

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5442871号  
(P5442871)

(45) 発行日 平成26年3月12日(2014.3.12)

(24) 登録日 平成25年12月27日(2013.12.27)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 21/336 (2006.01)

H O 1 L 29/78 3 O 1 G

H O 1 L 29/78 (2006.01)

H O 1 L 29/78 3 O 1 F

請求項の数 14 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2012-531562 (P2012-531562)	(73) 特許権者	000219967
(86) (22) 出願日	平成22年10月2日 (2010.10.2)		東京エレクトロン株式会社
(65) 公表番号	特表2013-506986 (P2013-506986A)		東京都港区赤坂五丁目3番1号
(43) 公表日	平成25年2月28日 (2013.2.28)	(74) 代理人	100088155
(86) 国際出願番号	PCT/JP2010/005926		弁理士 長谷川 芳樹
(87) 国際公開番号	W02011/040047	(74) 代理人	100113435
(87) 国際公開日	平成23年4月7日 (2011.4.7)		弁理士 黒木 義樹
審査請求日	平成24年8月13日 (2012.8.13)	(74) 代理人	100122507
(31) 優先権主張番号	12/573, 138		弁理士 柏岡 潤二
(32) 優先日	平成21年10月4日 (2009.10.4)	(72) 発明者	佐々木 勝
(33) 優先権主張国	米国 (US)		兵庫県尼崎市扶桑町1-8 東京エレクトロン技術研究所株式会社内
早期審査対象出願		審査官	岩本 勉
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体デバイスの製造方法および半導体デバイスの製造装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板の表面にゲート絶縁膜を介したゲート電極を形成し、  
 前記ゲート電極の側面に絶縁膜を形成し、該絶縁膜を形成するときに、フルオロカーボンを含む堆積物が発生し、  
 前記基板の前記表面を酸素プラズマに曝して前記堆積物を除去し、当該酸素プラズマの前記基板の前記表面の近傍の電子温度が約  $1.5 \text{ eV}$  以下であり、  
 前記酸素プラズマは、 $100 \text{ mtorr}$  以上  $200 \text{ mtorr}$  以下の圧力で励起される

半導体デバイスの製造方法。

【請求項 2】

前記絶縁膜は、オフセットスペーサである、請求項 1 に記載の半導体デバイスの製造方法。

【請求項 3】

前記オフセットスペーサ上にサイドウォールスペーサが形成される、請求項 2 に記載の半導体デバイスの製造方法。

【請求項 4】

前記絶縁膜は、サイドウォールスペーサである、請求項 1 に記載の半導体デバイスの製造方法。

【請求項 5】

前記酸素プラズマに曝すことは、ラジアルラインスロットアンテナを用いたマイクロ表面波プラズマを用いることによって行われる、請求項 1 に記載の半導体デバイスの製造方法。

【請求項 6】

少なくとも 1 つのオフセットスペーサとサイドウォールスペーサがプロセスチャンバー内で形成され、前記酸素プラズマは当該プロセスチャンバー内で励起される、請求項 1 に記載の半導体デバイスの製造方法。

【請求項 7】

前記酸素プラズマは、シリコンからなる前記基板の前記表面に励起される、請求項 1 に記載の半導体デバイスの製造方法。

10

【請求項 8】

前記酸素プラズマの電子温度は、前記基板の前記表面から約 20 mm 離れたところで、約 1.0 eV から 1.5 eV である、請求項 1 に記載の半導体デバイスの製造方法。

【請求項 9】

前記酸素プラズマの電子温度は、前記基板の前記表面から約 20 mm 離れたところで、約 1.0 eV から 1.2 eV である、請求項 8 に記載の半導体デバイスの製造方法。

【請求項 10】

前記基板は、サセプター上に配置され、該サセプターの温度が酸素プラズマ励起時に約 20 度から 30 度である、請求項 1 に記載の半導体デバイスの製造方法。

【請求項 11】

20

プラズマを生成するためのマイクロ波出力が、約 2000 W から 3000 W である、請求項 1 に記載の半導体デバイスの製造方法。

【請求項 12】

ゲート電極を基板表面上にゲート絶縁膜を介して形成するユニットと、  
ゲート電極の側面に絶縁膜を形成するユニットと、  
前記基板表面を酸素プラズマに曝して、前記絶縁膜を形成するときに発生するフルオロカーボンを含む堆積物を除去するユニットであり、当該酸素プラズマを 100 mtorr 以上 200 mtorr 以下の圧力で励起させ、当該酸素プラズマの前記基板の前記表面の近傍の電子温度を約 1.5 eV 以下とする、該ユニットと、  
を備える、半導体デバイスの製造装置。

30

【請求項 13】

前記ゲート電極が、該ゲート電極の前記側面上に前記絶縁膜を形成するよう、炭素原子及びフッ素原子を含有するガスを用いたプラズマによってエッチングされる、請求項 1 に記載の半導体デバイスの製造方法。

【請求項 14】

前記基板の前記表面を前記酸素プラズマに曝すことによって、該基板の該表面に、約 1 nm より小さい膜厚を有する酸化部分が形成される、請求項 1 に記載の半導体デバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

40

【0001】

本発明は半導体デバイスと、半導体デバイスの製造方法と、半導体デバイスの製造装置とに関する。

【背景技術】

【0002】

日本特許出願公開第 10 - 22382 号において、半導体デバイスの製造方法についての開示がある。この方法において、半導体基板上に金属配線が形成される。その後、プラズマ TEOS 膜を半導体基板上に形成して、金属配線を被覆する。有機 SOG 膜をプラズマ TEOS 膜上に形成した後、有機 SOG 膜をエッチバックする。このエッチング時において、材料 X を有機 SOG 膜およびプラズマ TEOS 膜上に堆積させる。堆積された材料

50

Xを除去するために、酸素プラズマを2．2トールだけ付加する。本明細書中、同文献の内容全体を参考のため援用する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】日本特許出願公開第10 - 22382号

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0004】

本発明の実施例によれば、半導体デバイスの製造方法は、ゲート絶縁膜を介して基板表面上にゲート電極を形成する工程と、ゲート電極の側面上に絶縁膜を形成する工程と、基板の表面上に酸素プラズマで曝す工程とを含む。基板の表面の近隣の酸素プラズマの電子温度は、約1．5 e V以下である。絶縁膜は、オフセットスペーサ、側壁スペーサ、またはオフセットスペーサ上に形成された側壁スペーサであり得る。

10

【0005】

本発明の別の実施例によれば、半導体デバイスは、ソース領域およびドレイン領域を有する半導体基板を含む。半導体基板の表面上にゲート絶縁膜を介してゲート電極が形成される。ゲート電極の側面上に絶縁膜が形成される。ソース領域およびドレイン領域上の表面のうち一領域は、酸化部分を実質的に含まない。

【0006】

20

本発明のさらなる別の実施例によれば、半導体デバイスの製造装置は、基板の表面上にゲート絶縁膜を介してゲート電極を形成するように構成されたユニットと、ゲート電極の側面上に絶縁膜を形成するように構成されたユニットと、基板の表面上に酸素プラズマを露出させるように構成されたユニットとを含む。絶縁膜は、オフセットスペーサ、側壁スペーサ、またはオフセットスペーサ上に形成された側壁スペーサであり得る。基板の表面の近隣の酸素プラズマの電子温度は、約1．5 e V以下である。

【図面の簡単な説明】

【0007】

以下の詳細な説明を添付図面と共に参照すればより深い得られる。本発明およびその付随する効果のさらなる理解が得られるであろう。

30

【図1A】本発明の実施形態による半導体デバイスの製造方法を説明する図である。

【図1B】本発明の実施形態による半導体デバイスの製造方法を説明する図である。

【図1C】本発明の実施形態による半導体デバイスの製造方法を説明する図である。

【図1D】本発明の実施形態による半導体デバイスの製造方法を説明する図である。

【図1E】本発明の実施形態による半導体デバイスの製造方法を説明する図である。

【図1F】本発明の実施形態による半導体デバイスの製造方法を説明する図である。

【図1G】本発明の実施形態による半導体デバイスの製造方法を説明する図である。

【図2A】異なる圧力下における堆積除去率を示す。

【図2B】異なる圧力下における堆積除去率を示す。

【図2C】異なる圧力下における酸化量を示す。

40

【図2D】異なる圧力下における酸化量を示す。

【図3】本発明の実施形態による半導体デバイスの製造装置を示す模式平面図を示す。

【図4】R L S Aエッチング装置の模式切断透視図である。

【図5】図4に示すR L S Aエッチング装置の部分拡大図である。

【図6】図4に示すR L S Aエッチング装置において用いられるスロットアンテナの平面図である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

