

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7356847号
(P7356847)

(45)発行日 令和5年10月5日(2023.10.5)

(24)登録日 令和5年9月27日(2023.9.27)

(51)国際特許分類 F I
H 0 1 L 21/027 (2006.01) H 0 1 L 21/30 5 7 0
G 0 3 F 7/40 (2006.01) G 0 3 F 7/40

請求項の数 6 (全22頁)

(21)出願番号	特願2019-160274(P2019-160274)	(73)特許権者	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
(22)出願日	令和1年9月3日(2019.9.3)	(74)代理人	100088155 弁理士 長谷川 芳樹
(65)公開番号	特開2021-40026(P2021-40026A)	(74)代理人	100113435 弁理士 黒木 義樹
(43)公開日	令和3年3月11日(2021.3.11)	(74)代理人	100122507 弁理士 柏岡 潤二
審査請求日	令和4年6月22日(2022.6.22)	(74)代理人	100171099 弁理士 松尾 茂樹
		(72)発明者	田中 啓一 熊本県合志市福原1-1 東京エレクト ロン九州株式会社内
		審査官	田中 秀直

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 基板処理装置、基板処理方法及び記憶媒体

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

A r F 液浸リソグラフィ用レジスト材によるパターンが表面に形成された基板に対し真空紫外光を含む光を照射する装置であって、

処理容器内において前記基板を保持する保持部と、

前記保持部を回転させる回転駆動部と、

前記回転駆動部により回転する前記保持部に保持された前記基板の表面に対して真空紫外光を含む光を照射する複数の光源を有する光源部と、

を有し、

前記複数の光源は、前記回転駆動部による前記保持部の回転軸を囲む第1グループの光源と、前記第1グループの光源よりも外において、前記回転軸を囲む第2グループの光源と、を含み、

10

前記第2グループの光源の数が、前記第1グループの光源の数よりも多く、

前記第1グループの光源のそれぞれからの光の照射開始から照射停止までの照射量を、前記第2グループの光源のそれぞれからの光の照射開始から照射停止までの照射量よりも大きくする、基板処理装置。

【請求項2】

前記基板の内側に対して光を照射する光源における出力強度を、前記基板の外側に対して光を照射する光源における出力強度よりも大きくする、請求項1に記載の基板処理装置。

【請求項3】

20

前記基板の内側に対して光を照射する時間と、前記基板の外側に対して光を照射する時間とを互いに異ならせる、請求項 1 または 2 に記載の基板処理装置。

【請求項 4】

前記処理容器内に不活性ガスを供給するガス供給部と、前記処理容器内からガスを排出するガス排出部と、を有し、

前記ガス供給部及び前記ガス排出部は、前記光源部によって光を照射する間に、前記処理容器内の圧力を変化させながら前記ガスの供給及び排出を行う、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の基板処理装置。

【請求項 5】

処理容器内において A r F 液浸リソグラフィ用レジスト材によるパターンが表面に形成された基板を回転させながら、複数の光源を有する光源部から前記基板の表面に対して真空紫外光を含む光を照射する基板処理方法において、

前記複数の光源は、前記基板の回転軸を囲む第 1 グループの光源と、前記第 1 グループの光源よりも外において、前記回転軸を囲む第 2 グループの光源と、を含み、

前記第 2 グループの光源の数が、前記第 1 グループの光源の数よりも多く、

前記第 1 グループの光源のそれぞれからの光の照射開始から照射停止までの照射量を、前記第 2 グループの光源のそれぞれからの光の照射開始から照射停止までの照射量よりも大きくする、基板処理方法。

【請求項 6】

請求項 5 記載の基板処理方法を装置に実行させるためのプログラムを記憶した、コンピュータ読み取り可能な記憶媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、基板処理装置、基板処理方法及び記憶媒体に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 には、半導体デバイスの製造プロセスにおいて、基板の表面に形成し、露光後にパターンニングされたレジストの前面に波長 200 nm 以下の光を照射する工程と、レジスト膜の下層膜のエッチングを行う工程と、を順に行うことが記載されている。波長 200 nm 以下の光を照射する工程（以下、単に光を照射する工程という。）は、例えばレジスト膜のラフネス（凸凹）を改善することを目的として行われる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特許第 3342856 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本開示は、A r F 液浸リソグラフィに適したレジスト材料を用いた基板において表面の荒れを改善することが可能な技術を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本開示の一態様による基板処理装置は、処理容器内において A r F 液浸リソグラフィ用レジスト材によるパターンが表面に形成された基板を保持する保持部と、前記保持部を回転させる回転駆動部と、前記回転駆動部により回転する前記保持部に保持された前記基板の表面に対して真空紫外光を含む光を照射する複数の光源を有する光源部と、を有し、前記基板の内側に対する前記光源部からの光の照射量を、前記基板の外側に対する前記光源部からの光の照射量よりも大きくする。

【0006】

10

20

30

40

50

本開示の一態様による基板処理方法は、処理容器内においてA r F液浸リソグラフィ用レジスト材によるパターンが表面に形成された基板を回転させながら、複数の光源を有する光源部から前記基板の表面に対して真空紫外光を含む光を照射する基板処理方法において、前記基板の内側に対する前記光源部からの光の照射量を、前記基板の外側に対する前記光源部からの光の照射量よりも大きくする。

【発明の効果】

【0007】

本開示によれば、A r F液浸リソグラフィに適したレジスト材料を用いた基板において表面の荒れを改善することが可能な技術を提供する。

【図面の簡単な説明】

10

【0008】

【図1】一つの例示的实施形態に係る基板処理装置を示す図である。

【図2】基板処理装置による基板の処理を例示する模式図である。

【図3】基板処理装置における光源の配置を例示する模式図である。

【図4】コントローラの機能的な構成を例示するブロック図である。

【図5】コントローラのハードウェア構成を例示するブロック図である。

【図6】基板処理装置における基板処理時の圧力変化を例示する図である。

【図7】評価試験1の結果を例示する図である。

【図8】評価試験2の結果を例示する図である。

【図9】評価試験3の結果を例示する図である。

20

【図10】評価試験4の結果を例示する図である。

【図11】評価試験5の結果を例示する図である。

【図12】評価試験6の結果を例示する図である。

【図13】回転する基板が受ける光の強度変化を例示する図である。

【図14】基板における照度分布を例示する図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下、種々の例示的实施形態について説明する。

【0010】

一つの例示的实施形態において、基板処理装置は、処理容器内においてA r F液浸リソグラフィ用レジスト材によるパターンが表面に形成された基板を保持する保持部と、前記保持部を回転させる回転駆動部と、前記回転駆動部により回転する前記保持部に保持された前記基板の表面に対して真空紫外光を含む光を照射する複数の光源を有する光源部と、を有し、前記基板の内側に対する前記光源部からの光の照射量を、前記基板の外側に対する前記光源部からの光の照射量よりも大きくする。

30

【0011】

A r F液浸リソグラフィ用レジスト材によるパターンが表面に形成された基板では、光の照射量に応じてパターンの表面の荒れの改善度合いが変化しやすい。また、基板を回転させながら光を照射する場合、内側のほうが基板の移動速度が遅くなるために光の照射量が少なくなることが考えられる。これに対して、上記の基板処理装置によれば、基板の内側に対する光の照射量を基板の外側に対する光の照射量よりも大きくすることができるため、基板の内側についても光の照射量を増やすことができ、表面の荒れの改善効果を高めることができる。

40

【0012】

前記基板の内側に対して光を照射する光源における出力強度を、前記基板の外側に対して光を照射する光源における出力強度よりも大きくする態様とすることができる。

【0013】

上記のように、光源における出力強度を大きくすることで、基板の内側に対する光の照射量を基板の外側に対する光の照射量よりも大きくする構成とした場合、基板の内側と外側との間における光の照射量の調整をより簡便に実施することができる。

50

【 0 0 1 4 】

前記基板の内側に対して光を照射する時間と、前記基板の外側に対して光を照射する時間とを互いに異ならせる態様とすることができる。

【 0 0 1 5 】

上記のように、光を照射する時間を基板の内側と外側とで互いに異ならせることで、基板の内側に対する光の照射量を外側に対する光の照射量よりも大きくする構成とした場合、基板の内側と外側との間における光の照射量の調整をより簡便に実施することができる。

【 0 0 1 6 】

前記処理容器内に不活性ガスを供給するガス供給部と、前記処理容器内からガスを排出するガス排出部と、を有し、前記ガス供給部及び前記ガス排出部は、前記光源部によって光を照射する間に、前記処理容器内の圧力を変化させながら前記ガスの供給及び排出を行う態様とすることができる。

10

【 0 0 1 7 】

上記のように、光源部によって光を照射する間に処理容器内の圧力を変化させながらガスの供給及び排出を行う構成とすることで、処理容器内の圧力を基板の表面状況に応じた状態としながらパターンに対して真空紫外光を照射することができる。

【 0 0 1 8 】

一つの例示的实施形態において、基板処理方法は、処理容器内においてA r F液浸リソグラフィ用レジスト材によるパターンが表面に形成された基板を回転させながら、複数の光源を有する光源部から前記基板の表面に対して真空紫外光を含む光を照射する基板処理方法において、前記基板の内側に対する前記光源部からの光の照射量を、前記基板の外側に対する前記光源部からの光の照射量よりも大きくする。

20

【 0 0 1 9 】

上記の基板処理方法によれば、基板の内側に対する光の照射量を基板の外側に対する光の照射量よりも大きくすることができるため、基板の内側についても光の照射量を増やすことができ、表面の荒れの改善効果を高めることができる。

