

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 686 108**

51 Int. Cl.:

B81C 99/00

(2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.02.2015 PCT/EP2015/052076**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.08.2015 WO15114143**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.02.2015 E 15702744 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.06.2018 EP 3102535**

54 Título: **Procedimiento para la fabricación de micro-objetos**

30 Prioridad:

03.02.2014 DE 102014201898

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

16.10.2018

73 Titular/es:

**UNIVERSITÄT KASSEL (100.0%)
Mönchebergstrasse 19
34125 Kassel, DE**

72 Inventor/es:

EHRESMANN, ARNO

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 686 108 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la fabricación de micro-objetos

5 Campo de la invención

La invención se refiere a un procedimiento para la fabricación de micro-objetos, en el que en una etapa de procedimiento se disponen micropartículas magnéticas según un patrón predeterminado mediante una plantilla magnética y se incorporan en una matriz. La invención se refiere además a un micro-objeto con una matriz en la que se incorporan micropartículas magnéticas.

Antecedentes de la invención

La solicitud de patente internacional WO 2011/054391 A1 y la solicitud de patente europea EP 2496354 A1 describen un procedimiento y un dispositivo para el transporte de líquidos magnéticos y partículas con ayuda de una capa magnética cuya magnetización presenta una dirección preferida que es provocada, por ejemplo, por el efecto de intercambio de sesgo. El líquido magnético o las partículas son capturados en campos de dispersión, por ejemplo, mediante paredes de dominio. Mediante la aplicación campos magnéticos externos, se pueden mover los dominios o las paredes de dominio, de manera que tenga lugar un transporte de materia.

La combinación de polímeros flexibles con nanoobjetos magnéticos incorporados se describe por M. Donolato et al. en "Flexible and Stretchable Polymers with Embedded Magnetic Nanostructures" Adv. Mat. 25 (2013) 623. En un procedimiento litográfico se producen estructuras magnéticas de Permalloy sobre una capa de óxido de silicio. La capa de óxido de silicio se encuentra sobre una capa de oro sobre un sustrato de silicio. La estructura magnética se incorpora en una capa de polidimetilsiloxano (PDMS) y luego la capa de óxido de silicio se separa del oro por inmersión en agua.

K. Hatama et al. Describen en "Magnetic Micro Actuator Using Interactive Force between Magnetic Elements" JJAP 51 (2012) 06FL14 dos procedimientos para la fabricación de un microactuador magnético. En el primer procedimiento, se aplica una capa de PDMS puro sobre un sustrato de vidrio y se cubre con una segunda capa de PDMS mezclado con partículas de Fe-Si. La capa superior se estructura con un láser con las partículas magnéticas. En el segundo procedimiento, inicialmente se estructura fotográficamente una máscara y luego se recubre con PDMS, que contiene partículas de Fe, de manera que el polímero se incorpora en las estructuras. Se retira el material en exceso y se aplica una segunda capa de PDMS puro como capa de soporte. Después del endurecimiento del polímero, se retira la membrana resultante.

La publicación para información de solicitud de la patente alemana DE 10 2007 051 977 A1 da a conocer un procedimiento para la preparación de membranas eléctrica y/o magnéticamente controlables, así como un actuador que comprende dicha membrana para su utilización en conmutadores, bombas y/o válvulas. En el procedimiento se mezclan micro- y/o nanopartículas con propiedades eléctricas o magnéticas con un material de matriz capaz de fluir. La dispersión formada se aplica entonces sobre un sustrato. A continuación, se cambia localmente la concentración de partículas mediante campos eléctricos o magnéticos aplicados, de manera que se formen regiones con concentración más alta o más baja. Para la fijación de la distribución resultante, para terminar se endurece el material de matriz.

Objetivo en el que se basa la invención

La invención se basa en el objetivo de especificar un procedimiento mejorado en comparación con el estado de la técnica para la fabricación de micro-objetos. En el procedimiento, en una etapa de procedimiento se disponen micropartículas magnéticas según un patrón predeterminado mediante una plantilla magnética y se incorporan en una matriz. Se especificará especialmente un procedimiento con el que pueden fabricarse en serie micro-objetos actuables con micropartículas magnéticas incorporadas. Además, la invención se basa en el objetivo de especificar un micro-objeto con una matriz actuable mejorado en comparación con el estado de la técnica en el que se incorporan micropartículas magnéticas.

Solución según la invención

La solución para el objetivo planteado se logra mediante la especificación de un procedimiento para la fabricación de micro-objetos, en el que en una etapa de procedimiento se disponen micropartículas magnéticas según un patrón predeterminado mediante una plantilla magnética y se incorporan en una matriz. Según la invención, se genera una distribución no homogénea de las micropartículas magnéticas en la dirección del espesor de la matriz por campos de dispersión no homogéneos de la plantilla magnética. A este respecto, el patrón predeterminado surge mediante un patrón de dominio magnético de la plantilla.

Mediante la invención se pueden fabricar micro-objetos manejables mediante la aplicación de un campo alterno magnético externo. El procedimiento según la invención puede seguir especialmente una fabricación en serie de

micro-objetos.

Las micropartículas en el sentido de la invención son partículas que son inferiores a 1 mm. El término "micropartícula" también incluye en consecuencia nanopartículas, es decir, partículas, que son inferiores a 1 µm. Sin embargo, no se excluye que además de las micropartículas también estén presentes otras partículas. Las micropartículas magnéticas en el sentido de la invención son micropartículas sobre las que actúa una fuerza en un campo magnético homogéneo o no homogéneo. Por razones de legibilidad, el término "micropartículas" también se usa a continuación cuando se indiquen "micropartículas magnéticas". Las micropartículas adecuadas que se pueden obtener comercialmente son, por ejemplo, micropartículas ferromagnéticas, superparamagnéticas o paramagnéticas. Las micropartículas según la invención no son de forma necesariamente globular o esférica, sino que pueden tener una forma discrecional. También puede tratarse, por ejemplo, de nanoalambres o nanotubos magnéticos de carbono que están llenos de partículas magnéticas o de un fluido ferromagnético como se describe, por ejemplo, por U. Weisker et al. en "Carbon Nanotubes Filled with Ferromagnetic Materials" Materials 3 (2010) 4387-4427. Además, las micropartículas magnéticas pueden estar constituidas, por ejemplo, de los siguientes materiales: Fe, Fe₂O₃, Fe₃O₄, aleaciones de FeCoCr, Ni, NiFe, AlNiCo, ferrita de bario, cobalto, CoPt₃, CrO₂, CuNiFe, aleaciones de CuNiCo, SmCo, MnAs, EuO o pigmentos que contienen óxido de hierro.

