

(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2月27日(27.02.2025)



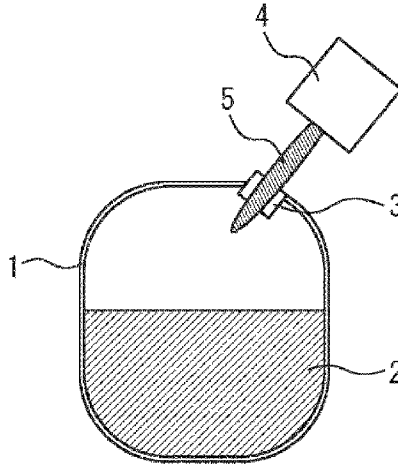
(10) 国際公開番号

WO 2025/041274 A1

- (51) 国際特許分類:  
*B01J 19/12* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/030188
- (22) 国際出願日: 2023年8月22日(22.08.2023)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人:三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 杉谷 拓海 (SUGITANI, Takumi); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 井上 晃 (INOUE, Akira); 〒1008310 東京都千
- 代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 弁理士法人高田・高橋国際特許事務所 (TAKADA, TAKAHASHI & PARTNERS); 〒1040045 東京都中央区築地1丁目12番2号コンワビル7階Tokyo (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, 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,

(54) Title: MICROWAVE REACTOR

(54) 発明の名称: マイクロ波反応炉



(57) Abstract: A reactor (1) accommodates a reactant (2). A microwave generator (4) generates a microwave beam (5). An opening (3) is provided to the reactor (1). The microwave generator (4) concentrates the microwave beam (5) on the center part of the opening (3), and causes the microwave beam (5) to enter the inside of the reactor (1). The inner wall of the reactor (1) reflects the microwave beam (5). The size of the opening (3) is longer than the half wavelength of the microwave beam (5). The area of the opening (3) is equal to or less than 1/10 of the area of a portion, of the inner wall of the reactor (1), not covered by the reactant (2).

(57) 要約: 反応炉 (1) は反応物質 (2) を収納する。マイクロ波発生器 (4) はマイクロ波ビーム (5) を発生させる。反応炉 (1) に開口 (3) が設けられている。マイクロ波発生器 (4) は、マイクロ波ビーム (5) を開口 (3) の中心部に集中させて反応炉 (1) の内部にマイクロ波ビーム (5) を入射させる。反応炉 (1) の内壁はマイクロ波ビーム (5) を反射する。開口 (3) の寸法は、マイクロ波ビーム (5) の半波長より長い。開口 (3) の面積は、反応炉 (1) の内壁のうち反応物質 (2) に覆われていない部分の面積の 1/10 以下である。

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:

- 国際調査報告 (条約第21条(3))

## 明 細 書

発明の名称：マイクロ波反応炉

### 技術分野

[0001] 本開示は、マイクロ波反応炉に関する。

### 背景技術

[0002] 従来のマイクロ波反応炉では、導波管を通して反応炉の内部にマイクロ波を供給していた。導波管の開口面積は小さいため、導波管に戻るマイクロ波の反射波は少ない。管壁の導体を流れる電流により導波管が発熱し、導波管で損失も発生する。ただし、反応炉が大規模なものでない場合には数kWレベルのマイクロ波を供給すればよいため、導波管で発生する熱と損失は許容されるレベルであった。一方、大規模なプラントでは数百kWから数十MWといった大電力のマイクロ波を供給する必要があるため、導波管で発生する熱と損失は無視できない。例えば2.45GHzで1MWの電力を導波管WR1-26に通すと、1m毎に3.7kWの発熱を生じ、マイクロ波の0.016dBの損失、即ち3.7kWの損失が発生する。高次モードを発生させないように導波管の断面寸法を半波長以下にする必要があるため、導波管WR1-26は断面8.4cm×4.2cmの狭い管となる。このため1MWのマイクロ波が伝搬するとき発生する管の壁面電流が高々8cm以下の極小領域に集中して流れるため、多大な熱と損失が発生することになる。

[0003] また、一般に化学反応炉では防爆の必要性から反応炉が防爆壁内部に設置され、発振器が防爆壁外部に設置される。このため、実際の導波管の長さは2～5m以上になる。導波管の長さが5mの場合、発熱と損失は18.5kWにもなり、エネルギー効率の観点からも、排熱設計の観点からも問題となっていた。

[0004] また、従来はマグネトロンを用いた発振器でマイクロ波を発生させていた。しかし、マグネトロンは周波数純度と位相安定性が悪く、複数のマグネトロンからのマイクロ波の合成が困難である。また、1個のマグネトロンで発

生できるマイクロ波は、例えば2.45GHzで10kW以下のように限界があり、10kWを超える大電力マイクロ波の発生は困難であった。また、マグネトロンでは10kWといった大電力では効率が60%以下に低下してしまい、大電力で且つ高効率なマイクロ波を発生させることができなかった。これに対して、導波管を用いずに反応炉の内部にアンテナを設ける装置が提案されている（例えば、特許文献1参照）。

## 先行技術文献

### 特許文献

[0005] 特許文献1：日本特開2017-103454号公報

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0006] しかし、反応炉の内壁で反射したマイクロ波が直接アンテナに戻ってきて、アンテナにマイクロ波を供給する増幅器等の機器が破壊してしまう場合がある。そこで、増幅器の出力とアンテナの間に反射波を防ぐアイソレータが設けられる。しかし、数百W以上の大電力のマイクロ波を照射する場合はアイソレータが大型化して配置が困難であり、アイソレータが高コストとなってしまう。例えば2.45GHzで10kWを超えるような大電力のマイクロ波を照射すると、反射波による機器の破壊が問題となる。

[0007] 本開示は、上述のような課題を解決するためになされたもので、その目的は大電力のマイクロ波を照射しても反射波による機器の破壊を抑制できるマイクロ波反応炉を得るものである。

#### 課題を解決するための手段

[0008] 本開示に係るマイクロ波反応炉は、反応物質を収納する反応炉と、マイクロ波ビームを発生させるマイクロ波発生器とを備え、前記反応炉に開口が設けられ、前記マイクロ波発生器は、前記マイクロ波ビームを前記開口の中心部に集中させて前記反応炉の内部に前記マイクロ波ビームを入射させ、前記反応炉の内壁は前記マイクロ波ビームを反射し、前記開口の寸法は、前記マ

マイクロ波ビームの半波長より長く、前記開口の面積は、前記反応炉の内壁のうち前記反応物質に覆われていない部分の面積の  $1/10$  以下であることを特徴とする。

