

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
05. April 2018 (05.04.2018)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2018/060223 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G02B 27/00 (2006.01) G02B 21/00 (2006.01)
G02B 7/08 (2006.01) F03G 7/06 (2006.01)
G02B 7/10 (2006.01) G03B 3/12 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/074450

(22) Internationales Anmeldedatum:

27. September 2017 (27.09.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2016 219 055.5

30. September 2016 (30.09.2016) DE

(71) Anmelder: **CARL ZEISS MICROSCOPY GMBH**
[DE/DE]; Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena (DE).

(72) Erfinder: **LIEDTKE, Mirko**; Im Planer 66, 07745 Jena (DE). **KAUFHOLD, Tobias**; Fuchsturmweg 15, 07749 Jena (DE). **TISCHER, Franziska**; Frommannstrasse 7, 07743 Jena (DE).

(74) Anwalt: **MEYER, Jork**; Carl Zeiss AG, Patentabteilung, Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena (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, 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,

(54) Title: ACTUATOR FOR ADJUSTING A MOVABLE ELEMENT, USES AND METHODS OF ADJUSTMENT

(54) Bezeichnung: STELLANTRIEB ZUR JUSTAGE EINES ZU BEWEGENDEN ELEMENTS, VERWENDUNGEN UND VERFAHREN ZUR JUSTAGE

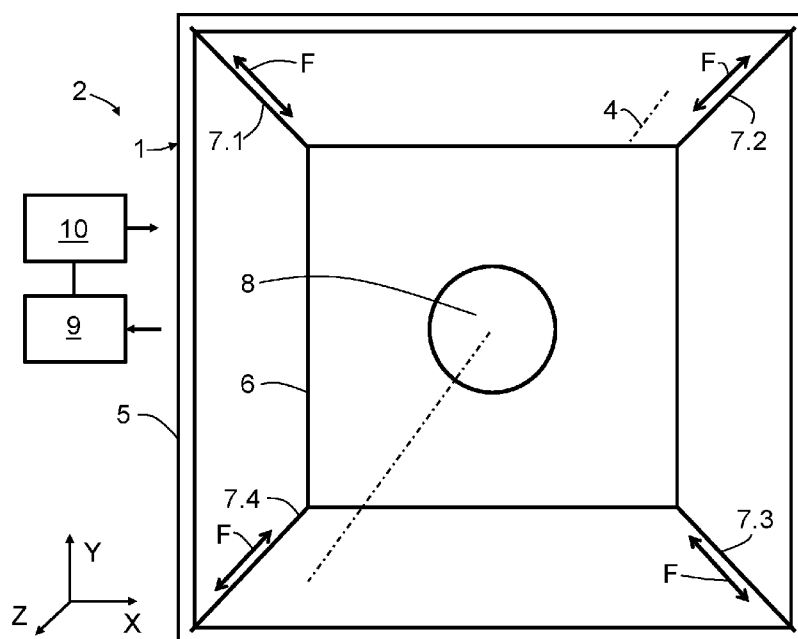


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to an actuator (1) for adjusting a movable element (6) in a beam path of an optical arrangement (2), comprising the movable element (6), a carrier (5), and at least one SMA element (7.1 to 7.4), said SMA element (7.1 to 7.4) being connected to the movable element (6) and being designed so as to be supported on the carrier (5) such that when the extension of the SMA element (7.1 to 7.4) alters, a directed force effect (F) is produced between said movable element (6) and carrier (5). The invention also relates to devices for adjusting a movable element (6) in a beam path of an optical arrangement (2), uses of the actuators (6), and adjustment methods.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Stellantrieb (1) zur Justage eines zu bewegenden Elements (6) in einem Strah-



WO 2018/060223 A1



NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,
SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

- *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Veröffentlicht:

- *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)*

lengang einer optischen Anordnung (2), umfassend das zu bewegend Element (6), einen Träger (5) und mindestens ein SMA-Element (7.1 bis 7.4), wobei das SMA-Element (7.1 bis 7.4) mit dem zu bewegend Element (6) in Verbindung steht und sich an dem Träger (5) abstützend ausgebildet ist, so dass bei einer Änderung der Ausdehnung des SMA-Elements (7.1 bis 7.4) eine gerichtete Kraftwirkung (F) zwischen dem zu bewegend Element (6) und dem Träger (5) erzeugt ist. Die Erfindung betrifft weiterhin Vorrichtungen zur Justage eines zu bewegend Elements (6) in einem Strahlengang einer optischen Anordnung (2), Verwendungen der Stellantriebe (6) sowie Justageverfahren.

Stellantrieb zur Justage eines zu bewegenden Elements, Verwendungen und Verfahren zur Justage

Die Erfindung betrifft einen Stellantrieb sowie Vorrichtungen zur Justage eines zu bewegenden Elements in einem Strahlengang einer optischen Anordnung. Die Erfindung betrifft weiterhin Verwendungen der Stellantriebe sowie Justageverfahren.

Zur Justage von zu bewegenden Elementen, insbesondere in optischen Anordnungen, werden bekanntermaßen beispielsweise Motoren, Piezo-Antriebe oder auch Hubmagnete, eingesetzt. Diese können auch dazu verwendet werden, um in einer (teil-) automatisierten optischen Anordnung wie einem Mikroskop Bewegungen auszuführen. So kann beispielsweise der Fokus oder die Vergrößerung verändert oder ein Filter gewechselt werden.

Seit längerem ist die Fähigkeit von bestimmten Legierungen (Formgedächtnislegierungen, Formgedächtnismetalle, shape memory alloy, SMA) bekannt, nach Erwärmung ihre ursprüngliche Form wieder anzunehmen. Die dabei auftretenden Kräfte sind dazu geeignet, um gezielt bewegliche Elemente zu positionieren.

Ein erster Ansatz wurde bereits in der EP 2 140 138 B1 beschrieben und für die Erzeugung einer Bewegung in einer Handykamera umgesetzt. Aus der EP 2 140 138 B1 ist insbesondere ein Steuerungssystem für eine SMA-Betätigungsverrichtung bekannt. Die SMA-Betätigungsverrichtung weist einen SMA-Betätiger auf, der bei Kontraktion aufgrund von Wärmeeinwirkung die Bewegung eines bewegbaren Bauteils bewirkt. Das Steuerungssystem umfasst eine Stromquelle. Der SMA-Betätiger wird durch elektrischen Strom erwärmt, der durch den SMA-Betätiger fließt. Ferner sind eine Detektorschaltung zu Detektieren des elektrischen Widerstands des SMA-Betätigers und eine Steuerung zum Steuern der Stromquelle vorhanden. Mittels der Steuerung wird der SMA-Betätiger erwärmt, während der elektrische Widerstand des SMA-Betätigers überwacht wird. Eine Position eines bewegbaren Bauteils wird erfasst und in Abhängigkeit der Position wird der SMA-Betätiger weiter erwärmt beziehungsweise gekühlt, um die Position des bewegbaren Bauteils einzustellen. Durch die gegenläufige Anordnung der Drähte aus Formgedächtnismetall ist eine genaue Positionierung des Aktuators möglich. Gleichzeitig kann durch Widerstandsmessung der verwendeten Drähte auf die aktuelle Position geschlossen werden.

In der US 8,441,749 B2 ist ein auf Formgedächtnislegierungen (shape memory alloy; SMA) basierender Stellantrieb beschrieben. Dieser umfasst einen Träger, ein zu bewegendes Element und eine Haltevorrichtung mit einer Vielzahl von elastischen Verbindungselementen zwischen Träger und zu bewegendem Element. Durch Wirkung der Haltevorrichtung wird das zu bewegende Element entlang einer Achse geführt. Mindestens ein SMA-Element in Form eines Drahtes übt bei einer Änderung seiner Länge eine Kraft auf das zu bewegende Element aus.

Aus der WO 2013/121225 A1 ist ein Stellantrieb bekannt, der vier SMA-Elemente in Form von Drähten, einen Träger und ein zu bewegendes Element umfasst. Die SMA-Elemente sind mit je einem ihrer Enden an dem Träger und dem zu bewegenden Element befestigt. Die durch die SMA-Elemente erzeugten Kraftwirkungen sind einander entgegengerichtet. Mittels einer gezielten Längenänderung der SMA-Elemente ist das zu bewegende Element in einer XY-Ebene positionierbar.

Die WO 2007/113478 betrifft einen Stellantrieb zur Bewegung einer Kameralinse. Der Stellantrieb umfasst einen Träger, die Kameralinse, eine Haltevorrichtung zur Führung der Bewegung der Kameralinse entlang ihrer optischen Achse und mindestens ein Paar SMA-Elemente. Diese sind unter Zugspannung zwischen der Kameralinse und dem Träger angeordnet.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, weitere und/oder gegenüber dem Stand der Technik verbesserte Stellantriebe vorzuschlagen. Weiterhin liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, neue Vorrichtungen, Verwendungen sowie Verfahren unter Nutzung der Stellantriebe anzugeben.

Die Aufgabe wird hinsichtlich des Stellantriebs durch die Gegenstände des unabhängigen Anspruchs 1 gelöst. Hinsichtlich der Vorrichtungen wird die Aufgabe durch die Gegenstände des Anspruchs 9 gelöst. Hinsichtlich der Verwendungen sowie der Verfahren wird die Aufgabe durch die Gegenstände der Ansprüche 10 bis 12 beziehungsweise 13 und 14 gelöst.

Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

Die Aufgabe wird durch einen Stellantrieb zur Erzeugung einer Stellbewegung und zur Zustellung eines zu bewegenden Elements in einem Strahlengang einer optischen Anordnung gelöst. Der Stellantrieb umfasst das zu bewegende Element, einen Träger und mindestens ein SMA-Element, wobei das SMA-Element mit dem zu bewegenden Element in Verbindung steht und sich an dem Träger abstützend ausgebildet ist. Bei einer Änderung der Ausdehnung des SMA-Elements ist eine gerichtete Kraftwirkung zwischen dem zu bewegenden Element und dem Träger erzeugt.

Eine Zustellung des zu bewegenden Elements erfolgt durch die Erzeugung einer Stellbewegung, in deren Folge das zu bewegende Element beispielsweise an eine gewünschte Position und/oder einer gewünschten Orientierung oder Lage bewegt (=zugestellt) wird.

Im Folgenden wird unter einer Zustellung auch die Möglichkeit einer Justage des zu bewegenden Elements bezüglich einer Sollposition, der optischen Achse und/oder bezüglich anderer Elemente des Stellantriebs oder einer Anordnung umfassend den Stellantrieb verstanden. Eine Justage wird als eine mögliche Realisierung einer Stellbewegung angesehen. Eine Justage kann einmalig, mehrmalig oder kontinuierlich durchgeführt werden.

