



(12)

Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2016 001 162.8**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2016/020671**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2016/144690**
(86) PCT-Anmeldetag: **03.03.2016**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **15.09.2016**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **23.11.2017**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **11.01.2024**

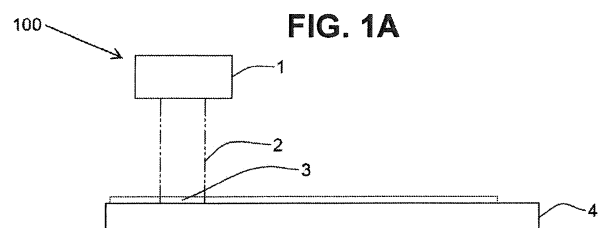
(51) Int Cl.: **G03F 1/72 (2012.01)**

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

(30) Unionspriorität: 14/656,206 12.03.2015 US	(72) Erfinder: Leclair, Jeffrey E., Boca Raton, Fla., US; Roessler, Kenneth G., Boca Raton, Fla., US; Brinkley, David, Baltimore, Md., US
(73) Patentinhaber: Bruker Nano, Inc., Delray Beach, FL, US	(56) Ermittelter Stand der Technik: DE 10 2006 054 820 A1
(74) Vertreter: Grosse, Schumacher, Knauer, von Hirschhausen, 80335 München, DE	

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Verbesserung einer Arbeitskennlinie und optischer Eigenschaften einer Fotomaske**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Verbesserung einer Arbeitskennlinie einer Fotomaske (4), wobei die Fotomaske (4) wenigstens ein darauf angeordnetes Strukturelement aufweist, wobei das wenigstens ein Strukturelement eine zugehörige Designstelle (110) aufweist, wobei der Abstand zwischen der Stelle (112) des wenigstens einen Strukturelements und der zugehörigen Designstelle (110) einen Positionsfehler des wenigstens einen Strukturelements definiert, wobei das Verfahren umfasst:
das Richten elektromagnetischer Strahlung auf die Fotomaske (4), wobei die elektromagnetische Strahlung eine Wellenlänge hat, die sich im Wesentlichen mit einem hohen Absorptionskoeffizienten der Fotomaske (4) deckt;
das Erzeugen einer Erhöhung der thermischen Energie in der Fotomaske (4) durch das Auftreffen der elektromagnetischen Strahlung darauf und das Verringern des Positionsfehlers als ein Ergebnis der Erzeugung der Erhöhung der thermischen Energie in der Fotomaske (4);
das Richten der elektromagnetischen Strahlung durch ein über der Fotomaske (4) positioniertes Material.



Beschreibung

Querverweis auf verwandte Anmeldungen

[0001] Diese Patentanmeldung ist eine „continuation-in-part“ der US-Anmeldung Nr. 14/294,728, eingereicht am 3. Juni 2014; die eine Fortsetzung der US-Anmeldung Nr. 14/077,028, eingereicht am 11. November, 2013, nunmehr US-Patent Nr. 8,741,067, ist; die eine Fortsetzung der US-Anmeldung Nr. 13/657,847, eingereicht am 22. Oktober 2012, nunmehr US-Patent Nr. 8,613,803, ist; die eine Fortsetzung der US-Anmeldung Nr. 12/277,106, eingereicht am 24. November 2008, nunmehr US-Patent Nr. 8,293,019, ist; die eine Fortsetzung der US-Anmeldung Nr. 12/055,178, eingereicht am 25. März 2008, nunmehr US-Patent Nr. 7,993,464, ist; die die Priorität der vorläufigen US-Patentanmeldung 60/954,989, eingereicht am 9. August, 2007, beansprucht, deren gesamte Offenbarungen hierin durch Verweis aufgenommen sind.

Technisches Gebiet

[0002] Diese Patentoffenbarung betrifft allgemein Verfahren zur Verbesserung einer Arbeitskennlinie und optischer Eigenschaften einer Fotomaske. Die hierin offenbarten Vorrichtungen und Verfahren können zur Verlängerung der Nutzungsdauer von Retikelmasken, zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit von Retikelmasken oder Kombinationen davon angewandt werden.

Hintergrund

[0003] Die fotolithografische Produktion von Halbleitern nutzt eine Reihe von Fotomasken, um die Strukturelemente auf den Halbleiterwafern zu erzeugen. In jedem Fotolithografieschritt wird eine Fotomaske auf dem hergestellten Halbleiterwafer abgebildet. Nachdem eine Fotomaske auf den Wafer aufgedruckt worden ist, kann die Weiterverarbeitung zur Modifizierung des Halbleiterwafermaterials in dem Muster der Fotomaske erfolgen. In den anschließenden Schritten können weitere Fotomasken auf dem Wafer abgebildet werden. Eine hochpräzise Ausrichtung der folgenden Fotomasken bezogen auf die erzeugten Strukturelemente unter Nutzung der vorherigen Fotomasken fördert die Qualität der auf dem Halbleiterwafer erstellten Strukturen. Metriken zur Bewertung der Qualität der auf einem Halbleiterwafer erstellten Strukturen können die dimensionale Präzision eines einzelnen Strukturelements, die dimensionale Präzision der Position eines Strukturelements bezogen auf die anderen Strukturelemente oder Kombinationen davon umfassen. Einige Abmessungen der Strukturelemente auf der Fotomaske können als kritische Abmessungen (CDs) bezeichnet werden, und die Platzierung der Strukturelemente auf der Fotomaske bezogen auf die ande-

ren Strukturelemente kann als Overlay bezeichnet werden. Für die kritischsten Fotomasken kann die Overlay-Anforderung einige wenige Nanometer oder weniger über die gesamte Länge der Maske betragen.

[0004] Die Eigenschaften von Fotomasken, wie beispielsweise dimensionale Eigenschaften und Materialeigenschaften, können in Bereichen variieren, was aus Toleranzen resultiert, die während des Herstellungsprozesses entstehen. Beispielsweise kann die optische Arbeitskennlinie teilweise absorbierender Schichten von der Materialzusammensetzung der Schicht und der Dicke der Schicht abhängen. Ferner können CDs und Overlay der Maske in Abhängigkeit der Präzision der Schreibwerkzeuge, der Ätzprozesse, der Anzahl und Art der Reinigungsprozesse und der Temperaturen und Beanspruchungen, die auf die Fotomaske während der Fertigung ausgeübt werden, variieren. Auch die Variabilität der Charakteristik der unbehandelten Fotomasken (z. B. kompositorische und Filmbeanspruchungs-Differenzen) kann zu den endgültigen Abweichungen in Bezug auf CD und Overlay beitragen, indem die Reaktion der Fotomaske auf die Herstellungsprozesse variiert.

[0005] Die Unterschiede von Maske zu Maske führen letztlich zu Abweichungen in dem unter Verwendung der Fotomasken erzeugten Produkt. Aus diesem Grund werden Einschränkungen oder Bereiche von Leistungskriterien zur Unterscheidung defekter Fotomasken von Fotomasken, die für Produktionszwecke akzeptabel sind, angewandt. Liegt die Leistungsfähigkeit einer Fotomaske außerhalb einer akzeptablen Einschränkung, wird die Fotomaske ausgesondert, und eine andere Maske wird erstellt.

[0006] Neben Fabrikationsabweichungen kann sich die Arbeitskennlinie der Fotomaske auch aufgrund der Verwendung in der Produktion verändern. Während der Verwendung in der Produktion kann die Fotomaske intensiver Strahlung, einschließlich ultravioletter (UV) Strahlung, Deep-UV- (DUV) Strahlung oder extremer UV- (EUV) Strahlung, ausgesetzt sein. Die Strahlung kann den fotochemischen Abbau der Fotomaske, insbesondere der Dünnschicht, bewirken. Ebenso müssen Fotomasken nach der Verwendung in der Produktion nach einer gewissen Zeit gereinigt werden. Diese Reinigungsprozesse können die Charakteristik der Fotomaske verändern, und es kann eine Beschränkung für die Anzahl der Male geben, die eine Maske wieder gereinigt werden kann und noch immer die Spezifikationen erfüllt.

[0007] Ein Prozess zur Verringerung der Variabilität von Maske zu Maske einer oder mehrerer der kritischen Prozesskennziffern einer Fotomaske könnte potentiell den Produktionsgesamtertrag eines Halbleiter-Fertigungsprozesses unter Verwendung von

Fotomasken verbessern. Erstens könnte eine Korrektur nicht spezifikationskonformer Masken und das für die Verwendung in der Produktion Geeigneten dabei helfen, Produktionsverzögerungen und die mit der Fertigung neuer Fotomasken als Ersatz für die nicht spezifikationskonformen Fotomasken verbundenen Kosten zu verringern. Zweitens kann eine Verringerung der Abweichung bei einer oder mehreren Arbeitskennlinien zu einer Toleranzgrenze führen, die dazu genutzt werden kann, den akzeptablen Bereich einer anderen Kennziffer zu erweitern. Daher kann eine Verringerung der Variabilität einer kritischen Fotomasken-Kennziffer den Vorteil bieten, dass die Variabilität der gedruckten Strukturelemente auf den Produktwafern verringert wird, was wiederum den Ertrag und die Leistungsfähigkeit der Vorrichtung verbessert.

[0008] Beispielsweise wäre es von Vorteil, das Overlay einer Fotomaske zu verbessern, um so die Präzision der Strukturelementplatzierung auf dem Wafer zu verbessern, was zur Korrektur nicht spezifikationskonformer Masken genutzt werden könnte, wodurch der Maskenertrag verbessert wird. Überdies wäre es von Vorteil, die Variation von Maske zu Maske des Overlays für Maskensätze, die auf denselben Wafer gedruckt sind, zu verringern. Durch eine Verbesserung der Ausrichtung der Strukturelemente aus mehreren Masken auf dem Wafer kann eine ansonsten fehlerhafte Steigerung der Variabilität eines anderen kritischen Parameters akzeptabel werden.

[0009] Da sich die Fotomaskenindustrie hin zur Mehrfachstrukturierung bewegt, besteht eine erhöhte Anforderung an die Overlay-Präzision zwischen kritischen Maskenebenen. Bei der Mehrfachstrukturierung werden zwei oder mehr Masken in Kombination zur Erzeugung verringerter Strukturgrößen auf dem bedruckten Wafer verwendet. Die verringerten Strukturgrößen können sowohl reduzierte Fehler in einzelnen Masken als auch reduzierten Overlay-Versatz zwischen Maskensätzen erfordern. Daher wäre es von besonderem Vorteil, einen Prozess zur Verbesserung des Overlays für Fotomasken zu entwickeln, die bei der Mehrfachstrukturierung verwendet werden.

[0010] Ein beispielhaftes Verfahren zur Korrektur von Platzierungsfehlern eines auf einem Substrat angeordneten Strukturelements ist in der DE 10 2006 054 820 A1 offenbart, wobei in Abhängigkeit eines ermittelten Platzierungsfehlers durch Bestrahlung des Substrats mit einem Lichtstrahl eine lokale Dichteveränderung innerhalb eines Abschnitts des Substrats erzeugt wird.

[0011] Es versteht sich, dass diese Hintergrundbeschreibung von den Erfindern als Hilfestellung für den Leser angefertigt wurde und nicht als Hinweis

darauf anzusehen sein sollte, dass die aufgezeigten Probleme selbst in der Technik bekannt waren.

Zusammenfassung

[0012] Zumindest in Anbetracht der obigen Erörterung wäre es von Vorteil, Prozesse zu entwickeln, die das Overlay einer Fotomaske durch Bearbeiten vor, während oder nach den Fotomasken-Herstellungsprozessen verbessern können.

[0013] Außerdem wäre es von Vorteil, Prozesse zu entwickeln, die das Overlay einer Fotomaske verbessern können, um so die durch die Verwendung in der Produktion erzeugten Veränderungen rückgängig zu machen.

[0014] Außerdem wäre es von Vorteil, ein neues Verfahren und/oder einen neuen Apparat zur Modifizierung des Overlays einer Fotomaske zu entwickeln, welche die Nutzbarkeit, die Leistungsfähigkeit, Lebensdauer oder einen anderen Nutzungsaspekt verbessern.

[0015] Außerdem wäre es von Vorteil, ein/einen neues/neuen Laserbasiertes/basierten Verfahren und/oder Apparat zur Modifizierung des Overlays einer Fotomaske zu entwickeln, welche die Nutzbarkeit, die Leistungsfähigkeit, Lebensdauer oder einen anderen Nutzungsaspekt mit einem reduzierten Potential für eine Oberflächenschädigung verbessern.

[0016] Außerdem wäre es von Vorteil, Verfahren und/oder Apparate zur Modifizierung des Overlays einer Fotomaske in die Fotomaskenfertigung, Waferfertigung und/oder Reparaturprozesse zu integrieren.

[0017] Außerdem wäre es von Vorteil, ein(en) Verfahren und/oder Apparat zur Verbesserung des Overlays einer Fotomaske durch lokale oder umfassende thermische Modifikation der teilweise absorbierenden Schicht auf der Oberfläche einer Fotomaske zu entwickeln.

[0018] Außerdem wäre es von Vorteil, ein/einen neues/neuen Laserbasiertes/basierten Verfahren und/oder Apparat zur thermischen Modifikation einer Fotomaske zur Verbesserung des Overlays zu entwickeln, die auch eine Wärmebasierte Entfernung einer Oberflächenkontamination erzeugt und die Nutzbarkeit, die Leistungsfähigkeit, Lebensdauer oder einen anderen Nutzungsaspekt mit einem reduzierten Potential für eine Oberflächenschädigung verbessert.

[0019] Die vorstehenden Erfordernisse werden größtenteils von bestimmten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung erfüllt. Gemäß einer Aus-

führungsform der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zur Modifizierung einer oder mehrerer Kennziffern eines Materials zur Beeinflussung der optischen Eigenschaften des Materials und/oder zur Beeinflussung der Leistungsfähigkeit oder Lebensdauer einer Vorrichtung, die das angestrebte Material nutzt, vorgesehen. Genauer gesagt, ist ein Verfahren zur Modifizierung des Overlays einer Fotomaske vorgesehen. Das Verfahren kann die Bestrahlung der Substratoberfläche zur Erzeugung thermischer Energie oder Wärmeentwicklung in dem Substrat und/oder der/den Dünnschicht(en) umfassen. Der resultierende Temperaturanstieg in der teilweise absorbierenden Schicht erzeugt eine Wärmebasierte Materialveränderung, die Zusammensetzungsveränderungen (z. B. Dehydratisierung, Oxidation), Oberflächenveränderungen (z. B. Morphologie, Rauigkeit) oder Veränderungen der Materialeigenschaften (z. B. Tempern, Verdichtung) umfassen kann, aber nicht darauf beschränkt ist.

[0020] Das Verfahren kann die Verwendung elektromagnetischer Strahlung und speziell die Verwendung von Laserstrahlung umfassen. Das erfindersiche Verfahren kann ein verringertes Risiko für eine Dünnschichtschädigung umfassen, indem relativ lange Impulsbreiten genutzt oder das Substrat und die Dünnschicht durch Bestrahlung auf eine ähnliche Temperatur erhitzt werden. Das Verfahren liefert eine verbesserte Fotomasken-Leistungsfähigkeit durch eine lokalisierte Modifikation und/oder einheitliche oder nicht einheitliche umfassende Modifikation des Fotomasken-Overlays.

[0021] Das Verfahren kann Vorteile für Anwendungen haben, bei denen die Umgebung über dem Substrat im Wesentlichen oder vollständig umschlossen ist. In diesen Fällen kann das Verfahren auch das Richten einer elektromagnetischen Energiequelle durch ein Material, das bezogen auf die Oberfläche, die Teil der umschlossenen Umgebung des Substrats ist, angeordnet ist, umfassen. Beispielsweise könnte das erfindersiche Verfahren zur Modifizierung des Overlays einer mit einem Pellikel versehenen Fotomaske verwendet werden.

[0022] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein Apparat zur Lasermodifikation eines Materials unter Nutzung des oben beschriebenen Verfahrens vorgesehen. Der Apparat kann eine Metrologie zur Inspektion des Fotomasken-Overlays umfassen. Diese Messungen können vorteilhafterweise vor, während oder nach der Anwendung des Prozesses durchgeführt werden und können für eine Regelung des Prozesses während der Verwendung genutzt werden.

[0023] Der oben erwähnte Apparat kann auch Mittel zur Überwachung und Regulierung der Temperatur des Substrats und/oder angrenzender Materialien

umfassen. Diese Mittel können eine lokale Temperaturregulierung oder eine Temperaturregelung über das gesamte Substrat umfassen.

[0024] Gemäß einer noch anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein Fotomasken-Fertigungsprozess, der das/den hierin offenbarte(n) Verfahren und/oder Apparat nutzt, zur Modifizierung des Overlays der Fotomaske vorgesehen.

[0025] Bestimmte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung bieten die Möglichkeit, ein Material ohne Oberflächenbehandlung oder Umgebungskontrolle über der Substratoberfläche zu modifizieren. Bestimmte Ausführungsformen bieten eine Materialmodifikation mit einem verringerten Risiko für eine Substratschädigung. Ferner sorgen bestimmte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung für eine verlängerte Lebensdauer von Fotomasken, die für das Bedrucken von Wafern verwendet werden. Bestimmte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sorgen ebenso für eine erhöhte Präzision bei der Herstellung einer Fotomaske, die für das Bedrucken von Wafern verwendet wird. Überdies sorgen bestimmte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung für reduzierte Wafer-Herstellungskosten, einschließlich einem verbesserten Ertrag und einer verbesserten Leistungsfähigkeit der Fotomaske, was zu einem verbesserten Ertrag der Vorrichtung führt.

[0026] Daher sind hierin weitgehend bestimmte Ausführungsformen der Erfindung skizziert, damit ihre ausführliche Beschreibung besser zu verstehen ist und damit der vorliegende Beitrag zur Technik besser zu erkennen ist. Natürlich gibt es weitere Ausführungsformen der Erfindung, die nachstehend beschrieben und die den Gegenstand der anhängenden Ansprüche bilden werden.

[0027] Diesbezüglich sollte vor der ausführlichen Erläuterung zumindest einer Ausführungsform der Erfindung erkannt werden, dass die Erfindung in ihrer Anwendung nicht auf die Details zur Konstruktion und auf die Anordnungen der Komponenten, wie sie in der folgenden Beschreibung dargestellt oder in den Zeichnungen veranschaulicht dargestellt sind, beschränkt ist. Die Erfindung bietet neben den beschriebenen weiteren Ausführungsformen und kann auf verschiedene Art und Weise umgesetzt und ausgeführt werden. Ebenso sei angemerkt, dass die hierin angewandte Ausdrucksweise und Terminologie ebenso wie die Zusammenfassung der Beschreibung dienen und nicht als einschränkend betrachtet werden sollten.

[0028] Der Fachmann wird erkennen, dass die Idee, auf der diese Offenbarung basiert, ohne weiteres als eine Grundlage für die Ausgestaltung anderer Struk-

turen, Verfahren und Systeme zur Umsetzung der verschiedenen Zwecke der vorliegenden Erfindung genutzt werden kann. Es ist daher wichtig, dass die Ansprüche als derartige äquivalente Konstruktionen umfassend betrachtet werden, insofern sie nicht vom Sinn und Umfang der vorliegenden Erfindung abweichen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Fig. 1a veranschaulicht eine schematische Darstellung der extern erzeugten thermischen Anregung eines teilweise absorbierenden Materials.

Fig. 1 b veranschaulicht eine Seitenansicht einer absorbierenden Dünnschicht auf der Oberseite eines Substrats.

Fig. 2 veranschaulicht ein Diagramm eines MoSi-Absorptionsspektrums vom Deep-UV zum fernen Infrarotbereich des elektromagnetischen Spektrums.

Fig. 3 veranschaulicht ein Diagramm eines Quarz-Absorptionsspektrums vom Deep-UV zum fernen Infrarotbereich des elektromagnetischen Spektrums.

