

(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
05. Mai 2022 (05.05.2022)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2022/089936 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01S 7/4911 (2020.01) G05D 1/00 (2006.01)
G01S 17/931 (2020.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2021/078168

(22) Internationales Anmeldedatum:
12. Oktober 2021 (12.10.2021)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2020 128 443.8
29. Oktober 2020 (29.10.2020) DE

(71) Anmelder: AMS-OSRAM INTERNATIONAL GMBH
[DE/DE]; Leibnizstr. 4, 93055 Regensburg (DE).

(72) Erfinder: **BEHRINGER, Martin**; Utastr. 1, 93049 Regensburg (DE). **HALBRITTER, Hubert**; Am Arzberg 3, 92345 Dietfurt-Toeing (DE). **HANEDER, Stephan**; Am Schönberg 5, 93173 Wenzelbach (DE).

(74) Anwalt: **MÜLLER HOFFMANN & PARTNER PATENTANWÄLTE MBB**; St.-Martin-Strasse 58, 81541 München (DE).

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

(54) Title: FMCW LIDAR SYSTEM

(54) Bezeichnung: FMCW-LIDAR-SYSTEM

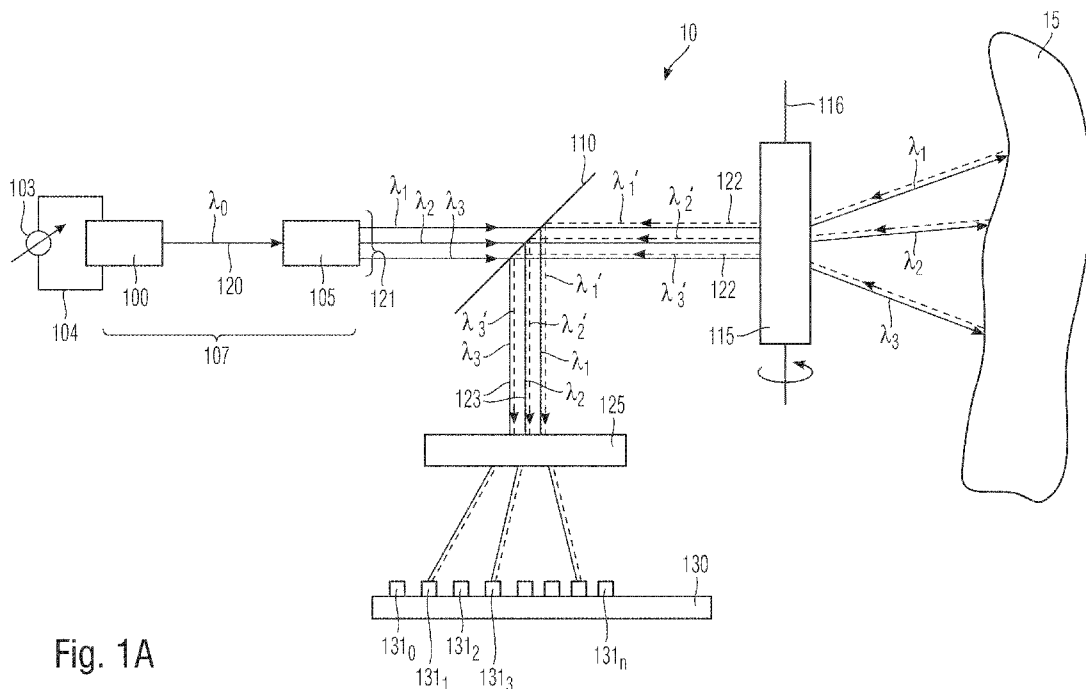


Fig. 1A

(57) Abstract: The invention relates to an FMCW LIDAR system (10) having a laser (100) which emits a laser beam (120) and a radiation source (107) which comprises a frequency comb generator (105). The semiconductor laser (100) is a VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser). The frequency comb generator (105) generate a frequency comb (121) from the laser beam (120), and a beam bundle with a plurality of laser beams, each of which has a respective wavelength $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ or laser mode, is generated from the laser beam (120) with a wavelength λ_0 . The generated beam bundle is fed to a beam splitter (110) which allows one part of each individual laser beam to pass in the direction of the object (15) to be measured. Another part of each individual laser beam is allowed

RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM,
ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

to pass as a reference beam (123) in the direction of an assembly (130) of detector elements (131_i). The LIDAR system additionally has a first grid (115) which deflects the individual laser beams of the frequency comb (121) in different spatial directions according to the respective wavelength. The LIDAR system (10) additionally comprises a demultiplexer or a second grid (125) which deflects the laser beams of different wavelengths at different deflection angles in a similar manner to the first grid (115). In this manner, a beam (122) reflected by the object (15), said beam belonging to an n-th mode of the frequency comb, is deflected together with the n-th mode of the reference beam (123) onto a common detector element 131_n. The components of the FMCW-LIDAR system can be designed as a photonic chip.

(57) Zusammenfassung: Ein FMCW-LIDAR-System (10) weist einen Laser (100), der einen Laserstrahl (120) emittiert, und eine Strahlungsquelle (107) auf, die einen Frequenzkammgenerator (105) umfasst. Der Halbleiterlaser (100) ein VCSEL ("Vertical Cavity Surface Emitting Laser", oberflächenemittierender Laser mit vertikalem Resonator) sein. Der Frequenzkammgenerator (105) erzeugt aus dem Laserstrahl (120) einen Frequenzkamm (121). Aus dem Laserstrahl (120) mit einer Wellenlänge λ_0 ein Strahlenbündel mit einer Vielzahl von Laserstrahlen mit jeweils unterschiedlichen Wellenlängen $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ oder Lasermode erzeugt. Das erzeugte Strahlenbündel wird einem Strahlteiler (110) zugeführt, der einen Teil jeweils der einzelnen Laserstrahlen in Richtung des zu vermessenden Objekts (15) durchlässt. Ein anderer Teil jeweils der einzelnen Laserstrahlen wird als Referenzstrahl (123) in Richtung einer Anordnung (130) von Detektorelementen (131_i) durchgelassen. Das LIDAR-System weist ferner ein erstes Gitter (115) auf, das die einzelnen Laserstrahlen des Frequenzkamms (121) entsprechend der jeweiligen Wellenlänge in unterschiedliche Raumrichtungen ablenkt. Das LIDAR-System (10) umfasst weiterhin einen Demultiplexer oder ein zweites Gitter (125), das in ähnlicher Weise wie das erste Gitter (115) die Laserstrahlen unterschiedlicher Wellenlängen unter unterschiedlichen Ablenkwinkeln ablenkt. Auf diese Weise wird erreicht, dass ein von dem Objekt (15) reflektierter Strahl (122), der zu einer n-ten Mode des Frequenzkamms gehört, mit der n-ten Mode des Referenzstrahls (123) auf ein gemeinsames Detektorelement 131_n abgelenkt wird. Die Komponenten des FMCW-LIDAR-Systems können als photonischer Chip ausgebildet sein.

