

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5852833号
(P5852833)

(45) 発行日 平成28年2月3日 (2016. 2. 3)

(24) 登録日 平成27年12月11日 (2015. 12. 11)

(51) Int. Cl.

F I

HO 1 J 37/147 (2006. 01)
HO 1 J 37/28 (2006. 01)
HO 1 J 37/317 (2006. 01)

HO 1 J 37/147 D
HO 1 J 37/28 Z
HO 1 J 37/317 D

請求項の数 11 外国語出願 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2011-219560 (P2011-219560)
(22) 出願日 平成23年10月3日 (2011. 10. 3)
(65) 公開番号 特開2012-79700 (P2012-79700A)
(43) 公開日 平成24年4月19日 (2012. 4. 19)
審査請求日 平成26年9月10日 (2014. 9. 10)
(31) 優先権主張番号 10 2010 047 331.6
(32) 優先日 平成22年10月1日 (2010. 10. 1)
(33) 優先権主張国 ドイツ (DE)
(31) 優先権主張番号 61/404, 433
(32) 優先日 平成22年10月1日 (2010. 10. 1)
(33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 512158505
カール ツァイス マイクロスコピー
ゲーエムベーハー
Carl Zeiss Microscop
y GmbH
ドイツ国 07745 イーナ カール
ツァイス ブロムナーデ 10
(74) 代理人 100147485
弁理士 杉村 憲司
(74) 代理人 100134005
弁理士 澤田 達也
(74) 代理人 100147692
弁理士 下地 健一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 イオンビームシステム及びイオンビームシステムを操作する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

イオンビーム経路を有するイオンビームシステムであって、
電圧供給システムと、
イオンビームを発生させるよう構成したイオンビーム源と、
前記イオンビーム経路が通過し、前記電圧供給システムに電氣的に接続した、加速電極
であって、前記電圧供給システムは、調整可能な加速電圧を該加速電極に供給するよう構
成した、加速電極と、
前記イオンビーム経路で前記加速電極の下流に位置決めした少なくとも1つのビーム偏
向器と、
を備え、前記少なくとも1つのビーム偏向器は、
少なくとも1つの第1偏向電極と、
前記電圧供給システムに電氣的に接続し、前記第1偏向電極に対向して位置決めし、前
記イオンビーム経路に沿って分配した、複数の第2偏向電極と、
を備え、前記電圧供給システムは、前記複数の第2偏向電極に対向する前記少なくとも1
つの第1偏向電極との間の偏向電場が共通の向きを有するように、異なる調整可能な偏向
電圧を前記複数の第2偏向電極に供給するよう構成し、且つ、前記電圧供給システムは、
第1動作モード及び第2動作モードを有し、前記第1動作モードで前記加速電極に供給す
る前記加速電圧は、前記第2動作モードで前記加速電極に供給する前記加速電圧よりも大
きく、前記電圧供給システムは、前記イオンビーム経路に沿った前記少なくとも1つのビ

ーム偏向器の前記偏向電場の分布が、前記第2の動作モードよりも前記第1の動作モードで大きな幅を有するように、前記偏向電圧を供給するよう構成した、イオンビームシステム。

【請求項2】

請求項1に記載のイオンビームシステムにおいて、前記電圧供給システムは、第1切換状態及び第2切換状態を有する少なくとも1つのスイッチを備え、前記第1切換状態では、少なくとも2つの第2偏向電極を前記スイッチを介して互いに接続してそれらが同じ共通電位にあるようにし、前記第2切換状態では、前記2つの第2電極を互いに電氣的に接続せずそれらが異なる電位を有し得るようにした、イオンビームシステム。

【請求項3】

請求項1又は2に記載のイオンビームシステムにおいて、前記イオンビーム経路に沿って分配した前記第2偏向電極は、異なる長さを有する、イオンビームシステム。

【請求項4】

請求項3に記載のイオンビームシステムにおいて、他の前記第2偏向電極の下流に位置決めした前記第2偏向電極のそれぞれは、前記他の前記第2偏向電極の長さよりも短い長さを有する、イオンビームシステム。

【請求項5】

請求項1～4のいずれか1項に記載のイオンビームシステムにおいて、前記少なくとも1つのビーム偏向器は、前記イオンビーム経路に沿って分配した複数の第2偏向電極を備える、イオンビームシステム。