以下、実施形態について、添付図面を参照しながら説明する。多様な図面中、類似の参照符号は、対応する要素または同一の要素を指す。

50

## 【 0 0 0 9 】

図 1 A ~ 図 1 G を参照して、本発明の実施形態による半導体デバイス（例えば、M O S F E T）の製造方法について説明する。図 1 A を参照して、基板 W の表面 2 1 2 上にゲート絶縁膜 2 0 2（例えば、酸化ケイ素（ $\text{SiO}_2$ ）膜を介してポリ Si 製のゲート電極 2 0 3 を形成する。その後、図 1 B を参照して、ガス（例えば、Si 含有ガス（ $\text{SiH}_4$  および酸素ガス））を供給することによって R L S A C V D 装置内において化学蒸着を行うことにより、酸化ケイ素（ $\text{SiO}_2$ ）2 2 0 をゲート電極 2 0 3 および表面 2 1 2 上に堆積させる。R L S A C V D 装置は、ラジアルラインスロットアンテナを含む。

## 【 0 0 1 0 】

その後、シリコン基板 W を R L S A エッチング装置へと移動させる。R L S A エッチング装置において、堆積された酸化ケイ素（ $\text{SiO}_2$ ）をエッチングして、オフセットスペーサ 2 0 4 をゲート電極 2 0 3 の側面上に形成する（図 1 C を参照）。このエッチングプロセスは、2 つの工程を有する。表 1 中に、第 1 の工程および第 2 の工程における条件を示す。各工程を停止するタイミングは、第 1 の工程および第 2 の工程が行われる継続時間それぞれに基づいて、決定される。第 1 のエッチングプロセスの後、約 1 n m ~ 約 2 n m の厚さの堆積材料が残留する。第 2 のエッチングプロセスにおいて、エッチング対象である堆積材料のうちほとんど全てが除去される。

## 【 0 0 1 1 】

第 1 の工程および第 2 の工程において、マイクロ波出力は約 1 , 5 0 0 W ~ 約 4 , 0 0 0 W であり、圧力は約 5 m t o r r ~ 約 2 0 0 m t o r r であり、サセプタのバイアスは約 3 0 W ~ 約 2 0 0 W であり、シリコン基板 W の保持台となるサセプタの温度は約 0 ~ 約 8 0 である。使用すべきガスを挙げると、例えば、 $\text{CHF}_3$ 、 $\text{CH}_2\text{F}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{N}_2$  および / または  $\text{H}_2$  がある。エッチングにおいて用いられるガスは、エッチング対象となる材料に従って決定される。エッチングプロセスの継続時間は、エッチング対象となる膜の厚さによって異なり、例えば 5 n m をエッチングするために 1 分間がかかる。しかし、最大継続時間は約 3 分以内におさめるべきである。

## 【 0 0 1 2 】

## 【表 1】

使用ガス	第1の工程	第2の工程
	$\text{CH}_2\text{F}_2$ :1000sccm $\text{O}_2$ :5sccm Ar:2sccm	$\text{CH}_2\text{F}_2$ :360sccm $\text{O}_2$ :20sccm Ar:2sccm
マイクロ波出力	2000W	2000W
圧力	20mT	10mT
バイアス	150W	90W

## 【 0 0 1 3 】

シリコン基板表面内における Si 間の結合エネルギーは、エッチング対象となる酸化ケイ素膜内における Si と O との間の結合エネルギーよりも小さい。そのため、シリコン基板の表面のエッチングがより容易になる。また、Si 間の結合エネルギーは、エッチング対象となる窒化ケイ素膜中の Si と N との間の結合エネルギーよりも低い。そのため、Si 基板のエッチングが Si N の場合よりもより容易になる。 $\text{SiO}_2$  およびシリコン双方を有する基板に対してエッチングが行われるため、Si が保護された状態で  $\text{SiO}_2$  に対してエッチングが行われる。そのため、エッチング対象となる膜に対して高い選択性がプロセスにおいて必要となる。側壁スペーサとしての Si N が利用可能であり、その場合、高エッチング選択性の Si N およびシリコンが必要となる。

## 【 0 0 1 4 】

本実施形態において、表 1 中に示す。エッチング条件が異なる第 1 のエッチング工程および第 2 のエッチング工程を行う。本プロセスにおいて、主に堆積に貢献するガスと、主にエッチングに貢献する他のガスとを用いて、堆積とエッチングとの間のバランスをとり

、これによりSi表面を保護する。よって、エッチングが行われている間、堆積（主にCF<sub>x</sub>）が表面上に蓄積する。そのため、シリコン基板が実質的にエッチングされることが回避される。その結果、エッチングプロセス時においてシリコン基板の表面が保護される。

#### 【0015】

堆積物は、反応生成物（主にCF<sub>x</sub>）であり、少なくとも炭素およびフッ素を含む。一般的に、CF<sub>x</sub>堆積物はガス含有酸素を用いて除去される。このような堆積物の除去は、アッシングを用いて行われる。アッシングプロセスにおいて、比較的肉厚の酸化領域が形成される。そのため、アッシングプロセス時においてシリコン基板表面を酸化から保護する必要が出てくる。

10

#### 【0016】

エッチングプロセスにおいて、堆積物210を表面212上に堆積させる。表面212の下側には、Si製の基板Wが形成される（図1Cを参照）。堆積物210を除去するために、エッチングプロセスの後、RLSAエッチング装置中の基板Wの表面212上に酸素プラズマを励起させる。このO<sub>2</sub>の励起時において、表2に示すような条件下において酸素プラズマを励起させる。

#### 【0017】

#### 【表2】

使用ガス	O <sub>2</sub> (350sccm)
出力	2000W
圧力	100mTorr 以上
バイアス	なし
サセプタ温度	約20℃～約30℃
時間	5s

20

#### 【0018】

シリコン基板Wを支持するサセプタの温度は、約20℃～約30℃である。O<sub>2</sub>の励起時において、出力は約2,000W～約3,000Wであり、圧力は約100mTorr以上である。シリコン基板Wの表面212の近隣の酸素プラズマの電子温度（例えば、シリコン基板Wの表面212から20mmにおける酸素プラズマの電子温度）は好適には、約1eV～約1.5eVである（プラズマ電位は約5eV～7eVである）。より好適には、シリコン基板Wの表面212から20mmにおける酸素プラズマの電子温度は、約1eV～約1.2eVである。一般的に、プラズマ電位は、プラズマの電子温度の約3～5倍であることが多い。そのため、プラズマの電子温度が1.0eV～1.5eVである場合、プラズマ電位は約3eV～約7.5eVである。プラズマの電子温度が1.0eV～約1.2eVである場合、プラズマ電位は約3eV～6eVである。プラズマ電位の測定は、例えばシリコン基板の表面212から約10mm上方の測定位置において行われる。測定位置は、例えば、チャンバ壁側である。プラズマ電位は、サセプタに付加されるバイアス電位によって異なる点に留意すべきである。しかし、O<sub>2</sub>の励起を用いた本発明の実施形態によれば、バイアスはサセプタに付加されない。そのため、バイアスに起因する変動は考慮しなくてよい。シリコン基板Wの表面212の近隣の酸素プラズマの電子温度が高い場合、O<sub>2</sub>の励起時におけるシリコン基板Wの表面212がより激しく酸化し、損傷を受ける。そのため、ソース領域およびドレイン領域上の表面212の一領域中に酸化部分（意図されない凹部）が発生する。この酸化部分に起因する、半導体デバイスを設計通りに製造することができなくなる。

30

40

#### 【0019】

図2Aおよび図2Bは、異なる圧力の下における堆積除去率を示す。堆積除去率を測定するために、3,000Wのマイクロ波出力をKrFレジスト（堆積物）に付加することにより、エッチング（O<sub>2</sub>励起）を10秒間行う。この実験において、KrFレジストを

50

堆積物として仮定する。図2Cおよび図2Dは、異なる圧力下の酸化量を示す。酸化量を測定するために、3,000Wのマイクロ波出力をベアシリコン基板に付加することにより、エッチング( $O_2$ 励起)を10秒間行う。酸化量は、シリコン基板内における酸化量である。図2A~図2Dにおいて、横軸の単位は「mm」であり、縦軸の単位はオングストロームである。

【0020】

図2Aの左側および図2Cの左側によれば、20mTを下回っているときの酸化量は高いまま保持されており、堆積除去率は高いまま保持されている。酸化量を低下させるためには、20mTを越える圧力下において $O_2$ の励起を行えばよい。

【0021】

図2Cの左側によれば、20mTを下回っているときの酸化量は $2.1\text{ nm} / 10\text{ sec} \pm 3.9\%$  (10秒間で厚さ2.1nm)である。本発明による実施形態において、 $O_2$ の励起を5秒間行う。これによって、実施形態における酸化量は1.05nmとなるはずである。

