

(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  
24. März 2011 (24.03.2011)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2011/033031 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:

H01S 5/14 (2006.01) H01S 3/106 (2006.01)  
H01S 3/067 (2006.01) G01N 21/00 (2006.01)  
H01S 3/083 (2006.01) H01S 3/11 (2006.01)

21, 85748 Garching (DE). **WIESER, Wolfgang**  
[DE/DE]; Guldeinstr. 42, 80339 München (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2010/063633

(74) **Anwalt: EPPING HERMANN FISCHER PATENT-ANWALTSGESELLSCHAFT MBH**; Ridlerstaße 55, 80339 München (DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:  
16. September 2010 (16.09.2010)

(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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.

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2009 042 207.2  
18. September 2009 (18.09.2009) DE

(71) **Anmelder** (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT MÜNCHEN** [DE/DE]; Geschwister-Scholl-Platz 1, 80539 München (DE).

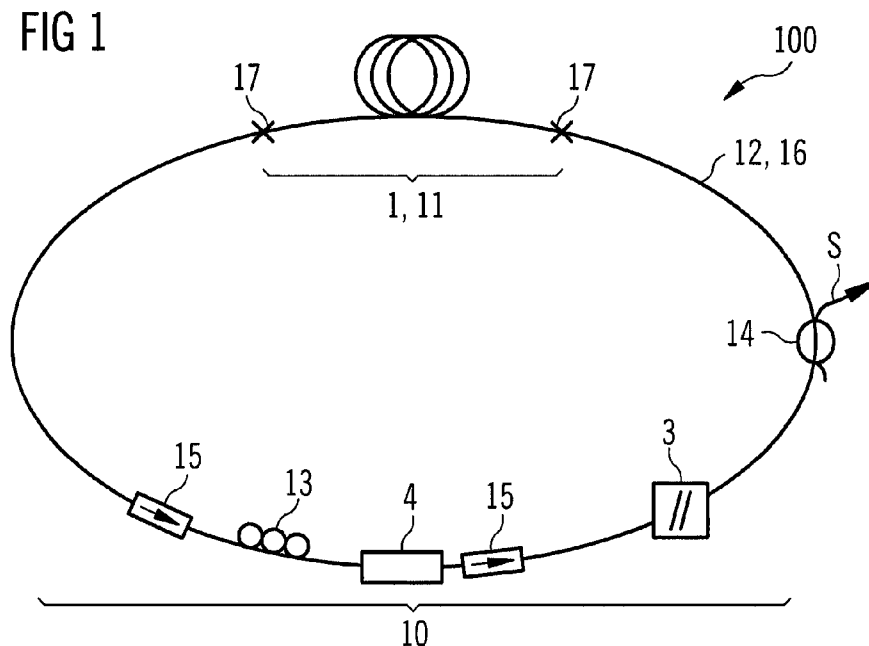
(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS,

(72) **Erfinder; und**  
(75) **Erfinder/Anmelder** (nur für US): **HUBER, Robert, Alexander** [DE/DE]; Wasserburger Straße 14, 83530 Schnaitsee (DE). **KLEIN, Thomas** [DE/DE]; Arberweg

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** TUNABLE WAVELENGTH LIGHT SOURCE

(54) **Bezeichnung:** WELLENLÄNGENABSTIMMBARE LICHTQUELLE



(57) **Abstract:** The invention relates to a tunable wavelength light source (100), at least one embodiment thereof comprising at least one fiber-based partial line section (10) and at least one delay line (1). For a wavelength  $\lambda$  of at least one portion of a radiation (S) emitted by the light source (100), the relationship  $\lambda(t) = \lambda(t - \tau)$  applies as a function of the time t.  $\tau$  is thereby a particular span of time. The delay line (1) further comprises one or more oligomode fibers (11).

(57) **Zusammenfassung:**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2011/033031 A1



IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,  
SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,  
GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden  
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderun-  
gen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz  
3)

---

In mindestens einer Ausführungsform der wellenlängenabstimmbaren Lichtquelle (100) beinhaltet diese wenigstens eine Faser-basierte Teilstrecke (10) und wenigstens eine Verzögerungsstrecke (1). Für eine Wellenlänge  $\lambda$  zumindest eines Anteils einer von der Lichtquelle (100) emittierten Strahlung (S) gilt in Abhängigkeit von der Zeit  $t$  der Zusammenhang  $\lambda(t) = \lambda(t - \tau)$ .  $\tau$  ist hierbei eine bestimmte Zeitspanne. Ferner umfasst die Verzögerungsstrecke (1) eine oder mehrere Oligomodenfäsern (11).

Beschreibung

Wellenlängenabstimmbare Lichtquelle

5 Es wird eine wellenlängenabstimmbare Lichtquelle angegeben.

In der Druckschrift US 2006/187537 A1 ist eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Modenkopplung angegeben.

10 Die Druckschrift US 5,077,815 betrifft eine Vorrichtung zur optischen Verbindung einer Monomodenfaser mit einer Multimodenfaser.

Ein Lichtwellenübertragungssystem, das ausgewählte optische  
15 Moden benützt, ist in der Druckschrift US 5,416,862 beschrieben.

Einen wellenlängenabstimmbaren Laser betrifft die Druckschrift WO 2008/135034 A1.

20

Eine zu lösende Aufgabe besteht darin, eine wellenlängenabstimmbare Lichtquelle mit einer Oligomodenfaser anzugeben, wobei die Lichtquelle eine hohe Effizienz aufzeigt.

25

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle ist diese wellenlängenabstimmbar und/oder wellenlängenveränderlich. Mit anderen Worten ist eine Wellenlänge und/oder spektrale Zusammensetzung einer von der  
30 Lichtquelle emittierten Strahlung im Betrieb nicht konstant, sondern unterliegt einer gezielten zeitlichen Änderung.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle umfasst diese eine oder mehrere Faser-basierte Teilstrecken. Mit anderen Worten basieren die eine oder die mehreren Teilstrecken auf einem Lichtleiter, beispielsweise auf einer Glasfaser. Insbesondere ist eine Teilstrecke ein  
5 zusammenhängendes und/oder ununterbrochenes Stück eines Lichtleiters, insbesondere genau eines einzigen Lichtleiters.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle  
10 beinhaltet diese eine oder mehrere Verzögerungsstrecken. Die Verzögerungsstrecken sind dazu eingerichtet, über ihre optische Länge eine zeitliche Verzögerung eines die Verzögerungsstrecken durchlaufenden Lichts hervorzurufen. Insbesondere ist die eine oder sind die mehreren  
15 Verzögerungsstrecken passive Elemente. Mit anderen Worten ist es möglich, dass in der mindestens einen Verzögerungsstrecke keine optische Verstärkung und keine spektrale Filterung sowie kein Einschalten oder Ausschalten einer von der Lichtquelle erzeugten Strahlung erfolgt.

20

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle wird in der Verzögerungsstrecke insbesondere durch stimulierte Raman-Streuung eine Verstärkung erreicht.

25 Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle gilt für eine Wellenlänge  $\lambda$  zumindest eines Anteils der von der Lichtquelle emittierten Strahlung in Abhängigkeit von der Zeit  $t$  der folgende Zusammenhang:

30 
$$\lambda(t) = \lambda(t - \tau).$$

$\tau$  ist hierbei eine feste Zeitspanne. Das heißt, es ist möglich, dass die Lichtquelle zu einer bestimmten Zeit einen

Lichtimpuls oder einen optischen Wellenzug mit einer bestimmten spektralen Signatur emittiert und nach der Zeitspanne  $\tau$  eine Kopie oder ein Duplikat dieses Lichtimpulses emittiert. Mit anderen Worten erfolgt eine  
5 Wellenlängenabstimmung periodisch oder teilperiodisch.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle ist die Verzögerungsstrecke teilweise oder, bevorzugt, vollständig mit einer oder mit mehreren Oligomodenfasern gebildet. Mit  
10 anderen Worten umfasst die Verzögerungsstrecke eine Oligomodenfaser oder besteht aus einer solchen. Das heißt, die Verzögerungsstrecke ist wenigstens stellenweise nicht durch eine Monomodenfaser, englisch single mode fiber oder kurz SMF, und auch nicht durch eine Multimodenfaser gebildet,  
15 die insbesondere Hunderte von Moden führt, wie zum Beispiel Fasern mit einem Kerndurchmesser von 50  $\mu\text{m}$  oder 62,5  $\mu\text{m}$ . Dies gilt insbesondere für den Spektralbereich, in dem die Lichtquelle im Betrieb Strahlung emittiert. Bevorzugt basiert die Verzögerungsstrecke vollständig auf Lichtleitern wie  
20 Glasfasern. Es ist möglich, dass die Verzögerungsstrecke durch einen einzigen, unterbrochenen und/oder zusammenhängenden Lichtleiter, insbesondere die Oligomodenfaser, gebildet ist.

25 Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle führt die Oligomodenfaser in einem Wellenlängenbereich der von der Lichtquelle im Betrieb emittierten Strahlung zwischen einschließlich zwei Moden und 20 Moden, bevorzugt zwischen einschließlich zwei Moden und 12 Moden, besonders bevorzugt  
30 zwischen einschließlich zwei Moden und fünf Moden. Unter einer Mode ist hierbei insbesondere ein bestimmtes Intensitätsprofil in der Faser, gesehen in einem Querschnitt, zu verstehen. Bei den Moden kann es sich also um räumlich

transversale Moden handeln. Verschiedene Polarisationsrichtungen einer Mode sind nicht als eigene Moden zu zählen. Eine Zählung der Moden erfolgt zum Beispiel wie in der Druckschrift D. Gloge, *Weakly Guiding Fibers*, Applied Optics, Vol. 10, Issue 10, Seiten 2252 bis 2258, aus dem Jahr 1971, angegeben. Der Offenbarungsgehalt dieser Druckschrift hinsichtlich der Zählung der Moden wird hiermit durch Rückbezug aufgenommen.

