

(11)特許出願公開番号

特開2016-192534

(P2016-192534A)

(43) 公開日 平成28年11月10日(2016.11.10)

(51) Int.Cl.

F I

テーマコード (参考)

HO 1 L 21/302 (2006.01)

H01L 21/302 201B

201B 2G084

HO 1 L 21/304 (2006.01)

HO 1 L 21/304 6 4 5 C

645C 5F004

H05H 1/26 (2006.01)

H05H 1/26

5 F 157

H05H 1/46 (2006.01)

H05H 1/46 L

L

審査請求 未請求 請求項の数 23 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願2015-181637 (P2015-181637)

(22) 出願日 平成27年9月15日 (2015. 9. 15)

(31) 優先權主張番号 特願2015-68867 (P2015-68867)

(32) 優先日 平成27年3月30日 (2015. 3. 30)

(33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 000219967

東京エレクトロン株式会社

東京都港区赤坂五丁目3番1号

(74) 代理人 100099944

弁理士 高山 宏志

(72) 発明者 土橋 和也

東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂B i

Zタワー 東京エレクトロン株式会社内

(72) 發明者 輿水 地塩

東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂B i

Zタワー 東京エレクトロン株式会社内

[最終頁に続く](#)

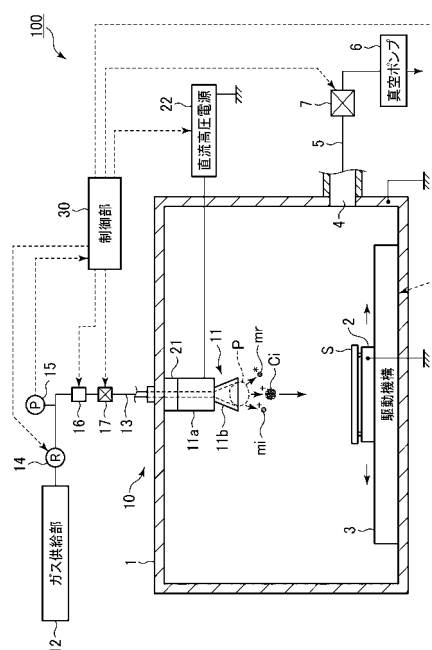
(54) 【発明の名称】 処理装置および処理方法、ならびにガスクラスター発生装置および発生方法

(57) 【要約】

【課題】装置構成が複雑化および大型化することなく、ガスクラスターの量が不十分にならず、残渣等が発生せずにガスクラスターを用いた処理を行う。

【解決手段】被処理体Sが配置され、真空中に保持される処理容器1と、処理容器1内を排気する排気機構6と、ガスクラスタを生成するためのクラスター生成ガスを含むガスを供給するためのガス供給部12と、処理容器1内に設けられ、ガス供給部12から供給されたクラスター生成ガスをその内部で断熱膨張させてガスクラスタを生成させ、生成されたガスクラスタを含むガス成分を処理容器1内に噴射するクラスターノズル11と、クラスターノズル11部分にプラズマを生成するプラズマ生成機構22とを具備し、クラスターノズル部分で生成されたプラズマによりガスクラスタがイオン化され、イオン化したガスクラスタがクラスターノズル11から噴射され、被処理体Sに照射して所定の処理を行われる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ガスクラスターを用いて被処理体に対して処理を行う処理装置であって、
被処理体が配置され、真空中に保持される処理容器と、
前記処理容器内を排気する排気機構と、
ガスクラスターを生成するためのクラスター生成ガスを含むガスを供給するためのガス供給部と、

前記処理容器内に設けられ、前記ガス供給部から供給されたクラスター生成ガスをその内部で断熱膨張させてガスクラスターを生成させ、生成されたガスクラスターを含むガス成分を前記処理容器内に噴射するクラスターノズルと、

前記クラスターノズル部分にプラズマを生成するプラズマ生成機構とを具備し、

前記クラスターノズル部分で生成されたプラズマにより前記ガスクラスターがイオン化され、イオン化したガスクラスターが前記クラスターノズルから噴射され、被処理体に照射されて所定の処理が行われることを特徴とするガスクラスターを用いた処理装置。

【請求項 2】

前記クラスターノズルから噴射された前記イオン化したガスクラスターを前記被処理体に向けて加速させる加速手段をさらに具備することを特徴とする請求項 1 に記載の処理装置。

【請求項 3】

前記クラスターノズルは金属製であり、前記プラズマ生成機構は、前記クラスターノズルに直流電圧を印加する直流電源を有し、前記直流電源により前記クラスターノズルと前記被処理体との間に電位差を生じさせ、DC 放電により前記クラスターノズル部分にプラズマを生成させることを特徴とする請求項 2 に記載のガスクラスターを用いた処理装置。

【請求項 4】

前記直流電源は、前記クラスターノズルと前記被処理体との間に電位差を生じさせる機能により前記加速手段としても機能することを特徴とする請求項 3 に記載のガスクラスターを用いた処理装置。

【請求項 5】

前記プラズマ生成機構は、前記クラスターノズル部分に誘導結合プラズマを生成することを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載のガスクラスターを用いた処理装置。

【請求項 6】

前記クラスターノズルは誘電体で構成されており、前記プラズマ生成機構は、前記クラスターノズルの周囲に設けられた誘導コイルと、前記誘導コイルに高周波電力を供給する高周波電源とを有することを特徴とする請求項 5 に記載のガスクラスターを用いた処理装置。

【請求項 7】

前記ガス供給部から供給されたガスのうち、前記クラスターノズル部分でクラスター化されなかった成分は、前記プラズマにより励起されてモノマーイオンまたはラジカルとなって、前記被処理体の表面に存在する物質に化学的作用を及ぼすことを特徴とする請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載のガスクラスターを用いた処理装置。

【請求項 8】

前記ガス供給部は、前記クラスター生成ガスと反応性ガスを供給し、前記反応性ガスは、前記クラスターノズル部分で前記プラズマにより励起されてモノマーイオンまたはラジカルとなって前記処理容器に供給されるか、または前記クラスターノズルを介さずに直接前記処理容器に供給されて、前記被処理体の表面に存在する物質に化学的作用を及ぼすことを特徴とする請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載のガスクラスターを用いた処理装置。

【請求項 9】

前記クラスターノズルのガス噴射領域に磁界を発生させる磁石をさらに具備し、前記磁

10

20

30

40

50

界に電子やイオンのような荷電成分がトラップされ、前記荷電成分がトラップされた部分にプラズマ生成領域が規定されることを特徴とする請求項 1 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載のガスクラスターを用いた処理装置。

【請求項 10】

前記磁石の磁場強度が最大となる位置と、前記クラスターノズルの出口の位置が同位置、または磁場強度が最大となる位置よりも前記クラスターノズルの出口が被処理体側になるように、前記磁石が設置されることを特徴とする請求項 9 に記載のガスクラスターを用いた処理装置。

【請求項 11】

ガスクラスターを用いて被処理体に対して処理を行う処理方法であって、
処理容器内に被処理体を配置し、その中を真空に保持することと、
前記処理容器内にクラスターノズルを設け、クラスター生成ガスを含むガスを前記クラスターノズルに供給して、前記クラスターノズルの内部で断熱膨張させてガスクラスターを生成させることと、

前記クラスターノズル部分にプラズマを生成させて、前記プラズマにより前記ガスクラスターをイオン化させ、イオン化したガスクラスターを前記クラスターノズルから噴射させることと、

前記イオン化したガスクラスターを含む励起成分を前記被処理体に照射して所定の処理を行うことと

を有することを特徴とするガスクラスターを用いた処理方法。

【請求項 12】

前記クラスターノズルから噴射された前記イオン化したガスクラスターを前記被処理体に向けて加速させることを特徴とする請求項 11 に記載のガスクラスターを用いた処理方法。

【請求項 13】

前記クラスターノズルに直流電圧を印加し、前記クラスターノズルと前記被処理体との間に電位差を生じさせ、DC 放電により前記クラスターノズル部分にプラズマを生成させることを特徴とする請求項 12 に記載のガスクラスターを用いた処理方法。

【請求項 14】

前記クラスターノズル部分に生成されるプラズマは誘導結合プラズマであることを特徴とする請求項 11 または請求項 12 に記載のガスクラスターを用いた処理方法。

【請求項 15】

前記イオン化したガスクラスターを前記被処理体に照射することにより、前記被処理体の表面に付着したパーティクルを除去することを特徴とする請求項 11 から請求項 14 のいずれか 1 項に記載のガスクラスターを用いた処理方法。

【請求項 16】

前記ガス供給部から供給されたガスのうち、前記クラスターノズル部分でクラスター化されなかった成分は、前記プラズマにより励起されてモノマーイオンまたはラジカルとなって、被処理体に化学的作用を及ぼすことを特徴とする請求項 11 から請求項 15 のいずれか 1 項に記載のガスクラスターを用いた処理方法。

【請求項 17】

前記クラスター生成ガスを含むガスは、前記クラスター生成ガスと反応性ガスとを有し、前記反応性ガスは、前記クラスターノズル部分で前記プラズマにより励起されてモノマーイオンまたはラジカルとなって前記処理容器に供給されるか、または前記クラスターノズルを介さずに直接前記処理容器に供給されて、前記被処理体に化学的作用を及ぼすことを特徴とする請求項 11 から請求項 15 のいずれか 1 項に記載のガスクラスターを用いた処理方法。