【 0 0 2 0 】

別の例示的実施形態において、記憶媒体は、上述の基板処理方法を装置に実行させるためのプログラムを記憶した、コンピュータ読み取り可能な記憶媒体である。

【 0 0 2 1 】

以下、図面を参照して種々の例示的実施形態について詳細に説明する。なお、各図面において同一又は相当の部分に対しては同一の符号を附すこととする。

30

【 0 0 2 2 】

[基板処理装置の構成]

図1は、本実施形態の基板処理装置を示す模式図(縦断側面図)である。図1に示す基板処理装置1は、ウエハW(基板)に対して処理用の光を照射する。例えば、基板処理装置1は、ウエハWの表面に形成されたレジスト膜またはレジストパターンに対し真空紫外光(VUV光: Vacuum Ultra Violet Light)を照射し、これらのレジスト材の表面のラフネスを改善するように構成されている。

【 0 0 2 3 】

ウエハWは、円板状を呈するが、円形の一部が切り欠かれていたり、多角形などの円形以外の形状を呈するウエハを用いてもよい。ウエハWは、例えば、半導体基板、ガラス基板、マスク基板、FPD(Flat Panel Display)基板その他の各種基板であってもよい。

40

【 0 0 2 4 】

図2は、基板処理装置1によるウエハWに対するプロセスの例を示している。図2(a)に示すように、ウエハWにおいては、下層膜であるSOC膜11(Silicon-on-Carbon)及びSOC膜11上のSOG膜12(Silicon-on-Glass)上にレジストパターン13が形成されている。基板処理装置1では、このようなウエハWの表面に対して処理用の光L1を照射することにより、図2(b)に示すようにレジストパターン13の表面の荒れを改善する。なお、レジストパターン13は下層膜であるSOC膜11及びSOG膜12を

50

エッチングしてこれらの下層膜にパターンを形成するためのマスクパターンである。

【 0 0 2 5 】

図 1 に戻り、基板処理装置 1 の各部について説明する。基板処理装置 1 は、図 1 に示されるように、処理室 2 0 と、光照射機構 4 0 と、コントローラ 1 0 0 (制御部) とを備える。なお、図 1 においては、光照射機構 4 0 に含まれる構成の一部のみを示している。

【 0 0 2 6 】

処理室 2 0 は、筐体 2 1 と、搬送口 2 2 と、回転支持部 2 5 と、ガス供給部 3 0 と、ガス排出部 3 5 と、を含む。筐体 2 1 は、例えば大気雰囲気中に設けられた真空容器の一部であり、搬送機構 (不図示) によって搬送されたウエハ W を収納可能に構成されている。基板処理装置 1 では、筐体 2 1 内にウエハ W が収納された状態でウエハ W に対する処理が行われる。筐体 2 1 の側壁には、搬送口 2 2 が形成されている。搬送口 2 2 は、筐体 2 1 に対してウエハ W を搬入出するための開口である。搬送口 2 2 は、ゲートバルブ 2 3 によって開閉される。

10

【 0 0 2 7 】

回転支持部 2 5 は、筐体 2 1 内において、コントローラ 1 0 0 の指示に基づいてウエハ W を回転させながら保持する機能を有する。回転支持部 2 5 は、例えば、保持部 2 6 と、回転駆動部 2 7 と、を有する。保持部 2 6 は、レジストパターン 1 3 が形成された表面を上にして水平に配置されたウエハ W の中央部分を支持し、当該ウエハ W を例えば真空吸着等によって保持する。回転駆動部 2 7 は、ウエハ W を保持した保持部 2 6 を当該ウエハ W と共に鉛直な軸線 A 1 まわりに回転させる機能を有する。回転駆動部 2 7 は、例えば電動モータを動力源とする回転アクチュエータである。

20

【 0 0 2 8 】

ガス供給部 3 0 は、筐体 2 1 に形成された貫通孔 2 1 a を介して筐体 2 1 内に不活性ガス (例えば、アルゴン、窒素など) を供給するように構成されている。ガス供給部 3 0 は、ガス源 3 0 a と、バルブ 3 0 b と、配管 3 0 c とを有する。ガス源 3 0 a は、不活性ガスを貯留しており、不活性ガスの供給源として機能する。バルブ 3 0 b は、コントローラ 1 0 0 からの動作信号に基づいて動作し、配管 3 0 c を開放及び閉塞させる。配管 3 0 c は、上流側から順に、ガス源 3 0 a、バルブ 3 0 b 及び貫通孔 2 1 a を接続している。

【 0 0 2 9 】

ガス排出部 3 5 は、筐体 2 1 に形成された貫通孔 2 1 b を介して筐体 2 1 からの気体を排出する。ガス排出部 3 5 は、真空ポンプ 3 5 a と、配管 3 5 c とを有する。真空ポンプ 3 5 a は、筐体 2 1 内から気体を排出する。配管 3 5 c は、貫通孔 2 1 b と真空ポンプ 3 5 a とを接続している。

30

【 0 0 3 0 】

光照射機構 4 0 は、筐体 4 1 と、光源 4 2 と、スイッチ 4 3 と、を含む。筐体 4 1 は、筐体 2 1 の上部に設けられている。光源 4 2 は筐体 4 1 内に複数收容される。図 3 は光源 4 2 の配置の一例を示す平面図である。光源 4 2 は平面で見て、保持部 2 6 の回転軸である軸線 A 1 を中心とする 2 つの同心円に沿って配置されている。具体的には、内側の円に沿って 4 つの光源 4 2 が、外側の円に沿って 8 つの光源 4 2 が、それぞれ周方向に間隔を空けて配置されている。また、このように配置された光源 4 2 により、保持部 2 6 により保持されたウエハ W の表面全体に光が照射される。なお、スイッチ 4 3 は、光源 4 2 の点灯のオンオフを切り替える。スイッチ 4 3 の動作はコントローラ 1 0 0 によって制御される。なお、光源 4 2 の配置例は一例であり、適宜変更される。

40

【 0 0 3 1 】

光源 4 2 は例えば 1 1 5 n m ~ 4 0 0 n m の波長の光、つまり 1 1 5 n m ~ 4 0 0 n m の連続スペクトルをなす光を照射する。この範囲の連続スペクトルをなす光とは、波長が 1 0 n m ~ 2 0 0 n m である光 (すなわち V U V 光) を含むと共に、V U V 光よりも波長が大きい近紫外光 (近紫外線) を含んでいてもよい。光源 4 2 からの光は波長 1 6 0 n m 以下の帯域の光を含む構成とすることができる。光源 4 2 は、例えば重水素ランプであり、波長が 2 0 0 n m 以下の V U V 光を照射するように構成されていてもよい。連続スペク

50

トルのピークの波長は、例えば、160 nm以下であってもよいし、150 nm以上であってもよい。

【0032】

光源42から照射される光のスペクトルの波長域は比較的広いため、ウエハW上のレジストパターン13は様々な波長の光のエネルギーを受けることになる。その結果、レジストパターン13の表面では様々な反応が起こる。具体的には、レジストパターン13を構成する分子中の様々な位置における化学結合が切断されることで、様々な化合物が生成するため、光照射前にレジスト膜中に存在していた分子が持つ配向性が解消される。その結果、レジストパターン13における表面自由エネルギーが低下し、内部応力が低下する。つまり、光源として光源42を用いることで、レジストパターン13の表面の流動性が高くなりやすく、その結果として、当該表面の荒れの改善効果を向上させることができる。

10

【0033】

また、レジストパターン13では、光源42からの光（特にVUV光）の照射中及び照射後には架橋反応も起こる。レジストパターン13において架橋反応が同時に起こることで、レジストパターン13の表面は硬化され、その結果エッチング耐性が高くなる。したがって、このレジストパターン13をマスクとして下層膜のエッチングを行った際に、下層膜におけるパターンの表面の荒れ（ラフネス）を改善することができる。

【0034】

光源42から照射される光のうち、波長160 nmよりも短波長の光の成分が上記のレジストパターン13及び下層膜におけるパターンの表面の荒れ（ラフネス）の改善に大きく寄与すると考えられている。例えば、波長160 nmよりも長波長の光のみをレジストパターンに照射した場合には、表面の荒れ（ラフネス）の改善が十分に行われず、化学結合の切断ばかりが進行することが確認されている。ただし、波長160 nmよりも短波長の光のみを照射しただけでも表面の荒れの改善は十分に行われぬ。そのため、重水素ランプのような波長160 nmよりも長波長の光及び短波長の光の両方を含む連続スペクトルをなす光が表面の荒れの改善に重要であると考えられる。

20

【0035】

また、レジストパターン13に照射される光源42からの光については波長が大きいもののほど、その強度が大きい場合には当該レジストパターン13の深層へ到達し得る。しかし光源42から照射される光のスペクトルのピークの波長は、上記のようにVUV光の帯域（10 nm～200 nm）に含まれているため、光源42から照射される光について、比較的大きな波長を持つ光の強度は小さい。したがって、光源42から照射される光でレジスト膜の深層へ到達するものは少なく、当該レジスト膜の深層においては、上記の分子の結合の切断を抑えることができる。つまり、光源42を用いることで、レジストパターン13において光照射によって反応する領域を、表面に限定することができる。

