



(10) **DE 10 2011 003 145 A1** 2011.08.11

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 003 145.6**

(22) Anmeldetag: **26.01.2011**

(43) Offenlegungstag: **11.08.2011**

(51) Int Cl.: **G02B 27/09 (2006.01)**  
**G03F 7/20 (2006.01)**

(66) Innere Priorität:

**10 2010 008 222.8 09.02.2010**

(72) Erfinder:

**Sigel, Benjamin, 73432, Aalen, DE; Bleidistel,  
Sascha, 73432, Aalen, DE**

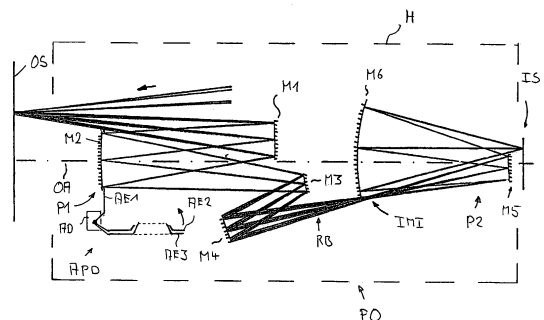
(71) Anmelder:

**Carl Zeiss SMT GmbH, 73447, Oberkochen, DE**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Optisches System mit Blendeneinrichtung**

(57) Zusammenfassung: Ein optisches System hat eine Blendeneinrichtung, die eine Vielzahl von Blendenelementen zur Begrenzung des Querschnitts eines durch das optische System verlaufenden Strahlbündels aufweist. Die Blendeneinrichtung hat ein erstes Blendenelement, das um eine erste Drehachse zwischen einer Eingriffsstellung im Strahlengang des optischen Systems und einer Neutralstellung außerhalb des Strahlengangs des optischen Systems verschwenkbar ist und eine durch einen ersten Blendenrand begrenzte erste Blendenöffnung aufweist, sowie mindestens ein zweites Blendenelement, das um eine zweite Drehachse zwischen einer Eingriffsstellung im Strahlengang des optischen Systems und einer Neutralstellung außerhalb des Strahlengangs des optischen Systems verschwenkbar ist und eine durch einen zweiten Blendenrand begrenzte zweite Blendenöffnung aufweist, die kleiner als die erste Blendenöffnung ist. Die in die Eingriffsstellung geschwenkten Blendenelemente bilden eine effektive Blendenöffnung. Die Blendenränder von in die Eingriffsstellung geschwenkten Blendenelementen liegen nicht in einer gemeinsamen Ebene.



**Beschreibung**

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

## Technisches Gebiet

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf ein optisches System mit einer Blendeneinrichtung, die eine Vielzahl von Blendenelementen zur variablen Begrenzung des Querschnitts eines durch das optische System verlaufenden Strahlbündels aufweist. Bei dem optischen System kann es sich insbesondere um ein optisches System einer Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage handeln, beispielsweise um ein Projektionsobjektiv oder um ein Beleuchtungssystem. Ein besonderes Anwendungsgebiet sind optische Systeme für die Mikrolithographie, die mit Strahlung aus dem extremen Ultraviolettbereich (EUV) arbeiten.

## Beschreibung des Standes der Technik

**[0002]** Blendeneinrichtungen mit einer Vielzahl von Blendenelementen zur variablen Begrenzung des Querschnitts eines durch ein optisches System verlaufenden Strahlbündels sind beispielsweise in Form von Aperturblenden für optische Abbildungssysteme bekannt. Aperturblenden werden dazu genutzt, die für eine Abbildung effektiv genutzte numerische Apertur des optischen Systems für die entsprechende Anwendung einzustellen, indem im Bereich eine Pupillenfläche des optischen Systems der Querschnitt des Strahlbündels definiert begrenzt und dadurch das Winkelspektrum der im Bildfeld auftretenden Strahlen definiert wird. Soll das optische System wahlweise bei unterschiedlichen numerischen Aperturen betrieben werden, so ist eine variable Begrenzung des Strahlbündelquerschnitts erforderlich.

**[0003]** Bekannt sind variable Blendeneinrichtungen in Form von Irisblenden, die mehrere lamellenartige, im allgemeinen sichelförmige Blendenelemente haben, die über eine Mechanik gemeinsam nach innen oder außen gedreht werden können, um die Größe der von allen Lamellen gemeinsam definierten, mehr oder weniger kreisförmigen effektiven Blendenöffnung einzustellen.

**[0004]** Es sind auch Blendeneinrichtungen bekannt, die mehrere Blendenelemente haben, die jeweils zwischen einer Eingriffsstellung im Strahlengang des optischen Systems und einer Neutralstellung außerhalb des Strahlengangs des optischen Systems bewegt werden können und jeweils eine durch einen Blendenrand begrenzte Blendenöffnung aufweisen.

**[0005]** Die WO 2005/050322 A1 (entsprechend US 2007/0053076 A1) zeigt Blendenwechseleinrichtungen für ein mit elektromagnetischer Strahlung aus dem extremen Ultraviolettbereich (EUV) arbei-

tendes Projektionsobjektiv. Der Blendenwechsler hat einen Blendenvorrat mit mehreren im Wesentlichen scheibenförmigen Blendenelementen, die jeweils eine Blendenöffnungen fester Form und Größe haben und die mit Hilfe des Blendenwechslers wahlweise in eine Blendenposition unmittelbar vor einem Konkavspiegel des Projektionsobjektivs eingebracht bzw. aus dieser Blendenposition entnommen werden können. Die Blendenelemente sind innerhalb eines Magazins in separaten Einschüben untergebracht und werden mit Hilfe eines beweglichen Robotergreiferarms aus dem entsprechenden separaten Einschub entnommen, in den Strahlengang eingebracht und nach ihrer Verwendung wieder in dem Magazin abgelegt.

**[0006]** Aus der WO 2007/105549 A1 sind Blendeneinrichtungen bekannt, welche ein oder mehrere Blendenelemente haben, die jeweils mit Hilfe eines Schwenkantriebes zwischen einer Eingriffsstellung im Strahlengang des Systems und einer Neutralstellung außerhalb des Strahlengangs des optischen Systems um eine Drehachse verschwenkbar sind und die jeweils eine durch einen Blendenrand begrenzte Blendenöffnung definierter Form und Größe haben. Bei Ausführungsformen mit mehreren verschwenkbaren Blendenelementen wird zunächst ein Blendenelement mit einer größeren Blendenöffnung in die Eingriffsstellung verschwenkt und bei Bedarf danach ein Blendenelement mit einer kleineren Blendenöffnung, wobei das Blendenelement mit der größeren Blendenöffnung in seiner Neutralstellung verbleiben kann, so dass das Blendenelement mit der kleineren Blendenöffnung die effektive Blendenöffnung definiert. Dabei haben die Blendenelemente mit kleineren Blendenöffnungen jeweils einen Außenabschnitt und einen gegenüber dem Außenabschnitt konisch vorspringenden Innenabschnitt, der die kleinere Blendenöffnung begrenzt und derart dimensioniert ist, dass er in die größere Blendenöffnung so einführbar ist, dass die kleinere Blendenöffnung in ihrer Neutralstellung in der gleichen Ebene liegt wie die bereits in der Eingriffsstellung liegende größere Blendenöffnung. Dadurch wird mit Hilfe von klappbaren Blendenelementen die Wirkung einer verstellbaren ebenen Blende erreicht.

**[0007]** Eine weitere Blendeneinrichtung mit verschwenkbaren Blendenelementen ist aus der US 4,675,590 bekannt. Die Blendeneinrichtung ist Teil einer Laserbearbeitungsmaschine und dient dazu, die Transversalmodenverteilung des Laserstrahls nach Bedarf variabel einzustellen. Dazu hat die Blendeneinrichtung ein innerhalb des Laserresonators fest installiertes stationäres Blendenelement, sowie ein oder mehrere, zusätzlich zu dem stationären Blendenelement selektiv in den Strahlengang des Laserresonators einklappbare Blendenelemente, deren Blendenöffnungen kleiner sind als die Blendenöffnung des stationären Blendenelements. Das jeweils

in die Eingriffsstellung eingeklappte Blendenelement definiert mit seiner Blendenöffnung die effektiv wirk-same Blendenöffnung.

#### ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0008]** Es ist eine Aufgabe der Erfindung, eine Blendeneinrichtung für ein optisches System bereitzustellen, mit dem schnell und mit hoher Positioniergenauigkeit unterschiedlich dimensionierte Blendenöffnungen im Strahlengang des optischen Systems angebracht werden können. Die Blendeneinrichtung soll insbesondere für den Einsatz bei optischen Systemen für die Mikrolithographie mittels extremer Ultraviolettstrahlung (EUV) geeignet sein, wo besonders hohe Anforderungen an die Sauberkeit bzw. die Vermeidung von Kontamination im evakuierten Bereich des Strahlenganges vorliegen. Insbesondere soll die Blendeneinrichtung verbesserte optische Eigenschaften des optischen Systems bei unterschiedlich großen Blendenöffnungen ermöglichen.

**[0009]** Zur Lösung dieser Aufgabe stellt die Erfindung ein optisches System mit den Merkmalen von Anspruch 1 bereit.

**[0010]** Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben. Der Wortlaut sämtlicher Ansprüche wird durch Bezugnahme zum Inhalt der Beschreibung gemacht.

