

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102011901938034A1

Publication Date

20121020

Applicant

FONDAZIONE ISTITUTO ITALIANO DI TECNOLOGIA

Title

ATTUATORE MAGNETICO CON MEMBRANA NANOCOMPOSITA

DESCRIZIONE dell'invenzione industriale dal titolo:

"Attuatore magnetico con membrana nanocomposita"

Di: FONDAZIONE ISTITUTO ITALIANO DI TECNOLOGIA,
nazionalità italiana, via Morego 30, 16163 GENOVA

Inventori designati: Athanassia ATHANASSIOU,
Massimo DE VITTORIO, Despina FRAGOULI, Simona
PETRONI, Gabriele NANNI, Massimiliano AMATO,
Daniela LORENZO, Roberto CINGOLANI

Depositata il: 20 Aprile 2011

DESCRIZIONE

La presente invenzione si riferisce ad un attuatore magnetico, comprendente

un substrato,

uno strato di membrana applicato direttamente od indirettamente su una superficie del substrato, detto strato di membrana consistendo di una matrice di materiale polimerico elastico, nella quale sono disperse nanoparticelle di materiale magnetico, suscettibili di subire un effetto dinamico per azione di un campo magnetico, e

mezzi generatori atti a produrre un campo magnetico agente sullo strato di membrana.

Sono noti dispositivi sensori ed attuatori dotati di membrane polimeriche.

In genere, l'uso di polimeri elettroattivi (EAP) permette di realizzare membrane in grado di operare come elemento attuatore o sensore. Fra tali polimeri, quelli attivati da campo, quali gli elastomeri dielettrici ed i materiali piezoelettrici, generano elevate forze di attuazione ma necessitano di elevate tensioni di attivazione (Yoseph Bar-Cohen, "Electroactive polymers for refreshable Braille displays", **Industrial Sensing & Measurement**, 11 settembre 2009, SPIE Newsroom); d'altro canto, i materiali EAP ionici (polimeri conduttivi e compositi ionici polimero-metallo) sono attraenti per la loro bassa tensione di attivazione, ma la forza generata è bassa. Nell'approccio EAP due problemi non sono ancora risolti: bassa tensione e forza di attuazione elevata non sono compatibili, ed il ciclo di vita dei polimeri è troppo breve.

Sono state realizzate membrane termopneumatiche in materiale polimerico elastico, in particolare polidimetilsilossano (PDMS), per applicazioni in display Braille (Hyuk-Jun Kwon, Seok Woo Lee, Lee, S.S., "Braille code display device with a PDMS membrane and thermopneumatic actuator", **Micro Electro Mechanical Systems**, 2008. MEMS 2008. IEEE 21st Interna-

tional Conference on), ma tale architettura richiede un riscaldatore resistivo per trasformare in vapore un liquido che scorre in una cavità e generare una pressione elevata tale da flettere una membrana sospesa. La presenza di temperature elevate e vapori è un evidente inconveniente di tale meccanismo di attuazione. Inoltre, il tempo di risposta richiesto per raggiungere la massima flessione è maggiore di 10 secondi (Hyuk-Jun Kwon, Seok Woo Lee, Seung S. Lee, "Braille dot display module with a PDMS membrane driven by a thermopneumatic actuator", *Sensors and Actuators A*, 154 (2009) 238-246).

Nel campo dell'attuazione magnetica, le soluzioni note sfruttano generalmente una membrana di PDMS che porta un micromagnete (J. Streque, A. Talbi, P. Pernod, V. Preobrazhensky, "New Magnetic Microactuator Design Based on PDMS Elastomer and MEMS Technologies for Tactile Display", *IEEE Transactions on haptics*, Vol. 3, No. 2, aprile-giugno 2010; M. Benali-Khoudja, M. Hafez, ed A. Kheddar, "VITAL: An Electromagnetic Integrated Tactile Display", *Displays*, vol. 28, no. 3, pp. 133-144, aprile 2007). L'inconveniente principale di tali soluzioni è dovuto all'adesione fra il materiale rigido e la membrana flessibile, che non è perfetta

e richiede spesso disposizioni speciali e ritegni meccanici per non collassare sul generatore magnetico. Inoltre, per evitare possibili guasti dovuti alla loro reciproca attrazione, magnete permanente e microgeneratore sono molto distanziati fra loro, determinando un aumento delle dimensioni finali del dispositivo.

La pubblicazione WO 2008/106928 descrive un dispositivo del tipo definito all'inizio, in cui un elettromagnete è posizionato al disopra della membrana per realizzare una pompa od un interruttore. Quando la membrana è ancora in forma viscosa, sono utilizzate microbobine per provocare un addensamento ed un allineamento delle nanoparticelle in siti prestabiliti della membrana. Una volta indurita, la membrana viene attaccata ad un substrato. La soluzione descritta in WO 2008/106928 determina una relativa compattezza del dispositivo, in quanto il componente magneticamente attivo è incorporato nella membrana polimerica.

