

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-40417

(P2010-40417A)

(43) 公開日 平成22年2月18日(2010.2.18)

(51) Int. Cl. F I テーマコード (参考)
 H05H 1/24 (2006.01) H05H 1/24 4K028
 C23C 8/38 (2006.01) C23C 8/38

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2008-204159 (P2008-204159)
 (22) 出願日 平成20年8月7日(2008.8.7)

(71) 出願人 592032636
 学校法人トヨタ学園
 愛知県名古屋市天白区久方2丁目12番地
 1
 (74) 代理人 100081776
 弁理士 大川 宏
 (72) 発明者 原 民夫
 愛知県名古屋市天白区久方2丁目12番地
 1 学校法人トヨタ学園豊田工業大学内
 (72) 発明者 市来 龍大
 愛知県名古屋市天白区久方2丁目12番地
 1 学校法人トヨタ学園豊田工業大学内
 Fターム(参考) 4K028 BA02 BA12 BA21

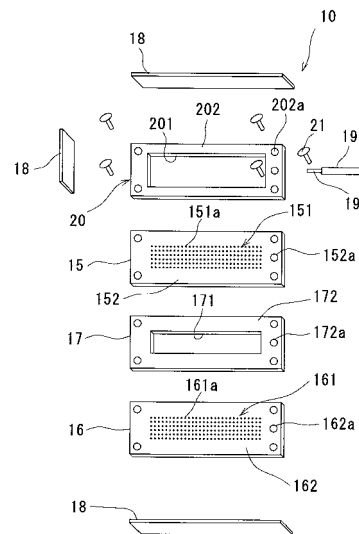
(54) 【発明の名称】 電子ビーム発生装置

(57) 【要約】

【課題】 多孔プレート製電極の形状を工夫することにより、多孔プレート製電極の熱負荷を低減させ、電子ビーム励起プラズマの高密度化と電極の長寿命化を図る。

【解決手段】 この電子ビーム発生装置5では、冷却チャンバの電極保持部に保持された電極部10の外形状が矩形形状を呈している。電極部10は、多孔放電陽極15と、多孔加速電極16と、第1絶縁板17と、第2絶縁板18と、リード線19と、枠状金属板20とを備えている。第1絶縁板17及び第2絶縁板18が5W/m・K以上の熱伝導率を有する熱伝導性電気絶縁材よりなる。多孔放電陽極15及び多孔加速電極16の熱負荷を低減させることが可能となり、特に高温となり易い多孔放電陽極15の第1中央多孔部151の中心部を効率良く冷却することが可能となる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

プラズマ発生用の放電陰極と対向するように電子ビーム励起プラズマ発生装置に配設される電子ビーム発生装置であって、

複数の電極保持部と、各該電極保持部にそれぞれ設けられた複数の貫通孔と、冷却機構とを有するチャンバと、

各前記電極保持部にそれぞれ保持されるとともに前記放電陰極からの電子によりプラズマを発生させ、発生した該プラズマの電子を透過するための第 1 透孔が複数貫設された第 1 中央多孔部と、該第 1 中央多孔部の周縁に一体に設けられた棒状の第 1 周縁部とを有する複数の多孔放電陽極と、

各前記多孔放電陽極と対向するように各前記電極保持部にそれぞれ直に接して保持されるとともに該多孔放電陽極の前記第 1 透孔から前記電子を引き出して加速し、加速した該電子を透過するための複数の第 2 透孔が貫設された第 2 中央多孔部と、該第 2 中央多孔部の周縁に一体に設けられた棒状の第 2 周縁部とを有する複数の多孔加速電極と、

各前記多孔放電陽極と各前記多孔加速電極との間に配設されて該多孔放電陽極及び該多孔加速電極間を絶縁し、該多孔放電陽極の前記第 1 中央多孔部及び該多孔加速電極の前記第 2 中央多孔部に対応した形状の通孔を有する複数の第 1 絶縁板と、

各前記多孔放電陽極と各前記電極保持部との間に配設されて該多孔放電陽極及び該電極保持部間を絶縁する複数の第 2 絶縁板と、

各前記多孔放電陽極に通電するための複数のリード線と、を備え、

前記多孔放電陽極及び前記多孔加速電極の外形状における長手方向長さに対する短手方向長さの比が 1 未満であり、

前記第 1 絶縁板及び前記第 2 絶縁板が $5 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 以上の熱伝導率を有する熱伝導性電気絶縁材よりなることを特徴とする電子ビーム発生装置。

【請求項 2】

前記多孔放電陽極及び前記多孔加速電極の外形状が矩形状であり、かつ前記第 1 中央多孔部及び前記第 2 中央多孔部の外形状が矩形状である請求項 1 に記載の電子ビーム発生装置。

【請求項 3】

前記多孔放電陽極の前記第 1 周縁部に接して配設された棒状金属板をさらに備え、

前記棒状金属板が前記多孔放電陽極を構成する材料よりも電気伝導率の高い金属よりなり、前記リード線が該棒状金属板に接続される請求項 1 又は 2 に記載の電子ビーム発生装置。

