





**(84) Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Erklärung gemäß Regel 4.17:**

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US*

**Veröffentlicht:**

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

---

**(57) Zusammenfassung:** Eine Messvorrichtung zur interferometrischen Vermessung eines optischen Abbildungssystems, das zur Abbildung eines an einer Maske vorgesehenen Nutzmusters in die Bildebene des Abbildungssystems vorgesehen ist, hat eine Wellenfrontquelle zur Erzeugung mindestens einer das Abbildungssystem durchlaufenden Wellenfront, ein hinter dem Abbildungssystem anordenbares Beugungsgitter zur Wechselwirkung mit der vom dem Abbildungssystem umgeformten Wellenfront und einen dem Beugungsgitter zugeordneten, ortsauflösenden Detektor zur Erfassung von interferometrischer Information. Die Wellenfrontquelle umfasst mindestens ein Messmuster (34), das zusätzlich zu dem Nutzmuster (35) an der Maske (8) ausgebildet ist.

BeschreibungInterferometrische Messvorrichtung und Projektionsbelichtungsanlage  
mit derartiger Messvorrichtung

5

Die Erfindung bezieht sich auf eine Messvorrichtung zur interferometrischen Vermessung eines optischen Abbildungssystems sowie auf eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage, bei der eine derartige Messvorrichtung integriert ist.

10

An die Abbildungsqualität optischer Abbildungssysteme werden immer höhere Anforderungen gestellt. Ein Beispiel hierfür sind Projektionsobjektive für die mikrolithographische Herstellung von Halbleiterbauelementen und anderen fein strukturierten Bauteilen, welche Strukturen im Submikrometerbereich weitgehend frei von Abbildungsfehlern erzeugen sollen. Da es aufgrund des aufwendigen optischen Aufbaus in der Regel unmöglich ist, die optischen Eigenschaften der Objektive aus theoretischen Rechnungen abzuleiten, müssen die optischen Eigenschaften zumindest beim Zusammenbau und der Justage der optischen Abbildungssysteme zuverlässig gemessen werden. Wünschenswert ist es auch, die optischen Eigenschaften der Projektionsobjektive während des Betriebs am Einsatzort messen zu können, um etwaigen Verschlechterungen der Abbildungsqualität zeitnah entgegenwirken zu können.

25

Häufig werden interferometrische Messverfahren eingesetzt. Eine nach Art eines Shearing-Interferometers arbeitende Vorrichtung zur Wellenfronterfassung, die eine schnelle, hoch genaue Vermessung höchstauflösender photolithographischer Projektionsobjektive ermöglicht, ist in der Deutschen Patentanmeldung DE 101 09 929 beschrieben. Diese umfasst eine Wellenfrontquelle zur Erzeugung mindestens einer das Abbildungssystem durchlaufenden Wellenfront,

30

- 2 -

ein dem Abbildungssystem nachgeordnetes Beugungsgitter zur Wechselwirkung mit der vom Abbildungssystem umgeformten Wellenfront und einen dem Beugungsgitter nachgeordneten, ortauflösenden Detektor zur Erfassung von interferometrischer  
5 Information. Die räumliche Struktur der Wellenfrontquelle dient dabei zur Formung der räumlichen Kohärenz der Wellenfront. Bei der hierdurch möglichen Shearing-Interferometrie werden prinzipiell verschiedene Orte der Pupille des Abbildungssystems interferometrisch miteinander  
10 ungebengt durchlaufenden nullten Beugungsordnung mit dem Licht der ersten Beugungsordnungen überlagert wird.

Als Wellenfrontquelle kann ein Wellenfrontmodul verwendet werden, welches eine in der Objektebene anzuordnende Lochmaske mit  
15 zweidimensionaler Lochstruktur, eine der Lochmaske vorgeschaltete, refraktive, diffraktive oder reflektive Fokussieroptik zur Konzentration von einfallendem Beleuchtungslicht auf die Löcher der Lochmaske sowie eine der Fokussieroptik vorgeschaltete Mattscheibe zur Homogenisierung der Intensitätsverteilung in der Maskenebene und  
20 gegebenenfalls zur Verringerung der räumlichen Kohärenz umfasst. Durch Verwendung derartiger Wellenfrontmodule ist es möglich, das Beleuchtungssystem einer Projektionsbelichtungsanlage gleichzeitig als Beleuchtungssystem der interferometrischen Messeinrichtung zu nutzen, um beispielsweise am Einsatzort der  
25 Projektionsbelichtungsanlage von Zeit zu Zeit die Abbildungsqualität des Projektionsobjektivs zu überprüfen. Hierzu ist jeweils ein Austausch der für den Chipherstellungsbetrieb vorgesehenen Retikel mit den die Chipstruktur repräsentierenden Nutzmustern gegen ein derartiges Wellenfrontmodul notwendig.

30

Es ist eine Aufgabe der Erfindung, eine interferometrische Messvorrichtung der eingangs erwähnten Art zu schaffen, die sich durch

einen einfachen Aufbau im Bereich der Wellenfrontquelle auszeichnet. Insbesondere soll die Messvorrichtung einfach in eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage integrierbar sein und schnelle und störungsfreie Messungen an Projektionsobjektiven in deren  
5 Betriebszustand ermöglichen.

Zur Lösung dieser Aufgabe schlägt die Erfindung eine Messvorrichtung mit den Merkmalen von Anspruch 1 vor. Weiterhin wird eine Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithographie gemäß den  
10 Merkmalen von Anspruch 17 vorgeschlagen, bei der eine derartige Messvorrichtung integriert ist. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben. Der Wortlaut sämtlicher Ansprüche wird durch Bezugnahme zum Inhalt der Beschreibung gemacht.

15 Eine erfindungsgemäße Messvorrichtung ist zur interferometrischen Vermessung von optischen Abbildungssystemen vorgesehen, welches zur Abbildung eines an einer Maske vorgesehenen Nutzmusters in die Bildebene des Abbildungssystems vorgesehen sind. Dieses an der Maske bzw. dem Retikel vorgesehenen Nutzmuster repräsentiert  
20 beispielsweise die Struktur eines Halbleiterbauelementes in einem bestimmten Fertigungsschritt. Die Messvorrichtung hat eine Wellenfrontquelle zur Erzeugung mindestens einer das Abbildungssystem durchlaufenden Wellenfront, ein hinter dem Abbildungssystem angeordnetes oder anordenbares Beugungsgitter zur  
25 Wechselwirkung mit der vom Abbildungssystem umgeformten Wellenfront und einen dem Beugungsgitter zugeordneten ortauflösenden Detektor zur Erfassung von interferometrischer Information. Erfindungsgemäß umfasst die Wellenfrontquelle mindestens ein Messmuster, das zusätzlich zu dem Nutzmuster an der  
30 Maske bzw. an dem Retikel vorgesehen ist.

Somit ist es möglich, die Messstrukturen für das Interferometer, welche herkömmlich in einem gesonderten Mess-Retikel vorhanden waren, in den üblichen Retikeln für die Chipstrukturen zu integrieren. Damit entfällt die Notwendigkeit, vor einer interferometrischen Messung eines Projektionsobjektivs das bei der Chipherstellung verwendete Chipherstellungs-Retikel gegen ein gesondertes Mess-Retikel (z.B. ein Wellenfrontmodul) auszutauschen. Vielmehr ist das Messmuster, welches wegen seiner kohärenzformenden Eigenschaften auch als Kohärenzmuster bezeichnet werden kann, als Teil des für die Herstellung strukturierter Bauteile verwendeten Retikels an diesem Retikel vorgesehen. Dadurch können die Kosten für die Bereitstellung einer interferometrischen Messvorrichtung deutlich reduziert werden. Außerdem sind interferometrische Messungen an eingebauten Objektiven schneller als bisher möglich, was die Maschinenstillstandzeiten verringert und dadurch die Produktivität der Projektionsbelichtungsanlage erhöht. Zudem ist es auf besonders einfache Weise möglich, zeitnah zum Herstellungsprozess Messdaten über Projektionsobjektive zu erhalten, um beispielsweise einer Verschlechterung der Abbildungsqualität rechtzeitig durch geeignete Manipulationen am Projektionsobjektiv entgegenwirken zu können. Mit erfindungsgemäßen Messvorrichtungen ist es lediglich erforderlich, das im Bereich der Bildebene des Projektionsobjektivs angeordnete, zu belichtende Bauteil, beispielsweise einen Halbleiterwafer, für die Messung kurzzeitig gegen ein an die Messstruktur angepasstes Beugungsgitter auszutauschen. Der ortsauflösende Detektor kann fest in die Projektionsbelichtungsanlage integriert oder gemeinsam mit dem Beugungsgitter aus- oder eintauschbar sein.

Die Orte von Messstruktur und Beugungsgitter können auch vertauscht sein. Sie sind in optisch zueinander konjugierten Ebenen anzuordnen. Somit kann das Gitter zusätzlich zu dem Nutzmuster am Retikel vorgesehen sein.