Fig. 4 veranschaulicht eine Darstellung einer Fotomaskenoberfläche mit partiellem Dünnschichtabsorber, einschließlich daran angebrachtem Pellikel.

Fig. 5a veranschaulicht eine schematische Darstellung einer Fotomaske mit einem Pellikel, das einen durch das Pellikel und auf die Oberfläche fokussierten Laserstrahl zeigt.

Fig. 5b veranschaulicht eine schematische Darstellung der Strahlfleckgröße auf dem Pellikel im Vergleich zu auf der Maske, erzeugt durch Fokussierung.

Fig. 5c veranschaulicht eine schematische Darstellung einer Fotomaske mit einem Pellikel, das einen durch das Pellikel und auf die Oberfläche fokussierten Laserstrahl und eine Seitenansicht des Strahlflecks auf dem Pellikel zeigt.

Fig. 6a veranschaulicht eine Querschnittsansicht einer Gauß'schen Strahlenenergieverteilung und das entsprechende erzeugte Temperaturprofil.

Fig. 6b veranschaulicht eine Querschnittsansicht einer Top-Hat-Strahlenenergieverteilung und das entsprechende erzeugte Temperaturprofil.

Fig. 7 veranschaulicht eine Darstellung einer Fotomaske mit einer Kälteplatte, die den Boden der Maske kontaktiert.

Fig. 8 veranschaulicht eine Darstellung, die die erzwungene Konvektionskühlung von Bereichen auf der Fotomaske zeigt.

Fig. 9a veranschaulicht eine schematische Darstellung eines Durchlaufs des Laserstrahls über eine Oberfläche zur Minimierung der Entwicklung lokaler thermischer Energie oder Wärme. Es ist eine Reihe oder Säule mit einem großen Seitenabstand zwischen den Flecken veranschaulicht.

Fig. 9b veranschaulicht eine schematische Darstellung von zwei Durchläufen des Laserstrahls über die Oberfläche zur Minimierung der Entwicklung lokaler thermischer Energie oder Wärme. Es ist eine Reihe mit zwei Sätzen überlagerter Strahlenflecken mit einem großen Abstand zwischen Pulsfolgen veranschaulicht.

Fig. 9c veranschaulicht eine schematische Darstellung mehrerer Laserdurchläufe über einen Bereich des Substrats zum Erreichen einer Materialveränderung des Abschnitts des Substrats.

Fig. 9d veranschaulicht eine schematische Darstellung einer zweiten Dimension der Materialveränderung.

Fig. 9e veranschaulicht eine schematische Darstellung, die die Nutzung nicht angrenzender Pulse auf der Oberfläche darstellt.

Fig. 10 veranschaulicht eine schematische Darstellung eines partiellen Absorbermaterials auf einem Substrat mit einem Thermoelement oder einer Infrarot-Temperatur-Überwachungsvorrichtung.

Fig. 11 veranschaulicht eine schematische Darstellung eines partiellen Absorbermaterials auf einem Substrat mit Bildgebung, Mikroskopie, Spektroskopie oder einem Kombinationssystem für die Analyse der Materialeigenschaften.

Fig. 12 veranschaulicht eine schematische Darstellung eines partiellen Absorbermaterials auf einem Substrat mit einem Messsystem, wobei das Messsystem und die Laserstrahlabgabe einen gemeinsamen Pfad teilen.

Fig. 13 veranschaulicht die Darstellung eines Systems für einen Laderoboter und die X/Y/Z-Tischbewegung eines Substrats bezogen auf einen Laserstrahl.

Fig. 14 veranschaulicht eine Draufsicht einer Fotomaskenanordnung gemäß einem Aspekt der Offenbarung.

Fig. 15 veranschaulicht eine Draufsicht einer Fotomaskenanordnung gemäß einem Aspekt der Offenbarung.

Fig. 16 veranschaulicht eine Draufsicht einer Fotomaskenanordnung gemäß einem Aspekt der Offenbarung.

Fig. 17 veranschaulicht eine Draufsicht einer Fotomaskenanordnung gemäß einem Aspekt der Offenbarung.

Fig. 18 veranschaulicht eine Draufsicht einer Fotomaskenanordnung gemäß einem Aspekt der Offenbarung.

Fig. 19 veranschaulicht eine Draufsicht einer Fotomaskenanordnung gemäß einem Aspekt der Offenbarung.

Fig. 20 veranschaulicht eine Draufsicht einer Fotomaskenanordnung gemäß einem Aspekt der Offenbarung.

Fig. 21 veranschaulicht eine Draufsicht einer Fotomaskenanordnung gemäß einem Aspekt der Offenbarung.

Ausführliche Beschreibung

[0029] Nunmehr werden Aspekte der Offenbarung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen ausführlich beschrieben, wobei, sofern nicht anders angegeben, gleiche Bezugsziffern stets die gleichen Elemente betreffen.

[0030] Aspekte der Offenbarung liefern einen Apparat und ein Verfahren zur Modifizierung der Position von Strukturelementen auf einer Fotomaske. **Fig. 1a** veranschaulicht eine schematische Darstellung einer extern erzeugten thermischen Anregung eines partiell absorbierenden Materials. Wie in **Fig. 1a** veranschaulicht, enthält der Anregungsapparat 100 eine externe Energiequelle 1, die so ausgebildet und angeordnet ist, dass sie einen Energiestrah 2 auf eine absorbierende Dünnschicht 3 richtet, die auf der Oberfläche eines teilweise oder vollständig durchlässigen Substrats 4 angeordnet ist. Ein Anregungsverfahren gemäß einem Aspekt der Offenbarung kann das direkte Anregen der absorbierenden Dünnschicht 3 auf dem Substrat 4 durch den von der externen Energiequelle 1 erzeugten Energiestrah 2 umfassen. Das Substrat 4 kann eine Fotomaske sein oder zumindest einen Teil einer Fotomaskenanordnung bilden, und, sofern nicht anders angegeben, können die Ausdrücke „Substrat“ und „Fotomaske“ in der Offenbarung wechselseitig verwendet werden.

[0031] Wie hierin beschrieben und sofern nicht anders angegeben, sind partiell absorbierende Schichten speziell so aufgebaut, dass zumindest eine Fraktion der lithographischen Lichtwellenlänge die Schicht durchqueren und so die Druckeffekte auf dem Wafer verstärken kann. Daher sollten partiell absorbierende Schichten keine opaken Schichten umfassen.

[0032] Gemäß einem Aspekt der Offenbarung ist die externe Energiequelle 1 eine elektromagnetische Energiequelle, und der Energiestrah 2 ist ein elektromagnetischer Strahl. Gemäß einem anderen Aspekt der Offenbarung ist die externe Energiequelle 1 eine Lichtquelle, und der Energiestrah 2 ist ein Lichtstrahl. Gemäß einem anderen Aspekt der Offenbarung ist die externe Energiequelle 1 eine Laserlichtquelle, und der Energiestrah 2 ist ein Laserlichtstrahl. Es versteht sich jedoch, dass die externe Energiequelle 1 auch einen Energiestrah 2 erzeugen kann, der andere Energieformen verkörpern, die einen Elektronenstrahl, einen Mikrowellenstrahl, einen Röntgenstrahl, eine Schallwelle, Kombinationen davon oder irgendeinen anderen in der Technik bekannten Energiestrah umfassen, aber nicht darauf beschränkt sind.

[0033] Die Interaktion des Energiestrahls 2 mit der absorbierenden Dünnschicht 3 oder dem Substrat 4 kann eine thermische Anregung der absorbierenden Dünnschicht 3, des Substrats 4 oder Kombinationen davon bewirken. Gemäß einem Aspekt der Offenbarung führt die Interaktion des Energiestrahls 2 mit der absorbierenden Dünnschicht 3 zu einer Erhöhung der thermischen Energie eines Materials der absorbierenden Dünnschicht 3, was eine Steigerung der Temperatur des Materials der absorbierenden Dünnschicht 3 bewirken kann. Alternativ oder zusätzlich führt die Interaktion des Energiestrahls 2 mit dem Substrat 4 zu einer Erhöhung der thermischen Energie eines Materials des Substrats 4, was eine Steigerung der Temperatur des Materials des Substrats 4 bewirken kann. Wenn andererseits die Temperatur des Substrats 4 höher ist als die Temperatur der absorbierenden Dünnschicht 3, kann durch Leitung, Konvektion, Strahlung oder Kombinationen davon Wärme vom Substrat 4 auf die absorbierende Dünnschicht 3 übertragen werden, wodurch die thermische Energie oder Temperatur der absorbierenden Dünnschicht 3 weiter erhöht wird.

[0034] Es versteht sich, dass die Erhöhung der thermischen Energie eines Materials, wie hierin beschrieben, eine Erhöhung der Enthalpie (h), eine Erhöhung der inneren Energie (u), eine Erhöhung der Temperatur oder Kombinationen davon betreffen kann.

[0035] **Fig. 1 b** veranschaulicht eine Seitenansicht einer absorbierenden Dünnschicht 3 auf der Oberseite eines Substrats 4. In **Fig. 1b** ist die absorbierende Dünnschicht 3 so gemustert, dass einige Teile des Substrats 4 über die darauf angeordnete absorbierende Dünnschicht 3 in Kommunikation stehen mit der externen Energiequelle 1, während andere Teile des Substrats in direkter Kommunikation stehen mit der externen Energiequelle 1, ohne vorherige Transmission des Energiestrahls 2 durch die absorbierende Dünnschicht 3. Folglich versteht

es sich, dass die in den Teilen des Substrats 4, die in direkter Kommunikation stehen mit der externen Energiequelle 1, erzeugte Wärme durch das Substrat 4 geleitet wird, bevor sie mittels Leitung, Konvektion, Strahlung oder Kombinationen in die absorbierende Dünnschicht 3 übertragen wird.

[0036] Gemäß einem Aspekt der Offenbarung ist ein Verfahren zur Modifizierung einer oder mehrerer Kennziffern eines Materials zur Beeinflussung der Materialeigenschaften und/oder zur Beeinflussung der Leistungsfähigkeit oder Lebensdauer einer Vorrichtung, die das angestrebte Material nutzt, vorgesehen. In einem nicht einschränkenden Beispiel ist ein Verfahren zur Modifizierung der Position von Strukturelementen auf einem Substrat vorgesehen. Im Falle einer absorbierenden Dünnschicht 3 auf einer Fotomaske 4 kann das Verfahren die nutzbare Lebensdauer der Fotomaske 4 verlängern, indem es die Position von Strukturelementen in der absorbierenden Dünnschicht 3, die durch die Verwendung in der Produktion, Reinigungsprozesse oder äußere Kräfte, die auf die Fotomaske ausgeübt werden (z. B. Aufbringen eines Pellikels auf die Fotomaske 4), verschoben wurde, bewegt. Das Verfahren kann das Anregen der Substratoberfläche unter Erzeugung einer einheitlichen Erhöhung der thermischen Energie oder Temperatursteigerung in dem Substrat 4 und der absorbierenden Dünnschicht 3 umfassen. Die resultierende Temperaturerhöhung in dem Substrat 4 und/oder der Dünnschicht 3 erzeugt eine Wärmebasierte Materialveränderung, die Veränderungen der Zusammensetzung (z. B. Dehydratisierung, Oxidation), Oberflächenveränderungen (z. B. Morphologie, Rauigkeit) oder Veränderungen der Materialeigenschaften (z. B. Tempern, Verdichtung) umfassen kann, aber nicht darauf beschränkt ist. Alternativ oder zusätzlich kann das Ergebnis der Wärmebasierten Materialveränderung eine Veränderung der optischen Arbeitskennlinie der Fotomaske sein.

[0037] Es können auch andere externe Energiequellen 1 als Laser verwendet werden. Beispielsweise kann die externe Energiequelle 1 Lampen oder andere Vorrichtungen umfassen, die Energie entlang eines Teils des elektromagnetischen Spektrums strahlen können, einschließlich Mikrowellen, Infrarotstrahlung, nahe UV-Strahlung, Deep-UV-Strahlung, extreme UV-Strahlung, Elektronenstrahlgeneratoren, Röntgenstrahlgeneratoren oder Kombinationen davon.

[0038] Die absorbierende Dünnschicht 3 und das Substrat 4 können aus vielen verschiedenen Materialien gefertigt werden oder diese umfassen. Gemäß einem Aspekt der Offenbarung kann das Substrat 4 über Dünnschichtabsorbereigenschaften verfügen und für eine Materialmodifikation ohne darauf angeordnete absorbierende Dünnschicht 3

angestrebt werden. Eine Temperaturerhöhung in der absorbierenden Dünnschicht 3 kann eine Wärmebasierte Veränderung des Materials der absorbierenden Dünnschicht 3 und/oder einer Eigenschaft der absorbierenden Dünnschicht 3 erzeugen, die Dehydratisierung, Oxidation, Oberflächenrauigkeit, Tempern oder Kombinationen umfasst, aber nicht darauf beschränkt ist.

[0039] Gemäß Aspekten der Offenbarung liegt der Hitzeschwellenwert der absorbierenden Dünnschicht 3 unter einer Temperatur, die ein Material des Substrats 4 beschädigen könnte, wodurch das Risiko einer Wärmebasierten Schädigung des Substrats 4 verringert wird. Aspekte der Offenbarung können ebenso das Risiko einer Schädigung des Substrats 4 bezogen auf andere Substrat- oder Schicht-Modifikationstechniken verringern, da sie in einigen Fällen relativ lange Pulsbreiten nutzen, was die Wahrscheinlichkeit für Multiphotonenabsorptionsprozesse verringert. Gemäß einem Aspekt der Offenbarung kann eine Pulsbreite des Energiestrahls 2 von 1 Mikrosekunde bis 10 Millisekunden reichen. Gemäß einem anderen Aspekt der Offenbarung kann die Laserpulsbreite mehr als 1 Mikrosekunde bis zu und einschließlich Dauerstrich-Laseranregung betragen.

[0040] Die Apparate und Verfahren der vorliegenden Offenbarung können vorteilhaft sein für Anwendungen, bei denen die Umgebung über dem Dünnschichtabsorber 3 im Wesentlichen oder vollständig umschlossen ist. Beispielsweise veranschaulicht **Fig. 4** eine Fotomaskenanordnung 102, die eine absorbierende Dünnschicht 3 und ein Pellikel 8, das an der absorbierenden Dünnschicht 3 angebracht ist, umfasst. Ist die absorbierende Dünnschicht 3 umschlossen, kann das Verfahren ebenso das Richten des Energiestrahls 2 durch ein Material, das nahe der Außenfläche eines Pellikels 104 angeordnet ist, das Teil der umschlossenen Umgebung des Substrats ist, umfassen. Beispielsweise können Apparate und Verfahren gemäß der vorliegenden Offenbarung zur Modifizierung des Overlays einer mit einem Pellikel versehenen Fotomaske (siehe **Fig. 5a**) verwendet werden, wobei das Pellikel 104 eine Pellikelschicht 8, einen Pellikelrahmen 9 und ein Pellikelrahmen-Haftmittel 10 umfasst.

[0041] Gemäß Aspekten der vorliegenden Offenbarung umfasst das Verfahren das Auswählen einer Laserwellenlänge, die sich im Wesentlichen mit einer starken Absorption einer absorbierenden Dünnschicht 3 deckt, und das Festlegen der Laserenergie und Pulsbreite zur Erzeugung der gewünschten Modifikation der absorbierenden Dünnschicht 3. Eine Erhöhung der Absorption in dem Substrat 4 ermöglicht in einigen Fällen, dass niedrigere Laserenergien für den Prozess genutzt werden können, und verringert daher die Wahr-

scheinlich für eine Schädigung der angrenzenden Materialien, die mit dem Laserstrahl 2 interagieren können, wenn er auf die Oberfläche des Substrats 4 auftrifft oder von dieser reflektiert wird.

[0042] Gemäß anderen Aspekten der vorliegenden Offenbarung wird eine Wellenlänge für einen Energiestrah 2 gewählt, die von dem Substrat 4 stark absorbiert wird, was von Vorteil sein kann, wenn der Dünnschichtabsorber von einem Großteil des Substrats entfernt wurde. Ferner kann die Auswahl einer Wellenlänge des Energiestrahls 2 nahe einer starken Absorptionsbande des Substrats 4 ebenso Wärme- oder Temperaturunterschiede zwischen dem Dünnschichtabsorber 3 und dem Substrat 4 verringern, wodurch die Differentialwärmeausdehnung zwischen der absorbierenden Dünnschicht 3 und dem Substrat 4 verringert wird. Die Nutzung mehrerer Laserstrahlwellenlängen und/oder Laserstrahlenergien kann genutzt werden, wenn mehrere Dünnschichtabsorber oder ein Substrat, das aus mehr als einem Material besteht, verwendet werden. Mehrere Wellenlängen können beispielsweise durch die Nutzung mehrerer Laserquellen oder einer einzelnen durchstimmbaren Laserquelle oder beidem erzeugt werden. Mehrere Energien können durch die Regulierung der Ausgangsenergie jeder Laserquelle unter Verwendung von Reglern und/oder Vorrichtungen, die sich innerhalb oder außerhalb jeder Laserquelle befinden, genutzt werden.

[0043] Bei einem Substrat, das aus mehreren Materialien besteht, müssen die Materialparameter und auch die Parameter des Energiestrahls 2, einschließlich der Auswahl der Anregungswellenlänge, berücksichtigt werden. Gemäß einem Aspekt der Offenbarung wird eine Laserwellenlänge gewählt, die von dem Material des Dünnschichtabsorbers 3 signifikant absorbiert wird. In einigen Ausführungsformen wird die gewählte Wellenlänge von den anderen Materialien auf oder in dem Substrat 4 nur wenig absorbiert oder stark von diesen reflektiert, so dass die Erhöhung der thermischen Energie hauptsächlich in dem Material des Dünnschichtabsorbers 3 stattfinden wird. Dies kann von besonderem Nutzen sein, wenn das an den Dünnschichtabsorber angrenzende Material von der Prozesstemperatur beeinflusst wird. Beispielsweise können sich im Falle einer mit einem Pellikel versehenen Fotomaske die Pellikelschicht 8 und das Pellikelrahmen-Haftmittel 10 in unmittelbarer Nähe zu der Dünnschichtabsorberschicht befinden. Eine Verringerung der Entwicklung von thermischer Energie oder Wärme insgesamt in dem System kann von Bedeutung sein, wenn sich beispielsweise das Pellikelrahmen-Haftmittel entgast oder abbaut. Eine Minimierung der Entwicklung von thermischer Energie oder Wärme insgesamt kann auch von Bedeutung sein, wenn signifikant Wärme in die Umgebung 7 zwischen der Oberfläche der Fotomaske 4 und der Pellikelschicht 8 übertragen

wird, da diese Wärmeentwicklung die Schicht 8, das Haftmittel 10, die Materialien des Pellikelrahmens 9 oder Kombinationen davon beeinflussen könnte. In einigen Fällen kann die Prozesstemperatur vorzugsweise unter den das Material des Substrats 4 schädigenden oder modifizierenden Temperaturen gehalten werden.

[0044] In anderen Ausführungsformen kann es die Grundlage des Materialmodifikationsprozesses besonders wünschenswert machen, dass alle Bereiche eines Substrats 4 eine Temperatur erreichen, die im Wesentlichen nahe der liegt, die üblicherweise zur Modifikation notwendig ist, ohne dass der schädigende Hitzeschwellenwert des Substrats 4 oder der anderen angrenzenden Materialien überschritten wird. Die Laserenergie, die notwendig ist, um eines der Materialien auf die Materialmodifikationsprozesstemperatur zu bringen, kann eine thermische Schädigung der anderen Materialien verursachen, insbesondere wenn ein signifikanter Unterschied zwischen den Materialabsorptionen vorliegt. Die lokale Fluenz des Energiestrahls 2 kann basierend auf den exponierten Materialien geregelt werden.

