

(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
2018年3月29日(29.03.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/055700 A1

(51) 国際特許分類:

H01L 21/31 (2006.01)

(21) 国際出願番号:

PCT/JP2016/077857

(22) 国際出願日:

2016年9月21日(21.09.2016)

(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: 株式会社日立国際電気(HITACHI KOKUSAI ELECTRIC INC.) [JP/JP]; 〒1058039 東京都港区西新橋二丁目15番12号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 竹田剛(TAKEDA, Tsuyoshi); 〒9392393 富山県富山市八尾町保内二丁目1番地株式会社日立国際電気内 Toyama (JP). 西野達弥(NISHINO, Tatsuya); 〒9392393 富山県富山市八尾町保内二丁目1番地株式会社日立国際電気内 Toyama (JP). 八幡橘(YAHATA, Takashi);

〒9392393 富山県富山市八尾町保内二丁目1番地株式会社日立国際電気内 Toyama (JP).

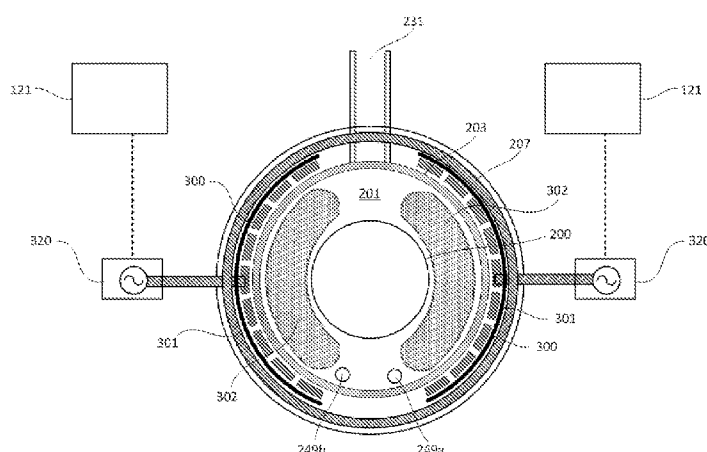
(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, 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, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,

(54) Title: SUBSTRATE PROCESSING DEVICE, METHOD FOR MANUFACTURING SEMICONDUCTOR DEVICE, AND ELECTRODE FIXING UNIT

(54) 発明の名称: 基板処理装置、半導体装置の製造方法および電極固定ユニット

[図2]



(57) Abstract: Provided is a feature having: a reaction tube that forms a processing chamber in which to process a substrate; an electrode installed on the outer periphery of the reaction tube, the electrode forming plasma inside the processing chamber; an electrode fixing unit for fixing the electrode; and a heating device provided on the outer periphery of the electrode fixing unit, the heating device heating the inside of the reaction tube. The electrode has a spacer that provides separation of a fixed distance from the surface of the electrode fixing unit. As a result, it is possible to provide a feature that makes uniform substrate processing possible.

[続葉有]



WO 2018/055700 A1

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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一 国際調査報告（条約第21条(3)）

(57) 要約：基板を処理する処理室を形成する反応管と、前記反応管の外周に設置され前記処理室内にプラズマを形成する電極と、前記電極を固定する電極固定ユニットと、前記電極固定ユニットの外周に設けられ、前記反応管内を加熱する加熱装置を有し、前記電極は、前記電極固定ユニットの表面から一定の距離を離すためのスペーサを有する技術を提供する。これにより、均一な基板処理を可能とする技術を提供することが可能となる。

明 細 書

発明の名称：

基板処理装置、半導体装置の製造方法および電極固定ユニット

技術分野

[0001] 本発明は、基板処理装置、半導体装置の製造方法および電極固定ユニットに関する。

背景技術

[0002] 半導体装置（デバイス）の製造工程の一工程として、基板処理装置の処理室内に基板を搬入し、処理室内に原料ガスと反応ガスとを供給して基板上に絶縁膜や半導体膜、導体膜等の各種膜を形成したり、各種膜を除去する基板処理が行われることがある。

[0003] 微細パターンが形成される量産デバイスにおいては、不純物の拡散を抑制したり、有機材料など耐熱性の低い材料を使用できるようにするために低温化が求められる。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2007-324477号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] このような問題を解決するため、プラズマを用いて基板処理を行うことが一般的に行われているが、経年変化や加熱装置からの熱を受けることが原因でプラズマ電極が変形してしまうと、プラズマにより生成されるイオンやラジカルなどの活性種の生成量や分布にばらつきが生じてしまい、均一に膜を処理することが困難となってしまう場合があった。

[0006] 本発明の目的は、均一な基板処理を可能とする技術を提供することにある。

課題を解決するための手段

- [0007] 本発明の一態様によれば、
- 基板を処理する処理室を形成する反応管と、
- 前記反応管の外周に設置され前記処理室内にプラズマを形成する電極と、
- 前記電極を固定する電極固定ユニットと、
- 前記電極固定ユニットの外周に設けられ、前記反応管内を加熱する加熱装置を有し、
- 前記電極は、前記電極固定ユニットの表面から一定の距離を離すためのスペーサを有する技術が提供される。

発明の効果

- [0008] 本発明によれば均一な基板処理を可能とする技術を提供することが可能となる。

図面の簡単な説明

- [0009] [図1]本発明の第1の実施形態で好適に用いられる基板処理装置の縦型処理炉の概略構成図であり、処理炉部分を縦断面で示す図である。
- [図2]図1に示す基板処理装置におけるA-A断面図である。
- [図3] (a) は、本発明における電極を石英カバーに設置した際の斜視図であり、(b) は、本発明におけるヒータ、石英カバー、電極、電極を固定する突起部310、反応管の位置関係を示すための図である。
- [図4] (a) は、本発明における電極の部分拡大正面図であり、(b) は、電極を石英カバーに固定する点を説明する部分拡大側面図である。
- [図5]本発明における電極形状の一例を示す水平方向断面図であり、(a) は、片側端部を略直角に曲げた例を示す図、(b) は、両側端部を略直角に曲げた例を示す図、(c) は、片側端部を鈍角に曲げた例を示す図、(d) は、両側端部を鈍角に曲げた例を示す図、(e) は、V字形状に形成した例を示す図、(f) は、中央部を所定の曲率半径Rで曲げた例を示す図、(g) は、電極を円弧状に形成した例を示す図である。
- [図6]本発明における第1の実施形態のスペーサを示す図であり、(a) 側面

図であり、（b）は正面図である。

[図7]図1に示す基板処理装置におけるコントローラの概略構成図であり、コントローラの制御系の一例を示すブロック図である。

[図8]図1に示す基板処理装置を用いた基板処理プロセスの一例を示すフローチャートである。

[図9]本発明における第1の実施形態の変形例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0010] <発明の実施形態>

以下、本発明の実施形態について図1から図5を参照しながら説明する。

（1）基板処理装置の構成

（加熱装置）

図1に示すように、処理炉202は加熱装置（加熱機構）としてのヒータ207を有する。ヒータ207は円筒形状であり、保持板としてのヒータベース（図示せず）に支持されることにより垂直に据え付けられている。ヒータ207は、後述するようにガスを熱で活性化（励起）させる活性化機構（励起部）としても機能する。

[0011] （処理室）

ヒータ207の内側には、後述する電極固定ユニットとしての石英カバー301が配設され、更に石英カバー301の内側には、後述するプラズマ生成部の電極300が配設されている。更に、電極300の内側には、ヒータ207と同心円状に反応管203が配設されている。反応管203は、例えば石英（ SiO_2 ）や炭化シリコン（ SiC ）等の耐熱性材料からなり、上端が閉塞し下端が開口した円筒形状に形成されている。反応管203の下方には、反応管203と同心円状に、マニホールド209が配設されている。マニホールド209は、例えばステンレス（ SUS ）等の金属からなり、上端および下端が開口した円筒形状に形成されている。マニホールド209の上端部は、反応管203の下端部に係合しており、反応管203を支持するように構成されている。マニホールド209と反応管203との間には、シー

ル部材としてのリング 220a が設けられている。マニホールド 209 がヒータベースに支持されることにより、反応管 203 は垂直に据え付けられた状態となる。主に、反応管 203 とマニホールド 209 とにより処理容器（反応容器）が構成されている。処理容器の筒中空部には処理室 201 が形成されている。処理室 201 は、複数枚の基板としてのウエハ 200 を収容可能に構成されている。なお、処理容器は上記の構成に限らず、反応管 203 のみを処理容器と称する場合もある。

[0012] （ガス供給部）

処理室 201 内には、ノズル 249a, 249b が、マニホールド 209 の側壁を貫通するように設けられている。ノズル 249a, 249b には、ガス供給管 232a, 232b が、それぞれ接続されている。このように、処理容器には 2 本のノズル 249a, 249b と、2 本のガス供給管 232a, 232b とが設けられており、処理室 201 内へ複数種類のガスを供給することが可能となっている。なお、反応管 203 のみを処理容器とした場合、ノズル 249a, 249b は反応管 203 の側壁を貫通するように設けられていてもよい。

[0013] ガス供給管 232a, 232b には、上流方向から順に、流量制御器（流量制御部）であるマスフローコントローラ（MFC）241a, 241b および開閉弁であるバルブ 243a, 243b がそれぞれ設けられている。ガス供給管 232a, 232b のバルブ 243a, 243b よりも下流側には、不活性ガスを供給するガス供給管 232c, 232d がそれぞれ接続されている。ガス供給管 232c, 232d には、上流方向から順に、MFC 241c, 241d およびバルブ 243c, 243d がそれぞれ設けられている。

[0014] ノズル 249a, 249b は、反応管 203 の内壁とウエハ 200 との間における平面視において円環状の空間に、反応管 203 の内壁の下部より上部に沿って、ウエハ 200 の積載方向上方に向かって立ち上がるようにそれぞれ設けられている。すなわち、ノズル 249a, 249b は、処理室 20

