

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4740541号
(P4740541)

(45) 発行日 平成23年8月3日(2011.8.3)

(24) 登録日 平成23年5月13日(2011.5.13)

(51) Int. Cl.		F I	
C 2 3 C	14/34	(2006.01)	C 2 3 C 14/34 T
C 2 3 C	16/507	(2006.01)	C 2 3 C 16/507
H O 1 J	37/32	(2006.01)	H O 1 J 37/32
H O 1 L	21/205	(2006.01)	H O 1 L 21/205
H O 1 L	21/3065	(2006.01)	H O 1 L 21/302 1 O 1 C

請求項の数 23 (全 27 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2003-572060 (P2003-572060)	(73) 特許権者	000219967
(86) (22) 出願日	平成15年2月19日 (2003. 2. 19)		東京エレクトロン株式会社
(65) 公表番号	特表2005-518480 (P2005-518480A)		東京都港区赤坂五丁目3番1号
(43) 公表日	平成17年6月23日 (2005. 6. 23)	(73) 特許権者	510207287
(86) 国際出願番号	PCT/US2003/004830		トーキョー エレクトロン ユーエス ホールディングス、 インコーポレイテッド
(87) 国際公開番号	W02003/073460		アメリカ合衆国 19808-1645
(87) 国際公開日	平成15年9月4日 (2003. 9. 4)		デラウェア、ウィルミントン、 センター
審査請求日	平成17年11月10日 (2005. 11. 10)		ヴィルロード 2711、ナンバー400
(31) 優先権主張番号	10/080, 496	(74) 代理人	100064908
(32) 優先日	平成14年2月22日 (2002. 2. 22)		弁理士 志賀 正武
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

前置審査

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ファラデーシールドならびにウェハのプラズマ処理

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

成膜パッフルであって、

プラズマ処理チャンバにおいて誘電体ウィンドウを保護するように機能するとともに、前記ウィンドウよりも外側に位置したコイルからのRFエネルギーを、前記ウィンドウおよび前記パッフルを介して、前記チャンバの内部のプラズマ内へと誘導的に結合するように機能するものであり、

前記ウィンドウの側に位置した面と前記プラズマの側に位置した面とを有している導電性ボディを具備してなり、

このボディが、前記ウィンドウ側の面と前記プラズマ側の面との間にわたって貫通して延在する複数のスロットを備え、

これらスロットが、前記ボディの表面によって規定された壁を有するとともに、これらスロットが、前記ボディの前記プラズマ側の面から前記ボディの前記ウィンドウ側の面に向けて移動するチャンバ内粒子にとっての直線的移動経路を阻害し得るよう構成され、

前記複数のスロットの各々が、内部に導電性ブリッジを備え、

これら導電性ブリッジが、前記ボディの前記プラズマ側の面と前記ボディの前記ウィンドウ側の面とのうちの一方の面の側のみにおいて、前記ボディの厚さ方向において部分的に、前記ボディに対して固定されているとともに、前記スロットをなす壁の対向部分どうしを相互連結しており、これにより、前記スロットを遮っており、

前記ブリッジが、前記ボディに対しての連結部を有し、

10

20

これら連結部が、前記バツフルを介して誘導結合が形成される際の誘導結合効率を制限することなく前記バツフルを介して前記プラズマ内へと結合されるパワー分布の一様性を改良し得るよう、前記バツフル上にわたって分散して配置されていることを特徴とするバツフル。

【請求項 2】

プラズマ処理チャンバの内部のプラズマ処理空間内へと R F エネルギーを誘導的に結合する誘導結合型プラズマ源であって、

前記プラズマ処理チャンバをなす壁に設置された誘電体ウィンドウと；

このウィンドウよりも外側に配置されかつ R F 電源に対して接続されたコイルと；

前記プラズマ処理チャンバの内部に配置されているとともに、前記プラズマ処理空間と前記誘電体ウィンドウとの間において前記誘電体ウィンドウから離間しつつこの誘電体ウィンドウの近傍に配置された、成膜バツフルであって、ボディを備えて構成され、さらに、このボディを厚さ方向に貫通して形成された複数のスロットを有しているような、成膜バツフルと；

を具備してなり、

前記ボディのうちの、前記スロットを規定している表面が、前記プラズマ処理空間から前記ウィンドウに向けて移動する粒子にとっての直線的移動経路を阻害し得るようにして、前記スロットが構成され、

前記複数のスロットの各々が、内部に導電性ブリッジを備え、

これら導電性ブリッジが、前記ボディの前記プラズマ側の面と前記ボディの前記ウィンドウ側の面とのうちの一方の面の側のみにおいて、前記ボディの厚さ方向において部分的に、前記ボディに対して固定されているとともに、前記スロットをなす壁の対向部分どうしを相互連結しており、これにより、前記スロットを遮っていることを特徴とするプラズマ源。

【請求項 3】

プラズマ処理装置であって、

真空チャンバと；

このチャンバ内に配置された基板支持体と；

請求項 2 に記載されたプラズマ源と；

を具備することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 4】

請求項 2 記載のプラズマ源において、

前記導電性ブリッジが、前記ボディに対しての連結部を有し、

これら連結部が、前記バツフルを介して誘導結合が形成される際の誘導結合効率を制限することなく前記バツフルを介して前記プラズマ内へと結合されるパワーの分布を改良し得るよう、前記バツフル上にわたって分散して配置され、

前記導電性ブリッジが、前記ボディのうちの、前記プラズマ処理空間に対向した面において、前記スロットを遮っていることを特徴とするプラズマ源。

【請求項 5】

請求項 2 記載のプラズマ源において、

前記導電性ブリッジが、前記ボディのうちの、前記プラズマ処理空間に対向した面において、前記スロットを遮っており、

前記導電性ブリッジが、前記ボディに対しての連結部を有し、

これら連結部が、前記バツフルを介して誘導結合が形成される際の誘導結合効率を制限することなく前記バツフルを介して前記プラズマ内へと結合されるパワーの分布を改良し得るよう、前記バツフル上にわたって分散して配置され、

前記バツフルと前記コイルとが、R F 回路を形成していることを特徴とするプラズマ源。

【請求項 6】

成膜バツフルであって、

プラズマ処理チャンバにおいて誘電体ウィンドウを保護するように機能するとともに、前記ウィンドウよりも外側に位置したコイルからのRFエネルギーを、前記ウィンドウおよび前記パッフルを介して、前記チャンバの内部のプラズマ内へと誘導的に結合するように機能するものであり、

前記ウィンドウの側に位置した面と前記プラズマの側に位置した面とを有している導電性ボディを具備してなり、

このボディが、前記ウィンドウ側の面と前記プラズマ側の面との間にわたって貫通して延在する複数のスロットを備え、

これらスロットの各々が、内部に導電性ブリッジを備え、

これら導電性ブリッジが、前記ボディに対して固定されているとともに、前記スロットをなす壁の対向部分どうしを相互連結しており、これにより、前記スロットを遮っており、さらに、前記ボディの前記プラズマ側の面と前記ボディの前記ウィンドウ側の面とのうちの一方の面の側のみにおいて、前記ボディの厚さ方向において部分的に、前記スロットにわたっての電流経路を形成していることを特徴とするパッフル。

10

【請求項7】

請求項1または6記載のパッフルにおいて、

前記スロットが、前記スロットの長手方向に沿って方向において、V字形状横断面を有していることを特徴とするパッフル。

【請求項8】

請求項1または6記載のパッフルにおいて、

前記導電性ブリッジが、前記ボディの前記プラズマ側の面において、前記スロットをなす壁の対向部分どうし相互連結しており、これにより、前記ボディの前記プラズマ側の面において、前記スロットを遮っていることを特徴とするパッフル。

20

【請求項9】

プラズマ処理チャンバの内部のプラズマ処理空間内へとRFエネルギーを誘導的に結合する誘導結合型プラズマ源であって、

前記プラズマ処理チャンバをなす壁に設置された誘電体ウィンドウと；

このウィンドウよりも外側に配置されかつRF電源に対して接続されたコイルと；

請求項6に記載された成膜パッフルと；

を具備することを特徴とするプラズマ源。

30

【請求項10】

請求項2または9記載のプラズマ源において、

前記導電性ブリッジが、前記ボディに対しての連結部を有し、

これら連結部が、前記パッフルを介して誘導結合が形成される際の誘導結合効率を制限することなく前記パッフルを介して前記プラズマ内へと結合されるパワー分布の一樣性を改良し得るよう、前記パッフル上にわたって分散して配置されていることを特徴とするプラズマ源。

【請求項11】

請求項2または9記載のプラズマ源において、

前記スロットが、前記スロットの長手方向に沿って方向において、V字形状横断面を有していることを特徴とするプラズマ源。

40

【請求項12】

請求項2または9記載のプラズマ源において、

前記導電性ブリッジが、前記ボディのうちの、前記プラズマ処理空間に対向した側の面において、前記スロットを遮っていることを特徴とするプラズマ源。

【請求項13】

請求項2または9記載のプラズマ源において、

前記パッフルと前記コイルとが、RF回路を形成していることを特徴とするプラズマ源。

【請求項14】

50

プラズマ処理装置であって、
真空チャンバと；
このチャンバ内に配置された基板支持体と；
請求項9に記載されたプラズマ源と；
を具備することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項15】

請求項3または14記載のプラズマ処理装置において、
さらに、
前記プラズマ処理装置を制御し得るようプログラムされていて、プラズマ点火手法に従って、前記プラズマ処理空間内においてプラズマを点火し得るものとされたコントローラを具備し、

前記プラズマ点火手法においては、

300W以上かつ600W未満というRFパワーでもって前記コイルを励起し；

その後、前記プラズマ処理空間に対して結合された電極に対して、0Wから、20W未満という最大値にまで、DCパワーを数秒間をかけて傾斜的に印加し、これにより、前記プラズマ処理空間内においてプラズマを点火し；

プラズマの点火時点で、前記RFパワーおよび前記DCパワーを、基板処理パラメータに応じた各値へと変更し；

基板の処理中にわたっては、前記基板処理パラメータを維持し；

これにより、前記プラズマ処理空間内において基板を処理することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項16】

請求項15記載のプラズマ処理装置において、

前記チャンバが、内部にスパッタリングターゲットを備え、

このスパッタリングターゲットが、前記電極を構成し、

前記DCパワーの変更に際しては、前記DCパワーを、前記ターゲットに対して、スパッタリングパワーレベルに設定することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項17】

請求項15記載のプラズマ処理装置において、

前記DCパワーの傾斜的な印加に際しては、前記チャンバ内の圧力に反比例する関係式に従って決定される最大値にまで、前記DCパワーを傾斜的に印加し、

前記関係式を、 6.5 mTorr という圧力に対しては5Wというパワーを決定し、かつ、 2.0 mTorr という圧力に対しては10Wというパワーを決定するものとする特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項18】

