

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2011 年 10 月 13 日(13.10.2011)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2011/125470 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/31 (2006.01) H01L 21/3065 (2006.01)
C23C 16/511 (2006.01) H05H 1/46 (2006.01)
H01L 21/205 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/056701
- (22) 国際出願日: 2011 年 3 月 22 日(22.03.2011)
- (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 2010-081986 2010 年 3 月 31 日(31.03.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 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): 尾▲崎▼成則(OZAKI Shigenori) [JP/JP]; 〒4070192 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢 6 5 0 東京エレクトロン A T 株式会社内 Yamanashi (JP). 山本 伸彦(YAMAMOTO Nobuhiko) [JP/JP]; 〒4070192 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢 6 5 0 東京エレクトロン A T 株式会社内 Yamanashi (JP). 藤野 豊(FUJINO Yutaka) [JP/JP]; 〒4070192 山梨県韮崎市穂

坂町三ツ沢 6 5 0 東京エレクトロン A T 株式会社内 Yamanashi (JP). 植田 篤(UEDA Atsushi) [JP/JP]; 〒4070192 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢 6 5 0 東京エレクトロン A T 株式会社内 Yamanashi (JP). 北川 淳一(KITAGAWA Junichi) [JP/JP]; 〒4070192 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢 6 5 0 東京エレクトロン A T 株式会社内 Yamanashi (JP).

(74) 代理人: 渡邊 和浩, 外(WATANABE Kazuhiro et al.); 〒2520231 神奈川県相模原市中央区相模原 2 丁目 1 3 番 2 号 服部相模原ビル 7 0 3 Kanagawa (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, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

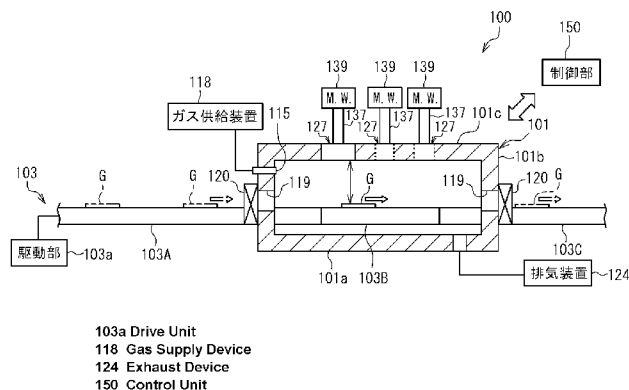
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,

[続葉有]

(54) Title: PLASMA PROCESSING DEVICE AND PLASMA PROCESSING METHOD

(54) 発明の名称: プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法

[図1]



(57) Abstract: A plurality of substrates (G) are sequentially conveyed one at a time into the processing vessel (101) of the disclosed plasma processing device (100) by means of a holding/conveying device (103). Then, while the substrates (G) are moved by a second conveyance unit (103B) at a set speed in the direction of conveyance within the processing vessel (101) of the plasma processing device (100), electromagnetic waves such as microwaves and high-frequency waves are introduced within the processing vessel (101) from electromagnetic wave transmitting regions of transmitting plate 128A, transmitting plates 128B1 and 128B2, and transmitting plates 128C1 and 128C2, causing the generation of plasma of processing gas introduced from a gas introduction unit (115), and performing plasma processing.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2011/125470 A1



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
(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,
GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT,
NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI

(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR,
NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

支持搬送装置 103 によって、複数の基板 G が順次搬送され、プラズマ処理装置 100 の処理容器 101 内に 1 枚ずつ搬入される。そして、プラズマ処理装置 100 の処理容器 101 内で、第 2 の搬送部 103B により基板 G を一定速度で搬送方向に移動させながら、透過板 128A、透過板 128B1、128B2、透過板 128C1、128C2 の電磁波透過領域から処理容器 101 内にマイクロ波や高周波などの電磁波を導入し、ガス導入部 115 から導入された処理ガスのプラズマを生成させてプラズマ処理を行う。

明 細 書

発明の名称： プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法

技術分野

[0001] 本発明は、処理容器へ所定周波数の電磁波を導き、プラズマを生成させて被処理体をプラズマ処理するプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法に関する。

背景技術

[0002] 被処理体に対し、例えば酸化処理や窒化処理、CVD (Chemical Vapor Deposition) 処理、エッチング処理などのプラズマ処理を行うプラズマ処理装置として、複数のスロットを有するアンテナを用いて処理容器内にマイクロ波を導入してプラズマを生成させるスロットアンテナ方式のプラズマ処理装置が知られている。また、他の方式のプラズマ処理装置として、コイル状のアンテナを用いて処理容器内に高周波を導入してプラズマを生成させる誘導結合型プラズマ (Inductively Coupled Plasma; ICP) 方式のプラズマ処理装置が知られている。このようなプラズマ処理装置では、処理容器内で高密度のプラズマを生成させることが可能である。

[0003] ところで、液晶ディスプレイに代表されるFPD (フラット・パネル・ディスプレイ) 用のガラス基板は、近年では1辺が3mを超えるものもあり、それを処理するプラズマ処理装置の処理容器の大きさは、小さな建築物ほどにもなる。このように大型の処理容器内で、大面積のガラス基板に対して均一なプラズマ処理を行うためには、プラズマ処理装置の処理容器内でプラズマ密度の分布を均一化させる必要がある。

[0004] 上記スロットアンテナ方式のプラズマ処理装置において、処理容器内で生成したプラズマの密度の制御は、スロットの形状や配置、処理容器やマイクロ波導入窓の形状設計などにより行われていた。例えば、処理内容に応じてプラズマ密度の分布を変えるためには、スロットの形状や配置が異なるアンテナに交換することが必要である。また、上記ICP方式のプラズマ処理装

置においても、プラズマ密度の分布を変えるためには、コイルの形状や配置が異なるアンテナに変換することが必要である。しかし、このアンテナの交換は手間と時間を要する大掛かりな作業であった。

[0005] また、処理容器内で生成するプラズマ密度の分布は、例えば、マイクロ波のパワー、処理圧力、ガス流量などのプロセスパラメーターを変えることで微調整することも可能である。しかし、これらのプロセスパラメーターは、プロセス条件と切り離すことが出来ないため、プロセスパラメーターを変化させ得る範囲でのプラズマ密度分布の変化幅(マージン)が小さく、その効果には限界があった。

[0006] また、アンテナ、処理容器などの製作公差、組み立て誤差、同一仕様の装置間での機差などの諸要因により、処理容器内でプラズマの対称性が崩れプラズマ密度の分布が偏心した場合も、これを簡易な方法で補正する手段がなかったため、アンテナの交換などの大掛かりな装置改変が必要になってしまいうという問題があった。

[0007] ところで、複数の大型基板を同時に処理するために、複数のマイクロ波導入窓を設けるとともに、各マイクロ波導入窓に対応させて、それぞれの下方に試料台を設けたプラズマ処理装置が提案されている(例えば、特許文献1)。さらに、複数のマイクロ波導入窓からそれぞれマイクロ波を導入してプラズマを形成することにより、一枚の大型の基板に対して均一なプラズマ処理を行うようにしたプラズマ処理装置も提案されている(例えば、特許文献2)。また、複数のアンテナと複数のマイクロ波導入窓を有する装置において、アンテナ毎に異なる電力のマイクロ波を供給できるようにしたプラズマ処理装置も提案されている(例えば、特許文献3)。

[0008] また、複数の処理工程を効率的に行うために、処理容器内に隔壁によって分割された複数の処理室を設け、その下方に複数の基板を載置する載置台を回転可能に配備した処理装置も提案されている(例えば、特許文献4)。

[0009] また、スロットアンテナ方式のプラズマ処理装置において、処理容器内にマイクロ波を導入する機構として、スラグチューナによりマイクロ波の位相

を変化させることができるように構成された複数のアンテナモジュールを用いるプラズマ処理装置も提案されている（例えば、特許文献5）。

先行技術文献

特許文献

- [0010] 特許文献1：日本国特開平8－255785号公報
特許文献2：日本国特開平10－92797号公報
特許文献3：日本国特開2004－128385号公報
特許文献4：日本国特開平6－204147号公報
特許文献5：日本国特開2010－170974号公報

発明の概要

- [0011] 処理容器内におけるプラズマ密度の分布を調整するためには、処理容器内で複数のプラズマを独立して生成させることが有効であると考えられる。しかし、各プラズマの生成部位と被処理体の配置が固定的であると、隣接するプラズマどうしの距離や、プラズマの拡散の程度によって、プラズマ密度に高低の分布が生じ、被処理体の面内における処理の均一化を図ることがかえって難しくなる、という課題があった。
- [0012] 本発明の目的は、処理容器内で複数のプラズマを生成させる方式のプラズマ処理装置において、プラズマ密度の分布の制御を容易にして、被処理体の面内で所望の処理を実現することである。
- [0013] 本発明の第1の観点のプラズマ処理装置は、被処理体を処理する処理空間を形成する処理容器と、前記被処理体を支持する支持装置と、前記処理容器内でプラズマを生成させるための電磁波を発生させる電磁波発生装置と、前記電磁波発生装置で発生した電磁波を前記処理容器内に導入する複数の電磁波導入ユニットと、を備えている。そして、前記電磁波導入ユニットは、前記処理空間に臨む電磁波導入窓を有しており、前記処理容器内で、前記支持装置に支持された被処理体と、前記電磁波導入窓とが、互いに反対方向に相対移動し、被処理体が少なくとも一つの前記電磁波導入窓の電磁波透過領域の対向位置を通過するように構成されている。

- [0014] また、本発明のプラズマ処理装置は、前記相対移動の間に、一つの被処理体が、2つ以上の前記電磁波導入窓の電磁波透過領域に対して少なくとも部分的に対向する位置を順次通過するように構成されていてもよい。
- [0015] また、本発明のプラズマ処理装置は、前記相対移動の間に、一つの被処理体が、同時に2つ以上の前記電磁波導入窓の電磁波透過領域に対して少なくとも部分的に対向する位置を通過するように構成されていてもよい。
- [0016] また、本発明のプラズマ処理装置において、前記2つ以上の電磁波導入窓は、各電磁波導入窓から導入される電磁波によって生成するプラズマによるプラズマ密度の時間的積算値及び／又はプラズマ照射時間の積算値が、一つの被処理体の面内で同じになるように配置されていてもよい。
- [0017] また、本発明のプラズマ処理装置は、前記相対移動する被処理体の軌道に対し、対向する位置から外れた位置に設けられた電磁波導入窓を有する補助的な電磁波導入ユニットを、さらに備えていてもよい。
- [0018] また、本発明のプラズマ処理装置は、前記電磁波導入窓の面積が異なる複数の電磁波導入ユニットを備えていてもよい。
- [0019] また、本発明のプラズマ処理装置は、前記電磁波発生装置が、前記電磁波導入ユニットに対して個別に設けられていてもよい。
- [0020] また、本発明のプラズマ処理装置は、前記複数の電磁波導入ユニットに供給する電磁波のパワーが、個別に設定可能であってもよい。
- [0021] また、本発明のプラズマ処理装置は、前記支持装置に支持された被処理体と前記電磁波導入窓のいずれか片方又は両方を互いに反対方向に向かって相対移動させる駆動部を、さらに備えていてもよい。
- [0022] 本発明のプラズマ処理方法は、被処理体を処理する処理空間を形成する処理容器と、前記被処理体を支持するとともに一定方向に搬送する支持装置と、前記処理容器内でプラズマを生成させるための電磁波を発生させる電磁波発生装置と、前記電磁波発生装置で発生した電磁波を前記処理容器内に導入する複数の電磁波導入ユニットと、を備えたプラズマ処理装置を用いる。このプラズマ処理装置において、前記電磁波導入ユニットは、前記処理空間に

臨む電磁波導入窓を有しており、前記処理容器内で、前記支持装置に支持された被処理体と、前記電磁波導入窓とが、互いに反対方向に相対移動するように構成されている。そして、本発明のプラズマ処理方法は、複数の前記電磁波導入窓を介して電磁波を前記処理容器内に導入してプラズマを生成させるとともに、前記処理容器の中で被処理体が少なくとも一つの前記電磁波導入窓の電磁波透過領域の対向位置を通過するように、被処理体を前記電磁波導入窓に対して相対移動させながら、被処理体上のどの位置においても、プラズマ密度の時間的積算値及び／又はプラズマ照射時間の積算値が同じになるようにプラズマ処理を行なうものである。

[0023] 本発明によれば、処理容器内で、支持装置に支持された被処理体と、前記電磁波導入窓とが、互いに反対方向に相対移動し、少なくとも一つの前記電磁波導入窓の対向位置を通過するように構成されているため、被処理体の面内での処理の均一性を向上させることができる。また、アンテナを交換したり、プロセス条件を変更したりしなくても、処理容器内におけるプラズマ分布を独立して制御することができる。従って、処理容器内で所望の分布でプラズマを安定的に維持することができる。また、被処理体の大型化に対応して処理容器を大型化させた場合でも、複数の電磁波導入ユニットの配置や電磁波導入窓の面積、供給する電磁波のパワー等を変化させることによって、処理容器内で生成するプラズマ分布を簡単に調節できる。

