



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 35 821 T2 2008.01.31**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 037 338 B1**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H01S 3/108 (2006.01)**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 35 821.6**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 103 451.1**

(96) Europäischer Anmeldetag: **29.02.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **20.09.2000**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **08.08.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **31.01.2008**

(30) Unionspriorität:

**264181 05.03.1999 US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(73) Patentinhaber:

**Photonics Industries International Inc., Bohemia,  
N.Y., US**

(72) Erfinder:

**Yin, Yusong, Bohemia, New York 11716, US**

(74) Vertreter:

**Vossius & Partner, 81675 München**

(54) Bezeichnung: **Abstimmbarer Hochleistungslaser**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft kompakte Hochleistungslaser, die für einen breiten Bereich von Ausgangswellenlängen abstimmbar sind.

**[0002]** Es sind optisch parametrische Oszillatoren (OPO) entwickelt worden. Es sind Laser mit einem einzelnen Hohlraum sowohl für den Pump laser als auch für den optisch parametrischen Oszillator (OPO) vorgeschlagen worden. Derartige Laser sind aufgrund einer Absorption der durch den OPO erzeugten Strahlwellenlänge durch den Laserkristall jedoch nur begrenzt abstimmbar, und es ist schwierig, verlustarme Bauteile herzustellen. Vgl. US-Patent Nr. 5687186. Es sind augensichere (eye safe) OPOs zur Verwendung in Radaranwendungen entwickelt worden, die im Inneren oder außerhalb des Laserhohlraums angeordnet sind. Vgl. ISPIE Bd. 1419, Seiten 141-122, "Eye Safe Laser Components, Systems and Applications" (1991).

**[0003]** Im WO-A1-98/01927 ist ein optisch parametrisches Oszillator(OPO)system beschrieben, mit: (a) einem Dauerstrich Pump laser (1) mit einem Verstärkungsmedium (3) in einem zwischen Reflexionsflächen (M1 bis M6) ausgebildeten Laserhohlraum (6); (b) einem einzelnen resonanten parametrischen Dauerstrich-Oszillator (2) mit einem nichtlinearen Verstärkungsmaterial (8), das dazu geeignet ist, wenn es durch eine Pumpwelle beleuchtet wird, Signal- und Idler-Wellen innerhalb des Hohlraums (6) zwischen Reflexionsflächen M5 und M6 zu erzeugen, die einen Oszillatorhohlraum (11) bilden, der bei einer der erzeugten Wellen resonant ist, wobei die Reflexionsfläche M5 eine Rückkopplung der nicht-resonanten Welle verhindert; (c) einer aus den Reflexionsflächen M5 und M6 bestehenden Vorrichtung zum Fokussieren sowohl der Pump als auch der Resonanzwelle auf erforderliche Taillenabmessungen innerhalb des nichtlinearen Materials (8), um für beide Wellen einen gemeinsamen koaxialen und kolinearen optischen Pfad bereitzustellen, so dass durch Anpassen der Strahltaillen eine Ausrichtung des Pump- und des Oszillatorhohlraums erzielt wird; und (d) einer Vorrichtung (M5, M7, M16) zum Herauslenken einer der erzeugten Wellenlängen aus dem Oszillator, um ein Ausgangssignal zu erzeugen.

**[0004]** Erfindungsgemäß wird eine Vorrichtung zum Erzeugen eines Laserstrahls mit einer vorgewählten Ausgangswellenlänge bereitgestellt, die größer ist als die Wellenlänge eines Grundwellenlängen-Strahls des laseraktiven Mediums oder Lasermediums. Vorzugsweise wird ein Laserkristall in der Laservorrichtung verwendet.

**[0005]** Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung ist zwischen zwei Reflexionsflächen, z.B. Spiegeln, ein Laserresonatorhohlraum ausgebildet.

Ein Lasermedium zum Erzeugen eines Grundwellenlängen-Strahls ist innerhalb des Laserresonatorhohlraums angeordnet. Außerdem ist zwischen einer der Reflexionsflächen des Laserresonatorhohlraums und einer dritten Oberfläche, beispielsweise einem Spiegel, ein Hohlraum eines optisch parametrischen Oszillators ausgebildet. Ein nichtlinearer Kristall, der für Phasenanpassungsbedingungen für den Grundwellenlängen-Strahl und den Ausgangswellenlängen-Strahl zugeschnitten ist, ist in optischer Kommunikation mit der ersten und der dritten Reflexionsfläche angeordnet. Die optischen Achsen des Laserresonators und des optisch parametrischen Oszillators sind mindestens teilweise getrennt und teilweise überlappend angeordnet. Der durch das Lasermedium erzeugte Grundwellenlängen-Strahl wird in den Hohlraum des optisch parameterischen Oszillators ausgerichtet und trifft auf den nichtlinearen Kristall, wo ein Teil des Grundwellenlängen-Strahls zusammen mit dem Idler-Strahl, dessen Wellenlänge größer ist als diejenige des Grundwellenlängen-Strahls, in einen Ausgangswellenlängen-Strahl mit einer vorgewählten Ausgangswellenlänge umgewandelt wird. Der Grundwellenlängen-Strahl und der Ausgangswellenlängen-Strahl werden zum nichtlinearen Kristall zurück reflektiert, um einen zusätzlichen Ausgangswellenlängen-Strahl zu erzeugen. Der Ausgangswellenlängen-Strahl wird vom Grundwellenlängen-Strahl getrennt. Der getrennte Grundwellenlängen-Strahl wird dann für eine weitere Verstärkung über das Lasermedium zurück ausgerichtet. Der getrennte Ausgangswellenlängen-Strahl wird dann für eine weitere Verstärkung über den nichtlinearen Kristall ausgerichtet. Ein Teil des Ausgangswellenlängen-Strahls wird als Ausgangssignal des Lasers aus dem Oszillatorhohlraum herausgelenkt.

