

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

**特許第4026181号**  
(P4026181)

(45) 発行日 平成19年12月26日(2007.12.26)

(24) 登録日 平成19年10月19日(2007.10.19)

|                              |             |   |
|------------------------------|-------------|---|
| (51) Int. Cl.                | F I         |   |
| <b>H05H 1/46 (2006.01)</b>   | H05H 1/46   | M |
| <b>C23C 16/24 (2006.01)</b>  | C23C 16/24  |   |
| <b>C23C 16/509 (2006.01)</b> | C23C 16/509 |   |
| <b>H01L 21/205 (2006.01)</b> | H01L 21/205 |   |

請求項の数 1 (全 50 頁)

|           |                               |           |                  |
|-----------|-------------------------------|-----------|------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2004-318911 (P2004-318911)  | (73) 特許権者 | 303034908        |
| (22) 出願日  | 平成16年11月2日(2004.11.2)         |           | 村田 正義            |
| (65) 公開番号 | 特開2005-123199 (P2005-123199A) |           | 長崎県長崎市城山台2丁目10の5 |
| (43) 公開日  | 平成17年5月12日(2005.5.12)         | (72) 発明者  | 村田正義             |
| 審査請求日     | 平成19年6月26日(2007.6.26)         |           | 長崎県長崎市城山台2丁目10の5 |
| 早期審査対象出願  |                               | (72) 発明者  | 村田泰子             |
|           |                               |           | 長崎県長崎市城山台2丁目10の5 |
|           |                               | 審査官       | 林 靖              |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高周波プラズマ発生用電極と、該電極により構成されたプラズマ表面処理装置およびプラズマ表面処理方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

内部に基板がセットされる、排気系を備えた真空容器と、この真空容器内に放電用ガスを供給する放電用ガス供給系と、プラズマを生成する非接地の第1の電極及び接地された第2の電極から成る一対の電極と、2出力でかつ該2出力の電圧の位相差を任意に設定可能な第1の高周波電源と該第1の高周波電源の2つの出力端子に接続された第1及び第2のインピーダンス整合器及び該第1の高周波電源と独立し、かつ、2出力でかつ該2出力の電圧の位相差を任意に設定可能な第2の高周波電源と該第2の高周波電源の2つの出力端子に接続された第3及び第4のインピーダンス整合器から成る電力供給系とを具備し、生成したプラズマを利用して基板の表面を処理するプラズマ表面処理方法であって、前記第1の高周波電源の2つの出力の位相差と前記基板表面に製膜される正弦的膜厚分布を有するSi系膜の膜厚が最大になる位置との関係を把握する第1の工程と、前記第2の高周波電源の2つの出力の位相差と前記基板表面に製膜される正弦的膜厚分布を有するSi系膜の膜厚が最大になる位置との関係を把握する第2の工程と、該第1及び第2の工程でそれぞれに把握された第1及び第2の高周波電源の2つの出力の位相差と該膜厚が最大になる位置との関係より該第1及び第2の高周波電源の2つの出力の位相差を設定することにより、該基板に目的のSi系膜を製膜する第3の工程から成ることを特徴とする高周波プラズマ表面処理方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

## 【0001】

本発明は、プラズマを利用して基板の表面に所定の処理を施す表面処理装置及び表面処理方法に関する。本発明は、特に、電子温度が低く、かつ、高密度のプラズマ生成が可能という特徴をもつ超高周波プラズマ、すなわち周波数がVHF帯域(30MHzないし300MHz)の高周波電力により生成するプラズマによる表面処理装置および表面処理方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

プラズマを用いて基板の表面に各種処理を施し、各種電子デバイスを製作することは、LSI(大規模集積回路)、LCD(液晶ディスプレイ)用TFT(薄膜トランジスタ)、アモルファスSi系太陽電池、薄膜多結晶Si系太陽電池、複写機用感光体、および各種情報記録デバイス等の分野において既に実用化されている。また、ダイヤモンド薄膜および立方晶ボロナイトライド(C-BN)等の超硬質膜製造分野においても実用化が進みつつある。

10

## 【0003】

上記技術分野は、薄膜形成、エッチング、表面改質およびコーティング等多岐に亘るが、いずれも反応性プラズマの化学的および物理的作用を活用したものである。上記反応性プラズマの生成に関する装置および方法には、大別すると3つの代表的技術がある。

第1の代表的技術は、例えば、特許文献1ないし3に記載されているもので、プラズマ発生に非接地電極と接地電極から成る2枚の平行平板電極を一对として用いることを特徴とする。第2の代表的技術は、例えば特許文献4及び5に記載されているもので、プラズマ発生に棒電極あるいはラダー型電極と平板電極を一对として用いることを特徴とする。第3の代表的技術は、例えば、特許文献6に記載されているもので、アンテナ方式であることを特徴とする。

20

## 【0004】

また、電力損失防止及び電極間以外で発生の不必要なプラズマの発生を抑制する技術として、平衡不平衡変換装置を用いる技術が、例えば特許文献2及び3に記載されている。

## 【0005】

上記文献記載の技術の特徴は概略次の通りである。特許文献1に記載の技術は、非接地電極を方形電極とし、該方形電極の第1の辺の側面に複数の第1の電力供給点を配置し、該第1の辺と対向する第2の辺の側面に複数の第2の電力供給点を配置し、かつ、該複数の第1の給電点に供給される電力の電圧と該複数の第2の電力供給点に供給される前記電力の電圧の位相差を時間的に変化させることにより、一对の電極間の電界分布を平均化し、結果として、プラズマの強さの空間的分布を一様化することを特徴としている。なお、この技術では互いに向かい合った方向に伝播するように供給される2つの電力の進行波を干渉させて定在波を生成させ、該定在波の腹の位置を時間的に変化させることが可能である。

30

特許文献2に記載の技術は、一对の電極は方形の形状を有し、かつ、互いに直交する方向に位置する該電極の第1および第2の辺に、それぞれ、電力供給系の出力回路に接続された複数の電力供給点が設置され、かつ、該複数の電力供給点の反対側に、それぞれ、複数の該電力供給点に対応したリアクタンス調整装置が設置されるということを特徴としている。この技術では、該複数の電力供給点に対応したリアクタンス調整装置を制御することにより、反射波の位相を制御することにより、該供給電力の進行波と反射波を干渉させて定在波を生成することが可能で、かつ、該定在波の腹の位置を移動することが可能である。

40

特許文献3に記載の技術は、一对の電極に複数の開口を設置し、該開口の縁にそれぞれ電力供給点を配置し、かつ、電力供給系より平衡不平衡変換装置及び平衡伝送路を介して電力を供給することを特徴としている。この技術では、互いに隣接する開口より給電された電力が進行波とその反射波の関係となって生成する定在波を重ねあわせることにより、電極間のプラズマの強さの空間的分布を一様化することが可能である。

50

特許文献4に記載の技術は、一对の電極の電力供給点の反対側の先端部分に反射電力の位相を調整する位相調整回路が接続されるということの特徴としている。この技術では、該位相調整回路を制御することにより、反射波の位相の調整が可能で、該供給電力の進行波と反射波を干渉させて定在波を生成することが可能で、かつ、該定在波の腹の位置を移動することが可能である。

特許文献5に記載の技術は、電極上のある1つの給電点に供給される電力の電圧と他の少なくとも1つの給電点に供給される前記電力の電圧の位相差を時間的に変化させることにより、一对の電極間の電界分布を平均化し、結果として、プラズマの強さの空間的分布を一様化することを特徴としている。なお、この技術では、互いに向かい合った方向から供給される2つの電力の進行波を干渉させて定在波を生成させ、該定在波の腹の位置を時間的に変化させることが可能である。

10

特許文献6に記載の技術は、電極が線状導体をその中央点を基準に平面内に含まれるように折り返して形成され、該中央点を給電点としたことが特徴である。なお、この電極の形状には、例えばU字型あるいはM字型がある。また、該U字型あるいはM字型電極がアンテナとなって供給電力が空間へ放射される。

#### 【0006】

非特許文献1に記載の技術は、非接地電極のプラズマに接する面の裏側の面にH文字状の給電帯を設置し、該H文字状給電帯上に複数の給電点を設置したことを特徴としている。非特許文献2に記載の技術は、非接地電極の給電点の反対側、即ち電力伝播方向に位置する該電極の端部にコイルを設置し、電源と該一对の電極を結ぶ給電線および該電極に発生する定在波の腹の位置をずらすことを特徴としている。

20

#### 【0007】

【特許文献1】特開2002-12977(第2頁、第1図、第10-11図)

【特許文献2】特許第3575014号(第1-3頁、第6-10図)

【特許文献3】特開2004-235673(第2-3頁、第9-11図)

【特許文献4】特開平11-243062(第1頁、第1図、第7図)

【特許文献5】特許第3316490号(第1頁、第1図、第8図)

【特許文献6】特開2000-345351(第2頁、第1図、第5図、第7図)

#### 【0008】

【非特許文献1】L.Sansonens, A.Pletzer, D.Magni, A.A.Howling, Ch.Hollenstein and J.P.M.Schmitt, : A voltage uniformity study in large-area reactors for RF plasma deposition, Plasma Source Sci. Technol. 6 (1997), p.170-178.

30

【非特許文献2】J.Kuske, U.Stephan, O.Steinke and S.Rohleck: Power feeding in large area PECVD of amorphous silicon, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 377(1995), p.27-32.

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0009】

上記のプラズマ表面処理技術、即ちプラズマ表面処理装置とプラズマ表面処理方法は、LCD, LSI, 電子複写機および太陽電池等の産業分野のいずれにおいても、生産性向上に伴う製品コストの低減および大面積壁掛けTVなど性能(仕様)の改善等に関する大面積・均一化および高速処理化のニーズが年々強まっている。特に、エネルギー資源問題や地球環境問題に対応した新エネルギー源として実用化普及の加速化が期待されている薄膜シリコン系太陽電池の分野では、なお一層の生産コストの低減が社会的ニーズとして求められている。

40

#### 【0010】

上記ニーズに対応するため、最近では、一つの技術傾向として、産業界のみならず、学会でも特に、プラズマCVD(化学蒸着)技術およびプラズマエッチング技術ともに、高性能化と高速処理化が可能(低電子温度で高密度のプラズマが生成可能)という特徴のあるVHF帯(30MHzないし300MHz)の電源を用いたプラズマCVD技術の実用

50

化研究が盛んになっている。しかしながら、従来技術では、以下に述べるような課題が依然として存在し、上記ニーズの分野では齟齬をきたしている。

#### 【0011】

第1の課題は、VHFプラズマを用いた表面処理の高速化・大面積・均一化（生産性向上および性能向上）が可能な高生産性プロセス用VHFプラズマ表面処理装置及びVHFプラズマ表面処理方法に係わる技術のブレークスルーである。一般に、LCD分野では、膜厚分布は再現性を確保して、±5%程度、太陽電池分野では、膜厚分布は再現性を確保して、±10%程度が実用化の一つの指標となっている。しかしながら、1987年世界初の試みとして登場したVHFプラズマの高速化・大面積・均一化に関する技術はあまり進展が見られない状況にある。従来のVHFプラズマ技術では、例えばa-Si膜を製造する場合、再現性の確保を前提条件にすると、基板面積が50cm×50cm程度に関しては、±10～15%程度の膜厚分布、100cm×100cm程度に関しては、±20～40%程度の膜厚分布であり、上記指標をクリアできないという問題がある。

10

#### 【0012】

膜厚分布の不均一性の直接的原因としてはプラズマ密度の不均一性があり、プラズマ密度の不均一性の原因には、上記VHF固有の問題である波の干渉現象に起因する定在波の発生がある。この定在波の問題は電磁波の伝播に伴う基本的な現象であるため、従来、抜本的解決手段がなく、次善の策として、前記特許文献1～6にあるアイデアが実用化されつつある。しかしながら、いずれの技術も次に述べるような問題がある。すなわち、この定在波の問題を抜本的に解決できていない。

20

(1)特許文献1記載の技術は、方形電極の互いに対向した2つの辺から供給される電力の電圧の位相差を時間的に、例えば数kHzの周波数で、鋸歯状に変化させることにより、一对の電極間に発生する定在波の腹の位置を移動させ、時間平均的に見て均一化するものである。膜厚分布は、アモルファスSi製膜では、基板面積が50cm×50cm程度に関しては、±10～15%程度の膜厚分布が得られているが、100cm×100cm程度に関しては、±20以上と見られている。また、プラズマが例えば数kHzの周波数で変動するので、高品質膜製造や高品質エッチング加工等には適しないという欠点がある。なお、a-Si製膜では電源周波数が100kHz～1MHz程度を境にして、低い周波数帯の場合では膜中水素の量が、高い周波数帯の場合に比べて著しく多くなるという研究成果がある。

30

(2)特許文献2記載の技術は、複数の電力供給点の反対側に、それぞれ、複数の該電力供給点に対応したリアクタンス調整装置を設置し、電力の反射波の位相を制御するので、電力の吸収率が高い条件、例えば圧力が数100Pa～数1000Paでのプラズマ生成では反射波の強さが弱くなり、反射波の制御が無理となる。すなわち、プラズマ生成の圧力が数100Pa以下との条件の場合でないと応用できないという欠点がある。

(3)特許文献3記載の技術は、互いに隣接する開口より給電された電力が進行波とその反射波の関係となって生成する定在波を重ねあわせることにより、電極間のプラズマの強さの空間的分布を一様化するので、互いに隣接する開口の間隔を使用する電源周波数即ち波長に対応して選定することが必要である。すなわち、電源周波数が予め選定されることが必須条件で、かつ、プラズマ密度の強さに応じて伝播電力の波長が短縮するので、プラズマの均一性はプラズマ密度の強さに依存するという欠点がある。

40

(4)特許文献4記載の技術は、特許文献2記載の技術と同様に、電力供給点の反対側に、位相調整装置を設置し、電力の反射波の位相を制御するので、電力の吸収率が高い条件、例えば圧力が数100Pa～数1000Paでのプラズマ生成では反射波の強さが弱くなり、反射波の制御が無理となる。すなわち、プラズマ生成の圧力が数100Pa程度以下との条件の場合でないと応用できないという欠点がある。

(5)特許文献5記載の技術は、特許文献1記載の技術と同様に、電極上のある1つの給電点に供給される電力の電圧と他の少なくとも1つの給電点に供給される前記電力の電圧の位相差を時間的に変化させることにより、一对の電極間の電界分布を平均化し、結果として、プラズマの強さの空間的分布を一様化するので、プロセス用VHFプラズマ表面処

50

理装置及びVHFプラズマ表面処理方法としては、プラズマが例えば数kHzの周波数で変動するので、高品質膜製造や高品質エッチング加工等には適しないという欠点がある。また、膜厚分布は、アモルファスSi製膜では、基板面積が50cm×50cm程度に関しては、±10～15%程度の膜厚分布が得られているが、100cm×100cm程度に関しては、±20以上と見られている。

(6)特許文献6記載の技術は、アンテナ方式即ち誘導結合型のプラズマ生成なので、圧力条件が数Pa以下という制約がある。すなわち、微結晶Si等のような圧力条件が数100Pa～数1000Paである応用には無理があるという欠点がある。また、電極の周囲にある真空容器の形状や接地条件に影響を受けやすいで、製膜条件の適正条件の把握が困難と推測される。

#### 【0013】

更に、第2の課題として、量産装置への応用性の高いVHFプラズマ発生用電極の技術開発がある。一般に、高生産性プロセスでの生産装置の基本ラインは、インライン型装置、マルチチャンパー型装置及びロール・ツー・ロール型装置の3つの方式があるが、これらの装置では基板搬送装置との兼ね合いから、プラズマ処理室内の一对の電極と給電ケーブルを接続する場合、例えば該一对の電極形状が矩形の場合、周囲4辺の中の1辺のみを用いて両者が接続できる手段が求められる。しかしながら、従来のVHFプラズマ技術では、このニーズに対応できないという問題がある。なお、前記の特許文献16記載の技術で、このニーズに対応可能な技術は、特許文献6記載の技術のみである。しかしながら、この技術は、前述の通り、圧力条件が数Pa以下という制約があるため、実用価値が低いと見られている。

#### 【0014】

以上説明したように、従来技術では、量産性向上や低コスト化に必要な大面積基板、例えばサイズ1m×1m級大面積基板を対象にしたVHFプラズマCVDおよびプラズマエッチング等の応用は、依然として困難で、困難視されている。即ち、プラズマ表面処理の高速化・大面積・均一化等の課題に対応する為、一つの技術トレンドとして、VHFプラズマ技術が注目され、その実用化応用の開発研究が実施されているが、技術的困難性のため、1m×1m級を越える大面積基板を対象にしたVHFプラズマ利用の高速化・大面積・均一化が可能な表面処理装置及びその方法の成功例は発表されていない。

#### 【0015】

言い換えれば、現在、VHFプラズマ分野が抱える具体的技術課題は、第1に、一对の電極間に発生する定在波を抑制可能な大面積・均一化技術の創出、第2に、基板搬送装置の設置に制約を与えることが少ない給電手段の創出である。

#### 【0016】

そこで、本発明は、上記従来技術の課題を解決するために必要な、定在波の影響を根本的に抑制し、プラズマ表面処理の高速化・大面積・均一化が可能で、かつ、基板搬送装置の設置に制約を与えることが少ない給電手段を実現可能なアイデアを創出し、該アイデアを実現するための高周波プラズマ発生用電極と該電極により構成されたプラズマ表面処理装置およびプラズマ表面処理方法を提供することを目的とする。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0017】

本発明は、上記課題を解決するため、高周波プラズマ発生用電極と該電極により構成されたプラズマ表面処理装置およびプラズマ表面処理方法を、次のように構成したことを特徴とする。

#### 【0018】

即ち、本発明の高周波プラズマ発生用電極は、内部に基板がセットされる、排気系を備えた真空容器と、この真空容器内に放電用ガスを供給する放電用ガス供給系と、プラズマを生成する非接地の第1の電極及び接地された第2の電極から成る一对の電極と、2出力でかつ該2出力の電圧の位相差を任意に設定可能な第1の高周波電源と該第1の高周波電源の2つの出力端子に接続された第1及び第2のインピーダンス整合器及び該第1の高周

10

20

30

40

50

波電源と独立し、かつ、2出力でかつ該2出力の電圧の位相差を任意に設定可能な第2の高周波電源と該第2の高周波電源の2つの出力端子に接続された第3及び第4のインピーダンス整合器から成る電力供給系とを具備し、生成したプラズマを利用して基板の表面を処理するプラズマ表面処理装置に用いられる高周波プラズマ発生用電極であって、前記第1の電極に配置された第1の給電点に、前記第1のインピーダンス整合器の出力端子と、前記第3のインピーダンス整合器の出力端子が接続され、かつ、前記第1の給電点に対して高周波電力波の伝播上での対向点となる関係にある位置に配置された第2の給電点に、前記第2のインピーダンス整合器の出力端子と、前記第4のインピーダンス整合器の出力端子が接続されるという構成を有することを特徴としている。

また、本発明の高周波プラズマ発生用電極は、前記第2の電極を平板型の形状とし、前記第1の電極を該第2の電極に平行な面内に含まれるように配置された棒状あるいは板状の形状とする構成を有することを特徴としている。

また、本発明の高周波プラズマ発生用電極は、前記第1の電極を、1本の棒状導体を前記第2の電極に平行な面内に含まれるように折り返して形成されるU字型あるいはW字型の形状とする構成を有することを特徴としている。

また、本発明の高周波プラズマ発生用電極は、前記第2の電極を円筒型の形状とし、前記第1の電極が、該第2の電極を外套状に取り囲む円筒の面内に含まれるように配置された棒状あるいはU字型形状あるいはW字型あるいは方形型の形状とする構成を有することを特徴としている。

また、本発明の高周波プラズマ発生用電極は、前記第1の電極を複数の電極とし、該複数の電極を前記第2の電極に平行な面内に含まれるように配置されるという構成を有することを特徴としている。

また、本発明の高周波プラズマ発生用電極は、前記第1の電極の一部あるいは全部の表面が誘電体で覆われているという構成を有することを特徴としている。

また、本発明の高周波プラズマ発生用電極は、前記給電点と前記インピーダンス整合器の接続部に平衡不平衡変換装置が挿入されるという構成を有することを特徴としている。

また、本発明の高周波プラズマ発生用電極は、前記第1及び第2の高周波電源の出力の周波数が30MHzから300MHzのVHF帯に属していることを特徴としている。

また、本発明の高周波プラズマ発生用電極は、前記第1及び前記第2の高周波電源の出力のそれぞれの周波数が異なることを特徴としている。

#### 【0019】

また、本発明の高周波プラズマ発生法は、内部に基板がセットされる、排気系を備えた真空容器と、この真空容器内に放電用ガスを供給する放電用ガス供給系と、プラズマを生成する非接地の第1の電極及び接地された第2の電極から成る一対の電極と、2出力でかつ該2出力の電圧の位相差を任意に設定可能な第1の高周波電源と該第1の高周波電源の2つの出力端子に接続された第1及び第2のインピーダンス整合器及び該第1の高周波電源と独立し、かつ、2出力でかつ該2出力の電圧の位相差を任意に設定可能な第2の高周波電源と該第2の高周波電源の2つの出力端子に接続された第3及び第4のインピーダンス整合器から成る電力供給系とを具備し、生成したプラズマを利用して基板の表面を処理するプラズマ表面処理装置に用いられる高周波プラズマ発生法であって、上記した本発明のいずれかの高周波プラズマ発生用電極を用いて、該一対の電極間にプラズマを発生させるようにしたことを特徴としている。

#### 【0020】

また、本発明の高周波プラズマ表面処理装置は、内部に基板がセットされる、排気系を備えた真空容器と、この真空容器内に放電用ガスを供給する放電用ガス供給系と、プラズマを生成する非接地の第1の電極及び接地された第2の電極から成る一対の電極と、2出力でかつ該2出力の電圧の位相差を任意に設定可能な第1の高周波電源と該第1の高周波電源の2つの出力端子に接続された第1及び第2のインピーダンス整合器及び該第1の高周波電源と独立し、かつ、2出力でかつ該2出力の電圧の位相差を任意に設定可能な第2の高周波電源と該第2の高周波電源の2つの出力端子に接続された第3及び第4のインピ

10

20

30

40

50

ーダンス整合器から成る電力供給系とを具備し、生成したプラズマを利用して基板の表面を処理するプラズマ表面処理装置であって、前記一対の電極が上記した本発明のいずれかの高周波プラズマ発生用電極により構成されていることを特徴としている。

また、本発明の高周波プラズマ表面処理装置は、上記した本発明の高周波プラズマ表面処理装置を用いて、前記基板の表面にアモルファスSi系材料、微結晶Si系材料、多結晶Si系材料及び結晶Si系材料のいずれかを形成するようにしたことを特徴としている。

#### 【0021】

また、本発明の高周波プラズマ表面処理方法は、内部に基板がセットされる、排気系を備えた真空容器と、この真空容器内に放電用ガスを供給する放電用ガス供給系と、プラズマを生成する非接地の第1の電極及び接地された第2の電極から成る一対の電極と、2出力でかつ該2出力の電圧の位相差を任意に設定可能な第1の高周波電源と該第1の高周波電源の2つの出力端子に接続された第1及び第2のインピーダンス整合器及び該第1の高周波電源と独立し、かつ、2出力でかつ該2出力の電圧の位相差を任意に設定可能な第2の高周波電源と該第2の高周波電源の2つの出力端子に接続された第3及び第4のインピーダンス整合器から成る電力供給系とを具備し、生成したプラズマを利用して基板の表面を処理するプラズマ表面処理方法であって、前記一対の電極を上記した本発明のいずれかの高周波プラズマ発生用電極により構成し、プラズマ表面処理をすることを特徴としている。

また、本発明の高周波プラズマ表面処理方法は、内部に基板がセットされる、排気系を備えた真空容器と、この真空容器内に放電用ガスを供給する放電用ガス供給系と、プラズマを生成する非接地の第1の電極及び接地された第2の電極から成る一対の電極と、2出力でかつ該2出力の電圧の位相差を任意に設定可能な第1の高周波電源と該第1の高周波電源の2つの出力端子に接続された第1及び第2のインピーダンス整合器及び該第1の高周波電源と独立し、かつ、2出力でかつ該2出力の電圧の位相差を任意に設定可能な第2の高周波電源と該第2の高周波電源の2つの出力端子に接続された第3及び第4のインピーダンス整合器から成る電力供給系とを具備し、生成したプラズマを利用して基板の表面を処理するプラズマ表面処理方法であって、前記第1の高周波電源の2つの出力の位相差と前記基板表面に製膜される正弦的膜厚分布を有するSi系膜の膜厚が最大になる位置との関係を把握する第1の工程と、前記第2の高周波電源の2つの出力の位相差と前記基板表面に製膜される正弦的膜厚分布を有するSi系膜の膜厚が最大になる位置との関係を把握する第2の工程と、該第1及び第2の工程でそれぞれに把握された第1及び第2の高周波電源の2つの出力の位相差と該膜厚が最大になる位置との関係より該第1及び第2の高周波電源の2つの出力の位相差を設定することにより、該基板に目的のSi系膜を製膜する第3の工程から成ることを特徴としている。