請求項14記載のプラズマ処理装置において、

前記チャンバが、内部にスパッタリングターゲットを備え、

このスパッタリングターゲットが、前記電極を構成し、

さらに、

前記プラズマ処理装置を制御し得るようプログラムされていて、プラズマ点火手法に従って、前記プラズマ処理空間内においてプラズマを点火し得るものとされたコントローラを具備し、

前記プラズマ点火手法においては、

300W以上かつ600W未満というRFパワーでもって前記コイルを励起し；

その後、前記プラズマ処理空間に対して結合された電極に対して、20W未満という最大値にまで、DCパワーを数秒間をかけて傾斜的に印加し、これにより、前記プラズマ処理空間内においてプラズマを点火し；

前記DCパワーの傾斜的な印加に際しては、前記チャンバ内の圧力に反比例する関係式に従って決定される最大値にまで、前記DCパワーを傾斜的に印加し；

前記関係式を、 6.5 mTorr という圧力に対しては5Wというパワーを決定し、か

つ、20 m Torr という圧力に対しては10 W というパワーを決定し；

プラズマの点火時点で、前記RFパワーおよび前記DCパワーを、基板処理パラメータに応じた各値へと変更し；

基板の処理中にわたっては、前記基板処理パラメータを維持し；

前記DCパワーの変更に際しては、前記DCパワーを、前記ターゲットに対して、スパッタリングパワーレベルに設定する；

ことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項19】

請求項9記載のプラズマ源において、

前記スロットが、前記ボディの表面によって規定された壁を有するとともに、これらスロットが、前記ボディの前記プラズマ側の面から前記ボディの前記ウィンドウ側の面に向けて移動するチャンバ内粒子にとっての直線的移動経路を阻害し得るよう構成され、

前記導電性ブリッジが、前記ボディに対しての連結部を有し、

これら連結部が、前記バッフルを介して誘導結合が形成される際の誘導結合効率を制限することなく前記バッフルを介して前記プラズマ内へと結合されるパワー分布の一様性を改良し得るよう、前記バッフル上にわたって分散して配置されていることを特徴とするプラズマ源。

10

【請求項20】

請求項6記載のバッフルにおいて、

前記スロットが、前記ボディの表面によって規定された壁を有するとともに、これらスロットが、前記ボディの前記プラズマ側の面から前記ボディの前記ウィンドウ側の面に向けて移動するチャンバ内粒子にとっての直線的移動経路を阻害し得るよう構成されていることを特徴とするバッフル。

20

【請求項21】

請求項6記載のバッフルにおいて、

前記導電性ブリッジが、前記ボディに対しての連結部を有し、

これら連結部が、前記バッフルを介して誘導結合が形成される際の誘導結合効率を制限することなく前記バッフルを介して前記プラズマ内へと結合されるパワー分布の一様性を改良し得るよう、前記バッフル上にわたって分散して配置されていることを特徴とするバッフル。

30

【請求項22】

請求項6記載のバッフルにおいて、

前記スロットが、前記スロットの長手方向に沿って方向において、V字形状横断面を有し、

前記導電性ブリッジが、前記ボディの前記プラズマ側の面において、前記スロットをなす壁の対向部分どうし相互連結しており、これにより、前記ボディの前記プラズマ側の面において、前記スロットを遮っていることを特徴とするバッフル。

【請求項23】

請求項5または13記載のプラズマ源において、

前記RF電源の周波数が、13.56 MHzとされ、前記RF回路の共振周波数が、15 MHzであることを特徴とするプラズマ源。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本出願は、米国特許第6,080,287号明細書および米国特許第6,287,435号明細書に関連するものであるとともに、現在係属中の、2000年8月1日付けで出願された米国特許出願シリアル番号第09/629,515号明細書に関連するものである。これら文献の記載内容は、参考のため、ここに組み込まれる。

【0002】

本発明は、半導体の処理に際して使用される誘導結合型プラズマ(ICP)源に関する

50

ものである。本発明は、特に、高密度誘導結合型プラズマ（HDI CP）源に対して適用される。このようなHDI CP源においては、スロット付き成膜バッフルによって保護されている誘電体材料を介して、RFエネルギーが誘導結合され、これにより、プラズマが励起されて、導電性材料を半導体ウェハ上に成膜することができる、あるいは、半導体ウェハから導電性材料をエッチングすることができる。

【背景技術】

【0003】

誘導結合型プラズマ源は、半導体製造分野における処理システムにおいて、広く使用されるようになってきている。典型的なICP源においては、真空チャンパ内の動作ガスあるいは処理ガス内へとRFエネルギーを結合させこれによりガス内においてプラズマを励起し得るよう、アンテナを使用している。このようなプラズマ源においては、さらに、アンテナと処理領域との間において、電気絶縁性ウィンドウあるいは他の電気絶縁性バリアを使用している。ウィンドウが使用される場合には、ウィンドウは、周囲雰囲気とチャンパ内の真空雰囲気との間において、バリアを形成することができる。コーティング材料をなす蒸発粒子のイオン化に関しての、高周波コイルの初期の使用は、米国特許第3,974,059号明細書および米国特許第5,178,739号明細書に開示されている。

10

【0004】

ICP半導体処理システムにおいては、ICP源は、半導体ウェハの処理のために使用される動作ガスまたは処理ガスを収容した真空チャンパに対して、一体部分とされる。金属の成膜に対する応用や金属のエッチングに対する応用においては、誘電体ウィンドウまたは他の電気絶縁構造は、絶縁性材料の表面上へと導電性被膜が蓄積してしまつてプラズマ内への実効的なRF供給パワーが妨害されないように、プラズマから保護されなければならない。絶縁性材料の表面保護は、特にプラズマと絶縁性材料との間に配置された成膜バッフルといったような構造的デバイスによって、もたらされる。電気絶縁性材料は、以下においては、ウィンドウと称される。このようなウィンドウは、典型的には、例えばセラミックといったような誘電体材料から形成される。スロット付きシールドから形成された成膜バッフルは、米国特許第4,431,901号明細書、米国特許第4,795,879号明細書、米国特許第4,897,579号明細書、米国特許第5,231,334号明細書、米国特許第5,234,529号明細書、米国特許第5,449,433号明細書、米国特許第5,534,231号明細書、に開示されている。イオン化物理的気相蒸着（iPVD）システムにおけるウィンドウの使用は、円筒形のプラズマ源に関しては、米国特許第5,800,688号明細書および米国特許第5,948,215号明細書に開示されており、平面状をなしてフラットでありかつ3次元的なアンテナに関しては、米国特許第6,080,287号明細書および米国特許第6,287,435号明細書に開示されている。

20

30

【0005】

プラズマ処理システム内における成膜バッフルデバイスすなわちシールドは、いくつかの目的で機能する。このようなシールドは、アンテナがウィンドウに対して大気雰囲気側に配置されたときには、誘電体ウィンドウに関して、プラズマ放射や汚染やスパッタリングからの保護をもたらすことができ、また、アンテナが真空内に配置されたときには、アンテナ自身に関して、プラズマ放射や汚染やスパッタリングからの保護をもたらすことができる。金属成膜装置においては、そのようなシールドは、誘電体ウィンドウ上への導電性コーティングの成膜を防止することができる。バッフルすなわちシールドデバイスは、一般に、静電界に対して不透過性でありかつ電磁界に対して透過性であることが好ましい。この場合には、デバイスは、アンテナからのRFエネルギーとプラズマとの間の静電結合を防止し得るとともに、プラズマの励起のためのエネルギーの磁気結合を可能とすることができる。結合効率という観点からは、シールド上におけるイメージ電流を最小化することが望ましく、これにより、シールドのジュール加熱によって消費されるエネルギー量を最小化することができる。

40

【0006】

50

典型的には、成膜バッフルすなわちシールドに関する単一の構成では、一度にすべての要素を完全に最適化することはできない。よって、様々な要求に関して多くの妥協が存在する。例えば、損失が最小でありかつ電磁界に対して最も透過性であるようなシールドは、シールド特性が全くない。他方、静電界と粒子とに対するシールド特性が完璧なシールドは、アンテナまたは誘電体ウィンドウを、接地電位内に完全に閉じ込めてしまい、そのアンテナまたは誘電体ウィンドウをプラズマ環境から絶縁してしまって、一切の結合をもたらさない。シールド構成の最適化は、単純なRFストリップを使用する場合よりも、複雑な形状および構造を有したアンテナを使用する場合の方が、より困難となる。

【0007】

特に大面積の半導体ウェハの処理に際して使用されるプラズマの場合には、チャンバ内のプラズマ内において対称的な（少なくとも、方位的に一様な）RFパワー結合を行う必要があることのために、成膜バッフルに関して、空間的に一様な結合効率が望ましい。非対称なプラズマは、プラズマ源の近傍のハードウェア部材の汚染および腐食が大きくなる傾向がある。例えば、方位的に非一様なイオン束のために、ターゲットスパッタエッチング速度が不規則なものとなりやすく、これにより、非一様なエッチングや非一様な成膜が起こりやすい。通常、処理装置の全体的寸法は、数十cmに制限されなければならない。それは、処理ツールに関するフットプリントを小さなものに維持することが要求されているあるいは少なくとも好ましいからである。サイズ制限は、大寸法の対象物に対して十分なスペースを確保することを困難なものとし、端部やエッジや他の不規則形状を臨界位置の範囲外としてしまう。

【0008】

例えば、成膜バッフルにおいては、スロットの近傍箇所において複数のホットスポットが観測されている。これにより、局所的に強力なプラズマが形成されてしまい、その結果、ターゲットに対しての局所的に増強された腐食が起こってしまう。非一様なターゲット腐食は、ターゲットの寿命を短くし、そのため、ツールの所有に関するコストを増大させてしまう。さらに、非一様な腐食速度は、基板上に成膜されるフィルムの厚さが変動することのために、基板上に成膜されるフィルム内に楕円形や他の不規則パターンを形成してしまう。

【0009】

成膜バッフルの重要な特性は、電磁界に対する透過性である。複数のスロットにより、方位的磁束が可能とされる。この磁束は、アンテナ導体を流れる電流によって生成され、アンテナ導体に対して直交する平面内においてアンテナ導体を囲み、バッフルを透過する。電界は、バッフル内においてスロットの境界を形成している隣接スロットどうしの間のギャップを横断して誘起される。スロットは、ギャップからの電磁束の $E \times B$ 移動を支持してアンテナから遠ざかる向きに移動させ得るような、方向とされている。透過係数は、最大で0.8~0.9という値に到達することができる。しかしながら、導電性成膜バッフルは、アンテナとプラズマとの間の結合特性に対して、(1)アンテナ電流 I の磁気シールドと、(2)かなり大きなオーミック損失と、という2つの悪影響をもたらす。双方の悪影響は、バッフル表面に対して直交する磁束が増大するほど、大きくなる。

