

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5888981号
(P5888981)

(45) 発行日 平成28年3月22日 (2016. 3. 22)

(24) 登録日 平成28年2月26日 (2016. 2. 26)

(51) Int. Cl. F I
 HO 1 L 21/3065 (2006. 01) HO 1 L 21/302 I O 1 B
 HO 5 H 1/46 (2006. 01) HO 5 H 1/46 M

請求項の数 4 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2011-542363 (P2011-542363)	(73) 特許権者	592010081 ラム リサーチ コーポレーション LAM RESEARCH CORPOR ATION アメリカ合衆国, カリフォルニア 945 38, フレモント, クッシング パークウ エイ 4650
(86) (22) 出願日	平成21年12月16日 (2009. 12. 16)	(74) 代理人	110000028 特許業務法人明成国際特許事務所
(65) 公表番号	特表2012-513124 (P2012-513124A)	(72) 発明者	フィッシャー・アンドレアス アメリカ合衆国 カリフォルニア州945 38 フレモント, クッシング・パークウ エイ, 4650, ラム・リサーチ・コーポ レーション, リーガル・デパートメント内
(43) 公表日	平成24年6月7日 (2012. 6. 7)		
(86) 国際出願番号	PCT/US2009/068186		
(87) 国際公開番号	W02010/080421		
(87) 国際公開日	平成22年7月15日 (2010. 7. 15)		
審査請求日	平成24年12月14日 (2012. 12. 14)		
審査番号	不服2014-15924 (P2014-15924/J1)		
審査請求日	平成26年8月11日 (2014. 8. 11)		
(31) 優先権主張番号	61/139, 488		
(32) 優先日	平成20年12月19日 (2008. 12. 19)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		
(31) 優先権主張番号	12/634, 959		
(32) 優先日	平成21年12月10日 (2009. 12. 10)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理システムにおけるイオンエネルギー分布の制御

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

プラズマによって少なくとも一つの基板を処理するためのプラズマ処理システムであって、

第1の電極と、

前記基板を受けるように構成された、前記第1の電極と異なる第2の電極と、

前記第1の電極に結合された第1の信号源であって、前記プラズマ処理システムにおいて前記基板が処理されるときに前記基板におけるイオンエネルギー分布を制御するために、前記第1の電極を通して周期的な非正弦波信号を提供するように構成された第1の信号源であり、前記周期的な非正弦波信号は、傾斜した正電圧部分と、前記第2の電極の段階的充電に対処するための、前記第2の電極における正イオンの増加を相殺するための周期パルス間の部分とから構成される第1の信号源と、

前記第2の電極に結合され、前記プラズマを生成して前記基板を処理するために前記第2の電極を通して正弦波信号を提供するように構成された第2信号源と、

少なくとも2つの部材として設けられ、その間に前記第1の電極及び前記第2の電極の前記少なくとも一方を配された状態で前記第1の電極及び前記第2の電極の前記少なくとも一方を取り巻く接地部材と、

前記接地部材と前記第1の電極及び前記第2の電極の前記少なくとも一方の少なくとも一部分との間に配された誘電体層であって、前記第1の電極及び前記第2の電極の前記少なくとも一方を前記接地部材から電氣的に絶縁するように構成された誘電体層と、

を備えるプラズマ処理システム。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のプラズマ処理システムであって、更に、
少なくとも 2 つの部材として設けられ、その間に前記第 1 の電極を配された状態で前記第 1 の電極を取り巻く第 2 の接地部材と、
前記第 1 の電極を前記第 2 の接地部材から電氣的に絶縁するために前記第 2 の接地部材と前記第 1 の電極の少なくとも一部分との間に配された誘電体層と、
を備えるプラズマ処理システム。

【請求項 3】

請求項 1 に記載のプラズマ処理システムであって、更に、
少なくとも 2 つの部材として設けられ、その間に前記第 2 の電極を配された状態で前記第 2 の電極を取り巻く第 2 の接地部材と、
前記第 2 の電極を前記第 2 の接地部材から電氣的に絶縁するために前記第 2 の接地部材と前記第 2 の電極の少なくとも一部分との間に配された誘電体層と、
を備えるプラズマ処理システム。

【請求項 4】

請求項 1 に記載のプラズマ処理システムであって、
前記第 1 の電極は、概ね円筒状であり、前記プラズマの少なくとも一部分を取り巻くように構成される、プラズマ処理システム。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

本発明は、基板（又はウエハ）のプラズマ処理に関する。特に、本発明は、プラズマ処理システムにおいて基板を処理する際にイオンエネルギー分布を制御することに関する。

【0002】

イオンエネルギー分布の制御は、基板処理に対して幾つかの恩恵をもたらすと考えられる。例えば、イオンエネルギー分布の制御は、異なる材料間におけるエッチング選択比の制御、特徴エッジ（例：トレンチ又はビアのエッジ）におけるファセッティングの軽減、及び高アスペクト比コンタクト内のプロファイルの制御を可能にしえる。現代のプラズマ処理用途では、イオンエネルギー分布の制御は、所望の処理結果を達成するために重要になりえる。イオンエネルギー分布を制御するための方法は、例えば、米国特許第 6,201,208 号「Method And Apparatus For Plasma Processing With Control Of Ion Energy Distribution At The Substrates（基板におけるイオンエネルギー分布の制御を伴うプラズマ処理の方法及び装置）」（2001年3月13日発行）に開示されている。

