RZECZPOSPOLITA POLSKA

(12) TŁUMACZENIE PATENTU EUROPEJSKIEGO

(19) PL

(11) **PL/EP 3669982**

Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej

(13) T3

(51) Int.Cl.
B01L 3/00 (2006.01)

(96) Data i numer zgłoszenia patentu europejskiego:
21.12.2018 18215771.9

(97) O udzieleniu patentu europejskiego ogłoszono:
02.02.2022 Europejski Biuletyn Patentowy 2022/05
EP 3669982 B1

(54) Tytuł wynalazku:

Urządzenie mikroprzepływowe, urządzenie i sposób wzbogacania i rozcieńczania magnetycznych jednostek cząsteczkowych

(30) Pierwszeństwo:

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

24.06.2020 w Europejskim Biuletynie Patentowym nr 2020/26

(45) O złożeniu tłumaczenia patentu ogłoszono:

11.07.2022 Wiadomości Urzędu Patentowego 2022/28

(73) Uprawniony z patentu:

Helmholtz-Zentrum Dresden - Rossendorf e.V., Dresden, DE
AGH University of Science and Technology, Kraków, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:

GERD MUTSCHKE, Dresden, DE
XUEGENG YANG, Dresden, DE
PIOTR ŻABIŃSKI, Kraków, PL
MAREK WOJNICKI, Kraków, PL
KAROLINA KOŁCZYK, Koniecpol, PL
MAGDALENA LUTY-BŁOCHO, Mogilany, PL

(74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Rafał Witek
WTS RZECZNICY PATENTOWI
WITEK, ŚNIEŻKO I PARTNERZY
ul. R. Weigla 12
53-114 Wrocław

PL/EP 3669982 T3

Uwaga:

W ciągu dziewięciu miesięcy od publikacji informacji o udzieleniu patentu europejskiego, każda osoba może wnieść do Europejskiego Urzędu Patentowego sprzeciw dotyczący udzielonego patentu europejskiego. Sprzeciw wnosi się w formie uzasadnionego na piśmie oświadczenia. Uważa się go za wniesiony dopiero z chwilą wniesienia opłaty za sprzeciw (Art. 99 (1) Konwencji o udzielaniu patentów europejskich).

Opis

DZIEDZINA TECHNIKI

[0001] Niniejsze przykłady wykonania dotyczą sposobu wzbogacania i/lub rozcieńczania magnetycznych jednostek cząsteczkowych, takich jak jony i cząsteczki w cieczy, urządzenia do wzbogacania i rozcieńczania magnetycznych jednostek cząsteczkowych oraz urządzenia mikroprzepływowego, które można wykorzystać do oddzielania magnetycznych jednostek cząsteczkowych.

STAN TECHNIKI

[0002] Różnicę w wielkości momentów magnetycznych różnych cząstek w cieczy można wykorzystać do oddzielenia różnych cząstek. Na przykład pod wpływem gradientu pola magnetycznego w niejednorodnym polu magnetycznym cząstki paramagnetyczne i ferromagnetyczne poruszają się w kierunku większego natężenia pola, a cząstki diamagnetyczne w kierunku mniejszego natężenia pola.

[0003] W dokumencie M. Puchivari i in., Separacja jonów metali przejściowych w niejednorodnym polu magnetycznym; Journal of Physical Chemistry B; 2001. 105(17): str. 3343-3345 opisuje się oddzielanie Fe^{3+}, Co^{2+}, Ni^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}, Ag^{+} i Cd^{2+}, przy czym jony żelaza, kobaltu, niklu i miedzi są przyciągane w kierunku środka pola.

[0004] W dokumencie J.H. Kang i J.-K. Park, Magnetoforowe ciągłe oczyszczanie jednościennych nanorurek węglowych z zanieczyszczeń katalitycznych w urządzeniu mikroprzepływowym. Small, 2007,3(10): str. 1784-1791 opisuje się mikroreaktor o strukturze niklu, który za pomocą siły magnetycznej napędza przemieszczanie się masy jednościennych nanorurek węglowych zawierających zanieczyszczenia w kanale mikroprzepływowym.

[0005] W dokumencie US 2011 / 0 117 577 A1 opisuje się układ mikroprzepływowy do wychwytywania i wykrywania jednostek biologicznych w próbce. Urządzenie mikroprzepływowe zawiera kanał mikroprzepływowy rozciągający się między wlotem a wylotem. Krążące komórki nowotworowe (CTC, ang. *circulating tumor cells*), które są oznakowane lub pokryte elementami magnetycznymi, są magnetycznie izolowane i zatrzymywane w części mikroprzepływowego kanału utworzonej w obszarze wychwytywania magnetycznego. Magnes w pierwszym położeniu wytwarza pole magnetyczne do wychwytywania krążących komórek nowotworowych w obszarze wychwytywania magnetycznego. W drugim położeniu magnes uwalnia krążące komórki nowotworowe w celu zgromadzenia i wykrywania krążących komórek nowotworowych. W obszarze wychwytywania magnetycznego kanał mikroprzepływowy zawiera część w kształcie spirali z pierwszą częścią zwiniętą do wewnątrz w pierwszym kierunku obrotowym i z drugą częścią wywiniętą na zewnątrz w drugim kierunku obrotowym.

[0006] Celem niniejszych przykładów wykonania jest zapewnienie sposobu i urządzenia ułatwiających oddzielanie magnetycznych jednostek cząsteczkowych, takich jak cząsteczki, jony i atomy w sposób opłacalny.

KRÓTKI OPIS FIGUR RYSUNKU

[0007] Cel ten osiągnięto za pomocą przedmiotu niezależnych zastrzeżeń patentowych. Zależne zastrzeżenia patentowe dotyczą dalszych przykładów wykonania.

[0008] Załączone figury rysunku mają na celu lepsze zrozumienie przykładów wykonania oraz są włączone i stanowią część niniejszego opisu. Na figurach rysunku przedstawiono przykłady wykonania urządzenia mikroprzepływowego, urządzenia do oddzielania oraz sposób wzbogacania/rozcieńczania cząstek magnetycznych i razem z opisem służą wyjaśnieniu zasad przykładów wykonania. Dalsze przykłady wykonania są opisane w poniższym szczegółowym opisie i zastrzeżeniach patentowych.

Na fig. 1A-1C przedstawiono dwa poziome i pionowy przekrojowy widok urządzenia mikroprzepływowego z kanałem płynowym zawierającym płaską część spiralną i ferromagnetyczną konstrukcję pomocniczą utworzoną w płaszczyźnie równoległej do płaskiego odcinka spiralnego.

Na fig. 2A-2B przedstawiono szczegóły schematycznych pionowych widoków przekrojowych urządzeń mikroprzepływowych rozmieszczonych w zewnętrznym polu magnetycznym według przykładów wykonania.

Na fig. 3A przedstawiono schemat pola magnetycznego w oraz w pobliżu kanału płynowego urządzenia mikroprzepływowego

fig. 2A w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku przepływu w celu omówienia skutków przykładów wykonania.

Na fig. 3B przedstawiono schemat pola magnetycznego w oraz w pobliżu kanału płynowego urządzenia mikroprzepływowego z fig. 2B w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku przepływu w celu omówienia skutków przykładów wykonania.

Na fig. 4 przedstawiono wykres natężenia pola magnetycznego wzdłuż pionowej średnicy kanałów przepływowych z fig. 2A i fig. 2B w zależności od odległości do konstrukcji pomocniczej w celu omówienia skutków przykładów wykonania.

Na fig. 5A-5C przedstawiono schematyczne pionowe widoki przekrojowe urządzeń mikroprzepływowych z konstrukcjami pomocniczymi według innych przykładów wykonania.

Na fig. 6A-6B przedstawiono schematyczny widok z góry i schematyczny widok przekrojowy innego urządzenia mikroprzepływowego według przykładu wykonania z konstrukcją pomocniczą zawierającą spiralną część z uzwojeniami przeplatanymi bocznie z uzwojeniami płaskiej części spiralnej kanału płynowego.

Na fig. 7A-7C przedstawiono widok z góry i dwa widoki przekrojowe urządzenia mikroprzepływowego według kolejnego przykładu wykonania.

Na fig. 8 przedstawiono schemat blokowy urządzenia oddzielającego według kolejnego przykładu wykonania.

SZCZEGÓŁOWY OPIS

[0009] W poniższym szczegółowym opisie nawiązuje się do załączonych figur rysunku, które stanowią jego część i na których pokazano za pomocą ilustracji określone przykłady wykonania, gdzie można zrealizować przykłady wykonania.

[0010] Figury rysunku nie są wyskalowane i służą jedynie do celów ilustracyjnych. Odpowiednie elementy są oznaczone tymi samymi odnośnikami na różnych figurach, o ile nie zaznaczono inaczej.

[0011] Określenia “mający”, “zawierający”, “obejmujący” i tym podobne są otwarte i wskazują na obecność określonych konstrukcji, elementów lub cech, ale nie wykluczają obecności dodatkowych elementów lub cech. Przedimki nieokreślone i określone obejmują zarówno liczbę mnogą, jak i pojedynczą, chyba że kontekst wyraźnie wskazuje inaczej.

[0012] Określenie “na” nie powinno być rozumiane jako oznaczające tylko „bezpośrednio na”. Zamiast tego, jeśli pierwszy element jest umieszczony “na” drugim elemencie, trzeci element może być umieszczony między pierwszym a drugim elementem.

[0013] Jednostka cząsteczkowa jest dowolnym fizycznie lub izotopowo odrębnym atomem, cząsteczką, jonem, rodnikiem, układem itp., identyfikowalnym jako odrębnie rozróżnialna jednostka.

[0014] Według wynalazku urządzenie mikroprzepływowe zawiera podłoże i ferromagnetyczną konstrukcję pomocniczą. Podłożem może być cienka płytka lub może ono zawierać cienką płytkę z dwoma równoległymi powierzchniami głównymi, przy czym płytka może zawierać lub składać się z krzemu, szkła, ceramiki współwypalanej niskotemperaturowo (LTCC, ang. *low-temperature cofired ceramics*) lub polimerów, np. PDMS (polidimetylosiloksan), TPE (poliester termoutwardzalny) lub polimerów termoplastycznych. Podłoże może być oparte na płytce jednoczęściowej lub może być utworzone przez ułożenie w stos i sklejenie dwóch lub więcej części płytkopodobnych.

[0015] Podłoże obejmuje kanał płynowy, który rozciąga się od otworu wlotowego do odgałęzienia kanału, przy czym na odgałęzieniu kanału kanał płynowy rozgałęzia się na dwa kanały wylotowe, tworząc kształt litery Y z kanałem płynowym.

