

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号  
特許第5680842号  
(P5680842)

(45) 発行日 平成27年3月4日(2015.3.4)

(24) 登録日 平成27年1月16日(2015.1.16)

(51) Int.Cl.

F I

HO 1 J 37/248 (2006.01)

HO 1 J 37/30 (2006.01)

HO 1 J 37/248 B

HO 1 J 37/248 C

HO 1 J 37/30 Z

請求項の数 20 (全 19 頁)

|              |                              |           |                               |
|--------------|------------------------------|-----------|-------------------------------|
| (21) 出願番号    | 特願2009-213287 (P2009-213287) | (73) 特許権者 | 507239422                     |
| (22) 出願日     | 平成21年9月15日 (2009. 9. 15)     |           | ティーイーエル・エピオン・インコーポレ           |
| (65) 公開番号    | 特開2010-80445 (P2010-80445A)  |           | ーテッド                          |
| (43) 公開日     | 平成22年4月8日 (2010. 4. 8)       |           | アメリカ合衆国・マサチューセッツ・O 1          |
| 審査請求日        | 平成24年6月28日 (2012. 6. 28)     |           | 8 2 1 ・ ビレリカ ・ マニング ・ ロード ・ 3 |
| (31) 優先権主張番号 | 12/235, 874                  |           | 7                             |
| (32) 優先日     | 平成20年9月23日 (2008. 9. 23)     | (74) 代理人  | 100070150                     |
| (33) 優先権主張国  | 米国 (US)                      |           | 弁理士 伊東 忠彦                     |
|              |                              | (74) 代理人  | 100091214                     |
|              |                              |           | 弁理士 大貫 進介                     |
|              |                              | (74) 代理人  | 100107766                     |
|              |                              |           | 弁理士 伊東 忠重                     |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 荷電粒子ビーム処理システムで使用される自己バイアス能動負荷回路及び関連する電源

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

負荷電位にある負荷端子及び基準電位にある基準端子を有する可変電圧源と、  
前記負荷端子と前記基準端子との間に接続され、略一定の電流を保ちながら前記負荷電位と前記基準電位との間の可変電圧降下を維持するよう構成される自己バイアス能動負荷回路と  
を有する高電圧電源。

【請求項 2】

前記能動負荷回路は、直列接続される 1 又はそれ以上の能動負荷要素を有し、  
前記 1 又はそれ以上の能動負荷要素の夫々は、  
当該能動負荷要素の第 1 端子へ結合されるコレクタ、当該能動負荷要素の第 2 端子へ結合されるエミッタ、及びゲートを有する絶縁ゲートバイポーラトランジスタと、  
前記ゲートへ結合され、前記絶縁ゲートバイポーラトランジスタを通る電流を検知し、その検知した電流が増大する場合は前記ゲートをより低い電位へと自己バイアスをかけ、前記検知した電流が減少する場合は前記ゲートをより高い電位へと自己バイアスをかけるよう構成される電流検知回路と  
を有する、請求項 1 記載の高電圧電源。

【請求項 3】

前記 1 又はそれ以上の能動負荷要素の夫々は、  
前記第 1 端子と前記コレクタ及び前記ゲートの両方との間に接続され、前記可変電圧降

下が前記能動負荷回路に印加されると初めに前記ゲートを充電するよう構成される起動回路要素

を更に有する、請求項 2 記載の高電圧電源。

【請求項 4】

前記 1 又はそれ以上の能動負荷要素の夫々は、

前記絶縁ゲートバイポーラトランジスタと並列に接続され、前記可変電圧降下印加されると前記能動負荷回路の最初のトランジェントの間前記絶縁ゲートバイポーラトランジスタを保護するよう構成されるバリスタ

を更に有する、請求項 2 記載の高電圧電源。

【請求項 5】

10

前記 1 又はそれ以上の能動負荷要素の夫々は、

前記絶縁ゲートバイポーラトランジスタと並列に接続され、当該能動負荷要素を通る逆電流が生ずる場合に前記絶縁ゲートバイポーラトランジスタを保護するよう構成される逆電流ダイオード

を更に有する、請求項 2 記載の高電圧電源。

【請求項 6】

荷電粒子ビーム処理システムでの使用のための光学部品であって、

荷電粒子ビーム処理システムでビームラインに沿って配置されるよう構成される高電圧電極と、

負荷電位にある負荷端子及び基準電位にある基準端子を有し、前記負荷電位を前記高電圧電極へ結合するよう構成される可変電圧源と、

20

前記負荷端子と前記基準端子との間に接続され、略一定の電流を保ちながら前記負荷電位と前記基準電位との間の可変電圧降下を維持するよう構成される自己バイアス能動負荷回路と

を有する光学部品。

【請求項 7】

前記能動負荷回路は、直列接続される 1 又はそれ以上の能動負荷要素を有し、

前記 1 又はそれ以上の能動負荷要素の夫々は、

当該能動負荷要素の第 1 端子へ結合されるコレクタ、当該能動負荷要素の第 2 端子へ結合されるエミッタ、及びゲートを有する絶縁ゲートバイポーラトランジスタと、

30

前記ゲートへ結合され、前記絶縁ゲートバイポーラトランジスタを通る電流を検知し、その検知した電流が増大する場合は前記ゲートをより低い電位へと自己バイアスをかけ、前記検知した電流が減少する場合は前記ゲートをより高い電位へと自己バイアスをかけるよう構成される電流検知回路と

を有する、請求項 6 記載の光学部品。

【請求項 8】

前記 1 又はそれ以上の能動負荷要素の夫々は、

前記第 1 端子と前記コレクタ及び前記ゲートの両方との間に接続され、前記可変電圧降下が前記能動負荷回路に印加されると初めに前記ゲートを充電するよう構成される起動回路要素

40

を更に有する、請求項 7 記載の光学部品。

【請求項 9】

前記 1 又はそれ以上の能動負荷要素の夫々は、

前記絶縁ゲートバイポーラトランジスタと並列に接続され、前記可変電圧降下印加されると前記能動負荷回路の最初のトランジェントの間前記絶縁ゲートバイポーラトランジスタを保護するよう構成されるバリスタ

を更に有する、請求項 7 記載の光学部品。

【請求項 10】

前記 1 又はそれ以上の能動負荷要素の夫々は、

前記絶縁ゲートバイポーラトランジスタと並列に接続され、当該能動負荷要素を通る逆

50

電流が生ずる場合に前記絶縁ゲートバイポーラトランジスタを保護するよう構成される逆電流ダイオード

を更に有する、請求項 7 記載の光学部品。

【請求項 1 1】

基材を処理するよう構成されるガスクラスタイオンビーム処理システムであって、  
真空容器と、

前記真空容器に配置され、ガスクラスタイオンビームを生成するよう構成されるガスクラスタイオンビーム源と、

前記ガスクラスタイオンビームによる処理のために前記真空容器の内部で前記基材を支持するよう構成される基材ホルダと

を有し、

前記ガスクラスタイオンビーム源は、

ガス源、スタグネーション・チェンバ及びノズルを有し、ガスクラスタビームを生成するために高圧下で 1 又はそれ以上のガスを前記ノズルを通して前記真空室へと導くよう構成されるノズルアセンブリと、

前記ノズルアセンブリから下流に位置し、前記ガスクラスタビームでエネルギー小粒子の数を減らすよう構成されるガス・スキマーと、

前記ガス・スキマーから下流に位置し、前記ガスクラスタイオンビームを生成するよう前記ガスクラスタビームをイオン化するよう構成されるイオナイザと、

前記イオナイザから下流に位置し、前記ガスクラスタイオンビームを取り出し、前記ガスクラスタイオンビームを加速し、若しくは前記ガスクラスタイオンビームを集束させ、又はこれらの 2 又はそれ以上のいずれかの組み合わせを実行するよう構成される 1 又はそれ以上の光学部品を有するビームオプティクスと

を有し、

前記 1 又はそれ以上の光学部品のうち少なくとも 1 つは、

ガスクラスタイオンビーム処理システムでビームラインに沿って配置されるよう構成される高電圧電極と、

負荷電位にある負荷端子及び基準電位にある基準端子を有し、前記負荷電位を前記高電圧電極へ結合するよう構成される可変電圧源と、

前記負荷端子と前記基準端子との間に接続され、略一定の電流を保ちながら前記負荷電位と前記基準電位との間の可変電圧降下を維持するよう構成される自己バイアス能動負荷回路と