[0045] In anderen Ausführungsformen kann es die Grundlage des Materialmodifikationsprozesses besonders wünschenswert machen, dass verschiedene Bereiche eines Substrats 4 verschiedene Temperaturen und Verarbeitungsstufen erreichen. In der Tat können die Geschwindigkeit und das Ausmaß der Materialmodifikation von der Laserenergie abhängen. In diesem Fall kann die lokale Fluenz des Strahls basierend auf dem gewünschten Ausmaß der Materialveränderung in den verschiedenen Bereichen des Substrats 4 reguliert werden. Die Materialmodifikation kann von der Anzahl von Malen, die die Energiequelle an das Substrat 4 angelegt wird, abhängen. In diesem Fall kann die Anzahl, die die Energiequelle über das Substrat angelegt wird, variiert werden, um so verschiedene Ausmaße an Materialmodifikation in verschiedenen Bereichen des Substrats 4 zu erzeugen.

[0046] Gemäß Aspekten der Offenbarung werden längere Laserpulsbreiten, bis zu und einschließlich Dauerstrich- (CW) Lasern, zur Verbesserung des thermischen Gleichgewichts zwischen Materialien mit signifikant unterschiedlichen Absorptionskonstanten verwendet. Die Verwendung solcher längeren Laserpulsbreiten erzeugt jedoch die höchste Erhöhung von thermischer Energie oder Temperatur in dem gesamten System und könnte nicht nutzbar sein, wenn ein an die Substratoberfläche angrenzendes Material einen schädigenden Hitzeschwellenwert aufweist oder eine andere nachteilige Wärmeinduzierte Auswirkung unter der Prozesstemperatur hat.

[0047] Gemäß Aspekten der Offenbarung wird eine Laserwellenlänge mit signifikanter Absorption in mehreren oder allen der Materialien auf dem Substrat 4 gewählt. Dieselbe Laserenergie kann dann beispielsweise zur Erzeugung der gewünschten Prozess Temperatur unter den schädigenden Schwellenwerten der Materialien des Substrats genutzt werden. Unter Berücksichtigung der thermischen Eigenschaften (einschließlich des Diffusionsvermögens) kann ebenso der Vorteil der Übertragung von thermischer Energie oder Wärme zwischen den verschiedenen Materialien genutzt werden. Dies ermöglicht in einigen Fällen die Nutzung einer verringerten Prozessfluenz zum Erhalt der gewünschten thermischen Modifikation in dem Substrat 4 und/oder dem Dünnschichtabsorber 3, insbesondere wenn der thermische Energie- oder Wärmefluss von einem stärker absorbierenden Material vorzugsweise zu einem weniger absorbierenden Material erfolgt. In diesem Fall kann der Wärmefluss von dem stärker absorbierenden Material zu dem weniger absorbierenden Material die Temperatur des weniger absorbierenden Materials erhöhen, indem er weniger Prozessenergie nutzt, als durch eine direkte Exposition des weniger absorbierenden Materials durch die Energiequelle erforderlich ist.

Praktisches Beispiel

[0048] Das Folgende ist ein Beispiel für ein Verfahren gemäß einem Aspekt der vorliegenden Offenbarung, das zur Modifizierung des Overlays eines Fotomaskensubstrats angewandt wird, das in Waferfertigungsprozessen verwendet wird. In diesem Beispiel kann die Wärmebehandlung gemäß den Aspekten der Offenbarung das Substrat und/oder die Dünnschicht einer Fotomaske so modifizieren, dass Verschiebungen der Positionen der Strukturelemente in der Dünnschicht bezogen auf andere Strukturelemente auf der Maske bewirkt werden. Dieses Beispiel kann in allen der mehreren, hierin offenbarten Aspekte genutzt werden.

[0049] Die Regulierung der Laserstrahlparameter kann insbesondere in den Aspekten bezüglich der Overlay-Justierung einer Fotomaske wünschenswert sein. Beispielsweise ist die Wahl der Wellenlänge aufgrund der physikalischen Struktur der typischen Fotomaske überaus wünschenswert. In einigen Fällen umfasst eine Fotomaskenanordnung 102 ein Quarzsubstrat 4 mit einem Dünnschichtabsorber 3 oder einer partiell absorbierenden Schicht 3 auf der kritischen Oberfläche des Substrats 4 (siehe **Fig. 1a** und **Fig. 1 b**). Ist die absorbierende Dünnschicht 3 eine Metallschicht, wird üblicherweise ein signifikanter Absorptionskoeffizient für den Großteil der erzeugbaren Laserwellenlängen vorliegen. Im Falle partiell absorbierender Schichten wird es jedoch Wellenlängenregionen geben, in denen diese Schichten nicht signifikant absorbieren, anders als

reine Metallschichten. Für das Quarzsubstrat 4 wird es jedoch einen eingeschränkten Wellenlängenbereich geben, in dem das Substrat signifikant absorbiert und Laserquellen normalerweise verfügbar sind. Daher können bestimmte Ausführungsformen eine Wellenlänge nutzen, die von der Dünnschicht stark absorbiert wird, während das Substrat nur schwach absorbiert oder für die gewählte Wellenlänge transparent ist. Dieser Prozess kann die Temperaturerhöhung des Systems insgesamt minimieren und das Risiko einer direkten Absorptionsschädigung des Quarzsubstrats verringern.

[0050] Gemäß Aspekten der Offenbarung kann es vorteilhaft sein, die Strukturelemente einer Fotomaskenanordnung 102 zu bewegen, um so einen Versatz im Overlay aufgrund der Maskenfertigungs- und Nutzungsprozesse zu verringern. **Fig. 14** veranschaulicht eine Draufsicht einer Fotomaskenanordnung, die mit einem beabsichtigten oder Designstrukturelementmatrix 110 auf der Oberfläche der Fotomaske 4 markiert ist. Die in **Fig. 14** veranschaulichte Designstrukturelementmatrix 110 ist schematisch als ein Feld aus Kreuz (+) Strukturelementen gezeigt; es versteht sich jedoch, dass die veranschaulichten Kreuz-Strukturelemente lediglich Punkte auf irgendwelchen in der Technik bekannten Fotomasken-Strukturelementen darstellen. Üblicherweise wird die Designstrukturelementmatrix 110 durch Strukturierung der Dünnschicht 3 auf dem Fotomaskensubstrat 4 erzeugt. Es können aber auch Muster direkt in der Substratoberfläche angefertigt werden, mit oder ohne die Gegenwart einer Dünnschicht auf der Oberfläche.

[0051] In einem Beispiel ist der Großteil der Fotomaske mit einem Dünnschichtabsorber 3 bedeckt, was als sogenannte „Dunkelfeldmaske“ bezeichnet werden kann, und die einzelnen Strukturelemente der Designstrukturelementmatrix 110 werden durch Entfernen der Dünnschicht lediglich an den Stellen der Designstrukturelemente erzeugt. In einem anderen Beispiel ist der Dünnschichtabsorber von einem Großteil der Fotomaske entfernt, was als sogenannte „Klarfeldmaske“ bezeichnet werden kann, und die einzelnen Strukturelemente der Designstrukturelementmatrix 110 werden erzeugt, indem die Dünnschicht lediglich an den Stellen der Designstrukturelemente hinterlassen wird. Sowohl bei Dunkelfeld- als auch bei Klarfeld-Fotomasken kann die tatsächliche Position der Strukturelemente von der Designmustermatrix, beispielsweise im Ergebnis einer Varianz im Herstellungsprozess oder Wanderung von Strukturelementen, die aus der Fotomaskenverwendung in einem Halbleiter-Fertigungsprozess resultiert, abweichen.

[0052] **Fig. 15** veranschaulicht eine Draufsicht einer Fotomaskenanordnung 102 gemäß einem Aspekt der Offenbarung. Ähnlich wie **Fig. 14** umfasst

Fig. 15 eine Designmatrix von Strukturelementen 110, markiert mit Kreuzsymbolen, zusätzlich umfasst **Fig. 15** jedoch eine Ist-Matrix von Strukturelementen 112, markiert mit Raute (0) Symbolen. Jedes Ist-Strukturelement in der Ist-Matrix von Strukturelementen 112 kann einem Designstrukturelement in der Designmatrix von Strukturelementen 110 entsprechen. Der Unterschied zwischen der Ist-Position eines Strukturelements zur Ist-Strukturelementmatrix 112 und Design oder vorgesehenen Position für ein entsprechendes Designstrukturelement in der Designstrukturelementmatrix 110 kann einen Versatz in dem Overlay definieren. In Abhängigkeit der Fehlerquelle(n) kann die Position des Ist-Musters bezogen auf das vorgesehene Muster systematisch und/oder willkürlich sein.

[0053] Der Versatz im Overlay kann eine Komponente in einer ersten Richtung 114, eine Komponente in einer zweiten Richtung 116 oder Kombinationen davon sein. Ferner kann ein Gesamtpositionsfehler über alle Ist-Strukturelemente in der Ist-Strukturelementmatrix 112 gemäß einem statistischen Maß über alle Ist-Strukturelemente in der Ist-Strukturelementmatrix 112 definiert werden, umfassend, aber nicht beschränkt auf die Summe von Fehlern, die Quadratwurzel einer Summe von Quadraten der Fehler oder ein anderes in der Technik bekanntes statistisches Maß.

[0054] Der Umfang des Prozesses, die Energie des Lasers und die Anzahl von Malen, die jede Stelle exponiert wird, werden in Abhängigkeit der Reaktion der Fotomaske auf den Prozess variieren. Beispielsweise kann die Reaktion auf die Anwendung des offenbaren Prozesses auf das gesamte Fotomaske substrat 4 bei einer konstanten Fluenz das in **Fig. 16** gezeigte kontrahierende radiale Muster sein.

[0055] **Fig. 16** veranschaulicht eine Draufsicht einer Fotomaskenanordnung 102 gemäß einem Aspekt der Offenbarung. Gemäß Aspekten der Offenbarung stellen in **Fig. 16** die Kreuz (+) Symbole eine Ist-Strukturelementmatrix 120 vor der Behandlung des Substrats 4 unter Nutzung der externen Energiequelle 1 dar, und die Raute (0) -Symbole stellen eine Ist-Strukturelementmatrix 122 nach der Behandlung des Substrats 4 unter Nutzung der externen Energiequelle 1 dar. In **Fig. 16** ist die radiale Kontraktion des Musters zum Mittelpunkt der Fotomaske erkennbar. Diese Veranschaulichung ist nur ein mögliches Ergebnis der Anwendung des offenbaren Verfahrens auf das gesamte Fotomaske substrat 4 und wird lediglich zu Veranschaulichungszwecken genutzt. Alternativ könnte der Prozess zu einer sich radial ausbreitenden Verteilung oder einer konstanten seitlichen Bewegung an jeder Stelle oder einer anderen Relativbewegung führen.

[0056] **Fig. 17** veranschaulicht eine Draufsicht einer Fotomaskenanordnung 102 gemäß einem Aspekt der Offenbarung. In **Fig. 17** stellen die Kreuz (+) -Symbole eine Designstrukturelementmatrix 110 dar und stellen die Raute (0) -Symbole eine Ist-Strukturelementmatrix 112 dar. Der Overlay-Versatz zwischen der Designstrukturelementmatrix 110 und der Ist-Strukturelementmatrix 112 ist ein sich radial vom Mittelpunkt der Fotomaske 4 ausbreitendes Muster. Es versteht sich, dass die Behandlung der Fotomaske 4 mit einem Energiestrahls 2 aus der externen Energiequelle 1 gemäß den Aspekten der Offenbarung die Ist-Strukturelementmatrix 112 radial zum Mittelpunkt 124 der Fotomaske 4 kontrahieren kann. Das Ergebnis ist in **Fig. 18** gezeigt.

[0057] **Fig. 18** veranschaulicht eine Draufsicht einer Fotomaskenanordnung 102 gemäß einem Aspekt der Offenbarung. In **Fig. 18** stellen die Kreuz (+) -Symbole eine Designstrukturelementmatrix 110 dar und stellen die Raute- (0) -Symbole eine Ist-Strukturelementmatrix 112 dar. Wie in **Fig. 18** gezeigt, bewegt das Anwenden des Energiestrahls 2 auf das Fotomaske substrat 4 gemäß den Aspekten der Offenbarung die Ist-Strukturelementmatrix 112 näher an die Designstrukturelementmatrix 110, wodurch der Overlay-Versatz der Fotomaskenanordnung 102 verringert wird.

[0058] Das Fortführen des Anwendens des Energiestrahls 2 auf das Substrat 4 kann einen kumulativen Effekt an Stellen von Ist-Strukturelementen in der Ist-Strukturelementmatrix 112 haben. **Fig. 19** zeigt eine Draufsicht einer Fotomaskenanordnung 102 gemäß einem Aspekt der Offenbarung. Gemäß den Aspekten der Offenbarung stellen in **Fig. 19** die Kreuz- (+) -Symbole eine Designstrukturelementmatrix 110 dar und stellen die Raute- (0) -Symbole eine Ist-Strukturelementmatrix 112 nach einer weiteren Behandlung der Fotomaskenanordnung 102 in **Fig. 18** mit einem Energiestrahls 2 dar. Somit könnte die mehrfache Anwendung des Prozesses die Ist-Strukturelementmatrix 112 noch näher an die Designstrukturelementmatrix 110 bewegen, wodurch der Overlay-Versatz der Fotomaskenanordnung 102 weiter verringert wird, wie in **Fig. 19** gezeigt.

[0059] Der Umfang des Prozessbereiches, die Energie des Lasers und die Anzahl der Male, die jede Stelle exponiert wird, können von dem anfänglichen Overlay-Versatz der Fotomaske 4 abhängen. Beispielsweise kann der Overlay-Versatz nur über einen Teil der Fotomaske 4 auftreten, wie in **Fig. 20** veranschaulicht.

[0060] **Fig. 20** veranschaulicht eine Draufsicht einer Fotomaskenanordnung 102 gemäß einem Aspekt der Offenbarung. In **Fig. 20** stellen die Kreuz- (+) -Symbole eine Designstrukturelementmatrix 110 dar und stellen die Raute- (0) -Symbole eine Ist-Struktu-

relementmatrix 112 dar. Wie in **Fig. 20** gezeigt, zeigt nur der untere rechte Teil 126 der Fotomaske 4 einen signifikanten Overlay-Versatz. In diesem Fall kann gemäß den Aspekten der Offenbarung nur die Behandlung des unteren rechten Teils 126 oder des vom Versatz betroffenen Bereiches der Fotomaske 4 mit dem Energiestrahls 2 zur Verringerung des Overlay-Versatzes im unteren rechten Teil 126 der Fotomaske 4 von Vorteil sein, ohne die gesamte Fotomaske 4 mit dem Energiestrahls 2 zu behandeln.

[0061] **Fig. 21** veranschaulicht eine Draufsicht einer Fotomaskenanordnung 102 gemäß einem Aspekt der Offenbarung. Gemäß den Aspekten der Offenbarung stellen in **Fig. 21** die Kreuz- (+) -Symbole eine Designstrukturelementmatrix 110 dar und stellen die Raute- (0) Symbole die Ist-Strukturelementmatrix 112 aus **Fig. 20** nach der Behandlung der Fotomaske 4 unter Nutzung des Energiestrahls 2 dar. Wie in **Fig. 21** gezeigt, verringert die Behandlung des unteren rechten Teils 126 der Fotomaske 4 den Overlay-Versatz im unteren rechten Teil 126 der Fotomaske 4.

[0062] Ist der Overlay-Versatz mehr als willkürlich, wie in **Fig. 15** gezeigt, dann kann es gemäß den Aspekten der Offenbarung von Vorteil sein, die lokale Energie und die Anzahl des Anwendungen des Energiestrahls 2 auf die Fotomaske 4 ausschließlich auf einzelne Bereiche der Maske zu variieren. Für solch eine lokale Behandlung einer Fotomaske kann vorteilhafterweise ein Bereich des Prozesses (Größe des Energiestrahls 2) auf einen kleinen Wert bezogen auf den Abstand zwischen einzelnen angrenzenden Strukturelementen in der Ist-Strukturelementmatrix 112 eingestellt werden, so dass der Effekt des Prozesses eine Auflösung hat, die geringer ist als der Abstand zwischen einzelnen angrenzenden Strukturelementen in der Ist-Strukturelementmatrix 112. Für diese Ausführungsform kann die Energie und Anzahl von Pulsen für jede Stelle auf der Maske variieren, so dass Strukturelemente, die sich weiter entfernt von der vorgesehenen oder Designposition befinden, stärker bewegt werden können als Strukturelemente, die anfänglich näher an der vorgesehenen oder Designposition liegen.

[0063] Überdies könnte die durchschnittliche Materialveränderung durch die Bearbeitung mehrerer separater Bereiche auf der Substratoberfläche (**Fig. 9a**) reguliert werden, wenn eine relativ konstante Materialveränderung erzeugt wird. In diesem Fall könnte der Raum zwischen den Prozessbereichen 13 und/oder die Dichte der Prozessbereiche bezogen auf einen unbehandelten Bereich zur Regulierung des relativen Ausmaßes des Materialveränderungsprozesses genutzt werden.

[0064] Ein spezielles Beispiel für ein repräsentatives Verfahren ist die Veränderung von einer oder mehre-

ren Eigenschaften einer absorbierenden Dünnschicht 3 auf einem Fotomaskensubstrat 4 durch Laseranregung zur Verschiebung der Strukturelemente der absorbierenden Dünnschicht 3. Beispielsweise kann bei einer Fotomaske 4, bei der die absorbierende Dünnschicht 3 eine Molybdän-Siliciumoxynitrid- (MoSixOyNz-) -Schicht ist, was mit MoSi abgekürzt werden kann, eine Verschiebung des Overlays aus der Veränderung der thermischen Eigenschaft eines Materials in der MoSi-Schicht resultieren. Die Materialveränderung kann Oxidation, Tempern, Dehydratisierung oder Verdichtung des Materials des Dünnschichtabsorbers 3 umfassen, ist aber nicht darauf beschränkt. In Anbetracht der Niveaus der thermischen Schädigung der Fotomaske wird der niedrigste Punkt der thermischen Schädigung üblicherweise der Schmelz-/Wiederaufschmelzpunkt für das Quarz-Basissubstrat sein, d. h. etwa 2.912 Grad Fahrenheit (1.600 Grad Celsius). In Abhängigkeit der genauen Materialcharakteristik der MoSi-Schicht können Materialveränderungen (z. B. Tempern) bei Temperaturen weit unter dem Wiederaufschmelzpunkt des Quarzsubstrats 4 auftreten. Somit gibt es einen potentiellen Prozess, bei dem die Temperatur für eine Materialveränderung unter dem Schädigungsniveau der Materialien für das Fotomaskensubstrat liegen kann.

[0065] Wie oben erörtert, wird die relative Absorption der Substratmaterialien in der Regel aufgrund potentieller Unterschiede bei der Materialabsorptionscharakteristik berücksichtigt. Wünschenswerterweise wird eine Wellenlänge gewählt, die die MoSi-Schicht stark absorbiert. **Fig. 2** ist eine schematische Darstellung einer Absorptionskurve für eine partiell absorbierende MoSi-Schicht einer Fotomaske. In diesem Beispiel findet die Hauptabsorption entweder bei Wellenlängen unter 0,3 μm oder bei Wellenlängen über 9 μm statt. Die kürzeren Wellenlängen liegen nicht in einem besonders wünschenswerten Wellenlängenbereich, da sie üblicherweise signifikant von der Luft absorbiert werden und weil sie über eine höhere Photonenenergie verfügen und daher wahrscheinlicher Multiphotonenprozesse erzeugen.

