

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5335418号
(P5335418)

(45) 発行日 平成25年11月6日(2013.11.6)

(24) 登録日 平成25年8月9日(2013.8.9)

(51) Int.Cl.		F I		
H05H 1/46 (2006.01)		H05H 1/46		M
C23C 16/505 (2006.01)		C23C 16/505		
H01L 21/3065 (2006.01)		H01L 21/302		I O 1 B
H01L 21/205 (2006.01)		H01L 21/205		

請求項の数 7 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2008-510585 (P2008-510585)	(73) 特許権者	504094693
(86) (22) 出願日	平成18年5月11日(2006.5.11)		ダブリン シティ ユニバーシティ
(65) 公表番号	特表2008-541367 (P2008-541367A)		アイルランド国, ダブリン 9, グラスネ
(43) 公表日	平成20年11月20日(2008.11.20)		ヴィン(番地なし)
(86) 国際出願番号	PCT/EP2006/062261	(74) 復代理人	100115624
(87) 国際公開番号	W02006/120239		弁理士 濱中 淳宏
(87) 国際公開日	平成18年11月16日(2006.11.16)	(74) 代理人	100077481
審査請求日	平成21年5月11日(2009.5.11)		弁理士 谷 義一
(31) 優先権主張番号	S2005/0301	(74) 代理人	100088915
(32) 優先日	平成17年5月11日(2005.5.11)		弁理士 阿部 和夫
(33) 優先権主張国	アイルランド(IE)	(72) 発明者	アルバート ロジャース エリンポー
(31) 優先権主張番号	11/127,328		アイルランド カウンティ ダブリン マ
(32) 優先日	平成17年5月11日(2005.5.11)		ラハイド ハンロンズ レーン イングル
(33) 優先権主張国	米国(US)		フィールド(番地なし)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ源およびプラズマ源の動作方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

プラズマ励起領域(110)とプラズマ励起リアクタンス性インピーダンス素子(105)と高周波発生器と参照電極(115)とを備え、

前記プラズマ励起リアクタンス性インピーダンス素子(105)は、プラズマ励起領域(110)に隣接し、かつプラズマ励起領域(110)の第1の側面に配置された複数の電極を有し、

前記参照電極は、プラズマ励起領域(110)の前記第1の側面と対向する側面を設置するように配置され、

前記プラズマ励起リアクタンス性インピーダンス素子(105)の複数の電極が、互いに隣接して前記第1の側面に配置された複数の第1の電極と複数の第2の電極とで構成され、かつ10MHz - 300GHzの範囲で動作可能な高周波発生器(125)に結合され、使用時に前記複数の電極(105a、105b、105c、105d)を高周波発生器(125)に結合すると、第1の電極によって導入された何れの電流も第2の電極によって導入された電流で実質的にキャンセルされるように、前記第1の電極に印加される信号と前記第2の電極に印加される信号との位相を互いに不一致とすることにより、プラズマ励起領域へ導入される正味の電流を減少させるように、高周波発生器(125)は前記第1の電極と第2の電極とを別々に制御する構成に設けられる、プラズマ源であって、

75kHz - 460kHzの範囲で動作可能な低周波発生器をさらに備え、プラズマ励起リアクタンス性インピーダンス素子(105)は、前記低周波発生器に追加的に結合さ

10

20

れ、低周波発生器に結合された選択された数の電極が隣接する電極と位相が一致する同相モードで動作可能または前記選択された数の電極が隣接する電極と位相が一致しない差動モードで動作可能であることを特徴とするプラズマ源。

【請求項 2】

前記低周波発生器および前記高周波発生器は同時に動作可能であることを特徴とする請求項 1 に記載のプラズマ源。

【請求項 3】

前記低周波発生器および前記高周波発生器のそれぞれは、各発生器が前記複数の電極の個々に適用されるよう構成されていることを特徴とする請求項 1 に記載のプラズマ源。

【請求項 4】

前記参照電極 (1 1 5) に隣接するワークピースをさらに備えていることを特徴とする請求項 1 に記載のプラズマ源。

【請求項 5】

前記ワークピースは前記プラズマ励起領域内を移動可能であることを特徴とする請求項 1 に記載のプラズマ源。

【請求項 6】

前記複数の電極は、湾曲した素子を形成するように配置され、非平面ワークピースの処理を可能であることを特徴とする請求項 1 に記載のプラズマ源。

【請求項 7】

請求項 1 に記載されたプラズマ源の動作方法であって、該方法は、生成されたプラズマの特性を調整するための高周波発生器を調整することを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、プラズマ源に関し、より詳細には、プラズマプロセス内で制御された波長効果を可能にするために互いに位相が不一致であるように構成されたりアクタンス素子を備えるプラズマ源に関する。

【背景技術】

【0002】

プラズマは、電気を導通するイオン化されたガスである。プラズマを生成するために、収容されたガスに電界が印加され、ガスは、通常は特別に設計されたチャンバに収容される。イオンおよび電子が長い寿命を有する真空チャンバ内では、このことは比較的容易である。MHz 帯の無線周波数 (RF) 電力を、チャンバ内に沈められた 2 枚の金属プレートまたは電極に印加し、それにより容量放電を生成することができる。あるいは、RF 電力をチャンバ壁に取り付けられたコイルに付与し、それにより誘導結合プラズマを生成することができる。

