

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5117540号
(P5117540)

(45) 発行日 平成25年1月16日(2013. 1. 16)

(24) 登録日 平成24年10月26日(2012. 10. 26)

(51) Int.Cl.

F I

H03H 7/40 (2006.01)

H03H 7/40

C23C 16/505 (2006.01)

C23C 16/505

H01L 21/3065 (2006.01)

H01L 21/302 101G

H01L 21/205 (2006.01)

H01L 21/205

H05H 1/46 (2006.01)

H05H 1/46 R

請求項の数 3 (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2010-137097 (P2010-137097)

(22) 出願日 平成22年6月16日(2010. 6. 16)

(62) 分割の表示 特願2003-363580 (P2003-363580)
の分割

原出願日 平成15年10月23日(2003. 10. 23)

(65) 公開番号 特開2010-288285 (P2010-288285A)

(43) 公開日 平成22年12月24日(2010. 12. 24)

審査請求日 平成22年7月1日(2010. 7. 1)

(73) 特許権者 000231464

株式会社アルバック

神奈川県茅ヶ崎市萩園2500番地

(74) 代理人 100120802

弁理士 山下 雅昭

(72) 発明者 ▲桑▼原 清

神奈川県茅ヶ崎市萩園2500 株式会社
アルバック内

(72) 発明者 菊池 正志

神奈川県茅ヶ崎市萩園2500 株式会社
アルバック内

(72) 発明者 林 俊雄

静岡県裾野市須山1220-1 株式会社
アルバック 半導体技術研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高周波装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

高周波電力を負荷に供給可能な高周波電源と、該高周波電力の電流電圧の位相のチューニング及びインピーダンスの整合を行うマッチングボックスとをスイッチング稼働可能に備えた高周波装置において、

前記高周波電力を供給したときの反射電力を検知する高周波反射電力検知器と、前記高周波電源を稼働させるパルス状の基本制御信号を出力すると共に該基本制御信号の出力から遅れて前記高周波反射電力検知器及びマッチングボックスを稼働させるパルス状の外部制御信号をそれぞれ出力する1つの制御信号発生器とを備え、

前記制御信号発生器から前記高周波反射電力検知器及び前記マッチングボックスにそれぞれ所定のON時間を有する外部制御信号を出力し、この外部制御信号の出力と同期して前記高周波反射電力検知器から前記制御信号発生器に反射電力信号を帰還させ、この帰還させた反射電力信号が最小値となるように、前記制御信号発生器は前記マッチングボックスへの外部制御信号の前記ON時間を調整するように構成したことを特徴とする高周波装置。

【請求項 2】

前記高周波電源、マッチングボックス及び高周波反射電力検知器から構成される高周波電力供給系を複数備え、

前記1つの制御信号発生器は、一の高周波電力供給系の高周波電源に前記基本制御信号を出力すると共に、他の高周波電力供給系の高周波電源と各高周波電極供給系の高周波反

10

20

射電力検知器及びマッチングボックスとに前記外部制御信号をそれぞれ出力し、各高周波反射電力検知器への前記外部制御信号の出力と同期して各高周波反射電力検知器から前記制御信号発生器に反射電力信号を帰還させ、帰還させた反射電力信号が最小値となるように各マッチングボックスへの前記外部制御信号のON時間を調整するように構成したことを特徴とする請求項1記載の高周波装置。

【請求項3】

前記一の高周波電力供給系の高周波電源から前記負荷に放電用の高周波電力が供給され、前記他の高周波電力供給系の高周波電源から前記負荷にバイアス用の高周波電力が供給されることを特徴とする請求項2記載の高周波装置。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、高周波電源からの高周波電力を再現性良く安定して供給できるようにしたエッチング、化学的気相堆積、物理的気相堆積や高周波加熱などの幅広いプロセスに使用される高周波装置であって、同期マッチングを行うものに関する。

【背景技術】

【0002】

従来の高周波装置では、高周波電源と、高周波出力（例えば、13、56MHz）が供給される負荷との間に、マッチング可変コンデンサとチューニング可変コンデンサとを備えたマッチングボックスを設けると共に、このマッチングボックスと前記高周波電源との間に、入力インピーダンスと、入力高周波の電流電圧の位相とを検知する検知手段を設けている。そして、この検知手段で検知した入力インピーダンスに基づいてマッチング可変コンデンサの容量を調節し、電流電圧の位相に基づいてチューニング可変コンデンサの容量を調節してインピーダンスのマッチングを行う。この場合、負荷に対して高周波出力は連続波で供給され、負荷が一定であれば高周波出力が比較的安定して供給される。