[0066] Die Auswahl von Wellenlängen im Infrarotbereich von 1 μm bis 1000 μm kann gegenüber DUV bevorzugt sein, weil die längere Wellenlänge die Wahrscheinlichkeit für Multiphotonenprozesse und Absorption durch die Umgebung verringert. Für eine MoSi-Schicht ist beispielsweise die Auswahl einer Wellenlänge über 9 μm , beispielsweise nahe dem Absorptionspeak von 11,5 μm , gemäß den Aspekten der Offenbarung besonders wünschenswert, weil dies üblicherweise eine starke Absorption in der MoSi-Schicht ohne starke Absorption durch die Umgebung erzeugt. Gemäß einem Aspekt der Offenbarung ist unter „nahe dem Absorptionspeak von 11,5 μm “ eine Wellenlänge im Bereich von 10,5 μm

bis 12,5 μm zu verstehen, obgleich auch andere Wellenlängen im Infrarotbereich akzeptabel sein können. Die Auswahl einer Wellenlänge in diesem Bereich könnte die Zufuhr von thermischer Energie oder Wärme in das System insgesamt während der Verwendung der vorliegenden Erfindung minimieren, indem die zur Erzeugung der Materialveränderung erforderliche Energie verringert wird.

[0067] Wie ebenso oben erörtert, kann auch die Berücksichtigung der Absorption des Quarzsubstrats in Betracht gezogen werden. Quarzsubstrate, die für Fotomasken verwendet werden, können speziell so gestaltet sein, dass sie im Deep-UV- (DUV-) -Wellenlängenbereich stark durchlässig sind (siehe **Fig. 3**). Dies wird üblicherweise durch die Verwendung synthetischer Quarzglassubstrate erreicht, die extrem niedrige Verunreinigungsgrade aufweisen. Gemäß den Aspekten der vorliegenden Offenbarung kann es von Vorteil sein, wenn eine signifikante Absorption im MoSi- und eine schwächere Absorption im Quarzsubstrat vorliegt. Wie in **Fig. 3** gezeigt, ist die Absorption für das Beispiel des Quarzsubstrats keine signifikante Absorption nahe dem Absorptionspeak der MoSi-Schicht von 11,5 μm . Daher ist es bei einer Verarbeitung bei einer Wellenlänge nahe 11,5 μm möglich, dass die Entwicklung thermischer Energie in der MoSi-Schicht vorzugsweise im Quarz stattfindet, was die Wärmezufuhr in das System während der Verwendung der vorliegenden Erfindung insgesamt minimieren würde, indem die Wärmeentwicklung in Bereichen des Substrats ohne Dünnschichtabsorber 3 minimiert wird.

[0068] Alternativ kann es von Vorteil sein, eine Wellenlänge zu wählen, die von dem Quarzsubstrat der Fotomaske 4 stark absorbiert wird, so dass alle Bereiche der Oberfläche der Fotomaske 4 die gewünschte Prozesstemperatur erreichen. In Anbetracht der thermischen Eigenschaften des Quarzes gegenüber der Dünnschichtabsorberschicht ist zu erwarten, dass die Wärmeübertragung zwischen den Materialien vorzugsweise vom Quarz auf die Absorberschicht erfolgt. Dazu kann es kommen, weil Quarz über eine relativ niedrige Temperaturleitfähigkeit verfügt und die Dünnschichtabsorberschichten üblicherweise eine Metallkomponente enthalten und daher über eine höhere Temperaturleitfähigkeit verfügen. Diese Ausführungsform kann von Vorteil sein, wenn das Temperaturdifferenzial zwischen dem Dünnschichtabsorber und dem Fotomaskensubstrat von Bedeutung ist. Es ist beispielsweise möglich, dass eine Differentialwärmeausdehnung zwischen der absorbierenden Dünnschicht 3 und dem Substrat 4 zu einer Schädigung eines oder beider Materialien führen könnte. Ebenso können unterschiedliche Materialausdehnungen die Bindung zwischen dem Dünnschichtabsorber 3 und dem Substrat 4 schwächen und eine Trennung oder Aufspaltung bewirken. Ist ein thermi-

sches Gleichgewicht zwischen dem Dünnschichtabsorber und dem Substrat förderlich, kann auch die Verwendung längerer Pulsbreiten von Vorteil sein, damit ausreichend Zeit für eine Wärmeübertragung (z. B. Wärmeleitung) zwischen den Materialien zur Verfügung steht, wenn die Prozesstemperatur erreicht ist.

[0069] Der Betrieb bei einer Prozesswellenlänge, bei der der Quarz über eine signifikante Absorption bei der Prozesswellenlänge verfügt, kann von Vorteil sein, weil der Fluss der thermischen Energie oder die Wärmeübertragung vorzugsweise auf die absorbierende Dünnschicht 3 stattfinden werden und der gesamte exponierte Bereich die gewünschte Prozesstemperatur erreichen kann. Die Hauptabsorption für diese Substrate findet in der Regel bei einer Wellenlänge unter 0,2 μm oder bei einer Wellenlänge über 8 μm statt. Die kürzeren Wellenlängen sind nicht besonders wünschenswert, weil sie signifikant von der Luft absorbiert werden und weil sie über eine höhere Photonenenergie verfügen und daher wahrscheinlicher Multiphotonenprozesse erzeugen. Wie oben beschrieben, können Wellenlängen im Infrarotbereich von etwa 1 μm bis etwa 1000 μm gegenüber DUV bevorzugt sein, da die längere Wellenlänge die Wahrscheinlichkeit für Multiphotonenprozesse und Absorption durch die Umgebung verringert.

[0070] Die Auswahl einer Wellenlänge über 8 μm , beispielsweise nahe der Quarzabsorption von 9 μm , kann gemäß den Aspekten der Offenbarung besonders wünschenswert sein, was eine starke Absorption in dem Quarzsubstrat ohne starke Absorption durch die Umgebung erzeugt. Gemäß einem Aspekt der Offenbarung ist unter „nahe dem Absorptionspeak von 9 μm “ eine Wellenlänge im Bereich von 8 μm bis 10 μm zu verstehen, obgleich auch andere Wellenlängen im Infrarotbereich akzeptabel sein könnten. Diese Wellenlänge kann ebenso einen Vorteil für Fotomasken haben, die über einen partiell absorbierenden Schichtüberzug verfügen (d. h. MoSi). Wie in **Fig. 2** gezeigt, verfügt das Beispiel des MoSi-Materials über eine verringerte Absorption nahe 9 μm , im Vergleich zu dem Peak bei 11,5 μm , und würde daher eine verringerte Erhöhung der thermischen Energie oder Temperatur aufweisen, die direkt von dem Energiestrahle 2 aus der externen Energiequelle 1 erzeugt wird. In der Regel sollte die Schichtmaterialtemperatur, die bei einer konstanten Fluenz des Energiestrahls 2 unter Nutzung von Wellenlängen in diesem Bereich erreicht wird, aufgrund der starken Quarzabsorption und der höheren Temperaturleitfähigkeit des Dünnschichtabsorbers im Vergleich zu dem Quarz der für den Quarz ähneln. Man nimmt an, dass dies auch gilt, auch wenn die partiell absorbierende Schicht aufgrund des zu erwartenden Temperaturleitfähigkeitsvorteils über einen relativ hohen Absorptionskoeffizienten in diesem Wellenlängenbereich verfügt. Möglicherweise

würde die Auswahl anderer Wellenlängen in diesem Bereich die thermische Gleichmäßigkeit insgesamt verbessern, indem die relative Wärmeentwicklung in den Materialien, die durch direkte Absorption des Energiestrahls 2 aus der Energiequelle 1 erzeugt wird, variiert wird.

[0071] Auch die Art der Fotomaske kann bei der Auswahl einer Wellenlänge für die Overlay-Korrektur berücksichtigt werden. Beispielsweise kann bei der Verwendung von Dunkelfeldmasken die Auswahl einer Wellenlänge, die in der Dünnschicht stark absorbiert wird, bevorzugt sein. Die Overlay-Modifikation kann am besten durch die Modifikation der Dünnschicht erzeugt werden, da der Großteil der Oberfläche mit der Dünnschicht bedeckt ist. Bei der Verwendung von Klarfeldmasken kann die Auswahl einer Wellenlänge bevorzugt sei, die von dem Substrat stark absorbiert wird. Die Overlay-Modifikation kann am besten durch die Modifikation der Substratoberfläche erzeugt werden, da der Großteil der Oberfläche nicht mit der Dünnschicht bedeckt ist. In beiden Fällen kann die Erzeugung einer ähnlichen thermischen Modifikation in Bereichen der Fotomaske, die über eine Dünnschicht verfügen, und Bereichen der Fotomaske ohne Dünnschicht bevorzugt sein, so dass die Modifikation über die Maskenoberfläche vorhergesagt werden kann.

[0072] Der soeben zur Verwendung gemäß bestimmter Aspekte der Offenbarung beschriebene Prozess kann die nutzbare Lebensdauer einer Fotomaske 4 verlängern, indem die Overlay-Veränderungen, die durch die Verwendung der Fotomaske bei der Produktion und aus Reinigungsprozessen bewirkt werden, korrigiert werden. Die Exponierung der Fotomaske während der Nutzung in der Produktion kann die Dünnschicht der Fotomaske abbauen. Diese Veränderungen der Schichtzusammensetzung können Verschiebungen im Overlay der Maske erzeugen. Die Nutzung der vorliegenden Erfindung zur Korrektur von Overlay-Veränderungen, die durch die Nutzung in der Produktion verursacht werden, kann vorteilhafterweise durch ein Pellikel 8 realisiert werden. So kann die Fotomaske 4 wieder in die Produktion gebracht werden, statt dass eine neue Fotomaske als Ersatz für die abgebaute Fotomaske angefertigt werden muss. Überdies kann es passieren, dass eine Fotomaske aus der Produktion entfernt und aus anderen Gründen gereinigt werden muss, was zu einer Schädigung der Pellikelschicht und einer Verstärkung der Trübung führen kann. Herkömmliche Reinigungsprozessabläufe können die Entfernung eines angebrachten Pellikels, das Reinigen und dann das Anbringen eines neuen Pellikels erforderlich machen. Der Vorgang der Entfernung eines Pellikels von der Maske kann zu Veränderungen im Overlay der Fotomaske führen. Überdies kann eine Nassreinigung die Dünnschicht abbauen und den Overlay der Fotomaske beeinflussen. Die

Nutzung des vorliegend offenbarten Prozesses kann die Positionen der Strukturelemente korrigieren und effektiv die Positionierung der Strukturelemente, die aufgrund der Pellikelentfernung und der Nassreinigung verloren gegangen ist, wieder herstellen. Auch das Hinzufügen eines anderen Pellikels zu der Fotomaske nach der Reinigung kann die Positionen der Strukturelemente in der Dünnschicht verändern, da die Fotomaske beansprucht wird. In diesem Fall können die Aspekte des vorliegend offenbarten Prozesses vorteilhafterweise mittels des Pellikels 8 in der Fotomaskenanordnung 102 zur Korrektur des Overlays der Fotomaske 4 umgesetzt werden.

[0073] Ein weiterer Vorteil der Modifizierung des Overlays der Fotomaske könnte eine Verbesserung der Variabilität von Maske zu Maske sein. Die Anzahl der Nassreinigungen, der jede Maske unterzogen wird, kann variieren und hängt von mehreren der Produktionsparameter ab. Üblicherweise kann eine Fotomaske während der zur Erzeugung der Muster erforderlichen Prozesse sowie nach den Reparaturprozessen, die Fehler in dem Muster korrigieren, nassgereinigt werden. Das endgültige Overlay wird von kumulativen Effekten der Fertigungsprozesse und der Anzahl von Nassreinigungen abhängen. Dies kann zu einer Abweichung von Maske zu Maske im Overlay vor der Verwendung führen.

[0074] Die Variabilität von Maske zu Maske kann gemäß den Aspekten der vorliegenden Offenbarung verbessert werden. Vor der Verwendung kann ein anderer Grad an Overlay-Modifikation auf verschiedene Fotomasken zur Einstellung jeder Maske auf dasselbe Overlay-Niveau angewandt werden. Durch eine Einengung der Abweichung dieses Aspekts der Fotomaske kann die zugelassene Abweichung anderer Maskenparameter erhöht werden. Beispielsweise kann die zugelassene Abweichung von der kritischen Abmessung während der Verwendung erhöht werden, wenn jede Fotomaske über ein noch präziseres Overlay verfügt. Dies kann in Kombination mit einer Reparatur von besonderem Vorteil sein, da reduzierte Anforderungen an die Größenregulierung für einen höheren Fotomaskenertrag sorgen.

[0075] Die Verfahren gemäß den Aspekten der vorliegenden Offenbarung können auf die Fotomasken-Dünnschichtabsorber-Modifikation angewandt werden und erfordern nicht die Entfernung des Pellikels 8 von der Fotomaskenanordnung 102. Die Durchführung der Dünnschichtabsorber-Modifikationen nach dem Anbringen eines Pellikels hat den Vorteil, dass sichergestellt wird, dass vor der Nutzung der Aspekte des vorliegend offenbarten Prozesses keine weitere Nassreinigung erforderlich ist. Beispielsweise kann eine Laserbasierte Overlay-Modifikation durch das Pellikelschichtmaterial 8 durchgeführt werden, ohne die Pellikelschichtcharakteristik zu beeinflussen

(siehe **Fig. 4**). In diesem Fall werden üblicherweise die Absorption der Pellikelschicht bei der Prozesswellenlänge und die Energiedichte (Fluenz) des Energiestrahls 2 an der Oberfläche der Pellikelschicht in Betracht gezogen. Wie bei dem Substrat und der Substratschicht erzeugt der Materialmodifikationsprozess in der Regel keine Temperaturerhöhung in der Pellikelschicht, die über dem schädigenden Schwellenwert liegt. In Abhängigkeit der Pellikelschicht kann es jedoch zu einer signifikanten Absorption in der Pellikelschicht nahe den Absorptionsspeaks von 9 µm für das Quarzsubstrat kommen. Es kann jedoch noch immer in einem Bereich signifikanter Pellikelschichtabsorption gearbeitet werden, da die Pellikelschicht 8 über der Oberfläche des Substrats 4 positioniert ist.

[0076] Die Bündelung des Laserstrahls 12 durch die Pellikelschicht 8, beispielsweise mit einer Linse 11, und auf die Oberfläche des Substrats 4 kann neben der Auswahl der Wellenlänge die relative Temperaturerhöhung in der Pellikelschicht 8 verringern (siehe **Fig. 5a**). Wie in Gleichung 1 ausgeführt, kann die Temperaturerhöhung in einer Substanz proportional zur Fluenz eines auf die Oberfläche angewandten Energiestrahls 2 sein:

$$\Delta T \sim F \quad \text{Gleichung 1,}$$

wobei ΔT die Temperaturänderung in dem Material ist und F die absorbierte Laserfluenz ist.

[0077] Für eine konstante Intensität oder Strahlpulsennergie ist die Fluenz umgekehrt proportional zum Quadrat des Strahlfleckradius.

$$F \sim E / r^2 \quad \text{Gleichung 2,}$$

wobei F die Fluenz ist, E die Energie ist und r der Radius des Strahls auf der Substratoberfläche ist.

[0078] Das Verhältnis des Strahlradius 14 an dem Pellikel 8 zum Strahlradius 13 auf der Oberfläche der Fotomaske 4 wird üblicherweise durch das Bündeln des Strahls 2 durch das Pellikel 8 erhöht, und daher kann die relative Fluenz an der Pellikelschicht im Vergleich zu der Substratoberfläche der Fotomaske verringert werden (**Fig. 5b**).

[0079] Neben den Wellenlängen-Überlegungen kann die Nutzung von Prozessparametern, die eine stärkere Temperaturerhöhung in dem System erzeugen, (z. B. übermäßig lange Pulslänge oder hohe Wiederholungsrate) durch den schädigenden Schwellenwert der Pellikelschicht eingeschränkt werden. Die Nutzung der Pulsbreite, relativen Fluenz, Prozessdauer und externen Regulierung der Materialabkühlung sind keine beispielhaften Prozessparameter, die zur Minimierung der Temperaturerhöhung des Systems genutzt werden können.

[0080] Neben dem Beispiel MoSi-basierter, partiell absorbierender Fotomasken können die Aspekte des offenbaren Prozesses auch einen Nutzen für vollständig absorbierende Fotomasken, optische Fotomasken ohne Dünnschichtabsorber (nur Quarz) und Fotomasken der nächsten Generation, wie sie für die extrem UV- (EUV-) und Nanoprägelithographie (NIL) verwendet werden, haben. Optische Fotomasken ohne Dünnschichtabsorber weisen Strukturelemente auf, die direkt in das Basis-Quarzsubstrat geätzt werden. Auch Masken für die Nanoprägelithographie weisen Strukturelemente auf, die in dem Substrat angefertigt werden, und weisen üblicherweise keine Dünnschicht auf. Für beide Maskenarten können die Aspekte des offenbaren Prozesses zur Erzeugung einer thermischen Modifikation in dem Substrat, die die gewünschte Overlay-Modifikation induziert, angewandt werden. Wie für optische Dünnschicht-Fotomasken können die Aspekte des offenbaren Prozesses auch auf EUV-Fotomasken angewandt werden, indem der Absorber oder das Basissubstrat modifiziert wird. Überdies ist es denkbar, dass eine thermische Modifikation der Mehrfachsicht zur Modifikation des Overlays genutzt werden kann. Es muss jedoch der Grad der thermischen Schädigung der reflektierenden Mehrfachsicht berücksichtigt werden, da Veränderungen der Mehrfachsicht die Leistungsfähigkeit der Fotomaske beeinflussen können.

Pulsformung

[0081] Gemäß bestimmten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung können die Pulsbreite, die zeitliche Pulsform und die räumliche Verteilung des Lasers zur Verbesserung des Materialveränderungsprozesses oder Erweiterung des sicheren Betriebsbereiches für die Bearbeitung genutzt werden. Kürzere Pulsbreiten können zur Minimierung der Wärmezufuhr in das System insgesamt (Substrat und Umgebung) genutzt werden. Längere Pulsbreiten können zur Aufrechterhaltung der Prozesstemperatur für einen längeren Zeitraum genutzt werden, wodurch die Einheitlichkeit des Prozesses verstärkt und Temperaturdifferenziale zwischen unterschiedlichen Materialien verhindert werden. Die zeitliche Pulsform kann zur Regulierung der Temperatursteigerung in dem Dünnschichtabsorber genutzt werden. Eine lange Temperatursteigerung kann zur Erzeugung eines ersten Effekts (z. B. Tempem) genutzt werden, dem ein zweiter Effekt (z. B. Oxidation) folgt. Die Nutzung mehrerer Pulse kann auch dazu genutzt werden, die Strahlenergie, die für die vollständige Bearbeitung wünschenswert ist, zu verringern, wodurch das Risiko für eine Substratschädigung ebenso wie bei der Nutzung längerer Pulsbreiten weiter verringert wird. Der Vorteil mehrerer Pulse ist, dass das gezielte Abkühlen eines Materials eine Schädigung verhindern kann, während gleichzeitig der Prozess durchgeführt werden kann. Beispiels-

weise könnte die Pellikelschicht abgekühlt werden, um die Wärmeentwicklung durch mehrere Pulse zu verhindern, während der Dünnschichtabsorber nicht abgekühlt wird, und die Wärmeentwicklung von Puls zu Puls dazu genutzt werden, die Prozesstemperatur in der Schicht zu erreichen.

