



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 004 216 A1** 2006.08.03

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 004 216.3**

(22) Anmeldetag: **29.01.2005**

(43) Offenlegungstag: **03.08.2006**

(51) Int Cl.⁸: **G03F 7/20** (2006.01)

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

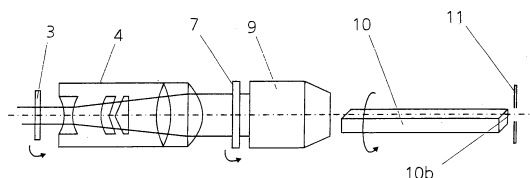
(72) Erfinder:
Brotsack, Markus, 73430 Aalen, DE

(74) Vertreter:
Lorenz und Kollegen, 89522 Heidenheim

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Beleuchtungssystem, insbesondere für eine Projektionsbelichtungsanlage in der Halbleiterlithographie**

(57) Zusammenfassung: Ein Beleuchtungssystem ist mit einem von einer Lichtquelle (1) erzeugten Licht, mit einer optischen Achse und mit optischen Elementen (3, 7), insbesondere für eine Projektionsbelichtungsanlage in der Halbleiterlithographie, mit wenigstens einem optischen Element (3, 7) zum Erzeugen einer Pupillenverteilung des Lichtstrahls und mit einem Homogenisierungselement (10, 24) zur Homogenisierung der Intensität des Lichts versehen. Für eine asymmetrische Pupillenverteilung sind wenigstens die optischen Elemente (3, 7), die nichtrotationssymmetrische Lichtverteilungen erzeugen, und/oder das Homogenisierungselement (10, 24) um die optische Achse, die eine z-Achse eines x-/y-Koordinatensystem bildet, drehbar gelagert, wobei wenigstens ein Drehwinkel α derart einstellbar ist, dass sich die Pupillenverteilung auf einer Achse oder symmetrisch zu einer Achse eines durch den Drehwinkel α durch Drehung des x-/y-Koordinatensystems um den Winkel α neu gebildeten x'-/y'-Koordinatensystems befindet.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Beleuchtungssystem, insbesondere für eine Projektionsbelichtungsanlage in der Halbleiterlithographie, mit einem Homogenisierungselement. Die Erfindung betrifft auch eine Projektionsbelichtungsanlage in der Halbleiterlithographie mit einem Beleuchtungssystem, das ein Homogenisierungselement aufweist.

Stand der Technik

[0002] Zur Homogenisierung der Intensität eines von einer Lichtquelle erzeugten Lichtes, z.B. eines Lasers, dient in einem Beleuchtungssystem einer Projektionsbelichtungsanlage in der Halbleiterlithographie ein sogenannter Stabintegrator, durch welchen das Licht geleitet wird, und der vorzugsweise mit seiner Längsachse parallel zu einer optischen Achse des Beleuchtungssystems angeordnet ist. An den Wänden des Stabes, der im allgemeinen eine flache Rechteckform aufweist, kommt es zu Reflexionen mit dem Effekt, dass nach dem Stab Pupillenverteilungen, auch Settings genannt, relativ zur x-Achse und relativ zur y-Achse gespiegelt und somit symmetrisch bezüglich diesem Koordinatensystem werden. Dies bedeutet, dass z.B. bei einem Stabintegrator, wobei üblicherweise die zur Längsachse senkrechten Kantenlängen des Stabes entlang den x- und y-Achsen liegen, nach dem Stab immer eine symmetrische Verteilung eines vor dem Stab befindlichen Lichtfleckes in allen vier Koordinatenbereichen (Koordinatenquadranten) liegen. Damit liegen symmetrische Pupillenverteilungen vor. Dabei ist das xyz-Koordinatensystem als kartesisches Koordinatensystem definiert, dessen z-Achse in Stablängsrichtung und durch den Mittelpunkt des Stabquerschnitts verläuft, die x,y-Achsen verlaufen parallel zu den Kanten des rechteckigen beleuchteten Feldes auf dem Wafer bzw. parallel zu den Stabkanten des Stabquerschnitts, wenn diese parallel zum rechteckigen beleuchteten Feld auf dem Wafer sind. Durch den Mittelpunkt des Stabquerschnitts verläuft die optische Achse.

[0003] Zum Stand der Technik wird auf die DE 101 32 988 A1 (US 6,707,537 B2), die US 5,675,401 und die US 6,285,443 verwiesen.

[0004] Mitunter wird jedoch auch gefordert, dass eine Homogenisierung nicht symmetrisch zum x-/y-Koordinatensystem ist bzw. wird eine asymmetrische Pupillenverteilung gewünscht. Standardmäßig werden Strukturen im Wafer auf den Masken vertikal oder horizontal abgebildet. Neuerdings gibt es jedoch auch Strukturen, die unter einem von 90° bzw. 180° abweichenden Winkel in dem x-/y-Koordinatensystem liegen. Derartige Strukturen erfordern eine asymmetrische Pupillenverteilung. Dies könnte zwar durch Einführung einer Blende nach dem Stab in ei-

ner geeigneten Pupillenebene erreicht werden, aber nachteilig dabei ist, dass man stets 50 % des Lichtes durch Vignettierung verliert.

Aufgabenstellung

[0005] Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine asymmetrische Pupillenverteilung zu erreichen, wobei keine zu hohen Lichtverluste auftreten.