#### 【発明の効果】

#### 【0022】

本発明の高周波プラズマ発生用電極は、内部に基板がセットされる、排気系を備えた真空容器と、この真空容器内に放電用ガスを供給する放電用ガス供給系と、プラズマを生成する非接地の第1の電極及び接地された第2の電極から成る一対の電極と、2出力でかつ該2出力の電圧の位相差を任意に設定可能な第1の高周波電源と該第1の高周波電源の2つの出力端子に接続された第1及び第2のインピーダンス整合器及び該第1の高周波電源と独立し、かつ、2出力でかつ該2出力の電圧の位相差を任意に設定可能な第2の高周波電源と該第2の高周波電源の2つの出力端子に接続された第3及び第4のインピーダンス整合器から成る電力供給系とを具備し、生成したプラズマを利用して基板の表面を処理するプラズマ表面処理装置に用いられる高周波プラズマ発生用電極において、前記第1の電極に配置された第1の給電点に、前記第1のインピーダンス整合器の出力端子と前記第3のインピーダンス整合器の出力端子を接続し、かつ、前記第1の給電点に対して高周波電力波の伝播上での対向点となる関係にある位置に配置された第2の給電点に、前記第2のインピーダンス整合器の出力端子と前記第4のインピーダンス整合器の出力端子を接続す

るという構成を有することを特徴としているので、該一対の電極間の電力の強さの分布をVHF固有の定在波に影響されることなく、一様な分布にすることが可能である。

即ち、実施例1～10に具体的に示しているように、第1の高周波電源から出力される2つの電力を第1及び第2のインピーダンス整合器を介して、それぞれ第1及び第2の給電点に供給するとともに、該第1の高周波電源と独立の関係にある第2の高周波電源から出力される2つの電力を第3及び第4のインピーダンス整合器を介して、それぞれ第1及び第2の給電点に供給することが可能となる。

このことは、一対の電極間に、互いに独立の関係にある2つの定在波を生成することが可能となることに加えて、該2出力の高周波電源の出力電圧の位相差を調整することにより該2つの定在波の腹の位置を互いに独立して調整することが可能になるということを意味している。

10

その結果、従来のVHFプラズマ表面処理装置及び方法では不可能視される波長の二分の一を超えるサイズの基板を対象にした応用において、均一で高品質のプラズマ処理が可能となる。

また、本発明高周波プラズマ発生用電極は、前記第2の電極を平板型の形状とし、前記第1の電極を該第2の電極に平行な面内に含まれるように配置された棒状あるいは板状の形状を有することを特徴としているので、実施例1及び3に示しているように、前記基板が大型化した場合においても応用が可能である。

また、本発明の高周波プラズマ発生用電極は、前記第1の電極を1本の棒状導体を前記第2の電極に平行な面内に含まれるように折り返して形成されるU字型あるいはW字型の形状を有することを特徴とするので、実施例6～9に示しているように、前記基板が大型化した場合においても応用が可能である。

20

また、本発明の高周波プラズマ発生用電極は、前記第2の電極を円筒型の形状とし、前記第1の電極を、該第2の電極を外套状に取り囲む円筒の内面に含まれるように配置された棒状あるいはU字型形状あるいはW字型あるいは方形型の形状を有することを特徴とするので、前記基板の形状が円筒形の場合においても応用が可能である。

また、本発明の高周波プラズマ発生用電極は、前記第1の電極を複数の電極とし、該複数の電極を前記第2の電極に平行な面内に含まれるように配置されるということ

を特徴とするので、基板の面積が1m×1mを超える大面積基板の場合にも対応可能である。

また、本発明の高周波プラズマ発生用電極は、前記第1の電極の一部あるいは全部の表面が誘電体で覆われているという構成有することを特徴とするので、該第1の電極がU字型あるいはW字型の場合における電極の曲がり部分での電力損失を抑制可能である。その結果、一対の電極の一つの側面側からのVHF電力の供給が可能である。このことは、インライン型やマルチチャンパー形やロール・ツー・ロール型のプラズマ表面処理装置の高生産性化のためのプラズマ発生装置の改善において求められている従来技術では不可能な装置断面での1側面からのVHF電力の供給を可能とし、応用価値は著しく高いものがある。

30

また、本発明の高周波プラズマ発生用電極は、前記給電点と前記インピーダンス整合器の接続部に平衡不平衡変換装置が挿入されることを特徴とするので、前記電力供給系の構成部材の同軸ケーブル端部の芯線と給電点の接合部近傍で発生する漏洩電流による電力損失及び異常放電の抑制が可能である。このことは、製品の低コスト化を担う量産装置としてのプラズマ表面処理装置への応用において、その効果は著しく大きい。

40

また、本発明の高周波プラズマ発生用電極は、前記第1及び第2の高周波電源の出力の周波数が30MHzから300MHzのVHF帯に属していることを特徴とするので、VHFプラズマの長所であるプラズマの高密度化が容易に実現可能である。

また、本発明の高周波プラズマ発生用電極は、前記第1及び前記第2の高周波電源の出力のそれぞれの周波数が異なるので、実施例1～4に示しているように、それぞれのインピーダンス整合器の調整が容易にすることが可能である。

### 【0023】

また、本発明の高周波プラズマ発生方法は、内部に基板がセットされる、排気系を備え

50



た真空容器と、この真空容器内に放電用ガスを供給する放電用ガス供給系と、プラズマを生成する非接地の第1の電極及び接地された第2の電極から成る一对の電極と、2出力でかつ該2出力の電圧の位相差を任意に設定可能な第1の高周波電源と該第1の高周波電源の2つの出力端子に接続された第1及び第2のインピーダンス整合器及び該第1の高周波電源と独立し、かつ、2出力でかつ該2出力の電圧の位相差を任意に設定可能な第2の高周波電源と該第2の高周波電源の2つの出力端子に接続された第3及び第4のインピーダンス整合器から成る電力供給系とを具備し、生成したプラズマを利用して基板の表面を処理するプラズマ表面処理装置に用いられる高周波プラズマ発生法において、上記した本発明のいずれかの高周波プラズマ発生用電極を用いて、該一对の電極間にプラズマを発生させるようにしたので、該一对の電極間の電力の強さの分布をVHF固有の定在波に影響されることなく、一様な分布にすることが可能である。

10

即ち、実施例1～10に具体的に示しているように、第1の高周波電源から出力される2つの電力を第1及び第2のインピーダンス整合器を介して第1及び第2の給電点に供給するとともに、該第1の高周波電源と独立の関係にある第2の高周波電源から出力される2つの電力を第3及び第4のインピーダンス整合器を介して第1及び第2の給電点に供給することが可能となる。

このことは、一对の電極間に、互いに独立の関係にある2つの定在波を生成することが可能となることに加えて、該2出力の高周波電源の出力電圧の位相差を調整することにより該2つの定在波の腹の位置を互いに独立して調整することが可能になるということの意味している。

20

その結果、従来のVHFプラズマ表面処理装置及び方法では不可能視される波長の二分の一を越えるサイズの基板を対象にした場合において、均一で高品質のプラズマ処理への応用が可能である。

#### 【0024】

また、本発明の高周波プラズマ表面処理装置は、内部に基板がセットされる、排気系を備えた真空容器と、この真空容器内に放電用ガスを供給する放電用ガス供給系と、プラズマを生成する非接地の第1の電極及び接地された第2の電極から成る一对の電極と、2出力でかつ該2出力の電圧の位相差を任意に設定可能な第1の高周波電源と該第1の高周波電源の2つの出力端子に接続された第1及び第2のインピーダンス整合器及び該第1の高周波電源と独立し、かつ、2出力でかつ該2出力の電圧の位相差を任意に設定可能な第2の高周波電源と該第2の高周波電源の2つの出力端子に接続された第3及び第4のインピーダンス整合器から成る電力供給系とを具備し、生成したプラズマを利用して基板の表面を処理するプラズマ表面処理装置において、前記一对の電極が上記した本発明のいずれかの高周波プラズマ発生用電極により構成されているので、該一对の電極間の電力の強さの分布をVHF固有の定在波に影響されることなく、一様な分布にすることが可能である。

30

即ち、実施例1～10に具体的に示しているように、第1の高周波電源から出力される2つの電力を第1及び第2のインピーダンス整合器を介して第1及び第2の給電点に供給するとともに、該第1の高周波電源と独立の関係にある第2の高周波電源から出力される2つの電力を第3及び第4のインピーダンス整合器を介して第1及び第2の給電点に供給することが可能となる。

40

このことは、一对の電極間に、互いに独立の関係にある2つの定在波を生成することが可能となることに加えて、該2出力の高周波電源の出力電圧の位相差を調整することにより該2つの定在波の腹の位置を互いに独立して調整することが可能になるということの意味している。

その結果、従来のVHFプラズマ表面処理装置では不可能視される波長の二分の一を越えるサイズの基板を対象にした応用において、均一で高品質のプラズマ処理が可能である。

また、本発明の高周波プラズマ表面処理装置は、上記した本発明の高周波プラズマ表面処理装置を用いて、前記基板の表面にアモルファスSi系材料、微結晶Si系材料、多結晶Si系材料及び結晶Si系材料のいずれかを形成するようにしたので、大面積基板にア

50

モルファスSi系材料、微結晶Si系材料、多結晶Si系材料及び結晶Si系材料を均一に、しかも高速に製膜が可能である。

【0025】

また、本発明の高周波プラズマ表面処理方法は、内部に基板がセットされる、排気系を備えた真空容器と、この真空容器内に放電用ガスを供給する放電用ガス供給系と、プラズマを生成する非接地の第1の電極及び接地された第2の電極から成る一对の電極と、2出力でかつ該2出力の電圧の位相差を任意に設定可能な第1の高周波電源と該第1の高周波電源の2つの出力端子に接続された第1及び第2のインピーダンス整合器及び該第1の高周波電源と独立し、かつ、2出力でかつ該2出力の電圧の位相差を任意に設定可能な第2の高周波電源と該第2の高周波電源の2つの出力端子に接続された第3及び第4のインピーダンス整合器から成る電力供給系とを具備し、生成したプラズマを利用して基板の表面を処理するプラズマ表面処理方法において、前記一对の電極が上記した本発明のいずれかの高周波プラズマ発生用電極により構成されていることを特徴としているので、該一对の電極間の電力の強さの分布をVHF固有の定在波に影響されることなく、一様な分布にすることが可能である。

10

即ち、実施例1～10に具体的に示しているように、第1の高周波電源から出力される2つの電力を第1及び第2のインピーダンス整合器を介して第1及び第2の給電点に供給するとともに、該第1の高周波電源と独立の関係にある第2の高周波電源から出力される2つの電力を第3及び第4のインピーダンス整合器を介して第1及び第2の給電点に供給することが可能となる。

20

このことは、一对の電極間に、互いに独立の関係にある2つの定在波を生成することが可能となることに加えて、該2出力の高周波電源の出力電圧の位相差を調整することにより該2つの定在波の腹の位置を互いに独立して調整することが可能になるということの意味している。

その結果、従来のVHFプラズマ表面処理方法では不可能視される波長の二分の一を超えるサイズの基板を対象にした応用において、均一で高品質のプラズマ処理が可能である。

また、本発明の高周波プラズマ表面処理方法は、内部に基板がセットされる、排気系を備えた真空容器と、この真空容器内に放電用ガスを供給する放電用ガス供給系と、プラズマを生成する非接地の第1の電極及び接地された第2の電極から成る一对の電極と、2出力でかつ該2出力の電圧の位相差を任意に設定可能な第1の高周波電源と該第1の高周波電源の2つの出力端子に接続された第1及び第2のインピーダンス整合器及び該第1の高周波電源と独立し、かつ、2出力でかつ該2出力の電圧の位相差を任意に設定可能な第2の高周波電源と該第2の高周波電源の2つの出力端子に接続された第3及び第4のインピーダンス整合器から成る電力供給系とを具備し、生成したプラズマを利用して基板の表面を処理するプラズマ表面処理方法において、前記第1の高周波電源の2つの出力の位相差と前記基板表面に製膜される正弦的膜厚分布を有するSi系膜の膜厚が最大になる位置との関係を把握する第1の工程と、前記第2の高周波電源の2つの出力の位相差と前記基板表面に製膜される正弦的膜厚分布を有するSi系膜の膜厚が最大になる位置との関係を把握する第2の工程と、該第1及び第2の工程でそれぞれに把握された第1及び第2の高周波電源の2つの出力の位相差と該膜厚が最大になる位置との関係より該第1及び第2の高周波電源の2つの出力の位相差を設定することにより、該基板に目的のSi系膜を製膜する第3の工程から成ることを特徴としているので、該一对の電極間の電力の強さの分布をVHF固有の定在波に影響されることなく、確実に一様な分布にすることが可能である。

30

40

即ち、実施例1～6及び実施例10に示すように、前記第1の工程と第2の工程において、前記第1及び第2の定在波の腹の位置がそれぞれに的確に把握できるので、該2つの定在波を的確に重畳させることが容易に実現可能である。

その結果、従来のVHFプラズマ表面処理方法では不可能視される波長の二分の一を超えるサイズの基板を対象にした応用において、均一で高品質の確実なプラズマ処理が可能である。

50

以上の効果は、太陽電池及びTFT業界のみならず、LSI及び複写機用感光体の産業における生産性向上および製品コストの低減に関し、貢献度が著しく大きい。

【発明を実施するための最良の形態】

【0026】

以下、本発明の実施の一形態に係わる高周波プラズマ発生用電極と該電極により構成されたプラズマ表面処理装置およびプラズマ表面処理方法について、図面を参照して説明する。なお、以下の説明では、プラズマ表面処理装置およびプラズマ表面処理方法の一例として、太陽電池を製作する際に必要なa-Si薄膜を製作する装置および方法が記載されているが、本願の発明対象が下記の例の装置及び方法に限定されるものではない。

【0027】

(実施例1)

本発明に関する実施例1の高周波プラズマ発生用電極と該電極により構成のプラズマ表面処理装置(プラズマCVD装置)およびプラズマ表面処理方法(プラズマCVD方法)について、図1ないし図6を参照して説明する。

【0028】

図1は実施例1に係わるプラズマ表面処理装置の全体を示す概略図、図2は図1図示のプラズマ表面処理装置の第1及び第2の電極への給電部の説明図、図3は一对の電極間に発生する電圧の定在波を示す説明図、図4は一对の電極間に発生する電圧の定在波の腹の位置を示す説明図、図5は一对の電極間に発生する電圧の定在波の振幅の2乗の値を示す説明図及び図6は一对の電極間に発生する2つの定在波の強さを示す説明図である。

【0029】

まず、装置の構成を説明する。図1及び図2において、符番1は真空容器である。この真空容器1には、後述の放電ガスをプラズマ化する一对の電極、即ち非接地の1本の棒から成る第1の電極2と図示しない基板ヒータ3を内蔵した接地された平板状の第2の電極4が配置されている。該第1の電極2は、絶縁物支持材5及びガス混合箱6を介して真空容器1に固着されている。該ガス混合箱6は放電ガス供給管8より供給されるSiH<sub>4</sub>等放電ガスを、整流孔7を介して、前記一对の電極2と4の間に均一に供給する機能を有している。供給されたSiH<sub>4</sub>等放電ガスは前記一对の電極2と4の間でプラズマ化された後、排気管9及び図示しない真空ポンプ10により、真空容器1の外へ排出される。

【0030】

真空容器1内の圧力は、図示しない圧力計によりモニターされ、図示しない圧力調整弁により自動的に所定の値に調整、設定される。なお、本実施例の場合は、放電ガスが流量500sccm~1、500sccm程度の場合、圧力0.01Torr~10Torr(1.33Pa~1,330Pa)程度に調整できる。真空容器1の真空到達圧力は2~3E-7Torr(2.66~3.99E-5Pa)程度である。

【0031】

符番11は基板で、図示しないゲートバルブ12の開閉操作により、第2の電極4に設置される。そして、図示しない基板ヒータ3により所定の温度に加熱される。

【0032】

電極へ高周波電力を給電する位置である給電点の一つは、前記1本の棒から成る第1の電極2の一方の端部とし、これを第1の給電点21とする。また、該給電点21に対して高周波電力波の伝播上での対向点となる関係にある位置である該電極の他方の端部を第2の給電点27とする。

【0033】

符番15は第1の位相可変2出力の発信器で、周波数30MHz~300MHz(VHF帯域)の正弦波信号を発生し、その2つの出力端子から、それぞれ例えば周波数60MHzの正弦波の電気信号を出力する。なお、該位相可変2出力の発信器15の2つの出力端子から出力される2つの正弦波信号の位相差は、該位相可変2出力の発信器15に付属の位相差調整器で任意の値に設定できる。該2つの出力端子の一方の出力は、第1の電力

10

20

30

40

50

増幅器 16、第 1 のインピーダンス整合器 17、第 1 の電流導入端子 18、第 1 の真空用同軸ケーブル 19 の芯線 20 を介して、第 1 の給電点 21 に供給される。

なお、位相可変 2 出力の発信器 15 と第 1 の電力増幅器 16 との接続、第 1 の電力増幅器 16 と第 1 のインピーダンス整合器 17 との接続、第 1 のインピーダンス整合器 17 と第 1 の電流導入端子 18 との接続は、いずれも同軸ケーブルが用いられる。そして、第 1 の真空用同軸ケーブル 19 の外部導体は第 2 の電極 4 に接続される。

該第 1 の位相可変 2 出力の発信器 15 の 2 つの出力端子の他方の出力は、第 2 の電力増幅器 22、第 2 のインピーダンス整合器 23、第 2 の電流導入端子 24、第 2 の真空用同軸ケーブル 25 の芯線及 26 を介して、第 2 の給電点 27 に供給される。

なお、位相可変 2 出力の発信器 15 と第 2 の電力増幅器 22 との接続、第 2 の電力増幅器 22 と第 2 のインピーダンス整合器 23 との接続、第 2 のインピーダンス整合器 23 と第 2 の電流導入端子 24 との接続は、いずれも同軸ケーブルが用いられる。そして、第 2 の真空用同軸ケーブル 25 の外部導体は第 2 の電極 4 に接続される。

前記第 1 の電力増幅器 16 及び第 2 の電力増幅器 22 には、それぞれ出力値（進行波）のモニター及び下流側から反射して戻ってくる反射波のモニターが付属している。また、該該反射波による該第 1 及び第 2 の電力増幅器 16、22 本体の電気回路を防護するためのアイソレータが付属されている。

#### 【0034】

符番 28 は、前記第 1 の位相可変 2 出力の発信器と独立の第 2 の位相可変 2 出力の発信器で、周波数 30 MHz ~ 300 MHz（VHF 帯域）の正弦波信号を発生し、その 2 つの出力端子から、それぞれ例えば周波数 60 MHz の正弦波の電気信号を出力する。なお、該位相可変 2 出力の発信器 28 の 2 つの出力端子から出力される 2 つの正弦波信号の位相差は、該位相可変 2 出力の発信器 28 に付属の位相差調整器で任意の値に設定できる。

該 2 つの出力端子の一方の出力は、第 3 の電力増幅器 29、第 3 のインピーダンス整合器 30、第 3 の電流導入端子 31、第 3 の真空用同軸ケーブル 32 の芯線及 33 を介して、第 1 の給電点 21 に供給される。なお、第 2 の位相可変 2 出力の発信器 28 と第 3 の電力増幅器 29 との接続、第 3 の電力増幅器 29 と第 3 のインピーダンス整合器 30 との接続、第 3 のインピーダンス整合器 30 と第 3 の電流導入端子 31 との接続は、いずれも同軸ケーブルが用いられる。そして、第 3 の真空用同軸ケーブル 32 の外部導体は第 2 の電極 4 に接続される。

該第 2 の位相可変 2 出力の発信器 28 の 2 つの出力端子の他方の出力は、第 4 の電力増幅器 34、第 4 のインピーダンス整合器 35、第 4 の電流導入端子 36、第 4 の真空用同軸ケーブル 37 の芯線 38 を介して、第 2 の給電点 27 に供給される。なお、第 2 の位相可変 2 出力の発信器 28 と第 4 の電力増幅器 34 との接続、第 4 の電力増幅器 34 と第 4 のインピーダンス整合器 35 との接続、第 4 のインピーダンス整合器 35 と第 4 の電流導入端子 36 との接続は、いずれも同軸ケーブルが用いられる。また、第 4 の真空用同軸ケーブル 37 の外部導体は第 2 の電極 4 に接続される。

前記第 3 の電力増幅器 29 及び第 4 の電力増幅器 34 には、それぞれ出力値（進行波）のモニター及び下流側から反射して戻ってくる反射波のモニターが付属している。また、該該反射波による該第 3 及び第 4 の電力増幅器 29、34 本体の電気回路を防護するためのアイソレータが付属されている。

#### 【0035】

次に、上記構成のプラズマ表面処理装置を用いて、a-Si 太陽電池用アモルファス Si 製造装置用の SiH<sub>4</sub> ガスのプラズマ発生装置及び方法を説明する。なお、本発明の実施あるいは応用では、手順として、第 1 及び第 2 の予備製膜工程と本製膜工程が必要である。第 1 の予備製膜工程は、前記第 1 の位相可変 2 出力の発信器 15 の 2 つの出力の位相差の設定値を把握するに必要なデータを取得するために、第 2 の予備製膜工程は、前記第 2 の位相可変 2 出力の発信器 28 の 2 つの出力の位相差の設定値を把握するために、本製膜工程は目的とするアモルファス Si の製造のために実施される。

#### 【0036】

10

20

30

40

50

まず、第1の第1の予備製膜工程であるが、図1及び図2において、予め、基板11を第2の電極4の上に設置し、図示しない真空ポンプ10を稼働させ、真空容器1内の不純物ガス等を除去した後、放電ガス供給管8からSiH<sub>4</sub>ガスを、例えば250 sccm、圧力0.5 Torr (66.5 Pa)で供給しつつ、基板温度は80~350 の範囲、例えば180 に保持する。

次に、前記第1の位相可変2出力の発信器15、第1の電力増幅器16、第1のインピーダンス整合器17、第1の電流導入端子18、第1の真空用同軸ケーブル19の芯線20、第2の電力増幅器22、第2のインピーダンス整合器23、第2の電流導入端子24、第2の真空用同軸ケーブル25の芯線26から成る第1の電力供給系を用いて、一对の電極2、4に高周波電力を、例えば周波数60 MHzの電力例えば合計で200 Wを供給する。

10

即ち、該第1の位相可変2出力の発信器15の2つの出力の位相差を、例えば零に設定し、第1の電力増幅器16の出力を100 Wに設定して、その出力を第1のインピーダンス整合器17、第1の電流導入端子18、第1の真空用同軸ケーブル19の芯線20を介して、第1の給電点に供給するとともに、第2の電力増幅器22の出力を100 Wに設定して、その出力を第2のインピーダンス整合器23、第2の電流導入端子24、第2の真空用同軸ケーブル25の芯線26を介して、第2の給電点に供給する。

この場合、前記第1のインピーダンス整合器17及び第2のインピーダンス整合器23を調整することにより、それぞれのインピーダンス整合器17、23の上流側に上記供給電力の反射波が戻らないようにできる。

20

その結果、前記SiH<sub>4</sub>ガスのプラズマが生成され、基板11に例えばアモルファスSiが堆積する。

#### 【0037】

前記要領で、製膜時間を例えば10~20分間にして、前記基板11にアモルファスSi膜を形成させる。製膜後、真空容器1から前記基板11を取り出して、該アモルファスSi膜の膜厚み分布を評価する。基板11に堆積された例えばアモルファスSiの膜厚分布は、後述するように、VHFプラズマ固有の現象である定在波の発生により、正弦的な分布となる。このような、製膜試験を第1の位相可変2出力の発信器15の2つの出力の位相差をパラメータに繰り返し実施する。そして、第1の電極の長さ方向において、基板11の中央点から正弦的な膜厚分布の最大厚みの位置までの距離と前記第1の位相可変2出力の発信器15の2つの出力の位相差の関係をデータとして把握する。例えば、基板11の中央点から第1の給電点21の方向へ波長の八分の一、即ち / 8だけ離れた位置に設定するための位相差は、例えば 1であるということが把握される。

30

ただし、その波長 は、真空中での電磁波の波長ではなく、上記製膜条件での波長 であり、真空中での電磁波の波長 <sub>0</sub> に比べて短くなる。一般的にはSiH<sub>4</sub>ガスのプラズマでは、プラズマ中での波長 と真空中での波長 <sub>0</sub> との比 / <sub>0</sub> は0.50.9程度である。

#### 【0038】

ところで、上記第1及び第2の給電点21及び27から供給される電力の電圧波は、同一電源から発振され、互いに電極間を伝播していくので、すなわち、両者は互いに向かい合った方向から伝播しあって重なり合うので、干渉現象が発生する。その様子を、図3及び図4を用いて説明する。

40

図3において、第1の給電点21から第2の給電点27の方向の距離をxとし、xの正方向へ伝播する電圧波をW<sub>11</sub>(x, t)、xの負方向へ伝播する電圧波、即ち第2の給電点27から第1の給電点21の方向へ伝播する電圧波をW<sub>21</sub>(x, t)とすると、次のように表現される。

$$W_{11}(x, t) = V_1 \cdot \sin(t + 2\pi x / \lambda)$$

$$W_{21}(x, t) = V_1 \cdot \sin\{t - 2\pi(x - L_0) / \lambda + \dots\}$$

ただし、V<sub>1</sub>は電圧波の振幅、 $\omega$ は電圧の角周波数、 $\lambda$ は電圧波の波長、tは時間、L<sub>0</sub>は第1及び第2の給電点の間隔、 $\phi$ は第1の給電点21から供給される電力の電圧波と

50

第2の給電点27から供給される電力の電圧波の位相差である。この2つの電圧波の合成波 $W1(x, t)$ は次式のようになる。

$$W1(x, t) = W11(x, t) + W21(x, t) \\ = 2 \cdot V1 \cos \{ 2 \pi (x - L0/2) / \lambda - \omega t / 2 \} \cdot \sin \{ \omega t + (\pi L0 / \lambda + \pi / 2) \}$$

