



(19)  
 Bundesrepublik Deutschland  
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2009 029 103 A1** 2010.05.27

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2009 029 103.2**

(22) Anmeldetag: **02.09.2009**

(43) Offenlegungstag: **27.05.2010**

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

(30) Unionspriorität:

**61/116,411**      **20.11.2008**      **US**

(71) Anmelder:

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

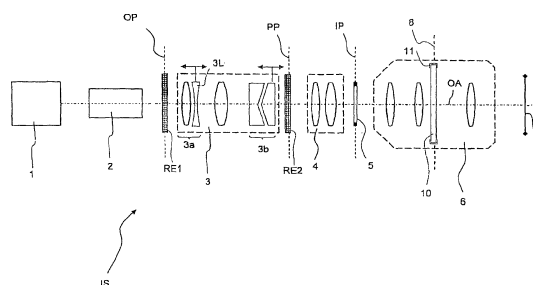
(72) Erfinder:

**Singer, Wolfgang, Dr., 73431 Aalen, DE;**  
**Scharnweber, Ralf, Dr., 73430 Aalen, DE;**  
**Cersowsky, Anton, 89551 Königsbronn, DE;**  
**Bader, Dieter, 73571 Göggingen, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Beleuchtungseinrichtung für eine Mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Beleuchtungseinrichtung für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage, mit einer Lichtquelle zur Erzeugung von Projektionslicht, einer Maskierungseinrichtung zur Maskierung eines Retikels, einem Maskierungsobjektiv zur Abbildung der Maskierungseinrichtung auf das Retikel und einer Pupillenformungseinheit zum Empfang von Licht der zugeordneten Lichtquelle und zur Erzeugung einer vorgebbaren Basislichtverteilung in einer Pupillenebene der Beleuchtungseinrichtung, wobei eine Blende in dem Maskierungsobjektiv angeordnet und die Oberfläche der Blende in Richtung der Lichtausbreitung gewölbt ist und wobei mit Hilfe der Blende gezielt Bereiche der Basislichtverteilung ausgeblendet werden können.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Beleuchtungseinrichtung für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage, und zwar insbesondere eine Beleuchtungseinrichtung, die eine Lichtquelle zur Erzeugung von Projektionslicht, eine Maskierungseinrichtung zur Maskierung eines Retikels, ein Maskierungsobjektiv zur Abbildung der Maskierungseinrichtung auf das Retikel und einen Polarisator enthält. Die Erfindung betrifft ferner eine für eine solche Beleuchtungseinrichtung geeignete Blende.

**[0002]** Die Leistungsfähigkeit von Projektionsbelichtungsanlagen für die mikrolithographische Herstellung von Halbleiterbauelementen und anderen fein strukturierten Bauteilen wird wesentlich durch die Abbildungseigenschaften der Projektionsobjektive bestimmt. Darüber hinaus werden die Bildqualität und der mit der Anlage erzielbare Wafer-Durchsatz wesentlich durch Eigenschaften des dem Projektionsobjektiv vorgeschalteten Beleuchtungssystems mitbestimmt. Dieses muss in der Lage sein, das Licht einer primären Lichtquelle, beispielsweise eines Lasers, mit möglichst hohem Wirkungsgrad zu präparieren und dabei in einem Beleuchtungsfeld des Beleuchtungssystems eine möglichst gleichmäßige Intensitätsverteilung zu erzeugen.

**[0003]** Ein hoher Grad von Gleichmäßigkeit bzw. Homogenität kann durch Mischung des von der Lichtquelle kommenden Lichtes mit Hilfe einer Lichtmischeinrichtung erreicht werden. Bei Lichtmischeinrichtungen unterscheidet man im wesentlichen zwischen Lichtmischeinrichtungen mit Wabenkondensoren und Lichtmischeinrichtungen mit Integratorstäben bzw. Lichtmischstäben.

**[0004]** Zudem soll es möglich sein, am Beleuchtungssystem verschiedene Beleuchtungsmodi einzustellen, um beispielsweise die Beleuchtung entsprechend der Strukturen der einzelnen abzubildenden Vorlagen (Masken, Retikel) zu optimieren. Zur Einstellung der Beleuchtungsmodi bzw. Beleuchtungssettings sind Pupillenformungseinheiten vorgesehen, die eine vorgebbare Lichtverteilung in einer Pupillenebene erzeugen können.

**[0005]** Bei Beleuchtungssystemen, die zur Einstellung unterschiedlicher Beleuchtungsmodi mit austauschbaren optischen Elementen (z. B. diffraktiven optischen Elementen oder Raumfiltern) arbeiten, ist die Anzahl unterschiedlicher Beleuchtungssettings durch die Anzahl der unterschiedlichen einwechselbaren Elemente begrenzt. Sollen Beleuchtungssettings an solchen Systemen zum Beispiel für experimentelle Zwecke ohne Austausch der vorhandenen Elemente korrigierbar sein, müssen austauschbaren optischen Elementen zusätzlich zur Verfügung gestellt werden, deren Herstellung aufwändig ist und

mit erheblichen Kosten verbunden sein kann. Zudem ist der Spielraum im Beleuchtungssystem für den Einbau solcher Elemente begrenzt.

**[0006]** Aufgabe der Erfindung ist es deswegen, ein Beleuchtungssystem der eingangs genannten Art anzugeben, mit der sich auf einfache Weise Beleuchtungssettings korrigieren lassen.

**[0007]** Gelöst wird diese Aufgabe bei einem solchen Beleuchtungssystem dadurch, dass eine Blende in dem Maskierungsobjektiv, und zwar beispielsweise in einer Pupillenebene des Maskierungsobjektivs oder in der Nähe einer solchen, angeordnet ist, wobei die Oberfläche der Blende in Richtung der optischen Achse gewölbt ist.

**[0008]** Gelöst wird diese Aufgabe durch eine Beleuchtungseinrichtung für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage, mit einer Lichtquelle zur Erzeugung von Projektionslicht, einer Maskierungseinrichtung zur Maskierung eines Retikels, einem Maskierungsobjektiv zur Abbildung der Maskierungseinrichtung auf das Retikel (R) und einer Pupillenformungseinheit zum Empfang von Licht der zugeordneten Lichtquelle und zur Erzeugung einer vorgebbaren Basislichtverteilung in einer Pupillenebene des Beleuchtungssystems, wobei eine Blende in dem Maskierungsobjektiv angeordnet und die Oberfläche der Blende in Richtung der Lichtausbreitung gewölbt ist.