### 発明の効果

[0009] 本開示では、導波路を用いずに反応炉の内部にマイクロ波ビームを入射させる構成において、反応炉の開口の面積を、反応炉の内壁のうち反応物質に覆われていない部分の面積の  $1/10$  以下にする。これにより、大電力のマイクロ波を照射しても反射波による機器の破壊を抑制できる。

### 図面の簡単な説明

- [0010] [図1]実施の形態1に係るマイクロ波反応炉を示す断面図である。  
[図2]実施の形態2に係るマイクロ波反応炉を示す断面図である。  
[図3]方形アレイアンテナからのマイクロ波を空間合成した計算結果を示す図である。  
[図4]方形アレイアンテナからのマイクロ波を空間合成した計算結果を示す図である。  
[図5]円形アレイアンテナを示す図である。  
[図6]円形アレイアンテナからのマイクロ波を空間合成した計算結果を示す図である。  
[図7]円形アレイアンテナからのマイクロ波を空間合成した計算結果を示す図である。  
[図8]実施の形態3に係るマイクロ波反応炉の発振器の回路図である。  
[図9]比較例に係る発振器の回路図である。  
[図10]実施の形態4に係るマイクロ波反応炉を示す断面図である  
[図11]実施の形態5に係るマイクロ波反応炉を示す断面図である。  
[図12]実施の形態6に係るマイクロ波反応炉を示す断面図である。

### 発明を実施するための形態

[0011] 実施の形態に係るマイクロ波反応炉について図面を参照して説明する。同じ又は対応する構成要素には同じ符号を付し、説明の繰り返しを省略する場

合がある。

[0012] 実施の形態 1.

図 1 は、実施の形態 1 に係るマイクロ波反応炉を示す断面図である。反応炉 1 は反応物質 2 を収納する。反応炉 1 の下部の内壁は反応物質 2 に覆われている。反応物質 2 に覆われていない反応炉 1 の上部に開口 3 が設けられている。マイクロ波発生器 4 は、マイクロ波の電磁波であるマイクロ波ビーム 5 を発生させる。マイクロ波の周波数は 0.9 GHz から 30 GHz であり、波長は 33 cm から 1 cm である。

[0013] マイクロ波発生器 4 は例えばホーンアンテナ等であり、開口 3 を介して反応炉 1 の内部にマイクロ波ビーム 5 を入射させる。反応炉 1 の内部に入射されたマイクロ波は反応物質 2 により吸収されマイクロ波により反応物質 2 の化学反応、焼結、乾燥等の反応が生じる。

[0014] 従来は導波管を介して反応炉にマイクロ波を入射させており、高次モードが発生すると損失が増えるので導波管の直径を半波長以下にしていた。これに対して、本実施の形態では、マイクロ波発生器 4 は導波路を用いずに反応炉 1 の内部にマイクロ波ビーム 5 を直接的に入射させるため、開口 3 の寸法をマイクロ波ビーム 5 の半波長より大きくすることができる。

[0015] ただし、開口 3 の寸法が半波長より大きくなると、導波管で用いる基本モードである TE<sub>01</sub> モードに加えて高次モードが発生し、伝播効率を妨げる。そこで、マイクロ波発生器 4 は、マイクロ波ビーム 5 を開口 3 の中心部に集中させて反応炉 1 の内部にマイクロ波ビームを入射させる。従って、開口 3 の端部にはマイクロ波がほとんど照射されないため、開口 3 の縁では電流が流れず、導波管を用いた場合に問題となっていた給電部分の発熱とマイクロ波の損失を抑制することができる。

[0016] 反応炉 1 はステンレス等の金属からなるため、反応物質 2 に覆われていない反応炉 1 の上部の内壁はマイクロ波ビーム 5 を反射する。反応炉 1 の内部でマイクロ波ビーム 5 が多重反射して反応物質 2 への吸収と反射を繰り返す。このため、反応炉 1 内の反応物質 2 に比較的均一にマイクロ波ビーム 5 を

照射することができる。

[0017] マイクロ波ビーム5は反応炉1の内壁でほぼ全反射され、反応炉1の内部は多重反射により共鳴したような電磁界分布となる。この状態で反応炉1に小型の開口3を開けると、いわゆる黒体輻射と類似の状態となる。このようなマイクロ波のうち開口3から外部に出る反射波は、反応物質2に覆われていない反応炉1の上部の内壁の面積と開口3の面積の比に比例した微弱な量となる。反射波が多いと反応物質2に到達するマイクロ波の量が減って炉の効率が落ちる。また、反射波によりマイクロ波発生器4を破壊する恐れがある。従って、反射波の量は、反応炉1の内部のマイクロ波の10分の1以下の微小量に抑制する必要がある。開口3の面積が小さいほど反射波の量は多くなる。そこで、本実施の形態では、反応炉1の開口3の面積を、反応炉1の内壁のうち反応物質2に覆われていない部分の面積の1/10以下にする。これにより、10kWを超える100kWから数十MWの大電力のマイクロ波を照射しても反射波による機器の破壊を抑制できる。

[0018] 実施の形態2.

図2は、実施の形態2に係るマイクロ波反応炉を示す断面図である。本実施の形態では、マイクロ波発生器4は、チャンバ6と複数のアンテナ7と複数の発振器8を有する。チャンバ6は、反応炉1の開口3に接続され、マイクロ波ビーム5を形成するための空間を囲む。チャンバ6は、マイクロ波ビームにより発生する不要なサイドローブによるマイクロ波を外部に漏洩させないように金属等の導体により構成されている。

[0019] 複数のアンテナ7は、チャンバ6の壁面に設けられ、チャンバ6の内部でマイクロ波ビーム5を空間合成する。複数の発振器8は、位相制御したマイクロ波の電気信号を複数のアンテナ7にそれぞれ供給する。各発振器8は、発振源とGaN等の半導体増幅器を有する。複数のアンテナ7から出射されるマイクロ波の位相を合わせることにより、外部に広がる電波の強度を少なくして、マイクロ波ビーム5を開口3の中心部に集中させる。

