(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
21. Juli 2016 (21.07.2016)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/113251 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G02B 26/08 (2006.01) *G02F 1/01* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/050465

(22) Internationales Anmeldedatum:
12. Januar 2016 (12.01.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2015 200 626.3
16. Januar 2015 (16.01.2015) DE

(71) Anmelder: **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.** [DE/DE]; Hansastraße 27c, 80686 München (DE).

(72) Erfinder: **DÜRR, Peter**; Baumstr. 9, 01099 Dresden (DE). **KUNZE, Detlef**; Hauptstr. 48, 01097 Dresden (DE). **NEUDERT, Andreas**; Conertplatz 4, 01159 Dresden (DE). **FRIEDRICHS, Martin**; Blumenstraße 94, 01357 Dresden (DE).

(74) Anwälte: **ZIMMERMANN, Tankred** et al.; Schoppe, Zimmermann, Stöckeler, Zinkler, Schenk & Partner mbB, Radlkoferstraße 2, 81373 Müchen (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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

(54) **Title**: MEMS ACTUATOR, SYSTEM HAVING A PLURALITY OF MEMS ACTUATORS, AND METHOD FOR PRODUCING A MEMS ACTUATOR

(54) **Bezeichnung** : MEMS AKTUATOR, SYSTEM MIT EINER MEHRZAHL VON MEMS AKTUATOREN UND VERFAHREN ZUM HERSTELLEN EINES MEMS AKTUATORS

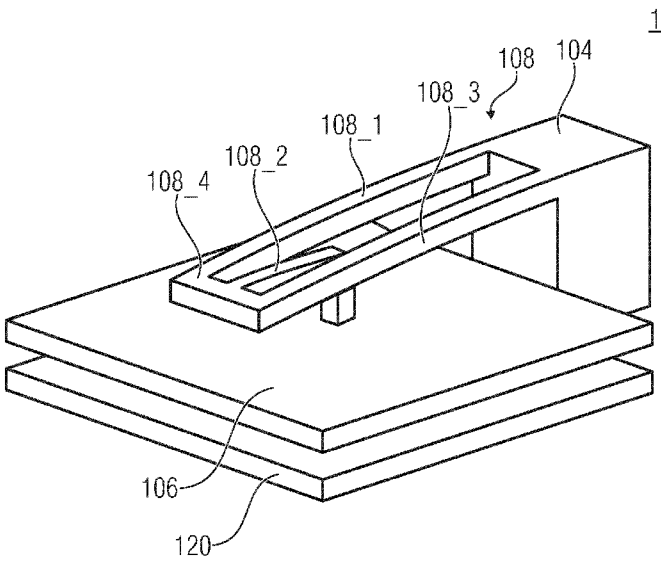


FIG 5A

(57) **Abstract**: Embodiments of the present invention provide a MEMS actuator having a substrate, at least one post which is fitted to the substrate, and a deflectable actuator body which is connected to the at least one post via at least one spring, wherein the actuator body, starting from a first position, assumes a second position by means of a tilt-free translatory movement during the action of an electrostatic, electromagnetic or magnetic force, wherein the first position and the second position are different, and wherein, in a plan view of the MEMS actuator, the actuator body is arranged outside an area spanned by the at least one post.

(57) **Zusammenfassung**: Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung schaffen einen MEMS Aktuator mit einem Substrat, mindestens einem Pfosten, der an dem Substrat angebracht ist, und einem auslenkbaren Aktuatorkörper, der über mindestens eine Feder mit dem mindestens einen Pfosten verbunden ist, wobei der Aktuatorkörper bei einer elektrostatischen, elektromagnetischen oder magnetischen Krafteinwirkung ausgehend von einer ersten Position eine zweite Position durch eine verkippungsfreie translatorische Bewegung einnimmt, wobei die erste Position und die zweite Position unterschiedlich sind, und wobei in einer Draufsicht auf den MEMS Aktuator der Aktuatorkörper außerhalb einer von dem mindestens einen Pfosten aufgespannten Fläche angeordnet ist.

WO 2016/113251 A1

MEMS Aktuator, System mit einer Mehrzahl von MEMS Aktuatoren und Verfahren zum Herstellen eines MEMS Aktuators

Beschreibung

Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung beziehen sich auf einen MEMS Aktuator (MEMS = micro-electro-mechanical system, dt.: Mikrosystem). Weitere Ausführungsbeispiele beziehen sich auf ein System mit einer Mehrzahl von MEMS Aktuatoren. Weitere Ausführungsbeispiele beziehen sich auf ein Verfahren zum Herstellen eines MEMS Aktuators. Manche Ausführungsbeispiele beziehen sich auf einen parallel auslenkenden MEMS Aktuator mit einseitiger Aufhängung. Manche Ausführungsbeispiele beziehen sich auf die Konstruktion eines MEMS Aktuators.

MEMS Aktuatoren können z. B. dazu genutzt werden, einen damit verbundenen Mikrospiegel zu bewegen und wie gewünscht zu positionieren. Derartige Aktuatoren werden in zunehmendem Maße für eine breite Palette von Anwendungen eingesetzt, wie z. B. Flächenlichtmodulatoren, Scannerspiegel, optische Schalter für die Kopplung von Lichtleitfasern (engl. optical cross-connect), Mikroventile, elektrische Mikroschalter und andere.

Meistens wird die Position eines beweglichen Aktuatorteils durch ein angelegtes elektrisches Signal gesteuert. Als physikalischer Effekt wird in vielen Fällen elektrostatische Anziehungskraft genutzt, aber auch elektromagnetische Kräfte sowie piezoelektrische oder thermische Ausdehnung können eingesetzt werden. Die Erfindung ist besonders vorteilhaft für mikromechanischen Aktuatoren, die elektrostatisch oder elektromagnetisch angesteuert werden und über eine rückstellende elastische Aufhängung verfügen, die für eine statische Gleichgewichts-Auslenkung eine entsprechende Gegenkraft aufbringt.

Aufgrund der Art der ausführbaren Bewegung kann zwischen drehenden/kippenden Aktuatoren und translatorischen Aktuatoren sowie Aktuatoren, die beide Bewegungsarten ermöglichen unterschieden werden. Im letzten Fall können die Bewegungskomponenten entweder durch die Art der Aufhängung fest gekoppelt sein, oder durch mehrere Ansteuersignale individuell eingestellt werden (z. B. Hub, Winkel und Neigung, engl.: piston-tip-tilt). Die Art der Bewegung, wie auch die erforderliche Auslenkung, wird in der Regel durch physikalische Parameter und Randbedingungen der Anwendung vorgegeben. Dies

könnten z. B. die Wellenlänge des zu modulierenden Lichts oder der Winkelbereich eines Scanners sein.

Oft sind die oben beschriebenen Aktuatoren in großer Anzahl dicht gepackt auf einem Trägersubstrat angeordnet, besonders wenn diese an Mikrospiegel gekoppelt sind. Die Form und Größe der Spiegel ist dann meist von der Anwendung und optischen Randbedingungen limitiert. Sie bestimmt den verfügbaren Platz für die konstruktive Auslegung der elastischen Aufhängung bzw. der Federn des Aktuators. Auf dieser begrenzten Fläche müssen neben den Federn auch noch deren Fixierungen, die Pfosten untergebracht werden.

Bei den bisher bekannten MEMS Aktuatoren für translatorische Bewegungen werden Federn eingesetzt, deren Geometrie eine derartige Symmetrie aufweist, dass bei einer Auslenkung offensichtlich keine unerwünschte Verkippung auftreten kann. Bei quadratischen (oder rechteckigen) Anordnungen werden meistens vier gleichartige Federn, gelegentlich auch nur zwei, bei sechseckigen Spiegeln werden gern drei, manchmal auch sechs gleichartige Federn eingesetzt. Diese Federanordnungen haben fast immer eine entsprechend vielzählige Rotationssymmetrie, oft auch eine oder mehrere Spiegelsymmetrien. Herkömmlicherweise ist eine mindestens 2-zählige Rotationssymmetrie vorhanden. Diese bedingt auch, dass mindestens 2 Ankerpunkte oder Pfosten vorhanden sind, mit denen je ein Ende mindestens einer Feder verbunden ist.

Dabei können grundsätzlich mehrere Federn an jedem Pfosten befestigt sein, dann sind diese Federn jedoch elektrisch verbunden. Da die Federn auch die elektrische Zuleitung zum beweglichen Aktuatorteil bilden, haben dann alle Aktuatoren das gleiche elektrische Potenzial, was hier nicht gewünscht ist. Zur individuellen elektrischen Adressierung der Aktuatoren würden daher mehrere Pfosten pro Aktuator gebraucht. Der verbleibende Platz erlaubt in Verbindung mit den minimal noch herstellbaren Strukturgrößen und Schichtdicken oft nur Federn, die im Vergleich zu den realisierbaren Adressierkräften recht steif sind.

Wird ein Aktuator mit Federn an mehreren Pfosten aufgehängt, kann ein fertigungsbedingter oder thermischer Stress in der Federebene die Federkonstante wesentlich beeinflussen. Dieser Effekt ist besonders stark, wenn die Federn radial und gerade verlaufen. Dann kann der einmal eingebaute oder thermisch bedingte Stress nicht relaxieren. Zusätzlich verläuft die Federkraft stark nichtlinear, da sich mit zunehmender Auslenkung der

Abstand zwischen Pfostenaufhängung und Aktuator vergrößert und die Feder damit gestreckt wird. Diese Nichtlinearität kann auch vorteilhaft sein, siehe [Peter Dürr, Andreas Gehner, Jan Schmidt, Detlef Kunze, Michael Wagner, Hubert Lakner: "Micro-actuator with extended analog deflection at low drive voltage", Proceedings of SPIE Vol. 6114 (2006)], die gleichzeitige Abhängigkeit vom Schichtstress macht diese Federgeometrie aber oft unbeherrschbar. Im Stand der Technik werden für Translationsspiegel daher meist geknickte oder gebogen verlaufende Federn eingesetzt, oder solche, die eher in azimutaler Richtung liegen, z. B. [Andreas Gehner et al.: "MEMS analog light processing -an enabling technology for adaptive optical phase control", Proc. of SPIE Vol. 6113, 61130K, (2006)]. Damit wird die Stressabhängigkeit der Federkonstante wie auch die Nichtlinearität kleiner, verschwindet aber nicht ganz. Es ist auch möglich, dass Federn weiter ausgedehnt sind als der an ihnen aufgehängte Spiegel, siehe z. B. [D. Lopez et al.: "Two-dimensional MEMS array for maskless lithography and wave-front Modulation", Proc. of SPIE Vol. 6589, 65890S, (2007)], aber die pro Pixel zur Verfügung stehende Fläche bleibt davon unberührt.

Aus der US 4,566,935 sind asymmetrische Federanordnungen bekannt, diese sind dann aber für kippende Bewegungsmoden gedacht und für rein parallele Translation nicht geeignet. Ferner ist aus [Richard Stahl et al.: "Modular sub-wavelength diffractive light modulator for high-definition holographic displays", Journal of Physics: Conference Series 415 (2013)] ein Ansatz bekannt, bei dem die Translation von einer Verkippung überlagert ist.

Der vorliegenden Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde ein Konzept zu schaffen, welches eine weichere Gestaltung der Feder ermöglicht und gleichzeitig sicherstellt, dass der Aktuatorkörper eine verkippungsfreie translatorische Bewegung durchführt.

Diese Aufgabe wird durch die unabhängigen Patentansprüche gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen finden sich in den abhängigen Patentansprüchen.

Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung schaffen einen MEMS Aktuator mit einem Substrat, mindestens einem Pfosten, der an dem Substrat angebracht ist, und einem auslenkbaren Aktuatorkörper, der über mindestens eine Feder mit dem mindestens einen Pfosten verbunden ist, wobei der Aktuatorkörper bei einer elektrostatischen, elektromagnetischen oder magnetischen Krafteinwirkung ausgehend von einer ersten Position eine zweite Position durch eine verkippungsfreie translatorische Bewegung einnimmt, wobei

die erste Position und die zweite Position unterschiedlich sind, und wobei in einer Draufsicht auf den MEMS Aktuator der Aktuatorkörper außerhalb einer von dem mindestens einen Pfosten aufgespannten Fläche angeordnet ist.

Weitere Ausführungsbeispiele schaffen ein System mit einer Mehrzahl von MEMS Aktuatoren, wobei die MEMS Aktuatoren ein gemeinsames Substrat und jeweils mindestens einen Pfosten, der an dem Substrat angebracht ist, und einen auslenkbaren Aktuatorkörper, der über mindestens eine Feder mit dem mindestens einen Pfosten verbunden ist, aufweisen, wobei der Aktuatorkörper bei einer elektrostatischen, elektromagnetischen oder magnetischen Krafteinwirkung ausgehend von einer ersten Position eine zweite Position durch eine verkippungsfreie translatorische Bewegung einnimmt, wobei die erste Position und die zweite Position unterschiedlich sind, und wobei in einer Draufsicht auf den jeweiligen MEMS Aktuator der Aktuatorkörper außerhalb einer von dem mindestens einen Pfosten aufgespannten Fläche angeordnet ist.

Weitere Ausführungsbeispiele schaffen ein Verfahren zum Herstellen eines MEMS Aktuators. Das Verfahren umfasst Bereitstellen eines Substrats, Bereitstellen mindestens eines Pfostens, wobei der mindestens eine Pfosten an dem Substrat angebracht ist, Bereitstellen eines auslenkbaren Aktuatorkörpers, und Bereitstellen mindestens einer Feder, wobei der auslenkbare Aktuatorkörper über die mindestens eine Feder mit dem mindestens einen Pfosten verbunden ist, wobei in einer Draufsicht auf den MEMS Aktuator der Aktuatorkörper außerhalb einer von dem mindestens einen Pfosten aufgespannten Fläche angeordnet ist, und wobei der Aktuatorkörper bei einer elektrostatischen, elektromagnetischen oder magnetischen Krafteinwirkung ausgehend von einer ersten Position eine zweite Position durch eine verkippungsfreie translatorische Bewegung einnimmt, wobei die erste Position und die zweite Position unterschiedlich sind.

Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden bezugnehmend auf die beiliegenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1a eine schematische Draufsicht auf einen MEMS Aktuator mit einem Aktuatorkörper, der über nur eine Feder mit nur einem Pfosten verbunden ist, gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 1b eine schematische Querschnittsansicht des in Fig. 1a gezeigten MEMS Aktuators, gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2a eine schematische Draufsicht eines MEMS Aktuators mit einem Aktuatorkörper, der über eine Feder mit zwei Pfosten verbunden ist, gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2b eine schematische Querschnittsansicht des in Fig. 2a gezeigten MEMS Aktuators, gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 3 eine schematische Querschnittsansicht eines MEMS Aktuators mit einem einseitig aufgehängten Aktuatorkörper, gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 4a eine schematische perspektivische Ansicht eines MEMS Aktuators mit einem Aktuatorkörper, der über nur eine Feder mit nur einem Pfosten verbunden ist, gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 4b eine schematische Ansicht des in Fig. 4a gezeigten MEMS Aktuators in einer FEM Simulationsumgebung;

Fig. 5a eine schematische perspektivische Ansicht eines MEMS Aktuators mit einem Aktuatorkörper, der über nur eine Feder mit nur einem Pfosten verbunden ist, gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 5b eine schematische Ansicht des in Fig. 5a gezeigten MEMS Aktuators in einer FEM Simulationsumgebung;

Fig. 6 ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Herstellen bzw. Entwerfen eines MEMS Aktuators, gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 7 eine schematische Draufsicht eines MEMS Aktuators mit einem Aktuatorkörper, der über eine spiralförmige Feder mit nur einem Pfosten verbunden ist, gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 8a eine schematische perspektivische Ansicht eines MEMS Aktuators mit einem Aktuatorkörper, der über eine spiralförmige Feder mit nur einem Pfosten verbunden ist, gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 8b eine schematische Ansicht des in Fig. 8a gezeigten MEMS Aktuators in einer FEM Simulationsumgebung;

Fig. 9 eine schematische perspektivische Ansicht eines MEMS Aktuators mit einem Aktuatorkörper, der über eine Feder mit zwei Pfosten verbunden ist, gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 10 ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Betreiben eines MEMS Aktuators, gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung; und

Fig. 11 ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Herstellen eines MEMS Aktuators, gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

In der nachfolgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele der Erfindung werden in den Figuren gleiche oder gleichwirkende Elemente mit den gleichen Bezugszeichen versehen, so dass deren Beschreibung in den unterschiedlichen Ausführungsbeispielen untereinander austauschbar ist.

Fig. 1a zeigt eine schematische Draufsicht auf einen MEMS Aktuator 100, während Fig. 1b eine schematische Querschnittsansicht des in Fig. 1a gezeigten MEMS Aktuators 100 zeigt. Der MEMS Aktuator 100 umfasst ein Substrat 102, einen Pfosten 104, der an dem Substrat 102 angebracht ist, und einen auslenkbaren Aktuatorkörper 106, der über nur eine Feder 108 mit dem Pfosten 104 verbunden ist, wobei der Aktuatorkörper 106 bei einer elektrostatischen, elektromagnetischen oder magnetischen Krafteinwirkung ausgehend von der ersten Position eine zweite Position durch eine verkippungsfreie translatorische Bewegung einnimmt, wobei die erste Position und die zweite Position unterschiedlich sind, und wobei in einer Draufsicht auf den MEMS Aktuator, wie in Fig. 1a zu erkennen ist, der Aktuatorkörper 106 außerhalb einer von dem Pfosten 104 aufgespannten Fläche 110, welche in Fig. 1a durch die gestrichelten Linien begrenzt ist, angeordnet ist.

Der MEMS Aktuator 100 kann beispielsweise eine Antriebseinrichtung aufweisen, die ausgebildet ist, um die elektrostatische, elektromagnetische oder magnetische Krafteinwirkung auf den auslenkbaren Aktuatorkörper hervorzurufen.

Obwohl der in den Fig. 1a und 1b gezeigte MEMS Aktuator 100 einen Aktuatorkörper 106 aufweist, der über nur eine Feder 108 mit nur einem Pfosten 104 verbunden ist, sei darauf hingewiesen, dass die Erfindung nicht auf solche Ausführungsbeispiele beschränkt ist.

Bei Ausführungsbeispielen kann der MEMS Aktuator 100 bis zu n Pfosten 104_1 bis 104_n aufweisen, wobei n eine natürliche Zahl größer gleich eins ist, $n \geq 1$. Der MEMS Aktuator 100 kann also mindestens einen Pfosten, der an dem Substrat angebracht ist, und einen auslenkbaren Aktuatorkörper, der über mindestens eine Feder mit dem mindestens einen Pfosten verbunden ist, aufweisen, wobei in einer Draufsicht auf den MEMS Aktuator der Aktuatorkörper 106 außerhalb der von den Pfosten 104_1 bis 104_n aufgespannten Fläche 110 angeordnet ist.

Beispielsweise kann der MEMS Aktuator 100, wie in Fig. 2a und 2b gezeigt ist, zwei Pfosten 104_1 und 104_n (n = 2) aufweisen. Wie in Fig. 2a zu erkennen ist, ist der Aktuatorkörper 106 auch in diesem Fall außerhalb der von den zwei Pfosten 104_1 und 104_n (n = 2) aufgespannten Fläche 110, welche durch die gestrichelten Linien begrenzt ist, angeordnet.

Der Aktuatorkörper 106 kann über eine Feder mit jedem der n Pfosten 104_1 oder 104_n verbunden sein. Die Feder 108 kann dabei mehrere Federelemente (oder Federabschnitte) aufweisen, wobei der Aktuatorkörper 106 über unterschiedliche Federelemente mit den n Pfosten 104_1 oder 104_n verbunden sein kann.

In Fig. 2a und 2b ist der Aktuatorkörper 106 über eine Feder 108 mit jedem der zwei Pfosten 104_1 und 104_n (n = 2) verbunden, wobei die Feder 108 beispielhaft vier Federelemente (oder Federabschnitte) 108_1 bis 108_4 aufweist, wobei ein erstes Federelement 108_1 seriell zwischen dem Pfosten 104 und einem vierten Federelement 108_4, welches als Verbindungsfederelement ausgestaltet ist, verbunden ist, wobei ein zweites Federelement 108_2 seriell zwischen dem zweiten Pfosten 104_2 und dem vierten Federelement 108_4 verbunden ist, und wobei ein drittes Federelement seriell zwischen dem Verbindungsfederelement 108_4 und dem Aktuatorkörper 106 verbunden ist.

Auch in den Fig. 1a und 1b weist die Feder 108 beispielhaft vier Federelemente 108_1 bis 108_4 auf, wobei hier sowohl das erste Federelement 108_1 als auch das zweite Federelement 108_2 mit dem (gleichen) Pfosten 104 verbunden sind.

Obwohl der Aktuatorkörper 106 in einer Draufsicht auf den MEMS Aktuator 100 außerhalb der von dem mindestens einen Pfosten aufgespannten Fläche 110 angeordnet ist, nimmt der Aktuatorkörper 106 bei einer elektrostatischen, elektromagnetischen oder magnetischen Krafteinwirkung ausgehend von einer ersten Position eine zweite Position durch eine verkippungsfreie translatorische Bewegung ein. Unter verkippungsfreier translatorischer Bewegung wird hierin eine translatorische Bewegung mit einer Verkippung (um eine Verkippungsachse) von weniger als 3°, 1°, 0,5° oder 0,1° verstanden. Des Weiteren kann sich die verkippungsfreie translatorische Bewegung darauf beziehen, dass die sich die Bewegungsamplituden jedes einzelnen Punkts des Aktuatorkörpers höchstens um 10 %, 5 % oder 2 % von der mittleren Bewegungs-amplitude unterscheidet. Ferner kann sich die verkippungsfreie translatorischer Bewegung auf eine Grundmode der durch die elektrostatische, elektromagnetische oder magnetische Krafteinwirkung hervorgerufene Schwingung bzw. schwingungsförmige Bewegung beziehen.

Beispielsweise kann der Aktuatorkörper 106 eine verkippungsfreie translatorische Bewegung parallel zu einer Richtung der Krafteinwirkung durchführen. Beispielsweise kann der Aktuatorkörper 106 eine Aktuatorplatte sein, wobei die Richtung der Krafteinwirkung senkrecht zu der Aktuatorplatte 106 verläuft. In diesem Fall kann die Aktuatorplatte 106 eine verkippungsfreie translatorische Bewegung parallel zu einer Richtung senkrecht zu der Aktuatorplatte 106 durchführen.

Ermöglicht wird dies durch eine geeignete Dimensionierung der bewegungsrelevanten Parameter des MEMS Aktuators 100. Beispielsweise können analytische Berechnungen oder Simulationen Durchgeführt werden, bei denen zumindest einer der bewegungsrelevanter Parameter des MEMS Aktuators 100 solange angepasst wird, bis der Aktuatorkörper 100 bei der elektrostatischen, elektromagnetischen oder magnetischen Krafteinwirkung ausgehend von einer ersten Position eine zweite Position durch eine verkippungsfreie translatorische Bewegung einnimmt. Zu den bewegungsrelevanten Parametern des MEMS Aktuators 100 zählen u.a. eine Geometrie des auslenkbaren Aktuatorkörpers 106, eine Position des Pfostens 104 relativ zu dem Aktuatorkörper 106, eine Geometrie der Feder 108, eine Anordnung eines Verbindungspunkts zwischen Feder 108 und Pfosten 104, eine Platzierung des Pfostens 104, ein Hebelarm Aktuatorkraft – Anschluss des Ak-

tuators an Feder, und/oder eine Anordnung eines Verbindungspunkts zwischen Feder 108 und auslenkbarem 106 Aktuatorkörper.

Beispielsweise kann die Feder 108 entlang der Verbindung zwischen Aktuatorkörper 106 und Pfosten 104 einen konstanten oder sich verändernden Querschnittsverlauf aufweisen. Ferner kann die Feder 104 eine variable Steifheit entlang der Verbindung zwischen Aktuatorkörper 106 und Pfosten 104 aufweisen.

Wie in Fig. 1b zu erkennen ist, kann der Aktuatorkörper 106 mit der Feder 108 (z. B. über ein Verbindungselement 112) in einem, verglichen mit der Hauptoberfläche 114 des Aktuatorkörpers 106, kleinen Bereich verbunden sein. Natürlich kann der Aktuatorkörper 106 auch über mehrere Verbindungselemente 112 mit einer Feder oder mehreren Federn verbunden sein. Bei Ausführungsbeispielen ist der Aktuatorkörper 106 dabei nur in einem zusammenhängenden Bereich 116 der Hauptoberfläche 114 des Aktuatorkörpers 106, der nicht größer ist als 30 % (oder 20%, oder 10 %) der Hauptoberfläche 114 des Aktuatorkörpers 106, mit der mindestens einen Feder 108 verbunden. Der zusammenhängende Bereich 116 kann beispielsweise quadratisch oder kreisförmig sein. Ferner kann ein Mittelpunkt des zusammenhängenden Bereichs 116 mit einem Schwerpunkt der Aktuatorplatte 106 zusammenfallen.

Im Folgenden werden Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung beschrieben, bei denen der Aktuatorkörper 106 über nur eine Feder 108 mit nur einem Pfosten 104 verbunden ist.

Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung lösen die in der Beschreibungseinleitung genannten Probleme durch die Verwendung nur eines Ankerpunktes oder Pfostens 104 pro Aktuator 106 und der Verwendung einer entsprechend unsymmetrischen Feder- und/oder Aktuatorgeometrie, die jedoch so gestaltet ist, dass der Aktuator 106 trotzdem eine reine Translationsbewegung ausführt, ohne unerwünschte Verkippung. Durch die Aufhängung an nur einem Pfosten 104 kann eine möglicherweise fertigungsbedingt vorhandene Schichtspannung in der Feder 108 relaxieren und die Versteifung der Feder 108 mit zunehmender Auslenkung wird vermieden. Der am Pfosten 104 anschließende Teil der Feder 108 wird im ausgelenkten Zustand zunächst eine mit der Entfernung vom Pfosten 104 zunehmende Steigung (Winkel zur Ruhelage-Ebene) aufweisen. Im weiteren Verlauf der Feder 108 kann diese Steigung jedoch wieder abnehmen, wenn die am Ende der Feder 108 angreifenden Kräfte ein entsprechendes Drehmoment übertragen.

Dieses kann gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung durch einen asymmetrisch angeordneten Aktuator 106 entstehen, dessen Kraftangriffspunkt näher am Pfosten 104 liegt als seine Verbindung zur Feder 108, wie dies in Fig. 3 gezeigt ist.

Im Detail zeigt Fig. 3 eine schematische Querschnittsansicht (Prinzipskizze) eines MEMS Aktuators 100 mit einem einseitig aufgehängten, ausgelenkten Aktuator bzw. Aktuatorkörper 106 ohne Verkippung. Wie in Fig. 3 beispielhaft gezeigt ist, kann der Aktuatorkörper 106 eine Aktuatorplatte sein, wobei der MEMS Aktuator 100 ferner eine der Aktuatorplatte 106 gegenüberliegende Elektrodenplatte 120 (oder Adresselektrode) aufweist. Der MEMS Aktuator 100 kann dabei ausgebildet sein, um über die Elektrodenplatte 120 eine elektrostatische Krafteinwirkung 121 auf die Aktuatorplatte 106 auszuüben. Anstelle der Elektrodenplatte 120 kann der MEMS Aktuator 100 auch eine der Aktuatorplatte 106 gegenüberliegende Spule aufweisen.

Die Feder 108 kann ein Federelement aufweisen, das doppelt so lang ist wie ein Hebelarm 107 zwischen einem Schwerpunkt des Aktuatorkörpers 106 oder einem Schwerpunkt der auf den Aktuatorkörper 106 einwirkenden Kräfte und einem Verbindungspunkt, an dem der Aktuatorkörper 106 mit der Feder 108 oder über ein Verbindungselement 112 mit der Feder 108 verbunden ist.

Bei einem kurzem Hebelarm wird der Aktuator 106 bei einer Auslenkung von dem Pfosten 104 weg kippen (positive Verkippung), bei einem sehr langem Hebelarm wird der Aktuator 106 zu dem Pfosten 104 hin kippen (negative Verkippung). Dazwischen gibt es wegen der Kontinuität zwangsläufig den gewünschten Nullpunkt der Verkippung.

Für eine einfache Feder 108 mit rechteckigem, über die Länge konstantem Querschnitt, kann gezeigt werden, dass dieser Nullpunkt bei einem Hebelarm erreicht wird, der der halben Federlänge entspricht. Zusätzliche Freiheitsgrade zur relativen Positionierung des Pfostens 104 und Aktuators 106 können erhalten werden, wenn der Querschnitt der Feder 108 nicht als konstant gefordert wird. Im Allgemeinen hängt die Lage des gewünschten Nullpunkts der Verkippung des Aktuators 106 von der genauen Geometrie der Feder 108 und deren Befestigung an beiden Enden ab. Sie lässt sich immer mit Hilfe von numerischen Simulationen auf die gewünschte Genauigkeit eingrenzen.

Dieser Nullpunkt der Verkippung bleibt für die unterschiedlichsten Auslenkungen erhalten, solange die Feder 108 in ihrem linearen Bereich belastet wird (Hook'sches Gesetz).