上記合成波 $W1(x, t)$ を概念的に図4に示す。図4において、 $\omega = 0$ の場合、生成されるプラズマの強さは給電点間の中央部( $x = L0/2$ )が強く、該中央部から離れるにしたがって弱くなることを示している。プラズマの強い部分は、 $\omega > 0$ の場合、プラズマの強い部分が一方の給電点側へ移動し、 $\omega < 0$ の場合、他方の給電点側へ移動することを示している。

10

なお、ここでは、前記第1の電力供給系を用いて、前記第1及び第2の給電点21、27に供給される電力の電圧波を、それぞれ、 $W11(x, t)$ 及び $W21(x, t)$ と呼ぶ。また、その2つの電圧波の合成波を $W1(x, t)$ と呼ぶ。

#### 【0039】

ところで、一对の電極間の電力の強さは、電圧の合成波 $W1(x, t)$ の振幅値の二乗に比例する。即ち、電力の強さ $I1(x, t)$ は、

$$I1(x, t) \propto \cos^2 \{ 2 \pi (x - L0/2) / \lambda - \omega t / 2 \}$$

と表される。この $I1(x, t)$ を概念的に、図5に示す。

図5は、VHFプラズマの生成上問題となる定在波発生により、一对の電極間でのプラズマの一樣性は、例えば強さが0.9~1.0の範囲であるすると、電力伝播方向の距離で、-0.05~+0.05の範囲(即ち、膜厚が均一な範囲は長さ0.1)に限られるということを示している。

20

ただし、その波長 $\lambda$ は、真空中での電磁波の波長ではなく、上記製膜条件での波長 $\lambda_p$ であり、真空中での電磁波の波長 $\lambda_0$ に比べて短くなる。一般的にはSiH4ガスのプラズマでは、プラズマ中での波長 $\lambda_p$ と真空中での波長 $\lambda_0$ との比 $\lambda_p / \lambda_0$ は0.5~0.9程度である。

また、前記第1の予備製膜工程にて取得した基板の中央点から正弦的な膜厚分布の最大厚みの位置までの距離と前記第1の位相可変2出力の発信器15の2つの出力の位相差の関係を示すデータにより、膜厚分布の最大厚みの位置を例えば、基板の中央点から波長の八分の一、即ち $\lambda / 8$ だけ離れた位置に設定することができる。

30

なお、ここでは、合成波 $W1(x, t)$ の強さの分布を $I1(x, t)$ と呼ぶ。

#### 【0040】

次に、第2の予備製膜工程であるが、図1及び図2において、予め、基板11を第2の電極4の上に設置し、図示しない真空ポンプ10を稼働させ、真空容器1内の不純物ガス等を除去した後、放電ガス供給管8からSiH4ガスを、例えば250sccm、圧力0.5Torr(66.5Pa)で供給しつつ、基板温度は80~350の範囲、例えば180に保持する。

そして、前記第2の位相可変2出力の発信器28、第3の電力増幅器29、第3のインピーダンス整合器30、第3の電流導入端子31、第3の真空用同軸ケーブル32の芯線33、第4の電力増幅器34、第4のインピーダンス整合器35、第4の電流導入端子36、第4の真空用同軸ケーブル37の芯線38から成る第2の電力供給系を用いて、一对の電極2、4に高周波電力を、例えば周波数60MHzの電力例えば合計で200Wを供給する。

40

即ち、該第2の位相可変2出力の発信器28の2つの出力の位相差を、例えば零に設定し、第3の電力増幅器29の出力を100Wに設定して、その出力を第3のインピーダンス整合器30、第3の電流導入端子31、第3の真空用同軸ケーブル32の芯線33を介して、第1の給電点に供給するとともに、第4の電力増幅器34の出力を100Wに設定して、その出力を第4のインピーダンス整合器35、第4の電流導入端子36、第4の真空用同軸ケーブル37の芯線38を介して、第2の給電点に供給する。

この場合、前記第3のインピーダンス整合器30及び第4のインピーダンス整合器35

50

を調整することにより、それぞれのインピーダンス整合器 30、35 の上流側に上記供給電力の反射波が戻らないようにできる。

その結果、前記 SiH<sub>4</sub> ガスのプラズマが生成され、基板 11 に例えばアモルファス Si が堆積する。

#### 【0041】

前記要領で、製膜時間を例えば 10 ~ 20 分間にして、前記基板 11 にアモルファス Si 膜を形成させる。製膜後、真空容器 1 から前記基板 11 を取り出して、該アモルファス Si 膜の膜厚み分布を評価する。該基板 11 に堆積された例えばアモルファス Si の膜厚分布には、前述の VHF プラズマ固有の現象である定在波の発生により、正弦的な分布となる。このような、製膜試験を第 2 の位相可変 2 出力の発信器 28 の 2 つの出力の位相差をパラメータに繰り返し実施する。そして、第 1 の電極の長さ方向において、基板の中央点から正弦的な膜厚分布の最大厚みの位置までの距離と前記第 2 の位相可変 2 出力の発信器 28 の 2 つの出力の位相差の関係をデータとして把握する。

10

この場合も、前記第 1 の予備製膜工程と同様に、第 2 の電力供給系を用いた場合において、基板の中央点から正弦的な膜厚分布の最大厚みの位置までの距離と前記第 2 の位相可変 2 出力の発信器 28 の 2 つの出力の位相差の関係を示すデータにより、膜厚分布の最大厚みの位置を例えば、基板の中央点から第 2 の給電点 27 の方向へ波長の八分の一、即ち  $\lambda/8$  だけ離れた位置に設定するための位相差は例えば  $\pi/2$  であるということが把握される。

ただし、その波長  $\lambda$  は、真空中での電磁波の波長ではなく、上記製膜条件での波長  $\lambda_0$  であり、真空中での電磁波の波長  $\lambda$  に比べて短くなる。一般的には SiH<sub>4</sub> ガスのプラズマでは、プラズマ中での波長  $\lambda_0$  と真空中での波長  $\lambda$  との比  $\lambda/\lambda_0$  は 0.5 ~ 0.9 程度である。

20

#### 【0042】

第 2 の予備製膜工程において、上記第 1 及び第 2 の給電点 21 及び 27 から供給される電力の電圧波は、同一電源から発振され、互いに電極間を伝播していくので、すなわち、両者は互いに向かい合った方向から伝播しあって重なり合うので、干渉現象が発生する。その様子を、図 3 及び図 4 に示す。

図 3 において、第 1 の給電点 21 から第 2 の給電点 27 の方向の距離を  $x$  とし、 $x$  の正方向へ伝播する電圧波を  $W_{12}(x, t)$ 、 $x$  の負方向へ伝播する電圧波、即ち第 2 の給電点 27 から第 1 の給電点 21 の方向へ伝播する電圧波を  $W_{22}(x, t)$  とすると、次のように表現される。

30

$$W_{12}(x, t) = V_2 \cdot \sin\left(\omega t + 2\pi x / \lambda\right)$$

$$W_{22}(x, t) = V_2 \cdot \sin\left\{\omega t - 2\pi(x - L_0) / \lambda + \pi\right\}$$

ただし、 $V_2$  は電圧波の振幅、 $\omega$  は電圧の角周波数、 $\lambda$  は電圧波の波長、 $t$  は時間、 $L_0$  は第 1 及び第 2 の給電点の間隔、 $\pi$  は第 1 の給電点 21 から供給される電力の電圧波と第 2 の給電点 27 から供給される電力の電圧波の位相差である。電圧の合成波  $W_2(x, t)$  は次式のようになる。

$$W_2(x, t) = W_{12}(x, t) + W_{22}(x, t)$$

$$= 2 \cdot V_2 \cos\left\{2\pi(x - L_0/2) / \lambda - \pi/2\right\} \cdot \sin\left\{\omega t + \left(\pi L_0 / \lambda + \pi/2\right)\right\}$$

40

上記合成波  $W_2(x, t)$  を概念的に図 4 に示す。図 4 において、 $\pi L_0 / \lambda = 0$  の場合、生成されるプラズマの強さは給電点間の中央部 ( $x = L_0/2$ ) が強く、該中央部から離れるにしたがって弱くなることを示している。プラズマの強い部分は、 $\pi L_0 / \lambda > 0$  の場合、プラズマの強い部分が一方の給電点側へ移動し、 $\pi L_0 / \lambda < 0$  の場合、他方の給電点側へ移動することを示している。

なお、ここでは、前記第 2 の電力供給系を用いて前記第 1 及び第 2 の給電点 21、27 に供給される電力の電圧波を、それぞれ、 $W_{12}(x, t)$  及び  $W_{22}(x, t)$  と呼ぶ。また、その 2 つの波の合成波を  $W_2(x, t)$  と呼ぶ。

#### 【0043】

50

ところで、一对の電極間の電力の強さは、電圧の合成波  $W_2(x, t)$  の振幅値の二乗に比例する。即ち、電力の強さ  $I_2(x, t)$  は、

$$I_2(x, t) = \cos^2 \{ 2(x - L_0/2) / \lambda_0 / 2 \}$$

と表される。この  $I_2(x, t)$  を概念的に、図5に示す。

図5は、VHFプラズマの生成上問題となる定在波発生により、一对の電極間でのプラズマの一樣性は、例えば強さが  $0.9 \sim 1.0$  の範囲であるすると、電力伝播方向の距離で、 $-0.05 \sim +0.05$  の範囲（即ち、膜厚が均一な範囲は長さ  $0.1$  ）に限られるということを示している。

ただし、その波長  $\lambda$  は、真空中での電磁波の波長ではなく、上記製膜条件での波長  $\lambda_0$  であり、真空中での電磁波の波長  $\lambda_0$  に比べて短くなる。一般的にはSiH<sub>4</sub>ガスのプラズマでは、プラズマ中での波長  $\lambda$  と真空中での波長  $\lambda_0$  との比  $\lambda/\lambda_0$  は  $0.5 \sim 0.9$  程度である。

なお、ここでは、合成波  $W_2(x, t)$  の強さの分布を  $I_2(x, t)$  と呼ぶ。

#### 【0044】

さて、前記第1および第2の予備製膜工程の結果を受けて、本製膜工程に入る。先ず、図1及び図2において、予め、基板11を第2の電極4の上に設置し、図示しない真空ポンプ10を稼働させ、真空容器1内の不純物ガス等を除去した後、放電ガス供給管8からSiH<sub>4</sub>ガスを、例えば300sccm、圧力0.5 Torr (66.5 Pa) で供給しつつ、基板温度は  $80 \sim 350$  の範囲、例えば180 に保持する。

次に、前記第1の電力供給系の構成部材の第1の位相可変2出力の発信器15の2つの出力の位相差を、第1の予備製膜工程のデータとして把握した  $\phi_1$  に設定し、第1及び第2の給電点21、27に、それぞれ例えば60MHzの100Wを供給するとともに、前記第2の電力供給系の構成部材の第2の位相可変2出力の発信器28の2つの出力の位相差を、第2の予備製膜工程のデータとして把握した  $\phi_2$  に設定し、第1及び第2の給電点21、27に、それぞれ例えば60MHzの100Wを供給する。即ち、前記第1及び第2の給電点21、27に、前記電圧波  $W_{11}(x, t)$ 、電圧波  $W_{21}(x, t)$ 、 $W_{12}(x, t)$  及び  $W_{22}(x, t)$  が供給される。

ここで、第1の予備製膜工程及び第2の予備製膜工程では問題にならなかった第1のインピーダンス整合器17、第2のインピーダンス整合器23、第3のインピーダンス整合器30及び第4のインピーダンス整合器35の整合調整が上手くいかない場合には、第1あるいは第2の位相可変2出力の発信器のどちらか一方の発振周波数を他方の発振周波数と若干異なる数値に変更すればよい。例えば、上記の例では、60MHzと61～63MHz程度、例えば62MHzとすれば良い。なお、インピーダンス整合器の整合調整が上手くいかない原因は、使用する構成機器の性能、即ちインピーダンス整合器の上流側の電力増幅器の耐反射波の機能上の制約によることが多い。

#### 【0045】

一对の電極2、4間に4つの電圧波が供給されると、前述のように、 $W_{11}(x, t)$  と  $W_{21}(x, t)$  は干渉して合成波  $W_1(x, t)$  を形成し、 $W_{12}(x, t)$  と  $W_{22}(x, t)$  は干渉して合成波  $W_2(x, t)$  を形成する。ただし、第1及び第2の発信器15、28は互いに独立した電源なので、 $W_{11}(x, t)$  は、 $W_{12}(x, t)$  及び  $W_{22}(x, t)$  とは干渉しない。また、同様に、 $W_{21}(x, t)$  は、 $W_{12}(x, t)$  及び  $W_{22}(x, t)$  と干渉しない。

したがって、一对の電極2、4間に生成される電力の強さの分布は、合成波  $W_1(x, t)$  の強さの分布  $I_1(x, t)$  と合成波  $W_2(x, t)$  の強さの分布  $I_2(x, t)$  の重ね合わせた形となる。その様子を概念的に図6に示す。

ここで、基板の中央点を  $x$  軸の原点とし、該原点から第1の給電点21を向いた方向を正の方向とすると、合成波  $W_1(x, t)$  の強さの分布  $I_1(x, t)$  は、

$$I_1(x, t) = \cos^2 \{ 2(x/\lambda_0 + 2(\phi_1/\pi)) / 2 \} \\ = \cos^2 \{ 2(x/\lambda_0 + \phi_1/\pi) / 4 \}$$

合成波  $W_2(x, t)$  の強さの分布  $I_2(x, t)$  は、

10

20

30

40

50



$$I^2(x, t) = \cos^2 \left\{ 2 \left( \frac{x}{2} - \frac{ct}{4} \right) \right\} \\ = \cos^2 \left\{ 2 \left( \frac{x}{2} - \frac{ct}{4} \right) \right\}$$

一对の電極 2、4 間に生成される電力の強さの分布  $I(x, t)$  は、

$$I(x, t) \\ = \cos^2 \left\{ 2 \left( \frac{x}{2} + \frac{ct}{4} \right) \right\} + \cos^2 \left\{ 2 \left( \frac{x}{2} - \frac{ct}{4} \right) \right\} \\ = 1$$

#### 【0046】

上記工程において、 $\text{SiH}_4$  ガスがプラズマ化されると、そのプラズマ中に存在する  $\text{SiH}_3$ 、 $\text{SiH}_2$ 、 $\text{SiH}$  等のラジカルが拡散現象により拡散し、基板 11 の表面に吸着されることにより a-Si 膜が堆積するが、一对の電極 2、4 間の電力の分布が、上述の通り一様であるので、その堆積膜は一様になる。

10

このことは、波長  $\lambda$  の二分の一を越えるサイズの基板を対象にした従来の VHF プラズマ表面処理装置及び方法では不可能視されている一様な膜厚分布の形成が実現可能であるということの意味している。したがって、上記のことは VHF プラズマの応用分野においては画期的な発見であり、その実用価値は著しく大きい。

なお、微結晶 Si あるいは薄膜多結晶 Si 等は、製膜条件の中の  $\text{SiH}_4$ 、 $\text{H}_2$  の流量比、圧力および電力を適正化することで製膜できることは公知の技術である。

#### 【0047】

本実施例では、第 1 の電極 2 が一本の棒であるので、基板サイズは上記  $1200 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm}$  程度に制約されるが、第 1 の電極 2 である棒電極の個数を増加すれば基板サイズの幅は拡大可能であることは当然のことである。

20

#### 【0048】

また、a-Si 太陽電池、薄膜トランジスタおよび感光ドラム等の製造では、膜厚分布として  $\pm 10\%$  以内であれば性能上問題はない。上記実施例によれば、 $60 \text{ MHz}$  の電源周波数を用いても、従来の装置および方法に比べ著しく良好な膜厚分布を得ることが可能である。このことは、a-Si 太陽電池、薄膜トランジスタおよび感光ドラム等の製造分野での生産性向上および低コスト化に係わる工業的価値が著しく大きいことを意味している。

#### 【0049】

##### (実施例 2)

本発明に関する実施例 2 の高周波プラズマ発生用電極と該電極により構成のプラズマ表面処理装置 (プラズマ CVD 装置) およびプラズマ表面処理方法 (プラズマ CVD 方法) について、図 7 及び図 8 を参照して説明する。

30

#### 【0050】

まず、装置の構成について説明する。ただし、図 1 及び図 2 に示した部材と同じ部材は同符番を付して説明を省略する。図 7 は実施例 2 に係わるプラズマ表面処理装置の全体を示す概略図、図 8 は図 7 図示のプラズマ表面処理装置の第 1 及び第 2 の電極への給電部の説明図である。

#### 【0051】

最初に、装置の概念を説明する。装置の構成は、全体的には実施例 1 での図 1 及び図 2 の場合と同じであるが、図 1 及び図 2 に図示の装置構成において、第 1 のインピーダンス整合器 17 と第 1 の給電点 21 の間、第 2 のインピーダンス整合器 23 と第 2 の給電点 27 の間、第 3 のインピーダンス整合器 30 と第 1 の給電点 21 の間及び第 4 のインピーダンス整合器 35 と第 2 の給電点 27 の間に、それぞれ LC ブリッジ型平衡不平衡変換装置及び平衡伝送回路から成る平衡不平衡変換装置が挿入されていることが特徴である。

40

#### 【0052】

すなわち、図 7 及び図 8 において、第 1 の位相可変 2 出力の発信器 15 の 2 つの出力端子の一方の出力端子は、第 1 の電力増幅器 16、第 1 のインピーダンス整合器 17、第 1 の LC ブリッジ型平衡不平衡変換装置 40、該第 1 の LC ブリッジ型平衡不平衡変換装置 40 の 2 つの出力端子に接続され、かつ外部導体同士が短絡されている 2 本の同軸ケーブ

50

ル 4 4、4 5、第 1 の電流導入端子 1 8、両端部の外部導体が短絡されている真空用同軸ケーブル 4 6、4 7 の芯線 4 8、4 9 を介して、それぞれ第 1 の給電点 2 1 及び第 2 の電極 4 に接続される。

第 1 の位相可変 2 出力の発信器 1 5 の 2 つの出力端子の他方の出力端子は、第 2 の電力増幅器 2 2、第 2 のインピーダンス整合器 2 3、第 2 の LC ブリッジ型平衡不平衡変換装置 4 1、該第 2 の LC ブリッジ型平衡不平衡変換装置 4 1 の 2 つの出力端子に接続され、かつ外部導体同士が短絡されている 2 本の同軸ケーブル 5 0、5 1、第 2 の電流導入端子 2 4、両端部の外部導体が短絡されている真空用同軸ケーブル 5 2、5 3 の芯線 5 4、5 5 を介して、それぞれ第 2 の給電点 2 7 及び第 2 の電極 4 に接続される。

【 0 0 5 3 】

また、図 7 及び図 8 において、第 2 の位相可変 2 出力の発信器 2 8 の 2 つの出力端子の一方の出力端子は、第 3 の電力増幅器 2 9、第 3 のインピーダンス整合器 3 0、第 3 の LC ブリッジ型平衡不平衡変換装置 4 2、該第 3 の LC ブリッジ型平衡不平衡変換装置 4 2 の 2 つの出力端子に接続され、かつ外部導体同士が短絡されている 2 本の同軸ケーブル 5 6、5 7、第 3 の電流導入端子 3 1、両端部の外部導体が短絡されている真空用同軸ケーブル 5 8、5 9 の芯線 6 0、6 1 を介して、それぞれ第 1 の給電点 2 1 及び第 2 の電極 4 に接続される。

第 2 の位相可変 2 出力の発信器 2 8 の 2 つの出力端子の他方の出力端子は、第 4 の電力増幅器 3 4、第 4 のインピーダンス整合器 3 5、第 4 の LC ブリッジ型平衡不平衡変換装置 4 3、該第 4 の LC ブリッジ型平衡不平衡変換装置 4 3 の 2 つの出力端子に接続され、かつ外部導体同士が短絡されている 2 本の同軸ケーブル 6 2、6 3、第 4 の電流導入端子 3 6、両端部の外部導体が短絡されている真空用同軸ケーブル 6 4、6 5 の芯線 6 6、6 7 を介して、それぞれ、第 2 の給電点 2 7 及び第 2 の電極 4 に接続される。

【 0 0 5 4 】

次に、上記構成のプラズマ表面処理装置を用いて、a - S i 太陽電池用アモルファス S i 製造装置用の S i H 4 ガスのプラズマ発生装置及び方法を説明する。なお、本発明の実施あるいは応用では、手順として、第 1 及び第 2 の予備製膜工程と本製膜工程が必要である。第 1 の予備製膜工程は、前記第 1 の位相可変 2 出力の発信器 1 5 の 2 つの出力の位相差の設定値を把握するに必要なデータを取得するために、第 2 の予備製膜工程は、前記第 2 の位相可変 2 出力の発信器 2 8 の 2 つの出力の位相差の設定値を把握するために、本製膜工程は目的とするアモルファス S i の製造のために実施される。

【 0 0 5 5 】

先ず、第 1 の予備製膜工程であるが、図 7 及び図 8 において、予め、基板 1 1 を第 2 の電極 4 の上に設置し、図示しない真空ポンプ 1 0 を稼働させ、真空容器 1 内の不純物ガス等を除去した後、放電ガス供給管 8 から S i H 4 ガスを、例えば 2 5 0 s c c m、圧力 0 . 5 T o r r ( 6 6 . 5 P a ) で供給しつつ、基板温度は 8 0 ~ 3 5 0 の範囲、例えば 1 8 0 に保持する。

そして、前記第 1 の位相可変 2 出力の発信器 1 5、第 1 の電力増幅器 1 6、第 1 のインピーダンス整合器 1 7、第 1 の LC ブリッジ型平衡不平衡変換装置 4 0、第 1 の電流導入端子 1 8、真空用同軸ケーブル 4 6、4 7 の芯線 4 8、4 9、第 2 の電力増幅器 2 2、第 2 のインピーダンス整合器 2 3、第 2 の LC ブリッジ型平衡不平衡変換装置 4 1、第 2 の電流導入端子 2 4、真空用同軸ケーブル 5 2、5 3 の芯線 5 4、5 5 から成る第 1 の電力供給系を用いて、一对の電極 2、4 に高周波電力を、例えば周波数 7 0 M H z の電力例えば合計で 2 0 0 W を供給する。

即ち、該第 1 の位相可変 2 出力の発信器 1 5 の 2 つの出力の位相差を、例えば零に設定し、第 1 の電力増幅器 1 6 の出力を 1 0 0 W に設定して、その出力を第 1 のインピーダンス整合器 1 7、第 1 の LC ブリッジ型平衡不平衡変換装置 4 0、第 1 の電流導入端子 1 8、真空用同軸ケーブル 4 6、4 7 の芯線 4 8、4 9 を介して、第 1 の給電点 2 1 と第 2 の電極 4 間に供給するとともに、第 2 の電力増幅器 2 2 の出力を 1 0 0 W に設定して、その出力を第 2 のインピーダンス整合器 2 3、第 2 の LC ブリッジ型平衡不平衡変換装置 4 1

10

20

30

40

50

、第2の電流導入端子24、真空用同軸ケーブル52、53の芯線54、55を介して、第2の給電点27と第2の電極4間に供給する。

その結果、前記SiH<sub>4</sub>ガスのプラズマが生成され、基板11に例えばアモルファスSiが堆積する。

#### 【0056】

前記の要領で、製膜時間を例えば10～20分間にして、前記基板11にアモルファスSi膜を形成させる。製膜後、真空容器1から前記基板11を取り出して、該アモルファスSi膜の膜厚み分布を評価する。基板11に堆積された例えばアモルファスSiの膜厚分布は、前述のように、VHFプラズマ固有の現象である定在波の発生により、正弦的な分布となる。このような、製膜試験を第1の位相可変2出力の発信器15の2つの出力の位相差をパラメータに繰り返し実施する。そして、第1の電極の長さ方向において、基板11の中央点から正弦的な膜厚分布の最大厚みの位置までの距離と前記第1の位相可変2出力の発信器15の2つの出力の位相差の関係をデータとして把握する。例えば、基板11の中央点から第1の給電点21の方向へ波長の八分の一、即ち $\lambda/8$ だけ離れた位置に設定するための位相差は、例えば $\pi/8$ であるということが把握される。

ただし、その波長 $\lambda$ は、真空中での電磁波の波長ではなく、上記製膜条件での波長 $\lambda_0$ であり、真空中での電磁波の波長 $\lambda_0$ に比べて短くなる。一般的にはSiH<sub>4</sub>ガスのプラズマでは、プラズマ中での波長 $\lambda$ と真空中での波長 $\lambda_0$ との比 $\lambda/\lambda_0$ は0.5～0.9程度である。

#### 【0057】

次に、第2の予備試験であるが、図7及び図8において、予め、基板11を第2の電極4の上に設置し、図示しない真空ポンプ10を稼働させ、真空容器1内の不純物ガス等を除去した後、放電ガス供給管8からSiH<sub>4</sub>ガスを、例えば250sccm、圧力0.5 Torr (66.5 Pa)で供給しつつ、基板温度は80～350℃の範囲、例えば180℃に保持する。

そして、前記第2の位相可変2出力の発信器28、第3の電力増幅器29、第3のインピーダンス整合器30、第3のLCブリッジ型平衡不平衡変換装置42、第3の電流導入端子31、真空用同軸ケーブル58、59の芯線60、61、第4の電力増幅器34、第4のインピーダンス整合器35、第4のLCブリッジ型平衡不平衡変換装置43、第4の電流導入端子36、真空用同軸ケーブル64、65の芯線66、67から成る第2の電力供給系を用いて、一对の電極2、4に高周波電力を、例えば周波数70MHzの電力例えば合計で200Wを供給する。

