



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 30 658 T2** 2007.09.13

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 102 058 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 30 658.5**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 125 042.2**

(96) Europäischer Anmeldetag: **16.11.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **23.05.2001**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **13.09.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **13.09.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G01N 21/47** (2006.01)  
**G03F 7/20** (2006.01)

(30) Unionspriorität:

**443247**      **17.11.1999**      **US**

(73) Patentinhaber:

**Applied Materials, Inc., Santa Clara, Calif., US**

(74) Vertreter:

**Kirschner, K., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 81479  
München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**DE, FR, GB**

(72) Erfinder:

**Kenan, Boaz, Rehovot, IL; Karpol, Avner, Nes  
Ziona, IL; Reinhorn, Silviu, Mevaseret-Zion, IL;  
Elyasaf, Emanuel, Rehovot, IL; Yalov, Shimon,  
Holom, IL**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Überprüfung von Gegenständen**

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

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

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf die Inspektion von Gegenständen und insbesondere auf die Untersuchung von Gegenständen, die mit der Herstellung von Halbleitervorrichtungen in Beziehung stehen. Speziell bezieht sich die Erfindung auf die Untersuchung von Gegenständen, die bei der Photolithographie während der Herstellung von Halbleitervorrichtungen verwendet werden.

**[0002]** Der gegenwärtige Bedarf für hohe Dichte und Betriebsweise, die mit ultragroßer Integration bei Halbleitervorrichtungen zusammenhängen, erfordern Submikronmerkmale, erhöhte Transistor- und Schaltungsgeschwindigkeiten und eine verbesserte Zuverlässigkeit. Dieser Bedarf erfordert die Herstellung von Vorrichtungsmerkmalen mit hoher Präzision und Gleichförmigkeit, was wiederum eine sorgfältige Verfahrensüberwachung erforderlich macht.

**[0003]** Ein wichtiges Verfahren, das eine sorgfältige Inspektion erfordert, ist die Photolithographie, bei der Masken oder „Vorlagen“ verwendet werden, um Schaltungsmuster auf Halbleiterwaver zu übertragen. Typischerweise haben diese Vorlagen die Form von einem Chrommuster über einem transparenten Substrat. Eine Reihe solcher Vorlagen werden verwendet, um Musterbilder auf das Waver in einer vorgegebenen Sequenz zu projizieren. Jede Photolithographievorlage umfasst einen komplexen Satz geometrischer Muster, die den Schaltungskomponenten entsprechen, die auf dem Waver integriert werden sollen. Die Übertragung des Vorlagenmusters auf die Photoresistschicht wird herkömmlicher Weise durch ein optisches Belichtungswerkzeug, beispielsweise einen Scanner oder einen Stepper durchgeführt, der Licht oder eine andere Strahlung durch die Vorlage richtet, um den Photoresist zu belichten. Der Photoresist wird danach entwickelt, um eine Photoresistmaske zu bilden, und die darunter liegenden Polysilizium-Isolatoren oder Metallschichten werden selektiv entsprechend der Maske geätzt, um die Merkmale, beispielsweise Bahnen oder Gate-Bereiche, zu bilden.

**[0004]** Aus der vorstehenden Beschreibung sollte anzuerkennen sein, dass jeglicher Fehler auf der Vorlage, beispielsweise überschüssiges oder fehlendes Chrom, auf das hergestellte Waver in einer wiederholten Weise übertragen werden kann. Somit würde jeder Fehler auf der Vorlage die Ausbeute der Herstellungslinie drastisch reduzieren. Daher ist es von äußerster Wichtigkeit, die Vorlagen zu inspizieren und jegliche, darauf befindliche Fehler zu erfassen. Die Inspektion wird im Allgemeinen durch ein optisches System unter Verwendung von durchgelassener, reflektierter oder von beiden Arten von Beleuchtung durchgeführt. Ein Beispiel für solch ein System ist das Vorlageninspektionssystem RT-8000 TM, das

von Applied Materials in Santa Clara, Kalifornien erhältlich ist. Es gibt mehrere unterschiedliche, bekannte Algorithmen-Verfahren zum Inspizieren der Vorlage. Diese Verfahren umfassen: Die Inspektion von „Modellform zu Modellform“, bei der eine Modellform mit einer auf derselben Vorlage befindlichen Modellform, die damit identisch sein soll, verglichen wird; oder die Inspektion von „Modellform zu Datenbank“, bei der Daten, die sich auf eine vorgegebene Modellform beziehen, mit einer Information in einer Datenbank verglichen werden, die diejenige sein kann, aus der die Vorlage erzeugt worden ist. Ein anderes Inspektionsverfahren umfasst die Inspektion von „Modellform zu goldener Vorlage“, welche eine Vorlage ist, die als Referenz für die Inspektion von Wavern ausgewählt wird. Es gibt auch eine Inspektion auf der Grundlage von Designregeln, nach denen die Modellform eine Bahnbreite und Abstandserfordernisse erfüllen muss und bei der die Merkmalformen zu vordefinierten Formen passen sollten. Beispiele dieser Inspektionsverfahren und dazugehörige Vorrichtungen und Schaltungen zur Implementierung dieser Verfahren sind in verschiedenen US-Patenten einschließlich unter anderem USP 4,805,123; 4,926,489; 5,619,429 und 5,864,394 beschrieben.

**[0005]** Bekannte Inspektionstechniken verwenden typischerweise die Abbildung der Gegenstände mit einer großen Vergrößerung auf eine CCD-Kamera (CCD = charge-coupled device = ladungsgekoppelte Vorrichtung). Die Abbildungstechnik erfordert es, dass der Gegenstand beleuchtet wird. Die Helligkeit der Beleuchtungsquelle ist ein Schlüsselfaktor bei der Fähigkeit, die Inspektion durch Verminderung der Integrationszeit der Kamera zu beschleunigen. Wenn die Muster auf den Wavern kleiner werden, wird es erforderlich, kleinere Wellenlängen zu verwenden, um in der Lage zu sein, die Muster zu erfassen. Dies beruht auf der Tatsache, dass die physikalische Auflösungsgrenze linear von der Beleuchtungswellenlänge abhängt, und auf den Interferenzeffekten, die es erforderlich machen, dass die Inspektion bei einer Wellenlänge ähnlich der in dem Lithographieverfahren verwendeten durchgeführt wird. Wenn die Wellenlängen kleiner werden, haben herkömmliche, inkohärente Lichtquellen wie Fadenlampen oder Gasentladungslampen nicht genügend Helligkeit, und die auszuwählenden Lichtquellen werden Laser mit kurzer Wellenlänge. Die Kohärenz der Laser zusammen mit der Rauigkeit und dem Abrieb der Oberflächen und auch der gemusterte Gegenstand entlang dem Lichtweg erzeugen einen Artefakt, der als Speckle bekannt ist, welches ein Rauschmuster über dem Bild des Gegenstandes ist.

**[0006]** Das Speckle verursacht Probleme bei der Erfassung der Oberfläche der Gegenstände, die inspiziert werden, und es verursacht falsche Alarmmeldungen wegen der Ungleichförmigkeit des Lichtmusters, das auf den Detektor auftrifft. Die Erfassungs-

genauigkeit wird verschlechtert. Auch werden die von den inspizierten Gegenständen gemachten Bilder schlechter. Das Problem ist ein akutes Problem in dieser Art von Gegenstandsinspektionen, weil die durch das kohärente Lichte gelieferte Leistung wesentlich ist unter anderem wegen der Verlusten, die von dem Detektionsverfahren stammen.

**[0007]** Die gerade diskutierten Probleme sind nicht einzigartig für die Inspektion von Masken, Fotomaske und Vorlagen. Es gibt bekannte Waver-Inspektionsverfahren, die eine kohärente Beleuchtung verwenden. In solchen Systemen kann das Speckle einen nachteiligen Einfluss auf die Ausbeute und die Arbeitsweise der sich ergebenden Vorrichtungen haben, und daher muss dies ebenfalls mit großer Sorgfalt angegangen werden. Beispiele bekannter Waver-Inspektionssysteme, die kohärente Beleuchtung verwenden, sind in USP 5,699,447 und 5,825,482 gezeigt.

**[0008]** Wenn solche Systeme verwendet werden, um gemusterte Waver zu inspizieren, kann das Speckle-Phänomen auftreten, wenn die Punktgröße, die zur Beleuchtung verwendet wird, nicht viel kleiner als ein Element eines Musters auf dem Waver ist. Unter einigen Umständen, beispielsweise der schrägen Beleuchtung, bei der die kohärente Lichtquelle unter einem Winkel auf das Waver gerichtet wird, ist jedoch die Punktgröße ausreichend groß, um Speckle zu erzeugen. Eine Verminderung der Punktgröße vermindert den Durchsatz des Systems und erfordert es, dass bei einer Wellenlänge gearbeitet wird, die kleiner und unterschiedlich von der ist, die zur Bilderzeugung des Gegenstandes beispielsweise während eines fotografischen Verfahrens verwendet wird. Folglich gibt es, wie anzuerkennen ist, einen Kompromiss zwischen der Duldung von Speckle und der Optimierung von Detektionsempfindlichkeit/Durchsatz. Daher wäre es erwünscht, das Speckle-Problem zu lösen und damit die Verwendung einer größeren Punktgröße zu gestatten, und dadurch den Durchsatz zu verbessern.

**[0009]** Eine umfassende Beschreibung des Speckle-Phänomens ist zu finden in T. S. Mc Kichnie, Speckle reduction in topics in applied physics, laser speckle adrilated phenomenal, 123 (J. C. Dainty Id., 2. Ausgabe, 1984) (im folgenden Mc Kichnie). Wie in dem Mc Kichnie-Artikel diskutiert wird, kann die Reduktion von Speckle durch die Reduktion der zeitlichen Kohärenz oder die räumliche Kohärenz des Laserlichts erreicht werden. Es wurden verschiedene Versuche über die Jahre unternommen, um Speckle zu reduzieren oder zu eliminieren.

**[0010]** US 5,016,149 zeigt ein Beleuchtungsverfahren und eine Beleuchtungsvorrichtung zur Verwendung in Kombination mit beispielsweise einem Beleuchtungsgerät. Die Beleuchtungsvorrichtung umfasst

Amplitudenverteilungs-Steuermittel zum Umsetzen der Intensitätsverteilung eines Lichtstrahls, der durch eine Lichtquelle mit hoher Richtungscharakteristik emittiert wird, in eine im Wesentlichen lineare Intensitätsverteilung umzusetzen, Strahlteilmittel, um Lichtstrahlen in eine Vielzahl kohärenter Strahlen aufzuteilen, und Überlagerungsmittel, um die kohärenten Strahlen in einem erwünschten Bereich auf einem Gegenstand, beispielsweise einer Vorlage, in einer gleichförmigen Beleuchtungsverteilung zu überlagern.