【請求項6】

請求項5に記載のイオンビームシステムにおいて、前記少なくとも1つのビーム偏向器は、同じ数の第1偏向電極及び第2偏向電極を備える、イオンビームシステム。

【請求項7】

請求項1～6のいずれか1項に記載のイオンビームシステムにおいて、前記少なくとも1つのビーム偏向器は、複数の第2偏向電極群を備え、各群の前記第2偏向電極は、前記イオンビーム経路に沿って分配し、前記偏向電極群は、前記イオンビーム経路の周りに円周方向に分配した、イオンビームシステム。

【請求項8】

請求項1～7のいずれか1項に記載のイオンビームシステムにおいて、前記加速電極の下流に位置決めし、前記イオンビームを対象物領域に集束させるよう構成した、集束レンズをさらに備える、イオンビームシステム。

【請求項9】

請求項8に記載のイオンビームシステムにおいて、前記少なくとも1つのイオンビーム偏向器及び前記電圧供給システムは、前記イオンビームを前記対象物領域で0.1 μm よりも大きく偏向させることができるよう構成した、イオンビームシステム。

【請求項10】

イオンビームシステムを操作する方法であって、

イオンビームのイオンを第1運動エネルギーに加速させ、前記イオンビームに沿って第1場分布を有する偏向電場を用いて前記イオンビームを第1方向に偏向させるステップと

、
続いて、前記イオンビームのイオンを第2運動エネルギーに加速させ、前記イオンビームに沿って第2場分布を有する偏向電場を用いて前記イオンビームを前記第1方向に偏向させるステップと、

を含み、前記第1運動エネルギーは前記第2運動エネルギーよりも大きく、

前記第1場分布の幅は前記第2場分布の幅よりも大きい、方法。

【請求項11】

請求項10に記載の方法において、前記イオンビームの前記イオンを前記第1運動エネルギーに加速させ、前記イオンビームを前記第1方向に偏向させるステップは、前記イオンビームに沿って第3場分布を有する偏向電場を用いて、前記第1方向とは逆の第2方向

に前記イオンを偏向させるステップをさらに含み、

前記イオンビームの前記イオンを前記第2運動エネルギーに加速させ、前記イオンビームを前記第1方向に偏向させるステップは、前記イオンビームに沿って第4場分布を有する偏向電場を用いて、前記第2方向に前記イオンビームを偏向させるステップをさらに含み、

前記第1場分布の前記イオンビーム経路に沿った平均位置と前記第3場分布の前記イオンビーム経路に沿った平均位置との間の距離は、前記第2場分布の前記イオンビーム経路に沿った平均位置と前記第4場分布の前記イオンビーム経路に沿った平均位置との間の距離よりも長い、方法。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、イオンビームシステム及びイオンビームシステムを操作する方法に関する。特に、本発明は、イオンビームのイオンを対象物の種々の選択箇所に指向させることができるようイオンビームを発生させ、対象物に入射するイオンの運動エネルギーを調整できる、イオンビームシステム及び方法に関する。

【0002】

[関連出願の相互参照]

本出願は、ドイツにて2010年10月1日付けで出願された「IONENSTRAHLGERAT UND VERFAHREN ZUM BETRIEBEN DESSELBEN」と題する特許出願第10 2010 047 3 31. 6号、及び米国にて2010年10月1日付けで出願された「ION BEAM APPARATUS AND METHOD FOR OPERATING THE SAME」と題する仮特許出願第61/404, 433号の優先権を主張し、上記出願の内容の全体を参照により本明細書に援用する。

20

【背景技術】

【0003】

イオンビームシステムは、例えば、イオンビームを用いた対象物からの材料の除去又は対象物への材料の堆積により、対象物の構造を製造又は変更するために用いる。対象物からの材料の除去及び対象物への材料の堆積は、対象物へのプロセスガスの供給を伴う場合があり、プロセスガスは、イオンビームを用いて活性化する。

【0004】

30

イオンビームシステムは、さらに、対象物にわたるイオンビームの走査、及びイオンビームの入射に起因して対象物から出る荷電粒子又は他の放射線の検出により、対象物の像を生成するために用いることができる。検出した粒子又は放射線の強度は、走査型電子顕微鏡を用いて対象物の像を取得するのに用いる方法と同様に像情報を提供する。