10 Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle bezeichnet Oligomodenfaser eine beispielsweise nach der Druckschrift „INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION“ ITU-T G.652 spezifiziert Oligomodenfaser mit insbesondere zwischen einschließlich zwei und 20 Moden, insbesondere wenn die  
15 Lichtquelle in einem Spektralbereich zwischen einschließlich 980 nm und 1150 nm betrieben wird. Der Offenbarungsgehalt dieser Druckschrift hinsichtlich einer Spezifizierung der Faser wird hiermit durch Rückbezug aufgenommen. Beispiele für solche Oligomodenfaser sind die Fasertypen SMF28 der Firma  
20 Corning, Allwave ZWP der Firma OFS oder FutureGuide®-SM der Firma Fujikura.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle bezeichnet Oligomodenfaser eine Monomodenfaser, wenn diese  
25 zumindest teilweise zum Betrieb im Wellenlängenbereich zwischen einschließlich 30% und kleiner 100% der so genannten Monomodengrenzwellenlänge, auch als Single Mode Cut-Off Wavelength bezeichnet, vorgesehen ist. Bevorzugt wird die Lichtquelle zwischen einschließlich 60% und kleiner 100%,  
30 besonders bevorzugt zwischen einschließlich 75% und kleiner 100%, bezogen auf die Monomodengrenzwellenlänge, betrieben.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle bezeichnet Oligomodenfaser eine Glasfaser, deren Single Mode Cut-Off Wavelength nach ITU-T G.650, von April 1997, SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS Transmission media characteristics - Optical fibre cables - DEFINITION AND TEST METHODS FOR THE RELEVANT PARAMETERS OF SINGLE MODE FIBRES ITU-T, spezifiziert ist und die zumindest teilweise unterhalb dieser Single Mode Cut-Off Wavelength betrieben wird.

10

In mindestens einer Ausführungsform der wellenlängenabstimmbaren oder wellenlängenveränderlichen Lichtquelle beinhaltet diese wenigstens eine Faser-basierte Teilstrecke und wenigstens eine Verzögerungstrecke. Die Lichtquelle ist dazu eingerichtet, dass für eine Wellenlänge  $\lambda$  zumindest eines Anteils einer von der Lichtquelle emittierten Strahlung in Abhängigkeit von der Zeit  $t$  der Zusammenhang  $\lambda(t) = \lambda(t - \tau)$  gilt.  $\tau$  ist hierbei eine bestimmte Zeitspanne größer als Null. Ferner umfasst die Verzögerungstrecke eine oder mehrere Oligomodenfasern.

20

Im Zusammenhang mit der wellenlängenabstimmbaren Lichtquelle hat es sich überraschend herausgestellt, dass anstelle einer Monomodenfaser für eine Verzögerungstrecke eine Oligomodenfaser eingesetzt werden kann. Insbesondere bei Fourier-Domänen modengekoppelten Lasern, englisch Fourier domain mode locked lasers oder kurz FDML-Lasern, ist im Allgemeinen eine besonders große Sorgfalt darauf zu verwenden, eine präzise zeitliche Abstimmung von spektralen Anteilen innerhalb einer Laufstrecke einer Strahlung zu gewährleisten.

30

Durch die Verwendung einer Oligomodenfaser anstelle einer Monomodenfaser könnte erwartet werden, dass eine Modendispersion in der Oligomodenfaser und hierdurch eine zeitliche Verschmierung der Strahlung in der Oligomodenfaser auftritt. Überraschenderweise tritt dieser Effekt allerdings nur verringert oder nicht auf. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte sein, dass insbesondere im Spektralbereich um 1050 nm herkömmliche Lichtleiter, im Gegensatz zum Spektralbereich um 1300 nm, keinen Dispersionsnullpunkt bezüglich der Wellenlänge der Strahlung aufweisen. Durch den Mehrmodenbetrieb könnte in der Verzögerungsstrecke daher eine chromatische Dispersion reduziert sein, da die chromatische Dispersion und die Modendispersion einander teilweise oder vollständig kompensieren könnten.

15

Weiterhin weisen auf Fasern basierte Lichtquellen im Regelfall notwendigerweise zumindest stellenweise Monomodenfasern auf. Beispielsweise bei FDML-Lasern mit mindestens einem Faser-Fabry-Perot-Filter ist es notwendig, dass die Fasern an diesem Filter Monomodenfasern sind, um spektrale Seitenbänder zu unterdrücken. Aufgrund unterschiedlicher Kerndurchmesser der Monomodenfaser und der Oligomodenfaser wäre es zu erwarten, dass hohe Verluste bei der Ankopplung der Oligomodenfaser an die Monomodenfaser auftreten.

20  
25

Überraschenderweise scheint allerdings der Fall zu sein, dass die bei der Kopplung der Oligomodenfaser an die Monomodenfaser auftretenden Verluste kompensiert oder überkompensiert werden dadurch, dass eine Dämpfung der Oligomodenfaser insbesondere im Spektralbereich um 1050 nm deutlich geringer ist als eine Dämpfung einer Monomodenfaser in diesem Wellenlängenbereich. Dies kann sich speziell dann

30

signifikant auswirken, falls die Verzögerungsstrecke eine vergleichsweise große optische Länge aufweist.

Insbesondere wird die Lichtquelle vorzugsweise dann mit  
5 mindestens einer Oligomodenfaser betrieben oder umfasst die  
Lichtquelle dann eine Oligomodenfaser, wenn ein optischer  
Verlust, der durch ungleiche Dämpfungskonstanten für  
verschiedene im Betrieb in der Oligomodenfaser propagierende  
Moden bedingt ist, kleiner oder gleich einem Gewinn ist,  
10 wobei der Gewinn auf einen reduzierten Verlust aufgrund  
besserer Qualitätsmerkmale der Oligomodenfaser, im Vergleich  
zu einer Monomodenfaser bei der gleichen Wellenlänge,  
zurückzuführen ist.

15 Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle gehen  
wenigstens 10 % der Zeitspanne  $\tau$  auf eine optische Länge der  
Verzögerungsstrecke und/oder der Oligomodenfaser zurück. Mit  
anderen Worten trägt die Oligomodenfaser und/oder die  
Verzögerungsstrecke zu der zeitlichen Verzögerung zwischen  
20 dem Lichtimpuls und der Kopie oder des Duplikats dieses  
Lichtimpulses, die von der Lichtquelle emittiert werden, zu  
mindestens 10 % bei. Bevorzugt beträgt dieser Beitrag  
mindestens 20 %, insbesondere mindestens 40 %. Besonders  
bevorzugt geht die Zeitspanne  $\tau$  im Wesentlichen vollständig  
25 auf die Oligomodenfaser und/oder die Verzögerungsstrecke  
zurück, also beispielsweise zu mindestens 90 % oder zu  
mindestens 95 %. Mit anderen Worten kann dann eine optische  
Länge der Oligomodenfaser und/oder der Verzögerungsstrecke  
eine optische Länge aller anderen Teile der Lichtquelle  
30 deutlich übersteigen.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle beträgt  
ein Kerndurchmesser der Oligomodenfaser zwischen

einschließlich 7,5  $\mu\text{m}$  und 9,5  $\mu\text{m}$ . Der Kerndurchmesser ist zum Beispiel bei einer Stufenindexfaser der Durchmesser oder der mittlere Durchmesser des Bereichs, der einen im Vergleich zu einem Mantel erhöhten Brechungsindex aufzeigt. Insbesondere  
5 im Falle einer Gradientindexfaser kann es sich bei dem Kerndurchmesser oder effektiven Kerndurchmesser auch um einen Modenfelddurchmesser oder um einen mittleren Modenfelddurchmesser handeln.

10 Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle beträgt die optische Länge der Oligomodenfaser und/oder der Verzögerungsstrecke zwischen einschließlich 10 m und 100 km, insbesondere zwischen einschließlich 100 m und 30 km, bevorzugt zwischen einschließlich 200 m und 15 km. Die  
15 optische Länge ist insbesondere eine geometrische Länge der Oligomodenfaser und/oder der Verzögerungsstrecke, multipliziert mit dem effektiven Brechungsindex. Bevorzugt entspricht die Länge der Verzögerungsstrecke der Länge der Oligomodenfaser.

20 Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle beträgt eine spektrale Breite eines Abstimmbereichs der im Betrieb emittierten Strahlung der Lichtquelle mindestens 5 nm, bevorzugt mindestens 20 nm, insbesondere mindestens 50 nm.

25 Mit anderen Worten ist die von der Lichtquelle emittierte Wellenlänge der Strahlung über mindestens einen der genannten Bereiche hinweg abstimmbar, bevorzugt kontinuierlich abstimmbar.

30 Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle ist der spektrale Abstimmbereich der emittierten Strahlung kleiner als 300 nm, insbesondere kleiner als 120 nm.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle liegt ein Wellenlängenbereich der im Betrieb emittierten Strahlung zwischen einschließlich 950 nm und 1250 nm, insbesondere zwischen einschließlich 1000 nm und 1150 nm. Mit anderen  
5 Worten wird von der Lichtquelle überwiegend oder ausschließlich in dem genannten Spektralbereich Strahlung emittiert.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle ist die  
10 Oligomodenfaser und/oder die Verzögerungsstrecke teilweise oder, bevorzugt, vollständig aufgerollt. Vollständig aufgerollt schließt hierbei nicht aus, dass ein im Vergleich zu einer Gesamtlänge der Oligomodenfaser und/oder der Verzögerungsstrecke vernachlässigbarer Teil, insbesondere ein  
15 Teil zu Verbindungszwecken, nicht aufgerollt ist. Beispielsweise sind also mehr als 90 %, insbesondere mehr als 98 % der Oligomodenfaser und/oder der Verzögerungsstrecke aufgerollt.

20 Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle beträgt ein Biegeradius oder ein mittlerer Biegeradius der aufgerollten Oligomodenfaser und/oder der aufgerollten Verzögerungsstrecke mindestens 2 cm und höchstens 50 cm, insbesondere mindestens 5 cm und höchstens 25 cm. Mit anderen  
25 Worten ist die Verzögerungsstrecke und/oder die Oligomodenfaser vergleichsweise eng gebogen. Durch ein Einstellen des Biegeradius kann es ermöglicht sein, eine Modendispersion und/oder eine chromatische Dispersion der Verzögerungsstrecke und/oder der Oligomodenfaser zu  
30 beeinflussen. Entsprechendes kann für eine Polarisationsdispersion, eine Polarisationsrotation und/oder eine modenabhängige Dämpfung gelten. Bevorzugt können weiterhin durch kontrolliertes, insbesondere mechanisches

Verspannen der Oligomodenfaser die Polarisationsdispersion, die Polarisationsrotation und/oder die modenabhängige Dämpfung gezielt beeinflusst werden.

