

(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
2025年4月3日(03.04.2025)



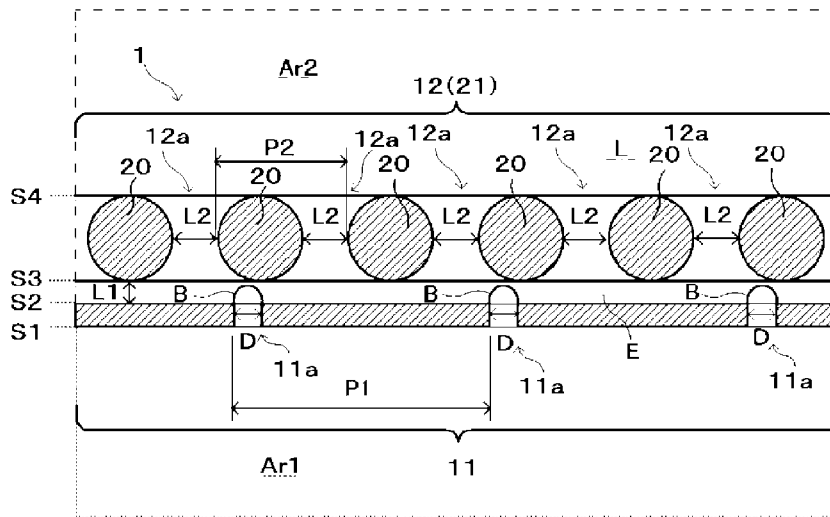
(10) 国際公開番号

WO 2025/069563 A1

- (51) 国際特許分類:
B01F 25/452 (2022.01) *B01F 25/30* (2022.01)
B01F 23/2373 (2022.01) *B01F 35/71* (2022.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2024/019529
- (22) 国際出願日: 2024年5月28日(28.05.2024)
- (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 2023-169190 2023年9月29日(29.09.2023) JP
- (71) 出願人: 株式会社村田製作所 (MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) [JP/JP]; 〒6178555 京都府長岡京市東神足1丁目10番1号 (JP). 国立大学法人鹿児島大学 (KAGOSHIMA UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒8908580 鹿児島県鹿児島市郡元一丁目21番24号 (JP).
- (72) 発明者: 五島崇(GOSHIMA Takashi); 〒8908580 鹿児島県鹿児島市郡元一丁目21番24号 国立大学法人鹿児島大学内 (JP). 三上重幸(MIKAMI Shigeyuki); 〒6178555 京都府長岡京市東神足1丁目10番1号 株式会社村田製作所内 (JP).
- (74) 代理人: 龍竹史朗 (RYOCHIKU Shiro); 〒1010054 東京都千代田区神田錦町二丁目7番地 協販ビル2階 (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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,

(54) Title: BUBBLE FORMATION DEVICE AND BUBBLE FORMATION METHOD

(54) 発明の名称: 気泡形成装置及び気泡形成方法



(57) **Abstract:** A bubble formation device includes a first porous body (11) and a second porous body (12). The first porous body (11) has an array of first through-holes (11a). Gas is injected from ends of the first through-holes (11a) at a first surface (S1) to generate fine bubbles (B) at ends thereof at a second surface (S2) that is in contact with a liquid (L). The second porous body (12) has an array of second through-holes (12a) through which the fine bubbles (B) and the liquid (L) can pass, and is disposed in the liquid (L) so as to deform the fine bubbles (B) growing from the ends of the first through-holes (11a) at the first surface (S1). The second porous body (12) is disposed with a gap (E), through which the fine bubbles (B) and the liquid (L) can pass, with respect to the first porous body (11) such that the direction of the second through-holes (12a) is the same as that of the first through-holes (11a).



WO 2025/069563 A1

HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

(57) 要約: 気泡形成装置は、第1多孔体(11)と、第2多孔体(12)と、を備える。第1多孔体(11)は、第1貫通孔(11a)の配列が形成され、第1貫通孔(11a)の第1面(S1)の端部から気体が注入されて液体(L)と接する第2面(S2)の端部に微細気泡(B)を発生させる。第2多孔体(12)は、微細気泡(B)及び液体(L)が通過可能な第2貫通孔(12a)の配列が形成され、第1貫通孔(11a)の第1面(S1)の端部から成長する微細気泡(B)を変形させるように液体(L)中に配置される。第2多孔体(12)は、第2貫通孔(12a)の向きが第1貫通孔(11a)と同じとなるように、第1多孔体(11)との間に微細気泡(B)及び液体(L)が通過可能な隙間(E)を空けて配置される。

明 細 書

発明の名称：気泡形成装置及び気泡形成方法

技術分野

[0001] 本発明は、気泡形成装置及び気泡形成方法に関する。

背景技術

[0002] ファインバブル（微細気泡）を発生させる気泡形成装置には、液体ポンプを用いて機械的な動力により液体の流れをつくり、液体の流れのエネルギーを利用して気泡を微細化するものが多い。しかし、このタイプの装置は、液体ポンプが必要になるため、運転コストが高く、装置全体の構成が大掛かりになり、取り扱いが煩雑になるうえ、液体ポンプ等からのコンタミネーション（以下、単に「コンタミ」という）の回避が難しい。

[0003] そこで、液体ポンプが不要な気泡形成装置が提案されている（例えば、特許文献1）。この装置であれば、外界から閉じられた状態でファインバブルを発生させることができるので、コンタミレスでの利用が期待される。しかし、この装置も、動力により液体の流れをつくる動的な気泡形成装置であるため、全体の構成が大掛かりになり、取り扱いが煩雑になるという点では、液体ポンプを用いる装置と同じである。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特許第6755035号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] そこで、音波、超音波又は高電圧により擬静的に微細気泡を発生させる装置が提案されている。しかし、これらの装置も、その構成が大掛かりとなり、装置の取り扱いが煩雑になることに変わりはない。

[0006] さらに、動力により液体の流れをつくることなく、微細気泡を発生させる静的な気泡形成装置も提案されている。この装置では、くびれを有するノズ

ル又は多孔体から、微細気泡を発生させる。しかし、このような装置でも、均一な気泡径を持つ微細気泡を大量に発生させるためには、ノズルまたは多孔体の表面に界面活性剤を添加して親水化処理を行うなどの措置を施す必要があるうえ、形成される微細気泡のサイズの低減には限界があり、微細気泡のサイズにばらつきも出る。

[0007] 本発明は、上記実情の下になされたものであり、動力で液体の流れをつくることなく、均一な大きさの微細気泡を大量に発生させることができる気泡形成装置及び気泡形成方法を提供することを目的とする。

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、本発明の第1の観点に係る気泡形成装置は、第1貫通孔の配列が形成され、前記第1貫通孔の一方端から気体が注入されて液体と接する他方端に微細気泡を発生させる第1多孔体と、

微細気泡及び液体が通過可能な第2貫通孔の配列が形成され、前記第1貫通孔の他方端から成長する微細気泡を変形させるように液体中に配置される第2多孔体と、を備え、

前記第2多孔体は、

前記第2貫通孔の向きが前記第1貫通孔と同じとなるように、前記第1多孔体との間に微細気泡及び液体が通過可能な隙間を空けて配置される。

[0009] 前記第1貫通孔の配列において、前記第1貫通孔のそれぞれは、その貫通方向に直交する断面の形状及び大きさが均一であり、一定のピッチで配列されている、

こととしてもよい。

[0010] 前記第1貫通孔及び前記第2貫通孔は、一定のピッチで配列され、

前記第1貫通孔の配列ピッチは、前記第2貫通孔の配列ピッチの2倍以上である、

こととしてもよい。

[0011] 前記第2多孔体は、メッシュ繊維による網目で前記第2貫通孔が形成されたメッシュ構造体である、

こととしてもよい。

[0012] 貫通方向に延びる前記第2貫通孔の中心線を含む切断面で前記第2貫通孔を切断したときの内壁の形状は、折れ曲がるか、曲がっている、

こととしてもよい。

[0013] 貫通方向に見た前記第2貫通孔の断面形状は、多角形状である、

こととしてもよい。

[0014] 前記隙間の大きさを調整可能な調整部を備える、

こととしてもよい。

[0015] 本発明の第2の観点に係る気泡形成方法は、

第1多孔体に配列された第1貫通孔の一方端から前記第1貫通孔に気体を通して、液体と接する前記第1貫通孔の他端に微細気泡を発生させ、

微細気泡及び液体が通過可能な第2貫通孔の配列が形成された第2多孔体を、前記第2貫通孔の向きが前記第1貫通孔と同じとなり、前記第1多孔体との間に微細気泡及び液体が通過可能な隙間が空くように液体中に配置して、前記第1貫通孔の他方端から成長する微細気泡を変形させる。

発明の効果

[0016] 本発明によれば、動力で液体の流れをつくることなく、均一な大きさの微細気泡を大量に発生させることができる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1A]本発明の実施の形態に係る気泡形成装置の全体構成を示す斜視図である。

[図1B]図1Aの気泡発生部の構成を示す断面図である。

[図2]気泡発生部の構成を拡大して示す模式図である。

[図3]メッシュ構造体を、第2貫通孔の貫通方向に見たときの模式図である。

[図4A]微細気泡が発生してから離脱するまでを示す第1模式図である。

[図4B]微細気泡が発生してから離脱するまでを示す第2模式図である。

[図4C]微細気泡が発生してから離脱するまでを示す第3模式図である。

[図5]複数の微細気泡が、同時に形成される様子を示す模式図である。

[図6]第2貫通孔を貫通方向から見た場合の模式図である。

[図7]微細気泡が合流する様子を示す模式図である。

[図8]第2多孔体の変形例を示す模式図である。

[図9]本発明の実施の形態に係る気泡形成方法を示すフローチャートである。

[図10]図1の気泡形成装置により形成される微細気泡のザウター径の大きさ及びばらつきと、他の方式の気泡形成装置により形成される微細気泡のザウター径の大きさ及びばらつきと、を比較して示すグラフである。

[図11]図1の気泡形成装置と、他の方式の気泡形成装置とにおけるガス空塔速度に対する物質移動容量係数の特性を比較して示すグラフである。

[図12]図1の気泡形成装置と、他の方式の気泡形成装置とにおける所要動力に対する物質移動容量係数の特性を比較して示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0018] 以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。各図面においては、同一又は同等の部分に同一の符号を付す。なお、下記の実施の形態において、“有する”、“含む”又は“含有する”といった表現は、“からなる”又は“から構成される”という意味も包含する。