FMCW-LIDAR-SYSTEM

LIDAR-("Light Detection and Ranging"-)Systeme, insbesondere FMCW-LIDAR-Systeme („frequency modulated continuous wave“-modulierte Dauerstrich-LIDAR-Systeme) werden in zunehmendem Maße in Fahrzeugen, beispielsweise zum autonomen Fahren, eingesetzt. Beispielsweise werden sie eingesetzt, um Abstände zu messen oder Gegenstände zu erkennen. Um Objekte in größerer Entfernung zuverlässig erkennen zu können, sind Laser-Lichtquellen mit entsprechend hoher Leistung erforderlich.

Generell werden Anstrengungen unternommen, um eine großflächige Strahlungsquelle für ein FMCW-LIDAR-System zur Verfügung zu stellen.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes FMCW-LIDAR-System zur Verfügung zu stellen.

Gemäß Ausführungsformen wird die Aufgabe durch den Gegenstand der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Vorteilhafte Weiterentwicklungen sind in den abhängigen Patentansprüchen definiert.

Gemäß Ausführungsformen umfasst ein FMCW-LIDAR-System eine Strahlungsquelle, welche einen Frequenzkammgenerator aufweist.

Die Strahlungsquelle kann ferner einen Halbleiterlaser aufweisen, welcher geeignet ist, einen Laserstrahl zu emittieren. Der Frequenzkammgenerator ist geeignet, aus dem emittierten Laserstrahl einen Frequenzkamm zu erzeugen.

Das FMCW-LIDAR-System kann ferner ein erstes Gitter aufweisen, welches geeignet ist, Komponenten des Frequenzkamms mit unterschiedlichen Wellenlängen in unterschiedliche Raumrichtungen

abzulenken. Das erste Gitter ist zwischen Frequenzkammgenerator und einem zu vermessenden Objekt angeordnet.

Das FMCW-LIDAR-System kann ferner eine Anordnung von Detektorelementen aufweisen. Die Anordnung von Detektorelementen ist geeignet, ein Mischsignal nachzuweisen, welches auf Basis eines von einem zu vermessenden Objekt reflektierten Reflexionsstrahls und eines Referenzstrahls erzeugt ist.

Das FMCW-LIDAR-System kann ferner ein zweites Gitter aufweisen, welches geeignet ist, auf das zweite Gitter auftreffende elektromagnetische Strahlen in Abhängigkeit von ihrer Wellenlänge auf verschiedene Detektorelemente abzulenken.

Gemäß Ausführungsformen kann das zweite Gitter geeignet sein, einen zu einem Referenzstrahl zugehörigen reflektierten Strahl sowie den Referenzstrahl auf ein gemeinsames Detektorelement abzulenken.

Gemäß weiteren Ausführungsformen kann das zweite Gitter an einer Position angeordnet sein, an der der von dem zu vermessenden Objekt reflektierte Strahl aufgespalten wird und nach Aufspaltung mit dem Referenzstrahl überlagert wird.

Die Strahlungsquelle kann ferner eine Modulationseinrichtung zur Modulation einer von der Strahlungsquelle emittierten Wellenlänge aufweisen. Beispielsweise kann die Modulationseinrichtung eine Spannungsquelle umfassen, die geeignet ist, eine in den Halbleiterlaser eingeprägte Stromstärke zu verändern.

30

Beispielsweise kann der Frequenzkammgenerator einen Mikroresonator aufweisen.

Beispielsweise kann der Frequenzkammgenerator geeignet sein, einen Modenabstand größer als 5 GHz zwischen benachbarten Moden einzustellen.

- 5 Gemäß Ausführungsformen kann die Strahlungsquelle in einem photonischen Chip realisiert sein. Beispielsweise kann ferner der Frequenzkammgenerator in den photonischen Chip integriert sein.
- 10 Beispielsweise kann der Halbleiterlaser ein oberflächenemittierender Halbleiterlaser mit vertikalem Resonator (VCSEL, „vertical cavity surface emitting laser“) sein.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung wird eine Strahlungsquelle, welche einen Halbleiterlaser und einen Frequenzkammgenerator aufweist, zur Verfügung gestellt. Der Halbleiterlaser ist geeignet, einen Laserstrahl zu emittieren, und der Frequenzkammgenerator ist geeignet, aus dem emittierten Laserstrahl einen Frequenzkamm zu erzeugen.

20

Beispielsweise kann der Halbleiterlaser ein oberflächenemittierender Halbleiterlaser mit vertikalem Resonator (VCSEL, „vertical cavity surface emitting laser“) sein.

- 25 Die begleitenden Zeichnungen dienen dem Verständnis von Ausführungsbeispielen der Erfindung. Die Zeichnungen veranschaulichen Ausführungsbeispiele und dienen zusammen mit der Beschreibung deren Erläuterung. Weitere Ausführungsbeispiele und zahlreiche der beabsichtigten Vorteile ergeben sich unmittelbar aus der nachfolgenden Detailbeschreibung. Die in den
- 30 Zeichnungen gezeigten Elemente und Strukturen sind nicht notwendigerweise maßstabsgetreu zueinander dargestellt. Gleiche Bezugszeichen verweisen auf gleiche oder einander entsprechende Elemente und Strukturen.

Fig. 1A zeigt eine schematische Darstellung eines FMCW-LIDAR-Systems gemäß Ausführungsformen.

- 5 Fig. 1B veranschaulicht schematisch einen Laserstrahl sowie einen aus dem Laserstrahl erzeugten Frequenzkamm.

Fig. 2A zeigt eine schematische Draufsicht auf eine Strahlungsquelle eines FMCW-LIDAR-Systems.

