

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5219479号
(P5219479)

(45) 発行日 平成25年6月26日 (2013. 6. 26)

(24) 登録日 平成25年3月15日 (2013. 3. 15)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 L 21/3065 (2006.01)

H O 1 L 21/302 1 O 1 G
H O 1 L 21/302 1 O 1 B
H O 1 L 21/302 1 O 1 C
H O 1 L 21/302 1 O 1 L

請求項の数 21 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2007-314700 (P2007-314700)
(22) 出願日 平成19年12月5日 (2007. 12. 5)
(65) 公開番号 特開2008-147659 (P2008-147659A)
(43) 公開日 平成20年6月26日 (2008. 6. 26)
審査請求日 平成22年10月7日 (2010. 10. 7)
(31) 優先権主張番号 11/608, 889
(32) 優先日 平成18年12月11日 (2006. 12. 11)
(33) 優先権主張国 米国 (US)

(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
(74) 代理人 100070150
弁理士 伊東 忠彦
(72) 発明者 リー チェン
東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放
送センター 東京エレクトロン株式会社内
(72) 発明者 持木 宏政
東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放
送センター 東京エレクトロン株式会社内

審査官 粟野 正明

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 弾道電子ビーム促進プラズマ処理システムにおける均一性制御方法及びシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

プラズマ処理システムを用いて基板上の薄膜をエッチングする方法であって：
前記プラズマ処理システム内の基板ホルダー上に基板を配置する段階；
弾道電子ビームを作り出すために、前記プラズマ処理システム内の前記基板ホルダー上の前記基板に対向する電子源電極に、第1の負の直流電圧で直流電力を結合させる段階；
前記プラズマ処理システム内にプロセスプラズマを形成するために、前記プラズマ処理システムに交流電力を結合させる段階；及び
前記弾道電子ビームが、より均一な電子ビーム束を有するように、前記基板の周辺端部より外側に前記電子源電極に対向するように配置されたリング状電極に、第2の負の直流電圧で直流電力を結合させる段階；
を有する方法。

【請求項2】

前記第1の負の直流電圧で直流電力を結合させる段階は、-2000Vから0Vの負の電圧範囲の直流電力を結合させることを有する、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記第1の負の直流電圧で直流電力を結合させる段階は、負の極性を有する直流電力を結合させることを有し、前記第1の負の直流電圧の絶対値は500V以上である、請求項1に記載の方法。

【請求項4】

前記第 2 の負の直流電圧で直流電力を結合させる段階は、前記第 2 の負の直流電圧が前記第 1 の負の直流電圧と同じ値であるように直流電力を結合させることを有する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記第 2 の負の直流電圧で直流電力を結合させる段階は、前記第 2 の負の直流電圧が前記第 1 の負の直流電圧とは異なる値であるように直流電力を結合させることを有する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記第 1 の負の直流電圧で直流電力を結合させる段階は、ドーフトシリコンの電極板を有する前記電子源電極に直流電力を結合させることを有する、請求項 1 に記載の方法。

10

【請求項 7】

前記第 2 の負の直流電圧で直流電力を結合させる段階は、前記基板ホルダー上で前記基板の周辺端部より外側に位置付けられた前記リング状電極に直流電力を結合させることを有する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

プラズマ処理システムを用いて基板上の薄膜をエッチングする方法であって：

前記プラズマ処理システム内の基板ホルダー上に基板を配置する段階；

弾道電子ビームを作り出すために、前記プラズマ処理システム内の前記基板ホルダー上の前記基板に対向する電子源電極に、第 1 の負の直流電圧で直流電力を結合させる段階；

前記プラズマ処理システム内にプロセスプラズマを形成するために、前記プラズマ処理システムに交流電力を結合させる段階；及び

20

前記基板の周辺端部近傍の前記プロセスプラズマのプラズマ密度を増大させるために、前記基板の周辺端部より外側に前記電子源電極に対向するように配置されたリング状電極に、第 2 の負の直流電圧で直流電力を結合させる段階；

を有し、

前記第 2 の負の直流電圧で直流電力を結合させる段階は、前記基板ホルダー上で前記基板の周辺端部より外側に位置付けられた前記リング状電極に直流電力を結合させることを有し、

前記リング状電極は、前記基板ホルダー上にあり且つ前記基板の周辺端部を囲むフォーカスリングに対して、該フォーカスリングの周辺端部より外側に配置される、

30

方法。

【請求項 9】

前記第 2 の負の直流電圧で直流電力を結合させる段階は、直流に対して導電性の材料で形成された前記リング状電極に直流電力を結合させることを有する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

前記第 2 の負の直流電圧で直流電力を結合させる段階は、ドーフトシリコンで形成された前記リング状電極に直流電力を結合させることを有する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 11】

前記交流電力を結合させる段階は、前記基板ホルダーに R F 電力を結合させることを有する、請求項 1 に記載の方法。

40

【請求項 12】

前記 R F 電力を結合させることは、前記基板ホルダーに第 1 の R F 周波数で第 1 の R F 電力を結合させること、及び前記基板ホルダーに第 2 の R F 周波数で第 2 の R F 電力を結合させることを有し、前記第 2 の R F 周波数は前記第 1 の R F 周波数より低い、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 13】

前記基板の周辺端部近傍の前記プラズマ密度の増大量を変えるために、前記リング状電極への前記第 2 の負の直流電圧を、前記第 1 の負の直流電圧に対して相対的に調整する段階；

50

を更に有する請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 4】

プラズマ処理システムを用いて基板上の薄膜をエッチングする方法であって：

前記プラズマ処理システム内の基板ホルダー上に基板を配置する段階；

弾道電子ビームを作り出すために、前記プラズマ処理システム内の前記基板ホルダー上の前記基板に対向する電子源電極に、第 1 の負の直流電圧で直流電力を結合させる段階；

前記プラズマ処理システム内にプロセスプラズマを形成するために、前記プラズマ処理システムに交流電力を結合させる段階；

前記基板の周辺端部近傍の前記プロセスプラズマのプラズマ密度を増大させるために、前記基板の周辺端部より外側に前記電子源電極に対向するように配置されたリング状電極に、第 2 の負の直流電圧で直流電力を結合させる段階；

前記リング状電極の周辺端部より外側に配置された補助電極に、第 3 の直流電圧で直流電力を結合させる段階；及び

前記基板の周辺端部近傍の前記プラズマ密度の増大量を更に変えるために、前記プロセスプラズマに露出される前記補助電極の表面積を調整する段階；

を有する方法。

【請求項 1 5】

基板をエッチングするように構成されたプラズマ処理システムであって：

プロセスプラズマを形成するように構成されたプラズマ処理チャンバー；

前記プラズマ処理チャンバーに結合され、且つ前記基板を支持するように構成された基板ホルダー；

前記プラズマ処理チャンバーに結合され、前記基板ホルダー上の前記基板に対向するように配置され、且つ前記プロセスプラズマに接するように構成された電子源電極；

前記プラズマ処理チャンバーに結合され、且つ前記プロセスプラズマを形成するために前記プラズマ処理チャンバーに少なくとも 1 つの交流信号を結合させるように構成された交流電源システム；

前記プラズマ処理チャンバーに結合され、前記基板の周辺端部より外側に前記電子源電極に対向するように配置され、且つ前記プロセスプラズマに接するように構成されたリング状電極；及び

