



(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **199 54 365.8**
(22) Anmeldetag: **11.11.1999**
(43) Offenlegungstag: **17.05.2001**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **27.09.2012**

(51) Int Cl.: **G03F 7/20 (2006.01)**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Creo Srl, Burnaby, CA

(74) Vertreter:
Eisenführ, Speiser & Partner, 80335, München, DE

(72) Erfinder:
Gelbart, Daniel, Burnaby, British Columbia, CA

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

US 5 742 362 A
US 5 523 193 A

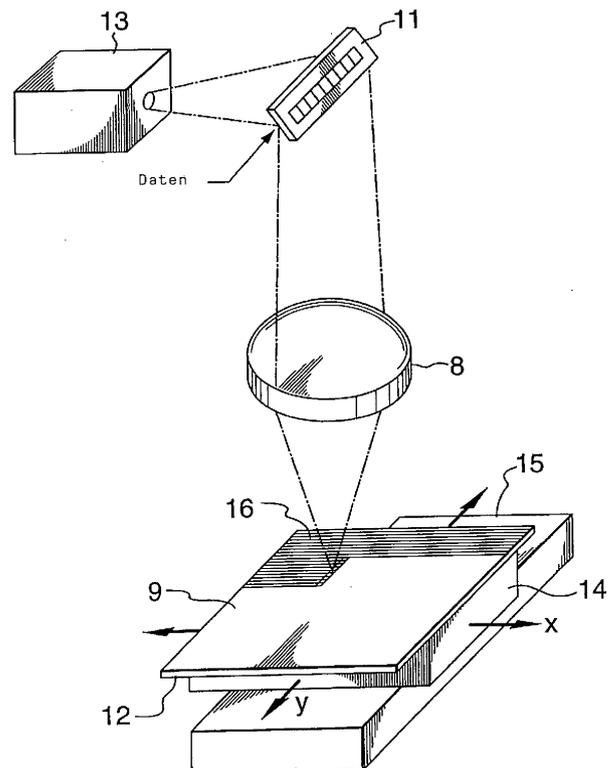
**D.Gelbart, V.Karasyuk: "UV Thermoresists:
Sub 100nm Imaging Without Proximity Effects",
Proc. SPIE Vol.3676, März 1999, S.786-790**

**K.Amaya: "Numerical analysis of high
resolution micro-lithography with thermoresist",
Proc. SPIE Vol.3676, März 1999, S.360-370**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum bildweisen Bestrahlen eines Resists**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum bildweisen Bestrahlen eines Resists, welches die folgenden Schritte enthält:

- Bereitstellen eines Resists von der Art, welcher nicht dem Reziprozitätsgesetz folgt,
- Belichten eines ersten Merkmals auf einer ersten Fläche des Resists, bei dem ein Lichtstrahl über die erste Fläche geführt wird und der Lichtstrahl gemäß einem ersten Datensatz moduliert wird,
- nach einer Zeitperiode, die ausreicht, um Übergangswirkungen von dem Belichten des ersten Merkmals im Wesentlichen verschwinden zu lassen, Belichten eines zweiten Merkmals auf einer zweiten Fläche des Resists, bei dem der Lichtstrahl über die zweite Fläche geführt wird und der Lichtstrahl gemäß einem zweiten Datensatz moduliert wird,
- wobei beim Führen des Lichtstrahls über die jeweilige Fläche ein Lichtventil mit einer Lichtquelle bestrahlt wird und ein Bild des Lichtventils auf dem Resist gebildet wird und
- eine zwei-dimensionale Relativbewegung zwischen dem Bild des Lichtventils und dem Resist erzeugt wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum bildweisen Bestrahlen von ätzresistenten Schichten, die auch als "Resists" bekannt sind, wobei diese Verfahren bei der Herstellung von hochauflösenden Mustern durch Ätzen oder Abscheiden eingesetzt werden. Die Erfindung ist insbesondere bei der Herstellung von integrierten Schaltungen, flachen Anzeigetafeln und gedruckten Schaltungsplatinen verwendbar.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Es sind bereits Verfahren zum Herstellen von hochauflösenden Mustern, hauptsächlich auf ebenen Gegenständen oder Objekten, durch selektives Ätzen oder Abscheiden bekannt. Im Allgemeinen wird eine zu bildende oder mit einem Muster zu versehenende Schicht durch eine Schutzschicht abgedeckt, die als "Resist" bekannt ist. Gewünschte Formen werden üblicherweise über eine Fotoabbildung durch Bestrahlen bzw. Belichten des Resists erzeugt. Der bestrahlte (oder in Abhängigkeit, ob der Resist positiv oder negativ wirkt, unbestrahlte) Teil des Resists wird entfernt, normalerweise durch Verwenden eines flüssigen Entwicklers zum selektiven Entfernen des Resists, um die darunterliegende Schicht zu bestrahlen.

[0003] Die Schicht kann dann durch die Öffnungen in der Resistschicht geätzt werden. Die verbleibenden Teile des Resists schützen bedeckte Abschnitte der Schicht vor dem Ätzvorgang. Das Ätzen kann auf verschiedene Weise ausgeführt werden, wobei das Ätzen durch nasse Chemikalien oder durch trockenes Plasma umfaßt ist (ein Vorgang, welcher in der Halbleiterindustrie im großen Umfang verwendet wird). Anstelle des Ätzens kann ein additiver Vorgang eingesetzt werden, bei dem ein Material, welches durch die Öffnungen in dem Resist abgelagert bzw. abgeschieden wird, der Schicht unterhalb des Resists hinzugefügt wird. Dieses Abscheiden kann in einem nassen Vorgang (wie bei dem "additiven" Vorgang zum Herstellen von gedruckten Schaltungsplatinen gut bekannt) oder in einem trockenen Vorgang, wie einem Vakuumabscheiden durch Dampfabscheiden oder Sputtern ausgeführt werden. Ein weiterer Weg zur Verwendung von Resists besteht in dem Ermöglichen einer chemischen Reaktion, wie einer Oxidation, die nur in den Bereichen erfolgt, welche nicht von einem Resist bedeckt sind. Im allgemeinen ist ein mit einem Muster versehener Resist eine abgebildete oder belichtete Maske bzw. eine Bildmaske, welche wahlweise einen chemischen oder physikalischen Vorgang steuern und den Vorgang begrenzen kann, um dem Bildmuster zu folgen. Der Ausdruck "Resist" sollte in diesem breiten Sinn innerhalb der gesamten Offenbarung und der Ansprüche interpretiert werden. Am Ende des Vorganges wird der verbleibende Resist üblicherweise entfernt oder "abgezogen".

[0004] In der Vergangenheit waren die meisten Resists Photoresists, d. h., daß sie durch die Photonenwirkung des Lichtes aktiviert und abgebildet bzw. belichtet wurden. Um eine hohe Auflösung zu erreichen, arbeiten die meisten Photoresists im UV-Teil des Spektrums, wo die Photonenergie hoch ist. Einige Resists können durch andere Strahlenarten, wie Elektronenstrahlen bestrahlt bzw. belichtet werden.

[0005] Alle augenblicklich verfügbaren Photoresists und Elektronenstrahlresists teilen eine fundamentale Eigenschaft: sie reagieren auf die Gesamtbestrahlung, nicht auf die augenblickliche Bestrahlungsstärke bzw. Illumination. In der Optik ist die Bestrahlung als das Integral der Bestrahlungsstärke über der Zeit definiert. Beispielsweise kann ein Photoresist mit Licht bestrahlt werden, welches eine Intensität von 100 mW/cm^2 für eine Sekunde aufweist, um eine Bestrahlung bzw. Bestrahlungsstärke von 100 mJ/cm^2 ($100 \text{ mW} \times 1 \text{ s}$) zu erhalten, oder der Photoresist kann mit Licht bestrahlt werden, welches eine Intensität von 1000 mW für $0,1 \text{ s}$ aufweist, um die gleiche Bestrahlung bzw. Bestrahlungsstärke ($1000 \text{ mW} \times 0,1 \text{ s} = 100 \text{ mJ/cm}^2$) mit ähnlichen Resultaten zu erhalten. Dieses Gesetz ist als das "Reziprozitätsgesetz" bekannt und ist das grundlegende Gesetz, welche das Bestrahlen der Photoresists bestimmt. Wenn eine bestimmte Strahlung erreicht ist, tritt eine Änderung in dem Resist ein. Bei den meisten bekannten Resists ändert sich die Lösbarkeit des Resists in einem Entwickler, wenn ein Schwellenwert der Bestrahlung erreicht ist. Photoresists, welche dem Gesetz der Reziprozität gehorchen, erfordern eine hohe Kontrastbestrahlung bzw. ein hohes Kontrastverhältnis. In optischen Systemen, die verwendet werden, um Photoresists oder Elektronenstrahlresists zu bestrahlen, muß das Streulicht auf einem Minimum gehalten werden. Wenn beispielsweise ein Bestrahlungssystem eine Lichtleckage oder Streulicht in Höhe von 1% aufweist (z. B.: wenn die Bestrahlung "AUS" ist, fällt der Lichtpegel nicht auf 0, sondern nur auf 1% des "EIN"-Zustands), kann die Wirkung dieses Streulichtes so groß wie (oder größer als) die Hauptbestrahlung sein, wenn der Photoresist in dem "AUS"-Zustand für eine lange Zeit bestrahlt wird.