Eine weitere Ausführung der Erfindung ermöglicht es, den Aktuator 106 symmetrisch zu seiner Verbindung mit der Feder 108 anzuordnen, bzw. so, dass die Resultierende der Aktuatorkraft an dieser Verbindung angreift. Dann überträgt der Aktuator 106 zwar kein Drehmoment an der Schnittfläche zur Feder 108, durch deren geeignete Gestaltung kann aber trotzdem ein Verkippen vermieden werden. Dazu bedarf es beispielsweise neben mindestens einem ersten Federteil, der vom Pfosten 104 ausgeht, mindestens eines weiteren Teils, das vom Ende des ersten Teils wieder mehr oder weniger in Richtung des Pfostens 104 zurück zeigt. Zwei beispielhafte Ausführungen zeigen Fig. 4a (mit zwei zweiten Federteilen) und Fig. 5a (mit nur einem zweiten Federteil). Die FEM-Simulation (ANSYS, eine Finite-Elemente-Software) ergibt wie gewünscht eine verschwindende Verkippung unabhängig von der Auslenkung.

Im Detail zeigt Fig. 4a eine perspektivische Ansicht eines MEMS Aktuators 100, wobei der Aktuatorkörper 106 über nur eine Feder 108 mit nur einem Pfosten 104 verbunden ist. Die Feder 108 weist zumindest ein erstes Federelement 108_1 und ein zweites Federelement 108_2, das kürzer ist als das erste Federelement 108_1, auf, wobei das erste Federelement 108_1 mit dem Pfosten 104 verbunden ist und sich im Wesentlichen von dem Pfosten 104 weg erstreckt, und wobei das zweite Federelement 108_2 mit einem dem Pfosten 104 abgewandten Ende des ersten Federelements 108_1 (z.B. über ein Verbindungsfederelement 108_4) verbunden ist und sich im Wesentlichen zu dem Pfosten 104 hin erstreckt. Die Feder 108 kann ferner ein drittes Federelement 108_3 aufweisen, welches ebenfalls kürzer ist als das erste Federelement 108_1 (bzw. genauso lang ist wie das zweite Federelement 108_2), wobei das dritte Federelement 108_3 ebenfalls mit einem dem Pfosten 104 abgewandten Ende des ersten Federelements 108_1 (z.B. über das Verbindungsfederelement 108_4) verbunden ist und sich im Wesentlichen zu dem Pfosten 104 hin erstreckt.

Fig. 5a zeigt eine perspektivische Ansicht eines MEMS Aktuators 100, wobei der Aktuatorkörper 106 über nur eine Feder 108 mit nur einem Pfosten 104 verbunden ist. Die Feder 108 weist zumindest ein erstes Federelement 108_1 und ein zweites Federelement 108_2, das kürzer ist als das erste Federelement 108_1, auf, wobei das erste Federelement 108_1 mit dem Pfosten 104 verbunden ist und sich im Wesentlichen von dem Pfosten 104 weg erstreckt, und wobei das zweite Federelement 108_2 mit einem dem Pfosten

104 abgewandten Ende des ersten Federelements 108_1 (z.B. über ein Verbindungsfederelement 108_4) verbunden ist und sich im Wesentlichen zu dem Pfosten 104 hin erstreckt. Die Feder 108 kann ferner ein drittes Federelement 108_3 aufweisen, wobei das dritte Federelement 108_3 ebenfalls mit dem Pfosten 104 verbunden ist und sich im Wesentlichen von dem Pfosten 104 weg erstreckt, und wobei das zweite Federelement 108_2 mit einem dem Pfosten 104 abgewandten Ende des dritten Federelements 108_3 (z.B. über ein Verbindungsfederelement 108_4) verbunden ist.

In Fig. 4a und 5a können das erste und zweite Federelement 108_1 und 108_2 (und das dritte Federelement 108_3) zumindest in einem Auslenkzustand des Aktuatorkörpers 106 (z. B. im nicht ausgelenkten Zustand des Aktuatorkörpers 106) parallel zueinander verlaufen.

Ähnlich wie der Hebelarm des Aktuators in Fig. 3 erzeugt jetzt der zweite Federteil 108_2 ein Drehmoment an der Schnittfläche zum ersten Teil 108_1, das dessen Steigung am Ende verringert. Zusätzlich wird der Winkel zur Ruhelagen-Ebene entlang des zweiten Federteils 108_2 abnehmen. Er könnte bei entsprechend weichem zweitem Federteil 108_2 auch negativ werden (zum Pfosten 104 hin). Durch geeignete Wahl der Federparameter (Länge, Breite und Dicke beider Teile) kann wieder die Nullstelle der Verkippung des Aktuators 106 gefunden werden. Wird bei einer gewünschten Konfiguration z. B. ein Kippen des Aktuators 106 vom Pfosten 104 weg festgestellt, kann dies durch eine Feder 108 behoben werden, die in ihrem zweiten Teil 108_2 weicher ist, z. B. durch eine verminderte Breite.

Im Allgemeinen wird es für einen Entwurfs eines Aktuators 100 bei komplizierter Geometrie möglicherweise nicht offensichtlich sein, ob die Bewegung verkippungsfrei sein wird. Mit Hilfe von FEM-Simulationen kann dies überprüft, und der Entwurf systematisch optimiert werden, wie dies im Folgenden anhand von Fig. 6 näher erläutert wird.

Fig. 6 zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Herstellen bzw. Entwerfen eines MEMS Aktuators 100, der bei einer elektrostatischen, elektromagnetischen oder magnetischen Krafteinwirkung ausgehend von einer ersten Position eine zweite Position durch eine verkippungsfreie translatorische Bewegung einnimmt, wobei die erste Position und die zweite Position unterschiedlich sind. In einem ersten Schritt 140 kann ein erster Entwurf des MEMS Aktuators 100 erstellt werden. In einem zweiten Schritt 142 kann eine FEM Simulation der Auslenkung des MEMS Aktuators 100 bzw. des Aktuatorkörpers 106

des MEMS Aktuators 100 bei einer Krafteinwirkung durchgeführt werden. In einem dritten Schritt 144 kann aus dem Simulationsergebnis eine Verkippung bestimmt werden. Sofern für den ersten Entwurf des MEMS Aktuators 100 keine Verkippung festgestellt wird, ist der Entwurf für den verkippungsfreien MEMS Aktuator 100 fertig, was in Fig. 6 durch einen vierten Schritt gezeigt ist 146. Sofern für den ersten Entwurf des MEMS Aktuators 100 eine Verkippung festgestellt wird, kann in einem fünften Schritt 148 zumindest einer der bewegungsrelevanten Parameter verändert werden und in einem sechsten Schritt 150 die Simulation erneut durchgeführt werden. In einem siebten Schrtt 152 kann aus dem Simulationsergebnis eine Verkippung bestimmt werden. Sofern für den zweiten Entwurf des MEMS Aktuators 100 keine Verkippung festgestellt wird, ist der Entwurf für den verkippungsfreien MEMS Aktuator 100 fertig, was in Fig. 6 durch den vierten Schritt gezeigt ist 146. Sofern für den zweiten Entwurf des MEMS Aktuators 100 eine Verkippung festgestellt wird, kann in einem achten Schritt 154 aus der Veränderung der simulierten Verkippung ein neuer Wert für den vorher geänderten bewegungsrelevanten Parameter interpoliert (oder extrapoliert, je nach Vorzeichen der Ergebnisse) werden, der eine verschwindende Verkippung verspricht. Anschließend können die Schritte 148, 150, 152 und ggf. 154 für den dritten und jeden weiteren Entwurf des MEMS Aktuators 100 solange wiederholt werden, bis die Verkippung Null ist, und im Schritt 146 ein fertiger Entwurf für einen verkippungsfreien MEMS Aktuator 100 erhalten wird. Dies sollte in wenigen Interationsschritten zu einem Entwurf mit den gewünschten Eigenschaften führen.

Obwohl bisher von einem ersten und zweiten Federteil 108_1 und 108_2 gesprochen wurde, ist für die Funktion der Erfindung nicht entscheidend, dass diese beiden Teile eine klare Trennung erkennen lassen. Sie könnten auch fließend in einander übergehen. Ebenso sind selbstverständlich auch Realisierungen möglich, die mehr als nur zwei Federteile haben, wie dies in den Fig. 4a, 4b, 5a und 5b erkennbar ist (1: vom Pfosten weg (erstes Federelement 108_1), 2: quer zur Symmetrieachse (Verbindungsfederelement 108_4), 3: Richtung Pfosten (zweites Federelement 108_2)). Die obigen Beispiele haben weiterhin eine Spiegelsymmetrie entlang der Linie Pfosten - Verbindung von Anker und Feder. Durch diese Symmetrie ist ein Verkippen quer zu dieser Richtung wie oben ausgeschlossen (stabiles Gleichgewicht vorausgesetzt) und wurde daher bisher nicht diskutiert. Um eine möglichst weiche Feder 108 zu realisieren ist diese Symmetrie aber nachteilig, da für die doppelte Ausführung des ersten oder zweiten Federteils 108_1 oder 108_2 die resultierende Feder 108 härter wird. Mehr noch, ohne den Platzbedarf dieser doppelten Federteile könnte eine einzelne Feder länger und damit weicher ausgeführt werden. Eine mögliche Lösung mit ersten und zweiten Federteilen in zwei verschiedenen Fertigungs-

ebenen ist wegen der damit verbundenen zusätzlichen Fertigungskomplexität und -kosten meist nicht attraktiv.

Es gibt tatsächlich auch Lösungen, die diese Symmetrie nicht aufweisen. Dadurch kann der zur Verfügung stehende Platz optimal für eine möglichst weiche, lange Feder genutzt werden, wenn diese gewünscht wird. Im Folgenden wird anhand von Fig. 7 ein einfacher Spezialfall für den unsymmetrischen Fall erläutert.

Im Detail zeigt Fig. 7 eine schematische Draufsicht eines MEMS Aktuators 100 mit einem Aktuatorkörper 106, der über nur eine Feder 108 mit nur einem Pfosten 104 verbunden ist. Die Feder 108 weist keine Symmetrie innerhalb der Ebene ihrer Ruhelage auf. Dies kann sich auf Spiegelsymmetrien und Rotationen beziehen. Eine Spiegelsymmetrie an der waagerechten Mittelebene der Feder kann dagegen erlaubt sein und ist in Oberflächenmikromechanik fast unvermeidbar.

Wie in Fig. 7 zu erkennen ist, kann die Feder 108 spiralförmig sein. Ferner kann die Feder 108 eine Mehrzahl von Federelementen 108_1 bis 108_4 aufweisen, die sich in unterschiedlichen Richtungen erstrecken, wobei zumindest ein erstes Federelement 108_1 der Mehrzahl von Federelementen 108_1 bis 108_4, das sich in eine erste Richtung erstreckt, ausgebildet ist, um eine Verkippung des Aktuatorkörpers 106 um eine erste Achse (z. B. x-Achse) zu verhindern, und wobei zumindest ein zweites Federelement 108_2 der Mehrzahl von Federelementen 108_1 bis 108_4, das sich in eine zweite Richtung erstreckt, ausgebildet ist, um eine Verkippung des Aktuatorkörpers um eine zweite Achse (z.B. y-Achse) zu verhindern.

Mit anderen Worten, Fig. 7 zeigt als Beispiel eine vierteilige Feder 108, deren Teile 108_1 bis 108_4 jeweils im rechten Winkel zu einander stehen. Analog zur obigen Argumentation kann bei der in Fig. 7 gezeigten Geometrie durch die Wahl geeigneter Steifigkeit (Breite/Länge) des zweiten Federteils bzw. Federelements 108_2 (vom Pfosten aus gezählten dritten Federteils) die Verkippung um die y-Achse auf Null reduziert werden sowie durch die davon unabhängige Wahl der Steifigkeit des ersten Federteils bzw. Federelements 108_1 (vom Pfosten aus gezählten vierten Federteils) die Verkippung um die x-Achse. Eine Lösung existiert sicher, wenn die Verkippung der Ecke zwischen dem zweiten und dritten Federteil bzw. Federelement 108_2 und 108_3 (vom Pfosten aus gezählten zweiten und dritten Federteil) um beide Achsen vom Pfosten 104 weg zeigt. Dies wird zumindest für relativ kurze erste und zweite Federteile bzw. Federelemente 108_1 und 108_2

(vom Pfosten aus gezählte dritte und vierte Federteile) der Fall sein, wie leicht im Grenzfall verschwindender Längen überlegt werden kann.

Ein realistischeres Beispiel zeigt Fig. 8a und 8b. Diese ist das Ergebnis einer Geometrie-Optimierung mit Hilfe von FEM-Simulationen (ANSYS) ähnlich dem oben beschriebenen Gedankengang, jetzt aber mit konstanter Federbreite und – dicke, was fertigungstechnische Vorteile hat. Die resultierende Verkippung ist auch hier wieder wie gewünscht praktisch Null, unabhängig von der Auslenkung.

Die bisherigen Ausführungen beziehen sich alle auf die statische Auslenkung des Aktuators 106, bei der die typischerweise elektrostatischen oder elektromagnetischen Ansteuerkräfte mit der Federkraft im (stabilen) Gleichgewicht stehen. Damit auch bei schneller dynamischer Veränderung der Auslenkung bis zum Erreichen des neuen statischen Gleichgewichtszustands keine nennenswerte Verkippung auftritt, kann die Masse aller beweglichen Teile geeignet verteilt werden. Der einfachste Fall ist hier, wenn die Federmasse vernachlässigt werden kann. Dann ergibt sich der gewünschte Fall ohne dynamische Verkippung, wenn der Massenschwerpunkt aller bewegten Teile so liegt, dass seine Verbindungslinie mit dem Schwerpunkt der am Aktuator angreifenden Kräfte parallel zur Auslenkrichtung ist. Wenn dies in einem ersten Entwurf nicht erfüllt ist, kann dies durch geeignete Aussparungen oder Zusätze am Aktuator oder an damit verbundenen Teilen (z. B. Spiegel) erreicht werden, oder auch durch die laterale Verschiebung dieser Teile.

Wenn die Masse der Feder 108 nicht vernachlässigbar ist, ergäbe sich bei Einhaltung der obigen Bedingung durch die einseitige Verbindung mit dem Aktuator eine Unwucht. Bei der Berechnung des nötigen Ausgleichs können dann die Massenelemente der Feder 108 mit der jeweiligen Amplitude ihrer Bewegung gewichtet werden. Zur Bestimmung dieser Amplitude kann wieder die FEM-Simulation (FEM = Finite-Elemente-Methode) der statischen Auslenkung herangezogen werden, da die direkte Berechnung bei kompliziert geformten Federn 108 meist nicht geschlossen möglich sein wird.