[0020] 一般にマグネトロンは位相が不安定且つ周波数帯域幅が広い。このため、

2個以上のマグネトロンから給電されるマイクロ波を合成すると合成損失により合成電力と効率を著しく落としてしまう。

[0021] これに対して、マイクロ波発生器4は、マグネトロンとは異なり、位相の制御されたマイクロ波をアンテナ7から出すことができる。従って、位相、周波数帯域幅共に制御されたマイクロ波を各アンテナ7から放射して空間合成を行うことができる。これにより、少ない損失で大きな出力電力のマイクロ波ビーム5を得ることができる。例えば10×10の100個のアンテナを有するアレイアンテナに300Wの発振器でマイクロ波を供給すると、30kWのマイクロ波ビーム5を得ることができる。マイクロ波の効率は各アンテナ7の効率で定まるため、GaN増幅器を用いた発振器では70%程度の高効率が達成でき、10kW以上の大出力を得ながら高い効率を実現できる。

[0022] アンテナ7の間隔は、半波長前後であることから、2.45GHzで6cm程度である。従って、アレイアンテナの大きさは60cm×60cm程度となり、十分実現可能な大きさである。本方式ではアレイアンテナの数を増やせば空間合成によりマイクロ波の電力を増やせることから、30kW以上のマイクロ波であっても容易に実現できる。例えば2.45GHzで1MWの出力が必要な場合、300Wの発振器を3333個空間合成すればよい。アンテナ7を方形に配置すると、58個×58個位になり、 $\lambda/2$ 間隔で並べると一辺3.4m程度となるため、大型炉で十分実現可能である。

[0023] 図3及び図4は方形アレイアンテナからのマイクロ波を空間合成した計算結果を示す図である。方形アレイアンテナは21個×21個のアンテナ7を方形に配置したものである。方形アレイアンテナの大きさは約61cm×61cmである。図3はアンテナから8 $\lambda$ 離れた面でのマイクロ波の振幅をdBで示している。図4は中心からの距離dに応じて累積した累積電力比を10%の単位で示している。横軸は中心からの距離を波長 $\lambda$ の単位で示している。電力累積比を見れば中心からの半径dの円内に放射されるマイクロ波電力の割合が分かる。このため、例えば半径10 $\lambda$ の開口を通るマイクロ波の

割合が57%であることが図4より分かる。

[0024] 図5は、円形アレイアンテナを示す図である。複数のアンテナ7をおおよそ半波長の間隔で円形のエリア内に配置している。アンテナ数は363個であり、上記の方形アレイのアンテナ数とほぼ同等である。円形アレイは方形アレイよりも開口3の中心部にマイクロ波を集中させることができる。

[0025] 図6及び図7は、円形アレイアンテナからのマイクロ波を空間合成した計算結果を示す図である。円形アレイの直径は約64cmであり、方形アレイと同等である。図6はアンテナから4.5λ離れた面でのマイクロ波の振幅をdBで示している。図7は中心からの距離dに応じて累積した累積電力比を10%の単位で示している。図6に示すように、円形アレイのサイドローブの振幅は図3の方形アレイに比べて減っている。図7に示すように、半径10λの開口3を通るマイクロ波の割合が86%に増加している。このため、開口3により多くの電力を放射するには方形アレイより円形アレイの方が優れていることがわかる。なお、本計算ではチャンバ6の側壁で反射されて開口3に至る成分については計算されていないため、実際には更に多くの割合のマイクロ波を開口3に通すことが可能である。

[0026] 実施の形態3.

図8は、実施の形態3に係るマイクロ波反応炉の発振器の回路図である。発振器8は、発振源9と、少なくとも1段のトランジスタを含む増幅器10と、増幅器10の最終段トランジスタ11とアンテナ7との間に接続された反射波モニタ回路12とを有する。発振源9は、マイクロ波の電気信号を発生させる。増幅器10は、発振源9からのマイクロ波の電気信号を増幅する。増幅器10の最終段トランジスタ11はGaNトランジスタである。GaNトランジスタが増幅した電気信号はアンテナ7に供給される。アンテナ7はマイクロ波を放射する。

[0027] ドレイン電圧制御回路13は最終段トランジスタ11のドレイン電圧を制御する。ゲート電圧制御回路14は最終段トランジスタ11のゲート電圧を制御する。反射波モニタ回路12は、アンテナ7から戻ってくる反射波の強

度をモニタする。反射波モニタ回路12は、例えば、方向性結合器に検波ダイオードを接続する等の回路により構成される。

[0028] 反射波の強度が閾値を超えると、反射波モニタ回路12は、最終段トランジスタ11のドレイン電圧を速やかに0V又は低電圧に下げないようにドレイン電圧制御回路13を制御するか、又は、最終段トランジスタ11の動作電流を下げるようにゲート電圧制御回路14を制御する。このような制御を行う反射波の強度の閾値は、例えば、発振器8の出力信号の1/2倍から数倍の強度である。

[0029] 続いて、本実施の形態の効果を比較例と比較して説明する。図9は、比較例に係る発振器の回路図である。比較例では、アイソレータ15が、増幅器10の最終段トランジスタであるLDMOSトランジスタ16とアンテナ7の間に接続されている。

[0030] 実施の形態1と同様に反応炉1の開口3の面積を反応炉1の内壁のうち反応物質2に覆われていない部分の面積の1/10以下にしているため、反応炉1からの反射波は抑制されている。しかし、反応物質2を充填していない等の予期せぬ突発的な事象によりアンテナ7に大きな反射波が入る場合がある。このような過大な信号により発振器8の最終段トランジスタ11等が破損する場合がある。これを防ぐために、比較例ではアイソレータ15を設けている。しかし、アイソレータ15は磁気回路であって、出力が300Wと大きくなると大型化すると共に高コストとなる。また、アイソレータ15には反射波を熱に変える抵抗が内蔵されている。しかし、大電力に対応するためには抵抗も大型化される。さらに、反射電力が大きい場合に抵抗が焼損してしまう場合もある。従って、復旧にはアイソレータ15の交換を要して時間とコストが多くなる。

[0031] これに対して、本実施の形態では、増幅器10の最終段トランジスタ11とアンテナ7との間に反射波モニタ回路12を設けている。大きな反射波がくると、反射波モニタ回路12は、最終段トランジスタ11のドレイン電圧又は動作電流を下げるように制御する。これにより、大きな反射波が発生し

ても、アンテナ7に接続された増幅器10が破壊されるのを防ぐことができる。また、最終段トランジスタ11のドレイン電圧又は動作電流を変えるだけなので、復旧する場合にも単に両電圧を元に戻すだけでよい。従って、部品交換することなく短時間で復旧することができる。

