

(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
12. September 2008 (12.09.2008)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2008/106928 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
B81C 1/00 (2006.01)

[DE/DE]; Fritz-Heckert-Siedlung 11, 09337 Hohenstein-Ernstthal (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2008/000313

(74) **Anwalt: GAGEL, Roland**; Landsberger Strasse 480a, 81241 München (DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:
22. Februar 2008 (22.02.2008)

(81) **Bestimmungsstaaten** (*soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart*): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) **Angaben zur Priorität:**
10 2007 010 951.4 7. März 2007 (07.03.2007) DE
10 2007 051 977.1
31. Oktober 2007 (31.10.2007) DE

(71) **Anmelder** (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US*): **FRAUNHOFER GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E. V.** [DE/DE]; Hansastrasse 27c, 80686 München (DE). **TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ** [DE/DE]; Strasse der Nationen 62, 09111 Chemnitz (DE).

(72) **Erfinder; und**

(75) **Erfinder/Anmelder** (*nur für US*): **OTTO, Thomas** [DE/DE]; Köthensdorfer Hauptstrasse 120, 09249 Taura, OT Köthensdorf (DE). **MORSCHHAUSER, Andreas** [DE/DE]; Senefelder Strasse 1, 09126 Chemnitz (DE). **NESTLER, Jörg** [DE/DE]; Thüringer Weg 2, 09126 Chemnitz (DE). **GESSNER, Thomas** [DE/DE]; Salzstrasse 11, 09113 Chemnitz (DE). **VOIGT, Sebastian**

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

Veröffentlicht:

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

(54) **Title:** METHOD FOR THE PRODUCTION OF MEMBRANES THAT CAN BE ELECTRICALLY AND/OR MAGNETICALLY ACTIVATED, AND MAGNETIC ACTUATOR HAVING SUCH A MEMBRANE

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON ELEKTRISCH UND/ODER MAGNETISCH ANSTEUERBAREN MEMBRANEN SOWIE MAGNETISCHER AKTOR MIT EINER DERARTIGEN MEMBRAN

(57) **Abstract:** The present invention relates to a method for the production of membranes that can be electrically and/or magnetically activated, particularly for switches or pumps. In the method, microparticles and/or nanoparticles (5) having magnetic and/or electric properties are mixed with a matrix material in a flowable state, which has elastic properties after solidification. The matrix material is applied to a substrate as a layer (1), and a distribution of the particles in the layer (1) is selectively modified by means of one or more electric and/or magnetic fields in order to achieve an accumulation (2, 3) of the particles (5) on one or a plurality of locations in the layer (1). The layer (1) is subsequently solidified using the accumulated particles in order to form one or more membranes (16). The invention also relates to a magnetic actuator having such a membrane. The method enables the use of elastic membranes having magnetic, or magnetizable, particles incorporated therein, without having an adverse influence on the elastic properties in certain regions of the membrane.

(57) **Zusammenfassung:** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von elektrisch und/oder magnetisch ansteuerbaren Membranen, insbesondere für Schalter oder Pumpen. Bei dem Verfahren werden Mikro- und/oder Nanopartikel (5) mit magnetischen und/oder elektrischen Eigenschaften mit einem in fließfähigem Zustand befindlichen Matrixmaterial vermischt, das nach einer Verfestigung elastische Eigenschaften aufweist. Das Matrixmaterial wird als Schicht (1) auf ein Substrat aufgebracht und eine Verteilung der Partikel in der Schicht (1) mit einem oder mehreren elektrischen und/oder magnetischen Feldern gezielt verändert, um eine Anhäufung (2, 3) der Partikel (5) an einer oder mehreren Stellen der Schicht (1) zu erhalten. Die Schicht (1) wird anschließend mit den angehäuften Partikeln zur Bildung einer oder mehrerer Membranen (16) verfestigt. Die Erfindung betrifft auch einen magnetischen Aktor mit einer derartigen Membran. Das Verfahren ermöglicht die Nutzung von elastischen Membranen mit eingelagerten magnetischen oder magnetisierbaren Partikeln, ohne die elastischen Eigenschaften in bestimmten Bereichen der Membran negativ zu beeinflussen.

WO 2008/106928 A2

Verfahren zur Herstellung von elektrisch und/oder
magnetisch ansteuerbaren Membranen sowie magnetischer
Aktor mit einer derartigen Membran

Technisches Anwendungsgebiet

5 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von elektrisch und/oder magnetisch ansteuerbaren Membranen, bei dem Mikro- und/oder Nanopartikel mit magnetischen und/oder elektrischen Eigenschaften, durch die sie in einem magnetischen oder
10 elektrischen Feld eine Kraftwirkung erfahren, in ein Matrixmaterial eingebettet werden, aus dem die Membran anschließend geformt wird. Die Erfindung betrifft auch einen magnetischen Aktor auf Basis einer derartigen Membran. Derartige Membranen oder magnetische Aktoren
15 lassen sich beispielsweise für magnetische Schalter, Ventile oder Pumpen einsetzen.

Stand der Technik

Die Beimengung von Mikro- und/oder Nanopartikeln
20 zu einem Matrixmaterial zur gezielten Beeinflussung von Materialeigenschaften ist ein gebräuchliches Verfahren bei der Materialherstellung. So entstehen Materialien - so genannte Mikro- und/oder Nanokomposite -, die neuartige, vorteilhafte Eigenschaften aufweisen können.
25 Folien aus derartigen Materialien weisen aufgrund der gleichmäßigen Verteilung der Mikro- und/oder Nanopartikel üblicherweise weitestgehend homogene Eigenschaften auf. Für viele Anwendungen bringen diese Beimengungen jedoch nicht nur Vor- sondern auch
30 Nachteile mit sich, die einen Kompromiss aus neuen

- 2 -

gewünschten Eigenschaften und ungünstigen Eigenschaften erfordern. So kann beispielsweise die Erhöhung der Dielektrizitätszahl von Polymeren durch Einbettung von TiO_2 -Partikeln auch eine unerwünschte Erhöhung des
5 Elastizitätsmoduls verursachen.