図面の簡単な説明

[0024] [図1]本発明の一実施の形態に係るプラズマ処理装置の構成例を示す概略断面図である。

[図2]マイクロ波供給部の概略構成図である。

[図3A]平面アンテナの一例の平面図である。

[図3B]平面アンテナの別の例の平面図である。

[図3C]平面アンテナのさらに別の例の平面図である。

[図4]制御部の構成例を示す図面である。

[図5]図1のプラズマ処理装置におけるマイクロ波導入ユニットの配設例を示

す天壁の底面図である。

[図6] 図1のプラズマ処理装置におけるプラズマ処理の原理を説明する図面である。

[図7A] 本発明の別の実施の形態に係るプラズマ処理装置におけるプラズマ処理の原理を説明する図面である。

[図7B] 本発明のさらに別の実施の形態に係るプラズマ処理装置におけるプラズマ処理の原理を説明する図面である。

[図8] プラズマ処理装置の変形例を説明する図面である。

[図9] プラズマ処理装置の別の変形例を説明する図面である。

[図10] マイクロ波導入ユニットの配置と電子密度との関係のシミュレーション結果を示すグラフである。

[図11] マイクロ波導入ユニットの配置と電子密度との関係のシミュレーション結果を示すグラフである。

[図12] マイクロ波導入ユニットの配置と電子密度との関係のシミュレーション結果を示すグラフである。

[図13] マイクロ波導入ユニットの配置と電子密度との関係のシミュレーション結果を示すグラフである。

[図14] マイクロ波導入ユニットの配置と電子密度との関係のシミュレーション結果を示すグラフである。

[図15] 実験に使用したプラズマ処理装置における透過板（マイクロ波導入ユニット）の配置を説明する図面である。

[図16] 実験1におけるプラズマ密度の測定結果を示すグラフである。

[図17] 実験2におけるプラズマ密度の測定結果を示すグラフである。

[図18] 実験3におけるシリコン窒化膜の膜厚の測定結果を示すグラフである。
。

[図19] 実験4におけるシリコン窒化膜の膜厚の測定結果を示すグラフである。
。

発明を実施するための形態

[0025] 以下、本発明の一実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。図 1 は、本実施の形態にかかるプラズマ処理装置 100 の構成例を概念的に示している。図 2 は、プラズマ処理装置 100 におけるマイクロ波供給部の概略構成図である。図 3 A, 3 B, 3 C は、図 1 のプラズマ処理装置 100 に用いられる平面アンテナを示す平面図である。図 4 は、図 1 のプラズマ処理装置 100 における制御系統の概要を示す図面である。本実施の形態のプラズマ処理装置 100 は、例えば FPD（フラットパネルディスプレイ）用のガラス基板（以下、単に「基板」と記す）G を処理対象とするものである。なお、FPD としては、液晶ディスプレイ（LCD）、エレクトロルミネセンス（Electro Luminescence；EL）ディスプレイ、プラズマディスプレイパネル（PDP）等が例示される。

[0026] プラズマ処理装置 100 は、主要な構成として、気密に構成された処理容器 101 と、処理容器 101 内で被処理体としての基板 G を支持するとともに一定方向に搬送する支持搬送装置 103 と、処理容器 101 内にガスを導入するガス導入部 115 と、処理容器 101 内を減圧排気するための排気装置 124 と、処理容器 101 の上部に設けられ、処理容器 101 内にプラズマを生成させるためのマイクロ波を導入する複数のマイクロ波導入ユニット 127 と、一端がマイクロ波導入ユニット 127 に接続された導波管 137 と、この導波管 137 の他端に接続され、マイクロ波を発生させるマイクロ波発生装置 139 と、これらプラズマ処理装置 100 の各構成部を制御する制御手段としての制御部 150 と、を備えている。なお、マイクロ波導入ユニット 127、導波管 137、及びマイクロ波発生装置 139 により、処理容器 101 内で処理ガスのプラズマを生成させるプラズマ生成手段が構成されている。

[0027] 処理容器 101 は、アルミニウム等の材質からなる底壁 101 a と側壁 101 b と天壁 101 c を有している。処理容器 101 の側壁 101 b には、ガス導入部 115 が設けられている。このガス導入部 115 は、例えば複数のガス孔を有しており、ガス供給装置 118 に接続されている。また、処理

容器 101 の側壁 101 b には、プラズマ処理装置 100 と、これに隣接する部屋（例えば、真空と大気圧とを交互に切り替え可能な図示しないロードロック室）との間で基板 G の搬入出を行うための搬入出口 119 と、この搬入出口 119 を開閉するゲートバルブ 120 とが、互いに対向する側壁 101 b にそれぞれ設けられている。また、処理容器 101 は、排気装置 124 を備えており、この排気装置 124 は、例えば APC バルブと、高速真空ポンプとしてのターボ分子ポンプを備えている。

[0028] 支持搬送装置 103 は、例えばローラ方式、ベルト方式、エア浮上方式、磁気浮上方式などの図示しない搬送機構を備えており、基板 G を図 1 中の矢印で示す一方向に搬送できるように構成されている。具体的には、支持搬送装置 103 は、搬送方向の上流側から下流側へ向けて、第 1 の搬送部 103 A、第 2 の搬送部 103 B、第 3 の搬送部 103 C を備えており、各搬送部の間で基板 G を受け渡し可能に構成されている。また、支持搬送装置 103 は、上記搬送機構を駆動するための駆動部 103 a を備えている。

[0029] 次に、処理容器 101 内にマイクロ波を導入する機構について図 2 ～ 図 4 を参照しながら説明する。プラズマ処理装置 100 では、複数のマイクロ波発生装置 139 で発生させたマイクロ波を、それぞれマイクロ波導入ユニット 127 を介して、処理容器 101 内に供給する構成となっている。マイクロ波発生装置 139 とマイクロ波導入ユニット 127 との間は、それぞれ導波管 137 により接続されている。

[0030] まず、電磁波導入ユニットとしての、マイクロ波導入ユニット 127 について説明する。マイクロ波導入ユニット 127 は、主要な構成として、透過板 128、平面アンテナ板 131 を備えている。なお、マイクロ波導入ユニット 127 は、平面アンテナ板 131 を備えないホーン型でもよい。

[0031] マイクロ波を透過させる電磁波導入窓としての透過板 128 は、天壁 101 c に形成された支持部 113 a 上に配備されている。透過板 128 において、支持部 113 a の間の処理容器 1 内に面した部分が、電磁波透過領域としてのマイクロ波透過領域となっている。透過板 128 は、誘電体、例えば

石英や Al_2O_3 、 AlN 等のセラミックスから構成されている。この透過板128と支持部113aとの間は、シール部材129を介して気密にシールされている。したがって、各透過板128は、それぞれ天壁101cの開口を塞いでおり、処理容器101内の気密性が保持されている。

[0032] 平面アンテナ板131は、透過板128の上方において、支持搬送装置103と対向するように設けられている。平面アンテナ板131は、円板状をなしている。なお、平面アンテナ板131の形状は、円板状に限らず、例えば四角板状でもよい。平面アンテナ板131は、例えば表面が金または銀メッキされた銅板またはアルミニウム板から構成されている。平面アンテナ板131は、マイクロ波を放射する複数のスロット状のマイクロ波放射孔132を有している。マイクロ波放射孔132は、平面アンテナ板131を貫通して形成されている。

[0033] 個々のマイクロ波放射孔132は、例えば図3Aに示すように、細長い長方形状（スロット状）をなしている。なお、マイクロ波放射孔132の形状は、円形状、円弧状等の他の形状であってもよい。さらに、マイクロ波放射孔132の配置形態は特に限定されず、例えば図3Bのように、湾曲した細長い複数のマイクロ波放射孔132が全体として円形になるように配置してもよいし、図3Cのように細長いマイクロ波放射孔132が平面アンテナ板131の中心から放射状に延びるように配置することもできる。

[0034] 平面アンテナ板131の上には、導波管137の下端が接続されている。導波管137の他端側には、マッチング回路138を介してマイクロ波を発生するマイクロ波発生装置139が接続されている。電磁波発生装置としてのマイクロ波発生装置139は、所定の周波数のマイクロ波を発生させる。マイクロ波の周波数としては、例えば2.45GHzが好ましく用いられ、他に800MHz～1GHz（好ましくは800MHz～915MHz）、8.35GHz、1.98GHz等を用いることもできる。

[0035] 導波管137は、平面アンテナ板131から上方へ延出する断面円形状の円形導波管137aと、この円形導波管137aの上端部にモード変換器1

40を介して接続された水平方向に延びる矩形導波管137bとを有している。モード変換器140は、矩形導波管137b内をTEモードで伝播するマイクロ波をTMモードに変換する機能を有している。このような構造により、マイクロ波は、円形導波管137aを介して平面アンテナ板131へ伝播される。

[0036] 以上のような構成により、マイクロ波発生装置139で発生したマイクロ波が導波管137を介してマイクロ波導入ユニット127の平面アンテナ板131へ伝搬され、さらに透過板128を介して処理容器101内に導入されるようになっている。なお、本実施の形態のプラズマ処理装置100において、処理容器1内にマイクロ波を導入する機構としては、図2に例示した構成に限るものではない。例えば、特許文献5に開示されたマイクロ波導入機構も好適に利用することができる。

[0037] プラズマ処理装置100の各構成部は、制御部150に接続されて制御される構成となっている。制御部150は、コンピュータであり、例えば図4に示したように、CPUを備えたコントローラ151と、このコントローラ151に接続されたユーザーインターフェース152および記憶部153を備えている。コントローラ151は、プラズマ処理装置100において、例えば基板搬送速度、ガス流量、圧力、マイクロ波出力などのプロセス条件に関係する各構成部（例えば、駆動部103a、ガス供給装置118、排気装置124、マイクロ波発生装置139など）を統括して制御する制御手段である。

[0038] ユーザーインターフェース152は、工程管理者がプラズマ処理装置100を管理するためにコマンドの入力操作等を行うキーボードや、プラズマ処理装置100の稼働状況を可視化して表示するディスプレイ等を有している。また、記憶部153には、プラズマ処理装置100で実行される各種処理をコントローラ151の制御にて実現するための制御プログラム（ソフトウェア）や処理条件データ等が記録されたレシピが保存されている。

[0039] そして、必要に応じて、ユーザーインターフェース152からの指示等に

て任意のレシピを記憶部 153 から呼び出してコントローラ 151 に実行させることで、コントローラ 151 の制御下、プラズマ処理装置 100 の処理容器 101 内で所望の処理が行われる。また、前記制御プログラムや処理条件データ等のレシピは、コンピュータ読み取り可能な記録媒体 154 に格納された状態のものを利用したり、あるいは、他の装置から、例えば専用回線を介して随時伝送させてオンラインで利用したりすることも可能である。コンピュータ読み取り可能な記録媒体 154 としては、例えば CD-ROM、ハードディスク、フレキシブルディスク、SSD、フラッシュメモリ、DVD、ブルーレイディスクなどを挙げることができる。

[0040] 次に、本実施の形態に係るプラズマ処理装置 100 を用いたプラズマ処理の手順の一例について説明する。ここでは、処理ガスとして窒素を含有するガスを用い、基板 G の表面をプラズマ窒化処理する場合を例に挙げる。まず、例えばユーザーインターフェース 152 から、プラズマ処理装置 100 でプラズマ窒化処理を行うように指令が入力される。この指令を受けて、コントローラ 151 は、記憶部 153 又は記録媒体 154 に保存されたレシピを読み出す。そして、レシピに基づく条件でプラズマ窒化処理が実行されるように、コントローラ 151 からプラズマ処理装置 100 の各エンドデバイス例えば駆動部 103a、ガス供給装置 118、排気装置 124、マイクロ波発生装置 139 などへ制御信号が送出される。

[0041] そして、支持搬送装置 103 の第 1 の搬送部 103A で支持した基板 G を、ゲートバルブ 120 を開にして搬入出口 119 から第 2 の搬送部 103B に受け渡し、処理容器 101 内に搬入する。次に、ゲートバルブ 120 を閉じ、処理容器 101 内を減圧排気し、ガス供給装置 118 から不活性ガスおよび窒素含有ガスを所定の流量でそれぞれガス導入部 115 を介して処理容器 101 内に導入する。さらに、排気量およびガス供給量を調整して処理容器 101 内を所定の圧力に調節する。次に、各マイクロ波発生装置 139 のパワーをオン（入）にして、マイクロ波を発生させる。そして、所定の周波数例えば 2.45 GHz のマイクロ波は、各マイクロ波発生装置 139 から

、それぞれ、マッチング回路 138 を介して導波管 137 に導かれ、矩形導波管 137b および円形導波管 137a を順次通過し、平面アンテナ板 131 に供給される。マイクロ波は、矩形導波管 137b 内では TE モードで伝搬し、この TE モードのマイクロ波はモード変換器 140 で TM モードに変換されて、円形導波管 137a 内をマイクロ波導入ユニット 127 の平面アンテナ板 131 に向けて伝搬していく。マイクロ波は、平面アンテナ板 131 に貫通形成された孔であるマイクロ波放射孔 132 から、透過板 128 を介して処理容器 101 内における基板 G の上方空間に放射される。このようにして、各マイクロ波導入ユニット 127 から、マイクロ波がそれぞれ処理容器 101 内に導入される。そして、第 2 の搬送部 103B によって基板 G を所定の速度で一方向（図 1 中の矢印の方向）に移動させながら、処理容器 101 内で基板 G に対してプラズマ窒化処理を行う。

