

(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



(10) 国際公開番号

WO 2010/084655 A1

PCT

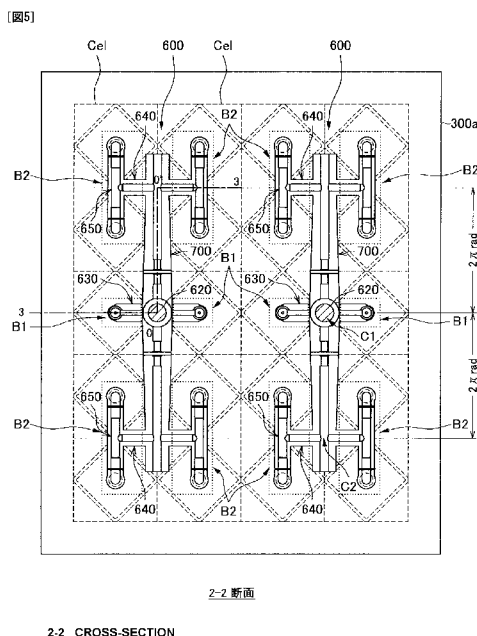
(43) 国際公開日
2010 年 7 月 29 日(29.07.2010)

- (51) 国際特許分類:
H05H 1/46 (2006.01) H01L 21/3065 (2006.01)
H01L 21/205 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/068748
- (22) 国際出願日: 2009 年 11 月 2 日(02.11.2009)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2009-011455 2009 年 1 月 21 日(21.01.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人東北大学 (TOHOKU UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 番 1 号 Miyagi (JP). 東京エレクトロン株式会社 (TOKYO ELECTRON LIMITED) [JP/JP]; 〒1076325 東京都港区赤坂五丁目 3 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 平山 昌樹 (HIRAYAMA, Masaki) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 番 1 号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 大見 忠弘 (OHMI, Tadahiro) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 番 1 号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP).
- (74) 代理人: 亀谷 美明, 外 (KAMEYA, Yoshiaki et al.); 〒1600004 東京都新宿区四谷 3-1-3 第一富澤ビル はづき国際特許事務所 四谷オフィス 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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: PLASMA PROCESSING APPARATUS

(54) 発明の名称: プラズマ処理装置



(57) Abstract: A microwave plasma processing apparatus (10) has: a processing container (100) wherein a gas is excited by microwaves and a substrate (G) is plasma-processed; a microwave source (900) which outputs microwaves; a transmission line which transmits the microwaves outputted from the microwave source (900); a plurality of dielectric boards (305), which are arranged on the inner surface of the processing container (100) and discharge the microwaves in the processing container (100); a plurality of first coaxial tubes (610) which are adjacent to the dielectric boards (305) and transmit the microwaves to the dielectric boards (305); and a coaxial tube distributor (600) which transmits the microwaves transmitted through the transmission line, by distributing the microwaves to the first coaxial tubes (610). The coaxial tube distributor (600) includes a second coaxial tube (620), which has an input section (In), and branched structures (B1, B2) which are connected to the first coaxial tubes (610) and have different configurations.

(57) 要約: マイクロ波プラズマ処理装置 10 は、マイクロ波によりガスを励起させて基板 G をプラズマ処理するための処理容器 100 と、マイクロ波を出力するマイクロ波源 900 と、マイクロ波源 900 から出力されたマイクロ波を伝送する伝送線路と、処理容器 100 の内面に設けられ、マイクロ波を処理容器 100 内に放出する複数の誘電体板 305 と、複数の誘電体板 305 に隣接し、マイクロ波を複数の誘電体板 305 に伝送する複数の第 1 の同軸管 610 と、伝送線路を伝送したマイクロ波を複数の第 1 の同軸管 610 に分配して伝送する同軸管分配器 600 と、を有する。同軸管分配器 600 は、入力部 In を有する第 2 の同軸管 620 と、複数の第 1 の同軸管 610 に連結される異なる構成の分岐構造 B1, B2 とを含む。

配器 600 は、入力部 In を有する第 2 の同軸管 620 と、複数の第 1 の同軸管 610 に連結される異なる構成の分岐構造 B1, B2 とを含む。

WO 2010/084655 A1



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： プラズマ処理装置

技術分野

[0001] 本発明は、電磁波によりガスを励起させて被処理体をプラズマ処理するプラズマ処理装置に関する。特に、電磁波を伝送させる同軸管の分岐に関する。

背景技術

[0002] 近年、基板の大型化に伴い、プラズマ処理装置の大型化の要請がある。大面積の基板に均一にプラズマ処理を施すためには、電磁波の給電ポイントを複数にするほうがよい。たとえば、大型装置においても均一に給電するために、給電ポイントとなる複数の同軸管を装置の天井面上部にアレイ状に配置して、複数の同軸管から同じ振幅及び同じ位相の電磁波を供給することにより、電磁波を天井面全体に均等に給電する方法が提案されている（例えば、特許文献 1 参照）。これにより、天井面全体でガスの電離や解離が均等に促進され、大型装置であっても天井面下方にて均一なプラズマを生成し、生成されたプラズマを用いて基板に良好なプラズマ処理を施すことができる。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開 2008-305736 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 上記給電を実現するための伝送線路の一例としては、たとえば、図 13 のように、主管 90 から同一構造の複数の分岐同軸管 92 に多分岐する経路が考えられる。この場合、入力部 In から入力された電磁波は、主管 90 を伝送し、各分岐同軸管 92 を介して各セル Cel（各金属電極 94）から装置内に供給される。各セル Cel は、天井面を均等な矩形領域に区画した仮想空間である。図 13 には、天井面を 12 区画に等分したセル Cel が示され

ている。

[0005] 各セルC e lに電磁波を供給するために、セル一個あたりに多くの部品が必要になる。一方、部品点数はセル数に比例し、セルの大きさには比例しない。よって、各セルC e lの面積をなるべく大きくして、セルC e lの個数を少なくするとコストを低減させることができる。

[0006] さらに、セルC e lの形状を正方形にすると、各セルC e lに対して左右及び上下の対称性がよくなって電界強度の分布に偏りがなくなり、セルC e lを比較的大きくしても均一なプラズマを生成しやすくなる。よって、セルC e lが正方形であって、かつ各セルの面積を比較的大きくすると、プラズマの均一性及びコストの点で有利である。

[0007] しかしながら、基板に均一なプラズマ処理を施すためには、基板の端部にてプラズマ密度が薄くなることを考慮して、プラズマ励起領域が基板より大きくなるようにプラズマ処理装置を設計する必要がある。つまり、セルの形状や大きさを設計する際、基板のサイズにより制限が生じる。また、セルが大きくなりすぎると金属電極9 4等の金属面の中央部まで伝搬する金属表面波の減衰が激しくなり、プラズマの不均一を招くので、セルのサイズを単に大きくするだけでもよくない。

[0008] よって、大きさが予め定められている基板に対してセルの面積を比較的大きくしつつ適当なサイズとしてプラズマ励起領域を確定する必要があるが、図1 3のような同軸管分岐構造では、分岐同軸管9 2のピッチを一定にする必要がある等の制約から、セルのサイズを自由に設定するのが困難な場合がある。

[0009] 本発明の目的は、セルのサイズ設定の自由度を大きくすることのできるマイクロ波伝送用同軸管分配器の分岐構造を有するプラズマ処理装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0010] 上記課題を解決するために、本発明のある態様によれば、電磁波によりガスを励起させて被処理体をプラズマ処理するプラズマ処理装置であって、処

理容器と、電磁波を出力する電磁波源と、前記電磁波源から出力された電磁波を伝送する伝送線路と、前記処理容器の内面に設けられ、電磁波を前記処理容器内に放出する複数の誘電体板と、前記複数の誘電体板に隣接し、電磁波を前記複数の誘電体板に伝送する複数の第1の同軸管と、前記伝送線路を伝送した電磁波を前記複数の第1の同軸管に分配して伝送する1段又は2段以上の所定の段数を有する複数の同軸管分配器と、を備え、前記複数の同軸管分配器のうち少なくとも一つは、他の同軸管分配器と段数が異なることを特徴とするプラズマ処理装置が提供される。前記複数の同軸管分配器のうち少なくとも一つは例えば段数が1段であり、他の同軸管分配器の段数は例えば2段である。

[0011] また本発明の他の態様によれば、電磁波によりガスを励起させて被処理体をプラズマ処理するプラズマ処理装置であって、処理容器と、電磁波を出力する電磁波源と、前記電磁波源から出力された電磁波を伝送する伝送線路と、前記処理容器の内面に設けられ、電磁波を前記処理容器内に放出する複数の誘電体板と、前記複数の誘電体板に隣接し、電磁波を前記複数の誘電体板に伝送する複数の第1の同軸管と、前記伝送線路を伝送した電磁波を前記複数の第1の同軸管に分配して伝送する1段又は2段以上の同軸管分配器と、を有し、前記同軸管分配器のうち少なくとも一段は、前記複数の第1の同軸管にそれぞれ連結される異なる構成の分岐構造と、前記異なる構成の分岐構造が連結する主同軸管と、を含むプラズマ処理装置が提供される。

[0012] これによれば、前記プラズマ処理装置に設けられた前記同軸管分配器の主同軸管は、異なる構成の分岐構造に連結され、各分岐構造を介して前記複数の第1の同軸管のそれぞれに連結される。

[0013] たとえば、前記分岐構造は、第1の分岐構造及び第2の分岐構造の2種類を有していてもよい。

[0014] 前記第1の分岐構造は、分岐せずに前記複数の第1の同軸管の少なくともいずれかに連結されてもよい。

[0015] 前記第2の分岐構造は、分岐して前記複数の第1の同軸管の少なくともい

ずれかに連結されてもよい。

[0016] 前記第2の分岐構造は、2分岐であってもよい。

[0017] かかる構成によれば、前記主同軸管に異なる構成の分岐構造を連結することにより、分岐先に連結された第1の同軸管の配置位置を適正化することができる。これにより、プラズマ励起領域が基板より大きくなるように各セルを設計しながら、各セルの形状をほぼ正方形にし、かつセルの面積を比較的大きくすることができる。この結果、基板の端部のプラズマ密度が薄くならず、基板に均一なプラズマ処理を施すことができるとともに、セル数を減らすことができる。これにより、部品点数を減らしてコストを低減させたプラズマ処理装置を構築することができる。

[0018] 前記主同軸管に連結される入力部を有する第2の同軸管を有していてもよい。

[0019] 前記第1の分岐構造及び前記第2の分岐構造は、前記主同軸管に交互に連結されてもよい。

[0020] 前記第1の分岐構造及び前記第2の分岐構造は、前記第2の同軸管と前記主同軸管との連結部から前記主同軸管の両側に向かって前記主同軸管に交互に連結されてもよい。

[0021] 前記第1の分岐構造及び前記第2の分岐構造が前記主同軸管に連結する連結部分のピッチは、電気長で $2\pi nrad$ （ n は整数）であってもよい。

[0022] 前記第1の分岐構造及び前記第2の分岐構造が前記主同軸管に連結する連結部分のピッチは、前記第2の同軸管と前記主同軸管との連結部を除いて電気長で $2\pi nrad$ （ n は整数）であってもよい。