5 Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle umfasst die Verzögerungsstrecke mindestens zwei Spulen mit je einer Oligomodenfaser oder mit je mehreren Oligomodenfäsern. Im Fall von zwei Spulen kann dies bedeuten, dass zwei verschiedene Träger vorhanden sind, auf denen je eine oder  
10 mehrere der Oligomodenfäsern aufgerollt sind. Ebenso ist es möglich, dass die zwei Spulen über einen gemeinsamen Träger, beispielsweise eine Rolle, verfügen, jedoch die Oligomodenfäsern der jeweiligen Spulen optisch und/oder funktionell voneinander getrennt sind. Funktionell getrennt  
15 kann bedeuten, dass unterschiedliche Strahlungsanteile unterschiedliche Lichtwege durch die Verzögerungsstrecke zurücklegen. Beispielsweise durchläuft ein Strahlungsanteil nur eine der Spulen und ein weiterer Strahlungsanteil alle oder mehrere der Spulen.

20 Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle weisen die Spulen oder die Oligomodenfäsern der jeweiligen Spulen voneinander verschiedene optische Längen auf. Bevorzugt sind die optischen Längen der einzelnen Spulen oder  
25 Oligomodenfäsern insbesondere paarweise gezielt voneinander verschieden gestaltet.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle gilt für die optische Länge  $L_{\text{opt}}$  der Oligomodenfaser, mit einer  
30 Toleranz von höchstens 10 %, insbesondere von höchstens 2 % der Zusammenhang:

$$L_{\text{opt}} = c / (N \tau),$$

wobei  $c$  die Vakuumlichtgeschwindigkeit und  $N$  eine natürliche Zahl größer oder gleich 1 ist.

5 Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle weist wenigstens eine der Spulen eine optische Länge auf, die ein ganzzahliges Vielfaches der optischen Länge der Spule beträgt, die die kleinste optische Länge aufweist. Insbesondere folgen die Längen dem Zusammenhang, dass die  
10 optische Länge  $L_N$  der  $N$ -ten Spule gleich ist dem  $2^N$ -fachen der optischen Länge  $L_0$  der Spule mit der kleinsten optischen Länge.  $N$  ist hierbei eine natürliche Zahl größer oder gleich 1.

15 Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle sind Teile der Spulen gegenüber anderen Teilen der jeweiligen Spule gegeneinander verkippt angeordnet. Das kann bedeuten, dass durch eine oder mehrere Wicklungen der Spule eine erste Ebene definiert ist und durch eine oder mehrere andere  
20 Wicklungen derselben Spule eine zweite Ebene definierten ist. Die erste Ebene ist gegenüber der zweiten Ebene dann um einen Winkel verkippt. Bevorzugt beträgt der Winkel zwischen den Ebenen zwischen einschließlich  $30^\circ$  und  $100^\circ$ , insbesondere zwischen einschließlich  $70^\circ$  und  $95^\circ$ . Weiterhin kann eine oder  
25 jede der Spulen zwei oder mehr als zwei durch Wicklungen der Spule definierte Ebenen aufweisen, die gegeneinander verkippt angeordnet sind.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle ist der  
30 Verzögerungsstrecke und/oder der Oligomodenfaser eine Überbrückungsstrecke optisch parallel geschaltet. Optisch parallel geschaltet kann bedeuten, dass die Verzögerungsstrecke und die Überbrückungsstrecke zwei durch

einen Strahlteiler aufgespaltene Teilstrecken der Lichtquelle sind. Die Überbrückungsstrecke basiert bevorzugt auf einer Glasfaser.

- 5 Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle ist eine optische Länge der Überbrückungsstrecke kleiner als die optische Länge der Verzögerungsstrecke. Bevorzugt ist die optische Länge der Überbrückungsstrecke gegenüber der optischen Länge der Verzögerungsstrecke vernachlässigbar.
- 10 Vernachlässigbar kann bedeuten, dass die Länge der Überbrückungsstrecke höchstens 10 %, insbesondere höchstens 5 %, besonders bevorzugt höchstens 1 % der Länge der Verzögerungsstrecke beträgt.
- 15 Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle ist eine Abstimmrate der im Betrieb von der Lichtquelle emittierten Strahlung mittels der Verzögerungsstrecke vervielfacht. Beispielsweise durchläuft eine Kopie oder ein Duplikat eines von der Lichtquelle emittierten Lichtimpulses
- 20 einmal die Verzögerungsstrecke und wird erst nachfolgend ausgekoppelt, wobei der ursprüngliche, originale Lichtimpuls die Verzögerungsstrecke nicht durchläuft. Hierdurch ist die Abstimmrate der Lichtquelle verdoppelbar. Beim Einsatz beispielsweise von zwei Spulen und/oder einer zweigeteilten
- 25 Verzögerungsstrecke ist die Abstimmrate vervierfachbar.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle beträgt die Abstimmrate der Wellenlänge der emittierten Strahlung mindestens 1 kHz, insbesondere mindestens 10 kHz, bevorzugt

30 mindestens 30 kHz oder mindestens 100 kHz. Die Zeitspanne  $\tau$  beträgt dann bevorzugt höchstens 1 ms, insbesondere höchstens 100  $\mu$ s oder höchstens 33  $\mu$ s oder höchstens 10  $\mu$ s. Mit anderen

Worten ist die Wellenlänge, die von der Lichtquelle emittiert wird, schnell abstimmbar.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle beträgt  
5 ein relativer Zeitanteil, in dem die Lichtquelle im Betrieb im Mittel die Strahlung emittiert, mindestens 1 %. Das heißt, die Lichtquelle ist dann insbesondere keine Kurzimpulslichtquelle, die nur in einem kurzen Zeitbereich, bezogen auf eine gesamte effektive Betriebszeit, Strahlung  
10 emittiert. So werden im Gegensatz hierzu etwa bei Lasern mit Repetitionsraten im Kilohertzbereich, die Nanosekundenlichtimpulse erzeugen oder bei Femtosekundenlichtquellen mit Repetitionsraten im Megahertzbereich nur zu einem vergleichsweise kleinen  
15 relativen Zeitanteil von zirka  $10^{-6}$  Strahlung emittiert. In dem verbleibenden Zeitanteil wird bei solchen Lichtquellen im Rahmen der Betriebstoleranzen keine Strahlung emittiert.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle ist die  
20 Verzögerungsstrecke und/oder die Oligomodenfaser dazu eingerichtet, von der im Betrieb emittierten Strahlung mindestens zweifach oder mindestens vierfach durchlaufen zu werden. Das heißt, die Verzögerungsstrecke und/oder die Oligomodenfaser wird von einem bestimmten Teil der Strahlung  
25 oder von der gesamten Strahlung mehrfach durchlaufen.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle ist diese ein Laser. Das heißt, die von der Lichtquelle emittierte Strahlung kann eine kohärente Strahlung sein.  
30

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle umfasst diese einen Resonator. Bei dem Resonator kann es sich um einen Laserresonator handeln.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle ist die Verzögerungsstrecke und/oder die Oligomodenfaser oder eine der Oligomodenfasern von dem Resonator der Lichtquelle  
5 beinhaltet. Das heißt, die Verzögerungsstrecke und/oder die Oligomodenfaser ist dann ein Bestandteil des Resonators.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle ist die Verzögerungsstrecke und/oder die Oligomodenfaser und/oder  
10 eine oder alle der Oligomodenfasern dem Resonator nachgeordnet. Mit anderen Worten ist es möglich, dass die Lichtquelle einen Resonator umfasst und dass die Verzögerungsstrecke außerhalb, in einer Strahlrichtung dem Resonator nachfolgend, platziert ist. In diesem Fall gelangt  
15 lediglich aus dem Resonator bereits ausgekoppelte Strahlung zu der Verzögerungsstrecke und/oder zu der Oligomodenfaser. Ebenso ist es möglich, dass die Verzögerungsstrecke und/oder die Oligomodenfaser allen anderen Teilstrecken der Lichtquellen oder allen Teilstrecken mit Ausnahme einer  
20 einzigen Teilstrecke in Strahlrichtung nachgeordnet ist.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle sind, außer der Verzögerungsstrecke und/oder der Oligomodenfaser, alle Faser-basierten Teile des Resonators oder alle weiteren  
25 Teilstrecken der Lichtquelle mit Monomodenfasern gestaltet. Faser-basierte Teile sind zum Beispiel Faserverstärker, Polarisationskontrolleinheiten oder Faser-Fabry-Perot-Filter.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle umfasst  
30 diese einen Amplitudenmodulator und/oder einen Phasenmodulator, der zum Abstimmen der Wellenlänge eingerichtet ist. Alternativ oder zusätzlich kann die Lichtquelle eine Stromquelle umfassen, die zu einer zeitlich

veränderlichen Bestromung eingerichtet ist, wobei die Wellenlänge mindestens teilweise über die Bestromung einstellbar ist.

5 Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle umfasst diese einen Kompensator, der mindestens ein optisches Element umfasst und der dazu eingerichtet ist, eine durch die Verzögerungsstrecke mit der Oligomodenfaser hervorgerufene chromatische Dispersion teilweise oder vollständig zu  
10 kompensieren. Bevorzugt ist mindestens ein solches optisches Elemente des Kompensators ein so genanntes gechirptes Faser-Bragg-Gitter, kurz cFBG oder englisch Chirped Fibre Bragg Grating. Das cFBG kann unmittelbar in der Oligomodenfaser erzeugt beziehungsweise geschrieben sein. Ebenso ist es  
15 möglich, dass das cFBG in einem Stück einer Monomodenfaser erzeugt ist, wobei dieses Stück insbesondere mittels eines Spleißes mit der Oligomodenfaser verbunden ist. Zur Kompensation von Beiträgen höherer Ordnung der chromatischen Dispersion, die durch die Oligomodenfaser hervorgerufen ist,  
20 können auch mehrere cFBGs eingesetzt werden. Die cFBGs sind zum Beispiel über einen so genannten 4-Port-Zirkulator miteinander verbunden.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle umfasst  
25 diese eine spektral breitbandig emittierende Strahlungsquelle, die insbesondere keine kohärente Strahlung emittiert, und einen abstimmbaren optischen Bandpassfilter. Bevorzugt umfasst die Lichtquelle zwei oder mehr als zwei abstimmbare optische Bandpassfilter.

30

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle umfasst diese zu einer Wellenlängeneinstellung der zu emittierenden Strahlung ein mikro-elektromechanisches System, kurz MEMS.

