

(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
10. August 2017 (10.08.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/134078 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G02F 1/39 (2006.01) H01S 3/11 (2006.01)
H01S 3/067 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/052105

(22) Internationales Anmeldedatum:
1. Februar 2017 (01.02.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2016 101 752.3
1. Februar 2016 (01.02.2016) DE
10 2016 103 093.7
23. Februar 2016 (23.02.2016) DE

(71) Anmelder: FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG
E.V. [DE/DE]; Hansastrasse 27c, 80686 München (DE).
FRIEDRICH-SCHILLER-UNIVERSITÄT JENA
[DE/DE]; Fürstengraben 1, 07743 Jena (DE).

(72) Erfinder: GOTTSCHALL, Thomas; Adolf-Reichwein-
Str. 6, 07745 Jena (DE). LIMPERT, Jens; Mühlenweg 12,

07751 Jena (DE). TÜNNERMANN, Andreas; Wilhelm-
Wagenfeld Str. 16, 99425 Weimar (DE).

(74) Anwälte: ISFORT, Olaf et al.; Schneiders & Behrendt,
Huestr. 23, 44787 Bochum (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA,
NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO,
RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV,
SY, TH, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR GENERATING LASER PULSES

(54) Bezeichnung : VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR ERZEUGUNG VON LASERPULSEN

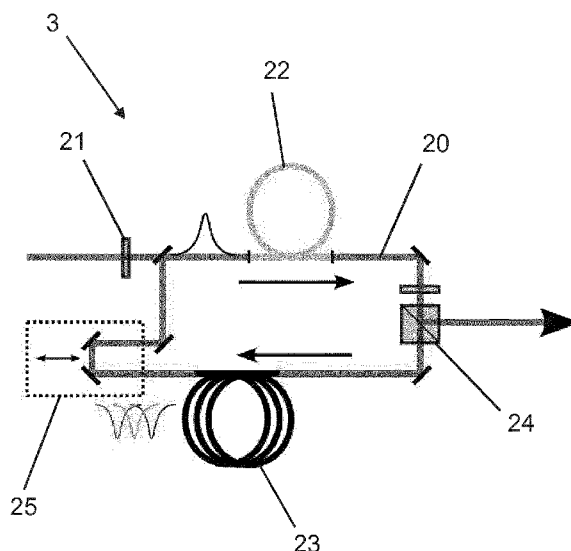


Fig. 6

(57) Abstract: The invention relates to a device (1) for
generating laser pulses, comprising a pump laser (1),
which emits laser pulses at a pump wavelength (12)
with a repetition frequency, wherein the pulse duration
of the laser pulses is 0.5-100 ps; comprising an optical
parametric oscillator (3), which converts at least some
of the laser pulses from the pump laser (1) into laser
pulses at a signal wavelength (10) and an idler
wavelength (11) different therefrom, wherein the
optical parametric oscillator (3) has an optical
resonator (20); comprising a non-linear wavelength
converter (22), which converts the laser pulses from
the pump laser (1) into laser pulses at the signal
wavelength (10) and the idler wavelength (11); and
comprising a coupling-out element (24), which couples
out at least some of the radiation from the optical
resonator (20). The problem addressed by the invention
is that of providing a device which enables the efficient
generation of synchronous laser pulse trains at two
different central wavelengths, wherein the available
tuning range with regard to the spacing of the central
wavelengths is increased with respect to the prior art.
For this purpose, the invention proposes that the pump
laser (1) is tunable with regard to the pump wavelength
(12) and the repetition frequency, and that the
resonator (20) has an optical fibre (23) having a

dispersion in the range of 10-100 ps/nm and a length of 10-1000 m. The invention also relates to a method for generating laser
pulses using such a device.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2017/134078 A1

RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, **Veröffentlicht:**CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, — *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*
TG).

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung (1) zur Erzeugung von Laserpulsen, mit einem Pumplaser (1), der Laserpulse bei einer Pumpwellenlänge (12) mit einer Repetitionsfrequenz emittiert, wobei die Pulsdauer der Laserpulse 0,5-100 ps beträgt, und einem optisch parametrischen Oszillator (3), der die Laserpulse des Pumplasers (1) zumindest zum Teil in Laserpulse bei einer Signalwellenlänge (10) und einer davon verschiedenen Idlerwellenlänge (11) umwandelt, wobei der optisch parametrische Oszillator (3) einen optischen Resonator (20) aufweist, mit einem nichtlinearen Wellenlängenkonverter (22), der die Laserpulse des Pumplasers (1) in Laserpulse bei der Signalwellenlänge (10) und der Idlerwellenlänge (11) umwandelt, und einem Auskoppellement (24), das zumindest einen Teil der Strahlung aus dem optischen Resonator (20) auskoppelt. Aufgabe der Erfindung ist es, eine Vorrichtung bereit zu stellen, die die effiziente Erzeugung von synchronen Laserpulstügen bei zwei verschiedenen Zentralwellenlängen ermöglicht, wobei der verfügbare Durchstimmbereich hinsichtlich des Abstands der Zentralwellenlängen gegenüber dem Stand der Technik vergrößert sein soll. Hierzu schlägt die Erfindung vor, dass der Pumplaser (1) hinsichtlich der Pumpwellenlänge (12) und der Repetitionsfrequenz durchstimmbar ist, wobei der Resonator (20) eine optische Faser (23) mit einer Dispersion im Bereich von 10-100 ps/nm und einer Länge 10-1000 m aufweist. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Erzeugung von Laserpulsen unter Verwendung einer solchen Vorrichtung.

Vorrichtung und Verfahren zur Erzeugung von Laserpulsen

- 5 Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Erzeugung von Laserpulsen, mit
- einem Pumplaser, der Laserpulse bei einer Pumpwellenlänge mit einer Repetitionsfrequenz emittiert, wobei die Pulsdauer der Laserpulse 0,5-100 ps beträgt, und
 - einem optisch parametrischen Oszillator, der die Laserpulse des
- 10 Pumplasers zumindest zum Teil in Laserpulse bei einer Signalwellenlänge und einer davon verschiedenen Idlerwellenlänge umwandelt, wobei der optisch parametrische Oszillator einen optischen Resonator aufweist, mit
- einem nichtlinearen Wellenlängenkonverter, der die Laserpulse des Pumplasers in Laserpulse bei der Signalwellenlänge und der
- 15 Idlerwellenlänge umwandelt, und
- einem Auskoppелеlement, das zumindest einen Teil der Strahlung aus dem optischen Resonator auskoppelt.

Außerdem betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Erzeugung Laserpulsen unter Verwendung einer solchen Vorrichtung.