**[0011]** US 5,463,497 zeigt eine Beleuchtungsvorrichtung, die umfasst eine Strahlungsquelle; einen optischen Integrator, der ein Linsen hat, die entlang einer Ebene senkrecht zu der optischen Achse der Vorrichtung angeordnet ist; ein erstes optisches System für die Amplitudenteilung eines kohärenten Strahles von der Strahlungsquelle und zur Erzeugung einer Vielzahl von Strahlen, die im Wesentlichen miteinander nicht kohärent sind, wobei das erste optische System auch wirksam ist, um die Strahlen in unterschiedlichen Richtungen auf den optischen Integrator zu projizieren und die Strahlen auf dem optischen Integrator miteinander zu überlagern; und ein zweites optisches System, um Strahlen von den Linsen des optischen Integrators zu einer Oberfläche hin zu richten, die beleuchtet werden soll, und zum einander Überlagern der Strahlen auf der Oberfläche, die beleuchtet werden soll.

**[0012]** US 4,560,235 zeigt eine optische Kondensorenreinrichtung zur Verwendung in Kombination mit einem optischen Abbildungssystem, um ein Bild mit verbessertem Kontrast und verbesserter Auflösung zu liefern. Die Vorrichtung verbindet ein geformtes faseroptischen Bündel, das mit einer Beleuchtungsquelle gekoppelt ist, um eine Vielzahl von kohärenten Punktquellen zu liefern, von denen jede nicht kohärent mit einer anderen ist, um die Blende des optischen Systems zu beleuchten. Die relative Inkohärenz von jeder Punktquelle wird dadurch erreicht, dass die Länge der Faser in dem geformten Bündel so variiert wird, dass keine Faser sich innerhalb der Kohärenzlänge von einer beliebigen anderen Faser befindet.

**[0013]** EP 0867772 A2 zeigt ein Beleuchtungssystem, das umfasst einen optischen Integrator des Innenreflektionstyps, um wenigstens einen Teil des mit seiner Innenoberfläche empfangenen Lichts zu reflektieren und um eine flächige Lichtquelle bei oder nahe bei einer Lichtaustrittsfläche davon zu bilden, einen zweiten, optischen Integrator des Wellenfront-Teilungstyps, um die Wellenfront des empfangenen Lichts aufzuteilen und eine Vielzahl von Lichtquellen an oder nahe bei einer Lichtaustrittsoberfläche davon zu bilden, ein optisches Abbildungssystem, um die Flächen-Lichtquelle auf oder nahe bei einer Lichteintrittsfläche des zweiten optischen Inte-

grator abzubilden, und ein optisches Kollektorsystem, um die Lichtquellen von der Vielzahl der Lichtquellen eine auf der anderen zu überlagern auf einer Oberfläche, die beleuchtet werden soll, wobei das optische Abbildungssystem eine variable Abbildungsvergrößerung hat.

**[0014]** Ein anderer Artikel, der in dem oben genannten Mc Kichnie-Artikel genannt ist und das gleiche Problem anspricht, von B. Dingle et al., Speckle reduction with virtual incoherence laser illumination using a modified fiber array, Optic 94, bei 132 (1993) (im folgenden Dingle) erwähnt mehrere bekannte Verfahren zum Reduzieren von Speckle auf der Grundlage einer Zeitintegration und auch auf der Grundlage einer statistischen Integration. Im Bezug auf das Zeitintegrationsverfahren, das die Abtastung verschiedener Ebenen in dem Abbildungssystem und das Erzeugen nicht-korrelierter Bildmuster umfasst, die durch einen Bilddetektor integriert werden sollen, identifiziert der Artikel einige mögliche Nachteile, beispielsweise eine lange Integrationszeit oder die Einführung zusätzlicher optischer Systeme, um den Abtastprozess zu unterstützen.

**[0015]** Unter den Verfahren, die eine Verminderung in der Kohärenz des Strahls umfassen, diskutieren sowohl Dingle als auch Mc Kichnie die Einführung eines Dispersionselements, beispielsweise eines Gatters, eines Gitternetzes oder eines sich bewegenden Diffusors, entweder alleine oder in Kombination mit anderen rotierenden Diffusoren in den Weg des Beleuchtungsstrahls, um eine Modulation mit beliebiger Phase über die Abmessung des Lichtstrahls hinweg zu erzeugen. Andere bekannte Techniken umfassen den Durchtritt eines gepulsten Laserstrahls durch eine Kohlenstoffdisulfid-Zelle und des Weiteren durch ein unausgerichtetes Faseroptikbündel oder die Verwendung von Flüssigkristallen, die in den Weg des Lichtstrahles eingefügt werden, wobei die Kristalle durch eine elektrische Feldanregung bewegt werden.

**[0016]** Während die Vorlagen in ihrer Größe kleiner werden und die Muster schrumpfen, wird es jedoch schwieriger, sie ohne feine Anomalitäten und kleine Fehler herzustellen. Mit Brechungseffekten wird die Erfassung ebenfalls komplizierter. Daher besteht die Gefahr, dass kleine Fehler unerfasst bleiben, was Probleme in dem damit zusammenhängenden Waver-Herstellungsverfahren verursachen kann. Eine vorgeschlagene Lösung der gegenwärtigen Situation umfasst die Verwendung einer Laser-Lichtquelle, die Laserstrahlen mit niedriger Wellenlänge emittieren, vorzugsweise in dem tiefen Ultraviolett (UV)-Bereich, um den Gegenstand zu beleuchten. Die Laserquelle würde vorzugsweise kurze Lichtpulse aussenden mit einem bevorzugten Bereich von 2–50 Nanosekunden. Keines der oben beschriebenen Verfahren und Systeme ist ausgerüstet, um ein

hohes Niveau an Speckle-Verminderung für Laserstrahlen niedriger Wellenlänge anzubieten, um eine genaue Fehlererkennung sicherzustellen. Die obigen Verfahren und Systeme liefern ebenfalls keine zuverlässige Lösung für kurze Laserpulse wegen der nicht ausreichenden Bewegungsgeschwindigkeit der dispergierenden Elemente.

**[0017]** Wie oben angedeutet wurde, ist Speckle auch ein bekanntes Phänomen auf dem Gebiet der Waverinspektion. USP 5,264,912 identifiziert dieses Problem und liefert einige Lösungsvorschläge. Wie bei anderen bekannten und vorgeschlagenen Techniken zur Verminderung von Speckle sprechen jedoch diese Lösungsvorschläge nicht spezielle Probleme an, die sich aus der Notwendigkeit ergeben, mit extrem kleinen Merkmalen zu arbeiten, und mit dem daraus folgenden Bedarf, kohärente Beleuchtungsquellen mit sehr niedrigen Wellenlängen zu verwenden.

**[0018]** Vorrichtungen zur Verminderung von Speckle, die dem Lichtweg zwischen der Gegenstandsoberfläche und dem Detektor angeordnet werden, können auch teuer sein. Beispielsweise könnte die Einfügung eines Faserbündels entsprechend einer der oben beschriebenen Techniken soviel wie 1000 Fasern mit unterschiedlichen Eigenschaften, beispielsweise Länge, in dem Bündel erfordern. Diese Faserbündel wären extrem groß und folglich wären sie teuer. Es wäre erwünscht, eine Lösung zu finden, die nicht so viele Fasern erfordern würde.

**[0019]** Ein ähnliches Problem würde im Bezug auf die Verwendung eines Brechungsgitters auftreten. Je feiner und größer das Gitter in der Größe ist, desto teurer wäre es. Es wäre erwünscht, eine Lösung zu finden, die Brechungsgitter verwendet, die jedoch keine übermäßig feinen Gitter benötigt.

**[0020]** Aus der JP 60247643A ist eine optische Vorrichtung bekannt, um Speckle zu verhindern und um den Wirkungsgrad zu verbessern, indem die Kohärenz eines Strahlenflusses abgeschwächt wird. Entsprechend der Funktion der optischen Vorrichtung wird das von einem Laser emittierte Laserlicht in seinem Durchmesser durch einen Strahl weiter aufgeweitet und wird auf ein Bündel optischer Fasern einfallen gelassen, durch das der Strahl in  $n$  Strahlenflüsse aufgeteilt wird. Die jeweiligen Flüsse werden durch die optischen Fasern gegeben und durch ein Linsenfeld und eine Kondensatorlinse wieder auf einen Strahl überlagert. Dieser Strahl beleuchtet eine Maske. Da die optische Weglängendifferenz zwischen den Strahlflüssen bereits eine Kohärenzlänge übersteigt, sind die Strahlen, die auf der Oberfläche der Maske interferieren können, nur die Vielzahl der Strahlen, die durch das Innere von einer optischen Faser hindurch treten. Die Erzeugung von Speckle, das auf der Oberseite der Maske erzeugt wird, wird

dadurch vermindert. Der Effekt ist größer, wenn die Anzahl  $n$  der optischen Fasern größer ist.

**[0021]** Aus der vorstehenden Diskussion ist anzuerkennen, dass es einen Bedarf im Stand der Technik gibt für ein Verfahren und ein System zum Vermindern von Speckle, wenn Gegenstände unter Verwendung gepulster Laserstrahlen bei niedrigen Wellenlängen einschließlich dem tiefen UV-Bereich inspiziert werden.

**[0022]** Im Hinblick auf das Vorstehende ist ein Merkmal der Erfindung die Bereitstellung eines optischen Systems zum Vermindern von Speckle während der Inspektion von Gegenständen, die bei der Herstellung von Halbleiter-Vorrichtungen verwendet werden.

**[0023]** Ein anderes Merkmal der vorliegenden Erfindung liegt in der Bereitstellung eines optischen Systems zum Vermindern von Speckle in Inspektionssystemen, die bei niedrigen Wellenlängen arbeiten, insbesondere in dem tiefen UV-Bereich.

**[0024]** Ein weiteres Merkmal der vorliegenden Erfindung ist die Verminderung von Speckle bei Inspektionssystemen, die gepulste Laser verwenden, insbesondere in dem 5–50 ns-Bereich, verwenden.

**[0025]** Um die vorstehenden und andere Merkmale bereitzustellen, um die oben beschriebenen Standes der Technik zu überwinden und um verschiedene Probleme zu lösen, die beim Lesen und Verstehen folgender detaillierter Beschreibung deutlich werden, liefert die vorliegende Erfindung ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Vermindern von Speckle während der Inspektion von Gegenständen, die in der Herstellung von Halbleiter-Vorrichtungen verwendet werden, insbesondere von Masken, Fotomasken und Vorlagen entsprechend den Ansprüchen 1 und 19.

