

【公報種別】特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載

【部門区分】第 7 部門第 1 区分

【発行日】平成22年1月7日(2010.1.7)

【公開番号】特開2007-317650(P2007-317650A)

【公開日】平成19年12月6日(2007.12.6)

【年通号数】公開・登録公報2007-047

【出願番号】特願2007-102845(P2007-102845)

【国際特許分類】

H 0 5 H 1/24 (2006.01)

H 0 1 J 37/32 (2006.01)

H 0 5 H 3/02 (2006.01)

H 0 1 L 21/302 (2006.01)

【F I】

H 0 5 H 1/24

H 0 1 J 37/32

H 0 5 H 3/02

H 0 1 L 21/302 2 0 1 B

【手続補正書】

【提出日】平成21年11月17日(2009.11.17)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

一部が開口され、陰極として作用して、原子を放出可能な放出部を有し、かつ内部にプラズマを発生させる筒状体と、

前記筒状体の内部に配置される陽極と、

前記陽極に電氣的に接続されて前記陽極に電圧を印加して、前記筒状体内に前記プラズマを発生させて、前記放出部から原子を放出させる電源と、

前記筒状体の内部で前記放出部に対して前記陽極を変位させる陽極駆動部とを備る原子線源。

【請求項 2】

前記陽極は、棒状あるいはリング状である請求項 1 に記載の原子線源。

【請求項 3】

前記陽極駆動部を制御して、前記放出部に対して前記陽極を所定周期毎に接近し又は離れるように変位させる制御部をさらに備える請求項 1 または 2 に記載の原子線源。

【請求項 4】

前記陽極の前記変位に関連して、前記電源から前記陽極に印加される前記電圧を制御する制御部をさらに備える請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 つに記載の原子線源。

【請求項 5】

筒状体を陰極とし、前記筒状体の内部に設けられた陽極に電圧を印加して前記筒状体の内部でプラズマを発生させて前記筒状体の一部が開口されて陰極として作用して、原子を放出可能な放出部から原子を放出するとともに、前記筒状体の内部で前記放出部に対して前記陽極を陽極駆動部により変位させる原子線放出方法。

【請求項 6】

前記陽極駆動部を制御して、前記放出部に対して前記陽極を所定周期毎に変位させつつ

、前記筒状体の内部で前記プラズマを発生させて前記放出部から前記原子を放出する、請求項 5 に記載の原子線放出方法。

【請求項 7】

前記陽極として複数の棒状の陽極が配置されており、前記複数の棒状の陽極の長手軸方向はそれぞれ前記放出部に大略平行な状態で、かつ、前記放出部が、前記原子を放出する対象の対象物の面に対して傾斜した状態で、前記筒状体の内部で前記プラズマを発生させて前記放出部から前記原子を放出するとともに、前記複数の棒状の陽極のうち、少なくとも前記対象物に近い側の前記陽極を前記放出部に対して変位させる、請求項 5 又は 6 に記載の原子線放出方法。

【請求項 8】

前記陽極の前記変位に関連して、前記電源から前記陽極に印加される前記電圧を制御しながら、前記筒状体の内部でプラズマを発生させて前記開口部から原子を放出する、請求項 5 ～ 7 のいずれか 1 つに記載の原子線放出方法。

【請求項 9】

筒状体内部にプラズマを発生させた原子線源から原子を対象物に放出して前記対象物の表面改質をする表面改質装置において、

載置台に載置された前記対象物の平面に垂直な軸に対し、前記原子線源における原子を放出する放出中心軸を傾斜して設置されるとともに、

前記原子線源として、請求項 1 ～ 3 いずれか 1 つに記載の原子線源により構成する表面改質装置。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【発明の詳細な説明】

【発明の名称】高速原子線源および高速原子線放出方法ならびに表面改質装置

【技術分野】

【0001】

本発明は、プラズマを発生させて原子を放出する高速原子線源 [FAB (Fast Atom Bombardment) 又は Saddle Field Source]、および高速原子線放出方法、ならびに高速原子線源を搭載する表面処理装置（例えば表面改質装置）に関するものである。

【背景技術】

【0002】

常温の大気中に存在する原子、分子よりはるかに大きな運動エネルギーで、かつ方向性を持っているものは高速原子線と呼ばれ、また、その高速原子線を発生させるものは高速原子線源と呼ばれる。

【0003】

高速原子線源は、主に半導体製造プロセスで使用される加工工程などに利用されている。高速原子線源は、イオンビームに比べ加工対象を帯電させないことが特徴であって、帯電による対象物へのダメージや、対象物の特性により帯電すると所望の処理精度が確保できないような場合でも使用することができる。

【0004】

しかし、従来の高速原子線源においては、放出される原子線の密度が均一になり難いという課題がある。この課題を解決するため、高速原子線源において放出される原子の分布を面均一にするようにした技術が特許文献 1 に記載されている。

【0005】

特許文献 1 には、プラズマを生成する放電容器に複数の孔を有する放出電極あるいはガス導入電極を設け、前記孔の長さあるいは径を位置によって異なるように設定し、放出される原子の分布の均一化を図るようにした構成の高速原子線源が記載されている。

