

(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
27. September 2007 (27.09.2007)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2007/107441 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G02F 1/39 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2007/052020

(22) Internationales Anmeldedatum:
2. März 2007 (02.03.2007)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2006 012 949.0 21. März 2006 (21.03.2006) DE
10 2006 043 061.1
14. September 2006 (14.09.2006) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **FORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE
GMBH** [DE/DE]; Weberstr. 5, 76133 Karlsruhe (DE).
BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND, vertreten
durch das Bundesministerium für Wirtschaft und
Technologie, dieses vertreten durch den Präsidenten

der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt [DE/DE];
Bundesallee 100, 38116 Braunschweig (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **VOGELMANN,
Hannes** [—/DE]; Farchanter Str. 10, 82467
Garmisch-Partenkirchen (DE). **GRÜTZMACHER,
Klaus** [DE/ES]; c/Fray Luis de León n:8, 3:B, E-47002
Valladolid (ES). **TRICKL, Thomas** [DE/DE]; Hupfleit-
enweg 17 a, 82467 Garmisch-Partenkirchen (DE).
STEIGER, Andreas [DE/DE]; Brunsbütteler Damm
328b, 13591 Berlin (DE). **STEIGER, Martina** [DE/DE];
Brunsbütteler Damm 328b, 13591 Berlin (DE).

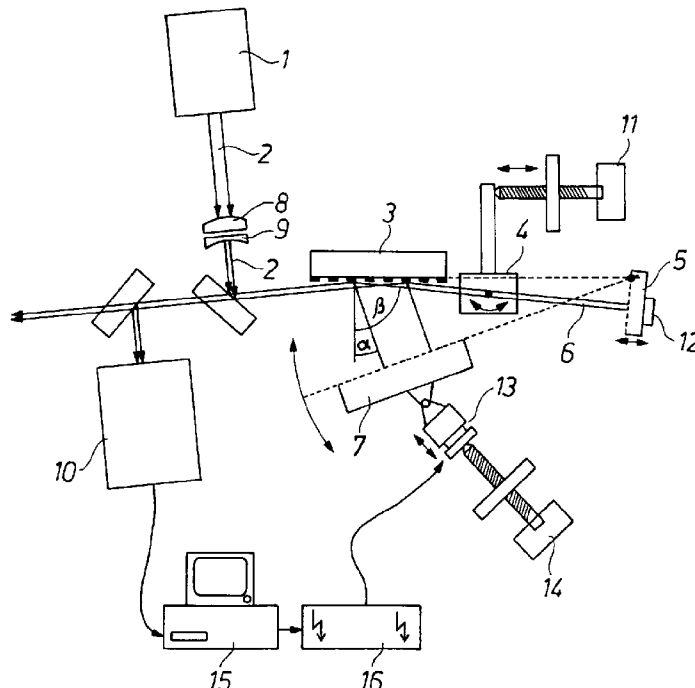
(74) Anwalt: **FITZNER, Uwe**; Hauser Ring 10, 40878 Ratin-
gen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: PULSED PARAMETRIC OSCILLATOR IN SINGLE-MODE OPERATION

(54) Bezeichnung: GEPULSTER PARAMETRISCHER OSZILLATOR IN EINMODENBETRIEB



(57) Abstract: The present invention relates to a pulsed parametric oscillator comprising at least – one pump laser (1) – apparatuses (8, 9) which are used to elliptically deform, and vertically compress, the pump beam (2) of the pump laser (1) – a reflection grating (3) – a non-linear birefringent crystal (4) – a tuning mirror (7) and – an end mirror (5).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2007/107441 A1



GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft einen gepulsten parametrischen Oszillator umfassend wenigstens - einen Pumplaser (1) - Vorrichtungen (8, 9), mittels derer der Pumpstrahl (2) des Pumplasers (1) elliptisch verformt und vertikal komprimiert wird - ein Reflektionsgitter (3) - einen nicht linearen, doppelbrechenden Kristall (4) - einen Abstimmspiegel (7) und - einen Endspiegel (5).

Gepulster parametrischer Oszillator in Einmodenbetrieb

Die vorliegende Erfindung betrifft einen weit abstimmbaren optisch-parametrischen Oszillator (OPO), der in seiner Bandbreite nur durch das Fourier-Transform-Limit definiert ist.

Das Funktionsprinzip der weit abstimmbaren Erzeugung von Laserstrahlung mit einem optisch-parametrischen Oszillatoren beruht auf dem besonderen optischen Eigenschaften nicht linearer und doppelbrechender Kristalle. Der optisch-parametrische Prozess beruht auf dem Zusammenspiel zweier Effekte, der Nichtlinearität der elektrischen Polarisation des Kristalls und der Phasenanpassung durch Ausnutzung der Doppelbrechung. Die elektrische Feldkomponente des durch einen transparenten Festkörper geleiteten Lichts führt zu einer lokalen elektrischen Polarisation des Festkörpers. Durch wellenförmige Ausbreitung erzeugt das Licht im Dielektrikum eine Polarisationswelle.

Die Polarisation stellt eine Deformation des elektrischen Systems des Mediums dar und kann daher der elektrischen Feldstärke nur begrenzt linear folgen. Bei den natürlichen Lichtintensitäten unserer Umgebung treten diese Nichtlinearitäten kaum in Erscheinung. Erst durch die extrem hohen Lichtintensitäten, wie sie durch die Entwicklung des Lasers möglich geworden sind, gewinnen die Terme höherer Ordnung entscheidende Bedeutung und sind technisch nutzbar geworden. Die nichtlinearen Anteile bedeuten, dass die Polarisationswelle, anders als eine erregende harmonische Lichtquelle zusätzliche Frequenzanteile bekommen. Da die Polarisationswelle ihrerseits wieder eine elektromagnetische Welle erzeugt, kann auf diese Weise Licht einer anderen Wellenlänge entstehen.

Der optisch-parametrische Prozess kann als Frequenzteilung beschrieben werden. Dabei wird die kurzwelligere Ausgangsstrahlung als Pumplicht benutzt. Die verstärkte langwelligere Strahlung nennt man „Signal“ und die zusätzlich aus Differenzphotonen erzeugte Strahlung „Idler“.

