

(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
10. Mai 2002 (10.05.2002)

PCT

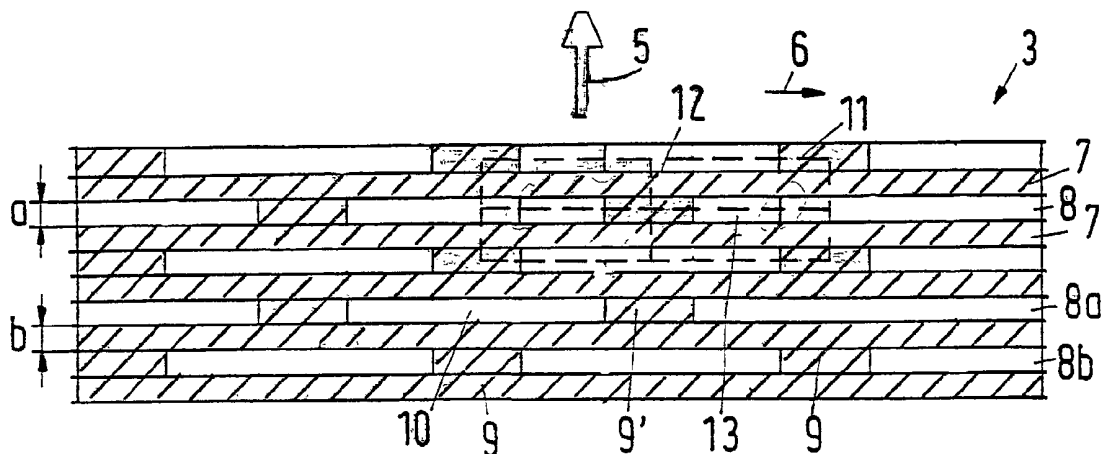
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/37892 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H04R** (72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **GRAVESEN, Peter**
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DK01/00718 [DK/DK]; Hyldebærvej 6, DK-6430 Nordborg (DK).
BENSLIMANE, Mohamed, Yahia [DZ/DK]; Egevej 76,
(22) Internationales Anmeldedatum: DK-6430 Nordborg (DK).
31. Oktober 2001 (31.10.2001) (74) Gemeinsamer Vertreter: **DANFOSS A/S**;
Patentabteilung, DK-6430 Nordborg (DK).
(25) Einreichungssprache: Deutsch (81) Bestimmungsstaaten (national): AM, AT, AU, BA, BR,
BY, CA, CH, CN, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GE, HR,
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch HU, IL, IN, IS, JP, KR, KZ, LT, LU, LV, MD, MK, MX,
NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SE, SG, SI, SK, TR, UA, US,
(30) Angaben zur Priorität: UZ, VN, YU, ZA.
100 54 246.8 2. November 2000 (02.11.2000) DE
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von (84) Bestimmungsstaaten (regional): eurasisches Patent (AM,
US): **DANFOSS A/S** [DK/DK]; DK-6430 Nordborg (DK). AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: OPERATING ELEMENT

(54) Bezeichnung: BETÄTIGUNGSELEMENT



(57) Abstract: An operating element is disclosed, comprising a body made from an elastomeric material, with an electrode arrangement (3) provided on each of the two opposing limiting surfaces, of which at least one comprises several first electrodes (7) penetrating the limiting surface in a perpendicular direction (6) thereto. The aim of the invention is to improve the dynamics of such an operating element. Said aim is achieved, whereby the electrode arrangement (3) comprises second electrodes (9), several of which are located in spaces (8, 8a, 8b) between neighbouring first electrodes (7) connecting the same, whereby the second electrodes (9, 9') in neighbouring spaces (8a, 8b) are arranged offset from each other.

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Betätigungselement angegeben mit einem Körper aus einem Elastomermaterial, der auf zwei einander gegenüberliegenden Begrenzungsflächen mit jeweils einer Elektrodenanordnung (3) versehen ist, von denen mindestens eine mehrere in Querrichtung (6) ihrer Begrenzungsfläche durchgehende erste Elektroden (7) aufweist. Man möchte die Dynamik eines derartigen Betätigungselements verbessern können. Hierzu weist die Elektrodenanordnung (3) zweite Elektroden (9) auf, von denen jeweils mehrere in Lücken (8, 8a, 8b) zwischen benachbarten ersten Elektroden (7) angeordnet sind und diese verbinden, wobei die zweiten Elektroden (9, 9') in benachbarten Lücken (8a, 8b) versetzt zueinander angeordnet sind.