Uno scopo dell'invenzione è quello di rendere disponibile un attuatore magnetico che permetta un'ulteriore integrazione dei componenti, e di conseguire pertanto una maggior compattezza del dispositivo, nonché un miglior rendimento.

In vista di tale scopo, costituisce oggetto dell'invenzione un attuatore del tipo definito all'inizio, in cui detti mezzi generatori comprendono almeno un generatore di campo magnetico disposto direttamente od indirettamente su detta superficie del substrato, od all'interno di detto substrato.

Secondo tale idea di soluzione, l'intero attuatore può essere realizzato mediante le tecnologie di deposizione e lavorazione dei film sottili, permettendo di ottenere una maggior compattezza ed un miglior rendimento rispetto alle soluzioni note.

Forma inoltre oggetto dell'invenzione un procedimento per fabbricare un attuatore magnetico, comprendente i passi seguenti:

- predisporre un substrato,
- applicare, direttamente od indirettamente su una superficie del substrato, uno strato di membrana consistente di una matrice di materiale polimerico, nella quale sono disperse nanoparticelle di materiale magnetico suscettibili di subire un effetto dinamico per azione di un campo magnetico, ed
- applicare mezzi generatori atti a produrre un campo magnetico,
- in cui detta applicazione dei mezzi generatori

comprende la formazione di almeno un generatore di campo magnetico, direttamente od indirettamente su detta superficie del substrato, o all'interno di detto substrato, prima dell'applicazione dello strato di membrana.

Ulteriori caratteristiche e vantaggi dell'attuatore secondo l'invenzione risulteranno evidenti dalla descrizione dettagliata che segue, effettuata con riferimento ai disegni annessi, forniti a puro titolo di esempio non limitativo, in cui:

- le figure da 1 a 5 sono disegni schematici che illustrano corrispondenti fasi operative di un procedimento di fabbricazione di un attuatore magnetico secondo l'invenzione;
- le figure 6a e 6b sono fotografie che rappresentano nanoparticelle disperse in una matrice polimerica fluida, rispettivamente prima e dopo l'applicazione di un campo magnetico esterno;
- la figura 7 è un grafico che riporta misure elettro-ottiche indicative della flessione di una membrana incorporante nanoparticelle magnetiche, in funzione dell'intensità di un campo magnetico esterno; e
- le figure 8a e 8b sono fotografie di una mem-

brana incorporante nanoparticelle magnetiche, in flessione per effetto di campi magnetici esterni di differente intensità.

Con riferimento alla figura 5, un attuatore magnetico è rappresentato schematicamente ed indicato con 1.

Tale attuatore comprende un substrato 3 ed uno strato di membrana 5 applicato (in particolare, depositato), direttamente od indirettamente, su una superficie 3a del substrato 3.

Il substrato 3 è ad esempio di silicio drogato n avente bassa resistività.

Nell'esempio illustrato lo strato di membrana 5 è depositato indirettamente sulla superficie 3a del substrato 3, ovvero fra esso ed il substrato 3 sono interposti ulteriori materiali formanti strati intermedi, in particolare uno strato isolante 7 ed uno strato di supporto 9, che verrà descritto più in dettaglio nel seguito.

Secondo ulteriori modi di realizzazione non rappresentati, lo strato di membrana potrebbe essere depositato direttamente sul substrato, ovvero senza ulteriori strati di materiale interposti fra esso ed il substrato.

Lo strato di membrana 5 consiste di una matrice

di materiale polimerico elastico, in particolare polidimetilsilossano (PDMS), nella quale sono disperse nanoparticelle di materiale magnetico, suscettibili di subire un effetto dinamico per azione di un campo magnetico. Ai fini della presente invenzione, per nanoparticelle si intendono particelle aventi dimensioni inferiori ad 1 μm , fino ad arrivare a pochi nm. Tali nanoparticelle possono essere di materiale paramagnetico o ferromagnetico. Per preservare l'elasticità del polimero, la concentrazione in peso delle particelle è mantenuta ad un livello basso, dell'ordine di pochi punti percentuali.

L'attuatore 1 comprende inoltre mezzi generatori atti a produrre un campo magnetico agente sullo strato di membrana 5, i quali comprendono almeno un generatore di campo magnetico 11 disposto direttamente od indirettamente sulla superficie 3a del substrato 3, od all'interno del substrato. Nell'esempio illustrato detto almeno un generatore è interposto fra il substrato 3 e lo strato di membrana 5.

Nell'esempio illustrato vi è una pluralità di tali generatori di campo magnetico 11, i quali sono posizionati sul substrato 3 secondo una disposizio-

ne ordinata. Ciascun generatore 11 è suscettibile di essere collegato ad una sorgente di alimentazione elettrica esterna, attraverso mezzi conduttori (non illustrati) ricavati sul substrato 3.