**[0006]** Die bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist in den Zeichnungen und Beispielen dargestellt. Die vorliegende Erfindung ist jedoch nicht auf diese exemplarische Ausführungsform beschränkt.

**[0007]** [Fig. 1](#) zeigt eine schematische Ansicht eines erfindungsgemäßen Lasers;

**[0008]** [Fig. 2](#) zeigt eine schematische Ansicht einer anderen Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Lasers;

**[0009]** [Fig. 3](#) zeigt eine schematische Ansicht eines anderen Beispiels eines Lasers, der nicht Teil der Erfindung ist; und

**[0010]** [Fig. 4](#) zeigt einen Graphen zum Darstellen der Wellenlängenabdeckungsbereiche verschiedener nichtlinearer Kristalle.

**[0011]** Durch die vorliegende Erfindung wird eine Vorrichtung zum Erzeugen eines Laserstrahls mit ei-

ner vorgewählten Ausgangswellenlänge bereitgestellt, die größer ist als diejenige eines Laserstrahls des Lasermediums. Vorzugsweise wird in der Laservorrichtung ein laseraktiver Kristall oder Laserkristall verwendet. Gemäß einem Aspekt der Erfindung ist zwischen zwei Reflexionsflächen, vorzugsweise reflektierenden Spiegeln, ein Laserresonatorhohlraum ausgebildet. Im Laserresonatorhohlraum ist ein Lasermedium zum Erzeugen eines Grundwellenlängen-Strahls angeordnet. Das Lasermedium ist vorzugsweise ein Laserkristall, z.B. ein Nd:YLF-, Nd:YAG-, Nd:YVO<sub>4</sub>- und Ti:Saphir-Kristall, oder ein anderer Laserkristall, der ausgewählt wird, um einen Strahl mit einer vorgewählten Grundwellenlänge zu erzeugen. Erfindungsgemäß ist zwischen einer der Reflexionsflächen des Laserresonatorhohlraums und einer dritten Reflexionsfläche, vorzugsweise einem reflektierenden Spiegel, ein Hohlraum eines optisch parametrischen Oszillators ausgebildet. Ein nichtlinearer Kristall, der für Phasenanpassungsbedingungen für den Grundwellenlängen-Strahl und einen Ausgangswellenlängen-Strahl mit einer vorgewählten Ausgangswellenlänge zugeschnitten ist, ist in optischer Kommunikation mit der ersten und der dritten Reflexionsfläche entlang der optischen Resonatorachse angeordnet. Der nichtlineare Kristall kann in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Grundwellenlängen-Strahls, vom Lasermedium und von der gewünschten längeren Wellenlänge des Ausgangswellenlängen-Strahls aus mehreren Kristallen ausgewählt werden. Derartige Kristalle sind beispielsweise BBO-, LBO-, KTP-, KTA-, RTA-, KRTA-, LiNbO<sub>3</sub>-Kristalle und ähnliche. [Fig. 4](#) zeigt einige Wellenlängenabdeckungsbereiche für auf dem Fachgebiet bekannte Nd:YAG- oder Nd:YLF-Lasergepumpte nichtlineare Kristalle. Die optische Achse des Laserresonators und des optisch parametrischen Oszillators sind mindestens teilweise getrennt. Der durch das Lasermedium erzeugte Grundwellenlängen-Strahl wird durch den Hohlraum des optisch parametrischen Oszillators ausgerichtet und trifft auf den nichtlinearen Kristall auf, wo ein Teil des Grundwellenlängen-Strahls in einen Ausgangswellenlängen-Strahl mit einer vorgewählten Ausgangswellenlänge umgewandelt wird, die größer ist als die Wellenlänge des Grundwellenlängen-Strahls. Der Grundwellenlängen-Strahl und der Ausgangswellenlängen-Strahl werden zum nichtlinearen Kristall zurück reflektiert, um einen zusätzlichen Ausgangswellenlängen-Strahl zu erzeugen. Der Ausgangswellenlängen-Strahl wird vom Grundwellenlängen-Strahl getrennt. Der getrennte Grundwellenlängen-Strahl wird dann für eine weitere Verstärkung über das Lasermedium ausgerichtet, das vorzugsweise ein Laserkristall ist. Der getrennte Ausgangswellenlängen-Strahl wird für eine weitere Verstärkung über den nichtlinearen Kristall ausgerichtet. Weil der Ausgangswellenlängen-Strahl den Laserkristall oder einen optionalen Q-Schalter nicht durchläuft, werden durch Absorptions- oder Einfügungsverluste durch den Kristall und andere Bau-