[0032] 本実施の形態ではアンテナ7毎に反射波モニタ回路12を設けている。これに限らず、複数のアンテナ7に対して1つの反射波モニタ回路12を設け、アンテナ7から反射波がくると複数の発振器8の全ての最終段トランジスタ11のドレイン電圧又は動作電流を下げるように制御してもよい。例えば10×10のアレイアンテナの場合に10個又は25個のアンテナ7のブロックの一つの発振器8に反射波モニタ回路12を設け、同一ブロックの全ての最終段トランジスタ11のドレイン電圧又は動作電流を下げるように一括で制御してもよい。複数のアンテナについて一括制御することにより制御機器の個数が減ってコストを下げるができる。

[0033] マイクロ波反応炉は自由空間でなく閉空間であり、マイクロ波ビームの方向が固定されている。このため、一般のレーダ等のアレイアンテナと異なり外部から特定の1個のみに反射が入る可能性は無く、全体的に反射波が入る。従って、このようなブロック毎の保護回路であっても有効である。

[0034] また、本実施の形態では、増幅器10の最終段トランジスタ11はGaNトランジスタである。GaNトランジスタは従来のLDMOSより効率が良いため、マイクロ波反応炉のエネルギー効率を改善できる。さらに、GaNトランジスタはLDMOSより耐圧が高く、高電圧が印加されても破損し難いため、反射波に対して大きな耐性を有する。

[0035] 実施の形態4.

図10は実施の形態4に係るマイクロ波反応炉を示す断面図である。反応炉1に複数の開口3が設けられている。複数のマイクロ波発生器4がマイクロ波ビーム5を複数の開口3の中心部にそれぞれ集中させて反応炉1の内部にマイクロ波ビーム5を入射させる。なお、図面では開口3とマイクロ波発生器4が2つであるが、これに限らず3つ以上でもよい。

[0036] 各開口3の寸法はマイクロ波ビーム5の半波長より長く、各開口3の面積は反応炉1の内壁のうち反応物質2に覆われていない部分の面積の1/10以下である。各開口3から入射されたマイクロ波が反応炉1の内壁で反射することなく他の開口3に直接的に入ることがないように複数の開口3が配置されている。

[0037] 反応炉1が大きい場合又はマイクロ波の電力が非常に大きい場合には、上記のように複数の開口3から複数のマイクロ波を反応炉1内に供給することになる。しかし、反応炉1が大きいために炉内の多重反射による電磁界の分布が不均一になってしまう。この結果、反応物質2に照射されるマイクロ波が均質にならず、反応が一様に進まないことにより収率の減少又は反応効率の劣化が生じる。

[0038] 各開口3から閉空間である反応炉1の内部に入射されたマイクロ波は多重反射して山谷を有する電磁波の定在波が生じる。マイクロ波の位相を変えることで定在波の山谷を変えることができる。また、従来のマグネトロンではマイクロ波の位相制御は困難であったが、発振器8はGa<sub>n</sub>N等の半導体を用いた発振器であるため、マイクロ波の位相を精密に制御することができる。

[0039] そこで、複数のマイクロ波発生器4の発振器8は、反応炉1の内部のマイクロ波分布（電磁界分布）が均一になるように、複数の開口3から入射されるマイクロ波の位相をそれぞれ制御する。これにより、炉内の反応物質2にマイクロ波を均一に照射できるため、反応物質2の反応を均一にすることができる。予めシミュレーションして最適な位相制御を求めてもよいし、位相を変えながら収率の良い条件にセットしてもよい。

[0040] 実施の形態5.

図11は、実施の形態5に係るマイクロ波反応炉を示す断面図である。反応炉1から生じるガスを封じ込めるために反応炉1を防爆壁17が囲んでいる。発振器8は防爆壁17の外側に設けられるため、発振器8は防爆仕様とする必要はなく、安価に製造できる。

[0041] 反応炉1内の反応物質2が飛散又はガス化してマイクロ波発生器4のアン

テナ7を損傷する可能性がある。そこで、遮蔽板18を反応炉1の開口3に設ける。遮蔽板18は反応炉1の内部の物質が開口3から反応炉1の外に出るのを防ぐ。従って、反応炉1の内部で発生する物質がマイクロ波発生器4のアンテナ7に付着しないため、アンテナ7の劣化を防止することができる。マイクロ波ビーム5は遮蔽板18を透過できる。

[0042] 遮蔽板18は、マイクロ波ビーム5の半波長の厚さを持つ石英板である。遮蔽板18を通るマイクロ波は遮蔽板18の上面と下面で反射するが、遮蔽板18の上面からの反射波と下面からの反射波が打ち消し合う。従って、不要な反射によるマイクロ波の給電量の減少を抑制できる。

[0043] なお、遮蔽板18は石英板に限らず、マイクロ波が透過できるガラス、樹脂等の誘電体板であればよく、繊維状材料を用いた誘電体板でもよい。また、遮蔽板18は一枚の誘電体板に限らず、複数枚の誘電体板でもよい。

[0044] 実施の形態6.

図12は、実施の形態6に係るマイクロ波反応炉を示す断面図である。実施の形態5の遮蔽板18は石英板であるため、マイクロ波が通過することにより石英の $\tan \delta$ により発熱する。石英の $\tan \delta = 0.00025$ で $2.45 \text{ GHz}$ の誘電損による発熱量を計算すると $100 \text{ kW}$ で $78 \text{ W}$ 、温度上昇は $200^\circ\text{C}$ 程度である。従って、 $100 \text{ kW}$ 程度までは使用可能であるが $1 \text{ MW}$ 以上の大電力では発熱が $780 \text{ W}$ 以上、温度上昇が $2000^\circ\text{C}$ 以上となり損傷する可能性がある。この発熱は石英板の誘電損が原因であるため石英板の板厚を半波長より十分薄くすれば誘電体損を下げるができる。しかし、反応炉内外の圧力差により石英薄膜が破損する危険性がある。

[0045] そこで、本実施の形態では、遮蔽板18は、2枚の誘電体薄膜19, 20と、2枚の誘電体薄膜19, 20の間に挟まれマイクロ波ビーム5の $1/4$ 波長の厚さを持つハニカム材21とを有する。誘電体薄膜19, 20は、板厚が半波長より十分薄い石英薄膜である。従って、不要な発熱を抑制することができる。

[0046] ハニカム材21は、マイクロ波への影響が少ない比誘電率が1に近い誘電

体であり、例えばガラス繊維強化プラスチック等である。2枚の誘電体薄膜19, 20を1/4波長離して設けることで反射波を相殺することができる。従って、不要な反射によるマイクロ波の給電量の減少を抑制できる。また、2枚の誘電体薄膜19, 20の間にハニカム材21を挟むことにより、反応炉1から受ける圧力に対して石英薄膜を強度的に支えることができる。

