

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4633881号
(P4633881)

(45) 発行日 平成23年2月16日 (2011. 2. 16)

(24) 登録日 平成22年11月26日 (2010. 11. 26)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 L 21/3065 (2006. 01)

H O 1 L 21/302 I O 1 B

H O 5 H 1/00 (2006. 01)

H O 5 H 1/00 A

H O 5 H 1/46 (2006. 01)

H O 5 H 1/46 A

H O 1 L 21/205 (2006. 01)

H O 1 L 21/205

請求項の数 4 (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2000-48934 (P2000-48934)
 (22) 出願日 平成12年2月21日 (2000. 2. 21)
 (65) 公開番号 特開2001-237234 (P2001-237234A)
 (43) 公開日 平成13年8月31日 (2001. 8. 31)
 審査請求日 平成18年4月7日 (2006. 4. 7)

(73) 特許権者 000005108
 株式会社日立製作所
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
 (74) 代理人 110000350
 ポレール特許業務法人
 (72) 発明者 田村 仁
 茨城県土浦市神立町502番地
 株式会社 日立製作所 機械
 研究所内
 (72) 発明者 角屋 誠浩
 山口県下松市大字東豊井794番地
 株式会社 日立製作所 笠戸
 事業所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置及びそれを用いた処理方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

プラズマ源、ガス供給系および真空排気系を有する処理室、該処理室内に被処理基板を載置するための基板電極、該基板電極を介して被処理基板に高周波バイアスを加えるための高周波電源を備えたプラズマ処理装置において、

前記処理室内のプラズマ中に挿入するプローブ部と、該プローブ部に高周波電圧を供給する高周波電源と、該プローブ部の高周波電圧 V を測定する電圧計と、該プローブ部を介してプラズマに流入する高周波電流 I を測定する電流計からなるプラズマ特性計測装置を備え、

測定された前記高周波電圧 V 及び高周波電流 I に基づき、以下の式 (1) 中のシース容量 C 、シース電流源 D を、前記測定された高周波電圧 V 及び高周波電流 I が式 (1) を満足するように求めることにより、前記シース容量 C 及び前記シース電流源 D を前記プラズマの特性として算出する機能を有することを特徴とするプラズマ処理装置。

【数 1】

$$I = C(V) \frac{dV}{dt} + D(V) \quad (\text{式 1})$$

I : 高周波電流

V : 高周波電圧

10

C (V) : シース容量

D (V) : シース電流源

【請求項 2】

請求項 1 記載のプラズマ処理装置において、前記プラズマ中に挿入するプローブ部に、高周波を供給する電源を被処理基板に高周波バイアスを供給する高周波電源と共用することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 3】

20

請求項 2 記載のプラズマ処理装置において、前記被処理基板または前記基板電極をプラズマ中に挿入するプローブ部として用いることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 4】

プラズマ源、ガス供給系および真空排気系を有する処理室、該処理室内に被処理基板を載置するための基板電極、該基板電極を介して被処理基板に高周波バイアスを加えるための高周波電源を備えたプラズマ処理装置における、プラズマを用いた基板の処理方法であって、

前記プラズマ中に挿入するプローブ部と、該プローブ部に高周波電圧を供給する高周波電源と、該プローブ部の高周波電圧 V を測定する電圧計、該プローブ部を介してプラズマに流入する高周波電流 I を測定する電流計からなるプラズマ特性計測装置により前記高周波電圧及び前記高周波電流を測定し、

30

測定された前記高周波電圧 V 及び高周波電流 I に基づき、以下の式 (1) 中のシース容量 C、シース電流源 D を、前記測定された高周波電圧 V 及び高周波電流 I が式 (1) を満足するように求めることにより、前記シース容量 C 及び前記シース電流源 D を前記プラズマの特性として算出することを特徴とするプラズマを用いた基板の処理方法。

