

(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
02. Januar 2020 (02.01.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/002382 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
B81B 3/00 (2006.01) *G01C 19/5733* (2012.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/066918

(22) Internationales Anmeldedatum:
25. Juni 2019 (25.06.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2018 210 487.5
27. Juni 2018 (27.06.2018) DE

(71) Anmelder: **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE]; Post-
fach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder: **CARDANOBILO, Stefano**; Julianenweg 24,
72770 Reutlingen (DE). **PUTNIK, Martin**; Niedernauer
Strasse 20/1, 72108 Rottenburg Am Neckar (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,
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,

(54) Title: ELECTRODE ARRANGEMENT FOR A MICRO-ELECTRO-MECHANICAL SYSTEM, MICRO-ELEC-
TRO-MECHANICAL SYSTEM, AND METHOD FOR OPERATING A MICRO-ELECTRO-MECHANICAL SYSTEM

(54) Bezeichnung: ELEKTRODENANORDNUNG FÜR EIN MIKROELEKTROMECHANISCHES SYSTEM,
MIKROELEKTROMECHANISCHES SYSTEM, VERFAHREN ZUM BETRIEB EINES MIKROELEKTROMECHANISCHEN
SYSTEMS

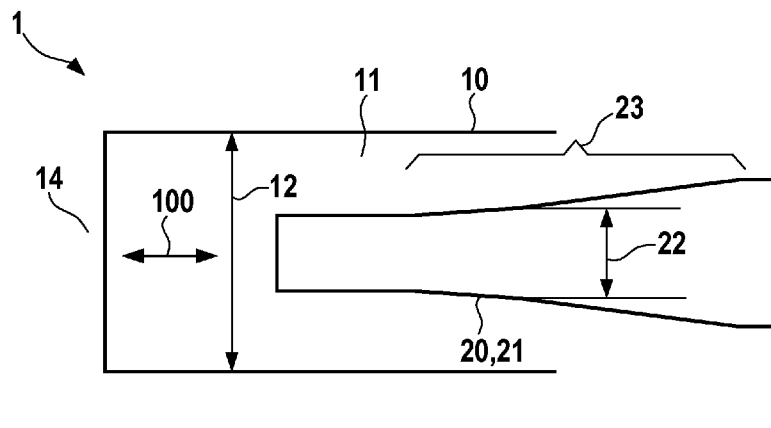


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to an electrode arrangement for a micro-electro-mechanical system, comprising a first electrode structure and a second electrode structure, wherein the first electrode structure has a receptacle, the second electrode structure has a finger, and the first and second electrode structures are designed for relative movement with respect to one another along an axis of movement, characterised in that a first width of the receptacle perpendicular to the axis of movement tapers along the axis of movement at least in a first region, and/or in that a second width of the finger perpendicular to the axis of movement tapers along the axis of movement at least in a second region.

(57) Zusammenfassung: Elektrodenanordnung für ein mikroelektromechanisches System, umfassend eine erste Elektrodenstruktur und eine zweite Elektrodenstruktur, wobei die erste Elektrodenstruktur eine Aufnahme aufweist, wobei die zweite Elektrodenstruktur



WO 2020/002382 A1

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)

einen Finger aufweist, wobei die erste und zweite Elektrodenstruktur relativ zueinander zu einer Relativbewegung entlang einer Bewegungsachse ausgebildet sind, dadurch gekennzeichnet, dass sich eine zur Bewegungsachse senkrechte erste Breite der Aufnahme entlang der Bewegungsachse zumindest in einem ersten Bereich verjüngt und/oder dass sich eine zur Bewegungsachse senkrechte zweite Breite des Fingers entlang der Bewegungsachse zumindest in einem zweiten Bereich verjüngt.

Beschreibung

5 Titel

Elektrodenanordnung für ein mikroelektromechanisches System,
mikroelektromechanisches System, Verfahren zum Betrieb eines
mikroelektromechanischen Systems

10 Stand der Technik

Die Erfindung betrifft eine Elektrodenanordnung für ein
mikroelektromechanisches System, umfassend eine erste
Elektrodenstruktur und eine zweite Elektrodenstruktur, wobei die erste
15 Elektrodenstruktur eine Aufnahme aufweist, wobei die zweite
Elektrodenstruktur einen Finger aufweist, wobei die erste und zweite
Elektrodenstruktur relativ zueinander zu einer Relativbewegung entlang
einer Bewegungsachse ausgebildet sind, sowie ein
mikroelektromechanisches System und ein Verfahren zum Betrieb eines
20 mikroelektromechanischen Systems.

Derartige Elektrodenanordnungen umfassen typischerweise zwei
Kammstrukturen, die ineinandergreifen und relativ zueinander beweglich
ausgebildet sind, so dass sich die Kapazität zwischen den Kammstrukturen
25 ändern kann. Die Kammstrukturen werden dabei meist planparallel gebaut,
um einen linearen Zusammenhang zwischen Kapazität und Eintauchtiefe
zu erzielen. Die elektrische Kraft ist dahingehend konstant über die
Eintauchtiefe. Solche Kammstrukturen werden in vielen Bereichen als
elektrostatische Aktoren und Detektoren eingesetzt, beispielsweise in
30 mikromechanischen Drehratesensoren für die Erzeugung und Messung der
Antriebsschwingung.

