(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)公開番号
特開2024-89615
(P2024-89615A)
(43)公開日　令和6年7月3日(2024.7.3)

(51)国際特許分類		FI			テーマコード（参考）
H01L 21/3065(2006.01)		H01L	21/302	101G	2G084
H01L 21/683(2006.01)		H01L	21/302	101C	5F004
H05H 1/46 (2006.01)		H01L	21/68	R	5F131
		H05H	1/46	M	

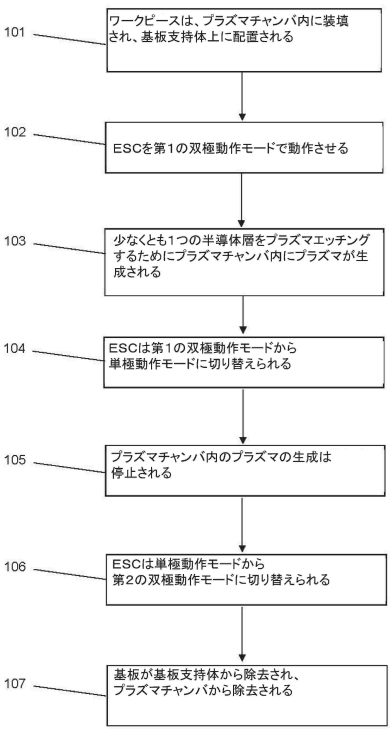
審査請求　未請求　請求項の数　27　ＯＬ　（全16頁）

(21)出願番号　特願2023-136112(P2023-136112)
(22)出願日　令和5年8月24日(2023.8.24)
(31)優先権主張番号　2219448.4
(32)優先日　令和4年12月21日(2022.12.21)
(33)優先権主張国・地域又は機関
英国(GB)

(71)出願人　512221197
エスピーティーエス テクノロジーズ リミティド
イギリス国， エヌピー１８　２ティーエー， ニューポート， リングランド ウェイ， コーエド レディン
(74)代理人　110001210
弁理士法人ＹＫＩ国際特許事務所
(72)発明者　アンドリュー ルービン
イギリス国 エヌピー１８　２ティーエー ニューポート リングランド ウェイ コーエド レディン エスピーティーエス テクノロジーズ リミティド内
(72)発明者　ケビン リデル
イギリス国 エヌピー１８　２ティーエー
最終頁に続く

(54)【発明の名称】　誘電体基板をプラズマエッチングするための方法および装置

(57)【要約】
【課題】基板と基板支持体との間の熱伝達の必要なクランプおよび制御を維持することができるプラズマエッチングの改善された方法を提供する。
【解決手段】プラズマチャンバ内の基板支持体上にワークピースを配置するステップと、第１の双極動作モードにおいて、電極の一方に正電圧を印加し、電極の他方に負電圧を印加してワークピースをＥＳＣに静電クランプするステップと、プラズマチャンバ内でプラズマを発生させ、少なくとも１つの半導体層をプラズマエッチングするステップであって、プラズマが点火された後の期間においてＥＳＣの動作を、電極が各電極に印加される同じ電圧を有する単極動作モードに切り替えるステップと、ＥＳＣの動作を、電極の一方に正電圧を印加し、電極の他方に負電圧を印加する第２の双極動作モードに切り替えるステップを備える。
【選択図】図４



【特許請求の範囲】
【請求項１】
ワークピースをプラズマエッチングする方法であって、
プラズマチャンバ内の基板支持体上にワークピースを配置するステップであって、前記ワークピースは、誘電体基板と、前記誘電体基板上の少なくとも１つの半導体層とを含み、前記基板支持体は、静電チャック（ＥＳＣ）を含み、前記ＥＳＣは、少なくとも２つの電極を含む、ステップと、
第１の双極動作モードにおいて、電極の一方に正電圧を印加し、前記電極の他方に負電圧を印加して、前記ワークピースを前記ＥＳＣに静電クランプするステップと、
前記プラズマチャンバ内でプラズマを発生させることによって、前記少なくとも１つの半導体層をプラズマエッチングするステップであって、前記プラズマが点火された後の期間において、前記ＥＳＣの動作は、前記電極が各電極に印加される同じ電圧を有する単極動作モードに切り替えられる、ステップと、
前記ＥＳＣの動作を、前記電極の一方に正電圧を印加し、前記電極の他方に負電圧を印加する第２の双極動作モードに切り替えるステップと、
を備える方法。
【請求項２】
前記ＥＳＣの動作を前記第２の双極動作モードに切り替えるステップは、前記少なくとも１つの半導体層をプラズマエッチングするステップが終了した後に実行されることを特徴とする請求項１に記載の方法。
【請求項３】
前記ＥＳＣの動作を前記第２の双極動作モードに切り替えるステップは、前記少なくとも１つの半導体層をプラズマエッチングするステップ中に実行されることを特徴とする請求項１に記載の方法。
【請求項４】
前記少なくとも１つの半導体層をプラズマエッチングするステップは、エッチングの大部分が終点に達するまで実行される第１のバルクエッチング段階と、第２のオーバーエッチング段階とを含み、前記ＥＳＣの動作を前記第２の双極動作モードに切り替えるステップは、前記終点に到達したとき、または第２のエッチング段階中に実行されることを特徴とする請求項３に記載の方法。
【請求項５】
前記ＥＳＣは、前記少なくとも１つの半導体層をプラズマエッチングするステップが終了した後のある期間、前記第２の双極動作モードに維持されることを特徴とする請求項３または請求項４に記載の方法。
【請求項６】
前記少なくとも１つの半導体層をプラズマエッチングするステップは、前記少なくとも１つの半導体層をエッチングして前記誘電体基板上に半導体の複数の離散領域を形成するステップを含み、前記ＥＳＣの動作を前記単極動作モードに切り替えるステップは、前記半導体の前記離散領域の形成に先立って行われることを特徴とする請求項１～５のいずれかに記載の方法。
【請求項７】
前記第１の双極動作モードにおいて前記電極に印加される電圧の絶対値は、前記第２の双極動作モードにおいて前記電極に印加される電圧の絶対値と同じであることを特徴とする請求項１～６のいずれかに記載の方法。
【請求項８】
前記第２の双極動作モードにおいて前記電極に印加される電圧の絶対値は、前記第１の双極動作モードにおいて前記電極に印加される電圧の絶対値よりも低いことを特徴とする請求項１～６のいずれかに記載の方法。
【請求項９】
前記第１の双極動作モードでは、正電圧が第１の電極に印加され、負電圧が第２の電極

に印加され、前記第２の双極動作モードでは、負電圧が前記第１の電極に印加され、正電圧が前記第２の電極に印加されることを特徴とする請求項１～８のいずれかに記載の方法。

