(19)日本国特許庁(JP)　(12)公表特許公報(A)　(11)特許出願公表番号
特表2018-508935
(P2018-508935A)
(43)公表日　平成30年3月29日(2018.3.29)

(51)Int.Cl.			F I		テーマコード（参考）
H05H	***1/24***	***(2006.01)***	H05H	1/24	2G084
C03B	***5/225***	***(2006.01)***	C03B	5/225	4G014
C03B	***5/235***	***(2006.01)***	C03B	5/235	4G062
C03C	***3/083***	***(2006.01)***	C03C	3/083	

審査請求 未請求　予備審査請求 未請求　（全 22 頁）

(21)出願番号　特願2017-535879 (P2017-535879)
(86)(22)出願日　平成28年1月8日 (2016.1.8)
(85)翻訳文提出日　平成29年9月4日 (2017.9.4)
(86)国際出願番号　PCT/US2016/012557
(87)国際公開番号　WO2016/112234
(87)国際公開日　平成28年7月14日 (2016.7.14)
(31)優先権主張番号　14/592,452
(32)優先日　平成27年1月8日 (2015.1.8)
(33)優先権主張国　米国 (US)

(71)出願人　397068274
コーニング　インコーポレイテッド
アメリカ合衆国　ニューヨーク州　１４８３１　コーニング　リヴァーフロント　プラザ　１
(74)代理人　100073184
弁理士　柳田　征史
(74)代理人　100175042
弁理士　高橋　秀明
(72)発明者　ボートン，ダニエル　ロバート
アメリカ合衆国　ニューヨーク州　１４５１２　ネイプルズ　ヴァイン　ストリート　１２

最終頁に続く

(54)【発明の名称】溶融ガラスに熱エネルギーを加える方法および装置

(57)【要約】
本明細書において、溶融ガラスに熱エネルギーを加えるための方法および装置が開示される。本明細書において開示される熱プラズマを発生する装置は、電極と、接地電極と、これら２つの電極間に延びる誘電性プラズマ閉じ込め器と、誘電性プラズマ閉じ込め器の周囲に延びる磁場発生器とを含む。また、本明細書において、本明細書において開示される装置を用いて熱プラズマを発生する工程と、溶融ガラスを熱プラズマと接触させる工程とを含む、溶融ガラスの清澄化方法も開示される。また、本明細書において、この方法に従って製造されるガラス構造体も開示される。

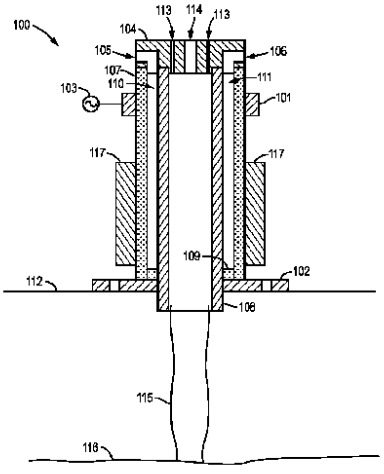

FIG. 1

【特許請求の範囲】
【請求項１】
熱プラズマを発生する装置であって、
電極と、
接地電極と、
前記電極と前記接地電極との間に延びる誘電性プラズマ閉じ込め器と、
誘電性プラズマ閉じ込め器の周囲に延びる磁場発生器と、
前記誘電性プラズマ閉じ込め器内にガスを送出するための注入口と、
前記ガスを熱プラズマに変換するための、前記電極および前記接地電極に結合されたＲＦ電流源と、
前記熱プラズマを送出するための出口と
を含むことを特徴とする装置。
【請求項２】
前記電極および前記接地電極が金属のリングを含む、請求項１記載の装置。
【請求項３】
前記注入口が、中心ジェットと、複数のジェットを含む周辺環とを含む、請求項１記載の装置。
【請求項４】
前記ＲＦ電流が、前記誘電性プラズマ閉じ込め管内におけるガス流の方向に対して平行な電場線と、前記ガス流の方向に対して直交する磁場線とを発生する、請求項１記載の装置。
【請求項５】
磁場発生器が、前記誘電性プラズマ閉じ込め管内におけるガス流の方向に対して平行な磁場線を発生する、請求項１記載の装置。
【請求項６】
前記熱プラズマが、約９０００Ｋ～約１１０００Ｋの範囲内の第１の温度を有するコア領域と、約３００K～約１０００Kの範囲内の第２の温度を有する周辺領域とを含む、請求項１記載の装置。
【請求項７】
前記ＲＦ電流が約３ＭＨｚ～約１００ＭＨｚの範囲内の周波数を有する、請求項１記載の装置。
【請求項８】
請求項１～７記載の少なくとも１つの装置を含むことを特徴とする溶融ガラスの清澄化システム。
【請求項９】
前記溶融ガラスを収容する清澄管を更に含む、請求項８記載のシステム。
【請求項１０】
前記少なくとも１つの装置が前記清澄管内のガラス－空気界面に向けられる、請求項９記載のシステム。
【請求項１１】
前記少なくとも１つの装置が前記清澄管の外面に向けられる、請求項９記載のシステム。
【請求項１２】
溶融ガラスの清澄化方法において、
熱プラズマを発生する装置であって、電極と、接地電極と、前記電極と前記接地電極との間に延びる誘電性プラズマ閉じ込め器と、該誘電性プラズマ閉じ込め器の周囲に延びる磁場発生器と、前記誘電性プラズマ閉じ込め器内にガスを送出するための注入口と、前記ガスを熱プラズマに変換するためのＲＦ電流源と、前記熱プラズマを送出するための出口とを含む装置内に、ガスを導入する工程と、
溶融ガラスを清澄管に導入する工程と、

前記溶融ガラスを前記熱プラズマと接触させる工程と
を含むことを特徴とする方法。
【請求項１３】
前記ガスが、アルゴン、ヘリウム、ネオン、クリプトン、およびキセノンから選択される希ガスである、請求項１２記載の方法。
【請求項１４】
前記溶融ガラスを前記熱プラズマと接触させる工程が、前記熱プラズマを前記清澄管内のガラス－空気界面に向けることを含む、請求項１２記載の方法。
【請求項１５】
前記溶融ガラスを前記熱プラズマと接触させる工程が、前記熱プラズマを前記清澄管の外面に向けることを含む、請求項１２記載の方法。
【請求項１６】
前記熱プラズマが前記溶融ガラスを約１７００℃以上の温度まで加熱する、請求項１２記載の方法。
【請求項１７】
前記熱プラズマが、前記溶融ガラスが流れる前記清澄管内の少なくとも１つの所定の領域を局所的に加熱する、請求項１２記載の方法。
【請求項１８】
約１６５０℃より高いT_gと、１ポンド（約４５３．５９グラム）当たり０．００１個未満の気泡密度とを有することを特徴するガラス構造体。
【請求項１９】
合わせて約４５～約９５重量％のアルミナおよび／またはシリカと、合わせて約５～約５５重量％のバリウム、ホウ素、マグネシム、カルシウム、ナトリウム、ストロンチウム、スズ、および／またはチタンのうちの少なくとも１つの酸化物とを含む、請求項１８記載のガラス構造体。
【請求項２０】
前記ガラス構造体がガラスシートである、請求項１８記載のガラス構造体。
【発明の詳細な説明】
【優先権の主張】
【０００１】
本願は、合衆国法典第３５巻第１２０条に基づき、２０１５年１月８日に出願された米国特許出願第１４／５９２，４５２号による優先権を主張するものであり、その内容に依拠すると共に、その全体を参照して本明細書に組み込む。
【技術分野】
【０００２】
本開示は、一般的に、ガラスバッチ材料を処理する方法および装置に関し、より具体的には、清澄化処理中にＲＦプラズマを用いて溶融ガラスに熱エネルギーを加える方法および装置に関する。
【背景技術】
【０００３】
ガラス基体は、窓から高性能ディスプレイ装置までの様々な用途で用いられ得る。解像度、透明度、および性能の向上に対する要求が高まるにつれ、ガラス基体に対する品質要求はますます厳密になっている。しかし、ガラスの品質は、溶融ガラスの形成からガラス製品の最終的なパッケージングまでの様々な処理工程によって悪影響を受ける場合がある。特に、ガラスシートは、気泡の存在によって（一部のケースでは、たとえガラスシートに１つの気泡があっても）、使用に適さないものとなり得る。
【０００４】
溶融プロセス中、溶融器内でガラスプレカーサバッチ材料が混合されて加熱される。バッチ材料は溶融して反応し、反応ガスを発し、それによって溶融ガラス中に気泡が生じる。次に、溶融ガラスは、溶融ガラス内に閉じ込められたガスの気泡を除去するための清澄

