



(10) **DE 10 2016 002 441 B3** 2017.07.20

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2016 002 441.0**
(22) Anmeldetag: **29.02.2016**
(43) Offenlegungstag: –
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **20.07.2017**

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

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:
**Karlsruher Institut für Technologie, 76131
Karlsruhe, DE**

(72) Erfinder:
**Stork, Wilhelm, 76829 Landau, DE; Bogatscher,
Siegwart, 74372 Sersheim, DE**

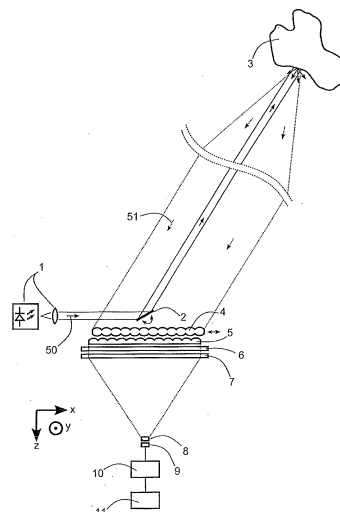
(74) Vertreter:
**Müller-Boré & Partner Patentanwälte PartG mbB,
80639 München, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:
siehe Folgeseiten

(54) Bezeichnung: **Mechanisch robustes optisches Messsystem mittels Lichtlaufzeit- und/oder Reflektivitätsmessung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein optisches Messsystem und ein Messverfahren zur Vermessung von Messobjekten und/oder Anordnungen von Messobjekten, insbesondere von dreidimensionalen Messobjekten und/oder Anordnungen von Messobjekten. Das optische Messsystem umfasst zumindest eine Lichtquelle zum Aussenden eines Sendestrahls (50), eine Scan- oder Winkelablenkvorrichtung zum Scannen eines Messobjekts (3) mit dem Sendestrahl (50) entlang zweier Scanachsen, eine Empfangseinrichtung zum Detektieren zumindest eines Teils des vom Messobjekt reflektierten und/oder gestreuten Sendestrahllichts (51) und zum Generieren zumindest eines Empfangssignals, wobei die Empfangseinrichtung zumindest einen Detektor oder ein Detektorarray (9) aufweist; eine Trackingvorrichtung zum Nachführen des vom Messobjekt (3) in Richtung der Empfangseinrichtung reflektierten und/oder gestreuten Sendestrahllichts (51), wobei die erste der beiden Scanachsen optisch und die zweite Scanachse elektronisch nachgeführt wird; und eine Signalverarbeitungseinrichtung zum Verarbeiten des zumindest einen Empfangssignals, um Informationen über die Entfernung zu einzelnen Messpunkten des Messobjekts (3) und/oder über die Reflektivität in einzelnen Messpunkten des Messobjekts (3) zu erhalten. Die Trackingvorrichtung umfasst eine transmissive optische Strahlablenkungsanordnung (4, 5), welche ausgelegt ist, das vom Messobjekt (3) in die Richtung der Empfangseinrichtung reflektierte und/oder gestreute Sendestrahllicht (51) synchron zum Scanvorgang in der ersten Scanachse abzulenken; und ein abbildendes optisches Element (7), das ausgelegt ist, das durch die Strahlablenkungsanordnung (4, 5) propagierte Licht auf den Detektor oder das Detektorarray (9) abzubilden. Die Trackingvorrichtung ist ferner ausgelegt, unter-

schiedliche Teilbereiche des Detektors oder des Detektorarrays (9) synchron zum Scanvorgang in der zweiten Scanachse zu schalten, wobei der jeweils geschaltete Teilbereich in Signalverbindung mit der Signalverarbeitungseinrichtung steht.



(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2007 045 334	A1
US	2008 / 0 285 010	A1
EP	2 708 914	A1

BOGATSCHER, S. et al.: Large Aperture at Low Cost Three-Dimensional Time-of-Flight Sensor Using Scanning MEMS Micromirrors and Synchronous Detector Switching. In: Applied Optics, Vol. 53, Nr. 8, Seiten 1570 bis 1582 (2014)

BOGATSCHER, S. et al.: Laser-Rangefinder auf Basis von MEMS-Spiegeln für adaptive Robotik. In: Mikrosystemtechnik Kongress 2013, S. 211 - 214, 2013

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein optisches Messsystem und ein Messverfahren zur Vermessung von Messobjekten und/oder Anordnungen von Messobjekten, insbesondere von dreidimensionalen Messobjekten und/oder Anordnungen von Messobjekten, z. B. mittels Lichtlaufzeitmessung (Time-of-Flight Messung), Intensitätsmessung, Reflektivitätsmessung, etc.. Insbesondere betrifft die Erfindung einen Laserscanner bzw. einen Laser-Rangerscanner.

[0002] Laserscanner sind auf dem Gebiet der optischen Messtechnik bekannt. Sie werden häufig eingesetzt, um eine schnelle, zweiachsige Strahlablenkung einer Sendeeinheit und einer Empfangseinheit durchzuführen. Üblicherweise wird der Strahl zeilen- oder spiralförmig abgelenkt, um die Signalverarbeitung zu vereinfachen. Daher werden eine schnelle und eine langsame Scanachse benötigt, die üblicherweise senkrecht zueinander stehen. Senderseitig können beispielsweise mechanische Scanspiegel eingesetzt werden, die aufgrund ihrer kleinen Masse und einer kardanischen Aufhängung eine schnelle und eine langsame Scanachse aufweisen. Da die Empfangseinheit jedoch eine möglichst große Fläche braucht, um genügend Streulicht von einem Messobjekt zu empfangen, ist eine schnelle zweiachsige Strahlablenkung aus Trägheitsgründen problematisch.

[0003] Ein Laserscanner, welcher ein Array von synchron schwingenden mikromechanischen Schwingspiegeln verwendet, um eine vergrößerte Empfangsapertur zu erreichen, ist z. B. in DE 10 2007 045 334 A1 beschrieben. Der Ansatz eines solchen mikromechanischen Schwingspiegelarrays löst das Problem einer vergrößerten Empfangsapertur jedoch nur unvollkommen, da der Füllfaktor des Arrays aufgrund der Ansteuerung und der Aufhängung der Schwingspiegel sehr gering ist. Dies verursacht bei gleicher Empfangsapertur einen relativ großen Bauraum. Ein weiteres Problem stellt die Strahlfaltung dar, was eine zusätzliche Erhöhung des Bauraums erfordert. Insbesondere bei Scanwinkelbereichen unterhalb von ca. 60×60 Grad ist abgesehen vom Bauraum ein weiterer Nachteil wesentlich: Die Wafer-Fläche, die für mikromechanische Schwingspiegelarrays benötigt wird, ist relativ groß. Die Wafer-Fläche stellt jedoch ein wichtiges Maß für die Systemkosten dar.

[0004] Die Druckschrift EP 2 708 914 A1 1 beschreibt einen optoelektronischen Sensor zur Aufnahme einer Tiefenkarte einer dreidimensionalen Szene. Der Sensor umfasst eine Lichtquelle, welche einen gepulsten Sendelichtstrahl erzeugt, eine Ablenkeinheit mit einem MEMS-Spiegel zur Ablenkung des Sendelichtstrahls in zwei orthogonale Richtungen, einen als ein Photodiodenarray ausgebildeten Lichtempfänger und eine Empfangsoptik, mit der die Szene auf das Empfängerarray abgebildet wird. Ferner umfasst der Sensor eine Steuer- und Auswerteeinheit zur Ansteuerung der Lichtquelle, der Ablenkeinheit und des Empfängers, sowie zur Auswertung der Empfangssignale und zum Ermitteln von Positionen von Reflexionen in der Szene durch Ermitteln von Abstandswerten aus der Pulslaufzeit und durch Erfassen der Ablenkwinkel der Ablenkeinheit. Beim Aussenden des gepulsten Sendelichtstrahls werden nur die Photodioden aktiviert, auf die der mit dem Sendelichtstrahl beleuchtete Bereich der Szene abgebildet wird.

[0005] Die Druckschrift US 2008/0285010 A1 beschreibt eine Trackingvorrichtung zum Nachführen des von einem Messobjekt in Richtung der Empfangsvorrichtung reflektierten und/oder gestreuten Sendestrahllichts, wobei beide Achsen optisch nachgeführt werden. Die Trackingvorrichtung umfasst eine transmissive optische Strahlablenkungsanordnung zum Ablenken des vom Messobjekt reflektierten und/oder gestreuten Sendestrahllichts in zwei orthogonalen Scanachsen synchron zum Scanvorgang. Ferner umfasst die Trackingvorrichtung eine Linse, mit der das durch die Strahlablenkungsanordnung propagierte Licht auf einen Detektor abgebildet wird.

[0006] Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein verbessertes optisches System und ein Verfahren zur Vermessung von Messobjekten, insbesondere von drei-dimensionalen Messobjekten, mittels Lichtlaufzeitmessung („Time-of-Flight“ Messung) und/oder Reflektivitätsmessung bereitzustellen.

[0007] Gemäß eines ersten Aspekts wird ein optisches System zur Vermessung von Messobjekten und/oder Anordnungen von Messobjekten, insbesondere von drei-dimensionalen Messobjekten, Anordnungen von Messobjekten, 3D Szenarien, etc. bereitgestellt. Das optische System kann insbesondere zum Bestimmen der Distanz zu einem oder mehreren Objekten eingesetzt werden. Die Messung kann z. B. mittels Lichtlaufzeitmessung („Time-of-Flight“ Messung) und/oder Reflektivitätsmessung erfolgen. Bei einer Reflektivitätsmessung weisen die Messobjekte vorzugsweise die gleiche Reflektivität auf.

[0008] Das optische Messsystem umfasst:
zumindest eine Lichtquelle zum Aussenden eines Sendestrahls;

eine (senderseitige) Scan- oder Winkelablenkvorrichtung zum Scannen bzw. zum optischen Abtasten eines Messobjekts mit dem Sendestrahl entlang zweier Scanachsen,
 eine Empfangseinrichtung zum Detektieren bzw. Erfassen zumindest eines Teils des vom Messobjekt reflektierten und/oder gestreuten Sendestrahls und zum Generieren zumindest eines Empfangssignals, wobei die Empfangseinrichtung zumindest einen Detektor oder ein Detektorarray aufweist;
 eine (empfangsseitige) Trackingvorrichtung (Nachverfolgungsvorrichtung) zum Nachführen des vom Messobjekt in Richtung der Empfangseinrichtung reflektierten und/oder gestreuten Sendestrahllichts; und
 eine Signalverarbeitungseinrichtung zum Verarbeiten des zumindest einen Empfangssignals, um Informationen über die Entfernung zu einzelnen Messpunkten des Messobjekts zu erhalten.

[0009] Die Lichtquelle kann z. B. ein Laser, eine LED oder andere geeignete Lichtquellen umfassen. Die Scan- oder Winkelablenkvorrichtung kann z. B. Spiegel, Prismen oder andere geeignete Mittel umfassen, um den von der Lichtquelle ausgesendeten Sendestrahl abzulenken und das Messobjekt entlang zweier Scanachsen optisch abzutasten. Das optische System kann auch mehrere Lichtquellen umfassen (z. B. mehrere Laser, LEDs, etc.), die jeweils einen Sendestrahl aussenden. Die einzelnen Lichtquellen könnten das Messobjekt unter unterschiedlichen Einfallswinkeln bzw. in unterschiedlichen Richtungen scannen. So kann z. B. das optische System zwei oder mehrere Lichtquellen umfassen, die entlang der einen Scanachse (z. B. entlang der horizontalen Richtung) das Messobjekt unter unterschiedlichen Einfallswinkeln scannen. Das Gleiche gilt für die zweite Scanachse (z. B. für die vertikale Richtung). Die mehreren Lichtquellen können parallel oder zeitlich versetzt bzw. multiplexiert betrieben werden.

[0010] Die zwei Scanachsen können orthogonal zueinander sein. Andere Anordnungen sind jedoch auch möglich. Ferner kann eine der beiden Achsen eine schnelle Achse und die andere eine langsame Achse sein.

[0011] Die Trackingvorrichtung ist ausgelegt, die erste der beiden Scanachsen optisch und die zweite Scanachse elektronisch bzw. virtuell nachzuführen.

[0012] Die Trackingvorrichtung umfasst eine transmissive optische Strahlablenkungsanordnung, welche ausgelegt ist, das vom Messobjekt in die Richtung der Empfangseinrichtung reflektierte und/oder gestreute Sendestrahllicht (nachfolgend auch als Empfangslicht bzw. Empfangsstrahl bezeichnet) synchron zum (senderseitigen) Scanvorgang in der einen (ersten) Scanachse abzulenken (z. B. synchron zur Ablenkung des Sendestrahls entlang der einen (ersten) Scanachse abzulenken).

[0013] Ferner umfasst die Trackingvorrichtung zumindest ein abbildendes optisches Element, das ausgelegt ist, das durch die Strahlablenkungsanordnung propagierte Licht auf den zumindest einen Detektor oder das zumindest eine Detektorarray abzubilden bzw. zu fokussieren. Dadurch kann eine optische Nachführung für die eine (erste) Scanachse realisiert werden.

[0014] Die Trackingvorrichtung ist ferner ausgelegt, unterschiedliche Teilbereiche des Detektors oder des Detektorarrays synchron zum (senderseitigen) Scanvorgang in der zweiten Scanachse zu schalten bzw. zu aktivieren, wobei der jeweils geschaltete bzw. aktivierte Teilbereich in Signalverbindung mit der Signalverarbeitungseinrichtung steht. Die unterschiedlichen Teilbereiche des Detektors oder des Detektorarrays können z. B. seriell nacheinander und synchron zur Ablenkung eines von einer Lichtquelle ausgesendeten und von der Scan- oder Winkelablenkvorrichtung abgelenkten Sendestrahls geschaltet bzw. aktiviert werden. Dadurch kann eine elektronische Nachführung für die andere (zweite) Scanachse realisiert werden.

