

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6546041号
(P6546041)

(45) 発行日 令和1年7月17日(2019.7.17)

(24) 登録日 令和1年6月28日(2019.6.28)

(51) Int.Cl. F I
 HO 1 L 21/3065 (2006.01) HO 1 L 21/302 I O 1 D
 HO 5 H 1/46 (2006.01) HO 5 H 1/46 C

請求項の数 7 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2015-165771 (P2015-165771)	(73) 特許権者	501387839 株式会社日立ハイテクノロジーズ 東京都港区西新橋一丁目24番14号
(22) 出願日	平成27年8月25日(2015.8.25)	(74) 代理人	110000350 ポレール特許業務法人
(65) 公開番号	特開2017-45790 (P2017-45790A)	(72) 発明者	田村 仁 東京都港区西新橋一丁目24番14号 株 株式会社日立ハイテクノロジーズ内
(43) 公開日	平成29年3月2日(2017.3.2)	(72) 発明者	佐藤 浩平 東京都港区西新橋一丁目24番14号 株 株式会社日立ハイテクノロジーズ内
審査請求日	平成30年7月23日(2018.7.23)	(72) 発明者	植村 崇 東京都港区西新橋一丁目24番14号 株 株式会社日立ハイテクノロジーズ内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

真空容器の内部に配置され減圧された内側にプラズマが形成される処理室と、
 この処理室内に配置され前記プラズマにより処理されるウエハが載せられる試料台と、
 前記処理室内に前記プラズマを形成するために供給される電界を形成する手段と、
 前記処理室の外周でこれを囲んで配置され当該処理室と一体に形成され、電力が供給さ
 れて前記プラズマを形成するための静磁界を形成する磁石と、
 前記電力の電圧、電流または前記磁石の抵抗値に基づいて前記磁石と前記処理室の温度
 を調節する調節器と、
 を備えたことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項2】

請求項1に記載のプラズマ処理装置であって、
 前記磁石が前記真空容器に配置され当該真空容器に接続されて前記ウエハが内側を搬送
 される搬送路の開口より下方または前記処理室内の試料台の上面より下方で当該処理室を
 囲んで配置されたことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項3】

請求項1または2に記載のプラズマ処理装置であって、
 前記処理室の上方または側方の周囲を囲んで配置され前記プラズマを形成するための磁
 界を形成する別の磁石を備えたことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項4】

請求項 1 乃至 3 の何れか一項に記載のプラズマ処理装置であって、
前記電界がマイクロ波のものであることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 5】

真空容器の内部に配置され減圧された内側にプラズマが形成される処理室と、
前記処理室内に配置され前記プラズマにより処理される被処理基板が載せられる試料台と、
前記処理室内に前記プラズマを形成するために供給される電界を形成する手段と、
前記処理室の外周を囲むように前記処理室に一体化して配置され静磁界を形成する電磁石と、

この電磁石を冷却する機構と

を備え、前記電磁石からの加熱または前記冷却する機構からの冷却により前記処理室の温度を調節することを特徴とするプラズマ処理装置。

10

【請求項 6】

請求項 5 に記載のプラズマ処理装置であって、
前記電磁石を構成するコイルの抵抗値を用いて前記処理室の温度を調節する調節器を更に有することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 7】

請求項 5 または 6 に記載のプラズマ処理装置であって、
前記電磁石は、前記試料台の上面より下方に配置されることを特徴とするプラズマ処理装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、プラズマ処理装置に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体集積回路素子の生産にプラズマ処理装置が用いられている。素子の性能向上とコスト低減のため、素子の微細化が進展してきた。従来は素子の 2 次元的な微細化により、1 枚の被処理基板より製造できる素子数が増加して素子 1 個あたりの製造コストが下がると同時に、配線長短縮などの効果で性能向上も図れてきた。しかし 2 次元的な微細化の限界が近づいているといわれており、新材料や 3 次元的な素子構造の適用など、対応が為されている。これらの構造変更により、製造の難易度は増し、製造コストの増大が深刻な問題となっている。

30

【0003】

製造途中の半導体集積回路素子に微小な異物や汚染物質が付着すると、致命的な欠陥となることが多いため、半導体集積回路素子は異物や汚染物質を排除し温度や湿度を最適に制御したクリーンルーム内で製造されることが多い。素子の微細化に伴い、製造に必要なクリーンルームの清浄度は高くなり、こうしたクリーンルームの建設や維持運用に莫大な費用が必要となる。そのため、クリーンルーム空間を効率よく利用して生産することが求められる。この観点から、半導体製造装置は小型化が厳しく求められている。

