(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
12. September 2019 (12.09.2019)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2019/170703 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01S 17/32 (2006.01) *G01S 17/89* (2006.01)
G01S 17/42 (2006.01) *G01S 7/481* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/055498

(22) Internationales Anmeldedatum:
06. März 2019 (06.03.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2018 203 315.3
06. März 2018 (06.03.2018) DE
10 2018 126 754.1
26. Oktober 2018 (26.10.2018) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **CARL ZEISS SMT GMBH** [DE/DE]; Rudolf-Eber-Strasse 2, 73447 Oberkochen (DE). **CARL ZEISS AG** [DE/DE]; Carl-Zeiss-Strasse 22, 73447 Oberkochen (DE).

(72) Erfinder; und

(71) Anmelder *(nur für US)*: **DAVYDENKO, Vladimir** [RU/DE]; Am Mayenberg 22, 76332 Bad Herrenalb (DE). **HÖLLER, Frank** [DE/DE]; Milanweg 25, 73434 Aalen (DE). **ZOTT, Andy** [DE/DE]; Fuchsweg 12, 89547 Gerstetten (DE).

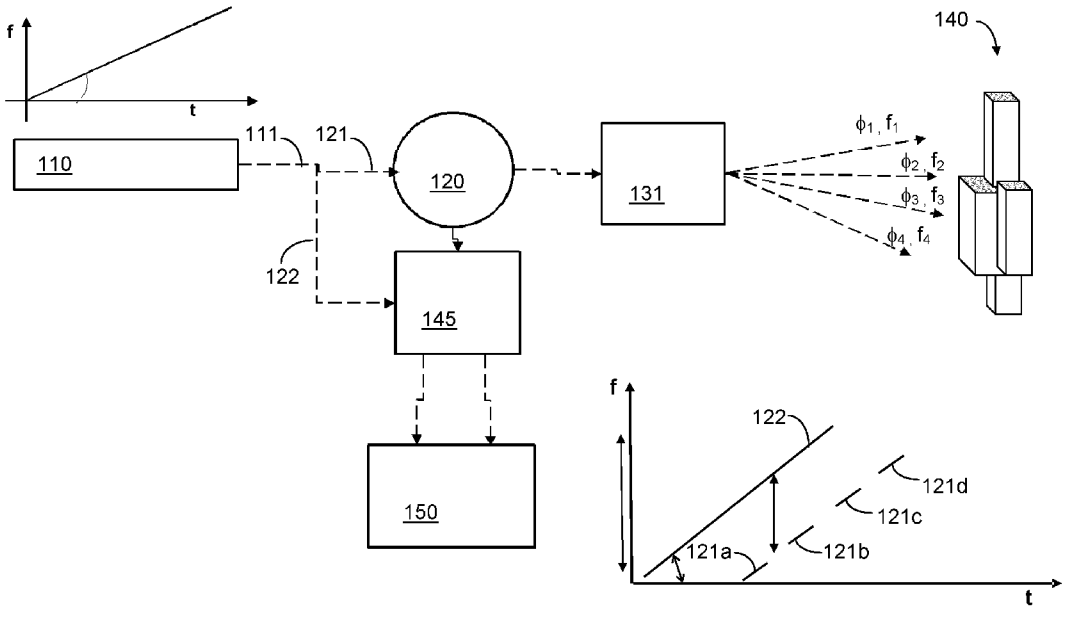
(74) Anwalt: **FRANK, Hartmut**; BONSMANN · BONSMANN · FRANK Patentanwälte, Reichspräsidentenstraße 21-25, 45470 Mülheim a.d. Ruhr (DE).

(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,

(54) Title: DEVICE FOR SCANNED DISTANCE DETERMINATION OF AN OBJECT

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG ZUR SCANNENDEN ABSTANDSERMITTLUNG EINES OBJEKTS

Fig. 1



(57) Abstract: The invention relates to a device for the scanned distance determination of an object, comprising: a light source (110, 210, 310, 610) for emitting an optical signal (111, 211, 311) in a temporally varying frequency; an evaluation device for determining a distance of the object (140, 240, 340) on the basis of a measurement signal (121, 221, 321) originating from the optical signal and reflected by the object, and on the basis of a reference signal (122, 222, 322) not reflected by the object; and a dispersive element (131, 231, 331, 620) which causes a frequency-selective angular distribution of the measurement signal (121, 221, 321), thus directing sub-signals generated thereby, at angles differing from one another, to the object (140, 240, 340).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur scannenden Abstandsermittlung eines Objekts, mit einer Licht-

WO 2019/170703 A2

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

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

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

quelle (110, 210, 310, 610) zum Aussenden eines optischen Signals (111, 211, 311) mit zeitlich variierender Frequenz, einer Auswerteeinrichtung zur Ermittlung eines Abstandes des Objekts (140, 240, 340) auf Basis eines aus dem Signal hervorgegangenen, an dem Objekt reflektierten Messsignals (121, 221, 321) und eines nicht an dem Objekt reflektierten Referenzsignals (122, 222, 322), und einem dispersiven Element (131, 231, 331, 620), welches eine frequenzselektive Winkelverteilung des Messsignals (121, 221, 321) bewirkt, wobei hierdurch erzeugte Teilsignale unter voneinander verschiedenen Winkeln zu dem Objekt (140, 240, 340) gelenkt werden.

Vorrichtung zur scannenden Abstandsermittlung eines Objekts

Die vorliegende Anmeldung beansprucht die Priorität der Deutschen Patentanmeldungen DE 10 2018 203 315.3, angemeldet am 06. März 2018, und DE 10 2018 126 754.1, angemeldet am 26. Oktober 2018. Der Inhalt dieser DE-Anmeldungen wird durch Bezugnahme („incorporation by reference“) mit in den vorliegenden Anmeldungstext aufgenommen.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Gebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur scannenden Abstandsermittlung eines Objekts. Die Vorrichtung kann zur Ermittlung von Abständen sowohl bewegter als auch unbewegter Objekte und insbesondere zur Ermittlung der Topographie bzw. Form eines räumlich ausgedehnten dreidimensionalen Objekts verwendet werden.

Stand der Technik

Zur optischen Abstandsmessung von Objekten ist u.a. ein auch als LIDAR bezeichnetes Messprinzip bekannt, bei welchem ein in seiner Frequenz zeitlich verändertes optisches Signal zu dem betreffenden Objekt hin ausgestrahlt und nach an dem Objekt erfolgter Rückreflexion ausgewertet wird.

Fig. 10a zeigt lediglich in schematischer Darstellung einen für sich bekannten prinzipiellen Aufbau, in welchem ein von einer Lichtquelle 1110 ausgesandtes Signal 1111 mit zeitlich veränderter Frequenz (auch als „Chirp“ bezeichnet) in

zwei Teilsignale aufgespalten wird, wobei diese Aufspaltung z.B. über einen nicht dargestellten teildurchlässigen Spiegel erfolgt. Die beiden Teilsignale werden über einen Signalkoppler 1150 gekoppelt und an einem Detektor 1160 einander überlagert, wobei das erste Teilsignal als Referenzsignal 1122 ohne Reflexion an dem mit „1140“ bezeichneten Objekt zum Signalkoppler 1150 und zum Detektor 1160 gelangt. Das zweite am Signalkoppler 1150 bzw. am Detektor 1160 eintreffende Teilsignal verläuft hingegen als Messsignal 1121 über einen optischen Zirkulator 1120 und einen Scanner 1130 zum Objekt 1140, wird von diesem zurückreflektiert und gelangt somit im Vergleich zum Referenzsignal 1122 mit einer Zeitverzögerung und entsprechend veränderter Frequenz zum Signalkoppler 1150 und zum Detektor 1160.

Über eine (nicht dargestellte) Auswerteeinrichtung wird das vom Detektor 1160 gelieferte Detektorsignal relativ zur Messvorrichtung bzw. der Lichtquelle 1110 ausgewertet, wobei die zu einem bestimmten Zeitpunkt erfasste, im Diagramm von Fig. 10b dargestellte Differenzfrequenz 1131 zwischen Messsignal 1121 und Referenzsignal 1122 charakteristisch für den Abstand des Objekts 1140 von der Messvorrichtung bzw. der Lichtquelle 1110 ist. Gemäß Fig. 10b kann dabei zum Erhalt zusätzlicher Information hinsichtlich der Relativgeschwindigkeit zwischen dem Objekt 1140 und der Messvorrichtung bzw. der Lichtquelle 1110 der zeitabhängige Frequenzverlauf des von der Lichtquelle 1110 ausgesandten Signals 1111 auch so beschaffen sein, dass zwei Abschnitte vorliegen, in denen die zeitliche Ableitung der von der Lichtquelle 1110 erzeugten Frequenz zueinander entgegengesetzt ist.

In der Praxis besteht ein Bedarf, auch bei in größeren Abständen befindlichen (ggf. auch bewegten) Objekten, bei welchen es sich z.B. um Fahrzeuge im Straßenverkehr handeln kann, eine möglichst genaue und zuverlässige Abstandsmessung zu realisieren. Dabei ist im Hinblick auf eine möglichst hohe Zuverlässigkeit und Lebensdauer der Vorrichtung zur Abstandsermittlung weiter wünschenswert, beim Abscannen des jeweiligen Objekts den Einsatz beweglicher Komponenten wie Scan- bzw. Ablenkspiegel zu vermeiden oder zu minimieren.

Zum Stand der Technik wird lediglich beispielhaft auf US 2016/0299228 A1 verwiesen.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Vor dem obigen Hintergrund ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Vorrichtung zur scannenden Abstandsermittlung eines Objekts bereitzustellen, welche auch für ein in vergleichsweise großer Entfernung (z.B. von mehreren 100m) befindliches Objekt eine möglichst genaue und zuverlässige Abstandsmessung ermöglicht.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des unabhängigen Patentanspruchs 1 gelöst.

Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur scannenden Abstandsermittlung eines Objekts weist auf:

- eine Lichtquelle zum Aussenden eines optischen Signals mit zeitlich variierender Frequenz;
- eine Auswerteeinrichtung zur Ermittlung eines Abstandes des Objekts auf Basis eines aus dem Signal hervorgegangenen, an dem Objekt reflektierten Messsignals und eines nicht an dem Objekt reflektierten Referenzsignals; und
- ein dispersives Element, welches eine frequenzselektive Winkelverteilung des Messsignals bewirkt, wobei hierdurch erzeugte Teilsignale unter voneinander verschiedenen Winkeln zu dem Objekt gelenkt werden.

Der Erfindung liegt insbesondere das Konzept zugrunde, in einer Vorrichtung zur Abstandsermittlung eines Objekts ausgehend von dem anhand von Fig. 10a-10b beschriebenen Prinzip ein Abscannen des Objekts dadurch zu realisieren, dass im Signalweg noch vor dem Objekt über ein dispersives Element

eine Winkelverteilung sowie gegebenenfalls räumliche Verteilung der im von einer Lichtquelle ausgesandten optischen Signal vorhandenen, unterschiedlichen Frequenzen bewirkt wird, wobei diese Frequenzen (bzw. die die jeweiligen Frequenzen aufweisenden Teilstrahlen) – wie im Weiteren noch beschrieben gegebenenfalls angepasst über ein optionales optisches System - mit unterschiedlichem Kipp bzw. unter unterschiedlichen Winkeln auf das Objekt gelenkt werden.

Im Ergebnis wird auf diese Weise effektiv ein Abscannen des Objekts erzielt, ohne dass hierzu bewegliche Komponenten wie Scan- bzw. Ablenkspiegel benötigt werden. Infolgedessen werden auch mit der Verwendung solcher beweglicher Komponenten typischerweise verbundene Probleme, insbesondere Ausfallrisiken und damit einhergehende Einschränkungen der Zuverlässigkeit und der Lebensdauer der Vorrichtung, vermieden. Zugleich wird ein besonders kompakter Aufbau ermöglicht.

In Ausführungsformen der Erfindung stehen das dispersive Element und die Lichtquelle in einer festen räumlichen Beziehung zueinander. Durch dieses Merkmal kommt insbesondere zum Ausdruck, dass die erfindungsgemäße Realisierung eines Abscannens des Objekts auch ohne Bewegung des dispersiven Elements selbst relativ zur Lichtquelle erfolgen kann.

Gemäß einer Ausführungsform ist bezogen auf den Signalweg vor dem dispersiven Element ein kollimierendes optisches Element angeordnet. Durch ein solches optionales kollimierendes optisches Element kann erforderlichenfalls ein möglichst kollimierter Strahlengang beim Auftreffen auf das dispersive Element sichergestellt werden.

Gemäß einer Ausführungsform ist zwischen dem dispersiven Element und dem Objekt ein optisches System zur Anpassung der jeweiligen Winkel, unter denen die Teilsignale zu dem Objekt gelenkt werden, vorgesehen.

Gemäß einer Ausführungsform weist das optische System eine erste Linse und eine zweite Linse auf. Dabei kann insbesondere das dispersive Element in einer ersten Brennebene der ersten Linse angeordnet sein. Gemäß einer Ausführungsform entspricht weiter eine Feldebene dieses optischen Systems einer ersten Brennebene der zweiten Linse.

In dem vorstehend beschriebenen Aufbau werden zunächst die voneinander verschiedenen Winkel der über das dispersive Element durch frequenzselektive Winkelaufteilung des Messsignals erzeugten Teilsignale von der ersten Linse in unterschiedliche Orte einer Feldebene übersetzt, welche wiederum über die zweite Linse in eine Winkelverteilung übersetzt werden. Die den unterschiedlichen Frequenzen entsprechenden Teilstrahlen treten hierbei zu unterschiedlichen Zeitpunkten auf (d.h. die über das dispersive Element in einer Feldebene bereitgestellten unterschiedlichen Orte leuchten zu unterschiedlichen Zeitpunkten).

Auch bei dieser Ausgestaltung wird das gewünschte Abscannen des Objekts somit ohne Erfordernis von beweglichen Komponenten wie Scan- bzw. Ablenkspiegeln bereits dadurch erreicht, dass entsprechend der zeitlichen Variation der Frequenz des von der Lichtquelle ausgesandten optischen Signals unterschiedliche Feldpunkte (entsprechend der durch das dispersive Element und die erste Linse bereitgestellten frequenzselektiven räumliche Verteilung) zeitlich sequentiell aufleuchten, wobei diese örtliche Variation durch die zweite Linse des optischen Systems wiederum in eine Winkelverteilung übersetzt wird.

Bei im Rahmen der Erfindung hinsichtlich ihres Abstandes von der erfindungsgemäßen Vorrichtung vermessenen Objekten kann es sich lediglich beispielhaft (und ohne dass die Erfindung hierauf beschränkt wäre) um Roboterkomponenten wie Roboterarme oder auch um im Straßenverkehr bzw. Automobilbereich relevante Objekte (z.B. Fremdfahrzeuge) handeln. Dabei kann auch über die Abstandsermittlung hinaus auch z.B. eine Geschwindigkeitsermittlung (wie als solches z.B. aus US 2016/0299228 A1 bekannt) erfolgen.

