



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 044 298 B3** 2009.02.26

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 044 298.1**

(22) Anmeldetag: **17.09.2007**

(43) Offenlegungstag: –

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **26.02.2009**

(51) Int Cl.⁸: **G02B 27/09** (2006.01)

G02B 27/10 (2006.01)

B23K 26/06 (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:
Coherent GmbH, 37079 Göttingen, DE

(74) Vertreter:
Rösler, U., Dipl.-Phys.Univ., Pat.-Anw., 81241 München

(72) Erfinder:
Stopka, Michael, Dr., 37075 Göttingen, DE

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

US2007/00 91 978 A1

US2006/02 09 310 A1

US2005/02 02 611 A1

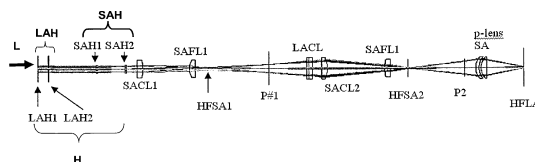
US2005/00 35 103 A1

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Anordnung zum Erzeugen eines Laserstrahls mit einem linienhaften Strahlquerschnitt**

(57) Zusammenfassung: Beschrieben wird ein Verfahren sowie eine Anordnung zum Erzeugen eines Laserstrahls mit einem linienhaften Strahlquerschnitt, der eine lange und eine kurze Strahlquerschnittsachse besitzt und eine Erstreckung in der langen Achse von wenigstens 200 mm und eine Erstreckung in der kurzen Achse von maximal 800 µm aufweist, bei dem der aus einer Laserstrahlquelle austretende Laserstrahl getrennt bezüglich der langen Achse und der kurzen Achse homogenisiert wird, indem der Laserstrahl sowohl relativ zur langen als auch zur kurzen Achse unter Erzeugung jeweils einer Fokalebene, in die jeweils eine Vielzahl von Teilstrahlen, in die der Strahlquerschnitt des Laserstrahls aufgetrennt wird, fokussiert wird, die nachfolgend unter Ausbildung eines im Strahlquerschnitt homogenisierten Laserstrahls zusammengeführt werden, und der Laserstrahl zumindest bezüglich der langen Achse eine telezentrische Abbildung erfährt, d.h. der bezüglich der langen Achse homogenisierte Laserstrahl wird mittels einer Kondensoroptik (LACL) derart abgebildet, dass ein dem abgebildeten Laserstrahl zuordenbarer Strahlengang, bestehend aus längs zur Ausbreitungsrichtung orientierten Teilstrahlen parallelen Lichtes, entsteht.

Die Erfindung zeichnet sich durch folgende Verfahrensschritte aus:

- Abbilden des sich in der kurzen Achse homogenisierend zusammenführenden Strahlquerschnitts mittels einer ersten Kondensoroptik (SACL1) zur Erzeugung eines homogenen Bildfeldes (HFSA1) und Erzeugen einer ersten Pupille ...



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung bezieht sich ein Verfahren sowie eine Anordnung zum Erzeugen eines Laserstrahls mit einem linienhaften Strahlquerschnitt, der eine lange und eine kurze Strahlquerschnittsachse besitzt und eine Erstreckungen in der langen Achse von wenigstens 200 mm und eine Erstreckung in der kurzen Achse von maximal 800 μm aufweist, bei dem der aus einer Laserstrahlquelle austretende Laserstrahl getrennt bezüglich der langen Achse und der kurzen Achse homogenisiert wird, indem der Laserstrahl sowohl relativ zur langen als auch zur kurzen Achse unter Erzeugung jeweils einer Fokalebene, in die jeweils eine Vielzahl von Teilstrahlen, in die der Strahlquerschnitt des Laserstrahls aufgetrennt wird, fokussiert wird, die nachfolgend unter Ausbildung eines im Strahlquerschnitt homogenisierten Laserstrahls zusammengeführt werden. Der Laserstrahl wird zumindest bezüglich der langen Achse telezentrisch abgebildet, d. h. der bezüglich der langen Achse homogenisierte Laserstrahl wird mittels einer Kondensoroptik derart abgebildet, dass ein dem abgebildeten Laserstrahl zuordenbarer Strahlengang, bestehend aus längs zur Ausbreitungsrichtung orientierten Teilstrahlen parallelen Lichtes, entsteht,

Stand der Technik

[0002] Verfahren sowie Anordnungen der vorstehend genannten Gattung werden seit geraumer Zeit in der industriellen Fertigung von auf TFT(thin film transistor)-Technik basierenden Flachbildschirmen eingesetzt. Eine der hierfür zu treffenden Maßnahmen ist die Bereitstellung einer möglichst großflächigen polykristallinen Siliziumschicht, auf deren Grundlage im Weiteren eine Vielzahl arrayförmig angeordneter Dünnschicht-Transistoren prozessiert wird. Zur Herstellung der polykristallinen Siliziumschicht wird ein Substrat mit amorphem Silizium beschichtet, das im Wege eines laserunterstützten Belichtungsverfahrens durch kontrollierte lokale, lichtinduzierte Erhitzung in polykristallines Silizium im Wege eines kurzzeitigen Schmelzvorganges umgewandelt wird. Für derartige, literaturbekannte Belichtungsverfahren werden in an sich bekannter Weise Excimer-Laser, beispielsweise XeCl-Laser eingesetzt, die Licht im ultravioletten Spektralbereich zu emittieren vermögen, das von Silizium weitgehend vollständig absorbiert wird, wodurch eine bis zum Aufschmelzen des amorphen Siliziums führende thermische Erhitzung und eine damit verbundene Rekristallisation des amorphen Siliziums in polykristallines Silizium ermöglicht wird. In diesen Zusammenhang wird häufig von ELA-Verfahren (Excimer Laser Annealing) gesprochen. Um eine für den Aufschmelzvorgang erforderliche Energiedichte auf die Oberfläche des mit amorphem Siliziums befilmten Substrates kurzzeitig mittels

eines Laserstrahls zudeponieren und zugleich auch den Anforderungen industrieller Fertigung zu genügen, erwies es sich als zweckmäßig, den aus einem Excimer-Laser austretenden Laserstrahl, in einen Laserstrahl mit linienhafter Strahlquerschnittsform überzuführen, beispielsweise mit einer Linienlänge von 370 mm und einer Linienbreite von 400 μm , der in dieser Form in kontrollierter Weise zur lokalen kurzzeitigen Aufschmelzung der amorphen Siliziumschicht über die gesamte, mit amorphem Silizium beschichtete Substratoberfläche, abgescannt bzw. abgerastert wird.