[0015] Der Detektor kann ein linearer Detektor sein, d. h. ein Detektor, der (wesentlich) länger als breit ist. Ebenfalls kann das Detektorarray ein lineares Detektorarray sein, d. h. eine zeilenförmige Anordnung von einzelnen Detektoren bzw. Detektorelementen. Die einzelnen Detektoren bzw. Detektorelemente des Arrays können für sich genommen jeweils (wesentlich) länger als breit sein. Der lineare Detektor oder das lineare Detektorarray kann im Wesentlichen senkrecht zur optischen Achse der Trackingvorrichtung bzw. senkrecht zur optischen Achse des Empfangszweigs des optischen Messsystems und/oder im Wesentlichen parallel zu einer der Scanachsen angeordnet sein.

[0016] Sind mehrere Lichtquellen vorhanden, die das Messobjekt unter unterschiedlichen Winkeln scannen, können mehrere Detektoren oder Detektorarrays vorgesehen werden, wobei jeder Detektor bzw. jedes Detektorarray einer Lichtquelle zugeordnet ist. Ebenfalls ist es möglich, unterschiedliche Teilbereiche eines Detektors oder Detektorarrays, die unterschiedlichen Lichtquellen zugeordnet sind, parallel, z. B. mittels eines $N \times X$ Multiplexors, oder zeitlich versetzt in Signalverbindung mit der Signalverarbeitungseinrichtung zu bringen bzw. auszulesen.

[0017] So kann z. B. das optische System zwei (oder mehrere) Lichtquellen umfassen, die das Messobjekt entlang einer der Scanachsen (z. B. entlang der horizontalen Scanachse) unter unterschiedlichen Einfallswinkeln scannen bzw. optisch abtasten. In diesem Fall kann die Empfangseinrichtung zwei Detektoren oder zwei Detektorarrays umfassen, die so ausgelegt sind, das vom Messobjekt reflektiertes und/oder gestreutes Licht der jeweiligen Lichtquelle zu detektieren. Die beiden (z. B. vertikal angeordneten) Detektoren oder Detektorarrays können parallel oder zeitlich versetzt bzw. multiplexiert ausgelesen werden.

[0018] Es ist jedoch nicht notwendig, bei mehreren Lichtquellen die Anzahl der Detektoren entsprechend zu erhöhen. So kann das optische System zwei (oder mehrere) Lichtquellen umfassen, die das Messobjekt entlang einer der Scanachsen (z. B. der vertikalen Scanachse) unter unterschiedlichen Einfallswinkeln scannen. Die Empfangseinrichtung kann z. B. einen linearen Detektor oder ein lineares Detektorarray umfassen, der bzw. das vertikal angeordnet ist. Der Detektor bzw. das Detektorarray kann so ausgelegt und angeordnet werden, dass die Spots der jeweiligen Lichtquelle auf dem Detektor oder Detektorarray räumlich versetzt zueinander sind, z. B. um mehreren Detektorelemente. Die entsprechenden Teilbereiche des Detektors bzw. des Detektorarrays können z. B. mittels eines $N \times X$ Multiplexors parallel ausgelesen werden. Es ist ebenfalls möglich, die Teilbereiche des Detektors bzw. des Detektorarrays, die den unterschiedlichen Lichtquellen entsprechen, zeitlich versetzt bzw. multiplexiert auszulesen.

[0019] Das vorgeschlagene optische System zur Vermessung von Objekten (optisches Messsystem) basiert somit auf einem neuen Systemkonzept, in dem zwei unterschiedliche Nachführungstechniken: eine virtuelle Nachführung und eine optische Nachführung vorteilhaft miteinander kombiniert werden, wobei die optische Nachführung mittels transmissiven optischen Elementen erfolgt. Vorzugsweise wird die elektronische Nachführung für die schnelle Scanachse und die optische Nachführung für die langsame Scanachse eingesetzt.

[0020] Unter dem Begriff „virtueller“ bzw. „elektronischer“ Nachführung wird die Veränderung des Empfangswinkelbereichs (Blickrichtung) der Detektor-Empfangsoptik-Kombination synchron zum Scanvorgang in zumindest einer Scanachse durch Umschalten bzw. Aktivieren von Teilbereichen des Detektors oder des Detektorarrays verstanden. Dadurch wird der Veränderung der Empfangsspot-Position abhängig vom Empfangswinkelbereich Rechnung getragen. Anders ausgedrückt wird unter dem Begriff „virtueller“ bzw. „elektronischer“ Nachführung die Veränderung der Richtungsabhängigkeit der Empfangscharakteristik der Detektor-Empfangsoptik-Kombination mittels elektronischer Schaltung bzw. Aktivierung von Teilbereichen des Detektors synchron zum Scanvorgang in zumindest einer Scanachse verstanden (z. B. synchron zur Strahlablenkung des Sendestrahls in zumindest einer Scanachse). Dies erfolgt z. B. dadurch, dass zu jedem Zeitpunkt ein Teilbereich eines Detektors oder eines Detektorarrays mit der Signalverarbeitung der optischen Messvorrichtung verbunden ist. Der Teilbereich des Detektors oder des Detektorarrays kann aus einem oder mehreren Detektorelementen bestehen. Der mit der Signalverarbeitung verbundene Teilbereich des Detektors oder des Detektorarrays wird synchron zum Scanvorgang geschaltet. Wird z. B. ein Detektorarray mit einem Scanmuster ausgeleuchtet, wird zu jedem Zeitpunkt das jeweils gerade beleuchtete Detektorelement mit der darauffolgenden Signalverarbeitung verbunden. Das Prinzip der virtuellen Nachführung ist z. B. in den Publikationen „Laser-Rangefinder auf Basis von MEMS-Spiegeln für adaptive Robotik“, S. Bogatscher et al., Mikrosystemtechnik Kongress 14. Oktober 2013, Seiten 211–214 beschrieben. Ferner wird auf die Publikation „Large Aperture at Low Cost Three-Dimensional Time-of-Flight Sensor Using Scanning MEMS Micromirrors and Synchronous Detector Switching“, Applied Optics, Vol. 53, Nr. 8, Seiten 1570 bis 1582 verwiesen.

[0021] Unter dem Begriff „optischer“ bzw. „winkelverstärkter“ Nachführung wird die Veränderung des Empfangswinkelbereichs bzw. der Blickrichtung der Detektor-Empfangsoptik-Kombination synchron zum Scanvorgang in zumindest einer Scanachse mit optischen Mitteln verstanden. Dies kann durch eine Ablenkung bzw. eine Änderung der Ausbreitungsrichtung des vom Messobjekt in die Richtung der Empfangseinrichtung reflektierten und/oder gestreuten Teils des Sendestrahllichts um zumindest eine Achse erzielt werden, wobei die Ablenkung bzw. die Änderung der Ausbreitungsrichtung synchron zum Scanvorgang entlang zumindest einer Scanachse erfolgt (z. B. synchron zur Ablenkung eines Sendestrahls entlang zumindest einer Scanachse). Gemäß der Erfindung erfolgt die Veränderung des Empfangswinkelbereichs mittels einer empfangsseitigen optischen Strahlablenkungsanordnung, die auf dem Prinzip der Strahltransmission basiert. Das von einem Messobjekt in Richtung der Empfangseinrichtung bzw. des Empfängers reflektierte und/oder gestreute Sendestrahllicht passiert durch die transmissive Strahlablenkungsanordnung, wird durch diese abgelenkt und anschließend auf den linearen Detektor oder das lineare Detektorarray fokussiert. Der Winkelbereich, in dem der Empfangsstrahl abgelenkt wird, kann z. B. $\pm 80^\circ$, $\pm 70^\circ$, $\pm 60^\circ$, $\pm 45^\circ$ oder ein anderer Winkelbereich sein.

[0022] Ein wesentlicher Vorteil des vorgeschlagenen Systemkonzepts liegt darin, dass die Stärken der beiden eingesetzten Nachführungstechniken optimal ausgenutzt und gleichzeitig die größten Prinzip bedingten

Schwächen minimiert oder vermieden werden können. Die jeweiligen Stärken liegen insbesondere in der Entkopplung zwischen Empfangsapertur und Scanfrequenz (virtuelle bzw. elektronische Nachführung) sowie zwischen Empfangsapertur und Sichtfeld (optische bzw. winkelverstärkte Nachführung). So kann das Sichtfeld der elektronisch nachgeführten Scanachse kleiner als das der optisch bzw. winkelverstärkt nachgeführten Scanachse gemacht werden. Andererseits kann die Scanfrequenz der elektronisch nachgeführten Achse deutlich höher als die der optischen bzw. winkelverstärkten (z. B. mechanisch-translatorisch) nachgeführten Achse gewählt werden. Durch die vorteilhafte Ausnutzung dieser Zusammenhänge lässt sich somit ein 3D-Scanner mit – im Vergleich zu bekannten Systemen – größerer Empfangsapertur realisieren, ohne die Framerate oder das Sichtfeld zu reduzieren und/oder die Kosten deutlich erhöhen zu müssen.

[0023] Aufgrund der Verwendung von transmissiven optischen Elementen (Transmissionsoptiken bzw. Transmissionselementen), insbesondere in Kombination mit einem einzigen senderseitigen mikromechanischen Element zur Ablenkung des Sendestrahls, kann der Bauraum der optischen Messvorrichtung erheblich reduziert werden. Eine Platzersparnis wird insbesondere dadurch erzielt, dass ein Füllfaktor der Empfangsoptik bis zu 100% erreicht werden kann und empfangsseitig ausschließlich Transmissionselemente eingesetzt werden, die platzsparend direkt hintereinander angeordnet werden können.

[0024] Ein weiterer Vorteil ist die geringe Wafer-Fläche, die bei bestimmten Scanwinkelbereichen für eine vorgegebene Empfangsapertur benötigt wird. Die benötigte Wafer-Fläche ist z. B. wesentlich kleiner als bei dem in DE 10 2007 045 334 A1 vorgeschlagenen Ansatz mit einem Array von synchron schwingenden mikromechanischen Schwingspiegeln.

[0025] Ein weiterer Vorteil ist die hohe Lebensdauer, da Lager oder sonstige verschleißbehaftete Bauteile weitgehend vermieden werden können.

[0026] Die Ablenkung des von dem Messobjekt in Richtung der Empfangseinrichtung bzw. des Empfängers reflektierten und/oder gestreuten Sendestrahllichts (Empfangsstrahls) kann z. B. durch eine mechanisch-translatorische Bewegung von zumindest zwei transmissiven optischen Elementen relativ zueinander erzielt werden. Diese Art von Nachführung wird nachfolgend auch mechanisch-translatorische Nachführung genannt.

[0027] Die mechanische Bewegung kann z. B. eine translatorische Bewegung zweier Mikrolinsenarrays oder Lentikularlinsenarrays relativ zueinander sein. Die Mikrolinsen- oder Lentikularlinsenarrays können im Wesentlichen parallel zueinander und senkrecht zur optischen Achse des Empfangszweigs und insbesondere der Empfangseinrichtung angeordnet werden.

[0028] Die Größe des Mikro- oder Lentikularlinsenarrays liegt vorzugsweise im Bereich von $5 \times 5 \text{ mm}^2$ bis $50 \times 50 \text{ mm}^2$. Die einzelnen Linsen des Mikro- oder Lentikularlinsenarrays können längliche Linsen sein, wie z. B. zylindrische oder andere asphärische Linsen. Die Längsachse der einzelnen Linsen des Mikro- oder Lentikularlinsenarrays kann im Wesentlichen parallel zum linearen Detektor oder Detektorarray und im Wesentlichen senkrecht zur Translationsbewegung des Mikro- oder Lentikularlinsenarrays sein.

[0029] Die Periode des Mikro- oder Lentikularlinsenarrays kann beispielsweise von $50 \text{ }\mu\text{m}$ bis $500 \text{ }\mu\text{m}$, vorzugsweise ungefähr $200 \text{ }\mu\text{m}$ sein. Die maximale translatorische Bewegung des Mikro- oder Lentikularlinsenarrays entspricht ungefähr dem halben Durchmesser der einzelnen Linsen des Mikro- oder Lentikularlinsenarrays. Die Geschwindigkeit bzw. Frequenz der translatorischen Bewegung kann im Bereich Sub- bis Kilohertz liegen, z. B. im Bereich von 1 Hz bis 50 Hz. Der maximale Ablenkwinkel kann im Bereich von einigen 10 Grad liegen. Beispielsweise kann der maximale Ablenkwinkel $\pm 25^\circ$, vorzugsweise $\pm 26,5^\circ$ betragen.

[0030] Ein Vorteil der mechanisch-translatorischen Nachführung mittels Mikrolinsen oder Lentikularlinsen ist, dass mit relativ kleinen translatorischen Bewegungen ein relativ großer Scanbereich abgedeckt werden kann. Dadurch kann die optische Nachführung sehr platzsparend umgesetzt werden. Des Weiteren ist es möglich, den mechanischen Antrieb aufgrund der relativ kleinen notwendigen Bewegung einfach und kostengünstig zu gestalten.