WO 02/37892 A2



(AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

-1-

Betätigungselement

Die Erfindung betrifft ein Betätigungselement mit einem Körper aus einem Elastomermaterial, der auf zwei einander gegenüberliegenden Begrenzungsflächen mit jeweils einer Elektrodenanordnung versehen ist, von denen mindestens eine mehrere in Querrichtung ihrer Begrenzungsfläche durchgehende erste Elektroden aufweist.

Ein derartiges Betätigungselement ist aus US 5 977 685 bekannt.

10

Derartige Betätigungselemente werden auch kurz als "künstliche Muskeln" bezeichnet, weil ihr Verhalten unter gewissen Bedingungen dem von menschlichen Muskeln entspricht.

15

Die Funktionsweise ist relativ einfach. Wenn eine Spannungsdifferenz an die beiden Elektrodenanordnungen angelegt wird, entsteht ein elektrisches Feld durch den Körper hindurch, wobei das elektrische Feld mechanische Anziehungskräfte zwischen den Elektrodenanordnungen erzeugt. Dies führt zu einer Annäherung der beiden Elektrodenanordnungen und damit verbunden zu einer Kompression des Körpers. Die Annäherung kann noch unterstützt werden, wenn das Material des Körpers dielektrische Eigenschaften hat. Da das Material aber ein im wesentlichen konstantes Volumen hat, führt das Zusammendrücken, also das Vermindern der Dicke, zu einer Vergrößerung

20
25

-2-

der Abmessungen des Körpers in den anderen beiden Richtungen, d.h. parallel zu den Elektrodenanordnungen.

Wenn man nun die Dehnbarkeit des Körpers auf eine Richtung beschränkt, dann wird die Dickenänderung vollständig in eine Längenänderung in die andere Richtung umgesetzt. Für die nachfolgende Erläuterung wird die Richtung, in der die Längenveränderung erfolgen soll, als "Längsrichtung" bezeichnet. Die Richtung, in der eine Längenänderung nicht erfolgen soll, wird als "Querrichtung" bezeichnet. Im bekannten Fall weist die Elektrodenanordnung eine leitende Schicht mit einer relativ niedrigen Leitfähigkeit auf, auf die in Querrichtung verlaufende Streifen aus einem nicht nachgiebigen Material aufgetragen sind, wobei die Streifen in Längsrichtung einen Abstand zueinander aufweisen. Die leitfähige Schicht soll für eine möglichst gleichförmige Verteilung des elektrischen Feldes sorgen, während die Streifen, vorzugsweise aus einem Metall, die Ausbreitung des Körpers in Querrichtung verhindern sollen. Allerdings ergibt sich hierbei aufgrund der schlechten Leitfähigkeit der elektrisch leitenden Schicht eine gewisse Begrenzung bei der Dynamik.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die mechanische Dehnbarkeit eines Betätigungselements zu verbessern.

Diese Aufgabe wird bei einem Betätigungselement der eingangs genannten Art dadurch gelöst, daß die Elektrodenanordnung zweite Elektroden aufweist, von denen je-

-3-

weils mehrere in Lücken zwischen benachbarten ersten Elektroden angeordnet sind und diese verbinden, wobei die zweiten Elektroden in benachbarten Lücken versetzt zueinander angeordnet sind.

5

Mit dieser Ausgestaltung werden zwei Vorteile miteinander kombiniert. Die ersten Elektroden, die in Querrichtung durchgehen, begrenzen die Dehnbarkeit des Körpers in dieser Querrichtung oder schließen sie sogar aus.

- 10 "Durchgehen" soll hierbei zum Ausdruck bringen, daß die ersten Elektroden eine Form haben, die nicht mehr gestreckt werden kann, beispielsweise eine gerade Linie. Sie sorgen also dafür, daß eine Kompression des Körpers nahezu vollständig in eine Längenänderung umgesetzt
- 15 werden kann. Natürlich werden sich in der Praxis auch kleinere Änderungen in Querrichtung ergeben. Diese sind aber, verglichen mit den Änderungen in Längsrichtung, vernachlässigbar. Die zweiten Elektroden sorgen nun dafür, daß man eine relativ hohe elektrische Leitfähigkeit
- 20 keit über die gesamte Oberfläche der Begrenzungsfläche erhält. Dies verbessert die mechanische Dehnbarkeit des Betätigungselements, und man kann das Betätigungselement mit hohen Frequenzen betreiben. Aufgrund der besonderen Anordnung der zweiten Elektroden zwischen den
- 25 ersten Elektroden bewirken die zweiten Elektroden keine nennenswerte Vergrößerung der Steifigkeit in Längsrichtung. Die ersten und die zweiten Elektroden bilden vielmehr Maschen zwischen sich aus, die sich bei einer Längenänderung rautenförmig auseinanderziehen können.
- 30 Dabei wird sogar ein zusätzlicher Effekt erzielt: die Änderung der Länge führt zu einer zusätzlichen Spannung