[0006] Ein noch größeres Problem wird verursacht, wenn versucht wird, hoch auflösende Merkmale abzubilden: die Punktausbreitungsfunktion bzw. Punktverteilungsfunktion von in der Praxis verwendeten optischen Systemen verursacht ein "Verteilen" des Lichtes von jedem Merkmal. Hierdurch überlappt das Licht, das ein erstes Merkmal abbilden soll, mit Licht, das benachbarte Merkmale bestrahlt bzw. belichtet. Das Ergebnis be-

steht darin, daß die Gesamtbildauflösung verringert ist. Dies ist in [Fig. 1](#) wiedergegeben. [Fig. 1](#) zeigt eine Maske **11**, welche die Merkmale **1**, **3** definiert. Eine Lichtquelle (nicht gezeigt) beleuchtet die Maske **11**, um eine Lichtintensität I an der Maske **11** zu erzeugen. Das Merkmal **1** erzeugt eine Lichtverteilung $1'$ und das Merkmal **3** eine Lichtverteilung $3'$. Eine Linse **8** bildet die Lichtintensitätsverteilung I auf einem Resist **9** ab. Die Lichtintensitätskurve **5** an der Oberfläche des Resists **9** kann durch Hinzuaddieren der Bestrahlungskurve **2**, welche durch die Linse **8** gebildet wird und welche das Merkmal **1** abbildet, zu der Kurve **4**, welche durch die Linse **8** erzeugt wird und welche das Merkmal **3** abbildet, erhalten werden. Die Kurve **5** erzeugt ein gestörtes Bild **6**, **7** der Merkmale **1**, **3** auf dem Photoresist **9**. Wenn der Photoresist **9** einen Schwellwert **10** besitzt, können sich die bestrahlten Bereiche **6**, **7** des Photoresists **9** in der Größe von den Merkmalen **1**, **3** unterscheiden. Es macht keinen Unterschied, wenn die Bestrahlungen **2**, **4** gleichzeitig oder aufeinanderfolgend eingesetzt werden, da der Photoresist **9** die Bestrahlungen aufaddieren oder integrieren wird.

[0007] In der jüngeren Vergangenheit wurde ein anderer Resisttyp, der als Thermoresist bekannt ist, bei der Herstellung von Druckplatten und gedruckten Schaltungsplatten verwendet. Ein Thermoresist (der ebenfalls als Wärmeresist oder Resist mit Wärmemodus bekannt ist) ändert die Lösbarkeit, wenn eine bestimmte Temperatur anstelle einer bestimmten akkumulierten Strahlung erreicht worden ist. Derartige Thermoresists werden üblicherweise unter Verwendung von Licht nahe dem Infrarotbereich abgebildet bzw. belichtet und sind ebenfalls als "IR-Resist" bekannt. Beispiele von Thermoresists sind in den folgenden US-Patenten offenbart: US 5,340,699 A (Haley); US 5,372,907 A (Haley); US 5,372,915 A (Haley); US 5,466,557 A (Haley); US 5,512,418 A (Ma); US 5,641,608 A (Grunwald); US 5,182,188 A (Cole); US 5,314,785 A (Vogel) und US 5,328,811 A (Brestel). Der Thermoresist, der durch Haley beschrieben wird, ist ungewöhnlich, da die gleiche Zusammensetzung als Photoresist wirkt, der dem Reziprozitätsgesetz folgt, wenn er durch UV-Licht bestrahlt wird (bei einer geringen Energiedichte), jedoch ebenfalls als Thermoresist wirkt, der nur auf die Temperatur reagiert, wenn er durch IR mit hoher Energiedichte erhitzt wird. Der Thermoresist ist von der Creo Ltd. (Lod Industrial Park, Israel) verfügbar und wird unter dem Markennamen "Difine 4LF" vertrieben. Sämtliche vorstehend erwähnten Thermoresists reagieren auf die Temperatur bzw. Wärme und folgen nicht dem Reziprozitätsgesetz.

[0008] Tatsächlich ist es nicht möglich, einen praktikablen Thermoresist bereitzustellen, welcher dem Reziprozitätsgesetz folgt, da ein derartiger Thermoresist bei einer langen Bestrahlung einfach geringen bzw. niedrigen Umgebungstemperaturen ausgesetzt sein würde (ebenso wie ein Photoresist bei einer langen Bestrahlung geringen Pegeln von Umgebungslicht ausgesetzt sein würde). Während es möglich ist, einen Photoresist von Umgebungslicht abzuschirmen, ist es nicht möglich, einen Thermoresist von der Umgebungstemperatur bzw. Umgebungswärme abzuschirmen, weshalb ein praktikabler Thermoresist nicht dem Reziprozitätsgesetz folgen kann. Ein verlängertes Ausgesetztsein der Umgebungstemperatur bzw. Umgebungswärme unterhalb der Schwellwerttemperatur bzw. Schwellwertwärme muß einen geringen Effekt haben. Offensichtlich muß die Schwellwerttemperatur deutlich oberhalb der Temperaturen liegen, die beim Transport und bei der Lagerung auftreten.

[0009] Wenn die chemische Reaktion in einem Thermoresist keine scharfe Schwellwerttemperatur besitzt, muß die chemische Zusammensetzung des Thermoresists so formuliert werden, daß die Reaktionsgeschwindigkeit bei Raumtemperatur sehr gering bleibt. Dies kann leicht erreicht werden, da die meisten chemischen Reaktionsgeschwindigkeiten sich bei jeweils 10°C verdoppeln, wodurch die Reaktionsgeschwindigkeit bei einem Thermoresist, der so formuliert ist, daß er bei 350°C bestrahlt wird, ein billionfach schneller als bei 25°C sein kann. Die Verwendung von Lasern macht es auf einfache Weise möglich, die Temperatur eines Thermoresists über 1000°C anzuheben. Ein derartiger Thermoresist wird in der Weise erscheinen, daß er einen distinkten bzw. bestimmten Schwellwert besitzt, da sich die Reaktionsgeschwindigkeit exponentiell verringert, wenn die Temperaturen fallen.

[0010] Lichtventile, die auch als Multikanalmodulatoren oder Raumlichtmodulatoren bekannt sind, zerlegen einen einzelnen Lichtstrahl in eine lineare oder zweidimensionale Matrix aus einzeladressierbaren Lichtpunkten. Die US-Patente US 5,208,818 A (Gelbart) sowie US 5,296,891 A (Vogt) bieten Beispiele des Einsatzes von Lichtventilen, um Photoresists zu bestrahlen. Mehrfachstrahlüberstreichen bzw. Mehrfachstrahlscanning, was auch als Mehrfachlichtpunktüberstreichen bzw. Mehrfachlichtpunktscanning bekannt ist, ist im Stande der Technik bekannt und wird verwendet, um die Schreibgeschwindigkeit durch gleichzeitiges Bestrahlen von mehreren Merkmalen zu steigern. Der Grenzfaktor in beiden Technologien ist die Lichtleckage aus den Lichtventilen. Sogar wenn die Lichtventile ideal sind, erzeugt die begrenzte optische Auflösung von verfügbaren Bildlinsen ein zu dem Streulicht gleiches Problem, wie es vorstehend erläutert ist.

