(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第6329857号
(P6329857)
(45)発行日　平成30年5月23日(2018.5.23)　(24)登録日　平成30年4月27日(2018.4.27)

(51)Int.Cl.　F I
H01L 21/3065 (2006.01)　H01L 21/302 106

請求項の数 4　(全 18 頁)

(21)出願番号　特願2014-177016(P2014-177016)
(22)出願日　平成26年9月1日(2014.9.1)
(65)公開番号　特開2016-51846(P2016-51846A)
(43)公開日　平成28年4月11日(2016.4.11)
審査請求日　平成29年2月22日(2017.2.22)

(73)特許権者　501387839
株式会社日立ハイテクノロジーズ
東京都港区西新橋一丁目２４番１４号
(74)代理人　100080001
弁理士　筒井　大和
(72)発明者　薬師寺　守
東京都港区西新橋一丁目２４番１４号　株式会社日立ハイテクノロジーズ内
(72)発明者　安井　尚輝
東京都港区西新橋一丁目２４番１４号　株式会社日立ハイテクノロジーズ内
(72)発明者　玉利　南菜子
東京都港区西新橋一丁目２４番１４号　株式会社日立ハイテクノロジーズ内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】プラズマ処理方法

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
ポリメタクリル酸とポリスチレンとが化学的に結合したジブロックポリマーである自己組織化材料を処理室内にてプラズマエッチングによりパターニングするプラズマ処理方法において、
前記ポリメタクリル酸をプラズマエッチングする第一の工程と、
前記第一の工程後、アルゴンガス、窒素ガス、ネオンガス、クリプトンガスまたはキセノンガスを前記処理室内へ供給しながら前記処理室内に残留する酸素を排気する第二の工程と、
前記第二の工程後、前記自己組織化材料が成膜され試料台に静電吸着した試料をプラズマを用いて前記試料台から脱離させる第三の工程とを有することを特徴とするプラズマ処理方法。
【請求項２】
請求項１に記載のプラズマ処理方法において、
前記第二の工程の時間は、四重極型質量分析計を用いて計測された前記酸素の残留量に基づいて規定されることを特徴とするプラズマ処理方法。
【請求項３】
請求項１に記載のプラズマ処理方法において、
前記第三の工程のプラズマは、パルス変調された高周波電力により生成されることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項４】
請求項２に記載のプラズマ処理方法において、
前記第三の工程のプラズマは、パルス変調された高周波電力により生成されることを特徴とするプラズマ処理方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、プラズマ処理方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
本技術分野の背景技術として、特開２００２－３６７９６２号公報（特許文献１）がある。この公報には、大型ガラス基板などの被処理誘電体基板を、これに形成されたデバイスの絶縁薄膜の絶縁破壊を確実に防止しながら表面処理を行った後に支障無く取り外すことのできるプラズマ処理方法およびプラズマ処理装置が記載されている。
【０００３】
また、本技術分野の背景技術として、特開平１１－１６２９３３号公報（特許文献２）がある。この公報には、ドライエッチング工程後にウエハを静電吸着装置から脱離させる際、脱離プラズマをパルス状に印加することにより、除電のために印加される脱離プラズマに起因して発生するチャンバ壁からのウエハ上への不純物粒子の堆積を抑制する技術が記載されている。
【０００４】
また、本技術分野の背景技術としてInternational Technology Roadmap for Semiconductors 2012 update Edition（非特許文献１）がある。この文献には、自己組織化材料を用いたリソグラフィ技術が記載されている。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００５】
【特許文献１】特開２００２－３６７９６２号公報
【特許文献２】特開平１１－１６２９３３号公報
【非特許文献】
【０００６】
【非特許文献１】International Technology Roadmap for Semiconductors 2012 update Edition
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００７】
自己組織化材料を用いたリソグラフィ技術では、自己組織化材料としてポリメタクリル酸（Polymethylmethacrylate；以下、ＰＭＭＡ材料と記す）とポリスチレン（Polystyrene；以下、ＰＳ材料と記す）とが化学的に係合したジブロックポリマーが使用されている。自己組織化材料を用いたリソグラフィ技術では、プラズマを用いたドライ現像によって所望するＰＳ材料からなるマスクパターンが形成される。しかし、マスクパターンを形成した後に、連続プラズマを用いた除電処理を行うと、除電処理中にマスクパターンにプラズマの影響が及び、マスクパターンの残膜量の低下、マスクパターンの大きな曲がりおよび表面ラフネスの増大などの問題が生じる。
【０００８】
そこで、本発明は、自己組織化材料を用いたリソグラフィ技術で形成されるマスクパターンの形状不良を改善することのできるプラズマ処理方法を提供する。
【課題を解決するための手段】
【０００９】
上記課題を解決するために、本発明のプラズマ処理方法は、自己組織化材料をプラズマ

エッチングによりパターニングする第１の工程と、第１の工程の後、不活性ガスを処理室内へ供給しながら、処理室内を排気する第２の工程と、第２の工程の後、プラズマを用いて除電処理を行う第３の工程と、を有する。

【発明の効果】

【００１０】

本発明によれば、自己組織化材料を用いたリソグラフィ技術で形成されるマスクパターンの形状不良を改善することのできるプラズマ処理方法を提供することができる。

【００１１】

上記した以外の課題、構成および効果は、以下の実施の形態の説明により明らかにされる。

【図面の簡単な説明】

【００１２】

【図１】本実施例１によるプラズマ処理装置の概略図である。

【図２】本実施例１によるジブロックポリマーの分子構造の一例を示す図である。

【図３】本実施例１によるＰＭＭＡ材料とＰＳ材料とが化学的に結合したジブロックポリマーからなるパターンを示す斜視図である。

【図４】本実施例１によるＰＭＭＡ材料を除去した後のＰＳ材料からなるパターンを示す斜視図である。

【図５】ＰＭＭＡ材料を除去した後に、従来の除電処理を行った場合のＰＳ材料からなるパターンを示す斜視図である。

【図６】本実施例１による発光分光分析装置および四重極型質量分析計を備えたプラズマ処理装置の概略図である。

【図７】従来の除電処理中の連続プラズマを発光分光分析装置によって分析した結果を示すグラフ図である。

【図８】本実施例１による、ＰＭＭＡ材料をエッチングした後に、反応ガスを排気した後の残留ガス量を四重極型質量分析計によって分析した結果を示すグラフ図である。

【図９】ＰＭＭＡ材料を除去した後に、本実施例１による除電処理を行った場合のＰＳ材料からなるパターンを示す斜視図である。

【図１０】本実施例２による、ＰＭＭＡ材料をエッチングした後に、反応ガスを置換排気した後の残留ガス量を四重極型質量分析計によって分析した結果を示すグラフ図である。

【図１１】ＰＭＭＡ材料を除去した後に、本実施例２による除電処理を行った場合のＰＳ材料からなるパターンを示す斜視図である。

【図１２】本実施例３による、排気工程または置換排気工程において残留ガス量を四重極型質量分析計によって計測し、その計測結果を装置制御マイコンにフィードバックする構成を備えるプラズマ処理装置の概略図である。