[0019] [気泡形成装置]

図1A及び図1Bを参照して、本実施の形態に係る気泡形成装置100の全体構成について説明する。図1Aに示すように、本実施の形態に係る気泡形成装置100は、微細気泡Bを形成する。気泡形成装置100は、気泡発生部1と、第1容器2と、第2容器3と、を備える。

[0020] 第1容器2の内部、すなわち第1領域Ar1（図1B参照）には、気体Gが充填される。第1容器2は、気体Gを一時的に溜め込む蓄気室である。第2容器3の内部、すなわち第2領域Ar2（図1B参照）には、液体Lが充填される。気泡発生部1は、第1容器2の上面を構成するとともに、第2容器3の底面の一部を構成する。

[0021] 気泡発生部1は、第1領域Ar1と第2領域Ar2との境界に配置されており、その境界を画定する。気泡発生部1は、下面から第1容器2内の気体

Gを取り込んで、第2容器3の液体L内に微細気泡Bを吐出する。

[0022] 図1Aに示すように、気泡形成装置100は、ガス供給源4と、ガス供給管5と、レギュレータ6と、流量計7と、圧力計8と、制御部10と、を備える。ガス供給源4は、本実施の形態において、微細気泡Bの元になる気体Gの供給源である。ガス供給管5は、ガス供給源4から供給される気体Gを、第1容器2内の第1領域Ar1に供給する。

[0023] レギュレータ6は、ガス供給源4からガス供給管5を介して供給される気体Gの量を調整する。流量計7は、ガス供給源4からガス供給管5を介して供給される気体Gの流量を計測する。圧力計8は、ガス供給源4からガス供給管5を介して供給される気体Gの気圧を計測する。

[0024] 制御部10は、流量計7で計測される気体Gの流量及び圧力計8で計測される気体Gの気圧と、に基づいて、レギュレータ6を調整して、気体Gの流量及び圧力を制御する。

[0025] [気泡発生部]

図1Bに示すように、気泡発生部1は、第1多孔体11と、第2多孔体12と、を備える。第1多孔体11と、第2多孔体12とは、ともに板状の部材である。

[0026] [第1多孔体]

第1多孔体11には、第1面S1と、第1面S1と反対方向を向いた第2面S2と、が形成されている。第1面S1は、第1容器2内の気体が充填された第1領域Ar1に接するように配置される。第2面S2は、液体Lが充填された第2領域Ar2に接するように配置される。第1多孔体11の第1面S1及び第2面S2の面積は、任意でよい。例えば1.0cm×1.0cmとすることができるが、これに限定されない。

[0027] 第1多孔体11には、第1面S1と第2面S2との間を貫通する第1貫通孔11aの配列が形成される。本実施の形態では、第1貫通孔11aの1つ1つが、微細気泡Bを吐出する気泡生成用のノズルとして機能する。第1貫通孔11aにおいて、第1面S1の端部が、気体Gが導入されるガス導入端

であり、第2面S2の端部が、微細気泡Bが吐出される気泡吐出端である。図2に示すように、第1多孔体11は、第1貫通孔11aのガス導入端から気体が注入された液体Lと接する第2面S2の端部に微細気泡Bを発生させる。

[0028] 第1貫通孔11aは、ガス導入端と気泡吐出端とを真っすぐに連結する。第1貫通孔11aの形状は、直柱体、例えば直円柱又は直角柱の形状である。しかしながら、第1貫通孔11aの形状は、斜円柱でもよいし、曲がった形状でもよいし、貫通方向に直交する断面の大きさが貫通方向に沿って変化するような形状であってもよい。

[0029] 図2に示すように、第1多孔体11では、同じ第1容器2から気体Gが導入される第1貫通孔11aのそれぞれは、その貫通方向に直交する断面の形状及び大きさが均一（径D）であり、一定の配列ピッチP1で配列されている。このため、複数の第1貫通孔11aのそれぞれで発生する微細気泡Bの大きさは、均一となる（図5参照）。

[0030] 第1貫通孔11aの孔径Dは、例えば2 μ mとすることができるが、形成する微細気泡Bの大きさに応じて変更することができ、例えば10 μ m以下とすることができる。また、第1貫通孔11aの配列ピッチP1は、1250 μ mとすることができる。また、第1貫通孔11aの孔数は、36個程度とすることができる。しかしながら、第1貫通孔11aの孔径、孔ピッチ、孔数は、これには限定されない。

[0031] 第1多孔体11として、例えば、界面活性剤を塗布せずに表面を処理する親水化処理が施されたシリコン基板を用いることができる。この親水化処理では、例えば表面加工によりその表面の撥水性が低減される。第1多孔体11としては、材質はシリコンには限られず、金属又はセラミックスなど、剛性が高く、変形しにくい材質を選択することができる。ただし、第1多孔体11をシリコン基板とすれば、半導体製造技術を用いて、所望の場所に所望の大きさの微小な第1貫通孔11aを高精度に形成することができる。

[0032] [第2多孔体]

図1Bに示すように、第2多孔体12は、第2領域Ar2内の液体L中に配置される。第2多孔体12は、第3面S3と、第3面S3と反対方向を向いた第4面S4とを有しており、第3面S3が第1多孔体11の第2面S2に対向するように配置される。第2多孔体12は、図2に示すように、第1貫通孔11aの第2面S2の端部で発生する微細気泡Bが成長する方向に配置される。第2多孔体12には、第3面S3と第4面S4との間を貫通する第2貫通孔12aが配列されている。

[0033] 第2貫通孔12aは、微細気泡B及び液体Lが通過可能な大きさを有する。図2では、第2貫通孔12aにおける対向する内壁間の最短の間隔をL2として示している。第2貫通孔12aは、一定の配列ピッチP2で配列されている。水平方向において、第2貫通孔12aの位置は、第1貫通孔11aの位置と一致していても構わないが、微細気泡Bを離脱させる点を考慮すれば、第1貫通孔11aと第2貫通孔12aとは、基本的にはずれて配置されているのが望ましい。

[0034] 第2多孔体12では、例えば第2貫通孔12aの円相当直径L2は、0.18mmとすることができるが、適宜調整することができる。第2貫通孔12aの円相当直径L2は、0.1mmより大きければよい。第2貫通孔12aの配列ピッチP2は、例えば254 μ mとすることができる。しかしながら、第2貫通孔12aの円相当直径L2及び配列ピッチP2は、適宜変更することができる。

[0035] 図3に示すように、第2多孔体12は、メッシュ繊維20による網目で第2貫通孔12aが形成されたメッシュ構造体21とすることができる。メッシュ繊維20としては、例えばステンレス製の繊維に、界面活性剤を用いずにその表面の濡れ性を高めた親水化処理を施したものをを用いることができる。しかしながら、メッシュ繊維20の材質は、これには限定されない。また、メッシュ繊維20の層は、1層でよい。複数の層があると、液体Lが第2貫通孔12aを板厚方向に流れようとする際の流動抵抗が増すためである。

[0036] 図2に示すように、第2多孔体12は、第2貫通孔12aの向きが第1貫

通孔11aと同じとなるように、第1多孔体11に対して微細気泡B及び液体Lが通過可能な隙間E（間隔L1）を空けて配置される。隙間Eは、例えば100 μ mとすることができるが、基本的には、0.1mm以上0.4mmとするのが望ましい。

[0037] この隙間Eを形成するために、図1Bに示すように、第1多孔体11と第2多孔体12との間にスペーサ13が設けられている。スペーサ13は、その上下の長さを調整できるようになっていてもよい。この場合、スペーサ13は、隙間Eの大きさを調整可能な調整部として機能する。調整部は、隙間Eを、所望の大きさの微細気泡Bが得られる大きさに調整する。

[0038] なお、第2多孔体12をメッシュ構造体21とする場合、微細気泡Bの発生により、その浮力で、メッシュ構造体21を浮かせて第1多孔体11とメッシュ構造体21との間に隙間Eをつくるようにしてもよい。この場合、スペーサ13を介さずに、第1多孔体11と第2多孔体12との外縁同士を接続するようにしてもよい。

[0039] [気泡の成長及び離脱]

図4Aに示すように、第1多孔体11は、第2面S2における第1貫通孔11aの端部で微細気泡Bを発生させる。微細気泡Bは、次第に成長し、大きくなっていく。この場合、第1多孔体11と第2多孔体12との間に隙間Eが設けられているため、微細気泡Bの成長に応じて、隙間Eに存在する液体Lが水平方向に移動することができる。これにより、微細気泡Bの成長が促進される。

[0040] 第1多孔体11と第2多孔体12との間に隙間Eが設けられているので、液体Lは、その隙間Eを通過して水平方向に自在に移動し、その間を通過することができる。このため、微細気泡Bも、水平方向にも成長し易くなっている。

[0041] 微細気泡Bがさらに成長すると、図4Bに示すように、微細気泡Bは、第2多孔体12によりその成長が妨げられ、第2貫通孔12aに入り込む方向に変形する。この変形に応じて、第2貫通孔12a内の液体Lの一部は、隙

間Eの方に抜けていく。これにより、第1貫通孔11aの端部からの微細気泡Bの成長がさらに促進される。

[0042] 第2貫通孔12aがさらに成長すると、図4Cに示すように、微細気泡Bは、第1貫通孔11aから離脱し、独立した微細気泡Bとして、第2貫通孔12aを抜けて上昇していく。

[0043] このように、気泡発生部1では、第1多孔体11と、第2多孔体12との間に隙間Eが設けられ、第2多孔体12に第2貫通孔12aが設けられているため、微細気泡Bの成長とともに、液体Lが隙間E及び第2貫通孔12aを通過し易くなっている。これにより、微細気泡Bが成長し易くなるうえ、第1貫通孔11aの端部から微細気泡Bを離脱させ易くなる。微細気泡Bが、第1貫通孔11aの端部から離脱すると、その端部に新たな微細気泡Bが生成される。気泡発生部1では、このようにして、微細気泡Bが連続生成される。