Los micro-objetos en el sentido de la invención comprenden una matriz en la que se incorporan las micropartículas con aplicación del procedimiento según la invención. Los micro-objetos se pueden usar, por ejemplo, como microactuadores. Un microactuador es un dispositivo que convierte una señal electromagnética en una magnitud mecánica (por ejemplo, movimiento o presión). Dichos microactuadores se pueden usar, por ejemplo, como conmutadores o microbombas. Un micro-objeto según la invención puede ser actuado por un campo dirigiendo las micropartículas magnéticas, o su magnetización, a lo largo de las líneas de campo. La interacción entre las micropartículas magnéticas puede entonces actuar de forma atractiva o repulsiva. Esto puede conducir a su vez a una deformación mecánica. Dependiendo de la disposición de las micropartículas en el micro-objeto, el micro-objeto se puede usar, por ejemplo, como microconmutador o microbomba. Dichos micro-objetos pueden encontrar uso especialmente en biotecnología, por ejemplo para el control de líquidos en un sistema microfluídico con un "laboratorio en chip", o en el diagnóstico médico y la terapia, especialmente en el cuerpo humano. Se pueden generar especialmente microactuadores por deformación, también una propulsión, en un líquido o en un gas. Dichos microactuadores se pueden utilizar en ensayos de calidad del agua. El tamaño de un micro-objeto puede ascender a de entre pocos micrómetros hasta algunos milímetros o centímetros.

Una matriz es un material de soporte para la incorporación de las micropartículas. Se incorpora una micropartícula en la matriz cuando por lo menos 75 % de la superficie de una micropartícula se rodea de la matriz. La matriz tiene la forma de una membrana. Su dilatación en dos dimensiones es al menos localmente esencialmente mayor que aquella en la tercera dimensión perpendicular a las mismas. La membrana puede estar constituida por una o varias capas. El espesor local de la matriz es respectivamente la distancia más corta entre su superficie superior e inferior medida en un punto de su superficie. Al menos una capa de la matriz está constituida por un material en el que se incorporan las micropartículas según la invención según un patrón predeterminado mediante una plantilla magnética, de manera que éstas permanecen en la matriz en su posición por el patrón predeterminado y la posición relativa de las micropartículas solo es esencialmente alterable por la deformación de la matriz. La matriz también sirve, por tanto, como material compuesto de texturización de los micro-objetos. Según la invención, las micropartículas se distribuyen no homogéneamente con respecto al espesor de la matriz. Es decir, que una gran parte de por lo menos 55 %, preferiblemente 60 %, especialmente preferiblemente 70 %, de nuevo especialmente preferiblemente 80 %, 90 % o 95 % de las micropartículas se incorporan en la mitad de la matriz referida al espesor de la matriz. La mayor parte de las micropartículas se incorpora especialmente en la mitad de la matriz orientada a la plantilla magnética. Mediante esto se puede conseguir la ventaja de que las propiedades elásticas del material de matriz solo se influyen insignificadamente por las micropartículas. La matriz puede estar constituida, por ejemplo, por una o varias capas de los siguientes materiales: siliconas o elastómeros termoplásticos, resinas epoxídicas, poliamidas, poliimidas, PDMS u otros polímeros basados en silicio.

Una plantilla magnética (a continuación también denominada sencillamente "plantilla") es una estructura de la que parten campos magnéticos en un patrón predeterminado (un patrón de dominio magnético artificial o natural). La plantilla puede determinar además la forma geométrica de los micro-objetos, adoptando preferiblemente la matriz la forma geométrica de la plantilla, usándose preferiblemente un procedimiento de fundición. El patrón de los campos magnéticos de la plantilla magnética puede prepararse, por ejemplo, en una capa con intercambio de sesgo mediante bombardeo de iones keV-He⁺ como se describe, por ejemplo, por Holzinger et al. en "Tailored domain wall charges by individually set in-plane magnetic domains for magnetic field landscape design" Journal of Applied Physics 114 (2013) 013908 y las referencias allí citadas. Para esto, una plantilla está compuesta de, por ejemplo, un sustrato topográficamente plano, por ejemplo de silicio, sobre el que se disponen una o varias capas magnéticas, por ejemplo, mediante metalización a vacío o pulverización catódica. En general, la plantilla puede presentar una geometría superficial discrecional.

El objetivo se resuelve además mediante un micro-objeto con una matriz en el que se incorporan las micropartículas magnéticas según un patrón predeterminado. Según la invención, la matriz está curvada cuando no actúan fuerzas externas sobre el micro-objeto. Un micro-objeto con una matriz curvada tiene la ventaja alcanzable de que en la

disposición correspondiente de las micropartículas en combinación con una tensión interna de la matriz se puede realizar un microactuador que puede generar una propulsión mediante la aplicación de un campo alterno magnético externo en la utilización en un líquido o un gas.

5 Configuraciones preferidas de la invención

Son objeto de las reivindicaciones dependientes las configuraciones y variantes, que se pueden utilizar individualmente o en combinación entre sí.

