



(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 010 448.1**
(22) Anmeldetag: **30.08.2016**
(43) Offenlegungstag: **01.03.2018**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **11.01.2024**

(51) Int Cl.: **G01S 7/481** (2006.01)
G01C 3/08 (2006.01)
G02B 26/00 (2006.01)
G02B 26/08 (2006.01)
G01S 17/89 (2020.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Blickfeld GmbH, 80689 München, DE

(74) Vertreter:
Kraus & Weisert Patentanwälte PartGmbH, 80539 München, DE

(72) Erfinder:
Petit, Florian, Dr., 81247 München, DE

(56) Ermittelte Stand der Technik:

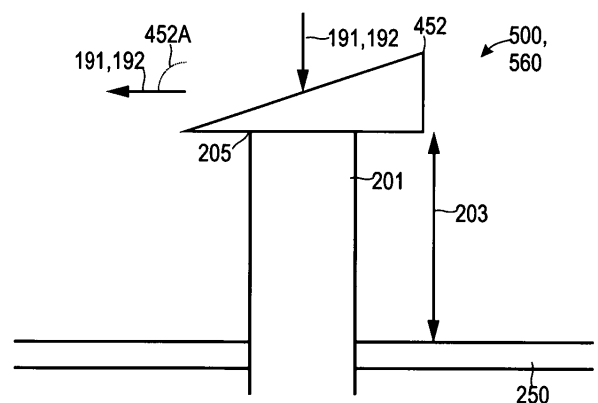
US	2008 / 0 249 369	A1
US	2014 / 0 177 021	A1
US	2015 / 0 323 153	A1
US	2016 / 0 051 131	A1

LEACH, Jeffrey H. ; CHINN, Stephen R. ; GOLDBERG, Lew: Monostatic all-fiber scanning LADAR system. In: Applied Optics. 2015, Bd. 54, H. 33, S. 9752-9757. ISSN 1539-4522; 1540-8981 (E); 0003-6935 (P). DOI: 10.1364/AO.54.009752.
MOKHTAR, M.H.H. ; SYMS, R.R.A.: Tailored fibre waveguides for precise two-axis Lissajous scanning. In: Optics Express (OpEx). 2015, Bd. 23, H. 16, S. 20804-20811. ISSN 1094-4087 (E). DOI: 10.1364/OE.23.020804.

(54) Bezeichnung: **Faser-basierter Laser-Scanner**

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung (100), die umfasst:
- eine bewegliche Faser (201) mit einem ersten Freiheitsgrad der Bewegung (311, 321, 371, 372) und einem zweiten Freiheitsgrad der Bewegung (311, 321, 371, 372) und die eingerichtet ist, um Laserlicht (191, 192, 191B, 192B) zu lenken,
- mindestens einen Aktuator (900), der eingerichtet ist, um während einer Zeitdauer eine erste Bewegung (311, 321, 371, 372) der Faser (201) entsprechend dem ersten Freiheitsgrad und eine mit der ersten Bewegung (311, 321, 371, 372) überlagerte zweite Bewegung (311, 321, 371, 372) der Faser (201) entsprechend dem zweiten Freiheitsgrad zu bewirken, und
- ein LIDAR-System (103), das eingerichtet ist, um basierend auf dem Laserlicht (191, 192, 191B, 192B) eine Abstandsmessung von Objekten im Umfeld der Vorrichtung (100) mit mehreren Bildpunkten durchzuführen, wobei die Bildpunkte in einem zweidimensionalen Bildbereich angeordnet sind, der durch die erste Bewegung (311, 321, 371, 372) und die zweite Bewegung (311, 321, 371, 372) während der Zeitdauer definiert ist, wobei die erste Bewegung (311, 321, 371, 372) während der Zeitdauer eine variable Amplitude (801, 802) aufweist, dadurch gekennzeichnet,
dass der erste Freiheitsgrad einer Transversalmode (311,

321) erster oder zweiter Ordnung der Faser (201) entspricht, und
dass der zweite Freiheitsgrad einer Torsionsmode (371, 372) der Faser (201) entspricht.



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Verschiedene Ausführungsformen betreffen im Allgemeinen einen Faser-basierten Scanner für Laserlicht. Verschiedene Ausführungsformen betreffen insbesondere die Bewegung der Faser entsprechend einem ersten Freiheitsgrad und einem zweiten Freiheitsgrad der Bewegung.

HINTERGRUND

[0002] Die Abstandsmessung von Objekten ist in verschiedenen Technologiefeldern erstrebenswert. Zum Beispiel kann es im Zusammenhang mit Anwendungen des autonomen Fahrens erstrebenswert sein, Objekte im Umfeld von Fahrzeugen zu erkennen und insbesondere einen Abstand zu den Objekten zu ermitteln.

[0003] Eine Technik zur Abstandsmessung von Objekten ist die sogenannte LIDAR-Technologie (engl. Light detection and ranging; manchmal auch LADAR). Dabei wird gepulstes Laserlicht von einem Emitter ausgesendet. Die Objekte im Umfeld reflektieren das Laserlicht. Diese Reflexionen können anschließend gemessen werden. Durch Bestimmung der Laufzeit des Laserlichts kann ein Abstand zu den Objekten bestimmt werden.

[0004] Um die Objekte im Umfeld orts aufgelöst zu erkennen, kann es möglich sein, das Laserlicht zu scannen. Je nach Abstrahlwinkel des Laserlichts können dadurch unterschiedliche Objekte im Umfeld erkannt werden.

[0005] Herkömmliche orts aufgelöste LIDAR-Systeme weisen jedoch den Nachteil auf, dass sie vergleichsweise teuer, schwer, wartungsintensiv und/oder groß sein können. Typischerweise wird bei LIDAR-Systemen ein Scanspiegel verwendet, der in unterschiedliche Positionen gebracht werden kann. Eine Genauigkeit, mit der die Position des Scanspiegels ermittelt werden kann, begrenzt dabei typischerweise die Genauigkeit der Ortsauflösung der LIDAR-Messung. Außerdem ist der Scanspiegel oftmals groß und die Verstell-Mechanik kann wartungsintensiv und/oder teuer sein.

[0006] Aus Leach, Jeffrey H., Stephen R. Chinn, and Lew Goldberg. „Monostatic all-fiber scanning LADAR system.“ Applied optics 54.33 (2015): 9752-9757 sind Techniken bekannt, um Mittels einer einstellbaren Krümmung einer Lichtfaser eine gescannte LIDAR-Messung durchzuführen. Entsprechende Techniken sind auch aus Mokhtar, M. H. H., and R. R. A. Syms. „Tailored fibre waveguides for precise two-axis Lissajous scanning.“ Optics express 23.16 (2015): 20804-20811 bekannt.

[0007] Solche Techniken weisen den Nachteil auf, dass die Krümmung der Lichtfaser vergleichsweise limitiert ist. Außerdem kann es schwierig möglich sein, eine Optik zu implementieren, die eine Strahldivergenz von Laserlicht, das aus dem Ende der Lichtfaser austritt, zu vermeiden.

[0008] Aus US 2015/0323153 A1 ist eine Vorrichtung gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 bekannt.

[0009] US 2016/0 051 131 A1 offenbart Scanner für zweidimensionales optisches Scannen und eine Herstellungsmethode für Scanner zum zweidimensionalen optischen Scannen mittels mikroelektromechanischen Systemprozessen, um derart den Scanner zu miniturisieren. Der Scanner kann in einem Endoskop eingesetzt werden.

[0010] US 2008/0 249 369 A1 offenbart Geräte mit gescannten Fasern, die ein Aktuator-Rohr beinhalten können. Ein Endabschnitt einer optischen Faser kann frei von Cantilevern sein. Dieses Ende kann mit einem Betätigungsrohr verbunden sein.

[0011] US 2014/0 177 021 A1 offenbart ein Gerät zum optischen Scannen mit einer optischen Faser, einem Haltemittel, welches die optische Faser trägt, einem ersten Antriebsgerät, das an einem distalen Ende der optischen Faser angeordnet ist und bewirkt, dass die optische Faser in einer ersten Richtung vibriert, und einem zweiten Antriebsgerät, das zwischen dem Haltemittel und dem ersten Antriebsgerät angeordnet ist und bewirkt, dass die optische Faser in einer zweiten Richtung vibriert.

ZUSAMMENFASSUNG

[0012] Deshalb besteht ein Bedarf für verbesserte Techniken zur Abstandsmessung von Objekten im Umfeld einer Vorrichtung. Insbesondere besteht ein Bedarf für solche Techniken, welche zumindest einige der oben genannten Einschränkungen und Nachteile beheben.

[0013] In einem Beispiel umfasst eine Vorrichtung eine bewegliche Faser. Die bewegliche Faser weist einen ersten Freiheitsgrad der Bewegung und einen zweiten Freiheitsgrad der Bewegung auf. Die Faser ist eingerichtet, um Laserlicht zu lenken. Die Vorrichtung umfasst auch mindestens einen Aktuator. Der mindestens eine Aktuator ist eingerichtet, um während einer Zeitdauer eine erste Bewegung der Faser entsprechend dem ersten Freiheitsgrad zu bewirken. Außerdem ist der mindestens eine Aktuator eingerichtet, um während der Zeitdauer eine mit der ersten Bewegung überlagerte zweite Bewegung der Faser entsprechend dem zweiten Freiheitsgrad zu bewirken. Außerdem umfasst die Vorrichtung ein LIDAR-System, welches eingerichtet ist, um basie-

rend auf dem Laserlicht eine Abstandsmessung von Objekten im Umfeld der Vorrichtung mit mehreren Bildpunkten durchzuführen. Die Bildpunkte sind in einem zweidimensionalen Bildbereich angeordnet. Der Bildbereich ist durch die erste Bewegung und die zweite Bewegung während der Zeitdauer definiert. Die erste Bewegung weist während der Zeitdauer eine variable Amplitude auf. Dabei entspricht der erste Freiheitsgrad einer Transversalmode erster oder zweiter Ordnung der Faser, und der zweite Freiheitsgrad einer Torsionsmode der Faser.

[0014] Weitere Beispiele definieren bevorzugte und vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung.

[0015] Die oben dargelegten Merkmale und Merkmale, die nachfolgend beschrieben werden, können nicht nur in den entsprechenden explizit dargelegten Kombinationen verwendet werden, sondern auch in weiteren Kombinationen oder isoliert, ohne den Schutzzumfang der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

KURZE BESCHREIBUNG DER FIGUREN

Fig. 1A illustriert schematisch eine Vorrichtung, die eingerichtet ist, um eine gescannte Abstandsmessung von Objekten im Umfeld der Vorrichtung gemäß verschiedener Ausführungsformen durchzuführen, wobei die Vorrichtung einen Emittor für Laserlicht, einen Detektor für Laserlicht und ein LIDAR-System aufweist.

Fig. 1B illustriert schematisch die Vorrichtung der **Fig. 1A** in größerem Detail, wobei die Vorrichtung eine Scanvorrichtung umfasst, die eingerichtet ist, um das Laserlicht zu scannen.

Fig. 2 illustriert schematisch eine Scanvorrichtung mit einer Faser mit einem beweglichen Ende gemäß verschiedener Ausführungsformen.

Fig. 3A illustriert schematisch eine Scanvorrichtung mit einer Faser mit einem beweglichen Ende gemäß verschiedener Ausführungsformen, wobei **Fig. 3A** eine Krümmung der Faser illustriert.

Fig. 3B illustriert schematisch eine Scanvorrichtung mit einer Faser mit einem beweglichen Ende gemäß verschiedener Ausführungsformen, wobei **Fig. 3B** eine Torsion der Faser illustriert.

Fig. 4A illustriert schematisch eine Scanvorrichtung mit einer Faser mit einem beweglichen Ende gemäß verschiedener Ausführungsformen.

Fig. 4B illustriert schematisch eine Scanvorrichtung mit einer Faser mit einem beweglichen

Ende gemäß verschiedener Ausführungsformen.

Fig. 4C illustriert schematisch eine Scanvorrichtung mit einer Faser mit einem beweglichen Ende gemäß verschiedener Ausführungsformen.

Fig. 4D illustriert schematisch eine Scanvorrichtung mit einer Faser mit einem beweglichen Ende gemäß verschiedener Ausführungsformen.

Fig. 5 illustriert schematisch die Überlagerungsfigur der Faser, die durch eine erste Bewegung entsprechend einem ersten Freiheitsgrad und einer mit der ersten Bewegung überlagerten zweiten Bewegung der Faser entsprechend einem zweiten Freiheitsgrad erhalten wird, wobei die Überlagerungsfigur keinen Knoten aufweist.

Fig. 6 illustriert schematisch die Amplitude der ersten Bewegung und der zweiten Bewegung für das Beispiel der **Fig. 5** gemäß verschiedener Ausführungsformen.

Fig. 7 illustriert schematisch die Amplitude der ersten Bewegung und der zweiten Bewegung für das Beispiel der **Fig. 5** gemäß verschiedener Ausführungsformen.

Fig. 8 illustriert schematisch eine erste Resonanzkurve mit einem ersten Resonanzmaximum für die erste Bewegung und illustriert weiterhin schematisch eine zweite Resonanzkurve mit einem zweiten Resonanzmaximum für die zweite Bewegung, wobei die erste Resonanzkurve und die zweite Resonanzkurve einen Überlapp Bereich gemäß verschiedener Ausführungsformen aufweisen.

Fig. 9 illustriert schematisch ein Wuchtgewicht, welches an der Faser gemäß verschiedener Ausführungsformen angebracht ist.

Fig. 10 illustriert schematisch die Auslenkung der Faser für eine Transversalmode erster Ordnung, sowie für eine Transversalmode zweiter Ordnung gemäß verschiedener Ausführungsformen.