[0031] Eine Ablenkung des von dem Messobjekt in Richtung der Empfangseinrichtung bzw. des Empfängers reflektierten und/oder gestreuten Sendestrahllichts (Empfangsstrahls) kann ebenfalls durch eine gegenläufige Rotation zweier Transmissionsgitter oder durch zumindest ein zeitlich veränderbares bzw. programmierbares Transmissionsgitter erzielt werden. Es ist z. B. möglich, zur Ablenkung steuerbare transmissive räumliche Lichtmodulatoren, wie z. B. LCD Modulatoren, einzusetzen, in welche Gitter mit veränderbaren Richtung und Periode eingeschrieben sind. Ein Vorteil der Verwendung von elektronisch steuerbaren Transmissionsgittern

oder anderen elektronisch steuerbaren Lichtmodulatoren ist, dass die Trackingvorrichtung keine mechanisch beweglichen Komponenten benötigt. Dadurch kann die Scangeschwindigkeit der Trackingvorrichtung erhöht und deren Aufbau vereinfacht werden. Ferner kann das Bauvolumen der optischen Messvorrichtung reduziert und deren Robustheit erhöht werden.

[0032] Das abbildende optische Element kann eine Sammellinse, insbesondere eine Fresnellinse sein. Vorteile einer Fresnellinse sind insbesondere ihr geringes Gewicht, ihre einfache und kostengünstige Fertigung (auch von komplexen asphärischen Linsen) und ihre sehr geringe Bauraumanforderungen. Ferner lassen sich Fresnellinsen aufgrund ihrer Planarität sehr gut in günstige Halterungen integrieren.

[0033] Die senderseitige Scan- oder Winkelablenkvorrichtung kann einen schwingenden und/oder rotierenden Scanspiegel umfassen. Der Scanspiegel kann z. B. ein Mikrospiegel oder ein anderes mikromechanisches Scanelement sein. Der Mikrospiegel kann z. B. eine Größe von 0,4 mm bis 4 mm Durchmesser, vorzugsweise von 1 mm bis 3 mm, besonders bevorzugt 1,5 mm bis 2 mm Durchmesser aufweisen. Der Scanspiegel kann z. B. elektrostatisch, elektromagnetisch oder piezo-elektrisch angetrieben werden. Die schnelle Scanachse kann z. B. resonant schwingen, die langsame Scanachse kann z. B. statisch ansteuerbar sein. Die Scan- oder Winkelablenkvorrichtung kann auch mehrere Scanspiegel umfassen, z. B. ein ein- oder zweidimensionales Spiegelarray. Die Scan- oder Winkelablenkvorrichtung kann ferner eine Positionseinrichtung zur Messung der Position des Scanspiegels umfassen, die in Signalverbindung mit der Trackingvorrichtung und/oder der Signalverarbeitungsvorrichtung stehen kann. Dadurch kann die Synchronisation zwischen dem Scanvorgang und der Nachführung verbessert werden, was zu einer Erhöhung der Genauigkeit der Vermessung führt.

[0034] Die sendeseitige Scan- oder Winkelablenkvorrichtung und die empfangsseitige Trackingvorrichtung können Bestandteile einer Scaneinheit bzw. eines Scanmoduls sein. In einem Beispiel kann ein Scanspiegel der Scan- oder Winkelablenkvorrichtung in einer Aussparung in zumindest einem optischen Transmissions-element (wie z. B. in dem doppelseitigen und/oder dem einseitigen Mikro- oder Lentikularlinsenarray) angeordnet sein.

[0035] Somit kann das Bauvolumen des optischen Messsystems reduziert werden.

[0036] Die senderseitige Scan- oder Winkelablenkvorrichtung und die empfangsseitige Trackingvorrichtung und/oder Empfangseinrichtung können derart angeordnet sein, dass deren optischen Achsen koaxial sind. Anders ausgedrückt können der Sender und der Empfänger koaxial angeordnet sein. Durch die koaxiale Anordnung der senderseitigen Scan- oder Winkelablenkvorrichtung und/oder der empfangsseitigen Trackingvorrichtung und/oder Empfangseinrichtung (d. h. des Senders und des Empfängers) kann eine aufgrund des Triangulationseffekts auftretende ungewollte distanzabhängige Verschiebung des Empfangsstrahlspots auf dem Detektor (bzw. einen Parallaxenfehler) vermieden oder minimiert werden. Mit dieser distanzabhängigen Spotverschiebung geht auch eine ungewollte distanzabhängige Verschiebung der optimalen Umschaltzeitpunkte einher, die vor allem bei kleinen Messdistanzen zum Tragen kommt. Eine koaxiale Anordnung der Scan- oder Winkelablenkvorrichtung und der Trackingvorrichtung kann z. B. durch die oben beschriebene Anordnung des Scanspiegels in einer Aussparung in einem oder mehreren transmissiven optischen Elementen der transmissiven Strahlableitungsanordnung realisiert werden.

[0037] Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zur Vermessung von Messobjekten und/oder Anordnungen von Messobjekten, insbesondere von drei-dimensionalen Messobjekten und/oder Anordnungen von Messobjekten, z. B. mittels Lichtlaufzeitmessung („Time-of-Flight“ Messung) und/oder mittels Reflektivitätsmessung. Das Verfahren kann beispielsweise mit dem oben beschriebenen optischen Messsystem durchgeführt werden. Das Verfahren umfasst:

Aussenden zumindest eines Sendestrahls;

Scannen eines Messobjekts mit dem zumindest einen Sendestrahl entlang zweier Scanachsen,

Nachführen des vom Messobjekt in Richtung einer Empfangseinrichtung reflektierten und/oder gestreuten Sendestrahllichts, wobei die erste der beiden Scanachsen optisch und die zweite der beiden Scanachsen elektronisch bzw. virtuell nachgeführt wird,

Detektieren bzw. Erfassen zumindest eines Teils des vom Messobjekt reflektierten und/oder gestreuten Sendestrahllichts (bzw. zumindest eines Teils des Empfangsstrahls) mittels zumindest eines (z. B. linearen) Detektors oder zumindest eines (z. B. linearen) Detektorarrays der Empfangseinrichtung und Generieren zumindest eines Empfangssignals; und

Verarbeiten des zumindest einen Empfangssignals mittels einer Signalverarbeitungsvorrichtung.

[0038] Das optische Nachführen der ersten Scanachse umfasst:

Ablenken des vom Messobjekt in Richtung der Empfangseinrichtung reflektierten und/oder gestreuten Sendestrahllichts (bzw. des Empfangsstrahls) synchron zum Scanvorgang in der ersten Scanachse (z. B. synchron zur Strahlablenkung des Sendestrahls entlang der ersten Scanachse) mittels einer transmissiven optischen Ablenkungsanordnung; und

Abbilden des durch die Strahlablenkungsanordnung propagierten Lichts bzw. Empfangsstrahls auf den Detektor oder das Detektorarray.

[0039] Das elektronische Nachführen der zweiten Scanachse umfasst Schalten bzw. Aktivieren von unterschiedlichen Teilbereichen des Detektors oder des Detektorarrays (z. B. seriell nacheinander) synchron zum Scanvorgang in der zweiten Scanachse, wobei der jeweils geschaltete bzw. aktivierte Teilbereich in Signalverbindung mit der Signalverarbeitungseinrichtung steht. Die unterschiedlichen Teilbereiche des Detektors oder Detektorarrays können seriell nacheinander, z. B. synchron zur Strahlablenkung des Sendestrahls entlang der zweiten Scanachse geschaltet bzw. aktiviert werden.

[0040] Wie oben beschrieben kann das Ablenken des vom Messobjekt in die Richtung der Empfangseinrichtung reflektierten und/oder gestreuten Sendestrahllichts bzw. des Empfangsstrahls zum Beispiel mittels einer translatorischen Bewegung eines doppelseitigen Mikro- oder Lentikularlinsenarrays und eines einseitigen Mikro- oder Lentikularlinsenarrays relativ zueinander erfolgen. Es ist auch möglich, das Ablenken mittels einer gegenläufigen Rotation zweier Transmissionsgitter oder mittels eines elektronisch schaltbaren (elektronischen) Transmissionsgitters zu realisieren.

[0041] Weiterhin kann wie oben beschrieben das Abbilden des durch die Strahlablenkungsanordnung propagierten Lichts bzw. Empfangsstrahls auf den Detektor oder das Detektorarray mittels einer Fresnellinse erfolgen. Das Scannen des Messobjekts mit dem Sendestrahls kann mittels eines schwingenden und/oder rotierenden Scanspiegels, z. B. einen elektrostatisch oder elektromagnetisch betriebenen Mikrospiegels erfolgen.

[0042] Das erfindungsgemäße Messsystem und das erfindungsgemäße Messverfahren können in der Automatisierungstechnik, Robotik, fahrerlosen Transportsystemen, Automobilfertigung, Logistik, etc. eingesetzt werden. In den meisten dieser Bereiche werden derzeit einachsig scannende Laserscanner eingesetzt, da das Problem des Bereitstellens von effizienten, robusten und schnellen zwei-achsigen Laserscanner nicht zufriedenstellend gelöst ist. Ein weiteres Anwendungsgebiet des optischen Messsystems ist das autonome Fahren, z. B. zur Lokalisierung von Fahrzeugen nebeneinander und in verschiedenen Distanzen und/oder zur Unterscheidung von Verkehrsteilnehmer und deren Distanz.

[0043] So können das erfindungsgemäße Messsystem und das erfindungsgemäße Messverfahren zum Ermitteln einer 3D-Punktwolke eines Objekts eingesetzt werden, z. B. eines zu transportierenden Objekts bei fahrerlosen Transportsystemen. Eine messtechnisch ermittelte 3D-Punktwolke des zu transportierenden Objekts hilft, die Ladungsträgeraufnahme zuverlässiger und schneller umzusetzen, was Kosten und Zeit spart.

[0044] Die Erfindung wird nachstehend beispielhaft anhand von Ausführungsbeispielen und den Figuren näher erläutert. Es zeigen:

[0045] Fig. 1 ein beispielhaftes Scanmuster;

[0046] Fig. 2A das Prinzip der virtuellen Nachführung;

[0047] Fig. 2B das Prinzip der optischen bzw. winkerverstärkten Nachführung;

[0048] Fig. 2C einen Teilbereich des Strahlengangs des Empfangsstrahls durch zwei Mikrolinsenarrays bei maximalem Auslenkwinkel der langsamen Achse;

[0049] Fig. 3 und Fig. 4 den schematischen Aufbau eines beispielhaften optischen Messsystems, wobei der Empfangsstrahl für einen im Wesentlichen senkrechten Einfallswinkel (Fig. 3) und für einen schrägen Einfallswinkel (Fig. 4) der langsamen Scanachse dargestellt ist;

[0050] Fig. 5 eine perspektivische Ansicht des in Fig. 3 und Fig. 4 gezeigten Messsystems;

[0051] Fig. 6 ein beispielhaftes Mikrolinsenarray, welches vor einem Detektorarray angeordnet ist;

[0052] Fig. 7 eine beispielhafte Ausführung eines Mikrolinsenarrays mit einer Aussparung für den senderseitigen Scanspiegel; und

[0053] Fig. 8 den schematischen Aufbau eines weiteren beispielhaften optischen Messsystems;

[0054] Fig. 9 die Lichtbeugung an einem Transmissionsgitter;

[0055] Fig. 10 eine beispielhafte Strahlableitungsanordnung umfassend zwei gegenläufig rotierende Transmissionsgitter.

[0056] In den Figuren sind einander entsprechende oder funktionsähnliche Bauteile mit gleichen Bezugszeichen versehen.

[0057] Das optische Messsystem und das optische Messverfahren in den nachfolgenden Beispielen basieren auf der Lichtlaufzeitmessung. Das Messsystem und Messverfahren können jedoch auf der Reflektivitätsmessung basieren.

[0058] Mithilfe der Laufzeitmessung eines optischen Signals kann der zurückgelegte Weg bei bekannter Ausbreitungsgeschwindigkeit bestimmt werden. Im Fall von Luft als Ausbreitungsmedium ist die Lichtgeschwindigkeit $c \approx 3 \cdot 10^8$ m/s. Wird die Umlaufzeit τ gemessen, so kann aus folgendem Zusammenhang die Messdistanz d berechnet werden:

$$d = c \cdot \tau / 2 \quad (1)$$

[0059] Zur Messung der Laufzeit können sowohl Pulslaufzeitmessverfahren als auch Phasenlaufzeitmessverfahren eingesetzt werden. Alternativ können Verfahren auf Basis der Frequenzmodulation, wie z. B. FMCW Radar (English: Frequency Modulated Continuous Wave) eingesetzt werden.

[0060] Das Prinzip der Pulslaufzeitmessung basiert auf der direkten Zeitmessung. Daher wird dieses Verfahren oft auch als direkte Laufzeitmessung (Englisch: „direct Time-of-Flight“ oder „ToF“) bezeichnet. Für eine Einzelpunktmessung wird im einfachsten Fall lediglich ein einziger Puls vom Sender transmittiert. Dieser Puls wird von einem Messobjekt im Abstand d zurückgestreut und/oder reflektiert und vom Empfänger in abgeschwächter Form registriert. Dabei entspricht die gemessene Zeitdifferenz zwischen Sende- und Empfangspuls der Umlaufzeit τ . Die gesuchte Messdistanz kann abschließend gemäß Gleichung (1) berechnet werden.

[0061] Im Gegensatz zur Pulslaufzeitmessung wird bei der Phasenlaufzeitmessung eine indirekte Messung der Lichtlaufzeit über eine Phasenmessung durchgeführt. Daher wird dieses Verfahren oft auch als indirekte „Time-of-Flight“ Methode bezeichnet. Dabei kommt eine, in der Regel sinusförmige, Amplitudenmodulation der ausgesendeten optischen Leistung mit der Modulationsfrequenz f_m zum Einsatz. Die Phase φ zwischen ausgesendetem und empfangenem Signal entspricht der Umlaufzeit τ über den folgenden Zusammenhang

$$\tau = \frac{\varphi}{f_m \cdot 2\pi} \quad (2)$$

[0062] Die Messvorrichtungen und Messverfahren in den nachfolgenden Beispielen sind Scanverfahren und basieren auf einer Strahlableitung des Sende- und Empfangsstrahls und damit auf einer sequentiellen Vermessung des Sichtfeldes. Somit werden die Bildpunkte bzw. die Messpunkte des Messobjekts seriell nacheinander vermessen.