[0023] 前記第1の分岐構造及び前記第2の分岐構造は、前記第2の同軸管に対して対称的に前記主同軸管に連結されてもよい。

[0024] 前記複数の第1の同軸管内の少なくともいずれかには、第1の誘電体が埋め込まれていてもよい。

[0025] 前記第1の誘電体は、テープ状であってもよい。

[0026] 前記第1の誘電体は、前記第1の同軸管の内部導体と外部導体との間に介

在されてもよい。

[0027] 前記第 1 の誘電体は、テーパ状に形成されることにより前記第 1 の同軸管の特性インピーダンスを変換してもよい。

[0028] 前記第 1 の誘電体は、その長さにより前記第 1 の同軸管の電気長を調整してもよい。

[0029] 前記複数の第 1 の同軸管は、前記複数の誘電体板に等ピッチでそれぞれ連結され、各ピッチは、前記主同軸管の電気長を基準として $4\pi n/3$ (n は整数) rad であってもよい。

発明の効果

[0030] 以上説明したように、本発明によれば、マイクロ波を伝送させる同軸管分配器に異なる分岐構造を含むことにより、自由度の高い伝送線路を構築することができ、これにより均一なプラズマを生成することができる。

図面の簡単な説明

[0031] [図1]本発明の第 1 実施形態に係るプラズマ処理装置の一部を拡大した縦断面図 (3-0, 0'-3 断面) である。

[図2]同実施形態に係るプラズマ処理装置の天井面を示した図 (1-1 断面) である。

[図3]同実施形態に係るプラズマ処理装置の天井上部に配置された導波管及びマイクロ波源等を示した図である。

[図4]同実施形態に係る導波管と同軸管との接続部分を示した図 (4-4 断面) である。

[図5]同実施形態に係る同軸管分配器及び分岐構造を示した平面図 (2-2 断面) である。

[図6]同実施形態に係る同軸管分配器の平面図である。

[図7]同実施形態に係る同軸管分配器の側面図である。

[図8]同実施形態に係る同軸管分配器のインピーダンス調整及び位相調整を説明するための図である。

[図9]同実施形態に係る調整結果の一例を示した表である。

[図10]セル数8の分岐構造“a”、セル数10の分岐構造“b”、セル数12の分岐構造“c”、セル数14の分岐構造“d”、セル数16の分岐構造“e”を示した図である。

[図11]太陽電池用基板に適用した同実施形態に係る分岐構造の一例である。

[図12]太陽電池用基板に適用した同実施形態に係る分岐構造の他の例である。

[図13]同一分岐構造を有する同軸管分配器の一例を示した図である。

発明を実施するための形態

[0032] 以下に添付図面を参照しながら、本発明の好適な実施の形態について詳細に説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。

[0033] なお、以下で説明する本発明の各実施形態に係るプラズマ処理装置は次の順序で説明する。

<第1実施形態>

[プラズマ処理装置の構成]

(全体構成)

(天井面の構成)

(伝送線路)

(同軸管分配器と分岐構造)

(第1の誘電体)

[各分岐構造のインピーダンス整合及び位相調整機構]

(特性インピーダンス変換／位相調整部)

(インピーダンス整合)

(第2の分岐構造のインピーダンス整合)

(第1の分岐構造のインピーダンス整合)

[効果の例]

<第1実施形態の変形例>

[変形例 1 に係る分岐構造]

[変形例 2 に係る分岐構造]

[変形例 3 に係る分岐構造]

[変形例 4 に係る分岐構造]

[変形例 5 に係る分岐構造]

[変形例 6 に係る分岐構造]

[0034] <第 1 実施形態>

[プラズマ処理装置の構成]

まず、本発明の第 1 実施形態にかかるマイクロ波プラズマ処理装置の構成について、図 1 及び図 2 を参照しながら説明する。図 1 は、本実施形態に係るマイクロ波プラズマ処理装置 10 の一部を拡大した縦断面（図 2 及び図 5 に示した 3-0, 0'-3 断面）図である。図 2 は、図 1 の 1-1 断面であり、マイクロ波プラズマ処理装置 10 の天井面を示している。

[0035] （全体構成）

図 1 に示したように、マイクロ波プラズマ処理装置 10 は、ガラス基板（以下、「基板 G」という。）をプラズマ処理するための処理容器 100 を有している。処理容器 100 は、容器本体 200 と蓋体 300 とから構成される。容器本体 200 は、その上部が開口された有底立方体形状を有していて、その開口は蓋体 300 により閉塞されている。蓋体 300 は、上部蓋体 300 a と下部蓋体 300 b とから構成されている。容器本体 200 と下部蓋体 300 b との接触面にはリング 205 が設けられていて、これにより容器本体 200 と下部蓋体 300 b とが密閉され、処理室が画定される。上部蓋体 300 a と下部蓋体 300 b との接触面にもリング 210 及びリング 215 が設けられていて、これにより、上部蓋体 300 a と下部蓋体 300 b とが密閉されている。容器本体 200 及び蓋体 300 は、たとえば、アルミニウム合金等の金属からなり、電氣的に接地されている。

[0036] 処理容器 100 の内部には、基板 G を載置するためのサセプタ 105（ステージ）が設けられている。サセプタ 105 は、たとえば窒化アルミニウム

から形成されている。サセプタ 105 は、支持体 110 に支持されていて、その周囲には処理室のガスの流れを好ましい状態に制御するためのバッフル板 115 が設けられている。処理容器 100 の底部にはガス排出管 120 が設けられていて、処理容器 100 の外部に設けられた真空ポンプ（図示せず）を用いて処理容器 100 内のガスが排出される。

[0037] （天井面の構成）

図 2 を参照すると、処理容器 100 の天井面には、誘電体板 305、金属電極 310 及び金属カバー 320 が規則的に配置されている。誘電体板 305 及び金属電極 310 は、基板 G や処理容器 100 に対して概ね 45° 傾いた位置に等ピッチで 20 枚配置される。誘電体板 305 のわずかに削られた角部同士は隣接して配置される。金属カバー 320 は、誘電体板 305 及び金属電極 310 の間に 12 枚配置される。

[0038] 天井面にはまた、全ての金属電極 310 及び金属カバー 320 を取り囲むサイドカバー 350 が設けられている。誘電体板 305、金属電極 310 及び金属カバー 320 は、僅かに角が削られたほぼ正方形のプレートである。金属電極 310 は、金属電極 310 の外縁部から誘電体板 305 が概ね均等に露出するように誘電体板 305 に隣接して設けられた平板である。かかる構成により、誘電体板 305 は、蓋体 300 の内面と金属電極 310 とによりサンドイッチされ、処理容器 100 の内面に密着される。金属電極 310 は、処理容器 100 の内壁と電氣的に接続されている。

[0039] 再び図 1 を見ると、金属電極 310 と金属カバー 320 は、誘電体板 305 の厚さ分、金属カバー 320 の方が厚い。かかる形状によれば、天井面の高さがほぼ等しくなる。誘電体板 305 はアルミナにより形成され、金属電極 310、金属カバー 320 及びサイドカバー 350 はアルミニウム合金により形成されている。なお、本実施形態では、誘電体板 305 及び金属電極 310 の枚数は、これに限られず、同じ枚数で増減させることができる。

[0040] 誘電体板 305 及び金属電極 310 は、誘電体板 305 を貫通した金属電極 310 の凸部を図 1 に示した袋ナット 325 にねじ止めすることにより固

定されている。金属カバー 320 は、ワッシャー 345 を下部蓋体 300b の凹みに介在させながらボルト 330 を金属カバー 320 に設けられた凹部にねじ止めすることにより固定されている。袋ナット 325 と下部蓋体 300b との間には、リング 220 が設けられていて、主ガス流路 335 からのガスが、袋ナット 325 内に設けられたガス流路 325a を通らずに処理容器 100 内に放出されることを防止する。

[0041] 上部蓋体 300a と下部蓋体 300b との間には、紙面に垂直な方向に主ガス流路 335 が設けられている。主ガス流路 335 は、複数の袋ナット 325 及びボルト 330 内に設けられたガス流路 325a, 330a にガスを分流する。ガス流路 325a, 330a の入口には、流路を狭めるノズル 340 が嵌入されている。ノズル 340 は、セラミックスや金属からなる。

[0042] 金属電極 310 にはガス流路 325a と連通するガス流路 310a が設けられていて、その先端では複数のガス孔 h11 が開口している。金属カバー 320 及びサイドカバー 350 にもガス流路 320a が設けられていて、その先端では複数のガス孔 h12 が開口している。ナット 325 及びボルト 330 の先端面は、プラズマの分布を乱さないように、金属電極 310、金属カバー 320 及びサイドカバー 350 のプラズマ側の面に露出していない。図 2 に示したように、ガス孔 h11 及びガス孔 h12 とは均等なピッチで配設されている。

[0043] ガス供給源 905 から出力されたガスは、主ガス流路 335 からガス流路 325a, 330a を通って金属電極 310 内の第 1 のガス流路 310a 及び金属カバー 320 やサイドカバー 350 内の第 2 のガス流路 320a を通過し、ガス孔 h11, h12 から処理室内に供給される。

[0044] このようにして天井部の金属面にガスシャワープレートを形成することにより、従来生じていた、プラズマ中のイオンによる誘電体板表面のエッチング及び処理容器内壁への反応生成物の堆積を抑制し、コンタミやパーティクルの低減を図ることができる。また、誘電体と異なり金属は加工が容易なため、コストを大幅に低減することができる。

[0045] 図2に示したように、誘電体板305は、誘電体板305に一对一に隣接した金属電極310と誘電体板305が配置されていない金属カバー320の間から露出している。一枚の金属電極310を中心に隣接する金属カバー320の中心点を頂点に持つ領域をセルC e lとして、仮想的に天井面を均等な領域に画定する。天井面では、セルC e lを一単位として同一パターンの構成が20セル規則正しく配置されている。各セルC e lは正方形である。

[0046] これにより、各セルから均等にマイクロ波の電力が供給される。この結果、誘電体板305から放出されたマイクロ波は、表面波となって電力を半分に分配しながら金属電極310及び金属カバー320の表面を伝搬する。処理容器内面の金属面とプラズマとの間を伝搬する表面波を、以下、金属表面波(M e t a l S u r f a c e W a v e)という。これにより、天井面全体に、金属表面波が伝搬し、本実施形態に係るマイクロ波プラズマ処理装置10の天井面の下方にて、均一なプラズマが安定的に生成される。

[0047] 最外周のセルC e lの境界近傍には、すべての金属電極310、誘電体板305、金属カバー320及びサイドカバー350を取り囲む溝340が矩形状に設けられている。天井面を伝搬する金属表面波が、溝340より外側に伝搬することを抑制する。溝340は、本実施形態のように一重であってもよく、二重や三重であってもよい。

[0048] 図1に示した冷媒供給源910は、蓋体300の内部の冷媒配管910aに接続されていて、冷媒供給源910から供給された冷媒が冷媒配管910a内を循環して再び冷媒供給源910に戻ることににより、蓋体300の主に下部蓋体300bの加熱を抑止するようになっている。

[0049] (伝送線路)

次に、マイクロ波を伝送する伝送線路について説明する。マイクロ波源900は、915MHzのマイクロ波を出力する。蓋体300には、マイクロ波を伝送させる同軸管が埋め込まれている。蓋体300を掘り込んで形成された第1の同軸管610の外部導体610bには、内部導体610aが挿入

されている。第1の同軸管610の端部は、誘電体板305に当接している。このようにして、複数の第1の同軸管610は、複数の誘電体板305に一対一に設けられ、これにより、マイクロ波を複数の誘電体板305に伝送する。