-4-

in Querrichtung, die einer Ausdehnung des Körpers in Querrichtung entgegenwirkt, da die wirksame Länge der ersten Elektroden in Querrichtung vermindert wird. Man erhält also eine wesentlich verbesserte Umsetzung der
5 Annäherungsbewegung der Elektroden in eine Längenänderung. Dabei wird die mechanische Dehnbarkeit verbessert, ohne daß die Dynamik des Betätigungselements nennenswert beeinträchtigt wird.

10 Vorzugsweise liegen die zweiten Elektroden jeder n-ten Lücke auf einer Linie in Längsrichtung. Dies erleichtert die Gestaltung der Elektrodenanordnung. Gleichzeitig läßt sich die elektrische Feldverteilung besser steuern.

15 Vorzugsweise liegen die zweiten Elektroden jeder zweiten Lücke in Längsrichtung auf eine Linie. Man erzielt damit einen Aufbau der Elektrodenanordnung nach Art eines Gitters oder Netzes mit zueinander versetzt angeordneten Knoten. Ein derartiges Gitter läßt sich in
20 Längsrichtung relativ leicht auseinanderziehen, während es in Querrichtung relativ starr ausgebildet ist.

Bevorzugterweise sind die zweiten Elektroden einer Lücke in der Mitte eines Abstandes zwischen zwei benachbarten Elektroden einer benachbarten Lücke angeordnet.
25 Dies ergibt eine hohe Symmetrie bei der Belastung der jeweils zweiten Elektroden und einen sehr gleichförmigen Aufbau des elektrischen Feldes.

30

-5-

Bevorzugterweise ist die Elektrodenanordnung unmittelbar mit dem Körper verbunden. Diese Ausgestaltung hat mehrere Vorteile. Zum einen wird die Herstellung eines derartigen Betätigungselements vereinfacht, weil man
5 keine Zwischenschicht zwischen der Elektrodenanordnung und dem Körper aufbringen muß. Zum anderen ist es auch möglich, die Elektrodenanordnung fester, d.h. dauerhafter und belastbarer, mit dem Körper zu verbinden. Man kann die Befestigung ausschließlich auf die Material-
10 paarung zwischen Elektrodenanordnung und Körper abstimmen.

Vorzugsweise ist der Abstand zwischen zwei ersten Elektroden nicht größer als die Dicke des Körpers zwischen den Begrenzungsflächen. Bei dieser Ausgestaltung
15 erzeugt man ein elektrisches Feld zwischen den beiden Elektrodenanordnungen, das so gleichförmig ist, daß eine gleichförmige Kompression des Körpers erreicht werden kann.

20 Bevorzugterweise entspricht die Erstreckung einer ersten Elektrode in Längsrichtung dem Abstand zwischen zwei ersten Elektroden. Mit anderen Worten ist die Länge der zweiten Elektroden in Längsrichtung genau so
25 groß wie die Länge der ersten Elektroden in Längsrichtung. Dies trägt weiterhin zu einer Vergleichmäßigung des elektrischen Feldes bei. Da eine relativ große Fläche zur Leitung von elektrischem Strom zur Verfügung steht, wird die Antwortzeit eines derartigen Betäti-
30 gungselements im Vergleich zu einer vollflächigen Elektrode nur geringfügig beeinträchtigt.

-6-

Vorzugsweise ist ein seitlicher Versatz zwischen zwei benachbarten zweiten Elektroden größer als der Abstand zwischen zwei ersten Elektroden. Damit erreicht man ein
5 besonders gut dehnbares Netz oder Gitter.

Bevorzugterweise ist die Elektrodenanordnung aus einer Vielzahl von kongruenten Einheitszellen zusammengesetzt. Diese Einheitszellen haben alle die gleiche
10 Form. Sie können allerdings spiegelverkehrt zueinander aufgebaut sein. Der Körper wird normalerweise durch einen relativ dünnen Film gebildet. Dieser Film gewährleistet, daß der Abstand zwischen den einander gegenüberliegenden Elektrodenanordnungen nicht zu groß ist
15 und daß sich zwischen den Elektrodenanordnungen aufbauende elektrische Feld genügend Kraft aufbringen kann, um den Körper zusammenzudrücken. Je dünner der Körper ist, desto feiner muß die Struktur der Elektrodenanordnungen ausgebildet sein. Ein bevorzugtes Herstellungsverfahren für die Elektrodenanordnungen ist die Fotolithografie. Bei der Fotolithografie wird die Herstellung einfacher, wenn man ein Grundmuster, im vorliegenden Fall die Einheitszelle, vielfach wiederholen kann.

