



(19)  
**Bundesrepublik Deutschland**  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

(10) **DE 10 2007 063 492 B4 2010.04.15**

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 063 492.9**

(22) Anmeldetag: **31.12.2007**

(43) Offenlegungstag: **09.07.2009**

(45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **15.04.2010**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G02F 1/37 (2006.01)**  
**H01S 3/109 (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:

**Forschungsverbund Berlin e.V., 12489 Berlin, DE**

(74) Vertreter:

**Anwaltskanzlei Gulde Hengelhaupt Ziebig & Schneider, 10179 Berlin**

(72) Erfinder:

**Güther, Reiner, Dipl.-Phys., 12437 Berlin, DE;**  
**Blume, Gunnar, Dipl.-Ing., 14776 Brandenburg, DE;**  
**Eppich, Bernd, Dipl.-Ing., 10997 Berlin, DE;**  
**Fiebig, Christian, Dipl.-Phys., 10249 Berlin, DE;**  
**Paschke, Katrin, Dipl.-Phys., 14480 Potsdam, DE;**  
**Uebernicket, Mirko, 12683 Berlin, DE**

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

**US 50 07 717 A**  
**DE 689 26 391 T2**

**Bergmann-Schäfer, Lehrbuch der  
 Experimentalphysik, Band III, Optik (Walter de  
 Gruyter Verlag, 2004), Seiten 899 bis 998**

**DGaO-Proceedings, P44, 2005, R. Güther:  
 "Optimisation of SHG for high-brightness  
 semiconductor laser diode radiation with large  
 aberrations"**

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zur Frequenzverdopplung von Laserstrahlung**

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung zur Frequenzverdopplung von Laserstrahlung, aufweisend: einen Laser, dessen emittierte Strahlung senkrecht zur Lichtemissionsrichtung in einer Vertikalrichtung (y) eine Vertikaldivergenz und

einen dazugehörigen vertikalen Strahlgüteparameter ( $M_y^2$ )

aufweist und in einer dazu senkrechten Lateralrichtung (x) eine Lateraldivergenz und einen dazugehörigen lateralen

Strahlgüteparameter ( $M_x^2$ ) aufweist, wobei der vertikale

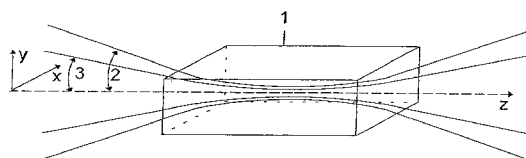
Strahlgüteparameter ( $M_y^2$ ) und der laterale Strahlgütepara-

meter ( $M_x^2$ ) größer als sind, ein optisch nichtlineares

Medium (1) mit einer quadratischen nichtlinearen Suszeptibilität, das bei geeigneter Einstrahlrichtung eine Phasen Anpassung zwischen der Grundwelle und einer frequenzverdoppelten Welle ermöglicht, eine Fokussierungsoptik, die den Laserstrahl in das optisch nichtlineare Medium (1) fokussiert,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Fokussierungsoptik derart ausgebildet ist, dass der Fokussierungskonvergenzwinkel das Medium (1) fokussierten Strahlung des Lasers in vertikaler Richtung (y) im Vergleich zu einem für rein kohärente Strahlung optimalen Fokussierungskonvergenzwinkel verkleinert ist durch Division durch einen Faktor, der sich aus...



**Beschreibung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Frequenzverdopplung von Laserstrahlung.

## Stand der Technik

**[0002]** Mit Hilfe nichtlinear optischer Medien ist es möglich, Laserstrahlung mit niedrigerer Frequenz, also größerer Wellenlänge, in Strahlung mit höherer Frequenz, also kleinerer Wellenlänge, zu transformieren. Speziell wird bei der Erzeugung der zweiten Harmonischen aus der Strahlung einer sogenannten Grundwelle eine Strahlung hergestellt, deren Wellenlänge die Hälfte der Wellenlänge der Grundwelle beträgt.

**[0003]** Da zumeist kurzwellige Laserstrahlung schwieriger als langwellige Laserstrahlung zu erzeugen ist, ist die Erzeugung der zweiten Harmonischen von Vorteil, um einen Teil der höheren Leistungen langwelliger Laser in den kurzwelligen Bereich übertragen zu können.