teile, wie beispielsweise einen Q-Schalter, verursachte Probleme vermieden. Derartige Absorptions- und Einfügungsverluste können die abstimmbaren Wellenlängen für den Laser begrenzen und die Umwandlungseffizienz des Ausgangswellenlängen-Strahls vermindern. Ein Teil des Ausgangswellenlängen-Strahls wird als Ausgangssignal des Lasers aus dem Oszillatorhohlraum heraus gelenkt.

**[0012]** Gemäß einem anderen Aspekt, der keinen Teil der Erfindung bildet, weist der Laser keinen optisch parametrischen Oszillator auf. In einer derartigen alternativen Ausführungsform ist der Laserresonatorhohlraum zwischen Reflexionsflächen vorzugsweise zweier reflektierender Hohlraumspiegel ausgebildet. Ein Lasermedium, wie beispielsweise ein Nd:YAG-, ein Nd:YLF-, ein Nd:YVO<sub>4</sub>-, ein Ti-Saphir-Kristall, oder ein anderer geeigneter Laserkristall ist im Hohlraum angeordnet. Vorzugsweise ist ein Q-Schalter im Hohlraum angeordnet. Der Grundwellenlängen-Strahl vom Lasermedium wird über den wie vorstehend beschrieben ausgewählten nichtlinearen Kristall ausgerichtet, um einen Ausgangswellenlängen-Strahl mit einer vorgewählten Ausgangswellenlänge zu erzeugen, die größer ist als diejenige des Grundwellenlängen-Strahls. Der Grundwellenlängen-Strahl und der Ausgangswellenlängen-Strahl werden zum nichtlinearen Kristall zurück reflektiert. Der Ausgangswellenlängen-Strahl wird vom Grundwellenlängen-Strahl getrennt, und der Ausgangswellenlängen-Strahl wird aus dem Hohlraum heraus gelenkt. Der Grundwellenlängen-Strahl wird für eine Verstärkung über das Lasermedium zurück reflektiert. Dadurch werden ein effektives Verfahren und eine Vorrichtung zum Erzeugen eines breiten Bereichs von Strahlen mit verschiedenen Wellenlängen bereitgestellt.

**[0013]** Wie in den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) verdeutlicht ist, kann ein erfindungsgemäßer Laser derart konstruiert sein, dass Ausgangsstrahlen mit verschiedenen Wellenlängen erzeugt werden, die größer sind als die durch das Lasermedium erzeugte Wellenlänge. [Fig. 1](#) zeigt einen erfindungsgemäßen Laser. Zwischen zwei Reflexionsflächen, vorzugsweise Laserhohlraumspiegeln M1 und M2, ist ein Laserresonatorhohlraum ausgebildet. Der Spiegel M1 ist sowohl für den Grundwellenlängen-Strahl als auch für den Ausgangswellenlängen-Strahl mit der vorgewählten Ausgangswellenlänge, der durch die in [Fig. 1](#) dargestellte Vorrichtung erzeugt wird, hochgradig reflektierend. Ein Lasermedium LM ist zwischen den Spiegeln M1 und M2 in optischer Kommunikation mit den Spiegeln M1 und M2 im Laserresonatorhohlraum angeordnet. Das Lasermaterial ist vorzugsweise ein Laserkristall, vorzugsweise ein Nd:YAG- oder Nd:YLF-Laserkristall, wobei wahlweise auch ein anderer Laserkristall verwendbar ist, wie beispielsweise ein Ti-Saphir- oder ein Nd:YVO<sub>4</sub>-Kristall, oder ein anderes geeignetes Lasermaterial, das einen vorge-