【0003】

半導体産業では、プラズマは、一般的に半導体、絶縁体および金属面であるワークピース (work piece) 上に材料を堆積し、またワークピースから材料をエッチングするために使用される。このプロセスは、特定の電子部品を基板上に形成するために利用される。ワークピースが位置する真空プラズマ処理チャンバの中にガスが導入される。ガスは、アンテナがプラズマウィンドウ付近に電流を伝導する誘導源、または振動電圧とともに 1 つ (または複数) の電極を使用する容量源のいずれかを使用することにより、電気絶縁破壊を経ることによって励起領域内にプラズマを形成する。1990 年代初期まで容量ベースのシステムが好ましい選択肢であったが、1991 年から 1995 年の期間に、誘導源がより一般的になり、金属エッチングまたはポリエッチング用途において優位を占め続けている。しかしながら、この種の誘導源プラズマには酸化物エッチング用途において問題がある。さらに、製造基準に必要な性能および安定性を与える酸化物エッチングのための誘導システムの設計は、誘導ベースのシステムのコストをかなり高くする。

【0004】

10

20

30

40

50

1998年頃に、これらのシステムの製造業者、例えばラムリサーチ社やTELなどの会社が、この分野のプラズマエッチングの問題に対してより安価でより信頼性が高い解決策を提供するために容量システムに再び集中し始めた。更なる開発が、誘導システムを犠牲にした容量システムの再導入につながった。二重周波数容量システムが酸化物エッチング用途に対する好ましい選択肢として再び現れたのは、この環境においてである。

【0005】

この二重周波数システムに向けた傾向の理由は、単一周波数容量リアクタでは、より高いイオン衝撃エネルギーを得るためにRF電力を増やすことは可能であるが、プラズマ密度もまた増加することである。これらの2つのパラメータは、単一の周波数発生器を使用する場合には独立に変更することができない。柔軟性を高めるために、容量プラズマの励起の周波数を2つ以上設けることができる。例えば特許文献1に記載されている典型的なアプローチでは、各々が1つの電極に取り付けられた、2つの別個の電源（高周波電源および低周波電源）が使用される。例えば、MHz信号に対しては高インピーダンスであるように見える一方、kHz信号では頂部電極を接地するインダクタを使用してフィルタ処理を用い、2つの信号間の相互作用が最小限に抑えられる。同様に、コンデンサを使用して、高周波信号に対して下部電極が接地される。代替構成は、三極管、または、プラズマが特定の放射状幾何学的配置内に閉じ込められている閉じ込められた配置を含み、また、両方の電源が同一の電極に接続されているさらなる配置も使用することができる。全ての場合において、基板、必然的に関連するピンおよびリフター等の基板操作部品、冷却剤、センサなどが、RF駆動であり、したがって外界への結合はそれらの環境に同調(symmetric)する必要がある。これは、設計上の複雑性をもたらし、必然的にコストに高くする。

【0006】

かなりよい近似として、二重周波数容量システムでは、高周波電力がプラズマ密度を制御すると言える。より高い電流に起因して、より効率的な変位電流がプラズマおよびシース加熱機構へのオーム電力を増加する。低周波励起は、イオン衝撃エネルギーに影響を与える。したがって、ユーザにはイオン衝撃エネルギーおよびプラズマ密度を別個に調整するいくらかの能力があるが、それは単一の励起周波数ではあまり容易でない。この設計のリアクタは、PECVD（プラズマ化学気相成長法）およびプラズマエッチングの両方において用途が見出された。

【0007】

最も知られたシステムは、それを通して電力がプラズマ領域を導入することができる単一の電極を使用する。特許文献2～4には、複数の電極セグメントを有し、各セグメントがそれぞれに接続されたRF電源を有する分割電極構造(segmented electrode structure)の使用が説明されている。制御システムが、プラズマ負荷インピーダンスを適合させるためにインピーダンスを動的に変えるように構成されている。これらの配置は、電極間のいかなる相互作用も最小限に抑えるように特に配置され、それによって、電極素子が互いに同位相であることを意味する。しかしながら、すべての場合において、高動作周波数において電磁出力分布に波長効果を生じさせることができる、プラズマ中に導入される正味の電流がなおあり、不均一な電圧および電流、プラズマ中への不均一なパワー付与、ならびに結果として生じる基板表面上の不均一なプロセス(エッチングおよび/または堆積)に結びつく。

【0008】

【特許文献1】国際公開第WO03015123号パンフレット

【特許文献2】米国特許出願第2004/0168770号明細書

【特許文献3】米国特許第6962664号明細書

【特許文献4】米国特許第6884635号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

リアクタ設計におけるこれらの進歩にも関わらず、多くの問題点が依然として存在する。これらには、電圧の不均一性を引き起こし、電極表面に平行してプラズマ内に電流を導入する前述の波長効果が含まれ、これらの条件の下では、不均一なパワー付与もあり、これはプラズマの性能を劣化させる不均一なプラズマ密度を生じると予想されうる。

【0010】

それゆえ、これら及び他の問題点を克服するように構成されたプラズマ源を提供することが望まれている。

【課題を解決するための手段】

【0011】

これら及び他の問題点は、本発明によるプラズマ源によって対処される。本発明の第1の実施形態によるそのような源は、複数の隣接した電極を設け、各電極は、それに隣接した電極に対して位相が不一致である。

【0012】

前記電極は、例えば平坦、半球状、ドーム、凸形、凹形、および/または波状を含む、複数の異なる幾何学的構成のうちの任意のものとすることができる。前記電極は、生成されたプラズマと直接に接触するように設けることができる。本発明による配置を用いて、電極間隔および/もしくは出力分布設計、ならびに/または例えばコンデンサおよび/もしくはインダクタなどの能動素子の含有を変更することによって、中心から縁へのパワー付与 (centre-to-edge power deposition) を制御することが可能である。

