(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 2025 (02.01.2025)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2025/003400 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G06F 3/01 (2006.01) *B06B 1/06* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2024/068247

(22) Internationales Anmeldedatum:
28. Juni 2024 (28.06.2024)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2023 117 170.4
29. Juni 2023 (29.06.2023) DE

(71) Anmelder: **TDK ELECTRONICS AG** [DE/DE]; Rosenheimer Str. 141 e, 81671 München (DE).

(72) Erfinder: **LÖNNBERG, Jockum**; Bahnhofstr. 22, 8530 Deutschlandsberg (AT). **BURGER, Johannes**; Albrecht-Dürer-Str. 24, 96166 Kirchlauter (DE). **PENTSCHER-STANI, Andreas**; Miraweg 17, 8430 Leibnitz (AT). **WIMMER-TEUBENBACHER, Robert**; Kornfeldsiedlung 5e, 8101 Gratkorn (AT). **SADEGHIAN, Omid**; Hauptplatz 28a/2, 8530 Deutschlandsberg (AT).

(74) Anwalt: **EPPING HERMANN FISCHER PATENTANWALTSGESELLSCHAFT MBH**; Schlossschmidstr. 5, 80639 München (DE).

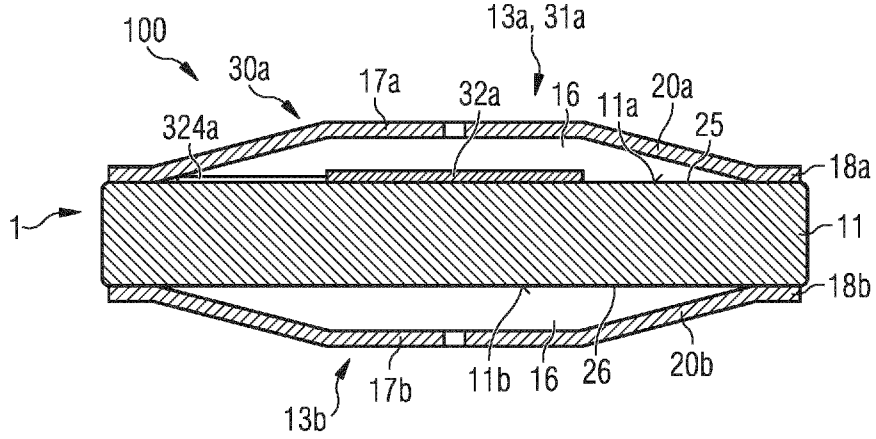
(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN,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

WO 2025/003400 A1

(54) **Title:** HAPTIC DEVICE

(54) **Bezeichnung:** HAPTIKVORRICHTUNG

FIG 3A



(57) **Abstract:** The invention relates to a haptic device (100) for detecting a haptic input, said haptic device comprising: a piezoelectric actuator (1) having a main body (11) comprising a piezoelectric material; a first reinforcement element (13a) on a first main surface (11a) of the piezoelectric actuator (1); and a first capacitive element (30a), wherein the first reinforcement element (13a) is attached to the piezoelectric actuator (1) and has a touch region (17a) that is positioned at a distance above the first main surface (11a), wherein the first reinforcement element (13a) forms a first electrode (31a) of the first capacitive element (30a), wherein a second electrode (32a) of the first capacitive element (30a) is arranged on a main surface (11a, 11b) or inside the main body (11).

(57) **Zusammenfassung:** Es wird eine Haptikvorrichtung (100) zur Erfassung einer haptischen Eingabe angegeben, die einen piezoelektrischen Aktuator (1) aufweisend einen Grundkörper (11) mit einem piezoelektrischen Material, ein erstes Verstärkungselement (13a) auf einer ersten Hauptoberfläche (11a) des piezoelektrischen Aktuators (1) und ein erstes kapazitives Element (30a) aufweist, wobei das erste Verstärkungselement (13a) am piezoelektrischen Aktuator (1) befestigt ist und einen Tastbereich (17a) aufweist, der beabstandet über der ersten Hauptoberfläche (11a) angeordnet ist, wobei das erste Verstärkungselement (13a) eine erste Elektrode (31a) des ersten kapazitiven Elements (30a) bildet, wobei auf einer Hauptoberfläche (11a, 11b) oder innerhalb des Grundkörpers (11) eine zweite Elektrode (32a) des ersten kapazitiven Elements (30a) angeordnet ist.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten** *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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)*

Beschreibung

Haptikvorrichtung

Es wird eine Haptikvorrichtung angegeben. Eine derartige Vorrichtung weist einen Aktuator auf, der eine Bewegung eines beweglichen Elements erzeugt und/oder detektiert. Das bewegliche Element ist beispielsweise als berührungsempfindliche Oberfläche oder Spitze einer stiftartigen Vorrichtung ausgebildet. Der Aktuator ist beispielsweise ein piezoelektrischer Aktuator, insbesondere ein piezokeramischer Aktuator.

Die Haptikvorrichtung kann beispielsweise zur Erzeugung einer haptischen Rückmeldung, auch als haptisches Feedback bezeichnet, bei einer Berührung ausgebildet sein. Die Haptikvorrichtung kann beispielsweise in einem Touchscreen, Trackpad, Druckknopf oder Stylus (stiftartige Vorrichtung) eingesetzt sein. Insbesondere kann die Haptikvorrichtung im Automobilbereich verwendet werden.

Aus den Druckschriften WO 2017 / 060 011 A1, WO 2018 / 046 201 A1 und WO 2022 / 248 244 A1 sind Vorrichtungen zur Erzeugung einer haptischen Rückmeldung bekannt, bei der an einem piezoelektrischen Aktuator ein Verstärkungselement zur Hubverstärkung befestigt ist. Das Verstärkungselement ist beispielsweise in Form eines Metallblechs ausgebildet.

Beispielsweise können solche Vorrichtungen auch als Sensoren arbeiten, etwa indem sie den inversen piezoelektrischen Effekt nutzen, bei dem mechanische Energie in elektrische Energie umgewandelt wird. Allerdings sind piezoelektrische Sensoren „dynamische“ Sensoren, das heißt sie können nur

mechanische Veränderungen messen, nicht aber eine statische mechanische Kraft. Somit ist es physikalisch unmöglich für solche bekannten Vorrichtungen, zum Beispiel einen menschlichen Finger zu detektieren, der über einen längeren Zeitraum kontinuierlich auf einen Schalter mit einer solchen Vorrichtung drückt. Aus demselben Grund ist es unmöglich, die bekannten Vorrichtungen für einen piezoelektrischen Sensor zu verwenden, der immer genau bei einer bestimmten Druckeinwirkung, beispielsweise 3 N, auslöst, was einer typischen Kraftauslöseranforderung für Schalter im Automobilbereich entspricht. Dies liegt daran, dass der piezoelektrische Sensor aufgrund seiner dynamischen Charakteristik ein sehr unterschiedliches elektrisches Signal ausgeben würde, je nachdem ob die Kraft von 3 N in beispielsweise 10 ms oder etwa 10 s erreicht würde. Aufgrund dieser dynamischen Sensorcharakteristik können piezoelektrische Sensoren üblicherweise nur in einfachen Anwendungen für nicht-kritische Funktionen eingesetzt werden, etwa in Türklingeln, Verkaufsautomaten oder Verbrauchsartikeln.

In den letzten Jahren ist die Nachfrage nach Benutzerschnittstellen mit haptischer Rückmeldung gestiegen. Piezobasierte Komponenten sind hervorragende haptische Aktoren. Haptische Rückmeldungen sind jedoch besonders im Automobilsektor, beispielsweise unter Sicherheitsaspekten, und bei anderen anspruchsvollen Benutzeroberflächen, erwünscht, wo taktile Rückmeldungen für eine verbesserte Benutzererfahrung unerlässlich ist. Haptische Rückmeldungen sind also besonders dort gefragt, wo auch ein zuverlässiger und präziser Krafteintragssensor benötigt wird, der jedoch üblicherweise durch einen separaten zusätzlichen Sensor

gebildet wird, was einen erhöhten Platz- und Kostenaufwand zur Folge hat.

Zumindest eine Aufgabe von bestimmten Ausführungsformen ist es, eine Haptikvorrichtung anzugeben.

Diese Aufgabe wird durch einen Gegenstand gemäß dem unabhängigen Patentanspruch gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen und Weiterbildungen des Gegenstands sind in den abhängigen Ansprüchen gekennzeichnet und gehen weiterhin aus der nachfolgenden Beschreibung und den Zeichnungen hervor.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform wird eine Haptikvorrichtung angegeben. Beispielsweise kann die Haptikvorrichtung zur Erfassung einer haptischen Eingabe ausgebildet sein. Weiterhin kann die Haptikvorrichtung auch zur Ausgabe einer haptischen Rückmeldung ausgebildet sein. Mit anderen Worten kann die Haptikvorrichtung beispielsweise so eingerichtet sein, dass ein haptisches Signal von einem Benutzer durch die Haptikvorrichtung aufgenommen werden kann. Weiterhin kann die Haptikvorrichtung so eingerichtet sein, dass ein haptisches Signal an einen Benutzer ausgegeben werden kann. Insbesondere kann die Haptikvorrichtung somit dazu ausgebildet sein, ein haptisches Feedback zu erzeugen. Die Haptikvorrichtung kann also dazu eingerichtet sein, eine für einen Benutzer fühlbare Rückmeldung bei bestimmten Aktionen oder Eingaben zu geben.

Die Haptikvorrichtung weist besonders bevorzugt einen piezoelektrischen Aktuator auf. Der piezoelektrische Aktuator kann zur Erfassung einer haptischen Eingabe und/oder zur Ausgabe einer haptischen Rückmeldung ausgebildet sein. Der

piezoelektrische Aktuator kann auf einem piezoelektrischen Material, insbesondere einem piezoelektrischen Keramikmaterial oder einem piezoelektrischen Polymermaterial, basieren. Der piezoelektrische Aktuator kann einen Grundkörper mit dem piezoelektrischen Material aufweisen. Weiterhin können auf und/oder im Grundkörper eine oder mehrere Elektroden vorgesehen sein. Sind keine Elektroden im Grundkörper vorhanden, weist der Grundkörper also keine Innenelektroden auf, kann der piezoelektrische Aktuator als monolithischer Aktuator, beispielsweise als Scheibe oder Plättchen, ausgebildet sein. Beispielsweise kann der piezoelektrische Aktuator zumindest eine oder eine Mehrzahl von Innenelektroden aufweisen. In diesem Fall kann der Grundkörper des piezoelektrischen Aktuators in Vielschichtbauweise mit einer Mehrzahl von entlang einer Stapelrichtung aufeinander angeordneten piezoelektrischen Schichten und den Innenelektroden aufgebaut sein. Weiterhin kann der piezoelektrische Aktuator eine Längsrichtung aufweisen, die senkrecht zur Stapelrichtung sein kann. Beispielsweise kann die Längsrichtung einer Richtung mit der größten Ausdehnung des Grundkörpers entsprechen.

Durch Anlegen eines geeigneten elektrischen Signals kann der piezoelektrische Aktuator eine Änderung einer Ausdehnung in zumindest einer Richtung vollziehen, wobei diese Änderung Teil des haptischen Signals sein kann. Bei Anlegen einer Wechselspannung kann eine periodische Änderung und somit eine Vibration erzeugt werden. Insbesondere kann die Änderung der Ausdehnung des piezoelektrischen Aktuators zumindest durch den d31-Effekt hervorgerufen werden und zumindest einer Längenänderung des piezoelektrischen Aktuators entlang der Längsrichtung entsprechen. Umgekehrt kann durch eine mechanische Einwirkung, bewirkt durch eine haptische Eingabe,

eine Änderung einer Ausdehnung des Grundkörpers in zumindest einer Richtung bewirkt werden. Durch den inversen piezoelektrischen Effekt kann diese Ausdehnungsänderung im piezoelektrischen Material eine elektrische Spannung hervorrufen, die über die Innenelektroden detektiert werden kann.

Die Verwendung eines piezoelektrischen Aktuators zur Detektion und/oder zur Erzeugung eines haptischen Signals bietet wesentliche Vorteile. Ein piezoelektrischer Aktuator weist eine kurze Ansprech- und Abklingzeit auf. Dementsprechend können der Zeitpunkt und der Zeitraum, in dem das haptische Signal detektiert oder erzeugt wird, sehr genau bestimmt werden. Ferner kann bei einer Erzeugung eines haptischen Signals durch eine Variation des am piezoelektrischen Aktuator angelegten Ansteuersignals, beispielsweise in Bezug auf die Frequenz, die elektrische Spannung, die Pulsfolge und die Signalart, bestimmt werden, mit welcher Amplitude, welcher Frequenz und welcher Zeitdauer der piezoelektrische Aktuator vibriert. Durch unterschiedliche Ansteuersignale kann es ermöglicht werden, unterschiedliche haptische Signale zu erzeugen.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist die Haptikvorrichtung zumindest ein erstes mechanisches Verstärkungselement auf, das im Folgenden kurz als erstes Verstärkungselement bezeichnet wird. Das erste Verstärkungselement ist am piezoelektrischen Aktuator befestigt. Insbesondere kann das erste Verstärkungselement derart am piezoelektrischen Aktuator befestigt sein, dass durch die Änderung der Ausdehnung des piezoelektrischen Aktuators in zumindest einer Richtung das erste Verstärkungselement verformt wird und damit zumindest

Bereiche des ersten Verstärkungselements bewegt werden. Besonders bevorzugt kann das erste Verstärkungselement derart am piezoelektrischen Aktuator befestigt sein, dass durch eine Längenänderung des piezoelektrischen Aktuators und insbesondere des Grundkörpers zumindest entlang seiner Längsrichtung ein Bereich des ersten Verstärkungselements in eine zur Längsrichtung senkrechte Richtung bewegt wird. Weiterhin ist auch eine Richtung möglich, die mit der Längsrichtung einen Winkel einschließt, der größer als 0° ist und kleiner als 90° ist. Mit anderen Worten kann ein Bereich des ersten Verstärkungselements in einer zur Längsrichtung schräge Richtung bewegt werden.

Insbesondere kann der Grundkörper eine erste Hauptoberfläche und eine der ersten Hauptoberfläche gegenüberliegende zweite Hauptoberfläche aufweisen. Die erste Hauptoberfläche und die zweite Hauptoberfläche können sich entlang der Stapelrichtung gegenüber liegen und damit besonders bevorzugt jeweils eine Haupterstreckungsrichtung entlang der oben beschriebenen Längsrichtung aufweisen. Das erste Verstärkungselement ist auf der ersten Hauptoberfläche des Grundkörpers und damit auf der ersten Hauptoberfläche des piezoelektrischen Aktuators aufgebracht und befestigt.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist die Haptikvorrichtung zumindest ein zweites mechanisches Verstärkungselement auf, das im Folgenden kurz als zweites Verstärkungselement bezeichnet wird. Das zweite Verstärkungselement ist am piezoelektrischen Aktuator befestigt. Insbesondere kann das zweite Verstärkungselement derart am piezoelektrischen Aktuator befestigt sein, dass durch die Änderung der Ausdehnung des piezoelektrischen Aktuators in zumindest einer Richtung das zweite

Verstärkungselement verformt wird und damit zumindest Bereiche des zweite Verstärkungselements bewegt werden. Besonders bevorzugt kann das zweite Verstärkungselement derart am piezoelektrischen Aktuator befestigt sein, dass durch eine Längenänderung des piezoelektrischen Aktuators entlang seiner Längsrichtung ein Bereich des zweiten Verstärkungselements in eine zur Längsrichtung senkrechte Richtung bewegt wird. Das zweite Verstärkungselement kann auf der zweiten Hauptoberfläche des Grundkörpers und damit auf der zweiten Hauptoberfläche des piezoelektrischen Aktuators aufgebracht und befestigt sein. Entsprechend kann der piezoelektrische Aktuator entlang einer Richtung senkrecht zu den Hauptoberflächen und damit entlang der Stapelrichtung des Grundkörpers zwischen dem ersten Verstärkungselement und dem zweiten Verstärkungselement angeordnet sein.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist die Haptikvorrichtung ein erstes kapazitives Element auf. Das erste kapazitive Element weist insbesondere eine erste Elektrode und eine zweite Elektrode auf und ist als kapazitiver Sensor ausgebildet. Das bedeutet, dass das erste kapazitive Element dazu eingerichtet ist, eine veränderbare Kapazität abhängig von einem Abstand der ersten Elektrode zur zweiten Elektrode aufzuweisen. Das erste Verstärkungselement bildet die erste Elektrode des ersten kapazitiven Elements. Weiterhin ist auf einer Hauptoberfläche des Grundkörpers oder innerhalb des Grundkörpers die zweite Elektrode des ersten kapazitiven Elements angeordnet. Besonders bevorzugt ist auf der ersten Hauptoberfläche des Grundkörpers oder unter der ersten Hauptoberfläche und damit innerhalb des Grundkörpers die zweite Elektrode des ersten kapazitiven Elements angeordnet. Weiterhin kann die zweite Elektrode des ersten

kapazitiven Elements auch auf der zweiten Hauptoberfläche des Grundkörpers angeordnet sein.

Durch eine Detektion der Kapazität des ersten kapazitiven Elements kann auf einen Abstand der ersten Elektrode, also des ersten Verstärkungselements, zur zweiten Elektrode zurückgeschlossen werden. Besonders bevorzugt ist der Abstand der ersten Elektrode, also des ersten Verstärkungselements, zur zweiten Elektrode abhängig von einer Kraft, die auf die erste Elektrode, also das erste Verstärkungselement, einwirkt, so dass durch eine Detektion der Kapazität des ersten kapazitiven Elements auf eine Kraft zurückgeschlossen werden kann, die auf das erste Verstärkungselement einwirkt. Somit kann das erste kapazitive Element als Kraftsensor ausgebildet sein.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist die Haptikvorrichtung ein zweites kapazitives Element auf. Das zweite kapazitive Element weist insbesondere eine erste Elektrode und eine zweite Elektrode auf und ist als kapazitiver Sensor ausgebildet. Das bedeutet, dass das zweite kapazitive Element dazu eingerichtet ist, eine veränderbare Kapazität abhängig von einem Abstand der ersten Elektrode zur zweiten Elektrode aufzuweisen. Das zweite Verstärkungselement bildet die erste Elektrode des zweiten kapazitiven Elements. Weiterhin ist auf einer Hauptoberfläche des Grundkörpers oder innerhalb des Grundkörpers die zweite Elektrode des zweiten kapazitiven Elements angeordnet. Besonders bevorzugt ist auf der zweiten Hauptoberfläche des Grundkörpers oder unter der zweiten Hauptoberfläche und damit innerhalb des Grundkörpers die zweite Elektrode des zweiten kapazitiven Elements angeordnet. Weiterhin kann die zweite Elektrode des zweiten

kapazitiven Elements auch auf der ersten Hauptoberfläche des Grundkörpers angeordnet sein.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist das erste kapazitive Element ein erstes elektrisches Kontaktelement auf, mit dem die erste Elektrode des ersten kapazitiven Elements elektrisch von außen kontaktiert werden kann. Weiterhin weist das erste kapazitive Element ein zweites elektrisches Kontaktelement auf, mit dem die zweite Elektrode des ersten kapazitiven Elements elektrisch von außen kontaktiert werden kann. Ist ein zweites kapazitives Element vorhanden, weist dieses entsprechend ein erstes und zweites elektrisches Kontaktelement zur elektrischen Kontaktierung der ersten und zweiten Elektrode des zweiten kapazitiven Elements auf.