即ち、該第2の位相可変2出力の発信器28の2つの出力の位相差を、例えば零に設定し、第3の電力増幅器29の出力を100Wに設定して、その出力を第3のインピーダンス整合器30、第3のLCブリッジ型平衡不平衡変換装置42、第3の電流導入端子31、真空用同軸ケーブル58、59の芯線60、61を介して、第1の給電点21と第2の電極4間に供給するとともに、第4の電力増幅器34の出力を100Wに設定して、その出力を第4のインピーダンス整合器35、第4のLCブリッジ型平衡不平衡変換装置43、第4の電流導入端子36、真空用同軸ケーブル64、65の芯線66、67を介して、第2の給電点27と第2の電極4間に供給する。

その結果、前記SiH<sub>4</sub>ガスのプラズマが生成され、基板11に例えばアモルファスSiが堆積する。

#### 【0058】

前記の要領で、製膜時間を例えば10～20分間にして、前記基板11にアモルファスSi膜を形成させる。製膜後、真空容器1から前記基板11を取り出して、該アモルファスSi膜の膜厚み分布を評価する。基板11に堆積された例えばアモルファスSiの膜厚分布は、前述のように、VHFプラズマ固有の現象である定在波の発生により、正弦的な分布となる。このような、製膜試験を第2の位相可変2出力の発信器28の2つの出力の位相差をパラメータに繰り返し実施する。そして、第1の電極の長さ方向において、基板11の中央点から正弦的な膜厚分布の最大厚みの位置までの距離と前記第2の位相可変

10

20

30

40

50

2出力の発信器28の2つの出力の位相差の関係をデータとして把握する。例えば、基板11の中央点から第2の給電点27の方向へ波長の八分の一、即ち $\lambda/8$ だけ離れた位置に設定するための位相差は、例えば $\pi/2$ であるということが把握される。

ただし、その波長 $\lambda$ は、真空中での電磁波の波長ではなく、上記製膜条件での波長 $\lambda_0$ であり、真空中での電磁波の波長 $\lambda_0$ に比べて短くなる。一般的にはSiH<sub>4</sub>ガスのプラズマでは、プラズマ中での波長 $\lambda$ と真空中での波長 $\lambda_0$ との比 $\lambda/\lambda_0$ は0.5~0.9程度である。

#### 【0059】

さて、前記第1および第2の予備製膜工程の結果を受けて、本製膜工程に入る。先ず、図7及び図8において、予め、基板11を第2の電極4の上に設置し、図示しない真空ポンプ10を稼働させ、真空容器1内の不純物ガス等を除去した後、放電ガス供給管8からSiH<sub>4</sub>ガスを、例えば300sccm、圧力0.5Torr(66.5Pa)で供給しつつ、基板温度は80~350の範囲、例えば180に保持する。

次に、前記第1の電力供給系の構成部材の第1の位相可変2出力の発信器15の2つの出力の位相差を、第1の予備試験データで把握した $\theta_1$ に設定し、第1及び第2の給電点21、27に、それぞれ例えば周波数70MHzの電力100Wを供給するとともに、前記第2の電力供給系の構成部材の第2の位相可変2出力の発信器28の2つの出力の位相差を、第2の予備試験データで把握した $\theta_2$ に設定し、第1及び第2の給電点21、27に、それぞれ例えば70MHzの100Wを供給する。即ち、前記第1及び第2の給電点21、27に、前記電圧波W11(x, t)、電圧波W21(x, t)、W12(x, t)及びW22(x, t)が供給される。

ここで、第1の予備製膜工程及び第2の予備製膜工程では問題にならなかった第1のインピーダンス整合器17、第2のインピーダンス整合器23、第3のインピーダンス整合器30及び第4のインピーダンス整合器35の整合調整が上手くいかない場合には、第1あるいは第2の位相可変2出力の発信器のどちらか一方の発振周波数を他方の発振周波数と若干異なる数値に変更すればよい。例えば、上記の例では、70MHzと71~73MHz程度、例えば72MHzとすれば良い。なお、インピーダンス整合器の整合調整が上手くいかない原因は、使用する構成機器の性能、即ちインピーダンス整合器の上流側の電力増幅器の耐反射波機能上の制約によることが多い。

#### 【0060】

前記一対の電極2、4間に4つの電圧波が供給されると、前述のように、W11(x, t)とW21(x, t)は干渉して合成波W1(x, t)を形成し、W12(x, t)とW22(x, t)は干渉して合成波W2(x, t)を形成する。ただし、第1及び第2の発信器15、28は互いに独立した電源なので、W11(x, t)は、W12(x, t)及びW22(x, t)とは干渉しない。また、同様に、W21(x, t)は、W12(x, t)及びW22(x, t)と干渉しない。

したがって、一対の電極2、4間に生成される電力の強さの分布は、合成波W1(x, t)の強さの分布I1(x, t)と合成波W2(x, t)の強さの分布I2(x, t)の重ね合わせた形となる。その様子を概念的に図6に示す。

ここで、基板の中央点をx軸の原点とし、該原点から第1の給電点21を向いた方向を正の方向とすると、合成波W1(x, t)の強さの分布I1(x, t)は、

$$\begin{aligned} I_1(x, t) &= \cos^2 \{ 2x/\lambda + 2(\lambda/8)/\lambda \} \\ &= \cos^2 \{ 2x/\lambda + \lambda/4 \} \end{aligned}$$

合成波W2(x, t)の強さの分布I2(x, t)は、

$$\begin{aligned} I_2(x, t) &= \cos^2 \{ 2x/\lambda - 2(\lambda/8)/\lambda \} \\ &= \cos^2 \{ 2x/\lambda - \lambda/4 \} \end{aligned}$$

一対の電極2、4間に生成される電力の強さの分布I(x, t)は、

$$\begin{aligned} I(x, t) &= \cos^2 \{ 2x/\lambda + \lambda/4 \} + \cos^2 \{ 2x/\lambda - \lambda/4 \} \\ &= 1 \end{aligned}$$

10

20

30

40

50

## 【 0 0 6 1 】

前記実施例 1 の装置構成の場合、プラズマの一樣化の実現を阻害する要因の一つである給電点 2 1, 2 7 近傍で発生する漏洩電流が問題となるが、本実施例においては、給電点 2 1、2 7 と第 1、第 2、第 3 及び第 4 のインピーダンス整合器 1 7、2 3、3 0、3 5 の間に、それぞれ挿入された平衡不平衡変換装置と平衡伝送路の機能により該漏洩電流の発生が抑制されるので、堆積膜の一樣化が、実施例 1 の場合より、確実に実現可能である。

## 【 0 0 6 2 】

上記工程において、SiH<sub>4</sub> ガスがプラズマ化されると、そのプラズマ中に存在する SiH<sub>3</sub>、SiH<sub>2</sub>、SiH 等のラジカルが拡散現象により拡散し、基板 1 1 の表面に吸着されることにより a-Si 膜が堆積するが、一对の電極 2、4 間の電力の分布が、上述の通り一樣であるので、その堆積膜は一樣になる。

このことは、波長の二分の一を超えるサイズの基板を対象にした従来の VHF プラズマ表面処理装置及び方法では不可能視されている一樣な膜厚分布の形成が実現可能であるということの意味している。したがって、上記のことは VHF プラズマの応用分野においては画期的な発見であり、その実用価値は著しく大きい。

なお、微結晶 Si あるいは薄膜多結晶 Si 等は、製膜条件の中の SiH<sub>4</sub>、H<sub>2</sub> の流量比、圧力および電力を適正化することで製膜できることは公知の技術である。

## 【 0 0 6 3 】

(実施例 3)

本発明に関する実施例 3 の高周波プラズマ発生用電極と該電極により構成のプラズマ表面処理装置 (プラズマ CVD 装置) およびプラズマ表面処理方法 (プラズマ CVD 方法) について、図 9 ないし図 1 1 を参照して説明する。

## 【 0 0 6 4 】

先ず、装置の構成について説明する。ただし、前記実施例 1 及び実施例 2 に示した部材と同じ部材は同符番を付して説明を省略する。図 9 は実施例 3 に係わるプラズマ表面処理装置の全体を示す概略図である。図 1 0 及び図 1 1 は、それぞれ図 9 図示のプラズマ表面処理装置に用いられる第 1 及び第 2 の電力供給系の配線図である。

## 【 0 0 6 5 】

最初に、装置の概念を説明する。本装置は図 9 に示すように、第 1 の電極として、複数の棒状電極 2 a、2 b、2 c、2 d を用いていること、その両端部に、それぞれ電力供給点 2 1 a、2 1 b、2 1 c、2 1 d 及び 2 7 a、2 7 b、2 7 c、2 7 d が配置されて、該両端部の電力供給点に、第 1 の位相可変 2 出力の発信器 1 5 を発振源とする第 1 の電力供給系及び該第 1 の位相可変 2 出力の発信器 1 5 と独立した第 2 の位相可変 2 出力の発信器 2 8 を発振源とする第 2 の電力供給系より、それぞれ、電圧波 W 1 1 (x、t) と電圧波 W 2 1 (x、t) 及び W 1 2 (x、t) と W 2 2 (x、t) が供給される構成を有することを特徴とする。

## 【 0 0 6 6 】

図 9 及び図 1 0 において、第 1 の位相可変 2 出力の発信器 1 5 の 2 つの出力端子の一方の出力端子は、第 1 の電力増幅器 1 6、第 1 のインピーダンス整合器 1 7、第 1 の電力分配器 7 0 の一方の出力端子を介して、第 2 の電力分配器 7 1、該第 2 の電力分配器 7 1 の一方の出力端子、電流導入端子 1 8 a、真空用同軸ケーブル 1 9 a の芯線 2 0 a を介して給電点 2 1 a に接続されるとともに、該第 2 の電力分配器 7 1 の他方の出力端子を介して、電流導入端子 1 8 b、真空用同軸ケーブル 1 9 b の芯線 2 0 b を介して給電点 2 1 b に接続されるとともに、該第 1 の電力分配器 7 0 の他方の出力端子を介して、第 3 の電力分配器 7 2 の一方の出力端子、電流導入端子 1 8 c、真空用同軸ケーブル 1 9 c の芯線 2 0 c を介して給電点 2 1 c に接続されるとともに、該第 3 の電力分配器 7 2 の他方の出力端子、電流導入端子 1 8 d、真空用同軸ケーブル 1 9 d の芯線 2 0 d を介して給電点 2 1 d に接続される。

また、第 1 の位相可変 2 出力の発信器 1 5 の 2 つの出力端子の他方の出力端子は、第 2 の電力増幅器 2 2、第 2 のインピーダンス整合器 2 3、第 4 の電力分配器 7 3 の一方の出

10

20

30

40

50

力端子を介して、第5の電力分配器74の一方の出力端子、電流導入端子24a、真空用同軸ケーブル25aの芯線26aを介して給電点27aに接続されるとともに、該第5の電力分配器74の他方の出力端子、電流導入端子24b、真空用同軸ケーブル25bの芯線26bを介して給電点27bに接続されるとともに、該第4の電力分配器74の他方の出力端子を介して、第6の電力分配器75の一方の出力端子、電流導入端子24c、真空用同軸ケーブル25cの芯線26cを介して給電点27cに接続されるとともに、該第6の電力分配器75の他方の出力端子、電流導入端子24d、真空用同軸ケーブル25dの芯線26dを介して給電点27dに接続される。

なお、前記第1の電力増幅器16及び第2の電力増幅器22には、それぞれ出力値（進行波）のモニター及び下流側から反射して戻ってくる反射波のモニターが付属している。また、該該反射波による該第1及び第2の電力増幅器16、22本体の電気回路を防護するためのアイソレータが付属されている。

10

ここで、第1の位相可変2出力の発信器15の2つの出力をそれぞれ電力増幅器16、22等を用いて、第1及び第2の給電点21a～21d、27a～27dに供給する電力供給系を第1の電力供給系と呼ぶ。

#### 【0067】

そして、図9及び図11において、第2の位相可変2出力の発信器28の2つの出力端子の一方の出力端子は、第3の電力増幅器29、第3のインピーダンス整合器30、第7の電力分配器76の一方の出力端子を介して、第8の電力分配器77、該第8の電力分配器77の一方の出力端子、電流導入端子31a、真空用同軸ケーブル32の芯線33aを介して給電点21aに接続されるとともに、該第8の電力分配器77の他方の出力端子を介して、電流導入端子31b、真空用同軸ケーブル32bの芯線33bを介して給電点21bに接続されるとともに、該第7の電力分配器76の他方の出力端子を介して、第9の電力分配器78の一方の出力端子、電流導入端子31c、真空用同軸ケーブル32cの芯線33cを介して給電点21cに接続されるとともに、該第9の電力分配器78の他方の出力端子、電流導入端子32d、真空用同軸ケーブル32dの芯線33dを介して給電点21dに接続される。

20

なお、第7の電力分配器76から第1の給電点21a～21dまでの電力波の伝播路の長さが同じになるように、分岐されたそれぞれの同軸ケーブル線路は、構造、材質及び長さを等しくしている。

30

第2の位相可変2出力の発信器28の2つの出力端子の他方の出力端子は、第4の電力増幅器34、第4のインピーダンス整合器35、第10の電力分配器79の一方の出力端子を介して、第11の電力分配器80、該第11の電力分配器80の一方の出力端子、電流導入端子36a、真空用同軸ケーブル37a及び接続線38aを介して給電点27aに接続されるとともに、該第11の電力分配器80の他方の出力端子、電流導入端子36b、真空用同軸ケーブル37b及び接続線38bを介して給電点27bに接続されるとともに、該第10の電力分配器79の他方の出力端子を介して、第12の電力分配器81の一方の出力端子、電流導入端子36c、真空用同軸ケーブル37c及び接続線38cを介して給電点27cに接続されるとともに、該第12の電力分配器81の他方の出力端子、電流導入端子36d、真空用同軸ケーブル37d及び接続線38dを介して給電点27dに

40

接続される。

なお、第10の電力分配器79から第2の給電点27a～27dまでの電力波の伝播路の長さが同じになるように、分岐されたそれぞれの同軸ケーブル線路は、構造、材質及び長さを等しくしている。

また、前記第3の電力増幅器29及び第4の電力増幅器34には、それぞれ出力値（進行波）のモニター及び下流側から反射して戻ってくる反射波のモニターが付属している。また、該該反射波による該第3及び第4の電力増幅器29、34本体の電気回路を防護するためのアイソレータが付属されている。

ここで、第2の位相可変2出力の発信器28の2つの出力をそれぞれ電力増幅器29、34等を用いて、第1及び第2の給電点21a～21d、27a～27dに供給する電力

50

供給系を第2の電力供給系と呼ぶ。

【0068】

次に、上記構成のプラズマ表面処理装置を用いて、a-Si太陽電池用アモルファスSi製造装置用のSiH<sub>4</sub>ガスのプラズマ発生装置及び方法を説明する。なお、本発明の実施あるいは応用では、手順として、第1及び第2の予備製膜工程と本製膜工程が必要である。第1の予備製膜工程は、前記第1の位相可変2出力の発信器15の2つの出力の位相差の設定値を把握するために必要なデータを取得するために、第2の予備製膜工程は、前記第2の位相可変2出力の発信器28の2つの出力の位相差の設定値を把握するために、本製膜工程は目的とするアモルファスSiの製造のために実施される。

【0069】

まず、第1の予備製膜工程であるが、図9及び図10において、予め、図示しない基板11を第2の電極4の上に設置し、図示しない真空ポンプ10を稼働させ、真空容器1内の不純物ガス等を除去した後、図示しない放電ガス供給管8からSiH<sub>4</sub>ガスを、例えば500sccm、圧力0.5Torr(66.5Pa)で供給しつつ、基板温度は80~350の範囲、例えば180に保持する。

そして、前記第1の電力供給系を用いて、第1及び第2の給電点21a~21d、27a~27dに高周波電力を、例えば周波数60MHzの電力例えば合計で500Wを供給する。

即ち、該第1の位相可変2出力の発信器15の2つの出力の位相差を、例えば零に設定し、第1の電力増幅器16及び第2の電力増幅器22の出力をそれぞれ、周波数60MHzで250Wに設定して、第1の電極の両端部にそれぞれ供給する。

その結果、前記SiH<sub>4</sub>ガスのプラズマが生成され、基板11に例えばアモルファスSiが堆積する。

【0070】

前記の要領で、製膜時間を例えば10~20分間にして、前記基板11にアモルファスSi膜を形成させる。製膜後、真空容器1から前記基板11を取り出して、該アモルファスSi膜の膜厚み分布を評価する。基板11に堆積された例えばアモルファスSiの膜厚分布は、前述のように、VHFプラズマ固有の現象である定在波の発生により、正弦的な分布となる。このような、製膜試験を第1の位相可変2出力の発信器15の2つの出力の位相差をパラメータに繰り返し実施する。そして、第1の電極の長さ方向において、基板11の中央点から正弦的な膜厚分布の最大厚みの位置までの距離と前記第1の位相可変2出力の発信器15の2つの出力の位相差の関係をデータとして把握する。例えば、基板11の中央点から第1の給電点21a~21dの方向へ波長の八分の一、即ち $\lambda/8$ だけ離れた位置に設定するための位相差は、例えば $\pi/8$ であるということが把握される。

ただし、その波長 $\lambda$ は、真空中での電磁波の波長ではなく、上記製膜条件での波長 $\lambda_0$ であり、真空中での電磁波の波長 $\lambda_0$ に比べて短くなる。一般的にはSiH<sub>4</sub>ガスのプラズマでは、プラズマ中での波長 $\lambda$ と真空中での波長 $\lambda_0$ との比 $\lambda/\lambda_0$ は0.5~0.9程度である。

【0071】

次に、第2の予備製膜工程であるが、図9及び図11において、予め、図示しない基板11を第2の電極4の上に設置し、図示しない真空ポンプ10を稼働させ、真空容器1内の不純物ガス等を除去した後、図示しない放電ガス供給管8からSiH<sub>4</sub>ガスを、例えば500sccm、圧力0.5Torr(66.5Pa)で供給しつつ、基板温度は80~350の範囲、例えば180に保持する。

そして、前記第2の電力供給系を用いて、第1及び第2の給電点21a~21d、27a~27dに高周波電力を、例えば周波数60MHzの電力例えば合計で500Wを供給する。

即ち、該第2の位相可変2出力の発信器28の2つの出力の位相差を、例えば零に設定し、第3の電力増幅器29及び第2の電力増幅器34の出力をそれぞれ、周波数60MHzで250Wに設定して、第1の電極の両端部にそれぞれ供給する。

10

20

30

40

50

その結果、前記  $\text{SiH}_4$  ガスのプラズマが生成され、基板 11 に例えばアモルファス  $\text{Si}$  が堆積する。

#### 【0072】

前記の要領で、製膜時間を例えば 10 ~ 20 分間にして、前記基板 11 にアモルファス  $\text{Si}$  膜を形成させる。製膜後、真空容器 1 から前記基板 11 を取り出して、該アモルファス  $\text{Si}$  膜の膜厚み分布を評価する。基板 11 に堆積された例えばアモルファス  $\text{Si}$  の膜厚分布は、前述のように、VHF プラズマ固有の現象である定在波の発生により、正弦的な分布となる。このような、製膜試験を第 2 の位相可変 2 出力の発信器 28 の 2 つの出力の位相差をパラメータに繰り返し実施する。そして、第 1 の電極の長さ方向において、基板 11 の中央点から正弦的な膜厚分布の最大厚みの位置までの距離と前記第 2 の位相可変 2 出力の発信器 28 の 2 つの出力の位相差の関係をデータとして把握する。例えば、基板 11 の中央点から第 2 の給電点 27 の方向へ波長  $\lambda$  の八分の一、即ち  $\lambda/8$  だけ離れた位置に設定するための位相差は、例えば  $2\pi$  であるということが把握される。

ただし、その波長  $\lambda$  は、真空中での電磁波の波長ではなく、上記製膜条件での波長  $\lambda_p$  であり、真空中での電磁波の波長  $\lambda_0$  に比べて短くなる。一般的には  $\text{SiH}_4$  ガスのプラズマでは、プラズマ中での波長  $\lambda_p$  と真空中での波長  $\lambda_0$  との比  $\lambda_p/\lambda_0$  は 0.5 ~ 0.9 程度である。

#### 【0073】

さて、前記第 1 および第 2 の予備製膜工程の結果を受けて、本製膜工程に入る。先ず、図 9 ないし図 11 において、予め、基板 11 を第 2 の電極 4 の上に設置し、図示しない真空ポンプ 10 を稼働させ、真空容器 1 内の不純物ガス等を除去した後、放電ガス供給管 8 から  $\text{SiH}_4$  ガスを、例えば 800 sccm、圧力 0.5 Torr (66.5 Pa) で供給しつつ、基板温度は 80 ~ 350 °C の範囲、例えば 180 °C に保持する。

次に、前記第 1 の電力供給系の構成部材の第 1 の位相可変 2 出力の発信器 15 の 2 つの出力の位相差を、第 1 の予備試験データで把握した  $\theta_1$  に設定し、第 1 及び第 2 の給電点 21a ~ 21b、27a ~ 27b に、それぞれ例えば周波数 60 MHz の電力 500 W を供給するとともに、前記第 2 の電力供給系の構成部材の第 2 の位相可変 2 出力の発信器 28 の 2 つの出力の位相差を、第 2 の予備試験データで把握した  $\theta_2$  に設定し、第 1 及び第 2 の給電点 21a ~ 21b、27a ~ 27b に、それぞれ例えば 60 MHz の 500 W を供給する。即ち、前記第 1 及び第 2 の給電点 21a ~ 21b、27a ~ 27b に、それぞれ、電力 250 W の電圧波  $W_{11}(x, t)$ 、電力 250 W の電圧波  $W_{21}(x, t)$ 、電力 250 W の  $W_{12}(x, t)$  及び電力 250 W の  $W_{22}(x, t)$  が供給される。

ここで、第 1 の予備製膜工程及び第 2 の予備製膜工程では問題にならなかった第 1 のインピーダンス整合器 17、第 2 のインピーダンス整合器 23、第 3 のインピーダンス整合器 30 及び第 4 のインピーダンス整合器 35 の整合調整が上手く作動しない場合には、第 1 あるいは第 2 の位相可変 2 出力の発信器のどちらか一方の発振周波数を他方の発振周波数と若干異なる数値に変更すればよい。例えば、上記の例では、60 MHz と 61 ~ 63 MHz 程度、例えば 62 MHz とすれば良い。なお、インピーダンス整合器の整合調整が上手く作動しない原因は、使用する構成機器の性能、即ちインピーダンス整合器の上流側の電力増幅器の耐反射波機能上の制約によることが多い。

#### 【0074】

前記一対の電極 2a ~ 2d、4 間に、前記第 1 及び第 2 の給電点 21a ~ 21b、27a ~ 27b を介して 4 つの電圧波からなる電力が供給されると、前述のように、 $W_{11}(x, t)$  と  $W_{21}(x, t)$  は干渉して合成波  $W_1(x, t)$  を形成し、 $W_{12}(x, t)$  と  $W_{22}(x, t)$  は干渉して合成波  $W_2(x, t)$  を形成する。ただし、第 1 及び第 2 の発信器 15、28 は互いに独立した電源なので、 $W_{11}(x, t)$  は、 $W_{12}(x, t)$  及び  $W_{22}(x, t)$  とは干渉しない。また、同様に、 $W_{21}(x, t)$  は、 $W_{12}(x, t)$  及び  $W_{22}(x, t)$  と干渉しない。

したがって、一対の電極 2a ~ 2d、4 間に生成される電力の強さの分布は、合成波  $W$

10

20

30

40

50



1 ( x、 t ) の強さの分布  $I_1 ( x、 t )$  と合成波  $W_2 ( x、 t )$  の強さの分布  $I_2 ( x、 t )$  の重ね合わせた形となる。その様子を概念的に図 6 に示す。

ここで、基板の中央点を x 軸の原点とし、該原点から第 1 の給電点 2 1 a ~ 2 1 d を向いた方向を正の方向とすると、合成波  $W_1 ( x、 t )$  の強さの分布  $I_1 ( x、 t )$  は、

$$\begin{aligned} I_1 ( x、 t ) &= \cos^2 \{ 2 \pi x / \lambda + 2 \pi ( t / T ) / 8 \} \\ &= \cos^2 \{ 2 \pi x / \lambda + \pi t / 4 T \} \end{aligned}$$

合成波  $W_2 ( x、 t )$  の強さの分布  $I_2 ( x、 t )$  は、

$$\begin{aligned} I_2 ( x、 t ) &= \cos^2 \{ 2 \pi x / \lambda - 2 \pi ( t / T ) / 8 \} \\ &= \cos^2 \{ 2 \pi x / \lambda - \pi t / 4 T \} \end{aligned}$$

一对の電極 2 a ~ 2 d、4 間に生成される電力の強さの分布  $I ( x、 t )$  は、

$$\begin{aligned} I ( x、 t ) &= \cos^2 \{ 2 \pi x / \lambda + \pi t / 4 T \} + \cos^2 \{ 2 \pi x / \lambda - \pi t / 4 T \} \\ &= 1 \end{aligned}$$

#### 【 0 0 7 5 】

上記工程において、 $SiH_4$  ガスがプラズマ化されると、そのプラズマ中に存在する  $SiH_3$ 、 $SiH_2$ 、 $SiH$  等のラジカルが拡散現象により拡散し、基板 1 1 の表面に吸着されることにより a - Si 膜が堆積するが、一对の電極 2、4 間の電力の分布が、上述の通り一様であるので、その堆積膜は一様になる。

このことは、波長  $\lambda$  の二分の一を越えるサイズの基板を対象にした従来の VHF プラズマ表面処理装置及び方法では不可能視されている一様な膜厚分布の形成が実現可能であるということを示している。したがって、上記のことは VHF プラズマの応用分野においては画期的な発見であり、その実用価値は著しく大きい。