【0013】

それゆえ、本発明は、請求項1に記載のプラズマ源を提供し、有利な実施形態が従属項に詳述されている。本発明はまた、プラズマ源を動作させる方法を提供する。

【0014】

本発明のこれら及び他の特徴を、本発明の例示的实施形態を参照して説明する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

図1は、本発明の実施形態によるプラズマ源100の動作部品 (operational component) の概略図を示す。プラズマ源100は、プロセスガスをその中に導入することができるプラズマ励起領域110を備える。この領域は、最終的なプラズマ体積を確定し、ガスが、この領域内に配置されたワークピースの加工に使用されるプラズマに変換されるのはこの領域においてである。プラズマ励起リアクタンス性インピーダンス素子 (plasma exciting reactive impedance element) 105が、励起領域110の上に設けられる。この素子は、高周波 (HF) 発生器または源125に結合され、この素子に対する印加は、プラズマの密度を制御するために使用される。本明細書において高周波という用語は、時には無線周波数帯から超高周波数帯の周波数と呼ばれる、10MHz - 300GHz帯で与えられる電磁放射を包含することが意図されている。参照電極115が領域110の下に変位されて (displaced)、任意選択で低周波 (LF) 源に結合され、その印加は (現在の最高水準の技術のように) 表面に当たるイオンのエネルギーを制御するために使用される。本発明の源とともに用いられる低周波発生器の標準値は、75 - 460kHz帯の出力を与えるものであり、例示的発生器としては、ENI、RFPPおよびAdvanced Energyによって供給されるものが挙げられる。本発明の文脈において、低周波源はイオンエネルギーを支配的に駆動し、シース上の容量電圧をもたらすものである。低周波源が高周波源と共に動作可能なとき、2つを区別可能なことが望ましく、したがって、低周波の動作周波数と高周波の動作周波数との間の1桁の分離で充分である。オーミック電力付与 (I^2R) がHF電力と比較して小さいように、LFは十分に低いプラズマ電流を有することが意図されている。その時、LF寄与は、支配的に電極に対する電圧にある。特定の用途では、例えば1つが13.56MHzで他方が約300 - 800kHzというように、望ましくは2つ以上のLFセクションを直列に設けることができることが理解される

10

20

30

40

50

だろう。

【 0 0 1 6 】

参照電極は、ワークピースのためのマウント（図示せず）を提供し、それは一般に半導体、絶縁体または金属基板である。素子 1 0 5、1 1 5 への適切な電界の印加は、プラズマの中性種に対するイオンおよびラジカルの正しい比率、そしてワークピースに入射するイオンのエネルギーの制御を生成し、かつ維持する役割を果たす。ガス輸送および励起領域におけるこれらの粒子の滞留時間は、重要な役割を果たす。この制御は、使用されている選択された堆積プロセス又はエッチングプロセスにとって正しい方法を確実にするために必要とされる。

【 0 0 1 7 】

本発明によると、リアクタンス素子は、複数の個々の電極から作製される。個々の電極は、この例では 4 つの電極 1 0 5 a、1 0 5 b、1 0 5 c、1 0 5 d として示され、この 4 つの電極は、組み合わせられて 2 組の電極 1 0 5 a / 1 0 5 c および 1 0 5 b / 1 0 5 d を形成する。望ましくは、偶数の電極が設けられ、各電極が、隣接した電極に差動信号を供給するように構成された高周波電源に個別に接続される。このように、第 1 の電極 1 0 5 a に印加される信号は、そのすぐ隣の電極 1 0 5 b に印加される信号と位相が不一致である。同様に、電極 1 0 5 b は電極 1 0 5 c と位相が一致せず、電極 1 0 5 c は電極 1 0 5 d と位相が一致しない。このようにして、高周波発生器または駆動装置が、電極の組の間の差異 (d i f f e r e n t i a l) を生成するとみなすことができる。まさに誘導結合の性質によって、波長効果が電極およびプラズマ内に存在するが、本発明のリアクタンス素子を構成する複数の電極は、不均一な効果という従来の単一電極の問題と対照的に、
20 所望のプラズマ密度を得るように波長効果を制御することができるという点で有利である。リアクタンス素子に隣接して生じる電極寸法のスケール長の不均一性が、基板における過剰なプラズマ不均一性に結びつかないように、個々の電極の寸法が選択されて最適化される。これらの寸法は、プラズマ源が使用される特定の用途に応じて変化する可能性があるが、個々の電極の寸法は、この源と基板またはワークピースとの間の距離以下であり、そして、特定の用途に対して望まれるならば均一な効果を与えることが好ましいことが理解されるだろう。電流の等化 (e q u a l i s a t i o n) に対する要件がある場合、変圧器 1 1 1 も任意選択で備えることができる。

【 0 0 1 8 】

本発明の源によって提供される複数の電極は、プラズマ体積部分の中に誘導される正味電流の制御を可能にする。高周波で、プラズマ体積部分の中に導入される任意の正味電流が、ワークピースの表面上の電圧非対称に波長効果を介して反映される可能性があることは理解されよう。これは、有利なことではない。隣接したセグメントへの電流の効果的結合を通して、ワークピースにおけるこれらの波長効果を取り除くためにプラズマ体積部分の中に導入される正味電流の合計を減少させることが可能である。複数のセグメントが同様に構成された同相電極の組に分割されるアレイ構造において、各組は、正味電流をこの体積部分の中に導入することができるが、導入される正味電流の組合せ又は合計は、互いに実質的に相殺することによって減少させられる。このような相殺は、異なる組を互いに
40 位相が一致しなくすることによって達成され、正味の効果は、1 つの電極の組によって導入されるいかなる位相効果も、別のそれによって相殺されることである。