- 20 Für die kohärente Raman-Spektroskopie/Mikroskopie (CRS) werden zwei synchronisierte Laserpulszüge mit Repetitionsraten von wenigen MHz bis wenigen zehn MHz benötigt. Dabei muss der Energieabstand zwischen den Zentralwellenlängen der beiden Laserpulszüge den Raman-Resonanzenergien der zu untersuchenden Moleküle entsprechen. Um mehrere Resonanzenergien
- 25 und damit verschiedene Molekülsorten adressieren zu können, muss der Energieabstand zwischen den beiden Laserpulszügen variabel sein. Außerdem

- müssen die Laserpulse eine Spitzenleistung von mehr als 100 W besitzen, damit die resultierenden Messsignale rauscharm sind. Da gleichzeitig die mittlere Leistung (z.B. bei Einsatz an lebendem Gewebe) den mW-Bereich nicht überschreiten sollte, müssen sehr kurze Laserpulse (Pulsdauer zwischen 5 ps und 50 ps) verwendet werden, um die benötigte Pulsspitzenleistung bereit zu stellen. Außerdem muss für CRS die spektrale Bandbreite der Laserpulse weniger als 10 cm^{-1} (d.h. weniger als 1 nm bei 1000 nm Zentralwellenlänge) betragen. Da sich die spektrale Bandbreite eines transformlimitierten Laserpulses invers proportional zur Pulsdauer verhält, darf die Pulsdauer einen bestimmten Mindestwert nicht unterschreiten. Die Zentralwellenlängen der Laserpulse werden meist im nahen Infrarotbereich gewählt, da in diesem Bereich die Absorption (in biologischem Material) gering ist und die beugungsbegrenzte räumliche Auflösung hoch. Entsprechend sollten die Laserpulse eine minimale Pulsdauer von ca. 1 ps nicht unterschreiten, um bei transformlimitierter Bandbreite den Anforderungen an die spektrale Auflösung zu genügen. Daher ist die Verwendung von Laserpulsen im Bereich von 0,5-100 ps ein Kompromiss aus einer hohen spektralen Auflösung der Ramanresonanzen und der Erzeugung rauscharmer Messsignale durch die Anregung mit hoher Pulsspitzenleistung bei einer verträglichen mittleren Leistung.
- Eine Vorrichtung der eingangs genannten Art, nämlich ein auf optischen Fasern basierender optisch parametrischer Oszillator (OPO) ist aus dem Stand der Technik bekannt. Der OPO wandelt, abhängig von der Wellenlänge und der Repetitionsfrequenz des Pumplasers, einen Teil des Lichts in Laserpulse bei einer kleineren Wellenlänge (Signalwellenlänge) und einen anderen Teil in Laserpulse bei einer größeren Wellenlänge (Idlerwellenlänge) um. Die so erzeugten Laserpulse können für (bildgebende) CRS Verfahren verwendet werden. Da während der parametrischen Umwandlung die Pumpenergie nicht gespeichert wird, muss der OPO synchron gepumpt werden. Deshalb muss der zeitliche Abstand der Pumppulse, d.h. der Laserpulse des Pumplasers, der Umlaufzeit der Signal- oder Idlerstrahlung im Resonator des OPOs entsprechen. Wird die Resonatorlänge für die Signal- oder Idlerwellenlänge so gewählt, dass sie resonant zur Repetitionsfrequenz des Pumplasers ist und gleichzeitig der Vierwellenmischprozess in dem entsprechenden Wellenlängenbereich die Umlaufverluste überkompensiert, werden die Laserpulse bei der Signal- und

5 Idlerwellenlänge erzeugt. Wird die Resonatorlänge des OPOs verändert, ist ein anderer Wellenlängenbereich resonant zu den Pumppulsen. Können in diesem Wellenlängenbereich die Umlaufverluste im Resonator durch die Verstärkung im OPO weiterhin überkompensiert werden, schwingen entsprechend neue Signal- und Idlerwellenlängen an.

10 Es ist Aufgabe der Erfindung, eine Vorrichtung bereit zu stellen, die die effiziente Erzeugung von synchronen Laserpulszügen bei zwei verschiedenen Zentralwellenlängen ermöglicht, wobei der verfügbare Durchstimmbereich hinsichtlich des Abstands der Zentralwellenlängen gegenüber dem Stand der Technik vergrößert sein soll.

15 Diese Aufgabe löst die Erfindung ausgehend von einer Vorrichtung der eingangs angegebenen Art dadurch, dass der Pumplaser hinsichtlich der Pumpwellenlänge und der Repetitionsfrequenz durchstimmbar ist, wobei der Pumplaser hinsichtlich der Pumpwellenlänge und der Repetitionsfrequenz durchstimmbar ist. Dabei ist im Resonator eine optische Faser mit einer Dispersion im Bereich von 10-100 ps/nm und einer Länge 10-1000 m vorgesehen.

20 Für jede Pumpwellenlänge gibt es aufgrund der Energieerhaltungs- und Phasenanpassungsbedingung innerhalb der jeweiligen Wellenlängenbereiche der Signal- und Idlerstrahlung nur ein Wellenlängentripel, das die maximale Umwandlungseffizienz bei einer bestimmten Repetitionsfrequenz des Pumplasers ermöglicht. An den Grenzen dieser Wellenlängenbereiche fällt die Umwandlungseffizienz merklich ab. Die Erfindung schlägt vor, einen Pumplaser zu verwenden, der hinsichtlich der Pumpwellenlänge und der Repetitionsfrequenz kontinuierlich durchstimmbar ist. Somit können über breite Wellenlängenbereiche
25 die Signal- und Idlerstrahlung mit hoher Effizienz erzeugt werden. Die Pumpwellenlänge sollte vorzugsweise im Bereich zwischen 1015 und 1060, möglichst zumindest zwischen 1025 und 1050 nm durchstimmbar sein. Alle für die kohärente Raman-Spektroskopie relevanten Energieabstände können damit erfindungsgemäß abgedeckt werden.

30 Der Pumplaser weist eine variable (d.h. einstellbare) Repetitionsfrequenz auf, so dass mit einer festen Resonatorlänge des OPOs bei verschiedenen

Pumpwellenlängen gearbeitet werden kann. Vorteilhaft emittiert der Pumplaser die Laserpulse mit einer Repetitionsfrequenz zwischen 1 MHz und 20 MHz, wobei eine relative Durchstimmbarkeit der Repetitionsfrequenz bis zu 5 % ausreicht.

