



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2013 218 749.1**

(22) Anmeldetag: **18.09.2013**

(43) Offenlegungstag: **19.03.2015**

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

G02B 5/09 (2006.01)

(71) Anmelder:
Carl Zeiss SMT GmbH, 73447 Oberkochen, DE

(72) Erfinder:
Endres, Martin, Dr., 89551 Königsbronn, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE 10 2009 030 501 A1

DE 10 2009 045 694 A1

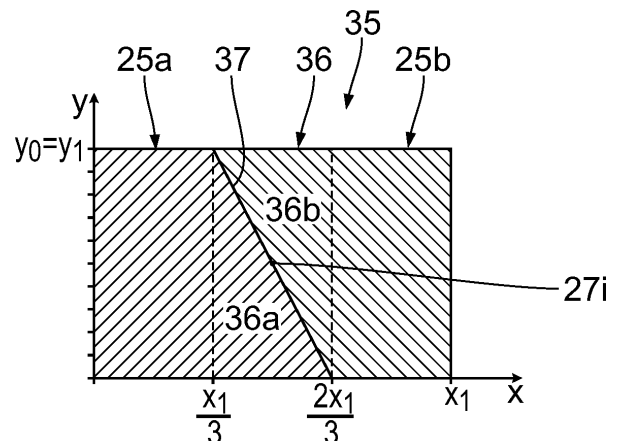
DE 10 2012 201 235 A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Beleuchtungssystem sowie Beleuchtungsoptik für die EUV-Projektionslithografie**

(57) Zusammenfassung: Eine Beleuchtungsoptik für die EUV-Projektionslithografie dient zur Führung von Beleuchtungslicht hin zu einem Objektfeld. Ein Feldfacettenspiegel der Beleuchtungsoptik hat eine Vielzahl von zwischen mindestens zwei Kippstellungen schaltbaren Einzelspiegeln. Ein Pupillenfacettenspiegel der Beleuchtungsoptik hat eine Mehrzahl von stationären Pupillenfacetten und ist dem Feldfacettenspiegel im Strahlengang des Beleuchtungslichts nachgeordnet. Die Pupillenfacetten dienen zur zumindest abschnittsweise überlagernden Abbildung einer Gruppe der Einzelspiegel des Feldfacettenspiegels in das Objektfeld über einen Gruppenspiegel-Ausleuchtungskanal. Zumindest einige der Einzelspiegel sind in einem Wechselabschnitt (36) des Feldfacettenspiegels angeordnet. Die Einzelspiegel innerhalb des Wechselabschnitts (36) sind je nach Einzelspiegel-Kippstellung zu zwei verschiedenen Einzelspiegel-Gruppen (25a, 25b) zuordenbar, die über verschiedene Pupillenfacetten in das Objektfeld abgebildet werden. Der Wechselabschnitt (36) hat senkrecht zur Objektverlagerungsrichtung (y) eine Erstreckung ($x_{1/3}$), die, abgebildet auf das Objektfeld, höchstens die Hälfte einer Erstreckung des Objektfeldes senkrecht zur Objektverlagerungsrichtung (y) beträgt. Eine derartige Auslegung des Feldfacettenspiegels kann zur Einhaltung von vorgegebenen Beleuchtungsparametern innerhalb ebenfalls vorgegebener Toleranzbereiche genutzt werden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Beleuchtungsoptik für die EUV-Projektionslithografie zur Führung von Beleuchtungslicht hin zu einem Objektfeld, in dem eine Lithografiemaske anordenbar ist. Ferner betrifft die Erfindung ein Beleuchtungssystem, insbesondere mit einer derartigen Beleuchtungsoptik, eine Projektionsbeleuchtungsanlage mit einem derartigen Beleuchtungssystem, ein Verfahren zur Herstellung eines mikro- beziehungsweise nanostrukturierten Bauteils, insbesondere eines Halbleiterchips, mit Hilfe einer derartigen Projektionsbeleuchtungsanlage und ein mit diesem Verfahren hergestelltes mikro- beziehungsweise nanostrukturiertes Bauteil.

[0002] Eine Beleuchtungsoptik der eingangs genannten Art ist bekannt aus der WO 2010/937453 A1, der WO 2010/104163 A, der WO 2008/149178 A1, der US 2011/0001947 A1, der US 2009/0041182 A1 und der DE 10 2006 036 064 A1.

[0003] Ziel der Beleuchtung ist es, das Beleuchtungslicht, das über verschiedene Ausleuchtungskanäle der Beleuchtungsoptik geführt ist, bei Einhaltung von vorgegebenen Beleuchtungsparametern innerhalb ebenfalls vorgegebener Toleranzbereiche möglichst verlustfrei im Beleuchtungsfeld zu überlagern.

[0004] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Beleuchtungsoptik bereitzustellen, mit der eine Optimierung einer Beleuchtung und insbesondere eine optimierte Überlagerung des über verschiedene Ausleuchtungskanäle geführten Beleuchtungslichts im Beleuchtungsfeld geschaffen ist.

[0005] Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß gelöst durch ein Beleuchtungssystem mit den im Anspruch 1 angegebenen Merkmalen sowie durch eine Beleuchtungsoptik mit den im Anspruch 3 und mit den im Anspruch 10 angegebenen Merkmalen.

[0006] Die Erfindung löst sich von dem Konzept, dass Einzelspiegel-Gruppen so in das Objektfeld abgebildet werden, dass die Bilder dieser Einzelspiegel-Gruppen das Objektfeld jeweils komplett abdecken. Einzelspiegel-Gruppen, deren Bilder das Objektfeld jeweils komplett abdecken, werden nachfolgend auch als Komplett-Einzelspiegel-Gruppen bezeichnet. Das Aufgeben der genannten Randbedingung schafft neue Freiheitsgrade bei der Zuordnung der Einzelspiegel des Feldfacettenspiegels zu Einzelspiegel-Gruppen, die über wiederum zugeordnete Pupillenfacetten in das Objektfeld abgebildet werden. Erfindungsgemäß sind nun auch Einzelspiegel-Gruppen zugelassen, die zu einem das Objektfeld nicht komplett abdeckenden Bild führen. Derartige Einzelspiegel-Gruppen, deren Bilder das Objektfeld nicht komplett abdecken, werden nachfolgend auch als Bruchteil-Einzelspiegel-Gruppen bezeichnet. Es

resultiert die Möglichkeit, eine äußere Kontur eines Feldfacettenspiegels sehr gut an einen tatsächlichen Verlauf des Fernfeldes der EUV-Lichtquelle, in dem der Feldfacettenspiegel angeordnet werden soll, anzupassen. Es ist beispielsweise nicht mehr erforderlich, mit den Einzelspiegel-Gruppen einen solchen Fernfeld-Bereich mit Gruppen gleicher Größe und Form zu parkettieren, sodass die bei einer solchen Parkettierung unvermeidlichen Verluste in Randbereichen des Fernfeldes nun vermieden werden können. Durch die Aufgabe der genannten Randbedingung ergibt sich die Möglichkeit, das Fernfeld in einer Weise auszunutzen, die bislang nicht möglich war. Beispielsweise ist es auch möglich, einen Anteil von mehr als 80 % der Fernfeld-Fläche durch die Einzelspiegel des Feldfacettenspiegels abzudecken, beispielsweise auch mehr als 85 % oder einen noch größeren Prozentsatz. Ein die Fernfeld-Fläche begrenzender Rand ist dabei definiert als eine äußere Begrenzung des Fernfeldes, die mit einem Intensitätsbruchteil k_r einer maximalen Fernfeld-Beleuchtungslichtintensität beaufschlagt ist. Der Bruchteil k_r kann beispielsweise den Wert 0,1, 0,05 oder ein noch kleinerer Wert sein. k_r kann auch den Wert $1/e$ oder $1/e^2$ haben.

[0007] Die vorstehend erläuterten Vorteile gelten besonders für ein Beleuchtungssystem nach Anspruch 2.

[0008] Die neu geschaffene Flexibilität bei der Zuordnung der Einzelspiegel zu Einzelspiegel-Gruppen ermöglicht es weiterhin, diese Zuordnung zur Korrektur bzw. Kompensation von Beleuchtungsparametern bzw. von Abbildungseffekten zu nutzen. Beispiele hierfür geben die Beleuchtungsoptiken nach den Ansprüchen 3 und 10. Mit einer gegebenen Anzahl von Einzelspiegeln auf dem Feldfacettenspiegel kann dann eine größere Anzahl von Einzelspiegel-Gruppen gebildet werden und es kann entsprechend eine größere Anzahl von Pupillenfacetten gleichzeitig mit Beleuchtungslicht beaufschlagt sein. Es ergibt sich eine höhere Flexibilität bei der Vorgabe von Beleuchtungswinkelverteilungen, also Beleuchtungssettings zur Objektfeldbeleuchtung. Die Pupillenfacetten können ihrerseits als Gruppen von einzelnen Pupillenfacettenspiegelchen aufgebaut sein. Wird eine derartige Beleuchtungsoptik, bei der die Anzahl der gleichzeitig beaufschlagbaren Pupillenfacetten, multipliziert mit einer Nominalanzahl der Einzelspiegel pro Einzelspiegel-Gruppe eine größere Anzahl als die tatsächliche Anzahl der Einzelspiegel auf dem Feldfacettenspiegel ergibt, in Rückwärtsrichtung, also vom Objektfeld her oder, soweit das Objektfeld in ein Bildfeld mittels einer Projektionsoptik abgebildet wird, vom Bildfeld her beleuchtet, ergibt sich auf dem Feldfacettenspiegel ein Muster aus beleuchteten Abschnitten, die mit einer ersten Intensität mit Licht beaufschlagt werden und weiteren beleuchteten Abschnitten, die mit einer zweiten, höheren und ins-

besondere doppelt so hohen Intensität beaufschlagt werden. In diesen Feldfacetten-Abschnitten, die bei einer derartigen Rückwärtsbelichtung mit der höheren Intensität beaufschlagt werden, sind Einzelspiegel des Facettenspiegels angeordnet, die wahlweise verschiedenen Pupillenfacetten, die gleichzeitig mit Beleuchtungslicht beaufschlagbar sind, zugeordnet werden können. Die mit höherer Intensität ausgeleuchteten Feldfacetten-Abschnitte weisen regelmäßig eine Anzahl von Einzelspiegeln auf, die kleiner ist als die Nominalanzahl der Einzelspiegel.

[0009] Zur Korrektur bzw. Kompensation einer Abhängigkeit der scanintegrierten Beleuchtungsintensität von der Objektfeldhöhe können die Einzelspiegel-Gruppen so aufgeteilt werden, dass Gruppenformen genutzt werden, die in Feldhöhebereichen eine kleinere scanintegrierte Erstreckung haben, in denen von Haus aus eine höhere Beleuchtungsintensität, beispielsweise aufgrund einer entsprechenden Fernfeldverteilung, vorliegt. Alternativ oder zusätzlich ist eine Abbildungs-Verkippungs-Korrektur bzw. -Kompensation möglich, die nicht voraussetzt, dass Einzelspiegel-Gruppen über keilförmige, nicht zur Reflexion nutzbare Flächenbereiche aneinander angrenzen.

[0010] Die Nutzung eines möglichst großen Fernfeldanteils bzw. die Korrektur bzw. Kompensation von Beleuchtungsparametern bzw. von Abbildungseffekten kann verlustfrei erfolgen, da grundsätzlich das Licht genutzt werden kann, das von sämtlichen Einzelspiegeln des Feldfacettenspiegels reflektiert wird. Natürlich ist es alternativ möglich, gezielt das Licht ausgewählter Einzelspiegel zur weiteren Beleuchtungsparameter- bzw. Abbildungsbeeinflussung auszublenken, sodass das Licht dieser Einzelspiegel nicht zur Beleuchtung des Objektfeldes beiträgt.

[0011] Mindestens ein Wechselabschnitt nach Anspruch 4 ermöglicht eine flexible Gruppierung der Einzelspiegel zur jeweils gewünschten, an den Wechselabschnitt angrenzenden sonstigen Einzelspiegel-Gruppe. Der mindestens eine Wechselabschnitt kann senkrecht zur Objektverlagerungsrichtung auch eine Erstreckung haben, die kleiner ist als die Hälfte einer Erstreckung des Objektfeldes senkrecht zur Objektverlagerungsrichtung, und die beispielsweise 40 %, 35 %, 30 % oder einen noch geringeren Prozentsatz einer Erstreckung des Objektfeldes senkrecht zur Objektverlagerungsrichtung beiträgt.

[0012] Der mindestens eine Wechselabschnitt kann eine Ausdehnung haben, die zwischen 5 % und 80 % der Ausdehnung einer Komplett-Einzelspiegel-Gruppe beträgt.

[0013] Bildlage-Unterschiede nach den Ansprüchen 5 und 6 führen zu entsprechenden Freiheitsgraden bei der Intensitäts- bzw. Abbildungsbeeinflussung

bei der überlagernden Beleuchtung des Objektfeldes über die Einzelspiegel-Gruppen.

[0014] Anordnungen der Einzelspiegel im Wechselabschnitt nach den Ansprüchen 7 oder 8 ermöglichen eine Korrektur bzw. Kompensation typischer Feldhöhenabhängigkeiten einer scanintegrierten Beleuchtungsintensität.