【 0 0 1 9 】

図 2 は、L F および H F 供給源の両方がリアクタンス素子に接続されている図 1 の配置に対する変形形態であるプラズマ源 2 0 0 を示している。本実施形態において、H F 発生器および L F 発生器は、同時に又は互いに独立に印加することができる。両方の発生器を同じリアクタンス素子プレートに結合することによって、下部電極、参照電極、を接地することが可能である。この接地への経路にコンデンサを設ける必要はなく（すなわち、参照電極は接地に直接に接続することができる。）、チャンバの設計要件が単純化されるという点で参照電極を接地可能にするこの配置は非常に有利である。例えば、可動底部ステージが設けられた構成において、その可動ステージを構成するベローズ (b e l l o w s)

10

20

30

40

50

)が未知で変動するインピーダンス経路を確定することが従来は必要であったが、下部ステージを接地することでこれはもはや要求されない。公知技術を使用して、LF出力の効果は、プラズマ体積部分を閉じ込めることによって閉心領域において最大化することができることが理解されるだろう。これは、例えば石英閉じ込めリングなどの様々な方法で達成されることができ。

【0020】

LF供給は、差動または同相モードのいずれかで供給することができる。差動モードにおいて、そのすぐ隣に設けられた電極と位相が一致しない第1の電極に印加される低周波信号によって、イオンエネルギーが、リアクタンス素子電極またはそれに結合された誘電材料に与えられる。LF供給源が同相モードで提供される場合、より大きなイオンエネルギーが参照電極に与えられ、そして正味電流がプラズマ体積部分内に導入される。したがって、同相モード構成のリアクタンス素子を構成する複数の電極の駆動は、参照電極に取り付けられたワークピースへのイオン衝撃を制御する。差動モードは、基板(参照電極)に対するより低いイオンエネルギーに結びつくが、材料をスパッタし、かつ/または電極を堆積からきれいに保つためのリアクタンス素子に対する高イオンエネルギーを保持することが理解されるだろう。図1を参照して記述されるそれと同様に、変圧器112を、任意選択で、同相モードまたは差動モードのいずれかでLFを結合するために設けることができる。さらに、他の技術、例えばLF電力をHF線に結合するローパスフィルタ又はLFマッチボックス部品を使用して、LF電力をシステムに結合することができると理解されることになるので、LFを供給するために使用される例示された方法は、実装することができた方法の種類の例示であると理解されるであろう。

【0021】

発生器または供給源は、VHFまたはRFモードのいずれかで動作させることができ、その違いは、VHFモードでは高周波が誘導的に結合され、RFモードでは容量的に結合されることである。周波数を変える能力は、誘導放電から容量放電への転移を制御することを可能にし、それにより、従来技術の構成におけるように単一電極が利用される場合に起こると思われるように、結果として生じる非一様なエッチング(又はプラズマ処理を使用して与えられるどんな表面処理)プロファイルがワークピース上に生じることなく、高周波から低周波まで、又はその逆に進むことができる。誘導放電が支配的になる実際の周波数は正確でないものの、それは、プラズマ放電が主に誘導ベースである約500MHzの周波数であると考えられる。

【0022】

これまで記述された形態に対する変形において、本発明はまた、正弦波動作と対照的にスイッチモードで動作するHF源を提供する。このようなスイッチモード動作は、誘導結合の量を決定する「有効周波数」を得るためにスイッチ領域のスルーレート(slew-rate)を変更することが可能であるという点で有利である。リアクタンス素子が高圧状態、すなわちプラトー領域に残される時間の長さは、上方電極、そしてこの源が閉じ込められた配置で使用されるならば下部電極のイオン衝撃エネルギーを制御するであろう。高電圧の値の選択は、それがイオン衝撃エネルギーを制御し、また上方電極をきれいに保つこと補助するという点で有用である。ランプアップ(ramp up)間の、すなわちスイッチング間の周期の制御は、体積部分の中に付与される電力に対する制御を与える。スイッチモード発生器は、明確な特性および部品によって、一般的なエレクトロニクス分野において周知である。このようなスイッチモード発生器を使用する能力は、プラズマ源のコストの減少を可能にする。スイッチモード発生器は、等価的な正弦波ベースの発生器より安価なのである。スルーレートを制御することによって、容易にRF領域から超高周波数(UHF)へ移ることが可能であり、それによって、プロセス化学および/または電子温度(Te)を調整する可能性を提供する。スイッチモード動作の種類が図7に示され、ここで図7aに、相対的に一定の高電圧信号または低電圧信号を有する平らなプラトー領域を与えられることが示され、一方図7bに、多ステップ構成が与えられる。スイッチ領域は「A」とマークされ、プラトー領域は「B」とマークされる。「A」領域

10

20

30

40

50

は、電圧スイッチと電極との間の、設計かつ制御可能のリアクタンス素子によって引き起こされるオーバーシュートとみなすことができる。

【 0 0 2 3 】

図9は、このようなスイッチモード動作を提供する際に使用することができる種類の回路構成の例を示す。この構成では、LF発生器900、負供給源905および正供給源910はすべて、一つ又は複数の電界効果トランジスタ(FET)920または他のなんらかのスイッチング素子を介して、一つ又は複数の電極925に切替可能に結合される。使用されるスイッチのいずれもが高速スイッチであることが最適である。電極は、それぞれの供給源に個別に接続することができるか、または同時にすべて切替えられる電極の組にグループ化することができる。FET駆動素子930がスイッチングを制御するためにFETに接続され、そして、選択された切替えられる電極は、制御線935によって決定される。図9に例示される実施形態において、制御線は、(LF供給源、正供給源および負供給源に類似した形態で)変圧器940のコイルを経てFETドライバに結合される。別の実施形態では、例えば制御線が光学フィードとして設けられている場合には、それは直接にFETドライバに結合することができる。