20

【0003】

ところが、例えば負荷が一定の閾値を越えて時間変動が生じたとき、反射電力が発生し、その高周波装置のプロセス性能および再現性が損われ、場合によっては、高周波装置に動作不良が生じたり、故障したりする。このことから、高周波電源からの高周波電力を、変更信号発生回路からのパルスで変調をかけ、パルスのON、OFFを繰り返すことが考えられている。そして、高周波電力投入時に生じる電力立上がりの過渡状態（反射電力の発生）を検知し、この過渡現象の生じる時間帯でのマッチングを停止することで、マッチングボックスの誤動作を回避している。このときのマッチングを停止するか否かの判定は、抵抗とコンデンサから決定される時定数で電力投入した直後の電力立上がり時間を考慮した回路素子からの信号に基づいて行われる（特許文献1参照）。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2000-151329号公報（例えば、特許請求の範囲の記載）。

【発明の概要】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、高周波電源の電力の立上がり時間は、高周波電力が供給される負荷の状態により大きく変化する。このため、上記のものでは、投入電力の立上がり時間の任意性、非線形に対するRC回路の追従性や耐久性が問題となり、負荷に対して高周波電力を再現性良く安定に供給できない。また、このものでは、投入電力の立下りの際に生じる反射電力については考慮していないが、超LSI製造などの今後の良質なプロセスにとっては、この立下りに起因するマッチング動作点の変移を考慮する必要がある。

【0006】

そこで、本発明は、上記点に鑑み、高周波電力の投入時に発生した反射電力を速やかに

50

極小値に導いて高周波電力を再現性良く安定に供給できるようにすることを課題とするものである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記課題を解決するために、本発明は、高周波電力を負荷に供給可能な高周波電源と、該高周波電力の電流電圧の位相のチューニング及びインピーダンスの整合を行うマッチングボックスとをスイッチング稼働可能に備えた高周波装置において、前記高周波電力を供給したときの反射電力を検知する高周波反射電力検知器と、前記高周波電源を稼働させるパルス状の基本制御信号を出力すると共に該基本制御信号の出力から遅れて前記高周波反射電力検知器及びマッチングボックスを稼働させるパルス状の外部制御信号をそれぞれ出力する1つの制御信号発生器とを備え、前記制御信号発生器から前記高周波反射電力検知器及び前記マッチングボックスにそれぞれ所定のON時間を有する外部制御信号を出力し、この外部制御信号の出力と同期して前記高周波反射電力検知器から前記制御信号発生器に反射電力信号を帰還させ、この帰還させた反射電力信号が最小値となるように、前記制御信号発生器は前記マッチングボックスへの外部制御信号の前記ON時間を調整するように構成したことを特徴とする。

10

【0008】

本発明によれば、高周波電力投入時に発生した反射電力信号に応じて、負荷の時間的変動に対する外部制御信号のON時間を調整して、高周波電源及びマッチングボックスとの稼働を制御してマッチングを行うため、高周波電力を再現性良く安定に供給できる。

20

【0009】

前記高周波電源、マッチングボックス及び高周波反射電力検知器から構成される高周波電力供給系を複数備える場合、前記1つの制御信号発生器は、一の高周波電力供給系の高周波電源に前記基本制御信号を出力すると共に、他の高周波電力供給系の高周波電源と各高周波電極供給系の高周波反射電力検知器及びマッチングボックスとに前記外部制御信号をそれぞれ出力し、各高周波反射電力検知器への前記外部制御信号の出力と同期して各高周波反射電力検知器から前記制御信号発生器に反射電力信号を帰還させ、帰還させた反射電力信号が最小値となるように各マッチングボックスへの前記外部制御信号のON時間を調整するように構成するのがよい。

30

【0010】

前記一の高周波電力供給系の高周波電源から前記負荷に放電用の高周波電力を供給し、前記他の高周波電力供給系の高周波電源から前記負荷にバイアス用の高周波電力を供給してもよい。

【0011】

高周波反射電力検知器で検知された反射電力信号を最小値に導く場合、反射電力を順次または所定の判定基準によって段階的に行うようにすれば、高周波電力を再現性よく安定に供給できる。

【0012】

尚、前記高周波反射電力検知器は、制御信号発生器内部で高周波反射電力検知器からの素信号の入力時間設定処理或いはこの素信号の入力後の加工処理を施すことができ、負荷の時間的変動に対して、任意の周期、位相および時間幅におけるサンプリングに基づく反射電力の検知ができるのがよい。

40

【発明の効果】

【0013】

以上説明したように、本発明の高周波装置は、発生した反射電力を速やかに極小値に導いて負荷に対して高周波電力を再現性良く安定に供給できるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【0014】