Der für den optisch-parametrischen Oszillator bedeutsame optisch-parametrische Prozess nutzt diese Vorgänge. Es wird starkes Pumplicht eingestrahlt und es entstehen durch die Nichtlinearität Photonen, die in ihrer Energie- und Impulssumme den Photonen des Pumplichts entspricht. Eine signifikante optisch-parametrische Verstärkung der erzeugten Photonen ist jedoch nur möglich, wenn sich alle drei beteiligten Photonen mit der gleichen Geschwindigkeit entlang der Ausbreitungsrichtung durch das Medium bewegen, weil nur so die vom Pumplicht stets neugenerierten Photonen konstruktiv mit den schon vorhandenen

Idler- bzw. Signalphotonen interferieren können. Wenn die Anisotropie des Mediums dazu führt, dass die Polarisierung des optisch-parametrisch erzeugten Lichts und des primären Pumplichts senkrecht zueinander stehen, kann dies in einem doppelbrechenden Kristall dazu benutzt werden, die Phasen von Pumplicht und Signal bzw. Idler anzupassen. Dazu muss
5 der Kristall in einem bestimmten Winkel zur Strahlrichtung so positioniert werden, dass sich orthogonal polarisierte Lichtwellen gleich schnell und in Phase durch den Kristall ausbreiten. Um die Verstärkung und Selektion von Signal oder Idler zu verbessern, wird der optisch parametrische Prozess üblicherweise in einen Resonator eingebunden, der die zu imitierende Wellenlänge auf seinen Endflächen (teilweise) reflektiert.

10

Der erste optisch-parametrische Oszillator wurde bereits 1965 realisiert. Seit Mitte der Achzigerjahre des 20. Jahrhunderts erlebten die optisch-parametrischen Oszillatoren durch die Entwicklung moderner leistungstarker Pumpelaser einen erheblichen Aufschwung.

15 Aus W. R. Bosenberg, D. R. Guyer in J. Opt. Soc. Am. B 10 (1993), 1716-1722 und der US5235456 sind optisch-parametrische Oszillatoren mit dem sogenannten Littmann-Resonator bekannt. Derartige Geräte wurden von dem Hersteller STI Optronics auf den Markt gebracht und von der Firma Continuum übernommen und weiterentwickelt (Modell MIRAGE 500).

20

In diesen Geräten war neben dem doppelbrechenden Kristall zur Frequenzteilung auch ein Abstimmungsreflektor zur Einstellung der Wellenlänge vorgesehen. Die Drehung des Kristalls und Abstimmungsreflektors erfolgte jeweils durch einen Motor mit einer nachgeschalteten stark unteretzten Spindel- und Hebelmechanik, die sich jedoch in der Praxis als unzureichend
25 erwiesen hat.

Die für den Einmodenbetrieb konzipierten optisch-parametrischen Oszillatoren waren darüber hinaus mit einem über eine Glasfaser angekoppelten Interferometer ausgestattet, dessen Interferenzringe jeweils mit einer CCD-Kamera auf einem kleinen Monitor zwecks
30 Überwachung des Einmodenbetriebs dargestellt worden.

Eine zusätzliche Zweitsegment-Fotodiode sollte gemäß einer Anordnung von T. D. Raymond, P. Esherick und A. V. Smith in Optics Letters 14 (1989), 1116-1118 den Einmodenbetrieb elektronisch überwachen und diesen aufrechterhalten, indem eine
35 Anpassung des Endspiegels erfolgt. Veränderungen der Resonatorlänge (z.B. durch thermisches Driften oder mechanische Veränderungen) führen zu einer Änderung der Wellenlänge und in Folge über die Gitterbedingung zu einer gewissen Veränderung der

- horizontalen Strahlrichtung, welche von der Zweisegment-Fotodiode registriert wird. Eine daran angekoppelte aktive Feinkorrektur der Resonatorlänge mit Hilfe eines Piezokristalls am Endspiegel sollte den Resonator stabilisieren und zwar so, dass die Resonatorlänge stets die sogenannte Pivot-Bedingung erfüllt. Die von K. Liu und M. G. Littman in Optics Letters 6 (1981), 117-118 eingeführte Pivot-Bedingung besagt: Wenn sich die Ebenen von Gitter, Abstimm Spiegel und Endspiegel eines Littmann-Resonators in einer gemeinsamen Geraden schneiden, kann der Resonator über den Abstimm Spiegel allein abgestimmt werden, ohne dass eine Anpassung der Resonatorlänge erforderlich ist.
- 10 Voraussetzung für ein Funktionieren der Resonatorlängenstabilisierung ist jedoch, dass keine anderen Effekte zu horizontalen Richtungsabweichungen führen, da sonst die Regelung erfolglos versucht, die Resonatorlänge anzupassen, was sich zusätzlich destabilisierend auf den Einmodenbetrieb auswirkt.
- 15 Der Einmodenbetrieb der MIRAGE-Geräte erwies sich als viel zu instabil, um andere horizontale Abweichungen auszuschließen. Die Ursache dafür lag im Anschwingen transversaler Moden, ausgelöst durch unvermeidliche Fluktuationen des Pumpstrahls, z. B. seines Strahlprofils oder seiner Strahlrichtung.
- 20 Praktisch konnten erst durch die dieser Patentanmeldung zugrundeliegenden Maßnahmen die erforderlichen Bedingungen für einen stabilen Einmodenbetrieb geschaffen werden, der letztlich den Einsatz der aktiven Resonatorlängenstabilisierung wieder sinnvoll macht.
- Aus der Arbeit von G. Ehret, A. Fix, V. Weiß, G. Poberaj und T. Baumert in Applied Physics B 67 (1998), S. 427-437 ist ein optisch-parametrischer Oszillator bekannt, welcher mit einem Diodenlaser-geseedeten OPO-System mit einem Ringresonator ausgestattet ist. Mit diesem System werden dem Modell MIRAGE 500 vergleichbare Bandbreiten (190 MHz) erzielt. Allerdings bietet das System nur einen vergleichsweise geringen Abstimmbereich zwischen 930 nm und 960 nm. Weiterentwicklungen der bekannten optisch-parametrischen Oszillatoren mit Littmann-Resonator wurden von J. Mes, M. Leblans, W. Hogervorst in Optics Letters 27 (2002), 1442-1444 vorgestellt. Hierbei wurden der Abstimm Spiegel und der Endspiegel des Littmann-Resonators durch Prismen ersetzt. Hierdurch wurde erreicht, dass der Littmann-Resonator als Ringresonator arbeitet. Die mit diesem System erzielten Bandbreiten lagen jedoch nicht unter 500 MHz bei einer Pulslänge von 1,3 ns, d. h. immer noch entfernt vom Fourier-Transform-Limit.