40

【0004】

真空容器内部の処理室内にプラズマを発生させて半導体ウエハ等の板状の試料を処理するプラズマ処理装置においては、プラズマを形成するために電界とともに静磁界をプラズマ処理室に供給する技術が広く用いられている。これは、静磁界によりプラズマの損失を抑制することができるほか、プラズマ分布の制御も可能となる利点があるためである。

【0005】

さらに、電界と静磁界の相互作用を用いることで、通常はプラズマ発生が困難な運転条件でも発生可能とできる効果がある。特に、プラズマ発生用電磁波としてマイクロ波を用い、電子のサイクロトロン運動の周期とマイクロ波の周波数を一致させる静磁界を用いると、電子サイクロトロン共鳴 (Electron Cyclotron Resonance、以下 E C R と称する) 現

50

象が起きることが知られている。

【0006】

また、プラズマ発生用電磁波のプラズマ中の波長は静磁界により調整でき、波長に合わせたアンテナを用いて電磁波をプラズマ処理室に投入するとともに静磁場を供給してヘリコン波によりプラズマを効率よく発生させるものが従来から知られている。このような技術の例としては、特開平10-261631号公報(特許文献1)に開示のものが知られている。本従来技術では、静磁場を形成するコイルとプラズマ生成容器との間にヘリコン波励起用のアンテナを配置したものであって、プラズマ生成容器下方の処理室の周囲にもコイルが配置されている構成が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開平10-261631号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

上記の従来技術では、次の点について考慮が不十分であったため、問題が生じていた。

【0009】

すなわち、プラズマ処理装置においては、プラズマに面する処理室の内側壁面の温度は処理の重要なパラメータであり、処理の結果としての所期の加工形状を得る上で好適な値に制御することが望ましい。逆に、処理室内壁面の温度が適切な範囲の値でない場合には、例えばエッチングの処理中に処理室内に発生した反応生成物が付着して堆積してしまい、試料を汚染したり内壁表面の相互作用が試料表面のエッチング等の処理に悪影響を与えてしまう場合がある。

【0010】

しかし、処理室を構成する部材の表面の温度を所望の範囲内の値に調節するためには、当該部材に温度調節用の装置を搭載または設置することが必要となる。これは、プラズマ処理装置の構成をさらに複雑にして装置の設置面積を大きくし、製造コストを増大させることになる。さらには、プラズマを形成するために静磁界を用いるプラズマ処理装置では当該静磁界を発生させる手段が備えられていることから、装置の構造はさらに複雑に、装置の設置面積や容積はより大きくなってしまふ虞が有る。

【0011】

本発明の目的は、設置面積を低減できるプラズマ処理装置を提供することにある。さらに別の目的は、構成が簡略化された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】

【0012】

上記目的を達成するために、本発明では、プラズマ処理装置を、真空容器の内部に配置され減圧された内側にプラズマが形成される処理室と、この処理室内に配置されプラズマにより処理されるウエハが載せられる試料台と、処理室内にプラズマを形成するために供給される電界を形成する手段と、処理室の外周でこれを囲んで配置され当該処理室と一体に形成され、電力が供給されてプラズマを形成するための静磁界を形成する磁石と、電力の電圧、電流または磁石の抵抗値に基づいて磁石と処理室の温度を調節する調節器とを備えて構成した。

【0013】

また、上記目的を達成するために、本発明では、プラズマ処理装置を、真空容器の内部に配置され減圧された内側にプラズマが形成される処理室と、処理室内に配置されプラズマにより処理される被処理基板が載せられる試料台と、処理室内にプラズマを形成するために供給される電界を形成する手段と、処理室の外周を囲むように処理室に一体化して配置され静磁界を形成する電磁石と、この電磁石を冷却する機構とを備え、電磁石からの加熱または冷却する機構からの冷却により処理室の温度を調節するように構成した。

10

20

30

40

50

【発明の効果】**【0014】**

本発明によれば、設置面積を低減できるプラズマ処理装置を提供することができる。また、構成が簡略化されたプラズマ処理装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】**【0015】**

【図1】本発明の実施例に係るマイクロ波プラズマエッチング装置の構成の概略を示す縦断面図である。

【図2】図1に示すマイクロ波プラズマエッチング装置におけるプラズマ処理室と一体化した電磁石を示す縦断面図である。

【図3】図2に示す電磁石におけるコイルの抵抗率の温度依存性を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】**【0016】**