5 Durch die im optischen Resonator erfindungsgemäß vorgesehene stark dispersive optische Faser weist der Resonator eine deutliche Wellenlängenabhängigkeit der effektiven Resonatorlänge auf. Die optische Faser sorgt für eine signifikant wellenlängenabhängige Verzögerungscharakteristik, wodurch die Laserpulse optisch gestreckt werden. Daraus resultiert der Vorteil, dass ein Ändern der Resonatorlänge des OPOs oder der Wiederholrate der
10 Pumpstrahlungspulse eine Änderung der Wellenlängen der erzeugten Strahlung bewirkt. Insbesondere wird durch die signifikante Dispersion im Rückkopplungszweig des Resonators die erzeugte Strahlung wesentlich schmalbandiger als in konventionellen OPOs.

15 Die Vorrichtung und das Verfahren gemäß der Erfindung erzeugen spektrale Bandbreiten der Wellenlänge der Strahlung, die nahezu dem Transformlimit der Pulsdauer der erzeugten Strahlung entsprechen. Diese Eigenschaften basieren auf der Tatsache, dass eine effiziente Konversion von Pump- in Strahlungsleistung nur erfolgen kann, wenn die im Resonator zurückgekoppelten, zeitlich gestreckten Pulse einen guten zeitlichen Überlapp mit Pumppulsen der
20 Pumpstrahlungsquelle aufweisen.

Durch die stark dispersive optische Faser im Resonator ist der zeitliche Überlapp der Pumpstrahlung und der Signalstrahlung nur für bestimmte Wellenlängenbereiche erfüllt. Diese Wellenlängenbereiche können über die Verzögerungscharakteristik bzw. Dispersionscharakteristik des dispersiven
25 Elements vorgegeben werden.

Bevorzugt wird die Konvertierung der Wellenlänge in dem optisch parametrischen Oszillator durch eine sogenannte Vier-Wellenmischung („Four-Wave-Mixing“ = FWM) durchgeführt. Ähnlich der klassischen optisch parametrischen Frequenzerzeugung in nichtlinearen Kristallen kann in mikrostrukturierten Fasern
30 Licht konvertiert werden. Bei der klassischen optisch parametrischen Frequenzerzeugung handelt es sich um einen Dreiwellenmischprozess der durch

Kristall-Nichtlinearitäten ermöglicht wird. Da diese in Glasfasern nicht vorhanden sind, treten hier zuerst Nichtlinearitäten auf, die in der Form von Vier-Wellenmischung Strahlung konvertieren können. So kann unter Beachtung der Phasenanpassungsbedingung die Signalstrahlung, die beispielsweise für nichtlineare Raman-Spektroskopie notwendig ist, in Fasern erzeugt werden.

In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist die dispersive optische Faser eine Einmodenfaser, oder auch Monomodefaser oder Singlemodenfaser genannt. Dabei wird eine bestimmte Wellenlänge verzögert übertragen. Dadurch ergibt sich in einfacher Weise eine wellenlängenabhängige effektive Resonatorlänge.

Um die Wellenlänge gemäß der Erfindung einzustellen, stehen somit weitere Möglichkeiten zur Verfügung. So kann neben der Repetitionsrate der Pumpstrahlung auch die Resonatorlänge des optisch parametrischen Oszillators, die Pumpimpulsdauer der Pumpstrahlung oder die Pumpimpulsform der Pumpstrahlung verändert werden. Diese Veränderungen können wechselweise oder gleichzeitig erfolgen, um beispielsweise durch eine Veränderung der Resonatorlänge und gleichzeitig durch eine Veränderung der Repetitionsrate der Pumpstrahlung eine Signalstrahlung bei einer bestimmten Wellenlänge mit einem möglichst kleinen Wellenlängenband oder Wellenlängenbereich zu erhalten.

In einer vorteilhaften Ausführungsform weist der Resonator eine variable Verzögerungsstrecke auf. Durch diese kann beispielsweise mechanisch mittels entsprechender Ablenkung der Strahlung die Resonatorlänge verändert werden und zwar unabhängig von der Wellenlänge der Strahlung im Resonator.

Kern der Erfindung ist, anders ausgedrückt, die Kombination der Durchstimmbarkeit des Pumpasers hinsichtlich Pumpwellenlänge und Repetitionsfrequenz mit der Integration der stark dispersiven optischen Faser in den Resonator des optisch parametrischen Verstärkers, die für eine zeitliche Streckung der Signal- bzw. Idler-Pulse in der Weise sorgt, dass durch die Synchronisierung mit den Pumpimpulsen bestimmte schmale Wellenlängenbereiche aus der dispersiv gestreckten Signal- bzw. Idler-Strahlung selektiert werden können. Damit besteht insgesamt die Möglichkeit,

schmalbandige Laserpulse zu erzeugen, deren Wellenlänge über einen breiten Bereich abgestimmt werden kann. Die Schmalbandigkeit ergibt sich dabei aus der zeitlichen Streckung in der dispersiven optischen Faser im Verhältnis zur Dauer der Pumppulse. Damit steht eine ideale Laserpulsquelle für die kohärente Raman-Spektroskopie oder –Mikroskopie zur Verfügung.

Der erfindungsgemäß durchstimbare Pumplaser kann z.B. dadurch bereitgestellt werden, dass in den Laserresonator eines herkömmlichen Puls lasers (mit einem Laserresonator, einem sättigbaren Absorber, einem in dem Laserresonator angeordneten optisch gepumptem Lasermedium und einem Auskoppler) ein durchstimbbares wellenlängenselektives Filter eingebracht wird, durch das eine bestimmte Wellenlänge vorgegeben wird. Dabei sollte die Filterbandbreite des wellenlängenselektiven Filters 50-1000 pm betragen. Der Durchstimbereich ist zweckmäßig an den Wellenlängenbereich, in dem das Lasermedium die in dem Laserresonator umlaufende Strahlung verstärkt, angepasst. Durch die Verluste für alle anderen Wellenlängen im Emissionsbereich des Lasermediums wird eine starke Unterdrückung herbeigeführt, so dass nur der verlustarme spektrale Durchlassbereich des Filters eine Oszillation zulässt. Die Auskoppelverluste des Laserresonators sowie die Oszillationsverluste sollten über den spektralen Durchstimbereich des Pumplasers möglichst homogen sein, damit eine nahezu konstante Ausgangsleistung bereitsteht. Daher sollte eine dotierte optische Faser als Lasermedium in Kombination mit fasergekoppelten Komponenten verwendet werden, die keine oder nur eine geringe spektrale Variation der Transmission zeigen. Der Pumplaser sollte also bevorzugt ein Faserlaser sein. Als durchstimbbares wellenlängenselektives Filter des Pumplasers eignet sich z.B. ein verstellbares Etalon oder ein Faser-Bragg-Gitter, dessen Gitterkonstante und damit Durchlasswellenlänge durch thermische oder mechanische Dehnung variabel ist. Bevorzugt wird ein auf einem optischen Liniengitter basierendes fasergekoppeltes Filter verwendet.

