

(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
2019年12月12日(12.12.2019)



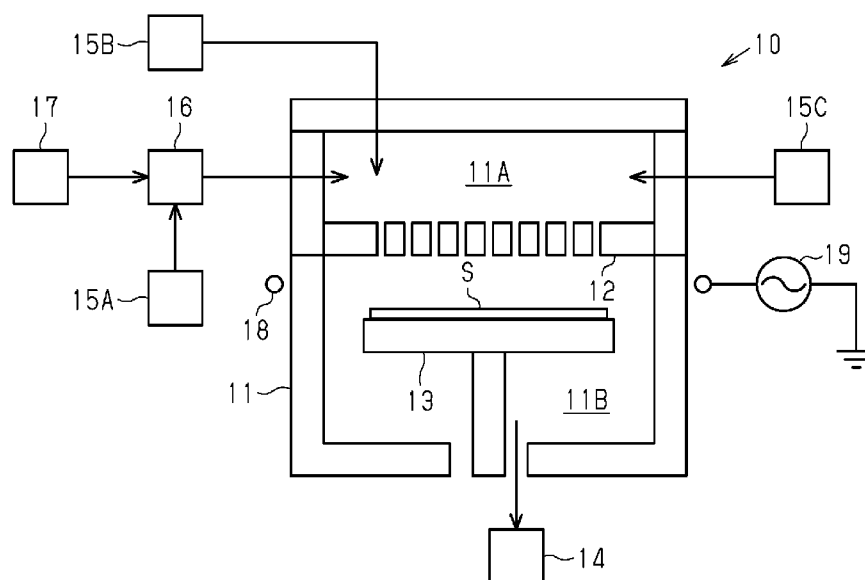
(10) 国際公開番号

WO 2019/235196 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/3065 (2006.01) *H05H 1/46* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2019/019854
- (22) 国際出願日: 2019年5月20日(20.05.2019)
- (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 2018-110335 2018年6月8日(08.06.2018) JP
- (71) 出願人: 株式会社 アルバック (ULVAC, INC.)
[JP/JP]; 〒2538543 神奈川県茅ヶ崎市萩園
2 5 0 0 番地 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者: 隣 嘉 津 彦 (TONARI Kazuhiko);
〒2538543 神奈川県茅ヶ崎市萩園 2 5 0 0
番地 株式会社 アルバック内 Kanagawa (JP).
井上 寛 揚 (INOUE Hiroaki); 〒2538543 神奈
川県茅ヶ崎市萩園 2 5 0 0 番地 株式会
社 アルバック内 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 恩 田 誠, 外 (ONDA Makoto et al.);
〒5008731 岐阜県岐阜市大宮町二丁目
1 2 番地 1 Gifu (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, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR REMOVING OXIDE FILM

(54) 発明の名称: 酸化膜除去方法、および、酸化膜除去装置



(57) Abstract: A method for removing an oxide film which comprises: supplying an etchant containing fluorine and hydrogen to a silicon oxide film included in a subject (S) to be treated to thereby form a reaction product having a higher volatility than the silicon oxide film; and providing energy, said energy being for the volatilization of the reaction product, to the reaction product to thereby remove the reaction product on the subject (S) therefrom. The procedure of removing the reaction product involves maintaining the temperature of the subject (S) at

[続葉有]

HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH,
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, 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))

a level lower than 80°C.

(57) 要約: 酸化膜除去方法は、処理対象 (S) に含まれるシリコン酸化膜に、フッ素と水素とを含むエッチャントを供給することによって、シリコン酸化膜よりも揮発性が高い反応生成物を生成することと、反応生成物が揮発するためのエネルギーを反応生成物に与えることによって、処理対象 (S) 上から反応生成物を除去することを含む。反応生成物を除去することは、処理対象 (S) の温度を80°C未満の温度に維持することを含む。

明 細 書

発明の名称 : 酸化膜除去方法、および、酸化膜除去装置

技術分野

[0001] 本発明は、酸化膜除去方法、および、酸化膜除去装置に関する。

背景技術

[0002] シリコン基板の表面に形成されたシリコン酸化膜を除去する方法は、第1工程と第2工程とを含む。第1工程では、シリコン基板の表面に、水素とフッ素とを含むエッチャントを供給することによって、シリコン酸化膜とラジカルとの反応生成物を生成する。反応生成物は、シリコン酸化膜よりも高い揮発性を有する。第2工程では、反応生成物が揮発する以上の温度に反応生成物を加熱することによって、シリコン基板に付着した反応生成物を揮発させる。第2工程では、反応生成物を例えば200℃以上の温度に加熱する（例えば、特許文献1を参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2013-38109号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] ところで、反応生成物を加熱するときには、シリコン基板の全体が真空槽内に保持され、真空槽内の温度は、反応生成物の目標温度以上の温度である。そのため、反応生成物だけでなく、反応生成物が付着したシリコン基板も反応生成物と同程度の高温に加熱される。高温のシリコン基板が大気に暴露されると、シリコン基板の表面において、シリコンと大気中の酸素とが反応し、これによって、シリコン基板の表面に酸化膜が形成されてしまう。

[0005] 本発明は、シリコン酸化膜を除去した後において、シリコン基板の表面におけるシリコン酸化膜の形成を抑えることを可能とした酸化膜除去方法、および、酸化膜除去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

- [0006] 一態様の酸化膜除去方法は、処理対象に含まれるシリコン酸化膜に、フッ素と水素とを含むエッチャントを供給することによって、前記シリコン酸化膜よりも揮発性が高い反応生成物を生成することと、前記反応生成物が揮発するためのエネルギーを前記反応生成物に与えることによって、前記処理対象上から前記反応生成物を除去することと、を含む。前記反応生成物を除去することは、前記処理対象の温度を、 80°C 未満の温度に維持することを含む。
- [0007] 一態様の酸化膜除去装置は、シリコン酸化膜を有する処理対象を収容する真空槽と、フッ素と水素とを含むエッチャントを前記シリコン酸化膜に供給するエッチャント供給部と、前記エッチャントと前記シリコン酸化膜とから生成された反応生成物に、前記反応生成物が揮発するためのエネルギーを供給し、かつ、 80°C 未満の温度に前記処理対象を加熱する熱量を前記処理対象に供給するエネルギー供給部と、を備える。
- [0008] 上記構成によれば、処理対象に付着する反応生成物の除去において、処理対象の温度が大気中でのシリコンと酸素とが反応する未満の温度である。そのため、シリコン酸化膜が除去された後の処理対象を大気に暴露しても、処理対象の表面を形成するシリコンが酸化されることが抑えられる。言い換えれば、処理対象にシリコン酸化膜が形成されることが抑えられる。
- [0009] 上記酸化膜除去方法において、前記反応生成物を除去することは、希ガスから生成したプラズマに前記反応生成物が付着した前記処理対象を暴露することによって、前記反応生成物に前記エネルギーを与えることを含んでもよい。
- [0010] 上記構成によれば、反応生成物が揮発する程度に大きいエネルギーを反応生成物に与えつつ、処理対象の温度を大気中においてシリコンと酸素とが反応する未満の温度とすることができる。
- [0011] 上記酸化膜除去方法において、前記反応生成物を生成することは、フッ素を含むガスと、水素ラジカルおよびアンモニアラジカルの少なくとも一方と

を別々に供給し、前記フッ素を含むガスと、前記水素ラジカルおよび前記アンモニアラジカルの少なくとも一方とを前記シャワープレートによって別々に拡散して前記処理対象に供給することによって前記エッチャントを生成することを含んでもよい。