【数 2】

$$I = C(V) \frac{dV}{dt} + D(V) \quad (\text{式 1})$$

40

I : 高周波電流

V : 高周波電圧

C (V) : シース容量

D (V) : シース電流源

50

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、被処理基板にプラズマ処理を施すプラズマ処理装置及びそれを用いた処理方法に係り、特に、プラズマ特性を計測してその処理の品質を監視するものに関する。

【0002】

【従来の技術】

従来、プラズマ特性の計測方法について、例えば「Plasma Diagnostic Volume 1」(Orlando Anciello, Daniel L. Flamm 編、Academic Press 刊)に開示されたように、プラズマ中にプローブを装荷してその直流的な電圧電流特性を測定することでプラズマの密度、電子温度等を測定するラングミュアプローブ法と呼ばれる方法がある。また特開平08-106992号公報に開示されたようにULSI等の製造においてプラズマを用いたドライエッチング装置による加工が行われる。この工程でプラズマ処理の品質を監視するためにプラズマの発光等の状態をモニタし、装置状態を把握することで部品交換等の保守作業を効率よく行う方法がある。

10

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

上記従来技術のラングミュアプローブ法では、プラズマ中で形成される絶縁性の反応生成物等がプローブ表面に付着する場合がある。この反応生成物によりプローブに直流電流が流れることを阻害するため、安定した測定が困難となる。

20

【0004】

また、上記従来技術のうちプラズマ処理品質の監視については、例えばプラズマ発光を処理室外部に取り出すための窓表面に反応生成物が付着する、またはプラズマ中のイオン等の作用により窓が削れるなどの問題があり、安定して装置状態を監視することが困難であった。

本発明が解決しようとする課題は、プラズマ処理装置において、反応生成物等の付着があってもプラズマ特性の計測を可能とする計測方法を提供することにある。

【0005】

また本発明の他の課題は、プラズマ処理装置の装置状態監視にあたり、プラズマ処理に与える外乱の小さい監視方法を提供することにある。

30

【0006】

【課題を解決するための手段】

本発明は、プラズマ源、ガス供給系および真空排気系を有する処理室、該処理室内に被処理基板を載置するための基板電極、該基板電極を介して被処理基板に高周波バイアスを加えるための高周波電源を備えたプラズマ処理装置において、前記処理室内のプラズマ中に挿入するプローブ部と、該プローブ部に高周波電圧を供給する高周波電源と、該プローブ部の高周波電圧を測定する電圧計と、該プローブ部を介してプラズマに流入する高周波電流を測定する電流計からなるプラズマ特性計測装置を備えたことを特徴とする。

40

【0007】

本発明によれば、上記課題は、プラズマ計測用プローブに高周波電力を印加し、その電圧電流特性からプラズマ特性を測定することで解決できる。またプラズマ処理装置において高周波電力を印加したプローブによりプラズマ特性を計測することで上記課題は解決できる。またプラズマ処理に用いる高周波の電圧電流の計測によりプラズマ処理に与える外乱を小さくできる。

【0008】

本発明によれば、プローブの高周波電圧電流特性からプローブとプラズマ界面に形成されるシースの厚さを計測すること、およびプローブの直流電圧電流特性を推定することによりプラズマ特性を測定することができる。プローブ表面が絶縁性の反応生成物で覆われても容量性インピーダンスを介して高周波電流は流れるためプラズマ特性の測定が可能であ

50

る。

【 0 0 0 9 】

本発明は、例えば、半導体集積回路の製造工程のうちプラズマを用いた基板のドライエッチング工程で、エッチング中のプラズマの状況を監視することに用いることができる。プラズマを監視することにより、エッチング処理装置の状態を定量的に評価することが出来るため、エッチング処理装置の安定稼働、装置異常の早期発見に役立つ。

【 0 0 1 0 】

【発明の実施の形態】

[実施例 1]