【請求項 18】

磁石により前記クラスターノズルのガス噴射領域に磁界を発生させ、前記磁界に電子やイオンのような荷電成分をトラップさせ、前記荷電成分がトラップされた部分にプラズマ

10

20

30

40

50

生成領域を規定することをさらに有することを特徴とする請求項 11 から請求項 17 のいずれか 1 項に記載のガスクラスターを用いた処理方法。

【請求項 19】

前記磁石の磁場強度が最大となる位置と、前記クラスターノズルの出口の位置が同位置、または磁場強度が最大となる位置よりも前記クラスターノズルの出口が被処理体側になるように、前記磁石が設置することを特徴とする請求項 18 に記載のガスクラスターを用いた処理方法。

【請求項 20】

真空中に保持された処理容器内にイオン化したガスクラスターを発生させるガスクラスター発生装置であって、

ガスクラスターを生成するためのクラスター生成ガスを含むガスを供給するためのガス供給部と、

前記処理容器内に設けられ、前記ガス供給部から供給されたクラスター生成ガスをその内部で断熱膨張させてガスクラスターを生成させ、生成されたガスクラスターを含むガス成分を前記処理容器内に噴射するクラスターノズルと、

前記クラスターノズル部分にプラズマを生成するプラズマ生成機構とを具備し、

前記クラスターノズル部分で生成されたプラズマにより前記ガスクラスターがイオン化され、イオン化したガスクラスターが前記クラスターノズルから噴射されることを特徴とするガスクラスター発生装置。

【請求項 21】

前記クラスターノズルのガス噴射領域に磁界を発生させる磁石をさらに具備し、前記磁界に電子やイオンのような荷電成分がトラップされ、前記荷電成分がトラップされた部分にプラズマ生成領域が規定されることを特徴とする請求項 20 に記載のガスクラスター発生装置。

【請求項 22】

真空中に保持された処理容器内にイオン化したガスクラスターを発生させるガスクラスター発生方法であって、

前記処理容器内にクラスターノズルを設け、クラスター生成ガスを含むガスを前記クラスターノズルに供給して、前記クラスターノズルの内部で断熱膨張させてガスクラスターを生成させることと、

前記クラスターノズル部分にプラズマを生成させて、前記プラズマにより前記ガスクラスターをイオン化させ、イオン化したガスクラスターを前記クラスターノズルから噴射させることと

を有することを特徴とするガスクラスター発生方法。

【請求項 23】

磁石により前記クラスターノズルのガス噴射領域に磁界を発生させ、前記磁界に電子やイオンのような荷電成分をトラップさせ、前記荷電成分がトラップされた部分にプラズマ生成領域を規定することをさらに有することを特徴とする請求項 22 に記載のガスクラスター発生方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ガスクラスターを用いた処理装置および処理方法、ならびにガスクラスター発生装置および発生方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近時、被処理体表面にガスクラスターを照射して被処理体の洗浄や加工を行うガスクラスター技術が、選択性の高い加工や洗浄を可能にする技術として注目されている。

【0003】

ガスクラスターの物理力を用いて基板等の被処理体表面の洗浄等の処理を行う場合、処理によってはガスクラスター自体の物理的作用では処理が不十分になる可能性がある。

【0004】

そこで、ガスクラスターを用いて被処理体の洗浄や加工の処理能力を高める技術として、ガスクラスターを生成した後、ガスクラスターをイオン化し、電界や磁界により加速したクラスターイオンビームを被処理体に衝突させる技術が提案されている（例えば、特許文献1、2参照）。

【0005】

また、ガスクラスターをイオン化させることなく化学反応性の高いガスを使用してガスクラスターを生成して処理能力を高める技術も提案されている（特許文献3）。特許文献3には、反応ガスである ClF_3 ガスと、それよりも低沸点のガスである Ar ガスとの混合ガスを、液化しない範囲の圧力で噴出部から断熱膨張させながら真空処理室内に噴出させ、反応性クラスターを生成し、その反応性クラスターを真空処理室内の試料に噴射して加工することが記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開平4-354865号公報

【特許文献2】特開2011-86471号公報

【特許文献3】国際公開第2010/021265号パンフレット

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

ところで、上記特許文献1や特許文献2の技術では、クラスター生成部とイオン化部とが別々に設けられており、装置構成が複雑化および大型化する。また、イオン化部はフィラメントから熱電子を放出させてガスクラスターと衝突させているため、 10^{-3}Pa 程度の低圧の真空環境が求められる。このため導入ガス量が制限され、発生するガスクラスターイオン量が少なく、洗浄等の処理に長時間を要してしまう可能性がある。

【0008】

また、上記特許文献3の技術では、被処理体に非反応物質が存在する場合に残渣が発生する可能性があり、例えば洗浄処理を行う場合に洗浄が不十分になってしまう。

【0009】

したがって、本発明は、装置構成が複雑化および大型化することなく、ガスクラスターの量が不十分にならず、残渣等が発生せずに処理を行うことができる、ガスクラスターを用いた処理装置および処理方法を提供すること、ならびに、それに用いるガスクラスター発生装置および発生方法を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記課題を解決するため、本発明の第1の観点は、ガスクラスターを用いて被処理体に対して処理を行う処理装置であって、被処理体が配置され、真空中に保持される処理容器と、前記処理容器内を排気する排気機構と、ガスクラスターを生成するためのクラスター生成ガスを含むガスを供給するためのガス供給部と、前記処理容器内に設けられ、前記ガス供給部から供給されたクラスター生成ガスをその内部で断熱膨張させてガスクラスターを生成させ、生成されたガスクラスターを含むガス成分を前記処理容器内に噴射するクラスターノズルと、前記クラスターノズル部分にプラズマを生成するプラズマ生成機構とを具備し、前記クラスターノズル部分で生成されたプラズマにより前記ガスクラスターがイオン化され、イオン化したガスクラスターが前記クラスターノズルから噴射され、被処理体に照射して所定の処理を行うことを特徴とするガスクラスターを用いた処理装置を提供する。

【0011】

前記クラスターノズルから噴射された前記イオン化したガスクラスターを前記被処理体に向けて加速させる加速手段をさらに具備することが好ましい。また、前記クラスターノズルは金属製であり、前記プラズマ生成機構は、前記クラスターノズルに直流電圧を印加する直流電源を有し、前記直流電源により前記クラスターノズルと前記被処理体との間に電位差を生じさせ、DC放電により前記クラスターノズル部分にプラズマを生成させる構成とすることができる。この場合に、前記直流電源は、前記クラスターノズルと前記被処理体との間に電位差を生じさせる機能により前記加速手段としても機能させることができる。

【0012】

前記プラズマ生成機構として、前記クラスターノズル部分に誘導結合プラズマを生成するものを用いることができる。前記クラスターノズルは誘電体で構成されており、前記プラズマ生成機構は、前記クラスターノズルの周囲に設けられた誘導コイルと、前記誘導コイルに高周波電力を供給する高周波電源とを有するものとすることができる。

【0013】

前記ガス供給部から供給されたガスのうち、前記クラスターノズル部分でクラスター化されなかったものは、前記プラズマにより励起されてモノマーイオンまたはラジカルとなって、前記被処理体の表面に存在する物質に化学的作用を及ぼすようにしてもよい。

【0014】

前記ガス供給部は、前記クラスター生成ガスと反応性ガスとを供給し、前記反応性ガスは、前記クラスターノズル部分で前記プラズマにより励起されてモノマーイオンまたはラジカルとなって前記処理容器に供給されるか、または前記クラスターノズルを介さずに直接前記処理容器に供給されて、前記被処理体の表面に存在する物質に化学的作用を及ぼすようにしてもよい。

【0015】

前記クラスターノズルのガス噴射領域に磁界を発生させる磁石をさらに具備し、前記磁界に電子やイオンのような荷電成分がトラップされ、前記荷電成分がトラップされた部分にプラズマ生成領域が規定されることが好ましい。前記磁石の磁場強度が最大となる位置と、前記クラスターノズルの出口の位置が同位置、または磁場強度が最大となる位置よりも前記クラスターノズルの出口が被処理体側になるように、前記磁石が設置されることが好ましい。

【0016】

本発明の第2の観点は、ガスクラスターを用いて被処理体に対して処理を行う処理方法であって、処理容器内に被処理体を配置し、その中を真空に保持することと、前記処理容器内にクラスターノズルを設け、クラスター生成ガスを含むガスを前記クラスターノズルに供給して、前記クラスターノズルの内部で断熱膨張させてガスクラスターを生成させることと、前記クラスターノズル部分にプラズマを生成させて、前記プラズマにより前記ガスクラスターをイオン化させ、イオン化したガスクラスターを前記クラスターノズルから噴射させることと、前記イオン化したガスクラスターを含む励起成分を前記被処理体に照射して所定の処理を行うこととを有することを特徴とするガスクラスターを用いた処理方法を提供する。

【0017】

前記クラスターノズルから噴射された前記イオン化したガスクラスターを前記被処理体に向けて加速させることが好ましい。また、前記クラスターノズルに直流電圧を印加し、前記クラスターノズルと前記被処理体との間に電位差を生じさせ、DC放電により前記クラスターノズル部分にプラズマを生成させることができる。前記クラスターノズル部分に生成されるプラズマは誘導結合プラズマであってもよい。

【0018】

前記イオン化したガスクラスターを前記被処理体に照射することにより、前記被処理体の表面に付着したパーティクルを除去することができる。

10

20

30

40

50

【0019】

前記ガス供給部から供給されたガスのうち、前記クラスターノズル部分でクラスター化されなかったものは、前記プラズマにより励起されてモノマーイオンまたはラジカルとなって、被処理体に化学的作用を及ぼすようにしてもよい。