30

【0036】

VUV光の帯域の光についても、波長に応じてレジストパターンでの到達深度が変化することは同様である。すなわち、上述のように最も光強度が大きくなる波長150 nm～160 nm付近の光よりも、波長が長い成分はレジストパターン13の深層（例えば、150 nm以上）へ到達し得る。一方、波長が150 nmよりも小さな成分は、レジストパターン13の表面近傍（例えば、50 nm以下）にしか到達しない。また、波長が150 nmよりも小さな成分は、VUV光の中でもピークの波長帯と比べて強度が小さいことが知られている。すなわち、表面の荒れ（ラフネス）の改善に寄与する波長160 nmよりも短波長の光の成分はレジストパターン13の表面近傍のみに到達し（深層までは到達せず）、表面近傍において架橋反応によるレジストパターン13の表面の硬化を促進している。このように、波長160 nmよりも短波長の光の成分はレジストパターン13の表面近傍における架橋反応の促進に重要であると考えられる。このように、波長160 nmよりも短波長の光のレジストパターン13に対する影響は大きく、レジストパターン13に含まれる成分の側鎖等の解離、内部応力の低下および架橋反応が促進される。一方で、レジストパターン13全体の膜質を改善する際には波長160 nmよりも長波長の光も必要

40

50

であるため、これらを適度なバランスで照射することで、膜質の改善を図ることができる。

【 0 0 3 7 】

光源 4 2 は、ガウシアン分布の光と比較して強度分布がフラットなトップハット型の光を生成する。なお、トップハット型の光であっても、強度分布が完全にフラットになっているわけではない。すなわち、光源 4 2 内の点光源 4 4 (図 1 参照) から出射される広がりを持った光を照射し、具体的には、点光源 4 4 を頂点とした円錐状の光路をとる真空紫外光をウエハ W に向けて照射する。このように、光源 4 2 から照射される光は、照射面において照射範囲が円形となるものである。なお、図 3 では、各光源 4 2 から出力される光のウエハ W 表面における伝搬範囲の目安を破線で示している。

【 0 0 3 8 】

VUV 光は、酸素が存在する雰囲気においてはこの酸素と反応するので、レジストパターン 1 3 の荒れの改善効果が低下してしまう。そこで、後述するようにウエハ W の処理時には筐体 2 1 内の酸素を除去するために、筐体 2 1 内に真空雰囲気が形成される。ここで、上記のように光照射によって結合が切断されて生成した分子量が比較的小さい分子は、ガスとしてこの真空雰囲気へと放出されやすい。波長の浸透域に関わらず、分解、架橋によるガスは発生する。長波長の光は、レジストパターン 1 3 の深部まで達するが、それ以前に短波長の光による架橋反応が進み(優位に働き)、レジストパターン 1 3 の高さ、幅などの外形変化を抑制することができる。

【 0 0 3 9 】

図 1 に戻り、基板処理装置 1 のコントローラ 1 0 0 は、回転支持部 2 5、ガス供給部 3 0、ガス排出部 3 5、光照射機構 4 0 を制御する。図 4 に例示するように、コントローラ 1 0 0 は、機能上の構成(以下、「機能モジュール」という。)として、照射制御部 1 1 1 と、ガス供給制御部 1 1 2 と、排気制御部 1 1 3 と、入出制御部 1 1 4 とを有する。これらの機能モジュールは、コントローラ 1 0 0 の機能を実用上複数のモジュールに区切ったものに過ぎず、コントローラ 1 0 0 を構成するハードウェアがこのようなモジュールに分かれていることを必ずしも意味するものではない。

【 0 0 4 0 】

照射制御部 1 1 1 は、VUV 光を所望のタイミングで照射するように光照射機構 4 0 を制御する。例えば照射制御部 1 1 1 は、照射のタイミングに先立って全ての光源 4 2 を点灯させるように光照射機構 4 0 を制御する。また、照射制御部 1 1 1 は、照射のタイミングの完了後に全ての光源 4 2 を消灯させるように光照射機構 4 0 を制御する。

【 0 0 4 1 】

ガス供給制御部 1 1 2 は、貫通孔 2 1 a から筐体 2 1 内に不活性ガスを供給するようにバルブ 3 0 b を制御する。排気制御部 1 1 3 は、貫通孔 2 1 b を通じて筐体 2 1 内の気体を外部に排気するように真空ポンプ 3 5 a を制御する。

【 0 0 4 2 】

入出制御部 1 1 4 は、筐体 2 1 内へのウエハ W の搬入及び筐体 2 1 内からのウエハ W の搬出に伴って搬送口 2 2 を開閉させるようにゲートバルブ 2 3 を制御し、保持部 2 6 によるウエハ W の保持と解放とを切り替えるように回転支持部 2 5 を制御する。

【 0 0 4 3 】

コントローラ 1 0 0 は、一つ又は複数の制御用コンピュータにより構成される。例えばコントローラ 1 0 0 は、図 5 に示す回路 1 2 0 を有する。回路 1 2 0 は、一つ又は複数のプロセッサ 1 2 1 と、メモリ 1 2 2 と、ストレージ 1 2 3 と、入出力ポート 1 2 4 とを有する。ストレージ 1 2 3 は、例えばハードディスク等、コンピュータによって読み取り可能な記憶媒体を有する。記憶媒体は、後述の基板処理手順を基板処理装置 1 に実行させるためのプログラムを記憶している。記憶媒体は、不揮発性の半導体メモリ、磁気ディスク及び光ディスク等の取り出し可能な媒体であってもよい。メモリ 1 2 2 は、ストレージ 1 2 3 の記憶媒体からロードしたプログラム及びプロセッサ 1 2 1 による演算結果を一時的に記憶する。プロセッサ 1 2 1 は、メモリ 1 2 2 と協働して上記プログラムを実行することで、上述した各機能モジュールを構成する。入出力ポート 1 2 4 は、プロセッサ 1 2 1

10

20

30

40

50

からの指令に従って、コントローラ 100 が制御する各部との間で電気信号の入出力を行う。

【0044】

なお、コントローラ 100 のハードウェア構成は、必ずしもプログラムにより各機能モジュールを構成するものに限られない。例えばコントローラ 100 の各機能モジュールは、専用の論理回路又はこれを集積した ASIC (Application Specific Integrated Circuit) により構成されていてもよい。

【0045】

[基板処理方法]

次に、基板処理装置 1 の動作 (基板処理方法) について図 1 及び図 6 を参照しながら説明する。図 6 は、筐体 21 内の圧力の経時変化の概略を示すグラフである。図 6 のグラフの横軸は、処理中の経過時間を示し、縦軸は処理容器となる筐体 21 内の圧力 (単位: Pa) を示しており概ね対数軸を模式的に示したものとなっている。まず、ガス供給部 30 及びガス排出部 35 の動作が停止された状態で、搬送機構によりウエハ W が筐体 21 内に搬入される。回転支持部 25 の保持部 26 にウエハ W が載置されると、ゲートバルブ 23 が閉じられて筐体 21 内が気密にされる。このとき筐体 21 内は、例えば標準気圧の大気雰囲気 (図 6 の時刻 t_0) とされる。その後、ガス排出部 35 の動作によって、筐体 21 内の圧力を低くする。

10

【0046】

減圧が進行して、筐体 21 内の圧力が 1 Pa になると (時刻 t_1)、当該圧力が所定時間維持される。1 Pa の減圧状態を暫く維持した後 (時刻 t_2)、ガス供給部 30 のバルブ 30b が開かれて筐体 21 内に Ar ガスが供給される。これにより、筐体 21 内に Ar ガス雰囲気が形成されると共に、当該筐体 21 内の圧力が上昇する。なお、減圧速度及び昇圧速度は、ガス供給部 30 及びガス排出部 35 の動作によって制御することができる。また、減圧速度及び昇圧速度は、一定であってもよいし、途中で変動させてもよい。

20

【0047】

Ar ガスにより例えば筐体 21 内の圧力が 10000 Pa に達すると、筐体 21 内の圧力を維持した状態で、光源 42 からウエハ W に対して VUV 光を含む光が照射される (時刻 t_3)。所定の時間、例えば 30 秒間、光源 42 から光が照射されると、当該光照射が停止される (時刻 t_4)。その後、ガス供給部 30 及びガス排出部 35 の動作が停止され、筐体 21 内の圧力が大気雰囲気に戻された後に、ウエハ W が筐体 21 内から搬出される。以上により、基板処理装置 1 によるウエハ W の処理が終了する。

30

【0048】

このように、基板処理装置 1 では、光源 42 からのウエハ W への光の照射時にも、ガス供給部 30 によるガスの供給と、ガス排出部 35 によるガスの排出とが行われる。したがって、筐体 21 内の圧力が維持された状態で Ar ガスの入れ替えが発生しているといえる。

【0049】

なお、光源 42 からの光の照射の間 (時刻 t_3 ~ 時刻 t_4 の間)、筐体 21 内の圧力は一定であってもよいし、徐々に変化させてもよい。図 6 に示す例では、光源 42 から光を照射する間は、ウエハ W 表面からの出ガス (アウトガス) を抑制するために、筐体 21 内の圧力を 10000 Pa としている。しかしながら、光源 42 からの光の照射をしている間に出ガスの発生量が徐々に少なくなることが考えられる。この場合、筐体 21 内の圧力を徐々に小さく変化させて制御を行ってもよい。このような構成とすることで、より真空に近い状態でウエハ W に対する光の照射を行うことが可能となる。

40

【0050】

[ArF 液浸露光用レジスト材を対象とした基板処理について]

ここで、本実施形態に係る基板処理装置 1 では、レジストパターン 13 に使用されるレジスト材が ArF レーザ (波長 193 nm) を露光光源とした ArF 液浸露光装置を用いた液浸リソグラフィに適した材料である場合について以下のことを見出した。すなわち、所定の条件で上記の VUV 光を含む光の照射を行うことによって、レジストパターン 1

