

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5209174号

(P5209174)

(45) 発行日 平成25年6月12日 (2013. 6. 12)

(24) 登録日 平成25年3月1日 (2013. 3. 1)

(51) Int. Cl. F I
H05H 1/24 (2006.01) H05H 1/24
G21K 5/00 (2006.01) G21K 5/00 Z

請求項の数 15 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2004-504585 (P2004-504585)	(73) 特許権者	507193663
(86) (22) 出願日	平成15年5月7日 (2003. 5. 7)		ビーティーユー インターナショナル, インコーポレーテッド
(65) 公表番号	特表2005-524962 (P2005-524962A)		アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 O
(43) 公表日	平成17年8月18日 (2005. 8. 18)		1862-2596、ナンバー ビレリカ
(86) 国際出願番号	PCT/US2003/014038		、エスカイア ロード 23
(87) 国際公開番号	W02003/096771	(74) 代理人	100091096
(87) 国際公開日	平成15年11月20日 (2003. 11. 20)		弁理士 平木 祐輔
審査請求日	平成18年4月12日 (2006. 4. 12)	(74) 代理人	100105463
(31) 優先権主張番号	60/378, 693		弁理士 関谷 三男
(32) 優先日	平成14年5月8日 (2002. 5. 8)	(74) 代理人	100102576
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 渡辺 敏章
(31) 優先権主張番号	60/430, 677		
(32) 優先日	平成14年12月4日 (2002. 12. 4)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 複数の放射供給源を有した放射装置およびプラズマ装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

放射キャビティと、

粉体のプラズマ触媒と、

前記キャビティ内でのプラズマの形成が容易になるように、前記キャビティ内に約 3 3 GHz未満の周波数の電磁放射を送る第 1 放射供給源と、

前記キャビティ内に電磁放射を送る第 2 放射供給源と、

前記第 1 放射供給源を起動させた後で、連続して前記第 2 放射供給源を起動させるコントローラと、

放射吸収の指数を提供する検出器と、を備え、

前記粉体のプラズマ触媒は、局所的な電場又は電磁場を歪ませることによって、プラズマの生成、調節、及び維持の少なくとも 1 つを可能にし、前記粉体のプラズマ触媒が前記放射キャビティに導入されることによって前記放射キャビティ内の異なる位置にて選択的にプラズマが生成され、

前記コントローラは、所定の吸収レベルに到達したことを示す信号を前記コントローラが前記検出器から受け取るまで、前記第 2 放射供給源の起動を遅らせる、ことを特徴とする放射装置。

【請求項 2】

少なくとも 1 つの追加の放射供給源をさらに備え、前記コントローラが、前記第 1 および第 2 の放射供給源の少なくとも 1 つを起動させた後でのみ、前記追加の放射供給源を起

動させるように構成される、ことを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】

複数の追加の放射供給源をさらに備え、前記コントローラが、前記第 1 および第 2 の放射供給源の少なくとも 1 つを起動させた後でのみ、前記複数の追加の放射供給源をそれぞれ起動させるように構成される、ことを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 4】

前記コントローラが、前記第 1 放射供給源の起動後、前記第 2 放射供給源の起動を所定の時間遅らせる、ことを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 5】

前記第 1 放射供給源および前記第 2 放射供給源がそれぞれ、マグネトロン、クライストロン、ジャイロトロン、進行波チューブ増幅器、および任意の他の放射供給源の少なくとも 1 つを備える、ことを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

10

【請求項 6】

前記粉体のプラズマ触媒が、金属、炭素、炭素系合金、炭素系複合物、導電性ポリマー、導電性シリコン・エラストマ、ポリマー・ナノコンポジット、および有機-無機複合物の少なくとも 1 つを含む、ことを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 7】

前記粉体のプラズマ触媒が、ファイバ、粉塵粒子、フレイク、又はシートから形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 8】

20

前記第 1 放射供給源から前記第 2 放射供給源を分離して保護するアイソレータをさらに備える、ことを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 9】

チャンバと、
前記チャンバにガスを供給する導管と、
粉体のプラズマ触媒と、
前記チャンバ内に電磁放射を放射するように配置された複数の放射供給源と、
第 1 放射供給源を除いたすべての前記複数の放射供給源の起動を、前記第 1 放射供給源が起動されるまで遅らせるコントローラと、
放射吸収の指度を提供する検出器と、を備え、
前記粉体のプラズマ触媒は、局所的な電場又は電磁場を歪ませることによって、プラズマの生成、調節、及び維持の少なくとも 1 つを可能にし、前記粉体のプラズマ触媒が前記チャンバに導入されることによって前記チャンバ内の異なる位置にて選択的にプラズマが生成され、

30

前記コントローラは、所定の吸収レベルに到達したことを示す信号を前記コントローラが前記検出器から受け取るまで、前記複数の放射供給源のそれぞれの起動を遅らせる、ことを特徴とするプラズマ装置。

【請求項 10】

前記コントローラが、前記第 1 放射供給源の起動後、前記複数の放射供給源の少なくとも 1 つの起動を所定の時間遅らせ、残りの複数の放射供給源をそれぞれ所定の時間間隔で順次起動させる、ことを特徴とする請求項 9 に記載のプラズマ装置。

40

【請求項 11】

前記第 1 放射供給源および前記複数の放射供給源がそれぞれ、マグネトロン、クライストロン、ジャイロトロン、進行波チューブ増幅器/発振器、および任意の他の放射供給源の少なくとも 1 つを備える、ことを特徴とする請求項 9 に記載のプラズマ装置。

【請求項 12】

前記粉体のプラズマ触媒が、金属、炭素、炭素系合金、炭素系複合物、導電性ポリマー、導電性シリコン・エラストマ、ポリマー・ナノコンポジット、および有機-無機複合物の少なくとも 1 つを含む、ことを特徴とする請求項 9 に記載のプラズマ装置。

【請求項 13】

50

前記粉体のプラズマ触媒が、ファイバ、粉塵粒子、フレーク、又はシートから形成されていることを特徴とする請求項9に記載のプラズマ装置。

【請求項14】

前記複数の放射供給源をそれぞれ互いに、かつ前記第1放射供給源から分離して保護する複数のアイソレータをさらに備える、ことを特徴とする請求項9に記載のプラズマ装置。

【請求項15】

前記チャンバが導波管である、ことを特徴とする請求項9に記載のプラズマ装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、プラズマ支援処理に用いる方法および装置に関し、詳細には、複数の電磁放射供給源を組み合わせて使用することに関する。

【背景技術】

【0002】

2002年5月8日出願の米国仮特許出願第60/378,693号、2002年12月4日出願の第60/430,677号、および2002年12月23日出願の第60/435,278号の優先権を主張する。参照によりこれらすべての出願全体を本明細書に組み込む。

【0003】

20

単一のマイクロ波放射供給源を使用して、ガスに十分な量のマイクロ波放射を当てることによってプラズマを生成し得ることはよく知られている。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし、単一のマイクロ波エネルギー源は、1つの供給源からマイクロ波エネルギーがプラズマ・チャンバ内に送られ、このチャンバからエネルギーが同じ供給源に向かって反射して戻るときに損傷する恐れがある。これは、プラズマがまだ形成されていないときなど、キャビティ内に強力なマイクロ波吸収体がないときに特に問題になり得る。また、複数のマイクロ波エネルギー源は、これらを組み合わせてプラズマを点火または維持するときに特に損傷を受けやすい。例えば、第1供給源は、チャンバ内にマイクロ波エネルギーを送るときに損傷を受ける恐れがある。というのは、このエネルギーが同時に連結されている別の放射供給源に送られることがあるはずだからである。

30

【0005】

プラズマの点火は通常、大気圧よりもかなり低いガス圧でより容易に行われることも知られている。しかし、ガス圧を下げるのに必要とされる真空機器は高価であり、時間がかかり、かつ多くのエネルギーを消費することがある。さらに、このような機器を使用すると、製造の適応性を制限することがある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

40

本発明に適合して、複数の放射供給源(例えば、マイクロ波放射供給源)を使用する装置および方法が提供される。約1気圧以上の圧力でガスから形成されたプラズマは、マイクロ波放射を強く吸収し得る。強い吸収を利用して、個々の供給源が、反射して戻ることができる。したがって、同一のプラズマに結合された複数の(例えば低出力の)供給源を使用して高出力プラズマ支援処理を実施し得る。

【0007】

一実施形態では、放射装置はキャビティを含み得る。この放射装置は、このキャビティ内に放射を送る第1高周波放射供給源および第2高周波放射供給源も含み得る。この放射装置は、第1放射供給源を起動させた後で、連続して第2放射供給源を起動させるコント