【請求項１０】

前記第１の双極動作モード、前記単極動作モード、および／または前記第２の双極動作モードにおいて前記電極のうちの少なくとも１つに印加される電圧の絶対値は、９０００Ｖまででであることを特徴とする請求項１～９のいずれかに記載の方法。

【請求項１１】

前記第１の双極動作モード、前記単極動作モード、および／または前記第２の双極動作モードにおいて前記電極のうちの少なくとも１つに印加される電圧の絶対値は、少なくとも４０００Ｖであることを特徴とする請求項１～１０のいずれかに記載の方法。

【請求項１２】

前記基板支持体と前記誘電体基板との間の前記基板支持体の表面に形成された少なくとも１つのチャネルに１つ以上の不活性ガスを導入するステップをさらに含むことを特徴とする請求項１から１１のいずれかに記載の方法。

【請求項１３】

前記１つ以上の不活性ガスを導入するステップは、前記ＥＳＣが前記第２の双極動作モードにある期間中に前記１つ以上の不活性ガスの流量を低減するステップを含むことを特徴とする請求項１２に記載の方法。

【請求項１４】

前記不活性ガスまたは不活性ガス混合物の少なくとも１つのチャネルへの流れが停止されるように、前記１つ以上の不活性ガスの流量はゼロに低減されることを特徴とする請求項１３に記載の方法。

【請求項１５】

前記１つ以上の不活性ガスは、ＨｅまたはＡｒのうちの少なくとも１つを含むことを特徴とする請求項１２から１４のいずれかに記載の方法。

【請求項１６】

前記少なくとも１つの半導体層は、少なくとも１つの窒化ガリウム層を含むことを特徴とする請求項１から１５のいずれかに記載の方法。

【請求項１７】

前記誘電体基板はサファイアで形成されることを特徴とする請求項１～１６のいずれかに記載の方法。

【請求項１８】

プラズマエッチング装置であって、

プラズマチャンバと、

プラズマ生成装置と、

コントローラと、

基板支持体と、

を備え、

前記基板支持体は静電チャック（ＥＳＣ）を含み、前記静電チャックは、

少なくとも２つの電極と、

電源装置と、

前記少なくとも２つの電極を覆い、基板支持面を形成する誘電材料の層と、

を備え、

前記コントローラは、第１の双極動作モードと、単極動作モードと、第２の双極動作モードとの間で前記ＥＳＣを切り替えるように構成され、前記第１の双極動作モードは、前記電極の一方に正電圧を印加し、前記電極の他方に負電圧を印加することを含み、前記第２の双極動作モードは、前記電極の一方に正電圧を印加し、前記電極の他方に負電圧を印加することを含み、前記単極動作モードは、前記少なくとも２つの電極の各々に同じ電圧を印加することを含み、前記プラズマ生成装置による前記プラズマチャンバ内のプラズマ

の生成中、前記コントローラは、前記プラズマが前記プラズマチャンバ内で生成される間、前記ＥＳＣを前記第１の双極動作モードから前記単極動作モードに切り替えるように構成される、プラズマエッチング装置。
【請求項１９】
前記コントローラは、前記プラズマチャンバ内の前記プラズマの生成が終了すると、前記ＥＳＣを前記単極動作モードから前記第２の双極動作モードに切り替えるように構成されることを特徴とする請求項１８に記載の装置。
【請求項２０】
前記プラズマ生成装置による前記プラズマチャンバ内の前記プラズマの生成中、前記コントローラは、前記ＥＳＣを前記単極動作モードから前記第２の双極動作モードに切り替えるように構成されることを特徴とする請求項１８に記載の装置。
【請求項２１】
前記誘電材料の層は、少なくとも０．５ｍｍの厚さを有することを特徴とする請求項１８から２０のいずれかに記載の装置。
【請求項２２】
前記電源は、少なくとも２つの電極のうちの少なくとも１つに、最大９０００Ｖの絶対値を有する電圧を供給するように構成されることを特徴とする請求項１８から２１のいずれかに記載の装置。
【請求項２３】
前記電源は、少なくとも４０００Ｖの絶対値を有する電圧を前記少なくとも２つの電極のうちの少なくとも１つに供給することを特徴とする請求項１８から２２のいずれかに記載の装置。
【請求項２４】
前記誘電材料の層は、少なくとも１つのサファイア、セラミックＡｌＮまたはAl_2O_3層を含むことを特徴とする請求項１８から２３のいずれかに記載の装置。
【請求項２５】
前記誘電材料の層の抵抗率は、２５°Ｃの温度で少なくとも10^{12}Ωｃｍであることを特徴とする請求項１８から２４のいずれかに記載の装置。
【請求項２６】
前記誘電材料の層の抵抗率は、２５°Ｃの温度で10^{15}Ωｃｍまででであることを特徴とする請求項１８から２５のいずれかに記載の装置。
【請求項２７】
前記誘電材料の層の誘電率は、２５°Ｃの温度で少なくとも７であることを特徴とする請求項１８から２６のいずれかに記載の装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、被加工物をプラズマエッチングする方法及びプラズマエッチング装置に用いられる静電チャック（ＥＳＣ）に関する。
【背景技術】
【０００２】
半導体製造産業における真空ベースのプラズマエッチングおよび堆積ツールでは、プロセスチャンバ内の準大気圧に起因して、プラズマまたは発熱プロセスによって生成された熱をウェハまたは基板から除去することは困難である。減圧は、基板から基板支持体への熱の乏しい対流および直接伝導により、熱伝達を制限する。基板温度の最適な制御を達成するために、静電チャックまたは「ＥＳＣ」が、真空システム内の基板の温度を制御するために使用される。ＥＳＣと基板との間の静電引力は、基板と熱的に制御されたＥＳＣとの間の良好な熱伝導を容易にするために充分に高い圧力でＨｅなどの不活性ガスで基板とＥＳＣの表面との間の空洞またはチャネルを加圧することを可能にする。このプロセスは裏面加圧として知られている。処理チャンバがＥＳＣと基板との間の圧力よりも実質的に