Fig. 11 illustriert schematisch die Überlagerungsfigur der Faser, die durch eine erste Bewegung entsprechend einem ersten Freiheitsgrad und einer mit der ersten Bewegung überlagerten zweiten Bewegung der Faser entsprechend einem zweiten Freiheitsgrad erhalten wird, wobei die Überlagerungsfigur einen Knoten aufweist.

Fig. 12 illustriert schematisch einen Anschlag, der gemäß verschiedener Ausführungsformen die Auslenkung der Faser begrenzt.

Fig. 13 ist ein Flussdiagramm eines beispielhaften Verfahrens.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG VON AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0016] Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile dieser Erfindung sowie die Art und Weise, wie diese erreicht werden, werden klarer und deutlicher verständlich im Zusammenhang mit der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele, die im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden.

[0017] Nachfolgend wird die vorliegende Erfindung anhand bevorzugter Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert. In den Figuren bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche oder ähnliche Elemente. Die Figuren sind schematische Repräsentationen verschiedener Ausführungsformen der Erfindung. In den Figuren dargestellte Elemente sind nicht notwendigerweise maßstabsgetreu dargestellt. Vielmehr sind die verschiedenen in den Figuren dargestellten Elemente derart wiedergegeben, dass ihre Funktion und genereller Zweck dem Fachmann verständlich wird. In den Figuren dargestellte Verbindungen und Kopplungen zwischen funktionellen Einheiten und Elementen können auch als indirekte Verbindung oder Kopplung implementiert werden. Eine Verbindung oder Kopplung kann drahtgebunden oder drahtlos implementiert sein. Funktionale Einheiten können als Hardware, Software oder eine Kombination aus Hardware und Software implementiert werden.

[0018] Nachfolgend werden verschiedene Techniken zum Scannen von Licht beschrieben. Die nachfolgend beschriebenen Techniken können zum Beispiel das zweidimensionale Scannen von Licht ermöglichen. Das Scannen kann wiederholtes Aussenden des Lichts unter unterschiedlichen Abstrahlwinkeln bezeichnen. Das Scannen kann das wiederholte Abtasten von unterschiedlichen Punkten in der Umgebung mittels des Lichts bezeichnen. Z.B. kann die Menge der unterschiedlichen Punkte in der Umgebung und/oder die Menge der unterschiedlichen Abstrahlwinkel einen Bildbereich festlegen.

[0019] In verschiedenen Beispielen kann das Scannen von Licht durch die zeitliche Überlagerung von zwei Bewegungen entsprechend unterschiedlicher Freiheitsgrade eines beweglichen Elements erfolgen. Dadurch kann in verschiedenen Beispielen eine Überlagerungsfigur abgefahren werden. Manchmal wird die Überlagerungsfigur auch als Lissajous-Figur bezeichnet. Die Überlagerungsfigur kann eine Abfolge, mit der unterschiedliche Abstrahlwinkel umgesetzt werden, beschreiben.

[0020] In verschiedenen Beispielen ist es möglich, Laserlicht zu scannen. Dabei kann zum Beispiel kohärentes oder inkohärentes Laserlicht verwendet werden. Es wäre möglich, polarisiertes oder unpolarisiertes Laserlicht zu verwenden. Beispielsweise wäre es möglich, dass das Laserlicht gepulst verwendet wird. Zum Beispiel können kurze Laserpulse mit Pulsbreiten im Bereich von Femtosekunden oder Pikosekunden oder Nanosekunden verwendet werden. Beispielsweise kann eine Pulsdauer im Bereich von 0,5 - 3 Nanosekunden liegen. Das Laserlicht kann eine Wellenlänge im Bereich von 700 - 1800 nm aufweisen. Aus Gründen der Einfachheit wird nachfolgend vornehmlich Bezug genommen auf Laserlicht; die verschiedenen hierin beschriebenen Beispiele können aber auch zum Scannen von Licht aus anderen Lichtquellen, zum Beispiel Breitbandlichtquellen oder RGB-Lichtquellen, angewendet werden. RGB-Lichtquellen bezeichnen hierin im Allgemeinen Lichtquellen im sichtbaren Spektrum, wobei der Farbraum durch Überlagerung mehrerer unterschiedlicher Farben - beispielsweise rot, grün, blau oder cyan, magenta, gelb, schwarz - abgedeckt wird.

[0021] In verschiedenen Beispielen wird zum Scannen des Laserlichts ein bewegliches Ende einer Faser verwendet. Beispielsweise können Lichtfasern verwendet werden, die auch als Glasfasern bezeichnet werden. Dabei ist es aber nicht erforderlich, dass die Fasern aus Glas hergestellt sind. Die Fasern können zum Beispiel aus Kunststoff, Glas oder einem anderen Material hergestellt sein. Beispielsweise können die Fasern aus Quarzglas hergestellt sein. Beispielsweise können die Fasern ein 70 GPa Elastizitäts-Modul aufweisen. Beispielsweise können die Fasern bis zu 4 % Materialdehnung ermöglichen. In manchen Beispielen weisen die Fasern einen Kern auf, in welchem das eingespeiste Laserlicht propagiert und durch Totalreflektion an den Rändern eingeschlossen ist (Lichtwellenleiter). Die Faser muss aber keinen Kern aufweisen. In verschiedenen Beispielen können sogenannte Einmoden-Lichtfasern (engl. single mode fibers) oder Mehrmoden-Lichtfasern (engl. multimode fibers) verwendet werden. Die verschiedenen hierin beschriebenen Fasern können zum Beispiel einen kreisförmigen Querschnitt aufweisen. Es wäre zum Beispiel möglich, dass die verschiedenen hierin beschriebenen Fasern einen Durchmesser aufweisen, der nicht kleiner als 50 μm ist, optional nicht <150 μm ist, weiter optional nicht <500 μm ist, weiter optional nicht <1 mm ist. Zum Beispiel können die verschiedenen hierin beschriebenen Fasern verbiegbare bzw. krümmbar ausgestaltet sein, d.h. flexibel. Dazu kann das Material der hierin beschriebenen Fasern eine gewisse Elastizität aufweisen.

[0022] Beispielsweise könnte das bewegliche Ende der Faser in einer oder zwei Dimensionen bewegt

werden. Beispielsweise wäre es möglich, dass das bewegliche Ende der Faser gegenüber einer Fixierstelle der Faser verkippt wird; dies resultiert in einer Krümmung der Faser. Dies kann einem ersten Freiheitsgrad der Bewegung entsprechen. Alternativ oder zusätzlich wäre es möglich, dass das bewegliche Ende der Faser entlang der Faserachse verdreht wird (Torsion). Dies kann einem zweiten Freiheitsgrad der Bewegung entsprechen. Durch das Bewegen des beweglichen Endes der Faser kann erreicht werden, dass Laserlicht unter verschiedenen Winkeln abgestrahlt wird. Dadurch kann ein Umfeld mit dem Laserlicht gescannt werden. Je nach Stärke der Bewegung des beweglichen Endes können unterschiedlich große Bildbereiche implementiert werden.

[0023] In den verschiedenen hierin beschriebenen Beispielen ist es jeweils möglich, eine Torsion des beweglichen Endes der Faser alternativ oder zusätzlich zu einer Krümmung des beweglichen Endes der Faser zu implementieren. In anderen Beispielen könnten auch andere Freiheitsgrade der Bewegung implementiert werden.

[0024] In verschiedenen hierin beschriebenen Beispielen wird die Faser als Halterung für eine Umlenkeinheit verwendet. Die Umlenkeinheit kann dabei am beweglichen Ende der Faser starr bzw. ortsfest angebracht sein. Dabei kann das Laserlicht jedoch auf einem anderem optischen Pfad zur Umlenkeinheit gelangen, als durch die Faser. Die Faser dient - in anderen Worten - nicht notwendigerweise als Lichtwellenleiter für das Laserlicht auf dem Weg zur Umlenkeinheit. Wenn das Laserlicht nicht durch die Faser zur Umlenkeinheit gelangt, kann ein kompliziertes und aufwendiges Einkoppeln des Laserlichts in die Faser vermieden werden. Außerdem kann Laserlicht verwendet werden, was zum Beispiel nicht nur die örtliche TEM₀₀ Mode, sondern alternativ oder zusätzlich andere Moden aufweist. Dies kann die Verwendung eines besonders kleinen Lasers, beispielsweise einer Laserdiode ermöglichen.

[0025] Beispielsweise kann die Umlenkeinheit als Prisma oder Spiegel implementiert sein. Beispielsweise könnte der Spiegel durch einen Wafer, etwa einen Silizium-Wafer, oder ein Glassubstrat implementiert sein. Beispielsweise könnte der Spiegel eine Dicke im Bereich von 0,05 μm - 0,1 mm aufweisen. Beispielsweise könnte der Spiegel eine Dicke von 25 μm oder 50 μm aufweisen. Beispielsweise könnte der Spiegel eine Dicke im Bereich von 25 μm bis 75 μm aufweisen. Beispielsweise könnte der Spiegel quadratisch, rechteckförmig oder kreisförmig ausgebildet sein. Beispielsweise könnte der Spiegel einen Durchmesser von 3 mm bis 6 mm aufweisen.

[0026] Im Allgemeinen können solche Techniken zum Scannen von Licht in unterschiedlichsten Anwendungsgebieten eingesetzt werden. Beispiele

umfassen Endoskope und RGB-Projektoren und Drucker. In verschiedenen Beispielen können LIDAR-Techniken angewendet werden. Die LIDAR-Techniken können dazu genutzt werden, um eine orts aufgelöste Abstandsmessung von Objekten im Umfeld durchzuführen. Zum Beispiel kann die LIDAR-Technik Laufzeitmessungen des Laserlichts zwischen dem beweglichen Ende der Faser, dem Objekt und einem Detektor umfassen.

[0027] Obwohl verschiedene Beispiele in Bezug auf LIDAR-Techniken beschrieben werden, ist die vorliegende Anmeldung nicht auf LIDAR-Techniken beschränkt. Zum Beispiel können die hierin beschriebenen Aspekte in Bezug auf das Scannen des Laserlichts mittels des beweglichen Endes der Faser auch für andere Anwendungen eingesetzt werden. Beispiele umfassen zum Beispiel das Projizieren von Bilddaten in einem Projektor - dabei könnte z.B. eine RGB-Lichtquelle verwendet werden.

[0028] Verschiedenen Beispielen liegt die Erkenntnis zugrunde, dass es erstrebenswert sein kann, das Scannen des Laserlichts mit einer hohen Genauigkeit bezüglich des Abstrahlwinkels durchzuführen. Zum Beispiel kann im Zusammenhang mit LIDAR-Techniken eine Ortsauflösung der Abstandsmessung durch eine Ungenauigkeit des Abstrahlwinkels begrenzt sein. Typischerweise wird eine höhere (niedrigere) Ortsauflösung erreicht, je genauer (weniger genau) der Abstrahlwinkel des Laserlichts bestimmt werden kann.

[0029] Nachfolgend werden Techniken beschrieben, um bei Faser-basierten Scannern eine besonders effiziente Abtastung des Umfelds zu erreichen. In verschiedenen Beispielen werden Techniken beschrieben, um eine Überlagerungsfigur einer in zwei Freiheitsgraden angeregten Faser einzustellen. Beispielsweise kann die Überlagerungsfigur so gewählt werden, dass ein Bildbereich für den zweidimensionalen LIDAR-Bilder bereitgestellt werden, gleichmäßig mit Bildpunkten abgetastet werden kann.

[0030] In verschiedenen Beispielen wird dabei die Amplitude einer ersten Bewegung, die einem ersten der beiden Freiheitsgrade entspricht verändert (engl. ramped); die Veränderung erfolgt über einen Zeitraum, der dem Abtasten des Bildbereichs entspricht. Zum Beispiel wäre es möglich, dass die Amplitude monoton vergrößert oder monoton verkleinert wird. Beispielsweise kann die Veränderung kontinuierlich oder stufenweise erfolgen. Durch die Veränderung der Amplitude kann die Überlagerungsfigur besonders flexibel eingestellt werden. Für aufeinanderfolgende LIDAR-Bildung kann die Veränderung der Amplitude der ersten Bewegung wiederholt durchgeführt werden.

[0031] Optional kann auch die Amplitude der zweiten Bewegung, die dem zweiten der beiden Freiheitsgrade entspricht, verändert werden. Die Amplitude der zweiten Bewegung kann aber auch konstant bleiben oder aber im Vergleich zur Änderung der ersten Amplitude vergleichsweise wenig geändert werden, beispielsweise weniger als 20 %, optional weniger als 5 %, weiter optional weniger als 1 %.

[0032] In weiteren Beispielen kann es möglich sein, dass die Frequenzen der ersten und zweiten Bewegung aufeinander abzustimmen. Dadurch können Knoten in der entsprechend Überlagerungsfigur vermieden werden. Dadurch kann vermieden werden, dass bestimmte Bildbereiche mehrfach abgetastet werden.

[0033] **Fig. 1A** illustriert Aspekte in Bezug auf eine gescannte Abstandsmessung von Objekten 195, 196. Insbesondere illustriert **Fig. 1A** Aspekte in Bezug auf eine Abstandsmessung auf Grundlage der LIDAR-Technik.

[0034] In **Fig. 1A** ist eine Vorrichtung 100 dargestellt, die einen Emitter 101 für Laserlicht 191, 192 umfasst. Der Emitter 101 könnte z.B. eine Laserlichtquelle sein und / oder ein Ende einer Lichtfaser, die Laserlicht aussendet. Das Laserlicht wird beispielsweise gepulst ausgesendet (Primärstrahlung). Beispielsweise könnte das primäre Laserlicht 191, 192 polarisiert sein. Es wäre auch möglich, dass das primäre Laserlicht 191, 192 nicht polarisiert ist. Die Laufzeit eines Laserlicht-Pulses zwischen dem Emitter 101, einem Objekt 195, 196 und einem Detektor 102 kann dazu verwendet werden, um einen Abstand zwischen der Vorrichtung 100 und den Objekten 195, 196 zu bestimmen. Dazu wird von den Objekten 195, 196 reflektierte Sekundärstrahlung 191B, 192B gemessen. Als Detektor 102 kann zum Beispiel eine Fotodiode eingesetzt werden, die mit einem Wellenlängen-Filter gekoppelt ist, der selektiv Licht mit den Wellenlängen des Laserlichts 191, 192 passieren lässt. Dadurch kann das von den Objekten 195, 196 reflektierte sekundäre Laserlicht 191 B, 192B detektiert werden.