50

3の表面の荒れが改善され、このレジストパターン13をマスクとしてエッチングを行った結果のパターンについても表面の荒れが改善されることを見出した。以下の実施形態では、レジスト材がArF液浸リソグラフィに用いられる材料である場合の表面の荒れの改善について説明する。

【0051】

上述のようにArF液浸リソグラフィに適したレジスト材はArFレーザー（波長193nm）で露光されるように成分を調整されている。したがって、ArF液浸リソグラフィ用レジスト材料についての露光波長と同じ波長193nmを含むVUV光による当処理の最適条件は、他の露光波長に対応したレジスト材と異なると考えられる。VUV光に含まれる別の波長で露光される材料であったとしても、光の波長によってパターンへの影響が変化する。したがって、それぞれの露光条件に対応したレジスト材ごとに、最適条件の検討が必要となる。なお、以下の実施形態では、一般的なArF液浸リソグラフィ用レジスト材料を用いた場合について説明する。なお、レジスト材料には、酸発生剤などの添加剤、溶剤、分解物などが含まれていてもよい。

10

【0052】

上述のように、基板処理装置1におけるVUV光を含む光の照射によって、ウエハWでは、レジストパターン13を構成する分子中の様々な位置における化学結合が切断されることで、様々な化合物が生成される。このとき、化学結合の切断が様々な位置で発生するため、レジストパターン13の表面における荒れが緩やかになると考えられる。また、VUV光を含む光の照射中及び照射後に起こる架橋反応によって、レジストパターン13の表面は硬化され、その結果エッチング耐性が高くなる。すなわち、VUV光の照射によって、レジストパターン13における化学結合の切断と、架橋反応とが適切に進行する。そして、この化学結合の切断及び架橋反応によって、レジストパターン13と、レジストパターン13をマスクとしてエッチングを行った下層膜における表面の荒れ（ラフネス）を改善することができる。

20

【0053】

ただし、レジストパターン13における化学結合の切断及び架橋反応のいずれかが不十分または過剰となってしまった場合、上記の表面の荒れ（ラフネス）の改善効果は低くなる。換言すると、基板処理装置1におけるVUV光を含む光の照射度合いを適度に調整することで、表面の荒れの改善効果を高めることができる。この点について、検証した結果を以下に説明する。特に、ArF液浸リソグラフィ用のレジスト材料は、VUV光を含む光源42からの光に対する応答性が高く、その強度等に応じて表面の荒れの改善効果が変わる。その点についても説明する。

30

【0054】

基板処理装置1においてレジストパターン13に対してVUV光を照射する場合の照射条件を変更する要素として、「線量（積算照射量）」、「照射時のAr流量」、「照射時のウエハの回転数」、「光源の電流補正值（オフセット）」が挙げられる。このうち、「線量」は、レジストパターン13に対して光源42から出射される光（VUV光）のエネルギーの総量に対応する。また、「照射時のAr流量」及び「光源の電流補正值」は、光源42から出射した光の透過性に関係する。すなわち、VUV光がレジストパターン13に対してどの程度到達するかに影響する。また、「ウエハの回転数」は、光源42から出射されるVUV光がレジストパターン13に対してどの程度改質効果を生じさせるかに影響する。上記の要素に係る条件を変更しながら評価した結果について以下説明する。

40

【0055】

（線幅の変化量に関する評価）

（評価試験1）

評価試験1として、光源42からの光の照射時のAr流量を2条件に変化させた場合の線幅（CD：Critical Dimension）の変化を評価した。評価の対象は、レジストパターン13と、レジストパターン13をマスクとして下層膜のエッチングを行った際に下層膜におけるパターンと、である。

50

【0056】

まず、評価対象のウエハWとして、SOC膜11及びSOG膜12上にレジストパターン13を形成したウエハWを準備した。また、ウエハWのパターン幅は45nmとした。

【0057】

基板処理装置1の筐体21内に、その表面にレジストパターン13が形成されたウエハWを格納し、筐体21内を減圧した。筐体21内が設定圧力に達したら光源42によって光を照射した。一連の操作は、上述の基板処理方法と同様である。照射量を $0\text{ m j / c m}^2 \sim 150\text{ m j / c m}^2$ の間の5段階(25.1, 42.5, 75.2, 107.8, 149の5段階)で変化させた。その上で、レジストパターン13と、レジストパターン13をマスクとして下層膜のエッチングを行った際に下層膜におけるパターンと、のそれぞれについて、線幅(CD)を測定した。なお、このときのウエハの回転数(ウエハに対して所定量の光を照射する間のウエハの回転数)は3とし、ランプの補正值(光源の電流補正值)は2.5とした。以下の実施形態では、レジストパターン13をADI(After Development Inspection)といい、下層膜におけるパターンをAEI(After Etch Inspection)という場合がある。

10

【0058】

図7では、光源42による光の照射時のAr流量が15L/minである場合及び20L/minである場合のそれぞれについて、線幅(CD)の測定結果を示している。図7では、基板処理装置1を用いたVUV光を含む光源42からの光の照射を行わなかった場合の測定結果を基準値として、基準値に対してどの程度線幅が変化したかをそれぞれプロットした。

20

【0059】

(評価試験2)

評価試験2として、光源42からの光の照射時のウエハの回転数を3条件に変化させた場合に、レジストパターン13(ADI)及び下層膜パターン(AEI)における線幅(CD)の変化を評価した。

【0060】

基板処理装置1の筐体21内に、その表面にレジストパターン13が形成されたウエハWを格納し、筐体21内を減圧した。筐体21内が設定圧力に達したら光源42によって光を照射した。一連の操作は、上述の基板処理方法と同様である。照射量を $0\text{ m j / c m}^2 \sim 150\text{ m j / c m}^2$ の間の3段階(25.1, 75.2, 149の3段階)で変化させた。その上で、レジストパターン13(ADI)及び下層膜パターン(AEI)のそれぞれについて、線幅(CD)を測定した。なお、このときのAr流量は20L/minとし、ランプの補正值は2.5とした。

30

【0061】

図8では、光源42による光の照射時のウエハの回転数(所定量の光を照射する間のウエハの回転数)が1回転、3回転、5回転である場合のそれぞれについて、線幅(CD)の測定結果を示している。図8では、基板処理装置1を用いたVUV光を含む光源42からの光の照射を行わなかった場合の測定結果を基準値として、基準値に対してどの程度線幅が変化したかをそれぞれプロットした。

40

【0062】

(評価試験3)

評価試験3として、光源42からの光の照射時のランプの電流補正值を2条件に変化させた場合に、レジストパターン13(ADI)及び下層膜パターン(AEI)における線幅(CD)の変化を評価した。

【0063】

基板処理装置1の筐体21内に、その表面にレジストパターン13が形成されたウエハWを格納し、筐体21内を減圧した。筐体21内が設定圧力に達したら光源42によって光を照射した。一連の操作は、上述の基板処理方法と同様である。照射量を $0\text{ m j / c m}^2 \sim 150\text{ m j / c m}^2$ の間の5段階(25.1, 42.5, 75.2, 107.8, 1

50

49の5段階)で変化させた。その上で、レジストパターン13(A D I)及び下層膜パターン(A E I)のそれぞれについて、線幅(C D)を測定した。なお、このときのA r流量は20 L / m i nとし、ウエハの回転数は3とした。

【0064】

図9では、光源42におけるランプの補正值(電流補正值)が2.5及び3.5である場合のそれぞれについて、線幅(C D)の測定結果を示している。図9では、基板処理装置1を用いたV U V光を含む光源42からの光の照射を行わなかった場合の測定結果を基準値として、基準値に対してどの程度線幅が変化したかをそれぞれプロットした。

【0065】

(評価試験1~3の結果)

図7~図9のいずれにおいても、レジストパターン(A D I)の線幅については、線量50 m j / c m²付近において最も線幅が小さくなり、その後線量が大きくなると線幅が徐々に大きくなっている。また、下層膜のエッチングパターン(A E I)の線幅については、線量50 m j / c m²において最も線幅が小さくなり、その後線量が大きくなると線幅が概ね一定となっている。

【0066】

レジストパターン(A D I)及び下層膜パターン(A E I)の両方において、線量が50 m j / c m²付近となるまでは線幅が徐々に小さくなっていることから、レジストパターンにおける反応が不十分である(線量が不足している)と考えられる。一方、線量が50 m j / c m²を超えた場合、レジストパターン(A D I)の線幅が大きくなっているが、下層膜パターン(A E I)の線幅は変わらない。このことから、線量50 m j / c m²程度でレジストパターン13内の結合の切断及び架橋反応はある程度十分に行われた結果、レジストパターン13のエッチング耐性が高められた状態であると推定される。そのため、線量を変化させたとしても下層膜パターン(A E I)の線幅はある程度一定に保たれていると考えられる。ただし、レジストパターン13は、線量を50 m j / c m²から大きくすると線幅が大きくなる結果が得られた。このことから、線量を50 m j / c m²から大きくすると、架橋反応と比較して化学結合の切断が過剰に行われてレジストパターン13が所謂だれた状態となっていると考えられる。このことから、線量を50 m j / c m²程度とすることでレジストパターン(A D I)におけるV U V光の照射による反応が適切に進行させることができると考えられる。