Bei einer bevorzugten Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist dem Pumplaser ein optischer Verstärker nachgeordnet, der die Laserpulse verstärkt, bevor diese in dem optisch parametrischen Oszillator umgewandelt werden. Durch den Verstärker wird die zur effizienten Wellenlängenumwandlung

erforderliche Leistung der Pumppulse erzeugt. Zur Einstellung der Leistung kann der optische Verstärker einen Amplitudenmodulator an sich üblicher Bauart aufweisen. Dem optischen Verstärker kann ein optischer Isolator nachgeordnet sein, um Störungen durch Rückreflexe zu vermeiden.

- 5 Bei Bedarf kann vor oder nach dem Verstärker ein Pulspicker an sich üblicher Bauart vorgesehen sein, um die Repetitionsfrequenz der Laserpulse zu erniedrigen.

Die Erfindung bezieht sich des Weiteren auf ein Verfahren zur Erzeugung Laserpulsen unter Verwendung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung. Das

10 Verfahren umfasst zumindest die folgenden Schritte:

- Erzeugung von Laserpulsen bei einer Pumpwellenlänge mit einer Repetitionsfrequenz,
- Rückkopplung von Strahlung in dem optischen Resonator der Vorrichtung und
- 15 - zumindest teilweise Umwandlung der Laserpulse in Laserpulse bei einer Signalwellenlänge und einer davon verschiedenen Idlerwellenlänge mittels des nichtlinearen Wellenlängenkonverters der Vorrichtung, wobei die Laserpulse durch die optische Faser in dem Resonator zeitlich gestreckt werden, in der Weise, dass die zeitliche Verlängerung der Laserpulse 1-500 ps je nm spektraler
- 20 Bandbreite der Laserpulse beträgt, wobei die Signalwellenlänge und die Idlerwellenlänge variiert werden durch Variation der Pumpwellenlänge und der Repetitionsfrequenz.

Weitere Merkmale, Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus dem Wortlaut der Ansprüche sowie aus der Beschreibung von Ausführungsbeispielen
25 anhand der Abbildungen.

Die Erfindung wird in weiteren Einzelheiten anhand des nachfolgenden Textes mit Bezug auf bevorzugte Ausführungsbeispiele anhand der Abbildungen näher erläutert.

Es zeigen:

	Fig. 1	eine erfindungsgemäße Vorrichtung als Blockdiagramm;
	Fig. 2	den Pumplaser der erfindungsgemäßen Vorrichtung als Blockdiagramm;
5	Fig. 3	das Emissionsspektrums des Pumplasers gemäß Fig. 2;
10	Fig. 4	Diagramm der Signal- und Idlerwellenlängen der erfindungsgemäß erzeugten Laserpulse für verschiedene Pumpwellenlängen und Repetitionsfrequenzen;
	Fig. 5	schematische Darstellungen von Auskopplern des erfindungsgemäßen Pumplasers in zwei Varianten;
15	Fig. 6	optisch parametrischer Oszillator der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

Fig. 1 zeigt schematisch eine erfindungsgemäße Vorrichtung. Diese umfasst einen Pumplaser 1, der Laserpulse bei einer Pumpwellenlänge emittiert, wobei die Pulsdauer der Laserpulse 0,5-100 ps beträgt. Die Pulsrepetitionsfrequenz liegt im Bereich von 100 kHz bis 100 MHz und ist variabel einstellbar. Die Pumpwellenlänge, d.h. die Zentralwellenlänge der Laserpulse des Pumplasers 1 ist gemäß der Erfindung zwischen 1025 nm und 1050 nm durchstimmbar. Dem Pumplaser 1 ist ein optischer Verstärker 2 nachgeordnet, der in dem genannten Wellenlängenbereich verstärkt. Die Laserpulse des Pumplasers 1 werden in dem optischen Verstärker 2 verstärkt, bevor sie in einen optisch parametrischen Oszillator (OPO) 3 eingekoppelt und dort durch einen nichtlinearen Vierwellenprozess zumindest zum Teil in Laserpulse bei einer Signalwellenlänge und einer davon verschiedenen Idlerwellenlänge umgewandelt werden. Die mittlere Leistung am Ausgang des optischen Verstärkers 2 liegt im Bereich von 100 mW bis 10 W. Der OPO 3 ist z.B. wie in Fig. 6 dargestellt ausgebildet.

Fig.2 zeigt schematisch den Aufbau des Pumplasers 1, der als Faserlaser aufgebaut ist. Dieser umfasst einen sättigbaren Absorberspiegel 4, eine variable Verzögerungstrecke 5 zur Einstellung der Repetitionsfrequenz, ein durchstimmbares wellenlängenselektives Filter 6 zur Durchstimmung der Pumpwellenlänge, einen Wellenlängenmultiplexer (WDM) mit fasergekoppelter Pumpdiode, die eine aktive Faser als Lasermedium 7 pumpt, einen fasergekoppelten Polarisator 8 und einen teilreflektiven Auskoppelspiegel 9 mit weitgehend wellenlängenunabhängiger Charakteristik. Dem modengekoppelten Faserlaser wird durch das sehr schmalbandige durchstimbare fasergekoppelte Filter 6 eine bestimmte Wellenlänge vorgegeben. Das bedeutet, dass durch die Verluste für alle anderen Wellenlängen im Emissionsbereich des Lasermediums 7 eine starke Unterdrückung im Resonator herbeigeführt wird. Nur der verlustarme Wellenlängenbereich, der durch das Filter 6 selektiert wird, lässt eine Oszillation zu. Es werden ausschließlich fasergekoppelte Komponenten in dem Pumplaser 1 verwendet, die keine oder nur eine geringe spektrale Variation der Transmission zeigen. Zur Faseranbindung des sättigbaren Absorbers 4 kann eine (variable) Teleskopoptik verwendet werden. Die Freistrahlstrecke kann dabei weniger als 1 % der gesamten Resonatorlänge ausmachen. Die Fasern der einzelnen Komponenten sind grundsätzlich polarisationserhaltend und werden grundmodig benutzt. Es ist nicht zwingend notwendig, einen fasergekoppelten Polarisator 8 zu verwenden, wenn das durchstimbare Filter 6 von sich aus eine starke Polarisationsabhängigkeit zeigt. Anderenfalls ist der Polarisator 8 notwendig, um den Betrieb in nur einem Polarisationszustand zu ermöglichen und so einen zeitlich stabilen Betrieb sicher zu stellen. Nach dem Auskoppler 9 wird am Ausgang ein Isolator (nicht dargestellt) verwendet, um nicht den Betrieb des Pumplasers 1 durch Rückreflexe zu stören.