【図１３】本実施例３による、ＰＭＭＡ材料をエッチングした後に、反応ガスを置換排気した後の残留ガス量を判定し、除電工程へ移行するためのフローチャート図である。

【図１４】ＰＭＭＡ材料を除去した後に、本実施例３による除電処理を行った場合のＰＳ材料からなるパターンを示す斜視図である。

【図１５】ＰＭＭＡ材料を除去した後に、本実施例４による除電処理を行った場合のＰＳ材料からなるパターンを示す斜視図である。

【図１６】従来の除電工程（連続プラズマ）を適用した場合および本実施例４による除電工程（間欠プラズマ）を適用した場合のウエハに帯電した残留静電吸着力を示すグラフ図である。

【図１７】本実施例４によるＰＳ材料のパターン曲がり量とマイクロ波の平均出力およびデューティー比との関係を示すグラフ図である。

【発明を実施するための形態】

【００１３】

以下の実施の形態において、便宜上その必要があるときは、複数のセクションまたは実施の形態に分割して説明するが、特に明示した場合を除き、それらはお互いに無関係なも

のではなく、一方は他方の一部または全部の変形例、詳細、補足説明等の関係にある。
【００１４】
また、以下の実施の形態において、要素の数等（個数、数値、量、範囲等を含む）に言及する場合、特に明示した場合および原理的に明らかに特定の数に限定される場合等を除き、その特定の数に限定されるものではなく、特定の数以上でも以下でもよい。
【００１５】
また、以下の実施の形態において、その構成要素（要素ステップ等も含む）は、特に明示した場合および原理的に明らかに必須であると考えられる場合等を除き、必ずしも必須のものではないことは言うまでもない。
【００１６】
また、「Ａからなる」、「Ａよりなる」、「Ａを有する」、「Ａを含む」と言うときは、特にその要素のみである旨明示した場合等を除き、それ以外の要素を排除するものでないことは言うまでもない。同様に、以下の実施の形態において、構成要素等の形状、位置関係等に言及するときは、特に明示した場合および原理的に明らかにそうでないと考えられる場合等を除き、実質的にその形状等に近似または類似するもの等を含むものとする。このことは、上記数値および範囲についても同様である。
【００１７】
また、以下の実施の形態で用いる図面においては、平面図であっても図面を見易くするためにハッチングを付す場合もある。また、以下の実施の形態を説明するための全図において、同一機能を有するものは原則として同一の符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。以下、本実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。
【００１８】
また、以下の実施の形態においては、被エッチング膜を加工する際に用いる自己組織化材料のＰＳ材料からなるパターンを「マスクパターン」と言い、マスクパターンを用いて加工された被エッチン膜のパターンを「回路パターン」と言う。
【００１９】
＜発明が解決しようとする課題の詳細説明＞
まず、本実施の形態による自己組織化材料を用いたリソグラフィ技術において行われる除電処理方法がより明確になると思われるため、本発明者らが比較検討した従来の除電処理方法およびその課題について説明する。
【００２０】
一般に、半導体製造工程では、リソグラフィ技術が用いられる。基板上に膜を形成し、この膜上にレジスト材料を塗布した後、露光装置によって紫外線等を照射する。これにより、マスクに描画されたパターンをレジスト材料に転写し、さらに現像を行うことにより、レジスト材料からなるマスクパターンが形成される。
【００２１】
ＬＳＩ（Large Scale Integration）の微細化の加速に対応するため、露光装置の解像度の向上が進められている。一般には、露光波長（λ）、レンズ開口数（ＮＡ）、並びにレジスト性能および転写プロセスによって決まるプロセス定数（ｋ１）を改善することにより、微細化が進められている。また、ＡｒＦレーザ（λ＝１９３ｎｍ）の採用による露光波長の短波長化、および液浸露光技術によるレンズ開口数（ＮＡ）の改善が実施されている。
【００２２】
さらに、露光パターンの最小ピッチを拡大してプロセス定数（ｋ１）を改善するダブルパターニング技術が採用されている。ダブルパターニング技術に関しては、露光および現像に様々な方法が提案されている。例えば露光を続けて２回行う２重露光法、１回目の露光後に被エッチング膜をエッチングし、その後２回目の露光を行う方法、および露光によりハードマスクを形成した後にスペーサを成膜し、そのスペーサをマスクとして被エッチング膜をエッチングする自己整合法などがある。しかし、このダブルパターニング技術は、工程数の増加、スループットの低下、および製造コストの増大という課題を有する。

【００２３】
そこで、近年、自己組織化材料を用いたリソグラフィ技術によりマスクパターンを形成する方法が検討されている。
【００２４】
自己組織化材料では、特別な露光装置を必要とせず、材料自体の相分離を利用してマスクパターンを形成することができる。自己組織化材料としては親水性部分と疎水性部分とが化学的に結合したジブロックポリマーが使用され、代表的なものとしてはＰＭＭＡ材料とＰＳ材料とが化学的に結合したジブロックポリマーがある。ＰＭＭＡ材料とＰＳ材料との体積分率、および鎖長を変化させることによって、形成されるパターンタイプが変わる。自己組織化材料のパターンを形成する工程は、塗布前の基板処理と塗布後のベークのみであり、極めてシンプルである。その後プラズマを用いてＰＭＭＡ材料を除去して、ＰＳ材料からなるマスクパターンを形成する。この工程は、ドライ現像工程と呼ばれる。自己組織化材料を用いたリソグラフィ技術に関しては、例えば前記非特許文献１に記載されている。
【００２５】
一方、プラズマ処理装置では、ウエハ載置電極上への被処理基板の吸着方法として静電吸着方法が多く用いられている。ここで、被処理基板とは、例えば後述の図３に示すように、シリコン基板と、シリコン基板上に形成された被エッチング膜と、被エッチング膜上に形成されたＰＭＭＡ材料およびＰＳ材料からなるパターンとから構成されている。シリコン基板は、例えばウエハと称する平面略円形状の半導体の薄板であり、被エッチング膜は、例えば多結晶シリコン膜および酸化膜（例えばSiO_2膜）が下層から順に積層された積層膜である。
【００２６】
また、この静電吸着方法では、例えば前記特許文献１、２に記載されているように、ウエハ載置電極から被処理基板を脱着させるためのプラズマを用いた除電処理が行われる。本発明者らが比較検討した従来の除電処理では、ＰＭＭＡ材料のエッチング中に被処理基板に帯電した電荷をアルゴン（Ａｒ）ガスの連続プラズマを介してアースに放出している。
【００２７】
しかしながら、自己組織化材料を用いたリソグラフィ技術については、以下に説明する種々の技術的課題が存在する。
【００２８】
すなわち、自己組織化材料を用いたリソグラフィ技術では、プラズマを用いたドライ現像によって、所望する寸法の微細パターンを形成している。しかし、自己組織化材料を用いたリソグラフィ技術では、ＰＭＭＡ材料とＰＳ材料とを自己組織化による線幅２５ｎｍ程度で相分離させるため、プラズマエッチング耐性が極めて低い。そのため、微細パターンに対して、本発明者らが比較検討した従来の除電処理を行うと、除電処理中のプラズマの影響がＰＳ材料からなるマスクパターンに及び、マスクパターンの残膜量の低下、マスクパターンの大きな曲がりおよび表面ラフネスの増大などの問題が生じる。
【００２９】
さらに、次工程において、このようなマスクパターンを用いて被処理基板に形成された被エッチング膜をエッチングすると、被エッチング膜からなる回路パターンにパターン寸法の差が生じて、ウエハ面内における回路パターンのパターン寸法の均一性の低下、および回路パターンのパターン寸法の制御性能の低下などの問題が生じる。
【００３０】
例えばＭＯＳ（Metal OxideSemiconductor）型電界効果トランジスタのゲート電極では、ＬＳＩの微細化に伴い、１６ｎｍ程度のゲート長が要求されているが、この場合、許容できるウエハ面内のゲート長のばらつきは０．８ｎｍ以下である。ゲート長のばらつきが大きくなるとリーク電流のばらつきおよび閾値電圧のばらつきが生じる。このようなばらつきは、ＭＯＳ型電界効果トランジスタの性能のゆらぎを生じて、半導体デバイスの特性