【0067】

なお、図7におけるA r 20 L / m i nの条件における下層膜パターン(A E I)の線幅はA r 15 L / m i nの条件における下層膜パターン(A E I)の線幅よりも小さくなっている。また、図9におけるランプ補正值3.5の条件における下層膜パターン(A E I)の線幅はランプ補正值2.5の条件における下層膜パターン(A E I)の線幅よりも小さくなっている。これは、光源42からの光の照射によってレジストパターン13での反応が過剰に進行し、レジストパターン13におけるエッチング耐性が低下していることを示唆していると考えられる。

【0068】

上述のようにA r流量及びランプ補正值は、いずれも光源42から出射した光の透過性に関係する値である。例えば、A r流量は、光の照射中に筐体21内を所定の圧力に維持しながら筐体21内に供給するA rの流量である。したがってA rの流量が増大すると筐体21から外部へのガス排出量も増大するため、筐体21内で発生する不純物(昇華物等)の外部への排出も促進させることになる。逆に、A rの流量が減少すると筐体21内で発生する不純物が筐体21内に滞留しやすくなる。そのため、光源42から出射された光の一部は不純物等によって吸収または拡散される。その結果、ウエハWに対して照射される光のスペクトルが光源42からの光に対して変化している可能性がある。このように、A r流量は光源42から出射した光の透過性や波長特性に影響を与える可能性のある要素である。

【0069】

10

20

30

40

50

また、ランプ補正値は光源 4 2 から出射する光の強度に関連する値であり、補正値を大きくすると光源 4 2 からの光の強度が大きくなりレジストパターン 1 3 に到達する光量が大きくなることになる。このように、A r 流量を大きくした場合及びランプ補正値を大きくした場合の何れにおいてもレジストパターン 1 3 に到達する光の量が大きくなる。したがって、A r 流量を小さくした場合またはランプ補正値を小さくした場合と比較してレジストパターン 1 3 における反応が進行し得る。また、同一の線量の光をレジストパターン 1 3 に照射する条件であるにもかかわらず、A r 流量またはランプ補正値が大きくなることでレジストパターン 1 3 (A D I) の線幅が変わらない。これに対して、下層膜パターン (A E I) の線幅が小さくなるように変化している。このことから、エッチングの際に上層のレジストパターン 1 3 のマスクとしての機能が低下していると推測される。

10

【 0 0 7 0 】

(表面の荒れの改善に関する評価)

(評価試験 4)

評価試験 4 として、光源 4 2 からの光の照射時の A r 流量を 2 条件に変化させた場合に、レジストパターン 1 3 と、レジストパターン 1 3 をマスクとして下層膜のエッチングを行った際に下層膜におけるパターンと、の L W R の変化を評価した。L W R (line width roughness) はパターンの荒れの指標であり、値が低いほどパターンの表面の荒れが小さいことを示している。

【 0 0 7 1 】

評価対象として、S O C 膜 1 1 及び S O G 膜 1 2 上にレジストパターン 1 3 を形成したウエハ W を準備した。また、ウエハ W のパターン幅は 4 5 n m とした。

20

【 0 0 7 2 】

基板処理装置 1 の筐体 2 1 内に、その表面にレジストパターン 1 3 が形成されたウエハ W を格納し、筐体 2 1 内を減圧した。筐体 2 1 内が設定圧力に達したら光源 4 2 によって光を照射した。一連の操作は、上述の基板処理方法と同様である。照射量を $0 \text{ m j } / \text{ c m } ^ 2 \sim 1 5 0 \text{ m j } / \text{ c m } ^ 2$ の間の 5 段階 (2 5 . 1 , 4 2 . 5 , 7 5 . 2 , 1 0 7 . 8 , 1 4 9 の 5 段階) で変化させた。その上で、レジストパターン 1 3 (A D I) と、レジストパターン 1 3 をマスクとして下層膜のエッチングを行った際に下層膜におけるパターン (A E I) と、のそれぞれについて、L W R を測定した。なお、このときのウエハの回転数 (ウエハに対して所定線量の光を照射する間のウエハの回転数) は 3 とし、ランプの補正値は 2 . 5 とした。

30

【 0 0 7 3 】

図 1 0 では、光源 4 2 による光の照射時の A r 流量が $1 5 \text{ L } / \text{ m i n}$ である場合及び $2 0 \text{ L } / \text{ m i n}$ である場合のそれぞれについて、L W R の測定結果を示している。図 1 0 では、基板処理装置 1 を用いた V U V 光を含む光源 4 2 からの光の照射を行わなかった場合の測定結果を基準値として、基準値に対してどの程度表面の荒れが改善したかを改善率として算出し、棒グラフとして示した。改善率は、(各条件での L W R - 基準値) / (基準値) $\times 1 0 0$ (%) の数式を用いて算出した。

【 0 0 7 4 】

(評価試験 5)

評価試験 5 として、光源 4 2 からの光の照射時のウエハの回転数を 3 条件に変化させた場合に、レジストパターン 1 3 (A D I) 及び下層膜パターン (A E I) における L W R の変化を評価した。

40

【 0 0 7 5 】

基板処理装置 1 の筐体 2 1 内に、その表面にレジストパターン 1 3 が形成されたウエハ W を格納し、筐体 2 1 内を減圧した。筐体 2 1 内が設定圧力に達したら光源 4 2 によって光を照射した。一連の操作は、上述の基板処理方法と同様である。照射量を $0 \text{ m j } / \text{ c m } ^ 2 \sim 1 5 0 \text{ m j } / \text{ c m } ^ 2$ の間の 3 段階 (2 5 . 1 , 7 5 . 2 , 1 4 9 の 3 段階) で変化させた。その上で、レジストパターン 1 3 (A D I) 及び下層膜パターン (A E I) のそれぞれについて、L W R を測定した。なお、このときの A r 流量は $2 0 \text{ L } / \text{ m i n}$ とし、ラ

50

ンプの補正値は 2.5 とした。

【0076】

図11では、光源42による光の照射時のウエハの回転数（所定量の光を照射する間のウエハの回転数）が1回転、3回転、5回転である場合のそれぞれについて、LWRの測定結果を示している。図11では、基板処理装置1を用いたVUV光を含む光源42からの光の照射を行わなかった場合の測定結果を基準値として、基準値に対してどの程度LWRが変化したかを示す改善率を算出し、それぞれを棒グラフとして示した。

【0077】

（評価試験6）

評価試験6として、光源42からの光の照射時のランプの電流補正値を2条件に変化させた場合に、レジストパターン13（ADI）及び下層膜パターン（AEI）におけるLWRの変化を評価した。

10

【0078】

基板処理装置1の筐体21内に、その表面にレジストパターン13が形成されたウエハWを格納し、筐体21内を減圧した。筐体21内が設定圧力に達したら光源42によって光を照射した。一連の操作は、上述の基板処理方法と同様である。照射量を $0 \text{ mJ/cm}^2 \sim 150 \text{ mJ/cm}^2$ の間の5段階（25.1, 42.5, 75.2, 107.8, 149の5段階）で変化させた。その上で、レジストパターン13（ADI）及び下層膜パターン（AEI）のそれぞれについて、LWRを測定した。なお、このときのAr流量は 20 L/min とし、ウエハの回転数は3とした。

20

【0079】

図12では、光源42におけるランプの補正値（電流補正値）が2.5及び3.5である場合のそれぞれについて、LWRの測定結果を示している。図12では、基板処理装置1を用いたVUV光を含む光源42からの光の照射を行わなかった場合の測定結果を基準値として、基準値に対してどの程度LWRが変化したかを示す改善率を算出し、それぞれを棒グラフとして示した。

【0080】

（評価試験4～6の結果）

図10～図12のいずれにおいても、下層膜パターン（AEI）のLWRについては、線量 50 mJ/cm^2 よりも大きくなると大きく改善している。このことから、線量 50 mJ/cm^2 程度の光（VUV光）の照射で、下層膜パターン（AEI）の表面の荒れの改善に十分なレジストパターン13の改質が実現されていると考えられる。このことは、線幅に係る評価試験1～3の結果とほぼ同じ傾向となっている。なお、線量が 75 mJ/cm^2 よりも大きくなるとLWRの改善率が安定することが考えられる。

30

【0081】

また、評価試験1～3の結果から、 $Ar\ 20\ L/min$ またはランプ補正値3.5とした場合には、レジストパターン13におけるエッチング耐性が低下している可能性について説明したが、評価試験4～6の結果からも同様のことが言えると考えられる。すなわち、図10における $Ar\ 20\ L/min$ の条件における下層膜パターン（AEI）のLWRの改善率は $Ar\ 15\ L/min$ の条件における下層膜パターン（AEI）のLWRの改善率よりも小さい傾向を示している。また、図12におけるランプ補正値3.5の条件における下層膜パターン（AEI）のLWRの改善率はランプ補正値2.5の条件における下層膜パターン（AEI）のLWRの改善率よりも小さい傾向を示している。

40

【0082】

（ウエハの回転による光の照射効果の変化について）

また、図11に示す結果から、光源42からのVUV光を含む光の照射時のウエハWの回転数のLWRの改善率への影響は軽微であるものの、回転数が大きいほうがLWRの改善率が大きくなる傾向が得られた。このような傾向を示す理由として、同じ線量の光（VUV光）をレジストパターン13に対して照射した場合でも、回転数によってレジストパターン13内部への浸透の傾向が変化することが考えられる。