Um aus den Shearing-Interferogrammen eine vorzugsweise zweidimensionale Phasenverteilung berechnen zu können, sind bei einem bevorzugten Messverfahren mehrere Interferogramme mit  
5 verschiedenen Phasenlagen nötig. Die Phasenlage kann durch Phasenschieben, d.h. durch Verschiebung des bildseitigen Beugungsgitters und/oder durch Verschiebung der objektseitigen Maske variiert werden. Hierfür kann die Messvorrichtung geeignete Verschiebungseinrichtungen aufweisen, von denen eine z.B. in die  
10 Wafer-Stage integriert sein kann.

Das Messmuster kann eine eindimensionale periodische Struktur mit einer einzigen Periodizitätsrichtung aufweisen. Bevorzugt sind Messmuster mit zweidimensionaler Struktur und mindestens zwei quer  
15 zu einander verlaufenden Periodizitätsrichtungen, insbesondere solche mit zwei orthogonalen Periodizitätsrichtungen. Durch die bevorzugt zweidimensionale Struktur der Wellenfrontquelle kann die räumliche Kohärenz der Strahlung so angepasst werden, dass die von dem optischen System umgeformten Wellenfronten in mehreren Richtungen  
20 hochgenau gemessen werden können. Als zweidimensionale Strukturen kommen beispielsweise alle in der DE 101 09 929 beschriebenen Strukturen in Betracht.

Das Beugungsgitter, welches ebenfalls eindimensional oder  
25 zweidimensional periodisch sein kann, ist bevorzugt in Abhängigkeit von der Struktur des Messmusters derart ausgebildet, dass zur Interferenz am Beugungsgitter nur bestimmte Beugungsordnungen beitragen, z.B. nur die nullte und erste Beugungsordnung. Sämtliche in der DE 101 09 929 angesprochenen Beugungsgittertypen wie z.B. Phasengitter,  
30 Amplitudengitter oder reflektierende Gitter sind möglich. Bevorzugt sind Beugungsgitter, die für unterschiedliche Richtungen jeweils eine beugende, periodische Struktur aufweisen, wodurch es möglich wird,

aus einzelnen Interferogrammen Phasengradienten in mehr als einer Richtung zu bestimmen. Günstig sind Beugungsgitter mit orthogonal zueinander verlaufenden Periodizitätsrichtungen, beispielsweise Schachbrettgitter oder Kreuzgitter, möglich sind aber auch Gitter mit  
5 anderen Symmetrien, beispielsweise mit Winkeln von  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  oder  $120^\circ$  zwischen Periodizitätsrichtungen.

Bei bevorzugten Messsystemen wird zur Beleuchtung der Wellenfrontquelle ein Beleuchtungssystem einer mikrolithographischen  
10 Projektionsbelichtungsanlage verwendet, wodurch eine gezielte Formung des Beleuchtungslichts möglich ist. Dadurch wird es insbesondere möglich, die Messvorrichtung in eine Projektionsbelichtungsanlage zu integrieren und das Projektionsobjektiv im Einbauzustand während Produktionspausen von Zeit zu Zeit zu  
15 vermessen. Das Beleuchtungssystem kann auch Teil eines gesonderten Messstandes sein, um beispielsweise zu Justagezwecken insbesondere beim Zusammenbau von Projektionsobjektiven diese zu vermessen.

Die hier bevorzugt verwendeten Beleuchtungssysteme haben eine  
20 Lichtmischeinrichtung zur Homogenisierung des Beleuchtungslichtes einer Lichtquelle. Die Lichtmischeinrichtungen, welche insbesondere mindestens einen Wabenkondensor oder mindestens einen nach Art eines Kaleidoskops arbeitenden Lichtleitstab aufweisen, erzeugen in einer Pupillenebene des Beleuchtungssystems ein zweidimensionales  
25 Raster von sekundären Lichtquellen, die im Falle von Wabenkondensoren im wesentlichen kreisförmig und im Falle von Lichtleitstäben in der Regel rechteckförmig sind. Eine entsprechende parzellierte Ausleuchtung kann dann auch in einer zur Pupillenebene des Beleuchtungssystems konjugierten Pupillenebene des  
30 Abbildungssystems vorliegen. Dadurch entsteht eine inhomogene Pupillenausleuchtung mit in mehreren Periodizitätsrichtungen periodisch wechselnden Intensitäten. Diese Inhomogenität der

- 7 -

Pupillenausleuchtung, die im folgenden auch als Parzellierung bezeichnet wird, kann die Genauigkeit der interferometrischen Messung beeinträchtigen. Gemäß der Erfindung können mehrere alternativ oder kumulativ einsetzbare Maßnahmen zur Vermeidung derartiger  
5 Beeinträchtigungen vorgesehen sein.

Gemäß einer Weiterbildung ist vorgesehen, dass die Maske in mindestens einem Bereich eine streuende Struktur zur Homogenisierung der Intensitätsverteilung im Lichtweg der streuenden  
10 Struktur und gegebenenfalls zur Verminderung der räumlichen Kohärenz des Beleuchtungslichtes aufweist. Die streuende Struktur kann eine Änderung des Lichtleitwertes der Strahlung herbeiführen, indem vorher nicht vorhandene Winkel von Lichtstrahlen hinzugefügt und/oder die vorhandene Winkelverteilung modifiziert wird. Die streuende Struktur  
15 kann eine statistische Verteilung von Streuzentren haben, wie beispielsweise bei einer Mattscheibe. Es können auch regelmäßig verteilte Streuzentren vorliegen, z.B. in Form gekreuzter Zylinderlinsen. Es kann sich um unregelmäßige oder regelmäßige Strukturen handeln, die z.B. durch Ätzen oder eine andere oberflächenaufrauende  
20 Behandlung erzeugt werden. Auch computertechnisch erzeugte Hologramme (CGH) sind als streuende Strukturen möglich. Streuende Strukturen am Retikel können es z.B. ermöglichen, ein Abbildungssystem bei seiner vollen numerischen Apertur zu vermessen, auch wenn das vorgeschaltete Beleuchtungssystem eine kleinere  
25 numerische Apertur hat. Mit Hilfe der Streuung können dabei auch ansonsten unbelichtete Bereiche der Pupille ausgeleuchtet werden. Auf diese Weise können streuende Strukturen zwischen Beleuchtungssystem und zu vermessendem System durch Einführung weiterer Winkel vermittelnd wirken.

30

Die streuende Struktur kann so angeordnet sein, dass das Messmuster unabhängig vom Grad der Intensitätsinhomogenität des

Beleuchtungslichts weitgehend homogen beleuchtet wird, so dass zur räumlichen Kohärenzformung des Messlichts im wesentlichen nur das Messmuster beiträgt. Insbesondere kann vorgesehen sein, dass die Maske einen transparenten Träger mit einer der Lichtquelle  
5 zugewandten Lichteintrittsseite und einer das Messmuster tragenden Lichtraustrittsseite aufweist und dass die streuende Struktur im Bereich des Messmusters auf der Lichteintrittsseite des Trägers angeordnet ist. Wird eine solche Maske im Bereich der Objektebene des  
10 Abbildungssystems so angeordnet, dass ihre Lichtraustrittsseite mit dem Messmuster und dem Nutzmuster im Bereich der Objektebene liegt, so ist die nach Art einer Mattscheibe oder Streuscheibe wirkende, streuende Struktur im Lichtweg vor dem Messmuster angeordnet und kann gegebenenfalls dafür sorgen, dass trotz parzelliertem  
15 Beleuchtungslicht die Messstruktur im wesentlichen ohne Parzellierung, d.h. weitgehend inkohärent beleuchtet wird. Der transparente Träger kann für Anwendungen im Ultraviolettlichtbereich beispielsweise aus synthetischem Quarzglas, Kalziumfluorid oder einem anderen  
20 Fluoridkristallmaterial bestehen. Die streuende Struktur kann durch eine lokale Mattierung bzw. Aufrauung der Lichteintrittsseite gebildet sein.

20 Es ist auch möglich, alternativ oder zusätzlich mindestens eine streuende Struktur auf einer Ebene bzw. Fläche mit dem Messmuster (z.B. an der Lichtraustrittsseite einer transparenten Maske) anzuordnen. Streuende Strukturen die neben und/oder zwischen den Strukturen  
25 eines Nutzmusters liegen, können insbesondere auch bei reflektierenden Masken günstig sein, die bei kürzesten Wellenlängen im extremen Ultraviolettbereich (EUV), z.B. bei 13nm Wellenlänge, verwendet werden.