【0020】

前記クラスター生成ガスを含むガスは、前記クラスター生成ガスと反応性ガスとを有し、前記反応性ガスは、前記クラスターノズル部分で前記プラズマにより励起されてモノマーイオンまたはラジカルとなって前記処理容器に供給されるか、または前記クラスターノズルを介さずに直接前記処理容器に供給されて、前記被処理体に化学的作用を及ぼすようにしてもよい。

10

【0021】

上記第2の観点の処理方法において、磁石により前記クラスターノズルのガス噴射領域に磁界を発生させ、前記磁界にイオンや電子のような荷電成分をトラップさせ、前記荷電成分がトラップされた部分にプラズマ生成領域を規定することをさらに有することが好ましい。前記磁石の磁場強度が最大となる位置と、前記クラスターノズルの出口の位置が同位置、または磁場強度が最大となる位置よりも前記クラスターノズルの出口が被処理体側になるように、前記磁石が設置することが好ましい。

【0022】

本発明の第3の観点は、真空中に保持された処理容器内にイオン化したガスクラスターを発生させるガスクラスター発生装置であって、ガスクラスターを生成するためのクラスター生成ガスを含むガスを供給するためのガス供給部と、前記処理容器内に設けられ、前記ガス供給部から供給されたクラスター生成ガスをその内部で断熱膨張させてガスクラスターを生成させ、生成されたガスクラスターを含むガス成分を前記処理容器内に噴射するクラスターノズルと、前記クラスターノズル部分にプラズマを生成するプラズマ生成機構とを具備し、前記クラスターノズル部分で生成されたプラズマにより前記ガスクラスターがイオン化され、イオン化したガスクラスターが前記クラスターノズルから噴射されることを特徴とするガスクラスター発生装置を提供する。

20

【0023】

上記第3の観点のガスクラスター発生装置は、前記クラスターノズルのガス噴射領域に磁界を発生させる磁石をさらに具備し、前記磁界にイオンや電子のような荷電成分がトラップされ、前記荷電成分がトラップされた部分にプラズマ生成領域が規定されることが好ましい。

30

【0024】

本発明の第4の観点は、真空中に保持された処理容器内にイオン化したガスクラスターを発生させるガスクラスター発生方法であって、前記処理容器内にクラスターノズルを設け、クラスター生成ガスを含むガスを前記クラスターノズルに供給して、前記クラスターノズルの内部で断熱膨張させてガスクラスターを生成させることと、前記クラスターノズル部分にプラズマを生成させて、前記プラズマにより前記ガスクラスターをイオン化させ、イオン化したガスクラスターを前記クラスターノズルから噴射させることとを有することを特徴とするガスクラスター発生方法を提供する。

40

【0025】

上記第4の観点のガスクラスター発生方法において、磁石により前記クラスターノズルのガス噴射領域に磁界を発生させ、前記磁界にイオンや電子のような荷電成分をトラップさせ、前記荷電成分がトラップされた部分にプラズマ生成領域を規定することをさらに有することが好ましい。

【発明の効果】

【0026】

本発明では、クラスターノズル内で断熱膨張によりガスクラスターを生成し、かつプラズマ生成機構によりクラスターノズル部分でプラズマを生成する。これにより、クラスターノズル内でガスクラスターの生成およびガスクラスターのイオン化の両方を行うことが

50

できる。このため、装置構成が複雑化および大型化することなく、ガスクラスターの量が不十分にならず、反応性のガスによりガスクラスターを生成する場合のように残渣等が発生せずに処理を行うことができる。

【0027】

また、クラスターノズルのガス噴射領域に磁界を発生させる磁石を設け、磁石から発生された磁界にイオンや電子のような荷電成分をトラップさせ、荷電成分がトラップされた部分にプラズマ生成領域を規定することにより、異常放電を抑制してクラスターノズルと被処理体との間に確実にかつ安定的にプラズマを生成することができる。

【図面の簡単な説明】

【0028】

10

【図1】本発明の第1の実施形態に係る処理装置を示す断面図である。

【図2】本発明の第1の実施形態に係る処理装置におけるガス供給部の一例を示す図である。

【図3】本発明の第1の実施形態に係る処理装置におけるガス供給部の他の例を示す図である。

【図4】本発明の第1の実施形態に係る処理装置におけるガス供給部のさらに他の例を示す図である。

【図5】本発明の第1の実施形態に係る処理装置により基板上のパーティクルを除去する様子を説明するための模式図である。

【図6】本発明の第1の実施形態に係る処理装置により基板上の有機材料と無機材料との複合物を除去する様子を説明するための模式図である。

20

【図7】本発明の第1の実施形態に係る処理装置により基板上の分子状ハロゲン残渣を除去する様子を説明するための模式図である。

【図8】本発明の第1の実施形態に係る処理装置により基板上のハイドロゾイオン注入後のレジスト層を除去する様子を説明するための模式図である。

【図9】クラスターノズル内に実際にDC放電させた際の状況をクラスターノズルの下方から見た状態を示す図である。

【図10】クラスターノズル内に実際にDC放電させた際の状況をクラスターノズルの側方から見た状態を示す図である。

【図11】プラズマ生成に用いる直流電圧をパルス状にした例を示す図である。

30

【図12】本発明の第1の実施形態に係る処理装置におけるクラスターノズルの好ましい形態を示す図である。

【図13】本発明の第1の実施形態に係る処理装置における接地形態を説明するための模式図である。

【図14】接地形態の他の例を説明するための模式図である。

【図15】本発明の第2の実施形態に係る処理装置を示す断面図である。

【図16】本発明の第2の実施形態に係る処理装置におけるクラスターノズルの好ましい形態を示す図である。

【図17】本発明の第2の実施形態に係る処理装置においてクラスターノズルと誘導コイルとの間にファラデーシールドを設けた例を示す模式図である。

40

【図18】クラスターノズルとファラデーシールドを一体化した例を示す斜視図である。

【図19】本発明の第3の実施形態に係る処理装置を示す断面図である。

【図20】磁石の配置位置の他の例を示す図である。

【図21】磁石から発生する磁力線を示す図である。

【図22】クラスターノズルから基板側に離れた位置に磁石を設けた場合に生じるミラー効果を説明するための図である。

【図23】ミラー効果を抑制して磁石の出口付近でプラズマを発火させることができる磁石の配置を示す図である。

【図24】磁石をクラスターノズル側から基板側に向かって直列に複数設置した例を示す図である。

50

【図 2 5】磁石から基板に向けて管状のヨークを設けた例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0029】

以下、添付図面を参照して、本発明の実施の形態について説明する。

＜第 1 の実施形態＞

まず、第 1 の実施形態について説明する。

図 1 は、本発明の第 1 の実施形態に係る処理装置を示す断面図である。

【0030】

処理装置 100 は、被処理体である基板の表面にガスクラスターを照射して基板表面の洗浄処理を行うためのものである。

10

【0031】

この処理装置 100 は、洗浄処理を行うための処理室を区画する処理容器 1 を有している。処理容器 1 内には被処理体としての基板 S を載置する基板載置台 2 が設けられている。基板 S としては、半導体ウエハや、フラットパネルディスプレイ用のガラス基板等、種々のものを挙げることができ、付着したパーティクルを除去する必要があるものであれば特に限定されない。基板載置台 2 は駆動機構 3 により駆動されるようになっている。

【0032】

処理容器 1 の側壁下部には排気口 4 が設けられており、排気口 4 には排気配管 5 が接続されている。排気配管 5 には、真空ポンプ 6 が設けられており、この真空ポンプ 6 により処理容器 1 内が真空排気されるようになっている。このときの真空度は排気配管 5 に設けられた圧力制御バルブ 7 により制御可能となっている。これらにより排気機構が構成され、これにより処理容器 1 内が所定の真空度に保持される。

20

【0033】

処理容器 1 の側面には、被処理基板 S の搬入出を行うための搬入出口（図示せず）が設けられており、この搬入出口を介して真空搬送室（図示せず）に接続されている。搬入出口はゲートバルブ（図示せず）により開閉可能となっており、真空搬送室内の基板搬送装置により、処理容器 1 に対する基板 S の搬入出が行われる。

【0034】

基板載置台 2 の上方には、基板 S に洗浄用のガスクラスターを照射するガスクラスター照射機構 10 が配置されている。ガスクラスター照射機構 10 は、処理容器 1 内の上部に基板載置台 2 に対向して設けられたクラスターノズル 11 と、処理容器 1 外に設けられた、クラスターノズル 11 にクラスターを生成するためのガスを含むガスを供給するガス供給部 12 と、供給部 12 からのガスをクラスターノズル 11 へ導くガス供給配管 13 とを有している。ガス供給配管 13 には、上流側から、圧力調整器 14、圧力計 15、流量制御器 16、および開閉バルブ 17 が設けられている。

30

【0035】

クラスターノズル 11 は金属製であり、碍子（絶縁部材）21 を介して処理容器 1 の天壁中央に設けられている。クラスターノズル 11 は、基端部 11a と先端部 11b とを有しており、先端部 11b が末広がり状をなすコニカルノズルとして構成されている。クラスターノズル 11 の基端部 11a には直流高圧電源 22 が接続されており、クラスターノズル 11 に高圧の直流電圧が供給されるようになっている。クラスターノズル 11 は、碍子 21 を介してガス供給配管 13 および処理容器 1 から絶縁されており、電氣的にフローティング状態となっている。なお、処理容器 1 および基板載置台 2 は接地されている。なお、ノズルの形状は限定されない。また、クラスターノズル 11 の直流電圧印加位置も限定されない。