**[0011]** Bei Verwendung der Blendeneinrichtung kann der Wechsel zwischen einer größeren effektiven Blendenöffnung und einer kleineren effektiven Blendenöffnung dadurch erreicht werden, dass zu dem bereits in seiner Eingriffsstellung befindlichen ersten Blendenelement, welches die größere Blendenöffnung definiert, mindestens ein zweites Blendenelement mit kleinerer Blendenöffnung hinzugeschwenkt wird, so dass die effektive Blendenöffnung der Blendeneinrichtung dann durch die zweite Blendenöffnung gebildet wird. Da die Blendenränder von den in die Eingriffsstellung geschwenkten Blendenelementen nicht in einer gemeinsamen Ebene liegen, ist es mit Hilfe der Blendeneinrichtung möglich, eine Begrenzung des Strahlengangs für unterschiedliche Öffnungsweiten an unterschiedlichen Positionen entlang des Strahlweges zu schaffen. Anders ausgedrückt ist somit eine Blendeneinrichtung mit verschwenkbaren Blendenelementen geschaffen, bei der die Position der effektiven Blendenöffnung entlang des Strahlweges als Funktion des Blendendurchmessers definiert veränderbar ist. Im Vergleich zu sogenannten ebenen Blendeneinrichtungen, bei denen die effektive Blendenöffnung unabhängig vom Blendendurchmesser immer in der gleichen Ebene bzw. in der gleichen Position im Strahlengang des optischen Systems liegt, kann bei Verwendung erfindungsgemäßer Blendeneinrichtungen die wirksame Blendenposition in Abhängigkeit vom

Blendendurchmesser gezielt an den Strahlverlauf im Bereich der Blendeneinrichtung angepasst werden. Dadurch können beispielsweise bei optischen Systemen mit einem sogenannten Blendenfehler bzw. einer Blendenkrümmung verbesserte optische Eigenschaften bei unterschiedlichen Blendenöffnungen erzielt werden. Weiterhin können ggf. Vignettierungsprobleme beim Ablenden vermindert oder vermieden werden. Die Blendeneinrichtung kann genau zwei verschwenkbare Blendenelemente haben, so dass zwei unterschiedliche Positionen der effektiven Blendenöffnung mit unterschiedlichen Blendendurchmessern und/oder unterschiedlicher Form der Blendenöffnung erzielbar sind. Bei manchen Ausführungsformen hat die Blendeneinrichtung mindestens drei verschwenkbare Blendenelemente, beispielsweise drei, vier, fünf, sechs oder mehr separate Blendenelemente. Dadurch ist eine feinteilige Anpassung der effektiven Blendenöffnung an die Nutzungsbedingungen des optischen Systems möglich.

**[0012]** Zwei oder mehr verschwenkbare Blendenelemente, z. B. drei vier oder fünf Blendenelemente, können um koaxiale Drehachsen verschwenkbar sein. Vorzugsweise sind alle verschwenkbaren Blendenelemente einer Blendeneinrichtung um die gleiche Drehachse verschwenkbar. Hiefür kann ein gemeinsamer Verschwenkantrieb vorgesehen sein, so dass bei platzsparender einfacher Konstruktion eine präzise Ansteuerung der Blendenelemente möglich ist.

**[0013]** Bei manchen Ausführungsformen liegen die Blendenränder der in die Eingriffsstellung geschwenkten Blendenelemente auf einer gemeinsamen, in mindestens einer Richtung gekrümmten Fläche, beispielsweise auf einer rotationssymmetrischen Fläche, insbesondere auf einer sphärisch oder konisch gekrümmten Fläche. Auf diese Weise können mit Hilfe von klappbaren bzw. verschwenkbaren Blendenelementen z. B. sogenannte Kugelblenden (bei sphärisch gekrümmter Fläche) oder Kegelblenden (bei konisch gekrümmter Fläche) realisiert werden. Die durch die Blendenränder definierte gekrümmte Fläche kann auch eine asymmetrische Flächenform aufweisen, es kann sich also um eine frei im Raum gekrümmte Fläche handeln. Bei hohen Aspektverhältnissen von Bildfeldern, d. h. bei großem Unterschied zwischen Höhe und Breite des Bildfeldes, wie sie z. B. in der EUV-Mikrolithographie auftreten, kann die gemeinsame gekrümmte Fläche z. B. auch eine Zylinderfläche sein, wobei die Krümmung vorzugsweise entlang der langen Seite des Bildfeldes verläuft.

**[0014]** Bei der Blendeneinrichtung kann ein Blendenelement mit einer relativ größeren Blendenöffnung in seiner eingeschwenkten Eingriffsstellung verbleiben, wenn beim Wechsel von einer größeren Blendenöffnung zu einer kleineren Blendenöffnung

ein zweites Blendenelement mit vergleichsweise kleinerer Blendenöffnung (oder noch weitere Blendenelemente mit noch kleineren Blendenöffnungen) aus ihrer jeweiligen Neutralstellung in ihre jeweilige Eingriffsstellung verschwenkt werden. Die in die Eingriffsstellung geschwenkten Blendenelemente können dabei einen Stapel von Blendenelementen bilden, wobei das Blendenelement mit der relativ kleineren Blendenöffnung jeweils von einer ersten Seite des Blendenelementes mit relativ größerer Blendenöffnung hinzugeschwenkt wird.

**[0015]** Es sind unterschiedliche Richtungen des Versatzes zwischen größeren und kleineren Blendenöffnungen möglich. Dadurch kann die gekrümmte Fläche, die durch die Blendenränder der in Eingriffsstellung geschwenkten Blendenelemente definiert wird, wahlweise eine im Wesentlichen konvexe oder eine im Wesentlichen konkave Krümmung haben.

**[0016]** Zur Veranschaulichung sei die dem Blendenelement mit kleinerer Blendenöffnung zugewandte Seite des Blendenelementes mit größerer Blendenöffnung als erste Seite und die dem Blendenelement mit kleinerer Blendenöffnung abgewandten Seite als zweite Seite des ersten Blendenelementes mit größerer Blendenöffnung bezeichnet. Bei manchen Ausführungsformen liegen die relativ kleinen inneren Blendenöffnungen in Bezug auf die jeweils größere Blendenöffnung zur ersten Seite hin versetzt, also zu der Seite hin, von der das Blendenelement mit kleinerer Blendenöffnung zum Blendenelement mit größerer Blendenöffnung verschwenkt wird. Die kleineren Blendenöffnungen liegen dadurch jeweils auf derjenigen Seite der relativ größeren Blendenöffnungen, auf der auch die hinzugeschwenkten Blendenelemente mit kleineren Blendenöffnungen liegen. Eine solche Krümmung kann auf einfache Weise mit Hilfe von weitgehend plattenförmigen bzw. scheibenförmigen Blendenelementen mit unterschiedlich großen Blendenöffnungen realisiert werden.

**[0017]** Auch eine umgekehrte Krümmung der von den Blendenrändern der in die Eingriffsstellung geschwenkten Blendenelemente definierten Fläche ist möglich. Hierzu ist bei manchen Ausführungsformen vorgesehen, dass das zweite Blendenelement einen Außenabschnitt und einen an die Blendenöffnung unmittelbar angrenzenden Innenabschnitt hat, der gegenüber dem Außenabschnitt vorspringt und derart durch die erste Blendenöffnung hindurchführbar ist, dass die vom Innenabschnitt des zweiten Blendenelementes begrenzte zweite Blendenöffnung auf der dem Außenabschnitt des zweiten Blendenelementes gegenüberliegenden Seite des ersten Blendenelementes jenseits der ersten Blendenöffnung angeordnet ist. Der vorspringende Innenabschnitt kann beispielsweise eine konusförmige Gestalt haben, so dass auch ein Strahlbündel mit unterschiedlichen Strahlwinkeln ohne Vignettierung am zweiten Blen-

denelement durch die zweite Blendenöffnung hindurchtreten kann.

**[0018]** Die Anordnung und Ausrichtung der Drehachsen für die Blendenelemente kann der Einbausituation am optischen System angepasst werden. Bei einer Ausführungsform liegen die erste und die zweite Drehachse, coaxial, so dass das erste Blendenelement und das zweite Blendenelement um die gleiche Drehachse verschwenkbar sind. Insbesondere können die Drehachsen aller verschwenkbaren Blendenelemente der Blendeneinrichtung (z. B. drei, vier fünf, sechs oder mehr Blendenelemente) coaxial liegen. Sie können dann auf besonders einfache Weise über einen einzigen gemeinsamen Antrieb verschwenkt werden.

**[0019]** Die erste und die zweite Drehachse können jedoch auch an unterschiedlichen Orten liegen und/oder unterschiedlich ausgerichtet sein. Beispielsweise kann die zweite Drehachse parallel versetzt zur ersten Drehachse liegen, insbesondere auf der der ersten Drehachse gegenüberliegenden Seite bezogen auf die Durchlaufrichtung des Strahlbündels. Die Blendenelemente können dann von unterschiedlichen Seiten des Strahlbündels in ihre jeweilige Eingriffsstellung verschwenkt werden. Es ist auch möglich, dass die erste und die zweite Drehachse in einem Winkel zueinander ausgerichtet sind, insbesondere in einem rechten Winkel. Beispielsweise können zwei Blendenelemente aus  $90^\circ$  zueinander versetzten Richtungen eingeschwenkt bzw. ausgeschwenkt werden.

**[0020]** In der Regel liegt die Drehachse eines Blendenelementes parallel zu einer durch die jeweilige Blendenöffnung definierten Ebene. Dies ist jedoch nicht zwingend. Vielmehr ist es auch möglich, dass die Drehachse unter einem Winkel zu einer durch die Blendenöffnung definierten Ebene steht. Beispielsweise kann die Drehachse senkrecht zu der durch die Blendenöffnung definierten Ebene stehen.