【0022】

図2Aの右側および図2Cの右側によれば、60mTを下回っているときの酸化量は高いまま保持されており、堆積除去率も高いまま保持されている。酸化量を低減させるためには、60mTを越える高圧力下において $O_2$ の励起を行えばよい。

【0023】

図2Cの右側によれば、60mTを下回っているときの酸化量は $1.6\text{ nm} / 10\text{ sec} \pm 5.8\%$  (10秒間で厚さ1.6nm)である。本発明による実施形態において、 $O_2$ の励起を5秒間行う。よって、実施形態において、酸化量は0.8nmとなるはずである。

【0024】

図2Bの左側および図2Dの左側によれば、100mTを下回っているときの酸化量は低いまま保持されており、堆積除去率は高いまま維持されている。酸化量を低下させるためには、より高い圧力下において $O_2$ の励起を行えばよい。

【0025】

図2Dの左側によれば、100mTを下回っているときの酸化量は、 $1.2\text{ nm} / 10\text{ sec} \pm 8.0\%$  (10秒間で厚さ1.2nm)である。本発明による実施形態において、 $O_2$ の励起を5秒間行う。よって、実施形態において、酸化量は0.6nmとなるはずである。

【0026】

図2Bの右側および図2Dの右側によれば、200mTを下回っているときの酸化量は低いまま保持され、堆積除去率は高いまま維持されている。よって、100mTの場合と同様に、酸化量が低いため、 $O_2$ の励起を200mT下において行うことが可能になる。

【0027】

図2Dの右側によれば、200mTを下回っているときの酸化量は $0.9\text{ nm} / 10\text{ sec} \pm 3.7\%$  (10秒間で厚さ0.9nm)である。本発明による実施形態において、 $O_2$ の励起を5秒間行う。よって、実施形態において、酸化量は0.45nmとなるはずである。

【0028】

実際、シリコン基板の移動時にシリコン基板が酸素に露出されることに起因して、シリコン基板上に自然酸化膜が非意図的に形成される。自然酸化膜の厚さは約1nmである。

【0029】

$O_2$ の励起を2回行ったとしても、酸化膜の厚さは単純に2倍になるのではない点に留意すべきである。その場合、厚さが増加するのではなく、 $SiO_2$ の濃度が増加し得る。

【0030】

本実施形態において、酸素プラズマの電子温度(例えば、シリコン基板Wの表面212から20mmにおける酸素プラズマの電子温度)は、シリコン基板W上のソース領域およ

10

20

30

40

50

びドレイン領域上の表面 2 1 2 の領域内の深酸化部分を酸化させないような、十分に低い温度である。本実施形態によれば、ソース領域およびドレイン領域上の表面 2 1 2 上の領域内において、 $O_2$  の励起時において酸化部分は実質的に形成されない（図 1 D を参照）。本実施形態によれば、ソース領域およびドレイン領域上の表面 2 1 2 上の領域内において  $O_2$  の励起時において酸化部分が形成された場合でも、酸化部分の厚さは好適には約 1 nm 未満であり得る。

#### 【0031】

本実施形態において、エッチングプロセスが行われた R L S A エッチング装置内においても  $O_2$  の励起を行う。そのため、シリコン基板 W 上に形成される膜の劣化を実質的に回避することが可能になる。なぜならば、シリコン基板 W がエッチングのための 1 つの処理チャンバから  $O_2$  の励起のための別の処理チャンバへと移動される際にシリコン基板 W が雰囲気露出されず、また、エッチング堆積物を別の処理チャンバの前に除去することが可能であるからである。

#### 【0032】

リンイオンをシリコン基板 W 中に注入して、延長部 2 0 8 を形成する（図 1 E を参照）。その後、側壁スペーサ 2 1 6 を形成するために、酸化物膜または窒化物膜（例えば、SiN 膜 2 1 4）をシリコン基板 W の表面上に形成して、表面 2 1 2 およびゲート電極 2 0 3 をオフセットスペーサ 2 0 4 で被覆する（図 1 F を参照）。R L S A C V D 装置内における化学蒸着を用いて、シリコン基板 W の表面上に SiN を堆積させる。SiN 膜 2 1 4 の厚さは、延長部の長さに基づいて決定される。その後、R L S A エッチング装置内において、堆積された SiN をエッチングして、ゲート電極 2 0 3 側に側壁スペーサ 2 1 6 を形成する（図 1 G を参照）。

#### 【0033】

エッチングプロセス時において、堆積物 2 1 0 を表面 2 1 2 上に堆積させる。表面 2 1 2 の下側には、シリコン製の基板 W が形成される。堆積物 2 1 0 を除去するために、エッチングプロセス後、R L S A エッチング装置内の基板 W の表面 2 1 2 上に酸素プラズマを励起する。 $O_2$  の励起時において、表 2 に示すような条件下において酸素プラズマを励起する。

#### 【0034】

シリコン基板 W を支持するサセプタの温度は、約 20 ～ 約 30 である。 $O_2$  の励起時において、出力は約 2,000 W ～ 約 3,000 W で、圧力は約 100 mtorr 以上である。シリコン基板 W の表面 2 1 2 の近隣の酸素プラズマの電子温度（例えば、シリコン基板 W の表面 2 1 2 から 20 mm における酸素プラズマの電子温度）は好適には、約 1 eV ～ 約 1.5 eV である。より好適には、シリコン基板 W の表面 2 1 2 から 20 mm における酸素プラズマの電子温度は、約 1 eV ～ 約 1.2 eV である。シリコン基板 W の表面 2 1 2 の近隣の酸素プラズマの電子温度が高い場合、 $O_2$  の励起時においてシリコン基板 W の表面 2 1 2 が容易に酸化する。そのため、ソース領域およびドレイン領域上の表面 2 1 2 の一領域内に酸化部分（意図されない凹部）が発生する。この酸化部分に起因して、半導体デバイスを設計通りに製造することが不可能になる。

#### 【0035】

本実施形態において、酸素プラズマの電子温度（例えば、シリコン基板 W の表面 2 1 2 から 20 mm における酸素プラズマの電子温度）は、ソース領域およびドレイン領域上の表面 2 1 2 の領域内の深酸化部分を酸化させないような、十分に低い温度である。本実施形態によれば、ソース領域およびドレイン領域上の表面 2 1 2 上の領域内において、 $O_2$  の励起時において酸化部分は実質的に形成されない（図 1 G を参照）。本実施形態によれば、ソース領域およびドレイン領域上の表面 2 1 2 上の領域内において  $O_2$  の励起時において酸化部分が形成された場合でも、酸化部分の厚さは好適には約 1 nm 未満であり得る。

#### 【0036】

その後、シリコン基板 W 中にヒ素イオンを注入して、ソース/ドレイン領域を形成する

10

20

30

40

50

(図1Gを参照)。側壁スペーサ216の厚さに起因して、高濃度のソース/ドレイン領域218が延長部208の外部に形成される。

【0037】

上述した方法によれば、例えば図1Gに示すようなMOSFETが製造される。この半導体デバイスは、ソース領域と、ドレイン領域218とを有する。ソース領域およびドレイン領域218上の表面212の領域内の酸化部分の厚さは、実質的に約1nm未満であり得る。

【0038】

本実施形態において、オフセットスペーサ204および側壁スペーサ216双方が形成され、 $O_2$ の励起プロセスが2回行われる。しかし、側壁スペーサ216のみが形成され、オフセットスペーサ204は形成されない。この場合、 $O_2$ の励起プロセスは1回だけ行われる。

【0039】

例えば、 $O_2$ の励起は、プラズマ処理装置を用いることによって行われる。シリコン基板Wの近隣における電子温度が約1.5eVと低い酸素プラズマを生成することが可能な任意のプラズマ処理装置を用いて、 $O_2$ の励起を行うことが可能である。一例として、以下、RLSAエッチング装置について説明する。

【0040】

図3は、半導体デバイスを製造するためのシステム300を示す。システム300は、処理装置301、302、303および304と、移動チャンバ305と、ロードロックモジュール306および307と、ローダーチャンバ308と、シャッター309、310および311と、第1の移動機構312と、方向付けユニット313と、第2の移動機構314とを含む。この種のシステムは通常「クラスーツール」と呼ばれ、いくつかの処理装置301、302、303および304を移動チャンバ305の周囲において備える。各処理装置は、所望のプロセス（例えば、エッチング、膜形成および他の処理）に応じて選択することができる。ローダーチャンバ308内の第2の移動機構314により、基板WをカセットCから処理装置301、302、303および304内へと移動させた後、移動チャンバ305内の第1の移動機構312により、処理装置へと移動させる。移動チャンバ305において、所定のプロセスが真空状態において実行される。基板Wの処理時において、処理装置301、302、303および304の内部空間および移動チャンバ305を各真空ポンプ（図示せず）によって真空排気し、所定の真空状態に維持する。プロセスの完了後、基板をカセットCへと戻す。処理装置のさらなる詳細については後述する。