に大きな影響を与え、半導体デバイスの歩留まりの低下を招く。

【００３１】

また、例えば次世代ＭＯＳ型電界効果トランジスタの構造として挙げられるｈｉｇｈ－ｋ／メタルゲート構造のＭＯＳ型電界効果トランジスタ、および３次元構造のＭＯＳ型電界効果トランジスタ（例えば、フィン型電界効果トランジスタ）についても同様の課題がある。

【００３２】

また、例えばホール加工、ディープトレンチ加工、ＳＴＩ（Shallow Trench Isolation）加工、およびダマシン加工等においても、トリミング工程における均一性の問題があり、回路パターンを高精度にエッチング加工することができず、所定の性能の半導体デバイスを製造できないという課題がある。

【実施例１】

【００３３】

本実施例１によるマイクロ波ＥＣＲ（Electron Cyclotron Resonance）放電エッチング装置を用いたプラズマ処理方法を説明する。

【００３４】

図１を用いて、本実施例１によるプラズマ処理装置について説明する。図１は、本実施例１によるプラズマ処理装置の概略図である。

【００３５】

プラズマ処理装置は、チャンバ１０１、被処理基板１０２を配置するウエハ載置電極（ステージ、試料台）１０３、およびチャンバ１０１の上面に設置されたエッチングガスを導入するためのシャワープレート１０４（例えば石英製）とマイクロ波を透過する誘電体窓１０５（例えば石英製）を有し、密封することにより処理室１０６を形成する。処理室１０６の内部は高真空排気をすることができる。被処理基板１０２は、例えば後述の図３に示すように、シリコン基板と、シリコン基板上に形成された被エッチング膜と、被エッチング膜上に形成されたＰＭＭＡ材料およびＰＳ材料からなるパターンとから構成されている。シリコン基板は、例えばウエハと称する平面略円形状の半導体の薄板であり、被エッチング膜は、例えば多結晶シリコン膜および酸化膜（例えばSiO_2膜）が下層から順に積層された積層膜である。

【００３６】

シャワープレート１０４には、処理室１０６にエッチングガスを供給するためのガス供給装置１０７が接続されている。また、プラズマを生成するための電力を処理室１０６に伝送するため、誘電体窓１０５の上方には電磁波を放射する導波管１０８が設けられている。導波管１０８へ伝送される電磁波（プラズマ生成用高周波）は電磁波発生用電源１０９から発振される。電磁波の周波数は特に限定されないが、例えば２．４５ＧＨｚのマイクロ波を使用することができる。処理室１０６の外周部には、磁場を形成する磁場発生コイル１１０が設けられており、電磁波発生用電源１０９から発振された電力は、形成された磁場との相互作用により、処理室１０６の内部に高密度プラズマ１１１を生成する。

【００３７】

また、処理室１０６の内部にプラズマを間欠的に生成させる場合、電磁波発生用電源１０９は、処理室１０６の内部へエネルギーの供給を周期的に断ったり続けたりする。プラズマを間欠的に生成させるため、所定の時間範囲（例えば電磁波発生用電源１０９の変調パルス信号がＨｉｇｈ値をとる開始時刻と終了時刻との間として表現した場合、１マイクロ秒から１秒等）で、電磁波発生用電源１０９からエネルギーを供給し、プラズマを生成させ、処理室１０６の内部のイオンおよびラジカルの生成量を増加させる。また、プラズマを間欠的に生成させるため、所定の時間範囲（例えば電磁波発生用電源１０９の変調パルス信号がＬｏｗ値をとる開始時刻と終了時刻との間として表現した場合、１マイクロ秒から１秒等）で、電磁波発生用電源１０９からエネルギーの供給を断ち、処理室１０６の内部のイオンおよびラジカルの生成量を低下させる。電磁波発生用電源１０９から供給するエネルギーとしては、電磁波発生用電源１０９より発振される電力を用いる。電磁波発

生用電源１０９にはパルス変調回路１１２が取り付けられている。

【００３８】

ウエハ載置電極１０３の表面は溶射膜（図示は省略）で被覆されている。ウエハ載置電極１０３には、高周波フィルター１１３を介して直流電源１１４が接続され、マッチング回路１１５を介して高周波電源（バイアス用高周波電源）１１６が接続されている。また、ウエハ載置電極１０３には、温度調整器（図示は省略）が接続されている。

【００３９】

処理室１０６の内部に搬送された被処理基板１０２は、直流電源１１４から印加される直流電圧の静電気力によってウエハ載置電極１０３上に吸着され、温度調整される。処理室１０６の内部にガス供給装置１０７によって所望のエッチングガスを供給した後、処理室１０６の内部を所定の圧力とし、処理室１０６の内部にプラズマを発生させる。ウエハ載置電極１０３に接続された高周波電源１１６からバイアス用高周波電力を印加することにより、プラズマから被処理基板１０２へイオンが引き込まれて、被処理基板１０２がプラズマ処理される。

【００４０】

次に、図２を用いて、自己組織化材料の成分および組成について説明する。図２は、本実施例１によるジブロックポリマーの分子構造の一例を示す図である。

【００４１】

自己組織化材料としては、親水性部分と疎水性部分とが化学的に結合したジブロックポリマーが使用される。代表的なものが、ＰＭＭＡ材料とＰＳ材料とが化学的に結合したジブロックポリマーである。親水性部分と疎水性部分との体積分率、および鎖長を変化させることによって、形成されるパターンタイプが変わる。ＰＭＭＡ材料およびＰＳ材料はプラズマエッチング耐性が極めて低い材料であり、僅かな組成の違いを利用して選択的にＰＭＭＡ材料のエッチングを進行させることができる。

【００４２】

次に、図３を用いて、自己組織化材料を用いたリソグラフィ技術で形成されるマスクパターンの構造について説明する。図３は、本実施例１によるＰＭＭＡ材料とＰＳ材料とが化学的に結合したジブロックポリマーからなるパターンを示す斜視図である。