Bei der Bewegung des Aktuatorkörpers 106 kann ein mit ihrer jeweiligen Bewegungsamplitude gewichteter Schwerpunkt der beweglichen Elemente des MEMS Aktuators 100 somit entlang eines Hauptkrafteinwirkungsvektors der Krafteinwirkung verlaufen. Der Hauptkrafteinwirkungsvektor resultiert dabei durch eine Überlagerung der auf den Aktuatorkörper einwirkenden Kräfte bzw. Kraftvektoren. Ferner verläuft der Hauptkrafteinwirkungsvektor durch einen Schwerpunkt der auf den Aktuatorkörper einwirkenden Kräfte.

Grundsätzlich kann ein Aktuator 106 auch zu anderen Schwingungsmoden angeregt werden, darunter einige, die dynamische Verkippungen beinhalten. Diese Moden liegen jedoch für statisch stabil auslenkbare Aktuatoren typischerweise bei deutlich höheren Frequenzen und sind daher in der Praxis meist nicht relevant. Im Übrigen treten solche Schwingungsmodi auch bei den MEMS-Aktuatoren nach dem bekannten Stand der Technik auf.

Die obigen Beispiele zeigen der Einfachheit halber jeweils eine quadratische Aktuatorplatte 106, die in ihrem Zentrum mit der Feder 108 verbunden ist. Dies ist natürlich für die Funktion der Erfindung nicht zwingend erforderlich, und im Sinn einer möglichst engen Anordnung einer Vielzahl solcher Aktuatoren auch ungünstig, da ja der Pfosten ebenfalls Platz benötigt. Selbstverständlich kann der Aktuator auch so ausgespart sein, dass er zusammen mit dem Pfosten 104 eine Fläche beansprucht, mit der die Substratebene parkettiert werden kann. Es dürfte nach den obigen Ausführungen offensichtlich sein, dass trotzdem durch geeignete Optimierung sowohl die statische wie auch die dynamische Verkippung vermieden werden kann. Besonders vorteilhaft kann diese Aussparung des Aktuators 106 gegenüber dem eigenen Pfosten 104 ausgeführt werden, um die Unwucht durch die Masse der Feder 108 zu kompensieren. In diese Aussparung kann dann der Pfosten des Nachbaraktuators gesetzt werden.

Ebenso kann natürlich die Feder 108 auch unterhalb der Aktuatorplatte 106 angeordnet sein. In diesem Fall kann die Aktuatorplatte 106 auch direkt als Spiegel genutzt werden.

Im Folgenden wird ein Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung beschrieben, bei denen der Aktuatorkörper 106 über eine Feder mit zwei Pfosten 104_1 bis 104_n (n = 2) verbunden ist.

Fig. 9 zeigt eine schematische Seitenansicht eines MEMS Aktuators 100 mit einem Aktuatorkörper 106, der über eine Feder mit zwei Pfosten 104_1 bis 104_n (n = 2) verbunden ist. Die Feder 108 weist ein erstes Federelement 108_1, ein drittes Federelement 108_3 und ein zweites Federelement 108_2, das kürzer ist als das erste Federelement 108_1 und das dritte Federelement 108_3, auf, wobei das erste Federelement 108_1 mit dem ersten Pfosten 104_1 verbunden ist und sich im Wesentlichen von dem ersten Pfosten 104_1 weg erstreckt, wobei das dritte Federelement 108_3 mit dem zweiten Pfosten 104_2 verbunden ist und sich im Wesentlichen von dem zweiten Pfosten 104_2 weg er-

streckt, und wobei das zweite Federelement 108_2 mit einem dem ersten Pfosten 104_1 abgewandten Ende des ersten Federelements 108_1 (z.B. über ein Verbindungsfederelement 108_4) und mit einem dem zweiten Pfosten 104_2 abgewandten Ende des dritten Federelements 108_3 (z.B. über das Verbindungsfederelement 108_4) verbunden ist und sich im Wesentlichen zu den Pfosten 104_1 und 104_2 hin erstreckt.

Fig. 10 zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens 180 zum Betrieb eines MEMS Aktuators 100. Das Verfahren 180 umfasst einen Schritt 182 des Einwirkens einer elektrostatischen, elektromagnetischen oder magnetischen Kraft auf den auslenkbaren Aktuatorkörper 106, wobei der Aktuatorkörper 106 bei einer elektrostatischen, elektromagnetischen oder magnetischen Krafteinwirkung ausgehend von einer ersten Position eine zweite Position durch eine verkippungsfreie translatorische Bewegung einnimmt, wobei die erste Position und die zweite Position unterschiedlich sind.

Fig. 11 zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens 200 zum Herstellen eines MEMS Aktuators 100. Das Verfahren 200 umfasst einen Schritt 202 des Bereitstellens eines Substrats 102, einen Schritt 204 des Bereitstellens mindestens eines Pfostens 104, wobei der mindestens eine Pfosten 104 an dem Substrat 102 angebracht ist, einen Schritt 206 des Bereitstellens eines auslenkbaren Aktuatorkörpers 106, und einen Schritt 208 des Bereitstellens mindestens einer Feder 108, wobei der auslenkbare Aktuatorkörper 106 über die mindestens eine Feder 108 mit dem mindestens einen Pfosten 104 verbunden ist, wobei in einer Draufsicht auf den MEMS Aktuator 100 der Aktuatorkörper 106 außerhalb einer von dem mindestens einen Pfosten 104 aufgespannten Fläche 110 angeordnet ist, und wobei der Aktuatorkörper 106 bei einer elektrostatischen, elektromagnetischen oder magnetischen Krafteinwirkung ausgehend von einer ersten Position eine zweite Position durch eine verkippungsfreie translatorische Bewegung einnimmt, wobei die erste Position und die zweite Position unterschiedlich sind.

Das Verfahren 200 kann ferner einen Schritt des Durchführens von Simulationen des MEMS Aktuators 100 umfassen, wobei bei dem Durchführen der Simulationen des MEMS Aktuators 100 zumindest einer der bewegungsrelevanter Parameter des MEMS Aktuators 100 solange angepasst wird, bis der Aktuatorkörper 106 bei einer elektrostatischen, elektromagnetischen oder magnetischen Krafteinwirkung eine verkippungsfreie translatorische Bewegung parallel zu einer Richtung der Krafteinwirkung durchführt. Dabei kann zumindest eines aus dem Pfosten 104, der auslenkbaren Aktuatorplatte 106 und der Feder 108 in Abhängigkeit von den bewegungsrelevanten Parametern bereitgestellt werden.

Ausführungsbeispiele ermöglichen es, MEMS Aktuatoren 100 asymmetrisch an nur einem Pfosten 104 aufzuhängen, und trotzdem eine verkippungsfreie, parallele Auslenkung zu erreichen. Dadurch kann der oft sehr begrenzte Platz (gerade bei sehr kleinen Pixelgrößen) optimal für eine weiche Aufhängung genutzt werden. Durch die Vermeidung von Spannungsversteifung, wie sie bei Aufhängung an mehreren Pfosten leicht auftritt, kann der Bereich der linearen Federkennlinie (Hook'sches Gesetz) besonders groß sein.

Ausführungsbeispiele eignen sich für mikromechanische Aktuatoren, besonders für phasenschiebende SLMs (SLM = Spatial Light Modulator, dt.: räumlicher Modulator für Licht) mit sehr kleinen Pixeln (im Vergleich zu den herstellbaren mechanischen Strukturgrößen und auch zur gewünschten Auslenkung). Solche SLMs sind besonders für die digitale Holografie interessant, sowohl für zukünftige holografische Displays, wie auch für (etwas näher liegende) Anwendungen wie z. B. universelle Laserpinzetten und schnelle optische Schalter für Glasfasernetze, wo solche SLMs die gleichzeitige Aufspaltung sowie Steuerung der Richtung, Divergenz und Intensität von Laserstrahlen ermöglichen. Aber auch die Verwendung in anderen Geräten zur Mustererzeugung erscheint sinnvoll. Darüber hinaus sind vielfältige andere Anwendungen in der Mikroaktuatorik (auch ohne Mikrospiegel) wie auch der Sensorik denkbar.

Bei Ausführungsbeispielen können Pfosten und Feder so gestaltet werden, dass der Aktuator in einer reinen Translationsbewegung geführt wird und die Feder gleichzeitig möglichst weich ist, und dies auch für große Auslenkungen bleibt. Ferner besteht bei Ausführungsbeispielen keine elektrische Verbindung zwischen den Aktuatoren der benachbarten Pixel.

Bei Ausführungsbeispielen kann der MEMS Aktuator, ein Substrat, mindestens einen Pfosten, der an dem Substrat angebracht ist, einen auslenkbaren Aktuatorkörper, der über mindestens eine Feder mit mindestens einem der Pfosten verbunden ist, und eine Antriebseinrichtung, die ausgebildet ist, um eine elektrostatische, elektromagnetische oder magnetische Krafteinwirkung auf den auslenkbaren Aktuatorkörper hervorzurufen, die außerhalb der von den Pfosten aufgespannten Fläche wirkt, aufweisen, wobei der Aktuatorkörper in Reaktion auf die genannte Krafteinwirkung eine neue Gleichgewichtsposition einnimmt, die aus seiner Ruhelage durch eine im Wesentlichen reine (verkippungsfreie) Translation hervorgeht. Die Wirkung außerhalb der von den Pfosten aufgespannte Fläche bezieht sich dabei darauf, dass die Wirkungslinie der Antriebskraft (Gerade durch den

Schwerpunkt der am Aktuatorkörper angreifenden Antriebskraft in Richtung dieser Kraft) die genannte Fläche nicht schneidet. Im Fall von zwei (ideal dünnen) Pfosten entartet die Fläche zu einer Strecke, bei einem Pfosten zu einem Punkt, die nicht auf der Wirkungslinie liegen sollen. Noch genauer kann man auch die Anstoßflächen der Federn an ihren Pfosten betrachten. Dann soll entsprechend die Wirkungslinie des Antriebs außerhalb der konvexen Hülle aller dieser Punkte/Flächenelemente liegen (was im Allgemeinen zu Verkippung führen würde).

Bei Ausführungsbeispielen kann ein gewichteter Schwerpunkt auf einer Wirkungslinie des Antriebs positioniert werden. Die Wirkungslinie der Antriebskraft kann eine Gerade durch den Schwerpunkt der am Aktuatorkörper angreifenden Antriebskraft in Richtung dieser Kraft sein.

Obwohl manche Aspekte im Zusammenhang mit einer Vorrichtung beschrieben wurden, versteht es sich, dass diese Aspekte auch eine Beschreibung des entsprechenden Verfahrens darstellen, sodass ein Block oder ein Bauelement einer Vorrichtung auch als ein entsprechender Verfahrensschritt oder als ein Merkmal eines Verfahrensschrittes zu verstehen ist. Analog dazu stellen Aspekte, die im Zusammenhang mit einem oder als ein Verfahrensschritt beschrieben wurden, auch eine Beschreibung eines entsprechenden Blocks oder Details oder Merkmals einer entsprechenden Vorrichtung dar. Einige oder alle der Verfahrensschritte können durch einen Hardware-Apparat (oder unter Verwendung eine Hardware-Apparats), wie zum Beispiel einen Mikroprozessor, einen programmierbaren Computer oder eine elektronische Schaltung. Bei einigen Ausführungsbeispielen können einige oder mehrere der wichtigsten Verfahrensschritte durch einen solchen Apparat ausgeführt werden.

Die oben beschriebenen Ausführungsbeispiele stellen lediglich eine Veranschaulichung der Prinzipien der vorliegenden Erfindung dar. Es versteht sich, dass Modifikationen und Variationen der hierin beschriebenen Anordnungen und Einzelheiten anderen Fachleuten einleuchten werden. Deshalb ist beabsichtigt, dass die Erfindung lediglich durch den Schutzumfang der nachstehenden Patentansprüche und nicht durch die spezifischen Einzelheiten, die anhand der Beschreibung und der Erläuterung der Ausführungsbeispiele hierin präsentiert wurden, beschränkt sei.

Patentansprüche

1. MEMS Aktuator (100), mit folgenden Merkmalen:

einem Substrat (102);

mindestens einem Pfosten (104), der an dem Substrat (102) angebracht ist; und

einem auslenkbaren Aktuatorkörper (106), der über mindestens eine Feder (108) mit dem mindestens einen Pfosten (104) verbunden ist,

wobei der Aktuatorkörper (106) bei einer elektrostatischen, elektromagnetischen oder magnetischen Krafteinwirkung ausgehend von einer ersten Position eine zweite Position durch eine verkippungsfreie translatorische Bewegung einnimmt, wobei die erste Position und die zweite Position unterschiedlich sind; und

wobei in einer Draufsicht auf den MEMS Aktuator (100) zumindest 90 % des Aktuatorkörpers (106) und ein Schwerpunkt des Aktuatorkörpers (106) außerhalb einer von dem mindestens einen Pfosten (104) aufgespannten Fläche (110) angeordnet ist.

2. MEMS Aktuator (100) nach Anspruch 1, wobei der Aktuatorkörper (106) eine verkippungsfreie translatorische Bewegung parallel zu einer Richtung der Krafteinwirkung durchführt.

3. MEMS Aktuator (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 2, wobei der MEMS Aktuator (100) eine Antriebseinrichtung aufweist, die ausgebildet ist, um die elektrostatische, elektromagnetische oder magnetische Krafteinwirkung auf den auslenkbaren Aktuatorkörper (106) hervorzurufen.

4. MEMS Aktuator (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei bei der Bewegung des Aktuatorkörpers (106) ein mit ihrer jeweiligen Bewegungsamplitude gewichteter Schwerpunkt der beweglichen Elemente des MEMS Aktuators (100) entlang eines Hauptkrafteinwirkungsvektors der Krafteinwirkung verläuft.

5. MEMS Aktuator (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Aktuatorkörper (106) nur in einem zusammenhängenden Bereich (116) einer Hauptoberfläche (114) des Aktuatorkörpers (106) mit der Feder (108) verbunden ist, wobei der zusammenhängenden Bereich (116) nicht größer ist als 30 % der Hauptoberfläche (114).

6. MEMS Aktuator (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Aktuatorkörper (106) mit nur einer Feder (108) verbunden ist.

7. MEMS Aktuator (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der Aktuatorkörper (106) mit nur einem Pfosten (104) verbunden ist.

8. MEMS Aktuator (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Aktuatorkörper (106) eine Aktuatorplatte (106) aufweist.

9. MEMS Aktuator (100) nach Anspruch 8, wobei die Aktuatorplatte (106) eine verkippungsfreie translatorische Bewegung parallel zu einer Richtung senkrecht zu der Aktuatorplatte (106) durchführt.

10. MEMS Aktuator (100) nach Anspruch 8 oder 9, wobei die Richtung der Krafteinwirkung senkrecht zu der Aktuatorplatte (106) verläuft.