Aus der US 547707 A ist ein OPO bekannt. Dieses System wurde vor etwa 10 Jahren auch für eine Einmodenversion angekündigt, hat aber nie einen Einmodenbetrieb erreicht.

- 5 Ein OPO ist ferner aus CLEO 2001, Seiten 425 – 426 bekannt. Hierbei handelt es sich um einen breitbandigen OPO mit periodisch gepoltem Lithiumniobat, der sich aber nicht für den Einmodenbetrieb eignet. Gleiches gilt auch für die anderen aus dem Stand der Technik, z. B. aus der DE 196 110 15 A1, US 6167067 A, US 620 1638 B1 und WO 98/36371 A1 bekannten OPO-Systeme. D.h. insgesamt ist
10 festzustellen, dass der Stand der Technik bisher bei noch keinem gepulsten OPO einen stabilen Einmodenbetrieb in zufriedenstellender Weise erreicht hat.

- Die bisher auf den Markt gebrachten abstimmbaren gepulsten optisch-parametrischen Oszillator-Systeme für den Einmodenbetrieb scheiterten bisher im wesentlichen an zwei
15 Problemen. Zum einen wurden die Seitenmoden nicht ausreichend unterdrückt, die sich in inakzeptablen Puls-zu-Puls Fluktuationen der Wellenlänge und Intensität widerspiegelte. Zum anderen hatten sämtliche bereits auf dem Markt befindlichen Systeme größte Schwierigkeiten mit thermischen und mechanischen Driften. Wegen der fehlenden aktiven Echtzeitkontrolle der Wellenlänge und Regelung derselben konnten diese Probleme bisher
20 nicht beseitigt werden. So konnte bei dem oben beschriebenen System von Continuum die Wellenlänge nur über vordefinierte Parameter-Einstellungen der Resonatorgeometrie mit Hilfe von Spindelantrieben eingestellt werden. Jegliche mechanische Toleranzen und Hysteresen sowie thermische Driften blieben dabei völlig unberücksichtigt. Darüber hinaus sorgte der Kristall nach dem Einschalten durch sein Aufwärmverhalten für eine deutlich
25 driftende Frequenzselektivität, die eine dauernde Nachjustierung des Kristalls erforderlich machte.

- Insgesamt ist festzustellen, dass der stabile Einmodenbetrieb der weit abstimmbaren optisch-parametrischen Oszillatoren, der in seiner Bandbreite nur durch das Fourier-
30 Transform-Limit definiert ist, im Pulsbetrieb ein bisher nicht ausreichend gelöstes technisches Problem darstellt. Der einzige bekannte kommerzielle Einmoden-Littman-OPO (Firma Continuum) konnte die versprochenen Spezifikationen nicht einhalten und wurden daher wieder vom Markt genommen. Weitere bekannte Geräte (wie das angekündigte aber nie im Markt eingeführte Modell MOPO-750 der Herstellerfirma Spectra-Physics) konnten
35 nicht einmal einen Einmodenbetrieb erreichen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es demgemäß, einen weit abstimmbaren gepulsten parametrischen Oszillator im Einmodenbetrieb am Fourier-Transform-Limit zur Verfügung zu stellen, welcher einen ausreichend stabilen Einmodenbetrieb ermöglicht. Insbesondere sollte das Gerät sich durch einen geringeren Justieraufwand, stabiles Langzeitverhalten, geringe thermische und mechanische Empfindlichkeit sowie eine aktive Frequenzstabilisierung auszeichnen. Außerdem sollen Instabilitäten, welche beim Einschalten auf Betriebstemperatur infolge der thermischen Ausdehnung des Kristalls entstehen, vermieden werden. Schließlich soll der Alterungsprozess der Kristalle deutlich verlangsamt werden.

10 Gelöst wird diese Aufgabenstellung durch einen gepulsten parametrischen Oszillator umfassend wenigstens

- einen Pumplaser,
- Vorrichtungen, mittels derer der Pumpstrahl des Pumplasers elliptisch verformt und
15 vertikal gleichförmig komprimiert wird
- ein Reflektionsgitter,
- einen nichtlinearen doppelbrechenden Kristall,
- 20 - einen Abstimmungsspiegel und
- wenigstens einen Endspiegel.

25 Die entscheidende Verbesserung des Einmodenbetrieb des optisch-parametrischen Oszillators durch eine elliptische Verformung des üblicherweise kreisförmigen Pumpstrahls wird durch eine optische Vorrichtung erzielt, die das Strahlprofil des Pumpstrahls vertikal komprimiert.

30 Hierfür kann vorzugsweise ein Teleskop (z.B. aus Zylinderlinsen) eingesetzt werden, so daß danach der Querschnitt des parallelen Lichtbündels eine Ellipse mit einem deutlich exzentrischen Achsenverhältnis (horizontal zu vertikal typisch 2:1) darstellt. Bei vertikaler Komprimierung bleibt die horizontale Ausdehnung des Pumpstrahlprofils groß, so dass durch eine optimale Ausleuchtung des Gitters eine ausreichend große longitudinale
35 Modenselektivität gewährleistet ist.

Es hat sich herausgestellt, dass durch den elliptischen Pumpstrahl ein deutlich stabilerer Einmodenbetrieb des optisch-parametrischen Oszillators erreicht werden kann. Die Puls-zu-Puls-Fluktuationen der Frequenz haben sich in Versuchen fast auf ein Viertel des ursprünglichen Wertes reduziert und lagen in einigen Versuchen nur noch bei etwa ± 35 MHz.

- 5 Gleichzeitig traten nach der Änderung praktisch keine Modensprünge mehr auf. Bei dem erfindungsgemäßen optisch-parametrischen Oszillator reduzieren sich infolge der verbesserten Unterdrückung transversaler Moden auch die Amplitudenfluktuationen deutlich.