[0016] Kanał płynowy zawiera płaską część spiralną, która nawija się w stale rosnącej odległości wokół punktu środkowego. Innymi słowy, oś przepływu cieczy procesowej, która wpływa do kanału płynowego przez otwór wlotowy i przepływa przez kanał płynowy, owija się wokół punktu środkowego części spiralnej w płaszczyźnie poziomej. Płaszczyzna pozioma może być równoległa do co najmniej jednej głównej powierzchni podłoża. Otwór wlotowy może znajdować się bliżej środka części spiralnej niż odgałęzienie kanału, tak że ciecz procesowa może płynąć na zewnątrz w kierunku dolnej krzywizny części spiralnej.

[0017] Obszar przekrojowy części spiralnej prostopadły do osi przepływu może być jednolity lub może odbiegać od środkowego obszaru przekrojowego o nie więcej niż 10% środkowego obszaru przekrojowego. Obszar przekrojowy może być prostokątny z zaokrąglonymi rogami lub owalny, przy czym dłuższa oś obszaru przekrojowego może być prostopadła lub równoległa do płaszczyzny poziomej. Obszar przekrojowy kanału płynowego jest taki, że przepływ cieczy procesowej zawierającej magnetyczne jednostki cząsteczkowe jest głównie warstwowy. Innymi słowy, całkowity przepływu przez kanał płynowy obejmuje wiele częściowych przepływów, które mieszają się co najwyżej w nieistotnym stopniu.

[0018] Urządzenie mikroprzepływowe zawiera ponadto ferromagnetyczną konstrukcję pomocniczą, która jest utworzona w płaszczyźnie równoległej do płaskiej części spiralnej. Odległość między częścią spiralną a konstrukcją pomocniczą może wynosić co najwyżej 2 mm, co najwyżej 1 mm lub co najwyżej 0,6 mm. Na przykład, konstrukcja pomocnicza może być w bezpośredniej styczności z kanałem płynowym i może tworzyć część wewnętrznej powierzchni kanału płynowego.

[0019] Ferromagnetyczna konstrukcja pomocnicza może rozciągać się bocznie przez co najmniej główną część konturu części spiralnej lub przez cały kontur części spiralnej, przy czym kontur części spiralnej jest obszarem w obrębie zewnętrznej krawędzi najbardziej zewnętrznego uzwojenia.

[0020] Materiały ferromagnetyczne wykazują stały moment magnetyczny przy braku zewnętrznego pola magnetycznego. Konstrukcja pomocnicza może zawierać podstawowy materiał ferromagnetyczny, taki jak kobalt (Co), żelazo (Fe) i nikiel (Ni), może zawierać lub składać się ze stopu Heuslera lub innego związku ferromagnetycznego.

[0021] Ciecz procesowa zawierająca magnetyczne jednostki cząsteczkowe może być doprowadzana przez otwór wlotowy do kanału płynowego i płynąć na zewnątrz w kierunku odgałęzienia kanału. Magnetyczne jednostki cząsteczkowe mogą obejmować np. cząsteczki magnetyczne, atomy i/lub jony metali ziem rzadkich, np. metali z grupy lantanowców, takich jak jony holmu (III) i metali żelaznych.

[0022] W przypadku urządzenia mikroprzepływowego umieszczonego w zewnętrznym polu magnetycznym, ferromagnetyczna konstrukcja pomocnicza miejscowo zniekształca zewnętrzne pole magnetyczne w bliskim sąsiedztwie kanału płynowego. Powstałe zniekształcenie pola jest dodatnim gradientem, który wywiera siłę na magnetyczne jednostki cząsteczkowe w cieczy procesowej przepływającej przez kanał płynowy. W kanale płynowym, stosunkowo silny gradient pola magnetycznego jest ustawiony prostopadle do osi przepływu cieczy wzdłuż co najmniej 80% lub wzdłuż całej części spiralnej.

[0023] Gdy konstrukcja pomocnicza miejscowo zniekształca zewnętrzne pole magnetyczne, gradient pola w kanale płynowym może być stosunkowo silny, nawet jeśli przyłożone pole magnetyczne jest wysoce jednorodne. Na przykład, zmiana natężenia pola magnetycznego wzdłuż pionowego rozszerzenia kanału płynowego może wynosić co najmniej 30%, np. co najmniej 50% natężenia pola zewnętrznego pola magnetycznego. W obrębie kanału płynowego, w szczególności w obrębie płaskiej części spiralnej, cząsteczki paramagnetyczne, jony i/lub atomy przemieszczają się w kierunku większego natężenia pola magnetycznego, podczas gdy jony diamagnetyczne przemieszczają się w kierunku mniejszego natężenia pola magnetycznego.

[0024] Silnie warstwowy przepływ wzdłuż osi przepływu powoduje, że po przemieszczeniu się jonu magnetycznego wzdłuż gradientu pola magnetycznego, jon nie przemieszcza się lub przemieszcza się tylko w nieznacznym stopniu w przeciwnym kierunku w wyniku turbulencji. Innymi słowy, współprzepływające części całkowitego przepływu przez kanał płynowy nie mieszają się. Urządzenie mikroprzepływowe jest ponadto skonstruowane tak, że efekt oddzielenia magnetycznego jest zmaksymalizowany pomimo utrzymującego się efektu dyfuzji molekularnej w kierunku prostopadłym i równoległym do przepływu.

[0025] Jony paramagnetyczne wzbogacają się w częściowym przepływie w połowie kanału płynowego zwróconej do ferromagnetycznej konstrukcji pomocniczej i rozpuszczają się w częściowym przepływie

w połowie kanału płynowego odwróconej od ferromagnetycznej konstrukcji pomocniczej. Jony diamagnetyczne wzbogacają się w częściowym przepływie w połowie kanału płynowego odwróconej od ferromagnetycznej konstrukcji pomocniczej i rozpuszczają się w częściowym przepływie w połowie kanału płynowego zwróconej do ferromagnetycznej konstrukcji pomocniczej.

[0026] Kanały wylotowe są rozmieszczone w taki sposób, że jeden z kanałów wylotowych gromadzi częściowy przepływ wzbogacony o jednostki cząsteczkowe przyciągane przez silniejsze pole magnetyczne i/lub rozpuszczony z jednostek cząsteczkowych przyciąganych przez słabsze pole magnetyczne i tak, że drugi z kanałów wylotowych gromadzi częściowy przepływ rozpuszczony z jednostek cząsteczkowych przyciąganych przez silniejsze pole magnetyczne i/lub wzbogacony o jednostki cząsteczkowe przyciągane przez słabsze pole magnetyczne.

[0027] Spiralna część kanału płynowego zapewnia stosunkowo długi kanał płynowy w danym obszarze i wykorzystuje zewnętrzne pole magnetyczne o wysokiej wydajności powierzchniowej. Część spiralna umożliwia bardzo wydajne zastosowanie urządzenia mikroprzepływowego w połączeniu z elektromagnesem lub magnesem trwałym o stosunkowo niewielkich rozmiarach. Poza wijącymi się kanałami płynowymi, w części spiralnej brakuje ostrych zagięć, które mogą wywoływać pewne turbulencje w kanale płynowym, przy czym turbulencja może ponownie mieszać do pewnego stopnia uprzednio wzbogacone i/lub rozpuszczone częściowe przepływy cieczy procesowej. Część spiralna jest skonstruowana tak, że w połączeniu z odpowiednim natężeniem przepływu zapobiega się ponownemu mieszaniu na maksymalnej długości przez wiry wywołane krzywizną.

[0028] Oś przepływu w płaskiej części spiralnej może być utworzona z równo i równomiernie oddalonymi uzwojeniami spiralnymi, przy czym począwszy od środka spirali i po jednym pełnym obrocie spirali, wzdłuż każdego pełnego uzwojenia spirali, odległość między sąsiednimi uzwojeniami spiralnymi pozostaje stała lub co najmniej w wysokim stopniu stała z odchyleniami najwyżej 10%, 5% lub 1% od średniej odległości między sąsiednimi uzwojeniami. Na przykład, płaska część spiralna może być lub może być zbliżona w dużym stopniu do spirali Archimedesa, przy czym spiralę osi przepływu cieczy można opisać w układzie współrzędnych biegunowych równaniem (1):

$$r = a + b \cdot \theta \tag{1}$$

gdzie r i θ są współrzędnymi biegunowymi, r=0 określa położenie środka spirali, a i b są liczbami rzeczywistymi. Spirala o jednakowej odległości między wszystkimi sąsiednimi uzwojeniami, np. spirala Archimedesa, może zapewnić wysoką wydajność powierzchniową przy jednorodnym odkształceniu pola magnetycznego wzdłuż osi przepływu.

[0029] Odległość między kanałami wylotowymi może stale rosnąć wraz ze wzrostem odległości do odgałęzienia kanału, przy czym częściowe przepływy mogą być od siebie oddzielone z dużą wydajnością.

[0030] Konstrukcja pomocnicza może być umieszczona tak, że kierunek narastającego pola magnetycznego jest równoległy do płaskiej części spiralnej. Następnie, począwszy od odgałęzienia kanału, odległość między kanałami wylotowymi może wzrastać wzdłuż kierunku poziomego, a kanały

wylotowe mogą być utworzone w płaszczyźnie płaskiej części spiralnej. Alternatywnie, konstrukcja pomocnicza może być umieszczona tak, że kierunek narastającego pola magnetycznego jest prostopadły do płaskiej części spiralnej. Następnie, począwszy od odgałęzienia kanału, odległość między kanałami wylotowymi wzrasta wzdłuż kierunku pionowego i kanały wylotowe mogą być utworzone w płaszczyźnie prostopadłej do płaskiej części spiralnej.

[0031] Kanały wylotowe mogą zawierać proste części kanału, które bezpośrednio przylegają do odgałęzienia kanału, przy czym kąt między sąsiednimi kanałami wylotowymi mieści się w zakresie od 20 stopni do 40 stopni, np. około 30 stopni, aby skutecznie oddzielić dwa częściowe przepływy. Odgałęzienie 270 kanału ma kształt litery Y.

[0032] Odległość między płaską częścią spiralną a konstrukcją pomocniczą może wynosić co najwyżej 2 mm, na przykład co najwyżej 1 mm lub co najwyżej 0,6 mm, tak że zniekształcenie pola spowodowane przez konstrukcję pomocniczą wytwarza stosunkowo silny gradient pola magnetycznego w kanale płynowym. Silniejszy gradient pola magnetycznego w kanale płynowym zwiększa skuteczność oddzielenia magnetycznego.