[0047] なお、誘電体薄膜19, 20は石英薄膜に限らず、マイクロ波が透過できるガラス、樹脂等の誘電体薄膜であればよく、繊維状材料を用いた誘電体薄膜でもよい。また、誘電体薄膜19, 20は2枚の薄膜でなくても複数枚の薄膜でもよい。

### 符号の説明

[0048] 1 反応炉、2 反応物質、3 開口、4 マイクロ波発生器、5 マイクロ波ビーム、6 チャンバ、7 アンテナ、8 発振器、10 増幅器、11 最終段トランジスタ、12 反射波モニタ回路、18 遮蔽板、19, 20 誘電体薄膜、21 ハニカム材

## 請求の範囲

- [請求項1] 反応物質を収納する反応炉と、  
マイクロ波ビームを発生させるマイクロ波発生器とを備え、  
前記反応炉に開口が設けられ、  
前記マイクロ波発生器は、前記マイクロ波ビームを前記開口の中心部に集中させて前記反応炉の内部に前記マイクロ波ビームを入射させ、  
前記反応炉の内壁は前記マイクロ波ビームを反射し、  
前記開口の寸法は、前記マイクロ波ビームの半波長より長く、  
前記開口の面積は、前記反応炉の内壁のうち前記反応物質に覆われていない部分の面積の  $1/10$  以下であることを特徴とするマイクロ波反応炉。
- [請求項2] 前記マイクロ波発生器は、導波路を用いずに前記反応炉の内部に前記マイクロ波ビームを直接的に入射させることを特徴とする請求項1に記載のマイクロ波反応炉。
- [請求項3] 前記マイクロ波発生器は、  
前記開口に接続され、導体により構成され、前記マイクロ波ビームを形成するための空間を囲むチャンバと、  
前記チャンバの壁面に設けられ、前記チャンバの内部で前記マイクロ波ビームを空間合成する複数のアンテナと、  
位相制御したマイクロ波の電気信号を前記複数のアンテナにそれぞれ供給する複数の発振器とを有することを特徴とする請求項1又は2に記載のマイクロ波反応炉。
- [請求項4] 前記複数のアンテナは円形アレイアンテナであることを特徴とする請求項3に記載のマイクロ波反応炉。
- [請求項5] 前記発振器は、少なくとも1段のトランジスタを含み前記マイクロ波の電気信号を増幅させる増幅器と、前記増幅器の最終段トランジスタと前記アンテナとの間に接続された反射波モニタ回路とを有し、

前記反射波モニタ回路は、前記アンテナから戻ってくる反射波の強度をモニタし、前記反射波の強度が閾値を超えると前記最終段トランジスタのドレイン電圧又は動作電流を下げるように制御することを特徴とする請求項3又は4に記載のマイクロ波反応炉。

[請求項6] 前記反射波モニタ回路は、前記反射波の強度が閾値を超えると前記複数の発振器の全ての前記最終段トランジスタのドレイン電圧又は動作電流を下げるように制御することを特徴とする請求項5に記載のマイクロ波反応炉。

[請求項7] 前記最終段トランジスタはGaNトランジスタであることを特徴とする請求項5又は6に記載のマイクロ波反応炉。

[請求項8] 前記反応炉に複数の前記開口が設けられ、  
各開口から入射された前記マイクロ波ビームが前記反応炉の内壁で反射することなく他の開口に直接的に入ることがないように複数の前記開口は配置され、

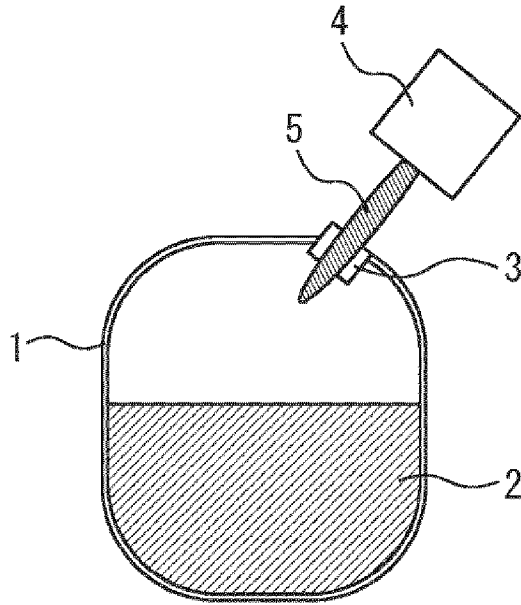
前記複数の発振器は、前記反応炉の内部のマイクロ波分布が均一になるように、複数の前記開口から入射される前記マイクロ波ビームの位相をそれぞれ制御することを特徴とする請求項3～7の何れか1項に記載のマイクロ波反応炉。

[請求項9] 前記反応炉の前記開口に設けられ、前記反応炉の内部の物質が前記開口から前記反応炉の外に出るのを防ぐ遮蔽板を更に備えることを特徴とする請求項1～8の何れか1項に記載のマイクロ波反応炉。

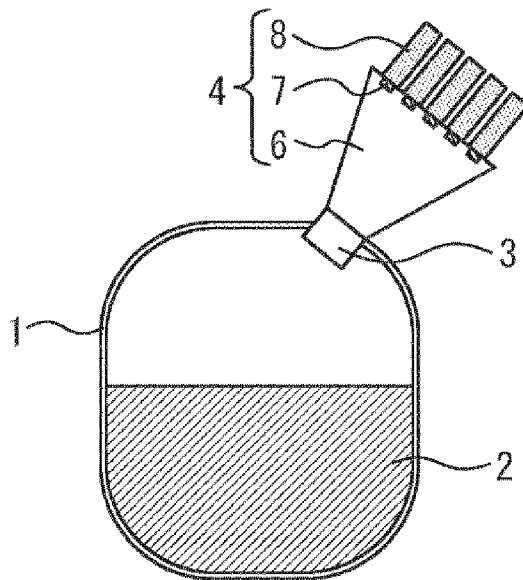
[請求項10] 前記遮蔽板は、前記マイクロ波ビームの半波長の厚さを持つ誘電体板であることを特徴とする請求項9に記載のマイクロ波反応炉。

[請求項11] 前記遮蔽板は、2枚の誘電体薄膜と、前記2枚の誘電体薄膜の間に挟まれ前記マイクロ波ビームの $1/4$ 波長の厚さを持つハニカム材とを有することを特徴とする請求項9に記載のマイクロ波反応炉。