30 Wenn eine Pupillenebene des Abbildungssystems eine Pupillenintensitätsverteilung hat, die in mindestens einer Periodizitätsrichtung mit einer Pupillenperiode periodisch variiert, kann

es vorteilhaft sein, wenn das Messmuster und das Beugungsgitter aneinander angepasste periodische Strukturen aufweisen, die derart an die Pupillenintensitätsverteilung angepasst sind, dass ein Scherabstand in einer der Periodizitätsrichtung der Pupillenebene entsprechenden Scherrichtung dieser Pupillenperiode oder einem ganzzahligen Vielfachen der Pupillenperiode entspricht. Dadurch kann erreicht werden, dass nur solche Bereiche der Pupillenebene des Abbildungssystems mittels Shearing-Interferometrie mit einander verglichen werden, die im wesentlichen die gleiche Beleuchtungsintensität haben. Dadurch steht bei hoher Grundintensität des Interferenzmusters eine große Modulationsbreite der Interferenzintensität für die Messung zur Verfügung. Diese Maßnahme kann auch unabhängig von den anderen Maßnahmen der Erfindung vorteilhaft sein, beispielsweise bei Messvorrichtungen der in der DE 101 09 929 beschriebenen Art.

Hat die Pupillenintensitätsverteilung des Abbildungssystems eine erste Periodizitätsrichtung mit einer ersten Pupillenperiode und mindestens eine quer zur ersten Periodizitätsrichtung verlaufende zweite Periodizitätsrichtung mit einer zweiten Pupillenperiode, so sind die periodischen Strukturen von Messmuster und Beugungsgitter vorzugsweise derart ausgebildet, dass ein erster Scherabstand in einer der ersten Periodizitätsrichtung entsprechenden ersten Scherrichtung der ersten Pupillenperiode oder einem ganzzahligen Vielfachen davon entspricht und ein zweiter Scherabstand in einer der zweiten Periodizitätsrichtung entsprechenden zweiten Scherrichtung der zweiten Pupillenperiode oder einem ganzzahligen Vielfachen davon entspricht. Dadurch sind mehrdimensionale Messungen ohne Beeinträchtigung durch inhomogene Beleuchtung möglich. Die Periodizitätsrichtungen der Pupillenebene bzw. des Messmusters und des Beugungsgitters können dabei insbesondere senkrecht zueinander stehen, beispielsweise bei Beleuchtungssystemen mit Stabintegratoren als Lichtmischelement.

Die erste und zweite Pupillenperiode können unterschiedliche Länge haben, was beispielsweise dann der Fall ist, wenn im  
5 Beleuchtungssystem ein Stabintegrator mit einem Rechteckquerschnitt verwendet wird, bei dem das Verhältnis der Seitenlängen ein von eins abweichendes Aspektverhältnis hat. Das Messmuster und das Beugungsgitter können eine dementsprechende nicht-quadratische Vieleckstruktur haben, beispielsweise in Form von rautenförmigen  
10 Schachbrettgittern.

Bei ausreichender lateraler Ausdehnung der Parzellen bzw. der Bereiche hoher Intensität in der Pupillenebene des Abbildungssystems kann es auch günstig sein, einen Scherabstand einzustellen, der klein  
15 gegen die Ausdehnung der Parzelle ist. Dadurch können zwei oder mehrere Punkte innerhalb eines Intensitätsmaximums der Beleuchtungsintensität weitgehend frei von Intensitäts- und Modulationsschwankungen verglichen werden.

20 Wenn der Scherabstand nicht oder nur unvollkommen an die Periodizität einer inhomogenen Pupillenausleuchtung angepasst ist, kann es in Abwesenheit wirksamer Maßnahmen zur Homogenisierung der Intensität bzw. zur Zerstörung der Parzellierung des Beleuchtungslichtes zu Schwankungen der Modulation über die Pupille kommen. Um  
25 negative Auswirkungen auf die Messgenauigkeit zu vermeiden, ist bei bevorzugten Weiterbildungen vorgesehen, die entstehenden Interferogramme nur in solchen ausgewählten Bereichen auszuwerten, die ein ausreichendes Signal/Rauschverhältnis haben. Hierzu kann eine Auswerteeinrichtung zur ortsauflösenden Auswertung von  
30 Detektorsignalen vorgesehen sein, bei der die Auswertung räumlich selektiv in Abhängigkeit von mindestens einer Auswerteschwellbedingung möglich ist. Auf diese Weise kann erreicht

werden, dass nur Signale aus „guten“ Bereichen selektiert und weiterverarbeitet werden, während Signale aus „schlechten“ Bereichen nicht zur weiteren Auswertung herangezogen werden. Eine bevorzugte Variante dieser selektiven Auswertung sieht vor, dass zur Bildung eines  
5 zur Weiterverarbeitung vorgesehen Signals nur Signale aus Detektorbereichen beitragen, für die die Signalintensität einen Intensitätsschwellwert und gleichzeitig eine Signalmodulation einen Modulationsschwellwert überschreitet.

10 Diese selektive Auswertung von Signalen aus Detektorbereichen ausreichend guter Signalqualität kann unabhängig von den sonstigen Merkmalen der Erfindung auch bei anderen interferometrischen Messverfahren bzw. Messsystemen vorteilhaft sein, beispielsweise bei den in der DE 101 09 929 beschriebenen Messeinrichtungen und –  
15 verfahren.

Die Erfindung betrifft auch eine Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithographie, beispielsweise einen Wafer-Stepper oder Wafer-Scanner, bei der eine erfindungsgemäße interferometrische  
20 Messeinrichtung integriert ist. Derartige Projektionsbelichtungsanlagen können ohne größere Störungen des Produktionsablaufs am Produktionsstandort und während eines Produktionszyklus auf ihre Produktionsqualität z.B. auf die Einhaltung von Toleranzgrenzen der jeweiligen Bildfehler des Projektionsobjektivs hin überwacht werden. Da  
25 die Messstruktur bereits in das für die Chipherstellung verwendete Retikel integriert ist und zur Beleuchtung das Beleuchtungssystem der Projektionsbelichtungsanlage verwendet werden kann, ist es für einen Übergang zwischen Produktion und Messung lediglich erforderlich, das Beugungsgitter betriebsmäßig in die Bildebene des Projektionsobjektivs  
30 zu bringen und aus ihr zu entfernen und einen Detektor so anzuordnen, dass entstehende Interferenzmuster erfasst werden können.

Besonders günstig ist es, wenn die Projektionsbelichtungsanlage eine Aberrationssteuerung oder -regelung aufweist, die in Abhängigkeit von Messsignalen der Messvorrichtung über Wirkelemente bzw. Manipulatorelemente auf die Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektivs einwirken kann. Die Produktionsüberwachung und optische Qualitätsüberwachung kann mit der Betriebslichtquelle bei der Betriebswellenlänge der Projektionsbelichtungsanlage durchgeführt werden.

10 Die vorstehenden und weiteren Merkmale gehen außer aus den Ansprüchen auch aus der Beschreibung und den Zeichnungen hervor, wobei die einzelnen Merkmale jeweils für sich alleine oder zu mehreren in Form von Unterkombinationen bei einer Ausführungsform der Erfindung und auf anderen Gebieten verwirklicht sein und vorteilhafte  
15 sowie für sich schutzfähige Ausführungen darstellen können.

Fig.1 ist eine schematische Darstellung einer als Wafer-Stepper ausgebildeten Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage, in die eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen  
20 Messvorrichtung integriert ist;

Fig. 2 ist eine schematische Darstellung der Parzellierung der Beleuchtungsintensität in der Pupillenebene des Projektionsobjektivs;

25 Fig. 3 ist ein schematischer Schnitt durch eine bevorzugte Ausführungsform eines Retikels, welches ein Nutzmuster für die Chipherstellung und daneben ein Messmuster der interferometrischen Messvorrichtung enthält;

30 Fig. 4 zeigt in (a) einen Ausschnitt eines Beugungsgitters mit Rautenstruktur und unterschiedlichen Gitterperioden in

orthogonalen Gitterrichtungen und in (b) eine Variante mit orthogonalen Lineargittern unterschiedlicher Perioden, die nebeneinander angeordnet sind; und

- 5 Fig. 5 ist ein schematischer Schnitt durch den Bereich der Pupille und der Bildebene des Projektionsobjektivs mit Beugungsgitter und Detektor zur Erläuterung einer ortselektiven Auswertung von Detektorsignalen mit der Identifizierung von gut auswertbaren Bereichen (a) und schlecht auswertbaren Bereichen (b).