[0050] 同様にして掘り込んで形成された第3の同軸管630～第5の同軸管650の外部導体630b～650bには内部導体630a～650aが挿入され、その上部は蓋カバー660で覆われている。同軸分配器の主管700には、マイクロ波源900に向かう第2の同軸管620が連結されている。第2の同軸管620と主管700との連結部分にはテフロンリング800（テフロンは登録商標）が設けられている。テフロンリング800には、第2の同軸管620の内部導体620aが貫通している。テフロンリング800は、内部導体620aを外部導体620bに固定するとともに、マイクロ波が伝送される際の反射を抑えるようになっている。各同軸管の内部導体は熱伝導の良い銅で形成されている。

[0051] 第1の同軸管610の外周の下部蓋体300bと誘電体板305との接触面にはOリング225が設けられていて、第1の同軸管610内の大気が処理容器100の内部に入らないようになっている。

[0052] 図3に示したように、蓋体300の上方には、T分岐導波管915が配設されている。図4は、図3の4-4断面である。図4に示したように、T分岐導波管915は、2つのテーパ状の同軸導波管変換器605を介して2本の第2の同軸管620に連結される。T分岐導波管915の分岐部分の中央奥には整合用の棒状部材915aが設けられていて、T分岐導波管915から各第2の同軸管620へマイクロ波を良好に伝送するようになっている。マイクロ波は、マイクロ波源900から出力され、整合器920により電源側と負荷側の整合を取り、テーパ状の同軸導波管変換器605により反射を抑えながら各同軸導620に伝送される。なお、マイクロ波源900と整合器920との間にはアイソレータ925が設けられていて、整合が十分取れていない状態でも反射波がマイクロ波源900に戻ることを防止している。

[0053] (同軸管分配器と分岐構造)

図5は、図1の2-2断面図である。本実施形態に係るマイクロ波プラズマ処理装置10は、天井面を20のセルCe1に区画し、G4.5サイズの基板(920mm×730mm)を処理する。

[0054] 図5には、上記伝送線路を伝送したマイクロ波を複数の第1の同軸管610に分配して伝送する同軸管分配器600が上部蓋体300a内に並んで2つ埋め込まれている。同軸管分配器600は、主管700、第2の同軸管620、第3の同軸管630、第4の同軸管640及び第5の同軸管650を含む。

[0055] 同軸管分配器600の平面図を示した図6及び側面図を示した図7を参照しながら、同軸管分配器600の説明を続ける。同軸管分配器600は、主管700、第2の同軸管620、及び複数の第1の同軸管610にそれぞれ連結される第1の分岐構造B1及び第2の分岐構造B2を有する。主管700は、第2の同軸管620、第1の分岐構造B1及び第2の分岐構造B2に連結される主同軸管に相当する。主管700の外部導体700bは、第2の同軸管620の連結位置で最も太くなり第4の同軸管640との連結部分に向けて徐々に細くなる。一方、主管700の内部導体700aの太さは、一定である。

[0056] 第1の分岐構造B1は、分岐せずに第3の同軸管630に直接第1の同軸管610が連結する分岐構造を有する。すなわち、第1の分岐構造B1は、同軸管分配器600の両端にて連結された第3の同軸管630を分岐させることなく1本の第1の同軸管610にそれぞれ連結する。

[0057] 第2の分岐構造B2は、第4の同軸管640からT分岐した第5の同軸管650の両端に2本の第1の同軸管610が連結する分岐構造を有する。すなわち、第2の分岐構造B2は、同軸管分配器600に両側にて連結された第4の同軸管640をT分岐させて2本の第1の同軸管610にそれぞれ連結する。

[0058] 第1の分岐構造B1及び第2の分岐構造B2は、主管700に交互に連結

されている。第1の分岐構造B1及び第2の分岐構造B2は、第2の同軸管620に対して対称的に同軸管分配器600に連結されている。なお、第2の同軸管620は、同軸管分配器600の中央にて主管700に連結されているが、連結位置はこれに限られない。また、第1の分岐構造B1及び第2の分岐構造B2と主管700との連結部において、1個の連結部に2個の同一の分岐構造が連結されているが、1個の連結部に異なる分岐構造が連結されていてもよいし、2個以外の数の分岐構造が連結されていてもよい。さらに、内部導体700aと内部導体640a、内部導体700aと内部導体630aは本実施形態では垂直であるが、垂直でなくてもよい。

[0059] (第1の誘電体)

図1に示した第1の同軸管610（第1の分岐構造の同軸管）には、テーパ状の第1の誘電体610cが埋め込まれている。テーパ状の第1の誘電体610cは、第1の同軸管610の内部導体610aと外部導体610bとの間に介在され、第3の同軸管630との連結部分から第1の同軸管610の下端部に向かって逆テーパ状に形成及び配置される。第3の同軸管630と第1の同軸管610との連結部分では、外部導体の空間が大きく、かつ内部導体に多少の丸みが形成されている。これにより、分岐部分でのマイクロ波の反射を抑えるとともに、テーパ状の第1の誘電体610cを固定する。テーパ状の第1の誘電体610cは、石英、アルミナ、イットリア等の誘電体から形成される。

[0060] このように、第1の誘電体610cがテーパ状に形成されることにより第1の同軸管610の特性インピーダンスを変換することができる。また、第1の誘電体610cは、その長さを調整することにより、第1の同軸管610を伝送するマイクロ波の位相を調整することができる。特性インピーダンス変換及び位相調整については後述する。

[0061] 第1の同軸管610の連結部分上部の内部導体及び外部導体との間はテフロンロッド805により支持される。第1の同軸管610の先端近傍にもテフロンリング810が設けられ、内部導体610aを外部導体610bに支

持するようになっている。第5の同軸管650にも、同様にテフロンリング815が設けられ、内部導体650aを外部導体650bに支持するようになっている。テフロンロッド805及びテフロンリング810, 815は、テフロン（登録商標）、ガラス入りテフロン、石英、アルミナ、イットリア等の誘電体から形成されている。

[0062] 主管700の内部導体700aと外部導体700bとの間にもテフロンリング820が設けられている。テフロンリング820は、テフロンから形成されている。テフロンリング820は内部導体700aを外部導体700bに支持するとともに、その比誘電率と厚さによりマイクロ波の電気長を調整する。テフロンリング820は、テフロンに限られず、ガラス入りテフロン、石英、アルミナ、イットリア等の誘電体から形成されていてもよい。

[0063] 負荷としてのプラズマのインピーダンスはプロセス条件によって変化する。このため、負荷からの反射を常に0にすることは原理的にできない。負荷からの反射があっても各セルに同一振幅、同一位相のマイクロ波を供給する分岐線路の設計が必要である。このため、負荷からの反射があっても連結部C1と連結部C2におけるマイクロ波の電圧と位相を一致させるために、連結部C1と連結部C2間の電気長を $2\pi rad$ の整数倍（本実施形態では1倍）にする（図5, 8参照）。

[0064] 本実施形態では、第1の分岐構造B1と第2の分岐構造B2の2種類の分岐構造が設けられており、それぞれの電気長が異なるため、連結部C1と連結部C2におけるマイクロ波の位相を一致させただけでは、各セルに供給されるマイクロ波の位相を同一にすることができない。このため、第1の分岐構造B1には、後述する位相調整部が設けられている。

[0065] 第1の分岐構造B1の先に連結された第1の同軸管610及び第2の分岐構造B2の先に連結された第1の同軸管610は、複数の金属電極310に等ピッチでそれぞれ連結されている。各ピッチは、主管700の電気長を基準として $4\pi n/3 rad$ （ n は整数）である。

[0066] ただし、セルのピッチの1.5倍は中空の同軸管のマイクロ波の波長（こ

れは自由空間の波長に等しい) にほぼ等しいが少しずれがある。そこで、図 6 及び図 7 に示したように、主管 700 の内部導体 700a と外部導体 700b との間にテフロン 820 を介在させて、連結部 C1 と連結部 C2 間の電気長が $2\pi rad$ になるようにしている。このような調整手段によりセルピッチを比較的自由に定めることができる。

[0067] [各分岐構造のインピーダンス整合及び位相調整機構]

次に、図 8 を参照しながら、各分岐構造のインピーダンス整合及び位相調整機構について説明する。図 8 は、第 1 の分岐構造 B1 及び第 2 の分岐構造 B2 を模式的に示した図である。図 8 では、入力部 In 右側の第 2 の分岐構造 B2 は省略されている。

[0068] (特性インピーダンス変換／位相調整部)

第 1 の誘電体 610c は、テーパ形状及び長さでマイクロ波の反射を抑えつつ特性インピーダンスを適切な値に変換すると同時に、第 1 の分岐構造 B1 の電気長を調整して全てのセルに供給されるマイクロ波の位相を揃える。

[0069] 同軸管の特性インピーダンスは、次式 (1) で表される。

[数1]

$$Z_0 = 138 / \sqrt{\epsilon_r} \cdot \log \sqrt{b/a} \cdots \cdots (1)$$

ここで、 ϵ_r は第 1 の誘電体 610c の実効的な比誘電率、b は第 1 の同軸管 610 の外部導体 610b の径、a は第 1 の同軸管 610 の内部導体 610a の径である。

[0070] 式 (1) によれば、第 1 の同軸管 610 の特性インピーダンスを変換するためには、第 1 の誘電体 610c の実効的な比誘電率 ϵ_r 、外部導体 610b の径、内部導体 610a の径のいずれかを变化させればよい。

[0071] 本実施形態では、図 1 に示したように、外部導体 610b の径及び内部導体 610a の径は変化させずに、第 1 の誘電体 610c の実効的な比誘電率 ϵ_r を変化させている。具体的には、第 1 の誘電体 610c の上部が厚く下部が薄くなるように第 1 の誘電体 610c を逆テーパ状にする。また、第 1 の

誘電体 610c には比誘電率 ϵ_r が 3.8 の石英を用いる。第 1 の同軸管 610 の上部では、外部導体 610b と内部導体 610a との間の空間が第 1 の誘電体 610c にて充填されているので、内外導体間の比誘電率は 3.8 にほぼ等しくなる。一方、第 1 の同軸管 610 の下部になる程、内外導体間を満たす物質は、石英より空気の割合が高くなる。よって、第 1 の同軸管 610 の内外導体間の実効的な比誘電率 ϵ_r は 3.8 より徐々に小さくなる。式 (1) によれば、 a , b の変数に変化がなく、実効的な比誘電率 ϵ_r が徐々に小さくなる場合、特性インピーダンス Z_0 は徐々に大きくなる。よって、第 1 の誘電体 610c の上部から下部に行くほど特性インピーダンス Z_0 は大きくなる。このようにして、第 1 の誘電体 610c を用いてマイクロ波の特性インピーダンスを所望の値に変換することができる。図 8 では、第 1 の誘電体 610c によって実現される特性インピーダンス変換／位相調整部により、第 1 の誘電体 610c が配置されている第 1 の同軸管 610 下部の特性インピーダンス (30 Ω) を上部の特性インピーダンス (20 Ω) に変換している。

[0072] また、比誘電率が高いほどマイクロ波の位相は遅れる。よって、第 1 の誘電体 610c のテーパ部の長さが長いほどマイクロ波の位相は遅れることになる。この原理を用いて、第 1 の分岐構造 B1 の電気長を調整している。