Die nachfolgende Beschreibung beschränkt sich auf das erste kapazitive Element und das erste Verstärkungselement, gilt aber, sofern vorhanden in der Haptikvorrichtung, entsprechend auch für das zweite kapazitive Element und das zweite Verstärkungselement. Die vorab und im Folgenden für das erste Verstärkungselement beschriebenen Merkmale und Eigenschaften können somit entsprechend, sofern vorhanden in der Haptikvorrichtung, für das zweite Verstärkungselement gelten. Besonders bevorzugt sind das erste Verstärkungselement und, sofern vorhanden, das zweite Verstärkungselement gleich ausgebildet und können somit die gleichen Merkmale und Eigenschaften aufweisen. Weiterhin können somit die vorab und im Folgenden für das erste kapazitive Element beschriebenen Merkmale und Eigenschaften entsprechend, sofern vorhanden in der Haptikvorrichtung, für das zweite kapazitive Element gelten. Beispielsweise können somit auch für die erste und zweite Elektrode des ersten kapazitiven Elements beschriebene

Merkmale und Eigenschaften für die erste und zweite Elektrode des zweiten kapazitiven Elements gelten. Dasselbe gilt auch für alle anderen Komponenten, die in Verbindung mit dem ersten kapazitiven Element beschrieben sind.

Beispielsweise sind das erste kapazitive Element und, sofern vorhanden, das zweite kapazitive Element gleich ausgebildet und können somit die gleichen Merkmale und Eigenschaften aufweisen, so dass bei einer Krafteinwirkung auf die Haptikvorrichtung zumindest im Wesentlichen gleiche kapazitive Signale an den beiden kapazitiven Elementen detektiert werden können. Damit kann beispielsweise eine Redundanz erreicht werden. Alternativ können das erste kapazitive Element und das zweite kapazitive Element unterschiedlich ausgebildet sein und beispielsweise unterschiedliche von einem Abstand der jeweiligen ersten und zweiten Elektrode abhängige Kapazitäten aufweisen, so dass bei einer Krafteinwirkung auf die Haptikvorrichtung unterschiedliche kapazitive Signale an den beiden kapazitiven Elementen detektiert werden können.

Die hier beschriebene Haptikvorrichtung geht über ein rein haptisches piezoelektrisches Bauelement hinaus, indem zumindest das erste kapazitive Element in die Haptikvorrichtung integriert ist. Die Integration des ersten kapazitiven Elements erfolgt insbesondere dadurch, dass das erste Verstärkungselement eine Doppelfunktion aufweist, nämlich eine mechanische Funktion im Zusammenwirken mit dem piezoelektrischen Aktuator und eine elektrische Funktion im Zusammenhang mit dem ersten kapazitiven Element.

Das erste Verstärkungselement kann Metall, beispielsweise Stahl und/oder Titan, aufweisen oder daraus sein.

Beispielsweise kann das erste Verstärkungselement plattenförmig ausgebildet sein. Weiterhin kann das erste Verstärkungselement eben, also als ebene Platte, ausgebildet sein, die mit zumindest einem Randbereich oder auch vollflächig am piezoelektrischen Aktuator befestig ist. Beispielsweise kann das erste Verstärkungselement auch ein Metallbügel sein, der beispielsweise mit zumindest einem oder bevorzugt zwei Randbereichen an einem beziehungsweise zwei Endbereichen entlang der Längsrichtung des piezoelektrischen Aktuators befestigt ist und angrenzend an den einen Randbereich oder zwischen den zwei Randbereichen einen vom piezoelektrischen Aktuator beabstandeten Mittenbereich, der im Folgenden als Tastbereich bezeichnet wird, aufweist. Weiterhin kann das erste Verstärkungselement eine kreisförmige gewölbte Scheibe, beispielsweise angelehnt an die Form eines Kegelstumpfs oder in der Art eines Beckens beziehungsweise eines Zimbels, sein, die einen bevorzugt um den vom piezoelektrischen Aktuator beabstandeten Tastbereich umlaufenden Randbereich aufweist, der am Grundkörper befestigt ist.

Das erste Verstärkungselement kann am piezoelektrischen Aktuator beispielsweise durch eine Klebeverbindung befestigt sein. Ist das erste Verstärkungselement mit oder aus Titan, kann dies den Vorteil aufweisen, dass sein thermischer Ausdehnungskoeffizient sehr ähnlich zum thermischen Ausdehnungskoeffizienten des piezoelektrischen Aktuators ist, so dass es bei Temperaturänderungen nur zu geringen oder keinen mechanischen Spannungen kommt, so dass die Klebeverbindung bei Temperaturänderungen nicht oder nur wenig mechanisch belastet wird.

Zwischen dem Tastbereich des ersten Verstärkungselements und der ersten Hauptoberfläche kann ein dielektrisches Material angeordnet ist. Das dielektrische Material, durch das beispielsweise eine Anpassung der Kapazität des ersten kapazitiven Elements und/oder eine elektrische Isolierung zwischen der ersten und zweiten Elektrode erreicht werden kann, kann beispielsweise eines oder mehrere Materialien aufweisen, die ausgewählt sind aus: Luft, Kunststofffolie, Kunststoffschaum. Weiterhin kann durch das dielektrische Material beispielsweise eine Befestigung des ersten Verstärkungselements auf der ersten Hauptoberfläche erreicht werden. In diesem Fall kann das dielektrische Material eine Klebeverbindung ermöglichen und beispielsweise einen Klebstoff aufweisen oder ein Klebstoff sein, der teilweise oder vollflächig zwischen dem ersten Verstärkungselement und der ersten Hauptoberfläche angeordnet ist.

Durch das erste Verstärkungselement kann, wie schon oben beschrieben, eine Ausdehnungsänderung und besonders bevorzugt eine Längenänderung des piezoelektrischen Aktuators in eine Ausdehnungsänderung und/oder zur Ausdehnungsänderung und bevorzugt Längenänderung senkrechte oder schräge Hubbewegung umgewandelt werden. Umgekehrt kann eine mechanisch bewirkte Ausdehnungsänderung und/oder Hubbewegung, beispielsweise durch einen Benutzer, in eine senkrecht oder schräg dazu gerichtete Ausdehnungsänderung und besonders bevorzugt Längenänderung des piezoelektrischen Aktuators umgewandelt werden, wobei die Richtung der Hubbewegung im Fall eines piezoelektrischen Aktuators in Vielschichtbauweise bevorzugt der Stapelrichtung entsprechen kann. Die Hubbewegung kann eine wesentlich größere Amplitude als die Längenänderung haben. Beispielsweise kann die Amplitude der Hubbewegung das 5- bis 40-fache der Amplitude der Längenänderung betragen.

Durch die Kombination des piezoelektrischen Aktuators mit zumindest dem ersten Verstärkungselement kann somit eine Verstärkung erreicht werden.

Das erste Verstärkungselement kann frei von Einkerbungen sein und eine konstante Wandstärke aufweisen. Durch den Verzicht auf Einkerbungen im ersten Verstärkungselement kann eine einfache Herstellung des ersten Verstärkungselements ermöglicht werden. Weiterhin kann das erste Verstärkungselement zumindest eine Einkerbung aufweisen, die einen mechanischen Widerstand gegen eine Verformung des ersten Verstärkungselementes reduziert. Insbesondere bei einem Verstärkungselement mit einer Dicke, bei der Verformungen des Verstärkungselements viel Kraft erfordern würden, kann der Einsatz von Einkerbungen in dem Verstärkungselement sinnvoll sein, da die Einkerbungen die Verformung des Verstärkungselementes erleichtern können.

Darüber hinaus kann der Tastbereich des ersten Verstärkungselements auf einer der ersten Hauptoberfläche zugewandten Unterseite zumindest einen erhabenen Bereich aufweist, der sich der ersten Hauptoberfläche entgegenstreckt. Dadurch kann ein Abstand zwischen der ersten Elektrode des ersten kapazitiven Elements, gebildet durch das erste Verstärkungselement, und der zweiten Elektrode des ersten kapazitiven Elements verringert werden, wodurch das kapazitive Signal des ersten kapazitiven Elements verbessert werden kann. Beispielsweise kann der zumindest eine erhabene Bereich durch eine von einer der ersten Hauptoberfläche abgewandten Oberseite eingebrachten Prägestruktur gebildet ist. Mit anderen Worten kann der zumindest eine erhabene Bereich auf der Unterseite einem vertieften Bereich auf der Oberseite des Tastbereichs entsprechen, der durch eine

Prägung von der Oberseite des Tastbereichs her eingebracht worden ist. Weiterhin kann der zumindest eine erhabene Bereich durch eine Verdickung des Tastbereichs, insbesondere eine Verdickung, die sich zur ersten Hauptoberfläche erstreckt, gebildet sein.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist das erste elektrische Kontaktelement des ersten kapazitiven Elements einen ersten Anschlussbereich auf, der mit der ersten Elektrode des ersten kapazitiven Elements, also dem ersten Verstärkungselement, elektrisch leitend verbunden ist. Der erste Anschlussbereich kann besonders bevorzugt auf der ersten Hauptoberfläche angeordnet sein. Beispielsweise kann das erste elektrische Kontaktelement ganz oder teilweise durch eine elektrisch leitende Beschichtung auf der ersten Hauptoberfläche ausgebildet sein.

Das erste Verstärkungselement kann beispielsweise über ein flexibles elektrisch leitendes Verbindungselement, beispielsweise ein elektrisch leitendes Klebeband, mit dem ersten Anschlussbereich des ersten elektrischen Kontaktelements verbunden sein.

Weiterhin kann das erste elektrische Kontaktelement auf der ersten Hauptoberfläche einen Befestigungsbereich aufweisen. Der Befestigungsbereich ist insbesondere dazu vorgesehen und eingerichtet, dass das erste Verstärkungselement zumindest zum Teil auf dem ersten Befestigungsbereich angeordnet und montiert ist. Insbesondere kann ein Randbereich des ersten Verstärkungselements zumindest teilweise auf dem Befestigungsbereich des ersten elektrischen Kontaktelements elektrisch leitend befestigt sein. Mit anderen Worten kann der gesamte Randbereich oder nur ein Teil des Randbereichs

des ersten Verstärkungselements auf dem Befestigungsbereich des ersten elektrischen Kontaktelements angeordnet und befestigt sein. Der Befestigungsbereich und der erste Anschlussbereich können unmittelbar aneinander angrenzen oder ineinander übergehen oder sind mittels einer Leiterbahn auf der Hauptoberfläche oder über eine in den Grundkörper integrierte Leiterbahn zusammen mit zumindest einem elektrischen Via miteinander verbunden.

Beispielsweise kann ein Randbereich oder zumindest ein Teil eines Randbereichs des ersten Verstärkungselements auf dem Befestigungsbereich mittels eines Klebstoffs aufgeklebt sein, der die oben beschriebene Klebeverbindung bildet. Der Klebstoff kann ein elektrisch leitender Klebstoff, auch als Leitkleber bezeichnet, sein, also beispielsweise ein Klebstoffmaterial wie etwa ein aushärtbares Polymer, das mit elektrisch leitenden Partikeln gefüllt ist. Weiterhin kann der Klebstoff ein elektrisch isolierender Klebstoff sein, der in einer Schicht ausgebildet ist, die ausreichend dünn ist, dass dennoch ein elektrisch leitender Kontakt zwischen dem Randbereich und dem Befestigungsbereich entsteht. Hierfür kann für die Klebstoffschicht eine Dicke von kleiner oder gleich 20 µm geeignet sein.

Beispielsweise kann ein Randbereich des ersten Verstärkungselements ausschließlich auf dem Befestigungsbereich befestigt sein. In diesem Fall kann der vom Randbereich überdeckte Bereich der ersten Hauptoberfläche mit dem Befestigungsbereich versehen sein. Alternativ dazu kann der Randbereich teilweise auf dem Befestigungsbereich und teilweise auf der ersten Hauptoberfläche befestigt sein. Das kann insbesondere bedeuten, dass der Befestigungsbereich nicht im gesamten vom Randbereich überdeckten Bereich der

ersten Hauptoberfläche vorgesehen ist, sondern der Klebstoff nicht nur zwischen einem Teil des Randbereichs und dem Befestigungsbereich, sondern auch zwischen einem anderen Teil des Randbereichs und einem vom Befestigungsbereich nicht bedeckten Bereich der ersten Hauptoberfläche angeordnet ist. So kann der Befestigungsbereich beispielsweise schlangenlinienartig oder mäanderartig auf der ersten Hauptoberfläche verlaufen, so dass der Randbereich auch Bereiche überdeckt, die frei vom Material des Befestigungsbereichs sind.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist das zweite elektrische Kontaktelement des ersten kapazitiven Elements einen zweiten Anschlussbereich auf, der mit der zweiten Elektrode des ersten kapazitiven Elements elektrisch leitend verbunden ist. Der zweite Anschlussbereich kann besonders bevorzugt auf der ersten Hauptoberfläche angeordnet sein. Beispielsweise kann das zweite elektrische Kontaktelement ganz oder teilweise durch eine elektrisch leitende Beschichtung auf der ersten Hauptoberfläche ausgebildet sein. So kann beispielsweise das zweite Kontaktelement eine Leiterbahn auf der ersten Hauptoberfläche aufweisen, durch die die zweite Elektrode mit dem zweiten Anschlussbereich verbunden ist. Weiterhin kann auf der Leiterbahn eine elektrisch isolierende Schicht aufgebracht sein. Durch die elektrisch isolierende Schicht, beispielsweise eine Kunststofffolie oder eine Kunststoffbeschichtung, kann insbesondere die Leiterbahn des zweiten elektrischen Kontaktelements von der ersten Elektrode, also dem ersten Verstärkungselement, elektrisch isoliert sein. Alternativ kann es auch möglich sein, dass das zweite Kontaktelement zumindest ein elektrisches Via und eine innerhalb des Grundkörpers angeordnete Leiterbahn aufweist, durch die die

zweite Elektrode mit dem zweiten Anschlussbereich verbunden ist.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist die zweite Elektrode durch eine Elektrodenschicht auf der ersten Hauptoberfläche des Grundkörpers gebildet. Beispielsweise ist die Elektrodenschicht nur unterhalb des Tastbereichs angeordnet. Hierbei kann die zweite Elektrode unmittelbar auf der ersten Hauptoberfläche und damit unmittelbar auf dem Grundkörper des piezoelektrischen Aktuators aufgebracht sein. Weiterhin kann die die zweite Elektrode bildende Elektrodenschicht auch auf einer Stufe und damit auf einem erhöhten Bereich aufgebracht sein, der auf dem Grundkörper ausgebildet ist. Beispielsweise kann der erhöhte Bereich in der ersten Hauptoberfläche ausgebildet sein und somit durch ein Material des Grundkörpers gebildet sein. Weiterhin kann der erhöhte Bereich auch eine Zwischenschicht aufweisen oder daraus sein, beispielsweise mit oder aus einem Kunststoffmaterial. Durch den erhöhten Bereich kann die zweite Elektrode näher am Tastbereich des ersten Verstärkungselements und damit näher an der ersten Elektrode angeordnet sein, was zu einer Verstärkung eines kapazitiven Signals des ersten kapazitiven Elements führen kann.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist die zweite Elektrode durch eine Elektrodenschicht innerhalb des Grundkörpers gebildet. Mit anderen Worten ist die zweite Elektrode innerhalb des Grundkörpers unterhalb der ersten Hauptoberfläche angeordnet. Besonders bevorzugt weist in diesem Fall das zweite Kontaktelement zumindest ein elektrisches Via auf, durch das die zweite Elektrode mit dem zweiten Anschlussbereich verbunden ist. Beispielsweise kann die die zweite Elektrode bildende Elektrodenschicht von den

Innenelektroden des piezoelektrischen Aktuators verschieden sein und von diesen, beispielsweise durch das piezoelektrische Material des Grundkörpers, elektrisch isoliert sein. Alternativ hierzu kann die zweite Elektrode durch zumindest eine Innenelektrode des piezoelektrischen Aktuators gebildet sein. In diesem Fall hat die besagte zumindest eine Innenelektrode eine Doppelfunktion, nämlich eine elektrische Funktion im Zusammenhang mit dem piezoelektrischen Aktuator und eine elektrische Funktion im Zusammenhang mit dem ersten kapazitiven Element. In diesem Fall kann der zweite Anschlussbereich des ersten kapazitiven Elements gleichzeitig eine Außenelektrode für Innenelektroden des piezoelektrischen Aktuators sein.

Weist die Haptikvorrichtung ein erstes kapazitives Element und ein zweites kapazitives Element auf, können die beiden kapazitiven Elemente beispielsweise jedes eine eigene zweite Elektrode mit einem oder mehreren der vorab beschriebenen Merkmale aufweisen. Alternativ können das erste kapazitive Element und das zweite kapazitive Element eine gemeinsame zweite Elektrode aufweisen, beispielsweise zumindest eine Elektrodenschicht innerhalb des Grundkörpers wie beispielsweise zumindest eine Innenelektrode des piezoelektrischen Aktuators.

Piezoelektrische Aktuatoren wie der Aktuator der hier beschriebenen Haptikvorrichtung werden üblicherweise als Aktoren für haptisches Feedback in Benutzeroberflächen („user interface", UI) eingesetzt. In vielen Benutzeroberflächen ist es sinnvoll, die Kraft zu messen, die beispielsweise ein Finger oder ein Eingabegerät auf die Oberfläche ausübt, so dass man bei der Verwendung von Piezoelementen als piezoelektrische Sensoren den inversen piezoelektrischen

Effekt nutzen könnte. Da piezoelektrische Sensoren jedoch die mechanische Energie, also die kinetische Energie, und nicht die statische Kraft messen, ist es technisch unmöglich, mit solchen die tatsächliche statische Kraft zu messen, die auf einen piezoelektrischen Sensor ausgeübt wird, und somit unmöglich, damit eine vollständig validierte „kraftbasierte" Taste herzustellen. Daher kann ein piezoelektrischer Sensor alleine nicht als Taster verwendet werden, der bei einer genau definierten Kraft, beispielsweise 3 N, auslöst, was eine typische Anforderung für Taster im Automotive-Bereich ist. Anstelle eines üblicherweise separat verwendeten Kraftsensors weist die hier beschriebene Haptikvorrichtung mit zumindest dem ersten kapazitiven Element einen integrierten Kraftsensor auf, der weiterhin zumindest das erste Verstärkungselement mit seiner in Bezug auf den piezoelektrischen Aktuator ausgebildeten mechanischen Funktionalität zusätzlich mit einer elektrischen Funktionalität nutzt. Die hier beschriebene Haptikvorrichtung weist daher im Vergleich zu üblichen Benutzerschnittstellen mit Kombinationen aus piezoelektrischen Aktuatoren und separaten Kraftsensoren ein einfaches und robustes Design auf, das es weiterhin ermöglichen kann, Platz und Kosten zu sparen.

