

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
03. Februar 2022 (03.02.2022)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2022/023480 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01L 1/24 (2006.01) G01L 5/166 (2020.01)
G01L 3/12 (2006.01) G01L 5/24 (2006.01)
G01L 3/14 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2021/071303

(22) Internationales Anmeldedatum:
29. Juli 2021 (29.07.2021)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2020 120 192.3
30. Juli 2020 (30.07.2020) DE

(71) Anmelder: TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARM-
TADT [DE/DE]; Karolinenplatz 5, 64289 Darmstadt (DE).

(72) Erfinder: GROCHE, Peter; Rödestr. 46, 64367 Darmstadt (DE). AL-BARADONI, Nassr; Sandstr. 28, 64283 Darmstadt (DE).

(74) Anwalt: BEHRNDT, Klaus; LIFETECH IP, Elsenheimerstraße 47a, 80687 Munich (DE).

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

(54) Title: COMPONENT WITH AN INTEGRATED SENSOR DEVICE FOR AN OPTICAL, MULTIAXIS MEASUREMENT OF A FORCE EFFECT

(54) Bezeichnung: BAUTEIL MIT EINER INTEGRIERTEN SENSORVORRICHTUNG FÜR EINE OPTISCHE, MEHRACHSIGE MESSUNG EINER KRAFTEINWIRKUNG

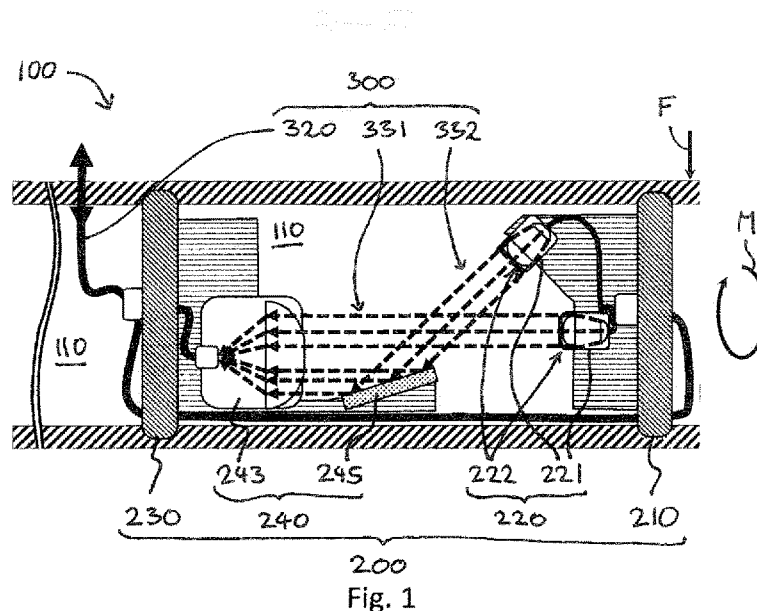


Fig. 1

(57) Abstract: A component (100) with an integrated sensor device (200) for an optical multiaxis measurement of a force effect on the component (100) is disclosed. The component (100) comprises a cavity (110) and a first supporting element (210) with one or more first optical elements (220) and a second supporting element (230) with one or more second optical elements (240), wherein the first supporting element (210) and the second supporting element (230) are formed in the cavity (110) and are partially fitted within the component (100). The component (100) also comprises a transmitting device (300), which is designed to be connected to an energy source and, when it is connected to the energy source, to generate at least two beams (331, 332) in directions which are independent of one another, wherein the beams (331, 332) each run through the cavity (110) between the first optical elements (220) and the second optical elements (240). The first optical elements (220) and the second optical elements (240) are designed here to use the at least two beams (331, 332) as a basis for generating information concerning a relative change in position of the first supporting element (210) with respect to the second supporting element (230), and wherein the transmitting device (300) is designed to provide the information



TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

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

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

for the purpose of measuring the force effect.

(57) Zusammenfassung: Es ist ein Bauteil (100) mit einer integrierten Sensorvorrichtung (200) für eine optische, mehrachsige Messung einer Krafteinwirkung auf das Bauteil (100) offenbart. Das Bauteil (100) umfasst einen Hohlraum (110) sowie ein erstes Tragelement (210) mit einem oder mehreren ersten optischen Elementen (220) sowie ein zweites Tragelement (230) mit einem oder mehreren zweiten optischen Elementen (240), wobei das erste Tragelement (210) und das zweite Tragelement (230) in dem Hohlraum (110) ausgebildet und teilweise in das Bauteil (100) eingefügt sind. Weiter umfasst das Bauteil (100) eine Übertragungseinrichtung (300), die ausgebildet ist, um an eine Energiequelle angeschlossen zu werden, und um bei Anschluss an die Energiequelle mindestens zwei Strahlen (331, 332) in voneinander unabhängigen Richtungen zu erzeugen, wobei die Strahlen (331, 332) jeweils zwischen den ersten optischen Elementen (220) und den zweiten optischen Elementen (240) durch den Hohlraum (110) verlaufen. Dabei sind die ersten optischen Elemente (220) und die zweiten optischen Elemente (240) ausgebildet, um basierend auf den mindestens zwei Strahlen (331, 332) eine Information über eine relative Positionsänderung des ersten Tragelements (210) bezüglich des zweiten Tragelements (230) zu erzeugen, und wobei die Übertragungseinrichtung (300) ausgebildet ist, um die Information zur Messung der Krafteinwirkung bereitzustellen.

Bauteil mit einer integrierten Sensorvorrichtung für eine optische, mehrachsige Messung einer Krafteinwirkung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Bauteil mit einer integrierten Sensorvorrichtung für eine optische, mehrachsige Messung einer Krafteinwirkung auf das Bauteil, ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Bauteils mit integrierter Sensorvorrichtung, und insbesondere auf eine strukturintegrierte optische mehrachsige Kraft-/Drehmomentmessung.

HINTERGRUND

Zur Messung einer Krafteinwirkung auf ein Bauteil bzw. ein Teil einer Struktur sind Sensorvorrichtungen bekannt, die in das Bauteil integriert sind. So offenbart etwa das Patent DE 10 2012 005 614 B4 eine Tragstruktur mit einer in einen Hohlraum integrierten Sensoreinheit in Form eines Verbindungselements mit integrierter Sensorik. Zu einer Erfassung von Lasten und deren Wirkrichtung weist die Sensorik Piezoaktoren oder auch Dehnmessstreifen auf. Dehnmessstreifen oder piezoelektrische Aufnehmer dienen auch beispielsweise in einer in WO 2016 177 356 A1 offenbarten und in einer Hohlwelle integrierten Sensoreinheit der Bestimmung einer mechanischen Beanspruchung der Hohlwelle. Daneben sind auch Sensoreinrichtungen bekannt, die auf optischen Einrichtungen basieren und Kräfte in mehreren Achsen detektieren. So zeigt etwa das Dokument WO 2013 072 712 A1 ein auf einem Trägerelement unter einer halbkugelförmigen Deckschicht angeordnete Lichtquelle sowie einen Lichtdetektor, die ausgebildet sind, um eine Verformung der Deckschicht aufgrund einer Lichtreflektion an derselben zu ermitteln. Ferner sind auf Interferometrie basierende Sensoreinheiten bekannt, wie etwa der Interferometer aus der Schrift DE 41 32 110 A1, der in einem elastisch deformierbaren Körper eingebettet ist.

Nachteile der integrierten Sensoren im Stand der Technik bestehen bei mehrachsiger Messung durch Dehnmessstreifen- und piezobasierte

Ausführungen in den hohen Kosten und der aufwendigen Herstellung der Messkette. Bei den optischen mehrachsigen Kraftsensoren ist die erforderliche große Deformation der Sensorkörper hinderlich. Bei Kraftsensoren mit Interferometer liegt ein Nachteil bislang in einer Störempfindlichkeit während des Auf- bzw. Zusammenbaus.

Es besteht somit ein Bedarf nach Bauteilen mit kosten- und herstellungseffizient integrierten optischen Messsensoren, die ausgebildet sind, um Belastungen der Bauteile aufgrund von Krafteinwirkungen durch äußere Kräfte oder Drehmomente in mehreren räumlichen Achsen bzw. Richtungen zu messen.

KURZBESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

Dieses Ziel wird zumindest teilweise durch ein Bauteil mit einer integrierten Sensorvorrichtung nach Anspruch 1 sowie durch ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Bauteils mit integrierter Sensoreinheit nach Anspruch 8 erreicht. Die abhängigen Ansprüche beziehen sich auf vorteilhafte Weiterbildungen des Gegenstands des Anspruchs 1.

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Bauteil mit einer integrierten Sensorvorrichtung für eine optische, mehrachsige Messung einer Krafteinwirkung (einer Kraft oder eines Drehmoments) auf das Bauteil. Das Bauteil weist dabei einen Hohlraum auf, in den ein erstes Tragelement mit einem oder mehreren ersten optischen Elementen sowie ein zweites Tragelement mit einem oder mehreren zweiten optischen Elementen ausgebildet und teilweise in das Bauteil eingefügt sind. Die in ein Material des Bauteils gefügten Anteile des ersten und des zweiten Tragelements fixieren dabei die Tragelemente am Bauteil. Die Tragelemente können dabei beispielsweise durch Löten, Kleben, Schweißen oder Schraubenverbindung fixiert sein; diese Fügeverfahren sind allerdings nicht ausreichend sicher und nur bedingt für hohe Anforderungen der Sensorvorrichtung an eine präzise, spielfreie und langzeitstabile Verbindung mit dem Bauteil geeignet. Vorteilhafterweise ist das Fixieren der Tragelemente über ein Kaltmassivumformen oder ein

Kaltumformen der Tragelemente und/oder des Bauteils erfolgt. Ferner umfasst das Bauteil eine Übertragungseinrichtung, die ausgebildet ist, um an eine Energiequelle angeschlossen zu werden, und um bei Anschluss an die Energiequelle mindestens zwei Strahlen in voneinander unabhängigen Richtungen zu übertragen bzw. zu erzeugen, wobei die Strahlen jeweils zwischen den ersten optischen Elementen und den zweiten optischen Elementen durch den Hohlraum verlaufen. Dabei sind die ersten optischen Elemente und die zweiten optischen Elemente ausgebildet, um basierend auf den mindestens zwei Strahlen eine Information über eine relative Positionsänderung des ersten Tragelements bezüglich des zweiten Tragelements zu erzeugen. Die Übertragungseinrichtung ist zudem ausgebildet, um die Information zur Messung der Krafteinwirkung bereitzustellen, bzw. um die Information aus dem Bauelement heraus zu übertragen.