[0073] 本実施形態では、石英をテーパ状に形成することにより、マイクロ波の位相調整と特性インピーダンス変換を同時に行う。なお、設計によっては、位相調整部がなくても各セルに供給されるマイクロ波の位相にずれが生じないこともある。その場合には、位相調整は不要となる。また、特性インピーダンスを変換する必要がなく位相のみを調整する必要がある場合には、誘電体 610c をテーパ状でなくストレートにしてもよい。

[0074] 特性インピーダンス変換／位相調整部の他の構成例としては、たとえば、内部導体 610a 又は外部導体 610b をテーパ状にして、内外導体間を石英などの誘電体で充填させてもよい。第 1 の誘電体 610c をテーパ状にする必要がなく、加工時のコストを低減できる。また、特性インピーダンス変

換／位相調整部を第2の分岐構造B2に設けてもよい。

[0075] (インピーダンス整合)

以上の特性インピーダンス変換／位相調整部の機能を踏まえて、本実施形態における第1の分岐構造B1及び第2の分岐構造B2とのインピーダンス整合について説明する。

[0076] 前述したように、均一なプラズマを生成するためには、全てのセルに同じパワー（同じ振幅）の電力を供給する必要がある。ここで、第2の分岐構造B2は、2分岐しながら4つの金属電極310につながっている。一方、第1の分岐構造B1は、分岐せずに直接1つの金属電極310につながっている。このように、分岐先の負荷が異なる場合、入力部Inから左右の主管700に供給されるマイクロ波の電力と上下の同軸管に供給されるマイクロ波の電力とを、4：1に配分しなければ、各セル（金属電極310）にマイクロ波の電力を等分することができない。

[0077] 以上のようにマイクロ波の電力を配分するために、入力部Inから左右に延びる主管700を見た特性インピーダンスをそれぞれ75Ωにし、入力部Inから上下に延びる第4の同軸管を見た特性インピーダンスをそれぞれ300Ωにする。これは、次のようにして算出することができる。

[0078] 入力部Inから入力部Inに連結される4本の同軸管を見たインピーダンスは、全て抵抗性であるとする。横の同軸管に対して次式が成り立つ。

P_1 (横の同軸管に供給される電力) = V^2 (入力部Inの電圧) / R_1 (横の同軸管を見た抵抗)

[0079] 縦の同軸管に対して次式が成り立つ。

P_2 (縦の同軸管に供給される電力) = V^2 (入力部Inの電圧) / R_2 (縦の同軸管を見た抵抗)

[0080] これにより、式(2)が導かれる。

$$P_1 / P_2 = 4 / 1 = R_2 / R_1 \cdots (2)$$

[0081] また、入力部Inにて反射が生じないためには、並列接続された4つの分岐先の合成インピーダンスを、分岐元の第2の同軸管620の特性インピー

ダンスと一致させればよい。本実施形態では、同軸管での電力ロスを最小にするために、第2の同軸管620の特性インピーダンスを30Ωとした。すなわち、次式(3)が成り立つ。

$$1 / (1 / R_1 + 1 / R_1 + 1 / R_2 + 1 / R_2) = 30 \Omega \cdots (3)$$

[0082] 式(2)(3)により、 $R_1 = 75 \Omega$ 、 $R_2 = 300 \Omega$ が導き出される。以上の計算に基づき、入力部Inから見た左右のインピーダンスを75Ωにし、入力部Inから見た上下のインピーダンスを300Ωにするように各同軸管の特性インピーダンスを定める。

[0083] (第2の分岐構造のインピーダンス整合)

まず、第2の分岐構造B2側のインピーダンス整合について説明する。電界集中と負荷側からの反射を抑えるために、各セルの金属電極310に繋がる第1の同軸管610の下部の特性インピーダンスを、たとえば20Ωに設定する。これに対して、第1の同軸管610の上部の特性インピーダンスを30Ωにするように第1の同軸管610の内部導体610aに段差を設ける。また、第1の同軸管610の下部の長さを調整することにより、反射をより小さく抑える。また、第5の同軸管650の特性インピーダンスを第1の同軸管610の上部の特性インピーダンスと等しい30Ωにする。

[0084] 入力部Inから左側を見たインピーダンスを75Ωにするために、入力部In近傍の主管700の特性インピーダンスを75Ωにするとともに、負荷インピーダンスをこの値に整合させる。ここでは、主管700の外部導体700bを徐々に細くしてテーパ状にしておき、第2の分岐構造との連結部近傍の主管700の特性インピーダンスは60Ωになっている。これは、第4の同軸管640の電気長を所望の長さに合わせるためであるが、必ずしも主管700をこのようにテーパ状にする必要はない。

[0085] 負荷インピーダンスを整合させるために、連結部C2から第4の同軸管を見たインピーダンスを、主管700の特性インピーダンス60Ωの2倍に合わせる必要がある。これは、連結部C2に第4の同軸管が2本接続されているためである。

[0086] なお、主管 700 の端部からその端部に最も近い分岐構造の連結部分までの電気長は、概ね $\pi/2$ rad の奇数倍（ここでは、1 倍）と等しくなっている。これにより、この間は、一端を短絡された分布定数線路とみなすことができる。このように、一端が短絡された電気長が $\pi/2$ rad の分布定数線路は、もう一端から見るとインピーダンスが無限大に見える。よって、マイクロ波の伝送にとって主管 700 の端部から連結部分までの部分は存在しないに等しいものとなり、伝送線路の設計が容易になる。

[0087] 分岐部 T から 2 本の第 5 の同軸管 650 を見た合成のインピーダンスは、第 5 の同軸管 650 の特性インピーダンス $30\ \Omega$ の $1/2$ になる。第 4 の同軸管 640 は、これらのインピーダンスの関係を満足させるためのインピーダンス変換器として機能し、電気長と特性インピーダンスが次のように設計される。まず、第 4 の同軸管 640 の電気長を、 $\pi/2$ rad とする。また、第 4 の同軸管 640 の特性インピーダンス Z_{c4} は、次式によって求められる。

[数2]

$$Z_{c4} = \sqrt{Z_{c7} \cdot Z_{c5}}$$

・・・ (4)

ここで、 Z_{c7} は主管 700 の（分岐部 C 近傍の）特性インピーダンス、 Z_{c5} は同軸管 650 の特性インピーダンスである。式 (4) に $Z_{c7} = 60\ \Omega$ 、 $Z_{c5} = 30\ \Omega$ を代入すると、 $Z_{c4} = 42.4\ \Omega$ となる。

[0088] （第 1 の分岐構造のインピーダンス整合）

次に、第 1 の分岐構造 B 1 側のインピーダンス整合について説明する。第 2 の分岐構造のインピーダンス整合の場合と同様に、電界集中と負荷側からの反射を抑えるために、各セルの金属電極 310 に繋がる第 1 の同軸管 610 の下部の特性インピーダンスを $20\ \Omega$ に設定する。これに対して、第 1 の同軸管 610 の上部の特性インピーダンスを $30\ \Omega$ にするように第 1 の同軸管 610 の内部導体 610a に段差を設けるとともに、反射が生じないよう

に下部の長さを調整する。

[0089] 第1の同軸管610の特性インピーダンス変換／位相調整部には、実際には、前述したように、内部導体610aと外部導体610bとの間に逆テーパ状の第1の誘電体610cが設けられた構成となっている。かかる構成によれば、第1の誘電体610cの逆テーパを利用して第1の同軸管610上側の出力側から入力側に向けて比誘電率 ϵ_r を徐々に大きくすることにより、上式(1)に従い第1の同軸管610上側の出力側から入力側に向けて特性インピーダンスを徐々に小さくすることができる。これにより、反射を抑えながら、第1の同軸管610上側の出力側の特性インピーダンスを30Ω、入力側の特性インピーダンスを20Ωにすることができる。

[0090] 一方、前述したように、入力部Inから上下の同軸管を見たインピーダンス Z_{in} は300Ωにしなければならない。第3の同軸管630は、これらのインピーダンスの関係を満足させるためのインピーダンス変換器として機能し、電気長と特性インピーダンスが次のように設計される。まず、第3の同軸管630の電気長を、 $\pi/2$ radとする。また、第3の同軸管630の特性インピーダンス Z_{c3} は、次式によって求められる。

[数3]

$$Z_{c3} = \sqrt{Z_{in} \cdot Z_{c1}}$$

・・・ (5)

ここで、 Z_{c1} は同軸管610の特性インピーダンス変換部上部の特性インピーダンスである。式(5)に $Z_{in}=300\Omega$ 、 $Z_{c1}=20\Omega$ を代入すると、 $Z_{c3}=77.4\Omega$ となる。

[0091] [効果の例]

以上のように、分岐構造の最適化を図った同軸管分配器600分岐回路について、反射の状態及び位相の状態をシミュレーションにより求めた。図9は、図7に示す各ポートにおけるマイクロ波の入射、反射、透過の状態をSパラメータで表記した結果である。その結果を図9に示す。S11は、ポ-

ト 1 から入力してポート 1 から出力されるマイクロ波を示している。すなわち、 S_{11} は、ポート 1 から出力されるマイクロ波の反射波及び位相（かっこ内）を示す。これによれば、ポート 1 からのマイクロ波の反射は、「0.003」とほぼ「0」であり、反射が極めて小さいことが分かる。

[0092] 次に、 $S_{12} \sim S_{16}$ について検証する。 $S_{12} \sim S_{16}$ は、図 7 のポート 1 から入力してポート 2～6 からそれぞれ出力されるマイクロ波を示している。シミュレーション結果によれば、ポート 2～6 から出力されるマイクロ波の振幅は、「0.446」又は「0.447」であり、ほぼ一致していることが分かる。また、ポート 2～6 から出力されるマイクロ波の位相も「 -119° 」と完全に一致している。この結果、第 1 の分岐構造 B 1、第 2 の分岐構造 B 2 という異なる分岐構造の伝送路においても、振幅と位相の揃ったマイクロ波を処理容器内に供給できることが証明された。これにより、基板サイズ、セル個数、（すなわち、分岐数）に比較的制限されないマイクロ波プラズマ処理装置 10 の設計が実現できることがわかった。

[0093] すなわち、同軸管分配器 600 の主管 700 に異なる構成の第 1 の分岐構造 B 1 及び第 2 の分岐構造 B 2 を連結することにより、第 1 の同軸管 610 の配置位置を適正化することができる。この結果、大きさが予め定められている基板 G に対してセル C e 1 の形状を正方形にすることができるとともに、セル C e 1 の面積を比較的大きくすることができる。この結果、セル C e 1 の形状を正方形にすることにより基板に均一なプラズマ処理を施すことができるとともに、セル C e 1 の面積を比較的大きくすることによりコストを低減させることができる。

[0094] <第 1 実施形態の変形例>

[変形例 1 に係る分岐構造]

図 10 “b” に示したように、今まで述べてきた 10 分岐（セル数： $5 \times 2 = 10$ ）の分岐構造を基本として、図 10 “a”、図 10 “c”～図 10 “e” 等の変形例が考えられる。たとえば、図 10 “a” に示した変形例 1 に係る分岐構造では、第 2 の同軸管（入力部 I n）に第 2 の分岐構造が配置

され、その両側に第1の分岐構造B1が同軸管分配器600の主管700に対して対称的に配置される。つまり、第1の分岐構造B1及び第2の分岐構造B2は、第2の同軸管（入力部In）から両側に向けて第2の分岐構造B2、第1の分岐構造B1の順に主管700に連結されている。この場合、セル数は、 $8 (= 6 \times 2)$ となる。