[0011] Aus D. Gelbart, V. Karasyuk: „UV Thermoresists: Sub 100 nm Imaging Without Proximity Effects“, Proc. SPIE Vol. 3676, März 1999, S. 786–790 oder K. Amaya: „Numerical analysis of high resolution micro-lithography with thermoresist“, Proc. SPIE Vol. 3676, März 1999, S. 360–370 ist jeweils ein Verfahren zum bildweisen Bestrahlen eines nicht dem Reziprozitätsgesetz gehorchenden Resists bekannt, in dessen Verlauf in einem zeitlichen Abstand mehrere Strukturierungsmerkmale mittels Masken nacheinander auf den Resist aufbelichtet werden. Dabei ist das zwischen den Belichtungen liegende Zeitintervall groß genug, dass keine Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Belichtungen auftreten. Aus erstgenannter Druckschrift ist zum bildweisen Bestrahlen einer nicht-ebenen Schicht eines Resists der Einsatz eines fokussierenden optischen Systems bekannt.

[0012] Aus US 5,523,193 A und US 5,742,362 A ist jeweils ein Verfahren zur Belichtung von photoempfindlichen Schichten unter Einsatz einer Projektionsbelichtungsanlage mit einer Licht-(Laser-Quelle, einem Lichtventil aus linear oder matrixförmig angeordneten adressierbaren Elementen, einer Projektionsoptik zum Abbilden des Bildes des Lichtventils auf die photosensible Schicht sowie einer xy-Verschiebplattform für die photosensible Schicht bekannt.

[0013] Es besteht Bedarf für Verfahren, die in der Lage sind, eine Resistschicht unter Verwendung von optischen Systemen mit geringem Kontrast und insbesondere von Lichtventilen mit geringem Kontrast zu bestrahlen. Es besteht darüber hinaus Bedarf, die erreichbare Auflösung bei der optischen Lithographie zu steigern. Weiterhin besteht Bedarf für Verfahren zum Abbilden bzw. Belichten von Photoresists auf Gegenständen, wie integrierten Schaltungen, Flachtafelanzeigeeinrichtungen und gedruckten Schaltungsplatinen oder die Notwendigkeit für teure Fotowerkzeuge. Der Begriff „Fotowerkzeuge“ ist ein Oberbegriff für die Filme oder Glasmasken, die augenblicklich als Vorlagen für die Abbildung von Photoresists über Kontaktprojektion oder optische Projektion verwendet werden. Es besteht Bedarf für Abbildungsverfahren, welche eine größere Fokussiertiefe bereitstellen als es bei den augenblicklich verfügbaren, hochauflösenden Bestrahlungsmaschinen möglich ist.

[0014] Erfindungsgemäß wird dies durch die Merkmale des Patentanspruches 1 erreicht. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen enthalten.

[0015] Die Verletzung des Reziprozitätsgesetzes bei Thermoresists ermöglicht die vorliegende Erfindung. Da Thermoresists nicht die Strahlung integrieren und jede Streuwärme sich schnell auflöst bzw. verschwindet, ist es möglich, Thermoresists unter Verwendung von Lichtventilen mit geringem Kontrast (d. h. Licht mit hoher Leke) abzubilden bzw. zu belichten.

[0016] Optiken mit geringem Kontrast, die lineare Lichtventile mit geringem Kontrast umfassen, können verwendet werden, um hochauflösende Muster auf dem Thermoresist durch mehrfache Bestrahlung bzw. Belichtung des gleichen Bereiches, vorzugsweise durch Bestrahlung bzw. Belichtung von unterschiedlichen Merkmalen des Musters bei jeder Bestrahlung zu erzeugen. Da Thermoresists auf Temperatur reagieren und eine Bestrahlung nicht integrieren, wird das Streulicht beim Abbilden einzelner Merkmale nicht aufaddiert. Streuwärme wird zwischen den Bestrahlungen verschwinden. Das Verfahren ist insbesondere für das Abbilden bzw. Belichten von Thermoresists unter Verwendung von UV-Licht beim Herstellen von integrierten Schaltungen dienlich.

[0017] Demzufolge stellt ein Aspekt der Erfindung ein Verfahren zum bildweisen Bestrahlen eines Resists bereit. Das Verfahren enthält das Bereitstellen eines Resists von der Art, welcher nicht dem Reziprozitätsgesetz folgt, und das Bestrahlen des Resists in zwei Schritten durch Abbilden eines ersten Merkmals auf einem Bereich des Resists und nach einer Zeitperiode, die ausreicht, Übergangswirkungen beim Abbilden des ersten Merkmals im wesentlichen verschwinden zu lassen, Abbilden eines zweiten Merkmals auf der Fläche des Resists. Vorzugsweise ist der Resist ein Thermoresist. Bei bevorzugten Ausführungsbeispielen enthält das Abbilden des ersten Merkmals das Führen eines Lichtstrahls über den Bereich und das Modulieren des Lichtstrahls gemäß einem ersten Datensatz. Das Abbilden des zweiten Merkmals enthält das Führen bzw. Scannen des Lichtstrahls über den Bereich und das Modulieren des Lichtstrahls gemäß einem zweiten Datensatz. Der Lichtstrahl kann ein Bild eines Lichtventils enthalten.

[0018] Ein weiterer Aspekt der Erfindung stellt ein Verfahren für das bildweise Bestrahlen einer nichtplanaren bzw. nicht ebenen Resistschicht unter Verwendung von fokussierbaren, optischen Systemen bereit. Das Verfahren enthält das Bereitstellen eines nicht ebenen Resists von der Art, welcher nicht dem Reziprozitätsgesetz folgt, den Schritt des Fokussierens des optischen Systems bei einer ersten Fokussiereinstellung und den Schritt des Abbildens bzw. Belichtens der Resistoberfläche und dadurch Erzeugen von bestrahlten Flächen

bzw. Bereichen in dem Photoresist in einer ersten Fokussierebene des optischen Systems und den Schritt des Fokussierens der optischen Einstellung bei einer zweiten Fokussiereinstellung sowie den Schritt des Abbildens bzw. Belichtens der Resistoberfläche und dadurch Erzeugen von bestrahlten Flächen bzw. Bereichen in dem Photoresist in einer zweiten Fokussierebene des optischen Systems.

[0019] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung werden nachstehend erläutert.

Kurze Beschreibung der Zeichnungsfiguren

[0020] In den Zeichnungsfiguren, welche keine einschränkenden Ausführungsbeispiele der Erfindung wiedergeben, ist:

[0021] **Fig. 1** eine schematische Schnittansicht durch einen Photoresist, der durch ein bekanntes Verfahren bestrahlt wird, wobei **Fig. 1** den Auflösungsverlust bei dem bekannten Abbilden bzw. Belichten wiedergibt, welcher auftritt, wenn ein Photoresist dem Reziprozitätsgesetz folgt;

[0022] **Fig. 2** eine schematische Schnittansicht durch einen Photoresist, der gemäß einem Verfahren der Erfindung bestrahlt wird, wobei **Fig. 2** schematisch die gesteigerte bzw. erhöhte Auflösung zeigt, welche durch Mehrfachbestrahlungen unter Verwendung eines Thermoresist gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung ermöglicht wird;

[0023] **Fig. 3** eine räumliche Darstellung einer Thermoresist-Bestrahlungsvorrichtung gemäß der Erfindung;

[0024] **Fig. 4** eine räumliche Darstellung eines nicht ebenen Photoresists auf einem Substrat, der durch ein bekanntes Verfahren bestrahlt wird;

[0025] **Fig. 5A** eine räumliche Darstellung einer nicht ebenen Thermoresistschicht, nachdem sie bei einer Fokussiereinstellung bestrahlt worden ist;

[0026] **Fig. 5B** eine räumliche Darstellung einer nicht ebenen Thermoresistschicht, wenn sie bei einer anderen Fokussiereinrichtung bestrahlt wird; und

[0027] **Fig. 5C** eine räumliche Darstellung einer nicht ebenen Thermoresistschicht, wenn diese in zwei Durchgängen bestrahlt wird, mit einem ersten Durchgang bei der Fokussiereinstellung gemäß der **Fig. 5A** und einem zweiten Durchgang bei der Fokussiereinstellung der **Fig. 5B**.

Beschreibung

[0028] Eine Vorrichtung zum Ausführen der Erfindung ist schematisch in **Fig. 3** gezeigt. Eine Lichtquelle, vorzugsweise ein Laser **13**, beleuchtet bzw. bestrahlt ein lineares Lichtventil **11**. Das Lichtventil **11** wird durch eine Linse **8** auf einem Substrat **12** abgebildet, welches mit einer dünnen Schicht eines Thermoresists **9** bedeckt ist. Wie es im Stand der Technik bekannt ist, enthält das Lichtventil **11** eine Reihe von einzeln ansprechbaren bzw. adressierbaren Elementen, welche wiederum durch Daten, die von einer geeigneten Steuereinrichtung (nicht gezeigt) zugeführt werden, ein- oder ausgeschaltet werden können.