[0035] Grundsätzlich ist es möglich, dass der Emitter 101 und der Detektor 102 als separate Bauteile implementiert sind; es wäre aber auch möglich, dass das sekundäre Laserlicht 191B, 192B über dieselbe Optik detektiert wird, die auch den Emitter 101 implementiert wird.

[0036] Der Detektor 102 kann z.B. eine Avalanche-Photodiode umfassen. Beispielsweise kann der Detektor 102 eine Single Photon Avalanche Diode (SPAD) umfassen. Beispielsweise kann der Detektor ein SPAD-Array umfassend nicht weniger als 500, optional nicht weniger als 1000, weiter optional nicht weniger als 10000 SPADs umfassen. Der

Detektor 102 kann z.B. mittels Photon-Korrelation betrieben werden. Der Detektor 102 kann z.B. eingerichtet sein, um einzelne Photonen zu detektieren.

[0037] Ein LIDAR-System 103 ist vorgesehen, dass mit dem Emitter 101 und dem Detektor 102 gekoppelt ist. Zum Beispiel kann das LIDAR-System eingerichtet sein, um eine Zeitsynchronisation zwischen dem Emitter 101 und dem Detektor 102 zu erzielen. Das LIDAR-System 103 kann eingerichtet sein, um die Abstandsmessung der Objekte 195, 196 basierend auf Messsignalen, die von dem Detektor 102 erhalten werden, durchzuführen.

[0038] Um zwischen den Objekten 195, 196 unterscheiden zu können - das heißt, um eine Ortsauflösung bereitstellen zu können - ist der Emitter 101 eingerichtet, um das Laserlicht 191, 192 unter verschiedenen Winkeln 110 abzustrahlen (Abstrahlwinkel). Je nach eingestelltem Winkel 110 wird dadurch das Laserlicht 191, 192 entweder von vom Objekt 196 oder von dem Objekt 195 reflektiert. Indem das LIDAR-System 103 Information über den jeweiligen Winkel 110 erhält, kann die Ortsauflösung bereitgestellt werden. In **Fig. 1** ist der Bildbereich, innerhalb dessen die Winkel 110 variiert werden können, mit einer gepunkteten Linie illustriert. Unterschiedliche Abstrahlwinkel können dabei unterschiedlichen Bildpunkten eines LIDAR-Bilds entsprechen.

[0039] **Fig. 1B** illustriert Aspekte in Bezug auf die Vorrichtung 100. **Fig. 1B** illustriert die Vorrichtung 100 in größerem Detail als die **Fig. 1A**.

[0040] In dem Beispiel der **Fig. 1B** ist der Emitter 101 durch eine Laserlichtquelle 599 und eine Scanvorrichtung 500 implementiert. Z.B. könnte die Laserlichtquelle 599 ein Faserlaser oder eine Lasardiode sein. Die Laserlichtquelle 599 könnte z.B. mehrere räumliche Moden anregen. Die Laserlichtquelle 599 könnte beispielsweise eine Frequenzbreite von 5 - 15 nm aufweisen.

[0041] Die Vorrichtung 100 umfasst auch einen Aktuator 900, der eingerichtet ist, um die Scanvorrichtung 500 zu betätigen. Die Scanvorrichtung 500 ist eingerichtet, um das Laserlicht 191, 192, welches von der Laserlichtquelle 599 ausgesendet wird, abzulenken, so dass dieses unter verschiedenen Winkeln 110 abgestrahlt wird. Die Scanvorrichtung 500 kann ein ein- oder zweidimensionales Scannen der Umgebung ermöglichen.

[0042] Der Aktuator 900 ist typischerweise elektrisch betreibbar. Der Aktuator 900 könnte magnetische Komponenten und/oder piezoelektrische Komponenten umfassen. Beispielsweise könnte der Aktuator eine Rotationsmagnetfeldquelle umfassen,

die eingerichtet ist, um ein als Funktion der Zeit rotierendes magnetisches Feld zu erzeugen.

[0043] Zur Ansteuerung des Aktuators 900 ist eine Steuerung 950 - beispielsweise eine elektrische Schaltung, ein Mikrokontroller, ein FPGA, ein ASIC, und/oder ein Prozessor, etc. - vorgesehen, die eingerichtet ist, um Steuersignale an den Aktuator 900 zu senden. Die Steuerung 950 ist insbesondere eingerichtet, um den Aktuator 900 derart anzusteuern, so dass dieser Scanvorrichtung zum Abscannen der eines bestimmten Winkelbereichs 110 betätigt.

[0044] Außerdem ist in **Fig. 1B** eine Positioniervorrichtung 560 vorgesehen. Die Positioniervorrichtung 560 ist optional. Die Positioniervorrichtung 560 ist eingerichtet, um ein Signal auszugeben, das indikativ für den Abstrahlwinkel ist, mit welchem das Laserlicht 191, 192 abgestrahlt wird. Dazu wäre es zum Beispiel möglich, dass die Positioniervorrichtung 560 eine Zustandsmessung des Aktuators 900 und/oder der Scanvorrichtung 500 vornimmt. Die Positioniervorrichtung 560 könnte beispielsweise auch direkt das primäre Laserlicht 191, 192 messen. Die Positioniervorrichtung 560 kann im Allgemeinen den Abstrahlwinkel optisch messen, z.B. Basierend auf dem primären Laserlicht 191, 192 und/oder Licht einer Leuchtdiode. Die Positioniervorrichtung 560 könnte in einer einfachen Implementierung auch Steuersignale von der Steuerung 950 empfangen und basierend auf den Steuersignalen das Signal bestimmen. Es sind auch Kombinationen der oben genannten Techniken möglich.

[0045] Das LIDAR-System 103 kann zur gescannten Abstandsmessung der Objekte das Signal, welches von der Positioniervorrichtung 560 bereitgestellt wird, verwenden. Das LIDAR-System 103 ist auch mit dem Detektor 102 gekoppelt. Basierend auf dem Signal der Positioniervorrichtung 560 und basierend auf dem von dem Detektor 102 detektierten sekundären Laserlicht 191 B, 192B kann das LIDAR-System 103 dann die Abstandsmessung der Objekte 195, 196 im Umfeld der Vorrichtung 100 vornehmen. Das LIDAR-System 103 kann beispielsweise basierend auf dem Signal der Positioniervorrichtung 560 die Ortsauflösung der Abstandsmessung implementieren. Das LIDAR-System 103 kann beispielsweise mehrere LIDAR-Bilder ausgeben. Die LIDAR-Bilder können zum Beispiel mit einer bestimmten Bildwiederholrate ausgegeben werden. Beispielsweise kann jedes LIDAR-Bild eine bestimmte Anzahl an Bildpunkten umfassen. Beispielsweise kann jedes LIDAR-Bild einen bestimmten Bildbereich im Umfeld der Vorrichtung 100 abbilden.

[0046] In einem Beispiel wäre es auch möglich, dass die Positioniervorrichtung 560 mit der Steuerung 950 des Aktuators 900 verbunden ist (in **Fig. 1B** nicht dar-

gestellt). Dann könnte eine Regelschleife implementiert werden, wobei die Scanvorrichtung 500 basierend auf dem Signal der Positioniervorrichtung 560 geregelt wird. Die Regelschleife könnte analog und/oder digital implementiert werden. Dies bedeutet, dass die Steuerung 950 den Aktuator 900 basierend auf dem Signal der Positioniervorrichtung 560 ansteuern kann. Dann kann ein reproduzierbares Scannen des Umfelds ermöglicht werden. Z.B. können Messpunkte der LIDAR-Messung an wiederholt an denselben Abstrahlwinkeln erfasst werden. Dies kann eine besonders einfache Auswertung ermöglichen.

[0047] **Fig. 2** illustriert Aspekte in Bezug auf die Vorrichtung 100. Insbesondere illustriert **Fig. 3** Aspekte in Bezug auf die Scanvorrichtung 500. In dem Beispiel der **Fig. 2** umfasst die Vorrichtung 100 eine Faser 201. Die Faser 201 implementiert die Scanvorrichtung 500. Dies bedeutet, dass die Faser 201 eingerichtet sein kann, um Laserlicht abzulenken.

[0048] Die Faser 201 erstreckt sich entlang einer Zentralachse 202. Die Faser 202 umfasst ein bewegliches Ende 205 mit einer Endfläche 209.

[0049] Die Vorrichtung 100 umfasst auch eine Fixierung 250. Beispielsweise könnte die Fixierung 250 aus Kunststoff oder Metall gefertigt sein. Die Fixierung 250 könnte zum Beispiel Teil eines Gehäuses sein, welches das bewegliche Ende 250 der Faser 201 aufnimmt. Das Gehäuse könnte z.B. ein DPAK oder DPAK2 Gehäuse sein.

[0050] Die Fixierung 250 fixiert die Faser 201 an einer Fixierstelle 206. Zum Beispiel könnte die Fixierung 250 die Faser 201 an der Fixierstelle 206 durch eine Klemmverbindung und/oder eine Lötverbindung und/oder eine Klebeverbindung implementiert sein. Im Bereich der Fixierstelle 206 ist die Faser 201 deshalb ortsfest bzw. starr mit der Fixierung 250 gekoppelt.

[0051] In **Fig. 2** ist weiterhin eine Länge 203 der Faser 201 zwischen der Fixierstelle 206 und dem beweglichen Ende 205 dargestellt. Aus **Fig. 2** ist ersichtlich, dass das bewegliche Ende 205 gegenüber der Fixierstelle 206 beabstandet ist. Zum Beispiel könnte in verschiedenen Beispielen die Länge 203 im Bereich von 0,5 cm - 10 cm liegen, optional im Bereich von 1 cm - 5 cm, weiter optional im Bereich von 1,5 - 2,5 cm.

[0052] Das bewegliche Ende 205 steht also frei im Raum. Durch diesen Abstand des beweglichen Endes 205 gegenüber der Fixierstelle 206 kann erreicht werden, dass die Position des beweglichen Endes 205 der Faser 201 gegenüber der Fixierstelle 206 verändert werden kann. Dabei ist es beispielsweise möglich, die Faser 201 im Bereich zwischen

der Fixierstelle 206 und dem beweglichen Ende 205 zu krümmen und/oder zu verdrehen. In **Fig. 2** ist ein Ruhezustand der Faser 201 ohne Bewegung bzw. Auslenkung dargestellt.

[0053] **Fig. 3A** illustriert Aspekte in Bezug auf die Vorrichtung 100. Insbesondere illustriert **Fig. 3A** Aspekte in Bezug auf die Scanvorrichtung 500. In dem Beispiel der **Fig. 3A** umfasst die Vorrichtung 100 eine Faser 201. Die Faser 201 implementiert die Scanvorrichtung 500. Das Beispiel der **Fig. 3A** entspricht dem Beispiel der **Fig. 2**. **Fig. 3A** zeigt einen dynamischen Zustand der Scanvorrichtung 500.

[0054] In dem Beispiel der **Fig. 3A** ist das Ende 205 der Faser 201 in einer Position 301 und einer Position 302 (gestrichelte Linie in **Fig. 3A**) dargestellt. Diese Positionen 301, 302 implementieren Extrempositionen der Faser 201: Z.B. könnte ein Anschlag vorgesehen sein, welcher eine weitere Bewegung des Endes 205 über die Positionen 301, 302 hinaus verhindert (in **Fig. 3A** nicht dargestellt). Die Faser 201 kann sich zwischen den Positionen 301, 302 hin- und herbewegen, z.B. periodisch. In dem Beispiel der **Fig. 3A** entspricht die Position 301 einer Krümmung 311. Die Position 302 entspricht einer Krümmung 321. Die Krümmungen 311, 321 weisen entgegengesetzte Vorzeichen auf. Zum Bewegen der Faser 201 zwischen den Positionen 301, 302 kann der Aktuator 900 vorgesehen sein (der Aktuator 900 ist in **Fig. 3A** nicht dargestellt). Die Bewegung der Faser zwischen den Positionen 301, 302 entspricht einer Transversalmode der Faser 201.

[0055] Während in **Fig. 3A** eine eindimensionale Bewegung (in der Zeichenebene der **Fig. 3A**) dargestellt ist, wäre auch eine zweidimensionale Bewegung (mit einer Komponente senkrecht zur Zeichenebene der **Fig. 3A**) möglich. Beispielsweise kann eine Überlagerungsfigur implementiert werden, indem die orthogonalen Freiheitsgrade der Bewegung entsprechend senkrecht zueinander orientierter Transversalmoden angeregt werden.

[0056] Durch das Bereitstellen der Krümmungen 311, 321 in den Positionen 301, 302 wird erreicht, dass das Laserlicht 191, 192 über den Krümmungswinkelbereich 110-1 abgestrahlt wird. Dadurch ist es möglich, den Umfeldbereich der Vorrichtung 100 mittels des Laserlichts 191, 192 abzuscanen. Das Laserlicht 191, 192 muss dabei nicht durch die Faser 201 laufen: das primäre Laserlicht 191, 192 (in **Fig. 3A** nicht dargestellt) kann auch auf einem anderen optischen Pfad zum beweglichen Ende 205 gelangen.