[0082] Die räumliche Verteilung des Laserstrahls kann zu einer Erweiterung des Prozessfensters und der Prozesseinheitlichkeit genutzt werden. Beispielsweise zeigt **Fig. 6a** eine räumliche Gauß'sche Verteilung 15, die einen Temperaturgradienten 16 in dem Substrat 4 erzeugt, während **Fig. 6b** eine räumlich abgeflachte oder räumliche Top-Hat-Verteilung 17 aufweist, die eine einheitlichere Temperatursteigerung in dem Substrat 18 ermöglicht. Die räumliche Verteilung kann zur Erweiterung des Prozessfensters genutzt werden. Eine räumlich abgeflachte oder räumliche Top-Hat-Verteilung ermöglicht eine einheitliche Temperatursteigerung in dem Strahlfleck, wohingegen eine Gauß'sche Verteilung üblicherweise einen Temperaturgradienten in dem Strahlfleck erzeugt. Um das Risiko einer Substratschädigung zu vermeiden, wird die maximale Energie in dem Strahl üblicherweise durch den Peak einer Gauß'schen Verteilung beschränkt. Eine Gauß'sche Energieverteilung wird erwartungsgemäß ein höheres Risiko für eine Überschreitung des Materialschädigungsgrades im Vergleich zu einem abgeflachten Strahl mit sich bringen, wenn die Energieschwankung ähnlich der Energiedifferenz zwischen dem Prozess und den Energieschädigungsgraden ist. Ebenso kann eine Gauß'sche Verteilung eine nicht einheitliche Materialveränderung erzeugen, wohingegen eine Top-Hat-Energieverteilung erwartungsgemäß eine einheitlichere Materialveränderung im Wirkungsbereich des Strahls erzeugen wird.

Wärmemanagement

[0083] Da Aspekte der vorliegenden Offenbarung Wärmebasierte Prozesse umfassen, ist es mitunter wünschenswert, die Temperatur des Systems insgesamt zu regulieren, um so eine Schädigung wärmeempfindlicher Materialien in der Nähe des bearbeiteten Materials zu vermeiden. Dies gilt insbesondere für den Fall einer Fotomaske material-Modifikation ohne die Entfernung des Pellikels. Die Pellikelschichten weisen üblicherweise einen niedrigen Schwellenwert für eine Wärmeschädigung auf. Daher ist es mitunter förderlich, die Temperaturentwicklung des Systems insgesamt zu vermeiden, die auf das Pellikelmateriale übertragen werden und/oder dieses schädigen könnte. Dies umfasst den Pellikelrahmen und die zwischen der Maskenoberfläche und der Pellikelschicht eingeschlossene Umgebung.

[0084] Die Regulierung der Systemtemperatur kann auf verschiedene Weise erreicht werden. Die folgenden Beispiele veranschaulichen mehrere repräsen-

tative Verfahren der Probenabkühlung, und es versteht sich, dass auch andere Verfahren existieren können. Ein Weg zur Regulierung der Systemtemperatur ist das Kontaktkühlen. Die Fotomaske kann beispielsweise mit einer Platte 19 in Kontakt gebracht werden, die als eine Wärmesenke zum Abziehen der auf der Vorderseite der Maske erzeugten Wärme auf die Rückseite der Maske dient (siehe **Fig. 7**). Dies verringert die Wärmeübertragung auf die Umgebung über der Maskenoberfläche, der Pellikelschicht und dem Haftmittel zwischen dem Pellikelrahmen und der Maskenoberfläche. Das Abkühlen kann auf verschiedene Weise erreicht werden, einschließlich durch Strömenlassen eines Wärmetransportmittels in eine Eintrittsöffnung 21 und aus einer Austrittsöffnung 20 der Wärmesenke, durch Strömenlassen anderer Kühlflüssigkeiten oder -gase über die Maske und/oder das Pellikel, thermoelektrisches Abkühlen oder laserinduziertes Abkühlen eines Teils oder der gesamten Maske und/oder des Pellikels oder Kombinationen davon. Das Wärmetransportmittel kann Wasser, Ethylenglycol, Luft, Stickstoff, Kombinationen davon oder irgendein anderes in der Technik bekanntes Wärmetransportmittel sein.

[0085] Ein anderer möglicher Weg zur Regulierung der Temperatur ist durch erzwungene Konvektionskühlung. Eine filtrierte und/oder gekühlte Gas- oder Flüssigkeitsströmung kann auf Teile der Maske 24, auf die Pellikelschicht 23, den Pellikelrahmen und/oder Haftmittelbereich 22 gerichtet werden, um so die Entwicklung von thermischer Energie oder Temperatur in diesen Materialien direkt zu reduzieren (siehe **Fig. 8**). Dies kann nicht nur das Risiko für eine Schädigung der Pellikelschicht verringern, sondern auch das Risiko der Erzeugung einer kontaminierenden Entgasung aus dem Pellikelrahmen und den Pellikelschicht-Haftmitteln. Neben der Hardware-Regulierung der Wärmeentwicklung des Systems kann die Wärmeentwicklung auch dadurch verringert werden, dass eine längere Prozesszeit ermöglicht wird. Das Anlegen langsamerer Pulsfrequenzen an das System oder das Ermöglichen einer Verzögerung zwischen einer Reihe von Pulsapplikationen kann es ermöglichen, dass die eingespeiste Wärme entfernt werden kann, ohne dass die Temperatur des Systems insgesamt über einen kritischen Grad ansteigt.

[0086] Auch die Entwicklung von thermischer Energie oder Wärme von Puls zu Puls kann vorteilhafterweise reguliert werden und kann von den thermischen Eigenschaften der Materialien des Dünnschichtabsorbers, des Substrats und/oder benachbarten Materialien abhängen. In der Regel kann die Wärmeentwicklung von Puls zu Puls durch eine Verringerung der Anzahl an Laserpulsen, die pro Zeiteinheit auf der Oberfläche auftreffen, reguliert werden. Diese Wärmeentwicklung kann ebenso durch eine Vergrößerung des Abstandes zwischen

angrenzenden Laserpulsen reguliert werden. Besonders wünschenswert kann eine seitliche Verschiebung zwischen angrenzenden Pulsen sein, bei der das Material besonders empfindlich ist gegenüber einer Entwicklung thermischer Energie von Puls zu Puls (z. B. Pellikelschichtmaterialien). In diesem Fall umfasst der Prozess üblicherweise das Positionieren des Laserstrahls 2 mehrere Male nahezu an denselben Stellen, um so die gewünschte Materialmodifikation der angestrebten Oberfläche zu erhalten. Beispielsweise wird eine erste Reihe von Laserpulsen mit einem relativ großen Seitenabstand auf die Oberfläche gestrahlt (siehe **Fig. 9a**). Ein zweiter Durchgang über dieselben Bereiche platziert eine weitere Reihe von Laserpulsen, die bezogen auf den ersten Satz von Flecken verschoben ist (siehe **Fig. 9b**). Dieser Prozess läuft weiter, bis der gesamte Bereich den Laserpulsen ausgesetzt worden ist (siehe **Fig. 9c**). Gemäß den Aspekten der vorliegenden Offenbarung kann eine Überlagerung in einer zweiten Richtung dazu genutzt werden, die Oberfläche eines Substrats 4 vollständig zu exponieren (siehe **Fig. 9d**). Gemäß den Aspekten der vorliegenden Offenbarung wird der gesamte Prozess wiederholt, und/oder die Überlagerung zwischen den Durchgängen wird, insbesondere wenn der Materialmodifikationsprozess Mehrfachpulse für die Beendigung des Prozesses umfassen soll, wird erhöht. Die veranschaulichte Veränderung der Position des Strahls bezogen auf die Oberfläche kann durch Bewegen des Strahls und/oder Bewegen des Substrats erreicht werden. Überdies kann das systematisch verteilte Anlegen der Pulse über die Maske die Wahrscheinlichkeit für die Entwicklung thermischer Energie oder Wärme auf der Fotomaske 4 weiter verringern (siehe **Fig. 9e**).

Technologiekombination

[0087] Die vorliegende Erfindung kann in Verbindung mit Oberflächenbehandlungs- oder Umgebungskontrolltechniken zur Verlängerung der Lebensdauer eines Retikels genutzt werden. Einige dieser Techniken können vor der Pellikelinstallation eine Bearbeitung erforderlich machen, während andere nach der Anbringung eines Pellikels durchgeführt werden können. Beispielsweise könnte ein Oberflächenbehandlungsverfahren in Verbindung mit der vorliegenden Erfindung für ein gesteigertes Ergebnis bei der Materialmodifikation sorgen. Diese Prozessbeeinflussung könnte dann beispielsweise aus der Einbringung eines alternativen Materials in den Dünnschichtabsorber oder der Verstärkung der Wärmeentwicklung in dem Dünnschichtabsorber resultieren.

[0088] Ebenso können Umgebungskontrolltechniken in Kombination mit dem erfinderischen Verfahren genutzt werden. Techniken, die die Umgebung sowohl innerhalb als auch außerhalb des Pellikels

und Prä-Pellikels kontrollieren, könnten in Kombination mit dem erfinderischen Materialmodifikationsprozess genutzt werden. Eine Ausführungsform würde den Austausch der Umgebung unter dem Pellikel gegen ein Gas, das mit dem Material des Dünnschichtabsorbers unter Veränderung der Materialeigenschaften reagieren wird, umfassen. Dies könnte ohne die Entfernung des Pellikels durch den Gasaustausch durch eine Filteröffnung am Pellikelrahmen erfolgen. Es kann überdies von Vorteil sein, in Verbindung mit der vorliegenden Erfindung eine inerte Umgebung innerhalb und außerhalb des Pellikels aufrechtzuerhalten, um so die Volumenabsorbereigenschaften bezogen auf Prozesse zur Veränderung des Materials der Oberfläche zu verstärken. Diese Kombinationsprozesse könnten beispielsweise die relative Overlay-Veränderung oder die Richtung der Strukturelementverschiebung verstärken.

Metrologie

[0089] Die Verfahren gemäß den Aspekten der Offenbarung können ebenso in Kombination mit Metrologie zur Überwachung der kritischen Prozessparameter und/oder zur Bewertung des Fortschreitens oder der Beendigung des Materialmodifikationsprozesses genutzt werden. Die Messung der lokal erzeugten Temperatur der Substratmaterialien kann beispielsweise in Kombination mit der Materialveränderung genutzt werden. Die Temperaturmessung kann vor der Anwendung des Prozesses bewertet werden, um so das Risiko einer temperaturbedingten Schädigung zu überprüfen. Überdies können diese Temperaturen während des Materialmodifikationsprozesses zur Überprüfung der Prozesssteuerung und/oder zur Verringerung des Risikos einer Materialschädigung überwacht werden. Beispielsweise wird gemäß bestimmten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung die Temperatur des Substrats und/oder der Absorberschicht während des Prozesses überwacht, und die Regulierung der zur Aufrechterhaltung des gewünschten Prozesses eingesetzten Energie kann rückgemeldet oder der Prozess abgestellt werden, wenn eine zu starke Wärmeentwicklung erfasst wird. Es existieren viele Vorrichtungen und Verfahren für die Temperaturüberwachung, und sie umfassen die Vorrichtungen und Verfahren mit Kontakt 30 (z. B. Thermoelemente) und ohne Kontakt 29 (z. B. Infrarotkameras) (siehe **Fig. 10**).

[0090] Gemäß den Aspekten der vorliegenden Offenbarung können Metrologievorrichtungen 31 und verfahren auch dazu genutzt werden, das Material oder Leistungseigenschaften des Substrats und/oder der Materialien auf oder neben dem Substrat vor, während und/oder nach dem Anwenden des Energiestrahls 2 auf das Substrat 4 (**Fig. 11**) zu analysieren oder zu überwachen. Beispielsweise kann die Messung der Positionen der Strukturele-

mente auf der Fotomaske dazu genutzt werden, den Overlay-Versatz vor der Bearbeitung zu berechnen. Dies kann zur Bestimmung des Grades der Materialmodifikation, der zur Korrektur der lokalen oder umfassenden Overlay-Versätze erforderlich ist, genutzt werden. Dies kann ebenso dazu genutzt werden, die korrekte Energie oder Anzahl von Pulsen zum Anlegen an einzelne Bereiche der Fotomaske zum Auslösen der gewünschten Veränderung zu bestimmen. Diese Metrologie kann ebenso dazu genutzt werden, den Overlay während der Bearbeitung zu überwachen und Informationen zum Prozess zurückzumelden oder die Prozesse zu stoppen, wenn die Einstellungen innerhalb einer vordefinierten Prozessgrenze liegen. Überdies können die Materialeigenschaften der Pellikelschicht überwacht werden, um festzustellen, ob eine Beeinträchtigung des Pellikelmaterialeigenschafts vorliegt. Diese Informationen können vor der Bearbeitung zur Begrenzung der Prozesstemperatur oder während der Bearbeitung zum Stoppen des Prozesses, wenn eine Schädigung beobachtet wird, genutzt werden. Beispielsweise könnten ein oder mehrere Ellipsometer zum Messen der Reaktion des Materials der Pellikelschicht, der Absorberschicht und der Substratoberfläche genutzt werden. Diese Daten können dann dazu genutzt werden, die gewünschten Materialeigenschaften, einschließlich Schichtdicke, Transmission und Phase, zu berechnen. Die Messvorrichtungen können sich einen gemeinsamen optischen Weg mit der Prozess-Energiequelle teilen (**Fig. 12**). Beispielsweise kann die Energiequelle 1 unter Verwendung einer Strahlteilverrichtung 33 in den Weg der Messvorrichtung 31 eingekoppelt werden. Ebenso können zusätzliche optische Elemente 2 von Nutzen sein, um die Metrologiedaten richtig auszuwählen, wie in **Fig. 12** veranschaulicht.

[0091] In Falle einer Fotomaske können gemäß bestimmten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beispielsweise mehrere Metrologien in den Materialmodifikationsprozess einbezogen werden. Die Identifizierung des Overlay-Versatzes der gesamten Retikelmaste kann beispielsweise die Prozesstemperaturanforderung definieren. Die Identifizierung der lokalen oder umfassenden Overlay-Abweichungen auf einer Fotomaske können zur Bestimmung der seitlichen Abmessungen für Prozessanwendungen und mehrerer Energie-niveaus, die zur Bearbeitung verschiedener Stellen/Sektionen über die Fotomaske erforderlich sind, genutzt werden. Überdies kann es von Nutzen sein, zu Beginn einen Niedrigenergieprozess zum Messen der Reaktion der Strukturelemente der Fotomaske auf den Prozess anzuwenden. Nachdem die Intensität der Reaktion für eine bestimmte Maske gemessen worden ist, kann dann eine zusätzliche Bearbeitung, die diese Informationen nutzt, angewandt werden. Dies ermöglicht die Berücksichtigung der Reaktion pro

Maske bei der Bestimmung des besten Prozesses zur Korrektur des Overlays einer Fotomaske.

[0092] Gemäß bestimmten Aspekten der vorliegenden Offenbarung wird Metrologie ebenso dazu genutzt, die Charakteristik der Materialien zu überwachen, die an die zu reinigende Oberfläche angrenzen. Beispielsweise kann die Temperatur einer Pellikelschicht über einer Fotomaske überwacht werden, um das Risiko einer Schädigung der Pellikelschicht zu verringern. Ebenso kann die Durchlasscharakteristik der Pellikelschicht dazu genutzt werden, die Effekte des Prozesses während oder nach der Bearbeitung näher zu bestimmen.

[0093] Wie der Fachmann bei der Praktizierung eines oder mehrerer der Aspekte der vorliegenden Offenbarung erkennen wird, sollen die oben erörterten Metrologiebeispiele nicht alle als in die vorliegende Erfindung inbegriffen angesehen werden. Vielmehr veranschaulichen diese Beispiele lediglich die Nutzung von Metrologie in einigen Verfahren gemäß der vorliegenden Offenbarung.

[0094] Die Metrologievorrichtung 31, die externe Energiequelle 1 oder Kombinationen davon können operativ an eine Steuerung 40 zu deren Steuerung gekoppelt sein. Die Steuerung 40 kann ein speziell angefertigter Prozessor zur Betätigung oder Steuerung der Metrologievorrichtung 31, der externen Energiequelle oder von beiden sein. Es versteht sich, dass die Steuerung 40 in einem einzelnen Gehäuse oder einer Mehrzahl von Gehäusen, die in dem Anregungs- und Metrologieapparat verteilt sind, ausgeführt sein kann. Ferner kann die Modulsteuerung 310 Leistungselektronik, vorprogrammierte Logikschaltungen, Datenverarbeitungsschaltungen, einen flüchtigen Speicher, einen nicht flüchtigen Speicher, Software, Firmware, Eingabe/Ausgabe-Prozessorschaltungen, Kombinationen davon oder andere in der Technik bekannte Steuerungskonstruktionen umfassen.

[0095] Es versteht sich, dass die Steuerung 40 so ausgebildet sein kann, dass sie die hierin beschriebenen Verfahren oder Funktionen beeinflusst oder steuert. Ferner versteht es sich, dass ein Erzeugnis, das darauf verschlüsselte nicht flüchtige, maschinenlesbare Anweisungen umfasst, so ausgebildet sein kann, dass es die Steuerung 40 zur Beeinflussung oder Steuerung der hierin beschriebenen Verfahren oder Funktionen bewirkt, wenn die Anweisungen von der Steuerung 40 ausgeführt werden.

Apparat

[0096] Gemäß den Aspekten der vorliegenden Offenbarung können bestimmte Verfahren zur Materialmodifikation unter Anwendung der verschiedenen hierin beschriebenen Aspekte zum Apparat umge-

setzt werden. Ein Beispiel für einen solchen Substrat-Handhabungsapparat 130 umfasst zusätzlich die Roboterhandhabung 35 des Materials des Substrats 4 und/oder die Bewegung des Substrats 4 entlang einer oder mehrerer Bewegungsachsen unter Verwendung einer Translationsstufe 34 zur Positionierung der Probe des Substrats 4 bezogen auf eine externe Energiequelle 1, wie in **Fig. 13** gezeigt. Die Roboterhandhabung kann einen das Substrat greifenden Endeffektor 36 zum Transportieren des Substrats 4 zwischen den Positionen umfassen. Der Apparat 130 kann beispielsweise eine oder mehrere der oben beschriebenen Metrologien und/oder Möglichkeiten zur Regulierung der Temperatur des Substrats und/oder angrenzender Materialien während des Materialmodifikationsprozesses umfassen. Überdies kann der Apparat Metrologie, die zur Erfassung des Substrats genutzt wird, für das Staging-System und daher den Laserstrahl 2 umfassen. Diese Metrologie kann ebenso computergesteuerte Bilderkennungssysteme umfassen. Ferner kann der Apparat ebenso eine Computersteuerung des Lasers, der Bewegung und/oder Metrologie nutzen und für eine Softwarebasierte vorgeschriebene Steuerung des Materialmodifikationsprozesses sorgen. Die Steuerung der Laserenergiequelle kann beispielsweise die Steuerung der Laserpulse sowie die Energiemenge während des Prozesses beinhalten.

Retikelfertigungsprozess

[0097] Ein Verfahren und/oder Apparat gemäß den Aspekten der vorliegenden Offenbarung kann als Teil eines neuen Retikelfertigungsprozesses angewandt werden, der die Modifikation des Overlays auf der Oberfläche einer Fotomaske umfasst. Gemäß den Aspekten der vorliegenden Offenbarung kann der Materialmodifikationsprozess zur Einstellung des Overlays während der oder nach den Fotomaskenfertigungsprozesse(n), einschließlich der Fotomaskenreparatur, genutzt werden. Die Fotomaske kann vor der Bearbeitung mit einem Pellikel versehen werden oder nicht. Bestimmte Ausführungsformen können ebenso nach einem Reinigungsprozess auf die Fotomaske angewandt werden. Gemäß den Aspekten der vorliegenden Offenbarung kann die Materialmodifikation zur Korrektur von Overlay-Veränderungen, die aus einem Nassreinigungsprozess resultieren, genutzt werden. Im Ergebnis kann der Prozess zur Modifizierung des Overlays genutzt werden, um der Fotomaske die gewünschte Spezifikation zu verleihen, so dass sie in der Produktion verwendet werden kann. Andere Aspekte der vorliegenden Offenbarung können genutzt werden, nachdem das Retikel in der Produktion verwendet worden ist, um die durch die Verwendung in der Produktion verursachten Overlay-Veränderungen zu korrigieren. Der Prozess kann mit dem Pellikel zur Korrektur des Overlays angewandt werden, wodurch wiederholte Pellikel-Reinigungsprozesse vermieden

werden. In dieser Ausführungsform können die Aspekte des offenbarten Prozesses die Lebensdauer einer Fotomaske über die derzeit erreichbare hinaus verlängern, indem weitere Nassreinigungsprozesse und/oder wiederholtes Versehen mit Pellikel(n) vermieden werden. Traditionell sind doppelte Fotomaskensätze erforderlich, da die nicht spezifikationskonformen Fotomasken verworfen werden müssen. Daher können die offenbarten Verfahren ebenso für eine Kostensenkung sorgen, indem die Nutzungsdauer einer Fotomaske verlängert und der Bedarf an Maskenduplikaten reduziert wird, um einen Fertigungsablauf abzuschließen.

