



(10) **DE 10 2009 037 112 B4** 2012.10.25

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2009 037 112.5**
(22) Anmeldetag: **31.07.2009**
(43) Offenlegungstag: **17.02.2011**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **25.10.2012**

(51) Int Cl.: **G02B 27/09** (2006.01)
B23K 26/06 (2006.01)
H01L 21/268 (2006.01)
H01L 21/324 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**Carl Zeiss Laser Optics GmbH, 73447,
Oberkochen, DE**

(74) Vertreter:
Witte, Weller & Partner, 70173, Stuttgart, DE

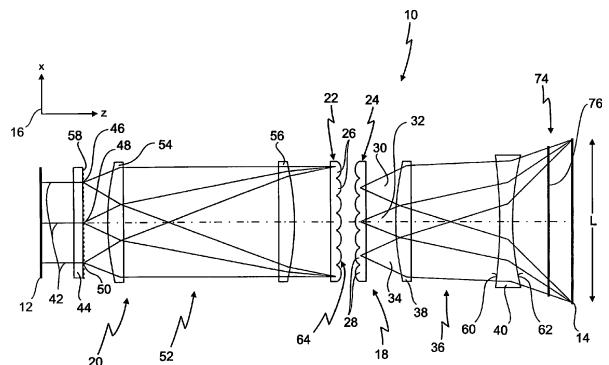
(72) Erfinder:
**Wangler, Johannes, 89551, Königsbrunn, DE;
Layh, Michael, 73432, Aalen, DE; Zenzinger,
Markus, 89073, Ulm, DE; Münz, Holger, 73433,
Aalen, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

US	2006 / 0 177 973	A1
US	2008 / 0 014 685	A1
US	2008 / 0 113 182	A1
WO	2006/ 066 706	A2

(54) Bezeichnung: **Optisches System zum Erzeugen eines Lichtstrahls zur Behandlung eines Substrats**

(57) Hauptanspruch: Optisches System zum Erzeugen eines Lichtstrahls zur Behandlung eines in einer Substratebene (14) angeordneten Substrats, wobei der Lichtstrahl in einer ersten Dimension (X) senkrecht zur Ausbreitungsrichtung (Z) des Lichtstrahls eine Strahllänge (L) und in einer zweiten Dimension (Y) senkrecht zur ersten Dimension (X) und zur Lichtausbreitungsrichtung (Z) eine Strahlbreite (B) aufweist, wobei die Strahllänge (L) groß gegenüber der Strahlbreite (B) ist, mit einer ersten optischen Anordnung (18), die eine Mehrzahl von in der ersten Dimension (X) nebeneinander angeordneten Lichtkanälen (26; 28) definiert, die den Lichtstrahl in der ersten Dimension (X) in eine Mehrzahl von Teilfeldern (30, 32, 34) aufteilen, wobei die Teilfelder (30, 32, 34) in der ersten Dimension (X) einander überlagert in die Substratebene (14) einfallen, dadurch gekennzeichnet, dass eine zweite optische Anordnung (20) in Lichtausbreitungsrichtung vor der ersten optischen Anordnung (18) angeordnet ist, die in der ersten Dimension (X) eine solche Ausdehnung aufweist und ein Winkelspektrum des auf...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein optisches System zum Erzeugen eines Lichtstrahls zur Behandlung eines in einer Substratebene angeordneten Substrats, wobei der Lichtstrahl in einer ersten Dimension senkrecht zur Ausbreitungsrichtung des Lichtstrahls eine Strahllänge und in einer zweiten Dimension senkrecht zur ersten Dimension und zur Lichtausbreitungsrichtung eine Strahlbreite aufweist, wobei die Strahllänge groß gegenüber der Strahlbreite ist, mit einer ersten optischen Anordnung, die eine Mehrzahl von in der ersten Dimension nebeneinander angeordneten Lichtkanälen definiert, die den Lichtstrahl in der ersten Dimension in eine Mehrzahl von Teilfeldern aufteilen, wobei die Teilfelder in der ersten Dimension aneinander überlagert in die Substratebene einfallen.

[0002] Ein solches optisches System ist aus WO 2006/066706 A2 bekannt.

[0003] Ein optisches System der eingangs genannten Art wird beispielsweise zum Aufschmelzen von Materialien, insbesondere auf dem Gebiet der lichtinduzierten Kristallisation von Silicium verwendet. Ein spezieller Anwendungsfall ist die Flachbildschirmherstellung, bei der mit einer amorphen Siliciumschicht versehene Substrate mit einem Lichtstrahl behandelt werden, um das Silicium zu kristallisieren. Die verwendeten Substrate weisen dabei relativ große Abmessungen auf, beispielsweise im Bereich von über 30 cm × über 50 cm. Mit einem optischen System der eingangs genannten Art wird entsprechend ein Lichtstrahl erzeugt, der in einer ersten Dimension (die nachfolgend mit X bezeichnet wird) eine Strahllänge aufweist, die etwa der Breite des Substrats (beispielsweise etwa 30 cm) entspricht. In der zur X-Dimension senkrechten Dimension (im Nachfolgenden mit Y bezeichnet) soll der Lichtstrahl so dünn wie möglich sein, wobei Strahlbreiten in der Y-Dimension von wenigen Mikrometern erwünscht sind, um eine für die Behandlung des Substrats möglichst hohe Energiedichte zu erhalten.

[0004] Der so auf das Substrat applizierte Lichtstrahl weist demnach ein großes Verhältnis aus Strahllänge in der X-Dimension und der Strahlbreite in der Y-Dimension auf, das je nach Strahllänge größer als 5.000, sogar größer als 10.000 sein kann.

[0005] Der Lichtstrahl, der zur Behandlung des Substrats dient, muss dabei im Wesentlichen zwei Anforderungen genügen, und zwar zum einen muss die Intensitätsverteilung des Lichtstrahls in der X-Dimension so homogen wie möglich sein, und in der Y-Dimension sollte die Intensitätsverteilung des Lichtstrahls eine möglichst große Kantensteilheit besitzen.

[0006] Insbesondere das Problem der Homogenität des Lichtstrahls in der (großen) X-Dimension wur-

de bislang noch nicht in zufriedenstellender Weise gelöst. Das aus dem eingangs genannten Dokument WO 2006/066706 A2 bekannte optische System weist eine optische Anordnung auf, die eine Mehrzahl von in der ersten Dimension nebeneinander angeordneten Lichtkanälen definiert, die den Lichtstrahl in der ersten Dimension in eine Mehrzahl von Teilfeldern aufteilen, die sich in der ersten Dimension teilweise überlappen, wobei die Teilfelder in der ersten Dimension einander überlagert in die Substratebene einfallen. Die die Lichtkanäle definierende optische Anordnung ist bei dem bekannten optischen System in Form eines ein- oder zweielementigen Wabenkondensors ausgebildet. Der Wabenkondensor ist als Zylinderlinsenarray ausgebildet, d. h. eine Mehrzahl von einzelnen Zylinderlinsen sind in der X-Dimension nebeneinander angeordnet, wobei jede einzelne Zylinderlinse einen Lichtkanal definiert, wobei der Lichtstrahl beim Durchtritt durch die mehreren Lichtkanäle in eine entsprechende Anzahl von Teilfeldern aufgeteilt wird. Mittels einer nachfolgenden Kondensoroptik werden die einzelnen Teilfelder dann auf dem Substrat in der X-Dimension wieder überlagert, wodurch eine Mischung und damit Homogenisierung der Intensitätsverteilung des Lichtstrahls in der X-Dimension erreicht wird.

[0007] Bei dem bekannten optischen System ist die Homogenität der Intensitätsverteilung in der X-Dimension nicht optimal. Bei dem bekannten optischen System tritt der Lichtstrahl, üblicherweise ein Laserstrahl mit einer Abmessung X_L in der ersten Dimension und einer Abmessung Y_L in der zweiten Dimension und einer von der Lichtquelle vorgegebenen Divergenz D_X in der ersten Dimension und einer Divergenz D_Y in der zweiten Dimension auf die erste optische Anordnung in Form des Wabenkondensors ein. Es wurden insbesondere Interferenzeffekte und Schwebungseffekte im Lichtstrahl auf dem Substrat beobachtet, die das Ergebnis der Behandlung des Substrats mit dem Lichtstrahl verschlechtern.

[0008] US 2008/0013182 A1 offenbart eine zweistufige Homogenisieroptik zum Homogenisieren eines Laserstrahls. Die Homogenisieroptik wird in einem optischen System verwendet, bei dem mittels eines Laserlichtstrahls durch eine Lochmaske hindurch eine Vielzahl von miniaturisierten Löchern in ein Substrat gebohrt werden können, bspw. für die Herstellung von Tintenstrahldruckern. Das dort beschriebene optische System weist eine erste Homogenisieroptik mit zwei Linsenarrays und einer Kondensorlinse sowie eine Vorhomogenisieroptik auf, die ebenfalls zwei Linsenarrays und eine Kondensorlinse aufweist. Die Vorhomogenisieroptik soll bewirken, dass der Laserlichtstrahl die Eintrittspupillen der Zylinderlinsen des ersten Linsenarrays der Homogenisieroptik etwa gleichmäßig ausleuchtet.

[0009] US 2008/0014685 A1 offenbart ein optisches System zur Kristallisation von Schichten aus amorphem Silicium auf Glassubstraten. Das optische System erzeugt dazu einen Linienfokus, der in der einen Dimension eine große Länge und in der dazu senkrechten Dimension eine geringe Breite aufweist. In einem Ausführungsbeispiel weist das optische System drei Laserlichtquellen auf, deren Lichtstrahlen einander teilweise überlagert durch eine Homogenisieroptik in Form eines Wabenkondensators mit zwei Linsenarrays und einer Kondensorlinse gerichtet werden. Hierdurch soll eine hohe Homogenität der Lichtintensität im Linienfokus erzielt werden. In einem weiteren Ausführungsbeispiel werden die von den mehreren Laserlichtquellen erzeugten Lichtstrahlen zunächst durch eine Vorhomogenisieroptik gerichtet, bevor sie durch die Homogenisieroptik gerichtet werden. Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel weist die Homogenisieroptik anstelle eines Wabenkondensators ein Array von länglichen reflektierenden Oberflächen auf. Weitere optische Elemente zur Verwendung in der Homogenisieroptik, die dort beschrieben sind, sind ein Stufenprisma sowie ein Array von Spiegeln.

[0010] US 2005/0177973 A1 offenbart ein optisches System, das wie das zuvor bekannte System zur Kristallisation von Schichten am amorphem Silicium verwendet werden kann. Dort wird die Verwendung eines Lichtmodulationselements in einem solchen optischen System beschrieben, mit dem eine vorbestimmte Lichtintensitätsverteilung in der Substratebene eingestellt werden kann, die entlang einer Richtung des Lichtstrahls variiert. Das dort beschriebene optische System weist eine erste Homogenisieroptik und eine zweite Homogenisieroptik auf. Mittels der zwei Homogenisieroptiken soll das Laserlicht mit homogener Lichtintensitätsverteilung auf das Lichtmodulationselement gerichtet werden.

[0011] Vor diesem Hintergrund ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein optisches System der eingangs genannten Art dahingehend weiterzubilden, dass die vorstehend genannten Nachteile vermieden werden. Das optische System soll in der Lage sein, einen Lichtstrahl zur Behandlung eines Substrats mit großer Strahllänge und kleiner Strahlbreite zu erzeugen, dessen Intensitätsverteilung in der X-Dimension noch homogener ist.

[0012] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe hinsichtlich des eingangs genannten Systems dadurch gelöst, dass eine zweite optische Anordnung in Lichtausbreitungsrichtung vor der ersten optischen Anordnung angeordnet ist, die in der ersten Dimension eine solche Ausdehnung aufweist und ein Winkelspektrum des auf die zweite optische Anordnung einfallenden Lichtstrahls in der ersten Dimension so verbreitert, dass der Lichtleitwert der zweiten optischen Anordnung in der ersten Dimension zumindest 50% bis

100% des Gesamtlichtleitwerts des optischen Systems in der ersten Dimension beträgt, so dass näherungsweise alle Lichtkanäle der ersten optischen Anordnung gleichmäßig mit Licht ausgeleuchtet sind.