【0005】

従来のイオンビームシステムは、イオンビームを発生するイオンビーム源と、イオンビームのイオンを調整可能な運動エネルギーに加速させる加速電極と、イオンビームを対象物上の所望の箇所に指向させるビーム偏向器とを備える。ビーム偏向器は、イオンビームの周りに円周方向に分配した複数の偏向電極対を備え、偏向電極対間に調整可能な偏向電場を発生させることでイオンビームの所望の偏向を得るために、調整可能な電圧を偏向電極対に印加することができる。

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

特に、イオンビームのイオンの運動エネルギーが小さい場合及び／又は所望の偏向量が急変する場合、ビームの所望の偏向を達成する精度が不十分であり得ることが分かった。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明は、上記事項を考慮に入れて、イオンビームシステム及びイオンビームシステムを操作する方法を提案する。

50

【0008】

本発明の実施形態は、第1偏向電極と、第1偏向電極に対向してイオンビームに沿って種々の領域に位置決めした複数の第2偏向電極とを備えるビーム偏向器を有する、イオンビームシステムを提供する。複数の第2偏向電極は、電圧供給システムに電氣的に接続し、電圧供給システムの構成は、種々の調整可能な電圧を第2偏向電極対に供給して、第1偏向電極と第2偏向電極対の各第2偏向電極との間に発生した偏向電場が同じ向きを有し、特に同じ方向に向くようにするものとする。

【0009】

このような構成では、所与の偏向電圧を第2偏向電極の全部、第2偏向電極のサブセット、及び特に第2偏向電極の1つのみに供給すること、又は第2偏向電極ごとに異なる電圧を供給することが可能である。これにより、ビーム偏向器が発生した偏向電場のイオンビームに沿った分布を多くの異なる形で調整することが可能となる。例えば、第2偏向電極の全部に同じ電圧を供給した場合、全部の第2偏向電極が、イオンビームに沿って第2偏向電極がカバーする実質的に全長にわたって延びる有効偏向電場を発生する。例えば、第2偏向電極の1つのみに電圧を供給した場合、有効偏向場は、実質的にその1つの偏向電極がカバーする長さに沿ってしか発生しないため、偏向場が延びる長さは実質的に短くなる。

10

【0010】

有効偏向電場がイオンビームに沿って延びる長さは、例えば、ビーム経路に沿った電場強度の分布幅を求めることにより求めることができる。ビーム経路に沿った偏向電場の分布幅は、例えば、以下の式に従って求めることができる。

20

【0011】

【数1】

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \int (z - \mu)^2 \cdot E_{\perp}(z) \cdot dz, \quad (1)$$

【0012】

式中、 σ は求めた幅、 z はイオンビーム経路に沿った位置、 $E_{\perp}(z)$ は位置 z における偏向場の強度、 $1/N$ は正規化係数、 μ は偏向電場の分布の平均値である。 μ 及び N は、以下の式に従って求めることができる。

30

【0013】

【数2】

$$\mu = \frac{1}{N} \int z \cdot E_{\perp}(z) \cdot dz \quad (2)$$

【数3】

$$N = \int E_{\perp}(z) \cdot dz \quad (3)$$

【0014】

40

いくつかの実施形態によれば、イオンビームシステムは、第1動作モード及び第2動作モードを有する。イオンビームシステムの電圧供給システムは、イオンビームシステムの加速電極に電圧を供給して、イオンビームシステムで用いるイオンビームのイオンの運動エネルギーが第2動作モードよりも第1動作モードで大きくなるようにする。さらに、電圧供給システムは、ビーム偏向器が生成したイオンビーム経路に沿った偏向電場の分布が、第2動作モードよりも第1動作モードで大きな幅を有するよう構成する。第2動作モードにおいて小さな運動エネルギーで、したがって低速でビーム偏向器を通過するイオンは、第1動作モードで大きな運動エネルギー及び高速でビーム偏向器を通過するイオンよりも短いビーム経路部分に沿って偏向力を受ける。イオンビーム経路に沿った偏向電場の分布が低運動エネルギーでも大きな幅を有する動作モードと比較して、第2動作モードの偏

