(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2011 年 3 月 17 日(17.03.2011)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2011/030623 A1

(51) 国際特許分類:
C12M 1/00 (2006.01)　*C12N 5/10* (2006.01)
B01J 19/00 (2006.01)　*G01N 15/14* (2006.01)
B81B 5/00 (2006.01)　*G01N 37/00* (2006.01)
C12M 1/34 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2010/062265

(22) 国際出願日: 2010 年 7 月 21 日(21.07.2010)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2009-210903 2009 年 9 月 11 日(11.09.2009) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人東北大学 **(TOHOKU UNIVERSITY)** [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目１番１号 Miyagi (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 新井　史人 **(ARAI Fumihito)** [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目１番１号　国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 山西　陽子 **(YAMANISHI Yoko)** [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目１番１号　国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 猪股　直生 **(INOMATA Naoki)** [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目１番１号　国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 水沼　赴人 **(MIZUNUMA Takehito)** [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目１番１号　国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 工藤　翔吾 **(KUDO Shogo)** [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目１番１号　国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP).

(74) 代理人: 須田　篤, 外 **(SUDA Atsushi** et al.); 〒9800012 宮城県仙台市青葉区錦町一丁目２番１０－６０５号 Miyagi (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, 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, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

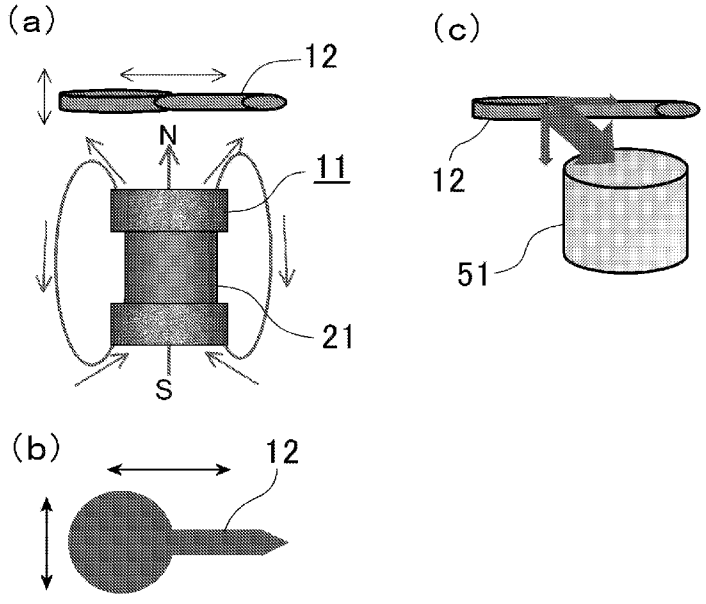
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ

[続葉有]

(54) **Title**: DRIVE MECHANISM OF MAGNETICALLY-DRIVEN MICROTOOL, AND MICROTOOL

(54) 発明の名称 : 磁気駆動マイクロツールの駆動機構およびマイクロデバイス

[図1]



(57) **Abstract**: Disclosed is a drive mechanism that is for a magnetically-driven microtool and that can accurately control the movements of the magnetically-driven microtool. Further disclosed is a microtool. The drive mechanism has a magnetism-generating body (21) comprising an electromagnet. The magnetism-generating body (21) is configured so as to apply AC current to the electromagnet, periodically reversing the polarity, and to cause the magnetism to act on the magnetically-driven microtool (12), which is magnetic. The electromagnet may have a protruding section (21a) that is formed on at least one end of the core, protrudes from the end of the coil, and is formed in a tube or cylinder in the lengthwise direction of the core. Also, the electromagnet may also have a thin film (22) comprising a material having a high magnetic permeability disposed between the magnetism-generating body (21) and the magnetically-driven microtool (12).

(57) 要約: 【課題】磁気駆動マイクロツールの動きを正確に制御することができる磁気駆動マイクロツールの駆動機構およびマイクロデバイスを提供する。

[続葉有]

WO 2011/030623 A1

(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

規則 **4.17** に規定する申立て:

— 発明者である旨の申立て (規則 4.17(iv))

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

【解決手段】電磁石から成る磁力発生体２１を有している。磁力発生体２１は、電磁石に交流電流を流して周期的に極性を反転し、磁性を有する磁気駆動マイクロツール１２に磁力を作用させるよう構成されている。電磁石は、芯の少なくとも一方の端部に、コイルの端部から突出して、芯の長さ方向に沿って筒状または柱状に形成された突出部２１ａを有していてもよい。また、磁力発生体２１と磁気駆動マイクロツール１２との間に配置された、透磁率の大きい材質から成る薄膜２２を有していてもよい。

明　細　書

発明の名称 ：

磁気駆動マイクロツールの駆動機構およびマイクロデバイス

技術分野

[0001] 本発明は、磁気駆動マイクロツールの駆動機構およびマイクロデバイスに関する。

背景技術

[0002] 主に医療分野、医薬分野、品種改良といったバイオ系産業分野において、卵子、細胞、菌などの微粒子に対して、分離、分類、加工、選択、処理等の一連の操作が行われている。従来、このような微粒子に対する操作を行う装置として、永久磁石や電磁石により駆動される磁気駆動マイクロツール（ＭＭＴ）を使用して、微小流路を流れる微粒子に対して各操作を行うものがある（例えば、特許文献１または２参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開２００６－３２５４２９号公報

特許文献2：特開２００８－１４８６７７号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 特許文献１または２に記載のような装置では、円柱状の永久磁石や電磁石を、一方の端面を磁気駆動マイクロツールに向けて配置し、永久磁石を動かしたり、電磁石に流す電流をＯＮ／ＯＦＦしたりして、磁気駆動マイクロツールを駆動している。このとき、図９に示すように、円柱状の磁石では、磁石の周縁部で磁束密度が大きいが、磁石の中心部では磁束密度が小さくなっている。このため、磁石の中心部では、磁気駆動マイクロツールに摩擦等の抵抗が働くと、磁気駆動マイクロツールを磁力に追従させることができず、磁気駆動マイクロツールの動きを正確に制御するのが困難であるという課題

があった。

[0005] これに対し、磁石の中心部での磁束密度を大きくするために、磁石を小さくすることが考えられるが、小型化にも限界があり、また、小さくするに従って磁力も弱くなるため、やはり磁気駆動マイクロツールの動きを正確に制御することは困難になる。

[0006] また、磁石で磁気駆動マイクロツールを引きつけ、その引力方向に対して垂直方向に磁気駆動マイクロツールを移動させるとき、磁気駆動マイクロツールに作用する磁石の引力により、磁気駆動マイクロツールとそれを支える支持面等との間に働く摩擦力が大きくなる。このため、この場合にも、磁気駆動マイクロツールの動きを正確に制御するのが困難であるという課題があった。

[0007] 本発明は、このような課題に着目してなされたもので、磁気駆動マイクロツールの動きを正確に制御することができる磁気駆動マイクロツールの駆動機構およびマイクロデバイスを提供することを目的としている。

課題を解決するための手段

[0008] 上記目的を達成するために、本発明に係る磁気駆動マイクロツールの駆動機構は、磁性を有する磁気駆動マイクロツールを駆動するための磁気駆動マイクロツールの駆動機構であって、周期的に磁場を変化させて、前記磁気駆動マイクロツールに磁力を作用させるよう構成された磁力発生体を有することを、特徴とする。

[0009] 本発明に係る磁気駆動マイクロツールの駆動機構では、磁力発生体が周期的に磁場を変化させるため、磁気駆動マイクロツールに作用する磁力の大きさや向きが、磁場の変化により変動する。このため、磁場の周期的に変化に連動して、磁気駆動マイクロツールを振動させることができる。これにより、磁気駆動マイクロツールとそれを支える支持面等との間に働く摩擦力を低減することができるため、磁力発生体の動きや磁力に磁気駆動マイクロツールを追従させることができる。このため、磁力発生体により磁気駆動マイクロツールの動きを正確に制御することができる。