[0013] Bei dem erfindungsgemäßen optischen System ist der ersten optischen Anordnung, die den einfallenden Lichtstrahl in Teilfelder aufteilt, eine zweite optische Anordnung vorgeschaltet, die den auf die zweite optische Anordnung einfallenden Lichtstrahl in der Weise vorbereitet, dass der Lichtstrahl anschließend mit einem verbreiterten Winkelspektrum und hoher Ausdehnung in der ersten Dimension auf die erste optische Anordnung einfällt. Bei dem erfindungsgemäßen optischen System fällt der Lichtstrahl somit im Unterschied zu dem bekannten optischen System nicht mit der vorgegebenen natürlichen Divergenz des Lichtstrahls in die einzelnen Lichtkanäle der ersten optischen Anordnung ein, sondern mit einer durch die zweite optische Anordnung stark vergrößerten Divergenz bzw. Apertur. Bei dem bekannten optischen System sind die einzelnen Lichtkanäle der ersten optischen Anordnung nur unzureichend mit Licht gefüllt, wodurch Interferenz- und Schwebungseffekte in der Substratebene verursacht werden. Bei dem erfindungsgemäßen optischen System werden die einzelnen Lichtkanäle der ersten optischen Anordnung demgegenüber aufgrund des zuvor verbreiterten Winkelspektrums des einfallenden Lichtstrahls gleichmäßiger mit Licht gefüllt, mit anderen Worten tritt der Lichtstrahl in die erste optische Anordnung, die die Lichtkanäle definiert, vorhomogenisiert ein. Die zweite optische Anordnung bewirkt somit eine zusätzliche Mischung des Lichts des einfallenden Lichtstrahls, wodurch die nachfolgende erste optische Anordnung den Lichtstrahl noch wirksamer homogenisieren kann. Über die zweite optische Anordnung wird vorzugsweise der gesamte benötigte Lichtleitwert in der X-Dimension eingeführt, und zwar in einer einzigen Stufe, nämlich durch die zweite optische Anordnung. Die Intensitätsverteilung des mit dem erfindungsgemäßen optischen System erzeugten Lichtstrahls ist in der Substratebene somit wesentlich homogener als bei dem bekannten optischen System, wodurch das Ergebnis der Behandlung des Substrats mit dem Lichtstrahl verbessert wird.

[0014] Unter Lichtleitwert in der ersten Dimension und Gesamtlichtleitwert in der ersten Dimension wird hier der eindimensionale Lichtleitwert bzw. Gesamtlichtleitwert in dieser X-Dimension verstanden. Der Lichtleitwert LLW_x der ersten optischen Anordnung ist dabei durch die Gleichung gegeben: $LLW_x = D_x \cdot NA_x$, wobei D_x die Erstreckung der ersten optischen Anordnung in der ersten Dimension und NA_x die numerische Apertur der ersten optischen Anordnung in der ersten Dimension ist.

[0015] In einer bevorzugten Ausgestaltung beträgt der Lichtleitwert der zweiten optischen Anordnung

70% bis 100%, vorzugsweise 80% bis 100%, weiter vorzugsweise 90% bis 100% des Gesamtlichtleitwerts des optischen Systems.

[0016] Je höher der von der zweiten optischen Anordnung in das System eingeführte Lichtleitwert ist, umso homogener ist die Intensitätsverteilung des linienförmigen Lichtstrahls in der Substratebene.

[0017] In einer bevorzugten Ausgestaltung sind die optischen Eigenschaften der zweiten optischen Anordnung so ausgelegt, dass von einem beliebigen Teilbereich der zweiten optischen Anordnung entlang der ersten Dimension ausgehendes Licht jeweils zumindest näherungsweise die volle Winkelinformation enthält und näherungsweise in jeden Lichtkanal der ersten optischen Anordnung eintritt.

[0018] In dieser Ausgestaltung wird die erste optische Anordnung mit anderen Worten mit der Aperitur der zweiten optischen Anordnung über die Größe der ersten optischen Anordnung vollständig ausgeleuchtet. Demnach wird bei dieser Ausgestaltung jede räumliche Mode des auf die zweite optische Anordnung einfallenden Lichtstrahls über die gesamte erste optische Anordnung, d. h. die Gesamtheit der durch diese definierten Lichtkanäle verteilt. Unter „Teilbereich“ ist hier ein minimaler Bereich der zweiten optischen Anordnung mit Erstreckung in der ersten Dimension zu verstehen, von dem ausgehendes Licht die nahezu vollständige oder die vollständige Winkelinformation enthält. Ein solcher Teilbereich wird üblicherweise auch als „Pitch“ bezeichnet.

[0019] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung ist die zweite optische Anordnung dazu ausgelegt, durch Lageverstellung, insbesondere durch Drehung um die Lichtausbreitungsrichtung die Strahlbreite des einfallenden Lichtstrahls in der zweiten Dimension zu verändern.

[0020] Hierbei ist von Vorteil, dass die zweite optische Anordnung nicht nur zur Homogenisierung des Lichtstrahls in der X-Dimension beiträgt, sondern auch eine zweite Funktion erfüllt, nämlich die Strahlbreite des einfallenden Lichtstrahls in der zweiten Dimension zu verändern. Hierdurch lässt sich auch in der Y-Dimension ein kleiner Lichtleitwert kontrolliert und einstufig einführen. Die Veränderbarkeit der Strahlbreite des einfallenden Lichtstrahls in der zweiten Dimension ist erwünscht, weil die Strahlbreite ein Parameter der substratabhängigen Behandlung ist. Mit der zuvor genannten Ausgestaltung werden zusätzliche optische Anordnungen zur Strahlverbreiterung in Y, wie beispielsweise in WO 2006/066706 A2 beschrieben, eingespart.

[0021] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung weist die zweite optische Anordnung zumindest ein optisches Element mit einer in der ersten Dimension

eindimensional streuend und/oder beugend wirkenden Struktur auf.

[0022] Ein solches optisches Element kann refraktiv oder diffraktiv sein.

[0023] In einer bevorzugten Ausgestaltung ist das zumindest eine optische Element ein diffraktives optisches Element.

[0024] Vorzugsweise weist die streuend und/oder beugend wirkende Struktur Strukturelemente auf, die aperiodische Teilstrukturen bilden, wobei jede Teilstruktur einen der oben genannten Teilbereiche bildet, von denen jeweils ausgehendes Licht zumindest näherungsweise die volle Winkelinformation enthält.

[0025] In dieser Ausgestaltung weist das zumindest eine optische Element der zweiten optischen Anordnung aperiodische Teilstrukturen auf, die durch einzelne Strukturelemente gebildet werden. Mehrere Strukturelemente, die sich untereinander hinsichtlich Abstand und/oder Größe (in Richtung der ersten Dimension) unterscheiden, bilden jeweils eine Teilstruktur, wobei jede einzelne Teilstruktur einen „Pitch“ bzw. einen der oben genannten Teilbereiche bildet, von denen ausgehendes Licht jeweils die gesamte oder nahezu gesamte Winkelinformation enthält. Durch die Aperiodizität der Teilstrukturen untereinander werden nun vorteilhafterweise bereits vor dem Eintritt des Lichtstrahls in die erste optische Anordnung periodische Interferenzen vermieden, die von der ersten optischen Anordnung nur bis zu einem bestimmten Maß weggemischt werden können und somit zu einer Restmodulation in der Substratebene führen könnten. Dies gilt insbesondere für den Fall, dass die Lichtkanäle der ersten optischen Anordnung selbst eine mehr oder weniger periodische Struktur besitzen.

[0026] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung sind Abstände zwischen jeweils benachbarten Teilstrukturen und/oder die Größe der Teilstrukturen in der ersten Dimension der streuend und/oder beugend wirkenden Struktur des optischen Elements unterschiedlich.

[0027] In dieser Ausgestaltung kann das zumindest eine optische Element mit in der ersten Dimension eindimensional beugend wirkender Struktur in einer sehr einfachen Realisation als Strichgitter ausgebildet sein, wobei der Strichabstand zwischen den einzelnen Strichen des Gitters von Strich zu Strich stochastisch variiert. Mehrere solcher Striche bilden dann jeweils eine Teilstruktur bzw. einen Teilbereich, die bzw. der dem Licht jeweils einzeln die volle Winkelinformation vermittelt.

[0028] Ein eindimensionales Gitter ist in Bezug auf die oben genannte Ausgestaltung, wonach die zwei-

te optische Anordnung durch Lageverstellung die Strahlbreite des einfallenden Lichtstrahls in der zweiten Dimension verändert, besonders vorteilhaft, da zur Vergrößerung der Strahlbreite bzw. zur Verringerung der Strahlbreite in der zweiten Dimension das Gitter, wie in einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung vorgesehen ist, lediglich um die Achse der Lichtausbreitungsrichtung verdrehbar in dem optischen System gelagert werden muss. Sobald die Striche des eindimensionalen Gitters aus einer 0° -Stellung, in der die Striche des Gitters senkrecht zur X-Dimension verlaufen, gedreht sind, wirkt das Gitter auch in der Y-Dimension beugend, wodurch die Strahlbreite in der Y-Dimension vergrößert wird. Auf diese Weise kann mit dem eindimensionalen Gitter in der Y-Dimension aus einer Gauss-förmigen Intensitätsverteilung eine breitere tophatförmige (d. h. Intensitätsverteilung mit flachem Plateau und hoher Kantensteilheit) mit entsprechender Strahlbreite in der Y-Dimension eingestellt werden.

[0029] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung ist ein mittlerer Abstand der Abstände zwischen jeweils benachbarten Teilstrukturen der streuend und/oder beugend wirkenden Struktur des optischen Elements so gewählt, dass Licht aus jeder lateralen Kohärenzzone des auf die zweite optische Anordnung einfallenden Lichtstrahls von der ersten optischen Anordnung näherungsweise über die gesamte Strahllänge in die Substratebene gerichtet wird.

[0030] Da der Lichtstrahl üblicherweise aus einem Laserstrahl geformt wird, weist der Lichtstrahl in Richtung der ersten Dimension eine vorbestimmte laterale Kohärenzlänge auf. Unter lateraler Kohärenzlänge ist hier der Abstand zweier Teilstrahlen, die in der ersten Dimension voneinander beabstandet sind, zu verstehen, die gerade noch miteinander interferenzfähig sind. Die Ausdehnung der einzelnen lateralen Kohärenzonen in der ersten Dimension entspricht der lateralen Kohärenzlänge. Im Fall, dass Licht aus den einzelnen Kohärenzonen nur in einen oder wenige Lichtkanäle der ersten optischen Anordnung einfallen, kann dies zu Interferenzerscheinungen in der Ebene des Substrats führen. In der vorstehend genannten Ausgestaltung ist dagegen der mittlere Teilstrukturabstand des optischen Elements so gewählt, dass jede Kohärenzzone des Lichtstrahls das Substrat in guter Näherung homogen ausleuchtet. Damit kommt Licht aus jeder Kohärenzzone an jede Stelle des Substrats und erlaubt somit, den Specklekontrast (der aufgrund des Verhaltens der einzelnen Lasermoden stochastischer Natur ist) durch statistisch aufgesammelte Phasen so gering wie möglich zu halten.

[0031] Weiterhin ist es bevorzugt, wenn ein mittlerer Abstand der Abstände zwischen jeweils benachbarten Teilstrukturen der streuend und/oder beugend wirkenden Struktur des optischen Elements so gewählt ist, dass durch die erste optische Anordnung

verursachte Interferenzkontraste auf dem Substrat minimiert werden.