を有する、ガスクラスタイオンビーム処理システム。

【請求項 1 2】

前記能動負荷回路は、直列接続される 1 又はそれ以上の能動負荷要素を有し、

前記 1 又はそれ以上の能動負荷要素の夫々は、

当該能動負荷要素の第 1 端子へ結合されるコレクタ、当該能動負荷要素の第 2 端子へ結合されるエミッタ、及びゲートを有する絶縁ゲートバイポーラトランジスタと、

前記ゲートへ結合され、前記絶縁ゲートバイポーラトランジスタを通る電流を検知し、その検知した電流が増大する場合は前記ゲートをより低い電位へと自己バイアスをかけ、前記検知した電流が減少する場合は前記ゲートをより高い電位へと自己バイアスをかけるよう構成される電流検知回路と

を有する、請求項 1 1 記載のガスクラスタイオンビーム処理システム。

【請求項 1 3】

前記 1 又はそれ以上の能動負荷要素の夫々は、

前記第 1 端子と前記コレクタ及び前記ゲートの両方との間に接続され、前記可変電圧降下が前記能動負荷回路に印加されると初めに前記ゲートを充電するよう構成される起動回路要素

を更に有する、請求項 1 2 記載のガスクラスタイオンビーム処理システム。

【請求項 1 4】

前記 1 又はそれ以上の能動負荷要素の夫々は、

前記絶縁ゲートバイポーラトランジスタと並列に接続され、前記可変電圧降下が印加されると前記能動負荷回路の最初のトランジェントの間前記絶縁ゲートバイポーラトランジスタを保護するよう構成されるバリスタ

を更に有する、請求項 1 2 記載のガスクラスタイオンビーム処理システム。

【請求項 1 5】

前記 1 又はそれ以上の能動負荷要素の夫々は、

前記絶縁ゲートバイポーラトランジスタと並列に接続され、当該能動負荷要素を通る逆電流が生ずる場合に前記絶縁ゲートバイポーラトランジスタを保護するよう構成される逆電流ダイオード

を更に有する、請求項 1 2 記載のガスクラスタイオンビーム処理システム。

【請求項 1 6】

前記ビームオプティクスから下流に位置し、100 若しくはそれより少ない原子若しくは分子又はその両方を有するクラスタの数を実質的に減らすよう構成されるビームフィルタを更に有する請求項 1 1 記載のガスクラスタイオンビーム処理システム。

【請求項 1 7】

前記ビームオプティクスから下流に位置し、前記ガスクラスタイオンビームのビームエネルギー分布を変更するよう構成される圧力セル・チェンバを更に有する請求項 1 1 記載のガスクラスタイオンビーム処理システム。

【請求項 1 8】

前記基材ホルダへ結合され、前記ガスクラスタイオンビームにより前記基材を走査するように前記基材ホルダを平行移動させるよう構成される走査アクチュエータを更に有する請求項 1 1 記載のガスクラスタイオンビーム処理システム。

【請求項 1 9】

前記真空容器へ結合され、前記基材の表面性質を測定するよう構成される計測システムを更に有する請求項 1 1 記載のガスクラスタイオンビーム処理システム。

【請求項 2 0】

前記真空容器へ結合され、前記ガスクラスタイオンビームのためのビーム電流を測定するよう構成されるビーム電流センサを更に有する請求項 1 1 記載のガスクラスタイオンビーム処理システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、自己バイアス能動負荷回路及び関連する高電圧電源に関し、特に、荷電粒子ビーム処理システムで光学部品にバイアスをかけるよう構成される高電圧電源に関する。

【背景技術】

【0002】

ガスクラスタイオンビーム (GCIB) は、エッチング、クリーニング、スモーキング、及び皮膜形成を含む多数の用途で用いられている。この議論のために、ガスクラスタは、標準的な温度及び圧力の状態下でガス状である物質のナノサイズの集合体である。斯かるガスクラスタは、疎結合した数個から数千の分子、又はそれ以上を含む集合体から成ってよい。ガスクラスタは電子衝撃によってイオン化され得る。電子衝撃は、ガスクラスタが制御可能なエネルギーの有向ビームを形成することを可能にする。このようなクラスタイオンは夫々、通常は、電子電荷の大きさと、クラスタイオンの電荷状態を表す 1 以上の整数との積によって与えられる正の電荷を運ぶ。

【0003】

より大きいサイズのクラスタイオンほど、個々の分子ごとではほとんどエネルギーを有さないながらもクラスタイオンごとに十分なエネルギーを運ぶというそれらの能力のために、しばしば、ますます有用である。イオンクラスタは基材に当たった瞬間に分解する。特定の分解したイオンクラスタでの夫々の個々の分子は、全体のクラスタエネルギーのほんの一

10

20

30

40

50

部を運ぶ。結果として、大きいイオンクラスタの衝撃効果は大きい、極めて浅い表面領域に限られる。このことは、ガスクラスタイオンを様々な表面修飾処理にとって効果的なものとするが、従来のイオンビーム処理の特徴であるより深い副表面損傷を生ずる傾向を伴わない。

#### 【0004】

従来のクラスタイオン源は、数千の分子に達しうる各クラスタでの分子の数に対応する幅広いサイズ分布を有するクラスタイオンを生成する。原子のクラスタは、ノズルからの高圧ガスの真空への断熱膨張の間の個々の気体原子（又は分子）の凝縮によって形成され得る。小さな開口を有するスキマーは、クラスタの平行ビームを生成するようこの膨張ガスの中心からの発散的な流れを分解する。様々なサイズの中性クラスタが生成されて、ファンデルワールス力として知られる弱い分子間力によって繋ぎ合わされる。この方法は、例えばヘリウム、ネオン、アルゴン、クリプトン、キセノン、窒素、酸素、二酸化炭素、六フッ化硫黄、酸化窒素、及び亜酸化窒素、並びにこれらの気体の混合等の様々なガスからクラスタのビームを生成するために使用されてきた。

10

#### 【0005】

通常、GCIB処理システムは、イオナイザからクラスタイオンを取り出し、この取り出されたクラスタイオンを所望のエネルギーへ加速し、エネルギー的なクラスタイオンを集束してGCIBを画定する1又はそれ以上の光学部品を有する。GCIBにおけるクラスタイオンの運動エネルギーは、約1000電子ボルト（1keV）から数十keVに及ぶことがある。例えば、GCIBは1～100keVに加速されてよい。

20

#### 【0006】

従って、設計によって、1又はそれ以上の光学部品は高電圧で動作し、一般的には、大部分の高電圧電源出力の比較的高いインピーダンスに起因して所望の電圧を上回る。過剰な電流を短絡するために、抵抗負荷が高電圧電源の端子間に配置される。しかし、可能な動作電圧の範囲にわたって所望の電圧を変更する場合に、抵抗負荷での電力損失は、特に高い電圧で電力損失は電圧の2乗に比例するから（すなわち、 $P = V^2 / R$ 。ここで、Pは電力損失を表し、Vは電圧を表し、Rは抵抗を表す。）、過度になりうる。このような過度な損失は高電圧で実用的でないことがある。

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

30

#### 【0007】

本発明は、高電圧電源、特に、荷電粒子ビーム処理システムで光学部品にバイアスをかけるよう構成される高電圧電源に関する。本発明は、更に、バイアス機能を提供するために高電圧電源とともに使用されるよう構成される負荷回路装置に関する。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0008】

一実施形態に従って、高電圧電源について記載する。高電圧電源は、負荷電位にある負荷端子及び基準電位にある基準端子を有する可変電圧源と、前記負荷端子と前記基準端子との間に接続され、略一定の電流を保ちながら前記負荷電位と前記基準電位との間の可変電圧降下を維持するよう構成される自己バイアス能動負荷回路とを有する。

40

#### 【0009】

他の実施形態に従って、荷電粒子ビーム処理システムでの使用のための光学部品について記載する。光学部品は、荷電粒子ビーム処理システムでビームラインに沿って配置されるよう構成される高電圧電極と、負荷電位にある負荷端子及び基準電位にある基準端子を有し、前記負荷電位を前記高電圧電極へ結合するよう構成される可変電圧源と、前記負荷端子と前記基準端子との間に接続され、略一定の電流を保ちながら前記負荷電位と前記基準電位との間の可変電圧降下を維持するよう構成される自己バイアス能動負荷回路とを有する。