【0003】

イオンエネルギー分布を制御するための先行技術は、基板を支える基板受け電極に非正弦波高周波（RF）信号／電力を提供する傾向がある。この非正弦波信号は、例えばイオンを惹き付けることによってイオンエネルギー分布を制御することが可能である。イオンエネルギー分布を制御するための先行技術は、また、非正弦波 RF 信号源と基板受け電極との間に DC 阻止用の外部コンデンサの使用を必要とする傾向もある。

【0004】

先行技術によるアプローチには、幾つかの欠点があり、半導体処理の分野における絶え間ない進歩を考慮すると、プラズマ処理チャンバにおいてイオンエネルギー分布を制御するための改良された技術及び装置が望まれていることがわかる。

【発明の概要】

【0005】

本発明の一実施形態は、プラズマによって少なくとも一つの基板を処理するためのプラズマ処理システムに関する。プラズマ処理チャンバは、イオンエネルギー分布を制御することができる。プラズマ処理システムは、第 1 の電極を含んでよい。プラズマ処理システムは、また、基板を受けるように構成された、第 1 の電極と異なる第 2 の電極も含む。プラ

10

20

30

40

50

ズマ処理システムは、また、第1の電極に結合された信号源も含んでよい。信号源は、プラズマ処理システムにおいて基板が処理されるときに基板におけるイオンエネルギー分布を制御するために、第1の電極を通して周期的な非正弦波信号を提供してよい。

【0006】

上記の概要は、本明細書において開示される本発明の多くの実施形態の1つに関するにすぎず、本明細書の特許請求の範囲に定められた本発明の範囲を制限することを意図していない。本発明のこれらの及びその他の特徴は、以下の図面との関連のもとで、発明の詳細な説明において更に詳しく後ほど説明される。

【図面の簡単な説明】

【0007】

本発明は、同様の要素を類似の参照符号で示した添付の図面において、限定目的ではなく例示目的で示される。

【0008】

【図1】本発明の1つ又は複数の実施形態にしたがった、プラズマ処理中にイオンエネルギー分布を制御することができるプラズマ処理システムの部品の概略図である。

【0009】

【図2】本発明の1つ又は複数の実施形態にしたがった、プラズマ処理中にイオンエネルギー分布を制御することができるプラズマ処理システムの部品の概略図である。

【0010】

【図3】本発明の1つ又は複数の実施形態にしたがった、プラズマ処理中にイオンエネルギー分布を制御することができるプラズマ処理システムの部品の概略図である。

【0011】

【図4】イオンエネルギー分布を制御することができる先行技術のプラズマ処理システムを表わす回路モデルの概略図である。

【0012】

【図5】本発明の1つ又は複数の実施形態にしたがった、イオンエネルギー分布を制御することができるプラズマ処理システムを表わす回路モデルの概略図である。

【0013】

【図6A】イオンエネルギー分布を制御することができる先行技術のプラズマ処理システムにおいてイオンエネルギー分布を制御するために基板に印加される非正弦波信号の概略図である。

【図6B】先行技術の構成に基づく計算されたイオンエネルギー分布の概略図である。

【0014】

【図7A】本発明の1つ又は複数の実施形態にしたがった、イオンエネルギー分布を制御するためにドライバによって提供される非正弦波信号を表わす概略図である。

【図7B】本発明の1つ又は複数の実施形態にしたがった構成に基づく計算されたイオンエネルギー分布の概略図である。

【0015】

【図8】本発明の1つ又は複数の実施形態にしたがった、イオンエネルギー分布を制御することができるプラズマ処理システムを表わす回路モデルの概略図である。

【0016】

【図9A】本発明の1つ又は複数の実施形態にしたがった、イオンエネルギー分布を制御するためにドライバによって提供される非正弦波信号の概略図である。

【0017】

【図9B】本発明の1つ又は複数の実施形態にしたがった構成に基づく計算されたイオンエネルギー分布の概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

本発明は、添付の図面に示されるような幾つかの実施形態を参照にして詳しく説明される。以下の説明では、本発明の完全な理解を可能にするために、多くの詳細が特定されて

10

20

30

40

50

いる。しかしながら、当業者ならば明らかなように、本発明は、これらの一部または全部の詳細を特定しなくても実施されえる。また、本発明を不必要に不明瞭にしないために、周知のプロセス工程及び/又は構造の詳細な説明は省略されている。

【0019】

本発明の1つ又は複数の実施形態は、プラズマによる少なくとも一つの基板の処理中にイオンエネルギー分布を制御することができるプラズマ処理システムに関する。プラズマ処理システムは、ダイオード構成又はトライアード構成であってよく、基板に物理的に接触していない且つ/又は基板を受ける用ではない少なくとも一つの非基板受け (NSB、non-substrate bearing) 電極を含む。

【0020】

一実施形態では、プラズマ処理システムは、NSB電極に結合されたイオンエネルギー分布制御信号源を含んでよい。イオンエネルギー分布制御信号源は、プラズマ処理システムにおいて基板が処理されるときに基板におけるイオンエネルギー分布を制御するために、NSB電極に非正弦波高周波 (RF) 信号/電力を提供してよい。

【0021】

一例として、NSB電極は、基板を支える基板受け用の下部電極と相対して配された上部電極を表わしてよい。或いは又は追加として、NSB電極は、例えば、プラズマを取り巻く円筒状の電極 (例: リング状電極) を表わしてよい。

【0022】

本発明の各種の実施形態にしたがうと、処理用のプラズマを維持及び生成するには、プラズマを生成及び維持するための高周波正弦波信号/電力を上部電極、リング電極、及び/又は下部電極に提供してよい。

【0023】

NSB電極に非正弦波信号/電力を供給されることによって、プラズマ処理システムは、イオンエネルギー分布制御信号/電力を供給するための電気経路を単純化され、それゆえに、先行技術に優る少なくとも幾つかの利点を有することができる。