[0032] Mit dieser Maßnahme ist der mittlere Teilstrukturabstand des optischen Elements auf die erste optische Anordnung abgestimmt, die im Fall der Ausgestaltung der ersten optischen Anordnung als Wabenkondensator Interferenzeffekte verursachen kann, die aber durch die Anpassung des mittleren Abstands der Teilstrukturen eliminiert oder zumindest reduziert werden können. Interferenzkontraste sind im Unterschied zu Specklekontrasten deterministischer Natur und beruhen auf der Überlagerung von kohärenten Teilstrahlen in der Substratebene.

[0033] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung genügt der mittlere Abstand der Abstände jeweils benachbarter Teilstrukturen der Relation: Laterale Kohärenzlänge l_c des Lichtstrahls $<$ mittlerer Abstand der Teilstrukturen.

[0034] In einer noch weiter bevorzugten Ausgestaltung genügt der mittlere Abstand der Abstände jeweils benachbarter Teilstrukturen der Relation: $1/3 <$ mittlerer Abstand/laterale Kohärenzlänge l_c des Lichtstrahls $<$ 5, vorzugsweise: $1 <$ mittlerer Abstand/laterale Kohärenzlänge l_c des Lichtstrahls $<$ 3.

[0035] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung weist die zweite optische Anordnung eine Kondensoroptik auf, wobei das zumindest eine optische Element mit der in der ersten Dimension eindimensional wirkenden und/oder beugenden Struktur zusammen mit der Kondensoroptik eine gleichmäßige Ausleuchtung der ersten optischen Anordnung ergibt.

[0036] Hierbei ist von Vorteil, dass der Lichtstrahl durch die zweite optische Anordnung im Zusammenwirken des optischen Streuelements/diffraktiven optischen Elements mit der Kondensoroptik eine Intensitätsverteilung in der X-Dimension aufweist, die eine hohe Kantensteilheit besitzt.

[0037] Die erste optische Anordnung weist vorzugsweise zumindest ein Zylinderlinsenarray auf, wobei Zylinderachsen der einzelnen Zylinderlinsen in der zweiten Dimension ausgerichtet sind, und wobei die einzelnen Zylinderlinsen vorzugsweise plankonvexe Zylinderlinsen sind.

[0038] In dieser Ausgestaltung, die an sich bekannt ist, werden die einzelnen Lichtkanäle der ersten optischen Anordnung durch die einzelnen Zylinderlinsen gebildet. Im Unterschied zu dem bekannten optischen System werden jedoch die einzelnen Zylinderlinsen durch die vorgeschaltete zweite optische Anordnung zur Einführung des vorzugsweise nahezu gesamten Lichtleitwerts in das System mit dem vor-

homogenisierten Lichtstrahl wesentlich gefüllter ausgeleuchtet.

[0039] Dabei ist es weiterhin bevorzugt, wenn zur seitlichen Begrenzung des einfallenden Lichtstrahls in der ersten Dimension das Zylinderlinsenarray jeweils durch einen keilförmigen lichtdurchlässigen Randbereich begrenzt ist, dessen Oberfläche bspw. in der zweiten Dimension gegenüber einer Ebene senkrecht zur Lichtausbreitungsrichtung geneigt ist.

[0040] Die beiden keilförmigen lichtdurchlässigen Bereiche begrenzen den optisch nutzbaren Bereich des Zylinderlinsenarrays, was sich ebenfalls positiv auf die Homogenität der Intensitätsverteilung des Lichtstrahls in der Substratebene auswirkt. Wie bereits oben ausgeführt, wird die Homogenität des Lichtstrahls in der Substratebene verbessert, wenn nur möglichst vollständig vom Licht ausgefüllte Lichtkanäle der ersten optischen Anordnung zu dem Lichtstrahl in der Ebene des Substrats beitragen. Die hier vorgesehene Maßnahme zur Begrenzung des auf das Zylinderlinsenarray einfallenden Lichtstrahls hat gegenüber einer klassischen Blende den Vorteil, dass der Wärmeeintrag aufgrund von Absorption deutlich verringert ist. Durch die keilförmigen lichtdurchlässigen Randbereiche wird das auf diese Randbereiche einfallende Licht beispielsweise in die Y-Dimension abgelenkt und kann in einer Lichtfalle unschädlich gemacht werden.

[0041] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung weist die erste optische Anordnung eine Kondensoroptik auf, die zumindest eine bikonkave Linse aufweist.

[0042] Das oder die zuvor genannten Zylinderlinsenarrays, die die Lichtkanäle der ersten optischen Anordnung definieren, spannen den Lichtstrahl zusammen mit der Kondensoroptik in der X-Dimension in der Substratebene auf. Die zumindest eine vorgesehene bikonkave Linse in der Kondensoroptik der ersten optischen Anordnung kann vorteilhafterweise dazu dienen, die Homogenität des Lichtstrahls in der Substratebene im Randbereich in der X-Dimension weiter zu optimieren. Die Homogenität des Lichtstrahls kann in der Substratebene nämlich bspw. einen quadratischen Verlauf annehmen, der dann durch eine entsprechende Durchbiegung der bikonkaven Linse kompensiert werden kann, die an die Korrektur des nicht-konstanten Verlaufs der Homogenität des Lichtstrahls entsprechend angepasst ist. Es können mehrere solcher Linsen mit unterschiedlichen Durchbiegungen bereitgehalten werden, die austauschweise in das System eingebracht werden können.

[0043] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung weist das optische System eine dritte optische Anordnung auf, die den einfallenden Lichtstrahl in der zwei-

ten Dimension auf das Substrat fokussiert, wobei die dritte optische Anordnung aus Spiegeln aufgebaut ist.

[0044] Das optische System zur Erzeugung eines Lichtstrahls zur Behandlung eines Substrats ist somit aus zwei Teilsystemen aufgebaut, von denen das eine Teilsystem den Lichtstrahl nur in der X-Dimension formt, um den Lichtstrahl entsprechend der Strahllänge mit optimaler Homogenität in der X-Dimension zu formen, und wobei das andere Teilsystem die Strahlbreite des Lichtstrahls in der Ebene des Substrats formt, wobei die minimale Strahlbreite durch Fokussierung erreicht wird. Die Verwendung von Spiegeln für die Fokussierung des Lichtstrahls auf das Substrat ist in Bezug auf das sehr große Verhältnis aus Strahllänge und Strahlbreite gegenüber einer refraktiven Anordnung von Vorteil, weil eine refraktive Anordnung aufgrund der Abhängigkeit der Brechung vom Sinus des Einfallswinkels zu Nichtlinearitäten der Abbildung Anlass gibt.

[0045] Dabei ist es bevorzugt, wenn die dritte optische Anordnung zumindest zwei Zylinderspiegel aufweist, deren jeweilige Zylinderachse in der ersten Dimension verläuft, wobei ein erster Spiegel ein konvexer Spiegel und ein zweiter Spiegel ein konkaver Spiegel ist.

[0046] Der Vorteil dieser Maßnahme besteht darin, dass der Arbeitsabstand, d. h. der Abstand zwischen dem Substrat und dem letzten optischen Element vor dem Substrat groß gewählt werden kann, und die Abbildungsqualität gleichzeitig hoch ist. Durch Variation der Einfallswinkel, Spiegelradien und Abstände kann bei einer Anordnung aus einem konvexen Spiegel und einem konkaven Spiegel der Arbeitsabstand und der Abbildungsmaßstab innerhalb weiter Grenzen eingestellt und gleichzeitig Koma und sphärische Abberation kompensiert werden. Vorzugsweise folgen der konvexe und der konkave Spiegel in Lichtausbreitungsrichtung gesehen unmittelbar aufeinander.

[0047] Die vorstehend genannten Ausgestaltungen der dritten optischen Anordnung werden auch ohne das Kennzeichen des Anspruchs 1 als eigenständige Erfindung angesehen.

[0048] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung ist ein optisches Element zur Strahlbegrenzung in der zweiten Dimension mit variabler Einstellung eines Durchlassbereiches des optischen Elements zur Strahlbegrenzung vorhanden.

[0049] Wie bereits oben erwähnt, ist es in Abhängigkeit des zu behandelnden Substrats erforderlich, verschiedene Parameter des Lichtstrahls zu verändern. So ist es zum Beispiel von Substrat zu Substrat erforderlich, die Strahlbreite zu variieren oder die im Lichtstrahl enthaltene Energie und/oder Ener-

gedichte. Durch eine einstellbare Strahlbegrenzung in der Y-Dimension kann die auf das Substrat einwirkende Lichtenergie verändert werden. Wird zum Beispiel der Durchlassbereich des optischen Elements zur Strahlbegrenzung erhöht, so wird die auf das Substrat einfallende Energie erhöht. Die Erhöhung des Durchlassbereiches des optischen Elements zur Strahlbegrenzung kann jedoch die zeitliche Stabilität der Lichtenergie und der Lichtenergiedichte verschlechtern, wodurch wiederum das Ergebnis der Behandlung des Substrats verschlechtert werden kann. Dies hängt damit zusammen, dass im Fall, dass das Intensitätsprofil des Lichtstrahls in der Y-Dimension keine hohe Kantensteilheit aufweist, sich eine auch nur geringfügige Verschiebung des Lichtstrahls in der Y-Dimension in einer Veränderung der von dem optischen Element zur Strahlbegrenzung durchgelassenen Energie äußert. Verschiebungen des Lichtstrahls können durch Fluktuationen in der Position des Strahlengangs verursacht werden, jedoch kann auch die Intensitätsverteilung im Lichtstrahl über den Prozess fluktuieren. Im Zusammenhang mit der vorstehend genannten Maßnahme kann nun die bereits oben erwähnte Ausgestaltung besonders vorteilhaft genutzt werden, wonach die zweite optische Anordnung durch Lageverstellung die Strahlbreite des einfallenden Lichtstrahls in der zweiten Dimension verändern kann. Wird nämlich der Durchlassbereich des optischen Elements zur Strahlbegrenzung vergrößert, kann gleichzeitig mit der zweiten optischen Anordnung die Strahlbreite des einfallenden Lichtstrahls vergrößert werden, wodurch das Intensitätsprofil des Lichtstrahls im Durchlassbereich des optischen Elements zur Strahlbegrenzung verbreitert wird, so dass sich Fluktuationen in der Position oder in der Profilform des Lichtstrahls auch bei einem großen Durchlassbereich des optischen Elements zur Strahlbegrenzung nicht negativ auf die Homogenität des Lichtstrahls in der Y-Dimension in der Ebene des Substrats auswirken. Das Strahlbegrenzungselement kann in der dritten optischen Anordnung, aber auch an anderer Stelle im System angeordnet sein.

[0050] Weitere Vorteile und Merkmale ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung und der beigegebenen Zeichnung.

[0051] Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

[0052] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden mit Bezug auf diese hiernach näher beschrieben. Es zeigen:

[0053] [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung eines optischen Systems zum Erzeugen eines Lichtstrahls

zur Behandlung eines Substrats, wobei das System in der XZ-Ebene dargestellt ist;

[0054] [Fig. 2](#) ein Ausführungsbeispiel eines optischen Elements des optischen Systems in [Fig. 1](#), wobei das optische Element in der XY-Ebene dargestellt ist;

[0055] [Fig. 3](#) eine Seitenansicht in X-Richtung des optischen Elements in [Fig. 2](#);

[0056] [Fig. 4](#) einen Ausschnitt des optischen Systems in [Fig. 1](#) in einem gegenüber [Fig. 1](#) vergrößerten Maßstab in einer Darstellung in der XZ-Ebene;

[0057] [Fig. 5](#) den Ausschnitt in [Fig. 4](#) in einer Darstellung in der YZ-Ebene;

[0058] [Fig. 6](#) ein weiteres Ausführungsbeispiel für optische Elemente der optischen Anordnung in [Fig. 5](#) in einer Darstellung in der YZ-Ebene; und

[0059] [Fig. 7](#) eine Prinzipdarstellung eines Ausschnitts der optischen Anordnung in [Fig. 5](#), die die Anpassung der Strahlbreite an den Durchlassbereich eines optischen Elements zur Strahlbegrenzung des optischen Systems in [Fig. 1](#) veranschaulicht.