【請求項 4】

前記熱伝導性電気絶縁材が窒化系セラミックスである請求項 1 ～ 3 のいずれか一つに記載の電子ビーム発生装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は電子ビーム発生装置に関し、詳しくは電子ビーム励起プラズマ発生装置、特に小型電子ビーム励起プラズマ発生装置に好適に用いることのできる電子ビーム発生装置に関する。

【背景技術】

【0002】

窒化処理等の各種金属材料の表面改質処理、シリコンウエハ等の微細ドライエッチング加工や、プラズマ CVD やイオンプレーティング等の成膜処理等には、電子ビーム励起プラズマ (EBEP) 発生装置が広く使用されている。

【0003】

電子ビーム励起プラズマ発生装置は、プラズマから電子ビームを発生させる電子ビーム発生室と、電子ビーム発生室から放出された電子ビームによりガスプラズマを発生させて

10

20

30

40

50

被処理材を処理する反応室とを備える。電子ビーム発生室には、プラズマ発生用の放電陰極と、この放電陰極と対向する電子ビーム発生装置とが配設される。電子ビーム発生装置は、チャンバと、チャンバに保持された加速電極及び放電陽極並びに両電極を絶縁する絶縁板とを備える。チャンバは冷却媒体が通過する冷却通路を有する。冷却媒体の通過により冷却されたチャンバは加速電極及び放電陽極を冷却する。加速電極はチャンバに接して保持され、また放電陽極は絶縁板を介して加速電極に対向するように配設される。放電陽極は、放電陰極からの電子によりプラズマを発生させる。加速電極は、放電陽極の透孔から電子を引き出して加速する。加速電極の透孔から反応室に向けて放出された電子ビームは、反応室内でガスを解離、電離してガスプラズマを生成する。

【0004】

10

かかる構成を有する電子ビーム励起プラズマ発生装置においては、加速電極にかかる電圧の大きさによって、反応室に向けて放出される電子ビームの速度を制御することができ、反応室内の気相中において特定の分子の解離とイオン化とを選択的に促進させることが可能となる。このため、電子ビーム励起プラズマ発生装置によれば、例えば結合エネルギーの大きい窒素分子であっても高効率で解離することができる。

【0005】

このような電子ビーム励起プラズマ発生装置として、多孔プレート製の放電陽極及び加速電極を用いて小型化を図ったものが知られている（例えば、特許文献1参照）。この多孔プレート製の放電陽極及び加速電極は、円板状を呈し、プラズマの電子を透過させる透孔が多数貫設された円形の中央多孔部と、中央多孔部の周縁に一体に設けられた枠状の周縁部とを有する。

20

【0006】

ここに、例えば金属材料の表面を窒化処理する際、反応室の容積を大きくしようとする、電子ビーム励起プラズマ生成時の投入パワーを増大させる必要がある。プラズマ源のパワーを増大させると、多孔プレート製の放電陽極及び加速電極の熱負荷が増大する。このため、定常的に引き出せる電子ビームの最大値及び電極寿命は多孔プレート製電極の熱負荷によって決定される。

【0007】

ところが、従来の小型電子ビーム励起プラズマ発生装置においては、多孔プレート製電極の熱負荷を低減させるための工夫がなされていなかった。このため、4～5 A程度の電子ビーム電流での定常運転が限界であり、生成される電子ビーム励起プラズマの高密度化や電極の長寿命化を図ることに限界があった。

30

【特許文献1】特開平7-272894号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明は上記実情に鑑みてなされたものであり、多孔プレート製電極の形状を工夫することにより、多孔プレート製電極の熱負荷を低減させ、電子ビーム励起プラズマの高密度化と電極の長寿命化を図ることを解決すべき技術課題とする。

【課題を解決するための手段】

40

【0009】

上記課題を解決する本発明の電子ビーム発生装置は、プラズマ発生用の放電陰極と対向するように電子ビーム励起プラズマ発生装置に配設される電子ビーム発生装置であって、複数の電極保持部と、各該電極保持部にそれぞれ設けられた複数の貫通孔と、冷却機構とを有するチャンバと、各前記電極保持部にそれぞれ保持されるとともに前記放電陰極からの電子によりプラズマを発生させ、発生した該プラズマの電子を透過するための第1透孔が複数貫設された第1中央多孔部と、該第1中央多孔部の周縁に一体に設けられた枠状の第1周縁部とを有する複数の多孔放電陽極と、各前記多孔放電陽極と対向するように各前記電極保持部にそれぞれ直に接して保持されるとともに該多孔放電陽極の前記第1透孔から前記電子を引き出して加速し、加速した該電子を透過するための複数の第2透孔が貫設