10

【 0 0 2 4 】

これまで、本発明は平坦なワークピースと共に動作するように構成されたプラズマ源を参照して説明され、ここで、リアクタンス性インピーダンス素子および参照電極を構成する電極は、互いに、そしてワークピースに対して実質的に平行である。このような配置は、平坦なウェーハがエッチングのために提供される半導体環境における用途に対して有利で有用である。しかしながら、プラズマ源は、平坦でない基板、例えば織物スクリーン印刷(textile screen printing)用途におけるフィルム等処理することが望まれる他の用途でも使用できることが知られている。図3は、フィルム305が最初にリール310上に設けられる構成300等において用いるために、本発明をどのように構成することができるかを概略的に示す。フィルムは、最初のリール310から巻出(unwind)ステーション315上に巻き出されて、処理される場所であるプラズマ源105を通過し、巻戻(rewind)ステーション320に巻き戻される。リアクタンス素子を構成する複数の電極が、拡張された領域にわたる均一なプラズマの供給を可能にするので、本発明のプラズマ源は、このような大寸法表面を処理するのに適している。本発明の構成は、より高い周波数源の設備の使用を可能にし、したがって、プラズマ源を通過するフィルムの速度を増加することができる。リアクタンス素子の複数の電極が印加プラズマの均一性を損なうことなくより高密度印加を可能にするので、これらのより高い周波数は、プラズマ品質の減損に至らない。このような構成はまた、大面積の同時処理が必要とされるプラズマスクリーン、LCDディスプレイ、金属/ガラス上の工業コーティングなどのために変更することができることは理解されるだろう。この実施形態に示されるLF供給源は基板プレートに結合されているが、図2を参照して説明したのと同様に、上部のリアクタンス素子を通した低周波フィードを有することもできることは理解されるだろう。本発明の特徴は、この源を、材料の移動の方向に延長することもできることである。したがって、表面のプラズマ処理(エッチング、堆積、表面特性の変更など)の量は、プラズマ源の物理的な広がりによって制御することができる。これはさらに、異なるステップによって実行される処理の量を個別に最適化することができる複数の処理ステップの統合を可能にする。例えば、処理される材料が1m/分の速度を有し、25および50cmの物理的な長さの2つの連続したプラズマ源領域を通過する場合、2つの源に対する有効処理時間は、それぞれ15および30秒であるだろう。このようにして、本発明の教示に従う電極構成は2次元で設けることができ、第2の次元が反応体積部分を通した基板の移動を可能にし、源を通して進行する際にウェブ(web)の連続処理を可能にする。

20

30

40

【 0 0 2 5 】

特定の用途では、湾曲した処理領域の使用が必要な場合がある。本発明は、2つの方法のうちいずれかでこのような処理を可能にする。第1に、図3を参照して説明したの同

50

様に、本発明は、湾曲したワークピースを処理するためにリアクタンス素子の実質的に平坦な構成を利用する。図4は、本発明の教示に従う代替構成を示しており、この源を平坦でないプラズマ体積部分に適用することができる。この例では、平面電極を非平面幾何学的配置で配置するか又は非平面電極を設けるかのいずれかによって、非平面構成で構成することができる電極構成を設けることは有利になりうる。図4の例は、複数の平面電極が、複数のそれぞれ六角形にされた電極405を備える六方最密構成400に配置された前者の構成を示している。この例では、図1から3の構成の直接プッシュプル動作と対照的に3相駆動メカニズムが使用され、そして各電極は、(それぞれ1、2、3とラベルすることによって識別される)3つの源のそれぞれに接続される。先の図の実施形態と同様に、隣接した2つの電極のどれも互いに同位相でない。各源の出力構成の例については、図5を参照されたい。電流均衡を補助するために、3重巻き(tri-filar)変圧器を使用することができる。これは、基板より上の低電圧の供給および電流の均一化を可能にするという点で有利である。他の状況において、正味電流それゆえ正味電圧を参照電極に駆動することが有用である特定の用途では、電流不均衡の素子を有することが有利でありうるということが理解されるだろう。更に理解されるであろうことは、2および3相源の例は、本発明のリアクタンス素子とともに使用することができる種類の周波数発生器の例示であり、特定の他の用途では、より高次の相供給を提供可能な源を必要とする場合があることである。

【0026】

本発明の電極構成によって可能にされる幾何学的配置は、例えば図8に示されるリエントラントプローブを設けるために使用することができる。リエントラントプローブ800のこの例示的な実施形態において、電極構造体805がワンド(wand)810の端に設けられている。このワンドは、構造体805を閉じ込められた領域に挿入して、従来のプラズマ用途に適していない瓶のコーティングや、自動車および航空部品ならびに他の部品の処理等の用途に対して、内部表面へのプラズマコーティングの塗布を可能にするために使用される。本発明によって提供されるRFリエントラントプローブでは、RFは、電極構造体において局所的に提供することができ、またはプローブに対して外部に生成して構造体までワンドを下って伝達されることができる。この構造体が球形の幾何学的配置として設けられる場合、電極は、例えば半球構成で配置された2つの異なったセグメント815a、815bの形、または、ゴルフボール上のくぼみの配置にいくらか類似した、球体の表面のまわりに配置された複数のセグメントの形で配置することができる。球形の幾何学的配置に言及したリエントラントプローブの説明は、高周波で電力を供給される複数の電極と共に実装される任意のリエントラントプローブが本発明の文脈の範囲内に包含されることが意図されているという点で、限定的であることを意図していない。