Fig. 3 zeigt das Ausgangsspektrum (logarithmische spektrale Intensität als Funktion der Wellenlänge zwischen 1000 nm und 1080 nm) für verschiedene Filtereinstellungen des Filters 6 bei einem praktisch realisierten Ausführungsbeispiel. Die Filterbandbreite des verwendeten Filters beträgt 120 pm bei -3dB. Es ist möglich, den Pumplaser 1 mit einer größeren Filterbandbreite zu betreiben und dadurch eine geringere Pulsdauer der Laserpulse zu erreichen. Dadurch kann ohne eine aufwendige und breitbandige Dispersionkompensation im Laserresonator eine spektrale Bandbreite der Laserpulse von bis zu 400 pm

und eine Pulsdauer unterhalb von 10 ps erzeugt werden. Durch die Filterbandbreite kann die Pulsdauer in weiten Bereichen vorgegeben werden. Bei dem Ausführungsbeispiel kann eine Pulsdauer im Bereich von 10 ps bei einer Filterbandbreite von 580 pm über den Wellenlängenbereich von 1015 nm bis
5 1065 nm erzeugt werden.

In Abhängigkeit von der Einstellung der Repetitionsfrequenz und der Zentralwellenlänge des Pumplasers 1 kann erfindungsgemäß über weite Wellenlängenbereiche ein effizienter Energietransfer im (ebenfalls faserbasierten) OPO 3 stattfinden. Fig. 4 zeigt die Wellenlängenbereiche, in
10 denen Laserpulse bei der Signalwellenlänge 10 und der Idlerwellenlänge 11 bei verschiedenen Pumpwellenlängen 12 adressierbar sind. Bei dem Ausführungsbeispiel wurde die Repetitionsfrequenz im Bereich von 18,760 MHz bis 18,807 MHz variiert, um die Resonanz der Pumppulse zu den Signalpulsen mit den unterschiedlichen Signalwellenlängen im OPO 3 herzustellen. Dies
15 entspricht einer Variation der Resonatorlänge des Pumplasers von nur 20 mm. Da für jede Pumpwellenlänge die optimale Repetitionsfrequenz gewählt werden kann, ist die Konversionseffizienz im Wellenlängenkonverter des OPO 3 stets optimal. Eine Konversionseffizienz von der Pumpstrahlung zur Signalstrahlung von über 20% über den gesamten adressierbaren Wellenlängenbereich ist
20 möglich.

Die Fig. 5a zeigt eine mögliche Realisierung eines fasergekoppelten Auskopplers 9 des erfindungsgemäß verwendeten Pumplasers 1. Der Auskoppler 9 ist mit einer grundmodigen und polarisationserhaltenden Eingangsfasern 13 und einer ebensolchen Ausgangsfaser 14 verbunden und
25 besitzt im Bereich des Verstärkungsspektrums des Lasermediums eine Reflektivität von 5-95 %. Das in die Eingangsfasern 13 eingekoppelte Licht wird zurückgeleitet. Der transmittierte Teil wird zur Ausgangsfaser 14 gekoppelt. Die Fasern 13, 14 sind an einen polarisationserhaltenden fasergekoppelten Strahlteiler 15 angebunden, der jeweils zwei Eingangs- und Ausgangsanschlüsse
30 besitzt. Die zwei Ausgangsanschlüsse sind über eine Faserschleife 16 miteinander verbunden. Das Koppelverhältnis des fasergekoppelten Strahlteilers 15 kann zwischen 1 und 49% liegen und stellt dadurch ein Auskoppelverhältnis zwischen 3 und 99% ein.

Die Fig. 5b zeigt eine weitere Variante eines fasergekoppelten Auskopplers 9. Diese umfasst eine Kollimationsoptik 17, einen teilreflektiven breitbandigen Planspiegel 18 und ein Fokussieroptik 19.

Als weitere (nicht dargestellte) Variante eignet sich als Auskoppler 9 ein freies
5 Faserende, das breitbandig teilreflektiv beschichtet sein kann.

Fig. 6 zeigt schematisch den OPO 3. Der OPO 3 umfasst einen Resonator 20 mit einer wellenlängenabhängigen Resonatorlänge. Zwischen dem Resonator 20 und dem Verstärker 2 (Fig. 1) ist zusätzlich ein spektrales Filter 21 vorgesehen zum Filtern der in den Resonator einzukoppelnden Strahlung.

10 Der Resonator 20 weist einen nichtlinearen Wellenlängenkonverter 22 (z.B. mikrostrukturierte Faser mit Nulldispersionswellenlänge für transversale Fundamentalmode im Bereich von 1025-1350 nm) zur Erzeugung von Strahlung bei einer Signal- und Idler-Wellenlänge auf. In dem Resonator 20 ist weiter eine stark dispersive optische Faser 23 zur Erzeugung einer wellenlängenabhängigen
15 Verzögerungscharakteristik vorgesehen, sowie ein Auskoppelement 24 zur zumindest teilweisen Auskopplung der Strahlung aus dem Resonator 20. Optional kann der Resonator 20 eine variable Verzögerungsstrecke 25 aufweisen, welche ein Verändern der absoluten Resonatorlänge unabhängig von der Wellenlänge ermöglicht.

20 Durch Verändern der Repetitionsrate des Pumplasers 1 kann die Wellenlängencharakteristik der von dem OPO abgegebenen Strahlung variiert werden. Die optische Faser 23 weist eine Dispersion im Bereich von 10-100 ps/nm, vorzugsweise ca. 30 ps/nm, und eine Länge von 10-1000 m, vorzugsweise ca. 250 m auf. Sie bewirkt eine zeitliche Verzögerung, d.h. Streckung der im
25 Resonator zurückgekoppelten Laserpulse im Bereich von 95-100% des reziproken Wertes der Repetitionsrate der Pumppulse oder eines Vielfachen davon. Dabei bewirkt die optische Faser 23 eine zeitliche Verlängerung der Pulse im Bereich von 1-500 ps je nm spektraler Bandbreite. Durch die optische Faser 23 wird die spektrale Bandbreite der Laserpulse bei der Signal- und
30 Idlerwellenlänge gegenüber den Pumpspulsen stark verringert. Nur im zeitlichen Überlappungsbereich des jeweiligen Pumpspulses mit den im Zeitbereich spektral

hintereinander gestaffelten Frequenzkomponenten der zurückgekoppelten Strahlung erfolgt eine Verstärkung. Im eingeschwungenen Zustand ist die erzeugte Strahlung derart schmalbandig, dass eine möglicherweise entstehende dispersive Pulsverlängerung kaum einen Einfluss hat. Damit können je nach