【０００６】

【特許文献１】特許第３３６３０４０号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００７】

しかしながら、処理される対象物の形状、また、例えばウエハのようなチップに比べて大きなもの、またはエッチングレートを向上させる場合、あるいは設備の構成によっては、原子線源と対象物との距離が不均一になる場合があり、このような場合に高速原子を照射すると、対象物に衝突する原子密度が均一にならず、対象物の構造が設計と不一致となり、不良を発生させてしまう。

【０００８】

また、処理の量や対象物が変われば、従来法では原子線源の構造を変更しなければならず、経済的ではない。

【０００９】

本発明は、前記従来課題を解決するものであって、安価に短時間で所望の単位時間当たりの放出原子密度分布にすることを可能にした高速原子線源および高速原子線放出方法ならびに表面改質装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【００１０】

前記目的を達成するために、本発明は以下のように構成する。

【００１１】

本発明の第１態様によれば、一部が開口され、陰極として作用して、原子を放出可能な放出部を有し、かつ内部にプラズマを発生させる筒状体と、

前記筒状体の内部に配置される陽極と、

前記陽極に電氣的に接続されて前記陽極に電圧を印加して、前記筒状体内に前記プラズマを発生させて、前記放出部から原子を放出させる電源と、

前記筒状体の内部で前記放出部に対して前記陽極を変位させる陽極駆動部とを備える原子線源を提供する。

【００１２】

本発明の第２態様によれば、前記陽極は、棒状あるいはリング状である第１の態様に記載の原子線源を提供する。

【００１３】

本発明の第３態様によれば、前記陽極駆動部を制御して、前記放出部に対して前記陽極を所定周期毎に接近し又は離れるように変位させる制御部をさらに備える第１または２の態様に記載の原子線源を提供する。

【００１４】

本発明の第４態様によれば、前記陽極の前記変位に関連して、前記電源から前記陽極に印加される前記電圧を制御する制御部をさらに備える第１～３のいずれか１つの態様に記載の原子線源を提供する。

【００１５】

本発明の第５態様によれば、筒状体を陰極とし、前記筒状体の内部に設けられた陽極に電圧を印加して前記筒状体の内部でプラズマを発生させて前記筒状体の一部が開口されて陰極として作用して、原子を放出可能な放出部から原子を放出するとともに、前記筒状体の内部で前記放出部に対して前記陽極を陽極駆動部により変位させる原子線放出方法を提供する。

本発明の第６態様によれば、前記陽極駆動部を制御して、前記放出部に対して前記陽極を所定周期毎に変位させつつ、前記筒状体の内部で前記プラズマを発生させて前記放出部から前記原子を放出する、第５の態様に記載の原子線放出方法を提供する。

【００１６】

本発明の第７態様によれば、前記陽極として複数の棒状の陽極が配置されており、前記

複数の棒状の陽極の長手軸方向はそれぞれ前記放出部に大略平行な状態で、かつ、前記放出部が、前記原子を放出する対象の対象物の面に対して傾斜した状態で、前記筒状体の内部で前記プラズマを発生させて前記放出部から前記原子を放出するとともに、前記複数の棒状の陽極のうち、少なくとも前記対象物に近い側の前記陽極を前記放出部に対して変位させる、第5又は6の態様に記載の原子線放出方法を提供する。

【0017】

本発明の第8態様によれば、前記陽極の前記変位に関連して、前記電源から前記陽極に印加される前記電圧を制御しながら、前記筒状体の内部でプラズマを発生させて前記開口部から原子を放出する、第5～7のいずれか1つの態様に記載の原子線放出方法を提供する。

【0018】

本発明の第9態様によれば、筒状体内部にプラズマを発生させた原子線源から原子を対象物に放出して前記対象物の表面改質をする表面改質装置において、

載置台に載置された前記対象物の平面に垂直な軸に対し、前記原子線源における原子を放出する放出中心軸を傾斜して設置されるとともに、

前記原子線源として、第1～3いずれか1つの態様に記載の原子線源により構成する表面改質装置を提供する。

【0019】

前記構成により、内部にプラズマを発生させて原子を放出する陰極の筒状体内部に棒状あるいはリング状の陽極を配置し、この陽極を変位可能にして、対象物に対して最適な単位時間当たりの放出原子密度分布となるように、筒状体内の陽極を変位させ、放電空間内の電子密度を制御することにより、所望の処理能力を確保することが可能になる。

【発明の効果】

【0020】

本発明によれば、陰極である筒状体内部の陽極を変位させ、放電空間内の電子密度を制御することにより、安価に短時間で所望の単位時間当たりの放出原子密度分布を得ることができ、表面改質装置においては、良好な表面処理が可能になる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0021】

以下、本発明の実施の形態について、図面を参照しながら説明する。

【0022】

図1は、本発明の第1実施形態に係る高速原子線源を説明するための高速原子線源の一部を破断して示す斜視図であり、1は高速原子線源の外枠（筒状体の一例、図1では直方体形状の筒状体で示す。）、2は外枠1の内部に互いに平行に配置された複数の棒状の陽極、3は外枠1の外部に配置された直流高圧電源、4は外枠1の内部の放電空間、5は外枠1の一面に配置されて外枠1の外部と放電空間4を繋ぐ原子放出部、6は外枠1の一面に配置されたガス導入部、7は放出される原子線を示す。