50

された第2中央多孔部と、該第2中央多孔部の周縁に一体に設けられた棒状の第2周縁部とを有する複数の多孔加速電極と、各前記多孔放電陽極と各前記多孔加速電極との間に配設されて該多孔放電陽極及び該多孔加速電極間を絶縁し、該多孔放電陽極の前記第1中央多孔部及び該多孔加速電極の前記第2中央多孔部に対応した形状の通孔を有する複数の第1絶縁板と、各前記多孔放電陽極と各前記電極保持部との間に配設されて該多孔放電陽極及び該電極保持部間を絶縁する複数の第2絶縁板と、各前記多孔放電陽極に通電するための複数のリード線と、を備え、前記多孔放電陽極及び前記多孔加速電極の外形状における長手方向長さに対する短手方向長さの比が1未満であり、前記第1絶縁板及び前記第2絶縁板が $5\text{ W/m}\cdot\text{K}$ 以上の熱伝導率を有する熱伝導性電気絶縁材よりなることを特徴とする。

10

【0010】

多孔放電陽極の第1中央多孔部及び多孔加速電極の第2中央多孔部における中心部は、冷却されたチャンバから最も離れているため、冷却効率が最も劣る部分となる。例えば、従来の小型電子ビーム励起プラズマ発生装置における多孔放電陽極及び多孔加速電極のように円板状電極の場合は、円形の中央多孔部の中心部で冷却効率が最低となる。このため多孔放電陽極に流れる放電電流の増大に伴い、多孔放電陽極の第1中央多孔部の中心部に過大な熱負荷が加わるようになり、この中心部に熱損傷が生じやすくなる。

【0011】

この点、本発明の電子ビーム発生装置では、多孔放電陽極及び多孔加速電極の外形状における長手方向長さに対する短手方向長さの比が1未満とされている。このため、多孔放電陽極の長手方向における中心部であっても、その中心部における第1中央多孔部の中心は、多孔放電陽極の外縁からはこの多孔放電陽極の短手方向長さの半分の長さ分しか離れていない。また、多孔放電陽極と多孔加速電極とを絶縁する第1絶縁板の熱伝導率、及び多孔放電陽極とチャンバの電極保持部とを絶縁する第2絶縁板の熱伝導率が $5\text{ W/m}\cdot\text{K}$ 以上と高い。一方、チャンバの電極保持部は冷却機構によって冷却される。また、チャンバの電極保持部に直に接して保持された多孔加速電極は、チャンバの電極保持部によって冷却される。したがって、多孔放電陽極の熱を、第1絶縁板を介して多孔加速電極に効率良く拡散させることができるとともに、第2絶縁板を介してチャンバの電極保持部に効率良く拡散させることができる。よって、多孔放電陽極及び多孔加速電極の熱負荷を低減させることが可能となり、特に高温となり易い多孔放電陽極の第1中央多孔部の中心部を効率良く冷却することが可能となる。

20

30

【0012】

本発明の電子ビーム発生装置において、好ましくは、前記多孔放電陽極及び前記多孔加速電極の外形状が矩形状であり、かつ前記第1中央多孔部及び前記第2中央多孔部の外形状が矩形状である。

【0013】

本発明の電子ビーム発生装置は、好ましくは、前記多孔放電陽極の前記第1周縁部に接して配設された棒状金属板をさらに備える。この場合、この棒状金属板は、前記多孔放電陽極を構成する材料よりも電気伝導率の高い金属よりなり、前記リード線が該棒状金属板に接続される。リード線が多孔放電陽極に接続されている場合は、多孔放電陽極において接続点に近い部分と遠い部分とで生じる電位差が大きくなりやすく、第1中央多孔部のうち接続点に近い部分に放電が集中して熱負荷も集中しやすい。この点、本発明の電子ビーム発生装置が高熱伝導率の棒状金属板をさらに備える場合は、棒状金属板へのリード線の接続位置にかかわらず、多孔放電陽極の第1中央多孔部の全体で均一に放電を発生させて熱負荷も第1中央多孔部の全体に分散させやすい。

40

【0014】

本発明の電子ビーム発生装置において、好ましくは、前記熱伝導性電気絶縁材が窒化系セラミックスである。

【発明の効果】

【0015】

50

したがって、本発明の電子ビーム発生装置によると、多孔放電陽極に従来よりも大きな放電電流を流すことができ、電子ビーム励起プラズマの密度を従来よりも向上させることが可能となる。また、多孔放電陽極及び多孔加速電極の長寿命化を図ることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0016】

以下、本発明の電子ビーム発生装置の実施形態について詳しく説明する。なお、説明する実施形態は一実施形態にすぎず、本発明の電子ビーム発生装置は、下記実施形態に限定されるものではない。本発明の電子ビーム発生装置は、本発明の要旨を逸脱しない範囲において、当業者が行い得る変更、改良等を施した種々の形態にて実施することができる。

【0017】

図1は、本実施形態の電子ビーム発生装置の要部を示す分解斜視図である。図2は、本実施形態の電子ビーム発生装置の斜視図である。図3は、本実施形態の電子ビーム発生装置を用いた小型電子ビーム励起プラズマ発生装置の全体構成を概略的に示す説明図である。