**[0021]** Vorzugsweise ist die Blendeneinrichtung entlang des Strahlengangs an einer Position angeordnet, bei der Strahlen des Strahlbündels eine endliche Apertur, also unterschiedliche Strahlwinkel aufweisen, so dass die Blendeneinrichtung im Bereich eines nicht-parallelen Strahlengangs liegt. Beispielsweise kann das optische System eine Eintrittsfläche, eine Austrittsfläche und mindestens eine zwischen der Eintrittsfläche und der Austrittsfläche angeordnete Pupillenfläche aufweisen und die Blendeneinrichtung kann an oder in der Nähe der Pupillenfläche angeordnet sein. Auf diese Weise kann die Blendeneinrichtung als Aperturblende (Öffnungsblende) genutzt werden. Die Blendeneinrichtung kann ggf. auch im Bereich eines weitestgehend parallelen Strahlenganges angeordnet sein.

**[0022]** Die Blendeneinrichtung kann so positioniert sein, dass die in die Eingriffsstellung geschwenkten Blendenelemente im Bereich des einfachen Strahldurchtritts des Strahlbündels liegen. Diese Position kann z. B. optisch zwischen zwei Spiegeln oder zwischen einer Linse und einem Spiegel oder zwischen zwei Linsen liegen. Bei manchen Ausführungsformen hat das optische System mindestens einen Spiegel mit einer Spiegelfläche, wobei die Blendeneinrichtung in der Nähe des Spiegels derart angeordnet ist, dass die effektive Blendenöffnung im Bereich des doppelten Strahldurchtritts vor der Spiegelfläche angeordnet ist. Auf diese Weise kann sowohl die auf die Spiegelfläche gerichtete Strahlung als auch die von der Spiegelfläche reflektierte Strahlung durch die effektive Blendenöffnung hindurchtreten. Es kann beispielsweise dann günstig sein, wenn der Spiegel an oder in der Nähe einer Pupillenfläche eines optischen Systems liegt und die Blendeneinrichtung als Aperturblende verwendet wird.

**[0023]** Besonders günstig kann es sein, wenn die Spiegelfläche eine konvexe oder konkave Krümmung hat und wenn eine durch die Blendenränder der in die Eingriffsstellung geschwenkten Blendenelemente definierte gekrümmte Fläche der Krümmung der Spiegelfläche angepasst ist. Die effektive Blendenöffnung kann dadurch bei jedem Blendendurchmesser in geeigneter Nähe zur Spiegelfläche liegen, so dass Vignettierungsprobleme weitestgehend vermieden werden können.

**[0024]** Insbesondere bei einer Anordnung der Blendeneinrichtung im Bereich des doppelten Strahldurchtritts kann es bei Verwendung von Blendenelementen mit kreisrunden Blendenöffnungen zur Vignettierung des Strahlbündels auf dem Weg der einfallenden Strahlen zum Spiegel und/oder auf dem Weg der reflektierten Strahlen vom Spiegel kommen. Bei manchen Ausführungsformen wird dieses Problem dadurch vermieden, dass die effektive Blendenöffnung eine von der Kreisform abweichende unrunde Form hat. Die Blendenöffnung kann beispielsweise oval bzw. elliptisch geformt sein.

**[0025]** Blenden mit einem elliptischen Blendenrand und Blenden, deren Elliptizität als Funktion des Blendendurchmessers veränderbar ist, sind beispielsweise aus der WO 2004/010164 der Anmelderin für den Bereich katadioptrischer Projektionsobjektive bekannt. Die US 7,221,516 B2 zeigt eine Blendeneinrichtung für ein Projektionsobjektiv für die EUV-Mikrolithographie, bei der die Blendenöffnung eine unrunde Form hat, um Vignettierungsprobleme zu vermeiden. Eine Blendeneinrichtung mit verschwenkbaren Blendenelementen der hier beschriebenen Art kann an Stelle der dort beschriebenen Blendeneinrichtungen genutzt werden. Die Offenbarung der WO 2004/010164 und der US 7,221,516 B2 wird

insoweit durch Bezugnahme zum Inhalt dieser Beschreibung gemacht.

**[0026]** Diese und weitere Merkmale gehen außer den Ansprüchen auch aus der Beschreibung und den Zeichnungen hervor, wobei die einzelnen Merkmale jeweils für sich allein oder zu mehreren in Form von Unterkombinationen bei einer Ausführungsform der Erfindung und auf anderen Gebieten verwirklicht sein und vorteilhafte sowie für sich schutzfähige Ausführungen darstellen können. Ausführungsbeispiele sind in den Zeichnungen dargestellt und werden im Folgenden näher erläutert.

#### KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0027]** [Fig. 1](#) zeigt einen Meridionalschnitt durch ein EUV-Projektionsobjektiv mit einer Ausführungsform einer Blendeneinrichtung mit klappbaren Blendenelementen;

**[0028]** [Fig. 2](#) zeigt eine Blendeneinrichtung mit verschwenkbaren Blendenelementen, die in der Eingriffsstellung im Bereich des doppelten Strahldurchtritts vor einem Konkavspiegel angeordnet sind;

**[0029]** [Fig. 3](#) zeigt eine Blendeneinrichtung mit verschwenkbaren Blendenelementen, die in der Eingriffsstellung im Bereich des doppelten Strahldurchtritts vor einem Konvexspiegel angeordnet sind;

**[0030]** [Fig. 4](#) zeigt eine Blendeneinrichtung mit fünf verschwenkbaren Blendenelementen, die in der Eingriffsstellung im Bereich des einfachen Strahldurchtritts angeordnet sind;

**[0031]** [Fig. 5](#) zeigt eine Blendeneinrichtung mit fünf verschwenkbaren Blendenelementen, die in der Eingriffsstellung im Bereich des einfachen Strahldurchtritts angeordnet sind;

**[0032]** [Fig. 6](#) zeigt eine Blendeneinrichtung mit vier verschwenkbaren Blendenelementen, die mittels eines gemeinsamen Verschwenkantriebs um die gleiche Drehachse verschwenkbar sind;

**[0033]** [Fig. 7](#) zeigt ein Blendenelement mit einer Blendenöffnung, deren Blendenrand in zwei zueinander senkrechten Ebenen gekrümmt ist; und

**[0034]** [Fig. 8](#) zeigt ein Blendenelement mit einer ovalen Blendenöffnung.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSFORMEN

**[0035]** Ein typischer Aufbau eines EUV-Projektionsobjektivs PO ist anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels in [Fig. 1](#) gezeigt. Es dient dazu, ein in einer Objektebene OS angeordnetes Muster ei-

nes Retikels oder dergleichen in eine parallel zu Objektebene ausgerichtete Bildebene IS in reduziertem Maßstab abzubilden, beispielsweise im Verhältnis 4:1. Die Abbildung erfolgt mittels elektromagnetischer Strahlung aus dem extremen Ultraviolettbereich (EUV), insbesondere bei einer Arbeitswellenlänge von ca. 13,4 nm. Diese Strahlung wird im Folgenden auch kurz als „Licht“ bezeichnet.

**[0036]** Das durch das Projektionsobjektiv gebildete optische System hat ausschließlich reflektive optische Elemente (Spiegel) zur Beeinflussung des Strahlbündels. Zwischen der Objektebene OS und der Bildebene IS sind insgesamt sechs mit gekrümmten Spiegelflächen versehene und dadurch abbildende Spiegel M1 bis M6 derart koaxial zueinander angeordnet, dass sie eine gemeinsame optische Achse OA definieren, die senkrecht auf der Bildebene und der Objektebene steht. Die reflektierenden Spiegelflächen der Spiegel M1 bis M6 haben die Form rotationssymmetrischer Asphären, deren Symmetrieachse mit der gemeinsamen mechanischen Achse OA zusammenfällt.

**[0037]** Das Objekt ist in diesem Beispiel eine Maske (Retikel) mit dem Muster einer integrierten Schaltung, es kann sich aber auch um ein anderes Muster, beispielsweise eines Gitters, handeln. Das Bild wird in dem Beispiel auf einem als Substrat dienenden, mit einer Photoresistschicht versehenen Wafer gebildet, jedoch sind auch andere Substrate, beispielsweise Elemente für Flüssigkeitskristallanzeigen oder Substrate für optische Gitter möglich.

**[0038]** Das bei der Projektion zwischen Objektfläche OS und Bildfläche IS verlaufende Strahlbündel RB ist in [Fig. 1](#) anhand ausgewählter Strahlen eingezeichnet. Das Licht trifft aus einem (nicht gezeigten) Beleuchtungssystem, welches eine Lichtquelle für weiche Röntgenstrahlung umfasst, von der bildzugewandten Seite der Objektebene OS zunächst die in der Objektebene OS angeordnete reflektive Maske M. Das reflektierte Licht trifft auf einen ersten Spiegel M1, der eine objektwärts gerichtete, konkave Spiegelfläche hat, welche die auftreffende Strahlung leicht verengt auf einen zweiten Spiegel M2 reflektiert. Der zweite Spiegel M2 hat eine dem ersten Spiegel M1 zugewandte konkave Spiegelfläche, die die Strahlung in Richtung eines dritten Spiegels M3 als konvergentes Strahlbündel reflektiert. Der dritte Spiegel M3 hat eine konvexe Spiegelfläche, die die außeraxial auftreffende Strahlung in Richtung einer konkaven Spiegelfläche eines vierten Spiegels M4 reflektiert. Dieser wird in einem Spiegelbereich weit außerhalb der optischen Achse genutzt und reflektiert die auftreffende Strahlung unter Bildung eines reellen Zwischenbildes IMI auf einen in der Nähe der Bildebene IS angeordneten fünften Spiegel M5. Dieser hat eine von der Bildebene abgewandte konvexe Spiegelfläche, welche die auftreffende divergente Strahlung in

Richtung eines sechsten Spiegels M6 reflektiert, welcher eine zur Bildebene IS gewandte, konkave Spiegelfläche aufweist, mit der die auftreffende Strahlung reflektiert und auf die Bildebene IS fokussiert wird.