#### 【 0 0 7 6 】

本実施例では、第 1 の電極に用いられる棒電極のサイズを、直径 5 ~ 20 mm 程度で、間隔を 5 ~ 30 mm、長さを 1000 mm ~ 1600 mm 程度とし、第 1 の棒電極と第 2 の平板電極（接地電極）の距離を 540 mm 程度に設定することにより、アモルファス Si 膜は、製膜速度 1 ~ 3 nm / s 程度で、膜厚分布は  $\pm 10\%$  以内の製膜が可能である。

基板サイズの幅は、前記棒電極の個数及び電力供給系の台数を増大することにより拡大できることは当然である。

なお、微結晶 Si あるいは薄膜多結晶 Si 等は、製膜条件の中の  $SiH_4$ 、 $H_2$  の流量比、圧力および電力を適正化することで製膜できることは公知の技術であり、膜厚分布  $\pm 10\%$  以内の製膜が可能である。

#### 【 0 0 7 7 】

本実施例では、実施例 2 で用いられた平衡不平衡変換装置と平衡伝送路を使用していないが、該平衡不平衡変換装置と平衡伝送路を用いれば、上記プラズマの一様化は、より確実になることは当然である。

#### 【 0 0 7 8 】

（実施例 4）

本発明に関する実施例 4 の高周波プラズマ発生用電極と該電極により構成のプラズマ表面処理装置（プラズマ CVD 装置）およびプラズマ表面処理方法（プラズマ CVD 方法）について、図 12 を参照して説明する。

#### 【 0 0 7 9 】

先ず、装置の構成について説明する。ただし、前記実施例 1 ないし実施例 3 に示した部材と同じ部材は同符番を付して説明を省略する。図 12 は実施例 4 に係わるプラズマ表面処理装置の全体を示す概略図である。

#### 【 0 0 8 0 】

最初に、装置の概念を説明する。装置の特徴は、第 1 の電極に方形平板を用いる構成であることである。

具体的には、第 1 の電極 2 は、材質：SUS 材で、開口率 55% 程度で設置される直径

10

20

30

40

50

3 mmの孔を有する方形平板である。厚みは6 mm程度、面積は1 5 0 0 mm x 3 0 0 mm程度である。第2の電極は、材質：S U S材の基板ヒータを内臓する方形平板である。その厚みは7 0 mm程度で、面積は1 5 0 0 mm x 5 0 0 mm程度である。電極間隔は5 ~ 5 0 mmで任意に設定可能である。基板1 1には、厚み4 mm程度の面積：1 2 0 0 mm x 2 0 0 mm程度のガラス基板を用いる。

#### 【0081】

すなわち、図12において、第1の位相可変2出力の発信器15の2つの出力端子の一方の出力端子は、第1の電力増幅器16、第1のインピーダンス整合器17、第1の電流導入端子18及び第1の真空同軸ケーブル19の端部の芯線

20を介して、第1の給電点21に接続される。該第1の真空同軸ケーブル19の端部の外部導体は第2の電極4に接続される。

第1の位相可変2出力の発信器15の2つの出力端子の他方の出力端子は、第2の電力増幅器22、第2のインピーダンス整合器23、第2の電流導入端子24及び第2の真空同軸ケーブル25の端部の芯線26を介して、第2の給電点27に接続される。該第2の真空同軸ケーブル19の端部の外部導体は第2の電極4に接続される。

なお、前記第1の電力増幅器16及び第2の電力増幅器22には、それぞれ出力値（進行波）のモニター及び下流側から反射して戻ってくる反射波のモニターが付属している。また、該該反射波による該第1及び第2の電力増幅器16、22本体の電気回路を防護するためのアイソレータが付属されている。

ここで、第1の位相可変2出力の発信器15の2つの出力をそれぞれ電力増幅器16、22等を用いて、第1及び第2の給電点21、27に供給する電力供給系を第1の電力供給系と呼ぶ。

#### 【0082】

また、図12において、第2の位相可変2出力の発信器28の2つの出力端子の一方の出力端子は、第3の電力増幅器29、第3のインピーダンス整合器30、第3の電流導入端子31、第3の真空同軸ケーブル32の端部の芯線33を介して第1の給電点21に接続される。

第2の位相可変2出力の発信器28の2つの出力端子の他方の出力端子は、第4の電力増幅器34、第4のインピーダンス整合器35、第3の電流導入端子31、第4の真空同軸ケーブル37の端部の芯線38を介して第2の給電点27に接続される。

なお、前記第3の電力増幅器29及び第4の電力増幅器34には、それぞれ出力値（進行波）のモニター及び下流側から反射して戻ってくる反射波のモニターが付属している。また、該該反射波による該第1及び第2の電力増幅器29、34本体の電気回路を防護するためのアイソレータが付属されている。

ここで、第2の位相可変2出力の発信器28の2つの出力をそれぞれ電力増幅器29、34等を用いて、第1及び第2の給電点21、27に供給する電力供給系を第2の電力供給系と呼ぶ。

#### 【0083】

次に、上記構成のプラズマ表面処理装置を用いて、a - S i 太陽電池用アモルファス S i 製造装置用の S i H 4 ガスのプラズマ発生装置及び方法を説明する。なお、本発明の実施あるいは応用では、手順として、第1及び第2の予備製膜工程と本製膜工程が必要である。第1の予備製膜工程は、前記第1の位相可変2出力の発信器15の2つの出力の位相差の設定値を把握するために必要なデータを取得ために、第2の予備製膜工程は、前記第2の位相可変2出力の発信器28の2つの出力の位相差の設定値を把握するために、本製膜工程は目的とするアモルファス S i の製造のために実施される。

#### 【0084】

先ず、第1の予備製膜工程であるが、図12において、予め、基板11を第2の電極4の上に設置し、図示しない真空ポンプ10を稼働させ、真空容器1内の不純物ガス等を除去した後、放電ガス供給管8から S i H 4 ガスを、例えば 5 0 0 s c c m、圧力 0 . 5 T o r r ( 6 6 . 5 P a ) で供給しつつ、基板温度は 8 0 ~ 3 5 0 の範囲、例えば 1 8 0

10

20

30

40

50

に保持する。

そして、前記第1の電力供給系を用いて、一对の電極2、4に高周波電力を、例えば周波数70MHzの電力を、例えば合計で400Wを供給する。

即ち、該第1の位相可変2出力の発信器15の2つの出力の位相差を、例えば零に設定し、第1の電力増幅器16の出力を200Wに設定して、その出力を第1のインピーダンス整合器17、第1の電流導入端子18及び真空用同軸ケーブル19を介して、第1の給電点21と第2の電極4間に供給するとともに、第2の電力増幅器22の出力を200Wに設定して、その出力を第2のインピーダンス整合器23、第2の電流導入端子24、真空用同軸ケーブル25を介して、第2の給電点27と第2の電極4間に供給する。

その結果、前記SiH<sub>4</sub>ガスのプラズマが生成され、基板11に例えばアモルファスSiが堆積する。 10

#### 【0085】

前記の要領で、製膜時間を例えば10～20分間にして、前記基板11にアモルファスSi膜を形成させる。製膜後、真空容器1から前記基板11を取り出して、該アモルファスSi膜の膜厚み分布を評価する。基板11に堆積された例えばアモルファスSiの膜厚分布は、前述のように、VHFプラズマ固有の現象である定在波の発生により、正弦的な分布となる。このような、製膜試験を第1の位相可変2出力の発信器15の2つの出力の位相差をパラメータに繰り返し実施する。そして、第1の電極2の長さ方向において、基板11の中央点から正弦的な膜厚分布の最大厚みの位置までの距離と前記第1の位相可変2出力の発信器15の2つの出力の位相差の関係をデータとして把握する。例えば、基板11の中央点から第1の給電点21の方向へ波長の八分の一、即ち $\lambda/8$ だけ離れた位置に設定するための位相差は、例えば $\pi/8$ であるということが把握される。 20

ただし、その波長 $\lambda$ は、真空中での電磁波の波長ではなく、上記製膜条件での波長 $\lambda'$ であり、真空中での電磁波の波長 $\lambda_0$ に比べて短くなる。一般的にはSiH<sub>4</sub>ガスのプラズマでは、プラズマ中での波長 $\lambda'$ と真空中での波長 $\lambda_0$ との比 $\lambda'/\lambda_0$ は0.5～0.9程度である。

#### 【0086】

次に、第2の予備試験であるが、図12において、予め、基板11を第2の電極4の上に設置し、図示しない真空ポンプ10を稼働させ、真空容器1内の不純物ガス等を除去した後、放電ガス供給管8からSiH<sub>4</sub>ガスを、例えば500sccm、圧力0.5 Torr (66.5 Pa)で供給しつつ、基板温度は80～350℃の範囲、例えば180℃に保持する。 30

そして、前記第2の電力供給系を用いて、一对の電極2、4に高周波電力を、例えば周波数70MHzの電力を、例えば合計で400Wを供給する。

即ち、該第2の位相可変2出力の発信器28の2つの出力の位相差を、例えば零に設定し、第3の電力増幅器29の出力を200Wに設定して、その出力を第3のインピーダンス整合器30、第3の電流導入端子31及び真空用同軸ケーブル32を介して、第1の給電点21と第2の電極4間に供給するとともに、第4の電力増幅器34の出力を200Wに設定して、その出力を第4のインピーダンス整合器35、第4の電流導入端子36、真空用同軸ケーブル37を介して、第2の給電点27と第2の電極4間に供給する。 40

その結果、前記SiH<sub>4</sub>ガスのプラズマが生成され、基板11に例えばアモルファスSiが堆積する。

#### 【0087】

前記の要領で、製膜時間を例えば10～20分間にして、前記基板11にアモルファスSi膜を形成させる。製膜後、真空容器1から前記基板11を取り出して、該アモルファスSi膜の膜厚み分布を評価する。基板11に堆積された例えばアモルファスSiの膜厚分布は、前述のように、VHFプラズマ固有の現象である定在波の発生により、正弦的な分布となる。このような、製膜試験を第2の位相可変2出力の発信器28の2つの出力の位相差をパラメータに繰り返し実施する。そして、第1の電極の長さ方向において、基板11の中央点から正弦的な膜厚分布の最大厚みの位置までの距離と前記第2の位相可変2 50

出力の発信器 28 の 2 つの出力の位相差の関係をデータとして把握する。例えば、基板 11 の中央点から第 2 の給電点 27 の方向へ波長  $\lambda$  の八分の一、即ち  $\lambda/8$  だけ離れた位置に設定するための位相差は、例えば  $\pi/4$  であるということが把握される。

ただし、その波長  $\lambda$  は、真空中での電磁波の波長ではなく、上記製膜条件での波長  $\lambda_0$  であり、真空中での電磁波の波長  $\lambda_0$  に比べて短くなる。一般的には SiH<sub>4</sub> ガスのプラズマでは、プラズマ中での波長  $\lambda$  と真空中での波長  $\lambda_0$  との比  $\lambda/\lambda_0$  は 0.5 ~ 0.9 程度である。

#### 【0088】

さて、前記第 1 および第 2 の予備製膜工程の結果を受けて、本製膜工程に入る。先ず、図 12 において、予め、基板 11 を第 2 の電極 4 の上に設置し、図示しない真空ポンプ 10 を稼働させ、真空容器 1 内の不純物ガス等を除去した後、放電ガス供給管 8 から SiH<sub>4</sub> ガスを、例えば 500 sccm、圧力 0.5 Torr (66.5 Pa) で供給しつつ、基板温度は 80 ~ 350 の範囲、例えば 180 に保持する。

次に、前記第 1 の電力供給系の構成部材の第 1 の位相可変 2 出力の発信器 15 の 2 つの出力の位相差を、前記第 1 の予備試験データで把握した  $\theta_1$  に設定し、第 1 及び第 2 の給電点 21、27 に、それぞれ例えば周波数 70 MHz の電力 200 W を供給するとともに、前記第 2 の電力供給系の構成部材の第 2 の位相可変 2 出力の発信器 28 の 2 つの出力の位相差を、第 2 の予備試験データで把握した  $\theta_2$  に設定し、第 1 及び第 2 の給電点 21、27 に、それぞれ例えば 70 MHz の 200 W を供給する。即ち、前記第 1 の給電点 21 に、電力 200 W の電圧波  $W_{11}(x, t)$  及び電力 200 W の電圧波  $W_{12}(x, t)$  が、前記第 2 の給電点 27 に電力 200 W の  $W_{21}(x, t)$  及び電力 200 W の  $W_{22}(x, t)$  が供給される。

ここで、第 1 の予備製膜工程及び第 2 の予備製膜工程では問題にならなかった第 1 のインピーダンス整合器 17、第 2 のインピーダンス整合器 23、第 3 のインピーダンス整合器 30 及び第 4 のインピーダンス整合器 35 の整合調整が上手くいかない場合には、第 1 あるいは第 2 の位相可変 2 出力の発信器のどちらか一方の発振周波数を他方の発振周波数と若干異なる数値に変更すればよい。例えば、上記の例では、70 MHz と 71 ~ 73 MHz 程度、例えば 72 MHz とすれば良い。なお、インピーダンス整合器の整合調整が上手くいかない原因は、使用する構成機器の性能、即ちインピーダンス整合器の上流側の電力増幅器の耐反射波機能上の制約によることが多い。

#### 【0089】

前記一対の電極 2、4 間に 4 つの電圧波が供給されると、前述のように、 $W_{11}(x, t)$  と  $W_{21}(x, t)$  は干渉して合成波  $W_1(x, t)$  を形成し、 $W_{12}(x, t)$  と  $W_{22}(x, t)$  は干渉して合成波  $W_2(x, t)$  を形成する。ただし、第 1 及び第 2 の発信器 15、28 は互いに独立した電源なので、 $W_{11}(x, t)$  は、 $W_{12}(x, t)$  及び  $W_{22}(x, t)$  とは干渉しない。また、同様に、 $W_{21}(x, t)$  は、 $W_{12}(x, t)$  及び  $W_{22}(x, t)$  と干渉しない。

したがって、一対の電極 2、4 間に生成される電力の強さの分布は、合成波  $W_1(x, t)$  の強さの分布  $I_1(x, t)$  と合成波  $W_2(x, t)$  の強さの分布  $I_2(x, t)$  の重ね合わせた形となる。その様子を概念的に図 6 に示す。

ここで、基板の中央点を  $x$  軸の原点とし、該原点から第 1 の給電点 21 を向いた方向を正の方向とすると、合成波  $W_1(x, t)$  の強さの分布  $I_1(x, t)$  は、

$$\begin{aligned} I_1(x, t) &= \cos^2 \left\{ 2 \left( x / 2 + 2 \left( \lambda / 8 \right) / \lambda \right) \right\} \\ &= \cos^2 \left\{ 2 \left( x / 2 + \lambda / 4 \right) \right\} \end{aligned}$$

合成波  $W_2(x, t)$  の強さの分布  $I_2(x, t)$  は、

$$\begin{aligned} I_2(x, t) &= \cos^2 \left\{ 2 \left( x / 2 - 2 \left( \lambda / 8 \right) / \lambda \right) \right\} \\ &= \cos^2 \left\{ 2 \left( x / 2 - \lambda / 4 \right) \right\} \end{aligned}$$

一対の電極 2、4 間に生成される電力の強さの分布  $I(x, t)$  は、

$$\begin{aligned} I(x, t) &= \cos^2 \left\{ 2 \left( x / 2 + \lambda / 4 \right) \right\} + \cos^2 \left\{ 2 \left( x / 2 - \lambda / 4 \right) \right\} \end{aligned}$$

10

20

30

40

50

= 1

【0090】

上記工程において、 $SiH_4$ ガスがプラズマ化されると、そのプラズマ中に存在する $SiH_3$ 、 $SiH_2$ 、 $SiH$ 等のラジカルが拡散現象により拡散し、基板11の表面に吸着されることによりa-Si膜が堆積するが、一对の電極2、4間の電力の強さの分布が上述の通り一様であるので、その堆積膜は一様になる。

このことは、波長の二分の一を越えるサイズの基板を対象にした従来のVHFプラズマ表面処理装置及び方法では不可能視されている一様な膜厚分布の形成が実現可能であるということの意味している。したがって、上記のことはVHFプラズマの応用分野においては画期的な発見であり、その実用価値は著しく大きい。

本実施例では、電極間隔を540mm程度に設定することにより、ガラス基板サイズ：1200mm×200mmでのアモルファスSi膜は、製膜速度1~3nm/s程度で、膜厚分布は±10%以内の製膜が可能である。

なお、微結晶Siあるいは薄膜多結晶Si等は、製膜条件の中の $SiH_4$ 、 $H_2$ の流量比、圧力および電力を適正化することで製膜できることは公知の技術であり、膜厚分布±10%以内の製膜が可能である。

【0091】

本実施例では、実施例2で用いられた平衡不平衡変換装置と平衡伝送路を使用していないが、該平衡不平衡変換装置と平衡伝送路を用いれば、上記プラズマの一様化は、より確実になることは当然である。

【0092】

(実施例5)

本発明に関する実施例5の高周波プラズマ発生用電極と該電極により構成のプラズマ表面処理装置(プラズマCVD装置)およびプラズマ表面処理方法(プラズマCVD方法)について、図13を参照して説明する。

【0093】

先ず、装置の構成について説明する。ただし、前記実施例1ないし実施例4に示した部材と同じ部材は同符番を付して説明を省略する。図13は実施例5に係わるプラズマ表面処理装置の全体を示す概略図である。

【0094】

最初に、装置の概念を説明する。装置の構成は、第1の電極の形状を方形平板とし、該方形平板電極2の対向した2辺にそれぞれ、複数個の給電点、例えば2個が設置されるということが特徴である。

【0095】

具体的には、第1の電極2は、材質：SUS材、直径3mmの孔が開口率55%で設置されている厚み6mm程度の、面積：1500mm×500mm程度の方形平板電極である。給電点としては、該方形平板電極の一つの辺に辺方向に100~400mm程度の間隔で、例えば300mm間隔で2点を設け、かつ該2点の給電点に対向した他方の辺に2点を配置する。第2の電極は、材質：SUS材、厚み70mm程度、面積：1500mm×500mm程度での方形平板で、基板ヒータを内臓している。電極間隔は5~50mmで任意に設定可能である。基板11には、厚み4mm程度、面積：1200mm×400mmのガラス基板を用いる。

【0096】

図13において、第1の位相可変2出力の発信器15aの2つの出力端子の一方の出力端子は、第1の電力増幅器16a、第1のインピーダンス整合器17a、第1の電流導入端子18a及び第1の真空同軸ケーブル19aの端部の芯線20aを介して、第1の給電点21aに接続される。該第1の真空同軸ケーブル19aの端部の外部導体は第2の電極4に接続される。

第1の位相可変2出力の発信器15aの2つの出力端子の他方の出力端子は、第2の電力増幅器22a、第2のインピーダンス整合器23a、第2の電流導入端子24a及び第

10

20

30

40

50

2の真空同軸ケーブル25aの端部の芯線26aを介して、第2の給電点27aに接続される。該第2の真空同軸ケーブル25aの端部の外部導体は第2の電極4に接続される。

なお、前記第1の電力増幅器16a及び第2の電力増幅器22aには、それぞれ出力値（進行波）のモニター及び下流側から反射して戻ってくる反射波のモニターが付属している。また、該該反射波による該第1及び第2の電力増幅器16a、22a本体の電気回路を防護するためのアイソレータが付属されている。

ここで、第1の位相可変2出力の発信器15の2つの出力をそれぞれ電力増幅器16、22等を用いて、第1及び第2の給電点21、27に供給する電力供給系を第1の電力供給系と呼ぶ。

【0097】

また、図13において、第2の位相可変2出力の発信器28aの2つの出力端子の一方の出力端子は、第3の電力増幅器29a、第3のインピーダンス整合器30a、第3の電流導入端子31a及び第3の真空同軸ケーブル32aの端部の芯線33aを介して、第1の給電点21aに接続される。該第3の真空同軸ケーブル32aの端部の外部導体は第2の電極4に接続される。

第2の位相可変2出力の発信器28aの2つの出力端子の他方の出力端子は、第4の電力増幅器34a、第4のインピーダンス整合器35a、第4の電流導入端子36a及び第4の真空同軸ケーブル37aの端部の芯線38aを介して、第2の給電点27aに接続される。該第4の真空同軸ケーブル37aの端部の外部導体は第2の電極4に接続される。

なお、前記第3の電力増幅器29a及び第4の電力増幅器34aには、それぞれ出力値（進行波）のモニター及び下流側から反射して戻ってくる反射波のモニターが付属している。また、該該反射波による該第1及び第2の電力増幅器29a、34a本体の電気回路を防護するためのアイソレータが付属されている。

ここで、第2の位相可変2出力の発信器28aの2つの出力をそれぞれ電力増幅器29a、34a等を用いて、第1及び第2の給電点21a、27aに供給する電力供給系を第2の電力供給系と呼ぶ。

【0098】

図13において、第3の位相可変2出力の発信器15bの2つの出力端子の一方の出力端子は、第5の電力増幅器16b、第5のインピーダンス整合器17b、第5の電流導入端子18b及び第5の真空同軸ケーブル19bの端部の芯線20bを介して、第3の給電点21bに接続される。該第5の真空同軸ケーブル19bの端部の外部導体は第2の電極4に接続される。

第3の位相可変2出力の発信器15bの2つの出力端子の他方の出力端子は、第6の電力増幅器22b、第6のインピーダンス整合器23b、第6の電流導入端子24b及び第6の真空同軸ケーブル25bの端部の芯線26bを介して、第4の給電点27bに接続される。該第6の真空同軸ケーブル25bの端部の外部導体は第2の電極4に接続される。

なお、前記第5の電力増幅器16b及び第6の電力増幅器22bには、それぞれ出力値（進行波）のモニター及び下流側から反射して戻ってくる反射波のモニターが付属している。また、該該反射波による該第1及び第2の電力増幅器16b、22b本体の電気回路を防護するためのアイソレータが付属されている。

ここで、第3の位相可変2出力の発信器15bの2つの出力をそれぞれ電力増幅器16b、22b等を用いて、第3及び第4の給電点21b、27bに供給する電力供給系を第3の電力供給系と呼ぶ。

【0099】

また、図13において、第4の位相可変2出力の発信器28bの2つの出力端子の一方の出力端子は、第7の電力増幅器29b、第7のインピーダンス整合器30b、第7の電流導入端子31b及び第7の真空同軸ケーブル32bの端部の芯線33bを介して、第3の給電点21bに接続される。該第7の真空同軸ケーブル32bの端部の外部導体は第2の電極4に接続される。

第4の位相可変2出力の発信器28bの2つの出力端子の他方の出力端子は、第8の電

10

20

30

40

50

力増幅器 3 4 b、第 8 のインピーダンス整合器 3 5 b、第 8 の電流導入端子 3 6 b 及び第 8 の真空同軸ケーブル 3 7 b の端部の芯線 3 8 b を介して、第 4 の給電点 2 7 b に接続される。該第 8 の真空同軸ケーブル 3 7 b の端部の外部導体は第 2 の電極 4 に接続される。

なお、前記第 7 の電力増幅器 2 9 b 及び第 8 の電力増幅器 3 4 b には、それぞれ出力値（進行波）のモニター及び下流側から反射して戻ってくる反射波のモニターが付属している。また、該反射波による該第 7 及び第 8 の電力増幅器 2 9 b、3 4 b 本体の電気回路を防護するためのアイソレータが付属されている。

ここで、第 4 の位相可変 2 出力の発信器 2 8 b の 2 つの出力をそれぞれ電力増幅器 2 9 b、3 4 b 等を用いて、第 3 及び第 4 の給電点 2 1 b、2 7 b に供給する電力供給系を第 4 の電力供給系と呼ぶ。

#### 【 0 1 0 0 】

前記第 1、第 2、第 3 及び第 4 の位相可変 2 出力の発信器 1 5 a、1 5 b、2 8 a、2 8 b は互いに独立した電源であることは、実施例 1 ~ 4 の場合と同じである。

#### 【 0 1 0 1 】

次に、上記構成のプラズマ表面処理装置を用いて、a - S i 太陽電池用アモルファス S i 製造装置用の S i H 4 ガスのプラズマ発生装置及び方法を説明する。なお、本発明の実施あるいは応用では、手順として、第 1 及び第 2 の予備製膜工程と本製膜工程が必要である。第 1 の予備製膜工程は、前記第 1 及び第 3 の位相可変 2 出力の発信器 1 5 a、1 5 b の 2 つの出力の位相差の設定値を把握するために必要なデータを取得するために、第 2 の予備製膜工程は、前記第 2 及び第 4 の位相可変 2 出力の発信器 2 8 a、2 8 b の 2 つの出力の位相差の設定値を把握するために、本製膜工程は目的とするアモルファス S i の製造のために実施される。

#### 【 0 1 0 2 】

先ず、第 1 の予備製膜工程であるが、図 1 3 において、予め、基板 1 1 を第 2 の電極 4 の上に設置し、図示しない真空ポンプ 1 0 を稼働させ、真空容器 1 内の不純物ガス等を除去した後、放電ガス供給管 8 から S i H 4 ガスを、例えば 5 0 0 s c c m、圧力 0 . 5 T o r r ( 6 6 . 5 P a ) で供給しつつ、基板温度は 8 0 ~ 3 5 0 の範囲、例えば 1 8 0 に保持する。

そして、前記第 1 及び第 3 の電力供給系を用いて、一对の電極 2、4 に高周波電力を、例えば周波数 6 0 M H z の電力を、例えば合計で 8 0 0 W を供給する。