10 Durch die vertikale Komprimierung des Pumpstrahls lässt sich der vertikale Bereich innerhalb des Kristalls, in dem eine optisch-parametrische Verstärkung von Photonen möglich ist, auf die Hälfte reduzieren. Infolgedessen erfahren in Kleinwinkelnäherung Photonen nur in einem auf die Hälfte reduzierten Winkelbereich eine Verstärkung durch das Pumplicht. Damit können die Photonen viel schmalbandiger selektiert werden. Hierdurch entsteht auch eine ausreichende vertikale Selektivität des Resonators.

15 Theoretisch war zu erwarten, dass durch die elliptische Verzerrung im Achsenverhältnis 2:1 sich die Richtungsfluktuationen des Pumpstrahls in Richtung der kürzeren Achse verdoppeln. Überraschend hat es sich jedoch erfindungsgemäß beim Betrieb der optisch-parametrischen Oszillatoren mit elliptischen Pumpstrahl gezeigt, dass die
20 Richtungsfluktuationen gegenüber dem Originalzustand deutlich reduziert sind und in etwa den Richtungsfluktuationen des Pumpasers entsprachen.

Der in der dieser Weise modifizierte Pumpstrahl fällt streifend auf ein Gitter, passiert den nichtlinearen, doppelbrechenden OPO-Kristall, trifft auf den Endspiegel, wird auf den
25 Einfallsweg zurückreflektiert und verlässt den Resonator wieder. Die erzeugten Signal- bzw. Idlerphotonen laufen parallel zum Pumpstrahl ebenfalls auf den Endspiegel und werden zusammen mit dem Pumpstrahl zurück in den nichtlinearen, doppelbrechenden Kristall reflektiert, wo durch erneute optische-parametrische Teilprozesse eine weitere Verstärkung von Idler und Signal stattfindet. Beim streifenden Einfall auf das Gitter wird jetzt das Signal
30 genauso gebeugt, dass es senkrecht auf den dem Gitter gegenüberstehenden Abstimmspiegel trifft. Von hier wird das Signal über das Gitter wieder genau in den Resonator zurück reflektiert. Dieser optische Weg ist nur dem Licht mit exakt einer Wellenlänge möglich. Diese Wellenlänge wird durch den Winkel des Abstimmspiegels gegenüber dem Gitter genau definiert. Als Materialien für die nicht linearen,
35 doppelbrechenden Kristalle können verschiedene dem Fachmann bekannte Kristallvarianten in Betracht kommen. So wurde der erste optisch-parametrische Oszillator in einem LiNbO_3 -Kristall realisiert. Neben Kaliumdihydrogenphosphat (KH_2PO_4 , KDP) deuteriertem KDP,

Litiumborat (LBO) und Betabariumborat (BBO) kann erfindungsgemäß ganz besonders bevorzugt Kaliumtitanylphosphat (KTiOPO_4 , KTP) zum Einsatz kommen.

Die KTP-Kristalle bieten eine besonders günstige Kombination von Festigkeit gegenüber hohen Lichtintensitäten, Betriebstemperatur, Nichtlinearität und Doppelbrechung. Somit ermöglicht insbesondere der Einsatz von KTP-Kristallen weit (vom sichtbaren Licht bis ins mittlere Infrarot) abstimmbare optisch-parametrische Oszillatoren mit brauchbarer Energieausbeute.

Eine besonders stark ausgeprägte anisotrope Nichtlinearität von KTP-Kristallen zeigt sich in ihren vergleichsweise geringen Akzeptanzwinkeln für die optisch-parametrische Verstärkung und ist von großem Vorteil insbesondere im Zusammenhang mit einem stabilen Einmodenbetrieb.

Versuche im Rahmen der Erfindung haben gezeigt, dass im über mehrere Stunden andauernden Betrieb der optisch-parametrischen Oszillatoren die KTP-Kristalle gegenüber Temperaturschwankungen außerordentlich empfindlich sind.

Der Einfluss des Pumpstrahls auf den Kristall führt vor allem in der Aufwärmphase zu einer Drift der winkelabhängigen Phasenanpassung. Es ist daher sinnvoll und vorteilhaft, den lichtlinearen doppelbrechenden Kristall, insbesondere bei Einsatz von KTP-Kristallen mit einer Heizung zu versehen. Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, dass mittels dieser Heizung eine Temperatur eingestellt wird, die deutlich über Umgebungstemperatur liegt. Als vorteilhaft haben sich insbesondere Temperaturen zwischen 30 und 100°C erwiesen. Bei Einsatz von KTP-Kristallen wurde der Temperaturbereich von 70-100°C als besonders bevorzugt und vorteilhaft ermittelt.

Als Heizelemente können alle dem Fachmann bekannten und geeigneten Vorrichtungen zum Einsatz kommen. Erfindungsgemäß hat sich insbesondere der Einsatz eines Kleinleistungstransistors im direkten Kontakt mit einem Temperaturfühler und einer kleinen Regelelektronik als vorteilhaft erwiesen. Vorzugsweise sind Heizelement und Temperaturfühler direkt an der Kristallaufnahme, bevorzugt aus Aluminium, befestigt ist. Mit dieser Elektronik konnte der Kristall konstant auf Temperaturen zwischen 30 und 100°C geheizt werden. Es hat sich gezeigt, dass mit eingeschalteter Kristallheizung ein wesentlich stabilerer Betrieb des optisch-parametrischen Oszillators und eine deutlich verkürzte Aufwärmphase ermöglicht wird.

Als Vorteil der Kristallheizung hat sich ferner herausgestellt, dass die schleichende Zerstörung des Kristalls in Form von sogenannten „gray trackings“ verringert wird. Dieser Effekt führt nämlich zu einer mit der Betriebsdauer zunehmenden Eintrübung des KTP-Kristalls und somit zu einer Verminderung des Wirkungsgrads. Es hat sich gezeigt, dass bei Betriebstemperaturen von über 70°C diese Trübung teilweise reversibel ist. So wurde festgestellt, dass ein alter und deutlich getrübtter KTP-Kristall nach einer Erhitzung von über drei Stunden auf 100°C einen deutlichen Rückgang der Trübung zeigt. Erfindungsgemäß ist daher insbesondere bei Einsatz von KTP-Kristallen eine Regelung auf eine Temperatur von zwischen 70 und 100°C von Vorteil.