5 Stärke der Dispersion nahe transformlimitierte spektrale Bandbreiten erreicht werden.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Erzeugung von Laserpulsen, mit
- einem Pumplaser (1), der Laserpulse bei einer Pumpwellenlänge
- 5 (12) mit einer Repetitionsfrequenz emittiert, wobei die Pulsdauer der Laserpulse 0,5-100 ps beträgt, und
- einem optisch parametrischen Oszillator (3), der die Laserpulse des Pumplasers (1) zumindest zum Teil in Laserpulse bei einer Signalwellenlänge (10) und einer davon verschiedenen Idlerwellenlänge (11) umwandelt, wobei der
- 10 optisch parametrische Oszillator (3) einen optischen Resonator (20) aufweist, mit
- einem nichtlinearen Wellenlängenkonverter (22), der die Laserpulse des Pumplasers (1) in Laserpulse bei der Signalwellenlänge (10) und der Idlerwellenlänge (11) umwandelt, und
 - einem Auskoppellement (24), das zumindest einen Teil der
- 15 Strahlung aus dem optischen Resonator (20) auskoppelt,
- d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
- dass der Pumplaser (1) hinsichtlich der Pumpwellenlänge (12) und der Repetitionsfrequenz durchstimmbar ist, wobei der Resonator eine optische Faser (23) mit einer Dispersion im Bereich von 10-100 ps/nm und einer Länge 10-
- 20 1000 m aufweist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch einen dem Pumplaser (1) nachgeordneten optischen Verstärker (2), der die Laserpulse des Pumplasers (1) verstärkt, bevor diese in dem optisch parametrischen Oszillator (3) umgewandelt werden.

- 25 3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der optische Verstärker (2) einen Amplitudenmodulator aufweist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass dem optischen Verstärker (2) ein optischer Isolator nachgeordnet ist.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Pumplaser (1) einen Laserresonator, einen sättigbaren Absorber (4), ein in dem Laserresonator angeordnetes optisch gepumptes Lasermedium (7) und einen Auskoppler (9) aufweist, wobei in dem Laserresonator außerdem ein wellenlängenselektives Filter (6) angeordnet ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das wellenlängenselektive Filter (6) eine Filterbandbreite von 50-1000 pm aufweist.

10 7. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass das wellenlängenselektive Filter (6) in dem Wellenlängenbereich, in dem das Lasermedium (7) die in dem Laserresonator umlaufende Strahlung verstärkt, durchstimmbar ist.

15 8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Pumplaser (1) ein Faserlaser ist.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Pumplaser (1) die Laserpulse mit einer Repetitionsfrequenz zwischen 1 MHz und 20 MHz emittiert, wobei die relative Durchstimbarkeit der Repetitionsfrequenz bis zu 5 % beträgt.

20 10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Pumpwellenlänge (12) im Bereich zwischen 1015 und 1060 nm liegt.

25 11. Verfahren zur Erzeugung Laserpulsen unter Verwendung einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

- Erzeugung von Laserpulsen bei einer Pumpwellenlänge (12) mit einer Repetitionsfrequenz,

- Rückkopplung von Strahlung in dem optischen Resonator (20) der Vorrichtung und
- zumindest teilweise Umwandlung der Laserpulse in Laserpulse bei einer Signalwellenlänge (10) und einer davon verschiedenen Idlerwellenlänge (11) mittels des nichtlinearen Wellenlängenkonverters (22) der Vorrichtung, wobei die Laserpulse durch die optische Faser (23) in dem Resonator (20) zeitlich gestreckt werden, in der Weise, dass die zeitliche Verlängerung der Laserpulse 1-500 ps je nm spektraler Bandbreite der Laserpulse beträgt, wobei die Signalwellenlänge (10) und die Idlerwellenlänge (11) variiert werden durch Variation der Pumpwellenlänge (12) und der Repetitionsfrequenz.

12. Verwendung von durch das Verfahren nach Anspruch 11 erzeugten Laserpulsen bei der Signal- und Idlerwellenlänge (10, 11) für die kohärente Raman-Spektroskopie oder -Mikroskopie.

13. Verwendung nach Anspruch 12, wobei die spektrale Bandbreite der Laserpulse weniger als 10 cm^{-1} beträgt.

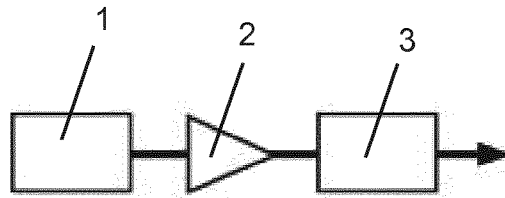


Fig. 1

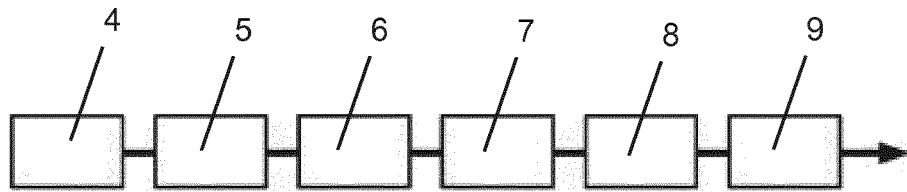


Fig. 2

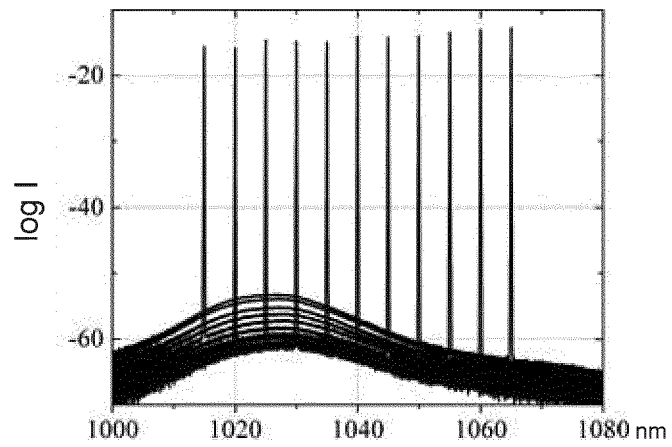
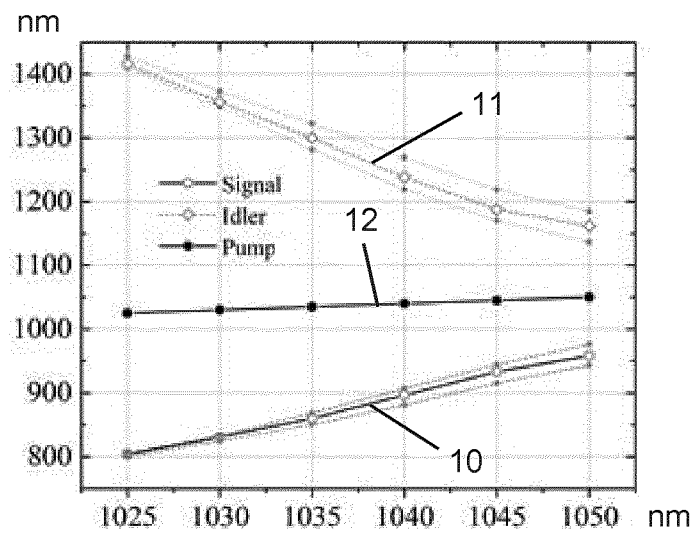
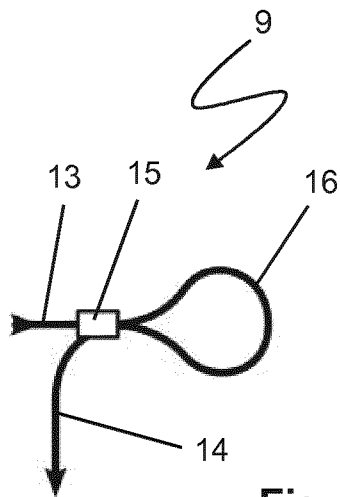
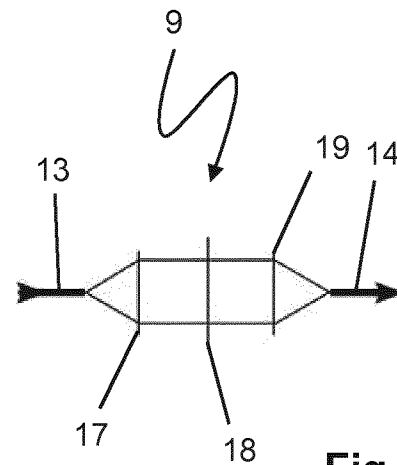