前記プラズマ処理チャンバーに結合され、前記プロセスプラズマを貫く弾道電子ビームを形成するために、前記電子源電極に第 1 の負の直流電圧で直流電力を結合させるように構成され、且つ前記弾道電子ビームが、より均一な電子ビーム束を有するように、前記リング状電極に第 2 の負の直流電圧で直流電力を結合させるように構成された直流電源システム；

を有するプラズマ処理システム。

【請求項 1 6】

前記交流電源システムは、前記基板ホルダーに R F 周波数の R F 電力を結合させるように構成された R F 電源システムを有する、請求項 1 5 に記載のプラズマ処理システム。

【請求項 1 7】

前記直流電源システムは、前記第 1 の負の直流電圧が前記第 2 の負の直流電圧と同じであるように前記電子源電極及び前記リング状電極に直流電圧を結合させるように構成された直流電圧源を有する、請求項 1 5 に記載のプラズマ処理システム。

【請求項 1 8】

前記直流電源システムは、前記電子源電極に結合され且つ前記電子源電極に前記第 1 の負の直流電圧を結合させるように構成された第 1 の電圧源と、前記リング状電極に結合され且つ前記リング状電極に前記第 2 の負の直流電圧を結合させるように構成された第 2 の電圧源とを有する、請求項 1 5 に記載のプラズマ処理システム。

【請求項 1 9】

前記リング状電極は、直流に対して導電性の材料から形成されている、請求項 1 5 に記載のプラズマ処理システム。

【請求項 20】

前記リング状電極は、ドーパントシリコン、シリコン含有材料、金属含有材料、アルミニウム、陽極酸化アルミニウム、又はコーティングされたアルミニウムから形成されている、請求項 15 に記載のプラズマ処理システム。

【請求項 21】

基板をエッチングするように構成されたプラズマ処理システムであって：

プロセスプラズマを形成するように構成されたプラズマ処理チャンバー；

前記プラズマ処理チャンバーに結合され、且つ前記基板を支持するように構成された基板ホルダー；

前記プラズマ処理チャンバーに結合され、前記基板ホルダー上の前記基板に対向するように配置され、且つ前記プロセスプラズマに接するように構成された電子源電極；

前記プラズマ処理チャンバーに結合され、且つ前記プロセスプラズマを形成するために前記プラズマ処理チャンバーに少なくとも 1 つの交流信号を結合させるように構成された交流電源システム；

前記プラズマ処理チャンバーに結合され、前記基板の周辺端部より外側に前記電子源電極に対向するように配置され、且つ前記プロセスプラズマに接するように構成されたリング状電極；

前記プラズマ処理チャンバーに結合され、前記プロセスプラズマを貫く弾道電子ビームを形成するために、前記電子源電極に第 1 の負の直流電圧で直流電力を結合させるように構成され、且つ前記基板の周辺端部近傍の前記プロセスプラズマのプラズマ密度を増大させるために、前記リング状電極に第 2 の負の直流電圧で直流電力を結合させるように構成された直流電源システム；

前記プラズマ処理チャンバーに結合され、前記リング状電極の周辺端部より外側に配置され、且つ前記プロセスプラズマに接するように構成された補助電極；及び

前記補助電極に結合され、且つ前記プロセスプラズマに露出される前記補助電極の表面積を調整するために、前記補助電極に対して相対的に移動するように構成された覆い板；を有するプラズマ処理システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、基板をプラズマ処理する方法及びシステムに関し、より具体的には、プラズマ処理における処理の均一性を調整する方法及びシステムに関する。

【背景技術】

【0002】

半導体プロセスにおいて、(乾式)プラズマエッチング処理は、シリコン基板上にパターンニングされた微細な線に沿って、あるいはビア又はコンタクト内から、物質を除去又はエッチングするために使用されることができ、プラズマエッチング処理は、一般に、パターンニングされた例えばフォトレジスト層である保護層を上具備した半導体基板を処理チャンバー内に配置することを伴う。基板がチャンバー内に配置されると、イオン化可能な解離性の混合ガスが所定の流速でチャンバー内に導入される一方で、周囲の処理圧を達成するように真空ポンプが締められる。

【0003】

その後、存在しているガス種の一部が、誘導結合若しくは容量結合、又は例えば電子サイクロトロン共鳴(ECR)を用いたマイクロ波パワーの何れかでの無線周波数(RF)の移動を介して加熱された電子によってイオン化されるとき、プラズマが形成される。また、加熱電子は周囲のガス種の内一部の種を解離する働きをし、露出面の化学エッチングに適した反応種を作り出す。プラズマが形成されると、基板の選択された表面がプラズマによってエッチングされる。この処理は適切な条件を達成するように調整される。この適切な条件には、基板の選択領域内に様々な形状(例えば、トレンチ、ビア、コンタクト等)をエッチングするのに望ましい反応物及びイオン集団の適切な濃度を含む。エッチン

10

20

30

40

50

グが必要とされる基板材料には、二酸化シリコン (SiO_2)、低誘電率 (low-k) 誘電体材料、ポリシリコン及び窒化シリコンが含まれる。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明は、弾道電子ビームによって促進されるプラズマを用いて基板をエッチングする方法及びシステムを提供することを目的とし、本発明の一態様は、弾道電子ビーム促進プラズマエッチングプロセスにおいてプラズマ密度の空間分布を調整する方法及びシステムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の一態様に従った方法及びシステムは、プラズマ密度分布を調整するために、不均衡な中空陰極 (hollow cathode) プラズマを囲む均衡のとれた中空陰極プラズマ作り出す。リング状電極が、電子源となる電子源電極に対向するようにして基板の周囲に設けられる。弾道電子ビームを形成するために電子源電極に直流 (DC) 電力が結合されるとともに、基板のエッジ位置でのプラズマ密度を調整するためにリング状電極に DC 電力が結合される。

【0006】

本発明の他の一態様に従った、弾道電子ビームを有するプラズマ処理システムを用いて基板上の薄膜をエッチングする方法は：プラズマ処理システム内の基板ホルダー上に基板を配置する段階；弾道電子ビームを作り出すために、プラズマ処理システム内の基板ホルダー上の基板に対向する電子源電極に、第1の直流 (DC) 電圧で DC 電力を結合させる段階；プラズマ処理システム内にプロセスプラズマを形成するために、基板ホルダーに交流 (AC) 電力を結合させる段階；及び基板の周辺端部近傍のプロセスプラズマのプラズマ密度を増大させるために、基板の周辺端部より外側に電子源電極に対向するように配置されたリング状電極に、第2の DC 電圧で DC 電力を結合させる段階を有する。

【0007】

本発明の他の一態様に従った、基板をエッチングするように構成されたプラズマ処理システムは：プロセスプラズマの形成を容易にするように構成されたプラズマ処理チャンバー；プラズマ処理チャンバーに結合され、且つ基板を支持するように構成された基板ホルダー；プラズマ処理チャンバーに結合され、基板ホルダー上の基板に対向するように配置され、且つプロセスプラズマに接するように構成された電子源電極；プラズマ処理チャンバーに結合され、且つプロセスプラズマを形成するために基板ホルダーに少なくとも1つの AC 信号を結合させるように構成された AC 電源システム；プラズマ処理チャンバーに結合され、基板の周辺端部より外側に電子源電極に対向するように配置され、且つプロセスプラズマに接するように構成されたリング状電極；及びプラズマ処理チャンバーに結合され、プロセスプラズマを貫く弾道電子ビームを形成するために、電子源電極に第1の DC 電圧で DC 電力を結合させるように構成され、且つ基板の周辺端部近傍のプロセスプラズマのプラズマ密度を増大させるために、リング状電極に第2の DC 電圧で DC 電力を結合させるように構成された直流電源システムを有する。