[0095] 第1の分岐構造B1及び第2の分岐構造B2が同軸管分配器600の主管700に連結する連結部分のピッチは、 $2\pi n \text{ rad}$ （ n は整数、ここでは $n=1$ ）となっている。

[0096] [変形例2に係る分岐構造]

図10“c”に示した変形例2に係る分岐構造では、第1の分岐構造B1及び第2の分岐構造B2は、同軸管分配器600の主管700に対して対称的に配置される。つまり、第1の分岐構造B1及び第2の分岐構造B2は、第2の同軸管（入力部In）から両側に向けて第1の分岐構造B1、第2の分岐構造B2の順に主管700に連結されている。この場合、セル数は、 $12 (= 6 \times 2)$ となる。

[0097] 第1の分岐構造B1及び第2の分岐構造B2が同軸管分配器600の主管700に連結する連結部分のピッチは、入力部Inを除いて $2\pi n \text{ rad}$ （ n は整数、ここでは $n=1$ ）となっている。

[0098] 入力部Inから第1の分岐構造B1までの間の長さは自由に定められる。一方、第1の分岐構造B1の連結部から第2の分岐構造B2の連結部までの距離は、 $2\pi n \text{ rad}$ （ n は整数）にする。これにより、同一振幅のマイクロ波を各セルに供給することができる。

[0099] [変形例3に係る分岐構造]

図10“d”に示した変形例3に係る分岐構造では、第1の分岐構造B1を中心として、第2の分岐構造B2、第1の分岐構造B1が入力部Inの両側に交互に出現する。この場合、セル数は、 $14 (= 7 \times 2)$ となる。その際、第1の分岐構造B1の連結部と第2の分岐構造B2の連結部との距離は、すべて $2\pi n \text{ rad}$ （ n は整数）にする。これにより、同一振幅のマイク

口波を各セルに供給することができる。

[0100] [変形例 4 に係る分岐構造]

図 10 “e” に示した変形例 4 に係る分岐構造では、図 10 “c” の同軸管分配器 600 に対して、最も外側に、さらに第 1 の分岐構造 B1 が連結されている。この場合、セル数は、16 ($= 8 \times 2$) となる。この場合にも、入力部 I_n から第 1 の分岐構造 B1 までの間の長さは自由に定められる。第 1 の分岐構造 B1 の連結部と第 2 の分岐構造 B2 の連結部との距離は、 $2\pi nrad$ (n は整数) にする。これにより、同一振幅のマイクロ波を各セルに供給することができる。

[0101] 図 10 “a” ~ 図 10 “c” に示した分岐構造では、上記距離 $2\pi nrad$ を管理すべき位置は入力部 I_n の両側に 1 カ所ずつのみである。一方、図 10 “d” 及び図 10 “e” に示した分岐構造では、上記距離 $2\pi nrad$ を管理すべき位置は入力部 I_n の両側に 2 カ所ずつある。

[0102] マイクロ波源 900 の周波数許容範囲はマグネトロンの特性に基づき定められ、図 10 “a” ~ 図 10 “c” に示した 1 カ所のピッチ管理に対しては、基準周波数の $\pm 1\%$ 程度になる。これに対して、図 10 “d” 及び図 10 “e” に示した 2 カ所のピッチ管理に対して、マイクロ波源 900 の周波数許容範囲は基準周波数 $\pm 0.5\%$ 程度と、図 10 “a” ~ 図 10 “c” の場合の半分になってしまう。

[0103] 以上から、横方向のセル数が 4, 5 又は 6 個の図 10 “a” ~ 図 10 “c” の装置の方が、横方向のセル数が 7 又は 8 個の図 10 “d” 及び図 10 “e” の装置より管理が簡単で、マイクロ波をより均等に分配しやすい。

[0104] [変形例 5 に係る分岐構造]

図 11 に示した変形例 5 では、図 10 “c” の同軸分配器 600 の構成が並列に 4 つ並べられている。これによれば、太陽電池基板サイズ $1.20m \times 1.64m$ に適したプラズマ励起領域を確保することができる。

[0105] [変形例 6 に係る分岐構造]

図 12 に示した変形例 6 では、図 10 “b” の同軸分配器 600 の構成が

縦横に4つずつ合計8つ並べられている。これによれば、太陽電池基板サイズ1.64m×2.08mに適したプラズマ励起領域を確保することができる。

[0106] 以上、添付図面を参照しながら本発明の好適な実施形態について詳細に説明したが、本発明はかかる例に限定されないことは言うまでもない。本発明の属する技術の分野における通常の知識を有する者であれば、特許請求の範囲に記載された技術的思想の範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、これらについても当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

[0107] 例えば、位相調整部は、特性インピーダンス変換部と同一位置に設けられていなくてもよい。特性インピーダンス変換部と異なる位置に設けられている場合、位相調整部は、位相だけ調整してもよい。また、位相調整部は、第1の同軸管以外の同軸管に設けることもできる。

[0108] 以上に説明した各実施形態では、915MHzのマイクロ波を出力するマイクロ波源900を挙げたが、896MHz、922MHz、2.45GHz等のマイクロ波を出力するマイクロ波源であってもよい。また、マイクロ波源は、プラズマを励起するための電磁波を発生する電磁波源の一例であり、100MHz以上の電磁波を出力する電磁波源であれば、マグネトロンや高周波電源も含まれる。

[0109] また、本発明に係るプラズマ処理装置は、上述したマイクロ波プラズマ処理装置に限られず、成膜処理、拡散処理、エッチング処理、アッシング処理、プラズマドーピング処理など、プラズマにより被処理体を微細加工するプラズマ処理装置であればよい。

[0110] また、たとえば、本発明にかかるプラズマ処理装置は、大面積のガラス基板、円形のシリコンウエハや角型のSOI (Silicon On Insulator) 基板を処理することもできる。

請求の範囲

- [請求項1] 電磁波によりガスを励起させて被処理体をプラズマ処理するプラズマ処理装置であって、
 処理容器と、
 電磁波を出力する電磁波源と、
 前記電磁波源から出力された電磁波を伝送する伝送線路と、
 前記処理容器の内面に設けられ、電磁波を前記処理容器内に放出する複数の誘電体板と、
 前記複数の誘電体板に隣接し、電磁波を前記複数の誘電体板に伝送する複数の第1の同軸管と、
 前記伝送線路を伝送した電磁波を前記複数の第1の同軸管に分配して伝送する1段又は2段以上の所定の段数を有する複数の同軸管分配器と、を備え、
 前記複数の同軸管分配器のうち少なくとも一つは、他の同軸管分配器と段数が異なることを特徴とするプラズマ処理装置。
- [請求項2] 前記複数の同軸管分配器のうち少なくとも一つは段数が1段であり、他の同軸管分配器の段数は2段である請求項1に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項3] 電磁波によりガスを励起させて被処理体をプラズマ処理するプラズマ処理装置であって、
 処理容器と、
 電磁波を出力する電磁波源と、
 前記電磁波源から出力された電磁波を伝送する伝送線路と、
 前記処理容器の内面に設けられ、電磁波を前記処理容器内に放出する複数の誘電体板と、
 前記複数の誘電体板に隣接し、電磁波を前記複数の誘電体板に伝送する複数の第1の同軸管と、
 前記伝送線路を伝送した電磁波を前記複数の第1の同軸管に分配し

て伝送する 1 段又は 2 段以上の同軸管分配器と、を備え、

前記同軸管分配器のうち少なくとも一段は、前記複数の第 1 の同軸管にそれぞれ連結される異なる構成の分岐構造と、前記異なる構成の分岐構造が連結する主同軸管と、を含むプラズマ処理装置。

[請求項 4] 前記主同軸管に連結される入力部を有する第 2 の同軸管を有する請求項 3 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項 5] 前記分岐構造は、第 1 の分岐構造及び第 2 の分岐構造の 2 種類を有する請求項 3 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項 6] 前記第 1 の分岐構造は、分岐せずに前記複数の第 1 の同軸管の少なくともいずれかに連結される請求項 5 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項 7] 前記第 2 の分岐構造は、分岐して前記複数の第 1 の同軸管の少なくともいずれかに連結される請求項 5 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項 8] 前記第 2 の分岐構造は、2 分岐である請求項 7 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項 9] 前記第 1 の分岐構造及び前記第 2 の分岐構造は、前記主同軸管に交互に連結される請求項 5 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項 10] 前記第 1 の分岐構造及び前記第 2 の分岐構造は、前記第 2 の同軸管と前記主同軸管との連結部から前記主同軸管の両側に向かって前記主同軸管に交互に連結される請求項 5 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項 11] 前記第 1 の分岐構造及び前記第 2 の分岐構造が前記主同軸管に連結する連結部分のピッチは、電気長で $2\pi n \text{ rad}$ (n は整数) である請求項 5 に記載のプラズマ処理装置。

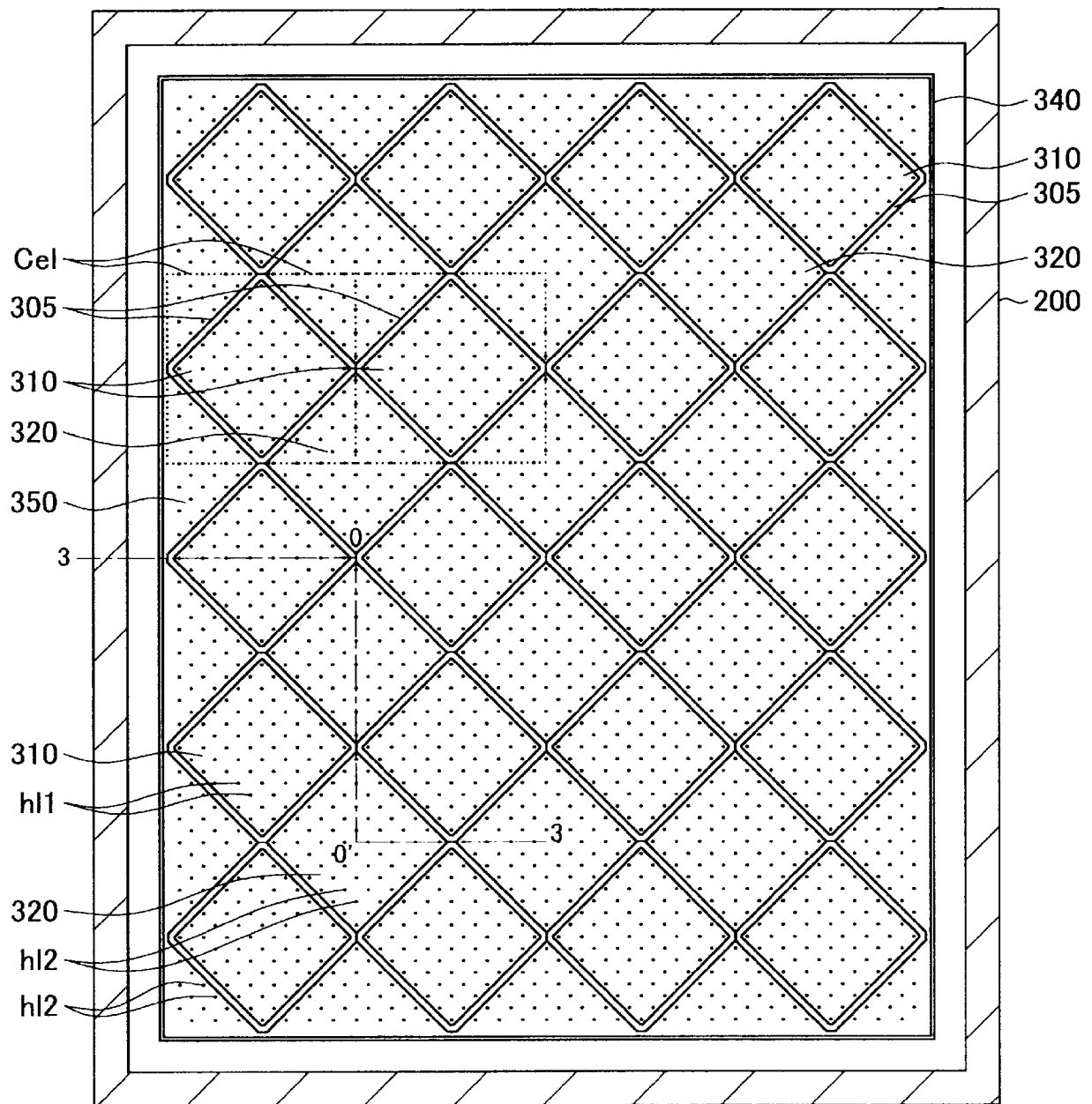
[請求項 12] 前記第 1 の分岐構造及び前記第 2 の分岐構造が前記主同軸管に連結する連結部分のピッチは、前記第 2 の同軸管と前記主同軸管との連結部を除いて電気長で $2\pi n \text{ rad}$ (n は整数) である請求項 5 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項 13] 前記第 1 の分岐構造及び前記第 2 の分岐構造は、前記第 2 の同軸管に対して対称的に前記主同軸管に連結されている請求項 9 に記載のプ