[0033] Konstrukcja pomocnicza może być utworzona w kierunku prostopadłym do części spiralnej, innymi słowy “powyżej” lub „poniżej” części spiralnej. W szczególności, konstrukcja pomocnicza jest utworzona całkowicie “powyżej” lub „poniżej” części spiralnej. Konstrukcja pomocnicza utworzona powyżej lub poniżej części spiralnej zapewnia małą odległość między sąsiednimi uzwojeniami części spiralnej, tak że można zwiększyć całkowitą długość części spiralnej w danym obszarze podłoża. Ponadto, konstrukcja pomocnicza może być zapewniona w sposób oszczędny, poprzez związanie lub przyklejenie konstrukcji pomocniczej do jednej z głównych powierzchni podłoża.

[0034] Alternatywnie, część lub cała konstrukcja pomocnicza może być utworzona w płaszczyźnie części spiralnej. Na przykład, konstrukcja pomocnicza może zawierać płaską część spiralną z uzwojeniami części spiralnej przeplatanymi z uzwojeniami części spiralnej kanału płynowego.

[0035] Na przykład, konstrukcja pomocnicza może być płaską płytką przymocowaną, np. związaną, do płaskiej głównej powierzchni podłoża.

[0036] Konstrukcja pomocnicza może zawierać płaską część spiralną, przy czym promień płaskiej części spiralnej konstrukcji pomocniczej i promień płaskiej części spiralnej kanału płynowego wykazują tę samą zależność kątową. Innymi słowy, za pomocą tego samego równania matematycznego o tych samych współczynnikach opisuje się oś przepływu kanału płynowego oraz zakrzywioną oś podłużną części spiralnej konstrukcji pomocniczej.

[0037] Konstrukcja pomocnicza może zawierać wyłącznie część spiralną lub może ponadto zawierać korpus główny, przy czym część spiralna jest utworzona lub zamontowana na płaskiej powierzchni korpusu głównego. Część spiralna konstrukcji pomocniczej może być utworzona bezpośrednio powyżej lub poniżej spiralnej części kanału płynowego, przy czym część spiralna może skutecznie zwiększać pole magnetyczne w kanale płynowym co najmniej wzdłuż całej części spiralnej.

[0038] Promień krzywizny części spiralnej skierowanej do kanału płynowego może być równy lub mniejszy niż promień krzywizny części spiralnej po stronie skierowanej do konstrukcji pomocniczej.

[0039] Część spiralna może być konstrukcją ciągłą o jednolitym obszarze przekrojowym wzdłuż zakrzywionej podłużnej osi części spiralnej. Ciągła część spiralna może być utworzona w sposób

oszczędny, na przykład przez zagięcie drutu lub przez formowanie i może zapewniać jednorodny gradient pola magnetycznego na całej długości spiralnej części kanału płynowego. W przypadku konstrukcji pomocniczej utworzonej przez zagięcie drutu, średnica drutu może być równa lub mniejsza niż średnica kanału płynowego.

[0040] Alternatywnie, część spiralna może zawierać wiele występów rozmieszczonych wzdłuż linii spiralnej.

[0041] Rowek może rozciągać się od jednej z głównych powierzchni podłoża do podłoża. Rowek może zawierać płaską część spiralną równoległą do spiralnej części kanału płynowego. Co najmniej część konstrukcji pomocniczej może być umieszczona w rowku. Rowek może być utworzony w taki sam sposób, jak kanał płynowy, np. przez wytrawianie, formowanie lub frezowanie. Rowek ułatwia proste wyrównanie spiralnej części konstrukcji pomocniczej i spiralnej części kanału płynowego oraz zapewnia małą odległość między konstrukcją pomocniczą a kanałem płynowym mniejszą niż 2 mm, np. mniejszą niż 1 mm przy niewielkim negatywnym wpływie na stabilność mechaniczną podłoża.

[0042] Według przykładu wykonania rowek może odsłaniać kanał płynowy, a konstrukcja pomocnicza może tworzyć część wewnętrznej powierzchni kanału płynowego.

[0043] Podłoże może zawierać jeden pojedynczy rowek ze spiralnym odcinkiem na jednej z głównych powierzchni lub może zawierać rowki na obu głównych powierzchniach podłoża.

[0044] Obszar przekrojowy kanału płynowego prostopadły do osi przepływu cieczy może być okręgiem.

[0045] alternatywnie, obszar przekrojowy może być prostokątny z zaokrąglonymi rogami lub może być owalny, przy czym większe z dwóch prostopadłych przedłużeń obszaru przekrojowego może być równoległe lub prostopadłe do płaskiej części spiralnej.

[0046] Średnica okrągłego obszaru przekrojowego kanału płynowego może mieścić się w zakresie od 100 μm do 1 mm. W przypadku średnic poniżej 100 μm może wystąpić znaczny spadek ciśnienia wzdłuż kierunku przepływu cieczy procesowej, która zawiera roztwór wodny zawierający jony pierwiastków ziem rzadkich i która przepływa przez kanał płynowy z prędkością przepływu 3ml/h. W przypadku średnic większych niż 1 mm przy tej samej prędkości przepływu przepływ może stać się bardziej wzburzony. Turbulencje ponownie mieszają wcześniej wzbogacone i rozpuszczone przepływy częściowe i pogarszają skuteczność oddzielenia magnetycznego.

[0047] W kanałach płynowych o niekołowym obszarze przekrojowym, obszar przekrojowy może mieścić się w zakresie od $\pi \times 2500\ \mu m^2$ do $\pi \times 0.25\ mm^2$, przy czym wodny roztwór zawierający jony magnetyczne może przepływać przez kanał płynowy z dużą prędkością, wysoce warstwowym przepływem i przy wysokiej wydajności oddzielenia magnetycznego.

[0048] Według innego przykładu wykonania, urządzenie do oddzielania magnetycznego do oddzielania magnetycznych jednostek cząsteczkowych może zawierać jednostkę pola magnetycznego, która może wytwarzać pole magnetyczne w przestrzeni pola, np. elektromagnes lub magnes trwały. Urządzenie do oddzielania magnetycznego zawiera ponadto urządzenie mikroprzepływowe z kanałem płynowym zawierającym płaską część spiralną oraz z ferromagnetyczną konstrukcją pomocniczą utworzoną w płaszczyźnie równoległej do płaskiej części spiralnej w odległości co najwyżej 2 mm. Konstrukcja pomocnicza miejscowo odkształca jednorodne pole magnetyczne w przestrzeni pola, tak że nawet w

stosunkowo małej przestrzeni pola o małych wymiarach bocznych można wytworzyć silny gradient pola magnetycznego, który jest skuteczny w porównywalnie długim kanale płynowym.

[0049] Wydajne pod względem obszaru urządzenie mikroprzepływowe ułatwia opłacalne kaskadowanie w celu wyższej wydajności oraz opłacalne zrównoleglenie w celu wyższej przepustowości.

[0050] Sposób oddzielania jonów magnetycznych może obejmować umieszczenie urządzenia mikroprzepływowego, jak opisano powyżej, w przestrzeni pola jednostki pola magnetycznego. Ciecz procesowa, np. wodny roztwór zawierający jony pierwiastków ziem rzadkich jest doprowadzana do otworu wlotowego urządzenia mikroprzepływowego. Co najmniej dwa różne częściowe przepływy roztworu wodnego można oddzielić od cieczy procesowej przez dwa lub więcej otworów wylotowych, przy czym w co najmniej jednym częściowym przepływie co najmniej jedna magnetyczna jednostka cząsteczkowa jest wzbogacona, a druga magnetyczna jednostka cząsteczkowa jest rozpuszczona.

[0051] Na fig. 1A przedstawiono pionowy widok przekrojowy, a na fig. 1B-1C przedstawiono równoległe poziome widoki przekrojowe urządzenia mikroprzepływowego 500 z podłożem 100 z dwiema równoległymi powierzchniami głównymi 101, 102 po przeciwnych stronach. Na podłożu 100 kanał płynowy 250 rozciąga się od otworu wlotowego 210 do odgałęzienia 270 kanału, gdzie kanał płynowy 250 rozgałęzia się na dwa kanały wylotowe 281, 282, które kończą się otworami wylotowymi 291, 292. Oprócz otworu wlotowego 210 i otworów wylotowych 291, 292 na końcu kanałów wylotowych 281, 282, kanał płynowy 250 jest oddalony od obu głównych powierzchni 101, 102 i może być całkowicie zamknięty.

[0052] Otwór wlotowy 210 może być utworzony blisko środka pierwszej powierzchni głównej 101 na przedniej stronie urządzenia mikroprzepływowego a 500. Pierwszy otwór wylotowy 291 może być utworzony w części obwodowej pierwszej powierzchni głównej 101. Drugi otwór wylotowy 292 może być utworzony bezpośrednio naprzeciwko pierwszego otworu wylotowego 291 na przeciwległej drugiej powierzchni głównej 102.

[0053] Kanał płynowy 250 zawiera płaską część spiralną 255, która może przylegać bezpośrednio do otworu wlotowego 210. Prosta część 258 może łączyć spiralną część 255 i dwa kanały wylotowe 281, 282. Zakrzywiona oś podłużna części spiralnej 255 tworzy lub zbliża się w dużym stopniu do spirali Archimedesa, w której odległość między sąsiednimi uzwojeniami mieści się w zakresie od 0,5 do 5 mm. Obszar przekrojowy kanału płynowego 250 prostopadły do zakrzywionej osi podłużnej może być okręgiem o średnicy co najwyżej 1 mm, np. co najwyżej 0,6 mm.

[0054] Rowek 150 jest utworzony na drugiej głównej powierzchni 102. Alternatywnie, rowek 150 może być utworzony na pierwszej powierzchni głównej 101 lub rowki 150 mogą być utworzone zarówno na pierwszej, jak i na drugiej powierzchni głównej 101, 102.

[0055] Rowek 150 może zawierać płaski odcinek spiralny 155. Środkowy punkt 151 odcinka spiralnego i środkowy punkt 251 części spiralnej znajdują się na tej samej osi pionowej. Promień r2 płaskiego odcinka spiralnego 155 rowka 150 i promień r1 płaskiej części spiralnej 255 kanału płynowego 250 mają jednakową zależność kątową. Innymi słowy, obie płaskie spirale są określone przez to samo równanie. Na przykład, pod względem współrzędnych biegunowych odnoszących się do środkowych punktów 151, 251, obie spirale mogą być określone przez $r = a + b \cdot \theta$, przy czym współczynniki a i b są takie same dla obu spiral.