【0010】

コイルとチャンバ内の処理領域との間において、成膜バッフルによってもたらされる静電シールドは、特に低圧において、ICPチャンバ内においてプラズマを点火することを困難なものとする。このような場合、操作者にとって安全であるとともにハードウェアを損傷することがなくさらに処理中の基板に対する処理を妨害しないようなまた処理中の基板を損傷させないようなプラズマ点火をもたらす得るような、新たな手法を開発しなければならない。

【0011】

チャンバ内のガスの初期イオン化を引き起こすには、中性原子から電子とイオンとを形成するのに必要な十分に大きな電圧が必要とされる。また、プラズマを維持するためには、チャンバ空間内における衝突やチャンバ壁との衝突によって失われるのと少なくとも同

10

20

30

40

50

程度といったような多数の原子がイオン化されて、多数のイオンと多数の電子とが形成されなければならない。失われる電子の数が多くなりすぎると、プラズマが消滅し形成されなくなる。良好に構成された成膜バツフルは、アンテナからの電界の大部分を遮蔽し、アンテナからの電界によるプラズマ点火を困難なものとする。アンテナの近傍において、より強力な電界を形成しようとして、アンテナを流れるRF電流を増大させた場合には、アンテナに高電圧が発生し、チャンバの外部雰囲気放電を起こしかねない。このことは、操作の安全性を破壊するとともに、構成要素の破壊を引き起こす。また、チャンバ内の圧力を下げたときには、プラズマ点火が、より困難なものとなる。

【0012】

スロット付きシールドを備えたICPプラズマ源においては、シールド内の各スロットの開口度合いを増大させることにより、点火性を改良することができる。しかしながら、この手法は、誘電体ウィンドウの汚染が避けられないことのために、実用的ではない。ターゲットを備えているようなシステムにおいては、ターゲットに対して印加されたDC電源によってプラズマを励起することができる。しかしながら、この手法は、電極のところにおいて大きな電圧スパイクが発生することのために、ウェハに対する損傷が大きく、非常に大きな電圧擾乱という形態での不安定な発振が起こり、これが、プラズマへの完全な移行が起こるようなしきい値電圧に到達するまで、継続することとなる。

【特許文献1】米国特許第6,080,287号明細書

【特許文献2】米国特許第6,287,435号明細書

【特許文献3】米国特許出願シリアル番号第09/629,515号明細書

【特許文献4】米国特許第3,974,059号明細書

【特許文献5】米国特許第5,178,739号明細書

【特許文献6】米国特許第4,431,901号明細書

【特許文献7】米国特許第4,795,879号明細書

【特許文献8】米国特許第4,897,579号明細書

【特許文献9】米国特許第5,231,334号明細書

【特許文献10】米国特許第5,234,529号明細書

【特許文献11】米国特許第5,449,433号明細書

【特許文献12】米国特許第5,534,231号明細書

【特許文献13】米国特許第5,800,688号明細書

【特許文献14】米国特許第5,948,215号明細書

【特許文献15】米国特許第6,080,287号明細書

【特許文献16】米国特許第6,287,435号明細書

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明の目的は、ICP処理システム内においてプラズマの方位的非一様性を除去することであり、特にターゲットの局所的腐食を除去することであり、そのようなプラズマの方位的非一様性を除去することによって、ICP-iPVDシステムにおいて基板上に、より一様な成膜を行うことである。

【0014】

本発明の他の目的は、ICP処理システム内における成膜バツフルの伝達機能を最適化することであり、これにより、バツフルを介してプラズマ内へと伝達されるRFパワーの分布をより一様なものとするためである。

【0015】

本発明のさらに他の目的は、コーティング汚染が引き起こさないためのウィンドウ保護機能を改良することである。

【0016】

本発明のさらなる目的は、成膜バツフルの冷却を方位的に改良することであり、特に、それによって、バツフルの各スロットの内部に成膜した材料が剥離してしまうことを低減

10

20

30

40

50

することである。

【0017】

本発明のなおも他の目的は、プラズマの点火性と、低パワーかつ低圧という条件下での安全な点火操作と、の双方をもたらすことである。

【0018】

本発明の原理によれば、ICP装置内の成膜バッフルのスロットに、特徴物すなわち構造部材が設けられ、これら構造部材が、バッフルを介しての誘導結合の効率を制限することなくバッフルを介してプラズマ内へと結合されるパワー分布の一様性を改良する。

【0019】

本発明の他の原理によれば、ICP装置内の成膜バッフルのスロットに、特徴物すなわち構造部材が設けられ、これら構造部材が、スロット内におけるプラズマ形成を制限し、これにより、誘電体ウィンドウに向けてのスロットからの材料の放出を制限し、これにより、バッフルによってウィンドウを保護することができる。

10

【0020】

本発明のさらに他の原理によれば、ICP装置内の成膜バッフルのスロットに、他の構造部材が設けられ、これら構造部材は、スロットのうちの、バッフルのウィンドウ側の面ではなく、スロットのうちの、バッフルのチャンバ側の面すなわちプラズマ側の面に対向して配置される。

【0021】

本発明のある種の実施形態においては、バッフルのスロットの端部の効果が、バッフルの表面全体にわたって均等に分散配置される。これは、バッフルのスロットを遮断するようにして導電性ブリッジを配置することによって実現される。好ましくは、そのようなブリッジは、バッフルのチャンバ側の面に設けられる、すなわち、プラズマに対向した面に設けられる。これにより、磁界に対してのバッフルの透過性に関して、ブリッジがもたらす影響を、最小化することができる。これに代えて、あるいは、これに加えて、スロットの数を増加させることによって、RF透過性を高めることができる。スロットの数を増加させる場合には、スロットの数および構成は、コイルとバッフルとによる共振周波数が、コイルに対して電力供給を行っているRFエネルギー源の周波数に近似したものとなるように、選択することができる。

20

【0022】

成膜バッフルのプラズマ側の面にブリッジを配置することにより、ブリッジは、バッフルのウィンドウ側の面上の戻り電流経路を部分的に除去し、アンテナからの直接的な見通しを回避し、これにより、ブリッジとアンテナとの間の干渉を最小化する。また、ブリッジは、シールド（あるいは、バッフル）の中央部のRF接地を増強し、スロットに対して平行な方向から入射する粒子からウィンドウを遮蔽し、スロットに対して直交した方向において熱チャンネルを形成する。さらに、ブリッジは、成膜バッフルのプラズマ側の面に向けてRF磁界を押圧することを、補助する。また、ブリッジがなすパターンは、成膜バッフルがなす平面内に存在しておりかつその平面内において分散している。これにより、プラズマ内の各種条件が一様化される。

30

【0023】

また、アンテナと成膜バッフルとは、複数のスロットを形成することによって、平行LC回路として擬似共振回路を構成する。このような状況下においては、プラズマ内へと、最大のRFパワーが伝達される。

40

【0024】

本発明の他の実施形態においては、プラズマによる生成物や金属原子によって誘電体ウィンドウがコーティングされてしまうことが、プラズマからウィンドウに向けて見通しの利かない経路を有したスロットを採用することによって、また、スロット内にプラズマが形成されてウィンドウ上へとスロットの成膜体が再パッタリングされてしまうことを防止し得る構成を採用することによって、最小化される。これは、コイルからのRF磁界に関しての、スロットの透過性を低減することなく、実現される。好ましくは、ブレードま

50

たは他の構造が、スロット内に設置されることにより、スロットの典型的な寸法をガスの平均自由行程よりも小さなものとするができる。このような構造は、バッフル上に誘起される電流のための経路の増加を最小化し得るようにして、バッフルボディに対して連結される。

【0025】

スロット内におけるブレードや他のプラズマ排除構造は、スロットのうちの、誘電体ウィンドウの近傍の位置に、配置される。しかしながら、バッフルボディに対してのブレード連結部は、バッフルのプラズマ側に対向した配置される。これは、誘起される電流経路が形成されることを回避するためであり、また、アンテナのインピーダンスに対して影響を及ぼさないためである。構造は、好ましくは、細いスラットや層状体の形態といったような、1mmあるいはそれ以下といったような薄いブレードとされ、スロット内において、誘電体ウィンドウ側の面上に配置される。

10

【0026】

アンテナからのRF磁界は、薄いブレードによっても、また、バッフルのプラズマ側に向けて配置されたブレード連結部によっても、直接的な影響を受けることがない。ブレードやブレード連結部による影響は、成膜バッフル自体をなすボディによって部分的に遮蔽される。成膜バッフルがなす平面内におけるブレード連結部の平面状パターンは、プラズマの条件を一様化させるという効果をもたらす。

【0027】

本発明のある種の実施形態においては、アンテナに対して接続された小さなRFパワーと、例えば0~20Wといったようなターゲットに対するDCパワーレベルと、によって、プラズマが点火され維持される。より詳細には、プラズマの点火は、65mTorrにおいては4~5WというDCパワーによって、また、20mTorrにおいては9~10WというDCパワーによって、実行することができる。ICPパワーは、また、H-E遷移に関する『逆向きしきい値』パワーを超えるようにして、印加される。H-E遷移に関する逆向きしきい値は、典型的には、20~100mTorrという圧力範囲においては、約300Wよりも小さい。したがって、ICPパワーは、点火前の時点においては、300Wあるいはそれ以上に設定することができる。同時に、ICPパワーは、一端部におけるピークトゥピーク値が例えば5kVであるような真空チューニング型アンテナと一緒に使用される場合には、500~600Wを超えないことが好ましい。

20

30

【0028】

DCパワーとICPパワーとの相乗効果により、非常に小さなパワー条件および電圧条件であっても、プラズマを点火して維持することができる。点火後には、ICPパワーとDCパワーとの双方を処理操作レベルに設定することができる。あるいは、DCパワーをオフとし、ICPパワーのみによってプラズマを維持することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0029】

本発明の上記のおよび他の目的や利点は、以下の詳細な説明を読むことにより、明瞭となるであろう。

【0030】

本発明に関連して、図1に概略的に図示されているような、米国特許第6,287,435号明細書に開示されているタイプのiPVD装置(10)について説明する。この装置(10)は、真空チャンバ(11)を備えている。真空チャンバ(11)は、チャンバ壁(14)によって規定されるとともに、この真空チャンバ(11)内において処理し得るよう、上向き基板支持台(13)上に支持された半導体ウェハ(12)を収容している。イオン化スパッタ材料源(15)が、チャンバ(11)の頂部に配置されているとともに、円錐台形状とされたマグネトロンスパッタターゲット(16)と、ターゲット(16)の中央の開口(17)内に配置されたRFエネルギー源(20)と、が設けられている。RFエネルギー源(20)は、RFコイルすなわちアンテナ(21)と、このコイルに対して出力部分が接続されたRF電源およびマッチングネットワーク(22)と、を