[0060] In [Fig. 1](#) ist ein mit dem allgemeinen Bezugszeichen **10** versehenes optisches System zum Erzeugen eines Lichtstrahls zur Behandlung eines Substrats schematisch dargestellt.

[0061] Das System **10** wird insbesondere in einer Anlage zum flächigen Aufschmelzen von Schichten auf Substraten mittels eines Lichtstrahls verwendet. Spezieller wird das optische System **10** in einer Anlage zur Kristallisation von Siliciumschichten aus amorphem Silicium für die Flachbildschirmherstellung verwendet.

[0062] Das optische System **10** ist in einer solchen Anlage zum flächigen Aufschmelzen von Schichten auf Substraten ein Bestandteil eines optischen Gesamtsystems, das neben dem optischen System **10** noch weitere nicht dargestellte optische Einheiten aufweist, bspw. eine Lichtquelle, insbesondere einen Laser, Strahlaufweitungsoptiken, Pulsvervielfacher und -stretcher, Abschwächer und dergleichen. Das optische System **10** gemäß [Fig. 1](#) kann in einem solchen optischen Gesamtsystem in Lichtausbreitungsrichtung gesehen die letzte in einer nachfolgend noch zu erläuternden X-Dimension optisch wirksame Einheit vor dem Substrat sein, wie hier dargestellt. Das System **10** ist entsprechend in Lichtausbreitungsrichtung gesehen von einer gedachten Lichteintrittsebene **12** des Lichteintritts in das optische System **10** bis zu einer Substratebene **14** gezeigt, in der sich ein nicht dargestelltes Substrat befindet.

[0063] Das optische System **10** ist dazu ausgelegt, in der Substratebene **14** einen Lichtstrahl zu erzeugen, der in einer ersten Dimension, die nachfolgend als X-Dimension bezeichnet wird, eine Strahllänge L und in einer zweiten Dimension, die nachfolgend als Y-Dimension bezeichnet wird, eine Strahlbreite B (siehe [Fig. 5](#)) aufweist, wobei die Strahllänge L gegenüber der Strahlbreite B sehr viel größer ist. Die Strahllänge L beträgt mehr als 100 mm, bspw. etwa 300 mm und die Strahlbreite B beträgt weniger als 50 μm , insbesondere weniger als 10 μm , bspw. etwa 5 μm .

[0064] In [Fig. 1](#) ist die Lichtausbreitungsrichtung, die sowohl senkrecht zur X-Dimension als auch senkrecht zur Y-Dimension verläuft, mit Z bezeichnet. In [Fig. 1](#), die das optische System **10** in der XZ-Ebene zeigt, ist ein Koordinatenkreuz **16** zur Veranschaulichung eingezeichnet.

[0065] Das optische System **10** weist eine erste optische Anordnung **18** und in Lichtausbreitungsrichtung gesehen vor der ersten optischen Anordnung **18** eine zweite optische Anordnung **20** auf.

[0066] Die erste optische Anordnung **18** weist ein optisches Element **22** und ein optisches Element **24** auf. Das optische Element **22** definiert in der X-Dimension eine Mehrzahl von nebeneinander angeordneten Lichtkanälen **26**, die den einfallenden Lichtstrahl in der X-Dimension in eine Mehrzahl von Teilfeldern aufteilen. In dem gezeigten Ausführungsbeispiel in [Fig. 1](#) definiert das optische Element **22** insgesamt sieben solcher Lichtkanäle. Es können aber wesentlich mehr sein. Das optische Element **24** definiert ebenfalls eine Mehrzahl von in der X-Dimension nebeneinander angeordneten Lichtkanälen **28**, im Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 1](#) ebenfalls sieben derartiger Lichtkanäle **28**.

[0067] Sowohl das optische Element **22** als auch das optische Element **24** sind jeweils in Form von Zylinderlinsenarrays ausgebildet, wobei sich die jeweiligen Zylinderachsen der einzelnen Zylinderlinsen in der Y-Dimension, also senkrecht zur Zeichenebene in [Fig. 1](#) erstrecken.

[0068] Wie aus [Fig. 1](#) hervorgeht, sind die einzelnen die Lichtkanäle **26** und **28** bildenden Zylinderlinsen jeweils plankonvex ausgebildet. Die Zylinderlinsen des optischen Elements **22** stehen dabei mit ihrer konvexen Lichtaustrittsseite der konvexen Lichteintrittsseite der Zylinderlinsen des optischen Elements **24** gegenüber.

[0069] Die Lichtkanäle **26** und **28** der optischen Elemente **22** und **24** teilen den in die optischen Elemente **22** und **24** einfallenden Lichtstrahl in der X-Dimension in eine Mehrzahl von Teilfeldern auf, wobei in [Fig. 1](#)

drei Teilfelder **30**, **32** und **34** beispielhaft dargestellt sind.

[0070] Die Anordnung aus den optischen Elementen **22** und **24** wird auch als (Doppel-)Wabenkondensator bezeichnet. Die erste optische Anordnung **18** weist außer dem Wabenkondensator noch eine zusätzliche Kondensoroptik **36** auf, die eine plankonvexe Linse **38** und eine bikonkave Linse **40** aufweist. Die erste optische Anordnung **18** wirkt auf den einfallenden Lichtstrahl lediglich in der X-Dimension, während sie den einfallenden Lichtstrahl in der Y-Dimension nicht oder im Wesentlichen nicht beeinflusst. Entsprechend sind die Linsen **38** und **40** als Zylinderlinsen ausgebildet, deren Zylinderachse in der Y-Dimension verläuft.

[0071] Die Teilfelder **30**, **32**, **34**, die durch den Durchgang des Lichtstrahls durch die einzelnen Lichtkanäle **26**, **28** der ersten optischen Anordnung **18** entstehen, werden durch die Kondensoroptik **36** in der Substratebene **14** in der X-Dimension einander überlagert. Durch die Aufteilung des auf die erste optische Anordnung **18** einfallenden Lichtstrahls in eine Mehrzahl von in der ersten Dimension nebeneinander angeordneten Teilfeldern und die Überlagerung dieser Teilfelder in der ersten Dimension in der Substratebene **14** wird die Intensitätsverteilung im auf die Substratebene einfallenden Lichtstrahl **14** in der X-Dimension homogenisiert, weil Licht aus jedem der Lichtkanäle **26**, **28** mit dem Licht aus den anderen der Lichtkanäle **26**, **28** gemischt wird. Diese durch die erste optische Anordnung **18** bewirkte Lichtmischung ist jedoch nicht optimal, wenn die Lichtkanäle **26**, **28** von dem auf die einzelnen Lichtkanäle **26**, **28** einfallenden Lichtstrahl nicht hinreichend mit Licht ausgefüllt werden.

[0072] Um dies zu erreichen, ist bei dem optischen System **10** die zweite optische Anordnung **20** vorgesehen.

[0073] Die zweite optische Anordnung **20** weist in der ersten Dimension X eine solche Ausdehnung auf und verbreitert ein Winkelspektrum des auf die zweite optische Anordnung **18** einfallenden Lichtstrahls **42** in der ersten Dimension X so, dass der Lichtleitwert LL_x der zweiten optischen Anordnung **20** in der ersten Dimension X 50% bis 100% des Gesamtlichtleitwerts des optischen Systems **10** in der ersten Dimension X beträgt, so dass näherungsweise alle Lichtkanäle **26**, **28** der ersten optischen Anordnung **18** gleichmäßig mit Licht ausgeleuchtet sind. Vorzugsweise beträgt der Lichtleitwert der zweiten optischen Anordnung **20** 70% bis 100%, vorzugsweise 80% bis 100%, weiter vorzugsweise 90% bis 100% des Gesamtlichtleitwerts des optischen Systems **10**. Die zweite optische Anordnung **20** führt somit zumindest näherungsweise den gesamten Lichtleitwert des optischen Systems **10** in einer einzigen Stufe ein, wodurch zumindest nä-

herungsweise alle Lichtkanäle **26**, **28** der ersten optischen Anordnung **18** gleichmäßig mit Licht "gefüllt" sind.

[0074] Dies wird in dem gezeigten Ausführungsbeispiel dadurch realisiert, dass die zweite optische Anordnung **20** ein eindimensional, und zwar in der X-Dimension streuend und/oder beugend wirkendes optisches Element **44**, insbesondere ein diffraktives optisches Element aufweist. Der Lichtleitwert LLW_x an der Stelle des optischen Elements **44** ist gegeben durch $LLW_x = D_x \cdot NA_x$, wobei D_x die Erstreckung des optischen Elements **44** in der X-Dimension und NA_x seine numerische Apertur ist. Durch die Streuung bzw. Beugung des einfallenden Lichtstrahls **42** an dem optischen Element **44** wird das Winkelspektrum im Lichtstrahl **42** so verbreitert, dass von einem beliebigen Teilbereich des optischen Elements **44** entlang der ersten Dimension ausgehendes Licht zumindest näherungsweise in jeden Lichtkanal **26** des optischen Elements **22** der ersten optischen Anordnung **18** einfällt. Für drei Teilbereiche **46**, **48** und **50** ist dies in [Fig. 1](#) veranschaulicht. Das Licht, das von jedem Teilbereich **46**, **48**, **50** ausgeht, trifft auf alle Lichtkanäle **26** des optischen Elements **22** und damit auch auf alle Lichtkanäle **28** des optischen Elements **24**. Über das optische Element **44** wird der einfallende Lichtstrahl **42** mit anderen Worten so umgeformt, dass er vorhomogenisiert in die erste optische Anordnung **18** einfällt. Unter einem wie vorstehend genannten Teilbereich ist jeweils ein minimaler Bereich des optischen Elements **44** zu verstehen, der die vollständige Winkelinformation enthält. Ein solcher Teilbereich wird auch als „Pitch“ bezeichnet.

[0075] Es versteht sich, dass die in [Fig. 1](#) beispielhaft gezeigten Teilbereiche **46**, **48** und **50** entlang der X-Dimension beliebig ausgewählt sind, d. h. dass die Teilbereiche in der X-Dimension über das optische Element **44** verteilt sind. Über die Ausdehnung des optischen Elements **44** in der X-Dimension gesehen füllt das von dem Element **44** ausgehende Licht die Lichtkanäle nahezu vollständig, zumindest aber zu 80% aus.

[0076] Die zweite optische Anordnung **20** weist weiterhin eine Kondensoroptik **52** auf, die den durch das optische Element **44** divergent gestreuten bzw. gebeugten Lichtstrahl **42** auf die erste optische Anordnung **18** richtet. Die Kondensoroptik **52** weist hier zwei plankonvexe Linsen **54** und **56** auf. Die zweite optische Anordnung **20** erzeugt insgesamt in der X-Dimension eine gleichmäßige, insbesondere tophatförmige Ausleuchtung der ersten optischen Anordnung **18**, d. h. über die Erstreckung der ersten optischen Anordnung **20** in der X-Dimension weist der Lichtstrahl am Ausgang der ersten optischen Anordnung **20** bzw. am Eintritt in das optische Element **22** der ersten optischen Anordnung **18** ein Intensitätsprofil mit einem sich in der X-Dimension über die

Erstreckung des optischen Elements **22** erstreckendes Intensitätsplateau mit sich daran beidseitig anschließenden steilen Kanten auf. Die erste optische Anordnung **18** wird somit in ihrer Größe in der X-Dimension mit der Apertur des optischen Elements **44** ausgeleuchtet. Mit anderen Worten wird durch die zweite optische Anordnung **20** jede räumliche Mode des einfallenden Lichtstrahls **42**, der von einem Laser kommt, über die gesamte Erstreckung des optischen Elements **22** der ersten optischen Anordnung **18** verteilt. Auf diese Weise wird mit dem optischen Element **44** praktisch der gesamte benötigte Lichtleitwert in der X-Dimension, wie oben erläutert, in das optische System **10** eingeführt, wodurch die einzelnen Lichtkanäle **26**, **28** der ersten optischen Anordnung **18** nahezu vollständig gefüllt bzw. ausgeleuchtet sind.