[0044] 以上述べたように、第2多孔体12は、第1貫通孔11aの端部で発生した微細気泡Bの成長を妨げて変形させて、第1貫通孔の他方端からの微細気泡の離脱を促進するために配置されている。

[0045] 図5に示すように、第1多孔体11の複数の第1貫通孔11aから、同時に微細気泡Bの発生、成長、離脱が断続的に繰り返され、結果的に均一な大きさの微細気泡Bが液体L中に多数生成される。これにより、微細気泡Bの単分散化を実現することができる。

[0046] 本実施の形態では、図2、図4A～図4C及び図5に示すように、メッシュ繊維20は、その長手方向に直交する断面の形状が円形となっている。言い換えると、本実施の形態では、図4Aに示すように、貫通方向に延びる第2貫通孔12aの中心線CLを含む切断面で第2貫通孔12aを切断したときの内壁の形状は、曲がっている。これにより、液体Lに対する第2貫通孔12aの内壁の流動抵抗を低減することができるので、液体Lを移動し易くして、微細気泡Bの成長及び離脱を促進することができる。

[0047] 図6に示すように、貫通方向に見た第2貫通孔12aの断面形状は、四角

形状である。通常、微細気泡Bは、その表面張力により、丸くなる傾向にある。したがって、第2貫通孔12aの断面形状が四角形状である場合、第2貫通孔12aの四隅に液体Lの通り道ができる。このようにすれば、この通り道を液体Lが微細気泡Bとは逆方向に移動し易くなるので、微細気泡Bの成長及び離脱を促進することができる。

[0048] なお、貫通方向に見た第2貫通孔12aの断面形状は、四角形状に限らず、三角形であってもよいし、五角形以上であってもよい。すなわち、貫通方向に見た第2貫通孔12aの断面形状は、多角形状であればよい。

[0049] なお、仮に、図7に示すように、第1貫通孔11aの配列ピッチP1と第2貫通孔12aの配列ピッチP2が同じであった場合、隣接する2つの第1貫通孔11aで発生した微細気泡Bが、1つの第2貫通孔12aに集まって1つになり、大きな微細気泡Bが発生してしまう。これを防ぐため、本実施の形態では、図2に示すように、第1貫通孔11aの配列ピッチP1は、第2貫通孔12aの配列ピッチP2の2倍となっている。このようにすれば、第2貫通孔12aを通して離脱する微細気泡Bは、必ずいずれか1つの第1貫通孔11aで発生したものとすることができるので、微細気泡Bの均一性を向上することができる。基本的には、第1貫通孔11aの配列ピッチは、第2貫通孔12aの配列ピッチの2倍以上であればよい。

[0050] なお、図8に示すように、メッシュ繊維20の長手方向に直交する断面は、矩形状となってもよい。この場合、第2貫通孔12aの貫通方向が矩形断面の1つの対角線に沿った向きとなる。このようにすれば、第2貫通孔12aを、その貫通方向に延びる中心線CLを含む切断面で切断したときの第2貫通孔12aの内壁の形状は、折れ曲がった形状となる。このため、液体Lに対する第2貫通孔12aの内壁の流動抵抗を低減することができるので、液体Lを移動しやすくし、微細気泡Bの離脱を促進することができる。

[0051] 次に、本実施の形態に係る気泡形成装置100を用いた気泡形成方法について説明する。まず、図9に示すように、第1多孔体11及び第2多孔体を製造する（ステップS1）。具体的には、シリコン基板に対してエッチング

加工等を行って、複数の第1貫通孔11aを形成して、第1多孔体11を製造する。

[0052] 続いて、気泡発生部1を組み立てる（ステップS2）。具体的には、第1多孔体11にスペーサ13を介してメッシュ構造体21、すなわち第2多孔体12を取り付けることにより、気泡発生部1が組み立てられる。

[0053] 続いて、気泡形成装置100のセッティングを行う（ステップS3）。第1容器2、第2容器3及び気泡発生部1を、図1で示すような状態に組み立てて、この組立体に、ガス供給源4、ガス供給管5、レギュレータ6、圧力計8、流量計7及び制御部10を取り付けて気泡形成装置100全体を組み立てる。

[0054] 続いて、気泡形成装置100において気泡の形成を行う（ステップS4）。具体的には、第1容器2の第1領域Ar1に気体を供給するとともに、第2容器3の第2領域Ar2に液体Lを供給する。制御部10は、第1領域Ar1内の気体の気圧が、第2領域Ar2の液体Lの水圧より高くなるように調整して、第1貫通孔11aに気体を通す。

[0055] このステップS4において、気泡発生部1では、以下の（A）、（B）の動作が行われる。

（A）第1多孔体11に配列された第1貫通孔11aの第1面S1の端部から第1貫通孔11aに気体を通して、液体Lと接する第1貫通孔11aの第2面S2の端部に微細気泡Bを発生させる。

（B）微細気泡B及び液体Lが通過可能な第2貫通孔12aの配列が形成された第2多孔体12を、第2貫通孔12aの向きが第1貫通孔11aと同じとなり、第1多孔体11との間に微細気泡B及び液体Lが通過可能な隙間Eが空くように液体L中に配置して、第1貫通孔11aの第2面S2の端部から成長する微細気泡Bを変形させる。

[0056] このように、本実施の形態に係る気泡形成装置100によれば、機械的な動力を用いることなく、均一な所望のサイズを有する微細気泡Bを大量に発生させることができる。小さい微細気泡Bは、浮上速度が遅くなり、慣性力

が小さくなる。また、微細気泡Bは、サイズが異なると小さい方が大きい方に取り込まれるように働くところ、この気泡形成装置100により形成される微細気泡Bは、サイズがそろっているため、お互いが吸収されずに、バランスをとって存在することができる。平均気泡径が200 μ m以下で、かつ単分散な微細気泡Bの気泡群が形成された場合、微細気泡Bが高密度に発生しても、合一することなく浮遊して液体L中に溶解収縮させることができる。

[0057] [評価試験]

本実施の形態に係る気泡形成装置100の評価試験の結果について説明する。

[0058] 第2貫通孔12a、すなわちメッシュ構造体21のメッシュ径を2.4mm、0.74mm、0.36mm、0.18mmとした場合に生成される微細気泡Bのザウター径（表面積対体積率）を計測した。図10には、この計測結果が示されている。図10に示すように、メッシュ径を小さくすればするほど、微細気泡Bのザウター径が小さくなっており、そのザウター径のばらつきは小さくなっている。特に、メッシュ径（円相当直径）を0.36mm、0.18mmとした場合、微細気泡Bの大きさが均一化されることがわかった。メッシュ径を0.18mmとした場合の微細気泡Bのザウター径の平均は約198 μ mとなり、変動係数（CV値）は、18.4%となった。

[0059] 図10には、比較対象として、第1多孔体11を用いて液体Lに定常の流れ場を作り、その流れ場により微細気泡Bを生成する他の気泡生成装置における微細気泡Bのザウター径と、第1多孔体11を振動させて微細気泡Bを生成する他の気泡生成装置における微細気泡Bのザウター径と、が表示されている。図10に示すように、本実施の形態に係る気泡形成装置100において、メッシュ径を0.36mm、0.18mmとして微細気泡Bを発生させた場合、定常の流れ場及び振動の流れ場により同程度の径の微細気泡Bを生成した場合に比べ、微細気泡Bのザウター径のばらつきは、低減している。この評価実験により、本実施の形態に係る気泡形成装置100により、微

細気泡Bの微細化と単分散化が実現されることが明らかとなっている。

[0060] さらに、本実施の形態に係る気泡形成装置100を用いて微細気泡Bを形成した場合の液体L中の微細気泡Bの物質移動容量係数 $K_L a$ を評価している。物質移動容量係数 $K_L a$ は、同じ体積にどれだけ多くの微細気泡Bを溶け込ませることができるかを示す指標である。

[0061] 図11には、ガス空塔速度に対する物質移動容量係数 $K_L a$ の特性が示されている。このグラフには、本実施の形態に係る気泡形成装置100の他、積層スリットにより気泡を発生させる積層スリット型の気泡形成装置と、焼結球により気泡を発生させる焼結球型の気泡形成装置と、単孔ノズルにより気泡を発生させる単孔ノズル型の気泡形成装置と、における、ガス空塔速度[cm/s]の変化に対する物質移動容量係数 $K_L a$ の変化がプロットされている。

[0062] 図11に示すように、本実施の形態に係る気泡形成装置100では、物質移動容量係数 $K_L a$ は、第2多孔体12が無いときに比べて85倍と飛躍的に向上している。これは、気泡形成装置100が、低ガス流量で、高い気体溶解能を有することを示している。このことは、逆に言えば、本実施の形態に係る気泡形成装置100のコンパクト化とポータブル化を実現することができることを示している。

[0063] 図12には、所要動力に対する物質移動容量係数 $K_L a$ の特性が示されている。図12には、本実施の形態に係る気泡形成装置100において、メッシュ（第2貫通孔）のない第2多孔体12を用いた場合と、メッシュ孔径を0.74mm、0.36mm、0.18mmの場合とにおける、物質移動容量係数 $K_L a$ が示されている。図12に示すように、ベンチュリー式、加圧溶解式、旋回液流式、エジェクター式の気泡形成装置は、動力により液流れをつくる必要があるため、大きな所要動力を必要とする一方で、多孔板を用いたものや、コンスタントフローノズルを用いたものでも、物質移動容量係数 $K_L a$ を大きくしようとするれば、所要動力を大きくする必要がある。これに対して、本実施の形態に係る気泡形成装置100では、所定の気圧で気体を供給

する極めて小さい動力の下で、高い気体溶解能を得ることができると明らかなとなっている。なお、本実施の形態に係る気泡形成装置100では、メッシュ径を小さくすればするほど、物質移動容量係数 $K_L a$ を大きくすることができることも明らかとなっている。

[0064] 以上詳細に説明したように、本実施の形態に係る気泡形成装置100によれば、微細気泡Bの周辺領域の液体Lが自由に通過できるように第1多孔体11と第2多孔体12との間に隙間Eが形成されているので、動力で液体の流れをつくることなく、均一な大きさの微細気泡を大量に発生させることができる。