Gemäß einer Ausführungsform weist das dispersive Element ein AWG (= "**a**rray **w**aveguide **g**rating"= „Wellenleiterstruktur-Array") auf. Der Einsatz eines solchen AWG ist insofern besonders vorteilhaft, als eine (wafer-)integrierte und somit besonders kompakte Bauweise ermöglicht wird. Das AWG kann insbesondere wenigstens 120 Kanäle, insbesondere wenigstens 240 Kanäle, aufweisen. Mit einer entsprechend hohen Anzahl von Kanälen kann die Dispersion des dispersiven Elements und damit die Geschwindigkeit des Abscannens weiter gesteigert werden.

Die Erfindung ist jedoch nicht auf die Realisierung der frequenzselektiven räumlichen Aufteilung über ein AWG beschränkt. In weiteren Ausführungsformen kann auch ein anderes, die frequenzselektive räumliche Aufteilung bewirkendes dispersives Element, beispielsweise ein Prisma, ein Beugungsgitter bzw. Bragg-Gitter oder ein räumlicher Lichtmodulator (z.B. ein akustischer oder elektrooptischer Modulator) verwendet werden.

Gemäß einer Ausführungsform weist die Vorrichtung ein Array von sich in zwei zueinander senkrechten Raumrichtungen erstreckenden, periodischen Strukturen auf. Dabei kann eine Periodenlänge dieser periodischen Strukturen insbesondere im Bereich von 50μm bis 150μm, insbesondere im Bereich von 80μm bis 120μm, liegen.

Mit einer solchen zweidimensionalen Ausgestaltung kann auch ein zweidimensionales (d.h. in x- Richtung wie in y-Richtung erfolgendes) Abscannen des Objekts ohne Erfordernis beweglicher Komponenten wie Scan- bzw. Ablenkspiegel durchgeführt werden mit der Folge, dass insgesamt hohe Scanraten bei zugleich hoher Zuverlässigkeit und kompaktem Aufbau erzielt werden können.

Gemäß einer Ausführungsform weist die Vorrichtung wenigstens eine Komponente auf, über welche der jeweilige Winkel, unter dem ein Teilsignal von dem dispersiven Element zu dem Objekt gelenkt wird, variierbar ist. Diese Kompo-

nente kann in Ausführungsformen der Erfindung vom dispersiven Element räumlich getrennt sein. Des Weiteren kann die betreffende Komponente beweglich sein.

Gemäß einer Ausführungsform weist die bewegliche Komponente einen zwischen dem dispersiven Element und dem Objekt angeordneten, um wenigstens eine Kippachse kippbaren Ablenkspiegel auf.

Gemäß einer Ausführungsform weist die bewegliche Komponente eine zwischen dem dispersiven Element und dem Objekt angeordnete, quer zur Ausbreitungsrichtung des jeweiligen Teilsignals verschiebbare Linse auf.

Gemäß einer Ausführungsform ist das dispersive Element zur Variation des jeweiligen Winkels, unter dem ein Teilsignal von dem dispersiven Element zu dem Objekt gelenkt wird, quer zur Ausbreitungsrichtung des jeweiligen Teilsignals verschiebbar.

Gemäß einer Ausführungsform weist die Vorrichtung in Lichtausbreitungsrichtung nach dem dispersiven Element wenigstens einen optischen Modulator, insbesondere einen elektrooptischen Modulator oder einen akustooptischen Modulator auf. Über einen solchen optischen Modulator kann eine zusätzliche geringfügige Winkelablenkung des jeweiligen vom dispersiven Element ausgehenden optischen Signals bzw. Strahls und damit ebenfalls eine Auflösungssteigerung bewirkt werden.

Gemäß einer Ausführungsform weist der zeitliche Verlauf der Frequenz des von der Lichtquelle ausgesandten optischen Signals eine abwechselnde Folge von zum Abscannen des Objekts erfolgenden Frequenzsprüngen einerseits und zur Ermittlung von Abstand und/oder Geschwindigkeit des Objekts andererseits vorgesehenen Teilintervallen auf.

Gemäß einer Ausführungsform sind in den zur Ermittlung von Abstand und/oder Geschwindigkeit des Objekts vorgesehenen Teilintervallen jeweils

zwei Abschnitte mit unterschiedlicher Zeitabhängigkeit der Frequenz vorgesehen.

Dabei kann jeweils einer dieser Abschnitte ein Abschnitt mit zeitlich konstanter Frequenz sein. In weiteren Ausführungsformen können diese Abschnitte jeweils zueinander entgegengesetzte zeitliche Ableitungen der Frequenz aufweisen.

Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind der Beschreibung sowie den Unteransprüchen zu entnehmen.

Die Erfindung wird nachstehend anhand von in den beigefügten Abbildungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Es zeigen:

Figur 1	eine schematische Darstellung zur Erläuterung des Aufbaus einer erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer ersten Ausführungsform;
Figur 2	eine schematische Darstellung zur Erläuterung des Aufbaus einer erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer weiteren Ausführungsform;
Figur 3a-3c	schematische Darstellungen zur weiteren Erläuterung von Aufbau und Funktionsweise einer erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer weiteren Ausführungsform;
Figuren 4a-4b	schematische Darstellungen zur Erläuterung möglicher Ausführungsbeispiele der Erfindung;

Figur 5a-5c schematische Darstellungen weiterer Ausführungsformen der Erfindung;

Figuren 6-9 schematische Darstellungen weiterer Ausführungsformen der Erfindung; und

Figuren 10a-10b schematische Darstellung zur Erläuterung von Aufbau und Wirkungsweise einer herkömmlichen Vorrichtung zur Abstandsermittlung.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSFORMEN

Im Weiteren werden Aufbau und Funktionsweise einer erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer beispielhaften Ausführungsform unter Bezugnahme auf die schematische Darstellung in Fig. 1 beschrieben.

Gemäß Fig. 1 weist eine erfindungsgemäße Vorrichtung zunächst ausgehend von dem bereits anhand von Fig. 10a-10b beschriebenen, herkömmlichen Konzept eine Lichtquelle 110 zum Aussenden eines optischen Signals 111 mit zeitlich variierender Frequenz („chirp“) auf. Die Lichtquelle 110 kann lediglich beispielhaft eine (zentrale) Wellenlänge von 1550nm±100nm aufweisen. Weitere Wellenlängen bzw. Bandbreiten (z.B. 910nm±50nm) sind ebenfalls möglich. Gemäß dem im oberen linken Teil von Fig. 1 eingezeichneten Diagramm weist das optische Signal 111 im Ausführungsbeispiel einen Frequenzverlauf mit linearer Zeitabhängigkeit auf. In Ausführungsformen der Erfindung können auch Abschnitte mit zueinander entgegengesetzter zeitlicher Ableitung der Frequenz analog zu Fig. 10b verwendet werden.

In ebenfalls zum herkömmlichen Konzept von Fig. 10a-10b analoger Weise erfolgt gemäß Fig. 1 eine Aufspaltung des von der Lichtquelle 110 ausgesandten

Signals 111 z.B. über einen nicht dargestellten teildurchlässigen Spiegel. Von diesen Teilsignalen wird ein im Weiteren auch als „Messsignal“ 121 bezeichnetes Teilsignal über einen optischen Zirkulator 120 wie im Weiteren beschrieben auf ein hinsichtlich seines Abstandes von der Vorrichtung zu vermessendes Objekt 140 gelenkt, wohingegen das andere der beiden Teilsignale wie im Weiteren beschrieben als Referenzsignal 122 für die weitere Auswertung verwendet wird.

Gemäß Fig. 1 trifft ein (dem Messsignal 121 entsprechender) Strahl, welcher zu unterschiedlichen Zeitpunkten unterschiedliche Frequenzen f_1, f_2, f_3, f_4,... aufweist, auf ein dispersives Element 131, von welchem aus unterschiedliche Frequenzen (d.h. die jeweiligen Frequenzen aufweisende Teilstrahlen) in voneinander verschiedene Richtungen (entsprechend voneinander verschiedenen Winkeln ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3, ϕ_4,...) zum Objekt 140 hin abgelenkt werden. Hierdurch wird effektiv ein Abscannen des Objekts 140 ohne Erfordernis beweglicher Komponenten wie Scan- oder Ablenkspiegel erzielt.

Gemäß Fig. 1 erfolgt in einem Koppler 145 die Zusammenführung der wie vorstehend beschrieben aus dem Messsignal 121 erzeugten Teilsignale 121a, 121b, 121c, 121d,... mit dem Referenzsignal 122 mit der Folge, dass die durch eine nachfolgende Detektoranordnung 150 erzeugten Detektorsignale jeweils - wie im rechten unteren Teil von Fig. 1 angedeutet - für die Differenzfrequenz zwischen der Frequenz des jeweiligen Teilsignals und der Frequenz des Referenzsignals charakteristisch sind. Dabei weisen in dem im rechten unteren Teil von Fig. 1 gezeigten Diagramm die Teilsignale 121a, 121b, 121c bzw. 121d jeweils die mittlere Frequenz f_1, f_2, f_3 bzw. f_4 auf. Im Ergebnis kann für jeden der Winkel ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3, ϕ_4,... das entsprechende Differenzsignal und damit wiederum der gesuchte Abstand des Objekts 140 ermittelt werden.

Fig. 2 zeigt eine weitere Ausführungsform, wobei zu Fig. 1 analoge bzw. im Wesentlichen funktionsgleiche Komponenten mit um „100“ erhöhten Bezugsziffern bezeichnet sind. Gemäß Fig. 2 ist bezogen auf den Signalweg vor dem dispersiven Element 231 ein kollimierendes optisches Element 225 angeord-

net, durch welches erforderlichenfalls ein möglichst kollimierter Strahlengang beim Auftreffen auf das dispersive Element 231 sichergestellt werden kann.

Fig. 3a zeigt eine weitere Ausführungsform, wobei zu Fig. 1 analoge bzw. im Wesentlichen funktionsgleiche Komponenten mit um „200“ erhöhten Bezugsziffern bezeichnet sind.

Gemäß Fig. 3a ist zwischen dem dispersiven Element 331 und dem Objekt 340 ein optisches System 335 vorgesehen. Dieses optische System 335 erlaubt wie im Weiteren beschrieben eine Anpassung der jeweiligen Winkel, unter denen die durch frequenzselektive räumliche Aufteilung des Messsignals 321 erzeugten Teilsignale zu dem Objekt 340 gelenkt werden.

Gemäß Fig. 3a-3b weist das optische System 335 (in einem „4f-Aufbau“) eine erste Linse (oder Linsengruppe) 332 und eine zweite Linse (oder Linsengruppe) 334 auf. Dabei ist das dispersive Element 331 gemäß Fig. 3b in einer ersten Brennebene FP1 der ersten Linse 332 angeordnet. Des Weiteren entspricht eine Feldebene 333 des optischen Systems 335 einer ersten Brennebene FP2 der zweiten Linse 334. Das dispersive Element 331 und das optische System 335 bilden gemäß Fig. 3a gemeinsam eine Scaneinheit 330.

Gemäß Fig. 3b trifft ein (dem Messsignal 321 entsprechender) Strahl 301, welcher unterschiedliche Frequenzen f_1, f_2, f_3, f_4,... aufweist, auf das dispersive Element 331, von welchem aus unterschiedliche Frequenzen (d.h. die jeweiligen Frequenzen aufweisende Teilstrahlen) in voneinander verschiedene Richtungen (entsprechend voneinander verschiedenen Winkeln ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3, ϕ_4,...) abgelenkt werden. Das dispersive Element 331 befindet sich in der ersten Brennebene FP1 der ersten Linse 332, welche ein Feld in der Feldebene 333 erzeugt. Die die jeweils unterschiedlichen Frequenzen f_1, f_2, f_3, f_4,... aufweisenden Teilstrahlen werden hierbei auf unterschiedliche Orte in der Feldebene 333 fokussiert.

Die Feldebene 333 entspricht wiederum einer ersten Brennebene FP2 der

zweiten Linse 334. Die von unterschiedlichen Orte in der Feldebene 333 ausgehenden Teilstrahlen werden durch die zweite Linse 334 wiederum in voneinander verschiedene Richtungen (entsprechend voneinander verschiedenen Winkeln θ_1, θ_2, θ_3, θ_4,...) abgelenkt, welche wiederum unterschiedlichen Frequenzen f_1, f_2, f_3, f_4,... entsprechen. Da diese jeweils unterschiedlichen Frequenzen f_1, f_2, f_3, f_4,... entsprechenden Teilstrahlen zu unterschiedlichen Zeitpunkten auftreten (also die unterschiedlichen Orte in der Feldebene 333 zu unterschiedlichen Zeitpunkten leuchten), wird hierdurch wiederum effektiv ein Abscannen des Objekts 340 aus Fig. 3a erzielt.

Fig. 3c zeigt eine weitere schematische Darstellung zur Erläuterung des der Ausführungsform von Fig. 3a-3b zugrundeliegenden Prinzips. Demnach befinden sich die über das dispersive Element 331 in der Feldebene 333 bereitgestellten unterschiedlichen Orte in der ersten Brennebene der (achromatischen) zweiten Linse 334 (d.h. im Abstand der Brennweite F der zweiten Linse) und leuchten entsprechend dem zeitlichen Frequenzverlauf sequentiell (d.h. zu unterschiedlichen aufeinanderfolgenden Zeitpunkten) auf. Ein von einem Ort in der Feldebene 333 im Abstand „X“ von der optischen Systemachse OA ausgehendes Strahlenbündel erhält hierbei einen Kipp θ zur optischen Systemachse OA, welcher gegeben ist durch $\theta=x/F$. Die Strahlgröße D wird hierbei gemäß Fig. 3 bestimmt durch die numerische Apertur NA sowie die Brennweite F gemäß $D=2\cdot F\cdot NA$, d.h. es gilt $F=D/(2\cdot NA)$.

Beispielhafte quantitative Werte für die Strahlgröße D können für die vorstehend erwähnten Anwendungen im Straßenverkehr bzw. Automobilbereich im Bereich von D= (10-15)mm liegen. Legt man einen typischen Wert der numerischen Apertur NA von 0.12 zugrunde, so liegen geeignete Werte für die Brennweite F somit bei größenordnungsmäßig etwa 50mm, so dass ein vergleichsweise kompaktes System realisiert werden kann.

Hinsichtlich der mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung realisierbaren Winkelauflösung können typische, für die vorstehend erwähnten Anwendungen im Straßenverkehr bzw. Automobilbereich zu fordernde Werte z.B. 2mrad

betragen. Hieraus ergibt sich unter Bezugnahme auf Fig. 4a bei dem o.g. Wert der Brennweite F=50mm eine Periodenlänge in der Feldebene 333 (d.h. ein Abstand benachbarter, durch das dispersive Element 331 bereitgestellter Kanäle) von etwa dx=0.1mm. Beschränkt man unter Bezugnahme auf Fig. 4b die freie Apertur der Linse 334 auf CA=70mm, so folgt für den maximalen Abstand x_{max} von der optischen Systemachse OA, den ein noch von der Linse 334 abgebildeter leuchtender Ort in der Feldebene 333 aufweisen darf, im o.g. Beispiel X_{max}=(CA-D)/2=(70-12)/2mm=29mm. Für die numerische Apertur NA_{scan} ergibt sich NA_{scan}= X_{max}/F=(29/50)mm=0.58. Für die Anzahl von Kanälen (bzw. leuchtenden „Quellen“) in der Feldebene 333 ergibt sich N_{max}=2· X_{max}·/dx=580.