[0006] Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, dass für eine asymmetrische Pupillenverteilung wenigstens die optischen Elemente, die nichtrotationssymmetrische Lichtverteilungen erzeugen und/oder das Homogenisierungselement um die optische Achse, die eine z-Achse eines x-/y-Koordinatensystems bildet, drehbar gelagert sind, wobei wenigstens ein Drehwinkel α derart einstellbar ist, dass sich die Pupillenverteilung auf einer Achse oder symmetrisch zu einer Achse eines durch den Drehwinkel α durch Drehung des x-/y-Koordinatensystems um den Winkel α neu gebildeten x'-/y'-Koordinatensystems befindet

[0007] Der Erfindung liegt folgende Erkenntnis zugrunde. Wenn sich die Pupillenverteilungen bzw. Settings auf einer Achse des x-/y-Koordinatensystems befinden bzw. symmetrisch zu einer Koordinatenachse verlaufen, dann werden die Settings beim nachfolgenden Strahlengang (bezüglich der Koordinatenachse, bezüglich der die Pupillenverteilung symmetrisch ist) nur durch den Stab in sich selbst gespiegelt und es entstehen (bezüglich der genannten Koordinatenachse) keine neuen symmetrisch im Koordinatensystem gespiegelten Settings. Für eine asymmetrische Pupillenverteilung muss jedoch das von dem entsprechend hierfür vorgesehenen optischen Element erzeugte Setting außerhalb der x- oder y-Achse liegen (bzw. die Pupillenverteilung ist asymmetrisch bezüglich wenigstens einer Achse), wodurch es durch den Stab zu entsprechenden Spiegelungen in alle vier Quadranten des Koordinatensystems kommen würde. Verstellt man nun erfindungsgemäß die optischen Elemente, die asymmetrisch wirken bzw. keine rotationssymmetrischen Verteilungen erzeugen (bzw. die astigmatische Verhältnisse aufweisen), um einen Winkel, der dem Winkel der gewünschten Schrägstellung der Strukturen auf dem Wafer entspricht, und verdreht auch das Homogenisierungselement (z.B. den Stab) um seine z-Achse, so dass die Pupillenverteilungen wieder zu einer x- oder y-Achse des Homogenisierungselements (z.B. des Stabs) symmetrisch ist, so wird, wie erwähnt, die Verteilung (das Setting) bezüglich dieser Achse in sich selbst gespiegelt, und es können asymmetrische Pupillenverteilungen erzielt werden. Das Koordinatensystem des gedrehten Homogenisierungselements wird mit x', y' bezeichnet, um es von dem des ungedrehten zu unterscheiden. Das Verstellen der asymmetrisch wirkenden optischen Elemente und des Homogenisie-

rungelements (des Stabs) kann synchron (gleichzeitig) oder nacheinander erfolgen. Ferner können die Verstellwinkel bzw. Drehwinkel der Elemente bzw. des Homogenisierungselements gleich oder verschieden sein, abhängig von der Pupillenausgangsverteilung und der gewünschten Schrägstellung, die durch die Strukturen vorgegeben ist. Dabei kann auch ein Verstellwinkel bzw. Drehwinkel Null sein.

[0008] Der gewünschte Schrägstellungswinkel kann dabei beliebig eingestellt werden und wird entsprechend den Anforderungen gewählt, wobei der Aufwand hierzu relativ gering ist, da die Elemente bereits vorhanden sind und nur deren Winkel entsprechend geändert werden muss.

[0009] Zwar wird bei dieser Lösung das Scanfeld in x und y eingegrenzt und dadurch auch Licht vignettiert, aber die Verluste sind nicht so hoch wie beim Einführen einer Blende.

[0010] Ein weiterer wesentlicher Vorteil der Erfindung besteht darin, dass durch die erfindungsgemäße verdrehbare Einstellung und der damit verbundenen Lagerung der optischen Elemente und des Homogenisierungselements das gleiche Beleuchtungssystem sowohl zur Abbildung für senkrechte oder horizontale Strukturen als auch für schräge Strukturen geeignet ist. Für den "Normalbetrieb" befinden sich alle Elemente in der "Normallage" im x -/ y -Koordinatensystem. Wenn die Erzeugung von schrägen Strukturen auf dem Wafer gewünscht wird, ist es lediglich erforderlich, den entsprechenden Drehwinkel einzustellen. Da dies ohne großen Aufwand möglich ist, erhält man auf diese Weise ein Beleuchtungssystem, das sehr universell den Anforderungen des Kunden entsprechend eingesetzt werden kann.

[0011] In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass als Homogenisierungselement ein rechteckiger Stabintegrator vorgesehen ist, der für eine asymmetrische Pupillenverteilung um den Drehwinkel α drehbar ist.

[0012] Besonders vorteilhaft lässt sich die erfindungsgemäße Lösung dabei dann einsetzen, wenn nicht ein Stab mit einem stark rechteckigen Querschnitt eingesetzt wird, sondern ein Stab mit einem wenigstens annähernd quadratischen Profil. In diesem Fall fällt der Lichtverlust und die Verkleinerung des Feldes deutlich geringer aus als bei einem stark rechteckigen Stab.

[0013] Da eine asymmetrische Verteilung in der Pupille nicht ständig gewünscht wird, kann in einer erfindungsgemäßen Weiterbildung der Erfindung vorgesehen sein, dass das Beleuchtungssystem so ausgebildet wird, dass der Stabintegrator auswechselbar ist. In diesem Fall kann man für ein "Normalverfahren" mit einem Standard-Scanner-Stabintegrator mit

stark rechteckigem Profil arbeiten und im Bedarfsfall bei einem Austausch des Standard-Stabintegrators gegen einen Stabintegrator mit einem quadratischen oder annähernd quadratischen Querschnitt mit dem gleichen Beleuchtungssystem operieren. In diesem Falle ist es lediglich zusätzlich erforderlich, dass auch die optischen Elemente, welche z.B. refraktive und/oder diffraktive optische Elemente in dem Beleuchtungssystem sein können, z.B. in einer Wechsellösung, vorgesehen sind, damit sie ausgetauscht oder auch drehbar gelagert werden können.

[0014] Um eine maximale Freiheit des möglichen Drehwinkels erreichen zu können und gleichzeitig keine Einschränkungen bezüglich des Scannerfeldes hinnehmen zu müssen, kann in einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen sein, dass bei einem quadratischen Stab die Länge der Diagonalen einer Stirnseite des Stabes der Kantenlänge des Stabes entspricht. Zwar wird dabei das Licht in einem erheblichen Maße vignettiert, aber der Vorteil der Lösung mit dem auswechselbaren Stabintegrator gegenüber einem Stabintegrator, der in einem Winkel eingestellt ist, besteht darin, dass das Scanfeld die originale Größe beibehalten kann und somit in keinem zusätzlichen Faktor resultiert, der zu einer Reduzierung des Durchsatzes führt.