【0008】

本発明の他の一態様に従った、基板をエッチングするように構成されたプラズマ処理システムは：基板と相互作用するプロセスプラズマの形成を容易にするように構成されたプラズマ処理チャンバー；プラズマ処理チャンバー内で基板を支持する手段；プラズマ処理チャンバー内にプロセスプラズマを形成する手段；基板と相互作用する弾道電子ビームの形成を容易にするために、プラズマ処理チャンバーに DC 電力を結合させる手段；及び基板の周辺端部近傍のプラズマ密度を調整する手段を有する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0009】

以下の記載において、限定目的ではなく例示目的で、例えばプラズマ処理システムの具

10

20

30

40

50

体的な幾何学配置や様々な処理の説明など、具体的詳細事項が説明される。しかしながら、理解されるように、本発明はこれらの具体的詳細事項を逸脱したその他の実施形態においても実施され得るものである。

【0010】

物質処理の手法において、パターンエッチングは、その後パターンニングされる基板の上面に、例えばフォトリソグロフ等の感光材料の薄い層を設けることを有する。これは、エッチング中に下にある基板上の薄膜にマスクパターンを転写するためのマスクを設けるものである。感光材料のパターンニングは、一般に、例えば微細リソグラフィシステムを用いた、電磁(E M)放射線の幾何学パターンへの感光材料の露光と、その後の、現像液を用いた感光材料の照射領域(ポジレジストの場合)又は非照射領域(ネガレジストの場合)の除去とを必要とする。また、このマスク層は複数のサブレイヤーを有していてもよい。

10

【0011】

パターンエッチングにおいて、乾式プラズマエッチング処理がしばしば使用される。その場合、例えば無線周波数(R F)電力等の電磁(E M)エネルギーを処理ガスに結合させ、それにより、電子を加熱し、さらには処理ガスの原子及び/又は分子の組成のイオン化及び解離を起こさせることによって、処理ガスからプラズマが形成される。さらに、プラズマ処理システムに負の高電圧直流(D C)電力を結合させることによって、R F周期の一部において、すなわち、結合されたR F電力の正側の半周期において基板表面に衝突する弾道電子ビームを作り出すことができる。弾道電子ビームは、例えば、下地の薄膜(エッチング対象)とマスク層との間のエッチング選択性を向上させることや、電子シェーディングによるダメージ等の帯電ダメージを低減させること等によって、乾式プラズマエッチング処理を促進させ得ることが観測されている。弾道電子ビームの生成に関する更なる詳細は、「プラズマ処理装置及び方法(Plasma processing apparatus and method)」という発明名称で米国特許出願第2006/0037701号として公開された、係属中の米国特許出願第11/156559号に開示されている。なお、参照することによりその全体がここに組み込まれる。

20

【0012】

図1を参照するに、弾道電子ビームを組み入れたプラズマ処理システムの概略図が示されている。このプラズマ処理システムは、互いに対向するように処理チャンバー内に配置された第1電極120及び第2電極170を有しており、第1電極120は基板125を支持するように構成されている。第1電極120は基板ホルダーの一部として設けられており、R F周波数のR F電力を供給するように構成されたR F発生器140に結合されている。第1電極へのR F電力の結合は、プラズマ130の形成を容易にするものである。さらに、このプラズマ処理システムは、電子源となる電子源電極として機能する第2電極170にD C電圧を供給するように構成されたD C電源150を有している。ここで、第2電極170への負のD C電圧の結合は、弾道電子ビーム135の形成を容易にするものである。電子ビームのパワーは第2電極170への負のD C電圧の重畳により得られる。公開された米国特許出願第2006/0037701号明細書に記載されているように、プラズマ処理システムへの負のD C電圧の印加は、基板125の表面に衝突する弾道(又は無衝突(コリジョンレス))電子ビームの形成に影響を及ぼす。

30

40

【0013】

一般に、弾道電子ビームは、以下にて示されるように、如何なる種類のプラズマ処理システムを用いても実現され得る。故に、この実施例においては、基板が置かれる電極にR F電力が印加され、それに対向する上部電極に負のD C電圧が重畳されているが、本発明はこの実施例に限定されるものではない。この実施例は単に説明目的で使用されるものである。

【0014】

弾道電子ビームはエッチング特性を向上させるために重要なものであるが、この電子ビーム束 $I_e(r)$ の均一性もまた重要である。この電子ビームはコリジョンレスであるが、既知の物理現象を介してプラズマにエネルギーを移すことができ、バルク(bulk)プラズマ

50

密度の増大をもたらす。電子ビームからバルクプラズマへのエネルギーの移転、及びそれに続くイオン化の考え得る1つの理論は、立ち去る電子ビームのエネルギーをイオン波に結合させるデュアルストリームのプラズマの不安定性である。そのとき、ある特定のエネルギー群のバルクボルツマン電子が、イオン波によって（ランダウ減衰を介してエネルギーを得ることによって）、中性種をイオン化する更に高いエネルギーまで静電的に加速される。弾道電子ビームの電子源は、第2電極170のイオン衝撃により生成された二次電子である。故に、基板125への弾道電子ビーム束の均一性は、プラズマと電極170へのイオン束との均一性、及びその他のパラメータに依存する。すなわち、プラズマの不均一性は電子ビーム束の不均一性を生じさせ、それがまたプラズマの不均一性を増幅させることになる。

10

【0015】

コリジョンレス電子ビーム束 $I_e(r)$ は次式のように表現され得る：

$$I_e(r) \sim B_1 N_e(r) [V_p(r) - V]^{3/2} \quad (1)$$

ただし、 B_1 は電極170でのイオンのボーム（Bohm）速度、 $V_p(r)$ はプラズマの電位の半径方向変化、 V は電極（すなわち、第2電極170）の電位、そして $N_e(r)$ は第2電極170のシース（sheath）端での電子密度（又はバルクプラズマ密度）の半径方向変化を表している。一般的に、第2電極のシース端で半径方向に一定の $V_p(r)$ を仮定することは非常に理に適っている。故に、電子ビーム束 $I_e(r)$ は主として（シース端）電子密度 $N_e(r)$ によって影響される。

【0016】

20

一例として、図1に示されるように第1電極120にRF電力を結合させてプラズマ130を形成するとき、電子密度 $N_e(r)$ の分布が基板125の中心で高く、且つ基板125の周辺部で比較的低下することが本発明の発明者によって観測された。（例えば、図1に例示されるような）低誘導モードの静電結合プラズマの、中心で高電圧となる定在波の性質が、このような $N_e(r)$ 分布を生じさせる。この中心から周辺への $N_e(r)$ の変化は更に、電子ビーム束の分布（これは等式（1）に示されるように $N_e(r)$ に依存する）及びその他の周辺での損失機構によって増幅される。