**[0004]** Meist werden zur Erzeugung der zweiten Harmonischen Festkörper-Laser verwendet, die einen idealen oder nahezu idealen Gauß-Strahl emittieren, der auch durch den Strahlgütefaktor  $M^2 = 1$  (bzw.  $M^2 \approx 1$ ) gekennzeichnet wird. Die optimalen technischen Bedingungen für die Erzeugung der zweiten Harmonischen sind unter anderem in W. P. Risk, T. R. Gosnell, A. V. Nurmikko, "Compact Blue-Green Lasers", Cambridge University Press, 2003; Bergmann Schaefer „Lehrbuch der Experimentalphysik“, Band 3, „Optik“ und H. Weber „Nichtlineare Optik“, S. 899–998; Berlin, Walter de Gruyter, 2007 beschrieben.

**[0005]** Taperlaser sind Hochleistungs-Diodenlaser mit einem in der Lateralebene (Ebene des Wellenleiters mit aktiver Schicht) getaperten (d. h. nach außen divergent verlaufenden) Bereich. Die emittierte Strahlung von Taperlasern ist daher durch unterschiedliche laterale und vertikale (senkrecht zur Lateralebene) Divergenz gekennzeichnet, wobei besonders für höhere Leistungen der Strahlgütefaktor  $M^2$  (nachfolgend auch als Strahlparameterprodukt, Strahlgüte bzw. Strahlgüteparameter bezeichnet) in beiden Ebenen größer als 1 sein kann. Zumeist weist die Strahlgüte  $M^2$  in vertikaler Richtung einen Wert näher an 1 auf, als in lateraler Richtung.

**[0006]** Für Taperlaser (auch „tapered laser“) werden anamorphotische Optiken (d. h. solche, die auch Zylinderlinsen/Zylinderspiegel enthalten) und die Möglichkeiten der Erfüllung der in der obengenannten Literatur angegebenen Boyd-Kleinman Optimierung für kohärente konvergierende Laserstrahlung mit elliptischem Querschnitt in R. Guther, DGaO-Proceedings, P44 (2005) diskutiert.

**[0007]** Die optimalen Bedingungen für die Fokussierung des Laserstrahls in das zur Frequenzumsetzung verwendete Medium werden so angegeben, dass die Ausbreitungslänge der Grundwelle durch das nichtlineare Medium das 5.6-Fache der Rayleigh-Entfernung dieser Grundwelle, also die Entfernung zwischen Strahltaile und der Strahlaufweitung auf das  $\sqrt{2}$ -Fache des Tailenradius, beträgt.

**[0008]** Insbesondere bei Halbleiter-Laserdioden sind im roten oder infraroten Spektralbereich höhere Leistungen auch im stationären Laserbetrieb verfügbar, wie dies in der Veröffentlichung H. Wenzel et al. in Electronics Letters, vol. 43, No. 3 S. 160–161 (2007) für einen Taper-Laser mit der Leistung von 10 W, der Wellenlänge 977 nm und einem Strahlparameterprodukt von  $M^2 = 2$  oder auch in K. Paschke, et al. in Proceedings SPIE vol. 6184, 1–7 (2006) gezeigt wird.

**[0009]** Es ist eine Reihe von Veröffentlichungen bekannt, die sich auf die Erzeugung der zweiten Harmonischen einer partiell kohärenten Grundwelle beziehen: In G. P. Agrawal, Phys. Rev. A 23, 1863–1868 (1981) wird ein für die zweite Harmonische mathematischer nichtlinearer Ausbreitungskern angegeben, aber die partielle Kohärenz ist nur für eine ebene Grundwelle eingeführt, also nicht für eine konvergente Grundwelle, die für die reale Frequenzumsetzung erforderlich ist.

**[0010]** In N. A. Ansari, M. S. Zubairy, 59 (5,6), 385–390 (1986) und in Z. Zahid, M. S. Zubairy, Opt. Commun. 76 (1) 1–7 (1990) wird eine rotationssymmetrische partiell kohärente Grundwelle vorausgesetzt, jedoch verhindert ein Schreibfehler in den Ergebnisformeln eine technisch relevante Auswertung. Weiterhin ist ein elliptischer Intensitätsquerschnitt und ein elliptisches Kohärenzintervall in den Ebenen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung durch die genannte Theorie nicht berücksichtigt, die gerade für übliche kantenemittierende Halbleiterlaser, insbesondere Taperlaser, charakteristisch und erforderlich sind.