Weitere Vorteile, vorteilhafte Ausführungsformen und Weiterbildungen ergeben sich aus den im Folgenden in Verbindung mit den Figuren beschriebenen Ausführungsbeispielen.

Figuren 1A bis 2B zeigen schematische Darstellungen eines piezoelektrischen Aktuators mit Verstärkungselementen,

Figuren 3A und 3B zeigen schematische Darstellungen einer Haptikvorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel,

Figuren 4 bis 12 zeigen schematische Darstellungen einer Haptikvorrichtung gemäß weiteren Ausführungsbeispielen.

In den Ausführungsbeispielen und Figuren können gleiche, gleichartige oder gleich wirkende Elemente jeweils mit denselben Bezugszeichen versehen sein. Die dargestellten Elemente und deren Größenverhältnisse untereinander sind nicht als maßstabsgerecht anzusehen, vielmehr können einzelne Elemente, wie zum Beispiel Schichten, Bauteile, Bauelemente und Bereiche, zur besseren Darstellbarkeit und/oder zum besseren Verständnis übertrieben groß dargestellt sein.

In den Figuren 1A und 1B ist ein Ausführungsbeispiel für einen piezoelektrischen Aktuator 1 mit Verstärkungselementen 13a, 13b in einer perspektivischen Ansicht und einer Schnittdarstellung gezeigt, die in einer weiter unten beschriebenen Haptikvorrichtung verwendet werden können. Der in den Figuren 1A und 1B gezeigte piezoelektrische Aktuator 1 sowie die Verstärkungselemente 13a, 13b sind rein beispielhaft zu verstehen, um das Funktionsprinzip und Zusammenspiel des piezoelektrischen Aktuators 1 mit den Verstärkungselementen 13a, 13b zu erläutern. Abweichungen vom gezeigten Ausführungsbeispiel, beispielsweise im Hinblick auf geometrische Ausgestaltungen, sind durch die nachfolgende Beschreibung nicht ausgeschlossen.

Der piezoelektrische Aktuator 1 weist einen Grundkörper 11 auf. Der Grundkörper 11 weist einen Stapel aus in einer Stapelrichtung S abwechselnd übereinandergestapelten Innenelektroden 21 und piezoelektrischen Schichten 22 auf. Auch wenn eine Mehrzahl von Innenelektroden 21 gezeigt ist, kann der Grundkörper 11 beispielsweise auch nur eine oder zwei oder eine andere Anzahl von Innenelektroden 21

aufweisen. Weiterhin kann der Grundkörper 11 auch frei von Innenelektroden sein, sodass der Grundkörper 11 als monolithische Scheibe oder Platte ausgebildet sein kann, die frei von Innenelektroden ist. Eine elektrische Kontaktierung erfolgt in diesem Fall ausschließlich über Außenelektroden.

Das erste Verstärkungselement 13a ist auf einer ersten Hauptoberfläche 11a des Grundkörpers 11 und damit des piezoelektrischen Aktuators 1 angeordnet, die eine Oberseite 25 des Grundkörpers 11 bildet, und das zweite Verstärkungselement 13b ist auf einer der ersten Hauptoberfläche 11a entlang der Stapelrichtung S gegenüber liegenden zweiten Hauptoberfläche 11b des Grundkörpers 11 und damit des piezoelektrischen Aktuators 1 angeordnet, die eine Unterseite 26 des Grundkörpers 11 bildet. Auch wenn hier und im Folgenden stets zwei Verstärkungselemente 13a, 13b gezeigt sind, kann es auch möglich sein, dass nur das erste Verstärkungselement 13a vorhanden ist.

Der piezoelektrische Aktuator 1 weist weiterhin eine erste Außenelektrode 23, die beispielsweise auf einer ersten Stirnfläche 24 des Grundkörpers 11 angeordnet sein kann, und eine zweite Außenelektrode 23, die beispielsweise auf einer zweiten Stirnfläche 24 des Grundkörpers 11 angeordnet sein kann, auf. Alternativ hierzu können die Außenelektroden 23 beispielsweise auch auf einer oder beiden Hauptoberflächen 11a, 11b, also auf der Oberseite 25 und/oder der Unterseite 26, angeordnet sein. Die Innenelektroden 21 sind in Stapelrichtung S abwechselnd mit einer der Außenelektroden 23 kontaktiert.

Bei den piezoelektrischen Schichten 22 kann es sich beispielsweise um Blei-Zirkonat-Titanat-Keramiken (PZT-

Keramiken) handeln. Die PZT-Keramik kann ferner zusätzlich Nd und Ni enthalten. Alternativ kann die PZT-Keramik weiterhin zusätzlich Nd, K und gegebenenfalls Cu aufweisen. Alternativ können die piezoelektrischen Schichten 22 eine $Pb(Zr_xTi_{1-x})O_3 + y\ Pb(Mn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ enthaltende Zusammensetzung aufweisen. Alternativ zu einem piezoelektrischen Keramikmaterial kann beispielsweise auch ein piezoelektrisches Polymer verwendet werden. Die Innenelektroden 21 weisen bevorzugt Kupfer auf oder bestehen besonders bevorzugt aus Kupfer.

Der Grundkörper 11 und damit der piezoelektrische Aktuator 1 kann wie gezeigt vorzugsweise quaderförmig sein. Als Grundfläche wird dabei eine Fläche bezeichnet, deren Flächennormale in die Stapelrichtung S weist. Die Grundfläche ist beispielsweise rechteckig. Die längere Seite der Grundfläche definiert die Länge L des piezoelektrischen Aktuators 11 und die kürzere Seite der Grundfläche definiert die Breite B des piezoelektrischen Aktuators 11. Der Grundkörper 11 und damit der piezoelektrische Aktuator 1 kann beispielsweise eine Länge L von größer oder gleich 5 mm und kleiner oder gleich 100 mm sowie eine Breite B von größer oder gleich 2 mm und kleiner oder gleich 8 mm aufweisen. Die Ausdehnung des Grundkörpers 11 und damit des peilen Aktuators 1 in Stapelrichtung S definiert die Höhe H. Die Höhe H des piezoelektrischen Aktuators 11 kann beispielsweise größer oder gleich 200 µm und kleiner oder gleich 3 mm sein.

Der Grundkörper 11 weist zwei Isolationsbereiche 12 auf. Jeder der Isolationsbereiche 12 bildet einen Endbereich des Grundkörpers 11 im Bereich der Stirnflächen 24. In den Isolationsbereichen 12 reichen nur Innenelektroden 21 einer Polarität bis an die jeweilige Stirnfläche 24 des

Grundkörpers 11, so dass die Isolationsbereiche vorzugsweise zur Kontaktierung des piezoelektrischen Aktuators 1 verwendet werden.

Der piezoelektrische Aktuator 1 ist so ausgestaltet, dass beim Anlegen einer elektrischen Spannung an die Außenelektroden 23 und damit an die Innenelektroden 21 eine Verformung des Grundkörpers 11 stattfindet, insbesondere bei der gezeigten Vielschichtbauweise mit Innenelektroden eine Längenänderung in die in Figur 1B angedeutete Längsrichtung R1. Insbesondere sind die piezoelektrischen Schichten 22 also derart polarisiert, dass das Anlegen einer elektrischen Spannung zwischen den Innenelektroden 21 zu einer Kontraktion des Grundkörpers 11 führt, bei der sich die Länge L des Grundkörpers 11 senkrecht zur Stapelrichtung S verändert. Folglich erfolgt eine Ausdehnung des Grundkörpers 11 und damit des piezoelektrischen Aktuators 1 quer zur Polarisationsrichtung und zum elektrischen Feld, was auch als d31-Effekt bezeichnet wird. Durch andere Konfigurationen mit oder ohne Innenelektroden im Grundkörper 11 können auch andere Ausdehnungsänderungen erreicht werden. Die folgende Beschreibung bezieht sich ohne beschränkend zu verstehen zu sein der Übersichtlichkeit halber auf die gezeigte Ausführung in Vielschichtbauweise mit der beschriebenen Längenänderung.

Um den Effekt der Längenänderung in die Stapelrichtung S umzuleiten, sind die zwei Verstärkungselemente 13a, 13b vorhanden. Wird an den piezoelektrischen Aktuator 1 eine Spannung angelegt, so verformen sich die Verstärkungselemente 13a, 13b zumindest teilweise in Folge der Änderung der Ausdehnung des Grundkörpers 11. Insbesondere sind das erste und zweite Verstärkungselement 13a, 13b derart dimensioniert und mit dem Grundkörper 11 des piezoelektrischen Aktuators 1

verbunden, dass je ein Tastbereich 17a, 17b der Verstärkungselemente 13a, 13b in Folge einer Änderung der Länge L des Grundkörpers 11 eine Hubbewegung in die der Stapelrichtung S entsprechende in Figur 1B angedeutete Hubrichtung R2 ausführt, wobei die Amplitude der Hubbewegung bevorzugt größer als die Amplitude der Änderung der Länge L des piezoelektrischen Aktuators 1 sein kann.

Der piezoelektrische Aktuator 1 ist wie gezeigt bevorzugt zwischen den Verstärkungselementen 13a, 13b angeordnet. Jedes der Verstärkungselemente 13a, 13b ist bevorzugt einstückig und im gezeigten Ausführungsbeispiel streifenförmig mit einer rechteckigen Grundform ausgebildet. Weiterhin ist jedes der Verstärkungselemente 13a, 13b gekrümmt oder gebogen ausgebildet und ist bügelförmig. Alternativ hierzu kann auch eine ebene Ausbildung der Verstärkungselemente 13a, 13b möglich sein. Beispielsweise weisen die Verstärkungselemente 13a, 13b jeweils einen Blechstreifen auf oder sind daraus, insbesondere mit oder aus Stahl und/oder Titan.

Jedes der Verstärkungselemente 13a, 13b ist in mehrere Bereiche oder Abschnitte untergliedert. So weist jedes Verstärkungselement 13a, 13b einen Mittenbereich auf, der der vorab erwähnte Tastbereich 17a, 17b ist. Die Tastbereiche 17a, 17b sind mit jeweiligen Randbereichen 18a, 18b über Verbindungsbereiche 20a, 20b verbunden. Die beiden Randbereiche 18a, 18b jedes der Verstärkungselemente 13a, 13b liegen auf einer der Hauptoberflächen 11a, 11b des Grundkörpers 11 auf. Mit anderen Worten liegen der erste und der zweite Randbereich 18a des ersten Verstärkungselements 13a auf einem Teilbereich der ersten Hauptoberfläche 11a an der Oberseite 25 des Grundkörpers 11 und damit des piezoelektrischen Aktuators 1 auf. Weiterhin liegen der erste

und der zweite Randbereich 18b des zweiten Verstärkungselements 13b auf einem Teilbereich der zweiten Hauptoberfläche 11b an der Unterseite 26 des Grundkörpers 11 und damit des piezoelektrischen Aktuators 1 auf. Die Randbereiche 18a, 18b sind vorzugsweise unlösbar mit der jeweiligen Hauptoberfläche 11a, 11b verbunden. Insbesondere sind die Randbereiche 18a, 18b mit der jeweiligen Hauptoberfläche 11a, 11b durch eine Klebeverbindung 15 verbunden. Alternativ zu nachfolgenden Beschreibung können die Verstärkungselemente 13a, 13b hier und in den nachfolgend beschriebenen Ausführungen vollflächig am Grundkörper 11, beispielsweise durch einen vollflächig aufgebrachten Klebstoff, befestigt sein, der gleichzeitig als weiter unten beschriebenes Dielektrikum wirken kann.

Die Tastbereiche 17a, 17b sind von der jeweiligen Hauptoberfläche 11a, 11b beabstandet. Insbesondere befindet sich zwischen dem Tastbereich 17a des ersten Verstärkungselement 13a und der ersten Hauptoberfläche 11a sowie zwischen dem Tastbereich 17b des zweiten Verstärkungselement 13b und der zweiten Hauptoberfläche 11b jeweils ein Freibereich 16. Die Freibereiche 16 weisen eine Höhe h auf, die beispielsweise größer oder gleich 0,1 mm und kleiner oder gleich 5,0 mm ist, wenn keine Spannung am piezoelektrischen Aktuator 1 anliegt und keine äußere Kraft auf die Verstärkungselemente 13a, 13b wirkt.

Bevorzugt ist sind die Tastbereiche 17a, 17b so ausgebildet, dass sie im Wesentlichen parallel zu den Hauptoberflächen 11a, 11b verlaufen. Die Verbindungsbereiche 20a, 20b verlaufen schräg zu den Hauptoberflächen 11a, 11b. Mit anderen Worten schließt jeder der Verbindungsbereiche 20a, 20b einen Winkel mit den Hauptoberflächen 11a, 11b ein. Der

Winkel ist vorzugsweise kleiner oder gleich 45°. Damit verkleinert sich die Höhe h des Freibereichs 16 in Richtung vom Tastbereich 17a, 17b hin zu den Randbereichen 18a, 18b des jeweiligen Verstärkungselements 13a, 13b.

Wird nun an den piezoelektrischen Aktuator 1 eine elektrische Spannung angelegt, beispielsweise durch ein an den Außenelektroden 23 des piezoelektrischen Aktuators 1 angeschlossenes Ansteuergerät, so bewegen sich, wie oben beschrieben, die Tastbereiche 17a, 17b der Verstärkungselemente 13a, 13b relativ zum Grundkörper 11 in die Hubrichtung R2, was als haptisches Signal beispielsweise von einem Benutzer wahrgenommen werden kann. Dabei biegen sich die Verstärkungselemente 13a, 13b bevorzugt an Übergängen zwischen den Tastbereichen 17a, 17b und den Verbindungsbereichen 20a, 20b sowie zwischen den Verbindungsbereichen 20a, 20b und den Randbereichen 18a, 18b. Die Verstärkungselemente 13a, 13b können wenigstes eine Ausdünnung, vorzugsweise mehrere Ausdünnungen, zwischen den besagte Bereichen aufweisen, die eine bessere Verformbarkeit der Verstärkungselemente 13a, 13b und eine erleichterte Ausführung der Hubbewegung ermöglichen. Eine Bewegung der Randbereiche 18a, 18b in die Hubrichtung R2 wird durch die Klebeverbindung 15 mit dem piezoelektrischen Aktuator 1 verhindert. Vielmehr bewegen sich die Randbereiche 18a, 18b mit dem Grundkörper 11 in die Längsrichtung R1. Es findet damit eine Relativbewegung zwischen den Randbereichen 18a, 18b und den Tastbereichen 17a, 17b statt.

Wird eine Kraft auf den piezoelektrischen Aktuator 1 entlang der Hubbewegung R2 ausgeübt, was beispielsweise durch eine haptische Eingabe eines Benutzers erfolgen kann, werden die Verstärkungselemente 13a, 13b derart verformt, dass die

Tastbereiche 17a, 17b näher an die jeweilige Hauptoberfläche 11a, 11b gedrückt werden und die Randbereiche 18a, 18b in der Längsrichtung R1 voneinander weggedrückt werden. Durch die Befestigung der Verstärkungselemente 13a, 13b am Grundkörper 11 des piezoelektrischen Aktuators 1 wird auch dieser in Längsrichtung R1 verformt. Dadurch wird im piezoelektrischen Aktuator 1 eine elektrische Spannung erzeugt. Diese Spannung kann an den Außenelektroden 23 detektiert werden und auf diese Weise kann auf eine haptische Eingabe rückgeschlossen werden. Der piezoelektrische Aktuator 1 kann somit als Sensor eingesetzt werden, der eine durch einen Benutzer ausgeübte Krafteinwirkung erkennen kann. Dazu kann der piezoelektrische Aktuator 1 an den Außenelektroden 23 mit einem Ansteuergerät verbunden sein, das die am piezoelektrischen Aktuator 1 erzeugten elektrischen Spannungen auswertet.

In den Figuren 2A und 2B ist in einer dreidimensionalen Darstellung und einer zweidimensionalen Schnittdarstellung ein weiteres Ausführungsbeispiel für einen piezoelektrischen Aktuator 1 für die im Folgenden beschriebenen Haptikvorrichtungen gezeigt, der im Vergleich zum vorherigen Ausführungsbeispiel einen Grundkörper 11 mit einer quadratischen Grundfläche und damit mit quadratischen Hauptoberflächen 11a, 11b aufweist. Die Innenelektroden sind der Übersichtlichkeit halber in der Schnittdarstellung in Figur 2B nicht gezeigt.

Die Verstärkungselemente 13, 13b sind jeweils als eine kreisförmige gewölbte Scheibe, beispielsweise angelehnt an die Form eines Kegelstumpfs oder in der Art eines Beckens beziehungsweise eines Zimbels, ausgebildet, die einen um den vom piezoelektrischen Aktuator 1 beabstandeten Tastbereich 17a umlaufenden Randbereich 18a aufweisen, der am Grundkörper

11 befestigt ist. Zum Luftaustausch bei einer Bewegung der Tastbereiche 17a, 17b können diese wie in den Figuren 2A und 2B angedeutet jeweils eine Öffnung aufweisen. Der Grundkörper 11 und damit der piezoelektrische Aktuator 1 kann beispielsweise eine Seitenlänge von größer oder gleich 5 mm und kleiner oder gleich 100 mm aufweisen.

Die Außenelektroden 23 sind im gezeigten Ausführungsbeispiel auf der ersten Hauptoberfläche 11a des Grundkörpers 11 aufgebracht und können sich auf zumindest eine Stirnfläche zur Kontaktierung der Innenelektroden erstrecken.

Im Übrigen kann das in den Figuren 2A und 2B gezeigte Ausführungsbeispiel Merkmale wie das in den Figuren 1A und 1B gezeigte Ausführungsbeispiel aufweisen.

Alternativ zu den gezeigten Geometrien sind auch andere Geometrien für den piezoelektrischen Aktuator 1 und die Verstärkungselemente 13a, 13b möglich, wie beispielsweise in den Druckschriften WO 2017 / 060 011 A1, WO 2018 / 046 201 A1 und WO 2022 / 248 244 A1 beschrieben sind, deren jeweiliger Offenbarungsgehalt diesbezüglich durch Rückbezug aufgenommen wird.