Um einen Laser driftfrei auf $\pm 50\text{MHz}$ und weniger zu stabilisieren, ist außerdem eine aktive Frequenzstabilisierung unerlässlich. Bei denen aus dem Stand der Technik bekannten Geräten bestand eine derartige Möglichkeit nicht. Erfindungsgemäß wurde die geforderte aktive Stabilisierung durch eine Feinregelegung der mechanischen Aufhängung des Abstimmspiegels erreicht. Hierbei hat es sich als vorteilhaft erwiesen, einen Piezokristall mit elektrischen Anschlüssen in die Justiermechanik des Abstimmspiegels einzusetzen. Besonders vorteilhaft war der Einsatz dort, wo der Spindelantrieb an den Rotator der Mechanik angreift. Der erfindungsgemäß zusätzlich angebrachte Piezokristall erlaubt eine sehr feine Einstellung des Abstimmspiegels und somit eine sehr feine Abstimmung der Wellenlänge des optisch-parametrischen Oszillators. Es wird eine präzise, nahezu hysteresefreie Steuerung und Stabilisierung der Wellenlänge ermöglicht. Die Frequenzstabilisierung erfolgt vorzugsweise durch Anpassung der an dem Piezokristall angelegten Spannung an die aus einem Wellenlängen-Meßgerät ausgelesene präzise Wellenlängeninformation mit Hilfe eines Computerprogramms.

Die Wellenlänge wird über eine einstellbare Anzahl von Schüssen gemittelt. Die Schrittweite der Steuerung beträgt in einer bevorzugten Ausführungsform kleinstenfalls $1/16V$ und wirkt sich unterhalb der Nachweisgrenze auf die vom Meßgerät ermittelte Wellenlänge aus, so dass eine stufenlose Abstimmung ermöglicht wird. Infolgedessen hat sich erfindungsgemäß gezeigt, dass das sichtbare Driftverhalten vollkommen unterdrückbar ist. Im Rahmen der Unsicherheiten von ca. $\pm 5\text{MHz}$ waren keine Frequenzdriften erkennbar.

Im Folgenden wird die Erfindung anhand der Figuren näher beschrieben:

Fig. 1 zeigt einen Littmann-Resonator, wie er aus dem Stand der Technik bereits bekannt ist.

Fig. 2 zeigt ein Beispiel für den Aufbau des erfindungsgemäßen optisch-parametrischen Oszillators.

Das aus dem Pumplaser 1 austretende Pumplicht 2 wird zu dem Gitter 3 umgelenkt. Der Pumpstrahl fällt streifend auf das Gitter 3 und passiert den KTP-Kristall 4. Sodann trifft der Pumpstrahl auf den Endspiegel 5, von wo er auf den Einfallsweg 6 zurückreflektiert wird. Die erzeugten Signal- bzw. Idlerphotonen laufen parallel zum Pumpstrahl 2. Sie treffen ebenfalls auf den Endspiegel 5 und werden zusammen mit dem Pumpstrahl 2 zurück in den KTP-Kristall 4 reflektiert, wo durch erneute optisch-parametrische Teilprozesse eine weitere Verstärkung von Idler und Signal stattfindet. Beim streifenden Einfall auf das Gitter 3 wird jetzt das Signal so genau gebeugt, dass es senkrecht auf den dem Gitter gegenüberstehenden Abstimmspiegel 7 trifft. Von hier wird das Signal über das Gitter wieder genau in den Resonator zurückreflektiert. Dieser optische Weg ist jedoch nur dem Licht mit exakt einer Wellenlänge möglich. Diese Wellenlänge wird durch den Winkel des Abstimmspiegels 7 gegenüber dem Gitter 3 genau definiert.

Die hohe Frequenzselektivität des dargestellten Littmann-Resonators bezieht sich nur auf horizontale Moden. Abgesehen davon kann eine zusätzliche vertikale Komponente des Photonenimpulses dazu führen, dass die Photonen im Sinne der Rückreflektion zum Gitter rechtwinklig auf den Abstimmspiegel treffen. Die Photonen werden bei jedem Resonatordurchlauf leicht vertikal versetzt, was bei mehreren Durchläufen dazu führen kann, dass diese Photonen den KTP-Kristall außerhalb des durch den Pumpstrahl beleuchteten Bereichs treffen und nicht weiter verstärkt werden. Insgesamt bleibt bei diesen Konstruktionsmerkmalen der Aufbau extrem justagekritisch, insbesondere der Abstimmspiegel, wie sich in der Praxis herausgestellt hat.

In Fig. 2, welche den erfindungsgemäßen optisch-parametrischen Oszillator darstellt, wird eine Verbesserung des Einmodenbetriebs durch eine elliptische Verformung des üblicherweise kreisförmigen Pumpstrahls durch eine optische Vorrichtung erzielt, die das Strahlprofil des Pumpstrahls vertikal komprimiert. Diese Komprimierung wird in dem Beispiel gemäß Fig. 2 mit Hilfe eines Teleskops aus zwei Zylinderlinsen 8 und 9 erzielt. Die Linsen wurden in dem Beispiel so ausgewählt, dass das Pumpstrahlprofil eine Ellipse mit einem Achsenverhältnis horizontal zu vertikal von 2:1 darstellt. Versuche haben gezeigt, dass durch den elliptischen Pumpstrahl ein deutlich stabilerer Einmodenbetrieb erreicht wird. Die Puls- zu-Puls-Fluktuation in der Frequenz reduzierten sich in dem erfindungsgemäßen Beispiel fast auf ein Viertel des ursprünglichen Wertes und lagen nur noch bei ca. ± 35 MHz. Durch die vertikale Komprimierung des Pumpstrahls wird der vertikale Bereich innerhalb des KTP-