【0024】

例えば、基板受け電極と比べて、NSB電極は、通常、絶縁及び把持に関する要件が最小限である又は全くなく、したがって、本発明の実施形態は、非正弦波通電電極に対する設計上の制約が少なくすむ。

【0025】

更に、NSB電極のサイズは、基板のサイズに一致する必要がなく、それゆえに、小さくすることができる。発明者らは、チャンバ内におけるNSB電極面積対電極総面積の面積比と、任意の所定のRF正弦波信号デューティサイクルにおけるプロセス窓 (高いエネルギーで基板に到達するイオンの割合に関する) との間に、場合によってはトレードオフの可能性があるとということに気付いている。高いデューティサイクルは、基板において高電圧シースが発生することを保証するために、場合によっては高い (NSB電極面積対電極総面積の) 面積比を必要とすると思われる。反対に、低いデューティサイクルは、基板において高電圧シースを維持しつつ低い面積比を用いる能力をもたらすと考えられる。もし高いデューティサイクルのプラズマ生成RF信号に対して面積比が小さすぎると、非正弦波電圧は、基板シースを通して降下せず、したがって、このような高いエネルギーイオンは生成されない。

【0026】

それにもかかわらず、本発明の実施形態は、先行技術に関連した寄生容量の問題を最小限に抑える又は排除することができる。NSBは、基板受け電極よりも設計上の制約が少なく、したがって、接地に対する浮遊容量を小さくして設計することができる。これは、ひいては、RF電流の引き込みを少なくし、ステップ電圧の変化に対する応答を速くする。有利には、イオンエネルギー分布を制御する精度が向上され、イオンエネルギー分布の制御に関連したRF部品が最小限に抑えられる。

【0027】

1つ又は複数の実施形態では、イオンエネルギー分布を制御するための非正弦波信号がNSB電極に提供されるときに、このような非正弦波信号を、非正弦波信号源とNSB電極との間に別途のDC阻止外部コンデンサを使用する必要なくNSB電極に提供することが可能である。非正弦波信号源とNSB電極との間にDC阻止コンデンサを介在させないこのケースでは、接地電極において石英材料（又は同様に適した材料）の層を使用するなどによってその他の電極表面をDC接地から絶縁することが好ましい。

【0028】

別の実施形態では、イオンエネルギー分布を制御するための非正弦波信号がNSB電極に提供されるときに、このような非正弦波信号を、非正弦波信号源とNSB電極との間に別途のDC阻止外部コンデンサを介在させてNSB電極に提供することが可能である。非正弦波信号源とNSB電極との間にDC阻止コンデンサが用いられるこのケースでは、接地電極において石英材料（又は同様に適した材料）の層を使用するなどによってその他の電極表面をDC接地から絶縁する必要がない。

10

【0029】

代替の実施形態では、イオンエネルギー分布を制御するための非正弦波信号が、基板受け電極に提供されてよい。このケースでは、プラズマの生成に用いられる正弦波信号が、同じ基板受け電極に又は基板受け電極以外の電極に提供されてよい。この実施形態では、誘電体被覆（例：石英層若しくは同様に適した材料）の使用を通してなどによってその他の電極表面がDC接地から絶縁される限り、又は例えば一部の基板受けチャック内部のセラミック層と同様の内部誘電体層などの固有の直列容量を基板受け電極が有する限り、（イオンエネルギー分布制御に用いられる）非正弦波信号源と基板受け電極との間に別途のDC阻止外部コンデンサを用いる必要性を排除することも可能である。

20

【0030】

1つ又は複数の実施形態では、本発明は、基板におけるイオンエネルギー分布を制御するためにプラズマ処理システムにおいて実施される方法に関するものであってよい。

【0031】

以下の特徴及び議論を参照にして、本発明の特徴及び利点がよりよく理解されえる。

【0032】

図1は、本発明の1つ又は複数の実施形態にしたがった、プラズマ120による基板108の処理中にイオンエネルギー分布を制御することができるプラズマ処理システム100の部品の概略図を示している。プラズマ処理システム100は、基板受け電極106と、非基板受け（NSB）電極104と、プラズマ生成信号源112と、イオンエネルギー分布制御信号源102とを含んでよい。

30

【0033】

基板受け電極106（例：下方電極）は、基板108を支えてよい。基板受け電極106は、静電力を使用して基板108を把持して（又は惹き付けて）よく、基板108に物理的に接触してよい。

【0034】

NSB電極104（例：上部電極）は、基板受け電極106と相対して配されてよく、基板108の表面158に面した表面154を含んでよい。しかしながら、NSB電極は、通例、基板を受ける用ではない任意の電極を表わしてよい。

40

【0035】

1つ又は複数の実施形態では、表面154の面積は、表面158の面積よりも大幅に小さくてよく、また、接地板116、114よりも大幅に小さくてよい。上述された面積比/デューティサイクル間のトレードオフを想定すると、NSB電極104の小サイズは、場合によっては寄生容量及び直列容量の問題の軽減を可能し、また、場合によってはイオンエネルギー分布を制御する効率の向上を可能にすると考えられる。

【0036】

プラズマ生成信号源112は、一実施形態では、基板受け電極106に結合されてよい。プラズマ生成信号源112は、プラズマ120を確立するため及び密なプラズマ120

50

を維持するためのプラズマ生成信号（例：高周波正弦波信号）を提供してよい。プラズマ生成信号は、基板受け電極 106 及び基板 108 に供給されてよい。1 つ又は複数の実施形態では、プラズマ生成信号源 112 は、NSB 電極 104 に結合されてよく、NSB 電極 104 にプラズマ生成信号を提供してよい。