[0010] また、磁気駆動マイクロツールが振動して磁気駆動マイクロツールに働く摩擦力を低減することができるため、永久磁石を使用したときの磁力と比べて弱い磁力でも、磁気駆動マイクロツールを駆動することができる。これにより、より小さいエネルギーで磁気駆動マイクロツールを駆動することができるとともに、磁力発生体の磁力が周囲に及ぼす影響をより小さくすることができる。また、磁気駆動マイクロツールを微小流路のように天井のある閉空間内で使用する場合には、磁気駆動マイクロツールの天井に対して垂直な方向の動きが制限されるため、磁気駆動マイクロツールを振動させても、磁気駆動マイクロツールを安定して駆動することができる。なお、磁気駆動マイクロツール（ＭＭＴ）は、磁力により駆動可能であれば、いかなるものであってもよい。

[0011] 磁力発生体は、周期的に磁場を変化可能であれば、どのように構成されていてもよい。磁力発生体は、例えば、電磁石から成り、電磁石に流す電流の大きさや向きを周期的に変化させたり、電磁石に流す電流を周期的にＯＮ／ＯＦＦしたりするよう構成されていてもよい。磁場の変化の周期は、磁気駆動マイクロツールとそれを支える支持面等との間に働く摩擦力を低減可能であれば、いかなる周期であってもよい。

[0012] 本発明に係る磁気駆動マイクロツールの駆動機構で、前記磁力発生体は電磁石に交流電流を流して構成されることが好ましい。この場合、電磁石に交流電流を流すことにより、電磁石の極性が周期的に反転するため、磁力線の向きも周期的に反転し、磁場が周期的に変化する。このため、その周期的な変化に連動して磁気駆動マイクロツールを振動させることができ、磁力発生体により磁気駆動マイクロツールの動きを正確に制御することができる。また、磁気駆動マイクロツールがリング状部を有しする場合には、磁力発生体の磁場の変化によりリング状部に誘導電流が流れるため、磁気駆動マイクロツールと磁力発生体とが反発する。このため、磁気駆動マイクロツールがそれを支える支持面から浮き上がり、磁気駆動マイクロツールと支持面との間に働く摩擦力を低減することができる。これにより、磁力発生体の動きや磁

力に磁気駆動マイクロツールを容易に追従させることができ、磁力発生体により磁気駆動マイクロツールの動きを正確に制御することができる。

[0013] 本発明に係る磁気駆動マイクロツールの駆動機構で、前記電磁石は、芯の少なくとも一方の端部に、コイルの端部から突出して、前記芯の長さ方向に沿って筒状または柱状に形成された突出部を有することが好ましい。この場合、突出部に磁場が集中するため、突出部を磁気駆動マイクロツール側に向けて配置することにより、電磁石に流れる電流が同じでも、より強い磁力を磁気駆動マイクロツールに作用させることができる。また、突出部が芯の長さ方向に沿って筒状または柱状に形成されているため、突出部の先端面の縁部に沿って線状に磁力の強い場所が分布する。このため、磁気駆動マイクロツールを線で捕らえることができ、より安定した状態で磁気駆動マイクロツールを駆動することができる。

[0014] 本発明に係る磁気駆動マイクロツールの駆動機構は、前記磁力発生体と前記磁気駆動マイクロツールとの間に配置された、透磁率の大きい材質から成る薄膜を有してもよい。この場合、薄膜により、磁力発生体で発する磁力が同じであっても、磁気駆動マイクロツールに作用する磁力を高めることができる。

[0015] 本発明に係るマイクロデバイスは、微粒子を流す微小流路と、少なくとも一部が前記微小流路内に配置された磁気駆動マイクロツールと、前記磁気駆動マイクロツールを駆動可能に設けられた本発明に係る磁気駆動マイクロツールの駆動機構とを有することを、特徴とする。

[0016] 本発明に係るマイクロデバイスは、本発明に係る磁気駆動マイクロツールの駆動機構により磁気駆動マイクロツールを駆動するため、磁気駆動マイクロツールの動きを正確に制御することができる。また、より小さいエネルギーで磁気駆動マイクロツールを駆動することもできる。このため、微小流路内で、卵子、細胞、菌などの微粒子の分離、分類、加工、選択、処理等の操作を、正確かつ高精度で行うことができる。なお、マイクロデバイスは、各操作の工程を行う個々のマイクロモジュールであってもよく、これらのマイ

クロモジュールを連結したマイクロチップであってもよい。

[0017] 本発明に係るマイクロデバイスで、前記磁気駆動マイクロツールは、移動方向に対して垂直な方向への動きが制限されるよう、前記垂直な方向での幅が狭い空間内に設けられていることが好ましい。この場合、磁気駆動マイクロツールが移動方向に対して垂直な方向への動きが制限されるため、駆動機構により磁気駆動マイクロツールを振動させても、磁気駆動マイクロツールを移動方向に沿って安定して駆動することができる。

[0018] 本発明に係るマイクロデバイスで、前記微粒子は内部に核を有する細胞から成り、前記微小流路は前記微粒子の大きさよりも高さまたは幅が狭い狭路部を有し、前記微粒子が前記狭路部を通過するとき、光学的手段により変形した前記微粒子の核を検出するよう設けられた検出装置を有していてもよい。この場合、狭路部を流れる微粒子が幅方向または高さ方向に潰れた状態で変形して移動するため、微粒子の厚みを薄くして微粒子の内部を観察しやすくすることができる。このため、検出装置の光学的手段により容易に核を検出することができる。検出装置による核の検出の自動化が容易である。

[0019] 本発明に係るマイクロデバイスで、前記磁気駆動マイクロツールは、所定の平面に沿って移動可能に設けられた磁性を有する移動部と、前記移動部を弾性的に固定する複数の固定部とを有し、前記駆動機構により前記移動部に前記平面に沿った力を作用させたとき、前記力の大きさに対する前記平面に沿った前記移動部の移動量が等方的であることが好ましい。この場合、駆動機構による移動部の移動量の制御を正確かつ容易に行うことができ、磁気駆動マイクロツールを操作しやすい。なお、ここで移動部の移動量が等方的であるとは、平面に沿った全ての向きで、駆動機構による同じ大きさの力に対する移動部の移動量が概ね同じ大きさであればよく、移動量が誤差１５％以内、好ましくは２％以内に収まることをいう。

[0020] 本発明に係るマイクロデバイスで、前記微小流路は前記微粒子の大きさよりも高さまたは幅が狭い狭路部を有し、前記磁気駆動マイクロツールは１対から成り、互いに前記狭路部を挟んだ位置に配置され、前記移動部に前記狭

路部に向かって互いに対向してまたはすれ違って突出するよう設けられた針状部材を有し、前記駆動機構は１対から成り、各磁気駆動マイクロツールに対応して設けられ、前記狭路部に前記微粒子が流れてきたとき、各駆動機構により対応する磁気駆動マイクロツールの前記移動部を移動させて前記針状部材を突出させることにより、変形した前記微粒子を２つに分割するよう構成されていてもよい。

[0021] この微粒子を２つに分割する場合、狭路部を流れる微粒子が幅方向または高さ方向に潰れた状態で変形して移動するため、微粒子の厚みを薄くして微粒子の内部を観察しやすくすることができる。また、これにより、微粒子の内部を観察しながら、微粒子を２つに分割することができる。微粒子が卵子から成る場合、卵子を、核が存在する部分と核が存在しない部分とに正確に分割することができ、卵子の除核処理を行うことができる。

[0022] 本発明に係るマイクロデバイスで、前記磁気駆動マイクロツールはリング状部を有し、前記磁力発生体の磁場の変化により前記リング状部に誘導電流が流れ、前記磁力発生体と反発するよう構成されていてもよい。この場合、磁力発生体による誘導電流がリング状部に流れ、磁気駆動マイクロツールと磁力発生体とが反発するため、磁気駆動マイクロツールがそれを支える支持面から浮き上がる。このため、磁気駆動マイクロツールと支持面との間に働く摩擦力を低減することができる。これにより、磁力発生体の動きや磁力に磁気駆動マイクロツールを容易に追従させることができ、磁力発生体により磁気駆動マイクロツールの動きを正確に制御することができる。