40

【0036】

ガス供給部 12 は、図 2 に示すように、ガス供給源としてクラスター生成ガス供給源 12a のみを有していてもよいし、図 3 に示すように、クラスター生成ガスを供給するクラスター生成ガス供給源 12a と、励起されて反応種として機能する反応ガスを供給する反応ガス供給源 12b とを有するものとし、これらがガス供給配管 13 に接続されるような

50

ものであってもよい。また、図4に示すように、反応ガス供給源12bに、処理容器1に至るガス供給配管13aを接続し、反応ガスをクラスターノズル11を介さずに直接処理容器1に供給するようにしてもよい。

【0037】

ガス供給部12からクラスター生成ガスを含むガスを供給する際には、圧力計15により計測された圧力に基づいて圧力調整器14によりその供給圧力が昇圧され、例えば0.1～5MPa程度の高圧にされる。処理容器1内は真空中に保持されているため、ガス供給部12から供給された高圧のクラスター生成ガスは、クラスターノズル11内で断熱膨張し、ガスの原子または分子の一部がファンデルワールス力により数個から約 10^7 個凝集し、ガスクラスターが生成される。このとき、クラスターノズル11には直流高圧電源22から高圧の直流電圧が印加され、基板Sは基板載置台2を介して接地されているので、これらの間にDC放電が生じ、クラスターノズル11の先端部分でプラズマPが生成される。このプラズマPにより、クラスターノズル11内で生成されたガスクラスターがイオン化されてイオン化ガスクラスターCiとなってクラスターノズル11から処理容器1（処理室）内に噴射され、クラスターノズル11と基板Sとの電位差により基板Sに向けて加速され、基板Sに照射される。すなわち、直流高圧電源22は、プラズマ生成機構としての機能およびイオン化ガスクラスターを加速させる加速手段としての機能の両方を有する。

10

【0038】

それと同時に、クラスターノズル11内を流れるクラスター化されなかったガス分子（原子）もプラズマPにより励起されてモノマーイオンmiを生成し、モノマーイオンmiもクラスターノズル11と基板Sとの電位差により加速されて基板Sに照射される。また、クラスター化されなかったガス分子（原子）がプラズマPにより励起されることによりラジカルmrも生成し、基板Sへ到達する。

20

【0039】

なお、モノマーイオンmiが過剰なイオンダメージを与える可能性がある場合には、スキマーを設けてモノマーイオンが基板Sに照射されないようにしておいてもよい。また、クラスターノズル11と基板Sとの間に加速用電極を設けてイオン化ガスクラスターCiをさらに加速してもよい。

【0040】

クラスター生成ガスは特に限定されないが、CO₂ガス、Arガス、N₂ガス、SF₆ガス、NF₃ガス、CH₄ガスのようなCxHy（ hidroカーボン）ガス、CF₄ガスのようなCxHy（フルオロカーボン）ガス等が例示される。これらは単独でも、混合したもので適用可能である。

30

【0041】

生成されたガスクラスターを破壊させずに被処理基板Sに噴射させるためには、処理容器1内の圧力は低いほうがよく、例えば、クラスターノズル11に供給するガスの供給圧力が0.1～5MPaでは300Pa以下であることが好ましい。ただし、フィラメントから熱電子を放出させてガスクラスターをイオン化する技術のような 10^{-3} Paレベルの低圧は不要である。

40

【0042】

また、クラスターノズル11部分でプラズマを生成するためには、直流高圧電源22からの直流電圧は0.5～20kV程度、処理容器1内の圧力は300Pa以下が好ましい。また、このように処理容器1内の圧力が300Pa以下であれば、ガスクラスターを破壊させずに噴射させ、かつ有効にプラズマを生成することができる。

【0043】

反応ガスも特に限定されないが、O₂ガス、H₂ガスが例示される。また、クラスター生成ガスに例示した、SF₆、CF₄、NF₃などのガス単体では不活性であるフッ素含有ガスや、H₂Oガスを用いてもよい。また、これらのガスは、上述したように（図4参照）、クラスターノズル11を介さずに、ガス供給配管13aを介して処理容器1へ供給

50

することができるが、この場合は、プラズマ中の励起種により導入したガスが活性化される。なお、このような反応ガスは、イオン化クラスターの物理力では除去できない物質の除去に用いられる。

【0044】

駆動機構3は、クラスターノズル11から噴射されたイオン化ガスクラスターCiを含む励起成分が被処理基板Sの全面に照射されるように基板載置台2を一平面内で移動させるものであり、例えばXYテーブルからなっている。なお、このように駆動機構3により基板載置台2を介して被処理基板Sを平面移動させる代わりに、クラスターノズル11を平面移動させてもよく、また、基板載置台2とクラスターノズル11との両方を平面移動させてもよい。また、基板載置台2を回転させて、クラスターノズルを移動させてもよい。また、基板載置台2を回転させてかつ平行移動させてもよい。

10

【0045】

処理装置100は、制御部30を有している。制御部30は、処理装置100のガスの供給（圧力調整器14、流量制御器16、および開閉バルブ17）、ガスの排気（圧力制御バルブ7）、駆動機構3による基板載置台2の駆動、直流高圧電源22の電圧等を制御する、マイクロプロセッサ（コンピュータ）を備えたコントローラを有している。コントローラには、オペレータが処理装置100を管理するためにコマンドの入力操作等を行うキーボードや、処理装置100の稼働状況を可視化して表示するディスプレイ等が接続されている。また、コントローラには、処理装置100における処理をコントローラの制御にて実現するための制御プログラムや処理条件に応じて処理装置100の各構成部に所定の処理を実行させるための制御プログラムである処理レシピや、各種データベース等が格納された記憶部が接続されている。レシピは記憶部の中の適宜の記憶媒体に記憶されている。そして、必要に応じて、任意のレシピを記憶部から呼び出してコントローラに実行させることで、コントローラの制御下で、処理装置100での所望の処理が行われる。

20

【0046】

次に、以上のような処理装置100を用いた処理方法について説明する。

まず、ゲートバルブを開けて搬入出口を介して被処理基板Sを搬入し、基板載置台2上に載置し、処理容器1内を真空ポンプ6により真空引きして所定圧力の真空状態とするとともに、ガス供給部12からCO₂ガス等のクラスター生成ガス、または必要に応じてさらに反応性ガスを、所定流量で供給する。クラスター生成ガスは、圧力調整器14により調圧され、所定の供給圧力でクラスターノズル11に供給される。このとき、ガス供給部12に、またはガス供給部12と圧力調整器14の間に、昇圧機を設けてもよい。ガス供給部と高圧のクラスター生成ガスは、真空状態のクラスターノズル11内で断熱膨張し、その一部が凝集してガスクラスターを生成する。このとき、クラスターノズル11には直流高圧電源22から高圧の直流電圧が印加され、基板Sは基板載置台2を介して接地されているので、これらの間にDC放電が生じ、クラスターノズル11部分でプラズマPが生成される。このプラズマPにより、クラスターノズル11内で生成されたガスクラスターがイオン化されてイオン化ガスクラスターCiとなってクラスターノズル11から処理容器1（処理室）内に噴射され、クラスターノズル11と基板Sとの電位差により加速されて基板Sに照射される。

30

40

【0047】

イオン化ガスクラスターCiは、電位差を与えることにより加速させることができるので、ガスクラスター自体の物理的エネルギーが増加する。このため、イオン化ガスクラスターCiは、中性のガスクラスターよりも高エネルギーで基板Sに衝突させることができ、基板Sの表面の洗浄効果を高めることができる。

【0048】

例えば、図5に示すように、基板S上にパーティクルPaが存在する場合に、物理的エネルギーの高いイオン化ガスクラスターCiを基板Sに照射するので、パーティクルPaが除去しづらい形態のものであっても、有効に除去することができ、パーティクルの除去率を高くすることができる。

50

【0049】

また、このようにクラスターノズル11内およびクラスターノズル11先端部近傍で、ガスクラスターの生成およびガスクラスターのイオン化の両方を行うので、上記特許文献1、2に記載されたクラスター生成部およびイオン化部が別々に設けられている装置のように装置の大型化や複雑化を生じることはない。また、クラスターノズル11部分にプラズマを生成してガスクラスターをイオン化するので、フィラメントから熱電子を放出させる手法のような低圧環境を要求されず、導入ガス量の制限によってガスクラスターの量が不十分になることがない。さらに、特許文献3の技術のように、反応性ガスをクラスター化しガスクラスターの反応性を利用するものではないので、被処理体に非反応物質がある場合に残渣が発生することもない。

10

【0050】

一方、ガス供給部12から供給されるクラスター生成ガスのうちクラスター化されるのは一部であるため、クラスター化されないクラスター生成ガスもクラスターノズル11を流れる。また、ほとんどクラスター化しない反応ガスを供給する場合には、クラスターノズル11に供給されても大部分はそのままクラスターノズル11を流れる。そして、これらのガス分子（原子）もクラスターノズル11部分のプラズマPにより励起されてモノマーイオン m_i やラジカル m_r となり、このようなモノマーイオン m_i やラジカル m_r が基板Sに照射される。また、反応性ガスとしてクラスター化しやすいものを用いる場合には、図4のように、ガス供給配管13aを介して直接処理容器1内に反応ガスを供給し、プラズマ中の励起種により反応ガスが活性化されてモノマーイオン m_i やラジカル m_r が生成され、基板Sに照射される。

20

【0051】

これらのモノマーイオン m_i やラジカル m_r は、基板Sにこれらと反応する物質が存在する場合は、基板Sの処理に有効に作用させることができる。すなわち、基板S上の反応性の物質は、励起されたガス分子（原子）（すなわちモノマーイオン m_i やラジカル m_r ）により分解（除去）され、非反応物や蒸気圧の低い反応生成物はイオン化ガスクラスターC_iの物理力により除去される。