25 Vorzugsweise sind benachbarte Einheitszellen gespiegelt zueinander ausgebildet. Dadurch erreicht man den oben beschriebenen netz oder gitterartigen Aufbau auf einfache Weise.

30 Vorzugsweise weist jede Einheitszelle einen Streifen auf, der in Querrichtung verläuft und der an beiden En-

-7-

den jeweils einen Vorsprung aufweist, der in Längsrichtung gerichtet ist, wobei die beiden Vorsprünge entgegengesetzt gerichtet sind. Je nach Betrachtungsweise hat die Einheitszelle die Form eines langgestreckten S
5 oder Z. Wenn mehrere derartige Einheitszellen in Querrichtung zusammengesetzt werden, bilden die Streifen die erste Elektrode.

Bevorzugterweise weist die Einheitszelle ein Breiten/
10 Höhenverhältnis auf, das größer oder gleich $3\frac{1}{3}$ ist. Bei dieser Ausgestaltung hat die Einheitszelle eine ausreichende Quererstreckung, um dann, wenn sie mit anderen Einheitszellen zu der Elektrodenanordnung zusammengesetzt ist, die gewünschte Längenänderung zuzulassen.
15

Die Erfindung wird im folgenden anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels in Verbindung mit der Zeichnung näher beschrieben. Hierin zeigen:

20

Fig. 1 ein Betätigungselement in schematischer Seitenansicht in zwei Zuständen,

25

Fig. 2 eine schematische Draufsicht auf das Betätigungselement und

Fig. 3 eine Einheitszelle.

Fig. 1 zeigt ein Betätigungselement 1 in zwei Zuständen, nämlich in Fig. 1a im Ruhezustand und in Fig. 1b in betätigtem Zustand. Das Betätigungselement 1 weist
30

-8-

einen Körper 2 aus einem Elastomerfilm auf, beispielsweise einem Silikonelastomer. Üblicherweise hat ein derartiger Film auch dielektrische Eigenschaften. Vor allem aber hat der Körper 2 die Eigenschaft, daß sein
5 Volumen konstant bleibt, wenn er zusammengedrückt wird. Dementsprechend bewirkt die Verringerung der Dicke d des Körpers 2 eine Ausdehnung senkrecht zu der Druckrichtung, wie dies aus einem Vergleich zwischen den Fig. 1a und 1b zu erkennen ist.

10

Der Körper 2 weist an seiner Oberseite eine Elektrodenanordnung 3 und an seiner Unterseite eine weitere Elektrodenanordnung 4 auf. Die beiden Elektrodenanordnungen 3, 4 sind gleich oder zumindest ähnlich ausgebildet. Wenn man eine Spannungsdifferenz an die beiden
15 Elektrodenanordnungen 3, 4 anlegt, entsteht ein elektrisches Feld, das den Körper 2 durchsetzt. Dieses elektrische Feld erzeugt Kräfte, die eine Anziehung der beiden Elektrodenanordnungen 3, 4 bewirken. Die Anziehungskräfte der beiden Elektrodenanordnungen 3, 4 drücken den Körper 2 zusammen.
20

Wie oben erwähnt, hat der Körper 2 ein konstantes Volumen, d.h. einer Verminderung der Dicke d (von Fig. 1 a nach Fig. 1b) hat eine entsprechende Ausdehnung in der
25 Breite und in der Länge zur Folge. Wenn man nun die Ausdehnung in der Breite unterbindet, dann wirkt sich die Dickenverminderung ausschließlich in einer Vergrößerung der Länge aus.

30

-9-

Für die Zwecke der nachfolgenden Erläuterung wird angenommen, daß die Längsrichtung, die in den Fig. 1 und 2 durch einen Pfeil 5 dargestellt ist, in Fig. 1 von links nach rechts und in Fig. 2 von unten nach oben
5 verläuft, während die Querrichtung, die durch einen Pfeil 6 dargestellt ist, in Fig. 2 von links nach rechts verläuft. Das Betätigungselement 1 ist also anisotrop aufgebaut. Änderungen in Längsrichtung 5 sind möglich, während Änderungen in Querrichtung 6 praktisch
10 verhindert werden.