【0041】

図4は、RLSAエッチング装置180の模式切断透視図である。図4を参照して、マイクロ波プラズマエッチング装置180が図示されている。マイクロ波プラズマエッチング装置180は、表面波プラズマ型プラズマ処理装置として構成され、金属（例えば、アルミニウムまたはステンレススチール）製の円筒形状のチャンバ（プロセスチャンバ）10を有する。チャンバ10は、セキュリティ上の理由のために接地している。

【0042】

まず、マイクロ波プラズマエッチング装置180のチャンバ10におけるマイクロ波プラズマ生成に直接寄与しない部品または部材について説明する。

【0043】

チャンバ10の下側中央部分において、サセプタ12が設けられる。サセプタ12上に、半導体基板W（以下、基板Wと呼ぶ）が配置される。サセプタ12は、チャンバ10の底部から上方に延びる円筒形支持部14によって水平方向に保持される。円筒形支持部14は、絶縁材料によって構成される。さらに、サセプタ12は、円形板状に形成され、例えばアルミニウム製であり、下側電極としても機能する。下側電極に対し、無線周波数が付加される。

【0044】



輪状の真空排気経路 18 を、チャンバ 10 の内壁と、チャンバ 10 の底部から上方において円筒形支持部 14 の外周表面に沿って延びる別の円筒形支持部 16 との間に設ける。円筒形支持部 16 は、導電性である。輪状のバッフル板 20 が真空排気経路 18 の上部（または入口部）に配置され、真空排気ポート 22 が真空排気経路 18 の下側に設けられる。チャンバ 10 内のサセプタ 12 上の基板 W に関連して対称に分散した均一なガス流パターンが得られるようにするために、複数の真空排気ポート 22 を円周方向において均等な角度間隔で設けると好適である。真空排気ポート 22 はそれぞれ、真空排気パイプ 24 を通じて真空排気装置 26 へと接続される。真空排気装置 26 は、所望の圧力に低下するまでチャンバ 10 を真空排気することが可能な真空ポンプ（例えば、ターボ分子ポンプ（TMP））を持ち得る。ゲート弁 28 が、チャンバ 10 の外壁上に取り付けられる。ゲート弁 28 が、移送開口部を開閉させる。移送開口部を通じて、基板 W をチャンバ 10 内へとまたはチャンバ 10 から移送させる。

10

#### 【0045】

サセプタ 12 は、無線周波数電源 30 へと電氣的に接続される。無線周波数電源 30 は、マッチングユニット 32 および電力供給ロッド 34 を通じて、RF バイアス電圧をサセプタ 12 へと付加する。電源 30 は、比較的 low 周波数（例えば、13.56 MHz）を有する無線周波数波を所定の電力レベルにおいて出力する。このような low 周波数は、サセプタ 12 上の基板 W に引き寄せられるイオンエネルギーを制御するのに適している。マッチングユニット 32 は、マッチング要素を含む。マッチング要素は、電源 30 の出力インピーダンスと、負荷（例えば、電極（サセプタ）、チャンバ 10 内において発生するプラズマ、チャンバ 10）のインピーダンスとをマッチングさせるためのものである。マッチング要素は、自己バイアスを生成するための阻止コンデンサを有する。

20

#### 【0046】

サセプタ 12 の面上には、静電チャック 36 が設けられる。静電チャック 36 は、サセプタ 12 上への静電力により、基板 W を保持する。静電チャック 36 は、導電膜によって形成された電極 36a と、電極 36a を挟む一対の絶縁膜 36b および 36c とを有する。DC 電源 40 が、スイッチ 42 を介して電極 36a へと電氣的に接続される。DC 電源 40 から静電チャック 36 へと付加される DC 電圧によってクーロン力が発生し、このクーロン力により、基板 W が静電チャック 36 上において保持される。静電チャック 36 の外部において、基板 W を包囲するようにフォーカスリング 38 が設けられる。

30

#### 【0047】

冷媒チャンバ 44 が、サセプタ 12 の内側に設けられる。冷媒チャンバ 44 は環形状をしており、円周方向に延びる。所定の温度の冷媒または冷却水が、冷媒チャンバ 44 および導管 46 および 48 内を循環するように、冷却装置ユニット（図示せず）から導管 46 および 48 を通じて冷媒チャンバ 44 へと供給される。冷媒などを温度制御しておくことで、静電チャック 36 上の基板 W の温度の制御が可能となる。加えて、熱伝導ガス供給部（図示せず）からのガス供給パイプ 50 を通じて、熱伝導ガス（例えば、ヘリウムガス）が基板 W と静電チャック 36 との間に供給される。さらに、上昇可能なリフトピン（図示せず）がチャンバ 10 に設けられる。このピンは、基板 W がチャンバ 10 内にロードされた際またはチャンバ 10 からロードされた際に、サセプタ 12 を垂直方向に貫通し、基板 W を昇降させる。これらのリフトピンは、昇降機構（図示せず）により、駆動され得る。

40

#### 【0048】

次に、マイクロ波プラズマエッチング装置 180 のチャンバ 10 中のマイクロ波プラズマの生成に寄与する構成要素または部材について説明する。マイクロ波をチャンバ 11 内に導入するために、平面アンテナ 55 がサセプタ 12 の上方に設けられる。

#### 【0049】

平面アンテナ 55 は、誘電体窓としての円形水晶板 52 と、円形ラジアルラインスロットアンテナ（RLSA）54 とを含む。詳細には、水晶板 52 は、密閉状態でチャンバ 10 へと取り付けられ、サセプタ 12 に対向するチャンバ 11 の天井面として機能する。RLSA 54 は、水晶板 52 の面上に配置され、複数の溝部を有する。これらの溝部は、同

50

心円に沿って分散している。ＲＬＳＡ５４は、誘電材料（例えば、石英）で形成された波長短縮板５６を介して、マイクロ波伝送線５８に電磁的に接続される。

【００５０】

マイクロ波伝送線５８は、導波路パイプ６２と、導波路パイプ／同軸パイプコンバーター６４と、同軸パイプ６６とを有する。マイクロ波伝送線５８は、マイクロ波出力をマイクロ波生成器６０からＲＬＳＡ５４へと伝送する。導波路パイプ６２は、例えば四角パイプによって形成され、ＴＥモードにおいてそのマイクロ波をマイクロ波生成器６０から導波路パイプ同軸パイプコンバーター６４を通じて伝送する。

【００５１】

導波路パイプ／同軸パイプコンバーター６４は、導波路パイプ６２を同軸パイプ６６と接続し、導波路パイプ６２中のＴＥモードマイクロ波を同軸パイプ６６中のＴＥＭモードマイクロ波に変換する。コンバーター６４は好適には、導波路パイプ６２に接続された上部において直径がより大きくなっており、同軸パイプ６６の内側導体６８に接続された下部において直径がより小さくなっており、これにより、高出力伝送レベルにおいて存在し得る電磁場の集中を回避する。換言すれば、コンバーター６４は好適には、図１４および図１５に示すように逆円錐型（またはドアノブ型）形状にされる。以下の説明を簡潔にするために、コンバーター６４を逆円錐型部６８ａと呼ぶ場合がある。

【００５２】

同軸パイプ６６は、コンバーター６４から垂直方向において下方にチャンバ１０の上中央部へと延び、ＲＬＳＡ５４へと接続される。詳細には、同軸パイプ６６は、外側導体７０および内側導体６８を有する。外側導体７０は、上端部において導波路パイプ６２へと接続され、遅波板５６へと到達するように下方に延びる。内側導体６８は、上端部においてコンバーター６４へと接続され、ＲＬＳＡ５４へと到達するように下方に延びる。マイクロ波は、内側導体６８と外側導体７０との間でＴＥＭモードにおいて伝播する。

【００５３】

マイクロ波生成器６０からのマイクロ波出力は、マイクロ波伝送線５８（導波路パイプ６２、コンバーター６４および同軸パイプ６６を含む）を通じて伝送され、遅波板５６を通過するＲＬＳＡ５４へと供給される。その後、マイクロ波は遅波板５６内においてラジアル方向において分散し、ＲＬＳＡ５４の溝部を通じてチャンバ１０へ向かって出射される。溝部から出射されたマイクロ波は、水晶板５２の下面に沿って表面波として伝播し、水晶板５２の下面の近隣においてガスをイオン化し、これによりチャンバ１０中においてプラズマを生成する。

