Vorhergehenden angegeben, wird durch Steuern der Breite einer Lichtdurchlassregion, die durch eine Ätzmaske belichtet wird, eine Vertiefung mit unterschiedlichen Breiten in jeweiligen Regionen einer Photomaske unter Verwendung eines einmaligen Ätzmaskenbildungsverfahrens gebildet.

[0120] Einen zweiten Fall beschreibend, ist eine Ziel-CD CD5 und die Regionen I, II, V und VI einer Photomaske **400** sind als Regionen mit einer negativen CD-Abweichung definiert. In diesem Fall wird die CD von Mustern, die den Regionen I, II, V und VI der Photomaske **400** entsprechen, auf CD3 durch Ätzen der Regionen II bis V unter Verwendung der in Beziehung auf [Fig. 12B](#) und [Fig. 12C](#) beschriebenen Verfahren eingestellt.

[0121] Unter Verwendung des hinsichtlich [Fig. 12B](#) beschriebenen Verfahrens wird eine Vertiefung mit einer ersten Tiefe in jeder der Regionen II und V des transparenten Substrats **410** gebildet, und eine Vertiefung mit einer zweiten Tiefe, die größer als die erste Tiefe ist, wird in jeder der Regionen I und VI derselben gebildet. Die erste und die zweite Tiefe variieren gemäß mehrerer Parameter, die beispielsweise die Wellenlänge von einfallendem Licht, den Typ der Apertur, die Menge der CD-Abweichung, den Typ und die Größe des Lichtblockierungsmusters und den Abstand zwischen benachbarten Lichtblockierungsmustern aufweisen. Die erste und die zweite Tiefe werden allgemein unter Verwendung von Experimenten, die mit den jeweiligen Verfahrensbedingungen verbunden sind, bestimmt. Wie im Vorhergehenden angegeben, wird ein Ätzmaskenbildungsverfahren typischerweise mehrere Male durchgeführt, um Vertiefungen mit unterschiedlichen Tiefen in jeweiligen Regionen einer Photomaske zu bilden.

[0122] Unter Verwendung des hinsichtlich [Fig. 12C](#) beschriebenen Verfahrens wird eine isotrope Rille mit einer ersten Öffnungsgröße in jeder der Regionen II und V des transparenten Substrats **410** gebildet, und eine isotrope Rille mit einer zweiten Öffnungsgröße wird in jeder der Regionen I und VI derselben gebildet. Die erste und die zweite Öffnungsgröße variieren gemäß mehrerer Parameter, die beispielsweise die Tiefe und die Breite der isotropen Rille, die Wellenlänge des einfallenden Lichts, den Typ der Apertur, die Menge einer CD-Abweichung, den Typ und die Größe eines Lichtblockierungsmusters und den Abstand zwischen benachbarten Lichtblockierungsmustern aufweisen. Die erste und die zweite Öffnungsgröße können unter Verwendung von Experimenten, die mit jeweiligen Verfahrensbedingungen verbunden sind, bestimmt werden. Wie im Vorhergehenden an-

gegeben, können durch Steuern der Breite einer Lichtdurchlassregion, die durch eine Ätzmaske belichtet wird, isotrope Rillen mit unterschiedlichen Öffnungsgrößen in jeweiligen Regionen einer Photomaske unter Verwendung eines einmaligen Ätzmaschenbildungsverfahrens gebildet werden.

[0123] Einen dritten Fall beschreibend, ist eine Ziel-CD CD4, während die Regionen I und VI der Photomaske als Regionen mit einer positiven CD-Abweichung definiert sind, und die Regionen II und IV derselben als Regionen mit einer negativen CD-Abweichung definiert sind. In diesem Fall wird die CD von Mustern, die den Regionen I und VI des transparenten Substrats **410** entsprechen, durch Ätzen der Regionen I und VI unter Verwendung der hinsichtlich [Fig. 12B](#) und [Fig. 12C](#) beschriebenen Verfahren eingestellt. Die CD von Mustern, die den Regionen III und IV des transparenten Substrats **410** entsprechen, wird typischerweise durch Ätzen der Regionen III und IV unter Verwendung der hinsichtlich [Fig. 13B](#) und [Fig. 13C](#) beschriebenen Verfahren eingestellt. Eine detaillierte Beschreibung der im Vorhergehenden erwähnten Verfahren wird, um eine Wiederholung zu vermeiden, weggelassen.

[0124] Einen vierten Fall beschreibend, ist eine Ziel-CD CD6, und die gesamte Region der Photomaske **400** ist als eine Region mit einer positiven CD-Abweichung definiert. Die Menge der Abweichung der CD von Mustern ist in den Regionen III und IN des transparenten Substrats **410** am kleinsten und in den Regionen I und VI desselben am größten. In diesem Fall werden, wie bei dem vorhergehenden dritten experimentellen Beispiel beschrieben, eine vertiefte Vertiefung oder eine vertiefte isotrope Rille durch ein Ätzen einer Photomaske **400** gebildet. Bei einem ersten Einstellungsschritt wird insbesondere eine Vertiefung mit einer vorbestimmten Tiefe in der gesamten Lichtdurchlassregion des transparenten Substrats **410**, wie bei dem Verfahren hinsichtlich der [Fig. 12B](#) beschrieben, gebildet, wodurch die CD von Mustern reduziert wird. Bei einem zweiten Einstellungsschritt wird danach eine Vertiefung, eine Unterschneidung, eine Vertiefung oder eine isotrope Rille in jeweiligen Regionen des transparenten Substrats **410** gebildet, wodurch die CDs von Mustern, die den jeweiligen Regionen entsprechen, eingestellt werden. Bei dem ersten Einstellungsschritt wird die Vertiefung zu einer beliebigen Tiefe gebildet.

[0125] Bei dem ersten Einstellungsschritt kann beispielsweise eine Vertiefung mit einer vorbestimmten Tiefe L1 in der gesamten Lichtdurchlassregion der Photomaske **400** derart gebildet werden, dass die CD von Mustern, die den Regionen I und VI entsprechen, die Ziel-CD, d. h. CD6, ist. Als ein Resultat wird bei dem zweiten Einstellungsschritt die CD von Mustern durch Ätzen der Photomaske **400** auf die gleiche Art und Weise, als ob die Ziel-CD CD3 ist, eingestellt.

[0126] Bei dem ersten Einstellungsschritt wird alternativ eine Vertiefung mit einer vorbestimmten Tiefe L2 in der Lichtdurchlassregion der Photomaske **400** derart gebildet, dass die CD von Mustern, die den Regionen II und V entsprechen, die Ziel-CD, d. h. CD6, ist. In diesem Fall ist L2 kleiner als L1. Als ein Resultat wird bei dem zweiten Einstellungsschritt die CD von Mustern durch Ätzen einer Photomaske **400** auf die gleiche Art und Weise, als ob die Ziel-CD CD4 ist, eingestellt.

[0127] Eine Vertiefung mit einer vorbestimmten Tiefe L1 wird alternativ in der gesamten Lichtdurchlassregion der Photomaske **400** derart gebildet, dass die CD von Mustern, die den Regionen III und IV entsprechen, die Ziel-CD, d. h. CD6, ist. In diesem Fall ist L3 kleiner als L2. Als ein Resultat wird bei dem zweiten Einstellungsschritt die CD von Mustern durch Ätzen einer Photomaske **400** auf die gleiche Art und Weise, als ob die Ziel-CD CD5 ist, eingestellt.

[0128] Gemäß der vorliegenden Erfindung werden die CDs von Mustern durch Bilden einer Vertiefung, einer Unterschneidung und/oder einer isotropen Rille in einem transparenten Substrat einer Photomaske zu einer Größe, die kleiner als eine Wellenlänge eines einfallenden Lichts ist, eingestellt. Dort, wo eine Vertiefung und eine Unterschneidung gebildet sind, wird eine Abweichung der CD von Mustern typischerweise mit einer größeren Menge als dort eingestellt, wo eine Vertiefung und eine isotrope Rille gebildet sind. Ein Verfahren zum Einstellen der Abweichung einer CD von Mustern durch Bilden der Vertiefung und der Unterschneidung wird dementsprechend typischerweise verwendet, um eine allgemeine CD von Mustern in dem gesamten Substrat zu vergrößern oder zu verkleinern, während ein Verfahren zum Einstellen der Abweichung einer CD von Mustern durch Bilden der Vertiefung und der isotropen Rille typischerweise verwendet wird, um eine CD eines feinen Musters in einem Abschnitt des Substrats zu vergrößern oder zu verkleinern.

[0129] Im Vergleich zu einem herkömmlichen Verfahren zum Einstellen der Abweichung einer CD von Mustern, das mit der Bildung von Gittern an einer hinteren Oberfläche einer Photomaske verbunden ist, verhindert die vorliegende Erfindung eine Verschlechterung des Kontrasts von Musterbildern und eine Reduzierung der normierten logarithmischen Bildsteigung (NILS). Eine Beschädigung der Photomaske, die aus der Bildung der Gitter resultiert, wird ebenfalls verhindert.

[0130] Die vorliegende Erfindung schafft vor allem dort, wo unterschiedliche Mengen einer Abweichung einer CD von Mustern über das gesamte Substrat auftreten, ein Verfahren zum Einstellen der Abweichung einer CD von Mustern über das gesamte Substrat durch lediglich einmaliges Durchführen eines

Ätzmaskenbildungsverfahrens. Somit sind der Aufwand und die Zeit, die benötigt werden, um die Muster-CDs einzustellen, minimiert.