【0027】

本発明のプラズマ源は、放射状ガス流およびプラズマ体積部分の周囲のポンピングを有するシャワー効果電極等の周知のガス配給フィード(gas distribution feed)とともに使用することができるが、本発明はまた、特定の実施形態において、下部の参照電極からのガスの除去を可能にするガス配給フィードを利用する源を提供する。図6は、このような源の一部を示しており、リアクタンス素子を構成する2つの隣接した電極が図示されている。電極は、ガスフィードチャンバ600の下に取り付けられ、このチャンバ内にあるガスは、第1に、入口導管(entrance conduit)620を通してフィードチャンバ630に、次に、既存のシャワーヘッド(shower head)技術から当業者に公知である種類の電極に形成された複数の開口605を通して、プラズマ励起領域110の中に導入することができる。一旦ガスが励起領域110の中に入ると、ガスは、電極の上のガス出口615を設ける接地板610に向けてポンププレナム(pump plenum)620中に流れる。ポンププレナムは、プラズマ体積部分から電氣的に絶縁され、それによってこの領域でプラズマが再形成する可能性を取り除く。この励起領域からのガスのポンピングは、参照電極上で処理される基板とエッチ液ガスが相互作用する可能性を取り除く。ガスが電極周辺を動き回るこの配置において、電

10

20

30

40

50

極を二酸化珪素等の誘電材料625でコーティングすることが必要だろう。そのような誘電体コーティングが、ガスの出口経路を確定するように示されているが、コーティングの正確な範囲は用途に従い変化することができる。

【0028】

本明細書に記載してきたものは、制御された均一性プロファイルプラズマを提供するために、電極間隔および/もしくは配電(power distribution)設計ならびに/または例えばコンデンサおよび/もしくはインダクタなどの能動素子によって中心から縁へのパワー付与(centre-to-edge power deposition)を可能にする新しいプラズマ源であることが理解されるだろう。このことは特定の用途において、特定の選択された領域がその他の領域とは対照的により大きなプラズマ堆積の領域であるように、用途の特定の領域でプラズマのプロファイルの差異を必要とする。他の用途では、基板全体に同じプロファイルを必要とする場合がある。電極を例示的实施形態に関して説明してきたが、特定の用途のために選択される構成は、例えば平坦、半球状、ドーム、凸、凹、波状等を含む任意の形状のプラズマ対向素子(plasma facing element)上に配置された電極を有するようなものとして理解されることが理解されるだろう。電極は、プラズマと直接に接触するか、あるいは、例えばSiN、AlN、SiC、SiO₂、Siなどの材料から形成される誘電体窓を通してプラズマと相互作用することができる。本発明の配置は、イオンエネルギー(E_{ion})およびイオン束(i_{ion})のHF+LF独立制御との互換性を含む、従来技術に対する多くの顕著な利点を提供する。

10

20

【0029】

RFからUHFまでスキャンする能力は、プラズマ制御の新しい次元、すなわち、プラズマ密度およびイオンエネルギーから独立してプラズマ化学作用の制御を可能にする。

【0030】

リアクタンス素子を構成する個々の電極を小さい寸法にすることができ、そしてこれらの寸法はプラズマ体積部分を確定することができるので、小さいプラズマ体積部分を有するプラズマ源を提供することが可能である。個々の電極または電極の対からの任意の個々の非一様な電力結合は、電極から十分大きい距離において非一様なプラズマ密度に結びつかない。具体的には、各素子の大きさが縮小されると、生成されたプラズマ全体を均一にするために必要なプラズマ体積部分内の距離は低減することが理解されるだろう。拡張領域にわたり最小の中心から縁へのパワー付与効果を提供するように構成することができて、それが大きい基板(300mmウェーハ、FPD、織物等)に適しているため、この源は、多くの異なる寸法の基板とともに使用することができる。これは、1つの寸法の基板から別のものでスケールアップ(scaling)する簡略化されたプロセスを可能にする。

30

【0031】

同様に、必要とされるプロセスに適合させるように動作周波数を選択することができるので高周波源の使用可能性は有利であり、また、プラズマ不均一性を導入せずにこれまで達成可能なものと比べてより高い周波数を用いることが可能である。

【0032】

この源は、現在の世代のシステムに類似したガス配給フィードとともに使用するか、あるいは、エッチ液または堆積副産物ガスと基板材料との間の任意の相互作用を最小限に抑える分布フィードとともに使用することができる。

40

【0033】

下部電極が接地可能なのでシステムコストが減少。これは、補助機器を接地から分離する必要がないという要件があった高周波下部プレートを設ける必要がもはやないという点で有利であり、本発明の構成は、補助機器を接地することを可能にする。

【0034】

低いコストで必要な周波数を供給することができる高度なHF電源供給技術および直接駆動スイッチモード電力(direct-drive switch-mode pow

50

er)との互換性。下部電極を通してのHFがなく、したがって可変間隙(variable gap)の設計がしやすい。HF成分がもっぱらリアクタンス素子に印加されるので、チャンバボディを通してのHF反射を最小限に抑えることが可能であり、したがって、閉じ込められていないプラズマの発生は生じにくい。さらに、もはや、チャンバの他の構成部分内にこのようなHF経路を厳密に設ける必要がない。

【0035】

本発明は、複数の物理的に個別に異なるリアクタンス素子であって、隣接した電極が互いに位相が一致せずに接続されるものを提供することが理解されるだろう。2つの隣接した電極が互いに同位相で接続されるならば、それらは実質的に物理的により大きい単一電極のようであり、そして、この種の単一のより大きい電極はそのすぐ隣と位相が一致しないことが理解されるだろう。

