

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7706022号  
(P7706022)

(45)発行日 令和7年7月10日(2025.7.10)

(24)登録日 令和7年7月2日(2025.7.2)

(51)国際特許分類 F I  
H 0 1 J 37/248(2006.01) H 0 1 J 37/248 B

請求項の数 10 (全20頁)

|             |                             |          |   |
|-------------|-----------------------------|----------|---|
| (21)出願番号    | 特願2024-534840(P2024-534840) | (73)特許権者 | 501387839<br>株式会社日立ハイテク<br>東京都港区虎ノ門一丁目17番1号 |
| (86)(22)出願日 | 令和4年7月20日(2022.7.20)        | (74)代理人  | 110002572<br>弁理士法人平木国際特許事務所                 |
| (86)国際出願番号  | PCT/JP2022/028259           | (72)発明者  | 久保 貴<br>東京都港区虎ノ門一丁目17番1号 株<br>式会社日立ハイテク内    |
| (87)国際公開番号  | WO2024/018568               | (72)発明者  | 酒巻 稔<br>東京都港区虎ノ門一丁目17番1号 株<br>式会社日立ハイテク内    |
| (87)国際公開日   | 令和6年1月25日(2024.1.25)        | (72)発明者  | 森田 裕<br>東京都千代田区丸の内一丁目6番6号<br>株式会社日立製作所内     |
| 審査請求日       | 令和6年10月17日(2024.10.17)      | 審査官      | 藤本 加代子                                      |

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 荷電粒子線装置

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

試料に対して荷電粒子線を照射する荷電粒子線装置であって、

前記荷電粒子線を出射する荷電粒子源、

前記荷電粒子線を加速する第1加速電圧が印加される第1加速電極、

前記試料を載置するステージと前記第1加速電極との間に配置された多段加速電極群、

前記多段加速電極群が有する第1多段加速電極を基準電位と接続するショート電極、

前記第1加速電極の電位および前記多段加速電極群の電位を制御する制御部、

を備え、

前記制御部は、前記荷電粒子源に対して加速電圧を印加したまま、前記ショート電極と  
前記第1多段加速電極との間の電位差を、放電が生じない値となるように制御し、

前記制御部は、前記値の前記電位差を有する前記第1多段加速電極と前記ショート電極  
を相互接続した後、前記第1多段加速電極の電位を前記基準電位となるように制御する  
ことを特徴とする荷電粒子線装置。

## 【請求項2】

前記荷電粒子線装置はさらに、前記ショート電極に対して電圧を供給するショート電極  
電源を備え、

前記制御部は、前記電位差が前記値となるように前記ショート電極電源を制御し、

前記制御部は、前記値の前記電位差を有する前記第1多段加速電極と前記ショート電極  
を相互接続した後、前記第1多段加速電極が前記基準電位となるように前記ショート電極

10

20

電源を制御する

ことを特徴とする請求項 1 記載の荷電粒子線装置。

【請求項 3】

前記荷電粒子線装置はさらに、前記ショート電極を前記ショート電極電源と前記基準電位のいずれに対して接続するかを切り替える切替スイッチを備え、

前記制御部は、前記第 1 多段加速電極が前記基準電位となるように前記ショート電極電源を制御した後、前記ショート電極を前記基準電位と接続するように前記切替スイッチを動作させる

ことを特徴とする請求項 2 記載の荷電粒子線装置。

【請求項 4】

前記制御部は、前記ショート電極を前記基準電位と接続するように前記切替スイッチを動作させる際には、前記ショート電極と前記ショート電極電源との間の接続を維持したまま、前記ショート電極を前記基準電位と接続するように、前記切替スイッチを制御する

ことを特徴とする請求項 3 記載の荷電粒子線装置。

【請求項 5】

前記制御部は、前記ショート電極を前記基準電位と接続するように前記切替スイッチを動作させる際には、前記切替スイッチにおいて放電が生じないように、前記ショート電極電源を制御する

ことを特徴とする請求項 4 記載の荷電粒子線装置。

【請求項 6】

前記荷電粒子線装置はさらに、前記ショート電極と前記第 1 多段加速電極との間の距離を変化させる駆動機構を備え、

前記制御部は、前記距離と前記ショート電極の電位から前記ショート電極と前記第 1 多段加速電極との間の電界を導出した結果を記憶しておき、

前記制御部は、前記導出した前記電界が放電の生じない範囲となるように、前記駆動機構および前記ショート電極電源を制御する

ことを特徴とする請求項 2 記載の荷電粒子線装置。

【請求項 7】

前記多段加速電極群は、前記第 1 加速電極から前記第 1 多段加速電極に至るまでの間に、第 2 多段加速電極を備え、

前記制御部は、前記第 1 多段加速電極と前記ショート電極を相互接続する前において、前記第 1 加速電極と前記第 2 多段加速電極との間の電位差を第 1 電位差となるように制御するとともに、前記第 2 多段加速電極と前記第 1 多段加速電極との間の電位差を前記第 1 電位差となるように制御し、

前記制御部は、前記第 1 多段加速電極と前記ショート電極を相互接続した後において、前記第 1 加速電極と前記第 2 多段加速電極との間の電位差を第 2 電位差となるように制御するとともに、前記第 2 多段加速電極と前記第 1 多段加速電極との間の電位差を前記第 2 電位差となるように制御する

ことを特徴とする請求項 1 記載の荷電粒子線装置。

【請求項 8】

前記制御部は、前記第 1 加速電圧を高加速電圧と低加速電圧との間で切り替える過程において、前記第 1 加速電極の電位を、前記低加速電圧よりも前記基準電位に近い暫定電位にセットし、

前記制御部は、前記多段加速電極群が有する各加速電極間において前記暫定電位を分配することにより、前記第 1 電位差または前記第 2 電位差が得られる制御を実施する

ことを特徴とする請求項 7 記載の荷電粒子線装置。

【請求項 9】

前記荷電粒子線装置はさらに、前記多段加速電極群が有する各加速電極間において前記第 1 加速電圧を分圧する分圧抵抗を備え、

前記制御部は、前記分圧抵抗が前記第 1 加速電圧を分圧することによって生じる前記第

10

20

30

40

50

1 多段加速電極の電位が、放電の生じない程度に前記基準電位に対して接近するように、前記第1加速電圧を制御し、

前記制御部は、前記第1多段加速電極の電位を前記基準電位に対して前記接近させた後、前記第1多段加速電極と前記ショート電極を相互接続する

ことを特徴とする請求項1記載の荷電粒子線装置。

【請求項10】

前記荷電粒子線装置はさらに、前記ショート電極と前記第1多段加速電極との間の距離を変化させる駆動機構を備え、

前記制御部は、前記距離と前記ショート電極の電位から前記ショート電極と前記第1多段加速電極との間の電界を導出した結果を記憶しておき、

前記制御部は、前記導出した前記電界が放電の生じない範囲となるように、前記駆動機構を制御する

ことを特徴とする請求項1記載の荷電粒子線装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、荷電粒子線装置が備える電極短絡機構に関するものである。