50

向電場の小さい幅には、低運動エネルギーを有するイオンが偏向力を受ける期間が短いという利点があり得る。所与の最大偏向電圧がイオンの所与の最大運動エネルギーで所望の偏向をもたらすように所与の長さを有する従来の偏向器には、低運動エネルギーのイオンが偏向器を通過するのに要する期間が長すぎるため、偏向電圧を急変させてもそれに対応してイオンビームの所望の急偏向が得られないという欠点があることが分かった。ビーム偏向器が発生させるイオンビームの達成可能な偏向は、偏向器を通過中にイオンが受ける偏向電場の時間平均に実質的に比例する。したがって、イオンが偏向器を通過するのに要する時間は、急激な偏向変化で達成される偏向の精度を制限する。

【0015】

上述の実施形態は、複数の分割した第2偏向電極及びそれに対応する偏向供給システムを設けることにより、偏向電場のイオンビーム経路に沿った分布幅を調整することを可能にする。偏向電場のイオンビーム経路に沿った調整可能な分布幅は、イオンがビーム偏向器を通過中に偏向電場を受ける期間を調整することを可能にする。このような構成では、特に、低運動エネルギーのイオンが偏向場を受ける期間が、実質的により高い運動エネルギーのイオンが偏向場を受ける期間よりも有意に長くない可能性がある。

【0016】

実施形態によれば、電圧供給システムは、第1切換状態及び第2切換状態を有する少なくとも1つのスイッチを備え、第1切換状態では、少なくとも2つの第2偏向電極をスイッチを介して互いに電氣的に接続してそれらが同じ共通電位にあるようにし、第2切換状態では、2つの第2電極を互いに電氣的に接続せずそれらが異なる電位を有し得るようにする。

【0017】

例示的な実施形態によれば、イオンビーム経路に沿って分配した第2偏向電極は、異なる長さを有し、第2偏向電極の長さは、ビーム経路に沿って連続的に減らすことができる。

【0018】

さらに他の例示的な実施形態によれば、第1偏向電極の少なくとも1つを、複数の第2偏向電極に対向して位置決めすることができる。さらに他の例示的な実施形態によれば、1つの第1偏向電極を、全部の第2偏向電極に対向して配置し、第1偏向電極の長さは、対向する全部の偏向電極を合わせた長さを実質的に等しい。

【0019】

他の例示的な実施形態によれば、ビーム偏向器は、同じ数の第1偏向電極及び第2偏向電極を備え、第1偏向電極を、第2偏向電極のそれぞれに1つずつ対向して配置する。

【0020】

いくつかの実施形態によれば、ビーム偏向器は、イオンビーム経路の周りに円周方向に分配した複数の第2偏向電極群を備える。このような配置では、イオンビームを2つの独立した方向に偏向させることが可能である。例えば、2つ又は4つの第2偏向電極群を設けることができ、その場合、1つ又は複数の第1偏向電極を各群の第2偏向電極に対向して位置決めする。

【0021】

本発明の実施形態は、イオンビームシステムを操作する方法であって、イオンビームのイオンを第1運動エネルギーに加速させ、イオンビームに沿って第1場分布を有する偏向電場を用いてイオンビームを第1方向に偏向させるステップと、続いて、イオンビームのイオンを第2運動エネルギーに加速させ、イオンビームに沿って第2場分布を有する偏向電場を用いてイオンビームを第1方向に偏向させるステップとを含み、第1運動エネルギーは第2運動エネルギーよりも大きく、第1場分布の幅は第2場分布の幅よりも大きい、方法を提供する。

【0022】

このような方法では、低運動エネルギーを有する低速イオンが偏向場を通過するのに要する時間を減らすために、これらのイオンにビーム経路に沿って狭い場分布を有する偏向

10

20

30

40

50

場を提供する一方で、広い分布を有する偏向場を高運動エネルギーを有する高速イオンに提供することを可能にして、低エネルギーイオン及び高エネルギーイオンの両方を比較的高精度で偏向させることができるようにする。

【0023】

例示的な実施形態によれば、イオンビームのイオンを第1運動エネルギーに加速させ、イオンビームを第1方向に偏向させるステップは、イオンビームに沿って第3場分布を有する偏向電場を用いて、第1方向とは逆の第2方向にイオンビームを偏向させるステップをさらに含み、イオンビームのイオンを第2運動エネルギーに加速させ、イオンビームを第1方向に偏向させるステップは、イオンビームに沿って第4場分布を有する偏向電場を用いて、第2方向にイオンビームを偏向させるステップをさらに含み、第1場分布のイオンビーム経路に沿った平均位置と第3場分布のイオンビーム経路に沿った平均位置との間の距離は、第2場分布のイオンビーム経路に沿った平均位置と第4場分布のイオンビーム経路に沿った平均位置との間の距離よりも長い。