Gerade bei der Herstellung von elastischen Membranen kann die Einbettung von beispielsweise magnetischen Mikro- und/oder Nanopartikeln zu einer
10 Versteifung der Membran führen, die für die geplante Anwendung nicht tragbar ist. So zeigen beispielsweise Kai et al., „A Robust Low-Cost PDMS Peristaltic Micropump With Magnetic Drive“, Solid-State Sensor, Actuator and Microsystems Workshop, June 6-10, 2004,
15 Seiten 270-273, eine peristaltische Mikropumpe mit einer magnetisch ansteuerbaren Membran aus PDMS (Polydimethylsiloxan). In der Membran sind kleine Kammern zur Aufnahme von Magneten vorgesehen, die aus einem magnetischen Pulver in einem thermoplastischen
20 Matrixmaterial gefertigt sind. Auf diese Weise wird eine Verschlechterung der elastischen Eigenschaften der Membran vermieden. Die Platzierung der Magnete in der Membran macht jedoch das Herstellungsverfahren aufwendig.

25

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Verfahren zur Herstellung von elektrisch und/oder magnetisch ansteuerbaren Membranen anzugeben, das sich mit geringerem Aufwand durchführen und die
30 Herstellung von Membranen für Pumpen, Ventile und Schalter ermöglicht.

- 3 -

Darstellung der Erfindung

Die Aufgabe wird mit dem Verfahren gemäß Patentanspruch 1 gelöst. Patentanspruch 10 gibt einen magnetischen Aktor an, der mit einer erfindungsgemäß hergestellten Membran betrieben wird. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens sowie des Aktors sind Gegenstand der Unteransprüche oder lassen sich der nachfolgenden Beschreibung sowie den Ausführungsbeispielen entnehmen.

10

Bei dem vorgeschlagenen Verfahren werden Mikro- und/oder Nanopartikel mit magnetischen und/oder elektrischen Eigenschaften bereitgestellt, durch die sie in einem magnetischen oder elektrischen Feld eine Kraftwirkung erfahren. Die Mikro- und/oder Nanopartikel werden mit einem in fließfähigem Zustand befindlichen Matrixmaterial vermischt, das nach einer Verfestigung elastische Eigenschaften aufweist. Die hierdurch entstandene Dispersion aus Matrixmaterial und Mikro- und/oder Nanopartikeln wird als Schicht auf ein Substrat aufgebracht. Dies kann beispielsweise durch Aufschleudern, Aufrakeln, Gießen oder Sprühen erfolgen. Die Schicht wird anschließend einem oder mehreren elektrischen und/oder magnetischen Feldern ausgesetzt, durch die die durch die Vermischung annähernd gleichmäßige Verteilung der Mikro- und/oder Nanopartikel in der Schicht gezielt verändert wird, um eine Anhäufung der Mikro- und/oder Nanopartikel an einer oder mehreren Stellen der Schicht zu erhalten. Anschließend wird die Schicht mit den entsprechend angehäuften Mikro- und/oder Nanopartikeln zur Bildung einer oder mehrerer Membranen verfestigt. Die verfestigte Schicht, die sowohl eine einzelne als auch mehrere miteinander

30

- 4 -

verbundene Membranen umfassen kann, kann anschließend vom Substrat gelöst und der entsprechenden Verwendung zugeführt werden. So kann die abgelöste Schicht beispielsweise auf ein Siliziumsubstrat gebondet
5 werden, in dem entsprechende Ausnehmungen erzeugt wurden, über denen die ein oder mehreren Membranen befestigt werden. Besonders vorteilhaft lassen sich mit dem Verfahren Membranen mit Arrays von Anhäufungen erzeugen, im Folgenden auch als Membranarray
10 bezeichnet, die anschließend auf ein Substrat mit entsprechend arrayförmig angeordneten Ausnehmungen aufgebracht werden.

Unter dem Begriff Mikropartikel sind in der
15 vorliegenden Patentanmeldung Partikel im Größenbereich zwischen 1 und 1000 μm , unter Nanopartikeln Partikel im Größenbereich unterhalb von 1 μm zu verstehen. Das Verfahren schließt selbstverständlich nicht aus, dass unter den Mikro- und/oder Nanopartikeln auch vereinzelt
20 Partikel mit einer Größe oberhalb von 1 mm vorhanden sind. Dies ist jedoch nicht wünschenswert. Die Mikro- und/oder Nanopartikel können beispielsweise aus para-, ferro- oder permanentmagnetischen Materialien bestehen.

25 Grundsätzlich können mit dem Verfahren Membranen oder Membranarrays in beliebigen Dimensionen hergestellt werden. Besonders vorteilhaft eignet sich das Verfahren für die Herstellung von Mikromembranen oder Mikromembranarrays, beispielsweise für Mikroventile,
30 Mikropumpen oder Mikroschalteranwendungen.

Das vorgeschlagene Verfahren nutzt die Beweglichkeit der Mikro- und/oder Nanopartikel in einem noch in

- 5 -

fließfähigem Zustand befindlichem Matrixmaterial, um diese über magnetische und/oder elektrische Felder gezielt örtlich anzuhäufen, auszurichten und durch Verfestigung des Matrixmaterials in dieser gezielt

5 erzeugten Verteilung zu fixieren. Dies setzt voraus, dass das Matrixmaterial bei der gezielten Beeinflussung der Mikro- und/oder Nanopartikeln in einem fließfähigem Zustand vorliegt. Hierbei kann es sich um einen flüssigen oder auch um einen hochviskosen Zustand

10 handeln. Bei Bedarf wird das Matrixmaterial temporär in diesen Zustand überführt. Dies kann beispielsweise, je nach Material, durch Lösen oder Schmelzen erfolgen oder kann auch beispielsweise im Falle von Polymeren als Matrixmaterial dadurch erreicht werden, dass das

15 Matrixmaterial noch im zumindest teilweise unvernetzten und damit fließfähigen Zustand vorliegt. Nach dem Aufbringen des Matrixmaterials mit den darin enthaltenen Mikro- und/oder Nanopartikeln auf das Substrat wird die Schicht dann einem statischen und/oder

20 variablen Magnetfeld und/oder elektrischen Feld ausgesetzt, durch das eine Kraftwirkung auf die Mikro- und/oder Nanopartikel in der Schicht ausgeübt wird. Die Felder werden dabei so gewählt, dass eine gezielte Anhäufung der Mikro- und/oder Nanopartikel in der

25 Schicht erfolgt. Die Wahl der eingesetzten Felder, d.h. elektrisches oder magnetisches Feld oder beides, hängt von den Eigenschaften der gewählten Mikro- und/oder Nanopartikel ab. Die Schicht kann zur Verbesserung der Oberflächenqualität der Membranen auch zusätzlich mit

30 einer entsprechenden Abdeckung versehen werden, die selbstverständlich die Einwirkung der elektrischen und/oder magnetischen Felder auf die Schicht zulassen muss.