wählten Grundwellenlängen-Strahl erzeugt, der dann erfindungsgemäß in einen Strahl mit einer längeren Wellenlänge umgewandelt wird. Beispielsweise kann ein Nd:YAG-Kristall, der bei einer Wellenlänge von  $1,06\text{ }\mu\text{m}$  laseraktiv ist, verwendet werden, um einen Ausgangswellenlängen-Strahl mit einer Wellenlänge von etwa  $1,5\text{ }\mu\text{m}$  zu erzeugen. Ein Hohlraum eines optisch parametrischen Oszillators ist zwischen einer der Reflexionsflächen des Resonatorhohlraums, vorzugsweise des Spiegels M1 in [Fig. 1](#), und einer anderen Reflexionsfläche, vorzugsweise eines reflektierenden Spiegels M4, ausgebildet, um einen Hohlraum eines optisch parametrischen Oszillators zu bilden, der teilweise vom Laserresonatorhohlraum getrennt ist und teilweise eine andere optische Achse aufweist. Der Hohlraum des optisch parametrischen Oszillators weist eine Reflexionsfläche auf, vorzugsweise einen Spiegel, bevorzugter einen Klappspiegel und am bevorzugtesten einen dichroitischen Klappspiegel M3, der unter einem spitzen Winkel zur optischen Resonatorachse angeordnet ist. Vorzugsweise ist der Spiegel M3 unter einem Einfallswinkel von 30 bis 70 Grad zur optischen Resonatorachse angeordnet, und vorzugsweise unter einem Winkel von 50 bis 60 Grad, z.B. 56 Grad, was dem Brewsterwinkel für ein Quarzglas(Fused Silika)substrat des Spiegels M3 entspricht. Der dichroitische Spiegel M3 ist für den von einer beliebigen Richtung auftreffenden Grundwellenlängen-Strahl hochgradig transmittierend und für den in [Fig. 1](#) von links nach rechts laufenden Ausgangswellenlängen-Strahl hochgradig reflektierend. Vorzugsweise ist der Spiegel M3 für eine hohe Transmission eines P-polarisierten Grundwellenlängen-Strahls und eine hohe Reflexion des Ausgangswellenlängen-Strahls beschichtet. Optional kann ein separater Polarisator verwendet werden. Vorzugsweise ist die Laserkristallseite des dichroitischen Spiegels für den Grundwellenlängen-Strahl antireflexionsbeschichtet und für den Grundwellenlängen-Strahl hochgradig transmittierend. Wenn der Grundwellenlängen-Strahl mit einer "P"-Polarisation unter dem Brewsterwinkel auf den dichroitischen Spiegel auftrifft, ist die Antireflexionsbeschichtung unnötig. Optional ist ein Q-Schalter im Laserresonatorhohlraum angeordnet, um einen gepulsten Betrieb der Vorrichtung zu ermöglichen. Es können mehrere Q-Schalter verwendet werden, z.B. ein akustooptischer, ein elektrooptischer oder ein passiver Q-Schalter, wie beispielsweise ein Farbstoff- oder  $\text{Cr}_4\text{:YAG}$ -Q-Schalter. Der Spiegel M4 ist vorzugsweise für den Ausgangsstrahl teilweise reflektierend und teilweise transmittierend. Daher wird mindestens ein Teil des Ausgangswellenlängen-Strahls zum optisch parametrischen Oszillator zurück reflektiert, und ein Teil wird als Ausgangssignal des Lasers aus dem Hohlraum herausgelenkt. Der Hohlraum des optisch parametrischen Oszillators ist daher zwischen den Spiegeln M1 und M4 definiert. Im Hohlraum des optisch parametrischen Oszillators ist ein nichtlinearer Kristall NC angeordnet. Der nichtlineare Kristall ist für