10

【0036】

本発明のリアクタンス素子は任意の構成またはアレイ構造、例えば2次元のアレイまたは線形構造で提供され、理解されるように、必要とされる用途に従う寸法が決定される。本発明の構成は、VHF/UHF動作要件および性能水準との互換性を維持しつつ、このような設計(scaling)を可能にすることが理解されるだろう。

【0037】

本明細書に記載されたのは、従来の単一電極アプローチと対照的に、複数の電極を使用するプラズマ源に対する様々な変更態様であることが理解されるだろう。本発明の教示に従う源を導入することによって、ウェーハ当たりのコストを低減し、エッチングならびに半導体およびフラットパネル製造プロセスにおける化学気相堆積(CVD)に対する歩留を高めることが可能であり、また、300mmより大きいウェーハまで、および大型ディスプレイ用途のために設計可能である。このような利点等は、ドライバ制御を通しての、およびガスポンピング配置を通してのプラズマのより大きな制御が可能であり、エッジ効果の減少があるという事実を含む様々な理由のために、そして低プラズマ体積部分を使用してプラズマ生成を可能にすることによって可能である。

20

【0038】

本発明の教示に従うプラズマ源の使用が利点を有する多くの異なる技術が存在する。これらには、プラズマエッチング、CVDおよび改質(modification)が含まれる。後者の用途である改質は、プラズマ技術を使用した基板の処理を基板の表面特性の変化をもたらすために使用できるものである。これは、材料の(実質的な)堆積または除去を伴わずに表面の物理特性および/または化学特性を変えることによって達成することができる。例えば、脂質の端部上のダングリングボンドを変えることのみによって、表面を疎水性または親水性にすることができる。例えば、水ベースの染料を使用できるように、ウールに水を吸収させることができる。時には、改質は「官能化」および/または「不動態化」と呼ばれる。これらの3つの技術題目の各々の範囲内で、本発明のプラズマ源に適合可能な様々な用途が存在する。このような用途には、プラズマエッチングウエハ製造機器、生産個別表示基板および個別太陽電池基板におけるプラズマエッチングの使用、ロール・ツー・ロール(roll-to-roll)方式の太陽電池基板の生産におけるプラズマエッチング、太陽電池、建築用ガラス、航空機塗料、医療機器、自動車用途等の個別基板と共に使用されるCVD、および、紙、金属、布、プラスチック等と共に用いられるロール・ツー・ロール方式の用途に使用されるCVDが含まれる。

30

40

【0039】

したがって、本発明は例示的实施形態に言及して説明してきたが、1つの図を参照して説明した特定の構成部分または構成を、必要に応じて別の図の構成と共に使用することができることが理解されるだろう。本発明の精神または範囲から逸脱することなく変更または改変をすることができるので、本発明のこれらの実装例のいかなる説明も、どのような形であれ本発明を限定することを意図していない。本発明は、添付の特許請求の範囲に照らして必要とみなすことができる場合を除いて、どのような形であれ限定されるものではないことが理解されるだろう。

50

【0040】

同様に、備える、含む (comprises / comprising) という単語は、本明細書において使用される場合、述べられた特徴、整数、ステップまたは構成要素の存在を明示するが、一つ又はそれ以上の他の特徴、整数、ステップ、構成要素またはそれらの群の存在または追加を妨げない。

【図面の簡単な説明】

【0041】

【図1】本発明の例示的实施形態を示す概略図である。

【図2】LF電源への代替的結合配置を示す、図1のシステムに対する変形形態を示す図である。

10

【図3】本発明のプラズマ源をフィルムと共に使用するための構成を概略的に示す図である。

【図4】3相電力供給構成において使用可能な電極構成の例を示す図である。

【図5】図4の電極構成と共に使用するための3つの電源間の位相差の典型的構成を示す図である。

【図6】本発明によるプラズマチャンバにおいてガスを導入し、またポンプするための、代替的ポンピング構成を示す図である。

【図7a】本発明の教示に従う源の動作において使用するためのスイッチングシーケンスの例を示す図である。

【図7b】本発明の教示に従う源の動作において使用するためのスイッチングシーケンスの例を示す図である。

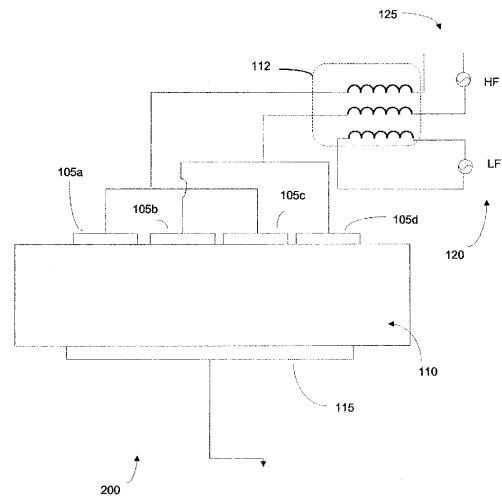
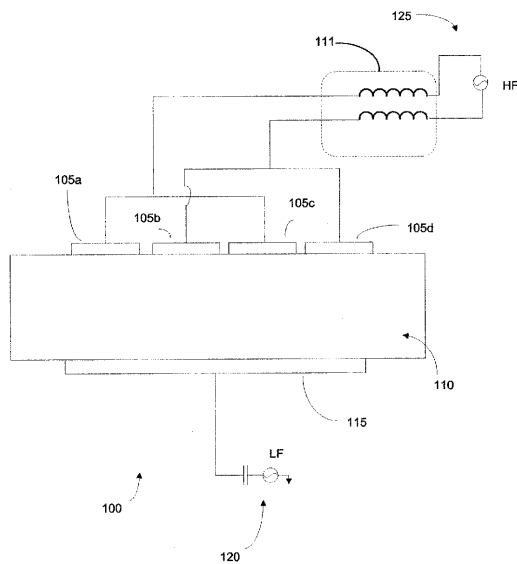
20