[0065] 本実施の形態に係る気泡形成装置100によれば、第1貫通孔11aは、貫通方向に直交する断面の形状及び大きさ（径D）が均一で、同一の配列ピッチP1で配列されている。このようにすれば、大きさが均一な微細気泡Bを一度に大量に形成することができる。しかしながら、第1多孔体11における第1貫通孔11aの断面には、ばらつきがあってもよいし、第1貫通孔11aの配列ピッチにばらつきがあってもよい。

[0066] 本実施の形態に係る気泡形成装置100によれば、第1貫通孔11aの配列ピッチP1は、第2貫通孔12aの配列ピッチP2の2倍以上である。しかしながら、これには限られない。複数の第1貫通孔11aのそれぞれで発生した微細気泡Bが、1つの第2貫通孔12aに集まらないように、第1貫通孔11aと第2貫通孔12aとが配置されるようにすればよい。

[0067] 本実施の形態に係る気泡形成装置100によれば、第2多孔体は、メッシュ繊維20により第2貫通孔12aを構成する網目が形成されたメッシュ構造体21である。メッシュ構造体21は第1貫通孔11aで発生した微細気泡Bの成長を妨げ、所望の大きさの微細気泡Bを得るのに好適である。また、第2多孔体12をメッシュ構造体21とすれば、前述のように、第1貫通孔11aで発生した微細気泡Bによる浮力でメッシュ構造体21を浮かし、第1多孔体11との間に隙間Eを形成することも可能である。

[0068] 本実施の形態に係る気泡形成装置100によれば、第2貫通孔12aを、

その貫通方向に延びる中心線C Lを含む切断面で切断したときの第2貫通孔1 2 aの内壁の形状は、折れ曲がるか、曲がっている。これにより、第2貫通孔1 2 aを通過する液体Lの流動抵抗を低減することができるので、微細気泡B及び液体Lが第2貫通孔1 2 aを通過し易くなる。このため、微細気泡Bを離脱させやすくすることができる。

[0069] 本実施の形態に係る気泡形成装置1 0 0によれば、貫通方向に見た第2貫通孔1 2 aの断面形状は、多角形状である。これにより、第2貫通孔1 2 a内において液体Lが通る流路を確保することができる。このため、微細気泡Bを離脱させやすくすることができる。

[0070] 本実施の形態に係る気泡形成装置1 0 0によれば、スペーサ1 3は、隙間Eの大きさを調整可能な調整部として機能する。隙間Eの大きさを変えることにより、形成される微細気泡Bの大きさを変えることが可能である。

[0071] この他、第1貫通孔1 1 a及び第2貫通孔1 2 aの断面の形状、大きさ及び孔の数、メッシュ繊維の断面形状、第1貫通孔1 1 aと第2貫通孔1 2 aとの配列ピッチの比率、第1多孔体1 1と第2多孔体1 2の液体L（例えば水）との親和性を調整することで、離脱する微細気泡Bの大きさを調整することができる。

[0072] なお、本実施の形態に係る気泡形成装置1 0 0では、第2多孔体1 2を、メッシュ構造体2 1としている。しかしながら、これには限られない。例えば、第1多孔体1 1と同じような基板で第2多孔体1 2を構成するようにしてもよい。

[0073] また、本実施の形態に係る気泡形成装置1 0 0は、第2面S 2及び第4面S 4が上方向を向くように、気泡発生部1を設置している。しかしながら、これには限られない。例えば、第2面S 2及び第4面S 4が横方向を向くように、気泡発生部1を設置してもよい。

[0074] また、本実施の形態に係る気泡形成装置1 0 0は、完全な密閉系のバッチ装置とすることができる。このため、気泡形成装置1 0 0の素材として、実験環境に応じて耐圧かつ耐薬品性に優れた素材を選定することができる。ま

た、供給する気体Gの種類を自由に設定することができる。

[0075] 本実施の形態に係る気泡形成装置100は、気泡の微細化能や、微細気泡Bの高いサイズ制御能を有するだけでなく、装置のコンパクト化とポータブル化を実現することができるので、ボトルや小型水槽などに取り付けることができる。このため、アクアリウムや生理活性など1次産業での利用に加え、美容やスキンケア、飲料や食感や味覚の付与など少量多品種の生産が必要なライフサイエンスや医薬品等の分野、また家庭用トイレ洗浄など幅広い応用展開が可能である。

[0076] また、本実施の形態に係る気泡形成装置100は、外力を付与せずに第1多孔体（多孔板）11にメッシュ構造を有する第2多孔体（邪魔板）12を設置するだけでバルク液中にてファインバブル群を生成する装置構造を有している。このため、従来の化学産業で最も一般的な気泡発生装置として使用されてきた多孔板を、本実施の形態に係る気泡発生部1に置き換えて、気泡生成能を飛躍的に向上できるため、気泡発生部1の意義や価値は非常に大きい。

[0077] この発明は、この発明の広義の精神と範囲を逸脱することなく、様々な実施の形態及び変形が可能とされるものである。また、上述した実施の形態は、この発明を説明するためのものであり、この発明の範囲を限定するものではない。すなわち、この発明の範囲は、実施の形態ではなく、特許請求の範囲によって示される。そして、特許請求の範囲内及びそれと同等の発明の意義の範囲内で施される様々な変形が、この発明の範囲内とみなされる。

[0078] なお、本願については、2023年9月29日に出願された日本国特許出願2023-169190号を基礎とする優先権を主張し、本明細書中に日本国特許出願2023-169190号の明細書、請求の範囲、図面全体を参照として取り込むものとする。

産業上の利用可能性

[0079] 本発明は、ファインバブルを形成するのに適用することができる。

符号の説明

[0080] 1 気泡発生部、2 第1容器、3 第2容器、4 ガス供給源、5 ガス供給管、6 レギュレータ、7 流量計、8 圧力計、10 制御部、11 第1多孔体、11a 第1貫通孔、12 第2多孔体、12a 第2貫通孔、13 スペーサ、20 メッシュ繊維、21 メッシュ構造体、100 気泡形成装置、Ar1 第1領域、Ar2 第2領域、B 微細気泡、CL 中心線、E 隙間、G 気体、L 液体、S1 第1面 S2 第2面、S3 第3面、S4 第4面

請求の範囲

- [請求項1] 第1貫通孔の配列が形成され、前記第1貫通孔の一方端から気体が注入されて液体と接する他方端に微細気泡を発生させる第1多孔体と、
- 、
- 微細気泡及び液体が通過可能な第2貫通孔の配列が形成され、前記第1貫通孔の他方端から成長する微細気泡を変形させるように液体中に配置される第2多孔体と、を備え、
- 前記第2多孔体は、
- 前記第2貫通孔の向きが前記第1貫通孔と同じとなるように、前記第1多孔体との間に微細気泡及び液体が通過可能な隙間を空けて配置される、
- 気泡形成装置。
- [請求項2] 前記第1貫通孔の配列において、前記第1貫通孔のそれぞれは、その貫通方向に直交する断面の形状及び大きさが均一であり、一定のピッチで配列されている、
- 請求項1に記載の気泡形成装置。
- [請求項3] 前記第1貫通孔及び前記第2貫通孔は、一定のピッチで配列され、前記第1貫通孔の配列ピッチは、前記第2貫通孔の配列ピッチの2倍以上である、
- 請求項1に記載の気泡形成装置。
- [請求項4] 前記第2多孔体は、メッシュ繊維による網目で前記第2貫通孔が形成されたメッシュ構造体である、
- 請求項1に記載の気泡形成装置。
- [請求項5] 貫通方向に延びる前記第2貫通孔の中心線を含む切断面で前記第2貫通孔を切断したときの内壁の形状は、折れ曲がるか、曲がっている、
- 請求項1に記載の気泡形成装置。
- [請求項6] 貫通方向に見た前記第2貫通孔の断面形状は、多角形状である、

請求項 1 に記載の気泡形成装置。

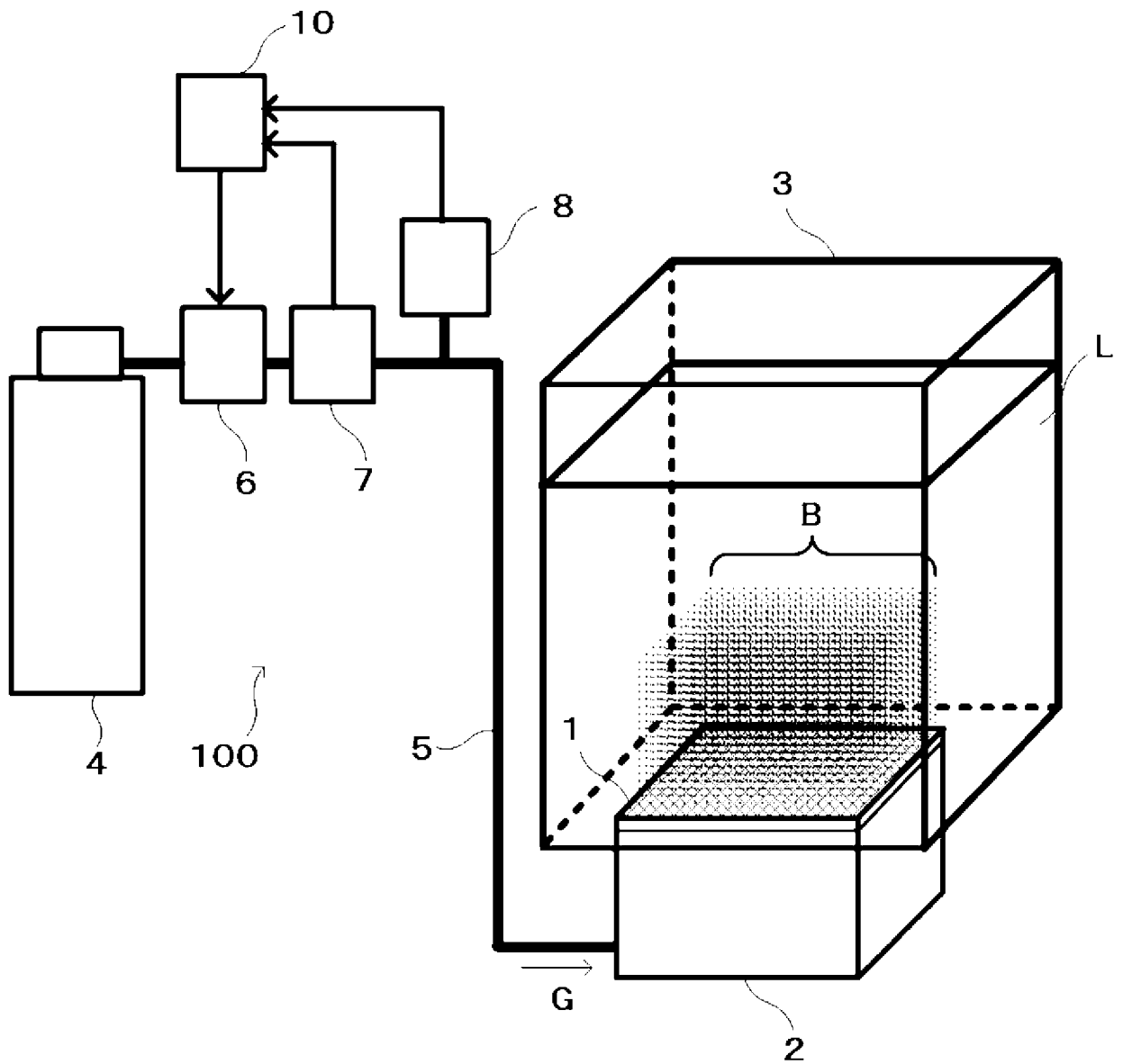
[請求項7] 前記隙間の大きさを調整可能な調整部を備える、
請求項 1 に記載の気泡形成装置。