[0056] Ferromagnetyczna konstrukcja pomocnicza 300 zawiera część spiralną 355 utworzoną w rowku 150. Pomocnicza konstrukcja 300 może być utworzona w dolnej części rowka 150, może wypełniać rowek 150 całkowicie lub może wystawać poza rowek 150.

[0057] Na fig. 2A-2B przedstawiono przekroje poprzeczne mikroprzepływowego urządzenia 500 z czterema uzwojeniami spiralnej części 255. Obszar przekrojowy spiralnej części 255 prostopadły do kierunku przepływu może być okręgiem o średnicy d0 w zakresie od 100 μm do 2 mm, na przykład około 1 mm.

[0058] Odległość od środka do środka d2 między sąsiednimi uzwojeniami spiralnej części 255 może mieścić się w zakresie od 2 mm do 4 mm. Rowek 150 rozciąga się od drugiej powierzchni głównej 102 do podłoża 100. Rowek 150 tworzy płaską spiralę z taką samą zależnością kątową promienia jak spiralna część 255 i z tym samym punktem środkowym, tak że rowek 150 jest pionowo wyrównany ze spiralną częścią 155. Innymi słowy, rzut pionowy spiralnego odcinka 155 rowka i spiralnej części 255 kanału płynowego 250 na tę samą płaszczyznę może całkowicie zachodzić na siebie.

[0059] Na fig. 2A mikroprzepływowe urządzenie 500 jest umieszczone w zewnętrznym polu magnetycznym B z wektorem pola magnetycznego prostopadłym do płaszczyzny spirali.

[0060] Na fig. 2B mikroprzepływowe urządzenie 500 jest umieszczone w zewnętrznym polu magnetycznym B z wektorem pola magnetycznego równoległym do płaszczyzny spirali.

[0061] Na fig. 3A przedstawiono linie o równym natężeniu pola magnetycznego w obszarze w pobliżu pomocniczej konstrukcji 300 i w sąsiednim kanale płynowym 250 w przypadku, gdy wektor pola magnetycznego jest równoległy do płaszczyzny spirali, jak pokazano na fig. 2A.

[0062] Na fig. 3B przedstawiono linie o równym natężeniu pola magnetycznego w obszarze w pobliżu pomocniczej konstrukcji 300 i w sąsiednim kanale płynowym 250 w przypadku, gdy wektor pola magnetycznego jest prostopadły do płaszczyzny spirali, jak pokazano na fig. 2A.

[0063] Na fig. 4 za pomocą linii 501 przedstawiono natężenie pola magnetycznego wzdłuż pionowej średnicy kanału płynowego 255 z fig. 3A, a za pomocą linii 502 przedstawiono natężenie pola magnetycznego wzdłuż pionowej średnicy kanału płynowego 255 z fig. 3B w zależności od odległości x od konstrukcji pomocniczej 330. Zewnętrzne pole magnetyczne jest jednorodnym polem magnetycznym o natężeniu pola magnetycznego 0,5 T. Minimalna odległość między kanałem płynowym a konstrukcją pomocniczą wynosi 0,6 mm.

[0064] W przypadku prostopadłego pola magnetycznego, największe natężenie pola magnetycznego i największy gradient natężenia pola magnetycznego występuje po stronie kanału płynowego zwróconej do konstrukcji pomocniczej. W przypadku równoległego pola magnetycznego, najmniejsze natężenie pola magnetycznego i największy gradient natężenia pola magnetycznego występuje po stronie kanału płynowego zwróconej do konstrukcji pomocniczej.

[0065] W obu przypadkach natężenie pola magnetycznego w kanale płynowym asymptotycznie przybliża natężenie pola magnetycznego zewnętrznego pola magnetycznego po stronie odwróconej od konstrukcji pomocniczej i w obu przypadkach można zaobserwować znaczny gradient pola magnetycznego w całym obszarze przekrojowym kanału płynowego, tak że oddzielenie magnetyczne występuje w całym kanale płynowym.

[0066] Siła oddzielająca działająca na magnetyczne jednostki cząsteczkowe jest funkcją iloczynu wektorowego indukcji magnetycznej (gęstość strumienia magnetycznego) B i gradientu (B) indukcji magnetycznej B. Jak wskazano za pomocą linii 501, 502, w przypadku, gdy wektor pola magnetycznego jest prostopadły do płaszczyzny spirali, skuteczna indukcja magnetyczna B w kanale płynowym 250 jest większa niż w przypadku, gdy wektor pola magnetycznego jest równoległy do płaszczyzny spirali, a w rezultacie układ pokazany na fig. 2A może wykazywać większą skuteczność oddzielania niż układ z fig. 2B.

[0067] Na fig. 5A konstrukcja pomocnicza 350 jest płaską płytą, która może być utworzona lub przyklejona co najmniej do tej głównej powierzchni 101, 102 podłoża 100, która wykazuje mniejszą odległość od spiralnej części 255 kanału płynowego 250.

[0068] Na fig. 5B konstrukcja pomocnicza 350 zawiera korpus główny 352 i występy 353 rozciągające się od korpusu głównego 352 w kierunku podłoża 100. Występy 353 mogą być bocznie rozdzielonymi słupkami lub stożkami utworzonymi wzdłuż linii spiralnej wyrównanej ze spiralną częścią 255. Łączniki wyrównujące 359 konstrukcji pomocniczej 359 i odpowiednie rowki wyrównujące 160 na głównej powierzchni 101, 102 mogą ułatwić wyrównanie między występami 353 konstrukcji pomocniczej 350 a spiralną częścią 255 kanału płynowego 250.

[0069] Na fig. 5C konstrukcja pomocnicza 350 zawiera spiralną część 355 utworzoną na co najmniej jednej z pierwszej i drugiej powierzchni głównej 101, 102 podłoża 100, przy czym odległość między konstrukcją pomocniczą 350 a spiralną częścią 255 kanału płynowego 250 jest mniejsza niż 2 mm, na przykład mniejsza niż 1 mm lub najwyżej 0,6 mm. Jeden lub więcej rowków wyrównujących i jeden lub więcej łączników wyrównujących konstrukcji pomocniczej może ułatwić wystarczające wyrównanie między spiralną częścią 355 a spiralną częścią 255.

[0070] Na fig. 6A-6B przedstawiono mikroprzepływowe urządzenie 500 z konstrukcją pomocniczą 350 zawierającą spiralną część 355, która jest utworzona w rowku 150, przy czym spiralny odcinek 155 rowka 150 jest utworzona między uzwojeniami spiralnej części 255 kanału płynowego 250. W szczególności, uzwojenia spiralnego odcinka 155 mogą znajdować się pośrodku między dwoma sąsiednimi uzwojeniami spiralnej części 255. Zniekształcenie pola magnetycznego utworzone przez konstrukcję pomocniczą 350 powoduje zmniejszenie pola magnetycznego wzdłuż kierunku poziomego równoległego do płaszczyzny spirali. Kanały wylotowe 280 mogą być utworzone w płaszczyźnie kanału płynowego 250 i mogą kończyć się pionowymi otworami 290 kanału. Kanały wylotowe 280 mogą być proste, odgałęzienie 270 ma kształt litery Y, a kąt α między dwoma kanałami wylotowymi 280 może wynosić około 30°.

[0071] Na fig. 7A-7C przedstawiono kolejne urządzenie mikroprzepływowe 500 bardziej szczegółowo. Urządzenie mikroprzepływowe 500 może zawierać łączniki 370. Każdy łącznik 370 jest utworzony na jednej z głównych powierzchni 101, 102 podłoża 100. Łączniki 370 mogą umożliwić połączenie otworu wlotowego 210 i/lub otworów wylotowych 291, 292 z pompą mikroprzepływową lub z otworem wylotowym innego urządzenia mikroprzepływowego tego samego lub podobnego rodzaju. Łączniki 370 ułatwiają zintegrowanie urządzenia mikroprzepływowego 500 z układem mikroprzepływowym, który tworzy układ kaskadowy wielu urządzeń mikroprzepływowych 500.

[0072] Część spiralną 255, jak również część spiralną 355 można opisać za pomocą zmiennej t w równaniach (2) i (3):

$$X(t) = 0.0006 * (\cos(t)+t*\sin(t)) \quad (2)$$

$$Y(t) = 0.0006 * (\sin(t)-t*\cos(t)) \quad (3)$$

t=0 to punkt środkowy spirali. Spirale mogą być określone w zakresie dla t od -1,8640688 do 18*π. W równaniach (2) i (3) podano wartości dla X(t) i Y(t) w metrach.

[0073] Urządzenie mikroprzepływowe 500 może być oparte na jednoczęściowym podłożu 100 utworzonym, na przykład, przez drukowanie 3D lub może być urządzeniem dwuczęściowym, w którym górna połowa i dolna połowa kanału płynowego 250 są utworzone na powierzchniach dwóch oddzielnych płyt, które są następnie łączone ze sobą w taki sposób, że dwie połowy kanału uzupełniają się z kanałem płynowym 250. Alternatywnie lub dodatkowo, część podłoża zawierająca kanały wylotowe 281, 282 może być utworzona w taki sam sposób jak część dwuelementowa, a następnie przymocowana do części z kanałem płynowym 250. W celu dalszych szczegółów należy odnieść się do opisu poprzednich figur.

[0074] Na fig. 8 przedstawiono urządzenie 900 do oddzielania magnetycznego w celu oddzielania magnetycznych jednostek cząsteczkowych, takich jak jony, atomy i cząsteczki. Jednostka pola magnetycznego 400 wytwarza pole magnetyczne w przestrzeni pola 450. Pole magnetyczne w przestrzeni pola 450 może być wysoce jednorodne. Urządzenie mikroprzepływowe 500 z kanałem płynowym, konstrukcją pomocniczą i dwoma otworami wylotowymi, jak opisano powyżej, jest umieszczone w przestrzeni pola 450.

[0075] Średnica kanału płynowego może wynosić 1 mm. Pompa może przetłaczać roztwór wodny zawierający 0,1M stężenie jonów holmu (III) przez kanał płynowy z szybkością przepływu 3ml/h. Przy natężeniu pola magnetycznego wynoszącym 0,5T w przestrzeni pola 450, można zaobserwować znaczne wzbogacenie jonów holmu (III) w przepływie wyjściowym przez jeden z otworów wylotowych oraz znaczne rozpuszczenie jonów holmu (III) w przepływie wyjściowym przez drugi otwór wylotowy.