10

Fig. 2B zeigt eine schematische perspektivische Ansicht eines photonischen Chips, in dem Komponenten des FMCW-LIDAR-Systems realisiert sind.

- 15 In der folgenden Detailbeschreibung wird auf die begleitenden Zeichnungen Bezug genommen, die einen Teil der Offenbarung bilden und in denen zu Veranschaulichungszwecken spezifische Ausführungsbeispiele gezeigt sind. In diesem Zusammenhang wird eine Richtungsterminologie wie "Oberseite", "Boden", "Vorder-
- 20 seite", "Rückseite", "über", "auf", "vor", "hinter", "vorne", "hinten" usw. auf die Ausrichtung der gerade beschriebenen Figuren bezogen. Da die Komponenten der Ausführungsbeispiele in unterschiedlichen Orientierungen positioniert werden können, dient die Richtungsterminologie nur der Erläuterung und ist in
- 25 keiner Weise einschränkend.

- Die Beschreibung der Ausführungsbeispiele ist nicht einschränkend, da auch andere Ausführungsbeispiele existieren und strukturelle oder logische Änderungen gemacht werden können,
- 30 ohne dass dabei vom durch die Patentansprüche definierten Bereich abgewichen wird. Insbesondere können Elemente von im Folgenden beschriebenen Ausführungsbeispielen mit Elementen von anderen der beschriebenen Ausführungsbeispiele kombiniert werden, sofern sich aus dem Kontext nichts anderes ergibt.

Der Begriff "vertikal", wie er in dieser Beschreibung verwendet wird, soll eine Orientierung beschreiben, die im Wesentlichen senkrecht zu der ersten Oberfläche eines Substrats oder Halbleiterkörpers verläuft. Die vertikale Richtung kann beispielsweise einer Wachstumsrichtung beim Aufwachsen von Schichten entsprechen.

Die Begriffe "lateral" und "horizontal", wie in dieser Beschreibung verwendet, sollen eine Orientierung oder Ausrichtung beschreiben, die im Wesentlichen parallel zu einer ersten Oberfläche eines Substrats oder Halbleiterkörpers verläuft. Dies kann beispielsweise die Oberfläche eines Wafers oder eines Chips (Die) sein.

Die horizontale Richtung kann beispielsweise in einer Ebene senkrecht zu einer Wachstumsrichtung beim Aufwachsen von Schichten liegen.

Soweit hier die Begriffe "haben", "enthalten", "umfassen", "aufweisen" und dergleichen verwendet werden, handelt es sich um offene Begriffe, die auf das Vorhandensein der besagten Elemente oder Merkmale hinweisen, das Vorhandensein von weiteren Elementen oder Merkmalen aber nicht ausschließen. Die unbestimmten Artikel und die bestimmten Artikel umfassen sowohl den Plural als auch den Singular, sofern sich aus dem Zusammenhang nicht eindeutig etwas anderes ergibt.

Fig. 1 zeigt eine schematische Ansicht eines FMCW-LIDAR-

Systems 10 gemäß Ausführungsformen. Das in Fig. 1 dargestellte FMCW-LIDAR-System weist eine Strahlungsquelle 107 auf, die einen Frequenzkammgenerator 105 umfasst. Die Strahlungsquelle 107 kann weiterhin einen Laser aufweisen, der einen Laserstrahl 120 emittiert. Beispielsweise kann der Laser ein Halb-

leiterlaser 100 sein. Der Halbleiterlaser 100 kann beispielsweise ein kantenemittierender Laser oder auch ein oberflächenemittierender Laser, beispielsweise ein VCSEL ("Vertical Cavity Surface Emitting Laser", oberflächenemittierender Laser mit vertikalem Resonator) sein.

Der von dem Laser, beispielsweise dem Halbleiterlaser 100 emittierte Laserstrahl 120 wird einem Frequenzkammgenerator 105 zugeführt, der aus dem Laserstrahl 120 einen Frequenzkamm 121 erzeugt. Genauer gesagt wird aus einem Laserstrahl 120 mit einer Wellenlänge λ_0 ein Strahlenbündel, welches eine Vielzahl von Laserstrahlen mit jeweils unterschiedlichen Wellenlängen $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots \lambda_n$ oder Lasermoden aufweist, erzeugt. Es findet also eine Vervielfältigung im Wellenlängenraum statt. Das erzeugte Strahlenbündel wird beispielsweise einem Strahlteiler 110 zugeführt, der einen Teil jeweils der einzelnen Laserstrahlen in Richtung des zu vermessenden Objekts 15 durchlässt. Ein anderer Teil jeweils der einzelnen Laserstrahlen wird als Referenzstrahl 123 in Richtung einer Anordnung 130 von Detektorelementen 131_i durchgelassen.

Das FMCW-LIDAR-System weist ferner ein erstes Gitter 115 auf, das geeignet ist, die einzelnen Laserstrahlen des Frequenzkamms 121 entsprechend der jeweiligen Wellenlänge in unterschiedliche Raumrichtungen abzulenken. Beispielsweise kann der Frequenzkamm die Wellenlängen $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ aufweisen. Die einzelnen Laserstrahlen werden durch das erste Gitter 115 unter jeweils unterschiedlichen Ablenkswinkeln abgelenkt, so dass ein zu vermessendes Objekt 15 mit den einzelnen Strahlen des Frequenzkamms 121 bestrahlt wird. Auf unterschiedliche Stellen des Objekts werden jeweils unterschiedliche Laserstrahlen mit jeweils verschiedener Wellenlänge eingestrahlt. Es findet also eine Umwandlung der Vervielfältigung im Wellenlängenraum in eine Vervielfältigung im Vektorraum statt.

Die eingestrahlte Laserstrahlung wird an dem Objekt 15 reflektiert. Die reflektierten Strahlen 122 werden über das erste Gitter 115 wiederum dem Strahlteiler 110 zugeführt und in
5 Richtung der Detektoranordnung 130 abgelenkt.

Das FMCW-LIDAR-System 10 umfasst weiterhin einen Demultiplexer oder ein zweites Gitter 125, das in ähnlicher Weise wie das erste Gitter 115 geeignet ist, die Laserstrahlen unterschiedlicher Wellenlängen unter unterschiedlichen Ablenkungswinkeln ab-
10 zulenken. Als Ergebnis werden Laserstrahlen ähnlicher Wellenlänge in ähnliche Raumwinkelbereiche abgelenkt und erreichen ein entsprechendes Detektorelement 131_i der Anordnung 130.