[請求項8] 第 1 多孔体に配列された第 1 貫通孔の一方端から前記第 1 貫通孔に
気体を通して、液体と接する前記第 1 貫通孔の他端に微細気泡を発生
させ、

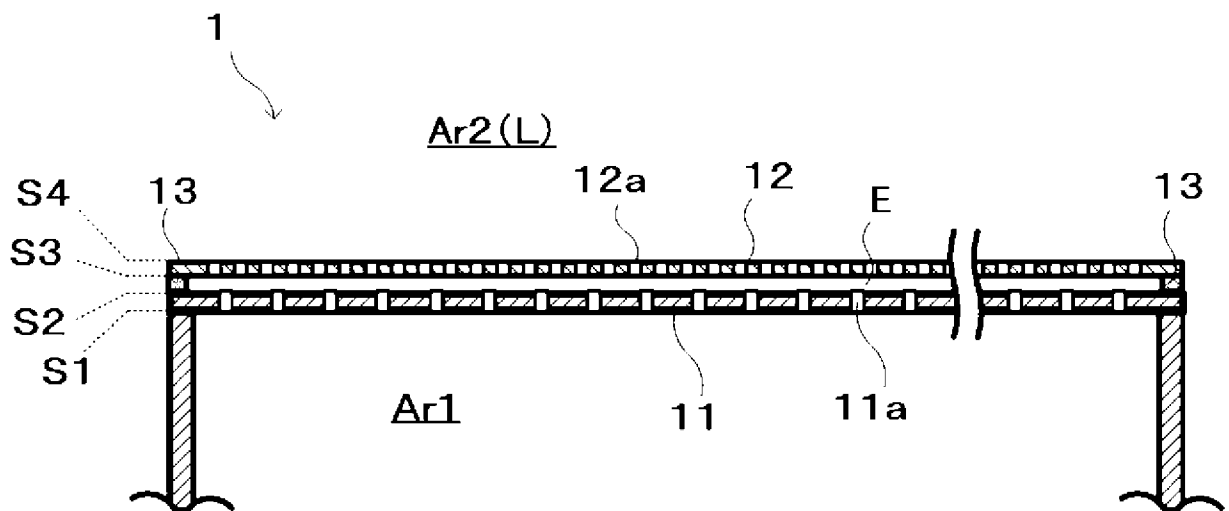
微細気泡及び液体が通過可能な第 2 貫通孔の配列が形成された第 2
多孔体を、前記第 2 貫通孔の向きが前記第 1 貫通孔と同じとなり、前
記第 1 多孔体との間に微細気泡及び液体が通過可能な隙間が空くよう
に液体中に配置して、前記第 1 貫通孔の他方端から成長する微細気泡
を変形させる、

気泡形成方法。

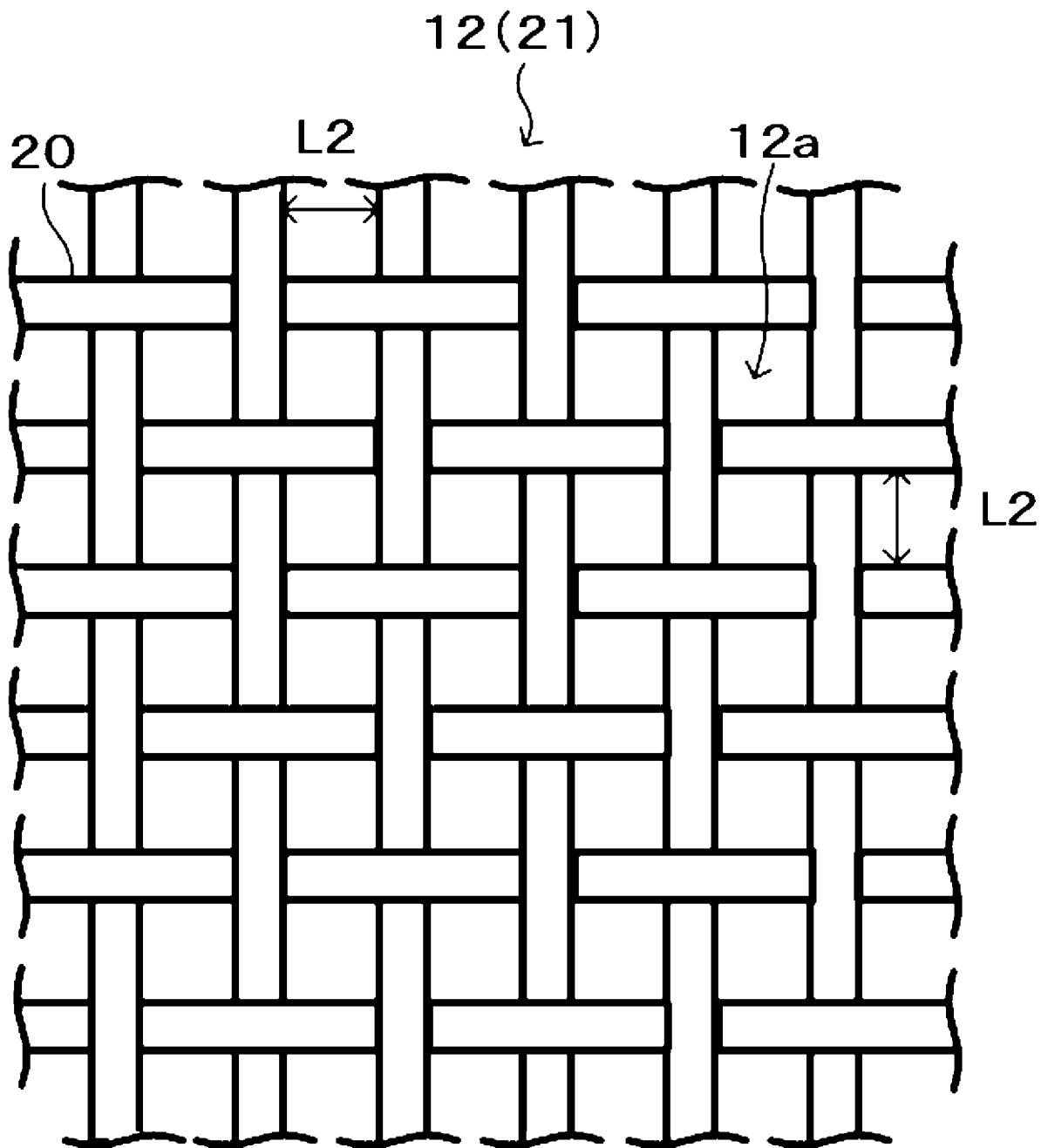
[図1A]



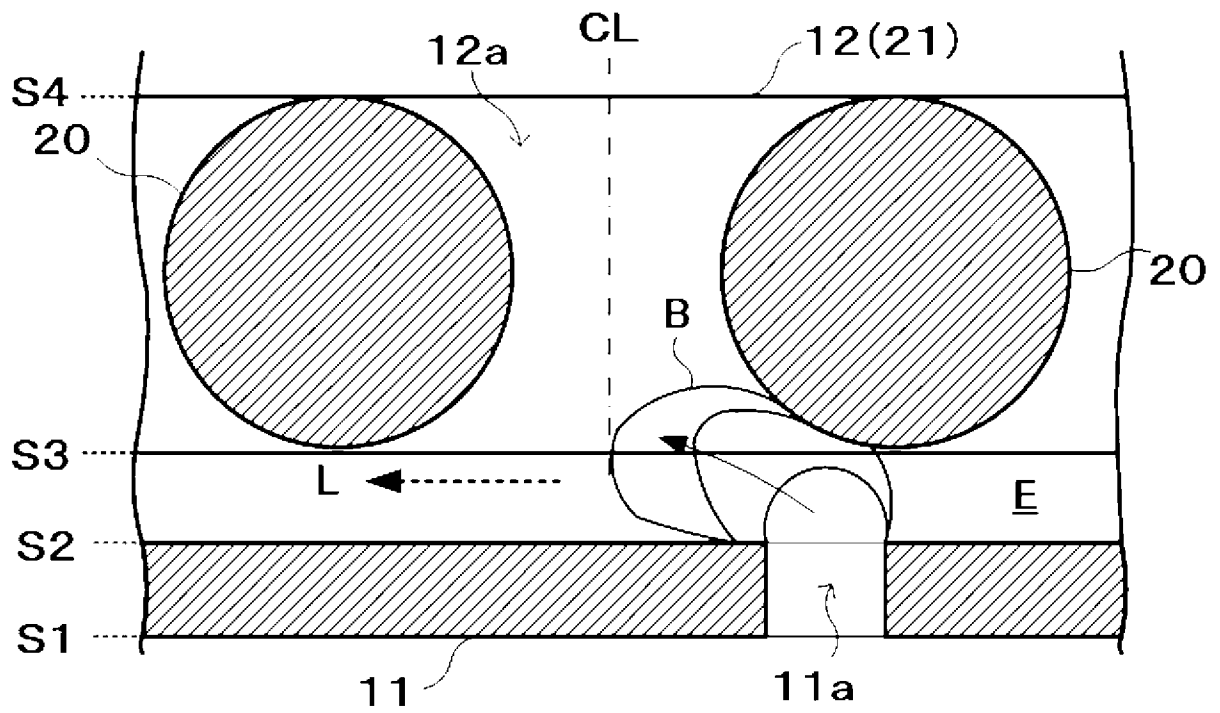
[図1B]