11. MEMS Aktuator (100) nach einem der Ansprüche 8 bis 10 wobei der MEMS Aktuator (100) eine der Aktuatorplatte gegenüberliegende Elektrodenplatte (120) aufweist.

12. MEMS Aktuator (100) nach Anspruch 11, wobei der MEMS Aktuator (100) ausgebildet ist, um über die Elektrodenplatte (120) eine elektrostatische Krafteinwirkung auf die Aktuatorplatte (106) auszuüben.

13. MEMS Aktuator (100) nach einem der Ansprüche 8 bis 10, wobei der MEMS Aktuator (100) eine der Aktuatorplatte (106) gegenüberliegende Spule aufweist.

14. MEMS Aktuator (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 13, wobei die Feder (108) einen variablen Querschnitt entlang der Verbindung zwischen Pfosten (104) und Aktuatorkörper (106) aufweist.

15. MEMS Aktuator (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 14, wobei die Feder (108) eine variable Steifheit entlang der Verbindung zwischen Pfosten (104) und Aktuatorkörper (106) aufweist.

16. MEMS Aktuator (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 15, wobei die Feder (108) keine Symmetrie innerhalb einer Ebene ihrer Ruhelage aufweist.

17. MEMS Aktuator (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 16, wobei die Feder (108) spiralförmig ist.

18. MEMS Aktuator (100) nach Anspruch 17, wobei die Feder (108) eine Mehrzahl von Federelementen aufweist, die sich in unterschiedliche Richtungen erstrecken;

wobei zumindest ein erstes Federelement (108_1) der Mehrzahl von Federelementen, das sich in eine erste Richtung erstreckt, ausgebildet ist, um eine Verkippung des Aktuatorkörpers (106) um eine erste Achse zu verhindern; und

wobei zumindest ein zweites Federelement (108_2) der Mehrzahl von Federelementen, das sich in eine zweite Richtung erstreckt, ausgebildet ist, um eine Verkippung des Aktuatorkörpers (106) um eine zweite Achse zu verhindern.

19. MEMS Aktuator (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 15, wobei die Feder (108) zumindest ein erstes Federelement (108_1) und ein zweites Federelement (108_2), das kürzer ist als das erste Federelement (108_1), aufweist, wobei das erste Federelement (108_1) mit dem Pfosten (104) verbunden ist und sich im Wesentlichen von dem Pfosten (104) weg erstreckt, und wobei das zweite Federelement (108_2) mit einem dem Pfosten (104) abgewandten Ende des ersten Federelements (108_1) verbunden ist und sich im Wesentlichen zu dem Pfosten (104) hin erstreckt.

20. MEMS Aktuator (100) nach Anspruch 19, wobei das erste und zweite Federelement (108_1:108_2) in zumindest einem Auslenkzustand des Aktuatorkörpers (106) parallel zueinander verlaufen.

21. MEMS Aktuator (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 20, wobei ein Verbindungspunkt, an dem der Aktuatorkörper (106) mit der Feder (108) oder über ein Verbindungselement (112) mit der Feder (108) verbunden ist, mit einem Schwerpunkt des Aktuatorkörpers (106) oder einem Schwerpunkt der auf den Aktuatorkörper (106) einwirkenden Kräfte zusammenfällt.

22. MEMS Aktuator (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 15, wobei die Feder (108) mindestens ein Federelement aufweist, wobei das Federelement doppelt so lang ist wie ein Hebelarm zwischen einem Schwerpunkt des Aktuatorkörpers (106) oder einem Schwerpunkt der auf den Aktuatorkörper (106) einwirkenden Kräfte und einem Verbindungspunkt, an dem der Aktuatorkörper (106) mit der Feder (108) oder über ein Verbindungselement (112) mit der Feder (108) verbunden ist.

23. System, aufweisend:

eine Mehrzahl von MEMS Aktuatoren (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 22, wobei die MEMS Aktuatoren (100) ein gemeinsames Substrat (102) aufweisen.

24. System nach Anspruch 23, wobei ein Aktuatorkörper zumindest eines der MEMS Aktuatoren (100) eine Aussparung zur Anordnung eines Pfostens eines anderen der MEMS Aktuatoren aufweist.

25. Verfahren (180) zum Betrieb eines MEMS Aktuators, wobei der MEMS Aktuator ein Substrat, mindestens einen Pfosten, der an dem Substrat angebracht ist, und einen auslenkbaren Aktuatorkörper, der über mindestens eine Feder mit dem mindestens einen Pfosten verbunden ist, aufweist, wobei in einer Draufsicht auf den MEMS Aktuator zumindest 90 % des Aktuatorkörpers und ein Schwerpunkt des Aktuatorkörpers außerhalb einer von dem mindestens einen Pfosten aufgespannten Fläche angeordnet ist, wobei das Verfahren aufweist:

Einwirken (182) einer elektrostatischen, elektromagnetischen oder magnetischen Kraft auf den auslenkbaren Aktuatorkörper, wobei der Aktuatorkörper bei einer

elektrostatischen, elektromagnetischen oder magnetischen Krafteinwirkung ausgehend von einer ersten Position eine zweite Position durch eine verkippungsfreie translatorische Bewegung einnimmt, wobei die erste Position und die zweite Position unterschiedlich sind.

26. Verfahren (200) zum Herstellen eines MEMS Aktuators, aufweisend:

Bereitstellen (202) eines Substrats;

Bereitstellen (204) mindestens eines Pfostens, wobei der mindestens eine Pfosten an dem Substrat angebracht ist;

Bereitstellen (206) eines auslenkbaren Aktuatorkörpers; und

Bereitstellen (208) mindestens einer Feder;

wobei der auslenkbare Aktuatorkörper über die mindestens eine Feder mit dem mindestens einen Pfosten verbunden ist, wobei in einer Draufsicht auf den MEMS Aktuator zumindest 90 % des Aktuatorkörpers und ein Schwerpunkt des Aktuatorkörpers außerhalb einer von dem mindestens einen Pfosten aufgespannten Fläche angeordnet ist, und wobei der Aktuatorkörper bei einer elektrostatischen, elektromagnetischen oder magnetischen Krafteinwirkung ausgehend von einer ersten Position eine zweite Position durch eine verkippungsfreie translatorische Bewegung einnimmt, wobei die erste Position und die zweite Position unterschiedlich sind.

27. Verfahren (200) zum Herstellen eines MEMS Aktuators nach Anspruch 14, ferner aufweisend:

Durchführen von Simulationen des MEMS Aktuators, wobei bei dem Durchführen der Simulationen des MEMS Aktuators zumindest einer der bewegungsrelevanter Parameter des MEMS Aktuators solange angepasst wird, bis der Aktuatorkörper bei einer elektrostatischen, elektromagnetischen oder magnetischen Krafteinwirkung ausgehend von der ersten Position die zweite Position durch eine verkippungsfreie translatorische Bewegung einnimmt;

wobei zumindest eines aus dem Pfosten, der auslenkbaren Aktuatorplatte und der Feder in Abhängigkeit von den bewegungsrelevanten Parametern bereitgestellt wird.

28. Verfahren (200) zum Herstellen eines MEMS Aktuators nach Anspruch 27, wobei die bewegungsrelevanten Parameter des MEMS Aktuators eine Geometrie des auslenkbaren Aktuatorkörpers, eine Position des Pfostens relativ zu dem Aktuatorkörper, eine Geometrie der Feder, eine Anordnung eines Verbindungspunkts zwischen Feder und Pfosten und/oder eine Anordnung eines Verbindungspunkts zwischen Feder und auslenkbarem Aktuatorkörper umfassen.

