



(10) **DE 11 2014 004 139 B4** 2023.03.02

(12) **Patentschrift**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2014 004 139.4**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2014/054547**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2015/038472**
(86) PCT-Anmeldetag: **08.09.2014**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **19.03.2015**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **14.07.2016**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **02.03.2023**

(51) Int Cl.: **G02F 1/37** (2006.01)
H01S 3/10 (2006.01)
G02F 1/355 (2006.01)
G01N 21/88 (2006.01)
G03F 1/84 (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:

61/876,201 **10.09.2013** **US**
14/080,746 **14.11.2013** **US**

(73) Patentinhaber:

KLA-Tencor Corporation, Milpitas, Calif., US

(74) Vertreter:

**Reichert & Lindner Partnerschaft Patentanwälte,
93049 Regensburg, DE**

(72) Erfinder:

Chuang, Yung-Ho Alex, Cupertino, CA, US

(56) Ermittelte Stand der Technik:

siehe Folgeseiten

(54) Bezeichnung: **Dauerstrich-Laser mit geringem Rauschen, hoher Stabilität und tiefem Ultraviolett, Inspektionssystem mit einem solchen Laser und Verfahren zur Erzeugung von tief-ultraviolettem Dauerstrichlicht in einem Laser**

(57) Hauptanspruch: Ein Laser (200) zum Erzeugen von Dauerstrichlicht (250) im tiefen Ultraviolettlicht (DUV) umfassend:

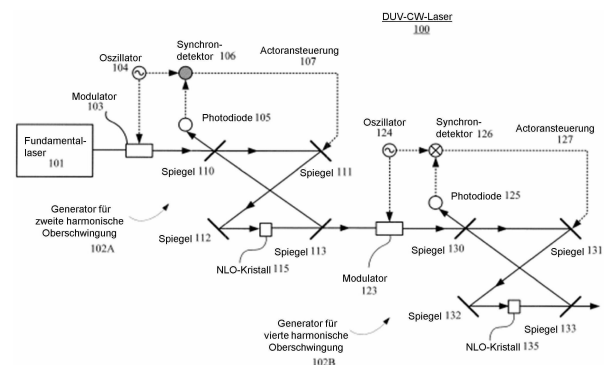
einen Generator (102A) für eine zweite harmonische Oberschwingung zur Umwandlung von Licht mit einer Grundwellenlänge in Licht (201) mit einer Wellenlänge der zweiten harmonischen Oberschwingung;

einen Generator (202B) für eine vierte harmonische Oberschwingung zur Umwandlung von Licht (201) mit einer Wellenlänge der zweiten harmonischen Oberschwingung in Licht mit einer Wellenlänge der vierten harmonischen Oberschwingung, wobei der Generator (202B) für die vierte harmonische Oberschwingung umfasst:

eine Vielzahl von Spiegeln (130, 131, 132, 133), dazu ausgebildet, Licht im Generator (202B) für die vierte harmonische Oberschwingung zirkulieren zu lassen;
einen ersten nichtlinearen optischen (NLO) Kristall (235) mit ersten optischen Achsen, die derart relativ zu dem im Generator (202B) für die vierte harmonische Oberschwingung zirkulierenden Licht orientiert sind, dass der erste NLO-Kristall (235) einen Teil des Lichts (201) mit der Wellenlänge der zweiten harmonischen Oberschwingung in Licht mit der Wellenlänge der vierten harmonischen Oberschwingung und einem ersten Astigmatismus umwandelt, wobei der erste NLO-Kristall in operativem Verhältnis mit der Vielzahl der Spiegel (130, 131, 132, 133) ist, derart,

dass das im Generator (202B) für die vierte harmonische Oberschwingung zirkulierende Licht nur in einer einzigen Ausbreitungsrichtung des Lichts in den ersten NLO-Kristall (235) gerichtet ist; und

einen zweiten NLO-Kristall (236), der in operativem Verhältnis zu dem ersten NLO-Kristall (235) ist, so dass das gesamte Licht der zweiten harmonischen Wellenlänge durch den ersten NLO-Kristall (235) und zumindest ein Teil des Lichts (201) der zweiten harmonischen Wellenlänge durch den zweiten NLO-Kristall (236) nur in der einen Ausbreitungsrichtung hindurchgeht, wobei zweite optische Achsen ...



(19)



Deutsches
Patent- und Markenamt

(10) **DE 11 2014 004 139 B4** 2023.03.02

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2005 015 497	A1
US	2009 / 0 067 035	A1
US	2013 / 0 021 602	A1

Beschreibung

VERWEIS AUF VERWANDTE ANMELDUNGEN

[0001] Diese Anmeldung beansprucht die Priorität der provisorischen US-Anmeldung 61/876,201, angemeldet am 10. September 2013, mit dem Titel: „CW DUV Laser With Improved Stability“.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

GEBIET DER ERFINDUNG

[0002] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf Dauerstrich-Laser (CW), die geringes Rauschen aufweisen, hoch stabil sind und Licht im tiefen Ultraviolett (DUV) aussenden. Ferner bezieht sich die Erfindung auf Inspektions- und Metrologiesysteme, die solche Laser umfassen.

STAND DER TECHNIK

[0003] Die Inspektion und Metrologie von Halbleitern erfordert sehr stabile, rauscharme Lichtquellen, um kleine Defekte zu finden und/oder sehr genaue Messungen von kleinen Dimensionen auszuführen. UV-Lichtquellen sind wichtig, weil in der Regel kürzere Wellenlängen eine bessere Empfindlichkeit für kleine Defekte oder Dimensionen ergeben.

[0004] Rauscharme, hoch stabile Laser sind derzeit für Wellenlängen im Sichtbaren und nahen Infrarot (IR) verfügbar. Allerdings gibt es nur sehr wenige CW-Laser für Wellenlängen im DUV. Selbst wenn vorhanden, sind solche Laser teuer und laut, haben eine schlechte Langzeitstabilität und können häufige Anpassungen und/oder Wartung erfordern. Darüber hinaus haben solche Laser in der Regel eine Leistung von weniger als 250 mW, während höhere Leistungen für die meisten industriellen Anwendungen wünschenswert sind, weil sie eine schnellere Inspektion und eine präzisere Metrologie ermöglichen.

[0005] Die US-Patentanmeldung US 2009 / 0 067 035 A1 betrifft Vorrichtungen zur Erzeugung kohärenter Strahlung, die hierzu die Frequenzwandlung in nichtlinearen optischen Materialien nutzen.

[0006] Die deutsche Patentanmeldung DE 10 2005 015 497 A1 betrifft eine Anordnung zur Erzeugung frequenzkonvertierter Laserstrahlung. Hierzu wird ein Fundamentalstrahl nacheinander in zwei passiven Resonatoren frequenzkonvertiert. Die optischen Längen der beiden Resonatoren werden elektronisch geregelt.

[0007] Die US-Patentanmeldung US 2013 / 0 021 602 A1 offenbart ein modengekoppeltes Lasersystem mit einem Frequenzwandlerkris-

tall. Das System arbeitet bei niedrigen Temperaturen.

[0008] Bekannte DUV-CW-Laser arbeiten typischerweise derart, dass sie eine vierte Harmonische einer Grundwellenlänge eines IR-Lasers erzeugen. In der Regel werden zwei Frequenzumwandlungsstufen verwendet, wobei eine erste Stufe eine zweite harmonische Frequenz (auch zweite Harmonische bezeichnet) aus einer Grundfrequenz erzeugt. Eine zweite Stufe erzeugt eine vierte harmonische Frequenz (auch vierte Harmonische bezeichnet), wobei die zweite harmonische Frequenz verwendet wird. Jede der Verdopplungsstufen der Frequenz (d.h. die erste und zweite Stufe) verwendet einen nichtlinearen optischen (NLO) Kristall.

[0009] Der Prozess der Frequenzverdopplung hängt vom Quadrat der elektrischen Feldstärke ab, was Fachleuten auf diesem technischen Gebiet bekannt ist. Für den Fall, dass die Leistungsdichte innerhalb des NLO-Kristalls niedrig ist, ist auch der Umwandlungsprozess sehr ineffizient. Ein IR-Laser von einigen Watt oder sogar einigen zehntel Watt Leistung, wenn er in einen NLO-Kristall fokussiert wird, erzeugt aufgrund seiner geringen Leistungsdichte sehr wenig zweite Harmonische. Im Gegensatz dazu kann ein gepulster Laser eine Spitzenleistungsdichte zur Verfügung stellen, die oft höher ist als die mittlere Leistungsdichte. Folglich kann ein gepulster Laser mit einer ähnlichen, über die Zeit gemittelten Leistungsdichte, im Vergleich zum IR-Laser, wesentlich mehr der zweiten Harmonischen erzeugen. Beispielsweise wird bei einigen der gepulsten Laser etwa 50% des Eingangs eines gepulsten Lasers in die zweite Harmonische umgewandelt.

[0010] Ein DUV-CW-Laser kann einen Hohlraumresonator (auch als Resonator bezeichnet) verwenden, um die Leistungsdichte in dessen NLO-Kristall zu erhöhen und dadurch den Wirkungsgrad der Umwandlung zu verbessern. Der größte Teil des Lichts durchläuft den NLO-Kristall, ohne in die zweite Harmonische umgewandelt zu werden. Dieses Licht wird in den Resonator zurückgeführt, um die Leistungsdichte zu erhöhen. Jeder der erzeugten zweiten Harmonischen ist es ermöglicht, aus dem Resonator auszutreten. Schlussendlich erreicht die Leistungsdichte ein Niveau, bei dem die den Resonator als zweite Harmonische verlassende Leistung zusammen mit den Verlusten im Resonator gleich der Eingangsleistung ist und somit ein stabiler Zustand erreicht ist. Um die DUV-Wellenlängen zu erzeugen, können in der Regel zwei Hohlraumresonatoren in Reihe geschaltet sein. Der erste Resonator erzeugt die zweite Harmonische (z.B. eine sichtbare Wellenlänge, wie z.B. 532 nm), indem die IR-Grundwellenlänge rezirkuliert wird. Der zweite Resonator, der mit dem ersten Resonator in Reihe geschaltet ist, erzeugt die vierte Harmonische (z.B.

eine DUV-Wellenlänge, wie z.B. 266 nm), in dem die zweite Harmonische rezirkuliert wird. Man beachte, dass der Begriff „gekoppelt“, wie verwendet, um die Resonatoren und/oder Komponenten der Resonatoren zu beschreiben, auch oder auch nicht Komponenten der Resonatoren umfassen kann, die sich körperlich berühren.

[0011] Fig. 1 zeigt beispielhaft eine bekannte Konfiguration eines Lasers mit zwei Resonatoren, wobei ein erster Resonator einen Generator 102A für eine zweite harmonische Oberschwingung implementiert, und ein zweiter Resonator einen Generator 102B für eine vierte harmonische Oberschwingung implementiert. Der Generator 102A für eine zweite harmonische Oberschwingung umfasst eine Vielzahl von Spiegeln 110, 111, 112 und 113 und einen NLO-Kristall 115 zum Erzeugen der zweiten Harmonischen. Der Generator 102B für eine vierte harmonische Oberschwingung umfasst eine Vielzahl von Spiegeln 130, 131, 132 und 133 und einen NLO-Kristall 135 zum Erzeugen der vierten Harmonischen. Der Generator 102A für die zweite harmonische Oberschwingung kann unter Verwendung eines Oszillators 104 (Erzeugen eines Signals mit einer Frequenz f_1), eines Modulators 103, einer Photodiode 105 und eines Synchrondetektors 106 aktiv gesteuert werden. In gleicher Weise kann der Generator 102B für die vierte harmonische Oberschwingung unter Verwendung eines Oszillators 124 (Erzeugen eines Signals mit einer Frequenz f_2), eines Modulators 123, einer Photodiode 125 und eines Synchrondetektors 126 aktiv gesteuert werden.

[0012] Das IR-Licht (z.B. mit einer Wellenlänge von 1064 nm) von einem Fundamentallaser 101 tritt über den Spiegel 110 in den Generator 102A für die zweite harmonische Oberschwingung ein. Nach der Reflexion an den Spiegeln 111 und 112 tritt Licht in den NLO-Kristall 115 ein. Ein Teil des in den NLO-Kristall 115 eintretenden IR-Lichts wird in die zweite Harmonische (z.B. 532 nm) konvertiert. Ein Spiegel 113 ist mit einem Material beschichtet, das IR-Licht reflektiert, aber die zweite Harmonische durchlässt. Als Ergebnis gelangt das Licht der zweiten Harmonischen durch den Spiegel 113 und ist auf den Generator 102B für die vierte harmonische Oberschwingung gerichtet.

[0013] Der größte Teil des durch den Kristall 115 passierenden IR-Lichts tritt aus dem NLO-Kristall 115 aus, ohne dass es umgewandelt worden ist und wird somit durch den Spiegel 113 reflektiert und durch den Spiegel 110 zurückgeleitet. Der Spiegel 110 ist mit einem Material beschichtet, das für das IR-Licht, welches unter dem Einfallswinkel des Strahls vom Spiegel 113 auftritt, stark reflektierend ist, aber für das vom Fundamentallaser 101 kommenden IR-Licht hochdurchlässig ist.

[0014] Um eine hohe Leistungsdichte im Generator 102A für die zweite harmonische Oberschwingung aufzubauen, sollte das IR-Licht, das im ersten Resonator zirkuliert hat, am Spiegel 110 in Phase mit dem ankommenden Licht aus dem Fundamentallaser 101 sein. Zu diesem Zweck wird eine Servosteuerung eingesetzt, um den Spiegel 111 mechanisch zu bewegen und eine vorbestimmte Länge des Resonators zu erreichen, wodurch die gewünschte Phase bereitgestellt wird. Bei der in Fig. 1 gezeigten Ausgestaltung umfasst die Servosteuerung für den Generator 102A für die zweite harmonische Oberschwingung einen Oszillator 104, einen Modulator 103, eine Photodiode 105, einen Synchrondetektor 106 und eine Aktoransteuerung 107. In ähnlicher Weise umfasst die Servosteuerung für den Generator 102B für eine vierte harmonische Oberschwingung einen Oszillator 124, einen Modulator 123, eine Photodiode 125, einen Synchrondetektor 126, und eine Aktoransteuerung 127. Beispielhaft kann die Aktoransteuerung einen piezoelektrischen Wandler oder eine Schwingenspule umfassen, um eine vorbestimmten Länge des Resonators aufrecht zu erhalten und damit die Leistungsdichte im Resonator zu maximieren.

[0015] Wie in Fig. 1 gezeigt, wird das IR-Eingangslicht vom Fundamentallaser 101 durch den Modulator 103 mit einer Frequenz f_1 (vom Oszillator 104 bereitgestellt) moduliert, um ein zeitlich veränderliches Signal zu liefern. Es ist zu beachten, dass die Beschichtung auf jedem Spiegel unvollkommen ist, wodurch eine Leckage ermöglicht wird. Als Ergebnis empfängt die Photodiode 105 einen kleinen Teil des Lichts, das im ersten Resonator zirkuliert (d.h., dieses Licht, das durch den Spiegel 113 über den Spiegel 110 reflektiert wird), um ein Signal für den Synchrondetektor 106 bereitzustellen. Der Synchrondetektor 106 (mit einem Mischer oder einigen anderen ähnlichen Komponenten) vergleicht den Ausgang der Photodiode 105 mit dem Ausgang des Oszillators 104 bei der Frequenz f_1 , um ein Steuersignal für die Aktuatoransteuerung 107 zu erzeugen. Speziell kann der Synchrondetektor 106 bestimmen, ob die Länge des ersten Resonators angepasst werden muss und, falls dem so ist, ob die Länge erhöht oder verringert werden muss und um wieviel. Exemplarisch sind Aktuatoransteuerungen im U.S. Patent US 5,367,531 A sowie in LIGO Technical Note LIGO-T980045-00-D von Black (1998) beschrieben.

[0016] Ein zweiter Modulator 123 moduliert das Eingangslicht (vom Spiegel 113 zur Verfügung gestellt) für den Generator 102B für eine vierte harmonische Oberschwingung mit der Frequenz f_2 , um ein anderes zeitveränderliches Signal bereitzustellen. Die Photodiode 125 detektiert einen kleinen Teil des zirkulierenden Lichts (von dem Spiegel 133 über Spiegel 130). Der Synchrondetektor 106 vergleicht das

Ausgangssignal der Photodiode 125 mit dem Ausgang des Oszillators 124 bei Frequenz f_2 , um ein Steuersignal für die Aktoransteuerung 127 zu generieren. Speziell kann der Synchrondetektor 126 feststellen, ob die Länge des Generators 102B für eine vierte harmonische Oberschwingung angepasst werden muss und, falls dem so ist, ob die Länge erhöht oder verringert werden soll. Die Aktuatoransteuerung 127 steuert körperlich die Position des Spiegels 131, um die entsprechende Länge des Generators 102B für eine vierte harmonische Oberschwingung beizubehalten, so dass die Phase des vom Spiegel 133 reflektierten Lichts die gleiche ist, wie diejenige des vom Spiegel 130 (über Spiegel 113) zur Verfügung gestellten Lichts.

[0017] Somit arbeitet der Generator 102B für die vierte harmonische Oberschwingung in einer im Wesentlichen ähnlichen Weise, wie der Generator 102A für die zweite harmonische Oberschwingung, außer dass die Eingangswellenlänge des Lichts für den Generator 102B für die vierte harmonische Oberschwingung die zweite Harmonische (z.B. 532 nm) ist und die Ausgangswellenlänge die vierte Harmonische (z.B. 266 nm) ist. Es ist zu beachten, dass die Beschichtungen und die Materialien des Generators 102A für die zweite harmonische Oberschwingung und des Generators 102B für die vierte harmonische Oberschwingung entsprechend für die jeweiligen Wellenlängen ausgewählt werden.

[0018] Bei einigen Vorrichtungen (nicht dargestellt) des Standes der Technik ist der zweite Modulator 123 weggelassen, wodurch beide Servosteuerungen bei der gleichen Modulationsfrequenz arbeiten. In anderen Vorrichtungen (auch nicht dargestellt) des Standes der Technik sind weder der erste Modulator 103 noch der zweite Modulator 123 vorhanden. Zum Beispiel erzeugt der IR-Laser 101 einen modulierten Ausgang, wobei der Laser derart betrieben wird, dass zwei Modi erzeugt werden. Diese beiden Modi werden so gewählt, dass sie eine Wellenlängentrennung und relative Amplituden haben, so dass ein entsprechend modulierter Ausgang durch das „Ausstechen“ der beiden Modi erzeugt wird (siehe zum Beispiel die Veröffentlichung der US-Patentanmeldung US 2006/0176916 A1 von Zanger et al.). Ein weiteres Verfahren zur Steuerung eines Hohlraumresonators des Standes der Technik, das nicht den Laser zu modulieren braucht, wurde zuerst von Hänsch und Couillaud in „Optical Communication“, 35, 442-444, (1980) beschrieben. Das Verfahren verwendet die Polarisierung, um die Phasenänderung im Hohlraumresonator zu messen.

[0019] In noch anderen Vorrichtungen des Standes der Technik, umfasst ein Generator oder mehrere Generatoren für die harmonische Oberschwingung zwei oder drei Spiegel statt vier. In einigen Ausführungsformen können die beiden Resonatoren eine

unterschiedliche Anzahl von Spiegeln aufweisen. In noch anderen Vorrichtungen des Standes der Technik kann die Wellenlänge des DUV-Ausgangs von dem Rückführlicht durch einen Strahlteiler (nicht dargestellt) getrennt werden, wobei der Strahlteiler zwischen NLO-Kristall 135 angeordnet und dem Spiegel 133 (also kann der Spiegel 133 nur mit einem reflektierenden Material beschichtet werden) angeordnet ist.

[0020] Vor allem können die in **Fig. 1** gezeigten Servosteuerungen effektiv langsame Änderungen in der Länge des Resonators korrigieren, die zum Beispiel aufgrund von Temperaturänderungen bewirkt werden. Sie können auch effektiv für die Korrektur der Längenänderungen der Resonatoren eingesetzt werden, die durch geringe Amplituden- oder geringe Frequenzschwankungen hervorgerufen werden. Unglücklicherweise können andere Faktoren, die den Ausgang eines Resonators verschlechtern, nicht einfach durch Einstellen der Hohlraumlänge korrigiert werden. Diese Faktoren können die Effizienz des Umwandlungsprozesses reduzieren und zu einem Negativtrend der Ausgangslaserleistung im Laufe der Zeit führen, wenn die nicht kompensierten Effekte geändert werden.

[0021] Nicht kompensierte Effekte können Änderungen in der Brennweite und des Astigmatismus umfassen, die auf räumliche Änderungen der Eigenschaften des NLO-Kristalls zurückzuführen sind. Solche Veränderungen können reversibel sein, wenn sie durch Photo-Brechung an einer Stelle aufgrund der Leistungsdichte des fokussierten Strahls an dieser Stelle verursacht werden. Die Veränderungen können auch irreversibel aufgrund der Beschädigung des Materials des NLO-Kristalls sein.