【００５４】

遅波板５６の面上に、アンテナ後面プレート７２が設けられる。アンテナ後面プレート７２は、例えばアルミニウム製である。アンテナ後面プレート７２は、冷却装置ユニット（図示せず）が接続された流体導管７４を含み、これにより、所定の温度の冷媒または冷却水が導管７４ならびにパイプ７６および７８を通じて循環される。すなわち、アンテナ後面プレート７２は、水晶板５２中に発生する熱を吸収し、熱を外部へと移動させる冷却ジャケットとして機能する。

【００５５】

図４に示すように、本実施形態において、同軸パイプ６６の内側導体６８を貫通するようにガス導管８０が設けられる。加えて、第１のガス供給パイプ８４（図４）は、一端においてガス導管８０の上側開口部へと接続され、他端においてプロセスガス供給器８２へと接続される。その上、ガス射出開口部８６が水晶板５２の中央に形成され、チャンバ１０に対して開口する。上記構成を有する第１のプロセスガス導入部８８において、プロセスガス供給器８２からのプロセスガスが同軸パイプ６６内において第１のガス供給パイプ８４およびガス導管８０を流れ、ガス射出開口部８６の下側に配置されたサセプタ１２に向かってガス射出開口部８６から出射される。出射されたプロセスガスは、チャンバ１０内において下方にラジアル方向に分散する。これは、サセプタ１２を包囲している真空排気経路１８へとプロセスガスが真空排気装置２６によって牽引されたことに部分的に起因

10

20

30

40

50

する。ところで、第1のガス供給パイプ84には、中央部においてマスフローコントローラ(MFC)90およびオンオフ弁92が設けられる。

【0056】

この実施形態において、第2のプロセスガス導入部94が第1のプロセスガス導入部88に加えて設けられ、これにより、プロセスガスがチャンバ10へと導入される。第2のプロセスガス導入部94は、バッファチャンバ96と、複数の側方出射穴部98と、ガス供給パイプ100とを含む。バッファチャンバ98は中空環部形状にされ、チャンバ10の側壁部の内側において側壁部の円周方向に沿って延び、水晶板52よりも若干下側に配置される。複数の側方出射穴部98は、チャンバ10内においてプラズマ領域に向かって開口し、チャンバ10の内壁に沿って均等な角度間隔で配置され、バッファチャンバ96とガス連通する。ガス供給パイプ100は、バッファチャンバ96をプロセスガス供給器82へと接続する。ガス供給パイプ100には、中央においてMFC102およびオンオフ弁104が設けられる。

10

【0057】

第2のプロセスガス導入部94において、プロセスガス供給器82からのプロセスガスは、第2のプロセスガス供給パイプ100を通じて、チャンバ10の側壁部中のバッファチャンバ96内へと導入される。プロセスガスが充填されたバッファチャンバ96内の圧力は、バッファチャンバ96の円周方向にそって均一となり、その結果、プロセスガスは、複数の出射穴部98から水平方向にチャンバ10内のプラズマ領域へ向かって均一に出射される。この場合、出射穴部98から出射されたプロセスガスを基板Wの上方において分散させることが困難になり得る。なぜならば、プロセスガスが真空排気経路18上において流れる際にプロセスガスが真空排気ポート22へと牽引されるからである。しかし、水晶板52の中央に配置されたガス射出開口部86から出射されたプロセスガスは、外側ラジアル方向に分散され、上述したように真空排気経路18に向かって流れ、側方出射穴部98から出射されたプロセスガスは、本実施形態における真空排気装置26によって広い範囲において影響を受けない。そのため、サセプタ12上の基板Wの上方においてプラズマを均等に分散させることができる。

20

【0058】

それぞれ第1のプロセスガス導入部88および第2のプロセスガス導入部94からチャンバ10内に導入されるプロセスガスは、同じであってもよいし、あるいは異なってもよい。ガスの流量は、それぞれMFC90および102によって制御することも可能であるし、あるいは、ガスを所定の流量比においてチャンバ内に導入することも可能であり、これにより、ガスおよびプラズマがラジアル方向において均一に分散される。

30

【0059】

図5を参照して、導波路パイプ同軸パイプコンバーター64および同軸パイプ66が詳細に図示されている。内側導体68は、例えばアルミニウム製である。ガス導管80は、内側導体68の中心軸に沿って内側導体68を貫通する。加えて、冷媒導管106は、ガス導管80と平行に形成される。

【0060】

冷媒導管106は、入来経路106aおよび送出経路106bを含む。入来経路106aおよび送出経路106bは、垂直パーティション(図示せず)によって分割される。倒立円錐部68aの上側部において、パイプ108が冷媒導管106の入来経路106aへと接続される。パイプ108の反対側端部は、冷却装置ユニット(図示せず)へと接続される。加えて、パイプ110は、冷媒導管106の送出経路106bへと接続される。パイプ110の反対側端部は、同一冷却装置ユニットへと接続される。この構成により、冷却装置ユニットから供給された冷媒または冷却水は、入来経路106aを通じて下方に流れ、入来経路106aの底部へと到達し、送出経路106bを通じて上方に戻ってパイプ110内に流入する。このようにして、内側導体68の冷却が可能になる。

40

【0061】

R L S A 54の中央部において、開口部54aが設けられる。開口部54a内には、図

50

5に示すようにガス導管80が取り付けられる。加えて、開口部54aが、水晶板52のガス射出開口部86と同軸に整列された状態で配置される。この構成により、RLSA54から放射される電磁波（マイクロ波）はガス射出開口部86に到達しないため、ガス射出開口部86内において放電は発生しない。ところで、ガス射出開口部86を分岐することで、複数の穴部が水晶板52内において得られる。これらの複数の穴部は、水晶板52のラジアル方向において特定範囲内に配置され得る。

#### 【0062】

図6は、本実施形態におけるRLSA54における溝部パターンを示す。図示のように、RLSA54は、同軸円状に分散した複数の溝部を有する。すなわち、長手方向が実質的に直角を形成している2種類の溝部54bおよび54cが、交互の同軸円状に分散される。これらの同軸円は、RLSA54のラジアル方向において伝播するマイクロ波の波長に応じて、ラジアル間隔において配置される。このような溝部パターンによれば、マイクロ波は、相互に交差する2つの偏光成分を有する円形偏光平面波へと変換され、平面波はRLSA54から放射される。上記のように構成されたRLSA54は、アンテナの実質的に全体の領域からマイクロ波を均一にチャンバ10内へと放射させることができ（図4）、均一かつ安定したプラズマを生成するのに適しているという点において有利である。

#### 【0063】

ところで、真空排気装置26、RF出力供給器30、DC出力供給器40のスイッチ42、マイクロ波生成器60、プロセスガス導入部88および94、冷却装置ユニット（図示せず）、および熱伝導ガス供給部（図示せず）の多様な動作ならびに全体的動作は、制御部（図示せず）によって制御される。制御部は、例えば、本発明の第1の実施形態によるマイクロ波プラズマエッチング装置180におけるマイクロコンピュータによって構成される。

#### 【0064】

誘電体窓の真下における電子温度が数eVである装置180内においてマイクロ波2.45GHzによって生成されたプラズマは、下方に拡散する。その後、プラズマの電子温度は、処理対象基板の周囲において約数eVまで低下する。電子温度が低下しているため、基板上の膜中において、プラズマ損傷はほとんど発生しない。また、RLSAを用いて高密度プラズマが実現され、処理速度の上昇が可能となる。

#### 【0065】

上記の開示内容を鑑みれば明らかなように、本発明の多数の改変および変更が可能である。よって、添付の特許請求の範囲内において、本発明は、本明細書中に具体的に記載された状態以外の状態で実施することが可能である。

#### 【符号の説明】

#### 【0066】

202・・・ゲート絶縁膜  
203・・・ゲート電極  
204・・・オフセットスペーサー  
208・・・延長部  
210・・・堆積物  
212・・・表面  
220・・・酸化ケイ素