En el procedimiento según la invención se genera la distribución no homogénea de las micropartículas magnéticas en la dirección del espesor de la matriz mediante la plantilla magnética, y la plantilla magnética genera la distribución no homogénea de las micropartículas mediante campos de dispersión magnéticos no homogéneos. Preferiblemente, las partículas magnéticas se disponen preferiblemente sobre un lado de la matriz orientado a la plantilla magnética. Las plantillas magnéticas preferidas para la generación de campos de dispersión magnéticos no homogéneos se generan por "patrón magnético inducido por bombardeo con iones ligeros" (de la expresión inglesa "light-ion bombardment induced magnetic patterning" (IBMP)), descrito, por ejemplo, en: J. Fassbender, et al., "Magnetization Reversal of Exchange Bias Double Layers Magnetically Patterned by Ion Irradiation" Phys. Stat. Sol. (a) 189 (2002) 439; A. Ehresmann, et al., "He-ion bombardment induced exchange bias modifications: Fundamentals and applications" Recent Res. Devel. Applied. Phys. 7 (2004) 401-421; A. Ehresmann, et al., "He-ion bombardment induced exchange bias modifications: Fundamentals and applications" J. Phys. D 38 (2005) 801-806; o A. Mougin, et al., "Magnetic micropatterning of FeNi/FeMn exchange bias bilayers by ion irradiation" J. Appl. Phys. 89 (2001) 6606-6608. La ventaja que se puede conseguir de dicha plantilla es que el patrón magnético puede presentar dimensiones estructurales de menos de 1 µm, preferiblemente menos de 0,1 µm, especialmente preferiblemente menos de 0,01 µm. En un procedimiento alternativo se usan plantillas con una película de granate magnética (véase, por ejemplo: L. E. Helseth, et al., "Magnetic structuring and transport of colloids at interfaces" J. Magn. Mat. 277 (2004) 245-250). En otro procedimiento alternativo se usan plantillas con matrices de microimanes topográficos (véase, por ejemplo: B. Yellen, et al., "Programmable Assembly of Heterogeneous Colloidal Particle Arrays" Adv. Mater. 16 (2004) 111-115; K. Gunnarsson, et al., "Programmable Motion and Separation of Single Magnetic Particles on Patterned Magnetic Surfaces" Adv. Mater. 17 (2005) 1730; B. Yellen, et al., "Arranging matter by magnetic nanoparticle assemblers" Proc. Natl. Acad. Sci. USA 102 (2005) 8860; B. Yellen, et al., "Traveling wave magnetophoresis for high resolution chip based separations" Lab Chip 7 (2007) 1681).

En el caso de un procedimiento preferido, las micropartículas magnéticas se fijan en la matriz en otra etapa de procedimiento. Preferiblemente, las micropartículas dispuestas sobre la plantilla se vierten inicialmente en el material que forma la matriz. Para esto se necesita un procedimiento preferido de un material de matriz capaz de fluir. El material de matriz capaz de fluir se puede endurecer especialmente preferiblemente en otra etapa de procedimiento. El endurecimiento fija preferiblemente la posición de las micropartículas en la matriz. En una forma alternativa del procedimiento, las micropartículas se mezclan inicialmente con el material de matriz. Preferiblemente, el material de matriz es líquido. Esto tiene la ventaja alcanzable de que las micropartículas en el material de matriz se pueden mover libremente en gran medida. De manera ventajosa, las micropartículas mezcladas con el material de matriz se orientan correspondientemente al patrón magnético de la plantilla después de la aplicación del material de matriz. Preferiblemente, la viscosidad del material de matriz es tan baja que se puede aplicar a la plantilla mediante un simple goteo, por ejemplo con pipeta. En otro procedimiento preferido, el material de matriz se aplica con un procedimiento de escobilla de goma. Un procedimiento alternativo para la aplicación del material de matriz es un procedimiento de recubrimiento por centrifugación. En otra realización alternativa, el material de matriz se aplica con un pincel sobre la plantilla. Alternativamente, el material de matriz también puede presionarse entre la plantilla magnética y un segundo elemento que da forma, de manera que por la presión de compresión se puede controlar el espesor de capa del material de matriz. Otro procedimiento preferido para la aplicación del material de matriz es la inmersión de la plantilla en un recipiente que se llena con el material de matriz líquido. Otros procedimientos preferidos para la aplicación del material de matriz son centrifugación, rasquetado, vertido o pulverización. Sobre la capa del material de matriz que contiene las micropartículas, también pueden aplicarse otras capas adicionales del mismo material de matriz u otro distinto sin micropartículas. La plantilla presenta preferiblemente una superficie para la aplicación del material de matriz que facilita la eliminación de los micro-objetos acabados. Se prefiere especialmente que la aplicación y la eliminación de la matriz no modifique la propiedad magnética de la plantilla.

En el caso de un procedimiento preferido, se usa un polímero para la formación de la matriz. Un polímero preferido se aplica sobre la plantilla magnética en un estado capaz de fluir. La viscosidad del polímero es preferiblemente inferior a 5000 mPa·s ($1 \text{ mPa} \cdot \text{s} = 10^{-3} \text{ N s/m}^2$), especialmente preferiblemente inferior a 1000 mPa·s, de nuevo especialmente preferiblemente inferior a 500 mPa·s, de nuevo especialmente preferiblemente inferior a 100 mPa·s. Se prefiere que el polímero se endurezca después de la aplicación sobre la plantilla para la fijación de las micropartículas, por ejemplo, induciéndose una reacción de reticulación. Preferiblemente, el polímero se puede curar con luz UV, especialmente preferiblemente mediante calentamiento, de nuevo especialmente preferiblemente el polímero endurece a temperatura ambiente. En un procedimiento alternativo se usa un polímero que se endurece mediante mezcla con un segundo componente. Preferiblemente, el segundo componente es una sustancia que permite que el polímero se pueda polimerizar por una reacción química. De manera ventajosa, el polímero es elástico y/o deformable después del endurecimiento. Los polímeros son materiales muy diversos cuyas propiedades

físicas y químicas pueden ser muy diferentes. De manera ventajosa, por tanto, se puede seleccionar un polímero con las propiedades adecuadas para la aplicación deseada. Se prefiere usar un sistema de polímero que sea químicamente inerte en la aplicación a organismos vivos, por ejemplo a seres humanos y animales. Un sistema de polímeros preferidos es poldimetilsiloxano (PDMS). El uso de PDMS tiene la ventaja alcanzable de que los micro-objetos fabricados con él también pueden usarse en el cuerpo humano (o animal) sin desencadenar reacciones biológicas o químicas no deseadas. Pero alternativamente también se pueden usar, por ejemplo, resinas epoxídicas como sistema de polímeros.