- 6 -

Die felderzeugende Einrichtung muss in der Lage sein, ein zeit- und/oder ortsvariables Feld zu erzeugen, um auf diese Weise die Partikel in der
5 gewünschten Weise anzuhäufen und auszurichten. Vor allem bewegliche Anordnungen von Permanentmagneten, Anordnungen elektrischer Spulen und Anordnungen von elektrisch leitfähigen Bahnen und Schichten können hierbei eingesetzt werden. Weiterhin ist auch die
10 Überlagerung von statischen und dynamischen Feldern möglich, um orts aufgelöste Minima oder Maxima der Feldstärke über der lateralen Ausdehnung der Schicht zu erzeugen.

15 Die endgültige Fixierung der Partikel und ihrer Ausrichtung erfolgt dann durch die Verfestigung des Matrixmaterials. Dies kann beispielsweise bei Kunststoffen durch Abkühlen, Verdunsten der Lösungsmittel oder eine Vernetzungsreaktion, induziert durch Wärme,
20 Strahlung und/oder eine vernetzende chemische Komponente, erfolgen. Während dieses Vorgangs kann die Schicht weiterhin dem magnetischen oder elektrischen Feld ausgesetzt bleiben.

25 Durch die gezielte Beeinflussung der Verteilung der Mikro- und/oder Nanopartikel in der Membran können Membranbereiche, die für die elastische Funktion der Membran bei der entsprechenden Anwendung erforderlich sind, weitgehend frei von den eingelagerten Mikro-
30 und/oder Nanopartikeln gehalten werden, so dass in diesen Bereichen keine unerwünschte Versteifung der Membran auftritt. So können beispielsweise die Mikro- und/oder Nanopartikel im zentralen Bereich der Membran

- 7 -

angehäuft werden, so dass die Randbereiche, wenn überhaupt, nur eine geringe Konzentration dieser Partikel aufweisen. Weiterhin ermöglicht die mit dem Verfahren erzeugbare lokale Anhäufung der Partikel eine erhöhte Durchlässigkeit der Membran für elektrische Felder, da die Membran in diesem Fall keine Abschirmung bildet, wie dies bei einer gleichmäßigen Verteilung elektrisch leitfähiger Partikel der Fall wäre. Eine derartig hergestellte Membran eignet sich daher vorteilhaft für die bereits angeführten Anwendungen in Ventilen, Pumpen oder elektrischen Schaltelementen. Die Membran lässt sich einfach herstellen, da keinerlei Anbringung von zusätzlichen Komponenten wie Magneten erforderlich ist. Besonders vorteilhaft eignet sich das Verfahren für die Herstellung von Membranarrays, da die Anhäufung der Mikro- und/oder Nanopartikel für das gesamte Array mit einer entsprechend ausgebildeten Einrichtung in einem Schritt ausführbar ist.

In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung handelt es sich bei den Mikro- und/oder Nanopartikeln um magnetische oder magnetisierbare Partikel. Im Falle von magnetisierbaren Partikeln werden diese vorzugsweise nach Verfestigung der Schicht mit der gleichen Einrichtung magnetisiert, mit der die Anhäufung der Partikel in der Schicht gesteuert wurde. Beispiele für magnetische Partikel sind Partikel aus AlNiCo, Bariumferrit, Cobalt, CoPt_3 , CrO_2 , CuNiFe und CuNiCo-Legierungen, Fe, Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , FeCoCr-Legierungen, NdFeB-Legierungen, Ni, NiCuCo, NiFe, Strontiumferrit, SmCo, MnAs, EuO, Eisenoxid-haltige Pigmente. Beispiele für Matrixmaterialien sind Silikone oder thermo-

- 8 -

plastische Elastomere auf Basis von Olefinen, Poly-
Urethanen, Styrolen und Polyamiden.

Mit einer derartigen Membran lässt sich ein magne-
5 tischer Aktor realisieren, der die vorzugsweise
elastische Membran mit den darin angehäuften Mikro-
und/oder Nanopartikeln sowie eine Einrichtung zur
berührungslosen Auslenkung der Membran aufweist, die
ein auf die Membran wirkendes magnetisches Feld
10 erzeugt.

Ein derartiger magnetischer Aktor lässt sich
beispielsweise in Schaltelementen als magnetischer
Schalter einsetzen. So besteht in der mobilen
15 Kommunikationstechnik ein wachsender Bedarf an
rekonfigurierbaren Antennen, welche beispielsweise
durch das Verschalten von kleineren Einzelantennen-
elementen zu so genannten Patch-Antennen verschiedenster
Geometrien realisiert werden können. Dazu ist eine
20 größere Anzahl an getrennt voneinander ansteuerbaren
Schaltern notwendig. Die Kosten für derartige intelli-
gente Antennen sollten jedoch die der gegenwärtig
verwendeten nicht wesentlich übersteigen. Aus diesem
Grund ist eine Technologie zur Massenproduktion von
25 rekonfigurierbaren Antennen einschließlich der Schalter
notwendig, die sich kostengünstig realisieren lässt.
Dies kann mit einer gemäß dem vorliegenden Verfahren
hergestellten Elastomermembran mit lokal verteilten
magnetischen Eigenschaften oder mit einem Array
30 derartiger Membranen erreicht werden. Damit lassen sich
Schaltarrays mit einer Vielzahl von matrixartig
angeordneten, magnetisch aktuierbaren Schaltern
realisieren.

- 9 -

In diesem Zusammenhang stellt die Lokalisierung der magnetischen Partikel in der Membran einen großen Vorteil dar, da diese Anhäufung zu einer geringen
5 elektrischen Leitfähigkeit der Membran führt. Würde eine homogen mit magnetischen, elektrisch leitfähigen Partikeln beladene Elastomermembran in einer derartigen Anwendung in der Hochfrequenz- und Mobilfunktechnik verwendet, so würde diese als Schirmung fungieren und
10 somit das Abstrahlverhalten der Antennen wesentlich beeinflussen. Handelt es sich jedoch nur um lokale Anhäufungen der Partikel in der Membran, so wird signifikant weniger bis keine ausgesendete Strahlung im Aktormaterial absorbiert.

