

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
12. Februar 2009 (12.02.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/019006 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01S 3/08 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/006472

(22) Internationales Anmeldedatum:
6. August 2008 (06.08.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2007 036 988.5 6. August 2007 (06.08.2007) DE
10 2008 035 898.3 31. Juli 2008 (31.07.2008) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **CARL ZEISS MEDITEC AG** [DE/DE];
Göschwitzer Strasse 51-52, 07745 Jena (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **GREBNER, Dieter** [DE/DE]; Erlengrund 3, 07751 Grosslöbichau (DE).
FUCHS, Rico [DE/DE]; Buchaer Strasse 6b, 07745 Jena (DE).
KALIES, Alexander [DE/DE]; Schafberg 19a, 07751 Jena-Drackendorf (DE).

(74) Anwalt: **DTS MÜNCHEN**; St.-Anna-Strasse 15, 80538 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

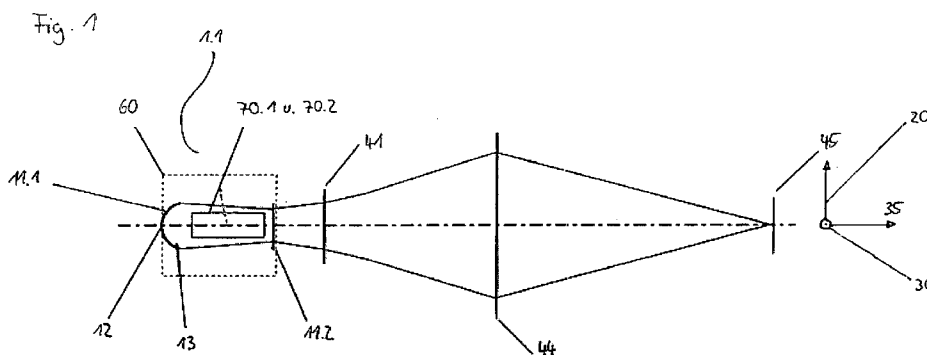
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR REDUCING SPECKLE IN THE FIELD OF LASER APPLICATIONS

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR SPECKLEREDUKTION IM BEREICH DER LASERANWENDUNGEN



(57) Abstract: The present invention relates to a device for improving the laser beam quality for machining applications, comprising a laser (1) having an asymmetrical beam profile, comprising a first, short beam axis (20), a second, long beam axis (30), wherein the laser (1) comprises at least one optical element (10) and/or one resonator mirror (11) having a cylindrical mirror surface (13) for reducing spatial coherence and/or increasing the divergence in the short beam axis.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Verbesserung der Laserstrahlqualität für abtragende Anwendungen, umfassend einen Laser (1) mit asymmetrischem Strahlprofil, umfassend eine erste, kurze Strahlachse (20), eine zweite, lange Strahlachse (30), wobei der Laser (1) mindestens ein optisches Element (10) und/oder ein Resonatorspiegel (11) mit zylindrischer Spiegelfläche (13) zur Reduzierung der räumlichen Kohärenz und/oder Vergrößerung der Divergenz in der kurzen Strahlachse umfasst.

WO 2009/019006 A2

Vorrichtung und Verfahren zur Specklereduktion im Bereich der Laseranwendungen

Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung und ein
5 Verfahren im Bereich der Laseranwendungen zur Reduzierung von
Speckle.

Bei der Verwendung eines Laserstrahls in der Lithographie,
der Mikrobearbeitung und insbesondere der refraktiven
10 Chirurgie ist ein Auftreten von Speckles in der
Bearbeitungsebene unerwünscht. Das Specklemuster des
Laserstrahls bildet sich auf der Bearbeitungsebene ab und
führt zu Ungenauigkeiten. Zur Vermeidung von Speckles und der
damit verbundenen Erzeugung eines glatten Strahlprofils sind
15 folgende Lösungswege bekannt.

„The Laser Guidbook“ (Autor: Jeff Hecht, Copy Rights: McGraw-
Hill Ins., ISBN: 0071359672) beschreibt einen Einsatz von
sphärischen HR stabilen Resonatoren um die Kohärenz zu
20 verringern, die Divergenzen zu erhöhen und damit Speckles zu
vermeiden. Viele Moden und schlechte Strahleigenschaften sind
die Folge. Ein weiterer Nachteil ist die fehlende Anpassung
der Strahlachsen zueinander und die damit verbundene
verschiedene Divergenz und Kohärenz in den Achsen. Außerdem
25 können sich Pulsform und Pulsdauer bei dieser Lösung ändern.

In WO 2004021529 A1 wird ein Resonator beschrieben, welcher
sphärische und asphärische hemisphärische Spiegel verwendet
um die Divergenz und Kohärenz des Strahls anzugleichen.
30 Weiterhin wird hierin beschrieben, dass Diffusoren, welche
auf oder zwischen den Spiegeln angebracht sind und nur in der
kritischen Achse wirken, das Problem lösen können.

In WO 1996016455 A1 sind unstabile Resonatoren mit konvexer
35 zylindrischer Spiegelfläche beschrieben welche die Divergenz
und damit Kohärenz achsenabhängig verändern. Die Kohärenz
wird vergrößert und die Divergenz verringert. Weiterhin wird

die Möglichkeit beschrieben diesen Effekt durch im Resonator liegende zylinderförmige Linsen zu erreichen.

In US 5946337 ist ein unstabiler Resonator mit divergierend
5 (konvexer) reflektierender zylindrischer Spiegelfläche und
dispersivem Wellenlängenselektor beschrieben um einen Strahl
mit geringer Bandbreite und dennoch hoher Energieausbeute zu
erlangen. Eine geringe Bandbreite führt zu einer Erhöhung der
zeitlichen Kohärenz.

10

In DE 4225781 ist ein unstabiler Resonator mit zylindrischen
Spiegeln beschrieben mit welchem eine Divergenzanpassung
erfolgen kann. Die Kohärenz wird vergrößert und die Divergenz
verringert.

15

Die bekannten Vorrichtungen vermögen es nicht, die
auftretenden Speckle in der Bearbeitungsebene zu reduzieren,
ohne dabei Energieverluste, Pulsdaueränderungen oder
Pulsformänderungen hinnehmen zu müssen.

20

Aufgabe der Erfindung ist es den Speckle-Effekt in der
Bearbeitungsebene zu Reduzieren und ein glattes Strahlprofil
bereitzustellen.

25

Die vorliegende Erfindung löst diese Aufgabe durch die
erfindungsgemäße Vorrichtung sowie dem Verfahren gemäß den
unabhängigen Ansprüchen. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen
der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen gegeben.

30

Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird
eine Vorrichtung zur Verbesserung der Laserstrahlqualität für
Laseranwendungen bereitgestellt, umfassend einen Laser (1)
mit einem asymmetrischem Strahlprofil und einer ersten,
kurzen Strahlachse (20) und einer zweiten, langen Strahlachse
35 (30) und einer Strahlausbreitungsachse (35) und einem
Resonator (60), wobei der Laser (1) mindestens ein optisches
Element (10) und einen Resonatorspiegel (11) mit

zylindrischer Spiegelfläche (13), zur Reduzierung der räumlichen Kohärenz und/oder Vergrößerung der Divergenz, insbesondere in der kurzen, d.h. in der Regel kohärenten Strahlachse umfasst.

5

Als Laser bezeichnet man bevorzugt Quellen, welche kohärente, kaum divergente Elektromagnetische Strahlung aussenden.

Erfindungsgemäß werden bevorzugt Gaslaser, besonders
10 bevorzugt Entladungslaser jeglicher Art verwendet. Als Gaslaser wird am meisten bevorzugt der Excimerlaser eingesetzt.

Laseranwendungen sind bevorzugt abtragende oder belichtende
15 Laseranwendung. Darunter versteht man bevorzugt Anwendungen, welche bevorzugt durch gepulste Strahlabgabe mit Material in einer Bearbeitungsebene wechselwirken, besonders bevorzugt Material abtragen. Bevorzugt geschieht dies in einem Punkt (Spot). Bevorzugt werden neben punktförmig fokussierten
20 Strahlen (Spots) auch großflächige, homogenisierte Strahlen in der Bearbeitungsebene verstanden. Das entstandene Profil in der Bearbeitungsebene nennt man Abtragsprofil.

Ein Abtragsprofil kann bevorzugt durch die bekannten
25 Verfahren des Spotscannings besonders bevorzugt durch Verfahren mit variablen Blenden, am meisten bevorzugt auch durch Maskenbelichtungsverfahren erzeugt werden.