以下、図 1 から図 3 を用いて本発明の第 1 の実施例を説明する。まず、図 1 に本発明を用いたプラズマ特性計測装置の測定回路を示す。測定対象となるプラズマ 1 0 1 内に球状のプロープ 1 0 2 が装荷されている。プラズマ 1 0 1 はプロープ 1 0 2 の表面積と比べて大きな面積を持つアース電極 1 0 8 を介して接地されているものとする。プロープ 1 0 2 はステンレス鋼製である。プロープ 1 0 2 の形状は球に限定されるものでなく平板、円柱等他の形状であってもよい。またプロープ 1 0 2 の材質も、導電率が高く耐熱性の高いものであれば銅、アルミニウム等であってもよい。

【 0 0 1 1 】

プロープ 1 0 2 に高周波電力を供給する高周波電源 1 0 7 は、コンデンサ 1 0 5、表面をアルミナセラミック等で絶縁された電線 1 0 3 を介して接続されている。さらにプロープ 1 0 2 の電圧、電流を測定するための電圧計 1 0 6、電流計 1 0 4 が接続されている。電線 1 0 3 表面のアルミナセラミック等の絶縁物は高周波電源 1 0 7 によって流れる高周波電流がプロープ 1 0 2 を介してのみプラズマ 1 0 1 に流れるようにするために用いている。本測定回路でプラズマの高周波電流電圧特性を測定する。

【 0 0 1 2 】

次に、高周波電圧電流特性からプラズマ特性を推定する方法について説明する。一般にプラズマはバルク部分のインピーダンスに比べシース部分のインピーダンスが高く、図 1 に示した測定回路ではプロープとプラズマの界面に生じるシースの特性が電圧電流特性に現れるため図 1 に対応したプラズマはシース部分を考慮しモデル化される。プラズマ中の高周波電流は主に質量が小さい電子により担われる。そのため電子の密度が低いイオンシースは高周波的にコンデンサとしてモデル化される。また直流的には電圧に応じて電子とイオンが電流を担う電流源とモデル化される。またコンデンサ、電流源とも高周波電圧に依存してその容量、電流が変化する。そのためシース部は容量と電流源の並列回路としてモデル化され図 1 に示す測定回路は（式 1）に示すようにモデル化される。

【 0 0 1 3 】

【数 1】

$$I = C(V) \frac{dV}{dt} + D(V) \quad (\text{式 1})$$

I : 高周波電流

V : 高周波電圧

C (V) : シース容量

D (V) : シース電流源

【 0 0 1 4 】

測定結果の高周波電圧、高周波電流を図 2 に、（式 1）に従って測定した高周波電圧電流

から求めたシース容量、シース電流源の特性を図 3 に示す。プローブには周波数 8 0 0 k H z の電圧を加えた。

【 0 0 1 5 】

図 2 にシース容量、シース電流源から逆算した高周波電流の値も合わせて示す。

図 2 の a では、測定した電圧（図中に「Voltage」と記載、実線により表示）、電流（図中に「Current」と記載、破線により表示）、式（ 1 ）より推定した電流（図中に「Fitting Current」と記載、三角形による表示）を横軸を時間（「Time」と記載）として表示している。式（ 1 ）により推定した電流値と測定した電流値がよく一致しており、式（ 1 ）による推定の精度が高いことを示している。また、図 2 の b では、同様に測定した電圧、測定した電流、式（ 1 ）により推定した電流を、横軸を測定した電圧（「Voltage」と記載）、縦軸を測定した電流および式（ 1 ）により推定した電流（Current）と記載）して表示している。図 2 の b の表示方法はリサージュ図形と呼ばれ、例えばオシロスコープで交流信号を測定する場合に垂直軸と水平軸に同時に交流信号を入力することにより得られる図形パターンである。

10

シース容量、シース電流源の特性算出の手順を以下に示す。

（ 1 ）シース容量C(V)、シース電流源D(V)の特性を仮定する。

（ 2 ）（式1）に従い高周波電流I'を求める。

（ 3 ）測定した高周波電流Iと（ 2 ）で求めたI'の二乗誤差 を求める。

（ 4 ） のシース容量C(V)、シース電流源D(V)に対する勾配を求め、 を小さくする方向にシース容量C(V)、シース電流源D(V)の特性を修正する。 のような評価値を最小とする C（ V ）等のパラメータを求める手順（アルゴリズム）は数値計算の分野で種々の方法が提案されており、これらの公知の手法を適用することができる。