発明の効果

[0023] 本発明によれば、磁気駆動マイクロツールの動きを正確に制御することができる磁気駆動マイクロツールの駆動機構およびマイクロデバイスを提供することができる。

図面の簡単な説明

[0024] [図1]（ａ）本発明の実施の形態の磁気駆動マイクロツールの駆動機構の原理を示す側面図、（ｂ）その磁気駆動マイクロツールの平面図、（ｃ）従来の

永久磁石による駆動原理を示す斜視図である。

[図2]本発明の実施の形態の磁気駆動マイクロツールの駆動機構の突出部を有する変形例を示す側面図である。

[図3]図２に示す磁気駆動マイクロツールの駆動機構の変形例の突出部の形状を、（ａ）芯の長さ方向に沿った円筒状の中空形状、（ｂ）先端が尖った円錐形状、（ｃ）先端が平面状の円錐台形状、（ｄ）中空を有する円筒状の円錐台形状に形成したときの磁束密度の分布を示すグラフである。

[図4]本発明の実施の形態の磁気駆動マイクロツールの駆動機構の（ａ）表面での磁束密度を示す側面図、（ｂ）そのときの磁束密度の分布を示すグラフ、（ｃ）薄膜を有する変形例の表面での磁束密度を示す側面図、（ｄ）そのときの磁束密度の分布を示すグラフである。

[図5]本発明の実施の形態のマイクロデバイスを示す平面図である。

[図6]図５に示すマイクロデバイスの除核処理での使用状態を示す狭路部の拡大平面図である。

[図7]図５に示すマイクロデバイスの（ａ）微小流路での微粒子の状態を示す側面図、（ｂ）通常の深い流路のときの明視野観察による顕微鏡写真、（ｃ）そのときの蛍光観察による顕微鏡写真、（ｄ）狭路部の浅い流路のときの明視野観察による顕微鏡写真、（ｅ）そのときの蛍光観察による顕微鏡写真である。

[図8]図５に示すマイクロデバイスの（ａ）移動部に所定の方向に一定の力を作用させたときの移動部の移動状態およびフォンミーゼス応力（Von Mises Stress）を示す平面図、（ｂ）そのときの移動部の移動量を規格化された（normalized）バネ定数（Spring constant）で示すグラフである。

[図9]（ａ）従来の円柱状の磁石の斜視図、（ｂ）その磁束密度（Magnetic flux density）の分布を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0025] 以下、図面に基づき本発明の実施の形態について説明する。

図１乃至図４は、本発明の実施の形態の磁気駆動マイクロツールの駆動機

構を示している。

[0026] 図１（ａ）に示すように、磁気駆動マイクロツールの駆動機構１１は、電磁石から成る磁力発生体２１を有している。図１（ａ）および（ｂ）に示すように、磁力発生体２１は、電磁石に交流電流を流して周期的に極性を反転し、磁性を有する磁気駆動マイクロツール１２に磁力を作用させるよう構成されている。

[0027] 駆動機構１１では、電磁石に交流電流を流すことにより、電磁石の極性が周期的に反転するため、磁力線の向きも周期的に反転し、磁場が周期的に変化する。このため、その周期的な変化に連動して磁気駆動マイクロツール１２を振動させることができる。これにより、磁気駆動マイクロツール１２とそれを支える支持面等との間に働く摩擦力を低減することができるため、磁力発生体２１の動きや磁力に磁気駆動マイクロツール１２を追従させることができる。このため、磁力発生体２１により磁気駆動マイクロツール１２の動きを正確に制御することができる。

[0028] また、図１（ｃ）に示すように、永久磁石５１を使用する場合、磁気駆動マイクロツール１２を引きつけ、その引力方向に対して垂直方向に磁気駆動マイクロツール１２を移動させるとき、磁気駆動マイクロツール１２に作用する永久磁石５１の引力により、磁気駆動マイクロツール１２とそれを支える支持面等との間に働く摩擦力が大きくなる。このため、磁気駆動マイクロツール１２を動かすために、強い磁力が必要となる。これに対し、駆動機構１１では、磁気駆動マイクロツール１２を振動させて、磁気駆動マイクロツール１２に働く摩擦力を低減することができるため、永久磁石５１の場合と比べて弱い磁力でも磁気駆動マイクロツール１２を駆動することができる。一例では、同じ大きさの磁石を使用した場合、永久磁石５１と比べて約１／２０の磁力で磁気駆動マイクロツール１２を駆動できることが確認されている。

[0029] このように、駆動機構１１は、より小さいエネルギーで磁気駆動マイクロツール１２を駆動することができるとともに、磁力発生体２１の磁力が周囲

に及ぼす影響をより小さくすることができる。このため、より狭い領域に、互いに影響を及ぼすことなく複数の駆動機構１１を近接して配置することができ、駆動機構１１を利用したマイクロデバイスをより小型化することができる。

[0030] なお、図２に示すように、磁力発生体２１は、電磁石の芯の一方の端部に、コイルの端部から突出した突出部２１ａを有していてもよい。この場合、突出部２１ａに磁場が集中するため、突出部２１ａを磁気駆動マイクロツール１２の側に向けて配置することにより、電磁石に流れる電流が同じでも、より強い磁力を磁気駆動マイクロツール１２に作用させることができる。

[0031] 図３に示すように、突出部２１ａの形状を、芯の長さ方向に沿った円筒状の中空形状（図３（ａ））、先端が尖った円錐形状（図３（ｂ））、先端が平面状の円錐台形状（図３（ｃ））、中空を有する円筒状の円錐台形状（図３（ｄ））に形成したとき、突出部２１ａの先端面の縁部や尖端の位置で、磁束密度が高くなっているのが確認できる。図３（ｂ）に示すように、突出部２１ａの先端が尖っている場合、磁束が一点に集中して磁力が強くなっているため、磁気駆動マイクロツール１２を点で捕らえることになる。これに対し、図３（ａ）、（ｃ）、（ｄ）に示すように、突出部２１ａが芯の長さ方向に沿って筒状または柱状に形成されている場合には、突出部２１ａの先端面の縁部に沿って線状に磁束が集中して磁力の強い場所が分布するため、磁気駆動マイクロツール１２を線で捕らえることができる。このため、点で捕らえる場合よりも、安定した状態で磁気駆動マイクロツール１２を駆動することができる。

[0032] また、図４に示すように、駆動機構１１は、磁力発生体２１と磁気駆動マイクロツール１２との間に配置された、透磁率の大きい材質から成る薄膜２２を有してもよい。薄膜２２は、ニッケル（Ｎｉ）製で、磁気駆動マイクロツール１２を支持するガラス基板１３と、磁気駆動マイクロツール１２との間に敷かれている。この場合、薄膜２２により、磁力発生体２１で発する磁力が同じであっても、磁気駆動マイクロツール１２に作用する磁力を高める

ことができる。図４に示す一例では、薄膜２２がない場合に比べて、２倍以上の磁束密度が得られている。

[0033] 図５乃至図８は、本発明の実施の形態のマイクロデバイスを示している。

図５に示すように、マイクロデバイス１０は、駆動機構１１と磁気駆動マイクロツール１２と、微粒子１を流す微小流路１４とを有している。

[0034] 微小流路１４は、透明なガラス基板１３の内部に形成されており、卵子（卵細胞）、体細胞等の任意の動物細胞、植物細胞、ＥＳ細胞、微生物、菌、ＤＮＡ分子、ナノチューブ、ナノ材料等の微小物体などから成る微粒子１を流すようになっている。微小流路１４は、一部に、微粒子１の大きさよりも高さ方向が狭く形成された狭路部１４ａを有している。