Als Entfernen von Material bezeichnet man bevorzugt das
30 Verdampfen oder Ablatieren von Material in diesem Punkt bzw. Spot. Durch das örtliche nebeneinander setzen von bevorzugt punktuellen Eingriffen, wird bevorzugt eine bearbeitete Fläche geschaffen. Bevorzugt bildet sich das Querschnittsprofil des Spots am Eingriffspunkt aus. Bevorzugt
35 wird erfindungsgemäß ein gaußförmiges, glattes Querschnittsprofil des Spots. Es können auch plateauförmige Querschnittsprofile des Spots, je nach Anwendung, bevorzugt

werden. Laser-Lithografie, besonders bevorzugt die Laser-Mikrobearbeitung, am meisten bevorzugt die refraktive Chirurgie oder eine andere Laserbehandlungsart sind Beispiele für abtragende Laseranwendungen.

5

Die Laserstrahlqualität wird bei dieser Erfindung im Laserspot definiert. Der Laserspot ist der Punkt, an dem der gebündelte Laserstrahl auf die Bearbeitungsebene trifft und seine Wirkung entfaltet, d.h. Material abträgt. Als
10 Bearbeitungsebene wird die Ebene verstanden, in welcher der Laserstrahl im Rahmen der Laseranwendung in Wechselwirkung mit Materie tritt. Ist im Profilschnitt durch den Spot das Profil des Laserstrahls, gleich dem Profil des theoretisch gewünschten Strahls, ist die Laserstrahlqualität gut.
15 Erfindungsgemäß wird ein gaußförmiger Profilschnitt im Spot bevorzugt. Auch Top-Hat oder Andere Verteilungen werden bevorzugt verwendet.

Als lange Strahlachse wird bevorzugt die Richtung von
20 Elektrode zu Elektrode bezeichnet. Entlang dieser Achse verläuft bevorzugt die Entladung bei entladungsgepumpten Gaslasern. Das Strahlprofil in dieser Richtung ist bevorzugt top-hat-förmig. Die Anzahl an Transversalmoden in dieser Richtung ist groß, abhängig vom Elektrodenabstand. Die
25 Kohärenzlänge ist entsprechend gering und meist unkritisch in Bezug auf die Interferenzwirkung an mikrooptischen Elementen (z.B. Beamshapern). Die Divergenz ist entsprechend groß.

Die kurze Strahlachse steht im rechten Winkel auf der langen
30 Strahlachse. Entsprechend der Ausbreitung der Entladung, bei entladungsgepumpten Lasern, ist das Strahlprofil in dieser Richtung bevorzugt gaußförmig. Die Anregung konzentriert sich entsprechend der Gausverteilung der Entladungsanregung auf das Zentrum der Entladung. Die Ausbildung von
35 Transversalmoden in dieser Richtung ist entsprechend eingeschränkt und deren Anzahl geringer. Daraus resultiert eine größere Kohärenzlänge in dieser Richtung, welche sich

kritisch auf die Interferenzwirkung bei Verwendung von mikrooptischen Elementen auswirkt. Die Divergenz ist entsprechend geringer in dieser Richtung.

5 Kurze und lange Strahlachse bilden sich bevorzugt in ihren Eigenschaften in Zusammenwirkung mit mikrooptischen Bauelementen in die Bearbeitungsebene ab. Die Interferenzwirkung und damit Speckle-Bildung tritt vorzugsweise in der kritischen kurzen Strahlachse zu Tage.
10 Die kurze Strahlachse ist damit beim Vergleich mit der langen Strahlachse in der Regel die kohärentere Strahlachse.

Kurze und lange Strahlachse werden außerdem bevorzugt zur Orientierung auf der Bearbeitungsebene verwendet. Besonders
15 bevorzugt spannen sie als Koordinatenachsen die Bearbeitungsebene auf. Als Bearbeitungsebene wird beispielsweise auch die konvex gewölbte Cornea bezeichnet.

Die Strahlausbreitungsachse ist bevorzugt die Achse, entlang
20 der sich der Laserstrahl ausbreitet. Die Strahlausbreitungsachse steht bevorzugt senkrecht auf der kurzen und langen Strahlachse.

Der Resonator des Lasers ist ein optischer Resonator, welcher
25 dazu dient, emittiertes Licht möglichst oft hin und her zu reflektieren. Aufgrund von Interferenz bildet sich im Resonator dann eine stehende Welle, wenn die optische Weglänge des Resonators ein Vielfaches der Wellenlänge des eingestrahnten Lichts beträgt. Erfindungsgemäß werden
30 bevorzugt stabile Resonatoren verwendet.

Besonders bevorzugt finden in dieser Erfindung Laser mit asymmetrischem Strahlprofil Anwendung. Das Strahlprofil bildet sich bevorzugt abhängig von den Materialeigenschaften
35 des bearbeiteten Materials auch im Abtragsprofil ab. Entsprechend der Definition von langer und kurzer Strahlachse ist das Strahlprofil als asymmetrisch anzusehen, wenn die

Strahlform (Energie- Leistungsverteilung über die Fläche) in beide Richtungen unterschiedlich ist. Daraus resultieren bevorzugt unterschiedliche Eigenschaften des Strahls, wie Kohärenz und Divergenz, entlang dieser Strahlrichtungen. Ein Strahlprofil ist asymmetrisch, wenn Strahlform, Kohärenz und die daraus resultierende Divergenz sich bevorzugt in den Strahlachsen der Bearbeitungsebenen unterscheiden.

Ein optisches Element ist bevorzugt ein Element, welches mindestens einen elektromagnetischen Strahl spiegelt, besonders bevorzugt bricht, am meisten bevorzugt Phase oder Amplitude des Strahls beeinflusst.

Unter Abbildungsoptik wird bevorzugt eine Optik verstanden, mit welcher der Strahl, bevorzugt im Zuge einer Strahlformung, auf die Bearbeitungsebene abgebildet wird um bevorzugt eine vorbestimmte Form und Größe der Intensitätsverteilung zu erhalten.

Unter räumlicher Kohärenz versteht man die Fähigkeit einer Lichtquelle, an zwei verschiedenen Orten, aber zum jeweils selben Zeitpunkt stationäre Interferenzerscheinungen hervorzurufen. Es ist die Aussage der Korrelation der Phase des Signals an räumlich getrennten Punkten zur gleichen Zeit.

Unter zeitlicher Kohärenz versteht man die Fähigkeit einer Lichtquelle, an einem festen Ort mit Licht, das zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten die Lichtquelle verlassen hat, noch stationäre Interferenzerscheinungen hervorzurufen. Es ist die Aussage der Korrelation der Phase des Signals zu verschiedenen Zeitpunkten am gleichen Ort.

Als Divergenz bezeichnet man die Eigenschaft eines Strahlenbündels, welches von ein einem Zentrum, senkrecht zur Ausbreitungsrichtung, auseinander läuft. Als Divergenzwinkel wird der Winkel bezeichnet, der durch das Geradenpaar

gebildet wird, das asymptotisch die Einhüllende der zunehmenden Strahlabmessung darstellt.

Als Resonatorspiegel wird bevorzugt einer der beiden
5 äußersten Spiegel in einem Resonator bezeichnet, welche das aktive Medium (Verstärkungsmedium) mit zueinander gerichteten Spiegelflächen umschließen. Dieser Resonatorspiegel ist bevorzugt ein HR-Spiegel auf der Nichtauskopplungsseite, besonders bevorzugt ein OC-Spiegel auf der Auskopplungsseite
10 des Resonators. Der hoch reflektierende Spiegel hat bevorzugt einen möglichst hohen Reflexionsgrad.

Bevorzugt stehen sich die Resonatorspiegel mit den Spiegelflächen parallel gegenüber. Dabei weist die Erfindung
15 in verschiedenen Ausführungsformen bevorzugt folgende Konfigurationen auf (dabei wird die Form des Resonatorspiegels auf der Auskopplungsseite zuerst genannt und dann die Form des Resonatorspiegels auf der nicht Auskopplungsseite): konkav-plan, plan-konkav, konkav-konkav.
20

Die Spiegelfläche des konkaven Resonatorspiegels ist dabei bevorzugt zylindrisch. Die konkave Spiegelfläche ist bevorzugt ein Segment eines Zylinders. Der Krümmungsradius der zylindrischen Innenfläche ist bevorzugt 1 mm bis 1000 m,
25 besonders bevorzugt 50mm bis 200m, am meisten bevorzugt 1m bis 10m. Bevorzugt ist der bestmögliche angepasste Krümmungsradius abhängig von der Resonatorlänge, der Kohärenz und der Größe der Einzelelemente eines mikrooptischen Bauelements.
30

Optische Elemente sind außerdem bevorzugt beugende Elemente wie Gitter oder brechend wirkende Elemente wie Linsen, welche die räumliche Kohärenz beeinflussen können. Besonders bevorzugt können Stufenstrukturen die Strahlen zeitlich
35 zueinander verschieben und so die zeitliche Kohärenz verringern. Damit kann bevorzugt die Interferenzwirkung an mikrooptischen Elementen verringert werden.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform, ist die zylindrische Spiegelfläche (13) des konkaven Resonatorspiegels (11) so angeordnet, dass die gekrümmte Achse des Spiegels senkrecht zur langen Strahlachse (30) und/oder senkrecht zur Strahlausbreitungsachse (35) des Lasers (1) liegt.