[0042] 本実施の形態では、例えば 5 箇所のマイクロ波導入ユニット 127 を配置しており、各マイクロ波導入ユニット 127 を介して処理容器 101 に導入されたマイクロ波により、処理容器 101 内に電磁界が形成され、例えば処理容器 101 内に導入された不活性ガスおよび窒素含有ガスがプラズマ化される。このマイクロ波により励起されたプラズマは、マイクロ波が平面アンテナ板 131 のマイクロ波放射孔 132 から放射されることにより、例えば $10^{10}/\text{cm}^3 \sim 10^{13}/\text{cm}^3$ の高密度で、かつ基板 G 近傍では、略 2 eV 以下の低電子温度のプラズマとなる。このようにして形成される高密度プラズマは、下地膜へのイオン等によるプラズマダメージが少ないものである。そして、プラズマ中の活性種例えばラジカルやイオンの作用により基板 G のシリコン表面が窒化されてシリコン窒化膜 SiN の薄膜が形成される。なお、窒素含有ガスに代えて酸素含有ガスを用いることにより、シリコンの酸化処理が可能であり、また、成膜原料ガスを用いることによりプラズマ CVD 法による成膜を行うことも可能である。

[0043] 基板 G がプラズマ中を通過し終わると、第 2 の搬送部 103B において、基板 G を停止させ、コントローラ 151 からプラズマ処理を終了させる制御

信号が送出され、各マイクロ波発生装置 139 のパワーがオフ（切）にされる。次に、ガス供給装置 118 からの処理ガスの供給を停止して処理容器内を真空引きする。そして、支持搬送装置 103 を駆動させて基板 G を第 2 の搬送部 103 B から第 3 の搬送部 103 C へ受け渡すことにより、基板 G を処理容器 101 内から搬出する。このようにして、1 枚の基板 G に対するプラズマ処理が終了する。

[0044] 本実施の形態において、マイクロ波導入ユニット 127 は、複数設けられている。図 5 は、処理容器 101 の内部からみた天壁 101 c の底面図であり、透過板 128 として、合計 5 個の透過板 128 A, 128 B 1, 128 B 2, 128 C 1, 128 C 2 のマイクロ波透過領域が描かれている。つまり、本実施の形態のプラズマ処理装置 100 には、合計 5 個のマイクロ波導入ユニット 127 が設けられている。以下の説明では、透過板 128 のマイクロ波透過領域の位置によって、マイクロ波導入ユニット 127 の配置を説明する。なお、電磁波導入窓としての透過板 128 は、円形に限らず、例えば矩形等の他の形状であってもよい。

[0045] 次に、図 6 を参照しながら、プラズマ処理装置 100 におけるプラズマ処理の原理を説明する。透過板 128 A は、基板 G の面積とほぼ同程度の大面積を有しており、広いマイクロ波透過領域からマイクロ波を処理容器 1 内へ導入する主なプラズマ生成部である。透過板 128 B 1, 128 B 2 及び透過板 128 C 1, 128 C 2 は、透過板 128 A より面積が小さく、相対的に小さなマイクロ波透過領域からマイクロ波を処理容器 1 内へ導入する補助的なプラズマ生成部である。透過板 128 A は、図 6 において、矢印で示す基板 G の搬送方向の最も上流側に配置され、透過板 128 B 1, 128 B 2 は、透過板 128 A よりも搬送方向の下流側に配置され、さらにその下流側に、透過板 128 C 1, 128 C 2 が配置されている。透過板 128 B 1, 128 B 2 の中心間を結ぶ直線の距離 M_1 は、基板 G の搬送方向に直交する方向の基板 G の幅 D_0 よりもわずかに大きく形成されている。透過板 128 C 1, 128 C 2 の中心間を結ぶ直線の距離 M_2 は、距離 M_1 よりもさらに大きく

、透過板 128C1, 128C2 は、基板 G の幅 D_G の外側に配置されている。

[0046] プラズマ処理装置 100 では、駆動部 103a により駆動される支持搬送装置 103 によって、複数の基板 G が順次搬送され、プラズマ処理装置 100 の処理容器 101 内に 1 枚ずつ搬入される。そして、プラズマ処理装置 100 の処理容器 101 内で、第 2 の搬送部 103B により基板 G を一定速度で搬送方向に移動させながら、透過板 128A、透過板 128B1, 128B2、透過板 128C1, 128C2 の各マイクロ波透過領域から処理容器 101 内にマイクロ波を導入し、ガス導入部 115 から導入された処理ガスのプラズマを生成させてプラズマ処理を行う。プラズマの拡散を考慮すると、透過板 128A の直下で生成するプラズマによって基板 G の略全面を処理できるが、透過板 128B1, 128B2、透過板 128C1, 128C2 のマイクロ波透過領域からもマイクロ波を導入し、複数の箇所ではプラズマを生成させることによって、大面積の基板 G における処理の均一化を実現することができる。

[0047] そして、透過板 128A, 128B1, 128B2, 128C1, 128C2 のうち少なくとも一つは、基板 G が移動する間に、少なくともその一部分が基板 G に対して上下に重なりあうように配置されている。つまり、基板 G が、透過板 128A, 128B1, 128B2, 128C1, 128C2 に対して相対移動し、透過板 128A, 128B1, 128B2, 128C1, 128C2 の中の少なくとも一つの対向位置を通過するように構成されている。なお、本実施の形態では、基板 G は、透過板 128A, 128B1, 128B2, 128C1, 128C2 に対して相対移動し、透過板 128A, 128B1, 128B2 の対向位置を通過するように構成されている。ここで、「対向位置」とは、透過板 128A, 128B1, 128B2 のマイクロ波透過領域の面積を支持搬送装置 103 (基板 G) へ向けて、そのまま垂直に投影した場合に、該投影領域と基板 G とが少なくとも部分的に重なることを意味する。このような配置によって、透過板 128A, 128B1

、 1 2 8 B 2 は、時間をずらして順次、一部分もしくは全体が基板 G と上下にオーバーラップしていく。それに対し、基板 G は、透過板 1 2 8 C 1、1 2 8 C 2 の対向位置は通過しない。つまり、透過板 1 2 8 C 1、1 2 8 C 2 は、基板 G の移動の軌跡に対して対向する位置から外れた位置に設けられている。

[0048] 上記のように複数の透過板 1 2 8 A、1 2 8 B 1、1 2 8 B 2、1 2 8 C 1、1 2 8 C 2 を配置することによって、基板 G を所定の距離移動させた後の基板 G の上方におけるプラズマ密度の時間的積算値を、複数の基板 G 間及び基板 G の面内において略均等にすることができる。つまり、透過板 1 2 8 A、1 2 8 B 1、1 2 8 B 2、1 2 8 C 1、1 2 8 C 2 のマイクロ波透過領域から放射されるマイクロ波によって生成し、基板 G に作用する合計のプラズマの密度は、基板 G 表面のどの部位でも時間平均すれば略等しい結果となる。なお、処理容器 1 0 1 内では、透過板 1 2 8 のマイクロ波透過領域の直下で生成したプラズマが拡散していくため、基板 G の表面に到達するプラズマは、透過板 1 2 8 のマイクロ波透過領域の面積よりも大きな面積（水平断面積）を持つことになる。このプラズマ拡散領域の面積は、透過板 1 2 8 から基板 G の表面までの距離（ギャップ L_g ）によっても違ってくる。このようなプラズマの拡散を考慮して透過板 1 2 8 の配置を決定することができる。また、支持搬送装置 1 0 3 によって基板 G を移動させる代わりに、透過板 1 2 8 を移動させても同様になることが理解される。つまり、マイクロ波導入ユニット 1 2 7 と基板 G とを相対移動させればよく、どちらか片方を移動させてもよいし、両方を移動させてもよい。

[0049] 図 7 A 及び図 7 B は、複数の透過板 2 0 1 A、2 0 1 B、2 0 1 C、2 0 1 D（ここでは均等な面積とする）に対して相対移動する基板 G の軌跡を直線的に示したものである。図 7 A、図 7 B 中、 L_1 は、透過板 2 0 1 A ~ 2 0 1 D の隣接するものどうしの間隔（中心間の距離）を示し、M は最も外側の 2 つの透過板 2 0 1 A 及び 2 0 1 D の中心間の距離を示し、 D_g は基板 G の幅（つまり、相対移動方向に直交する方向の長さ）を示している。また、図 7

A中の矢印は、複数の透過板201A～201Dに対する基板Gの移動方向であり、図7B中の矢印は、基板Gに対する複数の透過板201A～201Dの移動方向である。このように、基板Gと透過板201A～201Dとは相対移動すればよいので、基板Gが移動してもよいし、透過板201A～201Dを備えた処理容器101が移動してもよい。

[0050] 図7A及び図7Bに示した例においては、基板Gの端部でのプラズマ密度の時間的積算値が、他の部位（例えば基板Gの中央付近）に比べて落ち込むことを避けるため、最も外側の2つの透過板201A、201Dのマイクロ波透過領域の中心間の距離Mは、基板Gの幅 D_G と同じか、それより広いことが好ましい。つまり、 $M \geq D_G$ の関係が成り立つことが好ましい。図7A及び図7Bでは、中心間距離Mはわずかに幅 D_G より大きい。また、図7A及び図7Bに示した例においては、透過板201A～201Dの相対移動方向における間隔をとることによって、基板Gを、透過板201A～201Dのマイクロ波透過領域の対向位置を順次通過させることができる。また、逆に、透過板201A～201Dの相対移動方向における間隔を狭くすることによって、透過板201A～201Dのうち、2つ以上の透過板のマイクロ波透過領域と基板Gが相対移動中に同時に重なり合うようにすることもできる。

[0051] また、相対移動方向に順番に隣り合って配置される透過板201A～201Dのマイクロ波透過領域の、相対移動方向に直交する方向での間隔 L_1 は、隣接する透過板間でプラズマ密度の時間的積算値が、大きくなりすぎないように、かつ落ち込みが生じないように設定することが好ましい。つまり、間隔 L_1 が小さすぎたり、大きすぎたりすると、プラズマの拡散を考慮しても、プラズマ密度が大きな山の部分と小さな谷の部分が生じ、基板Gの面内での処理の均一性が低下する場合がある。例えば、図7Aにおいて、P1は透過板201Aのマイクロ波透過領域のみの直下を通過し、P3は透過板201Dのマイクロ波透過領域のみの直下を通過するのに対し、P2は透過板201Bと透過板201Cの両方のマイクロ波透過領域の直下を通過するため、P2はプラズマ照射時間がP1、P3よりも多くなる。透過板201A～2

01Dの下方のプラズマ密度が均一である場合、P2では例えば窒化処理では窒素ドーズ量や窒化膜厚がP1、P3よりも大きくなってしまう。従って、基板G上のP1、P2、P3のどの点においても、プラズマ密度の時間的積算値が同じになるように、透過板201A~201Dの大きさや間隔 L_1 、透過板201A~201Dから基板Gの表面までの最短距離（ギャップ L_g ）、各マイクロ波導入ユニット127のマイクロ波パワー等を調節する。さらに、基板G上のどの位置でもプラズマ照射時間の積算値が同じになるように、プラズマ源（透過板）を配置することにより、より均一な処理が可能になる。

[0052] 図8は、図6とは別のインライン方式のプラズマ処理装置100Aの構成例を示している。このプラズマ処理装置100Aでは、基板Gの幅方向に、等しい面積の透過板203A、203B、203C、203D、203Eが配置されている。透過板203A~203Eは、図8中の矢印で示す基板Gの搬送方向に直交する方向に僅かに重なり合って配置されており、透過板203A~203E間でプラズマ密度の谷が生じないように構成されている。また、最も外側の透過板203Aと203Eのマイクロ波透過領域の中心間を結ぶ直線の距離Mは、基板Gの幅 D_0 よりもわずかに大きく形成されている。なお、図8に示した例では、透過板203A~203Eのすべてのマイクロ波透過領域が同時に基板Gと重なり合う場合がある。

[0053] プラズマ処理装置100Aでは、図示しない搬送装置によって、複数の基板Gが順次搬送され、プラズマ処理装置100Aの処理容器101A内を1枚ずつ通過させる。そして、プラズマ処理装置100Aの処理容器101A内で、基板Gを一定速度で搬送方向（図8中矢印で示す）に移動させながら、透過板203A~203Eから処理容器101A内にマイクロ波を導入し、ガス導入部115から導入された処理ガスのプラズマを生成させてプラズマ処理を行う。この場合も、基板G上のどの位置でも、プラズマ密度の時間的積算値及び／又はプラズマ照射時間の積算値が同じになるようにプラズマ源（透過板）を配置することにより、均一な処理が可能になる。