[0012] 上記酸化膜除去方法において、前記反応生成物を除去することは、前記エネルギーを前記反応生成物に与える期間の少なくとも一部においてバイアス電圧を前記処理対象に印加することを含んでもよい。

[0013] 上記構成によれば、処理対象にバイアス電圧を印加しない場合に比べて、反応生成物の揮発速度を高めることが可能である。

上記酸化膜除去装置において、前記エッチャント供給部は、フッ素を含むガスをシャワープレートに供給するフッ素ガス供給部と、水素ラジカルおよびアンモニアラジカルの少なくとも一方を前記フッ素を含むガスとは別々に前記シャワープレートに供給するラジカル供給部と、前記フッ素を含むガスと、前記水素ラジカルおよび前記アンモニアラジカルの少なくとも一方とを別々に前記処理対象に供給する前記シャワープレートと、を含んでもよい。

[0014] 上記各構成によれば、処理対象上の空間でエッチャントを生成することができる。

上記酸化膜除去装置はさらに、前記エネルギーを前記反応生成物に与える期間の少なくとも一部においてバイアス電圧を前記処理対象に印加するバイアス用高周波電源を含んでもよい。

[0015] 上記構成によれば、処理対象にバイアス電圧を印加しない場合に比べて、反応生成物の揮発速度を高めることが可能である。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]第1実施形態における酸化膜除去装置の構成を示すブロック図。

[図2]第1実施形態における酸化膜除去方法を説明するためのフローチャート。

[図3]第1実施形態における酸化膜除去方法を説明するためのタイミングチャート。

[図4]第2実施形態における酸化膜除去装置の構成を示すブロック図。

[図5]処理時間と基板上に位置する反応生成物の膜厚との関係を示すグラフ。

[図6]変更例における酸化膜除去装置の構成を示すブロック図。

発明を実施するための形態

[0017] [第1実施形態]

図1から図3を参照して、酸化膜除去方法および酸化膜除去装置の第1実施形態を説明する。以下では、酸化膜除去装置の構成、および、酸化膜除去方法を順に説明する。

[0018] [酸化膜除去装置の構成]

図1を参照して、酸化膜除去装置の構成を説明する。なお、図1に示される構成は、酸化膜除去装置の構成における一例である。

[0019] 酸化膜除去装置は、真空槽、エッチャント供給部、および、エネルギー供給部を備えている。真空槽は、シリコン酸化膜を有する処理対象を収容する。エッチャント供給部は、フッ素と水素とを含むエッチャントをシリコン酸化膜に供給する。エッチャントとシリコン酸化膜とから反応生成物が生成される。エネルギー供給部は、反応生成物が揮発するためのエネルギーを反応生成物に供給し、かつ、シリコン酸化膜が除去された後の処理対象における表面を形成するシリコンと酸素とが大気雰囲気において反応する温度未満の温度に処理対象を加熱する熱量を処理対象に供給する。以下、図1を参照して、酸化膜除去装置の詳細を説明する。

[0020] 図1が示すように、酸化膜除去装置10は、処理対象Sを収容する真空槽11を備えている。真空槽11内には、真空槽11が区画する空間を二分するシャワープレート12が位置している。真空槽11が区画する空間は、シャワープレート12によって、第1空間11Aと第2空間11Bに区分される。

[0021] 第2空間11Bには、処理対象Sを支持する支持部13が位置している。支持部13は、例えば処理対象Sが配置されるステージである。第2空間11Bには、真空槽11内を排気する排気部14が接続されている。シャワー

プレート12は、第1空間11Aと第2空間11Bとを繋ぐ複数の貫通孔を有するため、排気部14は、第1空間11Aと第2空間11Bとの両方を排気する。排気部14が真空槽11内を排気することによって、真空槽11内の流体は、第1空間11Aから第2空間11Bに向かう方向に沿って流れる。排気部14は、例えばポンプとバルブとを含んでいる。

[0022] 酸化膜除去装置10は、第1ガス供給部15A、放電管16、および、マイクロ波源17を備えている。第1ガス供給部15Aは、例えばアンモニア(NH_3)ガスと窒素(N_2)ガスとを放電管16に供給する。マイクロ波源17は、マイクロ波を励起する。マイクロ波源17は、励起したマイクロ波を NH_3 ガスと N_2 ガスとが供給された放電管16に照射する。これにより、放電管16において NH_3 ガスと N_2 ガスとからプラズマが生成される。放電管16において生成された生成されたプラズマは、水素ラジカル(H^*)などの活性種を含む。放電管16において生成された活性種は、真空槽11の第1空間11Aに供給される。

[0023] 酸化膜除去装置10は、第2ガス供給部15Bをさらに備えている。第2ガス供給部15Bは、例えば三フッ化窒素(NF_3)ガスを第1空間11Aに供給する。上述したように、第1空間11Aには H^* が供給されるため、第1空間11Aにおいて、 H^* と NF_3 とが反応することによって、フッ素と水素とを含むエッチャントが生成される。フッ素と水素とを含むエッチャントは、例えば NF_xH_y である。 NF_xH_y において、 x は1以上3以下であり、 y は1以上4以下である。なお、放電管16において生成されたプラズマには、アンモニアラジカル(NH_2^*)などの水素を含むラジカルが含まれてもよい。

[0024] 上述したように、排気部14は、第1空間11Aから第2空間11Bに向かう方向に沿う流体の流れを形成する。そのため、第1空間11Aにおいて生成された NF_xH_y は、第1空間11Aと第2空間11Bとを繋ぐシャワープレート12の貫通孔を通じて、第1空間11Aから第2空間11Bに供給される。これにより、処理対象Sに NF_xH_y が供給される。なお、 NF_xH_y

は、第1空間11Aのみにおいて生成されるのではなく、第1空間11Aから処理対象Sまでの間において生成される。

[0025] つまり、本実施形態においては、排気部14、第1ガス供給部15A、放電管16、マイクロ波源17、および、第2ガス供給部15Bが、エッチャント供給部を構成している。エッチャント供給部は、シリコン酸化膜との反応により反応生成物を生成するためのエッチャントを処理対象Sのシリコン酸化膜に供給する。

[0026] シリコン酸化膜は、シリコン酸化物 (SiO_x) から形成されている。処理対象Sに供給された NF_xH_y は、 SiO_x と反応する。これにより、シリコン酸化膜よりも揮発性が高い反応生成物が生成される。反応生成物は、例えば $(\text{NF}_4)_2\text{SiF}_6$ である。処理対象Sは、例えばシリコン基板である。処理対象Sがシリコン基板である場合、処理対象Sの表面に、表面の全体を覆うシリコン酸化膜が形成されている。

[0027] 酸化膜除去装置10は、第3ガス供給部15C、高周波アンテナ18、および、アンテナ用高周波電源19をさらに備えている。第3ガス供給部15Cは、例えば希ガスを第1空間11Aに供給する。第3ガス供給部15Cが供給する希ガスは、例えばアルゴン (Ar) ガスである。

[0028] 高周波アンテナ18は、真空槽11よりも外側に位置している。高周波アンテナ18は、真空槽11の周方向において、真空槽11の外表面を囲む形状を有している。高周波アンテナ18は、シャワープレート12に対して第1空間11Aとは反対側に位置している。言い換えれば、高周波アンテナ18は、シャワープレート12よりも排気部14寄りに位置している。高周波アンテナ18は、第1空間11Aと第2空間11Bとが並ぶ方向において、支持部13が処理対象Sを支持する支持位置と、シャワープレート12との間に位置することが好ましい。