[0003] In besonders vorteilhafter Weise bedarf es für eine derartig homogene Rekristallisation eines entsprechend geformten Laserstrahls mit einer ausgeprägten Homogenität in der Verteilung der Lichtintensität sowohl längs der langen als auch längs der kurzen Achse des rechteckförmig linienhaften Strahlquerschnittes. Darüber hinaus ist es vorteilhaft, das Strahlprofil in Bezug auf die Lichtintensitätsverteilung längs der kurzen Achse mit beidseitig großer Flankensteilheit auszubilden, so dass in Bezug zur kurzen Strahlquerschnittsachse die Lichtintensität möglichst nahe an ein als ein Ideal anzusehendes Rechteckprofil angenähert wird, d. h. das Strahlintensitätsplateau reicht mit dem Plateauwert bis an die seitlichen Flanken heran und fällt an den Flanken steil ab.

[0004] Repräsentativ für einen diesbezüglichen Stand der Technik wird auf die US 2005/0035103 A1 verwiesen, in der eine beachtenswerte Zusammenstellung über den derzeitigen Stand der Technik bezüglich ELA-Verfahren zu entnehmen ist und aus der insbesondere unter Bezugnahme auf deren [Fig. 1](#) eine Excimer-Laseranordnung mit einer im Strahlengang nach geordneten Strahlführenden sowie auch Strahlformenden Optikanordnung zur Erzeugung eines Laserstrahls mit einem linienhaften Strahlquerschnitt im vorstehend genannten Sinne gezeigt ist. So verhilft eine Teleobjektivanordnung zur Anpassung des aus dem Excimer-Laser austretenden rechteckförmigen Strahlquerschnittes an die Eingangsapertur eines im Strahlengang nachfolgenden Homogenisierers, der den im Strahlquerschnitt rechteckförmigen Laserstrahl getrennt relativ zu dessen kurzen sowie auch langen Strahlquerschnittsachse jeweils in Bezug auf die Lichtintensitätsverteilung zu homogenisieren vermag. Zunächst durchläuft hierbei der Laserstrahl einen so genannten Langachsenhomogenisierer, der aus einer ersten Anordnung parallel zueinander orientierter Zylinderlinsen besteht sowie dieser im Strahlengang nachgeordnet einer zweiten Anordnung parallel zueinander angeordneter Zylinderlinsen, wobei die Fokipunkte bzw. -linien der Zylinderlinsen der ersten Anordnung zwischen der ersten und zweiten Anordnung der Zylinderlinsenanordnungen liegen. Im Strahlengang, den Zylinderlinsenanordnungen nachgeordnet, ist eine Kondensorlinse zur Abbildung des in der langen Achse rechteckförmig

ausgebildeten Strahlquerschnittes vorgesehen. Im Weiteren folgt ein Kurzachsenhomogenisierer, der ebenfalls eine erste Anordnung von jeweils parallel zueinander angeordneter Zylinderlinsen vorsieht, gefolgt im Strahlengang von einer zweiten Anordnung parallel zueinander ausgerichteter Zylinderlinsen, wobei die Achsen der Zylinderlinsen des Kurzachsenhomogenisierers orthogonal zu den Zylinderlinsenachsen des Langachsenhomogenisierers orientiert sind. Gleichfalls dem Langachsenhomogenisierer liegen auch beim Kurzachsenhomogenisierer die Fokipunkte bzw. -linien der jeweils ersten Anordnung an Zylinderlinsen zwischen beiden Zylinderlinsenanordnungen. Zur weiteren Abbildung des in der kurzen Achse homogenisierten Strahlquerschnittes werden nachfolgend eine Kondensorlinse sowie eine Feldlinse vorgesehen, die den in der kurzen Achse homogenisierten Strahlquerschnitt in den Bereich einer Spaltlinse abbilden. Schließlich sorgt eine optische Lupenanordnung für eine Verkleinerung der Strahlquerschnittsform in der kurzen Achse und letztlich wird der nun linienhaft ausgebildete und im Strahlquerschnitt homogenisierte Laserstrahl auf die mit amorphem Silizium beschichtete Substratoberfläche abgebildet. Weitere Einzelheiten hierzu können der vorstehend genannten US 2005/0035103 A1 entnommen werden. Ergänzend seien ferner die Druckschriften US 2006/0209310 A1 und US 2007/0091978 A1 genannt, in denen gleichfalls Ausführungsbeispiele zur optischen Laserstrahlhomogenisierung mit nachfolgender Überführung des Laserstrahls in einen Laserstrahl mit einem linienförmigen Strahlquerschnitt zu entnehmen sind, die jedoch gegenüber der vorstehend genannten US 2005/0035103 A1 keine grundsätzlichen Neuerungen offenbaren.