- [0054] 図9は、さらに別のインライン方式のプラズマ処理装置100Bの構成例を示している。このプラズマ処理装置100Bでは、基板Gの幅方向に、透過板205、207A、207Bが配置されている。また、処理容器101Bにおける基板Gの搬送方向に平行な互いに対向する側壁には、透過板209A、209Bが設けられている。透過板205は、基板Gの面積とほぼ同程度の大面積を有している主なプラズマ生成部である。透過板207A、207Bは、透過板205より面積が小さな補助的なプラズマ生成部である。さらに、透過板209A、209Bは、間を通過する基板Gの側方から、水平方向にマイクロ波を導入してプラズマを生成させる補助的なプラズマ生成部である。
- [0055] 透過板205は、図9において、矢印で示す搬送方向の最も上流側に配置され、透過板207A、207Bは、透過板205よりも搬送方向のわずかに下流側に配置されている。透過板207A、207Bの中心間を結ぶ直線の距離Mは、基板Gの幅D₀よりもわずかに大きく形成されている。処理容器101Bの側壁に設けられた2つの透過板209A、209Bは、基板Gの搬送経路に臨むように側方に配置されている。
- [0056] プラズマ処理装置100Bでは、図示しない搬送装置によって、複数の基板Gが順次搬送され、プラズマ処理装置100Bの処理容器101B内に1枚ずつ搬入される。そして、プラズマ処理装置100Bの処理容器101B内で、基板Gを一定速度で搬送方向（図9中矢印で示す）に移動させながら、透過板205、透過板207A、207B、透過板209A、209Bのマイクロ波透過領域から処理容器101B内にマイクロ波を導入し、ガス導入部115から導入された処理ガスのプラズマを生成させてプラズマ処理を行う。プラズマの拡散を考慮すると、透過板205のマイクロ波透過領域の直下で生成するプラズマによって基板Gの略全面を処理できるが、補助的な透過板207A、207B、透過板209A、209Bのマイクロ波透過領域からもマイクロ波を導入し、複数の箇所でプラズマを生成させることによって、大面積の基板Gにおける処理の均一化を実現することができる。この

場合も、基板G上のどの位置でも、プラズマ密度の時間的積算値及び／又はプラズマ照射時間の積算値が同じになるようにプラズマ源（透過板）を配置することにより、均一な処理が可能になる。

[0057] 次に、本発明の基礎となったシミュレーション実験について説明する。図10～図14は、4つ透過板201A, 201B, 201C, 201D（直径109mm）のマイクロ波透過領域を所定の間隔で配置した場合のプラズマ密度の時間的積算値の重なりをシミュレーションした結果を示している。各透過板201A～201Dから基板Gの表面までの最短距離（ギャップ L_g ）は89mmとした。基板Gの幅 D_g は300mmとした。図10～図14の縦軸は電子密度（プラズマ密度）の時間的積算値を、通過時間で割った平均値を示し、横軸は基板Gの移動方向に対して垂直な方向の距離を示している。また、図10～図14の横軸には、基板Gの大きさ（幅）を重ねて示している。

[0058] まず、図10は、 $L_1=90\text{mm}$ ($M=270\text{mm}$) であり、 $M<D_g$ となる場合である。図10に示すように、相対移動方向に直交する方向（基板Gの幅方向）における基板Gの中央部分と端部でのプラズマ密度の合算値の比較では、中央部分で高く、端部で落ち込んでおり、全体に山型になっている。一方、図11は、 $L_1=120\text{mm}$ ($M=360\text{mm}$) であり、 $M>D_g$ となる場合である。図11に示すように、相対移動方向に直交する方向における基板Gの中央部分と端部でのプラズマ密度の合算値は、ほぼ均等である。図10の場合と同様に、両端に配置された透過板201A, 201Dの下方の領域のプラズマ密度は外側で落ち込んでいる。しかし、基板Gの幅 D_g を外れた部分で落ち込みが生じているため、基板Gの面内では、ほぼ均一なプラズマ密度が保たれている。

[0059] 図12から図14は、 $L_1=120\text{mm}$ ($M=360\text{mm}$) であり、 $M>D_g$ となる設定において、透過板201A～201D（つまり、それぞれに対応するマイクロ波導入ユニット27）から導入するマイクロ波パワーを変化させた場合を示している。図12は、外側に配置された透過板201A, 20

1 Dから導入するマイクロ波パワーを1000W、内側に配置された2つの透過板201B, 201Cから導入するマイクロ波パワーを600Wとした場合を示している。プラズマ密度の合算値は、相対移動方向に直交する方向（幅方向）における基板Gの中央部分で落ち込み、端部の方が高くなっている。図13は、外側に配置された透過板201A, 201Dから導入するマイクロ波パワーを1000W、内側に配置された2つの透過板201B, 201Cから導入するマイクロ波パワーを1300Wとした場合を示している。プラズマ密度の合算値は、相対移動方向に直交する方向における基板Gの中央部分で高く、端部で低くなっている。

[0060] 図14は、 $L_1=90\text{mm}$ ($M=270\text{mm}$) であり、 $M<D_G$ となる設定で、透過板201A~201Dから導入するマイクロ波パワーを変化させた場合を示している。図14では、外側に配置された透過板201A, 201Dから導入するマイクロ波パワーを各1000Wと大きく、内側に配置された2つの透過板201B, 201Cから導入するマイクロ波パワーを各700Wと小さくしている。しかし、 $M<D_G$ であるため、相対移動方向に直交する方向における基板Gの端部でのプラズマ密度の合算値の落ち込みは改善されていない。

[0061] 上記シミュレーション結果からも、基板Gの面内に到達するプラズマの密度を均一化し、処理の均一化を実現するには、 $M\geq D_G$ の関係が成り立つことが好ましいことが確認された。

[0062] 次に、本発明の効果を確認した実験データについて説明する。まず、実験に使用したプラズマ処理装置の構成について説明する。

[実験1]

図15に示したように、天壁101cに、幅（直径）90mmの円形のマイクロ波透過領域を有する透過板128X, 128Y, 128Zが直線的に配設されたプラズマ処理装置を用いた。各透過板128X, 128Y, 128Zの位置に、それぞれマイクロ波導入ユニットが設けられている。以下、透過板128Xを「第1のプラズマ源128X」、透過板128Yを「第2

のプラズマ源 1 2 8 Y」、透過板 1 2 8 Z を「第 3 のプラズマ源 1 2 8 Z」と記す。本実験では、第 1 のプラズマ源 1 2 8 X の中心を基準（ゼロ）として、第 2 のプラズマ源 1 2 8 Y の中心までの距離、及び第 3 のプラズマ源 1 2 8 Z の中心までの距離を、それぞれ 1 7 5 mm に設定した。また、本実験では、処理の均一性を評価する目的であるため、被処理体として、3 0 0 mm 幅の一枚の基板 G を想定して行った。

[0063] 下記の条件でプラズマを生成させ、天板 1 0 1 c から 4 9 mm 下方の位置でプラズマ密度を測定した。

＜プラズマ生成条件＞

A r ガス流量；1 0 0 0 mL / m i n (s c c m)

N₂ ガス流量；2 0 0 mL / m i n (s c c m)

処理圧力；2 0 P a

処理温度；室温（2 5 °C）

各プラズマ源のマイクロ波パワー；

第 1 のプラズマ源 1 2 8 X … 2 6 0 W

第 2 のプラズマ源 1 2 8 Y … 2 6 0 W

第 3 のプラズマ源 1 2 8 Z … 2 6 0 W

[0064] 図 1 6 は、第 1 のプラズマ源 1 2 8 X、第 2 のプラズマ源 1 2 8 Y、第 3 のプラズマ源 1 2 8 Z のそれぞれのマイクロ波導入ユニットを単独で稼働させた場合のプラズマ密度と、全部を同時に稼働させた場合のプラズマ密度を重ねて示したグラフである。図 1 6 の縦軸はプラズマ密度であり、横軸は基準となる第 1 のプラズマ源 1 2 8 X の中心からの距離を示している。なお、図 1 6 では基板 G の幅を点線で示している（図 1 7 ～図 1 9 も同様である）。

[0065] 図 1 6 より、第 1 のプラズマ源 1 2 8 X、第 2 のプラズマ源 1 2 8 Y、又は第 3 のプラズマ源 1 2 8 Z の各マイクロ波導入ユニットの単独稼働では、プラズマ密度は、各透過板の中心付近を頂点として山形をなしている。しかし、第 1 のプラズマ源 1 2 8 X、第 2 のプラズマ源 1 2 8 Y、第 3 のプラズ

マ源 1 2 8 Z のマイクロ波導入ユニットを同時に稼動させた場合は、基板 G の幅方向の全域に亘り、ほぼ一定（約 $1 \times 10^{11} / \text{cm}^3$ ）のプラズマ密度となることが確認された。また、図 1 6 において、「合成（計算）」となっているプロットは、第 1 のプラズマ源 1 2 8 X、第 2 のプラズマ源 1 2 8 Y、第 3 のプラズマ源 1 2 8 Z の単独稼動のプラズマ密度を計算上合計したものであり、「合成（実測）」の結果とほぼ一致していた。

[0066] [実験 2]

図 1 7 は、実験例 1 と同様の条件で、第 1 のプラズマ源 1 2 8 X のマイクロ波導入ユニットのマイクロ波パワーのみを 1 0 0 W, 2 6 0 W, 又は 5 0 0 W に変化させたときの結果を示している。グラフ中の A の符号は第 1 のプラズマ源 1 2 8 X のマイクロ波導入ユニットのマイクロ波パワーが 1 0 0 W, B の符号は同 2 6 0 W, C の符号は同 5 0 0 W であることをそれぞれ意味している。なお、第 1 のプラズマ源 1 2 8 X のマイクロ波導入ユニットのマイクロ波パワーが 2 6 0 W の場合（B）については、実験例 1 の再掲である。

[0067] 図 1 7 に示したように、3 つのうちの中央に配置された第 1 のプラズマ源 1 2 8 X のマイクロ波導入ユニットのマイクロ波パワーを増減することによって、プラズマ密度が、基板 G の幅方向において上に凸（C ; 5 0 0 W）又は下に凸（A ; 1 0 0 W）となり、変化することが確認された。これにより、複数個のマイクロ波導入ユニットを配設した場合に、各マイクロ波導入ユニットのマイクロ波パワーを変化させることによって、合成されるプラズマ密度の強弱の分布を制御できることが確認された。

[0068] [実験 3]

基板 G のシリコン層に対して、下記の条件でプラズマ窒化処理を行い、シリコン窒化膜の膜厚を測定した。なお、天板 1 0 1 c から基板 G までの距離（ギャップ）は、8 5 mm とした。

<プラズマ窒化処理条件>

A r ガス流量 ; 1 0 0 0 m L / m i n (s c c m)

N₂ガス流量；200mL/min (sccm)

処理圧力；20Pa

処理温度；500℃

マイクロ波パワー；

第1のプラズマ源128Xのマイクロ波導入ユニットのマイクロ波パワーのみを100W, 260W, 又は500Wに変化させた。

各プラズマ源のパワー構成は以下のとおりである。

A；128Y, 128X, 128Z=260W, 100W, 260W

B；128Y, 128X, 128Z=260W, 260W, 260W

C；128Y, 128X, 128Z=260W, 500W, 260W

処理時間；90秒

[0069] 結果を図18に示した。図18の縦軸は、シリコン窒化膜の光学膜厚（屈折率2.0）を示しており、横軸は、基準となる第1のプラズマ源128Xの中心からの距離を示している。また、図18のグラフ中のA, B, Cの意味は、図17と同様である。図18から、3つのマイクロ波導入ユニットのマイクロ波パワーを同じに設定した場合（B）と、基板Gの幅方向において、均等にシリコン窒化膜が形成されている。また、3つのうちの中央に配置された第1のプラズマ源128Xのマイクロ波導入ユニットのマイクロ波パワーを増減することによって、シリコン窒化膜の面内膜厚が、基板Gの幅方向において上に凸（C；500W）又は下に凸（A；100W）と変化することが確認された。図18からは、図17とほぼ同様の傾向が見て取れる。すなわち、図17のプラズマ密度の計測結果と、図18のシリコン窒化膜の膜厚の計測結果は対応していることが確認された。

[0070] また、面内均一性の指標であるRange/2AVE [すなわち、（窒化膜厚の最大値－窒化膜厚の最小値）／窒化膜厚の平均値×2] は、図18のAが4.2%、Bが1.3%、Cが1.9%であった。以上の結果から、複数個のマイクロ波導入ユニットを配設した場合に、各マイクロ波導入ユニットのマイクロ波パワーを変化させることによって、シリコン窒化膜の膜厚を

、基板Gの面内において制御できることが確認された。

[0071] [実験4]

第1のプラズマ源128X、第2のプラズマ源128Y、及び第3のプラズマ源128Zのマイクロ波導入ユニットのマイクロ波パワーを一律に変化させた以外は、実験3と同様にして、基板Gのシリコン層に対してプラズマ窒化処理を行った。