Bei dem MEMS kann es sich um einen Fabry-Perot-artigen Filter handeln, beispielsweise wie in der Druckschrift US 2006/0072632 A1 oder in der Druckschrift „Single transverse mode optical resonators“, Optics Express, Vol. 13, No. 1, 5 Seiten 171 bis 181, vom 10. Januar 2005, angegeben. Der Offenbarungsgehalt dieser Druckschriften hinsichtlich des MEMS wird durch Rückbezug mit aufgenommen.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle umfasst 10 diese zu einer Wellenlängeneinstellung der zu emittierenden Strahlung einen rotierenden oder schnell winkelveränderlichen Spiegel, insbesondere einen Polygonspiegel. Eins solcher Spiegel ist zum Beispiel in der Druckschrift „High-speed wavelength-swept semiconductor laser with a 15 polygon-scanner-based wavelength filter“, Optics Letters, Vol. 28, No. 20, Seiten 1981 bis 1983, vom 15. Oktober 2003, angegeben. Der Offenbarungsgehalt dieser Druckschrift hinsichtlich des Spiegels wird durch Rückbezug mit aufgenommen.

20

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle verläuft die Strahlung innerhalb der Lichtquelle im Wesentlichen vollständig in kondensierter Materie, insbesondere in Feststoffen. Im Wesentlichen kann bedeuten, 25 dass nur zum Beispiel Luftspalte an Fasersteckverbindungen oder an Fabry-Perot-Filtern vorliegen. Zum Beispiel liegen dann mindestens 99 % oder mindestens 99,9 % des Lichtweges in der Lichtquelle in kondensierter Materie.

30 Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle ist diese ein Fourier-Domänen modengekoppelter Laser. Insbesondere ist die Lichtquelle dann zur optischen Kohärenztomografie eingerichtet.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle ist diese zur optischen Datenübertragung eingerichtet. Die Lichtquelle umfasst dann bevorzugt mindestens eine  
5 Übertragungsstrecke, wobei die Übertragungsstrecke der Verzögerungsstrecke optisch parallel geschaltet ist oder die Verzögerungsstrecke gleichzeitig teilweise oder vollständig die Übertragungsstrecke bildet. Der Wellenlängenbereich der im Betrieb des Lasers erzeugten Strahlung ist von einem  
10 Übertragungswellenlängenbereich verschieden. Beispielsweise liegt die von der Lichtquelle emittierte Strahlung bei zirka 1050 nm und der Übertragungswellenlängenbereich ist um 1300 nm zentriert. Die Verzögerungsstrecke und die Übertragungsstrecke weisen, mit einer Toleranz von höchstens  
15 1 %, gleiche optische Längen auf, bezogen auf den jeweils relevanten Spektralbereich. Ferner ist die Übertragungsstrecke im speziell bei größeren Wellenlängen liegenden Übertragungswellenlängenbereich eine Monomodenfaser.

20  
Gemäß zumindest einer Ausführungsform der Lichtquelle, bei der diese zur optischen Datenübertragung eingerichtet ist, liegt ein Wellenlängenabstimmbereich der emittierten Strahlung zwischen einschließlich 10 MHz und 100 GHz. Der  
25 Wellenlängenabstimmbereich ist dann vergleichsweise schmal.

Die Lichtquelle kann zur Erzeugung zeitlich wellenlängenveränderlicher Strahlung verwendet werden, insbesondere zu Abbildungsaufgaben, Messaufgaben, zur  
30 Informationsübertragung, zur Sensorik und zur Profilometrie.

Nachfolgend wird eine hier beschriebene Lichtquelle unter Bezugnahme auf die Zeichnung anhand von Ausführungsbeispielen

näher erläutert. Gleiche Bezugszeichen geben dabei gleiche Elemente in den einzelnen Figuren an. Es sind dabei jedoch keine maßstäblichen Bezüge dargestellt, vielmehr können einzelne Elemente zum besseren Verständnis übertrieben groß  
5 dargestellt sein.

Es zeigen:

Figuren 1, 4, 5, 7, 9 und 10 schematische Darstellungen von  
10 Ausführungsbeispielen von hier beschriebenen wellenlängenabstimmbaren Lichtquellen,

Figuren 2 und 3 schematische Darstellungen zur  
Charakterisierung einer von hier beschriebenen  
15 Lichtquellen emittierten Strahlung,

Figur 6 eine schematische Darstellung einer Vervielfachung  
der Abstimmrate bei einer hier beschriebenen  
Lichtquelle, und  
20

Figur 8 eine schematische Illustration der Modendispersion  
in einer Oligomodenfaser.

In Figur 1 ist ein schematischer Aufbau einer hier  
25 beschriebenen Lichtquelle 100 illustriert. Die Lichtquelle 100 gemäß Figur 1 ist ein Fourier-Domänen modengekoppelter Laser, beispielsweise zur optischen Kohärenztomografie.

Ein optisches Verstärkungsmedium 4 ist zum Beispiel ein  
30 optischer Halbleiterverstärker, englisch semiconductor optical amplifier oder kurz SOA. Als Verstärkungsmedium 4 kann alternativ oder zusätzlich ein Faserverstärker eingesetzt sein. Eine Wellenlängenselektion erfolgt über

einen abstimmbaren optischen Filter 3. Zum Beispiel ist der optische Filter 3 ein Faser-Fabry-Perot-Filter. Dem Filter 3 ist in einer Umlaufrichtung ein Faserkoppler 14 nachgeordnet. Über den Faserkoppler werden beispielsweise 30 % der  
5 Lichtintensität ausgekoppelt. Eine an dem Faserkoppler 14 ausgekoppelte Strahlung S wird von der Lichtquelle 100 emittiert.

Ferner beinhaltet die Lichtquelle 100 eine  
10 Verzögerungsstrecke 1, die vollständig durch eine Oligomodenfaser 11 gebildet ist. Die Verzögerungsstrecke 1 ist über Spleiße 17 in einen Resonator 10 der Lichtquelle 100, der die weiteren Bestandteile der Lichtquelle 100 beinhaltet, eingebaut. Ein Übergang der Monomodenfaser 16 zu  
15 der Oligomodenfaser 11 kann auch über Steckverbindungen erfolgen. Die Verzögerungsstrecke ist etwa durch eine Faser des Typs SMF 28 der Firma Corning oder durch eine Faser des Typs Allwave ZWP der Firma OFS gebildet. Die Oligomodenfaser 11 hat zum Beispiel eine geometrische Länge von zirka 3,5 km,  
20 entsprechend einer optischen Länge von zirka 5,14 km bei einem Brechungsindex der Faser von 1,468.

Alle anderen Faser-basierten Teile des Resonators 10, also alle Faser-basierten Teile außer der Verzögerungsstrecke 1,  
25 sind durch Monomodenfasern 16 realisiert. Bei den Monomodenfasern 16 handelt es sich insbesondere um Fasern des Typs HI 1060 der Firma Corning.

Die Verzögerungsstrecke 1 und somit die Oligomodenfaser 11  
30 sind auf eine Spule mit einem Durchmesser von zirka 30 cm vollständig aufgewickelt. Durch eine Einstellung des Krümmungsradiuses der Spule kann eine Ausdämpfung unerwünschter Moden bestimmter Ordnung realisierbar sein.

Durch eine gezielte räumliche Orientierung relativ zu einer Krümmungsachse der Spule oder von Teilen der Spule und der Oligomodenfaser 11 ist es ferner möglich, Verluste von Moden höherer Ordnungen zu kontrollieren.

5

Ferner beinhaltet der Resonator 10 eine Polarisationskontrolleinheit 13 sowie optional einen oder mehrere optische Isolatoren 15. Eine Durchlassrichtung der Isolatoren 15 ist in Figur 1 durch Pfeile angedeutet. Die Reihenfolgen der Komponenten der Lichtquelle 100, wie in Figur 1 illustriert, kann permutiert sein.

In Figur 2 ist ein Spektrum der von der gemäß Figur 1 aufgebauten Lichtquelle 100 dargestellt. Es ist eine wellenlängenabhängige Intensität  $I$  in dB gegenüber der Wellenlänge  $\lambda$  der Strahlung  $S$  in nm aufgetragen. Die Strahlung  $S$  ist um 1050 nm zentriert. Ein Durchstimmbereich der Strahlung beträgt zirka 57 nm. Mit anderen Worten kann von der Lichtquelle 100 im Spektralbereich von zirka 1025 nm bis zirka 1080 nm Strahlung emittiert werden. Eine Durchstimmung der Strahlung erfolgt über  $2 \times 53867$  bidirektionale Wellenlängendurchläufe in dem Resonator 10 pro Sekunde. Eine Zeitabhängigkeit der Wellenlänge  $\lambda$  der Strahlung  $S$  kann sinusartig oder sägezahnartig gestaltet sein.

In Figur 3 ist eine Amplitude eines mit einer Fotodiode detektierten Interferenzsignals  $Y$  der Strahlung  $S$ , die über ein Mach-Zehnder-Interferometer geführt wurde, dargestellt. Die vertikalen Linien in Figur 3 geben hierbei eine Fouriertransformierte des Interferenzsignals  $Y$  an. Als Abszisse ist die Weglängendifferenz  $D$  zwischen Interferometerarmen des Interferometers in mm dargestellt. Das Interferenzsignal  $Y$

ist in beliebigen Einheiten logarithmisch gegenüber dem Weglängenunterschied  $D$  aufgetragen.

Aus Figur 3 ist ersichtlich, dass mindestens bis zu einer  
5 Weglängendifferenz  $D$  von zirka 10 mm noch ein deutliches  
Interferenzsignal  $Y$  detektierbar ist. Eine Kohärenzlänge,  
eine Auflösung und ein Dynamikbereich der Strahlung  $S$  der  
Lichtquelle 100 sind hiernach zum Einsatz für optische  
Kohärenztomografie beispielsweise am menschlichen Auge  
10 geeignet.