10

In Fig. 1 ist schematisch eine Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage in Form eines Wafer-Steppers 1 gezeigt, der zur Herstellung von hochintegrierten Halbleiterbauelementen vorgesehen ist. Die Projektionsbelichtungsanlage umfasst als Lichtquelle einen Excimer-  
15 Laser 2, der Licht mit einer Arbeitswellenlänge von 248nm ausstrahlt, wobei die Arbeitswellenlänge bei anderen Ausführungsformen auch darunter, beispielsweise bei 193nm oder 157nm oder darüber liegen kann. Es gibt auch Systeme, die mit kürzeren Wellenlängen aus dem EUV-Bereich und entsprechenden Lichtquellen arbeiten. Ein  
20 nachgeschaltetes Beleuchtungssystem 3 erzeugt ein großes, scharf begrenztes und homogen beleuchtetes Bildfeld, das an die Telezentrie-Erfordernisse des nachgeschalteten Projektionsobjektives 4 angepasst ist. Das Projektionsobjektiv 4 ist eine bevorzugte Ausführungsform eines zu vermessenden optischen Abbildungssystems. Das  
25 Beleuchtungssystem hat Einrichtungen zur Auswahl des Beleuchtungsmodus und ist beispielsweise zwischen konventioneller Beleuchtung mit variablem Kohärenzgrad, Ringfeldbeleuchtung und Dipol- oder Quadrupolbeleuchtung umschaltbar. Es umfasst als Lichtmischelement einen aus transparentem Material bestehenden  
30 Stabintegrator 5 mit Rechteckquerschnitt, der in einer Pupillenebene 6 des Beleuchtungssystems eine parzellierte Rasteranordnung sekundärer Lichtquellen erzeugt, welche jeweils die Rechteckform des

Stabquerschnitts haben und mit lateralem Abstand zueinander angeordnet sind. Hinter dem Beleuchtungssystem ist eine Einrichtung 7 zum Halten und Manipulieren einer Maske 8 so angeordnet, dass die Maske (Retikel) im Bereich der Objektebene 9 des Projektionsobjektivs  
5 liegt und in dieser Ebene zum Scannerbetrieb in einer Abfahrriichtung 10 (y-Richtung) mit Hilfe eines Scannerantriebs 11 bewegbar ist.

Hinter der Objektebene bzw. Maskenebene 9 folgt das Projektionsobjektiv 4, das als Reduktionsobjektiv wirkt und während der  
10 Chipherstellung ein Bild eines an der Maske 8 vorgesehenen Nutzmusters 35 (Fig. 3) in reduziertem Maßstab, beispielsweise im Maßstab 1:4 oder 1:5, auf einen nicht gezeigten, mit einer Photoresistschicht belegten Wafer abbildet, der in der Bildebene 16 des Reduktionsobjektivs 4 angeordnet ist.

15

Der Wafer wird im Produktionsbetrieb durch eine Einrichtung 17 gehalten, die einen Scannerantrieb 18 umfasst, um den Wafer synchron mit dem Retikel 8 parallel zur Abfahrriichtung 10 zu bewegen. Die auch als Wafer-Stage bezeichnete Einrichtung 17 erlaubt darüber hinaus eine  
20 gesteuerte Bewegung von in der Wafer-Stage aufgenommenen Gegenständen in zwei senkrecht zueinander und senkrecht zur optischen Achse 12 verlaufenden Richtungen sowie Verschiebungen parallel zur optischen Achse. Alle Systeme werden von einer Steuereinheit 19 gesteuert.

25

Das Projektionsobjektiv ist beispielhaft als ein zur optischen Achse 12 rotationssymmetrisches, rein refraktives Objektiv ausgebildet. Es kann sich auch um ein katadioptrisches Projektionsobjektiv mit physikalischer oder geometrischer Strahlteilung handeln. Für niedrigere Wellenlängen,  
30 beispielsweise im Bereich weicher Röntgenstrahlung, sind auch rein reflektive Systeme möglich.

Die Projektionsbelichtungsanlage ist so ausgelegt, dass im Bereich der Austrittsfläche des Stabintegrators 5 eine Feldebene des Beleuchtungssystems liegt, welche optisch konjugiert zur Objektebene 9 und zur Bildebene 16 des Projektionsobjektives ist. Zwischen 5 Lichtleitstab 5 und der Bildebene 9 des Beleuchtungssystems liegt die Pupille 6 des Beleuchtungssystems, welche optisch konjugiert zur Pupillenebene 20 des Projektionsobjektives ist. Dementsprechend kann in der Pupillenebene 20 des Projektionsobjektives eine der Intensitätsverteilung in der Pupillenebene 6 des Beleuchtungssystems 10 entsprechende inhomogene, gerasterte bzw. parzellierte Intensitätsverteilung vorliegen. Diese ist schematisch in Fig. 2 gezeigt.

In die Projektionsbelichtungsanlage 1 ist eine nach Art eines Shearing-Interferometers arbeitende interferometrische Messvorrichtung zur 15 Vermessung der Abbildungsqualität des Projektionsobjektives 4 integriert. Die Messvorrichtung hat eine Wellenfrontquelle 31 mit einer zweidimensional periodischen Struktur zur Erzeugung einer Vielzahl von das Projektionsobjektiv 4 durchlaufenden Wellenfronten, ein in der Bildebene 16 des Projektionsobjektives anordenbares Beugungsgitter 20 32 zur Wechselwirkung mit den vom Abbildungssystem 4 umgeformten Wellenfronten und einen dem Beugungsgitter nachgeordneten, ortsauflösenden Detektor 33 zur ortsauflösenden Erfassung von interferometrischer Information, die sich aus der Überlagerung von am Beugungsgitter 32 gebeugten und ungebeugten Wellenfronten ergibt 25 (vgl. Fig. 5). Der Detektor ist an eine Auswerteeinrichtung 43 angeschlossen.

Der Detektor 33 zur Erfassung der entstehenden Interferenzmuster ist im Ausführungsbeispiel ohne Zwischenschaltung optischer Elemente 30 unmittelbar hinter dem Beugungsgitter 32 angeordnet und hat als Bildsensor einen CCD-Chip 60, der eine ortauflösende, lichtempfindliche Sensorfläche bildet und in eine Vielzahl von flächenfüllend

angeordneten Bildpunkten (Pixeln) unterteilt ist (Fig. 5). Er kann getrennt von dem Beugungsgitter beweglich sein, ist jedoch bevorzugt mit dem Beugungsgitter zu einer einfach aufgebauten, kompakten Beugungsgitter-Detektor-Einheit 61 zusammengefasst, die als Ganzes  
5 in die Wafer-Stage 17 eingebracht bzw. aus dieser entnommen werden kann. Es gibt auch Ausführungsformen, bei denen der Detektor hinter der Bildebene 16 fest installiert ist und nur eine Beugungsgitter-Einheit auswechselbar gestaltet ist. Die Kombination aus Beugungsgitter und Detektor kann insbesondere jede in der DE 101 09 929 beschriebene  
10 Gestaltung haben. Beispielsweise kann zwischen Beugungsgitter 32 und Sensorfläche 60 ein vorzugsweise telezentrisches, optische Abbildungssystem und/oder eine ebene oder gekrümmte Sekundärstrahlerfläche vorgesehen sein.

15 Um aus den Shearing-Interferogrammen eine vorzugsweise zweidimensionale Phasenverteilung berechnen zu können, werden mehrere Interferogramme mit verschiedenen Phasenlagen aufgenommen. Die Phasenlage wird durch Phasenschieben, d.h. durch eine Relativverschiebung zwischen Messmuster und Beugungsgitter  
20 senkrecht zur optischen Achse variiert. Die Verschiebungswege bei diesem Vorgang betragen typischerweise Bruchteile der Gitterperiode. Bei der gezeigten Ausführungsform wird das bildseitige Beugungsgitter 32 verschoben. Alternativ oder zusätzlich kann auch die Maske mit dem Messmuster verschoben werden. Die Verschiebungen erfolgen jeweils  
25 parallel zu den auszuwertenden Periodizitätsrichtungen. Hierfür hat die Messvorrichtung eine geeignete Verschiebungseinrichtung, die im Beispielsfall durch die Wafer-Stage 17 gebildet wird. Beim Phasenschieben entsteht an jedem Bildort des Detektors ein für das Interferenzmuster charakteristisches, über die Zeit  $t$  periodisch  
30 wechselndes Intensitätssignal  $I(t)$  (Fig. 5 (a) und (b)).

Die Wellenfrontquelle 31 nutzt das Licht des Beleuchtungssystems 3. Wie anhand von Fig. 3 verdeutlicht, umfasst die Wellenfrontquelle ein mit diesem Licht beleuchtetes Messmuster 34, das in einem gesonderten Randbereich des Retikels 8 neben dem für die  
5 Chipherstellung verwendeten Nutzmuster 35 an der ebenen Lichtaustrittsseite 37 des Retikels 8 vorgesehen ist und im gezeigten Beispiel eine rautenförmige Elementarzelle hat. Bei der gezeigten Ausführungsform hat das Retikel 8 einen aus synthetischem Quarzglas oder Kalziumfluorid bestehenden transparenten Träger in Form einer  
10 planparallelen Platte 36, die derart in die Retikel-Stage 7 eingebaut wird, dass ihre der Lichtquelle abgewandte Lichtaustrittsseite 37 in der Objektebene 9 des Projektionsobjektives liegt. An der gegenüberliegenden Lichteintrittsseite 38 ist im Bereich des Messmusters 34 durch Aufrauung der ansonsten glatt polierten, ebenen  
15 Oberfläche 38 eine streuende Struktur 39 gebildet. Sie dient dazu, aus der vom Beleuchtungssystem kommenden, aufgrund der Parzellierung der Pupille 6 räumlich inhomogenen Strahlung 40 im wesentlichen räumlich homogenen Strahlung 41 zu formen, welche auf das Messmuster 34 fällt. Die wesentliche Funktion der streuenden Struktur  
20 ist somit die Homogenisierung der Intensitätsverteilung bzw. die Zerstörung der Parzellierung durch Intensitätsmittlung. Die räumliche Kohärenz der den Messbereich 42 verlassenden Strahlung wird im wesentlich nur durch die kohärenzformenden Eigenschaften des Messmusters 34 bestimmt. Dieses erzeugt eine zweidimensional  
25 strukturierte Anordnung von Wellenfrontquellen. Hierzu kann das Messmuster nach Art einer Lochmaske mit transparenten und lichtundurchlässigen Bereichen ausgebildet sein, um eine Wellenfrontquelle mit hohem Kontrast zu bilden.