[0035] 磁気駆動マイクロツール１２は、ほぼ円形の移動部２３と４つの固定部２４とを有している。移動部２３は、柔軟性のポリマー素材から成る円形の基台２３ａと、基台２３ａに固定された剛性のニッケル素材から成る針状部材２３ｂとを有している。各固定部２４は、柔軟性のポリマー素材から成り、細長い紐状に形成されている。各固定部２４は、移動部２３の基台２３ａの周縁部に、基台２３ａの中心に対して９０度間隔で、それぞれ一端が接続されている。各固定部２４は、基台２３ａの表面に対して平行で基台２３ａの中心を通る直線（以下、「参考直線」という）に対して、基台２３ａの周縁部からそれぞれ平行に伸び、中間部で参考直線から離れる方向に、参考直線に対してほぼ垂直に伸びるよう折れ曲がっている。各固定部２４は、関節に対応する移動部２３との接続位置、折れ曲がり位置および他端に、円形の補強部を有している。針状部材２３ｂは、針状に形成された尖端２３ｃと、尖端２３ｃとは反対側に円形状に形成された反対端２３ｄとを有している。針状部材２３ｂは、基台２３ａの表面に対して平行かつ参考直線に対して垂直を成し、尖端２３ｃが基台２３ａの周縁より外側に向かって突出するよう、反対端２３ｄで基台２３ａの上部中央に固定されている。

[0036] 磁気駆動マイクロツール１２は、針状部材２３ｂがニッケル素材から成り、磁性を有している。磁気駆動マイクロツール１２は、１対から成り、それ

ぞれ微小流路１４の狭路部１４ａを挟むよう、狭路部１４ａの両脇に固定されている。各磁気駆動マイクロツール１２は、基台２３ａの表面が狭路部１４ａの幅方向に対して平行になるよう、各固定部２４の他端で、微小流路１４を形成する透明なガラス基板１３に固定されている。また、各磁気駆動マイクロツール１２は、それぞれ針状部材２３ｂの尖端２３ｃが、狭路部１４ａを挟んで対向するように配置されている。

[0037] 各磁気駆動マイクロツール１２は、移動部２３が、柔軟性のポリマー素材から成る各固定部２４により弾性的に固定されており、基台２３ａの表面に平行な平面に沿って移動可能になっている。また、各磁気駆動マイクロツール１２は、移動方向に対して垂直な方向でガラス基板１３により挟まれた幅の狭い空間内に設けられており、垂直な方向への動きが制限されている。各磁気駆動マイクロツール１２の移動部２３は、力が作用しないとき、各固定部２４の中央に位置し、力が作用して任意の方向に移動した後、力が除かれたとき、各固定部２４の弾性により各固定部２４の中央に戻るようになっている。

[0038] 駆動機構１１は、１対から成り、各磁気駆動マイクロツール１２に対応してガラス基板１３の下部に設けられ、対応する磁気駆動マイクロツール１２を駆動可能になっている。駆動機構１１は、針状部材２３ｂの尖端２３ｃが狭路部１４ａに向かって互いにすれ違って突出するよう、各磁気駆動マイクロツール１２の移動部２３を移動可能になっている。これにより、図６に示すように、マイクロデバイス１０は、狭路部１４ａに微粒子１が流れてきたとき、針状部材２３ｂの針状の尖端２３ｃで微粒子１を２つに分割するよう構成されている。

[0039] 次に、作用について説明する。

マイクロデバイス１０は、駆動機構１１により磁気駆動マイクロツール１２を駆動するため、磁気駆動マイクロツール１２の動きを正確に制御することができる。また、より小さいエネルギーで磁気駆動マイクロツール１２を駆動することもできる。磁気駆動マイクロツール１２が移動方向に対して垂

直な方向への動きが制限されているため、駆動機構１１により磁気駆動マイクロツール１２を振動させても、磁気駆動マイクロツール１２を移動方向に沿って安定して駆動することができる。

[0040] 図７に示すように、マイクロデバイス１０では、狭路部１４ａを流れる微粒子１が高さ方向に潰れた状態で変形して移動するため、微粒子１の厚みを薄くして微粒子１の内部を観察しやすくすることができる。また、これにより、微粒子１の内部を観察しながら、微粒子１を２つに分割することができる。図７に示す一例では、微粒子１の卵子が狭路部１４ａを流れるとき、変形して潰れた卵子内に核が明瞭に観察できるため、核が存在する部分と核が存在しない部分とに正確に分割することができ、卵子の除核処理を行うことができる。また、光学的手段を有する検出装置などにより、狭路部１４ａの微粒子１を画像処理することにより、微粒子１の位置や微粒子１内の核の位置を自動で検出し、それに基づいて駆動機構１１で磁気駆動マイクロツール１２を駆動して微粒子１を分割することができ、除核処理の自動化を図ることができる。処理の自動化により、処理速度、処理効率および処理精度の向上、作業者の技能に左右されない処理の均一化を図ることができる。

[0041] 図８に、駆動機構１１により、磁気駆動マイクロツール１２の移動部２３に、基台２３ａの表面に平行な平面に沿って所定の方向に一定の力を作用させたときの、その平面に沿った移動部２３の移動量を調べた結果を示す。図８に示すように、同じ大きさの力に対する移動部２３の移動量は、全ての方向で誤差２％以内に収まっており、ほぼ等方的であることが確認された。このため、マイクロデバイス１０は、駆動機構１１による移動部２３の移動量の制御を正確かつ容易に行うことができ、磁気駆動マイクロツール１２を操作しやすいといえる。また、移動部２３を一方向だけでなく、平面内の任意の方向に移動させることができ、磁気駆動マイクロツール１２の操作の自由度を高めることができる。

[0042] なお、磁気駆動マイクロツール１２はリング状部を有し、磁力発生体２１の磁場の変化によりリング状部に誘導電流が流れ、磁力発生体２１と反発す

るよう構成されていてもよい。この場合、磁力発生体２１による誘導電流がリング状部に流れ、磁気駆動マイクロツール１２と磁力発生体２１とが反発するため、磁気駆動マイクロツール１２がそれを支えるガラス基板１３から浮き上がる。このため、磁気駆動マイクロツール１２とガラス基板１３との間に働く摩擦力を低減することができる。これにより、磁力発生体２１の動きや磁力に磁気駆動マイクロツール１２を容易に追従させることができ、磁力発生体２１により磁気駆動マイクロツール１２の動きを正確に制御することができる。

[0043] 駆動機構１１は、卵子の除核処理に限らず、微粒子１の分離、分類、加工、選択、処理等の磁気駆動マイクロツール１２を使用する様々な操作で使用可能である。また、マイクロデバイス１０は、卵子の除核処理を行うものに限らず、微粒子１の分離、分類、加工、選択、処理等の様々な操作を行うものから成っていてもよい。

符号の説明

[0044] １ 微粒子

１０ マイクロデバイス

１１ 駆動機構

１２ 磁気駆動マイクロツール

１３ ガラス基板

１４ 微小流路

１４ａ 狭路部

２１ 磁力発生体

２１ａ 突出部

２２ 薄膜

２３ 移動部

２３ａ 基台

２３ｂ 針状部材

２３ｃ 尖端

２３ｄ　反対端

２４　固定部

請求の範囲

[請求項1] 磁性を有する磁気駆動マイクロツールを駆動するための磁気駆動マイクロツールの駆動機構であって、

周期的に磁場を変化させて、前記磁気駆動マイクロツールに磁力を作用させるよう構成された磁力発生体を有することを、

特徴とする磁気駆動マイクロツールの駆動機構。

[請求項2] 前記磁力発生体は電磁石に交流電流を流して構成されることを、特徴とする請求項１記載の磁気駆動マイクロツールの駆動機構。

[請求項3] 前記電磁石は、芯の少なくとも一方の端部に、コイルの端部から突出して、前記芯の長さ方向に沿って筒状または柱状に形成された突出部を有することを、特徴とする請求項２記載の磁気駆動マイクロツールの駆動機構。

[請求項4] 前記磁力発生体と前記磁気駆動マイクロツールとの間に配置された、透磁率の大きい材質から成る薄膜を有することを、特徴とする請求項１、２または３記載の磁気駆動マイクロツールの駆動機構。