[0015] Die Anordnung der Einzelspiegel im Wechselabschnitt nach Anspruch 9 ist hinsichtlich einer scanintegrierten Beleuchtungsintensitätsabhängigkeit über die Feldhöhe neutral.

[0016] Eine Gestaltung des Wechselabschnitts nach Anspruch 11 hat sich zur Abbildungs-Verkippungs-Korrektur bzw. -Kompensation als besonders geeignet herausgestellt. Abgesehen davon, dass die Erstreckung des Wechselabschnitts längs der Objektverlagerungsrichtung in der Dimension senkrecht zur Objektverlagerungsrichtung innerhalb der Dimension jeweils eines Einzelspiegels in der Regel nicht zunimmt, kann die Zunahme der Erstreckung des Wechselabschnitts längs der Objektverlagerungsrichtung in der Dimension senkrecht zur Objektverlagerungsrichtung streng monoton sein und kann insbesondere linear sein. Bei dieser streng monotonen und insbesondere linearen Zunahme wird eine Quantisierung der Erstreckung des Wechselabschnitts aufgrund der endlichen Ausdehnung der Einzelspiegel also außer Betracht gelassen.

[0017] Die Vorteile eines Beleuchtungssystems nach Anspruch 12, eines optischen Systems nach Anspruch 13, einer Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 14 und eines Herstellungsverfahrens nach Anspruch 15 entsprechen denen, die vorstehend unter Bezugnahme auf das Beleuchtungssystem und die Beleuchtungsoptik bereits erläutert wurden. Mit dem Herstellungsverfahren kann ein mikro- bzw. nanostrukturiertes Bauteil hergestellt werden. Ein solches Bauteil kann mit hoher Strukturauflösung hergestellt sein. Auf diese Weise kann beispielsweise ein Halbleiterchip mit hoher Integrations- beziehungsweise Speicherdichte hergestellt werden.

[0018] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

[0019] Fig. 1 schematisch einen Meridionalschnitt durch eine Projektionsbelichtungsanlage für die EUV-Projektionslithografie;

[0020] Fig. 2 schematisch eine Aufsicht auf einen Ausschnitt eines aus Einzelspiegel aufgebauten Feldfacettenspiegels einer Beleuchtungsoptik zur Beleuchtung eines Objektfeldes, geeignet zum Einsatz in der Projektionsbelichtungsanlage nach Fig. 1;

[0021] Fig. 3 schematisch eine Aufsicht auf einen Ausschnitt des aus Einzelspiegeln aufgebauten Feldfacettenspiegels im Bereich zweier Einzelspiegel-Gruppen, die jeweils genau einer Pupillenfacette der Beleuchtungsoptik zugeordnet werden können, wobei nicht individuell dargestellte Einzelspiegel beider Einzelspiegel-Gruppen in einem gemeinsamen Wechselabschnitt des Feldfacettenspiegels angeordnet und somit beiden Einzelspiegel-Gruppen zuordenbar sind;

[0022] Fig. 4 in einem Diagramm eine Abhängigkeit einer Beleuchtungsintensität über eine Feldhöhe eines Objektfeldes der Projektionsbelichtungsanlage, wobei die Beleuchtungsintensität durch Reflexion an den Einzelspiegeln der beiden Einzelspiegel-Gruppen mit der Gruppenzuordnung nach Fig. 3 erzeugt ist;

[0023] Fig. 5 schematisch eine Aufsicht auf das Objektfeld, wobei einzelne Objektfeldpunkte, die Bilder eines bestimmten Einzelspiegels innerhalb des Wechselabschnitts des Feldfacettenspiegels nach Fig. 3 darstellen, hervorgehoben sind;

[0024] Fig. 6 in einer zu Fig. 3 ähnlichen Darstellung den Ausschnitt des Feldfacettenspiegels nach Fig. 3 mit einer Variante einer Zuordnung von Einzelspiegeln, die im Wechselabschnitt angeordnet sind, zu den beiden Einzelspiegel-Gruppen;

[0025] Fig. 7 in einer zu Fig. 4 ähnlichen Darstellung die Abhängigkeit der Beleuchtungsintensität über die Feldhöhe bei einer Beleuchtung über die Zuordnung der Einzelspiegel zu den Einzelspiegel-Gruppen nach Fig. 6;

[0026] Fig. 8 und Fig. 9 in zu den Fig. 3 und Fig. 4 ähnlichen Darstellungen eine weitere Zuordnung von Einzelspiegeln im Wechselabschnitt zu den beiden Einzelspiegel-Gruppen sowie die Auswirkungen dieser Zuordnung auf die Feldhöhenabhängigkeit der Beleuchtungsintensität, erzeugt durch Reflexion an den resultierenden Einzelspiegel-Gruppen;

[0027] Fig. 10 in einer zu Fig. 4 ähnlichen Darstellung die Abhängigkeit der Beleuchtungsintensitätsverteilung von der Feldhöhe bei einer Abwandlung einer Einzelspiegel-Zuordnung im Wechselabschnitt von der Zuordnung nach Fig. 3;

[0028] Fig. 11 in einer zu Fig. 7 ähnlichen Darstellung die Abhängigkeit der Beleuchtungsintensitätsverteilung von der Feldhöhe bei einer Anwendung einer Einzelspiegel-Zuordnung im Wechselabschnitt von der Zuordnung nach Fig. 6;

[0029] Fig. 12 schematisch eine Aufsicht auf einen Ausschnitt des aus Einzelspiegeln aufgebauten Feldfacettenspiegels, wobei eine Zuordnung der nicht im

Einzelnen dargestellten Einzelspiegel zu drei möglichen Einzelspiegel-Gruppen hervorgehoben ist, wobei in zwei sich über die gesamte, einer Feldhöhen-dimension entsprechenden Seite des Ausschnitts ergebende keilförmige Wechselabschnitte ergeben, in denen Einzelspiegel liegen, die je nach Verkipfung zwei verschiedenen der drei Einzelspiegel-Gruppen zuordenbar sind;

[0030] Fig. 13 in einer zu Fig. 5 ähnlichen Darstellung das Objektfeld, wobei die Bilder zweier Einzelspiegel, die jeweils in einem Wechselabschnitt des Ausschnitts des Feldfacettenspiegels nach Fig. 12 angeordnet sind, hervorgehoben sind;

[0031] Fig. 14 im Vergleich zu den Einzelspiegel-Gruppen-Darstellungen beispielsweise nach den Fig. 3 und Fig. 6 stark verkleinert eine Aufsicht auf den gesamten Feldfacettenspiegel;

[0032] Fig. 14a eine Ausschnittsvergrößerung im Bereich XIV der Fig. 14 mit einer beispielhaften Zuordnung der Einzelspiegel zu mit unterschiedlichen Schraffuren dargestellten Einzelspiegel-Gruppen, die Licht jeweils auf eine Pupillenfacette der Beleuchtungsoptik reflektieren, und

[0033] Fig. 15 in einem Diagramm zwei Beispiele einer Abhängigkeit der gesamten Beleuchtungsintensität über die Feldhöhe für zwei verschiedene Zuordnungs-konfigurationen der Einzelspiegel zu den Einzelspiegel-Gruppen, wobei jeweils innerhalb definierter Wechselabschnitte zwischen zwei aneinander angrenzenden Einzelspiegel-Gruppen ein Wechsel dort vorliegender Einzelspiegel von einer Einzelspiegel-Gruppe zur anderen Einzelspiegel-Gruppe erfolgt ist.

[0034] Fig. 1 zeigt schematisch in einem Meridionalschnitt eine Projektionsbelichtungsanlage 1 für die Mikro-Lithographie. Zur Projektionsbelichtungsanlage 1 gehört eine Licht-beziehungsweise Strahlungsquelle 2. Ein Beleuchtungssystem 3 der Projektionsbelichtungsanlage 1 hat eine Beleuchtungsoptik 4 zur Belichtung eines mit einem Objektfeld 5 zusammenfallenden Beleuchtungsfeldes in einer Objektebene 6. Belichtet wird hierbei ein Objekt in Form eines im Objektfeld 5 angeordneten Retikels 7, das von einem Objekt-beziehungsweise Retikelhalter 8 gehalten ist. Das Retikel 7 wird auch als Lithographiemaske bezeichnet. Der Objekthalter 8 ist über einen Objektverlagerungsantrieb 9 längs einer Verlagerungsrichtung verlagerbar. Eine Projektionsoptik 10 dient zur Abbildung des Objektfeldes 5 in ein Bildfeld 11 in einer Bildebene 12. Abgebildet wird eine Struktur auf dem Retikel 7 auf eine lichtempfindliche Schicht eines im Bereich des Bildfeldes 11 in der Bildebene 12 angeordneten Wafers 13. Der Wafer 13 wird von einem ebenfalls nicht dargestellten Waferhalter 14 gehalten. Der Waferhalter 14 ist über einen Waferverlagerungsantrieb 15 synchronisiert zum Objekthalter

8 ebenfalls längs der Verlagerungsrichtung verlagerbar.

[0035] Bei der Strahlungsquelle **2** handelt es sich um eine EUV-Strahlungsquelle mit einer emittierten Nutzstrahlung im Bereich zwischen 5 nm und 30 nm. Es kann sich dabei um eine Plasmaquelle, beispielsweise um eine GDPP-Quelle (Plasmaerzeugung durch Gasentladung, gasdischarge-produced plasma) oder um eine LPP-Quelle (Plasmaerzeugung durch Laser, laser-produced plasma) handeln. Auch eine Strahlungsquelle, die auf einem Synchrotron oder auf einem freien Elektronenlaser (FEL) basiert, ist für die Strahlungsquelle **2** einsetzbar. Informationen zu einer derartigen Strahlungsquelle findet der Fachmann beispielsweise aus der US 6,859,515 B2. EUV-Strahlung **16**, die von der Strahlungsquelle **2** ausgeht, wird von einem Kollektor **17** gebündelt. Ein entsprechender Kollektor ist aus der EP 1 225 481 A bekannt. Nach dem Kollektor **17** propagiert die EUV-Strahlung **16** durch eine Zwischenfokusebene **18**, bevor sie auf einen Feldfacettenspiegel **19** trifft. Der Feldfacettenspiegel **19** ist ein erster Facettenspiegel der Beleuchtungsoptik **4**. Der Feldfacettenspiegel **19** hat eine Vielzahl von Einzelspiegeln, die in der **Fig. 1** nicht dargestellt sind. Der Feldfacettenspiegel **19** ist in einer Ebene der Beleuchtungsoptik **4** angeordnet, die zur Objektebene **6** optisch konjugiert ist.

[0036] Die EUV-Strahlung **16** wird nachfolgend auch als Beleuchtungslicht oder als Abbildungslicht bezeichnet.

[0037] Nach dem Feldfacettenspiegel **19** wird die EUV-Strahlung **16** von einem Pupillenfacettenspiegel **20** reflektiert. Der Pupillenfacettenspiegel **20** ist ein zweiter Facettenspiegel der Beleuchtungsoptik **4**. Der Pupillenfacettenspiegel **20** ist in einer Pupillenebene der Beleuchtungsoptik **4** angeordnet, die zur Zwischenfokusebene **18** und zu einer Pupillenebene der Projektionsoptik **10** optisch konjugiert ist oder mit dieser Pupillenebene zusammenfällt. Der Pupillenfacettenspiegel **20** hat eine Mehrzahl von Pupillenfacetten **20a**, von denen in der **Fig. 1** zwei Pupillenfacetten **20a** schematisch dargestellt sind. Mit Hilfe der Pupillenfacetten des Pupillenfacettenspiegels **20** und einer nachfolgenden abbildenden optischen Baugruppe in Form einer Übertragungsoptik **21** mit in der Reihenfolge des Strahlengangs bezeichneten Spiegeln **22**, **23** und **24** werden nachfolgend noch näher beschriebene Einzelspiegel-Gruppen **25** (vergleiche zum Beispiel **Fig. 2**) des Feldfacettenspiegels **19** in das Objektfeld **5** abgebildet. Der letzte Spiegel **24** der Übertragungsoptik **21** ist ein Spiegel für streifenförmigen Einfall („Grazing Incidence-Spiegel“).

[0038] Zur Erleichterung der Beschreibung von Lagebeziehungen ist in der **Fig. 1** ein kartesisches xyz-Koordinatensystem als globales Koordinatensystem

für die Beschreibung der Lageverhältnisse von Komponenten der Projektionsbelichtungsanlage **1** zwischen der Objektebene **6** und der Bildebene **12** eingezeichnet. Die x-Achse verläuft in der **Fig. 1** senkrecht zur Zeichenebene in diese hinein. Die y-Achse verläuft in der **Fig. 1** nach rechts und parallel zur Verlagerungsrichtung des Objekthalters **8** und des Waferhalters **14**. Die z-Achse verläuft in der **Fig. 1** nach unten, also senkrecht zur Objektebene **6** und zur Bildebene **12**.

[0039] Die x-Dimension über das Objektfeld **5** beziehungsweise das Bildfeld **11** wird auch als Feldhöhe bezeichnet.