Viele mikromechanische Systeme bzw. mikroelektromechanische Systeme
(MEMS) weisen jedoch (intrinsische) Nichtlinearitäten in ihren
35 Schwingungen auf. Die Antriebschwingung von Drehratesensoren umfasst

beispielsweise häufig eine positive (versteifende) Nichtlinearität. In vielen Fällen ist eine (gewünschte) vollständige Reduktion dieser Nichtlinearität mittels Optimierung der Antriebsstruktur aufgrund der Baufläche des Sensors nicht möglich oder zumindest sehr aufwendig.

5

Offenbarung der Erfindung

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, Nichtlinearitäten in mikroelektromechanischen Systemen, beispielsweise für Antriebsschwingungen von Drehratensensoren, effizient und/oder kostensparend zu reduzieren.

10

Die erfindungsgemäße Elektrodenanordnung für ein mikroelektromechanisches System, umfassend eine erste Elektrodenstruktur und eine zweite Elektrodenstruktur, gemäß dem Hauptanspruch hat gegenüber dem Stand der Technik den Vorteil, dass mithilfe der geometrischen Ausgestaltung des Fingers und/oder der Aufnahme, eine Reduzierung von Nichtlinearitäten von Schwingungen erzielt werden kann. Erfindungsgemäß ist es vorteilhafterweise möglich, dass sich eine zur Bewegungsachse senkrechte erste Breite der Aufnahme entlang der Bewegungsachse zumindest in einem ersten Bereich der Aufnahme verjüngt und/oder dass sich eine zur Bewegungsachse senkrechte zweite Breite des Fingers entlang der Bewegungsachse zumindest in einem zweiten Bereich des Fingers verjüngt. Entsprechend können nicht-parallele Finger bzw. Aufnahmen verwendet werden. Hierdurch ist es möglich, dass der Kapazitätsverlauf eine nicht-lineare Funktion der Eindringtiefe (des Fingers in die Aufnahme) ist. Somit können beispielsweise Nichtlinearitäten in einer Antriebschwingung eines Sensors, insbesondere eines Drehratensensors, ausgeglichen werden, ohne dass zusätzliche Elektroden zur Kompensation verwendet werden müssen.

15

20

25

30

Mit aus dem Stand der Technik bekannten Anordnungen mit parallelen Fingern bzw. Aufnahmen sind derartige Vorteile nicht erzielbar. Bei parallelen Fingern bzw. Aufnahmen ist die Kapazität eine lineare Funktion der Eintauchtiefe des Fingers in die Aufnahme. Entsprechend können mit

35

solchen bekannten Elektrodenanordnungen Nichtlinearitäten nicht kompensiert werden und es müssen beispielsweise zusätzliche Kompensationselektroden verwendet werden, was zusätzlichen Bauraum benötigt und sich entsprechend negativ auf die Miniaturisierung und die Kosten auswirken kann.

Erfindungsgemäß ist es denkbar, dass eine der ersten und zweiten Elektrodenstrukturen unbeweglich mit einem Substrat verbunden ist und die jeweils andere mit einer beweglichen Struktur/Masse eines mikroelektromechanischen Systems.

Vorteilhafte Weiterbildungen und Ausführungsformen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Dadurch, dass der Finger zumindest teilweise in der Aufnahme angeordnet ist und relativ zur Aufnahme entlang der Bewegungsachse bewegbar ist, ist es gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung in vorteilhafter Weise möglich, dass sich eine Eintauchtiefe des Fingers in die Aufnahme ändern kann, was eine nichtlineare Kapazitätsänderung zwischen der ersten und zweiten Elektrostruktur bedingen kann.

Dadurch, dass sich die erste Breite der Aufnahme im ersten Bereich in Richtung eines zweiten Hauptkörpers der zweiten Elektrodenstruktur verjüngt und/oder dass sich die zweite Breite des Fingers im zweiten Bereich entlang der Bewegungsachse in Richtung des zweiten Hauptkörpers verjüngt, ist es gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung in vorteilhafter Weise möglich, dass, negative (erweichende) Nichtlinearitäten von Schwingungen kompensierbar sind.

Dadurch, dass sich die erste Breite der Aufnahme im ersten Bereich entlang der Bewegungsachse in Richtung eines ersten Hauptkörpers der ersten Elektrodenstruktur verjüngt und/oder dass sich die zweite Breite des Fingers im zweiten Bereich entlang der Bewegungsachse in Richtung des ersten Hauptkörpers verjüngt, ist es gemäß einer Ausführungsform der

vorliegenden Erfindung möglich, dass der positive (versteifende) Nichtlinearitäten einer Schwingung kompensierbar sind.

Dadurch, dass die erste und zweite Elektrodenstruktur und insbesondere die Aufnahme und der Finger, derart ausgebildet sind, dass sich eine elektrische Kapazität zwischen der ersten und zweiten Elektrodenstruktur bei der Relativbewegung nichtlinear ändert, ist es gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung möglich, dass auf zusätzliche Elektrodenanordnungen zur Kompensation von Nichtlinearitäten vorteilhaft verzichtet werden kann.