[0015] Vorteilhafte Weiterbildungen und Ausgestaltungen ergeben sich aus den übrigen Unteransprüchen und aus dem nachfolgenden, anhand der Zeichnung prinzipiell beschriebenen Ausführungsbeispiel.

[0016] Es zeigt:

[0017] [Fig. 1](#) eine Prinzipdarstellung einer Projektionsbelichtungsanlage mit dem erfindungsgemäßen Beleuchtungssystem;

[0018] [Fig. 2a](#) eine Abbildung eines Settings in einem x -/ y -Koordinatensystem vor einem Homogenisierungselement;

[0019] [Fig. 2b](#) eine Abbildung des Settings nach der [Fig. 2a](#) nach dem Homogenisierungselement;

[0020] [Fig. 3a](#) eine Abbildung von zwei Polen eines Dipolsettings, die sich auf der y -Achse befinden;

[0021] [Fig. 3b](#) eine Abbildung von zwei außeraxial angeordneten Polen eines Dipolsettings;

[0022] [Fig. 4](#) ein Beleuchtungssystem mit erfindungsgemäß wechselbaren optischen Elementen und einem drehbar angeordneten Stabintegrator als Homogenisierungselement;

[0023] [Fig. 5](#) einen vergrößerten Querschnitt durch den Stabintegrator nach der [Fig. 4](#) in zwei verschie-

denen Winkelstellungen mit Scanfeldern;

[0024] [Fig. 6](#) ein Beleuchtungssystem mit zwei wechselbaren Stabintegratoren und wechselbaren optischen Elementen;

[0025] [Fig. 7](#) einen Querschnittsvergleich zwischen einem Stabintegrator mit einem quadratischen Querschnitt und mit einem rechteckigen Querschnitt; und

[0026] [Fig. 8](#) ein Beleuchtungssystem mit erfindungsgemäß wechselbaren optischen Elementen und einem Wabenkondensator als Homogenisierungselement.

Ausführungsbeispiel

[0027] Grundsätzlich ist der Aufbau und die Wirkungsweise einer Projektionsbelichtungsanlage mit einem Beleuchtungssystem, das als Homogenisierungselement zum Beispiel einen Stabintegrator oder einen Wabenkondensator aufweist, bekannt, weshalb nachfolgend deren Aufbau und Wirkungsweise nur kurz beschrieben wird. Zu näheren Einzelheiten wird z.B. auf die DE 101 32 988 A1 (US 6,707,537 B2) verwiesen, die damit einen Bestandteil zur Offenbarung des Anmeldungsgegenstandes bildet.

[0028] Als Lichtquelle **1** dient zum Beispiel ein Laser, wobei nach Durchlaufen eines Strahlaufweiters **2** ein Projektionslichtbündel ein oder mehrere hintereinander angeordnete diffraktive optische Elemente **3** passiert. Das diffraktive optische Element **3** ist im Bereich einer Objektebene eines Objektivs **4** angeordnet, das z.B. mit einer Zoom-Linse **5** und einem integrierten Axikon-Paar **6** versehen ist. Durch die Zoom-Linse **5** kann die Brennweite des Objektivs **4** über einen relativ großen Bereich eingestellt werden, sodass Beleuchtungssettings bzw. Pupillenverteilungen mit verschiedenen maximalen Beleuchtungswinkeln erzeugt werden können. Durch Verstellen des Axikon-Paares **6** lassen sich darüber hinaus angepasste annuläre Beleuchtungssettings einstellen. Hinter dem Objektiv **4** ist ein refraktives optisches Element **7** angeordnet. Anstelle eines refraktiven optischen Elements **7** kann im Bedarfsfalle an dieser Stelle auch ein weiteres diffraktives optisches Element vorgesehen sein. Nach dem refraktiven optischen Element **7** durchläuft ein Projektionslichtbündel **8** eine Einkoppeloptik **9**. Die Einkoppeloptik **9** überträgt das Projektionslichtbündel **8** auf eine stirnseitige Eintrittsfläche **10a** eines Stabintegrators **10** als Homogenisierungselement. Der Stabintegrator **10** mischt und homogenisiert durch mehrfache innere Reflexion das Licht. Im Bereich einer Austrittsfläche **10b** befindet sich eine Feldebene der Beleuchtungsoptik, in der ein Reticle-Maske-System (ReMa) angeordnet ist. Hierzu ist eine verstellbare Feldblende **11** vorgesehen. Nach Durchgang des Lichtbündels durch die Feldblende **11** folgt ein weiteres Objektiv **12**

mit nicht näher dargestellten optischen Elementen **13**. In dem Objektiv **12** befindet sich auch eine Pupillenebene **14**. Ein Umlenkspiegel **15** lenkt das Lichtbündel um, wonach es nach Durchgang durch eine weitere Linsengruppe **16** auf ein Reticle **17** trifft, auf dem die Feldebene der Feldblende **11** abgebildet wird. Nach dem Reticle **17** folgt in üblicher Weise ein Projektionsobjektiv **18**, hinter dem ein Wafer **19** zur Abbildung der entsprechend verkleinerten auf dem Reticle abgebildeten Strukturen vorgesehen ist.

[0029] In der [Fig. 2a](#) ist die Abbildung einer Pupillenverteilung S bzw. eines Settings dargestellt, welche vor dem Homogenisierungselement, z.B. dem Stabintegrator **10**, außermittig und nicht auf eine der beiden Achsen eines x-/y-Koordinatensystems angeordnet ist. Bei der Homogenisierung des Lichtsbündels erfolgt eine Spiegelung des in der [Fig. 2a](#) dargestellten Settings relativ zur x-Achse und relativ zur y-Achse und somit symmetrisch bezüglich dem Koordinatensystem, wie dies aus der [Fig. 2b](#) ersichtlich ist. Dies bedeutet, wird ein Setting S mit einem Pol "irgendwo" in der Pupille durch den Stabintegrator **10** gelenkt, so entsteht nach dem Stabintegrator **10** immer eine symmetrische Verteilung in allen vier Quadranten des x-/y-Koordinatensystems, falls die Kantenlängen des Stabintegrators **10** entlang den Achsen x und y liegen.