**[0026]** Entsprechend der vorliegenden Erfindung ist die erfindungsgemäße Vorrichtung aufgebaut durch eine kohärente Lichtquelle, beispielsweise eine Laser, die einen kohärenten Lichtstrahl entlang einen Lichtweg ausgibt. In einem Ausführungsbeispiel der Erfindung werden zwei optische Faserbündel nacheinander entlang dem Lichtweg angeordnet, wobei jedes Bündel eine vorgegebene Anzahl von Fasern unterschiedlicher Längen hat, die in dem Bündel angeordnet sein können. Das erste Bündel empfängt den Lichtstrahl und gibt mehrere Zwischen-Lichtstrahlen aus, einen Lichtstrahl für jede Faser des Bündels, wobei jeder Zwischenstrahl auf alle Fasern des zweiten Faserbündels abgebildet wird. Jede der Fasern in dem zweiten Bündel gibt einen Ausgangsstrahl ab, der dann zum Beleuchten des unter Inspektion befindlichen Bereichs des Gegenstandes verwendet wird. Verschiedene optische Vorrichtungen zum Homogenisieren des Strahles und zum Fokussieren des Strahles, wie sie im Stand der Technik bekannt sind,

können an geeigneten Stellen entlang dem optischen Weg eingefügt werden.

**[0027]** Als Abwandlung des vorstehenden Ausführungsbeispiels ist die vorgegebene Anzahl der Fasern für das erste und das zweite optische Faserbündel unterschiedlich oder die vorgegebene Anzahl der Fasern ist sowohl für das erste als auch für das zweite optische Faserbündel die gleiche.

**[0028]** Als eine Abwandlung des vorstehenden Ausführungsbeispiels können die Berechnungsindizes der Fasern innerhalb des Bündels variiert werden. Die Benutzung variierender Berechnungsindizes kann die optischen Wege ausweichend verändern, um die Notwendigkeit zu vermeiden, die Längen der Fasern so groß zu variieren.

**[0029]** Als eine weitere Abwandlung des vorstehenden Ausführungsbeispiels können die Fasern in dem Bündel die gleichen oder variierende, nicht lineare Charakteristiken haben. Eine Eigenschaft bei der Verwendung variierender Nicht-Linearität ist es, dass die Längen der Fasern nicht so viel variiert werden müssen. Wenn man Fasern mit einer konsistenten Länge hat, kann dies vom Standpunkt der Implementierung eher vorteilhaft sein.

**[0030]** Entsprechend einem weiteren Ausführungsbeispiel kann die Vorrichtung eines oder mehrere Gitter verwenden, die hintereinander entlang dem Lichtweg angeordnet sind. Die Gitter arbeiten ähnlich wie die Faser, wie oben diskutiert wurde.

**[0031]** Entsprechend weiteren Ausführungsbeispielen der Erfindung kann die Vorrichtung mit mehr als zwei Faserbündeln, mehr als zwei Gittern, einem Faserbündel und einem Gitter in beliebiger Reihenfolge oder mit weiteren Kombinationen von Faserbündel ( $n$ ) und Gitter ( $n$ ) in einer beliebigen, gewünschten Reihenfolge aufgebaut sein.

**[0032]** Ein Vorteil von jedem der vorstehenden Ausführungsbeispiele ist es, dass die einzelnen Elemente entweder einfacher oder kleiner und daher weniger teuer sind, als wenn man eine kleinere Anzahl von größeren oder komplexeren Elementen hat. Die Verwendung von zwei Faserbündeln mit 100 Fasern in jedem Bündel, wobei jede Faser in dem ersten Bündel entlang dem Weg einen Ausgang für jede Faser in dem zweiten Bündel beliefert, ergibt beispielsweise  $100 \times 100 = 10000$  unterschiedliche Varianten, gerade wie wenn ein einziges Faserbündel mit 10000 unterschiedlichen Fasern verwendet würde.

**[0033]** Ein ähnlicher Vorteil ist mit der Verwendung von sowohl Gittern, die sehr gut für das Einführen kleiner optischer Weglängen Änderungen sind, das auch Fasern oder Lichtleitern verbunden, die beim Einführen großer optischer Weglängen Unterschiede

praktisch sind.

**[0034]** Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel ist eine integrierende Kugel, die eine erste Eingangsöffnung und eine zweite Ausgangsöffnung hat, entlang dem Lichtweg angeordnet, wobei die erste Öffnung den Lichtstrahl empfängt und die zweite Öffnung den Lichtstrahl ausgibt, der gebildet worden ist, nachdem der Pfad des Lichtstrahls durch Reflektion innerhalb der integrierten Kugel geändert worden ist. Die integrierende Kugel kann aus zwei solcher Kugeln aufgebaut sein, wobei eine konzentrisch zu der anderen angeordnet ist. Die innere Kugel würde eine weitere Reflektion des Lichts innerhalb der integrierenden Kugel bereitstellen. Das gerade beschriebene Ausführungsbeispiel ist in gewissem Sinne einfacher als die vorher beschriebenen Ausführungsbeispiele, hat jedoch gewisse Nachteile in Bezug auf den Wirkungsgrad auf der Grundlage der gegenwärtig erhältlichen reflektierenden Materialien. Es trifft insbesondere auf das Ausführungsbeispiel mit zwei Kugeln zu. Wenn diese Materialien sich verbessern, ist zu erwarten, dass der Ansatz mit der integrierenden Kugel eine zunehmend attraktive Alternative werden wird.

**[0035]** Ein noch weiteres Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung besteht aus einem Elektro- oder akusto-optischen Modulator, der entlang dem Lichtweg angeordnet ist und eine Eingangsfläche zum Empfangen des Lichtstrahls und einer Ausgangsfläche zum Übertragen eines inkohärent modulierten Strahls zu dem zu inspizierenden Bereich hat. Die hohe Frequenzbandbreite, mit der der Modulator arbeitet, ändert nach dem Zufallsprinzip die optische Wellenfrontphase des Eingangsstrahls in genügender Weise, um Speckle zu vermindern oder zu eliminieren. Dieses Ausführungsbeispiel hat einen gewissen Nachteil im Vergleich zu den vorherigen Ausführungsbeispielen, weil optische Modulatoren für kürzere Wellenlängen, beispielsweise das tiefe Ultraviolett, verhältnismäßig teuer sind. Da diese Lösung sehr gut für Quellen mit langen Kohärenzlängen arbeitet, kann sie in Kombination mit einem Faserbündel oder einem Gitter verwendet werden, die gut bei dem Vermindern von Speckle von Quellen mit kleinen und mittleren Kohärenzlängen arbeiten.

**[0036]** Die vorstehenden Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden deutlicher unter Bezugnahme auf die folgende detaillierte Beschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen, in denen gleiche Bezugszahlen entsprechend Teile durchgehend bezeichnen und bei denen:

**[0037]** [Fig. 1a](#) und [Fig. 1B](#) Beispiele von Inspektionsvorrichtungen zur Verwendung entsprechend der vorliegenden Erfindung zeigen;

**[0038]** [Fig. 2a](#) und [Fig. 2b](#) ein erstes Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung und eine Abwandlung davon zeigen;

**[0039]** [Fig. 3](#) ein beispielhaftes Diagramm ist, das mit dem ersten Ausführungsbeispiel in Beziehung steht;

**[0040]** [Fig. 4](#) eine Abwandlung des ersten Ausführungsbeispiels zeigt;

**[0041]** [Fig. 5](#) ein zweites Ausführungsbeispiel zeigt, das nicht Bestandteil der vorliegenden Erfindung ist;

**[0042]** [Fig. 6](#) eine Abwandlung des zweiten Ausführungsbeispiels zeigt;

**[0043]** [Fig. 7](#) ein drittes Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung zeigt; und

**[0044]** [Fig. 8](#) ein viertes Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung zeigt.

**[0045]** In der folgenden Beschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung wird auf die beigefügten Zeichnungen Bezug genommen, die einen Teil davon bilden und die spezifische Ausführungsbeispiele der Erfindung darstellen. Es ist für den Durchschnittsfachmann in diesem technischen Gebiet verständlich, dass andere Ausführungsbeispiele verwendet werden können, und dass strukturelle Änderungen gemacht werden können, ohne von dem Schutzzumfang der vorliegenden Erfindung abzuweichen.

**[0046]** [Fig. 1a](#) zeigt eine beispielhafte Inspektionsvorrichtung zur Verwendung entsprechend der vorliegenden Erfindung. Die Inspektionsvorrichtung, die in [Fig. 1](#) gezeigt ist, arbeitet in dem Reflektionsmodus. Es ist jedoch zu verstehen, dass Inspektionsvorrichtungen, die sowohl in einem Transmissionsmodus als auch in einem Reflektionsmodus arbeiten, innerhalb des Gedankens der vorliegenden Erfindung sind. Wenigstens für den Transmissions-Betriebsmodus sollte eine Strahl-Homogenisierungsvorrichtung verwendet werden, bevor der Strahl in eine die Kohärenz reduzierende/das Speckle reduzierende Vorrichtung eintritt.

**[0047]** In [Fig. 1a](#) ist ein Gegenstand **1**, der inspiziert werden soll, beispielsweise ein Waver, eine Maske, eine Fotomaske oder eine Vorlage, in einem x-y-Schlitten **2** angeordnet, der den Gegenstand in zwei Richtungen bewegt. Die Inspektionsvorrichtung umfasst eine kohärente Lichtquelle **4**, vorzugsweise einen Laser, die auf einer Seite des Gegenstandes **1** angeordnet ist. Die Lichtquelle **4** kann ein kontinuierlicher Laser oder ein gepulster Laser sein, die Laserstrahlen mit niedriger Wellenlänge in dem UV- oder Tiefen-UV-Bereich emittieren. Die Strahlen, die von

der Lichtquelle **4** emittiert werden, werden über ein optisches System **6**, einen Strahlteiler **8** und eine Objektivlinse **10** auf die Oberfläche des Gegenstandes **1** gerichtet. Es ist zu beachten, dass andere Mittel, um die Strahlen auf den Gegenstand **1** zu richten, einschließlich anderer optischer Pfade, die durch eine geeignete Struktur definiert werden, ebenfalls verwendet werden können.

**[0048]** Die Lichtstrahlen, die auf die Oberfläche des Gegenstandes auftreffen, werden über eine Relaislinse **18** zu einem Bilddetektor **20** reflektiert. Der Bilddetektor **20** kann ein CCD-Sensor, der ein  $1 \times M$ -Sensor sein kann, oder ein  $N \times M$ -Bereich oder ein Zeitverzögerungsintegrations(DDI)- oder CCD-Sensor sein. Der Sensor **20** ermöglicht die Abbildung des Gegenstands **1**, während dem Schlitten **2**, der den Gegenstand **1** trägt, gestattet wird, sich kontinuierlich gegenüber der Lichtquelle **4** zu bewegen.