工程を受ける。しかし、反応ガスが溶融ガラスから出るために移動する距離が長いので、そのような清澄工程は、しばしば、長い処理時間、高いエネルギー消費、および／または、費用の増加を要する。気泡が溶融ガラスから出るのを促進するために、清澄は、しばしば、例えば白金等の材料で構築された長い（例えば、数メートルの長さの）管を用いて行われ、そのフットプリントおよび費用はかなり大きくなり得る。

【０００５】

空間、エネルギー、および／または資本を消費することに加えて、現行の清澄化処理では、効果的に溶融および清澄化可能なガラス組成物も限られ得る。例えば、気泡を溶融ガラスから出させるために、溶融温度より少なくとも約５０℃、および場合によっては少なくとも約１００℃高い清澄温度がしばしば用いられる。従って、達成可能な清澄温度の上限によって、より高いガラス転移温度（約１６００℃を超える温度またはそれ以上）を有するガラス組成物に制限が加えられ得る。

【０００６】

清澄化は、２つの処理を介して気泡の除去を促進し得る。ガラス温度の上昇が溶融ガラスの粘度の低下を生じる場合には、ストークス（Stokes）清澄化が行われる。その場合、気泡は、粘度が低下した溶融ガラスを通ってより急速に上昇できる。化学的清澄は、ガラス温度の上昇が化学的清澄剤（例えばスズ等）を化学的に還元し、それによってガラス中に酸素が放出され、それが気泡に取り込まれ得る場合に生じる。気泡が過剰な酸素を取り込むと、気泡のサイズが増し、溶融ガラスを通って上昇するのがより容易になり、場合によっては他の気泡と合体し、および／または潰れる。清澄剤としては、例えば、スズ、ヒ素、およびアンチモンが挙げられる。ヒ素およびアンチモンは、より強い清澄剤であるが、安全面および環境面で危険であり得るので、用いられる頻度は低い。酸化スズは比較的安全であるが、清澄化能力は比較的弱い。更に、スズのレベルを高くすると、（例えば、形成体またはアイソパイプ上での）下流の処理中における二次結晶の形成につながり得るので、清澄剤としてガラスバッチ材料に組み込むことができるスズの量はしばしば制限される。

【０００７】

従って、本出願人によって、清澄化を促進するための様々な方法（例えば、真空清澄、遠心清澄、および深い溶融プールを用いた気泡の再吸収等）が研究されている。しかし、これらの方法は、依然として、高いコストおよび／またはより高い清澄温度における低い有効性を含む１以上の短所を有する。ホットスポット清澄化、即ち、流れているガラス流内に局所的な高温のゾーンを発生させることも、本出願人によって研究された。ホットスポット清澄化は、例えば、従来のバーナー、マイクロ波、超音波等を用いて達成され得る。マイクロ波清澄化および超音波清澄化は、従来の清澄化処理よりもコスト面で有利であるが、侵入深さが不十分であり得、および／または、実施が実現困難であり得る。火炎燃焼を用いてホットスポットを生じる従来のバーナーも、例えばホットスポットの温度を正確に制御できない等といった１以上の短所を有し得る。火炎が十分に熱くない場合には、ホットスポットは生じず、従って、清澄化を促進および／または強化しない。火炎が熱過ぎる場合には、または、ホットスポットの中心が熱過ぎる場合には、溶融ガラス中のより不安定な酸化物（例えば、ホウ素）の揮発が生じ、最終製品の組成に悪影響を与え得る。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００８】

従って、例えば溶融ガラス中の気泡によって生じる欠陥等のガラスの品質に関する問題を抑制しつつ、より高いスループットおよび／またはより低いコストの、ガラス清澄化処理を提供するのが有利である。また、特殊ガラス材料（例えば、より高いガラス転移温度を有するガラス等）の溶融に適したガラス清澄化処理および装置を提供することも有利である。

【課題を解決するための手段】

【０００９】

本開示は、様々な実施形態において、熱プラズマを発生する装置に関する。この装置は、電極と、接地電極と、電極と接地電極との間に延びる誘電性プラズマ閉じ込め器と、誘電性プラズマ閉じ込め器の周囲に延びる磁場発生器と、誘電性プラズマ閉じ込め器内にガスを送出するための注入口と、ガスを熱プラズマに変換するための、電極および接地電極に結合されたＲＦ電流源と、熱プラズマを送出するための出口とを含む。本明細書において、そのような装置を含む、溶融ガラスの清澄化システムも開示される。更に、本明細書において、約１６５０℃より高いガラス転移温度（T_g）と、約１ポンド（約４５３．５９グラム）当たり０．００１個未満の気泡密度と有するガラス構造体（例えばガラスシート等）も開示される。ガラス構造体は、少なくとも約４５重量％（例えば、約４５～約９５重量％）のアルミナおよび／またはシリカと、約５５重量％未満（例えば、５～５５重量％）のバリウム、ホウ素、マグネシム、カルシウム、ナトリウム、ストロンチウム、スズ、および／またはチタンのうちの少なくとも１つの酸化物とを含む。

【００１０】

更なる特徴および長所は、以下の詳細な説明で述べられると共に、部分的にはその説明から当業者に自明であり、または、以下の詳細な説明、特許請求の範囲、および添付の図面を含む本明細書に記載されるように本発明を実施することによって認識される。

【００１１】

上記の概要説明および以下の詳細説明は、様々な実施形態を示すものであり、特許請求される本発明の性質および特徴を理解するための概観または枠組みを提供することを意図したものであることを理解されたい。添付の図面は、本開示の更なる理解を提供するために含まれ、本明細書に組み込まれてその一部をなすものである。図面は様々な実施形態を示しており、明細書と共に、本発明の原理および作用を説明する役割をするものである。

【図面の簡単な説明】

【００１２】

【図１】本開示の一実施形態による、ガラスバッチ材料の清澄化のための装置の断面図

【図２】本開示の様々な実施形態による、ガラスバッチ材料の清澄化のための装置を示す

【図３Ａ】本開示の様々な実施形態による、ガラスバッチ材料の清澄化のためのシステムの断面図

【図３Ｂ】本開示の様々な実施形態による、ガラスバッチ材料の清澄化のためのシステムの断面図

【発明を実施するための形態】

【００１３】

以下の詳細な説明は、以下の図面と共に読めば、最もよく理解できる。図面中、類似の構造は、類似の参照番号で示されている。

【００１４】

装置

本明細書において、熱プラズマを発生する装置であって、電極と、接地電極と、電極と接地電極との間に延びる誘電性プラズマ閉じ込め器と、誘電性プラズマ閉じ込め器の周囲に延びる磁場発生器と、誘電性プラズマ閉じ込め器内にガスを送出するための注入口と、ガスを熱プラズマに変換するための、電極および接地電極に結合されたＲＦ電流源と、熱プラズマを送出するための出口とを含む装置が開示される。

【００１５】

本明細書において用いられる「熱プラズマ」、「大気熱プラズマ」という用語、およびそれらの変形は、高周波入射電場を通過するガス（例えば希ガス（例えば、アルゴン）等）を意味することが意図される。電磁場に遭遇すると、ガスの原子の電離が生じ、高速まで加速された電子が放出され、従って高い運動エネルギーが放出される。高速の電子の一部は、他の原子の最も外側の電子と衝突することによって他の原子を電離させ、これらの放出された電子が更なる電離を生じさせ、カスケード電離効果を生じ得る。このようにして生じたプラズマは、プラズマ流として流れることができ、このプラズマ流内に捕えられた高エネルギーの粒子は、加熱対象物に向かって投げられてそれに当たることによって、

それらの運動エネルギーを対象物（例えば、溶融ガラス等）に移す。

【００１６】

図１は、本開示の実施形態による方法を実施するために動作可能な例示的な装置１００の断面図を示す。図示されている実施形態では、リング結合熱プラズマジェット装置１００が清澄管１１２の壁に取り付けられている。この装置は、電極１０１と、接地電極１０２と、これらの２つの電極間に延びる誘電性プラズマ閉じ込め器（または管）１０８とを含む。装置によって生じる磁場線の周囲の電子のサイクロン状の流れを誘発するための磁場発生器１１７が、閉じ込め器１０８の周囲に延びている。ガス（例えば、希ガス）は、注入口１０４を介してプラズマ閉じ込め器１０８に送出でき、閉じ込め器１０８からプラズマプルーム１１５として出ることができる。