[0005] Im Bestreben, die Linienform des Strahlquerschnittes längs ihrer langen Achse zu vergrößern, letztlich auch aus Gründen möglichst großflächige, mit amorphem Silizium befilmte Substratflächen wirtschaftlich im Wege des ELA-Verfahrens zu bearbeiten, stellt sich in zunehmenden Maße das Problem der Bildfeldwölbung ein, die aufgrund unterschiedlicher Fokustiefen zu einer unscharfen Abbildung längs der Laserlinie führt, wobei der Grad der Unschärfe mit zunehmenden Abstand von der Bildmitte zu den Bildrandbereichen zunimmt. Dieser Abbildungsfehler schlägt darüber hinaus umso mehr zu Buche, wenn die Tiefenschärfe des abbildenden Systems in etwa in der gleichen oder kleineren Größenordnung liegt wie die durch die Bildfeldwölbung insbesondere in den Bildrandbereichen hervorgerufene Lageverschiebung der Fokuspunkte verglichen zur Fokusslage in der Bildmitte. Bedient man sich bei zur Abbildung des Laserstrahl längs seiner langen Achse jedoch einer telezentrischen Abbildung, d. h. die dem Laserstrahl zuordenbaren Teilstrahlen sind nach Durchtritt durch die dem Langachsenhomogenisierer nachgeordneten Kondensoroptik zueinander parallel

gerichtet, so ist es möglich, die sich bezüglich der langen Achse ausbildenden nachteilig in Erscheinung tretenden Abbildungsfehler bedingt durch die Bildfeldwölbung zu minimieren. Derartige optische Aufbauten zur Realisierung lang dimensionierter Laserlinien mit Linienlängen von typischerweise 450 mm und mehr, erfordern jedoch zur Realisierung telezentrischer Abbildungsoptiken, große Abstände zwischen dem Langachsenhomogenisierer und der Langachsenkondensoroptik. Dies wirft jedoch Probleme bei der Abbildung des Laserstrahls längs seiner kurzen Achse auf, gilt es doch über die gesamte Linienlänge des Laserstrahls eine längs der kurzen Achse möglichst einem idealen Rechteckprofil angenäherte Lichtintensitätsverteilung, d. h. ein Profil mit einer möglichst definierten Linienhalbwidthsbreite und einer ausgeprägten Flankensteilheit zu realisieren.

Darstellung der Erfindung

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Erzeugen eines Laserstrahls mit einem linienhaften Strahlquerschnitt, der eine lange und eine kurze Strahlquerschnittsachse besitzt und eine Erstreckung in der langen Achse von wenigstens 200 mm, vorzugsweise mehr als 400 mm, und eine Erstreckung in der kurzen Achse von maximal 800 μm , vorzugsweise 400 μm aufweist, bei dem der aus einer Laserstrahlquelle austretende Laserstrahl getrennt bezüglich der langen Achse und der kurzen Achse homogenisiert wird, indem der Laserstrahl sowohl relativ zur langen als auch zur kurzen Achse unter Erzeugung jeweils einer Fokalebene, in die jeweils eine Vielzahl von Teilstrahlen, in die der Strahlquerschnitt des Laserstrahls aufgetrennt wird, fokussiert wird, die nachfolgend unter Ausbildung eines im Strahlquerschnitt homogenisierten Laserstrahls zusammengeführt werden und der Laserstrahl zumindest bezüglich der langen Achse eine telezentrische Abbildung erfährt, d. h. der bezüglich der langen Achse homogenisierte Laserstrahl wird mittels einer Kondensoroptik derart abgebildet, dass ein dem abgebildeten Laserstrahl zuordenbarer Strahlengang, bestehend aus längs zur Ausbreitungsrichtung orientierten Teilstrahlen parallelen Lichtes, derart weiterzubilden, dass das Strahlprofil längs der kurzen Achse trotz der großen Abbildungsabstände mit einem möglichst scharf gezeichneten Rechteckprofil, d. h. mit einer möglichst ausgeprägten Flankensteilheit und einer definierten Linienhalbwidthsbreite, auf eine Abbildungsebene abgebildet werden kann. So gilt es insbesondere, optische Maßnahmen zu treffen, durch die eine weitgehend unabhängige Variation des Strahlprofils bezüglich der kurzen Achse hinsichtlich Flankensteilheit und Linienhalbwidthsbreite längs der gesamten Länge des linienhaften Laserstrahlquerschnittes vorgenommen werden kann. Ferner gilt es, eine entsprechende Anordnung zur Erzeugung eines Laserstrahls anzugeben, die den vorstehend be-

schriebenen Anforderungen entspricht.

[0007] Die Lösung der der Erfindung zugrunde liegenden Aufgabe ist im Anspruch 1 angegeben. Eine lösungsgemäße Anordnung ist Gegenstand des Anspruches 6. Den Erfindungsgedanken vorteilhaft weiterbildende Merkmale sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der weiteren Beschreibung, insbesondere unter Bezugnahme auf die Ausführungsbeispiele zu entnehmen.

[0008] Lösungsgemäß zeichnet sich ein Verfahren zum Erzeugen eines Laserstrahls mit einem linienhaften Strahlquerschnitt gemäß den Merkmalen des Oberbegriffes des Anspruches 1 dadurch aus, dass im Strahlengang zur Strahlformung sowie Strahlabbildung des Laserstrahlquerschnittes in der kurzen Achse eine wenigstens zweistufige optische Abbildung vorgenommen wird, mit der einerseits eine räumliche Überbrückung der durch die telezentrische Strahlführung bedingten langen Distanz zwischen dem Kurzachsenhomogenisierer und einer Abbildungsebene ermöglicht wird, in der sich vorzugsweise das mit der amorphen Si-Schicht versehene Substrat befindet, und mit der andererseits eine voneinander unabhängige Einstellmöglichkeit für die Flankensteilheit und Linienhalbwertsbreite geschaffen wird.