【0037】

イオンエネルギー分布制御信号源 102 は、基板 108 におけるイオンエネルギー分布を制御するためのイオンエネルギー分布制御信号（例：非正弦波 RF 信号）を提供してよい。イオンエネルギー分布制御信号源 102 は、DC 阻止コンデンサ 110 を通じて NSB 電極 104 に結合されてよい。有利な一実施形態において、もし多くの現代のプラズマチャンバ設計においてなされるように接地電極が石英層（又は同様に適した材料）でコーティングされている場合のように、その他の電極表面が DC 接地から遮蔽されているならば、DC 阻止コンデンサ 110 は、排除することができる。もしイオンエネルギー分布制御信号源 102 と NSB 電極 104 との間に DC 阻止外部コンデンサが使用されるならば、その他の電極表面は、DC 接地から遮蔽されている必要がない。

【0038】

その他の実施形態では、イオンエネルギー分布制御信号源 102 は、基板受け電極 106 に結合されてよく、イオンエネルギー分布の制御を目的とした非正弦波信号を、別途の DC 阻止外部コンデンサを間で使用する必要なく提供してよい。この構成では、多くの現代のプラズマチャンバ設計においてなされるようにその他の電極表面が石英層（又は同様に適した材料）でコーティングされている場合のように DC 接地から遮蔽されているか、又は例えば一部の基板受けチャック内部のセラミック層と同様の内部誘電体層などの固有の直列容量を基板電極が有するかが好ましい。

【0039】

以下では、図 6A ~ 7B を参照にして、イオンエネルギー分布制御信号の特徴及び利点について論じられる。

【0040】

図 2 は、本発明の 1 つ又は複数の実施形態にしたがった、プラズマ 220 による基板 208 の処理中にイオンエネルギー分布を制御することができるプラズマ処理システム 200 の部品の概略図を示している。プラズマ処理システム 200 は、基板受け電極 206 と、NSB 電極 204 と、プラズマ生成信号源 212 と、（DC 阻止コンデンサ 210 及び NSB 電極 204 を通じて非正弦波信号を提供しえる）イオンエネルギー分布制御信号源 202 とを含んでよい。プラズマ処理システム 200 の部品及び構成は、図 1 の例におけるプラズマ処理システム 100 の部品及び構成と同様であってよい。また、プラズマ処理システム 200 は、基板受け電極 206 と NSB 電極 204 とが実質的に同じサイズ及び / 又は同じ表面積を有するような対照的な構成を含んでよく、このとき、関連の接地板 214、216 は、実質的に同じサイズ及び / 又は同じ表面積を有してよい。

【0041】

1 つ又は複数の実施形態では、図 1 の例において DC 阻止コンデンサの排除に関連して論じられたのと同様の検討材料のもとで、DC 阻止コンデンサ 210 を排除することができる。

【0042】

図 3 は、本発明の 1 つ又は複数の実施形態にしたがった、プラズマ 320 による基板 308 の処理中にイオンエネルギー分布を制御することができるプラズマ処理システム 300 の部品の概略図を示している。プラズマ処理システム 300 は、基板 308 を支えるための基板受け電極 306 と、プラズマ 320 を取り巻くことができる円筒状（例：リング状）NSB 電極 304 と、NSB 電極 316 と、プラズマ生成信号源 312 と、イオンエネルギー分布制御信号源 302 とを含んでよい。

【0043】

プラズマ生成信号源 312 は、基板受け電極 306 に結合されてよい。プラズマ生成信号源 312 は、プラズマ 320 を確立するためにプラズマ生成信号を基板受け電極 306

10

20

30

40

50

及び基板 308 に提供してよい。或いは又は追加として、プラズマ生成信号源 312 は、円筒状 NSB 電極 304 及び / 又は NSB 電極 316 にプラズマ生成信号を提供してよい。

【0044】

DC 阻止コンデンサ 310 を通じて、円筒状の NSB 電極 304 にイオンエネルギー分布制御信号源 302 が結合されてよい。イオンエネルギー分布制御信号源 302 は、DC 阻止コンデンサ 310 及び円筒状の NSB 電極 304 を通じて非正弦波信号を提供してよい。このとき、NSB 電極 316 は、接地されていてよい。プラズマ 320 を取り巻く円筒状の NSB 電極 304 は、イオンエネルギー分布の制御の均質性及び / 又は有効性を促進することができる。

10

【0045】

或いは又は追加として、イオンエネルギー分布制御信号源 302 は、NSB 電極 316 に非正弦波信号を提供してよい。

【0046】

1 つ又は複数の実施形態では、図 1 の例において DC 阻止コンデンサの排除に関連して論じられたのと同様の検討材料のもとで、DC 阻止コンデンサ 310 を排除することができる。

【0047】

図 4 は、イオンエネルギー分布を制御することができる先行技術のプラズマ処理システムを表わす回路モデル 500 の概略図を示している。回路モデル 500 は、NSB 電極部分 530 と、基板受け電極部分 520 とを含んでよい。回路部分 530 は、NSB 電極におけるプラズマシースを表わしているダイオード 518、コンデンサ 516、及び電流源 514 を含んでよい。ダイオード 518 は、シースの周期的崩壊の結果生じるプラズマシースの整流特性を具現しえる。コンデンサ 516 は、プラズマと電極表面との間における RF 結合を具現しえる。電流源 514 は、プラズマシースを流れる DC イオン電流を具現しえる。基板受け電極部分 520 は、それぞれ NSB 電極部分 530 のダイオード 518、コンデンサ 516、及び電流源 514 と同様の、ダイオード 508、コンデンサ 506、及び電流源 504 を含んでよい。