[0029] Eine Relativbewegung wird zwischen dem Bild des Lichtventils **11** und dem Substrat **12** in zwei Dimensionen erzeugt. Beispielsweise kann eine derartige Bewegung durch Anordnen des Substrats **12** auf einer zweidimensionalen, mechanischen Bühne **13** erzeugt werden, mit einer Gleiteinrichtung **14**, die das Substrat in die X-Richtung bewegt, und einer Gleiteinrichtung **15**, die das Substrat in die Y-Richtung bewegt. Weitere Details einer derartigen Vorrichtung finden sich in dem US-Patent Nr. US 5,208,818 A.

[0030] Wenn das Substrat **12** flexibel ist, kann es um die Außenseite eines Zylinders gewickelt werden und in der gleichen Weise überstrichen bzw. gescannt werden, wie die meisten zylindrischen Laserplotter arbeiten. Dies ist mit dünnen, gedruckten Schaltungsplatinen möglich. Durch geeignetes Bewegen des Substrats **12** relativ zu dem Licht, welches von dem Lichtventil **11** einfällt, kann die gesamte Fläche des Substrats **12** belichtet bzw. abgebildet werden. Vorzugsweise wird der Bereich des Substrats **12** durch kontinuierliche oder sich überlappende Streifen **16** abgedeckt. Für überlappenden Streifen (d. h. Mehrfachstrahlung von jedem Bereich) werden die Verfahren, welche in dem US-Patent Nr. US 5,208,818 A offenbart sind, bevorzugt. Wie es im Stand der Technik bekannt ist, kann das Geschwindigkeitsprofil in die schnelle Überstreichrichtung bzw. Scannrichtung sinusförmig sein oder jedes andere geeignete Geschwindigkeitsprofil kann verwendet werden.

[0031] Heutzutage werden Thermoresists im allgemeinen unter Verwendung von sichtbarer Strahlung oder IR-Strahlung bestrahlt. Jedoch ist bei dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Laser **13** ein UV-Laser, wie ein frequenzvervierfachender YAG-Laser, der bei 266 nm arbeitet. Dies ist erwünscht, um die höhere Auflösung des UV-Lichtes mit der gesteigerten Auflösung zu kombinieren, die durch die Erfindung bereitgestellt wird. Ein Thermoresist, der durch UV-Licht bestrahlt worden ist, wirkt noch als ein Thermoresist, d. h. er folgt nicht dem Reziprozitätsgesetz. Das UV-Licht wird als eine Wärmequelle verwendet.

[0032] Für die Herstellung von flachen Anzeigeeinrichtungen und gedruckten Schaltungsplatinen, kann der Laser **13** entweder ein IR-Laser oder ein Laser mit sichtbarem Licht sein, da bei diesen Anwendungen die erforderliche Auflösung typischerweise geringer ist. Eine Laserdiode, die bei 830 nm arbeitet, ein YAG-Laser, der bei 1064 nm arbeitet, oder ein frequenzduplizierender YAG-Laser, der bei 532 nm arbeitet, können sämtlich als Beispiel verwendet werden. Jedes geeignete Lichtventil kann alternativ eingesetzt werden. Die am meisten geeigneten Lichtventile für diese Erfindung sind lineare, mikrobearbeitete Lichtventile, wie sie von der Silicon Light Machines Inc. (Sunnyvale, CA) verfügbar sind.

[0033] Es wird nun auf [Fig. 2](#) Bezug genommen. Das Lichtventil **11** weist die Merkmale **1**, **3** auf, die eingeschaltet sind (jedes Merkmal kann ein einzelnes Pixel oder mehrere Pixel sein). Das Beleuchtungsprofil, daß durch diese Merkmale an dem Lichtventil erzeugt wird, ist durch **1'** und **3'** gekennzeichnet. Es ist zu bemerken, daß sich der Beleuchtungspegel bzw. die Bestrahlungsstärke von I_1 zu I_2 ändert, wenn das Merkmal eingeschaltet wird, jedoch nicht auf 0 infolge des Lekagelichts I_1 des Lichtventiles fällt. Das Verhältnis I_2/I_1 wird manchmal als das "EIN-/AUS-Verhältnis" oder als "Kontrastverhältnis" des Lichtventiles bezeichnet. Es ist üblicherweise schwierig, den Photoresist mit einem Lichtventil in geeigneter Weise zu bestrahlen, wenn dieses Verhältnis geringer als 100:1 ist. Dies deshalb, da der Photoresist das Lekagelicht integrieren wird. Wenn ein Thermoresist verwendet wird, ist die Wirkung dieses Lekagelichtes beseitigt, da jedes Lichtniveau bzw. jeder Lichtpegel, welches bzw. welcher unzureichend ist, den Resist über seine Schwellwerttemperatur zu erwärmen, den Resist nicht beeinflussen wird. Im Gegensatz hierzu können erfindungsgemäß Verhältnisse von weniger als 100:1 oder sogar weniger als 10:1 verwendet werden. Nachdem das Licht ausgeschaltet worden ist, verschwindet die durch die Lichtbestrahlung hervorgerufene Wärme schnell.

[0034] Eine noch bessere Wirkung kann durch Bestrahlen des Thermoresists in mehreren Stufen bzw. Durchgängen erzielt werden. Beispielsweise wird nur Merkmal **1** bei dem ersten Durchgang ermöglicht bzw. erzeugt. Dies vermeidet überlappendes Licht von zwei Merkmalen über seine Schwellwerttemperatur. Das Merkmal **1** wird auf dem Thermoresist **9** durch die Linse **8** abgebildet, um ein Temperaturprofil **2A** zu bilden. Sämtliche Punkte des Profils **2A**, die die Schwellwerttemperatur **10** überschreiten, werden den Resist **9** bestrahlen. Übliche Bestrahlungen des Resists **9** ändern die Lösbarkeit des Resists **9** in einigen Lösungsmitteln (machen ihn mehr lösbar, wenn der Resist **9** ein positiver Resist ist, und weniger lösbar, wenn der Resist **9** ein negativer Resist ist). Sämtliche Punkte des Temperaturprofils **2A**, bei denen die Temperatur unterhalb des Schwellwertes **10** liegt, werden keine permanente Wirkung auf den Resist haben, solange der Wärme ermöglicht wird, zu verschwinden, bevor eine zweite Bestrahlung stattfindet. Dies ändert das Profil **2A** in ein effektives Profil **5A**, welches mehr eintaucht bzw. steiler ist und keine Wirkung des Streulichtes I_1 zeigt.

[0035] Da die meisten Thermoresistschichten 1–2 μm dick sind, liegt ihre Wärmezeitkonstante im Bereich von 1 ms. Um dem Streulicht zu ermöglichen, zu verschwinden, wird eine Verzögerung von einigen Zeitkonstanten verwendet, bevor der zweite Durchgang ausgeführt wird. Bei dem zweiten Durchgang wird das Abbildungsmerkmal **3** ermöglicht bzw. erzeugt, um ein Temperaturprofil **2B** auf dem Resist **9** zu erzeugen. Jede Wirkung des Profils **2A** ist verschwunden. Das effektive Profil **5B** bildet einen bestrahlten Bereich **7** auf dem Thermoresist. Die Erzeugung des Bereiches **7** wird nicht durch die Markierung **6** beeinflusst und beeinflusst die Markierung **6** nicht, die bei der vorausgegangenen Bestrahlung gebildet worden ist. Jede Auflösungseinschränkung der Linse **8**, die Streulicht hervorrufen kann, besitzt keine Wirkung, da nur ein einzelnes Merkmal **3** ermöglicht bzw. erzeugt wird und jede Streuwärme vom Merkmal **1**, welche vorher die Stelle der Markierung **7** erreicht haben kann, verschwunden ist. Dies ermöglicht Markierungsbereiche **6**, **7** mit einer hohen Auflösung in einer Weise, welche im wesentlichen immun gegenüber Lekagelicht aus dem Lichtventil **11** ist und welche die Auflösungsgrenzen der Linse **8** verbessert.