[0009] Die zweistufige Abbildung ist lösungsgemäß durch zwei im Strahlengang nacheinander folgend angeordnete optische Abbildungs Zweige realisiert, von denen der erste optische Abbildungs Zweig aus den Zylinderlinsen anordnungen des Kurzachsenhomogenisierers, einer nachfolgenden Kurzachsenkondensoroptik sowie einer dem Strahlengang folgenden Kurzachsenfeldlinsoptik besteht. Hierbei sind die einzelnen optischen Einheiten derart aufeinander abgestimmt und angeordnet, so dass zum einen die Kurzachsenkondensoroptik ein homogenes Bildfeld erzeugt und zum anderen die nachfolgende Feldlinsoptik die sich zwischen beiden Zylinderanordnungen des Kurzachsenhomogenisierers sich scharf abbildende Fokalebene, in die die bezüglich der kurzen Achse aufgetrennten Teilstrahlen in Form eines Linienarrays abgebildet werden, in eine erste Pupillenebene abgebildet wird.

[0010] Der zweite Abbildungs Zweig, der im Strahlengang dem ersten Abbildungs Zweig nachgeordnet ist, bildet das im Rahmen des ersten homogenen Zweiges erzeugte homogene Bildfeld mittels einer zweiten Kondensoroptik in ein zweites homogenes Bildfeld ab, wobei zugleich die in der ersten Pupille abgebildete Fokalebene des Kurzachsenhomogenisierers mittels einer zweiten Feldlinsoptik in eine zweite Pupille abgebildet wird, die der Eintrittspupille einer Abbildungsoptik zur telezentrischen Abbildung des Laserstrahls auf eine Abbildungsebene entspricht, auf die zugleich auch der bezüglich der lan-

gen Achse homogenisierte Laserstrahl mittels der Langachsenkondensoroptik abgebildet wird. Somit besteht der zweite Abbildungs Zweig ausschließlich aus einer Kurzachsenkondensoroptik und einer Kurzachsenfeldlinsoptik.

[0011] Es ist erkannt worden, dass durch die getrennte Abbildung in beiden optischen Zweigen, die jeweils über eine Kondensoroptik sowie eine Feldlinsoptik verfügen, die Voraussetzung dafür geschaffen ist, das Strahlprofil der kurzen Achse in Bezug auf die Flankensteilheit und die Linienhalbwertsbreite getrennt voneinander zu variieren bzw. gezielt zu optimieren. Dies kann, wie die weiteren Ausführungen zeigen werden, durch axiales Verschieben der einzelnen in den optischen Abbildungs Zweigen zugehörigen Kondensor- und/oder Feldlinsoptiken erreicht werden. Zudem eröffnet eine Drehung einer längs der Abbildungs Zweige enthaltenen Optiken zumindest eine Beeinflussung der Linienhalbwertsbreite.

[0012] Das lösungsgemäße Konzept sowie eine konkrete Anordnung längs des Abbildungsstrahlenganges angeordneter optischer Elemente werden im Weiteren unter Bezugnahme auf die Ausführungsbeispiele beschrieben.

Kurze Beschreibung der Erfindung

[0013] Die Erfindung wird nachstehend ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen exemplarisch beschrieben. Es zeigen:

[0014] [Fig. 1](#) Strahlengang mit optischen Elementen zur Illustration der Abbildung des Laserstrahlquerschnittes bezüglich der kurzen Achse,

[0015] [Fig. 2](#) Strahlengang mit optischen Elementen zur Darstellung der Abbildung des Laserstrahls bezüglich der langen Achse,

[0016] [Fig. 3a, b](#) Diagrammdarstellungen zur Illustration der getrennten Einstellbarkeit der Flankensteilheit sowie Linienhalbwertsbreite bezüglich der kurzen Achse.

Wege zur Ausführung der Erfindung, gewerbliche Verwendbarkeit

[0017] In [Fig. 1](#) ist der Strahlengang zur Illustration der Strahlformung und Strahlabbildung eines Laserstrahls bezüglich seiner kurzen Achse zum Zwecke der Erzeugung eines linienhaften Strahlquerschnittes mit einer Linienlänge, d. h. mit einer maximalen Erstreckung längs der langen Achse von mehr als 200 mm, vorzugsweise größer als 450 mm, und einer Linienbreite maximal 800 µm, vorzugsweise 400 µm,

dargestellt. [Fig. 2](#), die lediglich eine um 90° gedrehte Ansicht zum Strahlengang gemäß [Fig. 1](#) zeigt, verdeutlicht die Strahlformung längs der langen Achse. Im Weiteren kann auf beide Figuren zugleich Bezug genommen werden.

[0018] Es sei angenommen, dass der aus einem Excimerlaser austretende Laserstrahl L mit Hilfe einer geeigneten Abbildungsoptik, beispielsweise eines Teleobjektives, auf die Eingangsapertur eines Homogenisierers H, der sich aus einem Langachsen-LAH und einem Kurzachsenhomogenisierer SAH zusammensetzt, angepasst ist.

[0019] Der in den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) dargestellte Strahlengang sieht in Strahlrichtung von links nach rechts zu dem so genannten Langachsenhomogenisierer zugehörig eine Zylinderlinsenordnung LAH1 und LAH2 vor. Gemeinsam mit der Langachsenkondensorlinse LACL bilden sie ein afokales optisches System und stellen eine telezentrische Abbildungsoptik dar, die den in der langen Strahlquerschnittsachse homogenisierten Laserstrahl nach Durchtritt durch die Langachsenkondensorlinse LACL längs zur optischen Achse parallelisiert und ein auf der Abbildungsebene HFLA, in der beispielsweise das zu belichtende, mit amorphem Silizium beschichtete Substrat angeordnet ist, ein in der langen Achse homogenisiertes Bildfeld erzeugt. Hinzu kommt, dass durch die telezentrische Abbildung längs der langen Achse die durch Bildfeldwölbung herrührenden Abbildungsfehler zumindest sehr stark unterdrückt werden können. So wird die Langachsenkondensorlinse LACL in einen solchen Abstand zur Zylinderlinsenordnung aus LAH2 und LAH1 gestellt, so das jeder durch diesen Langachsenhomogenisierer getrennte Teilstrahl nach der Kondensorlinse in einen parallelen Teilstrahl resultiert, wobei sich alle parallelen Teilstrahlen in der Abbildungsebene HFLA überlagern.