In Verbindung mit den nachfolgend beschriebenen Figuren werden Haptikvorrichtungen 100 erläutert, die einen piezoelektrischen Aktuator 1 aufweisen, der gemäß den vorherigen Ausführungsbeispielen ausgebildet sein kann. Weiterhin weisen die nachfolgend beschriebenen Haptikvorrichtungen 100 rein beispielhaft ein erstes Verstärkungselement 13a in Form einer gewölbten Kreisscheibe auf der ersten Hauptoberfläche 11a des Grundkörpers 11 des piezoelektrischen Aktuators 1 und ein zweites

Verstärkungselement 13b in Form einer gewölbten Kreisscheibe auf der zweiten Hauptoberfläche 11b des Grundkörpers 11 des piezoelektrischen Aktuators 1 auf, wie sie in Verbindung mit den Figuren 2A und 2B beschrieben sind. Alternativ hierzu können die nachfolgend beschriebenen Haptikvorrichtungen 100 beispielsweise auch nur das erste Verstärkungselement 13a aufweisen und auf der zweiten Hauptoberfläche 11b frei von einem Verstärkungselement sein und/oder andere Geometrien, beispielsweise wie in Verbindung mit den Figuren 1A und 1B beschrieben, aufweisen. Die nachfolgende Beschreibung bezieht sich hauptsächlich auf die Unterschiede zu den Ausführungsbeispielen der vorherigen Figuren. Nicht beschriebene Elemente und Komponenten können daher bevorzugt wie in Verbindung mit den Figuren 1A bis 2B erläutert ausgebildet sein.

In Figur 3A ist ein Ausführungsbeispiel für die Haptikvorrichtung 100 in einer Schnittdarstellung gemäß der Darstellung in Figur 2B gezeigt. In Figur 3B ist die Haptikvorrichtung in einer dreidimensionalen Ansicht ohne das erste Verstärkungselement 13a gezeigt, um eine freie Sicht auf die Oberseite 25 des piezoelektrischen Aktuators 1 zu haben.

Die Haptikvorrichtung 100 weist ein erstes kapazitives Element 30a auf. Das erste kapazitive Element 30a weist insbesondere eine erste Elektrode 31a und eine zweite Elektrode 32a auf und ist als kapazitiver Sensor ausgebildet. Das erste Verstärkungselement 13a bildet die erste Elektrode 31a des ersten kapazitiven Elements 30a. Weiterhin ist auf der ersten Hauptoberfläche 11a des Grundkörpers 11 des piezoelektrischen Aktuators 1 die zweite Elektrode 32a des ersten kapazitiven Elements 30a angeordnet. Alternativ dazu

kann die zweite Elektrode 32a auch auf der zweiten Hauptoberfläche 11b angeordnet sein, wobei die nachfolgende Beschreibung gleichermaßen gilt.

Die zweite Elektrode 32a ist bevorzugt durch eine Beschichtung in Form einer einschichtigen oder mehrschichten Elektrodenschicht auf der ersten Hauptoberfläche 11a gebildet. Beispielsweise kann die zweite Elektrode 32a eine erste Schicht mit oder aus Kupfer und eine zweite Schicht mit oder aus Silber aufweisen. Alternativ dazu kann die zweite Elektrode 32a beispielsweise nur durch eine Kupferschicht oder nur durch eine Silberschicht oder durch eine oder mehrere Schichten mit oder aus anderen Metallen gebildet sein. Besonders bevorzugt sind alle auf der ersten Hauptoberfläche 11a aufgebrachten elektrisch leitenden Strukturen gleich oder ähnlich ausgebildet, so dass diese bevorzugt in gemeinsamen Arbeitsschritten hergestellt werden können, beispielsweise mittels Siebdruck. Dies kann insbesondere für die weiter unten beschriebenen elektrischen Kontaktelemente 311a, 321a gelten.

Wie in Figur 3A angedeutet ist, ist die zweite Elektrode 32a zumindest unterhalb des Tastbereichs 17a angeordnet. Dies kann bedeuten, dass die zweite Elektrode 32a nur unterhalb des Tastbereichs 17a angedeutet ist. Alternativ hierzu kann die zweite Elektrode 32a entlang der Haupterstreckungsrichtung der ersten Hauptoberfläche 11a auch eine größere Ausdehnung als der Tastbereich 17a des ersten Verstärkungselements 13a aufweisen. Wie in Verbindung mit den vorherigen Figuren beschrieben ist, kann eine Krafteinwirkung, beispielsweise durch einen Benutzer, auf den Tastbereich 17a des ersten Verstärkungselements 13a dazu führen, dass der Tastbereich 17a in Richtung der ersten

Hauptoberfläche 11a gedrückt wird, wodurch dann eine Längenänderung des Grundkörpers 11 des piezoelektrischen Aktuators 1 bewirkt wird. Insbesondere wird bei der Haptikvorrichtung 100 aber auch der Abstand der ersten Elektrode 31a des ersten kapazitiven Elements 30a, also insbesondere der Tastbereich 17a des ersten Verstärkungselements 13a, zur zweiten Elektrode 32a verringert, wodurch sich die elektrische Kapazität des ersten kapazitiven Elements 30a ändert. Durch eine Detektion der Kapazität des ersten kapazitiven Elements 30a kann somit auf einen Abstand der ersten Elektrode 31a, also des ersten Verstärkungselements 13a, zur zweiten Elektrode 32a zurückgeschlossen werden. Da der Abstand der ersten Elektrode 31a, also des ersten Verstärkungselements 13a, zur zweiten Elektrode 32a abhängig ist von der Kraft, die auf die erste Elektrode 31a, also den Tastbereich 17a des ersten Verstärkungselements 13a, einwirkt, kann durch eine Detektion der Kapazität des ersten kapazitiven Elements 30a auf diese Kraft zurückgeschlossen werden. Somit kann das erste kapazitive Element 30a als Kraftsensor ausgebildet sein.

Die Haptikvorrichtung 100 weist somit ein integriertes erstes kapazitives Element 30a auf, wobei das erste Verstärkungselement 13a eine Doppelfunktion aufweist, nämlich eine mechanische Funktion im Zusammenwirken mit dem piezoelektrischen Aktuator 1 und eine elektrische Funktion im Zusammenhang mit dem ersten kapazitiven Element 30a. Zur elektrischen Kontaktierung des ersten kapazitiven Elements 30a weist dieses ein erstes elektrisches Kontaktelement 311a, mit dem die erste Elektrode 31a des ersten kapazitiven Elements 30a elektrisch von außen kontaktiert werden kann, und ein zweites elektrisches Kontaktelement 321a auf, mit dem die zweite Elektrode 32a des ersten kapazitiven Elements 30a

elektrisch von außen kontaktiert werden kann. Wie weiter oben beschrieben können das erste elektrische Kontaktelement 311a und/oder das zweite elektrische Kontaktelement 321a beispielsweise eine erste Schicht mit oder aus Kupfer und eine zweite Schicht mit oder aus Silber aufweisen. Alternativ dazu können das erste elektrische Kontaktelement 311a und/oder das zweite elektrische Kontaktelement 321a beispielsweise nur durch eine Kupferschicht oder nur durch eine Silberschicht oder durch eine oder mehrere Schichten mit oder aus anderen Metallen gebildet sein. Insbesondere können das erste elektrische Kontaktelement 311a und/oder das zweite elektrische Kontaktelement 321a in Bezug auf Material und Schichtaufbau gleich wie die zweite Elektrode 32a sein.

Das erste elektrische Kontaktelement 311a zum elektrischen Anschluss der ersten Elektrode 31a, also des ersten Verstärkungselements 13a, weist einen ersten Anschlussbereich 312a und auf der ersten Hauptoberfläche 11a einen Befestigungsbereich 313a auf. Das zweite elektrische Kontaktelement 321a zum elektrischen Anschluss der zweiten Elektrode 32a weist einen zweiten Anschlussbereich 322a und eine Leiterbahn 324a auf, vermittels derer der zweite Anschlussbereich 322a mit der zweite Elektrode 32a elektrisch leitend verbunden ist. Der erste Anschlussbereich 312a und der zweite Anschlussbereich 322a können besonders bevorzugt wie auch die Außenelektroden 23 auf der ersten Hauptoberfläche 11a angeordnet sein. Wie oben für die zweite Elektrode 32a beschrieben können das erste elektrische Kontaktelement 311a und das zweite elektrische Kontaktelement 321a ganz oder teilweise durch eine elektrisch leitende Beschichtung auf der ersten Hauptoberfläche 11a ausgebildet sein.

Der Befestigungsbereich 313a des ersten elektrischen Kontaktelements 311a ist dazu vorgesehen und eingerichtet, dass das erste Verstärkungselement 13a zumindest zum Teil auf dem ersten Befestigungsbereich 313a angeordnet und montiert ist. Mittels des Befestigungsbereichs 313a wird somit die durch das erste Verstärkungselement 13a gebildete erste Elektrode 31a elektrisch leitend mit dem ersten Anschlussbereich 312a verbunden. Insbesondere wird der Randbereich 18a des ersten Verstärkungselements 13a zumindest teilweise auf dem Befestigungsbereich 313a des ersten elektrischen Kontaktelements 311a elektrisch leitend befestigt. Mit anderen Worten kann der gesamte Randbereich 18a oder nur ein Teil des Randbereichs 18a des ersten Verstärkungselements 13a auf dem Befestigungsbereich 313a des ersten elektrischen Kontaktelements 311a angeordnet und befestigt sein. Der Befestigungsbereich 313a und der erste Anschlussbereich 312a können unmittelbar aneinander angrenzen oder ineinander übergehen oder sind wie gezeigt mittels einer Leiterbahn 314a auf der Hauptoberfläche 11a miteinander verbunden.

Wie oben in Verbindung mit den Figuren 1A bis 2B beschrieben ist der Randbereich 18a des ersten Verstärkungselements 13a durch eine Klebeverbindung 15, also mittels eines Klebstoffs, auf dem piezoelektrischen Aktuator 1 aufgeklebt. In Figur 3B ist die Klebeverbindung 15, also der Bereich, in dem der Klebstoff angeordnet ist, durch den gestrichelt umgrenzten ringförmigen Bereich angedeutet. Der Klebstoff kann ein elektrisch leitender Klebstoff, also ein Leitkleber, sein, der ein Klebstoffpolymer aufweist, das mit elektrisch leitenden Partikeln gefüllt ist. Weiterhin kann der Klebstoff ein elektrisch isolierender Klebstoff sein, der in einer Schicht ausgebildet ist, die ausreichend dünn ist und

beispielsweise eine Dicke von kleiner oder gleich 20 µm aufweist, so dass dennoch ein elektrisch leitender Kontakt zwischen dem Randbereich 18a des ersten Verstärkungselements 13a und dem Befestigungsbereich 313a des ersten elektrischen Kontaktelements 311a entsteht.

Im gezeigten Ausführungsbeispiel ist der Randbereich 18a des ersten Verstärkungselements 13a teilweise auf dem Befestigungsbereich 313a und teilweise auf der ersten Hauptoberfläche 11a befestigt. Das kann insbesondere bedeuten, dass der Befestigungsbereich 313a nicht im gesamten vom Randbereich 18a überdeckten Bereich der ersten Hauptoberfläche 11a vorgesehen ist, sondern der Klebstoff nicht nur zwischen einem Teil des Randbereichs 18a und dem Befestigungsbereich 313a, sondern auch zwischen einem anderen Teil des Randbereichs 18a und einem vom Befestigungsbereich 313a nicht bedeckten Bereich der ersten Hauptoberfläche 11a angeordnet ist. Dazu ist der Befestigungsbereich 313a beispielsweise wie in Figur 3B gezeigt schlangenlinienartig oder auch mäanderartig auf der ersten Hauptoberfläche 11a ausgebildet, so dass der Randbereich 18a des ersten Verstärkungselements 13a und die Klebeverbindung 15 auch Bereiche überdecken, die frei vom Material des Befestigungsbereichs 313a sind. Eine solche Ausführung kann beispielsweise vorteilhaft sein, wenn die Klebeverbindung 15 eine bessere Haftung zum Material des Grundkörpers 11 als zum Material des Befestigungsbereichs 313a aufweist.

Auf der Leiterbahn 324a des zweiten elektrischen Kontaktelements 321a ist im gezeigten Ausführungsbeispiel eine elektrisch isolierende Schicht 325a aufgebracht. Durch die elektrisch isolierende Schicht 325a, beispielsweise eine Kunststofffolie oder eine Kunststoffbeschichtung, kann die

Leiterbahn 324a des zweiten elektrischen Kontaktelements 321a von der ersten Elektrode 31a, also dem ersten Verstärkungselement 13a, elektrisch isoliert sein.

In Verbindung mit den weiteren Figuren werden Modifikationen der Haptikvorrichtung 100 erläutert. Die nachfolgende Beschreibung beschränkt sich daher im Wesentlichen auf Unterschiede zu vorherigen Ausführungsbeispielen.

Wie in Figur 4 in einem weiteren Ausführungsbeispiel der Haptikvorrichtung 100 gezeigt ist, kann das erste elektrische Kontaktelement 311a auch durch den ersten Anschlussbereich 312a auf der ersten Hauptoberfläche 11a und ein flexibles elektrisch leitendes Verbindungselement 316a wie beispielsweise ein elektrisch leitendes Klebeband gebildet sein. Der erste Anschlussbereich 312a kann wie gezeigt mit der der ersten Hauptoberfläche 11a abgewandten Oberseite des ersten Verstärkungselements 13a oder alternativ auch mit der der ersten Hauptoberfläche 11a zugewandten Unterseite des ersten Verstärkungselements 13a verbunden sein.

Wie vorab in den Figuren 3A und 3B angedeutet ist, kann die zweite Elektrode 32a durch eine Elektrodenschicht unmittelbar auf der ersten Hauptoberfläche 11a des Grundkörpers 11 ausgebildet sein. Alternativ hierzu kann, wie in einem weiteren Ausführungsbeispiel der Haptikvorrichtung 100 in Figur 5A angedeutet ist, die die zweite Elektrode bildende Elektrodenschicht auch auf einer Stufe und damit auf einem erhöhten Bereich aufgebracht sein, der auf dem Grundkörper ausgebildet ist. Beispielsweise kann der erhöhte Bereich eine Zwischenschicht 40 aufweisen oder daraus sein, beispielsweise mit oder aus einem Kunststoffmaterial. Alternativ hierzu kann der erhöhte Bereich auch in der ersten Hauptoberfläche 11a

ausgebildet sein und somit beispielsweise durch eine Strukturierung des Materials des Grundkörpers 11 gebildet sein. Durch den erhöhten Bereich kann die zweite Elektrode 32a näher am Tastbereich 17a des ersten Verstärkungselements 13a und damit näher an der ersten Elektrode 31a angeordnet sein, was zu einer Verstärkung eines kapazitiven Signals des ersten kapazitiven Element 30a führen kann. Insbesondere kann ein Abstand zwischen der ersten Elektrode 31a und der zweiten Elektrode 32a von größer oder gleich 50 µm und kleiner oder gleich 200 µm, beispielsweise etwa 150 µm, vorteilhaft im Hinblick auf ein gutes Signal des ersten kapazitiven Elements 30a sein.

Im Freibereich 16 zwischen dem ersten Verstärkungselement 13a, also insbesondere zwischen dem Tastbereich 17a des ersten Verstärkungselements 13a, und der ersten Hauptoberfläche 11a und somit besonders bevorzugt zwischen der ersten Elektrode 31a und der zweiten Elektrode 32a des ersten kapazitiven Elements 30a ist ein dielektrisches Material vorhanden, das beispielsweise Luft ist. Alternativ hierzu kann beispielsweise der Freibereich 16 zumindest teilweise mit einem Kunststoffmaterial als dielektrischem Material 50 gefüllt sein, das beispielsweise ein Kunststoffschaum sein kann. Weiterhin kann, wie in Figur 5B in einem weiteren Ausführungsbeispiel der Haptikvorrichtung 100 angedeutet ist, beispielsweise eine Kunststofffolie als dielektrisches Material 50 vorhanden sein, die beispielsweise zumindest auf der zweiten Elektrode 32a angeordnet ist. Durch ein geeignet gewähltes dielektrisches Material 50 kann beispielsweise eine Anpassung der Kapazität des ersten kapazitiven Elements 30a und/oder eine elektrische Isolierung zwischen der ersten Elektrode 31a und zweiten Elektrode 32a erreicht werden. Weiterhin kann, wie weiter oben beschrieben

ist, das dielektrische Material 50 durch einen vollflächig aufgebrachten Klebstoff gebildet sein, durch den das gesamte erste Verstärkungselement 13a auf dem Grundkörper 11 befestigt sein kann. Der Klebstoff kann in diesem Fall den Abstand zur ersten Hauptoberfläche vermitteln und gleichzeitig als Dielektrikum wirken.

In Figur 5C ist ein weiteres Ausführungsbeispiel der Haptikvorrichtung 100 gezeigt, die im Vergleich zu den Ausführungsbeispielen der Figuren 3A bis 5B ein zweites kapazitives Element 30b aufweist. Das zweite kapazitive Element 30b weist ebenfalls eine erste Elektrode 31b und eine zweite Elektrode 32b auf und ist als kapazitiver Sensor ausgebildet. Das zweite Verstärkungselement 13b bildet die erste Elektrode 31b des zweiten kapazitiven Elements 30b. Weiterhin ist auf der zweiten Hauptoberfläche 11b des Grundkörpers 11 die zweite Elektrode 32b des zweiten kapazitiven Elements 30b angeordnet. Zu erkennen ist in Figur 5C auch noch die Leiterbahn 324b des zweiten elektrischen Kontaktelements des zweiten kapazitiven Elements 30b zur Kontaktierung der zweiten Elektrode 32b.

Das erste kapazitive Element 30a und das zweite kapazitive Element 30b sind besonders bevorzugt gleich ausgebildet, so dass die in Verbindung mit den vorherigen Ausführungsbeispielen beschriebenen Merkmale und Eigenschaften des ersten kapazitiven Elements 30a entsprechend für das zweite kapazitive Element 30b gelten können, so dass bei einer Krafteinwirkung auf die Haptikvorrichtung 100 zumindest im Wesentlichen gleiche kapazitive Signale an den beiden kapazitiven Elementen 30a, 30b detektiert werden können.

Alternativ können das erste kapazitive Element 30a und das zweite kapazitive Element 30b unterschiedlich ausgebildet sein, so dass bei einer Krafteinwirkung auf die Haptikvorrichtung 100 unterschiedliche kapazitive Signale an den beiden kapazitiven Elementen 30a, 30b detektiert werden können. In den vorab und nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispielen kann die Haptikvorrichtung 100 ebenfalls auch ein zweites kapazitives Element 30b aufweisen, das gleich wie das erste kapazitive Element 30a oder verschieden dazu ausgebildet sein kann.

Beispielsweise kann der Randbereich des ersten Verstärkungselements ausschließlich auf dem Befestigungsbereich befestigt sein. In diesem Fall kann, wie in Figur 6A in einer Darstellung der Haptikvorrichtung 100 ohne das erste Verstärkungselement 13a angedeutet ist, der vom Randbereich des ersten Verstärkungselements überdeckte Bereich der ersten Hauptoberfläche 11a vollständig mit dem Befestigungsbereich 313a des ersten elektrischen Kontaktelements 311a versehen sein. Dieser kann entsprechend beispielsweise als umlaufender Ring ausgebildet sein.