【背景技術】

【0002】

電子顕微鏡に搭載されている電子銃は、電子源から生じた電子に対して所定のエネルギー（以降、加速電圧と記述する）を与える加速電極を備えている。印加する加速電圧が高い装置（例えば、加速電圧200kV以上）は、分圧抵抗を介して配置された複数の多段加速電極によって、段階的にエネルギーが電子に対して与えられる。

【0003】

電子銃において、加速電圧を変更した場合、多段加速電極間において生じるレンズ作用が変化する。特に加速電圧を低く設定した場合、レンズ作用が弱くなるので、電子銃において生じる収差係数が大きくなる傾向があり、これが電子顕微鏡の性能を低下させる要因となっている。

【0004】

特許文献1には、加速電圧変更時にレンズ作用の変化を抑制するために、設定する加速電圧に応じて、多段加速電極のうちいずれかの電極を短絡する方法が記述されている。

【0005】

特許文献2には、加速電圧電位下に新たな制御電源を加え、これを用いて多段加速電極の電位を変更することにより、加速電圧変更時のレンズ作用の変化を抑制させる方法が記述されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【文献】特公平07-040478号公報

【文献】特開2019-139964号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

特許文献1記載の電子顕微鏡は、加速電圧変更時に段数切替スイッチを操作する際、加速電圧の印加を停止しなければならない。加速電圧の印加を停止すると、再び加速電圧が印加されて電子銃が安定動作するまでには、ある程度の時間を要してしまう。特に、ショットキー型電子銃においては、電子源の加熱温度を停止動作に併せて低下させる必要があるため、電子銃の安定動作までに必要な時間がさらに長くなってしまふ。

【0008】

特許文献2は、加速電圧を停止することなく、加速電圧変更時に生じる加速電極間のレ

10

20

30

40

50

レンズ作用の変化を抑制する方法を記載している。しかし本方法を実現するためには、加速電圧電位下に制御電源を新たに加え、制御電源によって制御された電圧を加速電極へ供給する構造を設ける必要がある。新たに加える制御電源は、電子顕微鏡使用時、加速電極の電位を一定に保つ必要があるため、高い安定度が求められる。また、新たに加えられた制御電源による電圧を加速電極へ供給する構造は、常に装置内部へ組み込まれているので、高加速電圧印加時にも他の電位の構造と絶縁破壊を生じないように、高電圧に対応した絶縁構造を有する必要がある。よって、特許文献2を実現するためには、既存の電子銃構造の大幅な変更が必要となり、構造の複雑化による製造コストの増加および耐電圧構造の放電リスク増加が考えられる。

【0009】

10

本発明は、上記のような課題に鑑みてなされたものであり、加速電圧変更時に生じる加速電極間のレンズ作用の変化を抑制可能な電極短絡機構を有し、電極短絡機構に対して加速電圧を印加したまま動作可能な荷電粒子線装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明に係る荷電粒子線装置は、第1加速電極に対して加速電圧を印加したまま、ショート電極と第1多段加速電極との間の電位差を放電が生じない程度に制御し、前記電位差を有する前記第1多段加速電極と前記ショート電極を接続する。

【発明の効果】

【0011】

20

本発明に係る荷電粒子線装置は、加速電圧変更時に生じる加速電極間のレンズ作用の変化を抑制する電極短絡機構を有し、電極短絡機構に対して加速電圧を印加したまま動作させることができる。これにより、電子銃の性能を低下させることなく、加速電圧を短時間で変更でき、電子顕微鏡の操作性を大きく向上することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】実施形態1に係る電子顕微鏡1の構成図である。

【図2】電子顕微鏡1が高加速電圧観察状態から低加速電圧観察状態に移行する際の動作例を示す。

【図3】高加速電圧観察状態から低加速電圧観察状態に切り替える際に経由する加速電圧切替状態の制御フローを示す。

30

【図4】実施形態1におけるショート電極電源108周辺の構成図である。

【図5】分圧抵抗群103の各抵抗値がR2であったとした場合の回路図を示す。

【図6】ステップ307の詳細を説明するフローチャートである。

【図7】実施形態2における電子顕微鏡1の構成図である。

【図8】実施形態2におけるショート電極107周辺の構成図である。

【図9】高加速電圧観察状態から低加速電圧観察状態に切り替える際に経由する加速電圧切替状態の制御フローを示す。

【図10】電子線軌道のシミュレーション結果を示す。

【発明を実施するための形態】

40

【0013】

<実施の形態1>

図1は、本発明の実施形態1に係る電子顕微鏡1の構成図である。記載の便宜上、電子源101の周辺部分のみ図示している。電子顕微鏡1は以下を備える：電子を発生させる電子源101；電子源101から放出される電子を加速するための第1加速電圧が印加される第1加速電極102；第1加速電極102の後段に位置し、第1加速電極102とグランドとの間の電圧を分圧するための分圧抵抗群103；分圧抵抗をそれぞれ接続した多段加速電極群120；電子源101および第1加速電極102へ印加する電圧を供給する第1加速電源104；第1加速電源104が供給する電位上の電圧を制御することにより、第1加速電極102へ印加する電圧を供給する第2加速電源105；電子源101、第

50

1 加速電極 1 0 2 および多段加速電極群 1 2 0 を保持する加速管 1 0 6 ; 多段加速電極のうち少なくとも 1 つの電極の電位をグランドに接地するためのショート電極 1 0 7 ; ショート電極 1 0 7 へ印加する電圧を供給するショート電極電源 1 0 8 ; 第 1 加速電源 1 0 4 、第 2 加速電源 1 0 5 、ショート電極電源 1 0 8 へ供給する電圧および、ショート電極 1 0 7 の動作を制御する制御装置 1 0 9 ; 加速管 1 0 6 およびショート電極 1 0 7 を保持する電子銃ハウジング 1 1 0 。

【 0 0 1 4 】

本実施形態においては、多段加速電極群 1 2 0 を構成する各加速電極を、第 1 加速電極 1 0 2 からの距離が近い順に以下のように呼称する：多段加速電極 1 2 1 、多段加速電極 1 2 2 、多段加速電極 1 2 3 、多段加速電極 1 2 4 、多段加速電極 1 2 5 。多段加速電極 1 2 5 は、接地されている。本実施形態において、加速管 1 0 6 内は、高真空領域（例えば、気体圧力が  $1 \times 10^{-6}$  Pa 以下）となっており、加速管 1 0 6 と電子銃ハウジング 1 1 0 との間の空間は、放電電圧の向上を目的に不活性ガス（例えば、六フッ化硫黄）が充填されている。