#### 【0010】

更なる他の実施形態に従って、基材を処理するよう構成されるGCIB（ガスクラスタ

50

イオンビーム) 処理システムについて記載する。G C I B 処理システムは、真空容器と、該真空容器に配置され、G C I B を生成するよう構成される G C I B 源と、前記 G C I B による処理のために前記真空容器の内部で前記基材を支持するよう構成される基材ホルダとを有する。前記 G C I B 源は、ガス源、スタグネーション・チェンバ (stagnation chamber) 及びノズルを有し、ガスクラスタビームを生成するために高圧下で 1 又はそれ以上のガスを前記ノズルを通して前記真空室へと導くよう構成されるノズルアセンブリと、該ノズルアセンブリから下流に位置し、前記ガスクラスタビームでエネルギー小粒子の数を減らすよう構成されるガス・スキマーと、該ガス・スキマーから下流に位置し、前記 G C I B を生成するよう前記ガスクラスタビームをイオン化するよう構成されるイオナイザと、該イオナイザから下流に位置し、前記 G C I B を取り出し、前記 G C I B を加速し、若しくは前記 G C I B を集束させ、又はこれらの 2 又はそれ以上のいずれかの組み合わせを実行するよう構成される 1 又はそれ以上の光学部品を有するビームオプティクスとを有する。前記 1 又はそれ以上の光学部品のうち少なくとも 1 つは、G C I B 処理システムでビームラインに沿って配置されるよう構成される高電圧電極と、負荷電位にある負荷端子及び基準電位にある基準端子を有し、前記負荷電位を前記高電圧電極へ結合するよう構成される可変電圧源と、前記負荷端子と前記基準端子との間に接続され、略一定の電流を保ちながら前記負荷電位と前記基準電位との間の可変電圧降下を維持するよう構成される自己バイアス能動負荷回路とを有する。

10

#### 【0011】

更なる他の実施形態に従って、負荷回路装置について記載する。負荷回路装置は、第 1 の電位にある第 1 回路ノードと第 2 の電位にある第 2 回路ノードとの間に接続されるよう構成され、略一定の電流を保ちながら前記第 1 の電位と前記第 2 の電位との間の可変電圧降下を維持するよう構成される自己バイアス能動負荷回路を有する。

20

#### 【発明の効果】

#### 【0012】

本発明の実施形態によれば、荷電粒子ビーム処理システムで光学部品にバイアスをかけるよう構成される高電圧電源、更に、バイアス機能を提供するために高電圧電源とともに使用されるよう構成される負荷回路装置を提供することが可能となる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0013】

【図 1】 G C I B 処理システムの実例である。

【図 2】 G C I B 処理システムの他の実例である。

【図 3】 G C I B 処理システムの更なる他の実例である。

【図 4】 G C I B 処理システムのためのイオン源の実例である。

【図 5】 実施例に従う高電圧電源の略図を与える。

【図 6】 他の実施例に従う自己バイアス能動負荷回路における能動負荷要素の略図を与える。

【図 7】 自己バイアス能動負荷回路を通る電流及び抵抗に係るデータの例を与える。

#### 【発明を実施するための形態】

#### 【0014】

例えばガスクラスタイオンビーム (G C I B) 処理システム等の荷電粒子ビーム処理システムで光学部品にバイアスをかけるよう構成される高電圧電源が様々な実施例で開示される。光学部品にバイアスをかけるよう高電圧電源を構成すべく高電圧電源に付加され得る自己バイアス能動負荷回路を有する負荷回路装置も、様々な実施例で開示される。なお、当業者には当然のことながら、様々な実施例は、具体的詳細のうち 1 又はそれ以上を用いず、あるいは、他の代替品及び／又は付加的な方法、材料、若しくは構成要素を有して、実施されてよい。他の事例で、よく知られている構成、材料、又は動作は、本発明の様々な実施例の態様を不明りょうにすることを回避するために詳細には図示又は記載をされない。同様に、説明のために、具体的な数、材料、及び構造が、本発明の全体的な理解を提供するために挙げられている。このような次第ではあるが、本発明は、本発明の具体

30

40

50

的詳細を用いずに実施されてよい。更に、図面に示されている様々な実施例は例示であって、必ずしも実寸で描かれていないことが認識される。

#### 【0015】

明細書及び特許請求の範囲で、語“結合される”及び“接続される”が、それらの派生語とともに、使用される。当然、これらの語は、お互いに同義語として意図されない。むしろ、特定の実施例で、“接続される”は、2又はそれ以上の要素がお互いと直接的な物理的又は電氣的接触状態にあることを示すために用いられ、一方、“結合される”は、更に、2又はそれ以上の要素がお互いと直接的な接触状態になく、それにも関わらず依然としてお互いと協働し又は相互作用することを意味する。

#### 【0016】

本明細書全体を通して“一実施例”又は“実施例”への言及は、その実施例に関連して記載される特定の特徴、構成、材料、又は特性が本発明の少なくとも1つの実施形態に含まれることを意味するが、それらが全ての実施形態に存在することを表してはしない。従って、本明細書の様々な箇所でのフレーズ“一実施例で”又は“実施例で”の出現は、必ずしも本発明の同じ実施形態を参照しているわけではない。更に、特定の特徴、構成、材料、又は特性は、1又はそれ以上の実施例において何らかの適切な方法で組み合わせられてよい。様々な付加的なレイヤ及び／又は構成が含まれてよく、且つ／あるいは、記載される特徴は他の実施例では除かれてよい。

#### 【0017】

上述されるように、数ある中でも荷電粒子ビーム、すなわちGCIBを取り出し、加速し及び集束するよう、例えばGCIB処理システム等の荷電粒子ビーム処理システムで1又はそれ以上の光学部品に電氣的にバイアスをかける一般的な必要性が存在する。しかし、電圧の範囲にわたって光学部品にバイアスをかけるための従来のビームオプティクスは、抵抗負荷を通る過剰な電流の短絡に起因する高い電力損失を欠点とする。然るに、荷電粒子ビーム処理システムで光学部品にバイアスをかけるよう構成される高電圧電源についてここで記載する。光学部品にバイアスをかけるよう高電圧電源を構成すべく高電圧電源に付加され得る自己バイアス能動負荷回路を有する負荷回路装置についてもここで記載する。負荷回路装置は如何なる荷電粒子ビーム処理システム（イオン注入装置処理システム、イオンビーム処理システム、及びGCIB処理システムを含むが、これらに限定されない。）で光学部品とともに利用されてもよいが、GCIB処理システムとの関連で負荷回路装置について記載する。

#### 【0018】

ここで、図面を参照すると、基材を処理するためのGCIB処理システム100が実施例に従って図1に表されている。なお、図面において、同じ参照番号は対応する部分を表す。GCIB処理システム100は、真空容器102と、処理される基材152が取り付けられている基材ホルダ150と、真空ポンプシステム170A、170B及び170Cとを有する。基材152は、半導体基材、ウェハー、フラットパネルディスプレイ（FPD）、液晶ディスプレイ（LCD）、又は何らかの他の加工中の製品（workpiece）であってよい。GCIB処理システム100は、基材152を処理するGCIBを生成するよう構成される。

#### 【0019】

引き続き図1のGCIB処理システム100を参照すると、真空容器102は3つの連絡チェンバ、すなわち、ソースチェンバ104、イオン化／加速チェンバ106、及び処理チェンバ108を有して、減圧エンクロージャーを提供する。3つのチェンバは、夫々、真空ポンプシステム170A、170B及び170Cによって適切な動作圧力へ真空排気される。3つの連絡チェンバ104、106及び108で、ガスクラスタビームは第1のチェンバ（ソースチェンバ104）で形成され得、一方、ガスクラスタイオンビームは第2のチェンバ（イオン化／加速チェンバ106）で形成され得る。第2のチェンバ106で、ガスクラスタビームはイオン化され加速される。次いで、第3のチェンバ（処理チェンバ108）で、加速されたガスクラスタイオンビームは、基材152を処理するため