【0017】

さらに、第1電極120に隣接する電極シースの挙動は、時間変調された中空陰極（hollow cathode）、すなわち、時間にあわせて不均衡になる中空陰極に似ていることが本発明の発明者によって観測された。例えば、電極120に結合されたRF電力のRF周期の一部（例えば、負側の半周期）の間、電子は比較的厚い電極シースによって跳ね返され、第1電極120と第2電極170との間に捕捉される。他の例では、電極120に結合されたRF電力のRF周期の別の一部（例えば、正側の半周期）の間、電子は比較的薄い電極シースによって引き付けられ、電子は電極120に降り注がれる。

30

【0018】

一実施形態に従って、基板125の上方の不均衡な中空陰極の周辺端部より外側にリング状の中空陰極が形成される。このリング状の中空陰極は基板125の周辺端部における電子密度を高めることが可能であり、それにより基板125の上方に一層と均一な電子密度分布 $N_e(r)$ が実現され、さらには、上述のような一層と均一な電子ビーム束が実現される。このリング状の中空陰極は、基板125の周辺端部より外側にリング状電極を設け、このリング状電極に負のDC電圧を結合させることによって形成され得る。このDC電圧は、例えば、均衡のとれた中空陰極が形成されるように、第2電極170に印加されるDC電圧と実質的に等しくされてもよい。

40

【0019】

続いて図2を参照するに、本発明の一実施形態に従った、弾道電子ビームを組み入れたプラズマ処理システムの概略図が示されている。このプラズマ処理システムは、互いに対向するように処理チャンパー内に配置された第1電極220及び第2電極270を有しており、第1電極220は基板225を支持するように構成されている。第1電極220は、RF周波数のRF電力を供給するように構成されたRF発生器240に結合されている。第1電極へのR

50

F電力の結合は、プラズマ230の形成を容易にするものである。さらに、このプラズマ処理システムは、第2電極270にDC電圧を供給するように構成されたDC電源250を有している。ここで、第2電極(すなわち、電子源)270への負のDC電圧の結合は、弾道電子ビーム235の形成を容易にするものである。電子ビームのパワーは第2電極270への負のDC電圧の重畳により得られる。公開された米国特許出願第2006/0037701号明細書に記載されているように、プラズマ処理システムへの負のDC電圧の印加は、基板225の表面に衝突する弾道(又は無衝突(コリジョンレス))電子ビームの形成に影響を及ぼす。

【0020】

さらに、図2に示されるように、このプラズマ処理システムは、基板225の周辺端部より外側に配置されたリング状電極222を有している。リング状電極222は第2電極270に対向しており、(図示されるように)DC電源250に結合されると、リング状電極222及び第2電極270はリング状の中空陰極プラズマ232を形成する。

【0021】

図3は、他の一実施形態に従ったプラズマ処理システムを例示している。プラズマ処理システム1aは、プラズマ処理チャンパー10、処理されるべき基板25が上に添えられる基板ホルダー20、及び真空ポンプ系30を有している。ここでは、用語“基板ホルダー”は、プラズマ処理チャンパー内での処理のために基板を支持するように構成された如何なる物体をも意味するものとして使用される。基板ホルダーは、以下にて説明されるように、電極、裏面側ガス供給系、静電クランプ等の何れか1つ又は複数を含んでいてもよい。基板25は、半導体基板、ウェハ又は液晶ディスプレイとし得る。プラズマ処理チャンパー10は、基板25の表面に隣接する処理領域15におけるプラズマ生成を容易にするように構成されることができる。イオン化可能なガス又は混合ガスがガス注入系(図示せず)を介して導入され、処理圧が調整される。例えば、真空ポンプ系30を締めるために制御機構(図示せず)が使用され得る。プラズマは、所定の材料処理に特有の材料を作り出すため、且つ/或いは基板25の露出面からの材料の除去を支援するために使用されることができる。プラズマ処理システム1aは、例えば200mm基板、300mm基板、又はそれより大きい基板といった如何なるサイズの基板をも処理するように構成され得る。

【0022】

基板25は静電クランプ系を介して基板ホルダー20に貼り付けられることが可能である。また、基板ホルダー20は更に、再循環流体流を含む冷却系又は加熱系を有することができる。この流体流は、冷却時に基板ホルダー20から熱を受け取って熱交換系(図示せず)まで熱伝達し、あるいは加熱時に熱交換系から流体流に熱伝達する。さらに、基板25と基板ホルダー20との間のガスギャップの熱伝導率を改善するために、基板25の裏面側にガスが裏面側ガス供給系を介して供給されてもよい。このようなシステムが使用され得るのは、加熱温度又は冷却温度での基板の温度制御が要求されるときである。例えば、裏面側ガス供給系は、裏面側のガス(例えば、ヘリウム)の圧力を基板25の中心と端部との間で独立に変えることが可能な、2区画に区分けされたガス分配系を有することができる。他の一実施形態においては、例えば抵抗加熱素子又は熱電加熱器/冷却器などの加熱/冷却素子が、基板ホルダー20、プラズマ処理チャンパー10のチャンパー壁、及びプラズマ処理システム1a内のその他の何らかの部品に含められてもよい。

【0023】

図3に示された実施形態において、基板ホルダー20は、処理空間15内のプロセスプラズマ(処理用のプラズマ)にRF電力を結合させる電極を有し得る。例えば、基板ホルダー20は、必要に応じてインピーダンス整合回路42を介しての、RF発生器40から該基板ホルダー20へのRF電力の伝送によって、或るRF電圧に電氣的にバイアスされることができる。このRFバイアスは、電子を加熱してプラズマを形成・維持すること、シース内のイオンエネルギー分布関数に影響を及ぼすこと、又はこれらの双方を行うように作用し得る。この構成において、システムは反応性イオンエッチング(RIE)炉として動作することができ、チャンパー及び上部のガス供給電極は接地面として作用する。RFバイアスの

典型的な周波数は0.1MHzから100MHzの範囲とし得る。プラズマ処理用のRFシステムは当業者に周知である。

【0024】

また、インピーダンス整合回路42は、反射される電力を最小化することによって、処理チャンパー10内のプラズマへのRF電力の移転を改善するように作用する。整合回路トポロジー（例えば、L型、型、T型など）及び自動制御方法は当業者に周知である。

【0025】

なおも図3を参照するに、プラズマ処理システム1aは更に直流(DC)電源50を有しており、DC電源50は、基板25に対向する上部電極52に結合されている。上部電極52は電極板を有していてもよい。この電極板はシリコンを含有する電極板から成っていてもよい。さらに、この電極板はドープトシリコンの電極板から成っていてもよい。DC電源50は可変DC電源を含むことができる。さらに、DC電源は双極性のDC電源を含むことができる。DC電源50は更に、DC電源50の極性、電流、電圧、又はオン/オフ状態の監視、調整又は制御の少なくとも1つを実行するように構成されたシステムを含むことが可能である。プラズマが生成されると、DC電源50は弾道電子ビームの形成を容易にする。DC電源50からRF電力をデカップリングするために電氣的フィルタが用いられてもよい。