10

【 0 0 1 5 】

図 2 は、電子顕微鏡 1 が高加速電圧観察状態（例えば、加速電圧 2 0 0 k V ）から低加速電圧観察状態（例えば、加速電圧 8 0 k V ）に移行する際の動作例を示す。本実施形態においては、ショート電極 1 0 7 を多段加速電極 1 2 2 に対して接続する場合を例に取り説明する。以下の説明では各構造の電位情報を記載しているが、以下に示す値は 1 例であり、本発明の権利範囲を限定するものではない。

20

【 0 0 1 6 】

図 2 が示す高加速電圧観察状態においては、第 1 加速電源 1 0 4 により、電子源 1 0 1 の電位 ( $V_0$ ) は、 $-200$  k V に制御されている。第 1 加速電極 1 0 2 へは第 2 加速電源 1 0 5 により、電子源 1 0 1 に対して 2 0 k V の電位差が供給され、これにより電子を加速している。第 1 加速電極 1 0 2 の電位 ( $V_1$ ) は、電子源 1 0 1 の電位に対して第 2 加速電源 1 0 5 により電位差が重畳されているので、 $-180$  k V となる。本実施形態においては、分圧抵抗群 1 0 3 の各抵抗値  $R$  は等しく設定されているとし、多段加速電極 1 2 1 から多段加速電極 1 2 5 までの各電位 ( $V_2 \sim V_6$ ) は、それぞれ表 1 に示す値となっている。ショート電極電源 1 0 8 は、ショート電極 1 0 7 を接続する際に使用するので、観察状態においては停止されている。よって、ショート電極 1 0 7 の電位 ( $V_s$ ) は、 $0$  k V となる。

30

【 0 0 1 7 】

40

50

【表 1】

表1

|    | 電位         |
|----|------------|
| V0 | -200 kV    |
| V1 | -180 kV    |
| V2 | -144 kV    |
| V3 | -108 kV    |
| V4 | -72 kV     |
| V5 | -36 kV     |
| V6 | 0 kV (Gnd) |
| Vs | 0 kV (Gnd) |

10

20

【0018】

特許文献1記載の内容から、加速電圧変更時に生じる加速電極間のレンズ作用の変化を抑制するためには、より上段に位置する加速電極間で生じるレンズ作用を加速電圧変更前と近い状態にすることが求められる。本実施形態においては、高加速電圧観察状態から低加速電圧観察状態に移行した際、第1加速電極102と多段加速電極121との間、および、多段加速電極121と多段加速電極122との間で生じるレンズ作用の変化を抑制することを目的とする。

30

【0019】

表2は、高加速電圧観察状態における各電極間の電位差を示す。V1 - V2間およびV2 - V3間の電位差は、ともに36kVとなっている。多段加速電極122(V3)とショート電極107との間の電位差は108kVとなっているが、本状態においては、多段加速電極122とショート電極107との間の距離Lが十分確保されているので(例えば、12mm以上)、これらの電極間では放電は生じない。

【0020】

40

50

【表 2】

表2

|         | 電位差    |
|---------|--------|
| V0 – V1 | 20 kV  |
| V1 – V2 | 36 kV  |
| V2 – V3 | 36 kV  |
| V3 – V4 | 36 kV  |
| V4 – V5 | 36 kV  |
| V5 – V6 | 36 kV  |
| V3 – Vs | 108 kV |

10

20

【 0 0 2 1】

図 3 は、高加速電圧観察状態から低加速電圧観察状態に切り替える際に経由する加速電圧切替状態の制御フローを示す。本実施形態においては、ショート電極 107 動作時の放電リスクを低減するために、加速電圧切替時は S 302 における電位状態を経由することとした。本フローチャートは、制御装置 109 が電子顕微鏡 1 の各部を制御することによって実施される。

【 0 0 2 2】

初期状態は、V0 電位に - 200 kV、V1 電位に - 180 kV が印加された状態である（ステップ 301）。ステップ 302 において、制御装置 109 は、第 1 加速電源 104 および第 2 加速電源 105 を制御し、電子源 101 の電位と第 1 加速電極 102 の電位をそれぞれ - 30 kV、- 29 kV に設定する。この制御により、各電極の電位と各電極間の電位差は、それぞれ表 3 および表 4 に示す値となる。- 30 kV は、電子源 101 周辺においてトラブルが生じたときであっても過度なダメージが生じないように、グランドからの電位差をいったん小さくするためにセットする、暫定的電位である。同様の効果を発揮できれば、- 30 kV 以外の値であってもよい。V1 は、V0 よりもグランド電位により近い電位であればよい。

30

【 0 0 2 3】

40

50

【表 3】

表3

|    | 電位         |
|----|------------|
| V0 | -30 kV     |
| V1 | -29 kV     |
| V2 | -23.2 kV   |
| V3 | -17.4 kV   |
| V4 | -11.6 kV   |
| V5 | -5.8 kV    |
| V6 | 0 kV (Gnd) |
| Vs | 0 kV (Gnd) |

10

20

【 0 0 2 4 】

【表 4】

表4

|         | 電位差     |
|---------|---------|
| V0 – V1 | 1 kV    |
| V1 – V2 | 5.8 kV  |
| V2 – V3 | 5.8 kV  |
| V3 – V4 | 5.8 kV  |
| V4 – V5 | 5.8 kV  |
| V5 – V6 | 5.8 kV  |
| V3 – Vs | 17.4 kV |

30

40

【 0 0 2 5 】

ステップ 3 0 3 において、制御装置 1 0 9 は、ショート電極 1 0 7 の電位設定値を変更する。ステップ 3 0 3 は、ステップ 3 0 4 に示す判定を満たすまで繰り返される。ステップ 3 0 4 においては、ショート電極 1 0 7 と多段加速電極 1 2 2 との間の電位差が ± K 以

50

内となることとした。ここで、Kは、『放電ハンドブック、電気学会放電ハンドブック出版委員会編、pp 192』（参考文献）に記載されているパッシェン曲線を参考に、ショート電極107と多段加速電極122との間で放電が生じない程度の電位差とした。Kはあらかじめ制御装置109が導出して記憶しておいたものを用いることもできるし、本ステップを実施することによって導出してよい。