【0052】

例えば、基板S上にEUVレジストのような有機材料201と無機材料202との複合物203が存在している場合、CO₂ガスのようなクラスター生成ガスに加えて、反応性ガスとしてO₂ガスを供給し、図6(a)に示すように、クラスターノズル11内で励起されたO₂ガス（酸素ラジカル(O^{*}))を有機材料201と反応させて有機材料201を分解除去し、図6(b)に示すように、残留した無機材料202をイオン化ガスクラスターC_iで物理的に除去する。なお、ここでの反応性ガスはO₂ガスに限られるものではなく、例えばH₂ガス等、有機材料、無機材料ともに反応性があるものでもよい。

30

【0053】

また、基板S上にハロゲン系付着物、例えば分子状ハロゲン残渣が存在している場合、CO₂ガスのようなクラスター生成ガスに加えて、反応性ガスとしてH₂ガスを供給し、図7(a)に示すように、クラスターノズル11内で励起されたH₂ガス（水素ラジカル(H^{*}))を分子状ハロゲン残渣204と反応させて揮発性成分（例えばHF）に変換して除去し、図7(b)に示すように、その他の不揮発性成分（粒子状）205はイオン化ガスクラスターC_iの物理力で除去する。なお、ここでの反応性ガスは、H₂ガスに限られるものではなく、例えばH₂Oガス等、ハロゲン残渣と反応性があるものを用いることができる。

40

【0054】

さらに、ハイドロゾイオン注入後のレジスト層には表面にクラスト層（強固なカーボン層）が形成されているが、基板S上にハイドロゾイオン注入後のレジスト層を除去する場合、同じくクラスター生成ガスに加えて、反応性ガスとしてH₂ガスを供給し、図8(a)に示すように、水素ラジカル(H^{*}))をクラスト層207と反応させて分解除去し、図8(b)に示すように、残留した通常のレジスト層206は水素ラジカルによる分解とイ

50

オン化ガスクラスターC i の物理力との組み合わせで高効率に除去することができる。ここでの反応ガスは、H₂ガスに限られるものではなく、例えばO₂ガス等、有機材料と反応性があるものであってもよい。

【0055】

なお、クラスター生成ガスとしてNF₃ガスのような励起されることにより反応性を有するものを用いることにより、クラスター生成ガスのみで、イオン化ガスクラスターの物理力と励起された分子の化学反応の両方を基板S上の物質に作用させることができる。

【0056】

モノマーイオンm i が過剰なイオンダメージを与える可能性がある場合には、スキマーを設けることにより基板Sに対するモノマーイオンm i の照射を軽減することができる。スキマーを用いてもイオン除去が不十分である場合にはニュートライザーを用いてイオンダメージを与える可能性のあるモノマーイオンm i を直接除電してもよい。

【0057】

また、クラスターノズル11と基板Sとの間に加速用電極を設けることにより、イオン化ガスクラスターC i がさらに加速され、イオン化ガスクラスターC i の物理力を増加させることができる。

【0058】

次に、クラスターノズル11内に実際にDC放電させた際の状況について説明する。図9は、クラスター生成ガスとしてCO₂ガスを用い、CO₂ガス圧力を変化させた場合の放電状況をクラスターノズル11の下方から見た状態を示す図である。ここでは、処理容器内の圧力を0.8Pa以下、直流高圧電源から印加される電圧を最大5kVとし、CO₂ガス供給圧力を0.35MPa、0.48MPa、0.7MPaと変化させた。図9に示すように、供給圧力の増加にともない、プラズマ生成部分（明るい部分）の輝度が高くなり、かつプラズマ生成部分の大きさも増加し、プラズマ生成部分がノズル内径より大きくなって、外径側へ広がっている。供給圧力の増加により、クラスターノズルを通過するCO₂ガス流量を増加することから、図9の結果は、CO₂ガス流量の増加により、プラズマ生成部分（明るい部分）の輝度が高くなり、かつプラズマ生成部分の大きさも増加することを示している。また、プラズマ生成部分がノズル内径より大きくなって、外径側へ広がっていることから、クラスターノズル出口付近にもプラズマが生成していることを示唆している。図10は、供給圧力0.48MPaの条件でクラスターノズル内に実際にDC放電させた際の状況をクラスターノズルの側方から見た状態を示す図であるが、プラズマはクラスターノズル先端部分から出口側に広がっていることがわかる。また、直流電源の供給電力が一定の条件において、供給ガス流量が増加すると、それによっても電流値が増加している。このことから、CO₂ガス流量の増加により、プラズマ内のイオン化成分が増大し、電流値が増加したと推測される。

【0059】

プラズマ生成に用いる直流高圧電源22は、直流電圧を連続的に印加するものであってもよいが、図11に示すようにパルス状に印加してもよい。パルス状に印加することにより、電圧印加時におけるアーキング電圧上昇をキャンセルして異常放電発生を抑制することができる。また、直流電圧を連続して印加する場合には、プラズマ状態が過剰となってクラスター生成が妨げられることが想定されるが、直流電圧をパルス状に印加することにより、ガスクラスターを高効率に生成することが可能となる。

【0060】

また、図12に示すように、クラスターノズル11の形状を長くして、クラスター生成領域を拡大するようにすることが好ましい。クラスターノズル11に直流電圧を印加してDC放電させる場合には、クラスターノズル11の先端の出口付近でプラズマが生成する。このため、クラスターノズル11を長くすることにより、クラスターノズル11の入り口からプラズマ生成領域までの間のクラスター生成領域Rの距離をガスクラスターを生成するのに十分な長さとすることができる。この結果、ガスクラスター生成量を増加させることが可能となる。

【0061】

なお、図1の例では、基板Sおよび処理容器1をいずれも接地して、図13に示すように、基板Sおよび処理容器1とクラスターノズル11との間で電位差を形成するシンプルな構造としたが、図14に示すように、基板Sのみを接地するようにすることもできる。その場合は、基板の電位と、基板Sを除く処理容器1等の周辺の構成部分の電位とを分けることができる。

【0062】

＜第2の実施形態＞

次に、第2の実施形態について説明する。

図15は、本発明の第2の実施形態に係る処理装置を示す断面図である。

10

【0063】

本実施形態の処理装置101は、第1の実施形態のクラスターノズル11に代えてクラスターノズル41を設けたガスクラスター照射機構40を有し、プラズマ生成方式を誘導結合型プラズマ（ICP）方式に変えたものである。

【0064】

クラスターノズル41は、石英やセラミックス（アルミナ等）の誘電体からなり、基端部41aと先端部41bとを有しており、基端部41aが処理容器1の天壁中央に取り付けられ、先端部41bが末広がり状をなすコニカルノズルとして構成されている。クラスターノズル41の先端部41bの周囲には誘導コイル42が巻回されており、誘導コイル42には高周波電源43が接続されている。ただし、ノズルの形状は限定されない。また、基板載置台2には直流電源44が接続されている。その他の構成は図1の処理装置100と同じであるから詳細な説明は省略する。

20

【0065】

第1の実施形態と同様、ガス供給部12からクラスター生成ガスを含むガスを供給する際には、圧力計15により計測された圧力に基づいて圧力調整器14によりその供給圧力が昇圧され、例えば0.1～5MPa程度の高圧にされる。処理容器1内は真空中に保持されているため、ガス供給部12から供給された高圧のクラスター生成ガスは、クラスターノズル41内で断熱膨張し、ガスクラスターが生成される。このとき、クラスターノズル41の先端部41bの周囲に巻回された誘導コイル42に高周波電源43から高周波電力が供給されることにより、クラスターノズル41内部の誘導コイル42が巻回されている部分には誘導電磁界が生じ、それによりクラスターノズル41部分にプラズマPが生成される。このプラズマPにより、クラスターノズル41内で生成されたガスクラスターがイオン化されてイオン化ガスクラスターCiとなってクラスターノズル41から処理容器1（処理室）内に噴射される。一方、基板載置台2には直流電源44が接続されているから、クラスターノズル41と基板Sとの間に電位差が生じ、その電位差によりイオン化ガスクラスターCiが加速されて基板Sに照射される。すなわち、直流電源44はイオン化ガスクラスターを加速する加速手段として機能する。

30

【0066】

クラスターノズル41内を流れるクラスター化されなかったガス分子（原子）もプラズマPにより励起されてモノマーイオンmiを生成し、モノマーイオンmiもクラスターノズル41と基板Sとの電位差により加速されて基板Sに照射される。また、クラスター化されなかったガス分子（原子）がプラズマPにより励起されることによりラジカルmrも生成し、基板Sへ到達する。

40

【0067】

第1の実施形態と同様、クラスター生成ガスは特に限定されないが、CO₂ガス、Arガス、N₂ガス、SF₆ガス、CF₄ガス、NF₃ガス等が例示され、これらは単独でも、混合したものでも適用可能である。また、第1の実施形態と同様、処理容器1内の圧力は低いほうがよく、例えば、クラスターノズル11に供給するガスの供給圧力が0.1～5MPaでは300Pa以下であることが好ましいが、フィラメントから熱電子を放出させてガスクラスターをイオン化する技術のような10⁻³Paレベルの低圧は不要である

50

。第1の実施形態と同様、反応ガスも特に限定されないが、 O_2 ガス、 H_2 ガスが例示される。反応ガスは、イオン化クラスターの物理力では除去できない物質の除去に用いられる。

【0068】

クラスターノズル41部分で誘導結合プラズマを生成するためには、高周波電源43の周波数は1～300MHz程度、パワーは1～1000W程度、処理容器内の圧力は0.01～300Pa程度が好ましい。また、このように処理容器1内の圧力が300Pa以下であれば、ガスクラスターを破壊させずに噴射させ、かつ有効にプラズマを生成することができる。