**[0011]** Schließlich gibt Y. Cai, U. Peschel, Opt. Express, 15 (23), 15480–15492 (2007) eine formale Abfolge von mathematischen Schritten für ein allgemeineres Kohärenzverhalten an, die für eine technische Lehre erst

noch zu lösen sind, um zu technisch verwertbaren Bemessungsanweisungen zu kommen. Außerdem fehlt hierbei die Einbeziehung einer geringen Phasenfehlانpassung zwischen Grundwelle und zweiter Harmonischer, die zum Erreichen des Optimums ebenfalls betrachtet werden muss, wie das in der kohärent optischen Boyd-Kleinman-Theorie gezeigt wird. Zwei Auswertungen in dieser Veröffentlichung beziehen sich auf den hier nicht anwendbaren rotationssymmetrischen Fall.

**[0012]** Damit existiert keine technisch umsetzbare Bemessungsvorschrift, wie im Falle des Vorliegens einer nichtrotationssymmetrischen (unterschiedliche vertikale und laterale Divergenz) Laserstrahlung mit im Allgemeinen unterschiedlichen Strahlgüteparametern in Lateral- und Vertikalrichtung mit Werten größer als 1 zu verfahren ist.

**[0013]** Ein Strahlgüteparameter  $M^2 > 1$  von emittierter Laserstrahlung kann durch mangelnde Korrelation der elektrischen Feldstärke quer zur Ausbreitungsrichtung verursacht sein, dass also eine Korrelation nur über endliche Bereiche quer zur Ausbreitungsrichtung wirksam ist, die in ihrer Abmessung beispielsweise kleiner als der Intensitätsverlauf der Strahlung sind. Eine andere Ursache kann das Vorliegen von Amplituden- und Phasenfehlern sein, indem die Amplituden- und Phasenverläufe von dem des Gauß'schen Grundmode der Laserstrahlung abweichen. Sowohl die obengenannten endlichen Korrelationsreichweiten als auch die obengenannten Amplituden- und Phasenfehler und auch ihre Kombination führen generell zu  $M^2 > 1$ .

**[0014]** Die in der oben angegebenen Literatur R. Guther, DGaO-Proceedings angegebenen Optimierungen beziehen sich auf Lichtquellen mit Emission des Gauß'schen Grundmode, also auf  $M^2 = 1$  in der Lateral- und auch in der Vertikal-Ebene, allerdings mit allgemein elliptischem Strahlungsquerschnitt unter Einbeziehung von Astigmatismus, also auf den Fall von Korrelationsreichweiten des elektrischen Feldes, die groß gegenüber dem Intensitätsquerschnitt der Strahlung sind, und auf zum Grundmode gehörende entsprechende Amplituden- und Phasenverläufe.

**[0015]** Die Aufgabe der Erfindung besteht demnach darin, eine Vorrichtung zur Frequenzverdopplung von nicht rotationssymmetrischer Strahlung eines Diodenlasers (vorzugsweise Taperlaser im cw-Laserbetrieb) mit im Allgemeinen unterschiedlichem  $M^2 > 1$  in Lateral und Vertikal-Richtung anzugeben, die eine optimale Umwandlungseffizienz bzw. eine höhere Umwandlungseffizienz als die Vorrichtungen nach dem Stand der Technik aufweist.

**[0016]** Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst. Bevorzugte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen enthalten.

**[0017]** Es wurde gefunden, dass für die Fokussierung von Grundwellenstrahlung entsprechend der Boyd-Kleinman-Theorie das Optimum der Frequenzumsetzung im Falle  $M^2 > 1$  verfehlt wird.

**[0018]** Weiterhin wurde gefunden, dass für typische Fälle das Optimum der Frequenzumsetzung auf etwa 90% seines Wertes absinkt, wenn sich der Konvergenzwinkel um 30 bis 40% seines Optimalwertes ändert.