30 Das Beugungsgitter 32, welches für die Messung in die Bildebene 16 des Projektionsobjektives eingebracht wird, umfasst ein nach Art eines Rauten-Schachbrettgitters gebildetes Beugungsgitter, welches die

Interferenz, d.h. die laterale Scherung der Wellenfronten bewirkt. Als Besonderheit ist vorgesehen, dass die Periodizität des Beugungsmusters in den beiden senkrecht zueinander stehenden Periodizitätsrichtungen  $x$  und  $y$  unterschiedlich ist. Anhand von Fig. 4 (a) ist erkennbar, dass die Gitterkonstante in  $x$ -Richtung des Rauten-Musters größer ist als in  $y$ -Richtung. Die Gitterkonstanten entsprechen dem kurzen bzw. dem langen Durchmesser der Rauten bzw. der Rhomben, welche zueinander senkrecht stehen. Die Periodizitätslängen der Beugungsgitterstruktur sind derart an die unterschiedlichen Periodizitätslängen der parzellierten Objektivpupille (Fig. 2) angepasst, dass die jeweiligen, durch Beugung erzeugten Scherabstände 50, 51 in orthogonal zueinander stehenden Scherrichtungen exakt den Periodizitätslängen der parzellierten Pupille in den entsprechenden Richtungen  $x$  und  $y$  entspricht (Fig. 2).

15

Eine bevorzugte Alternative zu einem Beugungsgitter mit rautenförmiger Elementarzelle ist es, zwei nebeneinander liegende, also räumlich voneinander getrennte Lineargitter mit unterschiedlicher Periode vorzusehen, deren Periodizitätsrichtungen vorzugsweise senkrecht aufeinander stehen. Fig. 4(b) zeigt hierzu beispielhaft ein Beugungsgitter 32'. Die Strukturen, die an einem gemeinsamen Träger vorgesehen sind, werden bei der Messung nacheinander genutzt. Entsprechende Strukturen können auch als Messmuster vorgesehen sein. Verschiedenartige Messmuster- und Gitterstrukturen sind untereinander kombinierbar, so dass beispielsweise ein Messmuster mit nebeneinander liegenden Lineargittern unterschiedlicher Periode und senkrechter Periodizitätsrichtungen in Verbindung mit einem rautenförmigen Beugungsgitter oder eine umgekehrte Kombination nutzbar ist.

25  
30

In jedem Fall bestimmt das Beugungsgitter den Scherabstand. Das Messmuster definiert die Kohärenzfunktion. Durch Wahl geeigneter

Messmuster sind nur bestimmte Strahlen aus der Pupille interferenzfähig, ungewünschte Interferenzen werden unterdrückt. Bevorzugt sollen die Bereiche aus der Pupille interferenzfähig sein, die um einen Scherabstand voneinander entfernt sind. Auf diese Weise  
5 hängen die Strukturgrößen von Messmuster und Beugungsgitter zusammen. Die beiden Strukturen erfüllen somit getrennte Funktionen, zuverlässige Messungen sind aber nur dann möglich, wenn die Dimensionen aufeinander abgestimmt sind.

10 Im übrigen ist es nicht zwingend, dass die Periodizitätsrichtungen von Messmuster und Beugungsgitter senkrecht aufeinander stehen. Auch von  $90^\circ$  abweichende Winkel zwischen den Periodizitätsrichtungen sind möglich. Es ist auch möglich, Strukturen mit mehr als zwei Periodizitätsrichtungen zu verwenden.

15

Anhand Fig. 5 ist ersichtlich, dass der Scherabstand 50 vom Beugungswinkel 52 des Beugungsgitter 32 in der parallel zur x-Richtung verlaufenden Scherrichtung abhängt, wobei hier bevorzugt der Beugungswinkel der ersten Beugungsordnung betrachtet wird. Im  
20 Beispielfall der Fig. 5 ist der Beugungswinkel 52 erster Ordnung so gewählt, dass durch Shearing-Interferometrie die Bereiche zweier unmittelbar nebeneinander liegender Parzellen 53, 54 in der Pupillenebene 20 miteinander verglichen werden. Entsprechendes gilt für die y-Richtung, in der eine kleinere Beugungsgitterkonstante zu  
25 größeren Scherabständen führt.

Durch Wahl geeigneter Gitterabstände des Beugungsgitters ist es auch möglich, die Bereiche weiter entfernt zueinander liegender Parzellen zu vergleichen oder den Scherabstand so klein einzustellen, dass er klein  
30 gegenüber der entsprechenden Ausdehnung der Parzelle wird.

In jeden Fall kann durch Anpassung der Beugungsgitterperioden an die Geometrie der Pupillenparzellierung erreicht werden, dass die miteinander interferierenden Wellenfronten im wesentlichen gleiche Intensität haben, wodurch eine hohe Messgenauigkeit erzielbar ist.

5

Anhand von Fig. 5 wird ein bei bevorzugten Ausführungsformen verwendetes Auswerteverfahren erläutert, bei dem für die Erzeugung des weiterzuverarbeitenden Messsignals nur Signale aus ausgewählten Flächenbereichen der Sensorfläche 60 genutzt werden, wobei sich diese  
10 Flächenbereiche durch ein besonders gutes Signal/Rausch-Verhältnis auszeichnen. Bei dem in Fig. 5 durchgehend gezeichneten Strahl 62 sind die Periodizitätslängen der Messstruktur und des Beugungsgitters so an die zugehörige Periodizität der Pupillenstruktur angepasst, dass der Scherabstand 50 mit der Periodizität der Parzellen in der Pupille 20  
15 in der Scherrichtung zusammenfällt. Dies ergibt am zugehörigen Detektorbereich 63 beim Phasenschieben die in Fig. 5 (a) gezeigte starke Modulation des Intensitätssignals um einen relativ hohen Intensitäts-Mittelwert  $I_M$ . Ist dagegen keine oder nur eine unvollkommene Anpassung der Gitterstrukturen an die  
20 Pupillenparzellierung vorhanden, so können im Interferenzmuster Bereiche entstehen, die schlecht moduliert sind. Im Beispiel ist mit gestrichelter Linie ein gebeugter Strahl 67 gezeigt, bei dem der Scherabstand 65 in der betrachteten Richtung etwa der Hälfte der Periodizitätslänge der Pupillenparzellierung entspricht. Der zugehörige  
25 Detektorbereich 66 erfasst dementsprechend die Überlagerung von Wellen aus einem stark und einem schwach ausgeleuchteten Bereich der Pupille 20. Dies führt beim Phasenschieben zu dem in Fig. 5 (b) schematisch gezeigten Intensitätsverlauf, bei dem das Intensitätssignal zeitlich mit schwacher Modulationsamplitude um einen Intensitäts-  
30 Mittelwert  $I_M$  schwankt, der niedriger liegt als im Falle guter Anpassung an die Pupillenparzellierung (Fig. 5 (a)).

Zur Selektion zwischen gut und weniger gut auswertbaren Flächenbereichen bzw. durch Auswahl zwischen „gültigen“ und „ungültigen“ Pixeln werden nur Signale aus solchen Flächenbereichen weiterverarbeitet, die einer vorgegebenen

5 Auswertungsschwellenbedingung genügen. Bevorzugt werden nur Signale aus solchen Bereichen genutzt, bei denen die mittlere Signalintensität  $I_M$  oberhalb eines vorgegebenen Intensitätsschwellwertes liegt und bei denen gleichzeitig die Signalmodulation, d.h. der Absolutunterschied zwischen maximaler

10 Intensität  $I_{max}$  und minimaler Intensität  $I_{min}$  während der periodischen Schwankung, einen Modulationsschwellwert überschreitet. Diese zweifache Auswerteschwellenbedingung ist gegenüber einer einfachen Auswerteschwellenbedingung, beispielsweise basierend auf dem Kontrast der Intensitätsschwankung, zu bevorzugen, weil dadurch eine

15 sichere Identifizierung gut auswertbarer Bereiche möglich ist. Würde z.B. alleine der Kontrast, definiert als Verhältnis zwischen der Differenz maximaler und minimaler Intensität und der Summe maximaler und minimaler Intensität als Schwellkriterium herangezogen, so wäre eine sichere Unterscheidung zwischen guten (Fig. 5 (a)) und schlechten (Fig.

20 5 (b)) Bereichen nicht zuverlässig möglich, da gemäß dieser Definition des Kontrastes beide Bereiche etwa den gleichen Kontrast liefern würden.