In Figur 4 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel der  
Lichtquelle 100 illustriert. Die Lichtquelle 100 weist einen  
Resonatorteil 10a auf, in dem sich das Verstärkungsmedium 4  
15 sowie der Filter 3 befinden. Über einen polarisationsabhängig  
reflektierenden Strahlteiler 18 ist der Resonatorteil 10a mit  
einem Resonatorteil 10b verbunden oder an diesen gekoppelt.  
Anstelle des Strahlteilers 18 kann auch ein optischer  
Zirkulator, ein polarisationsunabhängiger, als  
20 teildurchlässiger Spiegel ausgebildeter Strahlteiler oder ein  
Faserkoppler verwendet werden. In dem Resonatorteil 10b  
befindet sich die über die Spleiße 17 eingebaute  
Verzögerungsstrecke 1 mit der Oligomodenfaser 11. An einer  
dem polarisationsabhängig reflektierenden Strahlteiler 18  
25 abgewandten Seite des Resonatorteils 10b befindet sich ein  
Faraday-Spiegel 19. Über den Faraday-Spiegel 19 erfolgt bei  
Reflexion eine Polarisationsdrehung der in dem Resonator 10a,  
10b umlaufenden Strahlung. Eine Polarisationsrichtung der  
Strahlung sowie die Laufrichtung der Strahlung sind durch  
30 Pfeile und Punkte symbolisiert. Die mit der Oligomodenfaser  
11 gebildete Verzögerungsstrecke 1 wird von der im Resonator  
10a, 10b umlaufenden Strahlung zweifach durchlaufen. Die in  
Figur 4 illustrierte Lichtquelle kann analog zu dem in der

Druckschrift WO 2008/135034 A1 angegebenen Lichtquellen aufgebaut sein. Der Offenbarungsgehalt dieser Druckschrift hinsichtlich der angegebenen Lichtquellen wird hiermit durch Rückbezug aufgenommen.

5

In Figur 5 ist ein Ausführungsbeispiel der Lichtquelle 100 illustriert, bei dem den Verzögerungsstrecken 1a, 1b, 1c jeweils Überbrückungsstrecken 20a, 20b, 20c optisch parallel geschaltet sind. Eine optische Länge der Verzögerungsstrecke 10 1b beträgt das Doppelte, eine optische Länge der Verzögerungsstrecke 1c das Vierfache der optischen Länge der Verzögerungsstrecke 1a.

Bei dem Teil 100' der Lichtquelle 100 gemäß Figur 5 kann es 15 sich zum Beispiel um eine Lichtquelle gemäß Figur 1 oder gemäß Figur 4 handeln. Auch kann der Teil 100' der Lichtquelle 100 eine spektral gefilterte Breitbandquelle sein. Ebenso ist es möglich, dass der Teil 100' der Lichtquelle 100 ein abstimmbarer Laser mit einem 20 Bandpassfilter ist.

Der Bandpassfilter kann dann ein Fabry-Perot-Filter sein, auf einem rotierenden, schnell winkelveränderlichen Spiegel oder Polygonspiegel basieren, insbesondere in Kombination mit 25 einem dispersiven optischen Element, und/oder ein mikroelektromechanisches System, kurz MEMS, sein. Weiterhin kann der Teil 100' der Lichtquelle 100 einen Resonator mit einem resonant betriebenen Spiegel mit einem Galvanometerantrieb, insbesondere in Kombination mit einem optisch dispersivem 30 Element, enthalten.

Über eine derart gestaltete Verzögerungsstrecke mit mehreren in Spulen aufgewickelte Teile 1a, 1b, 1c ist eine Abstimmrate

der Strahlung S, die von der Lichtquelle 100 emittiert wird, vervielfachbar, gemäß Figur 5 insbesondere verachtfachbar. Optional kann die Lichtquelle 100 einen zweiten Strahlungsausgang X aufweisen. Ferner ist es optional  
5 möglich, wie auch bei allen anderen Ausführungsbeispielen, dass die Strahlung S einen in den Figuren nicht gezeichneten Nachverstärker, beispielsweise einen SOA, durchläuft. Es ist hierbei möglich, eine Bestromung des SOAs so einzustellen, dass alle von der Lichtquelle 100 emittierten Lichtimpulse,  
10 also sowohl der originäre Lichtimpuls als auch dessen Kopien oder Duplikate, gleiche oder näherungsweise gleiche Intensitäten aufweisen.

In Figur 6 ist ein Prinzip zur Vervielfachung der der  
15 Abstimmrate mittels einer Verzögerungsstrecke schematisch illustriert. In den Figuren 6A, 6B ist jeweils die Wellenlänge  $\lambda$  der von der Lichtquelle 100 emittierten Strahlung gegenüber der Zeit t aufgetragen. Gemäß Figur 6A erfolgt eine Emission der Strahlung S nur in dem Zeitfenster  
20 A0.

Gemäß Figur 6B wird die Strahlung S in vier Zeitfenstern A0, A1, A2, A3 emittiert. Die Zeitfenster A1, A2, A3 stellen hierbei Kopien oder Duplikate des Lichtimpulses aus dem  
25 Zeitfenster A0 dar, hervorgerufen durch ein Durchlaufen der Verzögerungsstrecke der Lichtquelle 100. Ein zeitlicher Verlauf der Wellenlänge  $\lambda$  der Strahlung S ist näherungsweise sägezahnartig.

30 Beim Ausführungsbeispiel der Lichtquelle 100 gemäß Figur 7 ist die Verzögerungsstrecke 1 zum Beispiel durch eine Faser des Typs SMF 28 der Firma Corning gebildet. Die Verzögerungsstrecke 1 stellt gleichzeitig eine optische

Übertragungsstrecke 25 dar. In die Verzögerungsstrecke 1 wird Strahlung aus dem Teil 100' und aus dem Teil 110 der Lichtquelle 100 eingekoppelt. Der Teil 100' erzeugt beispielsweise Strahlung um 1050 nm, der Teil 110 Strahlung um 1300 nm, unabhängig von der Strahlung um 1050 nm. Für die Strahlung um 1300 nm stellt die Faser eine Monomodenfaser, für die Strahlung des Teils 100' eine Oligomodenfaser dar. Die Anzahl an Moden, die eine Faser führt, ist von der Wellenlänge der geführten Strahlung abhängig. Somit ist es auch von der Wellenlänge der Strahlung abhängig, ob die Faser eine Monomodenfaser oder eine Oligomodenfaser ist. Eine Detektion der übertragenen Strahlung erfolgt beispielsweise über eine Detektionseinheit 200.

In Figur 8 ist schematisch ein Brechungsindex  $n$  der Oligomodenfaser 11 in Abhängigkeit von der Wellenlänge  $\lambda$  der Strahlung  $S$  aufgetragen, sowohl für die Grundmode, siehe Kurve b, als auch für die erste höhere Mode, siehe Kurve a. In dem relevanten Wellenlängenbereich, beispielsweise um 1050 nm, ist eine mittlere Steigung der Kurve a größer als eine mittlere Steigung der Kurve b. Ein Brechungsindexunterschied  $\Delta A$  in dem Abstimmbereich  $\Delta \lambda$  kann daher, bezogen auf die Kurve a, insgesamt größer sein als der Brechungsindexunterschied  $\Delta A, B$ , für den Fall, dass sowohl die Grundmode als auch die erste höhere Mode von der Verzögerungsstrecke unterstützt werden. Mit anderen Worten ist es möglich, dass im Falle einer Oligomodenfaser eine chromatische Dispersion geringer ausfällt als im Falle einer Monomodenfaser. Hierdurch kann eine Wellenlängenabstimmgenauigkeit innerhalb der Lichtquelle 100 und damit einhergehend auch eine Effizienzsteigerung der Lichtquelle 100 erzielbar sein.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel der Lichtquelle 100 ist in Figur 9 dargestellt. Dem Teil 110 der Lichtquelle 100, der zum Beispiel das optische Verstärkermedium enthält, ist ein Zirkulator 21 mit drei Anschlüssen a, b, c nachgeordnet.

5 Licht, das in den Anschluss a des Zirkulators 21 eingestrahlt wird, wird am Anschluss b emittiert. Licht, das den Zirkulator 21 im Anschluss b betritt, wird zum Anschluss c weitergeleitet. Licht, das in den Zirkulator 21 über den Anschluss c eintritt, wird nicht weitergeleitet.

10

An den Anschluss b schließt sich die Verzögerungsstrecke 1 mit der Oligomodenfaser 11 an. An einem dem Zirkulator 21 abgewandten Ende der Verzögerungsstrecke 1, die optional einen Faraday-Rotator 22 aufweist, befindet sich ein

15 gechirptes Faser-Bragg-Gitter 23, kurz cFBG. Das cFBG 23 ist eine Faser, die entlang einer Hauptpropagationsrichtung einen modulierten Brechungsindex aufweist und hierdurch wie ein Bragg-Spiegel wirkt. Gechirpt bedeutet, dass eine Eindringtiefe in das cFBG 23 für Licht unterschiedlicher  
20 Wellenlängen variiert. Abhängig von der Wellenlänge legt das Licht in dem cFBG 23 also unterschiedliche Weglängen zurück. Hierdurch ist eine chromatische Dispersion aufgrund der Oligomodenfaser 11 teilweise oder vollständig kompensierbar.

25 Gemäß Figur 9 wird die Strahlung S nach Reflexion an dem cFBG 23 und nochmaligem Durchlaufen der Verzögerungsstrecke 1 sowie des Zirkulators 21 emittiert. Abweichend hiervon kann dem Anschluss c des Zirkulators 21 ein weiterer, nicht gezeichneter Teil der Lichtquelle 100 nachgeordnet sein.

30

Beim Ausführungsbeispiel gemäß Figur 10 befindet sich die Verzögerungsstrecke 1 mit der Oligomodenfaser 11 sowie dem cFBG 23 zwischen den Teilen 110a, 110b der Lichtquelle 100.

Der Faraday-Rotator 22 ist erneut optional. Die Laufrichtung der Strahlung ist durch Pfeile symbolisiert.

Aus dem Teil 110a wird die Strahlung über den Zirkulator 21  
5 hin zu dem polarisationsabhängig reflektierenden Strahlteiler 18 gelenkt. Der Strahlteiler 18 reflektiert die Strahlung hin zu der Verzögerungsstrecke 1, an die das cFBG 23  
angeschlossen oder in die das cFBG 23 zur  
Dispersionskompensation integriert ist. Die  
10 Verzögerungsstrecke 1 wird insgesamt zweifach durchlaufen. Anschließend trifft die Strahlung nach Durchgang durch den Strahlteiler 18 auf ein weiteres cFBG 23 oder auf den Spiegel 19 und wird zurück in Richtung zu dem Zirkulator 21  
reflektiert. Schließlich gelangt die Strahlung über den  
15 Anschluss b zu dem Teil 110b der Lichtquelle 100.

Die hier beschriebene Erfindung ist nicht durch die Beschreibung anhand der Ausführungsbeispiele beschränkt. Vielmehr umfasst die Erfindung jedes neue Merkmal sowie jede  
20 Kombination von Merkmalen, was insbesondere jede Kombination von Merkmalen in den Patentansprüchen beinhaltet, auch wenn dieses Merkmal oder diese Kombination selbst nicht explizit in den Patentansprüchen oder Ausführungsbeispielen angegeben ist.