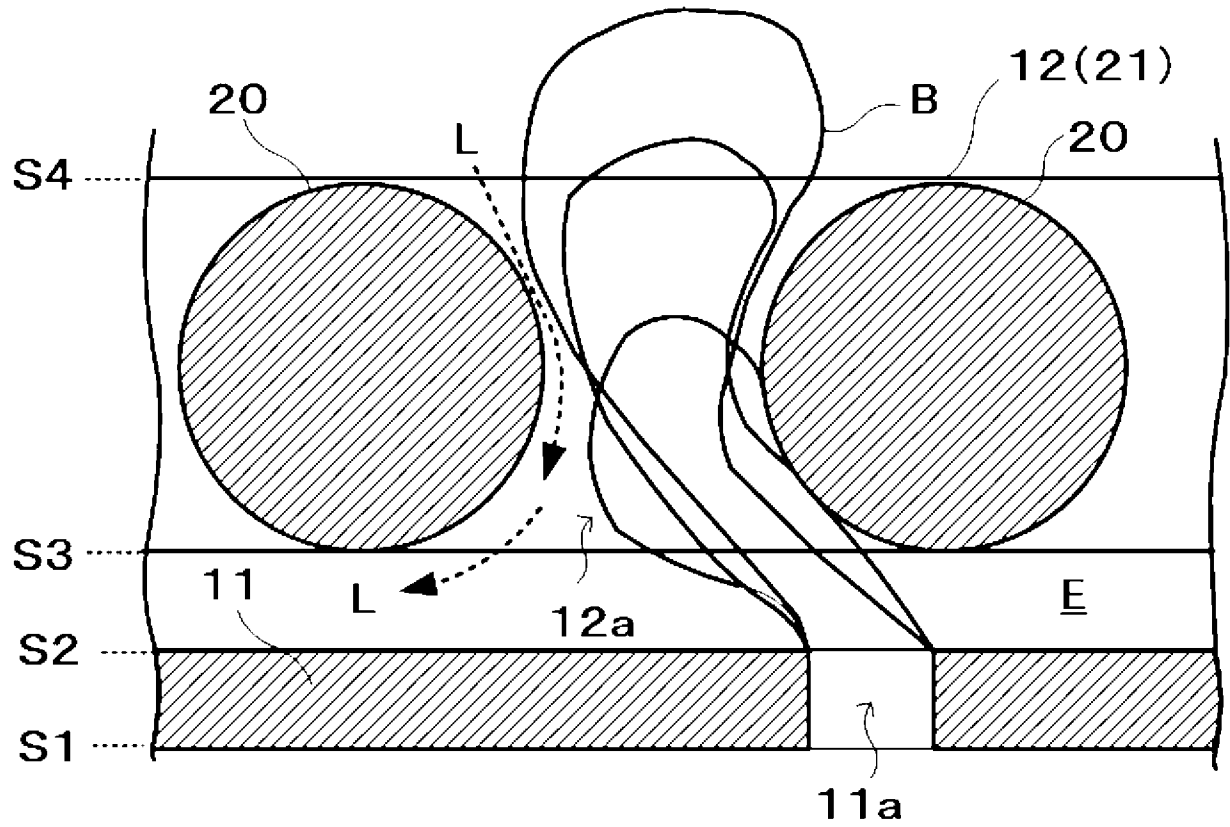
[図3]



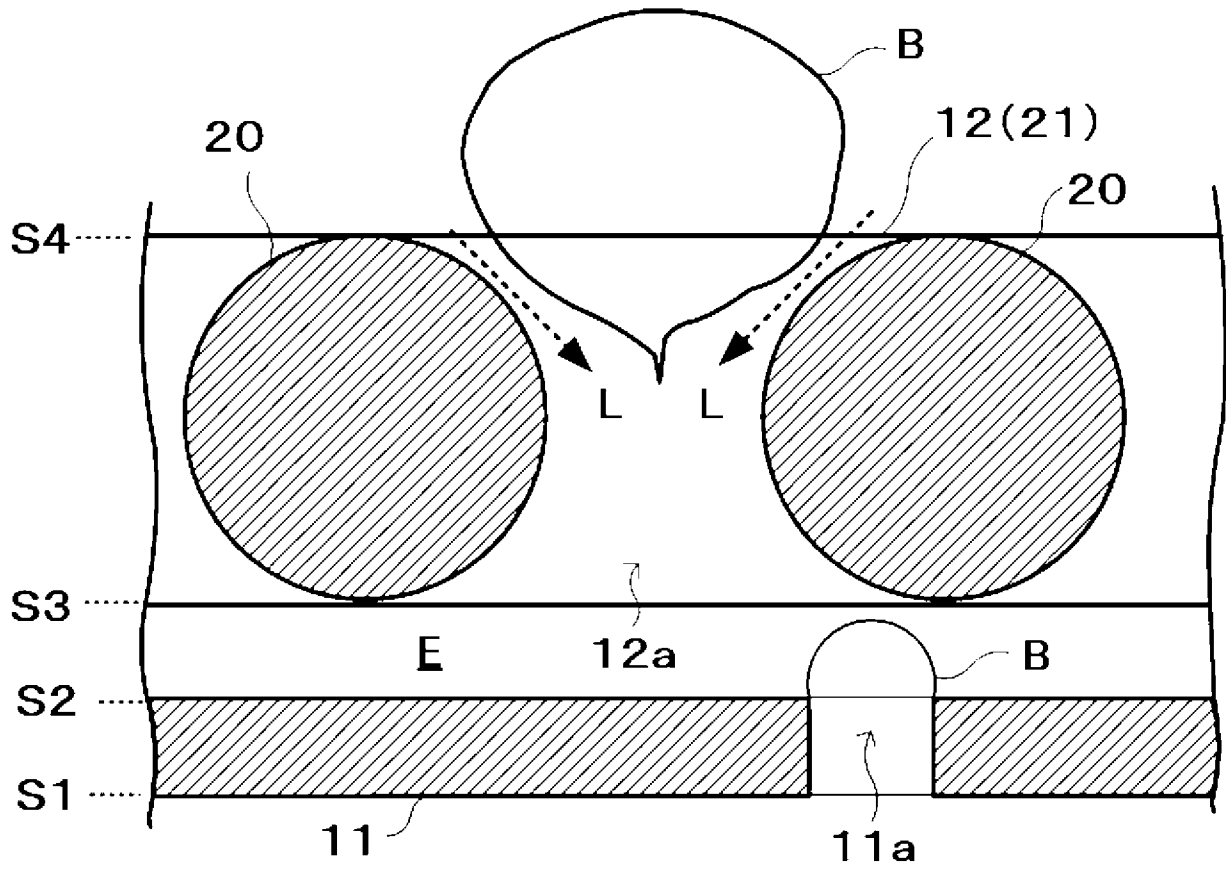
[図4A]



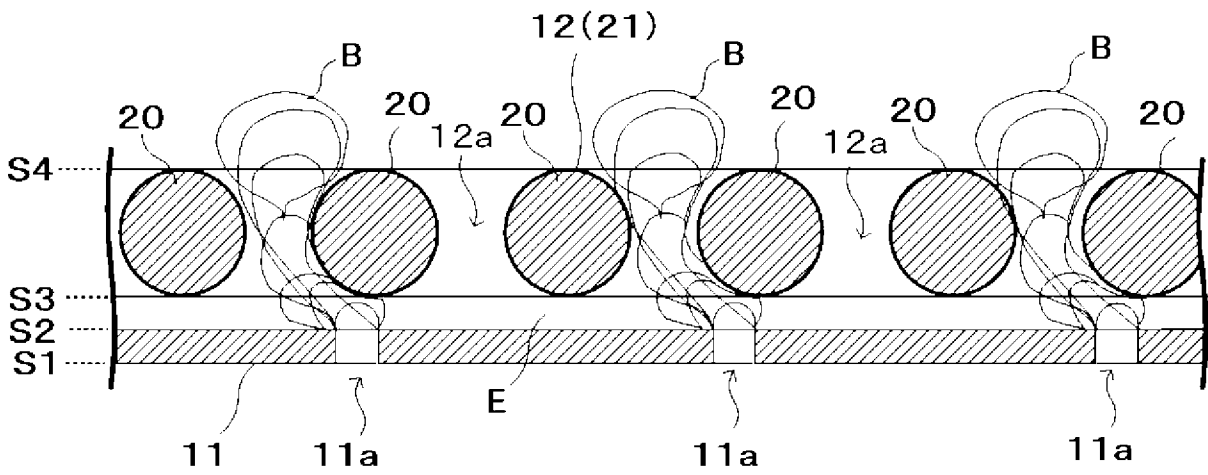
[図4B]