In der vorliegenden Beschreibung werden unter SMA-Elementen solche Elemente verstanden, die im Wesentlichen aus einem Formgedächtnismaterial bestehen. Formgedächtnismaterialien können Formgedächtnislegierungen oder Formgedächtnispolymere, sogenannte shape memory polymers, SMPs, sowie deren Kombinationen sein. Formgedächtnismaterialien können ferner Materialien sein, wie diese in der US 7,591,834 B2 beschrieben sind.

Eine Verbindung zwischen dem SMA-Element und dem zu bewegenden Element kann sowohl durch eine kraft-, form- und/oder stoffschlüssige Verbindung realisiert sein. Unter einer solchen Verbindung werden weiterhin Ausführungen verstanden, bei denen das SMA-Element an dem zu bewegenden Element mindestens über einen Abschnitt seiner Ausdehnung anliegt und/oder durch das zu bewegenden Element durchgeführt ist und mit diesem mechanisch wechselwirkt.

Ein Abstützen des SMA-Elements auf dem Träger kann mit einem losen Ende oder einem nicht form- oder stoffschlüssig mit dem Träger verbundenen Abschnitt erfolgen. Das SMA-Element kann in weiteren Ausführungen lösbar oder unlösbar mit dem Träger verbunden sein.

Verbindungen sind beispielsweise lösbare Verbindungen, insbesondere kraft- und/oder formschlüssige Verbindungen, wie Verschraubungen, Klemmverbindungen oder Steckverbindungen. Verbindungen können in weiteren Ausführungen unlösbare kraft-, form- und/oder stoffschlüssige Verbindungen wie Klebverbindungen, Schweißverbindungen, Eingießen oder Pressverbindungen sein.

In einer möglichen Ausführung des Stellantriebs ist das SMA-Element spiralförmig um eine Achse angeordnet, so dass bei einer Änderung der Ausdehnung des SMA-Elements in Richtung seiner Länge eine gerichtete Kraftwirkung in Richtung der Achse, insbesondere entlang der Achse, und/oder eine Rotation des Stellantriebs um die Achse bewirkt ist.

Die Achse kann dabei beispielsweise eine Längsachse des zu bewegenden Elements sein. In weiteren Ausführungen ist die Achse beispielsweise eine Körperachse einer weiteren Struktur, die mit dem zu bewegenden Element in Verbindung steht. In einem solchen Fall kann eine mittelbare Verbindung zwischen dem SMA-Element und dem zu bewegenden Element ausgebildet sein.

In weiteren Ausführungen ist mindestens ein SMA-Element spiralförmig um die Achse angeordnet. Sind zwei oder mehr SMA-Elemente spiralförmig um die Achse angeordnet, dann sind diese vorteilhaft gleich gestaltet. Werden die mindestens zwei SMA-Elemente gleichzeitig und gleichsinnig zur Erzeugung einer Bewegung des zu bewegenden Elements genutzt, bietet eine ähnlich oder gleiche Gestaltung der SMA-Elemente Vorteile bei deren Ansteuerung, da die Steuerparameter für alle SMA-Elemente etwa oder genau gleich gewählt werden können.

Die Vorteile einer solchen Ausführung liegen in einem geringen Platzbedarf und einer robusten Ausführung des Stellantriebs. Beispielsweise ist eine solche Ausführung zum Verfahren optischer Linsen entlang der optischen Achse verwendbar.

Um eine große Lebensdauer zu erzielen, sollten die SMA-Elemente, insbesondere in Form von Drähten aus einem Formgedächtnismaterial, nicht mehr als 1 bis 2 % gedehnt werden. Um dennoch hinreichend Bewegung zu erreichen, werden Drähte mit einer größeren Länge vorgehalten. Besonders die Anwendung bei einem rotationssymmetrischen Bauteil erlaubt das wiederholte Auf- und Abwickeln des Drahtes und so einen platzsparenden Aufbau.

Auftretende Reibungsverluste können gering gehalten werden, wenn eine Gleitbeschichtung, beispielsweise eine Polytetrafluorethylen (PTFE) enthaltende Beschichtung, auf dem SMA-Element, auf einem die Achse beispielsweise coaxial umgebenden Körper und/oder auf einem zwischen dem SMA-Element und dem Körper angeordnetem Gleitelement aufgebracht sind. In zusätzlichen oder alternativen Ausführungen kann die Reibung zwischen SMA-Element und Körper durch geeignete Lager, beispielsweise in Form von Rollen, Kugeln oder polierten Oberflächen, reduziert sein.

Werden die SMA-Elemente in weiteren Ausführungsformen des Stellantriebs gegensinnig betrieben, kann die Kraftwirkung mindestens eines SMA-Elements durch die Kraftwirkungen mindestens eines weiteren SMA-Elements teilweise kompensiert werden, wodurch ein Überfahren einer gewünschten Position weitestgehend vermieden werden kann.

Anstatt gegensinnig betriebener SMA-Elemente oder zusätzlich zu diesen kann mindestens ein Federelement vorhanden sein, das als Antagonist zu dem mindestens einen SMA-Element fungiert.

Der Stellantrieb kann in einer weiteren Ausführung mindestens zwei SMA-Elemente aufweisen, die derart angeordnet sind, dass deren jeweilige gerichtete Kraftwirkungen wenigstens anteilig gegeneinander gerichtet sind. Dies können mindestens zwei spiralförmig um die Achse angeordnete SMA-Elemente und/oder beispielsweise linear verlaufend angeordnete SMA-Elemente sein.

Die SMA-Elemente können beispielsweise an sich gegenüberliegenden Punkten des zu bewegenden Elements mit diesem mittelbar oder unmittelbar verbunden sein.

Die sich gegenüberliegenden SMA-Elemente werden vorteilhaft gegensinnig betrieben. Wird beispielsweise bei einem der SMA-Elemente eine Kontraktion bewirkt, wird als Ausgleich bei dem gegenüberliegenden SMA-Element eine Ausdehnung verursacht.

In weiteren Ausführungen des Stellantriebs sind spiralförmig angeordnete und linear verlaufend angeordnete SMA-Elemente kombiniert, wodurch eine größere Gestaltungsfreiheit des Stellantriebs sowie zusätzliche Freiheitsgrade der Bewegung des zu bewegenden Elements erreichbar sind.

Wie bereits oben angesprochen, kann das SMA-Element mittelbar mit dem zu bewegenden Element in Verbindung stehen. Beispielsweise kann an dem zu bewegenden Element die weitere Struktur angeformt oder angebracht sein. Das SMA-Element kann auch über ein Getriebe mit dem zu bewegenden Element wirktechnisch in Verbindung stehen. Eine mittelbare Verbindung erleichtert den Austausch einzelner Komponenten und reduziert den Verschleiß.

In weiteren Ausführungen des Stellantriebs steht das SMA-Element unmittelbar mit dem zu bewegenden Element in Verbindung und ist an diesem beispielsweise angeschraubt, geklemmt, angeschweißt oder angeklebt.

Vorteile einer unmittelbaren Verbindung sind ein vereinfachter Aufbau und ein geringer Platzbedarf.

In einer weiteren Ausführungsmöglichkeit des Stellantriebs ist das zu bewegende Element mit mindestens einem Festlager verbunden. Das zu bewegende Element ist dabei durch Wirkung des mindestens einen, vorteilhaft der mindestens zwei, SMA-Elemente um das Festlager schwenkbar und/oder drehbar. Bei einer entsprechenden Anordnung der SMA-Elemente ist das zu bewegende Element in einer Ebene oder in einem Raum um das Festlager schwenkbar und/oder drehbar.

Ein Stellantrieb nach einem der vorher genannten Ausführungsmöglichkeiten kann in einer Anordnung umfassend ein Festkörpergelenk vorhanden sein. Das zu bewegende Element ist beispielsweise ein Teilbereich des Festkörpergelenks.

Der Stellantrieb kann in einem Objektiv angeordnet sein um dort optische Elemente, beispielsweise optische Linsen, zu bewegen. Ein Objektiv kann beispielsweise ein Cineobjektiv, ein Kameraobjektiv, ein Zielfernrohr, ein binokulares Fernglas oder ein monokulares Fernglas sein.

Durch ein Objektiv mit dem Stellantrieb ist ein technisches Problem gelöst, das bislang besonders hohe Anforderungen an seine Umsetzung gestellt hatte.

Gemäß dem Stand der Technik wurden Bewegungen im Inneren von optischen Bauteilen, z. B. in Objektiven oder anderen optischen Baugruppen, bislang durch Antriebe bewirkt, die aus dem optischen Bauteil nach außen verlagert wurden und beispielsweise mittels Elektromotoren betrieben wurden.

Eine Ausführung mit einem integrierten Stellantrieb vermeidet beispielsweise vorteilhaft eine platzintensive Ausführung der optischen Bauteile. Zudem sind die mittels eines erfindungsgemäßen Stellantriebs erzeugbaren Stellkräfte größer als solche, die beispielsweise mit miniaturisierten Piezoantrieben erreichbar sind.

Gegenstand der Erfindung ist weiterhin eine Vorrichtung zur Zustellung, beispielsweise zur Justage, eines zu bewegenden Elements mittels des Stellantriebs. Das zu bewegende Element kann dabei ein Pinhole aufweisen, wobei ein Pinhole eine Öffnung wie zum Beispiel ein Loch oder ein Schlitz ist. Das Pinhole kann insbesondere ein Pinhole einer optischen Anordnung, beispielsweise eines konfokalen Mikroskops, sein.

Das zu bewegende Element kann in weiteren Ausführungen ein Sensor und/oder ein Korrekturspiegel sein. Das zu bewegende Element können eine oder mehrere Linsen, Blenden und/oder ein Prismensystem, insbesondere ein Umkehrsystem, sein. Es ist auch möglich, dass wenigstens zwei zu bewegende Elemente vorhanden sind, die beispielsweise jeweils als eine Alvarezplatte ausgebildet sind und die relativ zueinander bewegt werden sollen.

Insbesondere die Bewegung von Alvarezplatten erfordert eine sehr präzise Bewegung in eng begrenztem Bauraum.

Neben Bewegungen in einer X-Y-Ebene sind durch entsprechend gestaltete und angeordnete Lagerungen und beispielsweise das zu bewegende Element umspannend geführte SMA-Elemente in Form von Drähten auch rotatorische Justagen sowie rotatorische Stellbewegungen möglich.