【0069】

本実施形態の処理装置101においても、まず、ゲートバルブを開けて搬入出口を介して被処理基板Sを搬入し、基板載置台2上に載置し、処理容器1内を真空ポンプ6により真空引きして所定圧力の真空状態とするとともに、ガス供給部12から CO_2 ガス等のクラスター生成ガス、または必要に応じてさらに反応性ガスを、所定流量で供給する。クラスター生成ガスは、圧力調整器14により昇圧され、所定の供給圧力でクラスターノズル41に供給される。高圧のクラスター生成ガスは、真空状態のクラスターノズル41内で断熱膨張し、その一部が凝集してガスクラスターを生成する。このとき、クラスターノズル41部分には誘導コイル42に高周波電源43から高周波電力が供給されることにより誘導結合プラズマPが生成される。このプラズマPにより、クラスターノズル41内で生成されたガスクラスターがイオン化されてイオン化ガスクラスターCiとなってクラスターノズル41から処理容器1（処理室）内に噴射され、直流電源44から印加された直流電圧によって生じたクラスターノズル41と基板Sとの電位差により加速されて基板Sに照射される。

【0070】

本実施形態においても、第1の実施形態と同様、イオン化ガスクラスターCiを電位差により加速させて、ガスクラスター自体の物理的エネルギーを増加させることにより、中性のガスクラスターよりも高エネルギーで基板Sに衝突させることができ、基板Sの表面の洗浄効果を高めることができる。このため、基板S上に除去しづらい形態のパーティクルPaが存在する場合にも、有効に除去することができる。また、第1の実施形態と同様、上記特許文献1、2、3の技術における不都合は生じない。

【0071】

一方、第1の実施形態と同様、クラスター化されないクラスター生成ガスもクラスターノズル41を流れ、また、反応性ガスを供給する場合には、ほとんどクラスター化しないものを用いるため、反応性ガスの大部分はそのままクラスターノズル41を流れる。そして、これらのガス分子（原子）もクラスターノズル41部分のプラズマPにより励起されてモノマーイオンmiやラジカルmrとなり、このようなモノマーイオンmiやラジカルmrが基板Sに照射される。

【0072】

これらのモノマーイオンmiやラジカルmrは、第1の実施形態と同様、基板Sにこれらと反応する物質が存在する場合は、基板Sの処理に有効に作用させることができる。すなわち、基板S上の反応性の物質は、励起されたガス分子（原子）（すなわちモノマーイオンmiやラジカルmr）により分解（除去）され、非反応物や蒸気圧の低い反応生成物はイオン化ガスクラスターCiの物理力により除去される。したがって、本実施形態においても第1の実施形態で例示したような図5～8のアプリケーションが適用可能である。

【0073】

本実施形態においても、モノマーイオンmiが基板Sに過剰なイオンダメージを与える可能性がある場合には、スキマーを設けることにより基板Sに対するモノマーイオンmiの照射を軽減することができる。スキマーを用いてもイオン除去が不十分である場合にはニュートライザーを用いてイオンダメージを与える可能性のあるモノマーイオンmiを直接除電してもよい。また、基板載置台2に直流電源44を接続して基板Sに直流電圧を印

加することに代えて、または、直流電圧を印加することに加えて、クラスターノズル 4 1 と基板 S との間に加速用電極を設けてイオン化ガスクラスター C i をさらに加速してもよい。

【0074】

図 1 6 に示すように、本実施形態のクラスターノズル 4 1 においても、第 1 の実施形態のクラスターノズル 1 1 と同様、形状を長くしてクラスター生成領域を拡大することが好ましい。すなわち、誘導結合プラズマは、誘導コイル 4 2 を巻回している領域に形成されるので、誘導コイル 4 2 をクラスターノズル 4 1 の先端部分に巻回し、クラスターノズル 4 1 の入り口から、誘導コイル 4 2 の巻回領域までの間のクラスター生成領域 R をガスクラスターを生成するのに十分な長さとするにより、ガスクラスター生成量を増加させることが可能となる。

10

【0075】

図 1 7 に示すように、クラスターノズル 4 1 内壁への電氣的ダメージを抑制する観点から、誘導コイル 4 2 とクラスターノズル 4 1 の先端部 4 1 b との間に金属製の円錐状をなすファラデーシールド 4 5 を設けてもよい。また、図 1 8 に示すように、クラスターノズル 4 1 の代わりに、ファラデーシールド一体型のクラスターノズル 5 1 を設けてもよい。このクラスターノズル 5 1 は、ファラデーシールドを兼ねたノズル本体 5 2 にスリット 5 3 を設け、そのスリット 5 3 内を埋めるように石英等の誘電体 5 4 を設置して絶縁したものである。

20

【0076】

< 第 3 の実施形態 >

次に、第 3 の実施形態について説明する。

図 1 9 は、本発明の第 3 の実施形態に係る処理装置を示す断面図である。

【0077】

本実施形態の処理装置 1 0 2 は、第 1 の実施形態の処理装置に磁石 6 0 を加えたものである。他の構成は第 1 の実施形態と同じであるから説明を省略する。

【0078】

磁石 6 0 は、クラスターノズル 1 1 のガス噴射領域に磁界を発生させるものであり、発生した磁界によりイオンや電子のような荷電成分をトラップし、荷電成分がトラップされた部分にプラズマ生成領域を規定するものである。磁石 6 0 は、例えばサマリウムコバルト磁石等の永久磁石で構成されている。

30

【0079】

本例では、磁石 6 0 はリング状をなし、クラスターノズル 1 1 を囲繞するように設けられている。ただし、磁石 6 0 の配置位置は、クラスターノズル 1 1 のガス噴射領域に磁界を発生させ、発生した磁界によりイオンや電子等の荷電成分をトラップし、トラップされた部分にプラズマ生成領域を規定することができれば、配置位置には制限がなく図 2 0 に示すように、クラスターノズル 1 1 からのガス成分噴射領域を囲繞するように設けられていてもよい。

【0080】

クラスターノズル 1 1 には直流高圧電源 2 0 から高圧の直流電圧が供給され、被処理体である基板 S は接地されているため、処理容器 1 内の圧力が低ければ、磁石 6 0 を設けなくてもクラスターノズル 1 1 と基板 S との間に D C 放電が生じ、ガスクラスターノズル 1 1 の先端部分でプラズマが生成される。しかし、クラスターノズル 1 1 から供給されるガスにより処理容器 1 内の圧力が上昇すると、磁石 6 0 が存在しない場合には、クラスターノズル 1 1 と例えば処理容器 1 の壁部との間に異常放電が生じることがあり、その場合はクラスターノズル 1 1 と基板 S との間に持続的なプラズマ生成が困難となる。

40

【0081】

これに対し、磁石 6 0 を設けることにより、クラスターノズル 1 1 から噴射されたガス中のうち直流高圧電源により励起されて生成した荷電成分、すなわちイオンや電子が、磁石 6 0 から発生した磁界にトラップされる。このため、イオンや電子がトラップされた部

50

分においてイオンや電子の密度が上昇する。これにより、その部分で確実にかつ安定的にプラズマ生成領域を規定することができる。このため、処理容器内の圧力が上昇してもクラスターノズル 11 部分に持続的にプラズマを維持することができる。

【0082】

磁石 60 から発生する磁界（磁場）は、図 21 に示すように、磁力線 61 で表すことができる。磁力線 61 は磁石の N 極 62 から S 極 63 に向かう曲線であり、磁力線の密度が高いほど磁場強度が高くなる。イオンや電子のような荷電成分は、磁力線 61 のまわりを回転し、これにより磁界にトラップされることとなる。

【0083】

磁力線 61 が収束しているロート状の領域 64 に荷電成分が近づくと、荷電成分が斥力を受けてプラズマが跳ね返されることがある。これをミラー効果という。具体的には、上述の図 20 のようにクラスターノズル 11 から基板 S 側に離れた位置に磁石 60 を設けた場合は、図 22 に示すように、ミラー効果によりプラズマがクラスターノズル 11 の上方に跳ね返される可能性がある。これに対し、図 23 に示すように、磁石 60 を、クラスターノズル 11 の出口の位置が磁場強度が最大となる位置 65 と同位置、またはクラスターノズル 11 の出口が磁場強度が最大となる位置 65 よりも被処理体側になるように設置することにより、ミラー効果によるプラズマの跳ね返りを抑制して、磁石 60 の出口付近でプラズマを生成させることができると考えられる。

【0084】

磁石 60 は、クラスターノズル 11 部分に持続的にプラズマを維持するとともに、プラズマを基板 S に導く効果を有することが好ましい。そのためには、磁石 60 の上下方向の長さは長い方が好ましい。また、このような観点から、図 24 に示すように、磁石 60 をクラスターノズル 11 側から基板 S 側に向かって直列に複数設置してもよい。このように複数の磁石 60 を直列に設置することにより、クラスターノズル 11 の出口部分から基板 S 近傍部分まで磁界を途切れさせずに形成することができ、プラズマをクラスターノズル 11 部分から基板 S 側へガイドすることができる。このとき、隣接する磁石 60 間の隙間が空きすぎるとミラー効果が生じ、プラズマを閉じ込める効果が小さくなる可能性があるので、隣接する磁石 60 間の隙間を極力小さくすることが好ましい。

【0085】

また、図 25 に示すように、磁石 60 から基板 S に向けて鉄材やステンレス鋼（SUS）材等の軟磁性体からなる管状のヨーク 67 を設けてもよい。磁石 60 から発生した磁界は、ヨーク 67 によって基板 S 近傍まで達し、これによりプラズマをクラスターノズル 11 部分から基板 S 側へガイドすることができる。