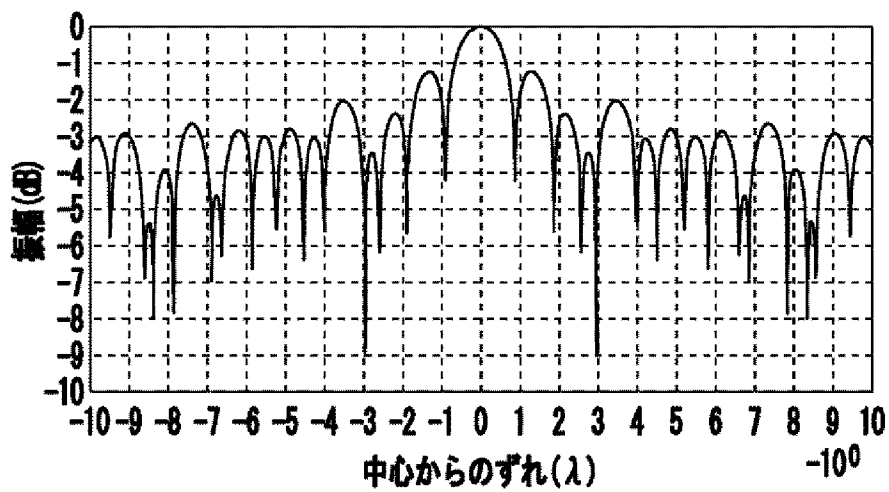
[図1]



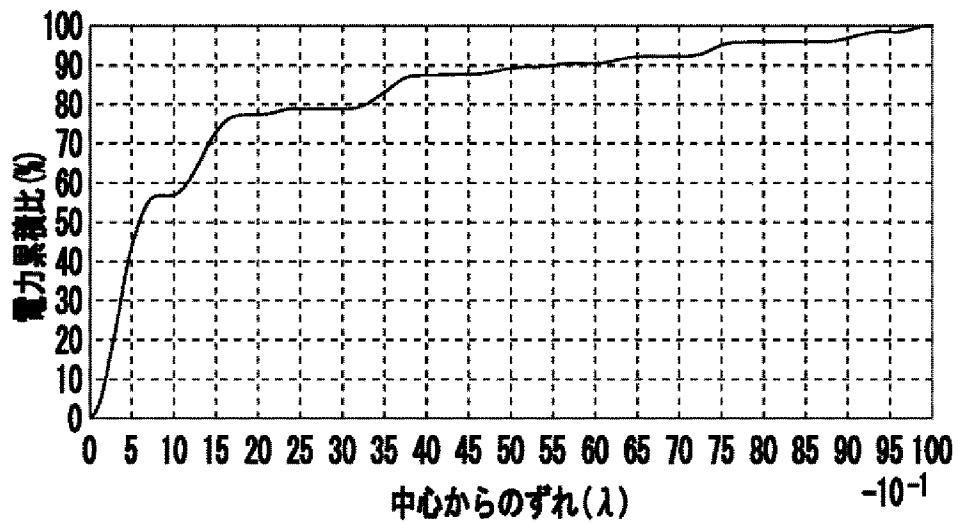
[図2]



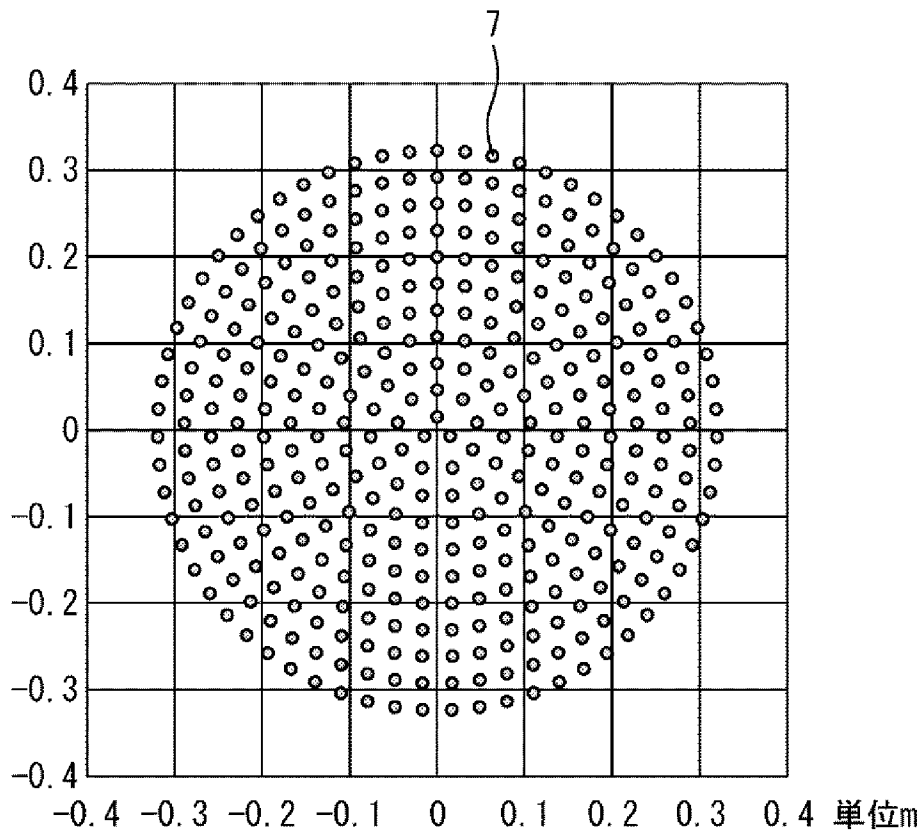
[図3]



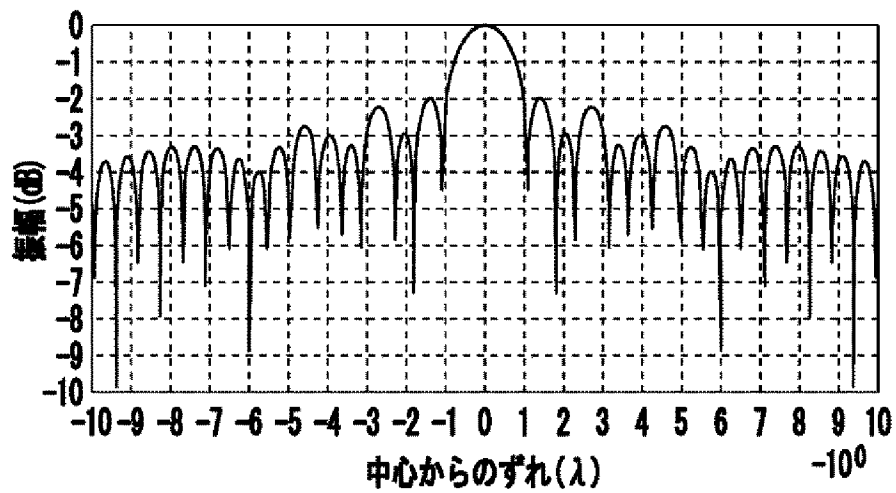
[図4]