Die Vorrichtung zur Zustellung des zu bewegenden Elements umfasst eine Auswerteeinheit zur Auswertung aktueller Ortskoordinaten inklusive Raumkoordinaten und relativer räumlicher Lagen der zu bewegenden Elemente und/oder der SMA-Elemente. Außerdem ist eine Steuereinheit zur Generierung von Steuerbefehlen in Abhängigkeit der ausgewerteten aktuellen Ortskoordinaten vorhanden. Die Ortskoordinaten können beispielsweise zweidimensionale Koordinaten und/oder Raumkoordinaten sein und/oder relative räumliche Lagen beispielsweise des zu bewegenden Elements und eines Verlaufs eines aktuellen Strahlengangs einer optischen Anordnung, beispielsweise eines Mikroskops, eines Messgeräts, eines Geräts zur Verwendung in einem chirurgischen oder therapeutischen Verfahren, einer Beleuchtungsvorrichtung oder Belichtungsvorrichtung.

Eine derartige Vorrichtung kann auch zur Bewegung eines eine Anzahl von Sensorelementen aufweisenden Sensors verwendet werden. Dabei kann der Sensor um Bruchteile der Ausdehnung eines Sensorelements (Bruchteil eines Pixelabstands; Sub-Pixelbereich) bewegt werden. Durch den entsprechend bewegten Sensor werden mindestens zwei Bilder aufgenommen und miteinander verrechnet. Dieses Konzept ist auch als „sensor shift“ bekannt und dient beispielsweise der Verbesserung der Farberkennung und/oder der Steigerung der Bildauflösung. Der Sensor ist in einem solchen Fall beispielsweise ein Kamerasensor, z. B. ein CCD- oder ein CMOS-Chip. Die so beispielsweise in Richtung einer X-Achse als auch in Richtung einer Y-Achse bewegten Sensorelemente (Pixel) liefern Daten über die Zwischenräume der Sensorelemente, welche mittels Software überlagert, berechnet und ausgegeben werden können.

Die Vorrichtung und/oder der Stellantrieb kann ferner verwendet werden, um ein Gitter seitlich in einen Strahlengang eines optischen Bauteils, beispielsweise eines Objektivs, oder einer optischen

Anordnung zu schieben und/oder dieses im Strahlengang zu justieren. Mittels eines solchen Gitters kann die Auflösung eines Mikroskops durch eine strukturierte Beleuchtung eines Objekts gesteigert werden.

Der Stellantrieb sowie die Vorrichtung können in optischen Anordnungen wie Mikroskopsystemen jedweder Art, beispielsweise in Laserscanningmikroskopen, Elektronenmikroskopen sowie in Weitfeldmikroskopen verwendet sein.

Eine optische Anordnung kann mehrere erfindungsgemäße Stellantriebe gleicher oder unterschiedlicher Ausführungen aufweisen.

Mittels der Vorrichtung zur Zustellung des zu bewegenden Elements ist beispielsweise eine Möglichkeit des Stellantriebs für Korrekturverstellungen (Justage) des zu bewegenden Elements beziehungsweise der zu bewegenden Elemente angegeben. Die erforderlichen Zustellungen können sowohl radial, axial als auch rotierend erfolgen.

Vorteilhaft ist eine Verlagerung des Stellantriebs nach außerhalb des optischen Bauteils vermieden. Bei Unzugänglichkeit des optischen Bauteils, beispielsweise durch einen Inkubationsaufbau, muss die Verstellung gemäß dem Stand der Technik von außen motorisch angetrieben werden, während mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Zustellung des zu bewegenden Elements ein Antrieb im Inneren des optischen Bauteils bereitgestellt ist.

Diese vorteilhaft mit einem Antrieb im Inneren versehenen optischen Bauteile sind unempfindlicher gegenüber Umwelteinflüssen wie Luftfeuchte oder korrosiven Medien. Zudem sind sie leichter zu reinigen und benötigen einen geringeren Bauraum als optische Bauteile mit außen liegenden Antrieben.

Der Stellantrieb kann zur Zustellung von Komponenten eines Objektivs verwendet werden. Er kann auch zur Justage eines ein Pinhole aufweisenden zu bewegenden Elements, einer Blende oder eines Korrekturspiegels verwendet werden. Eine weitere mögliche Verwendung des Stellantriebs liegt in der Justage wenigstens zweier Alvarezplatten relativ zueinander.

Der Stellantrieb und/oder die Vorrichtung zur Justage kann beziehungsweise können zur Justage eines Sensors verwendet werden.

In einem Verfahren zur Zustellung des Sensors, wobei der Sensor eine Anzahl von Sensorelementen aufweist, wird der Sensor mittels des Stellantriebs gesteuert bewegt. Bei der Ausführung des Verfahrens werden Ist-Messwerte des in der optischen Anordnung vorhandenen Sensors erfasst und ausgewertet, indem die Ist-Messwerte mit Soll-Messwerten verglichen werden. In Abhängigkeit des Ergebnisses des Vergleichs werden Steuerbefehle generiert.

Die Messwerte sind beispielsweise mittels einer Widerstandsmessung der SMA-Elemente erfassbar.

In weiteren Ausführungen des Stellantriebs können Regelkreise zur Optimierung von Position, Korrekturwerten oder andern optischen Parametern innerhalb der optischen Anordnung, beispielsweise des Mikroskops vorhanden sein.

Eine Generierung von Steuerbefehlen kann unterbleiben, wenn die Abweichung von Ist-Messwerten und Soll-Messwerten innerhalb einer zulässigen Toleranzgrenze liegt.

Die Ausdehnung eines Sensorelements kann als Bildelement oder Pixel verstanden werden. Es ist besonders vorteilhaft, wenn eine Zustellung des Sensors um Strecken erfolgt, die Bruchteile einer der Dimension der Sensorelemente sind. Das bedeutet, der Sensor kann beispielsweise um halbe Pixel verschoben und/oder verdreht werden.

Eine derartige Zustellung oder Justage des Sensors kann zur Steigerung der Auflösung beispielsweise einer Bildaufnahme mittels des Sensors genutzt werden. Der Sensor ist in einem solchen Fall beispielsweise ein Kamerasensor, z. B. ein CCD- oder ein CMOS-Chip.

Die Aufgabe wird außerdem mit einem Verfahren zur Justage eines zu bewegenden Elements gelöst, bei dessen Ausführung das zu bewegende Element mittels des Stellantriebs an eine Soll-Position zugestellt wird. In einem weiteren Schritt wird das zu bewegende Element an der Soll-Position mittels eines unverfestigten und reversibel verfestigbaren Fixiermaterials fixiert, wobei das unverfestigte Fixiermaterial in den verfestigten Zustand überführt wird.

Als Fixiermaterial kann beispielsweise Heißkleber verwendet sein. Dieser ist in seinem verfestigten Zustand hochviskos oder fest und in seinem unverfestigten Zustand nur gering viskos beziehungsweise flüssig. Das Fixiermaterial ist reversibel verfestigbar, wenn dieses mehrfach von seinem verfestigten in seinen unverfestigten Zustand und zurück gebracht werden kann. Zur Änderung der Zustände kann dem Fixiermaterial beispielsweise Wärmeenergie zu- beziehungsweise von diesem abgeführt werden.

Ein an einer Ist-Position befindliches und bereits mittels des reversibel verfestigbaren Fixiermaterials fixiertes zu bewegendes Element wird an die Soll-Position zugestellt, nachdem das Fixiermaterial in den unverfestigten Zustand überführt wurde.

In weiteren Ausgestaltungen des Verfahrens kann eine dauerhafte Fixierung des zu bewegenden Elements erfolgen. Als Fixiermaterial ist beispielsweise ein mittels UV-Strahlung aushärtbarer Kleber (UV-Kleber) verwendbar.

Das vorgeschlagene Verfahren ermöglicht eine Verstellung beispielsweise von Linsen oder Linsengruppen eines optischen Bauteils, z. B. eines Objektivs, ohne dass außerhalb des optischen Bauteils angeordnete Antriebe erforderlich sind.

Die vorgeschlagenen Lösungen, insbesondere der Stellantrieb, dessen Verwendungen und die Verfahren zur Justage ermöglichen vorteilhaft, ein oder mehrere zu bewegende Elemente mit hoher Genauigkeit und sehr guter Reproduzierbarkeit um kleine Strecken zu verstellen. Die beschriebenen Lösungen ermöglichen den Einsatz von Stellantrieben unter konstruktiv schwierigen Bedingungen, bei geringem verfügbaren Bauraum und mit geringen Kosten.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen und Abbildungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Stellantriebs,

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Stellantriebs,

Fig. 3 eine schematische Darstellung eines dritten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Stellantriebs,

Fig. 4 eine schematische Darstellung eines vierten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Stellantriebs,

Fig. 5 eine schematische Darstellung eines fünften Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Stellantriebs, und einer erfindungsgemäßen Vorrichtung,

Fig. 6 eine schematische Darstellung eines sechsten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Stellantriebs und einer erfindungsgemäßen Vorrichtung,

Fig. 7 eine schematische Darstellung eines siebenten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Stellantriebs und einer erfindungsgemäßen Vorrichtung und

Fig. 8 eine schematische Darstellung eines achten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Stellantriebs und einer erfindungsgemäßen Vorrichtung,

In den schematischen Darstellungen der Ausführungsbeispiele sind gleiche technische Elemente mit den gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet, falls nicht ausdrücklich anders angegeben. Die Darstellungen sind nicht maßstabsgerecht.

Ein Stellantrieb 1 umfasst als wesentliche Bestandteile ein zu bewegendes Element 6, einen Träger 5 und mindestens ein SMA-Element 7.1 bis 7.4, wobei das SMA-Element 7.1 bis 7.4 mit dem zu bewegendem Element 6 in Verbindung steht und sich an dem Träger 5 abstützend ausgebildet ist (Fig. 1).

In einem ersten Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Stellantriebs 1, der Bestandteil einer nicht näher dargestellten optischen Anordnung 2 ist, sind ein erstes SMA-Element 7.1, ein zweites SMA-Element 7.2, ein drittes SMA-Element 7.3 und ein viertes SMA-Element 7.4 vorhanden. Das zu bewegendes Element 6 ist als eine Platte mit einer Öffnung in ihrem Zentrum ausgebildet, die als ein Pinhole 8 der optischen Anordnung 2, insbesondere eines Mikroskops, dient. Das zu bewegendes Element 6 erstreckt sich in einer XY-Ebene XY, die durch eine X-Achse X und eine Y-Achse Y eines kartesischen Koordinatensystems aufgespannt ist.