[0057] In dem Beispiel der **Fig. 3A** ist auch ein beispielhafter Krümmungsradius 312 für die Krümmung 311 illustriert. Außerdem ist ein beispielhafter Krüm-

mungsradius 322 für die Krümmung 321 illustriert. Die Krümmungsradien 312, 322 sind jeweils ca. 1,5-fach so groß wie die Länge 203 der Faser 201 zwischen der Fixierstelle 206 und dem beweglichen Ende 205. In anderen Beispielen könnten auch schwächere Krümmungen 311, 321 oder stärkere Krümmungen 311, 321 implementiert werden. Dabei entsprechen schwächere Krümmungen 311, 321 größeren Krümmungsradien 312, 322, insbesondere in Bezug auf die Länge 203.

[0058] **Fig. 3B** illustriert Aspekte in Bezug auf die Vorrichtung 100. Insbesondere illustriert **Fig. 3B** Aspekte in Bezug auf die Scanvorrichtung 500. In dem Beispiel der **Fig. 3B** umfasst die Vorrichtung 100 eine Faser 201. Die Faser 201 implementiert die Scanvorrichtung 500. Das Beispiel der **Fig. 3B** entspricht dem Beispiel der **Fig. 2**. **Fig. 3B** zeigt einen dynamischen Zustand der Scanvorrichtung 500.

[0059] In dem Beispiel der **Fig. 3B** wird das Ende 205 der Faser 201 derart bewegt, dass sich die Faser 201 im Bereich zwischen der Fixierstelle 206 und dem beweglichen Ende 205 zwischen einer ersten Torsion 371 und einer zweiten Torsion 372 bewegt. Dies entspricht einer Verdrehung der Faser 201 entlang der Zentralachse 202. Die Faser wird gemäß einer Torsionsmode angeregt.

[0060] Durch das Bereitstellen der Torsionen 371, 372 wird erreicht, dass das Laserlicht 191, 192 (in **Fig. 3B** nicht dargestellt) über einem entsprechenden Torsions-Winkelbereich 110-2 abgestrahlt werden kann, z.B. im Zusammenhang mit einer Umlenkeinheit (in **Fig. 3B** nicht dargestellt). Dadurch ist es möglich, den Umfeldbereich der Vorrichtung 100 mittels des Laserlichts 191, 192 abzuscanen (in **Fig. 3B** nicht dargestellt). Das Laserlicht 191, 192 muss dabei nicht durch die Faser 201 laufen: das primäre Laserlicht 191, 192 (in **Fig. 3A** nicht dargestellt) kann auch auf einem anderen optischen Pfad zum beweglichen Ende 205 gelangen.

[0061] Es kann wiederum ein entsprechender Aktuator vorgesehen sein, der eingerichtet ist, um die verschiedenen Torsionen 371, 372 zu implementieren. Zum Beispiel können die in **Fig. 3B** dargestellten Torsionen 371, 372 Extrempositionen des beweglichen Endes 205 entsprechen. Es wäre zum Beispiel möglich, dass ein entsprechender Anschlag vorgesehen ist, der eine weitere Verdrehung des beweglichen Endes 205 über die Torsionen 371, 372 hinaus verhindert (in **Fig. 3B** nicht dargestellt). Alternativ oder zusätzlich wäre es auch möglich, dass der Aktuator eingerichtet ist, um eine weitere Verdrehung des beweglichen Endes 205 über die Torsionen 371, 372 hinaus zu vermeiden. In **Fig. 3B** ist weiterhin der Winkelbereich 110-2 dargestellt, der zum Beispiel im Zusammenwirken mit einer Umlenk-

einheit (in **Fig. 3B** nicht dargestellt) mittels der Torsion 371, 372 des beweglichen Endes 205 der Faser 201 implementiert werden kann.

[0062] **Fig. 4A** illustriert Aspekte in Bezug auf die Vorrichtung 100. Insbesondere illustriert **Fig. 4A** Aspekte in Bezug auf die Scanvorrichtung 500. In dem Beispiel der **Fig. 4A** umfasst die Vorrichtung 100 eine Faser 201. Die Faser 201 implementiert die Scanvorrichtung 500.

[0063] Das Beispiel der **Fig. 4A** illustriert insbesondere den Strahlengang des primären Laserlichts 191, 192. In dem Beispiel der **Fig. 4A** ist eine Umlenkeinheit 452 mit dem beweglichen Ende 205 der Faser 201 verbunden. Eine Bewegung der Faser 201 bewirkt dadurch eine Bewegung der Umlenkeinheit 452. Z.B. kann die Umlenkeinheit 452 durch eine Krümmung 311, 321 der Faser 201 verkippt werden und/oder durch eine Torsion 371, 372 der Faser 201 gedreht werden. Die Umlenkeinheit 452 kann beispielsweise durch ein Prisma und/oder einen Spiegel implementiert werden.

[0064] Die laterale Abmessung der Umlenkeinheit 452 (links-rechts in **Fig. 4A**; d.h. senkrecht zur Zentralachse 202 der Faser 201) ist signifikant größer als die Breite der Faser 201 senkrecht zur Zentralachse 202, z.B. mehr als 1,5-fach so groß, oder mehr als 2-fach so groß, oder mehr als 4-fach so groß. Beispielsweise könnte die Umlenkeinheit 452 einen Durchmesser von mehr als 4 mm aufweisen, optional ca. 5 mm.

[0065] In den verschiedenen hierin beschriebenen Beispielen wäre es möglich, dass ein Strahldurchmesser des primären Laserlichts 191, 192 im Bereich der Umlenkeinheit 451 ca. 1,5-fach so groß ist wie ein Durchmesser der Umlenkeinheit 451, optional mehr als 2,5-fach so groß, weiter optional mehr als 5-fach so groß. Dies bedeutet, dass das primäre Laserlicht 191, 192 im Wesentlichen die ganze Umlenkeinheit 451 beleuchten kann und nicht nur einen kleinen Punkt auf der Umlenkeinheit 451. Beispielsweise könnte ein Strahldurchmesser des primären Laserlichts 191, 192 im Bereich der Umlenkeinheit 451 im Bereich von 1 - 5 mm liegen und z.B. ca. 3 mm betragen.

[0066] In dem Beispiel der **Fig. 4A** wird primäres Laserlicht 191, 192 auf die Umlenkeinheit 452 gestrahlt. Das Laserlicht 191, 192 läuft dabei nicht durch die Faser 201. Dadurch wird eine komplizierte und Verlust-behaftete Einkopplung des Laserlichts 191, 192 in einen Lichtwellenleiter der Faser 201 (sofern überhaupt vorhanden; in **Fig. 4A** nicht dargestellt) vermieden. Ein besonders einfacher und kostengünstiger Aufbau ist möglich.

[0067] Die Umlenkeinheit lenkt das primäre Laserlicht 191, 192 um einen Umlenkwinkel 452A um. Z.B. könnte der Umlenkwinkel 452A in etwa 90° betragen, oder im Bereich zwischen 45 - 135°, optional im Bereich zwischen 25° - 155°, weiter optional im Bereich 5° - 175°.

[0068] In dem Beispiel der **Fig. 4B** ist die Umlenkeinheit 452 nur über die Faser 201 mit der Fixierung 250 verbunden - d.h. es wird eine 1-Punkt Kopplung der Umlenkeinheit 452 mit der Fixierung 250 implementiert. In anderen Beispielen könnte die Umlenkeinheit 452 z.B. durch weitere Fasern (in **Fig. 4B** nicht dargestellt) oder durch eine Führung etc. mit der Fixierung 250 verbunden sein. Durch die Verbindung der Umlenkeinheit 452 nur über die Faser 201 kann eine besonders hohe Beweglichkeit der Umlenkeinheit 452 ermöglicht werden. Dies kann große Winkelbereiche 110, 110-1, 110-2 ermöglichen.

[0069] **Fig. 4B** illustriert Aspekte in Bezug auf die Vorrichtung 100. Insbesondere illustriert **Fig. 4A** Aspekte in Bezug auf die Scanvorrichtung 500. In dem Beispiel der **Fig. 4B** umfasst die Vorrichtung 100 eine Faser 201. Die Faser 201 implementiert die Scanvorrichtung 500. Das Beispiel der **Fig. 4B** illustriert insbesondere den Strahlengang des sekundären Laserlichts 191B, 192B.

[0070] In dem Beispiel der **Fig. 4B** wird das sekundäre Laserlicht 191B, 192B um einen Umlenkwinkel 452B umgelenkt, der dem Umlenkwinkel 452A entspricht. Dadurch kann erreicht werden, dass das sekundäre Laserlicht 191B, 192B denselben optischen Pfad nimmt, wie das primäre Laserlicht 191, 192.

[0071] **Fig. 4C** illustriert Aspekte in Bezug auf die Vorrichtung 100. Insbesondere illustriert **Fig. 4C** Aspekte in Bezug auf die Scanvorrichtung 500. In dem Beispiel der **Fig. 4C** umfasst die Vorrichtung 100 eine Faser 201. Die Faser 201 implementiert die Scanvorrichtung 500. Das Beispiel der **Fig. 4C** illustriert insbesondere den Strahlengang des sekundären Laserlichts 191B, 192B.

[0072] In dem Beispiel der **Fig. 4C** implementiert die Umlenkeinheit 452 auch ein optisches Element, das sekundäres Laserlicht 191B, 192B in einen Lichtwellenleiter der Faser 201 einspeist. Beispielsweise kann die Umlenkeinheit 452 einen Zirkulator implementieren. Dies bedeutet, dass das sekundäre Laserlicht 191B, 192B unter einem anderen Umlenkwinkel 452C umgelenkt wird, als das primäre Laserlicht 191, 192. Insbesondere ist der Zirkulator eingerichtet, um das sekundäre Laserlicht 191B, 192B in einen Lichtwellenleiter der Faser 201 einzukoppeln. Dazu kann das primäre Laserlicht 191, 192 und das sekundäre Laserlicht 191B, 192B polarisiert sein.

Dies ermöglicht eine einfache Detektion des primären Laserlichts 191, 192.

[0073] Fig. 4D illustriert Aspekte in Bezug auf die Vorrichtung 100. Insbesondere illustriert Fig. 4A Aspekte in Bezug auf die Scanvorrichtung 500. In dem Beispiel der Fig. 4D umfasst die Vorrichtung 100 eine Faser 201. Die Faser 201 implementiert die Scanvorrichtung 500. Das Beispiel der Fig. 4D illustriert insbesondere den Strahlengang des sekundären Laserlichts 191B, 192B, sowie des primären Laserlichts 191, 192.

[0074] In dem Beispiel der Fig. 4D wird auch das primäre Laserlicht 191, 192 durch einen Lichtwellenleiter der Faser 201 geführt. Dadurch kann ein besonders genaues Scannen möglich sein. Außerdem kann die Umlenkeinheit 452 vergleichsweise klein dimensioniert werden.

[0075] Fig. 5 illustriert Aspekte in Bezug auf das Scannen eines Umfelds der Vorrichtung 100 durch Bewegen der Faser 201. Insbesondere illustriert Fig. 5 eine Überlagerungsfigur 700, die erhalten wird, wenn eine erste Bewegung der Faser (vertikale Achse in Fig. 5) mit einer während einer Zeitdauer variablen Amplitude mit einer zweiten Bewegung der Faser (horizontale Achse in Fig. 5) überlagert wird. Das Überlagern der Bewegungen bedeutet, dass die Bewegungen zumindest teilweise zeitparallel während der Zeitdauer ausgeführt werden bzw. durch den Aktuator 900 angeregt werden.

[0076] In dem Beispiel der Fig. 5 wird eine Torsion 371, 372 der Faser 201 - die den Winkelbereich 110-2 definiert (horizontale Achse in Fig. 5) - überlagert mit einer Krümmung 311, 321 der Faser 201 (vertikale Achse in Fig. 5). Dies bedeutet, dass einer der beiden überlagerten Freiheitsgrade der Bewegung einer Transversalmode der Faser 201 - beispielsweise erster oder zweiter Ordnung - entspricht; sowie der andere der beiden überlagerten Freiheitsgrade der Bewegung einer Torsionsmode der Faser - beispielsweise erster Ordnung - entspricht. Die horizontalen Pfeile in Fig. 5 illustrieren die Richtung des Abscannens der Überlagerungsfigur 700. Durch die Überlagerung der Transversalmode mit der Torsionsmode lässt sich ein besonders großer Umfeldbereich absキャンen.

[0077] Dabei wird die Amplitude der Krümmung 311, 321 über der Zeitdauer, die durch die Überlagerungsfigur 700 abgebildet ist, graduell erhöht. Dadurch weitet sich das „Auge“ der Überlagerungsfigur 700 hin zu größeren Winkeln 110-2 (durch die vertikalen gestrichelten Pfeile in Fig. 5 illustriert). Die maximale Amplitude der Krümmung 311, 321 entspricht dabei dem Winkelbereich 110-1.

[0078] Gleichzeitig wird in dem Beispiel der Fig. 5 die Amplitude der Torsion 371, 372 der Faser (horizontale Achse in Fig. 5) nicht verändert und ist deshalb konstant. Deshalb weist die Überlagerungsfigur 700 eine feste links-rechts Ausdehnung in Fig. 5 auf, die dem Winkelbereich 110-2 entspricht.

[0079] In anderen Beispielen wäre es möglich, sowohl die Amplitude der Torsion 371, 372, als auch die Amplitude der Krümmung 311, 321 der Faser zu verändern. In noch weiteren Beispielen wäre es möglich, lediglich die Amplitude der Torsion 371, 372 der Faser zu verändern.