[0040] **Fig. 2** zeigt Details des Aufbaus eines Ausschnitts des Feldfacettenspiegels **19** in einer stark schematischen Darstellung. Bei dem in der **Fig. 2** dargestellten Ausschnitt des Feldfacettenspiegels **19** handelt es sich beispielhaft um genau eine der Einzelspiegel-Gruppen **25**. Eine gesamte Reflexionsfläche **26** des Feldfacettenspiegels **19** ist zeilen- und spaltenweise unterteilt in ein Raster aus Einzelspiegeln **27**, stellt also ein Einzelspiegel-Array dar. Über die jeweiligen Einzelspiegel **27** werden Teilbündel des Beleuchtungslichts **16** geführt. Die Einzelreflexions-Flächen der individuellen Einzelspiegel **27** sind konkav ausgeführt. Bei einer alternativ möglichen Ausführung der Einzelreflexions-Flächen der individuellen Einzelspiegel **27** sind diese plan und weisen keine Krümmung auf. Eine Einzelspiegel-Zeile **28** weist eine Mehrzahl der direkt nebeneinander liegenden Einzelspiegel **27** auf. In einer Einzelspiegel-Zeile **28** können mehrere zehn bis mehrere hundert der Einzelspiegel **27** vorgesehen sein. Im Beispiel nach **Fig. 2** sind die Einzelspiegel **27** quadratisch. Auch andere Formen von Einzelspiegeln, die eine möglichst lückenlose Belegung der Reflexionsfläche **26** ermöglichen, können eingesetzt sein. Derartige alternative Einzelspiegel-Formen sind aus der mathematischen Theorie der Parkettierung bekannt. In diesem Zusammenhang sei verwiesen auf die in der WO 2009/100 856 A1 angegebenen Referenzen.

[0041] Eine Einzelspiegel-Spalte **29** hat, je nach Ausführung des Feldfacettenspiegels **19**, ebenfalls eine Mehrzahl der Einzelspiegel **27**. Pro Einzelspiegel-Spalte **29** sind beispielsweise einige zehn oder einige hundert der Einzelspiegel **27** vorgesehen.

[0042] Zur Erleichterung der Beschreibung von Lagebeziehungen ist in der **Fig. 2** ein kartesisches xyz-Koordinatensystem als lokales Koordinatensystem des Feldfacettenspiegels **19** eingezeichnet. Entsprechende lokale xyz-Koordinatensysteme finden sich auch in den nachfolgenden Figuren, die Facettenspiegel oder einen Ausschnitt hiervon in Aufsicht zeigen. In der **Fig. 2** verläuft die x-Achse horizontal nach rechts parallel zu den Einzelspiegel-Zeilen **28**. Die y-Achse läuft in der **Fig. 2** nach oben parallel zu den

Einzelspiegel-Spalten **29**. Die z-Achse steht senkrecht auf der Zeichenebene der **Fig. 2** und läuft aus dieser heraus.

[0043] Die y-Richtung des globalen Koordinatensystems nach **Fig. 1**, also die Verlagerungsrichtung für das Retikel **7** und den Wafer **13**, die auch als Scanrichtung bezeichnet ist, und die y-Richtung des lokalen Koordinatensystems nach **Fig. 2**, also die Spaltenrichtung des Einzelspiegel-Arrays, müssen, jeweils projiziert auf die xy-Ebene des globalen Koordinatensystems, nicht exakt parallel zueinander verlaufen, sondern können einen zum Beispiel kleinen Winkel zueinander einnehmen. Auch eine feldformende Wirkung durch den Spiegel **24** kann lokal zu Abweichungen zwischen der y-Richtung des lokalen Koordinatensystems und der y-Richtung des globalen Koordinatensystems führen.

[0044] In x-Richtung hat die Reflexionsfläche **26** der Einzelspiegel-Gruppe **25** eine Erstreckung von x_0 . In y-Richtung hat die Reflexionsfläche **26** der Einzelspiegel-Gruppe **25** eine Erstreckung von y_0 .

[0045] Je nach Ausführung des Feldfacettenspiegels **19** haben die Einzelspiegel **27** x/y-Erstreckungen im Bereich beispielsweise von $500\ \mu\text{m} \times 500\ \mu\text{m}$ bis beispielsweise $2\ \text{mm} \times 2\ \text{mm}$. Die Einzelspiegel **27** können so geformt sein, dass sie eine bündelnde Wirkung für das Beleuchtungslicht **16** haben. Eine derartige bündelnde Wirkung der Einzelspiegel **27** ist besonders beim Einsatz einer divergenten Beleuchtung des Feldfacettenspiegels **19** mit dem Beleuchtungslicht **16** von Vorteil. Der gesamte Feldfacettenspiegel **19** hat eine x/y-Erstreckung, die je nach Ausführung beispielsweise $300\ \text{mm} \times 300\ \text{mm}$ oder $600\ \text{mm} \times 600\ \text{mm}$ beträgt. Die Einzelspiegel-Gruppen **25** (vergleiche **Fig. 7**) haben typische x_0/y_0 -Erstreckungen von $80\ \text{mm} \times 6\ \text{mm}$ oder von $65\ \text{mm} \times 5\ \text{mm}$ oder von $25\ \text{mm} \times 4\ \text{mm}$ oder von $104\ \text{mm} \times 8\ \text{mm}$. Das x_0/y_0 -Aspektverhältnis der Einzelspiegel-Gruppen **25** kann, soweit die jeweilige Einzelspiegel-Gruppe **25** vollständig in das Objektfeld **5** abgebildet wird, dem x/y-Aspektverhältnis des Objektfeldes **5** entsprechen. In der Praxis weicht das Aspektverhältnis der Einzelspiegel-Gruppen vom Aspektverhältnis des Objektfeldes ab und kann größer sein als das Aspektverhältnis des Objektfeldes. Je nach dem Verhältnis zwischen der Größe der jeweiligen Einzelspiegel-Gruppen **25** und der Größe der Einzelspiegel **27**, die diese Einzelspiegel-Gruppen **25** aufbauen, weist jede der Einzelspiegel-Gruppen **25** eine entsprechende Anzahl von Einzelspiegeln **27** auf. Soweit eine Einzelspiegel-Gruppe so viele Einzelspiegel **27** beinhaltet, dass das Bild dieser Einzelspiegel-Gruppe das Objektfeld **5** komplett abdeckt, wird diese nachfolgend auch als Komplet-Einzelspiegel-Gruppe bezeichnet.

[0046] Jeder der Einzelspiegel **27** ist zur individuellen Ablenkung von auftreffendem Beleuchtungslicht

16 jeweils mit einem Aktor beziehungsweise Aktuator **30** verbunden, wie in der **Fig. 2** anhand zweier in einer Ecke links unten der Reflexionsfläche **26** angeordneten Einzelspiegel **27** gestrichelt angedeutet. Die Aktuatoren **30** sind auf der einer reflektierenden Seite der Einzelspiegel **27** abgewandten Seite jedes der Einzelspiegel **27** angeordnet. Die Aktuatoren **30** können beispielsweise als Piezo-Aktuatoren ausgeführt sein. Ausgestaltungen derartiger Aktuatoren sind vom Aufbau von Mikrospiegel-Arrays her bekannt.

[0047] Die Aktuatoren **30** einer Einzelspiegel-Zeile **28** sind jeweils über Signalleitungen mit einem Zeilen-Signalbus **32** verbunden. Jeweils einem der Zeilen-Signalbusse **32** ist eine Einzelspiegel-Zeile **28** zugeordnet. Die Zeilen-Signalbusse **32** der Einzelspiegel-Zeilen **28** sind ihrerseits mit einem Haupt-Signalbus **33** verbunden. Letzterer steht mit einer Steuereinrichtung **34** des Feldfacettenspiegels **19** in Signalverbindung. Die Steuereinrichtung **34** ist insbesondere zur reihenweise, also zeilen- oder spaltenweise gemeinsamen Ansteuerung der Einzelspiegel **27** ausgeführt. Auch innerhalb der Einzelspiegel-Zeilen **28** und der Einzelspiegel-Spalten **29** ist eine individuelle Ansteuerung der Einzelspiegel **27** möglich.

[0048] Jeder der Einzelspiegel **27** ist individuell unabhängig um zwei senkrecht aufeinander stehende Kippachsen verkippbar, wobei eine erste dieser Kippachsen parallel zur x-Achse und die zweite dieser beiden Kippachsen parallel zur y-Achse verläuft. Die beiden Kippachsen liegen in den Einzel-Reflexionsflächen der jeweiligen Einzelspiegel **27**.

[0049] Zu weiteren Details des Einzelspiegel-Aufbaus des Feldfacettenspiegels **19** sei verwiesen auf die US 2011/0001947 A1.

[0050] Durch die individuelle Ansteuerung der Aktuatoren **30** über die Steuereinrichtung **34** ist eine vorgegebene Kipp-Gruppierung der Einzelspiegel **27** in die vorstehend schon erwähnten Einzelspiegel-Gruppen **25** aus je mindestens zwei Einzelspiegeln **27** einstellbar. Die Einzelspiegel-Gruppen **25** sind jeweils über mindestens einen eigenen Gruppenspiegel-Ausleuchtungskanal für das Beleuchtungslicht **16** mindestens einer eigenen Pupillenfacette **20a** des Pupillenfacettenspiegels **20** zur Abbildung der Einzelspiegel-Gruppe **25** in das Objektfeld **5** zugeordnet. Diese Zuordnung erfolgt durch Vorgabe der jeweiligen Kippstellung beziehungsweise Schaltstellung der zur Einzelspiegel-Gruppe **25** gehörenden Einzelspiegel **27** derart, dass das Teilbündel des Beleuchtungslichts **16**, welches auf den jeweiligen Einzelspiegel **27** trifft, von diesem Einzelspiegel **27** hin zur zugeordneten Pupillenfacette des Pupillenfacettenspiegels **20** und von dort hin zum Objektfeld **5** reflektiert wird. Der Gruppenspiegel-Ausleuchtungskanal ist dabei die Gesamtheit aller Einzelspiegel-Aus-

leuchtungskanäle der jeweiligen Einzelspiegel-Gruppe **25**, die sich aufgrund der Abbildung über die Pupillenfacette **20a** zur Beleuchtung des Beleuchtungsbeziehungswise Objektfeldes **5** ergänzen. Jede der Einzelspiegel-Gruppen **25** kann daher als Urbild zumindest eines Abschnitts des Beleuchtungsfeldes **5** aufgefasst werden. Das Urbild des Beleuchtungsfeldes **5** ist dabei diejenige Strukturform, die unter Berücksichtigung der Abbildungsfehler exakt in das Beleuchtungsfeld **5** abgebildet wird. Diese Strukturform wird auch als das tatsächliche Urbild bezeichnet. Im Unterschied hierzu bezeichnet das ideale Urbild des Beleuchtungsfeldes **5** diejenige Strukturform, die ohne Berücksichtigung von Abbildungsfehlern exakt in das Beleuchtungsfeld **5** abgebildet wird.

[0051] Die Gesamtbeleuchtung des Beleuchtungsbeziehungswise Objektfeldes **5** stellt dann eine Superposition dieser Urbilder dar.

[0052] Jeweils eine der Einzelspiegel-Gruppen **25** hat also grundsätzlich die Funktion einer Facette eines Feldfacettenspiegels, wie dieser beispielsweise in der US 6,438,199 B1 oder der US 6,658,084 B2 offenbart ist.

[0053] Fig. 3 zeigt einen Ausschnitt **35** des Feldfacettenspiegels **19** in einer Aufsicht. Die nicht einzeln dargestellten Einzelspiegel innerhalb des Ausschnitts **35** sind zwei Einzelspiegel-Gruppen **25a**, **25b** zugeordnet, die über verschiedene Pupillenfacetten **20a** in das Objektfeld **5** abgebildet werden. Die beiden Einzel-Spiegelgruppen **25a**, **25b** innerhalb des Ausschnitts **35** sind in der Fig. 3 durch unterschiedliche Schraffuren verdeutlicht.

[0054] Der Ausschnitt **35** hat in der x-Richtung eine Erstreckung von x_1 und der y-Richtung eine Erstreckung von y_1 . Für das Aspektverhältnis x_1/y_1 gilt:

$$x_1/y_1 = 3/2x_0/y_0.$$

[0055] Das x/y-Aspektverhältnis des Ausschnitts **35** mit den beiden Einzelspiegel-Gruppen **25a**, **25b** ist also um 50 % größer als das x/y-Aspektverhältnis des Objektfeldes **5**.

[0056] Der Ausschnitt **35** des Feldfacettenspiegels **19** ist in der x-Richtung senkrecht zur Scanrichtung y unterteilt in drei Abschnitte. Jeder der Abschnitte stellt einen Bereich zwischen zwei Feldhöhen x_i und x_j dar, was nachfolgend auch geschrieben wird als $[x_i; x_j]$.

[0057] In einem Abschnitt $[0; x_1/3]$ sind alle Einzelspiegel des Ausschnitts **35** genau einer ersten Pupillenfacette **20a** zugeordnet. In gleicher Weise ist ein Abschnitt $[2/3x_1; x_1]$, also die dort angeordneten Einzelspiegel **27**, der anderen Pupillenfacetten **20a** angeordnet. Durch Verkippung aller Einzelspiegel des Ausschnitts **35** innerhalb beispielsweise des

Abschnitts $[0; x_1/3]$ können diese Einzelspiegel beim Wechsel eines Beleuchtungssettings auch einer anderen ersten Pupillenfacette **20a** aus einer definierten Gruppe von ersten Pupillenfacetten **20a** zugeordnet werden. Dieser Zuordnungswechsel geschieht immer für alle Einzelspiegel innerhalb des Abschnitts $[0; x_1/3]$ des Ausschnitts **35** gemeinsam. Entsprechendes gilt auch für die Einzelspiegel im Abschnitt $[2/3x_1; x_1]$, wobei es sich hier um eine andere Gruppe erster Pupillenfacetten **20a** handelt.