[0029] アンテナ用高周波電源19は、高周波アンテナ18に接続されている。アンテナ用高周波電源19は、所定の周波数を有した電力を高周波アンテナ18に供給する。第3ガス供給部15Cが第1空間11Aに Ar ガスを供給す

ることによって、第2空間11BにもArガスが供給される。第2空間11BにArガスが供給されている場合に、アンテナ用高周波電源19が高周波アンテナ18に高周波電力を供給することによって、第2空間11Bにおいて、Arガスからプラズマが生成される。

[0030] 処理対象SがArガスから生成されたプラズマに暴露されることによって、処理対象S上の反応生成物に、反応生成物が揮発するためのエネルギーが与えられる。つまり、本実施形態では、排気部14、第3ガス供給部15C、高周波アンテナ18、および、アンテナ用高周波電源19が、エネルギー供給部を構成している。

[0031] エネルギー供給部は、シリコン酸化膜が除去された後の処理対象Sにおける表面を形成するシリコンと酸素とが大気雰囲気において反応する温度未満の温度に処理対象Sが加熱されるエネルギーを処理対象Sに与える。エネルギー供給部は、処理対象Sの温度が80℃未満の温度に加熱されるエネルギーを処理対象Sに与えることが好ましい。

[0032] エネルギー供給部が処理対象Sに与えるエネルギーの大きさ、言い換えれば処理対象Sの温度は、例えば、高周波アンテナ18に供給される電力の大きさが大きくなるほど高くなる傾向を有し、また、高周波アンテナ18に電力が供給される時間が長くなるほど高くなる傾向を有する。そのため、エネルギー供給部が処理対象Sに与えるエネルギーの大きさは、高周波アンテナ18に供給される電力の大きさ、および、高周波アンテナ18に電力が供給される時間によって制御することが可能である。

[0033] [酸化膜除去方法]

図2および図3を参照して、酸化膜除去方法を説明する。

酸化膜除去方法は、反応生成物を生成すること、および、反応生成物を除去することを含む。反応生成物を生成することは、処理対象Sのシリコン酸化膜に、フッ素と水素とを含むエッチャントを供給することによって、シリコン酸化膜よりも揮発性が高い反応生成物を生成することを含む。反応生成物を除去することは、反応生成物が揮発するためのエネルギーを反応生成物

に与えることによって、処理対象S上から反応生成物を除去することを含む。反応生成物を除去することは、シリコン酸化膜が除去された後の処理対象Sにおける表面を形成するシリコンと酸素とが大気雰囲気において反応する温度未満に処理対象Sの温度を維持することを含む。以下、図2および図3を参照して、酸化膜除去方法をより詳しく説明する。以下では、酸化膜除去方法の一例として、図1を参照して説明した酸化膜除去装置10を用いて実施される方法を説明する。

[0034] 図2が示すように、酸化膜除去方法は、生成工程（ステップS11）および除去工程（ステップS12）を含む。生成工程では、まず NF_xH_y が生成される。生成された NF_xH_y は、処理対象Sのシリコン酸化膜に供給され、シリコン酸化膜を形成する SiO_x と NF_xH_y とが反応することによって、 $(\text{NF}_4)_2\text{SiF}_6$ が生成される。

[0035] 除去工程では、反応生成物を揮発させることによって、処理対象Sから反応生成物が除去される。なお、除去工程では、処理対象Sに付着する反応生成物の全てが処理対象Sから除去されてもよいし、反応生成物の一部のみが処理対象Sから除去されてもよい。言い換えれば、生成工程において生成された反応生成物の少なくとも一部が処理対象Sから除去されればよい。

[0036] 上述したように、除去工程において、処理対象Sの温度が、シリコンと酸素とが大気雰囲気において反応する温度未満の温度である。これにより、処理対象Sに付着する反応生成物の除去において、処理対象Sの温度が大気中でのシリコンと酸素とが反応する未満の温度である。そのため、シリコン酸化膜が除去された後の処理対象Sを大気に暴露しても、処理対象Sの表面を形成するシリコンが酸化されることが抑えられる。言い換えれば、処理対象Sにシリコン酸化膜が形成されることが抑えられる。

[0037] ここで、除去工程において、加熱部を用いた加熱によって反応生成物を揮発させるためのエネルギーを反応生成物に与える場合には、例えば、反応生成物が付着した処理対象Sを反応生成物が揮発する以上の温度に維持された加熱室内に位置させる。加熱室内は、例えば200℃以上の温度に維持され

る。そのため、処理対象Sの温度も加熱室内の温度と同程度の温度に加熱される。それゆえに、シリコン酸化膜が除去された後の処理対象Sを大気に暴露する場合には、減圧された空間において冷却部を用いて処理対象Sを冷却する必要がある。あるいは、処理対象Sの温度が、処理対象Sの表面を形成するシリコンと大気中の酸素とが反応しない程度に低くなるまで、処理対象Sを減圧された空間に位置させる必要がある。

[0038] この点で、本実施形態によれば、処理対象Sを冷却する冷却部を省略することが可能である分、シリコン酸化膜の除去に用いる装置の構成を簡素化することが可能である。あるいは、処理対象Sを冷却するための時間を省略することが可能である分、シリコン酸化膜の除去に必要な時間を短くすることができる。

[0039] 処理対象Sの温度は、80℃未満であることが好ましい。これにより、シリコン酸化膜の除去後に処理対象Sが大気に暴露された場合に、処理対象Sの表面を形成するシリコンと大気中の酸素とが反応することによって、処理対象Sの表面にシリコン酸化膜が形成されることを抑える確実性が高まる。

[0040] 除去工程では、Arガスから生成したプラズマに反応生成物が付着した処理対象Sを暴露することによって、反応生成物にエネルギーを与える。処理対象SをArガスから生成したプラズマに暴露することによって、プラズマ中に含まれる活性種から反応生成物にエネルギーが与えられる。活性種には、例えば、アルゴンイオン(Ar⁺)、アルゴンラジカル(Ar^{*})、および、電子(e⁻)を挙げることができる。

[0041] これにより、反応生成物とともに処理対象Sを加熱する場合に比べて、反応生成物に反応生成物が揮発することができるエネルギーを与えながらも、処理対象Sに対する入熱を抑えることが可能である。それゆえに、処理対象Sをプラズマに暴露することによって、反応生成物が揮発する程度に大きいエネルギーを反応生成物に与えつつ、処理対象Sの温度を大気中においてシリコンと酸素とが反応する未満の温度とすることができる。

[0042] 除去工程では、プラズマから処理対象Sに与えられる熱量が、処理対象S

における表面を形成するシリコンと酸素とが大気雰囲気において反応する温度未満の温度に処理対象が加熱される熱量に維持される。上述したように、プラズマから処理対象Sに与えられる熱量は、例えばアンテナ用高周波電源19が高周波アンテナ18に供給する電力の条件によって制御することが可能である。

[0043] 処理対象Sからシリコン酸化膜を除去する際に、処理対象Sを冷却せずとも、処理対象Sの温度が、処理対象Sの表面におけるシリコンと酸素とが大気雰囲気にて反応する温度以上に加熱されることが抑えられる。それゆえに、処理対象Sに対するエネルギーの付与と処理対象Sの冷却との両方によって処理対象Sの温度を制御する場合に比べて、温度の制御における煩雑さを抑えることができる。