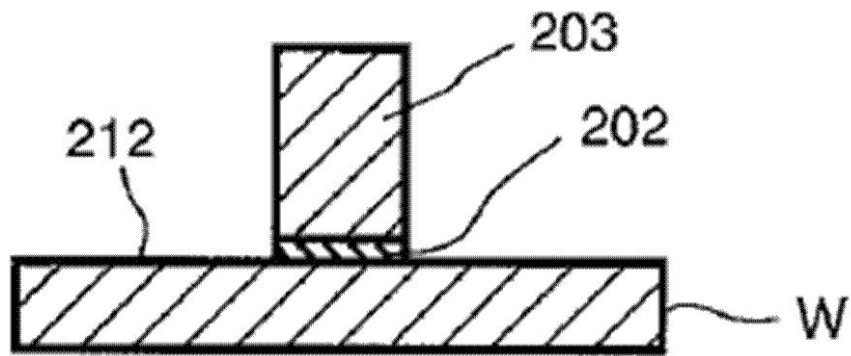
10

20

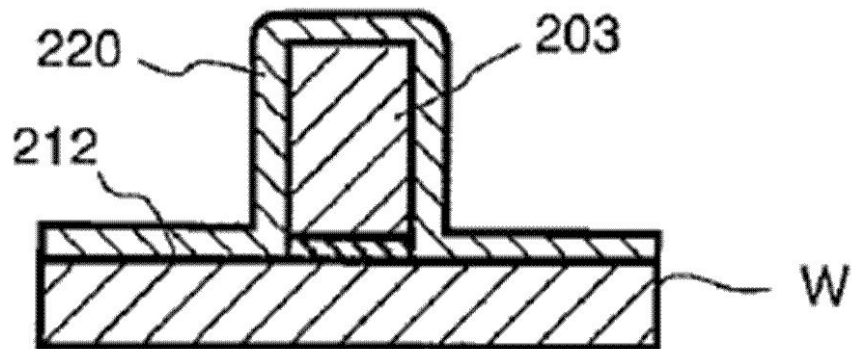
30

40

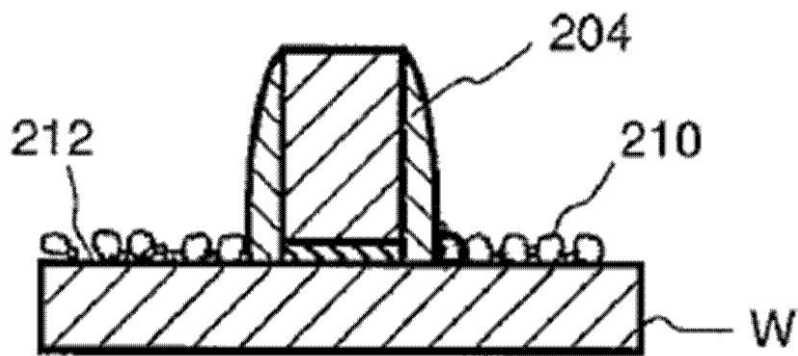
【図 1 A】



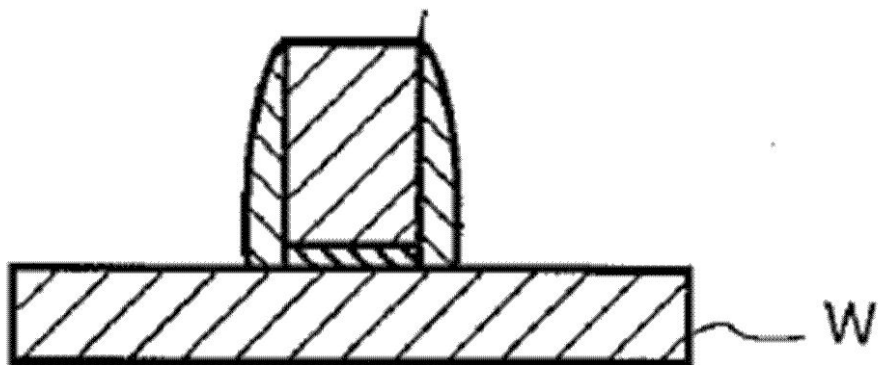
【図 1 B】



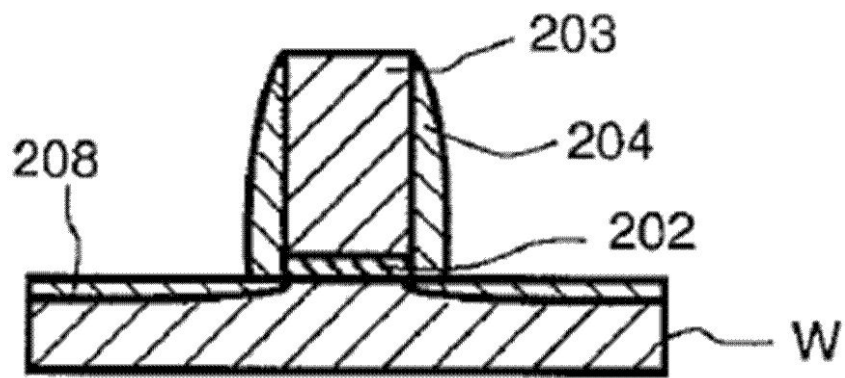
【図 1 C】



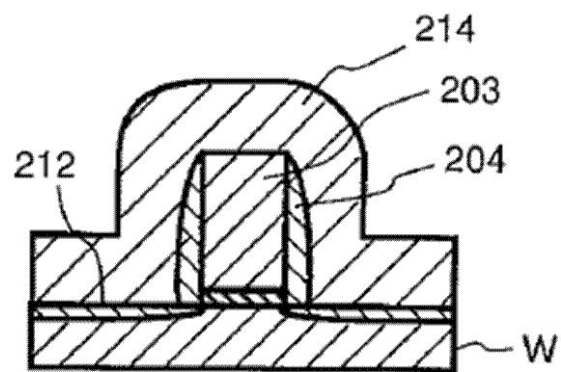
【図 1 D】



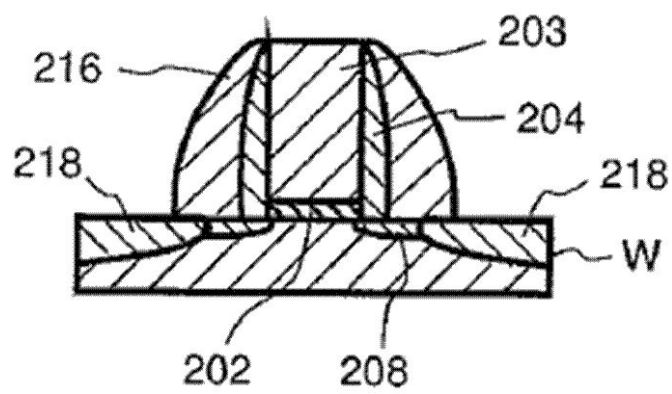