【００１７】

様々な実施形態によれば、電極（または第１の電極）１０１は、１以上の金属または合金を含むリングであり得る。例えば、電極は、低い抵抗率を有する銀、銅、または他の適切な金属（例えば、アルミニウム、白金、および金）、およびそれらの組合せ等を含み得る。抵抗が高いほど多くの熱を生じ、熱伝達（Ｑ）が低くなり、これは電力損失の増加につながり得るので、低い抵抗を有する材料が有利であり得る。また、リングの厚さは、様々な処理パラメータに応じて異なっていてよい。材料を追加すると、全体的な抵抗率を下げることができ、従ってＲＦ電流の伝導効率を改善できるので、一部の例では、より厚いリングを用いるのが有利であり得る。限定しない一実施形態では、電極１０１は、約１ｃｍ～約３ｃｍ範囲内（例えば約２ｃｍ等）の厚さを有する、銀めっきされた銅のリングである。電極は、加えられる電力および／または清澄管に対する電極の近さに応じて、必要に応じて水または他の任意の適切な流体を用いて冷却され得る。

【００１８】

接地電極（または第２の電極）１０２も、上記に開示された１以上の金属または合金（例えば、白金）を含むリングであってもよく、上述の厚さ（例えば、約１ｃｍ～約３ｃｍ、または約２ｃｍ）を有してもよい。特定の実施形態では、接地電極１０２は、プラズマプルームがそこを通って出ることができる取り付けフランジを含み得る。接地電極は、加えられる電力および／または清澄管に対する電極の近さに応じて、必要に応じて水または他の任意の適切な流体を用いて冷却され得る。内部アーク電極を用いるアークプラズマジェットとは異なり、本明細書において開示される装置は、プラズマプルームと物理的に接触しない外部電極を用い得る。そのような構成は、電極材料の蒸発に起因する溶融ガラスの汚染を回避し得る。

【００１９】

ＲＦ電場は、一般的にＲＦ発生器（図示せず）およびＲＦ整合器（図示せず）を含むＲＦ電流源１０３を用いて、２つの電極１０１および１０２間に設定され得る。一部の実施形態では、ＲＦ電流は、約３ＭＨｚ～約１００ＭＨｚの範囲内（例えば、約５ＭＨｚ～約９０ＭＨｚ、約１０ＭＨｚ～約８０ＭＨｚ、約２０ＭＨｚ～約７０ＭＨｚ、約３０ＭＨｚ～約６０ＭＨｚ、または約４０ＭＨｚ～約５０ＭＨｚ等であり、全ての範囲およびそれらの間の部分的な範囲を含む）の周波数を有し得る。例えば、例示的なＲＦ周波数としては、６．７８ＭＨｚ、１３．５６ＭＨｚ、２７．１２ＭＨｚ、および４０．６８ＭＨｚが挙げられる。ＲＦ電流源１０３は、清澄化される溶融ガラスの体積に応じて、約１０ｋＷ～約１００ｋＷの範囲内の出力で動作し得るものであり、例えば、出力は約２０ｋＷ～約９０ｋＷ、約３０ｋＷ～約８０ｋＷ、約４０ｋＷ～約７０ｋＷ、または約５０ｋＷ～約６０ｋＷの範囲内であり得、全ての範囲およびそれらの間の部分的な範囲を含む。

【００２０】

ガスは、注入口１０４を介してプラズマ閉じ込め管１０８内に導入され得る。注入口１０４は、金属（例えば、真鍮）、合金（例えば、ステンレス鋼）、またはセラミック材料で構築されたフランジを含み得る。注入口は、ガス流が通る中心ジェット１１４と、ジェットの外環１１３とを含み得る。ジェットの外環は、特定の用途のために所望に応じて、任意の数のより小さいジェット（例えば、１６個以上のジェット）を含み得る。ジェット

環１１３の下向きの流れは、作用ガス流をプラズマ閉じ込め管１０８の中心に向かわせる役割をし得る。様々な実施形態によれば、ガスは、例えばヘリウム、ネオン、アルゴン、クリプトン、およびキセノン等の希ガスから選択され得る。中心ジェット１１４およびジェット環１１３の両方からのガス流の流速は、例えば、約１ｓｌｐｍ～約３０ｓｌｐｍの範囲内（例えば約２ｓｌｐｍ～約２８ｓｌｐｍ、約５ｓｌｐｍ～約２４ｓｌｐｍ、約８ｓｌｐｍ～約２０ｓｌｐｍ、または約１０ｓｌｐｍ～約１５ｓｌｐｍ等であり、全ての範囲およびそれらの間の部分的な範囲を含む）であり得る。一部の実施形態では、中心ジェットからのガス流の流速は約１～約２４ｓｌｐｍの範囲内であり得、ジェット環からのガス流の流速はそれとは独立して約１～約２４ｓｌｐｍの範囲内であり得る。

【００２１】

フランジは、水または他の任意の適切な流体を用いて冷却され得る。冷却注入口１０５および冷却出口１０６が設けられてもよく、水または他の冷却材を所望の温度（例えば、室温）に保つための冷却装置（図示せず）に接続され得る。一部の例では、プラズマ閉じ込め器１０８をほぼ室温またはそれより高い温度に保つのが有利であり得る。これは、より低い温度では装置の外部に凝結を生じる場合があり、これはガラス製造環境においては望ましくものであり得るからである。プラズマ閉じ込め器１０８は任意の形状または寸法を有してよく、特定の例では管状の形状であり得る。

【００２２】

プラズマ閉じ込め器１０８の周囲には、冷却水または他の冷却流体を格納するための冷却格納器（または冷却ジャケット）１０７が設けられ得る。格納器１０７および閉じ込め器１０８の両方は、例えば高温セラミック材料等の誘電性材料（例えば、窒化ケイ素、高純度アルミナ、およびそれらの組合せ）で構築され得る。格納器１０７は、循環する冷却材が閉じ込め器１０８の周囲を流れて閉じ込め器１０８を均等に冷却するための空間１１０および１１１を設け得る。冷却ジャケットを封止して空間１１０および１１１を略水密性に保つためのリング状封止部１０９が設けられ得る。リング状封止部１０９はセラミック材料で構築されてもよく、一部の実施形態では、格納器と閉じ込め器との間において例えば熱エポキシを用いて封止され得る。必要に応じて、空間１１０および１１１は、水の流れを変えて閉じ込め器１０８全体の周囲に均等にわたらせるためのセラミックロッド（図示せず）を更に含み得る。これらのロッドは、水の循環を改善して、プラズマ閉じ込め器の下部および上部の両方が適切に冷却されることを確実にし得る。

【００２３】

プラズマ閉じ込め器１０８（および冷却ジャケット１０７）の周囲には、所望のプラズマ流パターンを設けるために用いられ得る磁場発生器１１７が、例えば閉じ込め器と同心に配置され得る。例えば、この磁石は、イオンおよび電子に磁場線の周囲において螺旋運動をさせることにより、プラズマを内側に向かって締め付け、それによってサイクロン状の流れを生じ得る。プラズマ閉じ込め器１０８内に電場および磁場の両方が存在することに起因するローレンツ力は、磁場強度によっては電子サイクロトロン共鳴（ＥＣＲ）効果を生じることができる。ＥＣＲは、電子の衝突頻度にも依存し得るものであり、これは、例えば圧力等の他の要因に依存し得る。電子の衝突頻度は、例えば大気圧では、限られた自由空間（例えば、約６８ｎｍ程度の平均自由空間）に起因して、より高くなり得、電子が他の粒子と衝突する前に磁場線の周囲を螺旋運動する時間が限られたものとなる。電子が螺旋運動する程度は、電子に更なる運動エネルギーを獲得させ、電子はその運動エネルギーを、衝突した粒子に移すことができ、粒子はこの運動エネルギーを非弾性的に吸収して、最初はより高いエネルギー有する状態で磁場線によって捕捉され、その後、何回か回転し、別の粒子と衝突する。より低圧のプラズマでは、平均自由空間はより大きくなり得（例えば、数センチメートル程度）、電子はより長い距離にわたって妨げられることなく螺旋運動し得る。