[0080] Die verschiedenen Zweige der Überlagerungsfigur 700 entsprechen Bildzeilen eines LIDAR-Bilds, das durch einen Bildbereich 750 definiert ist. Manchmal wird der Bildbereich 750 auch als Scanbereich bezeichnet. Durch wiederholtes Auslesen des Detektors können entlang der Zweige der Überlagerungsfigur 700 Bildpunkte 751 erhalten werden. Für aufeinanderfolgende LIDAR-Bilder wird die Überlagerungsfigur 700 wiederholt umgesetzt. Die Zeitdauer, die benötigt wird, um die Überlagerungsfigur 700 umzusetzen, entspricht deshalb der Bildwiederholrate.

[0081] In dem Beispiel der Fig. 5 weist die Überlagerungsfigur 700 keinen Knoten innerhalb des Bildbereichs 750 auf. Dies hat den Vorteil, dass es keine Bereiche des Bildbereichs 750 gibt, die mehrfach abgetastet werden. Dadurch kann eine Bildwiederholrate des LIDAR-Systems 103 besonders groß gewählt werden.

[0082] Im Beispiel der Fig. 5 wird die Überlagerungsfigur 700 durch die Überlagerung der Torsion 371, 372 mit der Krümmung 311, 321 erhalten. Im Allgemeinen könnten Bewegungen unterschiedlicher Freiheitsgrade der Faser 201 miteinander überlagert werden. Beispielsweise könnte ein erster Freiheitsgrad einer ersten Transversalmode der Faser 201 entsprechen und ein zweiter Freiheitsgrad könnte einer zweiten Transversalmode der Faser 201 entsprechen. Dabei könnten beispielsweise die erste und zweite Transversalmode unterschiedliche Polarisierungen zueinander aufweisen, d.h. in unterschiedliche Raumrichtung orientiert (beispielsweise in der Zeichenebene und senkrecht zur Zeichenebene der Fig. 3A). Es wäre auch möglich, dass die erste und zweite Transversalmode unterschiedliche Ordnungen aufweisen, d.h. eine unterschiedliche Anzahl von Knoten und Bäuchen. In noch weiteren Beispielen könnte die erste Bewegung und die zweite Bewegung Torsionsmoden unterschiedlicher Ordnung entsprechen.

[0083] Fig. 6 illustriert Aspekte in Bezug auf die Amplituden 801, 802 der Bewegungen 311, 321, 371, 372 der Faser 201 gemäß dem Beispiel der

Fig. 5. Insbesondere illustriert **Fig. 6** einen Zeitverlauf der Amplituden 801, 802. In **Fig. 6** ist die Zeitdauer 860 dargestellt, die zum Abtasten der Überlagerungsfigur 700 gemäß dem Beispiel der **Fig. 5** benötigt wird. Die Zeitdauer 860 kann beispielsweise der Bildwiederholrate des LIDAR-Systems 103 entsprechen.

[0084] Aus **Fig. 6** ist ersichtlich, dass die Amplitude 802 der Torsion 371, 372 während der Zeitdauer 860 konstant bleibt. Aus **Fig. 6** ist ferner ersichtlich, dass die Amplitude 801 der Krümmung 311, 321 während der Zeitdauer 860 variabel ist. In dem Beispiel der **Fig. 6** weist die Krümmung 311, 321 während der Zeitdauer 860 eine monoton zunehmende Amplitude 801 auf. In dem Beispiel der **Fig. 6** nimmt die Amplitude 801 stufenförmig zu. Die Amplitude 801 könnte z.B. auch monoton abnehmen.

[0085] **Fig. 6** illustriert auch Aspekte in Bezug auf die instantane Auslenkung 852 der Torsion 371, 372, sowie der Krümmung 311, 322 (gepunktete Linie in **Fig. 6**). Aus **Fig. 6** ist ersichtlich, dass der Aktuator 900 eingerichtet ist, um die Faser 201 während der Zeitdauer 860 für die Torsion 371, 372, sowie für die Krümmung 311, 321 mit derselben Frequenz anzuregen, so dass sowohl die Torsion 371, 372, als auch die Krümmung 311, 321 dieselbe instantane Auslenkung 852 als Funktion der Zeit aufweisen. Wenn die unterschiedlichen Freiheitsgrade der Bewegung, welche die Überlagerungsfigur 700 ausbilden, mit derselben Frequenz angeregt werden, so kann erreicht werden, dass die Überlagerungsfigur 700 keine Knoten innerhalb des Bildbereich 750 aufweist. Dadurch kann eine hohe Bildwiederholrate für das Bereitstellen der LIDAR-Bilder erreicht werden.

[0086] Aus einem Vergleich der **Fig. 5** und **Fig. 6** ist ersichtlich, dass die Stufen der Stufenfunktion, gemäß welcher die Amplitude 801 der Krümmung 311, 321 als Funktion der Zeit verändert wird, jeweils an Umkehrpunkten der Überlagerungsfigur 700 angeordnet sind (In **Fig. 5** die äußerten Punkte der Überlagerungsfigur 700, links und rechts dargestellt). Dadurch kann eine besonders gleichmäßige Überlagerungsfigur 700 erzielt werden, die wohldefinierte Zeilen innerhalb des Bildbereich 750 aufweist.

[0087] **Fig. 7** illustriert Aspekte in Bezug auf die Amplituden 801, 802 der Bewegungen der Faser 201 gemäß dem Beispiel der **Fig. 5**. Dabei entspricht das Beispiel der **Fig. 7** grundsätzlich dem Beispiel der **Fig. 6**. Jedoch ist in dem Beispiel der **Fig. 7** die Veränderung der Amplitude 801 der Krümmung 311, 321 linear als Funktion der Zeit. Im Allgemeinen können unterschiedliche Zeit Abhängigkeiten der Veränderung der Amplituden 801, 802 implementiert werden.

[0088] **Fig. 8** illustriert Aspekte in Bezug auf die Resonanzkurven 901, 902 der Bewegungen 311, 321, 371, 372, welche die Überlagerungsfigur 700 gemäß dem Beispiel der **Fig. 5** ausbilden. **Fig. 8** illustriert die Amplitude der jeweiligen Mode als Funktion der Frequenz.

[0089] In **Fig. 8** ist eine Resonanzkurve 901 der Krümmung 311, 321 der Faser 201 dargestellt. Die Resonanzkurve 901 weist ein Resonanzmaximum 911 auf (durchgezogene Linie). In **Fig. 8** ist auch die Resonanzkurve 902 der Torsion 371, 372 der Faser 201 dargestellt (gestrichelte Linie). Die Resonanzkurve 902 weist ein Resonanzmaximum 912 auf.

[0090] Beispielsweise könnten die Resonanzkurve in 901, 902 Lorentz-förmig sein. Dies wäre beispielsweise der Fall, wenn die entsprechenden Freiheitsgrade der Bewegung durch einen harmonischen Oszillator beschrieben werden können.

[0091] Die Resonanzmaxima 911, 912 sind gegeneinander frequenzverschoben. Beispielsweise könnte der Frequenzabstand zwischen den Maxima 911, 912 im Bereich von 5 kHz bis 50 kHz liegen.

[0092] In **Fig. 8** ist auch eine Halbwertsbreite 921 der Resonanzkurve 901 dargestellt. Außerdem ist in **Fig. 8** eine Halbwertsbreite 922 der Resonanzkurve 902 dargestellt. Typischerweise werden die Halbwertsbreiten 921, 922 durch die Dämpfung der entsprechenden Bewegungen 311, 321, 371, 372 definiert. In dem Beispiel der **Fig. 8** sind die Halbwertsbreiten 921, 922 gleich; im Allgemeinen können die Halbwertsbreiten 921, 922 jedoch verschieden voneinander sein.

[0093] In manchen Beispielen können unterschiedliche Techniken angewendet werden, um die Halbwertsbreiten 921, 922 zu vergrößern. Zum Beispiel könnte ein entsprechender Kleber vorgesehen sein, der an der Fixierstelle 206 die Faser fixiert.

[0094] Die Resonanzkurve in 901, 902 weisen in dem Beispiel der **Fig. 8** einen Überlappbereich 930 auf (schraffierter Bereich). In dem Überlappbereich 930 weist sowohl die Resonanzkurve 901 eine signifikante Amplitude auf, als auch die Resonanzkurve 902. Beispielsweise wäre es möglich, dass die Amplituden der Resonanzkurve 901, 902 in dem Überlappbereich 930 jeweils nicht kleiner als 10 % der entsprechenden Amplituden am jeweiligen Resonanzmaxima um 911, 912 sind, optional jeweils nicht kleiner als 5 %, weiter optional jeweils nicht kleiner als 1 %. Durch den Überlappbereich kann erreicht werden, dass die beiden Freiheitsgrade der Bewegung gekoppelt angeregt werden können. Dadurch kann der Aktuator 900 besonders einfach ausgebildet sein.

[0095] Beispielsweise wäre es möglich, dass die Frequenz, mit welcher der Aktuator 900 die Torsion 371, 372, sowie die Krümmung 311,321 antreibt, im Überlappbereich 930 angeordnet ist (durch die Signalform 852 in **Fig. 8** dargestellt). Dadurch ist es möglich, beide Freiheitsgrade der Bewegungen resonant anzutreiben und dadurch vergleichsweise große Amplituden der Bewegung der Faser 201 zu erzielen.

[0096] In anderen Beispielen wäre es jedoch auch möglich, dass die Resonanzkurven 901, 902 keinen Überlappbereich 930 aufweisen. Derart kann eine besonders zielgerichtete Anregung der einzelnen Freiheitsgrade der Bewegung erfolgen.

[0097] Zum Einstellen bzw. Verschieben der Resonanzkurve 901, 902 können ein oder mehrere Wuchtgewichte vorgesehen sein, die an der Faser 201 angebracht sind.

[0098] **Fig. 9** illustriert Aspekte in Bezug auf ein Wuchtgewicht 961, das an der Faser 201 im Bereich zwischen dem beweglichen Ende 205 und der Fixierstelle 206 angebracht ist. Beispielsweise könnte das Wuchtgewicht 961 durch eine Ferrule implementiert sein. Beispielsweise könnte das Wuchtgewicht eine als Funktion des Radius (senkrecht zur Zentralachse 202) homogene oder inhomogene Massendichte aufweisen. Beispielsweise könnte das Wuchtgewicht 961 aus Metall oder Kunststoff gefertigt sein. Das Wuchtgewicht 961 könnte z.B. an der Faser 201 festgeklebt sein. Durch das Wuchtgewicht 961 kann insbesondere die Resonanzkurve 901 der Krümmung 311,321 zu niedrigeren Frequenzen verschoben werden. Dadurch kann der Überlappbereich 930 erzeugt werden und eine Anregung beider Freiheitsgrade der Bewegung bei ein und derselben Frequenz ist möglich. Dadurch kann einer Überlagerungsfigur ohne Knoten erhalten werden.

[0099] In manchen Beispielen könnte das Wuchtgewicht 961 auch eine in Bezug auf die Zentralachse 202 asymmetrische Masseverteilung aufweisen und dadurch eine Unwucht erzeugen. Dadurch könnte eine Unwucht der Faser 201 - die sich z.B. negativ auf die Torsionsmode auswirken kann - kompensiert werden.

[0100] **Fig. 10** illustriert Aspekte in Bezug auf das Wuchtgewicht 961. Insbesondere illustriert **Fig. 10** Aspekte in Bezug auf die Befestigung des Wuchtgewichts 961 an der Faser 201. In dem Beispiel der **Fig. 10** ist das Wuchtgewicht 961 im Bereich eines Knotens der Transversalmode zweiter Ordnung der Faser 201 angebracht (gestrichelte Linie in **Fig. 10**). Beispielsweise könnte die Krümmung 311, 321 der Faser 201 durch die Transversalmode zweiter Ordnung implementiert werden.

[0101] Durch eine solche Befestigung des Wuchtgewichts 961 kann eine besonders starke Verschiebung der Resonanzkurve 901 erfolgen.

[0102] **Fig. 11** illustriert Aspekte in Bezug auf das Scannen eines Umfelds der Vorrichtung 100 durch Bewegen der Faser 201. Insbesondere illustriert **Fig. 11** eine Überlagerungsfigur 700, die erhalten wird, wenn die Krümmung 311, 321 (vertikale Achse in **Fig. 11**) mit einer während einer Zeitdauer 860 variablen Amplitude mit der Torsion 371, 372 (horizontale Achse in **Fig. 11**) überlagert wird. Das Überlagern der Bewegungen 311, 321, 371, 372 bedeutet, dass die Bewegungen zumindest teilweise zeitparallel während der Zeitdauer ausgeführt werden bzw. durch den Aktuator 900 angeregt werden.

[0103] Das Beispiel der **Fig. 11** entspricht grundsätzlich dem Beispiel der **Fig. 5**. Jedoch ist in dem Beispiel der **Fig. 11** der Aktuator 900 eingerichtet, um die Krümmung 311, 321 mit einer doppelt so großen Frequenz anzuregen, wie die Torsion 371, 372. Dadurch weist die Überlagerungsfigur 700 einen Knoten 701 auf.

[0104] In anderen Beispielen könnte auch eine dreimal so große Frequenz für die Krümmung 311, 321 verwendet, im Vergleich zur Torsion 371, 372. Dann würde die Überlagerungsfigur 700 zwei Knoten aufweisen.

[0105] Durch eine flexible Wahl der Frequenzen für die verschiedenen Bewegungen kann eine besonders flexible Wahl der verwendeten Freiheitsgrade der Bewegung erfolgen.

[0106] **Fig. 12** illustriert Aspekte in Bezug auf einen Anschlag 970. Der Anschlag 970 ist eingerichtet, um die Torsion 371, 372 der Faser 201 zu begrenzen. Dazu könnte die Faser 201 zum Beispiel Vorsprünge aufweisen (in **Fig. 12** nicht gezeigt), die bei einer entsprechend großen Torsion 371, 372 in Kontakt mit dem Anschlag 970 gebracht werden und dadurch eine weitere Verdrillung der Faser 201 unterdrücken.