Fig. 3

**Fig. 4****Fig. 5a****Fig. 5b**

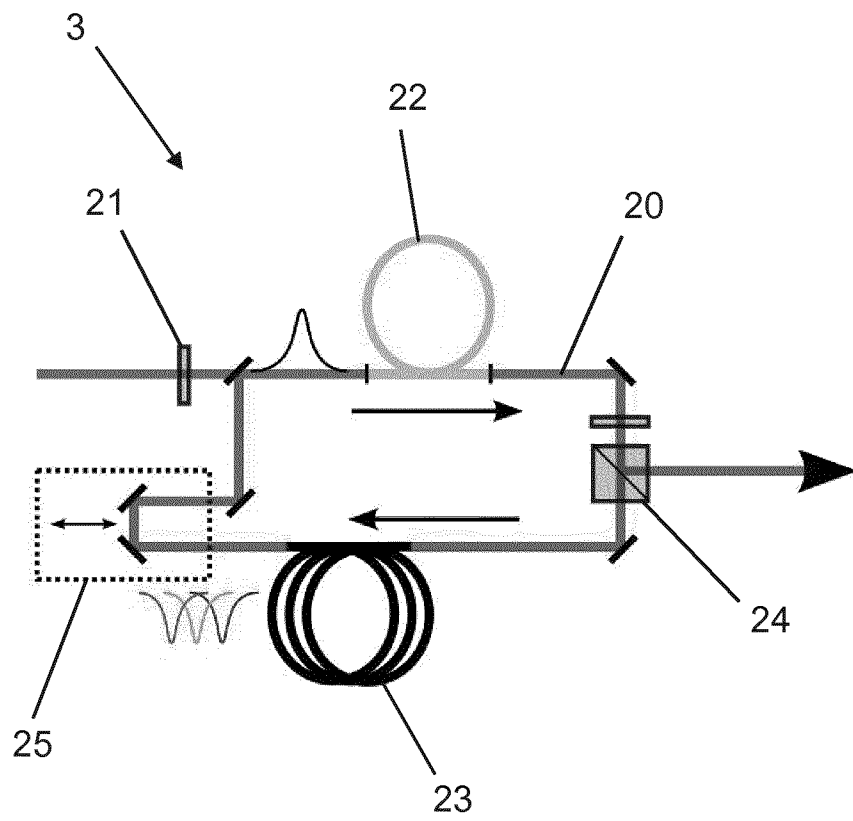


Fig. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/052105

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G02F1/39
ADD. H01S3/067 H01S3/11

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02F H01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, COMPENDEX, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X,P	GOTTSCHALL T ET AL: "Four-wave mixing based light sources for real-world biomedical applications of coherent Raman microscopy", PROGRESS IN BIOMEDICAL OPTICS AND IMAGING - PROCEEDINGS OF SPIE - MULTIPHOTON MICROSCOPY IN THE BIOMEDICAL SCIENCES XVI, SAN FRANCISCO, USA, 14-16 FEBRUARY 2016, vol. 9712, 14 March 2016 (2016-03-14), pages 9712021-9712025, XP60064780, DOI: 10.1117/12.2212213 the whole document ----- -/--	1-13



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

11 May 2017

Date of mailing of the international search report

19/05/2017

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Riechel, Stefan

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/052105

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	THOMAS GOTTSCHALL ET AL: "Fiber-based optical parametric oscillator for high resolution coherent anti-Stokes Raman scattering (CARS) microscopy", OPTICS EXPRESS, vol. 22, no. 18, 3 September 2014 (2014-09-03), page 21921, XP055370557, DOI: 10.1364/OE.22.021921 the whole document -----	1-13
A	JAY E. SHARPING ET AL: "Optical parametric oscillator based on four-wave mixing in microstructure fiber", OPTICS LETTERS, vol. 27, no. 19, 1 October 2002 (2002-10-01), page 1675, XP055370721, ISSN: 0146-9592, DOI: 10.1364/OL.27.001675 page 1676, left-hand column, paragraph 3 - right-hand column, paragraph 1; figure 1 -----	1,11
A	ERIN S LAMB ET AL: "Fiber optical parametric oscillator for coherent anti-Stokes Raman scattering microscopy", OPTICS LETTERS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, vol. 38, no. 20, 15 October 2013 (2013-10-15), pages 4154-4157, XP001584924, ISSN: 0146-9592, DOI: 10.1364/OL.38.004154 [retrieved on 2013-10-10] page 4155, left-hand column, paragraph 2 - right-hand column, paragraph 2; figure 2 -----	1,11
X	WO 2015/063063 A1 (FRAUNHOFER GES ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E V [DE]; FRIED) 7 May 2015 (2015-05-07) page 6, line 19 - page 10, line 7; figures 1-3 page 2, line 19 - page 3, line 22 -----	1-13
X,P	CHEN JIN ET AL: "Wide-band and fast wavelength-swept optical parametric oscillator with a photonic crystal fiber based on dispersion tuning technology at 1 μm", PROGRESS IN BIOMEDICAL OPTICS AND IMAGING, SPIE - INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING, BELLINGHAM, WA, US, vol. 9720, 7 March 2016 (2016-03-07), pages 97201D1-97201D5, XP060068651, ISSN: 1605-7422, DOI: 10.1117/12.2214195 ISBN: 978-1-5106-0027-0 page 3 - page 5; figures 2,3 -----	1-4,8-13
	----- -/--	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/052105