に利用されてよい。

#### 【0020】

図1に示されるように、GCIB処理システム100は、1若しくはそれ以上のガス又はガスの混合を真空容器102へ導くよう構成される1又はそれ以上のガス源を有することができる。例えば、第1のガス源111に蓄えられている第1のガス組成は、圧力下で第1のガス制御バルブ113Aを通過してガス計測バルブ113に入ることを許される。更に、例えば、第2のガス源112に蓄えられている第2のガス組成は、圧力下で第2のガス制御バルブ113Bを通過してガス計測バルブ113に入ることを許される。更に、例えば、第1のガス組成若しくは第2のガス組成又はその両方は、皮膜形成用ガス組成、エッチング用ガス組成、ドーパント用組成等を有してよい。また更に、例えば、第1のガス組成若しくは第2のガス組成又はその両方は、凝縮不活性ガス、搬送ガス又は希釈ガスを含んでよい。例えば、不活性ガス、搬送ガス又は希釈ガスは希ガス、すなわち、He、Ne、Ar、Kr、Xe、又はRnを含んでよい。

10

#### 【0021】

第1のガス組成若しくは第2のガス組成又はその両方を有する高圧凝縮ガスは、ガス供給管114を通過してスタグネーション・チェンバ116に導かれ、適切に成形されたノズル110を通過して実質上より低い圧力真空へと排出される。ソースチェンバ104のスタグネーション・チェンバ116からより低い圧力領域への高圧凝縮ガスの拡散の結果として、ガス速度は音速に加速し、ガスクラスタビーム118はノズル110から出てくる。

#### 【0022】

静的エンタルピーとしての噴出の固有の冷却は、運動エネルギーに交換される。これは噴出の拡大に起因し、ガス噴出の一部を凝縮させて、夫々が数個から数千の疎結合の原子又は分子から成るクラスタを有するガスクラスタビーム118を形成させる。ソースチェンバ104と印加／加速チェンバ106との間でノズル110の出口から下流に位置するガス・スキマー120は、ガスクラスタビーム118の周辺端部にあってクラスタに凝縮していないガス分子を、ガスクラスタビーム118の中心にあってクラスタを形成しているガス分子から部分的に分離する。他にも理由はあがるが、ガスクラスタビーム118の一部のこのような分離は、より高い圧力が不利となりうる下流領域（例えば、イオナイザ122及び処理チェンバ108）での圧力の低下をもたらす。更に、ガス・スキマー120は、イオン化／加速チェンバ106に入るガスクラスタビームの最初のディメンジョンを画定する。

20

30

#### 【0023】

ガスクラスタビーム118がソースチェンバ104で形成された後、ガスクラスタビーム118に含まれる組成ガスクラスタは、GCIB128を形成するようイオナイザ122によってイオン化される。イオナイザ122は、1又はそれ以上のフィラメント124から電子を生成する電子衝撃イオナイザを有してよい。生成された電子は、イオン化／加速チェンバ106の内部でガスクラスタビーム118に含まれるガスクラスタとぶつかるよう加速され方向付けられる。ガスクラスタとの衝突効果の下、十分なエネルギーの電子は、イオン化された分子を発生させるよう、ガスクラスタに含まれる分子から電子を取り出す。ガスクラスタのイオン化は、概して正味の正電荷を有する、帯電されたガスクラスタイオンの集まりをもたらす。

40

#### 【0024】

図1に示されるように、ビームオプティクス130は、GCIB128をイオン化し、取り出し、加速し、及び集束するために用いられる。ビームオプティクス130は、イオナイザ・フィラメント124を熱する電圧 $V_F$ を供給するフィラメント電源136を有する。

#### 【0025】

然るに、ビームオプティクス130は、イオン化／加速チェンバ106において、適切にバイアスをかけられた高電圧電極の組126を有する。これらの高電圧電極126は、イオナイザ122からクラスタイオンを取り出す。次いで、高電圧電極126は、取り出

50

されたクラスティオンを所望のエネルギーへ加速し、それらをGCIB128を画定するよう集束させる。通常、GCIB128に含まれるクラスティオンの運動エネルギーは約1000電子ボルト(1keV)から数十keVの範囲にある。例えば、GCIB128は1~100keVへ加速され得る。

#### 【0026】

図1に表されるように、ビームオプティクス130は、更に、フィラメント124から発せられる電子を加速して、それらの電子をガスクラスタビーム118に含まれるガスクラスタに衝突させるために、イオナイザ122の陽極に電圧 $V_A$ を供給する陽極電源134を有する。衝突により、クラスティオンが生成される。

#### 【0027】

更に、図1に表されるように、ビームオプティクス130は、イオナイザ122のイオン化領域からイオンを取り出し且つGCIB128を形成するよう高電圧電極126のうち少なくとも1つにバイアスかけるために電圧 $V_E$ を供給する抽出電源138を有する。例えば、抽出電源138は、イオナイザ122の陽極電圧に等しいか又はそれより小さい高電圧電極126の第1電極への電圧を供給する。

#### 【0028】

更に、ビームオプティクス130は、約 $V_{ACC}$ 電子ボルト(eV)に等しい全体的なGCIB加速エネルギーを得るようイオナイザ122に対して高電圧電極126の1つにバイアスかけるために電圧 $V_{ACC}$ を供給する加速器電源140を有することができる。例えば、加速器電源140は、イオナイザ122の陽極電圧及び第1電極の抽出電圧に等しいか又はそれより小さい高電圧電極126の第2電極への電圧を供給する。

#### 【0029】

更にまた、ビームオプティクス130は、GCIB128を集束させるよう電位(例えば、 $V_{L1}$ 及び $V_{L2}$ )を高電圧電極126の幾つかに供給するレンズ電源142及び144を有することができる。例えば、レンズ電源142は、イオナイザ122の陽極電圧、第1電極の抽出電圧、及び第2電極の加速器電圧に等しいか又はそれより小さい高電圧電極126の第3電極への電圧を供給することができる。また、レンズ電源144は、イオナイザ122の陽極電圧、第1電極の抽出電圧、第2電極の加速器電圧、及び第3電極の第1レンズ電圧に等しいか又はそれより小さい高電圧電極126の第4電極への電圧を供給することができる。

#### 【0030】

イオン化及び抽出に係る両スキームに対する多数の変形が使用されてよい点に留意すべきである。ここに記載されるスキームは説明上有用である一方で、他の抽出スキームはイオナイザ及び抽出電極(又は抽出オプティクス)の第1要素を $V_{ACC}$ に置くことを伴う。通常、このことはイオナイザ電源の制御電圧の光ファイバ・プログラミングを必要とするが、全体としてより簡単なオプティクス列を作る。ここで記載される本発明は、イオナイザ及び抽出レンズのバイアス印加の詳細に関わらず有用である。

#### 【0031】

後述されるように、上記の電源(例えば、抽出電源138、加速器電源140、及び/又はレンズ電源142、144)のうちいずれか1つは、可変電圧源と、この可変電圧源の負荷端子と基準端子との間に接続される自己バイアス能動負荷回路とを有する高電圧電源を有してよい。自己バイアス能動負荷回路は、略一定の電流を保ちながら負荷電位と基準電位との間の可変電圧降下を維持するよう構成されてよい。

#### 【0032】

高電圧電極126の下流のイオン化/加速チェンバ106に含まれるビームフィルタ146は、処理チェンバ108に入るフィルタ処理GCIB128Aを画定するようGCIB128からモノマー、又はモノマー及び光クラスティオンを除くために用いられ得る。一実施例で、ビームフィルタ146は、100又はそれより少ない原子若しくは分子又はその両方を有するクラスタの数を実質的に減らす。ビームフィルタ146は、フィルタ処理に寄与するようGCIB128に磁界をかける磁石アセンブリを有してよい。

10

20

30

40

50

## 【0033】

引き続き図1を参照すると、ビームゲート148が、イオン化／加速チェンバ106内のGCIB128の経路に配置される。ビームゲート148は、GCIB128が、処理GCIB128Aを画定するようイオン化／加速チェンバ106から処理チェンバ108に進むことを可能にされる開状態と、GCIB128が処理チェンバ108に入ることを妨げられる閉状態とを有する。制御ケーブルは制御システム190からビームゲート148へ制御信号を伝える。制御信号は、開状態又は閉状態の間でビームゲート148を制御可能に切り替える。