【0018】

<小型電子ビーム励起プラズマ発生装置の概略構成>

この小型電子ビーム励起プラズマ発生装置は、図3に示されるように、プラズマから電子ビームを発生させる電子ビーム発生室1と、電子ビーム発生室1から放出された電子ビームによりガスプラズマを発生させて被処理材2を処理する反応室3とを備えている。電子ビーム発生室1には、プラズマ発生用の放電陰極4と、この放電陰極4と対向する電子ビーム発生装置5とが配設されている。放電陰極4と、電子ビーム発生装置5との間には、補助電極6が配設されている。

【0019】

放電陰極4及び補助電極6はいずれもタングステンよりなる。放電陰極4は直流電源7によりジュール加熱される。放電陰極4及び補助電極6は直流電源8に接続されており、放電陰極4と補助電極6との間において、直流電源8により直流放電が発生する。

【0020】

<電子ビーム発生装置5の構成>

電子ビーム発生装置5は、水冷チャンバ9と、水冷チャンバ9に保持された複数（本実施形態では6個）の電極部10とを備えている。水冷チャンバ9は、冷却媒体としての冷却水が図示しない冷却水供給装置から供給されて通過する複数（本実施形態では3個）の冷却通路11を備えている。なお、冷却通路11は、本発明における冷却機構に含まれる。この冷却機構としての冷却通路11に冷却水を通過させることで、水冷チャンバ9の全体を冷却することができる。また、電極部10及び後述する電極保持部12や冷却通路11の数は特に限定されず、適宜設定可能である。冷却機構の構成も特に限定されず、冷却媒体として水の代わりにエチレングリコールや液体窒素等を利用してもよい。

【0021】

水冷チャンバ9は、複数（本実施形態では6個）の電極保持部12を備えている。各電極保持部12は、凹部13と、この凹部13の底面に貫設された貫通孔14とを備えている。凹部13は64mm×22mmの矩形状を呈し、凹部13の深さは8mmである。貫通孔14は、凹部13の中心部に配設され、42mm×8mmの矩形状を呈する。各電極保持部12にはそれぞれ電極部10が保持されている。

【0022】

各電極部10は、多孔放電陽極15と、多孔加速電極16と、第1絶縁板17と、第2絶縁板18と、リード線19と、枠状金属板20とを備えている。多孔加速電極16、第1絶縁板17、多孔放電陽極15及び枠状金属板20は、この順で、電極保持部12の凹部13の底面に、セラミックス等の絶縁材料よりなる絶縁ネジ21により固定されている。

【0023】

多孔放電陽極15は、第1中央多孔部151と、第1周縁部152とからなる。多孔放

10

20

30

40

50

電陽極 15 は、厚さ 1 mm のグラファイト板よりなる。多孔放電陽極 15 の外形状は 58 mm × 20 mm の矩形であり、第 1 中央多孔部 151 の外形状は 42 mm × 8 mm の矩形である。多孔放電陽極 15 の第 1 中央多孔部 151 には、放電陰極 4 から電子により発生したプラズマの電子を透過するための多数（本実施形態では 241 個）の第 1 透孔 151a が貫設されている。この第 1 透孔 151a は、第 1 中央多孔部 151 の全体に均一に分布している。第 1 透孔 151a の直径は 1 mm であり、第 1 透孔 151a 同士の間隔（ピッチ）は 1.2 mm である。また、第 1 周縁部 152 には、絶縁ネジ 21 が挿通される 5 個のネジ穴 152a が貫設されている。

【0024】

多孔加速電極 16 は、第 2 中央多孔部 161 と、第 2 周縁部 162 とからなる。この多孔加速電極 16 は冷却チャンバ 9 の電極保持部 12 に直に接して保持されている。詳しくは、多孔加速電極 16 の第 2 周縁部 162 と、電極保持部 12 の凹部 13 の底面とが接している。これにより、多孔加速電極 16 は水冷チャンバ 9 に導通し接地される。

10

【0025】

多孔加速電極 16 は、厚さ 1 mm のグラファイト板よりなる。多孔加速電極 16 の外形状は 58 mm × 20 mm の矩形であり、第 2 中央多孔部 161 の外形状は 42 mm × 8 mm の矩形である。多孔加速電極 16 の第 2 中央多孔部 161 には、多孔放電陽極 15 の第 1 透孔 151a から引き出したプラズマの電子を透過するための多数（本実施形態では 241 個）の第 2 透孔 161a が貫設されている。この第 2 透孔 161a は、第 2 中央多孔部 161 の全体に均一に分布している。第 2 透孔 161a の直径は 1 mm であり、第 2 透孔 161a 同士の間隔（ピッチ）は 1.2 mm である。また、第 2 周縁部 162 には絶縁ネジ 21 が挿通される 5 個のネジ穴 162a が貫設されている。