**[0039]** Alle Spiegel M1 bis M6 sind innerhalb eines evakuierbaren Gehäuses H untergebracht, dessen Gehäusewand in [Fig. 1](#) mit gestrichelten Linien dargestellt ist.

**[0040]** Alle reflektierenden Flächen der Spiegel M1 bis M6 sind mit reflexionserhöhenden Reflexbeschichtungen belegt. Bei bevorzugten Ausführungsformen handelt es sich um Schichtstapel von beispielsweise ca. vierzig Wechselschichtpaaren, wobei ein Wechselschichtpaar jeweils eine Siliziumschicht und eine Molybdänschicht umfasst.

**[0041]** Das Projektionsobjektiv kann beispielsweise gemäß der Spezifikation des in US 6,927,901 B2 gezeigten Projektionsobjektivs aufgebaut sein. Die Offenbarung der US 6,927,901 B2 wird insoweit durch Bezugnahme zum Inhalt dieser Beschreibung gemacht. Das für einen Step-and-Scan-Betrieb konzipierte Sechs-Spiegel-System arbeitet mit einem Off-Axis-Ringfeld, erreicht eine numerische Apertur  $NA = 0,25$  bei einer typischen Feldgröße von  $2 \times 26 \text{ mm}^2$ .

**[0042]** Die optische Abbildung zwischen der ebenen Objektfläche OS und der dazu optisch konjugierten ebenen Bildfläche IS erfolgt zweistufig unter Erzeugung eines einzigen reellen Zwischenbildes IMI. Dabei erzeugt ein erster Objektivteil, der den ersten Spiegel M1, den zweiten Spiegel M2, den dritten Spiegel M3 und den vierten Spiegel M4 umfasst, das Zwischenbild IMI mit einem Abbildungsmaßstab nahe  $-1$ . Das Zwischenbild wird dann mit Hilfe eines zweiten Objektivteils, der durch den fünften Spiegel M5 und den sechsten Spiegel M6 gebildet wird, in verkleinertem Maßstab auf die Bildebene IS abgebildet. Zwischen der Objektfläche OS und dem Zwischenbild liegt eine erste Pupillenfläche P1 in unmittelbarer Nähe der konkaven Spiegelfläche des zweiten Spiegels M2. Die zweite Pupillenfläche P2 zwischen dem Zwischenbild IMI und der Bildfläche IS liegt geometrisch und optisch zwischen dem fünften und sechsten Spiegel.

**[0043]** Im Bereich der ersten Pupillenfläche P1 ist eine Blendeneinrichtung APD angeordnet, die als Aperturblende mit variabel einstellbarer Blendenöffnung dient, um die bei der Projektion tatsächlich genutzte bildseitige numerische Apertur einzustellen. Die Blendeneinrichtung APD ist auch in [Fig. 2](#) in anderer schematischer Ansicht dargestellt, eine ebenfalls verwendbare Variante mit mehr Blendenelementen ist in [Fig. 5](#) gezeigt.

**[0044]** Die Blendeneinrichtung hat ein erstes Blendenelement AE1, das mittels eines Verschwenkan-



triebs AD um eine erste Drehachse RA1 zwischen der in [Fig. 1](#) dargestellten Eingriffsstellung im Strahlengang des optischen Systems und einer Neutralstellung außerhalb des Strahlengangs verschwenkbar ist. Das erste Blendenelement hat eine runde erste Blendenöffnung, die durch einen ersten Blendenrand AR1 begrenzt ist. Dieser Blendenrand wirkt in der Eingriffsstellung des Blendenelementes als lichtbestimmende Kante des Blendenelementes derart, dass alle auf dem Hinweg zum Konkavspiegel und auf dem Rückweg vom Konkavspiegel durch die Blendenöffnung tretenden Strahlen zur Abbildung beitragen können, während Strahlen, die entweder auf dem Hinweg zum Konkavspiegel oder nach Reflexion an diesem auf dem Rückweg vom Konkavspiegel außerhalb der Blendenöffnung auftreffen, blockiert sind.

**[0045]** Weiterhin hat die Blendeneinrichtung ein zweites Blendenelement AE2, das mittels des gleichen Verschwenkantriebs AD um eine mit der ersten Drehachse RA1 koaxiale zweite Drehachse RA2 zwischen einer Eingriffsstellung die im Strahlengang des optischen Systems und einer Neutralstellung außerhalb des Strahlengangs verschwenkbar ist. Das zweite Blendenelement hat eine durch einen zweiten Blendenrand AR2 begrenzte zweite Blendenöffnung, die kleiner als die erste Blendenöffnung ist. Bei kreisrunden Blendenöffnungen kann deren Größe durch den Durchmesser der Blendenöffnung definiert sein, wobei dann im Beispielsfall der Durchmesser der zweiten Blendenöffnung deutlich kleiner ist als der Durchmesser der ersten Blendenöffnung. Üblicherweise ist der Durchmesser der zweiten Blendenöffnung kleiner als 95% des Durchmessers der ersten Blendenöffnung. Das zweite Blendenelement AE2 ist in [Fig. 1](#) in seiner außerhalb des Strahlengangs liegenden Neutralstellung gezeigt.

**[0046]** Weiterhin hat die Blendeneinrichtung ein drittes Blendenelement AE3, das mittels des gleichen Verschwenkantriebs AD um eine mit der ersten Drehachse RA1 und der zweiten Drehachse RA2 identische dritte Drehachse RA3 zwischen einer Eingriffsstellung im Strahlengang des optischen Systems und einer Neutralstellung außerhalb des Strahlengangs verschwenkbar ist. Das dritte Blendenelement hat eine durch einen dritten Blendenrand AR3 begrenzte dritte Blendenöffnung, die kleiner als die zweite Blendenöffnung und deutlich kleiner als die erste Blendenöffnung ist. Das dritte Blendenelement AE3 ist in [Fig. 1](#) in seiner Neutralstellung und in [Fig. 2](#) in seiner Eingriffsstellung gezeigt.

**[0047]** Die Drehachsen RA1, RA2 und RA3 liegen jeweils parallel zu der durch die zugehörige Blendenöffnung definierten Blendenebene und im Einbaustand der Blendeneinrichtung senkrecht zur optischen Achse OA des Projektionsobjektivs.

**[0048]** Andere Ausführungsformen haben nur zwei verschwenkbare Blendenelemente. Es können auch mehr als drei verschwenkbare Blendenelemente vorgesehen sein, beispielsweise vier oder fünf (wie in [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) dargestellt) oder mehr.

**[0049]** Ähnlich wie bei der Ausführungsform von [Fig. 6](#), bei der die Blendeneinrichtung vier verschwenkbare Blendenelemente hat, werden alle beweglichen Blendenelemente von einem einzigen, gemeinsamen Verschwenkantrieb AD angetrieben, der beispielsweise einen von der Steuerung der Projektionsbelichtungsanlage angesteuerten Elektromotor enthalten kann. Die Blendenelemente sind gemeinsam auf der Abtriebswelle SH des Elektromotors derart gelagert, dass bei Drehung der Welle in eine Richtung alle Blendenelemente mit zeitlichem Abstand nacheinander in ihrer Eingriffsstellung geschwenkt werden können, während bei Drehung der Motorwelle in die entgegengesetzte Richtung die Blendenelemente mit Abstand nacheinander in die Neutralstellung geschwenkt werden. Hierzu ist eine geeignete Mitnehmereinrichtung an der Welle vorhanden. Bei der Konstruktion kann man sich beispielsweise an Mitnehmereinrichtungen orientieren, wie sie aus der Getriebetechnik von Schaltgetrieben bekannt sind.

**[0050]** Wie besonders gut in [Fig. 2](#) zu erkennen ist, liegen die Blendenränder AR1, AR2 und AR3 der in ihrer Eingriffsstellung geschwenkten Blendenelemente AE1, AE2 und AE3 auf einer gestrichelt dargestellten gemeinsamen gekrümmten Fläche CS, bei der es sich im Beispielsfall um eine Kugelfläche, also um eine sphärisch gekrümmte Fläche handelt. Dies wird dadurch erreicht, dass die Blendenränder der in die Eingriffsstellung geschwenkten Blendenelemente nicht auf einer gemeinsamen Ebene liegen, sondern parallel zur Richtung AX gegeneinander versetzt sind, wobei die Richtung AX mit der optischen Achse OA zusammenfallen kann. Genauer gesagt definiert der erste Blendenrand AR1 eine erste Blendenebene AP1, der zweite Blendenrand AR2 eine zweite Blendenebene AP2 und der dritte Blendenrand AR3 eine dritte Blendenebene AP3, wobei die Blendenebenen jeweils parallel zueinander liegen. Die bei der Abbildung wirksame effektive Blendenöffnung wird jeweils durch die kleinste der in Eingriffsstellung befindlichen Blendenöffnungen bestimmt, im Beispielsfall zu [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) also durch die dritte Blendenöffnung.