Um diese Anisotropie konstruktiv zu bewirken, weisen die Elektrodenanordnungen 3, 4 eine bestimmte Gestaltung auf, die nachfolgend im Zusammenhang mit den Fig.
15 2 und 3 erläutert wird.

In Fig. 2 ist die Elektrodenanordnung 3 in Draufsicht dargestellt. Die Elektrodenanordnung 4 sieht genauso aus.

20

Die Elektrodenanordnung 3 weist erste Elektroden 7 auf, die sich in Querrichtung 6 linienförmig über die gesamte Breite des Körpers 2 erstrecken. Die ersten Elektroden 7 sind hierbei mit Lücken 8, 8a, 8b zueinander angeordnet. In diesen Lücken 8 sind zweite Elektroden 9
25 angeordnet und zwar so, daß eine Elektrode 9' einer Lücke 8a in der Mitte zwischen zwei zweiten Elektroden 9 der benachbarten Lücke 8b angeordnet ist. Die zweiten Elektroden 9' jeder zweiten Lücke 8 liegen hierbei auf
30 einer Geraden in Längsrichtung 5. Die ersten und zweiten Elektroden sind rechtwinklig zur Ausdehnungsrichtung

-10-

tung des Betätigungselements angebracht. Die Elektrodenanordnung 3 bildet also ein Netz oder Gitter mit Maschen 10, die jeweils von zwei ersten Elektroden 7 und zwei zweiten Elektroden 9 umgrenzt sind, wobei diese
5 Maschen 10 dann, wenn sich der Körper 2 in Längsrichtung 5 ausdehnt, rautenförmig zusammengezogen werden.

Die Elektrodenanordnungen 3, 4 sind unmittelbar auf den Körper 2 aufgebracht, d.h. ohne eine elektrisch
10 schlechter leitende Zwischenschicht. Sie können damit relativ fest mit dem Körper 2 verbunden werden, so daß die Bewegung des Körpers 2, d.h. einer Änderung der Ausdehnung in Längsrichtung 5 oder Querrichtung 6 nur so weit zulässig ist, wie dies die Elektrodenanordnungen
15 3, 4 zulassen.

Dementsprechend wird eine Änderung der Ausdehnung des Körpers 2 in Querrichtung 6 durch die ersten Elektroden 7 verhindert. Diese sind im Grunde genommen nicht dehnbar, so daß eine Ausdehnung des Körpers 2 in Querrichtung 6 unterbleiben muß. Anders sieht es in Längsrichtung 5 aus. Wenn sich der Körper 2 in Längsrichtung 5 ausdehnt, dann werden die im Ruhezustand schlitzförmig ausgebildeten Maschen 10 rautenartig verformt. Hier-
20 durch entsteht ein zusätzlicher Zug in Querrichtung 6, der einer Ausdehnung des Körpers 2 in Querrichtung 6 entgegenwirkt.

Um eine gleichmäßige Ausbildung des elektrischen Feldes
30 zwischen den beiden Elektrodenanordnungen 3, 4 sicherzustellen, ist vorgesehen, daß der Abstand a zwischen

-11-

zwei ersten Elektroden nicht größer als die Dicke d des Körpers 2 zwischen den Begrenzungsflächen, d.h. zwischen den Elektrodenanordnungen 3, 4 ist. Ferner ist aus Fig. 2 zu erkennen, daß die ersten Elektroden 7 eine Längserstreckung b aufweisen, die dem Abstand a , d.h. der Längserstreckung der Lücken 8 entspricht.

Die Elektrodenanordnung 3 besteht aus einem regelmäßigen Muster von sogenannten Einheitszellen 11, von denen eine vergrößert in Fig. 3 dargestellt ist. In Fig. 2 sind vier derartige Einheitszellen 11 gestrichelt eingezeichnet, wobei zu erkennen ist, daß jeweils benachbarte Einheitszellen 11 gespiegelt zueinander ausgebildet sind, d.h. sie sind entweder an einer Linie 12 gespiegelt, die parallel zur Längsrichtung 5 verläuft, oder an eine Linie 13, die parallel zur Querrichtung 6 verläuft.