In einer weiteren Ausführung des Stellantriebs 1 ist das zu bewegendes Element 6 als Halterung für ein optisches Element wie eine Linse oder eine Linsengruppe ausgebildet oder dient als Halterung für eine Scheibe oder Platte, in der sich die Öffnung befindet, die als Loch, Schlitz, Kreuzschlitz, Kreisring oder anders ausgebildet ist.

Das zu bewegendes Element 6 ist von dem als Rahmen ausgebildeten Träger 5 umfassen und mittels der SMA-Elemente 7.1 bis 7.4 mit dem Träger 5 unmittelbar verbunden. Jedes der SMA-Elemente 7.1 bis 7.4 ist mit einer der Ecken des zu bewegendes Elements 6 verbunden, sodass sich die Längsachsen der SMA-Elemente 7.1 bis 7.4 virtuell in der X-Y-Ebene XY schneiden.

Die SMA-Elemente 7.1 bis 7.4 sind als Drähte ausgebildet, können in weiteren Ausführungen aber auch als Stäbe oder Bänder ausgebildet sein. Ein Stellantrieb 1 kann SMA-Elemente unterschiedlicher Formen aufweisen.

Durch eine Änderung der Ausdehnung der SMA-Elemente 7.1 bis 7.4 in mindestens einer ihrer Dimensionen, insbesondere in Richtung ihrer Längsachsen, wird eine gerichtete Kraftwirkung F auf das zu bewegendes Element 6 ausgeübt (mittels der Doppelpfeile symbolisiert), durch die das zu bewegendes Element 6 in der X-Y-Ebene XY verschiebbar ist und das Pinhole 8 in Bezug auf eine in Richtung der Z-Achse Z verlaufende optische Achse 4 der optischen Anordnung 2 justierbar ist.

Jeweils zwei der SMA-Elemente 7.1 bis 7.4 sind derart angeordnet, dass deren jeweilige gerichtete Kraftwirkungen F wenigstens anteilig gegeneinander gerichtet sind.

Die SMA-Elemente 7.1 bis 7.4 sind mittels einer Steuereinheit 10 unabhängig voneinander ansteuerbar. Dabei erfolgt die Ansteuerung beispielsweise dadurch, dass je SMA-Elemente 7.1 bis 7.4 ein elektrischer Strom bestimmter Stärke und mit einer bestimmten elektrischen Spannung durch diese fließt. Infolge der Wirkung des ohmschen Widerstands der jeweiligen SMA-Elemente 7.1 bis 7.4 und der dabei erzeugten Wärme wird eine Änderung wenigstens einer Dimension der SMA-Elemente 7.1 bis 7.4 bewirkt.

Eine aktuelle Länge sowie ein aktueller ohmscher Widerstand jedes der SMA-Elemente 7.1 bis 7.4 ist mittels einer geeigneten und dem Fachmann bekannten Messschaltung (nicht gezeigt) erfassbar. Die dabei erhaltenen Messwerte werden einer Auswerteeinheit 9 übermittelt, die wiederum mit der Steuereinheit 10 in einer für die Übertragung von Daten geeigneten Weise in Verbindung steht. Die Auswerteeinheit 9 ist zur Auswertung aktueller Ortskoordinaten beispielsweise der SMA-Elemente 7.1 bis 7.4 sowie deren aktueller Dehnungszustände, der aktuellen räumlichen Lage eines Strahlengangs der optischen Anordnung 2 und/oder der aktuellen relativen Lage des zu bewegendes Elements 6, insbesondere des Pinholes 8, in Bezug zum aktuellen Strahlengang konfiguriert.

Der Stellantrieb 1, die Auswerteeinheit 9 und die Steuereinheit 10 sind wesentliche Elemente einer Vorrichtung zur Justage des zu bewegendes Elements 6.

In Abhängigkeit der von der Auswerteeinheit 9 übermittelten Messwerte und/oder von Auswerteergebnissen der Auswerteeinheit 9 sowie optional unter Verwendung weiterer Messwerte beispielsweise der Umgebungstemperatur, werden durch die Steuereinheit 10 Steuersignale zur Ansteuerung der SMA-Elemente 7.1 bis 7.4 generiert und ausgegeben. Durch den aktuellen Strahlengang beziehungsweise dessen aktuellen Verlauf ist die optische Achse 4 der optischen Anordnung 2 gegeben.

Die Steuerbefehle werden in nicht dargestellten Vorrichtungen umgesetzt und die entsprechenden Stromflüsse und/oder Temperaturänderungen der SMA-Elemente 7.1 bis 7.4 bewirkt.

Das zu bewegendes Element 6 kann bezüglich der optischen Achse 4 justiert werden. Es ist auch möglich, zusätzlich oder alternativ den aktuellen Verlauf der optischen Achse 4 mit der aktuellen Position beispielsweise des Pinholes 8 in Übereinstimmung zu bringen.

In den nachfolgenden Ausführungsbeispielen gelten die oben angeführten Möglichkeiten zur Ansteuerung sowie zur Ausgestaltung der Vorrichtung entsprechend.

Nach der Justage des zu bewegendes Elements 6 ist die Stabilität dessen Lage beispielsweise bezüglich der X-Y-Ebene XY sowie dessen Position von besonderer Wichtigkeit. Daher befinden sich die SMA-Elemente 7.1 bis 7.4 nach deren Abkühlung in einem mechanischen Kräftegleichgewicht. In besonders kritischen Anwendungen kann eine zusätzliche Bremse vorgesehen werden. Eine solche

Bremse kann realisiert werden, indem das zu bewegende Element 6 z. B. durch eine Feder gegen ein ortsfestes Widerlager gedrückt und so fixiert wird. Zum Lösen der Feder kann wiederum ein SMA-Element verwendet werden. Auch magnetische Kupplungen sind vorteilhaft einsetzbar.

Der Stellantrieb 1 und die optische Anordnung 1 gemäß der Fig. 2 entsprechen denen in der Fig. 1 mit der Ausnahme, dass das zu bewegende Element 6 ein Sensor 11 ist, der auf seiner Detektionsfläche eine Anzahl von Sensorelementen 11.n aufweist. Die Dimension jedes der Sensorelemente 11.n in Richtung der X-Achse X und in Richtung der Y-Achse Y entspricht einem Pixelabstand.

Ein Mittel zur Steigerung der Auflösung digitaler Bildaufnahmen besteht darin, den Sensor 11 um Bruchteile eines Pixelabstandes zuzustellen. Die Verwendung von SMA-Elementen 7.1, 7.2 bietet dazu eine gegenüber dem Stand der Technik raum- und kostensparende sowie sehr präzise und reproduzierbare Möglichkeit.

Bei der Ausführung eines Verfahrens zur Justage des Sensors 11 werden Ist-Messwerte des in der optischen Anordnung 2 vorhandenen Sensors 11 erfasst und ausgewertet, indem die Ist-Messwerte mit Soll-Messwerten mittels der Auswerteeinheit 9 verglichen werden. In Abhängigkeit des Ergebnisses des Vergleichs, die an die Steuereinheit 10 übermittelt werden, werden durch diese die Steuerbefehle generiert. Die Generierung der Steuerbefehle kann bei einer Abweichung der Ist-Messwerte von den Soll-Messwerten innerhalb einer zulässigen Toleranzgrenze unterbleiben. Die Zustellung beziehungsweise die Justage des Sensors 11 erfolgt um Strecken, die Bruchteile einer der Dimensionen, also der Pixelabstände, der Sensorelemente 11.n sind. Eine Justage kann dabei auch durch Verschieben um mehrere Pixelabstände und/oder Bruchteile eines Pixelabstands erfolgen.

Bei der Ausführung eines Verfahrens zum Zustellen des Sensors 11 kann auf eine Rückführung des Messsignals verzichtet werden, solange bauartbedingt sichergestellt wird, dass die Stellbewegung nicht größer als die Ausdehnung ein Sensorelements 11.n ist. Die genaue Stellbewegung kann überwacht werden, um z. B. auch eine lineare Stellbewegung sicherzustellen. Ein Zyklus der Stellbewegung muss mit den Aufnahmezeitpunkten des Sensors 11 synchronisiert werden. Die Stellbewegung des Sensors 11 erfolgt um Strecken, die Bruchteile einer der Dimensionen, also der Pixelabstände, der Sensorelemente 11.n sind (sensor shift).

In weiteren möglichen Ausführungen des Stellantriebs 1 können eines oder mehrere der SMA-Elemente 7.1 bis 7.4 durch ein Federelement ersetzt sein. Auf Grund der dynamischen Anwendungen des Stellantriebs 1 können die vorhandenen SMA-Elemente gegen das Federelement beziehungsweise gegen die Federelemente arbeiten. Beispielsweise können zwei der SMA-Elemente 7.1 bis 7.4, beispielsweise das erste und das vierte SMA-Element 7.1, 7.4 durch entsprechend angepasste Federelemente ersetzt sein.

In der Fig. 3 ist ein Stellantrieb 1 dargestellt, dessen Träger 5 durch ein Festkörpergelenk 12 (nur stark vereinfacht gezeigt) gebildet ist, an dem das zu bewegende Element 6 angeformt oder angebracht ist. Ein erstes und ein zweites SMA-Element 7.1, 7.2 sind einander überkreuzend und mit einem Verbindungselement 16 über einen Bereich ihrer Längsausdehnung in Kontakt stehend ausgebildet. Die SMA-Elemente 7.1, 7.2 berühren das Verbindungselement 16 und üben bei einer Änderung ihrer jeweiligen Längsausdehnung eine Kraftwirkung F auf das Verbindungselement 16 aus, das seinerseits wiederum an dem zu bewegenden Element 6 angeformt oder angebracht ist. Die SMA-Elemente 7.1, 7.2 stehen über das Verbindungselement 16 mittelbar mit dem zu bewegenden Element 6 in Verbindung.

Das Festkörpergelenk 12 wirkt als Federelement antagonistisch zur durch die SMA-Elemente 7.1, 7.2 verursachten Kraftwirkung F.