[0131] Die in den Zeichnungen und der entsprechenden geschriebenen Beschreibung offenbarten bevorzugten Ausführungsbeispiele sind Lehrbeispiele. Fachleuten ist klar, dass verschiedene Änderungen an der Form und an Details der exemplarischen Ausführungsbeispiele durchgeführt werden können, ohne von dem Schutzbereich der vorliegenden Erfindung, der durch die folgenden Ansprüche definiert ist, abzuweichen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Einstellen einer Abweichung einer kritischen Abmessung (CD) für Muster, die an einem Vorrichtungssubstrat durch ein photolithographisches Verfahren unter Verwendung einer Belichtungsquelle mit einer Wellenlänge λ gebildet werden, mit folgenden Schritten:

Durchführen des photolithographischen Verfahrens unter Verwendung einer Photomaske (**30**; **40**), die ein transparentes Substrat (**31**; **41**) und ein Lichtblockierungsmuster (**32**; **42**), das an dem transparenten Substrat (**31**; **41**) gebildet ist, aufweist; und Ätzen einer Region mit einer CD-Abweichung in dem transparenten Substrat (**31**; **41**) zu einer Tiefe (d_1 ; d_2), die kleiner als die Wellenlänge λ ist, wobei die Region mit der CD-Abweichung einer Region an dem Vorrichtungssubstrat entspricht, in der die CD-Abweichung ansonsten als ein Resultat des photolithographischen Verfahrens auftritt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Ätzen der Region mit der CD-Abweichung in dem transparenten Substrat (**31**; **41**) folgenden Schritt aufweist: Bilden von mindestens entweder einer ersten Vertiefung (**33**; **133**; **233**), einer zweiten Vertiefung (**333**), einer Unterschneidung (**43**; **143**) oder einer isotropen Rille (**243**; **343**) in dem transparenten Substrat (**31**; **131**; **231**; **331**; **41**; **141**; **241**; **341**).

3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem die Region mit der CD-Abweichung eine Region mit einer positiven CD-Abweichung ist und die erste Vertiefung (**33**; **133**; **233**), die zweite Vertiefung (**333**) und/oder die isotrope Rille (**243**; **343**) in dem transparenten Substrat (**31**; **131**; **231**; **331**; **41**; **141**; **241**; **341**) gebildet werden.

4. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem die Region mit der CD-Abweichung eine Region mit einer negativen CD-Abweichung ist und die Unterschneidung (**43**; **143**) oder die erste Vertiefung (**33**; **133**; **233**) in dem transparenten Substrat (**31**; **41**) gebildet werden.

5. Verfahren zum Einstellen einer kritischen Ab-

messung (CD) für Muster, die an einem Vorrichtungssubstrat durch ein photolithographisches Verfahren unter Verwendung einer Belichtungsquelle mit einer Wellenlänge λ gebildet werden, mit folgenden Schritten:

Bereitstellen einer Photomaske (**30**; **40**), die ein transparentes Substrat (**31**; **41**) und ein Lichtblockierungsmuster (**32**; **42**), das an dem transparenten Substrat (**31**; **41**) gebildet ist, aufweist;

Bilden eines Materialmusters an dem Vorrichtungssubstrat aus einer Materialschicht;

Messen einer CD des Materialmusters;

Definieren einer Region mit einer positiven CD-Abweichung und einer Region mit einer negativen CD-Abweichung in dem transparenten Substrat (**31**; **41**) durch Berechnen einer Abweichung der CD des Materialmusters;

Bilden einer Vertiefung (**33**) in der Region mit der positiven CD-Abweichung des transparenten Substrats (**31**); und

Bilden einer Unterschneidung (**43**) in der Region mit der negativen CD-Abweichung des transparenten Substrats (**41**).

6. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem das Bilden des Materialmusters das Durchführen des photolithographischen Verfahrens und eines Ätzverfahrens unter Verwendung der Photomaske (**30**; **40**) aufweist.

7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem das Berechnen der Abweichung der CD des Materialmusters das Vergleichen der gemessenen CD des Materialmusters mit einer Ziel-CD für das Materialmuster aufweist.

8. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem die Vertiefung (**33**) mit einer kleineren Tiefe (d_1) als die Wellenlänge λ gebildet wird und die Unterschneidung (**43**) mit einer kleineren Breite (w_2) als die Wellenlänge λ gebildet wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem die Tiefe (d_1) der Vertiefung (**33**) proportional zu einer positiven CD-Abweichung des Materialmusters ist.

10. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem die Breite (w_2) der Unterschneidung (**43**) proportional zu einer negativen CD-Abweichung des Materialmusters ist.

11. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem eine Tiefe (d_1) der Vertiefung (**33**) und eine Breite (w_2) der Unterschneidung (**43**) aus experimentellen Daten, die unter Verwendung der gleichen experimentellen Bedingungen erhalten werden, bestimmt werden.

12. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem die Vertiefung (**33**) durch ein anisotropes Ätzverfahren unter Verwendung des Lichtblockierungsmusters (**32**) als eine Ätzmaske gebildet wird.

13. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem die Unterschneidung (43) durch ein chemisches Trockenätzverfahren oder ein Nassätzverfahren unter Verwendung des Lichtblockierungsmusters (42) als eine Ätzmaske gebildet wird.

14. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem das Bilden der Vertiefung (33) folgende Schritte aufweist:
Durchführen eines ersten Schritts, der das Bilden eines ersten Maskenmusters an der Photomaske (30) aufweist;
Durchführen eines zweiten Schritts, der das anisotrope Trockenätzen des transparenten Substrats (31) unter Verwendung des ersten Maskenmusters und des Lichtblockierungsmusters (32) als eine Ätzmaske aufweist; und
Durchführen eines dritten Schritts, der das Entfernen des Maskenmusters aufweist.

15. Verfahren nach Anspruch 14, bei dem die Vertiefung (33) mit einer Tiefe (d1) proportional zu der Abweichung der CD des Materialmusters durch mindestens zweimaliges Wiederholen des ersten, zweiten und dritten Schrittes gebildet wird.

16. Verfahren nach Anspruch 14, mit ferner folgenden Schritten:
Durchführen eines vierten Schrittes, der das Bilden eines zweiten Maskenmusters an der Photomaske aufweist, wobei das zweite Maskenmuster von dem unteren Ende der Vertiefung um einen vorbestimmten Abstand getrennt ist;
Durchführen eines fünften Schritts, der das Bilden einer weiteren Vertiefung oder einer isotropen Rille in dem transparenten Substrat durch Ätzen des transparenten Substrats unter Verwendung des zweiten Maskenmusters und/oder des Lichtblockierungsmusters als eine Ätzmaske aufweist; und
Durchführen eines sechsten Schrittes, der das Entfernen des zweiten Maskenmusters aufweist.

17. Verfahren nach Anspruch 16, bei dem ein Abstand zwischen dem zweiten Maskenmuster und dem unteren Ende der Vertiefung, die bei dem vierten Schritt gebildet wird, gemäß der Abweichung der CD von dem Materialmuster variiert.

18. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem das Bilden der Unterschneidung (43) folgende Schritte aufweist:
Durchführen eines ersten Schritts, der das Bilden eines Photoresist-Musters an der Photomaske aufweist;
Durchführen eines zweiten Schritts, der das isotrope Ätzen des transparenten Substrats (41) unter Verwendung des Photoresist-Musters und/oder des Lichtblockierungsmusters (42) als eine Ätzmaske aufweist; und
Durchführen eines dritten Schritts, der das Entfernen des Photoresist-Musters aufweist.

19. Verfahren nach Anspruch 18, bei dem die Unterschneidung (43) mit einer Breite (w2) proportional zu der Abweichung der CD von dem Materialmuster durch mindestens zweimaliges Wiederholen des ersten, des zweiten und des dritten Schritts gebildet wird.

20. Verfahren zum Einstellen einer kritischen Abmessung (CD) für Muster, die an einem Vorrichtungssubstrat durch ein photolithographisches Verfahren unter Verwendung einer Belichtungsquelle mit einer Wellenlänge λ gebildet werden, mit folgenden Schritten:
Bereitstellen einer Photomaske (30; 40) mit einem transparenten Substrat (31; 41) und einem Lichtblockierungsmuster (32, 42), das an dem transparenten Substrat (31; 41) gebildet ist;
Bilden eines Materialmusters an dem Vorrichtungssubstrat, an dem eine Materialschicht gebildet ist, durch Durchführen des photolithographischen Verfahrens und eines Ätzverfahrens unter Verwendung der Photomaske (30; 40);
Messen einer CD des Materialmusters;
Definieren einer Region mit einer positiven CD-Abweichung und einer Region mit einer negativen CD-Abweichung in dem transparenten Substrat (31; 41) durch Berechnen einer Abweichung der CD des Materialmusters, wobei das Berechnen der Abweichung der CD des Materialmusters das Vergleichen der gemessenen CD des Materialmusters mit einer Ziel-CD für das Materialmuster aufweist; Bilden einer isotropen Rille (43; 243; 343) mit einer vorbestimmten Tiefe (d2; d6; d8) in der Region mit der positiven CD-Abweichung des transparenten Substrats (31; 41); und
Bilden einer Vertiefung (33; 133; 233) mit einer vorbestimmten Tiefe (d1; d3; d5) in der Region mit der negativen CD-Abweichung des transparenten Substrats (31; 41).

21. Verfahren nach Anspruch 20, bei dem die Vertiefung (33) mit einer Breite (w1), die kleiner als eine Wellenlänge λ ist, gebildet wird, und die isotrope Rille (43) mit einer Öffnungsgröße (w2'), die kleiner als die Wellenlänge λ ist, gebildet wird.

22. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem die isotrope Rille (43) derart gebildet wird, dass die Breite der Öffnungsgröße (w2') proportional zu einer positiven CD-Abweichung des Materialmusters ist.

23. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem die Vertiefung (33) derart gebildet wird, dass die Breite (w1) der Vertiefung (33) proportional zu einer negativen CD-Abweichung des Materialmusters ist.

24. Verfahren nach Anspruch 20, bei dem eine Tiefe (d1) der Vertiefung (33) und eine Öffnungsgröße (w2') der isotropen Rille (43) basierend auf experimentellen Daten, die unter Verwendung der glei-

chen experimentellen Bedingungen erhalten werden, bestimmt werden.

25. Verfahren nach Anspruch 20, bei dem die Vertiefung (**33**) durch Durchführen eines anisotropen Trockenätzverfahrens unter Verwendung des Lichtblockierungsmusters (**32**) als eine Ätzmaske gebildet wird.

26. Verfahren nach Anspruch 20, bei dem die isotrope Rille (**43**) durch Durchführen eines chemischen Trockenätzverfahrens oder eines Nassätzverfahrens unter Verwendung des Lichtblockierungsmusters (**42**) als eine Ätzmaske gebildet wird.

27. Verfahren nach Anspruch 20, bei dem das Bilden der Vertiefung (**33**) folgende Schritte aufweist: Durchführen eines ersten Schritts, der das Bilden eines Photoresist-Musters an der Photomaske (**30**) aufweist; Durchführen eines zweiten Schritts, der das anisotrope Trockenätzen eines Abschnitts des transparenten Substrats (**31**) unter Verwendung des Photoresist-Musters und/oder des Lichtblockierungsmusters (**32**) als eine Ätzmaske aufweist; und Durchführen eines dritten Schritts, der das Entfernen des Photoresist-Musters aufweist.

28. Verfahren nach Anspruch 27, bei dem der zweite Schritt ferner das Variieren einer Breite des Abschnitts des transparenten Substrats (**31**) gemäß der Abweichung der CD des Materialmusters aufweist.

29. Verfahren nach Anspruch 20, bei dem das Bilden der isotropen Rille (**43**) folgende Schritte aufweist: Durchführen eines ersten Schritts, der das Bilden eines Photoresist-Musters an der Photomaske (**40**) aufweist; Durchführen eines zweiten Schritts, der das isotrope Ätzen eines Abschnitts des transparenten Substrats (**41**) unter Verwendung des Photoresist-Musters und/oder der Lichtblockierungsregion (**42**) als eine Ätzmaske aufweist; und Durchführen eines dritten Schritts, der das Entfernen des Photoresist-Musters aufweist.

30. Verfahren nach Anspruch 29, bei dem eine Breite des Abschnitts des transparenten Substrats gemäß der Abweichung der CD des Materialmusters variiert wird.

31. Verfahren zum Einstellen einer Abweichung einer kritischen Abmessung (CD) von Mustern, die an einem Vorrichtungssubstrat unter Verwendung einer Photomaske (**30; 40**) gebildet werden, mit folgenden Schritten:
Definieren einer ersten Region mit einer positiven CD-Abweichung, einer zweiten Region mit einer po-

sitiven CD-Abweichung und einer dritten Region mit einer positiven CD-Abweichung in einer Photomaske (**30; 40**), die ein transparentes Substrat (**31; 41**) aufweist, wobei die erste, die zweite und die dritte Region mit der positiven Abweichung jeweiligen Mustern, die von einer ersten CD, einer zweiten CD und einer dritten CD abweichen, entsprechen;
Bilden einer ersten Vertiefung mit einer vorbestimmten Tiefe in dem transparenten Substrat in jeder der ersten bis dritten Regionen mit einer Abweichung der kritischen Abmessung; und
Bilden einer zweiten Vertiefung und/oder einer isotropen Rille in dem unteren Ende der ersten Vertiefung.

32. Verfahren nach Anspruch 31, bei dem die erste Vertiefung derart gebildet wird, dass die dritte CD eine Ziel-CD ist; und
bei dem das Bilden der zweiten Vertiefung und/oder der isotropen Rille folgende Schritte aufweist:
Bilden einer ersten isotropen Rille mit einer ersten Öffnungsgröße in der zweiten Region mit einer CD-Abweichung und Bilden einer zweiten isotropen Rille mit einer zweiten Öffnungsgröße in der dritten Region mit einer CD-Abweichung, wobei die zweite Öffnungsgröße größer als die erste Öffnungsgröße ist.

33. Verfahren nach Anspruch 31, bei dem die erste Vertiefung derart gebildet wird, dass die zweite CD eine Ziel-CD ist; und
bei dem das Bilden der zweiten Vertiefung und/oder der isotropen Rille folgende Schritte aufweist:
Bilden der zweiten Vertiefung zu einer vorbestimmten Tiefe in der zweiten Region mit einer CD-Abweichung und Bilden der isotropen Rille zu einer vorbestimmten Öffnungsgröße in der dritten Region mit einer CD-Abweichung, wobei die Öffnungsgröße der isotropen Rille größer als die Breite der zweiten Vertiefung ist.

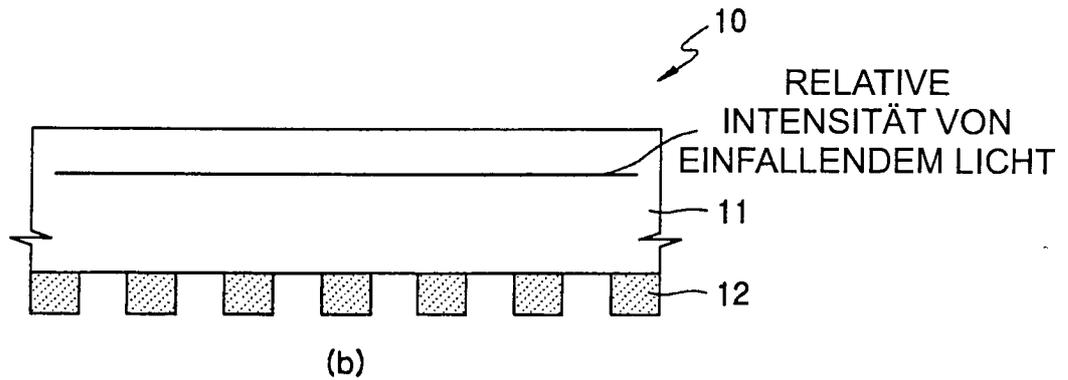
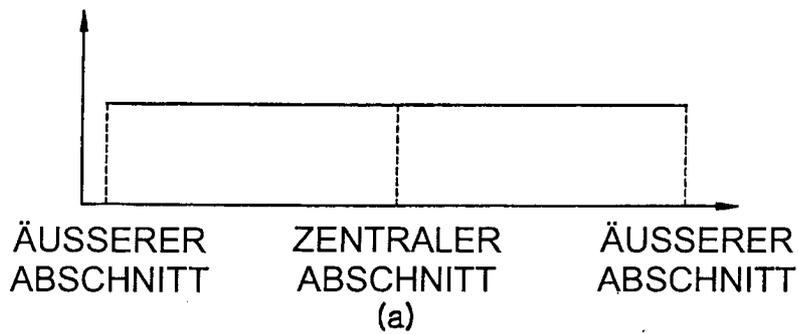
34. Verfahren nach Anspruch 31, bei dem die erste Vertiefung derart gebildet wird, dass die erste CD eine Ziel-CD ist; und
bei dem das Bilden der zweiten Vertiefung und/oder der isotropen Rille folgende Schritte aufweist:
Bilden einer dritten Vertiefung mit einer ersten Breite und Bilden einer vierten Vertiefung mit einer zweiten Breite in der dritten Region mit einer CD-Abweichung, wobei die zweite Breite größer als die erste Breite ist.

Verfahren zum Einstellen einer Abweichung einer kritischen Abmessung von Mustern

Es folgen 16 Blatt Zeichnungen

FIG. 1A (STAND DER TECHNIK)

RELATIVE INTENSITÄT
VON EINFALLENDEN LICHT



RELATIVE CD

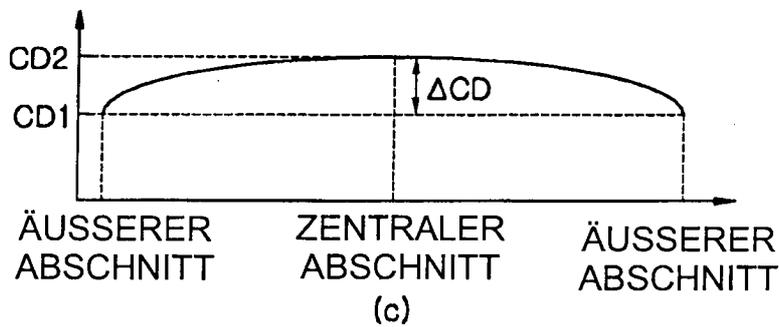
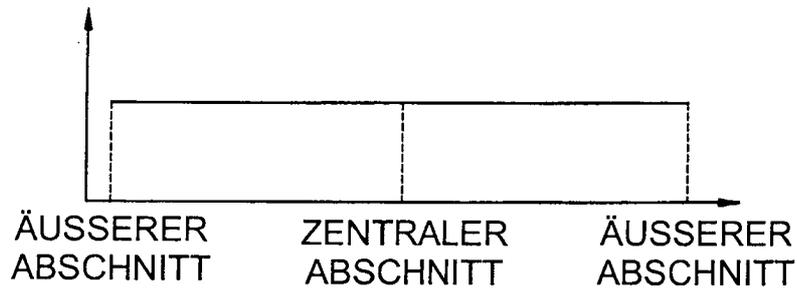