20

【0048】

回路モデル 500 では、イオンエネルギー分布制御信号源 526 は、DC 阻止コンデンサ 528 及び基板受け電極部分 520 を通じてイオンエネルギー分布制御信号を供給してよい。

30

【0049】

図 5 は、本発明の 1 つ又は複数の実施形態にしたがった、イオンエネルギー分布を制御することができるプラズマ処理システムを表わす回路モデル 550 の概略図を示しており、図中、イオンエネルギー分布制御信号源 576 は、(図 4 のケースでなされるように) 基板受け電極にではなく、NSB 電極に結合されている。回路モデル 550 は、NSB 電極部分 580 と、基板受け電極部分 570 とを含んでよい。回路部分 580 は、NSB 電極におけるプラズマシースを表わしているダイオード 568 と、コンデンサ 566 と、電流源 564 とを含んでよい。ダイオード 568 は、シースの周期的崩壊の結果として生じるプラズマシースの整流特性を具現しえる。コンデンサ 566 は、プラズマと電極表面との間における RF 結合を具現しえる。電流源 564 は、プラズマシースを流れる DC イオン電流を具現しえる。基板受け電極部分 570 は、それぞれ NSB 電極部分 580 のダイオード 568、コンデンサ 566、及び電流源 564 と同様の、ダイオード 558、コンデンサ 556、及び電流源 554 を含んでよい。

40

【0050】

回路モデル 550 では、イオンエネルギー分布制御信号源 576 は、NSB 電極部分 580 にイオンエネルギー分布制御信号を供給してよい。

【0051】

図 6 A は、先行技術にしたがった、基板におけるイオンエネルギー分布を制御するために

50

基板に印加される非正弦波信号400（以下では「信号400」）の概略図を示している。非正弦波信号400は、時間を経て提供される電圧信号であってよく、基板電極において狭い範囲内の高エネルギーイオンを生成するように最適化されている。図6Bは、モデルによって基板において生じると予測されるIEDFを示しており、低エネルギー側及び高エネルギー側の両極に2つの主要ピークを伴う。

【0052】

通常のパラズマ処理（例：誘電体エッチング）の場合、基板表面に到達するイオンの大半又は全部が正電荷を帯びる。したがって、基板電極をパラズマ電位に対して負の電位にしてこれらのイオンを導き出し、高エネルギーイオンを含む制御されたイオンエネルギー分布を基板において提供するために、信号400は、 t_1 と t_2 との間の部分412のような、1つ又は複数の負の非正弦波電圧部分を含んでよい。基板電極における負電位は、実質一定の所望のエネルギーでイオンを惹き付けるために、かなり長い時間にわたって（正弦波の形態ではなく）実質一定であることが望ましい。

10

【0053】

しかしながら、基板は、すなわち内部又は外部直列コンデンサゆえに、DC接地に対して電氣的に浮遊しているのが通常であり、入射イオンからの蓄積電荷を放出させないと考えられる。したがって、信号400は、例えば周期的になどのように時折、パルス402のような正パルスを含むことによって、パラズマから電子を惹き付けて基板電極上の蓄積電荷を中和させる必要がある。一例として、パルスは、400KHzの周波数で（2.5msの周期長で）周期的に加えられてよい。

20

【0054】

負電圧部分（例：部分412）中に基板電極上に正電荷が蓄積されると仮定すると、NSB電極に印加される波形の正電圧部分では、基板電極において次第に正電位が発生する。これは、基板におけるイオンエネルギーを徐々に減少させ、基板における時間平均IEDF中の高エネルギーピークをやむなく劣化させ幅広にする。これは、図6Aに示されるように波形を整形することによって対処することができる。

【0055】

図7Aは、本発明の1つ又は複数の実施形態にしたがった、ドライバによってNSB電極に印加され信号400と同様の信号を基板に印加する結果をもたらす非正弦波信号450（以下では「信号450」）の概略図を示している。一例として、ドライバは、図1の例に示された整形波形生成器を表わしてよい。信号450は、信号400の負電圧部分（例：部分412）に対応する傾斜した正電圧部分（例：傾斜部分462）を含んでよい。信号450は、また、信号400のパルス（例：パルス402）に対応するパルス（例：パルス452）も含んでよい。図に示された例では、信号450は、信号400をちょうど反転させたものであり、RF電力の印加場所が異なるゆえに、印加電圧の極性の変更が必要とされる。

30

【0056】

基板電極の段階的充電に対処するには、信号450において、周期パルス間の例えば部分452のような各正部分の振幅は、信号400の実質一定の部分412を形成するために時間とともに増大して基板電極における正イオンの増加を相殺するように構成されてよい。したがって、イオンは、実質一定のエネルギーで効率的に且つ効果的に基板に惹き付けられる。

40

【0057】

印加される電圧波形がNSB電極においてではなく主として基板電極を通して降下することを保証するために、回路500又は550のいずれにおいても、（信号450におけるパルス452の幅456に対応する）パルス402の最適幅406は、電極総面積に対するNSB電極の大きさに依存すると考えられる。

【0058】

図6Bは、図4の例に示される回路モデル500の構成のように非正弦波信号を基板受け電極に供給される第1の先行技術構成に基づく計算されたイオンエネルギー分布710の

50

概略図を示している。イオンエネルギー分布 710 は、低イオンエネルギーピーク 712 及び高エネルギーピーク 714 を含むことができる。

【0059】

図 7B は、本発明の 1 つ又は複数の実施形態にしたがった、図 5 の例に示される回路モデル 550 の構成のように非正弦波信号を NSB (非基板受け) 電極に供給される構成に基づくイオンエネルギー分布 730 の概略図を、一実施形態にしたがって示している。低イオンエネルギーピーク 732 及び高エネルギーピーク 734 を伴うイオンエネルギー分布 730 は、イオンエネルギー分布 710 と実質等しくなりえるとともに、特定の用途に適することも可能である。