50

ローラも含み得る。

【0008】

本発明に適合する別の実施形態では、プラズマ炉は、チャンバ、このチャンバにガスを供給する導管、このチャンバ内に放射を放射するように配置された複数の放射供給源、およびこれら複数の放射供給源のうち第1放射供給源を除いたすべての放射供給源の起動を、第1放射供給源が起動されるまで遅らせるコントローラを含み得る。本発明に適合する放射装置およびプラズマ炉は、キャビティに近接して配置されたプラズマ触媒を含み得る。このプラズマ触媒は、ガスの存在下でマイクロ波放射と協働してプラズマを形成し得る。この触媒は、受動型または能動型とすることができる。受動型プラズマ触媒は、必ずしも追加のエネルギーを付加することなく、本発明に適合して局所的な電界(例えば、電磁

10

【0009】

本発明に適合する別の実施形態では、プラズマを形成する方法も提供される。この方法は、処理領域または加熱領域に放射を送るように配置された少なくとも第1および第2の放射供給源を使用することを含み得る。この方法は、この領域にガスを導入し、加熱領域内でプラズマの形成が容易になるように第1放射供給源を起動させ、プラズマが形成された後で第2放射供給源を起動させることを含み得る。

20

【0010】

本発明に適合する別の実施形態では、複式キャビティ・システムを使用してプラズマを形成する追加の方法および装置が提供される。このシステムは、互いに流体連通した第1点火キャビティおよび第2キャビティを含み得る。この方法は、(i)第1点火キャビティ内のガスに約33.3GHz未満の周波数の電磁放射を当てて、この第1キャビティ内のプラズマにより、第2キャビティ内で第2プラズマを形成することと、(ii)この第2プラズマに追加の電磁放射を当てることによって第2キャビティ内で第2プラズマを維持することを含み得る。

【0011】

本発明に適合してプラズマを点火し、調節し、維持する追加のプラズマ触媒、ならびに方法および装置が提供される。

30

【0012】

本発明のさらなる態様は、以下の詳細な説明を添付の図面と併せ読めば明らかになる。これらの図面を通して、同じ参照文字は同じ部分を指す。

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

本発明に適合して、複数の放射供給源を使用するプラズマ用の装置および方法が提供される。一実施形態では、図1Aに示すように、放射装置はキャビティ12を含み得る。さらに一実施形態では、この放射装置は、キャビティに近接して配置され、ガスからプラズマを形成させるために放射と協働し得るプラズマ触媒をさらに含み得る。

40

【0014】

本発明は、炭化物、窒化物、ホウ化物、酸化物その他の材料の熱処理、合成、および被着、ならびに、ドーピング、浸炭、窒化、および浸炭窒化、焼結、マルチパート処理、結合、焼結、非結晶化、炉の作製および稼動、ガス排気処理、廃棄物処理、焼却、洗浄、アッシング、炭素構造の成長、水素その他のガスの生成、無電極プラズマ・ジェット形成、組立ラインにおけるプラズマ処理、滅菌、などを含めて、様々な用途のプラズマを開始し、調節し、維持する方法および装置に係り得る。

【0015】

別の実施形態では、チャンバ、このチャンバにガスを供給する導管、このチャンバに放

50

射を放射するように配置された複数の放射供給源、およびこれら複数の放射供給源のうち第1放射供給源を除いたすべての放射供給源の起動を、第1放射供給源が起動されるまで遅らせるコントローラを含み得るプラズマ炉が提供される。以下にこれらの各構成要素をより詳細に説明する。

【0016】

本発明を用いて、制御可能な形で熱を生成することもできるし、プラズマ支援処理を行って、エネルギー・コストを下げ、熱処理効率およびプラズマ支援による製造適応性を向上させることもできる。

【0017】

したがって、プラズマを開始し、調節し、維持するプラズマ触媒が提供される。この触媒は、受動型または能動型とすることができる。受動型プラズマ触媒は、電圧を印加して火花を発生させることなどによってこの触媒を介して必ずしも追加のエネルギーを付加することなく、本発明に適合して局所的な電界(例えば、電磁界)を歪ませることによってプラズマを誘導し得る任意の物体を含み得る。一方、能動型プラズマ触媒は、電磁放射の存在下で、気体原子または気体イオンに十分な量のエネルギーを伝達して、この気体原子または気体分子から少なくとも1つの電子を分離し得る任意の粒子または高エネルギー波束とすることができる。

【0018】

本願と同じ権利者が所有する同時出願の米国特許出願第10/ , (弁理士整理番号1837.0008)、第10/ , (弁理士整理番号1837.0009)、第10/ , (弁理士整理番号1837.0010)、第10/ , (弁理士整理番号1837.0011)、第10/ , (弁理士整理番号1837.0012)、第10/ , (弁理士整理番号1837.0013)、第10/ , (弁理士整理番号1837.0015)、第10/ , (弁理士整理番号1837.0016)、第10/ , (弁理士整理番号1837.0017)、第10/ , (弁理士整理番号1837.0020)、第10/ , (弁理士整理番号1837.0021)、第10/ , (弁理士整理番号1837.0023)、第10/ , (弁理士整理番号1837.0024)、第10/ , (弁理士整理番号1837.0025)、第10/ , (弁理士整理番号1837.0026)、第10/ , (弁理士整理番号1837.0027)、第10/ , (弁理士整理番号1837.0028)第10/ , (弁理士整理番号1837.0029)、第10/ , (弁理士整理番号1837.0030)、第10/ , (弁理士整理番号1837.0032)、および第10/ , (弁理士整理番号1837.0033)の全体を、ここに参照により組み込む。

【0019】

プラズマ・システムの例

図1Aに、本発明の一態様に適合する放射装置の例の概略図を示す。典型的な放射装置は、(例えばアプリケーションとして知られた)マイクロ波のチャンバ内に配置された容器を形成するキャビティ12を含んでいる。(図示しない)別の実施形態では、容器12と放射チャンバ14は同じであり、そのため、2つの別々のコンポーネントが不要になる。キャビティ12が形成される容器は、放射からキャビティ12を大幅に遮蔽することなくその熱絶縁特性を改善するために、1つまたは複数の放射透過性絶縁層を含み得る。

【0020】

一実施形態では、この放射装置はプラズマ炉として構成することができる。この放射装置は、例えば、炭化物、窒化物、ホウ化物、酸化物その他の材料の熱処理、合成、および被着、ならびに、ドーピング、浸炭、窒化、および浸炭窒化、焼結、マルチパート処理、結合、焼結、非結晶化、炉の作製および稼働、ガス排気処理、廃棄物処理、焼却、洗浄、アッシング、炭素構造の成長、水素その他のガスの生成、無電極プラズマ・ジェット形成、製造ラインにおけるプラズマ処理、滅菌などを含めて、様々な他の用途でプラズマを開始し、調節し、維持するのに使用し得ることが当業者には理解されよう。

【0021】

一実施形態では、キャビティ 12 はセラミック製の容器内に形成される。本発明に適合してプラズマにより実現し得る温度が極めて高いために、華氏約 3,000 度で動作し得るセラミックを使用することがある。このセラミック材料は、重量でシリカ 29.8%、アルミナ 68.2%、酸化第 2 鉄 0.4%、チタニア 1%、石灰 0.1%、マグネシア 0.1%、アルカリ 0.4% を含む得る。このセラミック材料は、米国ペンシルバニア州 New Castle 所在の New Castle Refractories 社から LW-30 の型名で販売されている。ただし、石英などの他の材料および上記のものとは異なるものも本発明に適合して使用し得ることが当業者には理解されよう。

【0022】

プラズマは、第 1 レンガ内部にあり、かつ第 2 レンガで上を覆った部分的に開いたキャビティ内で形成し得る。このキャビティの寸法は、約 2 インチ×約 2 インチ×約 1.5 インチとし得る。このレンガ内にはこのキャビティと連通する少なくとも 2 つの穴も設けることができる。1 つはプラズマを観察するためであり、少なくとも 1 つの穴はガスを供給するためである。このキャビティのサイズは、実施する所望のプラズマ・プロセスに依存し得る。また、このキャビティは少なくとも、プラズマが主処理領域の上に出たり、この領域から流出したりしないように構成すべきである。

【0023】

キャビティ 12 は、ライン 20 と、電源 28 によって電力が供給される制御弁 22 によって 1 つまたは複数のガス供給源 24 (例えば、アルゴン、窒素、水素、キセノン、クリプトンの供給源) に連結し得る。ライン 20 は、(例えば、約 1/16 インチ～約 1/4 インチで、約 1/8 インチなどの) 管とし得る。また、所望の場合には、このチャンバに真空ポンプを連結して、プラズマ処理中に発生し得る酸性の煙霧を除去することができる。この他にも、あらゆる余剰ガスが、ガスポート 13 又は類似の付属ガスポートを介してチャンバ 12 から排除してもよい。