Als gekrümmte Achse des Spiegels wird die Mittelpunktsachse des imaginären Zylinders bezeichnet.

Durch die bevorzugte Anordnung dieser Krümmungsrichtung senkrecht zur langen Strahlachse, d.h. entlang der kurzen, in der Regel kohärenteren Strahlachse und senkrecht zur Strahlausbreitungsachse wird die Kohärenz der kohärenten, kurzen Achse verringert und die Divergenz in dieser Richtung vergrößert. Die Energieausbeute bleibt gleich, da trotz Fokussierung durch die gaußförmige Anregungsverteilung in der kurzen Achse genügend Emission entsteht. Aus dem gleichen Grund bleibt auch die Pulsdauer und Form erhalten.

Bei einem bevorzugt stabilen Resonator nimmt bevorzugt mit zunehmender Krümmung des konkaven Spiegels die Divergenz des Strahls außerhalb des Resonators zu. Das ist besonders bevorzugt bei zylinderförmigen Spiegeln in Krümmungsrichtung der Fall. Die Zunahme der Divergenz ist gleich bedeutend mit einer Verringerung der räumlichen Kohärenz.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist der Laser (1) ein Excimerlaser.

Der Excimerlaser ist ein ultravioletter Gaslaser, dessen Resonator mit Gas gefüllt ist. Bevorzugt kommt der Excimerlaser erfindungsgemäß zum Einsatz, da er ein asymmetrisches Strahlprofil bereitstellt. Die verwendeten Gase im Resonator sind bevorzugt Fe₂ oder Xe oder ArF oder

KrF oder XeBr oder XeCl oder XeF. Bevorzugt stellt der Excimerlaser hohe UV Pulsenergien zur Verfügung.

5 In einer bevorzugten Ausführungsform ist das optische Element (10) ein Homogenisator (42) und/oder ein Integrator und/oder ein Beamshaper.

10 Ein Homogenisator (Beam Homogenisator) ist bevorzugt ein optisches Element, das eine einfallende Intensitätsverteilung in eine veränderte gleichmäßige Intensitätsverteilung überführt.

15 Ein Strahlformer (Beam Shaper, Beam Integrator) ist bevorzugt ein Homogenisierer, womit eine einfallende Intensitätsverteilung in eine Intensitätsverteilung mit lateral vorbestimmter Form überführt wird.

20 In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist das optische Element (10) eine Abbildungsoptik (44).

Eine Abbildungsoptik ist bevorzugt mindestens eine optische Linse, besonders bevorzugt parallel in Reihe stehende Linsen, welche den Laserstrahl in einem Punkt abbilden.

25 Die Erfindung kann bevorzugt mit einem mikrooptischen Element, besonders bevorzugt auch mit einer vergrößernd oder verkleinernd wirkenden Abbildungsoptik verwendet werden. Am meisten bevorzugt wird ein refraktiv wirksamer Beamshaper und ein Teleskop zur verkleinernden Abbildung eingesetzt.

30 In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist das optische Element (10) ein mikrooptisches Element (40).

35 Ein mikrooptisches Element ist ein Element, welches bevorzugt außerhalb des Laserapparates liegt, besonders bevorzugt hinter der Austrittsöffnung des Lasers, besonders bevorzugt in der Achse des Laserstrahls. Auf die Eigenschaften des

mikrooptischen Elements ist bevorzugt der austretende Laserstrahl ausgerichtet. Bevorzugt vermindert die Einstellung des Laserstrahls den Speckle-Effekt, welcher ohne Anpassung des Laserstrahls an das mikrooptische Element auftreten würde. Durch die Anpassung des Laserstrahls an die optischen Eigenschaften der mikrooptischen Elemente, wird bevorzugt die räumliche Kohärenz verkleinert und die Divergenz eines bevorzugten Excimerlaserstrahls in der kurzen Strahlrichtung bei gleich bleibenden Pulseigenschaften (Pulsenergie, Pulsdauer, Pulsform) vergrößert. Dadurch wird bevorzugt der störende Speckle-Effekt in der Bearbeitungsebene vermindert.

Mikrooptische Elemente sind bevorzugt optische Elemente, deren geometrische Dimensionen nur wenige Größenordnungen über der Wellenlänge des sie durchstrahlenden Lichts liegen. Aufgrund dieser Größenverhältnisse tritt die Wellencharakteristik des Lichtes stark in den Vordergrund.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist mindestens ein mikrooptisches Element 40 ein Beamshaper 41 oder ein Beamhomogenisator 42 oder ein Beamintegrator 43 oder eine Abbildungsoptik 44.

Bevorzugt ist das mikrooptische Element ein Beamshaper, um bevorzugt die Strahlenverteilung zu formen. Dadurch ist bevorzugt das Einstellen von abtragenden Laserstrahlen möglich.

Das mikrooptische Element ist bevorzugt ein Beamhomogenisator, mit welchem Unregelmäßigkeiten im Laserstrahlprofil ausgeglichen werden und bevorzugt ein gleichmäßiger Strahl gebildet wird.

Bevorzugt ist das mikrooptische Element ein Beamintegrator, um bevorzugt relativ flache Intensitätsprofile des Laserstrahls zu erzeugen.

Mikrooptische Bauelement (beispielsweise Beamshaper oder -homogenisator oder -integrator) haben bevorzugt folgende Spezifikationen.

5

Das mikrooptische Bauelement ist bevorzugt ein refraktiv wirksames mikrooptisches Element. Die Mikrolinsen haben einen bevorzugten Durchmesser von $0,1\mu\text{m}$ bis 2mm , besonders bevorzugt einen Durchmesser von $1\mu\text{m}$ bis 1mm und am meisten
10 bevorzugt einen Durchmesser im Bereich von $10\mu\text{m}$ bis $600\mu\text{m}$.

Das mikrooptische Bauelement ist weiterhin bevorzugt ein diffraktiv wirksames mikrooptisches Element mit einem Gitterabstand von $0,1\mu\text{m}$ bis 1mm besonders bevorzugt $1\mu\text{m}$ bis
15 $500\mu\text{m}$ und am meisten bevorzugt in einem Bereich von $2\mu\text{m}$ bis $200\mu\text{m}$.

Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 5, wobei der Resonator (60) ein anamorph stabiler Resonator ist.

20

Bevorzugt ist der Resonator ein anamorph stabiler Resonator. Ein „anamorph stabiler Resonator“ ist ein stabiler Resonator mit strahlachsenunterschiedlicher Wirkung in Bezug auf Kohärenz und Divergenz. D.h. achsenabhängige Optimierung der
25 Kohärenz und damit Reduzierung der Speckle in der kritischen, kurzen Strahlachse.

Die Aufgabe der Erfindung wird weiterhin durch ein Verfahren zum Bereitstellen eines glatten Strahlprofils gelöst, d.h.
30 durch Verminderung der Speckle in der Bearbeitungsebene, wobei ein Laserstrahl mit asymmetrischem Strahlprofil umfassend eine erste, kurze Strahlachse (20) und eine zweite, lange Strahlachse (30) bereitgestellt wird und die räumliche Kohärenz vermindert wird und/oder die Divergenz der kurzen
35 Strahlachse des Laserstrahls vergrößert wird.

Bevorzugt werden Laserstrahlen, durch dieses Verfahren so optimiert, dass sie ein glattes Strahlprofil ausbilden. Dadurch wird bevorzugt bei der refraktiven Chirurgie ein präzises Materialabtragen ermöglicht.

5

Ein glattes Strahlprofil weist bevorzugt keine „Ausreißer“ im Profilschnitt des Laserspots auf, sondern bevorzugt eine geringe Abweichung in Form und Rauigkeit bezogen auf das gewünschte Strahlprofil auf. Besonders bevorzugt ist der Profilschnitt möglichst gaußförmig. Bevorzugt werden auch Profilverformen, wie beispielsweise Top-Hat verwendet.

Besonders bevorzugt finden glatte Strahlprofile in der refraktiven Corneachirurgie Anwendung. Bevorzugt werden in der Lithographie oder Mikromaterialbearbeitung glatte Stahlprofile verwendet.