【0060】

イオンエネルギー分布 730 は、図 5 の例に示される回路モデル 550 を利用し、イオンエネルギー分布 710 の生成に用いられる RF 波形を反転させて NSB 電極部分 580 に印加することによって得られる。イオンエネルギー分布 730 は、イオンエネルギー分布 710 を生成した目的であるあらゆる制御用途に適することが可能である。

【0061】

図 1 ~ 7B のうちの 1 つ又は複数を参照にして論じられるように、NSB 電極部分 580 を通じてイオンエネルギー分布制御信号を供給する構成は、制御効率、エネルギー効率、及び費用有効性の向上などの大きな利点を提供することができる。

【0062】

図 8 は、イオンエネルギー分布を制御することができるプラズマ処理システムを表わす回路モデル 800 の概略図を本発明の一実施形態にしたがって示しており、図中、イオンエネルギー分布制御信号源 804 は、阻止コンデンサ 802 を通じて NSB 電極に結合されている。阻止コンデンサ 802 を除く図 8 の回路の残りは、図 5 のそれらと同様であり、ここでは詳述されない。

【0063】

図 5 で用いられるイオンエネルギー分布制御信号 (図 7A を参照せよ) と同様のイオンエネルギー分布制御信号 (図 9A を参照せよ) を図 8 のイオンエネルギー分布制御信号源 804 が DC 阻止コンデンサ 802 を通じて NSB 電極に供給するとき、図 9B に示されるイオンエネルギー分布は、図 5 の回路に関連して得られた図 7B の分布と実質的に同様である。厳密に言うと、図 9A のイオンエネルギー分布制御信号は、図 8 の回路に合わせて最適化されている。それにもかかわらず、(図 9B と図 7B とを比較すると、) 結果は、イオンエネルギー分布制御信号源と NSB 電極との間における (阻止コンデンサ 802 などの) 外部 DC 阻止コンデンサの追加がイオンエネルギー分布を大幅に変化させないことを示している。

【0064】

以上からわかるように、NSB 電極にイオンエネルギー分布制御信号 / 電力 (例: 非正弦波電力) を供給されることによって、本発明の実施形態は、先行技術に優る大きな利点を有することができる。

【0065】

例えば、NSB 電極は、絶縁及び把持に関する要件が最小限である又は全くなく、したがって、本発明の実施形態は、非正弦波通電電極に対する設計上の制約が少なくすむ。

【0066】

本発明の実施形態は、基板受け電極よりも NSB の方が設計上の制約が少ないゆえに、先行技術に関連した寄生容量の問題を最小限に抑える又は排除することができる。上述された面積比とデューティサイクルとの間のトレードオフの可能性を想定すると、NSB 電極のサイズは、基板のサイズに一致する必要がなく、それゆえに、小さくすることができる。したがって、浮遊容量は、更に小さくすることができる。浮遊容量が小さいと、パルスステップに対する応答が速くなり、必要な RF 電流が少なくなる。有利には、イオンエネルギー分布を制御する精度が向上され、イオンエネルギー分布の制御に関連した RF 部品の費用が最小限に抑えられる。