40

50

備えている。コイル(21)は、チャンバ(11)の外部において周囲雰囲気(18)内に配置されているとともに、誘電体ウィンドウ(23)の背面側に配置されている。誘電体ウィンドウ(23)は、チャンバ(11)をなす壁(14)の一部を形成しており、チャンバ(11)内の真空下(あるいは、減圧状態下)に維持されている処理ガスと、チャンバ(11)の外部雰囲気と、を隔離している。

【0031】

ウィンドウ(23)の内部には、導電性材料からなる成膜バッフル(30)が配置されている。このバッフル(30)は、図示の実施形態においては、このバッフル(30)を貫通して形成されている互いに平行な複数の直線状スロット(31)を備えている。好ましくは、バッフル(30)は、金属から形成されている。バッフル(30)は、互いに隣接しているスロット(31)どうしの間においては、長尺スラット(32)の形態とされている。コイル(21)は、互いに平行とされた複数の導体セグメント(24)を備えている。これらセグメント(24)は、ウィンドウ(23)の外部において近接して配置されているとともに、戻りセグメント(25)によって相互接続されている。これにより、複数のセグメント(24)内を流れるそれぞれの電流 I が、互いに同じ向きとされ、磁界 B (図1A)を形成している。この磁界 B は、チャンバ(11)内において高密度プラズマ(40)を励起する。バッフル(30)内の各スロット(31)は、コイル(21)の各セグメント(24)に対して垂直な平面内に位置している。磁界 B の磁力線は、そのような平面内に位置している。磁力線は、スロット(31)を通過しつつループを描いており、チャンバ(11)内のガスのうちの、バッフル(30)の近傍に位置した一部のガスの中を通過している。これにより、コイルからのRFエネルギーが、チャンバ(11)の内部のガス内へと入射しており、ガス内において既に点火されたプラズマ(40)を維持している。このプラズマは、処理ガス中の荷電粒子からなるプラズマ電流(41)によって示されている。プラズマ電流(41)は、コイルからの磁界に対向している。

【0032】

バッフル(30)内に誘起された反磁性電流 I_s が、磁界成分 B_s を生成する。この磁界成分 B_s は、磁力線 B を湾曲させる。磁力線 B_s は、図1Bに示すように、バッフル(30)のアンテナ側からスロット(31)内へと入射し、バッフル(30)の反対側すなわちチャンバ側から出射する。スロット(31)の端部(33)のところにおいては、電流 I_s の方が大きい。そのため、図1Cに示すように、スロット(31)内へと磁力線を押圧する。スロット(31)のチャンバ側から出射する磁力線の膨張が、端部(33)領域においてバッフル(30)のチャンバ側を流れる向きとは逆向きの表面電流を生成する。この表面電流は、局所的なプラズマ加熱を引き起こす。このようなエッジ効果は、成膜バッフル(30)の中央部分ではなく、バッフル(30)のスロット領域の境界部分において顕著な役割を果たす。

【0033】

本発明におけるある種の見地においては、このエッジ効果を有効に使用することによって、成膜バッフルデバイス(30)のあらゆる部分において、プラズマ(40)内に結合したパワーの全体的な分散をもたらす。コイル(31)の導体(24)に対しての、スロット(31)の端部(33)の位置が、戻り電流経路と、コイル(21)のインピーダンスと、に影響をもたらす。

【0034】

スロットのところにおけるバッフル(30)の厚さも、また、バッフル(30)のRF磁界透過性に対して、影響を与える。例えば、シールド(30)の厚さが大きいほど、電流を大きくすることができ、これにより、オーミック損失が大きくなるとともに、バッフル(30)を通してのRF磁界の遮蔽性を増大させる。バッフル(30)内の任意のスロットパターンに対する一般解が存在しないことにより、多様なアンテナ形状や、様々なスロット厚さや、シミュレーション実験や、解析、によって、様々なシールド構成すなわち様々なバッフル構成に関しての最適性能を改良することができる。本発明の一般原理をそのような解析に適用することによって、そのような構成を改良することができる。

【 0 0 3 5 】

本発明の原理につき、図 1 のイオン化 P V D 源を例にとり、説明する。しかしながら、本発明は、様々な I C P 源に対して一般的に適用することができる。

【 0 0 3 6 】

I C P 源においては、プラズマによる生成物や金属原子によって誘電体ウィンドウ (2 3) がコーティングされてしまうことを防止し得るよう、スロット (3 1) 付きのシールド (3 0) が設けられ、この場合、典型的には、プラズマとウィンドウとの間にわたって見通しの利かない経路を有したスロット構造が採用される。この目的のために、そのようなスロットは、例えば、V 字形状 (あるいは、山形状) や他の適切な形状とすることができる。簡単化のために、図 1 A においては、矩形横断面形状によって概略的な図示がな

10

【 0 0 3 7 】

図 1 および図 1 A ~ 図 1 C に示すようなプラズマ源においては、ウィンドウ (2 3) の内面近傍箇所におけるプラズマ (4 0) 内のパワー密度分布 (4 2) は、成膜バッフル (3 0) が無い場合には、図 2 A のようなものとなる。しかしながら、成膜バッフル (3 0) が存在する場合には、図 2 B に示すようなパワー密度分布 (4 2 a) が、成膜バッフル (3 0) のチャンバ側の近傍箇所において、ウィンドウ (2 3) の内面側に、形成されることとなる。この分布 (4 2 a) は、バッフル (3 0) のスロット (3 1) の端部 (3 3) の近傍に、尖鋭なピーク (4 3) を有している。これらピーク (3 1) の大きさは、成膜バッフル (3 0) の中央箇所 (4 4) 近傍における大きさよりも、大きい。このような

20

バッフル (3 0) は、パワー密度分布 (4 2) を、以下の式に従って変形させ、分布 (4 2 a) を形成する。

$$P_{P L A S M A} (X , Y , Z) = K_{B A F F L E} (X , Y , Z) \times P_{A N T E N N A} (X , Y , Z)$$

【 0 0 3 8 】

因子 $K_{B A F F L E} (X , Y , Z)$ は、オーミック損失や、スロット形状や、電磁界に関してのエッジ効果、の影響を示している。因子 $K_{B A F F L E} (X , Y , Z)$ は、プラズマ源の方位的非対称性を示している。スロット (3 1) の端部 (3 3) の近傍に位置したホットスポットは、局所的に強力なプラズマを形成する。これにより、ターゲットの腐食が増強され、ターゲットの寿命が短くなって、ツールの所有コストが増大する。さらに

30

【 0 0 3 9 】

成膜バッフル (3 0) からスロット端部を除去することが、容易なことでもなければ実際のなことでもないことにより、本発明によるアプローチは、成膜バッフル表面上にわたってエッジ効果を積極的に形成することにより、バッフル上にわたってエッジ効果を分散させることである。また、バッフル (3 0) のうちの、プラズマ (4 0) を向いた面上において、エッジ効果を形成することにより、このアプローチによる悪影響が最小化される。これは、ある種の場所において金属ブリッジを使用して各スラットどうしを連結しこれ

40

【 0 0 4 0 】

典型的には、R F 電磁界に関する当業者であれば、スロットのところに (すなわち、スロットを塞ぐようにして) ブリッジを導入することはしないであろう。その理由は、そのような配置とすれば、コイルを磁氣的に遮蔽してしまうからであり、また、コイルからプラズマ内への R F 磁界の伝搬を減少させてしまってプラズマ内への成膜パワー密度を減少させてしまいプラズマ密度を低減させてしまうからである。非常に短いスロットを使用し

50

まわらないよう、ある種の方策を講じる。

【0041】

本発明による方策により、成膜バッフル(30a)は、コイルからのRF電磁界の透過性が増大し、ブリッジ(34)は、例えば図3A~図3Cに示すように、スロットを通しての戻り電流をさほど増大させないようなものとなっている。

【0042】

成膜バッフルデバイスを通してのRF磁界の透過性の増大化は、部分的には、スロットの数を増加させることによって実現される。図1および図1A~図1Cに示す従来技術によるプラズマ源(20)におけるバッフル(30)は、13個のスロット(31)を有している。バッフル(30a)においては、コイルからのRF磁界は、図3Aに示すように例えば16個へと数的に増加されたスロットを介して、成膜バッフルデバイスを透過する。このような透過は、スロット(31a)の数にほぼ比例するものであって、スロットの数が13個から16個へと増加した場合には24%増大し、スロットの数が13個から20個へと増加した場合には43%増大する。パワー密度が同じであると仮定すれば、スロット数の増加によって、プラズマ内への合計での成膜パワーが増大する。あるいは、言い換えれば、プラズマ内へと同じ成膜パワーを供給するに際して、コイルに流す電流を低減することができる。これにより、マッチングネットワークやケーブル等も含めた供給ラインにおけるRFパワーのより良好な再分配が得られ、これにより、損失を低減させることができる。この観点から、バッフルの透過係数を、バッフルのチャンバ側における平均RF電磁エネルギーと、バッフルの入力アンテナ側における平均RF電磁エネルギーとの比として、規定することができる。この比は、スロットの数が増加すれば増大する。スロット(31a)の幅は、スロット幅が狭くなると成膜バッフル内におけるオーミック損失が増大することのために、スロット(31)と同じままである。

【0043】

ブリッジ(34)の位置および数は、アンテナ(21)からプラズマ(40)内へのパワー結合に影響を及ぼす。図3Bに示すように、成膜バッフル(30a)のV字形状スロット(31a)のところに設置されたブリッジ(34)は、バッフル(30a)を通してのパワー結合を低減させない。ブリッジ(34)は、例えば、図3Cに示すように、ブリッジ(34)の設置は、成膜バッフル(30a)のチャンバ側においてスロット(31a)の一部に制限されている。これにより、バッフル(30a)のコイル側における経路を避けることによって、戻り電流経路を制限している。その結果、アンテナ(21)は、ブリッジ(34)を直接的に『見る』ことがない。それは、ブリッジ(34)が、シールド(30a)のうちの、コイルとは反対側の面上に配置されているからである。これにより、ブリッジ(34)とアンテナ(21)との干渉可能性の大部分を、回避している。バッフル(30a)のチャンバ側に配置されたブリッジ(34)は、アンテナ(21)からは、バッフル(30a)の厚さの約半分よりも遠いところに位置しており、これにより、アンテナ(21)との干渉がさらに低減されている。