Bevorzugt kommen bei dieser Erfindung Laser zum Einsatz, welche bevorzugt durch zwei gegenüberliegende Elektroden gepumpt werden und/oder ein asymmetrisches Strahlprofil ausbilden.

Es bildet sich bevorzugt auf der kurzen Strahlachse des Lasers eine größere Kohärenz und kleinere Divergenz aus als auf der langen Strahlachse.

Die lange Strahlachse ist die Strecke von Elektrode zu Elektrode, die kurze Strahlachse steht im rechten Winkel auf der langen Strahlachse.

30

Die Verkleinerung der räumliche Kohärenz und/oder Vergrößerung der Divergenz der kurzen Strahlachse des Laserstrahls wird bevorzugt durch einen konkaven zylinderförmigen Resonatorspiegel erzeugt. Dadurch werden bevorzugt die Laserstrahlen der kurzen Strahlachse kollimiert. Durch die bevorzugte gaußförmige Anregungsverteilung in dieser Achse entsteht genügend

35

Emission und nur eine geringfügige Verminderung der Energieausbeute.

Die Verringerung der räumlichen Kohärenz und/oder
5 Vergrößerung der Divergenz entsteht durch die Vergrößerung der Anzahl an Transversalmoden aufgrund der veränderten Resonatoranordnung.

In der Bearbeitungsebene treffen die fokussierten
10 Laserstrahlen bevorzugt auf einen Punkt. Dieser Punkt wird als Spot bezeichnet. Der Spot ist der Eingriffsort beispielsweise bei einer Operation. Hier wird bevorzugt Material abgetragen.

15 In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist ein Verfahren vorgesehen, wobei die Laserstrahlen mit einer Abbildungsoptik (44) auf einer Bearbeitungsebene (45) abgebildet wird, eine Prüfung des vorhandenen Speckle-Musters erfolgt, eine Anpassung der Krümmungsradien der
20 Resonatorspiegel (11) erfolgt, die räumliche Kohärenz und/oder Vergrößerung der Divergenz der kurzen Strahlenachse (20) des Laserstrahls wird des weiteren vermindert, eine erneute Prüfung des Specklemusters wird durchgeführt.

25 Unter Abbildungsoptik wird bevorzugt eine Optik verstanden, mit welcher der Strahl, bevorzugt im Zuge einer Strahlformung, auf die Bearbeitungsebene abgebildet wird um bevorzugt eine vorbestimmte Form und Größe der Intensitätsverteilung zu erhalten.

30

Auf der Bearbeitungsebene wird der Strahl bevorzugt im Fokus abgebildet. Die Testoberfläche ist eine Fläche, die es ermöglicht das Strahlprofil zu untersuchen. Bevorzugt kann aus dem erzeugten Spot auf der Testoberfläche ein
35 Profilschnitt durch den Spot bevorzugt visuell darstellen, besonders bevorzugt berechnen. Bevorzugt ist in der Bearbeitungsebene ein Strahlbeobachtungssystem positioniert.

Die Prüfung des auftreffenden Laserstrahls in der Bearbeitungsebene und damit die Analyse des Specklemusters kann bevorzugt mit bekannten Methoden und Systemen
5 automatisch bewerkstelligt werden.

Bevorzugt wird die Methode des Moving Slit verwendet. Dabei wird eine Schlitzblende mit möglichst kleiner Schlitzbreite (in Bezug auf die Strahlgröße) in der Bearbeitungsebene durch
10 den Laserstrahl Schritt für Schritt hindurchbewegt, und die Energie nach der Blende mit einem Energiedetektor gemessen. Die Blendenpositionierung kann bevorzugt über automatische Verschiebetische mit Schrittmotor gewährleistet werden. Die Energie wird so in kleine ortsabhängige Teile aufgespaltet,
15 und man erhält die räumliche Fluence-Verteilung des Laserstrahls, das Strahlprofil, sowie das Specklemuster. Das Strahlprofil mit erkennbarem Specklemuster wird bevorzugt in digitaler Form gespeichert.

20 Besonders bevorzugt wird die Methode der Strahlprüfung und/oder der Specklemusterprüfung mittels Strahlkamera verwendet. Bei dieser Methode wird bevorzugt der Strahl z.B. über einen Strahlteiler in geeigneter Weise Richtung Strahlkamera ausgekoppelt. Je nach Laserwellenlänge ist es
25 unter Umständen nötig eine Frequenzwandlung vorzunehmen um den Strahl für den Kamerachip sichtbar zu machen. Bevorzugt für einen 193nm Laserstrahl wird dafür eine Fluoreszenzscheibe verwendet. Die Abbildung des Laserstrahls muss dabei in der Bearbeitungsebene liegen. Das
30 Fluoreszenzlicht wird durch ein Objektiv auf den Kamerachip (meist CCD oder CMOS) abgebildet und kann digital gespeichert werden.

Die digitalisierten Strahlprofile und/oder Specklemuster
35 beider bevorzugten Messmethoden werden bevorzugt mathematisch analysiert. In dem Strahlprofil wird bevorzugt die Rauigkeit als Differenz einer Fitfunktion mit den Messdaten ermittelt.

Die Rauigkeit ist dann bevorzugt ein Maß für die Stärke der Specklewirkung und kann bevorzugt im erfindungsgemäßen Verfahren iterativ vermindert werden.

5 Bevorzugt wird damit der Strahl auf Speckle visuell untersucht. Durch das Strahlbeobachtungssystem, kann bevorzugt auch die Überprüfung anderer Laserparameter wie Energie, Pulsdauer, Pulsform überwacht werden. Damit wird bevorzugt sichergestellt, dass bei nur minimaler
10 Beeinflussung der weiteren Laserparameter die Specklewirkung minimiert wird.

Das Strahlprofil bietet bevorzugt die Möglichkeit, das eventuelle Speckle-Muster des Strahls darzustellen. Ist das
15 Strahlprofil, bzw. das Spotprofil nicht glatt, wird ein Speckle-Muster ausgebildet.

Durch Anpassung der Resonatorelemente, bevorzugt durch Änderung des Krümmungsradius eines oder beider
20 Resonatorspiegel, ist es möglich, die räumliche Kohärenz und/oder die Vergrößerung der Divergenz der kurzen Strahlachse des Laserstrahls zu beeinflussen. Dies wird bevorzugt iterativ so lange durchgeführt, bis die Speckle nicht mehr auftreten. Dadurch wird bevorzugt der Strahl, bzw.
25 das Spotprofil optimiert.

Über eine weitere Prüfung, identisch mit der obig beschriebenen ersten Prüfung wird die Strahlqualität erneut geprüft.

30

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist ein Verfahren vorgesehen, welches den Laserstrahl mit 193 nm Wellenlänge auf die Cornea abbildet, den Laserstrahl mit einer Pulsdauer von 4 bis 15ns über die Cornea scannt,
35 refraktionsverbesserte Profile mit verminderter Rauigkeit und optimierter Formtreue abträgt und mit einer Energie im Bereich 0,5 mJ bis 1,5 mJ abträgt.

Bei diesem Verfahren werden bevorzugt Laser mit einer Wellenlänge von 193nm eingesetzt, welche die Cornea des Auges abfahren.

5

Bevorzugt wird zum Scannen der Cornea ein Spotscanningverfahren eingesetzt, wobei der bevorzugt verwendete Laserstrahl in der Bearbeitungsebene (Cornea) verkleinert abgebildet. Die verkleinerte Strahlabbildung wird
10 bevorzugt als Spot bezeichnet. Bevorzugt werden mittels lateral strahlauslenkenden Optiken (bevorzugt Galvoscaner) der Laserstrahl mit einer bevorzugten Pulsdauer von 4 bis 15ns über die Cornea bewegt.

15 Bei diesem bevorzugten Verfahren ist der Spot bevorzugt der Ort, an dem der Laserstrahl mit der Materie (dem Corneagewebe) wechselwirkt. Beim bevorzugten Überschreiten einer minimalen Energieflächendichte (Schwellfluence) kommt es zur Ablation von Gewebe. Der Energiebereich ist dabei
20 bevorzugt 0,5 mJ – 1,5 mJ.

Als Ablation wird bevorzugt als nichtthermische Molekülzerlegung bezeichnet, bei der das Material abgetragen wird. Durch die Verteilung vieler derartiger Spots über die
25 Cornea kann diese durch Abtrag eine Änderung der Krümmungsform und damit eine Änderung der Refraktion erfahren.

Bei einem zweiten Verfahren der Abbildung wird bevorzugt über Blenden und variable Blenden die Strahlgröße während der
30 Behandlung variiert um einen Abtrag zu erhalten, der die refraktiven Eigenschaften der Cornea verändert.