15

Ein weiteres sehr vorteilhaftes Anwendungsgebiet der mit dem Verfahren hergestellten Membranen bzw. des angeführten magnetischen Aktors besteht auf dem Gebiet der Pumpen und Ventile. Hier bietet ebenfalls die
20 Anhäufung der magnetischen Partikel in ein oder mehreren Bereichen der Membran erhebliche Vorteile. Durch die Lokalisierung der Partikel in der Membran wird die meist negativ auftretende Versteifung der Membran durch die eingelagerten Partikel ebenfalls nur
25 auf diese Teilbereiche beschränkt. Die Membran kann dadurch im Vergleich zu einer Membran mit homogen verteilten Partikeln gleicher Beladungsdichte wesentlich stärker ausgelenkt werden. Die Auslenkung erfolgt in bekannter Weise über ein externes Magnet-
30 feld, durch das die magnetischen Bereiche der Membran zu Bewegungen oder auch zur lokalen Erwärmung angeregt werden können.

- 10 -

Auf dem Gebiet der Bioanalytik werden verstärkt Manipulationssysteme für kleinste Flüssigkeitsmengen benötigt, die in der Regel in Siliziumtechnologie ausgebildet sind. Für viele Anwendungen besteht jedoch
5 der Bedarf an kostengünstigeren Alternativen. Mikropumpen und Mikroventile auf Basis von einfach zu prozessierenden Kunststoffen, wie Thermoplasten, Duroplasten, Elastomeren oder Silikonen, sind hierfür geeignet. Mit dem vorgeschlagenen Verfahren zur
10 Erzeugung einer elastischen Membran mit eingebetteten lokalisierten Magnetpartikeln können kostengünstige Anordnungen magnetisch aktiver Mikropumpen und Mikroventile realisiert werden. Diese Aktoren bestehen aus mindestens einer elastischen Membran mit den
15 lokalisierten Magnetpartikeln. Weiterhin ist mindestens eine felderzeugende Einrichtung, wie Spulen oder Permanentmagneten, ein wesentlicher Teil des Aktors. Pumpen oder Ventile weisen weiterhin mindestens eine Kammer mit zu- oder abführenden Kanälen auf. Typische
20 Abmessungen der Querschnitte der Kammern und Kanäle liegen vorzugsweise unter 3 mm. Die aktorische Wirkung wird durch eine Veränderung des auf die Membran wirkenden Magnetfeldes realisiert. Je nach Art der eingebetteten Partikel resultiert eine anziehende oder
25 abstoßende Kraft, die eine Form- und/oder Ortsveränderung der Membran zur Folge hat. Bei Pumpen folgt daraus eine Volumenverdrängung oder -erweiterung in der Kammer, was eine Bewegung des zu fördernden Mediums zur Folge hat. Handelt es sich bei dem Aktor um ein Ventil,
30 so erzeugt die Form- oder Ortsveränderung der Membran eine Aufweitung oder Verengung bis hin zum Formschluss eines Kanaldurchmessers mit daraus resultierender Veränderung des fluidischen Widerstandes.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Das vorgeschlagene Verfahren sowie der vorgeschlagene Aktor werden nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Zeichnungen nochmals kurz erläutert. Hierbei zeigen:

- Fig. 1 ein Beispiel für die Anhäufung von Mikro- und/oder Nanopartikeln in einer Schicht;
- Fig. 2 schematisch ein Beispiel für die Ausrichtung der Mikro- und/oder Nanopartikel in der Schicht;
- Fig. 3 ein Beispiel für eine Einrichtung zur gezielten Anhäufung der Mikro- und/oder Nanopartikel an bestimmten Stellen einer Schicht;
- Fig. 4 ein weiteres Beispiel für eine Einrichtung zur gezielten Anhäufung der Mikro- und/oder Nanopartikel in einer Schicht;
- Fig. 5 ein Beispiel für eine mit der Einrichtung der Figur 3 bearbeitete Schicht, in der die Mikro- und Nanopartikel an unterschiedlichen Stellen in Form eines Arrays angehäuft sind;
- Fig. 6 schematisch ein Beispiel für einen Einsatz der Membran als Pumpelement; und
- Fig. 7 schematisch ein Beispiel für einen Einsatz der Membran als Schaltelement.

Wege zur Ausführung der Erfindung

Figur 1 zeigt stark schematisiert die bei dem vorgeschlagenen Verfahren durchgeführte Anhäufung von Mikro- und/oder Nanopartikeln in einer Schicht durch magnetische und/oder elektrische Felder. Im linken Teil der Figur ist hierbei eine mit Mikro- und/oder Nanopartikeln annähernd homogen durchmischte Schicht 1 dargestellt. Eine derartige Schicht kann durch Vermischen der Mikro- und/oder Nanopartikel mit dem Matrixmaterial erreicht werden, bevor dieses auf ein entsprechendes Substrat als Schicht aufgebracht wird. Vor der Verfestigung des Matrixmaterials kann dann durch Einwirkung elektrischer und/oder magnetischer Felder die Verteilung der Mikro- und/oder Nanopartikel in der Schicht gezielt verändert werden. Hierzu müssen die Mikro- und/oder Nanopartikel selbstverständlich so gewählt sein, dass sie unter dem Einfluss der eingesetzten elektrischen und/oder magnetischen Felder eine Kraftwirkung erfahren. Im rechten Teil der Figur 1 ist hierzu rein beispielhaft eine Anhäufung der Mikro- und/oder Nanopartikel durch den gezielten Einfluss elektrischer und/oder magnetischer Felder in der Schicht zu erkennen. Hierbei lassen sich durch geeignete Anwendung der Felder nahezu beliebige Geometrien der Anhäufungen erzeugen, wie beispielsweise streifenförmige Anhäufungen 2 oder kreisförmige Anhäufungen 3 der Mikro- und/oder Nanopartikel. In diesen Anhäufungen 2, 3 liegt dann eine höhere Partikelkonzentration vor als in der ursprünglichen Schicht 1. Auf der anderen Seite sinkt in den Zwischenräumen zwischen den Anhäufungen 2, 3 die Partikeldichte, so dass dort eine deutlich geringere

- 13 -

Partikeldichte oder nahezu keine Partikel mehr vorliegen. Dies ist durch die Bereiche 4 niedriger Partikeldichte in der Figur 1 zu angedeutet.