発明者等は上記課題について検討し、プラズマ処理室と静磁界の発生装置を一体として形成することとした。これにより小型化が可能となり、設置面積を低減できる。また静磁界の発生装置の状態から温度を算出し、プラズマ処理室の温度を推定することとした。プラズマ処理室を加熱または冷却する機構を前記推定した温度により制御して、所望の温度にプラズマ処理室を制御することができる。静磁界の発生装置によりプラズマ処理室の温度を制御することで、新たな温度制御機構の設置が不要となり装置の簡素化が達成される。

【0017】

次に静磁界の発生装置の状態から温度を算出し、プラズマ処理室の温度を推定する方法について説明する。静磁界の発生装置として電磁石がある。電磁石により発生する静磁界は、電磁石に供給する電流値で所定の強度に制御することができる。電磁石に用いる導線の抵抗値は温度と相関があり、電磁石に発生する電圧を測定し、電流値で除算することで、導線の抵抗値を求めることができる。導線の抵抗値から温度を算出することができる。また、電磁石で消費される電力により処理室を加熱することができる。電磁石に冷却機構を設け、上述の方法で求めた電磁石の温度を用いて冷却機構の排熱量を制御することで、所定の温度に電磁石および電磁石と一体化しているプラズマ処理室を制御することができる。

【0018】

プラズマ処理室と静磁界の発生装置を一体として形成することにより、プラズマ処理装置の小型化が可能となる。また、静磁界の発生装置の状態からプラズマ処理室の温度を推定することにより、温度制御機構が簡素化できるため低コストで温度制御が可能となる。さらに静磁界の発生装置が小型化されるため、従来は他の部品と干渉して設置困難であった箇所にも静磁界発生装置が配置でき、実現できる静磁界分布の自由度が増す効果がある。

【0019】

以下、本発明を実施例により図面を用いて説明する。なお、実施例ではプラズマ処理装置としてマイクロ波プラズマエッチング装置を例に説明するが、本発明はこの装置に限定されず、電磁波によりプラズマを発生させるプラズマ処理装置において、静磁界をプラズマ処理室に加えて、電磁波およびプラズマと静磁界の相互作用を利用するプラズマ処理装置に適用可能である。

【実施例1】**【0020】**

本発明の実施例に係るプラズマ処理装置の一例としてマイクロ波プラズマエッチング装置について、図1から図3を用いて説明する。図1は、本実施例に係るマイクロ波プラズマエッチング装置の構成の概略を示す縦断面図である。

【0021】

マイクロ波源101で発生したマイクロ波は方形導波管103を用いて伝送され、方形

10

20

30

40

50

円形導波管変換器 104 により、円形導波管 105 に伝送される。方形円形導波管変換器 104 は導波管の方向を 90 度曲げるコーナーも兼ねることで装置の小型化をはかっている。

【0022】

自動整合器 102 により負荷インピーダンスを調整してマイクロ波源 101 で発生したマイクロ波の反射波を自動的に抑制することができる。マイクロ波源としては発振周波数 2.45 GHz のマグネトロンを用いた。マイクロ波源保護のためにアイソレータ 118 を用いて反射波がマイクロ波源に入射することを防止した。

【0023】

円形導波管 105 は空洞部 106 に接続されている。円形導波管 105 は最低次のモードである TE₁₁ モードのみが伝搬できる直径とした。これにより、他の伝播モードが混入しないのでマイクロ波の電磁界が安定する効果がある。

【0024】

円形導波管 105 内には図示しない円偏波の発生機構があり、直線偏波で入射したマイクロ波を円偏波に変換する機能を持つ。本実施例では円偏波の発生機構として石英製の位相板を用いた。

【0025】

空洞部 106 はマイクロ波電磁界分布をプラズマ処理に適した分布に調整する働きを持つ。空洞部 106 の下部にはマイクロ波導入窓 107、シャワープレート 108 を介してプラズマ処理室 110 がある。シャワープレート 108 はプラズマ処理室 110 に発生するプラズマに直接曝されるため、プラズマ耐性が高く、プラズマ処理に悪影響を及ぼさない材質が望ましい。またマイクロ波導入窓 107、シャワープレート 108 の材質としてはマイクロ波を効率よく透過する材料が望ましく、本実施例では石英を用いた。