Secondo un modo di realizzazione dell'invenzione, il generatore (ciascun generatore) 11 è un generatore planare, in particolare una microbobina.

Il generatore 11 è realizzato in particolare mediante una tecnologia di deposizione e lavorazione di film sottili. Una tecnica per realizzare una microbobina planare è ad esempio descritta in US 7 791 440.

Un'implementazione dell'architettura del dispositivo può prevedere la realizzazione di microgeneratori di campo magnetico non planari, essendo realizzati con tecniche di fabbricazione multi-layer (T. Kohlmeier et al., "An investigation on technologies to fabricate microcoils for miniaturized actuator systems", **Microsystem Technologies**, Volume 10, Number 3, 175-181, 2004), o avvolgendo un filo conduttore attorno ad un supporto colonnare (K. Kratt et al., "A fully MEMS-compatible process for 3D high aspect ratio micro coils obtained with an automatic wire bonder", **J. Micromech. Microeng.** 20 (2010)

015021). Microgeneratori non planari permettono infatti un aumento dell'intensità massima di campo magnetico prodotto.

Nell'esempio illustrato, i generatori 11 sono disposti indirettamente sulla superficie 3a del substrato 3, ovvero fra essi ed il substrato 3 è interposto lo strato isolante 7.

Secondo ulteriori modi di realizzazione non rappresentati, i generatori potrebbero essere disposti direttamente sul substrato, ovvero senza ulteriori strati di materiale interposti fra essi ed il substrato. Secondo altri modi di realizzazione, i generatori potrebbero essere disposti all'interno del substrato, ad esempio formati all'interno di esso, oppure realizzati separatamente e successivamente inseriti.

L'attuatore 1 comprende inoltre uno strato di supporto 9 depositato direttamente od indirettamente sulla superficie 3a del substrato 3. Lo strato di supporto 9 presenta almeno una cavità 9a nella quale è disposto il generatore planare 11. Lo strato di membrana 5 è supportato dallo strato di supporto 9 e presenta pertanto una porzione di membrana 5a sospesa sulla cavità 9a.

Lo strato di supporto 9 è di un materiale che

permetta di essere lavorato per ottenere un pattern prestabilito per il posizionamento della/delle cavità. Tale materiale può essere ad esempio un photoresist, quale SU-8.

Nell'esempio illustrato, nello strato di supporto 9 vi è una pluralità di cavità 9a, all'interno di ciascuna delle quali è disposto un rispettivo generatore di campo magnetico 11, e vi è di conseguenza una pluralità di porzioni 5a, ciascuna sospesa su una rispettiva delle cavità 9a.

Nell'esempio illustrato, lo strato di supporto 9 è depositato indirettamente sulla superficie 3a del substrato 3, ovvero fra esso ed il substrato 3 è interposto lo strato isolante 7.

Secondo ulteriori modi di realizzazione non rappresentati, lo strato di supporto potrebbe essere depositato direttamente sul substrato, ovvero senza ulteriori strati di materiale interposti fra esso ed il substrato. In questo caso le cavità che accolgono i generatori potrebbero essere ricavate direttamente sul substrato.

Di preferenza, le nanoparticelle magnetiche disperse nello strato di membrana 5 sono concentrate in corrispondenza delle porzioni di membrana 5a e, oltre a presentare un'orientazione concorde, si as-

sembrano in strutture colonnari (fig.6b). Ciò permette di aumentare la responsività magnetica della membrana. L'allineamento e la maggior densità di nanoparticelle nelle porzioni di membrana sono ottenuti applicando un campo magnetico esterno durante la fabbricazione dell'attuatore, nel modo che verrà descritto più in dettaglio nel seguito. Nelle figure 6a e 6b sono riportate fotografie delle nanoparticelle inglobate nella matrice polimerica, rispettivamente con dispersione casuale, e con allineamento indotto da un campo magnetico esterno.

L'allineamento delle nanoparticelle nella matrice polimerica introduce un'anisotropia magnetica (Fragouli D., Buonsanti R., Bertoni G., Sangregorio C., Innocenti C., Falqui A., Gatteschi D., Cozzoli P.D., Athanassiou A., Cingolani R., "Dynamical Formation of Spatially Localized Arrays of Aligned Nanowires in Plastic Films with Magnetic Anisotropy", ACS Nano. 2010 apr. 27; 4(4): 1873-8).

Inoltre, risultati preliminari di misure condotte su membrane nanocomposite mostrano che la dispersione delle nanoparticelle nella matrice di PDMS ne modifica il modulo di Young: in particolare alcuni risultati evidenziano una sua diminuzione e un miglioramento dell'elasticità (Pirmoradi et al.,

"A magnetic poly(dimethylesiloxane) composite membrane incorporated with uniformly dispersed, coated iron oxide nanoparticles", **Journal of Micromechanics and Microengineering**, 20 015032); ne consegue una maggior efficacia di flessione, ovvero flessioni rilevanti anche con campi magnetici deboli.