5 Neben der Anhäufung der Partikel erfolgt bei asymmetrischen Mikro- und/oder Nanopartikeln, insbesondere bei magnetischen Partikeln, auch eine Ausrichtung der Partikel in der Schicht durch das Feld. Eine derartige Ausrichtung der Partikel 5 ist
10 schematisch in Figur 2 angedeutet.

 Figur 3 zeigt als Beispiel eine Einrichtung zur gezielten Anhäufung von magnetischen oder magnetisierbaren Mikro- und/oder Nanopartikeln. Die Vorrichtung
15 besteht aus zwei sich gegenüber liegenden oder in diese Position bringbaren Formungseinheiten 6, die in diesem Beispiel als Platten mit daran ausgebildeten stiftförmigen Elementen realisiert sind. Die stiftförmigen Elemente sind sich gegenüberliegend arrayförmig
20 angeordnet, im vorliegenden Beispiel als 5x5-Array, und bestehen aus einem ferroelektrischen Material wie Eisen. Mit diesen Formungseinheiten 6 wird ein offener Magnetkreis 7 gebildet, der zumindest eine elektrische Spule 8 zur Erzeugung eines Magnetfeldes aufweist. Das
25 Substrat 9 mit der darauf befindlichen Schicht (in der Figur nicht zu erkennen) wird in dem Luftspalt zwischen den beiden Formungseinheiten 6 positioniert. Durch Erzeugen eines Magnetfeldes über die elektrische Spule 8 wird die Schicht auf dem Substrat ebenfalls einem
30 Magnetfeld ausgesetzt, dessen Verteilung durch die Topographie der Formungseinrichtungen 6 festgelegt ist. Durch diese Topographie werden lokale Konzentrationen der magnetischen Feldlinien im exponierten Material

- 14 -

erzeugt, die zu einer Anhäufung der Mikro- und/oder Nanopartikel entsprechend dieser Topographie in der Schicht führen. Über die elektrische Spule 8 kann ein statisches und/oder ein zeitlich veränderliches

5 Magnetfeld im Material aufgebaut werden. Darüber hinaus kann auch das Substrat 9 relativ zum Magnetfeld bewegt werden. Dies kann zudem in zeitlicher Abstimmung mit der variablen Veränderung des äußeren Magnetfeldes geschehen. Auf diese Weise lassen sich unterschiedliche

10 Anhäufungen in der Schicht erzeugen. Weiterhin kann bei dieser Anordnung auch eine Temperierung, beispielsweise eine Aufheizung, des zu behandelnden Materials erfolgen, indem der Magnetkreis eine in der Figur 3 nicht dargestellte Temperierungseinrichtung erhält.

15 Weiterhin kann die Magnetfeldform in der Einrichtung der Figur 3 nach dem Verfestigen des Matrixmaterials der Schicht auch zum Magnetisieren der Partikel im Matrixmaterial verwendet werden. Hierfür werden die Partikel durch die Einrichtung einem starken Magnetfeld

20 ausgesetzt.

Figur 4 zeigt ein weiteres Beispiel für eine Einrichtung zur lokalen Anhäufung von Mikro- und/oder Nanopartikeln in der Schicht. Die Einrichtung besteht

25 aus zwei Trägerlagen 10, 11, in denen jeweils elektrische Flachspulen 12 ausgebildet sind. Die Spulen sind in Helmholtz-Anordnung realisiert, wie dies in der Figur 4 erkennbar ist. In dem Zwischenraum zwischen den beiden Trägerlagen 10, 11 kann wiederum das Substrat

30 mit der darauf aufgebrachtten Schicht positioniert werden. Die einzelnen Spulen 12 sind mit individuellen Anschlüssen versehen, so dass durch gezielte Ansteuerung dieser Spulen gezielte Anhäufungen der

- 15 -

Partikel in der Schicht erreicht werden können. Durch die Flachspulen 12 werden gerichtete Magnetfelder erzeugt, die die im Material befindlichen Magnetpartikel im Bereich der Feldmaxima sammeln.

5

Weiterhin lässt sich beispielsweise eine derartige Einrichtung mit einer Einrichtung zur Erzeugung eines statischen Magnetfelds kombinieren, um eine Überlagerung der Felder zu erreichen. Dies ermöglicht den zielgerichteten Transport von magnetischen Nano- und/oder Mikropartikeln über den gesamten Bereich der Schicht.

Figur 5 zeigt ein Beispiel für eine Schicht 13 auf einem Substrat mit lokalen Anhäufungen von Mikro- und/oder Nanopartikeln, wie sie beispielsweise in der Vorrichtung der Figur 3 bei Anwendung eines statischen Magnetfelds erzeugt werden können. Wie aus der Figur 5 in Draufsicht auf die Schicht 13 zu erkennen ist, enthält diese eine arrayförmige Anordnung aus mit den Partikeln angehäuften Bereichen 14, die von jeweils einem Bereich 15 mit einer deutlich reduzierten Partikeldichte umgeben sind. Die Partikel der Anhäufungen 14 wurden durch das Magnetfeld von den Bereichen 15 abgezogen. Im verbleibenden Bereich der Schicht 13, die nicht mit dem Magnetfeld beaufschlagt wurde, liegen die Partikel nach wie vor in der ursprünglichen Gleichverteilung vor. Eine derartige Schicht eignet sich nach der Verfestigung als Membranarray, beispielsweise für ein Schalter- oder Pumpenarray.

- 16 -

Zur Herstellung einer derartigen Schicht wird in einem Beispiel ein 2-Komponenten-Silikon (PDMS) nach Herstellerangaben angemischt. Die Mikro- und/oder Nanopartikel werden anschließend als Füllstoffe
5 untermenget, wobei der Füllgrad abhängig von Art, Größe und Struktur der Partikel ist. Im Falle von anisotropen Strontiumferrit-Partikeln werden beispielsweise gute Ergebnisse mit einer Konzentration von ca. 35 Vol% im Matrixmaterial erreicht. Im Falle von NdFeB als Mikro-
10 und/oder Nanopartikeln eignet sich ein Anteil von ca. 50 Vol% im Matrixmaterial. Nach dem Untermengen der Füllstoffe wird die Dispersion aus Füllstoffen und Matrixmaterial im Exsikkator für ca. 20 Minuten entgast.