【００２４】

サイクロトロン共鳴が生じると、電子は、イオンおよび中性粒子と衝突することによって（磁場線の周囲における加速から得られた）運動エネルギーを移す更なる機会を有し得

る。イオンおよび中性粒子はこの運動エネルギーを吸収でき、次にこの運動エネルギーは熱に変換されて、イオンおよび中性粒子をより強く振動させる。電子との衝突に起因して、中性粒子が更に電離され得るようになり、その軌道から価電子が放出されて、タウンゼント効果に起因して自由電子の数が増える。このようにして、ＥＣＲ効果は、プラズマの温度を、プラズマ溶融物内にホットスポットを生じるのに十分なレベルまで劇的に上昇させる役割をし得る。

【００２５】

ＥＣＲを生じるのに必要な磁場は、例えば、ＲＦ電流の周波数に依存する。（非相対論的速度についての）必要な磁場強度（Ｂ）は、以下の式を用いて算出できる。

【００２６】

【数１】

$$B = \frac{\omega \cdot m}{e}$$

【００２７】

式中、ωは角周波数（２π・周波数）であり、ｍは電子の静止質量（９．１１×１０$^{-31}$ｋｇ）であり、ｅは電子の素電荷（１．６０２×１０$^{-19}$Ｃ）である。従って、１３．５６ＭＨｚの例示的な周波数においてＥＣＲを生じるために最小限必要な磁場強度（Ｂ）は、以下のように算出できる。

【００２８】

【数２】

$$\frac{2\pi\,(13.56\,x\,10^{6})(9.11\,\mathrm{x}\,10^{-31}\,\mathrm{kg})}{1.602\,x\,10^{-19}\,C} = 0.00048\,\frac{kg}{C\cdot s}\ \text{または}T,Tesla$$

【００２９】

従って、１３．５６ＭＨｚの周波数で動作する装置を囲む磁場発生器１１７は、少なくとも約４．８×１０$^{-4}$Ｔの磁場強度を有するべきである。当然ながら、磁場強度または他の動作周波数を算出し、それに従って磁石を選択または修正することは、当業者の能力の範囲内である。

【００３０】

様々な実施形態によれば、磁場を生じるためにソレノイドが用いられ得る。磁場強度は、ソレノイドにおいて、例えばＤＣ電流を変えることによって制御され得る。特定の実施形態では、ソレノイドは、効率を最大化するために、水または他の任意の適切な流体を用いて冷却され得る。当然ながら、他の磁場発生器を用いることもでき、本開示の範囲内であると想定される。

【００３１】

様々な実施形態において、装置１００は、清澄管１１２の壁に取り付けられ得る。従って、プラズマプルーム１１５は、プラズマ閉じ込め管１０８から出て、清澄管内の溶融ガラス１１６の表面に当たることができる。プラズマプルーム１１５は、所与の長さと円形の断面とを有する略円柱形または僅かに円錐形の形状を有するものと想定され得る。円形の断面は、中心またはコアと、様々な同心円のリングまたはシースとによって画成される。従って、プラズマプルームの温度は断面の勾配として記述され得るものであり、プラズマプルームのコアは高々約１１，０００Ｋまでの温度を有し、プラズマプルーム流の外側シースまたは外縁部は少なくとも約３００Ｋの比較的低い温度を有し得る。例えば、コアは約９，０００Ｋ～約１１，０００Ｋの範囲内の温度を有し、外側シースは約３００Ｋ～約１，０００Ｋの範囲内の温度（例えば約３００Ｋ～約５００Ｋ等）を有し得る。清澄管を通って流れる溶融ガラス内にホットスポットを生じるために、清澄管に沿った様々な位置に複数の装置１００が取り付けられ得る。様々な実施形態によれば、装置は、２０００

℃もの高温に達し得る局所的な温度を有するホットスポットを生じるのに十分な温度で動作し得る。例えば、装置は、溶融ガラスを約５００℃～約１９００℃の範囲内（例えば、約８００℃～約１８００℃、約１０００℃～約１７００℃、約１２００℃～約１６００℃、または約１４００℃～約１５００℃等であり、全ての範囲およびそれらの間の部分的な範囲を含む）の温度まで加熱し得る。

【００３２】

図２は、本明細書において開示される様々な方法を実施するための装置１００の別の例を提供する。図１と同様に、装置は、電極１０１と、接地電極１０２と、２つの電極間の誘電性プラズマ閉じ込め器１０８とを含む。ガス１１８は、注入口１０４から閉じ込め器１０８に入り、プラズマプルーム１１５として出る。２つの電極は、電極間に電流i_cを供給するＲＦ源１０３に接続されている。正弦波サイクルの最初の半分では、電極１０１は正に帯電し、接地電極１０２は負に帯電する。動作中は、接地電極１０２は接地電位に留まるが、電極１０１は接地より高い正から、接地に対して負へと揺動し得る。磁場線Ｂは、ガス流の方向およびプラズマプルームに対して直交するものとして図示されている。電場線Ｅは、正電荷から負電荷へと走り、最も外側の電子にその方向の力を加えることができる。磁場発生器（図示せず）によって、ガス流の方向に対して平行に走る磁場線を有する第２の磁場が発生される。この磁場は、電子を円形運動に引き込んでガス内の螺旋状の経路を形成でき、この経路は、ＲＦ電場の正弦波の方向の変化と共に方向を変え得る。

【００３３】

一部の実施形態では、本明細書において開示される装置は、誘電体バリア放電プラズマジェットと類似の方法で機能するものと想定され得るが、そのような装置は、本明細書において開示されるように熱プラズマを生じる形状および機能を欠いている。例えば、誘電体バリア放電装置は、（例えば、５００ｋＨｚ未満の）遥かに低い周波数を用いるので、プラズマ体積が非常に小さい非熱プラズマを生じる。低い電子密度および低い温度に起因して、電離レベルは非常に弱い。従って、そのようなプルームによって生じるプラズマの体積または温度は、特に、溶融ガラスの大きくなり得る表面積の観点からは、溶融ガラスを高い清澄温度まで加熱するのに十分ではない。一方、本明細書において開示される装置は、（例えば、３ＭＨｚ以上の）遥かに高い周波数、（例えば、１０ｋＷ以上の）高い出力、およびプラズマ内の（例えば、高々１４Ａｍｐｓまでの）高い循環電流で機能する。更に、ＥＣＲを誘発するための磁場発生器の使用が、プラズマプルームの温度を、ガラスの清澄化を促進および／または強化するのに十分なレベルまで上昇させる。

【００３４】

従って、本明細書において開示される熱プラズマを発生する装置は、ガラス清澄化処理において、溶融ガラスを、例えば、火炎燃焼の代わりに電子衝撃によってより高い温度まで加熱するために有用であり得る。上記および他の特徴は、柔軟で、調節可能で、従来の清澄装置よりも安価な装置を可能にする。特に、本明細書において開示される熱プラズマを発生する装置は、一部の実施形態では、精密に制御して所望の温度に調節することが可能であり、それにより、温度が低過ぎるまたは高過ぎるホットスポットと、それに関連付けられるそれぞれの短所とを回避できる。

【００３５】

方法

本明細書において、溶融ガラスの清澄化方法であって、本明細書に記載される装置を用いて熱プラズマを発生する工程と、溶融ガラスを清澄管に導入する工程と、溶融ガラスを熱プラズマと接触させる工程とを含む方法が開示される。本明細書において開示される様々な実施形態によれば、溶融ガラスバッチ材料は、プラズマプルームと接触させられ、それによって加熱される。本明細書において用いられる「接触」および「接触させられる」という用語、並びにそれらの変形は、溶融ガラスとプラズマとの物理的および／または熱的相互作用を意味することが意図される。例えば、ガラスは、プラズマによって物理的に接触されてもよく、および／または、ガラスはプラズマと熱的に（例えば、熱プラズマによって生じる熱と）接触してもよい。溶融ガラスは、プラズマによって直接加熱されても

よく、または、プラズマによって加熱された材料または表面との接触によって間接的に加熱されてもよい。

【００３６】

また、熱プラズマとの接触による溶融ガラスの加熱は、溶融ガラスの全体的な加熱であってもよく、または、溶融ガラスの選択された領域の局所的な加熱（例えば、「ホットスポット」の発生）であってもよいことを理解されたい。全体的な加熱ではなく、局所的な加熱は、例えば、清澄管内の１以上の所定の領域に熱を供給し、互いに関して比較的高温のゾーンおよび低温のゾーン（必要に応じて、これらのゾーンは清澄管の長さに沿って交互になっている）を通ってガラスが移動するようになっている。図３Ａ～図３Ｂは、本明細書において開示される様々な実施形態による方法を実施するための別のシステム構成を示す。図３Ａ～図３Ｂは共に、局所的な加熱のための構成を示しており、これを以下においてより詳細に述べる。