Bei bekanntem Kapazitätsverlauf kann die elektrische Kraft als Gradient der Kapazität bestimmt werden. Demnach ist, bei konstant angelegter Spannung, die elektrische Kraft proportional zur Ableitung der Kapazität nach der Bewegungsrichtung x der Relativbewegung (entlang der Bewegungsachse) (Formel (1)).

$$F_{el}(x) \sim \frac{\partial C(x)}{\partial x}$$

(1)

Eine Verjüngung des Fingers und/oder der Aufnahme führt zu einem Kapazitätsverlauf welcher mit einem entsprechendem Polynom approximiert werden kann. Dadurch lassen sich elektrische Kräfte erzeugen, welche z.B. quadratische und kubische Nichtlinearitäten der Mechanik kompensieren (Formel (2)).

$$F_{el}(x) \sim \frac{\partial C(x)}{\partial x} = \frac{\partial (ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx + e)}{\partial x} = 4ax^3 + 3bx^2 + 2cx + d$$

(2)

Entsprechend lassen sich auch weitere nichtlineare Kraftterme (höherer Ordnung) durch den Kapazitätsverlauf erzeugen und kompensieren.

Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist es denkbar, dass verjüngte Strukturen (Finger und/oder Aufnahmen) in eine Antriebs-

und/oder Detektionsstruktur eines MEMS integriert werden. Hierdurch ist es vorteilhaft möglich, dass die elektrische Kraft aufgrund der elektrostatischen Mitkoppelung immer in Phase mit der Antriebsschwingung ist. Dadurch lässt sich eine optimale Kompensationsfähigkeit über einen großen Auslenkungsbereich im mikroelektromechanischen System (z.B. im Drehratensensor) erzielen. Des Weiteren kann über die Mitkoppelspannung die Kompensation fein abgestimmt werden.

Dadurch, dass die erste Elektrodenstruktur eine Vielzahl von Aufnahmen aufweist, wobei die zweite Elektrodenstruktur eine Vielzahl von Fingern aufweist, können gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfangreiche Elektrodenstrukturen verwendet werden, die zum optimalen Antrieb und/oder zur Detektion von Schwingungen eines MEMS-Bauteils ausgebildet sind. Die verschiedenen Finger und Aufnahme können dabei jeweils die gleiche geometrische Ausbildung haben. Es ist alternativ ebenso denkbar, Aufnahmen und/oder Finger mit verschiedenen geometrischen Ausbildungen zu kombinieren, um die gewünschten Eigenschaften zu erzielen. Beispielsweise könnten einige der zusätzlichen Finger und/oder Aufnahmen parallel ausgebildet sein.

Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein mikroelektromechanisches System, dadurch gekennzeichnet, dass das mikroelektromechanische System eine Elektrodenanordnung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst.

Dadurch, dass die Elektrodenanordnung Teil eines Aktors oder Detektors des mikroelektromechanischen Systems ist, ist es gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung möglich, verschiedenste MEMS-Bauteile mit einer Elektrodenanordnung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung auszustatten.

Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zum Betrieb eines mikroelektromechanischen Systems nach einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, wobei die erste und zweite

Elektrodenstruktur relativ zueinander entlang einer Bewegungsachse die Relativbewegung ausführen.

5 Dadurch, dass sich die elektrische Kapazität zwischen der ersten und zweiten Elektrodenstruktur bei der Relativbewegung nichtlinear ändert, ist es gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung möglich, dass Nichtlinearitäten einer Schwingung des mikroelektromechanischen Systems ausgeglichen werden können, wobei insbesondere auf zusätzliche Elektroden zur Kompensation von Nichtlinearitäten vorteilhaft verzichtet
10 werden kann.

Das mikroelektromechanische System nach einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung und das Verfahren zum Betrieb eines mikroelektromechanischen Systems nach einer Ausführungsform der
15 vorliegenden Erfindung haben gegenüber dem Stand der Technik die bereits im Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Elektrodenanordnung oder einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Elektrodenanordnung beschriebenen Vorteile.

20 Die erfindungsgemäße Elektrodenanordnung hat gegenüber dem Stand der Technik die bereits im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen mikroelektromechanischen System, dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Betrieb eines mikroelektromechanischen Systems, einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen mikroelektromechanischen
25 Systems oder einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Betrieb eines mikroelektromechanischen Systems beschriebenen Vorteile.

30 Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

35 **Figur 1** zeigt eine schematische Darstellung einer Elektrodenanordnung gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Figur 2 zeigt eine schematische Darstellung einer Elektrodenanordnung gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

5 **Figur 3** zeigt eine schematische Darstellung einer Elektrodenanordnung gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Figur 4 zeigt eine schematische Darstellung einer Elektrodenanordnung gemäß einer vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

10 **Figur 5** zeigt eine schematische Darstellung einer Elektrodenanordnung gemäß einer fünften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Ausführungsformen der Erfindung

15 In den verschiedenen Figuren sind gleiche Teile stets mit den gleichen Bezugszeichen versehen und werden daher in der Regel auch jeweils nur einmal benannt bzw. erwähnt.