低い圧力で動作している場合であっても、基板の静電クランプを維持し、ひいては厳密な温度制御を行うことができる。

【０００３】

真空システムにおいて基板をクランプするために使用されるＥＳＣには一般に２つの異なる種類、すなわち双極（Coloumb）および単極（Johnsen-Rahbek）ＥＳＣがある。両方のタイプにおいて、金属電極または複数の電極は、図１に示されるように、次いで金属基板支持体に取り付けられる誘電体構造内に封入される。典型的にはアルミニウムまたはステンレス鋼から製造される基板支持体２がＲＦ電源４に接続され、静電チャックＥＳＣ６が基板支持体２の上面に取り付けられる。ＥＳＣ６は、誘電体材料の２つの層の間に挟まれた金属電極を有する。電極は高電圧ＤＣ電源８に取り付けられ、これは、厚さが０．５mmより大きい比較的厚いセラミック層については、＋／－９ｋＶまで供給することができる。ポリイミドなどのより薄いポリマー層の場合、層の厚さは０．１mm未満とすることができ、ＤＣ電力は典型的には＋／－２ｋＶ未満で供給される。冷媒ガス、典型的にはＨｅまたはＡｒのための裏側ガス入口は、基板支持体２内のパイプ２０によって提供され、ガスが基板１２とＥＳＣ６の表面との間に注入されることを可能にする。冷却剤チャネル１０は、冷媒の流れが基板支持体２から熱を除去することを可能にし、一方、抵抗加熱器（図示せず）は、高温動作を容易にすることができる。コーティング１４による基板１２の装填および取り外しは、リフトアセンブリ１８を使用して達成される。典型的にはセラミックから形成されるシールドリング１６は、プラズマから基板支持体２を保護し、基板１２の近傍でプラズマを成形するのに役立つ。

【０００４】

双極ＥＳＣでは、基板の裏面に静電場を生成する、反対極性の少なくとも２つの電極が存在する。これは、基板が電荷移動を支持することを必要とし、すなわち、基板は、半導体または金属材料から形成されなければならない。半導体産業および光電気産業において処理される基板の大部分はそれ自体が半導体であるため、双極ＥＳＣが広く使用されている。しかしながら、ＥＳＣと接触する基板が導電性ではない新しい用途が発展するにつれて、ウェハを冷却するための代替アプローチが必要とされる。

【０００５】

例えば、ＧａＮベースのマイクロＬＥＤの生産は、典型的にはサファイア基板上に堆積されるＧａＮの離散領域の分離を伴う。このタイプの用途は、真空ベースのプロセスシステムにおける熱管理およびウェハ保持に関する重大な問題を強調する。マイクロＬＥＤを分離するために、マスクがデバイスに適用され、プラズマエッチングプロセスが、デバイスの被覆されていないＧａＮ層をサファイア基板までエッチングするために使用される。

【０００６】

これは、１５０mmのサファイアウェハ上でさえ、４０μm未満の寸法を有する、数万個のマイクロＬＥＤの分離をもたらす。ＧａＮマイクロＬＥＤが分離されると、それらは、リフトオフプロセスによってサファイア基板から除去され、次いで、アレイに組み立てられる。しかしながら、半導体ＧａＮ層が連続しなくなると、双極静電クランプ法の従来の形態は機能しなくなる。図２Ａに示すように、サファイアなどの誘電体基板上にＧａＮなどの半導体の連続層がある場合、双極ＥＳＣは、ＧａＮ／サファイアとＥＳＣの表面との間の静電引力によってウェハを保持することができる。しかしながら、図２Ｂに示されるように、エッチングプロセスがＧａＮの小さな島を生成する場合、個々の金属電極が個々の島に直接結合し、双極結合が失われるので、クランプは失敗する。

【０００７】

単極ＥＳＣは、単一電位に維持された電極を有し、静電場を生成するために外部電子源に依存する。プラズマチャンバによるプラズマの生成は、典型的には、接地への電流経路を提供し、次いで、単極ＥＳＣが基板を基板支持体にクランプすることを可能にする。図３Ａ及び図３Ｂに示すように、単極ＥＳＣは、導電性又は半導電性材料の連続層が存在するか否かにかかわらず、基板をＥＳＣに固定する。しかしながら、これは、クランプが起こり得る前にプラズマが始まることを必要とするので、ＥＳＣが基板をクランプし、冷却

を提供することができる前に、ウェハのいくらかの望ましくない加熱がある。ＥＳＣと誘電体基板との間の電荷蓄積もまた、基板がクランプ解除されるときに問題をもたらし得るため、懸念となり得る。これは、潜在的に基板が誤って取り扱われることになり得る取り扱い問題をもたらし得る。

【０００８】

あるいは、米国特許９，７９３，１４９Ｂ２に示されるような　形電極を有するＥＳＣを使用して、誘電体基板をクランプすることができる。　型ＥＳＣは、充分な電場がセラミックを通過してウェハに達することができるように、セラミックの薄い最上層を必要とする。ＥＳＣがプラズマに暴露されるにつれて、主に基板間洗浄中に、上部セラミックが消費され、したがって、薄いセラミックは、より短いＥＳＣ寿命を意味する。

【０００９】

基板を保持する代替手段は、機械的クランプまたは基板の裏面上の追加の導電性コーティングを含む。しかしながら、エッジ排除および粒子生成は、クランプリングにとって問題であるが、誘電体基板の下面に導電層を堆積させることは、基板から層を追加および除去することによって追加のプロセスステップおよび潜在的な汚染の懸念を追加する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【００１０】

【特許文献１】米国特許９７９３１４９号

【特許文献２】米国特許出願公開第２０１７／２７８７３０号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【００１１】

したがって、必要とされるのは、基板と誘電体基板のための基板支持体との間の熱伝達の必要なクランプおよび制御を維持することができるプラズマエッチングの改善された方法である。

【課題を解決するための手段】

【００１２】

本発明は、その実施形態の少なくともいくつかにおいて、上記の問題、要望およびニーズの少なくともいくつかに対処しようとするものである。

【００１３】

本発明の第１の態様によれば、ワークピースをプラズマエッチングする方法が提供されることであって、この方法は以下を含む：

・プラズマチャンバ内の基板支持体上にワークピースを配置するステップであって、ワークピースは、誘電体基板と、誘電体基板上の少なくとも１つの半導体層とを含み、基板支持体は、静電チャック（「ＥＳＣ」）を含み、ＥＳＣは、少なくとも２つの電極を含む；

・第１の双極動作モードにおいて、電極の一方に正電圧を印加し、電極の他方に負電圧を印加して、ワークピースをＥＳＣに静電クランプするステップと、

・プラズマチャンバ内でプラズマを発生させることによって、少なくとも１つの半導体層をプラズマエッチングするステップであって、プラズマが点火された後の期間において、ＥＳＣの動作は、電極が各電極に印加される同じ電圧を有する単極動作モードに切り替えられる；

・ＥＳＣの動作を、正電圧が電極の一方に印加され、負電圧が電極の他方に印加される第２の双極動作モードに切り替える。

【００１４】

本発明者らは、半導体層のプラズマエッチング中にＥＳＣを双極モードと単極モードとの間で切り替えることによって、誘電体基板であっても、エッチングプロセス全体にわたって基板のクランプおよび基板へのおよび基板からの充分な熱伝達を保証することができることを見出した。