**[0049]** Die Inspektionsvorrichtung, die in **Fig. 1** gezeigt ist, umfasst ferner eine optisches, die Kohärenz reduzierende Vorrichtung **30**, die entlang dem Strahl des Lichtweges angeordnet ist. Die optische, die Kohärenz reduzierende Vorrichtung **30** mit ihren verschiedenen Ausführungsbeispielen, wie sie oben bis zu einem gewissen Grad diskutiert wurden, ist ein zentraler Brennpunkt der Erfindung. Die Inspektionsvorrichtung umfasst auch eine Autofokussierungsvorrichtung **22**, die eine Objektivlinse **10** die bei einem Strahlteiler **24** steuert, wobei die Objektivlinse **10** ebenfalls entlang dem Weg des Lichtstrahls angeordnet ist, und ein Okular **26**, das den reflektierten Lichtstrahl über einen Strahlteiler **28** zu Beobachtungszwecken empfängt. Die Lichtquelle **4** wird durch ein Steuersystem **40** gesteuert, welches die Lichtquelle **4** mit Energie versorgt, um Lichtstrahlen auszusenden.

**[0050]** Im Betrieb trifft der Lichtstrahl, der von der Lichtquelle **4** durch das optische System emittiert wird, auf dem Strahlteiler **8** auf, während es auf den Gegenstand **1** gerichtet ist. Der Effekt dieser Beleuchtungsanordnung ist allgemein der, eine normale Beleuchtung an dem Gegenstand **1** abzuliefern. Der Lichtstrahl pflanzt sich entlang einem Lichtpfad, wobei er durch die optische, die Kohärenz reduzierende Vorrichtung **30** reflektiert wird, über den Strahlteiler **24** und die Objektivlinse **10** zu dem Gegenstand **1** fort. Sodann wird der Lichtstrahl von dem Gegenstand **1** reflektiert, und er wird durch die Relaislinse **18** auf dem Sensor **20** abgebildet.

**[0051]** Der reflektierte Lichtstrahl enthält die Information über das Muster, das auf dem Gegenstand enthalten ist, und er liefert auch die Information in Bezug auf jegliche Fehler, die in dem Gegenstand **1** und auf seiner Oberfläche vorhanden sind. Die kohärente Natur der Lichtquelle **4** und ihre Betriebswellenlänge im Vergleich zu der Größe der möglichen Fehler kann

ein Speckle an dem Sensor **20** erzeugen. Das Speckle bewirkt nicht vorausgesagte Signal-Ungleichmäßigkeiten, so dass es schwieriger wird, die Fehler zu unterscheiden, und es kann auch dazu führen, dass einige mikroskopische Fehler undetektiert bleiben. Daher gibt es einen Bedarf, das Speckle-Phänomen durch Brechung der Kohärenz des Lichtstrahls zu reduzieren. Die optische, die Kohärenz reduzierende Vorrichtung **30**, die entlang dem Weg des Lichtstrahls angeordnet ist, reduziert die Kohärenz des Strahls, der auf die Oberfläche des Gegenstands auftrifft, und sie reduziert oder eliminiert dadurch das Speckle.

**[0052]** Ein anderes Ausführungsbeispiel einer beispielhaften Vorrichtung ist in **Fig. 1B** gezeigt, die sich auf Waver-Inspektionssysteme bezieht, die eine Laserbeleuchtung mit schrägem Einfall verwendet. Wie dargestellt ist, liefert die Laserquelle **4** einen Laserstrahl, der das Waver **1** unter einem schrägen Winkel beleuchtet, der gelegentlich als streifender Einfallswinkel bezeichnet wird. Als Ergebnis des schrägen Winkels hat der Beleuchtungspunkt **5** eine ovale Form, wobei die Hauptachse des Ovals in der Richtung der Beleuchtung verlängert ist. Diese Punktform liefert eine relativ lange Punktfläche, was ein Speckle zum Ergebnis hat. In diesen Arten von Systemen ist das Detektionsschema auf einer Dunkelfeld-Beleuchtung begründet. Das heißt, dass der Lichtstrahl auf einen Punkt **5** unter Verwendung eines Objektivs **10** fokussiert ist. Da das Waver eine spiegelartige Oberfläche hat, wird das Licht entsprechend dem Snell-Gesetz reflektiert, wie beispielhaft in der Figur gezeigt ist. Die Dunkelfeld-Detektoren werden von der Strahlreflektion weg angeordnet. Einige Beispiele der Anordnung des Detektors sind als Detektoren **21**, **22** und **23** gezeigt. Jede Kombination von einigen oder allen dieser Detektoren kann verwendet werden. Es ist jedoch zu erkennen, dass das Speckle-Phänomen einen oder alle dieser Detektoren beeinflussen kann. Folglich ist es notwendig, die optische, die Kohärenz reduzierende Vorrichtung **30** in dem Beleuchtungspfad des Laserstrahls anzuordnen.

**[0053]** Mehrere Ausführungsbeispiele der optischen, die Kohärenz reduzierenden Vorrichtungen **30** werden entsprechend der vorliegenden Erfindung bereitgestellt. Jedes Beispiel wird nun im Einzelnen beschrieben.

**[0054]** Gemäß **Fig. 2a** umfasst ein erstes Ausführungsbeispiel der optischen Kohärenzreduktionsvorrichtung **30** zwei optischen Faserbündel **301** und **302**, die jeweils eine vorgegebene Anzahl optischer Fasern **304**, **305** haben. Die Bündel können dieselbe Anzahl von Fasern oder unterschiedliche Anzahlen von Fasern haben. Es können auch mehr als zwei Bündel vorgesehen sein. Die optischen Bündel **301** und **302** werden nacheinander entlang dem Weg des Abbildungsstrahls **I** angeordnet, wobei das Bündel

**301** vor dem Bündel **302** positioniert ist und einen Eingang hat, um den Abbildungsstrahl I zu empfangen und einen Ausgang neben einem Eingang des zweiten Bündels **302** hat.

[0055] Zur Einfachheit der Beschreibung werden die zwei Bündel **301**, **302** unter einem geringen Winkel im Bezug aufeinander gezeigt, obwohl sie im Betrieb entlang einer Achse aufeinander ausgerichtet sein können.

[0056] Die optischen Fasern **304** und **305** sind von einem ähnlichen Typ, der im Stand der Technik bekannt ist, wobei sie vorzugsweise vorgegebene Parameter, beispielsweise Brechungsindex und Ummantelung, haben, obwohl sie auch unterschiedliche Brechungsindizes oder unterschiedliche Ummantelungen haben könnten. Die Fasern **304** und **305** haben unterschiedliche Längen und können nach dem Zufallsprinzip innerhalb jedes Bündels angeordnet sein, wobei eine beliebige Anzahl bekannter, das Zufallsprinzip verwirklichender Techniken verwendet werden kann. Der Längenunterschied  $\Delta L$  zwischen jeweils zwei Fasern **304** wird vorzugsweise größer gewählt als die Kohärenzlänge der Lichtquelle **4**. Der Längenunterschied zwischen einem Paar **304** ist vorzugsweise größer als der Längenunterschied zwischen der kürzesten und der längsten Faser in dem Bündel **302**. Dadurch wird der Effekt des kombinierten Bündels auf ein Maximum gebracht, wenn die richtige Kopplung verwendet wird. Die allgemeine Beziehung unter den Fasern in dem Bündel ist in [Fig. 3](#) gezeigt.

[0057] Wie ebenfalls in [Fig. 3](#) gezeigt ist, ermöglicht eine Anordnung der Fasern **304** innerhalb des Bündels **301**, dass alle Enden der Faser **304** an dem Ausgang des Bündels **301** in einer Ebene im Wesentlichen quer zu dem Weg des Abbildungsstrahls liegen. Auf ähnliche Weise können alle Enden der optischen Faser **305** an dem Ausgangsende des Bündels **302** in einer Ebene im Wesentlichen quer zu dem Weg des Abbildungsstrahls liegen. Eine andere Möglichkeit ist es, ein Bündel mit dicht gepackten Lichtleitern mit unterschiedlichen Längen zu verwenden, wie in [Fig. 3](#) gezeigt ist.

[0058] Ein Beispiel ist der Fall der optischen Kohärenzlänge von 1 mm. Wenn beispielsweise ein Bündel mit 25 Fasern mit Längen von 400 mm mit Inkrementen von 20 mm und ein zweites Bündel verwendet wird, das aus 36 dicht gepackten, rechteckigen Lichtleitern mit Längen von 20 mm mit Inkrementen von 1 mm besteht, ist der Effekt so, wie wenn ein Bündel von  $25 \times 36 = 900$  Fasern mit Längeninkrementen von 1 mm verwendet worden wären.

[0059] Die Eingänge der Bündel **301** und **302** können auch in einer Ebene quer zu dem Weg des Abbildungsstrahls liegen. In diesem Fall, da alle Fasern in

jedem Bündel unterschiedliche Längen haben, muss eine Anpassung für den Unterschied in den Längen gemacht werden, beispielsweise durch Schleifenbildung oder Abbiegung einiger Fasern in jedem Bündel. Beispiele von Anordnungen der Fasern **304**, **305** in den Bündeln **301**, **302** sind in [Fig. 4](#) gezeigt. Der Durchschnittsfachmann wird erkennen, dass Faserbündel mit Fasern der gleichen Länge, jedoch mit unterschiedlichen Brechungsindizes oder unterschiedlichen Ummantelungen statt der oben bevorzugten Anordnungen mit ähnlichen Resultaten verwendet werden können.

[0060] Eine andere Variante des Ausführungsbeispiels mit optischem Faserbündel oder Lichtleiterbündel ist es, dass einige oder alle Fasern in jedem Bündel nicht-lineare optische Charakteristiken haben können. Wie die Abwandlung in dem Brechungsindex oder der Ummantelung oder die Veränderung in der Länge der Fasern dient die Reflektion der nicht-linearen, optischen Charakteristiken dazu, die Weglänge des Lichtes, das durch die Fasern hindurch tritt, zu variieren, und sie dient somit dazu, die Kohärenz des Strahls zu reduzieren, der auf den Gegenstand **1** gegeben wird.

[0061] Die nicht-linearen Charakteristiken können beispielsweise durch Verwendung von mit Germanium dotiertem Glas geliefert werden. Nicht-lineare Charakteristiken können auch in einem einzigen Lichtleiter oder einem Glasstab verwirklicht werden. Das nicht-lineare Material erzeugt eine duale Selbst-Streuung bei hohen Leistungsdichten, wodurch eine spektrale Aufweitung auf einige hundert GHz ermöglicht wird, was wiederum die Kohärenzlänge reduziert und damit das Speckle vermindert.

[0062] Wenn die Wellenfront des Abbildungsstrahls I auf den Eingang des ersten Bündels **301** auftritt, wird er wirksam in eine Vielzahl optischer Strahlen aufgebrochen, wobei jeder Strahl in eine Faser **304** in dem Bündel **301** eintritt und durch die gesamte Länge der Faser **304** hindurch tritt. An dem Ausgang des Bündels **301** wird der Strahl, der aus jeder Faser **304** herauskommt, vorzugsweise auf alle Fasern **305** des Faserbündels **302** abgebildet. Daher empfängt jede Faser **305** Licht von allen Fasern **304**. Nachdem die Fasern **305** das Licht durch den Ausgang des Bündels **302** ausgegeben haben, haben die sich ergebenden Strahlen optische Weglängendifferenzen, die alle größer sind als die Kohärenzlänge der Lichtquelle **4**.