In einem in der Fig. 4 dargestellten vierten Ausführungsbeispiel des Stellantriebs 1 sind zwei zu bewegende Elemente 6 vorhanden, die als eine erste Alvarezplatte 13.1 und als eine zweite Alvarezplatte 13.2, auch als Alvarezlinsen bezeichnet, ausgestaltet sind. Mit den Stirnseiten der ersten Alvarezplatte 13.1 sind das erste und zweite SMA-Element 7.1, 7.2 und mit den Stirnseiten der zweiten Alvarezplatte 13.2 sind das dritte und vierte SMA-Element 7.3, 7.4 verbunden. Mittels der SMA-Elemente 7.1 bis 7.4 sind die beiden Alvarezplatten 13.1, 13.2 in der X-Y-Ebene XY relativ zueinander und relativ zur optischen Achse 4 verschiebbar.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel ist jeweils eines der antagonistisch wirkenden SMA-Elemente als Federelement ausgeführt.

In der Fig. 5 ist ein fünftes Ausführungsbeispiel des Stellantriebs 1 gezeigt, dessen zu bewegendes Element 6 durch einen Korrekturspiegel 14 gebildet ist.

Der Korrekturspiegel 14 ist über zwei Verbindungselemente 16 und ein Gelenk 16.1 mit je einem SMA-Element 7.1, 7.2 mittelbar verbunden.

Ein drittes Verbindungselement 16 verbindet über ein Gelenk 16.1 ein Festlager 15 mit dem Korrekturspiegel 14.

Sind die SMA-Elemente 7.1, 7.2 in einer möglichen Ausführung in der X-Y-Ebene XY aufgespannt, ist eine Kippbewegung des Korrekturspiegels 14 um das Gelenk 16 des Festlagers 15 in der X-Y-Ebene XY erzeugbar. Innerhalb der X-Y-Ebene XY sind auch leichte Drehbewegungen möglich.

Ist in einer weiteren Ausführung mindestens eines der SMA-Elemente 7.1, 7.2 in der X-Z-Ebene XZ und/oder in der Y-Z-Ebene YZ verlaufend gespannt, kann der Korrekturspiegel 14 relativ zur X-Y-Ebene XY und zur optischen Achse 4 gekippt (rotiert) werden.

Weisen beide SMA-Elemente 7.1, 7.2 über ihre Längen sich ändernde X, Y und Z-Koordinaten auf, sind Bewegungen in allen Ebenen sowie Kippungen (Rotationen) um alle Achsen X, Y und Z sowie Kombinationen dieser Bewegungen realisierbar.

Werden in dem Strahlengang einer optischen Anordnung 2 optische Elemente wie Linsen, Spiegel und/oder Blenden variiert, ändert sich dessen Ausrichtung minimal aber oft störend. Insbesondere gilt dies für den Fall, dass der Strahlengang ein Pinhole 8 treffen muss, wie das in einem Laserscanningmikroskop (LSM) der Fall ist (siehe auch Fig. 1). Zur Strahlkorrektur kann der Korrekturspiegel 14 mit geeignetem Durchmesser in den Strahlengang eingebracht sein. Erfindungsgemäß ist dieser mittels der SMA-Elemente 7.1, 7.2 in ausgewählten oder in allen Richtungen beweglich.

Die SMA-Elemente, hier das erste und das zweite SMA-Element 7.1, 7.2, können in weiteren Ausführungsbeispielen spiralförmig um eine Achse 17 eines optischen Bauteils 3 der optischen Anordnung 2 verlaufend angeordnet sein.

In einer Ausführung des optischen Bauteils 3 umfassend den Stellantrieb 1 sind die SMA-Elemente 7.1, 7.2 auf der äußeren Oberfläche eines Gehäuses 18 eines Objektivs 19 parallel zueinander verlaufend um eine Längsachse (Achse 17) angeordnet (Fig. 6). Es sind beispielhaft nur

einige Windungen der SMA-Elemente 7.1, 7.2 gezeigt. Die Achse 17 fällt in dem dargestellten Ausführungsbeispiel mit der optischen Achse 4 zusammen. Die SMA-Elemente 7.1, 7.2 sind mit dem Gehäuse 18 verbunden und stützen sich an dem Träger 5 ab. Das Gehäuse 18 stellt hier das zu bewegende Element 6 dar.

Infolge von Längenänderungen der SMA-Elemente 7.1, 7.2 wird das optische Bauteil 3 entlang der optischen Achse 4 gesteuert verfahren.

Die in der Fig. 6 schematisch gezeigte Ausführungsmöglichkeit ist auch für die Korrektur von Elementen, beispielsweise von optischen Linsen 20 innerhalb eines Objektivs 19, verwendbar.

Ein solches Ausführungsbeispiel ist in der Fig. 7 schematisch dargestellt. In dem Gehäuse 18 des Objektivs 19 ist eine Fassung 21 einer optischen Linse 20 mit zwei SMA-Elementen 7.1, 7.2 spiralförmig umwunden. Die in der Fassung 21 gehaltene optische Linse 20 stellt das zu bewegende Element 6 dar. Die SMA-Elemente 7.1, 7.2 sind mit der Fassung 21 verbunden und stützen sich an dem Gehäuse 18 ab, das als Träger 5 für den Stellantrieb 1 fungiert.

Die Fassung 21 ist gegenüber der optischen Achse 4 versetzt angeordnet, so dass die Achse 17 und die optische Achse 4 des optischen Bauteils 3 nicht zusammenfallen.

Anhand der Fig. 8 wird ein Verfahren zur Justage des zu bewegenden Elements 6 erläutert. Das zu bewegende Element 6 ist im Ausführungsbeispiel eine optische Linse 20, die in einem Objektiv 19 entlang der optischen Achse 4 justiert wird. Die SMA-Elemente 7.1, 7.2 stützen sich an dem Gehäuse 18 ab, das als Träger 5 für den Stellantrieb 1 fungiert.

Das zu bewegende Element 6 wird an eine Soll-Position gebracht, indem dieses mittels eines Stellantriebs 1 verschoben wird. Befindet sich das zu bewegende Element 6 an der Soll-Position, wird dieses mittels eines unverfestigten und reversibel verfestigbaren Fixiermaterials 22 fixiert. Dabei wird das unverfestigte Fixiermaterial 22 in den verfestigten Zustand überführt, indem es beispielsweise auf Raumtemperatur von ca. 20°C abgekühlt wird.

Das Fixiermaterial 22 wird während der Justage in dem unverfestigten Zustand gehalten, indem dem Fixiermaterial 22 mittels eines elektrisch betriebenen Heizdrahts 23 Wärmeenergie zugeführt wird.

In einer weiteren Ausführung des Stellantriebs 1 ist wenigstens eines der SMA-Elemente 7.1, 7.2 als Heizdraht ausgebildet, der beziehungsweise die einer Zufuhr von Wärmeenergie in das Fixiermaterial 22 dient beziehungsweise dienen.

Soll das zu bewegende Element 6 erneut justiert werden, wird das Fixiermaterial 22 erneut mittels des Heizdrahts 23 erwärmt und mittels des Stellantriebs 1 wie oben beschrieben an eine neue Soll-Position verschoben. Ist das zu bewegende Element 6 der neuen Soll-Position zugestellt, wird die Heizleistung des Heizdrahts 23 reduziert oder abgeschaltet. Das daraufhin wieder in den verfestigten Zustand übergehende Fixiermaterial 22 hält das zu bewegende Element 6 an der neuen Soll-Position.

Bezugszeichen

- 1 Stellantrieb
- 2 optische Anordnung
- 3 optisches Bauteil
- 4 optische Achse
- 5 Träger
- 6 zu bewegendes Element
- 7.1 erstes SMA-Element
- 7.2 zweites SMA-Element
- 7.3 drittes SMA-Element
- 7.4 viertes SMA-Element
- 8 Pinhole
- 9 Auswerteeinheit
- 10 Steuereinheit
- 11 Sensor
- 11.n Sensorelement
- 12 Festkörpergelenk
- 13.1 erste Alvarezplatte
- 13.2 zweite Alvarezplatte
- 14 Korrekturspiegel
- 15 Festlager
- 16 Verbindungselement
- 16.1 Gelenk
- 17 Achse
- 18 Gehäuse
- 19 Objektiv
- 20 optische Linse

21	Fassung
22	Fixiermaterial
23	Heizdraht
F	Kraftwirkung
X	X-Achse
Y	Y-Achse
Z	Z-Achse
XY	X-Y-Ebene
XZ	X-Z-Ebene
YZ	Y-Z-Ebene

Patentansprüche

1. Stellantrieb (1) zur Erzeugung einer Stellbewegung eines zu bewegenden Elements (6) in einem Strahlengang einer optischen Anordnung (2),

umfassend das zu bewegende Element (6), einen Träger (5) und mindestens ein SMA-Element (7.1 bis 7.4), wobei das SMA-Element (7.1 bis 7.4) mit dem zu bewegenden Element (6) in Verbindung steht und sich an dem Träger (5) abstützend ausgebildet ist, so dass bei einer Änderung der Ausdehnung des SMA-Elements (7.1 bis 7.4) eine gerichtete Kraftwirkung (F) zwischen dem zu bewegendem Element (6) und dem Träger (5) erzeugt ist.

2. Stellantrieb (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das SMA-Element (7.1 bis 7.4) spiralförmig um eine Achse (17) angeordnet ist, so dass bei einer Änderung der Ausdehnung des SMA-Elements (7.1 bis 7.4) in Richtung seiner Länge eine gerichtete Kraftwirkung (F) in Richtung der Achse (17) und/oder eine Rotation des Stellantriebs (1) um die Achse (17) bewirkt ist.

3. Stellantrieb (1) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens zwei SMA-Elemente (7.1 bis 7.4) derart angeordnet sind, dass deren jeweilige gerichtete Kraftwirkungen (F) wenigstens anteilig gegeneinander gerichtet sind.

4. Stellantrieb (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das SMA-Element (7.1 bis 7.4) mittelbar mit dem zu bewegenden Element (6) in Verbindung steht.

5. Stellantrieb (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das SMA-Element (7.1 bis 7.4) unmittelbar mit dem zu bewegenden Element (6) in Verbindung steht.

6. Stellantrieb (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das zu bewegende Element (6) mit mindestens einem Festlager (15) verbunden ist.

7. Festkörpergelenk (12) umfassend einen Stellantrieb (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6.

8. Objektiv (19) umfassend einen Stellantrieb (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6.

9. Vorrichtung zur Erzeugung einer Stellbewegung eines ein Pinhole (8) aufweisenden zu bewegenden Elements (6), eines Sensors (11), wenigstens zweier Alvarezplatten (13.1, 13.2) relativ zueinander und/oder eines Korrekturspiegels (14) umfassend einen Stellantrieb (1) nach einem der

Ansprüche 1 bis 6 sowie eine Auswerteeinheit (9) zur Auswertung aktueller Ortskoordinaten und einer Steuereinheit (10) zur Generierung von Steuerbefehlen in Abhängigkeit der ausgewerteten aktuellen Ortskoordinaten.