【0086】

本実施形態においては、磁石 60 から発生した磁界により荷電成分をトラップするので、モノマーイオン m_i 等をトラップ減速させることができ、モノマーイオン m_i が基板 S に過剰なイオンダメージを与える可能性を小さくすることができる。一方で、ガスクラスターノズル 11 から噴射されるガスクラスターもプラズマ中でイオン化されるが、モノマーイオンと比較すると質量が非常に重いため、この磁界領域においてトラップ等の影響をほぼ受けずに基板 S に向けて飛行する。もちろん、それでもなおモノマーイオン m_i が基板 S に過剰なイオンダメージを与える可能性はあり、その場合には、従前の実施形態と同様、スキマーやニュートライザーを用いて基板 S に対するモノマーイオンの照射を軽減するようにしてもよい。また、クラスターノズル 41 と基板 S との間に加速用電極を設けてイオン化ガスクラスター C_i をさらに加速してもよい。

【0087】

以上は、第 1 の実施形態の処理装置に磁石 60 を加えた例について説明したが、本実施形態ではこれに限らず、第 2 の実施形態の処理装置に磁石を加えた装置であってもよい。この場合にも同様の効果を得ることができる。また、磁石の配置についても同様であり、図 24、25 の例も同様に適用することができる。

【0088】

10

20

30

40

50

本実施形態は、磁石を用いることにより荷電成分を所望の部分にトラップして所望の領域にプラズマを生成する効果を第1の実施形態および第2の実施形態に付加するものであり、基本的な処理は第1および第2の実施形態と同様である。すなわち、イオン化ガスクラスターC iを電位差により加速させて、ガスクラスター自体の物理的エネルギーを増加させることにより、中性のガスクラスターよりも高エネルギーで基板Sに衝突させることができ、基板Sの表面の洗浄効果を高めることができる。また、クラスターノズルを通してクラスター化されずに流れるクラスター生成ガスや、反応性ガスはプラズマにより励起されてモノマーイオンm iやラジカルm rとなり、基板Sに存在するこれらに反応する物質に有効に作用させることができる。したがって、本実施形態においても第1の実施形態で例示したような図5～8のアプリケーションが適用可能であることはいうまでもない。

10

【0089】

なお、本実施形態では、磁石60としてリング状磁石を設けた例を示したが、これに限らず、クラスターノズルのガス噴射領域に磁界を発生させ、磁界に荷電成分がトラップされ、荷電成分がトラップされた部分にプラズマ生成領域が規定されれば、リング状に限らず、例えば二枚の平板状の磁石であってもよい。

【0090】

<他の適用>

なお、本発明は、上記実施の形態に限定されることなく種々変形可能である。例えば、上記実施形態ではクラスターノズル部分にプラズマを生成する方式としてDC放電方式およびICP方式を例示したが、これに限定されるものではない。

20

【0091】

また、上記実施形態ではイオン化ガスクラスターを加速して被処理体である基板Sに照射する例を示したが、モノマーイオンやラジカルによる処理を主体とする場合等では、イオン化ガスクラスターの加速は必須ではない。

【0092】

さらに、上記実施形態では、本発明を基板の洗浄処理に適用した例について示したが、被処理体は基板に限るものではなく、また、適用される処理も洗浄に限らず、例えば加工等の他の処理に適用することができる。

【符号の説明】

【0093】

30

- 1；処理容器
- 2；基板載置台
- 3；駆動機構
- 4；排気口
- 5；排気配管
- 6；真空ポンプ
- 7；圧力制御バルブ
- 10，40；ガスクラスター照射機構
- 11，41，51；クラスターノズル
- 12；ガス供給部
- 12a；クラスター生成ガス供給源
- 12b；反応ガス供給源
- 21；碍子
- 22；直流高圧電源
- 30；制御部
- 42；誘導コイル
- 43；高周波電源
- 44；直流電源
- 60；磁石
- 61；磁力線

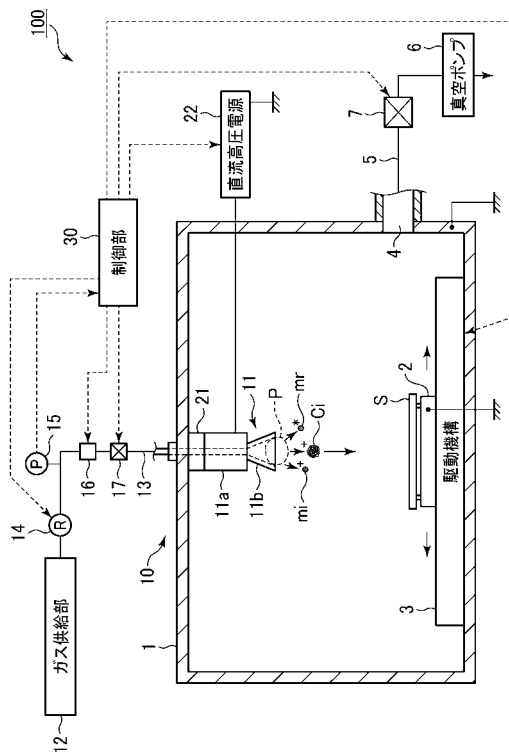
40

50

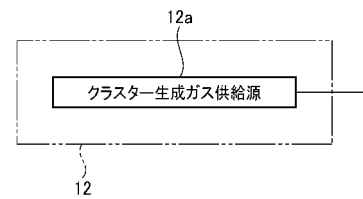
67 ; ヨーク
 100, 101, 102 ; 処理装置
 201 ; 有機材料
 202 ; 無機材料
 203 ; 複合物
 204 ; ハロゲン残渣
 205 ; 不揮発性成分
 206 ; レジスト層
 207 ; クラスト層
 Ci ; イオン化ガスクラスター
 mi ; モノマーイオン
 mr ; ラジカル
 S ; 基板

10

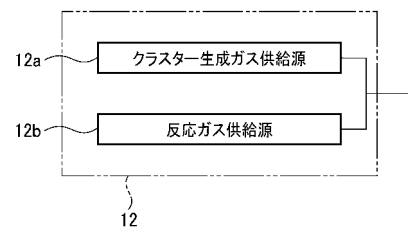
【図 1】



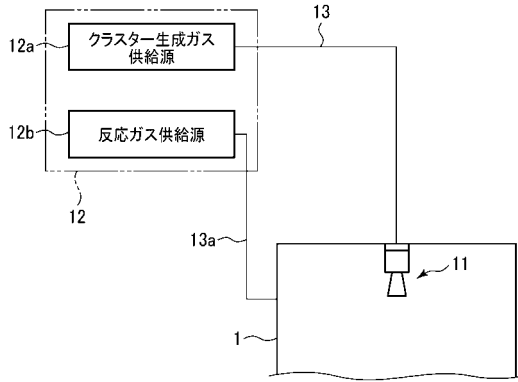
【図 2】



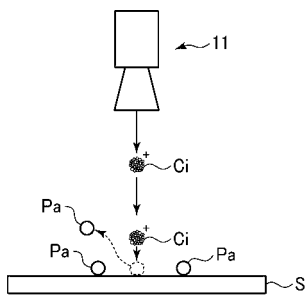
【図 3】



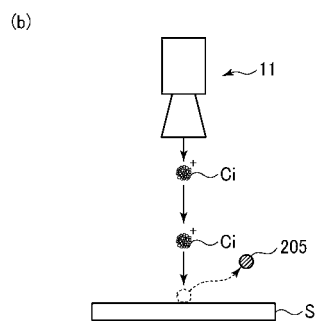
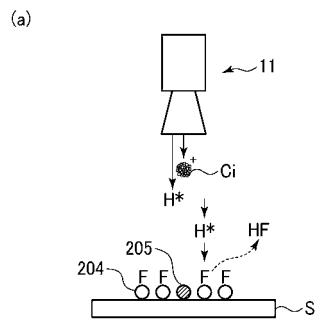
【図 4】



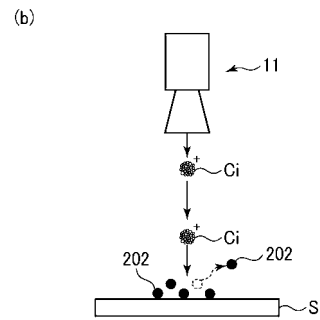
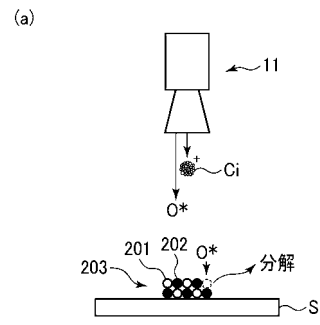
【図 5】



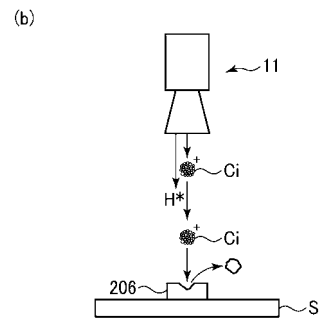
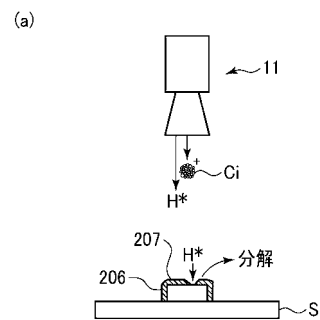
【図 7】