[0063] Ein Vorteil der Abbildung des gesamten Lichts von jeder Faser **304** in dem Bündel **301** auf alle die Fasern **305** in dem Bündel **302** zusammen mit den Längendifferenzen unter den Fasern in dem Bündel, wie oben beschrieben wurde, ist es, dass der Effekt auf die Reduktion in der Kohärenz gemäß einer Multiplikation und nicht einer Addition stattfindet.

Es heißt, dass der Effekt bei N-Fasern in dem Bündel **301** und M-Fasern **305** auf die Kohärenzreduktion so wäre, als wenn  $N \times M$ -Fasern benutzt würden und nicht  $N + M$ . Wenn beispielsweise  $N = M = 100$  ist, ist im Ergebnis der durch diese Technik erzielten Effekts so, wie wenn  $N \times M = 10000$  Fasern verwendet würden statt 200. Mit diesem Ansatz ist es möglich, weit weniger Fasern zu verwenden und eine viel weniger teure Kohärenzreduktionsanordnung zu haben. Andere Anordnungen der Längen der Fasern sind möglich, bei denen die effektive Anzahl der ausgegebenen, optischen Weglängen das Produkt der Anzahl der Fasern, die in den Bündeln verwendet werden, ist statt deren Summe.

**[0064]** Ein Vorteil der Verwendung von mehreren Fasern statt von Lichtleitern oder Glasstangen ist es, dass die effektive Länge der optischen Kohärenzreduktionsvorrichtung sehr groß sein kann. Durch Verwendung von 100 Fasern in einem Bündel, die ein Längeninkrement von 50 mm haben, kann beispielsweise eine effektive Länge von 50 m erreicht werden, die in einem Kasten von nur 0,5 m gepackt sind. Als Ergebnis der Anwendung der vorstehenden Technik wird die Kohärenz des auf den Gegenstand **1** auftretenden Strahls reduziert, wodurch das Speckle in den Detektor reduziert oder eliminiert wird. In einer Abwandlung des ersten Ausführungsbeispiels, wie sie in [Fig. 2b](#) gezeigt ist, kann die optische Kohärenzreduktionsvorrichtung **30** eine Abbildungslinse **303** umfassen, die zwischen den zwei Bündeln **301**, **302** angeordnet ist, um den aus jeder Faser **304** heraustretenden Strahl auf alle Fasern **305** des Bündels **302** abzubilden. Der Durchschnittsfachmann wird anerkennen, dass alternative Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung eine Vielzahl optischer Faserbündel, die nacheinander entlang dem Weg des Abbildungsstrahls **I** angeordnet sind, und eine Vielzahl Abbildungslinsen **303** oder andere geeignete optische Einrichtungen umfassen kann, die zwischen dem Bündel angeordnet sind. Ein Lichtstreuungselement kann zwischen den Bündeln eingesetzt werden, um die Winkel, unter denen das Licht auf den Eingang des nächsten Bündels auftrifft, zu homogenisieren.

**[0065]** In einem zweiten Beispiel, das nicht Bestandteil der vorliegenden Erfindung ist und in [Fig. 5](#) dargestellt ist, wird die optische Kohärenzreduktionsvorrichtung **30** durch eine integrierende Kugel **311** gebildet, die entlang dem Weg des Abbildungsstrahls **I** angeordnet ist. Die integrierende Kugel **311** umfasst eine Eintrittsöffnung **312** und eine Austrittsöffnung **313**. Die Öffnung **312** hat vorzugsweise einen kleineren Durchmesser als die Öffnung **313**. Die Öffnung **312** ist so positioniert, dass sie den Abbildungsstrahl **I** empfängt. Die integrierende Kugel **311** umfasst eine Lichtabsorbierende Innenfläche, die aus einem nicht-absorbierenden Material hergestellt ist, vorzugsweise Magnesiumoxid (MgO), um den Abbil-

dungsstrahl **I** besser zu reflektieren. Andere geeignete, reflektierende Beschichtungen können ebenfalls verwendet werden.

**[0066]** Nachdem der Abbildungsstrahl **I** innerhalb der integrierenden Kugel **313** reflektiert worden ist, tritt ein reflektierter Strahl aus der Kugel durch die Öffnung **313** aus. Mehr speziell ist der aus der Öffnung **313** austretende Strahl eine Ansammlung von reflektierenden Strahlen innerhalb der integrierenden Kugel, wobei jeder Strahl über eine unterschiedliche Weglänge von den anderen Strahlen verläuft. Als Ergebnis hat die Ansammlung dieser Strahlen, die aus der Öffnung **313** austreten, eine reduzierte Kohärenz im Vergleich zu dem ursprünglichen Abbildungsstrahl **I**.

**[0067]** In einer Abwandlung des gerade beschriebenen Ausführungsbeispiels ist, wie in [Fig. 6](#) gezeigt ist, eine zweite, innere Kugel **317** vorgesehen, die eine Außenfläche hat, die mit demselben, nicht-absorbierenden Material wie die Innenfläche der Kugel **313** versehen ist. Die innere Kugel **317** und die integrierende Kugel **311** können konzentrisch sein, dies ist jedoch nicht erforderlich. Der Abbildungsstrahl **I**, der in die integrierende Kugel **311** durch die Öffnung **312** eintritt, wird in einer Sammlung von Strahlen aufgebrochen, die durch die innere Kugel **317** und die Innenfläche der integrierenden Kugel **311** reflektiert werden. Der sich ergebende, reflektierte Strahl, der zu dem Gegenstand **1** durch die Öffnung **313** übertragen wird, ist eine Ansammlung der reflektierten Strahlen und hat eine reduzierte Kohärenz. Der Effekt der Bereitstellung der inneren Kugel ist es, den Reflektionspfad des Lichts zu verlängern, während es von der Eintrittsöffnung **312** zu der Austrittsöffnung **313** verläuft.

**[0068]** Verschiedene Radien der Kugel **311** und Durchmesser der Eintritts- und Austrittsöffnungen sind möglich. Gegenwärtig wird ein Radius von 25 mm für die Kugel **311** und 1 mm Eintrittsöffnung und 5 mm Austrittsöffnung bevorzugt.

**[0069]** Das Ausführungsbeispiel der [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) werden gegenwärtig als weniger wirkungsvoll betrachtet als das Ausführungsbeispiel mit optischen Fasern wegen der Verluste, die mit der Verwendung des reflektierenden Materials zusammenhängen. Die Verschlechterung, die sich insbesondere bei dem Ausführungsbeispiel von [Fig. 6](#) ergibt, wird als recht nachteilig empfunden. Die Anordnung eines Puffers vor dem Eingang zu dem Ausführungsbeispiel von [Fig. 5](#) mit einer Kugel kann bessere Arbeitsergebnisse haben. Es ist zu erwarten, dass, wenn sich die Reflektionsfähigkeit möglicher Beschichtungen verbessert, diese Ausführungsbeispiele attraktiver werden.

**[0070]** Wie in [Fig. 7](#) gezeigt ist, besteht ein drittes Ausführungsbeispiel der optischen Kohärenz-Reduk-

tionsvorrichtung **30** der vorliegenden Erfindung aus einem ersten Gitter **321** und einem zweiten Gitter **322**, die entlang dem Weg des Abbildungsstrahls **1** angeordnet sind. Die Gitter **321**, **322** in dem Beispiel sind Brechungsgitter, es ist jedoch zu verstehen, dass reflektierende Gitter mit den gleichen Ergebnissen verwendet werden könnten. Die Gitter **321**, **322** sind vorzugsweise identisch, wobei sie einen vorgegebenen Gitterabstand  $\Lambda$ , in der Wellenlänge  $\lambda$  und eine erste Brechungsordnung haben, obwohl Gitter mit unterschiedlichen Gitterabständen und anderen Eigenschaften ebenfalls verwendet werden können.

**[0071]** Im Betrieb trifft der Abbildungsstrahl **I** auf die Oberfläche des Gitters **321** unter einem vorgegebenen Winkel  $\theta_i$  auf und wird unter einem Winkel  $\theta_0$  gebrochen. Wenn der Abbildungsstrahl **I** aufgeweitet werden könnte, so dass er einen Durchmesser  $D$  hat, wie in [Fig. 7](#) zu sehen ist, kann der optische Wegunterschied (OPD = Optical Path Difference), der zwischen den beiden Rändern des Abbildungsstrahls erreicht wird, mit der Formel berechnet werden:  $OPD = D \tan \theta_i + D \sin \theta_0 / \cos \theta_1$ . Die Brechungsbeziehung ist  $\sin \theta_0 = \lambda / \Lambda - \cos \theta_i$ . Der gebrochene Lichtstrahl trifft danach auf das zweite Gitter **322** auf und wird gebrochen. Der Einfallswinkel kann derselbe Winkel  $\theta_i$  sein, und der Ausgangswinkel  $\theta_0$  kann ebenfalls derselbe wie vorher sein. Durch Anwendung derselben Berechnung ist der optische Wegunterschied des resultierenden Strahls gleich  $2 \cdot OPD$ . Es ist aus der obigen Berechnung zu ersehen, dass der optische Wegunterschied zwischen der Lichtquelle und dem Gegenstand dadurch vergrößert werden kann, dass mehrere ähnliche Gitter entlang dem Weg des Strahls **I** angeordnet werden. Die Anordnung ist so gewählt, dass das Licht in derselben Drehrichtung, beispielsweise im Uhrzeigersinn, abgelenkt wird, bis  $OPD_0 = n \cdot OPD$  größer ist als die Kohärenzlänge der Lichtquelle. An diesem Moment ist der resultierende Strahl inkohärent, und das Verfahren vermindert das Speckle-Phänomen. Die oben angegebenen Berechnungen können auch angewendet werden, wenn Reflektionsgitter in einem alternativen Ausführungsbeispiel statt der Brechungsgitter verwendet werden.

**[0072]** Es ist zu beachten, dass als Ergebnis der Verwendung der Gitter in dem Ausführungsbeispiel von [Fig. 7](#) der Weg des Abbildungsstrahls **I** sich ändert. Die Anordnung kann so getroffen werden, dass der Eintritts- und Austrittsstrahl den gleichen Querschnitt hat, obwohl zwischen den Gittern der wirksame Querschnitt in einer bedeutungsvollen Richtung viel größer sein kann. Das Design ist so gewählt, dass die letzte Gitteroberfläche senkrecht zu der Fortpflanzungsrichtung des Gitters ist. Dies ermöglicht beispielsweise die Verwendung eines Beleuchtungsschemas von diesem Punkt zu dem Gegenstand, das als Kohler-Beleuchtung bezeichnet wird. Je nach der Anzahl der vorgesehenen Gitter müssten geeignete optische Vorrichtungen vorgesehen sein,

um den in seiner Kohärenz Strahl geeigneter Weise auf den Gegenstand **I** zu richten. Alternativ könnte die Lichtquelle **10** in geeigneter Weise im Bezug auf die Kohärenzreduktionsvorrichtung **30** so positioniert werden, dass der von der Vorrichtung **30** ausgegebene Strahl ordnungsgemäß auf den Gegenstand **1** gerichtet würde.