20

【0026】

第 1 絶縁板 17 は、多孔放電陽極 15 と多孔加速電極 16 との間に配設されている。第 1 絶縁板 17 の中央には、多孔放電陽極 15 の第 1 中央多孔部 151 及び多孔加速電極 16 の第 2 中央多孔部 161 に対応した形状、すなわち第 1 中央多孔部 151 及び第 2 中央多孔部 161 の外形状と同一形状（同一の矩形）の通孔 171 が貫設されている。第 1 絶縁板 17 の周縁部 172 には、絶縁ネジ 21 が挿通される 5 個のネジ穴 172a が貫設されている。第 1 絶縁板 17 の外形状は 58 mm × 20 mm の矩形で、第 1 絶縁板 17 の厚さは 0.7 mm である。また、第 1 絶縁板 17 の通孔 171 の形状は 42 mm × 8 mm の矩形である。

30

【0027】

第 2 絶縁板 18 は、多孔放電陽極 15、多孔加速電極 16 及び棒状金属板 20 と冷却チャンバ 9 の電極保持部 12 との間に配設され、多孔放電陽極 15 及び棒状金属板 20 と冷却チャンバ 9 の電極保持部 12 との間を絶縁する。第 2 絶縁板 18 の高さは 8 mm、第 2 絶縁板 18 の厚さは 1 mm である。

【0028】

第 1 絶縁板 17 及び第 2 絶縁板 18 は、いずれも 5 W/m · K 以上の熱伝導率を有する熱伝導性電気絶縁材よりなる。具体的には、第 1 絶縁板 17 及び第 2 絶縁板 18 は、いずれも窒化系セラミックスとしての窒化アルミニウムよりなる。窒化アルミニウムの熱伝導率は 80 ~ 100 W/m · K 程度である。

40

【0029】

ここに、第 1 絶縁板 17 及び第 2 絶縁板 18 に用いることのできる 5 W/m · K 以上の熱伝導率を有する熱伝導性電気絶縁材として、窒化アルミニウムの他に、窒化ホウ素、炭化珪素やアルミナ等を挙げる事ができる。これらの中では、50 W/m · K 以上の熱伝導率を有する窒化アルミニウム、窒化ホウ素及び炭化珪素が好ましい。また、高熱伝導性と高電気抵抗率の観点より、第 1 絶縁板 17 及び第 2 絶縁板 18 の材料として窒化アルミニウムや窒化ホウ素を採用することが好ましい。

【0030】

リード線 19 は、銅製の電流導入端子 191 を有する。このリード線 19 の電流導入端

50

子191は、セラミックス等の絶縁材料よりなる絶縁ネジ21により枠状金属板20に接続されている。冷却チャンバ9に導通された多孔加速電極16と、リード線19の電流導入端子191とは、直流電源22に接続されている。

【0031】

枠状金属板20は、多孔放電陽極15の第1周縁部152に直に接して配設されている。枠状金属板20と多孔放電陽極15とは導通しているため、リード線19の電流導入端子191を介して、多孔放電陽極15を接地に対して-50V~-200Vにバイアスする。

【0032】

枠状金属板20は、多孔放電陽極15を構成する材料よりも電気伝導率の高い金属よりなる。具体的には、枠状金属板20は銅よりなる。なお、枠状金属板18を構成する金属の種類としては、多孔放電陽極15を構成する材料よりも電気伝導率の高い金属であれば特に限定されず、銀や金等であってもよいが、コスト面より銅を採用することが好ましい。

10

【0033】

枠状金属板20の中央には、多孔放電陽極15の第1中央多孔部151及び多孔加速電極16の第2中央多孔部161にほぼ対応した形状の通孔201が貫設されている。枠状金属板20の周縁部202には、絶縁ネジ21が挿通される5個のネジ穴202aが貫設されている。枠状金属板20の外形状は58mm×20mmの矩形で、枠状金属板20の厚さは0.5mmである。また、枠状金属板20の通孔201の形状は45mm×13mmの矩形である。すなわち、枠状金属板20の通孔201は、多孔放電陽極15の第1中央多孔部151及び多孔加速電極16の第2中央多孔部161と比べて、長手方向長さ及び短手方向長さがいずれも少し長い矩形とされている。

20

【0034】

なお、反応室3内には、石英チャンバ31と、被処理材2が載置される石英台32とが配設されている。また、石英チャンバ31内は、外部ヒータ33により所定温度に保たれる。