Der im o.g. Beispiel gewählte Wert der Periodenlänge in der Feldebene 333 (d.h. des Abstandes benachbarter, durch das dispersive Element 331 bereitgestellter Kanäle) von etwa 0.1mm=100μm ermöglicht auch eine zweidimensionale Ausgestaltung entsprechend einem zweidimensionalen Array von sich in zwei zueinander senkrechten Raumrichtungen erstreckenden, periodischen Strukturen“, wie dies schematisch in Fig. 5a-5b dargestellt ist (wobei Fig. 5b zum besseren Verständnis eine perspektivische Ansicht zeigt). Die Realisierung der zweidimensionalen Ausgestaltung bzw. des Arrays entsprechend einem zweidimensionalen Array erfolgt gemäß Fig. 5a-5b über Wellenleiter 501, an deren jeweiligem Endabschnitt eine zur Auskopplung dienende diffraktive Struktur 502 vorgesehen ist. In einer weiteren, in Fig. 5c lediglich schematisch angedeuteten Darstellung kann die Auskopplung im jeweiligen Endabschnitt der (in Fig. 5c mit „511“ bezeichneten Wellenleiter) auch jeweils über ein Prisma 512 erfolgen.

Gemäß Fig. 5a-5b ist aufgrund des zweidimensionalen Arrays von sich in zwei zueinander senkrechten Raumrichtungen erstreckenden, periodischen Strukturen“ nicht nur in y-Richtung eine periodische Abfolge von „leuchtenden Quellen“ (mit der Periodenlänge von c=100μm), sondern auch in x-Richtung eine solche periodische Abfolge von „leuchtenden Quellen“ mit der Periodenlänge von a=100μm realisiert. Hierbei kann der Umstand ausgenutzt werden, dass

die Größe b der Kanäle selbst typischerweise bei einem AWG mit einer Si/SiO_2-Plattform nur etwa b=10μm beträgt mit der Folge, dass eine zweidimensional versetzte Anordnung wie aus Fig. 5a-b ersichtlich möglich ist. Für andere Plattformen (z.B. eine Si-Plattform) sind auch geringere Kanalgrößen möglich, so dass bei der o.g. Periodenlänge von a=100μm ein noch größerer Scan- bzw. Winkelbereich in einem zweidimensionalen Scanner realisiert werden kann.

Die vorstehend anhand von Fig. 5a-5c erläuterte Anordnung in Form des zweidimensionalen Arrays kann beispielsweise, unter erneuter Bezugnahme auf Fig. 3b, derart angeordnet sein, dass die Wellenleiter 501 bzw. 511 jeweils von der Feldebene 333 des optischen Systems 335 ausgehen und z.B. am Ende jedes der Wellenleiter 501 bzw. 511 eine 90°-Umlenkung des optischen Strahlengangs bzw. eine entsprechende Faltung der optischen Systemachse hin zu der zweiten Linse (oder Linsengruppe) 334 stattfindet.

Mit der anhand von Fig. 5a-5c beschriebenen zweidimensionalen Ausgestaltung kann auch ein zweidimensionales (d.h. in x- Richtung wie in y-Richtung erfolgendes) Abscannen des Objekts ohne Erfordernis beweglicher Komponenten wie Scan- bzw. Ablenkspiegel durchgeführt werden mit der Folge, dass insgesamt hohe Scanraten bei zugleich hoher Zuverlässigkeit und kompaktem Aufbau erzielt werden können.

Die Erfindung ist jedoch auch bei nur eindimensionaler Ausgestaltung der durch das dispersive Element bereitgestellten Kanäle (wie sie unter Bezugnahme auf Fig. 2 bis Fig. 4 beschrieben wurde) vorteilhaft. Dies gilt neben Anwendungen, in denen ohnehin ein eindimensionales (z.B. nur in x-Richtung erfolgendes) Abscannen des Objekts ausreichend ist, auch für Anwendungen mit zweidimensionalem (d.h. in x- Richtung wie in y-Richtung erfolgendem) Abscannen des Objekts, da in diesem Falle für das Abscannen in der nicht entlang der periodischen Folge von Kanälen verlaufenden Raumrichtung (im Beispiel y-Richtung) ein vergleichsweise langsam beweglicher Scanspiegel zum Abscannen auch in dieser Raumrichtung ausreichend ist.

Gemäß einem weiteren, nachfolgend unter Bezugnahme auf Fig. 6a-6e beschriebenen Aspekt der vorliegenden Erfindung wird dem Umstand Rechnung getragen, dass die mit einem erfindungsgemäß eingesetzten dispersiven Element bzw. AWG erzielbaren Winkelauflösungen begrenzt sind. In einem quantitativen Berechnungsbeispiel zur Verdeutlichung dieser begrenzten Winkelauflösung ergibt sich für eine beispielhafte Arbeitswellenlänge von 1550 nm und einen Durchstimmbereich der Lichtquelle von 20 nm eine Frequenzänderung von 2.5 THz. Bei Zugrundelegung typischer mit einem AWG in der Telekommunikation erreichbaren Bandabständen von (10-100) GHz ergibt sich eine Anzahl von 25-250 voneinander trennbaren Kanälen, wobei diese Anzahl angesichts von zur Bilderzeugung erforderlichen Pixelzahlen, welche in der Größenordnung von 10^5 liegen, deutlich zu gering ist.

Zur Überwindung des vorstehend beschriebenen Problems beinhaltet die Erfindung nun das weitere Konzept, eine Auflösungssteigerung durch Bereitstellung einer zusätzlichen Winkelvariation der vom dispersiven Element bzw. AWG zum Objekt gelenkten Teilsignale zu erzielen (und damit effektiv den Abstand zwischen separaten, über das dispersive Element bzw. AWG erzeugten Pixeln wiederum „abzuscannen“).

Die vorstehend beschriebene Winkelvariation kann in Ausführungsformen der Erfindung mikromechanisch dadurch realisiert werden, dass zwischen dem dispersiven Element und dem Objekt eine bewegliche Komponente eingesetzt wird, über welche der jeweilige Winkel der zum Objekt gelenkten Teilsignale variierbar ist.

Fig. 6a zeigt in lediglich schematischer und stark vereinfachter Darstellung als mögliche Realisierung der besagten beweglichen Komponente einen Ablenkspiegel 640, welcher über wenigstens ein Festkörpergelenk um wenigstens eine Kippachse (welche in Fig. 6a senkrecht zur Zeichenebene verläuft und mit „642“ bezeichnet ist) kippbar ist. Mit „610“ ist in Fig. 6a die durchstimmbare Lichtquelle, mit „620“ das erfindungsgemäße dispersive Element und mit „630“

eine Linse bzw. ein hierdurch repräsentiertes Kollimatorobjektiv bezeichnet.

Die Ausführungsform gemäß Fig. 6a impliziert zwar die Inkaufnahme des Einsatzes einer – an sich unerwünschten – mechanisch beweglichen Komponente, macht sich jedoch andererseits den Umstand zu Nutze, dass die über diese Komponente bereitzustellenden Ablenkwinkel (welche wie vorstehend erläutert lediglich ein „Abscannen“ zwischen aufeinanderfolgenden, durch das dispersive Element erzeugten Pixeln ermöglichen sollen) mit typischen Werten im Bereich von 1°-2° (entsprechend Kippwinkeln im Bereich von 0.5°-1°) vergleichsweise gering sind).

Mit anderen Worten wird erfindungsgemäß durch Kombination eines dispersiven Elements bzw. AWG mit einem wie vorstehend beschrieben zur Auflösungssteigerung eingesetzten beweglichen mechanischen Element wie z.B. einem Ablenkspiegel u.a. erreicht, dass einerseits eine Erhöhung der letztlich erzielten Auflösung über die Anzahl der mit dem dispersiven Element spektral trennbaren Kanäle hinaus erzielt wird, andererseits hierzu aber nur vergleichsweise geringe mikromechanische Bewegungen (wie z.B. die vorstehend genannten Kippwinkel von größenordnungsmäßig 1°) benötigt werden. Der zuletzt genannte Umstand ist dabei insofern von Bedeutung, als signifikant größere Kippwinkel u.a. aufgrund der zu beachtenden Torsionsgrenzen mikromechanisch aktuierter Materialien in der Praxis nicht mehr realisierbar sind.

Die Erfindung ist hinsichtlich der vorstehend beschriebenen Auflösungssteigerung über eine mechanisch bewegliche Komponente nicht auf den Einsatz eines Ablenkspiegels 640 gemäß Fig. 6a beschränkt. So kann in einer weiteren Ausführungsform auch gemäß Fig. 6b mit vergleichbarem Effekt eine laterale bzw. quer zur Ausbreitungsrichtung der jeweiligen Teilsignale erfolgende Verschiebung einer Linse 630 z.B. eines Kollimatorobjektivs erfolgen. In weiteren Ausführungsformen kann gemäß Fig. 6c auch ein als dispersives Element 620 verwendetes AWG selbst in lateraler Richtung bzw. quer zur Ausbreitungsrichtung der jeweiligen Teilsignale verschoben werden.

In noch weiteren Ausführungsformen kann, wie lediglich schematisch in Fig. 6d-6e dargestellt, in Abwandlung der Ausführungsformen von Fig. 6a-6c auch ein Modulator 650 (insbesondere ein elektrooptischer oder akustooptischer Modulator) anstelle eines mechanisch beweglichen Elements zur Auflösungssteigerung eingesetzt werden, um eine zusätzliche geringfügige Winkelablenkung des (von der Linse 630 ausgehenden oder des in die Linse 630 eintretenden) Strahls mit vergleichsweise hoher Auflösung zu bewirken. Ein solcher optischer Modulator 650 kann z.B. statt des Ablenkspiegels 640 von Fig. 6a eingesetzt werden. Des Weiteren kann aufgrund der geringen Strahlablenkung ein solcher optischer Modulator 650 bezogen auf die Lichtausbreitungsrichtung alternativ vor der Linse 630 (vgl. Fig. 6d) oder auch nach der Linse 630 (vgl. Fig. 6e) angeordnet sein.

Die Erfindung beinhaltet weiter auch das Konzept, die jeweilige Zeitabhängigkeit der Frequenz des von der Lichtquelle ausgesandten Signals so zu wählen, dass nicht nur in Zusammenwirkung mit dem dispersiven Element ein Abscannen des Objekts realisiert, sondern darüber hinaus eine Trennung dieser Funktion von der eigentlichen Messaufgabe (nämlich der Abstands- und ggf. Geschwindigkeitsbestimmung) erreicht wird. Hierzu können im zeitlichen Verlauf der Frequenz des von der Lichtquelle ausgesandten Signals zum einen vergleichsweise schnell erfolgende Sprünge der Frequenz (mit relativ großer Frequenzänderung in der Größenordnung von 30GHz) zwecks raschem Abscannen der Oberfläche des Objekts in Zusammenwirken mit dem dispersiven Element erfolgen und zum anderen auch von diesen Frequenzsprüngen separate Abschnitte im zeitlichen Verlauf der Frequenz vorhanden sein, in denen die bei der Messung erhaltenen Differenzfrequenz- bzw. Schwebungsfrequenzsignale zur Abstands- und ggf. Geschwindigkeitsbestimmung genutzt werden (wobei diese Abstands- und Geschwindigkeitsbestimmung dann infolge möglicher Begrenzung der Schwebungsfrequenz auf Werte in der Größenordnung von 1GHz mit vergleichsweise einfachem elektronischen Aufbau durchführbar ist).

Was die zuletzt genannten, zur eigentlichen Messung genutzten Abschnitte im zeitlichen Verlauf der Frequenz des von der Lichtquelle ausgesandten Signals

betrifft, so können wiederum zur Realisierung einer Abstands- und Geschwindigkeitsbestimmung Bereiche mit voneinander verschiedener Zeitabhängigkeit der Frequenz vorhanden sein, wie in den schematischen Darstellungen von Fig. 7a-7c dargestellt ist.

Konkret umfasst gemäß Fig. 7b-7c jede Zeitperiode Δt, welche vor dem jeweils nächsten Frequenzsprung als „Messintervall“ genutzt wird, ein Teilintervall mit zeitlich konstanter Frequenz und ein weiteres Teilintervall mit zeitlich linear ansteigener Frequenz. Dabei ist in Fig. 7b-7c die gesamte Frequenzänderung in dem Teilintervall mit zeitlich linear ansteigener Frequenz mit Δf_1 bezeichnet, und die Frequenzänderung zwischen den zu Beginn aufeinanderfolgender Zeitperioden Δt vorliegenden Frequenzen ist mit Δf_2 bezeichnet.

Gemäß Fig. 7a umfasst hingegen jede Zeitperiode Δt, welche vor dem jeweils nächsten Frequenzsprung als „Messintervall“ genutzt wird, ein Teilintervall mit zeitlich linear ansteigender Frequenz und ein weiteres Teilintervall mit zeitlich linear abfallender Frequenz. In Fig. 7a ist ist gesamte Frequenzänderung in den Teilintervallen mit zeitlich linear ansteigener bzw. abfallender Frequenz mit Δf_1 bezeichnet, und die Frequenzänderung zwischen den zu Beginn aufeinanderfolgender Zeitperioden Δt vorliegenden Frequenzen ist mit Δf_2 bezeichnet. Der Nutzung dieser Teilintervalle zur Abstands- und Geschwindigkeitsbestimmung liegt die Überlegung zugrunde, dass infolge der vorstehend erwähnten erheblichen Größenunterschiede zwischen den für den Scanvorgang genutzten Frequenzsprüngen und den in den jeweiligen Messintervallen stattfindenden Frequenzänderungen eine prinzipiell durch das dispersive Element auch während der Messintervalle bewirkte Winkeländerung vernachlässigbar ist.

In den Beispielen von Fig. 7b und Fig. 7c kann in jeweils einem Teilintervall anhand des Signals mit zeitlich linear variierendem Frequenzwert in für sich bekannter Weise der noch nicht im Hinblick auf den Dopplereffekt korrigierte Abstand des Objekts berechnet werden, wohingegen im gleichen Teilintervall anhand des Signals mit zeitlichen konstantem Frequenzwert die Geschwindig-

keit des Objekts ermittelt werden kann. Im Ergebnis kann auf Basis der erhaltenen Informationen das noch nicht im Hinblick auf den Dopplereffekt korrigierte Signal entsprechend transformiert werden, um den in Bezug auf den Dopplereffekt korrigierten Abstand des Objekts zu ermitteln.

Im Beispiel von Fig. 7a kann in jeweils einem Teilintervall in für sich bekannter Weise analog zu Fig. 10a-10b eine Dopplereffekt-kompensierte Abstandsermittlung durchgeführt werden.

Das vorstehend anhand von Fig. 7b-7c beschriebene Konzept der Trennung der beiden Funktionen „Abscannen des Objekts“ einerseits und „Durchführen der eigentlichen Abstands- und ggf. Geschwindigkeitsbestimmung“ andererseits ist in weiteren Ausführungsformen der Erfindung auch in Verbindung mit einer Abstandsmessung auf Basis des Prinzips der sogenannten „Seitenband-Modulation“ realisierbar. Zur Erläuterung und Veranschaulichung des Konzepts der Seitenband-Modulation wird auf die schematischen Darstellungen von Fig. 8-9 Bezug genommen.