**【0026】**

本実施形態において、ショート電極107の電位は、ステップ304の判定を通過することにより、 $V_s = -17.4 \text{ kV}$ に設定されている（ステップ305）。これにより、ショート電極107と多段加速電極122との間の電位差は0kVとなり、2つの電極間の距離Lを接触するまで近接させても放電は生じない状態となる。放電が生じないのであれば、ショート電極107と多段加速電極122との間の電位差は必ずしも0kVでなくともよい。

10

**【0027】**

ステップ306において、制御装置109は、ショート電極駆動機構（例えば、エアシリンダー）を動作させ、ショート電極107を多段加速電極122へ接続する。ショート電極107と多段加速電極122が接続された後、制御装置109は、ショート電極電源108を制御し、多段加速電極122の電位をグランド電位に変更する（ステップ307）。本実施形態では、ショート電極電源108から生じるノイズを低減させるために、ショート電極107をショート電極電源108とは異なる接地点へ接続する（ステップ308）。

20

**【0028】**

ステップ309において、制御装置109は、第1加速電源104および第2加速電源105を制御し、電子源101と第1加速電極102それぞれの電位を低加速電圧観察状態の設定値へ変更し、加速電圧切替の制御を終了する（ステップ310）。

**【0029】**

図3の切替制御により、電子源101に対する加速電圧の印加を停止することなく、特許文献1に記載されているような加速電圧変更時に生じる加速電極間のレンズ作用の変化を抑制可能な電極短絡機構を動作させることができる。本フローチャートにより各電極の電位および電極間の電位差は表5～6に示す値となる。

**【0030】**

30

40

50

【表 5】

表5

|    | 電位         |
|----|------------|
| V0 | -80 kV     |
| V1 | -60 kV     |
| V2 | -30 kV     |
| V3 | 0 kV (Gnd) |
| V4 | 0 kV (Gnd) |
| V5 | 0 kV (Gnd) |
| V6 | 0 kV (Gnd) |
| Vs | 0 kV (Gnd) |

10

20

【 0 0 3 1】

【表 6】

表6

|         | 電位差   |
|---------|-------|
| V0 – V1 | 20 kV |
| V1 – V2 | 30 kV |
| V2 – V3 | 30 kV |
| V3 – V4 | 0 kV  |
| V4 – V5 | 0 kV  |
| V5 – V6 | 0 kV  |
| V3 – Vs | 0 kV  |

30

40

【 0 0 3 2】

図 4 は、実施形態 1 におけるショート電極電源 1 0 8 周辺の構成図である。ショート電極電源 1 0 8 とショート電極 1 0 7 との間には、電位計測器 3 0 1、切替スイッチ 3 0 2

50

、保護抵抗 303 が配置されている。切替スイッチ 302 は、3 つ以上の端子を有しており、それぞれ、ショート電極 107 へ通じる構造、ショート電極電源 108 へ通じる構造、グランド電位へ通じる構造 304、に対して接続されている。保護抵抗 (R1 と記載する。例えば 1 M ) は、切替スイッチ 302 とショート電極電源 108 との間に備えられている。

#### 【0033】

図 5 は、分圧抵抗群 103 の各抵抗値が R2 (例えば、1.7 G ) であったとした場合の回路図を示す。図中に記載は無いが、ステップ 306 と後述のステップ 3071 においてのみ、ショート電極 107 と多段加速電極 122 との間は非接触状態となっている (注 1)。

10

#### 【0034】

図 6 は、ステップ 307 の詳細を説明するフローチャートである。初期状態 (ステップ 306 ) においては、ショート電極電源 108 の出力 (Vps) が 0 kV であり、ショート電極 107 の電位 (Vs) も 0 kV となっている。切替スイッチ 302 は、ショート電極 107 とショート電極電源 108 との間を通電している状態 (SWs = ON) であり、グランド構造へ通じる端子とは非接触状態 (SWg = OFF) になっている。

#### 【0035】

ステップ 3071 ~ 3072 において、制御装置 109 は、ショート電極電源 108 を制御し、多段加速電極 122 の電位 (本実施形態では、電位計測器 301 の値をモニタしている) がグランド電位 ± 変数 Kg 以内になるように変更する。変数 Kg は、変数 K と同様に参考文献に記載されているパッシェン曲線を参考に、グランド電位の構造とショート電極 107 との間で放電が生じない程度の電位差を導出し決定した。本実施形態では、本ステップにおけるショート電極電源 108 の出力 (Vps) は、8.9 V 程度となる。よって、本実施形態で必要となるショート電極電源 108 の仕様は、-20 kV から 10 V 程度の電圧を出力可能であることとなる。

20

#### 【0036】

切替スイッチ 302 は例えば大気環境下で動作することになるので、本フローチャートにおける Kg は、K とは異なる値である。電子源 101 周辺は例えば不活性ガス環境下で動作するからである。

#### 【0037】

ステップ 3073 において、制御装置 109 は、切替スイッチ 302 を動作させ、保護抵抗 303 とショート電極 107 との間の構造をグランド電位に接地する。このとき切替スイッチ 302 は、常に保護抵抗 303 と接続される構造である必要がある。切替スイッチ 302 をオープンすると、ショート電極 107 がグランド電位から外れる可能性があるからである。そこで本実施形態では、グランド電位にある構造物を動作させ (例えば、駆動系にエアシリンダーを使用する)、保護抵抗 303 とショート電極 107 との間の構造に接触させることにより、スイッチを切り替える。

30

#### 【0038】

ショート電極 107 の電位がグランド電位となった後、ステップ 3074 において、制御装置 109 は、ショート電極電源 108 の出力を停止する。以上により、ショート電極 107 をショート電極電源 108 とは異なる接地点へ接続する処理 (ステップ 307) が終了する。

40

#### 【0039】

本フローチャートは以下の意義もある。ショート電極電源 108 は、放電を抑制するために配置したものである。それ以外の目的において使用されることがないように、不必要なときは停止することが望ましい。図 6 のフローチャートにより、ショート電極電源 108 は、必要時のみショート電極 107 と接続および電源供給することになるので、ショート電極電源 108 を不測の動作から保護できる。

#### 【0040】

以上説明した構成により、ショート電極電源 108 を放電による過電流から保護するこ

50

とが可能となる。また、保護抵抗303とショート電極107との間の構造をグラウンド電位に接地することにより、保護抵抗303による電圧降下の影響を無視することが可能になり、観察状態においてショート電極電源108を停止することができる。つまり、ショート電極電源108はショート電極107が動作するときのみ稼働すればよいので、装置の消費電力を低減することができる。また、ショート電極電源108を停止することにより、同電源から生じるノイズが装置内に流入することも防ぐことが可能となる。