【図 1 E】



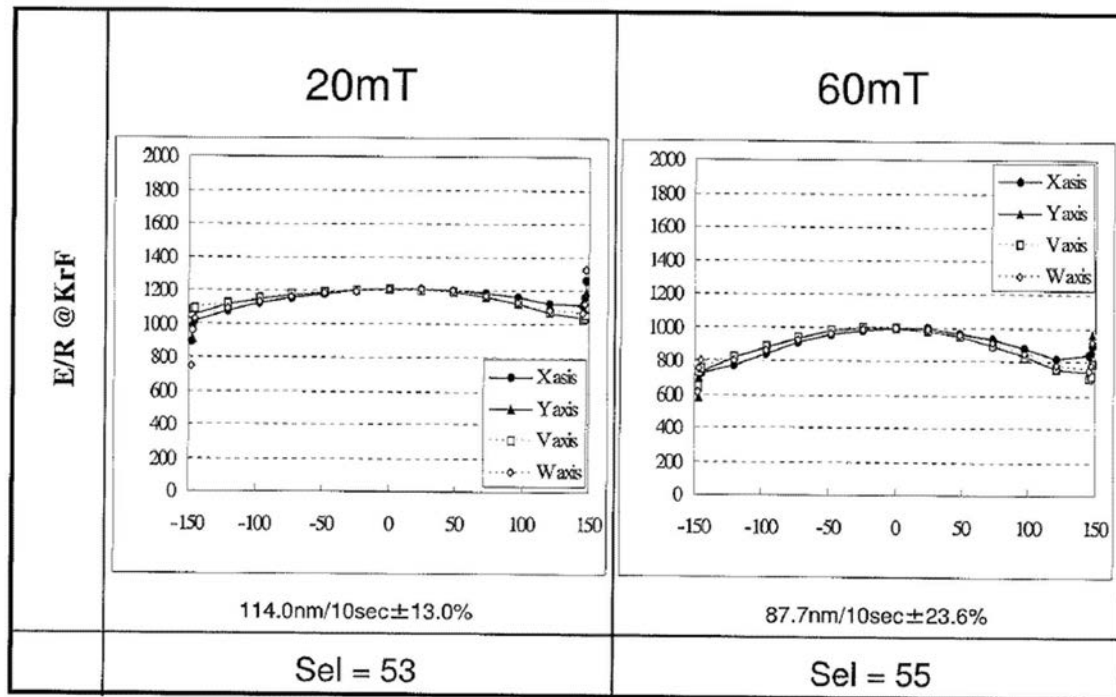
【図 1 F】



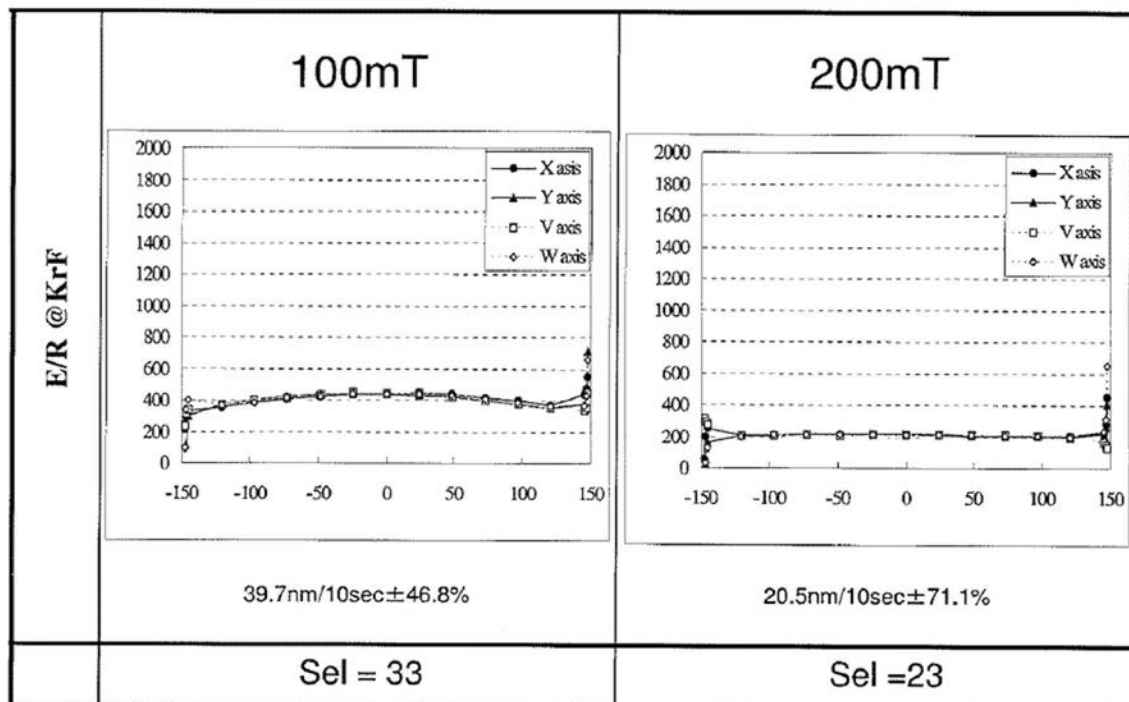
【図 1 G】



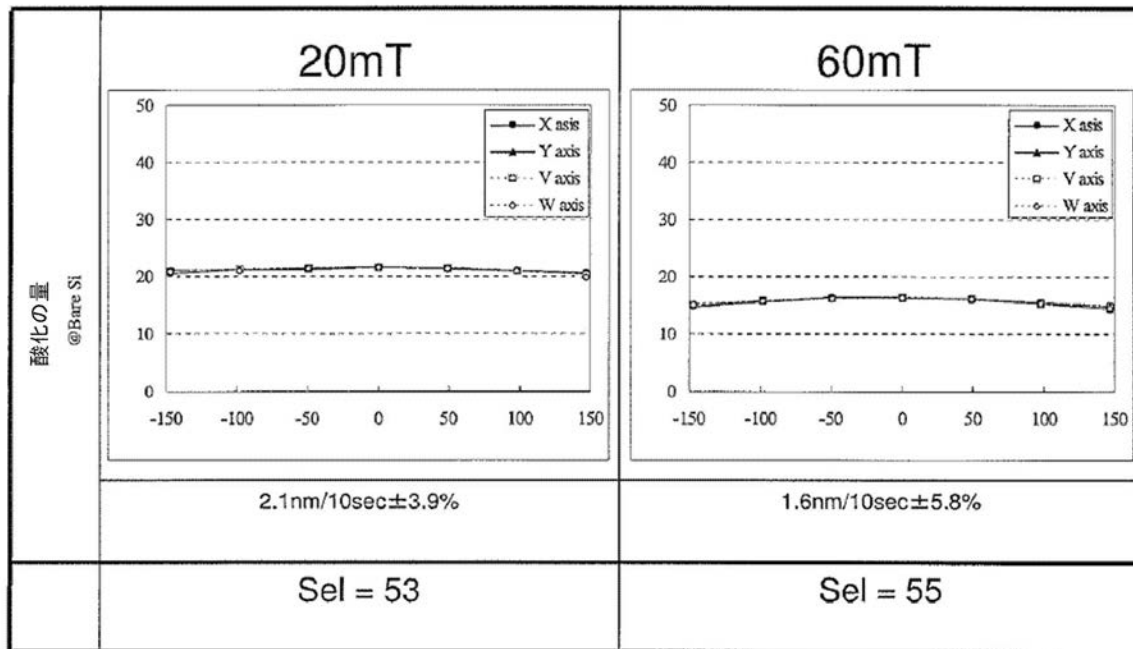
【図 2 A】



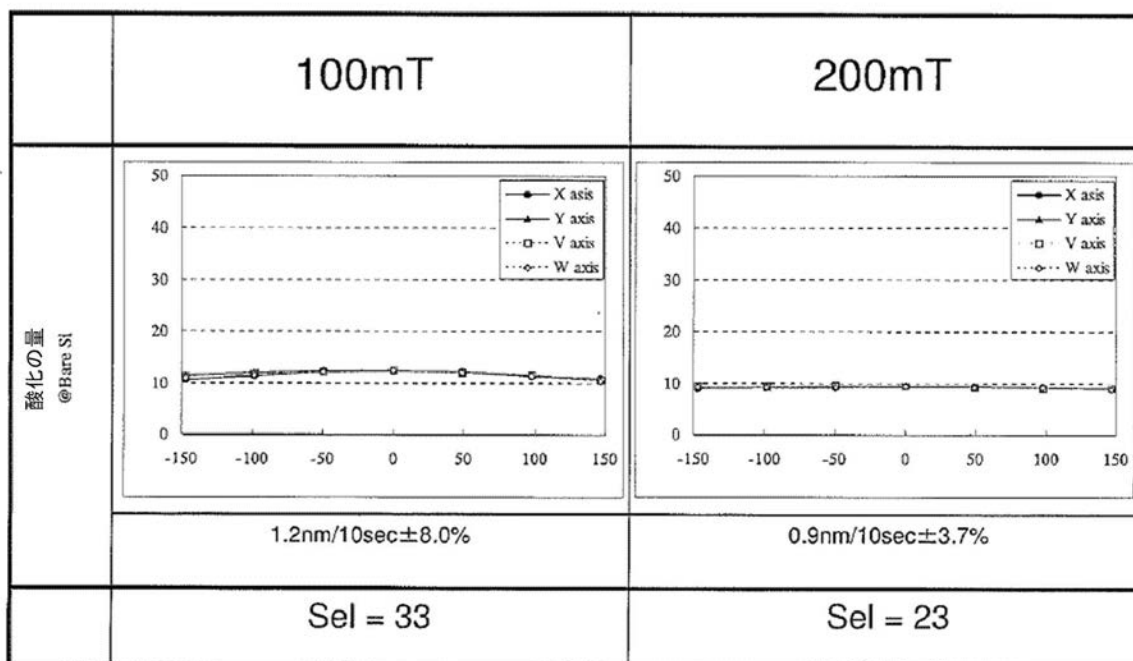
【図 2 B】



【図 2 C】

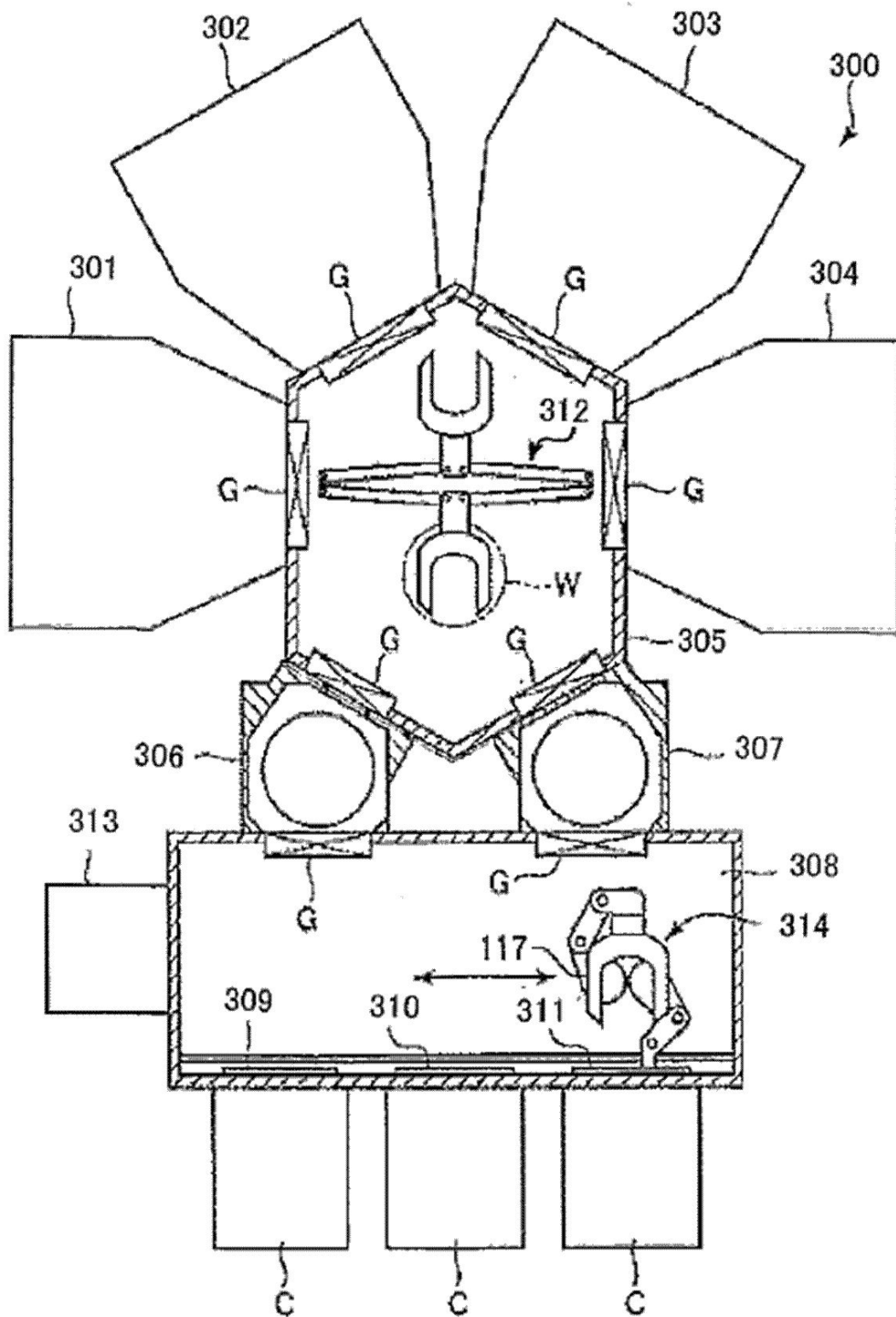


【図 2 D】

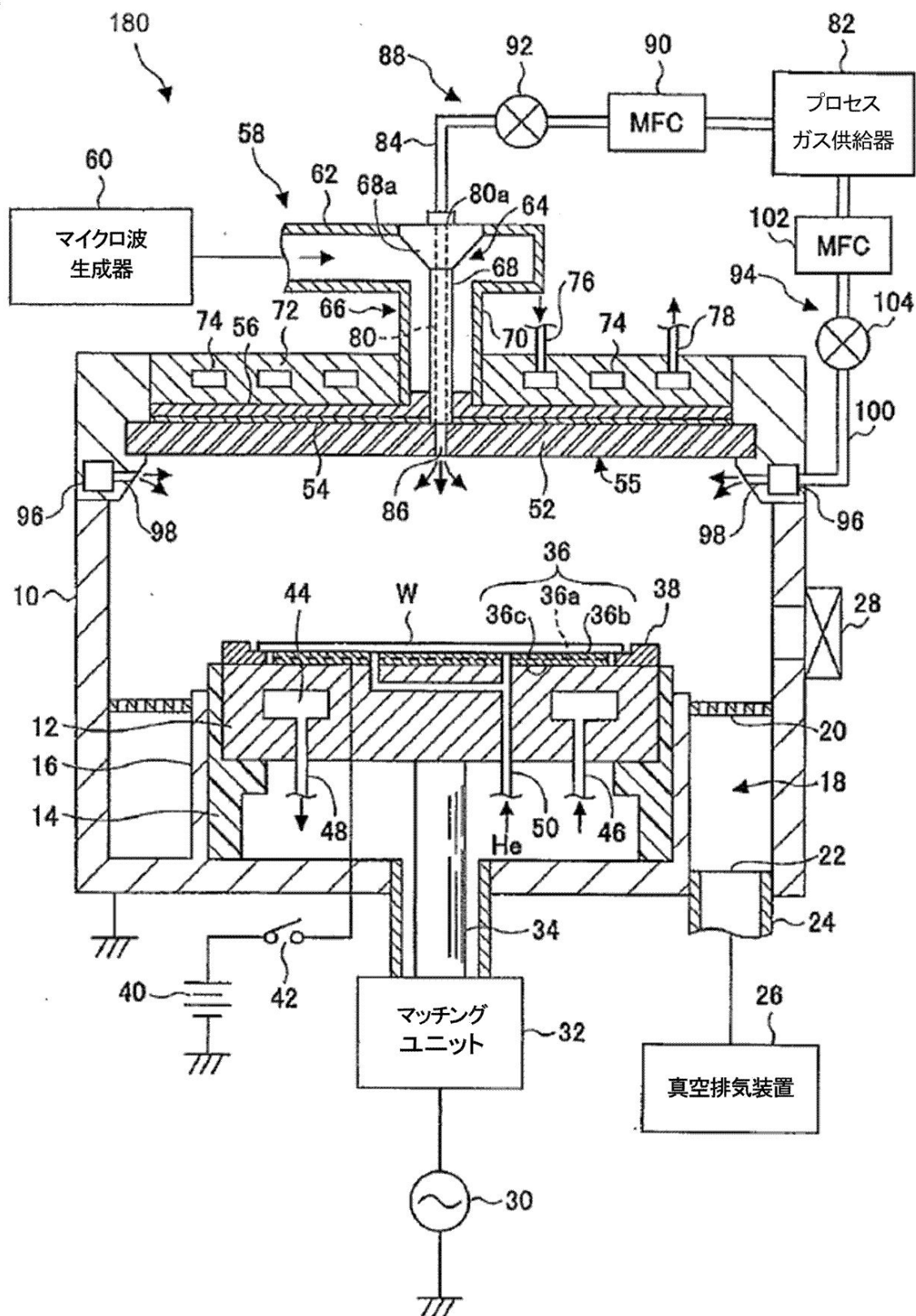




【図3】