10. Verwendung eines Stellantriebs (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5 zur Zustellung von Komponenten eines Objektivs (19).

11. Verwendung eines Stellantriebs (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5 zur Erzeugung einer Stellbewegung eines ein Pinhole (8) aufweisenden zu bewegenden Elements (6), eines Korrekturspiegels (14), eines Sensors (11) oder wenigstens zweier Alvarezplatten (13.1, 13.2) relativ zueinander.

12. Verwendung eines Stellantriebs (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5 zur Erzeugung einer Stellbewegung eines eine Anzahl von Sensorelementen (11.n) aufweisenden Sensors (11) um Bruchteile der Ausdehnung eines Sensorelements (11.n).

13. Verfahren zur Erzeugung einer Stellbewegung eines Sensors (11) aufweisend eine Anzahl von Sensorelementen (11.n) mittels eines Stellantriebs (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem Ist-Messwerte des in der optischen Anordnung (2) vorhandenen Sensors (11) erfasst und ausgewertet werden, indem die Ist-Messwerte mit Soll-Messwerten verglichen werden und in Abhängigkeit des Ergebnisses des Vergleichs Steuerbefehle generiert werden, wobei eine Stellbewegung des Sensors (11) um Strecken erfolgt, die Bruchteile einer der Dimension der Sensorelemente (11.n) sind.

14. Verfahren zur Erzeugung einer Stellbewegung eines zu bewegenden Elements (6), mit den Schritten:

- Zustellen des zu bewegenden Elements (6) an eine Soll-Position mittels eines Stellantriebs (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5 und
- Fixieren des zu bewegenden Elements (6) an der Soll-Position mittels eines unverfestigten und reversibel verfestigbaren Fixiermaterials (22), wobei das unverfestigte Fixiermaterial (22) in den verfestigten Zustand überführt wird.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet dass ein an einer Ist-Position befindliches und mittels des reversibel verfestigbaren Fixiermaterials (22) fixiertes zu bewegendes Element (6) an die Soll-Position zugestellt wird, nachdem das Fixiermaterial (22) in den unverfestigten Zustand überführt wurde.