【００１５】

ＥＳＣの動作を第２の双極動作モードに切り替えるステップは、少なくとも１つの半導体層をプラズマエッチングするステップが終了した後に実行することができる。あるいは、ＥＳＣの動作を第２の双極動作モードに切り替えるステップは、少なくとも１つの半導体層をプラズマエッチングするステップ中に実行することができる。ＥＳＣが第２の双極モードにある間のプラズマチャンバ内のプラズマの存在は、誘電体基板内の電荷保持の低減を支援し、これは、エッチングが完了したときにチャンバからのワークピースの除去を支援する。

【００１６】

少なくとも１つの半導体層をプラズマエッチングするステップは、エッチングの大部分が終点に達するまで実行される第１のバルクエッチング段階と、第２の過剰エッチング段階とを含むことができ、ＥＳＣの動作を第２の双極動作モードに切り替えるステップは、終点に達するか、または第２のエッチング段階中に実行される。ＥＳＣは、少なくとも１つの半導体層をプラズマエッチングするステップが終了した後のある期間、第２の双極動作モードに維持することができる。少なくとも１つの半導体層をプラズマエッチングするステップは、少なくとも１つの半導体層を貫通してエッチングして誘電体基板上に半導体の複数の離散領域を形成するステップを含むことができ、ＥＳＣの動作を単極動作モードに切り替えるステップは、半導体の離散領域の形成に先立って実行される。少なくとも１つの半導体層をプラズマエッチングするステップが第１のエッチング段階及び第２のエッチング段階を含む場合、ＥＳＣの動作を単極動作に切り替えるステップは、第１のエッチング段階の終了前に実行することができる。

【００１７】

電極の各々に印加される電圧の絶対値は、第１の双極動作モードにおいて同じであり得る。電極の各々に印加される電圧の絶対値は、第２の双極動作モードにおいて同じであり得る。第１の双極動作モードにおいて電極に印加される電圧の絶対値は、第２の双極動作モードにおいて電極に印加される電圧の絶対値と同じとすることができる。あるいは、第２の双極動作モードにおいて電極に印加される電圧の絶対値は、第１の双極動作モードにおいて電極に印加される電圧の絶対値とは異なり得る。例えば、第２の双極動作モードにおいて電極に印加される電圧の絶対値は、第１の双極動作モードにおいて電極に印加される電圧の絶対値よりも低くすることができる。第２の双極動作モードにおける電圧の絶対値が第１の双極動作モードにおいて印加される電圧の絶対値よりも低いことは、誘電体基板上に蓄積し得る電荷を低減するのに役立ち得る。

【００１８】

本発明の一態様では、第１の双極動作モードでは、正電圧が第１の電極に印加され、負電圧が第２の電極に印加され、第２の双極動作モードでは、負電圧が第１の電極に印加され、正電圧が第２の電極に印加される。本発明者らは、このように電極の極性を反転させることが、誘電体基板上に蓄積し得る電荷を低減するのに役立つことを見出した。あるいは、第１の双極動作モードおよび第２の双極動作モードの両方において、正電圧が第１の電極に印加され得、負電圧が第２の電極に印加され得る。

【００１９】

第１の双極動作モードにおいて電極のうちの少なくとも１つに印加される電圧の絶対値は、９０００Ｖまで、任意選択で６０００Ｖまでとすることができる。第１の双極動作モードにおいて電極のうちの少なくとも１つに印加される電圧の絶対値は、少なくとも４０００Ｖ、任意選択で少なくとも５０００Ｖとすることができる。第２の双極動作モードにおいて電極のうちの少なくとも１つに印加される電圧の絶対値は、９０００Ｖまで、任意選択で６０００Ｖまでとすることができる。第２の双極動作モードにおいて電極のうちの少なくとも１つに印加される電圧の絶対値は、少なくとも４０００Ｖ、任意選択で少なくとも５０００Ｖとすることができる。単極動作モードにおいて電極に印加される電圧の絶対値は、９０００Ｖまで、任意選択で６０００Ｖまでとすることができる。単極動作モードにおいて電極に印加される電圧の絶対値は、少なくとも４０００Ｖ、任意選択で少なくとも５０００Ｖとすることができる。

【００２０】
プラズマチャンバ内でプラズマを生成することによって少なくとも１つの半導体層をプラズマエッチングするステップは、プラズマチャンバ内にガスまたはガス混合物を導入することと、プラズマ生成デバイスを使用してガスまたはガス混合物からプラズマチャンバ内でプラズマを生成することとを含み得る。プラズマチャンバ内でプラズマを発生させることによって少なくとも１つの半導体層をプラズマエッチングするステップは、プラズマチャンバを所定の圧力まで排気することを含むことができる。所定の圧力は、少なくとも１ｍＴｏｒｒとすることができる。所定の圧力は、２００ｍＴｏｒｒまでとすることができる。
【００２１】
本方法は、以下のステップをさらに含むことができる：
【００２２】
基板支持体と誘電体基板との間の基板支持体の表面に形成された少なくとも１つのチャネルに１つ以上の不活性ガスを導入する。
【００２３】
１つ以上の不活性ガスは、３～２０Ｔｏｒｒの背側圧力をもたらす流量で少なくとも１つのチャネルに導入することができる。１つ以上の不活性ガスを導入するステップは、ＥＳＣが第２の双極動作モードにある期間中に１つ以上の不活性ガスまたは不活性ガス混合物の流量を低減するステップを含むことができる。任意選択的に、少なくとも１つの不活性ガスの流量は、少なくとも１つのチャネルの中への１つ以上の不活性ガスの流動が停止されるように、ゼロに低減されることができる。１つ以上の不活性ガスまたは不活性ガス混合物は、ＨｅまたはＡｒのうちの少なくとも１つを含むことができる。
【００２４】
少なくとも１つの半導体層は、少なくとも１つの窒化ガリウム層を含むことができる。誘電体基板は、セラミックＡｌＮ、SiO_2、Al_2O_3またはサファイアで形成することができる。誘電体基板はサファイアで形成することができる。
【００２５】
本発明の第２の態様によれば、プラズマエッチング装置が提供されることであって、以下を含む：
・プラズマチャンバ；
・プラズマ生成装置；
・コントローラ；
・基板支持体。
基板支持体は静電チャック（「ＥＳＣ」）を含むことであって、静電チャックは以下を含むことを特徴とする：
・少なくとも２つの電極；
・電源装置；
・少なくとも２つの電極を覆い、基板支持面を形成する誘電材料の層。
【００２６】
コントローラは、第１の双極動作モードと、単極動作モードと、第２の双極動作モードとの間でＥＳＣを切り替えるように構成され、第１の双極動作モードは、電極のうちの１つに正電圧を印加し、電極のうちの別の電極に負電圧を印加することを含み、第２の双極動作モードは、電極のうちの１つに正電圧を印加し、電極のうちの別の電極に負電圧を印加することを含み、単極動作モードは、少なくとも２つの電極の各々に同じ電圧を印加することを含む。
【００２７】
プラズマ生成装置によるプラズマチャンバ内のプラズマの生成中、コントローラは、プラズマがプラズマチャンバ内で生成される間、ＥＳＣを第１の双極動作モードから単極動作モードに切り替えるように構成される。
【００２８】