Jede Einheitszelle 11 weist einen Streifen 14 auf, der die oben genannte Breite b und eine Länge L aufweist und später die ersten Elektroden 7 bildet, sowie zwei Vorsprünge 15, 16, so daß die Einheitszelle 11 insgesamt eine Erstreckung H aufweist. Während der Streifen 14 in Querrichtung 6 gerichtet ist, sind die Vorsprünge 15, 16 in Längsrichtung 5 gerichtet, aber aneinander entgegengesetzt. Das Verhältnis L/H beträgt mindestens $3\frac{1}{3}$. Es kann aber auch noch größer sein, beispielsweise 10. Üblicherweise beträgt die Erstreckung H das doppelte der Längserstreckung b der ersten Elektroden, so daß man beim Zusammensetzen der entsprechenden Einheitszellen 11 das in Fig. 2 dargestellte Muster der Elektro-

-12-

denanordnung gewinnt, bei dem die Lücken 8 zwischen den ersten Elektroden 7 genauso groß sind wie die Längserstreckung b der ersten Elektroden 7.

- 5 Die zweite Elektrode 9' ist gegenüber einer benachbarten Elektrode 9 um einen sich in Querrichtung erstreckenden Abstand L versetzt. Dieser Versatz sollte größer als der Abstand a zwischen zwei ersten Elektroden 7 sein, d.h. $L > a$.

10

- Wie oben erwähnt, ist es von Vorteil, wenn die Entfernung a zwischen den ersten Elektroden 7 gleich groß oder kleiner als die Dicke d des Körpers 2 ist. Wenn man mit dünnen Filmen mit einer Dicke im Mikrometerbereich arbeitet, sind Fotolithografiertechniken gut geeignet, um die Elektrodenanordnungen 3, 4 zu gestalten. Beispielsweise kann man eine dünne Goldschicht auf den Körper 2 aufbringen, beispielsweise aufdampfen. Danach wird eine dünne, beispielsweise $1\text{ }\mu\text{m}$ dicke positive Fotoresistschicht auf den goldbeschichteten Körper 2 aufgetragen. Der Fotoresist wird, gegebenenfalls nach einer Aushärtung, einer UV-Bestrahlung ausgesetzt durch eine Maske, die so gestaltet ist, daß sie genau das gewünschte Profilmuster für die Elektrodenanordnung 3, 4 aufweist. Der Fotoresist wird dann entwickelt und die belichteten Teile werden herausgelöst. Danach wird der Körper in eine (KI+I₂) Mischung gegeben, die unerwünschte Goldflächen herausätzt, nämlich die Maschen 10 oder Schlitzte, die in der Goldbeschichtung ausgebildet werden sollen. Damit erzielt man das in Fig. 2 dargestellte Muster. (KI ist Jodkalium und I₂ ist Jod.)
- 15
20
25
30

-13-

Aufgrund der speziellen Form der Elektrodenanordnungen 3, 4 wird das elektrostatische Feld gleichförmig über den Körper 2 verteilt, wodurch ein optimaler Wirkungsgrad erreicht wird. Hierbei wirken die zweiten Elektroden 9 als Brücken zwischen den ersten Elektroden 7. Die Maschen 10 leiten hingegen nicht. Aus diesem Grund hat die Elektrodenanordnung 3, 4 verglichen mit einer durchgehenden Goldbeschichtung der gleichen Dicke einen erhöhten Widerstand. Man kann diesen erhöhten Widerstand grob abschätzen mit einem Widerstandszunahmefaktor K_R

$$K_R = (L/H)^2 (1/\alpha + H/L),$$

15

wobei die Dimensionen H und L aus Fig. 3 hervorgehen und $\alpha = b/H$ ist (Füllfaktor).

Ein ähnlicher Kraftfaktor K_F kann aus den gleichen Werten nach folgender Formel berechnet werden:

$$K_F = \alpha^3 (H^2 / ((L - \alpha H) L))$$

Ein Vergleich der beiden Faktoren K_R und K_F läßt den Schluß zu, daß es möglich ist, ein Betätigungselement mit verminderter Kraft (vergrößerte Dehnbarkeit) auszubilden ohne den elektrischen Widerstand zu vergrößern.

Theoretisch kann man davon ausgehen, daß, wenn $L/H = 10$ ist und die Dicke d des Körpers um einen Faktor 100 vergrößert wird, das Nettoergebnis ein unveränderter

-14-

elektrischer Widerstand und eine um den Faktor 100 verminderter Kraft oder eine um den Faktor 100 vergrößerte Dehnbarkeit ist.