[0077] Das optische Element **44** ist vorzugsweise als eindimensionales Gitter, insbesondere als Strichgitter ausgebildet. In diesem Fall weist das optische Element **44** als Striche, Furchen oder dergleichen ausgebildete Strukturelemente auf, die untereinander unterschiedlich beabstandet sind und/oder unterschiedliche Größen in Richtung der ersten Dimension X aufweisen. Mehrere solcher Strukturelemente bilden jeweils eine Teilstruktur **58**, wobei jede der Teilstrukturen **58** einen entsprechenden Teilbereich **46**, **48** oder **50** darstellt, von dem ausgehendes Licht die volle Winkelinformation enthält. Die Teilstrukturen **58** bilden somit die oben genannten Teilbereiche, von denen ausgehendes Licht in jeden der Lichtkanäle **26**, **28** gelangt. Die Teilstrukturen **58** erstrecken sich senkrecht zu ihrer Wirkungsrichtung (X-Dimension) in der Y-Dimension. Der Abstand und/oder die Größe der einzelnen Teilstrukturen **58** des Gitters ist dabei nicht konstant, d. h. die durch die Strukturelemente gebildeten Teilstrukturen **58** des optischen Elements **44** sind aperiodisch. Hierdurch werden bereits Interferenzmodulationen des aus der zweiten optischen Anordnung **20** austretenden Lichtstrahls vor dem Eintritt in die erste optische Anordnung **18** eliminiert, die ansonsten von den optischen Elementen **22**, **24** und deren im Wesentlichen periodischer Struktur in die Substratebene **14** übertragen werden könnten.

[0078] Der mittlere Abstand oder gleichbedeutend die Größe in der X-Dimension der Teilstrukturen **58** des Gitters ist dabei so gewählt, dass Licht aus jeder in der X-Dimension lateralen Kohärenzzone des einfallenden Lichtstrahls **42** nahezu über die Strahllänge L in der X-Dimension von der ersten optischen Anordnung **18** in die Substratebene **14** gerichtet wird. Der mittlere Abstand der Teilstrukturen **58** des Gitters ist weiterhin mit der Maßgabe gewählt, dass durch die erste optische Anordnung **18** verursachte Interferenzkontraste, die durch die periodische Struktur der Lichtkanäle **26**, **28** entstehen können, in der Substratebene **14** minimiert sind.

[0079] Der mittlere Abstand der Teilstrukturen **58** des Gitters genügt dabei der Relation: Laterale Kohärenzlänge l_c des Lichtstrahls **42** $<$ mittlerer Abstand der Teilstrukturen **58**.

[0080] Vorzugsweise genügt der mittlere Abstand der Abstände jeweils benachbarter Teilstrukturen **58** der Relation:

$1/3 <$ mittlerer Abstand der Teilstrukturen **58**/laterale Kohärenzlänge l_c des Lichtstrahls **42** $<$ 5, weiter vorzugsweise

$1 <$ mittlerer Abstand der Teilstrukturen **58**/laterale Kohärenzlänge l_c Lichtstrahls $<$ 3.

[0081] Unter lateraler Kohärenzlänge l_c ist hier der Abstand zweier Teilstrahlen des Lichts zu verstehen, die in der ersten Dimension X voneinander beabstandet sind, die gerade noch miteinander interferenzfähig sind.

[0082] Wenn der in das optische System **10** einfallende Lichtstrahl **42** gepulst ist, wobei in einem solchen Fall vor dem optischen System **10** ein nicht dargestelltes Pulsverlängerungsmodul angeordnet ist, kann vorgesehen sein, das Pulsverlängerungsmodul mit Versatzelementen, beispielsweise Platten und Keilen auszustatten, so dass aufeinanderfolgende Sub-Pulse an unterschiedlichen Orten und/oder mit unterschiedlichem Winkel in das optische System **10** eintreten. Der Ort- und/oder Winkelversatz ist dabei vorzugsweise so gewählt, dass die unterschiedlichen Wege der Sub-Pulse durch das optische System **10** zu unterschiedlichen Interferenzmustern in der Substratebene **14** führen. Da die Sub-Pulse zeitversetzt in der Substratebene **14** ankommen, können sie nicht miteinander interferieren, so dass mit diesen Versatzelementen eine weitere Interferenzkontrastreduktion in der Substratebene **14** möglich ist.

[0083] Das eindimensional streuend oder beugend wirkende optische Element **44** ist weiterhin um die Z-Richtung verdrehbar. Hierdurch kann die eindimensional streuend oder beugend wirkende Struktur des optischen Elements **44** aus einer ausschließlichen Erstreckung in der X-Dimension in eine Lage gebracht werden, in der die eindimensional wirkende Struktur eine Wirkungskomponente auch in der Y-Dimension entfaltet, was dazu genutzt werden kann, die Strahlbreite B des Lichtstrahls in der Substratebene **14** zu vergrößern oder entsprechend zu verkleinern, wie später noch beschrieben wird.

[0084] Gemäß **Fig. 1** sind die Linsen **54**, **56**, die Zylinderlinsenarrays der optischen Elemente **22**, **24** und die Linse **38** plankonvex ausgebildet. Die Linse **40** hingegen ist bikonkav ausgebildet. Die Durchbiegung der bikonkaven Linse **40** ist daran angepasst, einen nicht-konstanten Verlauf der Homogenität des Lichtstrahls in der Substratebene **14** zu korrigieren. Damit kann in der X-Dimension ein quadratischer Verlauf

der Intensität des auf die Substratebene **14** einfallenden Lichtstrahls angepasst bzw. kompensiert werden. In Bezug auf die X-Dimension kann sich nämlich die Intensität des auf die Substratebene **14** einfallenden Lichtstrahls zum Rand hin verringern oder verstärken, wobei diese Verringerung oder Verstärkung häufig einen quadratischen Verlauf annimmt. Durch eine entsprechend angepasste Verteilung der Brechkraft auf die Lichteintrittsseite **60** und die Lichtaustrittsseite **62** der Linse **40** kann hier die Homogenität in der X-Dimension in den Randbereichen verbessert werden.

[0085] Mit Bezug auf **Fig. 2** und **Fig. 3** wird ein weiterer Aspekt des optischen Systems **10** beschrieben. **Fig. 2** und **Fig. 3** zeigen das optische Element **22** in Draufsicht in der XY-Ebene (**Fig. 2**) und in der YZ-Ebene (**Fig. 3**).

[0086] In **Fig. 2** ist der Bereich des optischen Elements **22**, der das Zylinderlinsenarray aufweist, mit dem Bezugszeichen **64** versehen. In **Fig. 1** ist das optische Element **22** nur im Bereich des Zylinderlinsenarrays **64** dargestellt. Der Bereich **64** ist gemäß **Fig. 2** zu beiden Seiten in der X-Dimension durch einen keilförmigen lichtdurchlässigen Randbereich **66**, **68** begrenzt, deren jeweilige Oberfläche **70** bzw. **72** beispielsweise in der Y-Dimension geneigt ist. Hierdurch wird Licht, das auf die keilförmigen Randbereiche **66**, **68** einfällt, beispielsweise in die Y-Richtung abgelenkt, so dass Licht aus den keilförmigen Randbereichen **66** und **68** nicht in das zweite optische Element **24** bzw. das Zylinderlinsenarray des optischen Elements **24** einfällt. Das von den keilförmigen Randbereichen **66** und **68** abgelenkte Licht kann in einer Lichtfalle unschädlich gemacht werden, beispielsweise in einem optischen Strahlbegrenzungselement im weiteren Strahlengang des optischen Systems **10**, der nachfolgend noch beschrieben wird. Gemäß **Fig. 3** sind die beiden keilförmigen Randbereiche **66** und **68** gegensinnig zueinander geneigt, jedoch können die beiden keilförmigen Randbereiche **66** und **68** auch gleichsinnig geneigt, und auch parallel zueinander sein. Durch die Strahlbegrenzung des auf das optische Element **22** einfallenden Lichtstrahls in den keilförmigen Randbereichen **66** und **68** wird vermieden, dass ein oder mehrere der Lichtkanäle **28** des optischen Elements **24** nicht vollständig gefüllt bzw. gleichmäßig ausgeleuchtet sind, was, wie bereits oben beschrieben wurde, zu einer verschlechterten Homogenität des Lichtstrahls in der Substratebene **14** führen könnte.

[0087] Die bisherige Beschreibung des optischen Systems **10** bezog sich auf die Formung des einfallenden Lichtstrahls **42** in der X-Dimension. Nachfolgend wird eine dritte optische Anordnung **74** des optischen Systems **10** beschrieben, die den einfallenden Lichtstrahl **42** in der Y-Dimension formt, um den Lichtstrahl **42** in die Substratebene **14** mit der gewünsch-

ten Strahlbreite B zu fokussieren. In [Fig. 1](#) ist die dritte optische Anordnung **74** durch eine einzelne Linie **76** zusammengefasst dargestellt.

[0088] [Fig. 4](#) zeigt die dritte optische Anordnung **74** ebenfalls wie in [Fig. 1](#) in der XZ-Ebene, und zwar ausgehend von der vereinfacht dargestellten Kondensoroptik **36** der ersten optischen Anordnung **18** in [Fig. 1](#). [Fig. 5](#) zeigt die dritte optische Anordnung **74** in der YZ-Ebene, in der die dritte optische Anordnung **74** wirksam ist.

[0089] Die dritte optische Anordnung **74** weist reflektierende Elemente auf, und umfasst einen Spiegel **82** und einen Spiegel **84**. In [Fig. 4](#) sind die Spiegel **82** und **84** als Linien dargestellt, da [Fig. 4](#) eine Darstellung in der XZ-Ebene ist, und die Spiegel **82** und **84** in der XZ-Ebene nicht wirksam sind.

[0090] Vor dem Spiegel **82** ist ein optisches Element **86** zur Strahlbegrenzung in der Y-Dimension angeordnet.

[0091] Das Element **86** kann auch an anderer Stelle im System **10** angeordnet sein, bspw. noch vor der zweiten optischen Anordnung **20**.

[0092] Das optische Element **86** weist einen Durchlassbereich **88** auf, der in der Y-Richtung variabel einstellbar ist. Der einfallende Lichtstrahl wird auf den Durchlassbereich **88** des optischen Elements **86** gerichtet, und mittels der Spiegel **82** und **84** wird der Durchlassbereich **88** des optischen Elements **86** in die Substratebene **14** verkleinert abgebildet. Über die Einstellung der Größe des Durchlassbereichs **88** in der Y-Dimension kann die Strahlbreite B in der Substratebene **14** eingestellt werden, d. h. wenn die Strahlbreite B in der Substratebene **14** vergrößert werden soll, wird dazu der Durchlassbereich **88** des optischen Elements **86** in der Y-Dimension vergrößert.

[0093] Eine kontrollierte Vergrößerung der Strahlbreite B in der Substratebene **14** lässt sich jedoch nicht nur einfach durch eine Vergrößerung des Durchlassbereichs **88** des optischen Elements **86** erreichen, vielmehr muss dazu auch der auf das optische Element **86** einfallende Lichtstrahl an den vergrößerten Durchlassbereich **88** angepasst werden. Denn auch in der Y-Dimension muss ein kleiner Anteil des Lichtleitwertes in der Y-Dimension kontrolliert eingebracht werden. Dies wird mit Bezug auf [Fig. 7](#) hiernach näher beschrieben.