Eine relative Positionsänderung zwischen dem ersten und dem zweiten Tragelement tritt dabei aufgrund der durch Fügen bewirkten Verbindung des ersten und des zweiten Tragelements mit dem Bauteil ein, wenn eine äußere Kraft oder ein Drehmoment auf das Bauteil einwirken und es aufgrund einer Elastizität des Bauteils verformen. Die zwei Strahlen sind vorteilhafterweise Teil eines Strahlengangs, der geeignet ist, auch bei geringen Verformungen des Bauteils durch äußere Krafteinwirkung eine Information über die Positionsänderung zu gewährleisten. Die unabhängigen Richtungen der mindestens zwei Strahlen erlauben eine Messung der Positionsänderung bzw. der Krafteinwirkung bezüglich mehrerer Achsen bzw. Richtungen. Die ersten und zweiten optischen Elemente können ausgebildet sein, um die mindestens zwei Strahlen zu einem gesammelten Strahl zu überlagern, und die Übertragungseinrichtung kann ausgebildet sein, um den gesammelten Strahl aus der Struktur heraus zu übertragen. Zur Erzeugung der Information kann beispielsweise eine pixel-basierte Erfassung einer Verschiebung, etwa eine digitale Bildkorrelation oder ein digitales Moiré-Verfahren, verwendet werden. Alternativ oder zusätzlich kann zumindest einer der Strahlen zwischen teilweise reflektierenden Platten (oder halbdurchlässigen Spiegeln) verlaufen und so ein Fabry-Pérot-Interferometer bilden. Zudem kann auch zumindest einer der Strahlen Teil eines Strahlengangs eines Michelson-Interferometers sein.

Optional ist die Übertragungseinrichtung ausgebildet, um an eine Lichtquelle als Energiequelle angeschlossen zu werden. Die Lichtquelle kann insbesondere ein Lasergerät sein. Der Anschluss kann als Einkoppeln eines Laserstrahls in einen Lichtleiter wie z.B. ein Glasfaserkabel ausgeführt sein, das ausgebildet ist, um den Laserstrahl an die ersten und/oder die zweiten optischen Elemente heranzuführen und so einen Strahlengang zwischen den optischen Elementen zu erzeugen, der die mindestens zwei Strahlen umfasst. Die Übertragungseinrichtung kann aber auch ausgebildet sein, um an eine Stromquelle als Energiequelle angeschlossen zu werden. In diesem Fall kann ein Stromkabel Energie zu einem oder mehreren der ersten und/oder zweiten optischen Elemente leiten, die ausgebildet sind, einen die mindestens zwei Strahlen umfassenden Strahlengang zu erzeugen. Die Übertragungseinrichtung kann ferner ausgebildet sein, um die Information über die relative Positionsänderung des ersten Tragelements bezüglich des zweiten Tragelements aus dem Bauteil heraus durch eine Lichtleitung zu übertragen. Dazu kann wieder ein Glasfaserkabel vorgesehen sein. Die Übertragungseinrichtung kann aber auch ausgebildet sein, um die Information aus dem Bauteil heraus durch eine elektrische Leitung zu übertragen. Dazu kann beispielsweise eine Überlagerung der Strahlen durch optische Elemente wie etwa Dioden, Halbleiterbauelemente oder Kameras in ein elektrisches Signal umgewandelt werden, das die Information durch die elektrische Leitung überträgt.

Optional ist das Bauteil eines der folgenden: eine Hohlwelle, ein hohlzylindrisches Bauteil, ein Rohr, ein Robotererelement (insbesondere ein Roboterarm), ein für ein Bauwerk bestimmtes Element, ein Kran- oder Lastarm, ein Verbindungselement, eine Säule einer Werkzeugmaschine, ein Werkzeug, ein Werkzeughalter.

Optional weisen die ersten optischen Elemente und/oder die zweiten optischen Elemente ein optisches Muster auf und sind ausgebildet, um die mindestens zwei Strahlen zu überlagern, so dass die Information eine Änderung eines erfassten optischen Bildes des optischen Musters umfasst. Die Änderung des optischen Bildes dieses Musters kann insbesondere durch eine Verschiebung des

optischen Musters zustande kommen. Beispielsweise können Masken im Lauf der zwei Strahlen angebracht sein, die als optisches Muster jeweils Öffnungen aufweisen, so dass die Strahlen ein Bild des optischen Musters übertragen. Die Änderung des Bildes resultiert dann beispielsweise aus einer relativen Verschiebung und/oder Drehung der Öffnungen, ausgelöst durch die relative Positionsänderung der Tragelemente. Die Änderung des Bildes kann insbesondere durch ein pixelbasiertes Verfahren aus den überlagerten Strahlen bestimmt werden. Bei dem pixelbasierten Verfahren kann es sich etwa um eine digitale Bildkorrelation oder ein Verfahren, bei dem eine Verschiebung eines Moiré-Musters gemessen wird, handeln.

Optional bilden die ersten optischen Elemente und die zweiten optischen Elemente für zumindest einen der mindestens zwei Strahlen ein Michelson-Interferometer. Dieses führt auf ein Michelson-Interferenzmuster, das zur Erzeugung der Information über die relative Positionsänderung verwendet wird, bzw. das diese Information darstellt.

Optional weisen zumindest ein erstes optisches Element und mindestens ein zweites optisches Element jeweils eine teilweise reflektierende Platte auf und sind ausgebildet, um für mindestens einen der mindestens zwei Strahlen ein Fabry-Pérot-Interferometer zu bilden.

Optional ist mindestens ein weiteres Tragelement mit einem oder mehreren weiteren optischen Elementen in dem Hohlraum ausgebildet und teilweise in das Bauteil eingefügt, so dass das mindestens eine weitere Tragelement entsprechend im Strahlengang einbezogen ist und die Information auch auf eine relative Positionsänderung bezüglich des oder der zusätzlichen Tragelemente rückschließen lässt.

Ausführungsbeispiele beziehen sich zudem auf ein Verfahren zur Herstellung eines Bauteils mit einer integrierten Sensorvorrichtung für eine optische, mehrachsige Messung einer Krafteinwirkung auf das Bauteil. Das Bauteil umfasst einen Hohlraum, ein erstes Tragelement mit ersten optischen Elementen und mindestens ein weiteres Tragelement mit weiteren optischen

Elementen. Das Verfahren umfasst als Schritte ein Bereitstellen eines Ausgangsbauteils mit einem Ausgangshohlraum; ein Positionieren des ersten Tragelements und des mindestens einen weiteren Tragelements in den Ausgangshohlraum des Ausgangsbauteils; ein Umformen des Ausgangsbauteils, um so das Bauteil und den Hohlraum auszubilden; und dadurch ein plastisches Fügen des ersten Tragelements und des mindestens einen weiteren Tragelements, um so das erste Tragelement und das zweite Tragelement in dem Hohlraum zu fixieren.

Im Rahmen herkömmlicher Fügeverfahren zur Fixierung der Tragelemente könnten diese auch beispielsweise durch Löten, Kleben, Schweißen oder durch eine Schraubenverbindung fixiert werden. Bei hohen Anforderungen der Sensorvorrichtung an eine präzise, spielfreie und/oder langzeitstabile Verbindung mit dem Bauteil können sich diese Fügeverfahren allerdings als nicht sicher erweisen. Beim hier als bevorzugter Ausführungsform dargestellten Umformen kann es sich insbesondere um ein Kaltmassivumformen oder um ein Kaltumformen handeln. Durch das Umformen wird das erste und das mindestens eine weitere Tragelement an der Begrenzung des Hohlraumes fixiert. Dazu können insbesondere die folgenden zwei Ausführungsformen des Verfahrens zur Anwendung kommen.

In einer ersten Ausführungsform umfasst zumindest eines der Tragelemente einen Kern aus sehr hartem Material und weist einen Randbereich auf, der ein im Vergleich zum Material des Kerns leichter deformierbares Material umfasst. Das leichter deformierbare Material wird durch das Umformen des Bauteils plastisch verformt, so dass das mindestens eine Tragelement im entstehenden Hohlraum fixiert wird.

In einer zweiten Ausführungsform weist zumindest eines der Tragelemente ein sehr hartes Material verglichen mit einem Material des Ausgangsbauteils auf, so dass beim Umformen das Ausgangsbauteil durch das harte Material des mindestens einen Tragelements plastisch deformiert wird. Das Tragelement wird so in dem Hohlraum des durch das Umformen entstehenden Bauteils fixiert.

Beide Ausführungsformen können auch kombiniert werden, d.h. verschiedene Tragelemente können durch verschiedene Ausführungsformen fixiert werden.

Vorteilhafterweise kann zunächst das erste Tragelement eingefügt werden, bevor das mindestens eine weitere Tragelement positioniert wird. Zur verbesserten Positionierung bzw. zu einer Verbesserung einer Position der Tragelemente kann beim Positionieren und/oder während des Umformens die Sensorvorrichtung eingekoppelt bzw. betrieben werden.