15 Beispielsweise kann das zweite Gitter 125 an einer Position angeordnet sein, so dass sowohl die von dem Objekt reflektierten Strahlen 122 als auch die Referenzstrahlen 123 entsprechend ihrer Wellenlänge abgelenkt werden.

20 Auf diese Weise wird erreicht, dass ein von dem Objekt 15 reflektierter Strahl 122, der zu einer n-ten Mode des Frequenzkamms gehört, mit der n-ten Mode des Referenzstrahls 123 auf ein gemeinsames Detektorelement 131_n abgelenkt wird.

25 An dem jeweiligen Detektorelement 131_n findet eine Mischung des Referenzstrahls 123, welcher direkt von dem Strahlteiler 110 in Richtung des Detektors 130 gelenkt worden ist, und des Laserstrahls 122, der von dem Objekt 15 reflektiert worden ist, statt. Die einzelnen Detektorelemente 131_i der Anordnung 130
30 sind somit geeignet, aus diesen Strahlen ein Misch- oder Schwebungssignal zu ermitteln.

Das Mischsignal kann wie folgt dargestellt werden:

$$i_{sig} = i_a + i_{LO} + 2 \sqrt{i_a i_{LO}} \cos[2\pi(f_a - f_{LO})t + (\varphi_a - \varphi_{LO})] \dots (1)$$

Hier bezeichnet i_{sig} eine Intensität des Mischsignals, i_a eine Intensität des von dem Objekt 15 reflektierten Signals, und i_{LO} eine Intensität des Referenzsignals 123. f_a bezeichnet eine Frequenz des von dem Objekt 15 reflektierten Signals, und f_{LO} bezeichnet eine Frequenz des Referenzsignals. $\varphi_a - \varphi_{LO}$ bezeichnet einen Phasenunterschied des von dem Objekt 15 reflektierten Signals und des Referenzsignals. Die Detektorelemente 131_i sind geeignet, ein periodisches Signal nachzuweisen, dessen Frequenz der Differenz aus f_a und f_{LO} entspricht. Die Frequenz f_a des reflektierten Strahls ist aufgrund des Laufzeitunterschieds, der sich bei Reflexion an dem Objekt ergibt, gegenüber der Frequenz f_{LO} des Referenzstrahls verzögert. Die Differenz zwischen f_a und f_{LO} ist somit ein Maß für die Bewegung und die Entfernung des Objekts 15.

Gemäß Ausgestaltungen können die Detektorelemente 131_i eine sogenannte "Balanced Receiver Structure" ausbilden. Beispielsweise können in diesem Fall die Phasenfronten zwischen den Fotodetektoren um 180° verschoben sein. Auf diese Weise können beispielsweise Gleichstromanteile aus der vorstehend beschriebenen Gleichung (1) eliminiert werden. Insbesondere kann der $(i_a + i_{LO})$ -Term aus Gleichung (1) eliminiert werden.

25

Üblicherweise wird eine Frequenz des von der Laserquelle 100 emittierten Laserstrahls 120 zeitlich variiert. In entsprechender Weise wird auch eine Frequenz der Teilstrahlen des Frequenzkamms 121 mit der Zeit moduliert. An den einzelnen Detektorelementen findet eine Überlagerung des frequenzverschobenen Referenzstrahls und des vom Objekt 15 reflektierten Laserstrahls statt. Dabei ist eine Frequenz des Mischsignal ein Maß für die Entfernung oder die Geschwindigkeit des Objekts 15.

Dadurch, dass die Mischung des reflektierten Signals mit dem nicht reflektierten Signal erst in den einzelnen Detektorelementen stattfindet, ist es möglich, durch das zweite Gitter
5 125 eine Aufspaltung der einzelnen Laserstrahlen je nach Wellenlänge zu erzielen. Als Ergebnis werden die zueinander passenden Laserstrahlen miteinander überlagert.

Die einzelnen Detektorelemente 131 können jeweils als Halbleiterdetektoren, beispielsweise als Photodetektoren, beispielsweise Photodioden oder Photomischer ausgeführt sein. Als
10 Ergebnis liefert das Signal aus den unterschiedlichen Detektorelementen $131_0, \dots, 131_n$ Informationen über Abstand und Geschwindigkeit von Objekten, die sich an den jeweiligen Raumwinkeln der ursprünglichen Vektoren befinden. Auf diese Weise
15 ist es möglich, mit einzigem Laserstrahl 120 ein eindimensional ausgebildetes Objekt 15 zu vermessen.

Gemäß Ausführungsformen kann das erste Gitter 115 um eine Achse 116 drehbar sein. Beispielsweise kann das erste Gitter 115
20 auf einem mechanisch drehbaren Element, beispielsweise einem Mikrosystem oder MEMS („microelectromechanical system“) angeordnet sein. Auf diese Weise kann ein zweidimensionales Objekt vermessen werden.

25 Entsprechend kann gemäß Ausführungsformen unter Verwendung eines einzelnen Laserstrahls 120 und eines Frequenzkammgenerators 105 ein Objekt flächig vermessen werden. Als Ergebnis ist es möglich, das FMCW-LIDAR-System kostengünstig und mit kompakter Größe zu realisieren. Weiterhin wird eine größere Auflösung als bei konventionellen Systemen erreicht.
30

Wie beschrieben worden ist, kann der Laser als Halbleiterlaser ausgeführt sein. Beispielsweise kann eine Modulationseinrich-

tung 104 vorgesehen sein, die geeignet ist, eine Wellenlänge, die von dem Halbleiterlaser emittiert wird, zu verändern. Beispielsweise kann die Modulationseinrichtung 104 eine Spannungsquelle 103 aufweisen. Durch Verändern der Spannung, die an die Laservorrichtung 100 angelegt wird, und damit der eingepprägten Stromstärke kann eine Emissionswellenlänge verändert werden.