**[0009]** Da das Maskierungsobjektiv üblicherweise nicht vollständig korrigiert ist, zeigt sich in der Pupillenebene eine sogenannte Bildfeldwölbung. Dabei wird ein Bild nicht auf einer Ebene, sondern auf einer gewölbten Fläche erzeugt. Die Position des Strahlenschnittpunkts längs der optischen Achse ist dann von der Bildhöhe abhängig, das bedeutet, je weiter Objekt- und damit Bildpunkt von der Achse entfernt sind, umso mehr ist der Bildpunkt in Achsrichtung verschoben. Die Ausführungen sind hierbei auf die Abbildung der Pupillenebenen aufeinander bzw. die Abbildung der dort vorliegenden Intensitätsverteilungen zu beziehen.

**[0010]** Die Bildfeldwölbung führt bei Einsatz einer planen Blende zu Störungen des erwünschten Beleuchtungssettings. Als Ergebnis variiert das Beleuchtungssetting über das Objektfeld. Dadurch, dass die Oberfläche der Blende in Richtung der Lichtausbreitung gewölbt ist, werden diese Störungen verringert oder vermieden.

**[0011]** In einer Ausführungsform ist die Blende in der Pupillenebene angeordnet.

**[0012]** Mit einer erfindungsgemäßen Blende kann ein vorgegebenes Beleuchtungssetting korrigiert werden.

**[0013]** Die Pupillenformungseinheit kann z. B. zur Erzeugung von konventioneller Beleuchtung mit unterschiedlichem Kohärenzgrad, von Ringfeldbeleuchtung sowie von Dipol- oder Quadrupolbeleuchtung in einer Pupillenebene des Beleuchtungssystems ausgelegt sein. Die von der Pupillenformungseinheit erzeugte Basislichtverteilung kann für eine vorgegebene, abzubildende Struktur auf dem Beleuchtungsfeld weiter optimiert werden, indem die Basislichtverteilung mit Hilfe der Blende lokal geringfügig korrigiert wird. Die Blende kann hierzu Teile der Basislichtverteilung ausblenden, die für die Abbildung der vorgegebenen Struktur nicht benötigt werden um ausgehend von der Basislichtverteilung eine gewünschte Verteilung exakt einzustellen.

**[0014]** In einer weiteren Ausführungsform weist die Blende eine oder mehrere Blendenöffnungen in der Blendenoberfläche auf. Damit kann gezielt ein Teil der Basislichtverteilung in verschiedenen Bereichen der Blendenoberfläche durchgelassen werden. Neben der Formänderung des Beleuchtungssettings kann auch Streu- oder Falschlicht unterdrückt werden.

**[0015]** Eine Ausführungsform der Blende weist zwei oder mehr zueinander punktsymmetrisch angeordnete Blendenöffnungen auf. Damit kann gezielt die Größe der Dipole oder Quadrupole einer Dipol- oder Quadrupolbeleuchtung beschnitten werden.

**[0016]** Die Blende kann weiterhin auswechselbar gestaltet sein, um so verschiedene Ausblendungen der Basislichtverteilung zu ermöglichen.

**[0017]** In einer weiteren Ausführungsform ist die Blende drehbar gelagert. Damit können die Blendenöffnungen an Drehungen der Basislichtverteilung einfach angepasst werden.

**[0018]** In einer weiteren Ausführungsform mit einem oder mehreren Graufiltern aus semitransparentem Material beispielsweise in den Blendenöffnungen statt einfachen Öffnungen können auch Intensitätsanpassungen vorgenommen werden.

**[0019]** In einer Ausführungsform umfasst die Pupillenformungseinheit mindestens ein diffraktives optisches Element. Das diffraktive optische Element ist für gewöhnlich in einer Feldebene des Beleuchtungssystems positioniert und erzeugt dort eine Winkelverteilung des Beleuchtungslichts, die bei der Übertragung auf eine nachfolgende Pupillenebene eine Ortsverteilung der Intensität erzeugt.

**[0020]** In einer Ausführungsform umfasst die Pupillenformungseinheit ein Axikon-System. Mit verstellbaren Axikons können außeraxiale Beleuchtungseinstellungen (z. B. annulare Beleuchtung) ohne Lichtverlust realisiert werden.

**[0021]** In einer Ausführungsform umfasst die Pupillenformungseinheit eine Zoom-Einheit. Die Zoom-Einheit dient zur Maßstabs-Vergrößerung/Verkleinerung der erzeugten Lichtverteilung. In Kombination mit dem Axikon und dem diffraktiven optischen Element kann die Pupillenformungseinheit eine Mehrzahl von Basislichtverteilungen praktisch ohne Lichtverlust erzeugen. Die Pupillenformungseinheit kann z. B. so aufgebaut sein, wie es in der EP 0 747 772 der Anmelderin beschrieben ist. Deren Inhalt wird durch Bezugnahme zum Inhalt der Beschreibung gemacht.

**[0022]** In einer weiteren Ausführungsform ist hinter der Pupillenformungseinheit eine Integratorstabanordnung mit mindestens einem Integratorstab vorgesehen. Der Integratorstab dient zur Homogenisierung einer in diesen eintretenden Lichtverteilung.

**[0023]** In einer weiteren Ausführungsform ist hinter der Pupillenformungseinheit ein Wabenkondensator mit mindestens einer Rasteranordnung von Rasterelementen angeordnet. Wabenkondensatoren gängiger Bauart bestehen aus einer in einer ersten Ebene positionierten Rasteranordnung und einer in einer nachgeordneten zweiten, zur ersten konjugierten Ebene positionierten Rasteranordnung. Der Transmissionsfilter kann z. B. in der Nähe der ersten Rasteranordnung vor dieser positioniert sein.

**[0024]** Bei einer erfindungsgemäßen Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage umfasst diese mindestens ein oben beschriebenes Beleuchtungssystem.