Weiterhin kann, wie in Figur 6A und in einem Ausschnitt einer Schnittdarstellung in Figur 6B angedeutet ist, das zweite elektrische Kontaktelement 321a zumindest ein elektrisches Via 327a beziehungsweise wie gezeigt zwei elektrische Vias 327a und eine innerhalb des Grundkörpers 11 angeordnete Leiterbahn 324a aufweisen, durch die die zweite Elektrode 32a mit dem zweiten Anschlussbereich 322a des zweiten elektrischen Kontaktelements 321a verbunden ist. Dadurch kann die Leiterbahn 324a des zweiten elektrischen Kontaktelements 321a vom Befestigungsbereich 313a des ersten elektrischen Kontaktelements 311a sowie vom ersten Verstärkungselement

durch das Material des Grundkörpers 11 des piezoelektrischen Aktuators 1 elektrisch isoliert werden.

Wie in den Figuren 7A und 7B in den Figuren 6A und 6B entsprechenden Ansichten gezeigt ist, kann die zweite Elektrode 32a durch eine Elektrodenschicht innerhalb des Grundkörpers 11 des piezoelektrischen Aktuators 1 gebildet sein. In diesem Fall ist die zweite Elektrode 32a innerhalb des Grundkörpers 11 unterhalb der ersten Hauptoberfläche angeordnet. Besonders bevorzugt weist das zweite elektrische Kontaktelement 321a hierbei zumindest ein elektrisches Via 327a auf, durch das die zweite Elektrode 32a mit dem zweiten Anschlussbereich 322a verbunden ist. Im gezeigten Ausführungsbeispiel ist die die zweite Elektrode 32a bildende Elektrodenschicht von den Innenelektroden des piezoelektrischen Aktors 1 verschieden und damit von diesen durch das piezoelektrische Material des Grundkörpers 11 elektrisch isoliert.

Weiterhin kann, wie in den Figuren 8A und 8B in ebenfalls den Figuren 6A und 6B entsprechenden Ansichten angedeutet ist, die zweite Elektrode 32 durch zumindest eine Innenelektrode 21 des piezoelektrischen Aktuators 1 gebildet sein. In diesem Fall hat die besagte zumindest eine Innenelektrode 21 eine Doppelfunktion, nämlich eine elektrische Funktion im Zusammenhang mit dem piezoelektrischen Aktuator 1 und eine elektrische Funktion im Zusammenhang mit dem ersten kapazitiven Element 30a. Weiterhin kann der zweite Anschlussbereich 322a oder sogar das zweite elektrische Kontaktelement 321a des ersten kapazitiven Elements 30a gleichzeitig eine Außenelektrode 23 für Innenelektroden 21 des piezoelektrischen Aktuators 1 sein.

In den vorab beschriebenen Ausführungsbeispielen weist das erste Verstärkungselement 13a insbesondere einen Tastbereich 17a auf, der eine konstante Wandstärke und eine ebene Ausformung aufweist. Wie in den Figuren 9A bis 11B angedeutet ist, kann das erste Verstärkungselement 13a, das in den Figuren 9A bis 11B rein beispielhaft wie in Verbindung mit der Figur 4 beschrieben kontaktiert ist, im Tastbereich 17a auf einer der ersten Hauptoberfläche 11a zugewandten Unterseite zumindest einen erhabenen Bereich 170a, also einen sich der ersten Hauptoberfläche 11a entgegenstreckenden Bereich, aufweisen, wodurch der effektive Abstand zwischen der ersten Elektrode 31a und der zweiten Elektrode 32a des ersten kapazitiven Elements 30a beeinflusst werden kann. Insbesondere kann ein Abstand zwischen der ersten Elektrode 31a des ersten kapazitiven Elements 30a, gebildet durch das erste Verstärkungselement 13a, und der zweiten Elektrode 32a des ersten kapazitiven Elements 30a wie oben in Verbindung mit der Figur 5A beschrieben verringert werden, wodurch ein stärkeres kapazitives Feld erzeugt werden kann und damit das kapazitive Signal und insbesondere das Signal-Rausch-Verhältnis des ersten kapazitiven Elements 30a vergrößert werden kann. Beispielsweise kann der zumindest eine erhabene Bereich 170a durch eine von einer der ersten Hauptoberfläche 11a abgewandten Oberseite des ersten Verstärkungselements 13a eingebrachten Prägestruktur gebildet sein. Mit anderen Worten kann der zumindest eine erhabene Bereich 170a auf der Unterseite einem vertieften Bereich auf der Oberseite des Tastbereichs 17a entsprechen, der durch eine Prägung von der Oberseite des Tastbereichs 17a her eingebracht worden ist. Das zweite Verstärkungselement 13b kann einen entsprechenden Tastbereich 17b mit zumindest einem erhabenen Bereich 170b aufweisen.

Wie in den Figuren 9A und 9B angedeutet ist, kann der erhabene Bereich 170a auf der Unterseite des ersten Verstärkungselements 13a beispielsweise ringförmig sein und beispielsweise zwei erhabene Ringe aufweisen, die sich der ersten Hauptoberfläche 11a entgegenstrecken. Auf der der ersten Hauptoberfläche 11a abgewandten Oberseite des ersten Verstärkungselements 13a sind entsprechend zwei ringförmige Vertiefungen eingeprägt, wie in Figur 9A zu erkennen ist.

Wie in den Figuren 10A und 10B in Darstellungen des ersten Verstärkungselements 13a angedeutet ist, kann der erhabene Bereich 170a auf der Unterseite beispielsweise auch nur durch einen ringförmigen Bereich gebildet sein, der einer entsprechenden ringförmigen eingeprägten Vertiefung in der Oberseite entspricht. Anstelle einer Einprägung kann das erste Verstärkungselement 13a im Tastbereich 17a zur Ausbildung des erhabenen Bereichs 170a beispielsweise auch eine Verdickung, also einen Bereich mit größerer Dicke, der sich zur ersten Hauptoberfläche erstreckt, aufweisen, wie in Figur 10C angedeutet ist.

Der erhabene Bereich ist nicht auf Ringformen beschränkt. Wie in den Figuren 11A und 11B angedeutet ist, kann beispielsweise auch eine speichenartige Struktur eingeprägt sein, die im gezeigten Ausführungsbeispiel in entsprechende vier erhabene Bereiche 170a auf der Unterseite des Tastbereichs 17a des ersten Verstärkungselements 13a resultieren.

Durch die Anordnung der Außenelektroden und der Anschlussbereiche der elektrischen Kontaktelemente auf derselben Seite der Haptikvorrichtung 100, also beispielsweise auf der ersten Hauptoberfläche des

piezoelektrischen Aktuators, ist eine einfache elektrische Kontaktierung der Haptikvorrichtung 100 möglich. Beispielsweise kann diese durch einen flexiblen Leiterplatten-Verbinder („flexible printed circuit connector", „FPC connector") 60 erfolgen, wie in Figur 12 gezeigt ist.

Die hier beschriebene Haptikvorrichtung nutzt eine kapazitive Feldabtastung, um auf kostengünstige Weise einen statischen Kraftsensor in einen piezoelektrischen Aktuator zu integrieren. Durch die Integration eines statischen Kraftsensors in die Aktuator-Komponente können die typischen Anforderungen an die Berührungssensorik von, insbesondere auch anspruchsvollen, haptischen Benutzerschnittstellen erfüllt werden. Durch die Verwendung eines einzigen Bauteils als Sensor und Aktuator können neue Systeme geschaffen werden, die Kosten, Gewicht und Designkomplexität reduzieren können. Auch die Sensorfunktion des piezoelektrischen Aktuators selbst kann durch die Verwendung des kapazitiven Elements beispielsweise als Sicherheitsfunktion unterstützt oder verbessert werden, etwa im Hinblick auf das Signal-Rausch-Verhältnis, die Ansprechzeit und/oder eine Kraft-Zeit-Messung) mit dem Feldsensor unterstützt oder verbessert werden, und umgekehrt.

Wie oben beschrieben wird die Kraftmessungslösung dadurch realisiert, dass zwei leitende Oberflächen in Form der ersten und zweiten Elektrode zumindest des ersten kapazitiven Elements so nahe beieinander angeordnet werden, dass ein kapazitives Feld erzeugt werden kann. Die Kapazität des erzeugten Feldes ändert sich, wenn sich der Abstand zwischen den beiden Elektroden ändert. Wenn also beispielsweise ein Benutzer mit einem Finger auf eine Berührungsfläche drückt,

die wiederum auf die Haptikvorrichtung drückt, bewegen sich die beiden Elektroden zumindest des ersten kapazitiven Elements näher zueinander, und die Kraft, mit der der Finger drückt, kann bestimmt werden, unabhängig davon, mit welcher Geschwindigkeit die Berührungskraft auftritt. Anschließend kann eine Berührungseingabe ausgelöst werden, und zwar genau zum richtigen Zeitpunkt, und auf Wunsch kann dieselbe Haptikvorrichtung auch eine haptische Rückmeldung erzeugen, um zu bestätigen, dass die Eingabe registriert wurde.

Die Haptikvorrichtung ermöglicht eine zuverlässige Kraftsensorik in Kombination mit haptischem Feedback in einer einzigen Komponente, was Kosten und Designkomplexität reduzieren kann. Beispielsweise basiert haptisches Feedback oft auf kleinen mechanischen Bewegungen im Bereich von größer oder gleich 10 und kleiner oder gleich 300 µm. Folglich sind bei der Systemintegration hohe mechanische Toleranzen erforderlich. Müsste man einen separaten Kraftsensor und einen separaten haptischen Aktuator verwenden, ist dies nicht nur komplex in der Systemintegration, sondern auch im Hinblick auf die Mechanik und Montage sehr anspruchsvoll und teuer.

Ein weiterer Vorteil der hier beschriebenen Haptikvorrichtung liegt in seiner mehrfachen Sensorfunktionalität, die beispielsweise unter Sicherheits- und Energiesparaspekten nützlich sein kann. Beispielsweise können für sicherheitskritische Schalter zwei Eingangsschaltungen erforderlich sein, etwa für den Warnblinkschalter, der in jedem Auto vorhanden ist. Durch die Integration von zwei kapazitiven Elementen, also des ersten und zweiten kapazitiven Elements, auf den beiden Seiten des piezoelektrischen Aktuators, können diese redundant in zwei

ähnliche Schaltkreise integriert werden. In anderen Anwendungen kann es ausreichend sein, wenn der piezoelektrische Aktuator als ein piezoelektrischer Sensor in einem Schaltkreis und das erste kapazitive Element als kapazitiver Feldsensor im anderen Schaltkreis verwendet werden. Weiterhin kann in Bezug auf Energieeinsparungen bemerkt werden, dass die Erzeugung eines kapazitiven Felds prinzipiell immer Energie verbraucht, insbesondere wenn man ein Feld erzeugen und die Änderung messen will. Es kann zwar eine niedrigere Sensorfrequenz verwendet werden, aber, bei gleichzeitiger Einführung von Verzögerungen in das System, verbraucht dies immer noch Energie. Piezoelektrische Sensoren sind passive Sensoren, die eine Spannung erzeugen, wenn sie gedrückt werden. Daher kann es möglich sein, den piezoelektrischen Aktuator verwenden, um das kapazitive Element „aufzuwecken", und dann immer noch die Veränderung sowie länger anhaltenden Druck mit dem kapazitiven Element zu messen, um die Kraft und die Dauer des Drucks zu detektieren. Menschliche Bewegungen sind üblicherweise so langsam, dass eine Reaktionszeit von wenigen Millisekunden schnell genug sein kann, um eine kapazitive Änderung zu erkennen.

Die in den in Verbindung mit den Figuren beschriebenen Merkmale und Ausführungsbeispiele können gemäß weiteren Ausführungsbeispielen miteinander kombiniert werden, auch wenn nicht alle Kombinationen explizit beschrieben sind. Weiterhin können die in Verbindung mit den Figuren beschriebenen Ausführungsbeispiele alternativ oder zusätzlich weitere Merkmale gemäß der Beschreibung im allgemeinen Teil aufweisen.

Die Erfindung ist nicht durch die Beschreibung anhand der Ausführungsbeispiele auf diese beschränkt. Vielmehr umfasst

die Erfindung jedes neue Merkmal sowie jede Kombination von Merkmalen, was insbesondere jede Kombination von Merkmalen in den Patentansprüchen beinhaltet, auch wenn dieses Merkmal oder diese Kombination selbst nicht explizit in den Patentansprüchen oder Ausführungsbeispielen angegeben ist.

Bezugszeichenliste

1	piezoelektrischer Aktuator
11	Grundkörper
11a, 11b	Hauptoberfläche
12	Isolationsbereich
13a, 13b	Verstärkungselement
15	Klebeverbindung
16	Freibereich
17a, 17b	Tastbereich
18a, 18b	Randbereich
20a, 20b	Verbindungsbereich
21	Innenelektrode
22	piezoelektrische Schicht
23	Außenelektrode
24	Stirnfläche
25	Oberseite
26	Unterseite
30a, 30b	kapazitives Element
31a, 31b	erste Elektrode
32a, 32b	zweite Elektrode
40	Zwischenschicht
50	dielektrisches Material
60	Verbinder
100	Haptikvorrichtung
170a, 170b	erhabener Bereich
311a, 321a	elektrisches Kontaktelement
312a, 322a	Anschlussbereich
313a	Befestigungsbereich
314a	Leiterbahn
316a	elektrisch leitendes Verbindungselement
324a, 324b	Leiterbahn
325a	elektrisch isolierende Schicht
327a	elektrisches Via
B	Breite
H	Höhe

L	Länge
R1	Längsrichtung
R2	Hubrichtung
S	Stapelrichtung

Patentansprüche

1. Haptikvorrichtung (100), aufweisend
- einen piezoelektrischen Aktuator (1) aufweisend einen Grundkörper (11) und
- ein erstes Verstärkungselement (13a) auf einer ersten Hauptoberfläche (11a) des piezoelektrischen Aktuators (1),
- ein erstes kapazitives Element (30a),
wobei das erste Verstärkungselement (13a) am piezoelektrischen Aktuator (1) befestigt ist und einen Tastbereich (17a) aufweist, der beabstandet über der ersten Hauptoberfläche (11a) angeordnet ist,
wobei das erste Verstärkungselement (13a) eine erste Elektrode (31a) des ersten kapazitiven Elements (30a) bildet,
wobei auf einer Hauptoberfläche (11a, 11b) oder innerhalb des Grundkörpers (11) eine zweite Elektrode (32a) des ersten kapazitiven Elements (30a) angeordnet ist.

2. Haptikvorrichtung (100) nach Anspruch 1, wobei das erste Verstärkungselement (13a) zumindest mit einem Randbereich (18a) am piezoelektrischen Aktuator (1) befestigt ist.

3. Haptikvorrichtung (100) nach Anspruch 1 oder 2, wobei das erste Verstärkungselement (13a) vollflächig am piezoelektrischen Aktuator (1) befestigt ist.

4. Haptikvorrichtung (100) nach Anspruch 2, weiterhin aufweisend ein erstes elektrisches Kontaktelement (311a) zur elektrischen Kontaktierung der ersten Elektrode (31a).

5. Haptikvorrichtung (100) nach Anspruch 4, wobei das erste elektrische Kontaktelement (311a) einen ersten Anschlussbereich (312a) und auf der ersten Hauptoberfläche (11a) einen Befestigungsbereich (313a) aufweist.

6. Haptikvorrichtung (100) nach Anspruch 5, wobei der Randbereich (18a) des ersten Verstärkungselements (13a) zumindest teilweise auf dem Befestigungsbereich (313a) des ersten elektrischen Kontaktelements (311a) elektrisch leitend befestigt ist.

7. Haptikvorrichtung (100) nach Anspruch 5 oder 6, wobei der Randbereich (18a) auf dem Befestigungsbereich (313a) mittels einer Klebeverbindung (15) aufgeklebt ist, die durch einen elektrisch leitenden Klebstoff gebildet wird.

8. Haptikvorrichtung (100) nach Anspruch 5 oder 6, wobei der Randbereich (18a) auf dem Befestigungsbereich (313a) mittels einer Klebeverbindung (15) aufgeklebt ist, die durch einen elektrisch isolierenden Klebstoff gebildet wird.

7. Haptikvorrichtung (100) nach einem der Ansprüche 5 bis 8, wobei der Randbereich (18a) teilweise auf dem Befestigungsbereich (313a) und teilweise direkt auf der ersten Hauptoberfläche (11a) befestigt ist.

8. Haptikvorrichtung (100) nach Anspruch 7, wobei der Befestigungsbereich (313a) schlangenlinienartig oder

mäanderartig auf der ersten Hauptoberfläche (11a) verläuft.

9. Haptikvorrichtung (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei der Tastbereich (17a) auf einer der ersten Hauptoberfläche (11a) zugewandten Unterseite zumindest einen erhabenen Bereich (170a) aufweist, der sich der ersten Hauptoberfläche (11a) entgegenstreckt.

10. Haptikvorrichtung (100) nach Anspruch 9, wobei der zumindest eine erhabene Bereich (170a) durch eine von einer der ersten Hauptoberfläche (11a) abgewandten Oberseite des ersten Verstärkungselementes (13a) eingebrachten Prägestruktur gebildet ist.

11. Haptikvorrichtung (100) nach Anspruch 9, wobei der zumindest eine erhabene Bereich (170a) durch eine Verdickung des Tastbereichs (17a) gebildet ist.

12. Haptikvorrichtung (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die zweite Elektrode (32a) auf der ersten Hauptoberfläche (11a) oder unter der ersten Hauptoberfläche (11a) innerhalb des Grundkörpers (11) des ersten kapazitiven Elements (30a) angeordnet ist.

13. Haptikvorrichtung (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die zweite Elektrode (32a) nur unterhalb des Tastbereichs (17a) angeordnet ist.

14. Haptikvorrichtung (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, weiterhin aufweisend ein zweites elektrisches Kontaktelement (321a) mit einem zweiten Anschlussbereich

(322a) zur elektrischen Kontaktierung der zweiten Elektrode (32a).

15. Haptikvorrichtung (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die zweite Elektrode (32a) durch eine Elektrodenschicht auf einer Hauptoberfläche (11a, 11b) gebildet ist.

16. Haptikvorrichtung (100) nach Anspruch 14 und 15, wobei das zweite elektrische Kontaktelement (321a) eine Leiterbahn (324a) auf einer Hauptoberfläche (11a) aufweist, durch die die zweite Elektrode (32a) mit dem zweiten Anschlussbereich (322a) verbunden ist.

17. Haptikvorrichtung (100) nach Anspruch 16, wobei auf der Leiterbahn (324a) eine elektrisch isolierende Schicht (325a) aufgebracht ist.

18. Haptikvorrichtung (100) nach Anspruch 14 und 15, wobei das zweite elektrische Kontaktelement (321a) zumindest ein elektrisches Via (327a) und eine innerhalb des Grundkörpers (11) angeordnete Leiterbahn (324a) aufweist, durch die die zweite Elektrode (32a) mit dem zweiten Anschlussbereich (322a) verbunden ist.