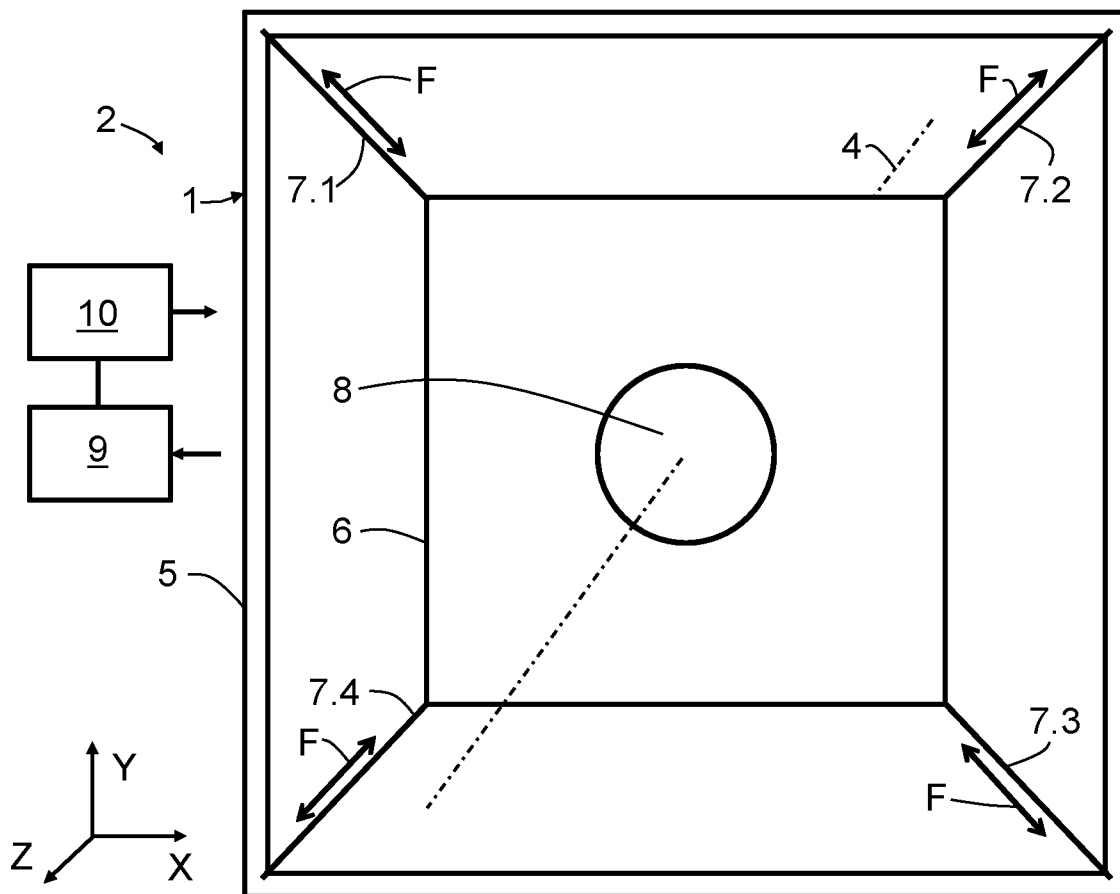


Fig. 1

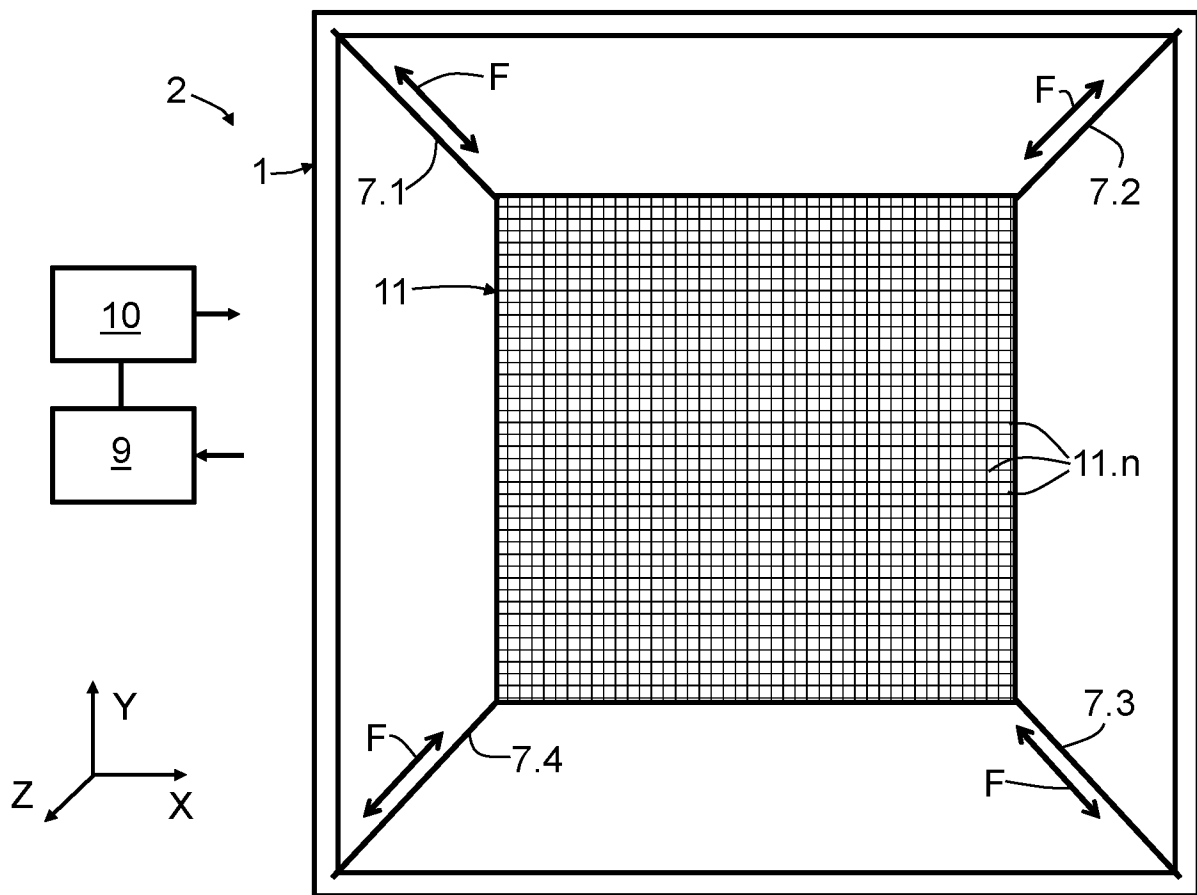


Fig. 2

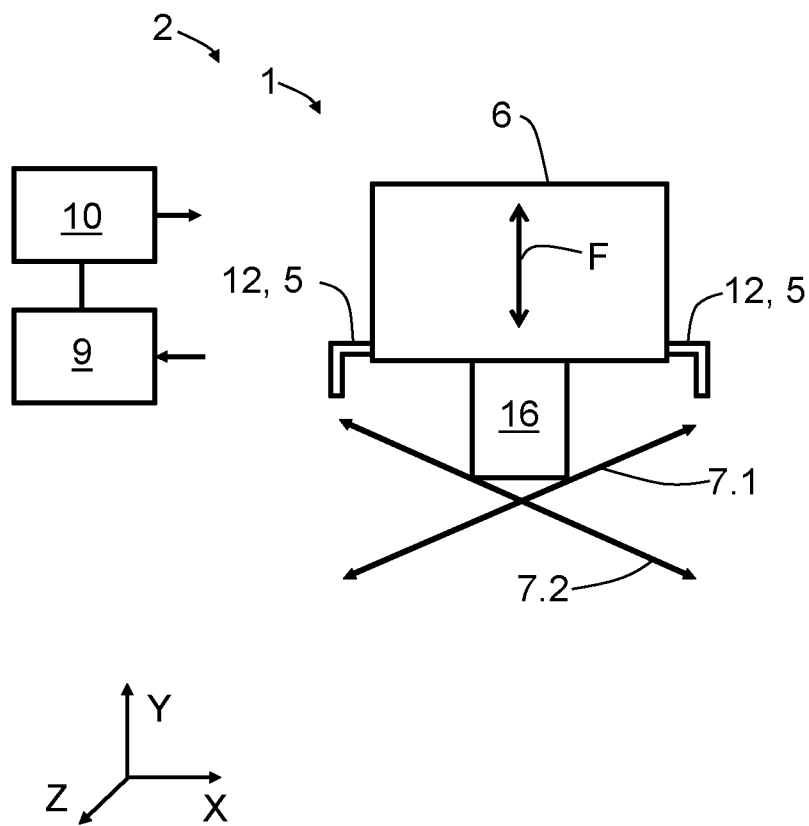


Fig. 3

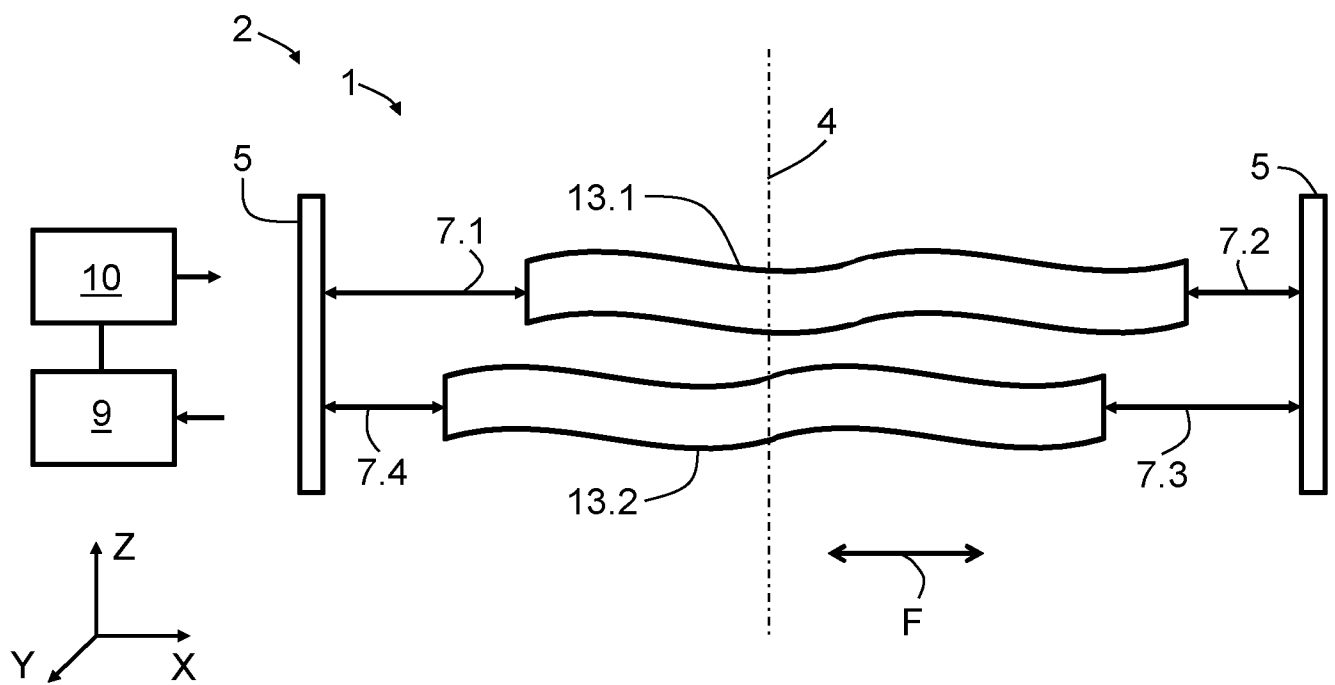


Fig. 4

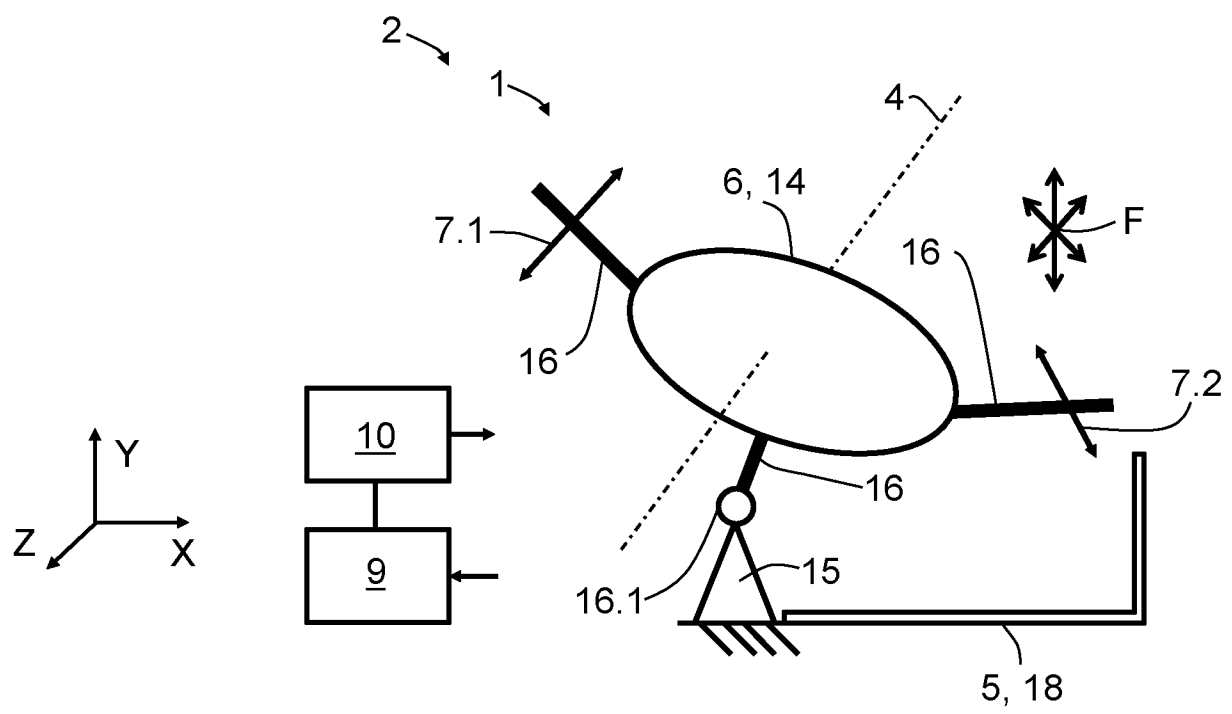


Fig. 5

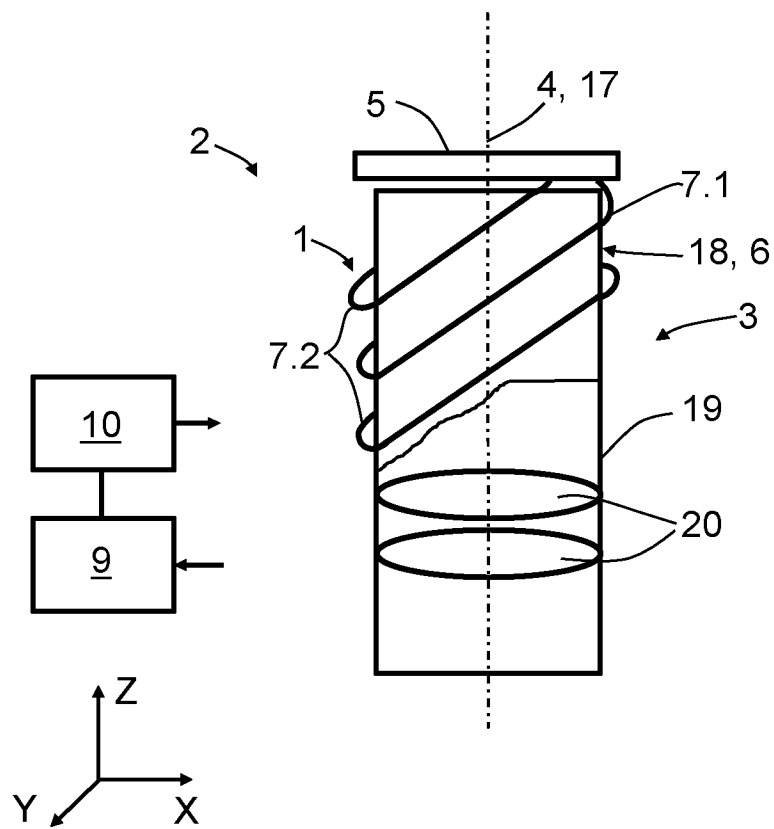


Fig. 6

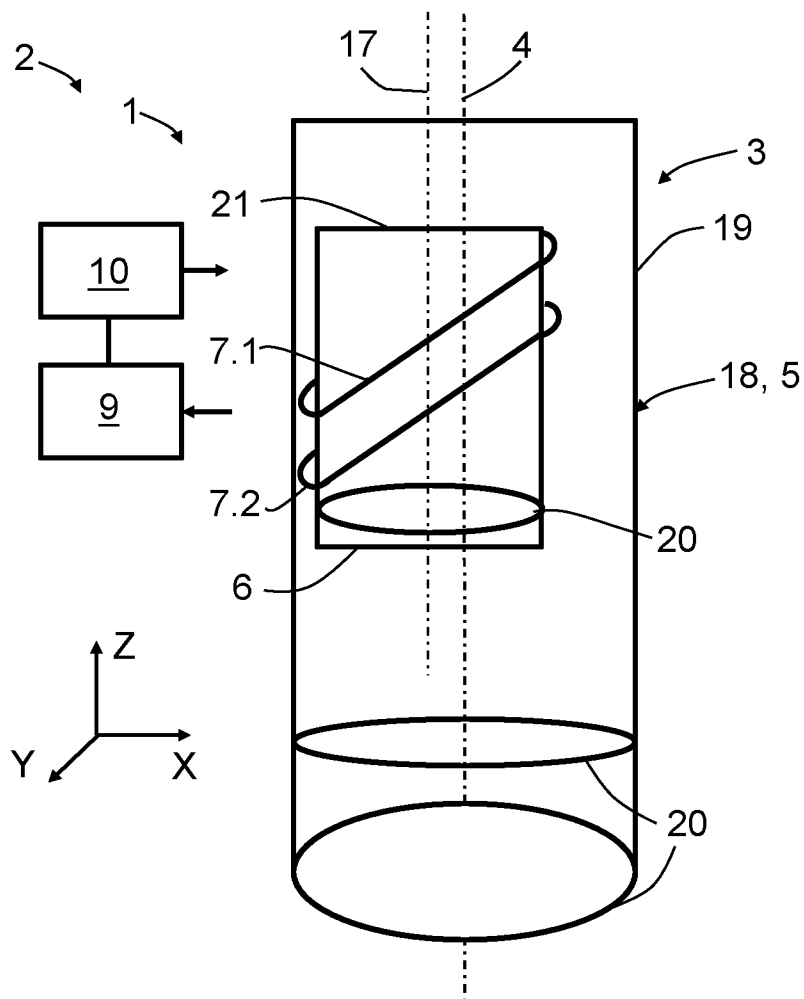


Fig. 7

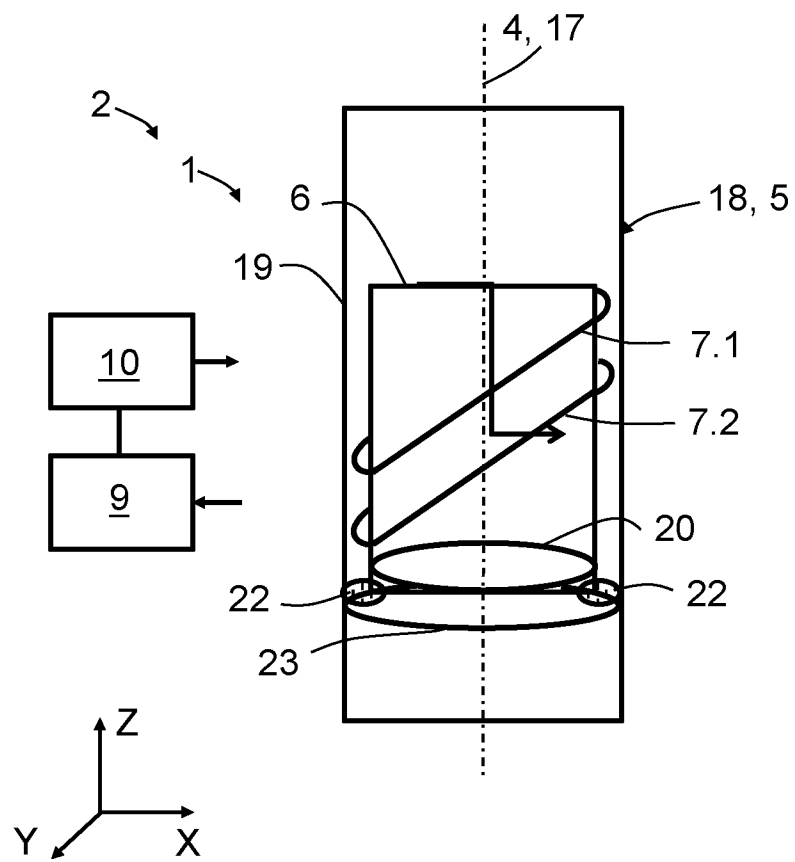


Fig. 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/074450

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
INV.	G02B27/00	G02B7/08
	G02B7/10	G02B21/00
	G03B3/12	F03G7/06
ADD.		
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)		
G02B F03G G03B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2007 333792 A (FUJIFILM CORP) 27 December 2007 (2007-12-27) abstract; figures	1,2,4,5, 8,10
X	JP H09 127398 A (KYOCERA CORP) 16 May 1997 (1997-05-16) abstract; figures	1-5,8,10
X	JP H11 38333 A (TOSHIBA CORP) 12 February 1999 (1999-02-12) abstract; figures	1,2,5-7, 9,11
A	US 2008/198249 A1 (TANIMURA YASUTAKA [JP] ET AL) 21 August 2008 (2008-08-21) paragraph [0098] - paragraph [0099]; figures	6,7,9,11
	-/--	
☒ 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		Date of mailing of the international search report
11 January 2018		12/03/2018
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Windecker, Robert

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2017/074450

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	HIROKI CHO ET AL: "Exploitation of shape memory alloy actuator using resistance feedback control and its development", PROGRESS IN NATURAL SCIENCE, vol. 20, 1 November 2010 (2010-11-01), pages 97-103, XP055334987, CN ISSN: 1002-0071, DOI: 10.1016/S1002-0071(12)60013-6 the whole document -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/EP2017/074450

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

See additional sheet

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

1-11

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

The International Searching Authority has found that the international application contains multiple (groups of) inventions, as follows:

1. Claims 1-11

Actuator comprising a carrier, an element to be moved and a SMA for moving the element, wherein at least two SMAs which are opposed to one another are used.

1.1. Claims 6, 7

Actuator comprising a carrier, an element to be moved and a SMA for moving the element, a joint being connected to the actuator.

1.2. Claims 9, 11

Actuator comprising a carrier, an element to be moved and a SMA for moving the element, wherein the element to be moved is a pinhole, a sensor, two Alvarez lenses or a correction mirror.

2. Claims 12, 13

Use of an actuator comprising a carrier, an element to be moved and a SMA for moving a sensor with a plurality of sensor elements.

3. Claims 14, 15

Method for adjusting an element using an actuator which comprises a carrier, an element to be moved and a SMA for moving the element.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/074450

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP 2007333792	A	27-12-2007	NONE	

JP H09127398	A	16-05-1997	NONE	

JP H1138333	A	12-02-1999	NONE	

US 2008198249	A1	21-08-2008	JP 2008203402 A	04-09-2008
			US 2008198249 A1	21-08-2008

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV.	G02B27/00	G02B7/08
	G03B3/12	
ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)		
G02B F03G G03B		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)		
EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	JP 2007 333792 A (FUJIFILM CORP) 27. Dezember 2007 (2007-12-27) Zusammenfassung; Abbildungen -----	1,2,4,5, 8,10
X	JP H09 127398 A (KYOCERA CORP) 16. Mai 1997 (1997-05-16) Zusammenfassung; Abbildungen -----	1-5,8,10
X	JP H11 38333 A (TOSHIBA CORP) 12. Februar 1999 (1999-02-12) Zusammenfassung; Abbildungen -----	1,2,5-7, 9,11
A	US 2008/198249 A1 (TANIMURA YASUTAKA [JP] ET AL) 21. August 2008 (2008-08-21) Absatz [0098] - Absatz [0099]; Abbildungen ----- -/-	6,7,9,11
☒ 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