[0030] Werden aber Verteilungen gefordert, die nach der Homogenisierung nicht symmetrisch zum x-/y-Koordinatensystem sind, um Strukturen auf dem Wafer **19** zu erzeugen, die schräg liegen, so wird erfindungsgemäß auf folgende Weise vorgegangen: Die von der Lichtquelle **1** nach Durchgang durch den Strahlaufweiter **2**, das diffraktive optische Element **3**, das Objektiv **4** und das refraktive optische Element **7** erzeugte Pupillenverteilung wird so gewählt, dass diese auf einer Achse, z.B. der y-Achse des x-/y-Koordinatensystems, abgebildet werden, wie aus der [Fig. 3a](#) ersichtlich ist. Durch diese Ausgestaltung spiegeln sich die Pole nur in sich selbst, wobei allerdings in diesem Falle eine symmetrische Anordnung im x-/y-Koordinatensystem vorhanden ist. Durch die optischen Elemente, die nicht rotationssymmetrisch sind bzw. astigmatische Verhältnisse zeigen und damit einen Unterschied zwischen x- und y-Richtung besitzen, und das Homogenisierungselement, z.B. der Stabintegrator **10**, würden diese bei einer außermittigen bzw. asymmetrischen Anordnung von zwei Pupillenverteilungen, wie dies in der [Fig. 3b](#) dargestellt ist, entsprechend zu einer Verdoppelung der beiden Pupillenverteilungen bzw. Polen S führen und damit wiederum zu einer symmetrischen Verteilung gemäß [Fig. 2b](#).

[0031] Um dies zu vermeiden, werden nun die nicht rotationssymmetrischen Verhältnisse erzeugenden optischen Elemente und der Stabintegrator um einen Drehwinkel um ihre optische Achse so gedreht, dass

der Drehwinkel der gewünschten Schrägstellung der Strukturen auf dem Wafer **19** entspricht. Dies bedeutet praktisch, dass das x -/ y -Koordinatensystem für diese optischen Elemente und den Stabintegrator **10** um den Drehwinkel in ein x' -/ y' -Koordinatensystem verdreht wird, womit die beiden Pupillenverteilungen S wieder auf einer Achse, nämlich der neuen y' -Achse liegen, und es deshalb zu keinen zusätzlichen Spiegelungen bzw. Verdoppelungen kommt: Oder anders formuliert, die optischen Elemente und/oder der Stabintegrator werden um einen Drehwinkel bezüglich des eingangs definierten x -/ y -Koordinatensystems gedreht, so dass sich die Pupillenverteilung auf einer Achse eines x' -/ y' -Koordinatensystems befindet, das durch Drehung um den gleichen Drehwinkel aus dem x -/ y -Koordinatensystem hervorgeht. Auf die optischen Elemente, die rotationssymmetrisch sind, hat diese Änderung des Koordinatensystems keinen Einfluss.

[0032] Aus der [Fig. 4](#), in der das Beleuchtungssystem nach der [Fig. 1](#) vergrößert dargestellt ist, ist durch Pfeile ersichtlich, dass für die gewünschte asymmetrische Verteilung nach der [Fig. 3b](#) das diffraktive optische Element **3**, das refraktive optische Element **7** und der Stabintegrator **10** oder wenigstens eines dieser Elemente entsprechend drehbar angeordnet sind und vorzugsweise synchron oder nacheinander mit dem Drehwinkel verstellt werden, der der gewünschten Schrägstellung der Strukturen entspricht. Wird z.B. ein diffraktives oder refraktives optisches Element eingesetzt, das eine asymmetrische Polverteilung z.B. nach [Fig. 2a](#) erzeugt, so wird der Stab (das Homogenisierungselement) z.B. so relativ zum eingangs definierten x -/ y -Koordinatensystem verdreht, dass die Stabkanten des gedrehten Stabs ein x' -/ y' -Koordinatensystem bilden, das um einen Winkel gegen das x -/ y -Koordinatensystem symmetrisch zur Polverteilung liegt.

[0033] Wenn eine "normale" Abbildung von Strukturen in senkrechter oder horizontaler Richtung gewünscht wird, verbleiben das diffraktive optische Element **3**, das refraktive optische Element **7** und der Stabintegrator **10** in ihrer ursprünglichen Lage. Dies bedeutet, das gleiche System kann zur Abbildung von senkrechten, horizontalen und von schrägen Strukturen verwendet werden.

[0034] Stabintegratoren **10** besitzen in der Regel eine stark rechteckige Form. Wird ein derartiger Stabintegrator **10** auch zur Abbildung von schrägen Strukturen mit einer entsprechenden Verdrehung eingesetzt, so muss bei vorgegebenen Drehwinkeln zwangsläufig ein Lichtverlust durch die Verkleinerung des Feldes in Kauf genommen werden, der um so größer ausfällt, je flacher der rechteckige Stabintegrator **10** ist.

[0035] Aus der [Fig. 5](#) sind diese Verhältnisse an-

hand eines Stabintegrators **10** mit einem Kantenverhältnis von 3:1 ersichtlich. Wird ein derartiger Stabintegrator **10** relativ zum Scanfeld (x -/ y -Koordinatensystem) um den dargestellten Winkel α in die Stellung "**10**" gedreht, so ergibt sich ein eingepasstes Scanfeld **20** nach der Drehung um den Winkel α , wobei deren Größe durch die beiden Diagonalen der Stirnseite **10a** des Stabintegrators **10** in der ungedrehten Stellung und die Ober- und Unterseite des Stabintegrators **10** in der gedrehten Stellung "**10**" begrenzt ist. Das maximale mögliche eingepasste Scanfeld in die zueinander verdrehten Stabverschnitte liegt – wie ersichtlich – so, dass die Eckpunkte immer auf der Diagonalen und des originalen Querschnittes liegen, womit sich das Scanfeld entlang der x - und entlang der y -Achse verkleinert. In der gedrehten Stellung "**10**" ist zusätzlich das x' -/ y' -Koordinatensystem eingezeichnet.