【0023】

図1において、高速原子線源の外枠1は、絶縁体またはアースと接続された導電体で構成されており、内部に設けられた複数の陽極2には直流高圧電源3が接続されて、例えば2kV～3kVの電圧を複数の陽極2のそれぞれに印加する。また、外枠1の一部（少なくとも、陽極2の軸方向と平行な方向沿いの面、図1では上面と下面）には、外部と放電空間4を繋ぐ開口である原子放出部5が設けられている。原子放出部5は、外枠1の導電体部分と導通が取れており、共に陰極として作用する。原子放出部5の形状は、無数の貫通孔がある導電性の板体とするものが一般的である。原子放出部5は、図1では、上下に2つの面を設けているが、高速原子線を効率良く発生させるためには、上下いずれか1つの面とするのが好ましい。複数の陽極2は、一例として、それぞれ、上下の原子放出部5に対して同一距離だけ離れて互いに大略平行に配置されている。

【0024】

さらに、外枠1の一部（図1では、原子放出部5が配置された上面と直交する左側の側

面)には、外枠1の外部から放電用のガスを導入するためのガス導入部6が設けられている。ガス導入部6は、この配置に限らず、外枠1の形状、および陽極2の形状と位置に応じて、プラズマが安定する最適な場所へ配置することが望ましい。ガス導入部6には、ガス供給装置70が連結されて、制御装置100の制御の下に、ガス供給装置70から、プラズマを形成するのに必要なガスがガス導入部6を通して外枠1の内部の放電空間4に供給されるようにしている。

【0025】

なお、所望の原子線7の密度が得られるものであれば、外枠1の形状は任意に設計できる。また、原子放出部5の配置は、所望の原子線7の密度が得られる場所であれば、設置個数、方向、場所を任意に設定することができる。第1実施形態における図1に示す原子放出部5の位置は、放出原子密度の比較的高い位置に配置した例である。

【0026】

ガス供給装置70により、ガス導入部6からプラズマを形成するガス、例えばAr、N₂、He、H、O₂、H₂Oなどを放電空間4内に導入し、減圧装置71により放電空間4の圧力を約100Pa以下にし、直流高圧電源3により陽極2に直流電圧を印加することによって、放電空間4にプラズマが形成される。制御装置100は、ガス供給装置70と、減圧装置71と、直流高圧電源3と、陽極駆動装置31に接続された制御部32とをそれぞれ動作制御して、放電空間4にプラズマを形成するようにする。

【0027】

図2Aは、本発明の前記第1実施形態に係る高速原子線源を搭載した表面処理装置の一例としての表面改質装置を示す概略構成図であり、11は反応容器により構成される反応室、12は処理対象物である一方の基板であって一例としてSi(シリコン)からなり、13は処理対象物である他方の基板であって一例としてSi(シリコン)からなる。制御装置100は、ガス供給装置70と、減圧装置71と、直流高圧電源3と、陽極駆動装置31に接続された制御部32とをそれぞれ有する高速原子線源19、20と、ペローズ駆動装置74などとを動作制御するとともに、質量分析器28、30からの分析結果情報が入力されて、放電空間4にプラズマを形成して基板の表面改質を行なうようにする。

【0028】

一方の基板12は下部基板台14の上に載置され、他方の基板13は上部基板台15に固定される。上部基板台15には静電チャック16が埋め込まれ、静電チャック16に電圧印加装置73により電圧を印加することにより、他方の基板13は静電チャック16に静電吸着される。上部基板台15は、ペローズ17に取り付けられて、反応室11に対して昇降可能としている。すなわち、ペローズ17は、その下端が、反応室11の上面に固定されたリング状固定板17cに固定され、ペローズ17の上端には固定板17bが固定されている。固定板17bを貫通して固定板17bに支持棒17aが固定されている。支持棒17aの下部は反応室11を貫通して、下端に上部基板台15が固定されている。ペローズ17は、エアポンプなどのペローズ駆動装置74に連結されて、ペローズ駆動装置74が駆動されることにより、ペローズ17が伸縮して、固定板17bによって支持棒17aが昇降し、上部基板台15を昇降させることができる。すなわち、このペローズ17を上下することにより、ペローズ17に連結された上部基板台15を上下動かすことができ、対向する面が互いに表面改質された他方の基板13を、一方の基板12に圧着させることができる。

【0029】

18は反応室11の真空排気口、71は反応室11内を真空吸引して減圧にする減圧装置、19は一方の基板12を改質するための高速原子線7を放出する第1の高速原子線源(例えば、図1の高速原子線源)、20は他方の基板13を改質するための高速原子線7を放出する第2の高速原子線源(例えば、図1の高速原子線源)、両高速原子線源19、20には、それぞれ、ガス供給配管21、22と、陽極2への電圧印加用の電力供給配線23、24が接続されている。ガス供給配管21、22と電力供給配線23、24は、供給コネクタ25、26により、反応室11の真空度を保つことができるようにしている。

また、支持棒 17a も、シール 17d により反応室 11 の真空度を保つことができるようにしている。

【0030】

27 は、一方の基板 12 の基板表面を第 1 の高速原子線源 19 から照射された高速原子線 7 により洗浄する際、該一方の基板 12 の表面から放出された元素を取り込むための質量分析口、28 は質量分析口 27 に連結された質量分析器である。また、29 は、他方の基板 13 の基板表面を第 2 の高速原子線源 20 から照射された高速原子線により洗浄する際、該他方の基板 13 の表面から放出された元素を取り込むための質量分析口、30 は質量分析口 29 に連結された質量分析器である。質量分析器 29, 30 により質量分析をそれぞれの基板 12, 13 に対して行ない、その分析結果の情報を基に制御装置 100 で洗浄動作を制御することにより、それぞれの基板 12, 13 に対して所望の洗浄が行えるようにしている。