En el caso de un procedimiento preferido se usa un material de matriz cuyo módulo de elasticidad es inferior a 2 MPa ($1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$). Si se usa un material de matriz que se endurece para la fijación de las micropartículas, por ejemplo un polímero, entonces el módulo de elasticidad especificado se refiere al material de matriz endurecido. Preferiblemente, el módulo de elasticidad del material de matriz es inferior o igual a 1 MPa, especialmente preferiblemente inferior a 0,5 MPa, de nuevo especialmente preferiblemente inferior a 0,1 MPa. Mediante el uso de un material de matriz con un módulo de elasticidad pequeño, puede conseguirse una contracción y/o expansión del micro-objeto. Preferiblemente, el cambio longitudinal alcanzable por $100 \mu\text{m}$ de longitud del micro-objeto asciende a más de 10 nm, especialmente preferiblemente a más de 100 nm al aplicar un campo magnético. Como la contracción y/o expansión solo aparece ventajosamente en una capa límite externa del micro-objeto, el micro-objeto puede deformarse, por ejemplo torcerse. En un procedimiento alternativo se usa un material de matriz cuyo módulo de elasticidad es mayor de 1 MPa, preferiblemente mayor de 5 MPa, especialmente preferiblemente mayor de 10 MPa.

En el caso del procedimiento preferido, la matriz se forma en un espesor de menos de 1 mm. Preferiblemente, la matriz se forma aplicando capa del material de matriz sobre la plantilla. Preferiblemente, el espesor de la matriz asciende a menos de 0,1 mm, especialmente preferiblemente menos de 0,05 mm, de nuevo especialmente preferiblemente menos de 0,01 mm. Preferiblemente, el espesor de la capa de matriz es esencialmente constante en toda la superficie de la plantilla. El espesor de capa varía especialmente preferiblemente menos de 10 % referido al espesor medio de la capa. En una realización preferida, el espesor de capa es del mismo orden de magnitud, es decir, de una a diez veces más grueso que el tamaño medio de partículas, especialmente preferiblemente la capa es el doble de gruesa que el tamaño medio de partículas, de nuevo especialmente preferiblemente tres veces más gruesa. En una realización alternativa, el espesor de capa también puede ser más de diez veces más grueso que el tamaño medio de las micropartículas. Preferiblemente, la capa de matriz es hasta 100 veces, especialmente preferiblemente hasta 1000 veces, más gruesa que las micropartículas.

En un procedimiento preferido, las micropartículas magnéticas se disponen en un patrón regular. El patrón resulta preferiblemente de un patrón correspondiente de campos de dispersión magnéticos de la plantilla, en la que se capturan y se disponen las micropartículas magnéticas. Un patrón preferido está constituido por filas rectas, preferiblemente paralelas, con una distancia preferiblemente regular. Un patrón preferido alternativo está constituido por anillos, que son preferiblemente circulares, y están dispuestos especialmente preferiblemente de forma concéntrica. Otro patrón alternativo es estrellado. Un patrón estrellado está constituido preferiblemente por segmentos radialmente dirigidos hacia afuera con forma de rayos desde un centro común. Los rayos son preferiblemente rectos. En una realización alternativa, los rayos están curvados, de manera que se forma preferiblemente un patrón en forma de remolino.

Se prefiere que la plantilla magnética no se consuma mediante el procedimiento. Que la plantilla no se consuma significa que no se modifiquen las propiedades físicas, especialmente magnéticas, de la plantilla mediante el procedimiento. Preferiblemente, no se modifican la magnitud y la dirección de los campos de dispersión y/o la magnetización de la plantilla magnética mediante el procedimiento. Especialmente preferiblemente, la plantilla tampoco se modifica mediante el procedimiento en sus propiedades mecánicas mediante el procedimiento. Mediante esto se puede conseguir la ventaja de que la plantilla es adecuada para la fabricación en serie de micro-objetos. Esto significa que con la misma plantilla se pueden fabricar preferiblemente por lo menos diez micro-objetos con propiedades constantes, especialmente preferiblemente por lo menos 100 micro-objetos, de nuevo especialmente preferiblemente por lo menos 1000. Dicho procedimiento permite ventajosamente la fabricación en serie de micro-objetos en grandes cantidades.

En un procedimiento preferido, se usa una plantilla magnética que está curvada. Abombado en el sentido de la invención significa que no es plana la superficie de la plantilla sobre la que se disponen las micropartículas. Una curvatura preferida tiene en sección transversal un perfil de forma en D. Preferiblemente, las curvas de nivel de una plantilla curvada preferida son paralelas entre sí. En otra realización preferida, una plantilla curvada tiene curvas de nivel que son círculos concéntricos o anillos no circulares. En otra realización preferida, la superficie de la plantilla tiene la forma de una sección esférica. En otra realización alternativa, la superficie de la plantilla se describe mediante una función de Gauss bidimensional. En otras realizaciones preferidas, la superficie de la plantilla se describe mediante la rotación de una función alrededor de un eje. Ventajosamente, pueden fabricarse micro-objetos con una plantilla curvada que presenta al menos una superficie curvada.

En un procedimiento preferido se usan partículas superparamagnéticas, por ejemplo partículas nanoparticuladas de óxido de hierro en suspensión acuosa. Las micropartículas superparamagnéticas no tienen por debajo de la

temperatura de Curie magnetización permanente. De manera ventajosa, las partículas superparamagnéticas no forman agrupaciones, ya que solo interaccionan muy débilmente entre sí, cuando interaccionan. Las micropartículas superparamagnéticas son tan pequeñas que solo forman preferiblemente un único dominio magnético. Se prefiere que las micropartículas usadas sean inferiores a 100 μm , especialmente preferiblemente inferiores a 10 μm , de nuevo especialmente preferiblemente inferiores a 1 μm , de nuevo especialmente preferiblemente inferiores a 0,1 μm , de nuevo especialmente preferiblemente inferiores a 0,01 μm .