[0036] Diese doch deutliche Verkleinerung des Scanfeldes lässt sich vermeiden, wenn der stark rechteckige Stabintegrator **10** bei Verwendung des Beleuchtungssystems zur Erzeugung von schief liegenden Strukturen durch einen Stabintegrator **10''** ersetzt wird, wie dies in der [Fig. 6](#) dargestellt ist. Zur Anpassung an den neuen nunmehr quadratischen Querschnitt des Stabintegrators **10''** kann es dabei auch erforderlich werden, dass die anderen optischen Elemente, wie z.B. das refraktive optische Element **7**, ebenfalls gegen ein entsprechend angepasstes refraktives optisches Element **7'** ausgetauscht wird. In diesem Fall kann die Größe des Scanfeldes erhalten bleiben. Der rechteckige Stabintegrator **10** muss in diesem Falle nicht rotierbar gelagert sein, da er ja bei der Abbildung von schief liegenden Strukturen gegen den Stabintegrator **10''** mit dem quadratischen Querschnitt ausgetauscht wird.

[0037] Um eine maximale Freiheit eines möglichen Drehwinkels α zu erreichen und gleichzeitig keine Einschränkungen bezüglich der Größe des Scanfeldes hinnehmen zu müssen, sollte der quadratische Stab die Länge der Diagonalen der Stirnseite des Stabintegrators mit dem rechteckigen Querschnitt als Kantenlänge aufweisen.

[0038] Ist bekannt, dass z.B. Drehwinkel α mit maximal 20° eingesetzt werden, dann muss der drehbare Stabintegrator **10** oder **10''** nicht quadratisch sein, sondern kann in einer Richtung eine etwas kleinere Geometrie aufweisen, womit der Lichtverlust nicht ganz so groß ist.

[0039] [Fig. 7](#) zeigt diese Ausgestaltung. Der Stabintegrator mit dem quadratischen Querschnitt ist mit dem Bezugszeichen **21** versehen. Ein "optimierter" drehbarer Stab mit nicht ganz quadratischem Querschnitt ist mit "**22**" in unverdrehter Lage und mit "**22''**" mit einer maximalen Verdrehung dargestellt. Mit dem Bezugszeichen **23** ist das aus einer Verdrehung des

optimierten Stabintegrators sich ergebende Scanfeld dargestellt.

[0040] Fig. 8 zeigt ein Ausführungsbeispiel mit einem Wabenkondensator 24 als Homogenisierungselement anstelle des Stabintegrators nach dem vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiel. Grundsätzlich liegt der gleiche Aufbau vor, weshalb für die gleichen Teile auch die gleichen Bezugszeichen verwendet worden sind. In diesem Fall ist das refraktive optische Element 7 nicht erforderlich, vielmehr steht der Wabenkondensator 24 an dessen Stelle. Eine in Strahlrichtung nach dem Wabenkondensator 24 angeordnete Feldlinse 25 wirkt wie die Einkoppeloptik 9 gemäß Fig. 4. In dem Wabenkondensator 24 wird zusammen mit der Feldlinse 25 die Lichtmischung durchgeführt. An der Feldblende 11 hinter dem Wabenkondensator 24 und der Feldlinse 25 wird ein gewünschter Scan-Schlitz bzw. eine Feldgröße eingestellt. Wenn der Wabenkondensator 24 entsprechend kleine Waben aufweist, muss dieser gegebenenfalls nicht verdreht werden.

[0041] Anstelle eines drehbaren diffraktiven optischen Elements kann auch ein Austauschelement vorgesehen werden. Dies bedeutet, dass man für den Fall einer asymmetrischen Pupillenverteilung das "normale" diffraktive optische Element gegen ein diffraktives optisches Element austauscht, das die asymmetrische Verteilung direkt erzeugt. Hierzu wird entsprechend die diffraktive Struktur so gewählt, dass die "verdrehte" Struktur automatisch erzeugt wird.

Patentansprüche

1. Beleuchtungssystem mit einem von einer Lichtquelle erzeugten Licht, mit einer optischen Achse und mit optischen Elementen, insbesondere für eine Projektionsbelichtungsanlage in der Halbleiterlithographie, mit wenigstens einem optischen Element zur Erzeugung einer Pupillenverteilung des Lichtstrahls und mit einem Homogenisierungselement zur Homogenisierung der Intensität des Lichts, **dadurch gekennzeichnet**, dass für eine asymmetrische Pupillenverteilung wenigstens die optischen Elemente (3, 7), die nichtrotationssymmetrische Lichtverteilungen erzeugen und/oder das Homogenisierungselement (10) um die optische Achse, die eine z-Achse eines x-/y-Koordinatensystems bildet, drehbar gelagert sind, wobei wenigstens ein Drehwinkel α derart einstellbar ist, dass sich die Pupillenverteilung auf einer Achse oder symmetrisch zu einer Achse eines durch den Drehwinkel α durch Drehung des x-/y-Koordinatensystems um den Winkel α neu gebildeten x'-/y'-Koordinatensystems befindet.

2. Beleuchtungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein drehbares optisches Element (3, 7) und das Homogenisie-

rungselement (10) um den gleichen Drehwinkel verdreht sind.

3. Beleuchtungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein drehbares optisches Element (3, 7) und das Homogenisierungselement (10) um verschiedene Drehwinkel verdreht sind.

4. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass als Homogenisierungselement ein rechteckiger Stabintegrator (10) vorgesehen ist, der für eine asymmetrische Pupillenverteilung um den Drehwinkel α drehbar ist.

5. Beleuchtungssystem nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Querschnitt des Stabintegrators (10) wenigstens annähernd quadratisch ist.

6. Beleuchtungssystem nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Stabintegrator (10) zwischen einer Einkoppeloptik (9) und einer Feldebene mit einer Feldblende (11) angeordnet ist.

7. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die optischen Elemente (3, 7) diffraktive und/oder refraktive optische Elemente sind, die in Strahlrichtung vor dem Homogenisierungselement (10, 24) liegen.

8. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Stabintegrator (10, 10'') auswechselbar in dem Beleuchtungssystem angeordnet ist, wobei ein Stabintegrator (10'') mit quadratischem Querschnitt bei Einstellung eines Drehwinkels im Austausch gegen einen Stabintegrator (10) mit rechteckigem Querschnitt vorgesehen ist.