#### 【0041】

本実施形態では、ショート電極107の電位を設定し、ショート電極107を動作させた。これに代えて制御装置109は、ショート電極107と多段加速電極122との間の距離Lとショート電極107の電位から、ショート電極107と多段加速電極122との間の電界を算出してその結果を記憶しておき、その電界が放電の生じない程度の範囲となるように、ショート電極電源108とショート電極107の駆動系を制御してもよい。

10

#### 【0042】

本実施形態では、ショート電極107を接続後、ショート電極電源108とは異なる接地点へショート電極107とショート電極電源108との間の構造を接地したが、ショート電極電源108による制御を続けてもよい。

#### 【0043】

##### <実施の形態1：まとめ>

本実施形態1に係る電子顕微鏡1は、多段加速電極122との間で放電が生じない程度の電位差となるようにショート電極107の電位を制御し、ショート電極107を多段加速電極122と接続した後、ショート電極107の電位がグラウンド電位となるようにショート電極電源108を制御する。これにより、電子源101に対して加速電圧を印加したまま、電極短絡機構を動作させることができる。

20

#### 【0044】

##### <実施の形態2>

実施形態1では、ショート電極電源108を用いて、ショート電極107の電位を放電が生じない程度に制御することを説明した。本発明の実施形態2では、ショート電極電源108を用いることに代えて、第1加速電極102の電位（およびその電位を分圧することによって多段加速電極122において生じる電位）を制御することにより、放電を抑制する構成例を説明する。

30

#### 【0045】

図7は、本実施形態2における電子顕微鏡1の構成図である。図1と比較すると、ショート電極電源108を備えていない点が異なる。その他の構成は図1と同様であるので、以下では実施形態1からの差異点について主に説明する。

#### 【0046】

図8は、実施形態2におけるショート電極107周辺の構成図である。図8を用いて、高加速電圧観察状態（例えば、加速電圧200kV）から低加速電圧観察状態（例えば、加速電圧80kV）に移行する際の動作を説明する。

#### 【0047】

図8に示す高加速電圧観察状態においては、第1加速電源104により、電子源101の電位（ $V_0$ ）は-200kVに制御されている。第1加速電極102へは第2加速電源105により電子源101に対して20kVの電位差が供給され、電子を加速している。第1加速電極102の電位（ $V_1$ ）は、電子源101の電位に対して電位差20kVが重畳されているので、-180kVとなる。分圧抵抗群103の構成は実施形態1と同様であり、各多段加速電極の電位（ $V_2 \sim V_6$ ）は、それぞれ表1に示す値となっている。ショート電極はグラウンド電位に接地されているので、ショート電極の電位（ $V_s$ ）は0kVとなる。各多段加速電極間の電位差は表2に示す値となっている。

40

#### 【0048】

図9は、高加速電圧観察状態から低加速電圧観察状態に切り替える際に経由する加速電圧切替状態の制御フローを示す。本実施形態においては、ショート電極107動作時の放

50

電リスクを低減するために、加速電圧切替時はS 9 0 2における電位状態を経由することとした。本フローチャートは、制御装置1 0 9が電子顕微鏡1の各部を制御することによって実施される。

【0 0 4 9】

初期状態は、V 0電位に - 2 0 0 k V、V 1電位に - 1 8 0 k Vが印加された状態である（ステップ9 0 1）。ステップ9 0 2において、制御装置1 0 9は、第1加速電源1 0 4および第2加速電源1 0 5を制御し、電子源1 0 1の電位と第1加速電極1 0 2の電位をそれぞれ - 3 0 k V、 - 2 9 k Vに設定する。これにより、各電極の電位と各電極間の電位差は、それぞれ表3および表4に示す値となる。

【0 0 5 0】

ステップ9 0 3において、制御装置1 0 9は、第2加速電源1 0 5を制御し、第1加速電極1 0 2の電位を変更する。第1加速電極1 0 2の電位変更は、ステップ9 0 4に示す判定を満たすまで繰り返される。ステップ9 0 4においては、下記式1に示す値Aがグラウンド電位±変数K以内となることとした。変数Kは、実施形態1と同様に、参考文献に記載されているバッシュェン曲線を参考に、気中（例えば、六フッ化硫黄）に存在する2つの電極間で放電が生じない程度の電位差とした。本実施形態では、 $K = 0.6 \text{ kV}$ とする。式1の変数Nは加速電極の数を示している（例えば、本実施形態では、 $N = 6$ ）。変数 $N_s$ はショート電極1 0 7を接続する多段加速電極の段数（例えば、多段加速電極1 2 2であれば $N_s = 2$ ）を示している。変数 $R_i$ は、 $i$ 段目と $(i + 1)$ 段目の加速電極間に接続されている分圧抵抗の抵抗値（例えば、 $i = 3$ とした場合、多段加速電極1 2 3と多段加速電極1 2 4との間に備えられている分圧抵抗の抵抗値）を示している。

【0 0 5 1】

【数1】

$$A = \frac{(V_0 - (V_0 - V_1))^{(N - N_s)}}{\sum R_i} \sum_{i=0}^{(N - N_s)} R_{(N - i)}$$

【0 0 5 2】

本実施形態においては、式1の値Aが判定値 $Gnd - K$ と同値である場合を例に取り説明する。本実施形態の電子源の電位（V 0）、加速電極の数（N）およびショート電極1 0 7を接続する多段加速電極の段数（ $N_s$ ）を式1に代入し、その結果としてAがステップ9 0 4に示す条件を満たすためには、第1加速電極1 0 2の電位（V 1）は、±1 k V以内に制御される必要がある。Aが判定値 $Gnd - K$ と同値である場合における各電極の電位および電位差は、表7および表8に示す値となる。以上の制御により、ショート電極1 0 7と多段加速電極1 2 2との間の電位差は0.6 k Vとなり、2つの電極間の距離Lを接触するまで近接させても放電は生じない状態となる。

【0 0 5 3】

10

20

30

40

50

【表 7】

表7

|    | 電位         |
|----|------------|
| V0 | -30 kV     |
| V1 | -1 kV      |
| V2 | -0.8 kV    |
| V3 | -0.6 kV    |
| V4 | -0.4 kV    |
| V5 | -0.2 kV    |
| V6 | 0 kV (Gnd) |
| Vs | 0 kV (Gnd) |

10

20

【 0 0 5 4】

【表 8】

表8

|         | 電位差    |
|---------|--------|
| V0 – V1 | 29 kV  |
| V1 – V2 | 0.2 kV |
| V2 – V3 | 0.2 kV |
| V3 – V4 | 0.2 kV |
| V4 – V5 | 0.2 kV |
| V5 – V6 | 0.2 kV |
| V3 – Vs | 0.6 kV |