Inoltre, grazie al fatto che i microgeneratori sono integrati all'interno dell'attuatore è possibile fare in modo che questi siano disposti in posizioni ravvicinate alle rispettive porzioni di membrana; ciò può contribuire all'efficacia flessionale del dispositivo anche con basse concentrazioni di nanoparticelle nella membrana, e comunque minori di quelle impiegate in dispositivi noti (WO 2008/106928; Jiaying Li, Mengying Zhang, Limu Wang, Weihua Li, Ping Sheng, Weijia Wen, "Design and fabrication of microfluidic mixer from carbonyl iron-PDMS composite membrane", **Microfluidics and nanofluidics** (11 ottobre 2010), pagg. 1-7; F. Fahrni, M.W.J. Prins e L.J. van Ijzendoorn, "Magnetization and actuation of polymeric microstructures with magnetic nanoparticles for application in microfluidics", **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, Vol. 321, N. 12, pagg.

1843-1850, giugno 2009).

Le porzioni di membrana 5a incorporanti le nanoparticelle magnetiche e sospese al disopra delle microbobine 11 possono essere meccanicamente attivate da un campo magnetico. Se sulle microbobine non è applicata tensione, le porzioni di membrana restano in posizione di riposo. Se si applica una tensione, la forza magnetica generata attrae o respinge le nanoparticelle verso le microbobine o in senso opposto a seconda della natura magnetica delle nanoparticelle e di conseguenza flette le porzioni di membrana 5a, come illustrato in figura 5. Le porzioni di membrana tornano in posizione di riposo quando si interrompe l'alimentazione elettrica. Se si utilizzano generatori aventi dimensioni trasversali micrometriche, quali le microbobine, è possibile conseguire una elevata densità spaziale dei generatori, e quindi la realizzazione di pattern di deformazione anche complessi.

Un procedimento per fabbricare un attuatore magnetico secondo l'invenzione comprende essenzialmente i passi seguenti:

- predisporre un substrato,
- depositare, direttamente od indirettamente su una superficie del substrato, uno strato di membra-

na consistente di una matrice di materiale polimerico, nella quale sono disperse nanoparticelle di materiale magnetico suscettibili di subire un effetto dinamico per azione di un campo magnetico, ed

applicare mezzi generatori atti a produrre un campo magnetico, detta applicazione dei mezzi generatori comprendendo la formazione di almeno un generatore di campo magnetico, direttamente od indirettamente su detta superficie del substrato, od all'interno del substrato, prima della deposizione dello strato di membrana.

Nelle figure 1 e 5 è illustrato un esempio di attuazione del procedimento suddetto.

Con riferimento alla figura 1, sul substrato 3, una cui superficie 3a è rivestita con uno strato isolante 7, si fabbrica un array di microgeneratori di campo magnetico 11, in particolare microbobine planari. I parametri costruttivi di tali microbobine (forma, rapporto spessore-larghezza, distanza fra le spire, densità di corrente iniettata) sono determinati in funzione delle caratteristiche del campo magnetico che si vuole ottenere. Tale array viene ricoperto con uno strato di photoresist, indicato con P in figura 1.

Con riferimento alla figura 2, attraverso una

maschera M sovrapposta allo strato di photoresist P ed avente un pattern di copertura corrispondente all'array di microbobine, il photoresist viene irradiato con radiazione ultravioletta. Le zone non esposte alla radiazione ultravioletta sono indicate con UZ in figura 2. A dispositivo ultimato, lo strato di photoresist P è destinato a costituire lo strato di supporto 9 per lo strato di membrana 5.

Con riferimento alla figura 3, lo strato di membrana 5 incorporante le particelle magnetiche disperse viene depositato in forma viscosa sullo strato di photoresist P fototrattato.

Con riferimento alla figura 4, si attivano le microbobine 11 per modificare la distribuzione ed allineare le nanoparticelle all'interno dello strato di membrana 5, tramite il campo magnetico da esse generato ed agente sullo strato di membrana in condizione fluida. In tale condizione infatti la viscosità del polimero è sufficientemente bassa da permettere un limitato movimento delle particelle rispetto alla matrice polimerica. In questo modo, le nanoparticelle magnetiche disperse nello strato di membrana 5 tendono a concentrarsi in corrispondenza di aree di strato di membrana A disposte al disopra delle microbobine 11 e ad allinearsi con-

formemente con il campo magnetico. Una volta raggiunta la configurazione desiderata in termini di distribuzione ed allineamento delle nanoparticelle, si disattivano le microbobine 11, e si sottopone immediatamente lo strato di membrana 5 ad un trattamento di indurimento (cottura).