Kristalls 4, in dem eine optisch-parametrische Verstärkung der Photonen möglich ist, auf die Hälfte reduziert. Das hat zur Folge, dass in Kleinwinkelnäherung Photonen nur in einem auf die Hälfte reduzierten Winkelbereich Verstärkung durch das Pumplicht erfahren und somit viel schmalbandiger selektiert werden. In dem erfindungsgemäßen Beispiel sind für die
5 maximale Verstärkung bei einer Pulslänge von 4 ns volle zehn Umläufe der optisch-parametrisch erzeugten Photonen durch den Resonator nötig. Hierdurch entsteht eine ausreichende Selektivität. Ebenso deutlich reduzieren sich in dem erfindungsgemäßen Beispiel die Amplitudenfluktuationen. Die ebenfalls erheblich reduzierte Einzelpuls-Bandbreite wurde mit einem konfokalen Etalon (freier Spektralbereich 1.5 GHz, Auflösung
10 ca. 7.5 MHz) abgeschätzt und liegt bei Pulslängen von 2 ns bzw. 4 ns in der Nähe der theoretisch möglichen 220 MHz bzw. 110 MHz. Dieses außerordentliche Resultat kann vor allem der verbesserten vertikalen Selektivität zugeschrieben werden, die durch die Reduktion des Verstärkungsbereichs im KTP-Kristall und der damit stärkeren Unterdrückung anderer Moden erreicht worden. Schließlich ist noch anzumerken, daß sich infolge des
15 kleineren Pumpstrahl-Querschnitts die Schwelle für den Laserbetrieb halbiert hat.

Ebenso wie bei dem in Fig. 1 dargestellten nach dem Stand der Technik bekannten Resonator wird der Pumpstrahl des Pumplasers umgelenkt, so dass er streifend auf das Gitter 3 fällt. Anschließend passiert er den KTP-Kristall 4, trifft auf den Endspiegel 5, wird auf
20 den Einfallsweg 6 zurückreflektiert und verlässt den Resonator wieder.

Der KTP-Kristall ist auf einem Halter drehbar montiert und wird über einen Spindelantrieb 11 justiert.

25 Der KTP-Kristall ist mit einer Heizung versehen (nicht dargestellt), welche dazu dient, den Kristall auf einer Temperatur zu halten, welche deutlich über der Umgebungstemperatur liegt. In dem Beispiel wurde ein Kleinleistungstristor als Heizelement verwendet. Dieser wurde samt einer kleinen Regelelektronik einschließlich Temperaturfühler direkt an der Kristallaufnahme aus Aluminium (nicht dargestellt) befestigt. Auf diese Weise konnte erreicht
30 werden, dass Temperaturen zwischen 30 und 100°C je nach Bedarf konstant gehalten werden. Tatsächlich zeigte sich, dass mit eingeschalteter Kristallheizung ein wesentlich stabilerer Betrieb des optisch-parametrischen Oszillators mit deutlich verkürzter Aufwärmphase möglich ist.

35 Der Abstimmspiegel 7 ist beweglich angeordnet und über einen Spindelantrieb 14 einstellbar. In diese Justiermechanik wurde ein Piezo-Kristall 13 mit elektrischen

- Anschlüssen eingesetzt und zwar dort, wo der Spindelantrieb 14 an den Rotator der Mechanik angreift. Der zusätzlich angebrachte Piezo-Feintrieb 13 erlaubt eine feinere Einstellung des Abstimmungsspiegels 7, wobei der Spindelantrieb 14 weiterhin der groben Wellenlängeneinstellung von der Größenordnung bis zu 0,05 nm dient. Durch den Einsatz des Piezo-Feintriebs ist eine präzise hysteresefreie Steuerung und Stabilisierung der Wellenlänge möglich geworden. Durch kleine Veränderungen der an den Piezo-Kristall angelegten Spannung kann eine sehr feine Abstimmung des optisch-parametrischen Oszillators vorgenommen werden. Die Frequenzstabilisierung erfolgt durch Anpassen der Spannung an die aus einem Wellenlängenmeßgerät 10 ausgelesene sehr präzise Wellenlängeninformation mit Hilfe eines Computerprogramms. Mittels der Steuerung ist es möglich, dass bei Einsatz eines langhubigen Piezo-Translators ein sehr großer, modensprungfreier Abstimmungsbereich bis 300 GHz erreichbar ist. Abstimmungsbereiche von Einmodenlasern liegen sonst typischerweise bei maximal 30 GHz.
- Die Wellenlänge wird über eine einstellbare Anzahl von Schüssen gemittelt. Die kleinste Schrittweite der Steuerung beträgt in dem erfindungsgemäßen Beispiel 1/16V und wirkt sich unterhalb der Nachweisgrenze auf die von Interferometer ermittelte Wellenlänge aus, so dass eine stufenlose Abstimmung möglich ist. Versuche haben ergeben, dass sich dadurch das sichtbare Driftverhalten vollkommen unterdrücken ließ. Mit dieser aktiven Regelung wurde außerdem ein langzeitstabilerer Einmodenbetrieb des optisch-parametrischen Oszillators erzielt.
- Der Endspiegel 5 ist ebenfalls mit einem Piezo-Feintrieb 12 versehen, welcher in Verbindung mit einer Zweisegment-Fotodiode die Resonatorlänge elektronisch optimiert. Dabei wird mit der Zweisegment-Fotodiode die horizontale Richtung der optisch-parametrischen Oszillatoren-Moden überwacht. Langsame Veränderungen der Resonatorlänge (infolge eines Abweichens der Drehachse vom idealen Pivotpunkt oder durch thermisches Driften) führen zu einer geringen Änderung der Wellenlänge und in Folge über die Gitterbedingung zu einer geringen Veränderung der horizontalen Strahlrichtung, welche von der Zweisegment-Fotodiode registriert wird. Eine daran angekoppelte aktive Feinkorrektur der Resonatorlänge mit Hilfe des Piezokristalls am Endspiegel führt somit zu einer Anpassung der Resonatorlänge an die Wellenlänge. Bei einem idealen Einhalten der Pivot-Bedingung, d.h. wenn sich die Ebenen von Gitter, Abstimmungsspiegel und Endspiegel in einer gemeinsamen Geraden schneiden, kann der Resonator über den Abstimmungsspiegel allein abgestimmt werden, ohne daß eine Anpassung der Resonatorlänge erforderlich ist.