[0094] [Fig. 7](#) zeigt das optische Element **86** zur Strahlbegrenzung in der Y-Dimension mit zwei unterschiedlich groß eingestellten Durchlassbereichen **88a** und **88b**.

[0095] Des Weiteren sind in [Fig. 7](#) zwei Strahlprofile **90a** und **90b** eines auf das optische Element **86** einfallenden jeweiligen Lichtstrahls dargestellt.

[0096] Betrachtet man den Fall, dass der Durchlassbereich **88** des optischen Elements **86** zur Strahlbegrenzung gemäß dem Durchlassbereich **88a**, also schmal eingestellt ist, und trifft ein Lichtstrahl mit einem Strahlprofil oder Intensitätsprofil gemäß dem Strahlprofil **90a** auf das optische Element **86** ein, so wirken sich geringfügige Verschiebungen dieses Lichtstrahls in der Y-Dimension auf die Stabilität der Intensität des Lichtstrahls in der Substratebene **14** so gut wie nicht aus. Ist demgegenüber der Durchlassbereich **88** des optischen Elements **86** auf den Durchlassbereich **88b** in [Fig. 7](#) eingestellt, d. h. ist der Durchlassbereich **88** des optischen Elements **86** groß, und würde derselbe Lichtstrahl mit dem Strahlprofil **90a** auf das optische Element **86** einfallen, so würden sich bereits geringfügige Verschiebungen bzw. Fluktuationen des Lichtstrahls in der Y-Dimension abträglich auf die Strahlqualität, insbesondere die zeitliche Stabilität der Intensität in der Y-Dimension auswirken. Daher ist bei dem optischen System **10** vorgesehen, die Strahlbreite des auf das optische Element **86** einfallenden Lichtstrahls an die Größe des Durchlassbereichs **88** anzupassen.

[0097] Dies wird bei dem optischen System **10** dadurch realisiert, dass das optische Element **44** der zweiten optischen Anordnung **20** um die Z-Richtung drehbar ist. Die eindimensional wirkende streuende oder beugende Struktur **58** bewirkt bei einer Verdrehung des optischen Elements **44** um die Z-Richtung eine kontrolliert einstellbare Strahlverbreiterung in der Y-Dimension, weil die eindimensional wirkenden Strukturelemente **58** nun auch eine Komponente in der Y-Dimension besitzen. Das durch Drehen des optischen Elements **44** erzeugte Strahlprofil ist in [Fig. 7](#) durch das Strahlprofil **90b** dargestellt. Durch die Strahlverbreiterung des Lichtstrahls ist das Strahlprofil **90b** in der Y-Dimension im Wesentlichen top-hatförmig mit einem mittleren Intensitätsplateau und großer Kantensteilheit ausgebildet. Fluktuationen der Position des Lichtstrahls in der Y-Dimension machen sich somit auch bei dem größeren Durchlassbereich **88b** des optischen Elements **86** in der Substratebene **14** nicht nachteilig hinsichtlich der Qualität des Lichtstrahls und seiner zeitlichen Stabilität in der Substratebene **14** bemerkbar.

[0098] Die durch die Verbreiterung des Lichtstrahls bewirkte Verringerung der Energie und Energiedichte in der Substratebene **14** kann durch eine Erhöhung der Energie an der Lichtquelle kompensiert werden.

[0099] In [Fig. 6](#) ist noch ein weiterer Aspekt des optischen Systems **10** dargestellt.

[0100] Wie bereits erwähnt, ist die dritte optische Anordnung **74** in Bezug auf die Fokussierung des Lichtstrahls in der Y-Dimension in die Substratebene **14** aus reflektiven Elementen aufgebaut.

[0101] **Fig. 6** zeigt nun ein Ausführungsbeispiel der dritten optischen Anordnung, bei der die Spiegel **82** und **84** gemäß **Fig. 5** beide als gewölbte Spiegel ausgebildet sind, wobei der Spiegel **82** als konvexer Spiegel ausgebildet ist, und der Spiegel **84** als konkaver Spiegel. Die Spiegel **82** und **84** folgendes unmittelbar aufeinander.

[0102] Insbesondere sind die Spiegel **82** und **84** als Zylinderspiegel ausgebildet, deren Zylinderachsen sich in Richtung der X-Dimension (senkrecht zur Zeichenebene in **Fig. 6**) erstrecken. Die Verwendung von zumindest einem konvexen und zumindest einem konkaven Spiegel in der dritten optischen Anordnung **74** hat den Vorteil, dass der Arbeitsabstand A, d. h. der Abstand zwischen der Substratebene **14** und dem letzten optischen Element **84** größer gewählt werden kann als bei einem Abbildungssystem, das zumindest auch refraktive Elemente zur Abbildung verwendet. Durch Variation der Einfallswinkel des Lichtstrahls auf die Spiegel **82** und **84**, durch Variation der Spiegelradien und/oder durch Variation der Spiegelabstände kann der Arbeitsabstand A und der Abbildungsmaßstab der optischen Anordnung **74** innerhalb weiter Grenzen eingestellt werden, und es können auch Koma und sphärische Abberation in der Abbildung mit einer solchen Anordnung leichter kompensiert werden als bei einer refraktiven Anordnung.

Patentansprüche

1. Optisches System zum Erzeugen eines Lichtstrahls zur Behandlung eines in einer Substratebene (**14**) angeordneten Substrats, wobei der Lichtstrahl in einer ersten Dimension (X) senkrecht zur Ausbreitungsrichtung (Z) des Lichtstrahls eine Strahllänge (L) und in einer zweiten Dimension (Y) senkrecht zur ersten Dimension (X) und zur Lichtausbreitungsrichtung (Z) eine Strahlbreite (B) aufweist, wobei die Strahllänge (L) groß gegenüber der Strahlbreite (B) ist, mit einer ersten optischen Anordnung (**18**), die eine Mehrzahl von in der ersten Dimension (X) nebeneinander angeordneten Lichtkanälen (**26; 28**) definiert, die den Lichtstrahl in der ersten Dimension (X) in eine Mehrzahl von Teilfeldern (**30, 32, 34**) aufteilen, wobei die Teilfelder (**30, 32, 34**) in der ersten Dimension (X) einander überlagert in die Substratebene (**14**) einfallen, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine zweite optische Anordnung (**20**) in Lichtausbreitungsrichtung vor der ersten optischen Anordnung (**18**) angeordnet ist, die in der ersten Dimension (X) eine solche Ausdehnung aufweist und ein Winkelspektrum des auf die zweite optische Anordnung (**18**) einfallenden Lichtstrahls (**42**) in der ersten Dimension (X) so verbreitert, dass der Lichtleitwert der zweiten

optischen Anordnung (**20**) in der ersten Dimension (X) 50% bis 100% des Gesamtlichtleitwerts des optischen Systems in der ersten Dimension (X) beträgt, so dass zumindest näherungsweise alle Lichtkanäle (**26; 28**) der ersten optischen Anordnung (**18**) gleichmäßig mit Licht ausgeleuchtet sind.

2. Optisches System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Lichtleitwert der zweiten optischen Anordnung (**20**) 70% bis 100% des Gesamtlichtleitwerts des optischen Systems beträgt.

3. Optisches System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Lichtleitwert der zweiten optischen Anordnung (**20**) 80% bis 100% des Gesamtlichtleitwerts des optischen Systems beträgt.

4. Optisches System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Lichtleitwert der zweiten optischen Anordnung (**20**) 90% bis 100% des Gesamtlichtleitwerts des optischen Systems beträgt.

5. Optisches System nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die optischen Eigenschaften der zweiten optischen Anordnung (**20**) so ausgelegt sind, dass von einem beliebigen Teilbereich (**46, 48, 50**) der zweiten optischen Anordnung (**20**) entlang der ersten Dimension (X) ausgehendes Licht zumindest näherungsweise die volle Winkelinformation enthält und zumindest näherungsweise in jeden Lichtkanal (**26, 28**) der ersten optischen Anordnung (**18**) eintritt.

6. Optisches System nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite optische Anordnung (**20**) dazu ausgelegt ist, durch Lageverstellung die Strahlbreite (B) des einfallenden Lichtstrahls (**42**) in der zweiten Dimension (Y) zu verändern.

7. Optisches System nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite optische Anordnung (**20**) dazu ausgelegt ist, durch Drehung um die Lichtausbreitungsrichtung die Strahlbreite (B) des einfallenden Lichtstrahls (**42**) in der zweiten Dimension (Y) zu verändern.

8. Optisches System nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite optische Anordnung (**20**) zumindest ein optisches Element (**44**) mit einer in der ersten Dimension (X) eindimensional streuend und/oder beugend wirkenden Struktur aufweist.

9. Optisches System nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das zumindest eine optische Element (**44**) ein diffraktives optisches Element ist.

10. Optisches System nach Anspruch 5 und nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet,

dass die streuend und/oder beugend wirkende Struktur Strukturelemente aufweist, die aperiodische Teilstrukturen (58) bilden, wobei jede Teilstruktur (58) einen der Teilbereiche (46, 48, 50) bildet, von denen jeweils ausgehendes Licht zumindest näherungsweise die volle Winkelinformation enthält.

11. Optisches System nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass Abstände zwischen jeweils benachbarten Teilstrukturen (58) und/oder die Größe der Teilstrukturen (58) in der ersten Dimension (X) der streuend und/oder beugend wirkenden Struktur des optischen Elements (44) unterschiedlich sind.

12. Optisches System nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass ein mittlerer Abstand der Abstände jeweils benachbarter Teilstrukturen (58) der streuend und/oder beugend wirkenden Struktur des optischen Elements (44) so gewählt ist, dass Licht aus jeder lateralen Kohärenzzone des auf die zweite optische Anordnung (20) einfallenden Lichtstrahls (42) von der ersten optischen Anordnung (18) näherungsweise über die gesamte Strahllänge (L) in die Substratebene (14) gerichtet wird.

13. Optisches System nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass ein mittlerer Abstand der Abstände jeweils benachbarter Teilstrukturen (58) der streuend und/oder beugend wirkenden Struktur des optischen Elements (44) so gewählt ist, dass durch die erste optische Anordnung (18) verursachte Interferenzkontraste in der Substratebene (14) minimiert werden.

14. Optisches System nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass der mittlere Abstand der Abstände jeweils benachbarter Teilstrukturen (58) der Relation:
laterale Kohärenzlänge l_c des Lichts des Lichtstrahls $<$ mittlerer Abstand der Teilstrukturen (58) genügt.

15. Optisches System nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass der mittlere Abstand der Abstände jeweils benachbarter Teilstrukturen (58) der Relation genügt:
 $1/3 <$ mittlerer Abstand der Teilstrukturen (58)/laterale Kohärenzlänge l_c des Lichts des Lichtstrahls $<$ 5.

16. Optisches System nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass der mittlere Abstand der Abstände jeweils benachbarter Teilstrukturen (58) der Relation genügt:
 $1 <$ mittlerer Abstand der Teilstrukturen (58)/laterale Kohärenzlänge l_c des Lichts des Lichtstrahls $<$ 3.

17. Optisches System nach einem der Ansprüche 6 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Element (44) mit einer in der ersten Dimension (X) eindimensional streuend und/oder beugend wirkenden

den Struktur um die Achse (7) der Lichtausbreitungsrichtung verdrehbar ist.

18. Optisches System nach einem der Ansprüche 6 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite optische Anordnung (20) eine Kondensoroptik (52) aufweist, wobei das zumindest eine optische Element (44) mit der in der ersten Dimension (X) eindimensional streuend und/oder beugend wirkenden Struktur zusammen mit der Kondensoroptik (52) eine gleichmäßige Ausleuchtung der ersten optischen Anordnung (18) ergibt.

19. Optisches System nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die erste optische Anordnung (18) zumindest ein Zylinderlinsenarray (64) aufweist, wobei Zylinderachsen der einzelnen Zylinderlinsen in der zweiten Dimension ausgerichtet sind, und wobei die einzelnen Zylinderlinsen vorzugsweise plankonvexe Zylinderlinsen sind.