Diese Verfahren werden bevorzugt zur Behandlung von refraktiven Fehlsichtigkeiten wie Myopie, Hyperopie,
35 Astigmatismus und deren Mischformen, sowie zur patientenangepassten Behandlung höherer Aberrationen verwendet.

Das erfindungsgemäße Verfahren führt bevorzugt bei der Anwendung in der refraktiven Corneachirurgie zu glatteren, formgetreueren Abtragsprofilen. Eine verbesserte Glattheit
5 kann die Entstehung von Haze (Eintrübungen) infolge der Chirurgie verringern. Durch die verbesserte Strahlform kann der Abtrag besser vorhergesagt werden, was die Erzeugung einer Zielrefraktion stabilisiert.

10 In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird die Erfindung in einem Verfahren zur Mikromaterialbearbeitung verwendet. Unter dieses Verfahren zählen besonders bevorzugt Anwendungen wie Patterning, Schneiden, Bohren und
Strukturierung. In dieser Ausführungsform werden bevorzugt
15 Materialien wie Keramik, Glas und Polymere bearbeitet. Dabei tritt der Laserstrahl in der Bearbeitungsebene (Spot) mit diesen Materialien in Wechselwirkung. Überschreitet der Laser eine minimale Energieflächendichte in der Bearbeitungsebene kommt es zur nichtthermischen Abtragung (Ablation) der
20 Materialien. Bevorzugt werden mit diesen Verfahren Tintenstrahlköpfe, Masken und Faserstrukturen erzeugt. Durch das erfindungsgemäße Verfahren kann die Rauigkeit maßgeblich verringert und die Formtreue der erzeugten Strukturen verbessert werden.

25 In der Figurenbeschreibung werden weitere bevorzugte Ausführungsformen dargestellt. Die Figuren zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Lasers;

30 Fig. 2a, 2b einen Laserspot mit Profilschnitt ohne erfindungsgemäße Vorrichtung; und

Fig. 3a, 3b einen Laserspot mit Profilschnitt mit
35 erfindungsgemäßer Vorrichtung.

Fig. 4a, 4b, 4c Dreidimensionale Ansichten von
Ausführungsformen des Erfindungsgemäßen
Resonators.

5 Fig. 5a, 5b Zweidimensionale Ansichten von Ausführungsform
4a des Erfindungsgemäßen Resonators.

Fig. 6a, 6b eine schematische Darstellung des Pulsverlaufs
mit gekrümmten Resonatorspiegel.

10

In **Figur 1** wird eine schematische Darstellung eines Lasers
gezeigt. Der Excimerlaser 1.1 umfasst einen Resonator 60,
gefüllt mit Excimergas. Im Resonator stehen sich zwei
parallele Resonatorspiegel 11.1 und 11.2 gegenüber, wobei der
15 Resonatorspiegel 11.2 auf der Auskopplungsseite und
Resonatorspiegel 11.1 auf der Nichtauskopplungsseite liegt.
Resonatorspiegel 11.2 ist ein planer Resonatorspiegel.
Resonatorspiegel 11.1 ist ein konkaver hoch reflektierender
Spiegel 12 mit einer zylindrischen Spiegelfläche 13. Seitlich
20 des Resonators 60 liegen die Elektroden 70.1 und 70.2. 70.1
und 70.2 sind so angeordnet, dass sie sich parallel
gegenüberliegen und senkrecht zur Krümmungsrichtung des
Zylinderspiegels stehen. Außerhalb des Lasers 1 liegt das
mikrooptische Element 41 in Strahlrichtung vor der
25 Abbildungsoptik 44, vor der Bearbeitungsebene 45. 41,44 und
45 sind so angeordnet, dass der austretende Laserstrahl auf
die Bearbeitungsebene 45 in gewünschter Weise abgebildet
wird.

30 Für die Mikromaterialbearbeitung und die Corneachirurgie
gelten unterschiedliche physikalische Größen bezogen auf den
Laserstrahl.

In der refraktiven Corneachirurgie werden Ausgangsenergien an
35 der Laserquelle von nicht größer 500mJ, besonders bevorzugt
100mJ und ganz besonders bevorzugt kleiner 20mJ, und
Bearbeitungsenergien (in der Bearbeitungsebene) von bevorzugt

10 μJ bis 15mJ, besonders bevorzugt von 0,1mJ bis 5mJ und ganz
besonders bevorzugt von 0,5mJ bis 1,5mJ verwendet. Es wird
eine Wellenlänge im UV Bereich verwendet, bevorzugt 150nm bis
250nm, besonders bevorzugt 180nm bis 200nm. Es wird besonders
5 bevorzugt ArF als Excimergas verwendet. Es wird eine
Pulsdauer im Bereich von bevorzugt kleiner $2\mu\text{s}$, besonders
bevorzugt 0,1ns bis 50ns, ganz besonders bevorzugt im Bereich
von 3ns bis 8ns verwendet. Es wird bevorzugt eine gaußförmige
Strahlform verwendet um den Abtrag aus zusammengesetzten
10 Spots glatter zu gestalten. Es wird bevorzugt eine
Strahlgröße verwendet im FWHM (Full Width at Half Maximum)
Bereich von kleiner 5mm, besonders bevorzugt im Bereich von
 $10\mu\text{m}$ bis 2,5mm, ganz besonders bevorzugt von 0,5 bis 1,5mm.
Es wird eine Pulsrepetitionsrate im Bereich von bevorzugt 1Hz
15 bis 5kHz, besonders bevorzugt von 5Hz bis 1kHz, ganz
besonders bevorzugt von 10Hz bis 500Hz verwendet.

In der Mikromaterialbearbeitung wird eine Pulsrepetitionsrate
im Bereich von 1Hz bis 100kHz besonders bevorzugt im Bereich
20 von 500Hz bis 5kHz, ganz besonders bevorzugt im Bereich von
1kHz bis 4kHz. Es wird eine Wellenlänge im UV Bereich
verwendet, bevorzugt 150nm bis 250nm, besonders bevorzugt
180nm bis 200nm. Und Ganz besonders bevorzugt im Bereich von
240nm bis 260nm. Das Excimer Lasergas ist bevorzugt ArF und
25 besonders bevorzugt KrF. Es wird eine Pulsdauer im Bereich
von bevorzugt kleiner $2\mu\text{s}$, besonders bevorzugt 0,1ns bis
50ns, ganz besonders bevorzugt im Bereich von 5ns bis 25ns
verwendet. Es werden Energien von $0.1\text{mJ}/\text{cm}_2$ bis $10\text{J}/\text{cm}_2$,
besonders bevorzugt $0,1\text{J}/\text{cm}_2$ bis $5\text{J}/\text{cm}_2$ verwendet.

30

Die Zündspannung für die Gasentladung wird von den Elektroden
70.1 und 70.2 erzeugt. Durch die Gasentladung, provoziert von
den beiden gegenüberliegenden Elektroden 70.1 und 70.2, kommt
es zu einer Entwicklung eines asymmetrischen Strahlprofils.
35 Die kurze Strahlachse 20 des Lasers 1 weist eine größere
Kohärenz und eine kleinere Divergenz als die lange
Strahlenachse 30 auf.

Die Laserstrahlen entstehen im zylindrisch konkaven Resonator 60. Die Krümmungsrichtung des Resonatorspiegels 12 liegt entlang der kurzen Strahlachse 20 des Lasers 1. Damit wird die Kohärenz der kohärenten kurzen Achse 20 verringert und die Divergenz in dieser Richtung vergrößert. Die Energieausbeute und Pulsdauer/ -form bleiben gleich, da trotz Fokussierung durch die gaußförmige Anregungsverteilung in der kurzen Achse genügend Emission entsteht.

10

Der so veränderte Laserstrahl tritt nun durch den OC-Spiegel 11.2 aus und trifft zuerst auf das mikrooptische Element 41, dann auf die Abbildungsoptik 44 und dann auf die Bearbeitungsebene 45. Das mikrooptische Element hat die Aufgabe den Strahl in der Bearbeitungsebene zu homogenisieren und/oder die gewünschte Strahlform bereitzustellen. Die Abbildungsoptik hat die Aufgabe den Strahl in der Bearbeitungsebene auf die gewünschte Größe zu skalieren.

15

In **Figur 2a** wird ein Laserspot 2 eines Laserstrahlbündels auf einer Bearbeitungsebene 45 gemäß des Standes der Technik gezeigt. Zu sehen ist ein Spot 2 mit einem nicht homogenen Rand. D.h. in dem fokussierten Laserstrahlbündel treten Interferenzen auf, welche zu einem Speckle-Effekt im Spot 2 führen. Diese Struktur würde beim Abtragen auf dem bearbeiteten Material abgebildet werden.