[請求項5] 微粒子を流す微小流路と、

少なくとも一部が前記微小流路内に配置された磁気駆動マイクロツールと、

前記磁気駆動マイクロツールを駆動可能に設けられた請求項１、２、３または４記載の磁気駆動マイクロツールの駆動機構とを有することを、

特徴とするマイクロデバイス。

[請求項6] 前記磁気駆動マイクロツールは、移動方向に対して垂直な方向への動きが制限されるよう、前記垂直な方向での幅が狭い空間内に設けられていることを、特徴とする請求項５記載のマイクロデバイス。

[請求項7] 前記微粒子は内部に核を有する細胞から成り、

前記微小流路は前記微粒子の大きさよりも高さまたは幅が狭い狭路部を有し、

前記微粒子が前記狭路部を通過するとき、光学的手段により変形した前記微粒子の核を検出するよう設けられた検出装置を有することを、

特徴とする請求項５または６記載のマイクロデバイス。

[請求項8] 前記磁気駆動マイクロツールは、所定の平面に沿って移動可能に設けられた磁性を有する移動部と、前記移動部を弾性的に固定する複数の固定部とを有し、前記駆動機構により前記移動部に前記平面に沿った力を作用させたとき、前記力の大きさに対する前記平面に沿った前記移動部の移動量が等方的であることを、特徴とする請求項５、６または７記載のマイクロデバイス。

[請求項9] 前記微小流路は前記微粒子の大きさよりも高さまたは幅が狭い狭路部を有し、

前記磁気駆動マイクロツールは１対から成り、互いに前記狭路部を挟んだ位置に配置され、前記移動部に前記狭路部に向かって互いに対向してまたはすれ違って突出するよう設けられた針状部材を有し、

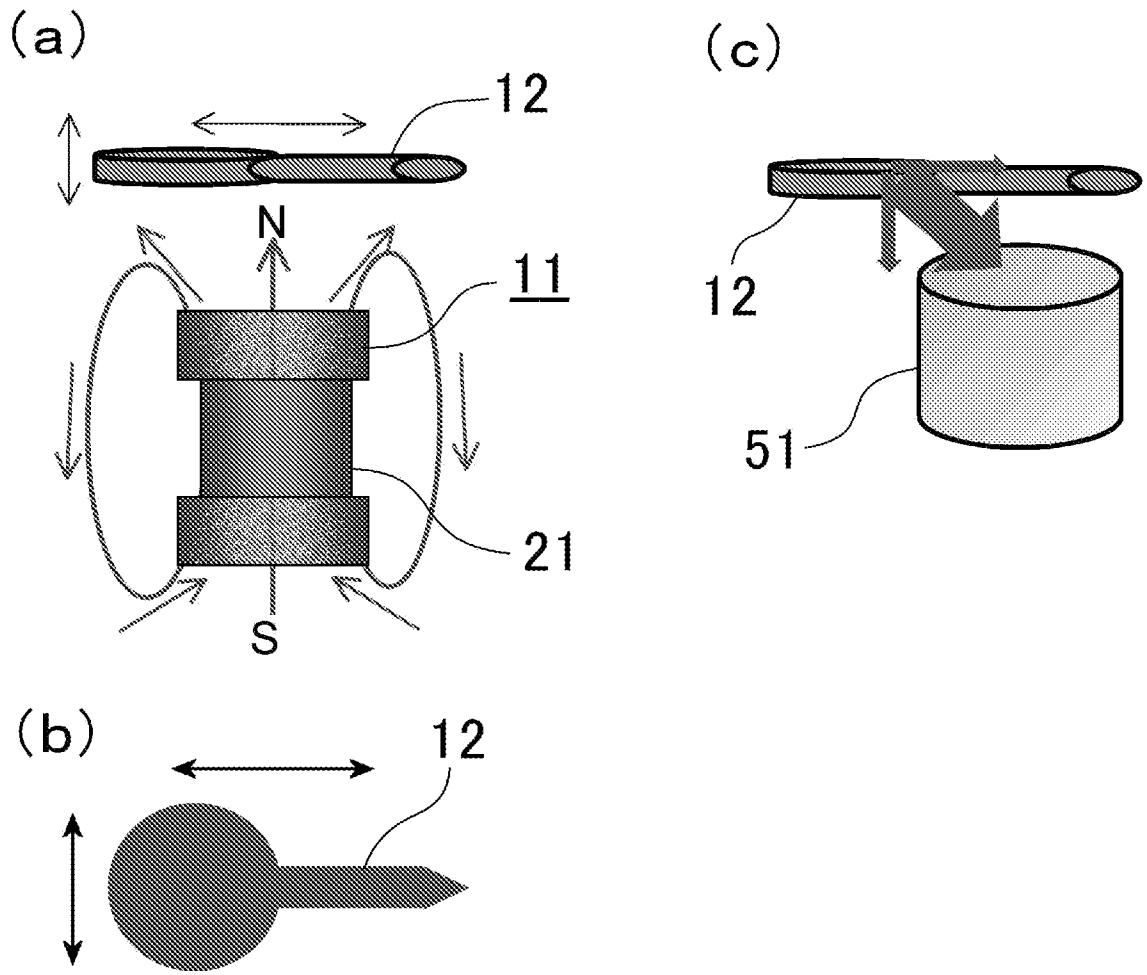
前記駆動機構は１対から成り、各磁気駆動マイクロツールに対応して設けられ、

前記狭路部に前記微粒子が流れてきたとき、各駆動機構により対応する磁気駆動マイクロツールの前記移動部を移動させて前記針状部材を突出させることにより、変形した前記微粒子を２つに分割するよう構成されていることを、

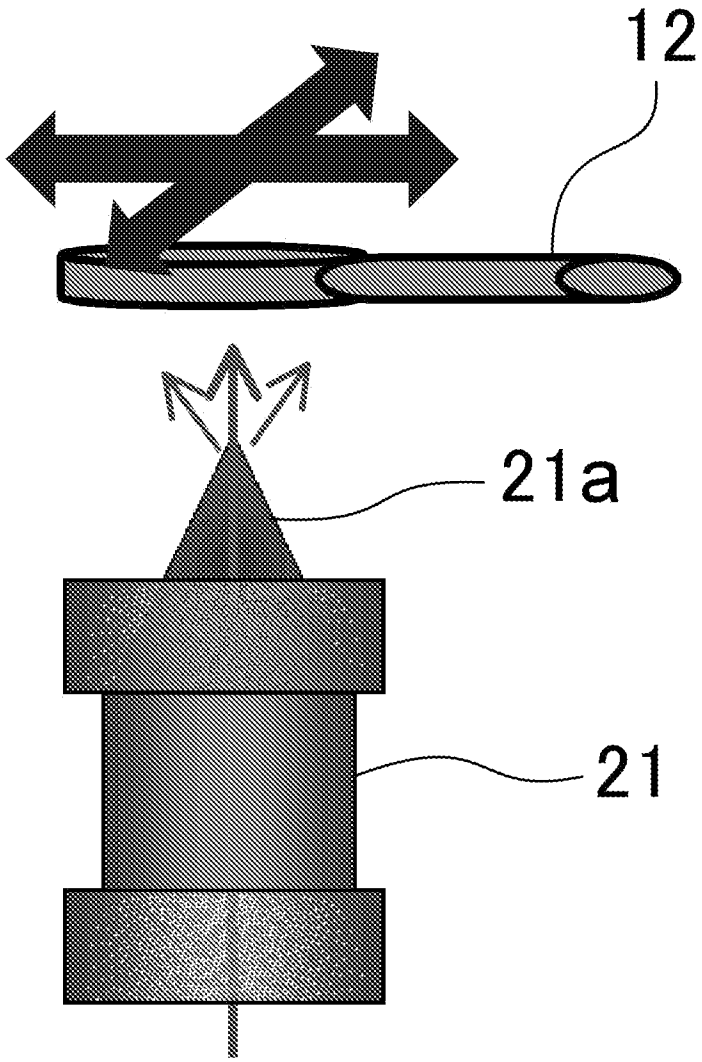
特徴とする請求項８記載のマイクロデバイス。

[請求項10] 前記磁気駆動マイクロツールはリング状部を有し、前記磁力発生体の磁場の変化により前記リング状部に誘導電流が流れ、前記磁力発生体と反発するよう構成されていることを、特徴とする請求項５、６、７、８または９記載のマイクロデバイス。