【0024】

供給源 26 および導波管 30 の近くに(図示しない)放射漏れ検出器を設置してもよく、FCC および/または OSHA で指定される値(例えば、 5 mW/cm^2)など、所定の安全制限値よりも大きい漏れが検出された場合に、放射(例えば、マイクロ波)用電源を自動的に止めるように、この検出器を安全保護システムに接続した。

【0025】

一実施形態では、この放射装置は、キャビティ内に放射を送る放射供給源 26 を含む得る。この放射装置は、キャビティ内に放射を送る放射供給源 27 をさらに含む。図 1A には 2 つの放射供給源を示すが、この放射装置は 2 つ以上の供給源とともに動作し得ることを理解されたい。

【0026】

一実施形態では、供給源 26 は、供給源 27 および/または任意の他の追加の供給源によって生成されるマイクロ波放射に対して直交偏光した放射を生成するように構成し得る。

【0027】

放射供給源 26 および 27 はそれぞれ、マグネトロン、クライストロン、ジャイロトロン、進行波チューブ増幅器/発振器、またはマイクロ波放射などの放射を生成し得る任意の他の機器とし得る。また、多くの応用例では、この放射の周波数は決定的な影響を及ぼさないと考えられる。そのため、例えば、約 33.3 GHz 未満の任意の周波数の放射を本発明に適合して使用し得る。例えば、電力線周波数(約 50 Hz～約 60 Hz)などの周波数を用いることができるが、プラズマを形成するガスの圧力は、プラズマの点火を助けるために低くすることがある。また、約 100 kHz よりも高い周波数を含めて、任意の無線周波数またはマイクロ波周波数を本発明に適合して用いることができる。ほとんどの場合、このような比較的高い周波数では、プラズマを点火し、調節し、または維持するためにガス圧を低くする必要はなく、そのため、大気圧以上の圧力を含めて、広い範囲の圧力にわたって多くのプラズマ処理を行うことができる。

【0028】

電源28によって電力を供給され得る放射供給源26は、1本または複数本の導波管30を介してチャンバ14に放射エネルギーを送る。供給源26を直接キャビティ12またはチャンバ14に連結して導波管30を不要にし得ることが当業者には理解されよう。キャビティ12に入る放射エネルギーを利用して、キャビティ内のプラズマを点火する。触媒とともに追加の放射を加えることによって、このプラズマを実質的に維持し、キャビティに閉じ込めることができる。同様に、キャビティ12またはチャンバ14に(27などの)他の放射供給源を直接または1本または複数本の導波管を介して連結することができる。さらに、これらの放射供給源のそれぞれに電源28から電力を供給することもできるし、任意の他の組合せの電源を使用することもできる。

10

【0029】

放射エネルギーは、放射供給源26からサーキュレータ32およびチューナ34(例えば、3スタブ式チューナ)を介して供給し得る。チューナ34を使用して、特にプラズマが形成された後で、変化する点火または処理の条件の関数としての反射電力を最小限に抑えることができる。というのは、例えばマイクロ波電力はプラズマによって強く吸収されることになるからである。同様に、放射供給源27からの放射エネルギーをサーキュレータ31およびチューナ33を介して供給し得る。ただし、サーキュレータおよびチューナの使用は任意選択である。

【0030】

一実施形態では、各放射供給源は、(図示しない)アイソレータによってチャンバから分離して保護し得る。アイソレータにより1方向にのみ放射を通過させ、それによって反射放射からだけでなく、他の供給源からの放射からも供給源が保護される。ただし、本発明に適合して、特にプラズマ点火の初期段階中に反射放射を最小限に抑えることができる。

20

【0031】

検出器42は、キャビティ12内の(図示しない)加工物に関連する温度その他の任意の監視可能な状態の関数として出力信号を生成し、コントローラ44にこれらの信号を提供し得る。2重の温度感知および加熱、ならびに冷却およびガス流量の自動制御も利用し得る。また、供給源26を起動させた後で、連続して供給源27を起動させるように、コントローラ44をプログラムすることができる。別の実施形態では、コントローラ44は、供給源26の起動後、供給源27の起動を所定の時間遅らせることができる。また、所望の場合には、供給源26および27を同様の方式で遅らせることもできるし、任意の測定可能なイベントによってトリガをかけることもできる。

30

【0032】

一実施形態では、検出器42は、マイクロ波放射吸収の指度を提供することができ、コントローラ44は、所定の吸収閾値レベルに到達したことを示す信号をコントローラ44が検出器42から受け取るまで、複数のマイクロ波放射供給源のうち1つまたは複数の起動を遅らせることができる。

【0033】

検出器42は、熱、放射吸収率、放射反射率、放射透過率、プラズマの存在、またはプラズマの形成が行われているかどうかを表す任意の他の現象の1つまたは複数を検出する任意の機器とし得る。このような検出器の例には、温度センサ、高温計、あるいは、熱、温度、放射吸収率、放射反射率、放射透過率、プラズマの存在、または任意の他の放射関連現象を検出し得る任意の他のセンサが含まれる。

40

【0034】

検出器42は、キャビティ12内の(図示しない)加工物に関連する温度その他の任意の監視可能な状態の関数として出力信号を生成し、コントローラ44にこれらの信号を提供し得る。2重の温度感知および加熱、ならびに冷却速度およびガス流量の自動制御も利用し得る。コントローラ44を使用して、上記で説明したように供給源26に接続される1つの出力と、キャビティ12へのガス流量を制御する弁22に接続される別の出力とを含み得る電源28の動作を制御することができる。図示しないが、コントローラ44その他

50

の類似のコントローラを使用して、他の放射供給源に電力を供給するのに使用し得る任意の他の電源の動作を制御することができる。

【0035】

別の実施形態では、検出器42は、例えば処理中の物体による放射吸収の指度を提供することができる。この場合、コントローラ44は、後続の供給源の起動を、所定の吸収レベルに到達したことを示す信号をコントローラ44が検出器42から受け取るまで遅らせることができる。

【0036】

コントローラ44は、第1放射供給源の起動後、複数の放射供給源の少なくとも1つの起動を所定の時間遅らせるようにも構成し得る。次いで、所望の場合には、残りの複数の放射供給源をそれぞれ、所定の時間間隔で順次起動させることができる。コントローラ44は、第1および第2の放射供給源の少なくとも1つを起動させた後でのみ、1つまたは複数の追加の放射供給源を起動させるようにも構成し得る。また、コントローラ44は、第1および第2の放射供給源をそれぞれ起動させた後でのみ、複数の追加の放射供給源をそれぞれ起動させるように構成し得る。

【0037】

本発明に適合して、プラズマ装置は、プラズマ・キャビティに近接して配置されたプラズマ触媒を含み得る。この触媒は、放射と協働してガスからプラズマを形成することができる。また、本明細書では、「キャビティに近接して」という表現は、キャビティ内か、あるいはプラズマが形成されるのに十分にキャビティに近い位置を意味する。

【0038】

以下でより詳細に説明するように、チャンバ14がマルチモードに対応し、かつ特にこれらのモードが連続的または周期的に混合される場合には、チャンバ14内での放射透過性キャビティ12の位置は重要ではないことがある。やはり以下でより詳細に説明するように、モード混合器38にモータ36を連結して、チャンバ14全体を通じてほぼ均一な時間平均された放射エネルギー分布を生成し得る。さらに、キャビティ12に隣接する、チャンバ14の1つの壁に窓40(例えば、石英製の窓)を配設し、温度検出器42(例えば、光学式高温計)を使用して、キャビティ12内部のプロセスを観測し得る。一実施形態では、この光学式高温計の出力は、温度の上昇とともにゼロ・ボルトから追跡範囲内に増加し得る。

【0039】

本発明は、約333GHz未満の任意の周波数を有する放射を使用することができるが、例えば、CPI(Communications and Power Industries)から得られる915MHzおよび2.45GHzのマイクロ波供給源を使用することによって実施してもよい。例えば2.45GHzのシステムは、約0.5キロワット〜5キロワットの連続可変マイクロ波電力を備えてもよい。3スタブ式チューナにより、インピーダンス整合を行って電力伝送を最大にするようにしてもよく、双方向性結合器を使用して、順方向電力および反射電力を測定してもよい。また、光学式高温計を使用して試料温度を遠隔的に検出してもよい。

【0040】

上記で述べたように、約333GHz未満の任意の周波数を有する放射を本発明に適合して使用することができる。例えば、電力線周波数(約50Hz〜約60Hz)などの周波数を用いることができるが、プラズマを形成するガスの圧力は、プラズマの点火を助けるために低くすることができる。また、約100kHzよりも高い周波数を含めて、任意の無線周波数またはマイクロ波周波数を本発明に適合して用いることができる。ほとんどの場合、このような比較的高い周波数では、プラズマを点火し、調節し、または維持するためにガス圧を低くする必要はなく、そのため、大気圧以上で多くのプラズマ処理を行うことができる。