1 内へ搬入された各ウエハ 200 の端部（周縁部）の側方にウエハ 200 の表面（平坦面）と垂直にそれぞれ設けられている。ノズル 249 a, 249 b の側面には、ガスを供給するガス供給孔 250 a, 250 b がそれぞれ設けられている。ガス供給孔 250 a は、反応管 203 の中心を向くように開口しており、ウエハ 200 に向けてガスを供給することが可能となっている。ガス供給孔 250 a, 250 b は、それぞれ、反応管 203 の下部から上部にわたって複数設けられている。

[0015] このように、本実施形態では、反応管 203 の側壁の内壁と、反応管 203 内に配列された複数枚のウエハ 200 の端部（周縁部）と、で定義される平面視において円環状の縦長の空間内、すなわち、円筒状の空間内に配置したノズル 249 a, 249 b を経由してガスを搬送している。そして、ノズル 249 a, 249 b にそれぞれ開口されたガス供給孔 250 a, 250 b から、ウエハ 200 の近傍で初めて反応管 203 内にガスを噴出させている。そして、反応管 203 内におけるガスの主たる流れを、ウエハ 200 の表面と平行な方向、すなわち、水平方向としている。このような構成とすることで、各ウエハ 200 に均一にガスを供給でき、各ウエハ 200 に形成される膜の膜厚の均一性を向上させることが可能となる。ウエハ 200 の表面上を流れたガス、すなわち、反応後の残ガスは、排気口、すなわち、後述する排気管 231 の方向に向かって流れる。但し、この残ガスの流れの方向は、排気口の位置によって適宜特定され、垂直方向に限ったものではない。

[0016] ガス供給管 232 a からは、所定元素を含む原料として、例えば、所定元素としてのシリコン（Si）を含むシラン原料ガスが、MFC 241 a、バルブ 243 a、ノズル 249 a を介して処理室 201 内へ供給される。

[0017] シラン原料ガスとは、気体状態のシラン原料、例えば、常温常圧下で液体状態であるシラン原料を気化することで得られるガスや、常温常圧下で気体状態であるシラン原料等のことである。本明細書において「原料」という言葉を用いた場合は、「液体状態である液体原料」を意味する場合、「気体状態である原料ガス」を意味する場合、または、それらの両方を意味する場合

がある。

[0018] シラン原料ガスとしては、例えば、Siおよびアミノ基（アミン基）を含む原料ガス、すなわち、アミノシラン原料ガスを用いることができる。アミノシラン原料とは、アミノ基を有するシラン原料のことであり、また、メチル基やエチル基やブチル基等のアルキル基を有するシラン原料でもあり、少なくともSi、窒素（N）および炭素（C）を含む原料のことである。すなわち、ここでいうアミノシラン原料は、有機系の原料ともいえ、有機アミノシラン原料ともいえる。

[0019] アミノシラン原料ガスとしては、例えば、ビスターシャリーブチルアミノシラン（ $\text{SiH}_2[\text{NH}(\text{C}_4\text{H}_9)]_2$ 、略称：BTBAS）ガスを用いることができる。BTBASは、1分子中に1つのSiを含み、Si-N結合、N-C結合を有し、Si-C結合を有さない原料ガスであるともいえる。BTBASガスは、Siソースとして作用する。

[0020] BTBASのように常温常圧下で液体状態である液体原料を用いる場合は、液体状態の原料を気化器やバブラ等の気化システムにより気化して、シラン原料ガス（BTBASガス等）として供給することとなる。

[0021] ガス供給管232bからは、原料とは化学構造が異なる反応体（リアクタント）として、例えば、酸素（O）含有ガスが、MFC241b、バルブ243b、ノズル249bを介して処理室201内へ供給される。

[0022] O含有ガスは、酸化剤（酸化ガス）、すなわち、Oソースとして作用する。O含有ガスとしては、例えば、酸素（ O_2 ）ガスや水蒸気（ H_2O ガス）等を用いることができる。酸化剤として O_2 ガスを用いる場合は、例えば、後述するプラズマ源を用いてこのガスをプラズマ励起し、プラズマ励起ガス（ O_2^* ガス）として供給することとなる。

[0023] ガス供給管232c、232dからは、不活性ガスとして、例えば、窒素（ N_2 ）ガスが、それぞれMFC241c、241d、バルブ243c、243d、ガス供給管232a、232b、ノズル249a、249bを介して処理室201内へ供給される。

[0024] 主に、ガス供給管232a、MFC241a、バルブ243aにより、第1のガス供給系としての原料供給系が構成される。主に、ガス供給管232b、MFC241b、バルブ243bにより、第2のガス供給系としての反応体供給系（リアクタント供給系）が構成される。主に、ガス供給管232c、232d、MFC241c、241d、バルブ243c、243dにより、不活性ガス供給系が構成される。原料供給系、反応体供給系および不活性ガス供給系を単にガス供給系（ガス供給部）とも称する。

[0025] （基板支持具）

図1に示すように基板支持具としてのボート217は、複数枚、例えば25～200枚のウエハ200を、水平姿勢で、かつ、互いに中心を揃えた状態で垂直方向に整列させて多段に支持するように、すなわち、間隔を空けて配列させるように構成されている。ボート217は、例えば石英やSiC等の耐熱性材料からなる。ボート217の下部には、例えば石英やSiC等の耐熱性材料からなる断熱板218が多段に支持されている。この構成により、ヒータ207からの熱がシールキャップ219側に伝わりにくくなっている。

但し、本実施形態はこのような形態に限定されない。例えば、ボート217の下部に断熱板218を設けずに、石英やSiC等の耐熱性材料からなる筒状の部材として構成された断熱筒を設けてもよい。

[0026] （プラズマ生成部）

次にプラズマ生成部について、図1から図3を用いて説明する。

[0027] 図2に示すように、プラズマは容量結合プラズマ（Capacitively Coupled Plasma、略称：CCP）を用い、反応ガス供給時に石英などで作製された真空隔壁である反応管203の内部で生成する。

[0028] 図2および図3（a）に示すように、電極300は、ウエハ200の配列方向に長い矩形形状を有する薄板で構成されている。電極300は、図示しない整合器を介して高周波電源320が接続される第1の電極（Hot電極

）３００－１と、基準電位であるアースに接続され、接地されている第２の電極（Ground電極）３００－２とが交互に配置されている。本発明では特に区別して説明する必要のない場合には、電極３００として記載して説明する。

電極３００は反応管２０３とヒータ２０７との間に、反応管２０３の外壁に沿うように略円弧状に配置され、例えば、中心角が３０度以上２４０度以下となる円弧状に形成された後述する石英カバーの内壁面に固定されて配置される。電極３００には、高周波電源３２０から図示しない整合器を介し、例えば周波数１３．５６ＭＨｚの高周波が入力されることによって反応管２０３内にプラズマ活性種３０２が生成される。このように生成されたプラズマによって、ウエハ２００の周囲から基板処理のためのプラズマ活性種３０２をウエハ２００の表面に供給することが可能となる。主に、電極３００と、高周波電源３２０によってプラズマ生成部が構成される。図示しない整合器や後述する電極固定ユニット３０１を含んでプラズマ生成部と考えてもよい。

[0029] 電極３００は、アルミニウムや銅、ステンレスなどの金属で構成することもできるが、ニッケルなどの耐酸化材料で構成することにより、電極表面の電気伝導率の劣化を抑制しつつ、基板処理が可能となる。電極表面の電気伝導率の劣化を抑制することによって、プラズマ生成効率の劣化を抑制することが可能となる。

[0030] また、電極３００には、図４（ａ）に示すように、後述する突起頭部３１１を通す円形切欠き部３０３と、突起軸部３１２をスライドさせるスライド切欠き部３０４からなる切欠き部３０５が形成されている。

[0031] 電極３００は、十分な強度を持ち、かつ、熱源によるウエハ加熱の効率を著しく妨げないように、形成される必要がある。例えば、電極板の厚さは０．１ｍｍ以上、１ｍｍ以下、幅は５ｍｍ以上、３０ｍｍ以下となる範囲で構成されることが好ましい。また、電極３００は、ヒータ２０７の加熱による変形抑制のための変形抑制部としての曲げ構造を有している。この曲げ構造

の例を図5（a）～（g）に示す。電極300は、石英反応管203とヒータ207の間に配置されるため、そのスペースの制約上、図5（a）～（g）の電極300側部の曲げ幅hは1mm以上、5mm以下の範囲で設定されることが好ましい。この曲げ幅が1mmよりも小さくなると変形抑制としての効果を得ることが困難となってしまう、5mmよりも大きくなると、電極を配置するための空間を大きく構成する必要が生じてしまい、装置構造全体を大きくする要因となってしまう。

[0032] 電極300の変形抑制構造として、例えば、図5（a），（b）に示すように、曲げ角度 α を鋭角または直角となるように構成することで単純な構造で変形抑制効果を得ることができる。この場合の曲げ角度 α は $10^{\circ} \sim 90^{\circ}$ の範囲で設定されることが好ましい。また、電極300の表面には熱酸化による被膜が形成されており、基板処理時の加熱によって電極300に生じる熱応力により当該被膜が剥れてパーティクルが発生してしまう可能性が生じる。このため、図5（c）～（g）のように曲げ角度 α を鈍角とすることで、曲げ構造の曲げ部分での熱応力の集中が緩和され、パーティクルの発生を低減することができる。また、図5（f），（g）のように円弧状とすることで、熱応力の集中緩和効果をさらに大きく得ることが可能となり、パーティクルの低減をさらに期待できる。このとき、図5（c）～（e）の曲げ角度 α は直角または鈍角となるように、すなわち $90^{\circ} \sim 175^{\circ}$ の範囲で設定されることが好ましい。また、図5（f），（g）の電極300中央部の曲率半径Rは1mm～60mmの範囲で設定されることが好ましい。また、図5（b），（d）のように、2ヶ所で曲げを設けることによって、電極板のねじれ方向に応力が掛かることで生じるねじれ変形に対しても強い構造となるため、ねじれ方向への応力が生じやすい高温帯域での使用が容易となる。