<プラズマ窒化処理条件>

各プラズマ源のパワー構成は以下のとおりである。

D ; 128Y, 128X, 128Z = 100W, 100W, 100W

E ; 128Y, 128X, 128Z = 260W, 260W, 260W

F ; 128Y, 128X, 128Z = 400W, 400W, 400W

他の条件は、実験3と同様である。

[0072] 結果を図19に示した。図19の縦軸は、シリコン窒化膜の光学膜厚（屈折率2.0）を示しており、横軸は、基準となる第1のプラズマ源128Xの中心からの距離を示している。また、図19のグラフ中のD, E, Fは、上記プラズマ窒化条件を意味している。図19から、3つのマイクロ波導入ユニットのマイクロ波パワーを同じに設定した場合、パワーの大きさによって、基板Gにおけるシリコン窒化膜の面内膜厚の分布は、ほぼ平行にシフトすることが確認された。また、シリコン窒化膜の基板Gの面内均一性の指標であるRange/2AVE [すなわち、（窒化膜厚の最大値－窒化膜厚の最小値）／窒化膜厚の平均値×2] は、図19のDが1.06%、Eが1.26%、Fが0.85%であり、いずれも優れた値であった。

[0073] 以上の実験結果から、複数の透過板（マイクロ波導入ユニット）を所定の間隔で配置することによって、プラズマ密度の制御が容易になり、プラズマ密度を均一化できることが確認された。また、基板Gの端部でのプラズマ密度の時間的積算値が、他の部位（例えば基板Gの中央付近）に比べて落ち込むことを避けるため、複数（例えば3つ以上）の同じ大きさのプラズマ源（透過板のマイクロ波透過領域）を基板Gの相対移動方向に直交する方向に等

間隔で配置し、最も外側の2つの透過板のマイクロ波透過領域の中心間の距離 M を、基板 G の幅 D_G と同じか、それより広くする($M \geq D_G$)ことが有効であった。かかる構成によって、少なくとも基板 G の幅方向に均質な処理(例えばプラズマ窒化処理)が可能であることが確認された。これらの実験結果は、プラズマ密度の時間的積算値の重なりをシミュレーションした結果(図10~図14)とも符合するものであった。

[0074] 以上のように、本実施の形態のプラズマ処理装置100では、基板 G が、少なくとも一つのマイクロ波導入ユニット127の透過板128のマイクロ波透過領域の対向位置を通過するように相対移動可能に設けられているので、複数枚の基板 G 間、及び1枚の基板 G 面内での処理の均一性を向上させることができる。また、平面アンテナ板131を交換したり、プロセス条件を変更したりしなくても、処理容器101内におけるプラズマ分布を独立して制御することができる。従って、処理容器101内で所望の分布でプラズマを安定的に維持することができる。また、基板 G の大型化に対応して処理容器101を大型化させた場合でも、マイクロ波導入ユニット127の数や配置を変えることによって、処理容器101内で生成するプラズマ分布を簡単に調節できる。

[0075] 以上、本発明の実施形態を述べたが、本発明は上記実施形態に制約されることはなく、種々の変形が可能である。例えば、本発明のプラズマ処理装置は、プラズマ窒化処理装置以外にも、例えばプラズマ酸化処理装置やプラズマCVD処理装置、プラズマエッチング処理装置、プラズマアッシング処理装置などに適用できる。さらに、本発明のプラズマ処理装置100は、被処理体としての基板がフラットパネルディスプレイ用基板である場合に限らず、例えば半導体基板や、太陽電池パネルの基板を被処理体とするプラズマ処理装置にも適用できる。

[0076] また、上記実施の形態では、複数のマイクロ波発生装置から、個別に複数のマイクロ波導入ユニットへマイクロ波を供給する構成としたが、単一のマイクロ波発生装置から、分岐した導波管を用いて2以上のマイクロ波導入ユ

ニットヘマイクロ波を供給するように構成してもよい。また、上記実施の形態では、マイクロ波プラズマ処理装置を用いたが、電磁波として高周波を用いるプラズマ処理装置にも適用できる。さらに、プラズマの生成方式として、例えばＩＣＰプラズマ方式、ＥＣＲプラズマ方式、表面波プラズマ方式、マグネトロンプラズマ方式等の他の方式のプラズマ処理装置を用いることもできる。また、真空処理に限らず、大気圧プラズマを利用することもできる。大気圧プラズマを利用する場合には、図１にあるゲートバルブ１２０は必要ない。この場合、基板Ｇを処理容器１０１内に連続的に搬送し、処理容器１０１内を所定の速度で移動させながらプラズマ処理を行い、また連続的に搬出することができる。従って、処理容器１０１内に同一時間に存在する基板Ｇは１つと限らず、複数の基板Ｇが同時にプラズマ処理されてもよい。さらに、大気圧プラズマを利用する場合、処理容器１０１内への外気の混入を防ぐために、エアーカーテンをゲートバルブの代りに用いてもよい。

[0077] 本国際出願は、２０１０年３月３１日に出願された日本国特許出願２０１０－８１９８６号に基づく優先権を主張するものであり、当該出願の全内容をここに援用する。

符号の説明

[0078] １００…プラズマ処理装置、１０１…処理容器、１０３…支持搬送装置、１０３ａ…駆動部、１１８…ガス供給装置、１１９…搬入出口、１２０…ゲートバルブ、１２４…排気装置、１２７…マイクロ波導入ユニット、１３７…導波管、１３９…マイクロ波発生装置、１５０…制御部、Ｇ…基板

請求の範囲

- [請求項1] 被処理体进行处理する処理空間を形成する処理容器と、
前記被処理体を支持する支持装置と、
前記処理容器内でプラズマを生成させるための電磁波を発生させる電磁波発生装置と、
前記電磁波発生装置で発生した電磁波を前記処理容器内に導入する複数の電磁波導入ユニットと、を備え、
前記電磁波導入ユニットは、前記処理空間に臨む電磁波導入窓を有しており、
前記処理容器内で、前記支持装置に支持された被処理体と、前記電磁波導入窓とが、互いに反対方向に相対移動し、被処理体が少なくとも一つの前記電磁波導入窓の電磁波透過領域の対向位置を通過するように構成されているプラズマ処理装置。
- [請求項2] 前記相対移動の間に、一つの被処理体が、2つ以上の前記電磁波導入窓の電磁波透過領域に対して少なくとも部分的に対向する位置を順次通過するように構成されている請求項1に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項3] 前記相対移動の間に、一つの被処理体が、同時に2つ以上の前記電磁波導入窓の電磁波透過領域に対して少なくとも部分的に対向する位置を通過するように構成されている請求項1に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項4] 前記2つ以上の電磁波導入窓は、各電磁波導入窓から導入される電磁波によって生成するプラズマによるプラズマ密度の時間的積算値及び／又はプラズマ照射時間の積算値が、一つの被処理体の面内で同じになるように配置されている請求項2又は3に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項5] 前記相対移動する被処理体の軌道に対し、対向する位置から外れた位置に設けられた電磁波導入窓を有する補助的な電磁波導入ユニット

を、さらに備えている請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項6] 前記電磁波導入窓の面積が異なる複数の電磁波導入ユニットを備えている請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

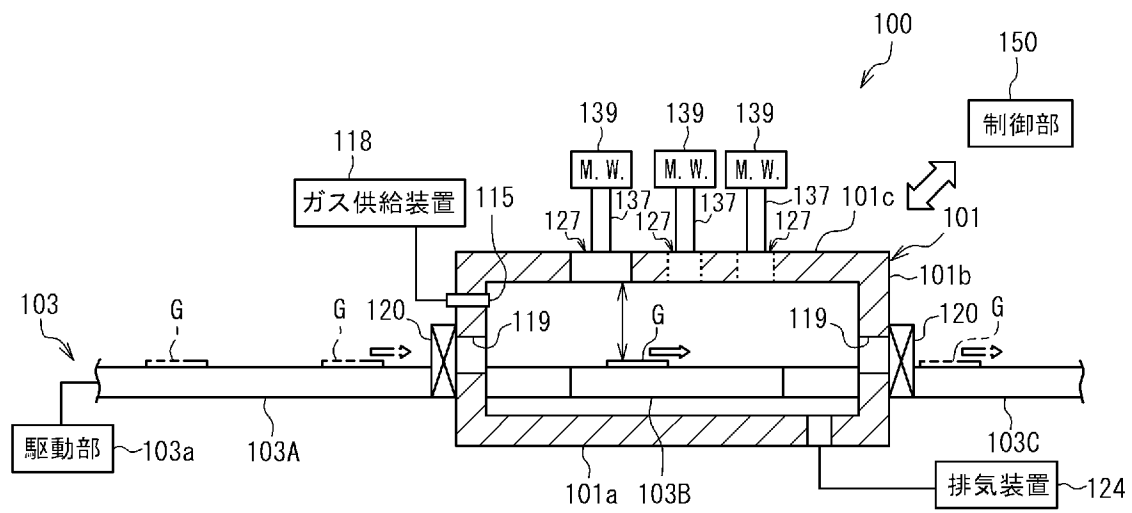
[請求項7] 前記電磁波発生装置が、前記電磁波導入ユニットに対応して個別に設けられている請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項8] 前記複数の電磁波導入ユニットに供給する電磁波のパワーが、個別に設定可能である請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

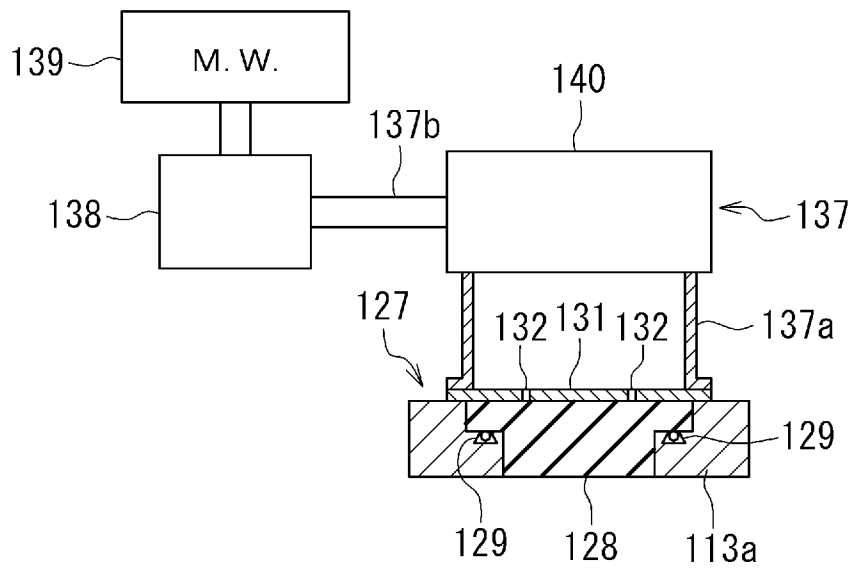
[請求項9] 前記支持装置に支持された被処理体と前記電磁波導入窓のいずれか片方又は両方を互いに反対方向に向かって相対移動させる駆動部を、さらに備えた請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

[請求項10] 被処理体を処理する処理空間を形成する処理容器と、前記被処理体を支持するとともに一定方向に搬送する支持装置と、前記処理容器内でプラズマを生成させるための電磁波を発生させる電磁波発生装置と、前記電磁波発生装置で発生した電磁波を前記処理容器内に導入する複数の電磁波導入ユニットと、を備え、前記電磁波導入ユニットは、前記処理空間に臨む電磁波導入窓を有しており、前記処理容器内で、前記支持装置に支持された被処理体と、前記電磁波導入窓とが、互いに反対方向に相対移動するように構成されたプラズマ処理装置を用い、複数の前記電磁波導入窓を介して電磁波を前記処理容器内に導入してプラズマを生成させるとともに、前記処理容器の中で被処理体が少なくとも一つの前記電磁波導入窓の電磁波透過領域の対向位置を通過するように、被処理体を前記電磁波導入窓に対して相対移動させながら、被処理体上のどの位置においても、プラズマ密度の時間的積算値及び／又はプラズマ照射時間の積算値が同じになるようにプラズマ処理を行なうプラズマ処理方法。

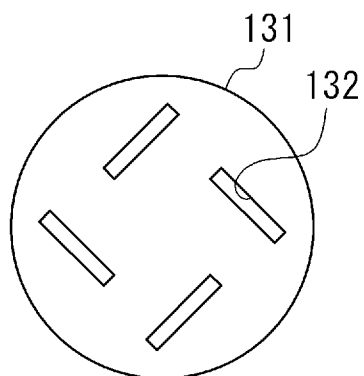
[図1]



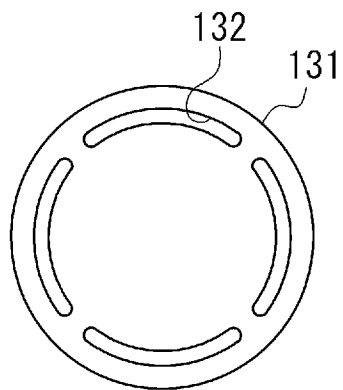
[図2]