**[0051]** Wie in [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) gut zu erkennen ist, liegen die in Eingriffsstellung geschwenkten Blendenelemente in der Nähe der reflektierten Spiegelfläche MS2 des Spiegels M2 derart, dass die effektive Blendenöffnung im Bereich des doppelten Strahldurchtritts vor der Spiegelfläche liegt. Damit ein Strahl des Strahlbündels zur Abbildung beitragen kann, muss sowohl der vom ersten Spiegel M1 in Richtung des zweiten Spiegels M2 einfallende Teil des Strahls, als

auch der vom zweiten Spiegel M2 in Richtung des dritten Spiegels M3 reflektierte Teil des Strahls durch die effektive Blendenöffnung treten. Werden am Rande des Strahlbündels liegende, für die Abbildung eigentlich gewünschte Strahlen auf dem Hinweg zum Spiegel oder auf dem Rückweg vom Spiegel durch die Blende beschnitten, so spricht man von Vignettierung, die in der Regel unerwünscht ist. Würde beispielsweise vor dem Konkavspiegel M2 eine ebene Blende mit variabler Blendenöffnung installiert, so würde das Problem der Vignettierung tendenziell zunehmen, je kleiner die eingestellte effektive Blendenöffnung ist.

**[0052]** Derartige Probleme werden durch die besondere Ausgestaltung der Blendeneinrichtung weitestgehend dadurch vermieden, dass die in die Eingriffsstellung geschwenkten Blendenelemente bzw. deren Blendenränder eine gekrümmte Fläche CS definieren, die der Krümmung der Spiegelfläche MS2 gleich bzw. angepasst ist. Im Beispielsfall hat die durch die Blendenränder definierte gemeinsame Fläche CS eine der konkaven Krümmung der Spiegelfläche MS2 angepasste Krümmung mit mehr oder weniger identischem Krümmungsradius, so dass der parallel zur Achse AX gemessene Abstand D zwischen einem eingeschwenkten Blendenrand und der Spiegelfläche unabhängig vom zugehörigen Durchmesser der Blendenöffnung für alle Blendenelemente gleich oder im Wesentlichen der gleiche ist. Der Abstand kann, abhängig vom Durchmesser der Spiegelfläche, beispielsweise in der Größenordnung von einem oder zwei oder drei oder vier Millimetern liegen. Bei Durchmessern der Spiegelfläche von 10 cm bis 50 cm kann der Abstand D beispielsweise zwischen 1% und 5% des Durchmessers der Spiegelfläche liegen. Im Beispielsfall des Konkavspiegels M2 von [Fig. 2](#) liegen die Blendenöffnungen aller in Eingriffsstellung verschwenkten Blendenelemente zwischen einer durch den physikalischen Rand E des Konkavspiegels definierten Ebene und dem Scheitelpunkt V des Konkavspiegels.

**[0053]** Eine derart vorteilhafte Anordnung der jeweils wirksamen Blendenöffnung in unmittelbarer Nähe der Spiegelfläche ist bei Verwendung von verschwenkbaren Blendenelementen nicht ohne besondere konstruktive Maßnahmen zu erreichen, da die Blendenelemente von der reflektierenden Seite des Spiegels her zu diesem hin bzw. von diesem weggeklappt werden müssen und da gleichzeitig das Blendenelement mit der größten Blendenöffnung in der Reihenfolge der verschwenkbaren Blendenelemente zuerst in seine Eingriffsstellung in der Nähe des Spiegels geschwenkt werden muss. Um dennoch die Anpassung der gemeinsamen Fläche CS an die Spiegelkrümmung zu erreichen, hat jeweils das zweite Blendenelement (d. h. dasjenige mit der relativ kleineren Blendenöffnung) einen Außenabschnitt O2 und einen an die zweite Blendenöffnung unmittelbar angren-

zenden Innenabschnitt I2, der gegenüber dem Außenabschnitt O2 in Richtung der gemeinsamen Fläche CS vorspringt und derart durch die relativ größere erste Blendenöffnung hindurchführbar ist, dass die vom Innenabschnitt I2 des zweiten Blendenelementes begrenzte zweite Blendenöffnung auf der dem Außenabschnitt O2 des zweiten Blendenelementes gegenüberliegenden Seite des ersten Blendenelementes AE1 jenseits der ersten Blendenöffnung bzw. Blendenebene AP1 liegt. Anders ausgedrückt kann die vom Innenabschnitt I2 des zweiten Blendenelementes AE2 begrenzte zweite Blendenöffnung bezogen auf die erste Blendenöffnung dem Außenabschnitt O2 gegenüberliegend, d. h. auf der anderen Seite der ersten Blendenöffnung angeordnet sein. Die kleinere Blendenöffnung wird also in Richtung auf den Spiegel durch die nächstgrößere Blendenöffnung hindurch näher an den Spiegel bewegt.

**[0054]** Wie besonders gut auch in [Fig. 6](#) erkennbar, kann der jeweilige Außenabschnitt im Wesentlichen die Form einer zur zugehörigen Blendenöffnung parallelen Platte haben. Der daran anschließende Innenabschnitt ist dagegen in Form eines Kegelstumpfes ausgeführt, der mit seinem breiteren Ende an den Außenabschnitt anschließt und mit seinem verjüngten Ende die zugehörige Blendenöffnung begrenzt. Der Kegelwinkel des konischen Abschnitts kann so an den Strahlengang des optischen Systems, also an den Verlauf des Strahlbündels angepasst sein, dass keine Strahlen an die Innenseite des Innenabschnittes oder gar an den Außenabschnitt fallen, sondern dass das im Durchmesser kleinere Ende des Innenabschnittes die lichtbestimmende Kante, also den wirksamen Blendenrand bildet. Weiterhin sollten der Abstand der Drehachse der jeweiligen Blendenelemente zu ihrem Innenabschnitt und deren relative Position so bemessen sein, dass beim Einschwenken bzw. Ausschwenken des Blendenelementes mit der jeweils kleineren Blendenöffnung dieses nicht mit dem bereits in Eingriffsstellung befindlichen Blendenelement mit größerer Blendenöffnung kollidiert.

**[0055]** In [Fig. 3](#) ist ein Ausführungsbeispiel einer Blendeneinrichtung APD gezeigt, deren verschwenkbare Blendenelemente in ihrer Eingriffsstellung unmittelbar vor der konvex gekrümmten Spiegelfläche MS eines Konvexspiegels M angeordnet sind. Wie bei der Ausführungsform von [Fig. 2](#) liegen die Blendenränder der in Eingriffsstellung befindlichen Blendenelemente auf einer gemeinsamen Kugelfläche CS, deren Krümmungsradius im Wesentlichen oder exakt dem Krümmungsradius der konvexen Spiegelfläche MS entspricht. Auch hier ist der achsparallele Abstand D zwischen den Blendenrändern der in Eingriffsstellung befindlichen Blendenelemente und der Spiegelfläche bei allen Blendenelementen unabhängig von deren Blendendurchmesser im Wesentlichen der gleiche und der Abstand ist so klein bemessen, dass Vignettierungsprobleme unabhängig vom



Durchmesser der effektiven Blendenöffnung weitestgehend vermieden werden. Eine Besonderheit der Blendeneinrichtung von [Fig. 3](#) besteht darin, dass das erste Blendenelement AE1 und das zweite Blendenelement AE2 mit ihren Blendenrändern jeweils in Ebenen liegen, die auf der reflektierenden Seite der Spiegel mit Abstand vor dem Scheitelpunkt V des Spiegels liegen. Dies erlaubt eine konstruktiv einfache Konstruktion der Blendenelemente in Form von in ihrer Mitte durchbrochenen Scheiben, die senkrecht zur Rotationssymmetrieachse AX des Konkavspiegels bewegt werden können, ohne mit dem Spiegel zu kollidieren. Daher sind in diesem Beispielsfall die koaxialen Drehachsen RA1 und RA2 der Blendenelemente senkrecht zu den durch die Blendenöffnung definierten Ebenen bzw. parallel zur Achse AX ausgerichtet, so dass das jeweils nicht benötigte Blendenelement in einer Schwenkebene senkrecht zur Achse AX aus dem Strahlengang herausgeschwenkt oder in den Strahlengang hineingeschwenkt werden kann.

**[0056]** Eine Verschwenkung zur Seite ist im Beispielsfall für das dem Konvexspiegel am nächsten liegende Blendenelement AE4 nicht möglich, da die von dessen Blendenrand definierte Ebene die konvexe Spiegelfläche schneidet. Für dieses Blendenelement kann ähnlich wie für die Ausführungsform von [Fig. 2](#) eine senkrecht zur Achse AX verlaufende Verschwenkung vorgesehen sein, die mittels des gleichen Verschwenkantriebs AD über eine geeignete Umlenkung oder durch einen gesonderten Antrieb realisiert werden kann.

**[0057]** In den Beispielen von [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) liegen die zu den jeweiligen Blendenelementen gehörenden Drehachsen, um die die Verschwenkung erfolgt, entweder parallel zu der durch die jeweilige Blendenöffnung definierten Ebene oder senkrecht dazu. Auch andere Orientierungen der Drehachsen schräg zu den dargestellten Richtungen sind möglich, beispielsweise Orientierungen der Drehachse unter  $45^\circ$  zu den dargestellten Richtungen.