[0044] 図3は、酸化膜除去方法を説明するためのタイミングチャートである。図3には、第1ガス供給部15Aによる NH_3 ガスと N_2 ガスとの供給、マイクロ波源17によるマイクロ波の照射、第2ガス供給部15Bによる NF_3 ガスの供給、第3ガス供給部15CによるArガスの供給、および、アンテナ用高周波電源19による高周波電力の供給の各々におけるタイミングの一例が示されている。

[0045] 図3が示すように、タイミングT1において、放電管16に対する NH_3 ガスと N_2 ガスとの供給と、第1空間11Aに対する NF_3 ガスの供給とが開始される。次いで、タイミングT2において、放電管16に対するマイクロ波の照射が開始される。タイミングT1とタイミングT2との間の期間は、放電管16内の圧力がほぼ一定になるまでの期間であり、放電管16内の圧力が安定した後に、放電管16に対してマイクロ波が照射される。これにより、タイミングT2において、シリコン酸化膜に対する NF_xH_y の供給、および、反応生成物である $(\text{NF}_4)_2\text{SiF}_6$ の生成が開始される。

[0046] タイミングT3において、放電管16に対するマイクロ波の照射が停止される。反応生成物を生成するための NF_xH_y は、ほぼタイミングT2からタイミングT3の期間において生成される。そのため、タイミングT2からタ

イミングT 3までの期間は、例えば処理対象Sに形成されたシリコン酸化膜の体積に応じて設定される。次いで、タイミングT 4において、放電管1 6に対するNH₃ガスとN₂ガスとの供給が停止され、かつ、第1空間1 1 Aに対するNF₃ガスの供給が停止される。

[0047] タイミングT 4では、第1空間1 1 Aに対するArガスの供給も開始される。タイミングT 4において、第1空間1 1 Aに対するNF₃ガスの供給を停止することと、Arガスの供給を開始することとが同時に行われる。そのため、NF₃ガスの供給を停止することと、Arガスの供給を開始することとが互いに異なるタイミングで行われる場合に比べて、真空槽1 1内の圧力が変動しにくい。

[0048] タイミングT 5において、高周波アンテナ1 8に対する高周波電力の供給が開始される。タイミングT 4とタイミングT 5との間の期間は、真空槽1 1内の圧力がほぼ一定になるまでの期間であり、真空槽1 1内の圧力が安定した後に、高周波アンテナ1 8に対して高周波電力が供給される。また、タイミングT 4とタイミングT 5との間の期間は、真空槽1 1内に供給されたNF₃ガスをArガスによって真空槽1 1外に排気する期間である。これにより、高周波アンテナ1 8に対して高周波電力が供給される前にNF₃ガスが真空槽1 1外に排気されるため、NF₃ガスを含むガスからプラズマが生成されることが抑えられる。プラズマ中に含まれるフッ素を含む活性種、例えばフッ素を含むラジカルやフッ素を含むイオンは、処理対象Sの一部を腐食することがある。本実施形態によれば、NF₃ガスが排気された後にプラズマが生成されるため、処理対象Sの腐食を抑えることができる。

[0049] 次いで、タイミングT 6において、高周波アンテナ1 8に対する高周波電力の供給が停止される。タイミングT 5からタイミングT 6までの間の期間は、反応生成物がプラズマに暴露されることによって、反応生成物に反応生成物を揮発させるためのエネルギーが与えられる期間である。そのため、タイミングT 5からタイミングT 6までの期間は、例えばシリコン酸化膜の体積に応じて設定することが可能である。タイミングT 7において、第1空間

1 1 A に対する A r ガスの供給が停止される。

[0050] 本実施形態では、A r ガスから生成したプラズマに処理対象 S を暴露することによって反応生成物を除去するため、プラズマの生成を開始してから、すなわちタイミング T 5 から反応生成物の除去が開始されるまでの間の遅れが短い。これに対して、反応生成物を処理対象 S とともに加熱する場合には、反応生成物が付着した処理対象 S の温度が、反応生成物を除去する上で目標とされる温度に到達するまでに所定の時間が必要である。この点で、本実施形態によれば、反応生成物にエネルギーの供給を開始してから、反応生成物の除去が開始されるまでの間を短くすることができる。

[0051] なお、本実施形態では、タイミング T 1 からタイミング T 4 までの期間が、生成工程（ステップ S 1 1）に相当し、タイミング T 4 からタイミング T 7 までの期間が、除去工程（ステップ S 1 2）に相当する。

[0052] 以上説明したように、酸化膜除去方法および酸化膜除去装置の第 1 実施形態によれば、以下に列挙する効果を得ることができる。

（1）シリコン酸化膜が除去された後の処理対象 S を大気に暴露しても、処理対象 S の表面を形成するシリコンが酸化されること、言い換えれば、処理対象 S にシリコン酸化膜が形成されることが抑えられる。

[0053] （2）処理対象 S の温度が 8 0 °C 未満であることによって、処理対象 S の表面にシリコン酸化膜が形成されることを抑える確実性が高まる。

（3）処理対象 S をプラズマに暴露することによって、反応生成物が揮発する程度に大きいエネルギーを反応生成物に与えつつ、処理対象 S の温度を大気中においてシリコンと酸素とが反応する未満の温度とすることができる。

[0054] （4）処理対象 S に対するエネルギーの付与と処理対象 S の冷却との両方によって処理対象 S の温度を制御する場合に比べて、温度の制御における煩雑さを抑えることができる。

[0055] [第 2 実施形態]

図 4 および図 5 を参照して、酸化膜除去方法および酸化膜除去装置の第 2

実施形態を説明する。第2実施形態において、上述した第1実施形態に対して、酸化膜が除去される処理対象に高周波電圧を印加する点が異なっている。そのため以下では、こうした相違点を詳しく説明する一方で、第2実施形態において第1実施形態と共通する構成には、第1実施形態と同一の符号を付すことによって、当該構成の詳しい説明を省略する。以下では、酸化膜除去装置の構成と、酸化膜除去装置の作用とを順に説明する。

[0056] [酸化膜除去装置の構成]

図4を参照して、酸化膜除去装置の構成を説明する。

図4が示すように、酸化膜除去装置20は、第1実施形態の酸化膜除去装置10の構成に加えて、さらにバイアス用高周波電源21を備えている。バイアス用高周波電源21は、支持部13、あるいは、支持部13内に位置する電極に電氣的に接続されている。バイアス用高周波電源21は、支持部13あるいは電極に高周波電圧を印加することによって、支持部13に支持された処理対象Sにバイアス電圧を印加する。

[0057] バイアス用高周波電源21は、例えば、100kHz以上20MHz以下の周波数を有した高周波電圧を印加する。処理対象Sの直径が300mmである場合には、バイアス用高周波電源21が供給する電力は、例えば、1W以上50W以下であり、1W以上10W以下であることがより好ましい。すなわち、電力密度は、 $0.14 \times 10^2 \text{ W/m}^2$ 以上 $7.08 \times 10^2 \text{ W/m}^2$ 以下であり、 $0.14 \times 10^2 \text{ W/m}^2$ 以上 $1.42 \times 10^2 \text{ W/m}^2$ 以下であることが好ましい。電力が1W以上であることによって、バイアス用高周波電源21が処理対象Sにバイアス電圧を印加する効果を得ることが可能である。なお、1W以上50W以下（好ましくは1W以上10W以下）の範囲で、より高い電力を使用することによって、バイアス用高周波電源21が処理対象Sにバイアス電圧を印加する効果を高めることが可能である。電力が50W以下であることによって、処理対象Sに印加されたバイアス電圧によって引き込まれたイオンが、処理対象Sを損傷させることが抑えられる。すなわち、イオンエネルギーが、処理対象Sを損傷させる程度にまで高められる