[0063] Ein beispielhaftes zeilenförmiges Scanmuster ist in Fig. 1 dargestellt. Bei diesem Beispiel wird das Messobjekt entlang einer schnellen Achse y und einer langsamen Achse x gescannt bzw. optisch abgetastet. Die horizontale Scanbewegung kann eine sinusförmige Bewegung sein, während die vertikale Scanbewegung eine lineare Bewegung sein kann. Pro Frame wird das Scanmuster einmal durchlaufen. Am Ende des Frames erfolgt ein Rücklauf zur Startposition oder der Frame läuft entgegen das Muster „rückwärts“.

[0064] Das Empfangskonzept des optischen Messsystems und des Messverfahrens basiert auf einer Kombination zweier unterschiedlicher Nachführungstechniken: einer virtuellen bzw. elektronischen Nachführung und einer optischen bzw. winkelverstärkten Nachführung.

[0065] Fig. 2A illustriert schematisch das Prinzip der virtuellen bzw. elektronischen Nachführung, die ohne eine Strahlablenkung des Empfangsstrahls erfolgt. Unter dem Begriff „Empfangsstrahl“ wird dabei der Teil des Lichts (Empfangslicht) verstanden, welcher vom Messobjekt in Richtung der Empfangseinrichtung bzw. des Empfängers reflektiert und/oder gestreut wird und von der Empfangseinrichtung bzw. des Empfängers erfasst wird. Anders ausgedrückt „blickt“ die Empfangseinrichtung bzw. der Empfänger in die Richtung, aus der der Empfangsstrahl kommt. Der Begriff „Empfangsstrahl“ kann somit in einigen Fällen mit der Blickrichtung der Empfangseinrichtung bzw. des Empfängers gleichgesetzt werden.

[0066] Der gesamte Scanwinkelbereich einer Scanachse (z. B. der schnellen Achse y) wird durch ein abbildendes optisches Element (z. B. eine Sammellinse) auf einen länglichen bzw. linearen Detektor oder auf ein lineares bzw. eindimensionales Detektorarray **9** abgebildet. Während der auf den Detektor bzw. auf das Detektorarray **9** fokussierte Empfangsstrahl **51** sich aufgrund des Scanvorgangs über den Detektor bzw. das Detektorarray **9** bewegt, wird jeweils das am meisten beleuchtete Detektorelement durch einen Multiplexer **10** mit der darauffolgenden Signalverarbeitung **11** verbunden. Durch das Umschalten zwischen den einzelnen Detektoren des Detektorarrays **9** kann die gesamte Lichtmenge des Empfangsstrahls **51**, die auf die Sammellinse **7** trifft, empfangen werden. Die zwei größten Empfangswinkel des Empfangsstrahls **51**, die empfangen werden können, sind in gestrichelten bzw. in durchgezogenen Linien dargestellt.

[0067] Insbesondere bewegt sich aufgrund der resonanten Schwingung des Scanspiegels der Fokus des Empfangsstrahls mit einem z. B. sinusförmigen Geschwindigkeitsprofil über das Detektorarray **9** hinweg. Um eine kontinuierliche Distanzmessung zu ermöglichen, wird zu jedem Zeitpunkt der maximal beleuchtete Detektor mit der Signalverarbeitung verbunden. Dies kann durch einen Multiplexer **10** erfolgen. Besteht der Detektor nicht aus einem Detektorarray, so entfällt der Multiplexer **10** und es muss nicht umgeschaltet werden. In diesem Fall fällt jedoch das Störlicht des gesamten Winkelbereichs auf dem Detektor und erhöht das Rauschen.

[0068] Aufgrund der Vermeidung beweglicher Nachführungsmechaniken wird bei der elektronischen bzw. virtuellen Nachführung eine Entkopplung zwischen Scanfrequenz und Empfangsapertur erreicht. Die erreichbare Empfangsapertur ist lediglich durch die Größe des Detektorarrays und des Sichtfeldes bestimmt. Durch die erreichbaren schnellen Umschaltzeiten des Multiplexers ist die Scanfrequenz damit lediglich durch die Charakteristika des Scanspiegels limitiert. Hohe Scanfrequenzen ermöglichen z. B. die Registrierung schneller Bewegungen in weiter Entfernung. Es ist beispielsweise möglich, ein Bildfeld von 100×100 Pixel mit einer Framerate von $f_{FR} = 100$ Hz bei einer Scanfrequenz der schnellen Achse von $f_{fa} = 5$ kHz und einer Pixelrate von $f_{px} = 1$ MHz zu vermessen.

[0069] Ferner ist es möglich, nur geringe Waferflächen mit teuren MEMS-Strukturen und große Waferflächen mit günstigen Detektorstrukturen einzusetzen, was die Kosten für das gesamte optische Messsystem verringert. Des Weiteren kann der Synchronisationsaufwand von der mechanischen in die elektrische Domäne verlagert werden. So ist es möglich, selbst mit nur einem Triggerpuls pro Schwingungsperiode des Mikrospiegels, die Mikrospiegelschwingung und die Umschaltzeitpunkte zu synchronisieren. Die Synchronisationsgenauigkeit kann z. B. durch ein sensorisch erfasstes Positionssignal des Mikrospiegels weiter verbessert werden. Durch die Verlagerung des Synchronisationsaufwands in die elektrische Domäne lassen sich ferner beliebige Scanmuster nachführen, was die Flexibilität deutlich steigert.

[0070] Wie oben beschrieben ist die erreichbare Empfangsapertur durch die Größe des Detektorarrays bestimmt. Ein Erhöhen der Anzahl der Detektorelemente kann jedoch zu einer Verkomplizierung des Schaltungsdesigns und zu einer Kostensteigerung führen.

[0071] Ein Nachteil der elektronischen Nachführung kann die verminderte Messgenauigkeit in den Umschaltbereichen sein. Ein Grund für diese Reduktion der Messgenauigkeit kann eine Verfälschung der Phasenmessung während des Umschaltens zwischen zwei Detektoren bzw. Detektorelementen sein. Eine mögliche Lösung für dieses Problems ist es, die Messwerte, die während des Umschaltvorgangs ermittelt werden, noch vor einer Quadraturdemodulation durch eine phasenrichtig verzögerte Kopie der letzten Messwerte zu ersetzen. Eine weitere Lösungsmöglichkeit besteht in einer Anpassung des Schaltungsdesigns.

[0072] Ferner kann ein Teil des Lichts im Umschaltbereich durch eine Verteilung des durch den Empfangsstrahl beleuchteten Spots auf zwei oder mehrere Detektorelemente verloren gehen, was zu einer Reduktion des Signal-Rausch-Verhältnisses führen kann. Durch Auswerten des Messergebnisses in den beleuchteten Detektorelementen und Mitteln der erfassten Werte kann die Reduktion des Signal-Rausch-Verhältnisses im Umschaltbereich verringert werden. Bei einer Verteilung des beleuchteten Spots auf zwei Detektorelemente kann z. B. die Reduktion des Signal-Rausch-Verhältnisses von 2 auf verringert werden.

[0073] Ferner kann eine Desynchronisation zwischen der Schwingung des Scanspiegels und des Detektorschaltens durch ein Nachführen der Umschaltzeitpunkte mit entsprechender Positionssensorik des Scanspiegels vermieden werden.

[0074] Fig. 2B zeigt schematisch das Prinzip der optischen bzw. winkelverstärkten Nachführung und insbesondere der mechanisch-translatorischen Nachführung. Bei dem in Fig. 2B gezeigten Beispiel wird die mechanisch-translatorische Strahlnachführung mittels einer transmissiven Strahlableitungsanordnung umfassend drei Mikrolinsenarrays realisiert. Fig. 2B zeigt den Fall des maximalen Ablenkungswinkels β_{\max} . Das erste Linienarray LA1 fokussiert den Einfallstrahl (Empfangsstrahl **51**) in die Feldebene im Abstand f_{ml} , in der sich das Feldlinienarray LA2 gleicher Brennweite f_{ml} befindet. Dieses bildet die zugehörige Mikrolinse des ersten Mikrolinsenarrays LA1 auf die zugehörige Mikrolinse des dritten Mikrolinsenarrays LA3 ab, so dass ein „Mikrolinienkanal“ entsteht, den der Einfallstrahl im Idealfall nicht verlassen kann. Die Linse des dritten Mikrolinsenarrays LA3 kollimiert den abgelenkten divergenten Strahl. Eine laterale Verschiebung s des dritten Mikrolinsenarrays LA3 relativ zu den ersten beiden Arrays LA1 und LA2 verändert den Ablenkungswinkel.

[0075] Der Zusammenhang zwischen der lateralen Verschiebung s und dem Ablenkungswinkel β des Einfallstrahls ist gegeben durch die folgende Gleichung:

$$s = f_{ml} \cdot \tan(\beta) \quad (3)$$

[0076] Die maximale Verschiebung s_{\max} des Mikrolinsenarrays LA3 ist gegeben durch

$$s_{\max} = \frac{D_{ml}}{2}$$

Wird die laterale Verschiebung s größer als der halbe Mikrolinsendurchmesser D_{ml} , so überschreitet der Zwischenfokus den Rand der Feldlinse und kann somit nicht mehr im Mikrolinienkanal verbleiben. Daher berechnet sich der maximale Ablenkungswinkel β_{\max} dieses Strahlableitungsprinzips mit

$$\frac{f_{ml}}{D_{ml}} \approx 1 \text{ zu}$$

$$\beta_{\max} = \arctan\left(\frac{D_{ml}}{2 \cdot f_{ml}}\right) \approx 26,5^\circ \quad (4)$$

[0077] Fig. 2C zeigt eine mögliche Umsetzung des in Fig. 2B gezeigten Prinzips der mechanisch-translatorischen Nachführung mit einem doppelseitig strukturierten Mikrolinsenarray **4** und einem einseitig strukturierten Mikrolinsenarray **5**. Insbesondere zeigt Fig. 2C einen Teilbereich des Strahlengangs des Empfangsstrahls **51** durch die beiden Mikrolinsenarrays **4** und **5** bei maximalem Auslenkwinkel der langsamen Scanachse. Der von einem Messobjekt **3** reflektierte und/oder gestreute Empfangsstrahl **51** wird durch das doppelseitig strukturierte Mikrolinsenarray **4** in einzelne Teilstrahlen aufgeteilt, welche in eine Zwischenebene fokussiert werden und danach auf ein zweites, einseitig strukturiertes Mikrolinsenarray **5** wieder kollimiert und anschließend auf einen Detektor bzw. auf ein Detektorarray (nicht gezeigt) fokussiert. Durch eine laterale translatorische Verschiebung der beiden Mikrolinsenarrays relativ zueinander kann eine laterale Strahlableitung erreicht werden, d. h. eine Strahlableitung in einer Ebene senkrecht zur optischen Achse z der Empfangseinrichtung. Die Verschiebung findet synchron zur Strahlableitung entlang einer der Scanachsen (z. B. der langsamen Scanachse) statt.

[0078] Eine mechanisch-translatorische Nachführung kann auch mit anderen transmissiven optischen Elementen realisiert werden. So kann der Ablenkungswinkel β durch eine gegenläufige Rotationsbewegung zweier Transmissionsgitter relativ zueinander verändert werden. Ebenfalls ist es möglich, den Ablenkungswinkel β durch zwei elektronisch steuerbare bzw. veränderbare Transmissionsgitter oder andere räumliche Lichtmodulatoren zu ändern. Da in diesem Fall keine mechanisch beweglichen Teile notwendig sind, kann die Robustheit und/oder Genauigkeit des Systems erhöht werden.

[0079] Aufgrund der notwendigen Richtungswechsel der Bewegung sind mit einer optischen und insbesondere einer mechanisch-translatorischen Nachführung zwar in der Regel nicht so hohe Scanfrequenzen möglich, jedoch kann dieses Strahlableitungsprinzip beispielsweise in der langsamen Scanachse des Messsystems integriert werden. Für die schnelle Scanachse kann, wie oben erläutert, das Prinzip der virtuellen Nachführung eingesetzt werden.

[0080] Während die erreichbare Empfangsapertur bei der elektronischen Nachführung durch die Größe des Detektorarrays und das Sichtfeld begrenzt ist, liegt die Begrenzung im Fall der mechanisch-translatorischen Ablenkung bei der Detektorgröße und den mechanischen Eigenschaften der Translation. Ein wichtiger Vorteil der mechanisch-translatorischen Strahlablenkung ist die Entkopplung zwischen Sichtfeld und erreichbarer Empfangsapertur. Weiterhin zeichnet sich die Methode durch geringe Bauraumanforderungen aus. Eine Kombination der elektronischen Nachführung in der schnellen und der mechanisch-translatorischen Nachführung in der langsamen Scanachse, wie in den nachfolgenden Figuren gezeigt, ermöglicht sowohl das Ausnutzen der jeweiligen Stärken beider Nachführungsprinzipien als auch das Vermeiden Prinzip bedingter Schwächen.

[0081] Fig. 3 zeigt eine Ansicht von oben auf ein beispielhaftes Messsystem mittels Lichtlaufzeitmessung, wobei der Empfangsstrahl **51** für einen Einfallswinkel der langsamen Scanachse y dargestellt ist, welcher im Wesentlichen Null ist (senkrechter Einfall). Fig. 4 zeigt den gleichen Aufbau wie Fig. 3, wobei der Empfangsstrahl **51** für einen schrägen Einfallswinkel der langsamen Scanachse y dargestellt ist. Fig. 5 zeigt eine perspektivische Ansicht des in Fig. 3 und Fig. 4 gezeigten Messsystems.