**[0073]** Statt der Verwendung mehrerer Gitter kann das Licht mehrmals durch dasselbe Gitter hindurchgeführt werden, wobei geeignete Spiegel oder andere Reflektions/Dereflektions-Einheiten verwendet werden, um das Licht beispielsweise entlang einem Weg ähnlich dem, der in [Fig. 7](#) gezeigt ist, das heißt mit einer Neuausrichtung bei  $90^\circ$  Intervallen neu auszurichten. Eine Neuausrichtung an anderen Intervallen ist ebenfalls annehmbar.

**[0074]** Ein viertes Ausführungsbeispiel der optischen Kohärenzreduktionsvorrichtung **30** ist in [Fig. 8](#) gezeigt. Wie in [Fig. 8](#) zu ersehen ist, besteht die Vorrichtung **30** aus einem akusto-optischen Modulator **331**, der entlang dem Weg des Abbildungsstrahls **I** und vor einer Abbildungslinse **333** angeordnet ist. Der akusto-optische Modulator **331** ist mit einer Quelle von elektronischem Weißrauschen **332** gekoppelt, die ein Weiß-Rauschsignal mit Frequenzen liefert, die in dem 1–20 GHz-Bereich sein können. Der Abbildungsstrahl **I** trifft auf eine relativ große Oberfläche des Modulators **331** unter einem vorgegebenen Winkel auf, wobei die Oberfläche Abschnitte mit unterschiedlichen Frequenzen in dem gleichen 1–20 GHz-Bereich hat. Der Abbildungsstrahl **I** wird dann durch die Störungen in dem Modulator gebrochen und erfährt Änderungen in der Richtung und der Wellenlänge. Daher hat an dem Ausgang des Modulators **331** der resultierende, modulierte Strahl nicht-kohärente Eigenschaften, und er kann auf den Gegenstand unter Verwendung der Abbildungslinse **333** abgebildet werden. Die optische Anordnung kann ähnlich sein zu der, die dem System mit den Gittern verwendet wird. Ein akusto-optischer Modulator oder ein elektro-optischer Modulator können auch mit einem Gitter verwendet werden, um sowohl lange als auch kurze Kohärenzlängen akzeptieren zu können.

**[0075]** Ein Aspekt dieses Ausführungsbeispiels ist die Fähigkeit, die Dauer der Impulse, die von einem gepulsten Laser empfangen werden, zu verlängern, so dass sie die Kohärenzlänge des Abbildungsstrahles übersteigen, und eine effektivere Art und Weise der Verwendung eines rotierenden Diffusors zu gestatten. Angenommen, die Impulslänge kann von 5 ns auf 50 ns durch Verwendung eines Faserbündels mit Faserlängenunterschieden bis zu 20 m gestreckt werden. Ein rotierendes Grundglas mit einem Durchmesser von 100 mm, das sich beispielsweise mit 30000 Umdrehungen pro Minute dreht, kann die Speckle-Modulation um einen Faktor von 5 reduzieren. Verschiedene Kombinationen der gerade be-

schriebenen Ausführungsbeispiele sind ebenfalls möglich. Beispielsweise kann ein Faserbündel mit einem Brechungsgitter oder mit einem akusto-optischen Modulator verwendet werden, ein Brechungsindex könnte mit einem akusto-optischen Modulator verwendet werden usw. Die Reihenfolge, in der die verschiedenen Komponenten der optischen Kohärenzreduktionsvorrichtung angeordnet werden, ist nicht notwendiger Weise kritisch; es ist jedoch wichtig, die vorstehende Warnung im Bezug auf die Beziehung des Elements, das am nächsten zu der Strahlquelle angeordnet ist, und auf die Kohärenzlänge zu wiederholen, um den Multiplikationsvorteil der Verwendung kleinerer Faserbündel sicherzustellen, wie oben diskutiert wurde.

**[0076]** Während die Erfindung in Bezugnahme auf verschiedene, bevorzugte Ausführungsbeispiele wie oben beschrieben wurde, sind verschiedene Ausführungsbeispiele innerhalb des Schutzzumfangs der Erfindung für den Durchschnittsfachmann offensichtlich. Beispielsweise, während das bevorzugte Ausführungsbeispiel in dem Zusammenhang einer Vorlage, die in der Halbleiterherstellung verwendet wird, beschrieben wurde, ist es innerhalb des beabsichtigten Umfangs der Erfindung, diese einfache und leistungsfähige Technik auf die Inspektion von anderen gemusterten Gegenständen, die bei der Halbleiterherstellung verwendet werden, anzuwenden oder auf die Halbleiterwaverinspektion. Tatsächlich sind das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung in gleicher Weise auf die Inspektion von Wavern und auch von Masken, Fotomasken, Vorlagen oder anderen derartigen Produkten anwendbar, die in einer ähnlichen Weise bei der Herstellung von Halbleitervorrichtungen verwendet werden, beispielsweise bei einem photolithographischen Verfahren. Soweit das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung betroffen sind, sind folglich die Begriffe „Maske“, „Fotomaske“ und „Vorlage“ und Begriffe, die ähnliche Gegenstände definieren, untereinander austauschbar und sollte derart von dem Durchschnittsfachmann verstanden werden. Darüber hinaus ist die Kohärenzreduktionstechnik der Erfindung nicht auf die Anwendung bei Inspektionssystemen beschränkt, sondern sie kann stattdessen in jedem auf einen Halbleiter gerichteten Herstellungsverfahren verwendet werden, wo Kohärenzreduktionstechniken benötigt werden.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Reduzieren von Flecken/Speckle bei der Inspektion eines gemusterten Gegenstandes, der in der Herstellung von Halbleiterbauelementen benutzt wird, wobei das Verfahren umfasst:  
Bewirken einer Relativbewegung zwischen einem Beleuchtungsstrahl und dem gemusterten Gegenstand (1), wobei der Beleuchtungsstrahl erhalten wird

durch die Modifikation eines kohärenten Lichtstrahles, um seine Kohärenz zumindest teilweise zu brechen;  
wobei die Modifikation des kohärenten Lichtstrahles umfasst:

Anordnen eines ersten und eines zweiten optischen Gerätes (301, 302; 321,322; 331) aufeinander folgend entlang eines Lichtweges zwischen einer Quelle (4) des Beleuchtungsstrahles und dem gemusterten Gegenstand (1), und

Empfangen des kohärenten Lichtstrahles durch das erste optische Gerät (301; 321; 331) und Ausgeben einer Vielzahl von Strahlen, so dass die von dem ersten optischen Gerät (301; 321; 331) ausgegebenen Strahlen Pfadlängendifferenzen haben, die größer sind als die Kohärenzlänge des kohärenten Lichtstrahles;

**dadurch gekennzeichnet**, dass

das Modifizieren des kohärenten Lichtstrahles weiterhin umfasst:

Eingeben der von dem ersten optischen Gerät (301; 321; 331) ausgegebene Strahlen in das zweite optische Gerät (302; 322), so dass die Strahlen, die von dem zweiten optischen Gerät ausgegeben werden, zusätzliche Pfadlängendifferenzen haben, die größer als die Kohärenzlänge des kohärenten Lichtstrahles sind.

2. Verfahren nach Anspruch 1 wobei sowohl das erste optische Gerät (301; 321; 331) als auch das zweite optische Gerät (302; 322) optische Glasfaserbündel (301, 302) sind, die eine vorgegebene Anzahl an Fasern (304, 305) haben.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei beide optische Faserbündel (301, 302) einen Eingang und einen Ausgang haben, und wobei jede Glasfaser (304) des ersten Bündels (301) der Vielzahl von Bündeln (301, 302) einen kohärenten Lichtstrahl durch den Eingang empfängt und jede Faser (305) des zweiten Bündels (302) der Vielzahl von Bündeln (301, 302) einen Ausgangsstrahl durch den Ausgang überträgt, so dass eine optische Pfadlängendifferenz zwischen zwei beliebigen Glasfasern in jedem Bündel (301, 302) größer als die Kohärenzlänge des kohärenten Lichtstrahles ist.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, wobei das Verfahren weiterhin umfasst, einen Ausgang von jeder der Fasern (304) in dem ersten optischen Glasfaserbündel (301) mit einem Eingang von jeder der Fasern (305) in dem zweiten optischen Glasfaserbündel (302) zu versorgen.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, wobei wenigstens einige der Glasfasern (304, 305) in dem ersten und dem zweiten optischen Glasfaserbündel (301, 302) unterschiedliche Längen haben.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5,

wobei eine Längendifferenz zwischen zwei beliebigen Glasfasern in wenigstens einem von dem ersten und dem zweiten optischen Glasfaserbündel (**301, 302**) größer ist als die Kohärenzlänge des kohärenten Lichtstrahles.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6, wobei die Eingangsenden und/oder die Ausgangsenden der Fasern (**304, 305**) in wenigstens einem von dem ersten oder dem zweiten optischen Glasfaserbündel (**301, 302**) fluchtend ausgerichtet sind.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 7, wobei die Charakteristik von wenigstens einigen der Fasern (**304, 305**) in dem ersten und zweiten Glasfaserbündel (**301, 302**) aus der Gruppe bestehend aus Nicht-Linearität, Unterschied in den Brechungsindizes und Unterschied in der Umhüllung ausgewählt ist.

9. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das erste optische Gerät ein Faserbündel (**301, 302**) ist, das eine Vielzahl von optischen Fasern (**304, 305**) hat, und das zweite optische Gerät ein optisches Gitter (**321**) ist.

10. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das erste optische Gerät ein optisches Gitter (**321, 322**) ist und das zweite optische Gerät ein Faserbündel (**301, 302**) ist, das eine Vielzahl von optischen Fasern (**304, 305**) hat.

11. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das erste optische Gerät ein optisches Gitter (**321, 322**) ist, und das zweite optische Gerät ein akusto-optischer Modulator (**331**) ist.

12. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das erste optische Gerät ein Faserbündel (**301, 302**) ist, das eine Vielzahl von optischen Glasfasern (**304, 305**) hat, und das zweite optische Gerät ein akustooptischer Modulator (**331**) ist.

13. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das erste optische Gerät ein akustisch-optischer Modulator (**331**) ist, und das zweite optische Gerät ein optisches Gitter (**321, 322**) ist.

14. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das erste optische Gerät ein akusto-optischer Modulator (**331**) ist, und das zweite optische Gerät ein Faserbündel (**301, 302**) ist, das eine Vielzahl von optischen Glasfasern (**304, 305**) hat.

15. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der kohärente Lichtstrahl eine Wellenlänge in einem tiefen ultravioletten Bereich (TUB) hat.

16. Verfahren nach einem der vorangehenden

Ansprüche, wobei der Lichtstrahl von einem pulsierenden Laser (**4**) erzeugt wird.

17. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der pulsierende Laser (**4**) Laserpulse ausgibt, die eine Dauer im Bereich von 5 bis 50 Nonosekunden haben.

18. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der gemusterte Gegenstand (**1**) aus der Gruppe ausgewählt ist, die Wafer, Masken, Fotomasken und Halbleitermasken enthält.

19. Prüfgerät, durch das ein gemusterter Gegenstand, der in der Herstellung von Halbleiterbauelementen benutzt wird, überprüft wird, während Sprengel reduziert werden, wobei das Gerät umfasst: eine Bewegungseinheit, die eine relative Bewegung zwischen einem Beleuchtungsstrahl und dem gemusterten Gegenstand (**1**) bewirkt; eine Einrichtung zum Erzeugen eines Beleuchtungsstrahles, wobei der Beleuchtungsstrahl erhalten wird, indem in einer Modifizierungseinheit ein kohärenter Lichtstrahl so modifiziert wird, dass seine Kohärenz zumindest teilweise gebrochen wird, wobei die Modifizierungseinheit ein erstes und ein zweites optisches Gerät (**301, 302; 321, 322; 331**) enthält, die in Reihe entlang eines Lichtpfades zwischen einer Quelle des Beleuchtungsstrahles und dem gemusterten Gegenstand angeordnet sind, wobei das erste optische Gerät einen kohärenten Lichtstrahl empfängt und eine Vielzahl von Lichtstrahlen ausgibt, so dass die von dem ersten optischen Gerät (**301; 321; 331**) ausgehenden Strahlen Pfadlängendifferenzen haben, die größer als die Kohärenzlänge des kohärenten Lichtstrahles sind; dadurch gekennzeichnet, dass das zweite optische Gerät (**302, 322**) so konfiguriert ist, dass die Strahlen, die von dem zweiten optischen Gerät (**302, 322**) ausgegeben werden, zusätzliche Pfadlängendifferenzen haben, die größer als die Kohärenzlänge des kohärenten Lichtstrahles sind.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