[0020] Aufgrund der gewählten optischen Brennweiten der vorstehend bezeichneten optischen Elemente zur Langachsenabbildung beträgt der Abstand d typischerweise Längen von 3 Meter und mehr, eine verhältnismäßig große Distanz, die es zur Abbildung des in der kurzen Achse zu homogenisierenden Strahlquerschnitt auf die Abbildungsebene HFLA zu überbrücken gilt. Hierzu ist im Strahlengang dem Langachsenhomogenisierer LAH der sogenannte Kurzachsenhomogenisierer SAH, bestehend aus einer ersten Zylinderlinsenordnung SAH1 und einer zweiten Zylinderlinsenordnung SAH2, nachgeordnet, wobei gleichsam zum Langachsenhomogenisierer eine zwischen beiden Zylinderlinsenordnungen SAH1 und SAH2 liegende Fokalebene vorgesehen ist, in die der durch die erste Zylinderlinsenordnung SAH1 in Teilstrahlen aufgeteilte kurze Strahlquerschnitt in Form eines Spot- oder Linienarrays fokussiert wird.

[0021] Dem Kurzachsenhomogenisierer ist eine Kurzachsenkondensorlinse SACL1 nachgeordnet, durch die ein sich längs der kurzen Strahlquerschnittsachse homogenisierend ausbildendes Bildfeld HFSA1 erzeugt wird. Das homogenisierte Bildfeld HFSA1 weist ein weitgehend rechteck-förmiges Strahlprofil in der kurzen Achse auf, das es im Weiteren in die Abbildungsebene HFLA abzubilden gilt. Im Strahlengang dem homogenisierten Bildfeld HFSA1 vorgelagert ist eine Kurzachsenfeldlinse SAFL1 vorgesehen, durch die eine Pupille P1 definiert wird, in die die zwischen den beiden Zylinderlinsenordnungen SAH1 und SAH2 des Kurzachsenhomogenisierers liegende Fokalebene scharf abgebildet wird. Die vorstehend beschriebenen optischen Komponenten bezüglich der Abbildung des in der kurzen Achse homogenisierten Laserstrahlprofils, nämlich SAH1, SAH2, SACL1 und SAFL1 bilden den so genannten ersten Abbildungsweig I, der der Erzeugung des homogenisierten Bildfeldes HFSA1 dient.

[0022] Der sich im Strahlengang nachfolgend anschließende zweite optische Abbildungsweig II weist lediglich eine zweite Kurzachsenkondensorlinse SACL2 und eine im Strahlengang folgende zweite Kurzachsenfeldlinse SAFL2 auf. Hierbei dient die zweite Kurzachsenkondensorlinse SACL2 zur Abbildung des ersten homogenen Bildfeldes HFSA1 und der Erzeugung eines zweiten homogenen Bildfeldes HFSA2 in einer Raumebene längs des Strahlenganges, in der vorzugsweise eine schlitzförmige Blendenordnung angebracht ist. Die Schlitzgröße ist zumeist größer bemessen als der tatsächliche Strahlquerschnitt des homogenen Bildfeldes HFSA2. Die zweite Kurzachsenfeldlinse SAFL2 bildet hingegen die Pupille P1 in die Pupille P2 ab, die zugleich der Eintrittspupille einer Abbildungsoptik p-lens SA entspricht. Typischerweise besteht die Abbildungsoptik aus einer Verkleinerungsoptik, mit der die kurze Achse des Laserstrahlquerschnitts beispielsweise fünffach verkleinert auf die Abbildungsebene HFLA telezentrisch abgebildet wird.

[0023] Von sehr wesentlicher Bedeutung ist das Vorsehen jeweils einer Kondensorlinse und einer Feldlinse innerhalb der beiden vorstehend bezeichneten zwei optischen Abbildungsweige I und II, wodurch die Möglichkeit geschaffen wird, dass sich innerhalb der homogenen Bildfelder HFSA1 bzw. HFSA2 nahezu rechteckförmig ausgebildete Strahlprofile in der kurzen Achse ausbilden, deren Flankensteilheit sowie Linienhalbwärtsbreite getrennt voneinander beeinflussbar sind. So konnte gezeigt werden, dass durch axiales Verschieben der Feldlinsenposition, insbesondere der Kurzachsenfeldlinse SAFL2 innerhalb des zweiten Abbildungsweiges längs ihrer optischen Achse eine Variation der Linienhalbwärtsbreite bei gleichbleibender bzw. nahezu gleichbleibender Flankensteilheit erzielt werden kann. Dies zeigt ein in [Fig. 3a](#) dargestelltes Dia-

gramm, längs dessen Ordinate Lichtintensitätswerte und längs deren Abszisse Auslenkungswege in mm angetragen sind. Die drei im Diagramm dargestellten Graphen stellen ausgehend von einer Normalposition **1** das Lichtprofil bei Verschiebung der Kurzachsenfeldlinse SAFL2 um 20 mm nach rechts (siehe Graph **2**) und 20 mm nach links (siehe Graph **3** bezogen zur Normalposition) dar. Es zeigt sich, dass in allen drei Stellungen die Flankensteilheit des Strahlprofils weitgehend gleich bleibt, trotz Variation der Linienhalbwertsbreite.

[0024] Demgegenüber ist es durch axiales Verschieben der Kurzachsenkondensorlinse SACL2 möglich, die Flankensteilheit zu verändert während die Linienhalbwertsbreite konstant bleibt. Dies kann aus dem Diagramm gemäß [Fig. 3b](#) entnommen werden, dessen Achsendimensionierung mit jener gemäß Diagrammdarstellung in [Fig. 3a](#) identisch ist. Auch hier unterscheiden sich die drei unterschiedlichen Strahlprofilverläufe durch eine unterschiedliche axiale Lage der Kurzachsenkondensorlinse **2**.