【0031】

前記構成の高速原子線源および表面改質装置における動作中、プラズマ内の加速されたイオンが他のイオン、原子、電子、および放電空間 4 の外枠内壁、陽極 2 などに衝突した際に中性化された原子が、原子放出部 5 を通過して原子線 7 を形成する。原子線 7 の原子の密度は、放電空間 4 における原子放出部 5 と陽極 2 との間の電子密度に大きく影響を受ける。

【0032】

図 3A 及び図 3B に示すように、原子放出部 5 に対して同一距離だけ離れて複数の陽極 2 がそれぞれ配置され、外枠 1 に対して上側にのみ配置された原子放出部 5 の表面と基板 12、13 とが大略平行に配置されておれば、基板 12、13 の表面のそれぞれの点と陽極 2 との距離が一定であるため、通常、図 1 に示す高速原子線源 19, 20 の放出原子密度、従って、基板 12、13 の表面に衝突する原子密度は均一で一定になるように構成されている。図 3B の 45 は 2 つの陽極 2 の中間部に形成されたプラズマを概略的に示している。しかしながら、図 5 に示すように、従来のように、陽極 2 の位置を外枠 1 内で固定したまま、単に、斜め方向から処理対象物である基板 12、13 に高速原子線 7 を高速原子線源 19, 20 から照射する場合には、基板 12、13 の表面のそれぞれの点と陽極 2 との距離が一定ではないため、実際に、基板 12、13 の表面に衝突する原子密度が不均一となる。図 5 では、高速原子線源 19, 20 の斜め右下側に位置する陽極 2 と基板 12、13 の表面との距離が最も近く、単位時間当たりの原子密度が高くなる一方、高速原子線源 19, 20 の斜め左上側に位置する陽極 2 と基板 12、13 の表面との距離が最も大きく、単位時間当たりの原子密度が低くなるので、基板 12、13 の表面に衝突する原子密度が不均一となっている。

【0033】

そこで、図 4A に示すように、放電空間 4 の内部の陽極 2 の位置を陰極である外枠 1 側へ近付けると（例えば、陽極 2 の長手方向の一端部（図 4A の右端部）を支点として他端部（図 4A の左端部）を陰極である外枠 1 側へ近付けると）、陽極 2 から陰極へ引っ張られるイオンの運動エネルギーが減少する。図 4B は、2 つの陽極 2 のうちの左側の陽極 2 のみを図 4A のように変位させたときに、2 つの陽極 2 の中間部に右側に傾斜して形成されたプラズマ 45 を概略的に示している。図 4C は、2 つの陽極 2 のうちの左側の陽極 2 のみを図 4A とは逆方向に陰極から遠ざかるように変位させたときに、2 つの陽極 2 の中間部に左側に傾斜して形成されたプラズマ 45 を概略的に示している。また、陽極 2 の周りを周期運動している電子は、陽極 2 と陰極の距離が近くなることによって、外枠 1 の壁への衝突が増加し電子の密度が減少する。その結果、衝突によって中性化された原子の数が減少し、放出原子密度が減少する。

【0034】

よって、後述するように陽極 2 の位置を変えるように制御（陽極 2 が変位するように制御）することにより、所望の単位時間当たりの放出原子密度にするように陽極 2 に勾配を付けることが可能となる。すなわち、図 6 に示すように、斜め方向から基板 12、13 に

高速原子線 7 を高速原子線源 19, 20 から照射し、基板 12、13 に衝突する原子密度を均一にするように陽極 2 の位置を変更させる、すなわち陽極 2 を変位させるように制御することにより、原子線 7 による均一処理が可能となる。

【0035】

具体的には、一例として、複数の棒状の陽極 2 が配置されており、前記複数の棒状の陽極 2 の長手軸方向はそれぞれ前記放出部 5 に大略平行な状態で、かつ、前記放出部 5 が、前記原子を放出する対象の対象物の一例としての基板 12、13 の面に対して傾斜した状態で、前記外枠 1 の内部で前記プラズマを発生させて前記放出部 5 から前記原子を放出するとともに、前記複数の棒状の陽極 2 のうち、少なくとも前記基板 12、13 に遠い側の前記陽極 2 (図 6 では左上側の陽極 2) を前記放出部 5 に対して変位 (例えば接近) させれば、図 3 B ような大略均一なプラズマ 45 を陽極 2、2 間に形成することできて、高速原子線 7 による基板 12、13 の表面に衝突する原子密度を大略均一にすることができる。

【0036】

図 7～図 9 は第 1 実施形態における陽極の配置例、その変位動作などに係る説明図である。

【0037】

図 7 において、31a は、棒状の陽極 2 を、該陽極 2 の中心を回動軸として反復回動可能にすることにより、陽極 2 と前記原子放出部 5 との距離を変える、陽極駆動部 31 の一例としての陽極駆動部、32a は、陽極 2 の変位により所望の原子密度分布を得るように設定された入力データを受けて、陽極 2 を変位させるための駆動制御信号を陽極駆動部 31a のモータ 81 に出力する、制御部 32 の一例としての制御部である。