Dabei zeigt Fig. 9b lediglich schematisch einen möglichen Aufbau zur Realisierung der Seitenband-Modulation gemäß der Erfindung, d.h. in Kombination mit einem zur Realisierung des Scanvorgangs eingesetzten dispersiven Element.

Fig. 9a zeigt in hierzu analoger schematischer Darstellung einen Aufbau, in welchem das anhand von Fig. 1 der vorliegenden Anmeldung beschriebene Prinzip realisiert wird (bei welchem also die Frequenz des von der Lichtquelle erzeugten optischen Signals selbst durchgestimmt wird).

Der Aufbau von Fig. 9a entspricht insoweit grundsätzlich demjenigen von Fig. 1. Dabei wird ein über die Lichtquelle 901 erzeugtes optisches Signal über einen Strahlteiler bzw. Splitter 2 in zwei Teilsignale aufgespalten, von denen das eine Teilsignal als Messsignal über einen optischen Zirkulator 903, ein (z.B. als AWG ausgestaltetes) dispersives Element 904 und eine dispersive Scaneinrichtung 905 auf das hinsichtlich seines Abstandes zu vermessende Objekt

906 gelenkt und auf dem Rückweg über den optischen Zirkulator zu einem Signalkoppler 907 gelangt. Das andere der beiden vom Strahlteiler 902 bereitgestellten Teilsignale, welches nicht am Objekt 906 reflektiert wird, gelangt als Referenzsignal direkt zum Signalkoppler 907. Die über den Signalkoppler 907 gekoppelten Teilsignale werden an einem balanzierten Detektor 908 einander überlagert und in einer Auswerteeinrichtung 909 zur Ermittlung des Abstandes des Objekts 906 ausgewertet.

Im Aufbau von Fig. 9a erfolgt wie bereits erläutert eine zeitliche Variation der Frequenz des von der Lichtquelle 901 ausgesandten Signals, wobei insbesondere die vorstehend anhand von Fig. 7a, 7b oder Fig. 7c beschriebenen Zeitabhängigkeiten der Frequenz eingestellt werden können, um die o.g. Trennung der Funktion eines Abscannens des Objekts in Zusammenwirkung mit dem dispersiven Element einerseits von der eigentlichen Messaufgabe (d.h. der Abstands- und gegebenenfalls Geschwindigkeitsbestimmung des Objekts 906) andererseits zu realisieren.

Die besagte Trennung zwischen den Funktionen „Abscannen des Objekts“ einerseits und „Abstands- bzw. Geschwindigkeitsbestimmung“ andererseits kann auch unter Anwendung des Konzepts der Seitenband-Modulation gemäß Fig. 9b in Verbindung mit dem erfindungsgemäßen Einsatz eines dispersiven Elements verwirklicht werden. Dabei sind in Fig. 9b im Vergleich zu Fig. 9a analoge bzw. im Wesentlichen funktionsgleiche Komponenten mit um „10“ erhöhten Bezugsziffern bezeichnet. Der Aufbau von Fig. 9b unterscheidet sich von demjenigen aus Fig. 9a insbesondere dadurch, dass die zur Erzeugung des optischen Signals dienende Lichtquelle 911 für die Abstands- bzw. Geschwindigkeitsbestimmung nicht selbst in ihrer Frequenz zeitlich durchgestimmt wird, sondern eine Modulation dieses Signals über eine Modulationseinheit 920 (welche z.B. als elektrooptischer Modulator ausgestaltet sein kann) erfolgt. Hingegen erfolgt gemäß Fig. 9b eine Änderung der Frequenz des von der Lichtquelle 911 selbst ausgesandten optischen Signals lediglich zum Zwecke des Abscannens des Objekts, indem wie in Fig. 8a angedeutet diese Frequenz jeweils (analog zu Fig. 7a-7c) in Zeitabständen Δt um diskrete Stufen Δf ange-

hoben wird. Eine Ansteuerung der Modulationseinheit 920 kann über eine Steuerungseinheit 921 insbesondere so erfolgen, dass eine lineare Zeitabhängigkeit des von der Modulationseinheit 920 bereitgestellten Signals eingestellt wird, wobei die Modulation durch die Modulationseinheit 920 jeweils immer dann einsetzt, wenn die Frequenz des optischen Signals der Lichtquelle 911 auf jeweils eine neue diskrete Frequenzstufe gemäß Fig. 8b angehoben wurde. Die Frequenz des von der Lichtquelle 911 selbst erzeugten optischen Signals springt dabei gemäß Fig. 8a-8b um diskrete Stufen Δf, wodurch – insoweit analog zu den Ausführungsformen von Fig. 7a-7c – die Funktion des Abscannens des Objekts realisiert wird.

Im Falle der „Seitenband-Modulation“ führt eine Intensitätsmodulation im Sinne der Multiplikation des von der Lichtquelle 911 ausgesandten optischen Signals mit einem Sinus- oder Kosinus-Signal mit jeweils innerhalb der betreffenden Zeitintervalle zeitlich variierender Modulationsfrequenz dazu, dass im Frequenzspektrum des mit besagter Modulationsfrequenz modulierten Signals in entsprechendem Abstand zur (Träger-)Frequenz (f_L) des ursprünglich von der Lichtquelle ausgesandten optischen Signals zwei („Delta-“) Pulse mit um besagte Modulationsfrequenz (f_Mod) vergrößertem bzw. verkleinertem Frequenzwert (d.h. mit der Frequenz f_L+f_Mod bzw. f_L-f_Mod) auftreten, wie in Fig. 8c angedeutet ist. Die zeitliche Variation der besagten Modulationsfrequenz geht dann wie in Fig. 8b angedeutet einher mit einem „Wandern“ dieser Pulse im Frequenzspektrum. In Kombination mit dem bereits anhand von Fig. 8a beschriebenen erfindungsgemäßen Konzept des über ein dispersives optisches Element in Verbindung mit in diskreten Stufen erfolgender Erhöhung der Frequenz des optischen Signals realisierten Scanvorganges führt diese Seitenband-Modulation dazu, dass in dem letztlich erhaltenen Detektorsignal bzw. der Differenzfrequenz zwischen Messsignal und Referenzsignal zugleich auch bereits die erforderliche Information zur Geschwindigkeitsermittlung bzw. Dopplereffekt-Kompensation enthalten ist.

Wenn die Erfindung auch anhand spezieller Ausführungsformen beschrieben wurde, erschließen sich für den Fachmann zahlreiche Variationen und alterna-

tive Ausführungsformen, z.B. durch Kombination und/oder Austausch von Merkmalen einzelner Ausführungsformen. Dementsprechend versteht es sich für den Fachmann, dass derartige Variationen und alternative Ausführungsformen von der vorliegenden Erfindung mit umfasst sind und die Reichweite der Erfindung nur im Sinne der beigefügten Patentansprüche und deren Äquivalente beschränkt ist.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur scannenden Abstandsermittlung eines Objekts, mit

   - einer Lichtquelle (110, 210, 310, 610) zum Aussenden eines optischen Signals (111, 211, 311) mit zeitlich variierender Frequenz;
   - einer Auswerteeinrichtung zur Ermittlung eines Abstandes des Objekts (140, 240, 340) auf Basis eines aus dem Signal (111, 211, 311) hervorgegangenen, an dem Objekt (140, 240, 340) reflektierten Messsignals (121, 221, 321) und eines nicht an dem Objekt (140, 240, 340) reflektierten Referenzsignals (122, 222, 322); und
   - einem dispersiven Element (131, 231, 331, 620), welches eine frequenzselektive Winkelverteilung des Messsignals (121, 221, 321) bewirkt, wobei hierdurch erzeugte Teilsignale unter voneinander verschiedenen Winkeln zu dem Objekt (140, 240, 340) gelenkt werden.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das dispersive Element (131, 231, 331, 620) und die Lichtquelle (110, 210, 310, 610) in einer festen räumlichen Beziehung zueinander stehen.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass bezogen auf den Signalweg vor dem dispersiven Element (131, 231, 331, 620) ein kollimierendes optisches Element (225) angeordnet ist.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem dispersiven Element (131, 231, 331, 620) und dem Objekt (140, 240, 340) ein optisches System (335) zur Anpassung der jeweiligen Winkel, unter denen die Teilsignale zu dem Objekt (140, 240, 340) gelenkt werden, vorgesehen ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das optische System eine erste Linse (332) oder Linsengruppe und eine zweite Linse (334) oder Linsengruppe aufweist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das dispersive Element (331) in einer ersten Brennebene (FP1) der ersten Linse (332) oder Linsengruppe angeordnet ist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass eine Feldebene (333) dieses optischen Systems (335) einer ersten Brennebene der zweiten Linse (334) entspricht.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das dispersive Element (131, 231, 331, 620) ein AWG aufweist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass AWG wenigstens 120 Kanäle, insbesondere wenigstens 240 Kanäle, aufweist.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das dispersive Element (131, 231, 331, 620) ein Prisma, ein Beugungsgitter oder einen räumlicher Lichtmodulator, insbesondere einen akustischen oder elektrooptischen Modulator, aufweist.

11. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass diese ein Array von sich in zwei zueinander senkrechten Raumrichtungen erstreckenden, periodischen Strukturen aufweist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass eine Periodenlänge dieser periodischen Strukturen im Bereich von 50μm bis 150μm, insbesondere im Bereich von 80μm bis 120μm, liegt.

13. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass diese wenigstens eine Komponente aufweist, über welche der jeweilige Winkel, unter dem ein Teilsignal von dem dispersiven Element zu dem Objekt gelenkt wird, variierbar ist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass diese Komponente von dem dispersiven Element (131, 231, 331, 620) räumlich getrennt ist.

15. Vorrichtung nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass diese Komponente beweglich ist.

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass diese bewegliche Komponente einen zwischen dem dispersiven Element (620) und dem Objekt angeordneten, um wenigstens eine Kippachse kippbaren Ablenkspiegel (640) aufweist.

17. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass diese bewegliche Komponente eine zwischen dem dispersiven Element (620) und dem Objekt angeordnete, quer zur Ausbreitungsrichtung des jeweiligen Teilsignals verschiebbare Linse (630) aufweist.

18. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das dispersive Element (620) zur Variation des Winkels, unter dem ein Teilsignal von dem dispersiven Element (620) zu dem Objekt gelenkt wird, quer zur Ausbreitungsrichtung des jeweiligen Teilsignals verschiebbar ist.

19. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass diese in Lichtausbreitungsrichtung nach dem dispersiven Element wenigstens einen optischen Modulator (650), insbesondere einen elektrooptischen Modulator oder einen akustooptischen Modulator, aufweist.

20. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der zeitliche Verlauf der Frequenz des von der Lichtquelle ausgesandten optischen Signals eine abwechselnde Folge von zum Abscannen des Objekts erfolgenden Frequenzsprüngen einerseits und zur

Ermittlung von Abstand und/oder Geschwindigkeit des Objekts andererseits vorgesehenen Teilintervallen aufweist.

21. Vorrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass in den zur Ermittlung von Abstand und/oder Geschwindigkeit des Objekts vorgesehenen Teilintervallen jeweils zwei Abschnitte mit unterschiedlicher Zeitabhängigkeit der Frequenz vorgesehen sind.

22. Vorrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass jeweils einer dieser Abschnitte ein Abschnitt mit zeitlich konstanter Frequenz ist.

23. Vorrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass diese Abschnitte jeweils zueinander entgegengesetzte zeitliche Ableitungen der Frequenz aufweisen.

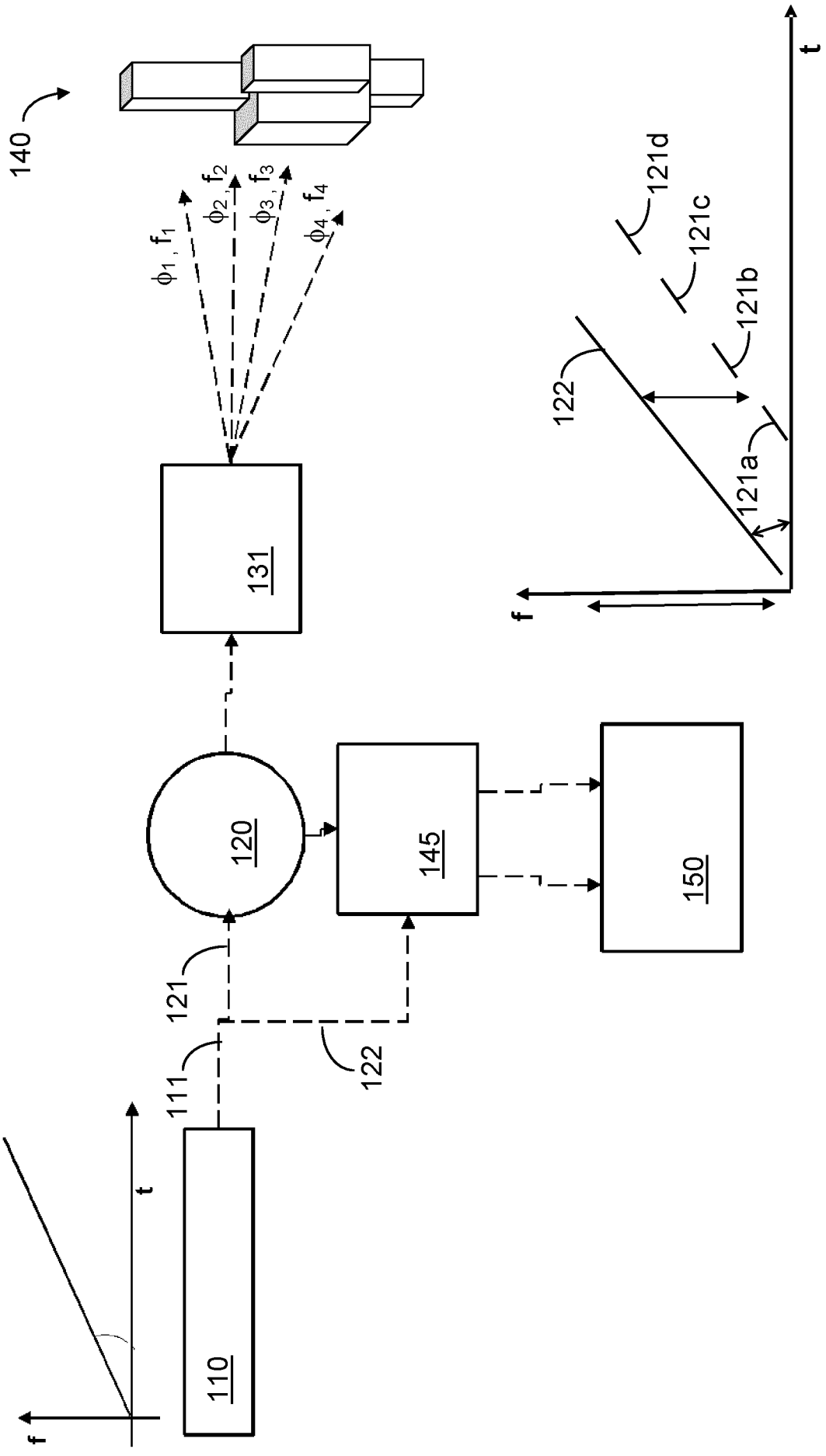

140
ϕ_1, f_1
ϕ_2, f_2
ϕ_3, f_3
ϕ_4, f_4
131
120
145
150
110
111
121
122
t
f
121a
121b
121c
121d