【００４３】

被処理基板１０２は、シリコン基板３０１と、シリコン基板３０１上に形成された被エッチング膜と、被エッチング膜上に形成されたＰＭＭＡ材料およびＰＳ材料からなるパターンとから構成されている。シリコン基板３０１は、例えばウエハと称する平面略円形状の半導体の薄板であり、被エッチング膜は、例えば多結晶シリコン膜３０２および酸化膜（例えばSiO_2膜）３０３が下層から順に積層された積層膜である。

【００４４】

前述したように、酸化膜３０３上には、ＰＭＭＡ材料３０４とＰＳ材料３０５とが化学的に結合したジブロックポリマーからなるパターンが形成されており、ＰＭＭＡ材料３０４とＰＳ材料３０５とを２５ｎｍ程度の線幅（Ｌ）で相分離させている。なお、本実施例１では、シリコン基板３０１上に多結晶シリコン膜３０２および酸化膜３０３からなる積層膜を形成したが、これに限定されるものではない。また、線幅（Ｌ）もこれに限定されるものではない。

【００４５】

次に、図４を用いて、自己組織化材料を用いたリソグラフィ技術で形成される、ＰＭＭＡ材料を除去した後のマスクパターンの構造について説明する。図４は、本実施例１によるＰＭＭＡ材料を除去した後のＰＳ材料からなるパターンを示す斜視図である。

【００４６】

プラズマを用いたドライ現像により、ＰＭＭＡ材料はエッチングされる。一方、ＰＳ材料４０１はエッチングレートが抑制されて、ＰＳ材料４０１からなるマスクパターンが形成される。このマスクパターンを酸化膜３０３および多結晶シリコン膜３０２に転写することにより、回路パターンが形成される。ＰＭＭＡ材料をエッチングする場合の主な反応

ガスは酸素（O_2）ガスであり、その酸素（O_2）ガスを主体として、アルゴン（Ａｒ）ガスと窒素（N_2）ガスとを添加した混合ガスを用いる場合もある。

【００４７】

次に、図５を用いて、ＰＭＭＡ材料を除去した後に、プラズマ処理において従来適用されている除電処理を行った場合のマスクパターンの構造について説明する。図５は、ＰＭＭＡ材料を除去した後に、従来の除電処理を行った場合のＰＳ材料からなるパターンを示す斜視図である。ここで、従来の除電処理では、ＰＭＭＡ材料のエッチング中に被処理基板に帯電した電荷は、アルゴン（Ａｒ）ガスの連続プラズマを介してアースへ放出される。一般的に、除電処理に使用するガスは、アルゴン（Ａｒ）ガスの他に、ヘリウム（Ｈｅ）等のエッチングに寄与しない不活性ガスが用いられる。

【００４８】

しかし、図５に示すように、ＰＭＭＡ材料をエッチングした後に、ＰＳ材料５０１からなるマスクパターンに対して従来の除電処理を行うと、マスクパターンとして残すＰＳ材料５０１の残膜量が低下し、さらには、ＰＳ材料５０１の大きな曲がりおよび表面ラフネスが増大する。ＰＳ材料５０１のパターン高さが低く、ＰＳ材料５０１のパターン上面およびパターン側面に不必要な凹凸がある状態で、ＰＳ材料５０１をマスクパターンとして酸化膜３０３および多結晶シリコン膜３０２をエッチング処理すると、エッチング処理された酸化膜３０３および多結晶シリコン膜３０２のパターンサイズが変化する。また、ＰＳ材料５０１のパターン上面およびパターン側面の凹凸と同様の不必要な凹凸が、エッチング処理後の酸化膜３０３および多結晶シリコン膜３０２からなるパターン上面および側面に形成される。その結果、例えば、ＭＯＳ型電界効果トランジスタにおいて、多結晶シリコン膜３０２からなるゲート電極が形成されると、ゲート電極のパターンサイズの変化および不必要な凹凸によって、ＭＯＳ型電界効果トランジスタの特性が著しく劣化する。

【００４９】

次に、従来の除電処理により発生するＰＳ材料の残膜量の低下、ＰＳ材料の大きな曲がりおよび表面ラフネスの増大の原因について考察する。この原因を考察するにあたり、除電処理中のプラズマ処理装置のチャンバ内のガスを、プラズマ処理装置に取り付けた発光分光分析装置（Optical Emission Spectrometer：以下、ＯＥＳと言う）および四重極型質量分析計（Quadrupole Mass Spectrometer：以下、ＱＭＳと言う）によって分析した。

【００５０】

図６に、ＯＥＳ６０１およびＱＭＳ６０２を取り付けたプラズマ処理装置の概略図を示す。このプラズマ処理装置の主な構成は、図１に示したプラズマ処理装置の構成と同じである。ＯＥＳ６０１は、チャンバ１０１内のプラズマ発光から特定波長の定性分析または定量分析を行う装置である。また、ＱＭＳ６０２は、チャンバ１０１内に残留する微量ガスの定性分析または定量分析を行う装置である。

【００５１】

図７は、従来の除電処理中の連続プラズマをＯＥＳによって分析した結果を示すグラフ図である。図７は、酸素発光強度の時間変化を示しており、測定波長は７７７ｎｍである。

【００５２】

図７に示すように、従来の除電処理中では、酸素（Ｏ）の発光が確認され、その発光強度は時間の増加とともに減少するが、徐々に減少量は飽和する。

【００５３】

図８は、本実施例１による、ＰＭＭＡ材料をエッチングした後に、反応ガスを排気した後の残留ガス量をＱＭＳによって分析した結果を示すグラフ図である。ＰＭＭＡ材料のエッチングには、酸素（O_2）ガスを主体とし、アルゴン（Ａｒ）ガスを添加した反応ガスを使用した。測定ガスは、酸素（O_2）ガス（O_2：質量数１６）であり、図８は、ＰＭＭＡ材料のエッチング後の残留酸素ガス量の時間変化を示している。なお、ＱＭＳによる分析中、プラズマは発生させておらず、チャンバ内は排気されているのみの状態である。

【００５４】

図８に示すように、ＰＭＭＡ材料のエッチング後の残留ガス中に酸素（O_2）ガスが確認され、時間の増加とともに減少する。

【００５５】

ＯＥＳおよびＱＭＳの上記分析結果から、従来の除電処理により発生するＰＳ材料の残膜量の低下、ＰＳ材料の大きな曲がりおよび表面ラフネスの増大の原因は、以下であると推測される。

【００５６】

すなわち、ＰＭＭＡ材料のエッチングで使用した酸素（O_2）ガスは、ＰＭＭＡ材料のエッチング後もプラズマ処理装置のチャンバ内に残留する。残留した酸素（O_2）ガスは、除電処理中、反応ガスとしてＰＳ材料に作用する。また、酸素発光強度は時間の増加とともに減少するが、徐々に減少量は飽和していることから、ＰＭＭＡ材料のエッチングで使用し、残留した酸素（O_2）ガス以外から酸素（Ｏ）成分が発生していることが分かる。