10

20

30

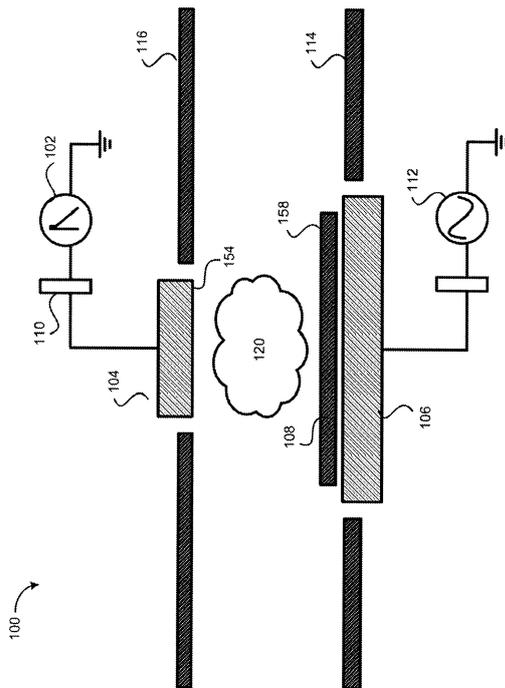
40

50

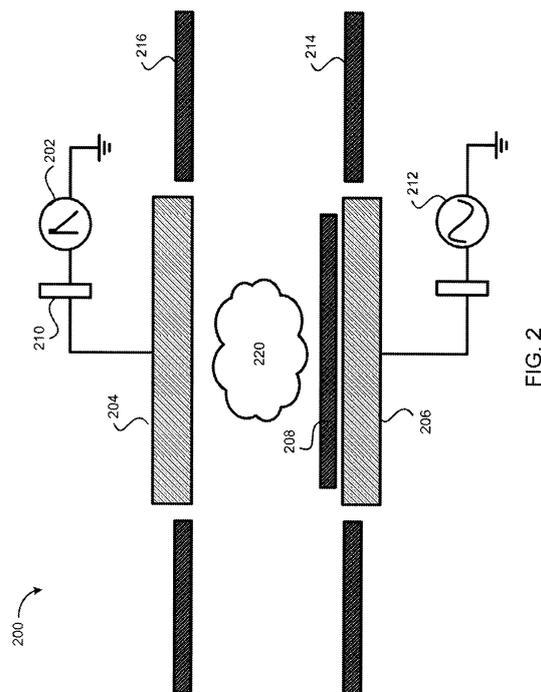
【 0 0 6 7 】

本発明は、幾つかの実施形態の観点から説明されているが、本発明の範囲内には、代替形態、置換形態、及び均等物がある。また、本発明の方法及び装置を実現する多くの代替的手法があることも、留意されるべきである。更に、本発明の実施形態は、その他の応用においても有用性を見いだすことができる。要約の部分は、便宜のために提供されたものであり、文字数の制限ゆえに、読むのに便利であるように記載されており、特許請求の範囲の範囲を限定するために用いられるべきでない。したがって、以下の添付の特許請求の範囲は、本発明の真の趣旨及び範囲に含まれるものとして、このようなあらゆる代替形態、置換形態、及び均等物を含むものと解釈されることを意図される。

【 図 1 】



【 図 2 】



【図3】

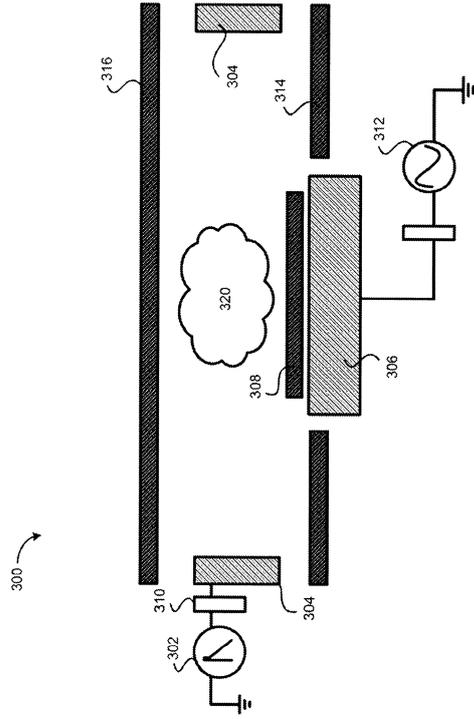
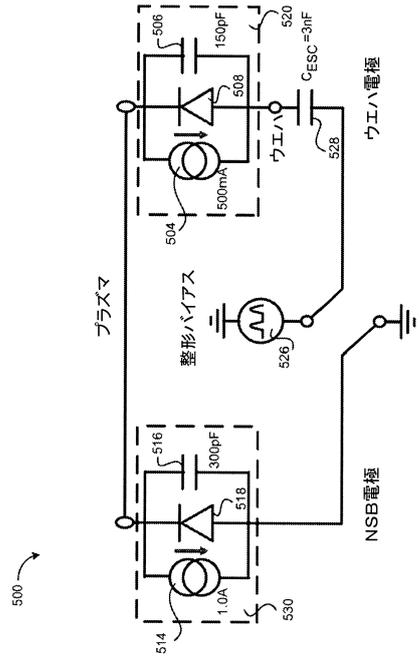


FIG. 3

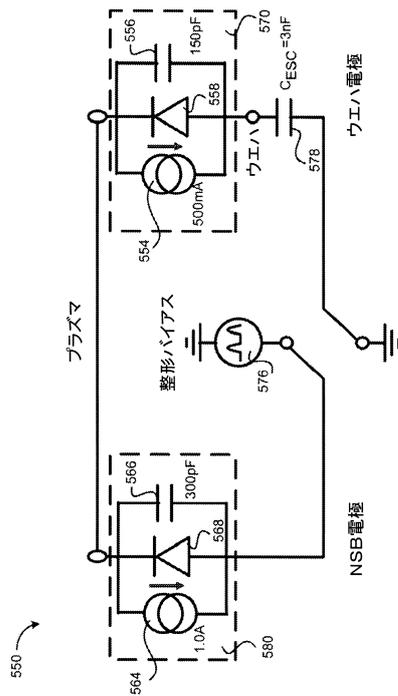
【図4】



ウエハ電極にバイアスを印加する

FIG. 4

【図5】



NSB電極にバイアスを印加する

FIG. 5

【図6A】

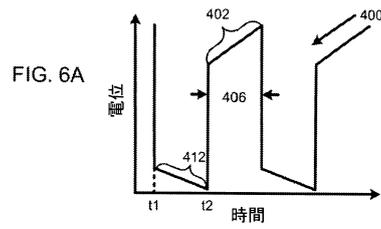


FIG. 6A

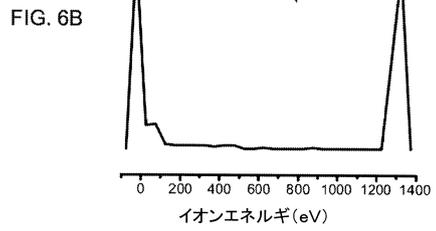
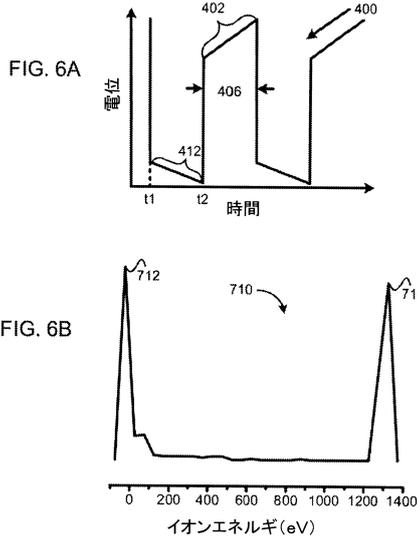