ことが抑えられる。また、電力が10W以下であることによって、イオンが処理対象Sを損傷させることがより確実に抑えられる。

[0058] なお、バイアス用高周波電源21が2MHz以下の周波数を有したバイアス電圧を処理対象Sに印加する場合には、バイアス用高周波電源21が印加するバイアス電圧のピーク間電圧 V_{pp} が500V以下であることが好ましい。一方で、バイアス用高周波電源21が2MHzよりも高い周波数を有したバイアス電圧を処理対象Sに印加する場合には、バイアス用高周波電源21が印加するバイアス電圧の直流印加電圧 V_{dc} が500V以下であることが好ましい。

[0059] バイアス用高周波電源21による処理対象Sに対するバイアス電圧の印加は、アンテナ用高周波電源19が高周波アンテナ18に高周波電圧を印加している間に行われればよい。一方で、 NF_3 ガスおよび NH_3 ガスが処理対象Sに対して供給されている間は、処理対象Sにはバイアス電圧が印加されないことが好ましい。これにより、これらのガスから生成されたプラズマに含まれるイオンが、処理対象Sに引き込まれることが抑えられる。

[0060] そのため、処理対象Sに対するバイアス電圧の印加は、先に説明した図3のタイミングチャートにおいて、タイミングT4からタイミングT5の間に開始されることが好ましい。なお、処理対象Sに対するバイアス電圧の印加は、タイミングT4において開始されてもよい、タイミングT5において開始されてもよい。あるいは、処理対象Sに対するバイアス電圧の印加は、タイミングT5よりも後に開始されてもよい。

[0061] 処理対象Sに対するバイアス電圧の印加は、図3のタイミングチャートにおいて、タイミングT6からタイミングT7の間に終了されることが好ましい。処理対象Sに対するバイアス電圧の印加は、タイミングT6において終了されてもよいし、タイミングT7において終了されてもよい。あるいは、処理対象Sに対するバイアス電圧の印加は、タイミングT6よりも前に終了されてもよい。

[0062] [酸化膜除去装置の作用]

図5を参照して、酸化膜除去装置20の作用を説明する。

図5は、処理対象S上に形成された反応生成物の厚さと、反応生成物を揮発させるためのエネルギーを反応生成物に供給し、かつ、バイアス電圧を処理対象Sに印加する処理を行った時間との関係を示している。なお、図5において、処理対象Sはシリコン基板であり、処理対象SをArガスから生成されたプラズマに暴露することによって、反応生成物を揮発させる以上のエネルギーを反応生成物に供給している。また、図5において、処理時間が0秒であるときに、反応生成物を揮発させるためのエネルギーの付与と、バイアス電圧の印加とが同時に開始されている。

[0063] 図5が示すように、処理対象Sをプラズマに暴露するのみにによって反応生成物を揮発させた場合（バイアス電圧の印加なしの場合）には、処理対象S上に生成された反応生成物の全てが揮発するまでに60秒間を要する。これに対して、処理対象Sをプラズマに暴露し、かつ、処理対象Sにバイアス電圧を印加した場合には、処理対象S上に生成された反応生成物の全てが揮発するまでに10秒しか要しない。このように、処理対象Sにバイアス電圧を印加することによって、処理対象Sにバイアスを印加しない場合に比べて、反応生成物の揮発速度が6倍になることが認められている。

[0064] 以上説明したように、酸化膜除去方法、および、酸化膜除去装置の第2実施形態によれば、上述した（1）から（4）の効果に加えて、以下に記載の効果を得ることができる。

（5）反応生成物を揮発させる以上のエネルギーを反応生成物に供給することに加えて、処理対象Sにバイアス電圧を印加することによって、処理対象Sにバイアス電圧を印加しない場合に比べて、反応生成物の揮発速度を高めることが可能である。

[0065] なお、上述した各実施形態は、以下のように適宜変更して実施することができる。

[エネルギー供給部]

・エネルギー供給部は、処理対象Sに対して紫外線、および、電子ビーム

などのエネルギー線を照射することによって、反応生成物を揮発させる以上のエネルギーを反応生成物に供給してもよい。

[0066] ・エネルギー供給部は、処理対象Sを冷却する冷却部を備えてもよい。この場合には、エネルギー供給部が反応生成物にエネルギーを供給する上で、処理対象Sに与えられた熱量と、冷却部が処理対象Sから奪う熱量との収支によって、処理対象Sの温度が、処理対象Sの表面を構成するシリコンと酸素とが大気雰囲気において反応する温度未満の温度とされればよい。

[0067] [エッチャント供給部]

・エッチャント供給部は、マイクロ波源17以外の励起部によって水素を含む活性種を生成してもよい。励起部には、例えば、高周波アンテナと、高周波アンテナに接続された電源とを含む構成を挙げることができる。

[0068] [第1ガス供給部]

・第1ガス供給部15Aは、H*を含むプラズマを生成することが可能なガスを放電管16に供給すればよい。そのため、第1ガス供給部15Aは、NH₃ガス以外のガスを放電管16に供給してもよい。NH₃ガス以外のガスには、例えば、H₂ガスなどを挙げることができる。

[0069] [第2ガス供給部]

・第2ガス供給部15Bは、フッ素を含むガスとしてNF₃ガス以外のガスを供給してもよい。NF₃ガス以外のガスには、例えば、F₂ガスなどを挙げることができる。

[0070] [第3ガス供給部]

・第3ガス供給部15Cは、Arガス以外の希ガス例えば、ヘリウム(He)ガス、ネオン(Ne)ガス、クリプトン(Kr)ガス、および、キセノン(Xe)ガスのいずれかを真空槽11内に供給してもよい。

[0071] ・第3ガス供給部がArガスの供給を開始するタイミングは、第1ガス供給部および第2ガス供給部がガスの供給を停止するタイミングと同時でなくてもよい。例えば、第3ガス供給部がArガスの供給を開始するタイミングは、第1ガス供給部および第2ガス供給部がガスの供給を停止するタイミン

グよりも後でもよい。

[0072] [高周波アンテナ]

・高周波アンテナ 18 は、真空槽 11 よりも外側において、シャワープレート 12 に対して第 2 空間 11 B とは反対側に位置してもよい。すなわち、高周波アンテナ 18 は、真空槽 11 よりも外側において、第 1 空間 11 A を囲む形状を有してもよい。この場合であっても、第 3 ガス供給部 15 C が第 1 空間 11 A に供給した A_r ガスからプラズマを生成することは可能である。ただし、 A_r ガスに含まれる活性種の 1 つである A_r^+ が失活する前に A_r^+ を処理対象 S に到達させる上では、上述したように、高周波アンテナ 18 は、真空槽 11 よりも外側において、第 2 空間 11 B を囲む形状を有することが好ましい。

[0073] [処理対象]

・処理対象 S は、シリコン基板と、シリコン基板上に形成された 1 つ以上の絶縁層を備える構成でもよい。この場合には、絶縁層が、シリコン基板の一部を露出させるための貫通孔を有していればよい。

[0074] [酸化膜除去装置]

・図 6 が示すように、酸化膜除去装置 30 は、複数の第 1 孔 H1 と複数の第 2 孔 H2 とを有するシャワープレート 32 を備えてもよい。第 1 孔 H1 は、真空槽 31 における第 1 空間 31 A と第 2 空間 31 B とを接続する。これに対して、第 2 孔 H2 は、第 1 空間 31 A から独立した空間であるガス流路 31 C と第 2 空間 31 B とを接続する。