## 【0034】

基材152は、ウェハ若しくは半導体ウェハ、フラットパネルディスプレイ（FPD）、液晶ディスプレイ（LCD）、又はGCIB処理によって加工される他の基材であってよく、処理チェンバ108内の処理GCIB128Aの経路に配置される。大部分の用途が空間的に均一な結果を伴う大きな基材の処理を意図することから、走査システムは、空間的に均一な結果を作り出すよう大きな面積にわたって処理GCIB128Aを一樣に走査することが望ましい。

## 【0035】

X走査アクチュエータ160は、（紙面の内外への）X走査運動の方向での基材ホルダ150の直線運動を提供する。Y走査アクチュエータ162は、Y走査運動の方向での基材ホルダ150の直線運動を提供する。Y走査運動は、通常、X走査運動に直交する。X走査運動及びY走査運動の組み合わせは、基材152の加工のために処理GCIB128Aによる基材152の表面の一樣な（又は別なふうにプログラミングされた）照射を引き起こすよう、処理GCIB128Aによるラスター状の走査運動において、基材ホルダ150によって保持される基材152を平行移動させる。

## 【0036】

基材ホルダ150は、処理GCIB128Aの軸に対して或る角度をなして基材152を配置する。これにより、処理GCIB128Aは、基材152の表面に対するビーム入射角166を有する。ビーム入射角166は90度又は他の何らかの角度であってよいが、通常は90度であるか又は90度に近い。Y走査の間、基材152及び基材ホルダ150は、夫々、図示されている位置から、参照符号152A及び150Aによって示される代替位置“A”へ移動する。2つの位置の間の移動において、基材152は処理GCIB128Aにより走査され、両方の端の位置で、完全に処理GCIB128Aの経路の外に動かされる（過走査）。図1に明示されてはいないが、同様の走査及び過走査が（通常）直交するX走査運動方向（紙面の内外）で行われる。

## 【0037】

ビーム電流センサ180は、基材ホルダ150が処理GCIB128Aの経路外へ走査される場合に処理GCIB128Aのサンプルをインターセプトするように、処理GCIB128Aの経路で基材ホルダ150を越えて配置されてよい。ビーム電流センサ180は、一般的にはファラデーカップ又は同様のものであり、ビーム入射開口部を除いて閉じられており、通常は電気絶縁架台182により真空容器102の壁に取り付けられている。

## 【0038】

図1に示されるように、制御システム190は、電気ケーブルによりX走査アクチュエータ160及びY走査アクチュエータ162へ接続し、基材152を処理GCIB128Aの内又は外に位置付けるとともに、処理GCIB128Aによる基材152の所望の加工を達成するよう処理GCIB128Aに関して均一に基材152を走査するためにX走査アクチュエータ160及びY走査アクチュエータ162を制御する。制御システム190は、ビーム電流センサ180によって集められたサンプルビーム電流を電気ケーブルを経由して受け取り、それによって、GCIBをモニタするとともに、所定のGCIB線量が伝えられた場合に処理GCIB128Aから基材152を外すことによって基材152が受けるGCIB線量を制御する。

## 【0039】

図2に示される実施例で、GCIB処理システム100'は図1の実施例と同じであり、更に、処理GCIB128Aに関して有効に基材252を走査しながら2つの軸において基材252を保持し動かすよう動作可能なX-Yポジショニング・テーブル253を有してよい。例えば、X方向の運動は紙面の内外への運動を有してよく、Y方向の運動は方向264に沿った運動を有してよい。

## 【0040】

処理GCIB128Aは、基材252の表面での投影衝撃領域286において基材252の表面に対してビーム入射角266をなして基材255に衝突する。X-Y運動によって、X-Yポジショニング・テーブル253は、基材252の表面の各部分を処理GCIB128Aの経路に位置付けることができる。これにより、全ての表面領域は、処理GCIB128Aによる処理のために、投影衝撃領域286と一致するよう作られてよい。X-Yコントローラ262は、X軸方向及びY軸方向の夫々で位置及び速度を制御するために、電気ケーブルによりX-Yポジショニング・テーブル253へ電気信号を供給する。X-Yコントローラ262は、電気ケーブルを通して制御システム190から制御信号を受信し、また、電気ケーブルを通して制御システム190によって操作可能である。X-Yポジショニング・テーブル253は、投影衝撃領域286内に基材252の様々な領域を位置付けるよう、従来のX-Yポジショニング技術に従って、連続的な運動によって又は段階的な運動によって移動する。一実施例で、X-Yポジショニング・テーブル253は、処理GCIB128AによるGCIB処理のために、投影衝撃領域286を通る基材252のあらゆる位置をプログラム可能な速度を有して走査するよう、制御システム190によってプログラマティックに操作可能である。

## 【0041】

ポジショニング・テーブル253の基材保持面254は導電性であり、制御システム190によって操作される線量測定プロセッサへ接続されている。ポジショニング・テーブル253の絶縁レイヤ255は、基材252及び基材保持面254をポジショニング・テーブル253のベース部260から絶縁する。衝突処理GCIB128Aによって基材252で生ずる電荷は基材252及び基材保持面254を介して導かれ、信号は線量測定のためにポジショニング・テーブル253を介して制御システム190へ結合される。線量測定は、GCIB処理線量を決定するようGCIB電流を積分する積分手段を有する。或る環境下では、電子（時々「電子フラッド」とも呼ばれる。）のターゲット中和（target-neutralizing）源（図示せず。）が、処理GCIB128Aを無効にするために使用されてよい。斯かる場合に、ファラデーカップ（図示せず。なお、これは図1のビーム電流センサ180と同じであってよい。）が、付加された電荷源に関わらず正確な線量測定を確かにするために使用されてよい。この理由は、典型的なファラデーカップは、高エネルギーの正イオンのみが入り測定されることを可能にするからである。

## 【0042】

動作において、制御システム190は、処理GCIB128Aにより基材252を照射するようビームゲート148の開放を信号により伝える。制御システム190は、基材252が受ける累積線量を計算するために、基材252によって集められるGCIB電流の測定をモニタする。基材252が受ける線量が所定線量に達する場合に、制御システム190はビームゲート148を閉じ、基材252の加工は完了する。基材252の所与の面積について受けたGCIB線量の測定に基づいて、制御システム190は、基材252の様々な領域を処理する適切なビーム・ドウェル時間（dwell time）を達成するために、走査速度を調整することができる。

## 【0043】

代替的に、処理GCIB128Aは、基材252の表面にわたって一定パターンで一定速度で走査され得る。なお、GCIBの強さは、意図的に不均一な線量を試料に供給するよう変調される（Z軸変調とも呼ばれる。）。GCIBの強さは、GCIB供給源からのガスフローを変えること、フィラメント電圧 $V_F$ を変えるか又は陽極電圧 $V_A$ を変えるこ

とによりイオナイザ122を変調すること、レンズ電圧 $V_{L1}$ 及び／又は $V_{L2}$ を変えることによりレンズ焦点を変調すること、あるいは、可変なビームブロック、調整可能なシャッター、若しくは可変な開口によりガスクラスタイオンビームの一部を機械的に遮ることを含む様々な方法のいずれかによって、GCIB処理システム100'で変調されてよい。変調変化は、連続的なアナログ変化であってよく、あるいは、時間変調スイッチング又はゲーティングであってよい。

#### 【0044】

処理チェンバ108は、インシツ (in-situ) 計測システムを更に有してよい。例えば、インシツ計測システムは光送信器280及び光受信器282を有し、それらは夫々、入射光信号284により基材252を照射し、基材252から散乱光信号288を受信する。光診断システムは、処理チェンバ108の内外への入射光信号284及び散乱光信号288の通過を可能にする光窓を有する。更に、光送信器280及び光受信器282は、夫々、送信オプティクス及び受信オプティクスを有してよい。光送信器280は、制御システム190から制御電気信号を受信し、それに応答する。光受信器282は測定信号を制御システム190へ返す。

#### 【0045】

インシツ計測システムは、GCIB処理の進行をモニタするよう構成される何らかの手段を有してよい。一実施例に従って、インシツ計測システムは光散乱計測 (optical scatterometry) システムを構成してよい。光散乱計測システムは、Therm-Wave Inc. (1250 リライアンス ウェイ、フレモント、カリフォルニア州94539) 又はNanometrics Inc. (1550 バッカイ ドライブ、ミルピタス、カリフォルニア州95035) から市販されている、ビーム・プロファイル偏光解析 (エリプソメータ) 及びビーム・プロファイル反射率計測 (反射率計) を組み込む光散乱計測器を有してよい。