ラズマ処理装置。

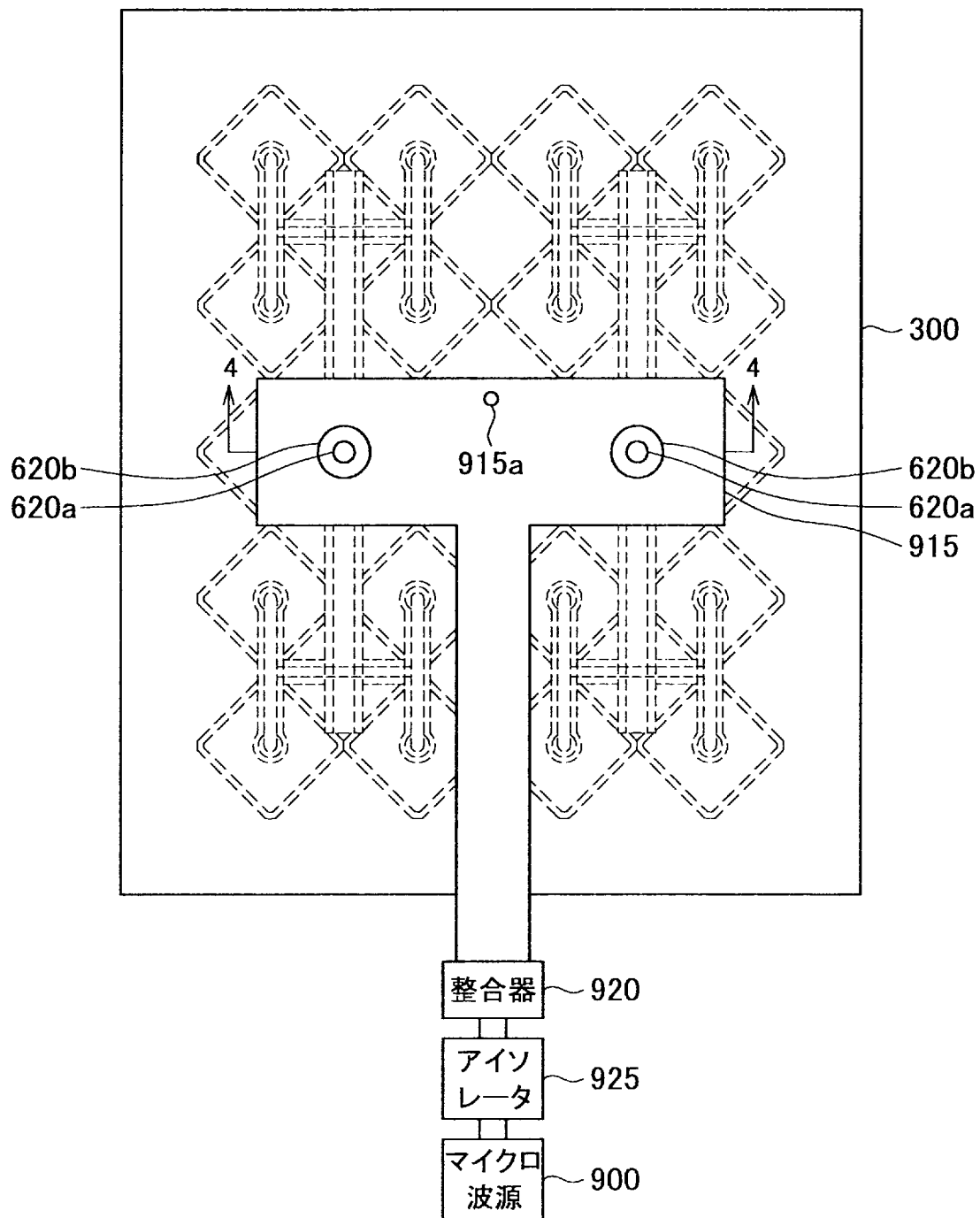
- [請求項14] 前記複数の第1の同軸管内の少なくともいずれかには、第1の誘電体が埋め込まれている請求項5に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項15] 前記第1の誘電体は、テーパ状である請求項14に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項16] 前記第1の誘電体は、前記第1の同軸管の内部導体と外部導体との間に介在される請求項14に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項17] 前記第1の誘電体は、その形状により前記第1の同軸管の特性インピーダンスを変換する請求項14に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項18] 前記第1の誘電体は、その長さにより前記第1の同軸管の電気長を調整する請求項14に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項19] 前記複数の第1の同軸管は、前記複数の誘電体板に等ピッチでそれぞれ連結され、各ピッチは、前記主同軸管の電気長を基準として $4\pi n/3 \text{ rad}$ (n は整数) である請求項3に記載のプラズマ処理装置。

[図2]

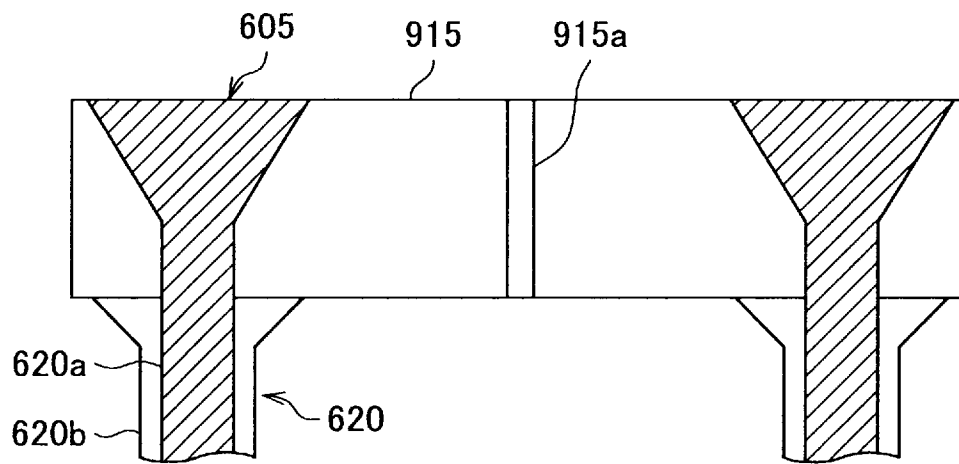


1-1 断面

[図3]

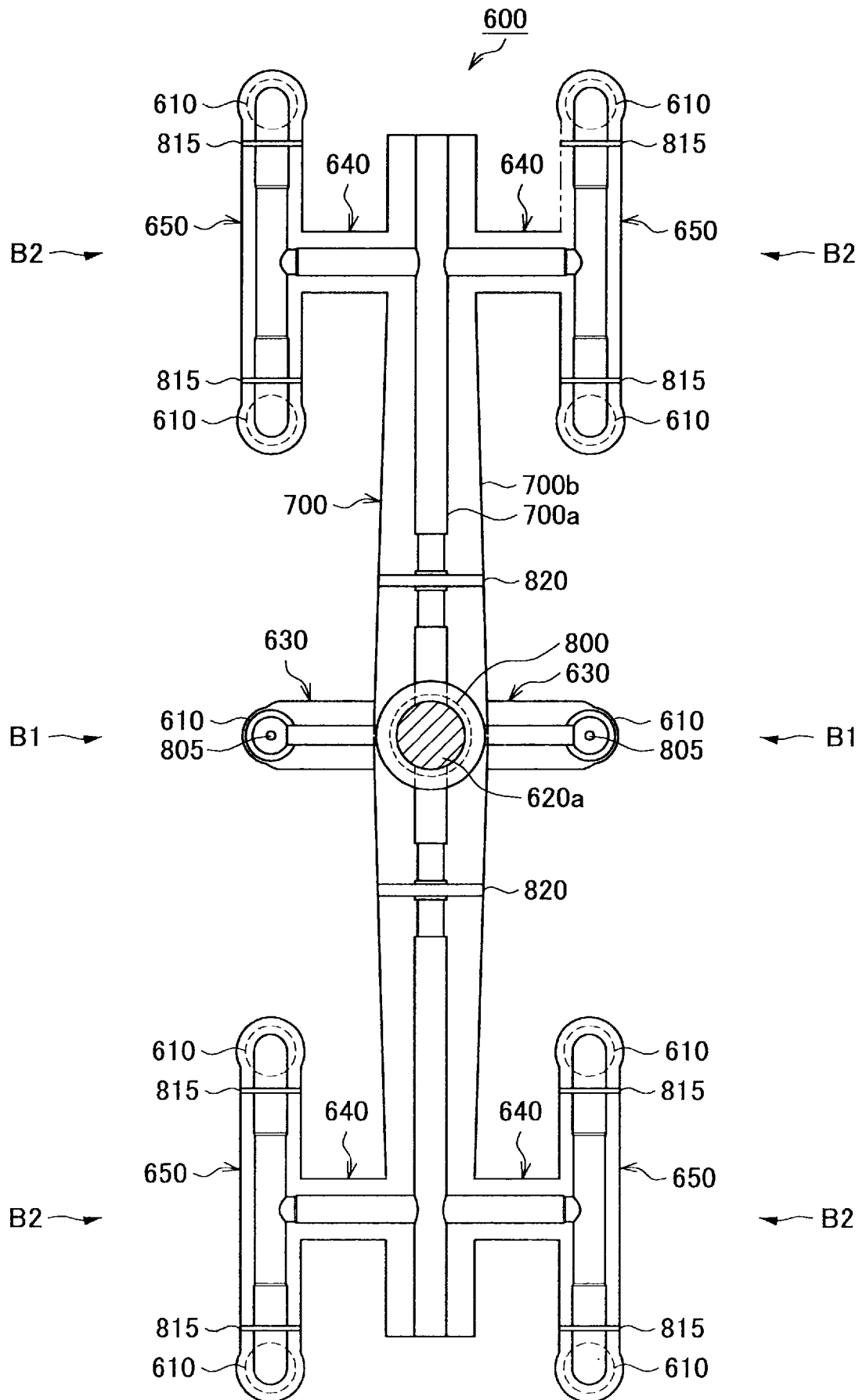


[図4]