[0075] 第 1 ガス供給部 15 A は放電管 16 に接続し、放電管 16 は、第 1 空間 31 A を通じて、第 1 孔 H1 から H^* および NH_2^* の少なくとも一方を処理対象 S に向けて供給する。第 2 ガス供給部 15 B は、第 2 孔 H2 から NF_3 ガスを処理対象 S に向けて供給する。第 3 ガス供給部 15 C は、放電管 16 に接続している。これにより、第 3 ガス供給部 15 C が供給する A_r ガスなどのラジカルを処理対象 S に供給することができる。そのため、高周波アンテナ 18 およびアンテナ用高周波電源 19 を省略することができる。

[0076] このように、シャワープレート 32 を備える酸化膜除去装置 30 を用いた場合には、フッ素を含むガスと、 H^* および NH_2^* の少なくとも一方とを別々にシャワープレート 32 に供給する。そして、フッ素を含むガスと、 H^* および NH_2^* の少なくとも一方とをシャワープレート 32 によって別々に拡散して処理対象 S に供給することによってエッチャントを生成する。そのため、処理対象 S 上の空間でエッチャントを生成することができる。

[0077] なお、本変更例では、第 1 ガス供給部 15 A、第 2 ガス供給部 15 B、放電管 16、マイクロ波源 17、および、シャワープレート 32 が、エッチャント供給部に含まれる。また、本変更例の酸化膜除去装置 30 は、第 2 実施形態の酸化膜除去装置 20 の構成と組み合わせて実施することが可能である。すなわち、酸化膜除去装置 30 は、バイアス用高周波電源 21 を備えてもよい。

[0078] ・酸化膜除去装置 10 は、2 つ以上の真空槽を備えてもよい。この場合には、1 つの真空槽において反応生成物を生成するための反応が行われ、他の真空槽において、反応生成物の除去が行われる。

符号の説明

[0079] 10, 20, 30…酸化膜除去装置、11, 21…真空槽、11 A, 31 A…第 1 空間、11 B, 31 B…第 2 空間、12, 32…シャワープレート、13…支持部、14…排気部、15 A…第 1 ガス供給部、15 B…第 2 ガス供給部、15 C…第 3 ガス供給部、16…放電管、17…マイクロ波源、18…高周波アンテナ、19…アンテナ用高周波電源、21…バイアス用高周波電源、31 C…ガス流路、H1…第 1 孔、H2…第 2 孔、S…処理対象。

請求の範囲

- [請求項1] 処理対象に含まれるシリコン酸化膜に、フッ素と水素とを含むエッチャントを供給することによって、前記シリコン酸化膜よりも揮発性が高い反応生成物を生成することと、
- 前記反応生成物が揮発するためのエネルギーを前記反応生成物に与えることによって、前記処理対象上から前記反応生成物を除去することと、を含み、
- 前記反応生成物を除去することは、前記処理対象の温度を80℃未満に維持することを含む
- 酸化膜除去方法。
- [請求項2] 前記反応生成物を除去することは、希ガスから生成したプラズマに前記反応生成物が付着した前記処理対象を暴露することによって、前記反応生成物に前記エネルギーを与えることを含む
- 請求項1に記載の酸化膜除去方法。
- [請求項3] 前記反応生成物を生成することは、フッ素を含むガスと、水素ラジカルおよびアンモニアラジカルの少なくとも一方とを別々にシャワープレートに供給し、前記フッ素を含むガスと、前記水素ラジカルおよび前記アンモニアラジカルの少なくとも一方とを前記シャワープレートによって別々に拡散して前記処理対象に供給することによって前記エッチャントを生成することを含む
- 請求項1または2に記載の酸化膜除去方法。
- [請求項4] 前記反応生成物を除去することは、前記エネルギーを前記反応生成物に与える期間の少なくとも一部においてバイアス電圧を前記処理対象に印加することを含む、請求項1～3のいずれか一項に記載の酸化膜除去方法。
- [請求項5] シリコン酸化膜を有する処理対象を収容する真空槽と、
- フッ素と水素とを含むエッチャントを前記シリコン酸化膜に供給するエッチャント供給部と、

前記エッチャントと前記シリコン酸化膜とから生成された反応生成物に、前記反応生成物が揮発するためのエネルギーを供給し、かつ、
80℃未満の温度に前記処理対象を加熱する熱量を前記処理対象に供給するエネルギー供給部と、を備える
酸化膜除去装置。

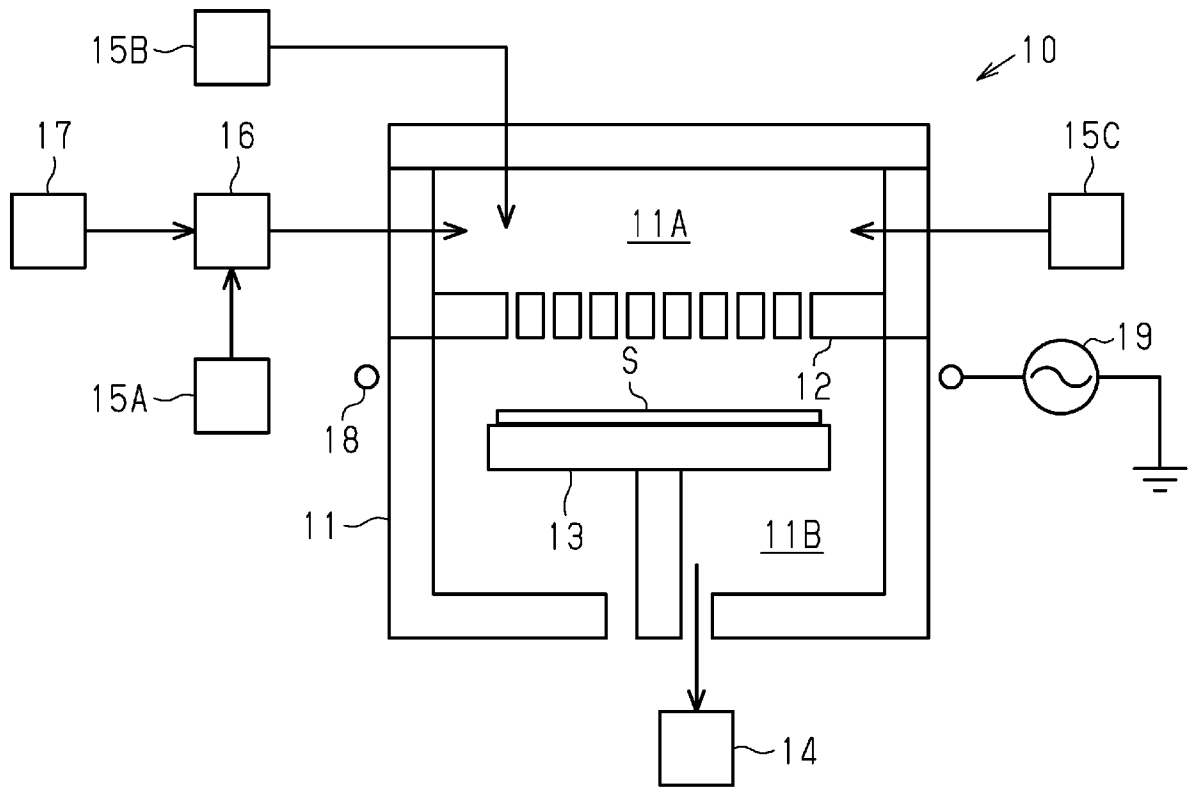
[請求項6]