[0098] Ein neues Retikelmaskenfertigungsverfahren gemäß bestimmten Aspekten der vorliegenden Offenbarung umfasst einen Apparat, der eines oder mehrere der oben erörterten Verfahren zur Modifizierung der Eigenschaften des Dünnschichtabsorbers 3 der Fotomaske 4 nutzt. Ein typischer Retikelfertigungsprozess gemäß einem Aspekt der vorliegenden Offenbarung umfasst mehrere Nassreinigungsprozesse, denen eine Fotomaske während der Fertigung unterzogen wird. Die Anzahl der Nassreinigungsprozesse variiert von Maske zu Maske, so dass eine endgültige Overlay-Abweichung zwischen den Masken vorliegt. Ein Aspekt der vorliegenden Offenbarung nutzt eines oder mehrere der oben beschriebenen Materialmodifikationsverfahren zur umfassenden Veränderung des Overlays jeder Fotomaske zu unterschiedlichen Ausmaßen, so dass die endgültige Overlay-Abweichung zwischen den Masken verringert wird. Gemäß einem anderen Aspekt der vorliegenden Offenbarung kann ein Retikelfertigungsprozess, der die Verwendung eines oder mehrerer der offenbarten Verfahren umfasst, zur Verringerung des Overlay-Versatzes (umfassend oder lokal) zur Verlängerung der Nutzungsdauer der Fotomaske 4 genutzt werden.

[0099] Neben der Variabilität der optischen Leistungsfähigkeit von Maske zu Maske kann jeder Nassreinigungsprozess für eine Variabilität der Materialeigenschaften über eine einzelne Oberfläche einer Fotomaske sorgen. Möglicherweise wird die Variabilität des Overlays auf einer einzelnen Fotomaske nach der Fertigung und/oder Nassreinigung außerhalb der akzeptablen Grenzen liegen. Dies gilt insbesondere, wenn sich die Anzahl an Nassreinigungsprozessen erhöht. Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Offenbarung ist ein neuer Retikelmaskenfertigungsprozess vorgesehen, der einen Apparat umfasst, der eines oder mehrere der oben beschriebenen Materialmodifikationsverfahren zur Verbesserung der Einheitlichkeit des Overlays der Fotomaske nutzt. Dieser kann die Erzeugung nicht einheitlicher Veränderungen über die gesamte Fotomaske oder einer oder mehrerer lokaler Veränderungen des Overlays umfassen. Gemäß bestimmten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung wer-

den nicht einheitliche Materialveränderungen zur Verlängerung der Nutzungsdauer der Fotomaske durch eine Korrektur der Nicht-Einheitlichkeit des Overlays der Fotomaske genutzt.

[0100] Gemäß bestimmten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung senkt der neue Retikelwaferfertigungsprozess die Verwendung zusätzlicher Masken oder Maskensätze für die Produktherstellung, indem die Lebensdauer der Fotomaske verlängert wird.

[0101] Die vielen Strukturelemente und Vorteile der Erfindung werden aus der ausführlichen Beschreibung ersichtlich, und daher sollen die anhängenden Ansprüche alle Strukturelemente und Vorteile der Erfindung, die dem wahren Sinn und Umfang der Erfindung entsprechen, abdecken. Ferner soll, da dem Fachmann ohne weiteres zahlreiche Modifikationen und Abänderungen gegenwärtig werden, die Erfindung nicht auf die exakt veranschaulichte und beschriebene Konstruktion und Betriebsweise beschränkt werden, und dementsprechend kann auf alle geeigneten Modifikationen und Äquivalente zurückgegriffen werden, die in den Umfang der Erfindung fallen.

[0102] Die Angabe von Wertebereichen hierin soll lediglich als Kurzschreibweise zum individuellen Verweis auf jeden einzelnen Wert, der in den Bereich fällt, dienen, sofern nicht hierin etwas anderes angegeben ist, und jeder einzelne Wert ist in die Beschreibung so einbezogen, als wäre er hierin individuell angegeben worden. Alle hierin beschriebenen Verfahren können in einer geeigneten Reihenfolge durchgeführt werden, sofern nicht hierin etwas anderes angegeben ist oder anderweitig klar im Gegensatz zum Kontext steht.

[0103] Sofern nicht anderes spezifiziert, soll die Wortfolge „im Wesentlichen“ hierin „in deutlichem Ausmaß“ oder „größtenteils, aber nicht notwendigerweise ganz und gar das, was spezifiziert ist“ bedeuten.

[0104] Es versteht sich, dass die obige Beschreibung Beispiele für das/die offenbarte System und Technik bereitstellt. Es kann jedoch erwogen werden, dass sich andere Implementierungen der Offenbarung im Detail von den obigen Beispielen unterscheiden. Alle Verweise auf die Offenbarung oder ihre Beispiele sollen das speziell an dieser Stelle erörterte Beispiel betreffen und keine allgemeinere Einschränkung bezüglich des Umfangs der Offenbarung implizieren. Jegliche Unterscheidung und Herabsetzung in Bezug auf bestimmte Merkmale soll darauf hindeuten, dass diese Merkmale nicht bevorzugt werden, diese jedoch nicht gänzlich aus dem Umfang der Offenbarung auszuschließen sind, es sei denn, es ist etwas anderes angegeben.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Verbesserung einer Arbeitskennlinie einer Fotomaske (4), wobei die Fotomaske (4) wenigstens ein darauf angeordnetes Strukturelement aufweist, wobei das wenigstens eine Strukturelement eine zugehörige Designstelle (110) aufweist, wobei der Abstand zwischen der Stelle (112) des wenigstens einen Strukturelements und der zugehörigen Designstelle (110) einen Positionsfehler des wenigstens einen Strukturelements definiert, wobei das Verfahren umfasst:

das Richten elektromagnetischer Strahlung auf die Fotomaske (4), wobei die elektromagnetische Strahlung eine Wellenlänge hat, die sich im Wesentlichen mit einem hohen Absorptionskoeffizienten der Fotomaske (4) deckt;

das Erzeugen einer Erhöhung der thermischen Energie in der Fotomaske (4) durch das Auftreffen der elektromagnetischen Strahlung darauf und das Verringern des Positionsfehlers als ein Ergebnis der Erzeugung der Erhöhung der thermischen Energie in der Fotomaske (4);

das Richten der elektromagnetischen Strahlung durch ein über der Fotomaske (4) positioniertes Material.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei die Fotomaske (4) wenigstens teilweise von einem Pellikel (8) umschlossen ist und das Material eine Pellikelschicht (8) ist.

3. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei die Wellenlänge eine Laserwellenlänge ist, welche über 8 Mikrometern liegt.

4. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei die Fotomaske (4) eine Quarzfotomaske ist und die Wellenlänge der elektromagnetischen Strahlung etwa 9 Mikrometer beträgt.

5. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei eine Dünnschicht (3) auf der Fotomaske (4) angeordnet ist und das wenigstens eine Strukturelement in der Dünnschicht (3) enthalten ist.

6. Verfahren gemäß Anspruch 5, wobei die Dünnschicht (3) partiell lichtabsorbierend ist.

7. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei die Verringerung des Positionsfehlers ein Ergebnis von wenigstens einem von Dehydratisierung, Oxidation, Tempern und Verdichtung ist.

8. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei das wenigstens eine Strukturelement ein erstes Strukturelement, das an einer ersten Stelle angeordnet ist, und ein zweites Strukturelement, das an einer zweiten Stelle angeordnet ist, umfasst, wobei die zweite Stelle verschieden ist von der ersten Stelle, wobei

das Verfahren ferner umfasst das Verringern eines Positionsfehlers des ersten Strukturelements um ein erstes Ausmaß und das Verringern eines Positionsfehlers des zweiten Strukturelements um ein zweites Ausmaß, wobei das erste Ausmaß verschieden ist von dem zweiten Ausmaß.

9. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei die Fotomaske (4) eine Mehrzahl von Materialien enthält, die elektromagnetische Strahlung ein Laserstrahl (2) ist und der Laserstrahl (2) eine Wellenlänge hat, die sich im Wesentlichen mit dem hohen Absorptionskoeffizienten von wenigstens zwei Materialien der Mehrzahl von Materialien deckt.

10. Verfahren zur Verbesserung der optischen Eigenschaften einer Fotomaske (4), umfassend: das Richten elektromagnetischer Strahlung auf die Fotomaske (4), wobei die Fotomaske (4) eine darauf angeordnete, partiell absorbierende Dünnschicht (3) aufweist, wobei die elektromagnetische Strahlung eine Wellenlänge hat, die sich im Wesentlichen mit dem hohen Absorptionskoeffizienten der Fotomaske (4) deckt; das Erzeugen einer Erhöhung der thermischen Energie in der Fotomaske (4) in Reaktion auf die darauf auftreffende elektromagnetische Strahlung und das Modifizieren der Position eines ersten Strukturelements auf der Fotomaske (4) bezogen auf ein zweites Strukturelement auf der Fotomaske (4), wobei die Fotomaske (4) wenigstens teilweise von einem Pellicel (8) umschlossen ist, wobei das Verfahren ferner das Richten der elektromagnetischen Strahlung durch eine über der Fotomaske (4) angeordnete Pellicelschicht (8) umfasst.

11. Verfahren gemäß Anspruch 10, wobei die Modifizierung das Erhöhen des Abstands zwischen dem ersten Strukturelement und dem zweiten Strukturelement umfasst.

12. Verfahren gemäß Anspruch 10, wobei die Modifizierung das Verringern des Abstands zwischen dem ersten Strukturelement und dem zweiten Strukturelement umfasst.

13. Verfahren gemäß Anspruch 10, wobei die elektromagnetische Strahlung ferner auf die Dünnschicht (3) gerichtet wird und die elektromagnetische Strahlung eine Wellenlänge hat, die sich im Wesentlichen mit dem hohen Absorptionskoeffizienten der Dünnschicht (3) deckt.

14. Verfahren zur Verbesserung der optischen Eigenschaften einer Fotomaske (4), umfassend: das Richten elektromagnetischer Strahlung auf eine auf der Fotomaske (4) angeordnete, partiell absorbierende Dünnschicht (3), wobei die elektromagnetische Strahlung eine Wellenlänge hat,

die sich im Wesentlichen mit dem hohen Absorptionskoeffizienten der Dünnschicht deckt; das Erzeugen einer Erhöhung der thermischen Energie in der Dünnschicht (3) in Reaktion auf die darauf auftreffende elektromagnetische Strahlung und das Modifizieren der Position eines ersten Strukturelements auf der Fotomaske (4) bezogen auf ein zweites Strukturelement auf der Fotomaske (4).

15. Verfahren gemäß Anspruch 14, wobei die Modifizierung das Vergrößern des Abstands zwischen dem ersten Strukturelement und dem zweiten Strukturelement umfasst.

16. Verfahren gemäß Anspruch 14, wobei die Modifizierung das Verringern des Abstands zwischen dem ersten Strukturelement und dem zweiten Strukturelement umfasst.

17. Verfahren gemäß Anspruch 14, wobei die Fotomaske (4) wenigstens teilweise von einem Pellicel (8) umschlossen ist, wobei das Verfahren ferner das Richten der elektromagnetischen Strahlung durch eine über der Fotomaske (4) angeordnete Pellicelschicht (8) umfasst.

18. Verfahren gemäß Anspruch 14, wobei die elektromagnetische Strahlung ferner auf die Fotomaske (4) gerichtet wird und die elektromagnetische Strahlung eine Wellenlänge hat, die sich im Wesentlichen mit dem hohen Absorptionskoeffizienten der Fotomaske (4) deckt.