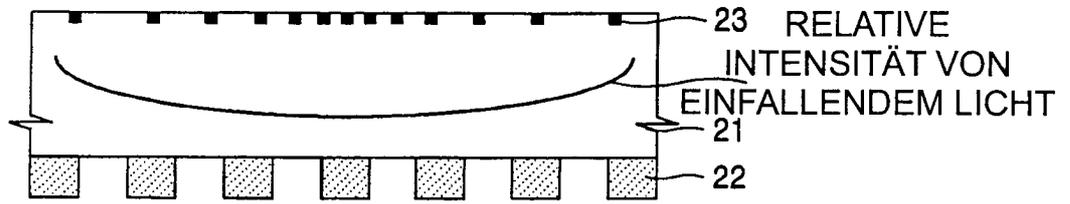
FIG. 1B (STAND DER TECHNIK)

RELATIVE INTENSITÄT
VON EINFALLENDEN LICHT



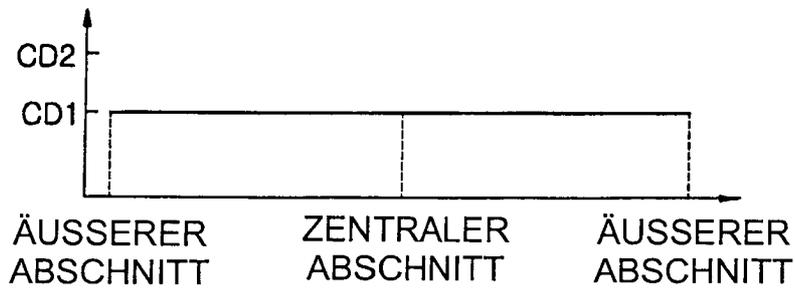
(a)

20



(b)

RELATIVE CD



(c)