- 5 Dies ist jedoch nur für einen freihängenden Körper 2 gültig. Wenn der Körper mit einem Substrat verbunden ist, ist die Nettoerduktion viel kleiner, falls die charakteristischen Abmessungen der Schlitzze oder Maschen 10 größer sind als die Dicke d der Schicht, an
 10 der die Elektrodenanordnung befestigt ist. Mit anderen Worten, wenn man mit dünnen Schichten im Bereich von 1 bis 2 μm arbeitet, benötigt man eine Submikro-Photolithografie, um die Maschen 10 freizulegen. Kostengünstigere Prozesse, wie Maskierungs- oder Drucktechniken,
 15 begrenzen die minimale Maschenbreite in Längsrichtung auf 20 bis 50 μm und somit die minimale Elastomerdicke auf 50 bis 100 μm .

Die untenstehende Tabelle zeigt typische Werte für
 20 Elektrodenschichten und Elastomere sowie typische Werte der Aktivierungsspannung eines Betätigungselements.

Elastomer Dielektrische Konstante	Elasto- mer- Dicke	Elastomer Elastizitäts- Modul	Elektroden- Dicke	Elektrode Elastizitäts- Modul	Elektroden- Fläche	Elektroden- Widerstand	Aktivierungs- spannung
[-]	[μm]	[MPa]	[Å]	[GPa]	[cm^2]	[KOhm]	[V]
2 - 6	10 - 100	0,3 - 10	100 - 5000	1 - 80	1 - 10000	0,05 - 1000	100 - 5000

- 25 Im folgenden betrachten wir einen 20 μm dicken Silikon-Elastomerfilm mit einem Elastizitätsmodul von 0,7 MPa und einer Dielektrizitäts-Konstante von 3. Die Elektro-

-15-

den sind aus Gold und haben eine Dicke von 0,05 μm sowie einen Elastizitätsmodul von 80000 MPa. Die Kapazität eines solchen Betätigungselements beträgt 0,1 nF/cm², und die Sprungantwort liegt in der Größenordnung von Mikrosekunden für das nichtbelastete Betätigungselement. Wenn man einen Dehnbarkeitsfaktor der Elektrode von 4000 annimmt, sind 1000 V nötig, um eine Verlängerung in der Größenordnung von 10% zu erzeugen, wogegen eine Verlängerung von weniger als 0,05 % im Falle einer undehbaren Elektrode erzeugt wird, d.h. einer Elektrode mit einem Dehnbarkeitsfaktor von 1. Mit anderen Worten macht es die Erfindung möglich, die Aktivierungsspannung zu senken.

Patentansprüche

1. Betätigungselement mit einem Körper aus einem
5 Elastomermaterial, der auf einander gegenüberliegenden Begrenzungsflächen mit jeweils einer Elektrodenanordnung versehen ist, von denen mindestens eine mehrere in Querrichtung ihrer Begrenzungsfläche durchgehende erste Elektroden aufweist, dadurch
10 gekennzeichnet, daß die Elektrodenanordnung (3, 4) zweite Elektroden (9, 9') aufweist, von denen jeweils mehrere in Lücken (8, 8a, 8b) zwischen benachbarten ersten Elektroden (7) angeordnet sind und diese verbinden, wobei die zweiten Elektroden
15 (9, 9') in benachbarten Lücken (8a, 8b) versetzt zueinander angeordnet sind.
2. Betätigungselement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die zweiten Elektroden (9, 9') jeder
20 n-ten Lücken (8, 8a, 8b) auf einer Linie in Längsrichtung (5) liegen.
3. Betätigungselement nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die zweiten Elektroden (9, 9') jeder
25 zweiten Lücke (8a, 8b) in Längsrichtung (5) auf einer Linie liegen.
4. Betätigungselement nach einem der Ansprüche 1 bis
3, dadurch gekennzeichnet, daß die zweiten Elektroden (9, 9') einer Lücke (8a) in der Mitte eines Ab-
30 standes zwischen zwei benachbarten zweiten Elektro-

-17-

den (9) einer benachbarten Lücke (8b) angeordnet sind.

- 5 5. Betätigungselement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrodenanordnung (3, 4) unmittelbar mit dem Körper (2) verbunden ist.
- 10 6. Betätigungselement nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand (a) zwischen zwei ersten Elektroden (7) nicht größer als die Dicke (d) des Körpers (2) zwischen den Begrenzungsflächen ist.
- 15 7. Betätigungselement nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Erstreckung (b) einer ersten Elektrode (7) in Längsrichtung dem Abstand (a) zwischen zwei ersten Elektroden (7) entspricht.
- 20 8. Betätigungselement nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß ein seitlicher Versatz zwischen zwei benachbarten zweiten Elektroden größer ist als der Abstand zwischen zwei ersten
25 Elektroden.
- 30 9. Betätigungselement nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrodenanordnung (3, 4) aus einer Vielzahl von kongruenten Einheitszellen (11) zusammengesetzt ist.