20

25

In **Figur 2b** wird ein Profilschnitt 3 des „rauen“ Laserstrahls im Spot 2, aus Figur 2a gezeigt. Der Profilschnitt zeigt deutlich eine inhomogene, nicht gaußförmige Verteilung. Dieser Effekt stellt sich bei Verwendung von Vorrichtungen gemäß des Standes der Technik ein.

30

In **Figur 3a** wird ein Laserspot 2 eines Laserstrahlbündels gemäß einer erfindungsgemäßen Vorrichtung auf einer Bearbeitungsebene 45 gezeigt. Zu sehen ist ein Spot 2 mit einem homogenen Rand. D.h. in dem Laserstrahlbündel ist kein

35

Speckle-Muster zu sehen. In dieser Ausführungsform wurde der Laserstrahl mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung erzeugt und abgebildet.

5 In **Figur 3b** wird das glatte Strahlprofil 3 des Laserstrahls im Spot 2 gezeigt. Der Profilschnitt zeigt deutlich eine weitgehend homogene gaußförmige Verteilung. Dieser Effekt stellt sich durch die Verwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung ein.

10

In **Figur 4a** wird eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Resonators gezeigt. Die Resonatorspiegel 11.1 als hoch reflektierender Spiegel und 11.2 als Auskoppelspiegel liegen sich mit den spiegelnden Flächen zueinander gerichtet
15 gegenüber und schließen das aktive Medium 80 ein. Dabei ist 11.1 ein konkav gewölbter Spiegel 12 mit einer zylindrischen Spiegelfläche 13. 11.2 ist eine ebene Fläche. Die Achse 30 ist die Achse zwischen den Elektroden also die Richtung der Entladung. Die Achse 30 ist die lange Strahlachse. Die Achse
20 20 ist die kurze Strahlachse und steht senkrecht auf 30. Die Achsen 30 und 20 spannen eine Ebene auf, auf der die Achse 35 senkrecht steht. Die Achse 35 ist optische Achse des Strahls.

In Richtung 30 Achse entlädt sich die Entladungsspannung
25 wobei ein top-hat förmiges Anregungs- und Strahlprofil entsteht. Senkrecht zur Entladungsrichtung, d.h. in Richtung Achse 20 entsteht ein Gauß ähnliches Anregungs- und Strahlprofil. In Richtung Achse 35 breitet sich der Laserstrahl aus.

30

In **Figur 4b** wird eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Resonator gezeigt. Die Resonatorspiegel 11.1 als hoch reflektierender Spiegel und 11.2 als Auskoppelspiegel liegen sich mit den spiegelnden Flächen zueinander gerichtet
35 gegenüber und schließen das aktive Medium 80 ein. Dabei ist 11.1 ein Spiegel mit einer ebenen Fläche. 11.2 ist ein gewölbter Spiegel mit einer Zylindrischen Spiegelfläche. Die

Achse 30 ist die Achse zwischen den Elektroden also die Richtung der Entladung. Die Achse 30 ist die lange Strahlachse. Die Achse y ist die kurze Strahlachse und steht senkrecht auf 30. Die Achsen 30 und 20 spannen eine Ebene auf, auf der die Achse 35 senkrecht steht. Die Achse 35 ist optische Achse des Strahls.

In Richtung Achse 30 entlädt sich die Entladungsspannung wobei ein top-hat förmiges Anregungs- und Strahlprofil entsteht. Senkrecht zur Entladungsrichtung, d.h. in Richtung Achse 20 entsteht ein Gauß ähnliches Anregungs- und Strahlprofil. In Richtung Achse 35 breitet sich der Laserstrahl aus.

In **Figur 4c** wird eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Resonator gezeigt. Die Resonatorspiegel 11.1 als hoch reflektierender Spiegel und 11.2 als Auskoppelspiegel liegen sich mit den spiegelnden Flächen zueinander gerichtet gegenüber und schließen das aktive Medium 80 ein. Dabei ist 11.1 ein konkav gewölbter Spiegel 12 mit einer zylindrischen Innenfläche 13. Spiegel 11.2 ist ebenfalls nach außen gewölbt und besitzt eine Spiegelfläche 13. Die Achse 30 ist die Achse zwischen den Elektroden also die Richtung der Entladung. Die Achse 30 ist die lange Strahlachse. Die Achse 20 ist die kurze Strahlachse und steht senkrecht auf 30. Die Achsen 30 und 20 spannen eine Ebene auf, auf der die Achse 35 senkrecht steht. Die Achse 35 ist optische Achse des Strahls.

In Richtung Achse 30 entlädt sich die Entladungsspannung wobei ein top-hat förmiges Anregungs- und Strahlprofil entsteht. Senkrecht zur Entladungsrichtung, d.h. in Richtung Achse 20 entsteht ein Gauß ähnliches Anregungs- und Strahlprofil. In Richtung Achse 35 breitet sich der Laserstrahl aus.

35

In **Figur 5a** wird ein Resonator 60, betrachtet aus Richtung der Achse 20, gezeigt. Des Weiteren zeigt die Figur einen HR

Spiegel 11.1 und einen Auskopplungsspiegel 11.2. Die lange Strahlachse 30 liegt entlang der Entladungsrichtung zwischen den Elektroden. Der konkave Zylinderspiegel ist entsprechend der erfindungsgemäßen Vorrichtung in dieser Richtung nicht
5 gekrümmt.

Die Intensitätsverteilung des Laserstrahls in Richtung Achse 30 ist entsprechend der Entladungsverteilung top-hat-förmig. Achse 35 ist die Ausbreitungsrichtung des Laserstrahls, d.h.
10 die optische Achse.

In **Figur 5b** wird ein Resonator 60, betrachtet aus Richtung der Achse 30, gezeigt. Des Weiteren zeigt die Figur einen HR Spiegel 11.1 und einen Auskopplungsspiegel 11.2. Die kurze
15 Strahlachse 20 liegt senkrecht zur Entladungsrichtung zwischen den Elektroden 70.1 und 70.2. Der konkave Zylinderspiegel 11.1 ist entsprechend der erfindungsgemäßen Vorrichtung in dieser Richtung gekrümmt.

20 Die Intensitätsverteilung des Laserstrahls ist entsprechend der Entladungsverteilung Gauß ähnlich. Achse 35 ist die Ausbreitungsrichtung des Laserstrahls, d.h. die optische Achse.

25 In **Figur 6a** wird eine Darstellung des Pulsverlaufes 100 bei Verwendung eines gekrümmten Resonatorspiegels 11.1 in der langen Strahlachse 30 gezeigt.

Zu sehen sind die möglichen Auswirkungen eines gekrümmten
30 Spiegels auf die top hat förmige Anregungsverteilung in der langen Strahlachse 30. Bei Spiegelkrümmung in dieser Strahlrichtung umfasst der Bereich der Rückkopplung nur einen Teil des angeregten Volumens. Deshalb kann es zu Pulsdauer und Pulsformänderungen im Pulsverlauf 100 kommen.

35

In **Figur 6b** wird eine Darstellung des Pulsverlaufes 100 bei Verwendung eines gekrümmten Resonatorspiegels 11.1 in der kurzen Strahlachse 20 gezeigt.

5 Zu sehen ist, dass die Begrenzung des Bereiches der Rückkopplung durch den gekrümmten Spiegel 11.1 bei der gaußähnlichen Entladungsverteilung weniger Einfluss hat. Da der überwiegende Teil der Besetzungsinversion genutzt wird, wird in diesem Fall keine Veränderung von Pulsdauer und -form
10 des Pulsverlaufes 100 induziert. Dieser Effekt wird in der erfindungsgemäßen Vorrichtung genutzt.

Figuren 6a und b zeigen die Auswirkung von gekrümmten Resonatorspiegeln auf die Strahlachsen. Bei Verwendung von
15 sphärischen Spiegeln würde eine Pulsänderung entsprechend Figur 6a auftreten. Durch den zylinderförmigen, konkaven Spiegel der erfindungsgemäßen Vorrichtung (nur in der kurzen Achse gekrümmt und wirksam) kann eine Pulsdaueränderung vermieden werden.