[0022] Leider kann der DUV-CW-Laser 100 nur Änderungen der Länge des Resonators kompensieren. Somit kann der DUV-CW-Laser 100 nicht jede Änderung im Fokus oder Astigmatismus der NLO-Kristalle in deren ersten oder zweiten Resonator kompensieren. Wegen des stark fokussierten Laserlichts in jedem NLO-Kristall umfasst dies typischerweise sowohl reversible und irreversible Veränderungen in diesem NLO-Kristall. Der DUV-CW-Laser 100 arbeitet im Allgemeinen unterhalb der optimalen Intensität und mit einer kürzeren Lebensdauer.

[0023] Es ergibt sich daher ein Bedarf für einen DUV-CW-Laser, der Änderungen im Fokus oder Astigmatismus der NLO-Kristalle in seinen Generatoren zur Erzeugung der harmonischen Oberschwingungen kompensieren kann.

ZUSAMMENFASSUNG DER OFFENBAUNG

[0024] Ein Laser zum Erzeugen von tiefem Ultraviolettlicht (DUV) und Dauerstrichlicht umfasst einen

Generator für eine zweite harmonische Oberschwingung und einen Generator für eine vierte harmonische Oberschwingung. Der Generator für die zweite harmonische Oberschwingung wandelt Licht mit einer Grundwellenlänge in Licht mit einer Wellenlänge der zweiten harmonischen Oberschwingung. Diese Umwandlung kann mittels der Verwendung eines Hohlraumresonators oder anderer Mittel erreicht werden. Der Generator für die vierte harmonische Oberschwingung wandelt das Licht mit der Wellenlänge der zweiten harmonischen Oberschwingung in Licht mit einer Wellenlänge der vierten harmonischen Oberschwingung.

[0025] In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst der Generator für die vierte harmonische Oberschwingung eine Vielzahl von Spiegeln, einen ersten nichtlinearen optischen (NLO) Kristall und einen zweiten NLO-Kristall. Der erste NLO-Kristall erzeugt das Licht mit der Wellenlänge der vierten harmonischen Oberschwingung und ist in Wirkbeziehung zu den mehreren Spiegeln angeordnet. Die zweite Harmonische durchläuft sowohl den ersten NLO-Kristall und den zweiten NLO-Kristall. Insbesondere sind die zweiten optischen Achsen des zweiten NLO-Kristalls um eine Ausbreitungsrichtung des Lichts gedreht, um die Wellenlänge der zweiten harmonischen Oberschwingung innerhalb des zweiten NLO-Kristalls mit ungefähr 90 Grad relativ zu den ersten optischen Achsen des ersten NLO-Kristalls zu haben. Der zweite NLO-Kristall übernimmt keinerlei Konvertierung der Wellenlänge.

[0026] In einer Ausführungsform sind sowohl der erste NLO-Kristall als auch der zweite NLO-Kristall mit Wasserstoff getempert. In einer anderen Ausführungsform umfasst sowohl der erste NLO-Kristall als auch der zweite NLO-Kristall einen CLBO (Cäsiumlithiumborat) Kristall, der mit Wasserstoff getempert ist. Das Licht mit der zweiten Harmonischen kann in eine im Wesentlichen elliptische Strahltaile in oder in der Nähe des ersten NLO-Kristalls fokussiert werden, wobei eine lange Achse der Ellipse im Wesentlichen in der Ebene liegt, welche die erste e-Achse beinhaltet. Der zweite NLO-Kristall kann im Wesentlichen bei der gleichen Temperatur wie der erste NLO-Kristall gehalten werden. Die Anpassung des Phasenwinkels und der Temperatur des ersten NLO-Kristalls werden derart gewählt, dass der durch einen fokussierten Strahl erzeugte Astigmatismus im ersten NLO-Kristall reduziert ist. In einer Ausführungsform wird zumindest der erste NLO-Kristall bezüglich der Temperatur (z.B. ungefähr 50°C oder niedriger) gesteuert, um den durch den fokussierten Strahl im ersten NLO-Kristall erzeugten Astigmatismus zu reduzieren.

[0027] Der Generator für die vierte harmonische Oberschwingung kann ferner ein Paar von dünnen Platten mit parallelen Oberflächen umfassen. Das

Paar dieser dünnen Platten kann im Wesentlichen um gleiche und entgegengesetzte Winkel geneigt sein, um einen Versatz eines Lichtstrahls zu minimieren, während der Astigmatismus kompensiert wird. Der Generator für eine vierte harmonische Oberschwingung kann ferner eine Rückkopplungssteuerschleife umfassen, die automatisch eine Astigmatismuskompensation einstellt, um im Wesentlichen den durch den Generator für die vierte harmonische Oberschwingung eingeführten Astigmatismus aufzuheben.

[0028] Ein System zur Inspektion eines Wafers, einer Strichplatte oder einer Fotomaske wird ebenfalls beschrieben. Dieses System kann den DUV-CW-Laser zusammen mit dem ersten und zweiten NLO-Kristall im Generator für die vierte harmonische Oberschwingung umfassen, wie hierin beschrieben ist.

[0029] Ein Verfahren dient zur Erzeugung von tiefem ultravioletten (DUV) Dauerstrichlicht (CW) in einem Laser. Dieses Verfahren schließt sowohl das Umwandeln von Licht einer Grundwellenlänge in Licht mit einer zweiten harmonischen Wellenlänge für Licht als auch das Umwandeln von Licht mit der zweiten harmonischen Wellenlänge in Licht mit einer vierten harmonischen Wellenlänge ein, wobei hierzu ein erster nichtlinearer optischer (NLO) Kristall und ein zweiter NLO-Kristall verwendet werden. Das Erzeugen des Lichts mit der vierten harmonischen Wellenlänge umfasst das Durchführen der zweiten Harmonischen durch den ersten NLO-Kristall und durch den zweiten NLO-Kristall, und die Rotation der zweiten optischen Achsen des zweiten NLO-Kristalls um eine Ausbreitungsrichtung des Lichts mit der zweiten harmonischen Wellenlänge im zweiten NLO-Kristall um ungefähr 90 Grad in Bezug auf die erste optische Achse des ersten NLO-Kristalls. Insbesondere stellt nur der erste NLO-Kristall eine Wellenlängenumwandlung in die vierte harmonische Wellenlänge zu Verfügung.

Figurenliste

Fig. 1 zeigt einen DUV-CW-Laser des Standes der Technik mit einer Vielzahl von Resonatoren, wobei jeder Hohlraum eine Vielzahl von Spiegeln und einen NLO-Kristall umfasst.

Fig. 2 zeigt einen verbesserten DUV-CW-Laser mit einer Vielzahl von Resonatoren, wobei der zweite Resonator zwei NLO-Kristalle in einer vorbestimmten Ausrichtung zueinander umfasst.

Fig. 3 veranschaulicht eine Endansicht eines beispielhaften NLO-Kristalls, der bei dem verbesserten DUV-CW-Laser (siehe **Fig. 2**) verwendet werden kann.

Fig. 4 zeigt die räumliche Orientierung des ersten und zweiten NLO-Kristalls in Verwendung beim verbesserten DUV-CW-Laser (siehe **Fig. 2**).

Die **Fig. 5 - Fig. 12** veranschaulichen Systeme, die den beschriebenen, verbesserten DUV-CW-Laser enthalten. Diese Systeme können bei der Inspektion von Photomasken, Strichplatten oder Wafern verwendet werden.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0030] Wie weiter unten im Detail beschrieben wird, kann ein verbesserter DUV-CW-Laser mehrere Verbesserungen am Generator für die vierte harmonische Oberschwingung umfassen. Diese Verbesserungen können in Kombination oder einzeln verwendet werden. **Fig. 2** veranschaulicht beispielhaft einen verbesserten DUV-CW-Laser 200. Man beachte, dass die Elemente aus **Fig. 2** mit denselben Bezugszeichen gekennzeichnet sind, wie die entsprechenden Elemente aus **Fig. 2**, die die gleiche Funktion haben, wie die in Bezug auf **Fig. 1** beschriebenen Elemente, und diese Elemente sind in einer im Wesentlichen ähnlichen Art und Weise implementiert. Zum Beispiel umfasst in dieser Ausführungsform der DUV-CW-Laser 200 den Fundamentallaser 101 und den Generator 102A für die zweite harmonische Oberschwingung, beide sind im Detail in **Fig. 1** beschrieben.

[0031] Unter Bezugnahme auf **Fig. 2**, wird das durch den Generator 102A für die zweite harmonische Oberschwingung erzeugte Licht 201 durch die Linse 224 zur Modenanpassung fokussiert und tritt in den Generator 102B für die vierte harmonische Oberschwingung durch den Spiegel 130 ein. In einer Ausführungsform kann das Licht 201 eine Wellenlänge von ungefähr 532nm (oder eine andere sichtbare Wellenlänge) haben. Das Licht 201 zirkuliert im Generator 202B für die vierte harmonische Oberschwingung, indem es von Spiegeln 130, 131, 132 und 133 reflektiert wird (beschrieben in Bezug auf **Fig. 1**). Es ist zu beachten, dass einige Ausführungsformen des Generators 202B für die vierte harmonische Oberschwingung nur zwei oder drei Spiegel anstelle der gezeigten vier Spiegel aufweisen. Die Spiegel 130, 131, 132 und 133 sind beschichtet, um bei der sichtbaren Wellenlänge für den Einfallswinkel des zirkulierenden Lichts stark reflektierend zu sein. Die Beschichtung der Spiegel 130 muss auch das Licht 201 durchlassen, das als zirkulierendes Licht unter einem anderen Einfallswinkel ankommt.

[0032] Die Länge des Resonators, der den Generator 202B für die vierte harmonische Oberschwingung verwirklicht, kann von aus dem Stand der Technik bekannten (von denen einige oben aufgeführt sind) Locking-Schemata gesteuert werden. In einer Aus-

führungsform kann die Länge des Resonators des Generators 202B für die vierte harmonische Oberschwingung mit einem Hansch-Couillaud-Locking-Schema gesteuert werden (siehe Referenz oben aufgeführt). Es ist zu beachten, dass hohe Lichtleistungsstufen (wie etwa 10W oder mehr) des sichtbaren Lichts einen Modulator beschädigen können. Ein Modulator, der solchen Leistungen standhalten kann, kann teuer sein. Das Hansch-Couillaud Locking-Schema des Generators 202B für die vierte harmonische Oberschwingung kann eine Halbwellenplatte 223 verwenden, die derart orientiert ist, dass die Polarisierung des Lichts 201 um einen kleinen Winkel (beispielsweise einem Winkel von weniger als etwa 2°) gedreht wird. Eine passive Komponente, wie beispielsweise die Halbwellenplatte 223, ist besser in der Lage, der hohen Lichtleistung des sichtbaren Lichts zu widerstehen, als eine aktive Komponente als Modulator. Ein kleiner Teil des zirkulierenden Lichts verlässt den Generator 202B für die vierte harmonische Oberschwingung zusammen mit einer reflektierten Komponente des Eingangslichts mit orthogonaler Polarisierung (durch Halbwellenplatte 223 erstellt) über den Spiegel 130 und wird zu der Servosteuerung 260 geleitet, die die Länge des Resonators steuert. Speziell kann die Servosteuerung 260 bestimmen, ob die Länge des Generators 202B für die vierte harmonische Oberschwingung eingestellt werden muss und, falls dem so ist, ob die Länge erhöht oder verringert werden soll und um wieviel. Die Aktoransteuerung 127 steuert körperlich die Position des Spiegels 131, um die geeignete Länge des zweiten Resonators zu erhalten, so dass die Phase des vom Spiegel 133 reflektierten Lichts die gleiche ist, wie für das am Spiegel 130 ankommende sichtbare Licht 201. Das Licht vom Resonator kann gegebenenfalls, falls erforderlich, durch den Strahlteiler 252 und die Strahlfalle 251 vermindert werden. Nach jeder erforderlichen Verminderung tritt das Licht durch die Viertelwellenplatte 253, die mit ihrer Achse im wesentlichen 45 ° Grad zur Polarisationsrichtung des Resonators ausgerichtet ist, um die beiden orthogonalen Polarisierungen miteinander interferieren zu lassen. Der polarisierende Strahlteiler 254 trennt den Ausgang der Viertelwellenplatte 253 in zwei orthogonale Polarisierungen, die von zwei Photodioden 255 erfasst werden. Optional können lineare Polarisatoren (nicht dargestellt) vor den Photodioden 255 platziert werden, falls der polarisierende Strahlteiler 254 keine ausreichende Unterscheidung der Polarisierung liefern kann. Die Schaltung 259 der Servosteuerung erzeugt die Aktoransteuerung 127 aus der Differenz der Signale der beiden Photodioden.

[0033] Wie oben erwähnt, umfasst der DUV-CW-Laser 200 zwei NLO-Kristalle im Generator 202B für die vierte harmonische Oberschwingung: ein erster NLO-Kristall 235 stellt eine Frequenzkonversion zur Verfügung und ein zweiter NLO-Kristall 236 stellt

keine Frequenzkonversion zur Verfügung. In einer Ausführungsform kann der NLO-Kristall 235 die vierte Harmonische erzeugen (beispielsweise wird eine Wellenlänge von 266 nm aus einer Eingangswellenlänge von 532 nm erzeugt). In einer bevorzugten Ausführungsform kann der NLO-Kristall 235 durch einen mit Wasserstoff getemperten NLO-Kristall gebildet werden. Exemplarisch ist ein beispielhafter, mit Wasserstoff getemperter CLBO (Cäsiumlithiumborat) NLO in der US-Patentanmeldung 13/544,425, die am 5. Juni 2012 eingereicht wurde, die die Priorität der provisorischen US Patentanmeldung 61/544,425 vom 7. Oktober 2011 beansprucht, beschrieben. Beide Patentanmeldungen sind durch Bezugnahme hierin aufgenommen. Ein Vorteil der Verwendung eines mit Wasserstoff getemperten NLO-Kristalls gegenüber einem herkömmlichen NLO-Kristall ist, dass der mit Wasserstoff getemperte NLO-Kristall bei höheren DUV-Leistungsdichten mit weniger oder langsamerer Schädigung betrieben werden kann. Somit kann ein DUV-CW-Laser, der wenigstens einen mit Wasserstoff getemperten NLO-Kristall bereitstellt, einen stabileren Ausgang, mit längerer Lebensdauer und geringeren Betriebskosten aufgrund der verlängerten Zeitintervalle zwischen Wartung oder Reparatur, liefern.

[0034] In einigen bevorzugten Ausführungsformen kann der DUV-CW-Laser 200 das Licht 201 in den NLO-Kristall 235 in einen elliptischen Fokus fokussieren, wobei die lange Achse der Ellipse im Wesentlichen parallel zur Ebene ausgerichtet ist, die die e-Achse (außerordentliche Achse) des NLO-Kristalls enthält. Diese Orientierung ist in **Fig. 3** gezeigt, die eine Endansicht des NLO-Kristalls 235 darstellt. Wie in **Fig. 3** gezeigt, wird das Licht zu einem elliptischen Spot 303 fokussiert, der in oder nahe dem NLO-Kristall 235 ist. Es ist zu bemerken, dass die lange Achse des elliptischen Spots 303 im Wesentlichen parallel zu der die e-Achse enthaltenden Ebene (d.h. eine horizontale Ebene, wie in **Fig. 3** dargestellt) des NLO-Kristalls 235 ausgerichtet ist. In einigen bevorzugten Ausführungsformen, wird der Fokus der kürzeren Achse des elliptischen Spots 303 um etwa den gleichen Faktor reduziert, wie der Fokus der langen Achse erhöht wird, um etwa die Leistungsdichte und somit Umwandlungseffizienz beizubehalten. Die elliptische Fokussierung kann durch eine oder mehrere der Linsen oder Spiegel 224 für Modenmatching erreicht werden, die zylindrisch geschwungen sind oder verschiedene Krümmungsradien in zwei verschiedene Richtungen besitzen. In einigen Ausführungsformen kann der Generator 102A für die zweite harmonische Oberschwingung einen elliptischen Strahl ausgeben, der aber nicht notwendigerweise entlang der richtigen Achse gestreckt ist, oder mit der gewünschten Exzentrizität für den Generator 202B für die vierte harmonische Oberschwingung versehen ist. In einer Ausführungsform können ein zylindrisches Teleskop oder andere Optiken für die

Linsen oder Spiegel 224 zum Modenmatching verwendet werden, um den elliptischen Fleck in den Generator 202B für die vierte harmonische Oberschwingung umzugestalten und neu zu fokussieren, um die gewünschte Form und Größe zu erhalten.

[0035] Das starke elektrische Feld der fokussierten Laserstrahlung innerhalb des NLO-Kristalls 235 bewirkt eine Änderung im Brechungsindex des Materials des Kristalls (genannt Photorefraktion). Da die elektrische Feldstärke von der Mitte des elliptischen Spots 303 zu seinen Rändern hin abnimmt, ist die Änderung des Brechungsindex im Zentrum des elliptischen Spots 303 größer, als an seinen Rändern. Weiterhin ist der photorefraktive Effekt stärker in der Richtung, die die e-Achse enthält.

[0036] Ein Vorteil der Verwendung des elliptischen Fokussierens mit der langen Achse parallel zu der die e-Achse enthaltenden Ebene ist, dass Walk-Off des Ausgangsstrahls in dieser Richtung auftritt. Eine in diese Richtung langgestreckte Ellipse ermöglicht die Verwendung eines längeren NLO-Kristalls, während die Strahlqualität erhalten bleibt. Die US-Patentanmeldung 13/412,564, eingereicht von Dribinski et al. am 2. März 2012, die hier durch Bezugnahme aufgenommen ist, beschreibt beispielhaft das elliptische Fokussieren von Licht in einem NLO-Kristall.

[0037] Bemerkenswerterweise führt die Photorefraktion den Astigmatismus in den Resonator des Generators für die vierte harmonische Oberschwingung ein. Eine herkömmliche Servosteuerung, die durch Messung der Abstände zwischen den Spiegeln die Länge des Resonators steuert, kann nur die durchschnittliche Weglängenänderung aufgrund der durchschnittlichen Indexänderung korrigieren. Eine Korrektur des Astigmatismus aufgrund der Indexänderung, die an unterschiedlichen Orten unterschiedlich ist, ist nicht möglich. Der zweite Kristall 236 ist in der Materialzusammensetzung im Wesentlichen ähnlich dem Kristall zur Frequenzumwandlung, d.h. dem ersten Kristall 235, mit der Ausnahme, dass dessen Kristallachsen um 90° um eine Achse parallel zu der Richtung der Ausbreitung des Lichts 201 gedreht sind und so führt der zweite Kristall 236 keine Frequenzkonversion durch. In einer Ausführungsform (dargestellt) ist der zweite NLO-Kristall 236 unmittelbar dem ersten NLO-Kristall 235 nachgeschaltet, so dass das Licht der vierten Harmonischen und das restliche Licht der zweiten Harmonischen durch den zweiten Kristall durchgehen. Da sowohl die zweite Harmonische als auch die vierte Harmonische zur Photorefraktion und anderen nicht idealen Effekten im NLO-Kristall beitragen, wird der zweite NLO-Kristall 236 stromabwärts zum ersten NLO-Kristall 235 platziert. Dies stellt sicher, dass die durch den zweiten NLO-Kristall 236 erzeugten Aberrationen im Wesentlichen ähnlich zu den vom

ersten NLO-Kristall erzeugten Aberrationen sind, außer dass sie um 90° gedreht sind. In anderen Ausführungsformen ist der zweite NLO-Kristall 236 unmittelbar dem ersten NLO-Kristall 235 stromaufwärts (nicht gezeigt) vorgeschaltet, so dass der zweite NLO-Kristall 236 nicht dem (UV) Licht der vierten Harmonischen ausgesetzt wird. Da die Leistungsdichte der zweiten Harmonischen im Hohlraum des Resonators größer ist als die der vierten Harmonischen, werden die meisten der lichtbrechenden Wirkungen durch die zweite Harmonische erzeugt, so dass die Aberrationen in dem zweiten NLO-Kristall 236 ausreichend ähnlich zu denen in dem ersten NLO-Kristall 235 (mit Ausnahme der 90° -Drehung) sind, um den im ersten NLO-Kristall 235 erzeugten Astigmatismus im Wesentlichen aufzuheben. Der Vorteil, dass der zweite NLO-Kristall 236 vor dem ersten NLO-Kristall 235 platziert ist, ist, dass der zweite NLO-Kristall eine längere Lebensdauer hat, wenn er nicht der UV-Strahlung der vierten Harmonischen ausgesetzt ist, die den NLO-Kristall zerstören kann. In einem solchen Fall müsste der zweite NLO-Kristall 236 weniger häufig (oder überhaupt nicht) ersetzt werden, und daher wären die Kosten der Wartung für den Laser über mehrere Jahre niedriger. In einigen Ausführungsformen, falls das Licht, das im Generator 202B für die vierte harmonische Oberschwingung zirkuliert, an einem bestimmten Punkt in dem Resonator neu konzentriert wird, kann der erste NLO-Kristall 235 an dieser Stelle anstatt unmittelbar dem zweiten NLO-Kristall 236 benachbart angeordnet werden.