Fig. 1

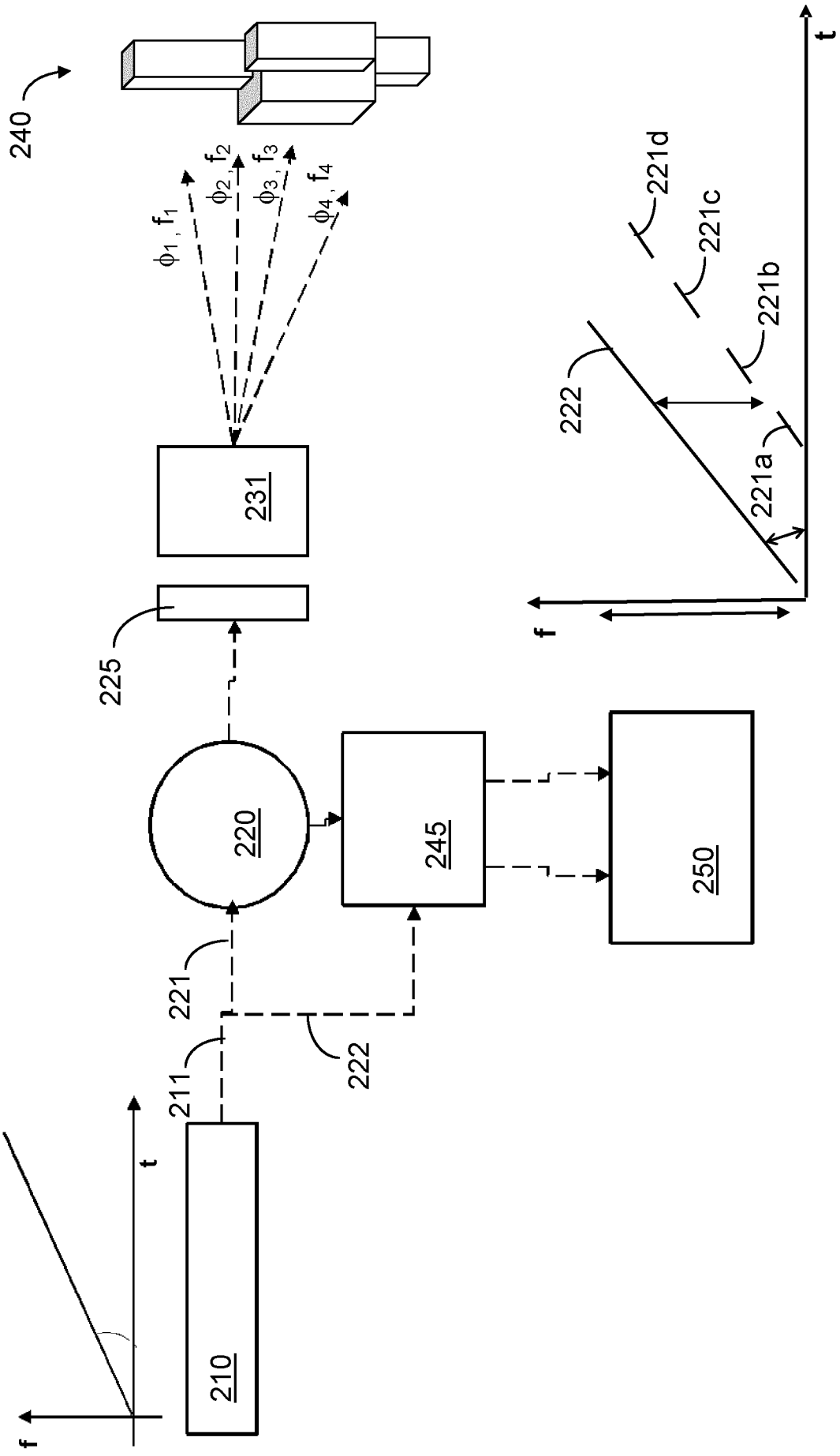

240
ϕ_1, f_1
ϕ_2, f_2
ϕ_3, f_3
ϕ_4, f_4
231
225
220
245
250
221
222
211
210
t
f
221d
221c
221b
221a

Fig. 2

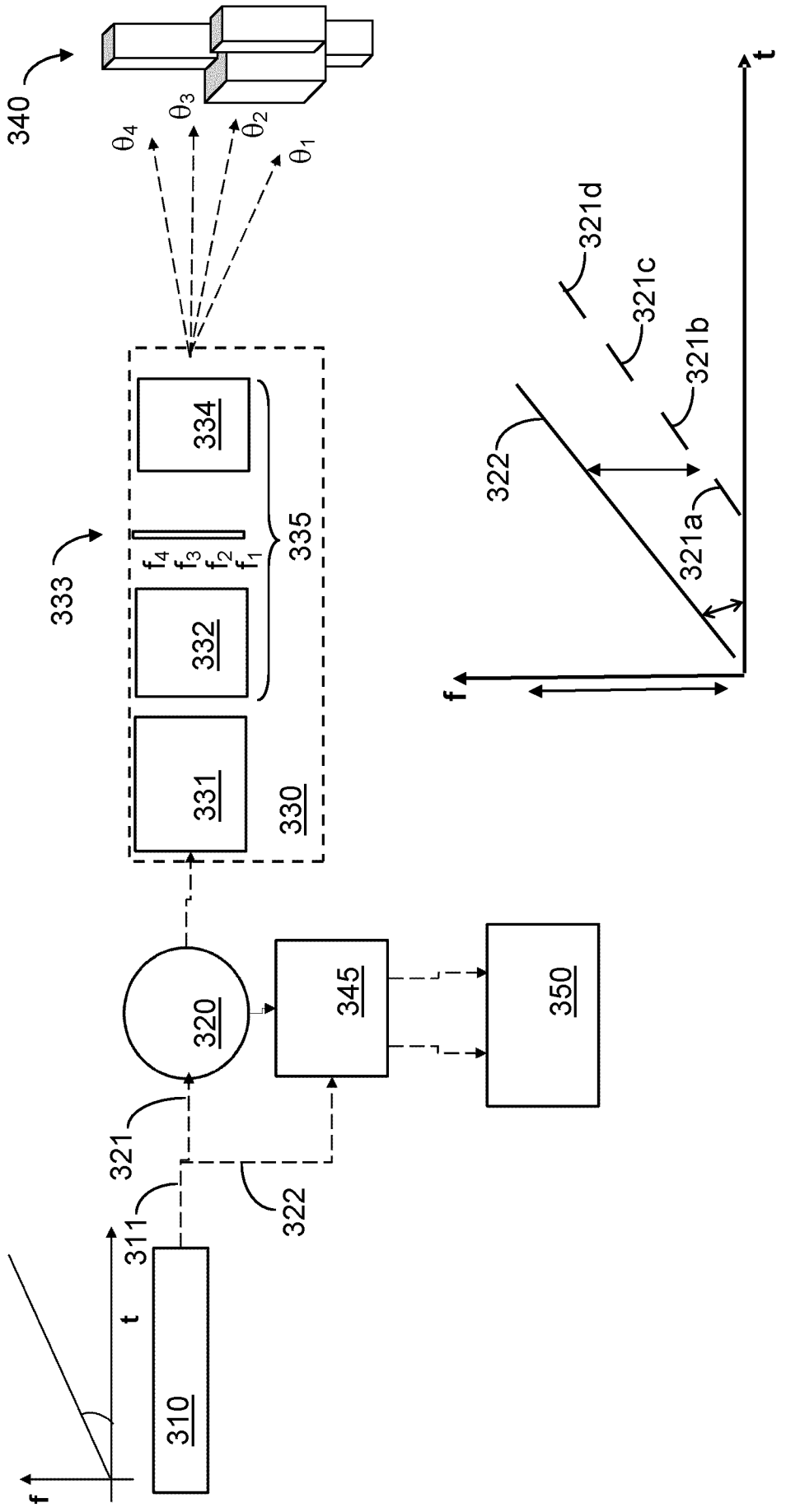

340
θ4
θ3
θ2
θ1
333
334
332
331
330
335
f4
f3
f2
f1
320
345
350
321
322
311
310
t
f
321d
321c
321b
321a
322
t
f

Fig. 3a

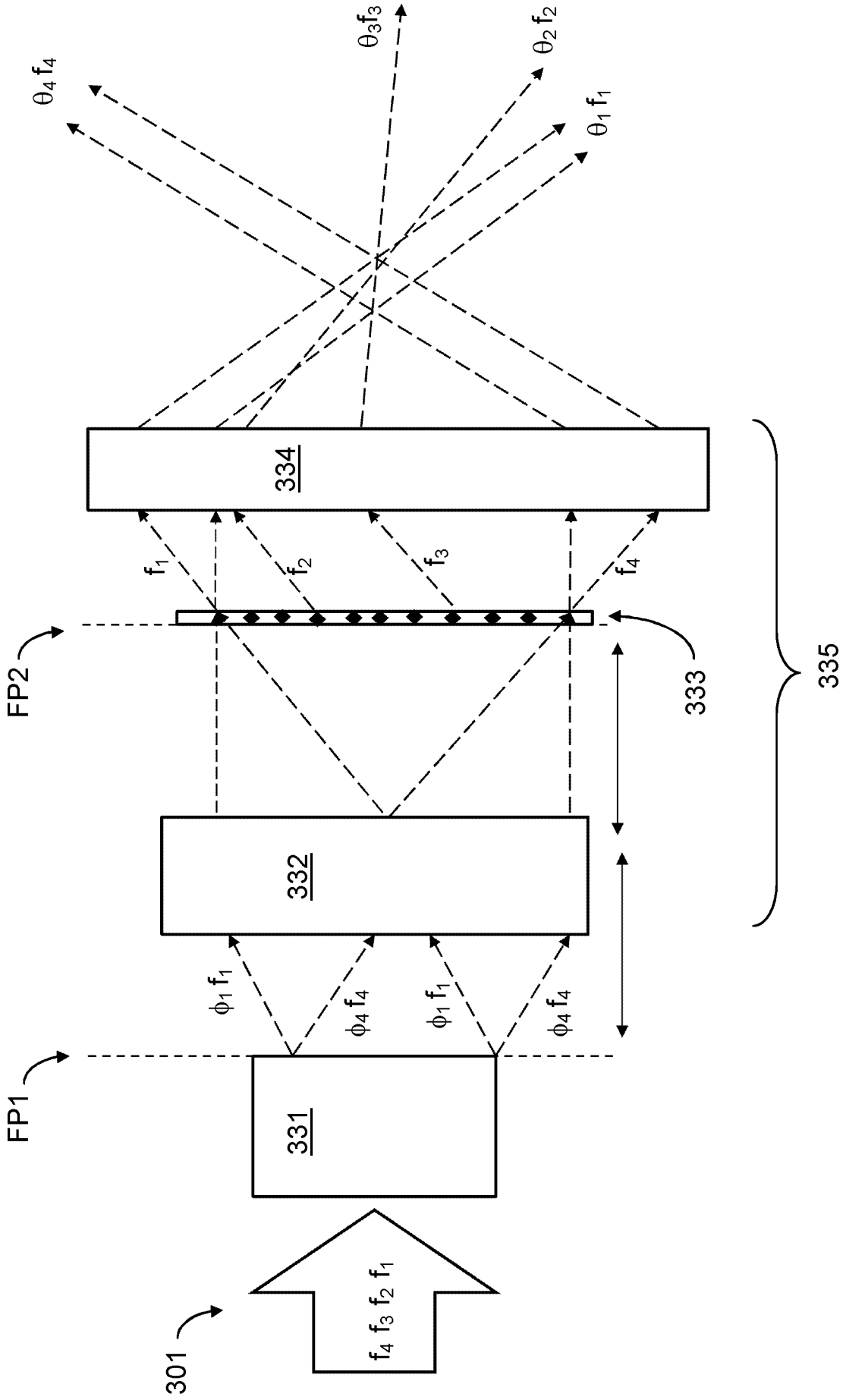

θ4 f4
θ3 f3
θ2 f2
θ1 f1
334
f1
f2
f3
f4
FP2
333
335
332
ϕ1 f1
ϕ4 f4
ϕ1 f1
ϕ4 f4
FP1
331
f4 f3 f2 f1
301