前記エッチャント供給部は、
フッ素を含むガスをシャワープレートに供給するフッ素ガス供給部と、
水素ラジカルおよびアンモニアラジカルの少なくとも一方を前記フッ素を含むガスとは別々に前記シャワープレートに供給するラジカル供給部と、
前記フッ素を含むガスと、前記水素ラジカルおよび前記アンモニアラジカルの少なくとも一方とを別々に前記処理対象に供給する前記シャワープレートと、を含む
請求項5に記載の酸化膜除去装置。

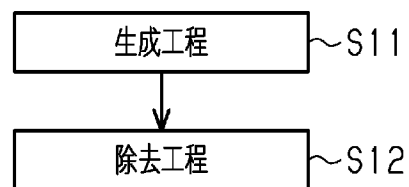
[請求項7]

前記エネルギーを前記反応生成物に与える期間の少なくとも一部においてバイアス電圧を前記処理対象に印加するバイアス用高周波電源をさらに含む
請求項5または6に記載の酸化膜除去装置。

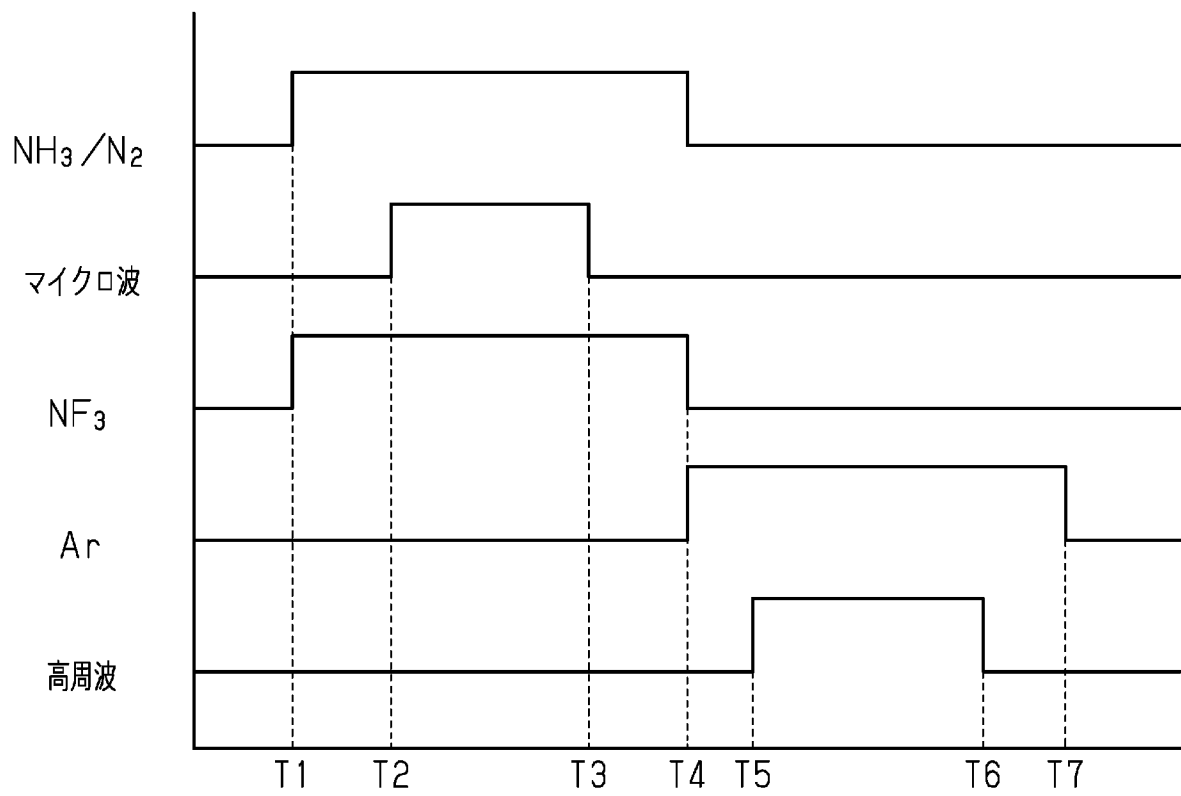
[図1]



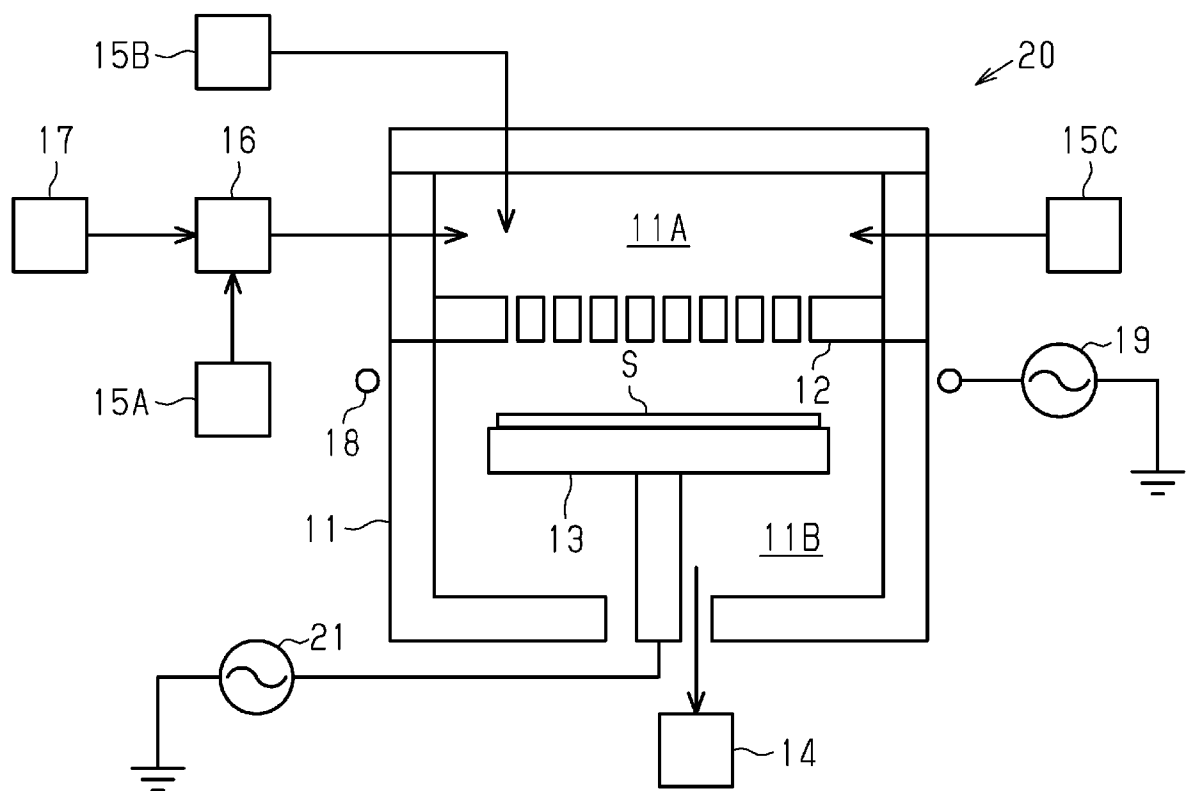
[図2]