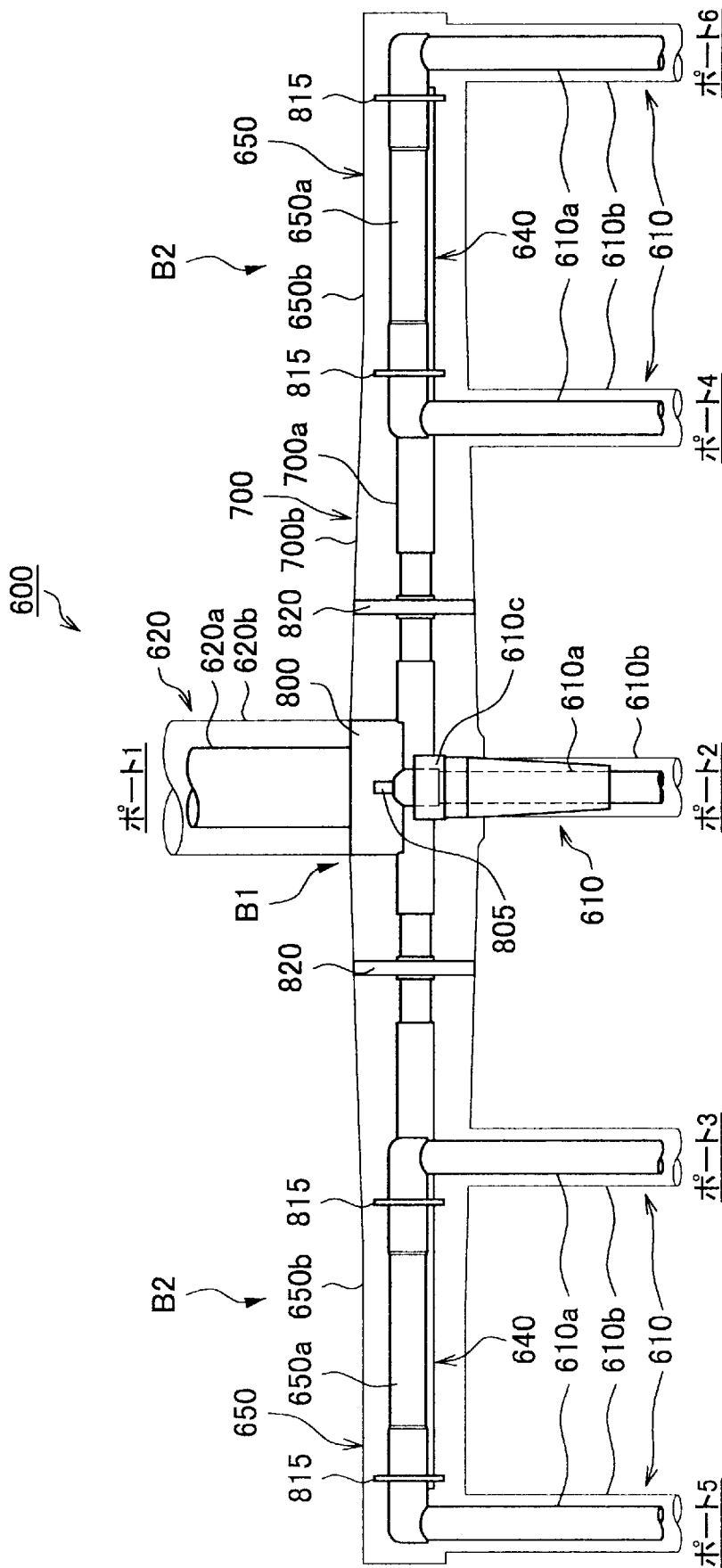
4-4 断面

2-2 断面

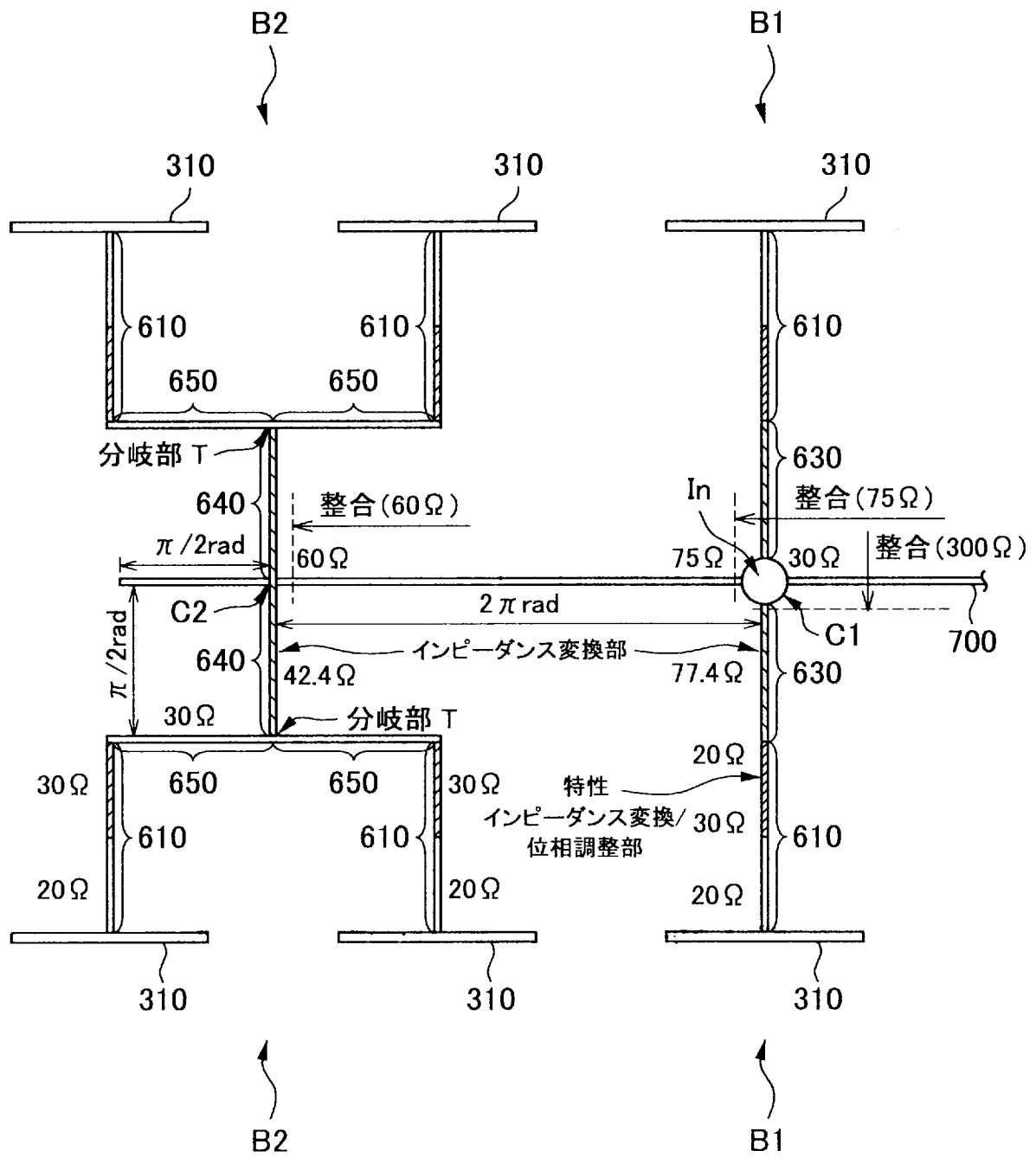
[図6]



[図7]



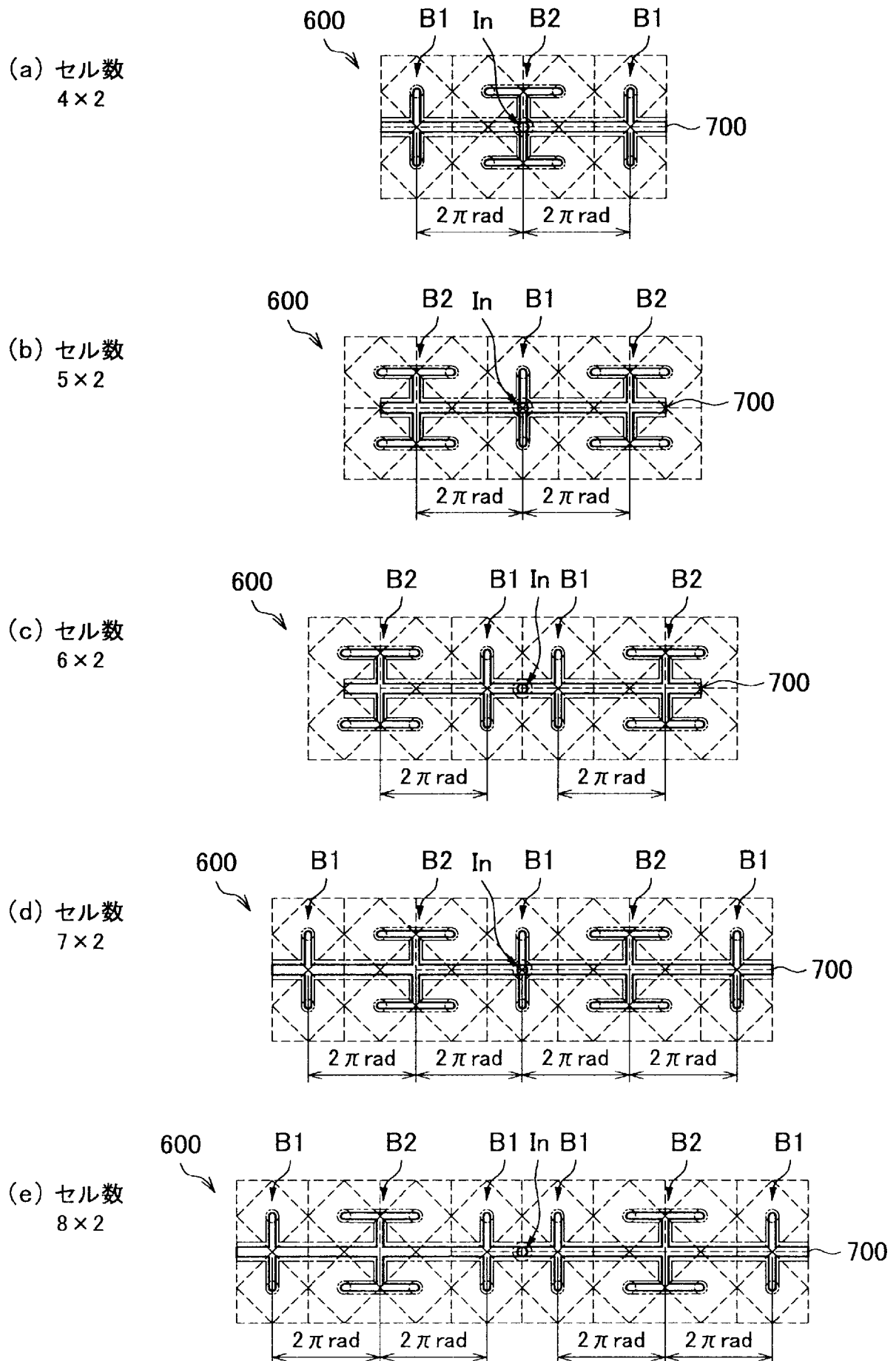
[図8]