Durch die Spannungsquelle 103 wird in den Halbleiterlaser ein Strom eingepprägt. Durch eine kleine Änderung des eingepprägten Stroms, beispielsweise im Bereich von einigen μA , kann die Wellenlänge derart geändert werden, dass die Frequenzunterschiede der emittierten Strahlung im MHz- bis GHz-Bereich liegen. Aufgrund der Modulation der eingepprägten Stromstärke ergibt sich eine Modulation der Ladungsträgerdichte, was zu einer Veränderung des Brechungsindex im optischen Resonator führt. Als Folge wird die Wellenlänge verschoben. Weiterhin wird durch eine erhöhte Ladungsträgerdichte eine Temperaturerhöhung verursacht, welche ebenfalls zu einer Veränderung der Emissionsfrequenz führt. Entsprechend kann die Emissionsfrequenz im MHz- bis GHz-Bereich moduliert werden.

Beispielsweise kann die maximale Veränderung der Emissionsfrequenz kleiner als der Abstand benachbarter Moden auf den Frequenzkamm sein. Dies ist beispielsweise in Fig. 1B veranschaulicht.

Fig. 1B zeigt schematisch einen Frequenzkamm mit einer Vielzahl von Moden, die jeweils mit einem gleichen Abstand zueinander (Δf) beabstandet sind. Ein maximaler Unterschied $\Delta f_0 - \Delta f_0$ der Emissionsfrequenz des Halbleiterlasers aufgrund der Modulation der Emissionsfrequenz ist kleiner als der Frequenzunterschied Δf zwischen benachbarten Moden des Frequenzkamms 121.

Beispielsweise kann bei einer Modulationstiefe der Frequenzmodulation des Halbleiterlasers 100 von etwa 500 MHz der Modenabstand innerhalb des Frequenzkamms deutlich größer als 500
5 MHz sein. Weiterhin kann der Frequenzkammgenerator derart ausgewählt sein, dass die einzelnen Moden beispielsweise über einen Multiplexer, der als Arrayed Waveguide Grating oder Zeilen-Wellenleitergitter ausgeführt ist, problemlos separiert werden. Beispielsweise kann der Modenabstand größer als 5 GHz,
10 beispielsweise 50 bis 100 GHz sein.

Gemäß weiteren Ausführungsformen kann das zweite Gitter 125 an einer Position angeordnet sein, so dass nur die reflektierten Strahlen 122 durch das zweite Gitter 125 abgelenkt werden und
15 nach Aufspaltung mit dem Referenzsignal 123 überlagert werden. In diesem Fall kann beispielsweise bei einem Modenabstand größer als 5 GHz bei Verwendung eines bandbegrenzten Detektors eine Mischung nur mit den Komponenten des Referenzstrahls 123 stattfinden, die einen Frequenzabstand kleiner als 1 GHz ha-
20 ben. Auf diese Weise kann eine eindeutige Winkelzuordnung erfolgen, obwohl das zweite Gitter 125 den Referenzstrahl 123 nicht aufspaltet.

Gemäß weiteren Ausführungsformen kann das zweite Gitter 125 an
25 einer Position angeordnet sein, an der nur der Referenzstrahl 123 nicht aber das reflektierte Signal aufgespalten wird. Genauer gesagt, wird das reflektierte Signal nach der Aufspaltung mit dem Referenzstrahl 123 überlagert.

30 Generell kann das zweite Gitter 125 derart dimensioniert sein, dass - in Abhängigkeit von dem Frequenzunterschied innerhalb des Frequenzkamms - die einzelnen Lasermoden ausreichend voneinander getrennt werden können. Beispielsweise werden Eigenschaften des ersten und zweiten Gitters 125 unter Berücksich-

tigung des Modenabstands innerhalb des Frequenzkamms 121 bestimmt. Weiterhin können die Abstände zwischen den einzelnen Detektorelementen 131_i in Abhängigkeit von einer Gitterkonstanten des zweiten Gitters 125, dem Abstand der einzelnen Lasermoden in dem Frequenzkamm und dem Abstand zwischen der Detektoranordnung 130 und dem zweiten Gitter 125 bestimmt werden. Als Ergebnis wird jeder Teilstrahl des Frequenzkamms mit dem zugehörigen, von dem Objekt 15 reflektierten Strahl auf ein Detektorelement gelenkt.

10

Fig. 2A zeigt ein Beispiel einer Realisierung einer Strahlungsquelle 107. Die Strahlungsquelle 107 kann, wie beschrieben, einen Halbleiterlaser 100 sowie einen Frequenzkammgenerator 105 aufweisen. Wie in Fig. 2A dargestellt ist, kann der Frequenzkammgenerator 105 beispielsweise als Mikroresonator realisiert sein. Beispielsweise kann der Mikroresonator Teil eines Si₃N₄-Wellenleiters oder eines Wellenleiters aus einem anderem Material, beispielsweise Si, ZnSe, ZnO, InSnO, SiO₂ oder einem Polymer sein. Beispielsweise kann die Strahlungsquelle weiterhin mit einem Wellenleiter 112, beispielsweise aus Si₃N₄ oder SiO₂, verbunden sein. Weiterhin kann beispielsweise der Strahlteiler 110 als photonische Komponente realisiert sein. Entsprechend können die Komponenten des FMCW-LIDAR-Systems auf einem geeigneten Substrat 118, beispielsweise einem Siliziumsubstrat angeordnet sein. Beispielsweise kann ausgehend von dem Strahlteiler 110 der Teil des Frequenzkamms, der zum Objekt 15 geleitet wird, über den ersten Wellenleiter 112 geführt werden. Weiterhin kann ausgehend vom Strahlteiler 110 der Teil der Laserstrahlung, der der Detektoranordnung 130 zugeführt wird, über einen zweiten Wellenleiter 113 geführt werden.

Fig. 2B zeigt eine perspektivische Ansicht des Halbleiterlasers 100 und des Wellenleiters 112. Beispielsweise können der

Halbleiterlaser 100 und der Wellenleiter 112 als hervorstehende Strukturen über dem Substrat 118 ausgebildet sein.

Entsprechend ist es möglich, die Komponenten des FMCW-LIDAR-Systems als photonischen Chip auszubilden. Beispielsweise kann die Strahlungsquelle als photonischer Chip ausgebildet sein. Gemäß Ausführungsformen können zusätzliche weitere Komponenten des FMCW-LIDAR-Systems als photonische Chipkomponenten ausgebildet sein und mit der Strahlungsquelle auf einem gemeinsamen Chip integriert sein. Gemäß Ausführungsformen können die Strahlungsquelle und der Frequenzkammgenerator in einen photonischen Chip integriert sein. Beispielsweise können auch die Gitter als photonische Chipkomponenten ausgebildet sein. Das FMCW-LIDAR-System kann somit in kompakter Größe und kostengünstig hergestellt werden.