【0035】

上記構成を有する本実施形態の電子ビーム発生装置5では、多孔放電陽極15及び多孔加速電極16の外形状が矩形とされており、かつ多孔放電陽極15の第1中央多孔部151及び多孔加速電極16の第2中央多孔部161の外形状が矩形とされている。このため、多孔放電陽極15の第2中央多孔部151の長手方向における中心部であっても、その中心部における第1中央多孔部151の中心は、多孔放電陽極15の外縁からこの多孔放電陽極15の短手方向長さの半分の長さ分しか離れていない。また、多孔放電陽極15と多孔加速電極16とを絶縁する第1絶縁板17、及び多孔放電陽極15と冷却チャンバ9の電極保持部12とを絶縁する第2絶縁板18が、窒化アルミニウムよりなる。この窒化アルミニウムの熱伝導率は80~100W/m・K程度と極めて高い。一方、冷却チャンバ9の電極保持部12は冷却通路11内を流れる冷却水によって冷却される。また、冷却チャンバ9の電極保持部12に直に接して保持された多孔加速電極16は、冷却チャンバ9の電極保持部12によって直接冷却される。したがって、多孔放電陽極15の熱を、第1絶縁板17を介して多孔加速電極16に効率良く拡散させることができるとともに、第2絶縁板18を介して冷却チャンバ9の電極保持部12に効率良く拡散させることができる。なお、多孔加速電極16の熱は、冷却チャンバ9の電極保持部12に効率良く拡散される。よって、多孔放電陽極15及び多孔加速電極16の熱負荷を低減させることが可能となり、特に高温となり易い多孔放電陽極15の第1中央多孔部151の中心部を効率良く冷却することが可能となる。

30

40

【0036】

また、本実施形態の電子ビーム発生装置5では、多孔放電陽極15の第1周縁部152に枠状金属板20が直に接して配設されている。そして、この枠状金属板20にリード線19が接続されている。ここに、この枠状金属板20は、多孔放電陽極15を構成する材

50

料よりも電気伝導率の高い銅よりなる。このため、多孔放電陽極 15 において、リード線 19 の接続点に近い部分と遠い部分とで生じる電位差を小さくすることができる。したがって、棒状金属板 20 へのリード線 19 の接続位置にかかわらず、多孔放電陽極 15 の第 1 中央多孔部 151 の全体でほぼ均一に放電を発生させることができ、第 1 中央多孔部 151 における熱負荷も第 1 中央多孔部 151 のほぼ全体に分散させることができる。

【0037】

よって、本実施形態の電子ビーム発生装置 5 によると、多孔放電陽極 15 に従来よりも大きな放電電流を流すことができ、電子ビーム励起プラズマの密度を従来よりも向上させることが可能となる。また、多孔放電陽極 15 及び多孔加速電極 16 の長寿命化を図ることができる。さらに、電極保持部 12 及び電極部 10 の外形状が矩形状であるため、電極保持部 12 及び電極部 10 の外形状が例えば円形状である場合と比較して、各電極部 10 に接続されるリード線 19 の配置や、冷却チャンバ 9 内における冷却通路 11 の配置の自由度が高くなる。

10

【実施例】

【0038】

以下、前記実施形態で説明した電子ビーム発生装置 5 を備えた小型電子ビーム励起プラズマ発生装置を用いて、被処理材 2 としての鉄鋼材（工具鋼鋼材、JIS SKD61）の表面を窒化処理した例について説明する。

【0039】

ポート 1a から放電用アルゴンガスを電子ビーム発生室 1 に供給し、直流電源 7 によりジュール加熱された放電陰極 4 と補助電極 6 との間において、直流電源 8 により直流放電を起こした。その後、直流電源 23 により、多孔放電陽極 15 に放電を誘導するとともに、放電陰極 4 と多孔放電陽極 15 との間で生成されたプラズマから、多孔加速電極 16 により電子を引き出して電子ビームを生成し、この電子ビームを反応室 3 内に放出した。このときの電子ビームエネルギーは、直流電源 23 の電圧より制御した。反応室 3 内に放出された電子ビームは、ポート 3a から供給されて石英チャンバ 31 中に導入された窒素ガスと衝突して、窒素プラズマを生成した。石英チャンバ 31 内の圧力は、排気口 3b からの排気により調製した。また、石英チャンバ 31 内の温度は、外部ヒータ 33 により 500℃程度に保った。

20

【0040】

電子ビーム励起プラズマ生成時の条件を、電子ビームエネルギー：80 eV、電子ビーム電流：10 A、窒素ガス分圧：0.12 Pa、アルゴンガス分圧：0.14 Pa としたところ、多孔放電陽極 15 の第 1 中央多孔部 151 のほぼ全体に亘って僅かな赤熱が認められたが、第 1 中央多孔部 151 の一部のみが極端に赤熱することはなかった。すなわち、電子ビーム電流 10 A での定常運転が可能であることが認められた。

30

【0041】

これに対し、前記実施形態で説明した電子ビーム発生装置 5 における棒状金属板 20 を省くとともに、リード線 19 の電流導入端子 191 を多孔放電陽極 15 に接続して、上記と同様の条件で窒化処理した場合は、リード線 19 の電流導入端子 191 の接続点に近い部分のみが選択的に大きく赤熱し、その部分的な熱消費も大きかった。これにより、棒状金属板 20 を設けることにより、多孔放電陽極 15 の第 1 中央多孔部 151 の全体でほぼ均一に放電を発生させて、第 1 中央多孔部 151 における熱負荷を第 1 中央多孔部 151 のほぼ全体に分散させることが可能になることが確認できた。