Fig. 3b

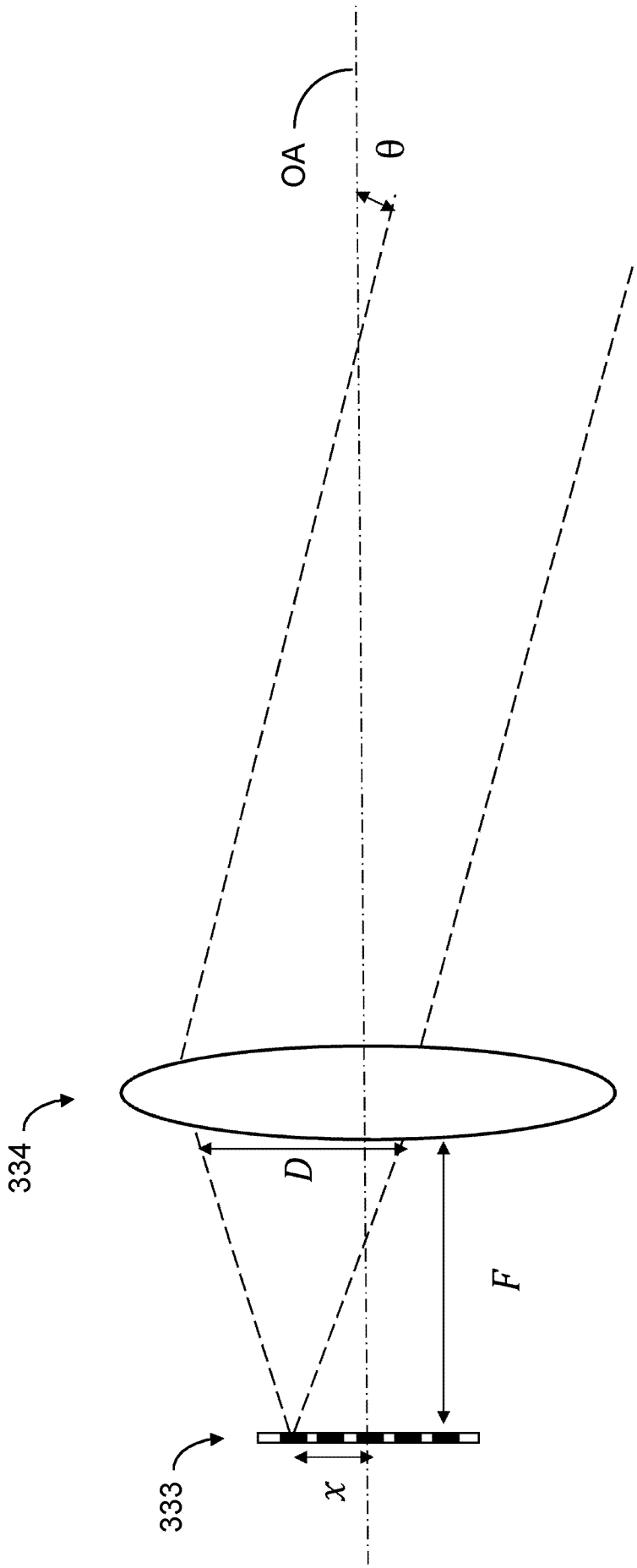


Fig. 3c

Fig. 4a

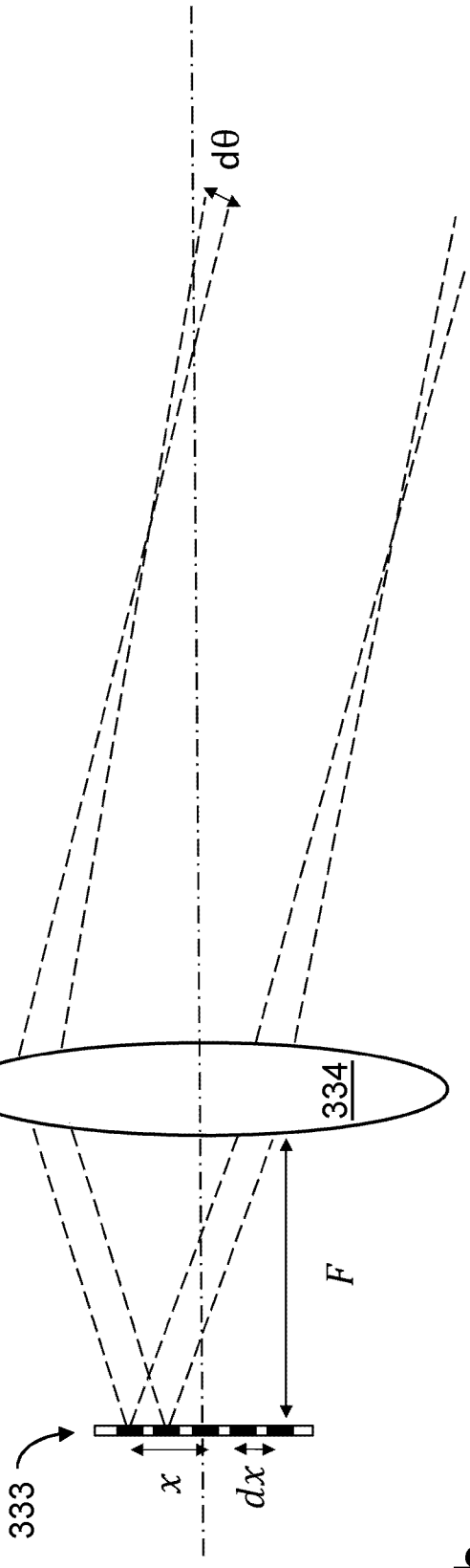
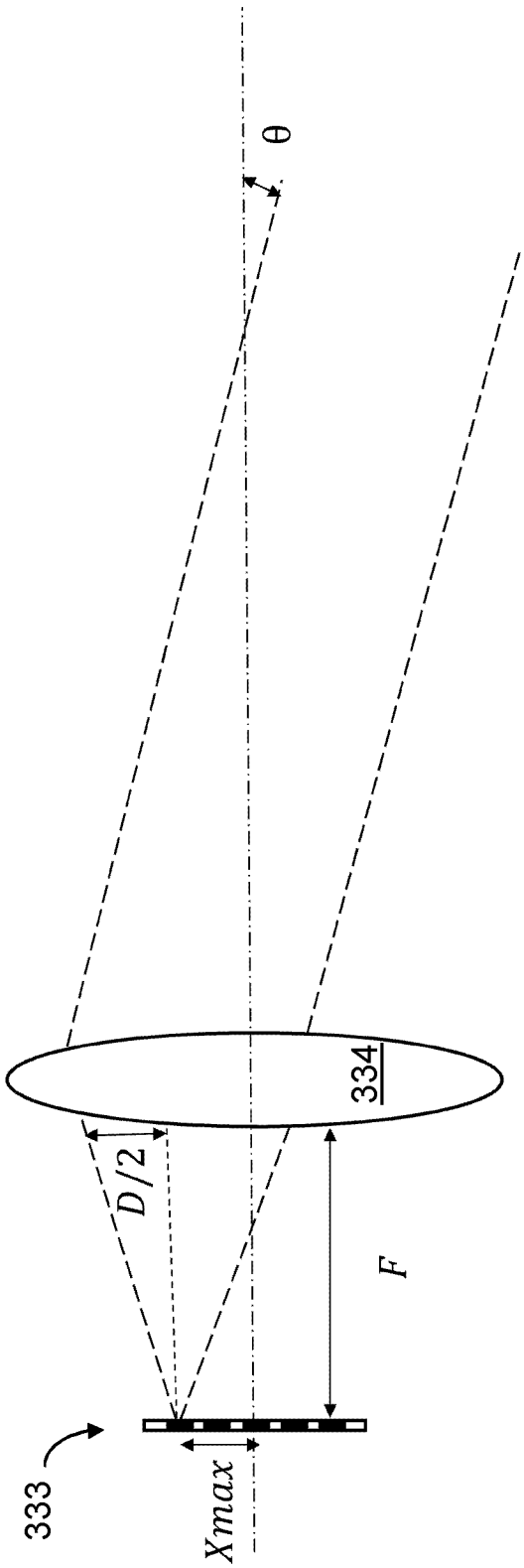