[0082] Das Messsystem umfasst eine Sendeeinheit mit einer Laserdiode **1** oder einer anderen geeigneten Lichtquelle. Die Sendeeinheit kann in Signalverbindung mit einer Signalverarbeitungsvorrichtung stehen und ausgelegt sein, ein von der Signalverarbeitungsvorrichtung erzeugtes elektrisches Signal in ein moduliertes optisches Signal (Sendestrahl) umzuwandeln. Das optische Signal kann z. B. amplitudenmoduliert sein.

[0083] Ein kollimierter Sendestrahl **50** wird von der Laserdiode **1** ausgesendet und über einen senderseitigen Scanspiegel **2** innerhalb des Blickfelds in zwei Achsen (Scanachsen) abgelenkt. Der senderseitige Scanspiegel **2** kann z. B. ein mikromechanischer, elektrostatisch oder elektromagnetisch angetriebener Schwingenspiegel sein. Die schnelle Scanachse (y) ist eine Schwingung um die x -Achse, die langsame Scanachse (x) eine Schwingung um die y -Achse. Befindet sich ein streuendes und/oder reflektierendes Messobjekt **3** im Sichtfeld des optischen Messsystems, so entsteht ein Empfangssignal **51**, welches auf die Trackingvorrichtung trifft. Die Trackingvorrichtung umfasst die in z -Richtung (d. h. in Richtung senkrecht zur x -Achse und y -Achse, wobei die z -Richtung vorzugsweise mit der optischen Achse der Empfangseinrichtung zusammenfällt) hintereinander positionierten transmissiven optischen Elemente **4**, **5**, **6** und **7**, wobei die Anordnung der optischen Elemente **4**, **5**, **6** und **7** bis auf eine Bedingung beliebig sein kann. Die Bedingung, die erfüllt werden muss, ist, dass der Empfangsstrahl **51** zuerst auf die beiden Mikrolinsenarrays **4,5** trifft und durch diese passiert, bevor er auf die Sammellinse **7** trifft. Bei dem in Fig. 3 bis Fig. 5 gezeigten Beispiel ist eines der beiden Mikrolinsenarrays doppelseitig strukturiert (doppelseitiges Mikrolinsenarray **4**), das andere einseitig (einseitiges Mikrolinsenarray **5**).

[0084] Die beiden Mikrolinsenarrays **4** und **5** umfassen mehrere einzelne Mikrolinsen, z. B. mehrere zylindrische, lenticulare, etc. Mikrolinsen. Die Längsachse jeder einzelnen Mikrolinse ist im Wesentlichen senkrecht zur x -Richtung und parallel zur y -Richtung. Die beiden Mikrolinsenarrays **4** und **5** sind im Wesentlichen parallel zu einander und senkrecht zur optischen Achse z angeordnet.

[0085] Die beiden Mikrolinsenarrays **4** und **5** werden synchron zur Bewegung der langsamen Scanachse des sendeseitigen Scanspiegels **2** relativ zueinander in x -Richtung bewegt (siehe Fig. 4). Die relative Bewegung kann, wie in Fig. 4 dargestellt, über eine Bewegung des doppelseitigen Mikrolinsenarrays **4**, über eine Bewegung des einseitigen Mikrolinsenarrays **5**, oder über eine Bewegung beider Mikrolinsenarray **4** und **5** realisiert werden. Zur Reduzierung der Masse des bewegten Mikrolinsenarrays kann das einseitig strukturierte Mikrolinsenarray **5** bewegt werden, dessen Dicke auf den minimal notwendigen Wert, der die gewünschte Stabilität gewährleistet, reduziert werden kann. Bei gegebener Antriebskraft eines Aktors zur Verschiebung ist der begrenzende mechanische Faktor für die Empfangsapertur die Scanfrequenz.

[0086] Nachdem der Empfangsstrahl **51** den optischen Filter **6** passiert hat, wird er vor der Sammellinse **7** (z. B. einer Fresnellinse) auf das Detektorarray **9** fokussiert. Das lineare Detektorarray **9** mit den Detektorelementen erstreckt sich in y -Richtung (siehe z. B. Fig. 5). Vor dem Detektorarray **9** kann ein zusätzliches Mikro- oder Lentikularlinsenarray **8** zur Erhöhung des Füllfaktors des Detektorarrays **9** positioniert sein (wie z. B. in Fig. 6 gezeigt). Das zusätzliche Mikrolinsenarray **8** kann z. B. ein einseitiges Mikro- oder Lentikularlinsenarray sein.

[0087] Der transmissive optische Filter **6** ist ausgelegt, unerwünschte Wellenlängenbereiche (wie z. B. Fremdlichtquellen, Sonnenstrahlung, etc.) des elektromagnetischen Spektrums zu unterdrücken und die erwünschten Bereiche passieren zu lassen. Der optische Filter **6** kann ein schmalbandiger Bandpassfilter sein, dessen Transmissionsmaximum bei der Wellenlänge des von der Laserdiode **1** emittierten Lichts ist. Es können auch

Interferenzfilter und Absorptionsfilter kombiniert werden, um schmalbandige Filter mit hoher optischer Dichte in den Sperrbereichen zu realisieren.

[0088] Der Fokus des Empfangsstrahls **51** bewegt sich auf dem Detektorarray **9** aufgrund der Schwingung der schnellen Scanachse in y-Richtung. Zu jedem Zeitpunkt wird das Detektorelement oder werden die Detektorelemente auf dem bzw. auf denen sich der Schwerpunkt des Fokus befindet über einen Multiplexer **10** mit der darauffolgenden Signalverarbeitung **11** verbunden. In dieser Weise kann eine virtuelle/elektronische Nachführung entlang der schnellen Achse x realisiert werden. Ist der Detektor als ein länglicher Detektor, der sich entlang der y-Achse erstreckt, ausgebildet, sind ein Multiplexer und eine Umschaltung der einzelnen Detektorelemente nicht notwendig.

[0089] Der Multiplexer **10** kann ein halbleiterbasierter Analogmultiplexer sein, z. B. ein CMOS-Multiplexer, ein gepufferter Analogmultiplexer (Englisch: „buffered analog multiplexer“ oder „video multiplexer-amplifier“). Vorzugsweise wird die Anzahl der Multiplexerstufen auf einem Minimum gehalten werden, um ein Rauschen zu reduzieren. Dies kann durch eine Minimierung der Anzahl der Detektorelemente erreicht werden, was bei gegebener Detektorlänge eine Erhöhung der aktiven Fläche jedes Einzeldetektors und somit eine Reduktion der Bandbreite zur Folge hat. Bei einem linearen (eindimensionalen) Detektorarray kann jedoch ein optimaler Kompromiss zwischen Rauschreduzierung und Bandbreitenvergrößerung einfacher als bei einem 2D-Detektorarray gefunden werden.

[0090] Fig. 6 zeigt ein beispielhaftes einseitiges Mikrolinsenarray **8**, welches optional vor dem Detektorarray **9** angeordnet werden kann. Das Mikrolinsenarray **8** kann zur Erhöhung des Füllfaktors des Detektorarrays **9** eingesetzt werden.

[0091] Fig. 7 zeigt eine beispielhafte Ausführung des Mikrolinsenarrays **4**, welches eine Aussparung aufweist. Diese Aussparung kann dazu dienen, den sendeseitigen Scanspiegel **2** in der Ebene des Mikrolinsenarrays **4** zu positionieren. Somit kann ein besonders kompaktes Messsystem realisiert werden. Darüber hinaus sind in dieser Ausführungsform die optischen Achsen des Senders und der Empfängers bzw. der senderseitigen Scan- oder Winkelablenkvorrichtung und der empfangsseitigen Trackingvorrichtung und/oder Empfangsvorrichtung kollinear.

[0092] Fig. 8 zeigt ein beispielhaftes Messsystem, bei dem der senderseitige Scanspiegel **2** neben der empfangsseitigen Trackingvorrichtung (umfassend die Mikrolinsenarrays **4** und **5**, den Filter **6** und die Sammellinse **7**) angeordnet ist. Um Schatteneffekte zu vermeiden, kann in diesem Fall eine Off-Axis-Fresnellinse als Sammellinse **7** verwendet werden.

[0093] In den obigen Beispielen werden Mikrolinsenarrays zur Strahlablenkung und somit optischen Nachführung verwendet. Statt Mikrolinsenarrays können andere transmissive optische Elemente, wie z. B. Lentikularlinsenarrays oder diffraktive Transmissionsgitter verwendet werden. So ist es möglich, durch eine laterale Verschiebung zweier Mikro- oder Lentikularlinsenarrays zueinander oder durch eine Rotation zweier diffraktiver Gitter in entgegengesetzten Richtungen, eine optische, mechanisch-translatorische Nachführung zu realisieren. Durch den Einsatz von optischen Transmissionselementen und durch den relativ kleinen erforderlichen Bewegungsbereich der optischen Transmissionselemente kann das Translationsprinzip sehr platzsparend umgesetzt werden. Des Weiteren ist es möglich, den mechanischen Antrieb aufgrund der relativ kleinen notwendigen Bewegung einfach und kostengünstig zu gestalten. So stehen mit Tauchspulenantrieben günstige translatorische Antriebskonzepte für das Mikro- oder Lentikularlinsenarray(s) zur Verfügung.

[0094] Ebenfalls ist es möglich, elektronisch steuerbare räumliche Lichtmodulatoren oder Transmissionsgitter zu verwenden. So kann z. B. durch eine elektronisch gesteuerte Veränderung der Gitterstrukturen zweier diffraktiver Transmissionsgitter relativ zueinander, ebenfalls eine optische Nachführung realisiert werden. Ein Vorteil dieses Ansatzes ist, dass die Trackingvorrichtung keine mechanisch beweglichen Teile benötigt.

[0095] In den obigen Beispielen erfolgt das Umschalten der Detektorelemente synchron zum Scanvorgang entlang einer der Scanachsen. Eine zeitliche Abweichung zwischen dem optimalen Umschaltzeitpunkt beim Übergang des Fokus zwischen zwei Detektorelementen und dem tatsächlichen Umschaltzeitpunkt kann dabei zu einer Verschlechterung des Empfangssignals führen. Dies kann z. B. durch eine Berücksichtigung der Position des Scanspiegels bei der Verarbeitung des von dem Detektor generierten Empfangssignals minimiert werden. Die Position des Scanspiegels kann z. B. mittels einer geeigneten Positionssensorik (welche in dem Scanspiegel integriert werden kann) erfasst werden. Dadurch kann eine zeitliche Verschiebung der optimalen

Umschaltzeitpunkte, z. B. aufgrund von Temperatur- bzw. Luftfeuchtigkeitsschwankungen, die beispielsweise die Oszillationsamplitude leicht beeinflussen, im Wesentlichen kompensiert werden.

[0096] Wie oben beschrieben kann aufgrund des Parallaxenfehlers eine ungewollte Verschiebung des Empfangsstrahlspots bzw. des Fokus auf dem Detektor auftreten. Mit dieser distanzabhängigen Spotverschiebung geht auch eine distanzabhängige Verschiebung der optimalen Umschaltzeitpunkte einher, die vor allem bei kleinen Messdistanzen zum Tragen kommt. Es gibt mehrere Möglichkeiten, um dieses Problem zu lösen. Zum einen kann der Effekt durch ein koaxiales Anordnen der optischen Achsen von Sender- und Empfänger weitgehend vermieden oder minimiert werden (vgl. z. B. **Fig. 7**). Es ist auch möglich, die Problematik in die optisch und insbesondere mechanisch-translatorisch nachgeführte Achse zu verlagern. So kann die Strahlableitungsanordnung so ausgelegt sein, die durch Triangulation bedingte distanzabhängige Verschiebung des Empfangsstrahlspots bzw. des Fokus auf dem Detektor im Wesentlichen zu kompensieren. Dank der Flexibilität des Umschaltansatzes ist es ferner möglich, zwei Detektoren bzw. Detektorelemente gleichzeitig auszulesen und das bessere von beiden Empfangssignalen für eine Quadraturdemodulation zu verwenden. Dieser Ansatz erhöht die Komplexität der Umschaltung und auch der Signalverarbeitung, bietet jedoch die Möglichkeit durch die Bildung des Mittelwerts beider Empfangssignale (z. B. vor der Quadraturdemodulation) das im Umschaltbereich halbierte SNR (Signal-Rausch Verhältnis) um den Faktor zu verbessern. Es ist selbstverständlich möglich, mehr als zwei Elemente gleichzeitig auszulesen. Ebenfalls ist es möglich, die Umschaltzeitpunkte auch aus den Abstandsinformationen aus dem vorhergehenden Frame zu berechnen.

[0097] In den obigen Beispielen kann der maximale vertikale Durchmesser D_v der Sammellinse in Abhängigkeit von der Länge des Detektorarrays w_{det} gewählt werden, z. B. nach der folgenden Formel:

$$D_v = \frac{w_{det}}{2k_{min}\tan(\beta_v)} \quad (5)$$

wobei k_{min} die minimal realisierbare Blendenzahl bezeichnet (z. B. $k_{min} \approx 1$) und β_v der maximale Einfallswinkel (Halbwinkel) ist. Bei z. B. $w_{det} = 4$ mm, $k_{min} \approx 1$ ist der maximale vertikale Durchmesser der Sammellinse ungefähr 11,3 mm.