30

40

【 0 0 5 5】

ステップ 905 において、ショート電極駆動機構（例えば、エアシリンダー）を動作させ、ショート電極 107 を多段加速電極 122 へ接続する。ショート電極 107 と多段加

50

速電極 1 2 2 が接続された後、第 1 加速電源 1 0 4 および第 2 加速電源 1 0 5 を制御し、電子源 1 0 1 と第 1 加速電極 1 0 2 の電位を低加速電圧観察状態の設定値へ変更し、加速電圧切替の制御を終了する（ステップ 9 0 6）。ステップ 9 0 5 以降においてショート電極 1 0 7 を多段加速電極 1 2 2 へ接続した後、制御装置 1 0 9 は、多段加速電極 1 2 2 の電位が維持されるように、制御を実施する。すなわち、多段加速電極 1 2 2 をグランド電位に維持する必要がある間は、その電位状態が維持されるように、各部を制御する。例えばショート電極 1 0 7 と多段加速電極 1 2 2 との間の接続を維持すればよい。

【 0 0 5 6 】

図 9 の切替制御により、加速電圧の印加を停止することなく、特許文献 1 に記載されているような加速電圧変更時に生じる加速電極間のレンズ作用の変化を抑制可能な電極短絡機構を動作させることができる。なお、上記により各電極の電位および電極間の電位差は表 5 と表 6 に示す値となる。

10

【 0 0 5 7 】

図 1 0 は、電子線軌道のシミュレーション結果を示す。図 1 0 上段は、加速電圧切替状態時に、電子源 1 0 1 の電位 ( V 0 ) を - 3 0 k V とした結果である。図 1 0 下段は、電子源 1 0 1 の電位 ( V 0 ) を - 1 0 k V とした結果である。シミュレーション結果はショットキー型電子源を想定しており、電子線の引出し電圧は上段下段ともに 2 . 5 k V とした。電子顕微鏡 1 の構成は、実施形態 1 ~ 2 いずれであってもよい。

【 0 0 5 8 】

電子源 1 0 1 の電位 ( V 0 ) を - 3 0 k V とした場合、電子線の軌道 1 0 0 1 は集束されており、加速管 1 0 6 内に備えられているグランド電位の構造物 1 0 0 2 の後段に位置する電子銃絞り部 1 0 0 3 に対して多くの電子線が照射される。これに対し、電子源 1 0 1 の電位 ( V 0 ) を - 1 0 k V とした場合、電子線の軌道 1 0 0 4 は発散傾向にあり、構造物 1 0 0 2 の表面に対して多くの電子線が照射される。一般的に電子銃に備えられている加速管の材質はアルミナが用いられているので、電子源 1 0 1 の電位 ( V 0 ) を - 1 0 k V とした場合のように、電子線が構造物 1 0 0 2 の表面に対して照射されることは好ましくない。これは、構造物 1 0 0 2 の表面に対して照射された電子線から生じる 2 次電子もしくは発散した 1 次電子がアルミナに対して照射されると、アルミナから多くのアウトガスが発生するからである。アウトガスは、加速管内での放電や帯電の要因となる可能性が高いとされているので、かかる状況は好ましくないといえる。

20

30

【 0 0 5 9 】

本実施形態においては、第 1 加速電極 1 0 2 の電位を設定し、ショート電極 1 0 7 を動作させた。これに代えて制御装置 1 0 9 は、ショート電極 1 0 7 と多段加速電極 1 2 2 との間の距離 L と多段加速電極 1 2 2 の電位から、ショート電極 1 0 7 と多段加速電極 1 2 2 との間の電界を算出し、その電界が放電の生じない程度の範囲となるように、第 2 加速電源 1 0 5 とショート電極 1 0 7 の駆動系を制御してもよい。

【 0 0 6 0 】

< 本発明の変形例について >

以上の実施形態において、加速電圧切替時における電子源 1 0 1 の電位 ( V 0 ) を - 3 0 k V と設定したが、この電位は、電子銃の構造や各電極への印加電圧によって最適値が変化する。よって、加速電圧切替時における電子源 1 0 1 の電位 ( V 0 ) の設定条件は、電子線軌道のシミュレーション結果や実験値によって設定されることが好ましい。

40

【 0 0 6 1 】

以上の実施形態において、高加速電圧観察状態から低加速電圧観察状態へ移行するフローを記載したが、低加速電圧観察状態から高加速電圧観察状態への移行も本実施形態によって実施可能である。処理フローの記載は割愛するが、上記処理と同様に切替スイッチ 3 0 2 の状態切替時と、ショート電極 1 0 7 の状態切替時において、構造間で放電が生じないように、ショート電極電源 1 0 8 ( 実施形態 1 ) または第 2 加速電源 1 0 5 ( 実施形態 2 ) を制御すればよい。

【 0 0 6 2 】

50

以上の実施形態において、ショート電極 107 を電子銃ハウジング 110 内に備えたが、電子銃ハウジング 110 外に備えてもよい。

【0063】

以上の実施形態において、分圧抵抗群 103 の抵抗値がそれぞれ同じであることとしたが、それぞれ個別の抵抗値を有していてもよい。

【0064】

以上の実施形態において、多段加速電極 122 に対してショート電極 107 を接続したが、印加する加速電圧によって、接続先の多段加速電極を変更してもよい。

【0065】

以上の実施形態において、ショート電極 107 を 1 つとしたが、複数のショート電極 107 を備えてもよい。

10

【0066】

以上の実施形態において、制御装置 109 は、その機能を実装した回路デバイスなどのハードウェアによって構成することもできるし、その機能を実装したソフトウェアを CPU (Central Processing Unit) などの演算装置が実行することによって構成することもできる。

【0067】

以上の実施形態において、多段加速電極をグランド電位とする（接地する）ことを説明したが、グランド電位以外の基準電位とする場合においても、本発明を同様に適用することができる。この場合は、以上の実施形態におけるグランド電位を、その基準電位へ適宜読み替えて適用すればよい。

20

【0068】

以上の実施形態において、荷電粒子線装置の 1 例として電子顕微鏡 1 を説明したが、本発明はその他の荷電粒子ビーム装置における多段加速電極の短絡機構においても用いることができる。

【符号の説明】

【0069】

- 101 電子源
- 102 第 1 加速電極
- 103 分圧抵抗群
- 104 第 1 加速電源
- 105 第 2 加速電源
- 106 加速管
- 107 ショート電極
- 108 ショート電極電源
- 109 制御装置
- 110 電子銃ハウジング
- 120 多段加速電極群
- 121 多段加速電極
- 122 多段加速電極
- 123 多段加速電極
- 124 多段加速電極
- 125 多段加速電極
- 401 電位計測器
- 402 切替スイッチ
- 403 保護抵抗