【図 6】



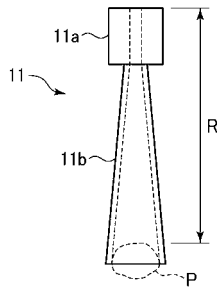
【図 8】



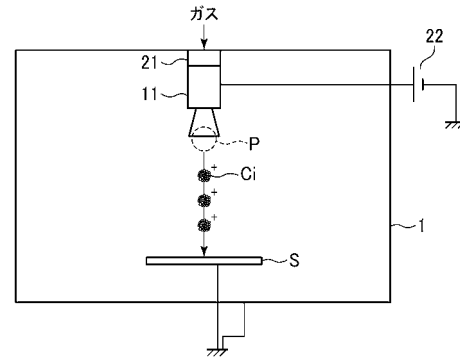
【図 1 1】



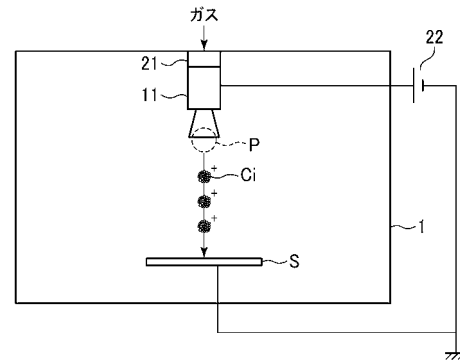
【図 1 2】



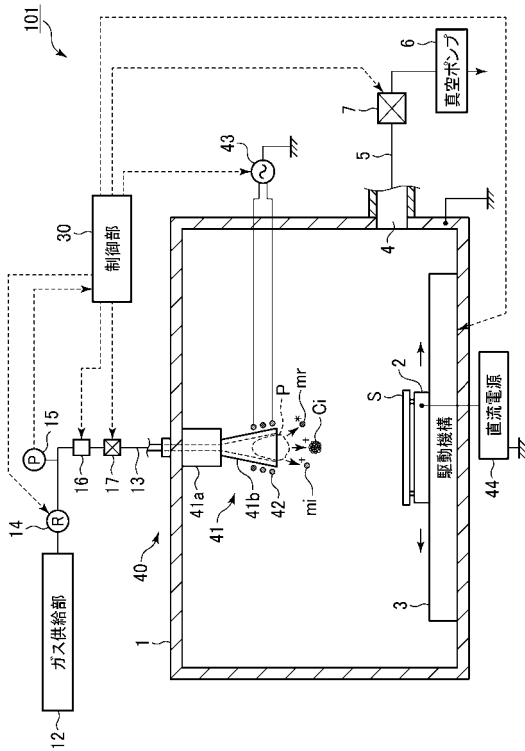
【図 1 3】



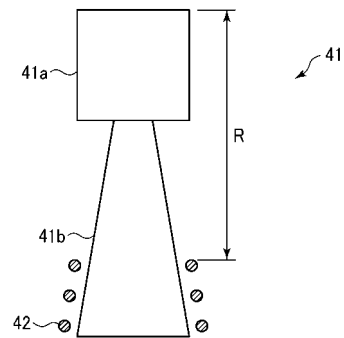
【図 1 4】



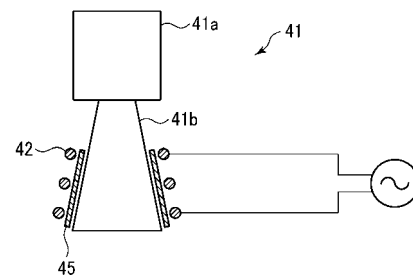
【図 1 5】



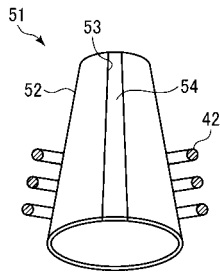
【図 1 6】



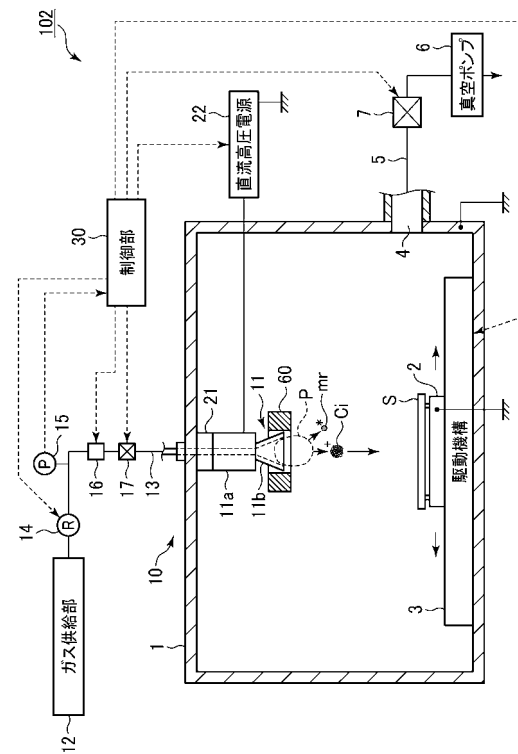
【図 1 7】



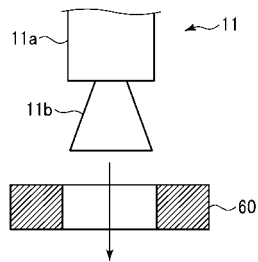
【図 18】



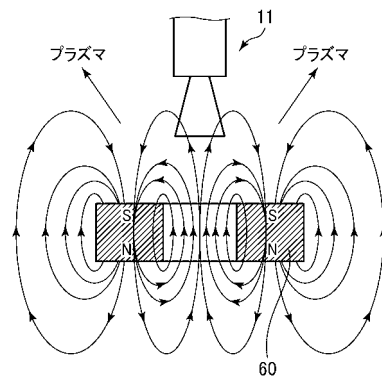
【図 19】



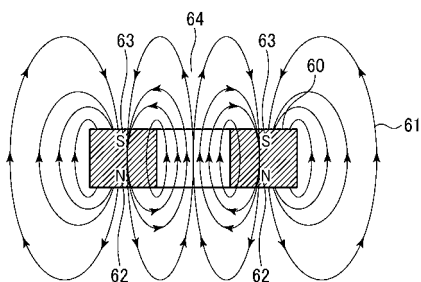
【図 20】



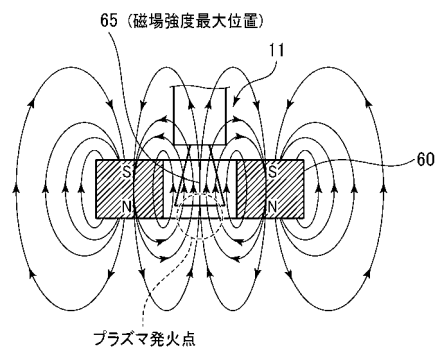
【図 22】



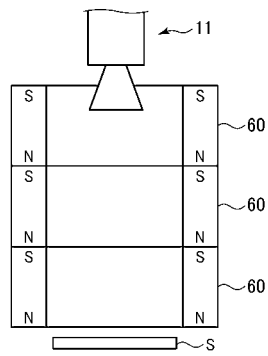
【図 21】



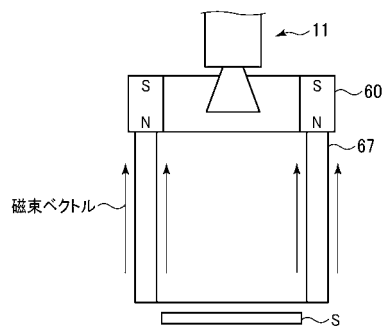
【図 23】



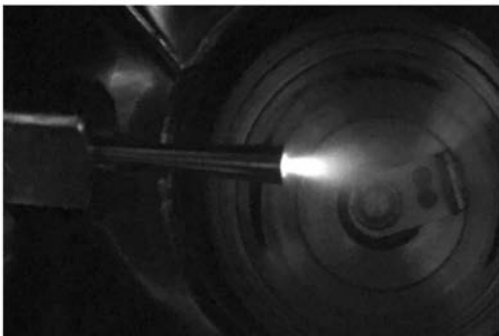
【図 24】



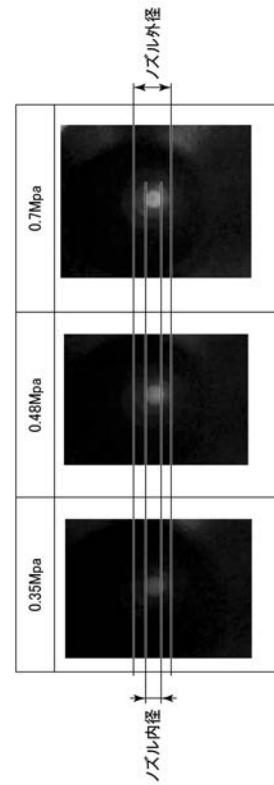
【図 25】



【図 10】



【図 9】



フロントページの続き

Fターム(参考)	2G084	AA01	AA03	BB01	BB07	BB11	BB37	CC02	CC04	CC05	CC08
		CC13	CC33	DD03	DD13	DD37	DD40	DD66	DD67	FF02	FF03
		FF07	FF13	FF14	FF27	FF28	FF38	FF39	FF40	GG06	GG08
		GG14	GG15	GG18	GG23						
	5F004	AA09	AA14	BA03	BA11	BA20	BB07	BB12	BB24	DA00	DA01
		DA17	DA18	DA23	DA24	DA25	DA26				
	5F157	AA73	AB02	AC01	BG02	BG06	BG13	BG14	BG32	BG34	BG37
		BG39	BG85	BG86	CE21	DB02	DB37	DC51			