[0036] Wenn die Kurven **2A**, **2B** nicht über die Schwellwerte **10**, **10'** hinaus gehen, wird keine Markierung erzeugt, sogar nach wiederholten Bestrahlungen. Der Schwellwert **10'** ist identisch zu dem Schwellwert **10**, da die beiden Durchgänge bei unterschiedlichen Zeiten, jedoch auf dem gleichen Bereich bzw. auf der gleichen Fläche ausgeführt werden.

[0037] Es ist zu bemerken, daß die räumliche Auflösung (d. h. die Zahl der Merkmale pro Einheitsbereich bzw. Einheitsfläche) jeder Bestrahlung verringert werden kann, während die Gesamtauflösung die Summe der verwendeten Auflösungen ist. Beispielsweise können eine beliebige Zahl von Merkmalen bei einem Durchgang bestrahlt werden und die gleiche Zahl von Merkmalen im nachfolgenden Durchgang, da es keine Wechselwirkung zwischen aufeinanderfolgenden Bestrahlungen gibt.

[0038] Der zuletzt genannte Effekt kann für einen weiteren Vorteil verwendet werden, wie es in den **Fig. 4**, **Fig. 5** gezeigt ist. **Fig. 4** gibt wieder, wie die bekannten Resistbestrahlungsverfahren durch ein nicht ebenes Substrat beeinflusst werden. Ein nicht ebenes Substrat **12** wird mit einem Photoresist **9** abgedeckt und in einer Vorrichtung ähnlich der in **Fig. 3** gezeigten belichtet. Die Abweichung von der Ebenheit muß nicht groß sein, um ein Problem hervorzurufen. Wenn die Linse **8** auf das Substrat **12** an einem Punkt fokussiert wird, werden alle Punkte darüber oder darunter außerhalb der Fokussierung sein, was einen Verlust bei der Bildauflösung hervorruft. Im Ergebnis kann ein derartiger Auflösungsverlust schmale bzw. enge Linien verbreitern sowie verschmelzen und/oder schmale Lücken zwischen den Merkmalen können verschwinden. Wenn das gleiche Substrat wieder mit einer unterschiedlichen Fokussiereinstellung belichtet wird, wird sämtliche Bestrahlung, die absorbiert wurde, jedoch nicht den Schwellwert erreicht hat, mit der neuen Bestrahlung aufaddiert und zerstört das Bild. Wenn integrierte Schaltungen hergestellt werden, ist die Fokussiertiefe üblicherweise geringer als 1 µm infolge der großen numerischen Apertur der verwendeten Linse **8**. Eine Abweichung von 1 µm kann durch den Aufbau von unteren Schichten hervorgerufen werden. Heutzutage wird ein CMP-Prozess (Chemical-Mechanical Polishing) verwendet, um die Siliciumwafer wieder in einen ebenen Zustand zu bringen.

[0039] Die vorliegende Erfindung löst diese Problem durch Verwendung eines Thermoresists für die Maskierung und die Belichtung bzw. Abbildung des Thermoresists mehrere Male hintereinander, wobei jedes Bild mit einer unterschiedliche Fokussiereinstellung behandelt wird. Dies ist in den **Fig. 5A** bis **Fig. 5C** gezeigt. In **Fig. 5A** überschreiten nur die Linien **6, 7**, welche sich im Fokus befanden bzw. welche fokussiert werden, die Schwellwerttemperatur und werden sauber belichtet bzw. abgebildet. Die außerhalb des Fokussierbereiches liegenden Flächen erreichen nicht die Schwellwerttemperatur und die Wärme verschwindet. **Fig. 5B** zeigt das Ergebnis des Belichtens bzw. des Abbildens des gleichen Substrats mit einer unterschiedlichen Fokussiereinstellung. Nur die Abschnitte der Merkmale **6, 7**, die sich in dem Fokussierbereich befinden, wurden bei der neuen Fokussiereinstellung belichtet bzw. abgebildet. **Fig. 5C** zeigt das belichtete bzw. abgebildete Substrat der **Fig. 5A**, welches mit der Fokussiereinstellung der **Fig. 5B** wieder belichtet bzw. abgebildet worden ist. Sämtliche Merkmale, die sich außerhalb des Fokussierbereichs bei der ersten Bestrahlung befanden, befinden sich im Fokussierbereich während der zweiten Bestrahlung, wobei das Bild der Merkmale **6, 7** vervollständigt wird. Mehr als zwei Bestrahlungen können erforderlich sein, falls die Abweichungen von der Ebenheit groß sind. Solange die Änderungen in der Fokussierung zwischen den sich überlappenden Bestrahlungen geringer als die Fokussiertiefe der Bestrahlung ist, kann die vollständige Fläche des Substrats **12** belichtet bzw. abgebildet werden.

[0040] Das Ausführen mehrerer Bestrahlungen bei unterschiedlichen Fokussiereinstellungen kann mit dem vorstehend erläuterten Verfahren des Beleuchtens von alternativen Merkmalen auf alternative Bestrahlungen kombiniert werden. Wenn beispielsweise die Merkmale **1, 3** in **Fig. 2** mit einer maximalen Auflösung auf einem nicht ebenen Substrat belichtet bzw. abgebildet werden müssen, können vier oder mehr Bestrahlungen wie folgt verwendet werden:

Erste Bestrahlung:	Merkmal 1 bei der ersten Fokussiereinstellung
Zweite Bestrahlung:	Merkmal 3 bei der ersten Fokussiereinstellung
Dritte Bestrahlung:	Merkmal 1 bei der zweiten Fokussiereinstellung
Vierte Bestrahlung:	Merkmal 3 bei der zweiten Fokussiereinstellung.

[0041] Dieses Verfahren ist nicht auf Thermoresists beschränkt, sondern kann mit anderen Resists eingesetzt werden, welche nicht dem Reziprozitätsgesetz folgen. Für schwierige, integrierte Schaltungsarbeiten werden die vorstehenden Verfahren in Verbindung mit UV-Licht verwendet. Für geringwertigere Belichtungen bzw. Abbildungen, wie bei gedruckten Schaltungsplatinen, ist ein einzelner Durchgang unter Verwendung von IR-Licht ausreichend. Während UV-Licht bei der Erfindung verwendet wird, sollte ein UV-aktiver Thermoresist nicht mit einem regulären UV-Photoresist verwechselt werden. UV-Photoresists arbeiten auf einem Fotonenprinzip. Das Bestrahlen des Photoresists folgt dem Reziprozitätsgesetz. Das UV-Licht, welches zum Belichten eines Thermoresists verwendet wird, wird in Wärme umgewandelt, in dem es in dem Thermoresist absorbiert wird, und die Bestrahlung fällt nicht unter das Reziprozitätsgesetz.

[0042] Da Thermoresists nicht unter das Reziprozitätsgesetz fallen, ist die Bestrahlungszeit kritischer (eine geringe Bestrahlung für eine lange Zeit zeigt keine Wirkung). Höhere Bestrahlungen können für kürzere Zeiten eingesetzt werden. Wenn jedoch die Bestrahlung zu groß ist, wird der Thermoresist ablatiert werden, anstatt nur über die Schwellwerttemperatur, wie gewünscht, erhitzt zu werden. Die untere Grenze der Bestrahlungszeit ist die Ablation des Thermoresists. Dies passiert üblicherweise bei Energiedichten von ca. 1000 kW/cm². Die Ablation ist üblicherweise unerwünscht, da sie Trümmer bzw. Schutt oder Abfall erzeugt (sofern der Thermoresist für einen Einsatz in der Ablation gestaltet worden ist). Die obere Grenze der Bestrahlungszeit wird durch die Geschwindigkeit bestimmt, mit der die Wärme in das Substrat verschwindet. Dies wird durch die Wärmezeitkonstante des Thermoresists bestimmt. Bei den meisten Thermoresists ist die obere Grenze der Bestrahlungszeit 100 Mikrosekunden (für eine 1 µm starke Schicht) und die entsprechende Energiedichte unter 100 kW/cm².

[0043] Obwohl bestehende Thermoresists eine Absorbierfarbe mit einer maximalen Absorptionsfähigkeit in dem Infrarotbereich aufweisen, werden keine neuen Farben für die Verwendung in dem IR-Bereich notwendig, da die meisten dieser Farben, ebenso wie die Polymere, die beim Herstellen des Resists verwendet werden, im hohen Maße UV ebenfalls absorbieren. Dies trifft insbesondere für einen Betrieb bei 266 nm zu, wo die meisten Materialien stark absorbieren. Daher kann die gleiche Thermoresistszusammensetzung, die im IR-Bereich verwendet wird, 266 nm und andere UV-Wellenlängen verwenden.