11. Januar 2018		12/03/2018
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 Windecker, Robert

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	HIROKI CHO ET AL: "Exploitation of shape memory alloy actuator using resistance feedback control and its development", PROGRESS IN NATURAL SCIENCE, Bd. 20, 1. November 2010 (2010-11-01), Seiten 97-103, XP055334987, CN ISSN: 1002-0071, DOI: 10.1016/S1002-0071(12)60013-6 das ganze Dokument -----	1

Feld Nr. II Bemerkungen zu den Ansprüchen, die sich als nicht recherchierbar erwiesen haben (Fortsetzung von Punkt 2 auf Blatt 1)

Gemäß Artikel 17(2)a) wurde aus folgenden Gründen für bestimmte Ansprüche kein internationaler Recherchenbericht erstellt:

1. ☐ Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Gegenstände beziehen, zu deren Recherche diese Behörde nicht verpflichtet ist, nämlich

2. ☐ Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Teile der internationalen Anmeldung beziehen, die den vorgeschriebenen Anforderungen so wenig entsprechen, dass eine sinnvolle internationale Recherche nicht durchgeführt werden kann, nämlich

3. ☐ Ansprüche Nr.
weil es sich dabei um abhängige Ansprüche handelt, die nicht entsprechend Satz 2 und 3 der Regel 6.4 a) abgefasst sind.

Feld Nr. III Bemerkungen bei mangelnder Einheitlichkeit der Erfindung (Fortsetzung von Punkt 3 auf Blatt 1)

Diese Internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere Erfindungen enthält:

siehe Zusatzblatt

1. ☐ Da der Anmelder alle erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht auf alle recherchierbaren Ansprüche.

2. ☐ Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, hat die Behörde nicht zur Zahlung solcher Gebühren aufgefordert.

3. ☐ Da der Anmelder nur einige der erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht nur auf die Ansprüche, für die Gebühren entrichtet worden sind, nämlich auf die Ansprüche Nr.

4. ☒ Der Anmelder hat die erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren nicht rechtzeitig entrichtet. Dieser internationale Recherchenbericht beschränkt sich daher auf die in den Ansprüchen zuerst erwähnte Erfindung; diese ist in folgenden Ansprüchen erfasst:
1-11

Bemerkungen hinsichtlich eines Widerspruchs

- ☐ Der Anmelder hat die zusätzlichen Recherchegebühren unter Widerspruch entrichtet und die gegebenenfalls erforderliche Widerspruchsgebühr gezahlt.
- ☐ Die zusätzlichen Recherchegebühren wurden vom Anmelder unter Widerspruch gezahlt, jedoch wurde die entsprechende Widerspruchsgebühr nicht innerhalb der in der Aufforderung angegebenen Frist entrichtet.
- ☐ Die Zahlung der zusätzlichen Recherchegebühren erfolgte ohne Widerspruch.

WEITERE ANGABEN

PCT/ISA/ 210

Die internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere (Gruppen von) Erfindungen enthält, nämlich:

1. Ansprüche: 1-11

Stellantrieb mit einem Träger, einem zu bewegenden Element und einem SMA zur Bewegung des Elements, wobei mindestens zwei einander entgegengerichtet wirkende SMAs eingesetzt werden.

1.1. Ansprüche: 6, 7

Stellantrieb mit einem Träger, einem zu bewegenden Element und einem SMA zur Bewegung des Elements, wobei ein Gelenk mit dem Stellantrieb verbunden ist.

1.2. Ansprüche: 9, 11

Stellantrieb mit einem Träger, einem zu bewegenden Element und einem SMA zur Bewegung des Elements, wobei das zu bewegend Element ein Pinhole, ein Sensor, zwei Alvarezplatten oder ein Korrekturspiegel ist.

2. Ansprüche: 12, 13

Verwendung eines Stellantriebs mit einem Träger, einem zu bewegenden Element und einem SMA zur Bewegung eines Sensors mit einer Vielzahl an Sensorelementen.

3. Ansprüche: 14, 15

Verfahren zur Justage eines Elements unter Verwendung eines Stellantriebs mit einem Träger, einem zu bewegenden Element und einem SMA zur Bewegung des Elements.

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/074450

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 2007333792 A	27-12-2007	KEINE	
JP H09127398 A	16-05-1997	KEINE	
JP H1138333 A	12-02-1999	KEINE	
US 2008198249 A1	21-08-2008	JP 2008203402 A US 2008198249 A1	04-09-2008 21-08-2008