19. Haptikvorrichtung (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 14, wobei die zweite Elektrode (32a) durch eine Elektrodenschicht innerhalb des Grundkörpers (11) gebildet ist.

20. Haptikvorrichtung (100) nach Anspruch 14 und 19, wobei das zweite elektrische Kontaktelement (321a) zumindest ein elektrisches Via (327a) aufweist, durch das die

zweite Elektrode (32a) mit dem zweiten Anschlussbereich (322a) verbunden ist.

21. Haptikvorrichtung (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 14, wobei die zweite Elektrode (32a) durch zumindest eine Innenelektrode (21) des piezoelektrischen Aktuators (1) gebildet ist.

22. Haptikvorrichtung (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei zwischen dem Tastbereich (17a) des ersten Verstärkungselements (13a) und der ersten Hauptoberfläche (11) ein dielektrisches Material (50) angeordnet ist, das eines oder mehrere aufweist aus: Luft, Kunststofffolie, Kunststoffschaum, Klebstoff.

23. Haptikvorrichtung (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, weiterhin aufweisend:
- ein zweites Verstärkungselement (13b) auf einer zweiten Hauptoberfläche (11b) des piezoelektrischen Aktuators (1),
- ein zweites kapazitives Element (30b),
wobei das zweite Verstärkungselement (13b) am piezoelektrischen Aktuator (1) befestigt ist und einen Tastbereich (17b) aufweist, der beabstandet über der zweiten Hauptoberfläche (11b) angeordnet ist,
wobei das zweite Verstärkungselement (13b) eine erste Elektrode (31b) des zweiten kapazitiven Elements (30b) bildet,
wobei auf einer Hauptoberfläche (11b) oder innerhalb des Grundkörpers (11) eine zweite Elektrode (32b) des zweiten kapazitiven Elements (30b) angeordnet ist.

24. Haptikvorrichtung (100) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Haptikvorrichtung (100) dazu ausgebildet ist, ein haptisches Feedback zu erzeugen.

FIG 1A

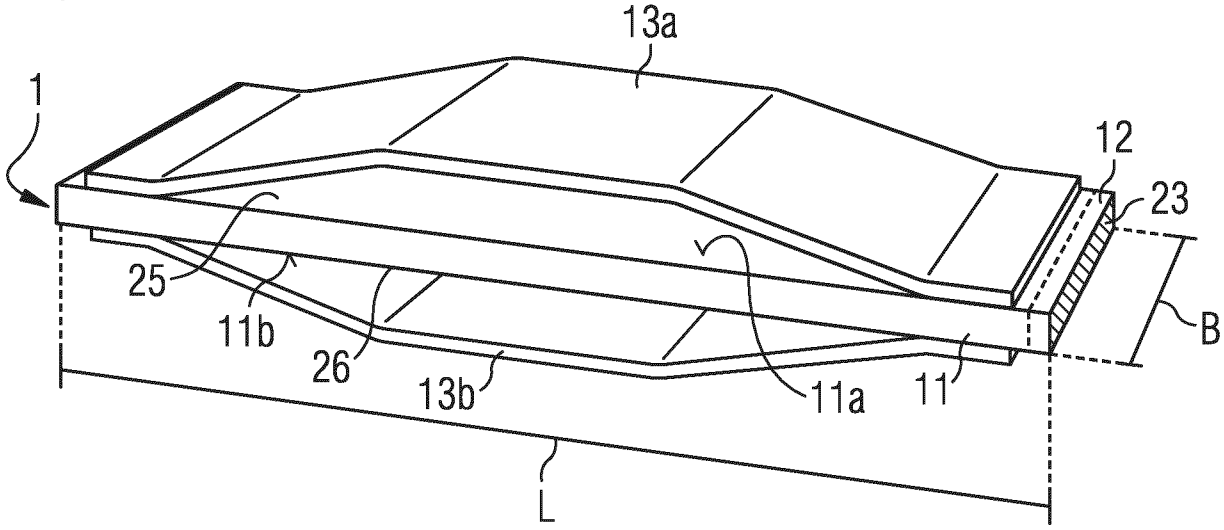

13a
1
12
23
25
11b
26
13b
11a
11
B
L

FIG 1B

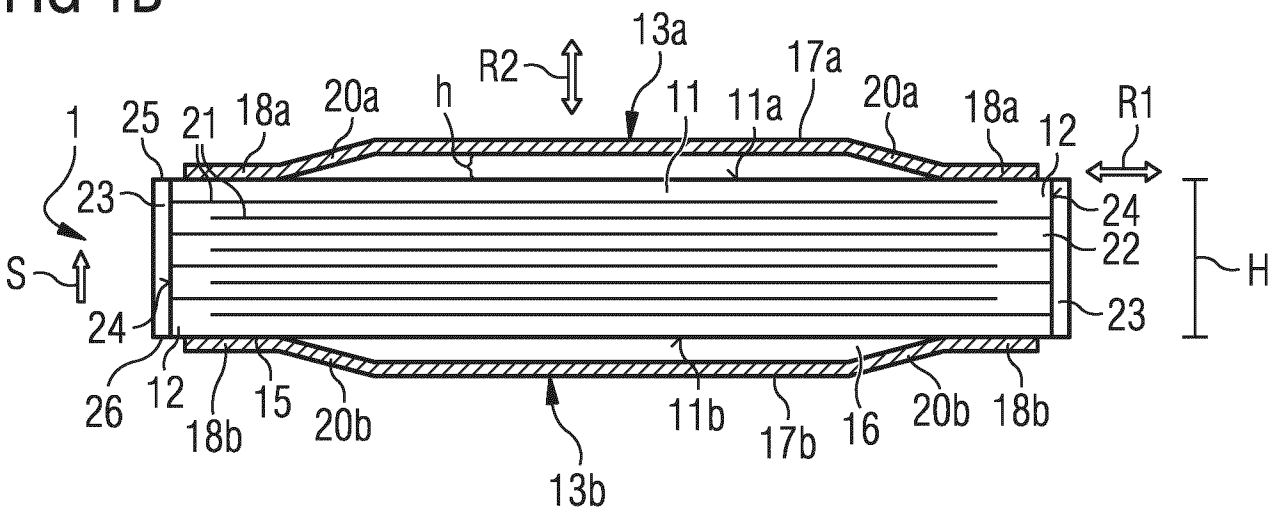

13a
R2
17a
1
25
21
18a
20a
h
11
11a
20a
18a
12
R1
23
24
S
22
H
24
23
26
12
18b
15
20b
11b
17b
16
20b
18b
13b