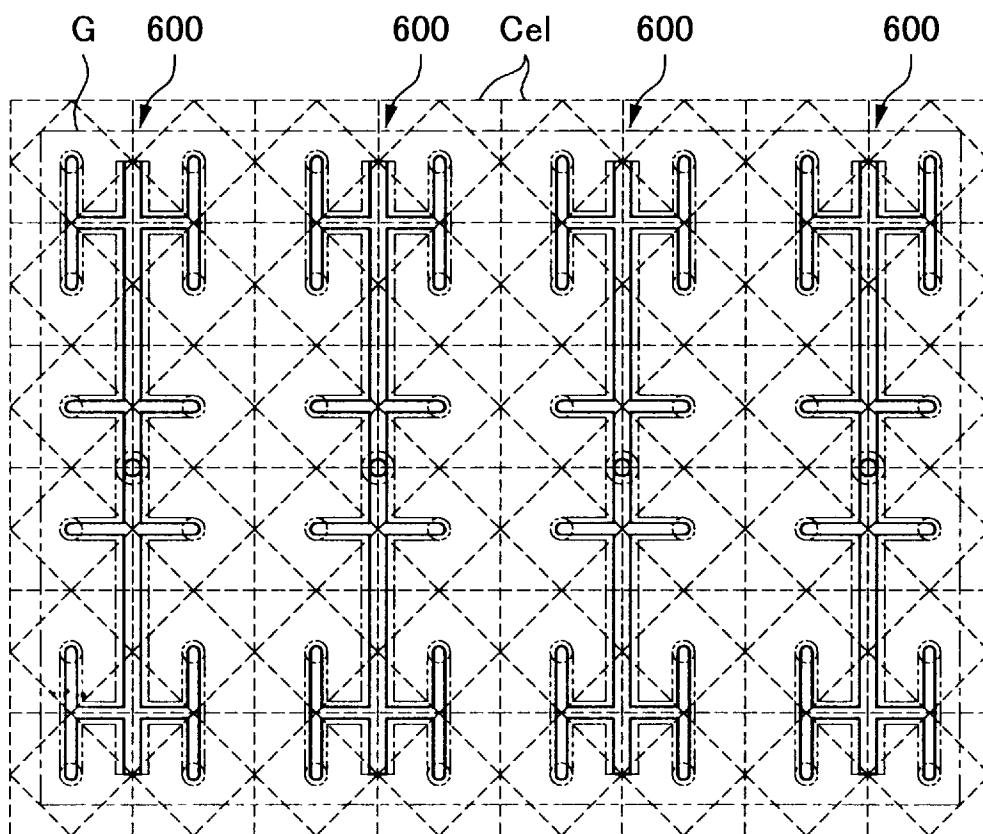
[図9]

S11	0.003 (138°)
S12	0.446 (-119°)
S13	0.447 (-119°)
S14	0.447 (-119°)
S15	0.447 (-119°)
S16	0.447 (-119°)

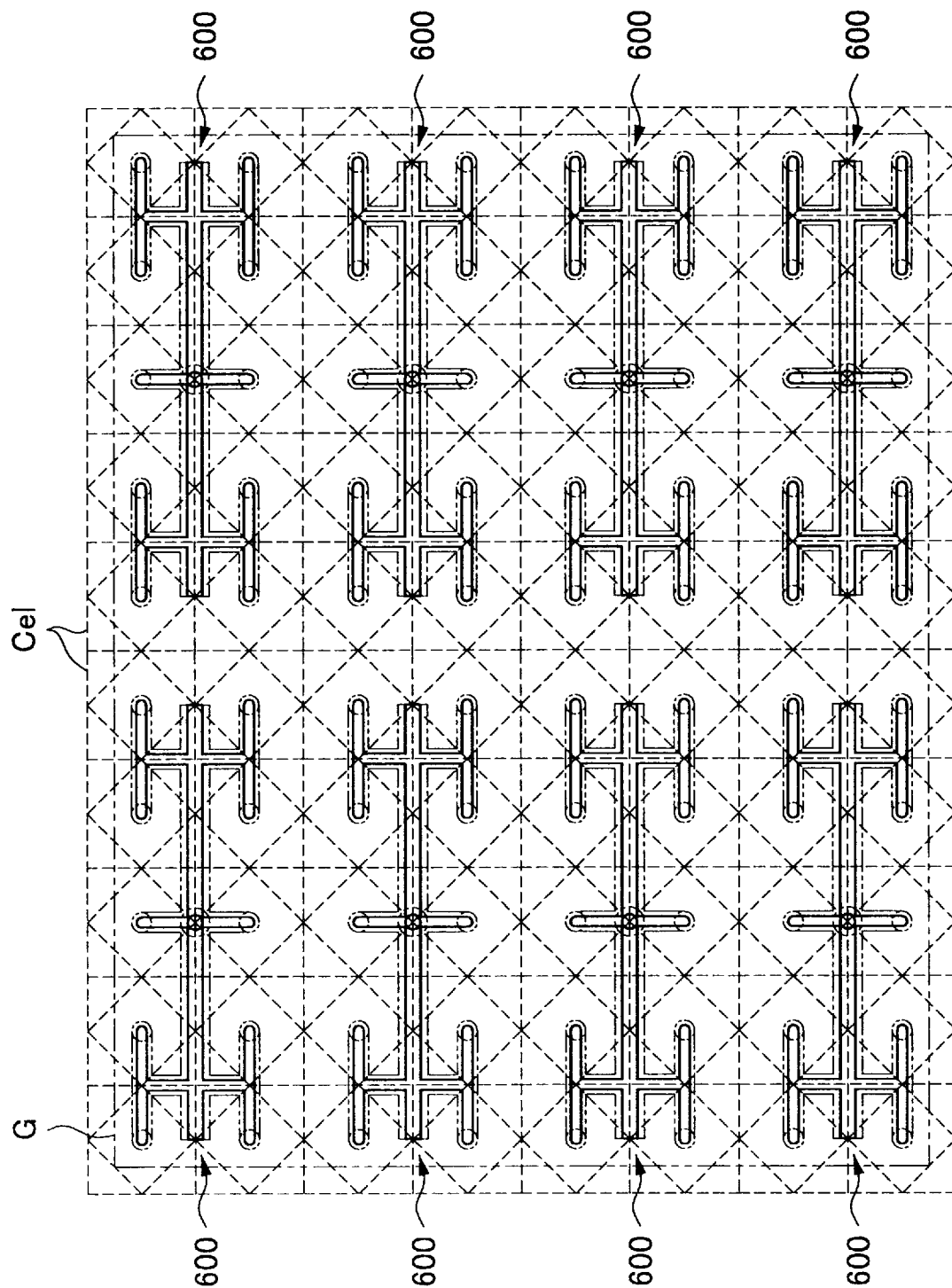
[図10]



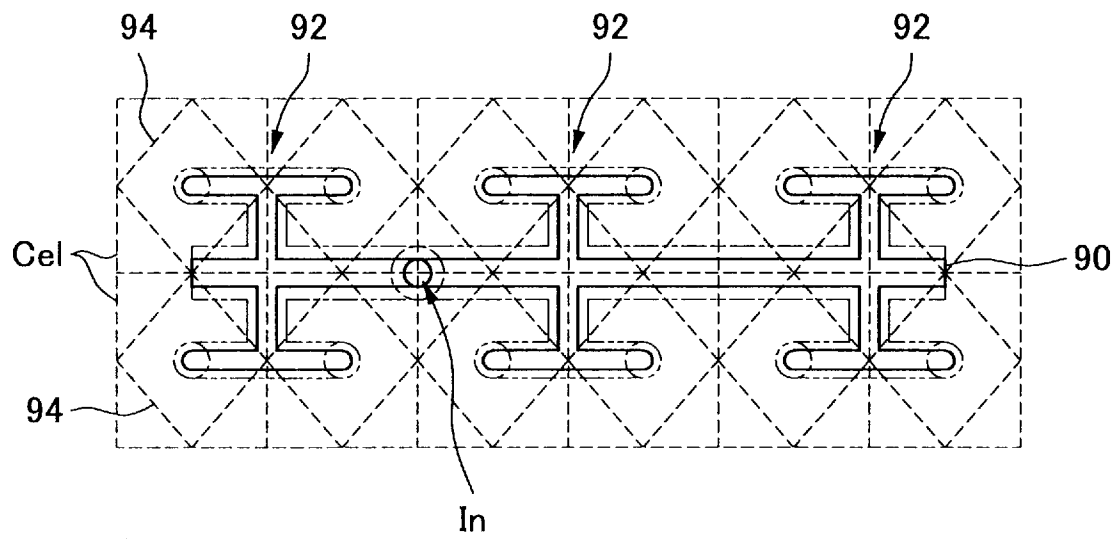
[図11]



[図12]



[図13]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/068748

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H05H1/46(2006.01) i, H01L21/205(2006.01) i, H01L21/3065(2006.01) i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H05H1/46, H01L21/205, H01L21/3065

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2009	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2009

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.
Y	WO 2008/153064 A1 (Tokyo Electron Ltd.), 18 December 2008 (18.12.2008), paragraphs [0001], [0175] to [0191]; fig. 39, 40 (Family: none)	1-19
Y	JP 2001-192840 A (Sharp Corp.), 17 July 2001 (17.07.2001), paragraphs [0001], [0071] to [0077], [0087] to [0095]; fig. 11, 12, 14, 16 & US 2001/0050058 A1 & TW 491911 B & KR 10-2001-0076262 A & CN 1319683 A	1-19
Y	JP 2005-310478 A (Naohisa GOTO), 04 November 2005 (04.11.2005), entire text; all drawings (Family: none)	12, 13, 19

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

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
16 December, 2009 (16.12.09)

Date of mailing of the international search report
28 December, 2009 (28.12.09)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/068748

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2005-116362 A (Toshiba Corp.), 28 April 2005 (28.04.2005), paragraphs [0001], [0014], [0015]; fig. 1 (Family: none)	14-18

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H05H1/46(2006.01)i, H01L21/205(2006.01)i, H01L21/3065(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H05H1/46, H01L21/205, H01L21/3065

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 0 9 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 0 9 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 0 9 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
Y	WO 2008/153064 A1（東京エレクトロン株式会社）2008.12.18, 段落【0001】、【0175】～【0191】、図39、図40（ファミリーなし）	1-19
Y	JP 2001-192840 A（シャープ株式会社）2001.07.17, 段落【0001】、【0071】～【0077】、【0087】～【0095】、図11、図12、図14、図16 & US 2001/0050058 A1 & TW 491911 B & KR 10-2001-0076262 A & CN 1319683 A	1-19

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 6 . 1 2 . 2 0 0 9

国際調査報告の発送日

2 8 . 1 2 . 2 0 0 9

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

林 靖

2 I

3 4 8 9

電話番号 03-3581-1101 内線 3273

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2005-310478 A (後藤 尚久) 2005. 11. 04, 全文、全図 (ファミリーなし)	12, 13, 19
Y	JP 2005-116362 A (株式会社東芝) 2005. 04. 28, 段落【0001】、 【0014】、【0015】、図1 (ファミリーなし)	14-18