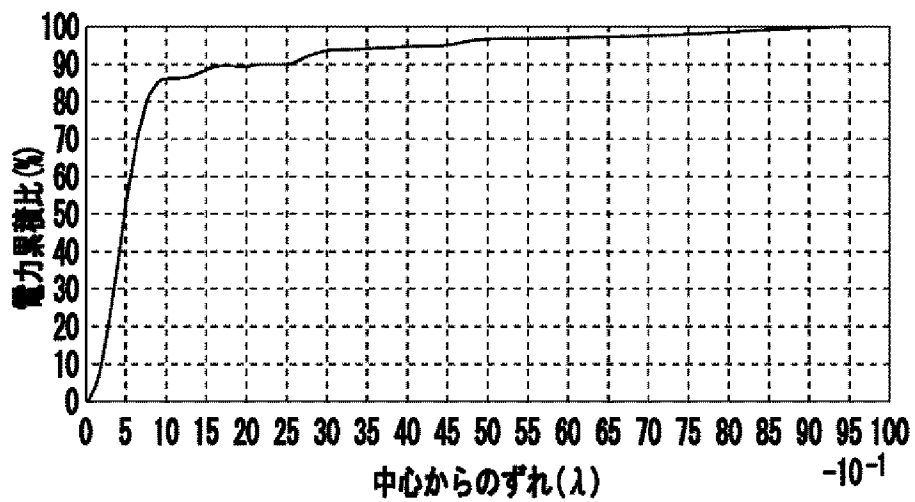
[図5]



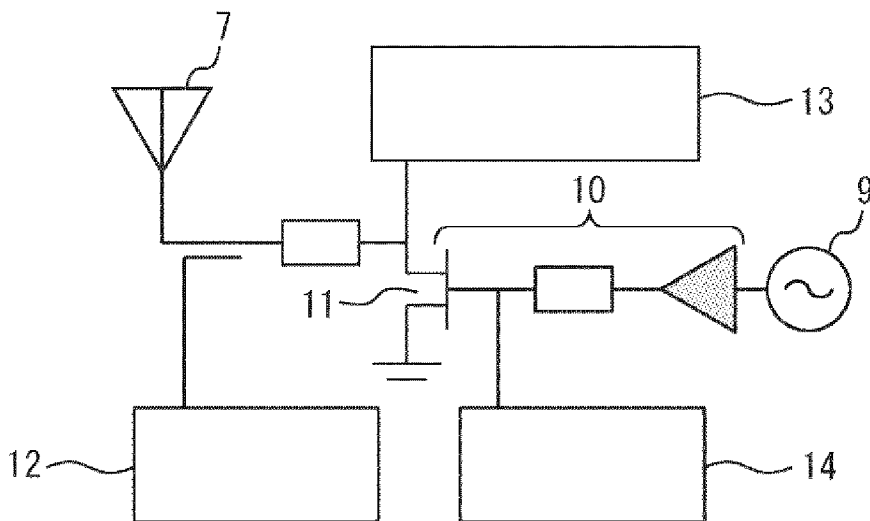
[図6]



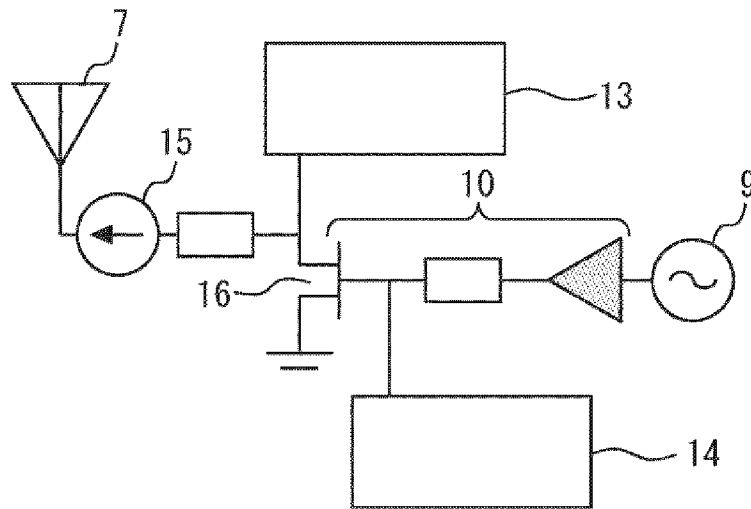
[図7]



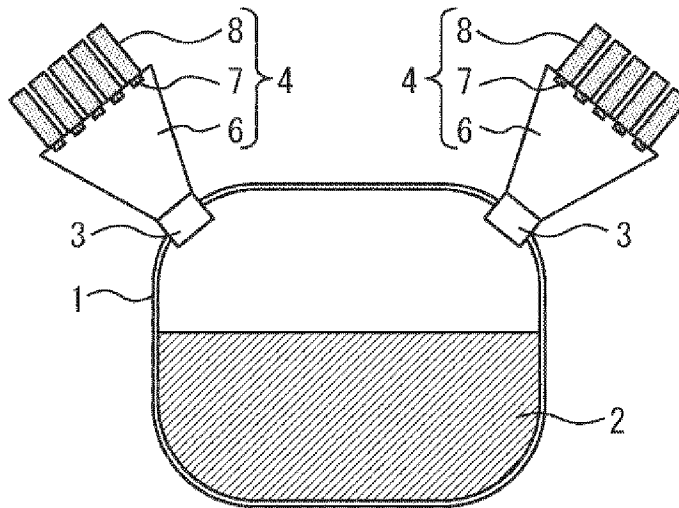
[図8]