【図8】本発明の教示に従うリエントラントプローブの概略図である。

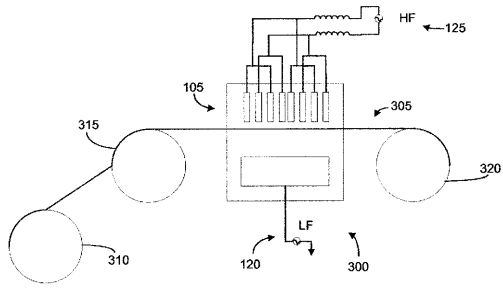
【図9】スイッチを使用して、LF発生器を2つ又はそれ以上の電極と結合すると共に高周波数電力を提供するために使用可能な種類の回路の例を示す図である。

【図1】

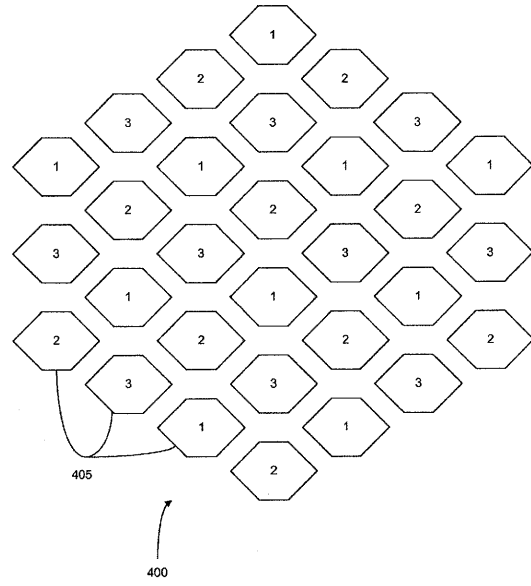
【図2】



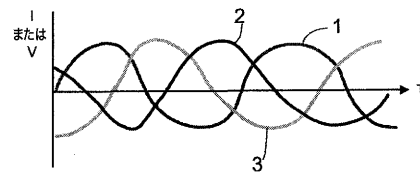
【図3】



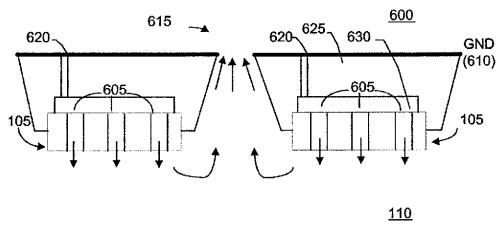
【図4】



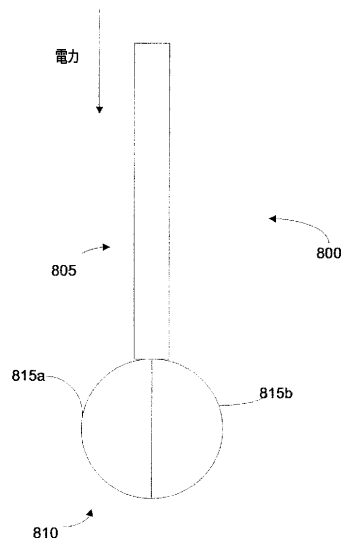
【図5】



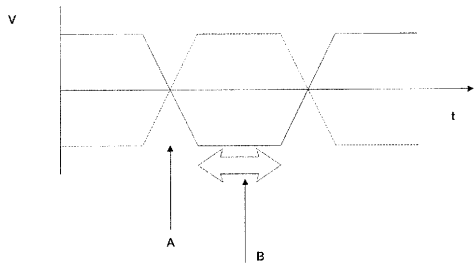
【図6】



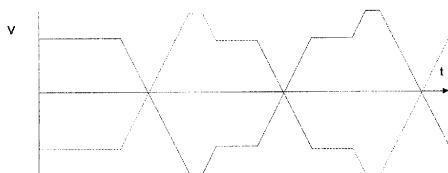
【図8】



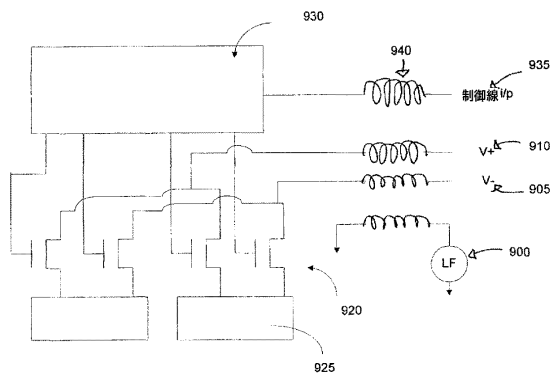
【図7a】



【図7b】



【図9】



フロントページの続き

審査官 藤本 加代子

- (56)参考文献 特開平08 - 020874 (JP, A)
特開2004 - 128159 (JP, A)
特開2003 - 031504 (JP, A)
特開2003 - 178989 (JP, A)
国際公開第98 / 032154 (WO, A1)
特開平08 - 031596 (JP, A)
特開2001 - 176699 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H05H 1 / 46
H01L 21 / 3065
H01L 21 / 205
C23C 16 / 505