40

【0042】

また、前記実施形態で説明した電子ビーム発生装置 5 を備えた実施例の小型電子ビーム励起プラズマ発生装置を用いて、電子ビーム励起プラズマ生成時の条件を、電子ビームエネルギー：80 eV、窒素ガス分圧：0.12 Pa、アルゴンガス分圧：0.14 Pa とし、電子ビーム電流を 2～10 A の範囲で種々変更したときに、生成される電子ビーム励起プラズマのプラズマ密度を調べた。その結果を図 4 に示す。

【0043】

50

比較のため、従来の電子ビーム発生装置を備えた比較例1の小型電子ビーム励起プラズマ発生装置を用いた場合について、同様に電子ビーム電流と、電子ビーム励起プラズマのプラズマ密度との関係を調べた。その結果を図4に併せて示す。なお、ここで用いた従来の電子ビーム発生装置では、多孔放電陽極及び第1中央多孔部の外形状、並びに多孔加速電極及び第2中央多孔部の外形状を円形状とし、また枠状金属板20を省くとともにリード線19の電流導入端子191を多孔放電陽極に接続した。

【0044】

図4において、□で示すのが実施例のデータであり、●で示すのが比較例1のデータである。図4から明らかなように、実施例のデータでは、電子ビーム電流を10Aまで増大させた場合であっても、電子ビーム電流の増大に伴って、生成される電子ビーム励起プラズマのプラズマ密度も増大した。これに対し、比較例1のデータにおいては、電子ビーム電流2~6A程度の範囲でのみ、電子ビーム電流の増大に伴って、生成される電子ビーム励起プラズマのプラズマ密度が増大したが、電子ビーム電流6A~10Aの範囲では、電子ビーム電流を増大させても、生成される電子ビーム励起プラズマのプラズマ密度は増大しなかった。

10

【0045】

さらに、前記実施形態で説明した電子ビーム発生装置5を備えた実施例の小型電子ビーム励起プラズマ発生装置を用いて、電子ビーム励起プラズマ生成時の条件を、電子ビームエネルギー：80eV、窒素ガス分圧：0.12Pa、アルゴンガス分圧：0.14Pa、試料バイアス電圧：-50V、電子ビーム電流：8A、プラズマ密度： $1.7 \times 10^0 \text{ cm}^{-3}$ として窒化処理したところ、3時間という短い処理時間で、工具鋼鋼材の表面から60 μm の深さ範囲までをHv1100以上のビッカース硬さとすることができた。

20

【0046】

これに対し、前記従来の電子ビーム発生装置を備えた比較例1の小型電子ビーム励起プラズマ発生装置を用いて、電子ビーム励起プラズマ生成時の条件を、電子ビームエネルギー：80eV、窒素ガス分圧：0.12Pa、アルゴンガス分圧：0.14Pa、試料バイアス電圧：-50V、電子ビーム電流：5A、プラズマ密度： $1.3 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$ として窒化処理したところ、6時間と処理時間を長くしても、ビッカース硬さがHv1100以上となったのは工具鋼鋼材の表面から50 μm の深さ範囲までだけであった。

10 cm⁻³

30

【0047】

加えて、前記実施形態で説明した電子ビーム発生装置5を備えた実施例の小型電子ビーム励起プラズマ発生装置において、電子ビームエネルギー：80eV、放電電圧：43V、アルゴンガス分圧：0.15Paとし、電子ビーム電流を時間の経過とともに1.9A、3.3A、4.5A、5.6A、6.7A、7.6A、8.4と徐々に増大させて、多孔放電陽極15の温度を測定した。なお、この電極温度の測定では、多孔放電陽極15の第1中央多孔部151の温度であって、第1中央多孔部151の端（リード線19の接続点に近い側の端）から4mm離れた位置の温度を測定した。その結果を図5に示す。

【0048】

比較のため、第1絶縁板17及び第2絶縁板18の材料として、窒化アルミニウムの代わりにアルミナとシリカとの複合セラミックス（マシナブルセラミックス）を採用したこと以外は、実施例の小型電子ビーム励起プラズマ発生装置と同様の比較例2の小型電子ビーム励起プラズマ発生装置について、実施例と同様に電極温度を測定した。その結果を図5に併せて示す。なお、このマシナブルセラミックスの熱伝導率は2W/m \cdot Kである。

40

【0049】

図5から明らかなように、第1絶縁板17及び第2絶縁板18の材料として窒化アルミニウムを採用することにより、電極温度を最大で200 $^{\circ}\text{C}$ 近く低下させることができた。