【0026】

例えば、電源50によって電極52に印加されるDC電圧は、約-2000Vから約1000Vの範囲とし得る。望ましくは、DC電圧の絶対値は約100V以上の値を有し、より望ましくは、DC電圧の絶対値は約500V以上の値を有する。また、このDC電圧は負の極性を有することが望ましい。さらに、このDC電圧は、上部電極52の表面に生成される自己バイアス電圧より大きい絶対値を有する負電圧であることが望ましい。基板ホルダー20に面する側の上部電極52の表面は、シリコン含有材料から成っていてもよい。

【0027】

さらに、基板ホルダー20は、基板25の周辺端部より外側に配置された、上部電極52に対向するリング状電極22を有している。リング状電極22はDC電源50に結合されている。リング状電極22に供給されるDC電圧は、上部電極52に供給されるDC電圧と実質的に同一とし得る。

【0028】

真空ポンプ系30は、最大で毎秒5000リットルの（及び、これより大きい）ポンプ速度を実現可能なターボ分子真空ポンプ(TMP)と、チャンパー圧力を絞るための仕切り弁を含み得る。乾式プラズマエッチングで使用される従来からのプラズマ処理装置では、毎秒1000から3000リットルのTMPが使用され得る。TMPは典型的に50mTorr未満の低圧処理で使用され得る。（100mTorrより高い）高圧処理の場合には、機械的な増圧ポンプ及びドライ式の粗引きポンプが使用され得る。また、チャンパー圧を監視する装置（図示せず）がプラズマ処理チャンパー10に結合されることが可能である。この圧力測定装置は、例えば、MKSインスツルメント社から市販されている628B型バラトロン(Baratron)絶対キャパシタンス式圧力計とし得る。

【0029】

なおも図3を参照するに、プラズマ処理システム1aは更にコントローラ90を有している。コントローラ90はマイクロプロセッサ、メモリ、及び、プラズマ処理システム1aからの出力を監視するとともにプラズマ処理システム1aへの入力を伝達し且つアクティブにするのに十分な制御電圧を生成可能なデジタル入/出力ポートを有している。さらに、コントローラ90は、RF発生器40、インピーダンス整合回路42、DC電源50、ガス注入系（図示せず）、真空ポンプ系30、裏面側ガス供給系（図示せず）、基板/基板ホルダー温度測定系（図示せず）、及び/又は静電クランプ系（図示せず）に結合され、それらと情報を交換することが可能である。薄膜をエッチングする方法を実行するため、プロセスレシピに従ってプラズマ処理システム1aの上述の構成要素への入力をアクティブにするように、メモリ内に格納されたプログラムが使用され得る。コントローラ90の一例は、デル社から入手可能なDELL PRECISION WORKSTATION610（登録商標）である。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 0 】

コントローラ90は、処理システム1aに対してローカルに位置付けられてもよいし、あるいはインターネット又はイントラネットを介して処理システム1aに対して遠隔に位置付けられてもよい。故に、コントローラ90は、直接接続、イントラネット又はインターネットの少なくとも1つを用いてプラズマ処理システム1aとデータを交換することができる。コントローラ90は、顧客側（すなわち、デバイスメーカー等）のイントラネットに結合されていてもよいし、あるいは製造供給元（すなわち、装置製造者）のイントラネットに結合されていてもよい。さらに、他のコンピュータ（すなわち、コントローラ、サーバ等）が、直接接続、イントラネット又はインターネットの少なくとも1つを介してデータ交換するために、コントローラ90にアクセスしてもよい。

10

【 0 0 3 1 】

図4に示された一実施形態におけるプラズマ処理システム1bは、図3の実施形態と同様のものとすることができ、更に、図3を参照して説明された構成要素に加えて、プラズマ密度を潜在的に高め、且つ/或いはプラズマ処理の均一性を向上させるために、静止しているか、機械的又は電氣的に回転するかの何れかである磁場系60を含んでいる。また、回転速度及び磁場強度を調整するため、コントローラ90は磁場系60にも結合されている。回転磁場の設計及び実装は当業者に周知である。

【 0 0 3 2 】

図5に示された実施形態におけるプラズマ処理システム1cは、例えば、図3及び4の実施形態と同様のものとすることができ、更に、必要に応じてのもう1つのインピーダンス整合回路46を介してRF電力を基板ホルダー20に結合させるように構成された第2のRF発生器44を有している。基板ホルダー20へのRF電力印加の典型的な周波数は、第1のRF発生器40若しくは第2のRF発生器44の何れか、又はこれらの双方に対して、約0.1MHzから約200MHzの範囲とし得る。第2のRF発生器44のRF周波数は第1のRF発生器40のRF周波数より高くすることができる。また、RF発生器40から基板ホルダー20へのRF電力は振幅変調されてもよく、RF発生器44から基板ホルダー20へのRF電力は振幅変調されてもよく、あるいは、これら双方のRF電力が振幅変調されてもよい。望ましくは、RF周波数が高い方のRF電力が振幅変調される。また、基板ホルダー20へのRF電力の印加を制御するため、コントローラ90は第2のRF発生器44及びインピーダンス整合回路46にも結合されている。基板ホルダーのRFシステムの設計及び実装は当業者に周知である。

20

30

【 0 0 3 3 】

図6に示された実施形態におけるプラズマ処理システム1dは、例えば、図3、4及び5の実施形態と同様のものとすることができ、更に、必要に応じてのインピーダンス整合回路84を介してRF発生器82によってRF電力が結合される誘導コイル80を有している。RF電力は誘導コイル80から誘電体窓（図示せず）を介してプラズマ処理領域15に誘導的に結合される。誘導コイル80へのRF電力印加の典型的な周波数は、約10MHzから約100MHzの範囲とし得る。同様に、チャック電極への電力印加の典型的な周波数は約0.1MHzから約100MHzの範囲とし得る。さらに、誘導コイル80とプラズマとの間の容量結合を低減するために、スロット式ファラデー遮蔽体（図示せず）が用いられ得る。また、誘導コイル80への電力の印加を制御するため、コントローラ90はRF発生器82及びインピーダンス整合回路84にも結合されている。代替的な一実施形態においては、誘導コイル80は電磁結合型プラズマ（TCP）炉においてのように上方からプラズマ処理領域15に作用する“螺旋状”コイル又は“パンケーキ型”コイルとし得る。誘導結合型プラズマ（ICP）源又は電磁結合型プラズマ（TCP）源の設計及び実装は当業者に周知である。

40

【 0 0 3 4 】

他の例では、プラズマは電子サイクロトロン共鳴（ECR）によって形成されてもよい。更に他の一実施形態においては、プラズマはヘリコン波の放射によって形成される。更に他の一実施形態においては、プラズマは伝播表面波によって形成される。これらの各ブ

50

ラズマ源は当業者に周知である。

【 0 0 3 5 】

次に図7を参照するに、他の一実施形態に従った基板ホルダー300の分解図が示されている。基板ホルダー300は、図2乃至6にて説明されたプラズマ処理システム、及びそれらの組み合わせの何れにおいても使用され得るものである。基板ホルダー300は、RFバイアス可能な電極310、電極絶縁体312、陽極酸化された表面316を有する接地壁314、及びフォーカスリング325を有している。基板ホルダー300は更に、基板322を保持することを助ける静電クランプ(ESC)320を含んでいる。図1には詳細に示されていないが、一般に、静電クランプ320はセラミックボディ内に入れられたクランプ電極を有している。フォーカスリング325は、シリコン基板を処理する場合、例えばシリコンや炭化シリコン等のシリコン含有材料から製造されていることが一般的である。