Darüber hinaus beziehen sich Ausführungsbeispiele auch auf Verfahren zur Verwendung der integrierten Sensorvorrichtung für eine optische, mehrachsige Messung einer Krafteinwirkung auf ein Bauteil, das einen Hohlraum aufweist, in dem ein erstes Tragelement mit einem oder mehreren ersten optischen Elementen und mindestens ein zweites Tragelement mit einem oder mehreren zweiten bzw. weiteren optischen Elementen ausgebildet und teilweise in das Bauelement eingefügt sind, und das weiter eine Übertragungseinrichtung aufweist, die ausgebildet ist, um an eine Energiequelle angeschlossen zu werden. Ein solches Verfahren umfasst die Schritte:

Erzeugen, durch die an die Energiequelle angeschlossene Übertragungseinrichtung, mindestens zweier Strahlen in voneinander unabhängigen Richtungen, wobei die Strahlen jeweils zwischen den ersten optischen Elementen und den zweiten optischen Elementen durch den Hohlraum verlaufen;

Erzeugen, durch die ersten optischen Elemente und die zweiten optischen Elemente und basierend auf den mindestens zwei Strahlen, einer Information über eine relative Positionsänderung des ersten Tragelements bezüglich des zweiten Tragelements;

Übertragen, durch die Übertragungseinrichtung, der Information über die relative Positionsänderung, um so die Krafteinwirkung zu messen.

Ausführungsbeispiele für das vorliegende Bauteil mit integrierter Sensorvorrichtung sind somit dadurch gekennzeichnet, dass innerhalb einer mindestens teilweise hohlen Struktur des Bauteils mindestens zwei Tragelemente fixiert sind, auf denen optische Elemente wie etwa Lichtleitfaser, Spiegel, Lichtquelle, optische Marker und Kamera befestigt sind. Die optischen Elemente sind so zueinander positioniert, dass eine Relativverschiebung oder – verdrehung der Tragelemente zueinander beispielsweise eine Änderung eines von einer internen oder über Lichtleitfaser verbundenen externen Kamera erfassten Musters bewirkt. Diese Änderung des Musters kann über eine Bildauswertung auf die vorliegende Deformation zurückgeführt werden. Ausführungsbeispiele realisieren dabei verschiedene Strahlengänge, die jeweils Strahlen in verschiedene Richtungen bzw. in schrägen Ebenen umfassen. Die Tragelemente werden dazu vorteilhafterweise in die Struktur des Bauteils durch (teilweises) plastisches Fügen integriert. Dazu umfassen die Tragelemente zumindest jeweils in einem Teil ein hochfestes und starres Material, an dem auch die optischen Elemente befestigt sein können. Die Festigkeit bzw. die Härte des Materials ist dabei größer als diejenige einer Hohlraumwand der Bauteilstruktur, so dass die Tragelemente durch Umformen des Bauteils eingefügt werden können. Für eine Positionierung bzw. Fixierung und Ausrichtung der Tragelemente in der Struktur während des plastischen Fügens können die Tragelemente jeweils auch insbesondere in einem Randbereich ein weiches Material aufweisen, das die Beibehaltung der Anordnung der Tragelemente im Umformungsprozess sicherstellt. So kann ein Tragelement beispielsweise einen sehr harten Kern- und einen im Vergleich dazu leichter deformierbaren Randbereich aufweisen.

Auf diese Weise können sowohl interferenz- als auch pixelbasierte optische Messketten in Tragstrukturen umformtechnisch eingebettet werden. Die integrierten Sensoren bestehen dann aus mindestens zwei Teilen, die separat und mit hoher Präzision zueinander in der Struktur eingefügt sind. Erweiterungen der Messachsen werden durch den Einsatz von Spiegeln und beispielsweise durch eine Schrägstellung eines Teils des Strahlenganges zu einer

Längsachse der Tragstruktur realisiert. Für die angesprochenen pixelbasierten Verfahren kann ein passendes Muster auf eine Fotomaske oder auf einer Oberfläche aufgebracht werden, so dass dessen relative Verschiebung zu einem anderen optischen Element (z.B. einer Kamera) bei einer Belastung der Struktur aufgenommen wird. Durch die Teilung des Strahlgangs (schräge Muster und Spiegel) wird eine Verschiebung des Musters relativ zur Kamera in eine relative Positionsänderung zwischen den Tragelementen übersetzt, und so die Kraft- oder Drehmomenteinwirkung erfasst. Abhängig vom Muster kann die Auswertung bei den pixelbasierten Verfahren entweder durch die digitale Bildkorrelation oder durch digitale Moiré-Verfahren (Überlagerung von Linienmustern) erfolgen. Durch diese pixel-basierten Verfahren können insbesondere parallele Verschiebungen zwischen zwei Tragelementen in allen sechs Freiheitsgraden bestimmt werden. Auch Abstandsverschiebungen lassen sich messen. Die Sensorvorrichtung ist in ähnlicher Weise jedoch auch beispielsweise für ein Fabry-Pérot- und/oder ein Verfahren der Michelson-Interferometrie realisierbar. Hier kann zusätzlich zur parallelen Verschiebung ebenfalls eine Änderung eines Abstands zwischen den Tragelementen mithilfe eines schräg eingebauten Interferometers und einer geeigneten Strahlführung (durch Spiegel) erfasst werden. Es sind auch Kombinationen verschiedener Messmethoden für unterschiedliche Strahlen möglich.

Bei herkömmlichen Sensorvorrichtungen zur Erfassung von Kräften oder Drehmomenten auf Bauteile sind insbesondere auf Veränderungen elektrischer Eigenschaften beruhende Messketten weitgehend standardisiert. Sie erfordern aber neben den Sensoren selber weitere elektrische Elemente wie Ladungsverstärker oder Brückenschaltungen. Sie erfordern auch die Speisung mit elektrischer Energie, und insbesondere bei einer Erfassung von Kräften oder Drehmomenten bezüglich mehrerer Achsen steigt der Aufwand stark an. In einigen herkömmlichen Messketten werden auch vorgespannte Strukturen bzw. Sensorvorrichtungen verwendet, was in manchen Anwendungen nachteilig sein kann.

Demgegenüber bieten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung die folgenden Vorteile. Das Bauteil mit integrierter Sensorvorrichtung erweitert die Messachsen durch kostengünstige Komponenten (insbesondere bei einer Verwendung von pixel-basierten Verfahren) und eine geeignete Anordnung der Strahlengänge, ferner durch eine integrale Bauweise aus optischen Elementen und Tragstrukturen. Es eröffnet zudem eine Möglichkeit zur Skalierung der Sensoren, und somit zu einer Herstellung sensorischer Strukturen in kleinen Dimensionen. Die integrale Bauweise wird insbesondere durch plastisches Fügen erreicht. Dies bewirkt einen kompakten Aufbau des Bauteils mit integrierter Sensorvorrichtung zur mehrachsigen Erfassung von Kräften und/oder Drehmomenten, die am Bauteil angreifen. Durch die Verwendung insbesondere von pixelbasierten Verfahren kann eine erhebliche Kosteneinsparung gegenüber herkömmlichen dehnmessstreifen- und piezobasierten Sensoren erreicht werden.

KURZBESCHREIBUNG DER FIGUREN

Die Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden besser verstanden anhand der folgenden detaillierten Beschreibung und den beiliegenden Zeichnungen der unterschiedlichen Ausführungsbeispiele, die jedoch nicht so verstanden werden sollten, dass sie die Offenbarung auf die spezifischen Ausführungsformen einschränken, sondern lediglich der Erklärung und dem Verständnis dienen.

- Fig. 1 illustriert ein Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung für ein Bauteil mit integrierter Sensorvorrichtung für ein pixel-basiertes Verfahren;
- Fig. 2 illustriert ein weiteres Ausführungsbeispiel mit einer Fabry-Pérot-Sensorvorrichtung;
- Fig. 3 illustriert ein weiteres Ausführungsbeispiel mit einer ein Michelson-Interferometer aufweisenden Sensorvorrichtung;
- Fig. 4 illustriert eine Messung durch ein Ausführungsbeispiel nach Fig. 1 mit

Hilfe einer digitalen Bildkorrelation;

Fig. 5 illustriert eine Messung durch ein Ausführungsbeispiel nach Fig. 1 mit Hilfe eines digitalen Moiré-Verfahrens;

Fig. 6 zeigt Schritte eines Verfahrens zur Herstellung eines Bauteils mit integrierter Sensorvorrichtung;

Fig. 7 illustriert weitere Ergebnisse von Ausführungsformen des Verfahrens nach Fig. 6.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

Fig. 1 illustriert ein Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung für ein Bauteil 100 mit einer integrierten Sensorvorrichtung 200 für eine optische, mehrachsige Messung einer Kraft F und/oder eines Drehmoments M auf das Bauteil 100. Das Bauteil 100 weist einen Hohlraum 110 mit einer Wand 120 auf. Die Sensorvorrichtung 200 umfasst ein erstes Tragelement 210 mit mehreren ersten optischen Elementen 220. Im dargestellten Ausführungsbeispiel umfassen die ersten optischen Elemente 220 insbesondere zwei Strahlaufweitungselemente 221, die ausgebildet sind, um über eine Lichtleitung zugeführtes Licht aus einer Energiequelle aufzuweiten und jeweils durch ein optisches Muster 222 bzw. eine von hinten beleuchtete Fotomaske als Strahlen 331, 332 in den Hohlraum 110 zu führen. Die Sensorvorrichtung 200 umfasst zudem ein zweites Tragelement 230 mit mehreren zweiten optischen Elementen 240. Im dargestellten Ausführungsbeispiel umfassen die zweiten optischen Elemente 240 insbesondere einen Spiegel 245 und ein Strahlsammlungselement 243, das ausgebildet ist, um die zwei Strahlen 331, 332 zu sammeln bzw. zu überlagern und als Lichtsignal durch eine Leitung 320, hier etwa ein Glasfaserkabel, weiterzuführen. Das erste Tragelement 210 und das zweite Tragelement 230 sind dabei in dem Hohlraum 110 ausgebildet und teilweise in das Bauteil 100 eingefügt. Weiter umfasst das Bauteil 100 eine Übertragungseinrichtung 300, die ausgebildet ist, um an eine Energiequelle – hier beispielsweise ein Lasergerät – angeschlossen zu werden, und um bei Anschluss an die Energiequelle die zwei Strahlen 331, 332 zu erzeugen. Die zwei