20 In **Figur 1** ist eine schematische Darstellung einer Elektrodenanordnung 1 gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gezeigt. Die Elektrodenanordnung 1 ist Teil eines mikroelektromechanischen Systems. Sie umfasst eine erste Elektrodenstruktur 10 und eine zweite Elektrodenstruktur 20. Eine der ersten und zweiten Elektrodenstrukturen
25 10, 20 ist beispielsweise fest mit einem Substrat verbunden und die andere Elektrodenstruktur 10, 20 ist Teil eines im Vergleich zum Substrat beweglich Schwingkörpers. Entsprechend können die erste und zweite Elektrodenstruktur 10, 20 eine Relativbewegung zueinander entlang einer Bewegungsachse 100 ausführen. Während einer solchen Relativbewegung
30 kann ein Finger 21 der zweiten Elektrodenstruktur 20 tiefer in eine Aufnahme 11 der ersten Elektrodenstruktur 10 eindringen oder weiter aus der Aufnahme 11 herausbewegt werden. Es ist beispielsweise denkbar, dass die Bewegungsachse 100 mit der Antriebsbewegungsachse des mikroelektromechanischen Systems zusammenfällt. Die Bewegungsachse
35 100 ist typischerweise zumindest im Wesentlichen parallel zu einer

Oberfläche des Substrats ausgebildet. Senkrecht zur Bewegungsachse 100 (und parallel zur Substratoberfläche) weist die Aufnahme 11 eine erste Breite 12 auf. Die erste Breite 12 ist dabei über die gesamte Ausdehnung der ersten Aufnahme 11 (entlang der Bewegungsachse 100) konstant. Der Finger 21 weist senkrecht zur Bewegungsachse 100 (und parallel zur Substratoberfläche) eine zweite Breite 22 auf. Über einen zweiten Bereich 23 des Fingers 21 verjüngt sich die zweite Breite 22 des Fingers dabei in die Eintauchrichtung (des Fingers) entlang der Bewegungsachse 100 und somit in Richtung eines ersten Hauptkörpers 14 der ersten Elektrodenstruktur 1. Der zweite Bereich 23 erstreckt sich weit über die Hälfte der gesamten Ausdehnung des Fingers 21 entlang der Bewegungsachse 100. Auf dem restlichen Bereich des Fingers 21 bleibt die zweite Breite 23 des Fingers 21 konstant. Verschiedene andere Geometrien sind ebenso denkbar, beispielsweise könnte der zweite Bereich 23 eine oder mehrere Unterbrechungen aufweisen, in denen die zweite Breite 22 konstant bleibt. Durch die Verjüngung des Fingers 21 ist die Änderung der Kapazität zwischen der ersten und zweiten Elektrodenstruktur 10, 20 in Abhängigkeit von der Eintauchtiefe (entlang der Bewegungsachse 100) nichtlinear. Insbesondere können somit mit der in Figur 1 dargestellten Ausführungsform versteifende Nichtlinearitäten einer Antriebs-/Detektionsschwingung kompensiert werden.

In **Figur 2** ist eine schematische Darstellung einer Elektrodenanordnung 1 gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gezeigt. Im Gegensatz zur ersten Ausführungsform (Figur 1) ist die zweite Breite 22 des Fingers 21 über die gesamte Erstreckung des Fingers 21 zumindest im Wesentlichen konstant. Die erste Breite 12 der Aufnahme 11 hingegen verjüngt sich in einem ersten Bereich 13 entlang der Bewegungsachse 100 in Richtung des ersten Hauptkörpers 14. Durch diese Verjüngung der Aufnahme 11 ist die Änderung der Kapazität zwischen der ersten und zweiten Elektrodenstruktur 10, 20 in Abhängigkeit von der Eintauchtiefe (entlang der Bewegungsachse 100) nichtlinear. Insbesondere können somit mit der in Figur 2 dargestellten Ausführungsform versteifende Nichtlinearitäten einer Antriebs-/Detektionsschwingung kompensiert werden.

In **Figur 3** ist eine schematische Darstellung einer Elektrodenanordnung 1 gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gezeigt. Bei der dritten Ausführungsform verjüngt sich die zweite Breite 22 des Finger 21 über den zweiten Bereich 23 entgegen der Eintauchrichtung des Fingers 21 entlang der Bewegungsachse 100. Entsprechend verringert sich die zweite Breite 22 des Fingers 21 im zweiten Bereich 23 in Richtung des zweiten Hauptkörpers 24 der zweiten Elektrodenstruktur 20. Der zweite Bereich 23 erstreckt sich weit über die Hälfte der gesamten Ausdehnung des Fingers 21 entlang der Bewegungsachse 100. Auf dem restlichen Bereich bleibt die zweite Breite 23 des Fingers 21 konstant.

In **Figur 4** ist eine schematische Darstellung einer Elektrodenanordnung 1 gemäß einer vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gezeigt. Im Gegensatz zur dritten Ausführungsform (Figur 3) ist die zweite Breite 22 des Fingers 21 über die gesamte Erstreckung des Fingers 21 zumindest im Wesentlichen konstant. Die erste Breite 12 der Aufnahme 11 hingegen verjüngt sich in einem ersten Bereich 13 entlang der Bewegungsachse 100 in Richtung des zweiten Hauptkörpers 24.

Mithilfe der in den Figuren 3 und 4 gezeigten Ausführungsformen können somit erweichende (negative) nichtlineare Effekte einer Antriebs-/Detektionsschwingung kompensiert werden.