20

Bezugszeichenliste

1	Lasert
2	Laserspot
3	Profilquerschnitt des Spots
10	Optische Element
11	Resonatorspiegel
11.1	Hoch reflektierender Spiegel
11.2	Auskoppelspiegel
12	Konkaver HR Spiegel
13	Zylindrische Spiegelfläche
20	Erste, kurze Strahlachse
30	Zweite, lange Strahlachse
35	Achse der Ausbreitungsrichtung
40	Mikrooptisches Element
41	Beamshaper
42	Beamhomogenisator
43	Beamintegrator
44	Abbildungsoptik
45	Bearbeitungsebene
60	Resonator
70	Elektrode
80	Aktives Medium
100	Pulsverlauf

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Verbesserung der Laserstrahlqualität für Laseranwendungen, umfassend einen Laser (1) mit einem asymmetrischem Strahlprofil und einer ersten, kurzen Strahlachse (20) und einer zweiten, langen Strahlachse (30) und einer Strahlausbreitungsachse (35) und einem Resonator (60),
dadurch gekennzeichnet, dass
der Laser (1) mindestens ein optisches Element (10) und einen Resonatorspiegel (11) mit zylindrischer Spiegelfläche (13), zur Reduzierung der räumlichen Kohärenz und/oder Vergrößerung der Divergenz in der kurzen Strahlachse (20) umfasst.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die zylindrische Spiegelfläche (13) des konkaven Resonatorspiegels (11) so angeordnet ist, dass die gekrümmte Achse des Spiegels senkrecht zur langen Strahlachse (30) und/oder senkrecht zur Strahlausbreitungsachse (35) des Lasers (1) liegt.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Laser (1) ein Excimerlaser ist.
4. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 3, wobei das optische Element (10) ein Homogenisator (42) und/oder ein Integrator (43) und/oder ein Beamshaper (41) ist.
5. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 3, wobei das optische Element (10) ein mikrooptisches Element (40) ist.
6. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 5, wobei der Resonator (60) ein anamorph stabiler Resonator ist.
7. Verfahren zum Bereitstellen eines glatten Strahlprofils, d.h. Verminderung der Speckle in der Bearbeitungsebene, umfassend die folgenden Schritte:

Bereitstellen eines Laserstrahls mit asymmetrischem Strahlprofil, umfassend eine erste, kurze Strahlachse (20) und eine zweite, lange Strahlachse (30), Verminderung der räumlichen Kohärenz und/oder
5 Vergrößerung der Divergenz der kurzen Strahlachse (20) des Laserstrahls.

8. Verfahren nach Anspruch 7 umfassend die zusätzlichen folgenden Schritte:

10 Abbilden des Laserstrahls mit der Abbildungsoptik (44) auf eine Bearbeitungsebene (45),
Prüfung des vorhandenen Specklemusters,
Anpassung der Krümmungsradien der Resonatorspiegel (11)
Weitere Verminderung der räumlichen Kohärenz und/oder
15 Vergrößerung der Divergenz der kurzen Strahlachse (20) des Laserstrahls,
Erneute Prüfung des Specklemusters.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, umfassend die zusätzlichen folgenden Schritte:

20 Abbilden des Laserstrahls mit 193 nm Wellenlänge auf die Cornea,
Scannen des Laserstrahls mit einer Pulsdauer von 4 ns bis 15 ns über die Cornea,
25 Abtragen von refraktionsverbessernden Profilen mit verminderter Rauigkeit und optimierter Formtreue,
Abtragen mit einer Energie im Bereich 0,5 mJ bis 1,5 mJ.