50

【図 1】制御信号発生器を備えた本発明の高周波装置を概略的に示す図。

【図 2】各外部制御信号の相互関係を説明する図。

【図 3】(a)乃至(c)は、高周波電力供給系のON時間のマッチング開始から反射電力の極小となるマッチング収束までの関係を説明する図。

【図 4】(a)及び(b)は、同期マッチングの収束した条件での約0.1s毎にサンプリング測定された反射電力の時間変化を示すグラフ。

【図 5】(a)及び(b)は、繰返周波数1KHzでの同期、非同期状態でマッチングしたときの特性を示すグラフ。

【発明を実施するための形態】

【0015】

10

図 1 には、例えば誘導結合型の放電を発生させる本発明の高周波装置 1 が示されている。この高周波装置 1 は、ケーブルを介して高周波電力を負荷 2 に供給する第 1 及び第 2 の各高周波電源 11 a、11 b を有する。第 1 の高周波電源 11 a は主放電（アンテナ）用の電力を供給し（第 1 の高周波電力供給系 S 1）、第 2 の高周波電源 11 b はその主放電により生成されたイオン種を基板へ入射させるための基板バイアス用電力を供給する（第 2 の高周波電力供給系 S 2）。各高周波電源 11 a、11 b と負荷 2 との間には、公知の構造を有するマッチングボックス 12 a、12 b がそれぞれ設けられている。マッチングボックス 12 a、12 b は、マッチング可変コンデンサとチューニング可変コンデンサとを有し、入力インピーダンスと、入力高周波の電流電圧の位相とからマッチング可変コンデンサ及びチューニング可変コンデンサの容量を調節してインピーダンスのマッチング

20

【0016】

ところで、従来のマッチング時の不整合に起因する不安定な反射電力の発生の原因として、負荷 2 の時間的変動と高周波電力供給系 S 1、S 2 の動作タイミングとの間の不一致が考えられる。この不一致の要素として、(1)負荷 2 の時間変動の周期とマッチング稼働の時間変動の周期との相違、(2)高周波電源 11 a、11 b の時間変動の 1 周期中の負荷 2 の変動によるマッチング稼働目標の設定負荷と実際の負荷 2 との間の位相のずれ、(3)負荷 2 の時間変動にともない目標に設定された負荷に対する実際の負荷 2 が時間的に変移するような長時間のマッチング稼働、そして、(4)反射電力の検知での高周波電源 11 a、11 b の変動の周期、位相および高周波電力供給の時間幅や時間遅延に同期し

30

ない反射電力のモニタリングがあげられる。即ち、反射電力を抑えて、安定した再現性の良い高周波電力供給系 S 1、S 2 のためには、負荷 2 の時間的変動に対する周期・位相・時間幅(以下、「同期」という)を考慮したマッチング及び反射電力のモニタリングが重要である。

【0017】

そこで、本実施の形態では、このマッチングボックス 12 a、12 b と各高周波電源 11 a、11 b との間に高周波反射電力検知器 13 a、13 b を設けた。この高周波反射電力検知器 13 a、13 b は、公知の構造の電圧検出回路、電流検出回路を有し、マッチング可変コンデンサ及びチューニング可変コンデンサの容量を調節するため入力インピーダンスと、入力高周波の電流電圧の位相とを検知すると共に、負荷 2 の変動によって反射されてきた反射波の電圧電流の位相差から高周波電源投入時の反射電力を検知する。また、高周波装置 1 には、デジタル式反射電力信号入力の各端子を設けた CPU（図示せず）を有する制御信号発生器 14 を設け、この制御信号発生器 14 を介して、第 1 の高周波電源 11 a に対しパルス変調した基本制御信号（基本パルス）C 10 を出力すると共に、この基本パルス C 10 に対して負荷 2 の時間的変動に対する周期・位相・時間幅（ON 時間のゲート幅）を最適にした 5 種類の外部制御信号（遅延パルス）C 11、C 12、C 20、C 21、C 22（ C_{mn} ）を出力し、高周波電源 11 a、11 b 及びマッチングボックス 12 a、12 b を稼働させるようにした。高周波反射電力検知器 13 a、13 b は、制御信号発生器 14 からの制御信号にそれぞれ同期して反射電力信号を出力するように構成され、この反射電力信号は制御信号発生器 14 へ帰還されるようになっている。この制御信

40

50

号発生器 1 4 によって、主放電用の電力を一方の高周波電源 1 1 a により供給する場合、その電力をパルス変調したときの両高周波電源 1 1 a、1 1 b での反射電力を抑制するため同期マッチングが行われる。