Zastrzeżenia patentowe

1. Urządzenie mikroprzepływowe (500), zawierające:

podłoże (100) zawierające kanał płynowy (250) rozciągający się od otworu wlotowego (210) do odgałęzienia (270) kanału, przy czym kanał płynowy (250) zawiera płaską część spiralną (255), przy czym przy odgałęzieniu (270) kanału kanał płynowy (250) rozgałęzia się na dwa kanały wylotowe (280) i przy czym odgałęzienie (270) kanału ma kształt litery Y; oraz

ferromagnetyczną konstrukcję pomocniczą (300) utworzoną w płaszczyźnie równoległej do płaskiej części spiralnej (255).

2. Urządzenie mikroprzepływowe według poprzedniego zastrz., w którym odległość między sąsiednimi uzwojeniami płaskiej części spiralnej (255) odbiega o nie więcej niż 5% od średniej odległości między sąsiednimi uzwojeniami.

3. Urządzenie mikroprzepływowe według dowolnego z poprzednich zastrz., w którym wraz ze wzrostem odległości do odgałęzienia (270) kanału odległość między kanałami wylotowymi (280) stale rośnie wraz ze wzrostem odległości do odgałęzienia (270) kanału.

4. Urządzenie mikroprzepływowe według poprzedniego zastrz., w którym kanały wylotowe (280) zawierają proste części kanału bezpośrednio przylegające do odgałęzienia (270) kanału i w którym kąt między sąsiednimi kanałami wylotowymi (280) mieści się w zakresie od 20 stopni do 40 stopni.

5. Urządzenie mikroprzepływowe według dowolnego z poprzednich zastrz., w którym odległość (d1) między płaską częścią spiralną (255) a konstrukcją pomocniczą (300) wynosi co najwyżej 1 mm.

6. Urządzenie mikroprzepływowe według dowolnego z poprzednich zastrz., w którym płaska część spiralna (255) owija się wokół punktu środkowego w płaszczyźnie poziomej w jednym kierunku obrotu, przy czym konstrukcja pomocnicza (300) jest umieszczona w kierunku pionowym względem płaskiej części spiralnej (255) i przy czym dwa kanały wylotowe (280) są utworzone w płaszczyźnie prostopadłej do lub w płaszczyźnie płaskiej części spiralnej (255).

7. Urządzenie mikroprzepływowe według dowolnego z poprzednich zastrz., w którym konstrukcja pomocnicza (300) zawiera płaską część spiralną (355), a promień (r2) spiralnej części (355) konstrukcji pomocniczej (300) i promień (r1) płaskiej części spiralnej (255) kanału płynowego (250) mają jednakową zależność kątową.

8. Urządzenie mikroprzepływowe według poprzedniego zastrz., w którym spiralna część (355) jest konstrukcją ciągłą o jednolitym obszarze przekrojowym wzdłuż zakrzywionej osi podłużnej spiralnej części (355).

9. Urządzenie mikroprzepływowe według dowolnego z poprzednich zastrz., w którym podłoże (100) zawiera rowek (150) utworzony w głównej powierzchni (101, 102) podłoża (100), rowek (150) zawiera płaską część spiralną (155) równoległą do spiralnej części (255) i w którym co najmniej część konstrukcji pomocniczej (300) jest utworzona w rowku (150).

10. Urządzenie mikroprzepływowe według dowolnego z poprzednich zastrz., w którym płaska część spiralna (255) ma okrągły obszar przekrojowy prostopadły do osi przepływu cieczy i w którym płaską część spiralną (255) opisuje się za pomocą $r = a + b \cdot \theta$, gdzie r, θ są współrzędnymi biegunowymi, a a, b są liczbami rzeczywistymi.

11. Urządzenie mikroprzepływowe według poprzedniego zastrz., w którym średnica obszaru przekrojowego płaskiej części spiralnej (255) mieści się w zakresie od 100 μm do 1 mm.

12. Urządzenie do oddzielania magnetycznego magnetycznych jednostek cząsteczkowych, urządzenie do oddzielania magnetycznego zawierające:

jednostkę pola magnetycznego (400) nadającą się do wytwarzania pola magnetycznego (405) w przestrzeni pola (450); oraz

urządzenie mikroprzepływowe (500) według dowolnego z poprzednich zastrz. w przestrzeni pola (450),

przy czym konstrukcja pomocnicza (300) jest przystosowana do miejscowego odkształcania pola magnetycznego (405) oraz

przy czym kanały wylotowe (280) są rozmieszczone tak, że jeden z kanałów wylotowych (280) jest przystosowany do gromadzenia częściowego przepływu wzbogaconego w jednostki cząsteczkowe przyciągane przez silniejsze pole magnetyczne i/lub rozpuszczonego z jednostek cząsteczkowych przyciąganych przez słabsze pole magnetyczne i tak, że drugi z kanałów wylotowych (280) jest przystosowany do gromadzenia częściowego przepływu rozpuszczonego z jednostek cząsteczkowych przyciąganych przez silniejsze pole magnetyczne i/lub wzbogaconego o jednostki cząsteczkowe przyciągane przez słabsze pole magnetyczne.

13. Sposób oddzielania jonów magnetycznych, sposób obejmujący:

umieszczenie urządzenia mikroprzepływowego (500) według dowolnego z zastrz. 1 do 11 w przestrzeni pola (450) jednostki pola magnetycznego (400); oraz

doprowadzenie wodnego roztworu (550) zawierającego jony magnetyczne (555) do otworu wlotowego (210) urządzenia mikroprzepływowego (500).