Phasenanpassungsbedingungen für den Grundwellenlängen-Strahl und den Ausgangswellenlängen-Strahl zugeschnitten. In der in [Fig. 1](#) dargestellten Ausführungsform beträgt die Grundwellenlänge  $1,06\text{ }\mu\text{m}$  und die Ausgangswellenlänge  $1,5\text{ }\mu\text{m}$ . Der nichtlineare Kristall wird in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Grundwellenlängen-Strahls und des zu erzeugenden Ausgangswellenlängen-Strahls geeignet ausgewählt. Auf dem Fachgebiet sind viele derartige Kristalle bekannt. [Fig. 4](#) zeigt einige Wellenlängenabdeckungsbereiche von Nd:YAG- und Nd:YLF-Laserkristallen. Beispielsweise kann für einen Laser, der eine Ausgangswellenlänge von etwa  $1,5\text{ }\mu\text{m}$  erzeugen soll, ein KTP- oder KTA-Kristall verwendet werden. Alternativ kann ein  $\text{LiNbO}_3$ -Kristall verwendet werden. Im Betrieb wird das Lasermaterial LM z.B. durch einen Blitzlicht- oder einen Dioden-Pumplaser angeregt. Der optionale Q-Schalter wird für einen gepulsten Betrieb bereitgestellt. Der Grundwellenlängen-Strahl wird mit der vorgewählten Grundwellenlänge von beispielsweise  $1,06\text{ }\mu\text{m}$  zum Spiegel M2 hin ausgerichtet. Der Spiegel M2 wird den Grundwellenlängen-Strahl über das Lasermaterial LM zurück reflektieren, wo er verstärkt und durch den für den Grundwellenlängen-Strahl mit der Wellenlänge von  $1,06\text{ }\mu\text{m}$  hochgradig transmittierenden Spiegel M3 transmittiert wird. Der Grundwellenlängen-Strahl wird dann über den nichtlinearen Kristall NC, der vorzugsweise ein KTP-Kristall oder optional ein  $\text{LiNbO}_3$ -Kristall oder ein anderer Kristall ist, ausgerichtet, wo der Strahl in einen Strahl mit einer Wellenlänge von  $1,5\text{ }\mu\text{m}$  umgewandelt wird. Sowohl der Grundwellenlängen-Strahl als auch der Ausgangswellenlängen-Strahl werden dann durch den Spiegel M1 reflektiert und durchlaufen erneut den nichtlinearen Kristall NC, wo der Ausgangswellenlängen-Strahl verstärkt und zum Spiegel M3 hin ausgerichtet wird, wo der nicht umgewandelte Grundwellenlängen-Strahl den für den Grundwellenlängen-Strahl mit einer Wellenlänge von  $1,06\text{ }\mu\text{m}$  hochgradig transmittierenden dichroitischen Spiegel M3 durchläuft. Der Ausgangswellenlängen-Strahl mit einer Wellenlänge von etwa  $1,5\text{ }\mu\text{m}$  wird durch den Spiegel M3 reflektiert und zum Spiegel M4 ausgerichtet, der für den Ausgangswellenlängen-Strahl, d.h. in diesem Fall für eine Wellenlänge von  $1,5\text{ }\mu\text{m}$ , teilweise reflektierend und teilweise transmittierend ist. Der reflektierte Ausgangswellenlängen-Strahl wird dann zum Spiegel M3 ausgerichtet, wo er für eine weitere Verstärkung durch den nichtlinearen Kristall zurück reflektiert wird. Der Grundwellenlängen-Strahl und der Ausgangswellenlängen-Strahl vom nichtlinearen Kristall werden durch den Spiegel M1 reflektiert, wo der Prozess wiederholt wird. Die Spiegel M1 und M4 dienen als Hohlraumspiegel des optisch parametrischen Oszillators, und der Spiegel MN4 wird, wie vorstehend erwähnt, auch als Ausgangskoppler für den Ausgangswellenlängen-Strahl dienen. Optional kann der Spiegel M1 der Ausgangskoppler sein.

**[0014]** Die Vorrichtung von [Fig. 2](#) ist derjenigen von [Fig. 1](#) ähnlich. Der Spiegel M2 ist eliminiert. Stattdessen ist ein Q-Schalter reflektiv beschichtet, um den Grundwellenlängen-Strahl zu reflektieren, so dass der Spiegel M2 nicht erforderlich ist. Der Spiegel M3 entspricht dem unter Bezug auf [Fig. 1](#) dargestellten Spiegel, und das gleiche gilt für den nichtlinearen Kristall. Gemäß der Ausführungsform von [Fig. 2](#) dient ein Spiegel M14 als einer der Hohlraumspiegel des optisch parametrischen Oszillators und ist für den Ausgangswellenlängen-Strahl hochgradig reflektiv. Der Ausgangswellenlängen-Strahl wird durch den Spiegel M14 im Wesentlichen vollständig reflektiert. Ein Spiegel M11 ist für einen Grundwellenlängen-Strahl reflektierend. Der Spiegel M11 dient auch als Ausgangskoppler für den Ausgangswellenlängen-Strahl. Der Spiegel M11 ist für den Ausgangswellenlängen-Strahl teilweise transmittierend und teilweise reflektierend. Im Wesentlichen wird der gesamte nicht umgewandelte Grundwellenlängen-Strahl durch den Spiegel M11 über den nichtlinearen Kristall NC zurück reflektiert, und ein Teil des Ausgangswellenlängen-Strahls wird für eine weitere Verstärkung auch über einen nichtlinearen Kristall NC im Hohlraum des optisch parametrischen Oszillators zurück reflektiert. Als Ergebnis der getrennten Anordnung des OPO-Resonatorhohlraums und des Laserresonatorhohlraums können die Transversalmoden des Grundwellenlängen-Strahls und des Ausgangswellenlängen-Strahls durch Einstellen der Parameter des Spiegels M4 oder M14 besser aneinander angepasst werden, wenn sie den nichtlinearen Kristall durchlaufen.

**[0015]** [Fig. 3](#) zeigt ein Beispiel, das nicht Teil der vorliegenden Erfindung ist, in dem kein optisch parametrischer Oszillator verwendet werden muss. Gemäß diesem Beispiel definieren Spiegel M21 und M22 einen Laserresonatorhohlraum. Im Laserresonatorhohlraum ist ein Lasermedium angeordnet, vorzugsweise ein Nd:YAG-, ein Nd:YLF- oder ein Nd:YVO<sub>4</sub>-Kristall, und am bevorzugtesten ein Nd:YAG-Laserkristall. Vorzugsweise wird ein Q-Schalter QS bereitgestellt. Beispielsweise beträgt die Laserwellenlänge für einen Nd:YAG-Kristall etwa 1,06 µm. Der Grundwellenlängen-Strahl wird dann zu einem Spiegel M23 ausgerichtet, der für den Grundwellenlängen-Strahl, der im vorliegenden Beispiel eine Wellenlänge von 1,06 µm hat, hochgradig reflektierend ist. Der Grundwellenlängen-Strahl wird zu einem Spiegel M24 ausgerichtet, der für den Grundwellenlängen-Strahl mit der Wellenlänge von 1,06 µm hochgradig reflektierend und für den Ausgangswellenlängen-Strahl mit einer Wellenlänge von 1,5 µm hochgradig transmittierend ist. Der Grundwellenlängen-Strahl wird dann über einen nichtlinearen Kristall NC ausgerichtet, der, wie vorstehend in Verbindung mit den unter Bezug auf [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) beschriebenen Kristallen dargestellt, ausgewählt wird. Der Grundwellenlängen-Strahl und der Ausgangswellen-