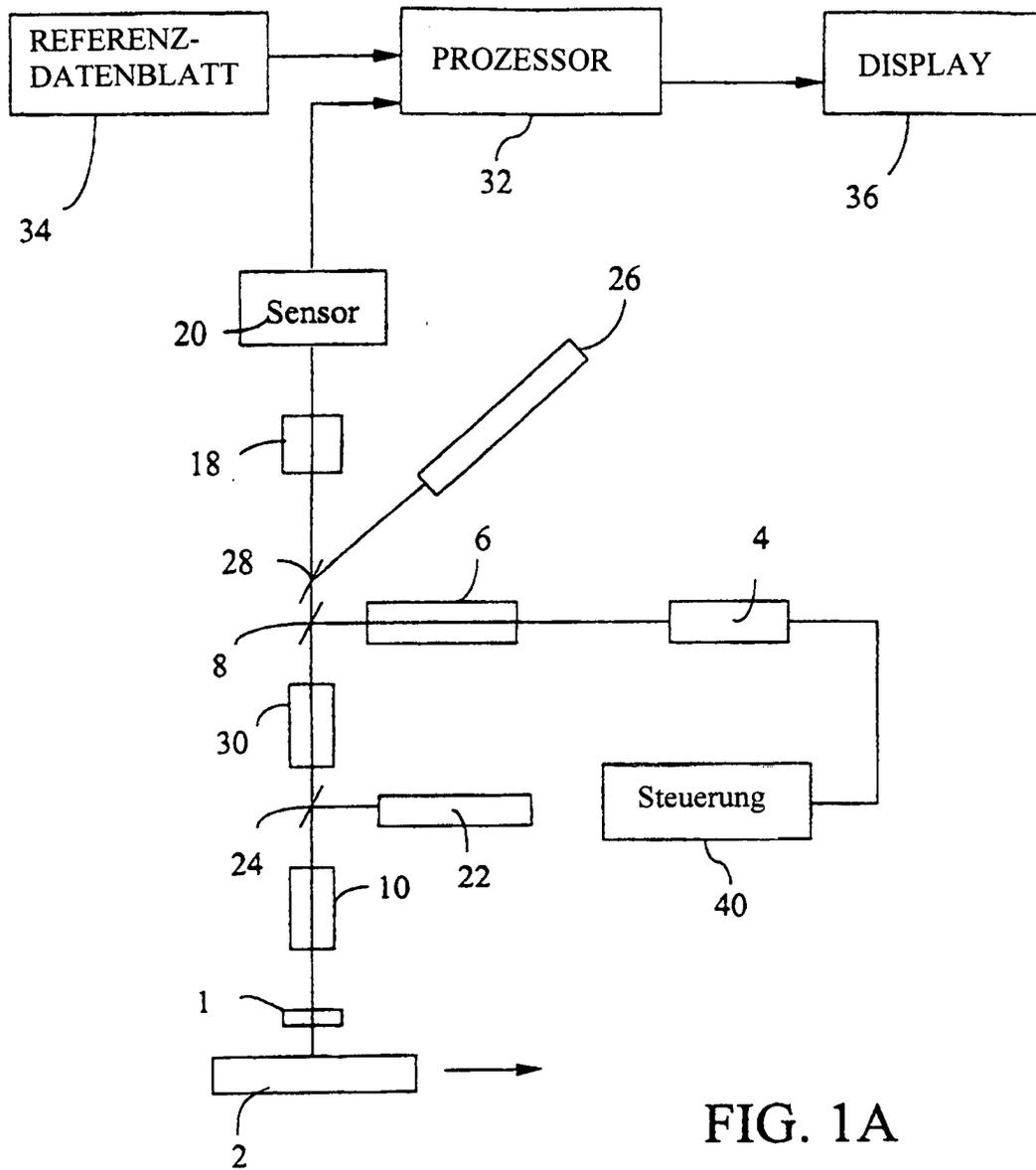


FIG. 1A

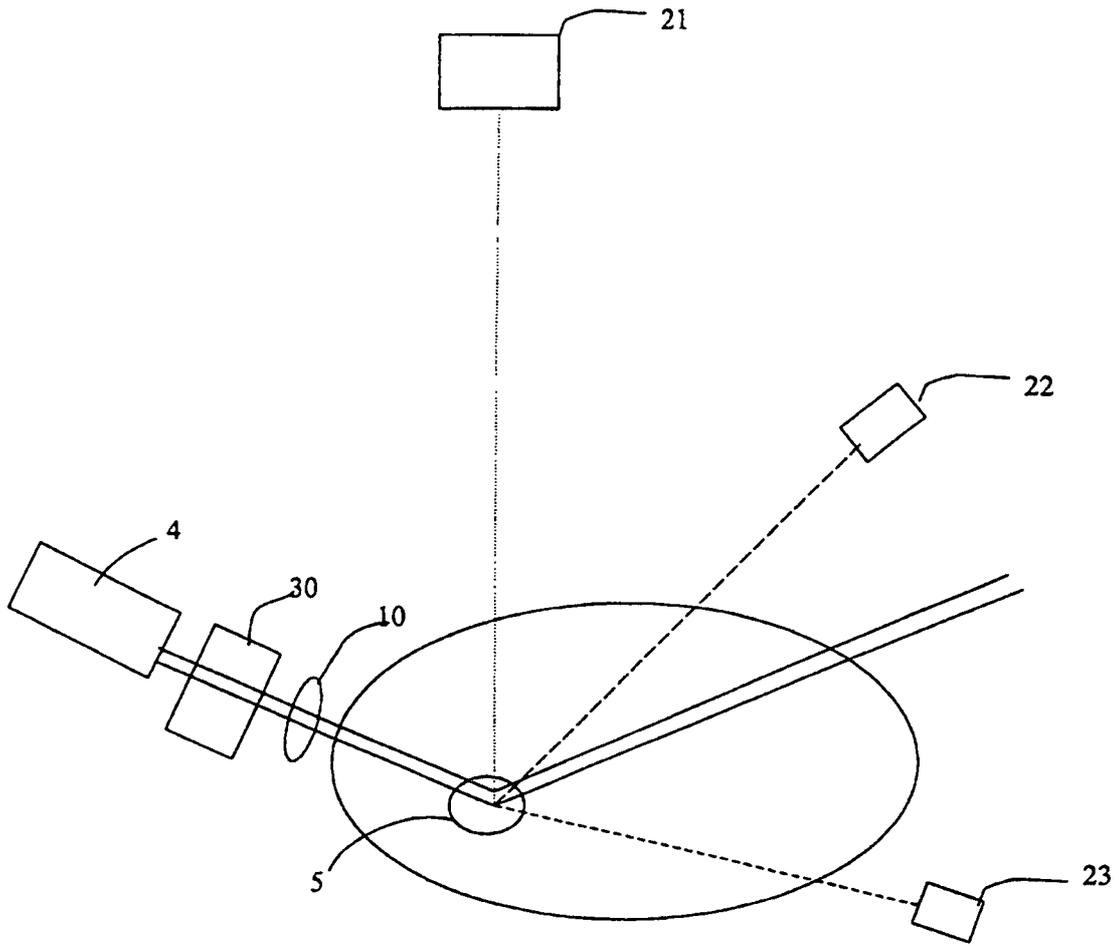


FIG. 1B

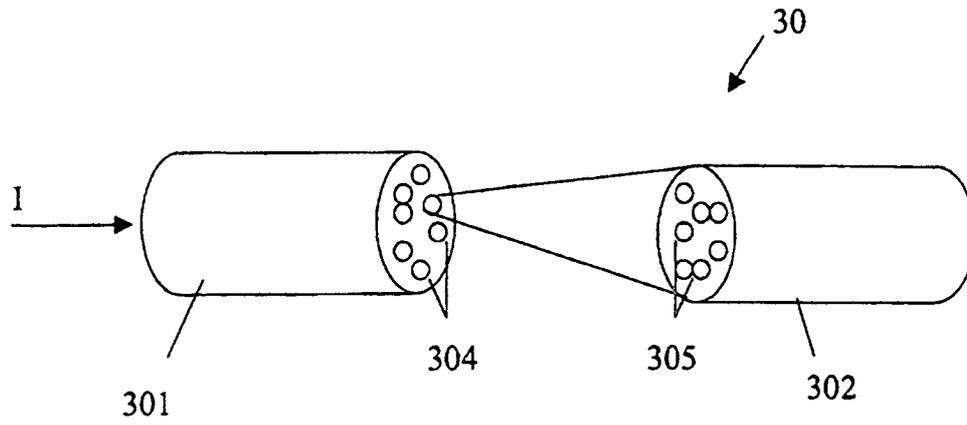


FIG. 2A

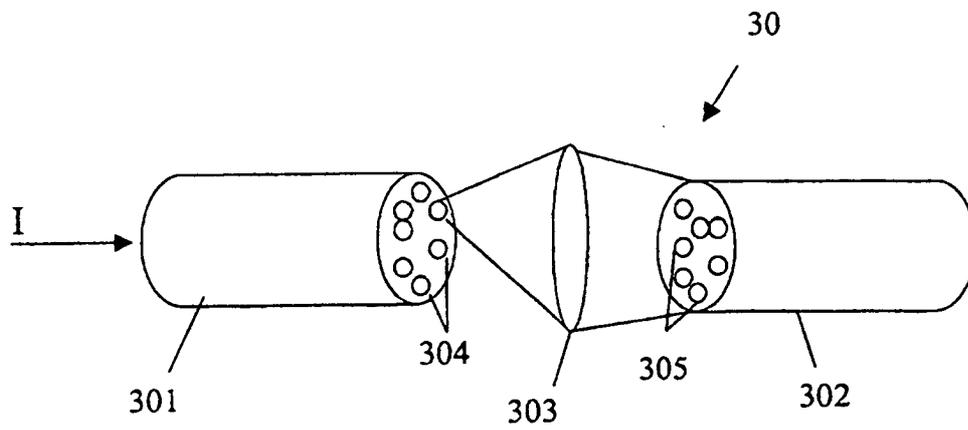


FIG. 2B

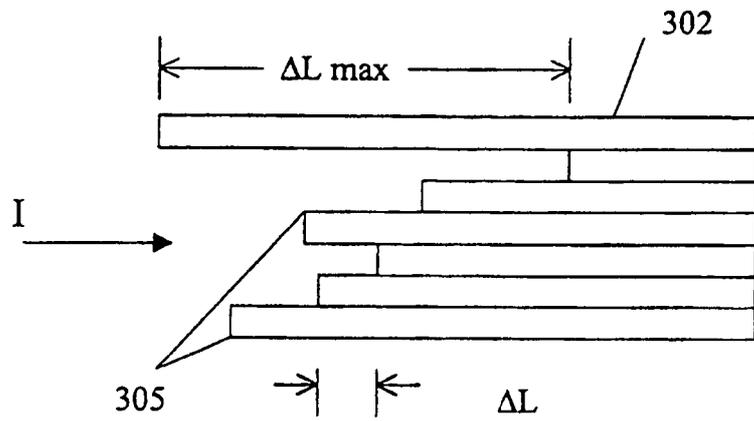


FIG. 3

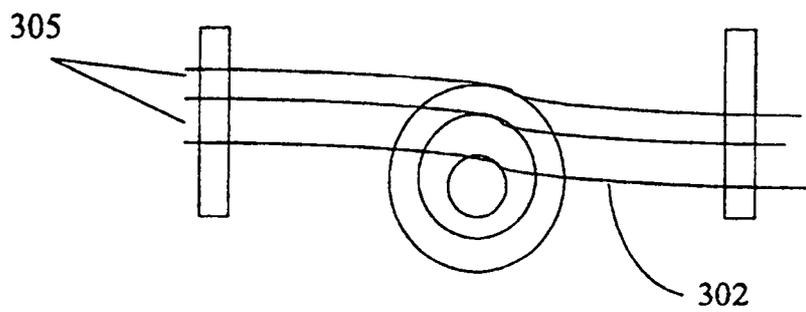


FIG. 4

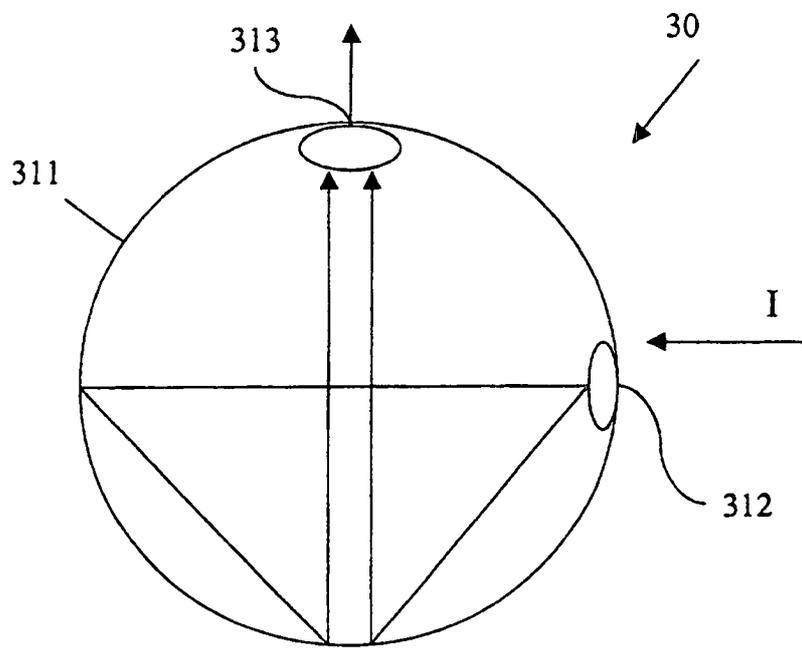


FIG. 5

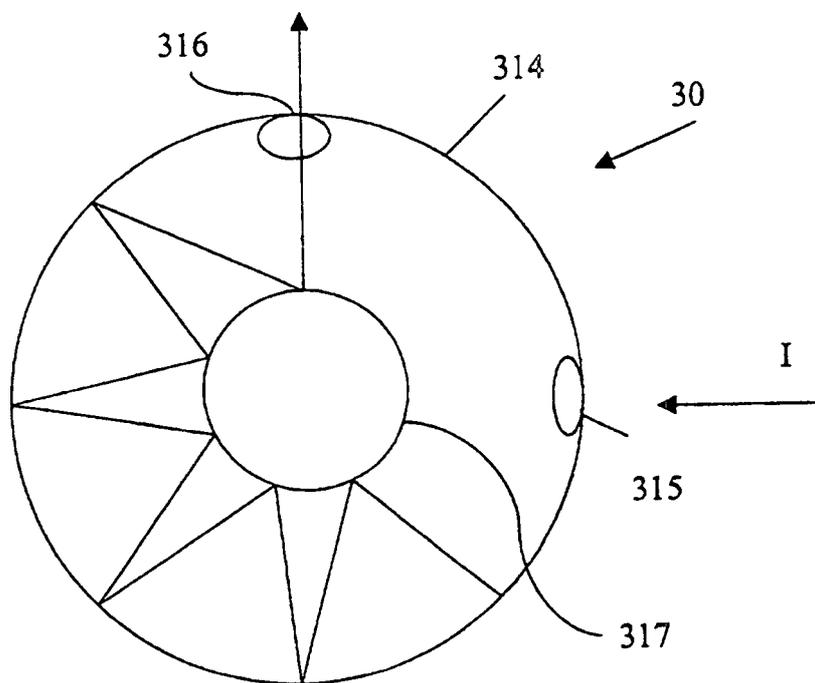


FIG. 6

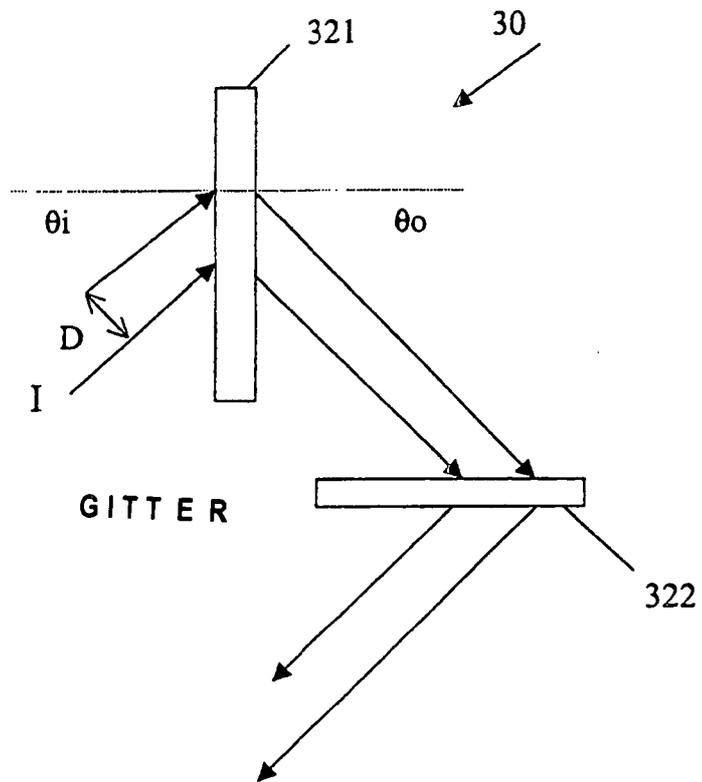


FIG. 7

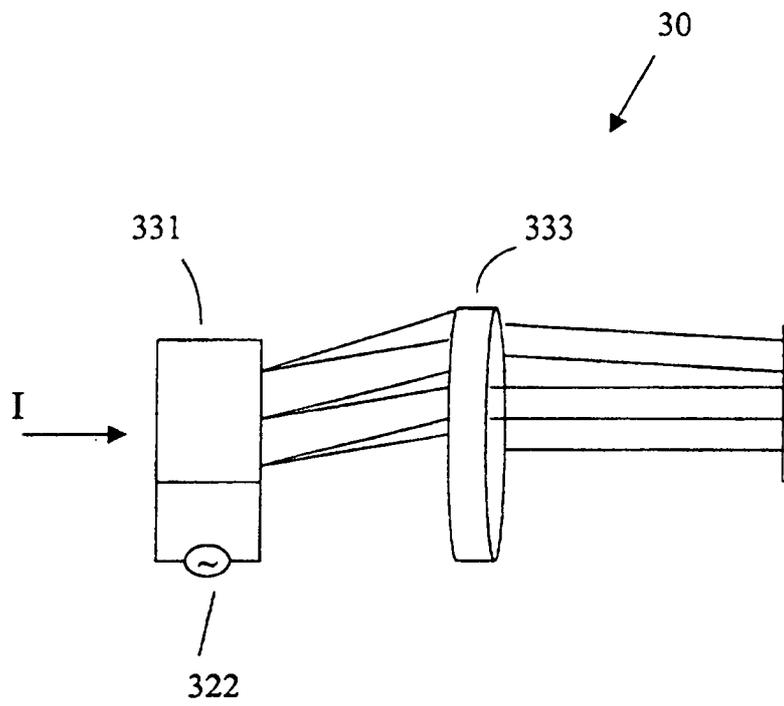


FIG. 8