25

## Bezugszeichenliste

	100	wellenlängenabstimmbare Lichtquelle
	110	Teil der Lichtquelle
5	10	Resonator/Teilstrecke
	1	Verzögerungsstrecke
	3	optischer Filter
	4	optisches Verstärkungsmedium
	11	Oligomodenfaser
10	12	faserbasierter Teil des Resonators
	13	Polarisationscontroller
	14	optischer Koppler
	15	optischer Isolator
	16	Monomodenfaser
15	17	Spleiß
	18	Polarisationsabhängig reflektierender Strahlteiler
	19	Spiegel
	20	Überbrückungsstrecke
	21	Zirkulator
20	22	Faraday-Rotator
	23	gechirptes Faser-Bragg-Gitter (cFBG)
	25	Übertragungsstrecke
	200	Detektionseinheit
25	a, b, c	Anschlüsse des Zirkulators
	A	Aktivitätsfenster
	D	Armlängendifferenz
	S	emittierte Strahlung
	t	Zeit
30	X	Kontrollausgang
	Y	Signalamplitude
	$\lambda$	Wellenlänge

## Patentansprüche

1. Wellenlängenabstimmbare Lichtquelle (100) mit  
- wenigstens einer Faser-basierten Teilstrecke (10) und  
5 - wenigstens einer Verzögerungsstrecke (1),  
wobei  
- für eine Wellenlänge  $\lambda$  zumindest eines Anteils einer  
von der Lichtquelle (100) emittierten Strahlung (S) in  
Abhängigkeit von der Zeit t gilt:  
10 
$$\lambda(t) = \lambda(t - \tau),$$
  
-  $\tau$  eine feste Zeitspanne größer Null ist, und  
- die Verzögerungsstrecke (1) mit zumindest einer  
Oligomodenfaser (11) gebildet ist.
2. Lichtquelle (100) nach dem vorhergehenden Anspruch,  
15 bei der die Oligomodenfaser (11) in einem  
Wellenlängenbereich der von der Lichtquelle (100)  
emittierten Strahlung (S) dazu eingerichtet ist,  
zwischen einschließlich 2 Moden und 20 Moden zu führen.
3. Lichtquelle (100) nach einem der vorhergehenden  
20 Ansprüche,  
bei der mindestens 10 % der Zeitspanne  $\tau$  auf eine  
optische Länge der Verzögerungsstrecke (1) und/oder der  
Oligomodenfaser (11) zurückgehen.
4. Lichtquelle (100) nach einem der vorhergehenden  
25 Ansprüche,  
bei der ein Kerndurchmesser der Oligomodenfaser (11)  
zwischen einschließlich 7,5  $\mu\text{m}$  und 9,5  $\mu\text{m}$  beträgt.

5. Lichtquelle (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
bei der die Verzögerungsstrecke (4) eine optische Länge zwischen einschließlich 10 m und 50 km aufweist.
- 5 6. Lichtquelle (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
bei der ein Wellenlängenbereich der emittierten Strahlung (S) zwischen einschließlich 950 nm und 1250 nm liegt.
- 10 7. Lichtquelle (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
bei der eine spektrale Breite eines Abstimmbereichs der im Betrieb emittierten Strahlung (S) mindestens 5 nm und höchstens 300 nm beträgt.
- 15 8. Lichtquelle (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
bei der die Oligomodenfaser (11) teilweise oder vollständig aufgerollt ist.
- 20 9. Lichtquelle (100) nach dem vorhergehenden Anspruch,  
bei der ein Biegeradius (B) der aufgerollten Oligomodenfaser (11) zwischen einschließlich 2 cm und 50 cm liegt.
- 25 10. Lichtquelle (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
bei der die Verzögerungsstrecke (1) mindestens zwei Spulen mit je einer Oligomodenfaser (11) oder mit je mehreren Oligomodenfasern (11) aufweist.

11. Lichtquelle (100) nach dem vorhergehenden Anspruch,  
bei der die Spulen voneinander verschiedene optische  
Längen aufweisen.
12. Lichtquelle (100) nach dem vorhergehenden Anspruch,  
5 bei der eine der Spulen eine optische Länge aufweist,  
die ein ganzzahliges Vielfaches der optischen Länge der  
Spule beträgt, die die kleinste optische Länge  
aufweist.
13. Lichtquelle (100) nach einem der vorhergehenden  
10 Ansprüche,  
bei der der Verzögerungsstrecke (1) eine  
Überbrückungsstrecke (20) optisch parallel geschaltet  
ist, wobei eine optische Länge der Überbrückungsstrecke  
(20) kleiner ist als die optische Länge der  
15 Verzögerungsstrecke (1).
14. Lichtquelle (100) nach einem der vorhergehenden  
Ansprüche,  
bei der eine Abstimmrate der im Betrieb emittierten  
Strahlung (S) mittels der Verzögerungsstrecke (1)  
20 vervielfacht ist.
15. Lichtquelle (100) nach einem der vorhergehenden  
Ansprüche,  
bei der die Abstimmrate der Wellenlänge  $\lambda$  der  
emittierten Strahlung (S) mindestens 1 kHz beträgt.
- 25 16. Lichtquelle (100) nach einem der vorhergehenden  
Ansprüche,  
bei der ein relativer Zeitanteil, in dem die

Lichtquelle (100) im Betrieb im Mittel die Strahlung (S) emittiert, mindestens 1 % beträgt.

17. Lichtquelle (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

5 bei der die Verzögerungsstrecke (1) dazu eingerichtet ist, von der im Betrieb emittierten Strahlung (S) mindestens zweifach oder mindestens vierfach durchlaufen zu werden.

18. Lichtquelle (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

10 die ein Laser ist.

19. Lichtquelle (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

15 bei der die Verzögerungsstrecke (11) und/oder die Oligomodenfaser (11) von einem Resonator oder der Teilstrecke (10) der Lichtquelle (100) umfasst sind.

20. Lichtquelle (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

20 bei der die Verzögerungsstrecke (1) und/oder die Oligomodenfaser (11) einem Resonator und/oder der Teilstrecke (10) der Lichtquelle (100) nachgeordnet ist.

21. Lichtquelle (100) nach Anspruch 19 oder 20,

25 bei der, außer der Verzögerungsstrecke (10), alle faserbasierte Teile (12) des Resonators (10) mit Monomodenfasern gestaltet sind.

22. Lichtquelle (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
die zur Abstimmung der Wellenlänge der im Betrieb zu emittierenden Strahlung (S) einen rotierenden und/oder  
5 einen schnell winkelveränderlichen Spiegel enthält.
23. Lichtquelle (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
die zur Abstimmung der Wellenlänge der im Betrieb zu emittierenden Strahlung (S) einen abstimmbaren Filter,  
10 basierend auf einem mikro-elektromechanischen System, enthält.
24. Lichtquelle (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
bei der eine Wellenlänge der zu erzeugenden Strahlung  
15 (S) in einem Wellenlängenbereich zwischen einschließlich 30 % und kleiner 100 % einer Monomodengrenzwellenlänge der Oligomodenfaser (11) liegt.
25. Lichtquelle (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
20 die ein Fourier-Domänen-modengekoppelter Laser ist.
26. Lichtquelle (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
die zur optischen Kohärenztomographie eingerichtet ist.
- 25 27. Lichtquelle (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
die zur optischen Datenübertragung eingerichtet ist,

wobei

- die Verzögerungsstrecke (1) einer Übertragungsstrecke (25) für einen Übertragungswellenlängenbereich optisch parallel geschaltet ist oder die Verzögerungsstrecke

5 (1) die Übertragungsstrecke (25) bildet,

- der Wellenlängenbereich der im Betrieb der Lichtquelle (100) erzeugten Strahlung (S) von dem Übertragungswellenlängenbereich verschieden ist,

10 - die Verzögerungsstrecke (1) und die Übertragungsstrecke (25) mit einer Toleranz von höchstens 1 % gleiche optische Längen aufweisen, und

- die Übertragungsstrecke (25) im Übertragungswellenlängenbereich eine Monomodenfaser ist.

15 28. Lichtquelle (100) nach dem vorhergehenden Anspruch, bei der ein Wellenlängenabstimmbereich der emittierten Strahlung (S) zwischen einschließlich 10 MHz und 100 GHz liegt.