【0026】

マイクロ波導入窓 107 とシャワープレート 108 の間には図示しない微小な間隙が設けられており、プラズマ処理に用いる処理ガスの供給系 109 より所定のガスが供給される。シャワープレート 108 には図示しない微細なガス供給孔が複数設けられ、ガス供給系 109 より供給された処理ガスをプラズマ処理室 110 にシャワー状に供給する。

【0027】

プラズマ処理室 110 内には被処理基板 111 を戴置するための試料台である円筒形を有した基板電極 112 が設置されている。基板電極 112 には被処理基板 111 に RF バイアス電力を供給するために、自動整合器 113 を介して RF バイアス電源 114 が接続されている。RF バイアス電源の周波数として 400 kHz のものを用いた。また半導体ウエハ等の被処理基板 111 として直径 300 mm の Si ウエハを用いた。

【0028】

プラズマ処理室 110 内に静磁界を加えるための静磁界発生装置 119 を設けた。静磁界発生装置 119 は多段の電磁石と磁性材料で構成した。磁性材料を用いて外部への不要な磁場漏洩を防止するとともに、磁力線を処理室に集中させ効率よく磁場を印加した。多段の電磁石を用いて各電磁石に流す電流を制御することで、プラズマ処理室内の静磁界分布を容易に調整できる効果がある。プラズマ処理室は被処理基板 111 が円板状であることに対応し、概ね軸対称に構成している。静磁界はプラズマ処理室の中心軸に対し平行に印加するよう静磁界発生装置を配置した。

【0029】

静磁界中を運動する電子はローレンツ力を受けてサイクロトロン運動をすることが知られている。マイクロ波の周波数とサイクロトロン運動の周波数を一致させるとマイクロ波の電力が電子に共鳴的に吸収される電子サイクロトロン共鳴 (ECR) 現象が起きることが知られている。

【0030】

このような電界と共に磁界を供給して生起させた ECR 現象を用いることで、プラズマを生成できる条件を広くすることができる。例えば、マイクロ波の周波数が 2.45 GHz

10

20

30

40

50

z の場合は 0.0875 テスラの静磁界で ECR を起こすことができる。通常はプラズマが発生しにくい低い圧力でも ECR によりプラズマが発生しやすくなる効果がある。また、ECR が起きる領域で主にプラズマが発生するため、静磁界の分布を調節することによりプラズマ発生領域を制御することができ、プラズマの制御性が増す効果がある。さらに静磁界に垂直な方向にプラズマの拡散が抑制される効果があるため、静磁界調整でプラズマ分布を最適に制御することもできる。

【0031】

プラズマ処理室 110 にはバルブ 115、圧力制御機構 116 を介して真空排気系 117 が接続されている。さらに処理室圧力を測定するための図示しない圧力計がプラズマ処理室 110 に接続されている。

10

【0032】

圧力制御機構 116 と圧力計により真空排気系 117 の排気速度を調整することができる。処理ガスの供給系 109 より供給される処理ガスの排気速度を制御して、プラズマ処理室 110 内の圧力を制御することができる。

【0033】

図 1 に示すマイクロ波プラズマエッチング装置において、本実施例では真空排気系などを装置の中心軸から偏芯して設置したが、プラズマ処理室内のガス流れの軸対称性を考慮して、中心軸上に配置しても良い。装置構成は複雑となるが、処理室内ガス流れの軸対称性を高める効果がある。

【0034】

プラズマ処理室 110 の内壁をプラズマによる損傷から保護するために内筒 120 を設けている。内筒 120 の材質としてはプラズマ処理に悪影響を及ぼさないことが望ましく、本実施例では石英を用いた。内筒 120 の下部にはアース電極 121 を設けた。前述の RF バイアス電源のアースとして動作する。

20

【0035】

プラズマ処理室 110 の内筒 120 で保護されていない内面は、プラズマによって削れにくい材質でコーティングすることで保護している。本実施例では酸化イットリウムを溶射によりコーティングした。

【0036】

基板電極（試料台）112 上に被処理基板 111 を搬送するための搬送路 122 がプラズマ処理室 110 に接続されている。プラズマ処理室は通常、減圧雰囲気中に保持されているが、図示しないローダ、アンローダ、および搬送機構によりプラズマ処理室の減圧雰囲気を保持したまま被処理基板の搬入、搬出が可能となっている。

30

【0037】

また、プラズマ処理室 110 と搬送路 122 を遮断するゲートバルブ 123 がゲートバルブ駆動機構 124 により駆動されている。被処理基板の搬入、搬出時などの場合を除き、基本的にプラズマ処理室はゲートバルブにより搬送路から遮断されており、外部からの汚染物質の混入やプラズマ処理室内から反応生成物や処理に用いる反応性ガスなどが装置内の他の場所に漏洩することを防止している。