【0018】

各高周波電源 1 1 a、1 1 b 及び各マッチングボックス 1 2 a、1 2 b は、必要に応じてクロック式の基本制御信号、外部制御信号（外部トリガーも含む）によってそれぞれスイッチング稼動するように構成している。この場合、外部制御信号 C_{mn} による高周波電源 1 1 a、1 1 b 及びマッチングボックス 1 2 a、1 2 b のスイッチング稼動とは、高周波電源 1 1 a、1 1 b に対しては基本制御信号、外部制御信号の強度の時間変化に対応した高周波電力値の時間変調（パルス変調）のことをいう。また、マッチングボックス 1 2 a、1 2 b については、外部制御信号強度がある閾値レベル以下（またはある閾値レベル以上、或いはある信号波形またはあるクロック信号の組み合わせ）のとき電流電圧の位相チューニングおよびインピーダンスマッチングのオート稼動を停止または開始することなどをいう。

【0019】

そして、制御信号発生器 1 4 を備えた高周波装置 1 では、負荷 2 に対して、第 1 の高周波電力供給系 S 1 によって主放電用の高周波電力を、第 2 の高周波電力供給系 S 2 によってイオン入射促進用バイアス電力を供給する。この場合、制御信号発生器 1 4 は、高周波反射電力検知器 1 3 a、1 3 b に対して外部制御信号 C 1 2、C 2 2 を出力し、それに同期して反射電力信号 D 1 2、D 2 2 が制御信号発生器 1 4 にそれぞれ帰還される。尚、外部制御信号 C_{mn} を構成する基本要素信号の 1 クロック周期 (t_c)、一連の複数クロックの集合体よりなる制御信号発生器 1 4 からのスイッチング用の外部制御信号 C 1 1、C 1 2、C 2 0、C 2 1、C 2 2 の最小 ON 時間幅 ($t_{on@Rmn}$)、各高周波電源 1 1 a、1 1 b のスイッチング応答時間 ($t_{\tau@Rmn}$) は、 $t_c < t_{\tau@Rmn} < t_{on@Rmn}$ である。

【0020】

また、制御信号発生器 1 4 からの外部制御信号 C 1 1、C 1 2、C 2 0、C 2 1、C 2 2 における ON 時間 $t_{on@Rmn}$ の間はそれぞれ対応する各高周波電源 1 1 a、1 1 b を稼動可能な閾値レベル以上のゲート信号が維持されており、 $t_{on@Rmn}$ から外れた OFF 時間 ($t_{off@Rmn}$) 中、各高周波電源 1 1 a、1 1 b をそれぞれ稼動停止するようにした。尚、高周波反射電力検知器 1 3 a、1 3 b からの出力をフィードバック用制御信号として用いるとき、高周波装置 1 内での発振や誤動作などを避けるには、高周波電力変調に同期または適宜遅延などの処理を施したサンプリング（以下、「同期サンプリング」という）に基づき、マッチングに不要な信号の帰還処理を抑制するのがよい。

【0021】

図 2 には、制御信号発生器 1 4 より高周波電力供給系 S 1、S 2 へ出力される各外部制御信号 C 1 1、C 1 2、C 2 0、C 2 1、C 2 2 の初期値の関係を示す。各高周波電源 1 1 a、1 1 b から負荷 2 に通じる各ケーブルの特性インピーダンス等に起因する遅れであって、各高周波電源 1 1 a、1 1 b に対し制御信号発生器 1 4 から出力された瞬間からの各外部制御信号 C 1 1、C 1 2、C 2 0、C 2 1、C 2 2 に対する応答時間 ($t_{L@Rmn}$) の遅れを考慮して、各外部制御信号 C 1 1、C 1 2、C 2 0、C 2 1、C 2 2 の出力について、時間遅れ成分を予め補正している。この場合、ON 時間のゲート幅 $t_{on@R10}=2ms$ （一定）、また OFF 時間の幅 $t_{off@R10}=2ms$ （一定）に設定した基準の方形波信号 C 1 0（周期 $T=t_{on@R10}+t_{off@R10}=4ms$ ，繰返周波数 $f=250Hz$ 及び duty 比 $D=t_{on@R10}/T=50\%$ ）を基本波トリガーとした。

【0022】

この場合、負荷 2 を $0.67Pa$ の Ar ガス雰囲気とし、高周波電力供給系 S 1 より主放電用の高周波電力を $800W$ とし、これをパルス変調した。次いで、時間 $t=0$ より高周波電力供給系 S 1 での高周波反射電力の帰還信号 D 1 2 が極小になるようにマッチングボックス 1 2 a をフィードバック制御し、この帰還信号 D 1 2 の極小値への収束 (t_{on1} : 収束時間) を受けて、 $t=t_{on1}$ より基板バイアス用の高周波電力供給系 S 2 での反射電力を極