[0098] Unter Umständen können auch noch kleinere Blendenzahlen erreicht werden, jedoch steigen auch die Aberrationen bei derart lichtstarken Optiken drastisch an. Dies wiederum verringert die optische Effizienz, da die Spotgröße die Detektorgröße übertrifft.

[0099] Die Sammellinse kann eine Fresnellinse sein. Ein Vorteil einer Fresnellinse ist ihr geringes Gewicht, was vor allem bei großen Linsen zum Tragen kommt. In der Massenfertigung von Kunststoff-Optiken lässt sich mit der Spritzgusstechnik auch mit asphärischen Strukturen ein sehr niedriger Stückkostenpreis erreichen. Zusätzlich haben Fresnellinsen auch sehr geringe Bauraumanforderungen und lassen sich aufgrund ihrer Planarität sehr gut in günstige Halterungskonzepte integrieren. Für die Fertigung geringer Stückzahlen können auch spanende Fertigungsverfahren eingesetzt werden. Ein Nachteil von Fresnellinsen sind jedoch die Schattenbereiche, die durch Totalreflektion an den Seitenwänden der Strukturen auftreten. Der Schatteneffekt kann z. B. durch geschicktes Anordnen der Fresnelstrukturen minimiert, jedoch in vielen Fällen nicht vollständig vermieden werden.

[0100] In den obigen Beispielen umfasst der durch den Empfangsstrahl **51** beleuchtete Spot des Detektorarrays vorzugsweise ein Detektorelement. Es ist jedoch möglich, insbesondere in bestimmten Bereichen des Detektorarrays, dass der beleuchtete Spot mehrere Detektorelemente umfasst. Die Empfangsleistung verteilt sich in diesem Fall auf zwei oder mehrere Detektorelemente und wird reduziert. Dies führt in der Regel zu einer Reduktion des Signal-Rausch-Verhältnisses. Es ist möglich, die Signale der beleuchteten Detektorelemente zu addieren. Dies führt jedoch nicht zu einer Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses, weil sich mit dem Signal auch das Rauschen verdoppelt. Mittels einer Mittelung der Signale kann die Reduktion des Signal-Rausch-Verhältnisses begrenzt werden.

[0101] **Fig. 9** zeigt schematisch die Lichtbeugung an einem Transmissionsgitter **12**. Im gezeigten Beispiel ist das Gitter ein Blazed Gitter. Derartige Gitter beugen das Licht im Wesentlichen in eine Beugungsordnung und weisen eine hohe Beugungseffizienz auf. Es ist ebenfalls möglich, andere Gitter zu verwenden, die jedoch Störordnungen aufweisen und weniger effizient sind.

[0102] Die Gitterbeugung kann vektoriell mit dem Wellenvektorkonzept beschrieben werden. Durch die Beugung am Gitter addiert sich zum Wellenvektor der einfallenden Wellenfront \vec{k}_{in} ein Gittervektor \vec{g} , so dass nach der Wellenfront der ausfallenden Wellenfront \vec{k}_{out} die folgende Gleichung (6) erfüllt:

$$\vec{k}_{out} = \vec{k}_{in} + \vec{g} \quad (6)$$

[0103] In der Gleichung (6) bezeichnen:

$$\vec{k}_{in} = \frac{2\pi}{\lambda}$$

den Wellenvektor der einfallenden Wellenfront;

$\vec{g} = \frac{\lambda}{p}$ den Gittervektor;

p die Periode des Gitters; und

λ die Wellenlänge des einfallenden Lichts.

[0104] Fig. 10 zeigt eine beispielhafte Strahlableitungsanordnung umfassend zwei gegenläufig rotierende Transmissionsgitter **13** und **14**. Vorzugsweise sind die Gitter **13** und **14** Blazed Gitter.

[0105] Die Gittervektoren der Transmissionsgitter **12** und **14** sind jeweils \vec{g}_1 und \vec{g}_2 .

[0106] Bei zwei gegenläufig rotierenden Gittern der gleichen Periode, heben sich die Y-Komponenten der beiden Gittervektoren \vec{g}_1 und \vec{g}_2 gegenseitig auf. Der Summenvektor \vec{g}_s , wobei $\vec{g}_s = \vec{g}_1 + \vec{g}_2$, zeigt immer in die gleiche Richtung, hat aber je nach Rotationswinkel einen variablen Betrag, der sich zwischen 0 und 2π periodisch ändert. Damit lässt sich ein linearer Scanner realisieren.

Bezugszeichenliste

1	Laserdiode mit zugehöriger Kollimationsoptik
2	Sendeseitiger Scanspiegel
3	Messobjekt mit reflektierenden und/oder streuenden Eigenschaften
4	Empfangsseitiges bewegliches doppelseitig strukturiertes Mikrolinsenarray oder Lentikularlin- senarray
5	Empfangsseitiges einseitig strukturiertes Mikrolinsenarray oder Lentikularlin- senarray
6	Optisches Filter oder Filteranordnung
7	Sammellinse (z. B. Fresnellinse)
8	Mikrolinsenarray zur Erhöhung des Füllfaktors des Detektorarrays
9	Lineares Detektorarray
10	Multiplexer
11	Signalverarbeitung und Signalauswertung
12	Transmissionsgitter
13, 14	gegenläufig rotierende Transmissionsgitter
50	Sendestrahl
51	Empfangsstrahl
LA1-LA3	Mikrolinsenarrays

Patentansprüche

1. Optisches System zur Vermessung von Messobjekten und/oder Anordnungen von Messobjekten, insbesondere von drei-dimensionalen Messobjekten und/oder Anordnungen von Messobjekten, umfassend: zumindest eine Lichtquelle zum Aussenden eines Sendestrahls (**50**); eine Scan- oder Winkelableitvorrichtung zum Scannen eines Messobjekts (**3**) mit dem Sendestrahl (**50**) entlang zweier Scanachsen; eine Empfangseinrichtung zum Detektieren zumindest eines Teils des vom Messobjekt reflektierten und/oder gestreuten Sendestrahllichts (**51**) und zum Generieren zumindest eines Empfangssignals, wobei die Empfangseinrichtung zumindest einen Detektor oder ein Detektorarray (**9**) aufweist; eine Trackingvorrichtung zum Nachführen des vom Messobjekt (**3**) in Richtung der Empfangseinrichtung reflektierten und/oder gestreuten Sendestrahllichts (**51**), wobei die erste der beiden Scanachsen optisch und die zweite Scanachse elektronisch nachgeführt wird; und

eine Signalverarbeitungseinrichtung zum Verarbeiten des zumindest einen Empfangssignals, um Informationen über die Entfernung zu einzelnen Messpunkten des Messobjekts (3) und/oder über die Reflektivität in einzelnen Messpunkten des Messobjekts (3) zu erhalten,

wobei die Trackingvorrichtung umfasst:

eine transmissive optische Strahlblenkungsanordnung (4, 5; 13, 14), welche ausgelegt ist, das vom Messobjekt (3) in die Richtung der Empfangseinrichtung reflektierte und/oder gestreute Sendestrahllicht (51) synchron zum Scanvorgang in der ersten Scanachse abzulenken; und

ein abbildendes optisches Element (7), das ausgelegt ist, das durch die Strahlblenkungsanordnung (4, 5; 13, 14) propagierte Licht auf den Detektor oder das Detektorarray (9) abzubilden; und wobei

die Trackingvorrichtung ferner ausgelegt ist, unterschiedliche Teilbereiche des Detektors oder des Detektorarrays (9) synchron zum Scanvorgang in der zweiten Scanachse zu schalten, wobei der jeweils geschaltete Teilbereich in Signalverbindung mit der Signalverarbeitungseinrichtung steht.

2. Optisches System nach Anspruch 1, wobei der Detektor ein linearer Detektor ist oder das Detektorarray ein lineares Detektorarray ist.

3. Optisches System nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Strahlblenkungsanordnung aufweist: ein doppelseitiges Mikro- oder Lentikularlinsenarray und ein einseitiges Mikro- oder Lentikularlinsenarray, wobei das doppelseitige Mikro- oder Lentikularlinsenarray und das einseitige Mikro- oder Lentikularlinsenarray relativ zueinander translatorisch verschiebbar angeordnet sind.

4. Optisches System nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Strahlblenkungsanordnung aufweist: zwei gegenläufig rotierende Transmissionsgitter (13, 14); oder ein elektronisch steuerbares Transmissionsgitter.

5. Optisches System nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei das abbildende optische Element (7) eine Fresnellinse ist.

6. Optisches System nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei die Scan- oder Winkelablenkvorrichtung einen schwingenden und/oder rotierenden Scanspiegel (2) umfasst.

7. Optisches System nach Anspruch 3 und Anspruch 6, wobei das doppelseitige und/oder das einseitige Mikro- oder Lentikularlinsenarray eine Aussparung aufweist, in welcher der Scanspiegel (2) angeordnet ist.

8. Optisches System nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei die optischen Achsen der Scan- oder Winkelablenkvorrichtung und der Trackingvorrichtung und/oder Empfangseinrichtung koaxial sind.

9. Optisches System nach einem der vorangegangenen Ansprüche wobei die Vermessung mittels Lichtlaufzeitmessung und/oder Reflektivitätsmessung erfolgt.

10. Verfahren zur Vermessung von Messobjekten Anordnungen von Messobjekten, insbesondere von dreidimensionalen Messobjekten und/oder. Anordnungen von Messobjekten, umfassend:

Aussenden zumindest eines Sendestrahls (50);

Scannen eines Messobjekts (3) mit dem zumindest einen Sendestrahll (50) entlang zweier Scanachsen, Nachführen des vom Messobjekt (3) in Richtung einer Empfangseinrichtung reflektierten und/oder gestreuten Sendestrahllichts (51), wobei die erste der beiden Scanachsen optisch und die zweite Scanachse elektronisch nachgeführt wird,

Detektieren zumindest eines Teils des vom Messobjekt (3) reflektierten und/oder gestreuten Sendestrahllichts (51) mittels zumindest eines Detektors oder zumindest eines Detektorarrays (9) der Empfangseinrichtung und Generieren zumindest eines Empfangssignals; und

Verarbeiten des zumindest einen Empfangssignals mittels einer Signalverarbeitungsvorrichtung, wobei das optische Nachführen der ersten Scanachse umfasst:

Ablenken des vom Messobjekt (3) in die Richtung der Empfangseinrichtung reflektierten und/oder gestreuten Sendestrahllichts (51) synchron zum Scanvorgang in der ersten Scanachse mittels einer transmissiven optischen Strahlblenkungsanordnung (4, 5; 13, 14); und

Abbilden des durch die Strahlblenkungsanordnung (4, 5; 13, 14) propagierten Lichts (51) auf den Detektor oder das Detektorarray (9); und

wobei das elektronische Nachführen der zweiten Scanachse umfasst:

Schalten von unterschiedlichen Teilbereichen des Detektors oder des Detektorarrays (**9**) synchron zum Scanningvorgang in der zweiten Scanachse, wobei der jeweils geschaltete Teilbereich in Signalverbindung mit der Signalverarbeitungseinrichtung steht.

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei das Ablenken des vom Messobjekt (**3**) in die Richtung der Empfangseinrichtung reflektierten und/oder gestreuten Sendestrahllichts (**51**):
mittels einer translatorischen Bewegung eines doppelseitigen Mikro- oder Lentikularlinsenarrays und eines einseitigen Mikro- oder Lentikularlinsenarrays relativ zueinander erfolgt; oder
mittels einer gegenläufigen Rotation zweier Transmissionsgitter (**13, 14**) oder mittels eines elektronisch schaltbaren Transmissionsgitters erfolgt.

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, wobei
das Abbilden des durch die Strahlablenkungsanordnung (**4, 5; 13, 14**) propagierten Lichts (**51**) auf den Detektor oder das Detektorarray (**9**) mittels einer Fresnellinse erfolgt; und/oder
das Scannen des Messobjekts (**3**) mit dem Sendestrahll (**50**) mittels eines schwingenden und/oder rotierenden Scanspiegels (**2**) erfolgt.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, wobei der Detektor ein linearer Detektor ist oder das Detektorarray ein lineares Detektorarray ist.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, wobei die Vermessung mittels Lichtlaufzeitmessung und/oder Reflektivitätsmessung erfolgt.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