Con riferimento alla figura 5, lo strato di photoresist P viene sottoposto a sviluppo; di conseguenza, le porzioni UZ non esposte alla radiazione ultravioletta ed utilizzate come strato sacrificale sono rimosse per creare le cavità 9a e liberare quindi le porzioni di membrana 5a disposte al disopra delle microbobine 11, che coincidono approssimativamente con le aree di strato di membrana A in cui sono state precedentemente allineate ed addensate le nanoparticelle magnetiche.

Gli inventori hanno condotto test sperimentali per studiare la fattibilità dell'allineamento delle nanoparticelle magnetiche in una matrice di PDMS prima della sua cottura utilizzando un campo magnetico di 25 mT generato da un elettromagnete. I risultati sono stati soddisfacenti ed hanno dimostrato la fattibilità di tale operazione.

Per verificare la flessione della membrana sotto l'azione di un campo magnetico esterno è stato

realizzato il seguente apparato di misura. La membrana nanocomposita di PDMS è stata fissata sotto un magnete permanente, la cui distanza dalla membrana poteva essere variata utilizzando una vite micrometrica. Il campo magnetico è stato caratterizzato come funzione della distanza dal magnete, utilizzando un gaussmetro. Un fascio emesso da un laser He-Ne è stato fatto passare fra la superficie superiore della membrana ed il magnete e l'intensità trasmessa è stata rilevata con un fotodiodo. Due specchi con supporto cinematico sono stati utilizzati per permettere un allineamento ottimale del fascio luminoso, il cui diametro poteva inoltre essere ridotto tramite un diaframma ad iride per garantire l'integrità del fascio passante fra il magnete e la membrana.

Essendo il fascio laser parallelo e radente rispetto alla superficie della membrana, l'intensità trasmessa decresce quando la membrana è attivata dal campo magnetico esterno ed intercetta il fascio laser. Di conseguenza, la variazione dell'intensità rilevata può costituire una misura qualitativa della flessione della membrana. In figura 7 è riportata la variazione del segnale rilevato dal fotodiodo in funzione del campo magnetico. Da tale figura si

può concludere come il segnale rilevato dal fotodi-
odo diminuisca, e quindi la flessione della membra-
na aumenti, con l'aumentare del campo magnetico ap-
plicato.

Per mezzo di una videocamera è stata ripresa la
flessione della membrana a seguito dello spostamen-
to del magnete permanente. Nelle figure 8a e 8b so-
no riportati due fotogrammi del filmato a due dif-
ferenti distanze del magnete dalla membrana (e
quindi, con differenti intensità di campo magnetico
applicate sulla membrana): come si può osservare,
muovendo il magnete verso la superficie superiore
della membrana (e quindi, aumentando l'intensità di
campo magnetico applicata) vi è uno spostamento
progressivo dalla posizione di riposo (rappresenta-
ta dalla linea chiara inferiore nelle figure 8a ed
8b).

La presente invenzione può essere applicata ad
esempio alla produzione di display tattili, alla
fabbricazione di dispositivi microfluidici per pom-
pare o regolare flussi di fluido mediante campo ma-
gnetico, alla realizzazione di microfoni ed alto-
parlanti, od alla fabbricazione di marcatori iden-
tificatori (ID) magnetici antifalsificazione.

RIVENDICAZIONI

1. Attuatore magnetico (1), comprendente
un substrato (3),
uno strato di membrana (5) applicato direttamente od indirettamente su una superficie (3a) del substrato (5), detto strato di membrana consistendo di una matrice di materiale polimerico elastico, nella quale sono disperse nanoparticelle di materiale magnetico, suscettibili di subire un effetto dinamico per azione di un campo magnetico, e
mezzi generatori atti a produrre un campo magnetico agente sullo strato di membrana (5),
caratterizzato dal fatto che detti mezzi generatori comprendono almeno un generatore di campo magnetico (11) disposto direttamente od indirettamente su detta superficie del substrato, od all'interno di detto substrato.
2. Attuatore secondo la rivendicazione 1, in cui detto almeno un generatore di campo magnetico è interposto fra il substrato (3) e lo strato di membrana (5).
3. Attuatore secondo la rivendicazione 1 o 2, comprendente inoltre uno strato di supporto (9) depositato direttamente od indirettamente su detta superficie del substrato, detto strato presentando

almeno una cavità (9a) nella quale è disposto detto generatore, in cui detto strato di membrana è supportato dallo strato di supporto (9) ed ha una porzione di membrana (5a) sospesa su detta cavità.

4. Attuatore secondo una delle rivendicazioni 1 a 3, in cui detto almeno un generatore è un generatore planare, in particolare una microbobina.

5. Attuatore secondo una delle rivendicazioni 1 a 3, in cui detto almeno un generatore è un generatore tridimensionale.

6. Attuatore secondo la rivendicazione 4 o 5, comprendente una pluralità di detti generatori posizionati secondo una disposizione ordinata.