本発明者らは、プラズマエッチング装置が、誘電体基板をエッチングする場合であっても、プラズマエッチング中に基板のクランプ及び温度制御をうまく維持できることを見出した。

【００２９】

コントローラは、プラズマチャンバ内のプラズマの生成が終了すると、ＥＳＣを単極動作モードから第２の双極動作モードに切り替えるように構成することができる。あるいは、プラズマ生成装置によるプラズマチャンバ内のプラズマの生成中に、コントローラは、ＥＳＣを単極動作モードから第２の双極動作モードに切り替えるように構成することができる。基板支持体は、基板支持体と基板との間の基板支持体の表面に形成された少なくとも１つのチャネルを含むことができる。

【００３０】

電源は、同じ絶対値を有する電圧を電極の各々に印加するように構成することができる。電源は、電極のうちの１つに正電圧を供給し、電極のうちの第２の電極に負電圧を供給するように構成することができる。電源は、正電圧または負電圧を少なくとも２つの電極のそれぞれに切り替え可能に供給するように構成することができる。電源は、少なくとも２つの電極のうちの少なくとも１つに、最大９０００Ｖ、任意選択で最大６０００Ｖの絶対値を有する電圧を供給するように構成することができる。電源は、少なくとも４０００Ｖ、任意選択で少なくとも５０００Ｖの絶対値を有する電圧を少なくとも２つの電極のうちの少なくとも１つに供給するように構成することができる。

【００３１】

装置は、ガスまたはガス混合物をプラズマチャンバ内に導入するための少なくとも１つのガス入口をさらに備えることができ、コントローラは、少なくとも１つのガス入口からプラズマチャンバ内へのガスまたはガス混合物の流れを制御するように構成される。装置は、基板支持体の表面に形成された少なくとも１つのチャネルに１つ以上の不活性ガスを導入するための少なくとも１つのガス入口をさらに備えることができ、コントローラは、少なくとも１つのガス入口から少なくとも１つのチャネルへの１つ以上の不活性ガスの流れを制御するように構成される。コントローラは、少なくとも１つのガス入口を通って少なくとも１つのチャネルに入る１つ以上の不活性ガスの流量を制御するように構成することができる。

【００３２】

誘電材料の層は、少なくとも０．５ｍｍの厚さを有することができる。任意選択的に、誘電材料の層は、少なくとも１ｍｍの厚さを有することができる。誘電材料の層の抵抗率は、２５°Ｃの温度で少なくとも10^{12}Ωｃｍであり得る。誘電材料の層の抵抗率は、２５°Ｃの温度で10^{15}Ωｃｍまででであり得る。誘電材料の層の誘電率は、２５°Ｃの温度で少なくとも７であり得る。誘電材料の層は、少なくとも１つのサファイア、セラミックＡｌＮまたはAl_2O_3層を含むことができる。

【００３３】

以上、本発明を説明したが、本発明は、上記または以下の説明、図面または特許請求の範囲に記載の特徴の任意の発明的組み合わせにまで及ぶ。例えば、本発明の一態様に関連して開示された任意の特徴は、本発明の他の態様のいずれかに関連して開示された任意の特徴と組み合わせることができる。

【００３４】

本明細書において「備える（ｃｏｍｐｒｉｓｉｎｇ）」または「含む（ｉｎｃｌｕｄｉｎｇ）」および同様の用語に言及するときはいつでも、本発明はまた、「からなる（ｃｏｎｓｉｓｔｉｎｇ）」および「本質的にからなる（ｃｏｎｓｉｓｔｉｎｇ ｅｓｓｅｎｔｉａｌｌｙ）」などのより限定的な用語を含むと理解される。

【図面の簡単な説明】

【００３５】

【図１】既知の基板支持体の概略図である。

【図２Ａ】誘電性基板上の半導体層をエッチングしながらの双極動作モードにおけるＥＳ

Ｃの動作の概略図である。
【図２Ｂ】誘電性基板上の半導体層をエッチングしながらの双極動作モードにおけるＥＳＣの動作の概略図である。
【図３Ａ】単極動作モードにおけるＥＳＣの動作の概略図であり、半導体層が連続的である間に誘電性基板上の半導体層をエッチングする場合である。
【図３Ｂ】単極動作モードにおけるＥＳＣの動作の概略図であり、半導体層が離散領域で形成される場合である。
【図４】本発明の第１の実施形態によるワークピースをプラズマエッチングする方法のフローチャートである。
【図５】本発明の第２の実施形態による被加工物をプラズマエッチングする方法のフローチャートである。
【発明を実施するための形態】
【００３６】
以下の説明では、例は、ＳＰＴＳ Ｔｅｃｈｎｏｌｏｇｉｅｓ Ｌｉｍｉｔｅｄ（Ｎｅｗｐｏｒｔ，Ｓｏｕｔｈ Ｗａｌｅｓ，ＵＫ）から市販されている誘導結合プラズマ（ＩＣＰ）ベースのＳＰＴＳ Ｓｙｎａｐｓｅ（商標）プラズマエッチングツール上で実施された。しかし、本発明の方法は、代替のプラズマエッチングツール、好ましくは他のＩＣＰベースのエッチングツールで実施することができる。実施例は、処理されるワークピースとして、その表面上に窒化ガリウム（ＧａＮ）の層を堆積させた１５０ｍｍサファイアウェハを使用している。しかしながら、本発明の方法は、異なる基板材料、層材料、層構成および幾何学形状に等しく適用され得る。
【００３７】
ここで、同じ参照番号が、異なる図および／または実施形態で使用されており、それが関連する特徴は、実質的に同一の特徴に対応する。
【００３８】
本発明の第１の例示的な実施形態による被加工物をプラズマエッチングする方法を図４のフローチャートに示す。本発明の第２の例示的な実施形態による被加工物をプラズマエッチングする方法を図５のフローチャートに示す。
【００３９】
本発明の第１の例示的な実施形態の方法は、プラズマチャンバと、プラズマチャンバ内でワークピースを支持するための基板支持体と、ガスまたはガス混合物をプラズマチャンバに導入するための少なくとも１つのガス入口と、１つ以上の不活性ガスを基板支持体の表面に形成された少なくとも１つのチャネルに導入するための少なくとも１つのガス入口とを備えるプラズマエッチング装置内で実行することができる。プラズマチャンバ内でプラズマを生成するためのプラズマ生成装置と、コントローラと、を備える。基板支持体は、静電チャック（ＥＳＣ）を備え、静電チャックは、少なくとも２つの電極と、電源と、少なくとも２つの電極を覆い、基板支持体表面を形成する誘電材料の層とを備え、誘電材料の層は、少なくとも１つのチャネルを備える。
【００４０】
装填ステップ１０１において、ワークピースは、プラズマチャンバ内に装填され、基板支持体上に配置される。ワークピースは、当技術分野で知られている任意の手段によってプラズマチャンバ内に装填することができる。例示的な実施形態では、ワークピースは、プラズマチャンバ内に装填され、ウェハ搬送ロボットに取り付けられたエンドエフェクタによって基板支持体上に配置される。
【００４１】
ワークピースは、誘電体基板上に少なくとも１つの半導体層を含む。第１の実施形態では、少なくとも１つの半導体層はＧａＮの層であり、誘電体基板はサファイアで形成される。しかしながら、本発明の方法は、シリコンなどの他の半導体層、およびセラミックＡｌＮ、SiO_2またはAl_2O_3から形成されるものなどの他の誘電体基板に等しく適用され得る。ＧａＮ層は、その上面上に堆積されたマスク層またはフォトレジスト層などの