[0033] 縦型基板処理装置において、反応室温度を 500°C 、反応室圧力を窒素ガス 100Pa 、高周波電源320の周波数を 13.56MHz にて実施し、長さ1m、電極幅15mm、厚さ1mmからなる電極を採用し、チューブ形状

の反応管の外壁に極性が交互になるよう、電極ピッチ（中心間距離）25 mmで複数本を極性が交互になるように配置して、CCPモードのプラズマを生成した。

[0034] ここで、基板処理時の炉内圧力は、10 Pa以上、300 Pa以下の範囲で制御されることが好ましい。これは、炉内の圧力が10 Paより低い場合、プラズマのデバイ長よりもガス分子の平均自由行程が長くなってしまい、炉壁を直接叩くプラズマが顕著化するため、パーティクルの発生を抑制することが困難となってしまう。また、炉内の圧力が300 Paより高い場合、プラズマの生成効率が飽和してしまうため、反応ガスを供給してもプラズマの生成量は変化することがなく、反応ガスを無駄に消費することとなってしまうと同時に、ガス分子の平均自由行程が短くなることで、ウエハまでのプラズマ活性種の輸送効率が悪くなってしまう。

[0035] （電極固定ユニット）

次に電極300を固定する電極固定ユニットとしての石英カバー301について、図3から図4を用いて説明する。図3（a）、（b）、図4（a）、（b）で示すように、複数本設けられた電極300は、その切欠き部305を湾曲形状の石英カバー301の内壁面に設けられた突起部310に引掛け、スライドさせて固定し、この石英カバー301と一体となるようユニット化（フック式電極ユニット）して反応管203の外周に設置されている。なお、石英カバー301と電極300の材料として、それぞれ、石英とニッケル合金を採用している。

[0036] 石英カバー301は、十分な強度を持ち、かつ、ヒータ207によるウエハ加熱の効率を著しく下げないよう、厚さは1 mm以上、5 mm以下の範囲となるように構成されることが好ましい。石英カバー301の厚みが1 mm未満となってしまうと、石英カバー301の自重や温度変化などに対する所定の強度を得ることができなくなってしまい、5 mmよりも大きく構成するとヒータ207から放射される熱エネルギーを吸収してしまうため、ウエハ200への熱処理を適切に行うことができなくなってしまう。

[0037] また、石英カバー 301 は反応管側である内壁面に、電極 300 を固定するための鉤形状の固定部としての突起部 310 を複数有している。この突起部 310 は、突起頭部 311 と突起軸部 312 から構成されている。突起頭部 311 の径は、電極 300 の切欠き部 305 の円形切欠き部 303 の径より小さく、突起軸部 312 の径は、スライド切欠き部 304 の幅よりもそれぞれ細くなっている。電極 300 の切欠き部 305 は鍵穴のような形状をし、このスライド切欠き部 304 は上記の突起軸部 312 をスライド時に誘導でき、かつ、この突起頭部 311 はこのスライド切欠き部 304 で抜けない構造となっている。つまり、電極固定ユニットは、電極 300 が係止される柱状部である突起軸部 312 と電極 300 が抜けてしまうことを抑制する先端部である突起頭部 311 を備えた固定部を有しているといえる。なお、前述した切欠き部 305 と突起頭部 311 の形状は、図 3、4 に示した形状に限定されないことは明らかである。

[0038] 石英カバー 301 と電極 300 の距離を一定に離すために、両者の間にスペーサやバネ等の弾性体を石英カバー 301 または電極 300 に有してもよく、また、これらは石英カバー 301 または電極 300 と一体となった構造を有してもよい。本実施例においては、図 6 で示すようなスペーサ 330 が電極 300 と一体となった構造を有している。なお、このスペーサ 330 は、図 3 では、電極 300 の上部、下部に計 2 つ設けているが、更に電極 300 の中央部にも設けても良い。

[0039] 基板温度 500℃以下で高い基板処理能力を得るためには、石英カバー 301 の占有率を中心角 30° 以上 240° 以下の円弧形状とし、また、パーティクルの発生を避けるために排気口である排気管 231 やノズル 249a、249bなどを避けた配置が望ましい。つまり、電極固定ユニットである石英カバー 301 は、反応管 203 内に設けられたガス供給部であるノズル 249a、249b とガス排気部である排気管 231 が設置された位置以外の反応管 203 の外周に配置される。仮に 30° よりも小さい中心角となるように構成すると、配置する電極 300 の本数が少なくなってしまう、プラ

ズマの生成量が減少してしまう。このため、処理室内での基板処理にも影響が生じてしまうこととなる。また、 240° よりも大きい中心角となるように構成すると、反応管 203 の側面を石英カバー 301 が覆う面積が大きくなりすぎてしまい、ヒータ 207 からの熱エネルギーを遮断してしまう。したがって、ヒータ 207 からの熱エネルギーがウエハ 200 に到達し難くなり、処理室内での基板処理に影響が生じてしまうこととなる。本実施例においては中心角 110° の石英カバー 301 を 2 台で左右対称に設置している。主に電極 300 を固定する石英カバー 301 にて電極固定ユニットが構成される。電極 300 や後述するスペーサを含んで電極固定ユニットとして構成してもよく、電極 300 を含む場合には、プラズマ生成部を含んで電極固定ユニットとして構成してもよい。

[0040] (スペーサ)

次に電極固定ユニットである石英カバー 301 の表面から電極 300 を一定の距離を離すためのスペーサ 330 について図 6 を用いて説明する。スペーサ 330 は例えば、板バネ状の弾性体で構成されており、電極 300 または、石英カバー 301 のどちらか一方に固定されている。スペーサ 330 は、例えば、SUS などの金属材料、または弾性を有する耐熱材料で形成されており、電極と当接される電極当接部 330-1 と石英カバー 301 と当接される石英カバー当接部 330-2 によって構成されている。なお、本実施形態では、スペーサを板ばね形状として説明しているが、これに限らず、電極から一定の距離を維持することができる形状であればよい。例えば、アルミナやセラミック等の耐熱部材で円筒形状に構成され、スペーサの内側を突起軸部が貫通または遊嵌するように設けられてもよい。この場合、スペーサが突起軸部に固定されていてもよい。

[0041] (排気部)

反応管 203 には、図 1 に示すように処理室 201 内の雰囲気気を排気する排気管 231 が設けられている。排気管 231 には、処理室 201 内の圧力を検出する圧力検出器（圧力検出部）としての圧力センサ 245 および排気

バルブ（圧力調整部）としてのAPC（Auto Pressure Controller）バルブ244を介して、真空排気装置としての真空ポンプ246が接続されている。APCバルブ244は、真空ポンプ246を作動させた状態で弁を開閉することで、処理室201内の真空排気および真空排気停止を行うことができ、更に、真空ポンプ246を作動させた状態で、圧力センサ245により検出された圧力情報に基づいて弁開度を調節することで、処理室201内の圧力を調整することができるよう構成されているバルブである。主に、排気管231、APCバルブ244、圧力センサ245により、排気系が構成される。真空ポンプ246を排気系に含めて考えてもよい。排気管231は、反応管203に設ける場合に限らず、ノズル249a、249bと同様にマニホールド209に設けてもよい。

[0042] （周辺装置）

マニホールド209の下方には、マニホールド209の下端開口を気密に閉塞可能な炉口蓋体としてのシールキャップ219が設けられている。シールキャップ219は、マニホールド209の下端に垂直方向下側から当接されるように構成されている。シールキャップ219は、例えばSUS等の金属からなり、円盤状に形成されている。シールキャップ219の上面には、マニホールド209の下端と当接するシール部材としてのOリング220bが設けられている。

[0043] シールキャップ219の処理室201と反対側には、ボート217を回転させる回転機構267が設置されている。回転機構267の回転軸255は、シールキャップ219を貫通してボート217に接続されている。回転機構267は、ボート217を回転させることでウエハ200を回転させるように構成されている。シールキャップ219は、反応管203の外部に垂直に設置された昇降機構としてのボートエレベータ115によって垂直方向に昇降されるように構成されている。ボートエレベータ115は、シールキャップ219を昇降させることで、ボート217を処理室201内外に搬入および搬出することが可能なように構成されている。

[0044] ボートエレベータ 115 は、ボート 217 すなわちウエハ 200 を、処理室 201 内外に搬送する搬送装置（搬送機構）として構成されている。また、マニホールド 209 の下方には、ボートエレベータ 115 によりシールキャップ 219 を降下させている間、マニホールド 209 の下端開口を気密に閉塞可能な炉口蓋体としてのシャッタ 219 s が設けられている。シャッタ 219 s は、例えば SUS 等の金属により構成され、円盤状に形成されている。シャッタ 219 s の上面には、マニホールド 209 の下端と当接するシール部材としてのリング 220 c が設けられている。シャッタ 219 s の開閉動作（昇降動作や回動動作等）は、シャッタ開閉機構 115 s により制御される。

[0045] 反応管 203 の内部には、温度検出器としての温度センサ 263 が設置されている。温度センサ 263 により検出された温度情報に基づきヒータ 207 への通電具合を調整することで、処理室 201 内の温度が所望の温度分布となる。温度センサ 263 は、ノズル 249 a, 249 b と同様に、反応管 203 の内壁に沿って設けられている。

[0046] （制御装置）

次に制御装置について図 7 を用いて説明する。図 7 に示すように、制御部（制御装置）であるコントローラ 121 は、CPU（Central Processing Unit）121 a、RAM（Random Access Memory）121 b、記憶装置 121 c、I/O ポート 121 d を備えたコンピュータとして構成されている。RAM 121 b、記憶装置 121 c、I/O ポート 121 d は、内部バス 121 e を介して、CPU 121 a とデータ交換可能なように構成されている。コントローラ 121 には、例えばタッチパネル等として構成された入出力装置 122 が接続されている。

[0047] 記憶装置 121 c は、例えばフラッシュメモリ、HDD（Hard Disk Drive）等で構成されている。記憶装置 121 c 内には、基板処理装置の動作を制御する制御プログラムや、後述する成膜処理の手順や条件等が