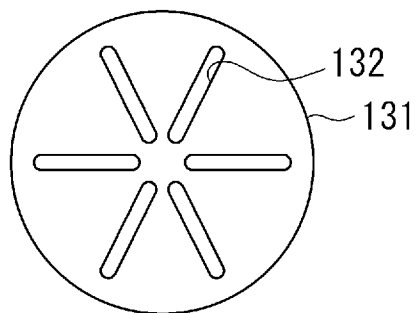
[図3A]



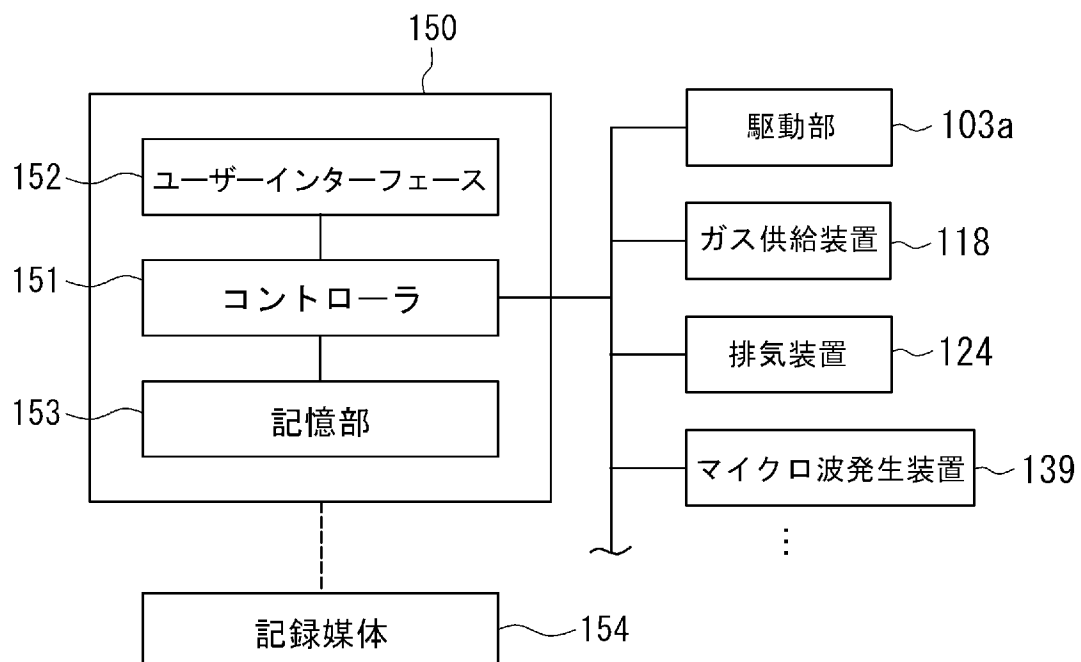
[図3B]



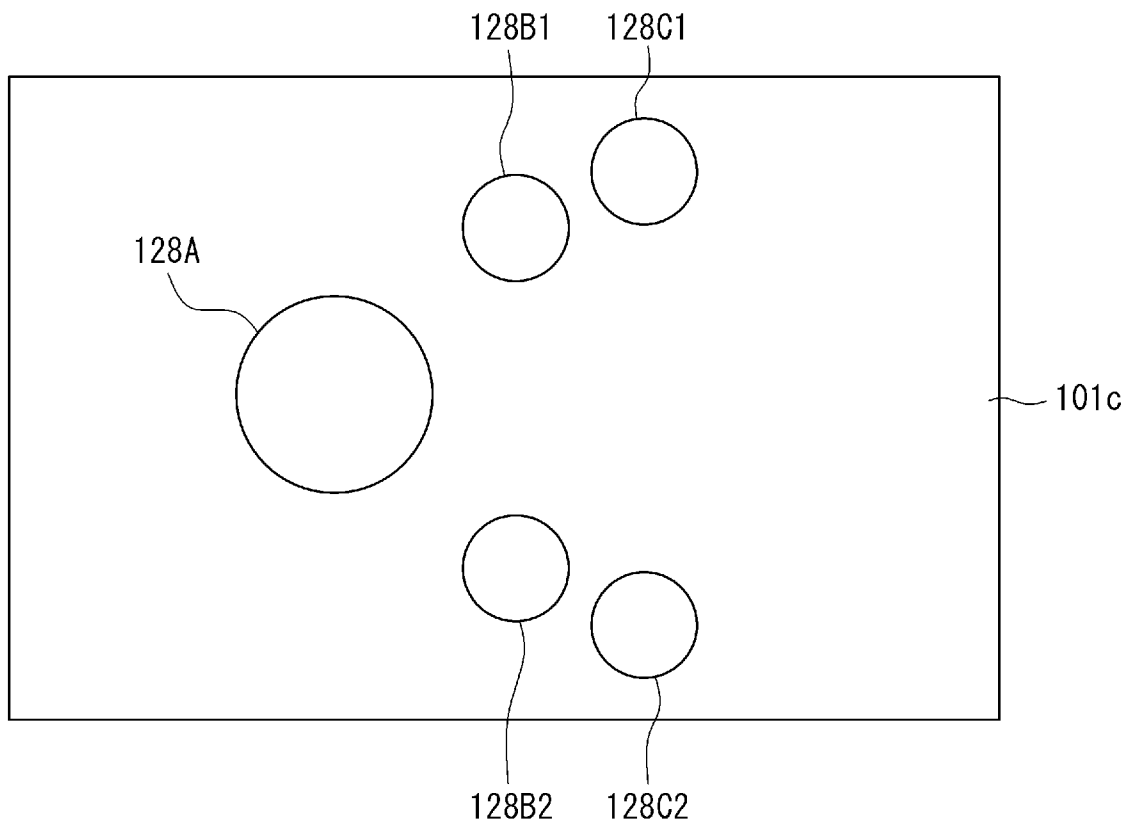
[図3C]



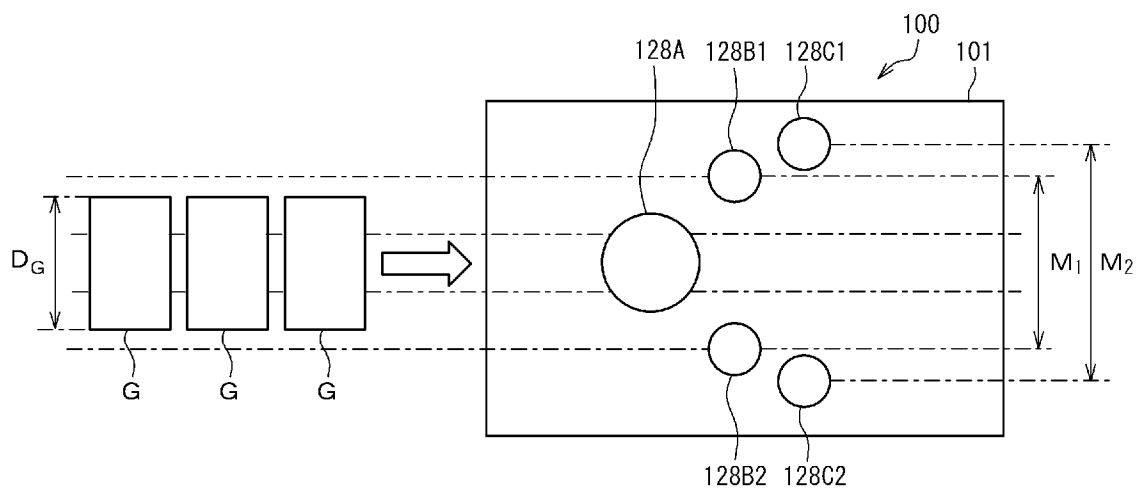
[図4]



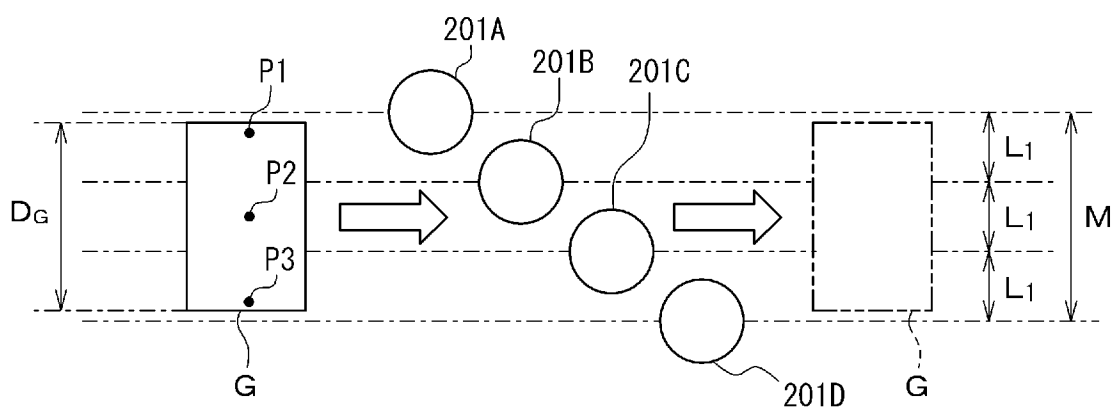
[図5]



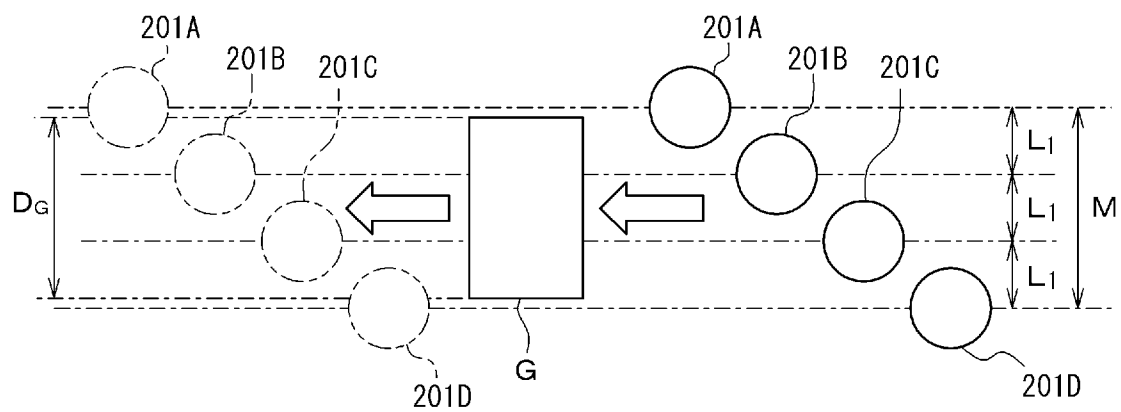
[図6]



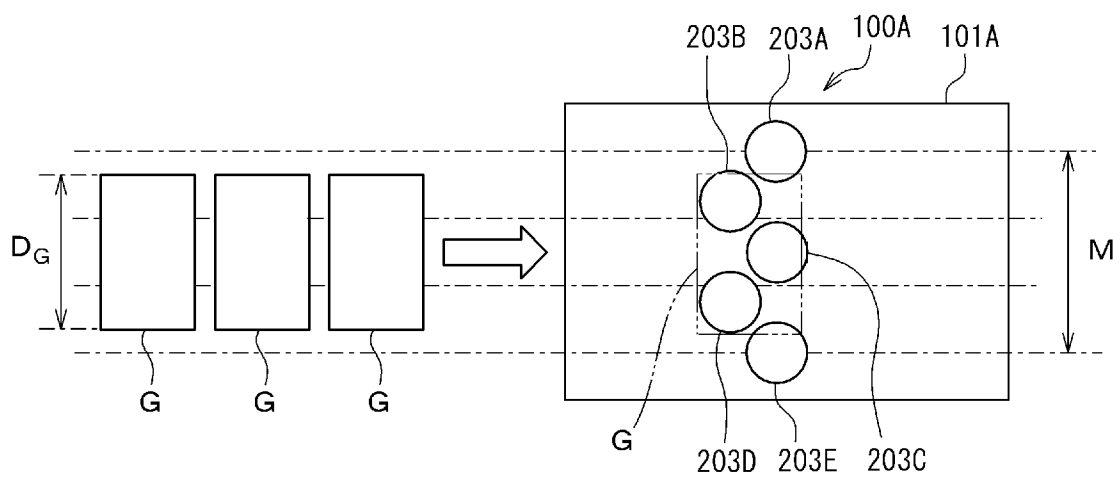
[図7A]