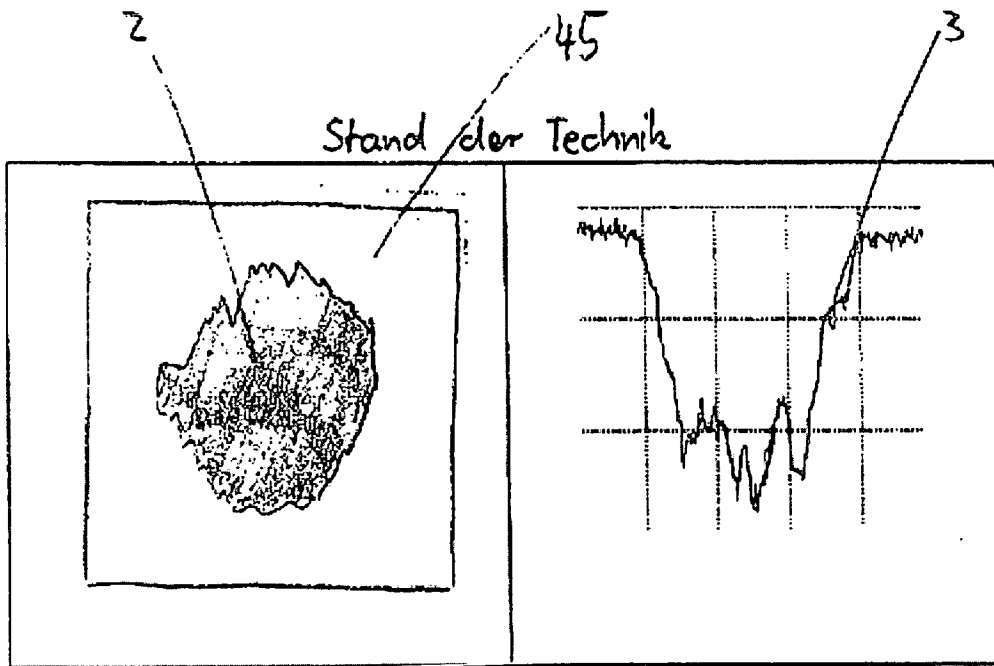


Fig. 2a

Fig. 2b

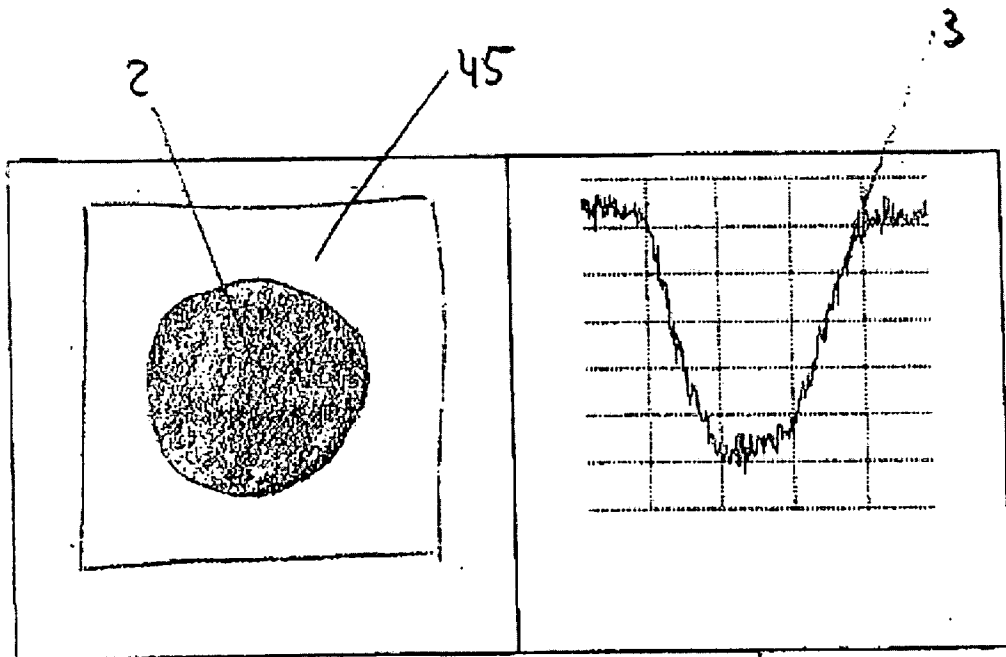


Fig. 3a

Fig. 3b

Fig. 4a

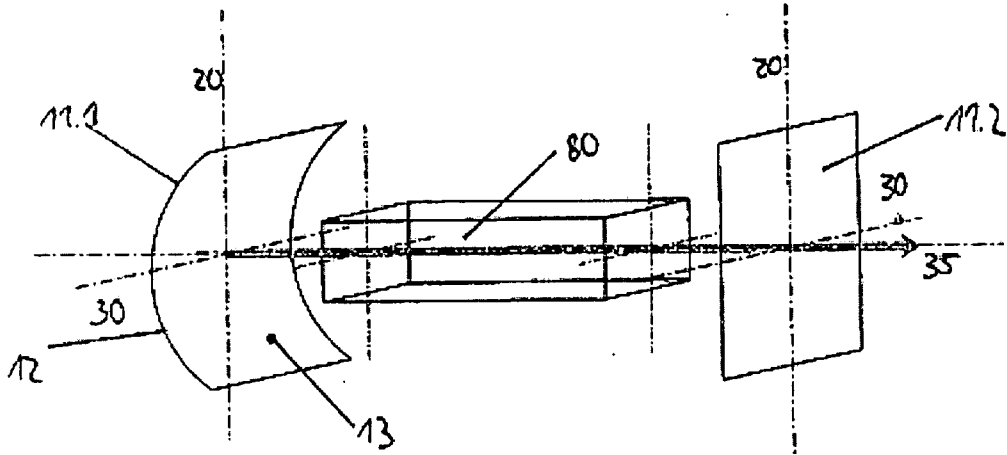


Fig. 4b

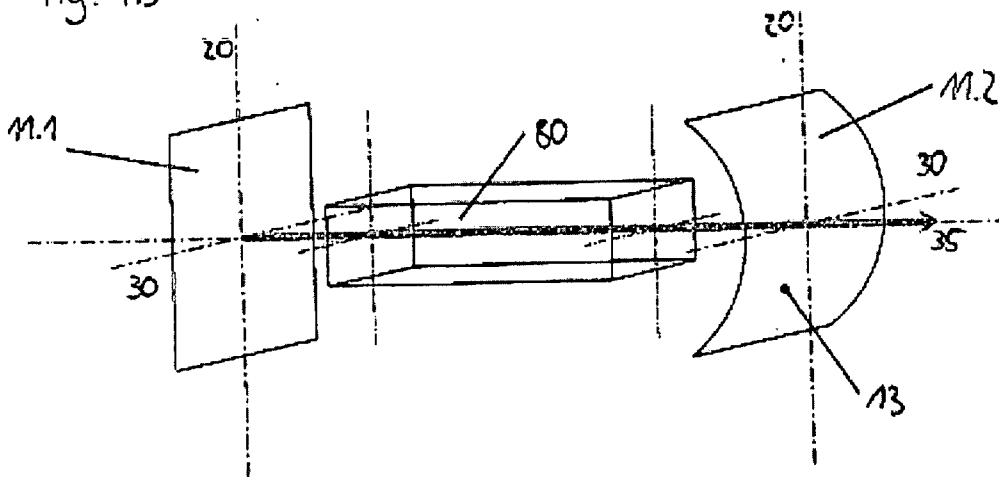
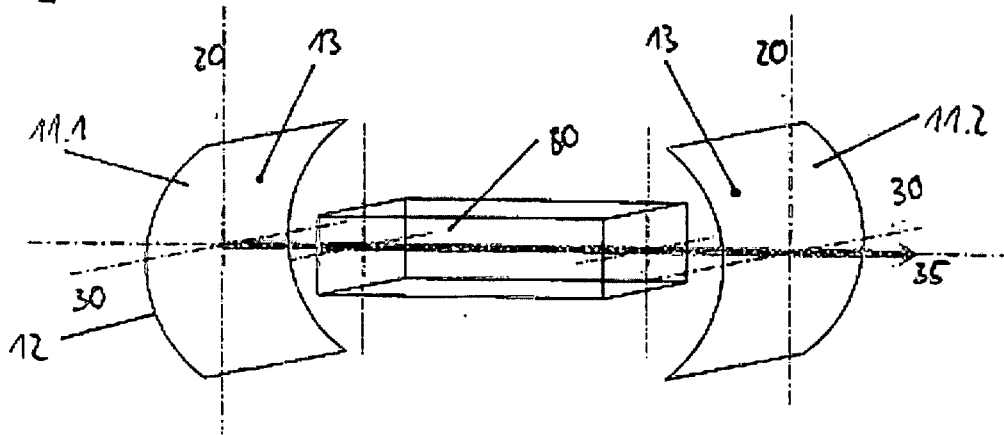


Fig. 4c



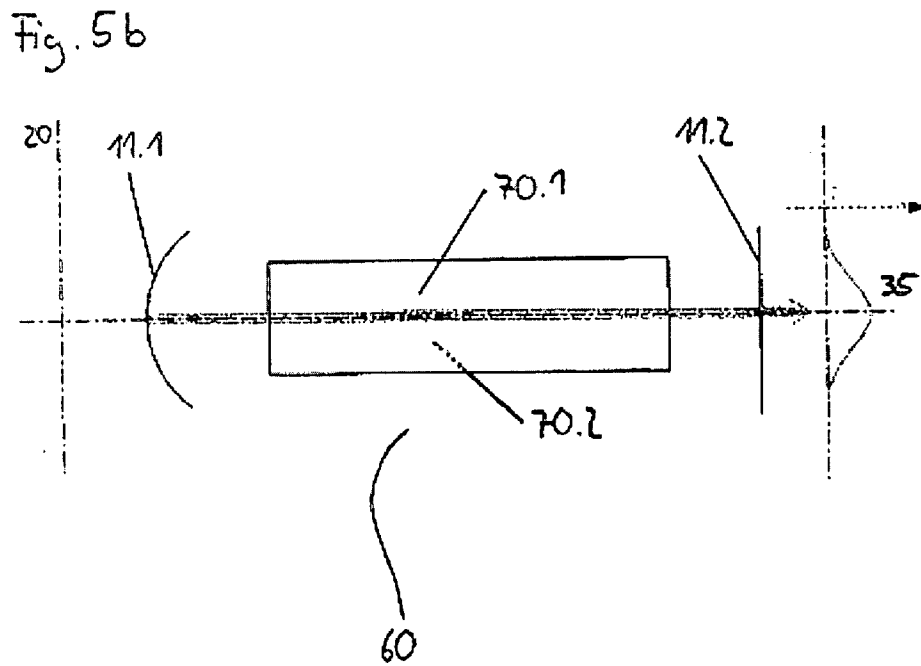
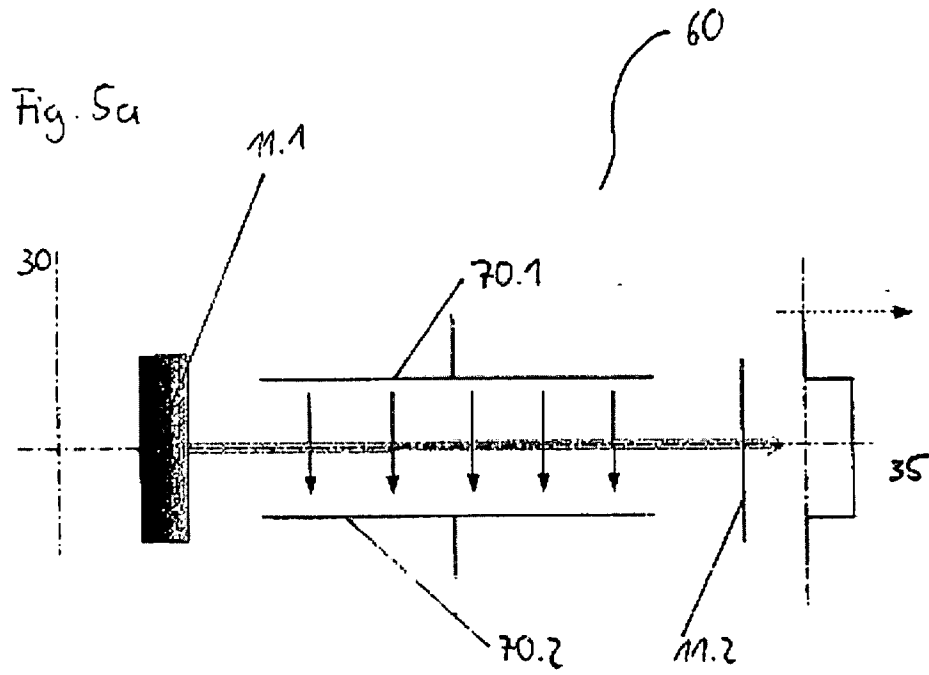


Fig. 6a

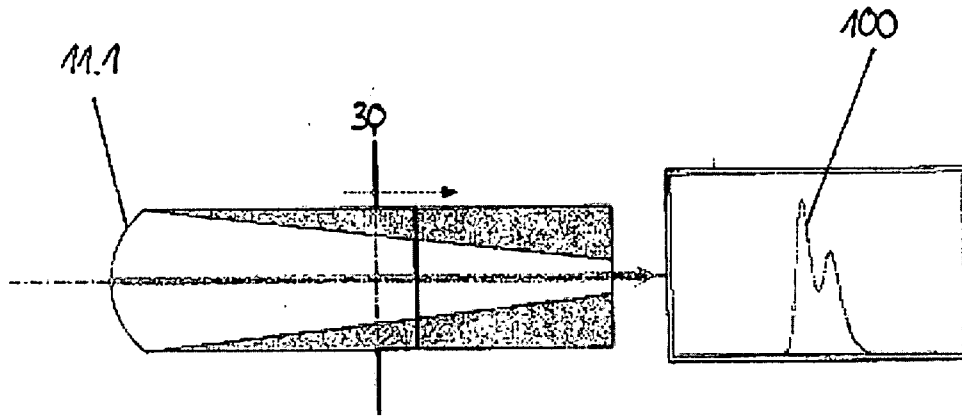


Fig. 6b