[0058] Zwischen diesen beiden Abschnitten liegt im Bereich $[1/3x_1; 2/3x_1]$ ein Wechselabschnitt **36** des Ausschnitts **35** des Feldfacettenspiegels **19**. Der Wechselabschnitt **36** ist über eine Trennlinie **37** zwischen den (x, y)-Koordinaten $(x_1/3, y_1)$ und $(2/3x_1, 0)$ in zwei Wechsel-Unterabschnitte **36a**, **36b** unterteilt. Der Wechsel-Unterabschnitt **36a** bildet gemeinsam mit dem Abschnitt mit den x-Koordinaten $[0; 1/3x_1]$ die Einzelspiegel-Gruppe **25a**. Der Wechsel-Unterabschnitt **36b** bildet gemeinsam mit dem Abschnitt mit den x-Koordinaten $[2/3x_1; x_1]$ die Einzelspiegel-Gruppe **25b**. Diese Unterteilung des Wechselabschnitts **36** in die Wechsel-Unterabschnitte **36a**, **36b** erfolgt durch die Kippstellung der dort angeordneten Einzelspiegel **27**. Die Einzelspiegel **27** werden dabei je nach ihrer Zugehörigkeit zu den Einzelspiegel-Gruppen **25a**, **25b** so verkippt, dass alle Einzelspiegel **27** jeweils einer der beiden Einzelspiegel-Gruppen **25a**, **25b** das Beleuchtungslicht **16** über eine gemeinsame Pupillenfacette **20a** führen.

[0059] Der Wechselabschnitt **36** hat in der x-Richtung, also senkrecht zur Objektverlagerungsrichtung y, eine Erstreckung $x_1/3$, also, abgebildet in das Objektfeld **5**, die Erstreckung $x_0/2$, multipliziert mit einem Abbildungsmaßstab β . Dieser Abbildungsmaßstab β wird nachfolgend der Einfachheit halber mit $\beta = 1$ angenommen, sodass beispielsweise eine Erstreckung x_0 der jeweiligen Einzelspiegel-Gruppe **25** gleich der Objektfeld-Erstreckung x_0 ist. Die Erstreckung des Wechselabschnitts **36** senkrecht zur Objektverlagerungsrichtung y, ist also, abgebildet in das Objektfeld **5**, die Hälfte der Erstreckung x_0 des Objektfeldes **5** senkrecht zur Objektverlagerungsrichtung y.

[0060] Fig. 4 zeigt die Auswirkungen einer Unterteilung des Ausschnitts **35** in die beiden Einzelspiegelgruppen **25a**, **25b** auf eine Beleuchtungsintensitätsverteilung I in Abhängigkeit von der Feldhöhe x des Objektfeldes **5** im Feldhöhenbereich $[-x_0/2; +x_0/2]$. Gestrichelt ist dabei ein Intensitätsbeitrag **38** der Einzelspiegel-Gruppe **25a** und strichpunktiert ein Intensitätsbeitrag **39** der Einzelspiegel-Gruppe **25b** dargestellt. Durchgezogen ist ein Gesamt-Intensitätsbeitrag **40** über die Feldhöhe x dargestellt. Die Intensitätsbeiträge **38** bis **40** sind bei der jeweiligen Feldhöhe x integriert über die Scanrichtung y dargestellt. Angenommen wird hierbei, dass der Ausschnitt **35**

des Feldfacettenspiegels **19** mit konstanter Beleuchtungsintensität I_0 beaufschlagt ist.

[0061] Der Intensitätsbeitrag **38** der Einzelspiegel-Gruppe **25a** verläuft im Bereich $[-x_0/2; 0]$ zunächst konstant beim Wert I_0 . Bei diesen Feldhöhen trägt integriert über die Scanrichtung y die gesamte y -Breite des Ausschnitts **35** zur Objektfeldbeleuchtung bei.

[0062] Im Feldhöhenbereich $[0; x_0/2]$ fällt der Intensitätsbeitrag **38** linear vom Wert I_0 auf den Wert 0 ab. Dieser Abfall ergibt sich aufgrund der Tatsache, dass eine y -Erstreckung des Wechsel-Unterabschnitts **36a** der Einzelspiegel-Gruppe **25a** entsprechend linear bis zum Randbereich der Einzelspiegel-Gruppe **25a** bei $x = 2/3x_1$ bis zum Wert 0 abfällt.

[0063] Entsprechend spiegelbildlich ist der Intensitätsbeitrag **39** der Einzelspiegelgruppe **25b**. Im Feldhöhenbereich $[x_0/2; 0]$ trägt der Wechsel-Unterabschnitt **36b** zur Objektfeldbeleuchtung bei, sodass sich hier ein linear zunehmender Intensitätsbeitrag ergibt. Im Feldhöhenbereich $[0; x_0/2]$ ergibt sich ein konstanter Intensitätsbeitrag **39** bei $I = I_0$.

[0064] Als Addition der beiden Intensitätsbeiträge **38, 39** ergibt sich der Gesamt-Intensitätsbeitrag **40**, der aufgrund der Unterteilung des Wechselabschnitts **36** entsprechend der Trennlinie **37** einen dachförmigen Verlauf mit maximaler Beleuchtungsintensität $2I_0$ bei der Feldhöhe $x = 0$ aufweist, der zu beiden Rändern $-x_0/2, x_0/2$ linear auf die Beleuchtungsintensität I_0 linear abfällt.

[0065] Bei der Unterteilung des Wechselabschnitts **36** nach **Fig. 3** ergibt sich also eine längs der Objektverlagerungsrichtung y integrierte Beleuchtungslicht-Beaufschlagung des Objektfeldes **5** in einem Mittelbereich des Objektfeldes **5**, also im Bereich von $x = 0$, über eine größere Anzahl von Einzelspiegel-Ausleuchtungskanälen als in einem Randbereich des Objektfeldes **5**, also im Bereich von $x = |x_0/2|$.

[0066] Die Gesamtzahl der Einzelspiegel **27** in einer Einzelspiegel-Gruppe **25**, deren Bild das gesamte Objektfeld **5** abdeckt, wird nachfolgend auch als Nominalanzahl der Einzelspiegel **27** pro Einzelspiegel-Gruppe **25** bezeichnet.

[0067] Eine derartige, mit ihrer Abbildung das Objektfeld **5** komplett abdeckende Einzelspiegel-Gruppe wird nachfolgend auch als Komplett-Einzelspiegel-Gruppe bezeichnet. Die Einzelspiegel-Gruppe **25** nach **Fig. 2** ist also eine Komplett-Einzelspiegel-Gruppe.

[0068] Einzelspiegel-Gruppen, deren Bilder nur einen Bruchteil des Objektfeldes **5** abdecken, werden nachfolgend auch als Bruchteil-Einzelspiegel-Gruppen bezeichnet. Die Einzelspiegel-Gruppen **25a, 25b**

nach **Fig. 3** sind also Bruchteil-Einzelspiegel-Gruppen.

[0069] Die Gesamtzahl der Einzelspiegel **27** in den Bruchteil-Einzelspiegel-Gruppen **25a, 25b** ist kleiner als eine Gesamtzahl von Einzelspiegeln **27** in der Komplett-Einzelspiegel-Gruppe **25** nach **Fig. 2**, deren Bild das gesamte Objektfeld **5** abdeckt. Dies liegt daran, dass die Bruchteil-Einzelspiegel-Gruppen **25a, 25b** jeweils nicht den gesamten Wechselabschnitt **36** beinhalten, sondern jeweils nur einen Unterabschnitt **36a, 36b** des Wechselabschnitts **36**. Die Bilder der Einzelspiegel-Gruppen **25a, 25b** decken also einen Bruchteil des Objektfeldes **5** ab, bei der dargestellten Ausführung genau 75 % der gesamten Fläche des Objektfeldes **5**. Entsprechend ist ein Flächenbedarf der Bruchteil-Einzelspiegel-Gruppen entsprechend den Einzelspiegel-Gruppen **25a, 25b**, auf dem Feldfacettenspiegel **19** kleiner als ein Flächenbedarf von Komplett-Einzelspiegel-Gruppen entsprechend der Einzelspiegel-Gruppe **25** nach **Fig. 2**, deren Bild das gesamte Objektfeld **5** abdeckt. Eine gegebene Fläche der Reflexionsfläche **26** des Feldfacettenspiegels **19** insgesamt bzw. eine gegebene Gesamtanzahl der Einzelspiegel **27** des Feldfacettenspiegels **19** insgesamt vorausgesetzt, lässt sich mit derartigen, teilweise einen Wechsel-Unterabschnitt entsprechend den Wechsel-Unterabschnitten **36a, 36b** aufweisenden Bruchteil-Einzelspiegel-Gruppen eine größere Anzahl von Pupillenfacetten **20a** mit dem Beleuchtungslicht **16** beaufschlagen als bei einer Unterteilung in Komplett-Einzelspiegel-Gruppen **26**, deren Bilder jeweils das gesamte Objektfeld **5** abdecken. Die Anzahl der Pupillenfacetten **20a**, die über die Einzelspiegel-Gruppen **25** des Feldfacettenspiegels **19** gleichzeitig mit dem Beleuchtungslicht **16** beaufschlagbar sind, multipliziert mit der Nominalanzahl einer Komplett-Einzelspiegel-Gruppe **25** ergibt als Resultat also eine Anzahl von Einzelspiegeln **27**, die größer ist als die tatsächliche Anzahl der Einzelspiegel **27** auf dem Feldfacettenspiegel **19**.

[0070] Es gilt also:

$$N_{PF} \times N_N > N_{ESP}.$$

[0071] Hierbei ist N_{PF} die Anzahl der gleichzeitig genutzten Pupillenfacetten **20a** des Pupillenfacettenspiegels **20**;

N_N die Nominalanzahl der Einzelspiegel **27** pro Komplett-Einzelspiegel-Gruppe **25** und

N_{ESP} die Anzahl der Einzelspiegel **27** des gesamten Feldfacettenspiegels **19**.

[0072] Die Abhängigkeit des Gesamt-Intensitätsbeitrages **40** von der Feldhöhe x und die entsprechende Zuordnung der Einzelspiegel **27** zu den Bruchteil-Einzelspiegel-Gruppen **25a, 25b** kann zur Korrektur einer Abhängigkeit einer längs der Objektverlage-

rungsrichtung y integrierten Beleuchtungslicht-Intensität von der Objektfeldhöhe x genutzt werden.

[0073] Fig. 5 zeigt schematisch eine Aufsicht auf das Objektfeld **5**. Dieses hat in der Feldhöhendimension x eine Erstreckung von x_0 im Bereich $[-x_0/2; x_0/2]$. In der y -Richtung, also in der Scanrichtung, hat das Objektfeld **5** eine Erstreckung von $y = y_0$. Die Erstreckungen einerseits der Komplett-Einzelspiegel-Gruppe **25** nach Fig. 2 und andererseits des Objektfeldes **5** in x - und y -Richtung sind natürlich nur dann gleich, wenn die Einzelspiegel-Gruppen in einem Abbildungsmaßstab von **1** in das Objektfeld **5** abgebildet werden. Es gilt dann: $y_1 = y_0$, und $x_1 = x_0$. Ansonsten unterscheiden sich die Dimensionen der jeweiligen Komplett-Einzelspiegel-Gruppe **25** einerseits und des Objektfeldes **5** andererseits natürlich jeweils um den Abbildungsmaßstab in x - und y -Richtung.

[0074] Dargestellt sind in der Fig. 5 Einzelspiegel-Bilder **41**, **42** eines ausgewählten Einzelspiegels **27i** im Zentrum des Wechselabschnitts **36**. Je nachdem, ob der Einzelspiegel **27i** zur Wechselabschnitt-Untergruppe **36a** oder zur Wechselabschnitt-Untergruppe **36b** gehört, wird er entweder auf das Einzelspiegel-Bild **41** oder auf das Einzelspiegel-Bild **42** abgebildet. Die Einzelspiegel-Bilder **41**, **42** haben die gleiche y -Koordinate, nämlich $y_0/2$.

[0075] In der x -Richtung haben die Einzelspiegel-Bilder **41**, **42** mit den Feldkoordinaten $(-x_0/4, y_0/2)$ und $(+x_0/4, y_0/2)$ einen Abstand von $x_0/2$ zueinander, also einen Abstand, der einer halben x -Ausdehnung des Objektfeldes **5** entspricht.