【0038】

陽極 2 の変位動作としては、陽極 2 の中心を支点として揺動するのではなく、左右に平行移動させてもよく、また、陽極 2 の変位動作は、プラズマ放電を妨げないような動作であるなら、どのような動作でもよい。例えば、陽極 2 の変位は、前記原子放出部 5 に対して単純に遠ざかる運動、単純に近づく運動、プラズマ発生位置を中心として前記原子放出部 5 に対して接離する運動などが挙げられる。前記原子放出部 5 に対して単純に遠ざかる運動又は単純に近づく運動は、運動が単純であるため制御しやすく、原子密度分布を全体的に増減させることができる。これに対して、プラズマ発生位置を中心として前記原子放出部 5 に対して接離する運動の場合には、陽極 2 の長手方向の一方の端部側の原子密度分布に対して他方の端部側の原子密度分布を相対的に増減させることができ、部分的に原子密度分布を増減させることができる。

【0039】

陽極駆動部 31a は、具体的に図示しないが、モータ、シリンダ、又は電磁石などの陽極駆動源とその駆動力伝達機構とにより構成されている。具体的には、図 2 B 及び図 2 C に示すように、陽極駆動部 31a は、反応室 11 の外部の駆動源から磁石を利用して回転駆動力を反応室 11 内に伝達し、反応室 11 内の高速原子線源 19, 20 の近傍でカム機構により陽極 2 の変位を行なうようにしている。一例として、図 2 B に示すように、反応室 11 の外部には駆動源の一例としてのモータ 81 を配置している。モータ 81 の回転軸 81a にはカップリング 82 が連結されている。カップリング 82 により、モータ 81 の回転軸 81a と連結された駆動軸 83 は、反応室 11 の壁 11w を貫通して、壁 11w に対して軸受け 90 により回転自在に支持されるように配置されている。なお、91 は反応室 11 の減圧状態を維持するためのシールである。駆動軸 83 の外枠 1 の内側端部の円柱部には、N 極と S 極の駆動側磁石 84n, 84s が固定されている。N 極と S 極の駆動側磁石 84n, 84s の周囲には、N 極と S 極の駆動側磁石 84n, 84s と隙間を空けてかつ磁氣的に吸引する S 極と N 極の従動側磁石 85s, 85n が従動軸 86 の外側端部の円筒部に固定されて、駆動側磁石 84n, 84s の回転に対応して従動側磁石 85s, 85n が同時的に回転されることにより、非接触で、モータ 81 からの回転力を従動軸 86 に伝達できるようにしている。図 2 C に示すように、従動軸 86 の内側端部には偏心カム

８７を固定し、従動軸８６の回転により偏心カム８７が従動軸８６の回転軸８６ｒ周りに偏心回転するようにしている（図２Ｄ参照）。この偏心カム８７には、外枠１の枠壁１ｗの長孔１ｐ（図２Ｅ参照）を貫通して陽極２に連結されたカムフォロワ８８がバネ８９の付勢力により常時接触するように付勢されている。カムフォロワ８８は、従動軸８６の回転軸と直交する案内軸８９ｇ沿いに直線的に昇降移動する。一方、各陽極２は、その長手方向の中央部が絶縁体支持部材７９で揺動可能に外枠１に支持されており、各陽極２の一端が、自在継ぎ手や球面軸受けなどの連結部８８ａを介してカムフォロワ８８と連結されて、カムフォロワ８８の移動に対して陽極２が絶縁体支持部材７９を支点として揺動可能としている。この結果、カムフォロワ８８の昇降運動により、絶縁体支持部材７９を支点として陽極２が図７に示すように揺動することになる。絶縁体支持部材７９による陽極２の支持箇所をプラズマ発生位置の中心にすれば、プラズマ発生位置の中心回りに陽極２が揺動することになる。

【００４０】

また、陽極駆動部３１ａに接続された制御部３２ａによって、陽極駆動部３１ａを陽極変位駆動中に停止したり、駆動速度を変更したりするなどの動作制御を行なって、陽極２における各姿勢の滞在時間などを変更することにより、単位時間あたりの原子密度を変化させることができる。

【００４１】

図７のような陽極の揺動動作を行なうことにより、陰極の軸方向の原子放出部の中心付近の、原子密度を一定として、原子放出部端部の原子密度を上下させることができる。

【００４２】

次に、図８に示す別の例では、図７の揺動運動に代えて、陽極２と前記原子放出部５との平行状態を保ったまま、陽極２と前記原子放出部５との距離を増減するように、陽極２を図８の上下方向（陽極２の直径方向でかつ前記原子放出部５の表面とは直交する方向）沿いに変位させることにより、原子密度を可変にしている。図７に示す例と同様に、陽極駆動部３１の一例としての陽極駆動部３１ｂは駆動源の一例としてモータ、シリンダ、又は電磁石などで構成することができ、陽極駆動部３１ｂと同様な構成とすることができる。図７とは異なり、陽極２は単に上下方向に移動するため、陽極２の揺動を許容するような自在継ぎ手や球面軸受けなどの連結部８８ａは不要となり、単に、カムフォロワ８８の一端を陽極２に連結固定するだけでよく、連結構造を簡単なものとすることができる。図７の制御部３２ａと同様に、陽極２を変位させるための駆動制御信号を陽極駆動部３１ｂに出力する、制御部３２の一例としての制御部３２ｂによって、上下方向に移動の移動動作中に停止したり、動作速度を変更したりするなどの動作制御を行なって、陽極２の各姿勢の滞在時間を変更することにより、単位時間あたりの原子密度を変化させるようにしてもよい。