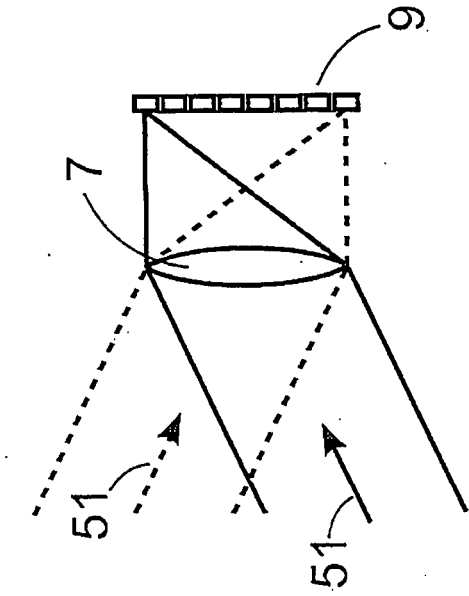


Fig. 2A

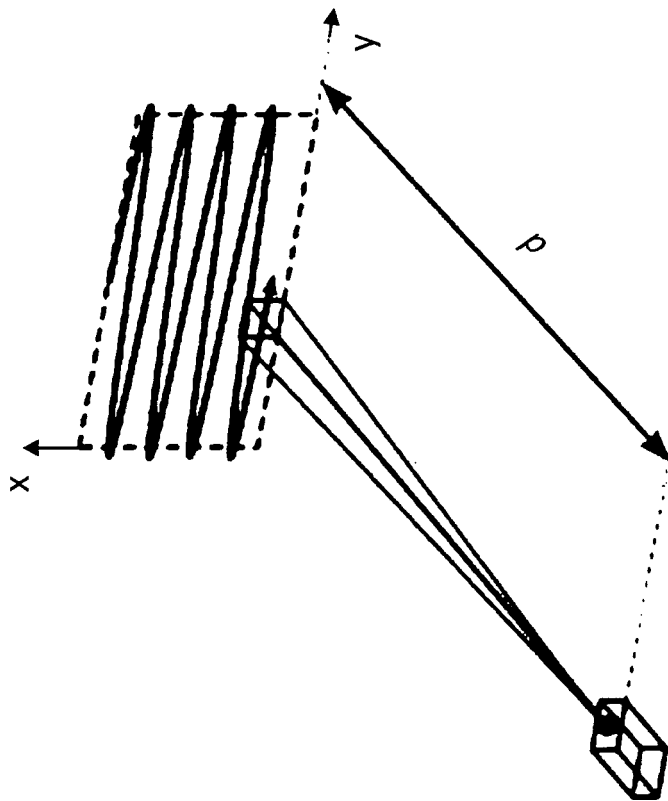


Fig. 1

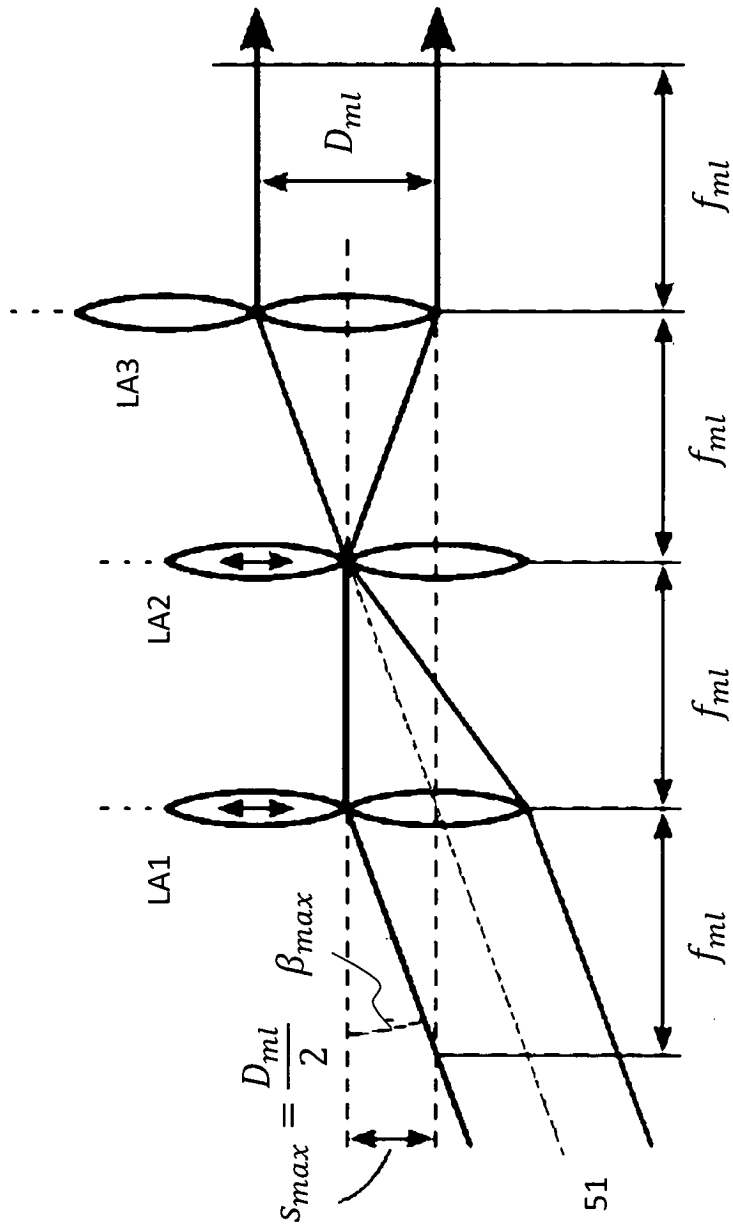


Fig. 2B

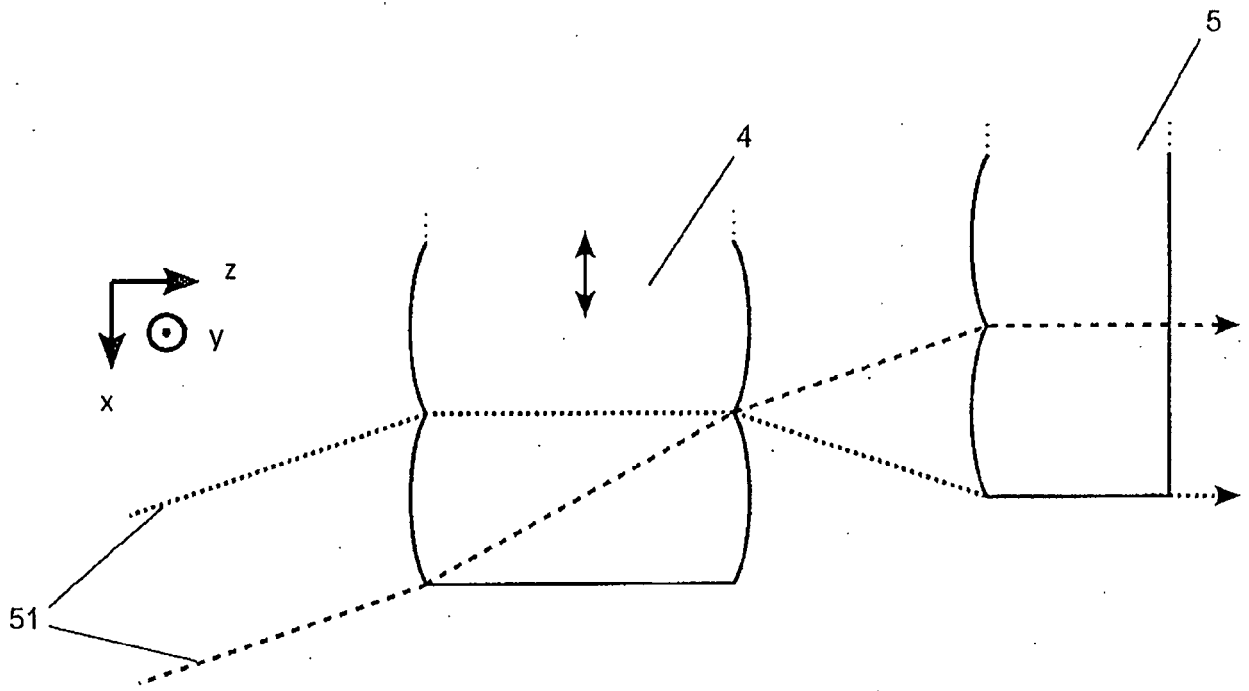


Fig. 2C

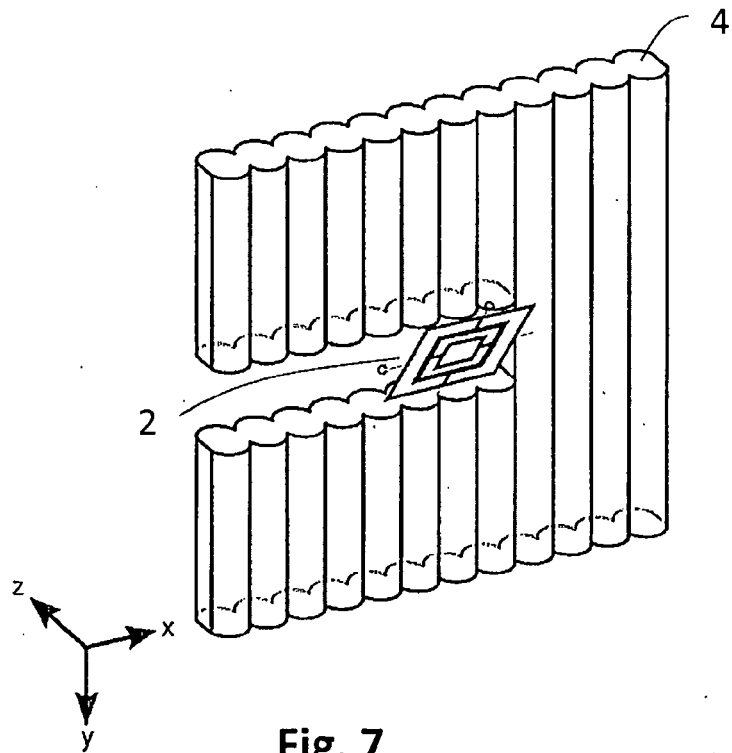


Fig. 7

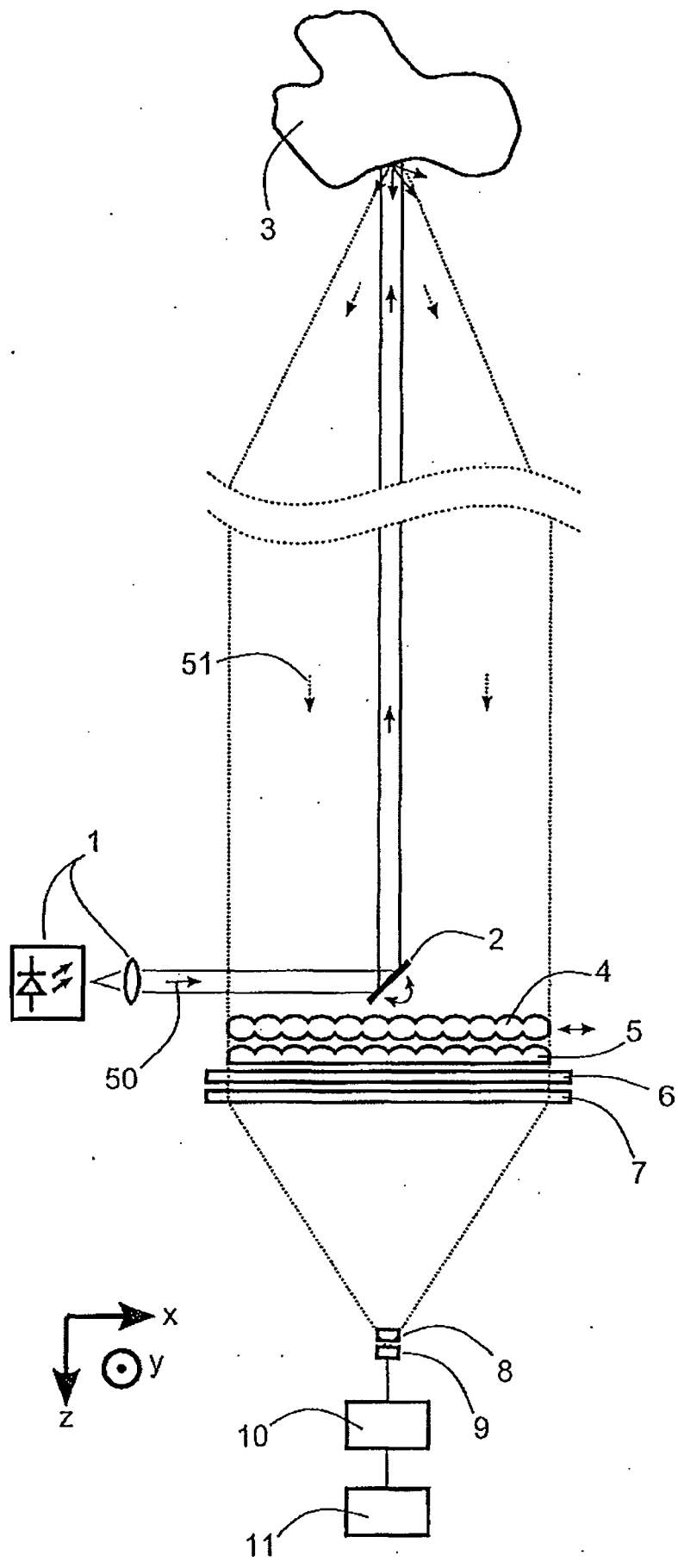


Fig. 3