Bei der Weiterverarbeitung von Signalen aus mit Abstand

25 nebeneinanderliegenden „guten“ Bereichen wird ein Anpassungsverfahren, z.B. nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate angewandt, um das Gesamt-Interferogramm zu rekonstruieren. Fehlende Daten aus „schlechten“ Bereichen können durch Interpolation ermittelt werden.

30

Dieses Auswerteverfahren stabilisiert das Messsystem gegen im Betrieb auftretende Störungen, die z.B. von Verschmutzungen verursacht

werden können. Es erleichtert gegebenenfalls auch die Randfindung und ist sehr nützlich bei der Vermessung von optischen Systemen mit Obskurationen, z.B. mit Mittenabschattung.

- 5 Auf dieses vorteilhafte Auswerteverfahren kann gegebenenfalls verzichtet werden, wenn durch andere, insbesondere durch die vorstehend beschriebenen konstruktiven Maßnahmen, die negativen Auswirkungen der Pupillenparzellierung vermindert oder beseitigt werden, beispielsweise durch Anpassung des Scherabstandes in allen  
10 Periodizitätsrichtungen an die Pupillenparzellierung und/oder durch die Zerstörung der Parzellierung der Pupillenausleuchtung durch eine streuende Struktur insbesondere vor dem Messmuster.

Die Erfindung ermöglicht auf besonders einfache Weise die Integration  
15 einer interferometrischen Messvorrichtung in eine Projektionsbelichtungsanlage. Zur Umschaltung zwischen Herstellungsbetrieb bei der Chipherstellung und einer zwischengeschalteten Objektivvermessung ist es lediglich erforderlich, anstatt des zu belichtenden Wafers ein geeignetes Beugungsgitter bzw.  
20 eine Detektoreinheit 61 in die Wafer-Stage 17 einzuwechseln. Dadurch wird auch eine einfache Überwachung des Projektionsobjektives am Produktionsort in kurzen Pausen des Produktionszyklus möglich. Vorzugsweise beinhaltet die Messvorrichtung eine Aberrationssteuerung oder Aberrationsregelung, um auf Grundlage der interferometrischen  
25 Messung die Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektives auf bestimmt Werte einzustellen. Hierzu hat die gezeigte Ausführungsform die bereits erwähnte Auswerteeinheit 43, die aus den vom Detektor aufgenommenen Interferogrammen die momentane, für die Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektives 4 charakteristische  
30 Wellenfronttopographie bestimmt. Ein den momentanen Ist-Zustand repräsentierendes Ist-Signal 71 wird an einen Vergleicher 72 übergeben, der das Ist-Signal mit einem Soll-Signal 73 vergleicht, welches die

gewünschten Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektives repräsentiert. Abhängig vom Ergebnis des Vergleiches werden Wirksignale 74 an Wirkelemente 75 bis 77 übertragen, die in einer die Aberrationen des Projektionsobjektives verkleinernden Weise auf die mit  
5 den Wirkelementen gekoppelten, optischen Elemente 78 bis 80 einwirken. Die Wirkelemente können beispielsweise Stellglieder sein, die die zugeordneten Linsen axial und/oder quer zur optischen Achse 12 verschieben oder drehen oder sonstige Aktuatoren, mit denen die zugeordneten Linsen gezielt verformt oder mechanischer Spannung  
10 ausgesetzt werden können. Bei einer Aberrationsregelung werden in einem geschlossenen Kreis die genannten Schritte so lange wiederholt, bis sich die gewünschten Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektivs einstellen. Alternativ ist auch eine ohne Rückkopplung arbeitende Aberrationssteuerung möglich.

15

-----

Patentansprüche

1. Messvorrichtung zur interferometrischen Vermessung eines optischen Abbildungssystems, das zur Abbildung eines an einer Maske vorgesehenen Nutzmusters in die Bildebene des Abbildungssystems vorgesehen ist, mit:  
5 einer Wellenfrontquelle (31) zur Erzeugung mindestens einer das Abbildungssystem (4) durchlaufenden Wellenfront;  
einem hinter dem Abbildungssystem anordenbaren  
10 Beugungsgitter (32) zur Wechselwirkung mit der vom dem Abbildungssystem umgeformten Wellenfront;  
einem dem Beugungsgitter zugeordneten, ortsauflösenden Detektor (33) zur Erfassung von interferometrischer Information, wobei die Wellenfrontquelle (31) mindestens ein Messmuster (34)  
15 aufweist, das zusätzlich zu dem Nutzmuster (35) an der Maske (8) ausgebildet ist.
2. Messvorrichtung nach Anspruch 1, bei dem das Messmuster (34) eine zweidimensionale Struktur mit einer ersten  
20 Periodizitätsrichtung und mindestens einer quer, insbesondere orthogonal zu dieser verlaufenden zweiten Periodizitätsrichtung hat.
3. Messvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, bei dem mindestens ein  
25 Messmuster mit einer rautenförmigen Elementarzelle vorgesehen ist.
4. Messvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem mindestens ein Messmuster mit nebeneinander  
30 angeordneten Lineargittern unterschiedlicher, insbesondere orthogonaler, Periodizitätsrichtungen und unterschiedlicher Periodizitätslängen vorgesehen ist.

5. Messvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Maske (8) in mindestens einem Bereich (42) eine streuende Struktur (39) zur Homogenisierung der Intensitätsverteilung im Lichtweg hinter der streuenden Struktur aufweist.
6. Messvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der im Lichtweg vor dem Messmuster (34) mindestens eine streuende Struktur (39) zur Homogenisierung der Intensität und gegebenenfalls zur Verminderung der räumlichen Kohärenz des auf das Messmuster (34) fallenden Lichtes (41) vorgesehen ist, wobei die streuende Struktur vorzugsweise an der Maske vorgesehen ist.
7. Messvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Maske (8) einen transparenten Träger (36) mit einer Lichteintrittsseite (38) und einer das Messmuster (34) tragenden Lichtaustrittsseite (37) aufweist, wobei eine streuende Struktur (39) im Bereich (42) des Messmusters (34) an der Lichteintrittsseite (38) angeordnet ist.
8. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 7, bei der die streuende Struktur (39) als Aufrauung eines Teilbereichs (42) einer im wesentlichen ebenen Seite, insbesondere der Lichteintrittsseite (38), eines transparenten, plattenförmigen Trägers (36) ausgebildet ist.
9. Messvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der das Abbildungssystem (4) eine Pupillenebene (20) mit einer inhomogenen Pupillenintensitätsverteilung hat, bei der die Lichtintensität in mindestens einer Periodizitätsrichtung mit einer

- 5 Pupillenperiode periodisch variiert, wobei das Messmuster (34) und das Beugungsgitter (32) aneinander angepasste periodische Strukturen aufweisen, die derart an die Intensitätsverteilung der Pupillenebene (20) des Abbildungssystems (4) angepasst sind, dass ein Scherabstand (50, 51) in mindestens einer einer Periodizitätsrichtung der Pupillenebene (20) entsprechenden Scherrichtung der zugeordneten Pupillenperiode oder einem ganzzahligen Vielfachen der Pupillenperiode entspricht.
- 10 10. Messvorrichtung nach Anspruch 9, bei der die Pupillenintensitätsverteilung der Pupille (20) des Abbildungssystems (4) eine erste Periodizitätsrichtung mit einer ersten Pupillenperiode und mindestens eine quer zur ersten Periodizitätsrichtung verlaufende zweite Periodizitätsrichtung mit
- 15 einer zweiten Pupillenperiode aufweist, wobei die periodischen Strukturen von Messmuster (34) und Beugungsgitter (32) derart ausgebildet sind, dass ein erster Scherabstand (50) in einer der ersten Periodizitätsrichtung entsprechenden ersten Scherrichtung der ersten Pupillenperiode oder einem ganzzahligen Vielfachen
- 20 davon und ein zweiter Scherabstand (51) in einer der zweiten Periodizitätsrichtung entsprechenden zweiten Scherrichtung der zweiten Pupillenperiode oder einem ganzzahligen Vielfachen davon entspricht.
- 25 11. Messvorrichtung nach Anspruch 10, bei der eine erste und eine zweite Periodizitätsrichtung der Pupillenebene senkrecht zueinander verlaufen und bei dem das Beugungsgitter zwei zueinander senkrechte Periodizitätsrichtungen aufweist.
- 30 12. Messvorrichtung nach Anspruch 10 oder 11, bei der die erste Pupillenperiode und zweite Pupillenperiode unterschiedliche Länge haben und bei der das Beugungsgitter eine erste und eine

quer dazu verlaufende zweite Periodizitätsrichtung mit unterschiedlicher Gitterperiode aufweist.