Beispiel

[0044] Eine kupferverkleidete innenliegende Schicht einer gedruckten Schaltungsplatine wurde mit einem Define 4LF Thermoresist durch Tauchbeschichten beschichtet. Ein Muster aus 1 Pixel-EIN und 1 Pixel-AUS wurde auf einem Creo™ Trendsetter™ abgebildet, der mit 2400 dpi arbeitet, sowie ein 2 Pixel-EIN-/2 Pixel-AUS-Muster. Jedes Pixel betrug Ca. 10,6 µm (1/2400 II). Nach dem Abbilden bzw. Belichten wurde der Resist gemäß dem Datenblatt unter Verwendung eines Standardentwicklers entwickelt. Der Trendsetter™ ist von der Creo Products Inc. (Vancouver, Canada) und der Define 4LF-Thermoresist von der Creo Ltd. (Lod, Israel) verfügbar. Der Trendsetter™ verwendet ein Lichtventil. Die Lichtleckage wurde auf 5% eingestellt. Sogar bei dieser verhältnismäßig hohen Lichtleckage wurde das 2 Pixel-EIN-/2 Pixel-AUS-Muster bei einer einzelnen Bestrahlung scharf abgebildet bzw. belichtet, was weit über die Ergebnisse reichte, welche mit Photoresists erzielt wurden. Das 1 Pixel-EIN-/1 Pixel-AUS-Muster wurde aufgebrochen. Wenn das 1 Pixel-EIN-/1 Pixel-AUS-Muster in zwei Durchgängen belichtet bzw. abgebildet wurde, bestand jeder Durchgang aus 1 Pixel-EIN-/3 Pixel-AUS mit den Durchgängen versetzt um 2 Pixel (d. h. ungerade Linien wurden bei einem Durchgang abgebildet bzw. belichtet und gerade Linien beim zweiten Durchgang) ein gutes 1 Pixel-EIN-/1 Pixel-AUS-Muster wurde erzielt.

[0045] Wie es für den Fachmann im Lichte der vorstehenden Offenbarung ersichtlich ist, sind viele Änderungen und Modifikationen bei der Durchführung dieser Erfindung möglich, ohne dass man sich von dem Geist oder der Reichweite der Erfindung entfernt. Demzufolge wird der Geist der Erfindung in Übereinstimmung mit der Substanz definiert, der durch die folgenden Ansprüche festgelegt ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zum bildweisen Bestrahlen eines Resists, welches die folgenden Schritte enthält:
 - a) Bereitstellen eines Resists von der Art, welcher nicht dem Reziprozitätsgesetz folgt,
 - b) Belichten eines ersten Merkmals auf einer ersten Fläche des Resists, bei dem ein Lichtstrahl über die erste Fläche geführt wird und der Lichtstrahl gemäß einem ersten Datensatz moduliert wird,
 - c) nach einer Zeitperiode, die ausreicht, um Übergangswirkungen von dem Belichten des ersten Merkmals im Wesentlichen verschwinden zu lassen, Belichten eines zweiten Merkmals auf einer zweiten Fläche des Resists, bei dem der Lichtstrahl über die zweite Fläche geführt wird und der Lichtstrahl gemäß einem zweiten Datensatz moduliert wird,
 - d) wobei beim Führen des Lichtstrahls über die jeweilige Fläche ein Lichtventil mit einer Lichtquelle bestrahlt wird und ein Bild des Lichtventils auf dem Resist gebildet wird und
 - e) eine zwei-dimensionale Relativbewegung zwischen dem Bild des Lichtventils und dem Resist erzeugt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem als Resist ein Thermoresist verwendet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die erste und zweite Fläche bei aufeinanderfolgendem Führen eines Lichtstrahls über den Resist sich teilweise überlappen.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem als Lichtstrahl ein Strahl aus einem Infrarotlaser verwendet wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem als Lichtstrahl ein Strahl aus sichtbarem Licht aus einem Laser verwendet wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem als Lichtstrahl ein Strahl eines Ultraviolettlichts aus einem Laser verwendet wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem als Laser einer frequenzvervierfachender YAG Laser verwendet wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem der Schritt des Belichtens des ersten Merkmals mit einer gegenüber dem Schritt des Belichtens des zweiten Merkmals unterschiedlichen Fokussiereinstellung ausgeführt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem zum bildweisen Bestrahlen einer nicht ebenen Resistschicht ein fokussierbares optisches System verwendet wird, mit den Schritten:
 - a) Bereitstellen eines nicht ebenen Resists von der Art, welcher nicht dem Reziprozitätsgesetz folgt,
 - b) Fokussieren des optischen Systems mit einer ersten Fokussiereinstellung und Belichten der Resistoberfläche, wodurch bestrahlte Bereiche in dem Photoresist in einer ersten Fokussierebene des optischen Systems erzeugt werden, und
 - c) Fokussieren des optischen Systems mit einer zweiten Fokussiereinstellung und Belichten der Resistfläche, wodurch bestrahlte Bereiche in dem Photoresist in einer zweiten Fokussierebene des optischen Systems erzeugt werden.
10. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem zum bildweisen Bestrahlen eines Thermoresists ein lineares Lichtventil mit adressierbaren Elementen, von denen jedes ein EIN-Zustand und einen AUS-Zustand besitzt, und eine Laserquelle, welche das Lichtventil bestrahlt, verwendet werden, wobei ein optisches System ein Bild des Lichtventiles auf dem Thermoresist erzeugt und das Bild des Lichtventiles gegenüber dem Thermoresist bewegt wird, während die adressierbaren Elemente des Lichtventiles gesteuert werden, um wahlweise den Thermoresist zu bestrahlen, wobei eine Lichtleckage aus den adressierbaren Elementen, wenn diese sich in ihrem AUS-Zustand befinden, nicht ausreicht, den Thermoresist auf eine Temperatur zu erwärmen, die eine Schwellenwerttemperatur für den Photoresist übersteigt.
11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem das Verhältnis der Lichtintensitäten, die durch die adressierbaren Elemente erzeugt werden, wenn sich diese in ihrem EIN-Zustand befinden, zu den Lichtintensitäten, die durch die adressierbaren Elemente erzeugt werden, wenn sich diese in ihrem AUS-Zuständen befinden, geringer als 100:1 ist.
12. Verfahren nach Anspruch 11, bei dem das Verhältnis geringer als 10:1 ist.
13. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, welches beim Herstellen von integrierten Schaltungen verwendet wird.
14. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, welches beim Herstellen von gedruckten Schaltungsplatinen verwendet wird.
15. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, welches beim Herstellen von flachen Anzeigeeinrichtungen verwendet wird.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