追加の層または堆積物を有することができる。図２Ａ、図２Ｂ、図３Ａ及び図３Ｂに示すように、ＧａＮ層は、基板のエッチング中にＳｉＯ$_2$堆積物の下のＧａＮ層のエッチングを防止するマスクとして機能する、ＧａＮ層の表面上に形成されたＳｉＯ$_2$の個々の堆積物を有する。このマスク層は、図２Ｂに示されるように、基板がＥＳＣおよび基板支持体に固定されることを可能にしない、ＧａＮの別個の「島」の形成をもたらす。

【００４２】

プラズマチャンバは、装填ステップ１０１の間、真空下に維持することができる。あるいは、プラズマチャンバは、装填ステップ１０１の間、大気圧であり得る。

【００４３】

動作ステップ１０２では、基板支持体のＥＳＣを第１の双極動作モードで動作させて、ワークピースを基板支持体に静電クランプする。第１の双極動作モードでは、電源によってＥＳＣの電極の一方に正電圧が印加され、ＥＳＣの電極の他方に負電圧が印加される。ＥＳＣが２つより多い電極を含む場合、正電圧は、電極の第１のグループに印加することができ、負電圧は、電極の第２のグループに印加することができ、またはその逆も同様である。例示的な実施形態では、正電圧と負電圧は同じ絶対値、例えば＋９０００Ｖと－９０００Ｖを有する。正電圧および負電圧の値は、基板の厚さおよび誘電特性に応じて選択される。好ましくは、少なくとも２つの電極に電力を供給する手段は、ＥＳＣの少なくとも２つの電極の各々に正電圧または負電圧を印加することができる高電圧電源であり、好ましくは、高電圧電源は、少なくとも２つの電極の各々に正電圧および負電圧を切り替え可能に印加することができる。このように、電極への電力供給を変更することなく、各電極の極性を反転させることができる。電源は、各電極に＋／－９０００Ｖまでの電圧を供給できることが好ましい。

【００４４】

例示的実施形態では、ＥＳＣが第１の双極動作モードで動作されると、ガス導入ステップにおいて、１つ以上の不活性ガスが、ＥＳＣの表面上に形成される少なくとも１つのチャネルの中に導入される。この不活性ガスの流れは、特にチャンバが排気される場合に、基板支持体と基板との間の改善された熱伝導を可能にし、不活性ガスの流れは、基板を加熱するか、又はより典型的には冷却するために使用することができる。プラズマチャンバが真空下に維持される場合、チャンバ内の圧力は、典型的には、１ｍＴｏｒｒ～２００ｍＴｏｒｒであり、一方、１つ以上の不活性ガスの流動は、典型的には、３～２０Ｔｏｒｒの背面圧力をもたらす。例示的な実施形態では、１つ以上の不活性ガスはＨｅである。

【００４５】

ＥＳＣが第１の双極動作モードになると、プラズマエッチングステップ１０３において少なくとも１つの半導体層をプラズマエッチングするためにプラズマチャンバ内にプラズマが生成される。プラズマは、当技術分野で知られている任意の手段によって、プラズマ生成デバイスを使用してプラズマチャンバ内で生成され得る。例示的実施形態では、ガスまたはガス混合物は、少なくとも１つのガス入口を通してプラズマチャンバの中に導入され、ＩＣＰ源と、基板支持体をバイアスするためのＲＦ電源とを備える、プラズマ生成デバイスは、ガスまたはガス混合物からプラズマを生成するように構成される。ＩＣＰ源およびＲＦ電源は両方とも、１３．５６ＭＨｚの周波数で動作される。選択されるガスまたはガス混合物は、エッチングされる少なくとも１つの半導体層および所望される特定の反応条件に依存する。サファイア上のＧａＮ層をエッチングする例示的な実施形態では、ガスまたはガス混合物は、Ｃｌ$_2$、ＢＣｌ$_3$およびＡｒガスの混合物を含む。ガスまたはガス混合物がガス混合物を含む場合、これらのガスは、単一のガス入口を通してプラズマチャンバに導入することができ、またはガス混合物の各それぞれのガス成分に対するそれぞれのガス入口を通してプラズマチャンバに導入することができる。

【００４６】

プラズマが生成され、基板のエッチングが開始されると、第１のスイッチングステップ１０４において、ＥＳＣは第１の双極動作モードから単極動作モードに切り替えられる。単極動作モードでは、各電極が同じ極性に維持されるように、同じ電圧がＥＳＣ内の電極

の各々に印加される。例えば、各電極は、電源によって印加される－６０００Ｖの電圧を有することができる。正または負電圧の選択は、エッチングされる基板および生成されるプラズマの性質に依存する。

【００４７】

ＥＳＣが第１の双極動作モードから単極動作モードに切り替えられる点は、実行される特定のエッチングおよびエッチングされる基板に依存する。例えば、例示的な実施形態では、ＧａＮ層は、下のサファイア層までエッチングされ、ＥＳＣは、第１の双極動作モードにおいて誘電体基板上に半導体材料の離散領域をクランプする問題を回避するために、ＧａＮ層が完全にエッチングされて半導体の離散領域を形成する前に、単極動作モードに切り替えられる。しかしながら、各場合において、第１の双極動作モードから単極動作モードへのＥＳＣの切り替えは、基板支持体へのワークピースの充分なクランプを確実にするために、プラズマが生成された後に行われる。