Strahlen 331, 332 verlaufen dabei in voneinander unabhängigen Richtungen zwischen den ersten optischen Elementen 220 und den zweiten optischen Elementen 240 durch den Hohlraum 110. Die ersten optischen Elemente 220 und die zweiten optischen Elemente 240 sind ausgebildet, um basierend auf den zwei Strahlen 331, 332 eine Information über eine relative Positionsänderung des ersten Tragelements 210 bezüglich des zweiten Tragelements 230 zu erzeugen. Im vorliegenden Ausbildungsbeispiel geschieht dies durch die Überlagerung im Strahlsammlungselement 243. Die Übertragungseinrichtung 300 ist ausgebildet, um die Information zur Messung der Kraft F und/oder des Drehmoments M bereitzustellen, bzw. um diese Information aus dem Bauelement 100 heraus zu übertragen. Aufgrund der unabhängigen Richtungen der Strahlen 331, 332 erfolgt die Messung bezüglich mehrerer Achsen, die durch die Richtungen der Strahlen 331, 332 im Hohlraum 110 bestimmt sind: Durch die Kraft F bzw. das Drehmoment M wird eine Position des ersten Tragelements 210 relativ bezüglich einer Position des zweiten Tragelements 230 verschoben. Dadurch entsteht im Strahlsammlungselement 243 ein Unterschied in der Überlagerung der zwei Strahlen 331, 332, der als Information über eine Leitung 320 aus dem Bauelement 100 herausgeführt wird. Ein Rückschluss auf die Verschiebung, und damit ein Messen der Kraft F und/oder das Drehmoment M , ist dann beispielsweise durch Anwendung eines bekannten pixel-basierten Verfahrens oder durch Anwendung eines bekannten digitalen Moiré-Verfahrens auf die Information möglich.

In einem ähnlichen wie dem hier vorgestellten Ausführungsbeispiel kann die Übertragungseinrichtung 300 auch ausgebildet sein, um anstatt Licht eine Versorgungsspannung zu den optischen Elementen 220, 240 bzw. Bilder aus dem Bauteil 100 herauszuführen. Dann können anstelle oder zusätzlich zu den Strahlaufweitungselementen 221 lichtemittierende Dioden eingesetzt werden, um die Strahlen (331, 332) zu erzeugen. Das Strahlsammlungselement 243 kann als Kamera ausgeführt sein. Auch Mischformen dieser Ausführungen (beispielsweise mit einer Spannungsversorgung der ersten optischen Elemente 220 und einer Lichtleitung für eine Übertragung der Information, oder

umgekehrt) sind möglich.

Fig. 2 illustriert ein weiteres Ausführungsbeispiel des Bauteils 100 mit integrierter Sensorvorrichtung 200. Wie in dem in Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel erzeugen die ersten optischen Elemente 220 zwei Strahlen 331, 332 in unabhängige Richtungen, umfassen jedoch hier für jeden der Strahlen 331, 332 jeweils eine teilweise reflektierende Platte 227. Eine weitere teilweise reflektierende Platte 247 befindet sich vor einem Strahlsammlungselement 243 als Teil der zweiten optischen Elemente 240. Die teilweise reflektierenden Platten 227, 247 bilden für die beiden Strahlen 331, 332 jeweils ein Fabry-Pérot-Interferometer bzw. optischen Resonator. Bei einer relativen Positionsänderung der Tragelemente 210, 230 ändert sich ein Abstand zwischen den teilweise reflektierenden Platten 227, 247 und somit eine Resonanzbedingung. Für monochromatische Strahlen 331, 332 führt dies auf eine Veränderung in einer Intensität eines optischen oder auch elektrischen Ausgangssignals, das durch das Strahlensammlungselement 227 erzeugt und über die Leitung 320 aus dem Bauteil 100 herausgeführt wird. Umfassen die Strahlen 331, 332 mehrere Wellenlängen, führt die Veränderung der Resonanzbedingung auf eine farbliche Verschiebung des Ausgangssignals. Aus dem Ausgangssignal lässt sich auf die relative Positionsänderung der Tragelemente 210, 230 und somit auf die Kraft F bzw. das Drehmoment M rückschließen.

Fig. 3 illustriert ein weiteres Ausführungsbeispiel des Bauteils 100 mit integrierter Sensorvorrichtung 200. Die Ausführung umfasst ein Bauteil 100 mit einem ersten Tragelement 210 mit ersten optischen Elementen 220 und einem zweiten Tragelement 230 mit zweiten optischen Elementen 240, ähnlich wie in den vorangehenden Figuren. Wieder umfasst der Strahlengang zwei Strahlen 331, 332 zwischen den ersten optischen Elementen 220 und den zweiten optischen Elementen 240 in voneinander unabhängigen räumlichen Richtungen. Die ersten und zweiten optischen Elemente 220, 240 sind dabei so ausgebildet, dass jeder der Strahlen 331, 332 jeweils ein Teil eines Strahlengangs

eines Michelson-Interferometers ist. Eine relative Positionsverschiebung zwischen dem ersten Tragelement 210 und dem zweiten Tragelement 230 führt auf eine Veränderung einer Interferenz, die in den Interferenzelementen 249 gebildet wird. Wie in den vorangehenden Figuren wird diese Information als Ausgangssignal aus dem Bauteil 100 heraus übertragen.

Fig. 4 illustriert eine Messung einer Krafteinwirkung (einer Kraft F und eines Drehmoments M) auf das Bauteil 100 durch Bestimmung einer relativen Positionsänderung zwischen dem ersten Tragelement 210 und dem zweiten Tragelement 230 für ein Ausführungsbeispiel nach Figur 1. Hierbei kommt als pixelbasiertes Verfahren eine digitale Bildkorrelation zur Anwendung.

In Teil (a) der Figur sind ein erstes Bild 410 eines optischen Musters 222, hervorgerufen im Strahlsammlungselement 243 durch den ersten Strahl 331, und ein zweites Bild 420 eines zweiten, hier beispielsweise mit dem ersten identischen optischen Musters 222, hervorgerufen im Strahlsammlungselement 243 durch den zweiten Strahl 332, dargestellt. Die Bilder 410, 420 sind dabei für das vorliegende Ausführungsbeispiel insbesondere durch eine Spiegelung verbunden, die durch den Spiegel 245 bewirkt wird. Die Punkte 411, 412, 423 im ersten Bild stellen lichtdurchlässige Bereiche bzw. Berechnungspunkte in dem optischen Muster 222 dar. Sie entsprechen dabei den Berechnungspunkten 421, 423, 423 im zweiten Bild. Ein pixelbasiertes Verfahren umfasst ein Messen von Positionen der Berechnungspunkte 411 – 413, 421 – 423 in einem Zustand mit Krafteinwirkung und in einem Zustand ohne Krafteinwirkung sowie einen Vergleich der Positionen im Zustand mit Krafteinwirkung mit den Positionen im Zustand ohne Krafteinwirkung.

In Teil (b) der Figur ist links eine Verschiebung von Positionen der Berechnungspunkte 411, 412, 413 aus dem ungespiegelten ersten Strahl 331 dargestellt, wie sie durch die Krafteinwirkung hervorgerufen wird. Dabei lässt sich aus der Verschiebung der Berechnungspunkte 421, 422, 423 insbesondere ein Drehpunkt 430 ermitteln, der eine Angriffsposition des Drehmoments M

wiedergibt. Basierend auf einer horizontalen Verschiebung v_x des Drehpunkts 440 lässt sich eine Größe einer auf das Bauteil 100 wirkenden horizontalen Kraftkomponente der Kraft F ermitteln. Basierend auf einer vertikalen Verschiebung v_y des Drehpunkts 430 lässt sich eine Größe einer auf das Bauteil 100 wirkenden vertikalen Kraftkomponente der Kraft F ermitteln. Aus einem Winkel φ folgt zudem eine Größe des Drehmoments M .

In Teil (b) der Figur ist zudem rechts eine Verschiebung von Positionen der Berechnungspunkte 421, 422, 423 aus dem gespiegelten ersten Strahl 332 dargestellt, die sich nach Abzug einer Verschiebung der Berechnungspunkte 411, 412, 413 ergibt, die links in Teil (b) dargestellt ist. Basierend auf der daraus resultierenden Verschiebung v'_y lässt sich in der vorliegenden Illustration eine Größe einer auf das Bauteil 100 wirkenden axialen Kraftkomponente der Kraft F ermitteln.

Fig. 5 illustriert eine Messung einer Krafteinwirkung (einer Kraft F und eines Drehmoments M) auf das Bauteil 100 durch Bestimmung einer relativen Positionsänderung zwischen dem ersten Tragelement 210 und dem zweiten Tragelement 230 für ein Ausführungsbeispiel nach Figur 1. Hierbei kommt als pixelbasiertes Verfahren ein digitales Moiré-Verfahren zur Anwendung.