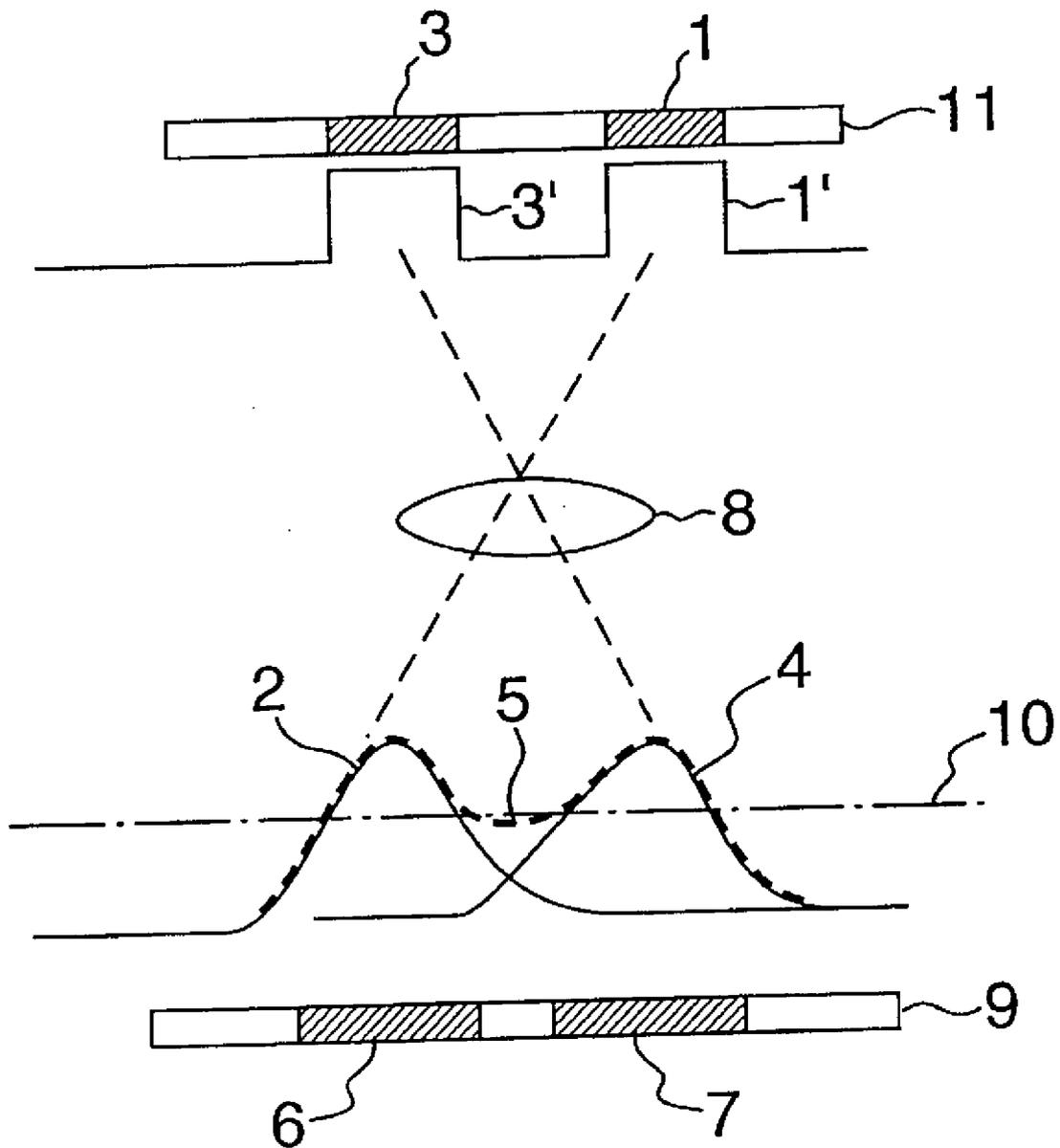


FIG. 1

Stand der Technik

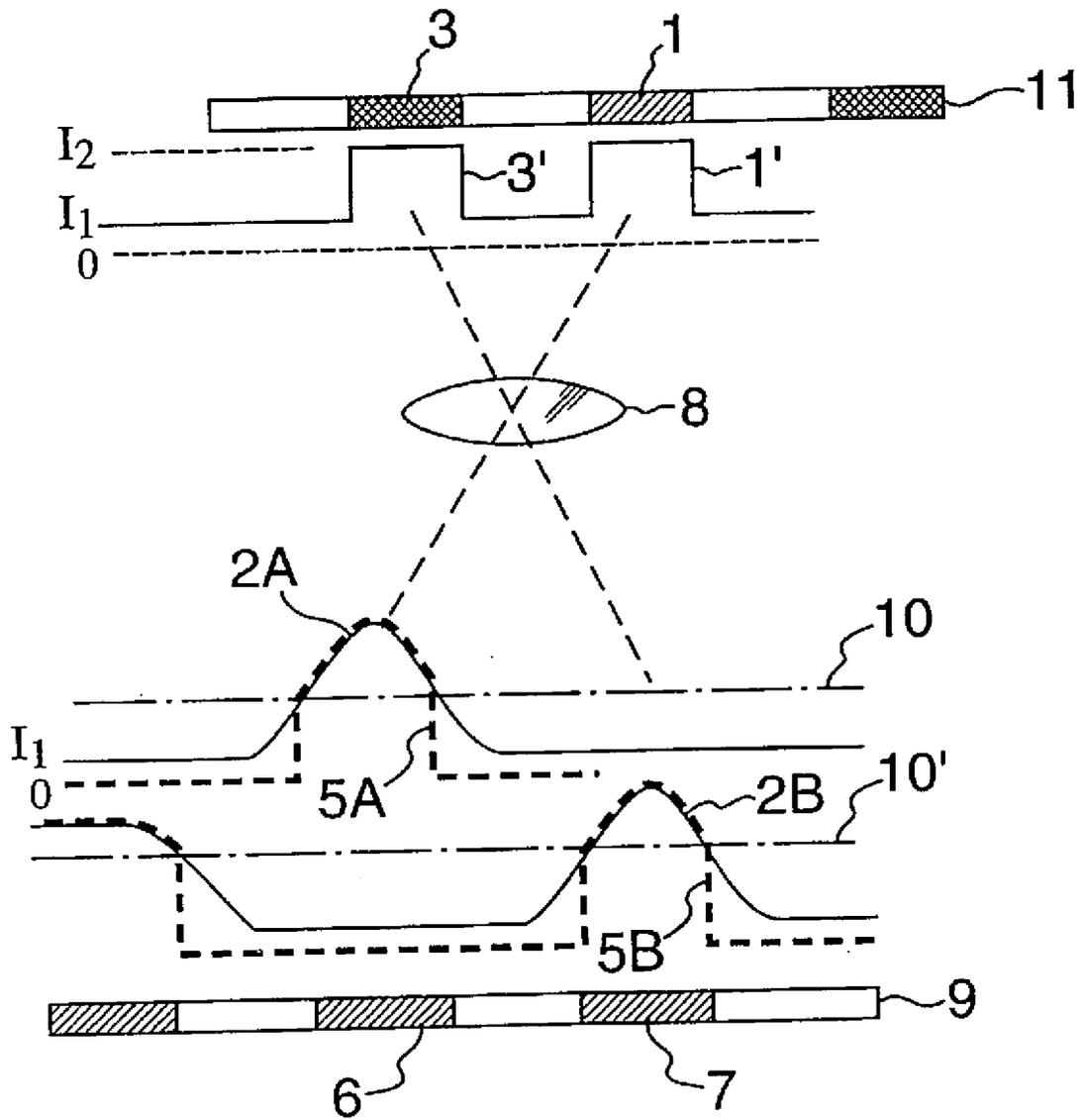


FIG. 2

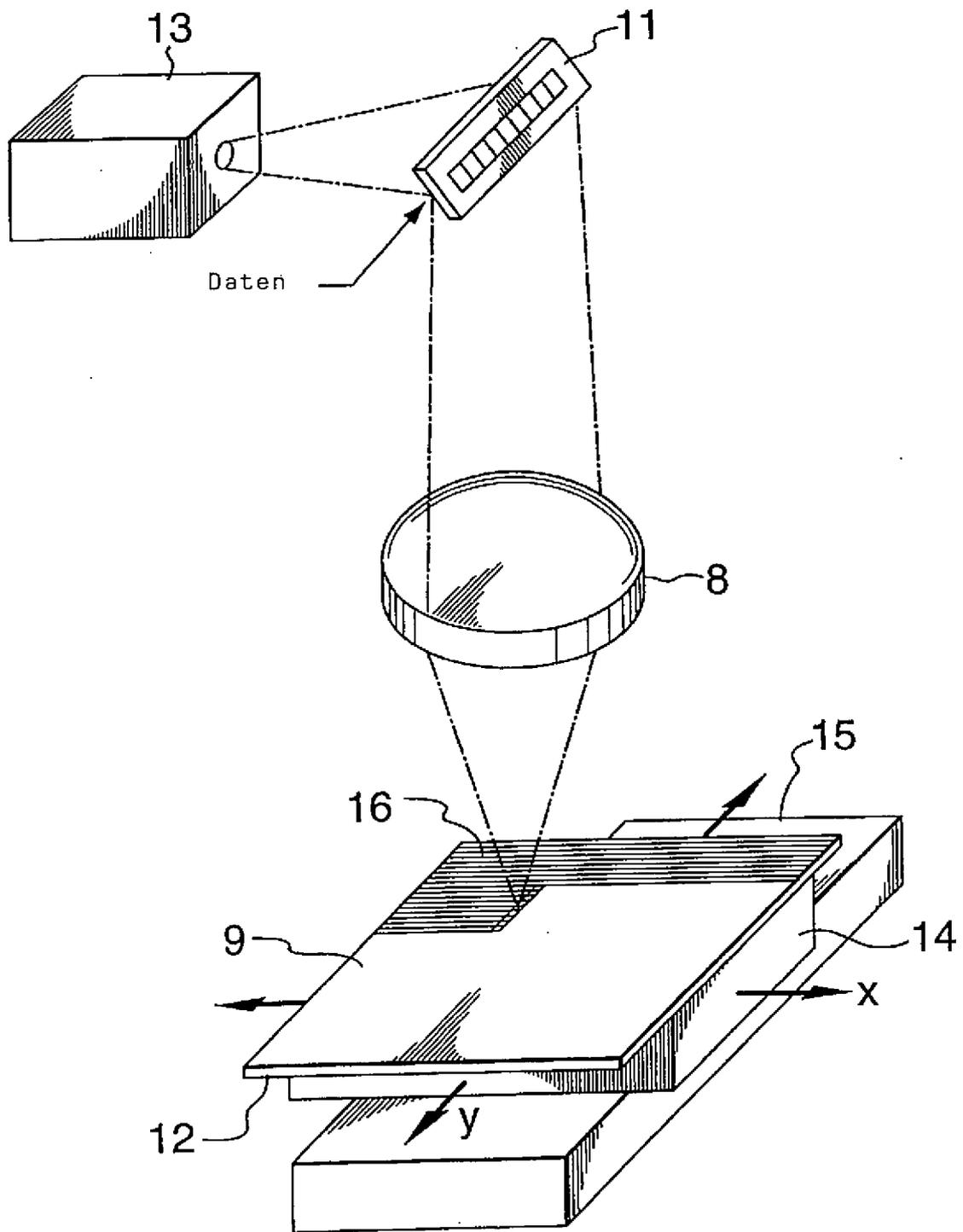


FIG. 3

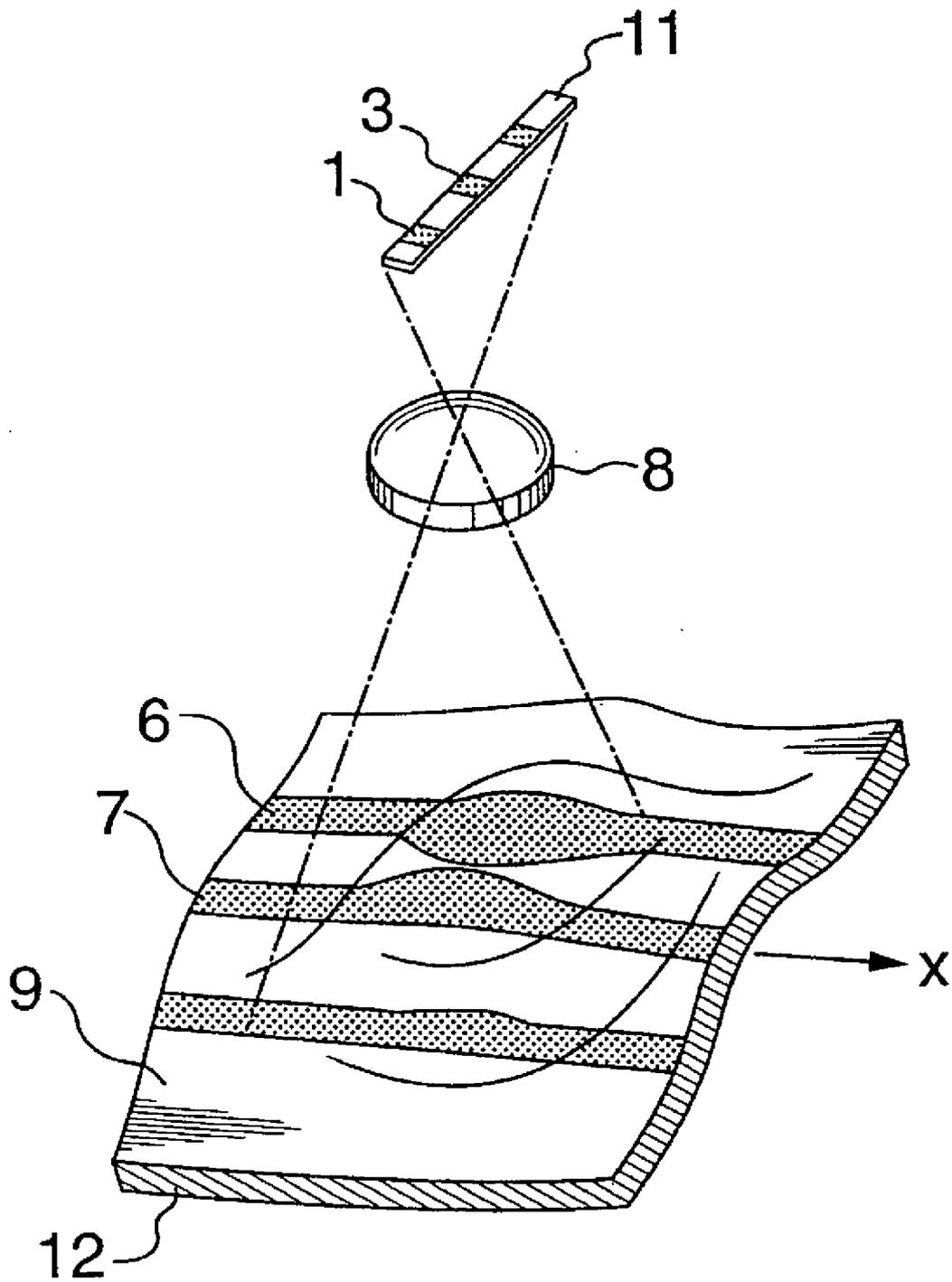