Typischerweise umfasst die erste Elektrodenstruktur 10 eine Vielzahl von Aufnahmen 11, die am ersten Hauptkörper 14 der ersten Elektrodenstruktur 10 nebeneinander angebracht sind. Entsprechend umfasst die zweite Elektrodenstruktur 20 eine Vielzahl von Fingern 21, die an einem zweiten Hauptkörper 24 der zweiten Elektrodenstruktur 20 angebracht sind und jeweils in eine Aufnahme 11 einbringbar sind.

In **Figur 5** ist eine schematische Darstellung einer Elektrodenanordnung 1 gemäß einer fünften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gezeigt. Wie in Figur 5 dargestellt, können auch Finger 21 und Aufnahmen 11 miteinander kombiniert werden, die sich jeweils verjüngen. In dieser

beispielhaften Ausführungsform verjüngt sich die erste Breite 12 der Aufnahme 11 entlang der Bewegungsachse 100 in Richtung eines ersten Hauptkörpers 14 der ersten Elektrodenstruktur 1 (beispielsweise über die gesamte Länge der Aufnahme 11 oder alternativ nur in einem ersten Bereich 13). Gleichzeitig verjüngt sich die zweite Breite 22 des Fingers 21 in Richtung des ersten Hauptkörpers 14 (beispielsweise über die gesamte Länge des Fingers oder alternativ nur in einem zweiten Bereichs 23).

Es sind ebenso verschiedenste andere Kombinationen von in den Figuren 1 bis 5 beispielhaft dargestellten Fingern 21 und Aufnahmen 11 denkbar.

Ansprüche

1. Elektrodenanordnung (1) für ein mikroelektromechanisches System,
umfassend eine erste Elektrodenstruktur (10) und eine zweite
5 Elektrodenstruktur (20), wobei die erste Elektrodenstruktur (10) eine
Aufnahme (11) aufweist, wobei die zweite Elektrodenstruktur (20) einen
Finger (21) aufweist, wobei die erste und zweite Elektrodenstruktur (10, 20)
relativ zueinander zu einer Relativbewegung entlang einer
Bewegungsachse (100) ausgebildet sind, dadurch gekennzeichnet, dass
10 sich eine zur Bewegungsachse (100) senkrechte erste Breite (12) der
Aufnahme (11) entlang der Bewegungsachse (100) zumindest in einem
ersten Bereich (13) verjüngt und/oder dass sich eine zur Bewegungsachse
senkrechte zweite Breite (22) des Fingers (21) entlang der
Bewegungsachse (100) zumindest in einem zweiten Bereich (23) verjüngt.
15
2. Elektrodenanordnung (1) nach Anspruch 1, wobei der Finger (21)
zumindest teilweise in der Aufnahme (11) angeordnet ist und relativ zur
Aufnahme (11) entlang der Bewegungsachse (100) bewegbar ist.
- 20 3. Elektrodenanordnung (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei
sich die erste Breite (12) der Aufnahme (11) im ersten Bereich (13) in
Richtung eines zweiten Hauptkörpers (24) der zweiten Elektrodenstruktur
(20) verjüngt und/oder wobei sich die zweite Breite (22) des Fingers (21) im
zweiten Bereich (23) entlang der Bewegungsachse (100) in Richtung des
25 zweiten Hauptkörpers (24) verjüngt.
4. Elektrodenanordnung (1) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei sich
die erste Breite (12) der Aufnahme (11) im ersten Bereich (13) entlang der
Bewegungsachse (100) in Richtung eines ersten Hauptkörpers (14) der
30 ersten Elektrodenstruktur (10) verjüngt und/oder wobei sich die zweite
Breite (22) des Fingers (21) im zweiten Bereich (23) entlang der
Bewegungsachse (100) in Richtung des ersten Hauptkörpers (14) verjüngt.
5. Elektrodenanordnung (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die
35 erste und zweite Elektrodenstruktur (10, 20), und insbesondere die

Aufnahme (11) und der Finger (21), derart ausgebildet sind, dass sich eine elektrische Kapazität zwischen der ersten und zweiten Elektrodenstruktur (10, 20) bei der Relativbewegung nichtlinear ändert.

- 5 6. Elektrodenanordnung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die erste Elektrodenstruktur (10) eine Vielzahl von Aufnahmen (11) aufweist, wobei die zweite Elektrodenstruktur (20) eine Vielzahl von Fingern (21) aufweist.
- 10 7. Mikroelektromechanisches System, dadurch gekennzeichnet, dass das mikroelektromechanische System eine Elektrodenanordnung (1) gemäß einem der vorherigen Ansprüche umfasst.
- 15 8. Mikroelektromechanisches System, nach Anspruch 7, wobei die Elektrodenanordnung (1) Teil eines Aktors oder Detektors des mikroelektromechanischen Systems ist.
- 20 9. Verfahren zum Betrieb eines mikroelektromechanischen Systems nach einem der Ansprüche 7 oder 8, wobei die erste und zweite Elektrodenstruktur (10, 20) relativ zueinander entlang einer Bewegungsachse (100) die Relativbewegung ausführen.
- 25 10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei sich die elektrische Kapazität zwischen der ersten und zweiten Elektrodenstruktur (10, 20) bei der Relativbewegung nichtlinear ändert.