【0038】

プラズマ処理室 110 の下部であって基板電極 112 の基板 111 が載せられる上面または搬送路 122 より下方の周囲には電磁石 125 が配置され、プラズマ処理室 110 を構成する容器の外周壁に少なくとも一部が埋め込まれて熱的に接してプラズマ処理室 110 に一体化されている。電磁石 125 の近傍にはゲートバルブ駆動機構 124 や真空排気系、基板電極に関連する RF バイアス電源などの機構が多く設置されており、電磁石 125 を設置可能な空間は少ない。処理室と一体化させることで電磁石 125 を他の機構と干渉することなく設置することができる。なお、小型化の観点のみであれば、磁石としては電磁石に限定されない。

40

【0039】

電磁石に流す電流の値とその時の電圧値より電磁石の温度を求める方法を以下で説明す

50

る。所望の静磁界を得るために、電磁石に所定の直流電流を流す。その時の電磁石端子間の直流電圧値を測定する。直流電圧値を直流電流値で除した値が電磁石の抵抗値 R となる。電磁石の抵抗値 R は式 (1) に示すように、線材の断面積 S と長さ L および抵抗率 ρ であらわされる。線材の断面積 S と長さ L は既知なので、得られた抵抗値から抵抗率 ρ を求めることができる。

【0040】

$$R = \rho \times L / S \quad (1)$$

R : 電磁石の抵抗値 [Ω]
 ρ : 電磁石の線材の抵抗率 [$\Omega \cdot m$]
 L : 電磁石の線材の長さ [m]
 S : 電磁石の線材の断面積 [m^2]

10

抵抗率 ρ は材質により固有の温度特性を持つことが知られている。図3に銅の場合の抵抗率 ρ の温度依存性を例示する。

【0041】

用いた線材の温度特性を保存しておき、測定した抵抗率 ρ と比較することで温度を算出することができる。抵抗率 ρ は概ね温度に対して直線的に変化するので、直線近似で温度を求めてもよい。さらに高い精度で求めたい場合や抵抗率の温度依存性が直線からずれる場合は、数値をテーブルで保存しスプライン曲線などの補間を行うことで温度を求めてもよい。

【0042】

電磁石の線材は電力損失低減の観点から抵抗率の低い材質を用いることが望ましく、本実施例では銅を用いた。

20

【0043】

図2を用いて電磁石125を詳細に説明する。電磁石125はプラズマ処理室110の下部を構成する円柱状の部品となっている。円柱の上面と下面は真空シール可能な構造となっている。本実施例ではリングにより真空シールを行った。電磁石の線材を巻くための部材201に直接、線材202を巻いている。

【0044】

部材201内には冷媒を流すための冷媒流路203が設けられ、電磁石に通電することで発生する熱を排出することができる。電磁石の線材202として、本実施例では厚さ0.2mm、幅20mmの銅板を用いた。

30

【0045】

線材間の絶縁のために耐熱性の高いポリイミド製のシートを挟んだ。部材201の材質はアルミニウム合金とし、処理室内面側は前述の通り酸化イットリウムでコーティングした。

【0046】

線材202と部材201の間には熱伝導率が高く電気絶縁性の高い樹脂を含浸した。これにより効率よく線材202で発生する熱を冷媒流路203より排出することができる。含浸する樹脂として本実施例ではエポキシ樹脂を用いた。

【0047】

冷媒流路203には図示しない冷媒流量の制御機が接続され、前述の通り電磁石の電流電圧から求めた処理室温度を所望の値に制御するため、冷媒流量を調節する。調節により電磁石と一体化された処理室の温度が所定の値に制御できる。冷媒流量の調節により電磁石の温度が制御されることは言うまでもない。

40

【0048】

なお、電磁石125を搬送路122の開口よりも下方または試料台(基板電極)112の上面よりも下方で処理室を囲んで配置することにより、処理室上部に設置された静磁界発生装置119では困難であった被処理基板近傍の磁場制御が可能となり、被処理基板近傍においてプラズマ発生領域を制御することが可能となる。また、温度制御された電磁石125を搬送路122の開口よりも下方または試料台112の上面よりも下方で処理室を