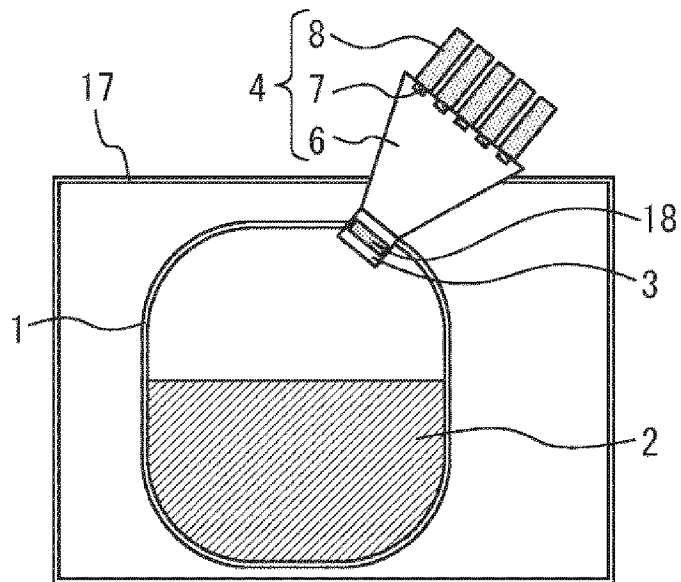
[図9]



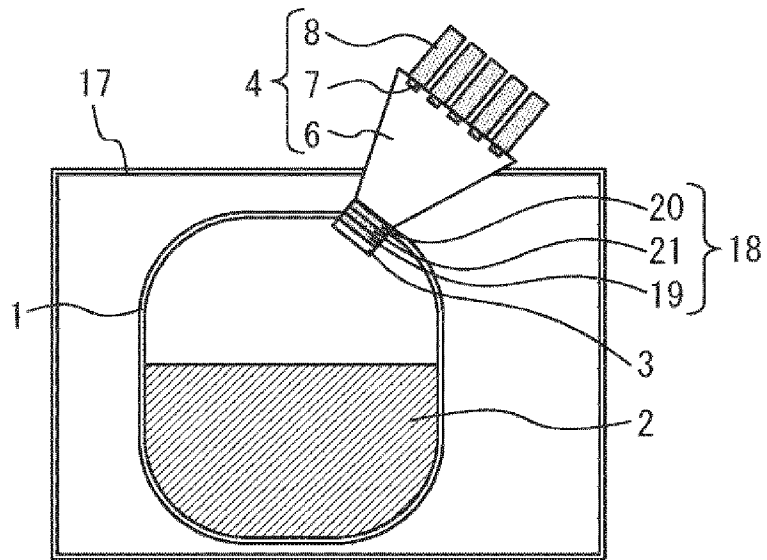
[図10]



[図11]



[図12]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/030188

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<i>B01J 19/12</i> (2006.01)i FI: B01J19/12 A		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) B01J10/00-12/02; B01J14/00-19/32		
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 1971-2023 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2019-181449 A (MICROWAVE CHEMICAL COMPANY, LIMITED) 24 October 2019 (2019-10-24) entire text, all drawings	1-11
A	JP 2021-125468 A (MICROWAVE CHEMICAL COMPANY, LIMITED) 30 August 2021 (2021-08-30) entire text, all drawings	1-11
A	JP 2022-059529 A (MICROWAVE CHEMICAL COMPANY, LIMITED) 13 April 2022 (2022-04-13) entire text, all drawings	1-11
A	JP 2008-302281 A (SHIKOKU INSTRUMENTATION CO., LTD.) 18 December 2008 (2008-12-18) entire text, all drawings	1-11
A	JP 2016-064318 A (MICROWAVE CHEMICAL COMPANY, LIMITED) 28 April 2016 (2016-04-28) entire text, all drawings	1-11
<input checked="" 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 "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 <b>19 October 2023</b>		Date of mailing of the international search report <b>31 October 2023</b>
Name and mailing address of the ISA/JP <b>Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan</b>		Authorized officer  Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

**PCT/JP2023/030188**

<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2018-196879 A (MICROWAVE CHEMICAL COMPANY, LIMITED) 13 December 2018 (2018-12-13) entire text, all drawings	1-11
A	JP 2018-196876 A (MICROWAVE CHEMICAL COMPANY, LIMITED) 13 December 2018 (2018-12-13) entire text, all drawings	1-11

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/JP2023/030188**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2019-181449	A	24 October 2019	(Family: none)	
JP	2021-125468	A	30 August 2021	EP 4102938	A1
whole document					
JP	2022-059529	A	13 April 2022	WO 2022/071590	A1
whole document					
JP	2008-302281	A	18 December 2008	(Family: none)	
JP	2016-064318	A	28 April 2016	EP 2998019	A1
whole document					
JP	2018-196879	A	13 December 2018	US 2019/0329213	A1
whole document					
JP	2018-196876	A	13 December 2018	US 2019/0329213	A1
whole document					

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） B01J 19/12(2006.01)i FI: B01J19/12 A		
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）） B01J10/00-12/02; B01J14/00-19/32 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 - 2023年 日本国実用新案登録公報 1996 - 2023年 日本国登録実用新案公報 1994 - 2023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）		
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
A	JP 2019-181449 A（マイクロ波化学株式会社）24.10.2019（2019 - 10 - 24） 全文、全図	1-11
A	JP 2021-125468 A（マイクロ波化学株式会社）30.08.2021（2021 - 08 - 30） 全文、全図	1-11
A	JP 2022-059529 A（マイクロ波化学株式会社）13.04.2022（2022 - 04 - 13） 全文、全図	1-11
A	JP 2008-302281 A（四国計測工業株式会社）18.12.2008（2008 - 12 - 18） 全文、全図	1-11
A	JP 2016-064318 A（マイクロ波化学株式会社）28.04.2016（2016 - 04 - 28） 全文、全図	1-11
A	JP 2018-196879 A（マイクロ波化学株式会社）13.12.2018（2018 - 12 - 13） 全文、全図	1-11
A	JP 2018-196876 A（マイクロ波化学株式会社）13.12.2018（2018 - 12 - 13） 全文、全図	1-11
<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	19.10.2023	国際調査報告の発送日 31.10.2023
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/JP2023/030188

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2019-181449 A	24.10.2019	(ファミリーなし)	
JP 2021-125468 A	30.08.2021	EP 4102938 A1 the whole document	
JP 2022-059529 A	13.04.2022	WO 2022/071590 A1 the whole document	
JP 2008-302281 A	18.12.2008	(ファミリーなし)	
JP 2016-064318 A	28.04.2016	EP 2998019 A1 the whole document	
JP 2018-196879 A	13.12.2018	US 2019/0329213 A1 the whole document	
JP 2018-196876 A	13.12.2018	US 2019/0329213 A1 the whole document	