[0038] In einer Ausführungsform haben die ersten und zweiten NLO-Kristalle im Generator 202B für die vierte harmonische Oberschwingung ihre Eingangs- und Ausgangsflächen in etwa dem Brewster-Winkel relativ zum einfallenden sichtbaren Licht geschnitten, wobei die Oberfläche derart ausgerichtet ist, dass das einfallende sichtbare Licht im Wesentlichen in Bezug auf diese Oberfläche p-polarisiert ist. Wie einem Fachmann auf dem entsprechenden Gebiet bekannt ist, weist eine Brewster-Schnittfläche im Wesentlichen kein Reflexionsvermögen für p-polarisiertes Licht auf. Die Verwendung einer Brewster-Schnittfläche beseitigt die Notwendigkeit für eine Anti-Reflexionsbeschichtung auf den Oberflächen des NLO-Kristalls. Antireflexbeschichtungen, die den hohen Leistungsdichten innerhalb des Generators 202B für die vierte harmonische Oberschwingung widerstehen können, stehen möglicherweise nicht zur Verfügung. Da die vierte Harmonische eine Polarisation besitzt, die senkrecht zur Polarisation des sichtbaren Lichts ist, hat die vierte Harmonische keine geringe Reflektivität von einer Oberfläche, die die Brewster-Schnittfläche für das sichtbare Licht besitzt. Wenn also Kristalle mit Brewster-Schnittflächen verwendet werden, wird es bevorzugt, den zweiten NLO-Kristall 236 vor dem ersten NLO-Kristall 235 anzuordnen, um den Verlust

der Strahlung der vierten Harmonischen zu vermeiden.

[0039] Der Zweck des zweiten NLO-Kristalls 236 ist, im Wesentlichen den durch den ersten NLO-Kristall 235 verursachten Astigmatismus aufzuheben. Um diesen Zweck zu erreichen, wird bei einer Ausführungsform der zweite NLO-Kristall 236 so orientiert, dass dessen optische Achsen im Wesentlichen um 90° zur Ausbreitungsrichtung des Lichts in Bezug auf die optischen Achsen des ersten NLO-Kristalls 235 gedreht werden. Da der durch den zweiten NLO-Kristall 236 eingeführte Astigmatismus im Wesentlichen um 90° in Bezug auf den ersten NLO-Kristall 235 gedreht ist, heben sich die beiden Astigmatismus im Wesentlichen gegenseitig auf. Auch wenn der zweite NLO-Kristall 236 die Kosten für den DUV-CW-Laser 200 erhöht, kann dieser Kostenanstieg durch die höhere Effizienz, die längere Lebensdauer und die geringere Häufigkeit des Service im Vergleich mit einem Laser, der einen einzigen Kristall im Generator für die vierte harmonische Oberschwingung (siehe z.B. **Fig. 1**) verwendet, ausgeglichen werden. Die relative Orientierung der optischen Achsen der NLO-Kristalle 235 und 236 ist in **Fig. 4** gezeigt. Die e-Achse des ersten NLO-Kristalls 235 ist relativ zur Ausbreitungsrichtung und Polarisation des einfallenden Lichts 410 (d.h. die zweite Harmonische) ausgerichtet, so dass das Phasematching für die Erzeugung der vierten Harmonischen aus der zweiten Harmonischen bei der gewünschten Kristalltemperatur erreicht wird. Wenn beispielsweise die NLO-Kristalle CLBO umfassen, beträgt die gewünschte Betriebstemperatur des CLBO ca. 50°C , und die zweite Harmonische hat eine Wellenlänge von 532 nm, dabei sollte die e-Achse des Kristalls im Wesentlichen mit $61,6^\circ$ in Bezug auf die Ausbreitungsrichtung des einfallenden Lichts und senkrecht zu der Richtung der Polarisation des einfallenden Lichts ausgerichtet sein. In **Fig. 4** ist zum Zwecke der Veranschaulichung gezeigt, dass die e-Achse im Wesentlichen in einer horizontalen Richtung in einem Winkel relativ zu der Richtung der Ausbreitung des Lichts liegt. Wie gezeigt, sind der zweite NLO-Kristall 236 mit der die e-Achse enthaltenden Ebene und die Ausbreitungsrichtung des Lichts im Wesentlichen vertikal ausgerichtet (die e-Achse liegt in Richtung 408), so dass diese im Wesentlichen senkrecht zur Ausrichtung der Ebene sind, die die e-Achse und die Ausbreitungsrichtung des Lichts (die e-Achse liegt in Richtung 405) des ersten NLO-Kristalls 235 enthält. Der Winkel zwischen der Richtung der e-Achse 408 und der Ausbreitungsrichtung des Lichts im zweiten NLO-Kristall 236 ist im Wert im Wesentlichen gleich dem Winkel zwischen der Richtung der e-Achse 405 und der Richtung des Lichts im ersten NLO-Kristall 235, aber die Orientierung der Kristallachsen der beiden Kristalle sind um 90° gegeneinander um die Ausbreitungsrichtung des einfallenden Lichts 410 gedreht.

[0040] Falls die NLO-Kristalle biaxial-doppelbrechend, anstelle von uniaxialdoppelbrechenden, wie im vorherigen Beispiel, sind, gelten noch die gleichen Prinzipien. Die optischen Achsen des ersten NLO-Kristalls 235 sind relativ zu der Ausbreitungsrichtung und Polarisation des einfallenden Lichts 410 (zweite Harmonische) ausgerichtet, um ein Phasematching für die Erzeugung der vierten Harmonischen aus der zweiten Harmonischen bei der gewünschten Kristalltemperatur zu erzielen. Der zweite NLO-Kristall 236 muss mit seinen optischen Achsen um 90° gedreht um die Ausbreitungsrichtung des einfallenden Lichts 410 orientiert sein.

[0041] Unter erneuter Bezugnahme auf **Fig. 2**, ist in einigen Ausführungsformen einer oder mehrere der Spiegel 130, 131, 132 und 133 als sphärische Spiegel ausgebildet, um das Licht des Generators 202B für die vierte harmonische Oberschwingung in eine Strahltaile im Wesentlichen innerhalb des oder nahe dem ersten NLO-Kristall 235 zu konzentrieren. In einigen Ausführungsformen kann ein oder können mehrere der Spiegel 130, 131, 132 und 133 zylindrisch sein, um in etwa den Astigmatismus des ersten NLO-Kristalls 235 zu kompensieren. Dieser zylindrische Spiegel kann anstelle oder zusätzlich zu den geneigten Platten 245 oder dem zweiten NLO Kristall 236 verwendet werden. In einigen Ausführungsformen kann ein Stellglied (nicht dargestellt) die Krümmung des zylindrischen Spiegels steuern, um die Kompensation des Astigmatismus einzustellen. In einigen Ausführungsformen kann ein Stellglied (nicht gezeigt) die Krümmung eines sphärischen Spiegels in einer Richtung ändern, um Astigmatismus zu kompensieren. Ein Fachmann würde wissen, wie die Spiegelkrümmungen zu wählen sind, um das zirkulierende Licht in einen kreisförmigen oder elliptischen Fokus zu fokussieren, sowie den Astigmatismus zu korrigieren.

[0042] Ein Fachmann auf dem entsprechenden technischen Gebiet würde verstehen, dass andere Elemente und Verfahren zur Regelung des Astigmatismus für die oben Beschriebenen substituiert werden können und dennoch innerhalb des Schutzbereichs dieser Erfindung liegen.

[0043] In einigen bevorzugten Ausführungsformen wird die Betriebstemperatur von mindestens dem NLO-Kristall 235 gesteuert, um den Astigmatismus zu minimieren. Bei CLBO bedeutet dies, dass der NLO-Kristall 235 bei einer niedrigen Temperatur, vorzugsweise weniger als etwa 100°C oder in einigen Ausführungsformen weniger als etwa 50°C oder weniger als etwa 30°C, betrieben wird. Die Veränderung des Index bei CLBO und einiger anderer NLO-Materialien, die durch das fokussierte Licht verursacht wird, ist weniger bei einer niedrigeren Temperatur als die bei einer höheren Temperatur.

[0044] Für den Betrieb eines NLO-Kristalls 235 bei einer Temperatur von wesentlich weniger als 100°C, in einer Ausführungsform, kann der Generator 202B (der als Bestandteile Spiegel und NLO-Kristalle enthält) für die vierte harmonische Oberschwingung in einer geschützten Umgebung mit geringer Feuchtigkeit enthalten sein. Diese Umgebung verhindert, dass Feuchtigkeit vom NLO-Kristall 235 und vom NLO-Kristall 236 absorbiert wird. Feuchtigkeit beeinträchtigt die Leistungsfähigkeit und die Lebensdauer der meisten NLO-Materialien negativ, vor allem, wenn DUV-Wellenlängen erzeugt werden. Somit sollten die NLO-Kristalle 235 und 236 bei etwa der gleichen Temperatur gehalten werden, so dass etwa ein ähnliches Maß an Astigmatismus in jedem Kristall erzeugt wird.

[0045] In einigen Ausführungsformen kann der DUV-CW-Laser 200 zwei geneigte, dünne Platten 245 mit parallelen Oberflächen umfassen. Eine einzelne in den Strahlengang gebrachte, geneigte und dünne Platte führt zu Astigmatismus und einem Versatz des Lichtstrahls. Jedoch führen zwei Platten 245, die gleich aber entgegengesetzt in gleichem Maße um parallele Achsen gekippt sind, zu einem Astigmatismus ohne den Strahl zu versetzen. Somit können die gekippten Platten 245 eingestellt werden, um im Wesentlichen den Astigmatismus zu korrigieren, der durch den ersten NLO-Kristall 235 eingeführt wurde, wenn der zweite NLO-Kristall 236 nicht verwendet wurde oder kann für jeden nicht korrigierten (oder überkorrigierten) Rest-Astigmatismus des zweiten NLO-Kristalls 236 verwendet werden. Somit können die gekippten Platten 245 anstelle von, oder zusätzlich zum, zweiten NLO-Kristall 236 verwendet werden.

[0046] In einer Ausführungsform wird der im Brewster-Winkel geschnittene NLO-Kristall (mindestens beim ersten NLO-Kristall 235) mit den beiden geneigten Platten 245 verwendet. Die Eingangs- und Ausgangsflächen des NLO-Kristalls werden geschnitten, so dass das Eingangslicht nahe dem Brewster-Winkel einfällt, wobei die Polarisation des Eingangslichts relativ zu dieser Oberfläche im Wesentlichen p-polarisiert ist, so dass es eine minimale Reflexion des sichtbaren Lichts an jeder Oberfläche des NLO-Kristalls gibt.

[0047] In einigen Ausführungsformen bleiben die geneigten Platten 245 während des Betriebs des Lasers im vorbestimmten Neigungswinkel. In anderen Ausführungsformen kann der Neigungswinkel eingestellt werden, um den reversiblen Astigmatismus zu kompensieren, der durch den ersten NLO-Kristall 235 verursacht wurde. In noch anderen Ausführungsformen wird der Astigmatismus im Generator 202B für die vierte harmonische Oberschwingung durch einen Sensor (nicht dargestellt) überwacht, der ein Signal erzeugt, das die gekippten Platten 245 im

Wesentlichen zum Aufheben des Astigmatismus einstellt.

[0048] In einer Ausführungsform wird der DUV-Ausgang des zweiten Resonators vom Licht 201 durch einen Strahlteiler 237 (wie in **Fig. 2** gezeigt) oder durch geeignete Beschichtungen auf dem Spiegel 133 getrennt. Da das DUV-Licht und das sichtbare Licht im Wesentlichen zueinander eine orthogonale Polarisierung aufweisen, kann der Strahlteiler 237 ein polarisierender Strahlteiler sein, wie beispielsweise ein unter dem Brewster-Winkel relativ zu dem Licht 201 ausgerichteter Strahlteiler. Alternativ dazu, kann der Strahlteiler 237 eine Beschichtung haben, die bevorzugt die DUV-Wellenlänge reflektiert und die sichtbare Wellenlänge durchlässt.

[0049] Die **Fig. 5-12** veranschaulichen Systeme, die den oben beschriebenen, verbesserten DUV-CW-Laser (auch als Beleuchtung oder Lichtquelle auf Systemebene) umfassen. Diese Systeme können bei der Inspektion von Photomasken, Strichplatten oder Wafern Anwendung finden.

[0050] **Fig. 5** stellt als Beispiel ein optisches Inspektionssystem 500 zur Inspektion der Oberfläche eines Substrats 512 dar. Das System 500 umfasst im Allgemeinen eine erste optische Anordnung 551 und eine zweite optische Anordnung 557. Wie gezeigt, beinhaltet die erste optische Anordnung 551 zumindest eine Lichtquelle 552, eine Inspektionsoptik 554 und eine Referenzoptik 556, derweil beinhaltet die zweite optische Anordnung 557 zumindest eine Lichtoptik 558 für transmittiertes Licht, Detektoren 560 für transmittiertes Licht, eine Lichtoptik 562 für reflektiertes Licht und die Detektoren 564 für reflektiertes Licht. In einer bevorzugten Konfiguration umfasst die Lichtquelle 552 die oben beschriebenen, verbesserten DUV-CW-Beleuchtungsquellen.

[0051] Die Lichtquelle 552 ist derart konfiguriert, um einen Lichtstrahl zu emittieren, der durch ein akusto-optisches Element 570 passiert, das zum Ablenken und Fokussieren des Lichtstrahls angeordnet ist. Das akusto-optische Element 570 kann ein Paar von akusto-optischen Elementen umfassen, wie z.B. einen akusto-optischen Pre-Scanner und einen akusto-optischen Scanner, die den Lichtstrahl in der Y-Richtung ablenken und in der Z-Richtung fokussieren. Beispielsweise arbeiten die meisten akusto-optischen Elemente derart, dass ein RF-Signal an Quarz oder einen Kristall, wie TeO_2 , gesendet wird. Dieses RF-Signal bewirkt eine Schallwelle, die sich durch den Kristall bewegt. Durch die sich bewegende Schallwelle wird der Kristall asymmetrisch, was einen sich über den Kristall ändernden Brechungsindex bewirkt. Diese Änderung bewirkt, dass die einfallenden Strahlen einen sich bewegenden Spot bilden, der in einer oszillierenden Art und Weise abgelenkt wird.

[0052] Wenn der Lichtstrahl aus dem akusto-optischen Element 570 austritt, durchläuft er dann ein Paar von Viertelwellenplatten 572 und eine Relaislinse 574. Die Relaislinse 574 ist zum Kollimieren des Lichtstrahls angeordnet. Der kollimierte Lichtstrahl läuft dann auf seinem Weg weiter, bis er ein Beugungsgitter 576 erreicht. Das Beugungsgitter 576 ist zum Aufweiten des Lichtstrahls angeordnet, und insbesondere, um den Lichtstrahl in drei individuelle Strahlen zu trennen, die räumlich voneinander unterscheidbar sind (d.h. räumlich getrennt). In den meisten Fällen sind die räumlich getrennten Strahlen auch so angeordnet, dass sie gleichmäßig voneinander beabstandet sind und im Wesentlichen die gleiche Lichtintensität haben.

[0053] Nach dem Verlassen des Beugungsgitters 576 passieren die drei Strahlen eine Blende 580 und erreichen dann einen Strahlteilerwürfel 582. Der Strahlteilerwürfel 582 (in Verbindung mit dem Viertelwellenplättchen 572) ist angeordnet, um die Strahlen in zwei Wege zu unterteilen, d.h. ein Strahl wird nach unten gerichtet und der andere Strahl wird nach rechts (in der in **Fig. 5** gezeigten Konfiguration) gerichtet. Der nach unten gerichtete Strahl wird verwendet, um einen ersten Lichtanteil der Strahlen auf dem Substrat 512 zu verteilen, während der nach rechts gerichtete Strahl verwendet wird, um einen zweiten Lichtanteil der Strahlen auf die Referenzoptik 556 zu richten. In den meisten Ausführungsformen wird das meiste Licht auf das Substrat 512 verteilt und ein kleiner Prozentsatz des Lichts wird der Referenzoptik 556 zugewiesen, wenngleich die prozentualen Verhältnisse entsprechend der spezifischen Gestaltung eines jeden einzelnen optischen Inspektionssystems variieren können. In einer Ausführungsform kann die Referenzoptik 556 eine Referenz-Sammellinse 514 und einen Referenzdetektor 516 enthalten. Die Referenz-Sammellinse 514 ist angeordnet, um den Teil der Strahlen zu sammeln und auf den Referenzdetektor 516 zu leiten, der angeordnet ist, um die Intensität des Lichts zu messen. Die Referenzoptiken sind im Allgemeinen aus dem Stand der Technik bekannt und werden aus Gründen der Kürze nicht im Detail diskutiert.

[0054] Die drei vom Strahlteiler 582 nach unten gerichteten Strahlen werden von einem Teleskop 588 empfangen, das mehrere Linsenelemente enthält, die das Licht umleiten und aufweiten. In einer Ausführungsform ist das Teleskop 588 ein Teil eines Teleskopsystems, das eine Vielzahl von Teleskopen auf einem rotierenden Revolver umfasst. Zum Beispiel können drei Teleskope verwendet werden. Der Zweck dieser Teleskope ist es, die Größe des Abtastflecks auf dem Substrat zu verändern und dadurch die Auswahl der kleinsten erkennbaren Defektgröße zu ermöglichen. Insbesondere stellt jedes der Teleskope im Allgemeinen eine andere Pixelgröße dar. Als solches kann ein Fernrohr eine

größere Punktgröße zur Verfügung stellen und somit die Inspektion schneller und weniger empfindlich (z.B. niedrige Auflösung) machen, während ein anderes Teleskop eine kleinere Punktgröße zur Verfügung stellt und somit die Inspektion langsamer und empfindlicher (z.B. hohe Auflösung) macht.

[0055] Vom Teleskop 588 aus passieren die drei Strahlen eine Objektivlinse 590, die zum Fokussieren der Strahlen auf der Oberfläche des Substrats 512 angeordnet ist. Wenn die Strahlen die Oberfläche als drei getrennte Spots kreuzen, werden sowohl reflektierte Lichtstrahlen als auch transmittierte Lichtstrahlen erzeugt. Die transmittierten Lichtstrahlen durchlaufen das Substrat 512, während die reflektierten Lichtstrahlen von der Oberfläche reflektiert werden. Beispielsweise können die reflektierten Lichtstrahlen von opaken Oberflächen des Substrats zurückreflektiert werden und die transmittierten Lichtstrahlen treten durch transparente Bereiche des Substrats hindurch. Die transmittierten Lichtstrahlen werden von der Optik 558 für transmittiertes Licht und die reflektierten Lichtstrahlen werden von der Optik 562 für reflektiertes Licht gesammelt.

[0056] Im Hinblick auf die Optik 558 für transmittiertes Licht werden die transmittierten Lichtstrahlen nach dem Passieren des Substrats 512 durch eine erste Linse 596 für transmittiertes Licht gesammelt und mit Hilfe einer die sphärische Aberration korrigierenden Linse 598 auf ein Prisma 510 für das transmittierte Licht fokussiert. Das Prisma 510 kann derart konfiguriert werden, dass je eine Facette für je einen der transmittierten Lichtstrahlen zur Verfügung steht, die zum erneuten Positionieren und Beugen der transmittierten Lichtstrahlen angeordnet ist. In den meisten Fällen wird das Prisma 510 zum Trennen der Strahlen verwendet, so dass sie jeweils auf einem einzelnen Detektor der Detektoranordnung 560 für transmittiertes Licht treffen (dargestellt mit drei verschiedenen Detektoren). Dementsprechend durchlaufen die Strahlen, wenn sie das Prisma 510 verlassen, eine zweite Linse 502 für transmittiertes Licht, die einzeln jeden der getrennten Strahlen auf einen der drei Detektoren fokussiert, von denen jeder zum Messen der Intensität des transmittierten Lichts angeordnet ist.

[0057] Im Hinblick auf die Lichtoptik 562 für reflektiertes Licht werden die reflektierten Lichtstrahlen nach der Reflexion vom Substrat 512 von einer Objektivlinse 590 gesammelt, die dann die Strahlen in Richtung auf ein Fernrohr 588 leitet. Bevor die Strahlen das Teleskop 588 erreichen, passieren diese auch eine Viertelwellenplatte 504. Im Allgemeinen manipulieren die Objektivlinse 590 und das Teleskop 588 die gesammelten Strahlen in einer Art und Weise, die optisch in Bezug auf die einfallenden und manipulierten Strahlen umgekehrt ist. Das heißt, die Objektivlinse 590 bündelt die Strahlen wieder und

das Teleskop 588 reduziert deren Größe. Wenn die Strahlen das Teleskop 588 verlassen, verlaufen sie weiterhin (rückwärts), bis sie auf einen Strahlteilerwürfel 582 treffen. Der Strahlteiler 582 ist derart konfiguriert, dass er mit einer Viertelwellenplatte 504 zusammenwirkt, um die Strahlen 506 auf einen zentralen Pfad 506 zu lenken.