**[0025]** Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Beleuchtung eines Beleuchtungsfeldes welches insbesondere mit einem oben beschriebenen Beleuchtungssystem durchgeführt werden kann, wird die Lichtverteilung in einer Pupillenebene des Beleuchtungssystems an eine zu beleuchtende Maskenstruktur angepasst, indem mit einer Pupillenformungseinheit eine Basislichtverteilung in oder in der Nähe einer Pupillenebene eingestellt wird wobei eine Blende in dem Maskierungsobjektiv angeordnet und die Oberfläche der Blende in Richtung der Lichtausbreitung gewölbt ist und wobei die Blende die Basislichtverteilung in vorgebar Weise korrigiert.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHUNGEN

**[0026]** Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele anhand der Zeichnung. Darin zeigen:

**[0027]** **Fig. 1:** eine schematische perspektivische Darstellung einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage;

**[0028]** [Fig. 2](#): eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Beleuchtungseinrichtung für die in der [Fig. 1](#) gezeigte Projektionsbelichtungsanlage mit einer Blende, die in einem Maskierungsobjektiv angeordnet ist;

**[0029]** [Fig. 3](#): schematisch eine erfindungsgemäße Blende **10** mit einer gewölbten Oberfläche **25**.

**[0030]** [Fig. 4](#): Schema der gewölbten Blendenoberfläche **25**

**[0031]** [Fig. 5a](#) eine Ausführungsform der Blende **10** mit 2 Blendenöffnungen **40** in der Blendenoberfläche **25**

**[0032]** [Fig. 5b](#) eine Ausführungsform der Blende **10** mit 4 Blendenöffnungen **40** in der Blendenoberfläche **25**

**[0033]** [Fig. 6](#): eine drehbare Blende **10**

**[0034]** [Fig. 7](#): ein Beispiel einer drehbaren Blende **10** mit 4 Blendenöffnungen **40**

**[0035]** Die [Fig. 1](#) zeigt eine Projektionsbelichtungsanlage PEA in einer stark schematisierten und nicht maßstäblichen Darstellung, die für die Herstellung mikrostrukturierter Bauteile geeignet ist. Die Projektionsbelichtungsanlage PEA umfaßt eine Beleuchtungseinrichtung IS zur Erzeugung eines Projektionslichtbündels, mit dem auf einem Retikel R, das zu projizierende Strukturen enthält, ein schmales, in dem dargestellten Ausführungsbeispiel rechteckförmiges Lichtfeld LF ausgeleuchtet wird. Die innerhalb des Lichtfeldes LF liegenden Strukturen des Retikels R werden mit Hilfe eines Projektionsobjektivs PL auf eine lichtempfindliche Schicht abgebildet, die auf einem Wafer W aufgebracht ist und sich in der Bildebene des Projektionsobjektivs PL befindet. Da das Projektionsobjektiv PL einen Abbildungsmaßstab hat, der kleiner ist als 1, wird der Bereich LF auf dem Retikel R verkleinert als Bereich LF' auf dem Wafer W abgebildet. Während der Projektion werden das Retikel R und der Wafer W entlang einer Y-Richtung verfahren. Das Verhältnis der Verfahrensgeschwindigkeiten ist dabei gleich dem Abbildungsmaßstab des Projektionsobjektivs PL. Falls das Projektionsobjektiv PL eine Invertierung des Bildes erzeugt, verlaufen die Verfahrbewegungen des Retikels R und des Wafers W gegenläufig, wie dies in der [Fig. 1](#) durch Pfeile A1 und A2 angedeutet ist. Auf diese Weise wird das Lichtfeld LF in einer Scanbewegung über das Retikel R geführt, so daß auch größere strukturierte Bereiche zusammenhängend auf den Wafer W projiziert werden können. Die Y-Richtung wird deswegen im Folgenden auch als Scanrichtung bezeichnet.

**[0036]** In der [Fig. 2](#) ist in einem vereinfachten und nicht maßstäblichen Meridionalschnitt die in der

[Fig. 1](#) angedeutete Beleuchtungseinrichtung IS gezeigt. Eine beispielsweise als Excimer-Laser ausgeführte Lichtquelle **1** erzeugt monochromatisches und stark kollimiertes Licht mit einer Wellenlänge im tiefen ultravioletten Spektralbereich, z. B. 193 nm oder 157 nm. In einem Strahlaufweiter **2**, bei dem es sich z. B. um eine verstellbare Spiegelanordnung handeln kann, wird das von der Lichtquelle **1** erzeugte Licht zu einem rechteckigen und weitgehend parallelen Strahlenbündel aufgeweitet. Das aufgeweitete Strahlenbündel durchtritt anschließend ein erstes optisches Rasterelement RE1, bei dem es sich z. B. um ein diffraktives optisches Element handeln kann. Weitere Beispiele für geeignete Rasterelemente sind der US 6 285 443 der Anmelderin entnehmbar, deren Offenbarung hiermit vollumfänglich aufgenommen wird. Das erste optische Rasterelement RE1 hat die Aufgabe, die Beleuchtungswinkelverteilung des Projektionslichts zu verändern und den Lichtleitwert, der häufig auch als geometrischer optischer Fluss bezeichnet wird, zu erhöhen. Das erste optische Rasterelement RE1 ist in einer Objektebene OP eines Strahlumformobjektivs **3** angeordnet, mit dem sich die Beleuchtungswinkelverteilung weiter modifizieren und kontinuierlich verändern lässt. Das Strahlumformobjektiv **3** enthält zu diesem Zweck eine Zoom-Gruppe **3a** mit mindestens einer verstellbaren Linse **3L** und eine Axicon-Gruppe **3b**. Die Axicon-Gruppe **3b** umfasst zwei Axicon-Elemente mit konischen Flächen, deren Abstand veränderbar ist. Das optische Rasterelement RE1 und das Strahlumformobjektiv **3** bilden zusammen eine Pupillenformungseinheit (RE1, **3**) zur Erzeugung einer vorgebbaren Basislichtverteilung in einer Pupillenebene PP der Beleuchtungseinrichtung. In der Pupillenebene PP, bei der es sich um die Austrittspupille des Strahlumformobjektivs **3** handelt, ist ein zweites optisches Rasterelement RE2 angeordnet. Das zweite optische Rasterelement RE2 hat die Aufgabe, die Intensitätsverteilung in einer nachfolgenden konjugierten Feldenebene festlegen. Die Austrittsebene des zweiten Rasterelements RE2 fällt damit mit der Pupillenebene zusammen und wird im Weiteren als Objektebene der Pupillenabbildung bezeichnet.

**[0037]** In Lichtausbreitungsrichtung hinter dem zweiten optischen Rasterelement RE2 ist ein zweites Objektiv **4** angeordnet, in dessen Bildebene IP eine an sich bekannte Maskierungseinrichtung **5** (sog. REMA-Blende) ist. Die Maskierungseinrichtung **5** kann verstellbaren Schneiden umfassen und legt die Formen des Bereichs fest, der auf dem Retikel R von Projektionslicht durchsetzt werden. Um eine scharfe Umrandung dieses Bereichs zu erzielen, ist ein hier als Maskierungsobjektiv bezeichnetes drittes Objektiv **6** vorgesehen, in dessen Objektebene die Schneiden der Maskierungseinrichtung **5** angeordnet sind und in dessen Bildebene das Retikel R mit Hilfe einer Verfahrereinrichtung eingeführt werden kann.