7. Procedimento per fabbricare un attuatore magnetico (1), comprendente i passi seguenti:

predisporre un substrato (3),

applicare, direttamente od indirettamente su una superficie (3a) del substrato (3), uno strato di membrana (5) consistente di una matrice di materiale polimerico, nella quale sono disperse nanoparticelle di materiale magnetico suscettibili di subire un effetto dinamico per azione di un campo magnetico, ed

applicare mezzi generatori atti a produrre un campo magnetico,

caratterizzato dal fatto che detta applicazione dei mezzi generatori comprende la formazione di almeno un generatore di campo magnetico (11), direttamente od indirettamente su detta superficie del substrato, od all'interno di detto substrato, prima dell'applicazione dello strato di membrana (5).

8. Procedimento secondo la rivendicazione 7, in cui lo strato di membrana (5) è depositato in forma viscosa, e successivamente sottoposto ad un trattamento di indurimento.

9. Procedimento secondo la rivendicazione 8, in cui, prima di sottoporre lo strato di membrana (5) al trattamento di indurimento, si attiva detto almeno un generatore (11) per modificare la distribuzione e/o l'orientazione di dette nanoparticelle all'interno dello strato di membrana (5).

10. Procedimento secondo la rivendicazione 8 o 9, in cui, successivamente alla formazione di detto almeno un generatore (11), si deposita uno strato di supporto (P, 9) direttamente od indirettamente su detta superficie del substrato, in modo tale da coprire detto almeno un generatore,

in cui detto strato di membrana è applicato direttamente su detto strato di supporto,

ed in cui, successivamente al trattamento di

indurimento, detto strato di supporto è selettivamente rimosso per ricavare almeno una cavità (9a) in corrispondenza di detto almeno un generatore, sulla quale detta membrana presenta una porzione di membrana (5a) sospesa.

CLAIMS

1. A magnetic actuator (1) comprising
a substrate (3),
a membrane layer (5) directly or indirectly applied on a surface (3a) of the substrate (5), said membrane layer consisting of a matrix of elastic polymer material in which nanoparticles of magnetic material, capable of undergoing a dynamic effect under the action of a magnetic field, are dispersed, and
generator means for producing a magnetic field acting on the membrane layer (5),
characterized in that said generator means comprise at least one magnetic field generator (11) directly or indirectly arranged on said surface of the substrate, or within said substrate.
2. An actuator according to claim 1, wherein said at least one magnetic field generator is interposed between the substrate (3) and the membrane layer (5).
3. An actuator according to claim 1 or 2, further comprising a support layer (9) directly or indirectly deposited on said surface of the substrate, said layer having at least one cavity (9a) inside which said generator is arranged, wherein said mem-

brane layer is supported by the support layer (9) and has a membrane portion (5a) hanging over said cavity.

4. An actuator according to any of claims 1 to 3, wherein said at least one generator is a planar generator, in particular a microcoil.

5. An actuator according to any of claims 1 to 3, wherein said at least one generator is a three-dimensional generator.

6. An actuator according to claim 4 or 5, comprising a plurality of said generators arranged in an ordered arrangement.

7. A method for producing a magnetic actuator (1), comprising the following steps:

providing a substrate (3),

directly or indirectly applying on a surface (3a) of the substrate (3) a membrane layer (5) consisting of a matrix of polymer material, in which nanoparticles of magnetic material, capable of undergoing a dynamic effect under the action of a magnetic field, are dispersed, and

applying generator means for producing a magnetic field,

characterized in that said applying generator means comprises forming at least one magnetic field

generator (11), directly or indirectly on said surface del substrate, or within said substrate, before applying the membrane layer (5).

8. A method according to claim 7, wherein the membrane layer (5) is deposited in viscous state, and then subjected to a hardening treatment.

9. A method according to claim 8, wherein, before subjecting the membrane layer (5) to the hardening treatment, said at least one generator (11) is energized for modifying distribution and/or orientation of said nanoparticles within the membrane layer (5).

10. A method according to claim 8 or 9,

wherein, after forming said at least one generator (11), a support layer (P, 9) is directly or indirectly deposited on said surface of the substrate, in such a way as to cover said at least one generator,

wherein said membrane layer is applied directly on said support layer,

and wherein, after the hardening treatment, said support layer is selectively removed for forming at least one cavity (9a) at said at least one generator, over which said membrane has a hanging membrane portion (5a).