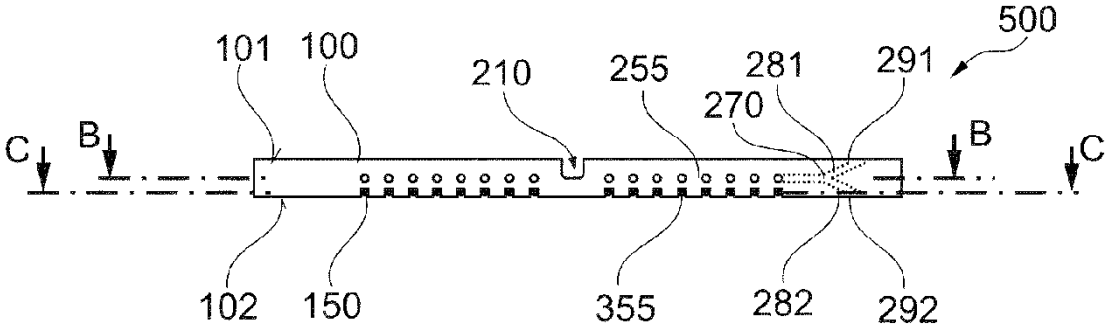

Fig. 1A

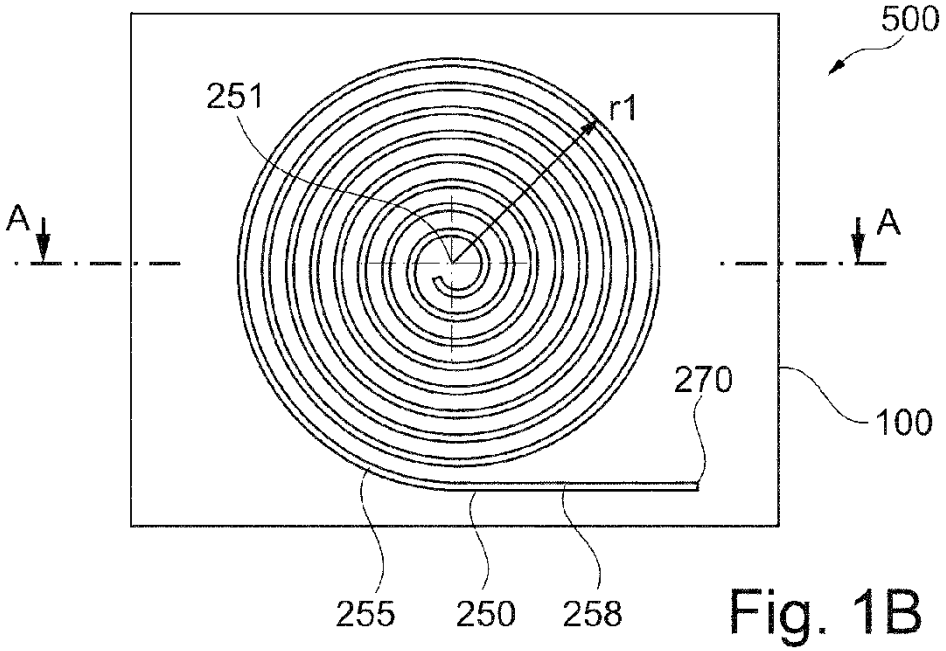

Fig. 1B

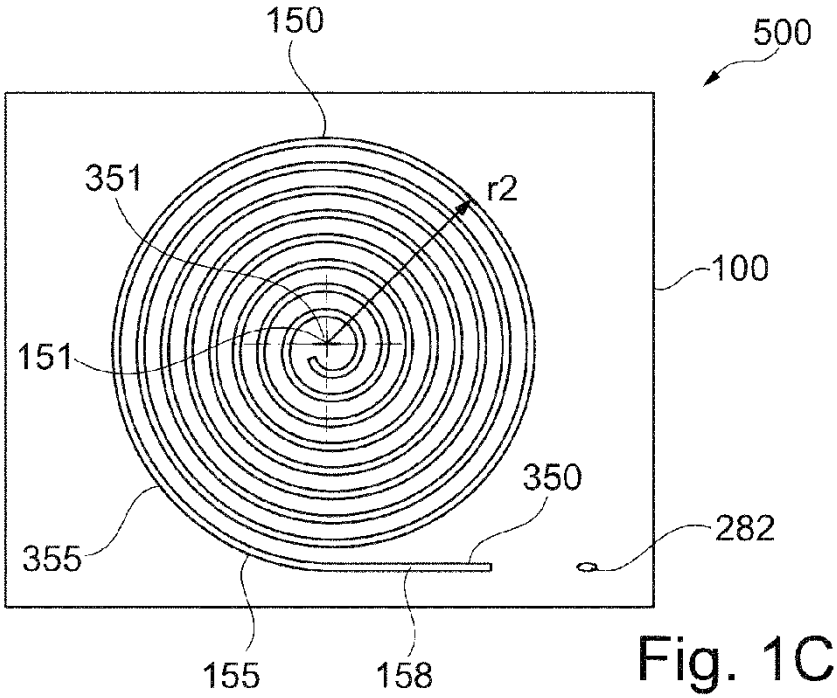

Fig. 1C

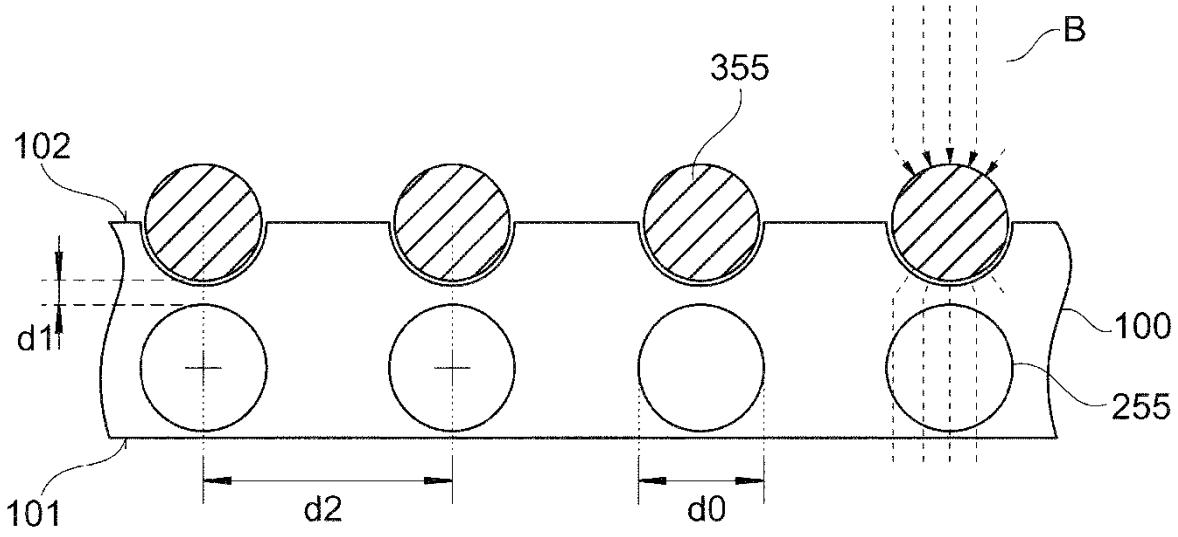
B
355
102
d1
100
255
101
d2
d0

Fig. 2A

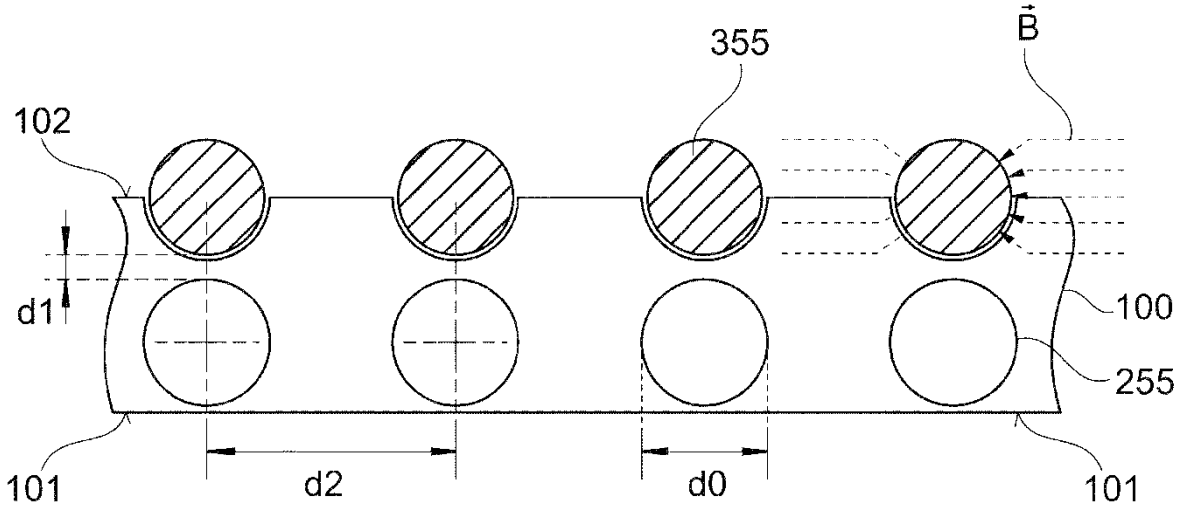
$\vec{B}$
355
102
d1
100
255
101
d2
d0
101

Fig. 2B

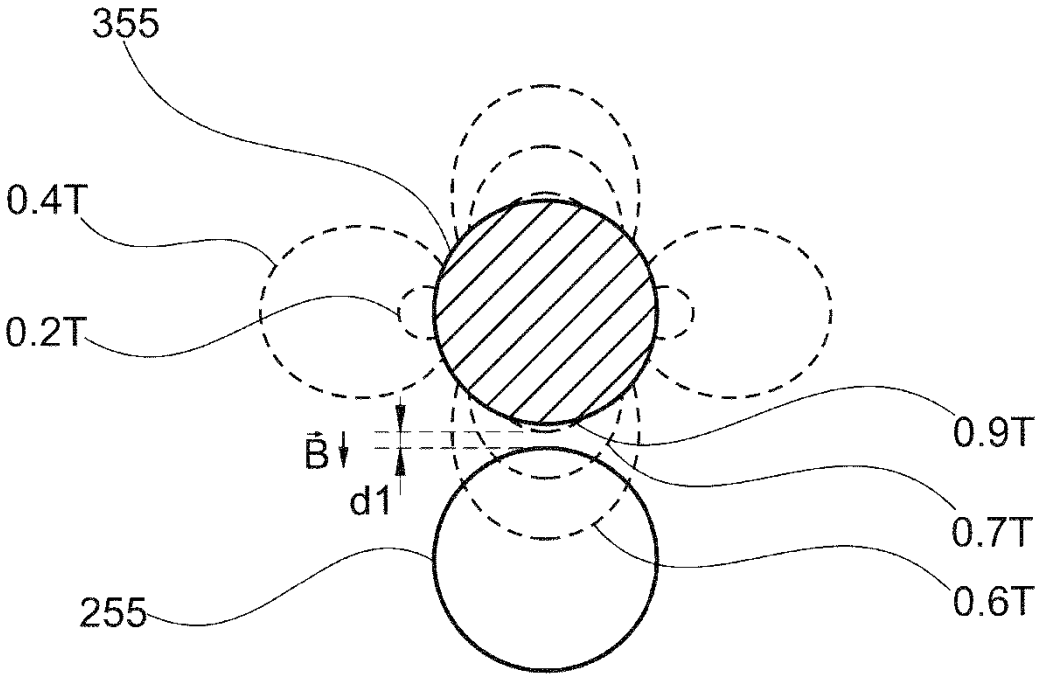
355
0.4T
0.2T
0.9T
B
d1
0.7T
0.6T
255

Fig. 3A

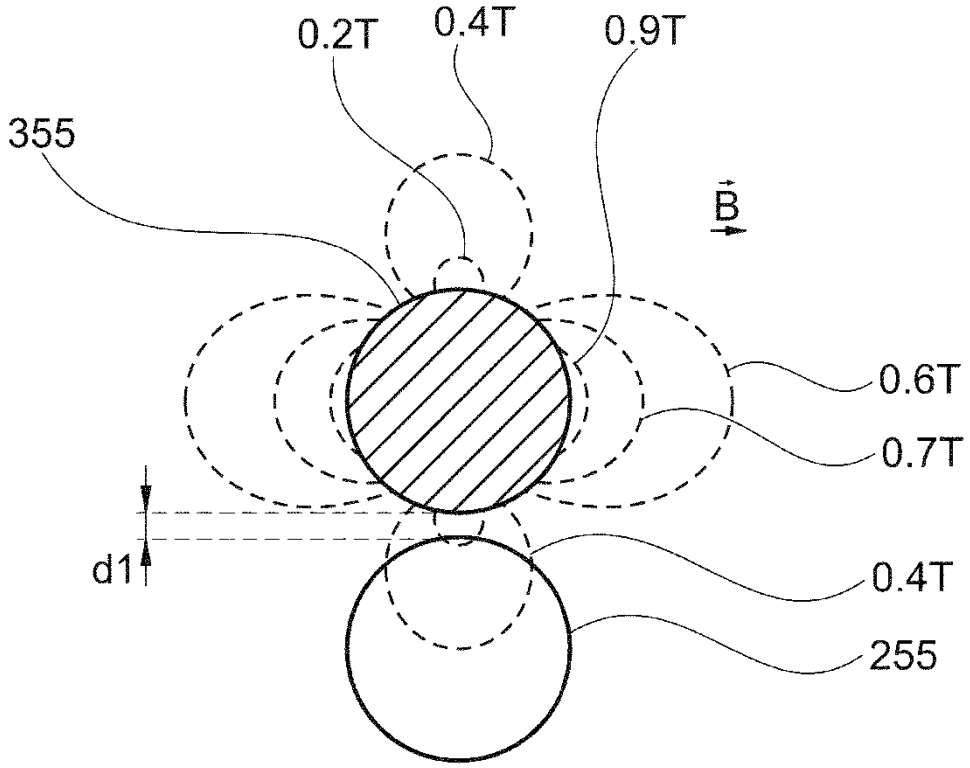
0.2T
0.4T
0.9T
355
B
0.6T
0.7T
d1
0.4T
255

Fig. 3B

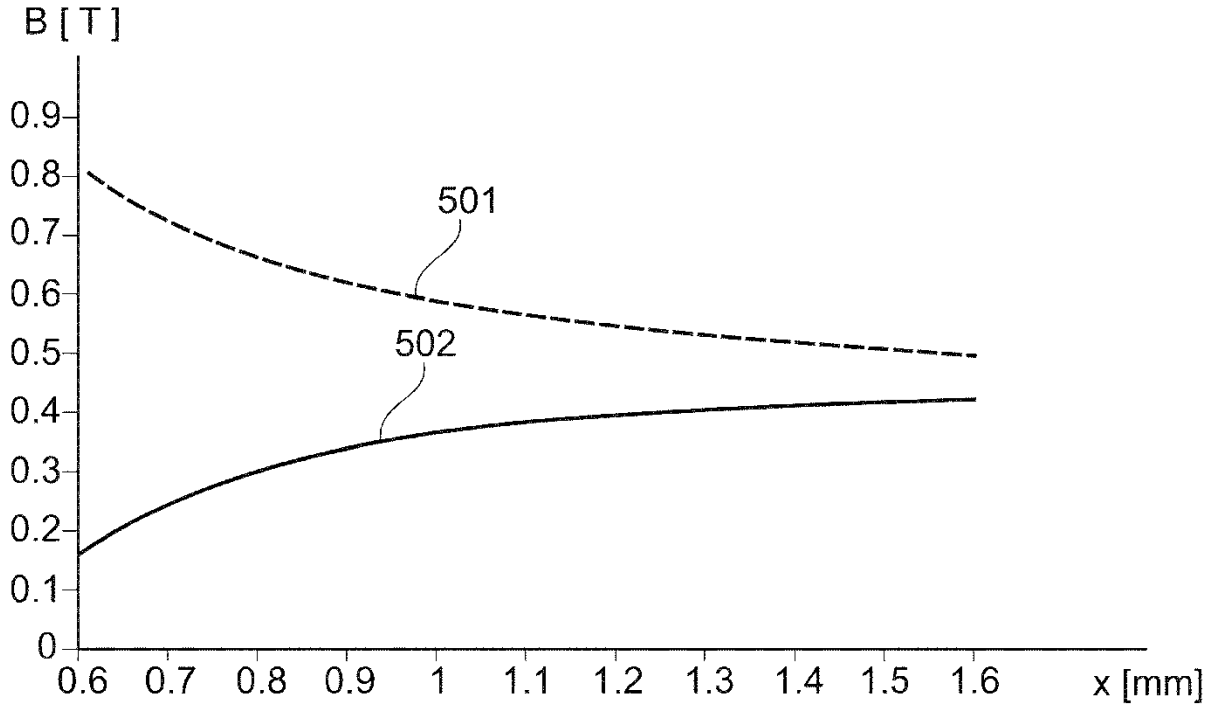
B [T]
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
501
502
0.6
0.7
0.8
0.9
1
1.1
1.2
1.3
1.4
1.5
1.6
x [mm]