**[0038]** Bei Bedarf kann zwischen dem zweiten Objektiv **4** und der Maskierungseinrichtung **5** noch ein Glasstab zur Strahlhomogenisierung eingefügt sein, wie dies in der bereits erwähnten US 6 285 443 beschrieben ist. Ebenso kann hier ein Wabenkondensator mit mindestens einer Rasteranordnung von Rasterelementen zur Strahlhomogenisierung angeordnet sein.

**[0039]** In einer mit **8** angedeuteten Pupillenebene des Maskierungsobjektivs **6** ist eine Blende **10** eingeschoben. Die Blende **10** kann auch in jeder anderen Pupillenebene des Maskierungsobjektivs **6** oder in der Nähe einer Solchen angeordnet sein. Diese Blendenebene bildet eine Zwischenbildebene der Pupillenabbildung, insbesondere eine konjugierte Bildebene zur obengenannten Objektebene der Pupillenabbildung. Um Linsen zu sparen, verzichtet man im Allgemeinen bei der Abbildung der Objektebene der Pupillenabbildung PP in die Blendenebene **8** auf die Korrektur der Bildebene, daher ist diese Blendenebene **8** nicht plan, sondern entsprechend einer Bildfeldwölbung gewölbt.

**[0040]** Verschiedene Ausführungsbeispiele werden im Folgenden mit Bezug auf die übrigen Figuren erläutert.

**[0041]** [Fig. 3](#) zeigt schematisch eine erfindungsgemäße Blende **10** mit einer gewölbten Oberfläche **25**. Die Blende **10** ist in Richtung der Lichtausbreitung von Lichtquelle **1** gewölbt. Mit Hilfe dieser Blende **10** wird die Basislichtverteilung korrigiert. Die Pupillenformungseinheit (RE1, **3**) kann z. B. zur Erzeugung von konventioneller Beleuchtung mit unterschiedlichem Kohärenzgrad, von Ringfeldbeleuchtung sowie von Dipol- oder Quadrupolbeleuchtung in einer Pupillenebene des Beleuchtungssystems ausgelegt sein. Eine solche Pupillenformungseinheit kann derart ausgelegt sein, dass auch im Falle außeraxialer Beleuchtung nur ein geringer Lichtverlust bei der Pupillenformung auftritt. Die von der Pupillenformungseinheit erzeugte Basislichtverteilung kann für eine vorgegebene, abzubildende Struktur auf dem Beleuchtungsfeld weiter optimiert werden, indem die Basislichtverteilung mit Hilfe der Blende **10** lokal geringfügig korrigiert wird. Die Blende kann hierzu Teile der Basislichtverteilung ausblenden, die für die Abbildung der vorgegebenen Struktur nicht benötigt werden, sie kann zum Beispiel die Größe der Pole verkleinern, um ausgehend von der Basislichtverteilung eine gewünschte Verteilung exakt einzustellen.

**[0042]** Anhand von [Fig. 4](#) werden die Vorteile einer gewölbten Blende **10** erläutert. Da das Maskierungsobjektiv **6** üblicherweise nicht vollständig korrigiert ist, zeigt sich in der Pupillenebene **8** eine Bildfeldwölbung. Dabei wird ein Bild nicht auf einer Ebene, sondern auf einer gewölbten Fläche erzeugt. Die Position des Strahlenschnittpunkts längs der optischen

Achse ist dann von der Bildhöhe abhängig, das bedeutet, je weiter Objekt- und damit Bildpunkt von der Achse entfernt sind, umso mehr ist der Bildpunkt in Achsrichtung verschoben. Die Pupillenebene **8** ist also gewölbt. In [Fig. 4](#) ist dies schematisch gezeigt. Auf der linken Seite ist eine übliche plane Blende mit hier beispielsweise 3 Blendenöffnungen in den Strahlengang eingebracht. Die Abschattung erfolgt nicht nur in der Pupillenebene **8**, sondern auch außerhalb davon. Es hat sich gezeigt, dass dies dazu führt, dass das Feld in der Retikelebene R von dem gewünschten Zustand abweicht, wie er bei einer planen Pupillenebene mit planer Blende erzielt werden kann. Dies vermeidet eine Blende, die eine gewölbte Oberfläche **25** aufweist. Die Wölbung der Blende ist in vorteilhafter Weise an die Bildfeldwölbung der Pupillenebene **8** angepasst. Dies ist auf der rechten Seite von [Fig. 4](#) dargestellt. Die Blendenoberfläche ist so geformt, dass sie der Wölbung der Pupillenebene **8** folgt. Dadurch werden die unerwünschten Feldeffekte verringert oder ganz vermieden. Da die Oberfläche der Blende in Richtung der Lichtausbreitung gewölbt ist, werden diese Störungen verringert oder vermieden.

**[0043]** In den [Fig. 5a](#) und [Fig. 5b](#) sind zwei Ausführungsformen der Blende **10** mit verschiedenen Blendenöffnungen **40** in der Blendenoberfläche **25** gezeigt. Die Blendenöffnungen **40** lassen das Licht passieren, während der Rest der Blendenoberfläche **25** das Licht abschattet. [Fig. 5a](#) zeigt eine Blende mit zwei zueinander punktsymmetrischen Blendenöffnungen **40**, die zur gezielten Abschattung einer Dipolbeleuchtung dienen können. In [Fig. 5b](#) ist eine Blende **40** gezeigt, die vier Blendenöffnungen **40** aufweist, die punktsymmetrisch zueinander in der Blendenoberfläche **25** angeordnet sind, die zur gezielten Abschattung einer Quadrupolbeleuchtung dienen können. Selbstverständlich sind auch alle anderen möglichen Varianten von Anzahl, Anordnung und Größe von Blendenöffnungen **40** möglich. Beispielsweise ist es auch möglich, die Blendenoberfläche transparent oder offen zu gestalten und statt der Blendenöffnungen **40** Bereiche auf der Oberfläche anzubringen, die Licht abschatten.

**[0044]** Mit einem oder mehreren Graufiltern aus semitransparentem Material beispielsweise in den Blendenöffnungen statt einfachen Öffnungen können auch Intensitätsanpassungen vorgenommen werden.