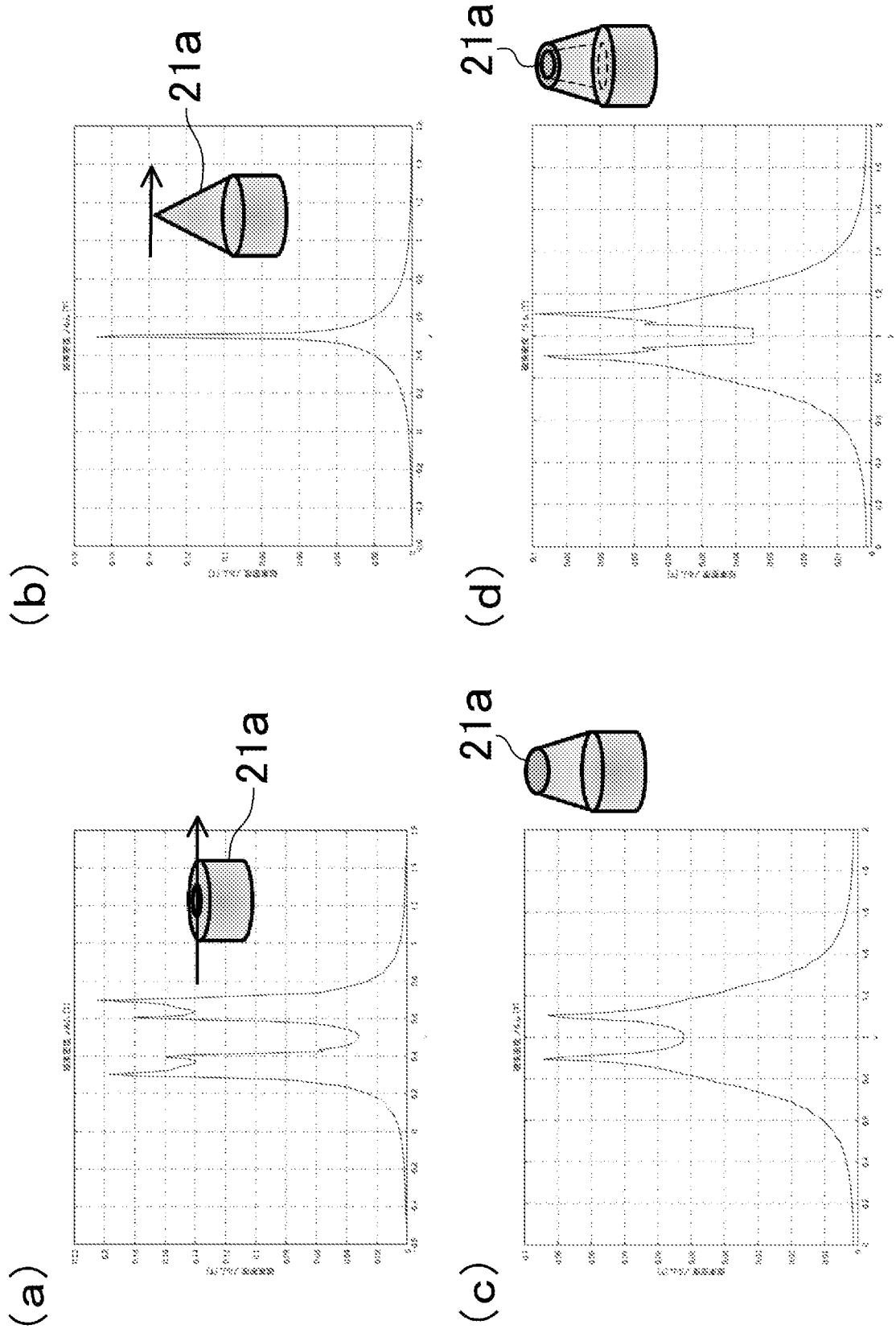
[図1]



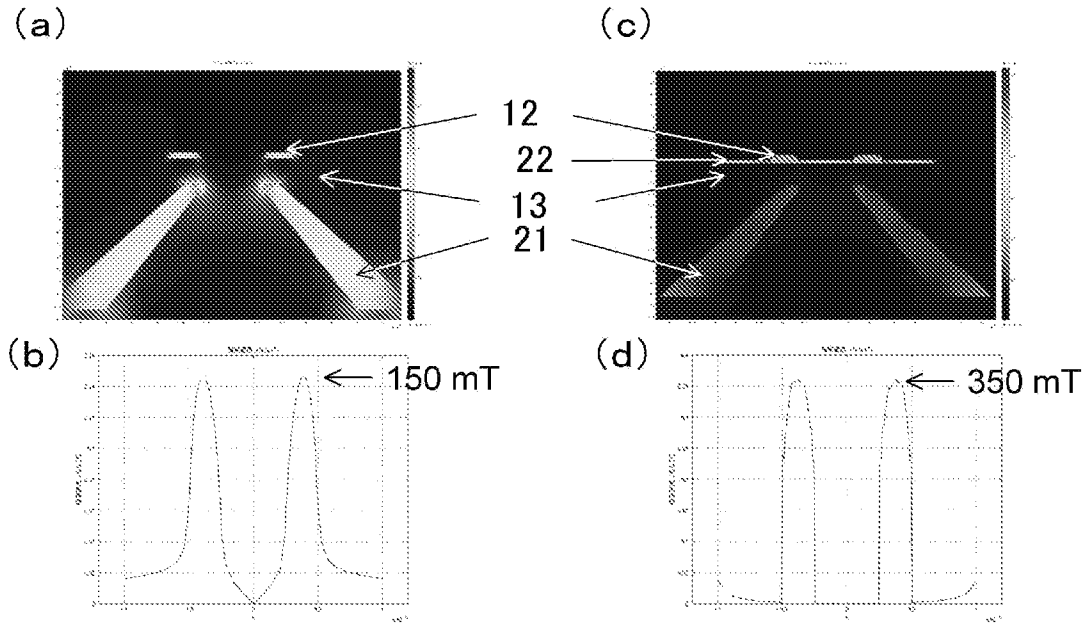
[図2]



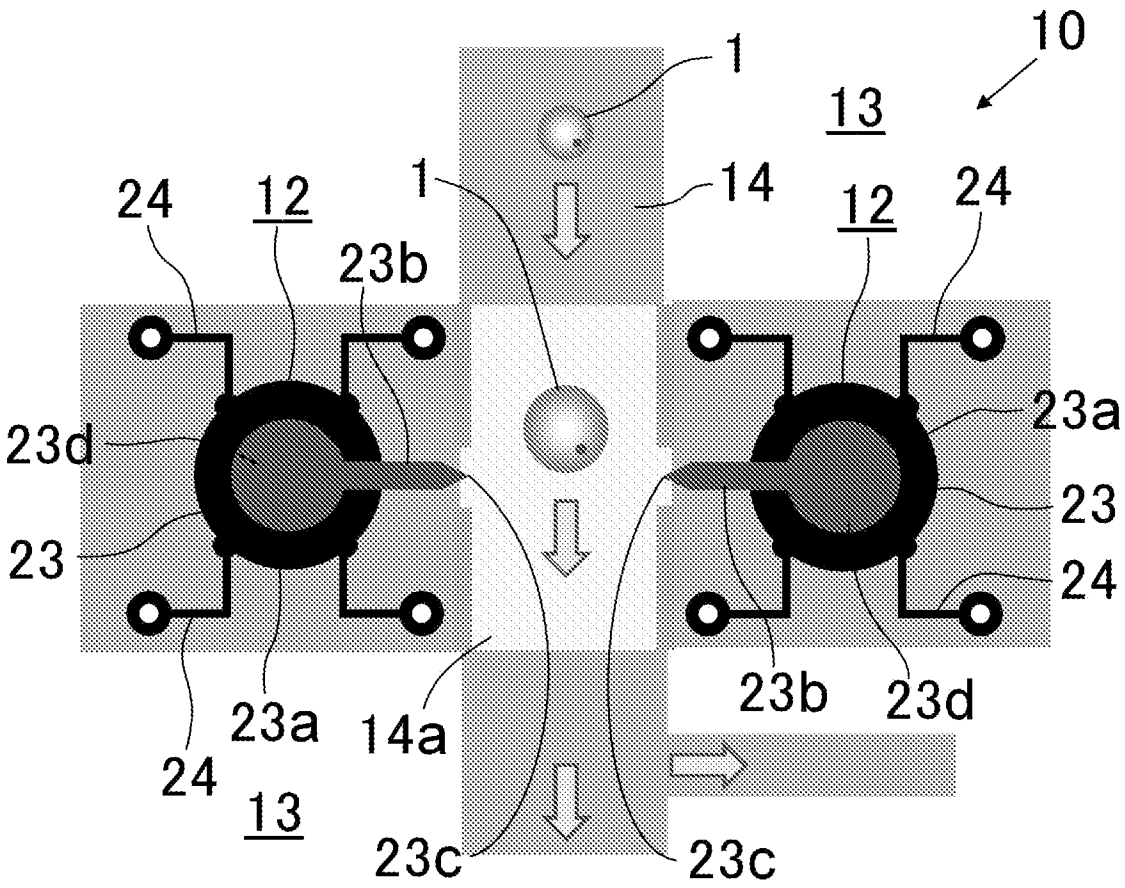
[図3]