**[0019]** Weiterhin wurde gefunden, dass eine Verkleinerung des Konvergenzwinkels der Fundamentalwelle auf den etwa  $M^2$ ten Teil einen besonders vorteilhaften Wert für die zu  $M^2 > 1$  gehörige Strahlung ergibt, und zwar getrennt für beide Dimensionen senkrecht zur Strahlausbreitungsrichtung.

**[0020]** Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Frequenzverdopplung von Laserstrahlung weist einen Laser, der senkrecht zur Lichtemissionsrichtung in einer Vertikalrichtung eine Vertikaldivergenz und einen dazugehörigen vertikalen Strahlgüteparameter aufweist und in einer dazu senkrechten Lateralrichtung eine Lateraldivergenz und einen dazugehörigen lateralen Strahlgüteparameter aufweist, wobei der vertikale Strahlgüteparameter und der laterale Strahlgüteparameter größer als 1 sind, ein nichtlineares Medium mit einer quadratischen nichtlinearen Suszeptibilität, das bei geeigneter Einstrahlrichtung eine Phasenانpassung zwischen der Grundwelle und der frequenzverdoppelten Welle durch kritische, nichtkritische Phasenانpassung oder aber durch periodische Polung ermöglicht, und eine Fokussierungsoptik auf, die den Laserstrahl in das nichtlineare Medium fokussiert, wobei durch anamorphotisch wirkende Systemanteile der Astigmatismus der Laserstrahlung vermindert wird, wobei erfindungsgemäß die Fokussierungskonvergenz der in das Medium fokussierten Strahlung in vertikaler Richtung im Vergleich zu der für rein kohärente Strahlung, (nämlich dass die Rayleigh-Länge der Strahltaille im nichtlinearen Medium  $1/5.6$  von dessen von der Grundwelle durchlaufener Länge beträgt) um einen Faktor, der sich aus dem Strahlgüteparameter entlang der Vertikalrichtung ergibt, indem dieser Parameter um 1 verkleinert, danach mit einem vertikalen Zusatzfaktor zwischen 0.2 und 5 multipliziert und danach um 1 vergrößert wird, verkleinert ist, also die Fokussierungslänge um diesen Faktor verlängert ist, und dass

die analoge Verlängerung der Fokussierungslänge in lateraler Richtung um einen Faktor, der sich aus dem Strahlgüteparameter entlang der Lateralrichtung ergibt, indem dieser Parameter um 1 verkleinert, danach mit einem lateralen Zusatzfaktor zwischen 0.2 und 5 multipliziert und danach um 1 vergrößert ist, erfolgt bei gleicher Länge des durchstrahlten nichtlinearen Mediums.

**[0021]** Der Ausdruck „bei gleicher Länge des durchstrahlten nichtlinearen Mediums“ bedeutet, dass die Länge des durchstrahlten nichtlinearen Mediums derart gewählt ist, dass die Ausbreitungslänge der Grundwelle durch das nichtlineare Medium das 5.2-Fache–6.0-Fache (vorzugsweise 5.6-Fache) der Rayleigh-Entfernung dieser Grundwelle, also die Entfernung zwischen Strahltaille und der Strahlaufweitung auf das  $\sqrt{2}$ -Fache des Taillenradius, für den (hier nicht vorliegenden) Fall kohärenter konvergierender Laserstrahlung mit elliptischem Querschnitt beträgt und für Lateral- und Vertikaldimension eine geometrische Mittelung erfolgt.

**[0022]** Der verwendete Laser ist vorzugsweise ein Taperlaser im cw-Laserbetrieb.

**[0023]** Unter Vertikaldivergenz wird die Divergenz der Laserstrahlung in vertikaler Richtung verstanden. Unter Lateraldivergenz wird die Divergenz der Laserstrahlung in lateraler Richtung verstanden. Unter Fokussierungskonvergenz wird die Konvergenz der in das nichtlineare Medium fokussierten Strahlung des Lasers (jeweils in einer vertikalen bzw. lateralen Ebene) verstanden. Diese Konvergenz kann beispielsweise durch einen Winkel der Strahlausbreitungsrichtung im Vergleich zur optischen Achse (jeweils in einer vertikalen bzw. lateralen Ebene) beziffert werden.