Gemäß weiteren Ausführungsformen kann die von dem Halbleiterlaser 100 emittierte Laserstrahlung alternativ durch einen externen Frequenzmodulator moduliert werden. Gemäß weiteren Ausführungsformen ist es auch möglich, über eine Amplitudenmodulation innerhalb des Frequenzkammgenerators 105 eine Verschiebung der Wellenlänge zu bewirken. Gemäß Ausführungsformen kann der Mikroresonator beispielsweise so ausgestaltet sein, dass durch eine Intensitätsänderung der durchlaufenden Laserstrahlung in dem Mikroresonator eine Verschiebung der einzelnen Lasermoden bewirkt wird.

Obwohl hierin spezifische Ausführungsformen veranschaulicht und beschrieben worden sind, werden Fachleute erkennen, dass die gezeigten und beschriebenen spezifischen Ausführungsformen durch eine Vielzahl von alternativen und/oder äquivalenten Ausgestaltungen ersetzt werden können, ohne vom Schutzbereich der Erfindung abzuweichen. Die Anmeldung soll jegliche Anpassungen oder Variationen der hierin diskutierten spezifischen

Ausführungsformen abdecken. Daher wird die Erfindung nur durch die Ansprüche und deren Äquivalente beschränkt.

BEZUGSZEICHENLISTE

	10	LIDAR-System
	15	Objekt
	100	Laserquelle
5	103	Spannungsquelle
	104	Modulationseinrichtung
	105	Frequenzkammgenerator
	107	Strahlungsquelle
	110	Strahlteiler
10	112	erster Lichtwellenleiter
	113	zweiter Lichtwellenleiter
	115	erstes Gitter
	118	Substrat
	120	emittierter Laserstrahl
15	121	Frequenzkamm
	122	reflektierter Strahl
	123	Referenzstrahl
	125	zweites Gitter
	130	Anordnung von Detektorelementen
20	131 ₀ , ... 131 _n	Detektorelement
	132	photonischer Chip

PATENTANSPRÜCHE

1. FMCW-LIDAR-System (10) mit einer Strahlungsquelle (107), welche einen Frequenzkammgenerator (105) aufweist.

5

2. FMCW-LIDAR-System (10) nach Anspruch 1, bei dem die Strahlungsquelle (107) ferner einen Halbleiterlaser (100) aufweist, welcher geeignet ist, einen Laserstrahl (120) zu emittieren, und der Frequenzkammgenerator (105) geeignet ist, aus dem emittierten Laserstrahl (120) einen Frequenzkamm (121) zu erzeugen.

3. FMCW-LIDAR-System (10) nach Anspruch 1 oder 2, ferner mit einem ersten Gitter (115), welches geeignet ist, Komponenten des Frequenzkamms (121) mit unterschiedlichen Wellenlängen in unterschiedliche Raumrichtungen abzulenken, wobei das erste Gitter (115) zwischen Frequenzkammgenerator (105) und einem zu vermessenden Objekt (15) angeordnet ist.

4. FMCW-LIDAR-System (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner mit einer Anordnung (130) von Detektorelementen ($131_1, 131_2, \dots, 131_n$), die geeignet ist, ein Mischsignal, welches auf Basis eines von einem zu vermessenden Objekt (15) reflektierten Reflexionsstrahls (122) und eines Referenzstrahls (123) erzeugt ist, nachzuweisen.

5. FMCW-LIDAR-System (10) nach Anspruch 4, ferner mit einem zweiten Gitter (125), welches geeignet ist, auf das zweite Gitter (125) auftreffende elektromagnetische Strahlen in Abhängigkeit von ihrer Wellenlänge auf verschiedene Detektorelemente (131_i) abzulenken.

6. FMCW-LIDAR-System (10) nach Anspruch 5, bei dem das zweite Gitter (125) geeignet ist, einen zu einem Referenz-

strahl (123) zugehörigen reflektierten Strahl (122) sowie den Referenzstrahl (123) auf ein gemeinsames Detektorelement (131_i) abzulenken.

- 5 7. FMCW-LIDAR-System (10) nach Anspruch 5, bei dem das zweite Gitter (125) an einer Position angeordnet ist, an der der von dem zu vermessenden Objekt (15) reflektierte Strahl (122) aufgespalten wird und nach Aufspaltung mit dem Referenzstrahl (123) überlagert wird.
- 10 8. FMCW-LIDAR-System (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Strahlungsquelle (107) ferner eine Modulationseinrichtung (104) zur Modulation einer von der Strahlungsquelle (107) emittierten Wellenlänge aufweist.
- 15 9. FMCW-LIDAR-System (10) nach Anspruch 8, bei dem die Modulationseinrichtung (104) eine Spannungsquelle (103) umfasst, die geeignet ist, eine in den Halbleiterlaser (100) eingeprägte Stromstärke zu verändern.
- 20 10. FMCW-LIDAR-System (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der Frequenzkammgenerator (105) einen Mikroresonator aufweist.
- 25 11. FMCW-LIDAR-System (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der Frequenzkammgenerator (105) geeignet ist, einen Modenabstand größer als 5 GHz zwischen benachbarten Moden einzustellen.
- 30 12. FMCW-LIDAR-System (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Strahlungsquelle (107) in einem photonischen Chip (132) realisiert ist.

13. FMCW-LIDAR-System (10) nach Anspruch 12, bei dem ferner der Frequenzkammgenerator (105) in den photonischen Chip (132) integriert ist.

5 14. FMCW-LIDAR-System (10) nach einem der Ansprüche 2 bis 13, wobei der Halbleiterlaser ein oberflächenemittierender Halbleiterlaser mit vertikalem Resonator (VCSEL, „vertical cavity surface emitting laser“) ist.

10 15. Strahlungsquelle (107), welche einen Halbleiterlaser (100) und einen Frequenzkammgenerator (105) aufweist,
wobei der Halbleiterlaser (100) geeignet ist, einen Laserstrahl (120) zu emittieren, und der Frequenzkammgenerator (105) geeignet ist, aus dem emittierten Laserstrahl (120) ei-
15 nen Frequenzkamm (121) zu erzeugen.