Bezugszeichenliste

| | |
|------------------|---|
| LAH | Langachsenhomogenisierer |
| LAH1 | Erste Zylinderlinsenordnung des Langachsenhomogenisierer |
| LAH2 | Zweite Zylinderlinsenordnung des Langachsenhomogenisierer |
| SAH | Kurzachsenhomogenisierer |
| SAH1 | Erste Zylinderlinsenordnung des Kurzachsenhomogenisierer |
| SHA2 | Zweite Zylinderlinsenordnung des Kurzachsenhomogenisierer |
| SACL1 | Kurzachsenkondensorlinse |
| SAFL1 | Kurzachsenfeldlinse |
| HFSA1 | Erstes homogenes Bildfeld bezgl. der kurzen Achse |
| P1 | Erste Pupille |
| LACL | Langachsenkondensorlinse |
| SACL2 | Kurzachsenkondensorlinse |
| SAFL1 | Kurzachsenfeldlinse |
| HFSA2 | Zweites homogenes Bildfeld bezgl. der kurzen Achse |
| P2 | Zweite Pupille |
| p-lens SA | Verkleinerungsoptik, |
| HFLA | Abbildungsebene |
| H | Homogenisierer |

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erzeugen eines Laserstrahls mit einem linienhaften Strahlquerschnitt, der eine lange und eine kurze Strahlquerschnittsachse besitzt und eine Erstreckung in der langen Achse von wenigstens 200 mm und eine Erstreckung in der kurzen Achse von maximal 800 µm aufweist, bei dem der aus einer Laserstrahlquelle austretende Laserstrahl getrennt bezüglich der langen Achse und der kurzen

Achse homogenisiert wird, indem der Laserstrahl sowohl relativ zur langen als auch zur kurzen Achse unter Erzeugung jeweils einer Fokalebene, in die jeweils eine Vielzahl von Teilstrahlen, in die der Strahlquerschnitt des Laserstrahls aufgetrennt wird, fokussiert wird, die nachfolgend unter Ausbildung eines im Strahlquerschnitt homogenisierten Laserstrahls zusammengeführt werden, und der Laserstrahl zumindest bezüglich der langen Achse eine telezentrische Abbildung erfährt, d. h. der bezüglich der langen Achse homogenisierte Laserstrahl wird mittels einer Kondensoroptik (LACL) derart abgebildet, dass ein dem abgebildeten Laserstrahl zuordenbarer Strahlengang, bestehend aus längs zur Ausbreitungsrichtung orientierten Teilstrahlen parallelen Lichtes, entsteht, gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte:

– Abbilden des sich in der kurzen Achse homogenisierend zusammenführenden Strahlquerschnitts mittels einer ersten Kondensoroptik (SACL1) zur Erzeugung eines homogenen Bildfeldes (HFSA1) und Erzeugen einer ersten Pupille (P1) mittels einer ersten Feldlinsenoptik (SAFL1), in die die Fokalebene, in die die bezüglich der kurzen Achse aufgetrennten Teilstrahlen fokussiert sind, abgebildet wird, und
– Abbilden des homogenen Bildfeldes (HFSA1) mittels einer zweiten Kondensoroptik (SACL2) in ein zweites Bildfeld (HFSA2) sowie Abbilden der ersten Pupille (P1) mittels einer zweiten Feldlinsenoptik (SAFL2) in eine zweite Pupille (P2), die der Eintrittspupille einer Abbildungsoptik (p-lens SA) zur telezentrischen Abbildung des Laserstrahls auf eine Abbildungsebene entspricht, auf die der bezüglich der langen Achse homogenisierte Laserstrahl mittels der Kondensoroptik (LACL) abgebildet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass durch axiales Verschieben der ersten Kondensorlinse (SACL1) längs der Strahlrichtung eine Variation einer der kurzen Achse zuordenbaren Flankensteilheit, d. h. 10–90% des mittleren Strahlplateaus, ohne Beeinflussung einer der kurzen Achse zuordenbaren Linienhalbwertsbreite ermöglicht wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass durch axiales Verschieben der ersten Feldlinsenoptik (SAFL1) längs der Strahlrichtung eine Variation einer der kurzen Achse zuordenbaren Linienhalbwertsbreite ohne Beeinflussung einer der kurzen Achse zuordenbaren Flankensteilheit ermöglicht wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass ein Laserstrahl mit einem linienhaften Strahlquerschnitt mit einer Erstreckung von wenigstens 450 mm und einer Erstreckung in der kurzen Achse von wenigstens 100 µm erzeugt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

dadurch gekennzeichnet, dass das zweite Bildfeld (HSFA2) in den Bereich einer spaltförmigen Blendenanordnung abgebildet wird.

6. Vorrichtung zum Erzeugen eines Laserstrahls mit einem linienhaften Strahlquerschnitt, der eine lange und eine kurze Strahlquerschnittsachse besitzt und eine Erstreckung in der langen Achse von wenigstens 200 mm und eine Erstreckung in der kurzen Achse von maximal 800 µm aufweist, mit einem Laser, der einen Laserstrahl emittiert, längs dessen Strahlrichtung folgende den Laserstrahl beeinflussende Komponenten angeordnet sind:

- eine Teleskopeinheit zur Anpassung der Strahlquerschnittsbreiten des Laserstrahls auf die Eingangsapertur eines im Strahlengang nachfolgenden Homogenisierers, der eine Homogenisierung der Lichtintensitätsverteilung des Laserstrahls getrennt längs der langen und längs der kurzen Achse des Strahlquerschnittes vornimmt,
- eine erste telezentrische Abbildungsoptik zur telezentrischen Abbildung des längs der langen Achse homogenisierten Laserstrahls auf eine Abbildungsebene und
- eine zweite Abbildungsoptik zur Abbildung des längs der kurzen Achse homogenisierten Laserstrahls auf die Abbildungsebene

dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Abbildungsoptik wenigstens zwei in Strahlrichtung hintereinander angeordnete Optik-Paare aufweist, jeweils bestehend aus einer Kondensoroptik und einer Feldlinsenoptik,

dass das in Strahlrichtung erste Optik-Paar eine erste Kondensoroptik (SACL1) zur Erzeugung eines homogenen Bildfeldes (HFSA1) und eine erste Feldlinsenoptik (SAFL1) zur Erzeugung einer ersten Pupille (P1) aufweist, und

dass das dem in Strahlrichtung dem ersten Optik-Paar nachgeordnete zweite Optik-Paar eine zweite Kondensoroptik (SACL2) zum Abbilden des homogenen Bildfeldes (HFSA1) in ein zweites homogenes Bildfeld (HSFA2) sowie eine zweite Feldlinsenoptik (SAFL2) zum Abbilden der ersten Pupille (P1) in eine zweite Pupille (P2), die der Eintrittspupille einer Abbildungsoptik (p-lens SA) zur telezentrischen Abbildung des Laserstrahls auf eine Abbildungsebene entspricht.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Kondensoroptik (SACL1) und/oder die erste Feldlinsenoptik (SAFL1) in Strahlrichtung kontrolliert beweglich angeordnet sind.

8. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Kondensoroptik (SACL1) und/oder die erste Feldlinsenoptik (SAFL1) um eine orthogonal zur Strahlrichtung orientierte Achse kontrolliert drehbar angeordnet sind.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und zweite Kondensoroptik (SACL1, SACL2) jeweils als eine Kondensorlinse und die erste und zweite Feldlinsenoptik (SAFL1, SAFL2) jeweils als eine Feldlinse ausgebildet sind.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die telezentrische Abbildungsoptik zur telezentrischen Abbildung des längs der langen Achse homogenisierten Laserstrahls auf eine Abbildungsebene ausschließlich aus folgenden optischen Komponenten besteht: der bezüglich der langen Achse vorgesehenen Homogenisierungsoptik (LAH1, LAH2) sowie einer Langachsenkondensorlinse (LACL).

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass eine in Strahlrichtung der Abbildungsebene vorangestellte spaltförmige Blendenanordnung vorgesehen ist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