20. Optisches System nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass zur seitlichen Begrenzung des einfallenden Lichtstrahls in der ersten Dimension (X) das Zylinderlinsenarray (64) jeweils durch einen keilförmigen lichtdurchlässigen Randbereich (66, 68) begrenzt ist.

21. Optisches System nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass eine Oberfläche (70, 72) des keilförmigen lichtdurchlässigen Randbereichs (66, 68) in der zweiten Dimension (Y) gegenüber einer Ebene senkrecht zur Lichtausbreitungsrichtung (Z) geneigt ist.

22. Optisches System nach einem der Ansprüche 19 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass die erste optische Anordnung (18) eine Kondensoroptik (36) aufweist, die zumindest eine bikonkave Linse (40) aufweist.

23. Optisches System nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass die Durchbiegung der bikonkaven Linse (40) zur Korrektur eines nicht-konstanten Verlaufs der Homogenität des Lichtstrahls in der Substratebene (14) angepasst ist.

24. Optisches System nach einem der Ansprüche 1 bis 23, gekennzeichnet durch eine dritte optische Anordnung (74), die den einfallenden Lichtstrahl in der zweiten Dimension (Y) in die Substratebene fokussiert, wobei die dritte optische Anordnung (74) aus Spiegeln (82, 84) aufgebaut ist.

25. Optisches System nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass die dritte optische Anordnung (74) zumindest zwei Zylinderspiegel (82, 84) aufweist, deren jeweilige Zylinderachse in der ersten Dimension (X) verläuft, wobei ein erster Spiegel (82)

ein konvexer Spiegel und ein zweiter Spiegel (84) ein konkaver Spiegel ist.

26. Optisches System nach einem der Ansprüche 1 bis 25, gekennzeichnet durch ein optisches Element (86) zur Strahlbegrenzung in der zweiten Dimension (Y) mit variabler Einstellung eines Durchlassbereichs (88) des optischen Elements (86) zur Strahlbegrenzung.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