10

20

30

40

50

小とするようにマッチングボックス 12b のフィードバック制御を行う。このフィードバック制御による第 1 及び第 2 の各高周波電力供給系 S1、S2 に対するアルゴリズムは、基本的には同じ要素のフローチャートに沿う。以下に、代表例として、各外部制御信号の初期条件および $t=0 \sim t_{on1}$ の時間で主放電用の高周波電力供給系 S1 での反射電力の帰還信号 D12 を極小にするアルゴリズムを説明する。

【0023】

この場合、基本制御信号 C10、外部制御信号 C11、C12 における ON 時間の初期ゲート幅をそれぞれ $t_{on@R10}=2\text{ms}$ 、 $t_{on@R11i}=t_{on@R10}-t_d$ 、 $t_{on@R12i}=t_{on@R11i}$ とし、第 1 高周波電源 11a、マッチングボックス 12a 及び高周波反射電力検知器 13a の稼働開始時刻 t をそれぞれ $t=t_{10}+t_{L@R10}=0$ 、 $t=t_{11}+t_{L@R11}=t_d$ 、 $t=t_{12}+t_{L@R12}=t_d$ とした。一般に、グロー放電をパルス変調した場合、パルス電圧印加時より数 μs ～ 数 $10\mu\text{s}$ の過渡現象が見受けられる。この過渡期には負荷 2 の時間変化が大きく、高周波回路内では不安定な反射電力が発生し、これはフィードバック制御系においては発振などの要因になりやすい。このため、本実施の形態では、この過渡期を外す目的から基本制御信号 C10 以外の全ての外部制御信号 C11、C12 の出力に $t_d=0.1\text{ms}$ の遅延時間を設けた。さらに、基本制御信号 C10 の OFF に伴ってグロー放電がアフターグローへ移行し、先のパルス電圧印加時の過渡期と同様に負荷 2 の時間的な変動が生じ始めることから、各外部制御信号 C11、C12 が OFF される時刻を、基本制御信号 C10 に同期させた。尚、 $t < t_{on1}$ における第 2 の高周波電力供給系 S2 の外部制御信号 C20、C21、C22 については、誘導結合型の放電に対する第 1 の高周波電力供給系 S1 におけるマッチングの過渡期を考慮して、第 2 の高周波電力供給系 S2 の稼働を停止させる目的で全停止することとした。この初期条件で同期マッチングを開始し、外部制御信号 C11 及び C12 の各 ON 時間のゲート幅を順次調整して反射電力の抑制を図った。

【0024】

次に、外部制御信号の ON 時間のゲート幅および同期サンプリングにより検知された反射電力などの変数定義を行い、反射電力を抑制する原理について説明する。図 3(a) には、外部制御信号 C11、C12 の初期条件として ON 時間のゲート幅及びそのゲート幅の初期値を N 分割したときの概略を示す。この分割数 N は大きいほど反射電力抑制の繊細な制御に有利であるが、高周波電源 11a、11b、マッチングボックス 12a、12b 及び高周波反射電力検知器 13a、13b の応答時間と帰還信号の収束時間 t_d などを考慮する必要がある。本実施の形態では、 $t_d=0.1\text{ms}$ に固定して $N=19$ とした。この場合、外部制御信号 C11、C12 の順次調整される各最小 ON 時間の幅は $(t_{on@R10}-t_d)/N=0.1\text{ms}$ ($\equiv$) であり、それら時間幅の各要素に対し、図 3(a) に示すように連番で番号を付ける。また、外部制御信号 C11、C12 の各要素からなる連続 ON 時間のゲート幅 (i : ゲート信号の印加されたときの要素番号、 k : ゲート信号の遮断されたときの要素番号) をそれぞれ $t_{on@R11}(i, k)$ 、 $t_{on@R12}(i, k)$ とし、その ON 時間内での同期サンプリングにより平均反射電力 $P_r(i, k)$ を検知し、その信号 D12(i, k) を反射電力判定用演算子を内蔵した制御信号発生器 14 へ帰還させた。