20

（ 5 ）（ 2 ）に戻る。 が十分小さくなったところで手順を終了する。

【 0 0 1 6 】

シース容量は例えば「電子通信ハンドブック（電子通信学会編、オーム社（昭和 5 4 年）」）に開示されているようにシース厚さとシース面積により（式 2 ）のように現される。

【 0 0 1 7 】

【数 2】

$$C = \frac{\epsilon S}{d} \quad (\text{式 2})$$

30

C：シース容量

d：シース厚さ

ϵ ：真空の誘電率

【 0 0 1 8 】

また、シース厚さは例えば「プラズマ物理入門」（内田岱二郎訳、丸善株式会社刊）に開示されているようにデバイ長と呼ばれる厚さ程度であることが知られており（式 3 ）のように表現できる。

40

【 0 0 1 9 】

【数 3】

$$\lambda_d = \sqrt{\frac{\epsilon_0 k_B T_e}{ne^2}} \quad (\text{式 3})$$

λ_d : デバイ長

10

ϵ_0 : 真空の誘電率

k_B : ボルツマン定数

T_e : 電子温度

n : 電子密度

e : 電子の電荷量

20

【 0 0 2 0 】

シース容量から（式 2）、（式 3）を用いることでプラズマ密度を推定することが出来る。

【 0 0 2 1 】

同様に、例えば「Plasma Diagnostics Volume 1」(Orlando Anciello, Daniel L. Flamm 編、Academic Press 刊)に開示されているように、シース電流特性よりプラズマ密度、電子温度等のプラズマ特性を知ることが出来る。

【 0 0 2 2 】

さらに、シース容量およびシース電流特性からそれぞれプラズマ密度を求めることが出来るため、プローブの表面状態を推定することが出来る。例えばプローブ表面に絶縁物が付着すると見かけのシース厚さが増えたように特性が変化するが、シース電流特性には影響が出難い。そこで両者の差異を利用してプローブの表面状態を推定することが出来る。プローブの表面状態により例えばクリーニング時期等の目安とすることが出来る。

30

【 0 0 2 3 】

プラズマモデルとしてシース容量が電圧によって変化するモデルで実施例を説明したが、シース容量が変化しないプラズマモデルに簡略化することもできる。またプラズマモデルとして上記のようにシース部のみに着目したモデルとしたが、バルクプラズマの抵抗を考慮して、シース部を表す容量と電流源の並列回路に加えて抵抗を直列に接続したモデルとすることもできる。

40

【 0 0 2 4 】

プローブ表面を絶縁物であらかじめ被覆しておくこともできる。この場合電圧制御電流源の特性からプラズマ特性を求める際に直流電位が定まらないためプラズマポテンシャルが算出できないがシース容量から算出したプラズマ密度から逆算して最終的に直流電位を定めることができる。

【 0 0 2 5 】

[実施例 2]

次に、本発明の第 2 ～ 第 4 の実施例を、図 4 から図 6 を用いて説明する。これらの実施例は、実施例 1 で示したプラズマ計測方法および装置を、プラズマ処理装置に適用した例である。図 6 に本発明を用いたエッチング装置を示す。図示しないガス供給系、真空排気系

50

が接続された処理室 6 0 2 の内部にプラズマ源 6 0 1 によりプラズマを発生させる。被処理基板 6 0 7 を載置した基板電極 6 0 8 が処理室 6 0 2 内に設置されている。基板電極 6 0 8 には高周波電源 6 1 1 が整合器 6 1 0、ブロッキングコンデンサ 6 0 9 を介して接続されており、被処理基板に高周波バイアス電圧を加えることができる。また処理室内にプローブ 6 0 3 が装荷され、ブロッキングコンデンサ 6 1 2 を介して高周波信号源 6 0 6 が接続されている。またプローブ 6 0 3 に流れる電流を計測するための電流計 6 0 4、電圧を計測するための電圧計 6 0 5 が接続されている。電圧計 6 0 5、電流計 6 0 4 の計測値を用いて実施例 1 で説明した方法によりプラズマ特性を推定することができる。