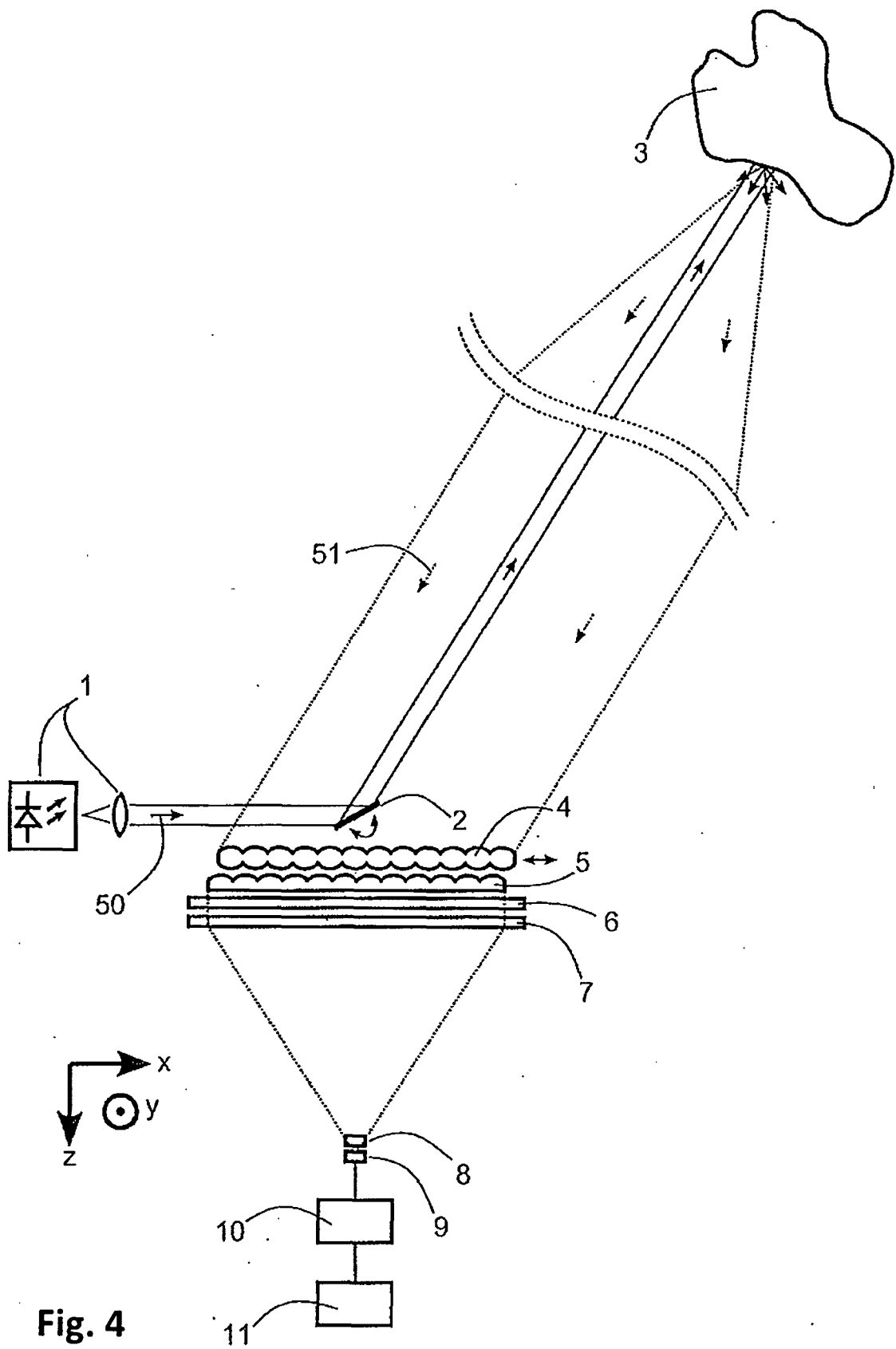


Fig. 4

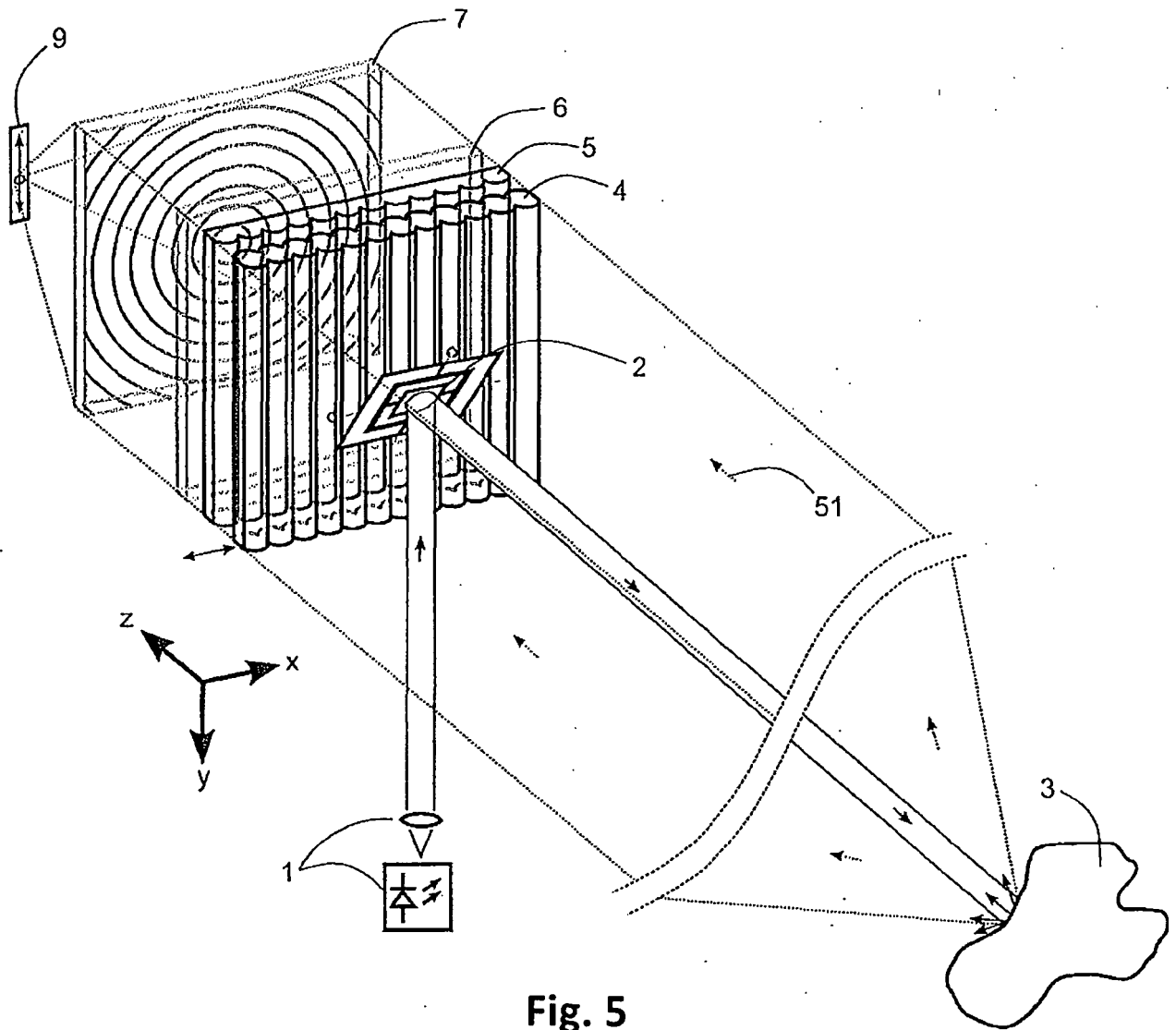


Fig. 5

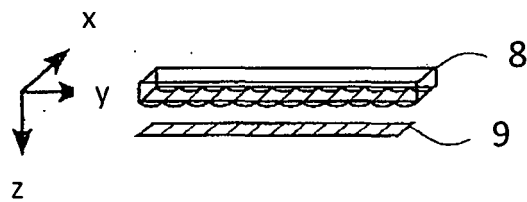


Fig. 6

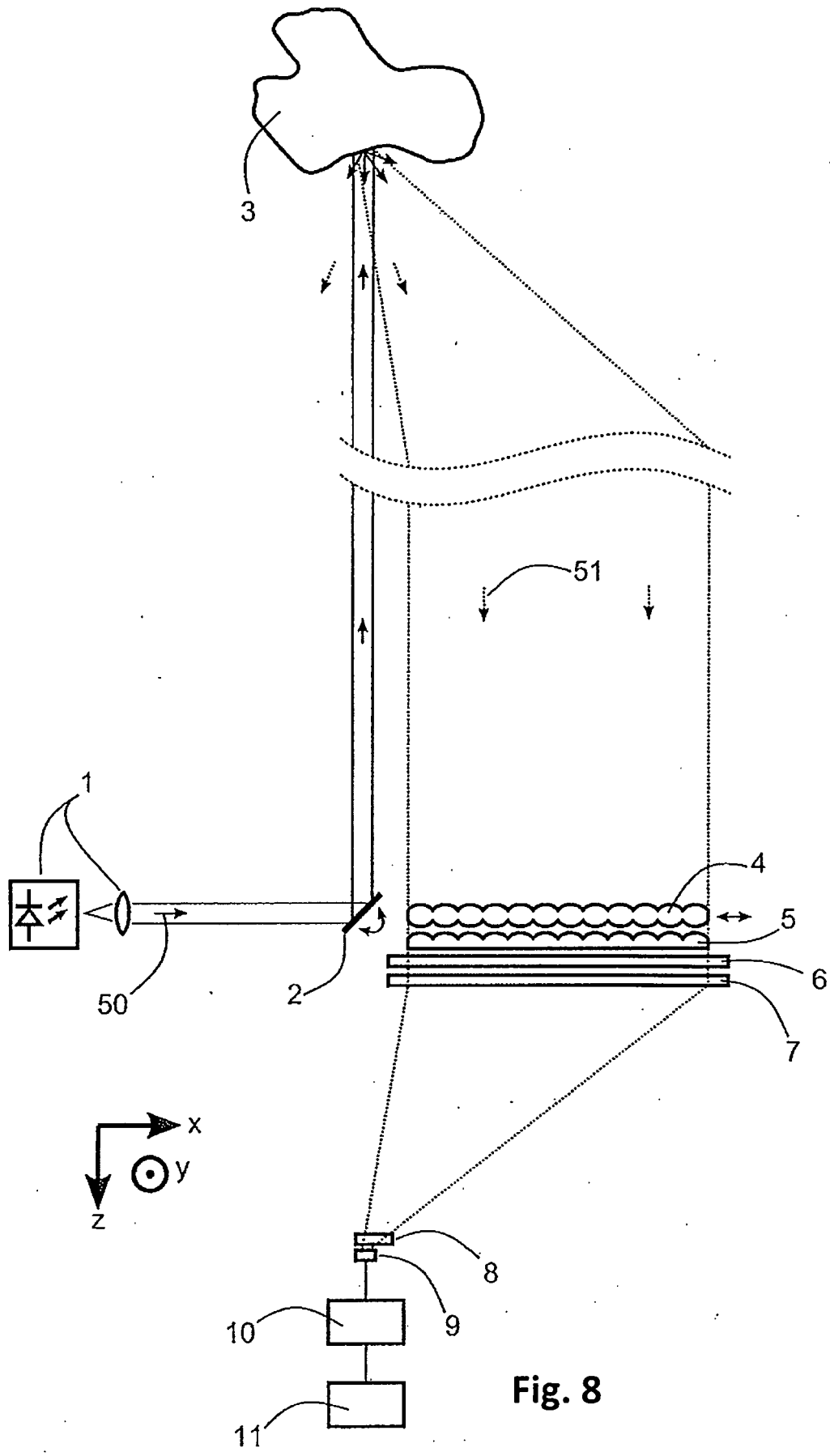


Fig. 8

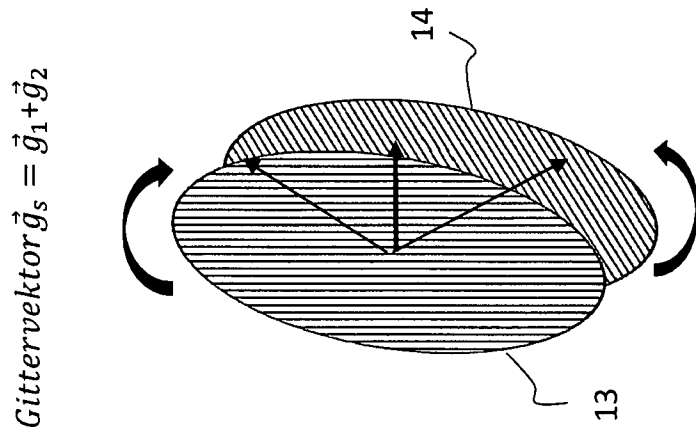


Fig. 10

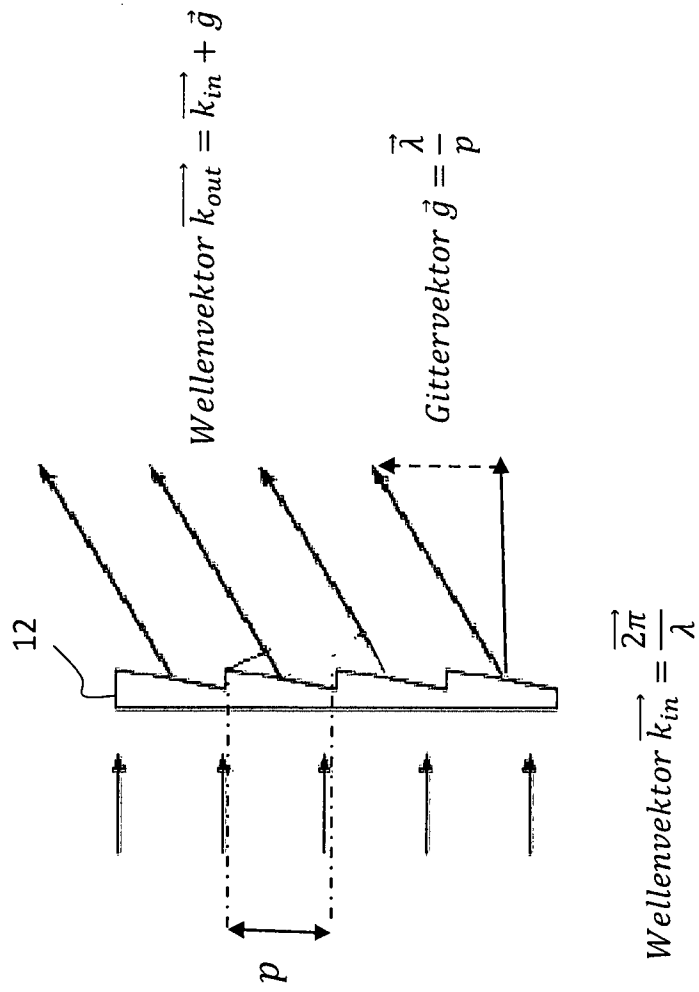


Fig. 9