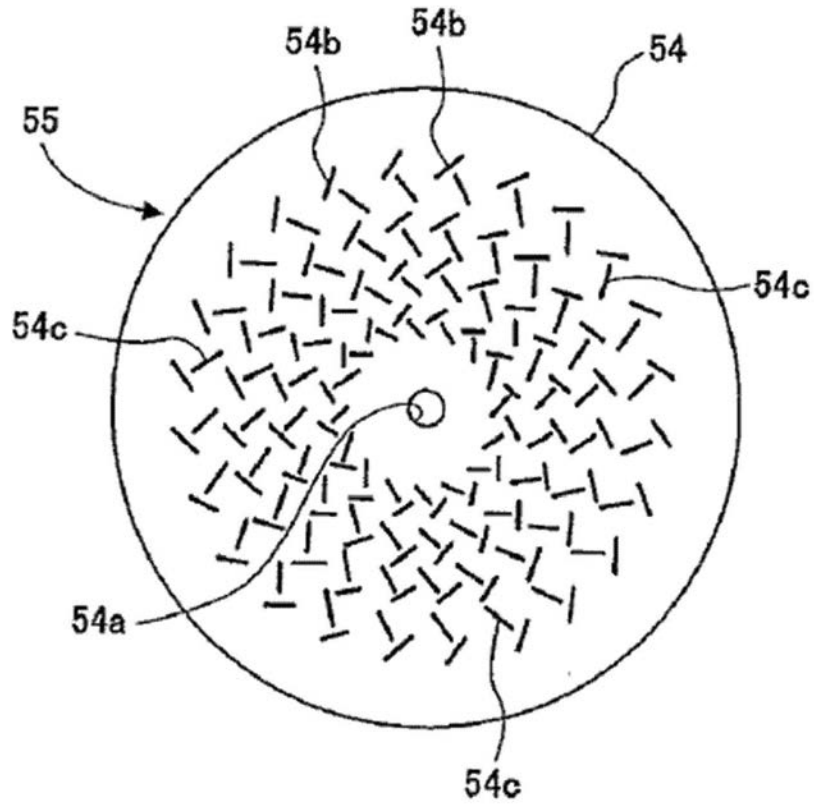


【圖 4】





【図6】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平10-135189(JP,A)  
特開2009-059850(JP,A)  
特開2008-098640(JP,A)  
特開2008-277844(JP,A)  
特開2006-332634(JP,A)  
特開2000-114372(JP,A)  
特開平07-142447(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/302、21/3065-21/336、21/461、  
29/76、29/772-29/78