【0026】

高周波電源 6 1 1 による高周波により基板電極 6 0 8 に時間的に変動する電圧を加えるとプラズマ中の電子とイオンの移動度の違いにより直流バイアス電位が生じる。通常基板電極が負にバイアスされ、プラズマ中の正イオンを定常的に被処理基板 6 0 7 に向けて加速する。このイオンにより異方性の加工を施すことができる。

【0027】

図 6 の実施例の構成をより簡略化した実施例として、図 5 に示すようにプローブに高周波を印加する信号源と基板に高周波バイアス電圧を加える電源を同一の高周波電源 5 0 4 としてもよい。なお、5 0 1 はプローブ、5 0 2 は電流計、5 0 3 は電圧計、5 0 5 は被処理基板を示す。

【0028】

プローブ 6 0 3 (5 0 1) は、プラズマと接触する部分の形状を球状、円盤状、円柱状等の表面積が幾何学的に算出しやすい形状とすることができる。プローブ 5 0 1 に高周波を給電する線路はプラズマに高周波がもれないように同軸構造となっている。さらに同軸外部導体が直接プラズマに電氣的に接続してプラズマ電位を変化させることを防止するためにアルミナセラミック等の絶縁物で被覆されている。またプローブ 6 0 3 の形状をリング状としてもよい。これによりプローブ構造を概略軸対称とすることができる。エッチング装置全体が概略軸対称な構造をとる場合、その中心軸に合わせてリング状のプローブ 6 0 3 を処理室内に配置することによりプローブ装荷による外乱でプラズマ分布が非軸対称となることを防止できる。またプローブ 6 0 3 の材質として被エッチング材に応じて汚染、異物等の問題が生じにくい導電性物質を用いることができる。例えば導電性材料をエッチングする場合には同じ導電性材料を用いることで汚染等の問題を避けることができる。また被処理基板がシリコンである場合にシリコンを用いてもよい。

【0029】

被処理基板の面内均一性を確保するために被処理基板の外周部にフォーカスリングと呼ばれる部材を設置する場合がある。通常エッチング処理において反応生成物の面内分布が面内均一性に影響を与える。フォーカスリングにより被処理基板外周部での反応生成物分布の均一化を図りエッチング処理の面内均一性を確保することができる。このフォーカスリングが導電性を持つ場合、フォーカスリングの電圧電流特性を測定し、プローブとして用いることができる。

【0030】

また、図 6 の実施例の構成をさらに簡略化した実施例として、図 4 に示すようにプローブに替えて基板電極をプローブとして用いてもよい。図示しないガス供給系、真空排気系が接続された処理室 4 0 2 の内部にプラズマ源 4 0 1 によりプラズマを発生させる。被処理基板 4 0 3 を載置した基板電極 4 0 4 が処理室 4 0 2 内に設置されている。基板電極 4 0 4 には高周波電源 4 0 9 が整合器 4 0 8、ブロッキングコンデンサ 4 0 7 を介して接続されており、被処理基板に高周波バイアス電圧を加えることができる。高周波電源 4 0 9 により基板電極 4 0 4 に流れる電流を計測するための電流計 4 0 5、基板電極の電位を計測するための電圧計 4 0 6 が基板電極 4 0 4 に接続されている。