längen-Strahl, die sich vom nichtlinearen Kristall NC ausbreiten, werden durch den Spiegel M22 über den nichtlinearen Kristall zurück reflektiert, wo ein weiterer Teil des Grundwellenlängen-Strahls in den Ausgangswellenlängen-Strahl umgewandelt wird. Der Spiegel M22 ist sowohl für den Ausgangswellenlängen-Strahl als auch für den Grundwellenlängen-Strahl hochgradig reflektierend. Der Grundwellenlängen-Strahl und der Ausgangswellenlängen-Strahl werden vom nichtlinearen Kristall NC zum Spiegel M24 ausgerichtet, wo der Ausgangswellenlängen-Strahl aus dem Laserresonatorhohlraum heraus transmittiert wird und der nicht umgewandelte Grundwellenlängen-Strahl zum Spiegel M23 reflektiert wird, der den Grundwellenlängen-Strahl zum Lasermedium LM zurück reflektiert, wo er weiter verstärkt wird.

**[0016]** Vorzugsweise ist das Lasermedium LM ein Laserkristall, vorzugsweise ein Nd:YAG- oder ein Nd:YLF-Kristall, und am bevorzugtesten ein Nd:YAG-Kristall. Optional kann ein anderer Laserkristall, z.B. ein Ti:Saphir- oder ein Nd:YVO<sub>4</sub>-Kristall, verwendet werden.

### Patentansprüche

1. Laser zum Bereitstellen eines Laserausgangssignals mit einer vorgewählten Frequenz, mit:
  - a) einem Laserresonator mit einem zwischen einer ersten Reflexionsfläche (M1, M11, M21) und einer zweiten Reflexionsfläche (M2, M22) ausgebildeten Laserresonatorhohlraum, wobei der Resonator eine optische Resonatorachse aufweist;
  - b) einem im Laserresonatorhohlraum angeordneten laseraktiven Medium oder Lasermedium zum Erzeugen eines Grundwellenlängen-Strahls;
  - c) einem zwischen der ersten Reflexionsfläche (M1, M11, M21) und einer dritten Reflexionsfläche (M4, M14, M24) ausgebildeten Hohlraum eines optisch parametrischen Oszillators (OPO), wobei der Hohlraum des optisch parametrischen Oszillators eine optische Oszillatorachse aufweist, die teilweise von der optischen Resonatorachse getrennt ist und die optische Resonatorachse teilweise überlappt;
  - d) einem im OPO-Hohlraum entlang der optischen Oszillatorachse und entlang der optischen Resonatorachse angeordneten nichtlinearen Kristall (NC), der mit der ersten (M1, M11, M21) und der dritten Reflexionsfläche (M4, M14, M24) optisch kommuniziert; wobei der nichtlineare Kristall (NC) derart ausgerichtet ist, dass er den Grundwellenlängen-Strahl in einen vorgewählten Ausgangswellenlängen-Strahl mit einer vorgewählten Ausgangswellenlänge umwandelt, die größer ist als die Grundwellenlänge;
  - e) einer Einrichtung zum Ausrichten des Grundwellenlängen-Strahls in den Hohlraum des optisch parametrischen Oszillators entlang der optischen Oszillatorachse und quer über den nichtlinearen Kristall (NC) zum Umwandeln eines Teils des Grundwellen-



längen-Strahls in einen Ausgangswellenlängen-Strahl mit einer vorgewählten Ausgangswellenlänge, die größer ist als die Grundwellenlänge;

f) wobei die erste Reflexionsfläche (M1, M11, M21) den Grundwellenlängen-Strahl reflektiert und den Ausgangswellenlängen-Strahl mindestens teilweise reflektiert;

g) einer Einrichtung zum Ausrichten des Grundwellenlängen-Strahls und des Ausgangswellenlängen-Strahls von der ersten Reflexionsfläche zurück über den nichtlinearen Kristall (NC), um einen zusätzlichen Ausgangswellenlängen-Strahl zu erzeugen;

h) einem Strahlenteiler (M3, M23) zum Trennen des Ausgangswellenlängen-Strahls vom Grundwellenlängen-Strahl;

i) einer Grundwellenlängen-Strahl-Richteinrichtung zum Ausrichten des getrennten Grundwellenlängen-Strahls zurück quer über das Lasermedium für eine weitere Verstärkung;

j) einer Ausgangswellenlängen-Strahl-Richteinrichtung zum Ausrichten des getrennten Ausgangswellenlängen-Strahls zur dritten Reflexionsfläche (M4, M14, M24), wo der Strahl mindestens teilweise über den nichtlinearen Kristall reflektiert wird;

k) einem Ausgangskoppler zum Herauslenken eines Teils des Ausgangswellenlängen-Strahls aus dem Oszillatorhohlraum.