【0025】

図 3(b) は、図 3(a) からの反射電力抑制のための初回判定アルゴリズムにより決定された外部制御信号 C11、C12 に対する ON 時間の再設定状態を示す。そして、図 3(a) から最終的に反射電力が極小となる制御信号の条件 ($i=9$ および $k=12$ 、図 3(c) 参照) への収束を説明する。即ち、図 3(a) に示す平均反射電力 $P_r(1, 19)$ に対する比較データとして $P_r(2, 19)$ 及び $P_r(1, 18)$ を調査すると、それらの中で $P_r(2, 19)$ が最小であった。このことから、次の同期マッチングのための外部制御信号 C11、C12 の各 ON 時間をそれぞれ $t_{on@R11}(2, 19)$ 、 $t_{on@R12}(2, 19)$ に変更した (図 3(b) 参照)。そして、図 3(a) における場合と同様に、図 3(b) における $P_r(2, 19)$ に対する参照データ $P_r(3, 19)$ 及び $P_r(2, 18)$ を比較して、それらの中で最小の反射電力を検知した。その結果、最小値は $P_r(3, 19)$ であったことから、続く同期マッチングの ON 時間を $t_{on@R12}(3, 19)$ 、 $t_{on@R11}(3, 19)$ に再設定した。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 6 】

そして、ある時点での外部制御信号 $C11$ 、 $C12$ の ON 時間 $t_{on@R11}(i, k)$ 、 $t_{on@R12}(i, k)$ において、 $P_r(i, k)$ 、 $P_r(i+1, k)$ 及び $P_r(i, k-1)$ を計測し、これらの中で $P_r(i+1, k)$ が最小値であった場合は次の同期マッチングの ON 時間として $t_{on@R11}(i+1, k)$ かつ $t_{on@R12}(i+1, k)$ 、或いは $P_r(i, k-1)$ が最小の場合にはその直後の同期マッチングの ON 時間を $t_{on@R11}(i, k-1)$ かつ $t_{on@R12}(i, k-1)$ へと変更する。同期マッチングの ON 時間の短縮される差分の組合わせへと変更を加えたことにより平均反射電力が抑制される限り、さらにその直後の判定も ON 時間を短縮した組み合わせの比較用反射電力をサンプリング検知する(或いは逆に ON 時間の増加するような差分に対して反射電力が抑制される場合、その直後では ON 時間を増す組合わせの判定用反射電力のサンプリング測定を追加する)。

10

【 0 0 2 7 】

ところで、同期マッチングの ON 時間変更の前後で変更前の反射電力が最小となった場合、その後は ON 時間の差分の符号を入れ替えた組み合わせへと同期マッチングのゲート幅を再編成する。その結果、図 3 (b) は、図 3 (a) のものから開始して一連の反射電力抑制の判定アルゴリズムによって最初に 3 回目の同期マッチングのための外部制御信号 $C11$ 、 $C12$ の各 ON 時間として決定された条件であり、図 3 (c) は、同期マッチングの反射電力を最小にする外部制御信号 $C11$ 、 $C12$ の収束した時刻のものを示す。次いで、図 3 (a) の時刻から図 3 (c) の 3 度目に現れた時刻の時間差を高周波電力供給系 $S1$ における同期マッチングの収束時間を t_{on1} とした。図 3 (c) における同期マッチングを試みたときの主放電用の供給電力 (A_r 放電の負荷 2 で消費される電力) 及び負荷 2 からの反射電力の測定結果を図 4 (a) 及び図 4 (b) に示す。これにより、平均反射電力が 8 W 以下およびパルス変調に起因する反射電力の時間的な変動成分が ± 3 W 以下にそれぞれ抑制されることがわかる。

20

【 0 0 2 8 】

さらに、繰返周波数 $f=1$ KHz、 $N=4$ の条件で、図 4 に示すものと同様に同期マッチングした例を図 5 に示す。このとき、マッチングボックス 12 a への制御信号 $i=4$ および $k=4$ において、投入電力 700 W のとき反射電力は $18\text{ W} \pm 7\text{ W}$ まで抑制されることがわかった。尚、図 4 及び図 5 には、同期マッチングを行わずにマッチングボックスを作動させたときの検知結果をそれぞれ併記した。これにより、パルス変調における同期マッチングの効果が飛躍的に改善されることが確認された。

30

【 0 0 2 9 】

次に、第 2 の高周波電力供給系 $S2$ での同期マッチングのための各ゲート信号 $C2n$ に対する ON 時間の初期条件を図 2 中の t_{on1} 、 $t_{on1}+T$ に示す。この場合、ON 時間での電力 $P_{RF2}=20\text{ W}$ に初期設定した高周波電源 11 b は、図中のゲート信号 $C20$ により高周波電源 11 a の作動直後の過渡期を避けた t_d の遅延時間後に立上がり、その後は一定の ON 時間 $t_{on@R20}(=t_{on@R10}-t_d)$ を経て、高周波電源 11 a に同期して立下がる条件とした。また、各高周波反射電力検知器 13 a、13 b に対して、 $t > t_{on1}$ では、第 1 の高周波電力供給系 $S1$ 内の高周波反射電力が抑制され、その同期マッチングが安定しているため、第 2 の高周波電力供給系 $S2$ の同期マッチング用の制御信号 $C21$ 、 $C22$ の初期値として $t_{on@R22i}=t_{on@R21i}=t_{on@R12}$ に設定した。以降の第 2 の高周波電力供給系 $S2$ に対する同期マッチングのフローチャートは、上述した第 1 の高周波電力供給系 $S1$ のものと同様である。