In Teil (a) der Figur sind ein erstes Bild 410 eines optischen Musters 222, hervorgerufen im Strahlsammlungselement 243 durch den ersten Strahl 331, und ein zweites Bild 420 eines zweiten optischen Musters 222, hervorgerufen im Strahlsammlungselement 243 durch den zweiten Strahl 332, dargestellt. Die optischen Muster 222 umfassen hier jeweils periodische Gitterstrukturen in unterschiedlicher Ausrichtung. Durch Aufzeichnung der Gitterstrukturen kann deren Ausrichtung ohne und mit der Krafteinwirkung verglichen werden. Dabei gibt sich für das erste Bild 410 eine Überlagerung, die ein Moiré-Muster 440 einer ersten Periode Δy aufweist. Für das zweite Bild 420 ergibt sich entsprechend ein Moiré-Muster 450, welches eine zweite Periode Δx aufweist, und ein Moiré-Muster 460, welches eine dritte Periode $\Delta y'$ aufweist.

Kraftkomponenten der Kraft F in einer horizontalen, vertikalen und axialen Richtung lassen sich aus diesen Perioden bestimmen.

In einem Teil (b) der Figur ist ein Moiré-Muster dargestellt, welches durch eine Überlagerung einer Gitterstruktur in einem Zustand ohne Krafteinwirkung auf das Bauteil 100 und einer Gitterstruktur in einem Zustand mit Krafteinwirkung auf das Bauteil 100 entsteht. Die Gitterstrukturen weisen dabei relativ zueinander einen Winkel α auf. Basierend auf dem Winkel α lässt sich beispielsweise eine Größe des Dehmoments M bestimmen.

Fig. 6 zeigt Schritte eines Verfahrens zur Herstellung eines Bauteils 100 mit einer integrierten Sensorvorrichtung 200 für eine optische, mehrachsige Messung einer Krafteinwirkung auf das Bauteil 100. Das Bauteil 100 umfasst einen Hohlraum 110, ein erstes Tragelement 210 mit ersten optischen Elementen 220 und mindestens ein weiteres Tragelement 230 mit weiteren optischen Elementen 240, wobei eine Härte des ersten Tragelements 210 und des mindestens einen weiteren Tragelements 230 größer ist als eine Härte des Bauteils 100. Insbesondere können die Tragelemente 210, 230 jeweils einen harten Bereich und einen weichen bzw. leichter deformierbaren Bereich aufweisen. Beispielsweise kann ein Tragelement mit einem Kern und einem leichter als der Kern deformierbaren Rand zum Einsatz kommen. Ein Schritt des Verfahrens umfasst ein Bereitstellen S110 eines Ausgangsbauteils mit einem Ausgangshohlraum. Ein weiterer Schritt umfasst ein Positionieren S120 des ersten Tragelements 210 und des mindestens einen weiteren Tragelements 230 in den Ausgangshohlraum. Ein weiterer Schritt umfasst dann ein Umformen S130 des Ausgangsbauteils, um so das Bauteil und den Hohlraum auszubilden. Das Umformen S130 kann insbesondere ein Kaltumformen, beispielsweise ein Rundpressen für ein zylinderförmiges Bauteil 100, oder auch ein Kaltmassivumformen umfassen. Durch das Umformen S130 der Struktur wird auch der Hohlraum 110 ausgebildet. Das Umformen S130 bewirkt zudem ein plastisches Fügen S140 des ersten Tragelements 210 sowie des zweiten Tragelements 230 in den Hohlraum 110 des Bauteils 100.

Fig. 7 illustriert weitere Ergebnisse von Ausführungsformen des Verfahrens nach Fig. 6. In einem Teil (a) der Figur ist ein Ausführungsbeispiel mit einer Sensorvorrichtung 200 ähnlich wie in Figur 1 dargestellt. In diesem Ergebnis einer ersten Ausführungsform des Verfahrens weisen die Tragelemente 210, 230 einen Kern aus sehr hartem Material und einen Randbereich auf, der ein im Vergleich zum Material des Kerns leichter deformierbares Material umfasst. Das leichter deformierbare Material ist durch das Umformen S130 des Bauteils 100 plastisch verformt worden, so dass die Tragelemente 210, 230 im entstehenden Hohlraum 110 fixiert worden sind.

In einem Teil (b) der Figur ist ein Ausführungsbeispiel mit einer Sensorvorrichtung 200 ähnlich wie in Figur 2 dargestellt. In diesem Ergebnis einer zweiten Ausführungsform des Verfahrens weisen die Tragelemente 210, 230 ein sehr hartes Material im Vergleich zu einem Material des Bauteils 100 auf, so dass beim Umformen S130 das Material des Bauteils 100 durch das harte Material Tragelemente 210, 230 plastisch deformiert worden ist. Die Tragelemente 210, 230 sind auf diese Weise in dem Hohlraum 110 des durch das Umformen S130 entstandenen Bauteils 100 fixiert worden.

Die in der Beschreibung, den Ansprüchen und den Figuren offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Verwirklichung der Erfindung wesentlich sein. Größen, Verschiebungen und Winkel in den Figuren haben lediglich beispielhaften Charakter.

BEZUGSZEICHENLISTE

100	Bauteil
110	Hohlraum
120	Wanddicke
200	Sensorvorrichtung
210	erstes Tragelement
220	erste optische Elemente
221	Strahlaufweitungselement
222	optische Maske
225	Spiegel der ersten optischen Elemente
227	teilweise reflektierende Platte der ersten optischen Elemente
230	zweites Tragelement
240	zweite optische Elemente
243	Strahlsammlungselement
245	Spiegel der zweiten optischen Elemente
247	teilweise reflektierende Platte der zweiten optischen Elemente
249	Interferenzelement
300	Übertragungseinrichtung
320	Leitung
331	erster Strahl
332	zweiter Strahl
410	Bild des optischen Musters im ersten Strahl
411, 412, 413	erste Berechnungspunkte
420	Bild des optischen Musters im zweiten Strahl
421, 422, 423	zweite Berechnungspunkte
430	Drehpunkt
440, 450, 460	Moiré-Muster
$v_x, v_y, v'_y, \Delta x, \Delta y, \Delta y'$	Verschiebungen
α, φ	Winkel
F	Kraft
M	Drehmoment

ANSPRÜCHE

1. Ein Bauteil (100) mit einer integrierten Sensorvorrichtung (200) für eine optische, mehrachsige Messung einer Krafteinwirkung auf das Bauteil (100), das Bauteil (100) umfasst

einen Hohlraum (110);

ein erstes Tragelement (210) mit einem oder mehreren ersten optischen Elementen (220) sowie ein zweites Tragelement (230) mit einem oder mehreren zweiten optischen Elementen (240), wobei das erste Tragelement (210) und das zweite Tragelement (230) in dem Hohlraum (110) ausgebildet und teilweise in das Bauteil (100) eingefügt sind; und

eine Übertragungseinrichtung (300), die ausgebildet ist,

um an eine Energiequelle angeschlossen zu werden und

um, bei Anschluss an die Energiequelle, mindestens zwei Strahlen (331, 332) in voneinander unabhängigen Richtungen zu übertragen, wobei die Strahlen (331, 332) jeweils zwischen den ersten optischen Elementen (220) und den zweiten optischen Elementen (240) durch den Hohlraum (110) verlaufen,

wobei die ersten optischen Elemente (220) und die zweiten optischen Elemente (240) ausgebildet sind, um basierend auf den mindestens zwei Strahlen (331, 332) eine Information über eine relative Positionsänderung des ersten Tragelements (210) bezüglich des zweiten Tragelements (230) zu erzeugen, und wobei die Übertragungseinrichtung (300) ausgebildet ist, um die Information zur Messung der Krafteinwirkung bereitzustellen.

2. Das Bauteil (100) nach Anspruch 1, wobei die Übertragungseinrichtung (300) zu einem oder mehreren aus Folgendem ausgebildet ist:

Anschluss an eine Lichtquelle als Energiequelle,

Anschluss an eine Stromquelle als Energiequelle,

Übertragung der Information aus dem Bauteil (100) durch eine

Lichtleitung (320),
Übertragung der Information aus dem Bauteil (100) durch eine elektrische Leitung (320).

3. Das Bauteil (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Bauteil (100) eines der folgenden ist:

eine Hohlwelle,
ein hohlzylindrisches Bauteil,
ein Rohr,
ein Roboterelement, insbesondere ein Roboterarm,
ein für ein Bauwerk bestimmtes Element,
ein Kranarm,
ein Verbindungselement,
eine Säule einer Werkzeugmaschine,
ein Werkzeug,
ein Werkzeughalter.

4. Das Bauteil (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die ersten optischen Elemente (220) oder die zweiten optischen Elemente (240) ein optisches Muster (222) aufweisen und ausgebildet sind, um die mindestens zwei Strahlen (331, 332) zu überlagern, so dass die Information eine Änderung eines erfassten optischen Bildes dieses Musters umfasst.

5. Das Bauteil (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die ersten optischen Elemente (220) und die zweiten optischen Elemente (240) ein Michelson-Interferometer bilden und die Information auf einem Michelson-Interferenzmuster beruht.

6. Das Bauteil (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei zumindest eines der ersten optischen Elemente (220) und mindestens eines der zweiten optischen Elemente (240) jeweils eine teilweise reflektierende Platte (227, 247) aufweisen und ausgebildet sind, um für mindestens einen der mindestens zwei Strahlen (331, 332) ein Fabry-Pérot-Interferometer zu bilden.

7. Das Bauteil (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei mindestens ein weiteres Tragelement mit einem oder mehreren weiteren optischen Elementen in dem Hohlraum (100) ausgebildet und teilweise in das Bauteil (100) eingefügt ist.