【００４３】

図８のような陽極２の平行移動を行なうことにより、均一勾配の密度の原子線放出を行なうことができる。より具体的には、原子放出部の固定の電極を基準として、可動側へ、なだらかな勾配の密度を有する原子線放出を行なうことができる。

【００４４】

次に、図９に示すさらに別の例では、陽極２と前記原子放出部５との距離を一定に保ったまま、陽極２を横方向沿い（陽極２の直径方向でかつ前記原子放出部５の表面沿い）に変位させることにより、原子密度を可変にしている。図７、図８に示す例と同様に、陽極駆動部３１の一例としての陽極駆動部３１ｃは駆動源の一例としてモータ、シリンダ、又は電磁石などで構成することができ、陽極駆動部３１ｂと同様な構成とすることができる。図７とは異なり、陽極２は単に横方向に移動するため、陽極２の揺動を許容するような自在継ぎ手や球面軸受けなどの連結部８８ａは不要となり、単に、カムフォロワ８８の一端を陽極２に連結固定するだけでよく、連結構造を簡単なものとすることができる。図７の制御部３２ａと同様に、陽極２を変位させるための駆動制御信号を陽極駆動部３１ｃに出力する、制御部３２の一例としての制御部３２ｃによって、横方向の移動動作中に停止

したり、動作速度を変更したりして、陽極 2 の各姿勢の滞在時間を変更することにより、単位時間あたりの原子密度を変化させるようにしてもよい。

【0045】

図 9 のような陽極 2 の横方向の移動動作を行なうことにより、均一勾配の密度の原子線放出を行なうことができる。より具体的には、全体はほぼ均一に、原子放出部の端部（可動電極側）のみの密度の急な増減の原子線放出を行なうことができる。

【0046】

次に、図 10 は、図 1 に示す第 1 実施形態の変形例にかかる高速原子線源 40 A における一部を破断して示す斜視図であり、図 1 に示す高速原子線源の外枠 1 が矩形状であるのに対して、この変形例では外枠 1 A を円筒状にし、原子放出部 5 A を円筒状の外枠 1 A の軸方向の 1 つの円形端面の中央部の円形部分とし、ガス導入部 6 A を円筒状の外枠 1 A の湾曲した周面に形成することが異なる。

【0047】

図 10 のような、高速原子線源によれば、対象物に対して、原子線放出密度が高くかつ狭い範囲で原子線放出を行なうことができる。

【0048】

また、図 11 は、本発明の第 2 実施形態に係る高速原子線源 40 B を説明するための高速原子線源 40 B の外枠 1 A の一部を破断して示す斜視図である。なお、以下の説明において、前記第 1 実施形態などにて説明した部材に対応する部材には同一符号を付して詳しい説明は省略する。

【0049】

第 2 実施形態は、高速原子線源 40 B の外枠 1 A を円筒状にし、内部に設置する陽極 2 B としてリング状のものを使用し、リング状の陽極 2 B に対応して原子放出部 5 B を図 10 の原子放出部 5 A よりも大きい円板にして外枠 1 A の軸方向の両側の端面に配置した点が第 1 実施形態と異なる。

【0050】

図 11 のような、高速原子線源によれば、図 10 の高速原子線源よりも広い範囲に原子線放出を行なうことができる。

【0051】

さらに、図 12 A ～ 図 14 は第 2 実施形態における陽極 2 B の配置例、その変位動作などに係る説明図である。

【0052】

図 12 A は陽極 2 B の正面図、図 12 B は図 12 A における陽極 2 B と駆動制御系を示す側面図であって、31 d は、リング状の陽極 2 B の中線を軸として一点鎖線で示すように反復回動可能にすることにより、陽極 2 B と図 11 の原子放出部 5 B との距離を変える、陽極駆動部 31 の一例としての陽極駆動部、32 d は陽極 2 B を変位させるための駆動制御信号を陽極駆動部 31 d に出力する、制御部 32 の一例としての制御部である。

【0053】

制御部 32 d によって、陽極駆動部 31 d を駆動中に停止したり、駆動速度を変更したりして、陽極 2 B における各姿勢の滞在時間などを変更することにより、単位時間あたりの原子密度を変化させることができる。

【0054】

図 12 A、図 12 B の陽極 2 の変位を行なうことにより、原子放出部の中心（円陽極の中心）の密度を中心として対称な密度を有する原子線放出を行なうことができる。

【0055】

また、図 13 に示す例では、陽極 2 B と前記原子放出部 5 B との平行状態を保ったまま、陽極駆動部 31 の一例としての陽極駆動部 31 e により陽極 2 B を横方向（図 13 の左右方向、図 11 の外枠 1 A の軸方向と直交する方向）に変位させることにより、原子密度を可変にしている。図 12 に示す例と同様に、陽極駆動部 31 e を、陽極 2 B を変位させるための駆動制御信号を陽極駆動部 31 e に出力する、制御部 32 の一例としての制御部