【0041】

リアルタイムで温度を監視し、マイクロ波の電力を制御するLabView 6iソフトウェアを利用して、この装置をコンピュータ制御した。ノイズは、適切な数のデータ点を移動平

10

20

30

40

50

均して低減させてもよい。また、スピードおよび計算効率を向上させるために、バッファ・アレイ内に記憶させるデータ点数を制限してもよい。高温計により約 1 cm^2 の感受性区域の温度を測定してもよく、それを用いて平均温度を計算してもよい。この高温計により、2つの波長で放射強度を検出し、プランク (Planck) の法則を利用してこれらの強度を適合させて温度を求めてもよい。ただし、温度を監視し制御する他の装置および方法も利用可能であり、本発明に適合して使用し得ることを理解されたい。本発明に適合して使用し得る制御ソフトウェアが、例えば、本願と同じ権利者が所有する同時出願の米国特許出願第 10 / , (弁理士整理番号 1 8 3 7 . 0 0 3 3) に記載されている。この特許出願全体をここに参照により組み込む。

【0042】

チャンバ 14 は、ガラスで覆われ、放射シールドを備えたいくつかの観察ポートおよび高温計にアクセスするための 1 つの石英製の窓を有するものとしてもよい。真空ポンプおよびガス供給源に連結するためのいくつかのポートも設けたが、これらは必ずしも使用しない。

【0043】

この放射装置の例は、水道水冷却式の外部熱交換器を備えた閉ループ型の脱イオン水冷却システム (図示せず) も含み得る。動作中、脱イオン水により、まずマグネトロンが冷却され、次いで、(このマグネトロンを保護するのに使用する) サーキュレータ内の負荷放出部が冷却され、最後に、チャンバの外面上に溶接された水チャネルを介してマイクロ波チャンバが冷却される。

【0044】

複数の放射供給源を使用する方法および装置

図 1B に、ともにプラズマ形成領域内に放射を送るように配置された少なくとも第 1 および第 2 の放射供給源を使用する方法を示す。この方法は、プラズマ形成領域内にガスを導入すること (ステップ 45) を含み得る。一実施形態では、これは、図 1A の弁 22 を回すことによって実施し得る。このプラズマ形成領域は、完全に閉じた状態または部分的に開いた状態にし得るキャビティとすることができはるはずであることが当業者には理解されよう。例えば、プラズマ支援炉などのある種の応用例では、キャビティを完全に閉じることができはるはずである。例えば、本願と同じ権利者が所有する同時出願の米国特許出願第 10 / , (弁理士整理番号 1 8 3 7 . 0 0 2 0) を参照されたい。この特許出願全体を参照により本明細書に組み込む。ただし、他の応用例では、キャビティを通してガスを流すのが望ましいことがあり、したがって、このキャビティはある程度開いた状態にしなければならない。こうすると、流れるガスの流量、タイプ、および圧力を経時的に変化させることができる。これが望ましいことがあるのは、イオン化電位が比較的低いアルゴンなどのある種のガスは比較的容易に点火されるが、このようなガスは後続のプラズマ処理中に他の望ましくない特性を有することがあるからである。

【0045】

この方法は、ステップ 47 で、第 1 放射供給源を起動させてプラズマの形成を容易にすることをさらに含み得る。一実施形態では、プラズマの形成は、とがった金属の先端、火花発生器、炭素、ファイバ状の材料、粉体状の材料、プラズマの点火を容易にし得る任意の他の触媒など、ある種のプラズマ触媒を使用すると容易になり得る。後で、本発明に適合するプラズマ触媒およびそれらの使用法の追加の例をより詳細に説明する。

【0046】

この方法は、プラズマが形成された後で第 2 放射供給源を起動させること (ステップ 49) をさらに含み得る。一実施形態では、第 1 放射供給源を起動させた後で放射供給源 27 を起動させることができる。この方法は、第 1 および第 2 の供給源の少なくとも 1 つを起動させた後で、少なくとも 1 つの追加の放射供給源を起動させることをさらに含み得る。さらに、少なくとも 1 つの追加の放射供給源の起動を、第 1 および第 2 の供給源がともに起動されるまで遅らせることができる。

【0047】

これらの放射供給源は、例えば、マグネトロン、クライストロン、ジャイロトロン、進行波チューブ増幅器/発振器、または任意の他の放射供給源とし得る。さらに一実施形態では、これらの放射供給源は互いに直交偏光させることができる。

【0048】

さらに一実施形態では、この方法は、複数の放射供給源を起動させることを含み、これら複数のマイクロ波供給源をそれぞれ、所定の時間間隔で順次起動させる。

【0049】

別の実施形態では、プラズマ領域はプラズマ触媒を含み得る。本発明に適合するプラズマ触媒は、1種または複数種の異なる材料を含み、受動型または能動型のいずれかとし得る。とりわけ、プラズマ触媒を使用して、ガス圧が大気圧未満、または大気圧に等しい、あるいは大気圧よりも高い状態でプラズマを点火し、調節し、かつ/または維持することができる。

【0050】

プラズマ触媒

本発明に適合する1つのプラズマ形成方法は、受動型プラズマ触媒の存在下で、キャビティ内のガスに約33.3GHz未満の周波数の電磁放射を当てることを含み得る。本発明に適合する受動型プラズマ触媒は、電圧を印加して火花を発生させることなどによってこの触媒を介して必ずしも追加のエネルギーを付加することなく、本発明に適合して局所的な電界(例えば、電磁界)を歪ませることによってプラズマを誘導し得る任意の物体を含み得る。

【0051】

本発明に適合する受動型プラズマ触媒は、ナノ粒子またはナノチューブとすることもできる。本明細書では、「ナノ粒子」という用語は、最大物理寸法が約100nm未満の、少なくとも電気的に半導電性の任意の粒子を含み得る。また、単層および多層のカーボン・ナノチューブはいずれも、ドーピングの有無にかかわらず、導電率が極めて高く、かつ形状が細長いので、本発明に適合してプラズマを点火するのに特に効果的なことがある。これらのナノチューブは、任意の好都合な長さのものとすることができ、かつ基質に固定された粉体とすることができる。固定されている場合、これらのナノチューブは、プラズマが点火または維持されている間、基質表面上でランダムな向きとすることもできるし、基質に(例えば、なんらかの所定の向きで)固定することもできる。

【0052】

受動型プラズマ触媒は、本発明に適合する粉体とすることもでき、ナノ粒子またはナノチューブを含む必要はない。この粉体は、例えば、ファイバ、粉塵粒子、フレーク、シートなどから形成することができる。粉体の形態をとる場合、この触媒は、少なくとも一時的にガス中で浮遊させることができる。所望の場合には、ガス中で粉体を浮遊させることによって、この粉体がキャビティ全体を通じて迅速に分散し、より容易に消費され得る。

【0053】

一実施形態では、粉体触媒をキャビティに運び入れ、担体ガスによって少なくとも一時的に浮遊させることができる。この担体ガスは、プラズマを形成するガスと同じにすることもできるし、異なるものでもよい。また、この粉体をキャビティ内に導入する前にガスに加えることができる。例えば、図2に示すように、放射供給源52及び放射供給源54から、プラズマ・キャビティ60を配置する放射キャビティ55に放射を供給することができる。粉体供給源65は、ガス流75中に触媒粉体70を供給する。代替実施形態では、まずキャビティ60に粉体70をバルクの形(すなわち、パイルの形)で加え、次いで、このバルクの粉体を通して、またはその上にガスを流すことを含めていくつかの方法で、キャビティ内で粉体を分散させることができる。さらに、この粉体をガスに加えて、移動、搬送、噴霧、散布、吹込み、あるいはその他の方法でキャビティ内に、あるいはキャビティ内でこの粉体を供給することによって、プラズマを点火し、調節し、維持することができる。

【0054】

1つの実験では、キャビティ内で、このキャビティ内に延びる銅製のパイプ中に炭素繊維の粉体のパイプを配置することによってプラズマを点火した。キャビティ内に十分な量の放射を送ったが、この銅製のパイプにより、粉体が放射から遮蔽され、プラズマの点火は起こらなかった。しかし、このパイプを通して担体ガスが流れ始めると、それによって粉体がパイプから押し出され、キャビティ内に入り、その結果、粉体に放射が当たり、キャビティ内でプラズマがほぼ瞬時に点火された。このことは、その後に続く放射供給源の起動を可能にし、例えば非常に高温のプラズマ化を達成するのに必要な起動時間を短縮することができる。

【0055】

本発明に適合する粉体プラズマ触媒は、実質的に不燃性とすることができ、そのため、酸素を含める必要もないし、酸素の存在下で燃焼させる必要もない。すなわち、上記で述べたように、この触媒は、金属、炭素、炭素系合金、炭素系複合物、導電性ポリマー、導電性シリコン・エラストマ、ポリマー・ナノコンポジット、有機-無機複合物、およびこれらの任意の組合せを含み得る。