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	LEI ZHANG ET AL: "An all-fiber continuously time-dispersion-tuned picosecond optical parametric oscillator at 1 [mu]m region", OPTICS EXPRESS, vol. 21, no. 21, 15 October 2013 (2013-10-15), page 25167, XP055371455, DOI: 10.1364/OE.21.025167 page 25169 - page 25173; figures 1-6 -----	1-13
X	GOU DOU-DOU ET AL: "Fiber optical parametric oscillator based on photonic crystal fiber pumped with all-normal-dispersion mode-locked Yb: fiber laser", CHINESE PHYSICS B, CHINESE PHYSICS B, BRISTOL GB, vol. 23, no. 11, 13 November 2014 (2014-11-13), page 114204, XP020272737, ISSN: 1674-1056, DOI: 10.1088/1674-1056/23/11/114204 [retrieved on 2014-11-13] page 1142044, left-hand column, paragraph 3 - page 1142046r; figure 6 -----	1-13
A	THOMAS GOTTSCHALL ET AL: "Fiber-based source for multiplex-CARS microscopy based on degenerate four-wave mixing", OPTICS EXPRESS, vol. 20, no. 11, 21 May 2012 (2012-05-21), pages 12004-12013, XP055370683, DOI: 10.1364/OE.20.012004 page 12007, paragraph 1 - page 12008, paragraph 1; figure 1 -----	3-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/052105

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2015063063 A1	07-05-2015	EP 3063590 A1	07-09-2016
		US 2016320687 A1	03-11-2016
		WO 2015063063 A1	07-05-2015

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. G02F1/39

ADD. H01S3/067 H01S3/11

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

G02F H01S

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, COMPENDEX, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X,P	GOTTSCHALL T ET AL: "Four-wave mixing based light sources for real-world biomedical applications of coherent Raman microscopy", PROGRESS IN BIOMEDICAL OPTICS AND IMAGING - PROCEEDINGS OF SPIE - MULTIPHOTON MICROSCOPY IN THE BIOMEDICAL SCIENCES XVI, SAN FRANCISCO, USA, 14-16 FEBRUARY 2016, Bd. 9712, 14. März 2016 (2016-03-14), Seiten 9712021-9712025, XP60064780, DOI: 10.1117/12.2212213 das ganze Dokument ----- -/-	1-13



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

11. Mai 2017

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

19/05/2017

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Riechel, Stefan

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	THOMAS GOTTSCHALL ET AL: "Fiber-based optical parametric oscillator for high resolution coherent anti-Stokes Raman scattering (CARS) microscopy", OPTICS EXPRESS, Bd. 22, Nr. 18, 3. September 2014 (2014-09-03), Seite 21921, XP055370557, DOI: 10.1364/OE.22.021921 das ganze Dokument -----	1-13
A	JAY E. SHARPING ET AL: "Optical parametric oscillator based on four-wave mixing in microstructure fiber", OPTICS LETTERS, Bd. 27, Nr. 19, 1. Oktober 2002 (2002-10-01), Seite 1675, XP055370721, ISSN: 0146-9592, DOI: 10.1364/OL.27.001675 Seite 1676, linke Spalte, Absatz 3 - rechte Spalte, Absatz 1; Abbildung 1 -----	1,11
A	ERIN S LAMB ET AL: "Fiber optical parametric oscillator for coherent anti-Stokes Raman scattering microscopy", OPTICS LETTERS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, Bd. 38, Nr. 20, 15. Oktober 2013 (2013-10-15), Seiten 4154-4157, XP001584924, ISSN: 0146-9592, DOI: 10.1364/OL.38.004154 [gefunden am 2013-10-10] Seite 4155, linke Spalte, Absatz 2 - rechte Spalte, Absatz 2; Abbildung 2 -----	1,11
X	WO 2015/063063 A1 (FRAUNHOFER GES ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E V [DE]; FRIED) 7. Mai 2015 (2015-05-07) Seite 6, Zeile 19 - Seite 10, Zeile 7; Abbildungen 1-3 Seite 2, Zeile 19 - Seite 3, Zeile 22 -----	1-13
X,P	CHEN JIN ET AL: "Wide-band and fast wavelength-swept optical parametric oscillator with a photonic crystal fiber based on dispersion tuning technology at 1 μm ", PROGRESS IN BIOMEDICAL OPTICS AND IMAGING, SPIE - INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING, BELLINGHAM, WA, US, Bd. 9720, 7. März 2016 (2016-03-07), Seiten 97201D1-97201D5, XP060068651, ISSN: 1605-7422, DOI: 10.1117/12.2214195 ISBN: 978-1-5106-0027-0 Seite 3 - Seite 5; Abbildungen 2,3 -----	1-4,8-13
	----- -/--	

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	LEI ZHANG ET AL: "An all-fiber continuously time-dispersion-tuned picosecond optical parametric oscillator at 1 [mu]m region", OPTICS EXPRESS, Bd. 21, Nr. 21, 15. Oktober 2013 (2013-10-15), Seite 25167, XP055371455, DOI: 10.1364/OE.21.025167 Seite 25169 - Seite 25173; Abbildungen 1-6 -----	1-13
X	GOU DOU-DOU ET AL: "Fiber optical parametric oscillator based on photonic crystal fiber pumped with all-normal-dispersion mode-locked Yb: fiber laser", CHINESE PHYSICS B, CHINESE PHYSICS B, BRISTOL GB, Bd. 23, Nr. 11, 13. November 2014 (2014-11-13), Seite 114204, XP020272737, ISSN: 1674-1056, DOI: 10.1088/1674-1056/23/11/114204 [gefunden am 2014-11-13] Seite 1142044, linke Spalte, Absatz 3 - Seite 1142046r; Abbildung 6 -----	1-13
A	THOMAS GOTTSCHALL ET AL: "Fiber-based source for multiplex-CARS microscopy based on degenerate four-wave mixing", OPTICS EXPRESS, Bd. 20, Nr. 11, 21. Mai 2012 (2012-05-21), Seiten 12004-12013, XP055370683, DOI: 10.1364/OE.20.012004 Seite 12007, Absatz 1 - Seite 12008, Absatz 1; Abbildung 1 -----	3-10

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/052105

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2015063063 A1	07-05-2015	EP 3063590 A1	07-09-2016
		US 2016320687 A1	03-11-2016
		WO 2015063063 A1	07-05-2015