Es folgen 14 Seiten Zeichnungen

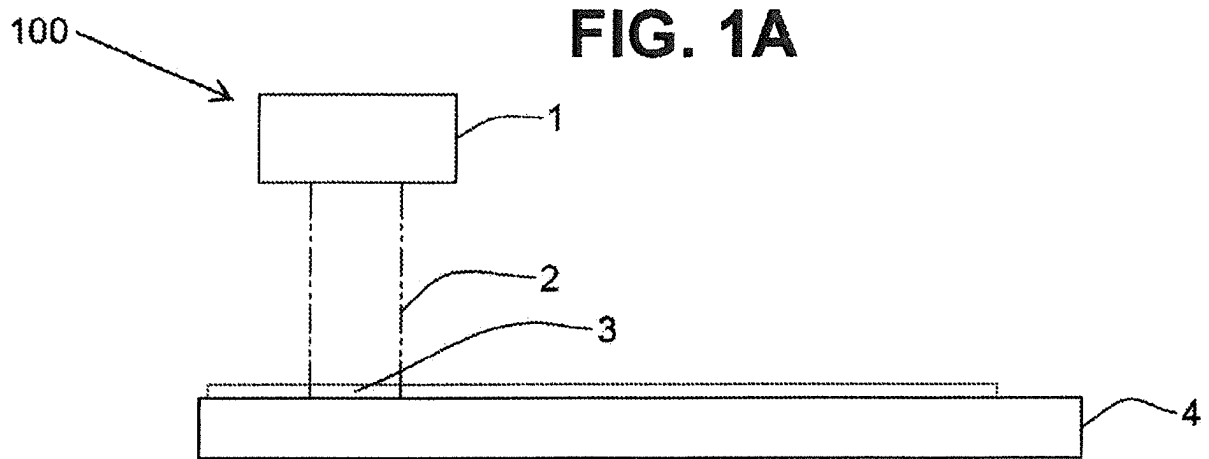


FIG. 1B

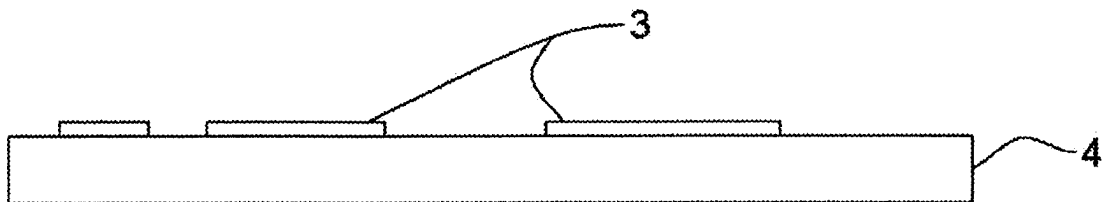


FIG. 2

MOSI-FOTOMASKENSCHICHTABSORPTIONSSPEKTREN

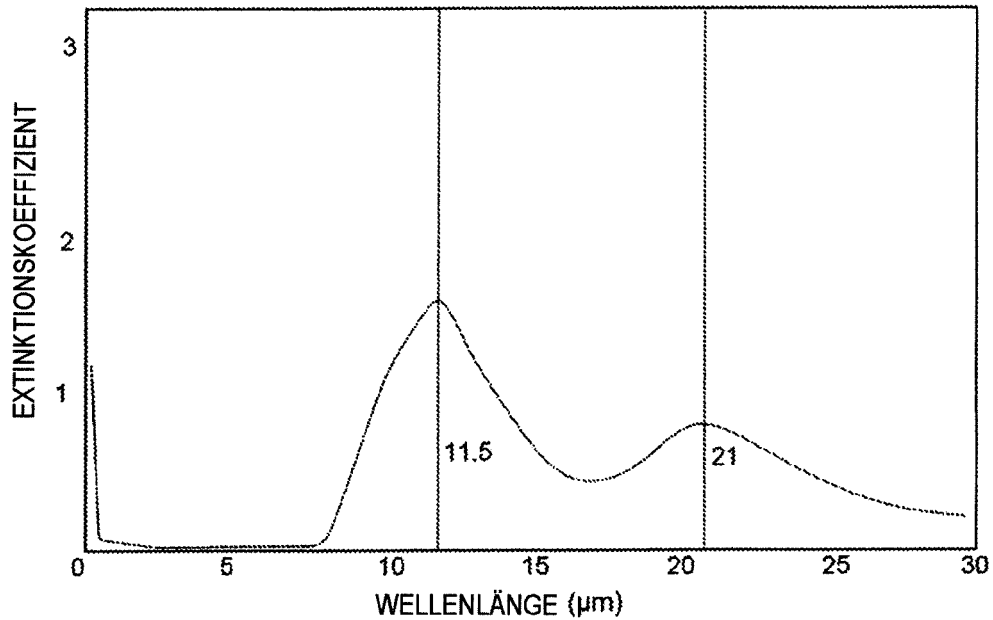


FIG. 3

QUARZGLAS-FOTOMASKENBLINDPROBENABSORPTIONSSPEKTREN

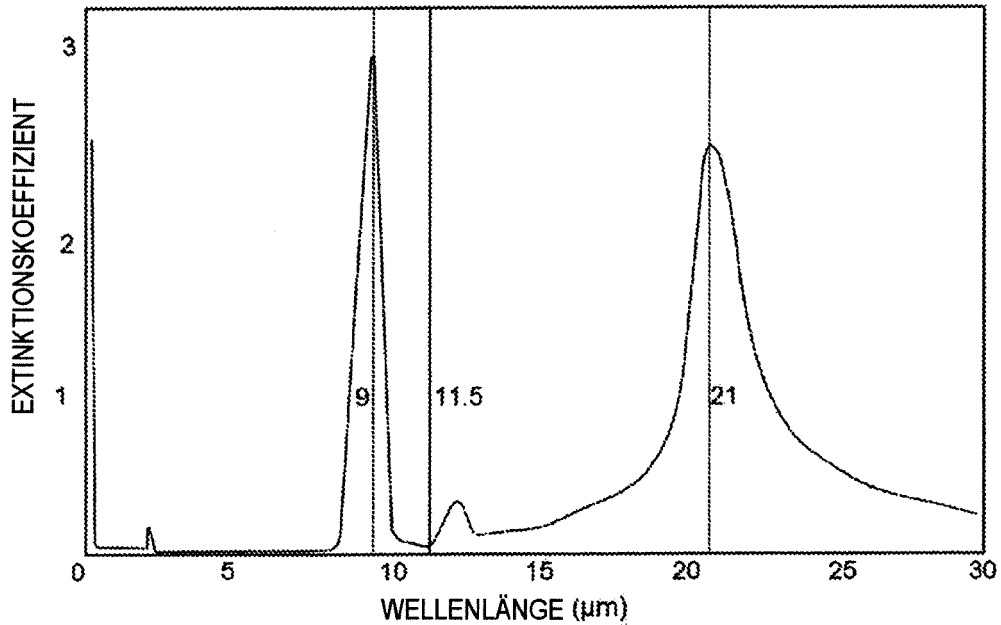


FIG. 4

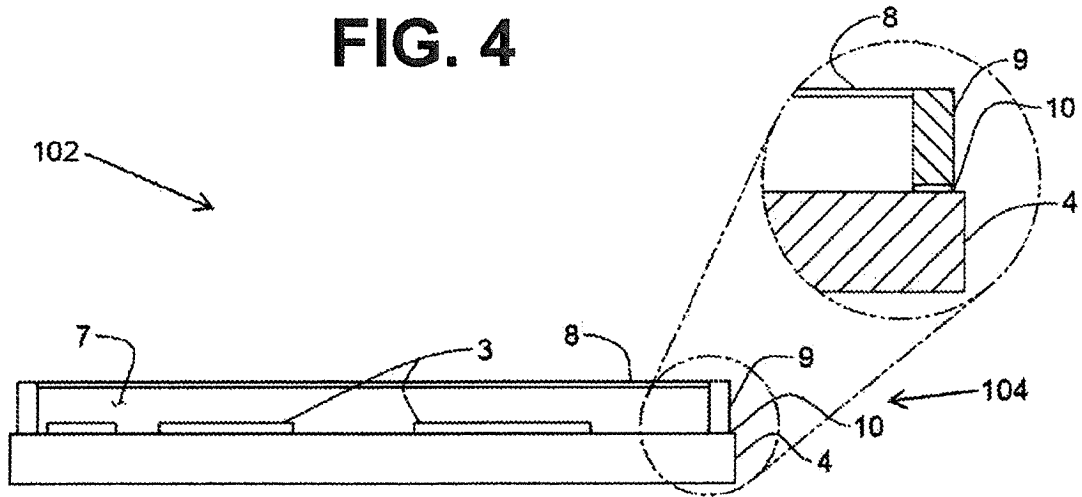


FIG. 5A

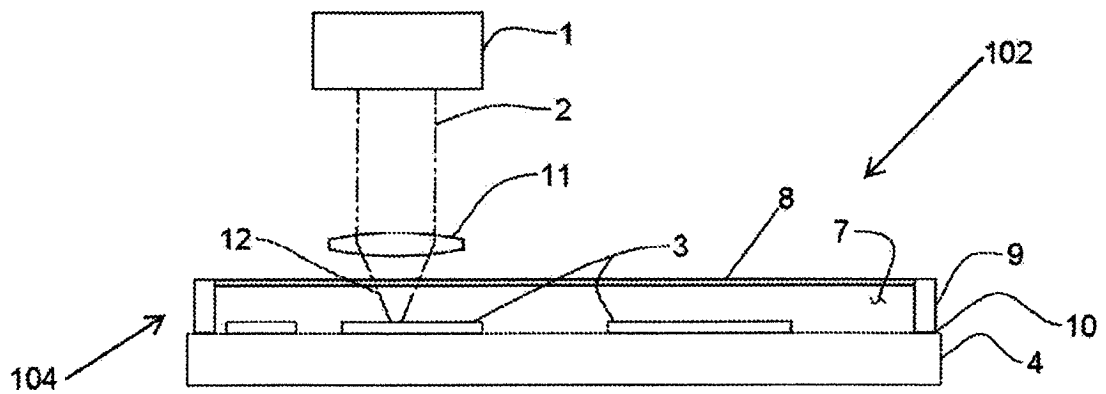


FIG. 5B

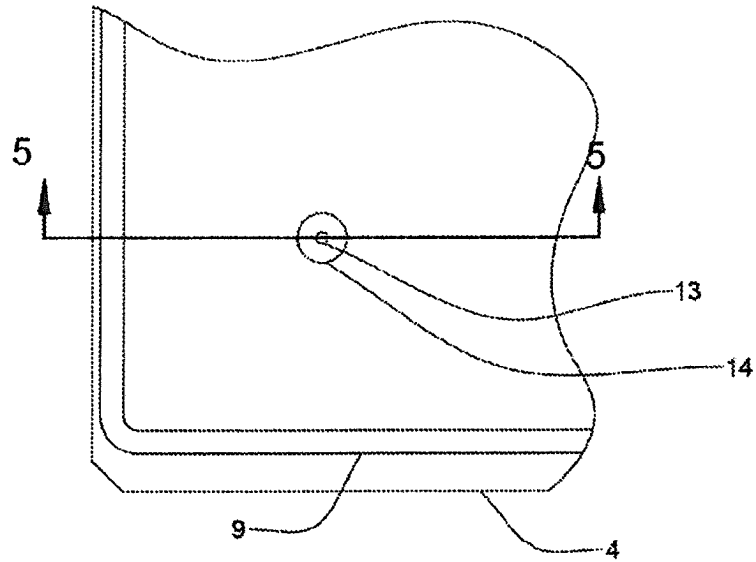


FIG. 5C

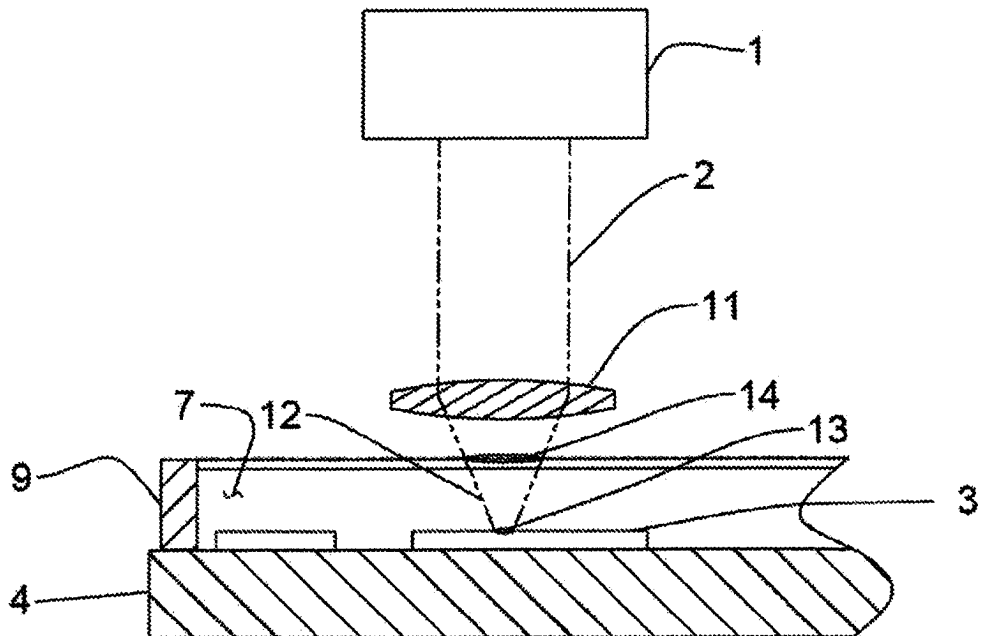


FIG. 6A

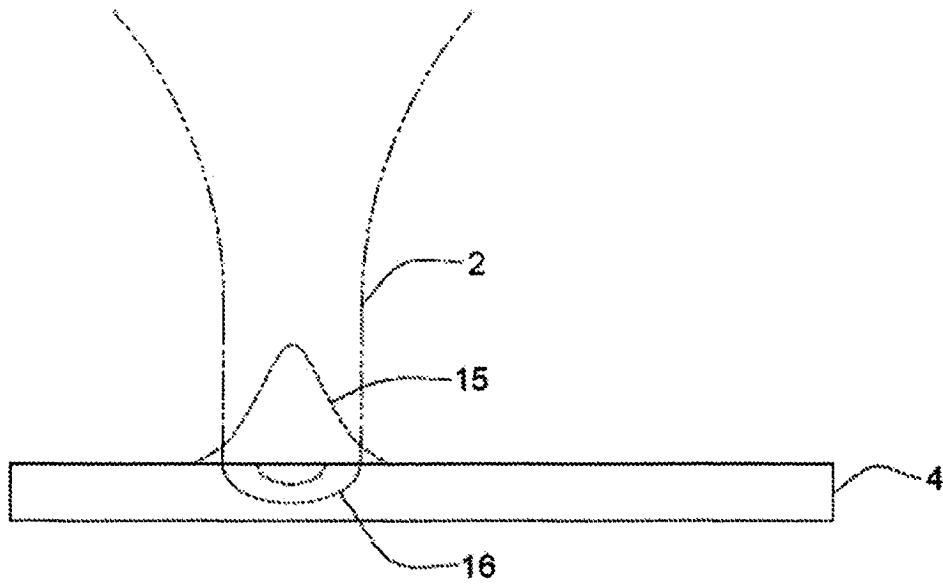


FIG. 6B

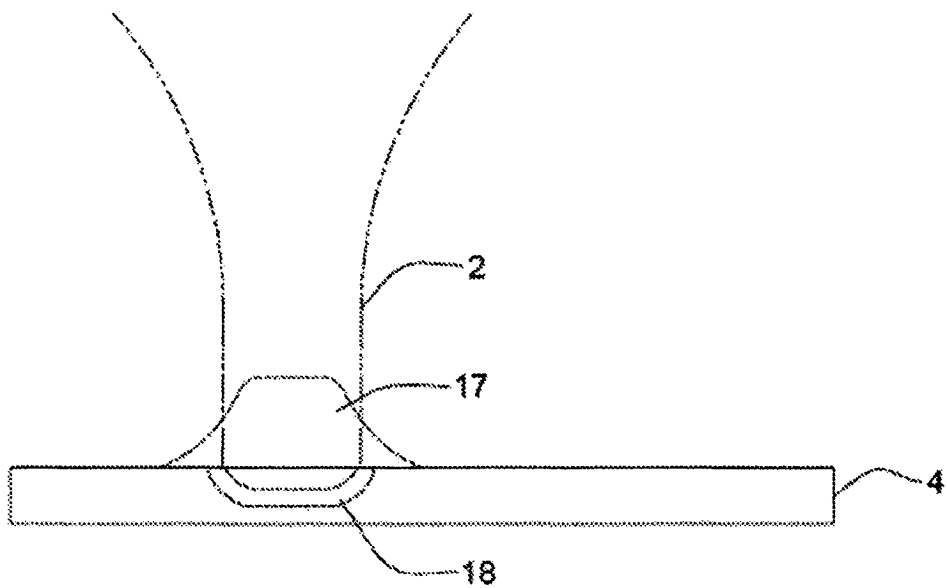


FIG. 7

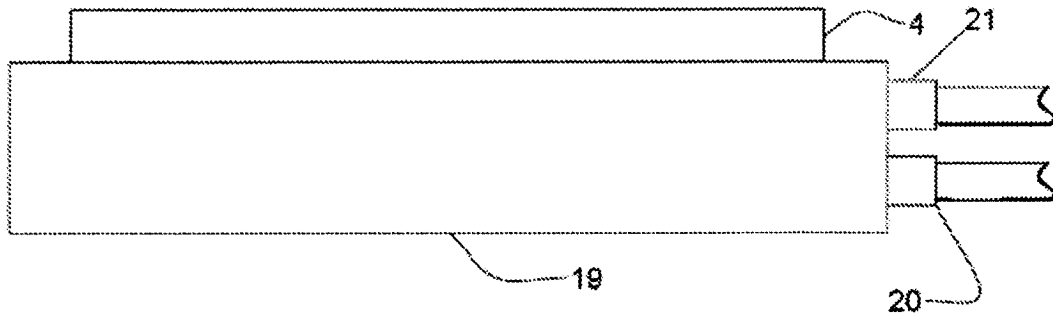


FIG. 8

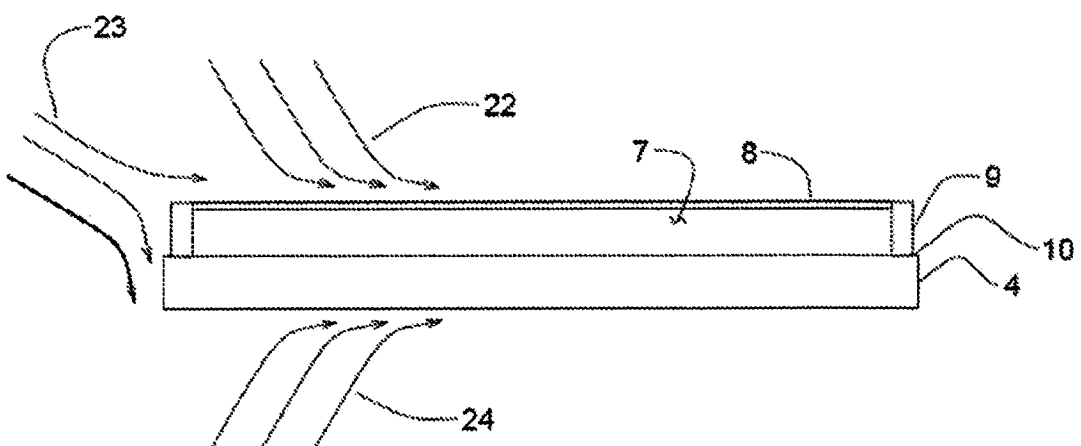


FIG. 9A

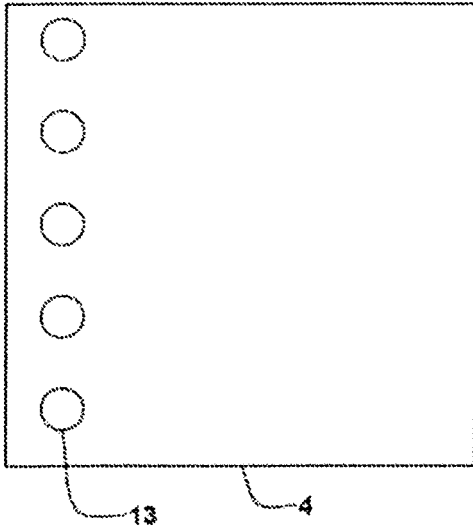


FIG. 9B

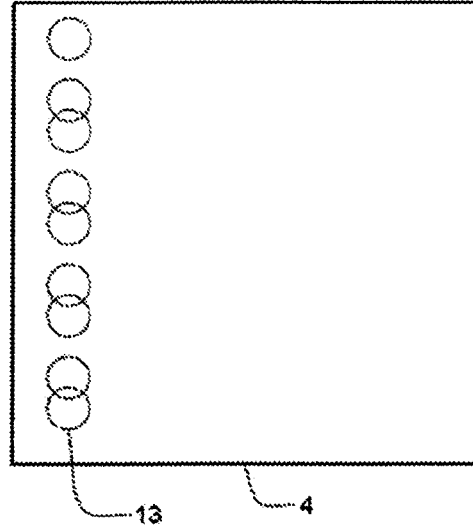


FIG. 9C

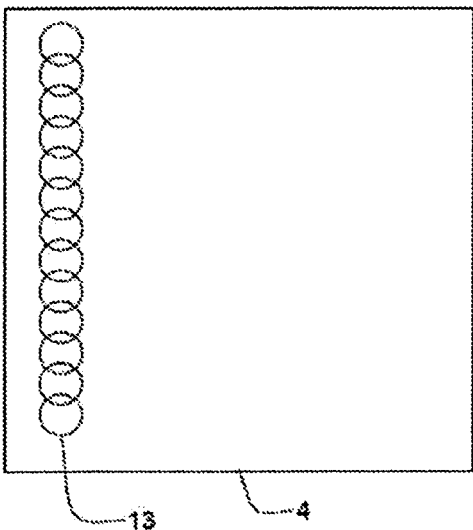


FIG. 9D

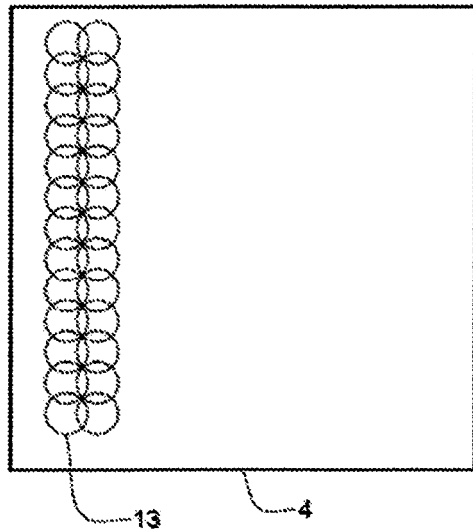


FIG. 9E

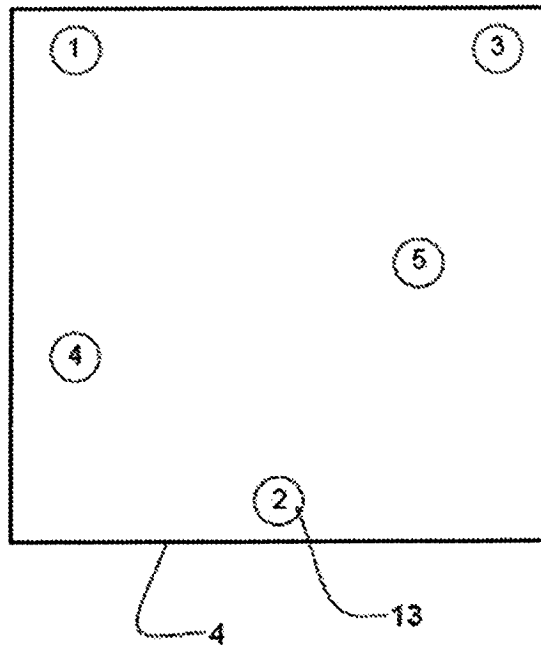
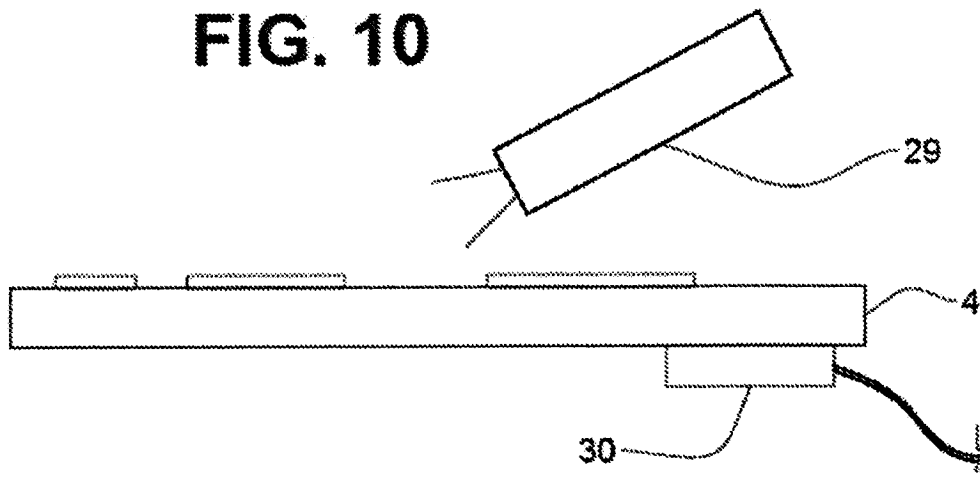