【００５７】

酸素（Ｏ）成分の発生原因は、チャンバの側壁部材を構成する石英（SiO_2）のパーツまたはチャンバの側壁部材に堆積した反応生成物（ＣＯ）などであり、これらがプラズマによりスパッタリングされることによって、酸素（Ｏ）成分が発生すると考えられる。発生した酸素（Ｏ）成分は、除電処理中にＰＳ材料と作用する。つまり、除電処理中に、残留した酸素（O_2）ガスおよび発生した酸素（Ｏ）成分がＰＳ材料と作用して、ＰＳ材料の残膜量の低下、ＰＳ材料の大きな曲がりおよび表面ラフネスの増大が発生していると推測される。

【００５８】

次に、本実施例１による除電処理方法を説明する。本実施例１による除電処理は、ＰＭＭＡ材料のエッチング工程と除電工程との間に、ＰＭＭＡ材料のエッチング後に残留した酸素（O_2）ガス等の反応ガスを排気する排気工程を設けることに特徴がある。

【００５９】

図８に示した残留ガス量の分析結果によると、ＰＭＭＡ材料のエッチング後の残留ガス中に酸素（O_2）ガスが確認されるが、時間の増加とともに減少し、時間ｔになると酸素（O_2）ガスはなくなる。つまり、予め図６に示したように、プラズマ処理装置にＱＭＳ６０２を設置しておけば、ＰＭＭＡ材料のエッチング後に残留した反応ガスが十分に排気される時間ｔを求めることができる。ＱＭＳ６０２の設置場所は特に限定はしないが、プラズマおよび被処理基板１０２の近傍の望ましい。なお、ＱＭＳ６０２による分析中、プラズマは発生させず、チャンバ１０１内は排気されているのみの状態とする。

【００６０】

残留した反応ガスが十分に排気される時間ｔは、ＰＭＭＡ材料のエッチング時間、反応ガスの種類および流量、並びに処理圧力およびマイクロ波パワー等のプラズマ条件によって変化する。よって、この時間ｔを決定するためには、ＰＭＭＡ材料のエッチング条件の変化に対応した十分な排気時間を適応することが望ましい。

【００６１】

図９は、ＰＭＭＡ材料を除去した後に、本実施例１による除電処理を行った場合のＰＳ材料からなるパターンを示す斜視図である。除電処理には図６に示したプラズマ処理装置を用いている。

【００６２】

図９に示すように、若干のＰＳ材料９０１の残膜量の低下、曲がり、および表面ラフネスはあるのもの、ＰＭＭＡ材料のエッチング工程と除電工程との間に排気工程を設けない従来の除電処理方法（図５参照）と比較すると、本実施例１による除電処理方法は、大幅にＰＳ材料９０１の形状が改善する。

【００６３】

このように、本実施例１によれば、ＰＭＭＡ材料のエッチング工程と除電工程との間に、ＰＭＭＡ材料のエッチング後に残留した酸素（O_2）ガス等の反応ガスを排気する排気

工程を設けることにより、除電処理中にＰＳ材料に作用する反応ガスが減少して、ＰＳ材料の形状が改善する。これにより、ＰＳ材料からなるマスクパターンを用いて被エッチング膜をエッチングすると、被エッチング膜からなる回路パターンのパターン寸法の均一性の向上、および回路パターンのパターン寸法の制御性能の向上などを図ることができるので、半導体デバイスの特性の劣化を防ぐことができる。

【実施例２】

【００６４】

本実施例２による除電処理方法を説明する。本実施例２による除電処理は、ＰＭＭＡ材料のエッチング工程と除電工程との間に、ＰＭＭＡ材料のエッチング後に残留した酸素（O_2）ガス等の反応ガスを排気し、かつ、排気中にアルゴン（Ａｒ）ガス等のエッチングに寄与しない不活性ガスをチャンバ内に供給することにより、反応ガスを置換しつつ排気する置換排気工程を設けることに特徴がある。

【００６５】

図１０は、本実施例２による、ＰＭＭＡ材料をエッチングした後に、反応ガスを置換排気した後の残留ガス量をＱＭＳによって分析した結果を示すグラフ図である。置換のためにチャンバ内に供給した不活性ガスには、アルゴン（Ａｒ）ガスを用いたが、窒素（N_2）ガス、ヘリウム（Ｈｅ）ガス、ネオン（Ｎｅ）ガス、キセノン（Ｘｅ）ガス、またはクリプトン（Ｋｒ）ガス等の不活性ガスでもよい。図１０は、ＰＭＭＡ材料のエッチング後に、反応ガスを置換排気した後の残留酸素ガス量の時間変化を示している。なお、ＱＭＳによる分析中、プラズマは発生させておらず、チャンバ内は一定の圧力で置換排気されているのみの状態である。

【００６６】

図１０に示すように、ＰＭＭＡ材料のエッチング後の残留ガス中に酸素（O_2）ガスが確認され、時間の増加とともに減少する。また、本実施例２による置換ガスを供給した場合の酸素（O_2）ガスの減少時間は、前述の実施例１による置換ガスを供給しない場合（図８参照）の酸素（O_2）ガスの減少時間の１／２程度となる。これは、置換のためにチャンバ内へ供給したアルゴン（Ａｒ）ガスにより酸素（O_2）ガスの密度が低下したためであると考えられる。

【００６７】

本実施例２による置換排気条件としては、アルゴン（Ａｒ）ガス流量：１５０ｍｌ／ｍｉｎ、処理圧力：１．０Ｐａを例示することができる。しかし、ＰＭＭＡ材料のエッチング時間、反応ガスの種類および流量、並びに処理圧力およびマイクロ波パワー等のプラズマ条件の変化に対応した十分なアルゴン（Ａｒ）ガス流量、処理圧力、および排気時間を適用することが望ましい。

【００６８】

図１１は、ＰＭＭＡ材料を除去した後に、本実施例２による除電処理を行った場合のＰＳ材料からなるパターンを示す斜視図である。除電処理には図６に示したプラズマ処理装置を用いている。

【００６９】

図１１に示すように、若干のＰＳ材料１１０１の残膜量の低下、曲がり、および表面ラフネスはあるのもの、ＰＭＭＡ材料のエッチング工程と除電工程との間に置換排気工程を設けない従来の除電処理方法（図５参照）と比較すると、本実施例２による除電処理方法は、大幅にＰＳ材料１１０１の形状が改善する。また、ＰＭＭＡ材料のエッチング工程と除電工程との間に排気工程（反応ガスの置換は行わない）を設けた前述の実施例１による除電処理方法と比較すると、本実施例２による除電処理方法は、工程時間が１／２程度となる。

【００７０】

このように、本実施例２によれば、ＰＭＭＡ材料のエッチング工程と除電工程との間に、ＰＭＭＡ材料のエッチング後に残留した酸素（O_2）ガス等の反応ガスを置換排気する置換排気工程を設けることにより、除電処理中にＰＳ材料に作用する反応ガスが減少して

、ＰＳ材料の形状が改善する。これにより、ＰＳ材料からなるマスクパターンを用いて被エッチング膜をエッチングすると、被エッチング膜からなる回路パターンのパターン寸法の均一性の向上、および回路パターンのパターン寸法の制御性能の向上などを図ることができるので、半導体デバイスの特性の劣化を防ぐことができる。