15

Anschließend wird eine dünne Schicht von etwa 50 bis 100µm dieser Dispersion, die das noch unvernetzte PDMS und die Füllstoffe enthält, auf ein Trägersubstrat aufgeschleudert. Im vorliegenden Beispiel handelt es
20 sich hierbei um einen 100 mm TOPAS®-Wafer. Der Wafer wird anschließend in die Lokalisierungseinrichtung gebracht, d.h. beispielsweise zwischen die beiden Formungseinheiten 6 der Einrichtung der Figur 3. Anschließend erfolgt die Lokalisierung der Mikro-
25 und/oder Nanopartikel durch Einschalten des entsprechenden Magnetfeldes. Nach dieser Lokalisierung wird das PDMS vernetzt, in dem es ca. 48 Stunden bei Raumtemperatur oder ca. 15 Minuten bei 120°C belassen wird. Die dann erzeugte verfestigte Schicht weist die
30 entsprechenden Anhäufungen der Mikro- und/oder Nanopartikel auf, die in der Schicht fixiert sind.

- 17 -

Eine derartige Membran oder ein derartiges Membranarray lässt sich sehr vorteilhaft bei der Herstellung von Pumpen einsetzen. Figur 6 zeigt hierzu ein stark schematisiertes Beispiel, bei der die Membran 16 mit dem Bereich 14 angehäufter Nanopartikel auf ein Siliziumsubstrat 17 gebondet wird, so dass der angehäufte Bereich 14 über einer Ausnehmung 18 im Siliziumsubstrat liegt. Diese Ausnehmung 18 stellt eine Pumpkammer dar, die mit in der Figur nicht dargestellten Zu- und Abläufen für ein Fluid verbunden ist. Oberhalb der Membranschicht 16 wird ein weiteres Substrat 19 angeordnet, das über entsprechende Abstandshalter (nicht dargestellt) mit dem Siliziumsubstrat 17 verbunden wird. In diesem weiteren Substrat 19 ist ein Elektromagnet 20 direkt über dem Bereich 14 mit angehäuften Partikeln positioniert. Durch zeitlich variablen Betrieb des Elektromagneten 20 lässt sich damit eine Auslenkung der Membranschicht 16 über der Ausnehmung 18 erreichen, die bei geeigneter Ansteuerung zu einer Pumpwirkung führt.

In gleicher Weise lassen sich auch Schaltelemente mit einer derartigen Membran realisieren, wie dies stark schematisiert und beispielhaft anhand eines geöffneten bzw. geschlossenen Einzelschalters in der Figur 7 angedeutet ist. In diesem Falle sind unter der Membran 16 mindestens zwei Kontakterhöhungen 21 angeordnet, welche im geschlossenen Zustand mit einer Kontaktfläche 22 an der Unterseite der Membran 16 in Kontakt stehen. Die Kontakterhöhungen 21 sind derart ausgebildet, dass sie die Membran vorspannen, so dass die Membran im Ruhezustand, d.h. ohne externe magnetische oder elektrische Kräfte, immer mit einer

- 18 -

Kontaktkraft auf die Kontakterhöhungen drückt. In diesem geschlossenen Zustand wird/werden die/der Schaltkontakt/e realisiert. Durch Zuschalten des Elektromagneten mit hart- oder weichmagnetischem Kern

5 20 kann die Membran 16 und somit der Kontakt 22 von der Kontakterhöhung 21 abgehoben und nach oben ausgelenkt, und damit in den geöffneten Zustand überführt werden. Dieser Zustand ist aufgrund der Kraftwirkung zwischen dem Elektromagneten 20 und der Membran 16 ebenfalls

10 stromlos stabil wie der zuvor beschriebene geschlossene Zustand. Auf diese Weise lässt sich ein bistabiler Schalter realisieren. Entsprechende Leiterbahnen 23 im Substrat 17 sind in der Figur angedeutet. Es können auch Leiterbahnen, beispielsweise mittels Siebdruck

15 oder Sputtern, auf die verfestigte Membran 16 aufgebracht werden.

Bezugszeichenliste

	1	Schicht mit homogener Partikelverteilung
5	2	streifenförmige Anhäufung
	3	runde Anhäufung
	4	Bereiche geringer Partikeldichte
	5	Mikro- und/oder Nanopartikel
	6	Formungseinheit
10	7	Magnetkreis
	8	Spule
	9	Substrat mit Schicht
	10	oberer Träger
	11	unterer Träger
15	12	Flachspule
	13	Bereich mit homogener Verteilung
	14	Bereich mit Partikelanhäufung
	15	Bereich mit niedriger Partikelkonzentration
	16	Membranschicht
20	17	Siliziumsubstrat
	18	Ausnehmung
	19	weiteres Substrat
	20	Elektromagnet mit hart- oder weichmagnetischem Kern
25	21	Kontakterhöhungen
	22	Kontaktfläche
	23	Leiterbahnen

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von elektrisch und/oder magnetisch ansteuerbaren Membranen, insbesondere für Ventile, Schalter oder Pumpen, bei dem
 - 5 - Mikro- und/oder Nanopartikel (5) mit magnetischen und/oder elektrischen Eigenschaften bereitgestellt werden, durch die sie in einem magnetischen oder elektrischen Feld eine Kraftwirkung erfahren,
 - 10 - die Mikro- und/oder Nanopartikel (5) mit einem in fließfähigem Zustand befindlichen Matrixmaterial vermischt werden, das nach einer Verfestigung elastische Eigenschaften aufweist,
 - das Matrixmaterial als Schicht (1) auf ein
 - 15 Substrat (9) aufgebracht wird,
 - eine Verteilung der Mikro- und/oder Nanopartikel (5) in der Schicht (1) mit einem oder mehreren elektrischen und/oder magnetischen Feldern gezielt verändert wird, um eine Anhäufung (2, 3) der
 - 20 Mikro- und/oder Nanopartikel (5) an einer oder mehreren Stellen der Schicht (1) zu erhalten, und
 - die Schicht (1) mit den an einer oder mehreren Stellen angehäuften Mikro- und/oder Nanopartikeln (5) zur Bildung einer oder mehrerer Membranen (16)
 - 25 verfestigt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass als Matrixmaterial ein Polymer eingesetzt
- 30 wird, das zur Vermischung mit den Mikro- und/oder

- 21 -

Nanopartikeln (5) in unvernetztem oder nur teilweise vernetztem Zustand bereitgestellt und zur Verfestigung der Schicht (1) stärker vernetzt wird.