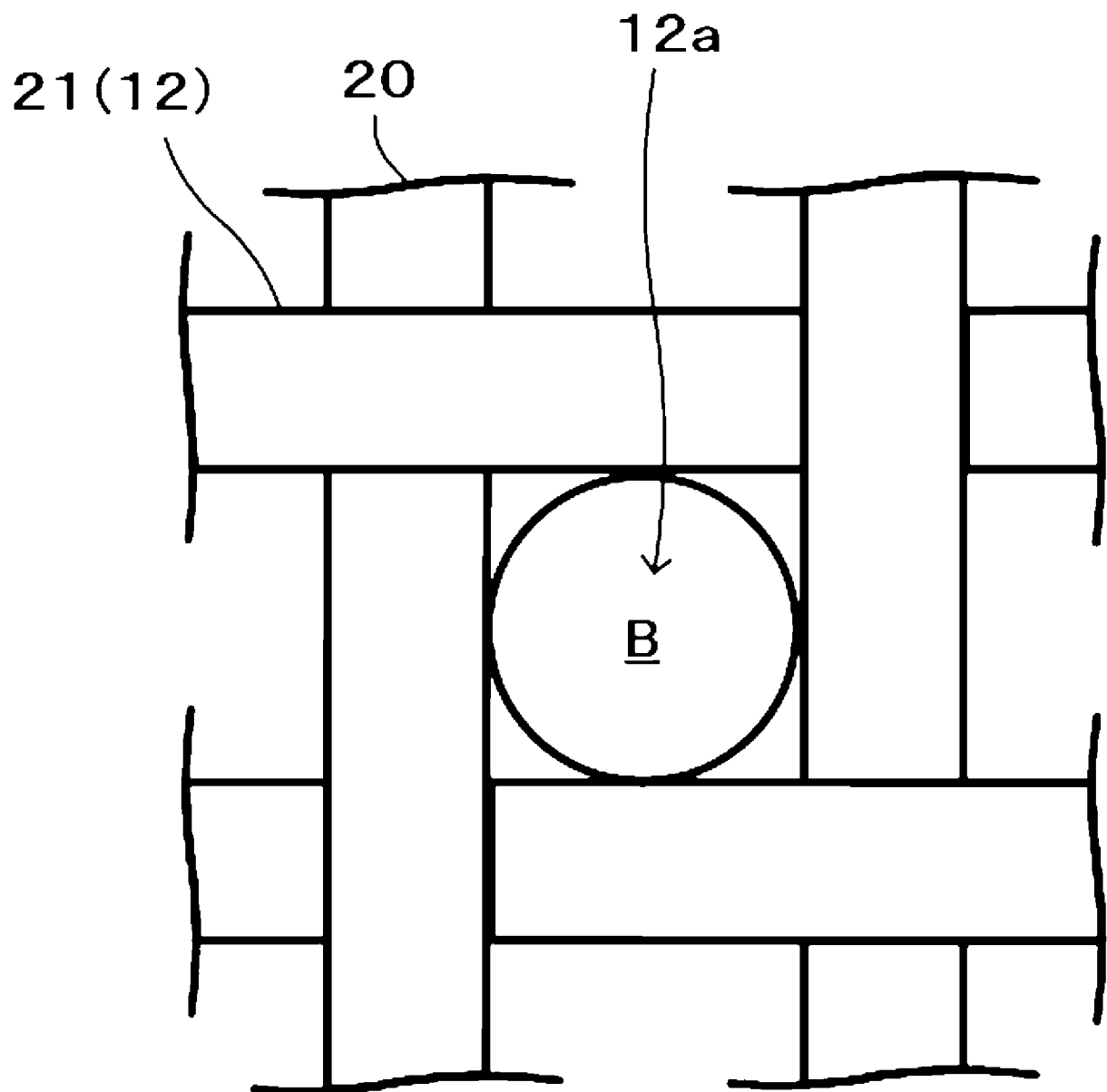
[図4C]



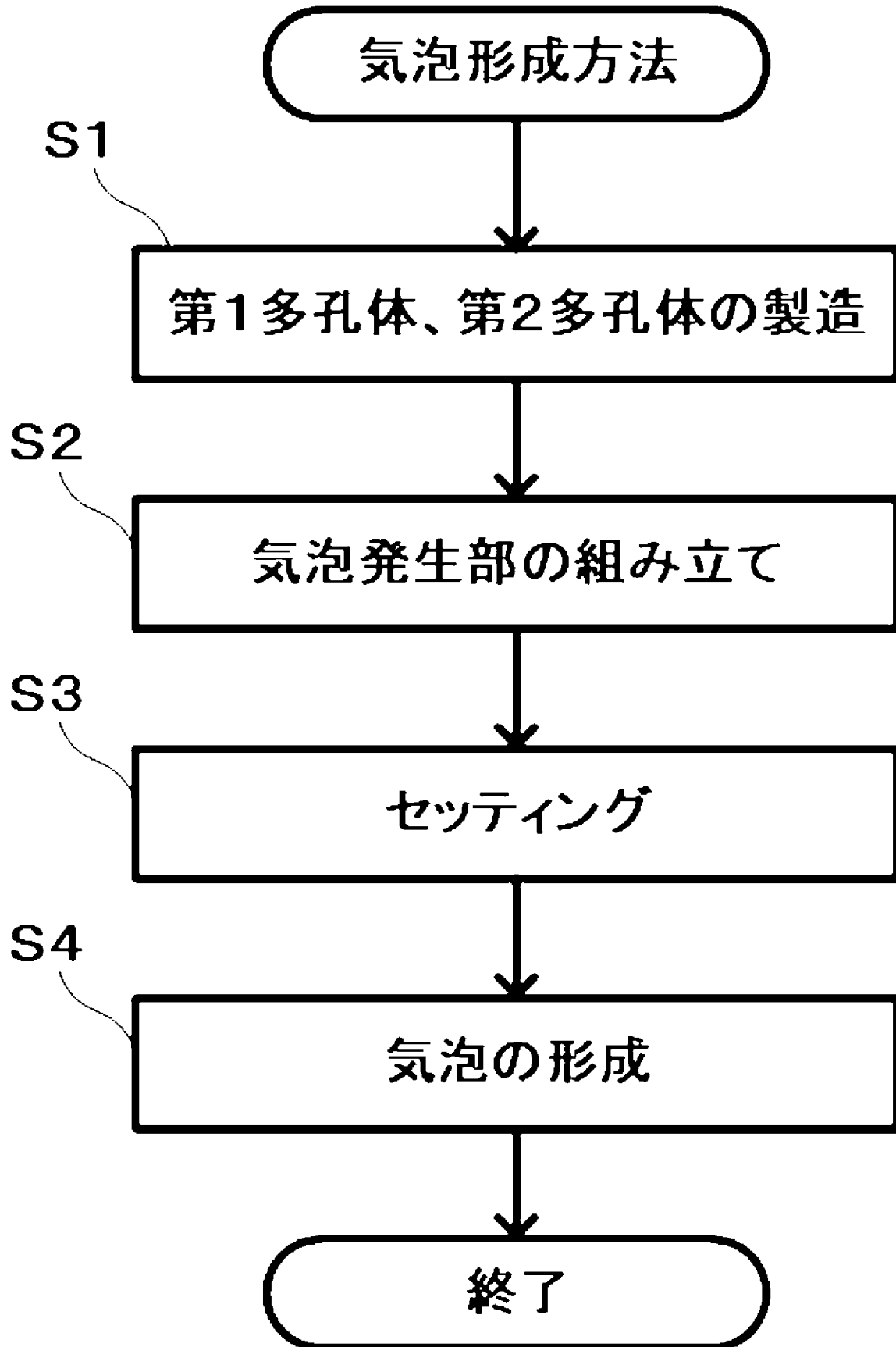
[図5]



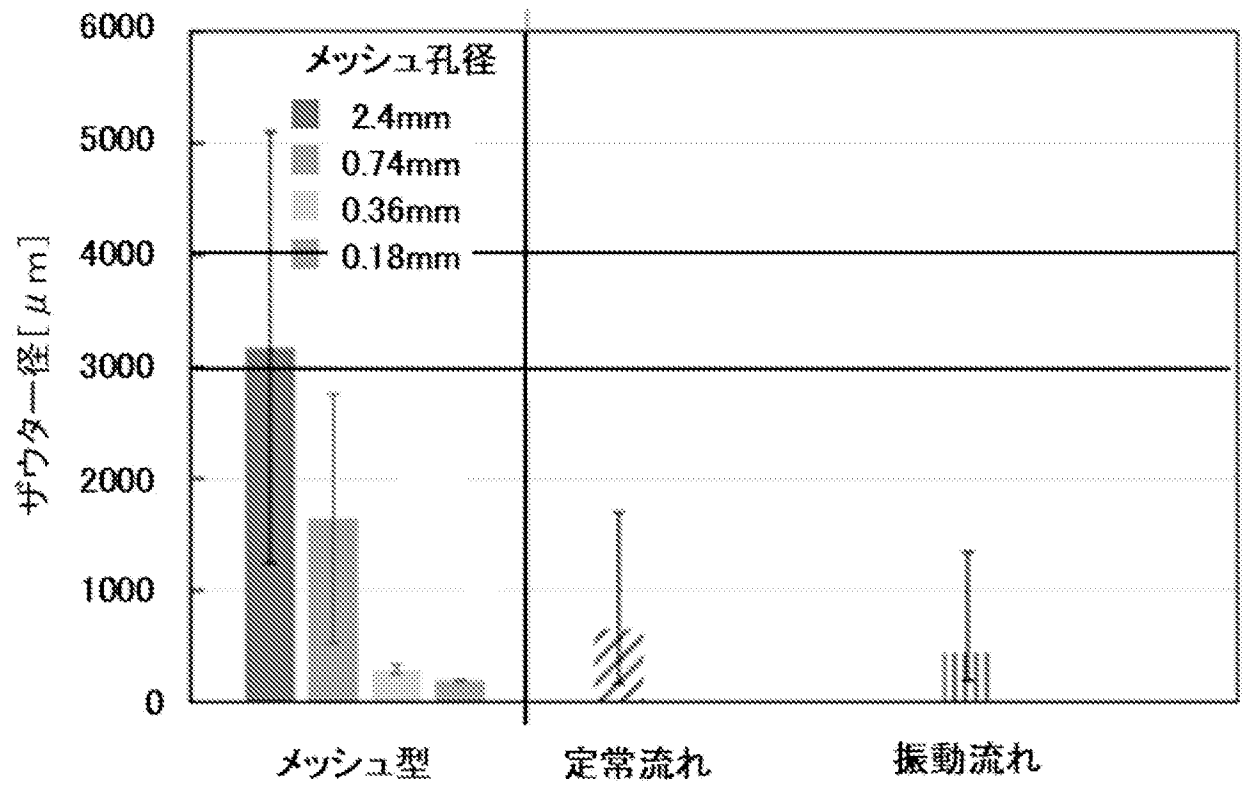
[図6]