2. Laser nach Anspruch 1, wobei die erste (M1, M11, M21) und die zweite Reflexionsfläche (M2, M22) Spiegel sind.

3. Laser nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Strahlenteiler (M3, M23) ein dichroitischer Spiegel ist.

4. Laser nach Anspruch 3, wobei der Strahlenteiler (M3, M23) ein dichroitischer Spiegel ist, der den Grundwellenlängen-Strahl transmittiert und den Ausgangsfrequenz-Strahl reflektiert.

5. Laser nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4 mit einem im Laserresonatorhohlraum angeordneten Q-Schalter (QS).

6. Laser zum Bereitstellen eines Laserausgangssignals mit einer vorgewählten Frequenz mit einem Laserresonator mit einem zwischen einem ersten Spiegel (M1, M11, M21) und einem zweiten Spiegel (M2, M22) ausgebildeten Laserresonatorhohlraum, wobei der Resonator eine optische Resonatorachse aufweist;

einem im Laserresonatorhohlraum angeordneten laseraktiven Medium oder Lasermedium zum Erzeugen eines Grundwellenlängen-Strahls;

einem zwischen dem ersten Spiegel (M1, M11, M21) und einem dritten Spiegel (M4, M14, M24) ausgebildeten Hohlraum eines optisch parametrischen Oszillators, wobei der Hohlraum des optisch parametrischen Oszillators eine optische Oszillatorachse auf-

weist, die teilweise von der optischen Resonatorachse getrennt ist und die optische Resonatorachse teilweise überlappt;

einem im Hohlraum des optisch parametrischen Oszillators entlang der optischen Oszillatorachse angeordneten nichtlinearen Kristall (NC), der mit dem ersten (M1, M11, M21) und dem dritten Spiegel (M4, M14, M24) optisch kommuniziert;

wobei der nichtlineare Kristall (NC) mit dem Lasermedium optisch kommuniziert, so dass der Grundwellenlängen-Strahl auf den nichtlinearen Kristall auftrifft, um einen Teil des Grundwellenlängen-Strahls in den Ausgangswellenlängen-Strahl mit der vorgewählten Ausgangswellenlänge umzuwandeln, die größer ist als die Wellenlänge des Grundwellenlängen-Strahls;

wobei der erste Spiegel (M1, M11, M21) den Grundwellenlängen-Strahl und den Ausgangswellenlängen-Strahl reflektiert, um den Grundwellenlängen-Strahl und mindestens einen Teil des Ausgangswellenlängen-Strahls mit der vorgewählten Wellenlänge vom ersten Spiegel zurück über den nichtlinearen Kristall (NC) zu lenken um einen zusätzlichen Ausgangswellenlängen-Strahl zu erzeugen;

einem entlang der optischen Resonatorachse und der optischen Oszillatorachse angeordneten dichroitischen Spiegel (M3, M23), wobei der dichroitische Spiegel (M3, M23) zwischen dem nichtlinearen Kristall (NC) und dem Lasermedium und zwischen dem dritten Spiegel (M4, M14, M24) und dem nichtlinearen Kristall (NC) angeordnet ist;

wobei der dichroitische Spiegel (M3, M23) eine dem Lasermedium zugewandte und damit optisch kommunizierende Vorderseite und eine der Vorderseite entgegengesetzte Rückseite aufweist;

wobei die Vorderseite des dichroitischen Spiegels (M3, M23) für Grundwellenlängen-Strahlen hochgradig transmittierend ist;

wobei die Rückseite des dichroitischen Spiegels mit dem nichtlinearen Kristall (NC) optisch kommuniziert, und wobei die Rückseite des dritten Spiegels (M4, M14, M24) derart beschichtet ist, dass sie den Grundwellenlängen-Strahl transmittiert und den Ausgangswellenlängen-Strahl reflektiert;

einem im Hohlraum des optisch parametrischen Oszillators angeordneten Ausgangskoppler zum Entfernen eines Teils des Ausgangswellenlängen-Strahls mit der vorgewählten Ausgangswellenlänge vom Hohlraum des optisch parametrischen Oszillators.

7. Laser nach Anspruch 6, wobei der dichroitische Spiegel (M3, M23) unter einem Einfallswinkel  $\alpha$  von etwa 30 Grad bis etwa 70 Grad angeordnet ist.