【0031】

プローブを用いて測定された高周波電圧電流特性やそこから推定したプラズマ特性により、エッチング装置の状態を知ることができる。装置状態を定量的に評価できるため、装置

10

20

30

40

50

の劣化、経時変化等を監視できる。

【 0 0 3 2 】

半導体集積回路の製造工程のうち被処理基板をドライエッチング処理する工程は基板 1 枚あたり数十秒程度必要とすることが多い。エッチング中には被エッチング材と反応する活性種（以下エッチャントと呼ぶ。）が反応により減少する一方で反応生成物の密度が高くなっている。エッチングがほぼ終了するころには被エッチング材はほぼ除去されているため反応生成物の密度は低く、エッチャントの密度が相対的に高くなる。こういったエッチング処理の時間経過に伴い、プラズマの密度、温度等のパラメータも変化する。エッチング処理開始から各時刻の高周波電圧電流特性を記録し、この特性からエッチング中のプラズマパラメータ変化を捉えることができる。

10

【 0 0 3 3 】

高周波電流電圧特性、プラズマパラメータのエッチング処理に伴う変動を記録し、これを装置が正常な場合の記録と比較することにより装置異常を早期に発見することができる。またエッチングの初期、エッチング中、エッチング終了直前等、時刻を決め、これにより装置の状態を判定することもできる。装置の状態を監視できるため、装置の安定した稼動が可能となる。

【 0 0 3 4 】

【発明の効果】

本発明によれば、プラズマ中の反応生成物等がプローブに付着する等による外乱の影響を受け難いプラズマ計測装置を、半導体集積回路等を製造するためのプラズマ処理装置に適用することにより、プラズマ処理装置の安定稼動を可能とすることができる。

20

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明を用いたプラズマ計測装置を示す説明図。

【図 2】プローブの高周波電圧電流特性を示すグラフ。

【図 3】プラズマ特性の推定結果を示すグラフ。

【図 4】本発明を用いたプラズマ処理装置の一実施例の断面図。

【図 5】本発明を用いたプラズマ処理装置の他の実施例の断面図。

【図 6】本発明を用いたプラズマ処理装置の他の実施例の断面図。

【符号の説明】

- 1 0 1 プラズマ
- 1 0 2 プローブ
- 1 0 3 電線
- 1 0 4 電流計
- 1 0 5 コンデンサ
- 1 0 6 電圧計
- 1 0 7 高周波電源
- 1 0 8 アース電極
- 4 0 1 プラズマ源
- 4 0 2 処理室
- 4 0 3 被処理基板
- 4 0 4 基板電極
- 4 0 5 電流計
- 4 0 6 電圧計
- 4 0 7 ブロッキングコンデンサ
- 4 0 8 整合器
- 4 0 9 高周波電源
- 5 0 4 高周波電源
- 6 0 1 プラズマ源
- 6 0 2 処理室
- 6 0 3 プローブ

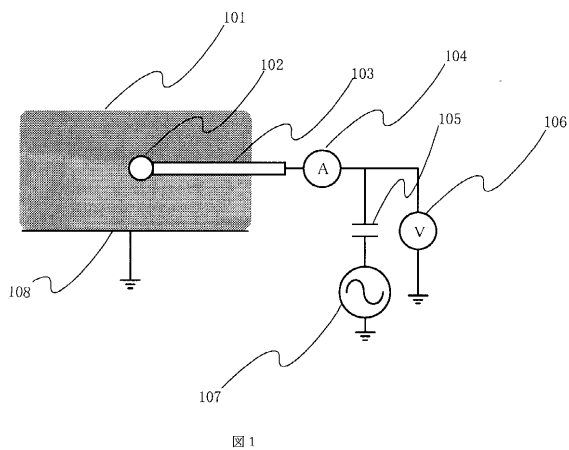
30

40

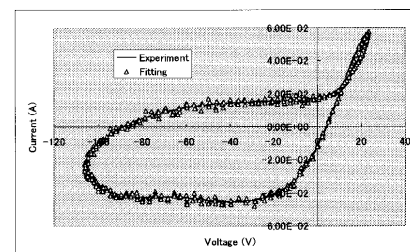
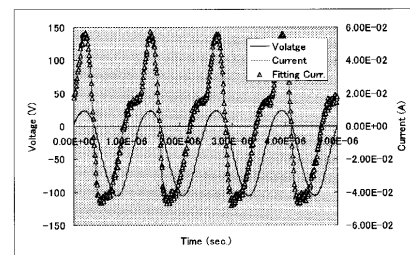
50