Fig. 4b



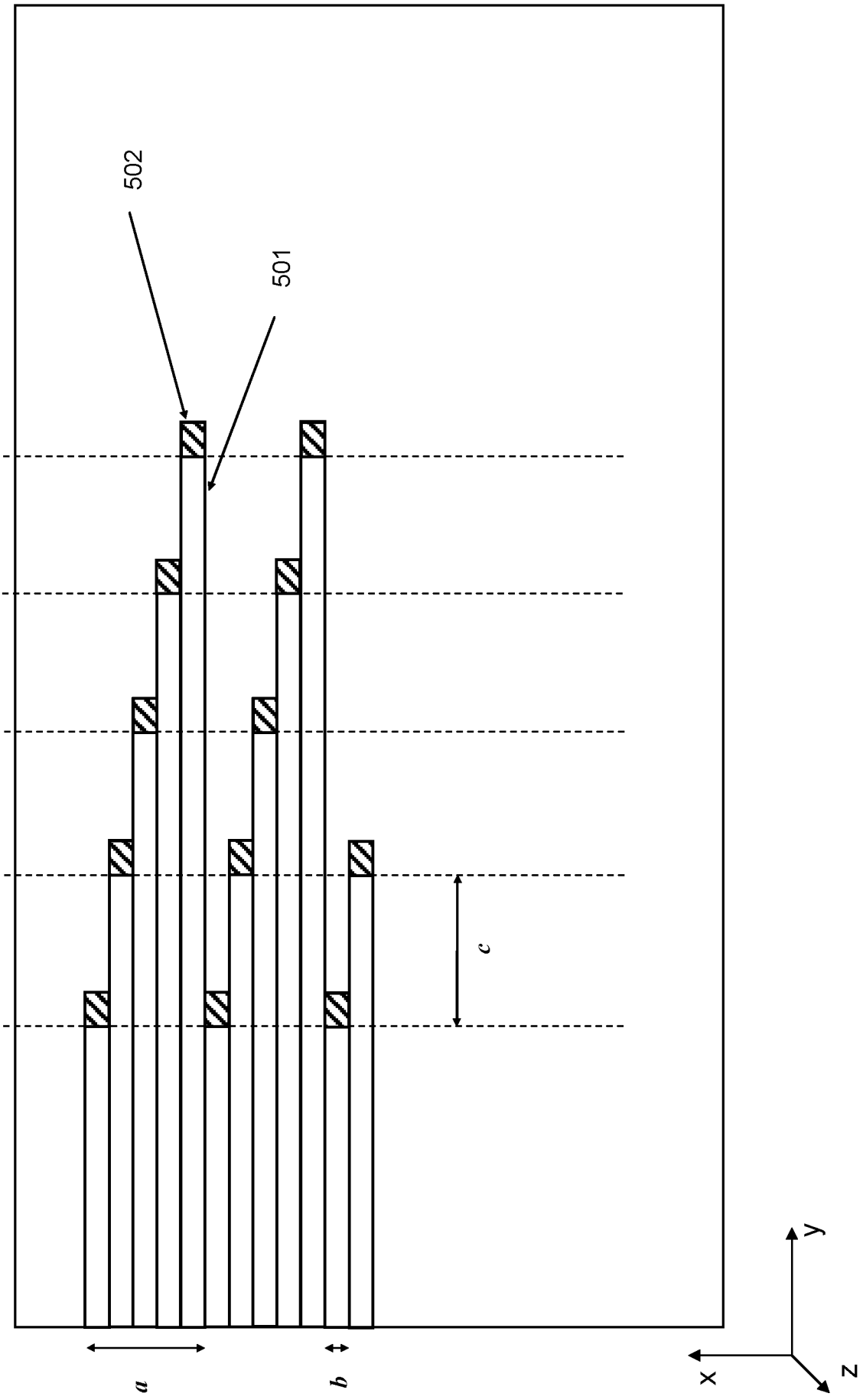


Fig. 5a

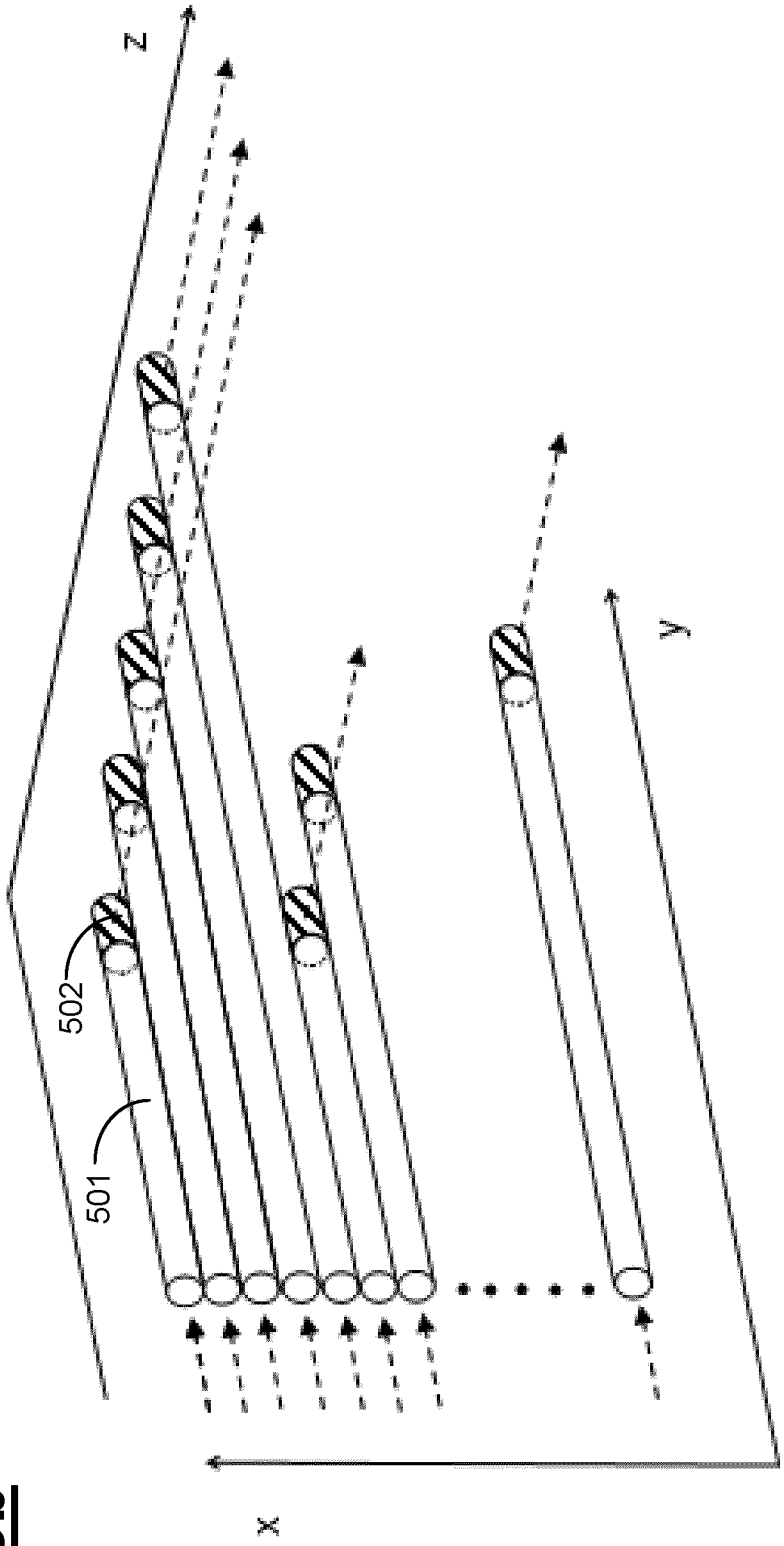


Fig. 5b

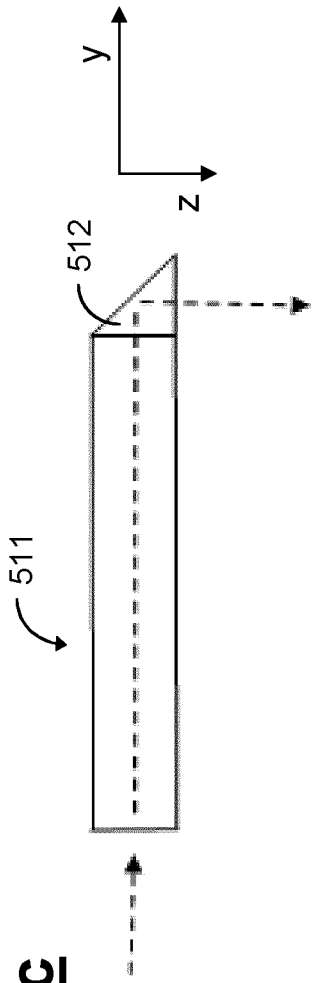


Fig. 5c

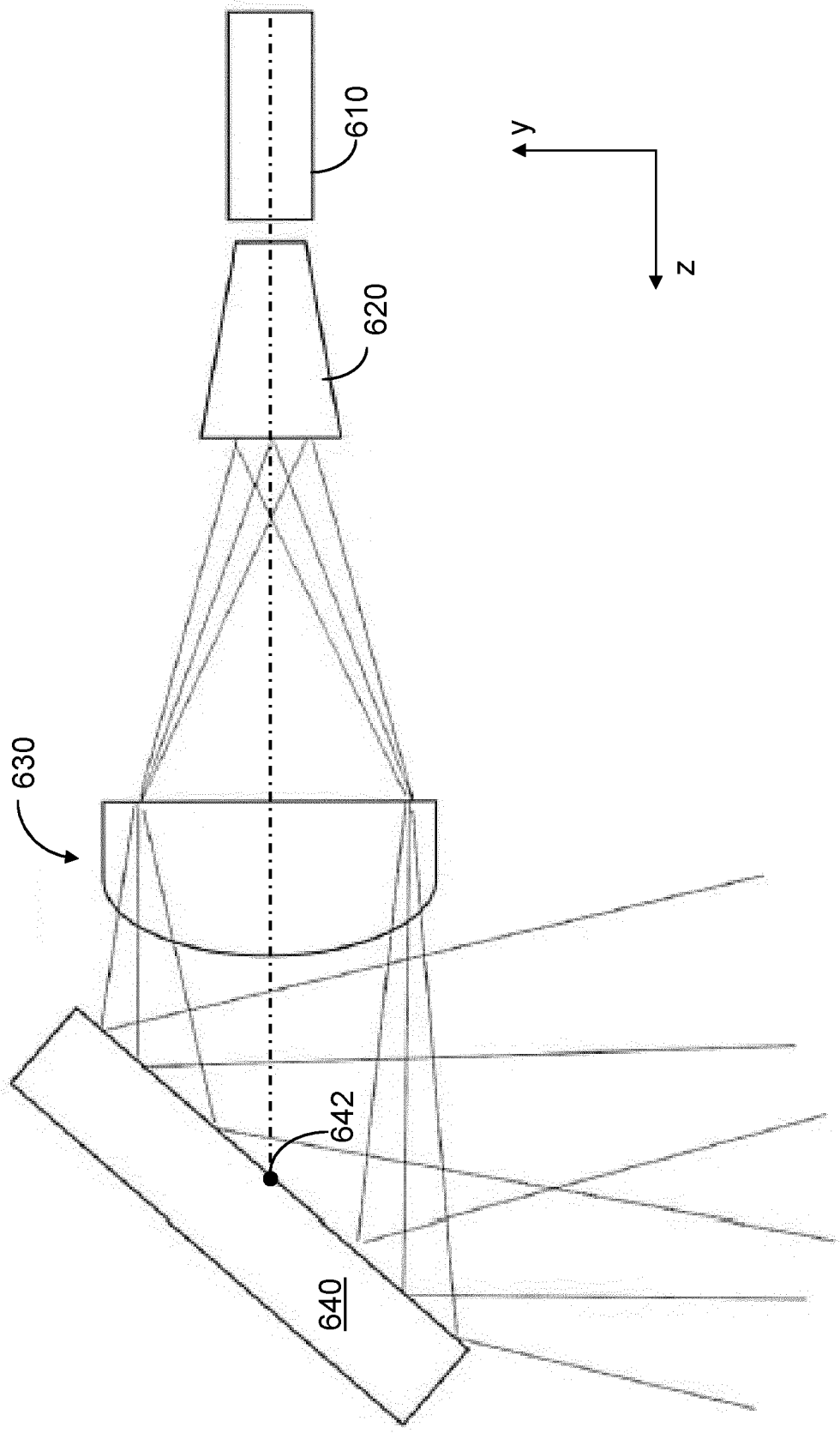


Fig. 6a

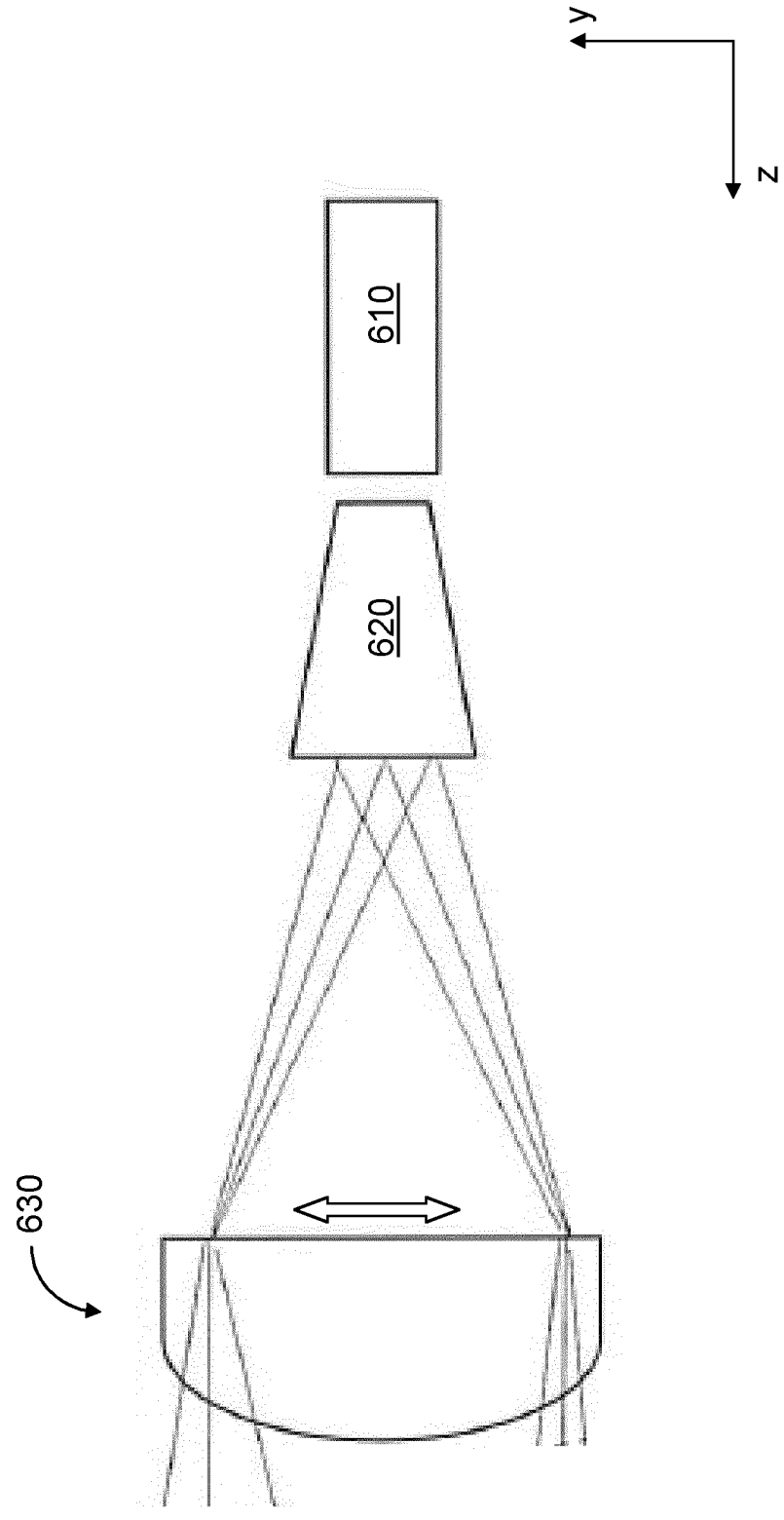


Fig. 6b

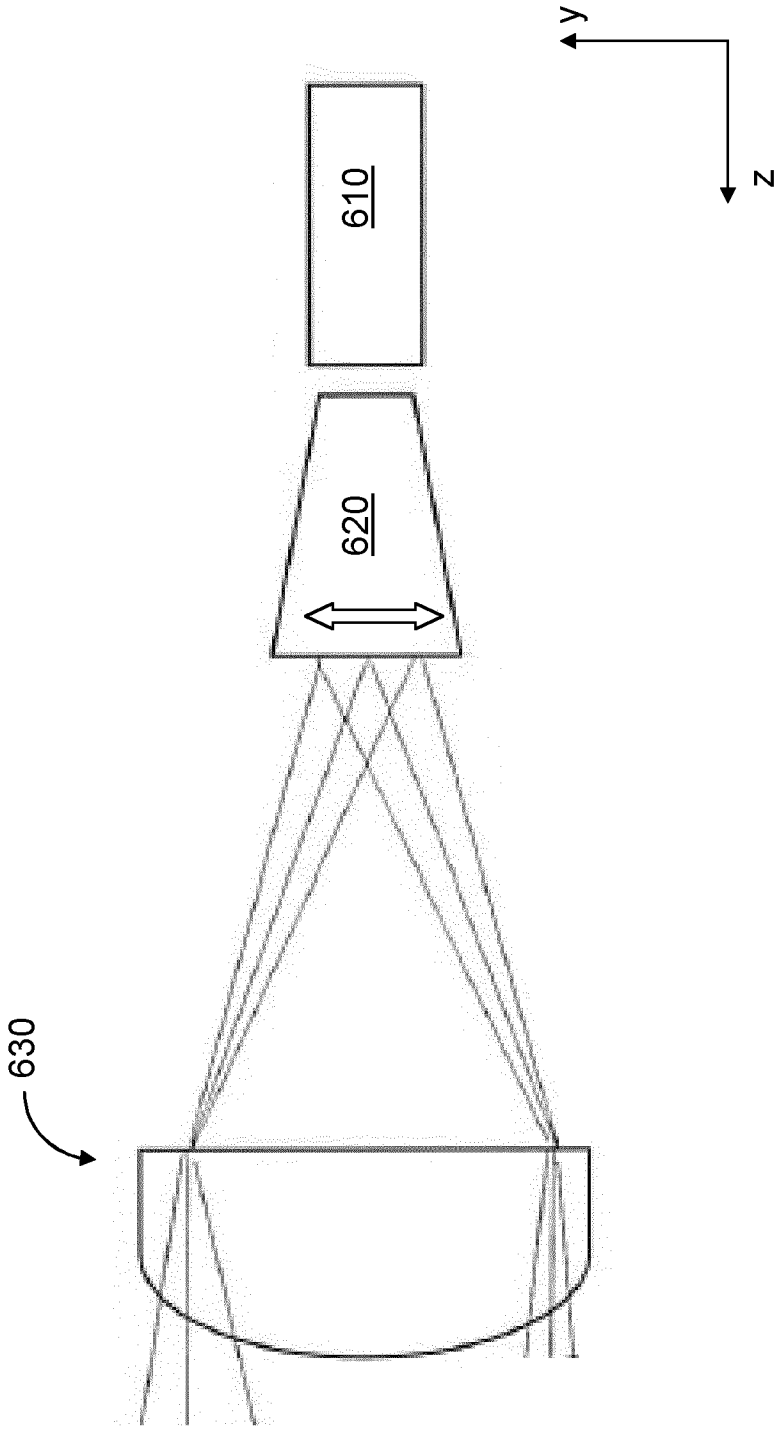


Fig. 6c

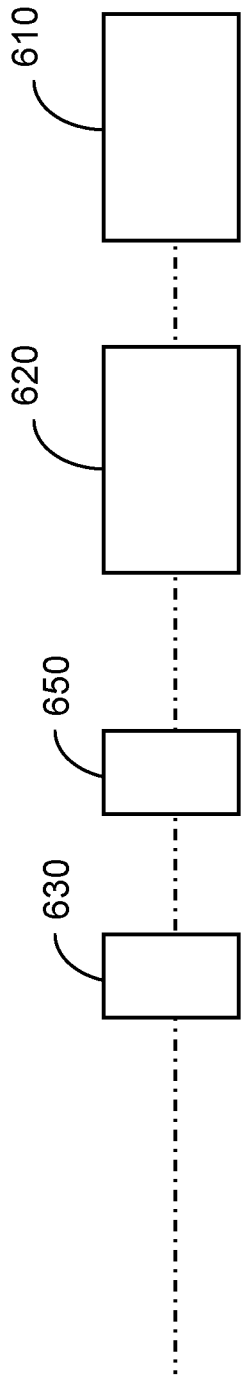


Fig. 6d

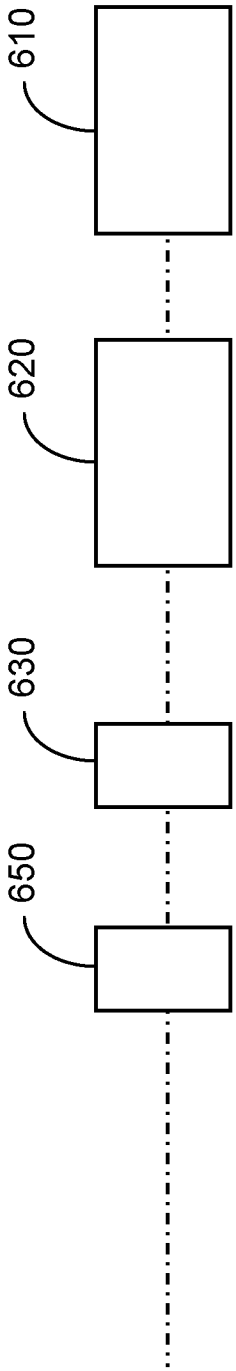


Fig. 6e

Fig. 7a

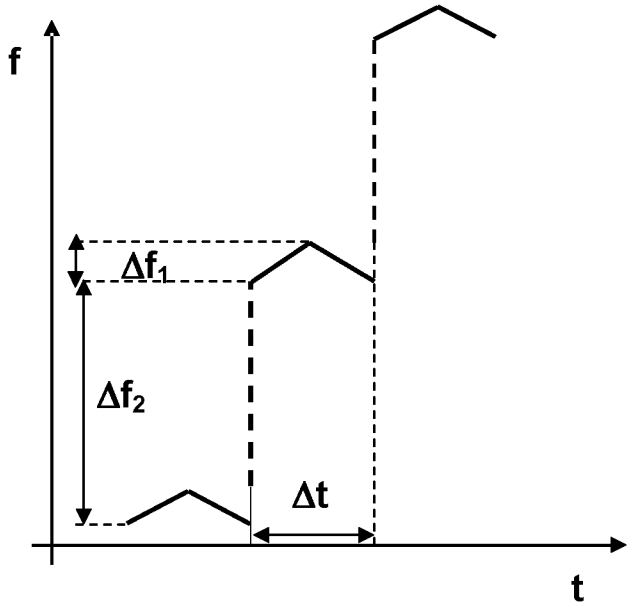


Fig. 7b

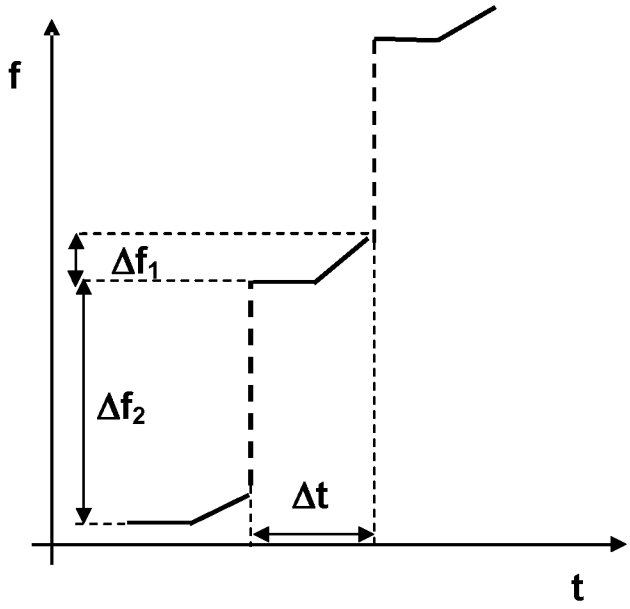