Während der mit dem erfindungsgemäßen optisch-parametrischen Oszillator durchgeführten Versuche wurden genauere Analysen mit dem Wellenlängenmeßgerät 10 durchgeführt. Dieses Gerät ist mit einer Computersteuerung 15 verbunden. An den Computer 15 ist auch die Spannungsversorgung 16 für den Piezoantrieb angeschlossen, so dass die Steuerung des Piezo-Feinantriebs 13 und damit eine Frequenzregelung des Oszillators mit der Computersteuerung erreicht werden kann.

Versuche mit dem erfindungsgemäßen Oszillator haben gezeigt, dass es gelingt, ein zuverlässiges Lasersystem zur Verfügung zu stellen. Hierbei sind insbesondere folgende Vorteile hervorzuheben:

1. deutlich geringerer Justierungsaufwand
2. stabiles Langzeitverhalten; die thermische und mechanische Empfindlichkeit konnten deutlich herabgesetzt werden. Das Puls-zu-Puls-Frequenzrauschen (± 35 MHz oder ca. 10^{-7} der Laserfrequenz) beträgt nur mehr ein Viertel des ursprünglichen Wertes. Die Anfälligkeit für Modensprünge konnte um Größenordnungen reduziert werden. Willkürliche Modensprünge kommen im Gegensatz zu dem kommerziellen System praktisch überhaupt nicht mehr vor. Die spektrale Reinheit des OPO, bestimmt aus Absorptionsmessungen, beträgt über 99.9 %.
3. Aktive Frequenzstabilisierung auf durchschnittlich unter ± 5 MHz. Das sonst bei derartigen Systemen auftretende Driftverhalten konnte vollständig eliminiert werden.
4. Modensprungfreie Abstimmung in einem Frequenzbereich von über 30 GHz entsprechen den besten auf dem Markt verfügbaren kontinuierlichen Einmodenlasern. Eine Steigerung des modensprungfreien Abstimmungsbereichs auf 300 GHz ist mit dem erfindungsgemäßen System möglich.
5. Durch die vertikale Konzentration des Strahls im KTP-Kristall auf die Hälfte der Fläche kann die Energie der Pumplaserpulse auf die Hälfte (von ca. 20 mJ auf ca. 10 mJ) reduziert werden. Entsprechend halbiert sich auch die Schwelle für das Einsetzen des optisch-parametrischen Prozesses.
6. Durch die Kristallheizung befindet sich der KTP-Kristall schon beim Einschalten auf Betriebstemperatur und somit bleiben Instabilitäten aus, die sonst durch die

thermische Ausdehnung des Kristalls entstanden wären. Darüber hinaus wird durch die Kristallheizung der Alterungsprozess der Kristalle deutlich verlangsamt.

Patentansprüche:

1. Gepulster parametrischer Oszillator im Einmodenbetrieb umfassend wenigstens
 - 5 - einen Pumplaser (1),
 - Vorrichtungen (8, 9), mittels derer der Pumpstrahl (2) des Pumplasers (1) elliptisch verformt und vertikal komprimiert wird,
 - ein Reflektionsgitter (3),
 - einen nicht linearen, doppelbrechenden Kristall (4),
 - 10 - einen Abstimm Spiegel (7) und
 - einen Endspiegel (5).
2. Oszillator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Strahlprofil des Pumplasers eine Ellipse mit einem Achsenverhältnis horizontal zu vertikal von typisch
15 2:1 darstellt.
3. Oszillator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Pumpstrahl mittels der dem Pumplaser nachgeordneten Linsen (8, 9) verformt wird.
20
4. Oszillator nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Linsen (8, 9) zylinderische Linsen sind.
5. Oszillator nach den Ansprüchen 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass ein
25 Teleskop vorzugsweise aus zwei Zylinderlinsen (8, 9) zur Erzeugung eines elliptischen Strahlprofils eingesetzt wird.
6. Oszillator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Kristall (3) LiNbO_3 , KH_2PO_4 , LBO, BBO oder KTiOPO_4 (KTP) enthält oder
30 hieraus besteht.
7. Oszillator nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Kristall (3) KTP enthält oder hieraus besteht.
- 35 8. Oszillator aus einem der vorgegebenen Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass der Kristall (3) mit einer Heizung versehen ist.

9. Oszillator nach Anspruch 8 dadurch gekennzeichnet, dass als Heizelement ein Kleinleistungstransistor eingesetzt wird.
- 5 10. Oszillator nach den Ansprüchen 8 oder 9 dadurch gekennzeichnet, dass er eine Mess-, Steuer- und Regelelektronik enthält, durch welche der Kristall konstant auf Temperaturen zwischen 30°C und 100°C beheizt werden kann.
- 10 11. Oszillator nach einem der Ansprüche 8 bis 10 dadurch gekennzeichnet, dass er einen KTP-Kristall (3) mit einer Mess-, Steuer- und Regelelektronik zur Einstellung einer Temperatur von 70°C bis 100°C enthält.
12. Oszillator nach einem der vorgegebenen Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass der Abstimm Spiegel mittels eines Spindelantriebs (14), welcher einen Piezo-Feinantrieb (13) zur aktiven Feinregelung aufweist, beweglich ist.