16. Strahlungsquelle (107) nach Anspruch 15, wobei der Halbleiterlaser ein oberflächenemittierender Halbleiterlaser mit vertikalem Resonator (VCSEL, „vertical cavity surface
20 emitting laser“) ist.

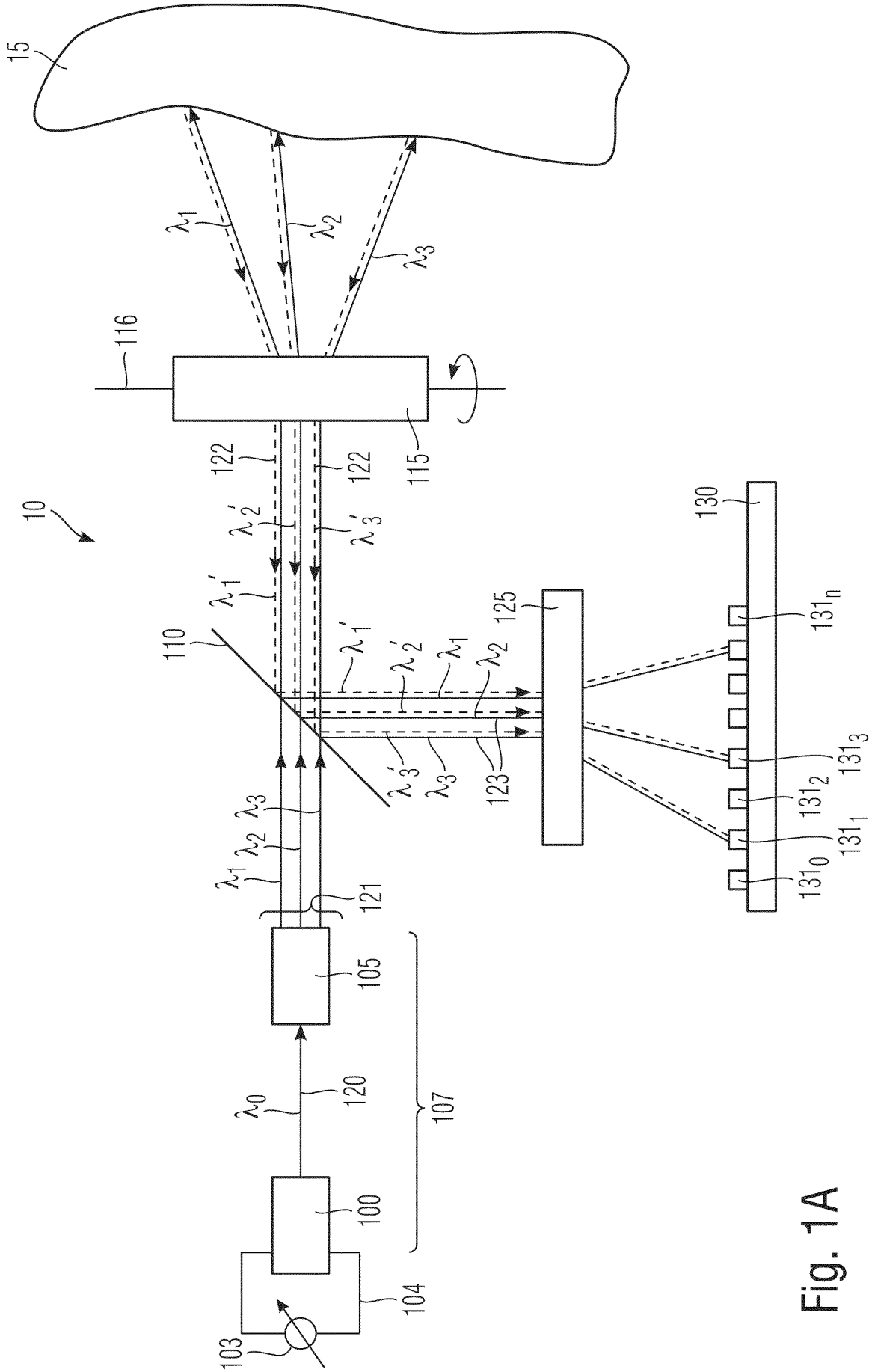


Fig. 1A

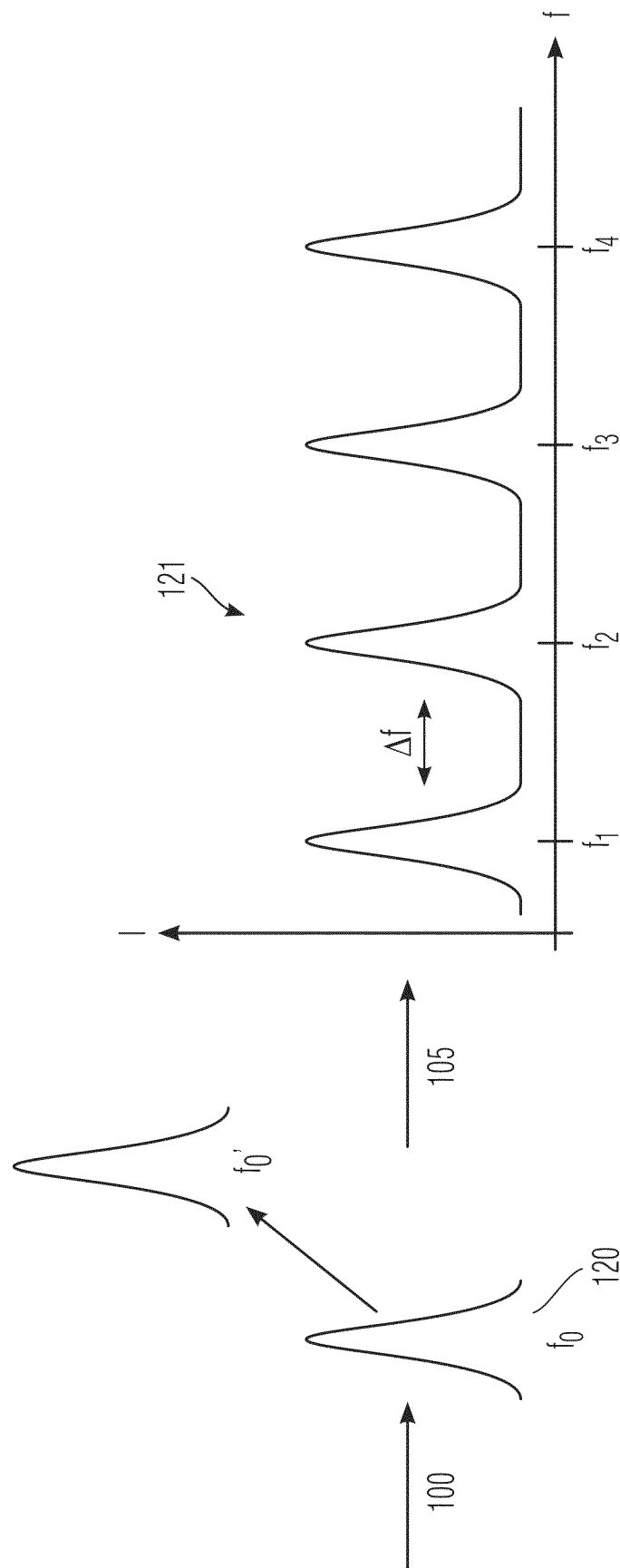


Fig. 1B

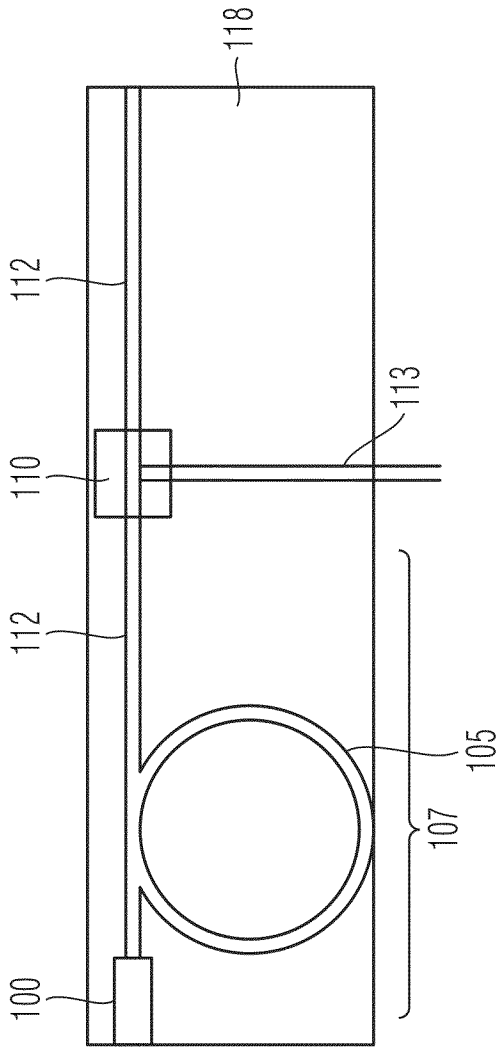


Fig. 2A

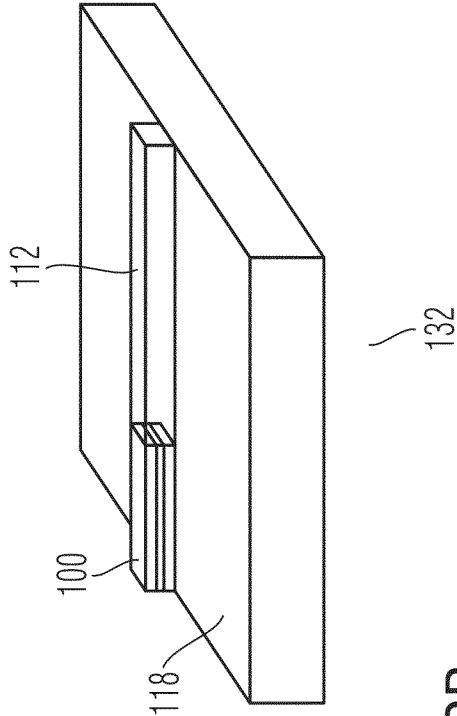


Fig. 2B

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2021/078168

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G01S 7/4911**(2020.01)i; **G01S 17/931**(2020.01)i; **G05D 1/00**(2006.01)i

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)

G01S; G05D

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

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

EPO-Internal, 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	DE 102018216636 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 02 April 2020 (2020-04-02)	1-9,11,15
Y	paragraphs [0007] - [0028], [0033] - [0048]	10,12-14,16
Y	GAETA ALEXANDER L ET AL. "Photonic-chip-based frequency combs" <i>NATURE PHOTONICS</i> , <i>NATURE PUBLISHING GROUP UK, LONDON</i> , Vol. 13, No. 3, 21 February 2019 (2019-02-21), pages 158-169, [retrieved on 2019-02-21] DOI: 10.1038/S41566-019-0358-X ISSN: 1749-4885, XP036707022 Section titled "Microresonator-based comb generation"; pages 162-166	10,12,13
Y	CN 110690646 A (UNIV GUILIN ELECTRONIC TECH) 14 January 2020 (2020-01-14) the whole document	14,16

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

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

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

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

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

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