- 5 13. Messvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der das Beugungsgitter (32) zwei senkrecht aufeinander stehende Periodizitätsrichtungen mit unterschiedlicher Periodizitätslänge aufweist, wobei das Beugungsgitter vorzugsweise als nicht-quadratisches Schachbrettgitter ausgebildet ist, insbesondere mit rautenförmigen Elementarzellen, oder wobei das Beugungsgitter
- 10 nebeneinander angeordnete Lineargitter unterschiedlicher Periodizitätsrichtung und Periodizitätslängen aufweist.
14. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 13, bei der ein Scherabstand in mindestens Periodizitätsrichtung kleiner als die
- 15 laterale Ausdehnung eines Bereichs hoher Lichtintensität in der Pupillenebene (20) des Abbildungssystems (4) ist.
15. Messvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der eine Auswerteeinrichtung (43) zur selektiven Auswertung von
- 20 Detektorsignalen des Detektors (33) in Abhängigkeit von mindestens einer Auswertungsschwellenbedingung vorgesehen ist.
16. Messvorrichtung nach Anspruch 15, bei der die
- 25 Auswerteeinrichtung (43) derart ausgebildet ist, dass zur Bildung eines zur Weiterverarbeitung vorgesehenen Messsignals nur ausgewählte Detektorbereiche (63) beitragen, für die die Signalintensität einen Intensitätsschwellwert und die Signalmodulation einen Modulationsschwellwert überschreitet.

17. Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithographie mit einem Beleuchtungssystem (3) zur Beleuchtung einer im Bereich der Bildebene (9) des Beleuchtungssystems angeordneten Maske (8), einem Projektionsobjektiv (4) zur Abbildung eines Bildes eines an  
5 der Maske vorgesehenen Nutzmuster (35) in die Bildebene (16) des Projektionsobjektives; und  
einer integrierten Messvorrichtung zur interferometrischen Vermessung des Projektionsobjektives (4) mit:  
einem wahlweise in den Bereich der Bildebene (16) des  
10 Projektionsobjektives einwechselbaren Beugungsgitter (32) und  
einem dem Beugungsgitter zugeordneten, ortsauflösenden Detektor (33) zur Erfassung von interferometrischer Information,  
wobei die Maske (8) zusätzlich zu dem Nutzmuster (35) mindestens ein Messmuster (34) einer Wellenfrontquelle (31) der  
15 Messvorrichtung zur interferometrischen Vermessung des Projektionsobjektives (4) aufweist.
18. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 17, gekennzeichnet durch die Merkmale des kennzeichnenden Teils von mindestens  
20 einem der Ansprüche 2 bis 16.
19. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 17 oder 18, bei der das Beugungsgitter (32) im Austausch mit einem mit Hilfe des Nutzmusters (35) zu belichtenden Substrat, insbesondere einem  
25 Wafer, betriebsmäßig in die Bildebene (16) des Projektionsobjektives bringbar oder aus diesem entfernbar ist.
20. Projektionsbelichtungsanlage nach einem der Ansprüche 17 bis 19, bei der das Projektionsobjektiv (4) mindestens ein optisches  
30 Element aufweist und mindestens einem der optischen Elemente (78, 79, 80) des Projektionsobjektives ein Wirkelement (75, 76, 77) zugeordnet ist, mit dem die Abbildungseigenschaften des

optischen Elementes veränderbar sind und welches über die interferometrische Messvorrichtung steuerbar ist.

21. Maske (8) zur Verwendung bei einer Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithographie, mit einem Träger (36), mindestens einem an dem Träger ausgebildetem Nutzmuster (35) zur Belichtung eines zu strukturierenden, lichtempfindlichen Substrates und mindestens einem zusätzlich zu dem Nutzmuster (35) vorgesehenen Messmuster (34), welches als kohärenzformende Struktur einer Wellenfrontquelle (31) einer interferometrischen Messvorrichtung ausgebildet ist.
22. Maske nach Anspruch 21, bei dem die Maske (8) in mindestens einem Bereich (42) eine streuende Struktur (39) zur Homogenisierung der Intensität von Licht im Lichtweg nach der streuenden Struktur aufweist, insbesondere von auf das Messmuster (34) auffallendem Beleuchtungslicht (40).
23. Maske nach einem der Ansprüche 21 oder 22, bei dem die Maske (8) einen transparenten Träger (36) mit einer Lichteintrittsseite (38) und einer das Messmuster (34) tragenden Lichtaustrittsseite (37) aufweist, wobei die streuende Struktur (39) im Bereich (42) des Messmusters an der Lichteintrittsseite (38) angeordnet ist.
24. Maske (8) zur Verwendung bei einer Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithographie, mit einem Träger (36) und mindestens einem an dem Träger ausgebildetem Nutzmuster (35) zur Belichtung eines zu strukturierenden, lichtempfindlichen Substrates, wobei in mindestens einem Bereich (42) der Maske (8) eine streuende Struktur (39) zur Homogenisierung der Intensität von Licht im Lichtweg hinter der streuenden Struktur vorgesehen ist.

25. Verfahren zur Auswertung von Signalen eines ortsauflösenden Detektors zur Bildung eines zur Weiterverarbeitung vorgesehenen Messsignals mit folgendem Schritt:
- 5 Örtlich selektive Auswertung von Detektorsignalen in Abhängigkeit von mindestens einer Auswertungsschwellenbedingung zur Ermittlung von Flächenbereichen des Detektors mit einem für die Weiterverarbeitung ausreichenden Signal/Rausch-Verhältnis.
- 10 26. Verfahren nach Anspruch 22, bei dem zur Bildung des zur Weiterverarbeitung vorgesehenen Messsignals nur zeitlich modulierte Signale aus Detektorbereichen ausgewählt werden, für die eine Signalintensität einen Intensitätsschwellwert und eine Signalmodulation einen Modulationsschwellwert überschreitet.