En el caso de un procedimiento preferido, la disposición de las micropartículas magnéticas sobre la plantilla magnética ocurre en un líquido. El líquido sirve ventajosamente para el transporte de las micropartículas. Preferiblemente, el líquido hace posible que las micropartículas se puedan mover libremente en gran medida. Preferiblemente, no tiene lugar ninguna o casi ninguna reacción química entre el líquido y las micropartículas.

Preferiblemente, las micropartículas magnéticas se mezclan inicialmente con un líquido. En un procedimiento preferido, el líquido se aplica sobre la plantilla, por ejemplo se añade sobre la plantilla a gotas usando una pipeta. Las micropartículas magnéticas se ordenan autónomamente de manera ventajosa, es decir, sin acción adicional desde el exterior, según el patrón predeterminado sobre la plantilla. Preferiblemente, la cantidad de líquido aplicada sobre la plantilla contiene una pluralidad del número de micropartículas que se fijan sobre ésta mediante la interacción magnética con la plantilla. Por tanto, puede conseguirse de manera ventajosa que se disponga sobre la plantilla el máximo número de micropartículas. Por tanto, están saturadas las zonas de la plantilla en las que se pueden capturar las micropartículas por la interacción magnética. Las micropartículas sobrantes no fijadas se eliminan preferiblemente mediante bobinas con un líquido que no contiene micropartículas. Un líquido preferido es polar, especialmente preferiblemente el líquido es agua, de nuevo especialmente preferiblemente agua destilada. Preferiblemente, las micropartículas se encuentran en una suspensión acuosa. Alternativamente, también se puede usar un líquido no polar como, por ejemplo, un aceite. En otra realización preferida, el líquido es el material de matriz, que se puede endurecer preferiblemente por otra etapa de procedimiento. Además, un líquido preferido es humectante, especialmente preferiblemente con un ángulo de contacto inferior a 90° referido a un círculo completo de 360°. Un líquido preferido es además volátil, de manera que se volatiliza de manera ventajosa mediante evaporación de la plantilla después de posicionarse las micropartículas. Por ejemplo, se puede usar etanol. El posicionamiento de las micropartículas en un líquido hace posible ventajosamente que las micropartículas sean suficientemente móviles para orientarse y disponerse sobre la plantilla. En otro procedimiento preferido, la plantilla se sumerge en el líquido con las micropartículas, disponiéndose las micropartículas preferiblemente autónomamente, es decir, sin acción adicional del exterior correspondientemente al campo magnético de la plantilla. Preferiblemente, el líquido se evapora después de que las partículas se hayan posicionado completamente. Una ventaja alcanzable del líquido es además que previene en gran medida o completamente o por lo menos reduce una autoadherencia y/o formación de pilas de las micropartículas.

En un procedimiento preferido, las micropartículas magnéticas se acumulan en zonas de densidad más alta de campo de dispersión magnético sobre la plantilla. Preferiblemente, una proporción predominante de las micropartículas se acumulan en zonas de densidad más alta de campo de dispersión. Las zonas de densidad más alta de campo de dispersión aparecen especialmente preferiblemente en las paredes de dominio de la plantilla magnética. Los campos de dispersión son preferiblemente fuertemente no homogéneos. La intensidad de campo de los campos de dispersión inmediatamente por encima de la superficie de la plantilla asciende preferiblemente a por lo menos 0,01 kA/m, especialmente preferiblemente a por lo menos 0,1 kA/m, de nuevo especialmente preferiblemente a por lo menos 1 kA/m.

Se prefiere que el micro-objeto presente esencialmente la forma de un cuerpo de rotación. Un micro-objeto preferido tiene esencialmente la forma de medio casquete esférico. En el caso de un micro-objeto preferido, las micropartículas están distribuidas no homogéneamente con respecto al espesor de la matriz. Preferiblemente, la matriz es de un polímero. Un polímero preferido es PDMS. El espesor de la matriz de un micro-objeto preferido es inferior a 1 mm, preferiblemente inferior a 0,5 mm especialmente preferiblemente inferior a 0,1 mm, de nuevo especialmente preferiblemente inferior a 0,01 mm, de nuevo especialmente preferiblemente inferior a 0,01 mm, pero mayor o igual a 0,005 mm. Se prefiere que las micropartículas se dispongan en un patrón regular en la matriz del micro-objeto. Un patrón regular preferido está constituido por tiras, que preferiblemente son paralelas. Un patrón alternativo está constituido por anillos, que preferiblemente están dispuestos concéntricos. Micro-objetos preferidos contienen partículas superparamagnéticas.

Se prefiere que el módulo de elasticidad de la matriz sea inferior a 2 MPa. Especialmente preferiblemente, el módulo de elasticidad es inferior a 1 MPa, de nuevo especialmente preferiblemente inferior a 0,5 MPa. Mediante esto se puede alcanzar de manera ventajosa que el micro-objeto se expanda y/o contraiga de manera reproducible al aplicar un campo magnético.

La proporción en volumen de las micropartículas en un micro-objeto preferido es preferiblemente inferior a 25 %, especialmente preferiblemente inferior a 15%, de nuevo especialmente preferiblemente inferior a 5%. Por tanto, de manera ventajosa puede realizarse un micro-objeto cuyo módulo de elasticidad apenas se influye o solo insignificadamente por las micropartículas.

Breve descripción de los dibujos

- Fig. 1 La Figura 1 muestra una ilustración esquemática del procedimiento según la invención.
 Fig. 2 La Figura 2 muestra una ilustración esquemática de una realización alternativa del procedimiento según la invención.
 Fig. 3 La Figura 3 muestra una representación esquemática de un micro-objeto en una vista en sección en un campo alterno magnético.

Otras configuraciones ventajosas se describen más detalladamente a continuación mediante un ejemplo de realización representado en los dibujos, al cual, sin embargo, no se limita la invención.