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

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

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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

07 December 2021

Date of mailing of the international search report

23 December 2021

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Köppl, Martin

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2021/078168

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
DE	102018216636	A1	02 April 2020	NONE	
CN	110690646	A	14 January 2020	NONE	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G01S7/4911 G01S17/931 G05D1/00 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G01S G05D		
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, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2018 216636 A1 (ZEISS CARL SMT GMBH [DE]) 2. April 2020 (2020-04-02)	1-9, 11, 15
Y	Absätze [0007] - [0028], [0033] - [0048]	10, 12-14, 16

Y	GAETA ALEXANDER L ET AL: "Photonic-chip-based frequency combs", NATURE PHOTONICS, NATURE PUBLISHING GROUP UK, LONDON, Bd. 13, Nr. 3, 21. Februar 2019 (2019-02-21), Seiten 158-169, XP036707022, ISSN: 1749-4885, DOI: 10.1038/S41566-019-0358-X [gefunden am 2019-02-21] Section titled "Microresonator-based comb generation"; Seiten 162-166	10, 12, 13

	-/-	
☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
7. Dezember 2021		23/12/2021
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 Köppl, Martin

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	CN 110 690 646 A (UNIV GUILIN ELECTRONIC TECH) 14. Januar 2020 (2020-01-14) das ganze Dokument -----	14, 16

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2021/078168

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102018216636 A1	02-04-2020	KEINE	
CN 110690646 A	14-01-2020	KEINE	