【0044】

ブリッジ(34)は、シールドの中央箇所におけるRF接地を増強する。これにより、バッフル構造のインダクタンスを低減させ、バッフルの性能を向上させることができ、バッフルの性能を低下させることがない。ブリッジ(34)は、また、ウィンドウを、スロット(31a)に対して平行な方向からやって来る粒子から、より良好に遮蔽する。ブリッジは、スロット(31a)に対して直交する向きにおいて熱チャネルを形成する。これにより、スロットに対して直交する向きにおいて熱流を形成することができ、径方向における熱流通を改良して、バッフルの冷却をより効果的なものとする。

【0045】

したがって、アンテナからのRF磁界は、シールド(30a)のチャンバ側においてスロット(31a)内にブリッジ(34)が追加されたことによっては、直接的な影響を受けることがない。ブリッジの追加による影響は、シールド(30a)の頂面の非架橋構造部分によって、保護されている。さらに、ブリッジ(34)は、成膜バッフル(30a)

のチャンバ側へとRF磁界を押し、RF磁界強度が増強されている局所的スポットを形成する。また、成膜バッフル(30a)がなす平面内における平面的ブリッジパターンは、プラズマを一様化するという効果をもたらす。これにより、システムにとって本来的であるような他の非一様性を補正する。有限要素法によるシミュレーションと解析とを補助的に使用することによって、ブリッジ(34)の配置を最適化することができる。図4A~図4Cには、成膜バッフルに関する3つの例(30a, 30b, 30c)が示されている。

【0046】

シミュレーションに基づき、並列LR回路としてのアンテナ(21)と成膜バッフルとを取り扱った場合に、アンテナ(21)および成膜バッフルの共振周波数が、スロット(31a)の数と他のバッフル形状とによって影響されることを、示すことができる。例えば、スロットの数を13個から16個へと増加させさらにブリッジを追加することにより、そのような共振回路の共振周波数を、19MHzから15MHzへと低減することができ、励起周波数(13.56MHz)に対してより近いものとする事ができる。また、13.56MHzにまで共振周波数を低減させることは、同様の調整をさらに行って、シールドを介してのRF誘導結合を最大とし、最大のRFパワーをコイルからプラズマ内へと結合させることにより、得ることができる。

【0047】

また、図5Aに示すように、プラズマによる生成物やプラズマからの金属原子によって誘電体ウィンドウがコーティングされてしまうことを防止し得るよう、スロット(31)は、典型的には、プラズマからバッフル(30)を介してウィンドウ(23)まで見通せるような経路を形成しないようにして、構成される。例えば、V字形状や他の適切な形状のスロット(31)が設けられ、そのようなスロットは、典型的には、例えば3~6mmといったような幅(W)を有している。しかしながら、見通しの利く経路が無い場合であっても、20mTorrやそれ以上の圧力においては、ある量の金属蒸気が、成膜バッフルのスロットを透過することができ、誘電体ウィンドウを汚染してしまう。

【0048】

例えば、ガス原子の平均自由行程がスロットの幅よりも短くなるようなガス圧力であれば、プラズマを、スロット(31)内において生成して維持し得ることが、判明している。その結果、RFパワーがスロット(31)内に結合することによって、スロット(31)内に漂遊プラズマ(43)が形成され、コーティング材料からなる成膜体(35)が形成されてしまう。このような成膜体は、湾曲したスロット経路をなす壁によって妨害され、矢印(36)で示すようにして、バッフル(30)のウィンドウ側に向けてスロット(31)から再スパッタリングされる。これにより、ウィンドウ(23)を汚染してしまう。また、スロット(31)内にそのような漂遊プラズマ(43)が形成されることにより、RFパワーのうちの、成膜バッフル(30)内における損失へと変換される割合が多くなる。このことは、温度を局所的に増大させる。

【0049】

漂遊プラズマ(43)の除去は、図5Bに示すように、バッフルを、修正されたスロット構造(31d)を有したバッフル(30d)とすることによって、得られる。各スロット(31d)は、バッフル(30d)の誘電体ウィンドウ側において、スロット(31d)内に、ブレード(37)を有している。バッフル(30d)をなす導電性材料と一体的に形成されたブレード(37)は、アンテナ(21)の導体(24)に対しての位置関係のために、バッフル(30d)内において戻り電流経路を形成することができるとともに、コイル(21)のインピーダンスに対して影響を与えることができる。誘電体ウィンドウ(23)の近傍においてスロット(31d)内に配置されるブレード(37)を、1mmあるいはそれ以下といった厚さの例えば薄いスラットや層状体の形態といったように、薄いものとし、さらに、バッフル(30d)のボディに対しての連結を最小なものとする事により、そのような戻り経路を最小化することができる。RF磁界Bは、ブレード(37)を有したスロット(31d)内を適切に透過する。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 0 】

より詳細には、ブレード(37)は、図5Bに示すように、V字形状スロット(31d)のウィンドウ側の枝の中に配置されている。ブレード(37)は、漂遊プラズマ(43)に起因する粒子からのウィンドウ(23)の物理的遮蔽を増強する。ブレード(37)は、成膜バッフル(30d)のボディのうちの頑丈な部分に対して連結されている。アンテナ(21)から遠くに位置しているとともに、成膜バッフル(30d)の底部または中央部内に含浸されている連結部(38)は、バッフル(30d)のプラズマ寄りに位置している。したがって、アンテナ(21)は、このようにしてバッフル(30d)の底部または中央部内に位置している連結部(38)を、一切『見ることがない』。これにより、ブレード連結部(38)とアンテナ(21)との間の干渉を避けることができる。ブレード(37)は、成膜バッフル(30d)のボディに対して連結されている。これにより、ブレードは、ブレード連結部(38)を介して形成されている熱チャネルによって、冷却される。ブレード連結部(38)は、スロット(31d)に対して直交する向きとされている。よって、ブレード連結部(38)の位置のために、バッフル(30d)のコイル側において、戻り電流経路は、ごく弱いものである。

10

【 0 0 5 1 】

ブレード(37)は、V字形状スロットに対してのみその使用が限定されるものではなく、上記と同様の態様でもって、他のタイプのスロット内にも組み込むことができる。また、スロット(31)に対してブレード(37)を付加するという概念は、図3A~図3Cおよび図4A~図4Cにおけるブリッジ(34)と組み合わせることができる。これにより、双方の特徴点の利点を得ることができる。

20

【 0 0 5 2 】

アンテナ(21)からのRF磁界は、ブレード(37)によって、直接的に影響を受けることがない。それは、ブレード(37)が、薄いものであるからであり、また、ブレード連結部(38)が、シールド構造のチャンバ側に配置されていて、ブレード連結部による影響が、成膜バッフル(30d)自身のボディによって部分的に遮蔽されるからである。ブレード連結部(38)は、また、成膜バッフル自体がなす平面内に位置している。これにより、一様なプラズマ状況をもたらされる。ブレード(37)のパターンは、導電性に関するシミュレーションによって、特定のシステムに応じて最適化することができる。ブレードパターンに関するいくつかの例について後述するけれども、様々な応用において可能なパターンは、後述のものに限定されるわけではない。

30

【 0 0 5 3 】

例えば、規則的な複数のV字形状スロット(31)を有しているような図1の装置の成膜バッフル(30)を介して伝達されるRFエネルギーに関しての平均的電磁エネルギー密度パターン(45a)が、図5Aに示されている。ウィンドウ側にブレード(37)が設けられた複数のV字形状スロット(31d)を有しているようなバッフル(30d)を介して伝達されるRFエネルギーに関しての平均的電磁エネルギー密度パターン(45b)が、図5Bに示されている。スロット(31d)と同様であるものの幅がより大きなものとされたスロット(31e)を有しているようなバッフル(30e)を介して伝達されるRFエネルギーに関しての平均的電磁エネルギー密度パターン(45c)が、図5Cに示されている。ブレード(37)の存在によってバッフル(30d)内においてプラズマ内に結合している平均的RF電磁エネルギーがわずかに低減していることにより、バッフル(30e)においては、スロット(31e)の幅を相対的に増大させることによって、そのような低減が補償されている。

40

【 0 0 5 4 】

成膜バッフル構造(30)(ブレード無し)と、成膜バッフル構造(30d)(スロット(31d)内にブレード(37)を有している)と、成膜バッフル構造(30e)(より大きな幅のスロット(31e)内に、ブレード(37)を有している)と、に関し、これら成膜バッフル構造を通過した後における、RFパワー密度分布(45a~45c)を示す3次元プロットが、それぞれ、図5D~図5Fに示されている。それら分布(45

50

a ~ 45 c) は、シミュレーションソフトウェアを使用して作成されたものであって、スロット (31) 内にブレード (37) を追加したにしても、分布がそれほど変化しないことを示している。同様に、プラズマ内に伝達された合計パワーは、各ブレード連結部 (38) どうしの平均間隔を 3.3 cm ~ 6.7 cm として行ったシミュレーションによれば、ブレード連結部 (38) によっても単位長さあたりにおけるブレード連結部 (38) の数によっても、実質的に影響されることがない。プラズマ内へと伝達される平均的電磁エネルギーは、ブレード連結部 (38) の数によっても、変化しない。しかしながら、スロット (31 d) 内の電磁エネルギーは、スロット (31 d) の数の減少に対応して、また、RF 磁界がより強く押圧されることによりオーミック損失が測定可能なほど著しく増大することに対応して、徐々に増加する。成膜パワーに関する相対的伝達係数は、わずかに減少することが示されたけれども、プラズマ内の電磁エネルギーと全容積内のエネルギーとの合計比は、実質的に変化しない。

10

【0055】

バッフル (30 d) の一実施形態に対してのブレード (37) の組込が、図 6 A ~ 図 6 D において、詳細に示されている。図 6 A は、バッフル (30 d) のチャンバ側の面を示す図であって、14 個のスロット (31 d) は、この図示においては、スロット (31) と全体的に同じ外見を有している。図 6 B は、同じバッフル (30 d) のウィンドウ側の面を示す図であって、スロット (31 d) 内にブレード (37) を見ることができる。連結部 (38) が、スロット (31 d) の長さ全体にわたって延在しているブレード (37 a) の長手方向両端箇所位置した連結部 (38 a) と、スロット (31 d) の長さの 3 分の 1 の長さのみにわたって延在しているブレード (37 b) の一端だけに位置するとともに周縁位置に位置した連結部 (38 b) と、スロット (31 d) の長さの 3 分の 1 の長さのみにわたって延在しているブレード (37 b) の一端だけに位置するとともに中央箇所位置した連結部 (38 b) と、を備えていることに注意されたい。図 6 C および図 6 D は、スロット (31 d) 内におけるブレード (37) の構成を、分解した底面図および斜視図によって、示している。