**[0058]** Blendeneinrichtungen gemäß Ausführungsformen der Erfindung können auch so angeordnet sein, dass die in ihre Eingriffsstellung eingeschwenkten Blendenelemente im Bereich eines einfachen Strahldurchtritts liegen. In den

**[0059]** [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) sind zur Veranschaulichung eines einfachen Strahldurchtritts jeweils von links nach rechts achsparallele verlaufende Strahlen eines zwischen Objektebene und Bildebene eines Projektionsobjektivs verlaufenden Strahlbündels dargestellt. Am Ort der Blendeneinrichtung haben die Strahlen des geöffneten Strahlbündels unterschiedliche Strahlwinkel. Im Bereich eines einfachen Strahldurchtritts spielt die oben erwähnte Vignettierungsproblematik häufig eine untergeordnete oder keine

Rolle. Es kann jedoch sein, dass die optischen Eigenschaften des Systems so ausgelegt sind, dass zwar ein ebenes Objekt in eine ebene Bildebene abgebildet wird, die zugehörige Pupillenabbildung jedoch eine Bildfeldkrümmung im Bereich der Pupille aufweist. Auch in einem solchen Fall würde der Einsatz einer ebenen Blende beim Abblenden oder Aufblenden zu Beeinträchtigungen der Abbildungsqualität führen, so dass es zweckmäßig sein kann, eine Blendeneinrichtung bereitzustellen, bei der sich die axiale Position der effektiven Blendenöffnung in Abhängigkeit vom Durchmesser der effektiven Blendenöffnung ändert.

**[0060]** Bei den Ausführungsformen von [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) ist dies durch Verwendung von Blendeneinrichtungen realisiert, die jeweils fünf um eine gemeinsame Drehachse verschwenkbare Blendenelemente haben. Identische oder ähnliche Teile oder Strukturen sind mit entsprechenden Bezugsbezeichnungen bezeichnet wie in den vorherigen Figuren.

**[0061]** Die Blendeneinrichtung APD in [Fig. 4](#) hat fünf mit Hilfe eines gemeinsamen Schwenkantriebs um eine gemeinsame Drehachse RA verschwenkbare Blendenelemente AE1, AE2, AE3, AE4 und AE5, die in der gezeigten Eingriffsstellung nach Art eines Stapels von Blendenelementen übereinanderliegen. Das auf der Lichteintrittsseite liegende erste Blendenelement AE1 mit der größten Blendenöffnung ist in Form einer planparallelen Platte mit einer die Blendenöffnung bildenden Ausnehmung ausgeführt. Die anderen Blendenelemente haben jeweils einen plattenförmigen Außenabschnitt und einen die Blendenöffnung begrenzenden Innenabschnitt, der gegenüber dem Außenabschnitt etwas in Richtung der nächstgrößeren Blendenöffnung konisch vorspringt. Anders als bei den Ausführungsformen gemäß [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) bzw. [Fig. 6](#) liegen die jeweils kleineren Blendenöffnungen bezogen auf die nächstgrößere Blendenöffnung jedoch auf der gleichen Seite wie der zugehörige Außenabschnitt des jeweiligen Blendenelementes. Dadurch wird erreicht, dass die von den Blendenrändern der in Eingriffsstellung geschwenkten Blendenelemente definierte gemeinsame Fläche CS im Vergleich zur korrespondierenden gemeinsamen Fläche der Ausführungsformen von [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) genau den umgekehrten Krümmungssinn hat. Durch den konisch ausgeprägten Innenabschnitt der verschwenkbaren Blendenelemente kann z. B. auch bei großen Krümmungsradien der gemeinsamen Kugelfläche CS jedes Blendenelement mit seiner Blendenöffnung sehr genau auf diese Kugelfläche CA positioniert werden, wobei die Dicke des plattenförmigen Außenabschnitts der Blenden keinen Limitierenparameter darstellt. Die unterschiedlich großen Blendenöffnungen können daher bezogen auf die Richtung AX näher zusammenliegen als es der Dicke der Außenabschnitte des Blendenabschnitts entspricht.

**[0062]** Wie bereits erwähnt, wird die effektive Blendenöffnung der Blendeneinrichtung jeweils durch die Blendenöffnung desjenigen in die Eingriffsstellung geklappten Blendenelementes definiert, welches die kleinste Blendenöffnung hat. Bei entsprechender Ausgestaltung des Blendenrandes, d. h. der lichtbestimmenden Kante der Blendenelemente, können solche Blendeneinrichtungen je nach Bedarf in der dargestellten Orientierung oder in umgekehrter Orientierung, d. h. um  $180^\circ$  gedreht, in den Strahlengang eingebaut werden. Die Orientierung beim Einbau kann von dem zur Verfügung stehenden Bauraum für die Schwenkbewegung der klappbaren Blendenelemente und der am Einbauort herrschenden Blendenkrümmung abhängig gemacht werden.

**[0063]** Bei den gezeigten Beispielen sind die Blendenöffnungen der Blendenelemente jeweils kreisrund und der die Blendenöffnung umschließende Blendenrand liegt in einer Ebene, ist also nur in seiner Umfangsrichtung gekrümmt. Beide Eigenschaften sind jedoch nicht zwingend. Beispielsweise kann das Blendenelement in sich derart gekrümmt sein, dass der Blendenrand nicht in einer Ebene liegt, sondern Krümmungen in zwei zueinander senkrechten Ebenen aufweist. **Fig. 7** zeigt hierzu schematisch das Beispiel eines plattenförmigen Blendenelementes AE7, das im Wesentlichen zylindrisch um eine erste Zylinderachse CA1 gekrümmt ist. Das Blendenelement hat eine runde Blendenöffnung AP7, die von einem Blendenrand AR7 umschlossen ist. Der Blendenrand ergibt sich als Schnittlinie des durch die erste Zylinderachse CA1 definierten Zylinders mit einem diesen durchsetzenden Zylinder CY (gestrichelt dargestellt), dessen Zylinderachse (zweite Zylinderachse CA2) senkrecht zur ersten Zylinderachse liegt. Der Blendenrand liegt somit einerseits in der durch das Blendenelement AE7 definierten, zylindrisch gekrümmten Fläche und andererseits in einer senkrecht zu deren Achse orientierten zylindrischen Fläche. Dadurch ist der Blendenrand sowohl in seiner Umfangsrichtung, als auch in Ebenen parallel zur Achse des durchsetzenden Zylinders CY gekrümmt. Dies kann beispielsweise bei Spiegeln nützlich sein, deren Spiegelfläche einer Freiformfläche entspricht, also einer nicht-rotationssymmetrischen asphärischen Fläche, bei der die Abweichung der tatsächlichen Spiegelfläche von einer am besten angepassten sphärischen Fläche deutlich größer ist als die verwendete Wellenlänge.

**[0064]** Solche Blendenelemente können als verschwenkbare Blendenelemente ausgeführt sein, z. B. bei den genannten Ausführungsformen der Erfindung. Sie können jedoch auch in Systemen ohne Klapp-Blenden genutzt werden. Beispielsweise kann ein solches Blendenelement parallel zur ersten Zylinderachse CA1 verschiebbar gelagert sein, so dass ein Blendenwechsel durch translatorische Bewegung erreicht werden kann.

**[0065]** **Fig. 8** zeigt schematisch das Beispiel eines Blendenelementes AE8, dessen vom Blendenrand AR8 umschlossene Blendenöffnung AP8 eine von der Kreisform abweichende unrunde Form hat, nämlich eine weitgehend ovale bzw. elliptische Form. Solche unrunder Blendenöffnungen können insbesondere bei Blendeneinrichtungen nützlich sein, die vor einem Spiegel angeordnet sind, der ein schräg von einer Seite auf die Spiegelfläche einfallendes Strahlbündel schräg in Richtung eines nachfolgenden optischen Elementes reflektiert. Beim Ausführungsbeispiel von **Fig. 1** ist diese Situation vor dem konkaven zweiten Spiegel M2 gegeben, der Strahlung vom ersten Spiegel M1 empfängt und in Richtung des dritten Spiegels M3 reflektiert, dessen reflektierende Fläche bezogen auf die optische Achse OA auf der der reflektierenden Fläche von M1 gegenüberliegenden Seite liegt. Bei dieser Situation kann es günstig sein, wenn der größere erste Durchmesser D1 der unrunder Blendenöffnung in der dargestellten Meridionalebene und der gegenüber D1 kleinere zweite Durchmesser D2 senkrecht zu dieser, also senkrecht zur Zeichnungsebene liegt. Die Blendenöffnung kann insbesondere so dimensioniert sein, dass zwei symmetrisch zu einem schräg auffallenden Hauptstrahl des Strahlbündels liegende Strahlen des Strahlbündels entweder beide die effektive Blendenöffnung im Hin- und Rückweg passieren oder beide vom Blendenelement ausgeblendet werden. Beispiele für derartige Strahlverlaufssituationen können beispielsweise der US 7,221,516 B2 entnommen werden, deren Offenbarungsgehalt durch Bezugnahme zum Inhalt der vorliegenden Beschreibung gemacht wird.