15

-----

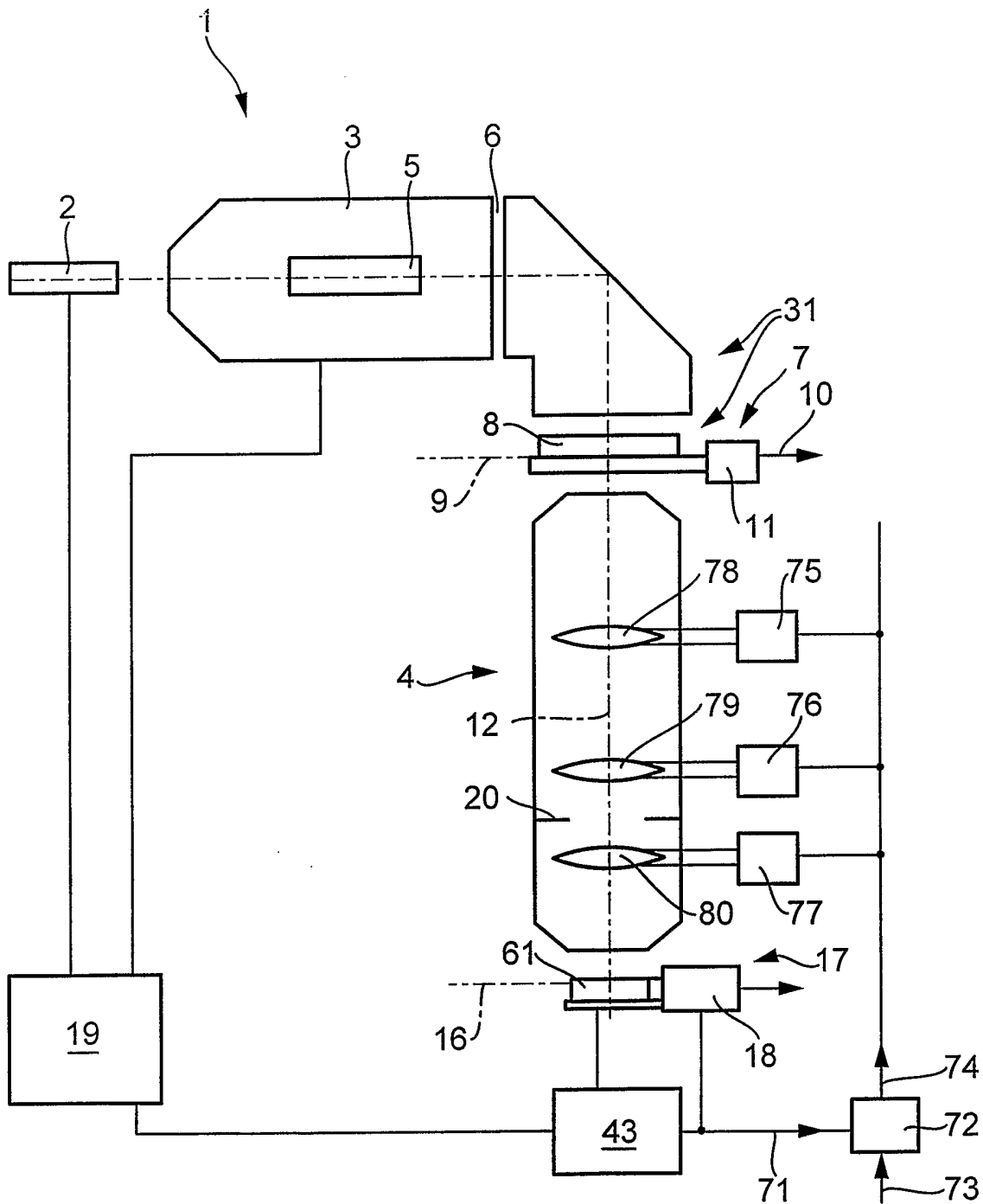
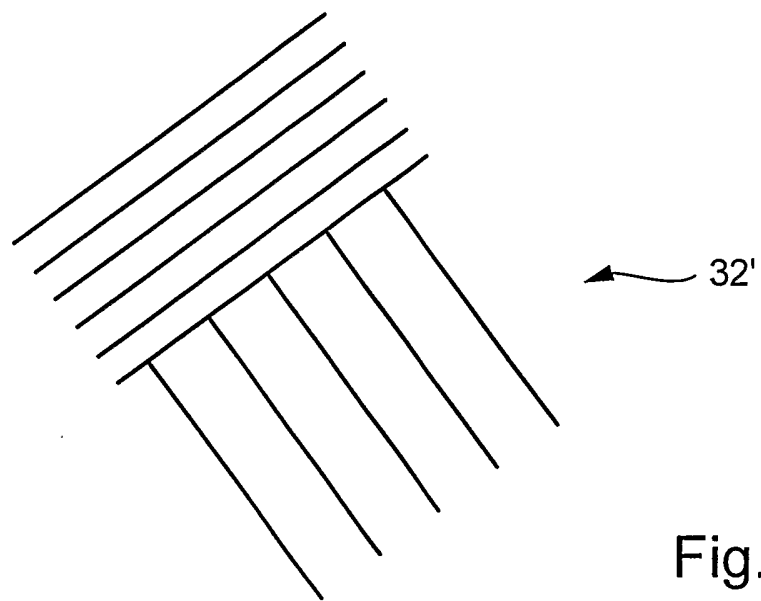
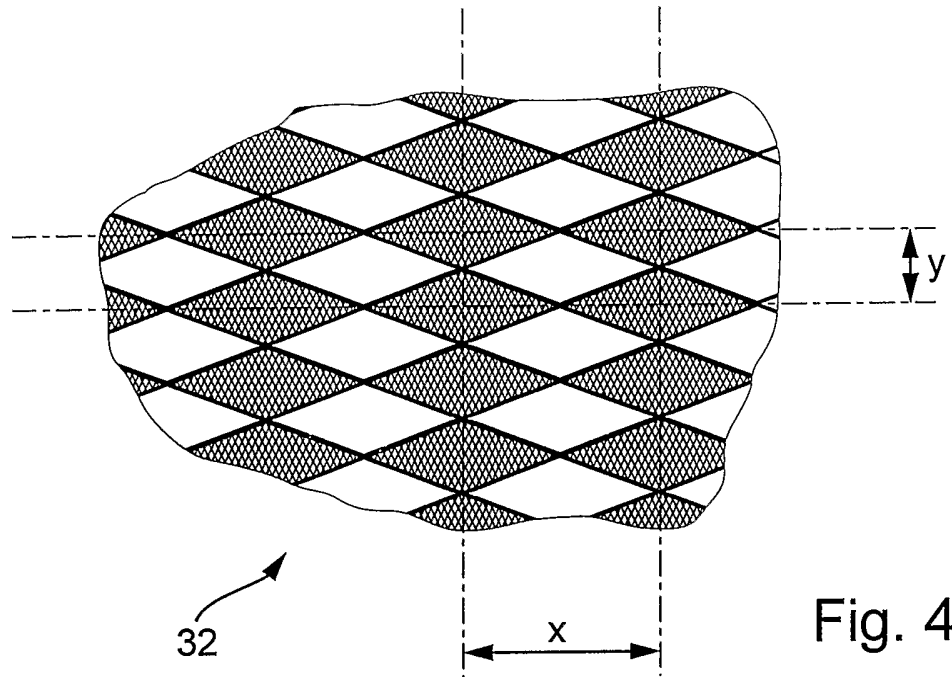


Fig. 1





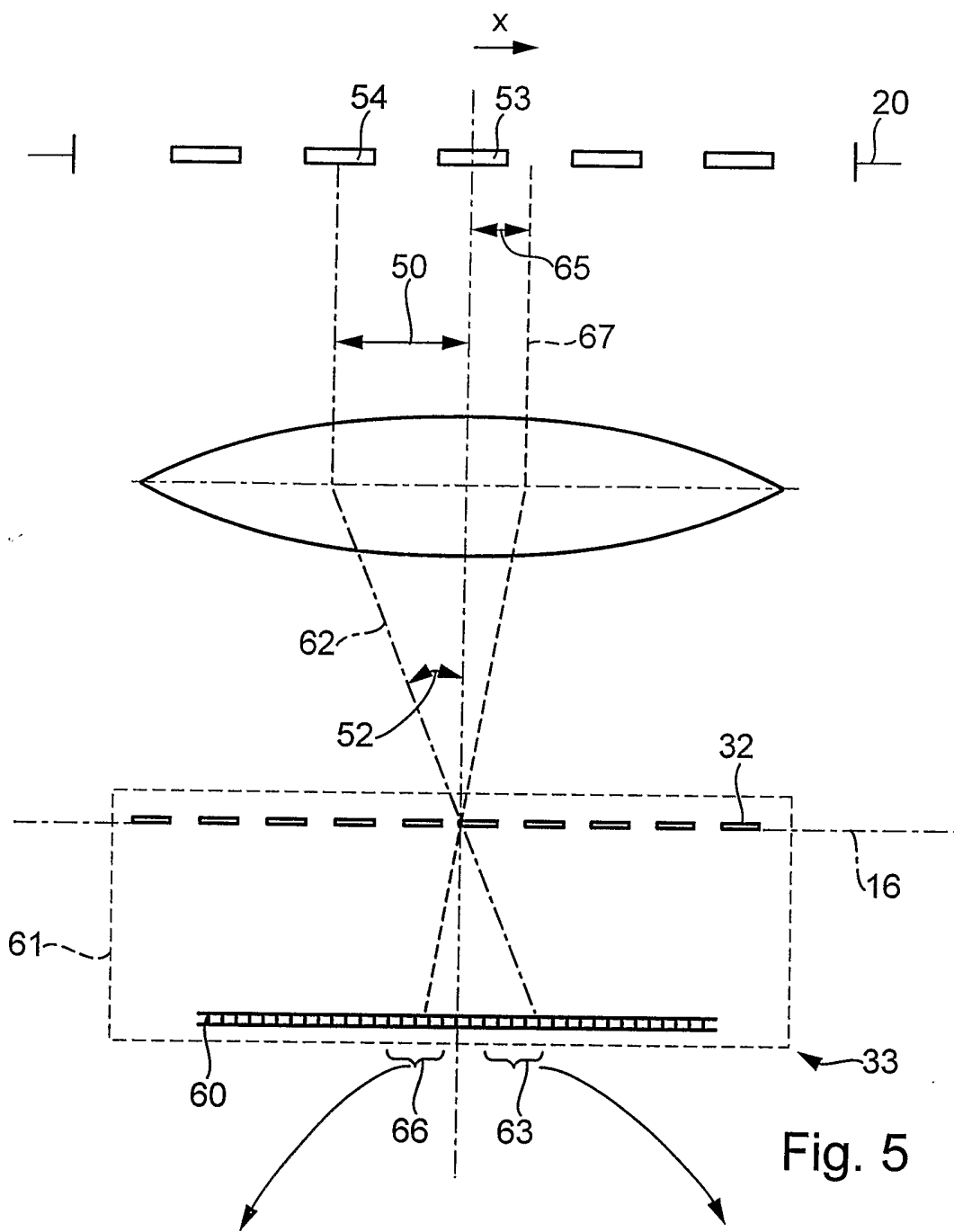


Fig. 5

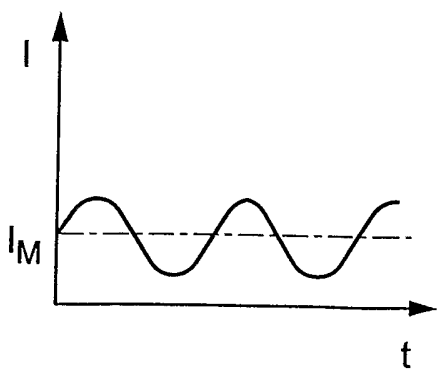


Fig. 5b

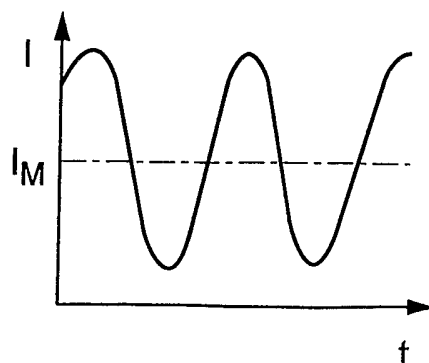


Fig. 5a