**[0045]** Die [Fig. 6](#) und [Fig. 7](#) zeigen eine weitere Ausführungsform der Blende **10**.

**[0046]** [Fig. 6](#) zeigt eine Blende **10** mit einer Blendenoberfläche **25**, auf der Blendenöffnungen **40** sein können mit einem Blendenhalter **50**. Die Blende **10** ist drehbar in dem Blendenhalter **50** gelagert. Somit ist es möglich, die Blende **10** um die optische Achse zu drehen. Damit kann man die Blende **10** beispiels-

weise einfach an mögliche Drehungen der Basislichtverteilung anpassen oder gezielt Winkelbereiche der Basislichtverteilung abzuschatten. [Fig. 7](#) zeigt, wie eine Blende **10** mit vier Blendenöffnungen **40** gedreht wird.

**[0047]** In einer weiteren Ausführungsform ist die Blende **10** auswechselbar ausgestaltet. So kann beispielsweise der Blendenhalter **50** so ausgelegt sein, dass eine Blende **10** aus der Beleuchtungseinrichtung einfach zu entnehmen und gegen eine andere Blende ausgetauscht werden kann.

**[0048]** In einer weiteren Ausführung wird ein Verfahren zur Herstellung einer erfindungsgemäßen Blende beschrieben. Mit Hilfe dieses Verfahrens ist es beispielsweise dem Benutzer der Beleuchtungseinrichtung möglich, in einfacher Weise selbst die Blende nach seinen Wünschen zu gestalten.

**[0049]** Dazu wird eine Blendenrohling mit gewölbter Blendenoberfläche erzeugt. Dieser Blendenrohling weist beispielweise schon die an die Bildfeldwölbung angepasste Blendenoberfläche auf. Ferner können auf dem Blendenrohling Markierungen angebracht sein, die auf die Position der optischen Achse schließen lassen, wie weitere Markierungen, die die x- bzw. die y-Achse bzw. weitere Achsen versinnbildlichen, wie auch weitere Markierungen wie beispielsweise Kreise, die auf verschiedene Aperturdurchmesser hinweisen.

**[0050]** Danach werden die für den Einsatz in der Beleuchtungseinrichtung benötigten Parameter für den Ort, die Größe und die Position geeigneter Blendenöffnungen ermittelt. Diese können beispielsweise von den gewünschten verschiedenen Beleuchtungssettings abhängen. Anhand dieser Parameter werden Markierungen für Positionsmarken oder Maßstäbe auf der gewölbten Blendenoberfläche aufgebracht. Dies kann beispielsweise durch Ritzen, Prägen oder Aufbringen von Farben erfolgen. In einem optionalen weiteren Schritt kann die Blendenoberfläche anhand der Markierungen so verändert wird, dass sich Teile der Blendenoberfläche gezielt einfach herauslösen lassen. Dies kann beispielsweise durch anritzen oder Stanzen von Löchern oder andere bekannte Verfahren zur gezielten Schwächung bestimmter Oberflächenbereiche geschehen.

**[0051]** In einem nächsten Schritt kann der Benutzer Teile der Blendenoberfläche anhand der Markierungen auf der Blendenoberfläche entfernen um Blendenöffnungen zu erzeugen, die für die vorgegebene Korrektur der Basislichtverteilung geeignet sind.

**[0052]** In einem erfindungsgemäßen Verfahren zur Beleuchtung eines Beleuchtungsfeldes mit einer Beleuchtungseinrichtung nach einem der wird die Lichtverteilung in einer Pupillenebene der Beleuchtungs-

einrichtung an eine zu beleuchtende Maskenstruktur angepasst, indem mit einer Pupillenformungseinheit eine Basislichtverteilung in oder in der Nähe einer Pupillenebene eingestellt wird. Dabei ist eine Blende (**10**) in dem Maskierungsobjektiv (**6**) angeordnet und die Oberfläche der Blende in Richtung der Lichtausbreitung gewölbt. Mit Hilfe der Blende **10** können gezielt Bereiche der Basislichtverteilung ausgeblendet werden und auf diese Weise mit Hilfe der Blende die Basislichtverteilung in vorgebarbarer Weise korrigiert werden.

**[0053]** In einem weiteren erfindungsgemäßen Verfahren wird eine Blende zum Einsatz in einer oben beschriebenen Beleuchtungseinrichtung nach den mit folgenden Verfahrensschritten hergestellt:

- Erzeugung eines Blendenrohlings mit gewölbter Blendenoberfläche
- Bestimmung der für den Einsatz in der Beleuchtungseinrichtung Parameter für den Ort, die Größe und die Position geeigneter Blendenöffnungen
- Anbringen von Markierungen für Positionsmarken oder Maßstäbe auf der gewölbten Blendenoberfläche anhand dieser Parameter

**[0054]** In einer Weiterbildung des Verfahrens wird die Blendenoberfläche anhand der Markierungen so verändert, dass sich Teile der Blendenoberfläche gezielt einfach herauslösen lassen.

**[0055]** In einer Weiterbildung des Verfahrens werden Teile der Blendenoberfläche anhand der Markierungen auf der Blendenoberfläche entfernt zur Erzeugung von Blendenöffnungen, die für die vorgegebene Korrektur der Basislichtverteilung geeignet sind.

**[0056]** Die Erfindung ist nicht auf den Bereich der Mikrolithographie beschränkt. Es können z. B. auch Beleuchtungssysteme in der Mikroskopie erfindungsgemäß ausgestaltet sein. Ebenso können die erfindungsgemäßen gewölbten Blenden auch in anderen Blendenebenen, beispielsweise in Blendenebenen eines Projektionsobjektives, eingesetzt werden, mit entsprechend angepasster Wölbung der Blende.

**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**

- EP 0747772 [0021]
- US 6285443 [0036, 0038]

**Patentansprüche**

1. Beleuchtungseinrichtung für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage, mit einer Lichtquelle (1) zur Erzeugung von Projektionslicht, einer Maskierungseinrichtung (5) zur Maskierung eines Retikels (R), einem Maskierungsobjektiv (6) zur Abbildung der Maskierungseinrichtung (5) auf das Retikel (R) und einer Pupillenformungseinheit (RE1, 3) zum Empfang von Licht der zugeordneten Lichtquelle (1) und zur Erzeugung einer vorgebbaren Basislichtverteilung in einer Pupillenebene (PP) der Beleuchtungseinrichtung

**dadurch gekennzeichnet**, dass eine Blende (10) in dem Maskierungsobjektiv (6) angeordnet und die Oberfläche der Blende in Richtung der Lichtausbreitung gewölbt ist und dass mit Hilfe der Blende 10 gezielt Bereiche der Basislichtverteilung ausgeblendet werden können.

2. Beleuchtungseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Wölbung der Oberfläche der Blende (10) der Bildfeldwölbung am Ort der Blende (10) angepasst ist.

3. Beleuchtungseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Blende (10) in einer Pupillenebene des Maskierungsobjektivs (6) oder in der Nähe einer solchen angeordnet ist.

4. Beleuchtungseinrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Blende (10) zur Erzeugung einer vorgebbaren Korrektur der Basislichtverteilung ausgelegt ist.

5. Beleuchtungseinrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Blende (10) eine oder mehrere Blendenöffnungen in der Oberfläche aufweist.

6. Beleuchtungseinrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Blende (10) zwei oder mehr zueinander punktsymmetrisch angeordnete Blendenöffnungen aufweist.

7. Beleuchtungseinrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Blende (10) ein oder mehrere Graufiltern aus semitransparentem Material in den Blendenöffnungen aufweist.

8. Beleuchtungseinrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Blende (10) auswechselbar ist.

9. Beleuchtungseinrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Blende (10) drehbar um die optische Achse gelagert ist.

10. Beleuchtungseinrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Pupillenformungseinheit mindestens ein diffraktives optisches Element umfasst.

11. Beleuchtungseinrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Pupillenformungseinheit (RE1, 3) ein Axikon-System umfasst.

12. Beleuchtungseinrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Pupillenformungseinheit (RE1, 3) eine Zoom-Einheit umfasst.

13. Beleuchtungseinrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass hinter der Pupillenformungseinheit (RE1, 3) eine Integratorstabanordnung mit mindestens einem Integratorstab vorgesehen ist.

14. Beleuchtungseinrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass hinter der Pupillenformungseinheit (RE1, 3) ein Wabenkondensator mit mindestens einer Rasteranordnung von Rasterelementen angeordnet ist.

15. Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage, die mindestens eine Beleuchtungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14 umfasst.

16. Verfahren zur Beleuchtung eines Beleuchtungsfeldes mit einer Beleuchtungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, bei dem die Lichtverteilung in einer Pupillenebene der Beleuchtungseinrichtung an eine zu beleuchtende Maskenstruktur angepasst wird, indem mit einer Pupillenformungseinheit eine Basislichtverteilung in oder in der Nähe einer Pupillenebene eingestellt wird wobei eine Blende (10) in dem Maskierungsobjektiv (6) angeordnet und die Oberfläche der Blende in Richtung der Lichtausbreitung gewölbt ist, dass mit Hilfe der Blende 10 gezielt Bereiche der Basislichtverteilung ausgeblendet werden können und die Blende die Basislichtverteilung in vorgebbarer Weise korrigiert.

17. Verfahren zur Herstellung einer Blende zum Einsatz in einer Beleuchtungseinrichtung nach den Ansprüchen 1–15 mit folgenden Verfahrensschritten:  
– Erzeugung eines Blendenrohlings mit gewölbter Blendenoberfläche  
– Bestimmung der für den Einsatz in der Beleuchtungseinrichtung Parameter für den Ort, die Größe und die Position geeigneter Blendenöffnungen  
– Anbringen von Markierungen für Positionsmarken oder Maßstäbe auf der gewölbten Blendenoberfläche anhand dieser Parameter

18. Verfahren zur Herstellung einer Blende nach Anspruch 17, wobei die Blendenoberfläche anhand



der Markierungen so verändert wird, dass sich Teile der Blendenoberfläche gezielt einfach herauslösen lassen.

19. Verfahren zur Herstellung einer Blende nach Anspruch 17 oder 18, wobei Teile der Blendenoberfläche anhand der Markierungen auf der Blendenoberfläche entfernt werden zur Erzeugung von Blendenöffnungen, die für die vorgegebene Korrektur der Basislichtverteilung geeignet sind.

20. Blende für den Einsatz in einer Beleuchtungseinrichtung für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage, hergestellt nach dem Verfahren nach einem der Ansprüche 17–19.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