3 2 e によって、変位動作中に停止したり、変位動作速度を変更したりして、陽極 2 B の各姿勢の滞在時間を変更することにより、単位時間あたりの原子密度を変化させるようにしてもよい。

【0056】

図 1 3 の陽極の変位を行なうことにより、外枠（陰極）に陽極が近い箇所の密度を上げた状態の、原子線放出を行なうことができる。

【0057】

図 1 4 に示す例では、陽極 2 B と前記原子放出部 5 との距離を一定に保ったまま、陽極駆動部 3 1 の一例としての陽極駆動部 3 1 f により陽極 2 B を図 1 4 の上下方向、横方向、斜め方向に変位させることにより、原子密度を可変させている。この例においても、図 1 2 に示す例と同様に、陽極駆動部 3 1 f を、陽極 2 B を変位させるための駆動制御信号を陽極駆動部 3 1 f に出力する制御部 3 2 f によって、陽極 2 B を、変位動作中に停止したり、速度を変更したりして、陽極 2 B の各姿勢の滞在時間を変更することによって、単位時間あたりの原子密度を変化させてもよい。

【0058】

図 1 4 の陽極の変位を行なうことにより、原子放出部（外枠（陰極））に対して陽極 2 が小さい場合には、原子線の密度の高い原子線放出を局所的に行なうことができる。従って、対象物の照射面に選択的に原子線放出をしたい場合に好適なものとなる。

【0059】

なお、図 8 ～図 1 4 までの前記実施形態及び前記変形例において、それぞれの駆動部は、図 7 の駆動部 3 1 a と同様な構造を有し、それぞれの例において、駆動力の伝達方向の変換が必要な場合には、適宜、公知の機構を使用すればよい。

【0060】

本発明は、前記した実施形態や変形例に限らず、種々の態様で実施することができる。

【0061】

例えば、前記実施形態及び前記変形例の他の、陽極 2、2 B の変位の例として、陽極 2、2 B の変位開始直前に、陽極 2、2 B に印加する電圧を上げたのち、陽極 2、2 B の変位を行なうことも可能である。このように電圧を上げてから、陽極 2、2 B の変位を行なうことにより、電圧印加開始時の初期プラズマ発生時のプラズマを安定させることができる。また、陽極 2、2 B の変位動作中に、陽極 2、2 B に印加する電圧を上下させながら変位を行なうことも可能である。このように、陽極 2、2 B の変位動作中に電圧を上下させると、複数の陽極 2、2 B 間の間隔を広げるときは電圧を上げ、複数の陽極 2、2 B 間の間隔を狭めるときは電圧を下げるようにすれば、陽極変位前に放出していた単位面積当たりの原子線の密度と、陽極変位中及び陽極変位後の単位面積当たりの原子線の密度をほぼ一定に保つことができる。

【0062】

また、図 2 A では、高速原子線源 1 9、2 0 が 2 つ配置されているが、1 つの高速原子線源 1 9 だけ配置するようにしてもよい。例えば、図 2 F に示すように、基板 1 2 の表面のクリーニングなどの表面処理を行なう場合に最適なものとすることができる。

【0063】

図 2 F のようにすれば、1 つの対象物の片面を洗浄したいときに、簡単な装置構成にすることができる。

【0064】

また、陽極 2、2 B の変形例として、複数の陽極 2、2 B のうち、基板側に近い側の陽極を、一旦基板側から遠ざけたのち、そのまま遠ざけたままであると、プラズマが消える可能性がある。そこで、再び、元の位置又はその元の位置よりも基板に近い位置まで陽極 2、2 B を移動させるのが好ましい。よって、このような陽極 2、2 B の往復移動を所定周期毎に行なうことが好ましい。位置の変位は、せいぜい 1 c m 程度が好ましい。

【0065】

原子放出部（外枠（陰極））と陽極の大きさにもよるが、1 c m 未満であれば、プラズ

マの強度が強くなりすぎて、陽極や陰極が損傷する可能性があるため、前記したように1 cm程度が好ましい。

【0066】

なお、対象物の基板12, 13は、ウェハレベルで、4～12インチのウェハに適用することができる。例えば、6インチのウェハの場合には、高速原子線源は例えば190 mm×280 mm×100 mmの大きさのものが使用できる。この場合の原子放出部5は20 cm×20 cm程度が好ましい。

【0067】

また、複数の陽極2, 2Bに1つの電源から同じ電圧を印加するものの他、図15A, 図15Bに変形例として示すように、複数の陽極2, 2B毎に直流高圧電源3a, 3bを備えて、それぞれ独立して直流高圧電源3a, 3bからそれぞれの陽極2に電圧を印加可能とするようにしてもよい。この場合には、陽極2, 2B毎に異なる電圧を印加することも可能である。図15Aにおいて、右側の陽極2に対して、左側の陽極2よりも低い電圧を直流高圧電源3bから印加するように制御装置100で制御する。すると、最初は、図15Aに示すように、左側の陽極2よりも右側の陽極2に近寄った位置にプラズマ45が形成され、その後、図15Bに示すように、左側の陽極2から右側の陽極2に向けてプラズマ45が形成されるようになる。これにより、右側の陽極2に近い側で、原子線7が多く放出されるようにすることができる。