記載されたプロセスレシピ等が、読み出し可能に格納されている。プロセスレシピは、後述する各種処理（成膜処理）における各手順をコントローラ 121 に実行させ、所定の結果を得ることが出来るように組み合わされたものであり、プログラムとして機能する。以下、プロセスレシピや制御プログラム等を総称して、単に、プログラムともいう。また、プロセスレシピを、単に、レシピともいう。本明細書においてプログラムという言葉を用いた場合は、レシピ単体のみを含む場合、制御プログラム単体のみを含む場合、または、それらの両方を含む場合がある。RAM 121b は、CPU 121a によって読み出されたプログラムやデータ等が一時的に保持されるメモリ領域（ワークエリア）として構成されている。

[0048] I/Oポート 121d は、上述のMFC 241a～241d、バルブ 243a～243d、圧力センサ 245、APCバルブ 244、真空ポンプ 246、ヒータ 207、温度センサ 263、回転機構 267、ボートエレベータ 115、シャッタ開閉機構 115s、高周波電源 320等に接続されている。

[0049] CPU 121a は、記憶装置 121c から制御プログラムを読み出して実行すると共に、入出力装置 122 からの操作コマンドの入力等に応じて記憶装置 121c からレシピを読み出すように構成されている。CPU 121a は、読み出したレシピの内容に沿うように、回転機構 267 の制御、MFC 241a～241d による各種ガスの流量調整動作、バルブ 243a～243d の開閉動作、APCバルブ 244 の開閉動作および圧力センサ 245 に基づく APCバルブ 244 による圧力調整動作、真空ポンプ 246 の起動および停止、温度センサ 263 に基づくヒータ 207 の温度調整動作、回転機構 267 によるボート 217 の正逆回転、回転角度および回転速度調節動作、ボートエレベータ 115 によるボート 217 の昇降動作、シャッタ開閉機構 115s によるシャッタ 219s の開閉動作、高周波電源 320 の電力供給等を制御するように構成されている。

[0050] コントローラ 121 は、外部記憶装置（例えば、ハードディスク等の磁気

ディスク、CD等の光ディスク、MO等の光磁気ディスク、USBメモリ等の半導体メモリ) 123に格納された上述のプログラムを、コンピュータにインストールすることにより構成することができる。記憶装置121cや外部記憶装置123は、コンピュータ読み取り可能な記録媒体として構成されている。以下、これらを総称して、単に、記録媒体ともいう。本明細書において記録媒体という言葉を用いた場合は、記憶装置121c単体のみを含む場合、外部記憶装置123単体のみを含む場合、または、それらの両方を含む場合がある。なお、コンピュータへのプログラムの提供は、外部記憶装置123を用いず、インターネットや専用回線等の通信手段を用いて行ってもよい。

[0051] (2) 基板処理工程

上述の基板処理装置を用い、半導体装置(デバイス)の製造工程の一工程として、基板上に膜を形成するプロセス例について、図8を用いて説明する。以下の説明において、基板処理装置を構成する各部の動作はコントローラ121により制御される。

[0052] 本明細書では、図8に示す成膜処理のシーケンスを、便宜上、以下のように示すこともある。以下の変形例や他の実施形態の説明においても、同様の表記を用いることとする。

[0053] $(BTBAS \rightarrow O_2^*) \times n \Rightarrow SiO$

[0054] 本明細書において「ウエハ」という言葉を用いた場合は、ウエハそのものを意味する場合や、ウエハとその表面に形成された所定の層や膜との積層体を意味する場合がある。本明細書において「ウエハの表面」という言葉を用いた場合は、ウエハそのものの表面を意味する場合や、ウエハ上に形成された所定の層等の表面を意味する場合がある。本明細書において「ウエハ上に所定の層を形成する」と記載した場合は、ウエハそのものの表面上に所定の層を直接形成することを意味する場合や、ウエハ上に形成されている層等の上に所定の層を形成することを意味する場合がある。本明細書において「基板」という言葉を用いた場合も、「ウエハ」という言葉を用いた場合と同義

である。

[0055] (搬入ステップ：S1)

複数枚のウエハ200がポート217に装填（ウエハチャージ）されると、シャッタ開閉機構115sによりシャッタ219sが移動させられて、マニホールド209の下端開口が開放される（シャッタオープン）。その後、図1に示すように、複数枚のウエハ200を支持したポート217は、ポートエレベータ115によって持ち上げられて処理室201内へ搬入（ポートロード）される。この状態で、シールキャップ219は、リング220bを介してマニホールド209の下端をシールした状態となる。

[0056] (圧力・温度調整ステップ：S2)

処理室201の内部、すなわち、ウエハ200が存在する空間が所望の圧力（真空度）となるように、真空ポンプ246によって真空排気（減圧排気）される。この際、処理室201内の圧力は圧力センサ245で測定され、この測定された圧力情報に基づきAPCバルブ244がフィードバック制御される。真空ポンプ246は、少なくとも後述する成膜ステップが終了するまでの間は常時作動させた状態を維持する。

[0057] また、処理室201内のウエハ200が所望の温度となるようにヒータ207によって加熱される。この際、処理室201内が所望の温度分布となるように、温度センサ263が検出した温度情報に基づきヒータ207への通電具合がフィードバック制御される。ヒータ207による処理室201内の加熱は、少なくとも後述する成膜ステップが終了するまでの間は継続して行われる。但し、成膜ステップを室温以下の温度条件下で行う場合は、ヒータ207による処理室201内の加熱は行わなくてもよい。なお、このような温度下での処理だけを行う場合には、ヒータ207は不要となり、ヒータ207を基板処理装置に設置しなくてもよい。この場合、基板処理装置の構成を簡素化することができる。

[0058] 続いて、回転機構267によるポート217およびウエハ200の回転を開始する。回転機構267によるポート217およびウエハ200の回転は

、少なくとも後述する成膜ステップが終了するまでの間は継続して行われる。

[0059] (成膜ステップ: S3, S4, S5, S6)

その後、ステップS3, S4, S5, S6を順次実行することで成膜ステップを行う。

[0060] (原料ガス供給ステップ: S3, S4)

ステップS3では、処理室201内のウエハ200に対してBTBASガスを供給する。

[0061] バルブ243aを開き、ガス供給管232a内へBTBASガスを流す。BTBASガスは、MFC241aにより流量調整され、ノズル249aを介してガス供給孔250aから処理室201内へ供給され、排気管231から排気される。このとき、ウエハ200に対してBTBASガスが供給されることとなる。このとき同時にバルブ243cを開き、ガス供給管232c内へN₂ガスを流す。N₂ガスは、MFC241cにより流量調整され、BTBASガスと一緒に処理室201内へ供給され、排気管231から排気される。

[0062] また、ノズル249b内へのBTBASガスの侵入を防止するため、バルブ243dを開き、ガス供給管232d内へN₂ガスを流す。N₂ガスは、ガス供給管232b、ノズル249bを介して処理室201内へ供給され、排気管231から排気される。

[0063] MFC241aで制御するBTBASガスの供給流量は、例えば1sccm以上、2000sccm以下、好ましくは10sccm以上、1000sccm以下の範囲内の流量とする。MFC241c, 241dで制御するN₂ガスの供給流量は、それぞれ例えば100sccm以上、10000sccm以下の範囲内の流量とする。処理室201内の圧力は、上述した通り、例えば1以上、2666Pa以下、好ましくは67Pa以上、1333Pa以下の範囲内の圧力とする。BTBASガスをウエハ200に対して供給する時間は、例えば1秒以上、100秒以下、好ましくは1秒以上、50秒以下

の範囲内の時間とする。

[0064] ヒータ207の温度は、ウエハ200の温度が、例えば0℃以上150℃以下、好ましくは室温（25℃）以上100℃以下、より好ましくは40℃以上90℃以下の範囲内の温度となるような温度に設定する。BTBASガスは、ウエハ200等へ吸着し易く反応性の高いガスである。このため、例えば室温程度の低温下であっても、ウエハ200上にBTBASガスを化学吸着させることができ、実用的な成膜レートを得ることができる。本実施形態のように、ウエハ200の温度を150℃以下、さらには100℃以下、さらには90℃以下とすることで、ウエハ200に加わる熱量を低減させることができ、ウエハ200が受ける熱履歴の制御を良好に行うことができる。また、0℃以上の温度であれば、ウエハ200上にBTBASを十分に吸着させることができ、十分な成膜レートが得られることとなる。よって、ウエハ200の温度は0℃以上150℃以下、好ましくは室温以上100℃以下、より好ましくは40℃以上90℃以下の範囲内の温度とするのがよい。

[0065] 上述の条件下でウエハ200に対してBTBASガスを供給することにより、ウエハ200（表面の下地膜）上に、例えば1原子層（1分子層）未満から数原子層（数分子層）程度の厚さのSi含有層が形成される。Si含有層はSi層であってもよいし、BTBASの吸着層であってもよいし、それらの両方を含んでいてもよい。

[0066] Si層とは、Siにより構成される連続的な層の他、不連続な層や、これらが重なってできるSi薄膜をも含む総称である。Si層を構成するSiは、アミノ基との結合が完全に切れていないものや、Hとの結合が完全に切れていないものも含む。

[0067] BTBASの吸着層は、BTBAS分子で構成される連続的な吸着層の他、不連続な吸着層をも含む。BTBASの吸着層を構成するBTBAS分子は、Siとアミノ基との結合が一部切れたものや、SiとHとの結合が一部切れたものや、NとCとの結合が一部切れたもの等も含む。すなわち、BTBASの吸着層は、BTBASの物理吸着層であってもよいし、BTBAS

の化学吸着層であってもよいし、それらの両方を含んでいてもよい。

[0068] ここで、1原子層（1分子層）未満の厚さの層とは不連続に形成される原子層（分子層）のことを意味しており、1原子層（1分子層）の厚さの層とは連続的に形成される原子層（分子層）のことを意味している。Si含有層は、Si層とBTBASの吸着層との両方を含み得る。但し、上述の通り、Si含有層については「1原子層」、「数原子層」等の表現を用いることとし、「原子層」を「分子層」と同義で用いる。