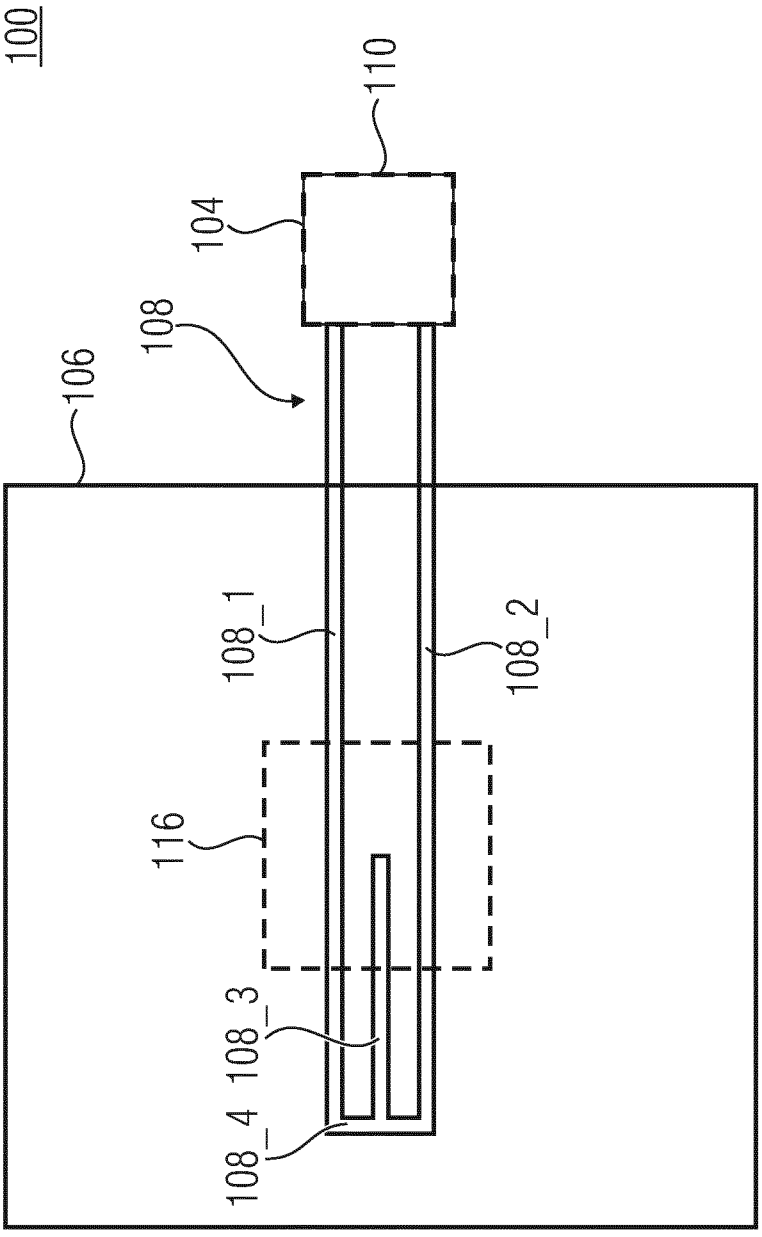

100
110
104
108
106
108_1
108_2
116
108_3
108_4

FIG 1A

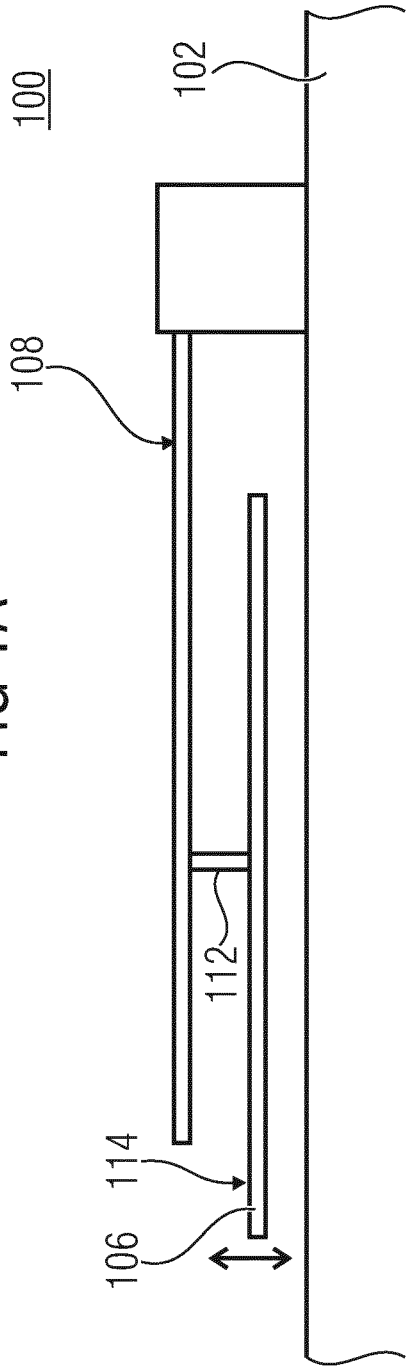

100
102
108
112
114
106

FIG 1B

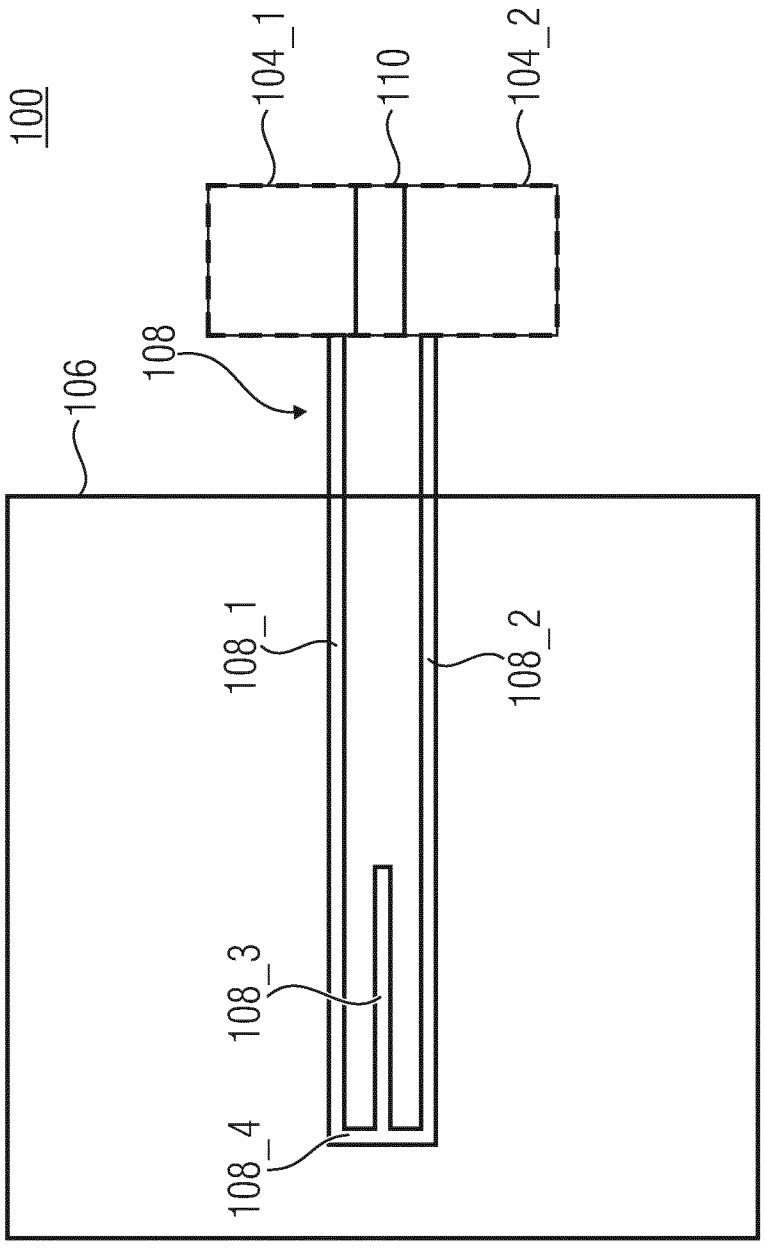


FIG 2A

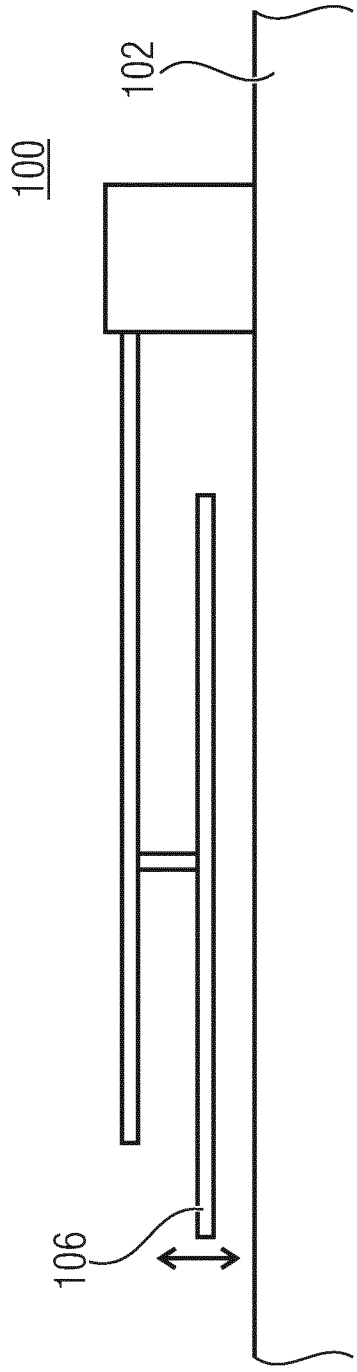


FIG 2B

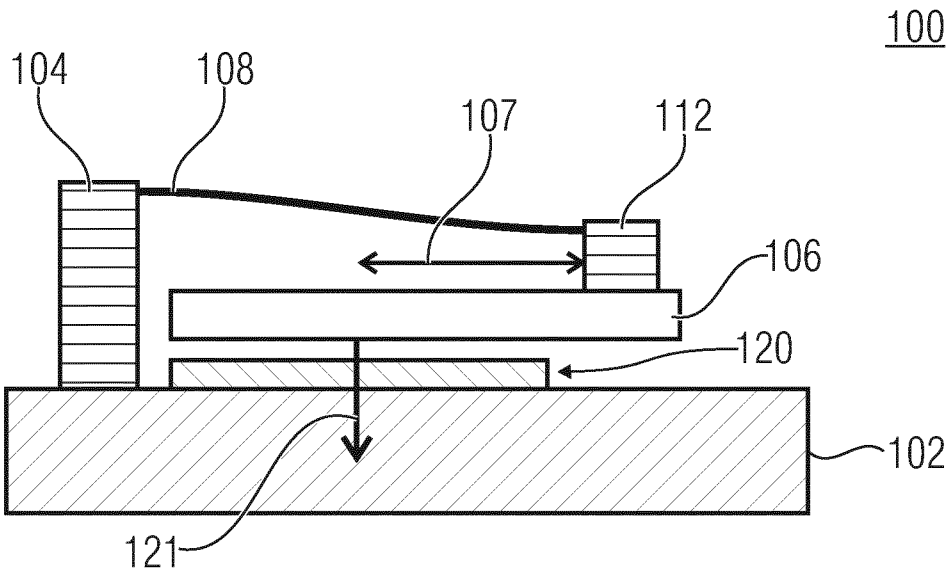


FIG 3

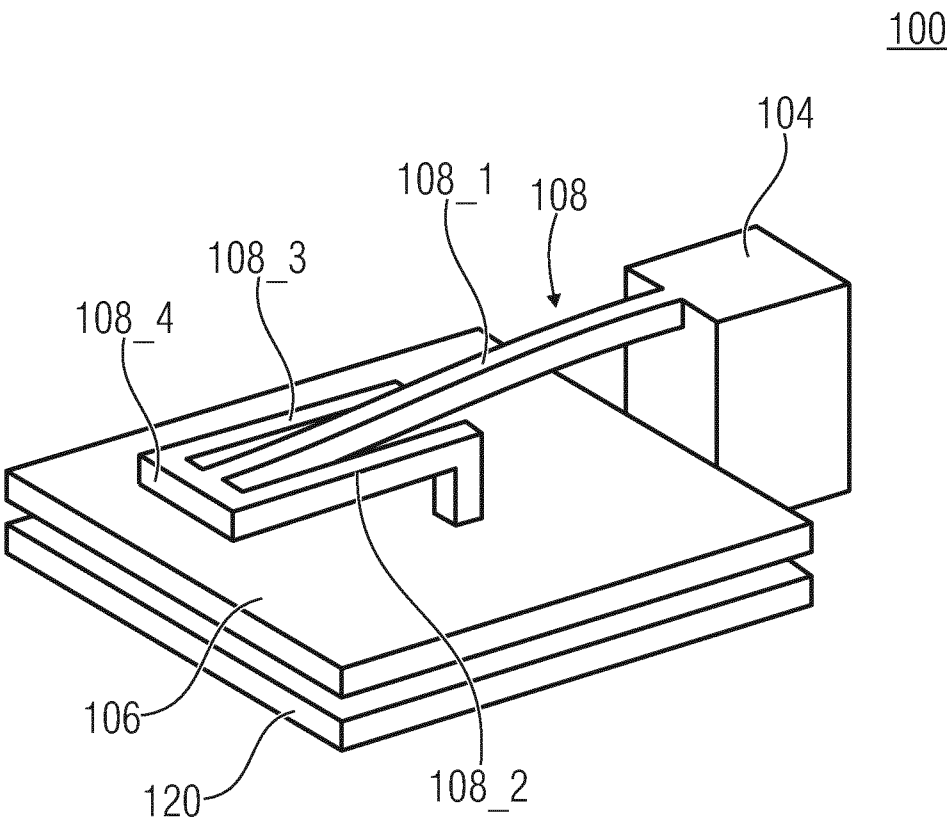


FIG 4A

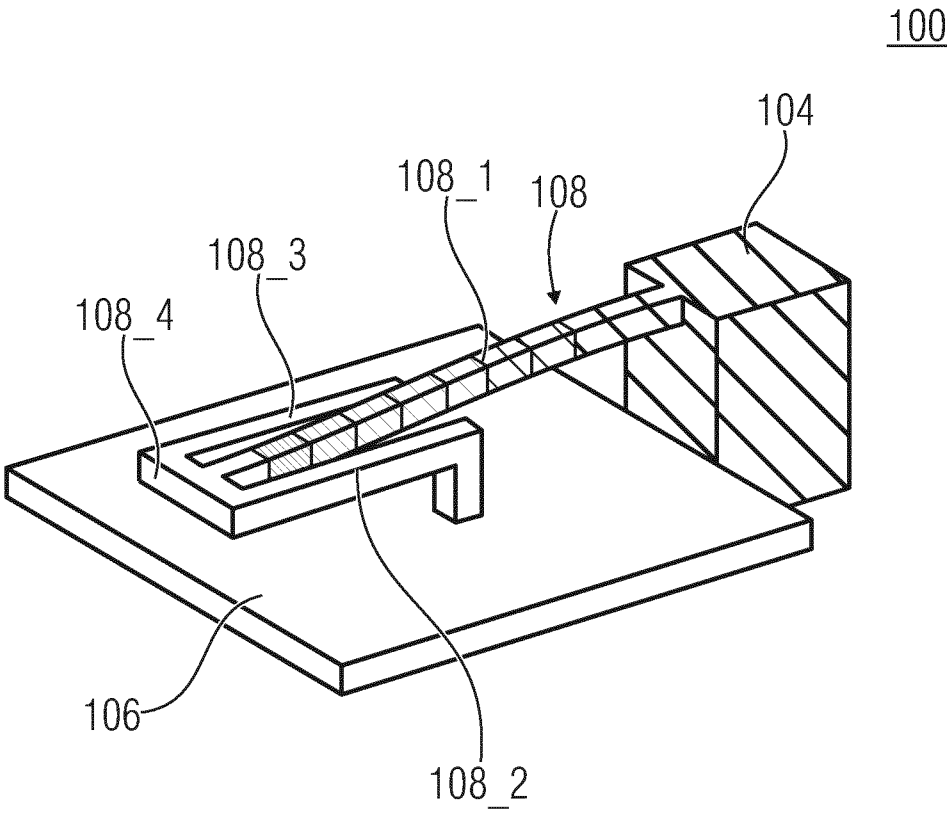


FIG 4B

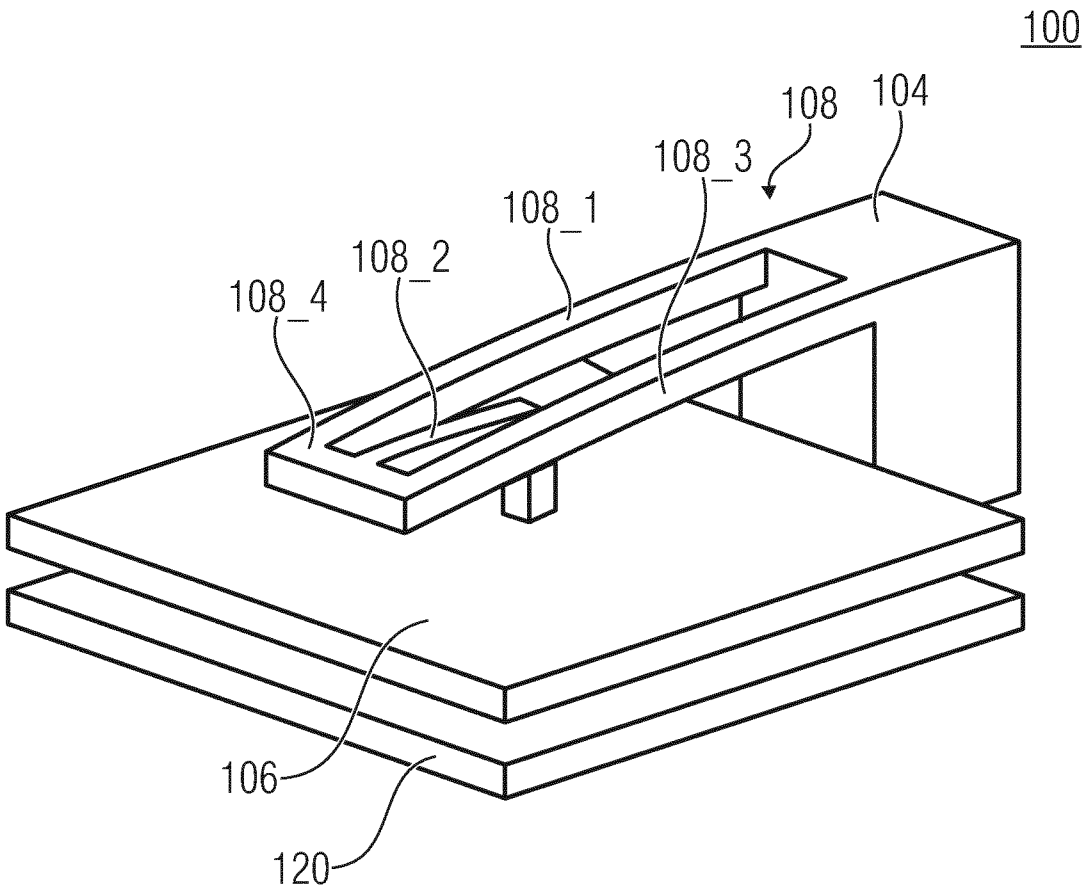


FIG 5A

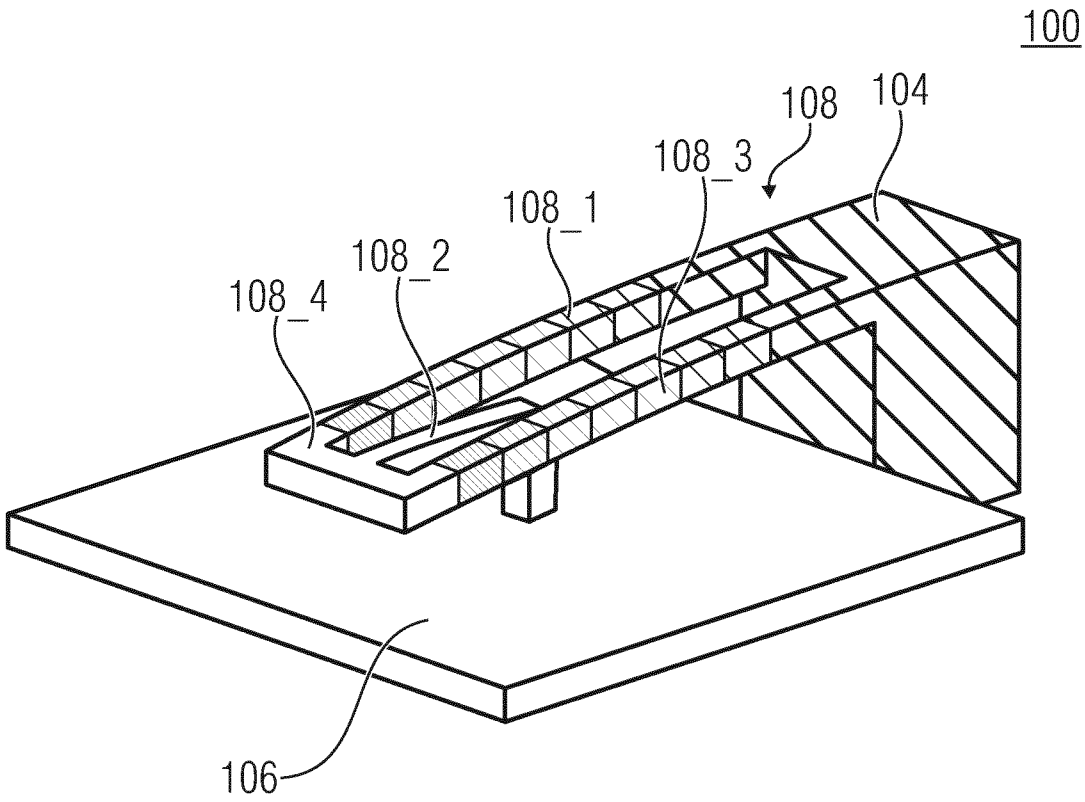


FIG 5B

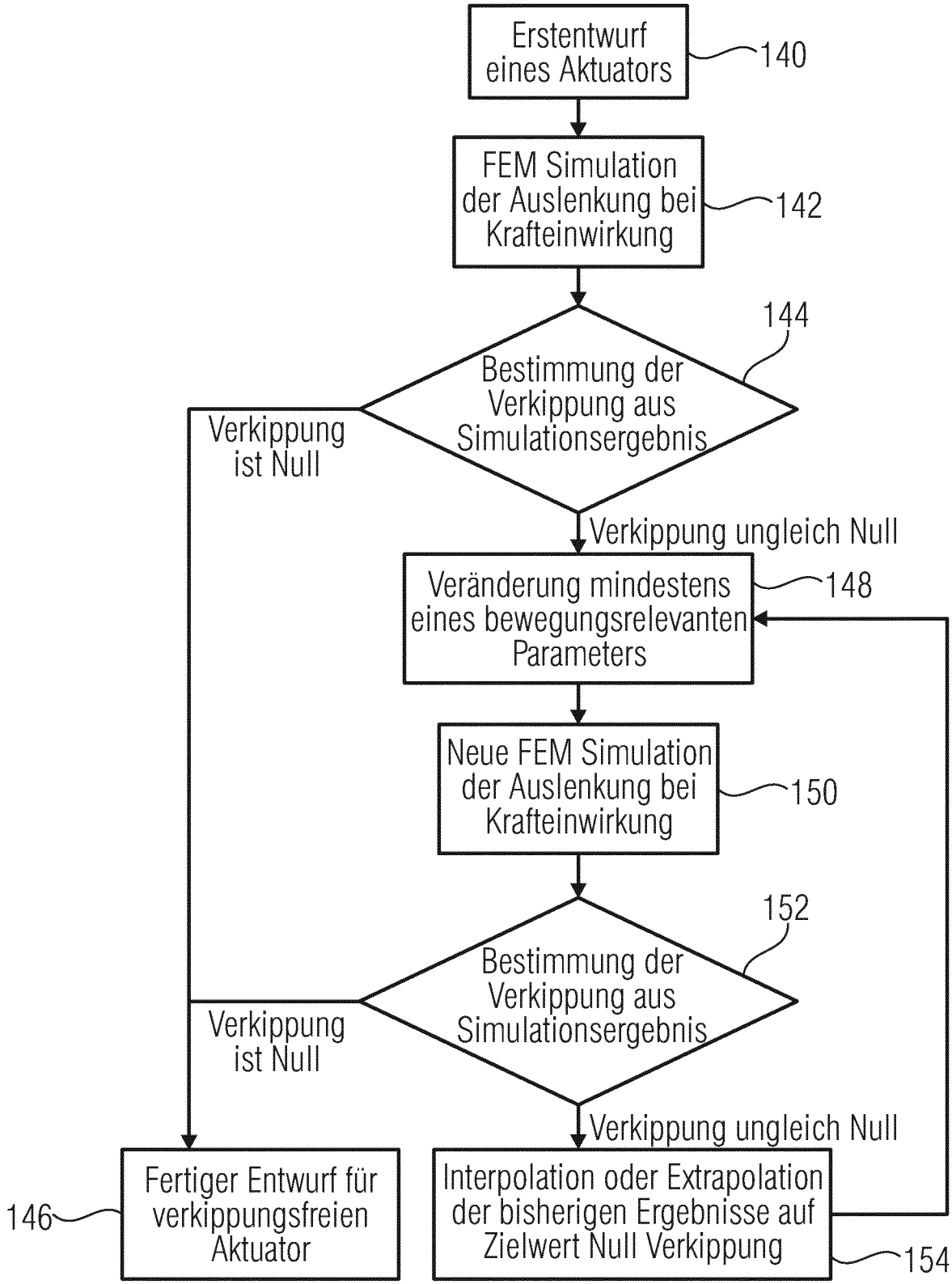

Erstentwurf eines Aktuators
140
FEM Simulation der Auslenkung bei Krafteinwirkung
142
144
Bestimmung der Verkippung aus Simulationsergebnis
Verkippung ist Null
Verkippung ungleich Null
Veränderung mindestens eines bewegungsrelevanten Parameters
148
Neue FEM Simulation der Auslenkung bei Krafteinwirkung
150
152
Bestimmung der Verkippung aus Simulationsergebnis
Verkippung ist Null
Verkippung ungleich Null
Fertiger Entwurf für verkippungsfreien Aktuator
146
Interpolation oder Extrapolation der bisherigen Ergebnisse auf Zielwert Null Verkippung
154