即ち、該第 1 及び第 3 の位相可変 2 出力の発信器 1 5 a、1 5 b の 2 つの出力の位相差を、例えばそれぞれ零に設定し、第 1 及び第 5 の電力増幅器 1 6 a、1 6 b のそれぞれの出力を 2 0 0 W に設定して、それぞれの出力を第 1 及び第 3 のインピーダンス整合器 1 7 a、1 7 b、第 1 及び第 3 の電流導入端子 1 8 a、1 8 b 及び第 1 及び第 3 の真空用同軸ケーブル 1 9 a、1 9 b を介して、それぞれ、第 1 の給電点 2 1 a と第 2 の電極 4 間及び第 3 の給電点 2 1 b と第 2 の電極 4 間に供給するとともに、第 2 及び第 6 の電力増幅器 2 2 a、2 2 b のそれぞれの出力を 2 0 0 W に設定して、それぞれの出力を第 2 及び第 6 のインピーダンス整合器 2 3 a、2 3 b、第 2 及び第 6 の電流導入端子 2 4 a、2 4 b 及び第 2 及び第 6 の真空用同軸ケーブル 2 5 a、2 5 b を介して、それぞれ、第 2 の給電点 2 7 a と第 2 の電極 4 間及び第 4 の給電点 2 7 b と第 2 の電極 4 間に供給する。

その結果、前記 S i H 4 ガスのプラズマが生成され、基板 1 1 に例えばアモルファス S i が堆積する。

#### 【 0 1 0 3 】

前記の要領で、製膜時間を例えば 1 0 ~ 2 0 分間にして、前記基板 1 1 にアモルファス S i 膜を形成させる。製膜後、真空容器 1 から前記基板 1 1 を取り出して、該アモルファス S i 膜の膜厚み分布を評価する。基板 1 1 に堆積された例えばアモルファス S i の膜厚分布は、前述のように、V H F プラズマ固有の現象である定在波の発生により、正弦的な分布となる。このような、製膜試験を第 1 及び第 3 の位相可変 2 出力の発信器 1 5 a、1 5 b の 2 つの出力のそれぞれの位相差をパラメータに繰り返し実施する。そして、第 1 の電極 2 の長さ方向において、基板 1 1 の中央点から正弦的な膜厚分布の最大厚みの位置ま

10

20

30

40

50

での距離と前記第1の位相可変2出力の発信器15の2つの出力の位相差の関係をデータとして把握する。例えば、基板11の中央点から第1の給電点21a及び1bの方向へ波長の八分の一、即ち  $\lambda/8$  だけ離れた位置に設定するための位相差は、それぞれ、例えば  $\pi/4$  及び  $3\pi/4$  であるということが把握される。

ただし、その波長  $\lambda$  は、真空中での電磁波の波長ではなく、上記製膜条件での波長  $\lambda_0$  であり、真空中での電磁波の波長  $\lambda_0$  に比べて短くなる。一般的にはSiH<sub>4</sub>ガスのプラズマでは、プラズマ中での波長  $\lambda$  と真空中での波長  $\lambda_0$  との比  $\lambda/\lambda_0$  は0.50.9程度である。

#### 【0104】

次に、第2の予備試験であるが、図12において、予め、基板11を第2の電極4の上に設置し、図示しない真空ポンプ10を稼働させ、真空容器1内の不純物ガス等を除去した後、放電ガス供給管8からSiH<sub>4</sub>ガスを、例えば500sccm、圧力0.5Torr(66.5Pa)で供給しつつ、基板温度は80~350の範囲、例えば180に保持する。

そして、前記第2及び第4の電力供給系を用いて、一对の電極2、4に高周波電力を、例えば周波数60MHzの電力を、例えば合計で800Wを供給する。

即ち、該第2及び第4の位相可変2出力の発信器28a、28bの2つの出力の位相差を、例えばそれぞれ零に設定し、第3及び第7の電力増幅器29a、29bのそれぞれの出力を200Wに設定して、それぞれの出力を第3及び第7のインピーダンス整合器30a、30b、第3及び第7の電流導入端子31a、31b及び第3及び第7の真空用同軸ケーブル32a、32bを介して、それぞれ、第1の給電点21aと第2の電極4間及び第3の給電点21bと第2の電極4間に供給するとともに、第4及び第8の電力増幅器34a、34bのそれぞれの出力を200Wに設定して、それぞれの出力を第4及び第8のインピーダンス整合器35a、35b、第4及び第8の電流導入端子36a、36b及び第4及び第8の真空用同軸ケーブル37a、37bを介して、それぞれ、第2の給電点27aと第2の電極4間及び第4の給電点27bと第2の電極4間に供給する。

その結果、前記SiH<sub>4</sub>ガスのプラズマが生成され、基板11に例えばアモルファスSiが堆積する。

#### 【0105】

前記の要領で、製膜時間を例えば10~20分間にして、前記基板11にアモルファスSi膜を形成させる。製膜後、真空容器1から前記基板11を取り出して、該アモルファスSi膜の膜厚み分布を評価する。基板11に堆積された例えばアモルファスSiの膜厚分布は、前述のように、VHFプラズマ固有の現象である定在波の発生により、正弦的な分布となる。このような、製膜試験を第2及び第4の位相可変2出力の発信器28a、28bの、それぞれ2つの出力の、それぞれの位相差をパラメータに繰り返し実施する。そして、第1の電極の長さ方向において、基板11の中央点から正弦的な膜厚分布の最大厚みの位置までの距離と前記第2及び第4の位相可変2出力の発信器28a、28b2つの出力の位相差の関係をデータとして把握する。例えば、基板11の中央点から第2の給電点27の方向へ波長の八分の一、即ち  $\lambda/8$  だけ離れた位置に設定するためのそれぞれの位相差は、例えば  $\pi/4$  及び  $3\pi/4$  であるということが把握される。

ただし、その波長  $\lambda$  は、真空中での電磁波の波長ではなく、上記製膜条件での波長  $\lambda_0$  であり、真空中での電磁波の波長  $\lambda_0$  に比べて短くなる。一般的にはSiH<sub>4</sub>ガスのプラズマでは、プラズマ中での波長  $\lambda$  と真空中での波長  $\lambda_0$  との比  $\lambda/\lambda_0$  は0.50.9程度である。

#### 【0106】

さて、前記第1および第2の予備製膜工程の結果を受けて、本製膜工程に入る。まず、図13において、予め、基板11を第2の電極4の上に設置し、図示しない真空ポンプ10を稼働させ、真空容器1内の不純物ガス等を除去した後、放電ガス供給管8からSiH<sub>4</sub>ガスを、例えば500sccm、圧力0.5Torr(66.5Pa)で供給しつつ、基板温度は80~350の範囲、例えば180に保持する。



次に、前記第1及び第3の電力供給系の第1及び第3の電力供給系の第1及び第3の位相可変2出力の発信器15a、15bのそれぞれの2つの出力の、それぞれの位相差を、第1の予備試験データで把握した1及び3に設定し、第1、第2、第3及び第4の給電点21a、21b、27a、27bに、それぞれ例えば周波数70MHzの電力800Wを供給するとともに、前記第2及び第4の電力供給系の第2及び第4の位相可変2出力の発信器28a、28bのそれぞれ2つの出力の、それぞれの位相差を、第2の予備試験データで把握した2及び4に設定し、第1、第2、第3及び第4の給電点21a、21b、27a、27bに、それぞれに例えば60MHzの200W、合計800Wを供給する。

即ち、前記第1の給電点21aに、電力200Wの第1の電圧波 $W_{11}(x, t)$ 及び電力200Wの第1の電圧波 $W_{12}(x, t)$ が、前記第2の給電点27aに電力200Wの第1の電圧波 $W_{21}(x, t)$ 及び電力200Wの第1の電圧波 $W_{22}(x, t)$ が供給される。

また、同様に、前記第3の給電点21bに、電力200Wの第2の電圧波 $W_{11}(x, t)$ 及び電力200Wの第2の電圧波 $W_{12}(x, t)$ が、前記第4の給電点27bに電力200Wの第2の電圧波 $W_{21}(x, t)$ 及び電力200Wの第2の電圧波 $W_{22}(x, t)$ が供給される。

#### 【0107】

前記第1の電極2を2分割した領域の一方の領域に4つの電圧波即ち第1の $W_{11}(x, t)$ 、第1の $W_{21}(x, t)$ 、第1の $W_{12}(x, t)$ 及び第1の $W_{22}(x, t)$ が供給されるとともに、該2分割した領域の他方の領域に4つの電圧波即ち第2の $W_{11}(x, t)$ 、第2の $W_{21}(x, t)$ 、第2の $W_{12}(x, t)$ 及び第2の $W_{22}(x, t)$ が供給されると、前述のように、それぞれ、第1の $W_{11}(x, t)$ と第1の $W_{21}(x, t)$ は干渉して第1の合成波 $W_1(x, t)$ を形成し、第1の $W_{12}(x, t)$ と第1の $W_{22}(x, t)$ は干渉して第1の合成波 $W_2(x, t)$ を形成する。また、第2の $W_{11}(x, t)$ と第2の $W_{21}(x, t)$ は干渉して第2の合成波 $W_1(x, t)$ を形成し、第2の $W_{12}(x, t)$ と第2の $W_{22}(x, t)$ は干渉して第2の合成波 $W_2(x, t)$ を形成する。

ただし、第1、第2、第3及び第4の発信器15a、15b、28a、28bは互いに独立した電源なので、第1の $W_{11}(x, t)$ は、第1の $W_{21}(x, t)$ 以外とは干渉しない。同様に、第1の $W_{12}(x, t)$ は、第1の $W_{22}(x, t)$ 以外とは干渉しない。同様に第2の $W_{11}(x, t)$ は、第2の $W_{21}(x, t)$ 以外とは干渉しない。同様に、第2の $W_{12}(x, t)$ は、第2の $W_{22}(x, t)$ 以外とは干渉しない。

したがって、一対の電極2、4間に生成される電力の強さの分布は、2分割された領域のそれぞれにおいて、合成波 $W_1(x, t)$ の強さの分布 $I_1(x, t)$ と第1の合成波 $W_2(x, t)$ の強さの分布 $I_2(x, t)$ の重ね合わせた形となる。その様子を概念的に図6に示す。

なお、前記2分割された領域の境界部分の膜厚分布は、第1及び第3の給電点21a、21bの間隔及び第2及び第4の給電点27a、27bの間隔を調整することにより改善できる。

#### 【0108】

ここで、実施例1～4と同様に、基板の中央点をx軸の原点とし、該原点から第1の給電点21を向いた方向を正の方向とすると、第1及び第2の合成波 $W_1(x, t)$ の強さの分布 $I_1(x, t)$ は、

$$\begin{aligned} I_1(x, t) &= \cos^2 \left\{ 2 \frac{x}{2} + 2 \left( \frac{\quad}{8} \right) / \quad \right\} \\ &= \cos^2 \left\{ 2 \frac{x}{2} + \quad / 4 \right\} \end{aligned}$$

第1及び第2の合成波 $W_2(x, t)$ の強さの分布 $I_2(x, t)$ は、

$$\begin{aligned} I_2(x, t) &= \cos^2 \left\{ 2 \frac{x}{2} - 2 \left( \frac{\quad}{8} \right) / \quad \right\} \\ &= \cos^2 \left\{ 2 \frac{x}{2} - \quad / 4 \right\} \end{aligned}$$

一対の電極2、4間に生成される電力の強さの分布 $I(x, t)$ は、

10

20

30

40

50

$$\begin{aligned}
 I(x, t) &= \cos^2 \left\{ 2x / 2 + \quad / 4 \right\} + \cos^2 \left\{ 2x / 2 - \quad / 4 \right\} \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

## 【0109】

上記工程において、SiH<sub>4</sub>ガスがプラズマ化されると、そのプラズマ中に存在するSiH<sub>3</sub>、SiH<sub>2</sub>、SiH等のラジカルが拡散現象により拡散し、基板11の表面に吸着されることによりa-Si膜が堆積するが、一对の電極2、4間の電力の強さの分布が上述の通り一様であるので、その堆積膜は一様になる。

このことは、波長の二分の一を越えるサイズの基板を対象にした従来のVHFプラズマ表面処理装置及び方法では不可能視されている一様な膜厚分布の形成が実現可能であるということの意味している。したがって、上記のことはVHFプラズマの応用分野においては画期的な発見であり、その実用価値は著しく大きい。

10

本実施例では、電極間隔を540mm程度に設定することにより、ガラス基板サイズ：1200mm×400mm程度でのアモルファスSi膜は、製膜速度1～3nm/s程度で、膜厚分布は±10%以内の製膜が可能である。

なお、微結晶Siあるいは薄膜多結晶Si等は、製膜条件の中のSiH<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>の流量比、圧力および電力を適正化することで製膜できることは公知の技術であり、膜厚分布±10%以内の製膜が可能である。

なお、微結晶Siあるいは薄膜多結晶Si等は、製膜条件の中のSiH<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>の流量比、圧力および電力を適正化することで製膜できることは公知の技術である。

20

## 【0110】

本実施例では、実施例2で用いられた平衡不平衡変換装置と平衡伝送路を使用していないが、該平衡不平衡変換装置と平衡伝送路を用いれば、上記プラズマの一様化は、より確実になることは当然である。

## 【0111】

また、本実施例では、互いに独立の関係にある4台の第1、第2、第3及び第4の位相可変2出力の発信器15a、15b、28a、28bを用いる構成を示したが、実施例3に示したように、2台の位相可変2出力の発信器即ち第1及び第2位相可変2出力の発信器15a、15bを主たる構成部材とする前記第1及び第2の電力供給系と複数個の電力分配器を導入設置することにより、方形平板電極の一辺に設置された複数の給電点への電力供給を実施することができることは、当然である。

30

## 【0112】

(実施例6)

本発明に関する実施例6の高周波プラズマ発生用電極と該電極により構成のプラズマ表面処理装置(プラズマCVD装置)およびプラズマ表面処理方法(プラズマCVD方法)について、図14及び図15を参照して説明する。

## 【0113】

先ず、装置の構成について説明する。ただし、実施例1ないし実施例5に示した部材と同じ部材は同符番を付して説明を省略する。図14は実施例6に係わるプラズマ表面処理装置の全体を示す概略図、図15は図14図示のプラズマ表面処理装置の電力供給系配線図を示す説明図である。

40

## 【0114】

最初に、装置の概念を説明する。装置構成の特徴は、第1の電極の給電点が矩形平板型接地電極の4辺の中の1辺の近傍に配置されることである。また、第1の電極の形状が1本の棒状導体を前記第1の電極に平行な面内に含まれるように折り返して形成されるU字型の形状を有していることである。そして、U字状の棒の全長は使用電力の波長の二分の一、即ちλ/2の整数倍であるようにした構成を有することである。また、該U字型電極の曲がり部分をアルミナ等の誘電体で被覆していることである。

## 【0115】

具体的には、第1の電極2は、直径5～20mm程度のSUS棒材で構成されるU字型

50

電極を用いる。該U字の直線部の長さは1000mm程度、該直線状棒体の間隔は10~40mm程度である。U字型電極と第2の平板電極の間隔は5~50mmで任意に設定可能である。基板11には、厚み4mm程度のガラス基板面積1200mm×200mm程度のガラス基板を用いる。

#### 【0116】

次に装置の構成を説明する。図14及び図15において、第1の位相可変2出力の発信器15の2つの出力端子の一方の出力端子は、第1の電力増幅器16、第1のインピーダンス整合器17、第1の電流導入端子18及び第1の真空同軸ケーブル19の端部の芯線20を介して、第1の給電点21に接続される。該第1の真空同軸ケーブル19の端部の外部導体は第2の電極4に接続される。

10

第1の位相可変2出力の発信器15の2つの出力端子の他方の出力端子は、第2の電力増幅器22、第2のインピーダンス整合器23、第2の電流導入端子24及び第2の真空同軸ケーブル25の端部の芯線26を介して、第2の給電点27に接続される。該第2の真空同軸ケーブル19の端部の外部導体は第2の電極4に接続される。

なお、前記第1の電力増幅器16及び第2の電力増幅器22には、それぞれ出力値（進行波）のモニター及び下流側から反射して戻ってくる反射波のモニターが付属している。また、該該反射波による該第1及び第2の電力増幅器16、22本体の電気回路を防護するためのアイソレータが付属されている。

ここで、第1の位相可変2出力の発信器15の2つの出力をそれぞれ電力増幅器16、22等により、それぞれ第1及び第2の給電点21、27に供給する電力供給系を第1の電力供給系と呼ぶ。

20

#### 【0117】

また、図14及び図15において、第2の位相可変2出力の発信器28の2つの出力端子の一方の出力端子は、第3の電力増幅器29、第3のインピーダンス整合器30、第3の電流導入端子31及び第3の真空同軸ケーブル32の端部の芯線33を介して、第1の給電点21に接続される。該第3の真空同軸ケーブル32の端部の外部導体は第2の電極4に接続される。

第2の位相可変2出力の発信器28の2つの出力端子の他方の出力端子は、第4の電力増幅器34、第4のインピーダンス整合器35、第4の電流導入端子36及び第4の真空同軸ケーブル37の端部の芯線38を介して、第2の給電点27に接続される。該第2の真空同軸ケーブル19の端部の外部導体は第2の電極4に接続される。

30

なお、前記第3の電力増幅器29及び第4の電力増幅器34には、それぞれ出力値（進行波）のモニター及び下流側から反射して戻ってくる反射波のモニターが付属している。また、該該反射波による該第1及び第2の電力増幅器29、34本体の電気回路を防護するためのアイソレータが付属されている。

ここで、第2の位相可変2出力の発信器28の2つの出力をそれぞれ電力増幅器29、34等により、それぞれ第1及び第2の給電点21、27に供給する電力供給系を第2の電力供給系と呼ぶ。

#### 【0118】

次に、上記構成のプラズマ表面処理装置を用いて、a-Si太陽電池用アモルファスSi製造装置用のSiH<sub>4</sub>ガスのプラズマ発生装置及び方法を説明する。なお、本発明の実施あるいは応用では、手順として、第1及び第2の予備製膜工程と本製膜工程が必要である。第1の予備製膜工程は、前記第1の位相可変2出力の発信器15の2つの出力の位相差の設定値を把握するに必要なデータを取得ために、第2の予備製膜工程は、前記第2の位相可変2出力の発信器28の2つの出力の位相差の設定値を把握するために、本製膜工程は目的とするアモルファスSiの製造のために実施される。

40

#### 【0119】

先ず、第1の予備製膜工程であるが、図14及び図15において、予め、基板11を第2の電極4の上に設置し、図示しない真空ポンプ10を稼働させ、真空容器1内の不純物ガス等を除去した後、放電ガス供給管8からSiH<sub>4</sub>ガスを、例えば500sccm、圧

50

力  $0.5 \text{ Torr} (66.5 \text{ Pa})$  で供給しつつ、基板温度は  $80 \sim 350$  の範囲、例えば  $180$  に保持する。

そして、前記第1の電力供給系を用いて、一对の電極2、4に高周波電力を、例えば周波数  $70 \text{ MHz}$  の電力を、例えば合計で  $400 \text{ W}$  を供給する。

即ち、該第1の位相可変2出力の発信器15の2つの出力の位相差を、例えば零に設定し、第1の電力増幅器16の出力を例えば  $200 \text{ W}$  に設定して、その出力を第1のインピーダンス整合器17、第1の電流導入端子18及び真空用同軸ケーブル19を介して、第1の給電点21と第2の電極4間に供給するとともに、第2の電力増幅器22の出力を例えば  $200 \text{ W}$  に設定して、その出力を第2のインピーダンス整合器23、第2の電流導入端子24、真空用同軸ケーブル25を介して、第2の給電点27と第2の電極4間に供給する。

10

この場合、給電点21及び27から供給され電力波は、その伝播路である第1の電極の形状が中間点で折れ曲がっているため、若干影響を受けて減衰はするが、該折れ曲り部分に被覆されている誘電体膜92により、その領域での電力損失が抑制される。その結果、その伝播路にて電力波  $W_{11}(x, t)$  及び  $W_{21}(x, t)$ 、による前述の定在波が発生する。

その結果、前記  $\text{SiH}_4$  ガスのプラズマが生成され、基板11に例えば正弦的分布を持つアモルファス  $\text{Si}$  が堆積する。

#### 【0120】

前記の要領で、製膜時間を例えば  $10 \sim 20$  分間にして、前記基板11にアモルファス  $\text{Si}$  膜を形成させる。製膜後、真空容器1から前記基板11を取り出して、該アモルファス  $\text{Si}$  膜の膜厚み分布を評価する。基板11に堆積された例えばアモルファス  $\text{Si}$  の膜厚分布は、前述のように、 $\text{VHF}$  プラズマ固有の現象である定在波の発生により、正弦的な分布となる。このような、製膜試験を第1の位相可変2出力の発信器15の2つの出力の位相差をパラメータに繰り返し実施する。そして、該U字型電極2の棒のU字に沿った線分上において、該U字型電極2の中央点から正弦的な膜厚分布の最大厚みの位置までの距離と前記第1の位相可変2出力の発信器15の2つの出力の位相差の関係をデータとして把握する。例えば、該U字型電極2の中央点から第1の給電点21の方向へ波長の八分の一、即ち  $\lambda/8$  だけ離れた位置に設定するための位相差は、例えば  $\pi/4$  であるということが把握される。

20

30

ただし、その波長  $\lambda$  は、真空中での電磁波の波長ではなく、上記製膜条件での波長  $\lambda'$  であり、真空中での電磁波の波長  $\lambda_0$  に比べて短くなる。一般的には  $\text{SiH}_4$  ガスのプラズマでは、プラズマ中での波長  $\lambda'$  と真空中での波長  $\lambda_0$  との比  $\lambda'/\lambda_0$  は  $0.5 \sim 0.9$  程度である。

#### 【0121】

次に、第2の予備試験であるが、図14及び図15において、予め、基板11を第2の電極4の上に設置し、図示しない真空ポンプ10を稼働させ、真空容器1内の不純物ガス等を除去した後、放電ガス供給管8から  $\text{SiH}_4$  ガスを、例えば  $500 \text{ sccm}$ 、圧力  $0.5 \text{ Torr} (66.5 \text{ Pa})$  で供給しつつ、基板温度は  $80 \sim 350$  の範囲、例えば  $180$  に保持する。

40

そして、前記第2の電力供給系を用いて、一对の電極2、4に高周波電力を、例えば周波数  $70 \text{ MHz}$  の電力を、例えば合計で  $400 \text{ W}$  を供給する。

即ち、該第2の位相可変2出力の発信器28の2つの出力の位相差を零に設定し、第3の電力増幅器29の出力を  $200 \text{ W}$  に設定して、その出力を第3のインピーダンス整合器30、第3の電流導入端子31及び真空用同軸ケーブル32を介して、第1の給電点21と第2の電極4間に供給するとともに、第4の電力増幅器34の出力を  $200 \text{ W}$  に設定して、その出力を第4のインピーダンス整合器35、第4の電流導入端子36、真空用同軸ケーブル37を介して、第2の給電点27と第2の電極4間に供給する。

この場合、給電点21及び27から供給され電力波は、その伝播路である第1の電極の形状が中間点で折れ曲がっているため、若干影響を受けて減衰はするが、該折れ曲り部分

50

に被覆されている誘電体膜 9 2 により、その領域での電力損失が抑制される。その結果、その伝播路にて電力波  $W_{12}(x, t)$  及び  $W_{22}(x, t)$  による前述の定在波が発生する。

その結果、前記  $SiH_4$  ガスのプラズマが生成され、基板 1 1 に例えば正弦的分布を持つアモルファス  $Si$  が堆積する。

#### 【0122】

前記の要領で、製膜時間を例えば 10 ~ 20 分間にして、前記基板 1 1 にアモルファス  $Si$  膜を形成させる。製膜後、真空容器 1 から前記基板 1 1 を取り出して、該アモルファス  $Si$  膜の膜厚み分布を評価する。基板 1 1 に堆積された例えばアモルファス  $Si$  の膜厚分布は、前述のように、VHF プラズマ固有の現象である定在波の発生により、正弦的な分布となる。このような、製膜試験を第 2 の位相可変 2 出力の発信器 2 8 の 2 つの出力の位相差をパラメータに繰り返し実施する。そして、該 U 字型電極 2 の棒の U 字に沿った線分上において、該 U 字型電極 2 の中央点から正弦的な膜厚分布の最大厚みの位置までの距離と前記第 2 の位相可変 2 出力の発信器 2 8 の 2 つの出力の位相差の関係をデータとして把握する。例えば、該 U 字型電極 2 の中央点から第 2 の給電点 2 7 の方向へ波長の八分の一、即ち  $\lambda/8$  だけ離れた位置に設定するための位相差は、例えば  $\pi/2$  であるということが把握される。

ただし、その波長  $\lambda$  は、真空中での電磁波の波長ではなく、上記製膜条件での波長  $\lambda'$  であり、真空中での電磁波の波長  $\lambda_0$  に比べて短くなる。一般的には  $SiH_4$  ガスのプラズマでは、プラズマ中での波長  $\lambda'$  と真空中での波長  $\lambda_0$  との比  $\lambda'/\lambda_0$  は 0.5 ~ 0.9 程度である。

#### 【0123】

さて、前記第 1 および第 2 の予備製膜工程の結果を受けて、本製膜工程に入る。先ず、図 1 2 において、予め、基板 1 1 を第 2 の電極 4 の上に設置し、図示しない真空ポンプ 1 0 を稼働させ、真空容器 1 内の不純物ガス等を除去した後、放電ガス供給管 8 から  $SiH_4$  ガスを、例えば 500 sccm、圧力 0.5 Torr (66.5 Pa) で供給しつつ、基板温度は 80 ~ 350 の範囲、例えば 180 に保持する。