[0069] BTBASが自己分解（熱分解）する条件下、すなわち、BTBASの熱分解反応が生じる条件下では、ウエハ200上にSiが堆積することでSi層が形成される。BTBASが自己分解（熱分解）しない条件下、すなわち、BTBASの熱分解反応が生じない条件下では、ウエハ200上にBTBASが吸着することでBTBASの吸着層が形成される。但し、本実施形態では、ウエハ200の温度を例えば150℃以下の低温としているので、BTBASの熱分解は生じにくい。結果として、ウエハ200上へは、Si層ではなく、BTBASの吸着層の方が形成されやすくなる。

[0070] ウエハ200上に形成されるSi含有層の厚さが数原子層を超えると、後述する改質処理での改質の作用がSi含有層の全体に届かなくなる。また、ウエハ200上に形成可能なSi含有層の厚さの最小値は1原子層未満である。よって、Si含有層の厚さは1原子層未満から数原子層程度とするのが好ましい。Si含有層の厚さを1原子層以下、すなわち、1原子層または1原子層未満とすることで、後述する改質処理での改質の作用を相対的に高めることができ、改質処理の改質反応に要する時間を短縮することができる。また、成膜処理のSi含有層の形成に要する時間を短縮することもできる。結果として、1サイクルあたりの処理時間を短縮することができ、トータルでの処理時間を短縮することも可能となる。すなわち、成膜レートを高くすることも可能となる。また、Si含有層の厚さを1原子層以下とすることで、膜厚均一性の制御性を高めることも可能となる。

[0071] Si含有層が形成された後、バルブ243aを閉じ、処理室201内への

B T B A S ガスの供給を停止する。このとき、A P C バルブ 2 4 4 を開いたままとし、真空ポンプ 2 4 6 により処理室 2 0 1 内を真空排気し、処理室 2 0 1 内に残留する未反応もしくは S i 含有層の形成に寄与した後の B T B A S ガスや反応副生成物等を処理室 2 0 1 内から排除する (S 4)。また、バルブ 2 4 3 c, 2 4 3 d は開いたままとして、処理室 2 0 1 内への N₂ ガスの供給を維持する。N₂ ガスはパージガスとして作用する。なお、このステップ S 4 を省略し、原料ガス供給ステップとしてもよい。

[0072] 原料ガスとしては、B T B A S ガスのほか、テトラキスジメチルアミノシラン (S i [N (C H₃)₂]₄、略称: 4 D M A S) ガス、トリスジメチルアミノシラン (S i [N (C H₃)₂]₃H、略称: 3 D M A S) ガス、ビスジメチルアミノシラン (S i [N (C H₃)₂]₂H₂、略称: B D M A S) ガス、ビスジエチルアミノシラン (S i [N (C₂H₅)₂]₂H₂、略称: B D E A S) ガス等を好適に用いることができる。このほか、原料ガスとしては、ジメチルアミノシラン (D M A S) ガス、ジエチルアミノシラン (D E A S) ガス、ジプロピルアミノシラン (D P A S) ガス、ジイソプロピルアミノシラン (D I P A S) ガス、ブチルアミノシラン (B A S) ガス、ヘキサメチルジシラザン (H M D S) ガス等の各種アミノシラン原料ガスや、モノクロロシラン (S i H₃C l、略称: M C S) ガス、ジクロロシラン (S i H₂C l₂、略称: D C S) ガス、トリクロロシラン (S i H C l₃、略称: T C S) ガス、テトラクロロシランすなわちシリコンテトラクロライド (S i C l₄、略称: S T C) ガス、ヘキサクロロジシラン (S i₂C l₆、略称: H C D S) ガス、オクタクロロトリシラン (S i₃C l₈、略称: O C T S) ガス等の無機系ハロシラン原料ガスや、モノシラン (S i H₄、略称: M S) ガス、ジシラン (S i₂H₆、略称: D S) ガス、トリシラン (S i₃H₈、略称: T S) ガス等のハロゲン基非含有の無機系シラン原料ガスを好適に用いることができる。

[0073] 不活性ガスとしては、N₂ ガスの他、A r ガス、H e ガス、N e ガス、X e ガス等の希ガスを用いることができる。

[0074] (反応ガス供給ステップ：S5，S6)

成膜処理が終了した後、処理室201内のウエハ200に対して反応ガスとしてのプラズマ励起させた O_2 ガスを供給する(S5)。

[0075] このステップでは、バルブ243b～243dの開閉制御を、ステップS3におけるバルブ243a，243c，243dの開閉制御と同様の手順で行う。 O_2 ガスは、MFC241bにより流量調整され、ノズル249bを介してガス供給孔250bから処理室201内へ供給される。このとき、高周波電源320から電極300へ高周波電力(本実施の形態では周波数13.56MHz)を供給(印加)する。処理室201内へ供給された O_2 ガスは処理室201の内部でプラズマ状態に励起され、活性種(O_2^*)としてガス供給孔250cを介してウエハ200に対して供給され、排気管231から排気される。なお、プラズマ状態に励起された O_2 ガスを、酸素プラズマとも称する。

[0076] MFC241bで制御する O_2 ガスの供給流量は、例えば100sccm以上、10000sccm以下の範囲内の流量とする。高周波電源320から電極300へ印加する高周波電力は、例えば50W以上、1000W以下の範囲内の電力とする。処理室201内の圧力は、例えば10Pa以上、300Pa以下の範囲内の圧力とする。プラズマを用いることで、処理室201内の圧力をこのような比較的低い圧力帯としても、 O_2 ガスを活性化させることが可能となる。 O_2 ガスをプラズマ励起することにより得られた活性種をウエハ200に対して供給する時間は、例えば1秒以上、100秒以下、好ましくは1秒以上、50秒以下の範囲内の時間とする。その他の処理条件は、上述のステップS3と同様な処理条件とする。

[0077] 酸素プラズマ中で生成されたイオンと電氣的に中性な活性種はウエハ200の表面に形成されたSi含有層に対して後述する酸化処理を行う。

[0078] 上述の条件下でウエハ200に対して O_2 ガスを供給することにより、ウエハ200上に形成されたSi含有層がプラズマ酸化される。この際、プラズマ励起された O_2 ガスのエネルギーにより、Si含有層が有するSi-N結合

、S i-H結合が切断される。S iとの結合を切り離されたN、H、および、Nに結合するCは、S i含有層から脱離することとなる。そして、N等が脱離することで未結合手（ダングリングボンド）を有することとなったS i含有層中のS iが、O₂ガスに含まれるOと結合し、S i-O結合が形成されることとなる。この反応が進行することにより、S i含有層は、S iおよびOを含む層、すなわち、シリコン酸化層（S i O層）へと変化させられる（改質される）。

[0079] なお、S i含有層をS i O層へと改質させるには、O₂ガスをプラズマ励起させて供給する必要がある。O₂ガスをノンプラズマの雰囲気下で供給しても、上述の温度帯では、S i含有層を酸化させるのに必要なエネルギーが不足しており、S i含有層からNやCを十分に脱離させたり、S i含有層を十分に酸化させてS i-O結合を増加させたりすることは、困難なためである。

[0080] S i含有層をS i O層へ変化させた後、バルブ243bを閉じ、O₂ガスの供給を停止する。また、電極300への高周波電力の供給を停止する。そして、ステップS4と同様の処理手順、処理条件により、処理室201内に残留するO₂ガスや反応副生成物を処理室201内から排除する（S6）。なお、このステップS6を省略して反応ガス供給ステップとしてもよい。

[0081] 酸化剤、すなわち、プラズマ励起させるO含有ガスとしては、O₂ガスの他、亜酸化窒素（N₂O）ガス、一酸化窒素（NO）ガス、二酸化窒素（NO₂）ガス、オゾン（O₃）ガス、過酸化水素（H₂O₂）ガス、水蒸気（H₂Oガス）、一酸化炭素（CO）ガス、二酸化炭素（CO₂）ガス等を用いてもよい。

[0082] 不活性ガスとしては、N₂ガスの他、例えば、ステップS4で例示した各種希ガスを用いることができる。

[0083] （所定回数実施：S7）

上述したS3、S4、S5、S6をこの順番に沿って非同時に、すなわち、同期させることなく行うことを1サイクルとし、このサイクルを所定回数（n回）、すなわち、1回以上行うことにより、ウエハ200上に、所定組

成および所定膜厚のS i O膜を形成することができる。上述のサイクルは、複数回繰り返すことが好ましい。すなわち、1サイクルあたりに形成されるS i O層の厚さを所望の膜厚よりも小さくし、S i O層を積層することで形成されるS i O膜の膜厚が所望の膜厚になるまで、上述のサイクルを複数回繰り返すことが好ましい。

[0084] (大気圧復帰ステップ：S 8)

上述の成膜処理が完了したら、ガス供給管2 3 2 c, 2 3 2 dのそれぞれから不活性ガスとしてのN₂ガスを処理室2 0 1内へ供給し、排気管2 3 1から排気する。これにより、処理室2 0 1内が不活性ガスでパージされ、処理室2 0 1内に残留するO₂ガス等が処理室2 0 1内から除去される（不活性ガスパージ）。その後、処理室2 0 1内の雰囲気の不活性ガスに置換され（不活性ガス置換）、処理室2 0 1内の圧力が常圧に復帰される（大気圧復帰：S 8）。

[0085] (搬出ステップ：S 9)

その後、ボートエレベータ1 1 5によりシールキャップ2 1 9が下降されて、マニホールド2 0 9の下端が開口されるとともに、処理済のウエハ2 0 0が、ボート2 1 7に支持された状態でマニホールド2 0 9の下端から反応管2 0 3の外部に搬出（ボートアンロード）される。ボートアンロードの後、シャッタ2 1 9 sが移動させられ、マニホールド2 0 9の下端開口がOリング2 2 0 cを介してシャッタ2 1 9 sによりシールされる（シャッタクローズ）。処理済のウエハ2 0 0は、反応管2 0 3の外部に搬出された後、ボート2 1 7より取り出されることとなる（ウエハディスチャージ）。なお、ウエハディスチャージの後、処理室2 0 1内へ空のボート2 1 7を搬入するようにしてもよい。