50

囲んで配置することにより試料台周辺の温度が安定し、試料台自体の温度制御性が向上する。また、搬送路122の開口周辺または試料台周辺の処理室の内壁が加熱されるため反応生成物が付着し難くなり、搬送路122の開口周辺や試料台近傍における異物発生源を減少させることができる。

【0049】

本実施例では多段の電磁石（静磁界発生装置）119はプラズマ処理室110と一体化していない例を説明したが、一部または全部を一体化しても良い。

【0050】

以上、本実施例によれば、設置面積を低減できるプラズマ処理装置を提供することができる。また、構成が簡略化されたプラズマ処理装置を提供することができる。

10

【0051】

なお、本発明は上記した実施例に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。例えば、上記した実施例は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある構成の一部を他の構成に置き換えることも可能である。

【符号の説明】

【0052】

101...マイクロ波源、102...自動整合器、103...方形導波管、104...方形円形導波管変換器、105...円形導波管、106...空洞部、107...マイクロ波導入窓、108...シャワープレート、109...処理ガスの供給系、110...プラズマ処理室、111...被処理基板、112...基板電極（試料台）、113...自動整合器、114...RFバイアス電源、115...バルブ、116...圧力制御機構、117...真空排気系、118...アイソレータ、119...静磁界発生装置、120...内筒、121...アース電極、122...被処理基板搬送路、123...ゲートバルブ、124...ゲートバルブ駆動機構、125...処理室一体化電磁石、201...部材、202...線材、203...冷媒流路。

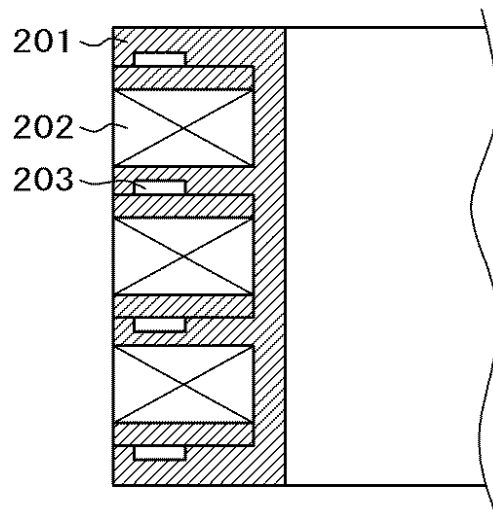
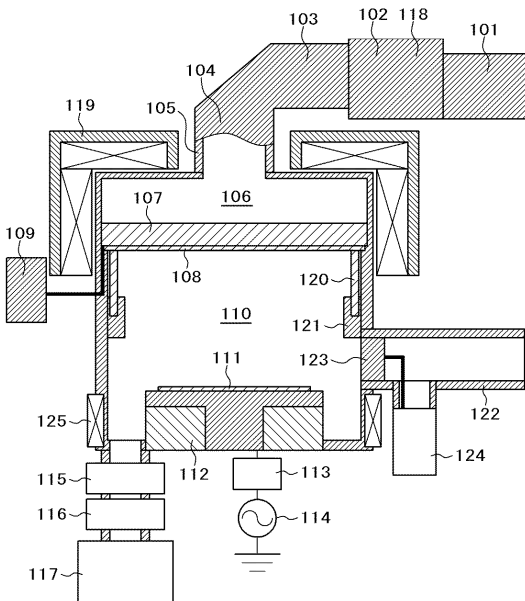
20

【図1】

【図2】

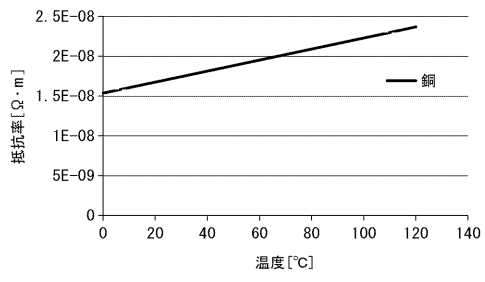
図1

図2



【 図 3 】

図 3



フロントページの続き

審査官 長谷川 直也

- (56)参考文献 特開2000-173986(JP,A)
特表2011-515856(JP,A)
特開2013-120800(JP,A)
特開平11-087328(JP,A)
実開昭56-123738(JP,U)
実開昭52-167556(JP,U)
特開2015-138931(JP,A)
特開平06-216042(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/205、21/302、21/3065、21/31、
21/365、21/461、21/469、21/86、
H01F 7/06 - 7/16、7/20、
H01J 37/30 - 37/36、
H05H 1/00 - 1/54、
C23C 16/00 - 16/56