【実施例３】

【００７１】

本実施例３による除電処理方法を説明する。本実施例３による除電処理は、前述の実施例１による排気工程もしくは、前述の実施例２による置換排気工程において、残留ガス量をＱＭＳによって計測し、その計測結果を装置制御マイコンにフィードバックすることで、自動的に除電工程へ移行することに特徴がある。

【００７２】

図１２は、本実施例３による、排気工程または置換排気工程において残留ガス量をＱＭＳによって計測し、その計測結果を装置制御マイコンにフィードバックする構成を備えるプラズマ処理装置の概略図である。本実施例３によるプラズマ処理装置の装置制御マイコンに計測結果をフィードバックする構成以外は、図１に示したプラズマ処理装置の構成と同様である。

【００７３】

ＱＭＳ１２０１は、チャンバ１０１内の残留ガス量を計測し、その信号を装置制御マイコン１２０２に入力する。装置制御マイコン１２０２は、ＱＭＳ１２０１からの信号で、チャンバ１０１内の残留ガス量を判定する。

【００７４】

図１３は、ＰＭＭＡ材料をエッチングした後に、反応ガスを置換排気した後の残留ガス量を判定し、除電工程へ移行するためのフローチャート図である。

【００７５】

まず、ＰＭＭＡ材料をエッチングする（工程Ｓ１）。続いて、ＰＭＭＡ材料のエッチング後に残留した酸素（O_2）ガス等の反応ガスを排気し、かつ、排気中にアルゴン（Ａｒ）ガス等のエッチングに寄与しない不活性ガスをチャンバ内に供給することにより、反応ガスを置換しつつ排気する置換排気を行い（工程Ｓ２）、酸素（O_2）ガス量を計測する（工程Ｓ３）。酸素（O_2）ガス量が０（ゼロ）以下となるまで、反応ガスの置換排気を行う。酸素（O_2）ガス量が０（ゼロ）以下となった場合は、置換排気を止めて除電処理を行う（工程Ｓ４）。

【００７６】

本実施例３では、判定するガス種を酸素（Ｏ）とし、除電工程へ移行する残量ガス量を０（ゼロ）と設定している。しかし、ＰＭＭＡ材料のエッチング時間、反応ガスの種類および流量、並びに処理圧力およびマイクロ波パワー等のプラズマ条件の変化に対応した設定にすることが望ましい。また、本実施例３では、置換排気工程に適用した例を示しているが、排気工程に適用してもよい。

【００７７】

図１４は、ＰＭＭＡ材料を除去した後に、本実施例３による除電処理を行った場合のＰＳ材料からなるパターンを示す斜視図である。

【００７８】

図１４に示すように、若干のＰＳ材料１４０１の残膜量の低下、曲がり、および表面ラフネスはあるのもの、ＰＭＭＡ材料のエッチング工程と除電工程との間に置換排気工程を設けない従来の除電処理方法（図５参照）と比較すると、本実施例３による除電処理方法は、大幅にＰＳ材料１４０１の形状が改善する。また、残留ガスの減少量のウエハ毎の経時的な変化およびロット毎の経時的な変化に合わせて、最適な置換排気工程の時間または排気工程の時間を自動的に決定し、除電工程に移行させることができる。

【００７９】

このように、本実施例３によれば、置換排気工程の時間または排気工程の時間を最適化することにより、スループットの大幅な向上を図りながら、除電工程におけるプラズマに

よるＰＳ材料からなるマスクパターンの残膜量の低下、並びにＰＳ材料からなるマスクパターンの曲がりおよび表面ラフネスの増大を抑制することができる。これにより、ＰＳ材料からなるマスクパターンを用いて被エッチング膜をエッチングすると、被エッチング膜からなる回路パターンのパターン寸法の均一性の向上、および回路パターンのパターン寸法の制御性能の向上などを図ることができるので、半導体デバイスの特性の劣化を防ぐことができる。

【実施例４】

【００８０】

本実施例４による除電処理方法を説明する。本実施例４による除電処理は、除電工程において、マイクロ波出力をパルス状にオンオフ変調し、間欠（パルス）プラズマにすることに特徴がある。間欠プラズマは、例えばＰＭＭ材料のエッチング時に導入した酸素（O_2）ガス等の反応ガスがチャンバ内に残留している場合、あるいはチャンバの側壁部材を構成するパーツまたはチャンバの側壁部材に堆積した反応生成物がプラズマによりスパッタリングされ、酸素（Ｏ）成分等の反応ガスがチャンバ内に発生している場合に行う。

【００８１】

図１５は、ＰＭＭＡ材料を除去した後に、本実施例４による除電処理を行った場合のＰＳ材料からなるパターンを示す斜視図である。除電処理には図６に示したプラズマ処理装置を用いている。

【００８２】

図１５に示すように、本実施例４による除電処理方法は、従来の除電処理方法（図５参照）と比較すると、大幅にＰＳ材料１５０１の形状が改善する。また、除電処理後のＰＳ材料１５０１の形状は、ＰＭＭＡ材料のエッチング後のＰＳ材料の形状（図４参照）とほぼ同じであり、反応ガスがＰＳ材料に作用していないことを示している。

【００８３】

従来の連続プラズマによる除電工程を用いた場合、ＰＳ材料に入射・吸着する酸素イオン、酸素ラジカル量、および反応性は非常に高く、ＰＳ材料のパターン上面およびパターン側面の形状に影響を及ぼし、ＰＳ材料からなるマスクパターンの曲がりおよび表面ラフネスの増大を引き起こしている。

【００８４】

これに対し、本実施例４による間欠プラズマによる除電工程を用いた場合、ＰＳ材料に入射・吸着する酸素イオン、酸素ラジカル量、および反応性を抑制することで、ＰＳ材料のパターン上面およびパターン側面の形状に及ぼす影響を最小限とし、ＰＳ材料からなるマスクパターンの残膜量の低下、並びにＰＳ材料からなるマスクパターンの曲がりおよび表面ラフネスの増大を抑制することができる。本実施例４による除電工程では、除電特性を十分に確保するため、除電条件は、例えばアルゴン（Ａｒ）ガス流量：５～５００ｍｌ／ｍｉｎ、処理圧力：０．１～１００Ｐａ、ウエハに印加するＲＦバイアス：０Ｗが望ましい。

【００８５】

図１６は、従来の除電工程（連続プラズマ）を適用した場合および本実施例４による除電工程（間欠プラズマ）を適用した場合のウエハに帯電した残留静電吸着力を示すグラフ図である。

【００８６】

図１６に示すように、本実施例４による除電工程と従来の除電工程とでは、残留静電吸着力は同程度であり、この残留静電吸着力でウエハを脱着しても支障はない。本実施例４による除電工程では、マイクロ波の平均出力は、例えば１０Ｗ以上３００Ｗ以下、デューティー比は、例えば５％以上７５％以下、繰返し周波数は、例えば１Ｈｚ以上１００ｋＨｚ以下が望ましい。