1 / 3

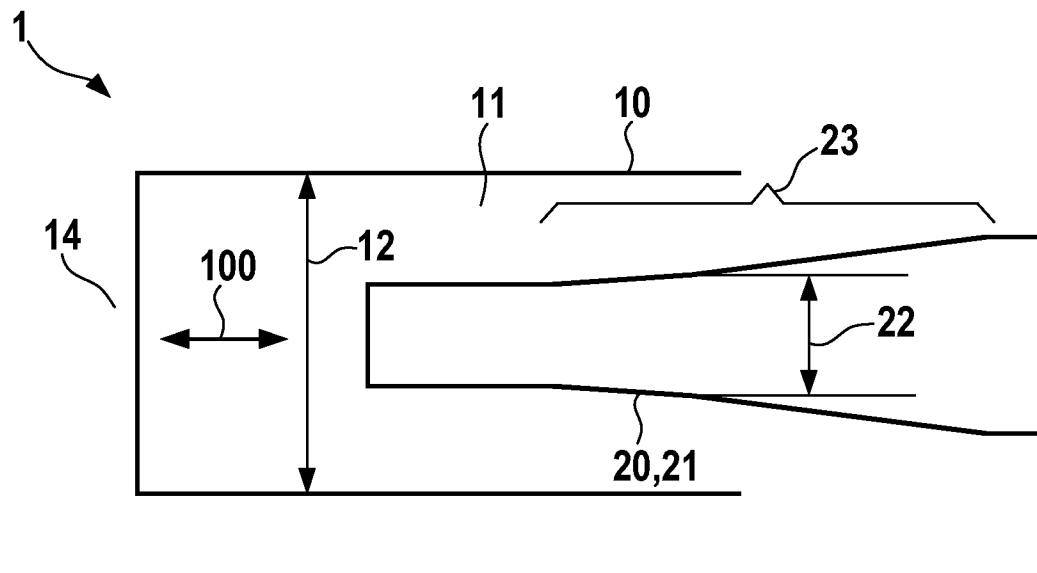


Fig. 1

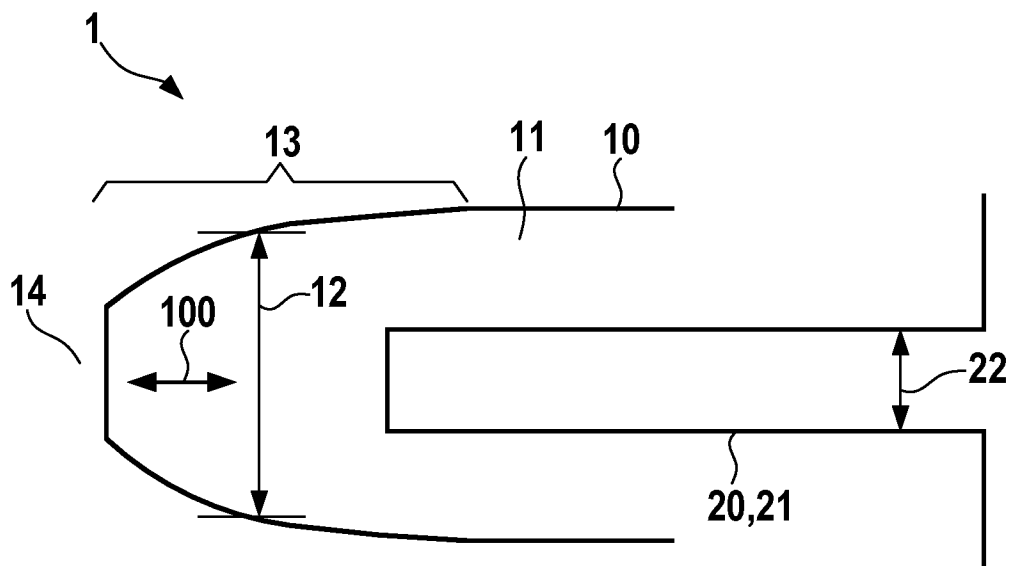


Fig. 2

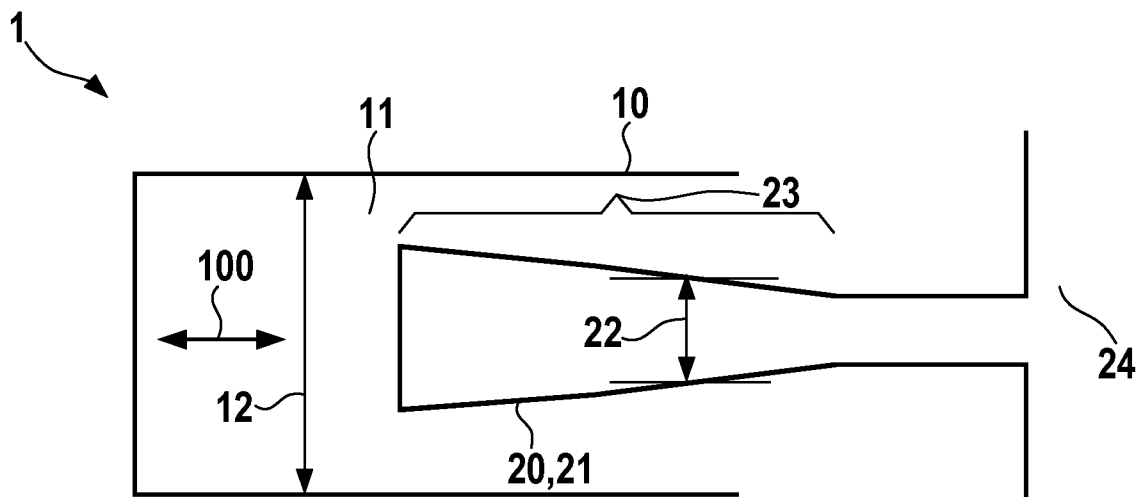


Fig. 3

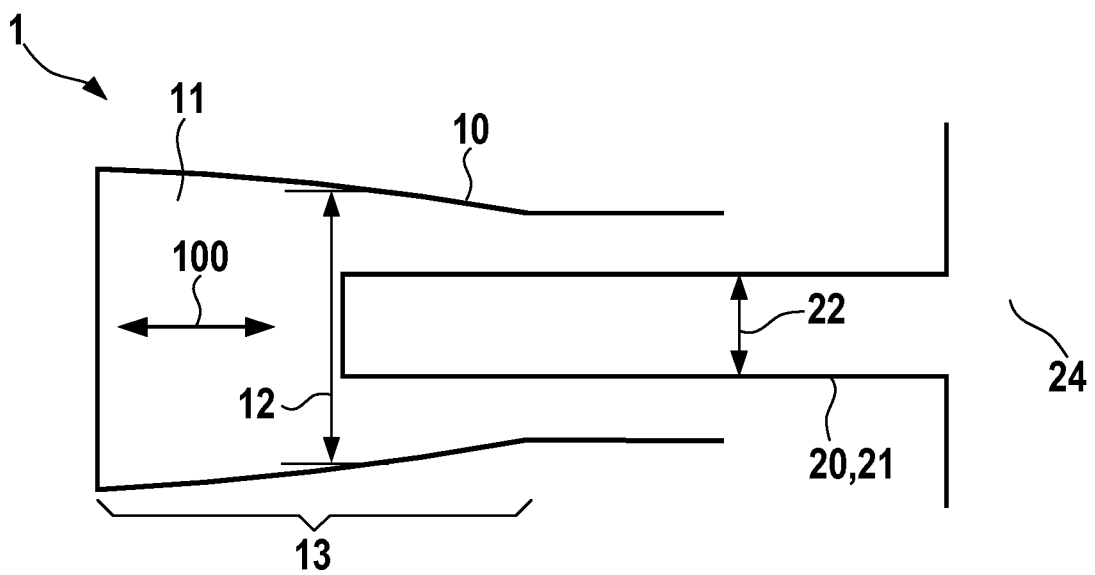


Fig. 4

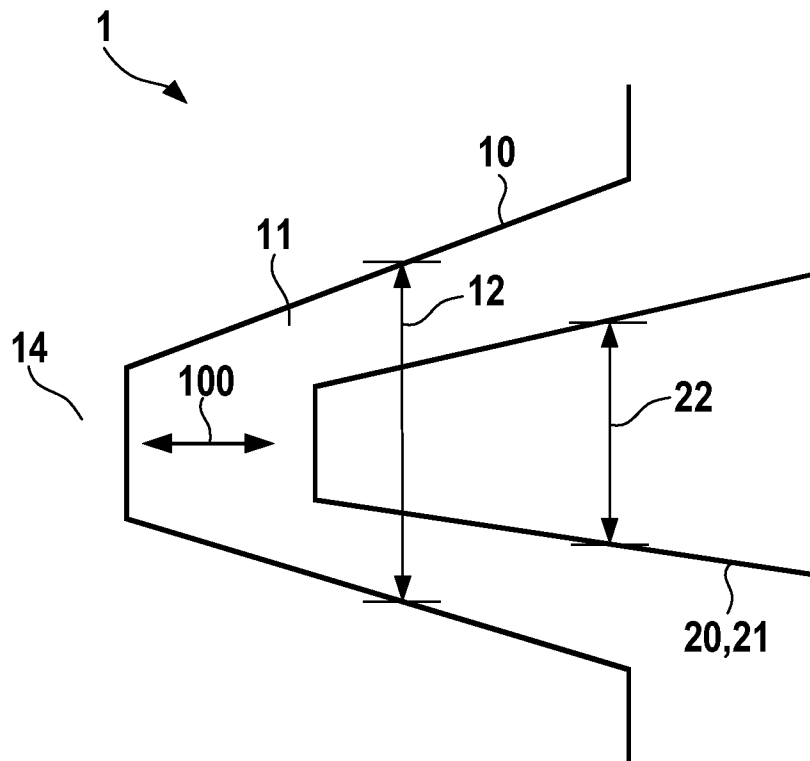


Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/066918

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**B81B 3/00**(2006.01)i; **G01C 19/5733**(2012.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01C; B81B