#### 【0046】

例えば、インシツ計測システムは、GCIB処理システム100'での処理加工の実行から得られる処理性能データを測定するよう構成される集積光デジタル表面形状測定 (integrated Optical Digital Profilometry (iODP)) 散乱計測モジュールを有してよい。計測システムは、例えば、処理加工から得られる計測データを測定し又はモニタしてよい。計測データは、例えば、処理レート、相対処理レート、外観プロファイル角度、限界寸法、外観厚さ又は深さ、外観形状等の、処理加工を特徴付ける処理性能データを決定するために利用され得る。例えば、基材に材料を方向的に沈着させる処理では、処理性能データには、限界寸法 (CD) (外観 (すなわち、ビア、ライン等) における上端、中間又は下端CD)、外観深さ、材料の厚み、側壁角度、側壁形状、沈着レート、相対沈着レート、それらのいずれかのパラメータの空間分布、それらのいずれかの空間分布の均一性を特徴付けるパラメータ等が含まれる。制御システム190からの制御信号を介してX-Yポジショニング・テーブル253を操作する場合に、インシツ計測システムは基材252の1又はそれ以上の特性をマッピングすることができる。

#### 【0047】

図3に示される実施例で、GCIB処理システム100"は図1の実施例と同じであり、例えば、イオン化／加速チェンバ106の出口領域に又はその近くに位置付けられる圧力セル・チェンバ350を更に有する。圧力セル・チェンバ350は、圧力セル・チェンバ350で圧力を高めるために圧力セル・チェンバ350にバックグラウンド・ガスを供給するよう構成される不活性ガス源352と、圧力セル・チェンバ350内で高められた圧力を測定するよう構成される圧力センサ354とを有する。

#### 【0048】

圧力セル・チェンバ350は、変性した処理GCIB128A'を生成すべくGCIB128のビームエネルギー分布を変更するよう構成されてよい。ビームエネルギー分布の斯かる変更は、圧力セル・チェンバ350内で圧力増大領域を通してGCIB経路に沿ってGCIB128を方向付けることによって達成される。これにより、GCIBの少なくとも一部は圧力増大領域を横断する。ビームエネルギー分布に対する変更の限界は、GCIB経

路の少なくとも一部に沿った圧力ー距離積分によって特徴付けられてよい。ここで、距離（又は圧力セル・チェンバ 350 の長さ）は経路長（d）によって示される。圧力ー距離積分の値が（圧力及び／又は経路長（d）を大きくすることによって）大きくなる場合に、ビームエネルギー分布は広がり、ピークエネルギーは減少する。圧力ー距離積分の値が（圧力及び／又は経路長（d）を小さくすることによって）小さくなる場合に、ビームエネルギー分布は狭まり、ピークエネルギーは増大する。圧力セルの設計に係る更なる詳細は、“Method and Apparatus for Improved Processing with a Gus-cluster Ion Beam”と題された米国特許番号 7, 060, 989 号から決定されてよい。なお、この特許文献はその全体を参照により本願に援用される。

#### 【0049】

制御システム 190 は、GCIB 処理システム 100（又は 100'、100''）への入力を伝送しアクティブにするとともに、GCIB 処理システム 100（又は 100'、100''）からの出力をモニタするのに十分な制御電圧を発生させることができるマイクロプロセッサ、メモリ、及びデジタル I/O ポートを有する。更に、制御システム 190 は、真空ポンプシステム 170A、170B 及び 170C、第 1 ガス源 111、第 2 ガス源 112、第 1 ガス制御バルブ 113A、第 2 ガス制御バルブ 113B、ビームオプティクス 130、ビームフィルタ 146、ビームゲート 148、X 走査アクチュエータ 160、Y 走査アクチュエータ 162、並びにビーム電流センサ 180 へ結合され、それらと情報を交換することができる。例えば、メモリに記憶されているプログラムは、基材 152（又は 252）で GCIB 加工を実行するために、加工レシピに従って GCIB 処理システム 100 の上記コンポーネントへの入力をアクティブにするために利用されてよい。

#### 【0050】

なお、制御システム 190 は、プロセッサが、メモリに含まれている 1 又はそれ以上の命令の 1 又はそれ以上のシーケンスを実行することに応答して、本発明の処理ステップに基づいてマイクロプロセッサの一部又は全てを実行する汎用のコンピュータシステムとして実施されてよい。斯かる命令は、例えばハードディスク又はリムーバブル・メディア・ドライブ等の他のコンピュータ読取可能な媒体からコントローラ・メモリに読み出されてよい。マルチプロセッシング配置に含まれる 1 又はそれ以上のプロセッサは、また、メインメモリに含まれている命令のシーケンスを実行するようコントローラ・マイクロプロセッサとして用いられてもよい。代替の実施例で、ハードワイヤー回路は、ソフトウェア命令の代わりに又はそれと共に使用されてよい。このように、実施例は、ハードウェア及びソフトウェアのいずれかの特定の組み合わせに限定されない。

#### 【0051】

制御システム 190 は、任意の数の上述される処理コンポーネントを構成するために用いられてよく、制御システム 190 は、処理コンポーネントからのデータを収集し、供給し、処理し、記憶し、及び表示することができる。制御システム 190 は、処理コンポーネントのうち 1 又はそれ以上を制御するために、多数のコントローラのみならず、多数のアプリケーションを有してよい。例えば、制御システム 190 は、ユーザが 1 又はそれ以上の処理コンポーネントをモニタし及び／又は制御することを可能にするインターフェースを提供することができるグラフィック・ユーザ・インターフェース（GUI）コンポーネント（図示せず。）を有してよい。

#### 【0052】

制御システム 190 は、GCIB 処理システム 100（100'、100''）に対して局所的に配置されてよく、あるいは、それは、GCIB 処理システム 100（100'、100''）に対して遠隔で配置されてよい。例えば、制御システム 190 は、直接接続、イントラネット、及び／又はインターネットを用いて GCIB 処理システム 100 とデータを交換することができる。制御システム 190 は、例えばカスタマーサイト（すなわち、装置メーカー等）にあるイントラネットへ結合されてよく、あるいは、それは、例えばベンダーサイト（すなわち、機器製造者）にあるイントラネットへ結合されてよい。代替的に、又は付加的に、制御システム 190 はインターネットへ結合されてよい。更に、他の

コンピュータ（すなわち、コントローラ、サーバ等）は、直接接続、イントラネット、及び／又はインターネットを介してデータを交換するよう制御システム190にアクセスすることができる。

#### 【0053】

基材152（又は252）は、例えば、機械クランピングシステム又は電気クランピングシステム（例えば、静電気クランピングシステム）等のクランピングシステムを介して基材ホルダ150（又は基材ホルダ250）に取り付けられてよい。更に、基材ホルダ150（又は250）は、基材ホルダ150（又は250）及び基材152（又は252）の温度を調整し及び／又は制御するよう構成される加熱システム（図示せず。）又は冷却システム（図示せず。）を有してよい。

10

#### 【0054】

真空ポンプシステム170A、170B及び170Cは、最大で毎秒約5000リットルまで速度を上げることができるターボ分子真空ポンプ（TMP）と、チェンバ圧力を絞ることができるゲートバルブとを有してよい。従来の真空処理装置では、毎秒1000～3000リットルのTMPが用いられ得る。TMPは、通常は約50ミリトール（mTorr）より小さい低压処理にとって有用である。図示されてはいないが、圧力セル・チェンバ350も真空ポンプシステムを有してよいことが認識され得る。更に、チェンバ圧力をモニタする装置（図示せず。）が、真空容器102又は3つの真空チェンバ104、106及び108のいずれかへ結合されてよい。圧力測定装置は、例えば、容量マノメータ（manometer）又はイオン化ゲージであってよい。