次に、前記第 1 の電力供給系の構成部材の第 1 の位相可変 2 出力の発信器 1 5 の 2 つの出力の位相差を、第 1 の予備試験データで把握した  $\theta_1$  に設定し、第 1 及び第 2 の給電点 2 1、2 7 に、それぞれ例えば周波数 70 MHz の電力合計 400 W を供給するとともに、前記第 2 の電力供給系の構成部材の第 2 の位相可変 2 出力の発信器 2 8 の 2 つの出力の位相差を、第 2 の予備試験データで把握した  $\theta_2$  に設定し、第 1 及び第 2 の給電点 2 1、2 7 に、例えば 70 MHz の電力合計 400 W を供給する。

即ち、前記第 1 の給電点 2 1 に、電力 200 W の電圧波  $W_{11}(x, t)$  及び電力 200 W の電圧波  $W_{12}(x, t)$  が、前記第 2 の給電点 2 7 に電力 200 W の  $W_{21}(x, t)$  及び電力 200 W の電圧波  $W_{22}(x, t)$  が供給される。

ここで、第 1 の予備製膜工程及び第 2 の予備製膜工程では問題にならなかった第 1 のインピーダンス整合器 1 7、第 2 のインピーダンス整合器 2 3、第 3 のインピーダンス整合器 3 0 及び第 4 のインピーダンス整合器 3 5 の整合調整が上手くいかない場合には、第 1 あるいは第 2 の位相可変 2 出力の発信器のどちらか一方の発振周波数を他方の発振周波数と若干異なる数値に変更すればよい。例えば、上記の例では、70 MHz と 71 ~ 73 MHz 程度、例えば 72 MHz とすれば良い。なお、インピーダンス整合器の整合調整が上手くいかない原因は、使用する構成機器の性能、即ちインピーダンス整合器の上流側の電力増幅器の耐反射波機能上の制約によることが多い。

#### 【0124】

前記一対の電極 2、4 間に 4 つの電圧波が供給されると、前述のように、 $W_{11}(x, t)$  と  $W_{21}(x, t)$  は干渉して合成波  $W_1(x, t)$  を形成し、 $W_{12}(x, t)$  と  $W_{22}(x, t)$  は干渉して合成波  $W_2(x, t)$  を形成する。ただし、第 1 及び第 2 の発信器 1 5、2 8 は互いに独立した電源なので、 $W_{11}(x, t)$  は、 $W_{12}(x, t)$  及び  $W_{22}(x, t)$  とは干渉しない。また、同様に、 $W_{21}(x, t)$  は、 $W_{12}(x$

10

20

30

40

50

、 $t$ )及び $W_2(x, t)$ と干渉しない。

したがって、一対の電極2、4間に生成される電力の強さの分布は、合成波 $W_1(x, t)$ の強さの分布 $I_1(x, t)$ と合成波 $W_2(x, t)$ の強さの分布 $I_2(x, t)$ の重ね合わせた形となる。その様子を概念的に図6に示す。

ここで、該U字型電極2の中央点を $x$ 軸の原点とし、該原点からU字に沿った線分上において、第1の給電点21を向いた方向を正の方向とすると、合成波 $W_1(x, t)$ の強さの分布 $I_1(x, t)$ は、

$$I_1(x, t) = \cos^2 \left\{ 2 \frac{x}{2} + 2 \left( \frac{\lambda}{8} \right) / \right\} \\ = \cos^2 \left\{ 2 \frac{x}{2} + \frac{\lambda}{4} \right\}$$

合成波 $W_2(x, t)$ の強さの分布 $I_2(x, t)$ は、

$$I_2(x, t) = \cos^2 \left\{ 2 \frac{x}{2} - 2 \left( \frac{\lambda}{8} \right) / \right\} \\ = \cos^2 \left\{ 2 \frac{x}{2} - \frac{\lambda}{4} \right\}$$

一対の電極2、4間に生成される電力の強さの分布 $I(x, t)$ は、

$$I(x, t) \\ = \cos^2 \left\{ 2 \frac{x}{2} + \frac{\lambda}{4} \right\} + \cos^2 \left\{ 2 \frac{x}{2} - \frac{\lambda}{4} \right\} \\ = 1$$

#### 【0125】

上記工程において、 $SiH_4$ ガスがプラズマ化されると、そのプラズマ中に存在する $SiH_3$ 、 $SiH_2$ 、 $SiH$ 等のラジカルが拡散現象により拡散し、基板11の表面に吸着されることにより $a-Si$ 膜が堆積するが、一対の電極2、4間の電力の強さの分布が上述の通り一様であるので、その堆積膜は一様になる。このことはVHFプラズマの応用分野においては画期的な発見であり、実用価値は著しく大きい。

即ち、インライン型やマルチチャンパー形やロール・ツー・ロール型のプラズマ表面処理装置の高生産性化のためのプラズマ発生装置の改善において求められている矩形型の第1の電極の一つの辺の近傍のみからVHF電力を供給する手段

に関する一つの新規手段として実現が可能である。このことは、該プラズマ表面処理装置本体の断面を、その基板搬送方向に直交する断面で見た場合、その断面が例えば矩形状の断面であれば、該矩形断面の4辺の中の1辺のみを用いたVHFプラズマ生成用の新規給電手段が実現可能である。

本実施例では、第1及び第2の電極の間隔を540mm程度に設定することにより、ガラス基板の面積：1200mm×200mm程度でのアモルファス $Si$ 膜は、製膜速度1~3nm/s程度で、膜厚分布は±10%以内の製膜が可能である。

なお、微結晶 $Si$ あるいは薄膜多結晶 $Si$ 等は、製膜条件の中の $SiH_4$ 、 $H_2$ の流量比、圧力および電力を適正化することで製膜できることは公知の技術であり、膜厚分布±10%以内の製膜が可能である。

#### 【0126】

本実施例では、実施例2で用いられた平衡不平衡変換装置と平衡伝送路を使用していないが、該平衡不平衡変換装置と平衡伝送路を用いれば、上記プラズマの一様化は、より確実になることは当然である。

#### 【0127】

(実施例7)

本発明に関する実施例7の高周波プラズマ発生用電極と該電極により構成のプラズマ表面処理装置(プラズマCVD装置)およびプラズマ表面処理方法(プラズマCVD方法)について、図16を参照して説明する。図16は実施例7に係わるプラズマ表面処理装置の全体を示す概略図である。

#### 【0128】

本装置の特徴は、図16に示すように、実施例6で説明したU字型第1電極を複数個、例えば2個を第2の電極に平行な面内に含まれるように設置し、該複数のU字型第1電極のそれぞれの端部に第1及び第2の給電点を配置させて、かつ、それぞれの該U字型第1電極の第1及び第2の給電点に、前記第1及び第2の電力供給系の出力を供給するような

10

20

30

40

50

構成を有することである。

第16図図示の構成については、実施例1ないし実施例6に示した部材と同じ部材は同符番を付しているのので、説明は省略する。

なお、U字型電極2は直径5～20mm程度のSUS棒材で構成し、第2の電極との間隔は、5～50mm程度で任意に設定可能である。

【0129】

(実施例8)

本発明に関する実施例8の高周波プラズマ発生用電極と該電極により構成のプラズマ表面処理装置(プラズマCVD装置)およびプラズマ表面処理方法(プラズマCVD方法)について、図17を参照して説明する。図17は実施例8に係わるプラズマ表面処理装置の全体を示す概略図である。

10

【0130】

本装置の特徴は、第1の電極の給電点が矩形平板型接地電極の4辺の中の1辺の近傍に配置されていること及び第1の電極の形状が1本の棒状導体を前記第1の電極に平行な面内に含まれるように折り返して形成されるW字型の形状を有し、かつ、W字の全長は使用電力の波長の二分の一、即ち $\lambda/2$ の整数倍であるようにした構成を有することである。

実施例8の装置は、図17に示すように、W字型第1電極のそれぞれの端部に、第1及び第2の給電点を配置させ、該第1及び第2の給電点に前記第1及び第2の電力供給系の出力を供給するような構成を有している。

20

図17図示の構成については、前記実施例1ないし実施例7に示した部材と同じ部材で構成され、同符番を付しているのので、説明を省略する。なお、W字型電極2は、直径5～20mm程度のSUS棒材で構成し、第2の平板電極との間隔は5～50mmで任意に設定可能である。

【0131】

(実施例9)

本発明に関する実施例9の高周波プラズマ発生用電極と該電極により構成のプラズマ表面処理装置(プラズマCVD装置)およびプラズマ表面処理方法(プラズマCVD方法)について、図18を参照して説明する。図18は実施例9に係わるプラズマ表面処理装置の全体を示す概略図である。

30

【0132】

本実施例の装置は、円筒形の基板を対象にしたプラズマ表面処理装置に用いられる高周波プラズマ発生用電極であり、その構成は、図18に示すように、実施例8で説明したW字型の第1電極を複数個、例えば2個を円筒形状を有する第2の電極を外套状に取り囲む円筒の面内に含まれるように設置し、該複数のW字型第1電極のそれぞれの端部に第1及び第2の給電点を配置させて、かつ、それぞれの該W字型第1電極の第1及び第2の給電点に、前記第1及び第2の電力供給系の出力を供給するような構成を有することである。そして、それぞれのW字型電極の全長は使用電力の波長の二分の一、即ち $\lambda/2$ の整数倍であるようにした構成を有することである。

図18図示の構成については、実施例1ないし実施例8に示した部材と同じ部材で構成され、同符番を付しているのので、説明は省略する。なお、W字型電極2は、直径5～20mm程度のSUS棒材で構成し、第2の平板電極との間隔は5～50mmで任意に設定可能である。

40

【0133】

(実施例10)

本発明に関する実施例10の高周波プラズマ発生用電極と該電極により構成のプラズマ表面処理装置(プラズマCVD装置)およびプラズマ表面処理方法(プラズマCVD方法)について、図19を参照して説明する。

【0134】

先ず、装置の構成について説明する。ただし、前記実施例1ないし実施例9

50

に示した部材と同じ部材は同符番を付して説明を省略する。図 19 は実施例 10 に係わるプラズマ表面処理装置の全体を示す概略図である。

【0135】

最初に、装置の概念を説明する。装置構成の特徴の一つは、第 1 の電極の給電点が第 2 の電極である矩形平板型電極の 4 辺の中の 1 辺の近傍に配置されることである。また、該特徴の一つは、第 1 の電極の形状が長方形であり、該長方形型の平板の 2 つの短辺の一方を楔形とし、該 2 つの短辺の他方の中央点に該長方形電極の長辺に平行方向にスリットを設置し、かつ、該スリットで分割された該短辺に、それぞれ第 1 及び第 2 の給電点を配置させるという構成を有することである。

【0136】

次に装置の構成を説明する。図 19 において、符番 2 は第 1 の電極であり、形状が長方形であり、該長方形型の平板の 2 つの短辺の一方を楔形 90 とし、該 2 つの短辺の他方の中央点に該長方形電極の長辺に平行方向にスリット 91 を設置し、かつ、該スリットで分割された該短辺に、それぞれ第 1 及び第 2 の給電点 21、27 を配置させる。また、該第 1 の電極 2 の楔形 90 の形状を有する領域の第 2 の電極 4 側表面を、アルミナ等の誘電体膜 92 で被覆する。

図 19 において、第 1 の位相可変 2 出力の発信器 15 の 2 つの出力端子の一方の出力端子は、第 1 の電力増幅器 16、第 1 のインピーダンス整合器 17、第 1 の電流導入端子 18 及び第 1 の真空同軸ケーブル 19 の端部の芯線 20 を介して、第 1 の給電点 21 に接続される。該第 1 の真空同軸ケーブル 19 の端部の外部導体は第 2 の電極 4 に接続される。

第 1 の位相可変 2 出力の発信器 15 の 2 つの出力端子の他方の出力端子は、第 2 の電力増幅器 22、第 2 のインピーダンス整合器 23、第 2 の電流導入端子 24 及び第 2 の真空同軸ケーブル 25 の端部の芯線 26 を介して、第 2 の給電点 27 に接続される。該第 2 の真空同軸ケーブル 19 の端部の外部導体は第 2 の電極 4 に接続される。

なお、前記第 1 の電力増幅器 16 及び第 2 の電力増幅器 22 には、それぞれ出力値（進行波）のモニター及び下流側から反射して戻ってくる反射波のモニターが付属している。また、該該反射波による該第 1 及び第 2 の電力増幅器 16、22 本体の電気回路を防護するためのアイソレータが付属されている。

ここで、第 1 の位相可変 2 出力の発信器 15 の 2 つの出力をそれぞれ電力増幅器 16、22 等により、それぞれ第 1 及び第 2 の給電点 21、27 に供給する電力供給系を第 1 の電力供給系と呼ぶ。

【0137】

また、図 19 において、第 2 の位相可変 2 出力の発信器 28 の 2 つの出力端子の一方の出力端子は、第 3 の電力増幅器 29、第 3 のインピーダンス整合器 30、第 3 の電流導入端子 31 及び第 3 の真空同軸ケーブル 32 の端部の芯線 33 を介して、第 1 の給電点 21 に接続される。該第 3 の真空同軸ケーブル 32 の端部の外部導体は第 2 の電極 4 に接続される。

第 2 の位相可変 2 出力の発信器 28 の 2 つの出力端子の他方の出力端子は、第 4 の電力増幅器 34、第 4 のインピーダンス整合器 35、第 4 の電流導入端子 36 及び第 4 の真空同軸ケーブル 37 の端部の芯線 38 を介して、第 2 の給電点 27 に接続される。該第 2 の真空同軸ケーブル 19 の端部の外部導体は第 2 の電極 4 に接続される。

なお、前記第 3 の電力増幅器 29 及び第 4 の電力増幅器 34 には、それぞれ出力値（進行波）のモニター及び下流側から反射して戻ってくる反射波のモニターが付属している。また、該該反射波による該第 1 及び第 2 の電力増幅器 29、34 本体の電気回路を防護するためのアイソレータが付属されている。

ここで、第 2 の位相可変 2 出力の発信器 28 の 2 つの出力をそれぞれ電力増幅器 29、34 等により、それぞれ第 1 及び第 2 の給電点 21、27 に供給する電力供給系を第 2 の電力供給系と呼ぶ。

【0138】

次に、上記構成のプラズマ表面処理装置を用いて、a - Si 太陽電池用アモルファス S

10

20

30

40

50



i 製造装置用の SiH<sub>4</sub> ガスのプラズマ発生装置及び方法を説明する。なお、本発明の実施あるいは応用では、手順として、第 1 及び第 2 の予備製膜工程と本製膜工程が必要である。第 1 の予備製膜工程は、前記第 1 の位相可変 2 出力の発信器 15 の 2 つの出力の位相差の設定値を把握するに必要なデータを取得するために、第 2 の予備製膜工程は、前記第 2 の位相可変 2 出力の発信器 28 の 2 つの出力の位相差の設定値を把握するために、本製膜工程は目的とするアモルファス Si の製造のために実施される。

【0139】

先ず、第 1 の予備製膜工程であるが、図 19 において、予め、基板 11 を第 2 の電極 4 の上に設置し、図示しない真空ポンプ 10 を稼働させ、真空容器 1 内の不純物ガス等を除去した後、放電ガス供給管 8 から SiH<sub>4</sub> ガスを、例えば 500 sccm、圧力 0.5 Torr (66.5 Pa) で供給しつつ、基板温度は 80 ~ 350 の範囲、例えば 180 に保持する。

10

そして、前記第 1 の電力供給系を用いて、一对の電極 2、4 に高周波電力を、例えば周波数 70 MHz の電力を、例えば合計で 400 W を供給する。

即ち、該第 1 の位相可変 2 出力の発信器 15 の 2 つの出力の位相差を零に設定し、第 1 の電力増幅器 16 の出力を例えば 200 W に設定して、その出力を第 1 のインピーダンス整合器 17、第 1 の電流導入端子 18 及び真空用同軸ケーブル 19 を介して、第 1 の給電点 21 と第 2 の電極 4 間に供給するとともに、第 2 の電力増幅器 22 の出力を例えば 200 W に設定して、その出力を第 2 のインピーダンス整合器 23、第 2 の電流導入端子 24、真空用同軸ケーブル 25 を介して、第 2 の給電点 27 と第 2 の電極 4 間に供給する。

20

この場合、給電点 21 及び 27 から供給され電力波は、その伝播路である第 1 の電極の形状が中間点で折れ曲がっているため、若干影響を受けて減衰はするが、該折れ曲り部分が楔形 90 の形状であるため電力波が斜めに反射しながら伝播するので、対向地点へ伝播する。また、該楔形 90 の形状を有する領域の第 2 の電極 4 側表面に被覆されている誘電体膜 92 により、その領域での電力損失が抑制される。その結果、その伝播路にて電力波  $W_{11}(x, t)$  及び  $W_{21}(x, t)$ 、による前述の定在波が発生する。

その結果、前記 SiH<sub>4</sub> ガスのプラズマが生成され、基板 11 に例えば正弦的分布を持つアモルファス Si が堆積する。

【0140】

前記の要領で、製膜時間を例えば 10 ~ 20 分間にして、前記基板 11 にアモルファス Si 膜を形成させる。製膜後、真空容器 1 から前記基板 11 を取り出して、該アモルファス Si 膜の膜厚み分布を評価する。基板 11 に堆積された例えばアモルファス Si の膜厚分布は、前述のように、VHF プラズマ固有の現象である定在波の発生により、正弦的な分布となる。このような、製膜試験を第 1 の位相可変 2 出力の発信器 15 の 2 つの出力の位相差をパラメータに繰り返し実施する。そして、第 1 の電極 2 の長さ方向において、基板 11 の中央点から正弦的な膜厚分布の最大厚みの位置までの距離と前記第 1 の位相可変 2 出力の発信器 15 の 2 つの出力の位相差の関係をデータとして把握する。例えば、基板 11 の中央点、即ち該楔形 90 の頂点とスリットを結ぶラインから第 1 の給電点 21 の方向へ波長  $\lambda$  の八分の一、即ち  $\lambda/8$  だけ離れた位置に設定するための位相差は、例えば  $\pi/4$  であるということが把握される。

30

40

ただし、その波長  $\lambda$  は、真空中での電磁波の波長ではなく、上記製膜条件での波長  $\lambda_p$  であり、真空中での電磁波の波長  $\lambda_0$  に比べて短くなる。一般的には SiH<sub>4</sub> ガスのプラズマでは、プラズマ中での波長  $\lambda_p$  と真空中での波長  $\lambda_0$  との比  $\lambda_p/\lambda_0$  は 0.5 ~ 0.9 程度である。

【0141】

次に、第 2 の予備試験であるが、図 19 において、予め、基板 11 を第 2 の電極 4 の上に設置し、図示しない真空ポンプ 10 を稼働させ、真空容器 1 内の不純物ガス等を除去した後、放電ガス供給管 8 から SiH<sub>4</sub> ガスを、例えば 500 sccm、圧力 0.5 Torr (66.5 Pa) で供給しつつ、基板温度は 80 ~ 350 の範囲、例えば 180 に保持する。

50

そして、前記第2の電力供給系を用いて、一对の電極2、4に高周波電力を、例えば周波数70MHzの電力を、例えば合計で400Wを供給する。

即ち、該第2の位相可変2出力の発信器28の2つの出力の位相差を零に設定し、第3の電力増幅器29の出力を200Wに設定して、その出力を第3のインピーダンス整合器30、第3の電流導入端子31及び真空用同軸ケーブル32を介して、第1の給電点21と第2の電極4間に供給するとともに、第4の電力増幅器34の出力を200Wに設定して、その出力を第4のインピーダンス整合器35、第4の電流導入端子36、真空用同軸ケーブル37を介して、第2の給電点27と第2の電極4間に供給する。

この場合、給電点21及び27から供給され電力波は、その伝播路である第1の電極の形状が中間点で折れ曲がっているため、若干影響を受けて減衰はするが、該折れ曲り部分が楔形90の形状であるため電力波が斜めに反射しながら伝播するので、対向地点へ伝播する。また、該楔形90の形状を有する領域の第2の電極4側表面に被覆されている誘電体膜92により、その領域での電力損失が抑制される。その結果、その伝播路にて電力波 $W_{12}(x, t)$ 及び $W_{22}(x, t)$ による前述の定在波が発生する。

その結果、前記SiH4ガスのプラズマが生成され、基板11に例えば正弦的分布を持つアモルファスSiが堆積する。

#### 【0142】

前記の要領で、製膜時間を例えば10～20分間にして、前記基板11にアモルファスSi膜を形成させる。製膜後、真空容器1から前記基板11を取り出して、該アモルファスSi膜の膜厚み分布を評価する。基板11に堆積された例えばアモルファスSiの膜厚分布は、前述のように、VHFプラズマ固有の現象である定在波の発生により、正弦的な分布となる。このような、製膜試験を第2の位相可変2出力の発信器28の2つの出力の位相差をパラメータに繰り返し実施する。そして、第1の電極の長さ方向において、基板11の中央点から正弦的な膜厚分布の最大厚みの位置までの距離と前記第2の位相可変2出力の発信器28の2つの出力の位相差の関係をデータとして把握する。例えば、基板11の中央点、即ち該楔形90の頂点とスリットを結ぶラインから第2の給電点27の方向へ波長の八分の一、即ち $\lambda/8$ だけ離れた位置に設定するための位相差は、例えば2であるということが把握される。

ただし、その波長 $\lambda$ は、真空中での電磁波の波長ではなく、上記製膜条件での波長 $\lambda_0$ であり、真空中での電磁波の波長 $\lambda_0$ に比べて短くなる。一般的にはSiH4ガスのプラズマでは、プラズマ中での波長 $\lambda$ と真空中での波長 $\lambda_0$ との比 $\lambda/\lambda_0$ は0.5～0.9程度である。

#### 【0143】

さて、前記第1および第2の予備製膜工程の結果を受けて、本製膜工程に入る。まず、図19において、予め、基板11を第2の電極4の上に設置し、図示しない真空ポンプ10を稼働させ、真空容器1内の不純物ガス等を除去した後、放電ガス供給管8からSiH4ガスを、例えば500sccm、圧力0.5Torr(66.5Pa)で供給しつつ、基板温度は80～350℃の範囲、例えば180℃に保持する。

次に、前記第1の電力供給系の構成部材の第1の位相可変2出力の発信器15の2つの出力の位相差を、第1の予備試験データで把握した $\phi_1$ に設定し、第1及び第2の給電点21、27に、それぞれ例えば周波数70MHzの電力合計400Wを供給するとともに、前記第2の電力供給系の構成部材の第2の位相可変2出力の発信器28の2つの出力の位相差を、第2の予備試験データで把握した $\phi_2$ に設定し、第1及び第2の給電点21、27に、例えば70MHzの電力合計400Wを供給する。

即ち、前記第1の給電点21に、電力200Wの電圧波 $W_{11}(x, t)$ 及び電力200Wの電圧波 $W_{12}(x, t)$ が、前記第2の給電点27に電力200Wの $W_{21}(x, t)$ 及び電力200Wの電圧波 $W_{22}(x, t)$ が供給される。

ここで、第1の予備製膜工程及び第2の予備製膜工程では問題にならなかった第1のインピーダンス整合器17、第2のインピーダンス整合器23、第3のインピーダンス整合器30及び第4のインピーダンス整合器35の整合調整が上手くいかない場合には、第1

10

20

30

40

50

あるいは第2の位相可変2出力の発信器のどちらか一方の発振周波数を他方の発振周波数と若干異なる数値に変更すればよい。例えば、上記の例では、70 MHzと71～73 MHz程度、例えば72 MHzとすれば良い。なお、インピーダンス整合器の整合調整が上手くいかない原因は、使用する構成機器の性能、即ちインピーダンス整合器の上流側の電力増幅器の耐反射波機能上の制約によることが多い。

#### 【0144】

前記一对の電極2、4間に4つの電圧波が供給されると、前述のように、 $W_{11}(x, t)$ と $W_{21}(x, t)$ は干渉して合成波 $W_1(x, t)$ を形成し、 $W_{12}(x, t)$ と $W_{22}(x, t)$ は干渉して合成波 $W_2(x, t)$ を形成する。ただし、第1及び第2の発信器15、28は互いに独立した電源なので、 $W_{11}(x, t)$ は、 $W_{12}(x, t)$ 及び $W_{22}(x, t)$ とは干渉しない。また、同様に、 $W_{21}(x, t)$ は、 $W_{12}(x, t)$ 及び $W_{22}(x, t)$ と干渉しない。

10

したがって、一对の電極2、4間に生成される電力の強さの分布は、合成波 $W_1(x, t)$ の強さの分布 $I_1(x, t)$ と合成波 $W_2(x, t)$ の強さの分布 $I_2(x, t)$ の重ね合わせた形となる。その様子を概念的に図6に示す。

ここで、基板の中央点、即ち該楔形90の頂点とスリットを結ぶラインをx軸の原点とし、該原点から第1の給電点21を向いた方向を正の方向とすると、合成波 $W_1(x, t)$ の強さの分布 $I_1(x, t)$ は、

$$I_1(x, t) = \cos^2 \left\{ 2 \left( \frac{x}{2} + \frac{t}{8} \right) / \right\} \\ = \cos^2 \left\{ 2 \left( \frac{x}{2} + \frac{t}{4} \right) / \right\}$$

20

合成波 $W_2(x, t)$ の強さの分布 $I_2(x, t)$ は、

$$I_2(x, t) = \cos^2 \left\{ 2 \left( \frac{x}{2} - \frac{t}{8} \right) / \right\} \\ = \cos^2 \left\{ 2 \left( \frac{x}{2} - \frac{t}{4} \right) / \right\}$$

一对の電極2、4間に生成される電力の強さの分布 $I(x, t)$ は、

$$I(x, t) \\ = \cos^2 \left\{ 2 \left( \frac{x}{2} + \frac{t}{4} \right) / \right\} + \cos^2 \left\{ 2 \left( \frac{x}{2} - \frac{t}{4} \right) / \right\} \\ = 1$$