8. Ein Verfahren zur Herstellung eines Bauteils (100) mit einer integrierten Sensorvorrichtung (200) für eine optische, mehrachsige Messung einer Krafteinwirkung auf das Bauteil (100), das Bauteil (100) umfasst einen Hohlraum (110), ein erstes Tragelement (210) mit ersten optischen Elementen (220) und mindestens ein weiteres Tragelement (230) mit weiteren optischen Elementen (240), das Verfahren umfasst die Schritte

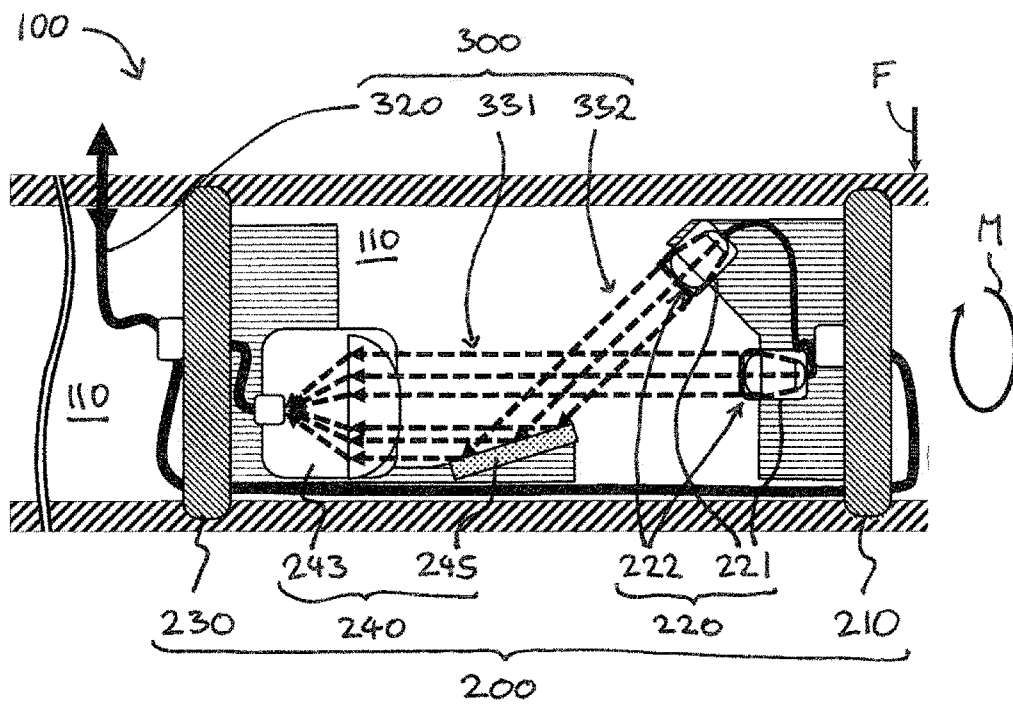
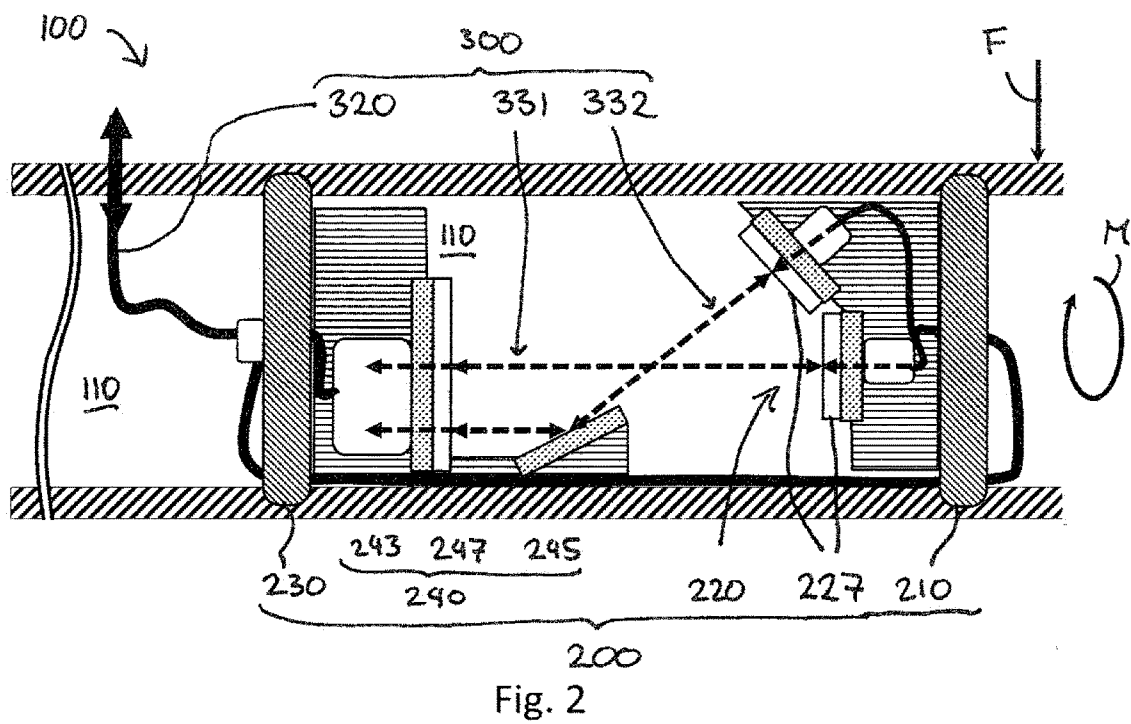
Bereitstellen (S110) eines Ausgangsbauteils mit einem Ausgangshohlraum;

Positionieren (S120) des ersten Tragelements (210) und des mindestens einen weiteren Tragelements (230) in den Ausgangshohlraum;

Umformen (S130) des Ausgangsbauteils, um so das Bauteil (100) und den Hohlraum (110) auszubilden; dadurch

plastisches Fügen (S140) des ersten Tragelements (210) sowie des mindestens einen weiteren Tragelements (230), um so das erste Tragelement (210) und das mindestens eine weitere Tragelement (230) in dem Hohlraum (110) zu fixieren.

1/6



2/6

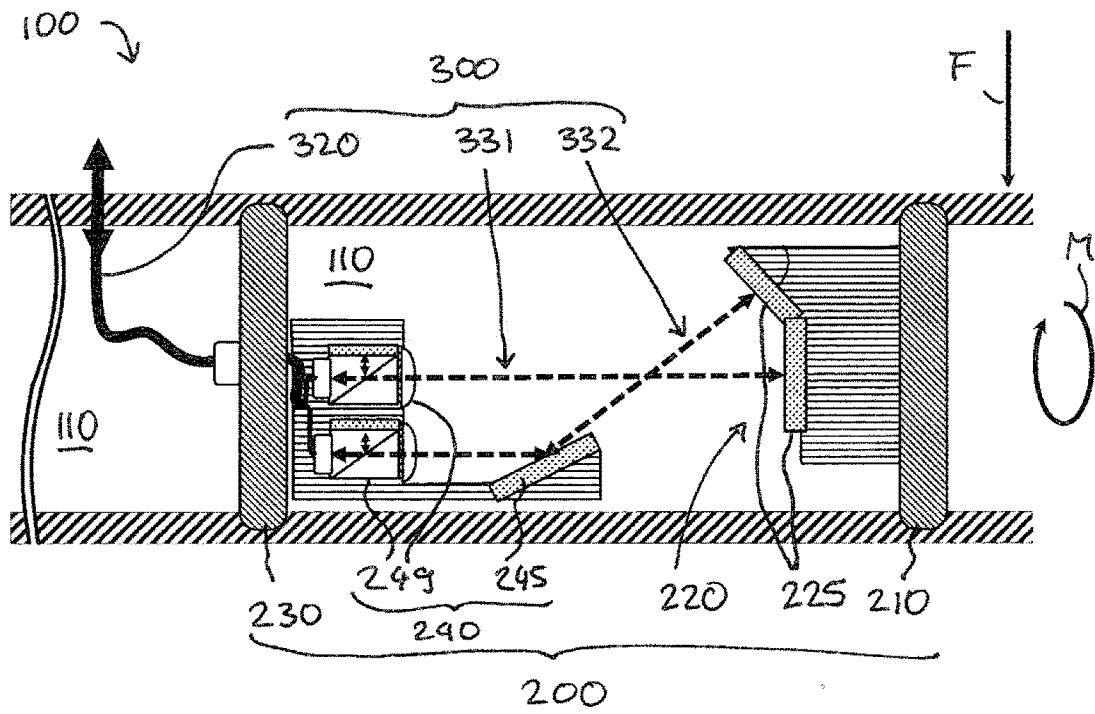
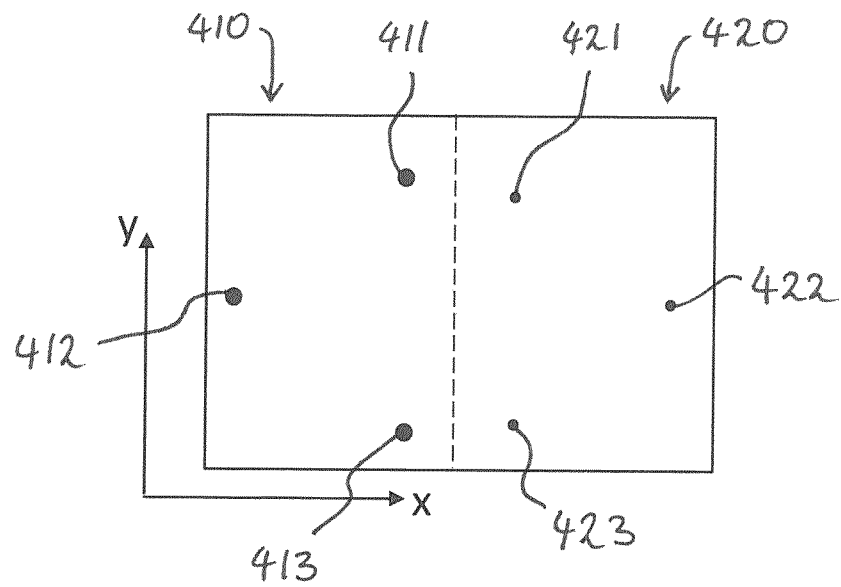
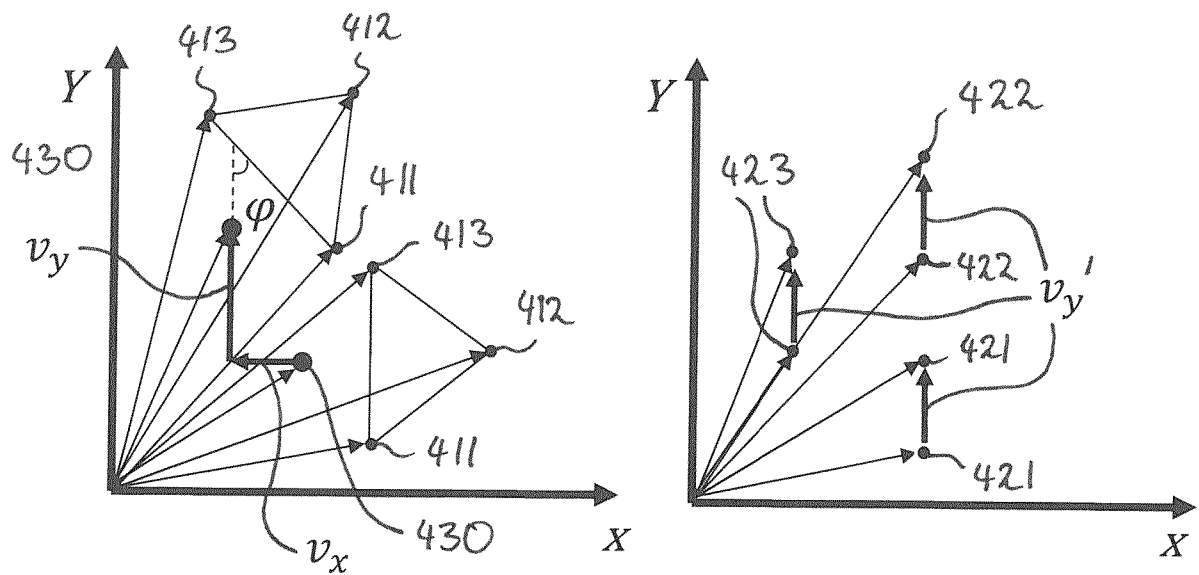