FIG 6

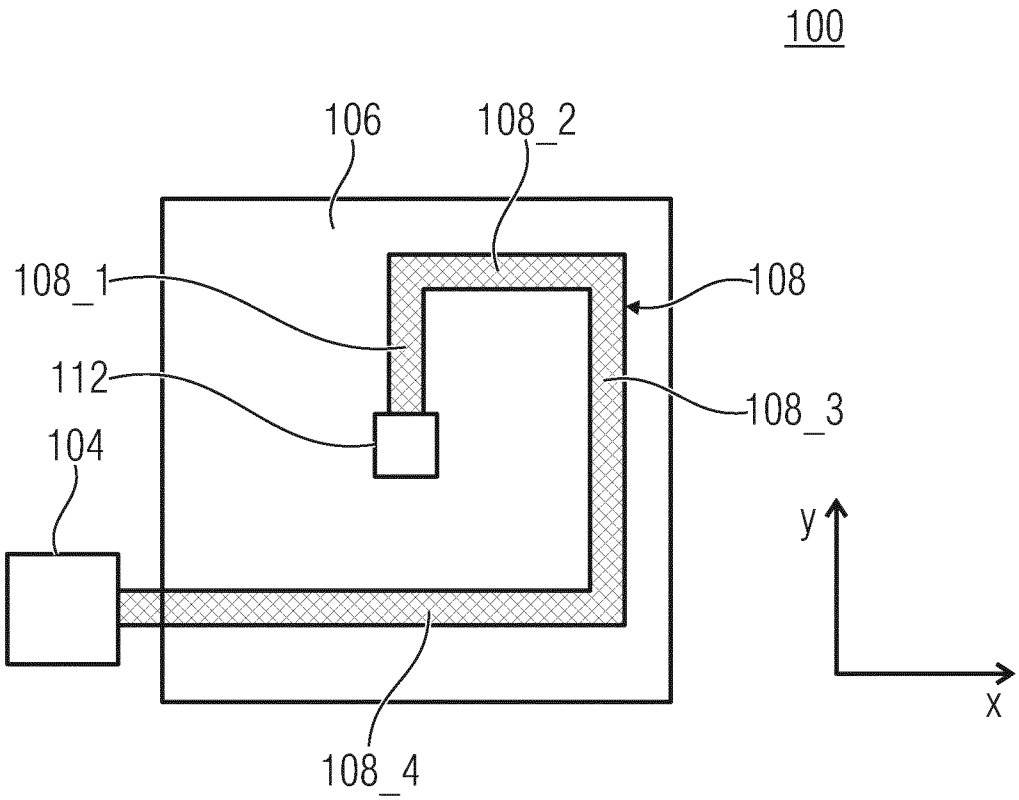


FIG 7

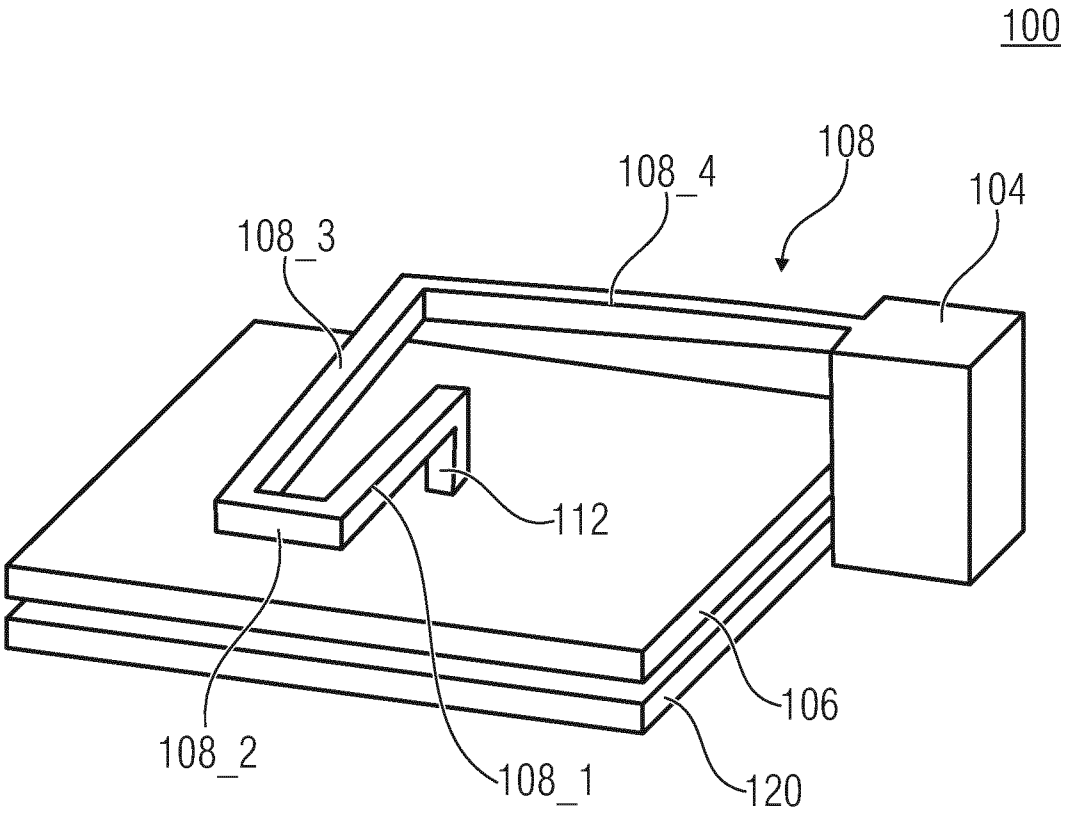


FIG 8A

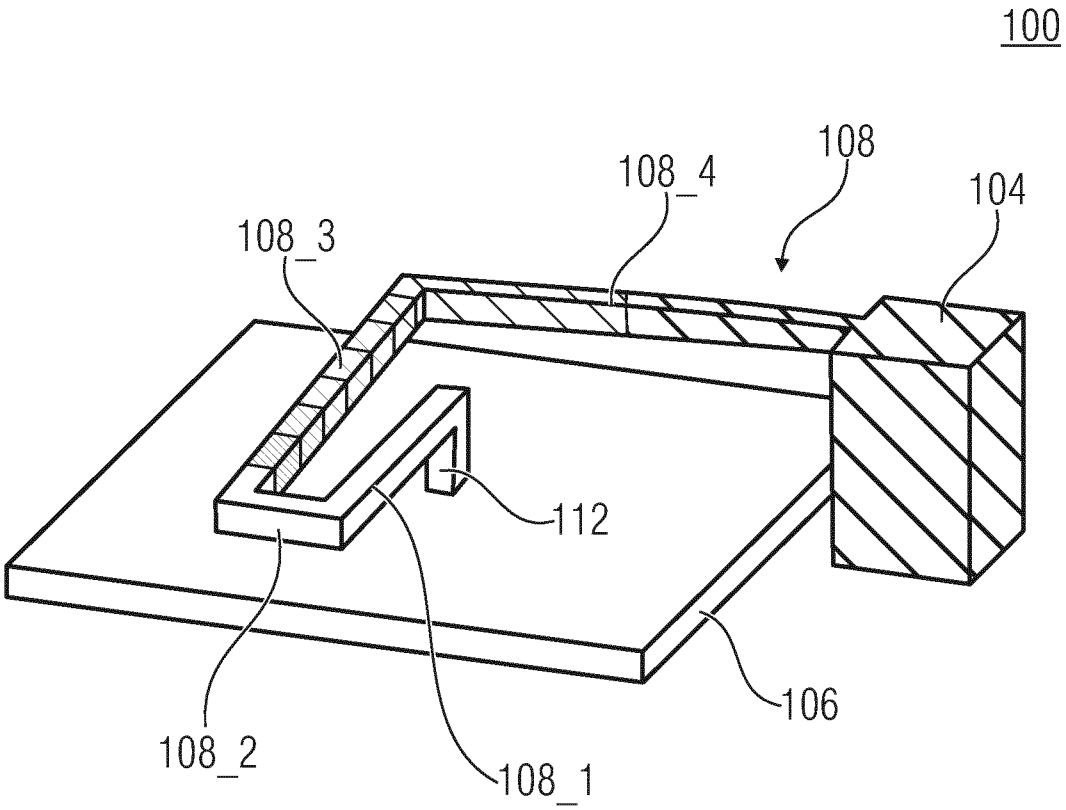


FIG 8B

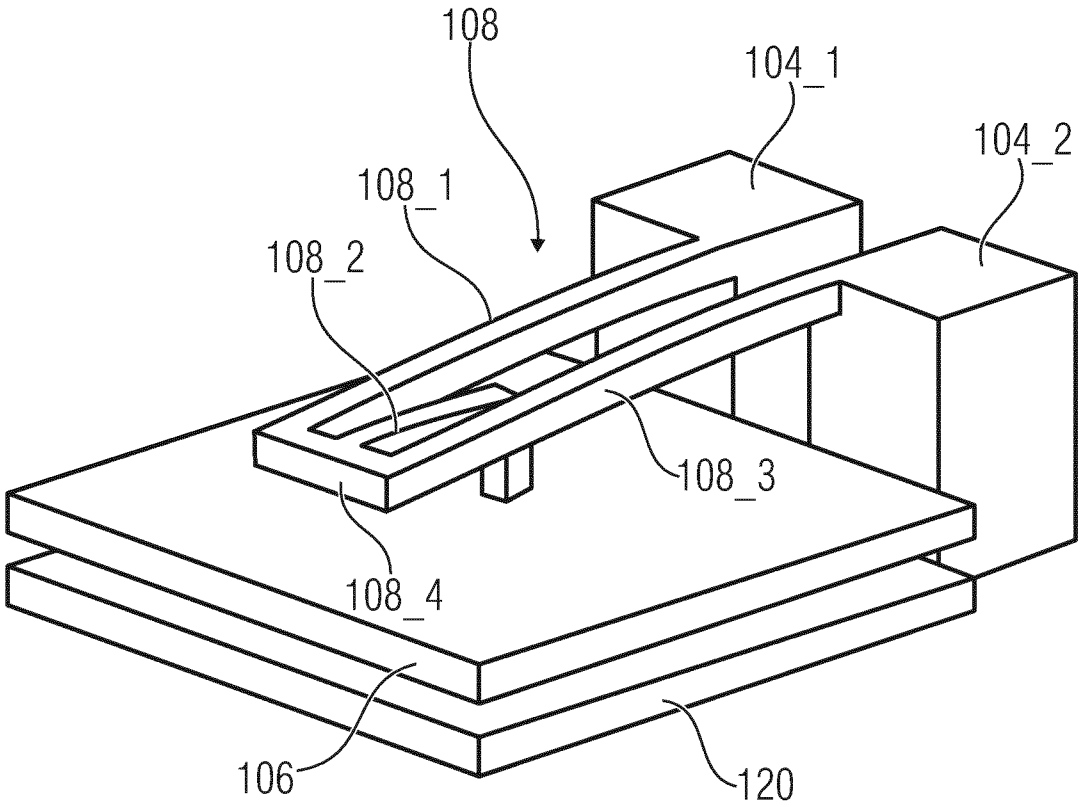


FIG 9A

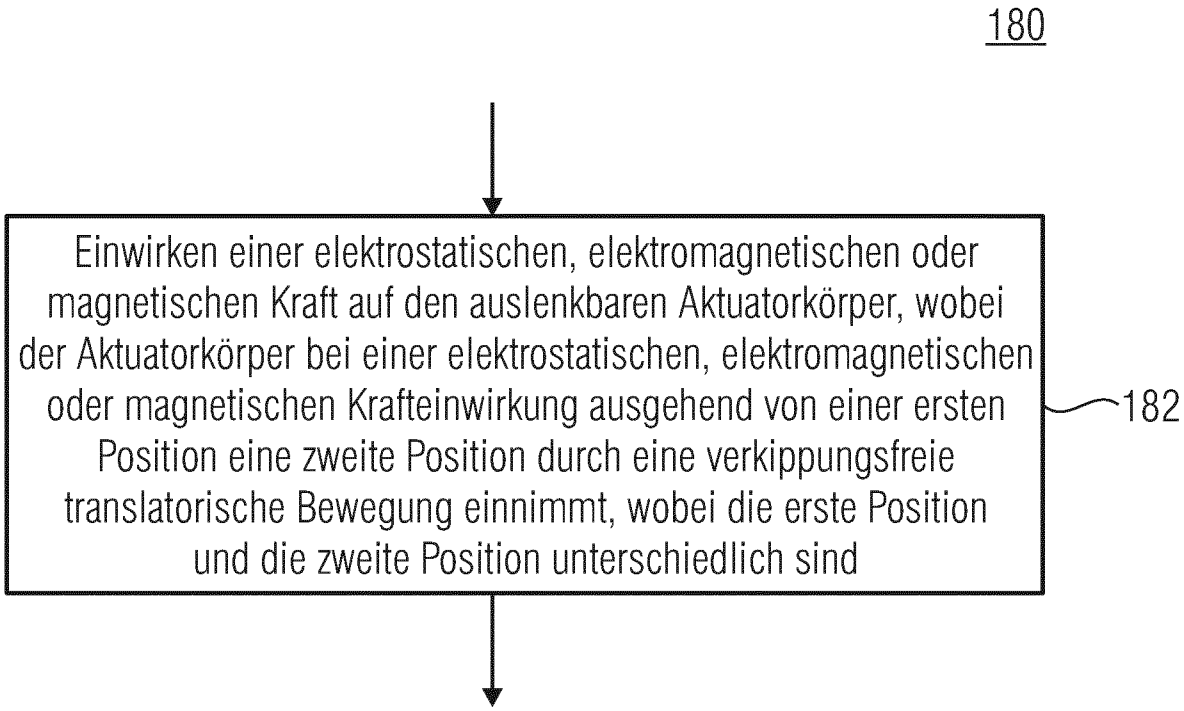

180
Einwirken einer elektrostatischen, elektromagnetischen oder magnetischen Kraft auf den auslenkbaren Aktuatorkörper, wobei der Aktuatorkörper bei einer elektrostatischen, elektromagnetischen oder magnetischen Krafteinwirkung ausgehend von einer ersten Position eine zweite Position durch eine verkippungsfreie translatorische Bewegung einnimmt, wobei die erste Position und die zweite Position unterschiedlich sind
182

FIG 10

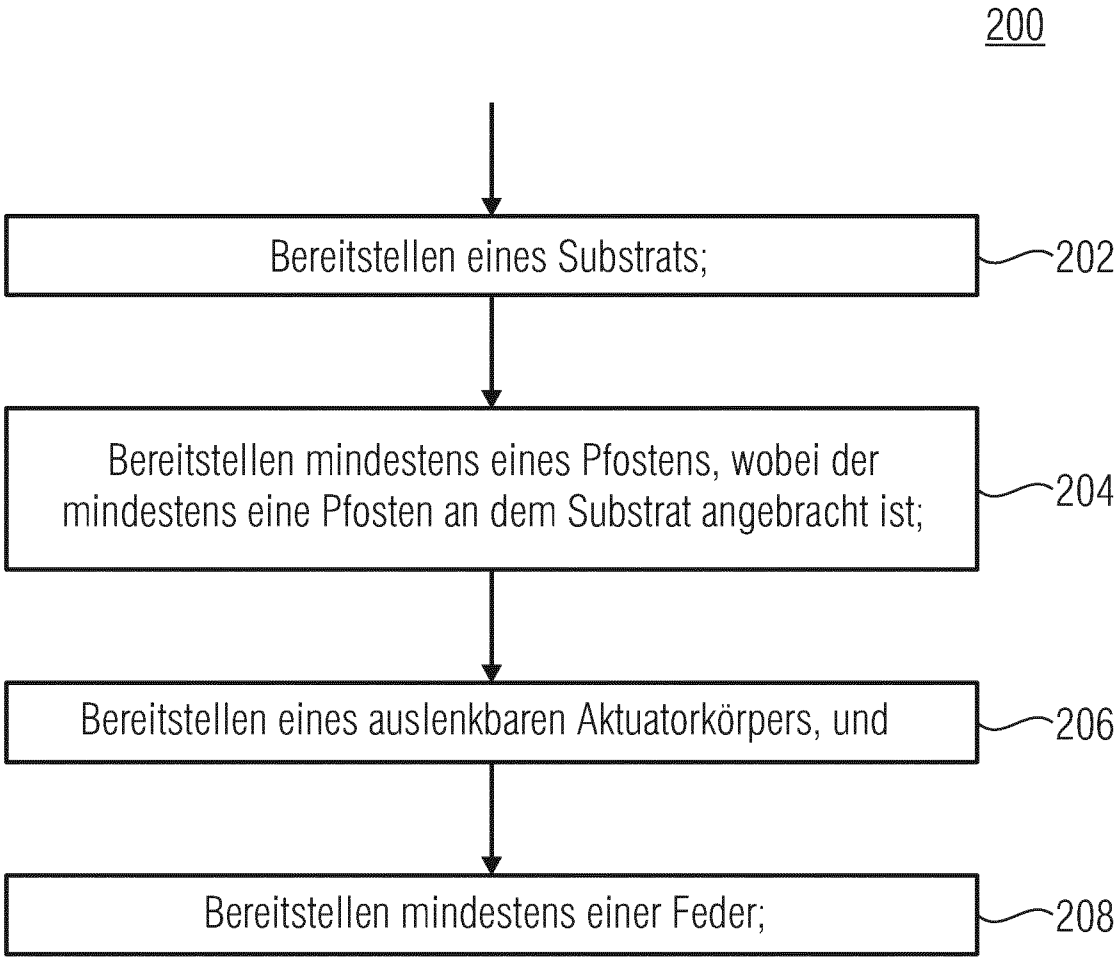

200
Bereitstellen eines Substrats;
202
Bereitstellen mindestens eines Pfostens, wobei der mindestens eine Pfosten an dem Substrat angebracht ist;
204
Bereitstellen eines auslenkbaren Aktuatorkörpers, und
206
Bereitstellen mindestens einer Feder;
208

FIG 11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/050465

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G02B26/08 G02F1/01
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 G02F

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 Y A	US 2006/126151 A1 (AKSYUK VLADIMIR A [US] ET AL) 15 June 2006 (2006-06-15) paragraphs [0018], [0019], [0027]; figures 2-4	1-5, 8-13,21, 23,25-28 17,24 19,20,22
X	US 6 384 952 B1 (CLARK RODNEY L [US] ET AL) 7 May 2002 (2002-05-07) column 6, lines 48-58; figures 3,5	1,6,7,18
X	US 2011/080627 A1 (HE SIYUAN [CA] ET AL) 7 April 2011 (2011-04-07) paragraph [0025]; figure 2	1,14-16, 18
Y	US 2007/176719 A1 (LEVITAN JEREMY A [US] ET AL) 2 August 2007 (2007-08-02) paragraph [0044]; figure 16	17

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] 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
10 March 2016	18/03/2016

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Verdrager, Véronique

1

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/050465

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 201 22 618 U1 (REFLECTIVITY INC [US]) 23 November 2006 (2006-11-23) figure 7 -----	24

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2016/050465

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2006126151 A1	15-06-2006	NONE	
US 6384952 B1	07-05-2002	US 6384952 B1	07-05-2002
		US 2002109894 A1	15-08-2002
US 2011080627 A1	07-04-2011	EP 2336082 A2	22-06-2011
		US 2011080627 A1	07-04-2011
US 2007176719 A1	02-08-2007	AT 328300 T	15-06-2006
		AT 441129 T	15-09-2009
		AU 5138201 A	23-10-2001
		DE 60120144 T2	26-10-2006
		EP 1272888 A2	08-01-2003
		EP 1596240 A2	16-11-2005
		JP 4743742 B2	10-08-2011
		JP 2003530710 A	14-10-2003
		US 7064879 B1	20-06-2006
		US 2006072224 A1	06-04-2006
		US 2007176719 A1	02-08-2007
		WO 0178096 A2	18-10-2001
DE 20122618 U1	23-11-2006	AT 354814 T	15-03-2007
		AU 8101901 A	18-02-2002
		CN 1444738 A	24-09-2003
		CN 1567018 A	19-01-2005
		CN 1567019 A	19-01-2005
		CN 1567020 A	19-01-2005
		CN 1567021 A	19-01-2005
		DE 20122370 U1	19-05-2005
		DE 20122371 U1	19-05-2005
		DE 20122372 U1	19-05-2005
		DE 20122373 U1	19-05-2005
		DE 20122614 U1	14-09-2006
		DE 20122615 U1	14-09-2006
		DE 20122616 U1	14-09-2006
		DE 20122617 U1	14-09-2006
		DE 20122618 U1	23-11-2006
		DE 60126849 T2	08-11-2007
		EP 1315993 A2	04-06-2003
		JP 3768514 B2	19-04-2006
		JP 3889705 B2	07-03-2007
		JP 3889757 B2	07-03-2007
		JP 3889759 B2	07-03-2007
		JP 2004506230 A	26-02-2004
		JP 2005099793 A	14-04-2005
		JP 2005122145 A	12-05-2005
		JP 2005122146 A	12-05-2005
		JP 2006178447 A	06-07-2006
		KR 20030036665 A	09-05-2003
		WO 0212925 A2	14-02-2002

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2016/050465

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G02B26/08 G02F1/01
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G02B G02F

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 Y A	US 2006/126151 A1 (AKSYUK VLADIMIR A [US] ET AL) 15. Juni 2006 (2006-06-15) Absätze [0018], [0019], [0027]; Abbildungen 2-4	1-5, 8-13,21, 23,25-28 17,24 19,20,22
X	US 6 384 952 B1 (CLARK RODNEY L [US] ET AL) 7. Mai 2002 (2002-05-07) Spalte 6, Zeilen 48-58; Abbildungen 3,5	1,6,7,18
X	US 2011/080627 A1 (HE SIYUAN [CA] ET AL) 7. April 2011 (2011-04-07) Absatz [0025]; Abbildung 2	1,14-16, 18
Y	US 2007/176719 A1 (LEVITAN JEREMY A [US] ET AL) 2. August 2007 (2007-08-02) Absatz [0044]; Abbildung 16	17

-/--

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] 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
10. März 2016	18/03/2016

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Verdrager, Véronique

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2016/050465

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	DE 201 22 618 U1 (REFLECTIVITY INC [US]) 23. November 2006 (2006-11-23) Abbildung 7 -----	24

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2016/050465

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2006126151 A1	15-06-2006	KEINE	
US 6384952 B1	07-05-2002	US 6384952 B1	07-05-2002
		US 2002109894 A1	15-08-2002
US 2011080627 A1	07-04-2011	EP 2336082 A2	22-06-2011
		US 2011080627 A1	07-04-2011
US 2007176719 A1	02-08-2007	AT 328300 T	15-06-2006
		AT 441129 T	15-09-2009
		AU 5138201 A	23-10-2001
		DE 60120144 T2	26-10-2006
		EP 1272888 A2	08-01-2003
		EP 1596240 A2	16-11-2005
		JP 4743742 B2	10-08-2011
		JP 2003530710 A	14-10-2003
		US 7064879 B1	20-06-2006
		US 2006072224 A1	06-04-2006
		US 2007176719 A1	02-08-2007
		WO 0178096 A2	18-10-2001
DE 20122618 U1	23-11-2006	AT 354814 T	15-03-2007
		AU 8101901 A	18-02-2002
		CN 1444738 A	24-09-2003
		CN 1567018 A	19-01-2005
		CN 1567019 A	19-01-2005
		CN 1567020 A	19-01-2005
		CN 1567021 A	19-01-2005
		DE 20122370 U1	19-05-2005
		DE 20122371 U1	19-05-2005
		DE 20122372 U1	19-05-2005
		DE 20122373 U1	19-05-2005
		DE 20122614 U1	14-09-2006
		DE 20122615 U1	14-09-2006
		DE 20122616 U1	14-09-2006
		DE 20122617 U1	14-09-2006
		DE 20122618 U1	23-11-2006
		DE 60126849 T2	08-11-2007
		EP 1315993 A2	04-06-2003
		JP 3768514 B2	19-04-2006
		JP 3889705 B2	07-03-2007
		JP 3889757 B2	07-03-2007
		JP 3889759 B2	07-03-2007
		JP 2004506230 A	26-02-2004
		JP 2005099793 A	14-04-2005
		JP 2005122145 A	12-05-2005
		JP 2005122146 A	12-05-2005
		JP 2006178447 A	06-07-2006
		KR 20030036665 A	09-05-2003
		WO 0212925 A2	14-02-2002