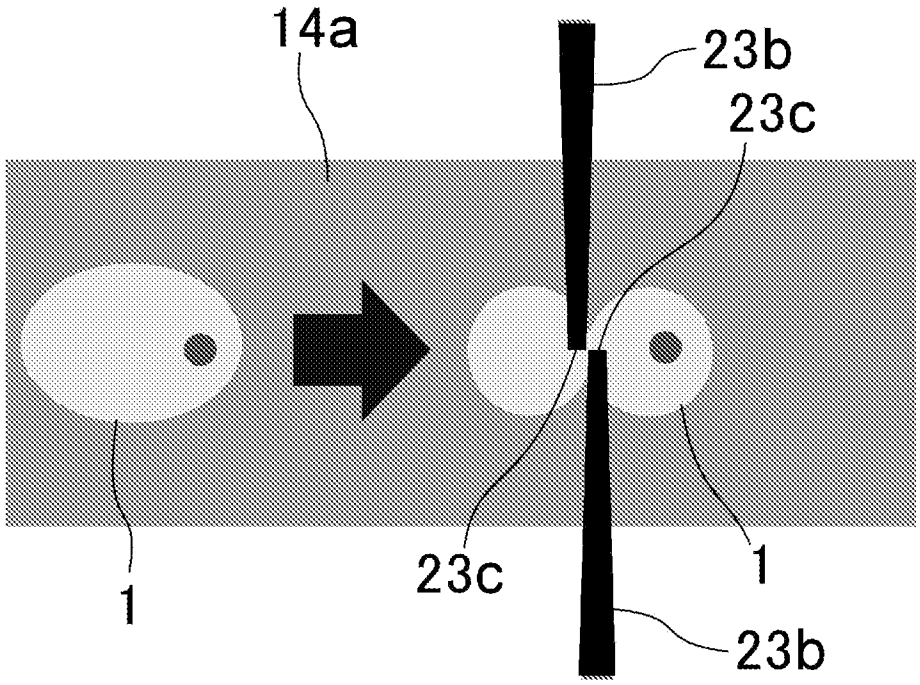
[図4]


(a)
(c)
12
22
13
21
(b)
150 mT
(d)
350 mT

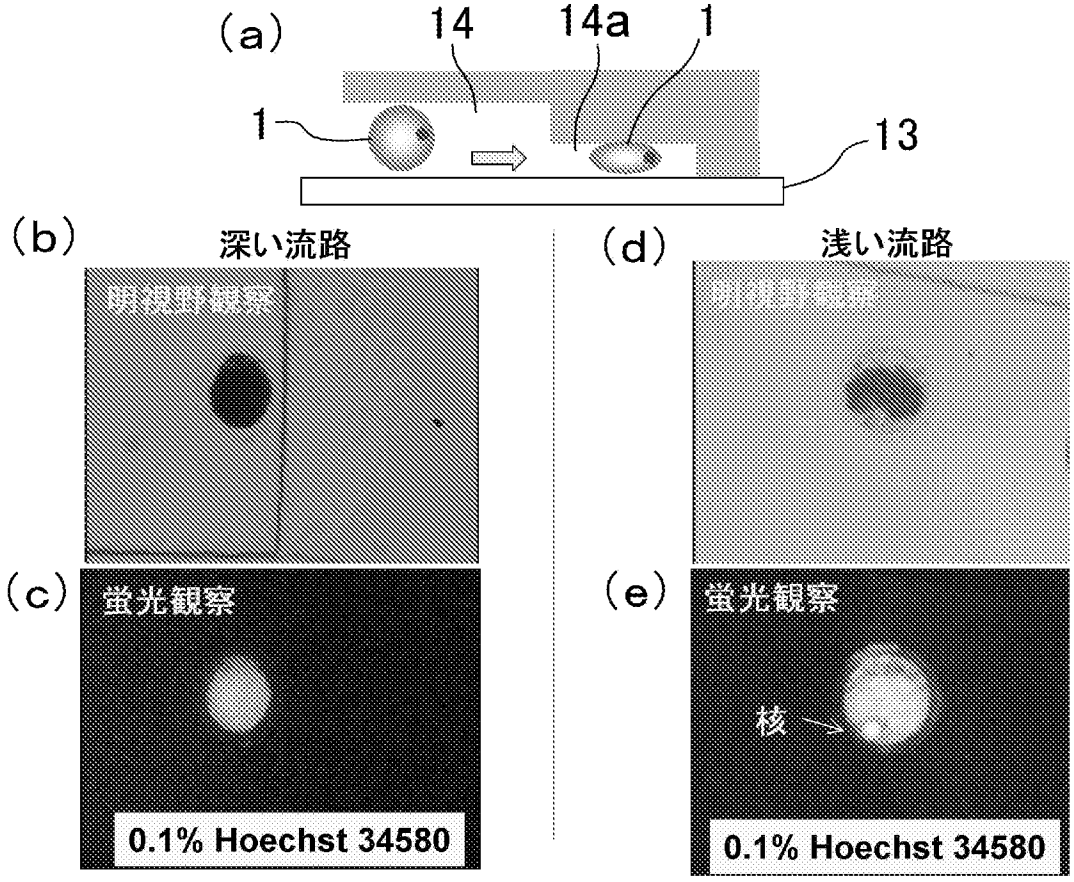
[図5]