Fig. 7c

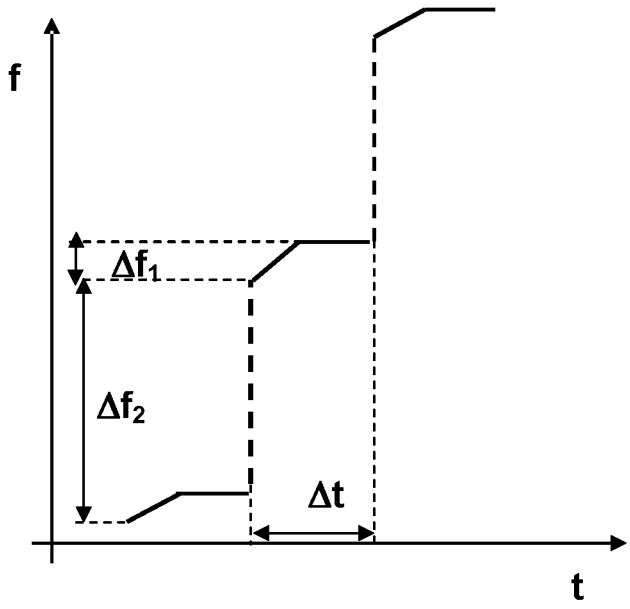


Fig. 8a

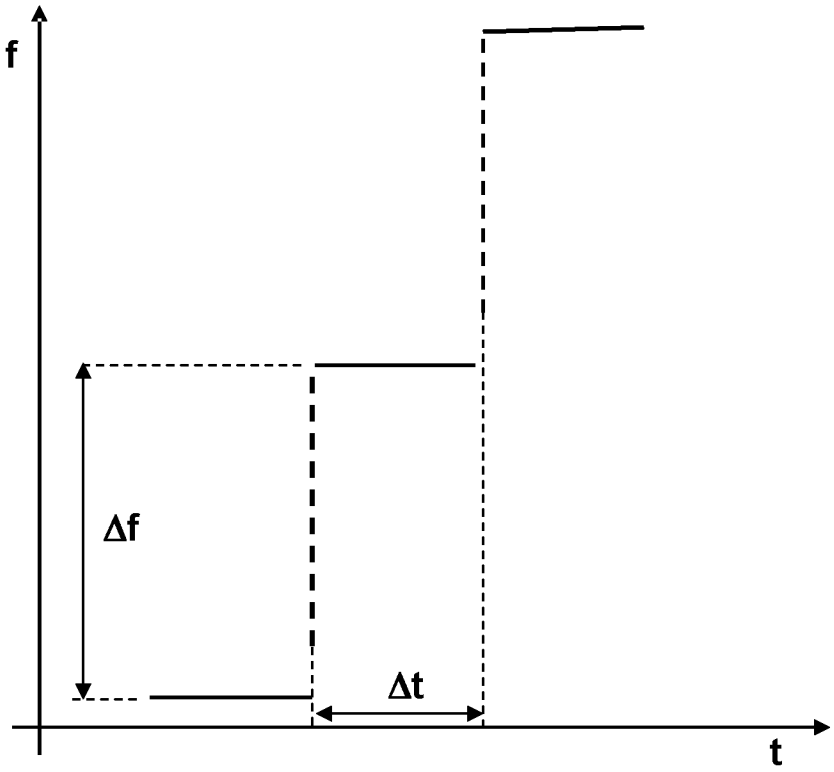
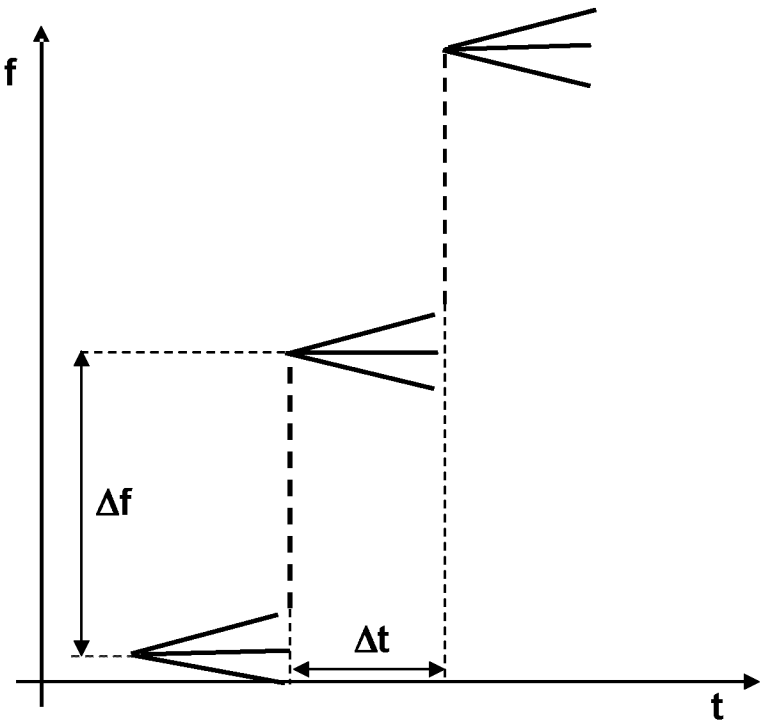


Fig. 8b



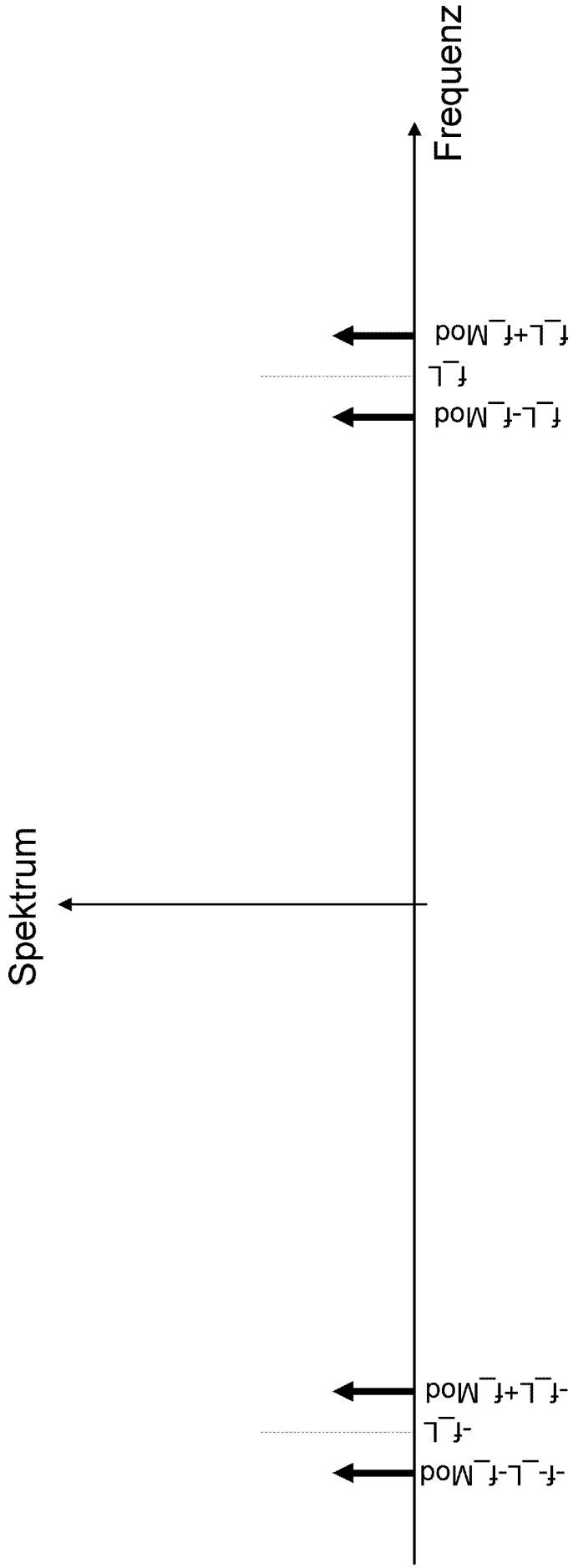


Fig. 8c

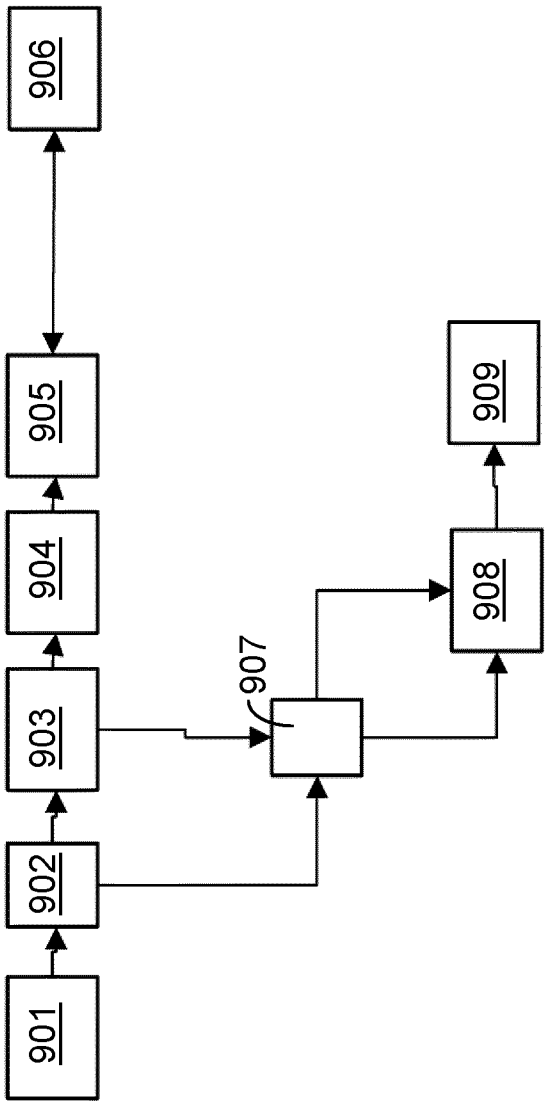

901
902
903
904
905
906
907
908
909

Fig. 9a

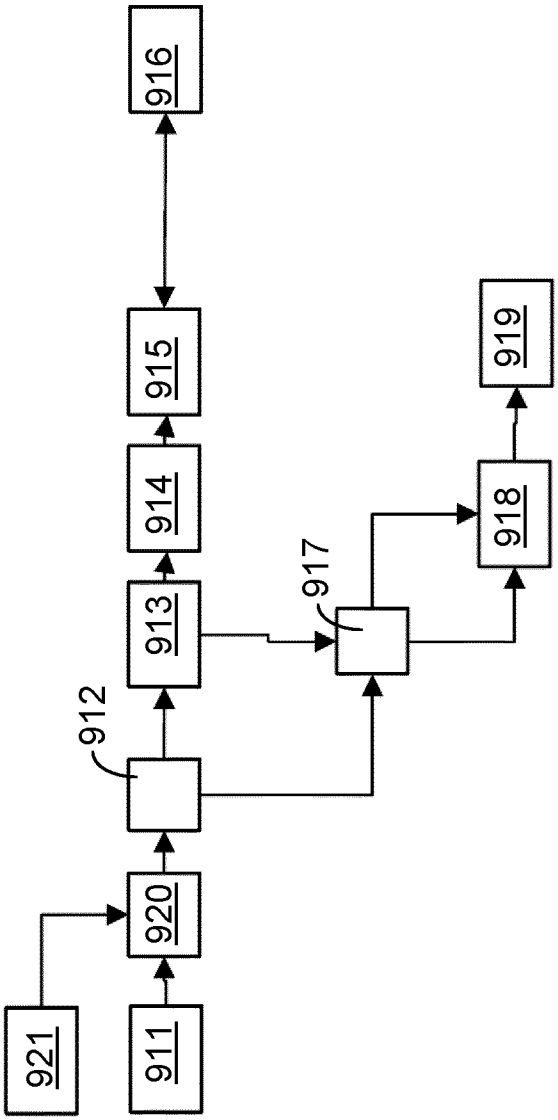

911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921

Fig. 9b

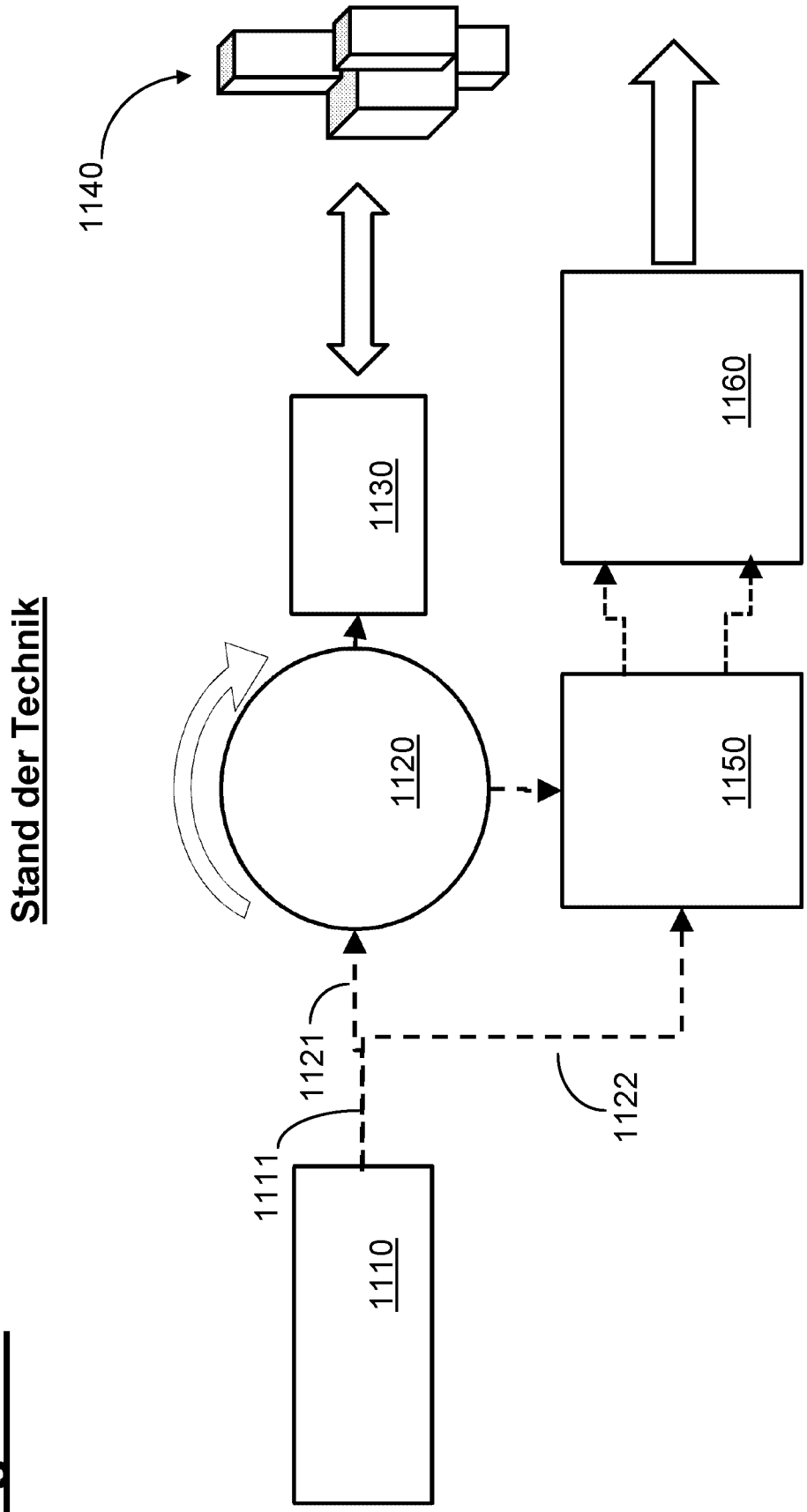

Stand der Technik
1140
1130
1160
1120
1150
1121
1122
1111
1110

Fig. 10a

Fig. 10b