10

【 0 0 3 6 】

さらに、基板ホルダー300は、DC電源350に結合されるように構成されたリング状電極330を有している。リング状電極330は直流に対して導電性のDC導電性材料から製造されている。例えば、リング状電極330は、アルミニウム、陽極酸化アルミニウム、又はセラミックコーティングされたアルミニウム等の、金属又は金属含有材料から製造可能である。セラミックコーティングは酸化アルミニウム又は酸化イットリウムを含み得る。セラミックコーティングは希土類金属の酸化物又はフッ化物を含んでいてもよい。例えば、セラミックコーティングは、 Al_2O_3 、 Sc_2O_3 、 Sc_2F_3 、 YF_3 、 La_2O_3 、 Y_2O_3 及び DyO_3 から成るグループから選択された材料を含んでいてもよい。さらに例

20

【 0 0 3 7 】

リング状の中空プラズマの強さすなわち密度は、該リング状中空プラズマに露出されるリング状電極330の表面積を増大させることによって高められることが可能である。あるいは、リング状中空プラズマの密度は、該リング状中空プラズマに露出されるリング状電極330の表面積を減少させることによって低められることが可能である。

【 0 0 3 8 】

続いて図8を参照するに、他の一実施形態に従った弾道電子ビームを組み入れたプラズマ処理システムの概略図が示されている。このプラズマ処理システムは、互いに対向するように処理チャンバー内に配置された第1電極420及び第2電極470を有しており、第1電極420は基板425を支持するように構成されている。第1電極420は、RF周波数のRF電力を供給するように構成されたRF発生器440に結合されている。第1電極へのRF電力の結合は、プラズマ430の形成を容易にするものである。さらに、このプラズマ処理システムは、第2電極470にDC電圧を供給するように構成されたDC電源450を有している。ここで、第2電極470への負のDC電圧の結合は、弾道電子ビーム435の形成を容易にするものである。電子ビームのパワーは第2電極470への負のDC電圧の重畳により得られる。公開された米国特許出願第2006/0037701号明細書に記載されているように、プラズマ処理システムへの負のDC電圧の印加は、基板425の表面に衝突する弾道(又はコリジョンレス)電子ビームの形成に影響を及ぼす。

30

40

【 0 0 3 9 】

さらに、図8に示されるように、このプラズマ処理システムは、基板425の周辺端部より外側に配置されたリング状電極422を有している。リング状電極422は第2電極470に対向しており、(図示されるように)DC電源450に結合されると、リング状電極422及び第2電極470はリング状の中空陰極プラズマ432を形成する。

【 0 0 4 0 】

さらに、図8に示されるように、このプラズマ処理システムは補助電極460を有しており、補助電極460は該補助電極460の一部を覆うように構成された覆い板462を有している。補助電極460は上部電極470及びリング状電極422の双方の周辺端部より外側に配置されることができる。例えば、補助電極460はプラズマ処理システムのチャンバー壁の外側に

50

沿って配置されてもよい。また、補助電極460はDC電源450に結合されている。補助電極460は、リング状の中空陰極プラズマ432に露出される補助電極460の表面積を調整するために、覆い板462の位置に対して移動できるように構成されている。他の例では、覆い板462が、リング状の中空陰極プラズマ432に露出される補助電極460の表面積を調整するために、補助電極460の位置に対して移動できるように構成されている。

【0041】

補助電極460に対する覆い板462の位置、又は覆い板462に対する補助電極460の位置を調整することにより、リング状の中空陰極プラズマ432に露出される補助電極460の表面積を変化させることが可能である。リング状の中空陰極プラズマ432の密度は、この露出表面積を増大させることによって高められることができ、また、リング状の中空陰極プラズマ432の密度は、この露出表面積を減少させることによって低められることができる。この点で、補助電極460及び覆い板462は、リング状電極422を用いることなく使用されてもよい。

10

【0042】

補助電極460はDC導電性材料から製造されている。例えば、補助電極460は、アルミニウム、陽極酸化アルミニウム、又はセラミックコーティングされたアルミニウム等の、金属又は金属含有材料から製造可能である。さらに例えば、補助電極460はドーパントシリコン等のシリコン含有材料から製造されることもできる。覆い板462は非導電性材料から製造されている。例えば、覆い板462は、例えば石英、サファイア、シリコン、窒化シリコン、炭化シリコン、アルミナ、窒化アルミニウム、テフロン（登録商標）、ポリイミド等、セラミック、ポリマー又はプラスチックから製造可能である。

20

【0043】

続いて図9を参照するに、他の一実施形態に従った弾道電子ビームを組み入れたプラズマ処理システムの概略図が示されている。このプラズマ処理システムは、互いに対向するように処理チャンバー内に配置された第1電極520及び第2電極570を有しており、第1電極520は基板525を支持するように構成されている。第1電極520は、RF周波数のRF電力を供給するように構成されたRF発生器540に結合されている。第1電極へのRF電力の結合は、プラズマ530の形成を容易にするものである。さらに、このプラズマ処理システムは、第2電極570にDC電圧を供給するように構成されたDC電源550を有している。ここで、第2電極570への負のDC電圧の結合は、弾道電子ビーム535の形成を容易にするものである。電子ビームのパワーは第2電極570への負のDC電圧の重畳により得られる。公開された米国特許出願第2006/0037701号明細書に記載されているように、プラズマ処理システムへの負のDC電圧の印加は、基板525の表面に衝突する弾道（又はコリジョンレス）電子ビームの形成に影響を及ぼす。

30

【0044】

さらに、図9に示されるように、このプラズマ処理システムは、基板525の周辺端部より外側に配置されたリング状電極522を有している。リング状電極522は第2電極570に対向しており、且つ第2のDC電源560に結合されている。（図示されるように）第2のDC電源560に結合されると、リング状電極522及び第2電極570はリング状の中空陰極プラズマ532を形成する。第2のDC電源560からリング状電極522に結合される電圧（ $V + V$ 、又は $V - V$ ）を、DC電源550から上部電極570に印加される電圧（ V ）に対して調整することにより、それらの電圧差（ V ）がリング状の中空陰極プラズマ532の密度を調整するために使用される。例えば、この電圧差（ V ）の絶対値により、リング状の中空陰極プラズマ532の密度は低下される。

40

【0045】

以下にて、弾道電子ビームを有するプラズマ処理システムを用いて薄膜をエッチングする方法を説明する。例えば、プラズマ処理システムは、図2乃至9にて説明されたような様々な要素、及びそれらの組み合わせを有し得る。

【0046】

図10は、本発明の他の一実施形態に従った、弾道電子ビームを有するプラズマ処理シ

50

システムを用いて薄膜をエッチングする方法のフローチャートを示している。手順700は、段階710にて、プラズマと弾道電子ビームとの双方を形成するように構成されたプラズマ処理システムの基板ホルダー上に、基板を配置することで開始される。