【００３７】

図３Ａでは、複数のプラズマトーチ３００が、清澄管３２０に取り付けられまたは別様で結合されてもよく、および／または、清澄管３２０付近に配置されてもよい。例えば、プラズマトーチ３００は、清澄管のすぐ外側（例えば、清澄器の耐火性の部分の壁の内側等）に配置され得る。矢印で示されるように、溶融ガラスＧは入口３３０から出口３４０へと流れる。図示されている実施形態では、プラズマトーチ３００は、ガラス－空気界面３５０に向けられて、表面において１以上の局所的なホットスポット３６０を生じることができ、これが溶融ガラスＧ内へと広がって、ガラスの温度を局所的に上昇させることができる。上昇した温度は、溶融ガラス内におけるストークス清澄化および能動的な化学的清澄化を促進でき、溶融ガラス内の気泡３７０が表面まで上昇し、および／または潰れ得るようになる。更に、プラズマプルームは溶融ガラス内において、溶融ガラスの層状の流れを妨害して清澄管内における混合を促進し得る対流を生じ、これが清澄を更に促進し、および／または、下流における混合の必要性を低減し得る。様々な実施形態によれば、図３Ａに示されている、ガラス－空気界面にホットスポットを設けるシステム構成は、浅い清澄化の設定のために有利であり得る。

【００３８】

図３Ｂは、プラズマトーチ３００が清澄管３２０の下方に配置された別の構成を示す。図示されている実施形態では、ガラスの下方に１以上の局所的なホットスポット３６０が生じ、これは、熱いガラスが清澄管の底部から上昇する際のストークス清澄化を促進し得る。プラズマトーチは、ガラスと接触している表面３８０に向けられてそこに当たる。次に、溶融ガラスＧは、表面３８０からの熱伝達３９０によって加熱される。特定の実施形態によれば、図３Ｂに示されているシステム構成は、図３Ａの構成と比較して強化された清澄化（例えば、ストークス清澄化）を提供し得るが、この構成は、トーチが当たる材料（表面３８０）が熱を溶融ガラスに効率的に伝達しない場合には、効果が低くなり得る。更に、この構成では、プラズマと接触する材料は、プラズマトーチからの熱に損傷されることなく耐えるように選択されるべきである。

【００３９】

本明細書において開示される方法は、従来技術の清澄化方法を凌駕する様々な長所を有し得る。例えば、溶融ガラスを加熱するために熱プラズマを用いることにより、清澄化設備のフットプリントを低減する（例えば、清澄管の長さを短くする）ことが可能になり得る。そのような清澄管を構築するために用いられる高価な材料（例えば、Ｐｔ）の量をたとえ僅かでも低減できることは、大きな資本の節約につながり得る。或いは、既存の清澄化システムおよび清澄管については、溶融ガラスのスループットを高めることにより、効率を改善して収益の増加を生じることが可能であり得る。更に、溶融ガラスを加熱するために、標的を定めた調節可能なプラズマを用いると、設備の寿命にわたって損耗が低減され得る。例えば、１年の期間にわたる白金の酸化の量のたとえ２％の低減でも、大きなコストの節約を生じ得る。

【００４０】

更に、本明細書において開示される方法は、例えば液中燃焼溶融（ＳＣＭ）等の他のガラス溶融技術と有利に組み合わせられ得る。ＳＣＭは、溶融ガラスにガス－酸素火炎を直接注入することによってガラスを溶融させる、フットプリントが小さく、比較的低コストの、高スループットの溶融技術である。ＳＣＭは、高い溶融速度を有する点が好ましいが、気泡が多い、水滴がついたようなガラス（例えば、高々約３０％までの空隙率）を生じるという短所がある。そのような溶融ガラスを清澄化するために熱プラズマを用いることは、溶融ガラス中の泡を効果的に壊すことができると共に、化学的清澄を促進するのに必要とされ得る、ＳＣＭで用いられる溶融温度と適合する、より高い温度を生じることができるので、有利であり得る。更に、熱プラズマを用いた清澄化は、比較的乾式の方法であるので、ＳＣＭ溶融ガラスから水を除去するために用いることができ、これは、下流の処理工程においてイオン交換によって化学的に強化されるガラスの場合に、特に有利であり得る。更に、ＳＣＭ溶融設備は、ＳＣＭを清澄管に接続する中間チャンバを含んでもよく、このチャンバは、プラズマ清澄化装置を含むために後から容易に設けられ得る。

【００４１】

ガラス構造体

本明細書において用いられる「ガラスバッチ材料」という用語およびその変形は、溶融した際に反応および／または結合してガラスを生じるガラスプレカーサ粒子の混合物を意味するものである。ガラスバッチ材料は、ガラスプレカーサ粒子を組み合わせるための任意の公知の方法で調製および／または混合されてよい。例えば、特定の限定しない実施形態では、ガラスバッチ材料は、例えば、いかなる溶媒または液体も含まない、乾燥したまたは略乾燥したガラスプレカーサ粒子の混合物を含み得る。他の実施形態では、ガラスバッチ材料はスラリー（例えば、液体または溶媒が存在するガラスプレカーサ粒子の混合物）の形態であってもよい。

【００４２】

様々な実施形態によれば、ガラスバッチ材料は、例えばシリカ、アルミナ、および様々な更なる酸化物等（例えば酸化バリウム、酸化ホウ素、酸化マグネシム、酸化カルシウム、酸化ナトリウム、酸化ストロンチウム、酸化スズ、または酸化チタン等）のガラスプレカーサ材料を含み得る。例えば、ガラスバッチ材料は、１以上の更なる酸化物を含むシリカおよび／またはアルミナの混合物であり得る。様々な実施形態では、ガラスバッチ材料は、合わせて約４５～約９５重量％のアルミナおよび／またはシリカと、合わせて約５～約５５重量％のバリウム、ホウ素、マグネシム、カルシウム、ナトリウム、ストロンチウム、スズ、および／またはチタンのうちの少なくとも１つの酸化物とを含む。

【００４３】

様々な特殊なまたは「従来のものではない」ガラス組成物は、非常に高い溶融点に起因して、特に、清澄器を溶融器よりかなり高い温度で動作させる傾向の観点から、課題を提示し得る。例えば、酸化バリウムおよびアルミナの混合物、または酸化カルシウムおよびアルミナの混合物を含むガラスバッチ材料は、例えば２１００℃を超える非常に高い溶融温度を有する場合があり、これは、溶融プロセスを複雑にして、従来の清澄化を不可能ではなくても困難にする。高レベルのシリカおよび低レベルの二酸化チタンを含む超低膨張（「ＵＬＥ」（登録商標））ガラスも、従来のプロセスを用いて溶融および清澄化を行う際に問題を提示し得る。

【００４４】

特殊ガラスは、比較的高い量のアルミナ（例えば、約２０重量％を超えるアルミナ）を含むバッチ材料からも製造され得る。本明細書において開示される方法および装置を用いて清澄化され得る特殊ガラス組成物としては、アルミナおよび酸化バリウムの混合物が挙げられる（例えば、少なくとも約５０重量％のアルミナおよび約５０重量％未満の酸化バリウムを含む混合物等（例えば、約５０～約７５重量％のアルミナおよび約２５～約５０重量％の酸化バリウムを含む混合物、または、約６７重量％のアルミナおよび約３３重量％の酸化バリウムの混合物））。アルミナおよび酸化カルシウムを含む類似の混合物（例えば、約７０～約８０重量％のアルミナおよび約２０～約３０重量％の酸化カルシウムを

含む混合物）も、ガラスバッチ材料として用いられ得る。

【００４５】

「ＵＬＥ」ガラスは、高レベルのシリカを含み得る（例えば、約８５～約９５重量％のシリカおよび約５～約１５重量％の酸化チタン、または約９０重量％を超えるシリカおよび約１０重量％未満の酸化チタン）。これらの「ＵＬＥ」ガラスは、ヒドロキシル基（－ＯＨ）および様々な更なる元素（例えばＮｂ、Ｔａ、Ｆ、およびＡｌ等）を含み得る。例えば、「ＵＬＥ」ガラスは、約５重量％未満のそのような更なる元素を含み得る。特定の実施形態では、「ＵＬＥ」ガラスは、約０．１～約５重量％の範囲内（例えば、約０．５～約３重量％、または約１～約２重量％等）のそのような元素を含み得る。