【００４８】

第１の例示的な実施形態では、ＥＳＣが単極動作モードに切り替えられた後、プラズマチャンバ内のプラズマの生成は、停止ステップ１０５において停止される。例示的な実施形態では、停止ステップ１０５は、プラズマチャンバ内へのガスまたはガス混合物の流れを終了し、ＲＦ電源およびＩＣＰ源の動作を終了することを含む。停止ステップ１０５は、典型的には、プラズマエッチングが完了したと判断されると、例えば光学干渉法などの標準的な技術を使用して実行される。いくつかの実施形態では、少なくとも１つの半導体層のプラズマエッチングは、半導体材料のエッチングおよび除去の大部分が終点に達するまで行われる第１のバルクエッチング段階と、プラズマエッチングプロセスによって形成されるフィーチャが完全に形成されるまでプラズマが維持される第２のオーバーエッチング段階とを含む。そして、停止ステップ１０５は、オーバーエッチング段階が完了した後に行われる。背面加圧が存在する場合、少なくとも１つのチャネル内への１つ以上の不活性ガスの流動は、プラズマ生成の終了とともに、低減または停止されることができる。

【００４９】

第１の例示的な実施形態では、停止ステップ１０５においてプラズマ生成が停止されると、第２の切り替えステップ１０６において、ＥＳＣは単極動作モードから第２の双極動作モードに切り替えられる。第１の双極動作モードと同様に、第２の双極動作モードでは、電極の一方に正電圧が印加され、電極の他方に負電圧が印加される。第２の双極動作モードは、第１の双極動作モードにおいて印加される正電圧を有する電極が、第２の双極動作モードにおいて印加される正電圧も有し、第１の双極動作モードにおいて印加される負電圧を有する電極が、第２の双極動作モードにおいて印加される負電圧も有するという点で、第１の双極動作モードと同様であり得る。任意選択で、第２の双極動作モードで印加される電圧の絶対値は、第１の双極動作モードで印加される電圧の絶対値と同じであってもよい。例えば、第１の双極動作モード及び第２の双極動作モードの両方において、一方の電極に＋６０００Ｖの電圧を印加することができ、他方の電極に－６０００Ｖの電圧を印加することができる。あるいは、第２の双極動作モードで印加される電圧の絶対値は、第１の双極動作モードで印加される電圧の絶対値とは異なっていてもよい。例えば、第１の双極動作モードでは、一方の電極に＋６０００Ｖの電圧が印加され、他方の電極に－６０００Ｖの電圧が印加され、第２の双極動作モードでは、同じ電極に＋５０００Ｖの電圧および－５０００Ｖの電圧をそれぞれ印加することができる。一実施形態では、電極に印加される電圧の極性は、第１の双極動作モードと第２の双極動作モードとの間で変化してもよい。例えば、第１の双極動作モードでは、正電圧が第１の電極に印加され、負電圧が第２の電極に印加され、第２の双極動作モードでは、負電圧が第１の電極に印加され、正電圧が第２の電極に印加される。電極の極性のこの逆は、誘電体基板における電荷の蓄積を低減するのに役立つことができ、これは、基板支持体からのその除去を容易にする。

【００５０】

プラズマ生成が終了し、誘電体基板内の任意の電荷蓄積が除去されると、除去ステップ１０７において、ＥＳＣがオフにされ、基板が基板支持体から除去され、続いてプラズマ

チャンバから除去される。ワークピースは、基板支持体の表面の上方でワークピースを持ち上げるためのリフト機構など、当技術分野で知られている任意の方法によって基板支持体から除去することができ、ワークピースは、ウェハ搬送ロボットに取り付けられたエンドエフェクタなど、ロードステップ１０１で導入されたのと同じ方法によってプラズマチャンバから除去することができる。

【００５１】

第２の実施形態において、いくつかの特徴は、第１の実施形態で説明したものと同じである。例えば、装填ステップ２０１、操作ステップ２０２、プラズマエッチングステップ２０３、第１の切り替えステップ２０４および除去ステップ２０７は、それぞれ装填ステップ１０１、操作ステップ１０２、プラズマエッチングステップ１０３、第１の切り替えステップ１０４および除去ステップ１０７と実質的に同じである。しかしながら、第２の例示的な実施形態は、プラズマがまだ生成されている間にＥＳＣが第２の双極動作モードで動作するように、第２の切り替えステップ２０５が停止ステップ２０６の前に行われる点で第１の例示的な実施形態とは異なる。プラズマが依然として存在する間に第２の双極動作モードに切り替えることは、誘電体基板上の電荷蓄積の低減をさらに助けることができる。

【００５２】

第２の例示的な実施形態では、ＥＳＣは、停止ステップ２０６の後、除去ステップ２０７のためにＥＳＣがオフにされるまでの期間、第２の双極動作モードに維持することができる。オーバーエッチングが実行される実施形態では、第２のスイッチングステップ２０５は、バルクエッチングの終わりに、またはオーバーエッチング中に実行され得る。

【実施例１】

【００５３】

厚さ１ｍｍのサファイア層上に厚さ５μｍのＧａＮ層を含み、厚さ２μｍのSiO_2ハードマスクがＧａＮ層の表面上に堆積されたワークピースをＳＰＴＳ　Ｔｅｃｈｎｏｌｏｇｉｅｓ　Ｌｔｄ　Ｓｙｎａｐｓｅ（商標）ＩＣＰプラズマエッチングツールにロードし、Cl_2／BCl_3／Ａｒプラズマを用いてＧａＮ層をエッチングした。ＩＣＰ源およびＲＦバイアスは両方とも、１３．５６ＭＨｚのＲＦ電源を使用した。オーバーエッチングのために単極動作モード（両方とも－６０００Ｖの第１および第２の電極）に切り替えられる前に、ＧａＮ層がエッチングされるまで双極動作モード（第１の電極は＋６０００Ｖであり、第２の電極は－６０００Ｖである）で動作されるデュアル電極ＥＳＣによってワークピースをクランプした。プラズマエッチングが終了した後、ＥＳＣを第２の双極動作モード（第１の電極は＋６０００Ｖであり、第２の電極は－６０００Ｖである）に切り替えた。ワークピースの温度が所望のレベルに首尾よく維持され、基板が全体にわたって首尾よくクランプされたことが見出された。