20

【0056】

バッフル (30 d) 内へのブレード (37) の代替的なかつ有利な態様が、図 6 E n 示されている。図 6 E においては、各ブレード (37) または各ブレードセグメントの連結部 (あるいは、連結ポイント) (38) が、小さな断面積のポストとされており、このポストによって、ブレード (37) の端縁が、スロット (31 d) をなす壁のうちの、バッフル (30 d) のチャンバ側に隣接した部分に対して、連結されている。また、図 6 B の連結部 (38 c) と図 6 E の連結部 (38 d) とは、互いに組み合わせることができ、これらを組み合わせて使用することにより、同じブレードまたは異なるブレードを、成膜バッフルのボディに対して連結することができる。

30

【0057】

ブレード (37) を有したスロット (31 d) は、ブレード無しの V 字形状スロット (31) と比較して、同等の誘導結合効率をもたらす。すなわち、スロット (31) がもたらす元々の誘導結合効率の 95% 程度の誘導結合効率をもたらす。その差は、成膜バッフル (30 d) 内に形成するスロット (31 d) の数を増加させることによって、補償することができる。一般に、チャンバ内の RF パワー密度分布ブレードは、連結部 (38) の位置によって、やや影響を受ける。しかしながら、ブレード連結部 (38) は、プラズマ内へと伝達される合計パワーすなわち合計電磁エネルギー量を、さほど変化させるものではない。ブレード連結部 (38) を一様に分布すること、および、単純な結合を行うことによって閉ループを形成しないこと、によって、パワー密度分布に関するブレード連結部 (38) による影響を低減することができる。ブレード (37) の向きは、プラズマ内の結合効率に関してもまたパワー密度分布に関しても、実質的に影響をもたらさないものと考えられる。

40

【0058】

スロットが V 字形状のものであってもまた他の形状のものであっても、スロット内にお

50

けるブレードの使用は、スロット内におけるおよび誘電体ウィンドウの近傍におけるプラズマの存在を排除し得るあるいは最小化し得るという利点を有している。漂遊プラズマからのスパッタリングの低減は、粒子汚染の量を低減する。ブレードは、プラズマからの粒子によるウィンドウの遮蔽を増強する。また、そのようなブレードに関して例示された連結態様は、ブレードとRFアンテナとの干渉を小さなものとする。

【0059】

コイルとチャンバとの間を、成膜バッフルによって静電的に遮蔽することは、プラズマ点火を困難なものとする。上記装置内におけるプラズマは、アンテナに対して連結された非常に小さなRFパワー（例えば、約300W）と、例えば少なくとも4Wかつ65mTorrや9Wかつ20mTorrといったようなターゲットのところで小さなDCパワーレベルと、によって点火されて維持される。ターゲットを備えていないようなエッチングシステムや他のシステムにおいては、プラズマ点火のためのターゲットに代えて、例えばバッフル自体といったような個別の電極を使用することができる。例えばiPVDの場合には、電極としてターゲットを使用することが普通であり、点火のために必要とされるDCは、パワーレベルの設定のためだけに使用される。例えばエッチングシステムといったような他のシステムにおいては、例えば小さくかつフラットな電極やプラズマ形成のために使用されるようなワイヤ電極から円筒形電極といったような他の電極を設ける必要がある。バッフル自体は、接地されていない場合に使用可能である、あるいは、小さなDCパワーによってバイアスされている時には短時間にわたって接地から隔離し得る場合に使用可能である。例えばエッチングシステムにおいては、エッチングの一様性を向上させるためによく使用されるようないわゆる『焦点合わせリング』を使用することができる。そのような電極に関する要求は、以下のようなものである。（1）電極材料によってプロセスチャンバを汚染しないよう、スパッタリングされにくい材料から形成されていること（例えば、Pt、Ni、Mo、W、Ta）。（2）高温に耐え得ること。（3）表面からの電子放出性が良好であること。（4）例えば壁の一部や中間シールドの一部や成膜バッフルといったような、最高音プラズマに対して直接的に曝されない場所に設置されること。

【0060】

プラズマ点火に関しては、小さなDCパワーレベルに加えて、アンテナに対して同時に、H-E遷移のための『逆向きしきい値』パワーをちょうど超えたような、ICPパワーが印加される。そのようなDCパワーだけでは、そのような小さなDCパワーレベルにおいてプラズマを維持するには不十分である。そのような小さなDCパワーレベルは、中性原子をイオン化させて二次電子とイオンとを生成しこれによりプラズマを形成し得る程度に十分なエネルギーの個別電子を、ごく少量だけ生成する。しかしながら、そのような二次電子は、さらなるイオン化作用を引き起こし得るほどの十分なエネルギーを獲得することができず、プラズマを維持することができない。ICPパワーだけでも、『逆向きしきい値』レベルにおいては、プラズマを点火するには不十分である。

【0061】

H-E遷移とは、誘導放電に典型的な現象である。誘導放電は、（1）Hモードとして公知の真の誘電放電；および（2）Eモードとして公知の弱い容量放電；という2つの動作モードを示す。H-E遷移とは、誘導結合から容量結合への移行である（これとは逆に、E-H遷移とは、容量結合から誘導結合への移行である）。徐々にICPパワーを増大させた場合、小さなパワーレベルでは、プラズマに対してのアンテナの容量結合（Eモード）しか起こらず、プラズマは、アンテナによって形成された電界によって励起される。アンテナのRF磁界（H）は、小さく、プラズマの内部に電界を誘起することがなく、プラズマを維持するには不十分なものである。プラズマ密度は、低密度（ $N_e \sim 10^9 \sim 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ ）であると考えられ、アンテナ表面が容量性電極として機能することによる電界（E、静電状況）によって形成される。RFパワーを増大させると、放電は、低密度容量モードから、高密度誘導モードへと、急激にシフトする。これは、アンテナが、強力なRF磁界を生成するようになり、コイルインダクタンスに基づくH電磁状況を形成

し、プラズマの内部に強力な電界を誘起するようになる。誘起された電界は、アンテナ表面に基づくものではなく、 $N_e \sim 10^{11} \sim 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ という範囲のプラズマ密度を形成し得るに十分強力なものである。実験的には、コイル電流（RFパワー）を増大させた際に、これらモード間の移行が明瞭である。モード間の移行は、プラズマ密度の大幅な増加によって確認され、Hモードに移行した際には光学的発光が起こる。通常は、低密度から高密度に移行する（あるいは逆に、高密度から低密度に移行する）のに必要なRFパワーレベルは、上方遷移（E-H）と下方遷移（H-E）とにおいて少し相違するものであり、このため、H-E遷移に関し履歴現象が存在する。そこで、ICPシステムの場合、小さなRFパワーレベルにおいては、エネルギーの大部分が、容量結合に使用され、アンテナのインダクタンスは、役割を果たさない。大きなRFパワーレベルにおいては、アンテナのインダクタンスが、支配的な役割を果たし、エネルギーの大部分が、誘導結合作用のために使用され、容量結合と比較して効率が向上する。これにより、高密度プラズマが形成される。中間的なパワーレベルにおいては、履歴曲線に基づき、双方の作用が存在し得る。

【0062】

H-E遷移に関しての『逆向き』しきい値は、履歴曲線上において逆向きをなすH-E遷移に関するしきい値である。静電シールドとして作用する成膜パツフルを備えたシステムにおいては、履歴曲線の順向きE-H遷移を超えた領域においてのみ、真の誘導プラズマ（Hモード）が点火される。履歴曲線の逆向きH-E遷移を下回る領域ではプラズマは消灯する。

【0063】

H-E遷移に関しての『逆向きしきい値』は、 $20 \text{ Torr} \sim 100 \text{ Torr}$ という圧力範囲においては、 300 W よりも小さい。このことは、ICPパワーが、点火前には少なくとも 300 W に設定されるべきであること、しかしながら、それよりもパワーが大きいと、真空チューニング型アンテナのピークトゥピーク電圧が、 5 kV あるいはそれ以上となってしまうこと、を意味している。例示したアンテナに関しては、上限は、図7Aに示すように、およそ $500 \sim 600 \text{ W}$ である。

【0064】

ICPパワーにおいて 300 W がプラズマ点火に関して望ましいという理由は、システム内の電圧を低い値に維持して損傷を回避し得るからであり、また、よりソフトな点火を引き起こすことによって、例えばウィンドウの大気雰囲気側といったようなところにおいて、アークが発生する傾向を低減させ得るからである。大気雰囲気側でのアークは、約 3.5 kV/mm というDC電圧において起こる。DCに代えてRFが使用された場合、この下限値は、典型的には、より低くなり、多くの要因に依存する。 $500 \sim 600 \text{ W}$ というICPパワーであれば、プラズマの点火を安全に行うことができる。しかしながら、 1 kW においては、大気圧アークの可能性が大きくなってしまふ。したがって、パワーは、例えば 20 Torr 以下といったような特に低圧動作に関しては、 1 kW 未満であるべきであり、好ましくは、 $500 \sim 600 \text{ W}$ を超えないべきである。 $500 \sim 600 \text{ W}$ というICPパワーであれば、 20 Torr を超える圧力でも安全に使用することができる。 10 Torr が、おそらく、小さなDCパワーで効果的なICP点火を行うための安全面での下限圧力である。ICPパワーが 300 W を下回ると、プラズマがうまく点火されない、あるいは、『真の誘導モード』で維持することができない。最大で 600 W までの大きなICPパワーは、最大で $25 \sim 30 \text{ W}$ というターゲットのところでDCパワーを使用しつつ、誘導プラズマの点火を補助する。しかしながら、プラズマは、ターゲットのみのところで大きなDCパワーによって点火され維持されるべきではない。それは、Lantsman氏による米国特許第6,190,512号明細書に開示されているように、特殊な電子回路が存在しない場合には、電圧スパイクが発生してしまうからである。このようなスパイクは、装置に損傷を引き起こし得るとともに、スパッタリングされた材料によってチャンバおよび基板を汚染してしまう。 10 Torr は、低DCパワーかつ低ICPパワーにおいて効果的にICP点火を行うための下限であると考えられる。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 5 】

DCパワーとICPパワーとの相乗効果により、非常に小さなパワー条件および電圧条件であっても、プラズマを点火して維持することができる。点火後には、ICPパワーとDCパワーとの双方を処理操作レベルに設定することができる。あるいは、DCパワーをオフとし、ICPパワーのみによってプラズマを維持することができる。iPVDに関するプラズマ処理システムにおいてアルゴンガスプラズマを点火して維持するのに必要なパワーレベルの例は、図7Bにプロットされているような実験データにおいて示されている。図7Bにおいて、矢印は、異なる2つの圧力値に関し、そのDCパワーレベルからプラズマが点火されて維持されることを示している。