**[0024]** In Formeln kann das geschrieben werden:

$$\theta_{opt\ x} = \frac{\theta_{koh\ BK\ x}}{1 + (M_x^2 - 1)Z_x} \quad (1)$$

$$\theta_{opt\ y} = \frac{\theta_{koh\ BK\ y}}{1 + (M_y^2 - 1)Z_y} \quad (2)$$

wobei  $\theta_{koh\ BK\ x}$  und  $\theta_{koh\ BK\ y}$  die Konvergenzwinkel entsprechend der kohärenten Boyd-Kleinman-Theorie in lateraler bzw. vertikaler Richtung,  $\theta_{opt\ x}$  und  $\theta_{opt\ y}$  die optimierten Konvergenzwinkel in lateraler (x) bzw. vertikaler (y) Richtung,  $M_x^2$  und  $M_y^2$  die Strahlgüteparameter der Grundwelle in lateraler (x) bzw. vertikaler (y) Richtung und  $Z_x$  bzw.  $Z_y$  die Zusatzfaktoren in lateraler (x) bzw. vertikaler (y) Richtung bedeuten, wobei  $0.2 < Z_x < 5$  und  $0.2 < Z_y < 5$  gelten.

**[0025]** Die Variabilität der oben angegebenen Zusatzfaktoren  $Z_x$  und  $Z_y$  ergibt die Möglichkeit, das optische System zur Fokussierung der Grundwelle so zu variieren, dass in vielen Fällen Standard-Linsen aus Katalogen verwendet werden können, wobei nicht das strenge Optimum der Umsetzungsrate erreicht wird, aber ein vertretbarer optischer Aufwand mit einer effektiven zweiten Harmonischen zusammenfällt. Für hohe Stückzahlen eines nach dieser Lehre gestalteten Moduls ist der Zusatzfaktor gleich 1 zu setzen und die Optiken exakt an die erforderlichen Konvergenzwinkel anzupassen.

**[0026]** Das bedeutet, dass erfindungsgemäß  $0.2 < Z_x < 5$  und  $0.2 < Z_y < 5$  bevorzugt  $0.5 < Z_x < 2$  und  $0.5 < Z_y < 2$  noch bevorzugter  $0.9 < Z_x < 1.1$  und  $0.9 < Z_y < 1.1$  und noch bevorzugter  $Z_x = 1$  und  $Z_y = 1$  gilt.

**[0027]** Weiterhin ist es bevorzugt, dass die Laserstrahlung eine elliptische Konvergenz derart aufweist, dass die vertikale Konvergenz sich zur lateralen Konvergenz verhält, wie der laterale Strahlgütefaktor zum vertikalen Strahlgütefaktor.

**[0028]** Das bedeutet, dass  $\theta_{opt\ x} M_x^2 = \theta_{opt\ y} M_y^2$  gilt, also dass der durch  $M^2$  vergrößerte Konvergenzwinkel kleinere kohärente Bereiche ausleuchtet, die in beiden Dimensionen einander gleich sein sollen.

**[0029]** Es entspricht der Erfindung, dass der Einzellaser durch einen Laserbarren oder einen Stapel von Laserbarren ersetzt werden kann. Die gesamte Strahlungsquelle kann aufgefasst werden als eine Lichtquelle mit einem einzigen Strahlgüteparameter in vertikaler Richtung und einem einzigen Strahlgüteparameter in lateraler Richtung.

**[0030]** Die Divergenzen genügen dann in vorteilhafter Weise den Gleichungen (1) und (2).

[0031] Die Erfindung soll nachfolgend anhand eines in der Figur (Fig. 1) gezeigten Ausführungsbeispiels näher beschrieben werden.