【0056】

また、プラズマ・キャビティ内で粉体触媒を(例えば、ガス中に浮遊させたときに)ほぼ均一に分散させることができ、キャビティ内でプラズマの点火を精確に制御し得る。1回または複数回のバーストの形態などで、プラズマにより晒す時間を短くすることが求められる応用例を含めて、ある種の応用例では均一に点火することが重要なことがある。キャビティ全体を通じて粉体触媒がそれ自体で分散するには、特に複雑な複数チャンバ式キャビティでは、依然としてある長さの時間を必要とし得る。したがって、本発明の別の態様と適合して複数の点火ポートを介してキャビティ内に粉体触媒を導入し、それによってキャビティ内でより迅速により均一な触媒の分布を得ることができる(以下を参照されたい)。

【0057】

粉体に加えて、本発明に適合する受動型プラズマ触媒は、例えば、1種または複数種の、微視的または巨視的なファイバ、シート、針、糸、撚り糸、フィラメント、織り糸、縫い糸、削りくず、スライバ、チップ、織布、テープ、ウィスカ、またはこれらの任意の組合せを含み得る。このような場合、プラズマ触媒は、ある1つの物理的な寸法が別の物理的な寸法よりもかなり大きい少なくとも1つの部分を含み得る。例えば、少なくとも2つの直交する寸法の比を少なくとも約1:2とすべきであるが、約1:5よりも大きく、さらには約1:10よりも大きくし得るはずである。

【0058】

すなわち、受動型プラズマ触媒は、材料の少なくとも一部がその長さに比べて比較的薄い部分を含み得る。触媒の束(例えば、ファイバ)を使用することもでき、この触媒の束は、例えば一区画のグラファイト・テープを含み得る。1つの実験では、それぞれ直径約2~3ミクロンの約3万本のグラファイト・ファイバの撚り糸を有する一区画のテープをうまく使用した。束の中のファイバの数および束の長さは、プラズマを点火し、調節し、または維持するのに決定的な影響を及ぼさない。例えば、長さ約1/4インチの一区画のグラファイト・テープを使用して満足な結果が得られた。本発明に適合してうまく用いられた1つのタイプの炭素繊維は、米国サウス・カロライナ州Anderson所在のHexcel社から、商標Magnamite(登録商標)、AS4C-GP3Kの型名で販売されている。また、シリコン・カーバイド・ファイバもうまく用いられた。

【0059】

本発明の別の態様に適合する受動型プラズマ触媒は、例えば、ほぼ球形、環状、ピラミッド形、立方体、平面、円筒形、矩形、または細長い部分など、1つまたは複数の部分を含み得る。

【0060】

上記で論じた受動型プラズマ触媒は、少なくとも電気的に半伝導性の(半導体)少なくとも1種類の材料を含む。一実施形態では、この材料の導電率を極めて高くし得る。例え

10

20

30

40

50

ば、本発明に適合する受動型プラズマ触媒は、金属、無機材料、炭素、炭素系合金、炭素系複合物、導電性ポリマー、導電性シリコン・エラストマ、ポリマー・ナノコンポジット、有機-無機複合物、またはこれらの任意の組合せを含み得る。このプラズマ触媒に含めることができる一部の可能な無機材料の例には、炭素、シリコン・カーバイド、モリブデン、白金、タンタル、タングステン、窒化炭素、およびアルミニウムが含まれるが、他の導電性無機材料も全く同様に機能すると考えられる。

【0061】

1種または複数種の導電材料に加えて、本発明に適合する受動型プラズマ触媒は、(導電性を必要としない)1種または複数種の添加物を含み得る。本明細書では、この添加物は、使用者がプラズマに添加したい任意の材料を含み得る。例えば、半導体その他の材料をドーピングする際に、触媒を介してプラズマに1種または複数種のドーパントを加えることができる。例えば、本願と同じ権利者が所有する同時出願の米国特許出願第10/ (弁理士整理番号1837.0026)を参照されたい。この特許出願全体をここに参照により組み込む。この触媒は、ドーパント自体を含むこともできるし、あるいは、分解された後でドーパントを形成し得る前駆体材料を含むこともできる。そのため、このプラズマ触媒は、1種または複数種の添加物および1種または複数種の導電材料を、プラズマの最終的な所望の組成およびこのプラズマを使用するプロセスに応じて任意の所望の比で含み得る。

10

【0062】

受動型プラズマ触媒中の添加物に対する導電成分の比は、消費されると同時に、時間がたつにつれ変化し得る。例えば、点火中では点火条件が改善されるように、プラズマ触媒は導電成分を比較的大きな割合で含み得ることが望ましい。一方、プラズマを維持しながら使用する場合、この触媒は、添加物を比較的大きな割合で含むことができるはずである。プラズマを点火し維持するために用いられるプラズマ触媒の成分比は同じにし得るはずであることが当業者には理解されよう。

20

【0063】

所定の比のプロフィールを用いて、多くのプラズマ・プロセスを簡略化し得る。多くの従来方式のプラズマ・プロセスでは、プラズマ中の成分は必要に応じて添加されるが、このような添加を行うには通常、所定の計画に従ってこれらの成分を添加するためのプログラム可能な機器を必要とする。しかし、本発明に適合して、触媒中の成分比を変えることができ、そのため、プラズマ自体の中で、この成分比が自動的に変わり得る。すなわち、任意の個々の時点でのプラズマ中の成分比は、触媒のどの部分がプラズマによって現在消費されているかに依存し得る。そのため、この触媒の成分比は、触媒中の異なる位置で異なるものとし得る。また、プラズマ中の現在の成分比は、特にプラズマ・チャンバ中を通過するガスの流速が比較的遅いときには、現在消費されている触媒部分、および/または以前に消費された触媒部分に依存し得る。

30

【0064】

本発明に適合する受動型プラズマ触媒は、均質なものの、または不均質なものの、あるいは徐々に変化するものとし得る。また、プラズマ触媒の成分比は、触媒全体を通して連続的または不連続に変化し得る。例えば、図3では、この比を滑らかに変化させることができ、そのため触媒100の長さに沿って勾配が形成される。触媒100は、区画105では成分の濃度が比較的低く、区画110に向かって濃度が連続的に増加する撚り糸材料を含み得る。

40

【0065】

あるいは、図4に示すように、例えば、異なる濃度の区画125と区画130を交互に含む触媒120の各部分においてこの比を不連続に変化させることができる。触媒120に含まれる区画タイプは、3つ以上とし得ることを理解されたい。このように、プラズマによって消費される触媒の成分比は、任意の所定の方式で変化し得る。一実施形態では、プラズマを監視し、特定の添加物が検出されたときに、別の処理を自動的に開始または終了させることができる。

50

【0066】

維持されるプラズマ中の成分比を変える別の方法は、異なる時点または異なる速度で異なる成分比の複数の触媒を導入することである。例えば、キャビティ内のほぼ同じ位置または異なる位置で複数の触媒を導入し得る。異なる位置で導入する場合、キャビティ内で形成されるプラズマは、様々な触媒の位置によって決まる成分濃度勾配を有し得る。そのため、自動化システムは、プラズマを点火し、調節し、かつ/または維持する前に、かつ/またはそれらを行う間に消費可能なプラズマ触媒を機械的に挿入する装置を含み得る。

【0067】

本発明に適合する受動型プラズマ触媒は被覆することもできる。一実施形態では、触媒は、実質的に導電性の材料の表面上に被着させた実質的に非導電性の被覆を含み得る。あるいは、この触媒は、実質的に非導電性の材料の表面上に被着させた実質的に導電性の被覆を含み得る。図5Aおよび図5Bに、例えば、下層145および被覆150を含むファイバ140を示す。一実施形態では、カーボン・コアを含むプラズマ触媒にニッケルを被覆して、カーボンの酸化を防止する。

10

【0068】

単一のプラズマ触媒が複数の被覆を含むこともできる。プラズマとの接触中にこれらの被覆が消費される場合、これらの被覆を、外側の被覆から最も内側の被覆まで順次プラズマ中に導入することができるはずであり、それによって持続放出機構が形成される。このように、被覆したプラズマ触媒は、この触媒の一部が少なくとも電気的に半導電性の材料である限り、任意の数の材料を含み得る。

20

【0069】

本発明の別の実施形態に適合して、プラズマ触媒は、放射エネルギーの漏れをかなり少なくするか、あるいはなくすために放射キャビティ内に完全に入るように配置し得る。こうすると、このプラズマ触媒は、キャビティを収容する容器とも、キャビティの外側のいかなる導電性の物体とも電気的または磁氣的に結合されない。こうすると、点火中、およびプラズマが維持される場合にはおそらくは点火後、点火ポートでの火花の発生が防止され、キャビティの外側に放射が漏れることが防止される。一実施形態では、この触媒は、点火ポートを通して延びる実質的に非導電性の延長部材の先端に配置し得る。