[0107] Mittels eines solchen Anschlags kann erreicht werden, dass die Torsion 371, 372 eine nichtlineare Kraftkennlinie, beispielsweise gefaltet mit einer Stufenfunktion, aufweist. Dadurch kann erreicht werden, dass die Überlagerungsfigur besonders scharfe Kanten in Bezug auf den Winkelbereich 110-2 aufweist. Dadurch kann ein wohldefinierter Bildbereich 750 erzielt werden.

[0108] Entsprechende Techniken in Bezug auf den Anschlag 970 könnten alternativ oder zusätzlich zum Beispiel auch in Bezug auf einen der Krümmung 311, 321 entsprechenden Freiheitsgrad der Bewegung implementiert werden.

[0109] Fig. 13 ist ein Flussdiagramm eines beispielhaften Verfahrens.

[0110] In 1001 wird eine erste Bewegung einer Faser gemäß einem ersten Freiheitsgrad bewirkt, z.B. eine transversale Auslenkung der Faser oder eine Torsion der Faser. In 1002 wird eine zweite Bewegung einer Faser gemäß einem zweiten Freiheitsgrad bewirkt, z.B. eine transversale Auslenkung der Faser oder eine Torsion der Faser. 1001 und 1002 können zumindest teilweise zeitparallel erfolgen.

[0111] Dabei kann z.B. in 1001 und/oder in 1002 die Amplitude der ersten Bewegung bzw. der zweiten Bewegung während dem Bewirken der Bewegung verändert werden. Dazu kann z.B. ein Erregerstrom durch einen Aktuator variiert werden, z.B. erhöht oder erniedrigt werden.

[0112] Optional könnte Laserlicht durch die Faser abgelenkt werden. Beispielsweise könnte primäres Laserlicht und optional sekundäres Laserlicht durch die Faser abgelenkt werden. Dann könnte ein LIDAR-Bilder basierend auf dem detektierten sekundären Laserlicht erstellt werden.

[0113] Selbstverständlich können die Merkmale der vorab beschriebenen Ausführungsformen und Aspekte der Erfindung miteinander kombiniert werden. Insbesondere können die Merkmale nicht nur in den beschriebenen Kombinationen, sondern auch in anderen Kombinationen oder für sich genommen verwendet werden, ohne das Gebiet der Erfindung zu verlassen.

[0114] Zum Beispiel wurden obenstehend in Bezug auf verschiedene Beispiele die Überlagerung einer Torsion mit einer Krümmung der Faser beschrieben. In anderen Beispielen könnten auch andere Freiheitsgrade der Bewegung miteinander überlagert werden, um einen zweidimensionalen Bildbereich zu erzeugen.

[0115] Z.B. wurden obenstehend verschiedene Beispiele in Bezug auf eine konstante Amplitude der Torsion und eine variable Amplitude der Krümmung beschrieben. In anderen Beispielen könnte alternativ oder zusätzlich auch die Amplitude der Torsion verändert werden.

Patentansprüche

1. Vorrichtung (100), die umfasst:
 - eine bewegliche Faser (201) mit einem ersten Freiheitsgrad der Bewegung (311, 321, 371, 372) und einem zweiten Freiheitsgrad der Bewegung (311, 321, 371, 372) und die eingerichtet ist, um Laserlicht (191, 192, 191B, 192B) zu lenken,
 - mindestens einen Aktuator (900), der eingerichtet

ist, um während einer Zeitdauer eine erste Bewegung (311, 321, 371, 372) der Faser (201) entsprechend dem ersten Freiheitsgrad und eine mit der ersten Bewegung (311, 321, 371, 372) überlagerte zweite Bewegung (311, 321, 371, 372) der Faser (201) entsprechend dem zweiten Freiheitsgrad zu bewirken, und

- ein LIDAR-System (103), das eingerichtet ist, um basierend auf dem Laserlicht (191, 192, 191B, 192B) eine Abstandsmessung von Objekten im Umfeld der Vorrichtung (100) mit mehreren Bildpunkten durchzuführen, wobei die Bildpunkte in einem zweidimensionalen Bildbereich angeordnet sind, der durch die erste Bewegung (311, 321, 371, 372) und die zweite Bewegung (311, 321, 371, 372) während der Zeitdauer definiert ist, wobei die erste Bewegung (311, 321, 371, 372) während der Zeitdauer eine variable Amplitude (801, 802) aufweist,

dadurch gekennzeichnet,

dass der erste Freiheitsgrad einer Transversalmode (311, 321) erster oder zweiter Ordnung der Faser (201) entspricht, und
 dass der zweite Freiheitsgrad einer Torsionsmode (371, 372) der Faser (201) entspricht.

2. Vorrichtung (100) nach Anspruch 1, wobei der mindestens eine Aktuator (900) eingerichtet ist, um die Faser (201) während der Zeitdauer für die erste Bewegung (311, 321, 371, 372) mit einer ersten Frequenz anzuregen und für die zweite Bewegung (311, 321, 371, 372) mit einer zweiten Frequenz anzuregen, wobei die erste Frequenz gleich der zweiten Frequenz ist oder wobei die erste Frequenz gleich einem ganzzahligen Vielfachen der ersten Frequenz ist.

3. Vorrichtung (100) nach Anspruch 1 oder 2, wobei der erste Freiheitsgrad eine erste Resonanzkurve (901, 902) mit einem ersten Resonanzmaximum aufweist, wobei der zweite Freiheitsgrad eine zweite Resonanzkurve (901, 902) mit einem zweiten Resonanzmaximum aufweist, wobei das erste Resonanzmaximum frequenzverschoben gegenüber dem zweiten Resonanzmaximum ist, wobei in einem Überlappbereich (930) der ersten Resonanzkurve (901, 902) mit der zweiten Resonanzkurve (901, 902) die Amplitude der ersten Resonanzkurve (901, 902) nicht kleiner als 10 % der Amplitude am ersten Resonanzmaximum ist, sowie die Amplitude der zweiten Resonanzkurve (901, 902) nicht kleiner als 10 % der Amplitude am zweiten Resonanzmaximum ist, optional jeweils nicht kleiner als 5 %, weiter optional jeweils nicht kleiner als 1 %.

4. Vorrichtung (100) nach Anspruch 2 und 3, wobei die erste Frequenz und die zweite Frequenz im Überlappbereich (930) liegen.

5. Vorrichtung (100) nach einem der voranstehenden Ansprüche, wobei die erste Bewegung (311, 321, 371, 372) während der Zeitdauer eine monoton veränderliche Amplitude (801, 802) aufweist.

6. Vorrichtung (100) nach einem der voranstehenden Ansprüche, wobei die erste Bewegung (311, 321, 371, 372) eine nicht-lineare Kraftkennlinie aufweist, und/oder wobei die zweite Bewegung (311, 321, 371, 372) eine nicht-lineare Kraftkennlinie aufweist.

7. Vorrichtung (100) nach einem der voranstehenden Ansprüche, die weiterhin umfasst: - ein an der Faser (201) angebrachtes Wuchtgewicht (961).

8. Vorrichtung (100) nach Anspruch 7, wobei das Wuchtgewicht (961) im Bereich eines Knotens einer Transversalmode (311, 321) zweiter oder höheren Ordnung der Faser (201) angebracht ist.

9. Vorrichtung (100) nach einem der voranstehenden Ansprüche, die weiterhin umfasst:
- mindestens einen Anschlag (970), der die erste Bewegung (311, 321, 371, 372) und/oder die zweite Bewegung (311, 321, 371, 372) der Faser (201) begrenzt.