Descripción detallada de la invención mediante un ejemplo de realización

La Figura 1 ilustra una realización a modo de ejemplo del procedimiento según la invención para la fabricación de micro-objetos 1, en el que se incorporan en una matriz 4 micropartículas magnéticas 2 según un patrón predeterminado mediante una plantilla magnética 3. En la Figura 1a puede verse una sección de una capa magnéticamente estructurada de una plantilla magnética 3 esencialmente topográficamente plana en una representación esquemática en vista en sección. El patrón magnético de la capa se generó dirigiendo la dirección de magnetización (indicada por la flecha) de los dominios magnéticos mediante bombardeo con iones (IBMP). La plantilla 3 mostrada presenta un patrón de franjas de los dominios magnéticos, presentando las franjas individuales una anchura de 50 μm . Normalmente, con el procedimiento IBMP pueden producirse franjas con una anchura entre 0,5 μm y 1000 μm . Las flechas indican la dirección de magnetización de la franja, que aquí se encuentran en el plano de la plantilla 3. Las líneas curvas ilustran las líneas del campo magnético. En los límites entre las líneas, las denominadas paredes de dominio, aparecen campos magnéticos débiles pero muy poco homogéneos en los que pueden ser capturadas las micropartículas magnéticas 2. Las micropartículas 2, por ejemplo microesferas superparamagnéticas con un diámetro medio de 2 μm . Las micropartículas magnéticas 2 se aplican en suspensión acuosa sobre la plantilla 3. Por tanto, son lo suficientemente móviles como para disponerse de forma auto-organizada esencialmente a lo largo de las paredes de dominio, donde son mayores los campos de dispersión. Se midió experimentalmente el momento magnético inducido por la plantilla magnética 3 (ilustrado por flechas) de las microesferas y asciende a entre 10^{-14} A m^2 y 10^{-13} A m^2 a una intensidad de campo magnético de aproximadamente 0,1 kA/m en la superficie de la plantilla 3. La densidad de las microesferas es muy grande en la dirección paralela a las franjas, de manera que la distancia media entre dos microesferas contiguas se encuentra normalmente entre 0,1 μm y 1 μm . El momento magnético inducido en las microesferas por la plantilla magnética 3 es muy pequeño, de manera que la repulsión entre las microesferas contiguas es despreciablemente baja (con momentos magnéticos paralelos). La distancia media resultante entre dos microesferas contiguas asciende a aproximadamente 0,1 μm a 1 μm .

Después de las que las micropartículas 2 se dispongan de forma auto-organizada sobre la plantilla 3, la plantilla 3 se aclara con agua en una etapa de procedimiento opcional para eliminar las micropartículas 2 en exceso eventualmente presentes. La velocidad de flujo del agua de lavado es a este respecto tan baja que esencialmente no se arrastra ninguna micropartícula 2 capturada por los campos de dispersión. A continuación se elimina mediante evaporación el agua que todavía queda sobre la plantilla. Solo quedan las micropartículas 2 dispuestas sobre la plantilla 3 como se muestra en la Fig. 1a. En otra etapa de procedimiento se aplica sobre la plantilla un polímero líquido en una delgada capa de aproximadamente 20 μm , de manera que se forma una disposición como en la Fig. 1b. Las micropartículas 2 se distribuyen no homogéneamente a lo largo del espesor de la matriz 4. Están dispuestas casi exclusivamente en la mitad de la matriz 4 orientada a la plantilla 3. A continuación se irradia luz UV sobre la matriz, por lo que se pone en marcha la reticulación del polímero, de manera que se endurece el polímero. El polímero endurecido presenta un módulo de elasticidad de aproximadamente 1 MPa. En el estado endurecido, el micro-objeto 1 acabado puede extraerse de la plantilla 3 con una pinza. Después de extraer el micro-objeto 1 de la plantilla magnética 3, se puede repetir el procedimiento y fabricar otro micro-objeto 1 con la misma plantilla 3.

En la Fig. 2 se ilustra una realización alternativa del procedimiento según la invención. En este procedimiento, se aplica sobre la plantilla 3 el material de matriz 4 con el que están mezcladas las micropartículas magnéticas 2. En la Fig. 2a se puede ver una distribución de micropartículas 3 aleatoria inicial, esencialmente homogénea, en el material de matriz 4. Mediante la acción de fuerzas de los campos de dispersión magnéticos de la plantilla 3, se ordenan las micropartículas 2 cerca de la superficie de la plantilla 3 como se muestra en la Fig. 2b. Después del curado del material de matriz 4, se puede retirar de la plantilla 3 el micro-objeto acabado.

El micro-objeto 1 representado en sección en la Fig. 3 se produjo con el procedimiento según la invención y está constituido por una matriz 4 que presenta la forma de casquete esférico en la que están incorporadas las partículas superparamagnéticas 2. Las micropartículas 2 están dispuestas en anillos que transcurren concéntricamente alrededor del vértice del micro-objeto 1. En la Fig. 3a se representa la forma básica del micro-objeto 1 en vista en sección cuando no actúa fuerza externa sobre el micro-objeto 1. La Fig. 3b y 3c ilustran cómo cambia la forma cuando se aplica un campo alterno magnético, a este respecto se proporciona rayado para la comparación respectivamente con la forma básica de la Fig. 3a. Las flechas rayadas indican la dirección del campo magnético aplicado. En la Fig. 3b, el campo magnético externo orienta la magnetización de las micropartículas 2 en dirección

horizontal. Como polos iguales se repelen y polos opuestos se atraen, la matriz 4 del micro-objeto 1 se comprime en el vértice y se expande en los bordes. La Fig. 3c muestra el micro-objeto 1 en el transcurso de las líneas de campo magnético en dirección perpendicular. Ahora se repelen recíprocamente las micropartículas 2 que se incorporan en el vértice debido a su polarización y conducen a una dilatación del material de matriz elástico 4. Por el contrario, en los bordes se atraen. Esto conduce a su vez a un cambio de forma del micro-objeto 1. En el posterior desarrollo de la oscilación del campo magnético, giran las líneas de campo magnético en el sentido de las agujas del reloj, de manera que se repite periódicamente la deformación del micro-objeto. Mediante esto se produce un movimiento peristáltico del micro-objeto. En el caso de aplicación, por ejemplo, en un líquido en el que está suspenso el micro-objeto, esto podría conducir a una propulsión. El micro-objeto se movería similarmente a una medusa.

Las características dadas a conocer en la anterior descripción, las reivindicaciones y los dibujos pueden ser importantes tanto individualmente como también en combinación discrecional para la puesta en práctica de la invención en sus distintas configuraciones.