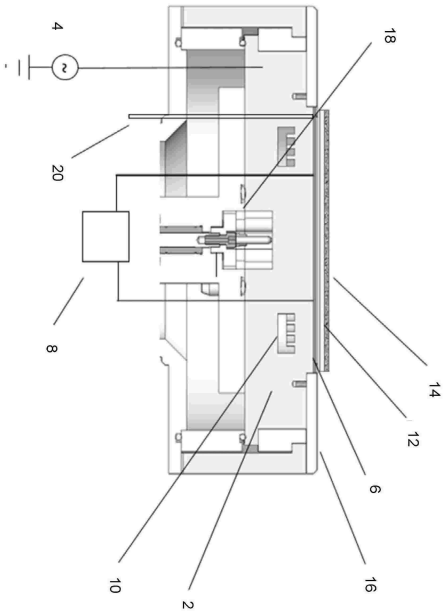
【符号の説明】

【００５４】

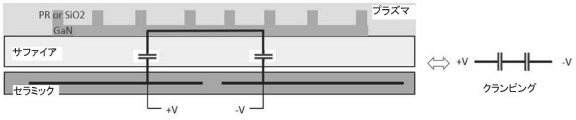
２　基板支持体、４　ＲＦ電源、６　静電チャックＥＳＣ、８　高電圧ＤＣ電源、１０　冷却剤チャネル、１２　基板、１４　コーティング、１６　シールドリング、１８　リフトアセンブリ。

【図面】

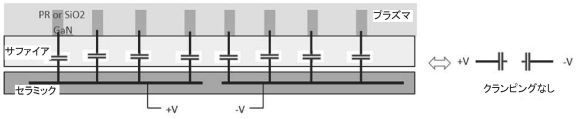
【図１】



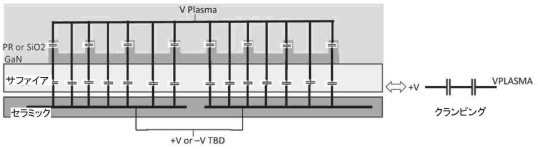
【図２Ａ】



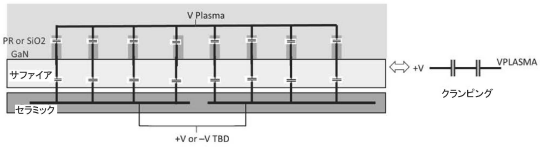
【図２Ｂ】



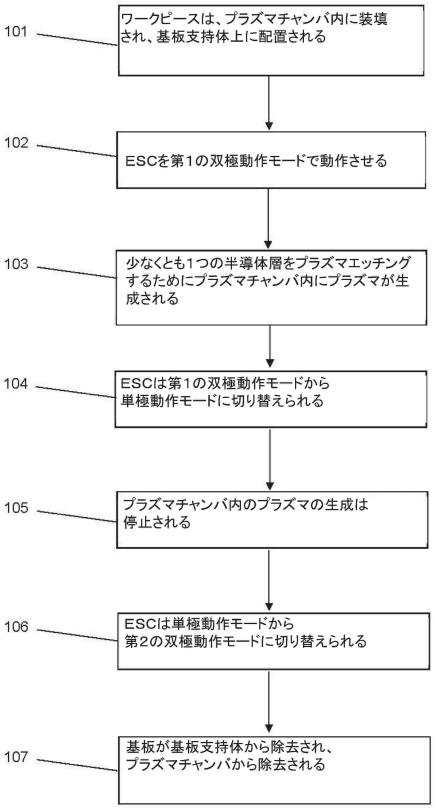
【図３Ａ】



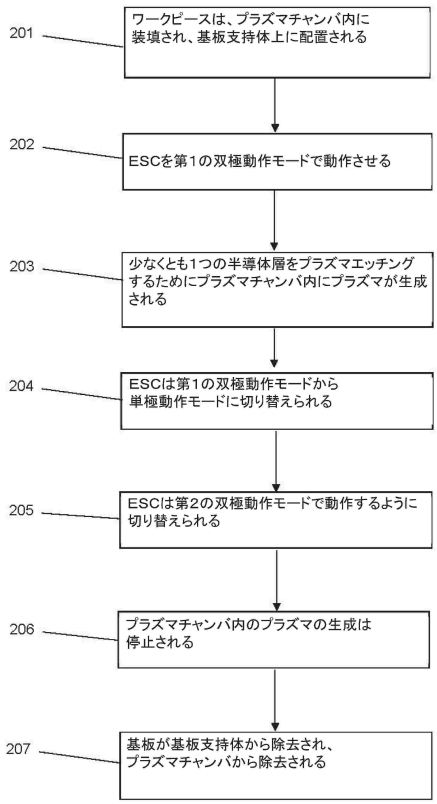
【図３Ｂ】


V Plasma
PR or SiO2
GaN
サファイア
セラミック
+V or –V TBD
+V
VPLASMA
クランピング

【図４】


101
ワークピースは、プラズマチャンバ内に装填され、基板支持体上に配置される
102
ESCを第1の双極動作モードで動作させる
103
少なくとも1つの半導体層をプラズマエッチングするためにプラズマチャンバ内にプラズマが生成される
104
ESCは第1の双極動作モードから単極動作モードに切り替えられる
105
プラズマチャンバ内のプラズマの生成は停止される
106
ESCは単極動作モードから第2の双極動作モードに切り替えられる
107
基板が基板支持体から除去され、プラズマチャンバから除去される

【図５】


201
ワークピースは、プラズマチャンバ内に装填され、基板支持体上に配置される
202
ESCを第1の双極動作モードで動作させる
203
少なくとも1つの半導体層をプラズマエッチングするためにプラズマチャンバ内にプラズマが生成される
204
ESCは第1の双極動作モードから単極動作モードに切り替えられる
205
ESCは第2の双極動作モードで動作するように切り替えられる
206
プラズマチャンバ内のプラズマの生成は停止される
207
基板が基板支持体から除去され、プラズマチャンバから除去される

フロントページの続き

ニューポート リングランド ウェイ コーエド レディン エスピーティーエス テクノロジーズ リミティド内
(72)発明者 ニコラス ローネー
イギリス国 エヌピー１８ ２ティーエー ニューポート リングランド ウェイ コーエド レディン エスピーティーエス テクノロジーズ リミティド内

Ｆターム（参考） 2G084 AA02 CC12 CC33 DD02 DD24 FF06
5F004 AA16 BA20 BB13 BB18 BB22 BB29 BC06 CA02 DA04 DA11 DA23 DB19 EA28
5F131 AA02 BA19 CA03 CA68 EB14 EB15 EB16 EB18 EB19 EB23 EB81 EB82 EB84