[0058] Die auf dem Pfad 506 weiter laufenden Strahlen werden dann durch eine erste Linse 508 für reflektiertes Licht gesammelt, die jeden der Strahlen auf ein Prisma 509 für reflektiertes Licht fokussiert, die für jeden der reflektierten Lichtstrahlen eine Facette ausgebildet hat. Das Prisma 509 für reflektiertes Licht ist zur erneuten Positionierung und zum Beugen der reflektierten Lichtstrahlen ausgebildet. Ähnlich zum Prisma 510 für das transmittierte Licht wird das Prisma 509 für reflektiertes Licht verwendet, um die Strahlen zu trennen, so dass sie jeweils auf einem einzelnen Detektor in der Lichtdetektoranordnung 564 für reflektiertes Licht treffen. Wie gezeigt, umfasst die Lichtdetektoranordnung 564 für reflektiertes Licht drei individuelle und unterschiedliche Detektoren. Wenn die reflektierten Strahlen das Prisma 509 verlassen, durchlaufen sie eine zweite Linse 511 für reflektiertes Licht, die einzeln jeden der getrennten Strahlen auf einen dieser Detektoren fokussiert, von denen jeder zum Messen der Intensität des reflektierten Lichts angeordnet ist.

[0059] Es gibt mehrere Modi zur Inspektion, die durch die oben erwähnte optische Anordnung unterstützt werden. Beispielsweise kann die optische Anordnung einen Inspektionsmodus für Durchlicht, einen Inspektionsmodus für reflektiertes Licht und einen Inspektionsmodus für gleichzeitiges Durchlicht und reflektiertes Licht unterstützen. In Bezug auf den Inspektionsmodus für Durchlicht, wird der Durchlichtmodus üblicherweise zur Defekterkennung auf Substraten, wie z.B. konventionellen optischen Masken, mit transparenten und opaken Bereichen verwendet. Während die Lichtstrahlen die Maske (oder das Substrat 512) scannen, durchdringt das Licht die Maske an den transparenten Bereichen und wird von den Detektoren 560 für transmittiertes Licht erfasst, die sich hinter der Maske befinden, und die die Intensität eines jeden der durch die Optik 558 für transmittiertes Licht gesammelten Lichtstrahlen messen. Die Optik 558 für transmittiertes Licht umfasst die erste Linse 596 für transmittiertes Licht, die zweite Linse 502 für transmittiertes Licht, die Linse 598 mit sphärischer Aberration und das Prisma 510.

[0060] Im Hinblick auf den Inspektionsmodus für das reflektierte Licht, kann der Inspektionsmodus für das reflektierte Licht mit transparenten oder opaken Substraten durchgeführt werden, die Bildinformationen in Form von Chrom, entwickelten Photore sist oder andere Merkmale enthalten. Das vom Substrat 512 reflektierte Licht verläuft nach hinten

und entlang dem gleichen optischen Pfad wie dem der Inspektionsoptik 554, aber wird dann durch einen polarisierenden Strahlteiler 582 in die Detektoren 564 geleitet. Insbesondere projizieren die erste Linse 508 für reflektiertes Licht, das Prisma 509 und die zweite Linse 511 für reflektiertes Licht das Licht von den abgelenkten Lichtstrahlen auf Detektoren 564. Die Inspektion mit reflektiertem Licht kann auch verwendet werden, um Verunreinigungen auf der Oberfläche von opaken Substraten zu detektieren.

[0061] Im Hinblick auf den simultanen Inspektionsmodus, werden sowohl Durchlicht als auch reflektiertes Licht verwendet, um die Existenz und/oder die Art eines Defekts zu bestimmen. Die beiden gemessenen Werte des Systems sind die Intensität der Lichtstrahlen, die durch das Substrat 512 hindurchgehen und von den Detektoren 560 für transmittiertes Licht bestimmt werden und die Intensität der reflektierten Lichtstrahlen, die von den Detektoren 560 für reflektiertes Licht bestimmt werden. Diese beiden erfassten Messwerte können dann verarbeitet werden, um die Art des Defekts und, falls vorhanden, den entsprechenden Ort auf dem Substrat 512 zu bestimmen.

[0062] Insbesondere kann die gleichzeitige Detektion mit transmittiertem und reflektiertem Licht die Existenz eines lichtundurchlässigen Defekts offenlegen, der durch die Detektoren für transmittiertes Licht erfasst wurde, während der Ausgang der Detektoren für reflektiertes Licht verwendet werden kann, um die Art des Defekts offenzulegen. Als Beispiel können beide, entweder ein Chrompunkt oder ein Partikel auf einem Substrat, zu einer niedrigen Anzeige für das Durchlicht bei den Detektoren für transmittiertes Licht führen, aber ein reflektierender Chromdefekt resultiert in einer hohen Anzeige für reflektiertes Licht und ein Partikel resultiert in einer niedrigeren Anzeige für reflektiertes Licht von den gleichen Detektoren für reflektiertes und transmittiertes Licht. Dementsprechend kann man sowohl unter Verwendung der Detektion für reflektiertes Licht einen Partikel auf der Chromgeometrie lokalisieren, was nicht möglich ist, wenn nur die reflektierenden oder transmittierenden Eigenschaften des Defekts untersucht werden. Zusätzlich kann man Signaturen für bestimmte Typen von Defekten bestimmen, wie zum Beispiel das Verhältnis ihrer reflektierten und transmittierten Lichtintensitäten. Diese Informationen können dann zur automatischen Klassifizierung der Defekte verwendet werden. Das US Patent US 5,563,702 A, das am 8. Oktober 1996 erteilt wurde und hierin durch Bezugnahme aufgenommen ist, beschreibt zusätzliche Details bezüglich des Systems 500.

[0063] In Übereinstimmung mit bestimmten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung, kann ein

Inspektionssystem, das ein Lasersystem umfasst, gleichzeitig zwei Datenkanäle an einem einzelnen Detektor erfassen. Ein solches Inspektionssystem kann zur Inspektion eines Substrats, wie beispielsweise einer Strichplatte, einer Photomaske oder einem Wafer verwendet werden und kann, wie dies im US Patent US 7,528,943 B2 beschrieben ist, das am 5. Mai 2009 für Brown et al. erteilt wurde und durch Bezugnahme hierin aufgenommen ist, arbeiten.

[0064] Fig. 6 zeigt ein Inspektionssystem 600 für eine Strichplatte, eine Photomaske oder Wafer, das simultan zwei Bild- oder Signalkanäle mit einem Sensor 670 detektieren kann. Die Beleuchtungsquelle 609 enthält einen, wie hierin beschriebenen, verbesserten DUV CW-Laser und kann ferner ein System zur Reduzierung der Kohärenz umfassen. Die beiden Kanäle können die reflektierte und transmittierte Intensität aufweisen, wenn ein zu untersuchendes Objekt 630 (beispielsweise eine Strichplatte oder Photomaske) transparent ist, oder können zwei verschiedene Beleuchtungsarten umfassen, wie z.B. Einfallswinkel, Polarisationszustände, Wellenlängenbereiche oder Kombinationen davon.

[0065] Wie in Abb. 6 gezeigt, leitet die Relaisoptik 615 und 620 für die Beleuchtung die Beleuchtung von der Beleuchtungsquelle 609 zu dem untersuchten Objekt 630 weiter. Das zu untersuchende Objekt 630 kann eine Strichplatte, eine Photomaske, ein Halbleiterwafer oder ein anderer zu inspizierender Artikel sein. Die Bildübertragungsoptik 640, 655 und 660 überträgt das reflektierte und/oder transmittierte Licht vom zu untersuchenden Objekt 630 an den Sensor 670. Die Daten, die den erfassten Signalen oder Bildern für die beiden Kanäle entsprechen, werden als Daten 680 dargestellt und an einen Computer (nicht dargestellt) für die Verarbeitung übertragen.

[0066] Fig. 7 zeigt beispielhaft ein Inspektionssystem 700, das mehrere Objektive und einen der vorstehend beschriebenen, verbesserten DUV-CW-Laser umfasst. Im System 700 wird die Beleuchtung von einem Laser 701, der einen der hierin beschriebenen UV-Laser umfasst, an mehrere Abschnitte des Beleuchtungssubsystems gesendet. Ein erster Abschnitt des Beleuchtungssubsystems weist die Elemente 702a bis 706a auf. Die Linse 702a fokussiert das vom Laser 701 kommende Licht. Das Licht von der Linse 702a wird dann von dem Spiegel 703a reflektiert. Der Spiegel 703a wird an dieser Stelle zum Zwecke der Veranschaulichung positioniert, kann aber auch an anderer Stelle positioniert werden. Das Licht vom Spiegel 703a wird dann durch die Linse 704a gesammelt, die die Ebene der Beleuchtungspupille 705a bildet. Eine Blende, ein Filter oder ein anderes Gerät zur Modifizierung des Lichts kann in der Pupillenebene 705a je nach den Anforderungen des Inspektionsmodus platziert wer-

den. Das Licht aus der Pupillenebene 705a gelangt dann durch die Linse 706a und bildet die Beleuchtungsfeldebene 707.

[0067] Ein zweiter Abschnitt des Beleuchtungssubsystems umfasst die Elemente 702b bis 706b. Die Linse 702b fokussiert das vom Laser 701 kommende Licht. Das Licht von der Linse 702b wird dann vom Spiegel 703b reflektiert. Das Licht vom Spiegel 703b wird dann durch die Linse 704b gesammelt, die die Ebene 705b der Beleuchtungspupille bildet. Eine Blende, ein Filter oder ein anderes Gerät zur Modifizierung des Lichts kann in Abhängigkeit von den Anforderungen des Inspektionsmodus in der Pupillenebene 705b platziert werden. Licht von der Pupillenebene 705b gelangt dann durch die Linse 706b und bildet die Beleuchtungsfeldebene 707. Das Licht vom zweiten Abschnitt wird dann vom Spiegel oder einer reflektierenden Oberfläche weitergeleitet, so dass sich die Lichtenergie des Beleuchtungsfelds in der Beleuchtungsfeldebene 707 aus den kombinierten Beleuchtungsabschnitten zusammensetzt.

[0068] Das Licht aus der Beleuchtungsfeldebene wird dann durch die Linse 709 gesammelt, bevor es vom Strahlteiler 710 reflektiert wird. Die Linsen 706a und 709 formen ein Bild der ersten Beleuchtungspupillenebene 705a in der Ebene 711 der Objektivpupille. Ebenso formen die Linsen 706b und 709 ein Bild der zweiten Beleuchtungspupillenebene 705b in der Ebene 711 der Objektivpupille. Ein Objektiv 712 (oder alternativ ein Objektiv 713) nimmt dann das Licht der Pupille und erzeugt ein Bild von der Beleuchtungsfeldebene 707 auf der Probe 714. Das Objektiv 712 oder das Objektiv 713 kann in der Nähe der Probe 714 positioniert werden. Die Probe 714 kann auf einem Tisch (nicht dargestellt) bewegt werden, der die Probe in der gewünschten Stelle positioniert. Von der Probe 714 reflektiertes oder gestreutes Licht wird durch ein katadioptrisches Objektiv 712 mit großer numerischer Apertur (NA) oder Objektiv 713 gesammelt. Nach der Bildung einer Pupille aus dem reflektierten Licht in der Ebene 711 der Objektivpupille passiert die Lichtenergie den Strahlteiler 710 und die Linse 715, bevor ein internes Feld 716 im Beleuchtungssystem ausgebildet wird. Dieses interne Abbildungsfeld ist ein Bild der Probe 714 und folglich auch des Beleuchtungsfelds 707. Dieses Feld kann räumlich in mehrere Felder unterteilt werden, die den Beleuchtungsfeldern entsprechen. Jedes dieser Felder kann einen separaten Bildaufnahmemodus unterstützen.

[0069] Eines dieser Felder kann unter Verwendung des Spiegels 717 zurückgeführt werden. Das zurückgeführte Licht passiert die Linse 718b, bevor es eine weitere Abbildungspupille 719b bildet. Diese Abbildungspupille ist ein Bild der Pupille 711 und entsprechend auch der Beleuchtungspupille 705b. Eine Blende, ein Filter oder ein anderes Gerät zur Modifi-

zierung des Lichts kann in Abhängigkeit von den Anforderungen des Inspektionsmodus in der Pupillenebene 719b platziert werden. Licht von der Pupillenebene 719b gelangt dann durch die Linse 720b und erzeugt ein Bild auf dem Sensor 721 b. In ähnlicher Weise wird Licht, das den Spiegel oder die reflektierende Oberfläche 717 passiert, durch die Linse 718a gesammelt und bildet eine Abbildungspupille 719a aus. Das Licht von der Abbildungspupille 719a wird dann durch die Linse 720a gesammelt, bevor es ein Bild auf dem Detektor 721 a bildet. Das auf den Detektor 721 a abgebildete Licht kann für einen anderen bildgebenden Modus verwendet werden, als das auf dem Sensor 721b abgebildete Licht.

[0070] Das im System 700 verwendete Beleuchtungssystem besteht aus einer Laserquelle 701, Sammeloptiken 702-704, Komponenten zur Strahlformung, die in der Nähe zu einer Pupillenebene 705 platziert sind und Relais-Optiken 706 und 709. Eine interne Feldebene 707 liegt zwischen den Linsen 706 und 709. In einer bevorzugten Ausführungsform kann der Laser 701 einen der oben beschriebenen und verbesserten DUV-CW-Laser umfassen.

[0071] In Bezug auf den Laser 701, während dieser als ein einziger einheitlicher Block mit zwei Punkten oder Winkel zur Übertragung dargestellt ist, stellt dieser Block in Wirklichkeit eine Laserquelle dar, die zwei Beleuchtungskanäle zur Verfügung stellen kann. Zum Beispiel wird ein erster Kanal mit Lichtenergie, wie z.B. Laserlichtenergie, bei einer ersten Frequenz die Elemente 702a-706a durchlaufen. Ein zweiter Kanal mit Lichtenergie, wie z.B. Laserlichtenergie, wird mit einer zweiten Frequenz die Elemente 702b-706b durchlaufen. Unterschiedliche Modi der Lichtenergie können eingesetzt werden, so z.B. ein Hellfeld-Modus in einem Kanal und einem Dunkelfeld-Modus im anderen Kanal.

[0072] Während die Lichtenergie von der Laserquelle 701, wie gezeigt, unter 90 Grad voneinander beabstandet emittiert wird, und die Elemente 702a-706a und 702b-706b unter einem 90-Grad-Winkel ausgerichtet sind, kann in Wirklichkeit das Licht mit verschiedenen Orientierung nicht notwendigerweise in zwei Dimensionen emittiert werden und die Bauteile können unterschiedlich dargestellt orientiert sein. **Fig. 7** ist daher nur eine Darstellung der eingesetzten Komponenten und die dargestellten Winkel oder Abstände sind weder Maßstab noch für das Design speziell erforderlich.

[0073] Elemente, die in der Nähe der Pupillenebene 705 platziert sind, können im aktuellen System unter Verwendung des Konzepts der Formung der Apertur eingesetzt werden. Mit diesem Design kann eine gleichmäßige oder nahezu gleichmäßige Beleuchtung realisiert werden. Ebenso ist eine einzelne

Punktbeleuchtung, eine Ringbeleuchtung, eine Quadrupol-Beleuchtung oder andere wünschenswerte Beleuchtungsmuster möglich.

[0074] Verschiedene Implementierungen für die Objektive können in einem allgemeinen, bildgebenden Subsystem eingesetzt werden. Ein einzelnes, festes Objektiv kann eingesetzt werden. Das einzige Objektiv kann alle gewünschten bildgebenden Modi und Inspektionsmodi unterstützen. Eine solche Konstruktion ist erreichbar, wenn das Bilderzeugungssystem eine relativ große Feldgröße und eine relativ hohe numerische Apertur unterstützt. Die numerische Apertur kann durch interne Blenden reduziert werden, die an den Pupillenebenen 705a, 705b, 719a und 719b platziert sind.

[0075] Wie in **Fig. 7** dargestellt, können auch mehrere Objektive verwendet werden. Obwohl beispielsweise zwei Objektive 712 und 713 dargestellt sind, ist jede Anzahl möglich. Jedes Objektiv kann in einer derartigen Konstruktion auf die durch den Laser 701 erzeugte Wellenlänge abgestimmt werden. Diese Objektive 712 und 713 können entweder feste Positionen haben oder können in Position in der Nähe zur Probe 714 bewegt werden. Um mehrere Objektive in der Nähe zur Probe zu bewegen, kann ein bei Standard-Mikroskopen bekannter Drehrevolver verwendet werden. Andere Entwürfe, um Objektive in die Nähe einer Probe zu bewegen, sind verfügbar. Diese umfassen, sind aber nicht darauf beschränkt, die Translation der Objektive seitlich zum Tisch und die Translation der Objektive auf einem Bogen unter Verwendung eines Goniometers. Außerdem kann eine beliebige Kombination von festen Objektiven und mehreren Objektiven auf einem Revolverkopf in Übereinstimmung mit dem vorliegenden System erreicht werden.

[0076] Die maximalen numerischen Aperturen dieser Konfiguration nähern sich an oder überschreiten 0,97, aber könne in bestimmten Fällen auch höher sein. Die breite Palette von Beleuchtungs- und Abbildungswinkeln, die mit diesem katadioptrischen Abbildungssystem mit hoher numerischer Apertur NA möglich ist und kombiniert mit seiner großen Feldgröße, ermöglichen es dem System, gleichzeitig mehrere Inspektionsmodi zu unterstützen. Wie sich aus den vorstehenden Absätzen ergibt, können mehrere Abbildungsmodi unter Verwendung eines einzigen optischen Systems oder Maschine in Verbindung mit der Beleuchtungseinrichtung implementiert werden. Die offenbarte hohe NA für die Beleuchtung und die Abbildung ermöglicht die Durchführung von Abbildungsmodi, die das gleiche optische System verwenden, wodurch die Optimierung der Bildgebung für die verschiedenen Arten von Defekten oder Proben möglich ist.

[0077] Das bildergebende Subsystem umfasst auch Optiken 715 zur Erzeugung eines Zwischenbilds. Der Zweck der Optiken 715 zur Bilderzeugung ist die Erzeugung eines internen Bildes 716 der Probe 714. An der Stelle dieses internen Bildes 716 kann ein Spiegel 717 platziert werden, um das einem der Inspektionsmodi entsprechende Licht umzuleiten. Es ist möglich, das Licht an dieser Stelle umzuleiten, da das Licht für die Abbildungsmodi räumlich getrennt ist. Die bildgebende Optik 718 (718a und 718b) und 720 (720a und 720b) kann in verschiedenen Formen implementiert werden, dies schließt ein Vario-Zoom, mehrere afokale Tubuslinsen mit Fokussierungsoptik oder mehrere Bilder formende Mag-Rohre ein. Die US Patentanmeldung US 2009/0180176 A1, die am 16. Juli 2009 veröffentlicht wurde, und hierin durch Bezugnahme aufgenommen ist, beschreibt weitere Einzelheiten in Bezug auf das System 700.

[0078] Die **Fig. 8** zeigt beispielhaft ein Abbildungssystem 800 eines ultra-Breitband-UV-Mikroskops mit einer einstellbaren Vergrößerung. **Fig. 8** veranschaulicht drei verschiedene Vergrößerungen des Mikroskops: 36X mit der konfigurierten Optik wie 801A zeigt, 64X mit der konfigurierten Optik wie 801B zeigt und 80X mit der konfigurierten Optik wie 801C zeigt. Wie bei 801C gezeigt, umfasst die Optik einen katadioptrischen Objektivabschnitt 802 und eine Tubuslinse 803 zum Zoomen. Der katadioptrische Objektivabschnitt 802 umfasst eine katadioptrische Linsengruppe 804, eine Feldlinsengruppe 805 und eine Fokussierungslinsengruppe 806. Das System 800 kann ein Bild von einem Objekt/Probe 809 (z.B. einen zu inspizierenden Wafer) in eine Bildebene 812 abbilden.

[0079] Die katadioptrische Linsengruppe 804 umfasst einen annähernd planaren (oder planaren) Reflektor (was ein verspiegeltes Linsenelement ist), eine Meniskuslinse (die eine refraktive Oberfläche bildet) und einen konkaven, sphärischen Reflektor. Beide reflektierenden Elemente haben eine zentrale optische Apertur ohne reflektierendes Material, um es dem Licht von einer Zwischenbildebene zu ermöglichen den konkaven sphärischen Reflektor zu passieren, um vom annähernd planaren (oder planaren) Reflektor auf den konkaven, sphärischen Reflektor reflektiert zu werden, und um zurück durch den annähernd planaren (oder planaren) Reflektor zu laufen und dabei das zugehörige Linsenelement oder Linsenelemente auf dem Weg zu durchqueren. Die katadioptrische Linsengruppe 804 ist derart positioniert, dass ein reales Bild des Zwischenbilds erzeugt wird, so dass in Kombination mit einer Tubuslinse 803 zum Zoomen der primäre Farb-längsfehler des Systems im Wesentlichen über den Wellenlängenbereich korrigiert ist.