FIG 1

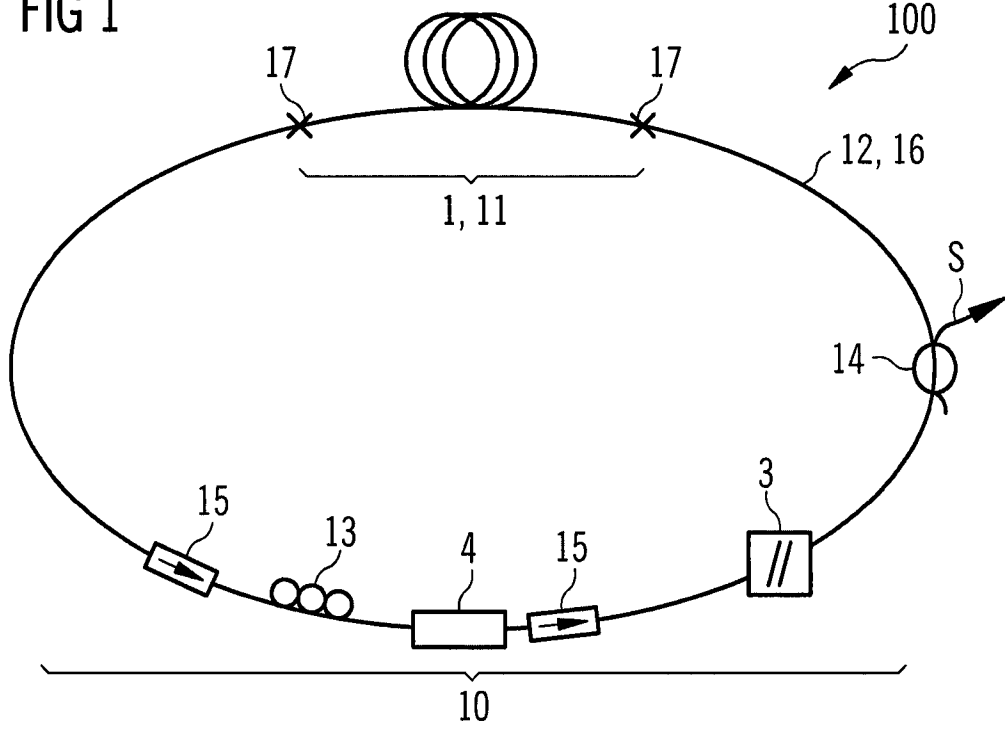


FIG 2

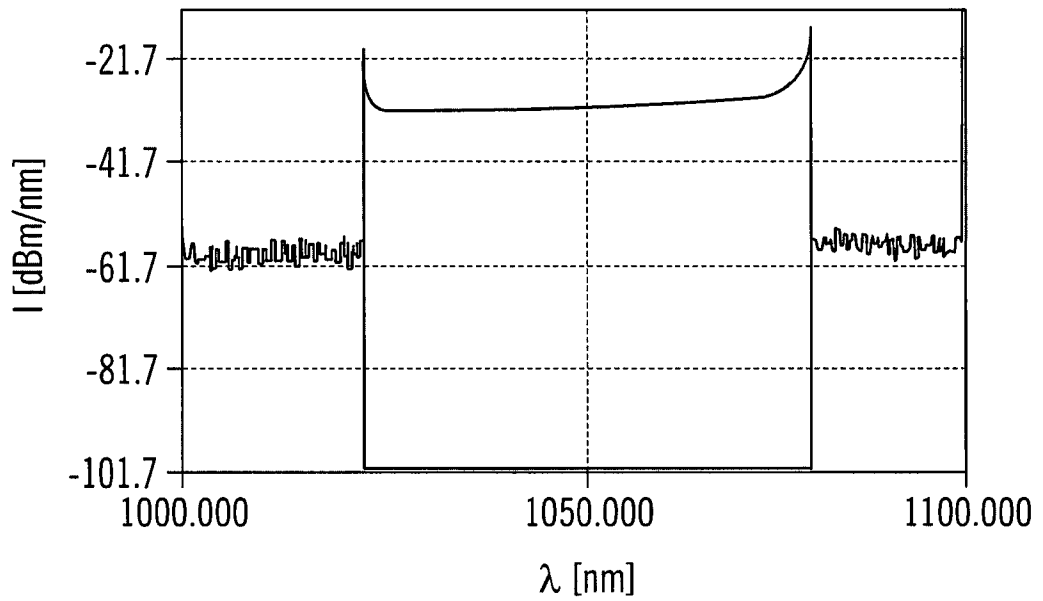


FIG 3

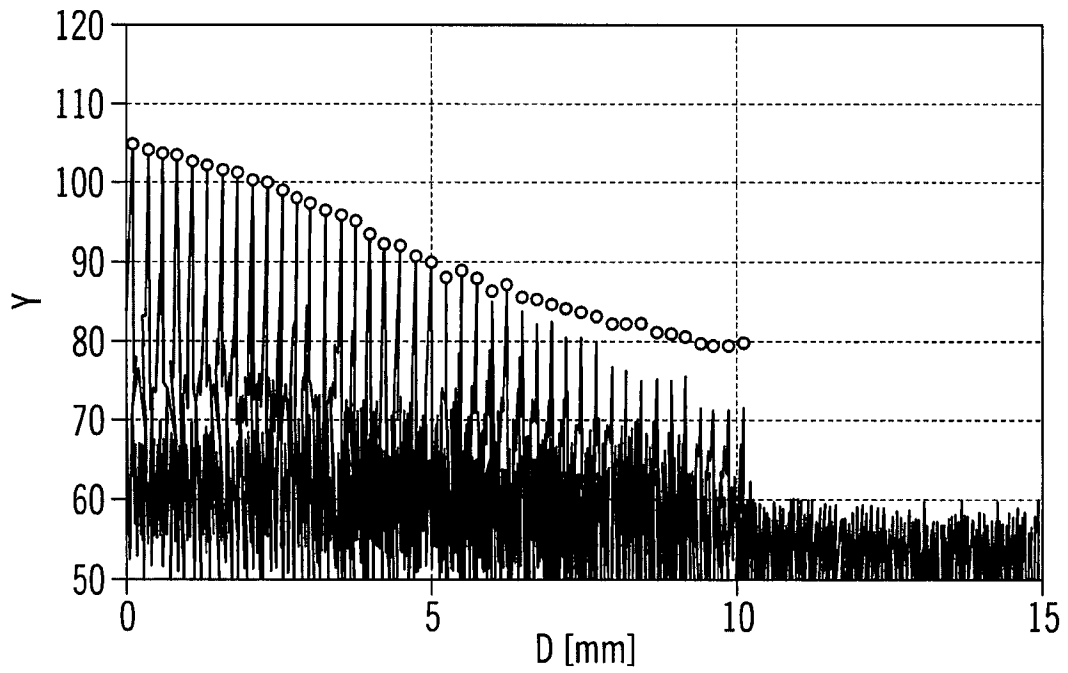


FIG 4

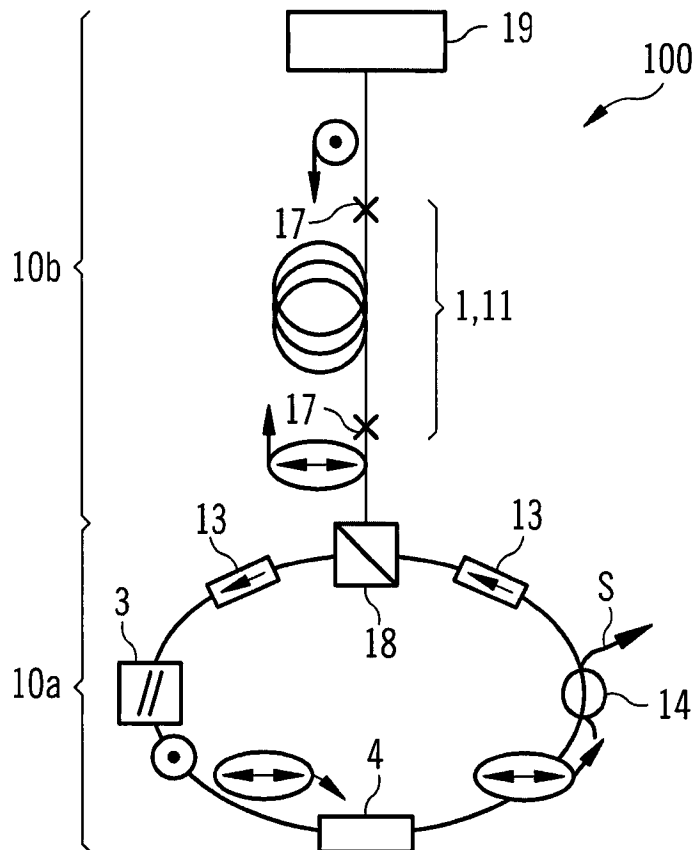


FIG 5

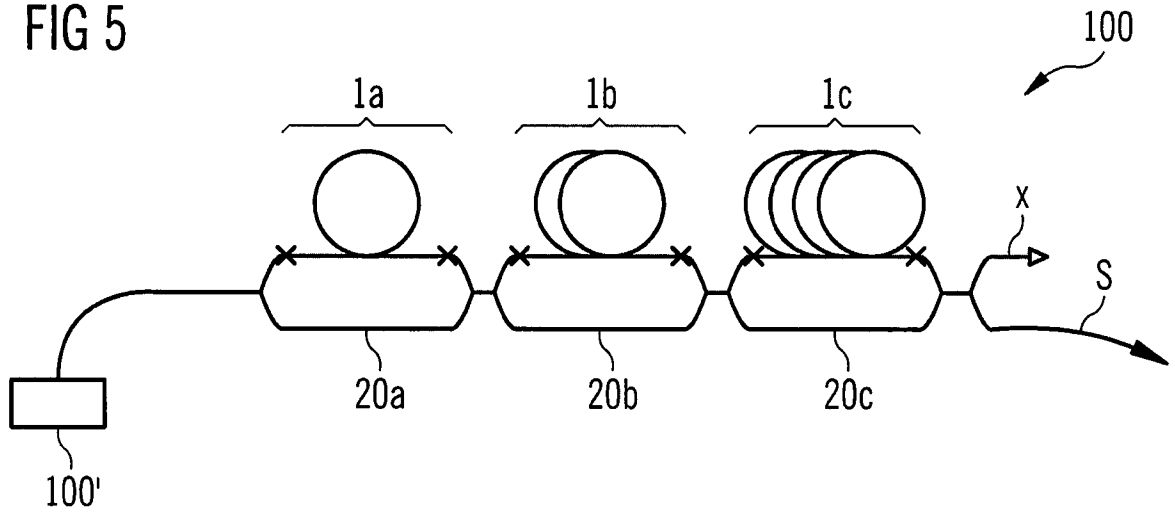


FIG 6

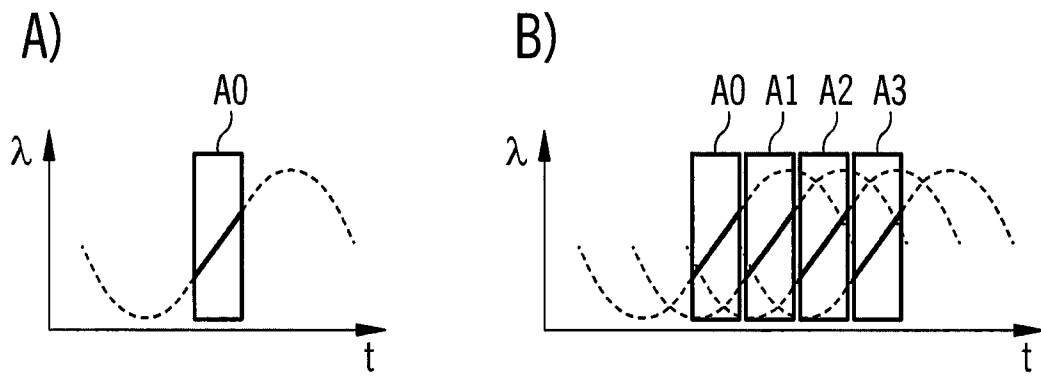


FIG 7

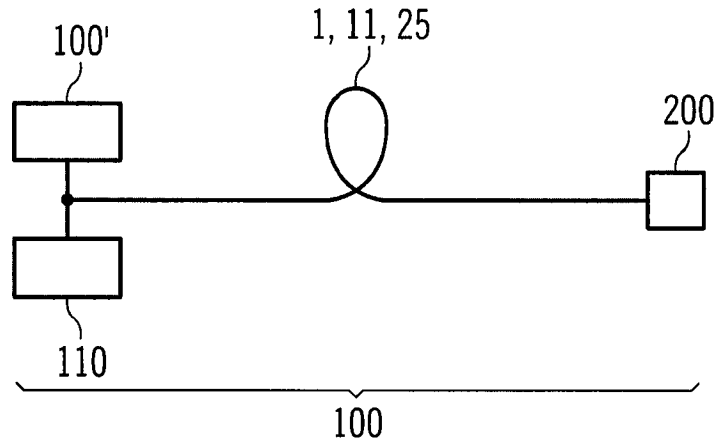


FIG 8

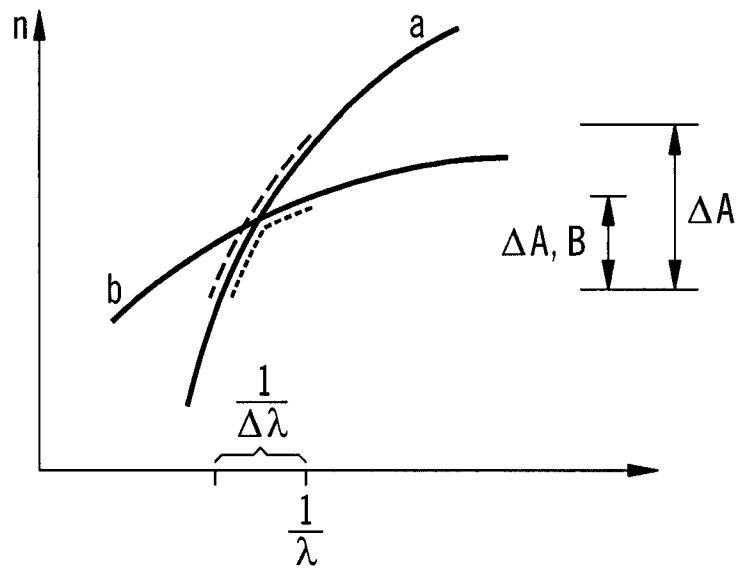


FIG 9

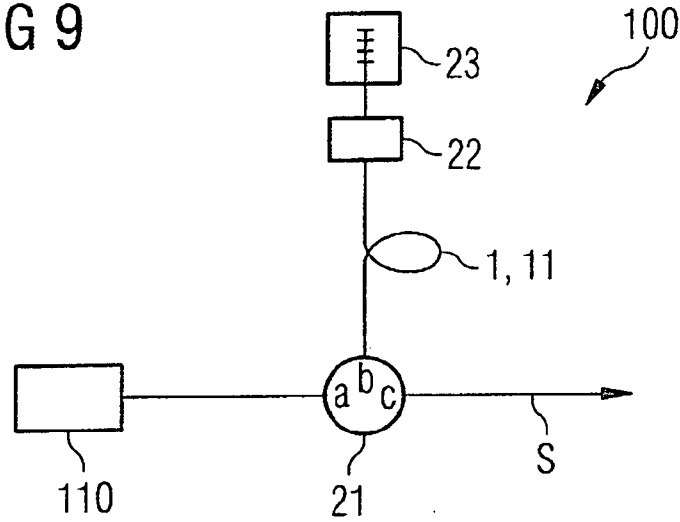
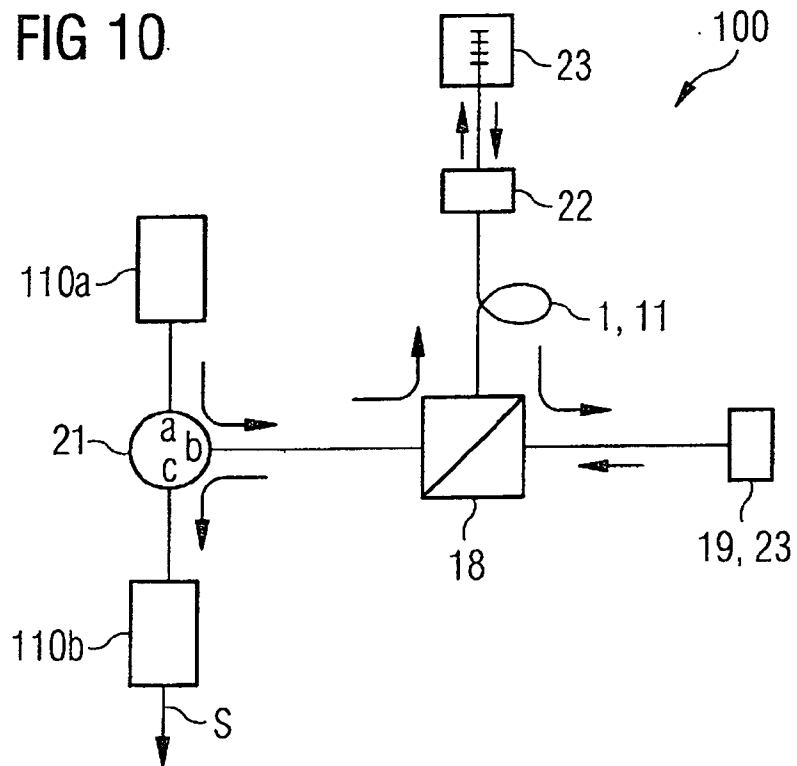


FIG 10



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2010/063633

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. H01S5/14

ADD. H01S3/067 H01S3/083 H01S3/106 G01N21/00 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)

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 practical, search terms used)

EPO-Internal, COMPENDEX, INSPEC, 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	EP 1 271 194 A2 (FITEL USA CORP [US]) 2 January 2003 (2003-01-02) paragraphs [0007] - [0011], [0011], [0018], [0027] - [0030]; figures 1,5-8 -----	1-24, 26-28
X	EP 1 139 521 A1 (NIPPON KOGAKU KK [JP]) 4 October 2001 (2001-10-04) paragraphs [0118], [0119], [0177] - [0180], [0209] - [0212]; figures 2,5 -----	1-24, 26-28
X	US 2005/041702 A1 (FERMANN MARTIN E [US] ET AL) 24 February 2005 (2005-02-24) paragraphs [0051] - [0065]; figures 1-3 -----	1,3-24, 26-28
X	US 2009/219959 A1 (MURISON RICHARD [CA] ET AL) 3 September 2009 (2009-09-03) paragraphs [0093] - [0096], [0102] - [0103], [0116] - [0129]; figures 1,14,19 -----	1,3-28
	-/--	



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.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

16 December 2010

Date of mailing of the international search report

12/01/2011

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/EP2010/063633

C(Continuation). . . DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	PALTE G ET AL: "Fourier domain mode locked (FDML) lasers for polarization sensitive OCT", PROCEEDINGS OF THE SPIE - THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING SPIE - THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING USA, vol. 7372, 17 June 2009 (2009-06-17), XP002613475, ISSN: 0277-786X the whole document figure 5	1
A	BIEDERMANN B R ET AL: "Dispersion, coherence and noise of Fourier domain mode locked lasers", OPTICS EXPRESS OPTICAL SOCIETY OF AMERICA USA, vol. 17, no. 12, 29 May 2009 (2009-05-29), pages 9947-9961, XP002613476, ISSN: 1094-4087 the whole document	1-28

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2010/063633

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1271194	A2	02-01-2003	DE 60212003 T2	21-09-2006
			US 2005100280 A1	12-05-2005
			US 2003002794 A1	02-01-2003