【0068】

図15A, 15Bのように変化させることで、プラズマを安定した状態で陽極2側に移動させることができる。

【0069】

なお、本明細書において原子を放出するとして説明したが、外枠内に発生したプラズマからイオンを放出することも可能である。

【0070】

なお、上記様々な実施形態及び変形例のうちの任意の実施形態又は変形例を適宜組み合わせることにより、それぞれの有する効果を奏するようにすることができる。

【産業上の利用可能性】

【0071】

本発明は、半導体製造プロセス、MEMS (Micro Electro Mechanical System)、常温接合分野などにおいて、スパッタ、蒸着、エッチング、表面クリーニング、デポジッションなどの材料加工、ナノ加工分野などの構成、製作、加工の用途に用いられる高速原子線源装置および高速原子線放出方法ならびに表面改質装置として適用され、特に、加工面積が広い対象物や、装置構成または加工特性上、加工面と高速原子線源との距離を一定にすることができない場合に有効である。

【図面の簡単な説明】

【0072】

【図1】本発明の第1実施形態に係る高速原子線源を説明するための高速原子線源の一部を破断して示す斜視図

【図2A】本発明の第1実施形態に係る高速原子線源を搭載した表面改質装置を示す概略構成図

【図2B】前記表面改質装置の陽極駆動部の一例の部分概略構成図

【図2C】前記表面改質装置の陽極駆動部の一例の部分概略構成図

【図2D】図2Cにおいて矢印Aの方向から見た図であって、前記表面改質装置の陽極駆動部の一例のカム部分の概略構成図

【図2E】図2Cにおいて矢印Bの方向から見た図であって、前記表面改質装置の陽極駆動部の一例の長孔部分の概略構成図

【図2F】本発明の第1実施形態に係る高速原子線源を搭載した表面処理装置において、高速原子線源を1つだけ配置した例を示す概略構成図

【図3A】高速原子線源の放出原子密度分布の説明図（より詳しくは、上側の図は原子放

出部の位置に対する放出原子密度の分布のグラフ、下側の図は高速原子線源の側面図)

【図 3 B】図 3 A における、高速原子線源の放出原子密度分布の平面的な説明図

【図 4 A】陽極を変位させる場合の本発明の第 1 実施形態における高速原子線源の放出原子密度分布の説明図 (より詳しくは、上側の図は原子放出部の位置に対する放出原子密度の分布のグラフ、下側の図は高速原子線源の側面図)

【図 4 B】図 4 A の高速原子線源において、2 つの陽極のうちの左側の陽極のみを図 4 A のように変位させたときに、2 つの陽極の中間部に右側に傾斜して形成されたプラズマを概略的に示す、高速原子線源の放出原子密度分布の平面的な説明図

【図 4 C】2 つの陽極のうちの左側の陽極のみを図 4 A とは逆方向に陰極から遠ざかるように変位させたときに、2 つの陽極の中間部に左側に傾斜して形成されたプラズマを概略的に示す、高速原子線源の放出原子密度分布の平面的な説明図

【図 5】従来の配置のように、高速原子線源を斜め方向から照射したときの対象物への衝突原子密度分布の説明図 (より詳しくは、上側の図は高速原子線源で対象物を照射する状態の側面図、下側の図は原子放出部の位置に対する放出原子密度の分布のグラフ)

【図 6】本第 1 実施形態における高速原子線源を斜め方向から照射したときの対象物への衝突原子密度分布の説明図 (より詳しくは、上側の図は高速原子線源で対象物を照射する状態の側面図、下側の図は原子放出部の位置に対する放出原子密度の分布のグラフ)

【図 7】第 1 実施形態における陽極の配置例、その変位動作などに係る説明図

【図 8】第 1 実施形態における陽極の別の配置例、その変位動作などに係る説明図

【図 9】第 1 実施形態における陽極のさらに別の配置例、その変位動作などに係る説明図

【図 10】図 1 に示す第 1 実施形態の変形例における高速原子線源の一部を破断して示す斜視図

【図 11】本発明の第 2 実施形態に係る高速原子線源を説明するための高速原子線源の一部を破断して示す斜視図

【図 12 A】第 2 実施形態における陽極の配置例、その変位動作などに係る説明図

【図 12 B】第 2 実施形態における陽極などの配置例、その変位動作などに係る説明図

【図 13】第 2 実施形態における陽極などの配置例、その変位動作などに係る説明図

【図 14】第 2 実施形態における陽極などの配置例、その変位動作などに係る説明図

【図 15 A】本発明の第 1 実施形態のさらに変形例における、高速原子線源の放出原子密度分布の平面的な説明図

【図 15 B】本発明の第 1 実施形態のさらに変形例における、高速原子線源の放出原子密度分布の平面的な説明図

【符号の説明】

【0073】

- 1 高速原子線源の外枠 (筒状体の一例)
- 2 陽極
- 3 直流高圧電源
- 4 放電空間
- 5 原子放出部
- 6 ガス導入部
- 7 原子線
- 11 反応室
- 12、13 基板 (処理対象物)
- 14 下部基板台
- 15 上部基板台
- 19、20 高速原子線源
- 31、31a～31f 陽極駆動部
- 32、32a～32f 制御部
- 70 ガス供給装置
- 71 減圧装置

7 3 電圧印加装置

7 4 ペローズ駆動装置

1 0 0 制御装置

【手続補正 3】

【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図 3 A

【補正方法】変更

【補正の内容】

【図 3 A】