FIG. 2A

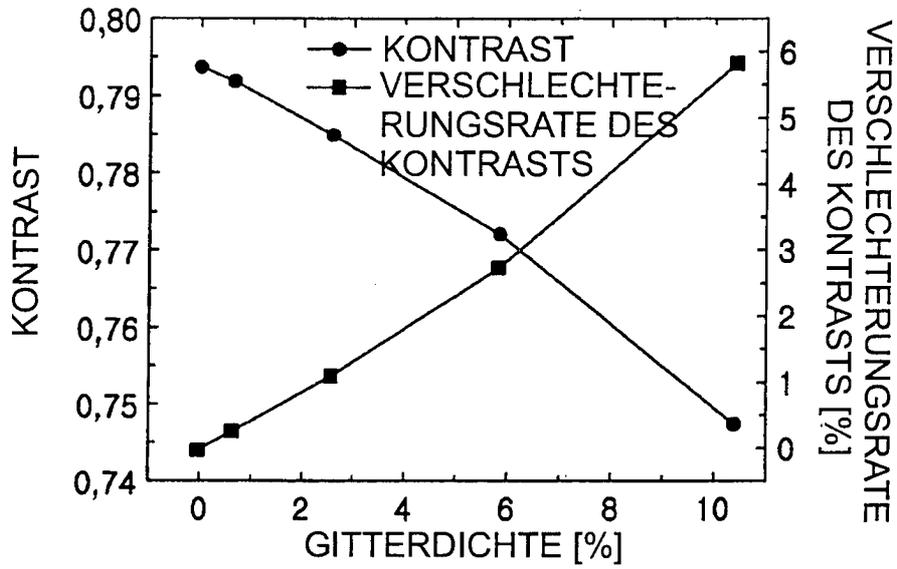


FIG. 2B

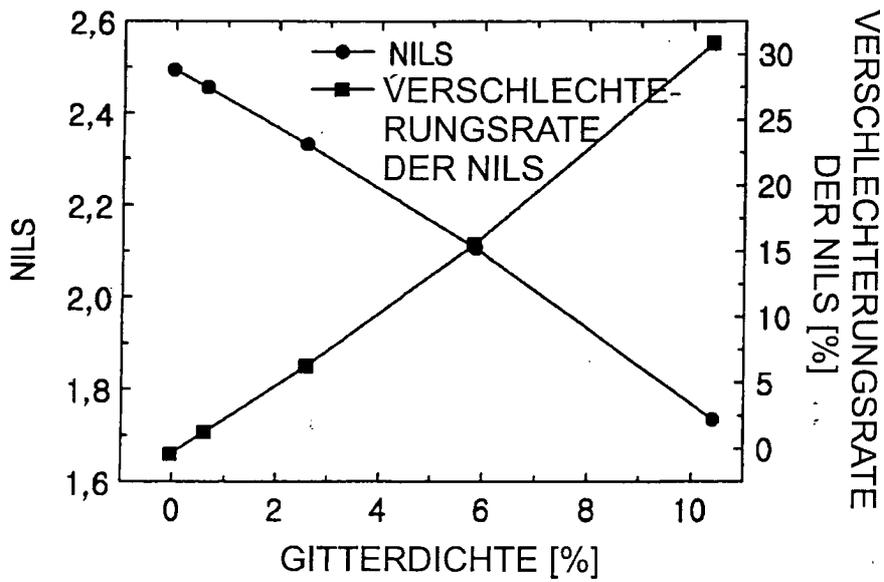


FIG. 3A

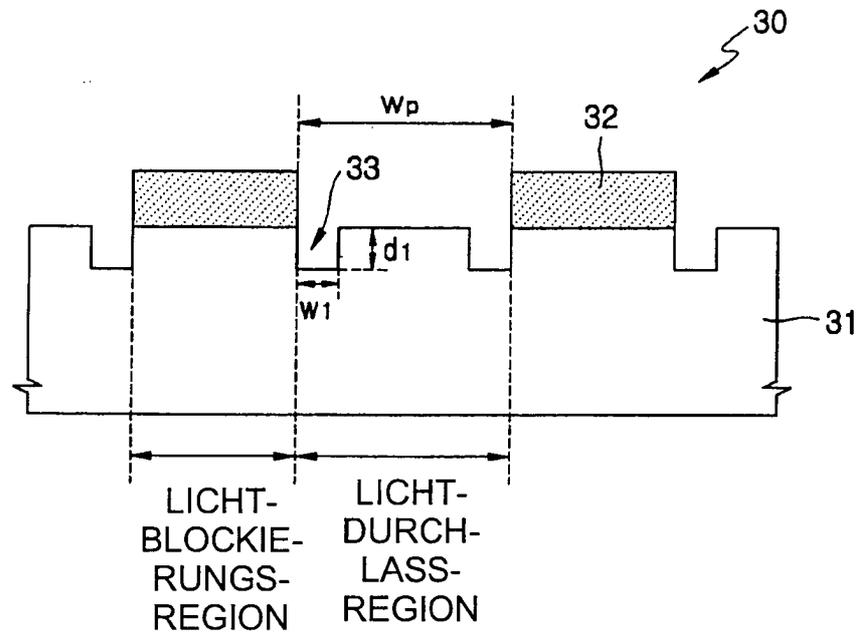


FIG. 3B

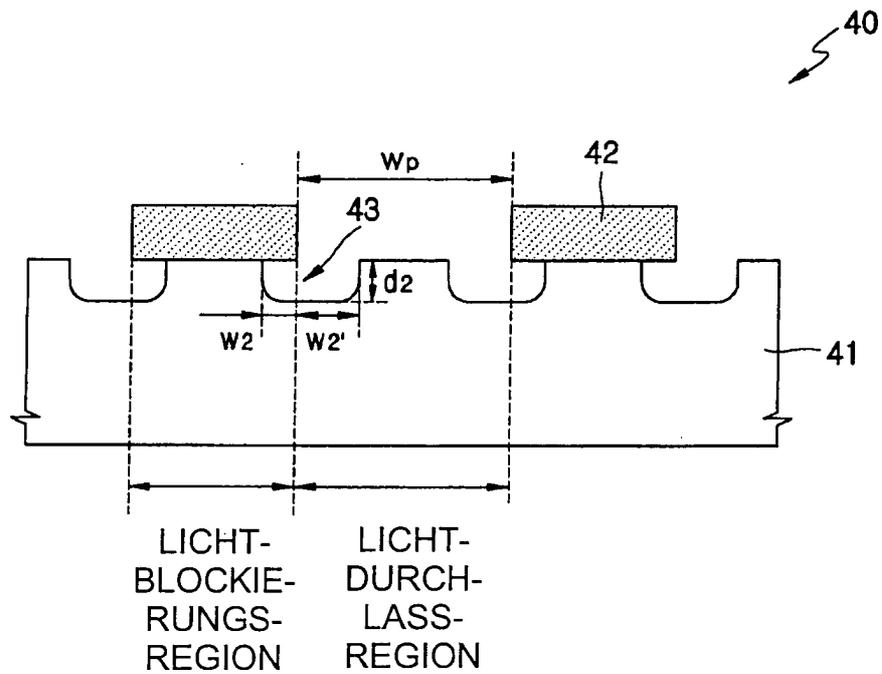


FIG. 4A

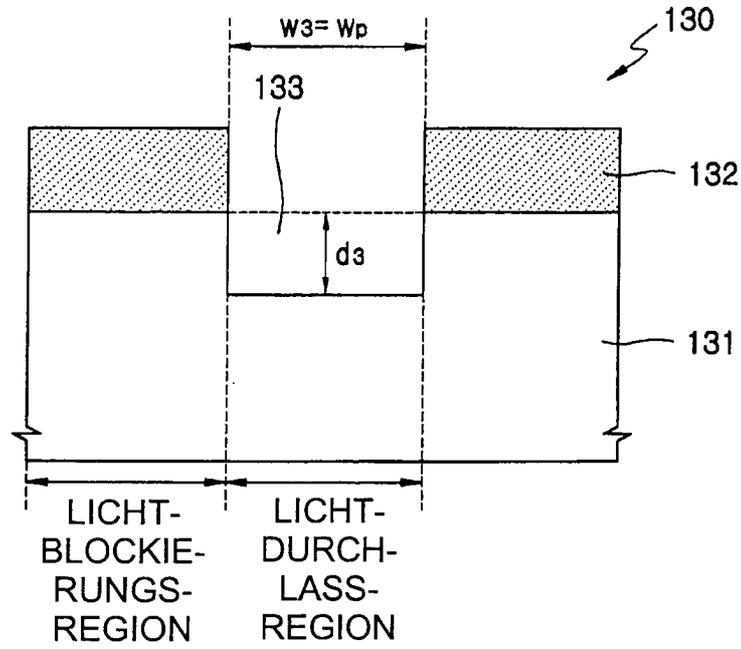


FIG. 4B

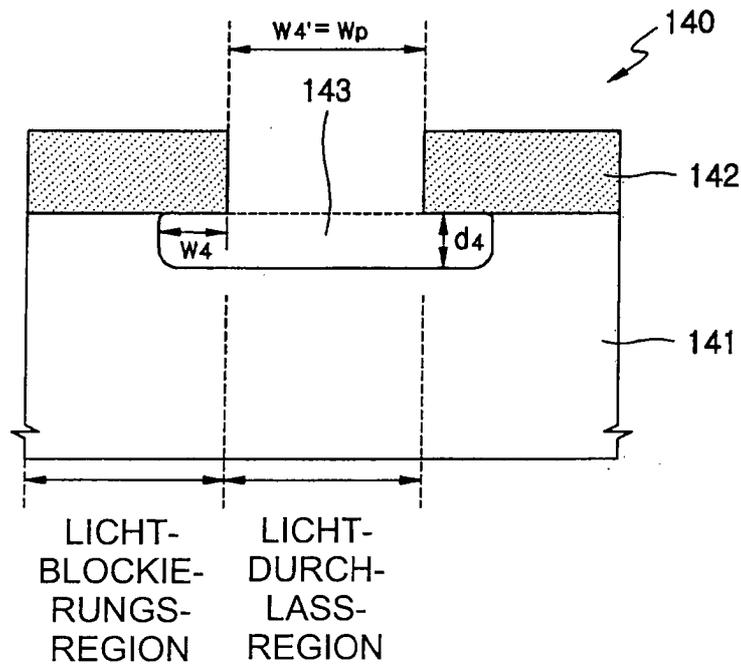


FIG. 5A