9. Beleuchtungssystem nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Länge der Diagonalen einer Stirnseite des Stabintegrators mit rechteckigem Querschnitt (10) wenigstens annähernd der Kantenlänge des Stabintegrators (10'') mit quadratischem Querschnitt entspricht.

10. Beleuchtungssystem nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass refraktive optische Elemente (7), die in Strahlrichtung vor dem Stabintegrator (10, 10'') angeordnet sind, austauschbar angeordnet sind.

11. Beleuchtungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Homogenisierungselement ein Wabenkondensator (24) vorgesehen ist.

12. Projektionsbelichtungsanlage in der Halbleiterlithographie mit einem Beleuchtungssystem nach

einem der Ansprüche 1 bis 11.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

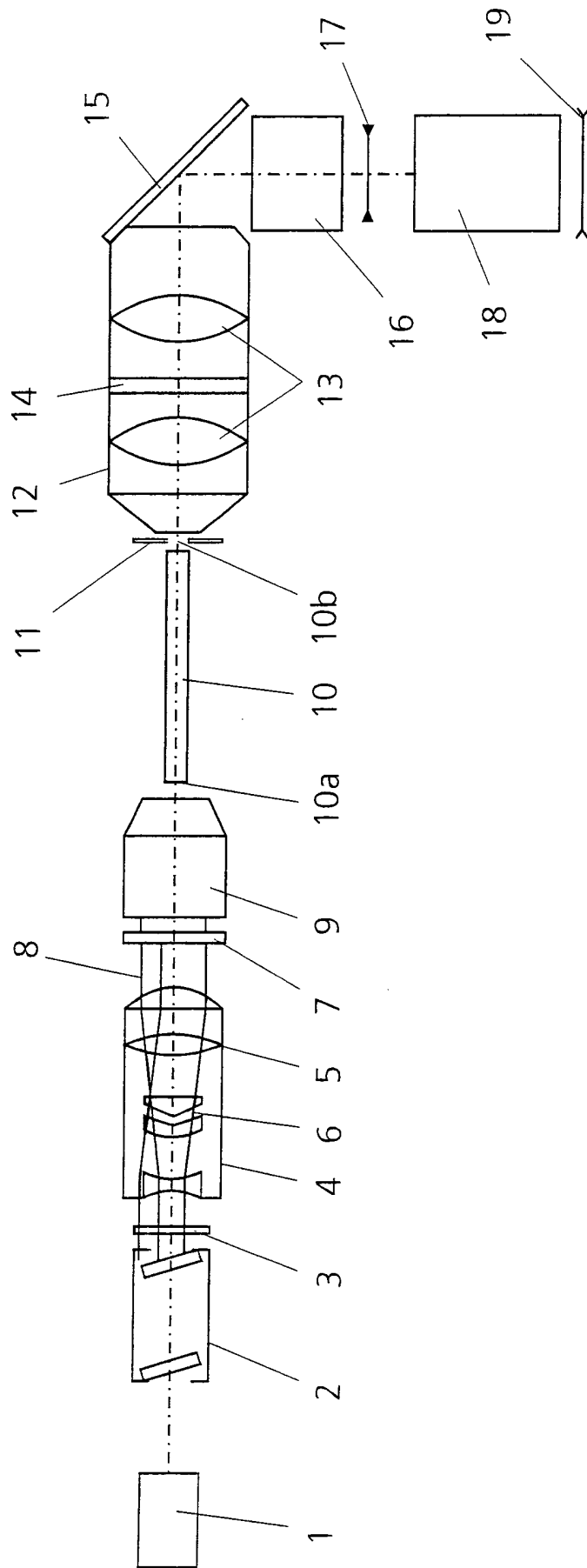


Fig. 1

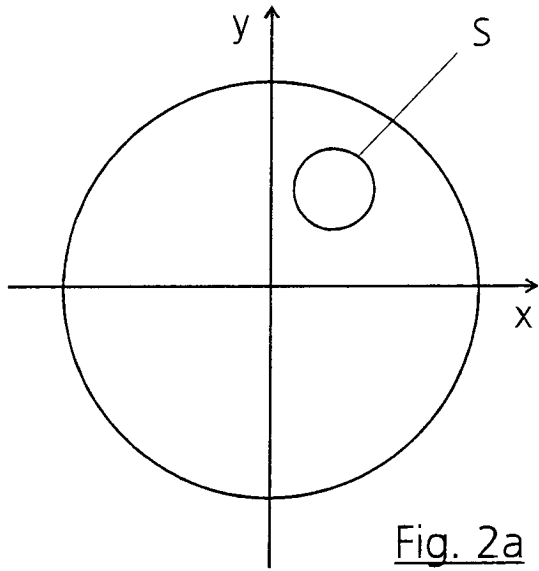


Fig. 2a

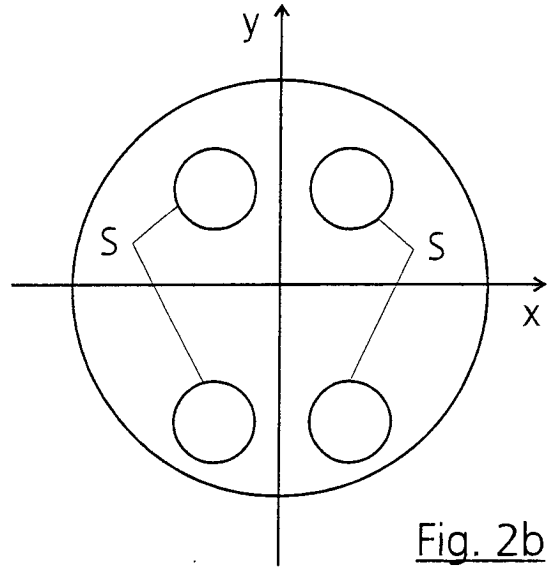


Fig. 2b

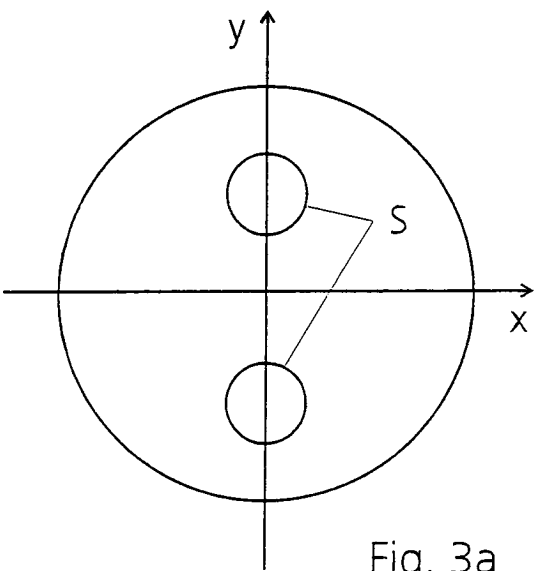


Fig. 3a

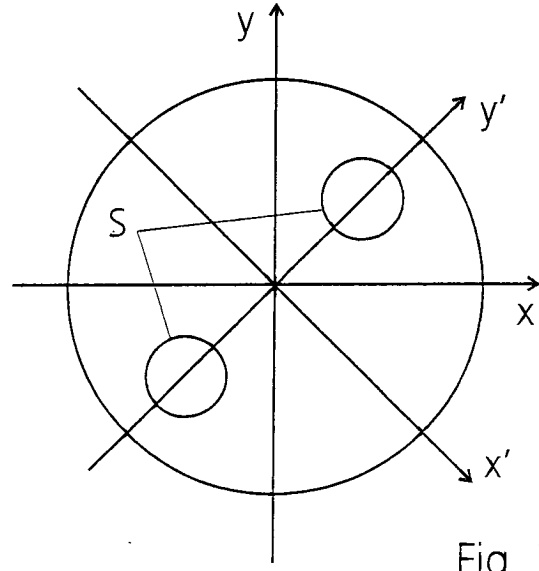
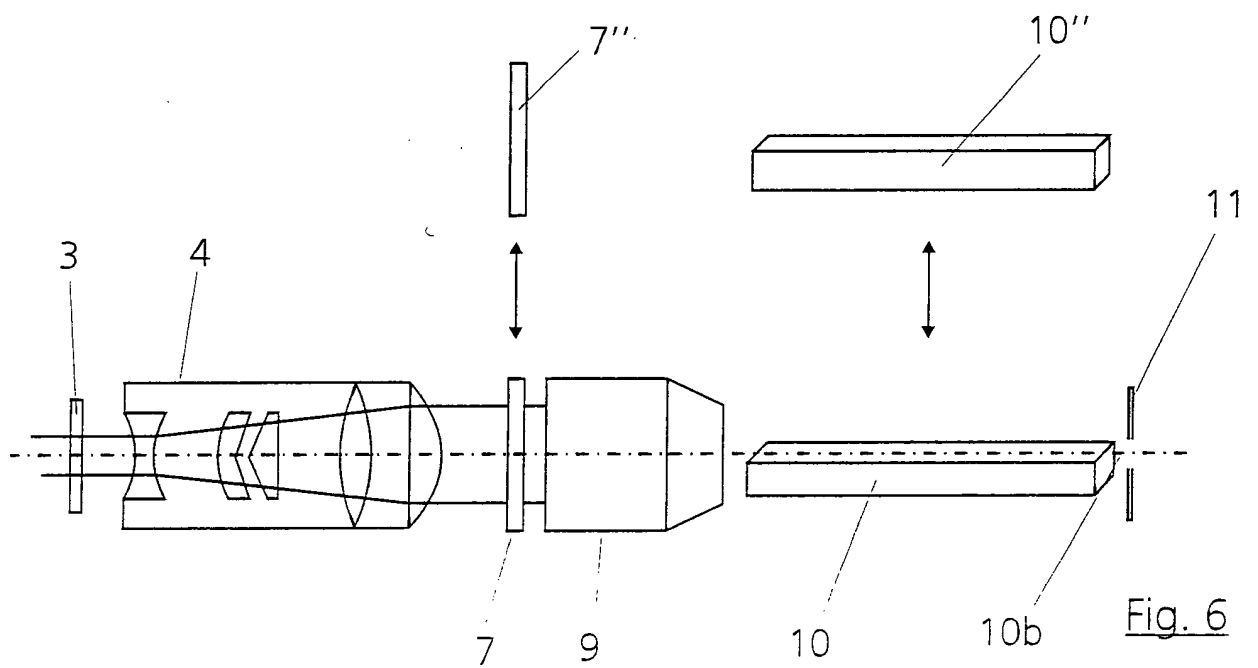
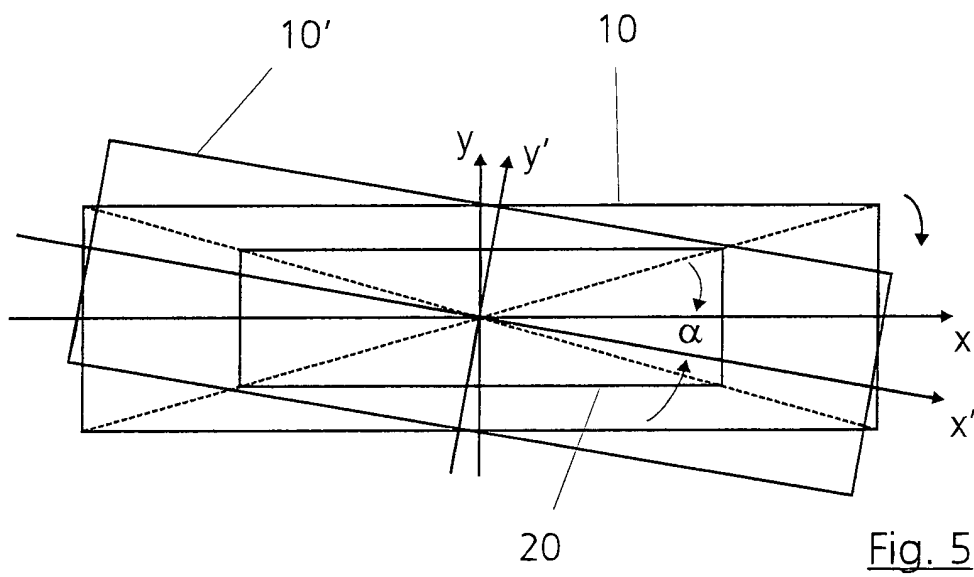
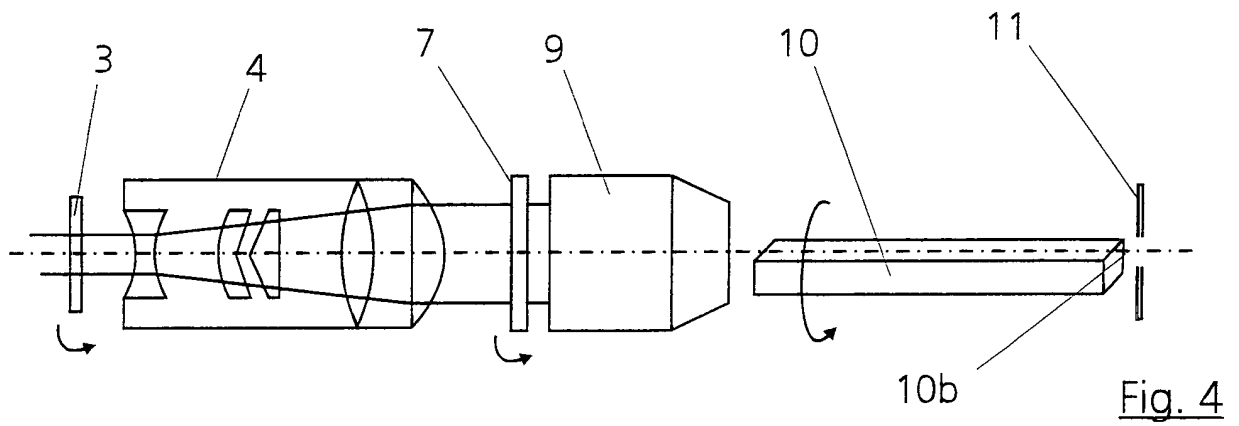