FIG. 6B

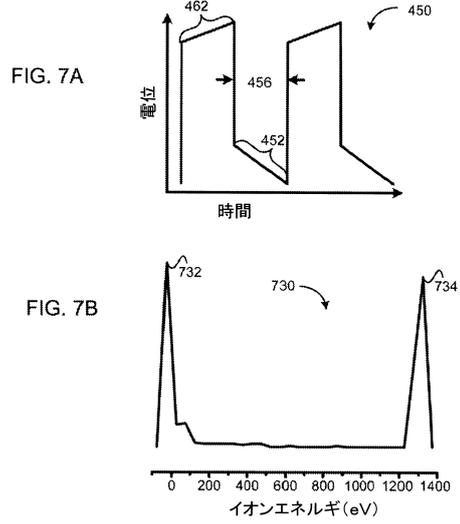
ウエハ電極にバイアスを印加する

【図6B】



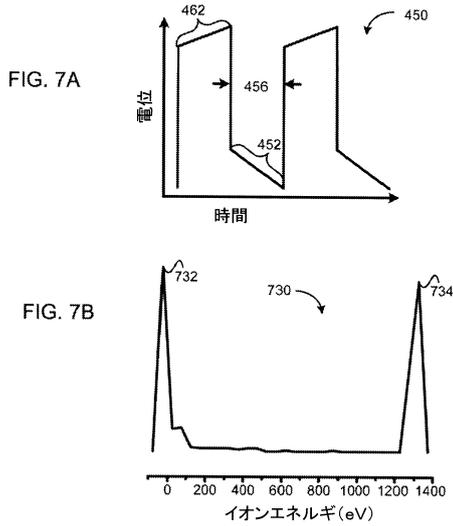
ウエハ電極にバイアスを印加する

【図7A】



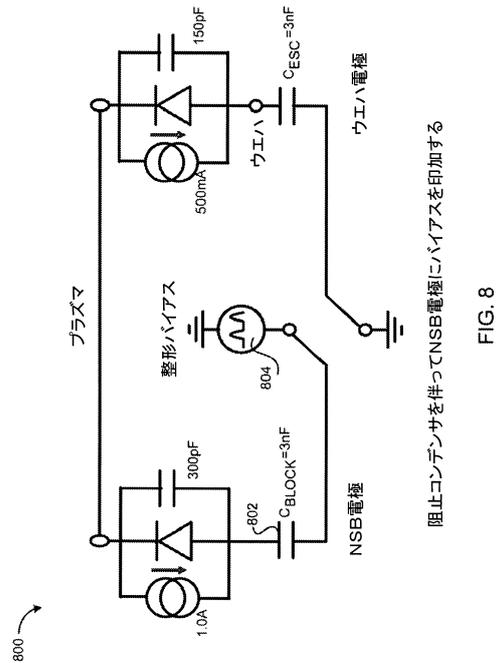
NSB電極にバイアスを印加する

【図7B】



NSB電極にバイアスを印加する

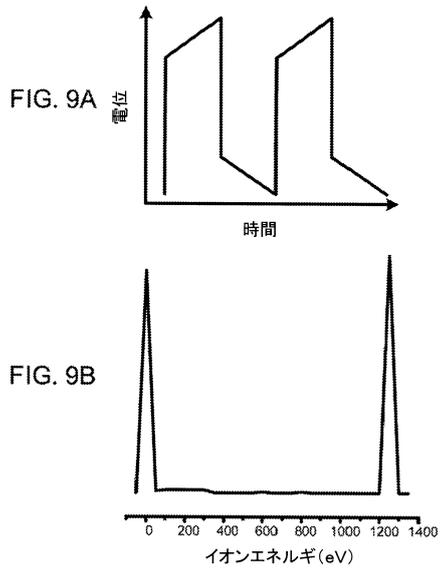
【図8】



阻止コンデンサを伴ってNSB電極にバイアスを印加する

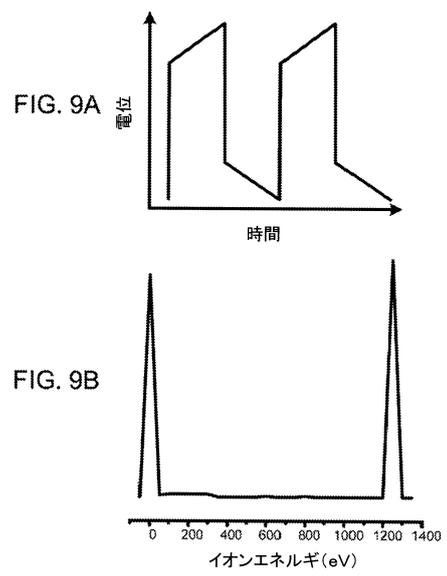
FIG. 8

【図9A】



阻止コンデンサを伴ってNSB電極にバイアスを印加する

【図9B】



阻止コンデンサを伴ってNSB電極にバイアスを印加する

フロントページの続き

(72)発明者 ハドソン・エリック
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 3 8 フレモント, クッシング・パークウェイ, 4 6 5
0, ラム・リサーチ・コーポレーション, リーガル・デパートメント内

合議体

審判長 小野田 誠

審判官 加藤 浩一

審判官 綿引 隆

(56)参考文献 特開 2 0 0 8 - 2 6 3 2 2 6 (J P , A)
特開 2 0 0 5 - 2 0 3 4 9 1 (J P , A)
特表 2 0 0 8 - 5 4 4 4 9 9 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H01L21/3065

H01L21/205

H05H1/46