20

#### 【0055】

図4を参照すると、ガスクラスタビーム（図1、2及び3のガスクラスタビーム118）をイオン化するガスクラスタ・イオナイザ（図1、2及び3のイオナイザ122）の部分300が示されている。部分300は、GCIB128の軸の法線である。典型的なガスクラスタサイズ（2000～15000の原子）に関して、スキマー開口（図1、2及び3のガス・スキマー120）を出てイオナイザ（図1、2及び3のイオナイザ122）に入るクラスタは、約130～1000電子ボルト（eV）の運動エネルギーを有して移動する。このような低いエネルギーでは、イオナイザ122内の空間電荷の中立性からの如何なる偏差も、有意なビーム電流損失を伴って噴出の急速な拡散を引き起こしうる。図4は自己中和イオナイザを表す。他のイオナイザと同様に、ガスクラスタは電子衝突によってイオン化される。斯かる設計では、熱電子（参照符号310によって示される7つの例）が複数の線形熱イオン・フィラメント302a、302b及び302c（通常タングステン）から発せられ、電子反射電極306a、306b及び306c並びにビーム成形電極304a、304b及び304cによって提供される適切な電界の作用で取り出されて焦点を合わせられる。熱電子310は、ガスクラスタ噴出及び噴出軸を通り、次いで、低エネルギーの（例えば、参照符号312、314及び316で示される）二次電子を生成するよう、対向するビーム成形電極304bにぶつかる。

30

#### 【0056】

（簡単のために）図示されていないが、線形熱イオン・フィラメント302b及び302cは、また、その後に低エネルギーの二次電子を生成する熱電子を生成する。全ての二次電子は、イオン化されたクラスタ噴出が、空間電荷の中立性を保つために必要とされる正にイオン化されたガスクラスタ噴出に引き付けられ得る低エネルギー電子を提供することによって、空間電荷の中立性を残す。ビーム成形電極304a、304b及び304cは、線形熱イオン・フィラメント302a、302b及び302cに対して正バイアスをかけられ、電子反射電極306a、306b及び306cは、線形熱イオン・フィラメント302a、302b及び302cに対して負バイアスをかけられる。絶縁体308a、308b、308c、308d、308e及び308fは電極304a、304b、304c、306a、306b及び306cを電氣的に絶縁するとともに支持する。例えば、この自己中和イオナイザは有効であり、1000マイクロアンペア超のアルゴンGCIPを達成する。

40

50

## 【0057】

代替的に、イオナイザは、クラスタをイオン化するためにプラズマからの電子抽出を使用してよい。斯かるイオナイザの形状は、ここに記載される3フィラメント・イオナイザとは相違するが、動作及びイオナイザ制御の原理は極めて類似する。例えば、イオナイザ設計は、“Ionizer and Method for Gas-Cluster Ion-Beam Formation”と題された米国特許番号7, 173, 252に記載されるイオナイザと同様である。この特許文献はその全体を参照により本願に援用される。

## 【0058】

ガスクラスタ・イオナイザ（図1、2及び3のイオナイザ122）は、GCIB128の電荷状態を変えることによってGCIB128のビームエネルギー分布を変更するよう構成されてよい。例えば、電荷状態は、ガスクラスタの電子衝突により引き起こされるイオン化で用いられる電子について電子フラックス、電子エネルギー、又は電子エネルギー分布を調整することによって変更され得る。

10

## 【0059】

ここで図5を参照すると、高電圧電源500が実施例に従って記載されている。高電圧電源500は、可変電圧源510と、過剰な電流を短絡するよう構成される自己バイアス能動負荷回路520とを有する。

## 【0060】

可変電圧源510は、負荷電位にある負荷端子と、基準電位にある基準端子とを有する。このとき、可変電圧源510は、負荷電位で光学部品510（例えば、高電圧電極）にバイアスをかけるよう構成される。図5に表されるように、高電圧電源500は、基準電位に対して負電圧で光学部品530にバイアスをかけるよう構成される。自己バイアス能動負荷回路520は、負荷端子と基準端子との間に接続され、略一定の電流を保ちながら負荷電位と基準電位との間の可変電圧降下を維持（sustain）するよう構成される。自己バイアス能動負荷回路520は、更に、1又はそれ以上の能動負荷要素525を有する。このとき、各能動負荷要素525は、最大電圧降下まで耐えるよう設計され得る。例えば、図5に表されるように、自己バイアス能動負荷回路520は、直列接続されている能動負荷要素525のアレイを有する。

20

## 【0061】

本発明に従って、自己バイアス能動負荷回路520を有する負荷回路装置は、高電圧電源500を形成するよう既存の電源に付加されてよく、あるいは、高電圧電源500は、最初から自己バイアス能動負荷回路520を有するよう製造されてよい。このように、本発明の実施例は、負荷回路装置自体及び自己バイアス能動負荷回路を有する高電圧電源の両方を対象とする。負荷回路装置自体について、自己バイアス能動負荷回路は、第1の電位にある第1回路ノードと第2の電位にある第2回路ノードとの間に接続されるよう構成され、略一定の電流を保ちながらこの第1の電位と第2の電位との間の可変な電圧降下を維持するよう構成される。

30

## 【0062】

ここで図6を参照すると、電気回路図が、実施例に従う能動負荷要素600について与えられている。能動負荷要素600は、能動付加要素600の第1端子601に結合されているコレクタ611と、能動付加要素600の第2端子602に結合されているエミッタ612と、ゲート615とを有する絶縁ゲートバイポーラトランジスタ610を有する。絶縁ゲートバイポーラトランジスタ610は、International Rectifier（エルセグンド、カリフォルニア州）から市販されているIRG4PH50Uモデルの絶縁ゲートバイポーラトランジスタを有してよい。

40

## 【0063】

更に、能動付加要素600は、ゲート615へ結合されており、絶縁ゲートバイポーラトランジスタ610を通る電流を検知して、検知した電流が増大する場合はより低い電位へゲート615に自己バイアスをかけ、検知した電流が減少する場合はより高い電位へゲート615に自己バイアスをかけるよう構成される電流検知回路620を有する。電流検

50

知回路 620 は、検知素子 622 と、電流分配器として働く第 1 抵抗 624 及び第 2 抵抗 626 とを有する。検知素子 622 は、Fairchild Semiconductor (サウスポートランド、メイン州) から市販されている 2N3904 モデルの NPN 汎用増幅器を有してよい。第 1 抵抗 624 は 10 k $\Omega$  抵抗を有してよく、第 2 抵抗 626 は 1.5 k $\Omega$  抵抗を有してよい。

#### 【0064】

また更に、能動付加要素 600 は、第 1 端子 601 と、コレクタ 611 及びゲート 615 との間に接続されており、可変電圧降下が第 1 端子 601 及び第 2 端子 602 で能動付加要素 600 に印加されると最初にゲート 615 を充電するよう構成される起動回路要素 630 を有する。起動回路要素 630 は、電流分配器として働く第 1 抵抗 632 及び第 2 抵抗 634 を有してよい。第 1 抵抗 632 は 10 M $\Omega$  抵抗を有してよく、第 2 抵抗 634 は 100 k $\Omega$  抵抗を有してよい。

10

#### 【0065】

更に、能動付加要素 600 は、絶縁ゲートバイポーラトランジスタ 610 と並列に接続されており、可変電圧降下が第 1 端子 601 及び第 2 端子 602 の間に印加されると能動付加要素 600 の最初のトランジェントの間絶縁ゲートバイポーラトランジスタ 610 を保護するよう構成されるバリスタ 640 を有する。バリスタ 640 は、Littlefuse (デスプレーンズ、イリノイ州) から市販されている LA シリーズのバリスタを有してよい。

#### 【0066】

また更に、能動付加要素 600 は、絶縁ゲートバイポーラトランジスタ 610 と並列に接続されており、能動付加要素 600 を通る逆電流が生じる場合に絶縁ゲートバイポーラトランジスタ 610 を保護するよう構成される逆電流ダイオード 650 を有する。

20

#### 【0067】

ここで図 7 を参照すると、抵抗 (メガオーム (M $\Omega$ )) 及び電流 (ミリアンペア (mA)) が、直列接続されている能動付加要素 (例えば、525、600) のアレイに供給される。このとき、各能動付加要素は、約 1 kV の最大電圧降下に耐えるよう上記特徴に従って設計される。図 7 に示されるように、電流は 30 kV の電圧範囲にわたっておおよそ一定である。