[0032] Das Ausführungsbeispiel in Fig. 1 zeigt einen periodisch gepolten Lithiumniobat-Kristall **1**, dessen Polung auf die Phasenanpassung zwischen der Grundwelle mit einer Wellenlänge von  $0,976 \mu\text{m}$  und der zweiten Harmonischen mit einer Wellenlänge von  $0,488 \mu\text{m}$  eingestellt ist. Die Länge des Kristalls längs der z-Richtung beträgt  $50 \text{ mm}$ . Die x-Achse zeigt in Richtung der lateralen Dimension des Kristalls und der lateralen Dimension des die Grundwelle emittierenden, nicht in der Abbildung enthaltenen, Halbleiterlasers (Taperlasers). Das Bezugszeichen **2** bezeichnet einen entsprechend der Boyd-Kleinman-Theorie für diesen Kristall günstigen Konvergenzwinkel von  $\theta_{\text{koh BK } y} = 0,0076 \text{ rad}$ , der für  $M_y^2 = 1$  gilt. Das Bezugszeichen **3** bezeichnet den für diesen Kristall erfindungsgemäß günstigen Konvergenzwinkel  $\theta_{\text{opt } y} = 0,005$  wenn die vom Laser emittierte Strahlung in vertikaler Richtung einen Strahlgüteparameter von  $M_y^2 = 1,49$  besitzt.

[0033] In Fig. 1 ist nur der Vertikalschnitt des einfallenden Strahls gezeigt. Analoges gilt für den Lateralschnitt entlang der x-Achse. Die entsprechenden Werte sind hierfür  $\theta_{\text{koh BK } x} = 0,0031 \text{ rad}$ ,  $M_x^2 = 3,46$  und  $\theta_{\text{opt } x} = 0,0009 \text{ rad}$ . Diese Werte ergeben sich für das Optimum, d. h.  $Z_x$  und  $Z_y$  sind jeweils gleich  $1$ .

[0034] Wenn die Optik nicht als Sonderfertigung erfolgen soll, sondern aus kommerziellen Bauelementen zusammengestellt werden soll, können die oben erwähnten unterschiedlichen  $Z_x$  und  $Z_y$ -Werte zur Entspannung der Anforderungen an die Optik herangezogen werden. Das führt zu den möglichen Konvergenzbereichen  $0,0022 \text{ rad} \leq \theta_{\text{opt } y} \leq 0,0069 \text{ rad}$  und  $0,00023 \text{ rad} \leq \theta_{\text{opt } x} \leq 0,002 \text{ rad}$ .

### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Frequenzverdopplung von Laserstrahlung, aufweisend: einen Laser, dessen emittierte Strahlung senkrecht zur Lichtemissionsrichtung in einer Vertikalrichtung (y) eine Vertikaldivergenz und einen dazugehörigen vertikalen Strahlgüteparameter ( $M_y^2$ ) aufweist und in einer dazu senkrechten Lateralrichtung (x) eine Lateraldivergenz und einen dazugehörigen lateralen Strahlgüteparameter ( $M_x^2$ ) aufweist, wobei der vertikale Strahlgüteparameter ( $M_y^2$ ) und der laterale Strahlgüteparameter ( $M_x^2$ ) größer als sind, ein optisch nichtlineares Medium (**1**) mit einer quadratischen nichtlinearen Suszeptibilität, das bei geeigneter Einstrahlrichtung eine Phasenanpassung zwischen der Grundwelle und einer frequenzverdoppelten Welle ermöglicht, eine Fokussierungsoptik, die den Laserstrahl in das optisch nichtlineare Medium (**1**) fokussiert,

**dadurch gekennzeichnet**, dass

die Fokussierungsoptik derart ausgebildet ist, dass der Fokussierungskonvergenzwinkel das Medium (**1**) fokussierten Strahlung des Lasers in vertikaler Richtung (y) im Vergleich zu einem für rein kohärente Strahlung optimalen Fokussierungskonvergenzwinkel verkleinert ist durch Division durch einen Faktor, der sich aus Strahlgüteparameter ( $M_y^2$ ) entlang der Vertikalrichtung (y) ergibt, indem dieser Strahlgüteparameter ( $M_y^2$ ) um 1 verkleinert, danach mit einem vertikalen Zusatzfaktor zwischen 0.2 und 5 multipliziert und danach um 1 vergrößert wird, und

dass der Fokussierungskonvergenzwinkel der in das Medium (**1**) fokussierten Strahlung des Lasers in lateraler Richtung (x) im Vergleich zu einem für ein kohärente Strahlung optimalen Fokussierungskonvergenzwinkel verkleinert ist durch Division durch einen Faktor, der sich aus dem Strahlgüteparameter ( $M_x^2$ ) entlang der Lateralrichtung (x) ergibt, indem dieser Strahlgüteparameter ( $M_x^2$ ) um 1 verkleinert, danach mit einem lateralen Zusatzfaktor zwischen 0.2 und 5 multipliziert und danach um 1 vergrößert wird,