[0076] Anhand der Fig. 6 und Fig. 7 wird nachfolgend eine Variante einer Aufteilung des Wechselabschnitts **36** in Wechsel-Unterabschnitte **36c**, **36d** erläutert. Komponenten und Funktionen, die vorstehend unter Bezugnahme auf die Fig. 1 bis Fig. 5 und besonders unter Bezugnahme auf die Fig. 3 und Fig. 4 bereits erläutert wurden, tragen die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

[0077] Eine Trennlinie **37** verläuft bei der Unterteilung des Wechselabschnitts **36** nach Fig. 6 linear zwischen den Koordinaten $(x_1/3, 0)$ und $(2/3x_1, y_1)$. Es ergeben sich wiederum zwei dreieckige Wechsel-Unterabschnitte **36c**, **36d**. Der Wechsel-Unterabschnitt **36c** gehört dabei zur Einzelspiegel-Gruppe **25a** und der Wechsel-Unterabschnitt **36d** zur Einzelspiegel-Gruppe **25b**, wie wiederum durch gleiche Schraffierungen angedeutet.

[0078] Die resultierenden Einzelspiegel-Gruppen **25a**, **25b** haben jeweils die Form eines Rechtecks sowie eines hiermit lediglich über einen Punkt verbundenen rechtwinkligen Dreiecks. Die beiden Einzelspiegel-Gruppen **25a**, **25b** nach Fig. 6 haben wie

auch die Einzelspiegel-Gruppe **25a**, **25b** nach Fig. 3 eine zueinander kongruente Form.

[0079] Fig. 7 zeigt die Auswirkungen der Formgebung der Einzelspiegel-Gruppen **25a**, **25b** nach Fig. 6 auf die Beleuchtungsintensität, wiederum integriert über die Scanrichtung y , abhängig von der Feldhöhe x . Dargestellt ist wiederum gestrichelt ein Intensitätsbeitrag **43** der Einzelspiegel-Gruppe **25a** und strichpunktiert ein Intensitätsbeitrag **44** der Einzelspiegel-Gruppe **25b** sowie durchgezogen ein Gesamt-Intensitätsbeitrag **45**, der sich als Addition beider Intensitätsbeiträge **43**, **44** ergibt.

[0080] Die Abschnitte der Einzelspiegel-Gruppen **25a**, **25b** außerhalb des Wechselabschnitts **36** haben auch bei der Anordnung nach Fig. 6 jeweils den gleichen Intensitätsbeitrag zur Beleuchtungsintensität über die Feldhöhe x wie bei der Ausführung nach Fig. 3. Es ergeben sich jeweils die horizontal verlaufenden Abschnitte der Intensitätsbeiträge **43**, **44** im Feldhöhenbereich $[-x_0/2; 0]$ und im Bereich $[0; x_0/2]$.

[0081] Da der Wechsel-Unterabschnitt **36c** eine mit der x -Dimension linear zunehmende y -Erstreckung hat, ergibt sich im Objektfeldbereich $[0; x_0/2]$ ein linear zwischen $I = 0$ und $I = I_0$ wachsender Intensitätsbeitrag **43**. Entsprechend ergibt sich aufgrund der komplementären Form des Wechsel-Unterabschnitts **36d** für den Feldhöhenbereich $[-x_0/2; 0]$ ein linear zwischen $I = I_0$ und $I = 0$ abfallender Intensitätsbeitrag **44**.

[0082] Bei der Anordnung der Wechsel-Unterabschnitte **36c**, **36d** erfolgt also eine längs der Objektverlagerungsrichtung y -integrierte Beleuchtungslicht-Beaufschlagung des Objektfeldes **5** in einem Randbereich des Objektfeldes **5** über eine größere Anzahl von Einzelspiegel-Ausleuchtungskanälen als in einem Mittelbereich ($x = 0$) des Objektfeldes **5**.

[0083] In der Summe ergibt sich der Gesamt-Intensitätsbeitrag **45**, der eine inverse Dachform hat und im Bereich $[-x_0/2; 0]$ zunächst von $I = 2I_0$ auf $I = I_0$ linear abfällt und dann zwischen diesen Werten wieder linear anwächst.

[0084] Mit Einzelspiegel-Zuordnungen auf dem Feldfacettenspiegel **19** einerseits entsprechend dem Ausschnitt **35** nach Fig. 3 und andererseits entsprechend dem Ausschnitt **35** nach Fig. 6 lassen sich also Abhängigkeiten einer Beleuchtungsintensität über die Feldhöhe x kompensieren, bei denen die Beleuchtungsintensität beispielsweise am Rand stärker ist als in der Mitte oder bei denen die Beleuchtungsintensität in der Mitte stärker ist als am Rand.

[0085] Anhand der Fig. 8 und Fig. 9 wird nachfolgend eine Variante einer Aufteilung des Wechselabschnitts **36** in Wechsel-Unterabschnitte **36e**, **36f** erläutert. Komponenten und Funktionen, die vorste-

hend unter Bezugnahme auf die **Fig. 1** bis **Fig. 7** und besonders unter Bezugnahme auf die **Fig. 3** bis **Fig. 6** bereits erläutert wurden, tragen die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen diskutiert.

[0086] Der Wechselabschnitt **36** ist beim Ausschnitt **35** nach **Fig. 8** unterteilt in den Wechsel-Unterabschnitt **36e** für y -Werte im Bereich $[0; y_1/2]$ und dem Wechsel-Unterabschnitt **36f** im y -Bereich $[y_1/2; y_1]$.

[0087] **Fig. 9** zeigt wiederum die Auswirkungen auf die Abhängigkeit der Beleuchtungsintensität I auf die Feldhöhe x . Die Beleuchtung über die Wechsel-Unterabschnitte **36e**, **36f**, die in der y -Richtung jeweils die halbe Anzahl der Einzelspiegel **27** im Vergleich zu den sonstigen Abschnitten der Einzelspiegel-Gruppen **25a**, **25b** aufweisen, führt jeweils zu einem Intensitätsbeitrag **46** im Feldhöhenbereich $[0; x_0/2]$ und zu einem Intensitätsbeitrag **47** im Feldhöhenbereich $[-x_0/2; 0]$ mit $I = I_0/2$. Addiert ergibt sich ein Gesamt-Intensitätsbeitrag **48**, der über den gesamten Feldhöhenbereich $[-x_0/2; x_0/2]$ konstant bei $I = 1,5I_0$ liegt. Bei der Anordnung der Wechsel-Unterabschnitte **36e**, **36f** erfolgt also eine längs der Objektverlagerungsrichtung y integrierte Beleuchtungslicht-Beaufschlagung des Objektfelds **5** in einem Randbereich des Objektfelds **5** über die gleiche Anzahl von Einzelspiegel-Ausleuchtungskanälen wie in einem Mittelbereich ($x = 0$) des Objektfeldes **5**. Eine Unterteilung des Ausschnitts **35** mit den Wechsel-Unterabschnitten **36e**, **36f** führt also zu einer über die Feldhöhe x unabhängigen Intensitätsbeaufschlagung des Objektfeldes **5**.

[0088] Die **Fig. 10** und **Fig. 11** zeigen Varianten einer Intensitätsabhängigkeit einer Beleuchtungsintensität I über die Feldhöhe x bei Unterteilungen des Wechselabschnitts **36** ähnlich zu den Unterteilungen nach den **Fig. 3** und **Fig. 6**, in diesem Fall aber nicht mit linear verlaufender Trennlinie **37**, sondern mit gekrümmter, beispielsweise parabolisch verlaufender Trennlinie **37**.

[0089] Die Bezugsziffern für die Intensitätsbeiträge **38** bis **40** einerseits und **41** bis **45** andererseits entsprechen denen, die vorstehend unter Bezugnahme auf die **Fig. 4** und **Fig. 7** bereits erläutert wurden. Anhand der **Fig. 12** und **Fig. 13** wird nachfolgend eine weitere Unterteilung eines Ausschnitts **49** des Feldfacettenspiegels **19** in Einzelspiegel-Gruppen **25c**, **25d** und **25e** erläutert. Komponenten und Funktionen, die denjenigen entsprechen, die vorstehend unter Bezugnahme auf die **Fig. 1** bis **Fig. 11** und besonders unter Bezugnahme auf die **Fig. 3** und **Fig. 5** bereits diskutiert wurden, tragen die gleichen Bezugsziffern und werden nicht nochmals im Einzelnen erläutert.

[0090] Der Ausschnitt **49** ist in drei Einzelspiegel-Gruppen **25c** bis **25e** unterteilt. Soweit diese

Einzelspiegel-Gruppen als Komplett-Einzelspiegel-Gruppen genutzt werden, haben diese eine x -Erstreckung von x_0 und eine y -Erstreckung von y_0 .

[0091] In einem ersten Wechselabschnitt **50** im Ausschnitt **49** sind Einzelspiegel **27** angeordnet, die wahlweise den Einzelspiegel-Gruppen **25c** oder **25d** zugeordnet werden können.

[0092] In einem zweiten Wechselabschnitt **51** im Ausschnitt **49** sind Einzelspiegel **27** angeordnet, die wahlweise den Einzelspiegel-Gruppen **25d** oder **25e** zugeordnet werden können.

[0093] Die beiden Wechselabschnitte **50**, **51** erstrecken sich anders als der Wechselabschnitt **36** der Ausführung nach den **Fig. 3**, **Fig. 6** und **Fig. 8**, über die gesamte x -Erstreckung des Ausschnitts **49**, also über eine Länge x_0 .

[0094] Die Wechselabschnitte **36**, **50**, **51** können eine Ausdehnung haben, die zwischen 5 % und 80 % der Ausdehnung einer Komplett-Einzelspiegel-Gruppe beträgt.

[0095] Die Wechselabschnitte **50**, **51** sind jeweils dreieckig. Eine y -Erstreckung des Wechselabschnitts **50** nimmt in positiver x -Richtung linear von $y = 0$ bis $y = y_1/4$ zu. In einem ersten Wechselabschnitt **50** im Ausschnitt **49** sind Einzelspiegel **27** angeordnet, die wahlweise den Einzelspiegel-Gruppen **25c** oder **25d** zugeordnet werden können.

[0096] Entsprechend nimmt eine y -Erstreckung des Wechselabschnitts **51** in negativer x -Richtung von einer Erstreckung $y = 0$ bis zu einer Erstreckung $y = y_1/4$ zu. In dem weiteren Wechselabschnitt **51** im Ausschnitt **49** sind Einzelspiegel **27** angeordnet, die wahlweise den Einzelspiegel-Gruppen **25d** oder **25e** zugeordnet werden können.

[0097] Soweit die zwischen den beiden Einzelspiegel-Gruppen **25c** und **25e** liegende Einzelspiegel-Gruppe **25d** die beiden Wechselabschnitte **50**, **51** vollständig nutzt, soweit also alle Einzelspiegel innerhalb dieser Wechsel-Unterabschnitte **50**, **51** der Einzelspiegel-Gruppe **25d** zugeordnet werden, hat die Einzelspiegel-Gruppe **25d** als Komplett-Einzelspiegel-Gruppe mit Aspektverhältnis x_0/y_0 eine Form, die einer um einen Winkel α verkippten Komplett-Einzelspiegel-Gruppe entspricht. Diese verkippte Komplett-Einzelspiegel-Gruppe **25d** kann dann über einen Weg eines Gruppenspiegel-Ausleuchtungskanals in das Objektfeld **5** abgebildet werden, bei dem sich eine Abbildungsverkipfung ergibt, die durch die verkippte Kontur der Komplett-Einzelspiegel-Gruppe **25d** gerade kompensiert wird. Es resultiert eine Kompensation einer Abbildungs-Verkipfung.

[0098] Wird der Wechselabschnitt **50** komplett der in der **Fig. 12** oberen Einzelspiegel-Gruppe **25d** zugeordnet, so ergibt sich eine Komplett-Einzelspiegel-Gruppe **25c**. Wird der Wechselabschnitt **51** der in der **Fig. 12** unteren Einzelspiegel-Gruppe **25e** zugeordnet, ergibt sich wiederum eine Komplett-Einzelspiegel-Gruppe **25e**.

[0099] **Fig. 13** zeigt im Objektfeld **5** Bilder zweier ausgewählter Einzelspiegel **27_j**, **27_k** in den Wechselabschnitten **50** und **51**, je nach deren Einzelspiegel-Gruppen-Zuordnung.

[0100] Ein Bild **52** des Einzelspiegels **27_j** bei Zuordnung zur Einzelspiegel-Gruppe **25c** entsteht im Objektfeld **5** im rechten unteren Quadranten. Bei der Zuordnung der Feldfacette **27_j** zur Einzelspiegel-Gruppe **25d** entsteht ein Bild **53** dieser Feldfacette **27_j** im rechten oberen Quadranten des Objektfelds **5**. Ein y -Abstand y_j dieser beiden Bilder **52**, **53** ist größer als 40 % längs der Scanrichtung y und beträgt beispielsweise $0,7y_0$. Entsprechend entstehen Bilder **54**, **55** des Einzelspiegels **27_k** bei dessen Zuordnung zur Einzelspiegel-Gruppe **25b** oder **25d**. Der Abstand y_k in y -Richtung zwischen den Bildern **54** und **55** beträgt wiederum etwa $0,7 y_0$. Die Abstände y_j , y_k hängen davon ab, welche x -Koordinate die Einzelspiegel **27_j**, **27_k** in den Wechselabschnitten **50**, **51** haben.