#### 【0145】

上記工程において、SiH<sub>4</sub>ガスがプラズマ化されると、そのプラズマ中に存在するSiH<sub>3</sub>、SiH<sub>2</sub>、SiH等のラジカルが拡散現象により拡散し、基板11の表面に吸着されることによりa-Si膜が堆積するが、一对の電極2、4間の電力の強さの分布が上述の通り一様であるので、その堆積膜は一様になる。このことはVHFプラズマの応用分野においては画期的な発見であり、実用価値は著しく大きい。

30

即ち、インライン型やマルチチャンバー形やロール・ツー・ロール型のプラズマ表面処理装置の高生産性化のためのプラズマ発生装置の改善において求められている矩形型の第1の電極の一つの辺の近傍のみからVHF電力を供給する手段に関する一つの新規手段として実現が可能である。このことは、該プラズマ表面処理装置本体の断面を、その基板搬送方向に直交する断面で見た場合、その断面が例えば矩形状の断面であれば、該矩形断面の4辺の中の1辺のみを用いたVHFプラズマ生成用の新規給電手段が実現可能である。

40

本実施例では、第1及び第2の電極の間隔を540 mm程度に設定することにより、ガラス基板サイズ：1200 mm x 400 mm程度でのアモルファスSi製膜は、製膜速度1～3 nm/s程度で、膜厚分布は±10%以内の製膜が可能である。

なお、微結晶Siあるいは薄膜多結晶Si等は、製膜条件の中のSiH<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>の流量比、圧力および電力を適正化することで製膜できることは公知の技術であり、膜厚分布±10%以内の製膜が可能である。

#### 【0146】

本実施例では、実施例2で用いられた平衡不平衡変換装置と平衡伝送路を使用していないが、該平衡不平衡変換装置と平衡伝送路を用いることにより、上記プラズマの一様化は、より確実にすることは当然である。

50

## 【図面の簡単な説明】

## 【0147】

- 【図1】図1は実施例1に係わるプラズマ表面処理装置の全体を示す概略図。  
 【図2】図1図示のプラズマ表面処理装置の第1及び第2の電極への給電部の説明図。  
 【図3】一対の電極間に発生する電圧の定在波を示す説明図。  
 【図4】一対の電極間に発生する電圧の定在波の腹の位置を示す説明図。  
 【図5】一対の電極間に発生する電圧の定在波の振幅の2乗の値を示す説明図。  
 【図6】一対の電極間に発生する2つの定在波の強さを示す説明図である。  
 【図7】図7は実施例2に係わるプラズマ表面処理装置の全体を示す概略図。  
 【図8】図7図示のプラズマ表面処理装置の第1及び第2の電極への給電部の説明図。 10  
 【図9】実施例3に係わるプラズマ表面処理装置の全体を示す概略図。  
 【図10】図9図示のプラズマ表面処理装置に用いられる第1の電力供給系の配線図。  
 【図11】図9図示のプラズマ表面処理装置に用いられる第2の電力供給系の配線図。  
 【図12】図12は実施例4に係わるプラズマ表面処理装置の全体を示す概略図。  
 【図13】実施例5に係わるプラズマ表面処理装置の全体を示す概略図。  
 【図14】実施例6に係わるプラズマ表面処理装置の全体を示す概略図。  
 【図15】図14図示のプラズマ表面処理装置の電力供給系配線図を示す説明図。  
 【図16】実施例7に係わるプラズマ表面処理装置の全体を示す概略図。  
 【図17】実施例8に係わるプラズマ表面処理装置の全体を示す概略図。  
 【図18】実施例9に係わるプラズマ表面処理装置の全体を示す概略図。 20  
 【図19】実施例10に係わるプラズマ表面処理装置の全体を示す概略図。

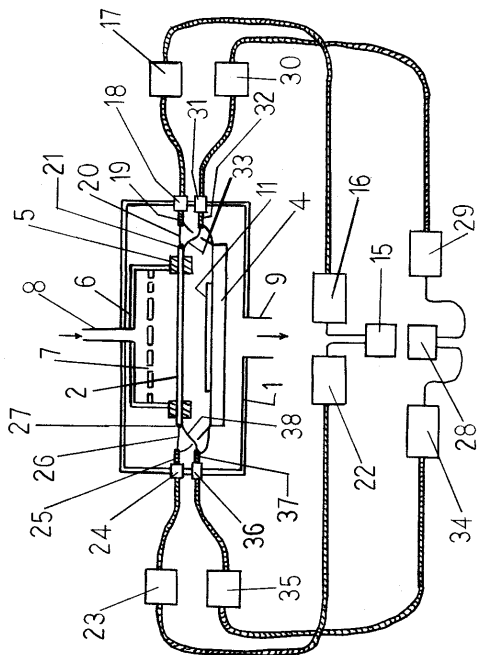
## 【符号の説明】

## 【0148】

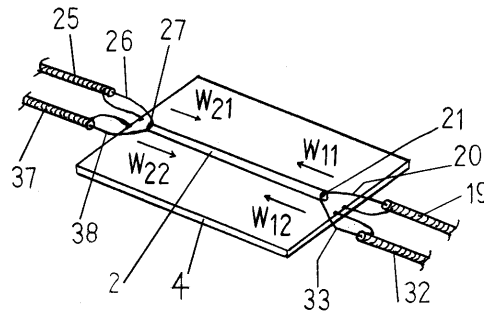
- 1 . . . 真空容器、  
 2 . . . 第1の電極、  
 3 . . . 図示しない基板ヒータ、  
 4 . . . 第2の電極、  
 5 . . . 絶縁物支持材、  
 6 . . . ガス混合箱、  
 7 . . . 整流孔、 30  
 8 . . . 放電ガス供給管、  
 9 . . . 排気管、  
 10 . . . 図示しない真空ポンプ、  
 11 . . . 基板、  
 12 . . . 図示しないゲートバルブ、  
 15 . . . 第1の位相可変2出力発信器、  
 16 . . . 第1の電力増幅器、  
 17 . . . 第1のインピーダンス整合器、  
 18 . . . 第1の電流導入端子、  
 19 . . . 第1の真空用同軸ケーブル、 40  
 20 . . . 第1の真空用同軸ケーブルの芯線、  
 21 . . . 第1の給電点、  
 22 . . . 第2の電力増幅器、  
 23 . . . 第2のインピーダンス整合器、  
 24 . . . 第2の電流導入端子、  
 25 . . . 第2の真空用同軸ケーブル、  
 26 . . . 第2の真空用同軸ケーブルの芯線、  
 27 . . . 第2の給電点、  
 28 . . . 第2の位相可変2出力発信器、  
 29 . . . 第3の電力増幅器、 50

- 30 . . . 第3のインピーダンス整合器、
- 31 . . . 第3の電流導入端子、
- 32 . . . 第3の真空用同軸ケーブル、
- 33 . . . 第3の真空用同軸ケーブルの芯線、
- 34 . . . 第4の電力増幅器、
- 35 . . . 第4のインピーダンス整合器、
- 36 . . . 第4の電流導入端子、
- 37 . . . 第4の真空用同軸ケーブル、
- 38 . . . 第4の真空用同軸ケーブルの芯線。

【図1】

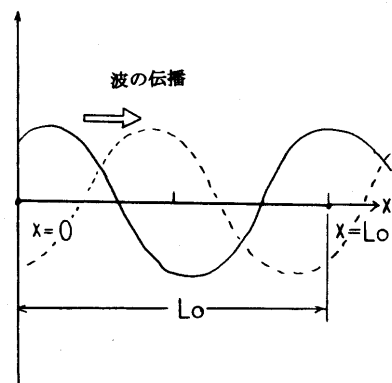


【図2】

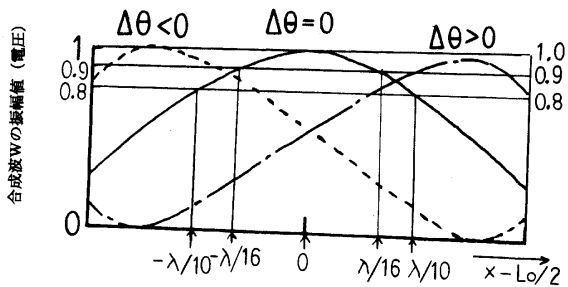


【図3】

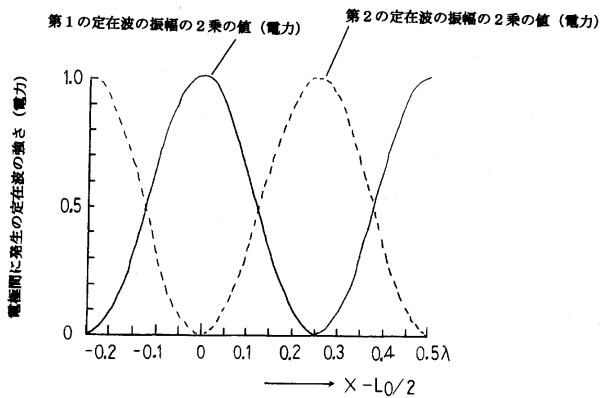
進行波の電圧



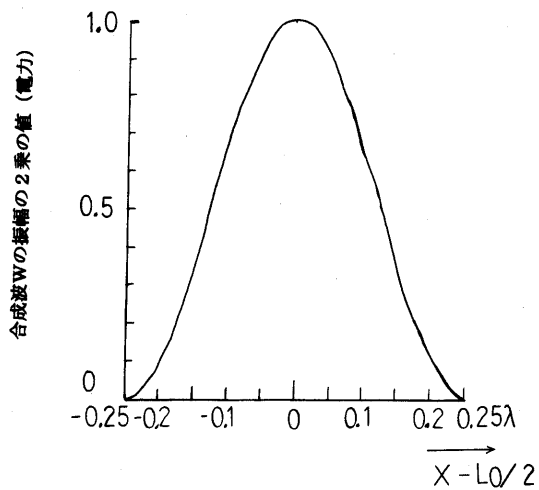
【 図 4 】



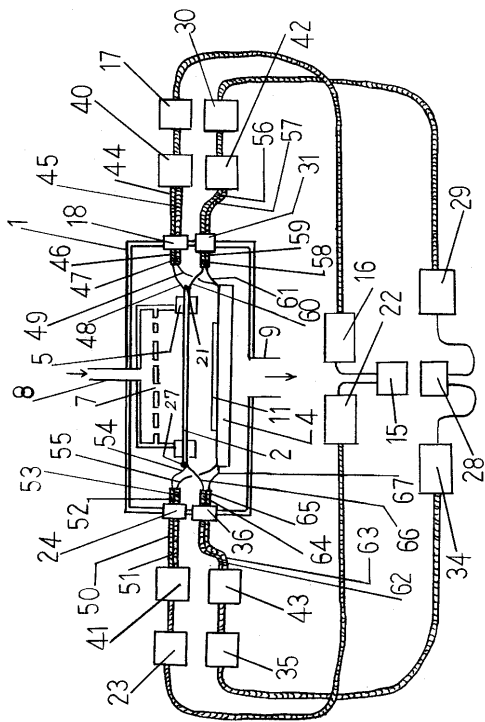
【 図 6 】



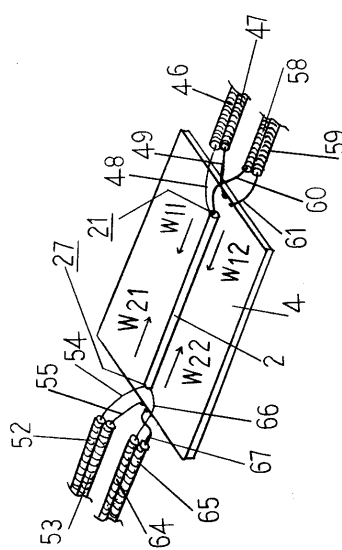
【 図 5 】



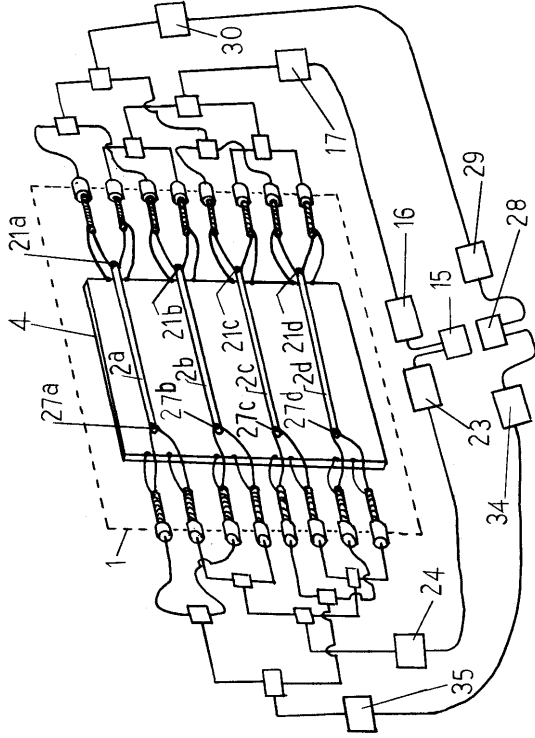
【 図 7 】



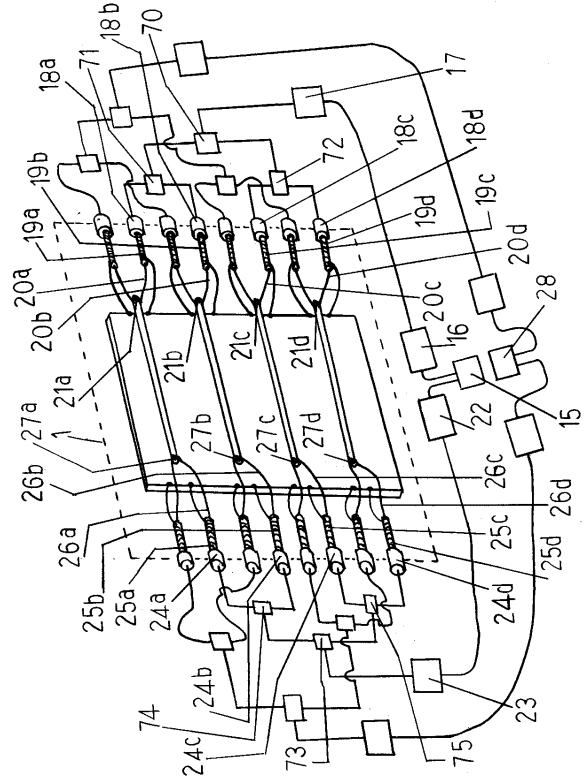
【 図 8 】



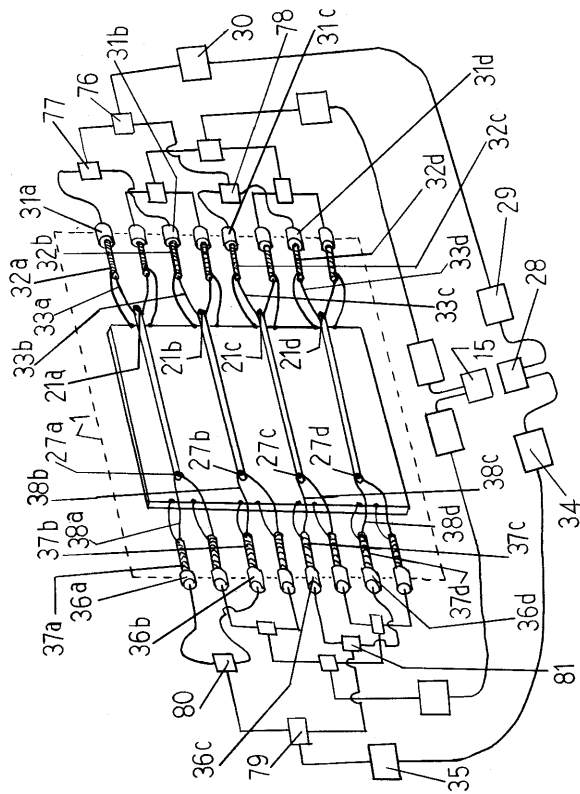
【 図 9 】



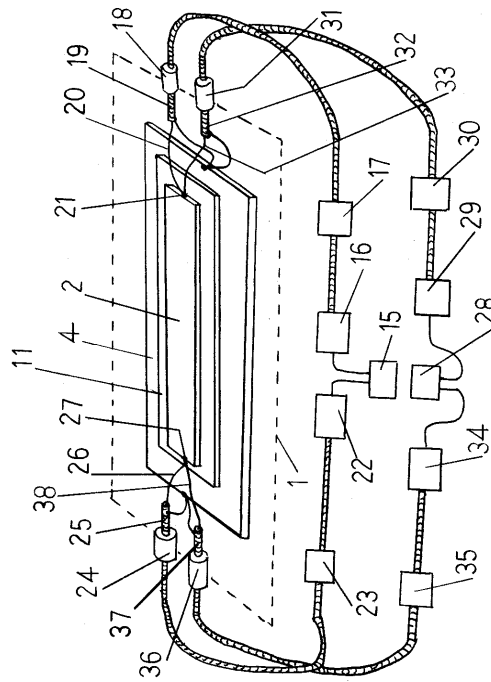
【 図 10 】



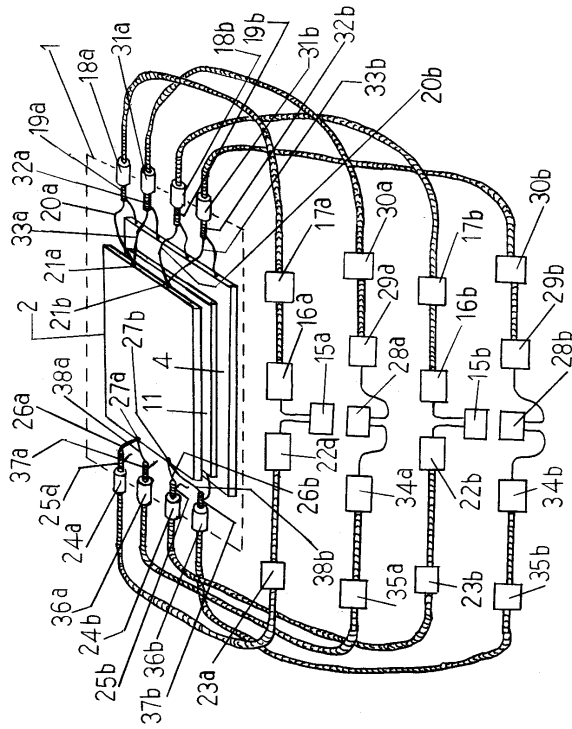
【 図 11 】



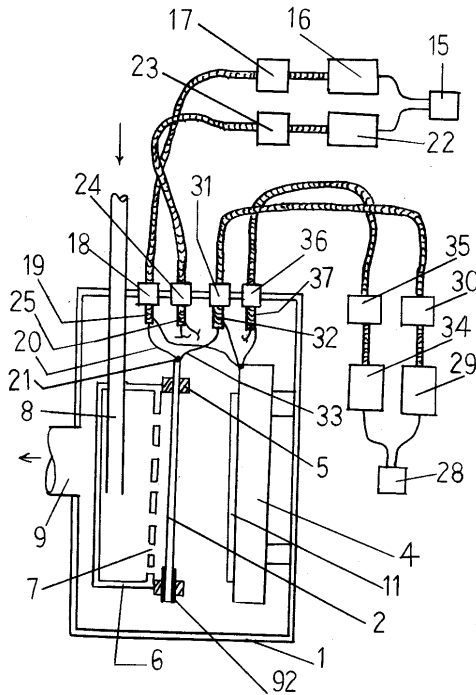
【 図 12 】



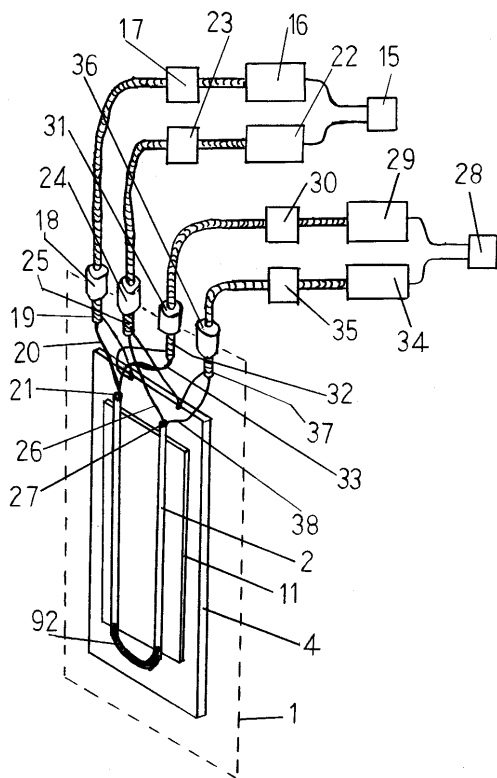
【 図 1 3 】



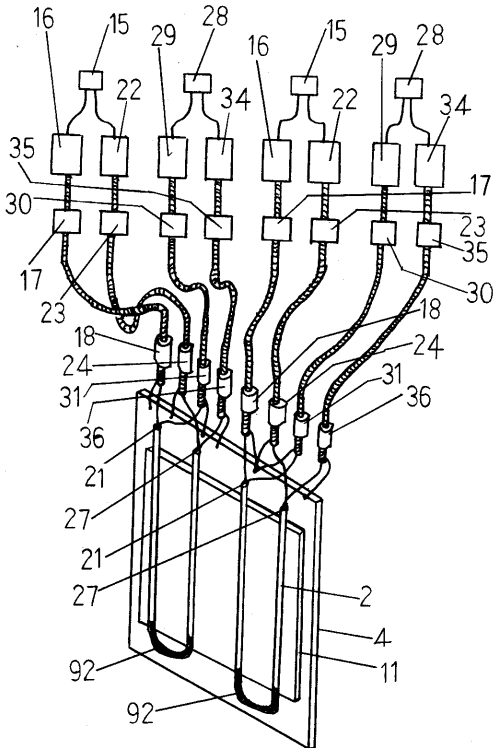
【 図 1 4 】



【 図 1 5 】

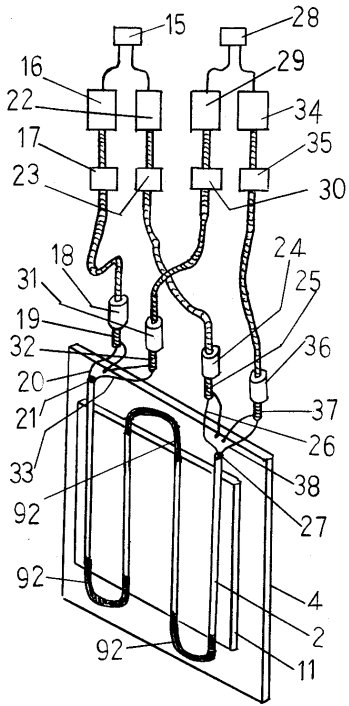


【 図 1 6 】

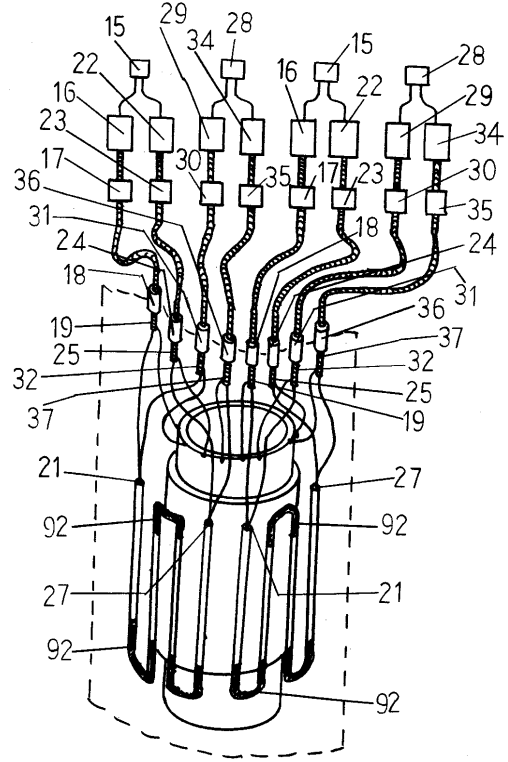




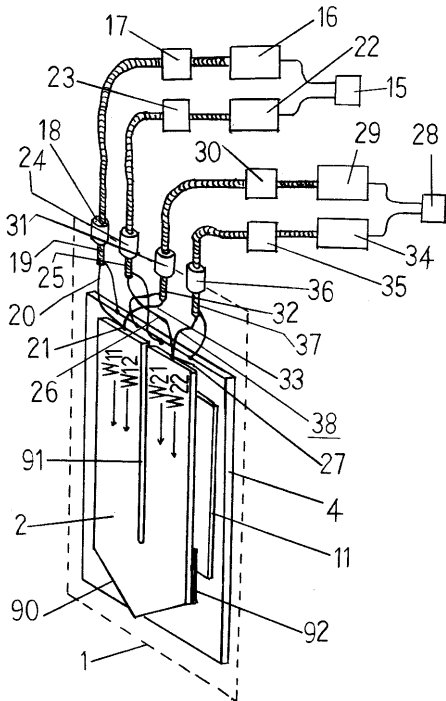
【 図 17 】



【 図 18 】



【 図 19 】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2003-268557(JP,A)  
特開2004-266038(JP,A)  
特許第3575014(JP,B2)  
特開2002-299322(JP,A)  
特開2004-131759(JP,A)  
特開2003-031504(JP,A)  
特開2000-269198(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

|      |        |
|------|--------|
| H05H | 1/46   |
| C23C | 16/24  |
| C23C | 16/509 |
| H01L | 21/205 |