Es folgen 17 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1A

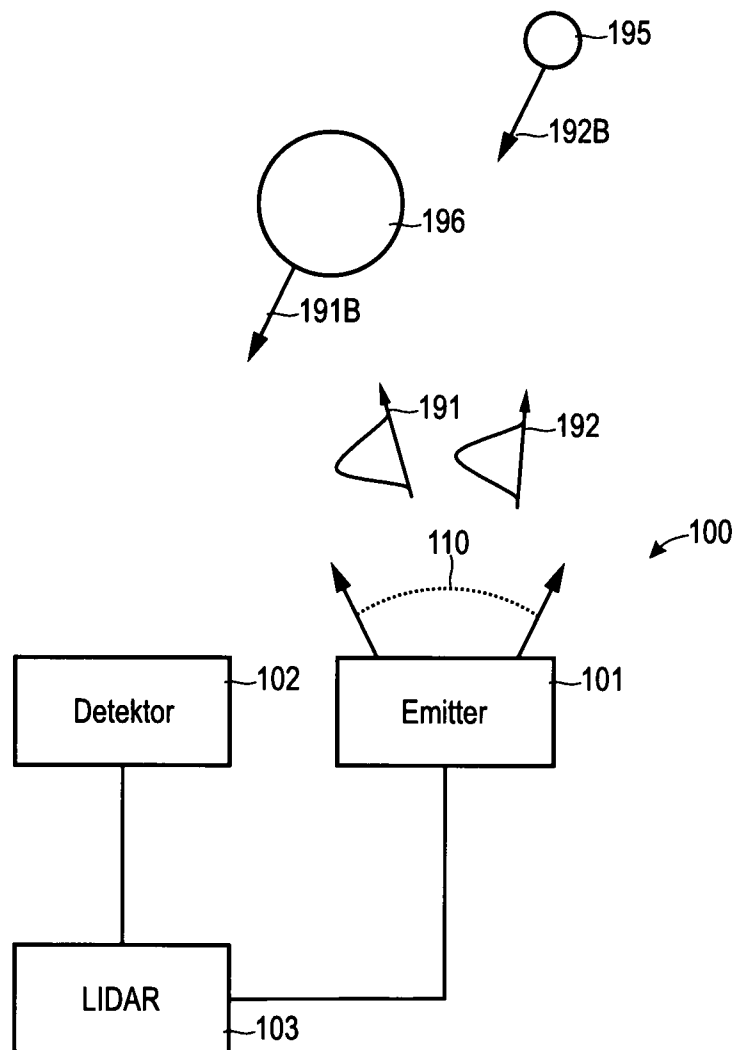


FIG. 1B

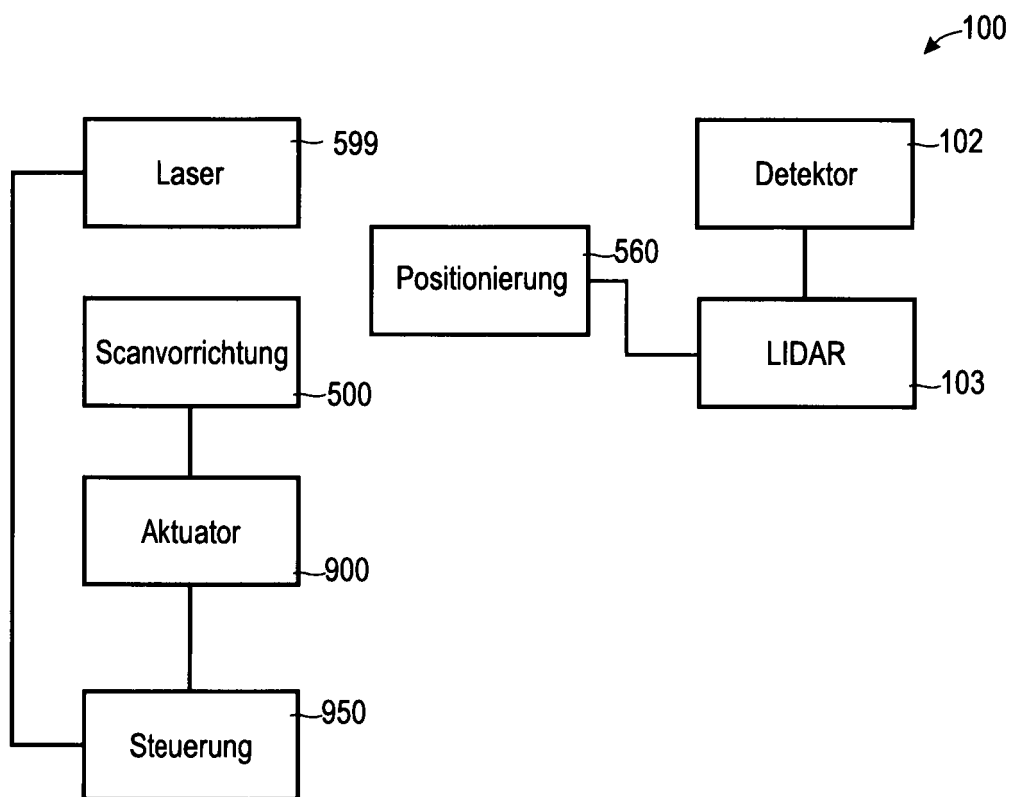


FIG. 2

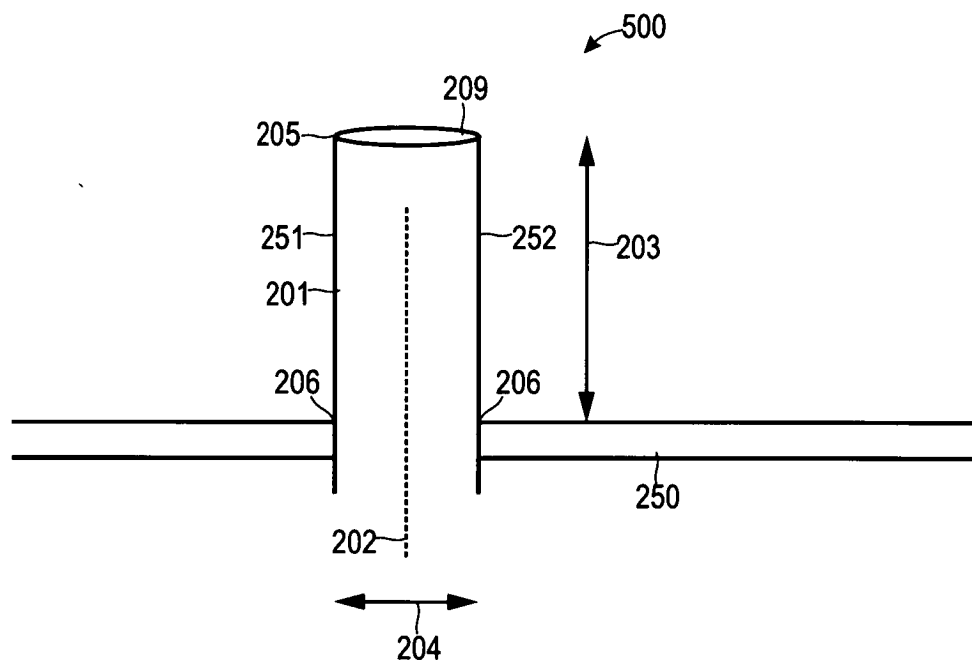


FIG. 3A

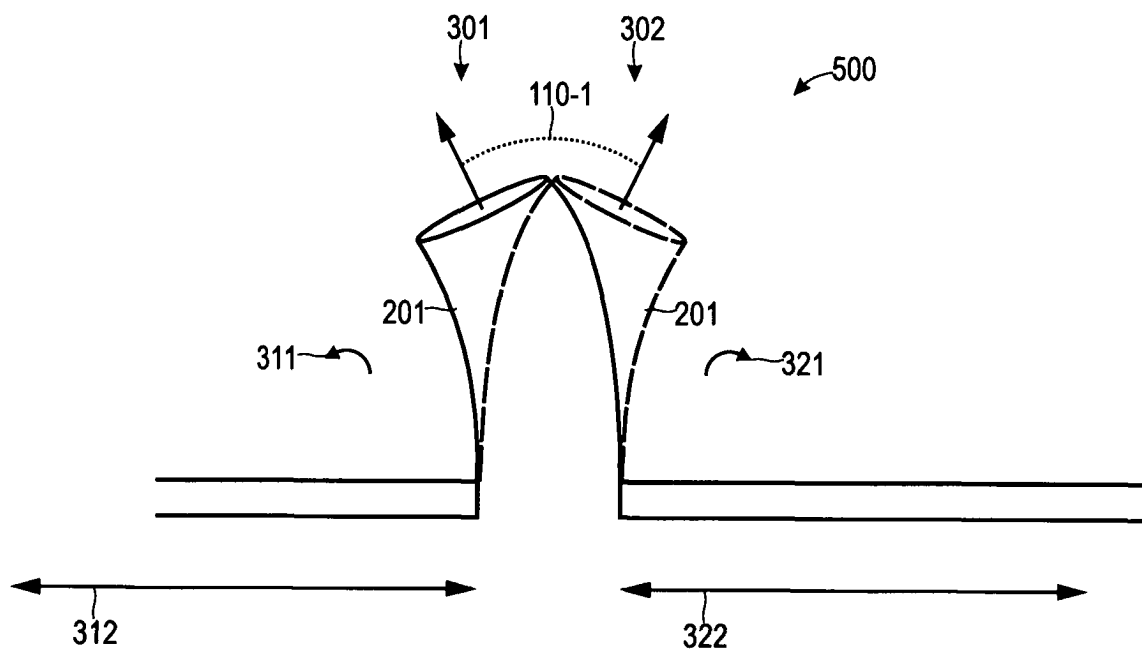


FIG. 3B

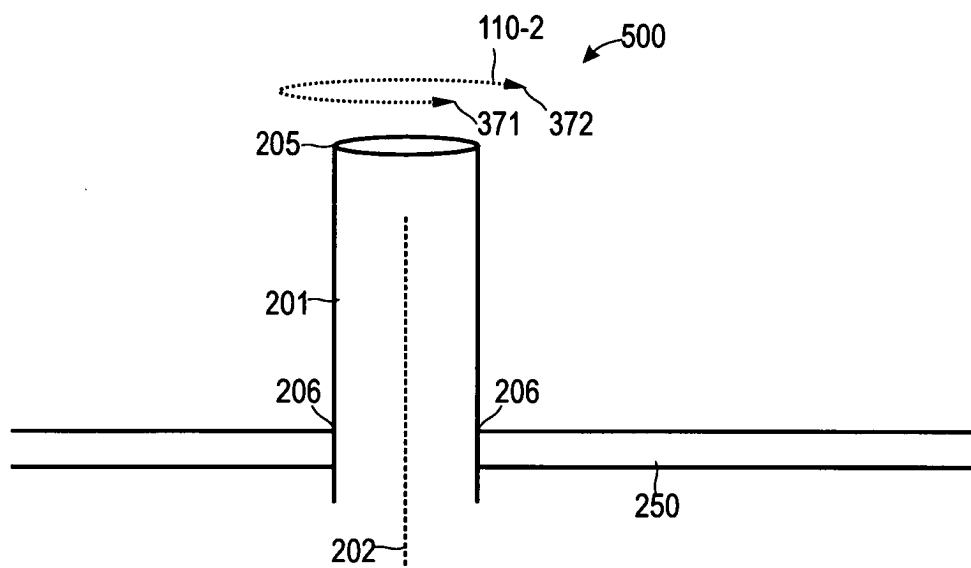


FIG. 4A

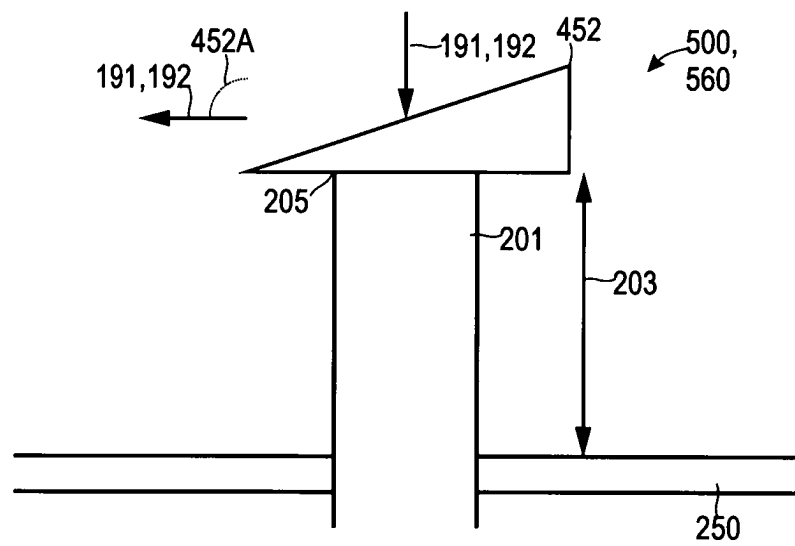


FIG. 4B

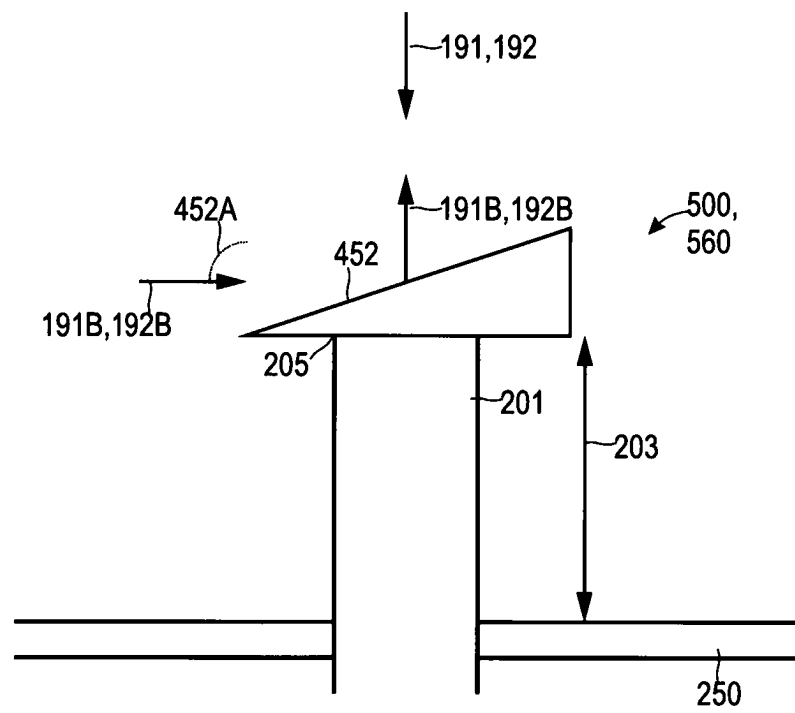


FIG. 4C

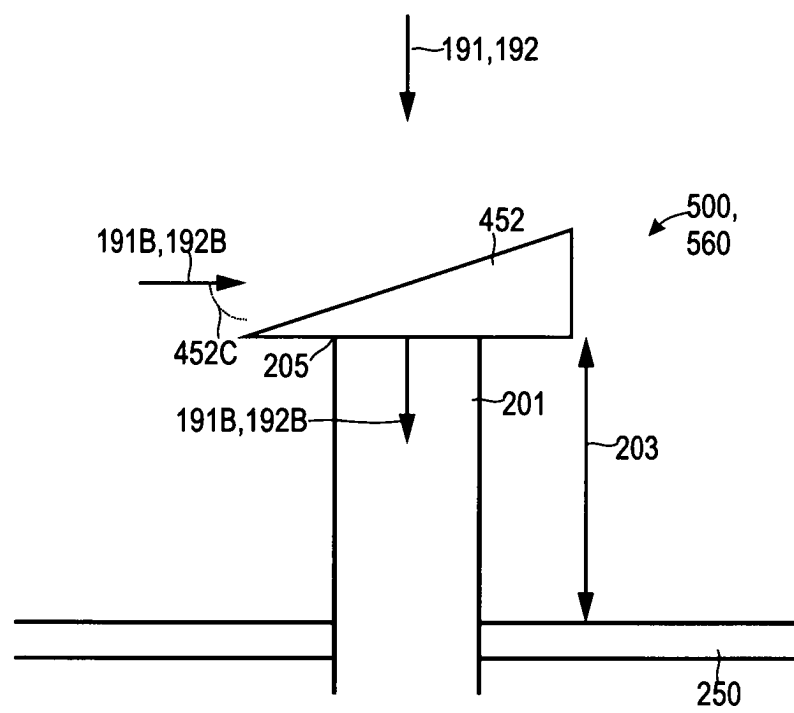