[0086] 縦型基板処理装置において、反応室温度を5 0 0℃、反応室圧力を窒素ガス1 0 0 P a、高周波電源3 2 0の周波数を1 3. 5 6 M H zにて実施し、長さ1 m、電極幅1 5 m m、厚さ1 m mからなる電極を採用し、チューブ形状の反応管の外壁に極性が交互になるよう、電極ピッチ（中心間距離）2 5 m

mで複数本を極性が交互になるように配置して、CCPモードのプラズマを生成した。

[0087] ここで、基板処理時の炉内圧力は、10Pa以上、300Pa以下の範囲で制御されることが好ましい。これは、炉内の圧力が10Paより低い場合、プラズマのデバイ長よりもガス分子の平均自由行程が長くなってしまい、炉壁を直接叩くプラズマが顕著化するため、パーティクルの発生を抑制することが困難となってしまうためである。また、炉内の圧力が300Paより高い場合、プラズマの生成効率が飽和してしまうため、反応ガスを供給してもプラズマの生成量は変化することがなく、反応ガスを無駄に消費することとなってしまうと同時に、ガス分子の平均自由行程が短くなることで、ウエハまでのプラズマ活性種の輸送効率が悪くなってしまうためである。

[0088] (3) 本実施形態による効果

本実施形態によれば、以下に示す1つ又は複数の効果が得られる。

(a) プラズマを生成するための電極を固定治具に固定する構造とすることによって、プラズマ電極が変形することを抑制可能な構造とすることが可能となる。

(b) 電極が変形することを抑制可能となるため、処理室内に供給する活性種を安定的に供給することが可能となり、ウエハ処理を均一に行うことが可能となる。

(c) 電極固定ユニットの中心角を30°以上240°以下の円弧形状とし、電極を配置することで、ウエハ処理に影響しないように電極固定ユニットの外周にある加熱装置からの熱エネルギーの遮断を最低限に抑えることが可能となる。

[0089] (4) 変形例

本実施形態における基板処理工程は、上述の態様に限定されず、以下に示す変形例のように変更することができる。

[0090] (変形例1)

前記の実施形態では、電極300を石英カバー301の突起部310に固

定する方法を採用しているが、図9に示すように、石英カバー301を外側石英カバー301-1と内側石英カバー301-2で構成し、電極300を反応管203側と加熱装置であるヒータ207側で挟み込むように構成することによって保持する方法を採用してもよい。この場合、電極300の位置ズレの防止を図るために、外側石英カバー301-1と内側石英カバー301-2の電極保持側には電極300と同形の保持溝が設けられている。なお、この溝は、片方の絶縁カバーに設けられても、両方の絶縁カバーに設けられてもよい。

[0091] 以上、本発明の実施形態について具体的に説明した。しかしながら、本発明は上述の実施形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能である。

[0092] また、例えば、上述の実施形態では、原料を供給した後に反応体を供給する例について説明した。本発明はこのような態様に限定されず、原料、反応体の供給順序は逆でもよい。すなわち、反応体を供給した後に原料を供給するようにしてもよい。供給順序を変えることにより、形成される膜の膜質や組成比を変化させることが可能となる。

[0093] 上述の実施形態等では、ウエハ200上にSiO膜を形成する例について説明した。本発明はこのような態様に限定されず、ウエハ200上に、シリコン酸炭化膜(SiOC膜)、シリコン酸炭窒化膜(SiOCN膜)、シリコン酸窒化膜(SiON膜)等のSi系酸化膜を形成する場合にも、好適に適用可能である。

[0094] 例えば、上述したガスの他、もしくは、これらのガスに加え、アンモニア(NH₃)ガス等の窒素(N)含有ガス、プロピレン(C₃H₆)ガス等の炭素(C)含有ガス、三塩化硼素(BCl₃)ガス等の硼素(B)含有ガス等を用い、例えば、SiN膜、SiON膜、SiOCN膜、SiOC膜、SiCN膜、SiBN膜、SiBCN膜、BCN膜等を形成することができる。なお、各ガスを流す順番は適宜変更することができる。これらの成膜を行う場合においても、上述の実施形態と同様な処理条件にて成膜を行うことができ、

上述の実施形態と同様の効果が得られる。これらの場合、反応ガスとしての酸化剤には、上述した反応ガスを用いることができる。

[0095] また、本発明は、ウエハ200上に、チタン (Ti)、ジルコニウム (Zr)、ハフニウム (Hf)、タンタル (Ta)、ニオブ (Nb)、アルミニウム (Al)、モリブデン (Mo)、タングステン (W) 等の金属元素を含む金属系酸化膜や金属系窒化膜を形成する場合においても、好適に適用可能である。すなわち、本発明は、ウエハ200上に、TiO膜、TiOC膜、TiOCN膜、TiON膜、TiN膜、TiBN膜、TiBCN膜、ZrO膜、ZrOC膜、ZrOCN膜、ZrON膜、ZrN膜、ZrBN膜、ZrBCN膜、HfO膜、HfOC膜、HfOCN膜、HfON膜、HfN膜、HfBN膜、HfBCN膜、TaO膜、TaOC膜、TaOCN膜、TaON膜、TaN膜、TaBN膜、TaBCN膜、NbO膜、NbOC膜、NbOCN膜、NbON膜、NbN膜、NbBN膜、NbBCN膜、AlO膜、AlOC膜、AlOCN膜、AlON膜、AlN膜、AlBN膜、AlBCN膜、MoO膜、MoOC膜、MoOCN膜、MoON膜、MoN膜、MoBN膜、MoBCN膜、WO膜、WOC膜、WOCN膜、WON膜、WN膜、WBN膜、WBCN膜等を形成する場合にも、好適に適用することが可能となる。

[0096] これらの場合、例えば、原料ガスとして、テトラキス (ジメチルアミノ) チタン (Ti [N (CH₃)₂]₄、略称: TDMA T) ガス、テトラキス (エチルメチルアミノ) ハフニウム (Hf [N (C₂H₅) (CH₃)]₄、略称: TEMAH) ガス、テトラキス (エチルメチルアミノ) ジルコニウム (Zr [N (C₂H₅) (CH₃)]₄、略称: TEMAZ) ガス、トリメチルアルミニウム (Al (CH₃)₃、略称: TMA) ガス、チタニウムテトラクロライド (TiCl₄) ガス、ハフニウムテトラクロライド (HfCl₄) ガス等を用いることができる。

[0097] すなわち、本発明は、半金属元素を含む半金属系膜や金属元素を含む金属系膜を形成する場合に、好適に適用することができる。これらの成膜処理の

処理手順、処理条件は、上述の実施形態や変形例に示す成膜処理と同様な処理手順、処理条件とすることができる。これらの場合においても、上述の実施形態と同様の効果が得られる。

[0098] 成膜処理に用いられるレシピは、処理内容に応じて個別に用意し、電気通信回線や外部記憶装置 1 2 3 を介して記憶装置 1 2 1 c 内に格納しておくことが好ましい。そして、各種処理を開始する際、CPU 1 2 1 a が、記憶装置 1 2 1 c 内に格納された複数のレシピの中から、処理内容に応じて適正なレシピを適宜選択することが好ましい。これにより、1 台の基板処理装置で様々な膜種、組成比、膜質、膜厚の薄膜を汎用的に、かつ、再現性よく形成することができるようになる。また、オペレータの負担を低減でき、操作ミスを回避しつつ、各種処理を迅速に開始できるようになる。

[0099] 上述のレシピは、新たに作成する場合に限らず、例えば、基板処理装置に既にインストールされていた既存のレシピを変更することで用意してもよい。レシピを変更する場合は、変更後のレシピを、電気通信回線や当該レシピを記録した記録媒体を介して、基板処理装置にインストールしてもよい。また、既存の基板処理装置が備える入出力装置 1 2 2 を操作し、基板処理装置に既にインストールされていた既存のレシピを直接変更するようにしてもよい。

産業上の利用可能性

[0100] 以上述べたように、本発明によれば均一な基板処理を可能とする技術を提供することが可能となる。

符号の説明

[0101] 2 0 0 …ウエハ、2 0 1 …処理室、2 0 3 …反応管、2 0 7 …ヒータ（加熱装置）、2 1 7 …ボート、2 3 2 a、2 3 2 b、2 3 2 c、2 3 2 d …ガス供給管、2 4 9 a、2 4 9 b …ノズル、2 5 0 a、2 5 0 b、2 5 0 c …ガス供給孔、3 0 0 …電極、3 0 1 …石英カバー、3 0 3 …円形切欠き部、3 0 4 …スライド切欠き部、3 0 5 …切欠き部、3 1 1 …突起頭部、3 1 2 …突起軸部、3 2 0 …高周波電源、3 3 0 …スペーサ

請求の範囲

- [請求項1] 基板を処理する処理室を形成する反応管と、
前記反応管の外周に設置され前記処理室内にプラズマを形成する電極と、
前記電極を固定する電極固定ユニットと、
前記電極固定ユニットの外周に設けられ、前記反応管内を加熱する加熱装置を有し、
前記電極は、前記電極固定ユニットの表面から一定の距離を離すためのスペーサを有する基板処理装置。
- [請求項2] 前記電極固定ユニットは、前記電極に係止される突起軸部と前記電極が抜けることを抑制する突起頭部を備えた固定部を有し、
前記スペーサは弾性体で構成され、前記電極が前記突起頭部方向への押付け力を生成する請求項1に記載の基板処理装置。
- [請求項3] 前記電極固定ユニットは、中心角が 30° 以上 240° 以下となる円弧形状である請求項1または2に記載の基板処理装置。
- [請求項4] 前記電極固定ユニットは石英で形成される石英カバーである請求項1～3のいずれか1つに記載の基板処理装置。
- [請求項5] 前記電極固定ユニットは、前記反応管内に設けられたガス供給部とガス排気部が設置された位置以外の前記反応管外周に配置される請求項1に記載の基板処理装置。
- [請求項6] 前記電極は、前記反応管側と前記加熱装置側を前記電極固定ユニットで挟まれて固定される請求項1に記載の基板処理装置。
- [請求項7] 基板を処理する処理室を形成する反応管と、前記反応管の外周に設置され前記処理室内にプラズマを形成する電極を固定する電極固定ユニットと、前記電極固定ユニットの外周に設けられ、前記反応管内を加熱する加熱装置を有し、前記電極固定ユニットに固定された電極は、前記電極固定ユニットの表面から一定の距離を離すためのスペーサを有する基板処理装置の前記処理室内に前記基板を搬入する工程と、