Fig. 4

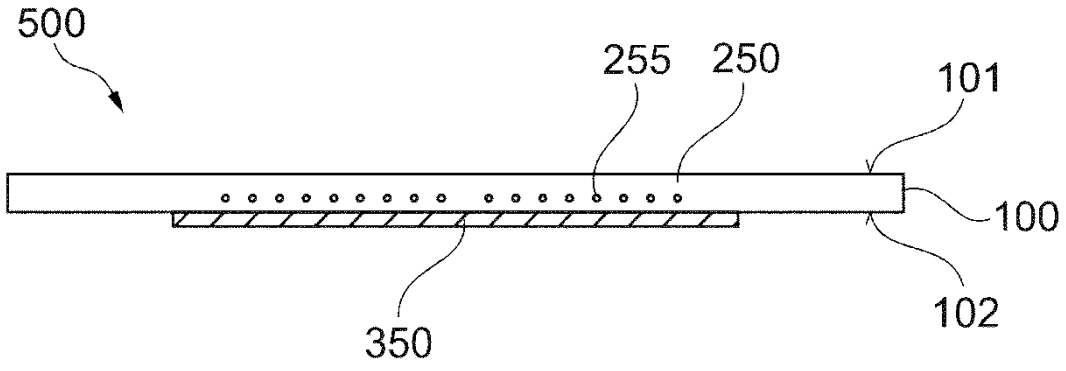

Fig. 5A

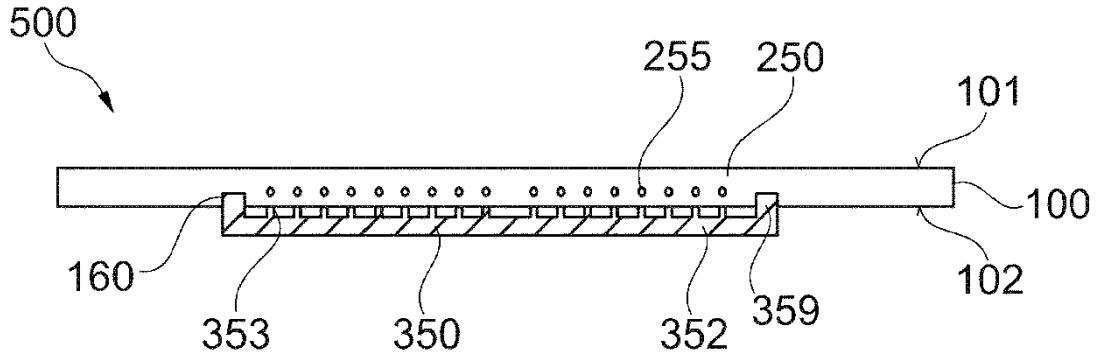

Fig. 5B

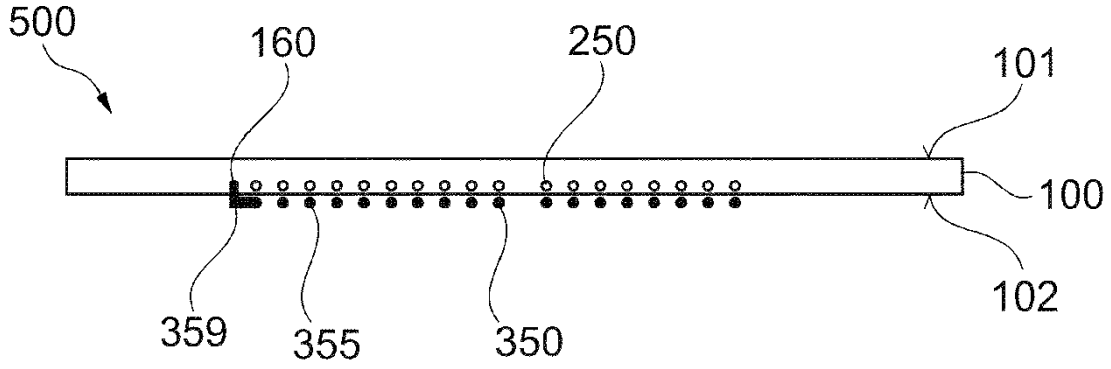

Fig. 5C

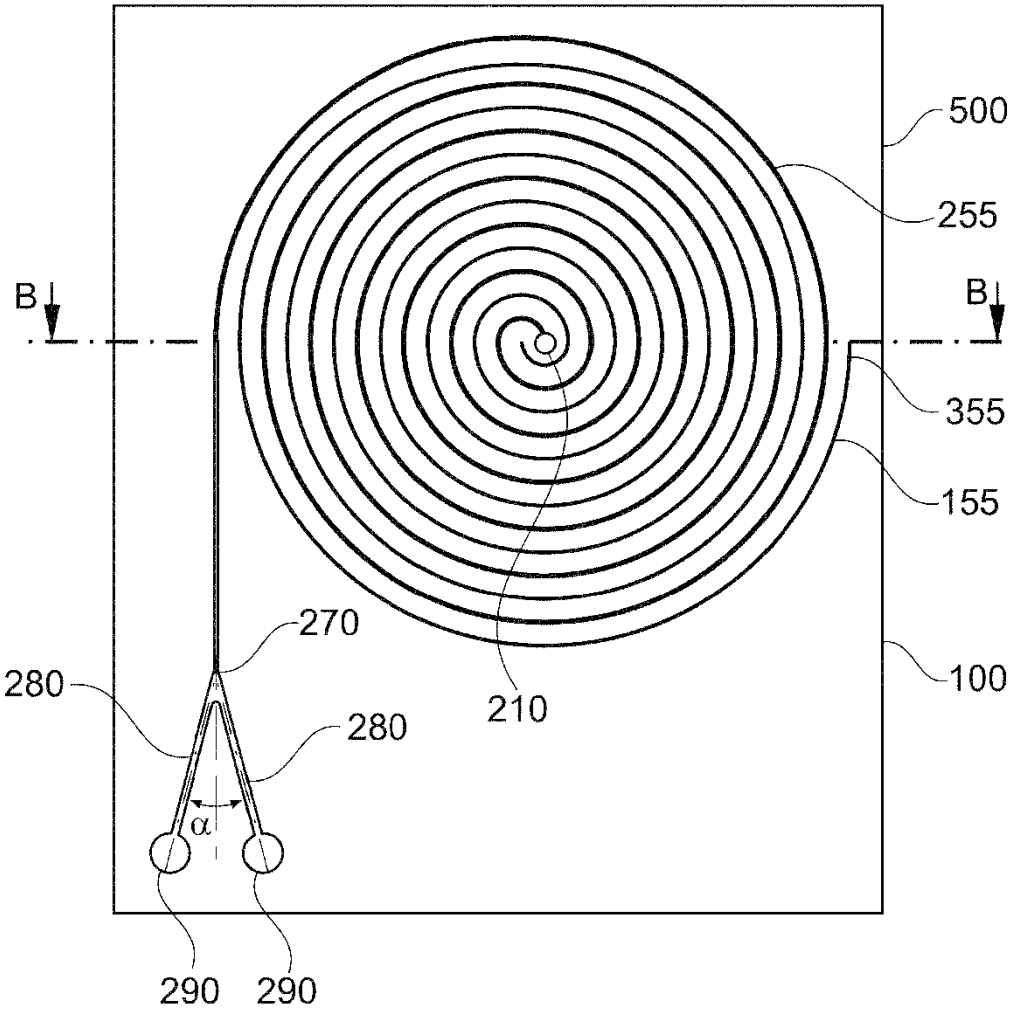
500
255
B
B
355
155
270
280
100
210
280
α
290
290

Fig. 6A

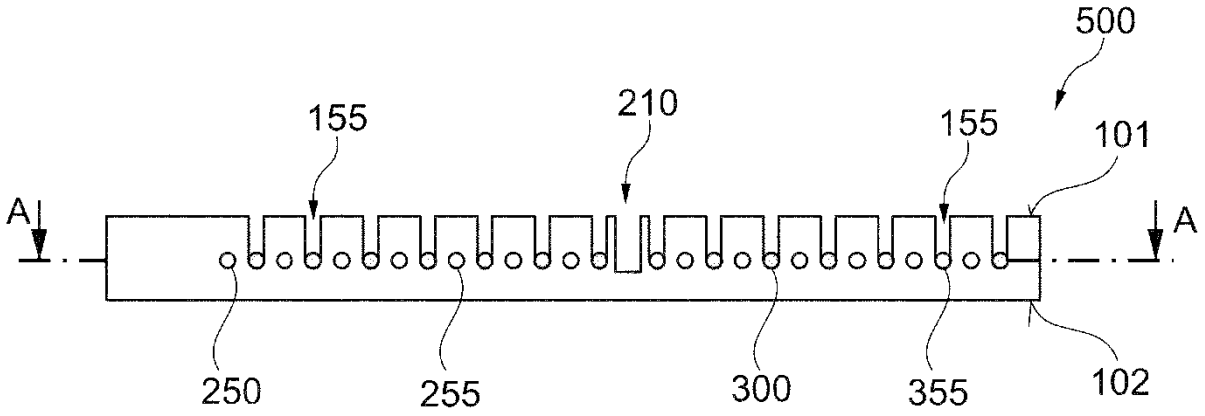
500
155
210
155
101
A
A
250
255
300
355
102