FIG. 4D

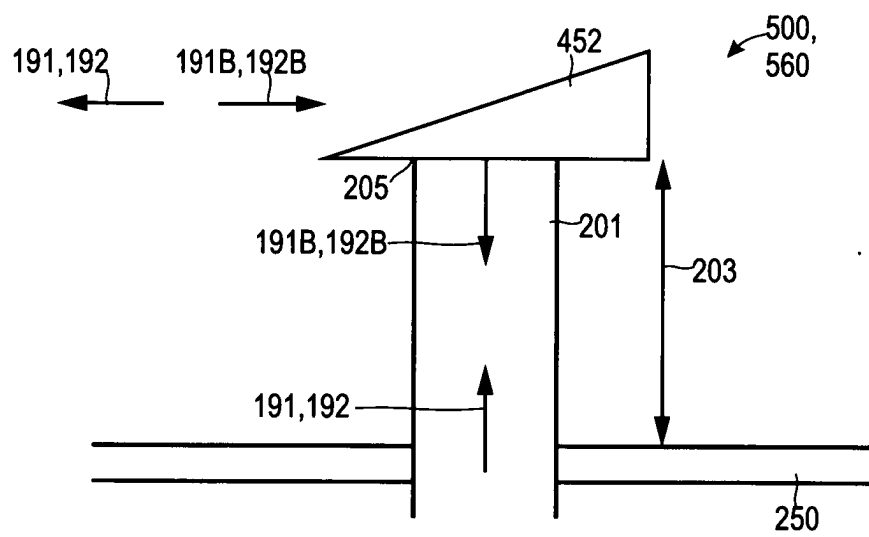


FIG. 5

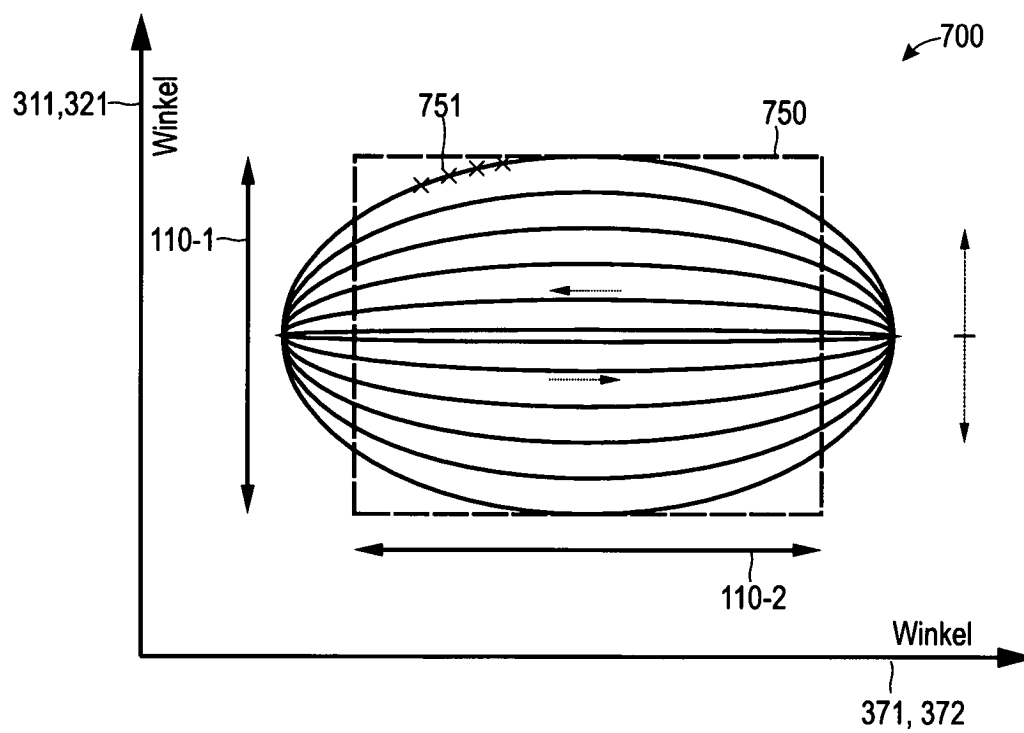


FIG. 6

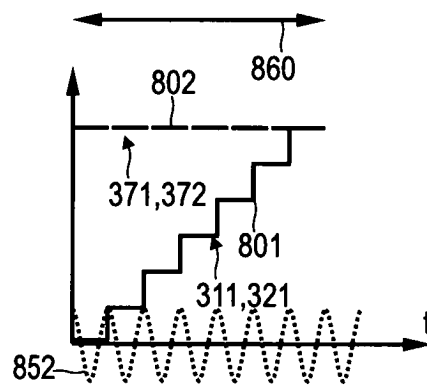


FIG. 7

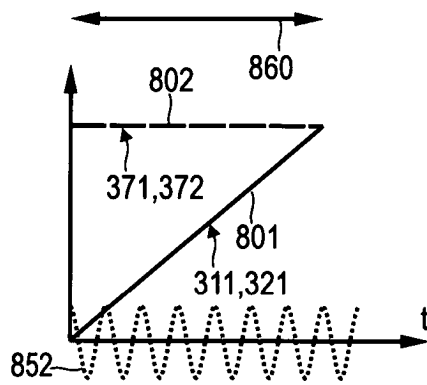


FIG. 8

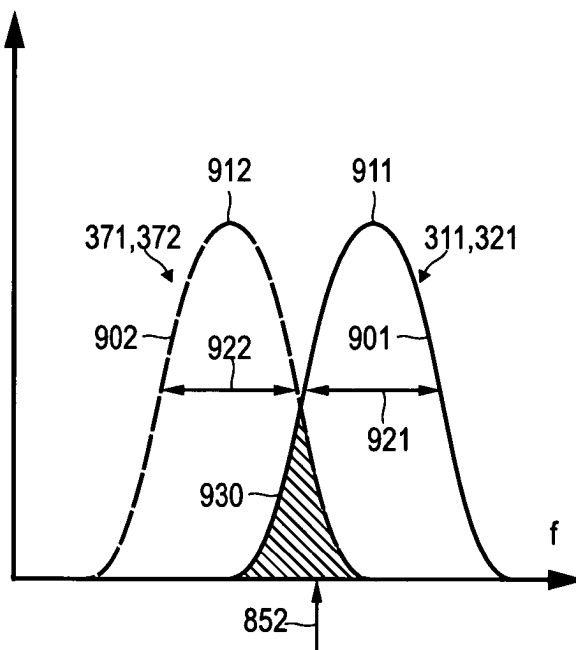


FIG. 9

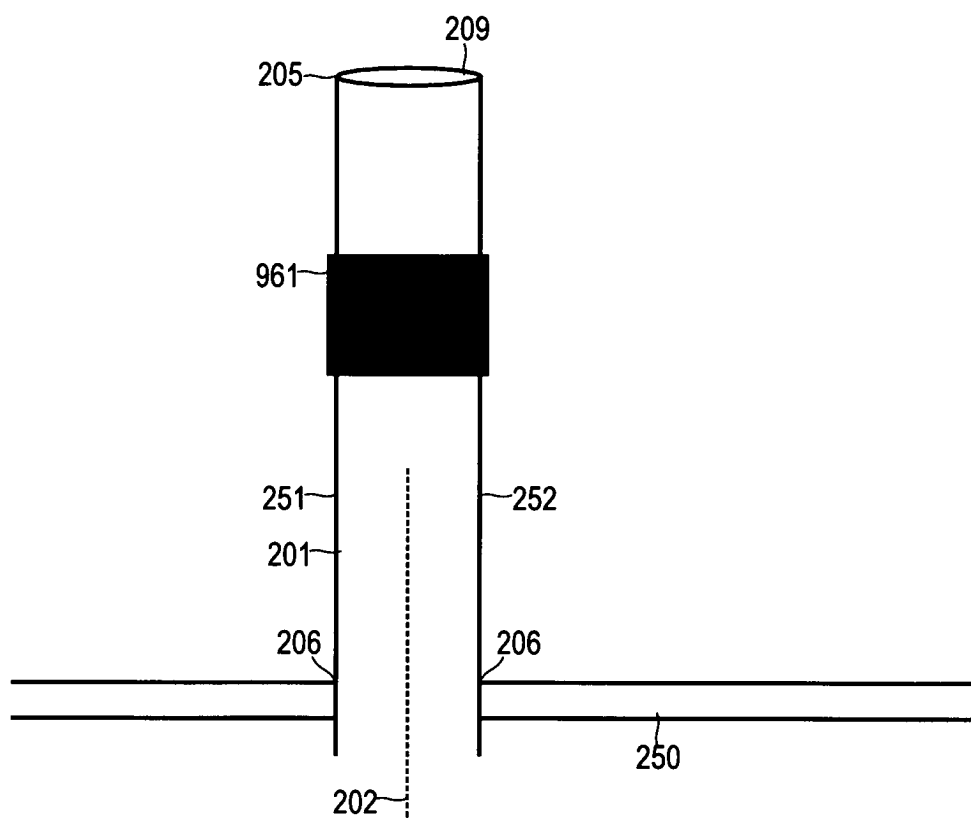
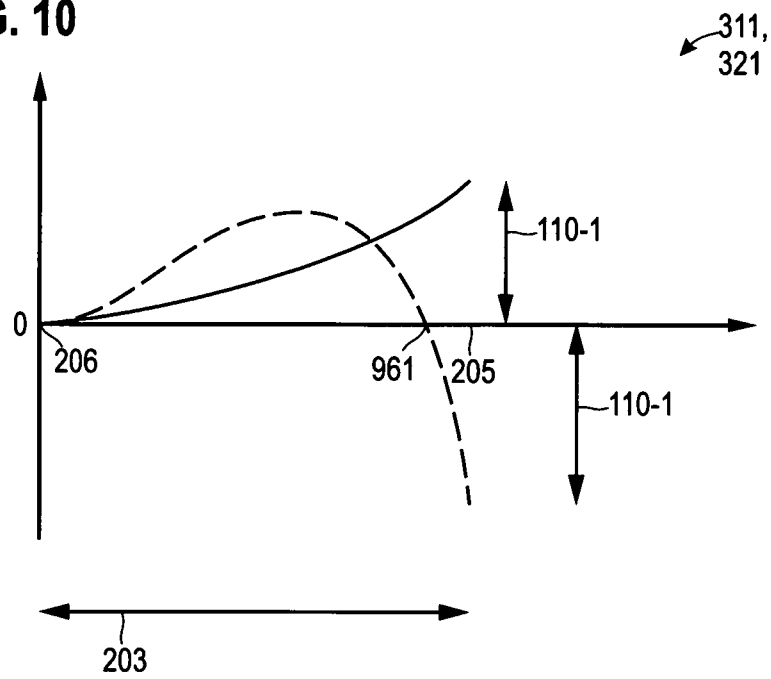


FIG. 10



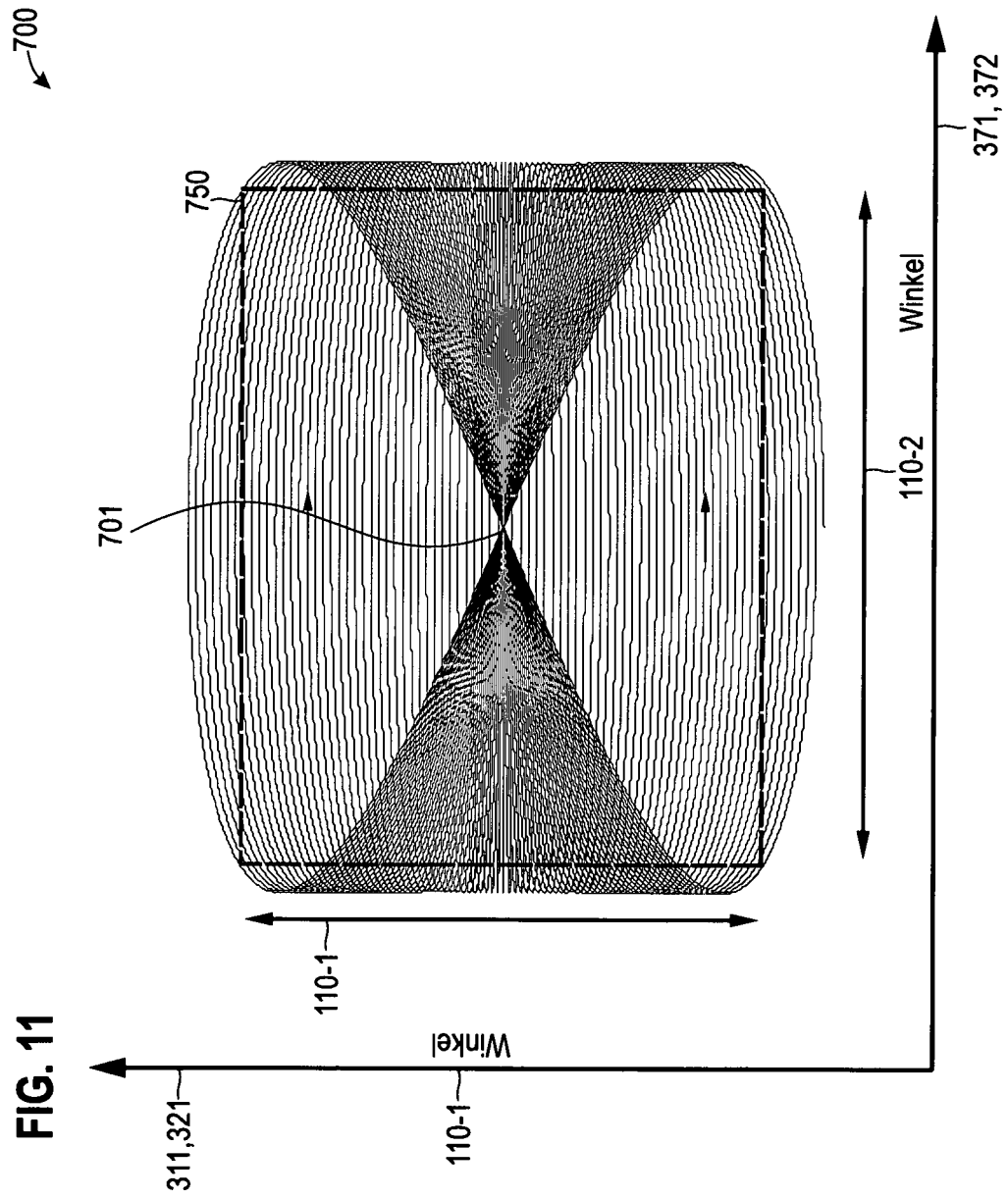


FIG. 12

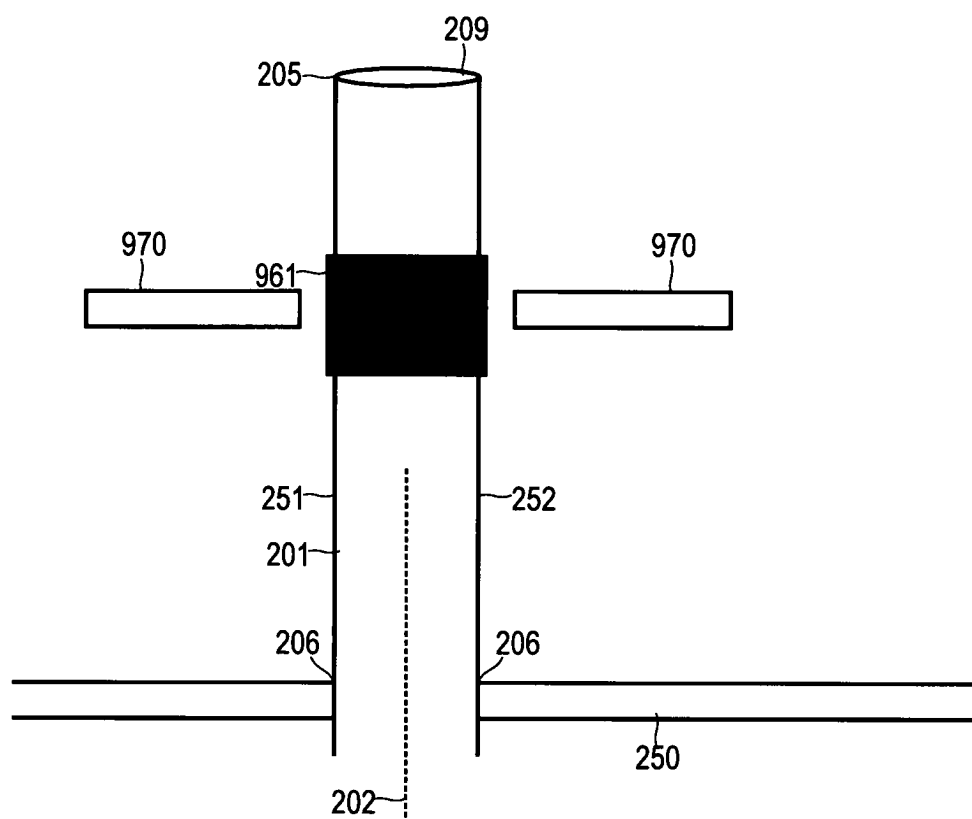


FIG. 13