FIG 2A

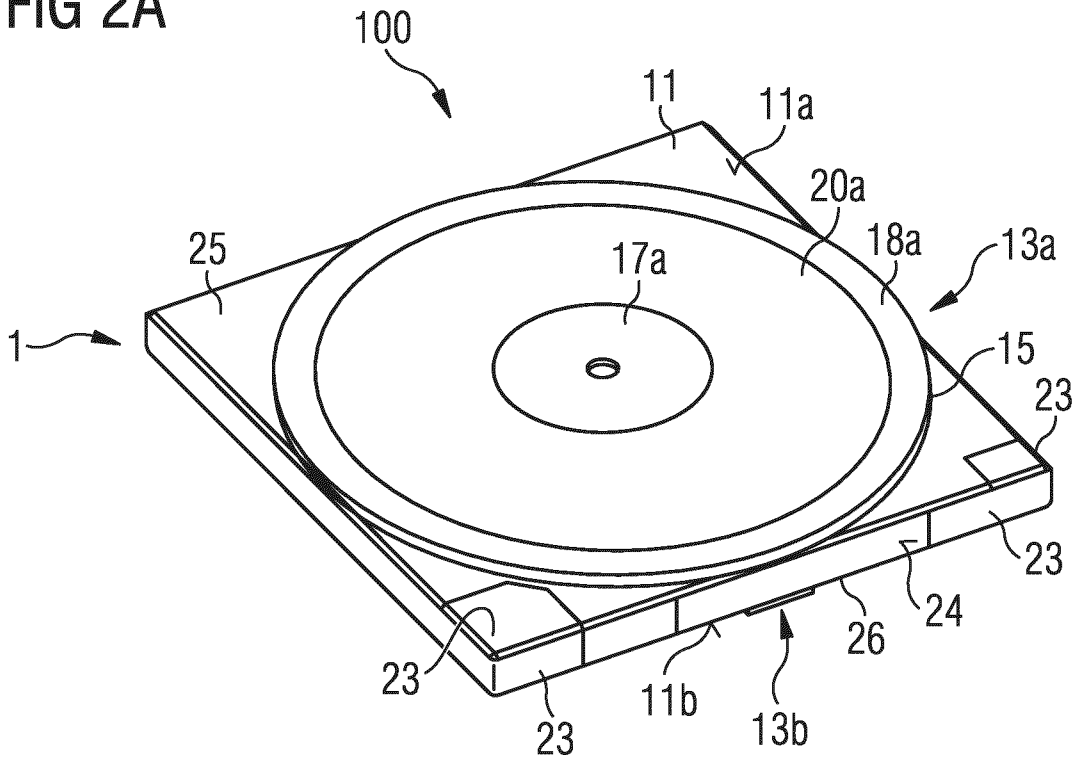

100
11
11a
20a
18a
13a
25
17a
1
15
23
23
24
26
23
11b
13b
23

FIG 2B

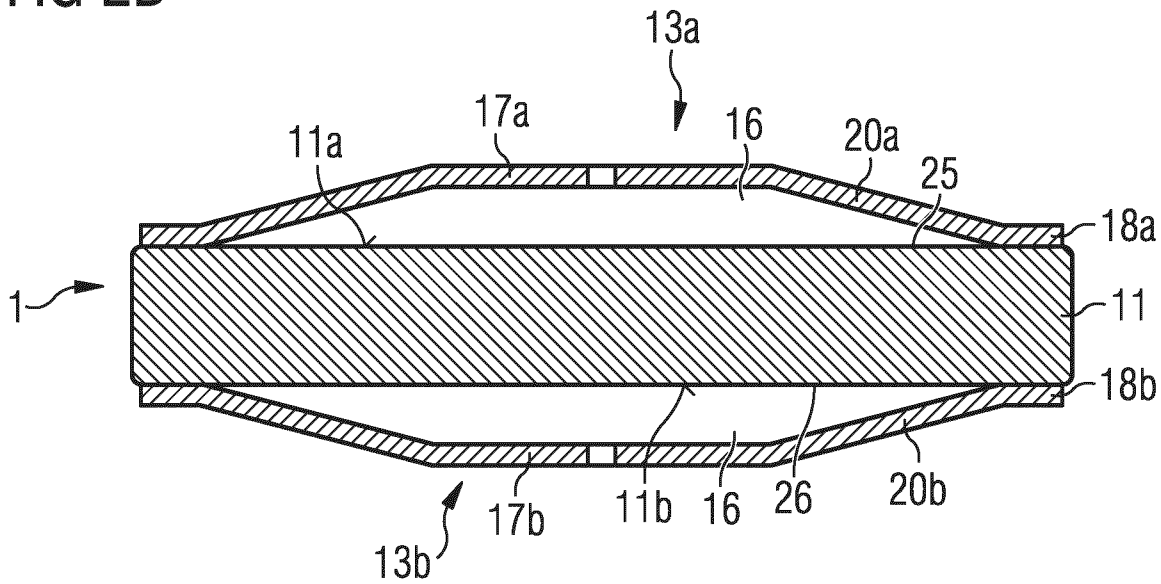

13a
17a
16
20a
11a
25
18a
1
11
18b
17b
11b
16
26
20b
13b

FIG 3A

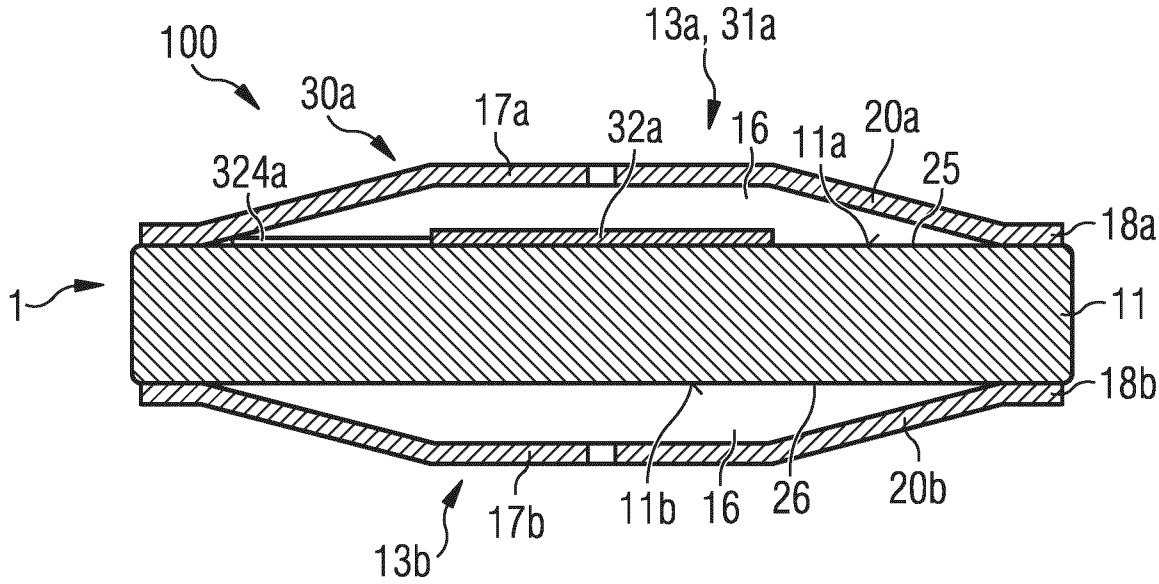

100
13a, 31a
30a
17a
32a
16
11a
20a
25
324a
18a
1
11
18b
17b
11b
16
26
20b
13b

FIG 3B

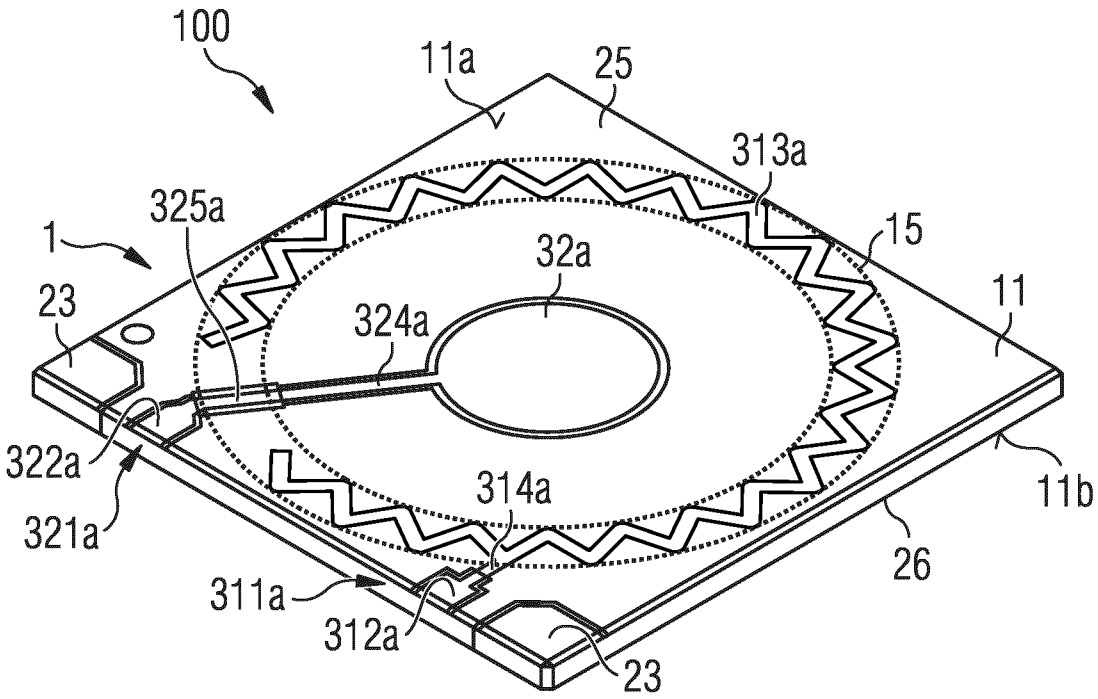

100
11a
25
313a
325a
1
15
32a
11
23
324a
322a
314a
11b
321a
26
311a
312a
23

FIG 4

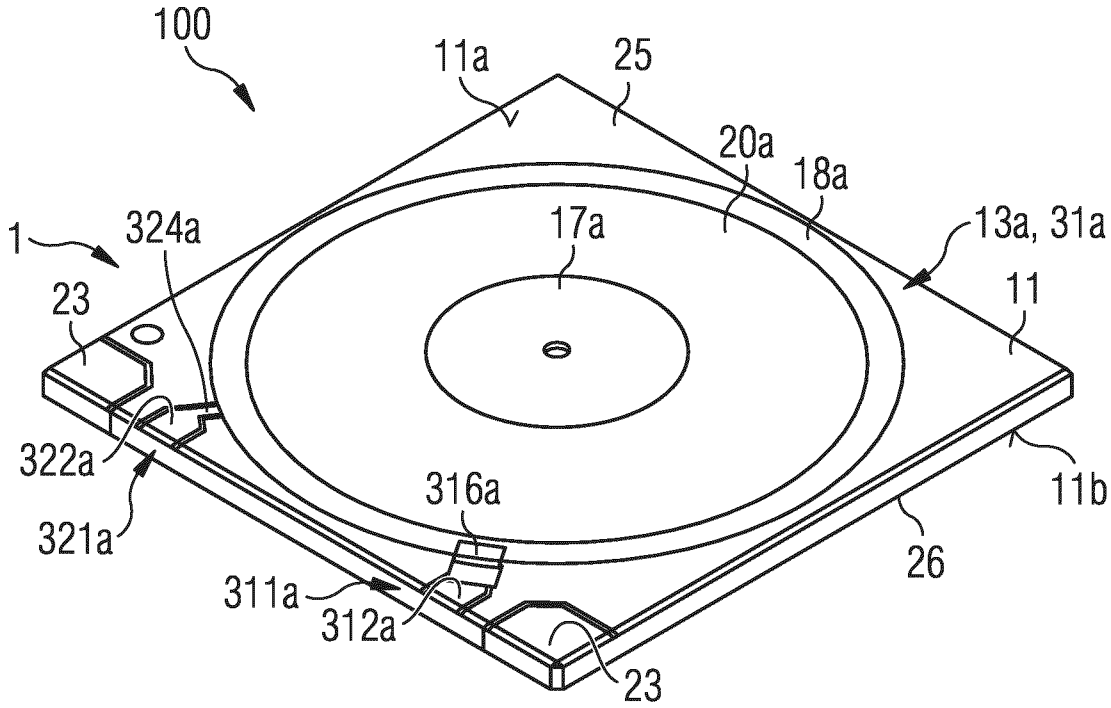

100
11a
25
20a
18a
1
324a
17a
13a, 31a
23
11
322a
316a
11b
321a
26
311a
312a
23

FIG 5A

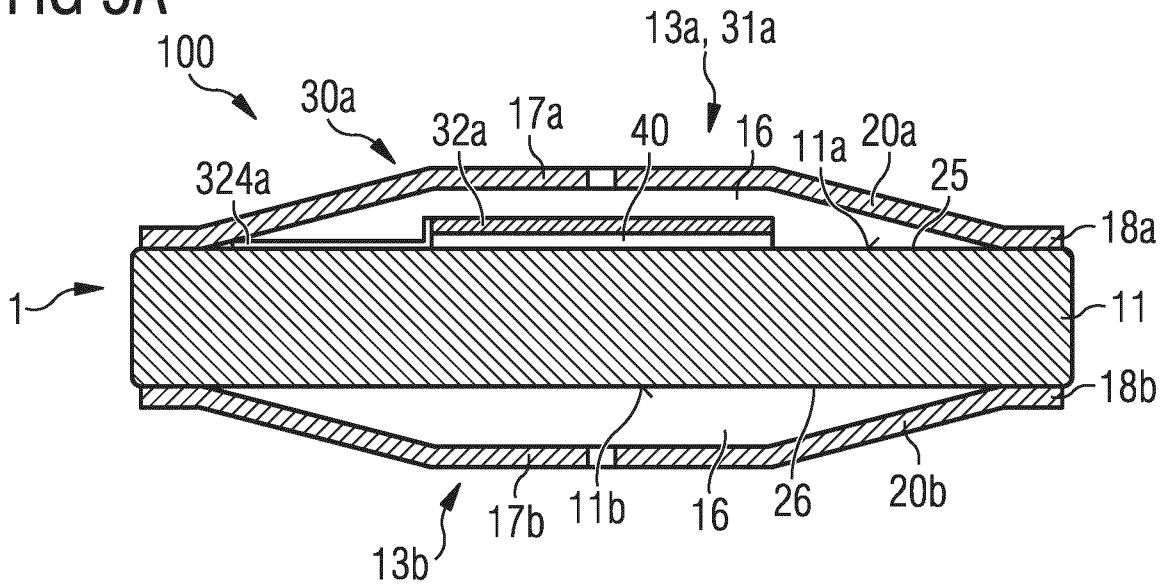


FIG 5B

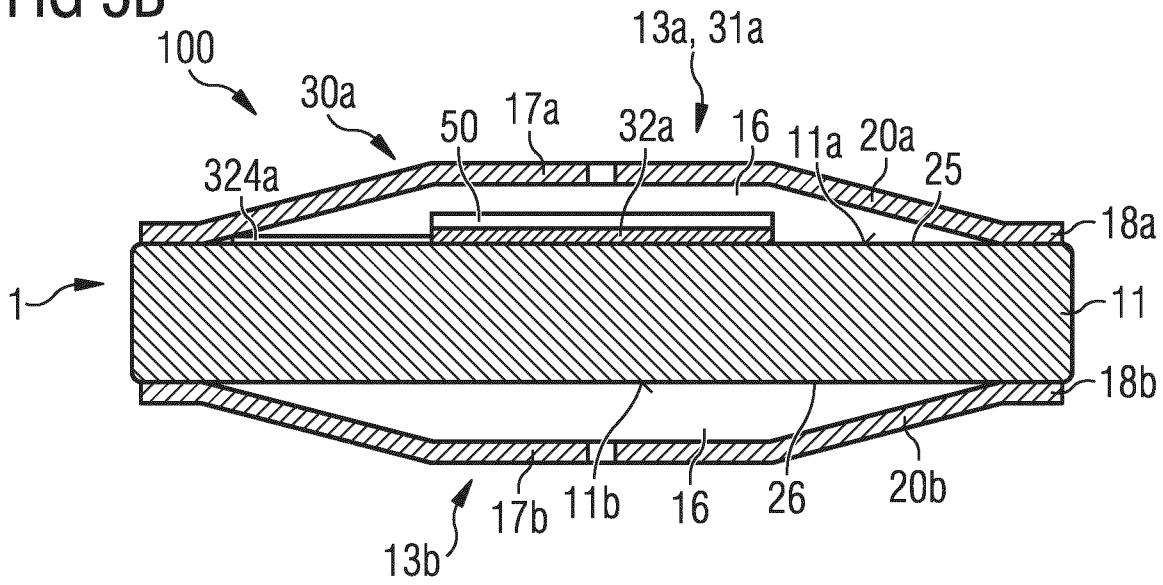


FIG 5C

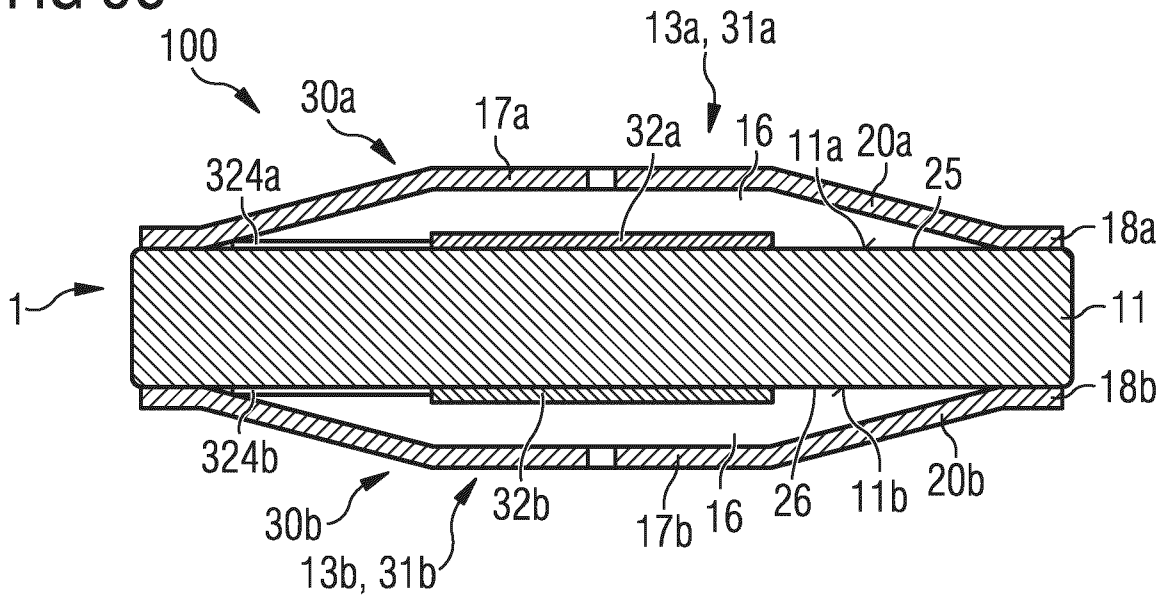


FIG 6A

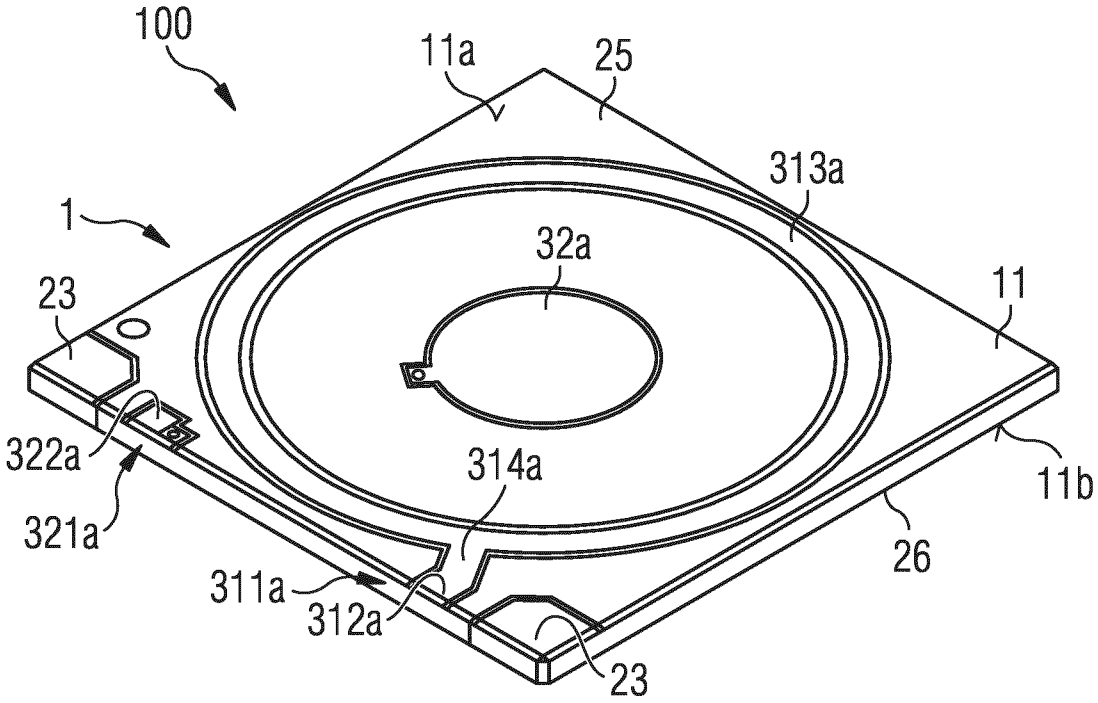

100
11a
25
313a
1
32a
23
11
322a
314a
11b
321a
26
311a
312a
23

FIG 6B

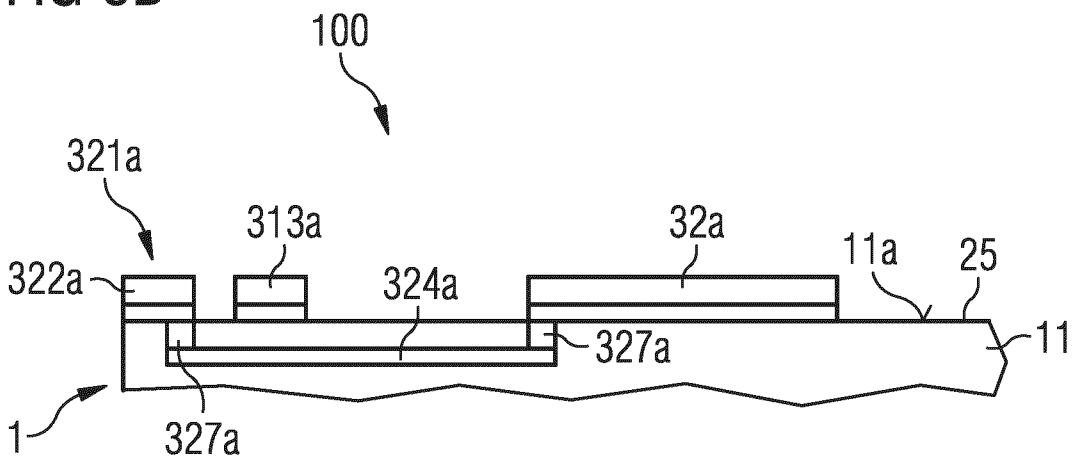

100
321a
313a
32a
322a
324a
11a
25
11
327a
1
327a

FIG 7A

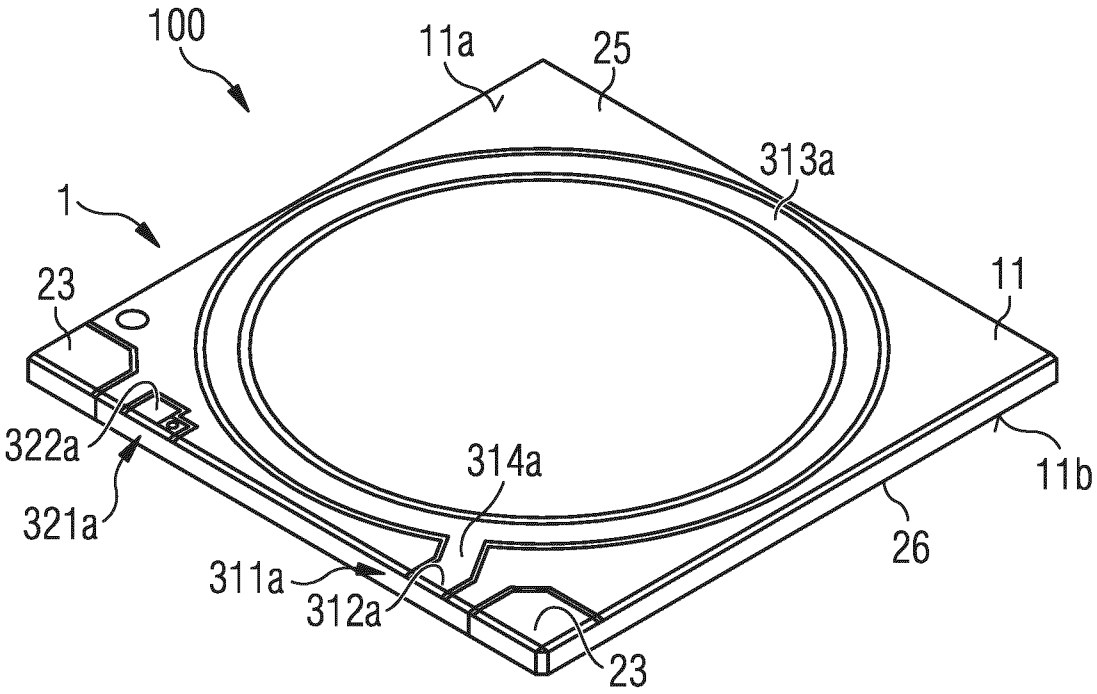

100
11a
25
313a
1
23
11
322a
314a
11b
321a
26
311a
312a
23

FIG 7B

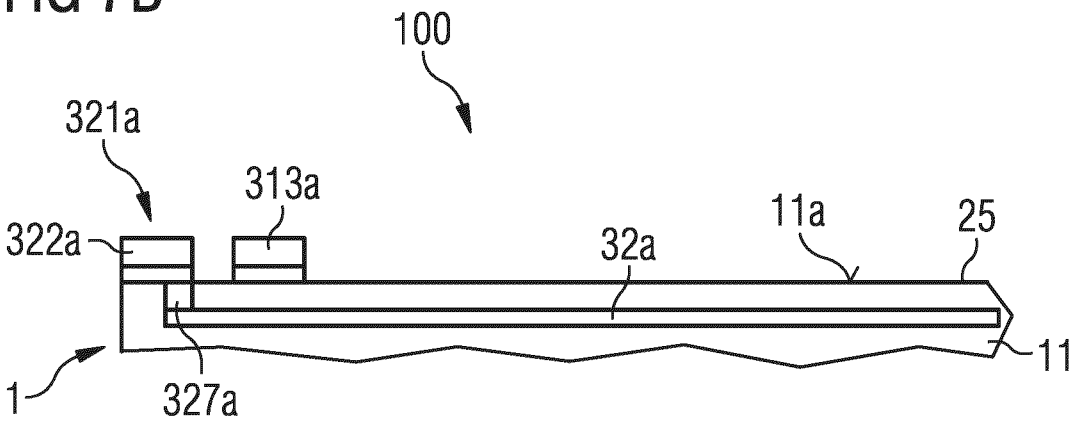

100
321a
313a
322a
11a
25
32a
11
1
327a

FIG 8A

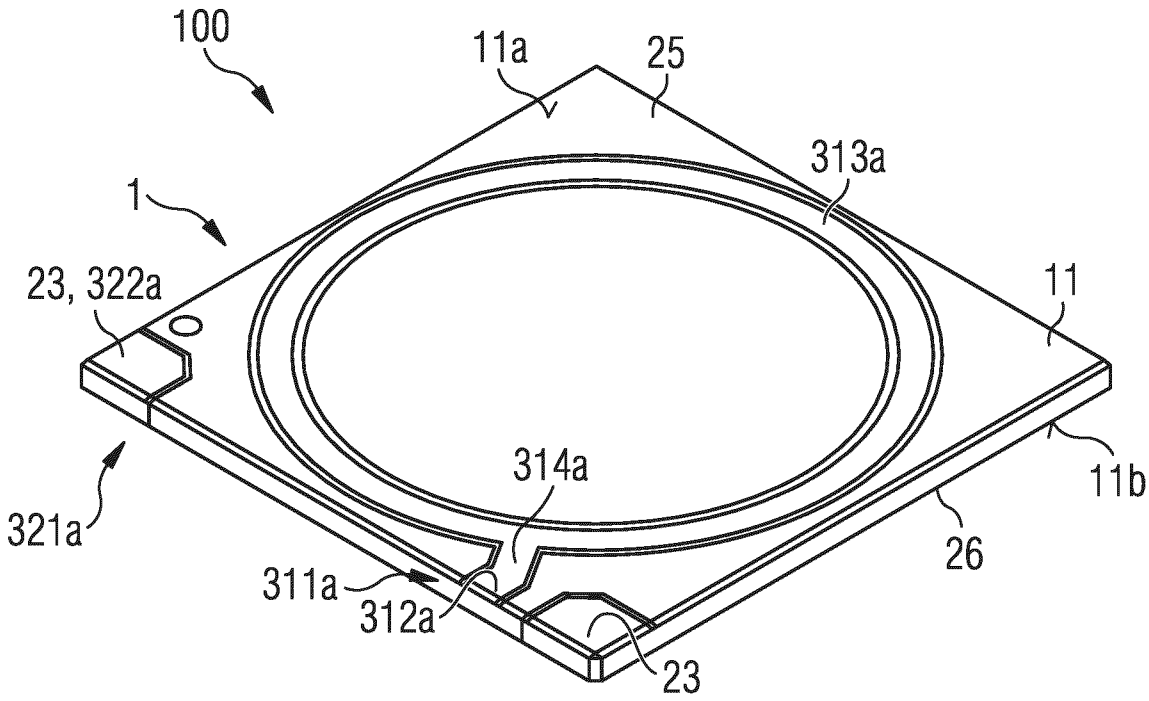

100
11a
25
313a
1
23, 322a
11
314a
11b
321a
26
311a
312a
23

FIG 8B

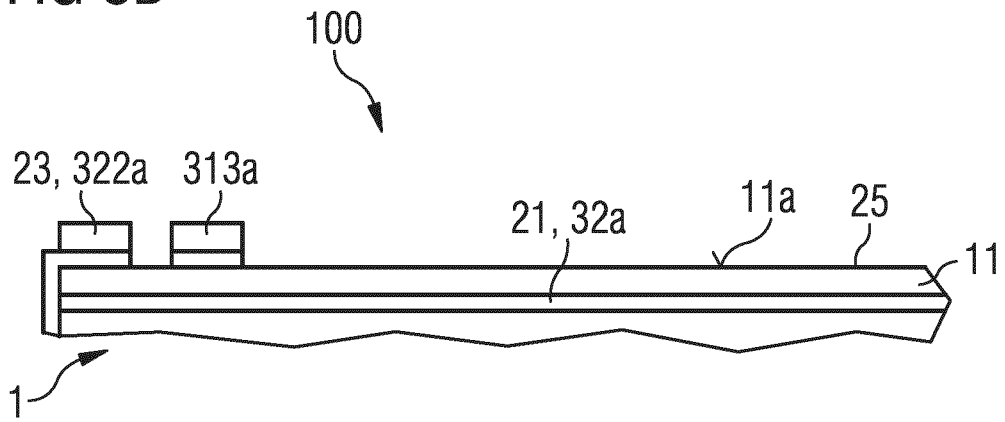

100
23, 322a
313a
21, 32a
11a
25
11
1

FIG 9A

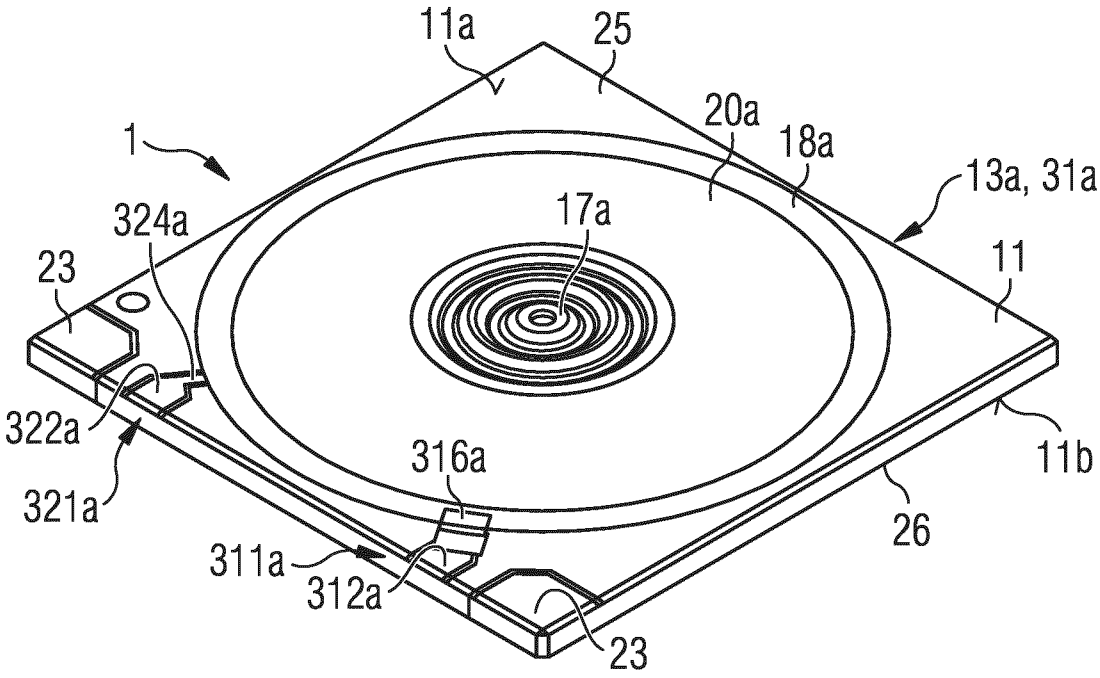

11a
25
20a
18a
1
13a, 31a
17a
324a
23
11
322a
316a
11b
321a
26
311a
312a
23

FIG 9B

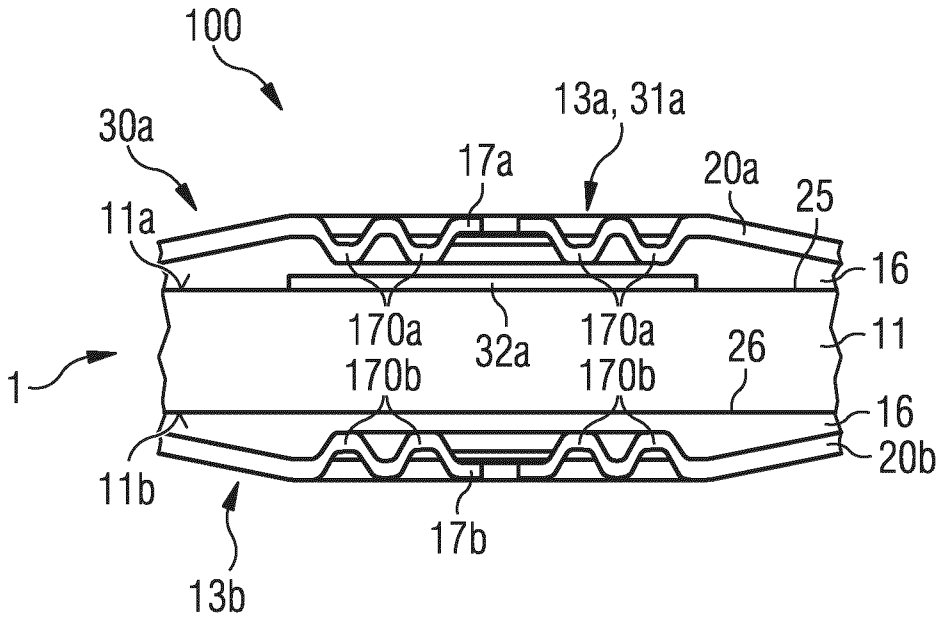

100
13a, 31a
30a
17a
20a
25
11a
16
170a
32a
170a
11
1
170b
26
170b
16
20b
11b
17b
13b

FIG 10A

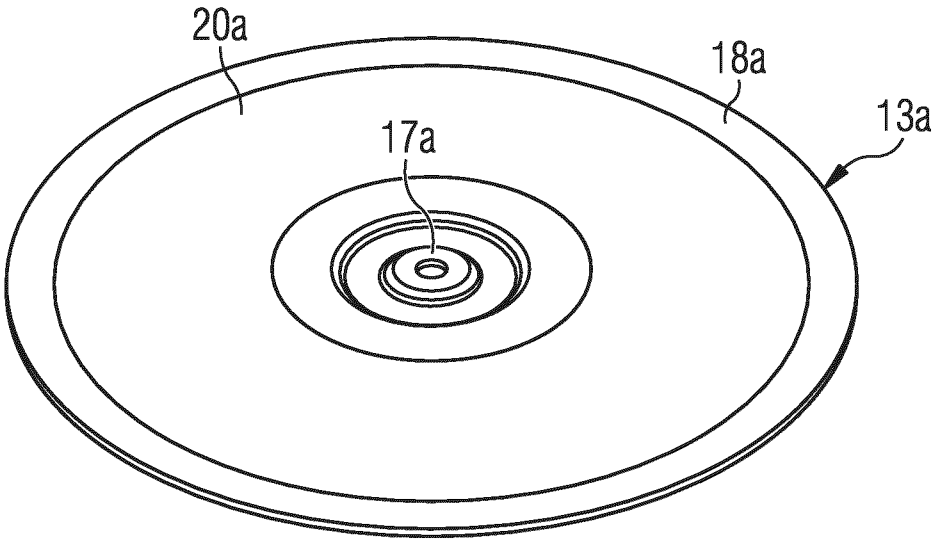


FIG 10B

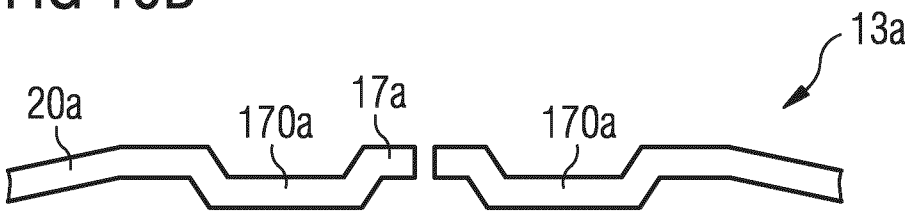


FIG 10C

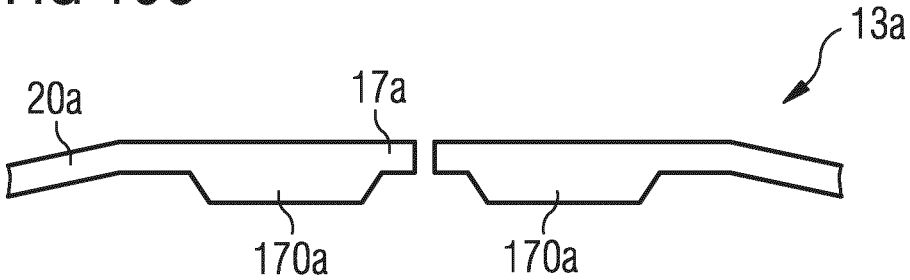


FIG 11A

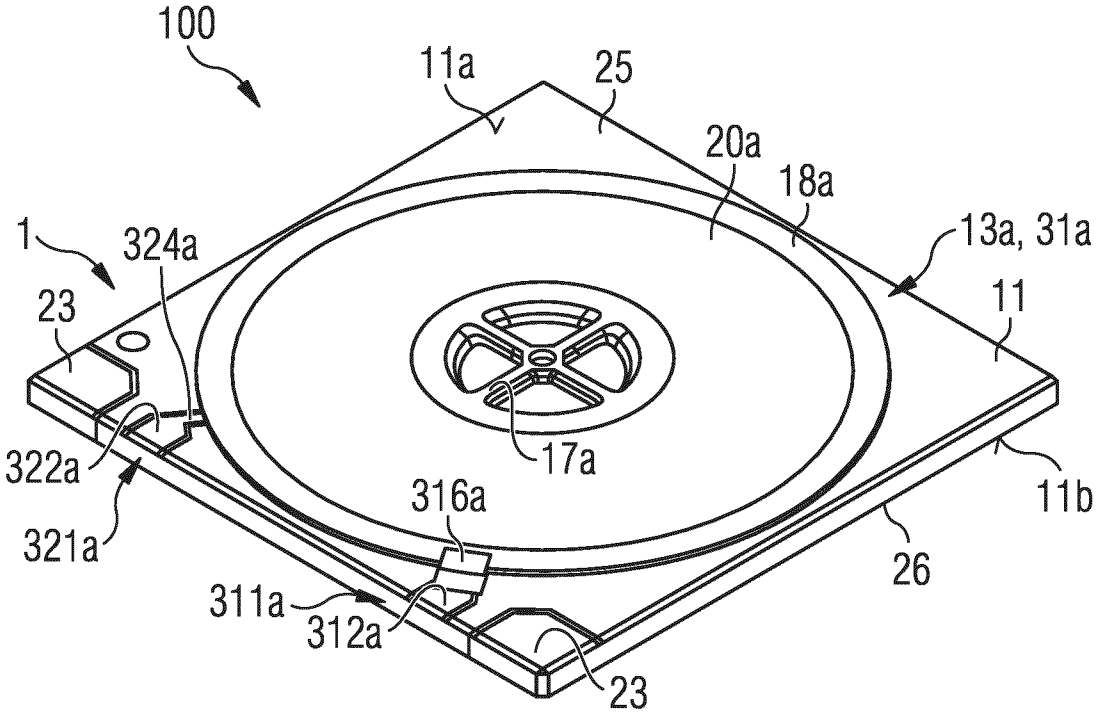


FIG 11B

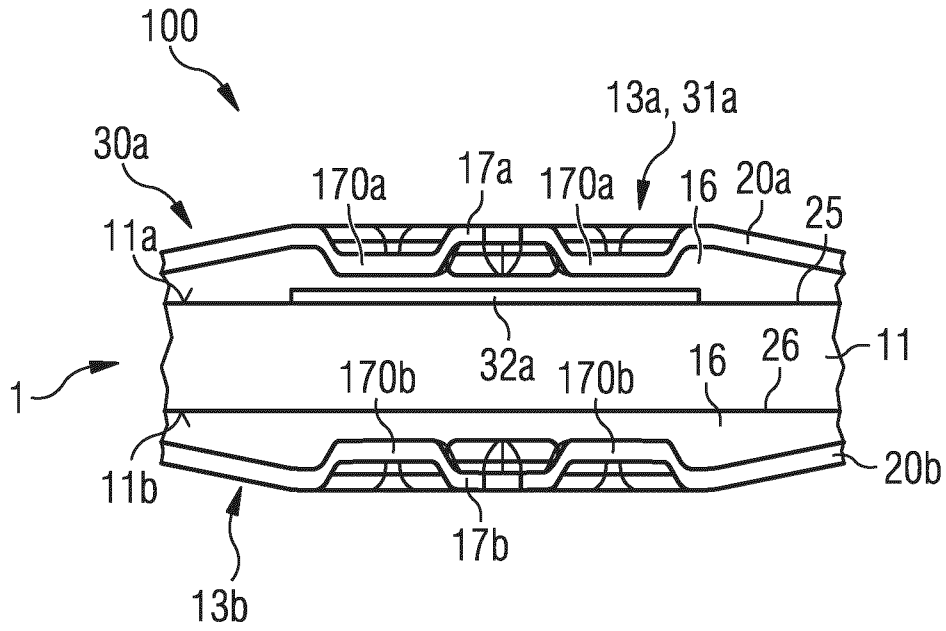
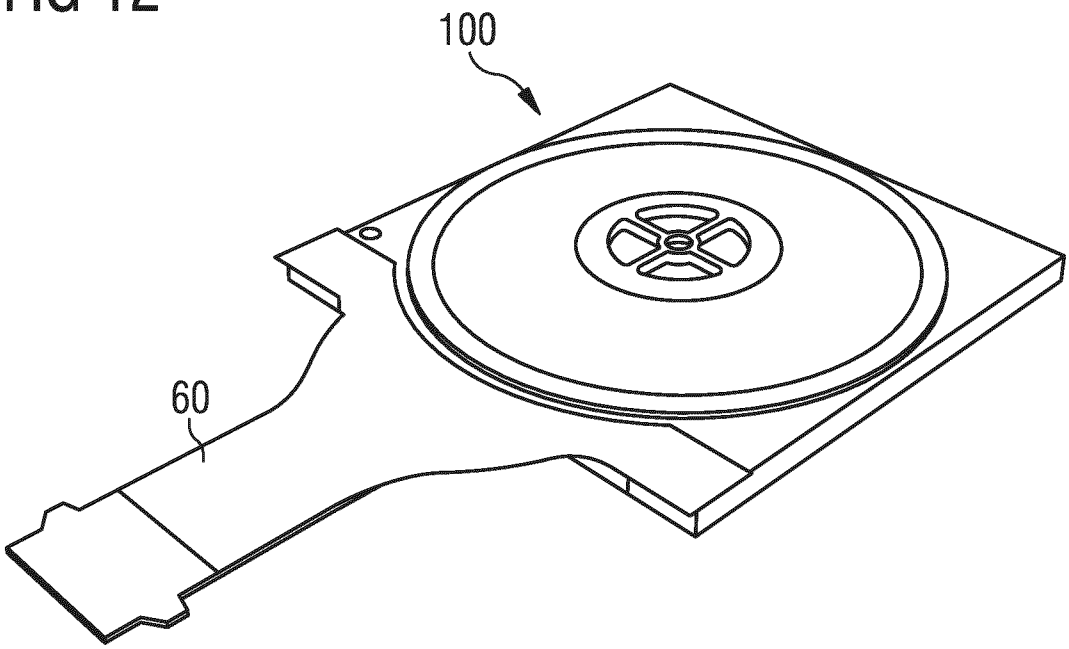


FIG 12



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/EP2024/068247

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06F 3/01(2006.01)i; ***B06B 1/06***(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B06B; G06F

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.
Y	DE 102018102630 A1 (TDK ELECTRONICS AG [DE]) 08 August 2019 (2019-08-08)	1-20,22-24
A	abstract; figure 2 paragraphs [0001], [0011], [0025], [0026], [0032], [0043], [0047] claims 1, 12	21
Y	DE 102020111405 A1 (TDK ELECTRONICS AG [DE]) 28 October 2021 (2021-10-28)	1-20,22-24
A	abstract; figures 3A,3B paragraph [0063] - paragraph [0070]	21
Y	US 2012274599 A1 (SCHEDIWY RICHARD R [US]) 01 November 2012 (2012-11-01)	1-20,22-24
A	abstract; figure 1A paragraphs [0020], [0021] claims 1-3,8,11	21

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
02 September 2024	**10 September 2024**