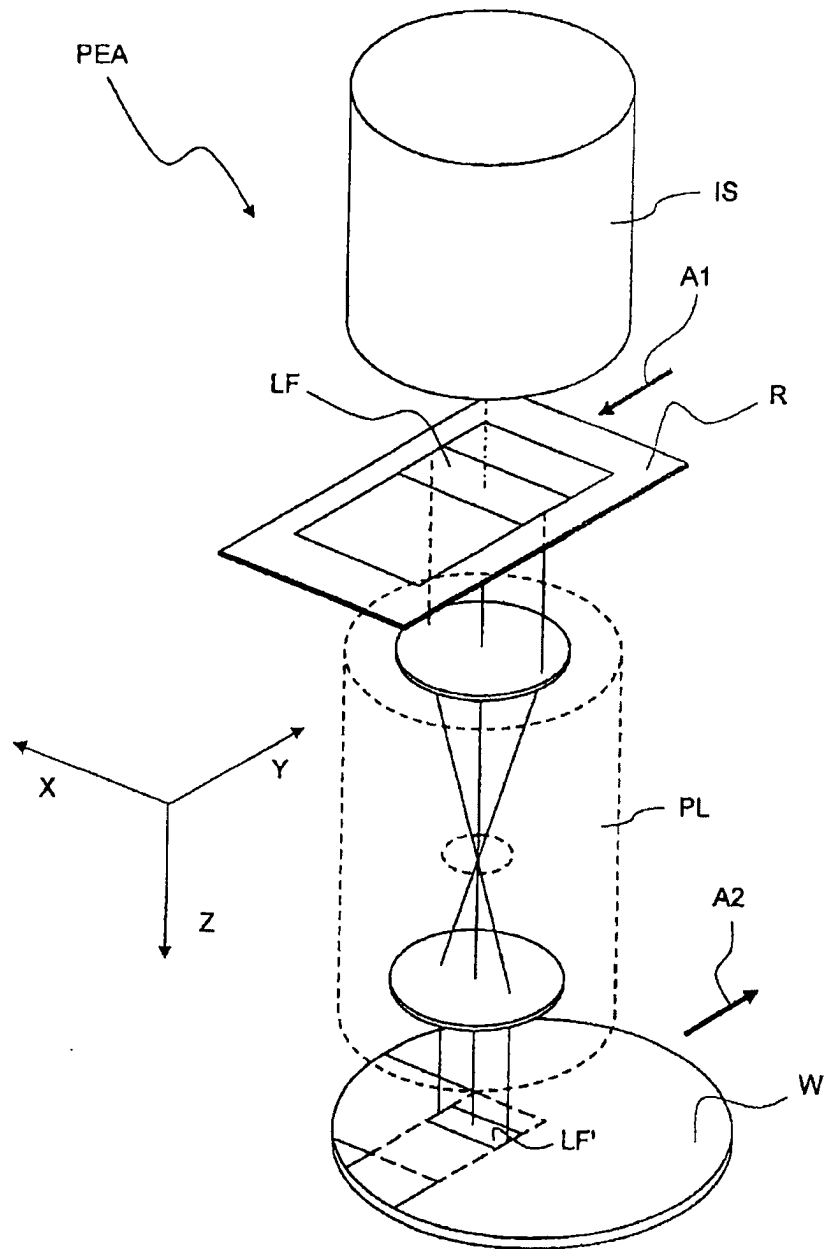


Fig. 1

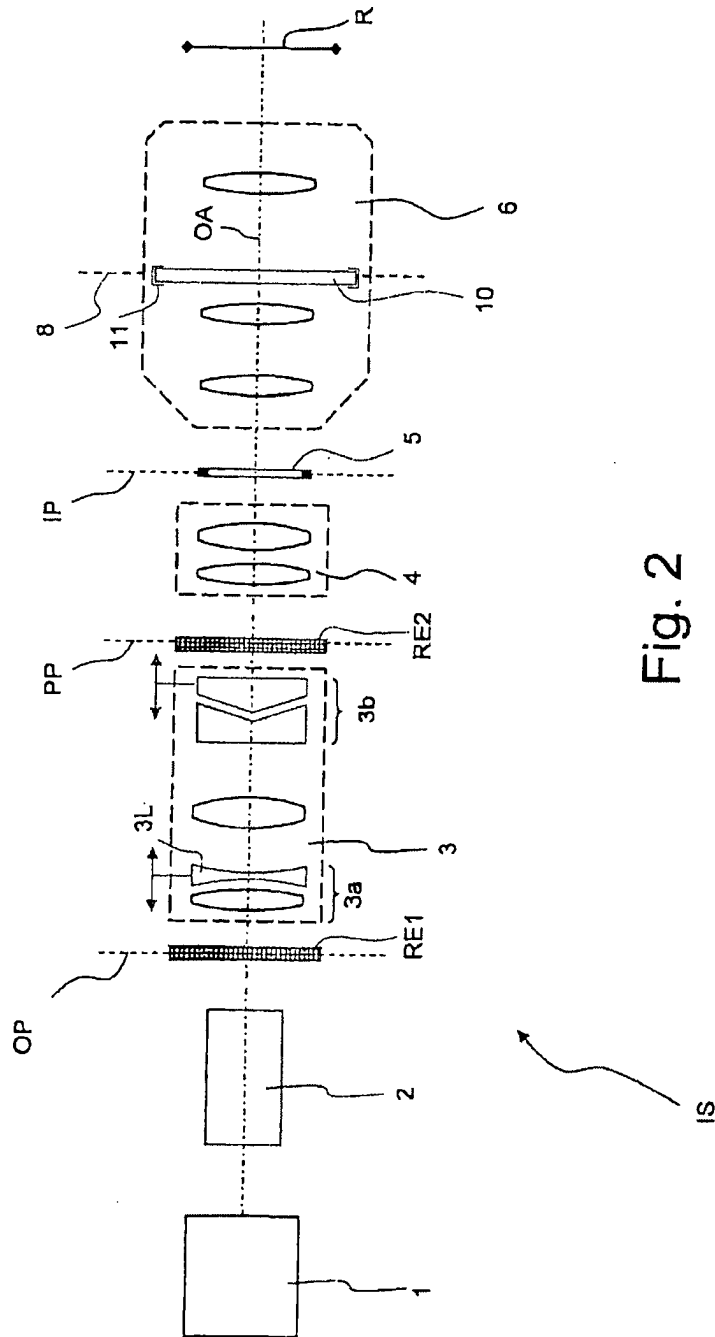


Fig. 2

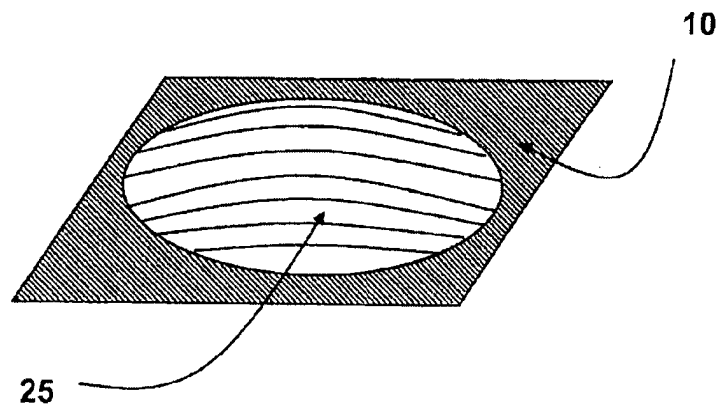


Fig. 3

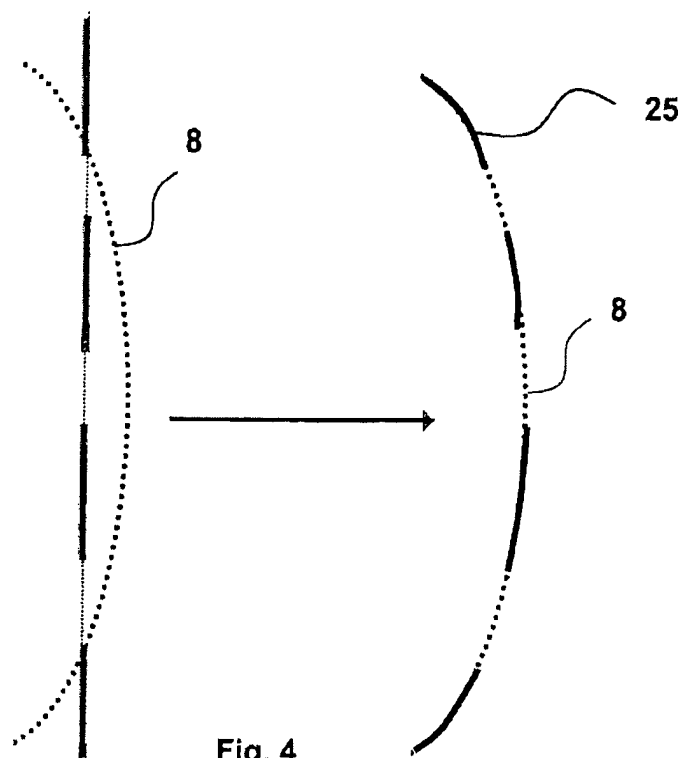


Fig. 4