【００８７】

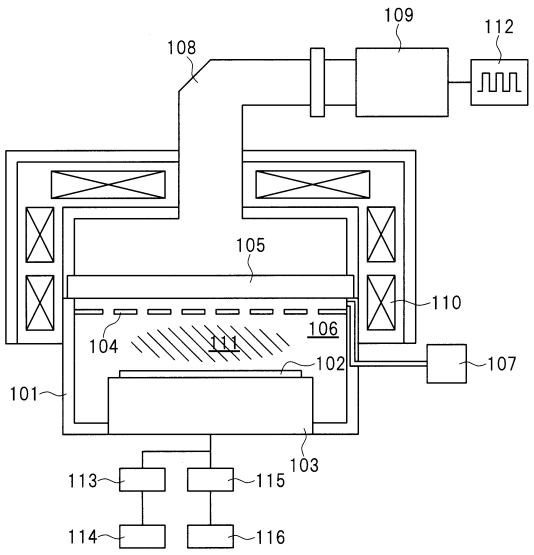
図１７は、本実施例４によるＰＳ材料のパターン曲がり量とマイクロ波の平均出力およびデューティー比との関係を示すグラフ図である。

【００８８】
図１７に示すように、マイクロ波の平均出力またはディーティー比が大きくなると、ＰＳ材料のパターン曲がり量が規定値を超えて、デバイス特性に影響を及ぼす。言い換えれば、マイクロ波の平均出力またはディーティー比を小さくすれば、ＰＳ材料のパターン曲がり量は規定値内となり、デバイス特性に影響を及ぼさない。
【００８９】
このように、本実施例４によれば、除電工程のマイクロ波出力をパルス状にオンオフ変調し、間欠プラズマにすることで、ＰＳ材料のパターン上面およびパターン側面の形状に及ぼす影響を最小限とし、ＰＳ材料からなるマスクパターンの残膜量の低下、並びにＰＳ材料からなるマスクパターンの曲がりおよび表面ラフネスの増大を抑制することができる。これにより、ＰＳ材料からなるマスクパターンを用いて被エッチング膜をエッチングすると、被エッチング膜からなる回路パターンのパターン寸法の均一性の向上、および回路パターンのパターン寸法の制御性能の向上などを図ることができるので、半導体デバイスの特性の劣化を防ぐことができる。
【００９０】
以上、本発明者によってなされた発明を実施の形態に基づき具体的に説明したが、本発明は前記実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能であることはいうまでもない。
【００９１】
前記実施の形態では、半導体デバイスの製造工程の前工程における各効果を説明したが、これに限定されるものではない。例えば半導体デバイスの製造工程の後工程（配線接続、スーパーコネクト）およびマイクロマシンのエッチング加工技術に適用してもよく、同様の作用効果が得られる。さらに、ＭＥＭＳ（Micro Electro Mechanical Systems）分野（ディスプレイ分野、光スイッチ分野、通信分野、ストレージ分野、センサー分野、イメージャ分野、小型発電機分野、小型燃料電池分野、マイクロプローバ分野、プロセス用ガス制御システム分野、および医学バイオ分野の関係も含む）等でのエッチング加工技術に適用してもよく、同様の作用効果が得られる。
【００９２】
また、前記実施の形態では、マイクロ波ＥＣＲ放電を利用したドライエッチング装置を用いたプラズマ処理方法について説明したが、これに限定されるものではない。例えば有磁場ＵＨＦ（Ultra High Frequency）放電、容量結合型放電、誘導結合型放電、マグネトロン放電、表面波励起放電、トランスファー・カップルド放電等を利用したドライエッチング装置を用いてもよく、同様の作用効果が得られる。ただし、ＥＣＲ放電を用いた場合、主要なプラズマ生成領域と被処理基板との距離の制御性、高解離度のプラズマによる反応性ラジカルの密度増加等によって、より高精度の効果を得ることができることから、より最適な効果を得るためにはＥＣＲ放電が好ましい。
【符号の説明】
【００９３】
１０１　チャンバ
１０２　被処理基板
１０３　ウエハ載置電極
１０４　シャワープレート
１０５　誘電体窓
１０６　処理室
１０７　ガス供給装置
１０８　導波管
１０９　電磁波発生用電源
１１０　磁場発生コイル
１１１　高密度プラズマ
１１２　パルス変調回路

１１３　高周波フィルター
１１４　直流電源
１１５　マッチング回路
１１６　高周波電源（バイアス用高周波電源）
３０１　シリコン基板
３０２　多結晶シリコン膜
３０３　酸化膜
３０４　ＰＭＭＡ材料
３０５　ＰＳ材料
４０１　ＰＳ材料
５０１　ＰＳ材料
６０１　発光分光分析装置（ＯＥＳ）
６０２　四重極型質量分析計（ＱＭＳ）
９０１　ＰＳ材料
１１０１　ＰＳ材料
１２０１　四重極型質量分析計（ＱＭＳ）
１２０２　装置制御マイコン
１４０１　ＰＳ材料
１５０１　ＰＳ材料