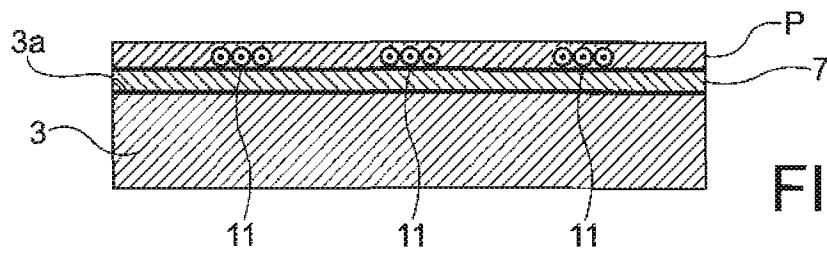


FIG. 1

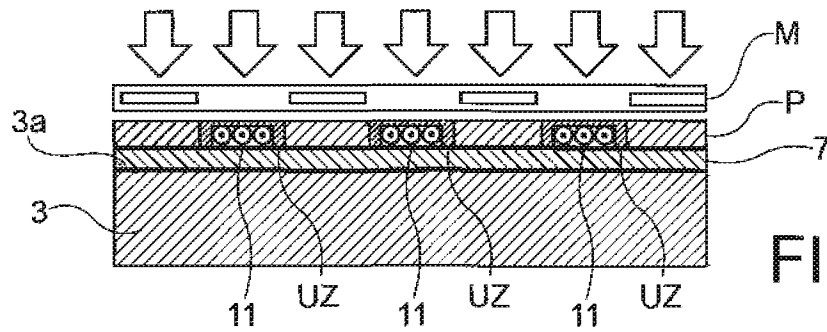


FIG. 2

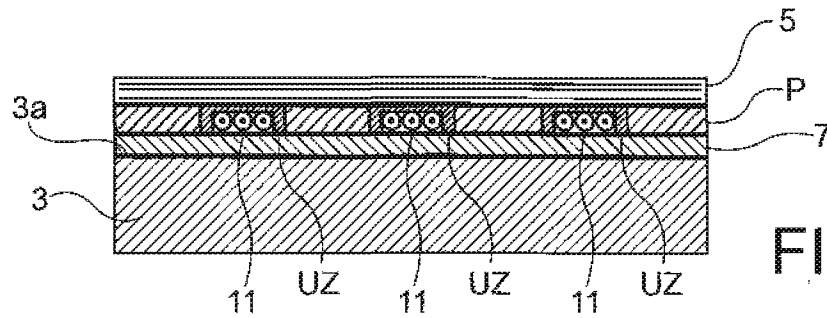


FIG. 3

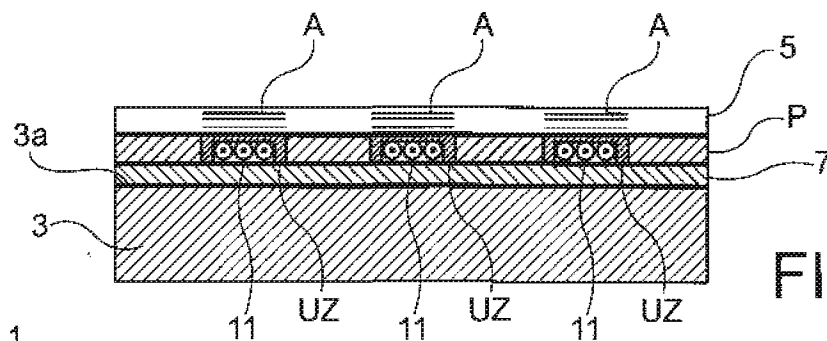


FIG. 4

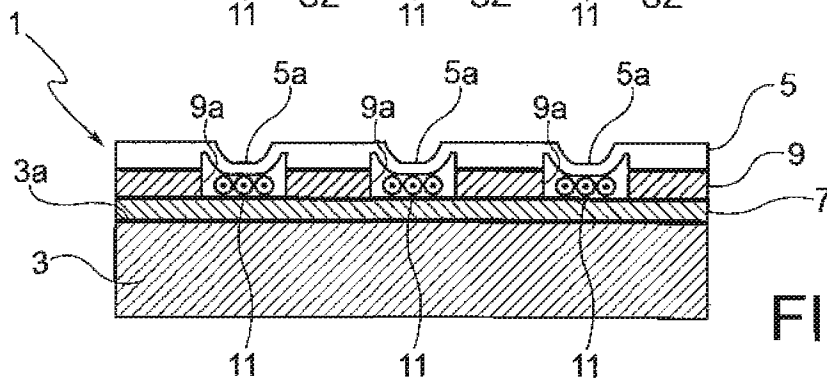