Lista de números de referencia

1. micro-objeto
2. micropartícula
3. plantilla magnética
4. matriz

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la fabricación de micro-objetos (1), en el que en una etapa de procedimiento se disponen micropartículas magnéticas (2) según un patrón predeterminado mediante una plantilla magnética (3) y se incorporan en una matriz (4),
caracterizado por que
se genera una distribución no homogénea de las micropartículas magnéticas (2) en la dirección del espesor de la matriz (4) por campos de dispersión no homogéneos de la plantilla magnética (3),
en donde el patrón predeterminado surge mediante un patrón de dominio magnético de la plantilla (3).
2. Procedimiento según la reivindicación 1,
caracterizado por que
en otra etapa del procedimiento la matriz (4) se desprende de la plantilla magnética (3).
3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,
caracterizado por que
en otra etapa de procedimiento las micropartículas magnéticas (2) se fijan en la matriz (4).
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,
caracterizado por que
se usa un polímero para la formación de la matriz (4).
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,
caracterizado por que
se usa un material de matriz con un módulo de elasticidad inferior a 2 MPa.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,
caracterizado por que
la matriz (4) se forma con un espesor inferior a 1 mm.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,
caracterizado por que
las micropartículas magnéticas (2) se disponen en un patrón regular.
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,
caracterizado por que
la plantilla magnética (3) no se consume por el procedimiento.
9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,
caracterizado por que
la plantilla magnética (3) está curvada.
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,
caracterizado por que
se usan micropartículas superparamagnéticas (2).
11. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,
caracterizado por que
la disposición de las micropartículas magnéticas (2) sobre la plantilla magnética (3) se produce en un líquido.
12. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,
caracterizado por que
las micropartículas magnéticas (2) se acumulan sobre la plantilla (3) en zonas de alta densidad de campo de dispersión magnético.
13. Micro-objeto (1) fabricado según el procedimiento de la reivindicación 1 con una matriz (3) en la que se incorporan las micropartículas magnéticas (2) según un patrón predeterminado,
caracterizado por que
la matriz (3) está curvada cuando no actúan fuerzas externas sobre el micro-objeto (1).
14. Micro-objeto (1) según la reivindicación 13, **caracterizado por que** el módulo de elasticidad de la matriz (3) es inferior a 2 MPa.
15. Micro-objeto (1) según las reivindicaciones 13 o 14, **caracterizado por que** la proporción en volumen de las micropartículas (2) es inferior al 25 %.

16. Micro-objeto (1) según una de las reivindicaciones 13 a 15,
caracterizado por que

las micropartículas magnéticas (2) están dispuestas según el patrón predeterminado de tal manera que al aplicar un campo magnético externo las micropartículas magnéticas (2) provoquen una deformación del micro-objeto (1) por repulsión y/o atracción mutua.