[0101] **Fig. 14** zeigt beispielhaft eine Aufteilung des gesamten Feldfacettenspiegels **19** in Einzelspiegel-Gruppen **25**. Jeder Einzelspiegel **27** des Feldfacettenspiegels **19** ist dabei genau einer Einzelspiegel-Gruppe **25** zugeordnet. Bei den Einzelspiegel-Gruppen **25** handelt es sich einerseits um Komplett-Einzelspiegel-Gruppen und andererseits um Bruchteil-Einzelspiegel-Gruppen. Die Einzelspiegel **27** des Feldfacettenspiegels **19** sind so in einem Fernfeld **56** (vgl. auch **Fig. 1**) der Lichtquelle **2** angeordnet, dass mindestens 80 % einer Fläche des Fernfeldes **56** von den Einzelspiegeln **27** so abgedeckt ist, dass diese das Beleuchtungslicht **16** reflektieren.

[0102] **Fig. 15** zeigt beispielhaft zwei verschiedene, abhängig von einer Aufteilung des Feldfacettenspiegels **19** in Komplett-Einzelspiegel-Gruppen und Bruchteil-Einzelspiegel-Gruppen erreichbare Verteilungen einer scanintegrierten Beleuchtungsintensität über die Feldhöhe x . Illustriert wird hierdurch, dass einerseits eine Intensitätsverteilung **57** mit starker x -Abhängigkeit und andererseits eine Intensitätsverteilung **58** mit praktisch verschwindender x -Abhängigkeit, jeweils bei Nutzung aller Einzelspiegel **27** des Feldfacettenspiegels **19**, erreicht werden kann. Zum Erreichen dieser beiden verschiedenen Intensitätsverteilungen **57**, **58** werden lediglich in entsprechenden Wechselabschnitten in Ausschnitten des Feldfacettenspiegels **19** bestimmte Einzelspiegel **27** jeweils anderen Einzelspiegel-Gruppen zugeordnet.

[0103] Grundsätzlich können Wechselabschnittsge- staltungen so sein, dass bei einem Wechsel eines Einzelspiegels je nach Einzelspiegel-Kippstellung dieser Einzelspiegel auf unterschiedliche Feldhöhen des Objektfeldes abgebildet wird. Dies kann generell zur Korrektur einer Intensitätsverteilung über die Objektfeldhöhe genutzt werden. Alternativ kann ein Wechselabschnitt so gestaltet sein, dass ein Wechsel eines im Wechselabschnitt angeordneten Einzelspiegels je nach dessen Kippstellung zwischen den Einzelspiegel-Gruppen zu keiner Änderung einer Feldhöhenposition dieses Einzelspiegels im Objektfeld führt. Dies kann zur sich nicht auf die Feldhöhenabhängigkeit der Beleuchtungsintensitätsverteilung auswirkenden Korrektur einer Abbildung der Einzelspiegel-Gruppen ins Objektfeld genutzt werden.

[0104] Die erläuterten Korrektur- bzw. Kompensationsmechanismen sind verlustfrei, da die Korrektur erfolgen kann, ohne dass Licht, welches über Einzelspiegel-Ausleuchtungskanäle geführt ist, verloren geht.

[0105] Bei der Projektionsbelichtung mithilfe der Projektionsbelichtungsanlage **1** wird zunächst das Beleuchtungssystem **3** eingerichtet, wobei der Feldfacettenspiegel **19** so ausgelegt und angeordnet ist, dass er mindestens 80 % einer zu nutzenden Fernfeldfläche mit den Einzelspiegeln **27** abdeckt. Anschließend wird eine Unterteilung des Einzelspiegel-Arrays des Feldfacettenspiegels **19** in Einzelspiegel-Gruppen einschließlich definierter Wechselabschnitte vorgegeben. Es erfolgt dann eine Kalibrierung, bei der für ein vorgegebenes Beleuchtungssetting, also für eine gegebene Beleuchtungswinkelverteilung, eine x -Abhängigkeit einer scanintegrierten Beleuchtungsintensität gemessen wird. Hierbei kann sich beispielsweise eine x -Abhängigkeit entsprechend der Intensitätsverteilung **57** ergeben. Anschließend wird durch geeignete Änderung einer Zuordnung von Einzelspiegeln **27**, die in Wechselabschnitten angeordnet sind, zu jeweils anderen Einzelspiegel-Gruppen eine Kompensation einer x -Abhängigkeit der scanintegrierten Beleuchtungsintensität vorgenommen, bis sich beispielsweise eine Verteilung nach Art der Intensitätsverteilung **58** ergibt. Um eine Verteilung nach Art der Intensitätsverteilung **57** zu kompensieren, können beispielsweise Einzelspiegel **27** in Wechselabschnitten nach Art der **Fig. 6** und **Fig. 7** Einzelspiegel-Gruppen so zugeordnet werden, sodass eine höhere Intensität in der Feldmitte (Bereich $x = 0$) ausgeglichen wird.

[0106] Nach dieser vorgenommen Einstellung des Beleuchtungssystems **3** wird wenigstens ein Teil des Retikels **7** im Objektfeld **5** auf einen Bereich der lichtempfindlichen Schicht auf den Wafer **13** im Bildfeld **11** zur lithografischen Herstellung eines mikro- beziehungsweise nanostrukturierten Bauteils, insbesondere eines Halbleiterbauteils, beispielsweise eines Mi-

krochips, abgebildet. Hierbei werden das Retikel **7** und der Wafer **13** zeitlich synchronisiert in der y-Richtung kontinuierlich im Scannerbetrieb verfahren.

ZITATE ENHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- WO 2010/937453 A1 [0002]
- WO 2010/104163 A [0002]
- WO 2008149178 A1 [0002]
- US 2011/0001947 A1 [0002, 0049]
- US 2009/0041182 A1 [0002]
- DE 102006036064 A1 [0002]
- US 6859515 B2 [0035]
- EP 1225481 A [0035]
- WO 2009/100856 A1 [0040]
- US 6438199 B1 [0052]
- US 6658084 B2 [0052]

Patentansprüche

1. Beleuchtungssystem (3) mit einer Beleuchtungsoptik (4) für die EUV-Projektionslithographie zur Führung von Beleuchtungslicht (16) hin zu einem Objektfeld (5), in dem eine Lithographiemaske (7) anordenbar und während der Projektionsbelichtung längs einer Objektverlagerungsrichtung (y) verlagerbar ist,

- mit einem Feldfacettenspiegel (19), angeordnet in einem Fernfeld (56) einer EUV-Lichtquelle (2) des Beleuchtungssystems (3), mit einer Vielzahl von zwischen mindestens zwei Kippstellungen schaltbaren Einzelspiegeln (27), die Einzelspiegel-Ausleuchtungskanäle zur Führung von Beleuchtungslicht-Teilbündeln hin zum Objektfeld (5) bereitstellen,
- wobei die Einzelspiegel (27) zu Einzelspiegel-Gruppen (25) gruppierbar sind, die jeweils Pupillenfacetten (20a) eines dem Feldfacettenspiegel (19) im Strahlengang des Beleuchtungslichts (16) nachgeordneten Pupillenfacettenspiegels (20) zugeordnet sind, zur Abbildung der jeweiligen Einzelspiegel-Gruppe (25) über die zugeordnete Pupillenfacette (20a) in das Objektfeld (5),
- wobei sich so erzeugte Bilder der Einzelspiegel-Gruppen (25) im Objektfeld (5) zumindest teilweise überlagern,
- wobei die Einzelspiegel (27) des Feldfacettenspiegels (19) so im Fernfeld (56) der Lichtquelle (2) angeordnet sind, dass ein Anteil von mindestens 80% einer Fläche des Fernfeldes (56) von den Einzelspiegeln (27) so abgedeckt ist, dass diese das Beleuchtungslicht (16) reflektieren.

2. Beleuchtungssystem nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die das Beleuchtungslicht (16) reflektierenden Einzelspiegel (27) in das Objektfeld (5) abgebildet werden.

3. Beleuchtungsoptik (4) für die EUV-Projektionslithographie zur Führung von Beleuchtungslicht (16) hin zu einem Objektfeld (5), in dem eine Lithographiemaske (7) anordenbar und während der Projektionsbelichtung längs einer Objektverlagerungsrichtung (4) verlagerbar ist,

- mit einem Feldfacettenspiegel (19) mit einer Vielzahl von zwischen mindestens zwei Kippstellungen schaltbaren Einzelspiegeln (27), die Einzelspiegel-Ausleuchtungskanäle zur Führung von Beleuchtungslicht-Teilbündeln hin zum Objektfeld (5) bereitstellen,
- mit einem Pupillenfacettenspiegel (20) mit einer Mehrzahl von stationären Pupillenfacetten (20a), der dem Feldfacettenspiegel (19) im Strahlengang des Beleuchtungslichts (16) nachgeordnet ist, wobei die Pupillenfacetten (20a) jeweils zur zumindest abschnittsweise überlagernden Abbildung einer Gruppe (25) der Einzelspiegel (27) des Feldfacettenspiegels (19) in das Objektfeld (5) über einen Gruppenspiegel-Ausleuchtungskanal beitragen,

- wobei jeweils eine der Pupillenfacetten (20a) jeweils einer der abzubildenden Gruppen (25) der Einzelspiegel zugeordnet ist,
- wobei eine vollständig in das Objektfeld (5) abbildbare Einzelspiegel-Gruppe (25) eine Nominalanzahl von Einzelspiegeln (27) hat,
- wobei die Anzahl der Pupillenfacetten (20a), die über die Einzelspiegel-Gruppen gleichzeitig mit Beleuchtungslicht beaufschlagbar sind, multipliziert mit der Nominalanzahl der Einzelspiegel (27) pro Einzelspiegel-Gruppe (25) als Resultat eine Anzahl von Einzelspiegeln (27) ergibt, die größer ist als die tatsächliche Anzahl der Einzelspiegel (27) auf dem Feldfacettenspiegel (19),
- wobei eine Zuordnung der Einzelspiegel (27) zu den Einzelspiegel-Gruppen (25) derart ist, dass diese Zuordnung zur Korrektur einer Abhängigkeit einer längs der Objektverlagerungsrichtung (4) integrierten Beleuchtungslicht-Intensität von einer Objektfeldhöhe (x) senkrecht zur Objektverlagerungsrichtung (y) genutzt wird.

4. Beleuchtungsoptik nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- zumindest einige der Einzelspiegel (27) in mindestens einem Wechselabschnitt (36) des Feldfacettenspiegels (19) angeordnet sind, wobei die Einzelspiegel (27) innerhalb des Wechselabschnitts (36; 50, 51) je nach Einzelspiegel-Kippstellung zu zwei verschiedenen Einzelspiegel-Gruppen (25a, 25b) zuordenbar sind, die über verschiedene Pupillenfacetten (20a) in das Objektfeld (5) abgebildet werden,
- wobei der Wechselabschnitt (36) eine Erstreckung senkrecht zur Objektverlagerungsrichtung aufweist, die, abgebildet in das Objektfeld (5), höchstens die Hälfte einer Erstreckung des Objektfeldes (5) senkrecht zur Objektverlagerungsrichtung beträgt.

5. Beleuchtungsoptik nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Wechselabschnitt (36a, 36b) so angeordnet ist, dass ein Einzelspiegel (27_i), der im Wechselbereich (36) angeordnet ist, je nach der Einzelspiegel-Kippstellung und damit je nach seiner Zuordnung zur jeweiligen Einzelspiegel-Gruppe (25a, 25b) in Bildlagen (41, 42) abgebildet wird, deren Abstand zueinander senkrecht (x) zur Scanrichtung (y) größer ist als 10 % einer Ausdehnung (x₀) des Objektfeldes (5) senkrecht (x) zur Scanrichtung (y).

6. Beleuchtungsoptik nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Wechselabschnitt (50, 51) so angeordnet ist, dass ein Einzelspiegel (27_j, 27_k), der im Wechselbereich (50, 51) angeordnet ist, je nach der Einzelspiegel-Kippstellung und damit je nach seiner Zuordnung zur jeweiligen Einzelspiegelgruppe (50, 51) in Bildlagen (52, 53; 54, 55) abgebildet wird, deren Abstand zueinander in Scanrichtung (y) größer ist als 40 % einer Ausdehnung (y₀) des Objektfeldes (5) in Scanrichtung (y).

7. Beleuchtungsoptik nach einem der Ansprüche 4 bis 6, gekennzeichnet durch eine Zuordnung (**36a**, **36b**) der Einzelspiegel im Wechselabschnitt (**36**) des Feldfacettenspiegels (**19**) derart, dass durch die beiden Einzelspiegel-Gruppen (**25a**, **25b**), zu denen die Einzelspiegel (**27**) im Wechselabschnitt (**36**) gehören, eine längs der Objektverlagerungsrichtung integrierte Beleuchtungslicht-Beaufschlagung des Objektfeldes (**5**) in einem Mittelbereich des Objektfeldes über eine größere Anzahl von Einzelspiegel-Ausleuchtungskanälen erfolgt, als in einem Randbereich des Objektfeldes (**5**).

8. Beleuchtungsoptik nach einem der Ansprüche 4 bis 6, gekennzeichnet durch eine Zuordnung (**36c**, **36d**) der Einzelspiegel (**27**) im Wechselabschnitt des Feldfacettenspiegels (**19**) derart, dass durch die beiden Einzelspiegel-Gruppen (**25a**, **25b**), zu denen die Einzelspiegel (**27**) im Wechselabschnitt (**36**) gehören, eine längs der Objektverlagerungsrichtung integrierte Beleuchtungslicht-Beaufschlagung des Objektfeldes (**5**) in einem Randbereich des Objektfeldes (**5**) über eine größere Anzahl von Einzelspiegel-Ausleuchtungskanälen erfolgt, als in einem Mittelbereich des Objektfeldes (**5**).