15

- 1/1 -

Fig. 1

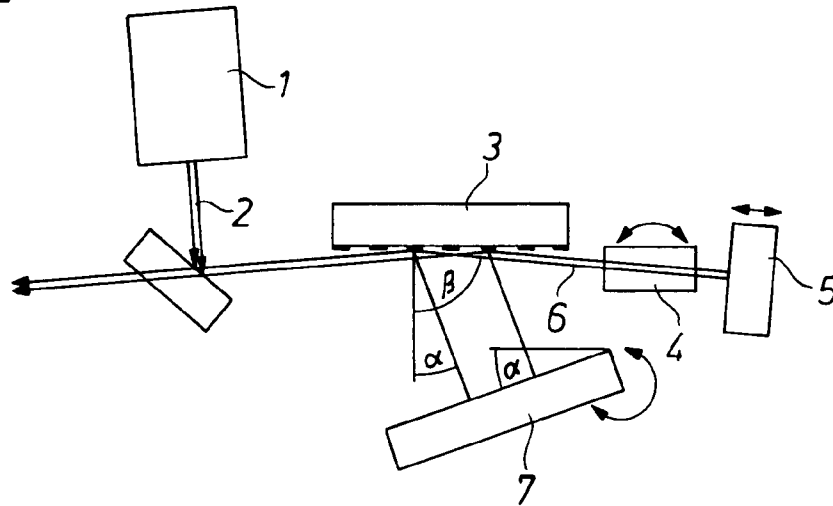
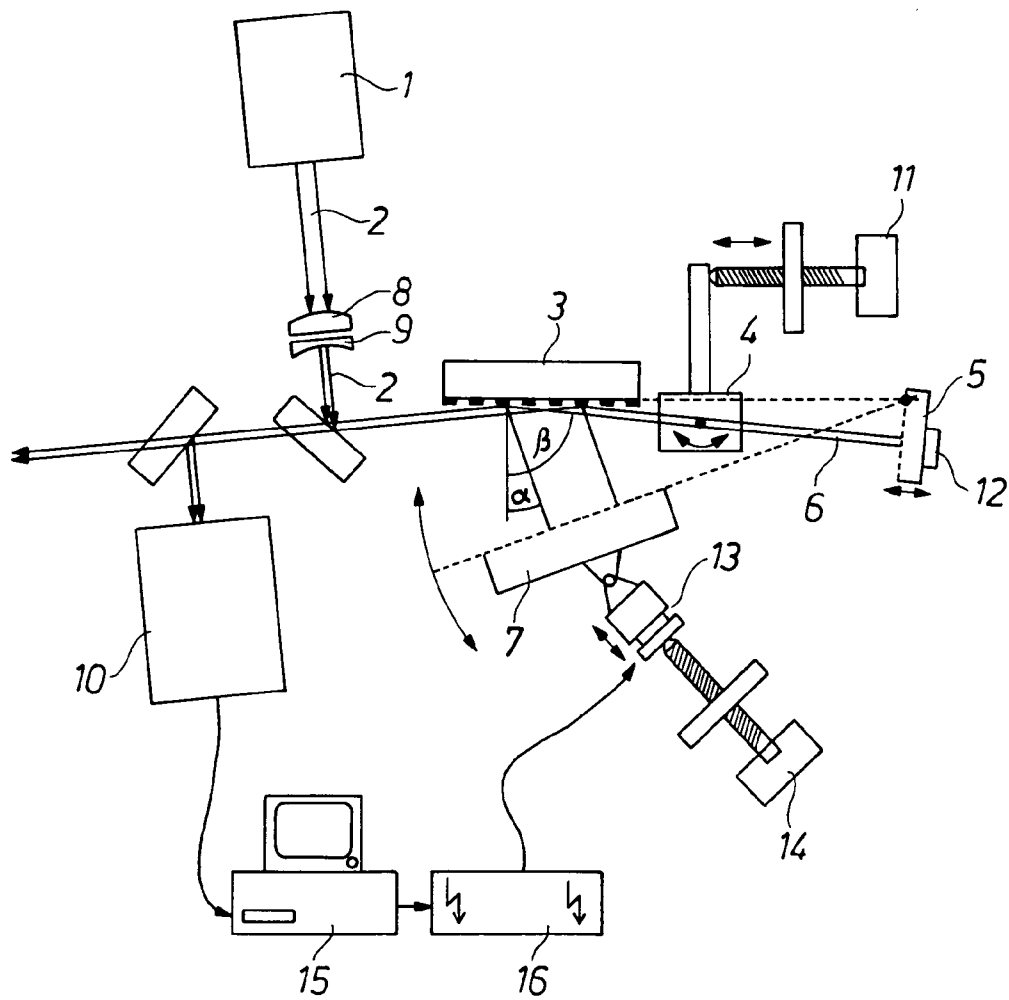


Fig. 2



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2007/052020

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. G02F1/39		
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		
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 practical, search terms used) EPO-Internal, COMPENDEX, WPI Data, PAJ, INSPEC, IBM-TDB		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 42 15 132 A1 (AMOCO CORP [US]) 12 November 1992 (1992-11-12) figure 1 column 4, line 62 - column 8, line 32 ----- -/--	1-12
☒ 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 document 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. *G* document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 7 May 2007		Date of mailing of the international search report 25/05/2007
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Kentischer, Florian

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2007/052020

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	TRICKL THOMAS ET AL: "A powerful widely tunable single-mode laser system for lidar sounding of water vapour throughout the free troposphere" EUR SPACE AGENCY SPEC PUBL ESA SP; EUROPEAN SPACE AGENCY, (SPECIAL PUBLICATION) ESA SP JUNE 2004, vol. 1, no. 561, June 2004 (2004-06), pages 175-178, XP002432504 page 175, left-hand column, line 14 - line 21 page 175, right-hand column, line 47 - page 176, left-hand column, line 2 page 176, left-hand column, line 21 - right-hand column, line 10 figures 1-3 -----	1-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2007/052020

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 4215132	A1	12-11-1992	FR
		2676289 A1	13-11-1992
		GB	2257262 A
		06-01-1993	US
		5235456 A	10-08-1993

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2007/052020

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G02F1/39

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G02F

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, PAJ, INSPEC, IBM-TDB

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	DE 42 15 132 A1 (AMOCO CORP [US]) 12. November 1992 (1992-11-12) Abbildung 1 Spalte 4, Zeile 62 - Spalte 8, Zeile 32 ----- -/--	1-12



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 älteres Dokument, 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 anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

G Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

7. Mai 2007

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

25/05/2007

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5318 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Kentischer, Florian

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	TRICKL THOMAS ET AL: "A powerful widely tunable single-mode laser system for lidar sounding of water vapour throughout the free troposphere" EUR SPACE AGENCY SPEC PUBL ESA SP; EUROPEAN SPACE AGENCY, (SPECIAL PUBLICATION) ESA SP JUNE 2004, Bd. 1, Nr. 561, Juni 2004 (2004-06), Seiten 175-178, XP002432504 Seite 175, linke Spalte, Zeile 14 - Zeile 21 Seite 175, rechte Spalte, Zeile 47 - Seite 176, linke Spalte, Zeile 2 Seite 176, linke Spalte, Zeile 21 - rechte Spalte, Zeile 10 Abbildungen 1-3 -----	1-12

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2007/052020

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
DE 4215132	A1	12-11-1992	FR	2676289 A1	13-11-1992
			GB	2257262 A	06-01-1993
			US	5235456 A	10-08-1993