【 0 0 6 6 】

最小のDCパワーレベルの経験的評価は、おおよそ、以下の式によって与えられる。この式は、アルゴンガスの場合について、20～100mTorrという圧力範囲において、当てはまるものである。

【 0 0 6 7 】

【数1】

$$P_{DC}(W) \geq \frac{100}{p(mTorr)} + 3$$

【 0 0 6 8 】

この式は、近似的なものではない。ターゲット材料が変更されたり、動作ガスが変更されたり、あるいは、ハードウェア部品が交換されたり、したような場合には、パワーレベルを変更する必要がある。しかしながら、上述した原理自体は、同じままである。あるいは、DCパワーの傾斜的な印加に際しては、チャンバ内の圧力に反比例する関係式に従って決定される最大値にまで、DCパワーを傾斜的に印加することができ、そのような関係式においては、65mTorrという圧力に対しては5Wというパワーを決定し、かつ、20mTorrという圧力に対しては10Wというパワーを決定することができる。

【 0 0 6 9 】

ターゲットを備えているようなPVDシステムに関して、プラズマ点火条件とプラズマ維持条件とを、図7Cに示している。ターゲットが存在しないエッチングシステムやプラズマクリーニングプロセスに関して、プラズマ点火条件とプラズマ維持条件とを、図7Dに示している。図7Cに示すシーケンスは、プラズマ点火とその後のイオン化PVD処理に際して使用され、一方、図7Dに示すシーケンスは、小さなパワーでのプラズマ点火とその後のICPだけによる処理に際して使用される。操作に関する詳細が、表1に示されている。

【 0 0 7 0 】

10

20

30

【表 1】

表 1 一点火操作

ステップ	i PVDプロセス	ICPのみ	コメント
1.	ICPパワーを、少なくとも300Wに、かつ、600W以下に、設定する。	ICPパワーを、少なくとも300Wに、かつ、600W以下に、設定する。	低圧においては、ICPパワーを大きめに設定。逆に、高圧においては、ICPパワーを小さめに設定。
2.	ステップ1と同時にまたはその後に、DCパワーを、0~20Wへの傾斜電圧に設定する。数秒間にわたって、傾斜を維持する。	ステップ1と同時にまたはその後に、DCパワーを、0~20Wへの傾斜電圧に設定する。数秒間にわたって、傾斜を維持する。	プロセス要求に応じて、1~5秒間。
3.	0~20Wにおける中間的DCパワーレベルにおいて、プラズマが点火する。	0~20Wにおける中間的DCパワーレベルにおいて、プラズマが点火する。	6.5mTorr においては、DC = 5W。 2.0mTorr においては、DC = 10W。
4.	プロセス条件のために必要なパラメータを設定する。 - ICPパワーレベルを設定する。 - DCパワーレベルを設定する。	プロセス条件のために必要なパラメータを設定する。 - ICPパワーレベルを設定する。 - DCパワーレベルを、0Wにまで傾斜的に下降させる、または、スイッチオフする。	プロセスパラメータは、ステップ関数として設定することができる、または、傾斜的に変化させることができる。
5.	基板を処理する。	基板を処理する。	
6.	DCパワーとICPパワーとを、スイッチオフする。	ICPパワーを、スイッチオフする。	

10

20

30

【0071】

当業者であれば、ここで例示した応用を変更し得ること、また、本発明が、例示としての実施形態によって説明されているに過ぎないこと、また、本発明の精神を逸脱することなく様々な追加や修正を行い得ること、を理解されるであろう。

40

【図面の簡単な説明】

【0072】

【図1】i PVD装置を、一部を破断して示す斜視図であって、従来技術における各構成要素を示している。

【図1A】図1の装置の断面を示す斜視図であって、瞬時的なRF電界ベクトルとRF電流ベクトルとが示されている。

【図1B】図1Aと同様の図であって、成膜バツフルの中央箇所において同様のベクトルを示している。

50

【図 1 C】図 1 B と同様の図であって、成膜バッフルのスロットの端部のところにおいて同様のベクトルを示している。

【図 2 A】図 1 の装置のチャンバ内における R F パワー密度分布を示す 3 次元的プロットであって、成膜バッフルが存在しない場合に対応している。

【図 2 B】図 1 の装置のチャンバ内における R F パワー密度分布を示す 3 次元的プロットであって、成膜バッフルが存在する場合に対応している。

【図 3 A】本発明の一実施形態による成膜バッフルのウィンドウ側の面を示す斜視図である。

【図 3 B】図 3 A の成膜バッフルのチャンバ側の面を示す斜視図である。

【図 3 C】図 3 B の成膜バッフルを、3 C - 3 C 線に沿って示す矢視断面図である。

10

【図 4 A】図 3 A ~ 図 3 C の成膜バッフルのチャンバ側の面を示す底面図であって、スロットパターンの一例を示している。

【図 4 B】図 4 A と同様の底面図であって、代替可能なスロットパターンを有した成膜バッフルを示している。

【図 4 C】図 4 A および図 4 B と同様の底面図であって、さらなる代替可能なスロットパターンを有した成膜バッフルを示している。

【図 5 A】図 1 の装置のプラズマ源における電磁エネルギー分布を示す断面図である。

【図 5 B】図 5 A と同様の電磁エネルギー分布を示す断面図であって、本発明によるプラズマ源の一実施形態を図示している。

【図 5 C】図 5 B と同様の電磁エネルギー分布を示す断面図であって、本発明によるプラズマ源の他の実施形態を図示している。

20

【図 5 D】図 2 B と同様の R F パワー密度分布を示す 3 次元的プロットであって、図 5 A のプラズマ源を有した装置のチャンバ内に対応している。

【図 5 E】図 5 D と同様の R F パワー密度分布を示す 3 次元的プロットであって、図 5 B のプラズマ源を有した装置のチャンバ内に対応している。

【図 5 F】図 5 D および図 5 E と同様の R F パワー密度分布を示す 3 次元的プロットであって、図 5 C のプラズマ源を有した装置のチャンバ内に対応している。

【図 6 A】図 5 B の成膜バッフルのチャンバ側の面を示す底面図である。

【図 6 B】図 6 A の成膜バッフルのウィンドウ側の面を示す平面図である。

【図 6 C】図 6 A および図 6 B の成膜バッフルを分解して示す平面図である。

30

【図 6 D】図 6 A ~ 図 6 C の成膜バッフルを、図 6 C における 6 D - 6 D 線に沿って分解して示す斜視図である。

【図 6 E】図 6 A ~ 図 6 D の成膜バッフルの一部を分解して示す斜視図である。

【図 7 A】様々なプロセス点火条件に関して、I C P パワーとピーク電圧値との関係を示すグラフである。

【図 7 B】I C P パワーおよび圧力と、D C パワーと、の関係を示す 3 次元的グラフである。

【図 7 C】本発明のある種の原理による P V D システムにおいて、D C パワーと I C P プラズマ点火パワーとを示すグラフである。

【図 7 D】本発明のある種の原理による P V D システムにおいて、D C パワーと I C P プラズマ点火パワーとを示すグラフである。

40

【符号の説明】

【 0 0 7 3 】

2 3 誘電体ウィンドウ

3 0 a 成膜バッフル

3 0 b 成膜バッフル

3 0 c 成膜バッフル

3 0 d 成膜バッフル

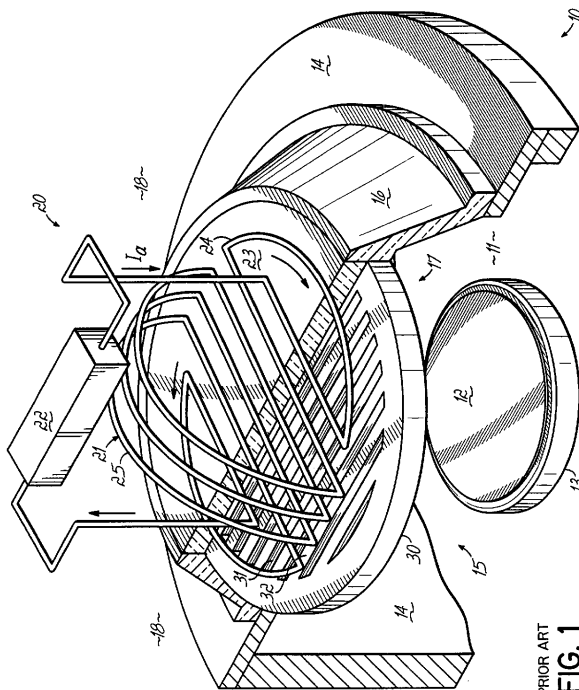
3 0 e 成膜バッフル

3 1 a スロット

50

- 3 1 d スロット
- 3 1 e スロット
- 3 4 ブリッジ (構造部材)
- 3 7 ブレード (構造部材)
- 3 7 a ブレード (構造部材)
- 3 7 b ブレード (構造部材)
- 3 8 連結部
- 3 8 a 連結部
- 3 8 b 連結部
- 4 0 プラズマ