50

【 0 0 8 3 】

図 1 3 は、ウエハ W が回転する際のウエハ W 上の特定位置と光源 4 2 との相対位置の変化によって当該位置が受ける光の強度の変化について説明する図である。図 1 3 (a) は、光源 4 2 からの光の広がりについて示した図である。図 1 3 (a) に示す照射位置 C 0 は、光源 4 2 内の点光源 4 4 に対応する（真下）位置であり、光源 4 2 からの光の強度が最大となる。一方、光の強度は点光源 4 4 に対応する照射位置 C 0 から離間するにつれて小さくなり、端部の照射位置 C 1 では光の強度が最小となる。このように、光源 4 2 との位置関係に応じてその光量が大きく変化する。そのため、基板処理装置 1 では、ウエハ W を回転させることで、ウエハ W 表面の各位置において受ける光量がある程度均一にすることが試みられる。

10

【 0 0 8 4 】

図 1 3 (b) では、ウエハ W を回転させた場合の光源 4 2 に対するウエハ W の特定の一点（ここでは、特定点という）の移動を矢印 R 1 として模式的に示したものである。図 1 3 (b) では、4 つの光源 4 2 が照射位置 C 0 に対応する位置に配置されている状態を示している。そして、ウエハ W を回転することで、ウエハ W 上の特定点は矢印 R 1 に沿って回転するとする。このとき、ウエハ W は、2 つの照射位置 C 0 を通過すると共に、4 つの照射位置 C 1 を通過する。上述のように照射位置 C 0 は光源 4 2 からの光の強度が最大となる位置である一方、照射位置 C 1 は光源 4 2 からの光の強度が最小となる。すなわち、矢印 R 1 に沿ってウエハ W 上の特定点が移動（回転）した場合、照射位置 C 0 と照射位置 C 1 の両方を通過することに応じて特定点が受ける光の強度は変化する。図 1 3 (c) 及び図 1 3 (d) は、矢印 R 1 に沿って移動したウエハ W 上の特定点が受ける光の強度の変化を模式的に示した図である。図 1 3 (d) に示す例は、図 1 3 (c) と比較して回転数を大きくしたものである。回転数を大きくした場合でも、特定点の移動経路（矢印 R 1 に相当）は変わらないので、特定点は照射位置 C 0 , C 1 の両方を通過することになる。ただし、回転数が大きい場合は、特定点が受ける光の強度が変化する速度も大きくなる。

20

【 0 0 8 5 】

光の強度が大きい状態（例えば、図 1 3 における照射位置 C 0 等）では、光源 4 2 からの光のうち、VUV 光のうち強度が大きな波長域の光も強度が小さな波長域の光もどちらもレジストパターン 1 3 に浸透しやすくなる。一方、光の強度が小さい状態（例えば、図 1 3 における照射位置 C 1 等）では、光源 4 2 からの光のうち、VUV 光のうち強度が大きな波長域の光はレジストパターン 1 3 に浸透するが、強度が小さな波長域の光がレジストパターン 1 3 に浸透しにくい状態となる。つまり、光の強度が小さい状態では、VUV 光の連続スペクトルに対応した各波長の成分の光のうち、特に強度が小さな波長域の光はレジストパターン 1 3 における改質を促進するには十分な光量が照射されないことが考えられる。

30

【 0 0 8 6 】

本実施形態で用いられる ArF 液浸リソグラフィに適したレジスト材の場合、回転数がある程度高くして、例えば、図 1 3 (d) に示すように特定点に照射される光の強度が大きい状態が何度も繰り返すような状態を作っている。このような構成とすることで、レジストパターン 1 3 への VUV 光の連続スペクトルに対応する各成分をレジストパターン 1 3 の所望の位置（各波長の光に応じた浸透深さ）まで適切に浸透させることができると考えられる。そのため、図 1 1 に示す結果のように、回転数を大きくすることで LWR の改善率が大きくなる傾向が得られたと考えられる。なお、具体的な回転数としては、例えば、 $50 \text{ mJ} / \text{cm}^2$ の線量の光をウエハ W に照射する間にウエハ W を 3 回転 ~ 1 2 回転程度とすることが挙げられる。この値は、例えば、光源 4 2 からの照度を $0.8 \text{ mW} / \text{cm}^2$ とした場合、1 プロセスに必要な所要時間が 6 3 秒となるため、保持部 2 6 の回転速度を $2 \text{ rpm} \sim 12 \text{ rpm}$ 程度とすることに相当する。

40

【 0 0 8 7 】

また、ウエハ W の回転数は、光源 4 2 からの光の照射を行っている間一定としなくてもよい。上述したように、回転数が大きくなると VUV 光のうち強度が大きな波長域の光が

50

レジストパターン13に浸透しやすくなる。したがって、回転数を変化させながら光源42からの光をウエハWに対して照射することで、特定の波長域の光がウエハWにより多く浸透しやすくなるように光源42からの光の照射を調整することもできる。

【0088】

なお、ウエハWのように円形の基板をある角速度で回転させる場合、ウエハWの内側（中央付近）と外側（端部付近）では、光源42に対する移動速度が異なるため、回転時のウエハWと光源42との位置関係が大きく異なる。具体的には、回転の中心からの距離が大きくなると実質的な移動速度が大きくなるため、ウエハWの内側は光源42に対する移動速度が小さく、外側は光源42に対する移動速度が大きくなる。また、ウエハWが一回転する間に通過する照射領域もウエハWの内側と外側とで大きく異なる。例えば、光源42が図3のような配置とされている場合、ウエハWの内側では、ウエハWが一回転する間に内側の4つの光源42による照射領域を通過することになる。一方、ウエハWの外側ではウエハWが一回転する間に外側の8つの光源42による照射領域を通過することになる。したがって、ウエハWの外側のほうがより多くの光源42による照射領域を通過することになり、光の強度が大きな領域を通過する回数が多くなる。このように、ウエハWがある一定の速度で回転していたとしても、ウエハWの位置（特に、回転の中心からの距離）に応じて、ウエハWの表面のレジストパターン13が受ける光（特に、照射される光の強度変化の速度）が異なる場合がある。そのため、結果としてウエハWの表面の位置に応じて、レジストパターン13の表面の荒れの改善度合いが異なることになることが考えられる。また、図3に示す配置の場合、ウエハWの外側では、光源42による光の強度が大きな領域を繰り返し通過することになり、光の強度が小さな領域のうちの1つを通過する時間帯が短くなる。そのため、ウエハWは光源42による光の強度が大きな領域を通過する時間帯の影響を強く受けるようになるため、レジストパターン13における光による改質が促進される。

【0089】

図14では、ウエハWを回転させながら複数の光源42からの光を照射した場合に、ウエハWの各位置において受ける光の照度分布（光の照射量の分布）の一例を示している。ここでは、光源42の配置は、図3に示すように内外に複数個の光源42を配置した場合としている。図14に示す例では、ウエハWの外側と内側とでウエハW表面が受ける光の照度の偏りが生じていることが確認される。具体的には、ウエハWの外側の領域W1では、受ける光の照度が中程度であるのに対して、ウエハWの内側の領域W2では、受ける光の照度が低くなっている（領域W2は、Min.側の色となっている）。また、中央付近には、領域W1と領域W2との間でも中心からの距離に応じて照度が変化している領域が存在する。このような光の照度の偏りが生じる原因としては、上記のように光源42に対するウエハWの移動速度がウエハWの位置によって異なることが挙げられる。また、各光源42における照射領域のうち強度が強い領域（例えば、図13における照射位置C0等）と強度が弱い領域（例えば、図13における照射位置C1等）とをどのように通過するかが、ウエハWの各位置によって異なることも原因となり得る。このような照度分布の偏りは、レジストパターン13及び下層膜パターンの表面の荒れ（ラフネス）の改善効果の偏りにも影響することが考えられる。

【0090】

ウエハWの表面の各位置において（特に径方向において）照度分布の偏りが生じる場合、これを改善する方法としては、複数の光源42からウエハWに対して照射される光の強度を変更することが考えられる。

【0091】

光源42からウエハWに対して照射する光の強度を、ウエハWの位置に応じて（特に内側と外側とで）異ならせる具体的な手法は特に限定されない。例えば、光源42の配置、光源42の数、各光源42から出力する光の強度等を変更することが考えられる。例えば、図3に示す12個の光源42のうち、内側の4つの光源の電流補正值を3.5とし、外側の8つの光源の電流補正值を2.5とすることにより、内側の光源42から出力する光

10

20

30

40

50

の強度を外側の光源からの光の強度よりも大きくすることができる。また、電流補正值等の変更は行わず、光源の配置等を変更することで、図 1 4 に示すような照度分布の偏りを減らすこともできる。上述したように、光源 4 2 から出力される光は、照射領域内でも中央付近 (C 0) と端部付近 (C 1) とでその強度が大きく異なる。また、中央付近 (C 0) と端部付近 (C 1) とでは、当該領域を通過する際にレジストパターン 1 3 における光の深層への到達度合いや、受けた光に基づくレジストパターン 1 3 の改質度合いが大きく異なる。さらに、隣接する光源 4 2 同士について、照射領域の端部付近が重なるようにこれらを近接配置することで、重なる領域を通過する際にウエハ W が受ける光の量を大きくすることができる。したがって、重なる領域の大きさ等を調整することによっても、レジストパターン 1 3 が受ける光の量を調整することができる。このように、特に光源 4 2 に関係する種々の構成を変更することによって、光源 4 2 からウエハ W に対して照射する光の強度を、ウエハ W の位置に応じて (特に内側と外側とで) 異ならせた構成を実現することができる。