9. Beleuchtungsoptik nach Anspruch 4, gekennzeichnet durch eine Zuordnung (**36e**, **36f**) der Einzelspiegel (**27**) im Wechselabschnitt (**36**) des Feldfacettenspiegels (**19**) derart, dass durch die beiden Einzelspiegel-Gruppen (**25a**, **25b**), zu denen die Einzelspiegel (**27**) im Wechselabschnitt (**36**) gehören, eine längs der Objektverlagerungsrichtung integrierte Beleuchtungslicht-Beaufschlagung des Objektfeldes (**5**) in einem Randbereich des Objektfeldes (**5**) über eine gleiche Anzahl von Einzelspiegel-Ausleuchtungskanälen erfolgt wie in einem Mittelbereich des Objektfeldes (**5**).

10. Beleuchtungsoptik (**4**) für die EUV-Projektionslithographie zur Führung von Beleuchtungslicht (**16**) hin zu einem Objektfeld (**5**), in dem eine Lithographiemaske (**7**) anordenbar und während der Projektionsbelichtung längs einer Objektverlagerungsrichtung (**4**) verlagerbar ist,

– mit einem Feldfacettenspiegel (**19**) mit einer Vielzahl von zwischen mindestens zwei Kippstellungen schaltbaren Einzelspiegeln (**27**), die Einzelspiegel-Ausleuchtungskanäle zur Führung von Beleuchtungslicht-Teilbündeln hin zum Objektfeld (**5**) bereitstellen,

– mit einem Pupillenfacettenspiegel (**20**) mit einer Mehrzahl von stationären Pupillenfacetten (**20a**), der dem Feldfacettenspiegel (**19**) im Strahlengang des Beleuchtungslichts (**16**) nachgeordnet ist, wobei die Pupillenfacetten (**20a**) jeweils zur zumindest abschnittsweise überlagernden Abbildung einer Gruppe (**25**) der Einzelspiegel (**27**) des Feldfacettenspiegels (**19**) in das Objektfeld (**5**) über einen Gruppenspiegel-Ausleuchtungskanal beitragen,

– wobei jeweils eine der Pupillenfacetten (**20a**) jeweils einer der abzubildenden Gruppen (**25**) der Einzelspiegel zugeordnet ist,

– wobei eine vollständig in das Objektfeld (**5**) abbildbare Einzelspiegel-Gruppe (**25**) eine Nominalanzahl von Einzelspiegeln (**27**) hat,

– wobei die Anzahl der Pupillenfacetten (**20a**), die über die Einzelspiegel-Gruppen gleichzeitig mit Beleuchtungslicht beaufschlagbar sind, multipliziert mit der Nominalanzahl der Einzelspiegel (**27**) pro Einzelspiegel-Gruppe (**25**) als Resultat eine Anzahl von Einzelspiegeln (**27**) ergibt, die größer ist als die tatsächliche Anzahl der Einzelspiegel (**27**) auf dem Feldfacettenspiegel (**19**),

– wobei eine Zuordnung der Einzelspiegel zu den Einzelspiegel-Gruppen (**25**) derart ist, dass diese Zuordnung zur Korrektur einer Abbildungsverkippung der jeweiligen Einzelspiegel-Gruppe (**25**) in das Objektfeld (**5**) genutzt wird.

11. Beleuchtungsoptik nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass

– zumindest einige der Einzelspiegel (**27**) in einem Wechselabschnitt (**50**, **51**) des Feldfacettenspiegels (**19**) angeordnet sind, wobei die Einzelspiegel (**27**) innerhalb des Wechselabschnitts (**50**, **51**) je nach Einzelspiegel-Kippstellung zu zwei verschiedenen Einzelspiegel-Gruppen (**25c/d**, **25d/e**) zuordenbar sind, die über verschiedene Pupillenfacetten (**20a**) in das Objektfeld (**5**) abgebildet werden,

– wobei der Wechselabschnitt (**50**, **51**) eine Erstreckung längs der Objektverlagerungsrichtung aufweist, die in einer Dimension senkrecht zur Objektverlagerungsrichtung monoton zunimmt.

12. Beleuchtungssystem (**3**) mit einer Beleuchtungsoptik nach einem der Ansprüche 3 bis 11 und mit einer EUV-Lichtquelle (**2**).

13. Optisches System mit einer Beleuchtungsoptik nach einem der Ansprüche 3 bis 11 und mit einer Projektionsoptik (**10**) zur Abbildung des Objektfeldes (**5**) in ein Bildfeld (**11**).

14. Projektionsbelichtungsanlage (**1**)

– mit einem Beleuchtungssystem (**3**) nach einem der Ansprüche 1, 2 und 12,

– mit einer EUV-Lichtquelle (**2**),

– mit einem Objekthalter (**8**) zur Halterung eines Objektes (**7**) im Objektfeld (**5**), der über einen Objektverlagerungsantrieb (**9**) längs einer Verlagerungsrichtung (**y**) verlagerbar ist,

– mit einem Waferhalter (**14**) zur Halterung eines Wafers (**13**) im Bildfeld (**11**), der über einen Waferverlagerungsantrieb (**15**) längs der Verlagerungsrichtung (**y**) verlagerbar ist.

15. Verfahren zur Projektionsbelichtung mit folgenden Schritten:

- Bereitstellen einer Projektionsbelichtungsanlage (**1**) nach Anspruch 14,
- Bereitstellen eines Wafers (**13**),
- Bereitstellen einer Lithographiemaske (**7**),
- Projizieren wenigstens eines Teils der Lithographiemaske (**7**) auf einen Bereich einer lichtempfindlichen Schicht des Wafers (**13**) mit Hilfe der Projektionsoptik (**10**) der Projektionsbelichtungsanlage (**1**).