【００４６】

特定の限定しない実施形態では、バッチ材料は、ガラスバッチ材料の総重量に対して約５５重量％未満（例えば、約５０重量％未満、約４５重量％未満、約４０重量％未満、約３５重量％未満、約３０重量％未満、約３５重量％未満、約２０重量％未満、約１５重量％未満、約１０重量％未満、または約５重量％未満であり、全ての範囲およびそれらの間の部分的な範囲を含む）のバリウム、ホウ素、マグネシム、カルシウム、ナトリウム、ストロンチウム、スズ、および／またはチタンのうちの少なくとも１つの酸化物を含む。理論によって縛られることは望まないが、そのような修飾物の量が低いガラスは、より高いガラス転移温度を有し得るので、従来の方法を用いて溶融および／または清澄化を行うのがより困難であると考えられる。

【００４７】

限定しない例として、ガラスバッチ材料は、約５５、５０、４５、４０、３５、３０、２５、２０、１５、１０、または５重量％未満（全ての範囲およびそれらの間の部分的な範囲を含む）の酸化バリウムを含み得る。同様に、ガラスバッチ材料は、約５５、５０、４５、４０、３５、３０、２５、２０、１５、１０、または５重量％未満（全ての範囲およびそれらの間の部分的な範囲を含む）の酸化ホウ素を含み得る。或いは、ガラスバッチ材料は、約５５、５０、４５、４０、３５、３０、２５、２０、１５、１０、または５重量％未満（全ての範囲およびそれらの間の部分的な範囲を含む）の酸化マグネシウムを含み得る。他の実施形態では、ガラスバッチ材料は、約５５、５０、４５、４０、３５、３０、２５、２０、１５、１０、または５重量％未満（全ての範囲およびそれらの間の部分的な範囲を含む）の酸化カルシウムを含み得る。更なる実施形態によれば、ガラスバッチ材料は、約５５、５０、４５、４０、３５、３０、２５、２０、１５、１０、または５重量％未満（全ての範囲およびそれらの間の部分的な範囲を含む）の酸化ナトリウムを含み得る。更なる実施形態では、ガラスバッチ材料は、約５５、５０、４５、４０、３５、３０、２５、２０、１５、１０、または５重量％未満（全ての範囲およびそれらの間の部分的な範囲を含む）の酸化ストロンチウムを含み得る。更に別の実施形態では、ガラスバッチ材料は、約５５、５０、４５、４０、３５、３０、２５、２０、１５、１０、または５重量％未満（全ての範囲およびそれらの間の部分的な範囲を含む）の酸化スズを含み得る。他の実施形態によれば、ガラスバッチ材料は、約５５、５０、４５、４０、３５、３０、２５、２０、１５、１０、または５重量％未満（全ての範囲およびそれらの間の部分的な範囲を含む）の酸化チタンを含み得る。少なくとも１つの酸化物の合計量が約５５重量％未満である、上述の酸化物の様々な混合物が用いられ得ることを理解されたい。限定しない例として、酸化ナトリウムおよび酸化カルシウムの混合物、酸化チタンおよび酸化ナトリウムの組合せ、または酸化マグネシウム、酸化ナトリウム、および酸化カルシウムの組合せ等が用いられ得る。

【００４８】

シリカおよび／またはアルミナは、合わせて、ガラスバッチ材料の少なくとも約４５重量％（例えば、少なくとも約５０重量％、少なくとも約５５重量％、少なくとも約６０重量％、少なくとも約６５重量％、少なくとも約７０重量％、少なくとも約７５重量％、少なくとも約８０重量％、少なくとも約８５重量％、少なくとも約９０重量％、または少なくとも約９５重量％）の量で存在し得る。特定の実施形態によれば、ガラスバッチ材料は

、少なくとも約４５、５０、５５、６０、６５、７０、７５、８０、８５、９０、または９５重量％のシリカを含み得る。他の実施形態では、ガラスバッチ材料は、少なくとも約４５、５０、５５、６０、６５、７０、７５、８０、８５、９０、または９５重量％のアルミナを含み得る。シリカとアルミナとを合わせた量が約４５重量％を超える、上記に示した量のシリカおよびアルミナの混合物も用いられ得ることを理解されたい。

【００４９】

また、高い溶融温度を必要とし得る、および／または、上述の問題と類似の他の処理上の問題を有し得る更なるガラスバッチ組成物が、本明細書に記載される方法で処理されるガラスバッチ材料として用いられ得ることも想定される。例えば、窒化ケイ素、炭化ケイ素、ジルコニア、および高い溶融温度を有する他の酸化物を含むガラスバッチ組成物も、本明細書に記載される方法に従って処理されるのに適したものであり得る。例えばコーニング社の「EAGLE XG」（登録商標）および「Lotus（商標）XP」等の高性能光学ガラスも、本明細書に記載される方法に従って処理され得る。

【００５０】

ガラスバッチ材料は、ガラスバッチ材料を混合および／または処理するための当該技術分野において知られている任意の方法によって調製され得る。例えば、バッチ材料は、所望のサイズおよび／または形状を有する所望の混合物を生じるために、混合、製粉、粉砕、および／または別様で処理され得る。例えば、ガラスバッチ材料は、約１，０００マイクロメートル未満（例えば、約９００、８００、７００、６００、５００、４００、３００、２００、または１００マイクロメートル未満であり、全ての範囲およびそれらの間の部分的な範囲を含む）の平均粒径を有し得る。様々な実施形態では、ガラスバッチ材料は、約５マイクロメートル～約１，０００マイクロメートルの範囲内（例えば約５０マイクロメートル～約９００マイクロメートル、約１００マイクロメートル～約８００マイクロメートル、約１５０マイクロメートル～約７００マイクロメートル、約２００マイクロメートル～約６００マイクロメートル、または約２５０マイクロメートル～５００マイクロメートル等であり、全ての範囲およびそれらの間の部分的な範囲を含む）の平均粒径を有し得る。更なる実施形態では、ガラスバッチ材料の平均粒径は、約１００マイクロメートル未満（例えば、約５０マイクロメートル未満、約２５マイクロメートル未満、または約１０マイクロメートル未満等）であり得る。

【００５１】

本明細書に記載される方法および装置は、ガラス構造体を形成するために用いられ得るガラスバッチ材料を溶融および清澄化する手段を提供する。本明細書において用いられる「ガラス構造体」という用語およびその変形は、溶融ガラスを処理することによって製造されるガラス物品（例えば、清澄化処理後に製造される任意の物品）を意味することが意図される。ガラス構造体の形状、寸法、組成、または微細構造は限定されず、任意の従来のまたは従来のものではない物品であり得る。ガラス構造体は、例えば、室温まで冷却された物品であってもよく、または、溶融状態または半溶融状態で存在する物品であってもよい。一部の実施形態では、ガラス構造体は、例えばフュージョンドロー法、スロットドロー法、フロート法等によって製造されたガラスシートであり得る。様々な組成特性および物理的特性を有する様々な他のガラス形状も、本開示の範囲内であることが想定され、意図される。

【００５２】

様々な実施形態によれば、本明細書において開示される方法は、比較的高いガラス転移温度（T_g）（例えば、約１６５０℃を超える、約１７００℃を超える、約１８００℃を超える、約１９００℃を超える、または約２０００℃を超える温度であり、全ての範囲およびそれらの間の部分的な範囲を含む）を有する従来のものではないガラス組成物の清澄化を可能にできる。他の実施形態では、例えば、より少ない気泡および／またはブリスターを有する溶融ガラスおよびガラス構造体を製造するために、従来の（および従来のものではない）ガラス組成物を従来技術の方法よりも効果的に清澄化することを可能にし得る。例えば、溶融ガラスの清澄化のための典型的な処理は、ガラス１ポンド（約４５３．５

９グラム）当たり約０．００１～約０．０１個の範囲内の気泡密度を有する溶融ガラスまたはガラス構造体を生じ得る。一方、本明細書において開示される方法は、少なくとも約一桁低い、例えば、１ポンド当たり約０．００１個未満、１ポンド当たり約０．０００９、０．０００８、０．０００７、０．０００６、０．０００５、０．０００４、０．０００３、０．０００２、または０．０００１個未満の気泡密度を有する溶融ガラスおよびガラス構造体を提供できる。