10

【 0 0 9 2 】

なお、ウエハ W の「内側」と「外側」とは、相対的な位置関係を示すものである。したがって、内側と外側との境目をどことするかは特に限定されない。光源 4 2 の数及びその配置によって、ウエハ W の径方向に沿った照度分布の偏りが生じる場所は変化し得る。ただし、ウエハ W を回転させながら光源 4 2 から光を照射するため、内側はウエハ W の移動速度が小さく外側はウエハ W の移動速度が大きくなる。したがって、大きな傾向としてウエハ W の内側はウエハ W の外側と比較してレジストパターン 1 3 の改質 (化学結合の切断及び架橋反応) に十分な光を受けづらくなる。この点を考慮して光源 4 2 からウエハ W に対して照射する光の強度を、ウエハ W の内側と外側とで異ならせる構成であればよい。

20

【 0 0 9 3 】

なお、上述の A r F 液浸リソグラフィ用のレジスト材料のように光源 4 2 からの光に対する応答性が高い材料であっても、レジスト膜の膜厚が大きい場合にはレジストパターン 1 3 の改質 (化学結合の切断及び表面での架橋反応) が十分に行われない可能性がある。上述のように、レジストパターン 1 3 の表面近傍における架橋反応の促進に重要であると考えられる波長 1 6 0 n m よりも短波長の光の成分は、深層への到達がしづらい。したがって、レジストパターン 1 3 を形成するレジスト膜の膜厚が大きくなるとレジストパターン 1 3 の位置に応じて改質の進行が異なる可能性がある。具体的には、上方では光源 4 2 からの光による改質が十分に進行しエッチング耐性が高まっていたとしても、レジストパターン 1 3 の下方 (下層膜に近い側) では改質が十分に進行しておらずエッチング耐性が高まっていない可能性も考えられる。波長 1 6 0 n m よりも短波長の光の成分は、レジストパターン 1 3 表面から 5 0 n m 程度までしか浸透しないことが確認されている。したがって、上記の V U V 光を利用したレジストパターン 1 3 の改質による表面の荒れの改善効果は、レジストの膜厚 (レジストパターン 1 3 の高さ) が 5 0 n m よりも小さい場合に特に顕著であると考えられる。

30

【 0 0 9 4 】

[作用]

以上に説明したように、上記の基板処理装置 1 及び基板処理方法では、基板の内側に対する光の照射量を基板の外側に対する光の照射量よりも大きくすることができる。したがって、基板の内側についても光の照射量を増やすことができ、表面の荒れの改善効果を高めることができる。上述のように、A r F 液浸リソグラフィ用レジスト材によるパターンが表面に形成された基板では、光の照射量に応じてパターンの表面の荒れの改善度合いが変化しやすい。また、基板を回転させながら光を照射する場合、内側のほうが基板の移動速度が遅くなるために光の照射量が少なくなることが考えられる。これに対して、上記の構成とすることで、基板表面のレジスト材によるパターンが受ける光の量を多くすることができ、特に内側での表面の荒れの改善効果を高めることができる。

40

【 0 0 9 5 】

また、基板処理装置 1 では、基板の内側に対して光を照射する光源 4 2 における出力強

50

度を、基板の外側に対して光を照射する光源 4 2 における出力強度よりも大きくする態様とすることができる。このように光源 4 2 における出力強度を大きくすることで、基板の内側に対する光の照射量を基板の外側に対する光の照射量よりも大きくする構成とした場合、基板の内側と外側との間における光の照射量の調整をより簡便に実施することができる。なお、上記の出力強度の調整を、基板に対して光を照射する時間帯の一部に限定して実施する構成としてもよい。例えば、照射を行う最初や最後に基板外側に対応する光源の出力を下げてよいし、基板内側に対応する光源の出力を上げてよい。

【 0 0 9 6 】

なお、上記のように、基板の内側に対して光を照射する光源 4 2 における出力強度を、基板の外側に対して光を照射する光源 4 2 における出力強度よりも大きくすることに代えて、照射時間を互いに異ならせてもよい。すなわち、光源 4 2 によって光を照射する時間を基板の内側と外側とで互いに異ならせることで、基板の内側に対する光の照射量を基板の外側に対する光の照射量よりも大きくする構成とすることもできる。例えば、基板の外側に対して光を照射する光源 4 2 より先に基板の内側に対して光を照射する光源 4 2 から照射を開始してもよい。また、基板の外側に対して光を照射する光源 4 2 からの光の照射を停止した後に、基板の内側に対して光を照射する光源 4 2 からの光の照射を停止してもよい。このように、基板の内側に対して光を照射する光源 4 2 における照射時間を、基板の外側に対して光を照射する光源 4 2 における照射時間よりも長くすることで、基板の内側に対する光の照射量を基板の外側に対する光の照射量よりも大きくしてもよい。さらに、上記実施形態で説明した出力強度の調整と、照射時間の調整とを組み合わせることで、基板の内側に対する光の照射量を基板の外側に対する光の照射量よりも大きくしてもよい。この場合、基板の内側に対して光を照射する光源 4 2 における照射時間を、基板の外側に対して光を照射する光源 4 2 における照射時間よりも短くしながら、基板の内側に対する光の照射量を基板の外側に対する光の照射量よりも大きくすることも可能である。

【 0 0 9 7 】

また、処理容器内に不活性ガスを供給するガス供給部 3 0 と、処理容器内からガスを排出するガス排出部 3 5 と、を有している。このとき、ガス供給部 3 0 及びガス排出部 3 5 は、光源部によって光を照射する間に、処理容器内の圧力を変化させながらガスの供給及び排出を行う態様とすることができる。このような構成とすることで、処理容器内の圧力を基板の表面状況に応じた状態としながらパターンに対して真空紫外光を照射することができる。

【 0 0 9 8 】

以上、種々の例示的实施形態について説明してきたが、上述した例示的实施形態に限定されることなく、様々な省略、置換、及び変更がなされてもよい。また、異なる実施形態における要素を組み合わせることで他の実施形態を形成することが可能である。

【 0 0 9 9 】

例えば、基板処理装置 1 における光源 4 2 の配置及び数等は適宜変更することができる。また、光源 4 2 から出射される光の進路を制御するための部材等を追加してもよい。また、基板処理装置 1 内における各部の配置及び構成についても適宜変更することができる。また、上記実施形態で説明した圧力の制御等は一例であり、光源 4 2 からの光の照射の前の段階も含めて筐体 2 1 内の圧力の制御は変更することができる。

【 0 1 0 0 】

以上の説明から、本開示の種々の実施形態は、説明の目的で本明細書で説明されており、本開示の範囲及び主旨から逸脱することなく種々の変更をなし得ることが、理解されるであろう。したがって、本明細書に開示した種々の実施形態は限定することを意図しておらず、真の範囲と主旨は、添付の特許請求の範囲によって示される。

【 符号の説明 】

【 0 1 0 1 】

1 ... 基板処理装置、 1 3 ... レジストパターン、 2 0 ... 処理室、 2 1 ... 筐体、 2 2 ... 搬送口、 2 3 ... ゲートバルブ、 2 5 ... 回転支持部、 2 6 ... 保持部、 2 7 ... 回転駆動部、 3 0 ...

10

20

30

40

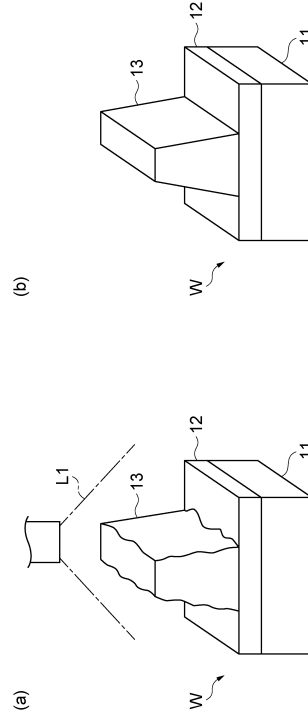
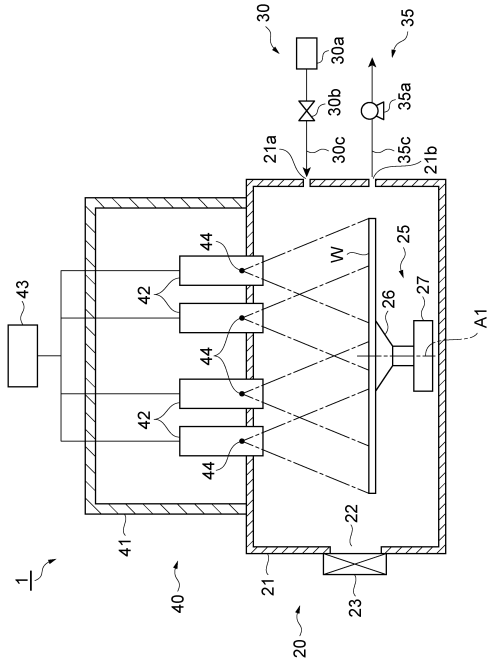
50