[0080] Die Feldlinsengruppe 805 kann aus zwei oder mehr unterschiedlichen, refraktiven Materialien, wie Quarzglas und Fluoridglas oder refraktiven Oberflächen hergestellt werden. Die Feldlinsengruppe 805 kann optisch miteinander gekoppelt werden oder alternativ kann sie mit einem Luftspalt leicht voneinander beabstandet sein. Da Quarzglas und Fluoridglas sich nicht im Wesentlichen in der Dispersion im tiefen, ultravioletten Bereich unterscheiden, müssen die einzelnen Leistungsfähigkeiten der verschiedenen Elemente der Komponenten der Feldlinsengruppe müssen von einer hohen Magnitude sein, um unterschiedliche Dispersionen zur Verfügung zu stellen. Die Feldlinsengruppe 805 hat eine positive Netto-Leistung entlang dem optischen Pfad und nahe dem Zwischenbild. Die Verwendung einer solchen achromatischen Feldlinse ermöglicht die vollständige Korrektur der chromatischen Aberrationen, die mindestens den sekundären Farbblänsfehler sowie primäre und sekundäre Farbquerfehler über einen ultra-breiten Spektralbereich einschließt. In einer Ausführungsform braucht nur eine Komponente der Feldlinse aus einem anderen refraktiven Material sein, als die anderen Linsen des Systems.

[0081] Die Fokussierungslinsengruppe 806 umfasst mehrere Linsenelemente, die vorzugsweise aus einer einzigen Art von Material gebildet sind und mit refraktiven Oberflächen, die derart ausgewählte Krümmungen und Positionen haben, dass sowohl monochromatischen Aberrationen als auch chromatische Veränderungen der Aberrationen korrigiert werden und Licht in ein Zwischenbild fokussiert wird. In einer Ausführungsform der Fokussierungslinsengruppe 806 korrigiert eine Kombination von Linsen 813 mit geringer Brechkraft die chromatische Variation der sphärischen Aberration, Koma und Astigmatismus. Ein Strahlteiler 807 liefert einen Eingang für eine UV-Lichtquelle 808. Die UV-Lichtquelle 808 kann in vorteilhafter Weise durch einen der vorstehend beschriebenen, verbesserten DUV-CW-Laser implementiert werden.

[0082] Die Tubuslinsen 803 zum Zoomen können alle aus dem gleich refraktiven Material, beispielsweise Quarzglas, bestehen und sind so ausgelegt, dass sich primäre Farbblänsfehler und primäre laterale Farbfehler während des Zoomens nicht verändern. Diese primären chromatischen Aberrationen müssen nicht auf null korrigiert werden und können auch nicht auf null korrigiert sein, wenn nur ein Glas-typ verwendet wird, aber sie müssen stationär sein, was möglich ist. Dann muss die Konstruktion des katadioptrischen Objektivabschnitts 802 modifiziert werden, um diese nicht korrigierten aber stationären chromatischen Aberrationen der Tubuslinse 803 zum Zoomen zu kompensieren. Die Tubuslinse 803 zum Zoomen, die zoomen oder die Vergrößerung ändern kann, ohne dabei die höhere Ordnung der chromatischen Aberrationen zu ändern, umfasst Linsenflä-

chen, die entlang des optischen Pfads des Systems angeordnet sind.

[0083] In einer bevorzugten Ausführungsform wird zunächst die Tubuslinse 803 zum Zoomen unabhängig vom katadioptrischen Objektivabschnitt 802 korrigiert, indem zwei refraktive Materialien (wie z.B. Quarzglas und Fluoridglas) verwendet werden. Die Tubuslinse 803 zum Zoomen wird dann mit dem katadioptrischen Objektivabschnitt 802 kombiniert, wobei zu diesem Zeitpunkt der katadioptrische Objektivabschnitt 802 modifiziert werden kann, um den Rest der chromatischen Aberrationen höherer Ordnung des Systems 800 zu kompensieren. Diese Kompensation ist wegen der Feldlinsengruppe 805 und einer Linsengruppe 813 mit niedriger Brechkraft möglich. Das kombinierte System wird dann optimiert, wobei alle Parameter variiert werden, um die beste Leistung zu erreichen.

[0084] Das System 800 umfasst eine Faltungsspiegelgruppe 811, um eine lineare Zoombewegung zu schaffen, die einen Zoom von 36X bis 100X ermöglicht. Drei verschiedene Positionen der Faltsungsspiegelgruppe sind dargestellt, die drei verschiedenen Vergrößerungen 36X, 64X und 80X entsprechen. Die breite Zoompalette ermöglicht eine kontinuierliche Änderung der Vergrößerung, während der Feinzoom den Alias-Effekt reduziert und eine elektronische Bildverarbeitung ermöglicht, wie z.B. die Zell-zu-Zell-Subtraktion bei einem wiederkehrenden Bild-array. Die Faltsungsspiegelgruppe 811 kann auch als „Posaunen“-System der reflektierenden Elemente bezeichnet werden. Das Zoomen wird durch das Bewegen der Gruppe der Tubuslinse 803 zum Zoomen als eine Einheit durchgeführt, und auch durch das Bewegen des Arms des Posaunenzugs, wie in **Fig. 8** gezeigt. Da die Posaunenbewegung nur auf den Fokus wirkt und weil die Bahnweiten-Geschwindigkeit an seiner Stelle sehr langsam ist, könnte die Genauigkeit dieser Bewegung sehr locker sein. Ein Vorteil dieser Posaunen-Konfiguration ist, dass das System wesentlich verkürzt ist. Ein weiterer Vorteil ist, dass es nur eine Zoombewegung gibt, die aktive (nicht flach) optische Elemente einbezieht. Und die andere Zoombewegung, mit dem Posaunenzug, ist unempfindlich gegenüber Störungen. Das US Patent US 5,999,310 A, das am 7. Dezember 1999 erteilt wurde, ist hierin durch Bezugnahme aufgenommen, und beschreibt das System 800 in weiteren Einzelheiten.

[0085] **Fig. 9** zeigt die Hinzufügung einer normalen einfallenden Laserbeleuchtung (Dunkelfeld oder Hellfeld) auf ein katadioptrisches Abbildungssystem 900. Der Beleuchtungsblock des Systems 900 umfasst einen Laser 901, eine adaptive Optik 902, um die Beleuchtungsstrahlgröße und dessen Profil auf der zu inspizierenden Oberfläche zu steuern, eine Öffnung und ein Fenster 903 in einem mechani-

schen Gehäuse 904 und ein Prisma 905, um den Laser entlang der optischen Achse umzuleiten, damit er senkrecht auf die Oberfläche einer Probe 908 trifft. Das Prisma 905 leitet auch die spiegelnden Reflexionen von Oberflächenmerkmalen der Probe 908 und Reflexionen von den optischen Oberflächen eines Objektivs 906 entlang des optischen Pfads zu einer Bildebene 909. Die Linsen für das Objektiv 906 können in der allgemeinen Form eines katadioptrischen Objektivs, einer Fokussierungslinsengruppe und einem Tubuslinsenabschnitt zum Zoomen zur Verfügung gestellt werden (siehe zum Beispiel **Fig. 8**). In einer bevorzugten Ausführungsform kann der Laser 901 durch einen der vorstehend beschriebenen und verbesserten DUV-CW-Laser implementiert werden. Die veröffentlichte Patentanmeldung US 2007/0002465 A1 (veröffentlicht am 4. Januar 2007) ist hierin durch Bezugnahme aufgenommen und beschreibt das System 900 in weiteren Einzelheiten.

[0086] Die **Fig. 10A** veranschaulicht eine Oberflächeninspektionsvorrichtung 1000, die ein Beleuchtungssystem 1001 und ein Sammelsystem 1010 zum Inspizieren von Oberflächenbereichen umfasst. Wie in **Fig. 10A** gezeigt, richtet ein Lasersystem 1020 einen Lichtstrahl 1002 durch eine Linse 1003. In einer bevorzugten Ausführungsform beinhaltet das Lasersystem 1020 einen der vorstehend beschriebenen und verbesserten DUV-CW-Laser. Eine erste Strahlformungsoptik kann derart konfiguriert sein, um einen Strahl von dem Laser zu empfangen und den Strahl zu einem elliptischen Querschnitt mit einer Strahltaile in oder nahe dem Kristall zu fokussieren.

[0087] Die Linse 1003 ist derart ausgerichtet, dass deren Hauptebene im Wesentlichen parallel zu einer Probenoberfläche 1011 ist und im Ergebnis wird die Beleuchtungslinie 1005 auf der Oberfläche 1011 in der Brennebene der Linse 1003 ausgebildet. Zusätzlich werden der Lichtstrahl 1002 und der fokussierte Strahl 1004 in einem nicht-orthogonalen Einfallswinkel auf die Oberfläche 1011 gerichtet. Insbesondere werden der Lichtstrahl 1002 und der fokussierte Strahl 1004 unter einem Winkel zwischen etwa 1 Grad und etwa 85 Grad in Bezug auf eine Normale auf die Oberfläche 1011 gerichtet. In dieser Art und Weise ist die Beleuchtungslinie 1005 im Wesentlichen in der Einfallsebene des fokussierten Strahls 1004.

[0088] Das Sammelsystem 1010 umfasst eine Linse 1012 zum Sammeln des von der Beleuchtungslinie 1005 gestreuten Lichts und eine Linse 1012 zum Fokussieren des von der Linse 1012 kommenden Lichts auf ein Gerät, beispielsweise eine ladungsgekoppelte Vorrichtung (CCD) 1014, die ein Array von lichtempfindlichen Detektoren umfasst. In einer Ausführungsform umfasst der CCD 1014 eine lineare

Anordnung von Detektoren. In solchen Fällen kann die lineare Anordnung von Detektoren innerhalb des CCDs 1014 parallel zur Beleuchtungslinie 1015 orientiert sein. In einer Ausführungsform können mehrere Sammelsysteme enthalten sein, wobei jedes der Sammelsysteme ähnliche Komponenten enthält, die sich aber in der Orientierung unterscheiden.

[0089] Beispielsweise zeigt **Fig. 10B** eine beispielhafte Anordnung von Sammelsystemen 1031, 1032, und 1033 für eine Oberflächeninspektionsvorrichtung (wobei deren Beleuchtungssystem, zum Beispiel ähnlich dem Beleuchtungssystem 1001 ist, das aus Gründen der Einfachheit nicht gezeigt ist). Die erste Optik im Sammelsystem 1031 sammelt Licht, das in einer ersten Richtung von der Oberfläche der Probe 1011 gestreut wird. Die zweite Optik im Sammelsystem 1032 sammelt gestreutes Licht, das in einer zweiten Richtung von der Oberfläche der Probe 1011 gestreut wird. Die dritte Optik im Sammelsystem 1033 sammelt Licht, das in einer dritten Richtung von der Oberfläche der Probe 1011 gestreut wird. Es ist zu beachten, dass der erste, zweite und dritte Pfad unter verschiedenen Reflexionswinkeln der Probe 1011 angeordnet sind. Eine Plattform 1035 kann zum Unterstützen der Probe 1011 verwendet werden, um eine Relativbewegung zwischen der Optik und der Probe 1011 zu bewirken, so dass die gesamte Oberfläche der Probe 1011 abgetastet werden kann. US Patent US 7,525,649 B1, das am 28. April 2009 erteilt wurde und hierin durch Bezugnahme aufgenommen ist, beschreibt die Oberflächeninspektionsvorrichtung 1000 und andere Mehrfach-Sammelsysteme in weiteren Einzelheiten.

[0090] **Fig. 11** zeigt ein Oberflächeninspektionssystem 1100, das zur Inspektion von Anomalien auf einer Oberfläche 1101 verwendet werden kann. In diesem Ausführungsbeispiel kann die Oberfläche 1101 durch einen im Wesentlichen stationären Beleuchtungseinrichtungsabschnitt eines Lasersystems 1130 beleuchtet werden, das einen von einem der vorstehend beschriebenen und verbesserten DUV-CW-Laser erzeugten Laserstrahl umfasst. Der Ausgang des Lasersystems 1130 kann nacheinander durch eine polarisierende Optik 1121, einen Strahlaufweiter und eine Blende 1122 und Strahlformungsoptik 1123 zum Erweitern und Fokussieren des Strahls passieren.

[0091] Der resultierende und fokussierte Laserstrahl 1102 wird dann durch eine Faltungskomponente 1103 und eine Strahlableitvorrichtung 1104 reflektiert, um den Strahl 1105 in Richtung der Oberfläche 1101 zum Beleuchten der Oberfläche zu richten. In der bevorzugten Ausführungsform ist der Strahl 1105 im Wesentlichen normal bzw. senkrecht zur Oberfläche 1101, obwohl in anderen Ausführungsfor-

men der Strahl 1105 in einem schiefen Winkel zur Oberfläche 1101 sein kann.

[0092] In einer Ausführungsform ist der Strahl 1105 im Wesentlichen senkrecht oder normal zur Oberfläche 1101 und die Strahlableitvorrichtung 1104 reflektiert die spiegelnde Reflexion des Strahls von der Oberfläche 1101 in Richtung der Strahldrehkomponente 1103, so dass diese als Schild wirkt, um zu verhindern, dass die Spiegelreflexionen die Detektoren erreichen. Die Richtung der spiegelnden Reflexion ist entlang der Linie SR, die zur Oberfläche 1101 der Probe normal ist. In einer Ausführungsform, bei der der Strahl 1105 normal zur Oberfläche 1101 ist, fällt diese Linie SR mit der Richtung des Strahls 1105 zur Beleuchtung zusammen, wobei diese gemeinsame Bezugslinie oder Richtung hierin als die Achse des Inspektionssystems 1100 bezeichnet wird. Wenn der Strahl 1105 in einem schrägen Winkel zur Oberfläche 1101 ist, fällt die Richtung der spiegelnden Reflexion SR nicht mit der Einfallsrichtung des Strahls 1105 zusammen. In einem solchen Fall deutet die Linie der SR die Richtung der Oberflächennormalen an, die als die Hauptachse des Sammelbereichs des Inspektionssystems 1100 bezeichnet wird.

[0093] Das von kleinen Teilchen gestreute Licht wird durch den Spiegel 1106 gesammelt und in Richtung der Blende 1107 und des Detektors 1108 geleitet. Das von großen Teilchen gestreute Licht wird durch die Linsen 1109 gesammelt und in Richtung der Blende 1110 und des Detektors 1111 geleitet. Es ist zu beachten, dass einige große Teilchen das Licht so streuen werden, dass es ebenfalls gesammelt und zum Detektor 1108 geleitet wird, und in ähnlicher Weise werden einige kleine Teilchen das Licht so streuen, dass es ebenfalls gesammelt und zum Detektor 1111 geleitet wird, aber dieses Licht hat eine relativ geringe Intensität im Vergleich zur Intensität des Streulichts, das der jeweilige zum Detektieren ausgelegte Detektor detektiert. In einer Ausführungsform kann der Detektor 1111 ein Array von lichtempfindlichen Elementen umfassen, wobei jedes lichtempfindliche Element des Arrays von lichtempfindlichen Elementen so konfiguriert ist, dass es einen entsprechenden Abschnitt eines vergrößerten Bildes der Beleuchtungslinie detektieren kann. In einer Ausführungsform kann das Inspektionssystem zur Erkennung von Defekten auf unstrukturierten Wafern konfiguriert sein. Das US-Patent US 6,271,916 A, das am 7. August 2001 erteilt wurde und hierin durch Bezugnahme aufgenommen ist, beschreibt das Inspektionssystem 1100 in weiteren Einzelheiten.

[0094] Fig. 12 zeigt ein Inspektionssystem 1200, das für eine Implementierung der Anomaliedetektion konfiguriert ist und sowohl normale als auch schräge Beleuchtungsstrahlen verwendet. In dieser Konfigu-

ration stellt ein Laserblock 1230 einen Laserstrahl 1201 zur Verfügung, wobei der Laserblock 1230 einen der vorstehend beschriebenen und verbesserten DUV-CW-Laser umfasst. Eine Linse 1202 fokussiert den Strahl 1201 durch einen Raumfilter 1203 und eine Linse 1204 kollimiert den Strahl und übermittelt ihn an einen Polarisationsstrahlteiler 1205. Der Strahlteiler 1205 übergibt eine erste polarisierte Komponente in den normalen Beleuchtungskanal und eine zweite polarisierte Komponente an den schrägen Beleuchtungskanal, wobei die erste und die zweite Komponente orthogonal zueinander sind. Im normalen Beleuchtungskanal 1206 wird die erste polarisierte Komponente durch eine Optik 1207 fokussiert und von dem Spiegel 1208 in Richtung auf eine Oberfläche einer Probe 1209 gelenkt. Die durch die Proben 1209 gestreute Strahlung wird durch einen Parabolspiegel 1210 gesammelt und 786 1211 fokussiert.

[0095] In dem schrägen Beleuchtungskanal 1212 wird die zweite polarisierte Komponente durch den Strahlteiler 1205 auf einen Spiegel 1213 reflektiert, der diesen Strahl durch eine Halbwellenplatte 1214 und durch eine Optik 1215 auf die Probe 1209 fokussiert. Die Strahlung, die von dem schrägen Beleuchtungsstrahl im schrägen Kanal 1212 stammt und von der Probe 1209 gestreut wird, wird ebenso durch Parabolspiegel 1210 gesammelt und auf die Photovervielfacherröhre 1211 fokussiert. Man beachte, dass die Photovervielfacherröhre 1211 als Eingang ein Pinhole hat. Das Pinhole und der beleuchtete Spot (vom normalen und schrägen Beleuchtungskanal an der Oberfläche 1209) sind vorzugsweise an den Brennpunkten des Parabolspiegels 1210.

[0096] Der Parabolspiegel 1210 bündelt die Streustrahlung von der Probe 1209 in einen gebündelten Strahl 1216. Der kollimierte Strahl 1216 wird dann mit einem Objektiv 1217 und durch einen Analysator 1218 auf die Photovervielfacherröhre 1211 fokussiert. Es ist zu beachten, dass auch gekrümmte Spiegelflächen verwendet werden können, die andere Formen aufweisen, als die parabolische Form. Ein Instrument 1220 kann eine Relativbewegung zwischen den Strahlen und der Probe 1209 bereitstellen, so dass die Spots über die Oberfläche der Probe 1209 gescannt werden können. Das am 13. März 2001 erteilte US Patent US 6,201,601 B1, das hierin durch Bezugnahme aufgenommen ist, beschreibt das Inspektionssystem 1200 in weiteren Einzelheiten.

[0097] Andere Inspektionssysteme für Strichplatten, Photomasken oder Wafer können vorteilhafterweise einen der oben beschriebenen und verbesserten DUV-CW-Laser verwenden. Zum Beispiel sind andere Systeme in den folgenden US-Patenten beschrieben: US 5,563,702 A; US 5,999,310 A; US 6,201,601 B1; US 6,271,916 B1;

US 7,352,457 B2; US 7,525,649 B1 und US 7,528,943 B2. Noch weitere Systeme sind in den veröffentlichten US-Patentanmeldungen US 2007/0002465 A1 und US 2009/0180176 A1 beschrieben. Die in diesem Absatz genannten Patente, die veröffentlichten Patentanmeldungen und die Patentanmeldungen sind durch Bezugnahme hierin aufgenommen.

[0098] Obwohl dargestellte Ausführungsformen der Erfindung im Detail hierin mit Bezug auf die beigefügten Figuren beschrieben wurden, ist es selbstverständlich, dass die Erfindung nicht auf diese Ausführungsformen beschränkt ist. Sie sollen nicht als erschöpfend angesehen werden oder die Erfindung auf die genauen und offenbaren Formen beschränken. Als solches sind viele Modifikationen und Variationen für einen Fachmann auf diesem technischen Gebiet offensichtlich. Dementsprechend ist es beabsichtigt, dass der Umfang der Erfindung durch die folgenden Ansprüche und deren Äquivalente definiert wird.