OPTISCHE INTENSITÄT

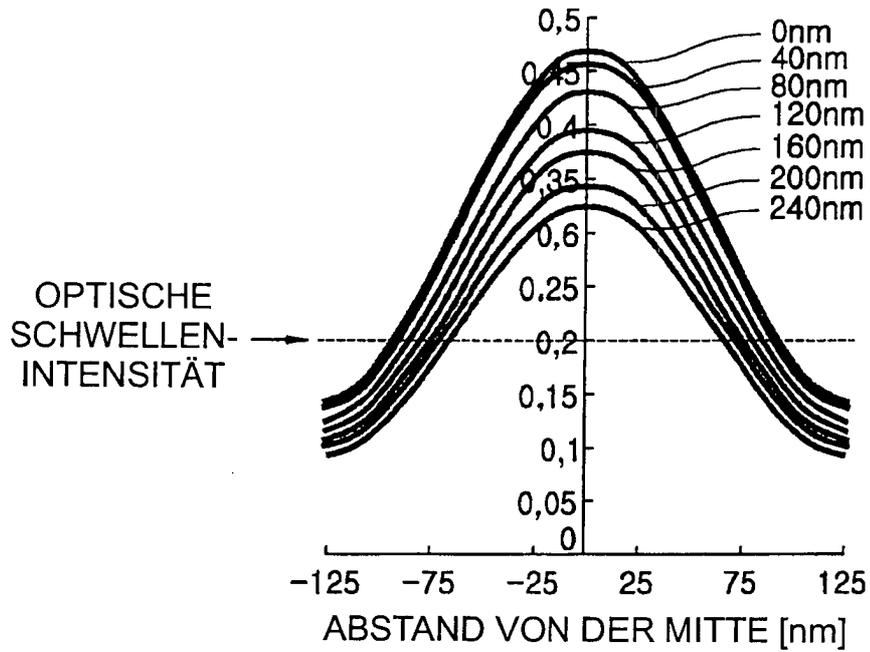


FIG. 5B

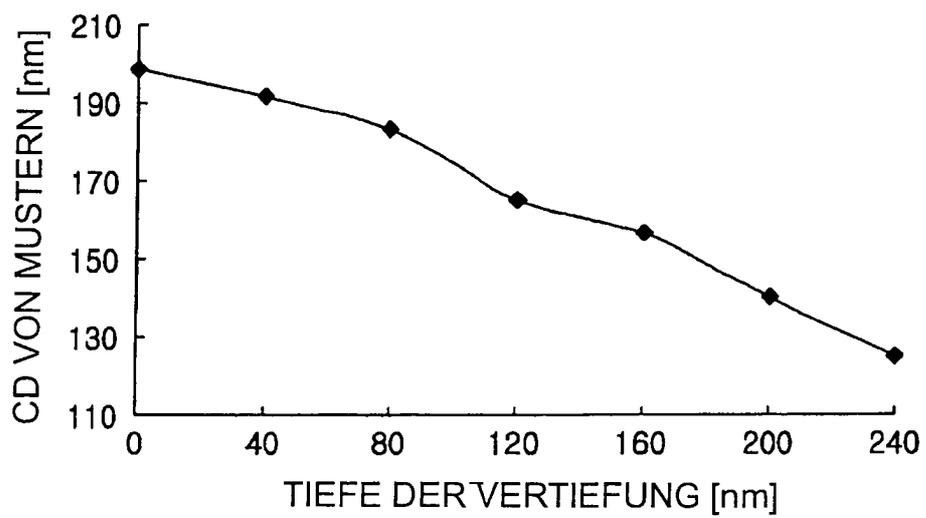


FIG. 6A

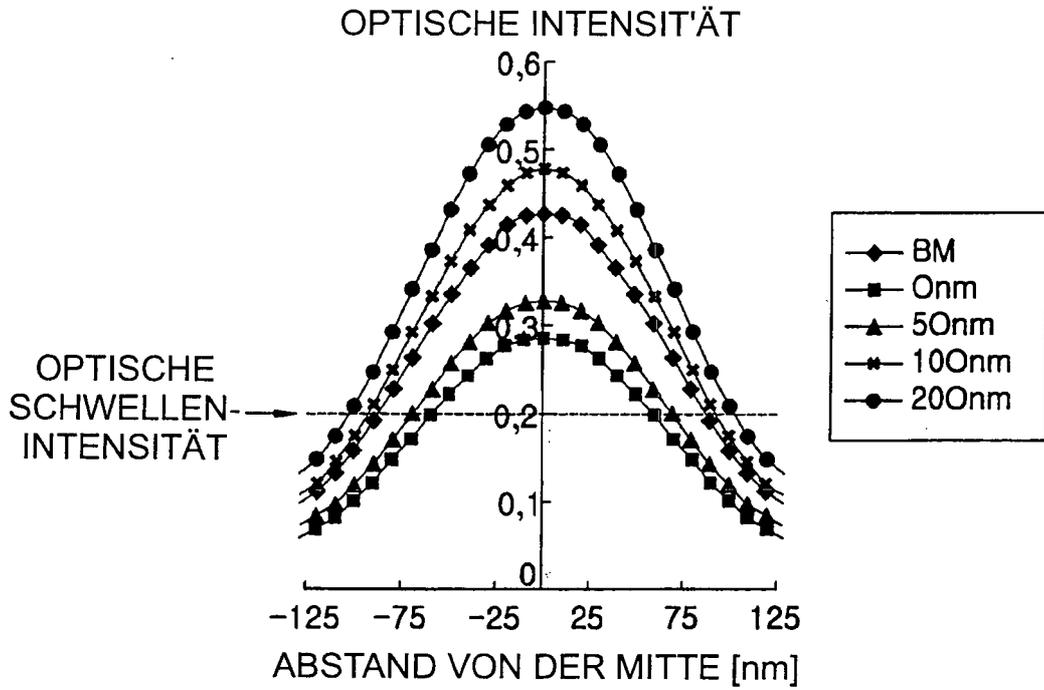


FIG. 6B

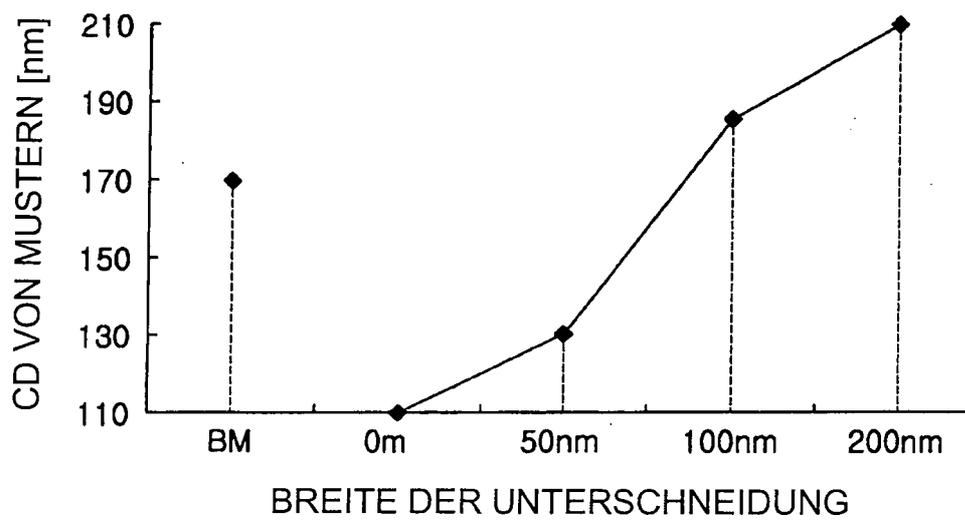


FIG. 7A

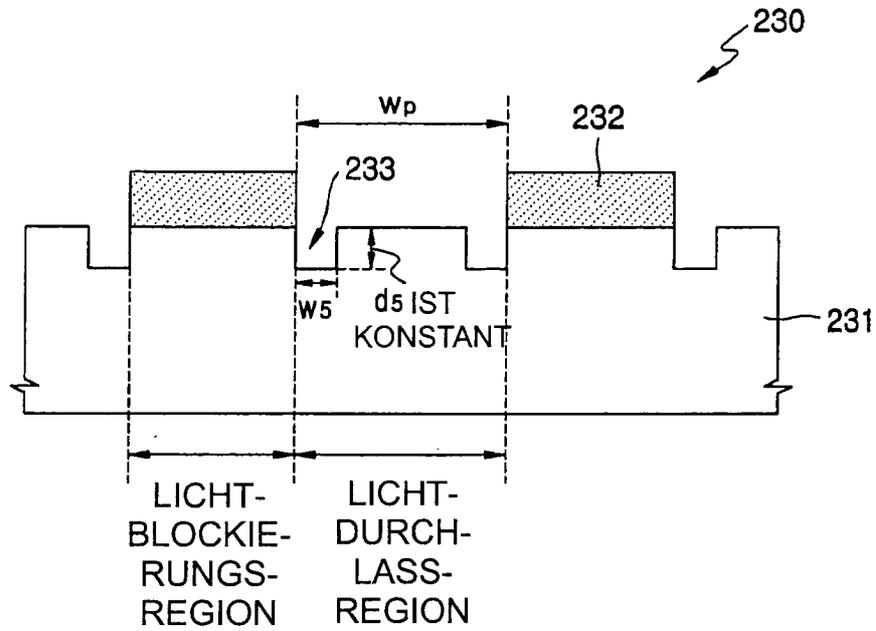


FIG. 7B

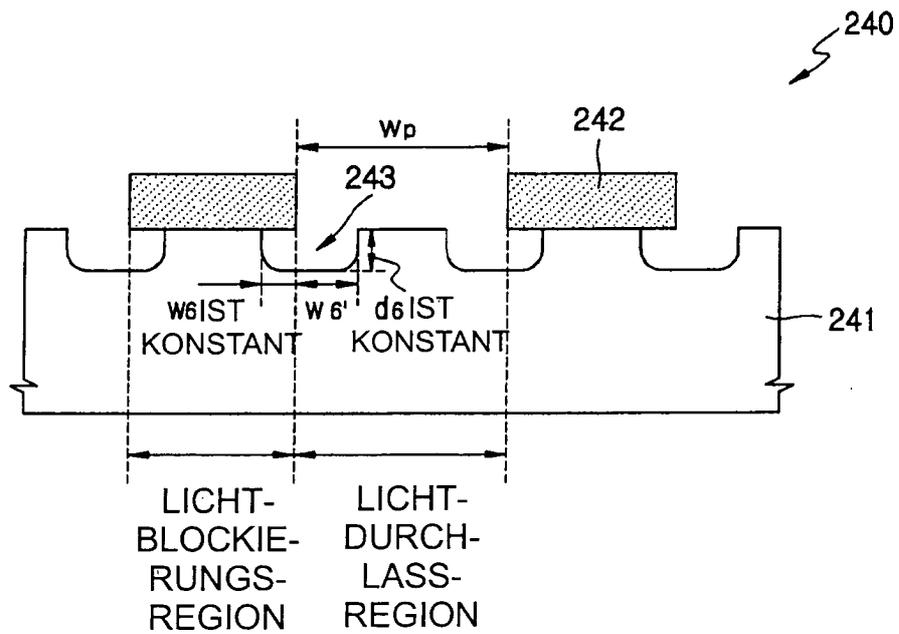