30

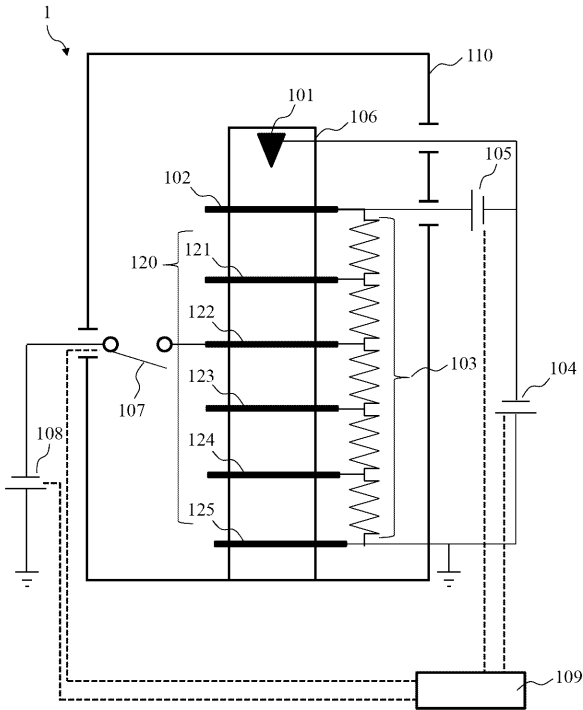
40

50

【図面】

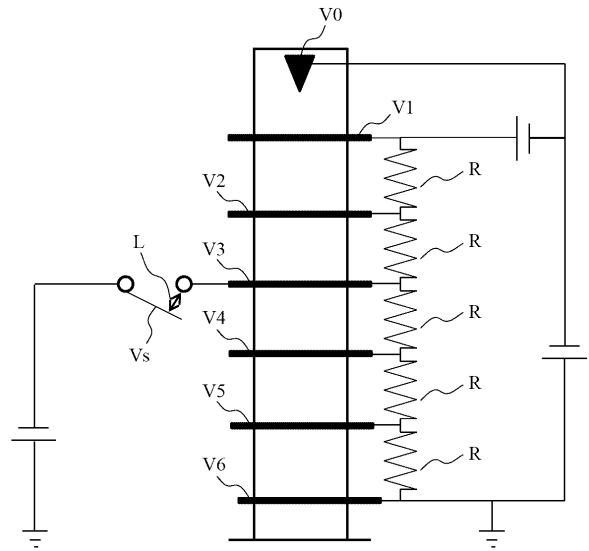
【図 1】

図 1



【図 2】

図 2

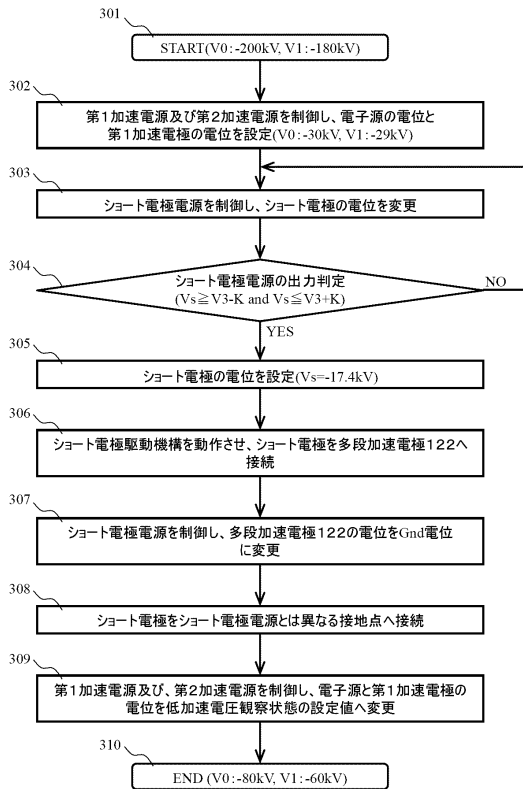


10

20

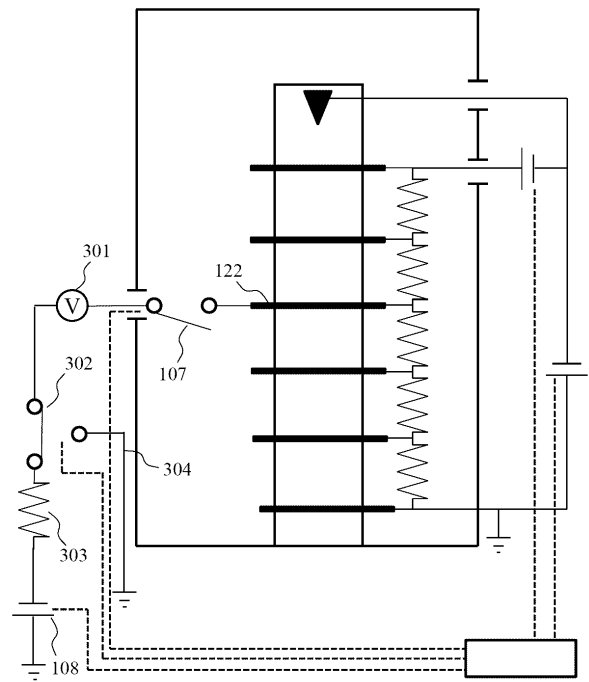
【図 3】

図 3



【図 4】

図 4



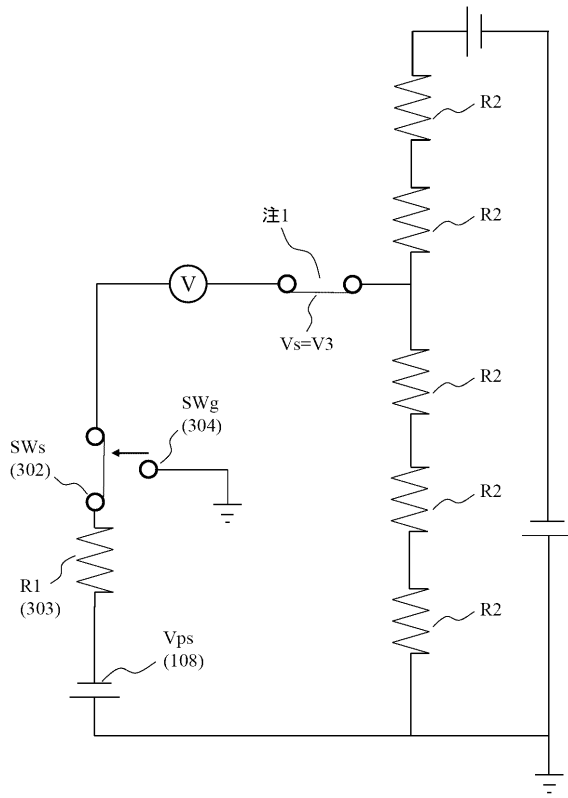
30

40

50

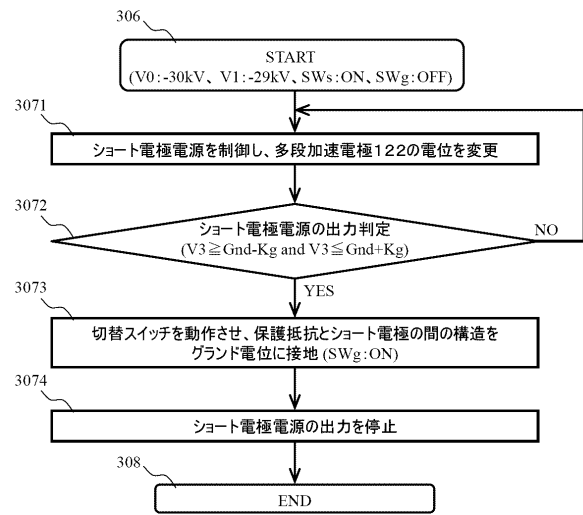
【図5】

図5



【図6】

図6

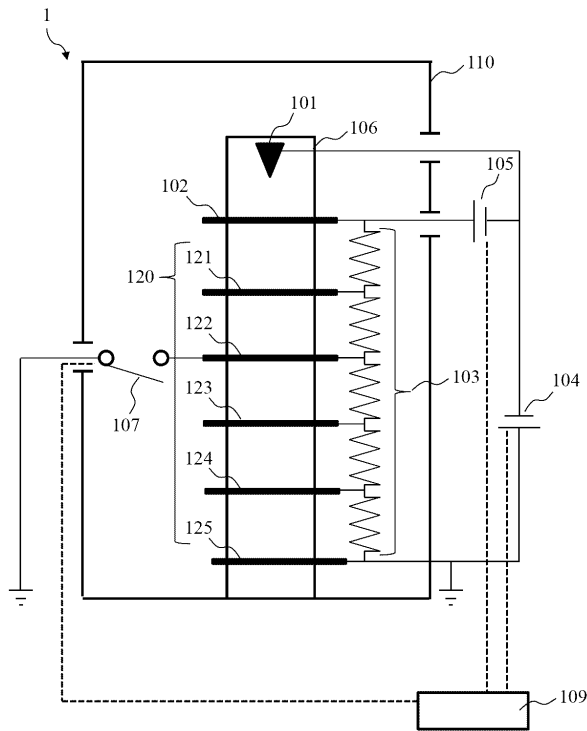


10

20

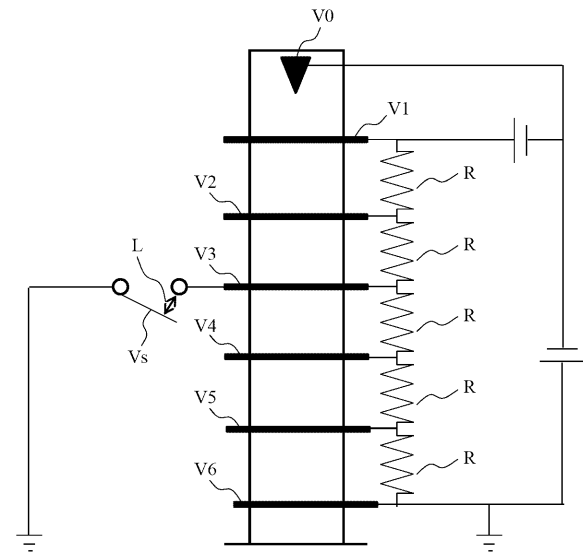
【図7】

図7



【図8】

図8



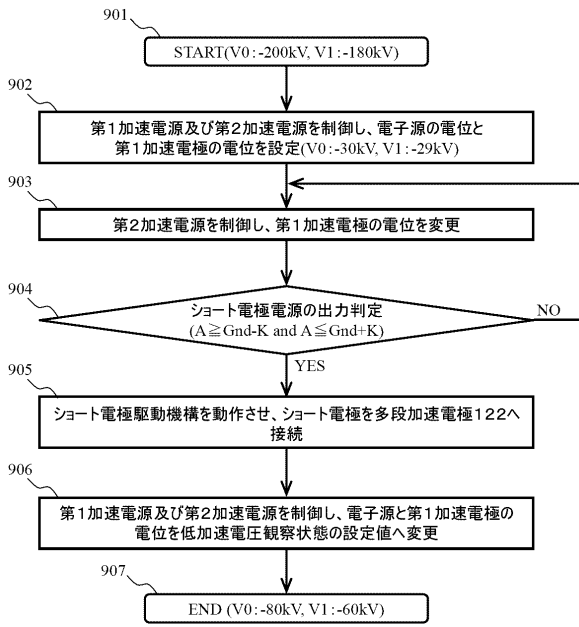