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

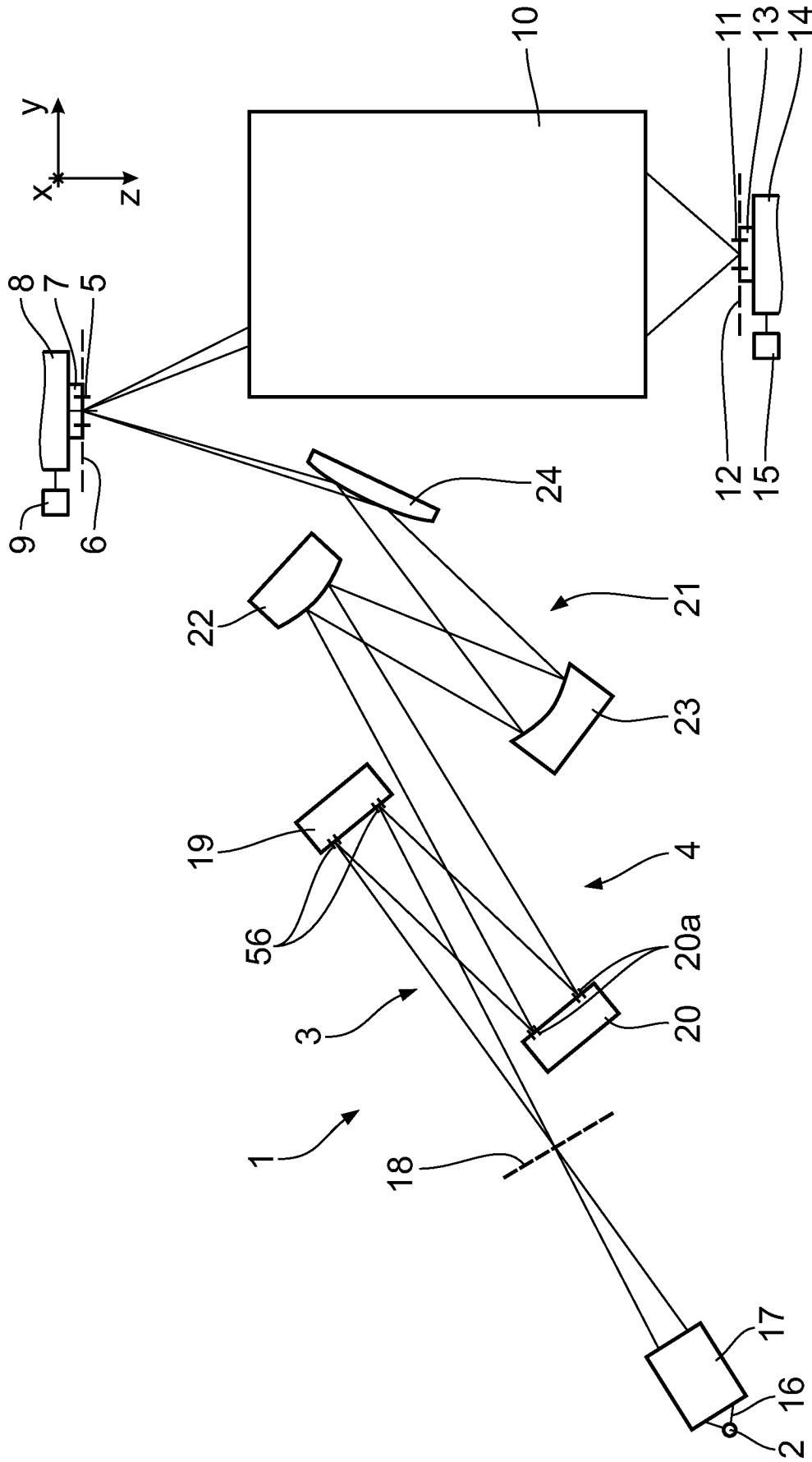


Fig. 1

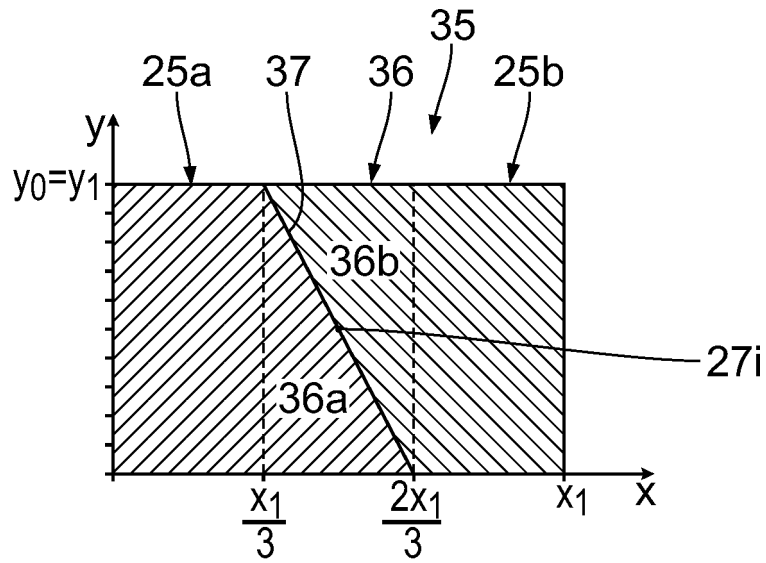


Fig. 3

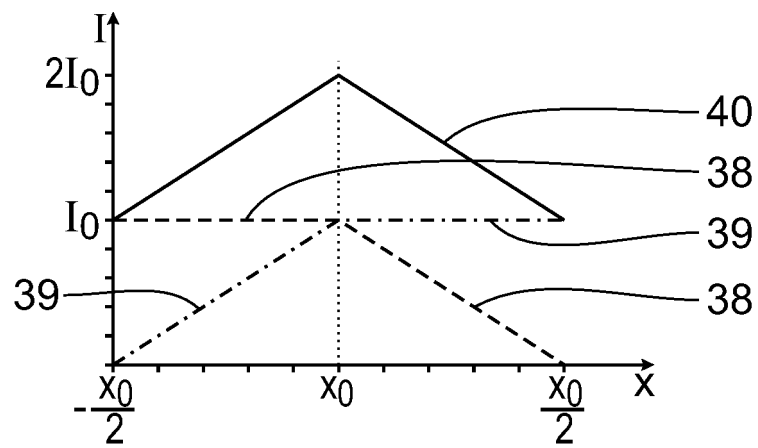


Fig. 4

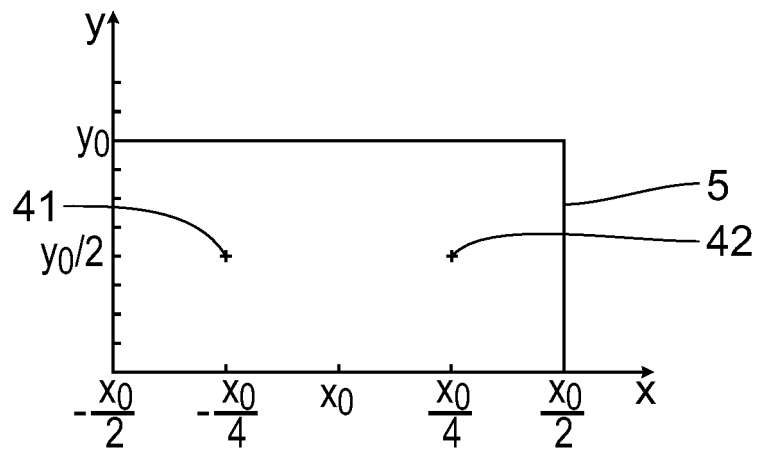


Fig. 5

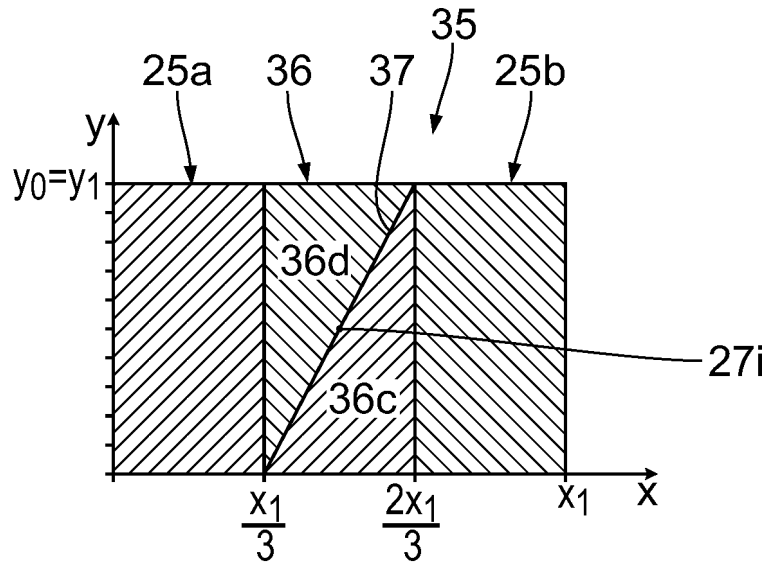


Fig. 6

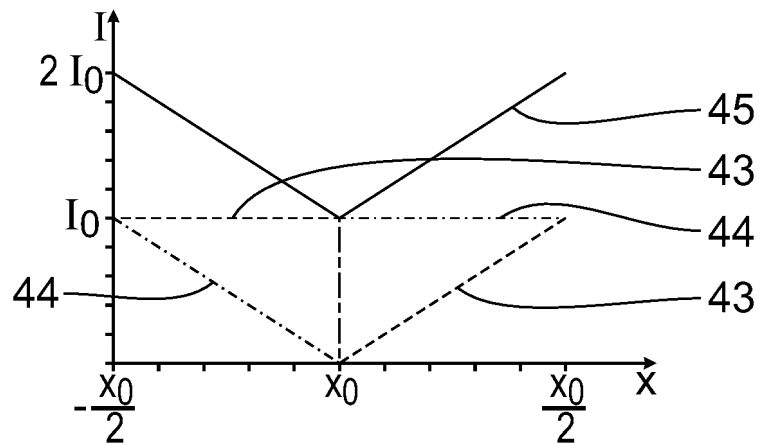


Fig. 7

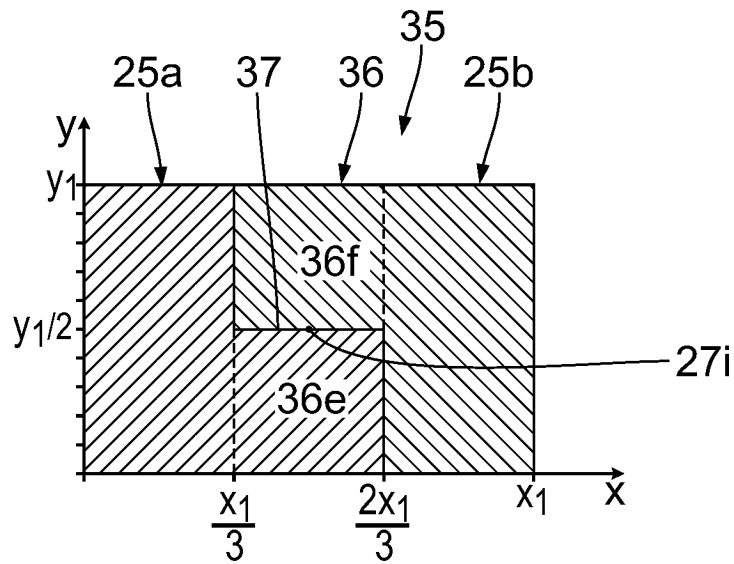


Fig. 8

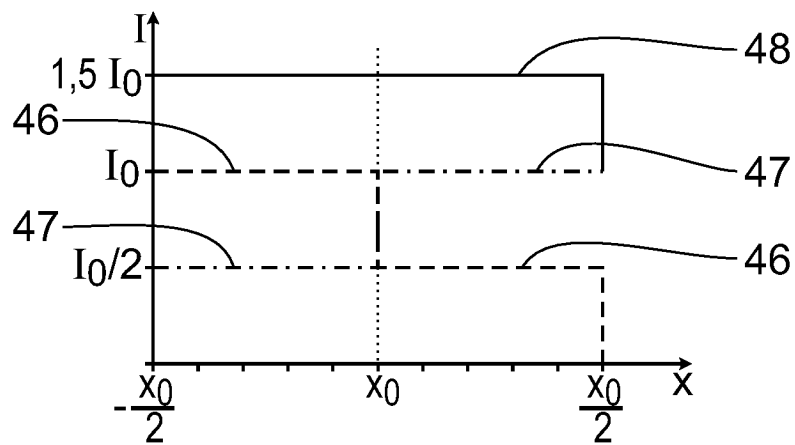


Fig. 9

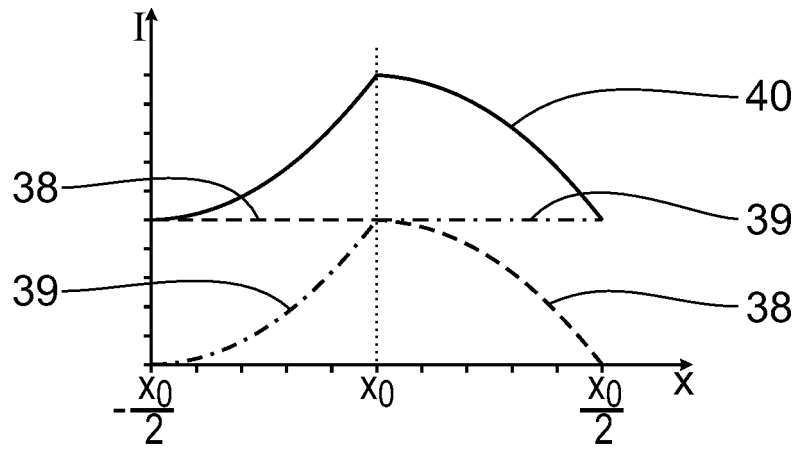


Fig. 10

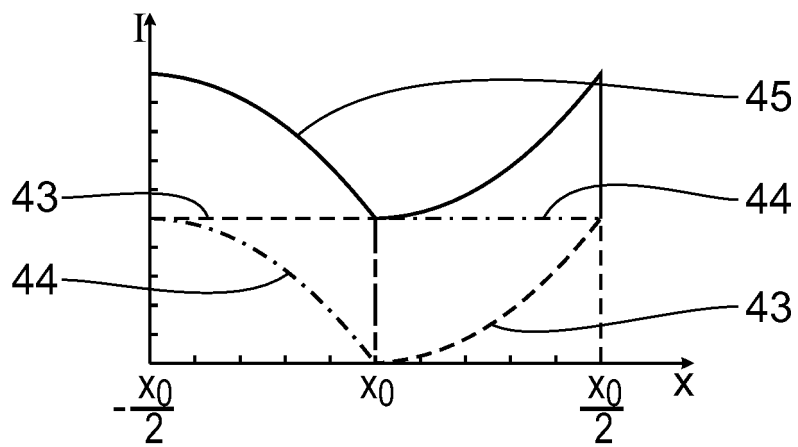


Fig. 11

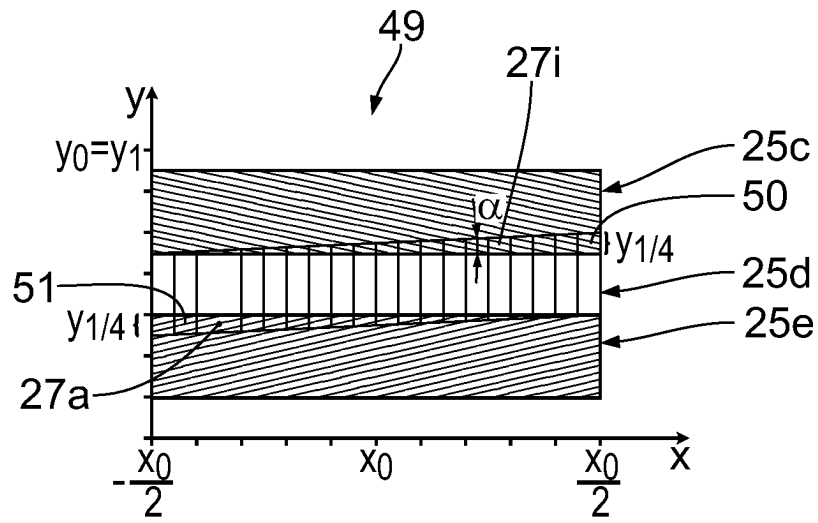


Fig. 12

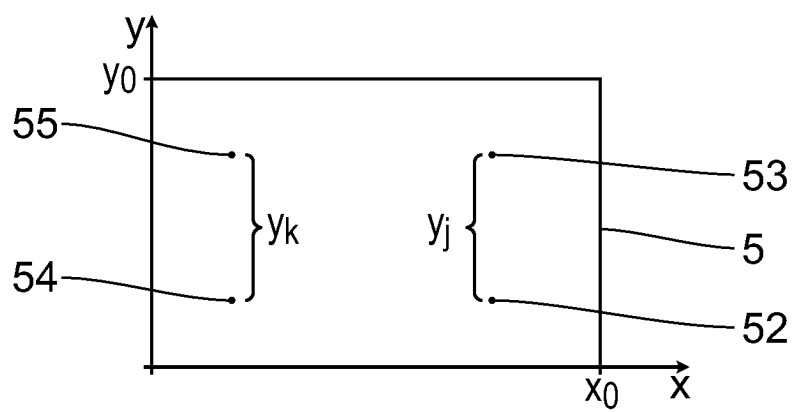


Fig. 13

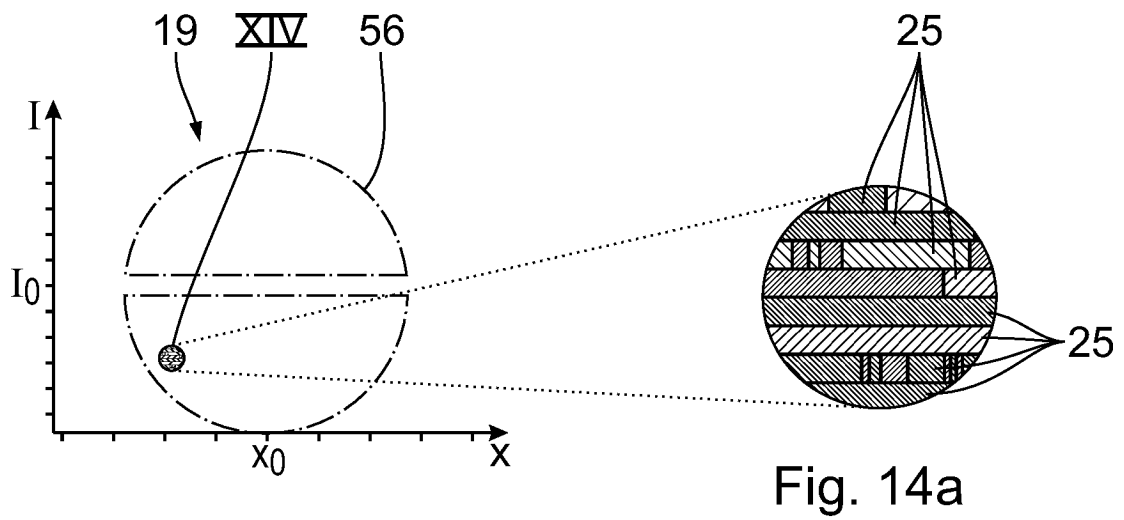


Fig. 14

Fig. 14a

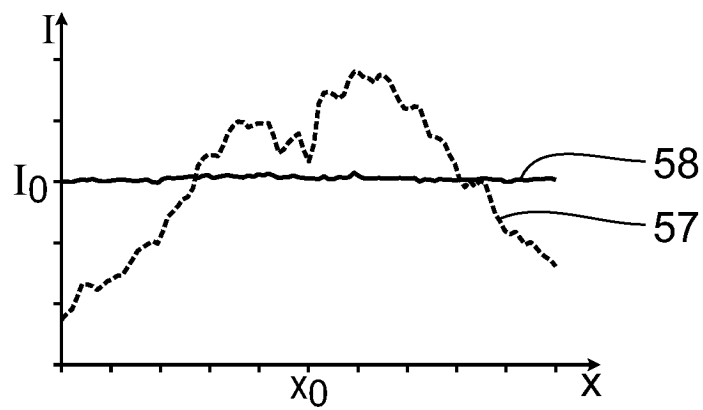


Fig. 15