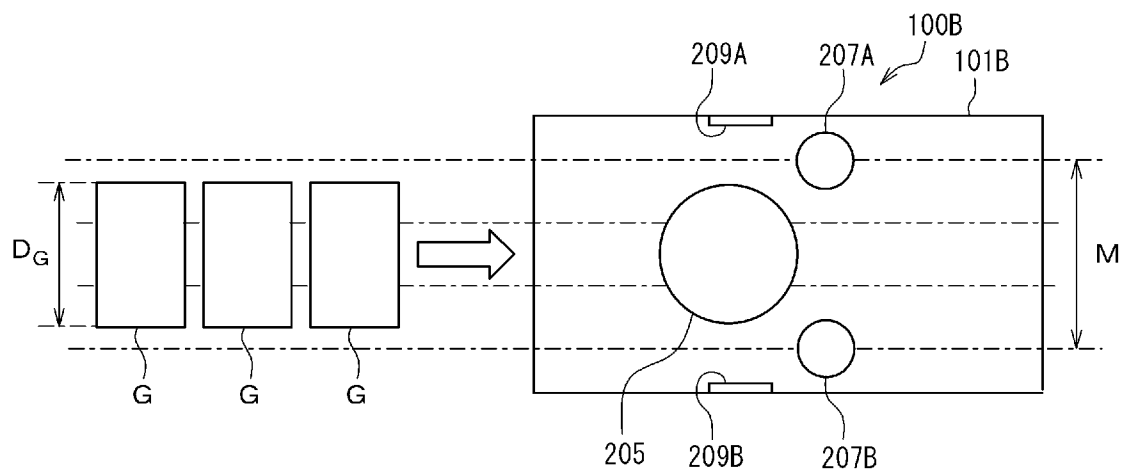
[図7B]



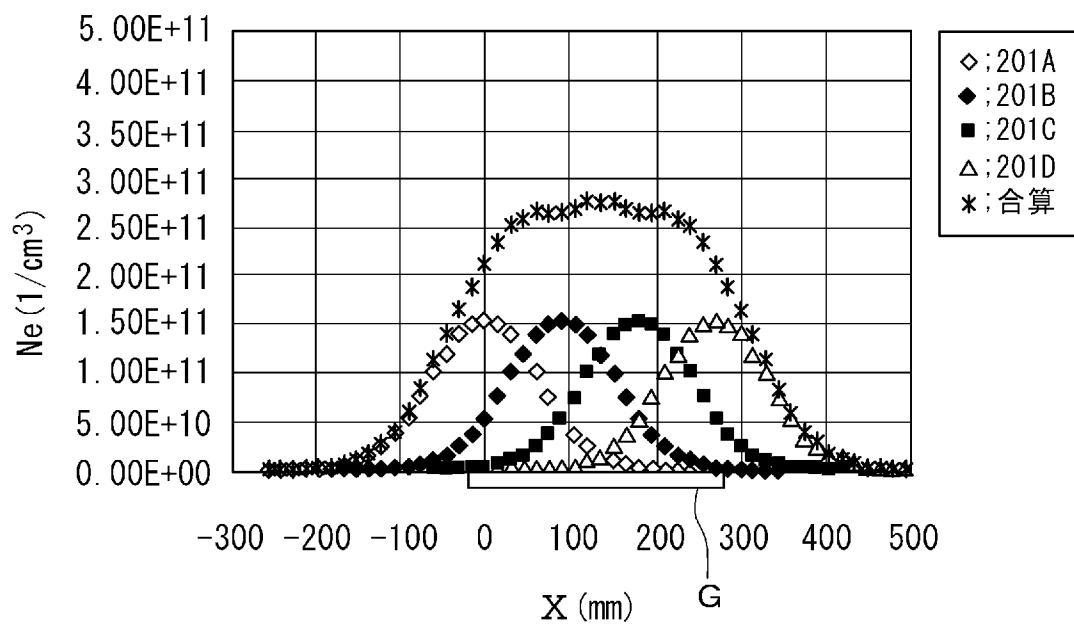
[図8]



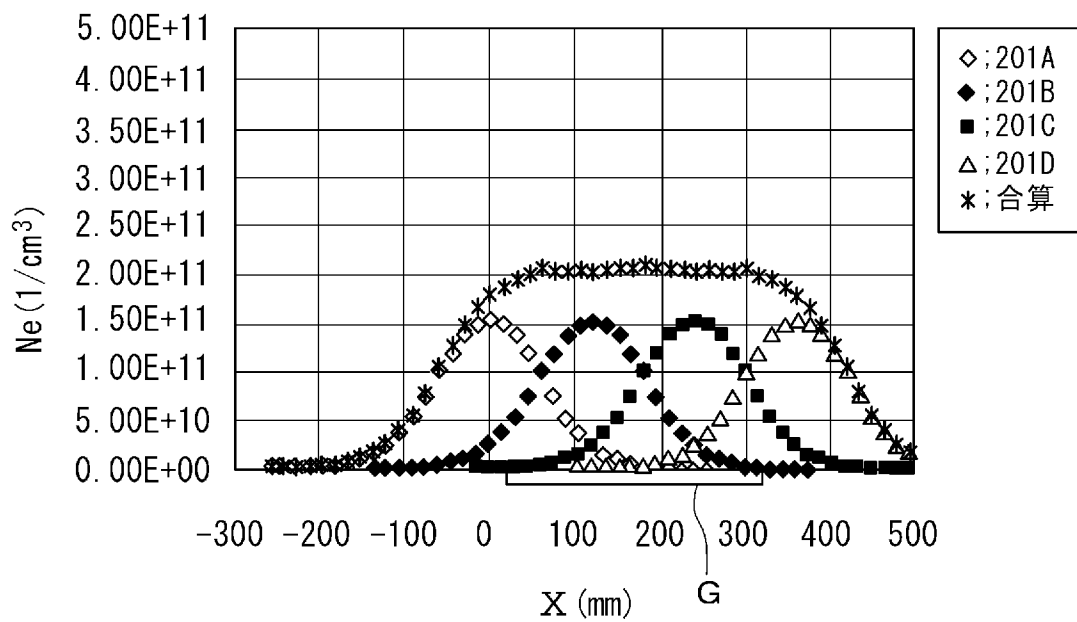
[図9]



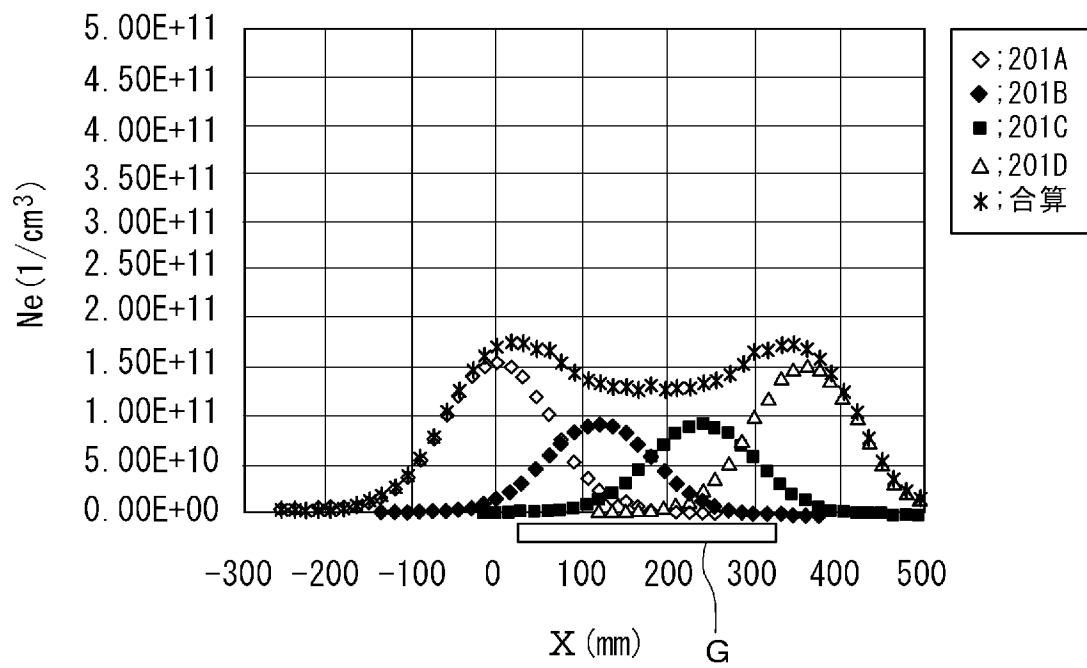
[図10]



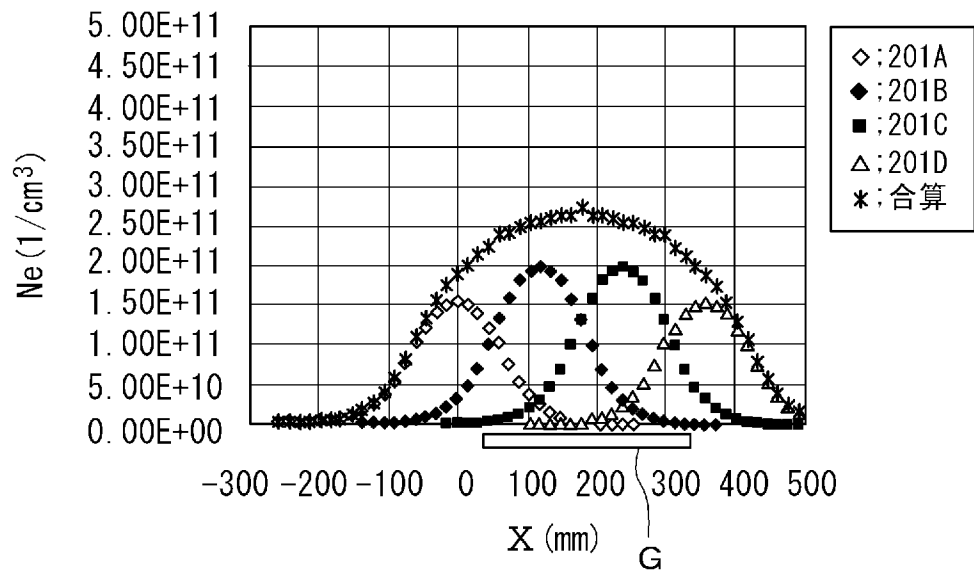
[図11]



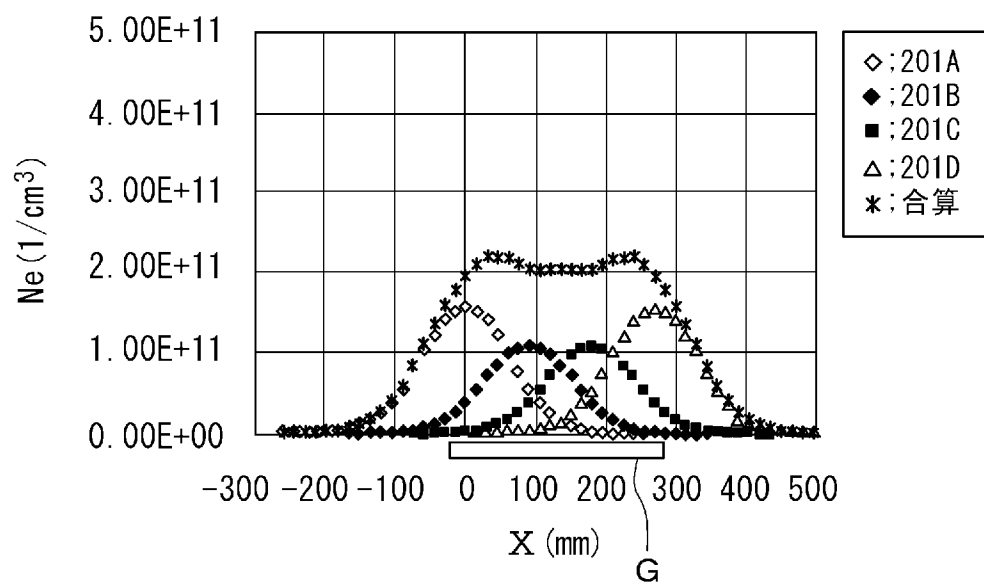
[図12]



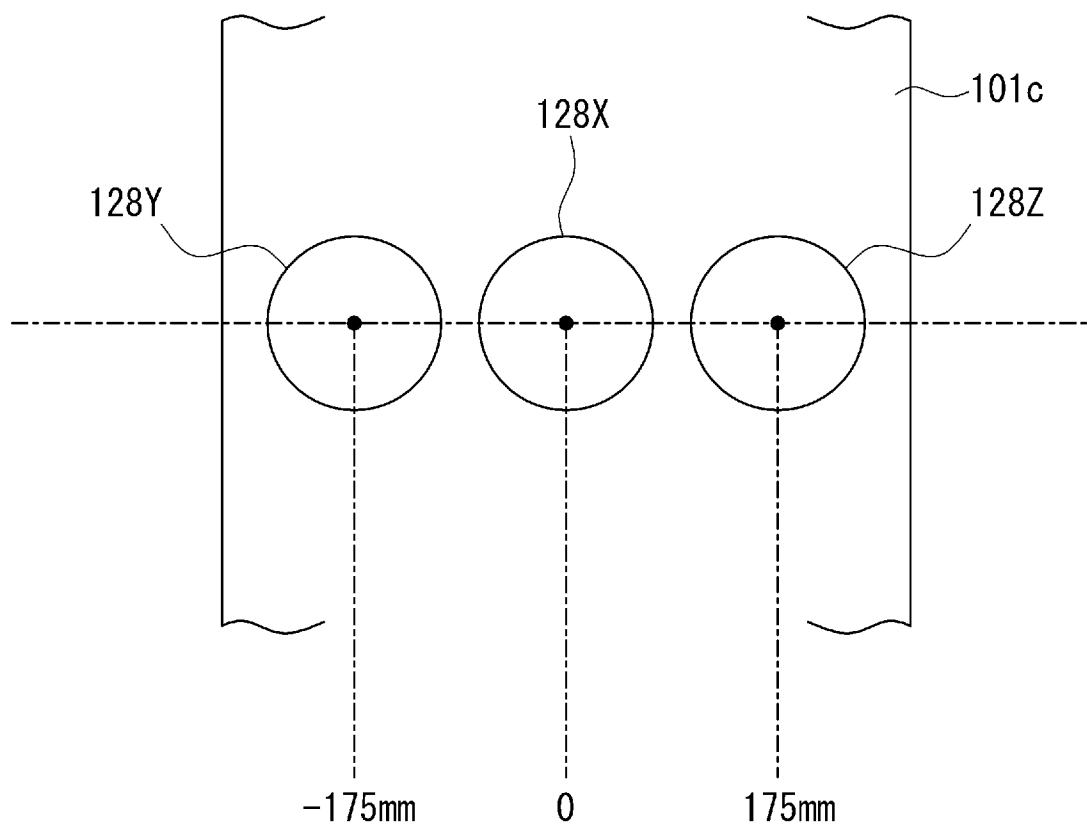
[図13]