**[0066]** Die Blendenelemente der bisher beschriebenen Ausführungsbeispiele können jeweils mit kontinuierlich gekrümmtem, ununterbrochenen Blendenrand ausgeführt sein, so dass die Blende als Transmissionsfilter mit einer rechteckförmigen Transmissionsfunktion fungiert, bei der die Transmission im Bereich der Blendenöffnung über die gesamte Blendenöffnung konstant und maximal und im Bereich außerhalb des Blendenrandes gleich null ist und am Blendenrand ein scharfer Übergang zwischen voller Transmission und voller Strahlblockierung vorliegt. Dies ist jedoch nicht zwingend. Ein Blendenelement kann nach Art eines Filters mit einer beliebigen anderen Filterfunktion ausgestaltet sein. Beispielsweise kann zwischen den außen liegenden Bereichen voller Strahlblockierung und einem inneren Bereich voller Transmission ein mehr oder weniger breiter Übergangsbereich mit kontinuierlicher Abnahme der Transmission nach außen vorliegen. Das kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass die Blende im Bereich des Blendenrandes mit einem Kranz nach innen gerichteter Zacken ausgestattet ist. Insofern kann ein Blendenelement auch als ein Filter mit beliebiger, nicht-rechteckförmiger Transmissionsfilterfunktion ausgeführt sein.

**[0067]** Die im Zusammenhang mit den [Fig. 1](#), [Fig. 3](#) und [Fig. 6](#) beschriebenen Verschwenkantriebe lassen sich ferner dazu einsetzen, dass alternativ oder zusätzlich zu den Blendenelementen AE1, AE2 etc. Filter, Streuscheiben und/oder diffraktive oder reflektive optische Elemente aus einer Neutralstellung außerhalb des Strahlengangs in eine den optischen Strahlengang beeinflussende Eingriffstellung gebracht werden können.

**[0068]** Diejenigen Flächen der Blendenelemente, die beim Ablenden in den Strahlengang hineingeklappt werden und ein Teil der Strahlung blockieren sollen, sind in manchen Ausführungsformen als reflektierende Flächen ausgelegt, beispielsweise indem eine für den EUV-Bereich wirksame Reflektionsbeschichtung aufgebracht ist. Dadurch kann eine ungewollte starke Aufheizung eines teilweise bestrahlten Blendenelementes vermieden werden. Alternativ oder zusätzlich kann der Blendeneinrichtung eine Kühleinrichtung zur aktiven Kühlung der Blendenelemente zugeordnet sein. Die Blendenelemente können beispielsweise mit Fluidkanälen durchsetzt sein, die mit Hilfe einer durchgeleiteten Kühlflüssigkeit gekühlt werden können.

## ZITATE ENTHALTEN 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 2005/050322 A1 [0005]
- US 2007/0053076 A1 [0005]
- WO 2007/105549 A1 [0006]
- US 4675590 [0007]
- WO 2004/010164 [0025, 0025]
- US 7221516 B2 [0025, 0025, 0065]
- US 6927901 B2 [0041, 0041]

**Patentansprüche**

1. Optisches System mit einer Blendeneinrichtung (APD), die eine Vielzahl von Blendenelementen zur variablen Begrenzung des Querschnitts eines durch das optische System verlaufenden Strahlbündels (RB) aufweist, die Blendeneinrichtung mit:

einem ersten Blendenelement (AE1), das um eine erste Drehachse (RA1) zwischen einer Eingriffsstellung im Strahlengang des optischen Systems und einer Neutralstellung außerhalb des Strahlengangs des optischen Systems verschwenkbar ist und eine durch einen ersten Blendenrand (AR1) begrenzte erste Blendenöffnung aufweist; und  
mindestens einem zweiten Blendenelement (AE2), das um eine zweite Drehachse (RA2) zwischen einer Eingriffsstellung im Strahlengang des optischen Systems und einer Neutralstellung außerhalb des Strahlengangs des optischen Systems verschwenkbar ist und eine durch einen zweiten Blendenrand (AR2) begrenzte zweite Blendenöffnung aufweist, die kleiner als die erste Blendenöffnung ist,  
wobei die in die Eingriffsstellung geschwenkten Blendenelemente (AR1, AR2) eine effektive Blendenöffnung bilden und wobei die Blendenränder von in die Eingriffsstellung geschwenkten Blendenelementen nicht in einer gemeinsamen Ebene liegen.

2. Optisches System nach Anspruch 1, worin die Blendenränder der in die Eingriffsstellung geschwenkten Blendenelemente auf einer gemeinsamen, in wenigstens einer Richtung gekrümmten Fläche (CS), vorzugsweise auf einer rotationssymmetrischen Fläche, insbesondere auf einer sphärisch oder konisch gekrümmten Fläche, liegen.

3. Optisches System nach Anspruch 1 oder 2, worin die Blendeneinrichtung mindestens zwei, vorzugsweise drei oder mehr verschwenkbare Blendenelemente (AE1, AE2, AE3, AE4, AE5) aufweist.

4. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, worin die Blendeneinrichtung mindestens zwei verschwenkbare Blendenelemente aufweist, die um koaxiale Drehachsen (RA1, RA2, RA3) verschwenkbar sind, wobei vorzugsweise alle verschwenkbaren Blendenelemente einer Blendeneinrichtung um die gleiche Drehachse verschwenkbar sind.

5. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, worin ein gemeinsamer Verschwenkantrieb (AD) für zwei oder mehr verschwenkbare Blendenelemente (AE1, AE2, AE3), insbesondere für alle verschwenkbaren Blendenelemente, vorgesehen ist.

6. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, worin das zweite Blendenelement (AE2) einen Außenabschnitt (O2) und einen an die

zweite Blendenöffnung unmittelbar angrenzenden Innenabschnitt (I2) hat, der gegenüber dem Außenabschnitt vorspringt und derart durch die erste Blendenöffnung hindurchführbar ist, dass die vom Innenabschnitt (I2) des zweiten Blendenelementes (AE2) begrenzte zweite Blendenöffnung bezogen auf die erste Blendenöffnung auf der dem zweiten Außenabschnitt gegenüberliegenden Seite angeordnet ist.

7. Optisches System nach einem der Ansprüche 1 bis 5, worin das zweite Blendenelement einen Außenabschnitt und einen an die zweite Blendenöffnung unmittelbar angrenzenden Innenabschnitt hat, der gegenüber dem Außenabschnitt vorspringt und in die erste Blendenöffnung derart einführbar ist, dass die vom Innenabschnitt des zweiten Blendenelementes begrenzte zweite Blendenöffnung bezogen auf die erste Blendenöffnung auf der gleichen Seite liegt wie der Außenabschnitt des zweiten Blendenelementes.

8. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, worin der Blendeneinrichtung eine Kühleinrichtung zur aktiven Kühlung der Blendenelemente zugeordnet ist.

9. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, worin das optische System (PO) mindestens einen Spiegel (M2, M) mit einer Spiegelfläche (MS2, MS) aufweist und worin die Blendeneinrichtung in der Nähe des Spiegels derart angeordnet ist, dass die effektive Blendenöffnung im Bereich des doppelten Strahldurchtritts vor der Spiegelfläche angeordnet ist.

10. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, worin die Spiegelfläche (MS2, MS) eine konvexe oder konkave Krümmung hat und worin eine durch die Blendenränder (AR1, AR2, AR3) der in die Eingriffsstellung geschwenkten Blendenelemente (AE1, AE2, AE3) definierte gekrümmte Fläche (CS) der Krümmung der Spiegelfläche angepasst ist.

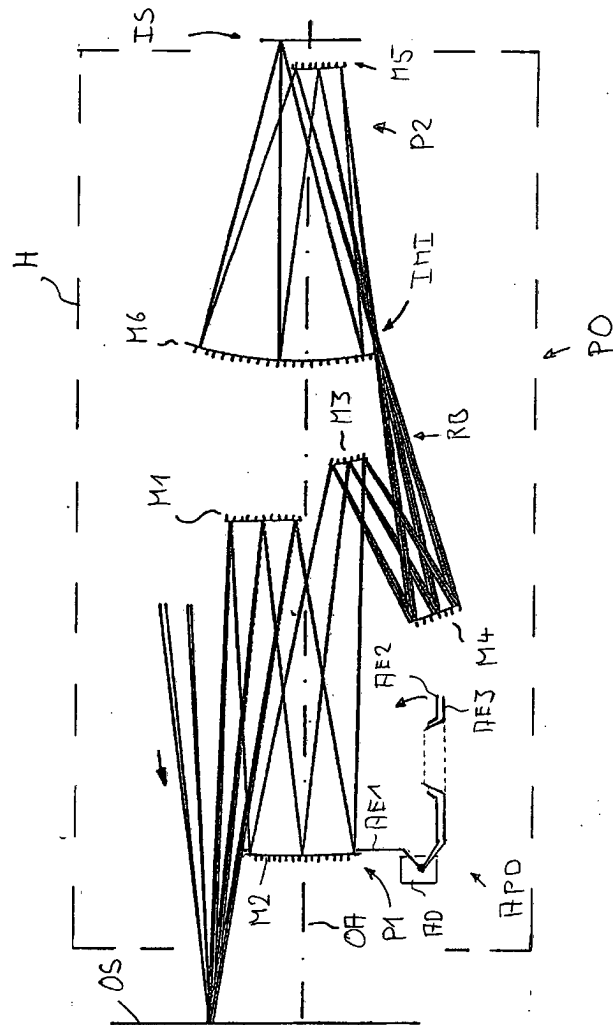
11. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, worin die effektive Blendenöffnung (AP8) eine von der Kreisform abweichende unrunde Form hat.