ガス供給部、35...ガス排出部、40...光照射機構、41...筐体、42...光源、44...点光源、100...コントローラ。

【図面】

【図1】

【図2】



10

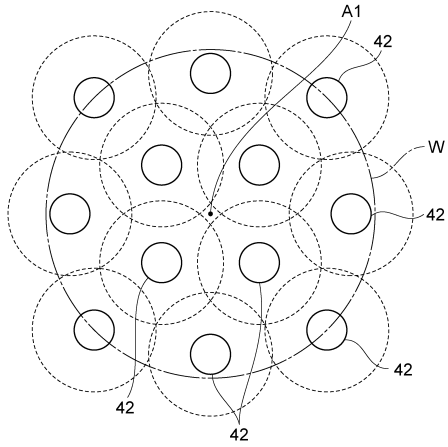
20

30

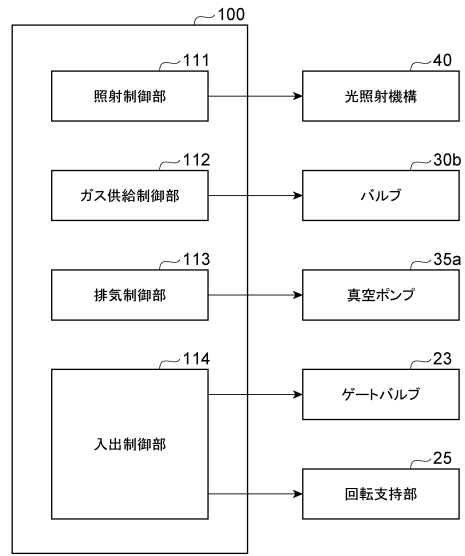
40

50

【図3】



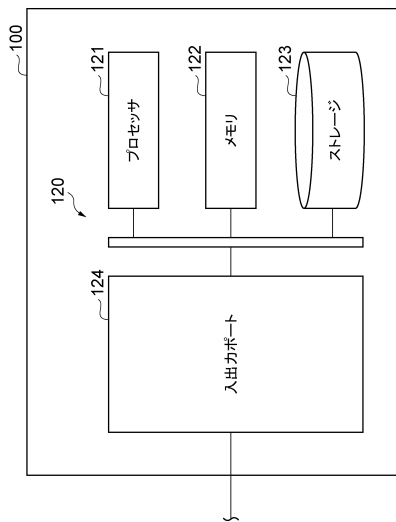
【図4】



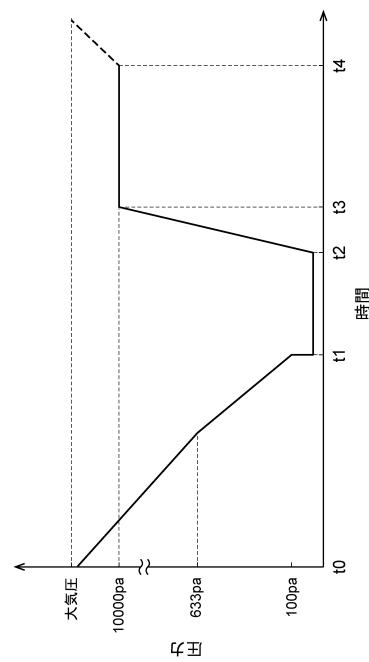
10

20

【図5】



【図6】

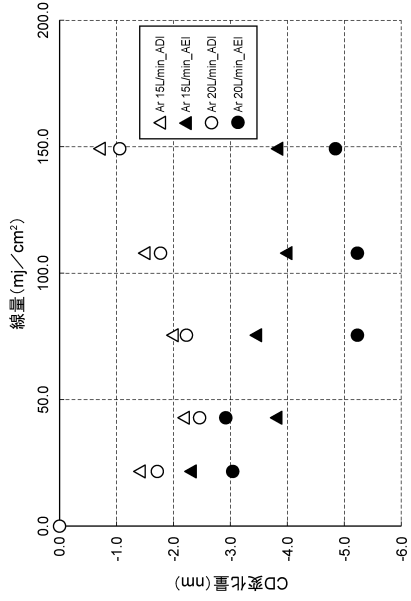


30

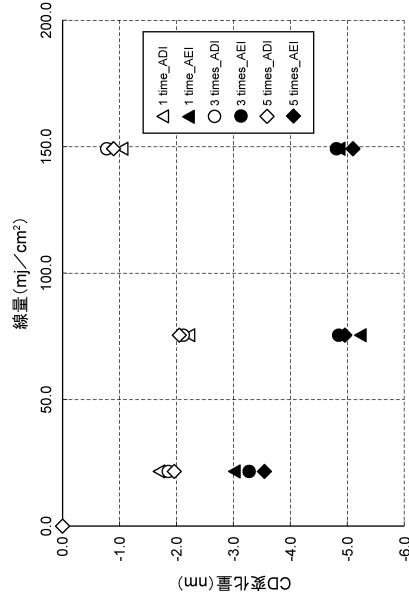
40

50

【図 7】



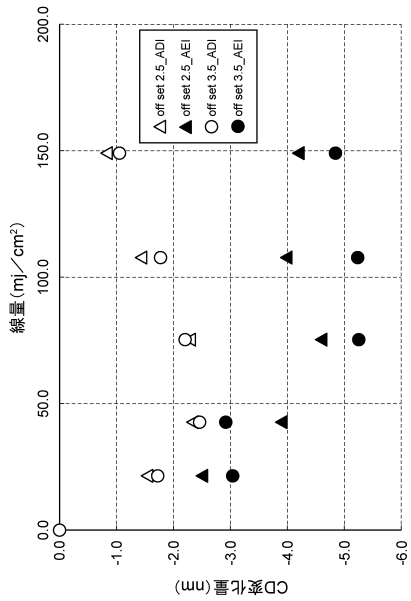
【図 8】



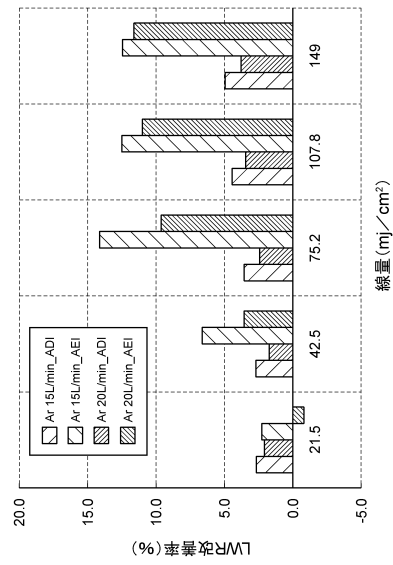
10

20

【図 9】



【図 10】

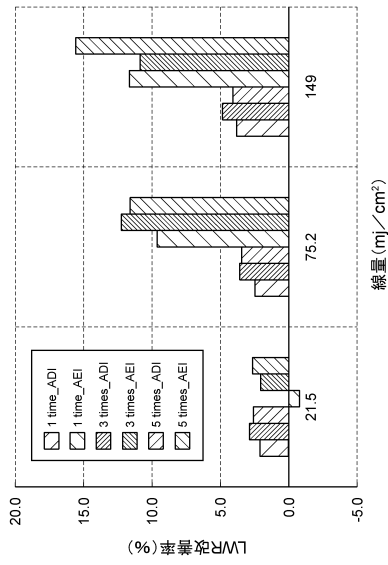


30

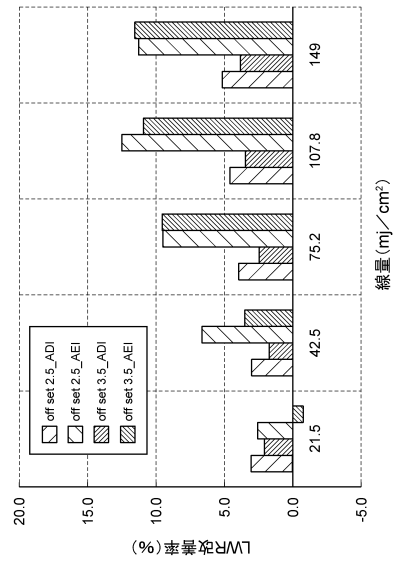
40

50

【 図 1 1 】



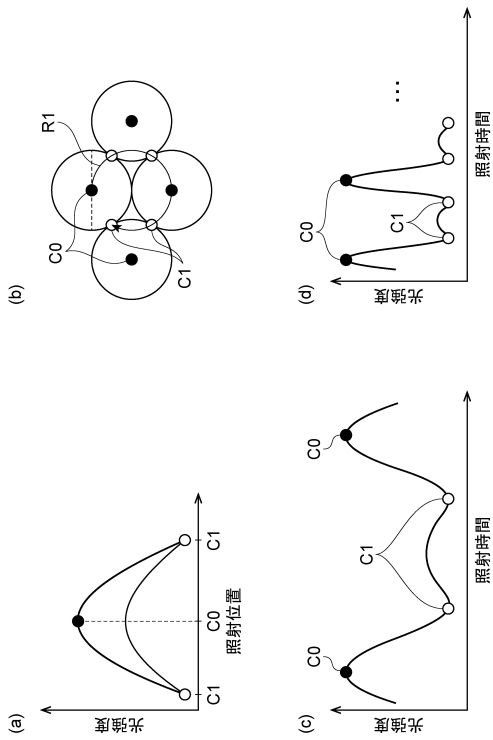
【 図 1 2 】



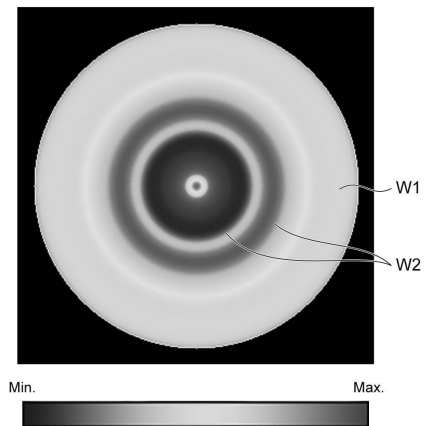
10

20

【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2016 - 105131 (JP, A)
特開 2002 - 245807 (JP, A)
特開 2016 - 115813 (JP, A)
国際公開第 2011 / 062162 (WO, A1)
特開 2019 - 021807 (JP, A)
国際公開第 2019 / 131144 (WO, A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H01L 21 / 027
G03F 7 / 40