5

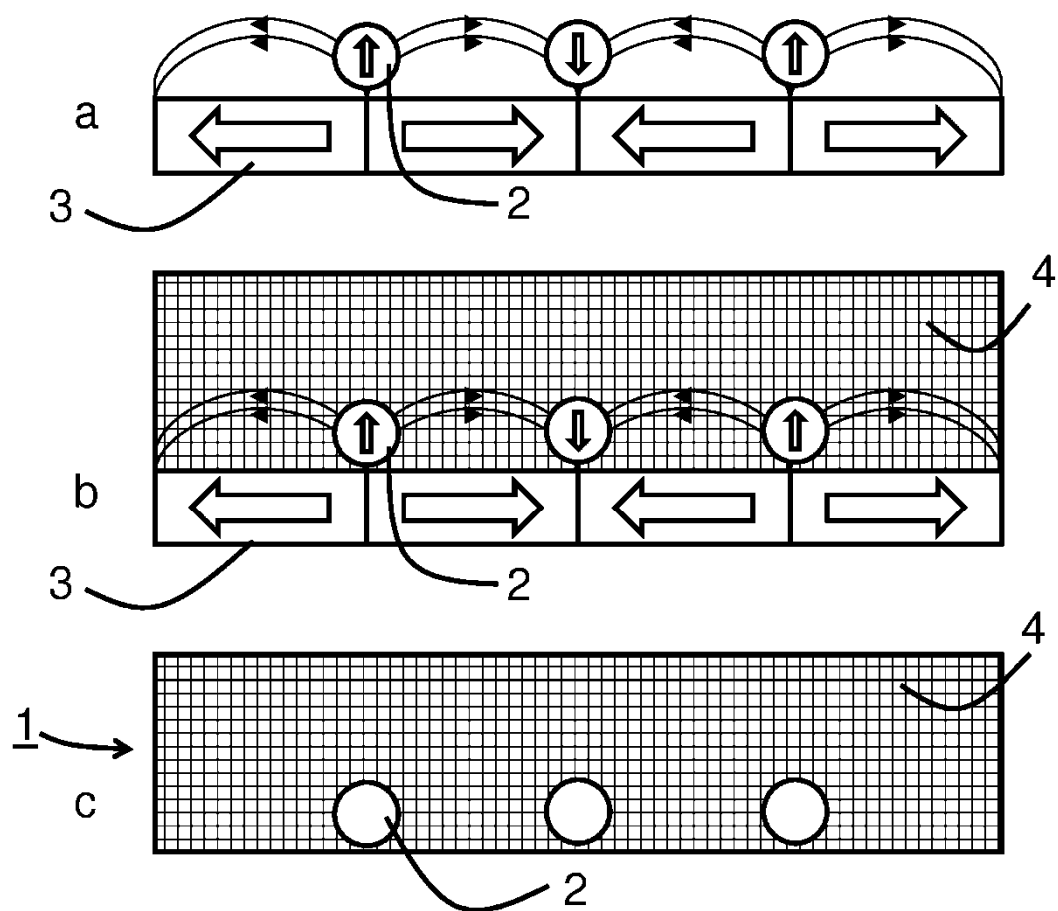


Fig. 1

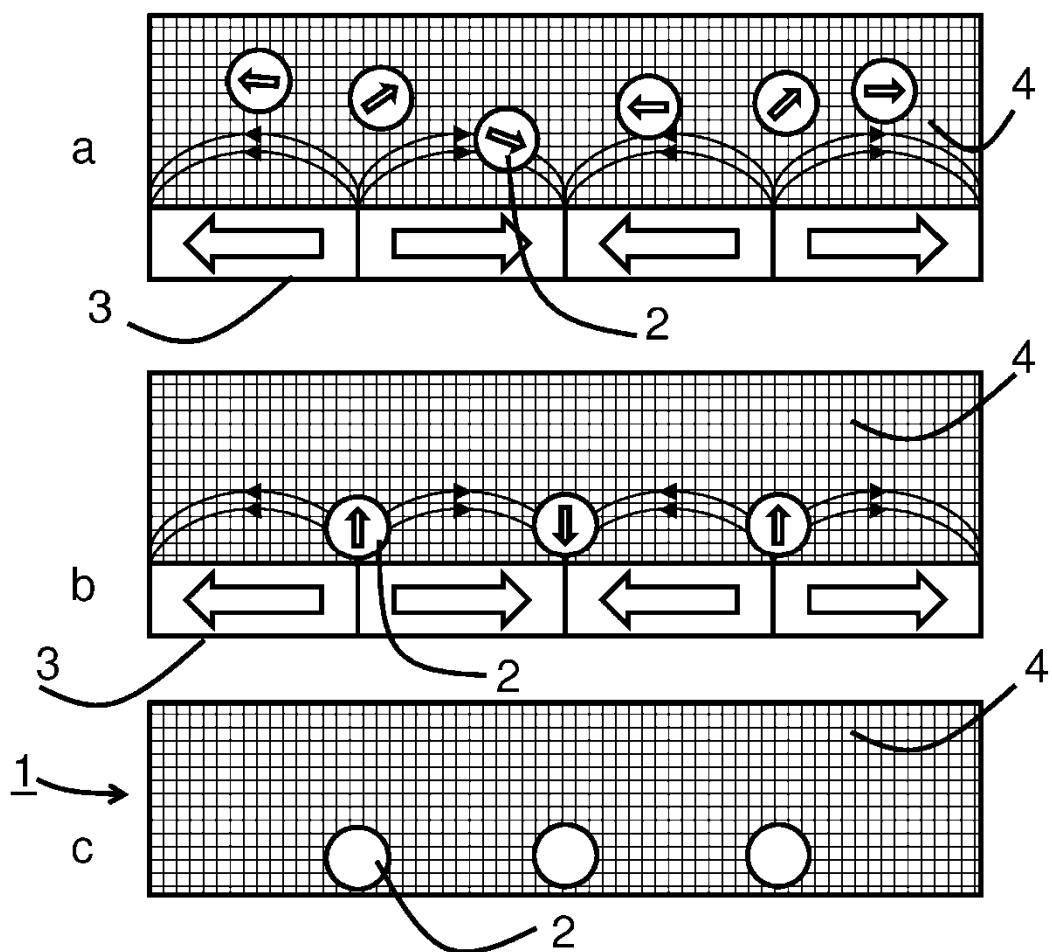


Fig. 2

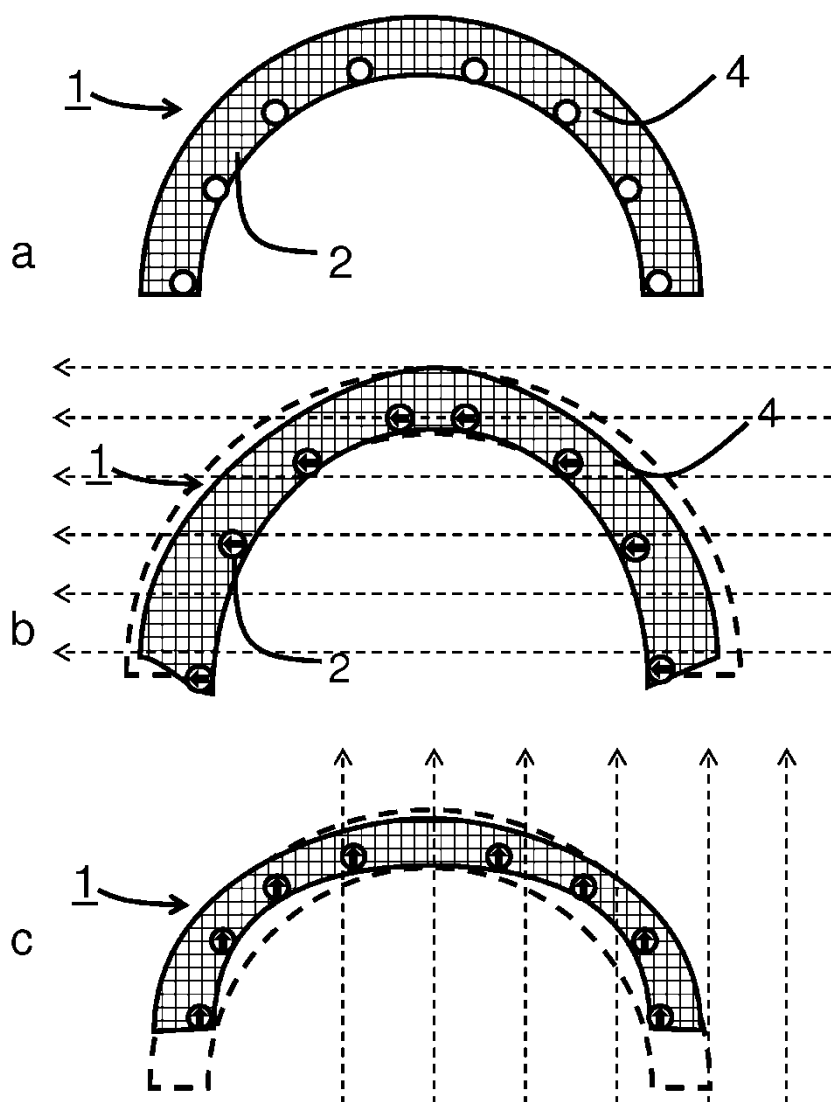


Fig. 3