10
1
13
1
14
24
12
23b
12
24
23d
23a
23
23
24
24
23a
14a
23b
23d
13
23c
23c

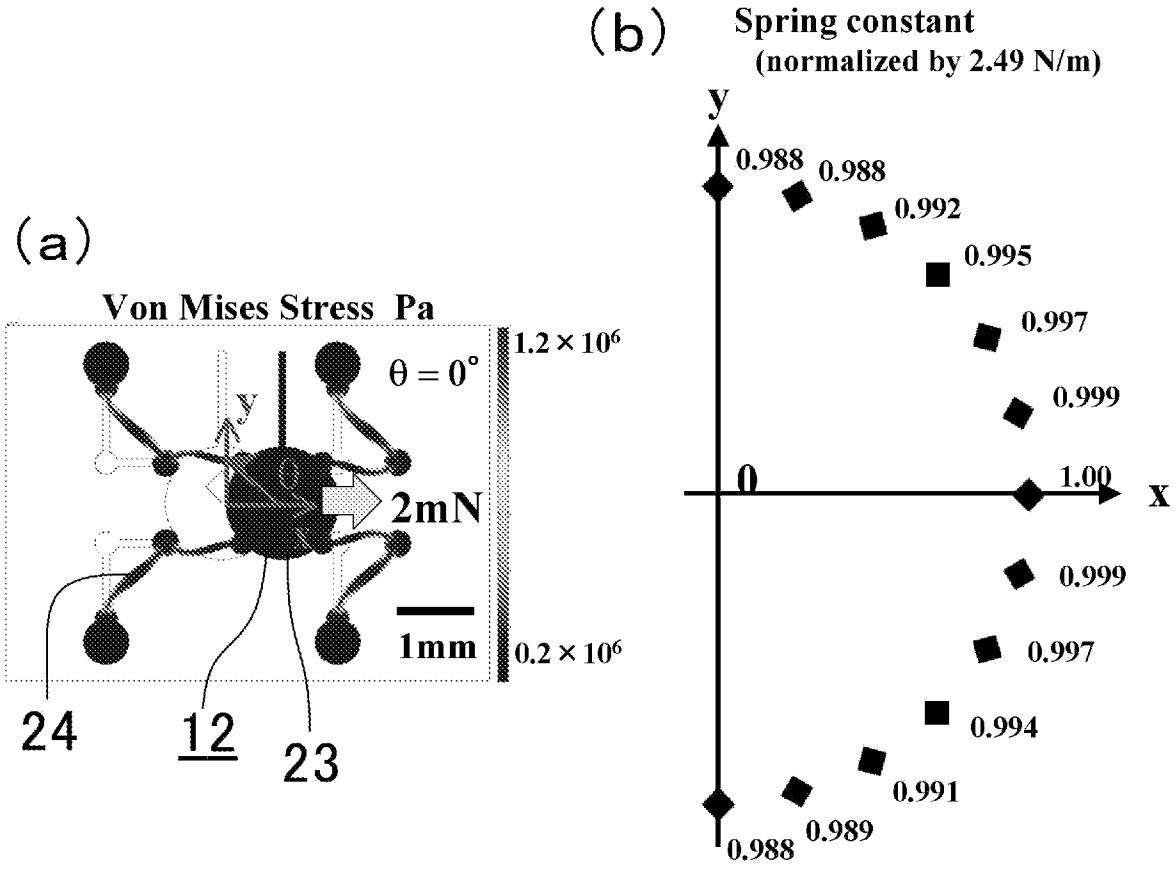
[図6]


14a
23b
23c
1
23c
1
23b

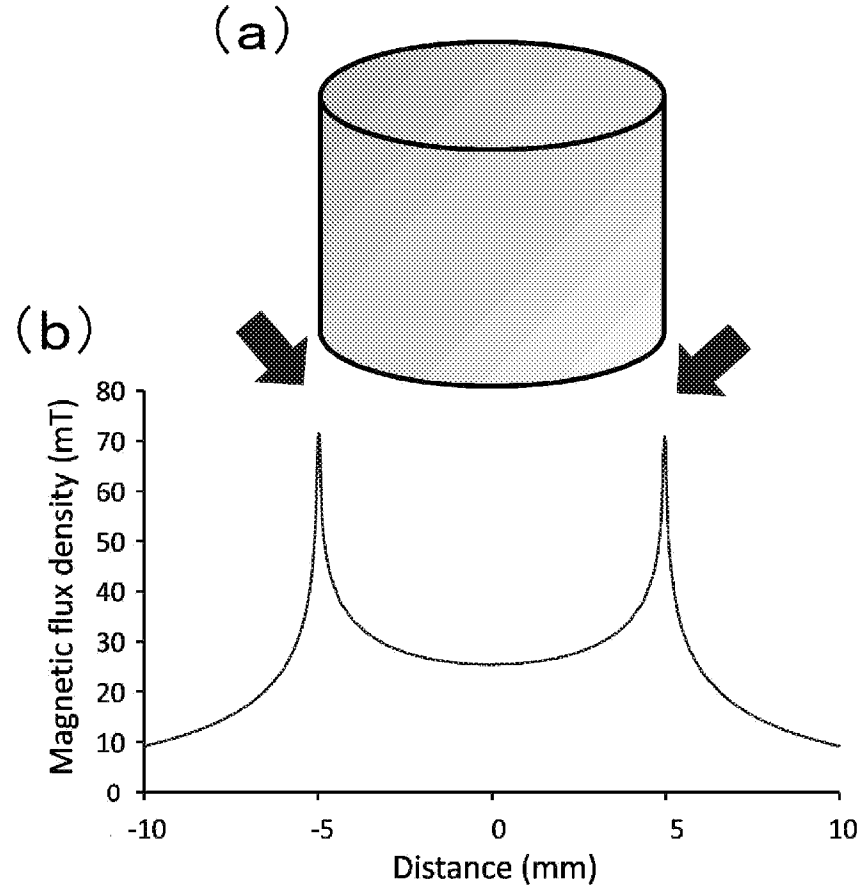
[図7]


(a)
14
14a
1
1
13
(b)
深い流路
(d)
浅い流路
明視野観察
(c)
蛍光観察
0.1% Hoechst 34580
(e)
蛍光観察
核
0.1% Hoechst 34580

[図8]


(a)
Von Mises Stress Pa
θ = 0°
2mN
1mm
1.2 × 10^6
0.2 × 10^6
24
12
23
(b)
Spring constant
(normalized by 2.49 N/m)
y
x
0
0.988
0.988
0.992
0.995
0.997
0.999
1.00
0.999
0.997
0.994
0.991
0.989
0.988

[図9]


(a)
(b)
Magnetic flux density (mT)
80
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
-5
0
5
10
Distance (mm)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2010/062265

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
C12M1/00(2006.01)i, *B01J19/00*(2006.01)i, *B81B5/00*(2006.01)i, *C12M1/34*(2006.01)i, *C12N5/10*(2006.01)i, *G01N15/14*(2006.01)i, *G01N37/00*(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
C12M1/00, B01J19/00, B81B5/00, C12M1/34, C12N5/10, G01N15/14, G01N37/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
CA/BIOSIS/MEDLINE/WPIDS(STN), JSTPlus(JDreamII), PubMed

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X/Y/A	Yoko YAMANISHI et al., "Sorting of Micro-particles using Magnetically Driven Micro-tools", Journal of the Robotics Society of Japan, 15 April 2009 (15.04.2009), vol.27, no.3, pages 307 to 313, entire text	1,2,4-6,8,10 /7,9/3
X/Y/A	JP 2006-325429 A (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology), 07 December 2006 (07.12.2006), entire text (Family: none)	1,2,4-7,9/8, 10/3
A	JP 2008-148677 A (Fumihito ARAI), 03 July 2008 (03.07.2008), entire text (Family: none)	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

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

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
29 September, 2010 (29.09.10)	12 October, 2010 (12.10.10)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１０／０６２２６５

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　C12M1/00(2006.01)i, B01J19/00(2006.01)i, B81B5/00(2006.01)i, C12M1/34(2006.01)i, C12N5/10(2006.01)i, G01N15/14(2006.01)i, G01N37/00(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　C12M1/00, B01J19/00, B81B5/00, C12M1/34, C12N5/10, G01N15/14, G01N37/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１０年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１０年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１０年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

CA/BIOSIS/MEDLINE/WPIDS(STN), JSTPlus(JDreamII), PubMed

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X/ Y/ A	山西陽子, et al., 磁気マイクロツールによる微粒子のソーティング, 日本ロボット学会誌, 2009.04.15, Vol.27, No.3, p.307-313 全文	1, 2, 4-6, 8, 10/ 7, 9/ 3
X/ Y/ A	JP 2006-325429 A (独立行政法人産業技術総合研究所) 2006.12.07, 全文 （ファミリーなし）	1, 2, 4-7, 9/ 8, 10/ 3

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 ２９．０９．２０１０	国際調査報告の発送日 １２．１０．２０１０
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 郵便番号１００－８９１５ 東京都千代田区霞が関三丁目４番３号	特許庁審査官（権限のある職員）　４Ｂ　３９６３ 福澤　洋光 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３４４８

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	JP 2008-148677 A (新井史人) 2008.07.03, 全文 （ファミリーなし）	1-10