40

【 0 0 3 0 】

これにより、第 1 の高周波電力供給系 $S1$ と比較して速やかに第 2 の高周波電力供給系 $S2$ での反射電力が極小値へ収束し、平均反射電力値は 3 W 以下および反射電力の時間変動成分は ± 2 W 以下となることが確認された。

【 0 0 3 1 】

上記のものは、時間変調した高周波電力供給系 $S1$ 、 $S2$ に対する同期マッチングの実施例である。比較例として、比較のための制御信号 $C10$ 及び $C20$ を、図 2 の t_{on1}

50

と同様に設定し、かつ外部制御信号 C 1 1、C 1 2、C 2 1 及び C 2 2 を全て連続波として作動させた。この場合、第 1 の高周波電力供給系 S 1 (図 4 参照)と、第 2 の高周波電力供給系 S 2 とでは、それぞれ不安定な反射電力が生じて、各マッチングボックスの作動に収束の兆候が見受けられず、例えば第 1 の高周波電力供給系 S 1 による高周波電力の投入によって維持される主放電が頻繁に一時的停止し(この場合、第 1 及び第 2 の各高周波電力供給系 S 1、S 2 ではそれぞれ全反射となる)、マッチングは収束しなかった。

【 0 0 3 2 】

尚、上記実施の形態では、主放電を誘導結合型とした 2 系統の高周波電力供給系 S 1、S 2 に対する同期マッチングについて説明したが、これに限定されるものではなく、少なくとも本系統での繰返周波数を $f = 1 \text{ KHz}$ まで高めた場合でも反射電力の抑制された安定動作が実現され、さらに 1 KHz を超える誘導結合型放電や誘導結合型に閉じない主放電を容量結合型とした組み合わせのもの、または RF 周波数に限らない VHF やマイクロ波周波数帯域などの多様な電力供給系に対して 1 系統はもとより 2 系統以上の任意に組み合わせられた複雑な高周波電力駆動系などへの本発明の適用が有効である。

【 0 0 3 3 】

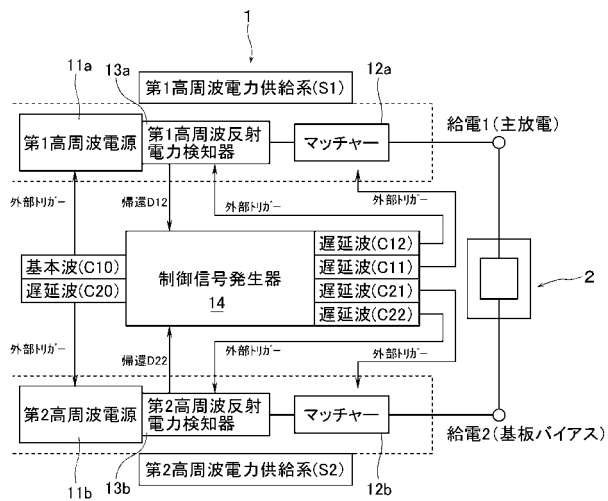
また、本発明の応用例として、主放電に対して任意に設定された基板バイアス側のマッチング用外部制御信号群により、例えば主放電のアフターグロー領域のみに限定、または主放電の 1 周期中での ON 時間の任意の時刻からアフターグローのある時刻まで、或いは主放電の繰返周波数と異なる低い繰返周波数にて主放電の動作タイミングを間引く、もしくは主放電の 1 周期中での ON 時間内での高繰返し、さらにはこれらを含むその他多様なパターンとを複雑に組み合わせることにより従来技術では不可能であった新規の基板バイアス法が実現でき、反応性イオンエッチングやラジカルエッチング、化学的気相堆積または物理的気相堆積や高周波加熱などの幅広い分野において、これまで未開拓であった全く新しいプロセス法の提案が可能となる。