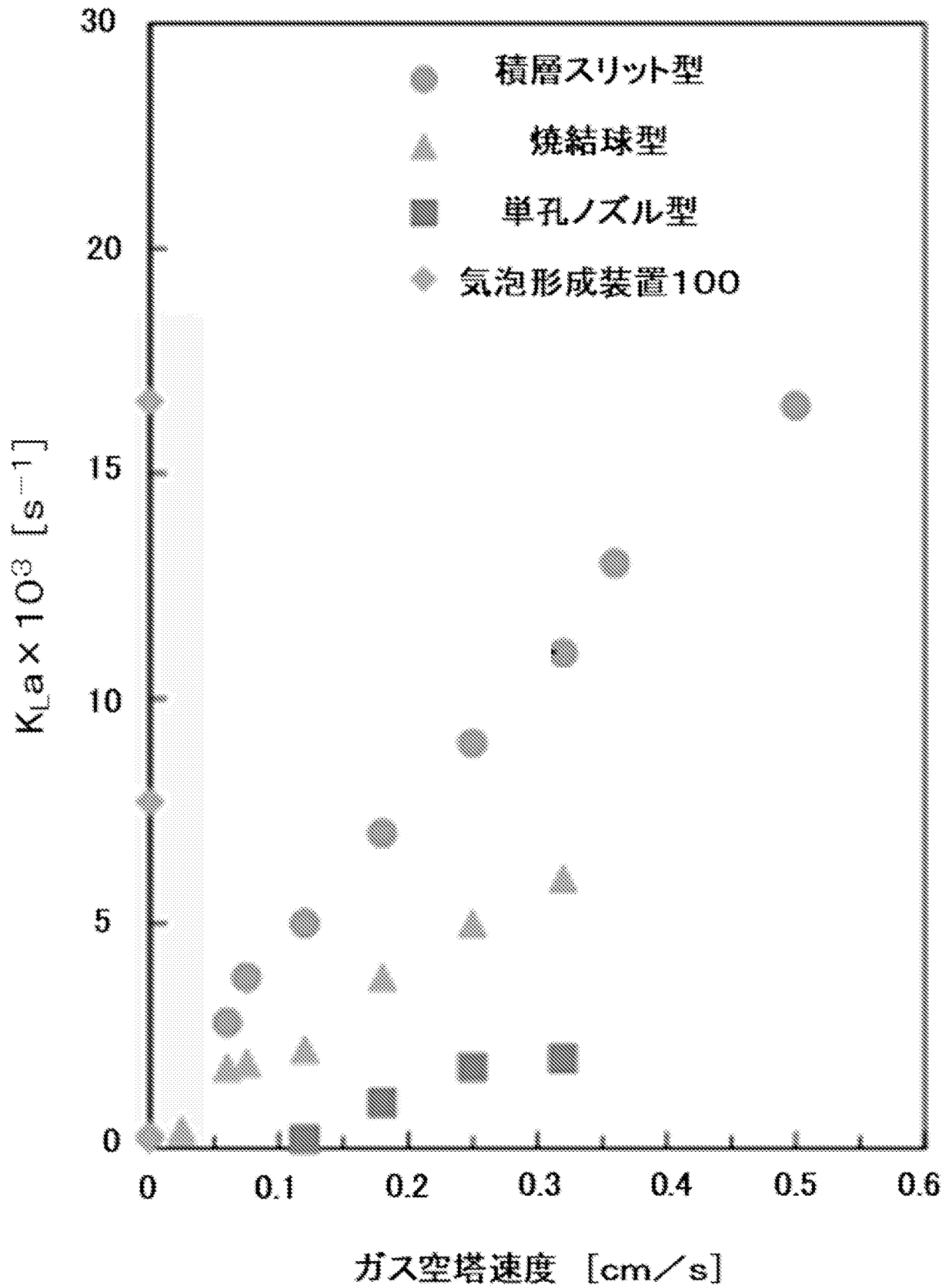
[図9]



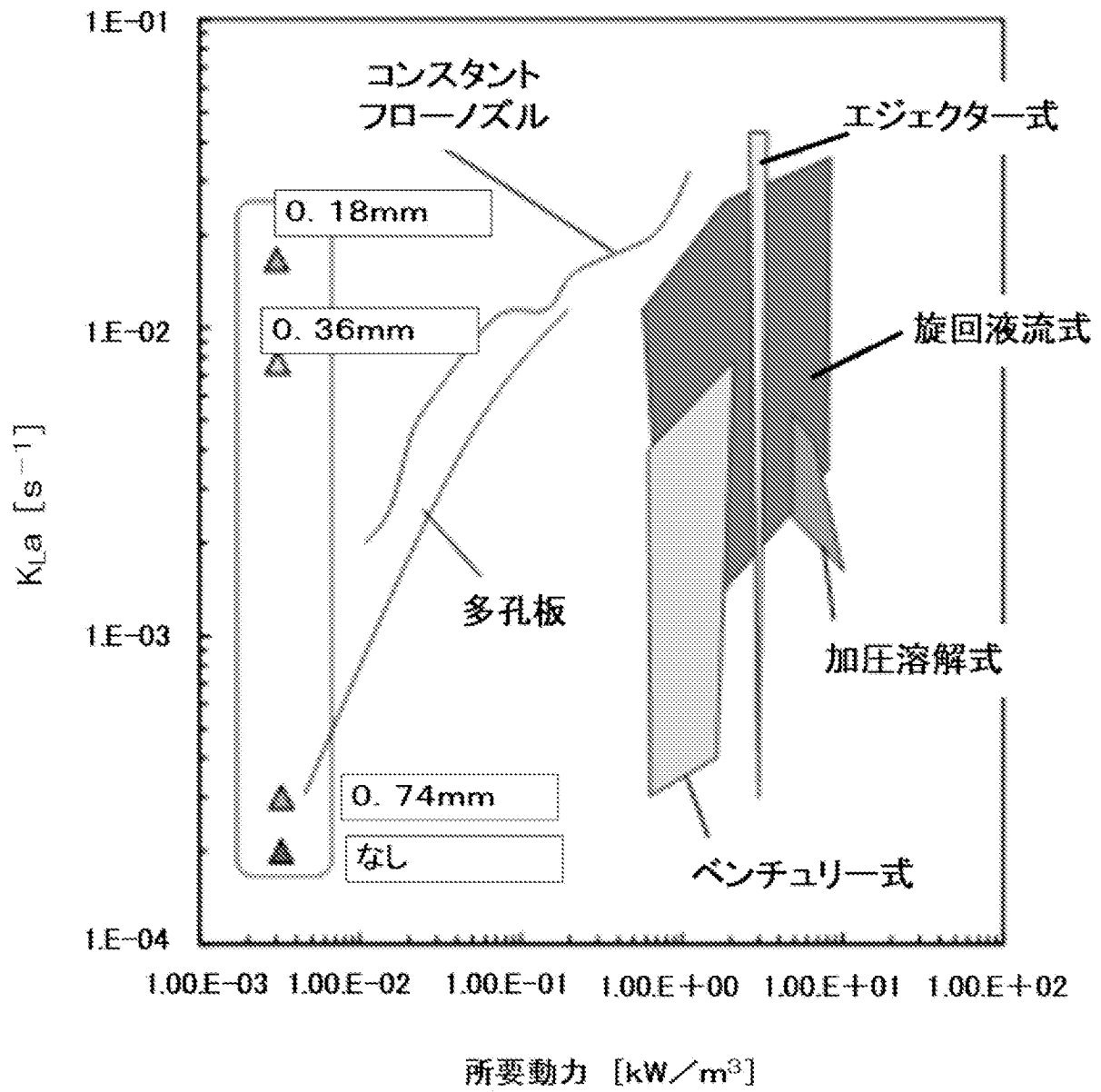
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/019529

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>B01F 25/452</i> (2022.01)i; <i>B01F 23/2373</i> (2022.01)i; <i>B01F 25/30</i> (2022.01)i; <i>B01F 35/71</i> (2022.01)i FI: B01F25/452; B01F23/2373; B01F35/71; B01F25/30		
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) B01F21/00-25/90		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024 Registered utility model specifications of Japan 1996-2024 Published registered utility model applications of Japan 1994-2024		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 10-146523 A (NIPPON SHOKUBAI CO., LTD.) 02 June 1998 (1998-06-02) fig. 1-7, explanations thereof	1-8
X	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 144295/1985 (Laid-open No. 056197/1987) (UNITIKA LTD.) 07 April 1987 (1987-04-07), fig. 1-2, explanations thereof	1-8
A	WO 2019/168130 A1 (TOKYO INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 06 September 2019 (2019-09-06) entire text, all drawings	1-8
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 "D" document cited by the applicant in the international application "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 01 July 2024		Date of mailing of the international search report 09 July 2024
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No. PCT/JP2024/019529

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 10-146523 A	02 June 1998	US 6123323 A fig. 22-28, the explanation point	
JP 62-056197 U1	07 April 1987	(Family: none)	
WO 2019/168130 A1	06 September 2019	US 2021/0001340 A1 whole document	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） B01F 25/452(2022.01)i; B01F 23/2373(2022.01)i; B01F 25/30(2022.01)i; B01F 35/71(2022.01)i FI: B01F25/452; B01F23/2373; B01F35/71; B01F25/30		
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）） B01F21/00-25/90 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 - 2024年 日本国実用新案登録公報 1996 - 2024年 日本国登録実用新案公報 1994 - 2024年		
国際調査でを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）		
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	JP 10-146523 A（株式会社日本触媒）02.06.1998（1998-06-02） 図1-7及びその説明箇所の記載	1-8
X	日本国実用新案登録出願60-144295号（日本国実用新案登録出願公開62-056197号）の 願書に添付した明細書及び図面の内容を撮影したマイクロフィルム（ユニチカ株式会 社）07.04.1987（1987-04-07）第1-2図及びその説明箇所の記載	1-8
A	WO 2019/168130 A1（国立大学法人東京工業大学）06.09.2019（2019-09-06） 全文、全図	1-8
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> 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、一般的な技術水準を示すもの “D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献 “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抵 触するものではなく、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	国際調査報告の発送日	
01.07.2024	09.07.2024	
名称及びあて先 日本国特許庁（ISA/JP） 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 太田 一平 4Q 3841 電話番号 03-3581-1101 内線 3421	

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2024/019529

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 10-146523 A	02.06.1998	US 6123323 A FIG.22-28 and the explanation point	
JP 62-056197 U1	07.04.1987	(ファミリーなし)	
WO 2019/168130 A1	06.09.2019	US 2021/0001340 A1 the whole document	