5

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Matrixmaterial ein Polymer eingesetzt wird, das zur Vermischung mit den Mikro- und/oder Nanopartikeln (5) in gelöstem oder teilweise gelöstem Zustand bereitgestellt wird.

10

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Matrixmaterial ein Polymer eingesetzt wird, das zur Vermischung mit den Mikro- und/oder Nanopartikeln (5) in geschmolzenem oder erweichtem Zustand bereitgestellt wird.

15

20 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass als Matrixmaterial ein Elastomer oder ein Silikon eingesetzt wird.

25 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass Mikro- und/oder Nanopartikel (5) aus para-, ferro- oder permanentmagnetischen Materialien eingesetzt werden.

30

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass Mikro- und/oder Nanopartikel (5) aus

- 22 -

magnetisierbaren Materialien eingesetzt werden und die Mikro- und/oder Nanopartikel (5) nach der Verfestigung der Schicht (1) über ein Magnetfeld magnetisiert werden.

5

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass durch die ein oder mehreren elektrischen und/oder magnetischen Felder örtlich unterschiedliche Feldstärken in der Schicht (1) erzeugt werden.
10
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die ein oder mehreren elektrischen und/oder magnetischen Felder durch eine Einrichtung erzeugt werden, bei der das Substrat (9) mit der aufgetragenen Schicht (1) zwischen einer oberen und einer unteren Einheit zur Erzeugung der ein oder mehreren elektrischen und/oder magnetischen Felder positioniert und/oder bewegt wird.
15
20
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die obere und/oder untere Einheit relativ zum Substrat (9) bewegt werden.
25
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Verteilung der Mikro- und/oder Nanopartikel (5) bei der Erzeugung mehrerer auf dem Substrat (9) nebeneinander liegender Membranen (16) mit dem einen oder den mehreren elektrischen
30

- 23 -

und/oder magnetischen Feldern so beeinflusst wird,
dass in jeder der Membranen (16) an einer oder
mehreren Stellen eine Anhäufung (2, 3) der Mikro-
und/oder Nanopartikel (5) in der Schicht (1)
5 erhalten wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Verteilung der Mikro- und/oder
10 Nanopartikel (5) so beeinflusst wird, dass eine
Anhäufung (2, 3) der Mikro- und/oder Nanopartikel
(5) im Zentrum der Membran (16) erhalten wird.

13. Magnetischer Aktor mit einer Membran, in die
15 Mikro- und/oder Nanopartikel (5) eingebettet sind,
die in einem magnetischen Feld eine Kraftwirkung
erfahren, und einer Einrichtung (20) zur
berührungslosen Auslenkung der Membran (16), die
zur Erzeugung eines auf die Membran (16) wirkenden
20 magnetischen Feldes ausgebildet ist, wobei die
Mikro- und/oder Nanopartikel (5) an einer oder
mehreren Stellen (14) der Membran (16) nach einem
Verfahren gemäß einem oder mehreren der
vorangehenden Patentansprüche angehäuft sind.

25
14. Magnetischer Aktor nach Anspruch 13 , bei dem die
Membran (16) auf zumindest einer Seite eine
elektrische Kontaktfläche (22) aufweist, die durch
Auslenkung der Membran (16) mit einer oder
30 mehreren der Membran (16) gegenüber liegenden
elektrischen Kontaktflächen (21) in Kontakt
bringbar oder von diesen lösbar ist.

- 24 -

15. Magnetischer Aktor nach Anspruch 13 , bei dem die Membran (16) auf einer Seite ein Volumen (18) mit zumindest einer Ein- und einer Auslassöffnung begrenzt.

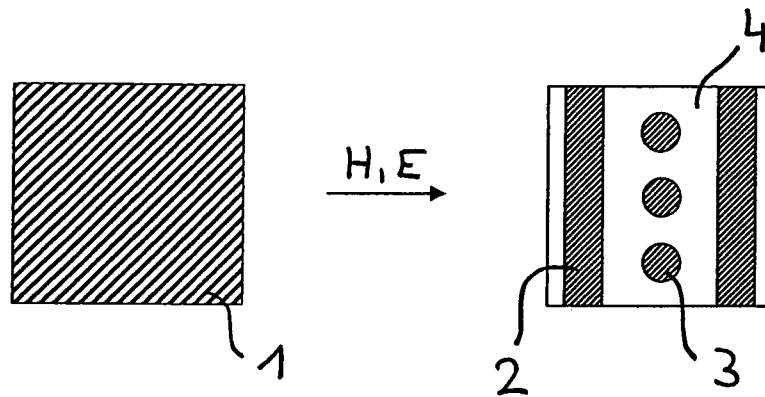
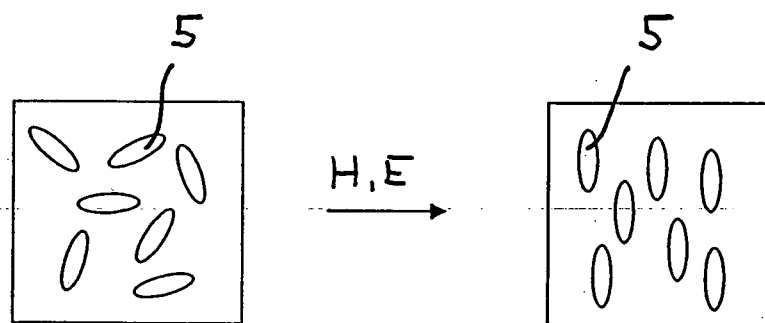
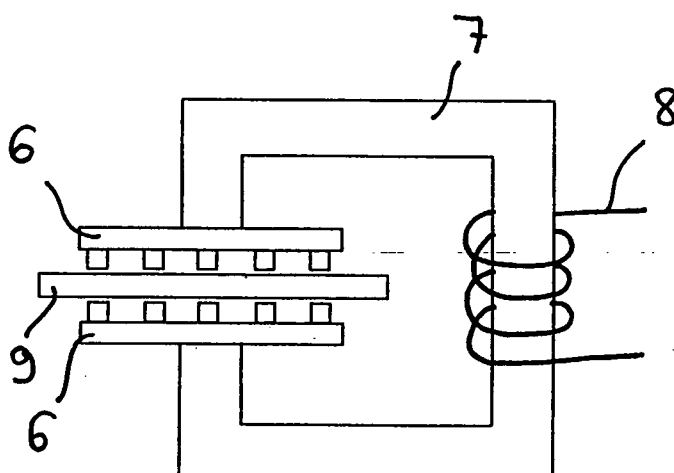
5

16. Verwendung des magnetischen Aktors nach Anspruch 14 in einem elektrischen Schaltelement.

- 10 17. Verwendung des magnetischen Aktors nach Anspruch 14 in Mikroschalterarrays in der Hochfrequenz- oder Mobilfunktechnik.