Patentansprüche

1. Ein Laser (200) zum Erzeugen von Dauerstrichlicht (250) im tiefen Ultraviolettlicht (DUV) umfassend:
einen Generator (102A) für eine zweite harmonische Oberschwingung zur Umwandlung von Licht mit einer Grundwellenlänge in Licht (201) mit einer Wellenlänge der zweiten harmonischen Oberschwingung;
einen Generator (202B) für eine vierte harmonische Oberschwingung zur Umwandlung von Licht (201) mit einer Wellenlänge der zweiten harmonischen Oberschwingung in Licht mit einer Wellenlänge der vierten harmonischen Oberschwingung, wobei der Generator (202B) für die vierte harmonische Oberschwingung umfasst:
eine Vielzahl von Spiegeln (130, 131, 132, 133), dazu ausgebildet, Licht im Generator (202B) für die vierte harmonische Oberschwingung zirkulieren zu lassen;
einen ersten nichtlinearen optischen (NLO) Kristall (235) mit ersten optischen Achsen, die derart relativ zu dem im Generator (202B) für die vierte harmonische Oberschwingung zirkulierenden Licht orientiert sind, dass der erste NLO-Kristall (235) einen Teil des Lichts (201) mit der Wellenlänge der zweiten harmonischen Oberschwingung in Licht mit der Wellenlänge der vierten harmonischen Oberschwingung und einem ersten Astigmatismus umwandelt, wobei der erste NLO-Kristall in operativem Verhältnis mit der Vielzahl der Spiegel (130, 131, 132, 133) ist, derart, dass das im Generator (202B) für die vierte harmonische Oberschwingung zirkulierende Licht nur in einer einzigen Ausbreitungsrichtung des Lichts in den ersten NLO-Kristall (235) gerichtet ist; und

einen zweiten NLO-Kristall (236), der in operativem Verhältnis zu dem ersten NLO-Kristall (235) ist, so dass das gesamte Licht der zweiten harmonischen Wellenlänge durch den ersten NLO-Kristall (235) und zumindest ein Teil des Lichts (201) der zweiten harmonischen Wellenlänge durch den zweiten NLO-Kristall (236) nur in der einen Ausbreitungsrichtung hindurchgeht, wobei zweite optische Achsen des zweiten NLO-Kristalls (236) um die eine Ausbreitungsrichtung des Lichts (201) mit der zweiten harmonischen Wellenlänge im zweiten NLO-Kristall (236) um ungefähr 90° in Bezug auf die ersten optischen Achsen des ersten NLO-Kristalls (235) gedreht sind, und wobei der zweite NLO-Kristall (236) derart ausgebildet ist, dass ein zweiter Astigmatismus, der von dem Licht (201) mit der Wellenlänge der zweiten harmonischen Oberschwingung innerhalb des zweiten NLO-Kristalls (236) erzeugt wird, den ersten Astigmatismus reduziert, und wobei kein Licht (201) mit der Wellenlänge der zweiten harmonischen Oberschwingung, das den zweiten NLO-Kristall durchläuft, von dem zweiten NLO-Kristall (236) in Licht mit der vierten harmonischen Oberschwingung umgewandelt wird.

2. Laser (200) nach Anspruch 1, wobei sowohl der erste NLO-Kristall (235) als auch der zweite NLO-Kristall (236) mit Wasserstoff getempert sind.

3. Laser (200) nach Anspruch 1, wobei sowohl der erste NLO-Kristall (235) als auch der zweite NLO-Kristall (236) einen CLBO-(Cäsiumlithiumborat)-Kristall umfassen, der mit Wasserstoff getempert ist.

4. Laser (200) nach Anspruch 1, wobei das Licht (201) der zweiten Harmonischen zu einer im Wesentlichen elliptischen Strahltaille geformt ist, und der erste NLO-Kristall (235) mit einer langen Achse der Ellipse im Wesentlichen parallel zu einer ersten e-Achse ist.

5. Laser (200) nach Anspruch 1, wobei der erste NLO-Kristall (235) und der zweite NLO-Kristall (236) hinsichtlich der Temperatur überwacht sind, um den durch einen fokussierten Strahl im ersten NLO-Kristall (235) erzeugten ersten Astigmatismus zu reduzieren.

6. Laser (200) nach Anspruch 1, wobei zumindest der erste NLO-Kristall (235) hinsichtlich der Temperatur überwacht ist, um den durch einen fokussierten Strahl im ersten NLO-Kristall (235) erzeugten ersten Astigmatismus zu reduzieren.

7. Laser (200) nach Anspruch 6, wobei eine überwachte Temperatur etwa 50°C oder niedriger beträgt.

8. Laser (200) nach Anspruch 1, wobei der Generator (202B) für die vierte harmonische Oberschwingung ein Paar dünner Platten (245) mit parallelen Oberflächen umfasst, wobei das Paar der dünnen Platten (245) in im Wesentlichen gleichen und entgegengesetzten Winkeln geneigt ist, so dass ein Versatz eines Lichtstrahls während der Kompensierung des Astigmatismus minimiert ist.

9. Laser (200) nach Anspruch 1, wobei der Generator (202B) für die vierte harmonische Oberschwingung ferner eine Rückkopplungssteuerschleife umfasst, die automatisch eine Astigmatismuskompensation einstellt, um im Wesentlichen den vom ersten NLO-Kristall eingeführten Astigmatismus zu eliminieren.

10. Ein System (500) zur Inspektion eines Wafers, einer Strichplatte oder einer Fotomaske umfassend:

einen tief ultravioletten (DUV) Dauerstrichlaser (CW) (200), welcher umfasst:

einen Generator (102A) für eine zweite harmonische Oberschwingung zur Umwandlung von Licht mit einer Grundwellenlänge in Licht (201) mit einer zweiten harmonischen Wellenlänge; und

einen Generator (202B) für eine vierte harmonische Oberschwingung zur Umwandlung von Licht (201) mit einer zweiten harmonischen Wellenlänge in Licht mit einer vierten harmonischen Wellenlänge, wobei der Generator (202B) für die vierte harmonische Oberschwingung umfasst:

eine Vielzahl von Spiegeln (130, 131, 132, 133) dazu ausgebildet, Licht im Generator (202B) für die vierte harmonische Oberschwingung zirkulieren zu lassen;

einen ersten nichtlinearen optischen (NLO) Kristall (235) zur Erzeugung des Lichts mit der vierten harmonischen Oberschwingung und einem ersten Astigmatismus durch Umwandeln eines umgewandelten Teils des Lichts (201) mit der Wellenlänge der zweiten harmonischen Oberschwingung, wobei der erste NLO-Kristall (235) in operativem Verhältnis mit der Vielzahl der Spiegel (130, 131, 132, 133) ist, derart, dass das im Generator (202B) für die vierte harmonische Oberschwingung zirkulierende Licht nur in einer einzigen Ausbreitungsrichtung des Lichts in den ersten NLO-Kristall (235) gerichtet ist; und

einen zweiten NLO-Kristall (236), der in operativem Verhältnis zu dem ersten NLO-Kristall (235) ist, so dass das gesamte Licht (201) der zweiten harmonischen Wellenlänge durch den ersten NLO-Kristall (235) hindurchgeht und ein nicht umgewandelter Anteil des Lichts (201) mit der zweiten harmonischen Wellenlänge von dem ersten NLO-Kristall (235) und durch den zweiten NLO-Kristall (236) nur in der einen Ausbreitungsrichtung hindurchgeht, und wobei das von dem ersten NLO-Kristall (235) erzeugte Licht mit der Wellenlänge der vierten har-

monischen Oberschwingung nur in der einen Ausbreitungsrichtung durch den zweiten NLO-Kristall (236) hindurchgeht, wobei zweite optische Achsen des zweiten NLO-Kristalls (236) um die eine Ausbreitungsrichtung des Lichts mit der zweiten harmonischen Wellenlänge im zweiten NLO-Kristall (236) um ungefähr 90° in Bezug auf die ersten optischen Achsen des ersten NLO-Kristalls (235) gedreht sind, und wobei der zweite NLO-Kristall (236) derart ausgebildet ist, dass ein zweiter Astigmatismus, der von dem Licht (201) mit der Wellenlänge der zweiten harmonischen Oberschwingung innerhalb des zweiten NLO-Kristalls (236) erzeugt wird, den ersten Astigmatismus reduziert, und wobei kein Licht des nicht umgewandelten Anteils von Licht (201) mit der Wellenlänge der zweiten harmonischen Oberschwingung durch den zweiten NLO-Kristall (236) in Licht mit der Wellenlänge der vierten harmonischen Oberschwingung umgewandelt wird.

11. System (500) nach Anspruch 10, wobei sowohl der erste NLO-Kristall (235) als auch der zweite NLO-Kristall (236) mit Wasserstoff getempert sind.

12. System (500) nach Anspruch 10, wobei sowohl der erste NLO-Kristall (235) als auch der zweite NLO-Kristall (236) einen CLBO-(Cäsiumlithiumborat)-Kristall umfassen, der mit Wasserstoff getempert ist.

13. System (500) nach Anspruch 10, wobei das Licht (201) der zweiten Harmonischen zu einer im Wesentlichen elliptischen Strahltaille geformt ist, und der erste NLO-Kristall (235) mit einer langen Achse der Ellipse im Wesentlichen parallel zu einer ersten e-Achse ist.

14. System (500) nach Anspruch 10, wobei der erste NLO-Kristall (235) und der zweite NLO-Kristall (236) hinsichtlich der Temperatur überwacht sind, um den durch einen fokussierten Strahl im ersten NLO-Kristall (235) erzeugten ersten Astigmatismus zu reduzieren.

15. System (500) nach Anspruch 10, wobei zumindest der erste NLO-Kristall (235) hinsichtlich der Temperatur überwacht ist, um den durch einen fokussierten Strahl im ersten NLO-Kristall (235) erzeugten ersten Astigmatismus zu reduzieren.

16. System (500) nach Anspruch 15, wobei eine überwachte Temperatur etwa 50°C oder niedriger beträgt.

17. System (500) nach Anspruch 10, wobei der Generator (202B) für die vierte harmonische Oberschwingung ein Paar dünner Platten (245) mit parallelen Oberflächen umfasst, wobei das Paar der dünnen Platten (245) in im Wesentlichen gleichen und

entgegengesetzten Winkeln geneigt ist, so dass ein Versatz eines Lichtstrahls während der Kompensierung des Astigmatismus minimiert ist.

18. System (500) nach Anspruch 10, wobei der Generator (202B) für die vierte harmonische Oberschwingung ferner eine Rückkopplungssteuerschleife umfasst, die automatisch eine Astigmatismuskompensation einstellt, um im Wesentlichen den vom ersten NLO-Kristall (235) eingeführten Astigmatismus zu eliminieren.

19. Ein Verfahren zur Erzeugung von tief-ultraviolett (DUV) Dauerstrichlicht (CW) in einem Laser, wobei das Verfahren umfasst:
dass Licht mit einer Grundwellenlänge in Licht mit einer zweiten harmonischen Wellenlänge umgewandelt wird;
dass ein Anteil des Lichts mit der zweiten harmonischen Wellenlänge in Licht mit einer vierten harmonischen Wellenlänge umgewandelt wird, indem das Licht mit der zweiten harmonischen Wellenlänge in einer Kavität zirkulieren gelassen wird, die derart ausgebildet ist, dass das Licht einen ersten nichtlinearen optischen (NLO) Kristall nur in einer einzigen Ausbreitungsrichtung des Lichts durchläuft; Aufheben eines ersten Astigmatismus, der im ersten NLO-Kristall erzeugt wurde durch Verwendung eines zweiten NLO-Kristalls, der derart in operativer Beziehung zu dem ersten NLO-Kristall angeordnet ist, dass zumindest ein Teil des Lichts mit der zweiten harmonischen Wellenlänge, das den ersten NLO-Kristall durchlaufen hat, den zweiten NLO-Kristall nur in der einen Ausbreitungsrichtung des Lichts durchläuft, wobei der zweite NLO-Kristall derart ausgebildet ist, dass ein zweiter Astigmatismus, der durch Aberrationen innerhalb des zweiten NLO-Kristalls erzeugt wird, den ersten Astigmatismus im Wesentlichen aufhebt, und wobei das Aufheben des ersten Astigmatismus es umfasst, den zweiten NLO-Kristall so zu konfigurieren,
dass zweite optische Achsen des zweiten NLO-Kristalls um die eine Ausbreitungsrichtung des Lichts mit der zweiten harmonischen Wellenlänge im zweiten NLO-Kristall um ungefähr 90° in Bezug auf erste optische Achsen des ersten NLO-Kristalls gedreht werden, so dass kein Licht mit der zweiten harmonischen Wellenlänge, das den zweiten NLO-Kristall durchläuft, durch den zweiten NLO-Kristall in Licht umgewandelt wird, das die vierte harmonische Wellenlänge hat.

20. Ein Laser (200) zum Erzeugen von Dauerstrichlicht im tiefen Ultraviolettlicht (DUV) umfassend:
einen Generator (102A) für eine zweite harmonische Oberschwingung, ausgebildet zur Umwandlung von Licht mit einer Grundwellenlänge in Licht (201) mit einer Wellenlänge der zweiten harmonischen Oberschwingung;

einen Generator (202B) für eine vierte harmonische Oberschwingung, ausgebildet zur Umwandlung von Licht (201) mit der Wellenlänge der zweiten harmonischen Oberschwingung in Licht mit einer Wellenlänge der vierten harmonischen Oberschwingung, wobei der Generator (202B) für die vierte harmonische Oberschwingung umfasst:

eine Vielzahl von Spiegeln (130, 131, 132, 133), dazu ausgebildet, Licht im Generator (202B) für die vierte harmonische Oberschwingung zirkulieren zu lassen;

einen ersten nichtlinearen optischen (NLO) Kristall (235) mit ersten optischen Achsen, die derart in Bezug auf das im Generator (202B) für eine vierte harmonische Oberschwingung zirkulierende Licht orientiert sind, dass der erste NLO-Kristall (235) einen Teil des Lichts (201) mit der Wellenlänge der zweiten harmonischen Oberschwingung in Licht mit der Wellenlänge der vierten harmonischen Oberschwingung und einem ersten Astigmatismus konvertiert, wobei der erste NLO-Kristall (235) in operativer Beziehung zu der Vielzahl von Spiegeln (130, 131, 132, 133) steht; und

ein Paar dünner Platten (245), wobei jede dünne Platte (245) parallele ebene Oberflächen hat, wobei das Paar dünner Platten (245) derart in operativer Beziehung zu dem ersten NLO-Kristall (235) angeordnet ist, dass das im Generator (202B) für die vierte harmonische Oberschwingung zirkulierende Licht durch die parallelen ebenen Oberflächen des Paares dünner Platten (245) läuft, wobei das Paar dünner Platten (245) in einer bezüglich jeweiliger paralleler Achsen um im Wesentlichen gleiche und entgegengesetzte Winkel geneigten Anordnung derart angeordnet ist, dass das Paar dünner Platten (245) einen zweiten Astigmatismus für das im Generator für die vierte harmonische Oberschwingung zirkulierende Licht einführt, der den ersten Astigmatismus korrigiert und zugleich einen Versatz für das zirkulierende Licht minimiert, und

wobei der erste NLO-Kristall (245) einen mit Wasserstoff getemperten Cäsiumlithiumborat-(CLBO)-Kristall umfasst.

21. Ein Laser (200) zum Erzeugen von Dauerstrichlicht im tiefen Ultraviolettlicht (DUV) umfassend:

einen Generator (102A) für eine zweite harmonische Oberschwingung, ausgebildet zur Umwandlung von Licht mit einer Grundwellenlänge in Licht (201) mit einer Wellenlänge der zweiten harmonischen Oberschwingung;

einen Generator (202B) für eine vierte harmonische Oberschwingung, ausgebildet zur Umwandlung von Licht (201) mit der Wellenlänge der zweiten harmonischen Oberschwingung in Licht mit einer Wellenlänge der vierten harmonischen Oberschwingung, wobei der Generator (202B) für die vierte harmonische Oberschwingung umfasst:

eine Vielzahl von Spiegeln (130, 131, 132, 133), dazu ausgebildet, Licht im Generator (202B) für die vierte harmonische Oberschwingung zirkulieren zu lassen;

einen ersten nichtlinearen optischen (NLO) Kristall (235) mit ersten optischen Achsen, die derart in Bezug auf das im Generator (202B) für die vierte harmonische Oberschwingung zirkulierende Licht orientiert sind, dass der erste NLO-Kristall (235) einen Teil des Lichts (201) mit der Wellenlänge der zweiten harmonischen Oberschwingung in Licht mit der Wellenlänge der vierten harmonischen Oberschwingung und einem ersten Astigmatismus konvertiert, wobei der erste NLO-Kristall (235) in operativer Beziehung zu der Vielzahl von Spiegeln (130, 131, 132, 133) steht; und

ein Paar dünner Platten (245), wobei jede dünne Platte (245) parallele ebene Oberflächen hat, wobei das Paar dünner Platten (245) derart in operativer Beziehung zu dem ersten NLO-Kristall (235) angeordnet ist, dass das im Generator (202B) für die vierte harmonische Oberschwingung zirkulierende Licht durch die parallelen ebenen Oberflächen des Paares dünner Platten (245) läuft, wobei das Paar dünner Platten (245) in einer bezüglich jeweiliger paralleler Achsen um im Wesentlichen gleiche und entgegengesetzte Winkel geneigten Anordnung derart angeordnet ist, dass das Paar dünner Platten (245) einen zweiten Astigmatismus für das im Generator (202B) für die vierte harmonische Oberschwingung zirkulierende Licht einführt, der den ersten Astigmatismus korrigiert und zugleich einen Versatz für das zirkulierende Licht minimiert, und

wobei die Vielzahl der Spiegel (130, 131, 132, 133), die konfiguriert ist, Licht im Generator für die vierte harmonische Oberschwingung zirkulieren zu lassen, einen sphärischen Spiegel einschließt, der derart ausgebildet ist, dass das Licht (201) mit der zweiten harmonischen Wellenlänge in oder nahe bei dem ersten NLO-Kristall (235) auf eine im Wesentlichen elliptische Strahltaile fokussiert wird, mit einer großen Halbachse einer Ellipse im Wesentlichen parallel zu einer ersten e-Achse.

22. Laser (200) nach Anspruch 20, ferner Mittel umfassend, um eine Temperatur zumindest des ersten NLO-Kristalls (235) unterhalb 100°C zu halten, um den ersten Astigmatismus zu minimieren, der im ersten NLO-Kristall (235) erzeugt wird.

23. Laser (200) nach Anspruch 22, wobei die Mittel ausgebildet sind, um die Temperatur bei ungefähr 50°C oder darunter zu halten.

24. Laser (200) nach Anspruch 20, wobei der Generator (202B) für die vierte harmonische Oberschwingung ferner eine Rückkopplungssteuerschleife umfasst, um automatisch die im Wesentlichen gleichen und entgegengesetzten Winkel des

Paars dünner Platten (245) so einzustellen, dass der vom ersten NLO-Kristall (235) eingeführte erste Astigmatismus im Wesentlichen aufgehoben wird.

25. Ein System (500) zur Inspektion eines Wafers, einer Strichplatte oder einer Fotomaske umfassend:

einen tief ultravioletten (DUV) Dauerstrichlaser (CW) (200), welcher umfasst:

einen Generator (102A) für eine zweite harmonische Oberschwingung zur Umwandlung von Licht mit einer Grundwellenlänge in Licht (201) mit einer zweiten harmonischen Wellenlänge; und

einen Generator (202B) für eine vierte harmonische Oberschwingung zur Umwandlung von Licht (201) mit der zweiten harmonischen Wellenlänge in Licht mit einer vierten harmonischen Wellenlänge, wobei der Generator (202B) für die vierte harmonische Oberschwingung umfasst:

eine Vielzahl von Spiegeln (130, 131, 132, 133) dazu ausgebildet, Licht im Generator (202B) für die vierte harmonische Oberschwingung zirkulieren zu lassen; einen ersten nichtlinearen optischen (NLO) Kristall (235), ausgebildet zur Erzeugung des Lichts mit der vierten harmonischen Oberschwingung durch Umwandeln eines umgewandelten Teils des Lichts (201) mit der Wellenlänge der zweiten harmonischen Oberschwingung, wobei der erste NLO-Kristall (235) in operativem Verhältnis mit der Vielzahl der Spiegel ist (130, 131, 132, 133), derart, dass das im Generator (202B) für die vierte harmonische Oberschwingung zirkulierende Licht nur in einer einzigen Ausbreitungsrichtung des Lichts in den ersten NLO-Kristall (235) gerichtet ist; und

ein Paar dünner Platten (245), wobei jede dünne Platte (245) parallele ebene Oberflächen hat, wobei das Paar dünner Platten (245) derart in operativer Beziehung zu dem ersten NLO-Kristall (235) angeordnet ist, dass das im Generator (202B) für die vierte harmonische Oberschwingung zirkulierende Licht durch die parallelen ebenen Oberflächen des Paares dünner Platten (245) läuft, wobei das Paar dünner Platten (245) in einer bezüglich jeweiliger paralleler Achsen um im Wesentlichen gleiche und entgegengesetzte Winkel geneigten Anordnung derart angeordnet ist, dass das Paar dünner Platten (245) einen zweiten Astigmatismus für das im Generator (202B) für die vierte harmonische Oberschwingung zirkulierende Licht einführt, der den ersten Astigmatismus korrigiert und zugleich einen Versatz für das zirkulierende Licht minimiert, und

wobei der erste NLO-Kristall (235) einen mit Wasserstoff getemperten CLBO-(Cäsiumlithiumborat)-Kristall umfasst.

26. System (500) nach Anspruch 25, wobei die Vielzahl der Spiegel (130, 131, 132, 133), die konfiguriert ist, Licht im Generator (202B) für die vierte harmonische Oberschwingung zirkulieren zu lassen,

einen sphärischen Spiegel einschließt, der derart ausgebildet ist, dass das Licht (201) mit der zweiten harmonischen Wellenlänge in oder nahe bei dem ersten NLO-Kristall (235) auf eine im Wesentlichen elliptische Strahltaile fokussiert wird, mit einer großen Halbachse einer Ellipse im Wesentlichen parallel zu einer ersten e-Achse.

ten Astigmatismus korrigiert und zugleich einen Versatz für das zirkulierende Licht minimiert.