【図 1】



【図 1 A】

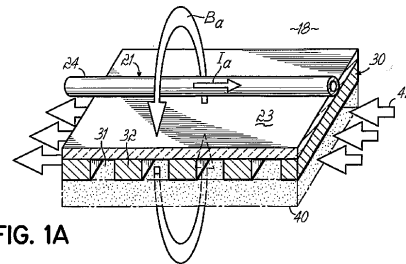


FIG. 1A

【図 1 B】

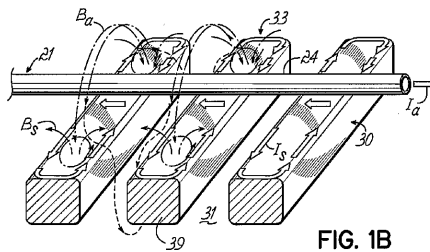


FIG. 1B

【図 1 C】

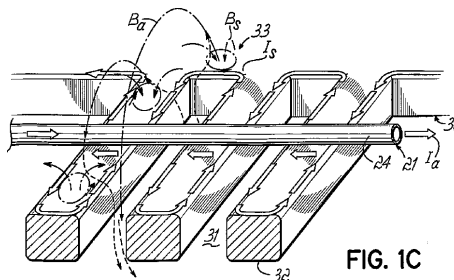


FIG. 1C

FIG. 1
PRIOR ART

【 図 2 A 】

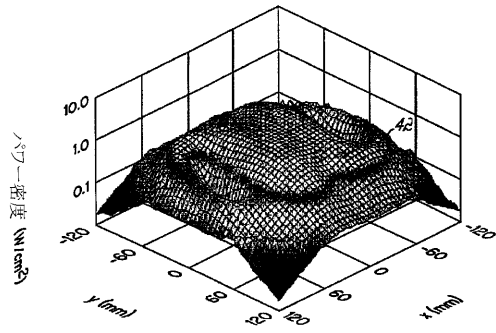


FIG. 2A

【 図 2 B 】

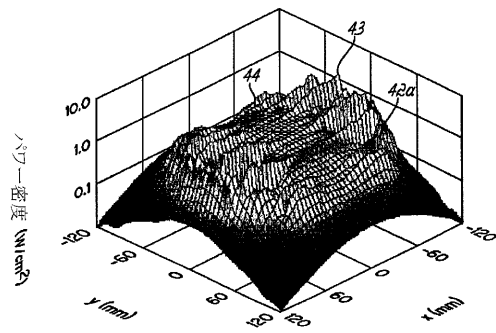


FIG. 2B

【 図 3 A 】

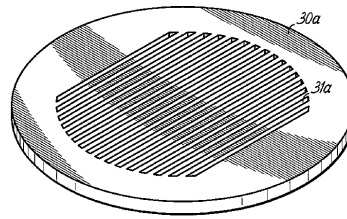


FIG. 3A

【 図 3 B 】

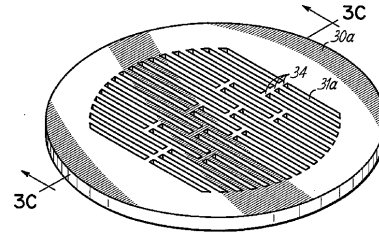


FIG. 3B

【 図 3 C 】

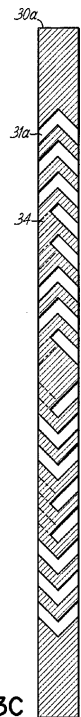


FIG. 3C

【 図 4 A 】

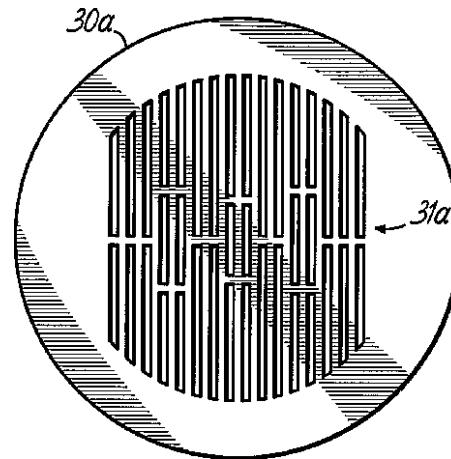


FIG. 4A

【 図 4 B 】

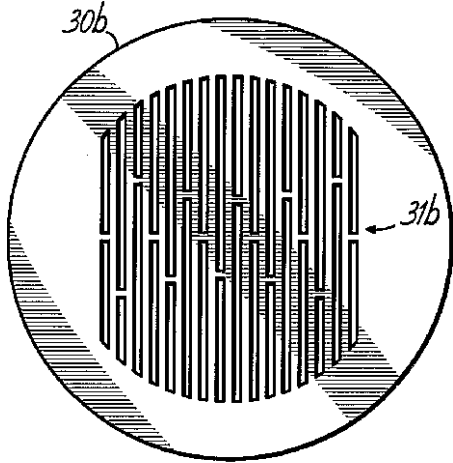


FIG. 4B

【 図 4 C 】

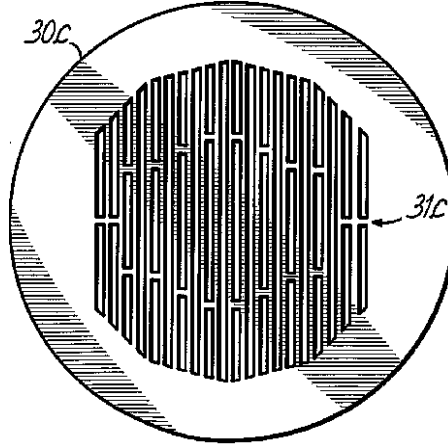
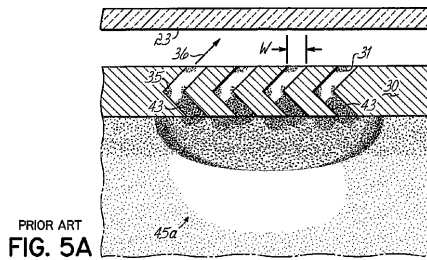


FIG. 4C

【 図 5 A 】



PRIOR ART
FIG. 5A

【 図 5 B 】

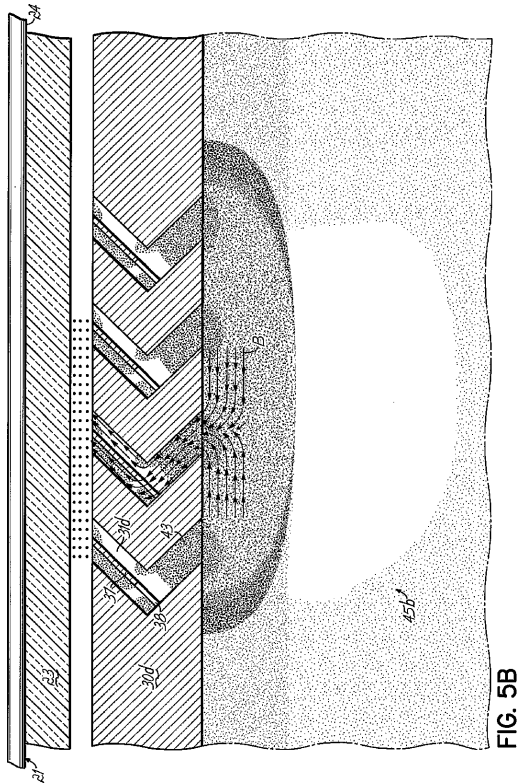


FIG. 5B

【 図 5 C 】

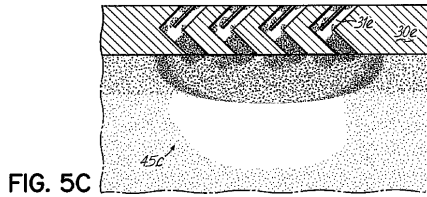


FIG. 5C

【 図 5 D 】

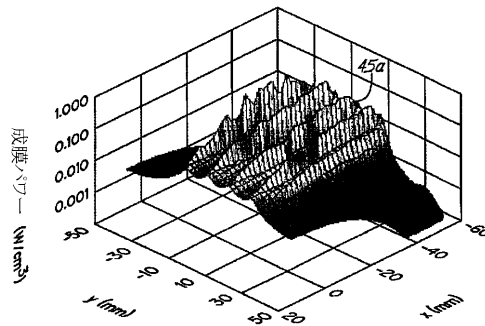


FIG. 5D

【 図 7 A 】

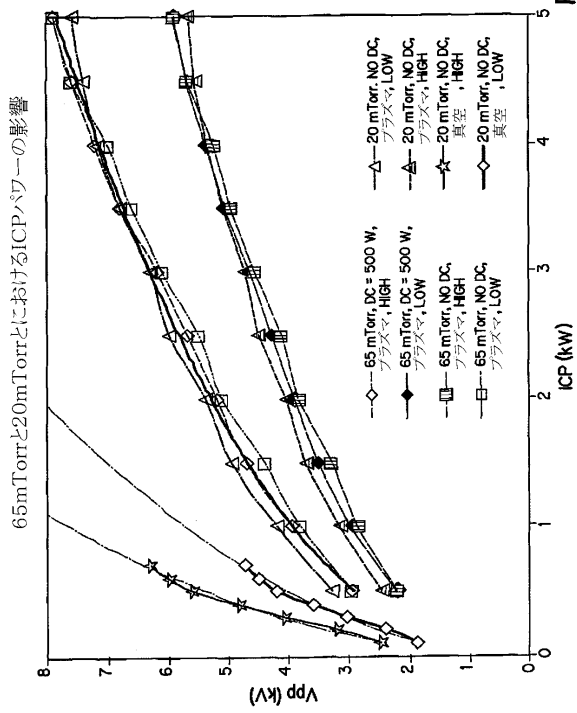


FIG. 7A

【 図 7 B 】

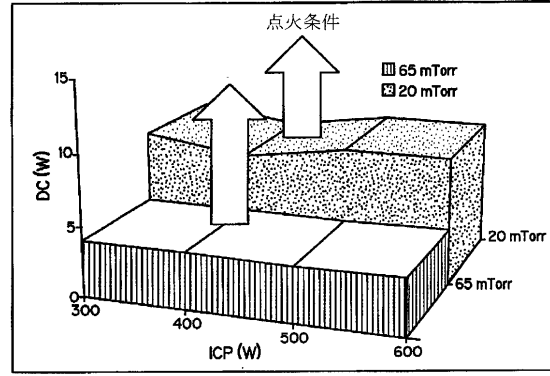


FIG. 7B

【 図 7 C 】

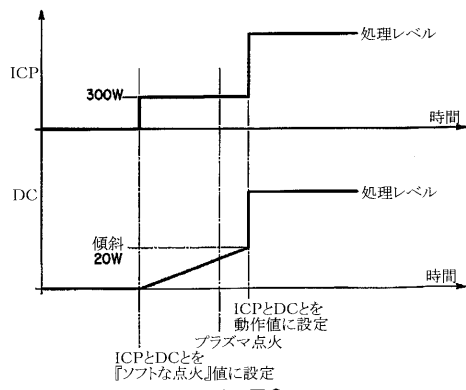


FIG. 7C

【 図 7 D 】

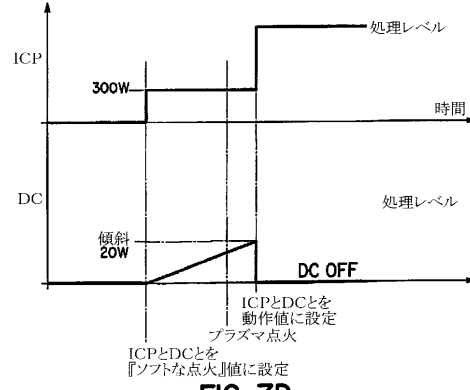


FIG. 7D

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 5 H 1/46 (2006.01) H 0 5 H 1/46 L

(72)発明者 ジョセフ・ブルッカ
アメリカ合衆国・アリゾナ・85213・メサ・イースト・ノークロフト・サークル・3429

審査官 若土 雅之

(56)参考文献 国際公開第01/037310(WO,A1)
特開平08-227800(JP,A)
特開2001-073150(JP,A)
特表2002-538309(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C23C 14/00-14/58
C23C 16/00-16/56
H01J 37/32
H01L 21/205
H01L 21/31
H01L 21/3065
H01L 21/365
H01L 21/469
H01L 21/86
H05H 1/46