Fig. 6B

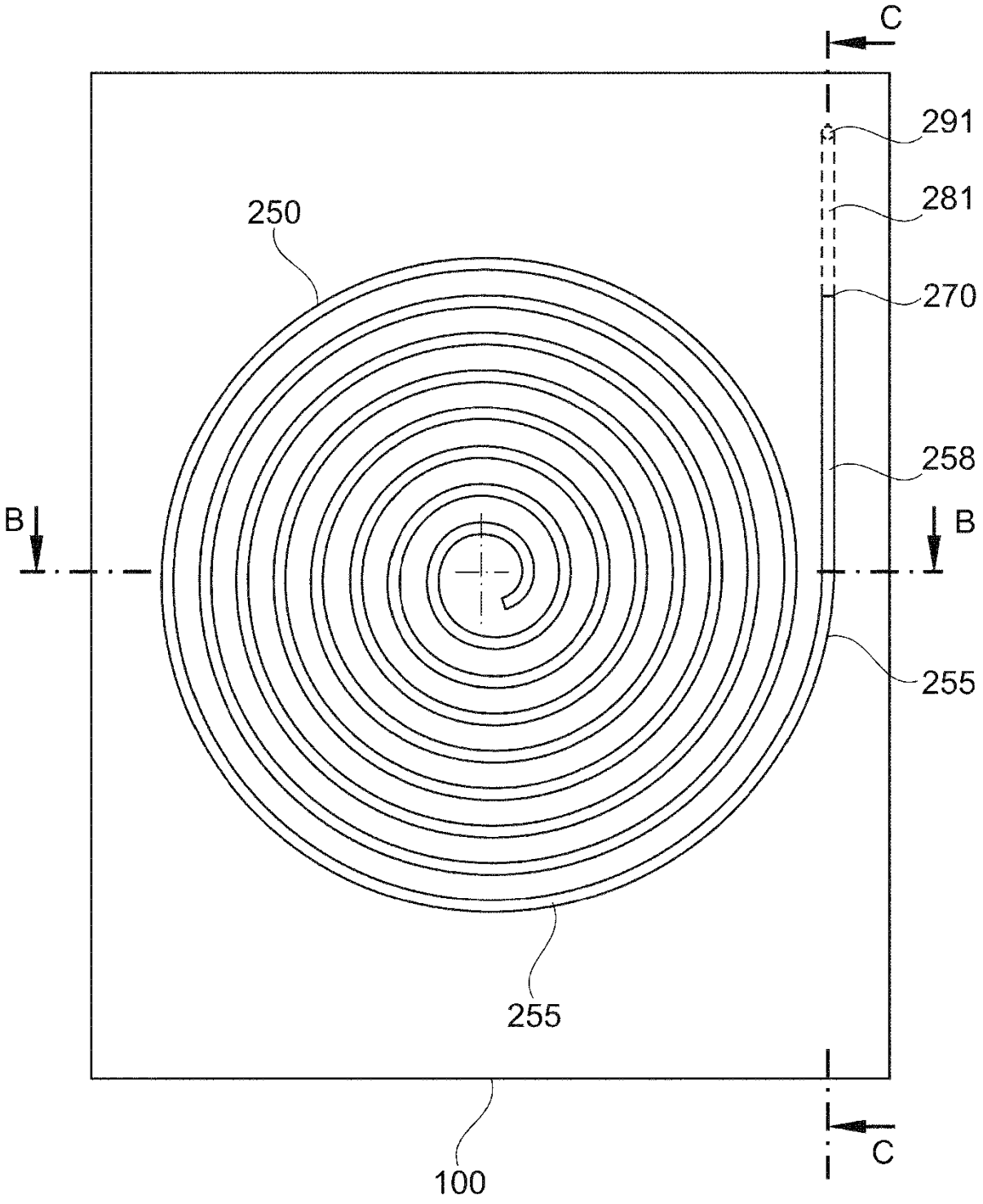

Fig. 7A

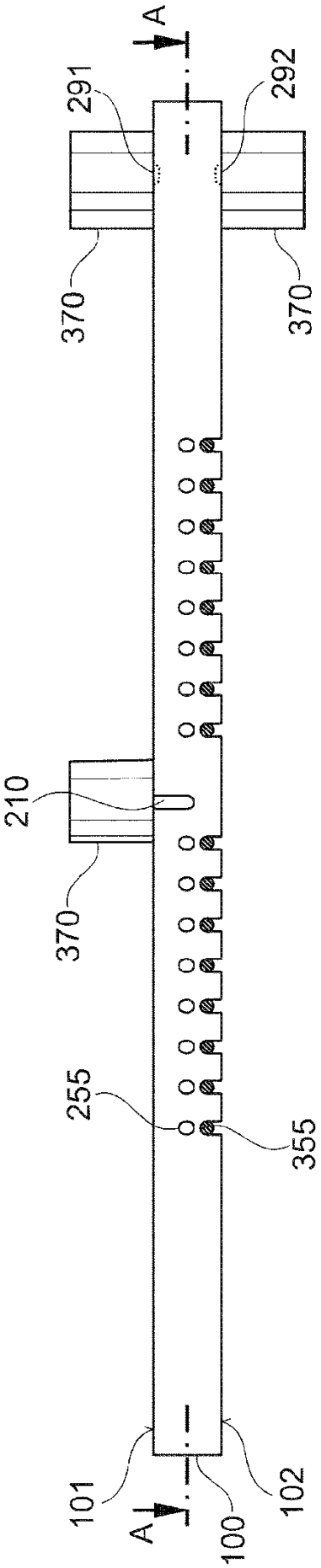

Fig. 7B

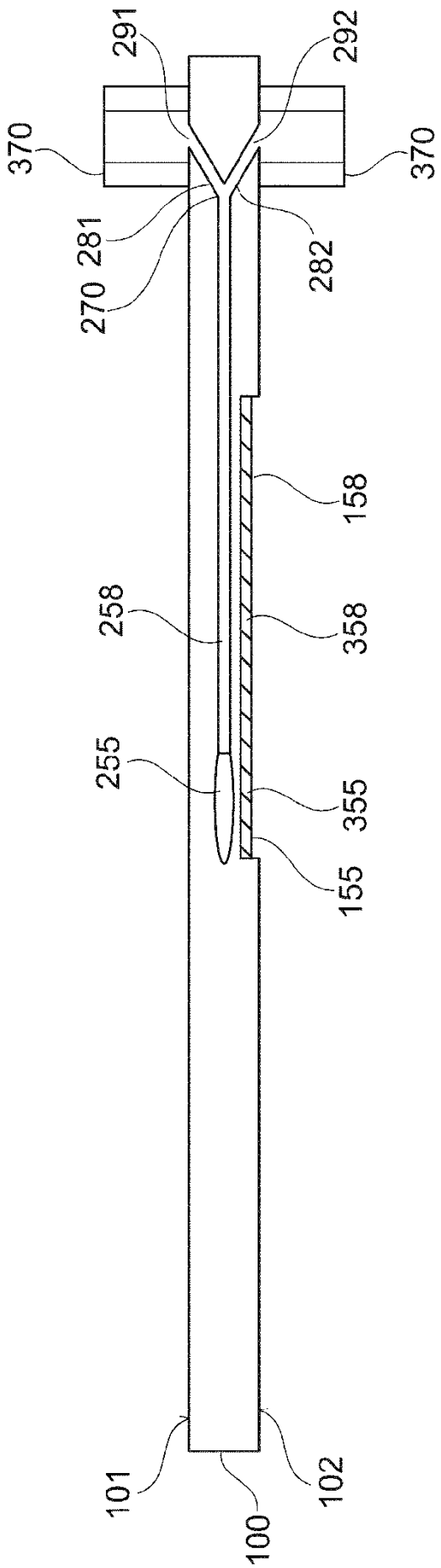

Fig. 7C

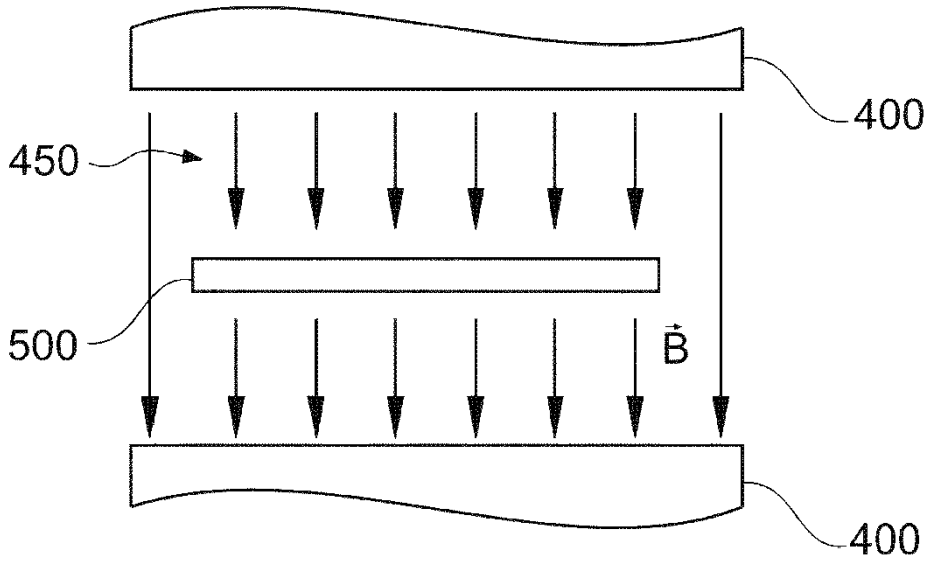

Fig. 8

DOKUMENTY PRZYTOCZONE W OPISIE

Lista wymienionych przez zgłaszającego dokumentów została dołączona wyłącznie dla informacji czytającego i nie jest częścią europejskiego dokumentu patentowego. Została zestawiona z największą starannością, Europejski Urząd Patentowy nie bierze jednak żadnej odpowiedzialności za ewentualne błędy lub braki.

Dokumenty patentowe przytoczone w opisie

- US20110117577A1 **[0005]**

Literatura niepatentowa cytowana w opisie

- **M. PUCHIVARI et al.** Separation of Transition Metal Ions in an Inhomogeneous magnetic fieldJournal of Physical Chemistry B, 2001, vol. 105 (17), 3343-3345 **[0003]**
- **J.H. KANG; J.-K. PARK.** Magnetophoric Continuous Purification of Single-Walled Carbon Nanotubes from Catalytic Impurities in a Microfluidic Device. Small, 2007, vol. 3 (10), 1784-1791 **[0004]**