【００５３】

なお、様々な開示された実施形態は、その特定の実施形態に関して説明された特定の特徴、要素、または工程を含み得る。更に、特定の特徴、要素、または工程は、たとえ或る特定の実施形態に関して説明されていても、様々な説明されていない組合せまたは配列で、別の実施形態と交換されてもよく、または組み合わされてもよい。

【００５４】

また、本明細書において用いられる名詞は「少なくとも１つ」の対象を指し、特に明記しない限り、「１つのみ」の対象に限定されるべきではないことを理解されたい。従って、例えば、「トーチ」と言った場合には、特に明記しない限り、２以上のそのような「トーチ」を有する例を含む。

【００５５】

本明細書において、範囲は、「約」或る特定の値から、および／または、「約」別の特定の値までと表現され得る。そのような範囲が表現された場合には、例は、その或る特定の値から、および／または、別の特定の値までを含む。同様に、値が「約」という語を用いて概算として表現された場合には、その特定の値が、別の態様を構成することを理解されたい。更に、各範囲の終点は、他方の終点との関係において、および他方の終点から独立して、有意であることを理解されたい。

【００５６】

本明細書において、様々な範囲は、「約」１以上の特定の値「を超える」または「約」１以上の特定の値「未満」、および「全ての範囲およびそれらの間の部分的な範囲」と表され得る。そのような範囲が表される場合には、例は、任意の或る特定の値から任意の別の特定の値までを含む。例えば、約４５重量％を超える（例えば約５０、５５、６０、６５、７０、７５、８０、８５、または９０重量％を超える）アルミナを含むガラスバッチ材料は、約４５重量％～約９０重量％の範囲、約６５重量％～約８０重量％の範囲、および開示された各値の間の他の全ての可能な範囲のアルミナを含む。同様に、約５５重量％未満（例えば約５０、４５、４０、３５、３０、２５、２０、１５、または１０重量％未満）の少なくとも１つの酸化物を含むガラスバッチ材料は、約１０重量％～約５５重量％の範囲、約１５重量％～約４０重量％の範囲、および開示された各値の間の他の全ての可能な範囲の酸化物を含む。

【００５７】

本明細書において表現される全ての数値は、特に明記しない限り、そのように記載されているか否かに関わらず「約」を含むものとして解釈される。しかし、記載される各数値は、「約」その値として表現されているか否かに関わらず、正確な数値も意図されることを更に理解されたい。従って、「１０００℃を超える温度」および「約１０００℃を超える温度」はどちらも、「約１０００℃を超える温度」および「１０００℃を超える温度」の実施形態を含む。

【００５８】

特に明記しない限り、本明細書において述べられたいずれの方法も、その工程が特定の順序で行われることを要するとは解釈されない。従って、方法の請求項が、その工程が辿るべき順序を実際に記載していない場合、または、特許請求の範囲もしくは説明において、その工程が特定の順序に限定されることが具体的に述べられていない場合には、どのような特定の順序も推論されることは意図しない。

【００５９】

特定の実施形態の様々な特徴、要素、または工程は、「～を含む／有する」という移行

句を用いて開示され得るが、それらの特徴、要素、または工程を含む、「～からなる」または「～から実質的になる」という移行句を用いて記載され得る別の実施形態も暗示されることを理解されたい。従って、例えばＡ＋Ｂ＋Ｃを含む装置に対して暗示される別の実施形態は、装置がＡ＋Ｂ＋Ｃからなる実施形態、および装置がＡ＋Ｂ＋Ｃから実質的になる実施形態を含む。

【００６０】

本発明の趣旨および範囲から逸脱することなく、本発明に対して様々な変形および変更が行われ得ることが、当業者には自明であろう。当業者は、本発明の精神および本質を組み込んだ本開示の実施形態の変形、組合せ、部分的な組合せ、および変更を想到し得るものであるから、本発明は、添付の特許請求の範囲の範囲内のあらゆるもの、およびそれらの等価物を含むものと解釈されるべきである。

【００６１】

以下、本発明の好ましい実施形態を項分け記載する。

【００６２】

実施形態１

熱プラズマを発生する装置であって、

電極と、

接地電極と、

前記電極と前記接地電極との間に延びる誘電性プラズマ閉じ込め器と、

誘電性プラズマ閉じ込め器の周囲に延びる磁場発生器と、

前記誘電性プラズマ閉じ込め器内にガスを送出するための注入口と、

前記ガスを熱プラズマに変換するための、前記電極および前記接地電極に結合されたＲＦ電流源と、

前記熱プラズマを送出するための出口と

を含むことを特徴とする装置。

【００６３】

実施形態２

前記電極および前記接地電極が金属のリングを含む、実施形態１記載の装置。

【００６４】

実施形態３

前記注入口が、中心ジェットと、複数のジェットを含む周辺環とを含む、実施形態１記載の装置。

【００６５】

実施形態４

前記ＲＦ電流が、前記誘電性プラズマ閉じ込め管内におけるガス流の方向に対して平行な電場線と、前記ガス流の方向に対して直交する磁場線とを発生する、実施形態１記載の装置。

【００６６】

実施形態５

磁場発生器が、前記誘電性プラズマ閉じ込め管内におけるガス流の方向に対して平行な磁場線を発生する、実施形態１記載の装置。

【００６７】

実施形態６

前記熱プラズマが、約９０００Ｋ～約１１０００Ｋの範囲内の第１の温度を有するコア領域と、約３００Ｋ～約１０００Ｋの範囲内の第２の温度を有する周辺領域とを含む、実施形態１記載の装置。

【００６８】

実施形態７

前記ＲＦ電流が約３ＭＨｚ～約１００ＭＨｚの範囲内の周波数を有する、実施形態１記載の装置。

【００６９】
実施形態８
実施形態１記載の少なくとも１つの装置を含むことを特徴とする溶融ガラスの清澄化システム。
【００７０】
実施形態９
前記溶融ガラスを収容する清澄管を更に含む、実施形態８記載のシステム。
【００７１】
実施形態１０
前記少なくとも１つの装置が前記清澄管内のガラス－空気界面に向けられる、実施形態９記載のシステム。
【００７２】
実施形態１１
前記少なくとも１つの装置が前記清澄管の外面に向けられる、実施形態９記載のシステム。
【００７３】
実施形態１２
溶融ガラスの清澄化方法において、
熱プラズマを発生する装置であって、電極と、接地電極と、前記電極と前記接地電極との間に延びる誘電性プラズマ閉じ込め器と、該誘電性プラズマ閉じ込め器の周囲に延びる磁場発生器と、前記誘電性プラズマ閉じ込め器内にガスを送出するための注入口と、前記ガスを熱プラズマに変換するためのＲＦ電流源と、前記熱プラズマを送出するための出口とを含む装置内に、ガスを導入する工程と、
溶融ガラスを清澄管に導入する工程と、
前記溶融ガラスを前記熱プラズマと接触させる工程と
を含むことを特徴とする方法。
【００７４】
実施形態１３
前記ガスが、アルゴン、ヘリウム、ネオン、クリプトン、およびキセノンから選択される希ガスである、実施形態１２記載の方法。
【００７５】
実施形態１４
前記溶融ガラスを前記熱プラズマと接触させる工程が、前記熱プラズマを前記清澄管内のガラス－空気界面に向けることを含む、実施形態１２記載の方法。
【００７６】
実施形態１５
前記溶融ガラスを前記熱プラズマと接触させる工程が、前記熱プラズマを前記清澄管の外面に向けることを含む、実施形態１２記載の方法。
【００７７】
実施形態１６
前記熱プラズマが前記溶融ガラスを約１７００℃以上の温度まで加熱する、実施形態１２記載の方法。
【００７８】
実施形態１７
前記熱プラズマが、前記溶融ガラスが流れる前記清澄管内の少なくとも１つの所定の領域を局所的に加熱する、実施形態１２記載の方法。
【００７９】
実施形態１８
約１６５０℃より高いＴｇと、１ポンド（約４５３．５９グラム）当たり０．００１個未満の気泡密度とを有することを特徴するガラス構造体。