【図面の簡単な説明】

【0050】

【図1】実施形態に係る電子ビーム発生装置の要部を示す分解斜視図である。

【図2】実施形態に係る電子ビーム発生装置の斜視図である。

50

【図3】実施形態に係る電子ビーム発生装置を用いた小型電子ビーム励起プラズマ発生装置の全体構成を概略的に示す説明図である。

【図4】実施例と比較例1とにおいて、電子ビーム電流と、電子ビーム励起プラズマのプラズマ密度との関係を示すグラフである。

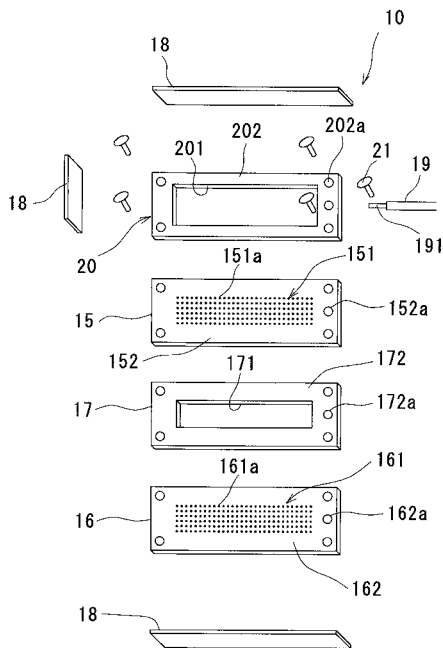
【図5】実施例と比較例2とにおいて、電子ビーム電流と電極温度との関係を示すグラフである。

【符号の説明】

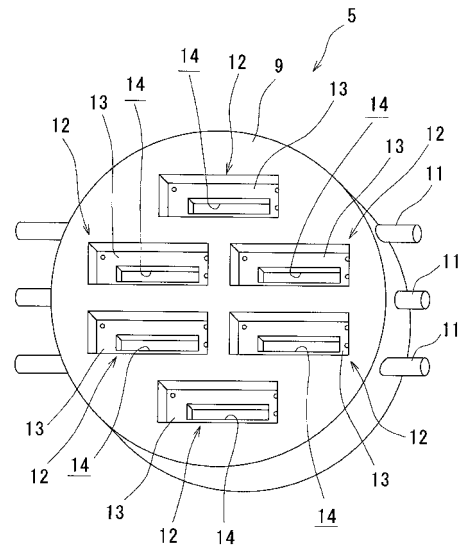
【0051】

- 4 ... 放電陰極
- 9 ... 冷却チャンバ
- 11 ... 冷却通路
- 13 ... 凹部
- 15 ... 多孔放電陽極
- 17 ... 第1絶縁板
- 19 ... リード線
- 21 ... 絶縁ネジ
- 152 ... 第1周縁部
- 161 ... 第2中央多孔部
- 162a ... 第2透孔
- 5 ... 電子ビーム発生装置
- 10 ... 電極部
- 12 ... 電極保持部
- 14 ... 貫通孔
- 16 ... 多孔加速電極
- 18 ... 第2絶縁板
- 20 ... 棒状金属板
- 151 ... 第1中央多孔部
- 151a ... 第1透孔
- 162 ... 第2周縁部
- 171 ... 通孔

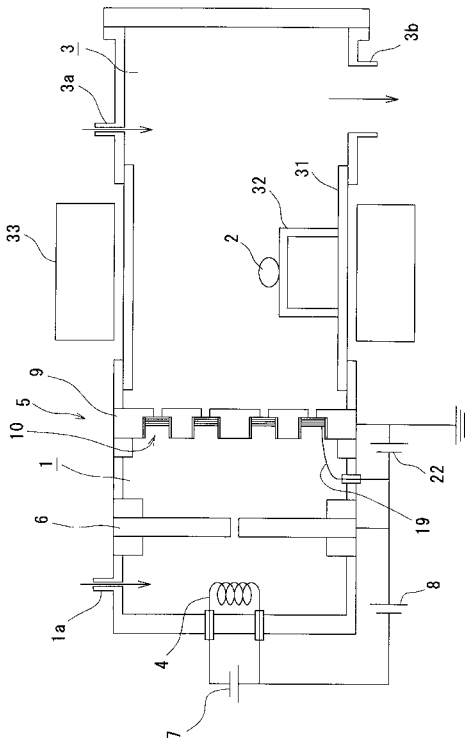
【図1】



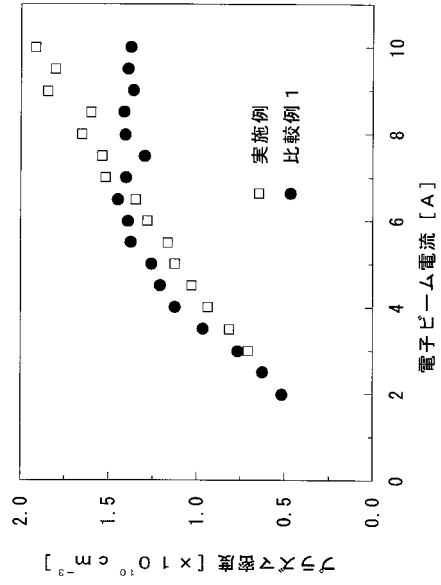
【図2】



【図3】



【図4】



【図5】