Es folgen 11 Seiten Zeichnungen

27. System (500) nach Anspruch 25, ferner Mittel umfassend, um eine Temperatur zumindest des ersten NLO-Kristalls (235) unterhalb 100°C zu halten, um den ersten Astigmatismus zu minimieren, der im ersten NLO-Kristall (235) erzeugt wird.

28. System (500) nach Anspruch 25, wobei die Mittel ausgebildet sind, um die Temperatur bei ungefähr 50°C oder darunter zu halten.

29. System (500) nach Anspruch 25, wobei der Generator (202B) für die vierte harmonische Oberschwingung ferner eine Rückkopplungssteuerschleife umfasst, um automatisch die im Wesentlichen gleichen und entgegengesetzten Winkel des Paares dünner Platten (245) so einzustellen, dass der vom ersten NLO-Kristall (235) eingeführte erste Astigmatismus im Wesentlichen aufgehoben wird.

30. Verfahren zur Erzeugung von tief ultraviolettem (DUV) Dauerstrichlicht (CW) in einem Laser, wobei das Verfahren umfasst:

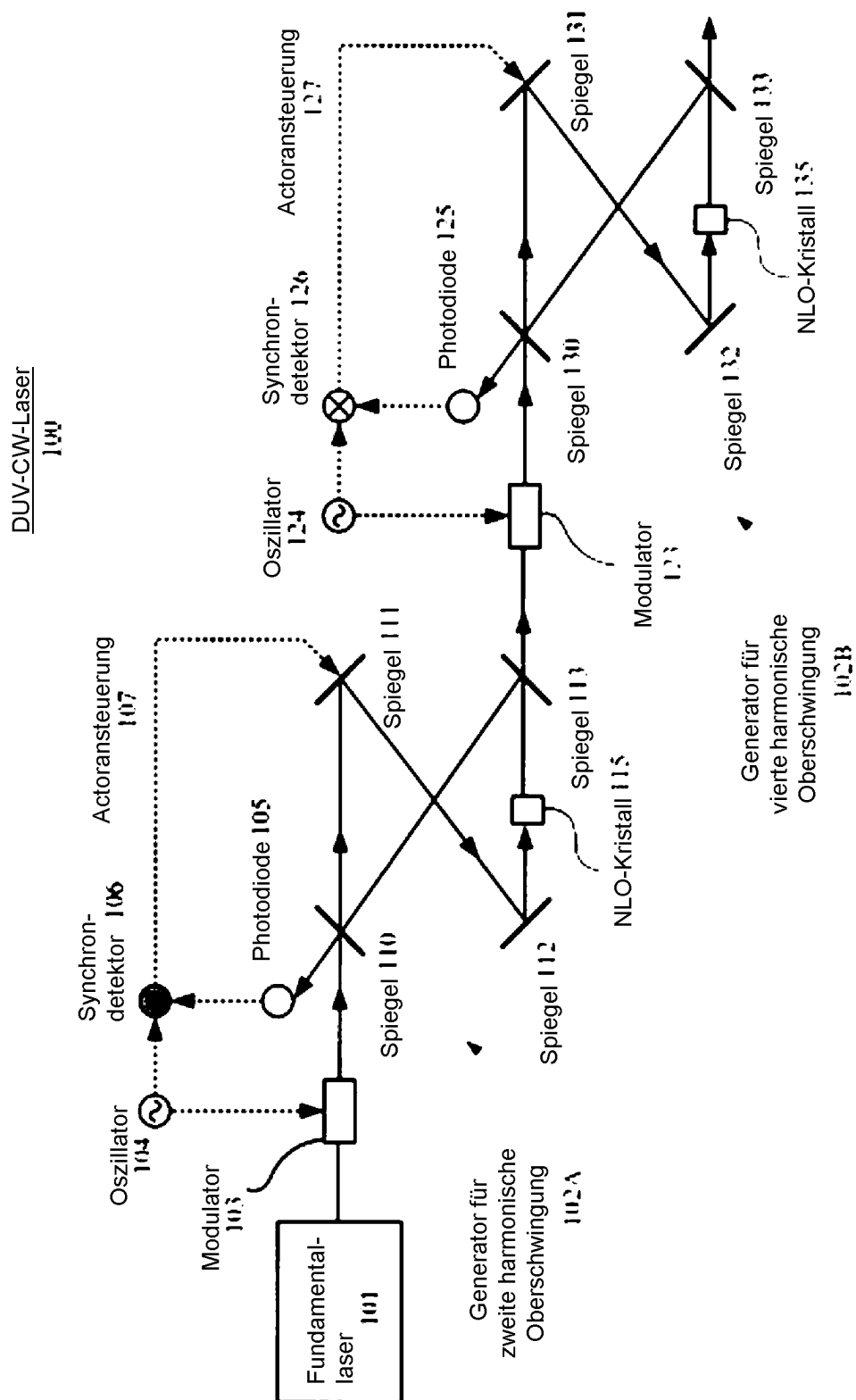
dass Licht mit einer Grundwellenlänge in Licht mit einer zweiten harmonischen Wellenlänge umgewandelt wird;

dass ein Anteil des Lichts mit der zweiten harmonischen Wellenlänge in Licht mit einer vierten harmonischen Wellenlänge umgewandelt wird, indem das Licht mit der zweiten harmonischen Wellenlänge in einer Kavität zirkulieren gelassen wird, die derart ausgebildet ist, dass das Licht einen mit Wasserstoff getemperten Cäsium-Lithium-Borat-(CLBO)-Kristall nur in

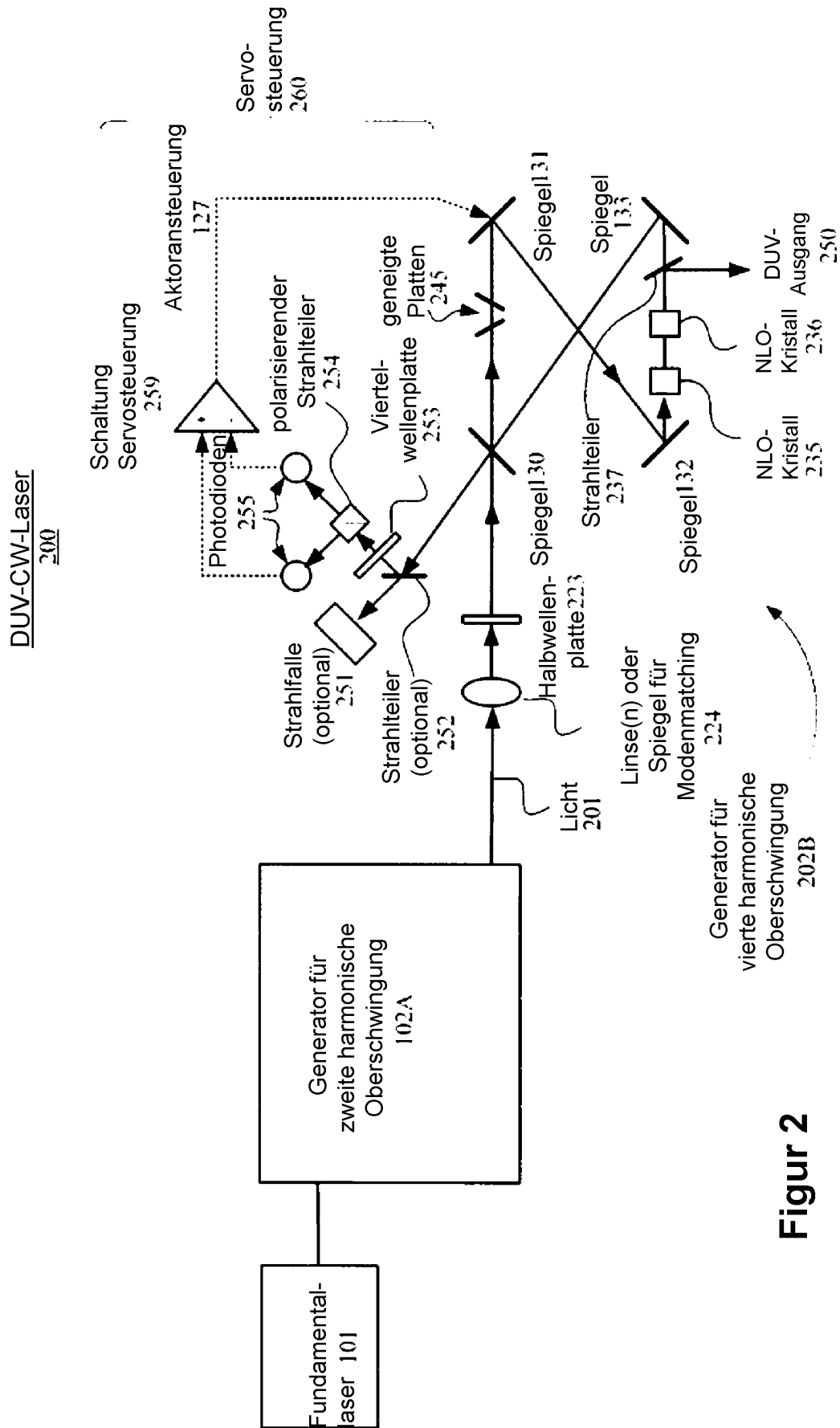
einer einzigen Ausbreitungsrichtung des Lichts durchläuft;

Aufheben eines ersten Astigmatismus, der im mit Wasserstoff getemperten CLBO-Kristall erzeugt wurde durch Verwendung eines Paares dünner Platten, wobei jede dünne Platte parallele ebene Oberflächen hat, wobei das Paar dünner Platten derart in operativer Beziehung zu dem mit Wasserstoff getemperten CLBO-Kristall angeordnet ist, dass das im Generator für die vierte harmonische Oberschwingung zirkulierende Licht durch die parallelen ebenen Oberflächen des Paares dünner Platten läuft, wobei das Paar dünner Platten in einer bezüglich jeweiliger paralleler Achsen um im Wesentlichen gleiche und entgegengesetzte Winkel geneigten Anordnung derart angeordnet ist, dass das Paar dünner Platten einen zweiten Astigmatismus für das im Generator für die vierte harmonische Oberschwingung zirkulierende Licht einführt, der den ers-