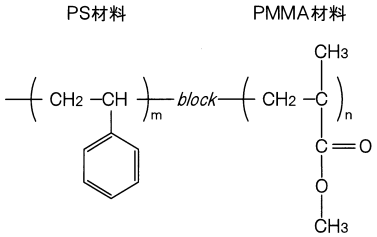
【図１】

図 1



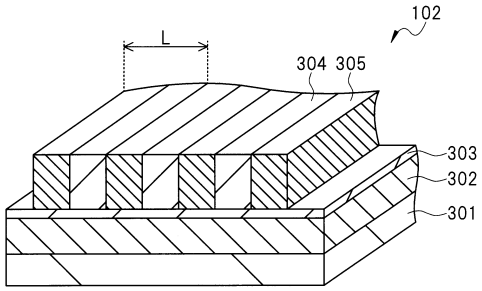
【図２】

図 2



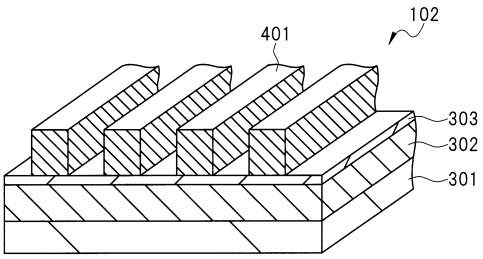
【図３】

図 3



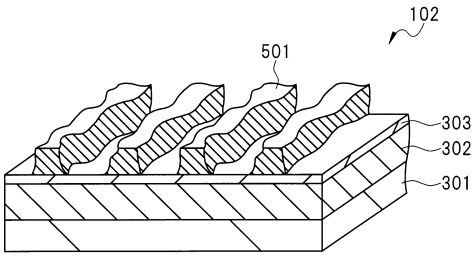
【図４】

図 4



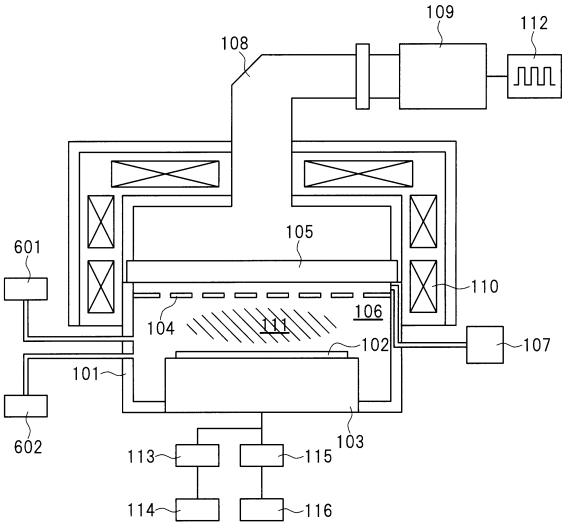
【図５】

図 5



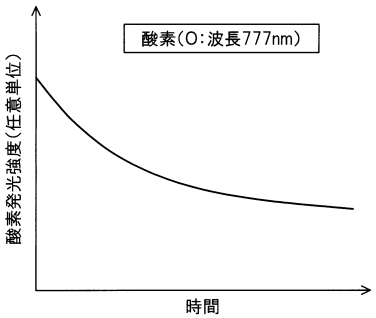
【図６】

図 6



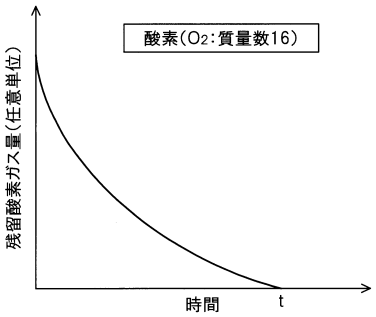
【図７】

図 7



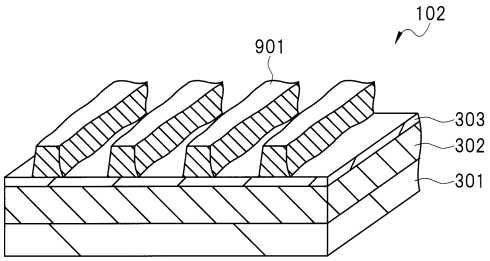
【図８】

図 8



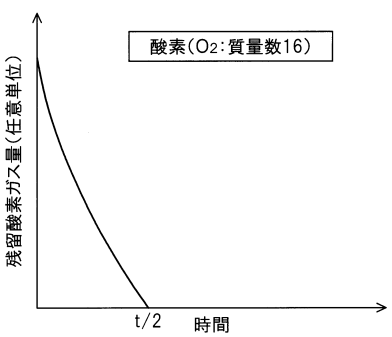
【図９】

図 9



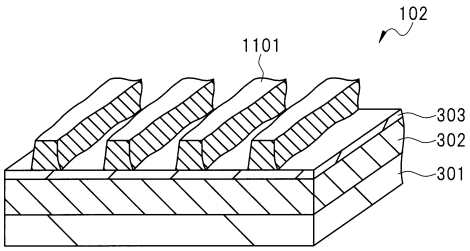
【図１０】

図 10



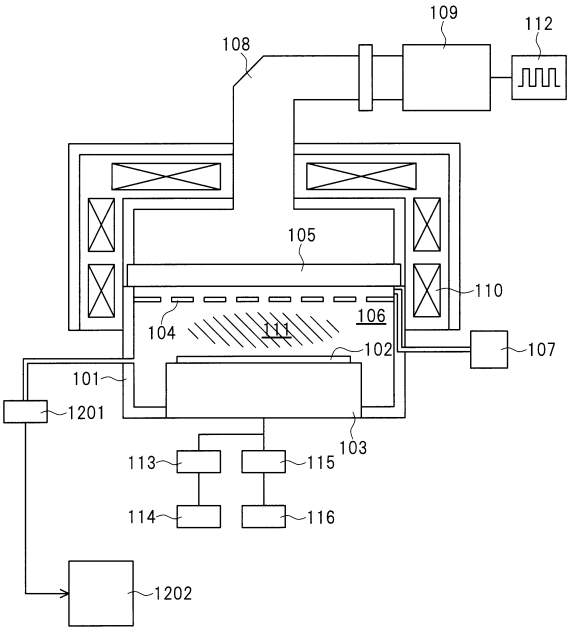
【図１１】

図 11



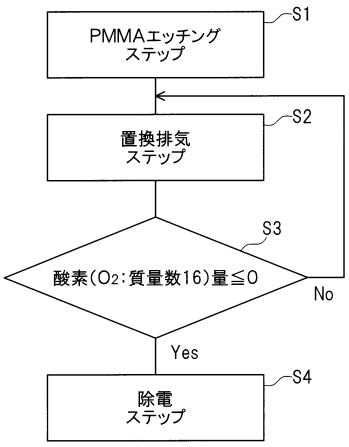
【図１２】

図 12



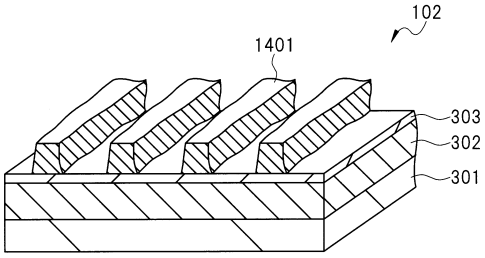
【図１３】

図 13



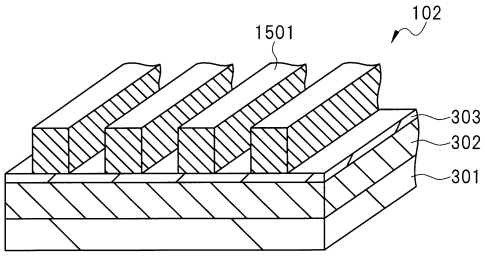
【図１４】

図 14



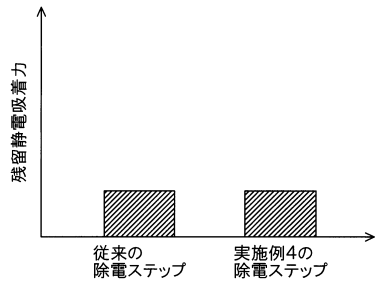
【図１５】

図 15



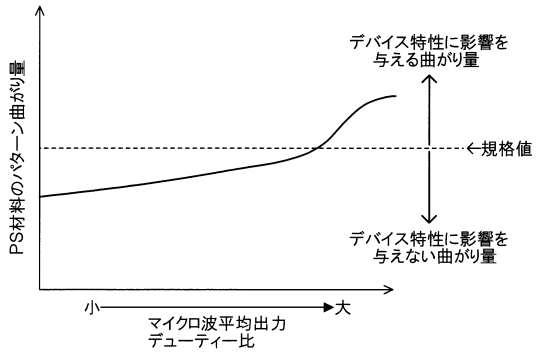
【図１６】

図 16



【図１７】

図 17



フロントページの続き

審査官　佐藤　靖史

(56)参考文献　特開平０６－１７７０９１（ＪＰ，Ａ）
特開２０１３－１４９９１５（ＪＰ，Ａ）
特開平１１－１６２９３３（ＪＰ，Ａ）
特開２００８－２０５４３６（ＪＰ，Ａ）
特開平０２－１０５４１３（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０１Ｌ　２１／３０６５