18. Verwendung des magnetischen Aktors nach Anspruch 15 in einer Pumpe.

15

Fig. 1Fig. 2Fig. 3

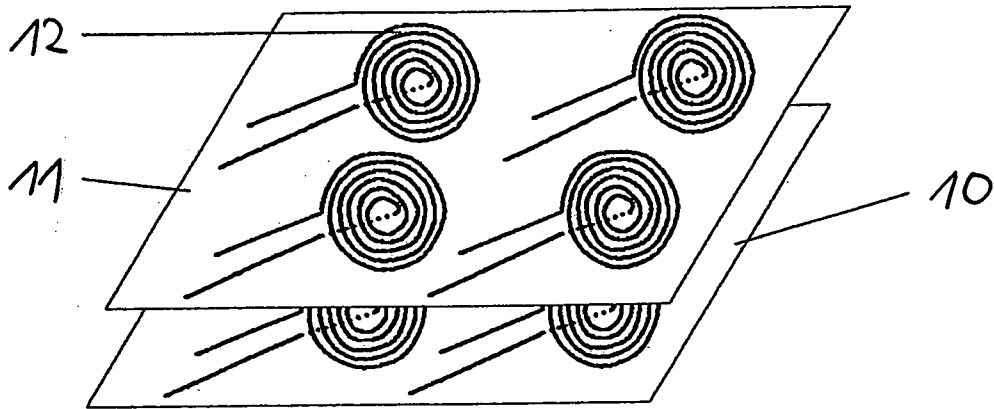


Fig. 4

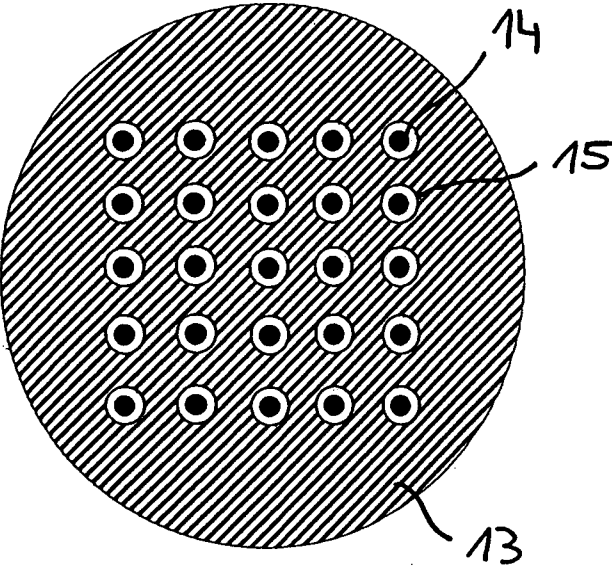


Fig. 5

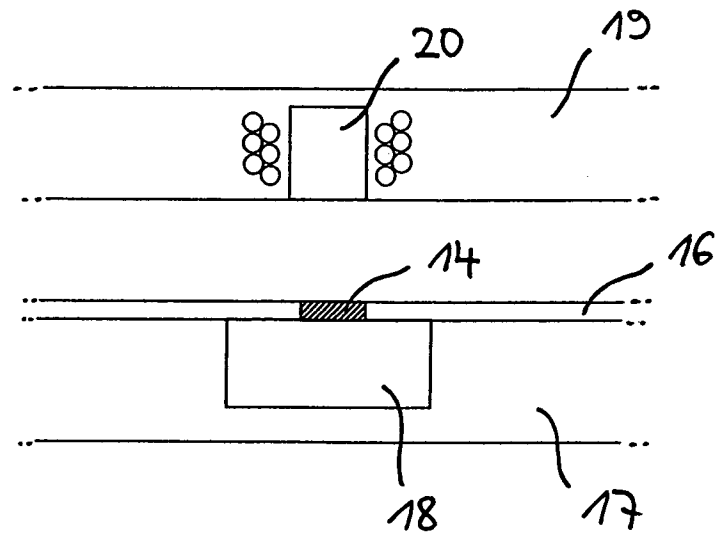


Fig. 6

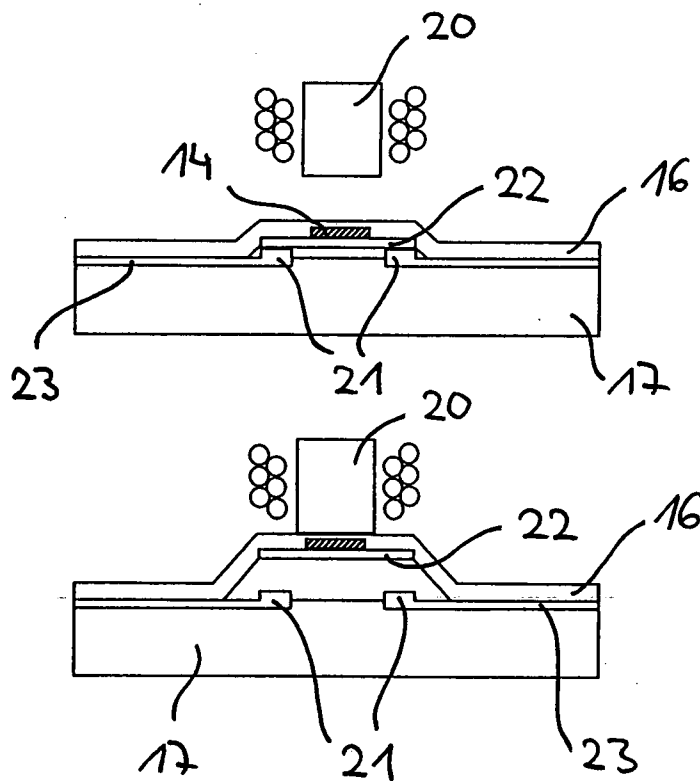


Fig. 7