【0070】

図6に、例えば、プラズマ・キャビティ165を配置する放射チャンバ160を示す。プラズマ触媒170は細長く、点火ポート175を通して延びる。図7に示すように、本発明に適合して、触媒170は、(チャンバ160内に配置される)導電性の遠位部分180および(チャンバ160のほぼ外側に配置される)非導電性の部分185を含み得る。この構成により、遠位部分180とチャンバ160が電気的に接続されない(例えば、火花が発生しない)。

30

【0071】

別の実施形態では、図8に示すように、この触媒は、複数の非導電部分195によって分離され、かつそれらに機械的に結合された複数の導電部分190から形成し得る。この実施形態では、この触媒は、キャビティ内部のポイントとキャビティの外側の別のポイントの間で点火ポートを通して延びることができるが、この電気的に不連続なプロフィールにより、火花発生およびエネルギーの漏れが実質的に防止される。

40

【0072】

活性プラズマ触媒

本発明に適合するプラズマを形成する別の方法は、少なくとも1種類のイオン化粒子(電離粒子:ionizing particle)を生成する能動型プラズマ触媒、または少なくとも1種類のイオン化粒子を含む能動型プラズマ触媒の存在下で、キャビティ内のガスに約3.33 GHz未満の周波数の電磁放射を当てることを含む。

【0073】

本発明に適合する能動型プラズマ触媒は、電磁放射の存在下で、気体原子または気体分子に十分な量のエネルギーを伝達して、この気体原子または気体分子から少なくとも1つ

50

の電子を分離し得る任意の粒子または高エネルギー波束とし得る。供給源に応じて、これらのイオン化粒子を収束ビームまたは平行ビームの形態でキャビティ内に送り込むこともできるし、あるいは、これらのイオン化粒子を、吹付け、吐出、スパッタリング、あるいはその他の方法で導入することもできる。

【0074】

例えば、図9に、放射チャンバ205に放射を送る放射供給源200及び放射供給源202を示す。プラズマ・キャビティ210はチャンバ205の内部に配置され、ポート215および216を介してキャビティを貫通してガスを流すことができる。供給源220から、イオン化粒子225がキャビティ210に送り込まれる。供給源220は、例えば、イオン化粒子を通すことはできるが、放射から供給源220を遮蔽する金属スクリーンによって保護することができる。必要な場合には、供給源220を水で冷却し得る。一実施形態において、放射供給源200を起動させてそれから、プラズマが形成された後、放射供給源202を起動させてもよい。他の方法としては、放射供給源202は、所定の期間をあげた後に起動させてもよい。

10

【0075】

本発明に適合するイオン化粒子の例は、X線粒子、ガンマ線粒子、アルファ粒子、ベータ粒子、中性子、陽子、およびこれらの任意の組合せを含み得る。そのため、イオン化粒子触媒は、帯電させることもできるし(例えば、イオン供給源からのイオン)、帯電させなくてもよい。また、放射性核分裂プロセスの生成物とすることもできる。一実施形態では、プラズマ・キャビティが形成される容器は、イオン化粒子触媒に対して完全にまたは部分的に透過性とし得るはずである。そのため、放射性核分裂源がキャビティの外側に配置される場合、この供給源からこの容器を貫通して核分裂生成物が送られ、それによってプラズマを点火することができる。この放射性核分裂源は、核分裂生成物(すなわち、イオン化粒子触媒)により実質的に安全上の問題が生じないように放射チャンバ内部に配置し得る。

20

【0076】

別の実施形態では、このイオン化粒子を自由電子とすることができるが、この自由電子が放射性崩壊プロセスで放出される必要はない。例えば、(金属などの)電子供給源からこれらの電子を飛び出させるのに十分なエネルギーが得られるようにこの供給源を励起することによって、キャビティ内に電子を導入することができる。この電子供給源は、キャビティ内部に配置することもできるし、あるいはキャビティに隣接して、さらにはキャビティの壁の中にも配置し得る。任意の組合せの電子供給源が可能なが当業者には理解されよう。電子を生成する一般の方法は金属を加熱することであり、電界を印加することによってこれらの電子をさらに加速し得る。

30

【0077】

電子に加えて、自由エネルギー陽子を使用して、プラズマに触媒作用を及ぼすこともできる。一実施形態では、自由陽子は、水素をイオン化することによって生成することができ、任意選択で、電界によって加速し得る。

【0078】

マルチモード放射キャビティ

40

放射導波管、キャビティ、またはチャンバは、少なくとも1つの電磁放射モードの伝播に対応またはそれを促進するように設計し得る。本明細書では、「モード」という用語は、マックスウェルの式および適用可能な(例えば、キャビティの)境界条件を満足する任意の定在電磁波または伝播電磁波の特定のパターンを指す。導波管またはキャビティでは、このモードは、伝播電磁界または定在電磁界の様々な可能なパターンのいずれか1つとし得る。各モードは、その周波数ならびに電界ベクトルおよび/または磁界ベクトルの偏光によって特徴づけられる。モードの電磁界パターンは、周波数、屈折率または誘電率、および導波管またはキャビティの幾何形状によって決まる。

【0079】

TE(横方向電界)モードは、その電界ベクトルが伝播方向に直交するモードである。同様

50

に、TM(横方向磁界)モードは、その磁界ベクトルが伝播方向に直交するモードである。TE M(横方向電磁界)モードは、その電磁界ベクトルがともに伝播方向に直交するモードである。一般に、中空の金属導波管は、通常のTEMモードの放射伝播に対応しない。放射が導波管の長さに沿って進むように見えても、それは導波管の内壁からある角度で反射しているだけのことがある。したがって、この放射(例えば、マイクロ波)は、伝播モードによっては、(しばしばz軸と称する)導波管の軸に沿ったなんらかの電界成分またはなんらかの磁界成分のいずれかを有し得る。

【0080】

キャビティまたは導波管内部の実際の場の分布は、キャビティまたは導波管内のモードの重ね合わせである。各モードは、1つまたは複数の添え字(例えば、 TE_{10} (ティー・イー・イチ・ゼロ))で識別し得る。通常、これらの添え字により、管内波長の「半波」がx方向およびy方向にそれぞれいくつ含まれるかが指定される。この管内波長は、自由空間波長とは異なることがあることが当業者には理解されよう。というのは、放射は、導波管の内壁からある角度で反射することによって導波管内部を伝播するからである。場合によっては、第3の添え字を追加して、z軸に沿った定在波パターン中の半波の数を定義し得る。

【0081】

所与の放射周波数に対して、導波管が単一の伝播モードに対応し得るのに十分に小さくなるように導波管のサイズを選択し得る。このような場合、この系をシングルモード系(すなわち、シングルモード・アプリケーション)と呼ぶ。 TE_{10} モードは通常、矩形のシングルモード導波管で支配的なモードである。

【0082】

導波管(または、導波管が連結されるキャビティ)のサイズが大きくなると、この導波管すなわちアプリケーションは、マルチモード系を形成する追加の高次モードに対応し得ることがある。多くのモードを同時に対応することができる場合、しばしばその系を高次モードに対応していると称する。

【0083】

簡単なシングルモード系の場の分布は、少なくとも1つの最大値および/または最小値を含む。最大値の大きさは、この系に供給される放射の量によって概ね決まる。そのため、シングルモード系の場の分布は、大きく変化し、かつかなり不均一である。

【0084】

シングルモード・キャビティと異なり、マルチモード・キャビティは、同時にいくつかの伝播モードに対応し得る。これらが重ね合わせられると、複雑な場の分布パターンが生じる。このようなパターンでは、これらの場は空間的に不鮮明になる傾向があり、そのため、この場の分布は通常、キャビティ内で同じタイプの顕著な、場の最小値および最大値を示さない。さらに、以下により詳細に説明するように、モード混合器を使用して(例えば、放射反射体を機械的に移動させることによって)モードを「かき混ぜ」、また「分布し直す」ことができる。この再分布により、キャビティ内でより均一な時間平均された場の分布が得られることが望ましい。

【0085】

本発明に適合するマルチモード・キャビティは、少なくとも2つのモードに対応することができ、2つよりもはるかに多くのモードに対応し得る。各モードは、最大電界ベクトルを有する。2つ以上のモードが存在し得るが、1つのモードが支配的であり、他のモードよりも最大電界ベクトルの大きさが大きい。本明細書では、マルチモード・キャビティは、第1モードと第2モードの大きさの比が約1:10未満、または約1:5未満、さらには約1:2未満の任意のキャビティとし得る。この比が小さいほど、モード間で電界エネルギーがより分散し、したがって、キャビティ内で放射エネルギーがより分散することが当業者には理解されよう。