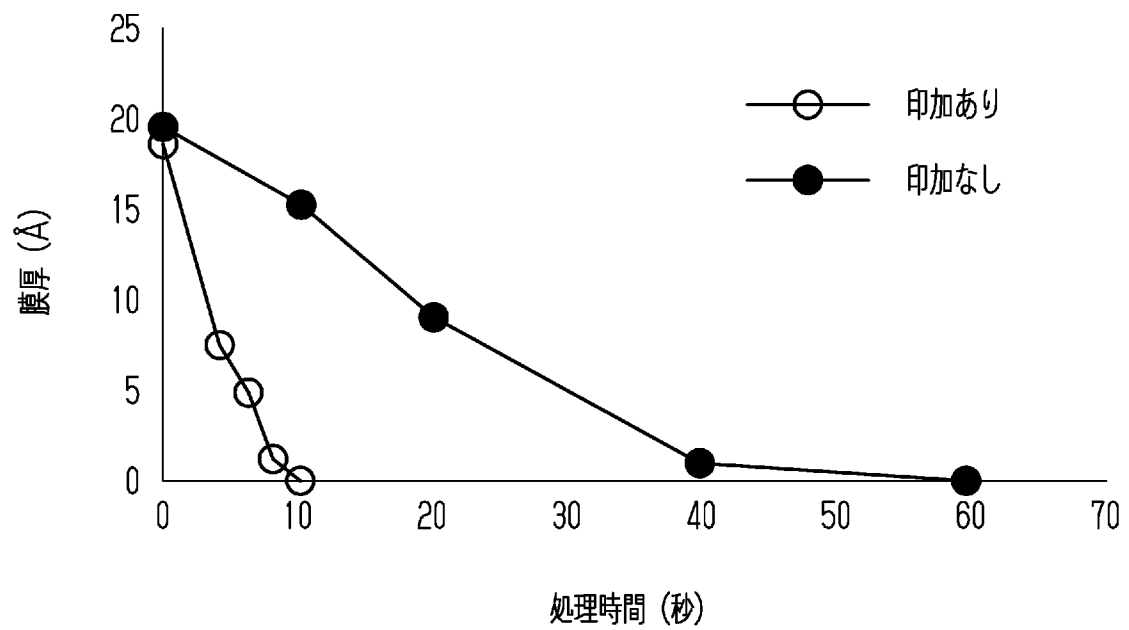
[図3]



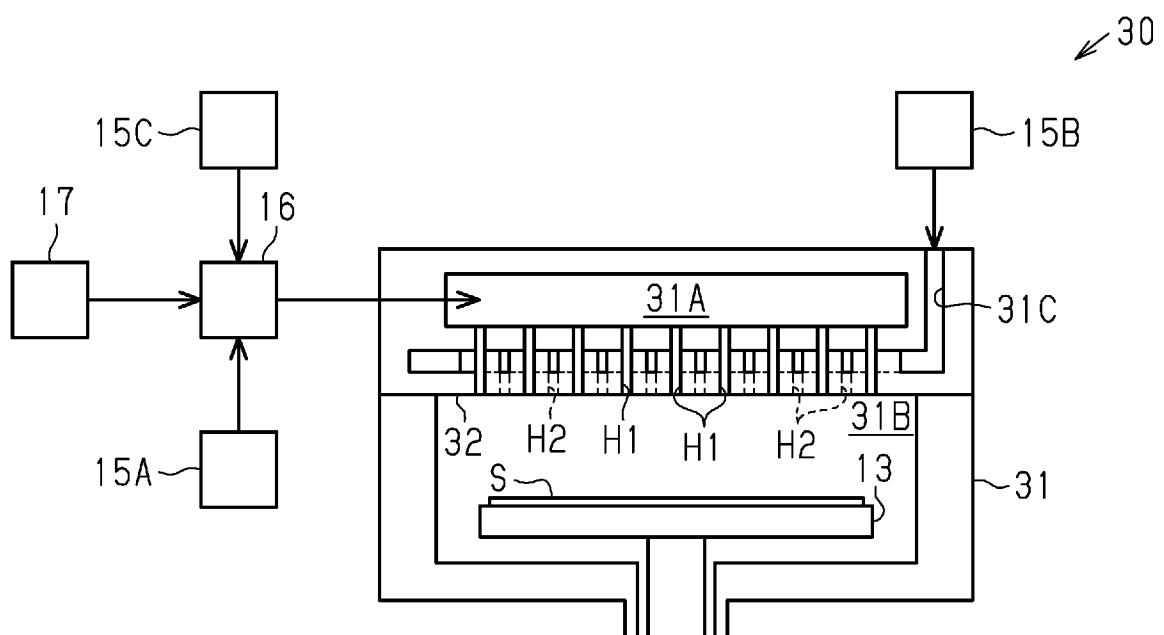
[図4]



[図5]



[図6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/019854

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. 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)

Int.Cl. H01L21/3065, H05H1/46

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2019

Registered utility model specifications of Japan 1996-2019

Published registered utility model applications of Japan 1994-2019

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 2016-27594 A (TOKYO ELECTRON LTD.) 18 February 2016, paragraphs [0024]-[0061], fig. 3-7 & US 2016/0005651 A1, paragraphs [0027]-[0082], fig. 3-7 & EP 2963677 A1 & CN 105244372 A & KR 10-2016-0003565 A & TW 201612977 A	1, 3-7 2
Y	JP 2017-208510 A (TOKYO ELECTRON LTD.) 24 November 2017, paragraphs [0044]-[0055] & US 2019/0019685 A1, paragraphs [0056]-[0074] & WO 2017/199958 A1 & TW 201742149 A & CN 109219866 A & KR 10-2019-0008227 A	2

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.	☐ See patent family annex.
--	---

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 02.07.2019	Date of mailing of the international search report 16.07.2019
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/JP2019/019854

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 2016-134623 A (ASM IP HOLDING B V) 25 July 2016, entire text, all drawings & US 2016/0211147 A1 & US 9396956 B1 & CN 105810580 A & KR 10-2016-0088818 A & TW 201637095 A	1-7
A	JP 2011-508433 A (APPLIED MATERIALS INC.) 10 March 2011, entire text, all drawings & US 2008/0160210 A1 & CN 101903984 A & KR 10-2010-0114503 A & TW 200935513 A	1-7
A	US 2016/0042968 A1 (APPLIED MATERIALS, INC.) 11 February 2016, entire text, all drawings (Family: none)	1-7

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. 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 (IPC))

Int.Cl. 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	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019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 2016-27594 A (東京エレクトロン株式会社) 2016.02.18, 段落 [0024]-[0061], 図 3-7 & US 2016/0005651 A1 段落[0027]-[0082], 図 3-7 & EP 2963677 A1 & CN 105244372 A & KR 10-2016-0003565 A & TW 201612977 A	1, 3-7 2
Y	JP 2017-208510 A (東京エレクトロン株式会社) 2017.11.24, 段落 [0044]-[0055] & US 2019/0019685 A1 段落[0056]-[0074] & WO 2017/199958 A1 & TW 201742149 A & CN 109219866 A & KR 10-2019-0008227 A	2

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

02.07.2019

国際調査報告の発送日

16.07.2019

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/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)

鈴木 聡一郎

50

3864

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	JP 2016-134623 A (エーエスエム アイピー ホールディング ビー. ブイ.) 2016. 07. 25, 全文、全図 & US 2016/0211147 A1 & US 9396956 B1 & CN 105810580 A & KR 10-2016-0088818 A & TW 201637095 A	1-7
A	JP 2011-508433 A (アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド) 2011. 03. 10, 全文、全図 & US 2008/0160210 A1 & CN 101903984 A & KR 10-2010-0114503 A & TW 200935513 A	1-7
A	US 2016/0042968 A1 (APPLIED MATERIALS, INC.) 2016. 02. 11, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-7