#### 【0068】

以上本発明の特定の実施形態についてのみ記載してきたが、当業者には当然のことながら、多数の変形が、実質的に本発明の新規の教示及び利点から外れることなく斯かる実施形態で可能である。然るに、全ての斯かる変形は、本発明の適用範囲内に含まれるよう意図される。

30

#### 【符号の説明】

#### 【0069】

100, 100', 100" GCIB 処理システム

102 真空容器

104

106 イオン化加速チェンバ

108 処理チェンバ

40

111, 112 ガス源

113A~B ガス制御バルブ

118 ガスクラスタビーム

120 ガス・スキマー

128 ガスクラスタイオンビーム (GCIB)

130 ビームオプティクス

146 ビームフィルタ

148 ビームゲート

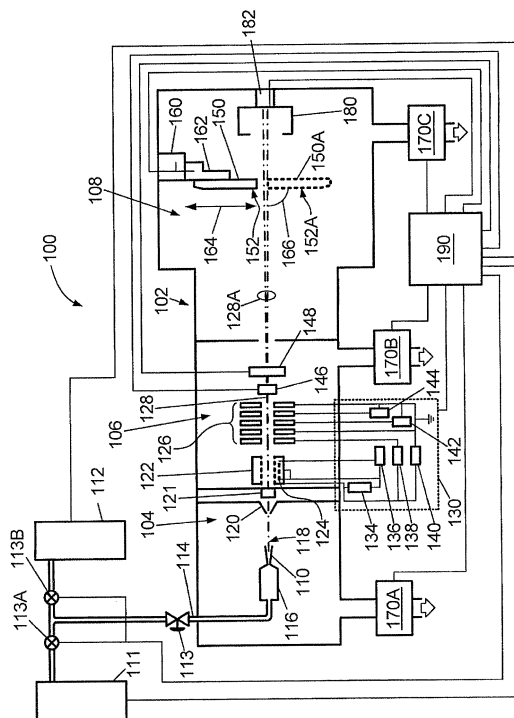
150, 250 基材ホルダ

152, 252 基材

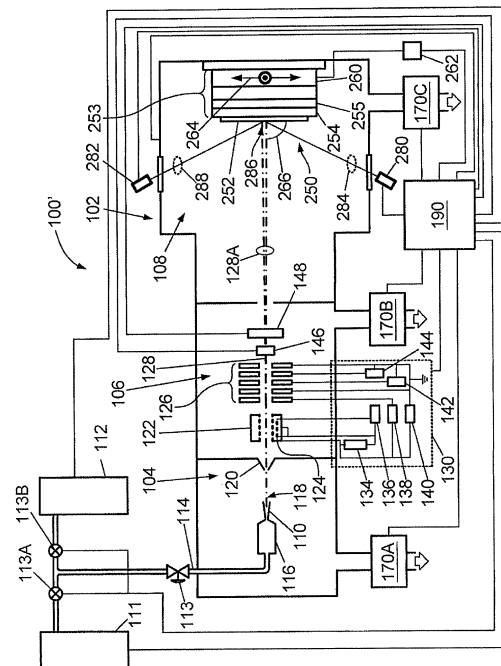
50

- 160, 162 走査アクチュエータ
- 170A～C 真空ポンプシステム
- 180 ビーム電流センサ
- 190 制御システム
- 253 X-Yポジショニング・テーブル
- 350 圧力セル・チェンバ
- 352 不活性ガス源
- 354 圧力センサ
- 500 高電圧電源
- 510 可変電圧源
- 520 自己バイアス能動負荷回路
- 525, 600 能動負荷要素
- 530 光学部品
- 610 絶縁ゲートバイポーラトランジスタ
- 620 電流検知回路
- 630 起動回路要素
- 640 バリスタ
- 650 逆電流ダイオード

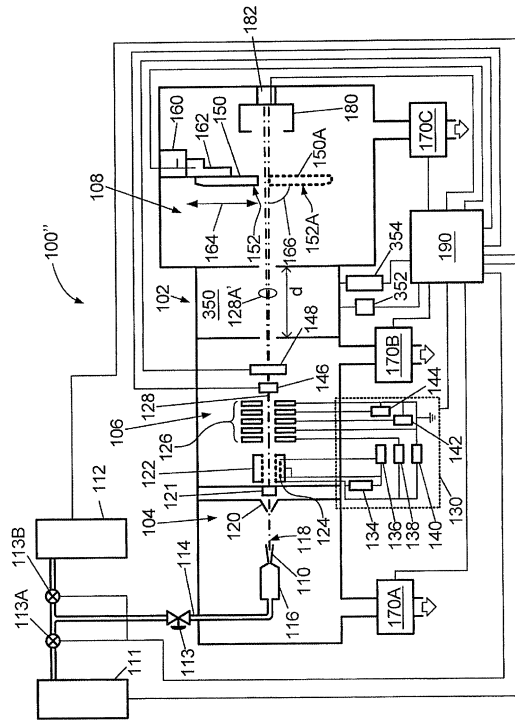
【図 1】



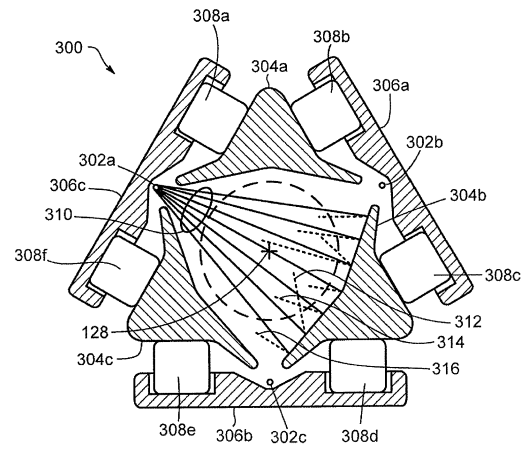
【図 2】



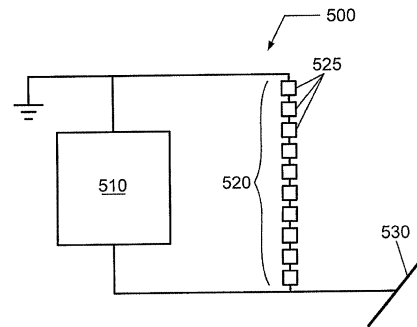
【図 3】



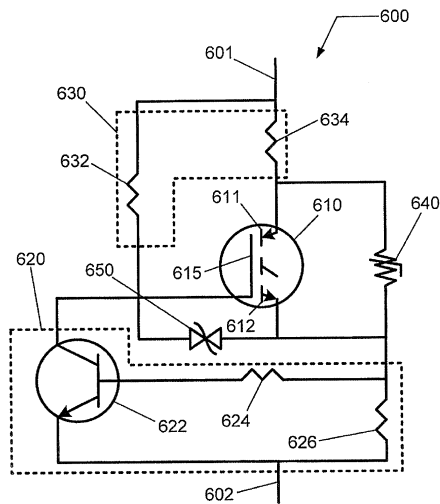
【図 4】



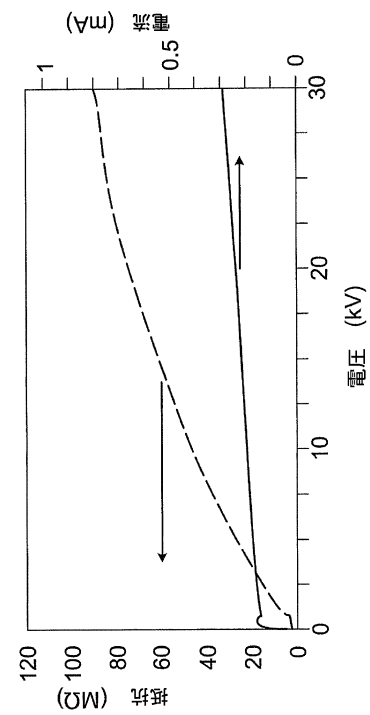
【図 5】



【図 6】



【図 7】



---

フロントページの続き

(72)発明者 ケネス ピー レーガン  
アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 01915 ビヴァリー ベイカー・アヴェニュー 45

審査官 佐藤 仁美

(56)参考文献 特表2008-518406 (JP, A)  
特表2007-529876 (JP, A)  
特表2004-503064 (JP, A)  
特開2004-146085 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H01J 27/00-27/26、37/04、37/06-37/08、  
37/248、37/30-37/36