30

40

50

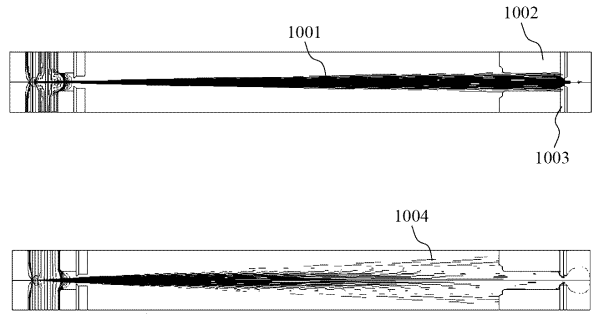
【 図 9 】

図 9



【 図 10 】

図 10



10

20

30

40

50

---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平 1 1 - 0 2 5 9 0 0 ( J P , A )  
特開昭 6 3 - 0 8 1 7 4 3 ( J P , A )  
特開 2 0 1 7 - 2 0 4 3 7 5 ( J P , A )  
特開 2 0 1 9 - 0 5 0 1 9 9 ( J P , A )  
特開平 3 - 1 0 1 0 4 0 ( J P , A )  
特開 2 0 1 9 - 1 3 9 9 6 4 ( J P , A )
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)  
H 0 1 J 3 7 / 2 4 8  
H 0 1 J 3 7 / 2 6  
H 0 1 J 3 7 / 2 4  
H 0 1 J 3 7 / 0 6