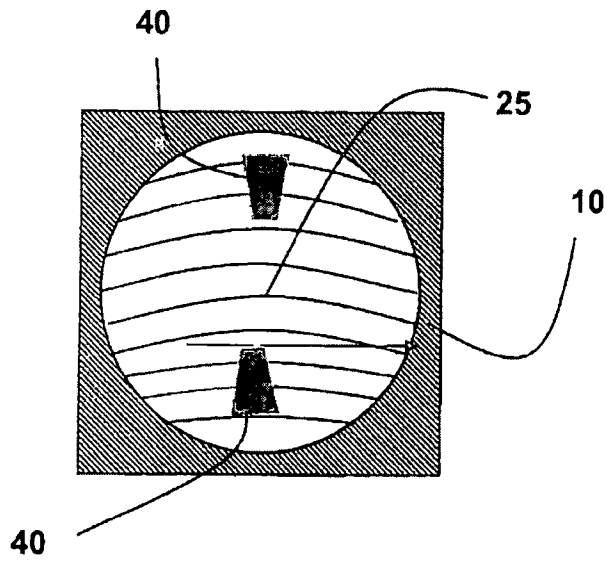


Fig. 5a

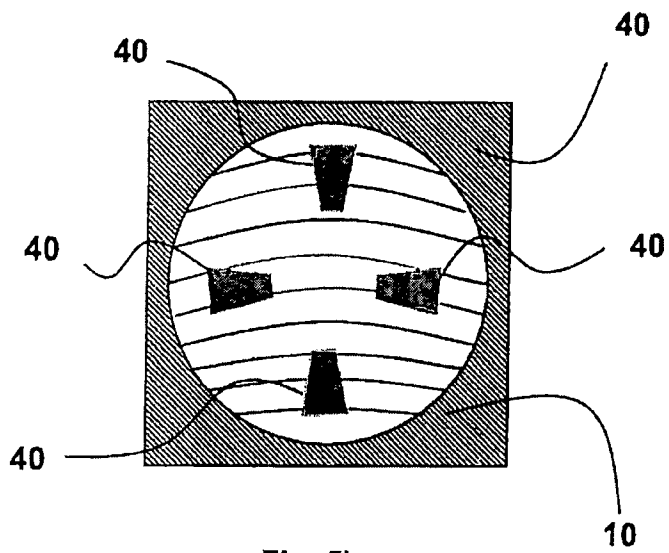


Fig. 5b

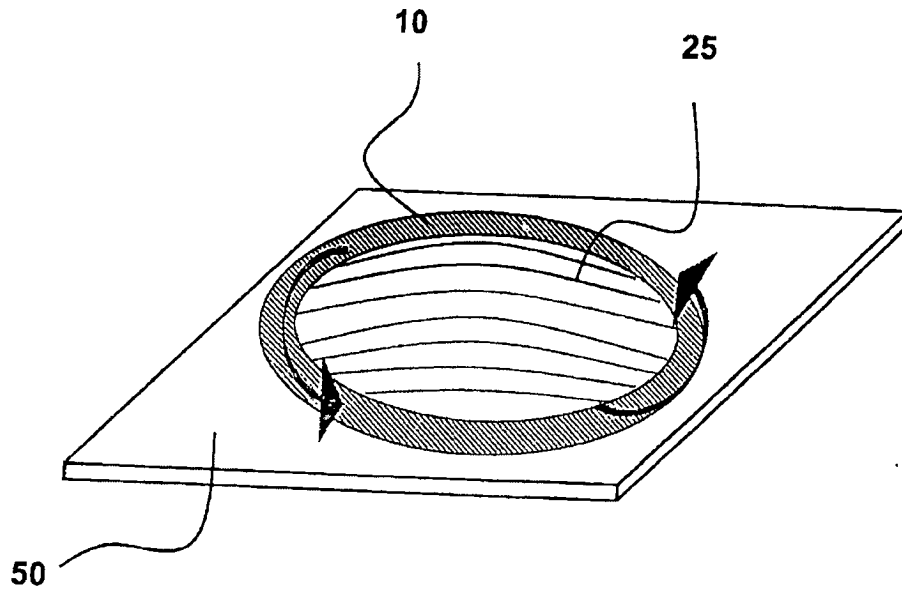


Fig. 6

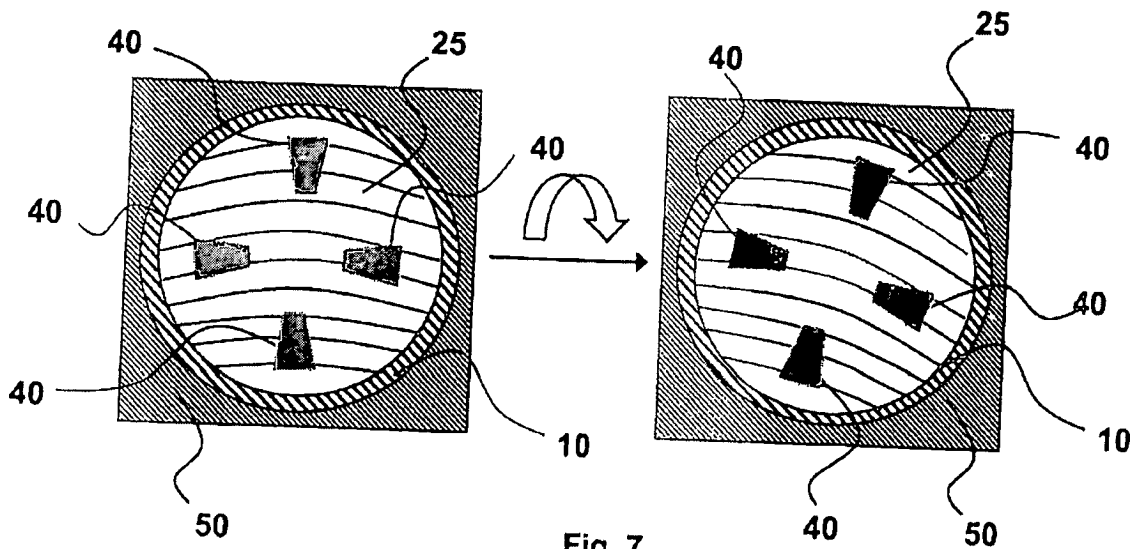


Fig. 7