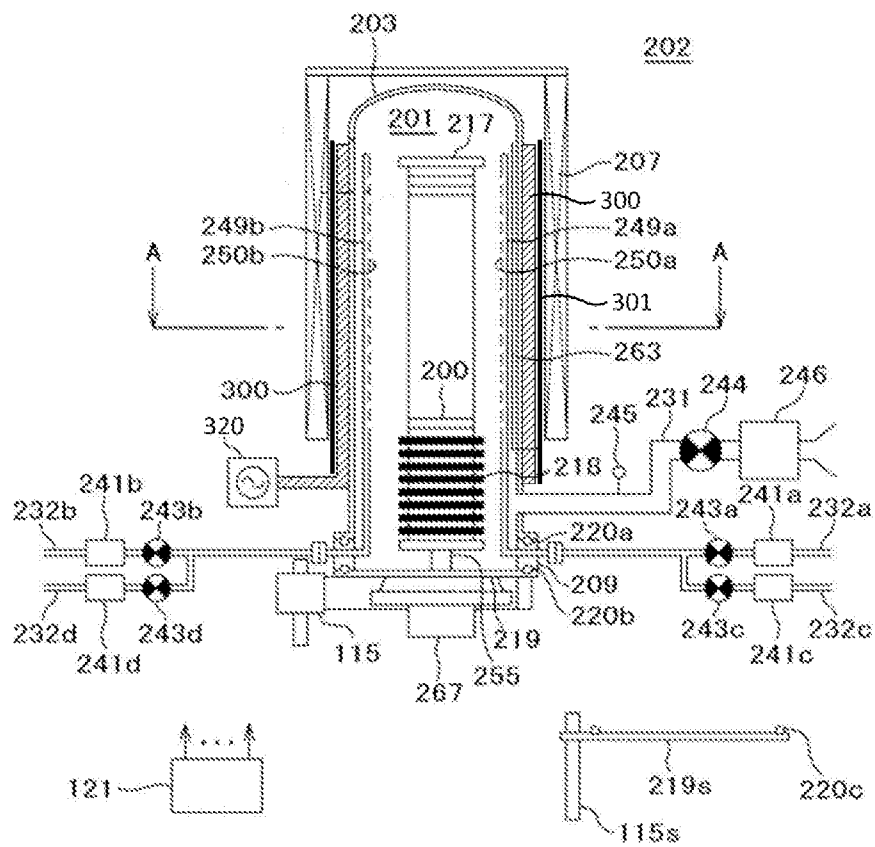
前記処理室内にプラズマを生成して前記基板を処理する工程と、
前記基板を前記処理室から搬出する工程と、
を有する半導体装置の製造方法。

[請求項8] 処理室内にプラズマを生成する電極と、
前記電極を固定する電極固定ユニットと、
前記電極と前記電極固定ユニットとを一定の距離設けるためのスペーサを有する電極固定ユニットであって、
前記電極固定ユニットは、前記電極に係止する突起軸部と、
前記電極が抜けることを抑制する突起頭部を備えた固定部とを有し、
前記電極は、前記突起軸部に係止される切欠き部と、
を有する電極固定ユニット。

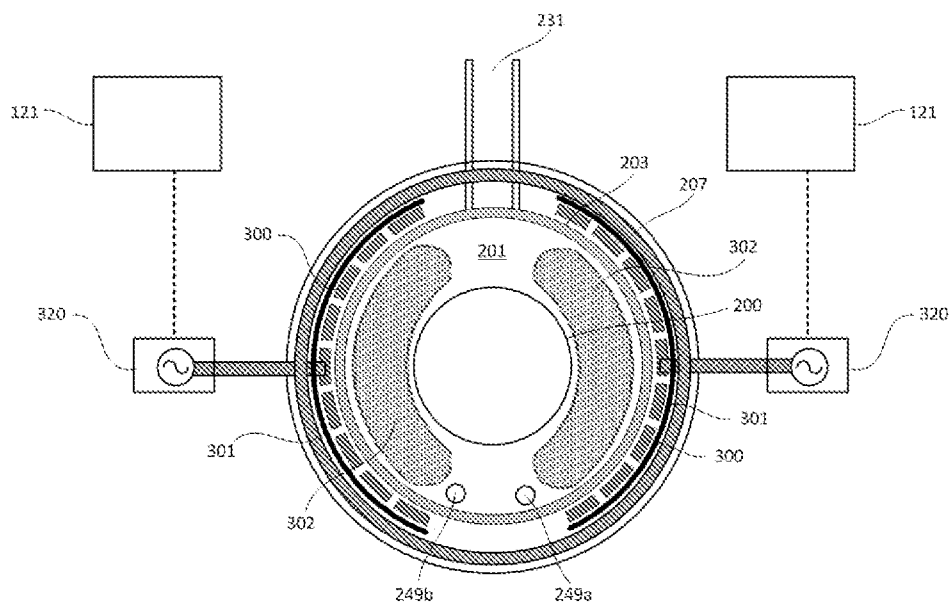
[請求項9] 前記電極固定ユニットは、中心角が 30° 以上 240° 以下となる円弧状である請求項8に記載の電極固定ユニット。

[請求項10] 前記電極固定ユニットは、前記反応管内に設けられたガス供給部とガス排気部が設置された位置以外の前記反応管外周に配置される請求項8に記載の電極固定ユニット。

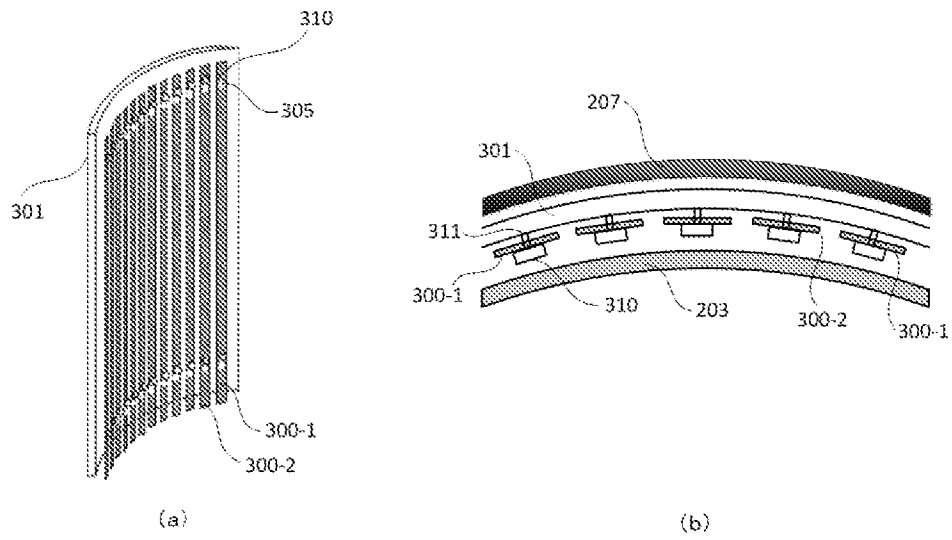
[図1]



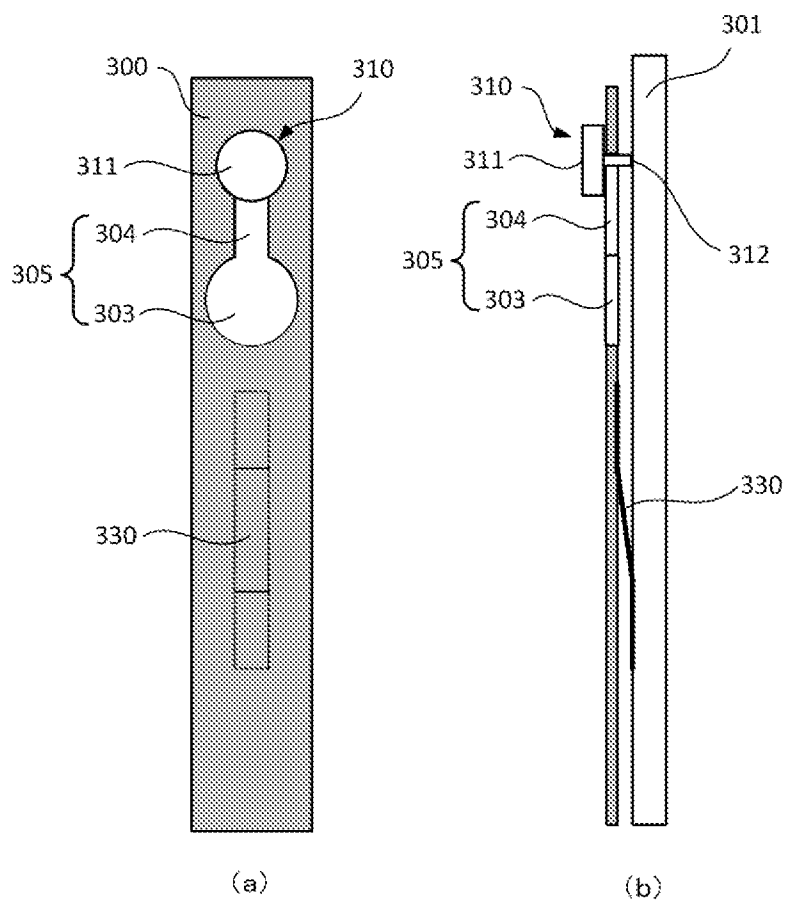
[図2]