FIG. 8A

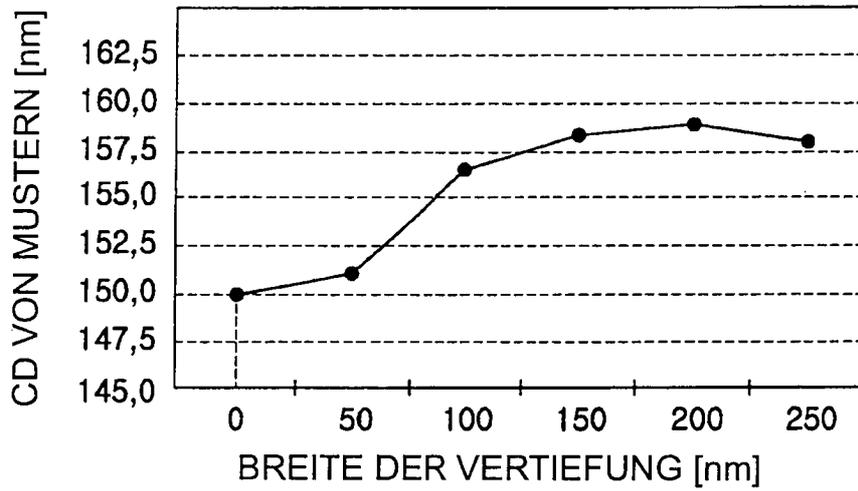


FIG. 8B

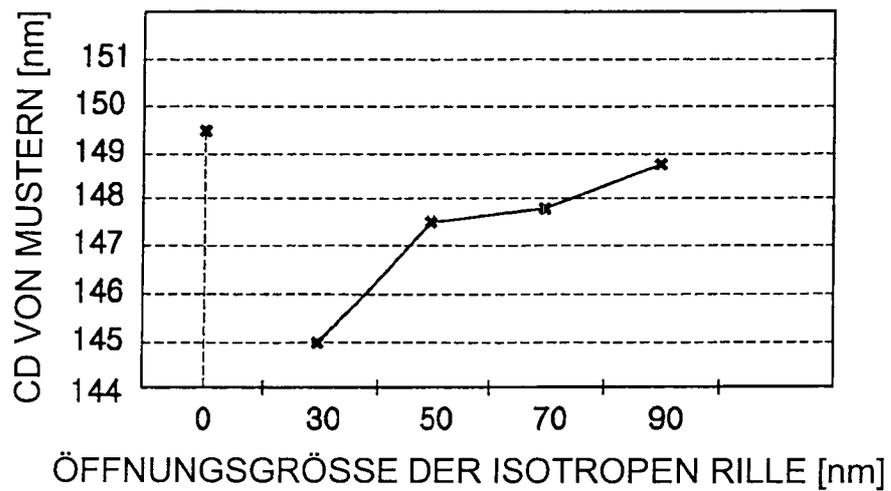


FIG. 9A

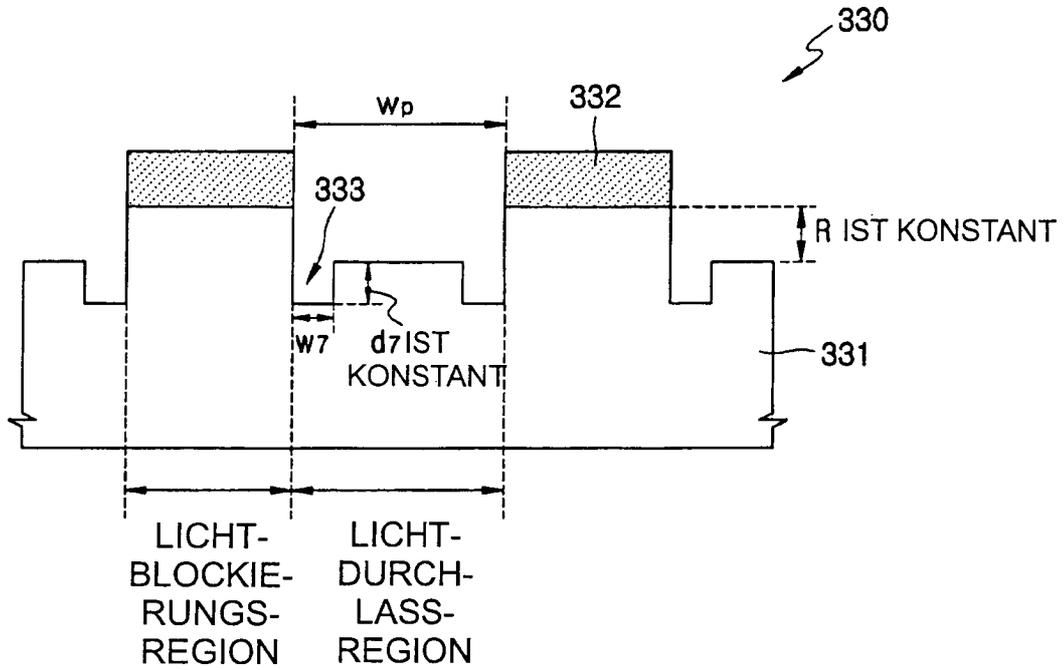


FIG. 9B

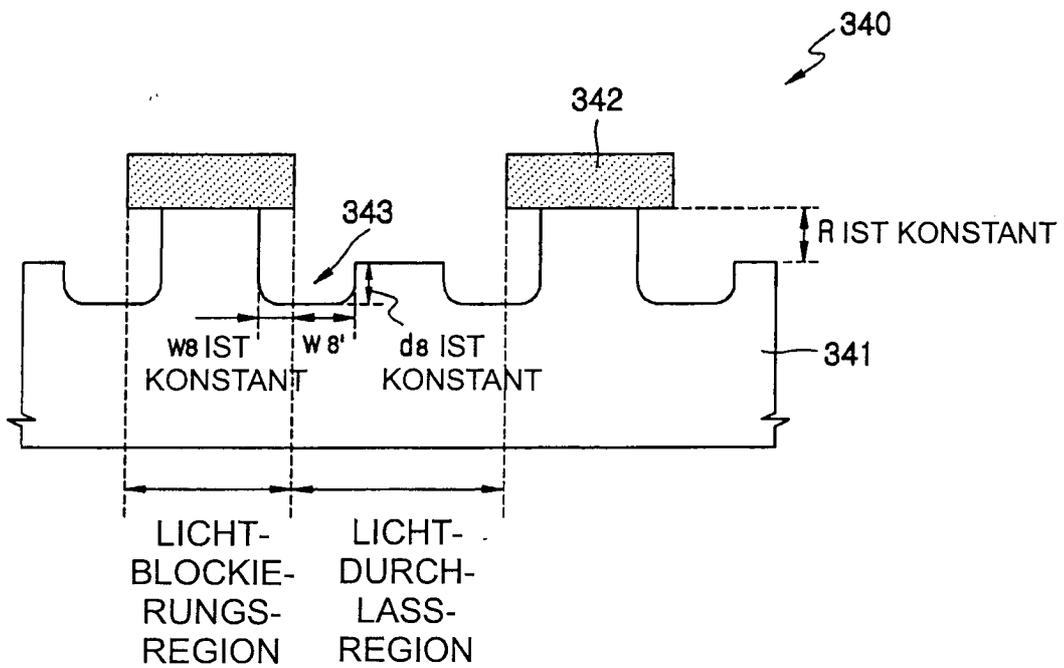


FIG. 10A

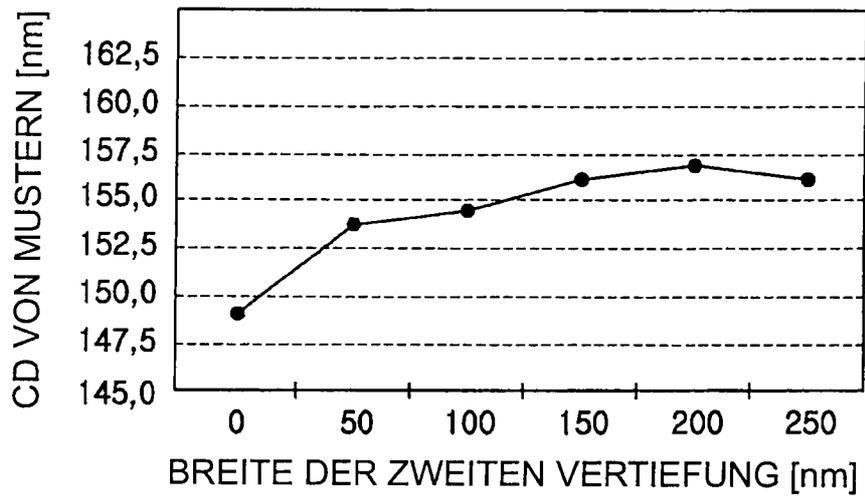


FIG. 10B

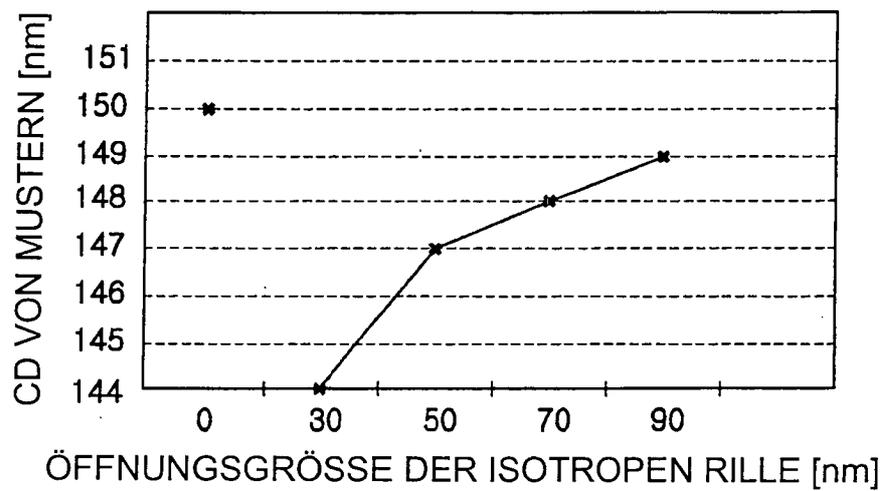


FIG. 11