- 6 0 4 電流計
- 6 0 5 電圧計
- 6 0 6 高周波信号源
- 6 0 7 被処理基板
- 6 0 8 基板電極- 6 0 9 ブロッキングコンデンサ
- 6 1 0 整合器
- 6 1 1 高周波電源
- 6 1 2 ブロッキングコンデンサ

【図 1】



【図 2】



【図 3】

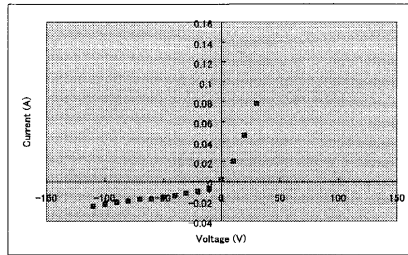


図 3 a

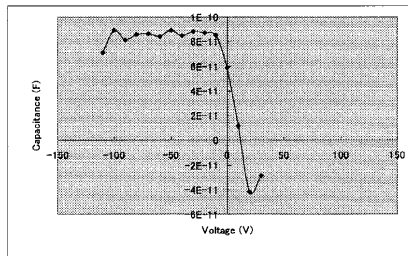


図 3 b

【図 4】

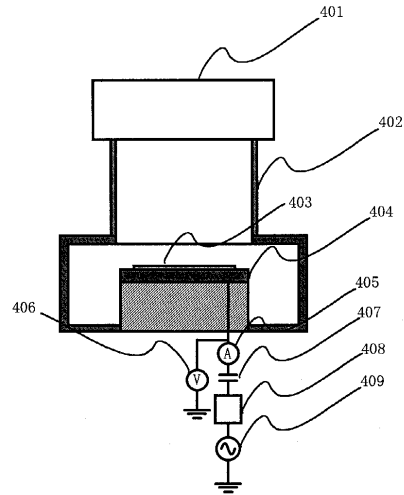


図 4

【図 5】

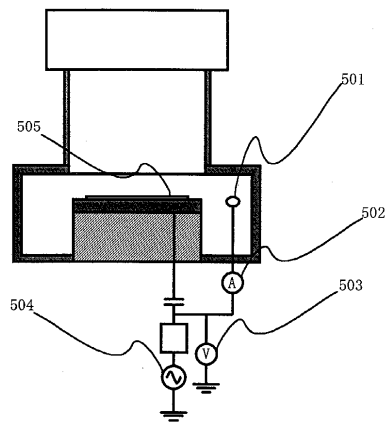


図 5

【図 6】

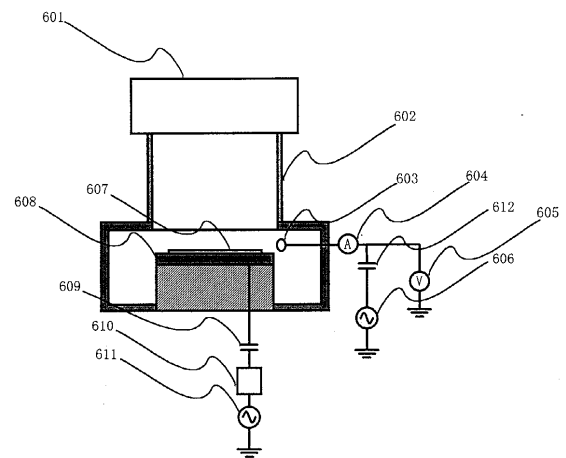


図 6

フロントページの続き

(72)発明者 渡辺 成一

山口県下松市大字東豊井794番地

株式会社 日立製作所 笠戸事業所内

審査官 板谷 一弘

(56)参考文献 特表平10-509557(JP,A)

特開2000-208295(JP,A)

特開2000-208485(JP,A)

特開平03-224226(JP,A)

特開平08-106992(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/302,

H01L 21/205