FIG. 4

Stand der Technik

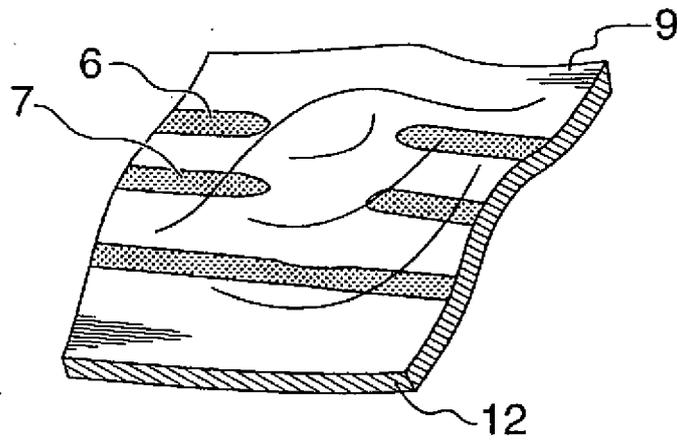


FIG. 5-a

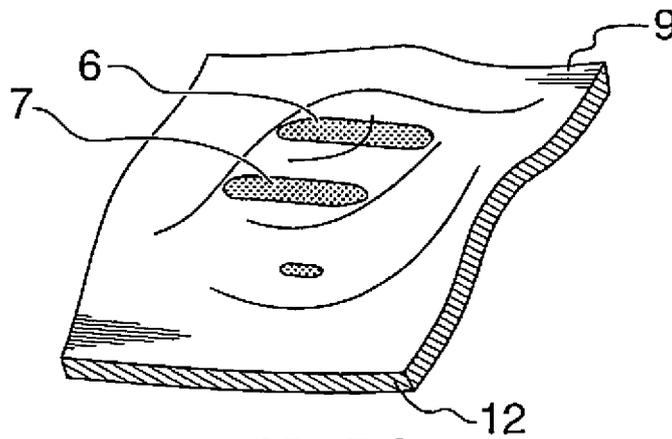


FIG. 5-b

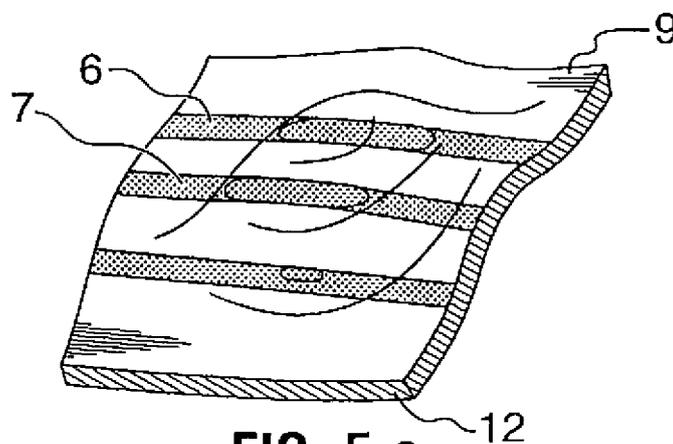


FIG. 5-c