【００８０】
実施形態１９
合わせて約４５～約９５重量％のアルミナおよび／またはシリカと、合わせて約５～約５５重量％のバリウム、ホウ素、マグネシム、カルシウム、ナトリウム、ストロンチウム、スズ、および／またはチタンのうちの少なくとも１つの酸化物とを含む、実施形態１８記載のガラス構造体。
【００８１】
実施形態２０
前記ガラス構造体がガラスシートである、実施形態１８記載のガラス構造体。
【符号の説明】
【００８２】
１００　プラズマジェット装置
１１２　清澄管
１０１　電極
１０２　接地電極
１０４　注入口
１０８　誘電性プラズマ閉じ込め器
１１４　中心ジェット
１１３　ジェットの外環
１１５　プラズマプルーム
１１８　ガス
３００　プラズマトーチ
３２０　清澄管
３８０　表面

【図１】

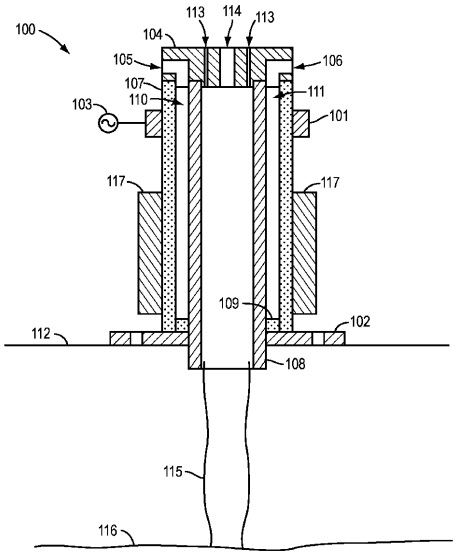

FIG. 1

【図２】

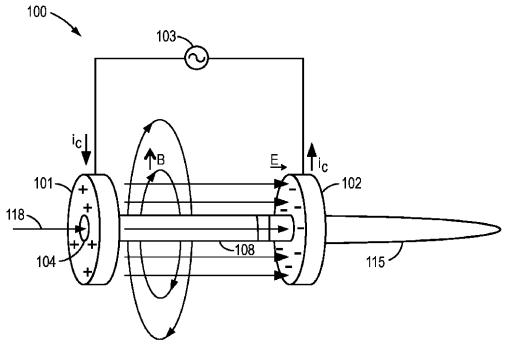

FIG. 2

【図３Ａ】

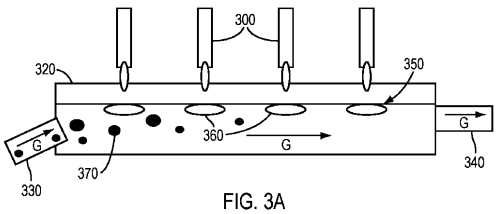

FIG. 3A

【図３Ｂ】

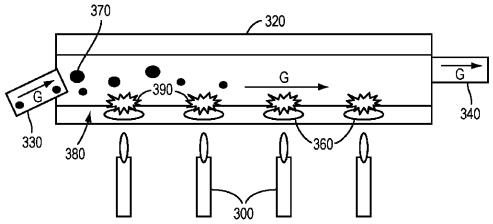

FIG. 3B

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2016/012557

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. C03B5/225 C03B5/185 C03B5/193 H05H1/24
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
C03B H05H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2011/298376 A1 (KANEGAE MASATOMO [JP] ET AL) 8 December 2011 (2011-12-08) paragraphs [0001] - [0006]; claims 1,23; figures 4,15	1-11
A	FR 2 235 885 A1 (INT STANDARD ELECTRIC CORP [US]) 31 January 1975 (1975-01-31) page 5, line 28 - page 6, line 7; figure 2 page 4, lines 12-18	12-17
A	US 2007/175241 A1 (DELAMIELLEURE MEGAN A [US] ET AL) 2 August 2007 (2007-08-02) paragraph [0073]	18

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
12 April 2016	22/04/2016

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Stroud, Jeremy

1

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2016/012557

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2010/199721 A1 (ANTOINE KEISHA CHANTELLE ANN [US] ET AL) 12 August 2010 (2010-08-12) paragraphs [0048], [0056], [0057], [0060]	18-20
A	US 2005/016456 A1 (TAGUCHI NORIYUKI [JP] ET AL) 27 January 2005 (2005-01-27) paragraphs [0001] - [0012]; claims 1,25; figures 1,15,1618	1
A	US 7 719 200 B2 (LAROUSSI MOUNIR [US]) 18 May 2010 (2010-05-18) column 4, lines 14-50; figure 1	1
A	US 2004/012319 A1 (SHUN KO EVGENY V [US]) 22 January 2004 (2004-01-22) paragraphs [0008], [0026]; claim 1	1

1

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/US2016/012557

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2011298376 A1	08-12-2011	CN 102282916 A	14-12-2011
		JP 5891341 B2	23-03-2016
		US 2011298376 A1	08-12-2011
		WO 2010082561 A1	22-07-2010
FR 2235885 A1	31-01-1975	DE 2431723 A1	23-01-1975
		FR 2235885 A1	31-01-1975
		JP S5039312 A	11-04-1975
		NL 7408905 A	07-01-1975
US 2007175241 A1	02-08-2007	CN 101679090 A	24-03-2010
		EP 2132147 A1	16-12-2009
		JP 2010523457 A	15-07-2010
		JP 2015214477 A	03-12-2015
		KR 20100016118 A	12-02-2010
		TW 200906752 A	16-02-2009
		US 2007175241 A1	02-08-2007
		WO 2008123942 A1	16-10-2008
US 2010199721 A1	12-08-2010	CN 102307821 A	04-01-2012
		CN 103951160 A	30-07-2014
		JP 2012517398 A	02-08-2012
		KR 20110121631 A	07-11-2011
		TW 201040115 A	16-11-2010
		US 2010199721 A1	12-08-2010
		US 2012103021 A1	03-05-2012
		WO 2010093571 A2	19-08-2010
US 2005016456 A1	27-01-2005	AU 2003211351 A1	09-09-2003
		CN 1611098 A	27-04-2005
		EP 1441577 A1	28-07-2004
		JP 4414765 B2	10-02-2010
		KR 20040045820 A	02-06-2004
		KR 20060031704 A	12-04-2006
		TW I315966 B	11-10-2009
		US 2005016456 A1	27-01-2005
		WO 03071839 A1	28-08-2003
US 7719200 B2	18-05-2010	AU 2006220583 A1	14-09-2006
		BR PI0608235 A2	24-11-2009
		CA 2651200 A1	14-09-2006
		EP 1863611 A2	12-12-2007
		JP 2008533666 A	21-08-2008
		US 2009121637 A1	14-05-2009
		WO 2006096716 A2	14-09-2006
US 2004012319 A1	22-01-2004	NONE	

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (April 2005)

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IR,IS,JP,KE,KG,KN,KP,KR,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US

(72)発明者 ジャーヴィス, スコット マイケル
アメリカ合衆国 ニューヨーク州 １４８５０ イサカ ハーヴェイ ヒル ロード １１１

Ｆターム(参考) 2G084 AA15 BB03 BB12 BB26 BB37 CC04 CC05 CC11 CC33 CC34
DD01 DD13 DD22 DD63 FF02 FF23 FF27 FF29 FF31 FF33
FF40 GG02 GG07
4G014 AF00
4G062 AA01 BB01 BB06 DA01 DA02 DA03 DA04 DA05 DA06 DA07
DA08 DB01 DB02 DB03 DB04 DB05 DB06 DB07 DB08 DC01
DC02 DC03 DC04 DC05 DC06 DD01 DE01 EA01 EB01 EB02
EB03 EB04 EB05 EB06 EC01 ED01 ED02 ED03 ED04 ED05
ED06 EE01 EE02 EE03 EE04 EE05 EE06 EF01 EF02 EF03
EF04 EF05 EF06 EG01 EG02 EG03 EG04 EG05 EG06 FA01
FA10 FB01 FB02 FB03 FB04 FB05 FB06 FC01 FD01 FE01
FE02 FE03 FE04 FE05 FE06 FF01 FG01 FH01 FJ01 FK01
FL01 GA01 GA10 GB01 GC01 GD01 GE01 HH01 HH03 HH05
HH07 HH09 HH11 HH13 HH15 HH17 HH20 JJ01 JJ03 JJ05
JJ07 JJ10 KK01 KK03 KK05 KK07 KK10 MM01 MM23 NN31