【 符号の説明 】

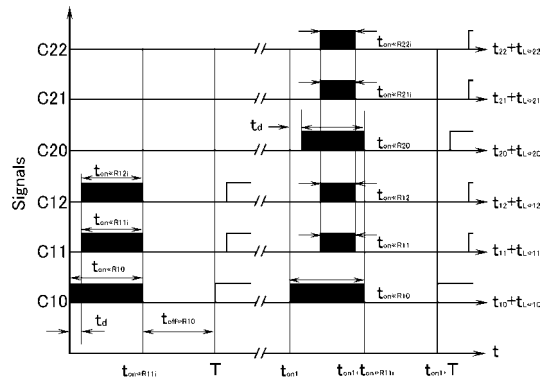
【 0 0 3 4 】

- 1 高周波装置
- 1 1 a、1 1 b 高周波電源
- 1 2 a、1 2 b マッチングボックス
- 1 3 a、1 3 b 高周波反射電力検知器
- 1 4 制御信号発生器
- 2 負荷
- S 1、S 2 高周波電力供給系

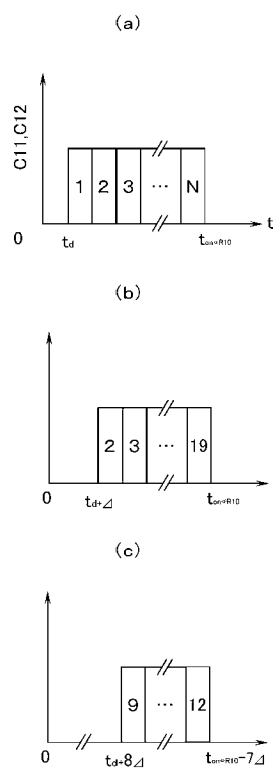
【図 1】



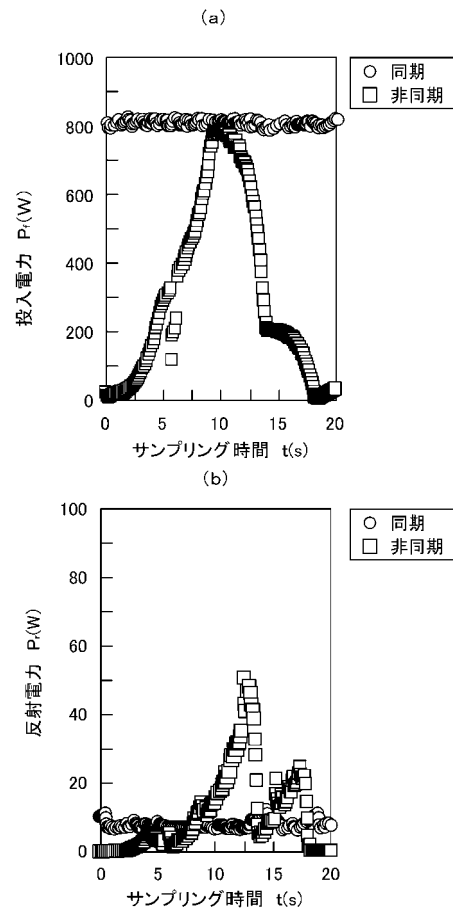
【図 2】



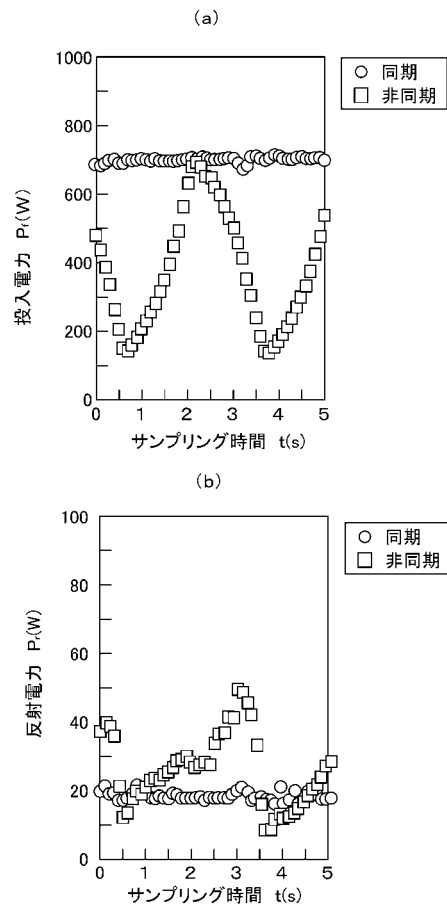
【図 3】



【図 4】



【図 5】



フロントページの続き

(72)発明者 藤井 修逸

広島県福山市引野町5 - 6 - 10

審査官 佐藤 聡史

(56)参考文献 特開2000 - 150478 (JP, A)

特開平09 - 139299 (JP, A)

特開平11 - 067741 (JP, A)

特開平10 - 107012 (JP, A)

特開2000 - 151329 (JP, A)

特開2000 - 054125 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H03H 7/30 - 7/54

C23C 16/505

H01L 21/205

H01L 21/3065

H05H 1/46