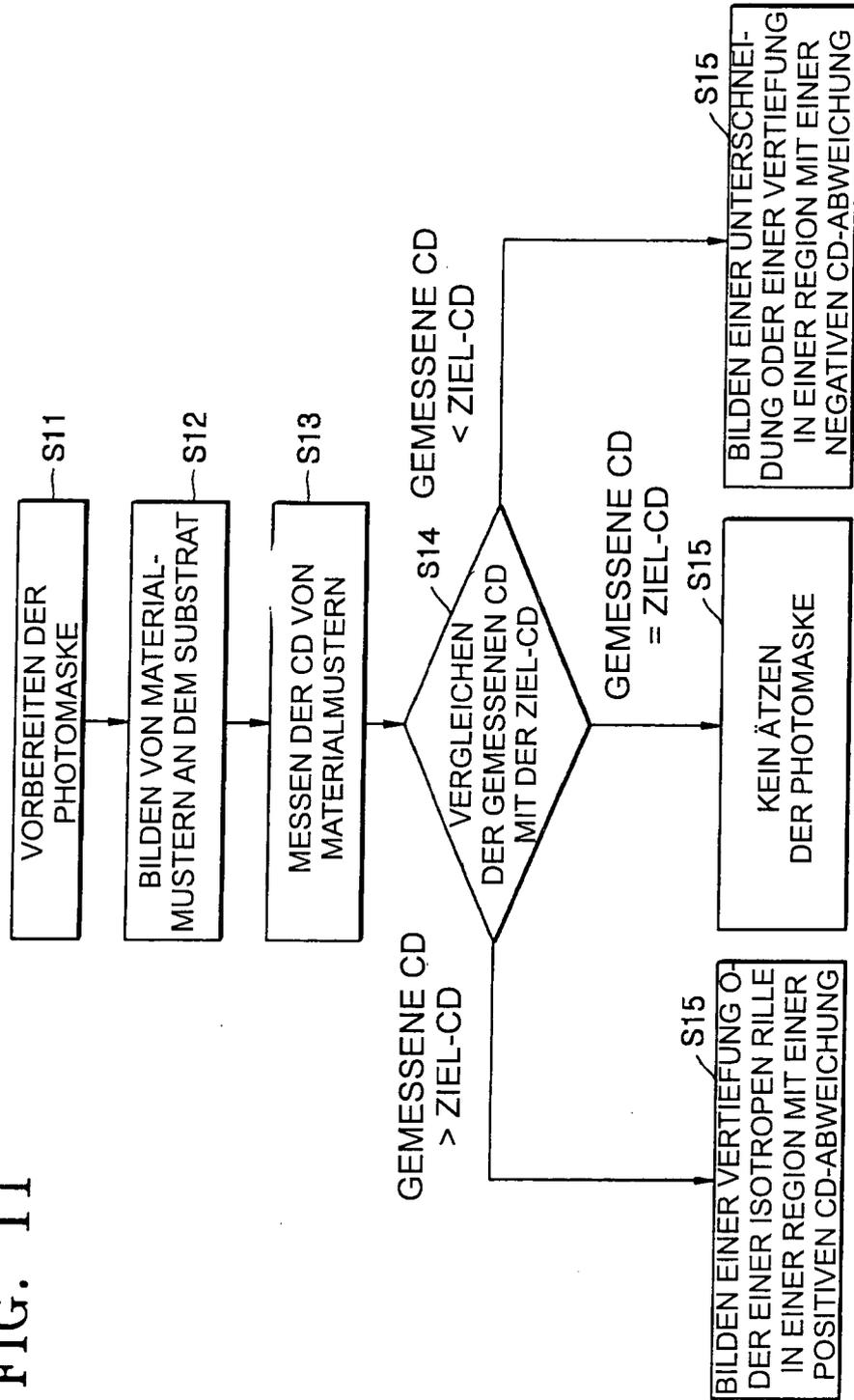


FIG. 12A

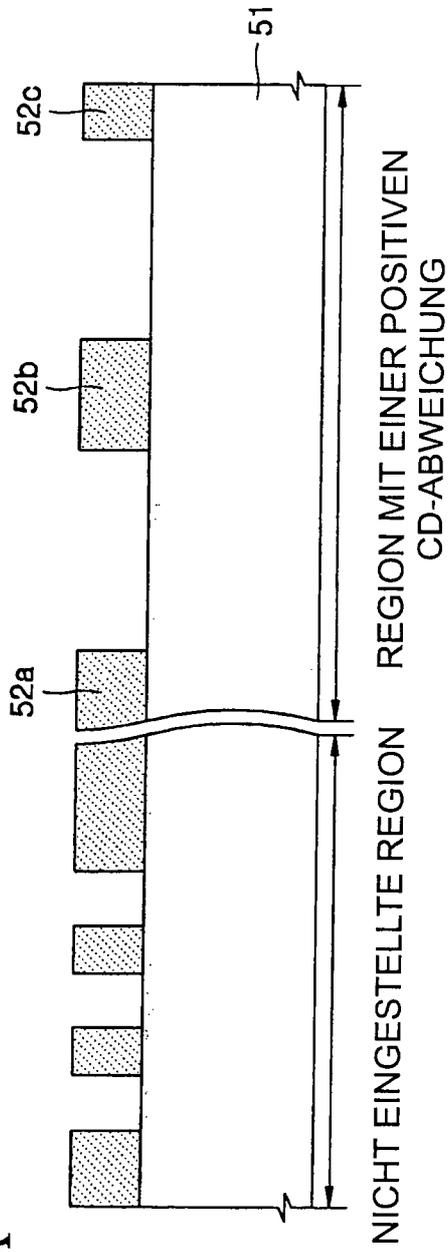


FIG. 12B

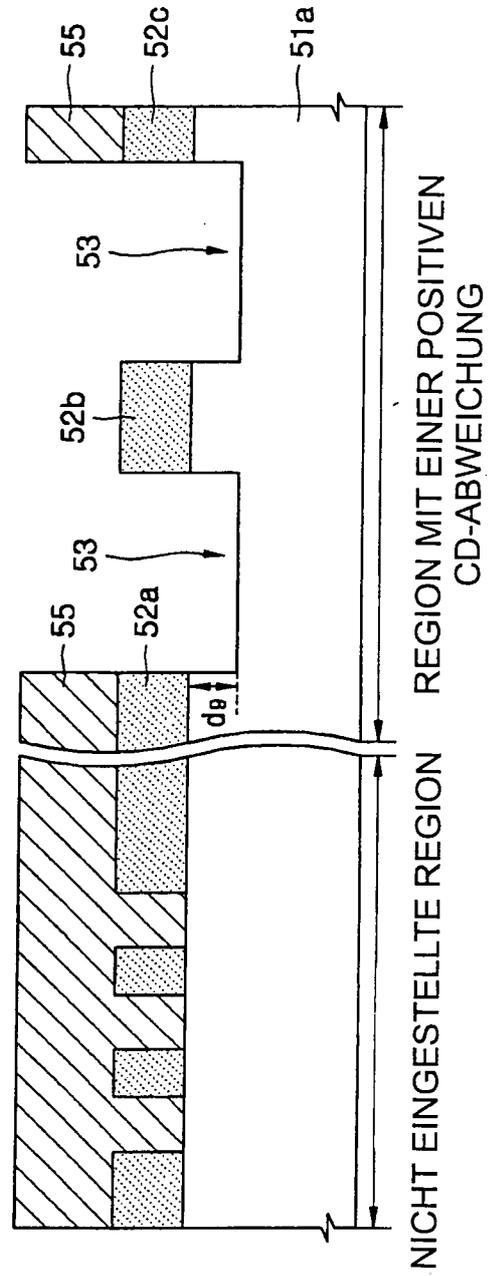


FIG. 12C

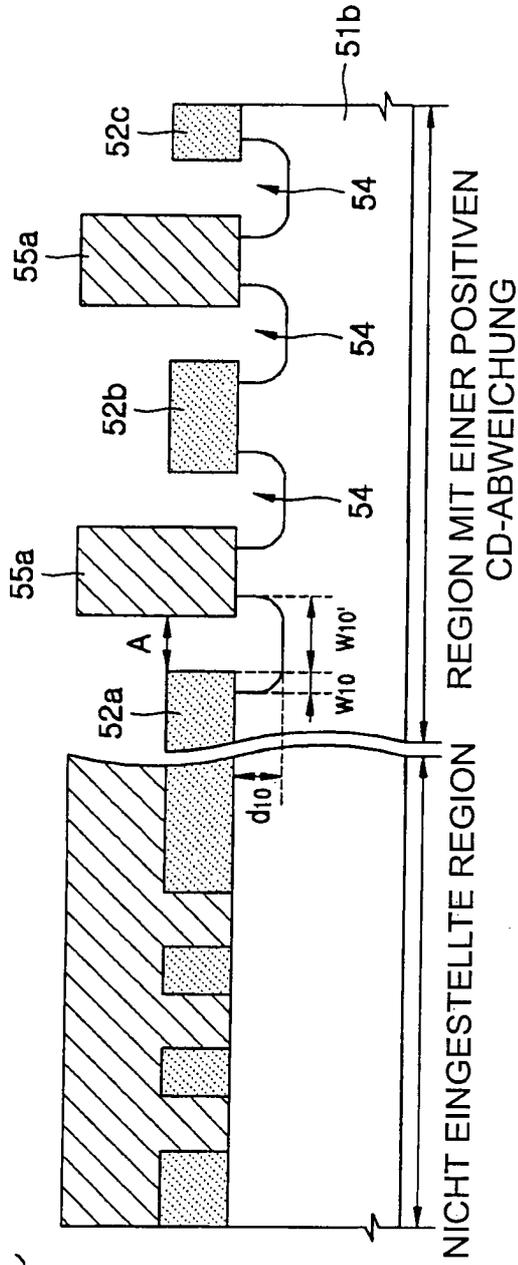


FIG. 13A

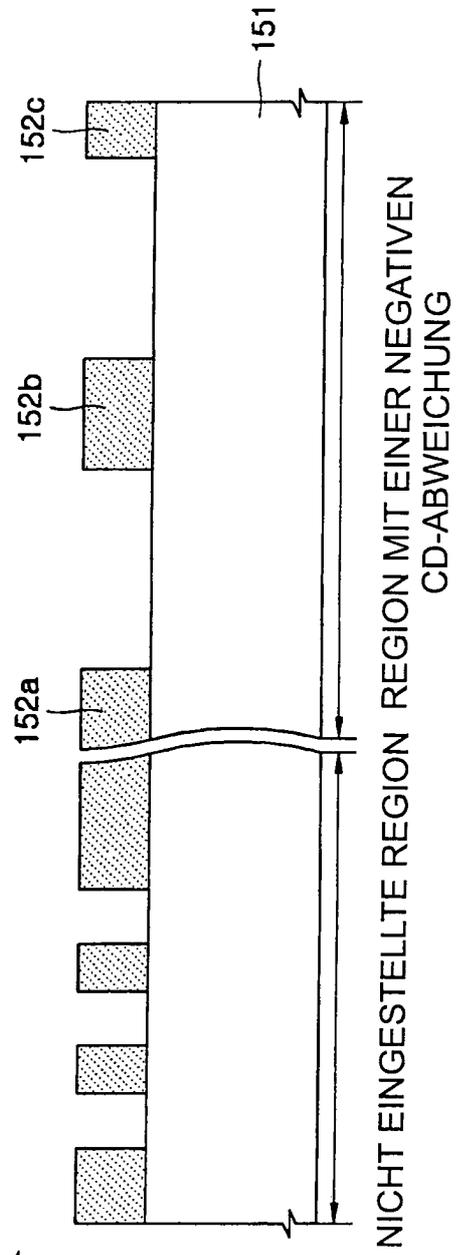


FIG. 14A

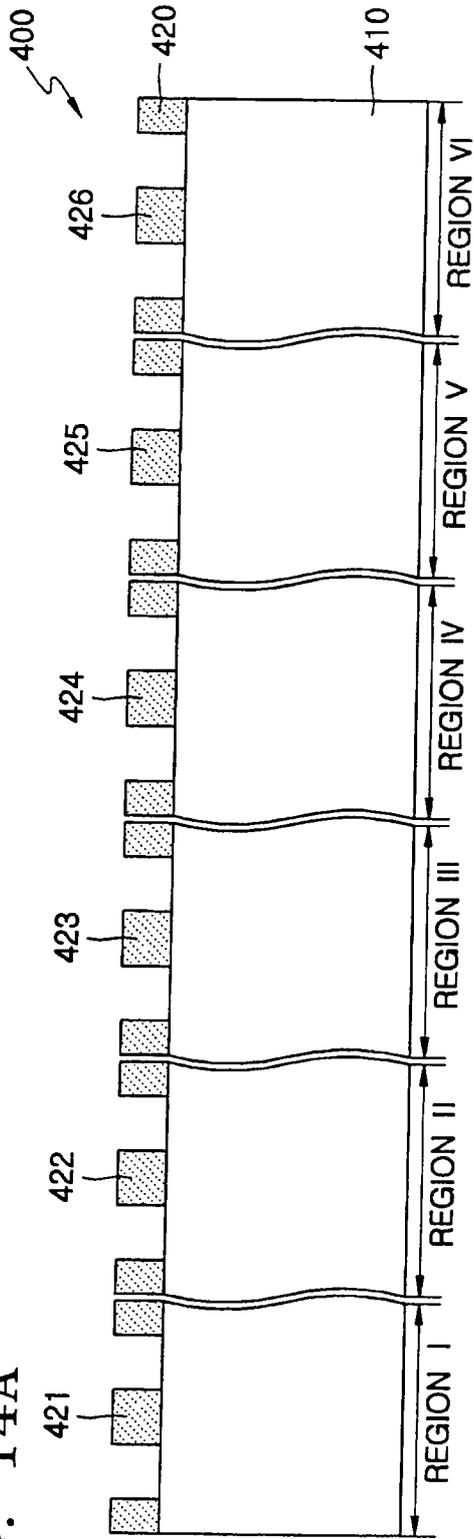


FIG. 14B