Fig. 3

3/6



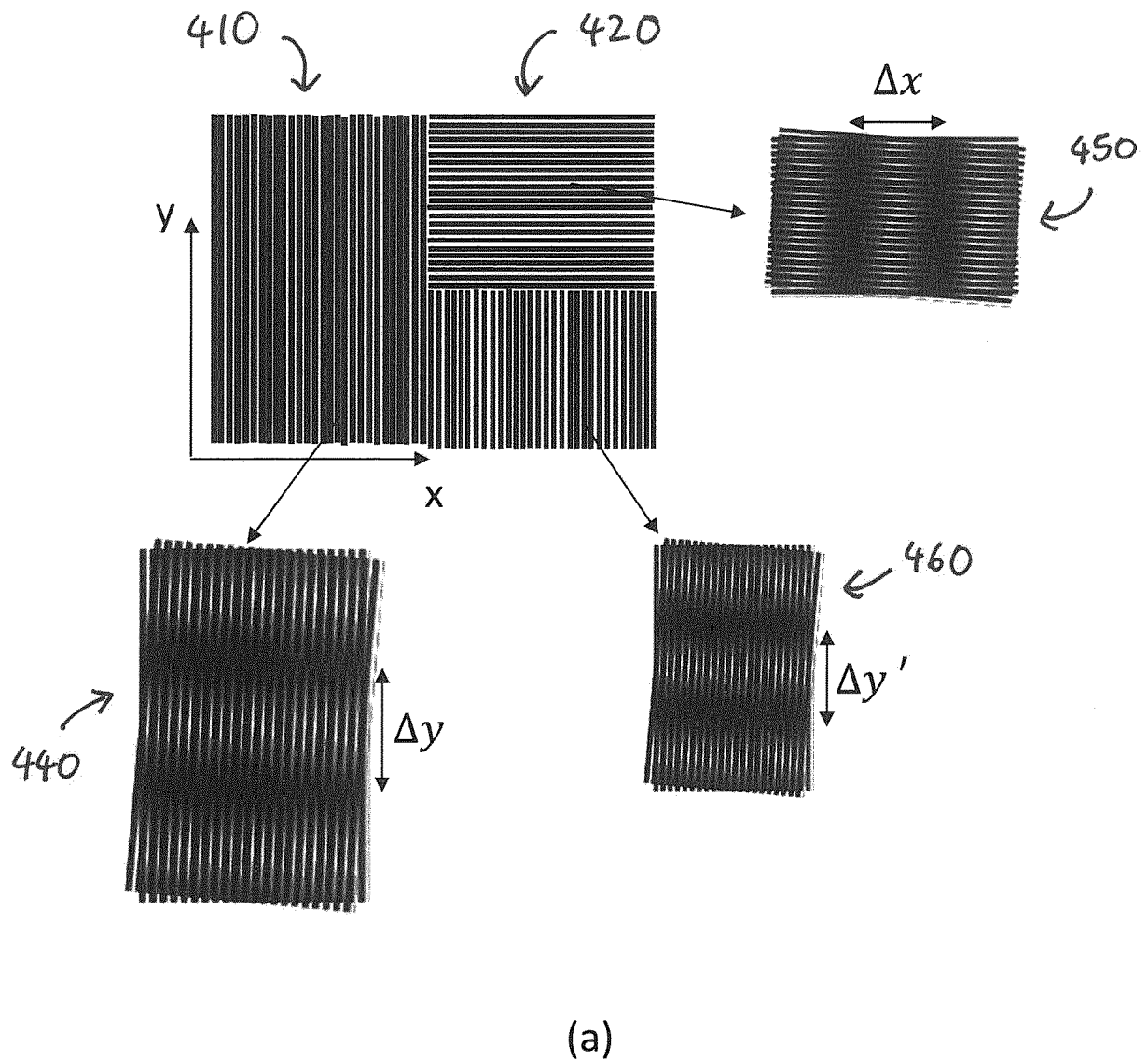
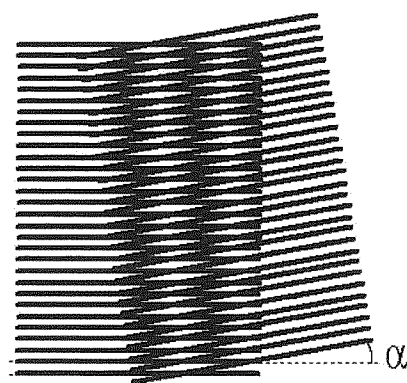
(a)



(b)