FIG. 5

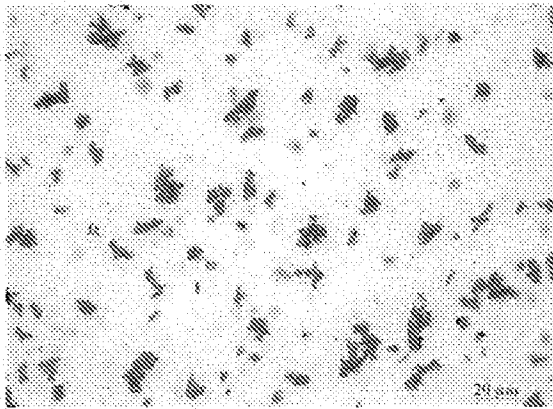


FIG. 6a

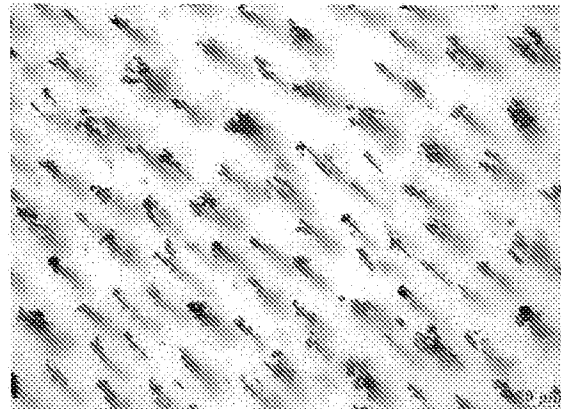


FIG. 6b

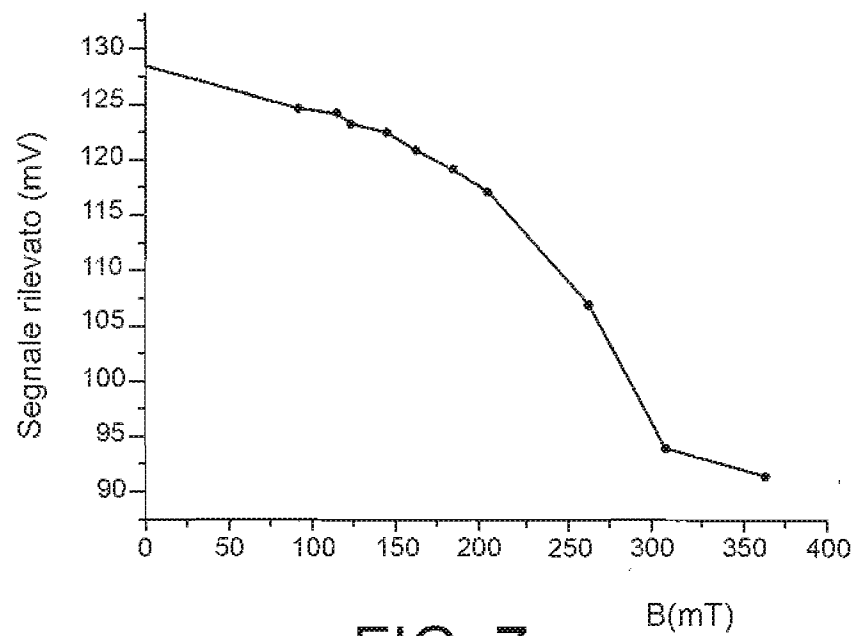


FIG. 7

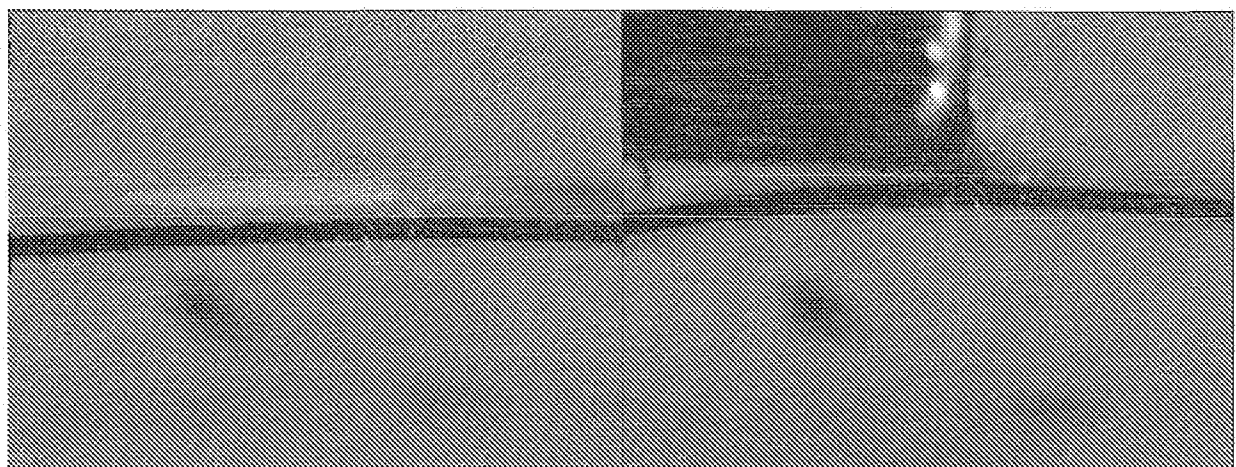


FIG. 8a

FIG. 8b