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	WENJING YE ET AL. "Optimal Shape Design of an Electrostatic Comb Drive in Microelectromechanical Systems" <i>JOURNAL OF MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS, IEEE SERVICE CENTER, US</i> , Vol. 7, No. 1, 01 March 1998 (1998-03-01), ISSN: 1057-7157, XP011034786 the whole document	1,2,4-10
X	US 2001013253 A1 (HASHIMOTO MASATO [JP]) 16 August 2001 (2001-08-16) paragraphs [0003], [0005], [0007], [0085] - [0089]; figures 8-11	1
X	EP 2743639 A1 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]) 18 June 2014 (2014-06-18) paragraphs [0001] - [0002], [0004], [0006], [0079] - [0082]; figures 12-15	3
X	US 2011050251 A1 (FRANKE AXEL [DE] ET AL) 03 March 2011 (2011-03-03) paragraphs [0001], [0034]; figure 5	3
A	US 2010181944 A1 (BAUER WOLFRAM [DE] ET AL) 22 July 2010 (2010-07-22) paragraphs [0002], [0022] - [0024]; figures 1-4	1-10



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

29 August 2019

Date of mailing of the international search report

05 September 2019

Name and mailing address of the ISA/EP

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

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

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

Authorized officer

Eitner, Christian

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/066918**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	ROSA M A ET AL. "Enhanced electrostatic force generation capability of angled comb finger design used in electrostatic comb-drive actuators" <i>ELECTRONICS LETTERS, IEE STEVENAGE, GB</i> , Vol. 34, No. 18, 03 September 1998 (1998-09-03), pages 1787-1788 DOI: 10.1049/EL:19981230 ISSN: 0013-5194, XP006010262 the whole document	1-10
A	CN 104326434 A (UNIV TSINGHUA) 04 February 2015 (2015-02-04) the whole document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2019/066918

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2001013253	A1	16 August 2001	DE	10106840	A1	16 August 2001
				GB	2364387	A	23 January 2002
				JP	2001227954	A	24 August 2001
				US	2001013253	A1	16 August 2001
EP	2743639	A1	18 June 2014	CN	103717997	A	09 April 2014
				EP	2743639	A1	18 June 2014
				US	2014152325	A1	05 June 2014
				WO	2013021467	A1	14 February 2013
US	2011050251	A1	03 March 2011	CN	102003972	A	06 April 2011
				DE	102009028924	A1	03 March 2011
				US	2011050251	A1	03 March 2011
US	2010181944	A1	22 July 2010	DE	102007033002	A1	22 January 2009
				EP	2178789	A2	28 April 2010
				JP	5415415	B2	12 February 2014
				JP	2010533598	A	28 October 2010
				KR	20100039336	A	15 April 2010
				US	2010181944	A1	22 July 2010
				WO	2009010354	A2	22 January 2009
CN	104326434	A	04 February 2015	NONE			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. B81B3/00 G01C19/5733
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 G01C B81B

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	WENJING YE ET AL: "Optimal Shape Design of an Electrostatic Comb Drive in Microelectromechanical Systems", JOURNAL OF MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS, IEEE SERVICE CENTER, US, Bd. 7, Nr. 1, 1. März 1998 (1998-03-01), XP011034786, ISSN: 1057-7157 das ganze Dokument	1,2,4-10
X	US 2001/013253 A1 (HASHIMOTO MASATO [JP]) 16. August 2001 (2001-08-16) Absätze [0003], [0005], [0007], [0085] - [0089]; Abbildungen 8-11 ----- -/-	1



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

29. August 2019

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

05/09/2019

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

Eitner, Christian

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 2 743 639 A1 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]) 18. Juni 2014 (2014-06-18) Absätze [0001] - [0002], [0004], [0006], [0079] - [0082]; Abbildungen 12-15 -----	3
X	US 2011/050251 A1 (FRANKE AXEL [DE] ET AL) 3. März 2011 (2011-03-03) Absätze [0001], [0034]; Abbildung 5 -----	3
A	US 2010/181944 A1 (BAUER WOLFRAM [DE] ET AL) 22. Juli 2010 (2010-07-22) Absätze [0002], [0022] - [0024]; Abbildungen 1-4 -----	1-10
A	ROSA M A ET AL: "Enhanced electrostatic force generation capability of angled comb finger design used in electrostatic comb-drive actuators", ELECTRONICS LETTERS, IEE STEVENAGE, GB, Bd. 34, Nr. 18, 3. September 1998 (1998-09-03), Seiten 1787-1788, XP006010262, ISSN: 0013-5194, DOI: 10.1049/EL:19981230 das ganze Dokument -----	1-10
A	CN 104 326 434 A (UNIV TSINGHUA) 4. Februar 2015 (2015-02-04) das ganze Dokument -----	1-10

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/066918

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 2001013253	A1	16-08-2001	DE	10106840 A1	16-08-2001
			GB	2364387 A	23-01-2002
			JP	2001227954 A	24-08-2001
			US	2001013253 A1	16-08-2001

EP 2743639	A1	18-06-2014	CN	103717997 A	09-04-2014
			EP	2743639 A1	18-06-2014
			US	2014152325 A1	05-06-2014
			WO	2013021467 A1	14-02-2013

US 2011050251	A1	03-03-2011	CN	102003972 A	06-04-2011
			DE	102009028924 A1	03-03-2011
			US	2011050251 A1	03-03-2011

US 2010181944	A1	22-07-2010	DE	102007033002 A1	22-01-2009
			EP	2178789 A2	28-04-2010
			JP	5415415 B2	12-02-2014
			JP	2010533598 A	28-10-2010
			KR	20100039336 A	15-04-2010
			US	2010181944 A1	22-07-2010
			WO	2009010354 A2	22-01-2009

CN 104326434	A	04-02-2015	KEINE		