Fig. 4

4/6



(b)
Fig. 5

5/6

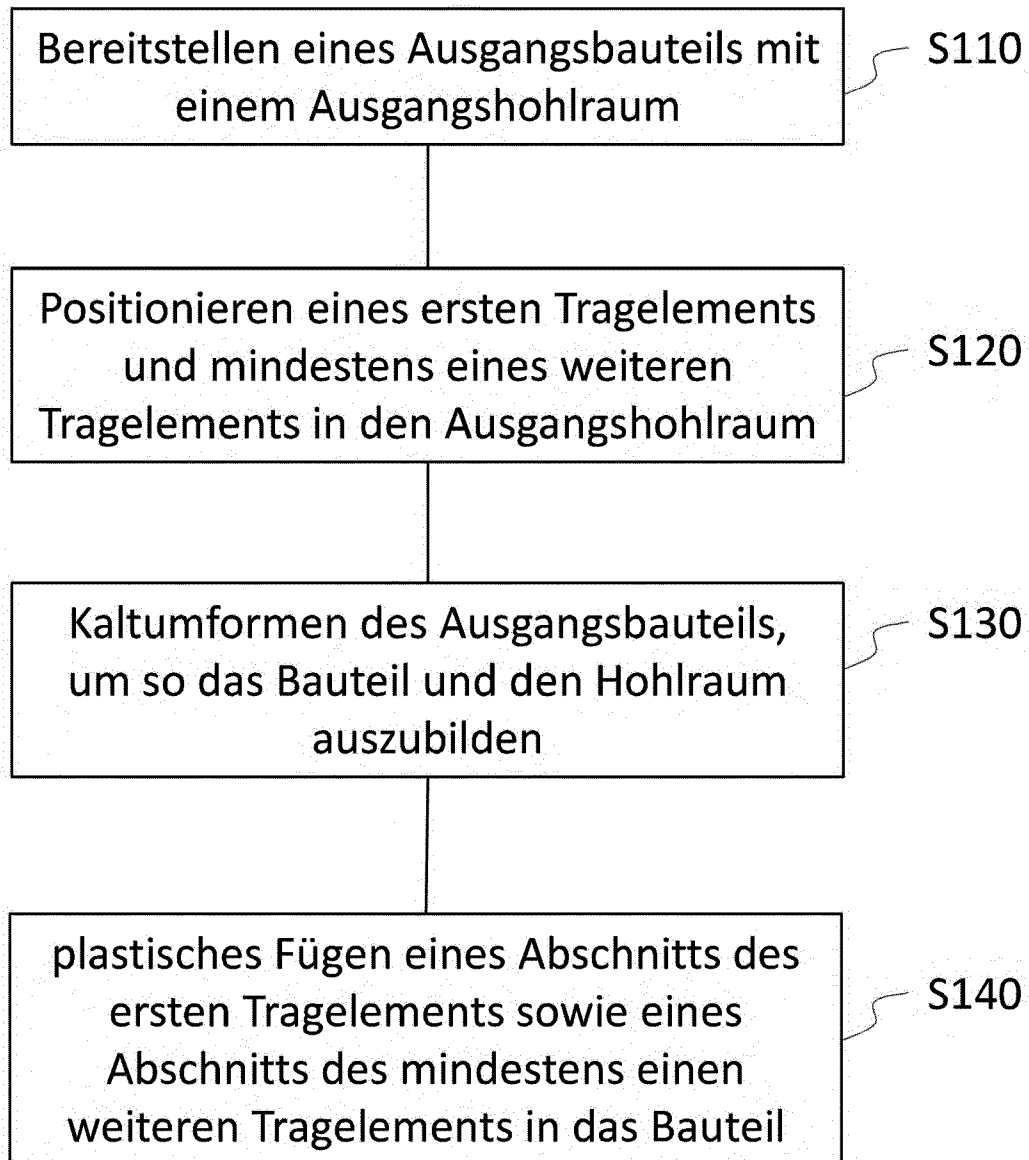
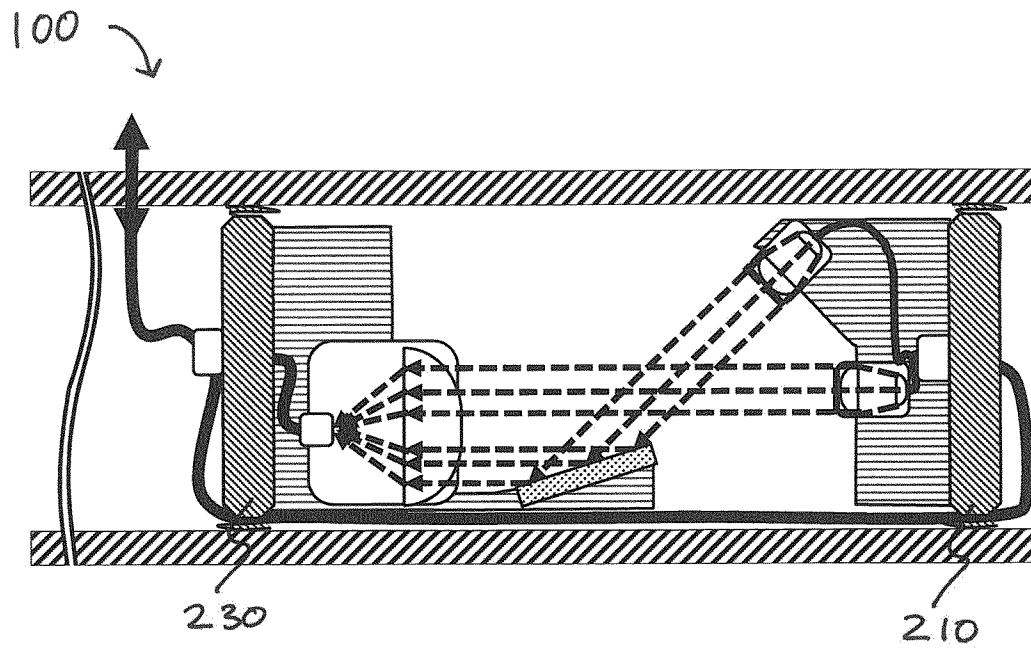
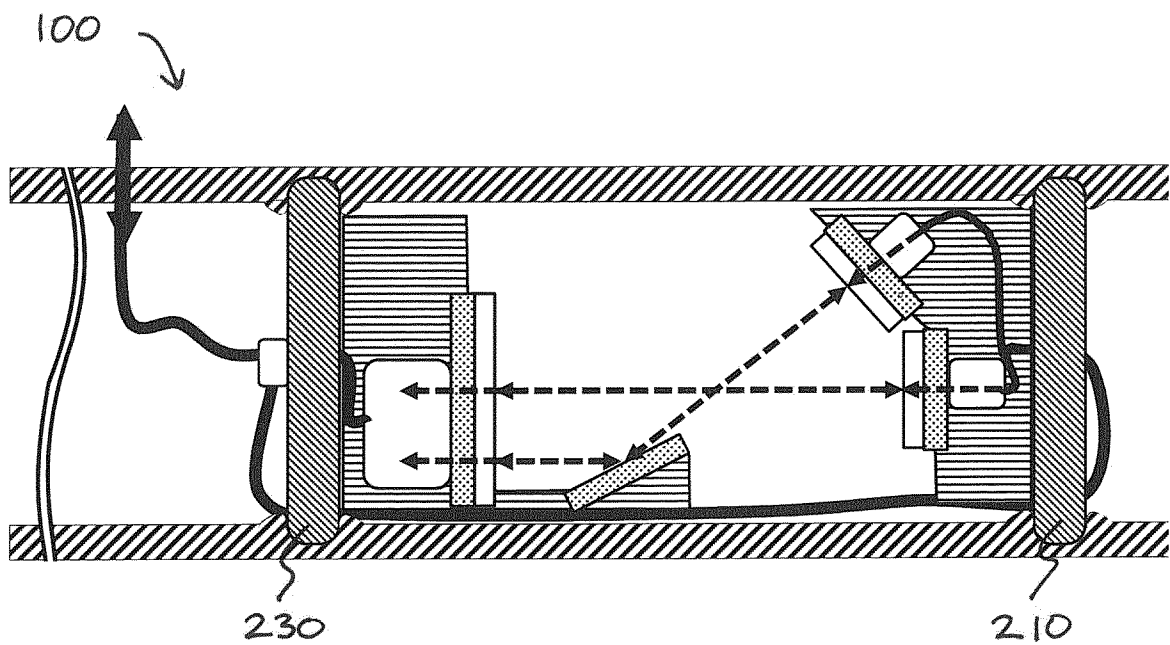


Fig. 6

6/6



(a)



(b)

Fig. 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2021/071303

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G01L 1/24**(2006.01)i; **G01L 3/12**(2006.01)i; **G01L 3/14**(2006.01)i; **G01L 5/166**(2020.01)i; **G01L 5/24**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01L

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

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

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2013265233 A1 (OBERMEYER HENRY K [US] ET AL) 10 October 2013 (2013-10-10) abstract; figures 3,7,10a paragraphs [0020], [0035], [0053], [0093], [0268], [0270], [0272]	1-8
X	US 2019072443 A1 (REICH ADAM [US] ET AL) 07 March 2019 (2019-03-07) abstract; figures 1,2,6 paragraphs [0020], [0037], [0040], [0045], [0066]	1-8
A	DE 102017101580 A1 (PICOFINE GMBH [DE]) 26 July 2018 (2018-07-26) abstract paragraphs [0035], [0071]	1-8



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

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

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

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

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

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

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

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

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

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

15 November 2021

Date of mailing of the international search report

23 November 2021

Name and mailing address of the ISA/EP

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

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

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

Authorized officer

Nelva-Pasqual, F

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2021/071303

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2013265233	A1	10 October 2013	AU	2003224982	A1	27 October 2003
				CN	1692401	A	02 November 2005
				EP	1514257	A1	16 March 2005
				JP	4589007	B2	01 December 2010
				JP	5399365	B2	29 January 2014
				JP	2005522798	A	28 July 2005
				JP	2009140520	A	25 June 2009
				JP	2011086307	A	28 April 2011
				JP	2011090707	A	06 May 2011
				JP	2011100478	A	19 May 2011
				US	2005162389	A1	28 July 2005
				US	2009213073	A1	27 August 2009
				US	2012162076	A1	28 June 2012
				US	2013265233	A1	10 October 2013
				US	2015153842	A1	04 June 2015
				WO	03088204	A1	23 October 2003
US	2019072443	A1	07 March 2019	CN	111093917	A	01 May 2020
				EP	3678823	A1	15 July 2020
				JP	2020533185	A	19 November 2020
				KR	20200039018	A	14 April 2020
				US	2019072443	A1	07 March 2019
				US	2020200625	A1	25 June 2020
DE	102017101580	A1	26 July 2018	WO	2019050635	A1	14 March 2019
				NONE			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV. G01L1/24	G01L3/12	G01L3/14 G01L5/166 G01L5/24
ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)		
G01L		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)		
EPO-Internal		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2013/265233 A1 (OBERMEYER HENRY K [US] ET AL) 10. Oktober 2013 (2013-10-10) Zusammenfassung; Abbildungen 3,7,10a Absätze [0020], [0035], [0053], [0093], [0268], [0270], [0272] -----	1-8
X	US 2019/072443 A1 (REICH ADAM [US] ET AL) 7. März 2019 (2019-03-07) Zusammenfassung; Abbildungen 1,2,6 Absätze [0020], [0037], [0040], [0045], [0066] -----	1-8
A	DE 10 2017 101580 A1 (PICOFINE GMBH [DE]) 26. Juli 2018 (2018-07-26) Zusammenfassung Absätze [0035], [0071] -----	1-8
☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
15. November 2021		23/11/2021
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Nelva-Pasqual, F

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2021/071303

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 2013265233	A1	10-10-2013	AU	2003224982 A1	27-10-2003
			CN	1692401 A	02-11-2005
			EP	1514257 A1	16-03-2005
			JP	4589007 B2	01-12-2010
			JP	5399365 B2	29-01-2014
			JP	2005522798 A	28-07-2005
			JP	2009140520 A	25-06-2009
			JP	2011086307 A	28-04-2011
			JP	2011090707 A	06-05-2011
			JP	2011100478 A	19-05-2011
			US	2005162389 A1	28-07-2005
			US	2009213073 A1	27-08-2009
			US	2012162076 A1	28-06-2012
			US	2013265233 A1	10-10-2013
			US	2015153842 A1	04-06-2015
			WO	03088204 A1	23-10-2003

US 2019072443	A1	07-03-2019	CN	111093917 A	01-05-2020
			EP	3678823 A1	15-07-2020
			JP	2020533185 A	19-11-2020
			KR	20200039018 A	14-04-2020
			US	2019072443 A1	07-03-2019
			US	2020200625 A1	25-06-2020
			WO	2019050635 A1	14-03-2019

DE 102017101580	A1	26-07-2018	KEINE		