-18-

10. Betätigungselement nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß benachbarte Einheitszellen (11) gespiegelt zueinander ausgebildet sind.
- 5 11. Betätigungselement nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß jede Einheitszelle (11) einen Streifen (14) aufweist, der in Querrichtung (6) verläuft und der an beiden Enden jeweils einen Vorsprung (15, 16) aufweist, der in Längsrichtung (5) gerichtet ist, wobei die beiden Vorsprünge (15, 16) entgegengesetzt gerichtet sind.
- 10
12. Betätigungselement nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Einheitszelle ein Breiten-/Höhenverhältnis (L/H) aufweist, das größer oder gleich $3\frac{1}{3}$ ist.
- 15

Fig.1a

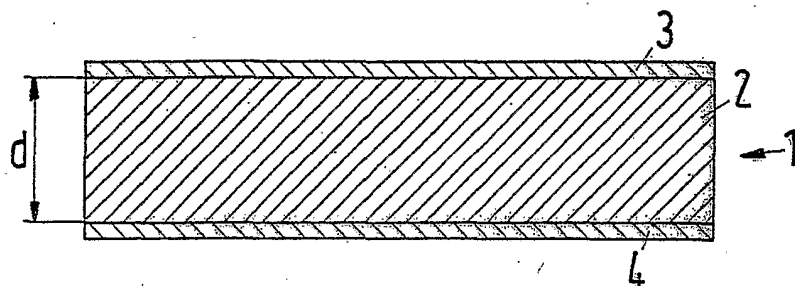


Fig.1b

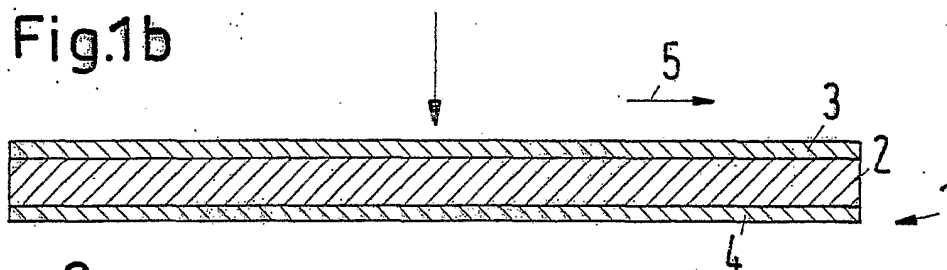


Fig. 2

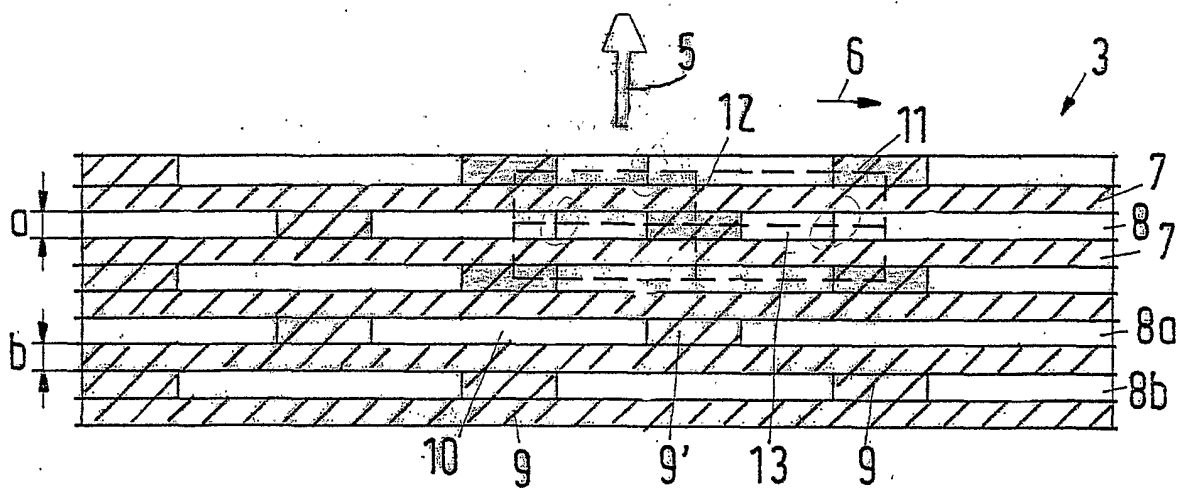


Fig.3