FIG. 10



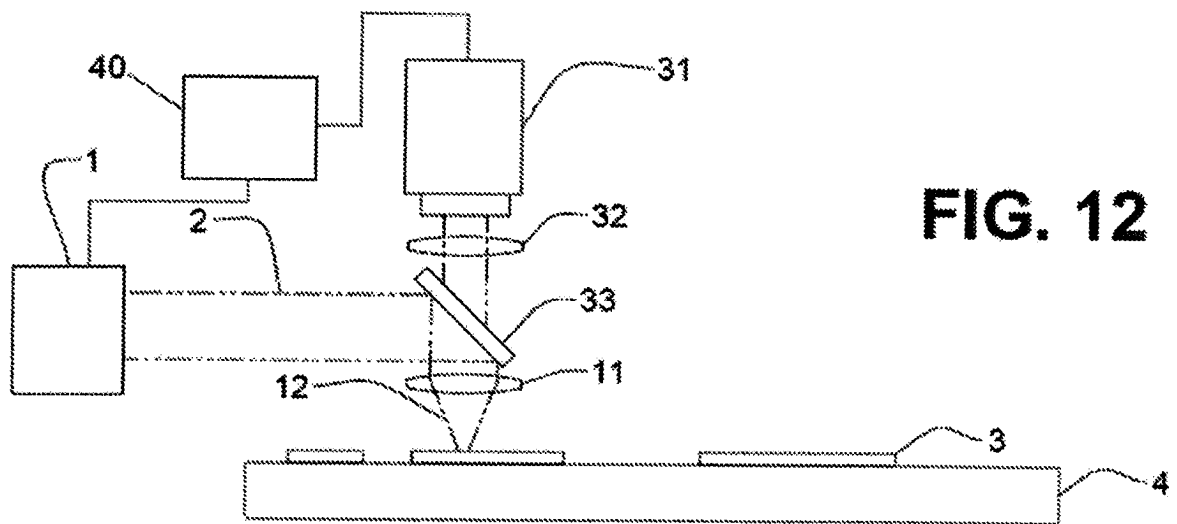
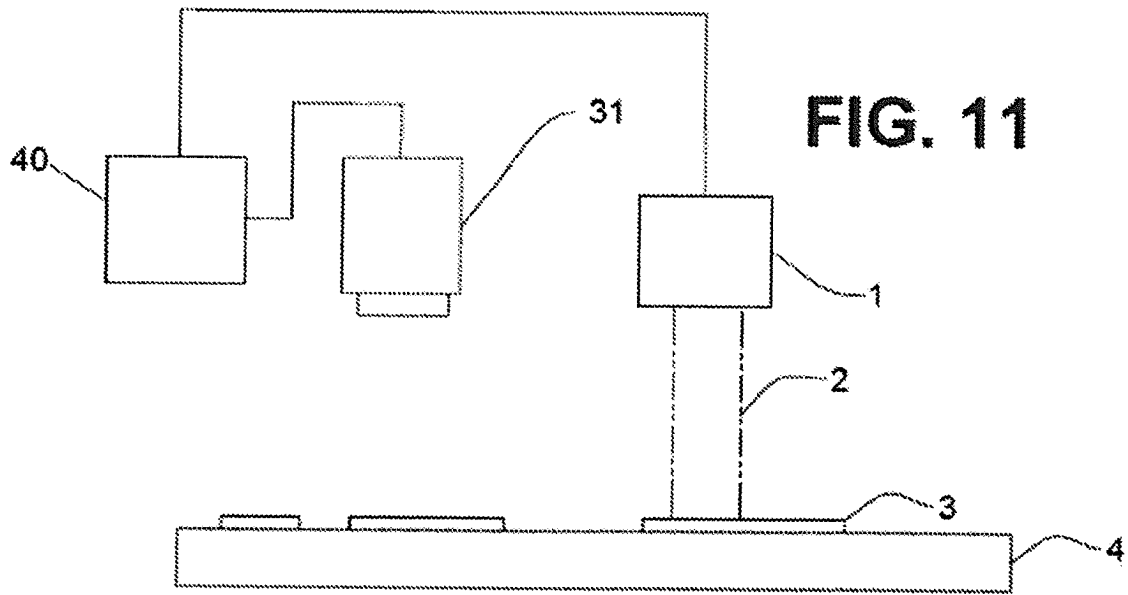


FIG. 13

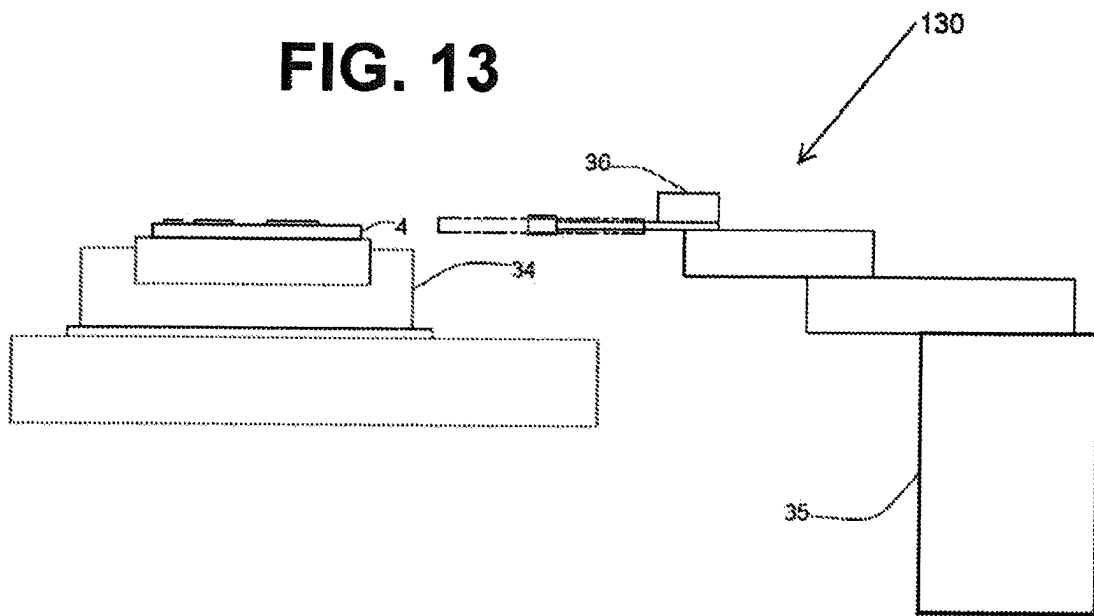


FIG. 14

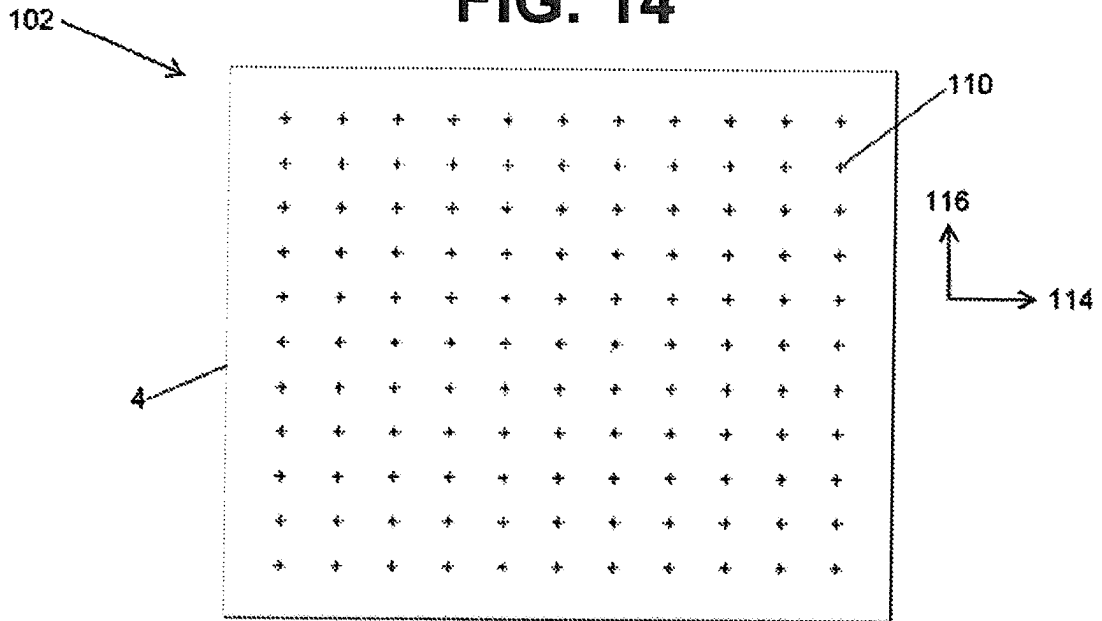


FIG. 15

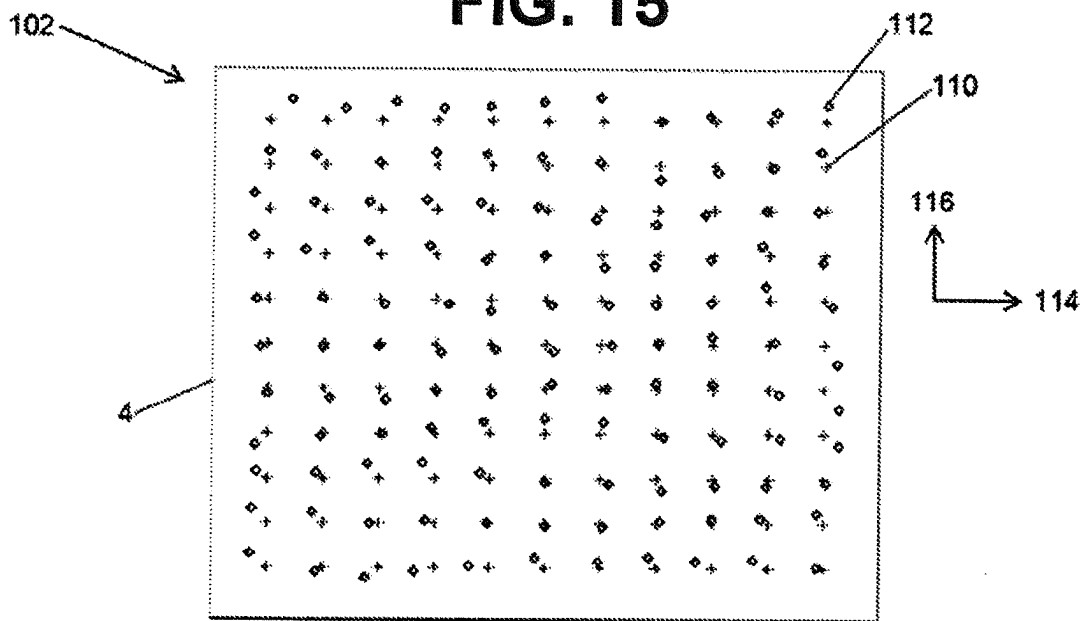


FIG. 16

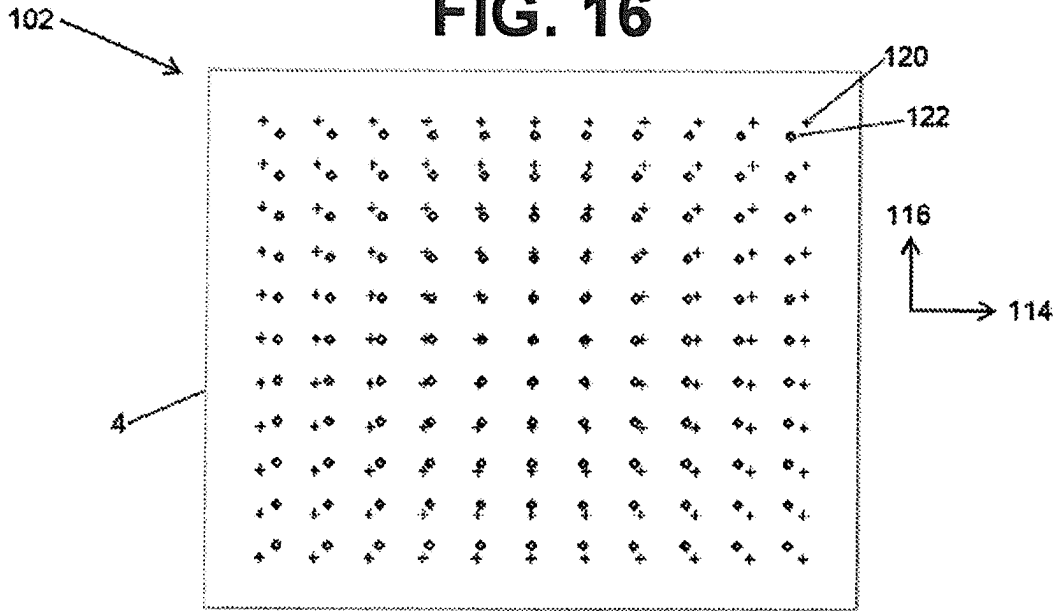


FIG. 17

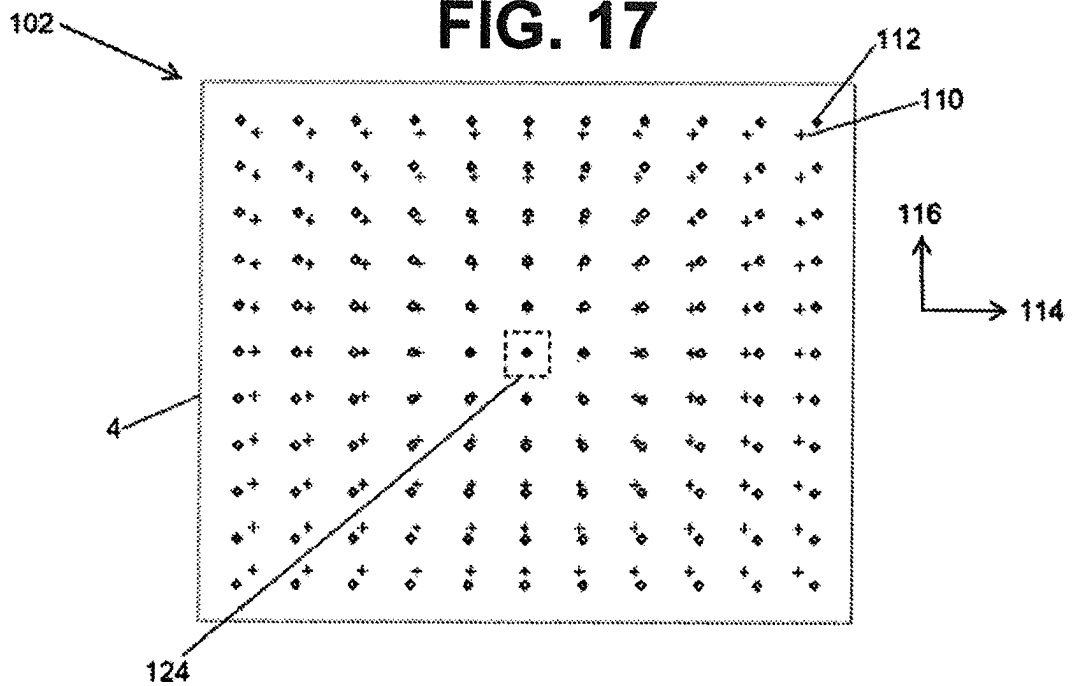


FIG. 18

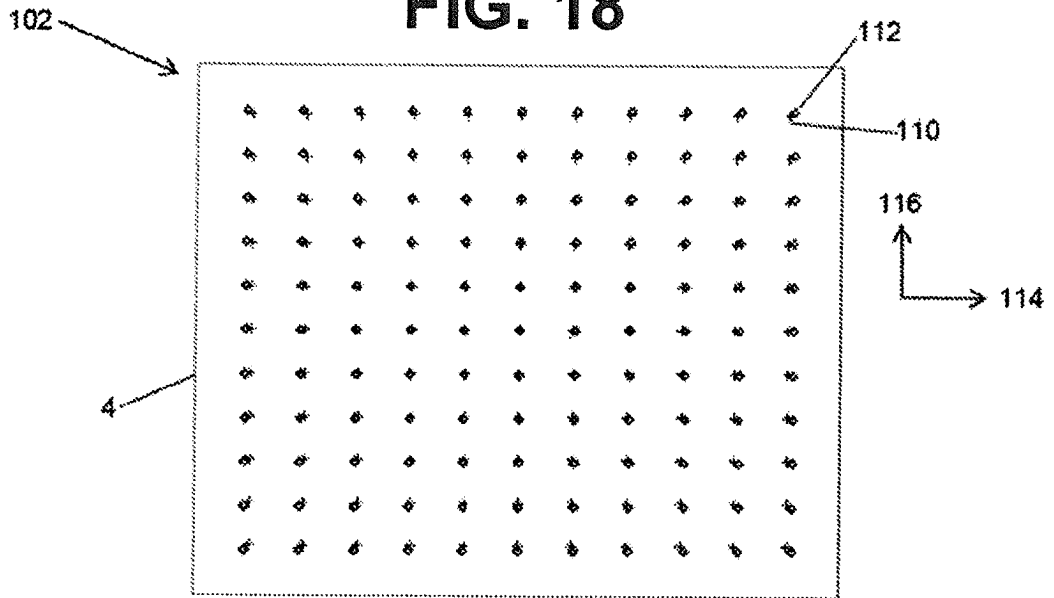


FIG. 19

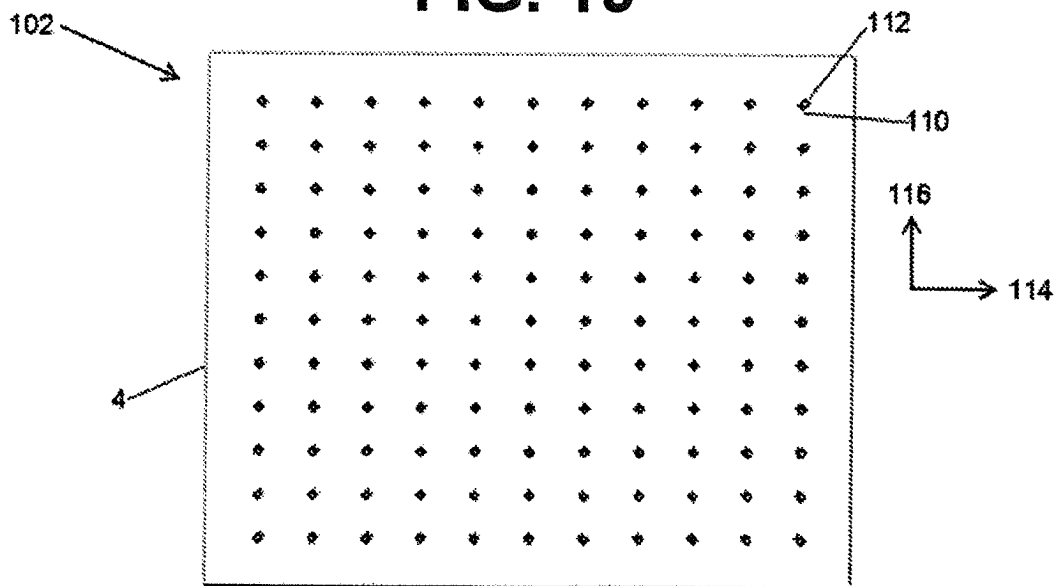


FIG. 20

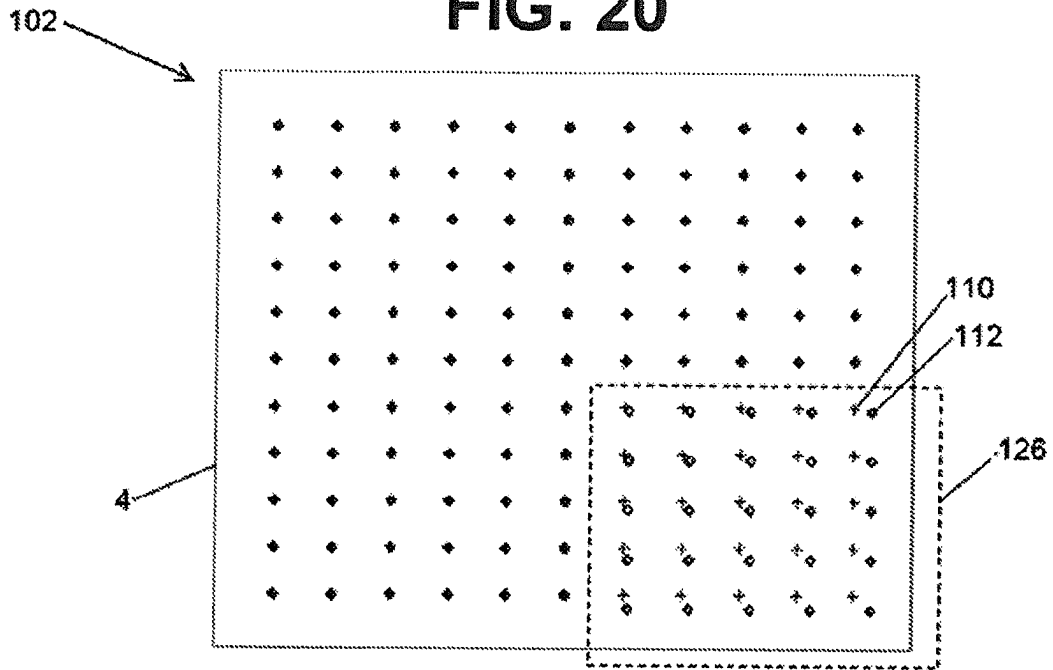


FIG. 21