Name and mailing address of the ISA/EP	Authorized officer
European Patent Office **p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk** **Netherlands (Kingdom of the)** Telephone No. **(+31-70)340-2040** Facsimile No. **(+31-70)340-3016**	**Pfaffelhuber, Thomas** Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/EP2024/068247

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
DE 102018102630 A1	08 August 2019	CN 111670542 A	15 September 2020
		DE 102018102630 A1	08 August 2019
		EP 3750244 A1	16 December 2020
		JP 7125494 B2	24 August 2022
		JP 2021512783 A	20 May 2021
		JP 2022119946 A	17 August 2022
		US 2021031235 A1	04 February 2021
		WO 2019154810 A1	15 August 2019
DE 102020111405 A1	28 October 2021	CN 115485162 A	16 December 2022
		DE 102020111405 A1	28 October 2021
		EP 4143047 A1	08 March 2023
		JP 2023522230 A	29 May 2023
		US 2023159100 A1	25 May 2023
		WO 2021219343 A1	04 November 2021
US 2012274599 A1	01 November 2012	US 2012274599 A1	01 November 2012
		WO 2012148821 A2	01 November 2012

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2024/068247

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G06F3/01 B06B1/06
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
B06B G06F

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.
Y	DE 10 2018 102630 A1 (TDK ELECTRONICS AG [DE]) 8. August 2019 (2019-08-08)	1-20, 22-24
A	Zusammenfassung; Abbildung 2 Absätze [0001], [0011], [0025], [0026], [0032], [0043], [0047] Ansprüche 1,12	21

Y	DE 10 2020 111405 A1 (TDK ELECTRONICS AG [DE]) 28. Oktober 2021 (2021-10-28)	1-20, 22-24
A	Zusammenfassung; Abbildungen 3A,3B Absatz [0063] - Absatz [0070]	21

Y	US 2012/274599 A1 (SCHEDIWY RICHARD R [US]) 1. November 2012 (2012-11-01)	1-20, 22-24
A	Zusammenfassung; Abbildung 1A Absätze [0020], [0021] Ansprüche 1-3,8,11	21

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung;; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung;; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
2. September 2024	10/09/2024

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	Pfaffelhuber, Thomas

Formblatt PCT/ISA/210 (Blatt 2) (April 2005)

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2024/068247

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102018102630 A1	08-08-2019	CN 111670542 A	15-09-2020
		DE 102018102630 A1	08-08-2019
		EP 3750244 A1	16-12-2020
		JP 7125494 B2	24-08-2022
		JP 2021512783 A	20-05-2021
		JP 2022119946 A	17-08-2022
		US 2021031235 A1	04-02-2021
		WO 2019154810 A1	15-08-2019
DE 102020111405 A1	28-10-2021	CN 115485162 A	16-12-2022
		DE 102020111405 A1	28-10-2021
		EP 4143047 A1	08-03-2023
		JP 2023522230 A	29-05-2023
		US 2023159100 A1	25-05-2023
		WO 2021219343 A1	04-11-2021
US 2012274599 A1	01-11-2012	US 2012274599 A1	01-11-2012
		WO 2012148821 A2	01-11-2012