12. Optisches System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, worin das optische System (PO) eine Eintrittsfläche, eine Austrittsfläche und mindestens eine zwischen der Eintrittsfläche und der Austrittsfläche angeordnete Pupillenfläche (P1) aufweist und worin die Blendeneinrichtung (APD) an oder in der Nähe der Pupillenfläche angeordnet ist.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1





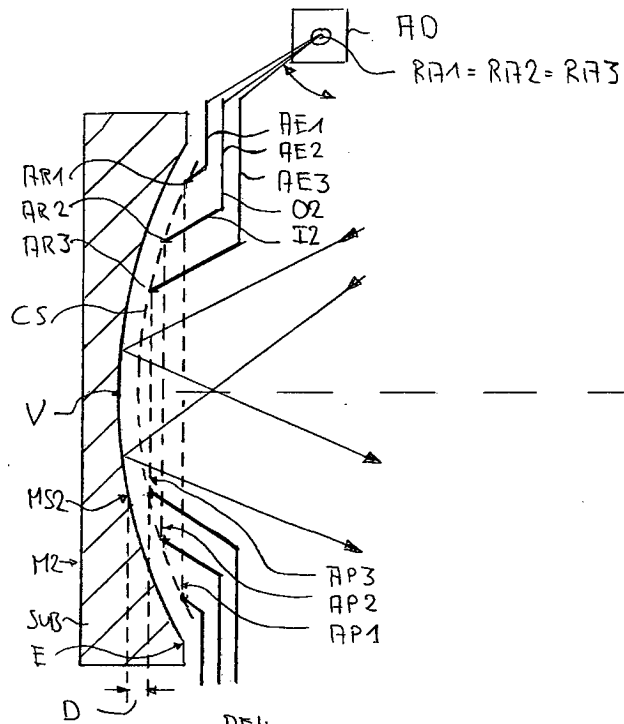


Fig. 2

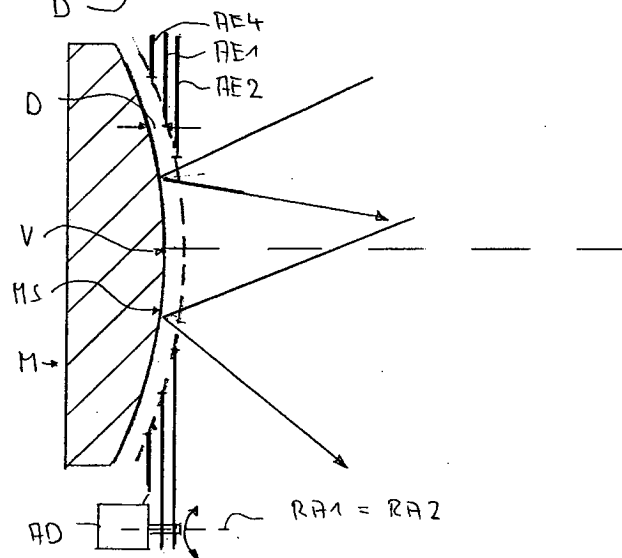


Fig. 3

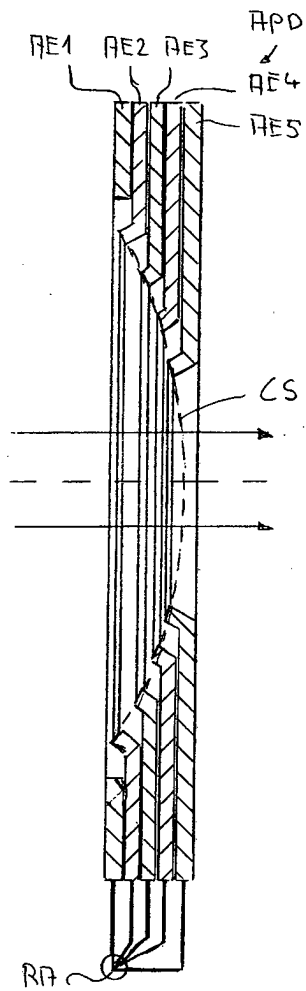


Fig. 4

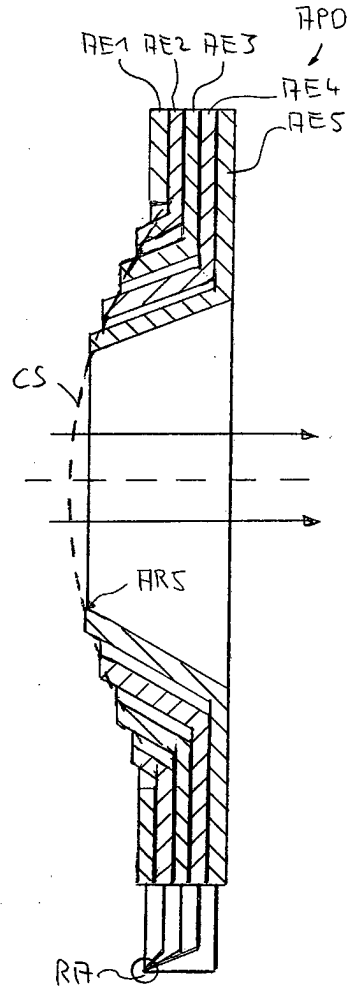
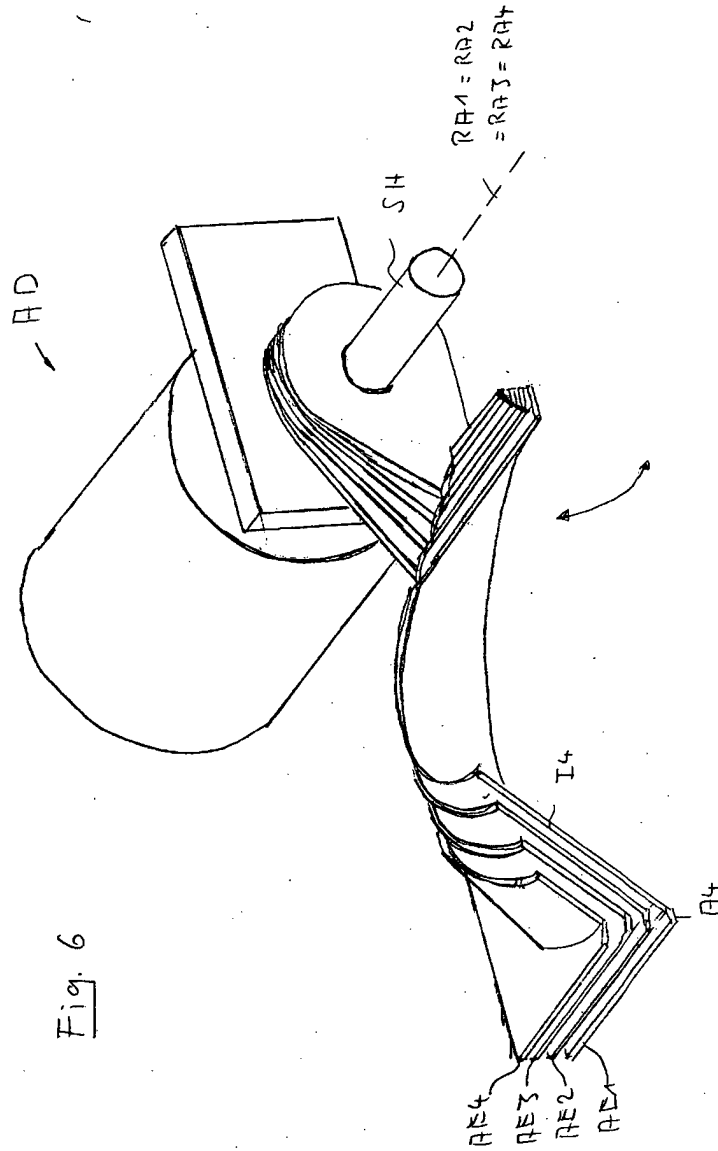


Fig. 5



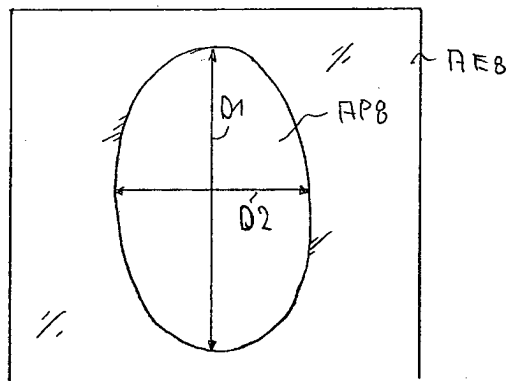
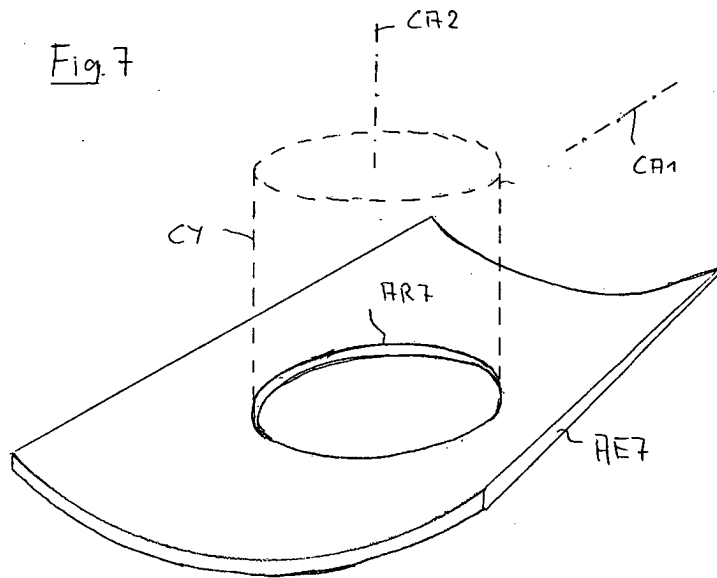


Fig. 8