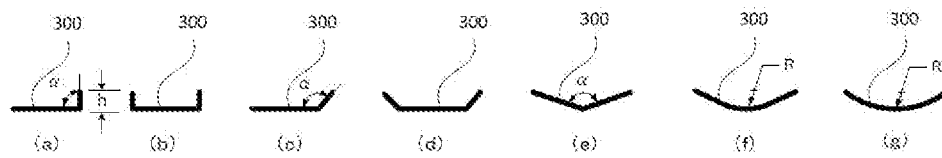
[図3]



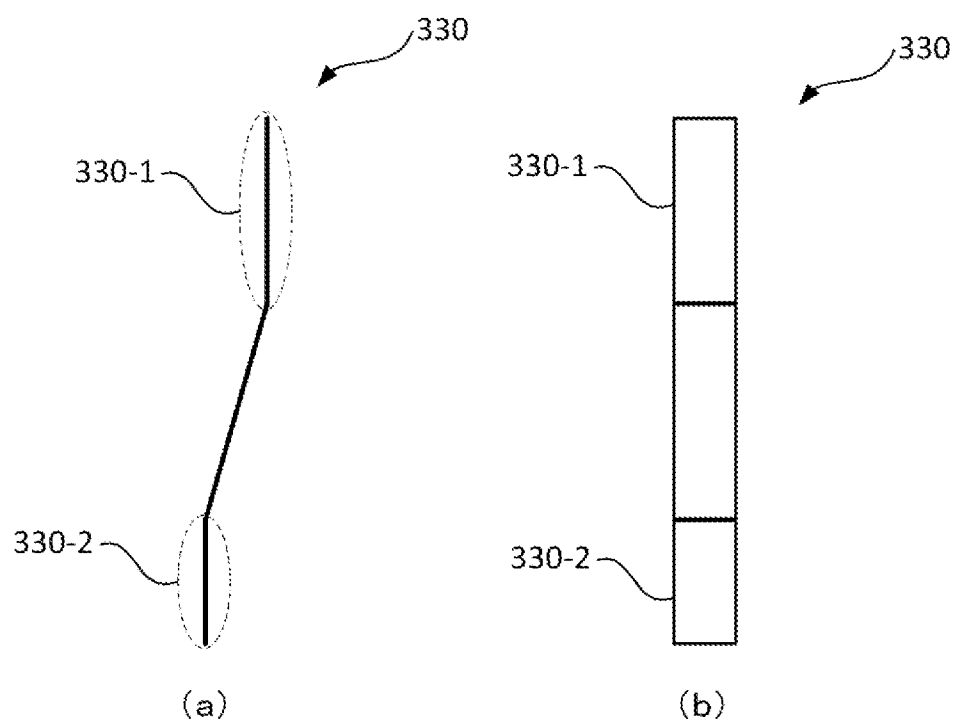
[図4]



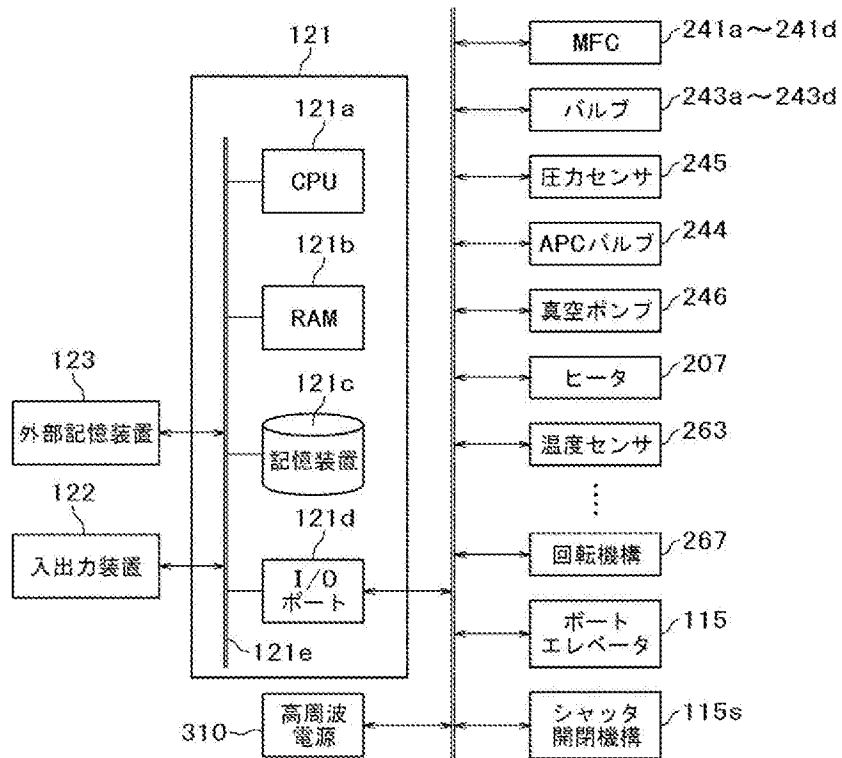
[図5]



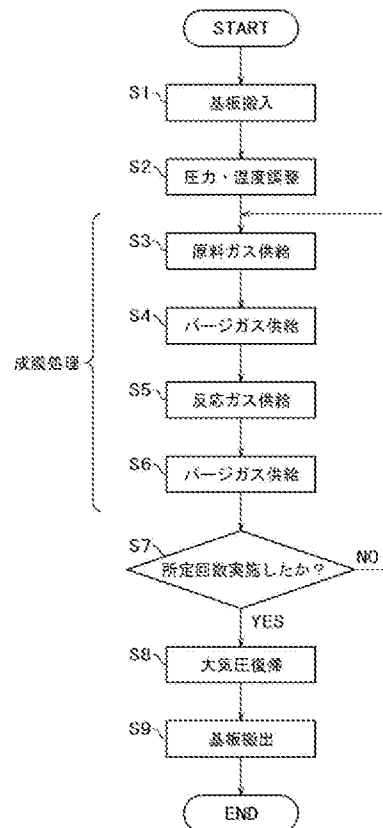
[図6]



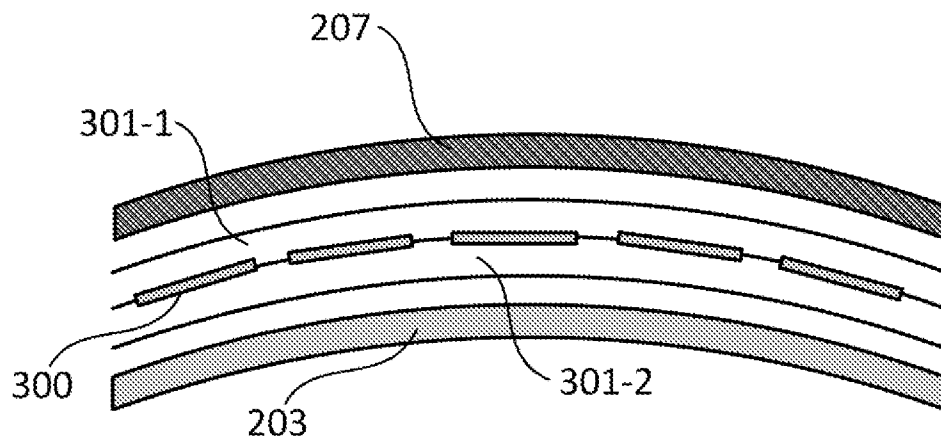
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/077857

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/31(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

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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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.
A	JP 62-196820 A (Kabushiki Kaisha Furendotetsuku Kenkyusho), 31 August 1987 (31.08.1987), claims 1, 2; page 3, upper right column; page 4, upper right column; fig. 1 to 3 (Family: none)	1-10
A	JP 2-159027 A (Tel Sagami Ltd., Toshiba Corp.), 19 June 1990 (19.06.1990), page 3, upper left column; fig. 1, 2 (Family: none)	1-10

☒ 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
30 November 2016 (30.11.16)

Date of mailing of the international search report
13 December 2016 (13.12.16)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/077857

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 1-103828 A (Fuji Electric Corporation Research and Development Ltd.), 20 April 1989 (20.04.1989), page 3, upper right column to lower right column; fig. 6, 7 (Family: none)	1-10
A	CD-ROM of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 17882/1992 (Laid-open No. 77259/1993) (Shimadzu Corp.), 22 October 1993 (22.10.1993), paragraphs [0017], [0018]; fig. 7, 8 (Family: none)	1-10
A	JP 2001-26877 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 30 January 2001 (30.01.2001), claim 1; paragraphs [0019], [0025], [0030]; fig. 1, 2 (Family: none)	1-10

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

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

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	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016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 62-196820 A（株式会社フレンドテック研究所）1987.08.31, 請求項1、2、第3頁右上欄、第4頁右上欄、図1～3（ファミリーなし）	1-10
A	JP 2-159027 A（テル相模株式会社、株式会社東芝）1990.06.19, 第3頁左上欄、図1、2（ファミリーなし）	1-10
A	JP 1-103828 A（株式会社富士電機総合研究所内）1989.04.20, 第3頁右上欄～右下欄、図6、7（ファミリーなし）	1-10

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

30.11.2016

国際調査報告の発送日

13.12.2016

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）

正山 旭

50

8395

電話番号 03-3581-1101 内線 3559

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
A	日本国実用新案登録出願 4-17882 号(日本国実用新案登録出願公開 5-77259 号)の願書に添付した明細書及び図面の内容を記録した CD-ROM (株式会社島津製作所) 1993. 10. 22, 段落 [0017]、[0018]、図 7、8 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2001-26877 A (三菱重工業株式会社) 2001. 01. 30, 請求項 1、段落 [0019]、[0025]、[0030]、図 1、2 (ファミリーなし)	1-10