Anhängende Zeichnungen

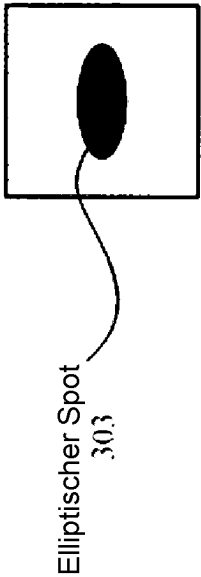


Figur 1

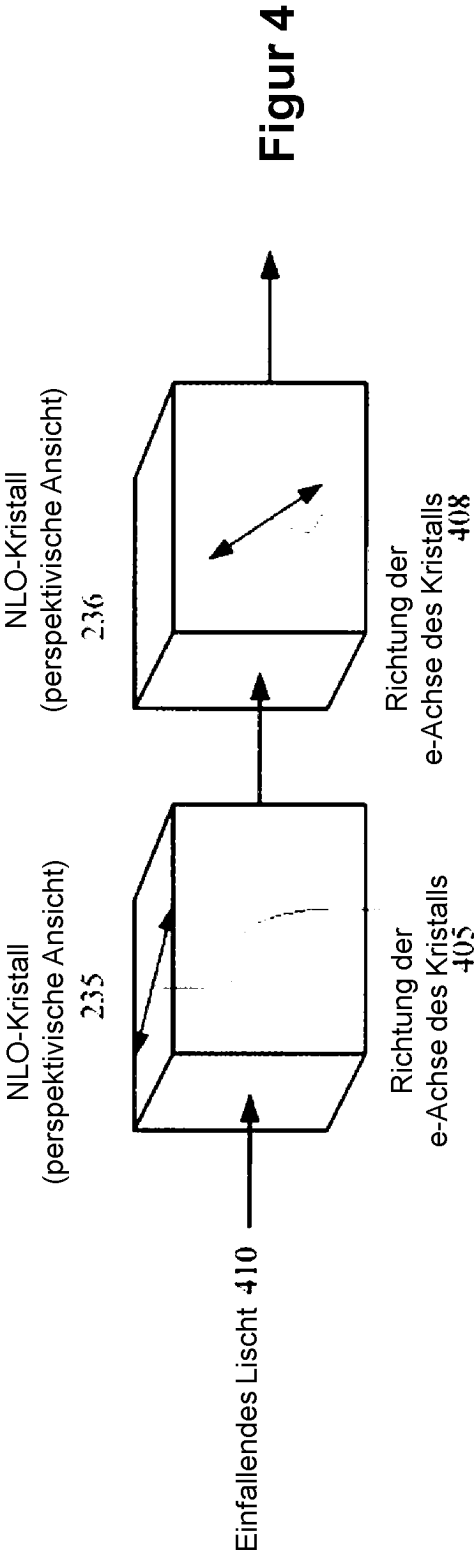


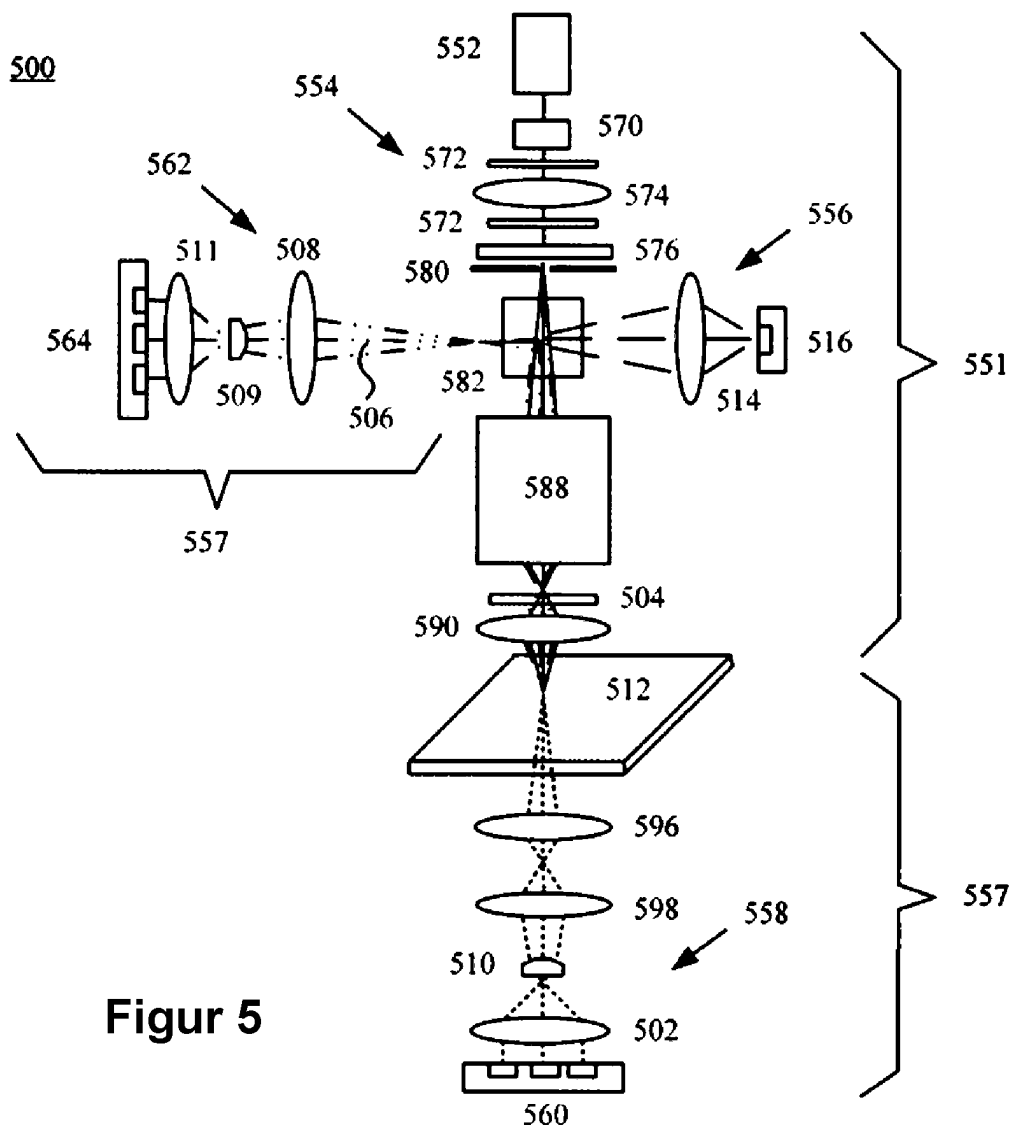
Figur 2

NLO-Kristall
(Endansicht)
235

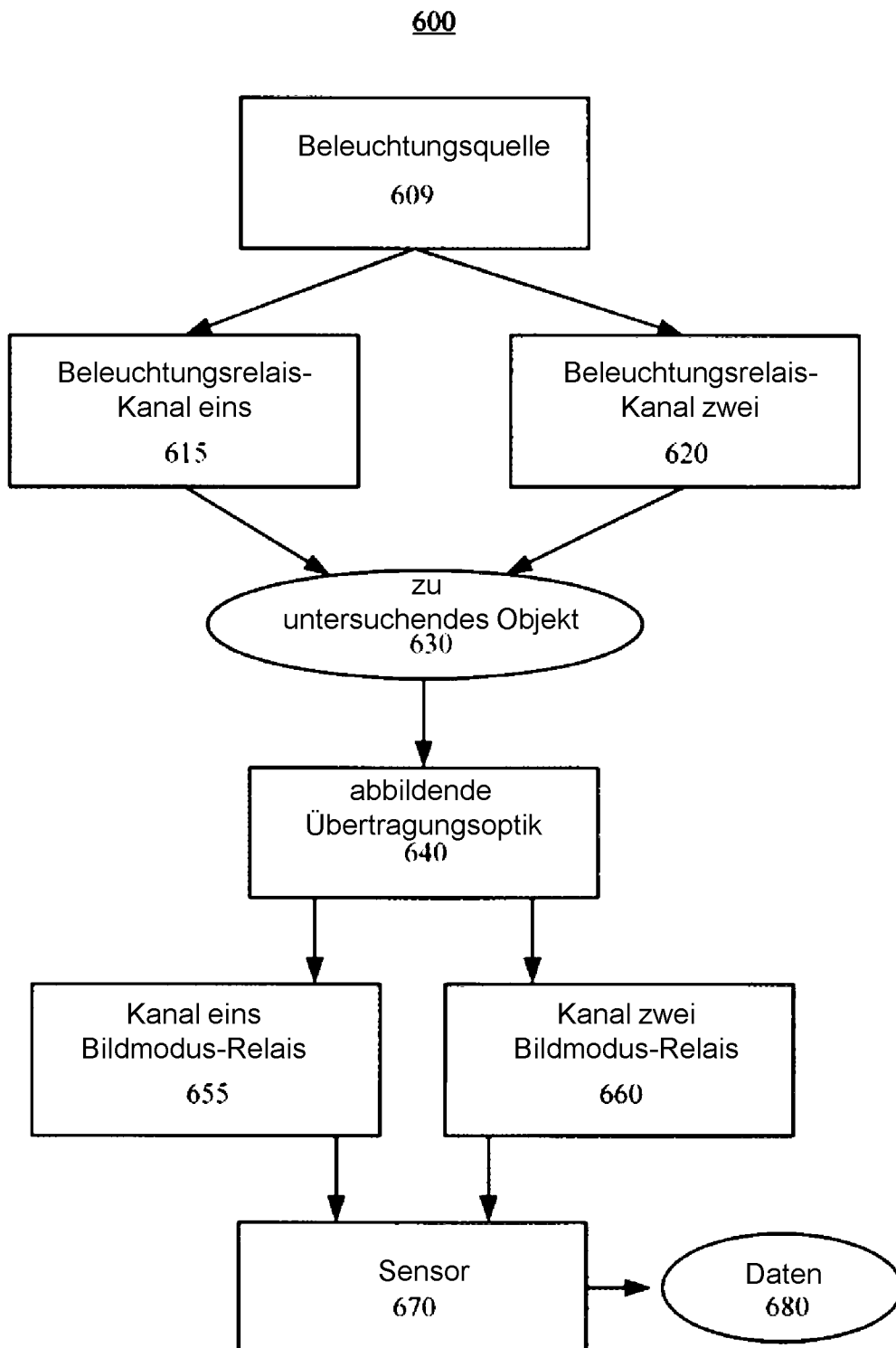


Figur 3





Figur 5



Figur 6

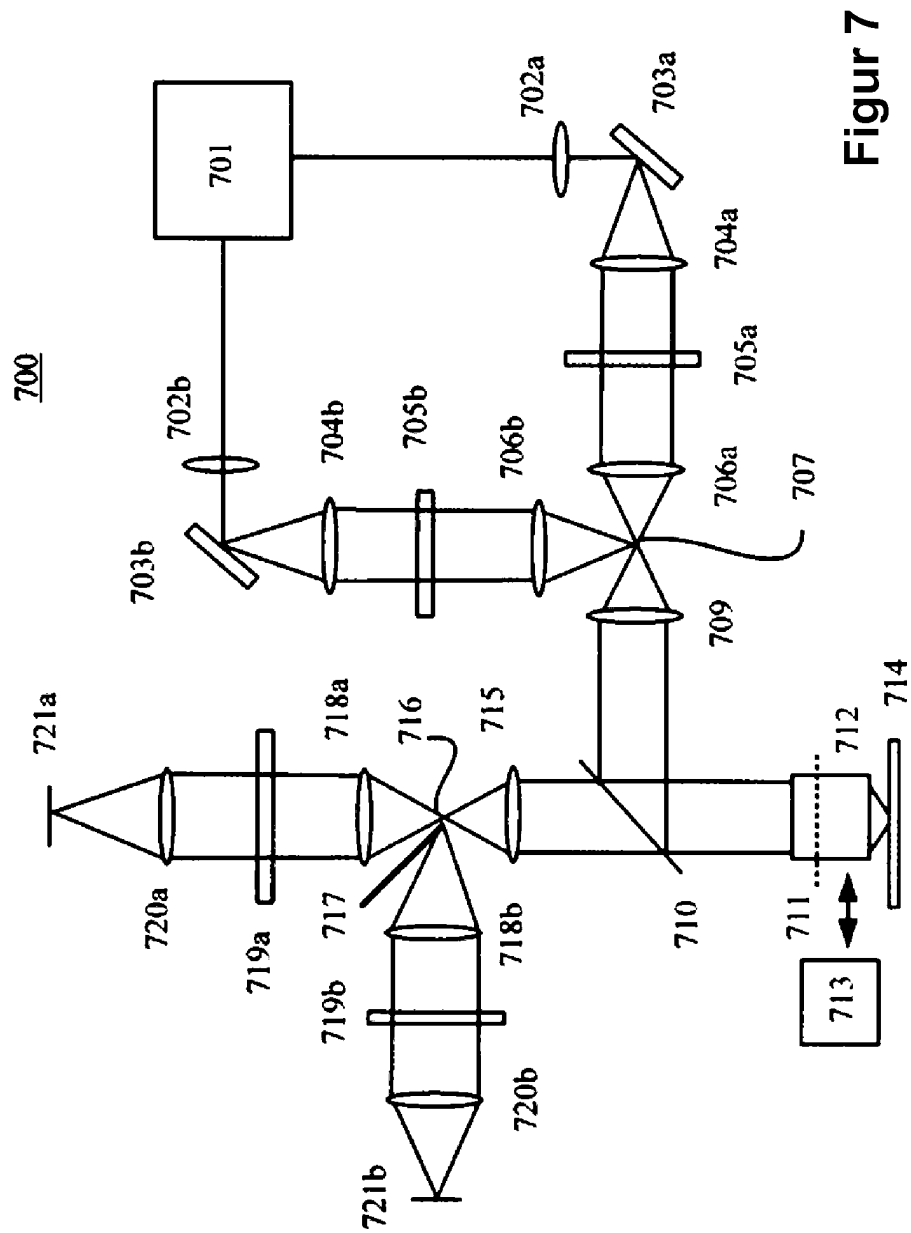
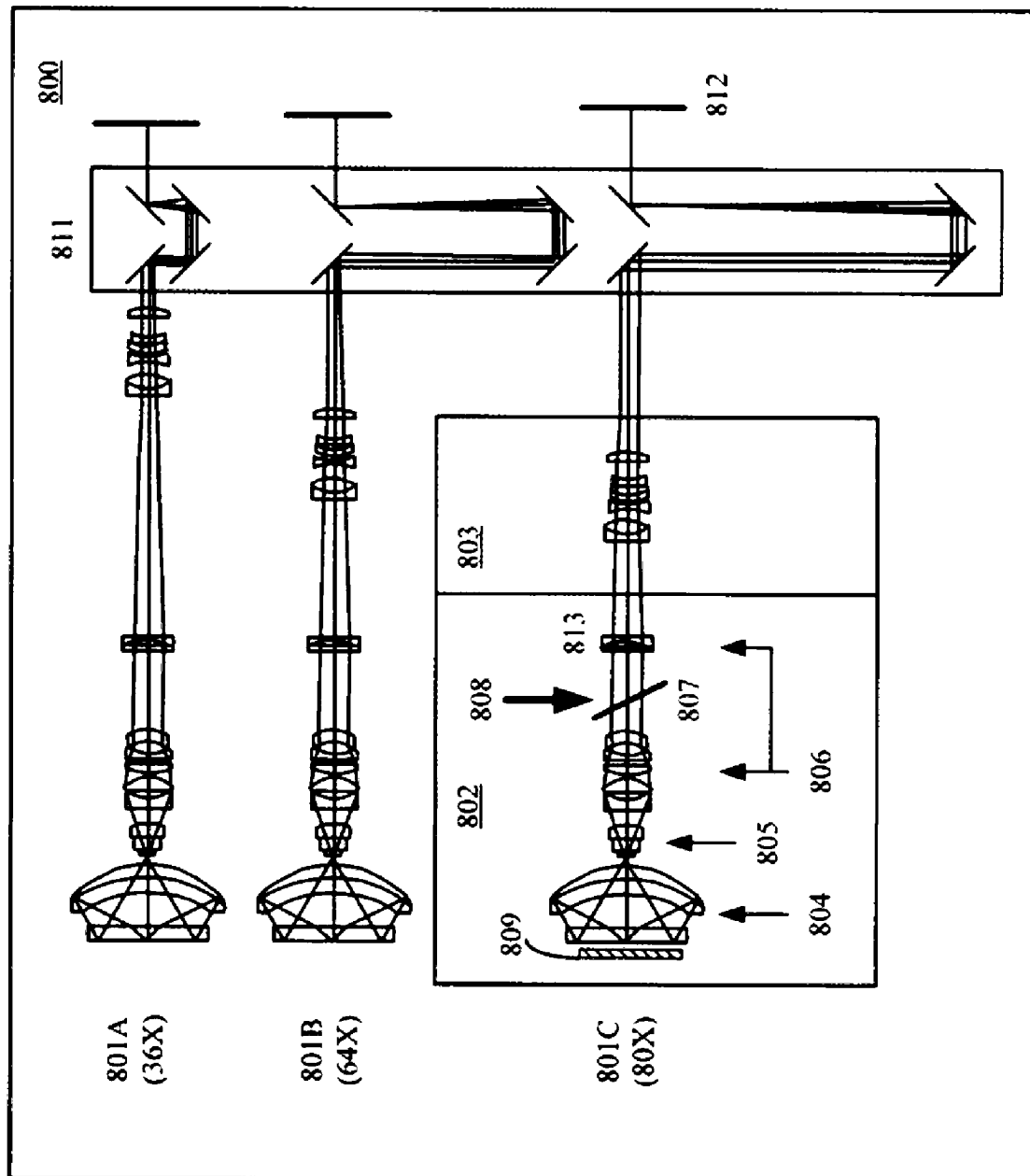
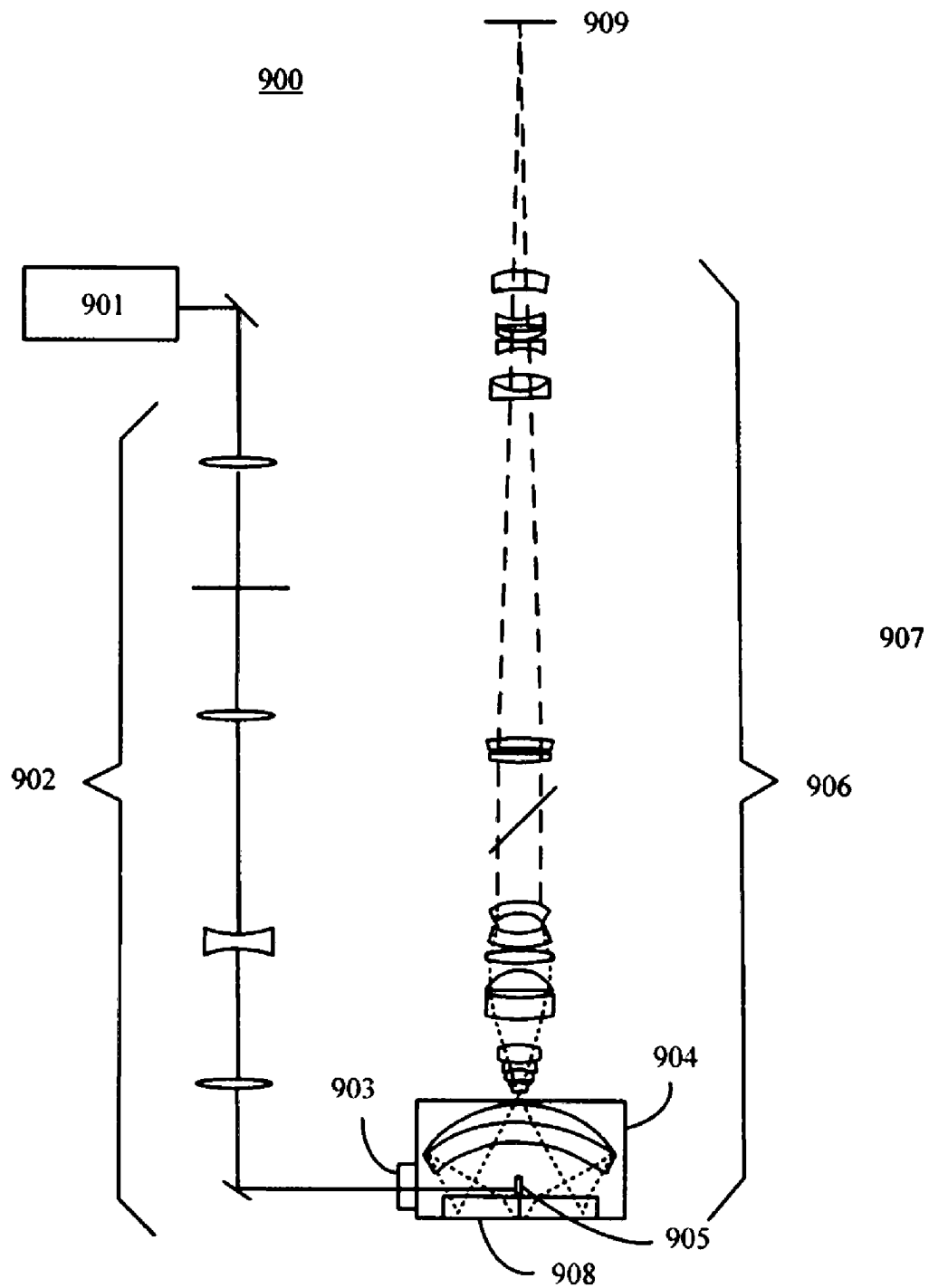


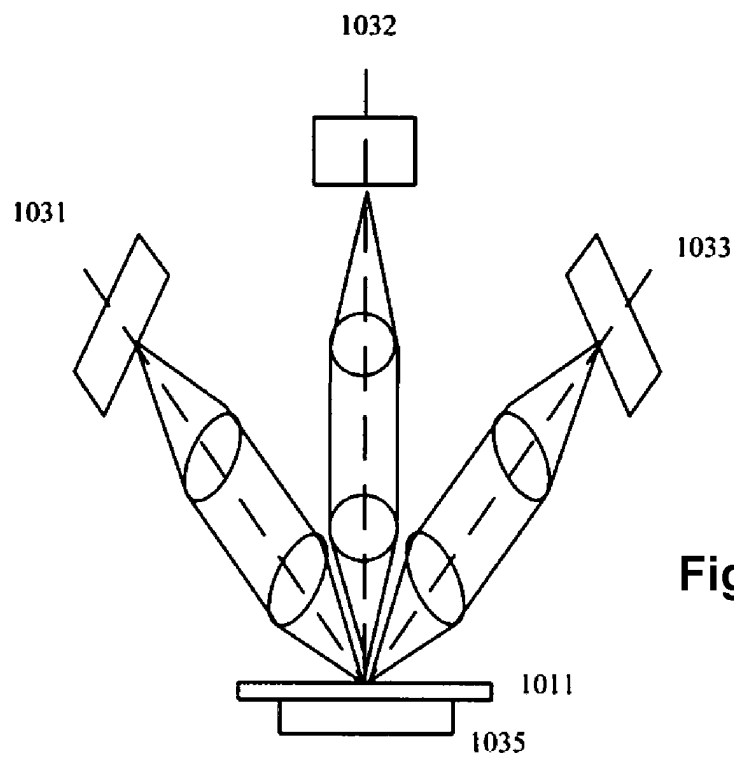
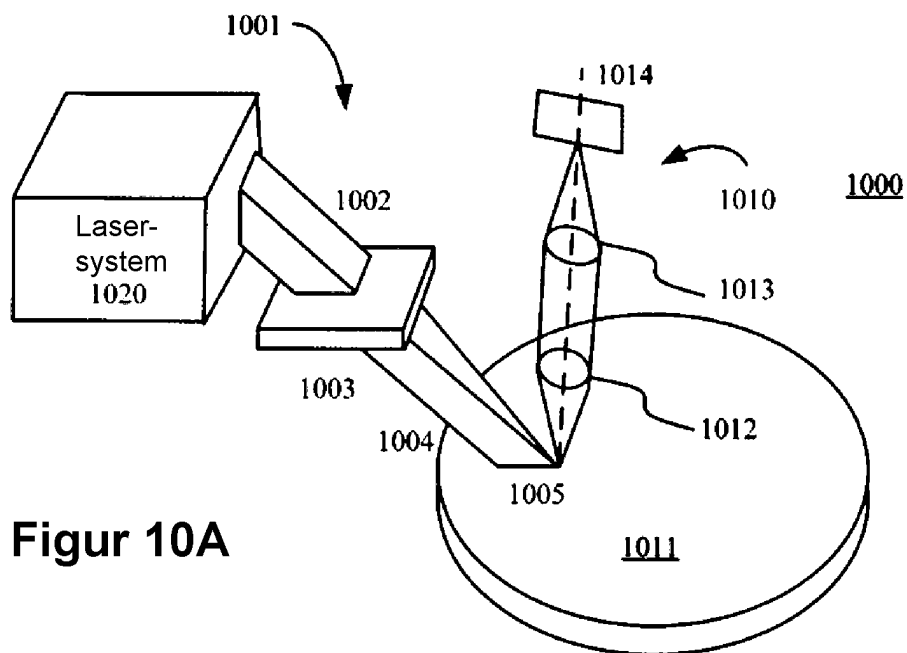
Figure 7

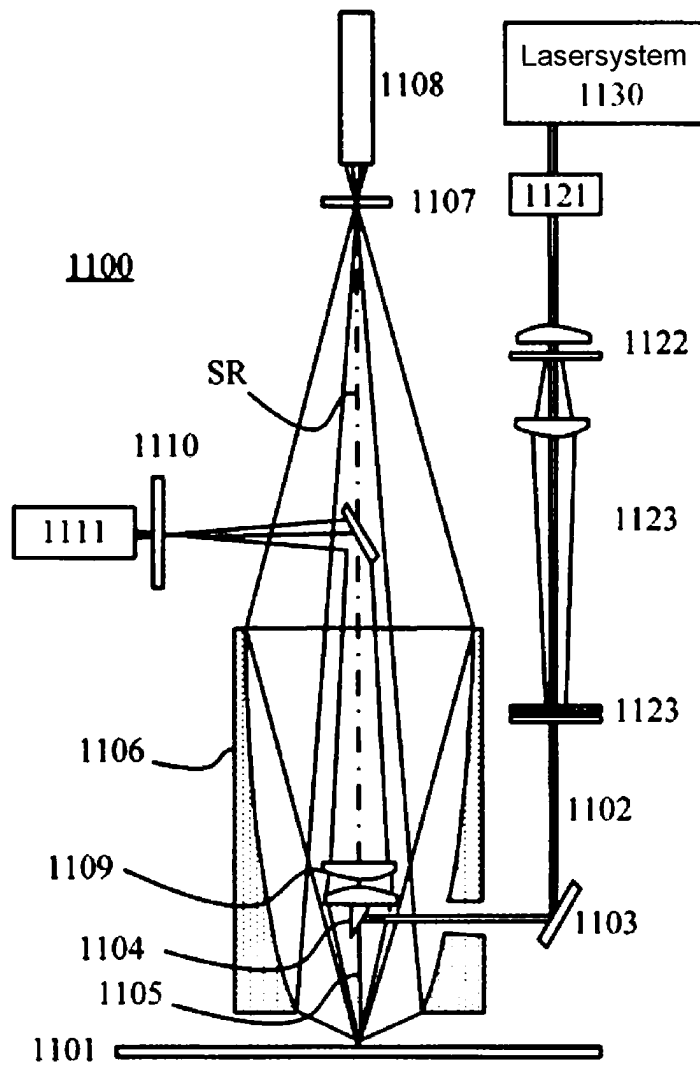
Figur 8





Figur 9





Figur 11

1200

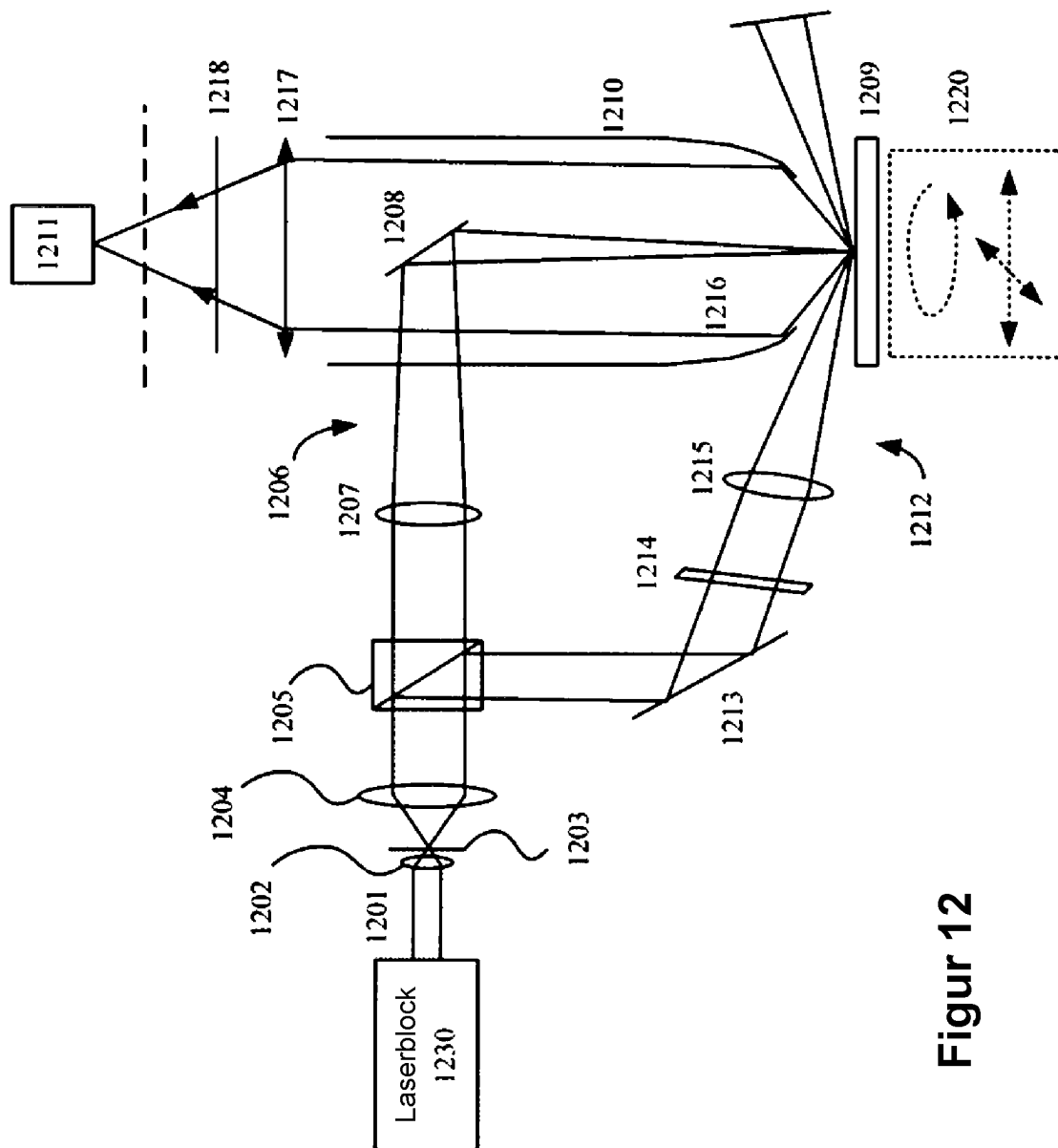


Figure 12