EP 1139521	A1	04-10-2001	AU 6865300 A	17-04-2001
			WO 0120733 A1	22-03-2001
US 2005041702	A1	24-02-2005	EP 1658663 A2	24-05-2006
			US 2005185260 A1	25-08-2005
			WO 2005022705 A2	10-03-2005
US 2009219959	A1	03-09-2009	WO 2009089619 A1	23-07-2009

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2010/063633

## A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. H01S5/14

ADD. H01S3/067      H01S3/083      H01S3/106      G01N21/00      H01S3/11

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

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

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, INSPEC, WPI Data

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 271 194 A2 (FITEL USA CORP [US]) 2. Januar 2003 (2003-01-02) Absätze [0007] - [0011], [0011], [0018], [0027] - [0030]; Abbildungen 1,5-8	1-24, 26-28
X	EP 1 139 521 A1 (NIPPON KOGAKU KK [JP]) 4. Oktober 2001 (2001-10-04) Absätze [0118], [0119], [0177] - [0180], [0209] - [0212]; Abbildungen 2,5	1-24, 26-28
X	US 2005/041702 A1 (FERMANN MARTIN E [US] ET AL) 24. Februar 2005 (2005-02-24) Absätze [0051] - [0065]; Abbildungen 1-3	1,3-24, 26-28
X	US 2009/219959 A1 (MURISON RICHARD [CA] ET AL) 3. September 2009 (2009-09-03) Absätze [0093] - [0096], [0102] - [0103], [0116] - [0129]; Abbildungen 1,14,19	1,3-28
	-/--	



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

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

16. Dezember 2010

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

12/01/2011

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	PALTE G ET AL: "Fourier domain mode locked (FDML) lasers for polarization sensitive OCT", PROCEEDINGS OF THE SPIE - THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING SPIE - THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING USA, Bd. 7372, 17. Juni 2009 (2009-06-17), XP002613475, ISSN: 0277-786X das ganze Dokument Abbildung 5	1
A	----- BIEDERMANN B R ET AL: "Dispersion, coherence and noise of Fourier domain mode locked lasers", OPTICS EXPRESS OPTICAL SOCIETY OF AMERICA USA, Bd. 17, Nr. 12, 29. Mai 2009 (2009-05-29), Seiten 9947-9961, XP002613476, ISSN: 1094-4087 das ganze Dokument -----	1-28

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2010/063633

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie			Datum der Veröffentlichung
EP 1271194	A2	02-01-2003	DE	60212003	T2	21-09-2006
			US	2005100280	A1	12-05-2005
			US	2003002794	A1	02-01-2003
EP 1139521	A1	04-10-2001	AU	6865300	A	17-04-2001
			WO	0120733	A1	22-03-2001
US 2005041702	A1	24-02-2005	EP	1658663	A2	24-05-2006
			US	2005185260	A1	25-08-2005
			WO	2005022705	A2	10-03-2005
US 2009219959	A1	03-09-2009	WO	2009089619	A1	23-07-2009