Fig. 3b



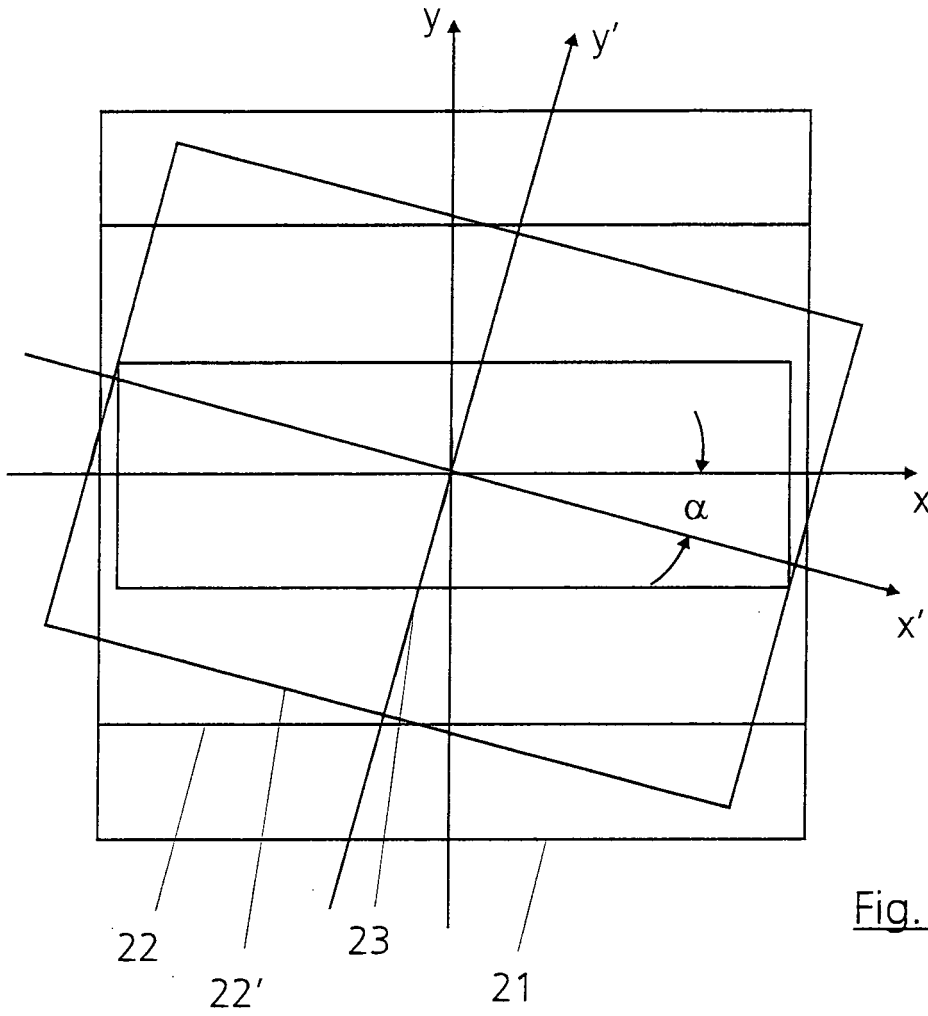


Fig. 7

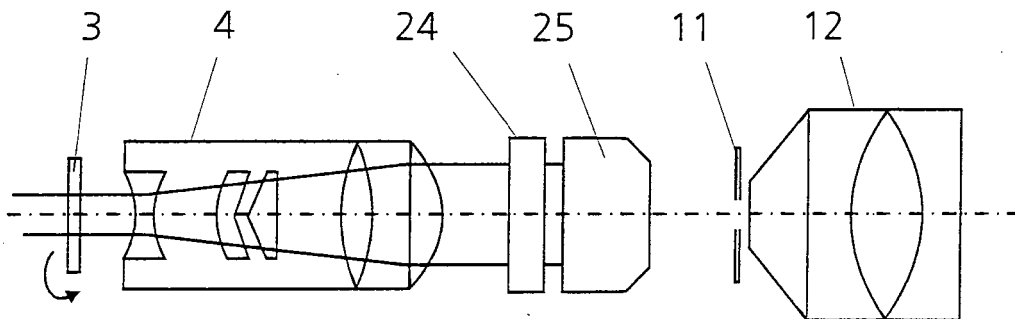


Fig. 8