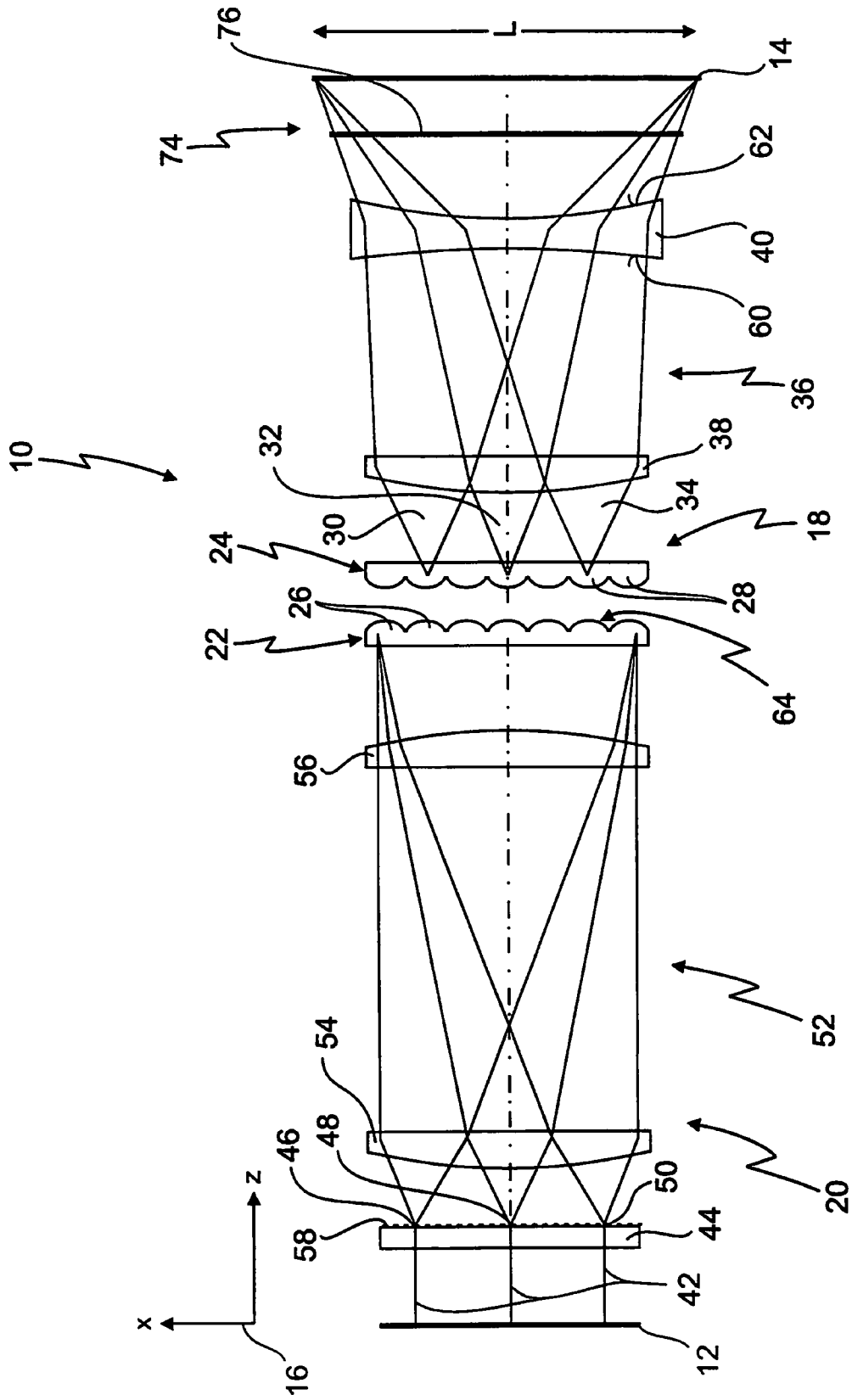


Fig. 1

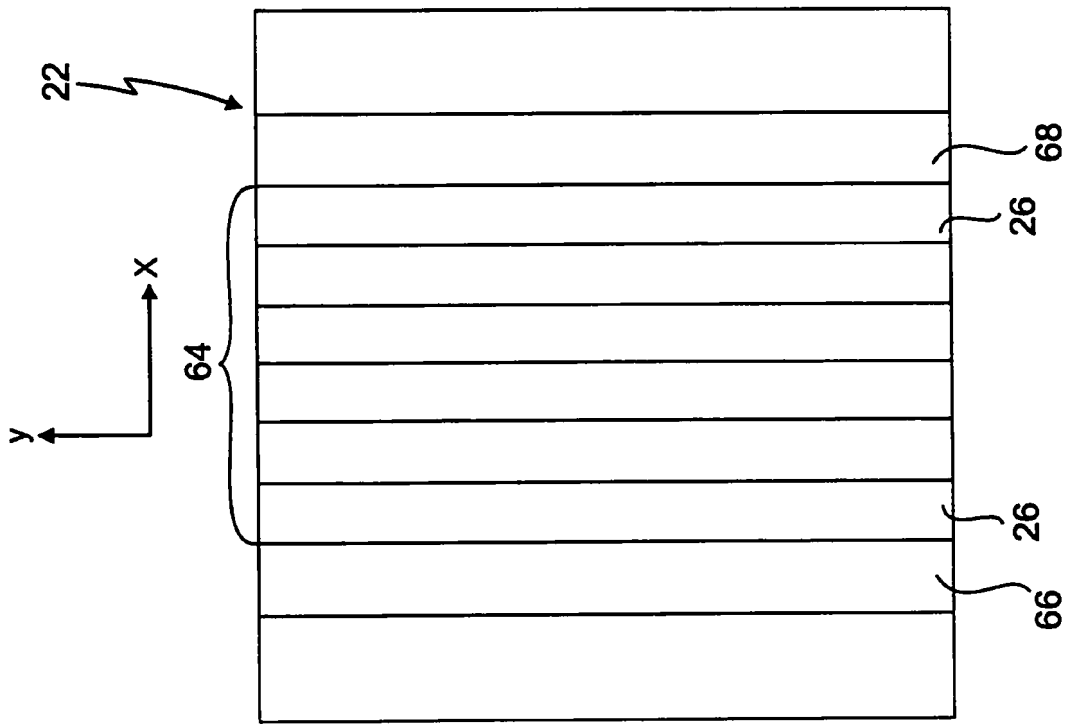


Fig. 2

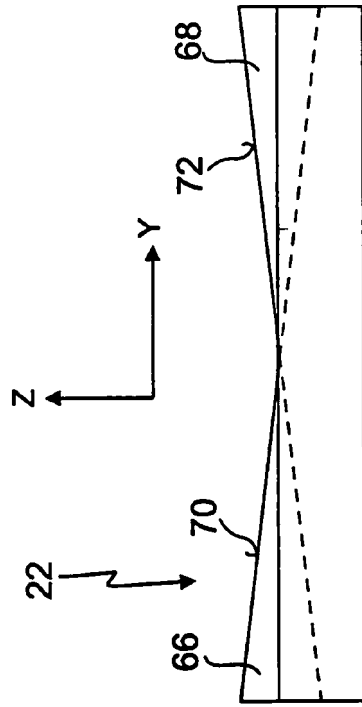


Fig. 3

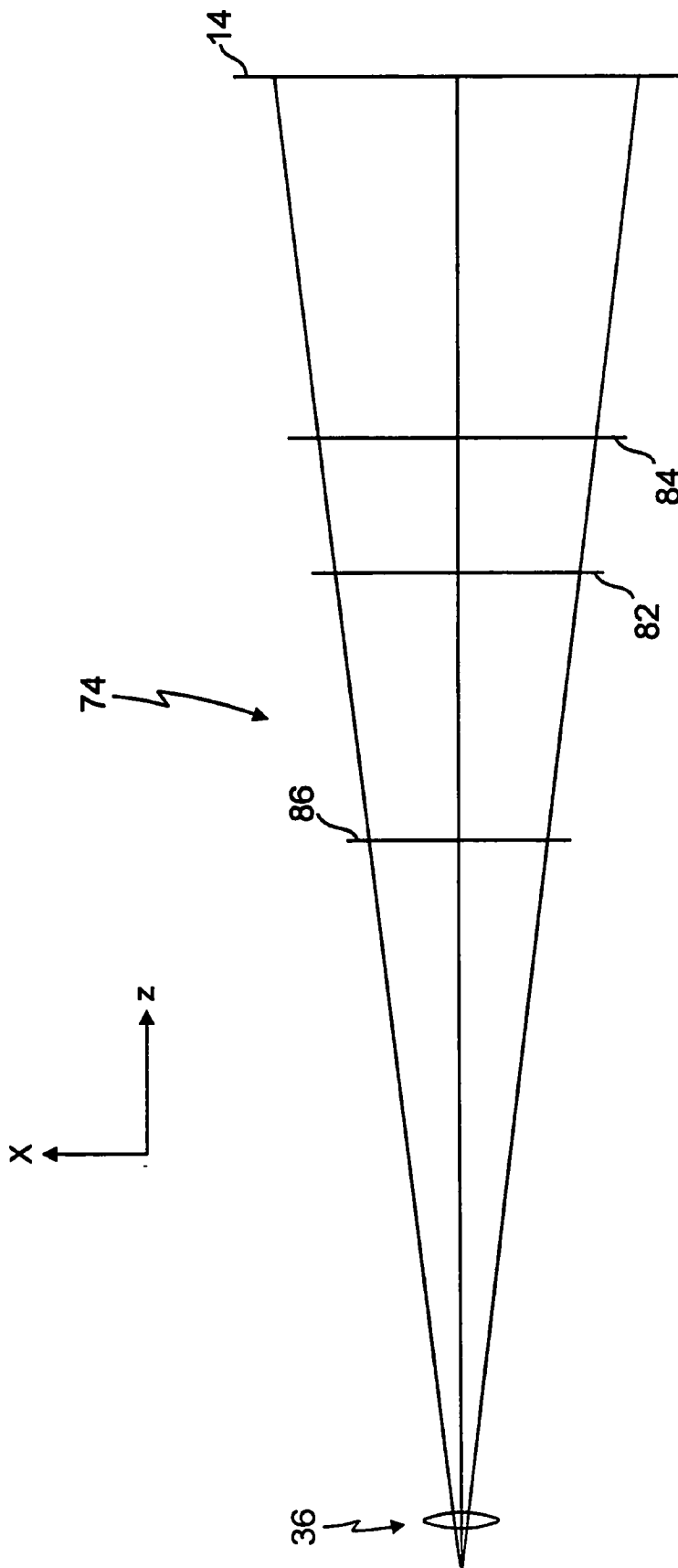


Fig. 4

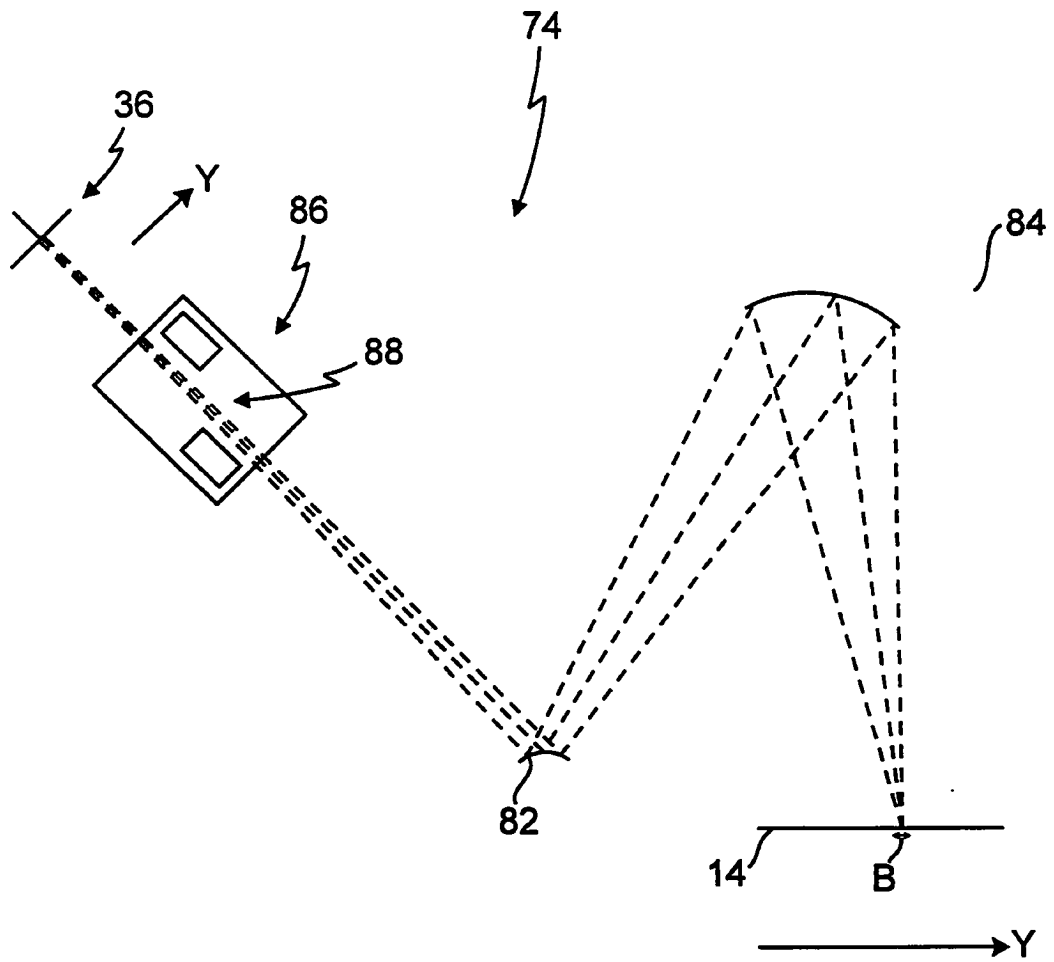


Fig. 5

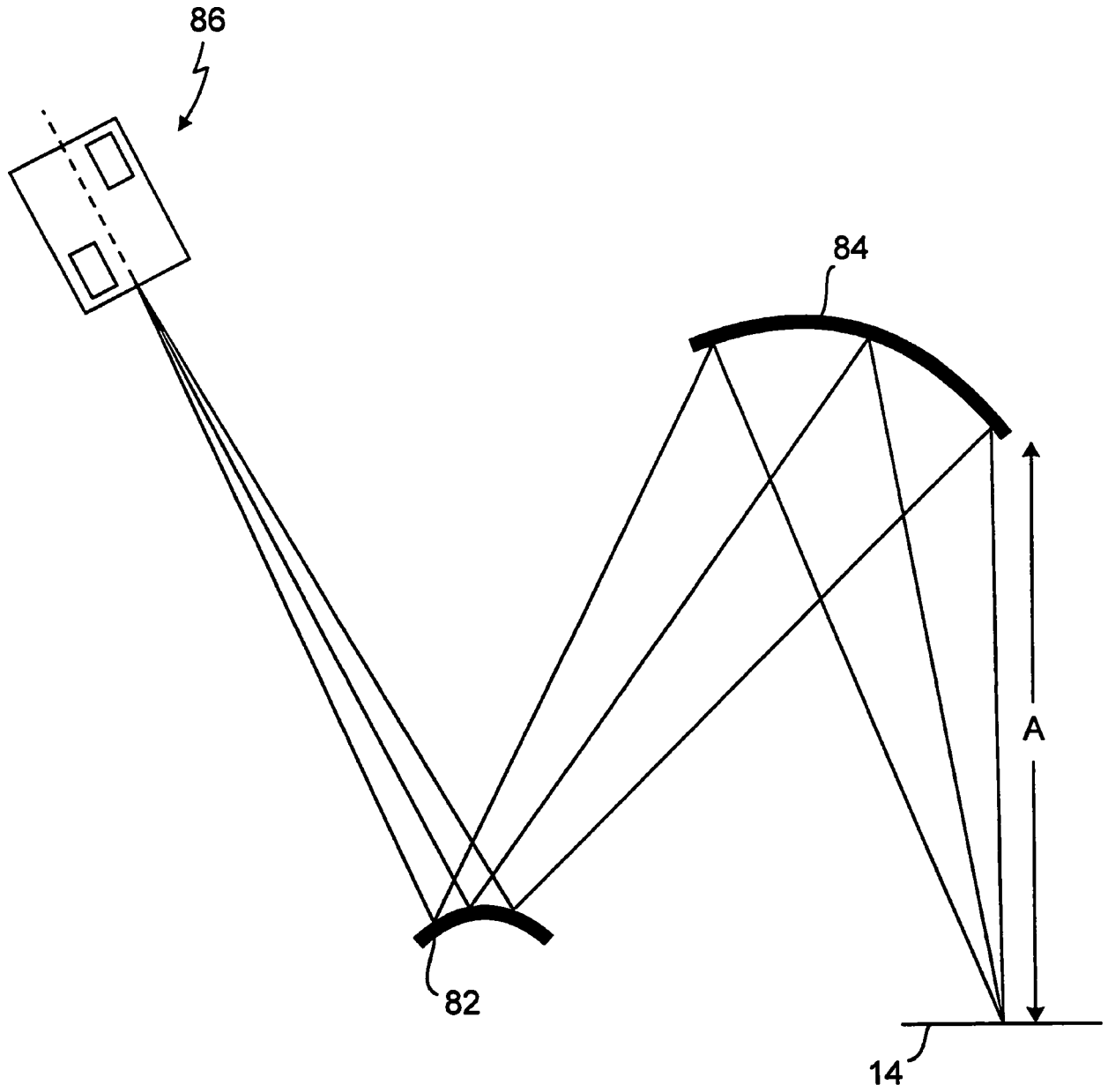


Fig. 6

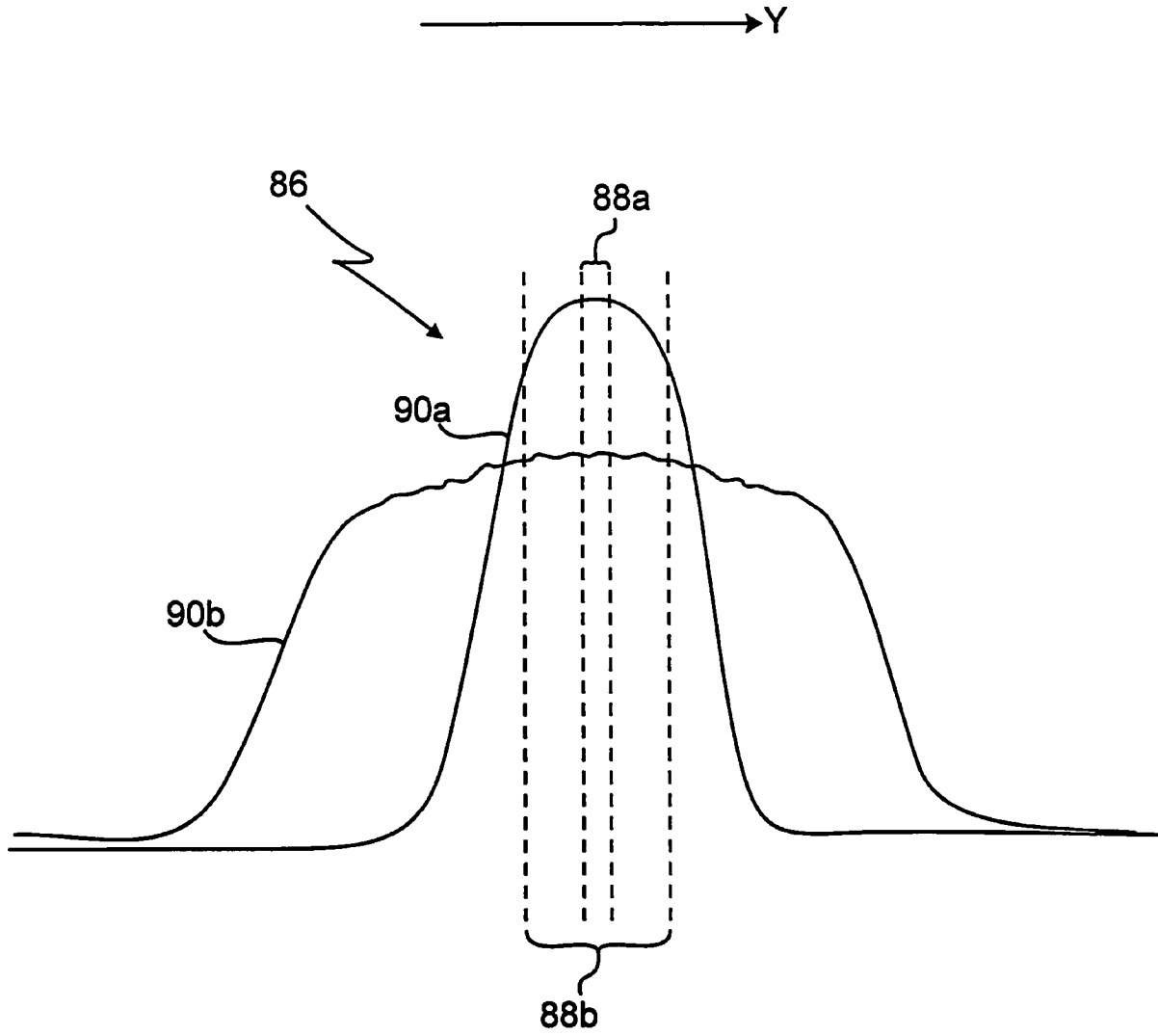


Fig. 7