wobei die Länge des durchstrahlten optisch nichtlinearen Mediums (**1**) derart gewählt ist, dass die Ausbreitungslänge der Grundwelle durch das optisch nichtlineare Medium (**1**) das 5.2-Fache bis 6.0-Fache der Rayleigh-Entfernung einer Grundwelle für kohärente konvergierende Laserstrahlung mit elliptischem Querschnitt beträgt und für die vertikale und laterale Richtung (y, x) eine geometrische Mittelung erfolgt.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die optimale Fokussierungskonvergenz für rein kohärente Strahlung einer Ausbreitungslänge der Grundwelle der kohärenten Strahlung durch das nichtlineare Medium (**1**) entspricht, die das 5.6-Fache der Entfernung zwischen Strahltaile und der Strahlaufweitung auf das  $\sqrt{2}$ -Fache des Tailenradius beträgt.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die emittierte Strahlung des Lasers senkrecht zur Lichtemissionsrichtung in der vertikalen Richtung (y) eine Vertikaldivergenz und einen dazugehörigen vertikalen Strahlgüteparameter aufweist und in der dazu senkrechten lateralen Richtung (x) eine Lateraldivergenz und einen dazugehörigen lateralen Strahlgüteparameter aufweist und sich die Vertikaldivergenz und die Lateraldivergenz voneinander unterscheiden.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Vertikaldivergenz und die Lateraldivergenz um einen Faktor größer als 2 voneinander unterscheiden.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das optisch nichtlineare Medium (1) bei geeigneter Einstrahlrichtung eine Phasen Anpassung zwischen der Grundwelle und einer frequenzverdoppelten Welle durch kritische oder nichtkritische Phasen Anpassung oder durch periodische Polung ermöglicht.

6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Fokussierungsoptik mindestens eine anamorphotisch wirkende Fläche zur Verringerung der Astigmatismus der vom Laser emittierten Laserstrahlung aufweist.

7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Laser eine Laserstrahlung mit einer nach Fokussierung elliptischer Konvergenz derart emittiert, dass der vertikale Konvergenzwinkel sich zum lateralen Konvergenzwinkel verhält, wie der laterale Strahlgüteparameter zum vertikalen Strahlgüteparameter.

8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das optisch nichtlineare Medium (1) ein doppelbrechender nichtlinear optischer Kristall ist und die Fokussierungsoptik bei kritischer Phasen Anpassung im doppelbrechenden nichtlinear optischen Kristall derart ausgebildet ist, dass die Fokussierungskonvergenz in der Ebene der kritischen Phasen Anpassung zusätzlich um einen Faktor zwischen 1.2 und 2 verkleinert ist.

9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Laser ein Taperlaser ist.

10. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Laser ein Laserbarren oder ein Stapel von Laserbarren ist.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

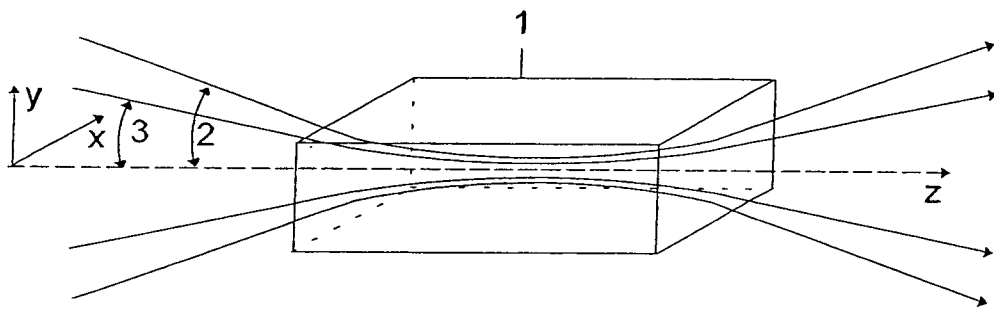


Fig. 1