8. Laser nach Anspruch 7, wobei der dichroitische Spiegel (M3, M23) unter einem Einfallswinkel  $\alpha$  von etwa 50 Grad bis etwa 60 Grad angeordnet ist.

9. Laser nach Anspruch 6, wobei der dichroitische Spiegel (M3, M23) unter einem Winkel  $\alpha$  ange-

ordnet ist, der dem Brewsterwinkel entspricht.

10. Laser nach Anspruch 6, 7, 8 oder 9, wobei der Laserkristall ein Nd:YLF-, Nd:YAG- oder Nd:YVO<sub>4</sub>-Kristall ist.

11. Laser nach einem der Ansprüche 6 bis 10, ferner mit einem entlang der optischen Resonatorachse angeordneten Strahlpolarisator zum p-Polarisieren des Grundwellenlängen-Strahls.

12. Laser nach einem der Ansprüche 6 bis 11, wobei der erste Spiegel (M1, M11, M21) oder der dritte Spiegel (M4, M14, M24) einen Teil des Ausgangsfrequenzstrahls transmittiert.

13. Laser nach einem der Ansprüche 6 bis 12, ferner mit einem im Hohlraum des optischen Resonators angeordneten Q-Schalter (QS).

14. Laser nach einem der Ansprüche 1 bis 13, wobei der nichtlineare Kristall (NC) aus einem BBO-, LBO-, KTP-, KTA-, RTA-, KRTA- und LiNbO<sub>3</sub>-Kristall ausgewählt wird.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

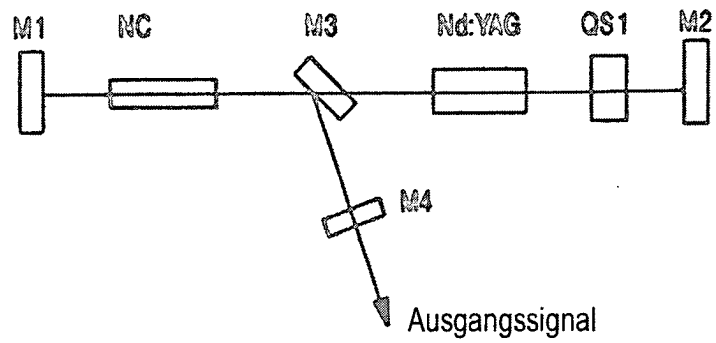


FIG. 1

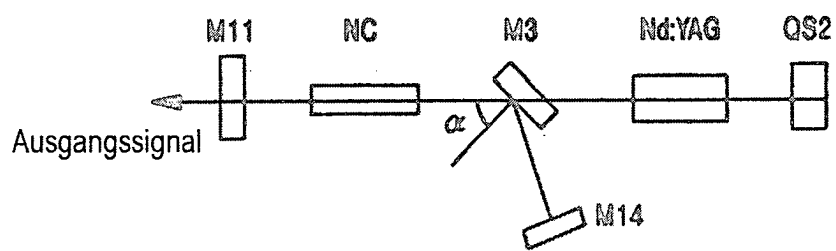


FIG. 2

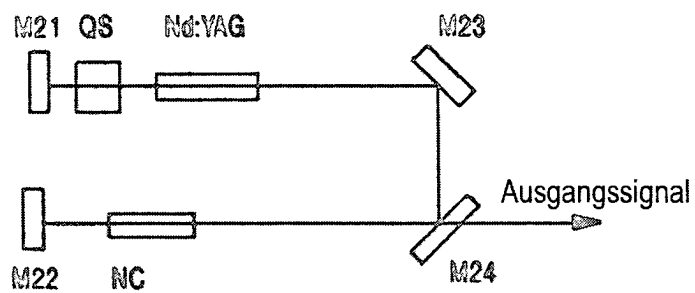
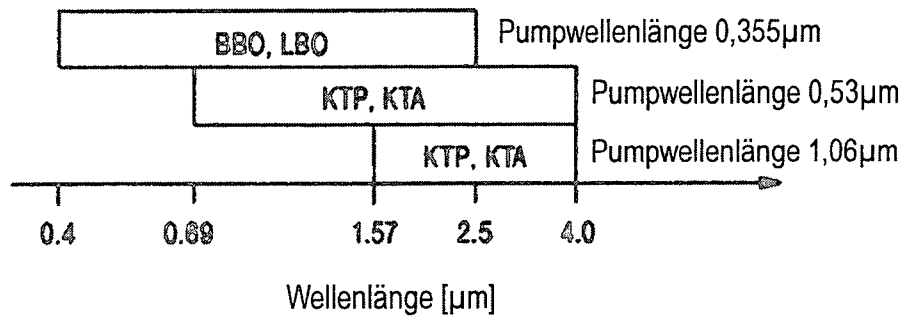


FIG. 3





Wellenlängenabdeckung von Nd:YAG- oder Nd:YLF-gemumpten OPOs

**FIG. 4**