【0047】

段階720にて、弾道電子ビームの形成を容易にするため、基板ホルダーに対向配置されたプラズマ処理システム（例えば、図2乃至9に示されたシステムの何れか1つ）の電子源電極にDC電力が結合される。例えば、DC電源によってプラズマ処理システムに印加されるDC電圧は、約-2000Vから約1000Vの範囲とし得る。望ましくは、このDC電圧の絶対値は約100V以上の値を有し、より望ましくは、このDC電圧の絶対値は約500V以上の値を有する。また、このDC電圧は負の極性を有することが望ましい。さらに、このDC電圧は、プラズマ処理システムの電極表面に生成される自己バイアス電圧より大きい絶対値を有する負電圧であることが望ましい。

10

【0048】

段階730にて、プラズマを形成するためにプラズマ処理システムにRF電力が結合される。RF電力は、基板ホルダー又は誘導コイルのよって、あるいはプラズマを生成する何らかのその他の既知の方法によって、処理システムに結合され得る。しかしながら、RFの存在時にDC電圧を制御することの難しさのため、RF電力は、負電圧を有する電子源電極（例えば、上部電極）には供給されない。

【0049】

段階740にて、プラズマ及び弾道電子ビームの空間的均一性の調整を容易にするため、プラズマ処理システム（例えば、図2乃至9に示されたシステムの何れか1つ）内にリング状電極が配置される。このリング状電極は上部電極に対向させて、基板の周辺端部より外側に配置される。リング状電極は、基板端部のプラズマ密度を高めることを助けるものである。

20

【0050】

リング状電極に結合されるDC電圧は、上部電極に結合されるDC電圧と実質的に同一とし得る。他の例では、リング状電極に結合されるDC電圧は、上部電極に結合されるDC電圧とは異なってもよい。例えば、上部電極に結合される電圧とリング状電極に結合される電圧との差の大きさは、基板端部でのプラズマ密度の変化に影響を及ぼすように調整されてもよい。

30

【0051】

さらに、基板の端部領域上方のプラズマ密度の増大量は、プラズマに露出されるリング状電極の表面積によって影響され得る。例えば、この表面積が可変にされてもよい。

【0052】

段階750にて、基板上でのエッチング処理を促進するように、基板はプラズマに晒される。

【0053】

以上にて、本発明の特定の実施形態が詳細に説明された。当業者に容易に認識されるように、これらの実施形態には本発明の新規な教示及び効果を実質的に逸脱することなく数多くの変更が為され得る。従って、そのような全ての変更は本発明の範囲に含まれるものである。

40

【図面の簡単な説明】

【0054】

【図1】電子ビーム支援プラズマを用いたプラズマ処理システムを示す概略図である。

【図2】本発明の一実施形態に従ったプラズマ処理システムを示す概略図である。

【図3】本発明の他の一実施形態に従ったプラズマ処理システムを示す概略図である。

【図4】本発明の他の一実施形態に従ったプラズマ処理システムを示す概略図である。

【図5】本発明の他の一実施形態に従ったプラズマ処理システムを示す概略図である。

【図6】本発明の他の一実施形態に従ったプラズマ処理システムを示す概略図である。

【図7】本発明の他の一実施形態に従ったリング状電極を有する基板ホルダーを示す分解

50

立面図である。

【図 8】本発明の他の一実施形態に従ったプラズマ処理システムを示す概略図である。

【図 9】本発明の他の一実施形態に従ったプラズマ処理システムを示す概略図である。

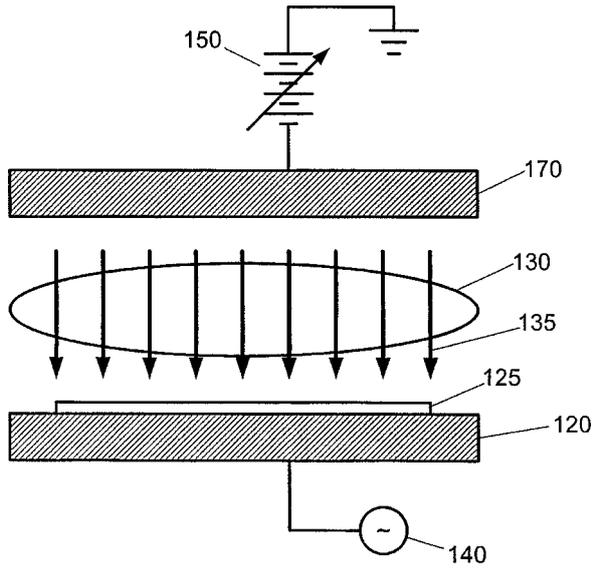
【図 10】本発明の他の一実施形態に従ったプラズマを用いて基板を処理する方法を示す図である。

【符号の説明】

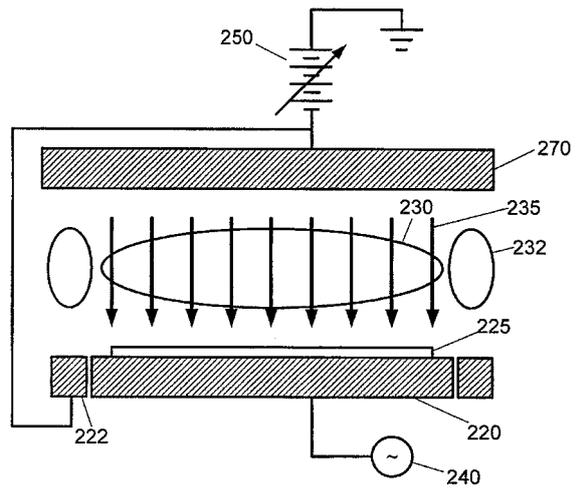
【 0 0 5 5 】

1a、1b、1c、1d ...	プラズマ処理システム	
10 ...	プラズマ処理チャンバー	
15 ...	処理領域	10
20、300 ...	基板ホルダー	
22、222、330、422、522 ...	リング状電極	
25、225、322、425、525 ...	基板	
30 ...	真空ポンプ系	
40、44、82、240、440、540 ...	交流電源 (R F 発生器)	
42、46、84 ...	インピーダンス整合回路	
50、250、450、550、560 ...	直流 (D C) 電源	
52、270、470、570 ...	第 2 (上部) 電極 (電子源電極)	
80 ...	誘導コイル	
90 ...	コントローラ	20
220、310、420、520 ...	第 1 (下部) 電極	
230、430、530 ...	プラズマ	
232、432、532 ...	リング状中空陰極プラズマ	
235、435、535 ...	弾道電子ビーム	
312 ...	絶縁体	
314 ...	接地壁	
316 ...	陽極酸化表面	
320 ...	静電クランプ	
325 ...	フォーカスリング	
460 ...	補助電極	30
462 ...	覆い板	