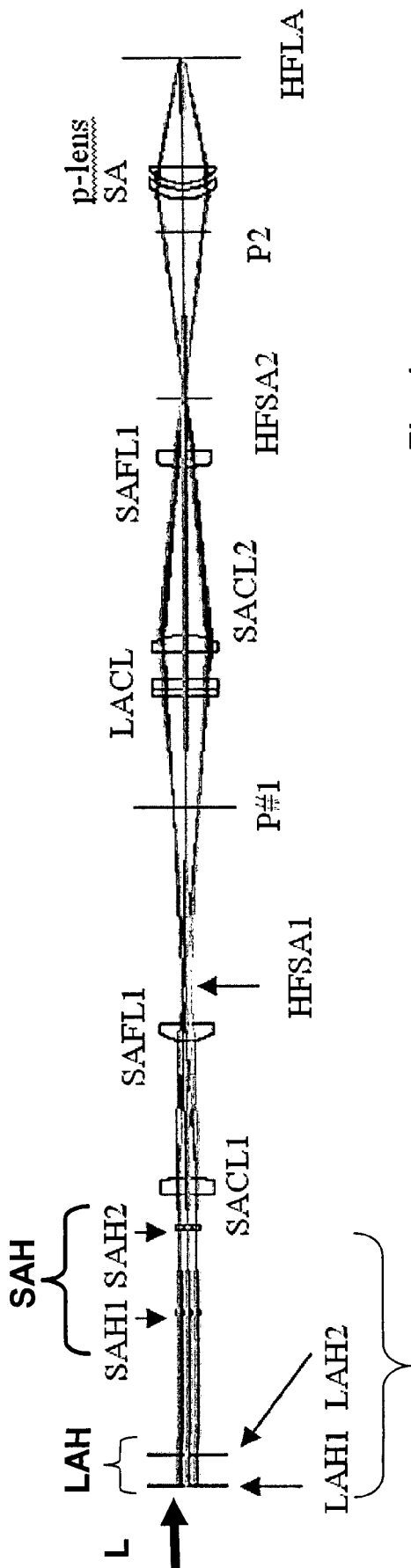


Fig. 1

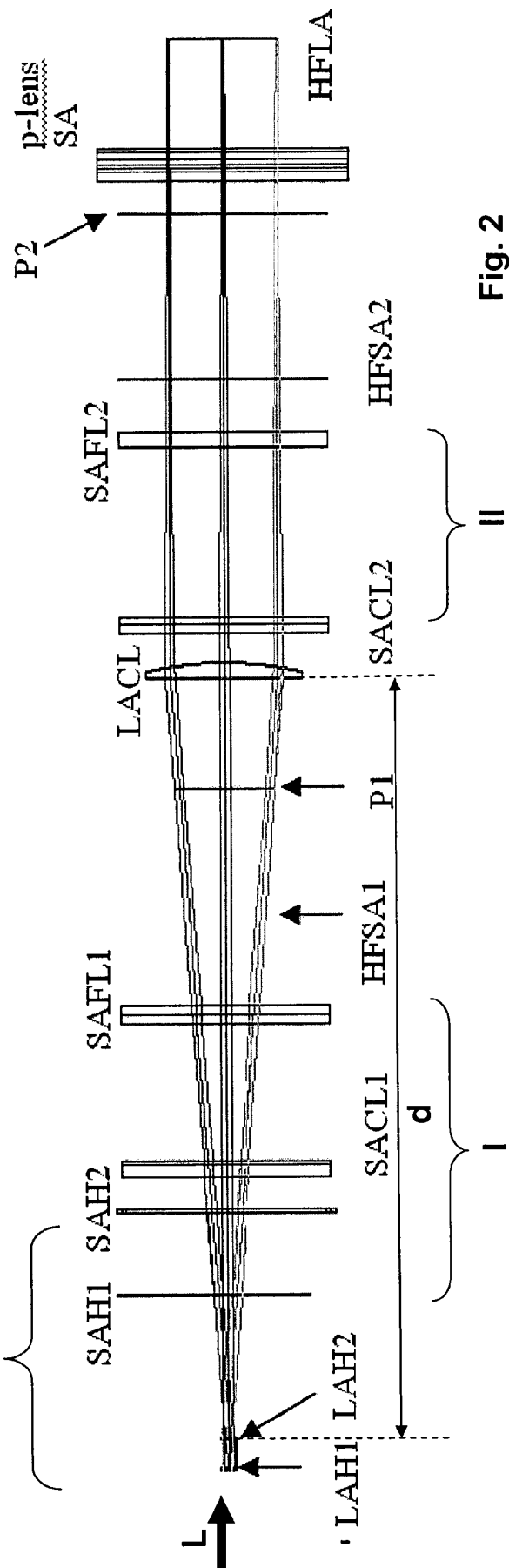


Fig. 2

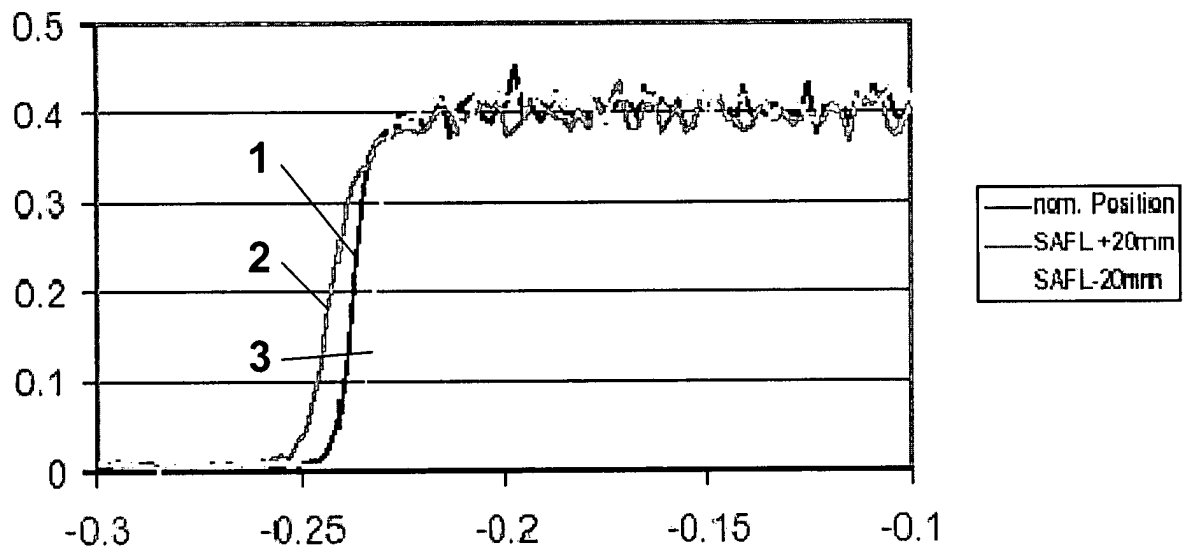


Fig. 3a

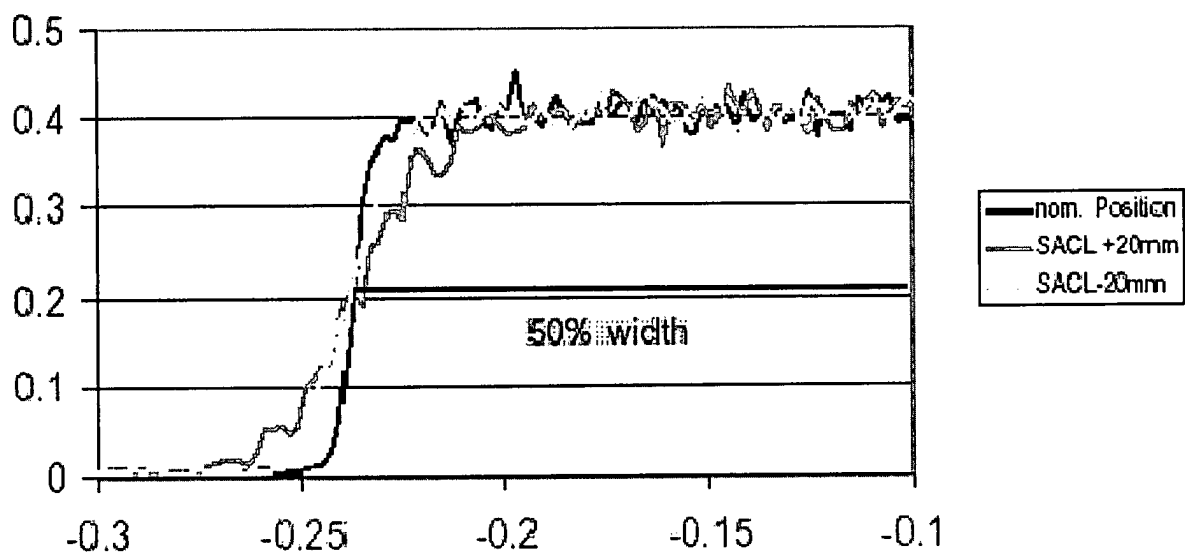


Fig. 3b