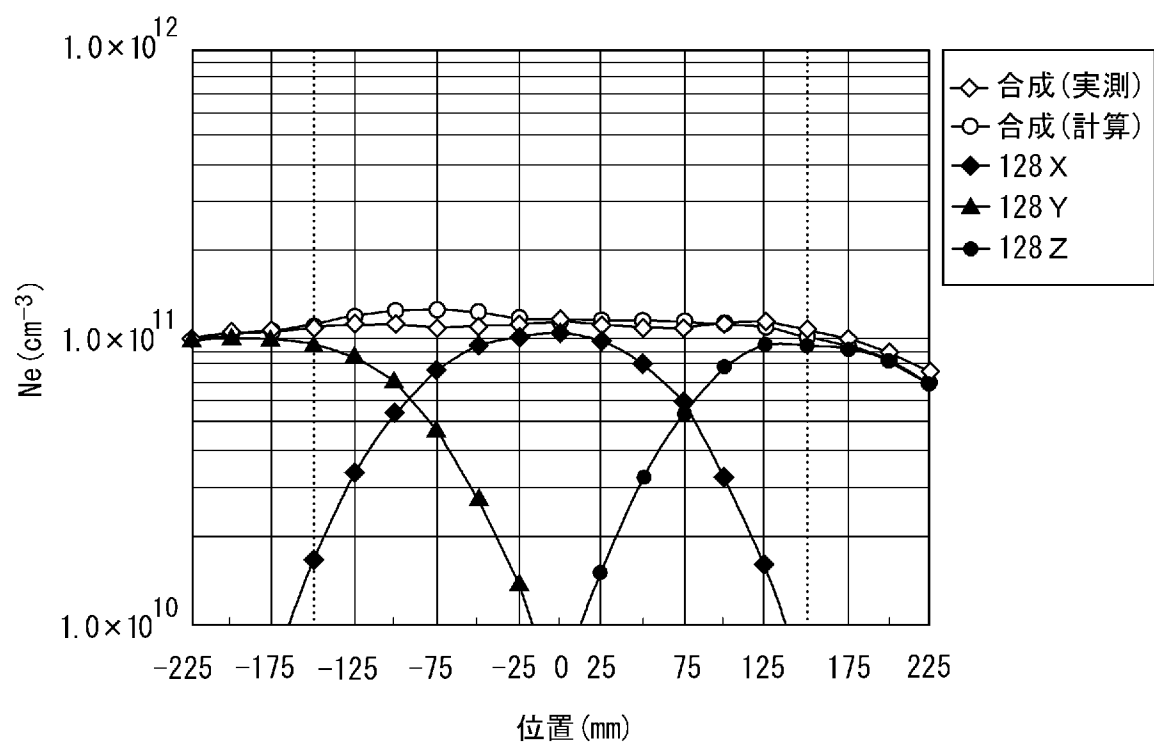
[図14]



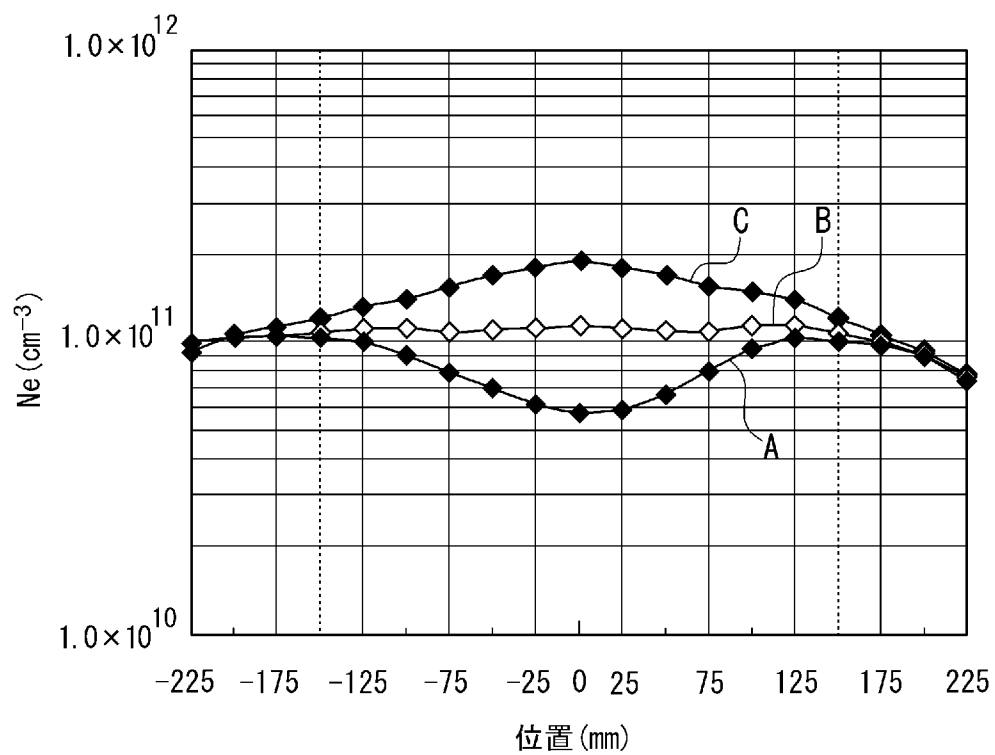
[図15]



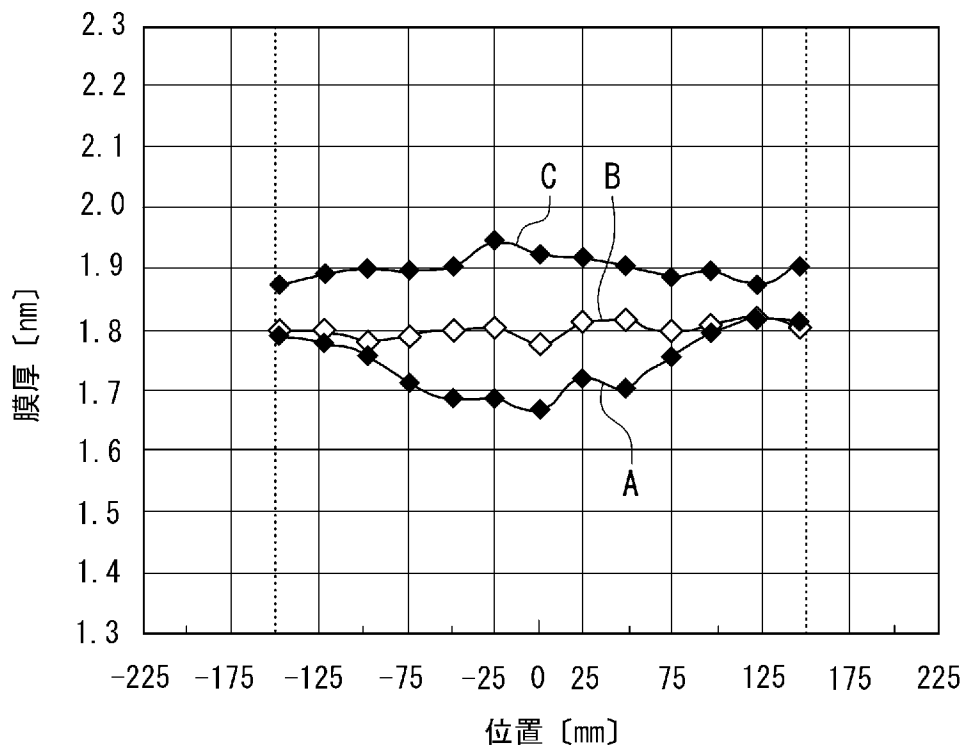
[図16]



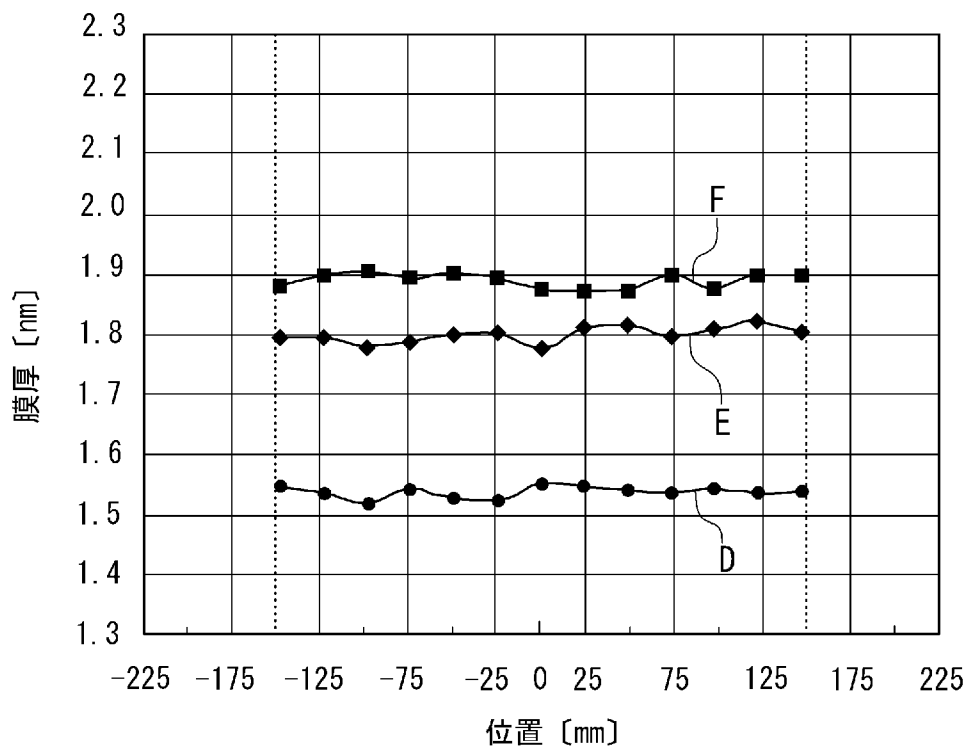
[図17]



[図18]



[図19]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/056701

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/31(2006.01)i, C23C16/511(2006.01)i, H01L21/205(2006.01)i,
H01L21/3065(2006.01)i, H05H1/46(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)

H01L21/31, C23C16/511, H01L21/205, H01L21/3065, H05H1/46

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	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

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 Y	JP 01-134926 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 26 May 1989 (26.05.1989), page 6, upper right column, line 12 to page 6, lower left column, line 17; fig. 6 (Family: none)	1-4, 9-10 5-8
Y	JP 2003-142460 A (Shibaura Mechatronics Co., Ltd.), 16 May 2003 (16.05.2003), paragraphs [0050] to [0068]; fig. 3 to 6 (Family: none)	5-8

☒ 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
20 May, 2011 (20.05.11)

Date of mailing of the international search report
31 May, 2011 (31.05.11)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/056701

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 2007-258093 A (National University Corporation Shizuoka University), 04 October 2007 (04.10.2007), fig. 10 (b) (Family: none)	6-8

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L21/31(2006.01)i, C23C16/511(2006.01)i, H01L21/205(2006.01)i, H01L21/3065(2006.01)i, H05H1/46(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. H01L21/31, C23C16/511, H01L21/205, H01L21/3065, H05H1/46

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 1 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 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
X Y	JP 01-134926 A（日本電信電話株式会社）1989.05.26, 第6頁右上欄第12行-第6頁左下欄第17行, 第6図（ファミリーなし）	1-4, 9-10 5-8
Y	JP 2003-142460 A（芝浦メカトロニクス株式会社）2003.05.16, 段落【0050】-【0068】, 図3-図6（ファミリーなし）	5-8
Y	JP 2007-258093 A（国立大学法人静岡大学）2007.10.04, 図10(b)（ファミリーなし）	6-8

☐ 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

2 0 . 0 5 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

3 1 . 0 5 . 2 0 1 1

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）

山本 雄一

4 R

3 1 2 3

電話番号 03-3581-1101 内線 3471