【0086】

処理キャビティ内でのプラズマの分布は、加えられた放射の分布に強く依存し得る。例

10

20

30

40

50

えば、純粋なシングルモード系では、電界が最大になる位置が1つしか存在し得ない。したがって、その単一の位置でしか強いプラズマが形成されないことがある。多くの応用例では、このように強く局在化したプラズマにより、プラズマによる処理または加熱が不均一になる(すなわち、加熱の過剰および不足が局所的に生じる)と望ましくないはずである。

【0087】

本発明に適合してシングルモードまたはマルチモードのキャビティを使用するかどうかにかかわらず、プラズマが形成されるキャビティは、完全に閉じた状態または部分的に開いた状態にし得ることが当業者には理解されよう。例えば、プラズマ支援炉などのある種の応用例では、キャビティを完全に閉じることができるはずである。例えば、本願と同じ権利者が所有する同時出願の米国特許出願第10/ (弁理士整理番号1837.0020)を参照されたい。この特許出願全体を参照により本明細書に組み込む。ただし、他の応用例では、キャビティを通してガスを流すことが望ましいことがあり、したがって、このキャビティはある程度開いた状態にしなければならない。こうすると、流れるガスの流量、タイプ、および圧力を経時的に変化させることができる。このことは、プラズマの形成を促進するアルゴンなどの低いイオン化エネルギーを持ったある種のガスは比較的容易に点火されるので望ましいかもしれないが、このようなガスは後続のプラズマ処理中では必要とされな特性を有するかもしれない。

【0088】

モード混合

多くの応用例では、均一なプラズマを含むキャビティが望ましい。しかし、マイクロ波放射の波長は比較的長く(例えば、数十センチメートル)なり得るので、均一な分布を実現するのが難しいことがある。そのため、本発明の一態様に適合して、長期間にわたってマルチモード・キャビティ内の放射モードを混合し、また分布し直すことができる。このキャビティ内の場の分布は、このキャビティの内面によって設定される境界条件をすべて満足しなければならないので、この内面の任意の部分の位置を変更することによってこれらの場の分布を変更することができる。

【0089】

本発明に適合する一実施形態では、放射キャビティ内部に移動可能な反射面を配置し得る。この反射面の形状および動きが組み合わさると、動く間にこのキャビティの内面が変化するはずである。例えば、「L」形の金属物体(すなわち、モード混合器)を任意の軸の周りで回転させると、キャビティ内の反射面の位置または向きが変わることになり、したがって、キャビティ内の放射分布が変化する。任意の他の非対称な形状の物体を(回転させて)使用することもできるが、対称な形状の物体も、その相対的な動き(例えば、回転、並進移動、またはその両方の組合せ)により反射面の位置または向きのなんらかの変化が生じる限り機能し得る。一実施形態では、モード混合器を、円筒の長手方向軸以外の軸の周りで回転可能な円筒とし得る。

【0090】

マルチモード・キャビティの各モードは、少なくとも1つの最大電界ベクトルを有し得るが、これらのベクトルはそれぞれ、キャビティの内部寸法全体にわたって周期的に生じ得るはずである。通常、これらの最大値は、放射周波数が変化しないと仮定すると固定されている。しかし、モード混合器が放射と相互作用するようにこのモード混合器を移動させることによって、これらの最大値の位置を移動させることが可能である。例えば、モード混合器38を使用して、プラズマの点火条件および/またはプラズマの維持条件が最適化されるように、キャビティ14内の場の分布を最適化することができる。そのため、プラズマを励起した後で、このモード混合器の位置を変更して最大値の位置を移動させ、それによって均一な時間平均されたプラズマ・プロセス(例えば、加熱)を行うことができる。

【0091】

そのため、本発明に適合して、モード混合はプラズマ点火中に有用となり得る。例えば

、プラズマ触媒として導電性ファイバを使用するとき、このファイバの向きはプラズマ点火の最低条件に大きな影響を及ぼすことが知られている。例えば、このようなファイバの電界に対する向きを 60° よりも大きくしたときに、この触媒によりこれらの条件がほとんど改善または緩和されないことが報告されている。しかし、このキャビティ内に、あるいはこのキャビティの近くに反射面を移動させることによって、電界分布はかなり変化し得る。

【0092】

モード混合は、アプリータ・チャンバ内に、例えばこのアプリータ・チャンバ内部に取り付けることができる回転式導波管継ぎ手を介して放射を送り込むことによって実現し得る。この回転式継ぎ手は、放射チャンバ内で様々な方向に放射を効果的に送り込むために機械的に移動(例えば、回転)することができる。その結果、アプリータ・チャンバ内部で変化する場のパターンを生成し得る。

10

【0093】

モード混合は、放射チャンバ内に、可撓性の導波管を介して放射を送り込むことによっても実現し得る。一実施形態では、この導波管はチャンバ内部に取り付けることができる。別の実施形態では、この導波管はチャンバ内に延在し得る。この可撓性導波管の端部の位置は、チャンバ内に放射(例えば、マイクロ波放射)を、様々な方向および/または位置で送り込むために任意の適切な方式で連続的または周期的に移動させる(例えば、曲げる)ことができる。この動きによってもモード混合が可能になり、時間平均されたより均一なプラズマ処理(例えば、加熱)が促進される。あるいは、この動きを利用してプラズマの位置を最適化し、それによって点火その他のプラズマ支援処理を行うことができる。

20

【0094】

可撓性導波管が矩形の場合、この導波管の開口端を単にねじるだけで、アプリータ・チャンバ内部で放射の電界ベクトルおよび磁界ベクトルの向きが回転することになる。次いで、この導波管を周期的にねじると、電界が回転するだけでなくモード混合が行われ、これを利用して、プラズマを点火し、調節し、または維持する助けとし得る。

【0095】

そのため、触媒の初期の向きが電界に直交していたとしても、電界ベクトルを方向変更すると、この効果的でない向きをより効果的な向きに変更することができる。モード混合は、連続的または周期的に行うこともできるし、あるいはあらかじめプログラムし得ることも当業者には理解されよう。

30

【0096】

モード混合は、プラズマの点火に加えて、チャンバ内の「ホット・スポット」を低減または生成(例えば、調節)する後続のプラズマ処理中に有用になることがある。マイクロ波キャビティが少数(例えば、5未満)のモードにしか対応しないとき、1つまたは複数の局所電界最大値により、(例えば、キャビティ12内で)「ホット・スポット」が生じ得る。一実施形態では、これらのホット・スポットは、1つまたは複数の別々だが同時に行われるプラズマの点火または処理のイベントと一致するように構成し得るはずである。こうすると、これらの点火位置または後続の処理位置の1つまたは複数の位置にプラズマ触媒を配置し得る。

40

【0097】

複数位置での点火

異なる位置で複数のプラズマ触媒を使用してプラズマを点火することができる。一実施形態では、複数のファイバを使用して、キャビティ内の異なるポイントでプラズマを点火し得る。このような複数ポイントでの点火は、均一なプラズマ点火が望まれるときに特に有益なことがある。例えば、高周波数(すなわち、数十ヘルツ以上)でプラズマを調節するか、または比較的大きなボリューム内でプラズマを点火するとき、あるいはその両方の場合、プラズマの瞬間的な点火および再点火の実質的な均一性を改善し得る。あるいは、プラズマ触媒を複数のポイントで使用すると、触媒を異なるポイントで選択的に導入することによって、これらの触媒を使用してプラズマ・チャンバ内のこれらの異なるポイントで

50

プラズマを順次点火することができる。こうすると、所望の場合には、キャビティ内でプラズマ点火勾配を制御可能な形で形成することができる。

【0098】

また、マルチモード・キャビティでは、キャビティ内の複数の位置全体を通じて触媒をランダムに分布させると、これらのファイバの少なくとも1つ、または本発明に適合する任意の他の受動型プラズマ触媒が、電界の向きの線に最適に向けられる可能性が増す。依然として、この触媒が最適な向きにならない(電界の向きの線に実質的に整列しない)場合でも、点火条件は改善される。

【0099】

さらに、ガス中で触媒粉体を浮遊させることができるので、各粉体粒子がキャビティ内の異なる物理的な位置に配置される効果があり、それによって、キャビティ内での点火の均一性を改善することができると考えられる。

【0100】

複式キャビティによるプラズマの点火/維持

複式キャビティ構成を利用して、本発明に適合してプラズマを点火し維持することができる。一実施形態では、システムは、少なくとも第1点火キャビティと、この第1キャビティに流体連通する第2キャビティとを含む。プラズマに点火するために、任意選択でプラズマ触媒の存在下で、第1点火キャビティ内のガスに約33.3GHz未満の周波数の電磁放射を当てることができる。こうすると、第1キャビティと第2キャビティが近くにあることにより、第1キャビティ内で形成されたプラズマにより、第2キャビティ内のプラズマを点火することができ、これを追加の電磁放射で維持することができる。