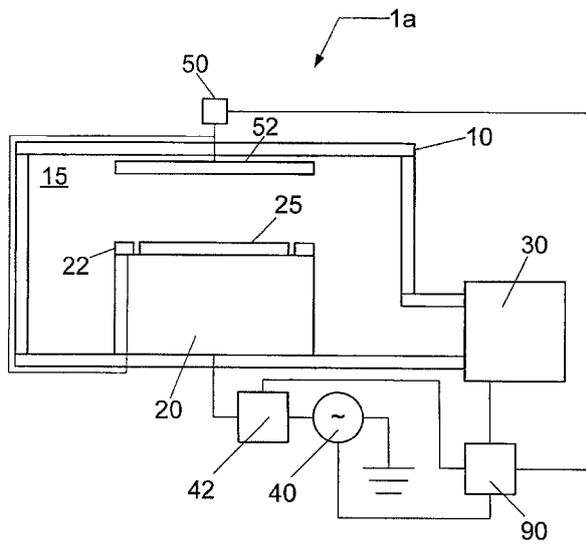
【図1】



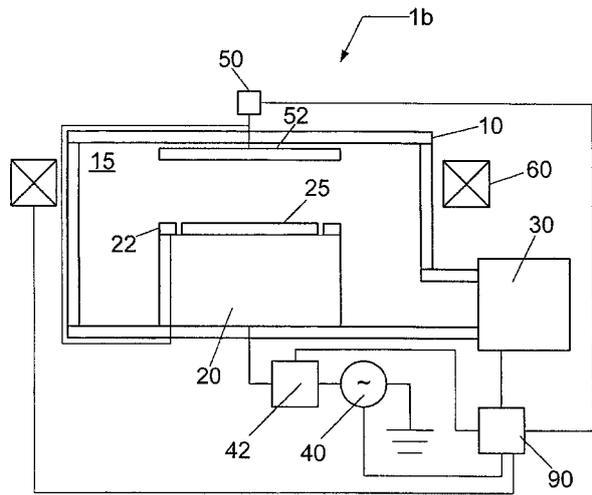
【図2】



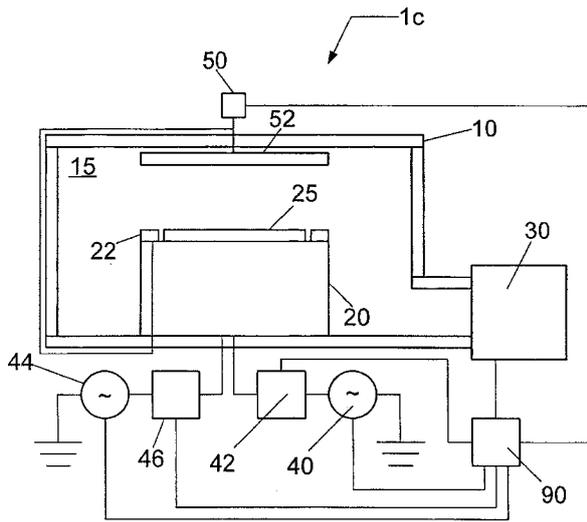
【図3】



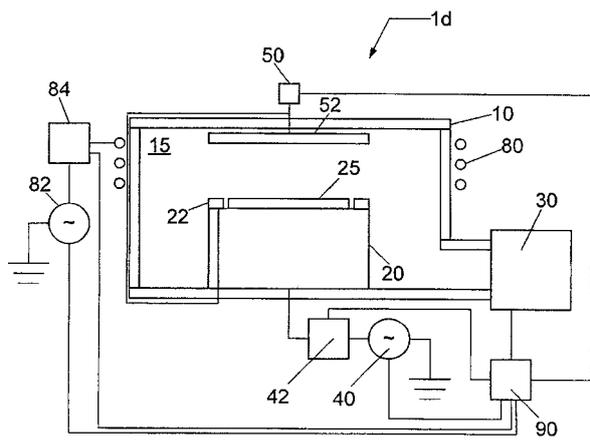
【図4】



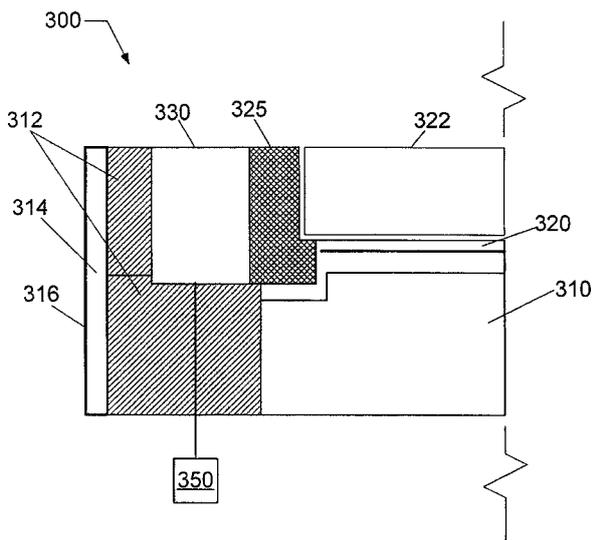
【図5】



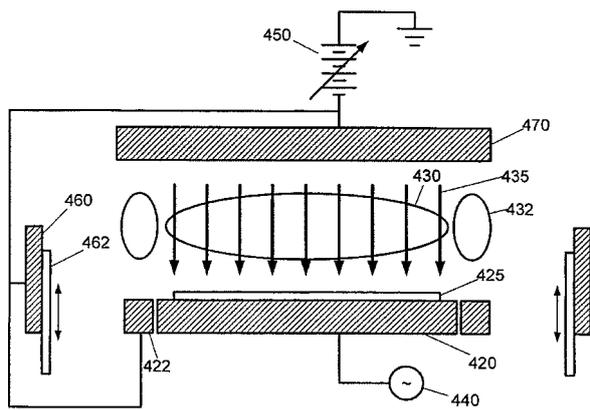
【図6】



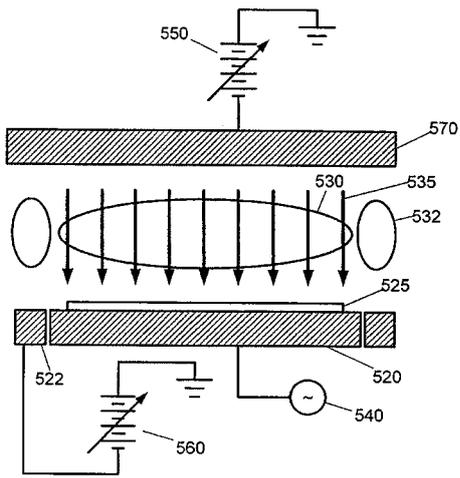
【図7】



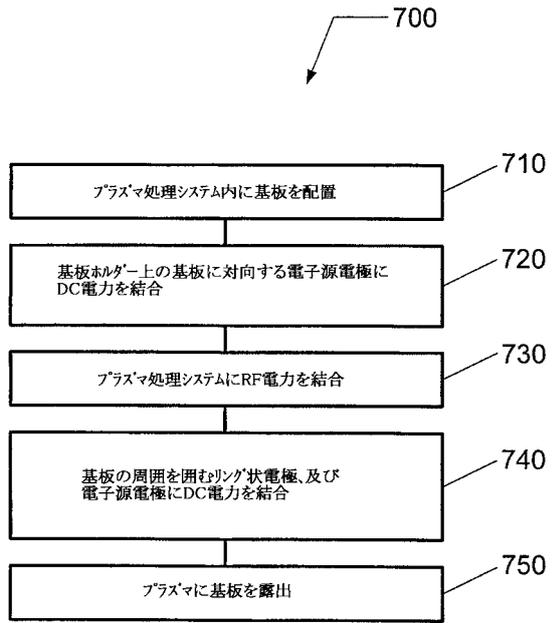
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2006-270018(JP,A)
特開2004-260159(JP,A)
国際公開第2005/124844(WO,A1)
特開平07-254588(JP,A)
特開平09-186088(JP,A)
特開平05-315289(JP,A)
特開平02-195631(JP,A)
特開平10-012597(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/3065