【0101】

本発明の一実施形態では、第1キャビティは、極めて小型にすることができ、主にプラズマ点火に用いるために、あるいはプラズマ点火専用で設計する。こうすると、プラズマを点火するのに極めてわずかなマイクロ波エネルギーしか必要とせず、それによって、特に本発明に適合してプラズマ触媒を使用したときに、点火がより容易になり得る。

【0102】

一実施形態では、第1キャビティを実質的にシングルモード・キャビティにすることができ、第2キャビティをマルチモード・キャビティにする。第1点火キャビティがシングルモードにしか対応しない場合、電界分布はキャビティ内で大きく変化することがあり、そのため、1つまたは複数の精確に配置された電界最大部が形成される。このような最大部は通常、プラズマが点火される第1位置であり、そのため、これらの位置はプラズマ触媒を配置するのに理想的なポイントである。ただし、プラズマ触媒を使用するときには、それを電界の最大部に配置する必要はなく、多くの場合、いかなる特定の方向に向ける必要もないことを理解されたい。

【0103】

上記で説明した実施形態では、ある例示としては、この開示を簡素化するために1つの実施形態に様々な特徴が合わせてグループ化されてもよい。この開示方法を、特許請求する本発明が、各特許請求の範囲に明示的に記載されているものよりも多くの特徴を必要とするという意図を示すものと解釈すべきではない。そうではなくて、添付の特許請求の範囲に示すように、発明の態様は、上記で開示した1つの実施形態のすべての特徴の中に完全に収まる。そのため、ここに添付の特許請求の範囲を実施形態の詳細な説明に組み込む。特許請求の範囲はそれぞれ、本発明の別個の好ましい実施形態として独立している。

【図面の簡単な説明】

【0104】

【図1A】本発明に適合する複数の放射供給源を含む例を示す概略図である。

【図1B】本発明に適合する例示した方法に対するフローチャートである。

【図2】キャビティ内でプラズマを点火し、調節し、維持するためにプラズマ・キャビティに粉体プラズマ触媒を添加するための、本発明に適合するプラズマ・システムの一部の実施形態の例を示す図である。

【図 3】長さに沿って濃度勾配を有する少なくとも 1 種類の成分を含む、本発明に適合するプラズマ触媒ファイバの例を示す図である。

【図 4】長さに沿って比が変化する形で複数の成分を含む、本発明に適合するプラズマ触媒ファイバの例を示す図である。

【図 5】図 5A は、コア下層および被覆を含む、本発明に適合するプラズマ触媒ファイバの別の例を示す図であり、図 5A の線 5B-5B で切断した、本発明に適合する図 5A のプラズマ触媒ファイバを示す断面図である。

【図 6】点火ポートを通して延びる細長いプラズマ触媒を含む、本発明に適合するプラズマ・システムの別の部分の実施形態の例を示す図である。

【図 7】図 6 のシステムで使用し得る、本発明に適合する細長いプラズマ触媒の実施形態の例を示す図である。

【図 8】図 6 のシステムで使用し得る、本発明に適合する細長いプラズマ触媒の実施形態の別の例を示す図である。

【図 9】放射チャンバ内にイオン化された放射を送る、本発明に適合するプラズマ・システムの一部の実施形態の例を示す図である。

10

【図 1】

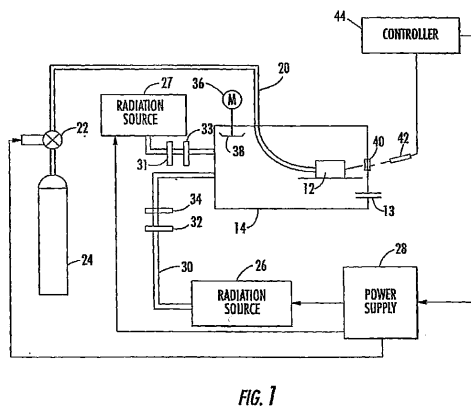
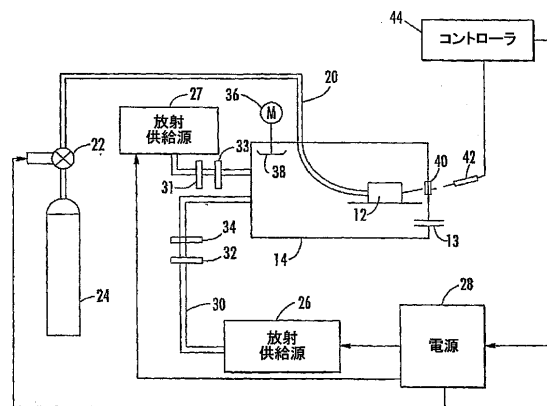
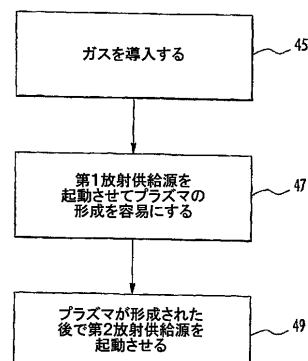


FIG. 1

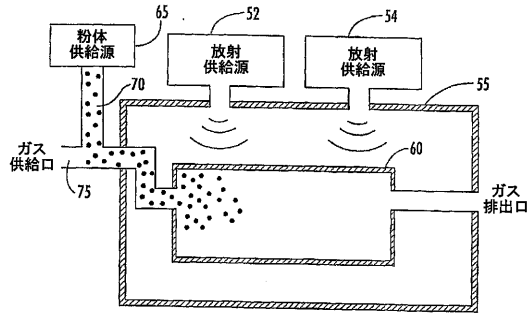
【図 1 A】



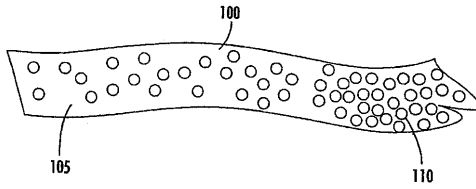
【図 1 B】



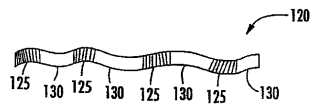
【図 2】



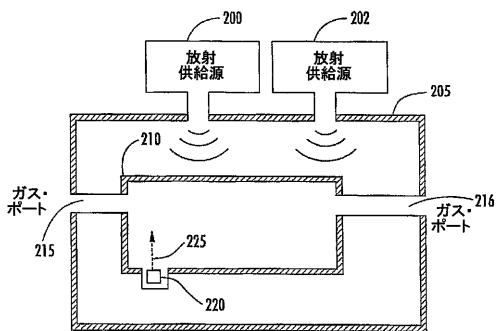
【図 3】



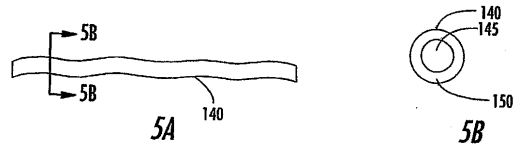
【図 4】



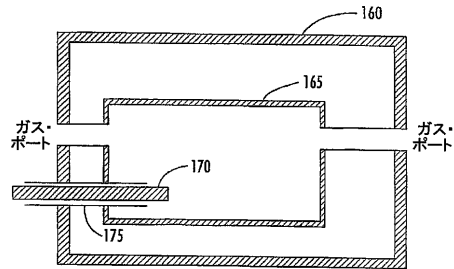
【図 9】



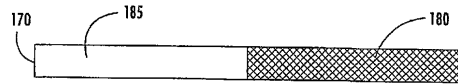
【図 5】



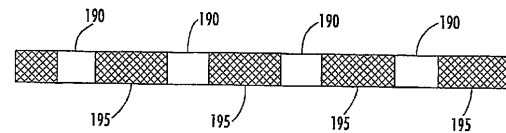
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

(31)優先権主張番号 60/435,278

(32)優先日 平成14年12月23日(2002.12.23)

(33)優先権主張国 米国(US)

前置審査

(72)発明者 クマール, サティヤンドラ

アメリカ合衆国 48083 ミシガン州, トロイ, エデンデリー ドライブ 3740

(72)発明者 クマール, デヴェンドラ

アメリカ合衆国 48307 ミシガン州, ロチェスター ヒルズ, ランプリング ドライブ 850

審査官 山口 敦司

(56)参考文献 特開平10-284296 (JP, A)

実開平04-070136 (JP, U)

特開平04-144992 (JP, A)

特開平09-115694 (JP, A)

特開平03-291243 (JP, A)

特開2001-257097 (JP, A)

特開平10-125662 (JP, A)

米国特許第05828338 (US, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H05H 1/24

H05H 1/46

G21K 5/00

H01L 21/3065

C23C 16/517

C23F 4/00

B08B 1/02-7/00