10

【0024】

このような配置では、イオンを逆方向に順次偏向させる二重偏向を提供することが可能である。逆偏向場のビーム経路に沿った分布の平均位置は、低運動エネルギーを有するイオンと比較して高運動エネルギーを有するイオンほどビーム経路に沿って大きな距離を有する。これは、逆偏向場の平均値を提供する相互間の距離がイオンの運動エネルギーとは無関係である、従来の二重偏向系とは異なる。このような従来の二重偏向器は、低エネルギーイオンが逆偏向場を通過するのに要する移動時間に起因して、所望の偏向からずれた偏向を発生させる。このようなずれを、上述の実施形態では回避することができるが、これは、低エネルギーイオン用の逆偏向場がビーム経路に沿って延びる長さが、高エネルギーイオン用の逆偏向場よりも短いからである。

20

【0025】

本発明の前述の有利な特徴及び他の有利な特徴は、添付図面を参照して以下の本発明の例示的な実施形態の詳細な説明からより明確となるであろう。本発明の可能な実施形態全てが、本明細書で特定した利点のひとつひとつ又はいずれかを必ずしも示すとは限らないことに留意されたい。

【図面の簡単な説明】

【0026】

30

【図1】第1実施形態によるイオンビームシステムの概略図である。

【図2】従来のビーム偏向器の概略図である。

【図3a】第1動作モードでの図1に示すイオンビームシステムのビーム偏向器の概略図である。

【図3b】第2動作モードでの図1に示すイオンビームシステムのビーム偏向器の概略図である。

【図4a】図3aに示す第1動作モードでのイオンビーム経路に沿った偏向電場の分布を示すグラフである。

【図4b】図3aに示す第2動作モードでのイオンビーム経路に沿った偏向電場の分布を示すグラフである。

40

【図4c】第3動作モードでのイオンビーム経路に沿った偏向電場の分布を示すグラフである。

【図5】第2実施形態によるイオンビームシステムの概略図である。

【図6】図1及び図5に示すイオンビームシステムで用いることができるビーム偏向器のさらに別の実施形態の概略図である。

【図7】図1及び図5に示すイオンビームシステムで用いることができるビーム偏向器のさらに別の実施形態の概略図である。

【図8】図1及び図5に示すイオンビームシステムで用いることができるビーム偏向器のさらに別の実施形態の概略図である。

【図9】図1及び図5に示すイオンビームシステムで用いることができるビーム偏向器の

50

さらに別の実施形態の概略図である。

【図 1 0】図 1 及び図 5 に示すイオンビームシステムで用いることができるビーム偏向器のさらに別の実施形態の概略図である。

【図 1 1】図 1 及び図 5 に示すイオンビームシステムで用いることができるビーム偏向器のさらに別の実施形態の概略図である。

【図 1 2 a】図 1 及び図 5 に示すイオンビームシステムで用いることができるビーム偏向器のさらに別の実施形態の概略図である。

【図 1 2 b】図 1 及び図 5 に示すイオンビームシステムで用いることができるビーム偏向器のさらに別の実施形態の概略図である。

【図 1 2 c】図 1 及び図 5 に示すイオンビームシステムで用いることができるビーム偏向器のさらに別の実施形態の概略図である。

10

【発明を実施するための形態】

【0 0 2 7】

後述する例示的な実施形態では、機能及び構造が同様のコンポーネントは可能な限り同様の参照符号で示す。したがって、具体的な実施形態の個々のコンポーネントの特徴を理解するには、他の実施形態の記載及び発明の概要の記載を参照すべきである。

【0 0 2 8】

図 1 に概略的に示すイオンビームシステム 1 は、光軸 5 に沿って分配した複数のイオン光学コンポーネントを含むイオンビームコラム 3 と、イオンビームコラム 3 のイオン光学コンポーネントを制御するコントローラ 7 とを備える。

20

【0 0 2 9】

イオンビームコラム 3 は、イオン源 1 1 と、イオン源 1 1 が発生させたイオンを引き出して加速させる引出及び加速電極 1 3 と、引き出して加速したイオンからコリメートイオンビーム 1 9 を整形するイオンレンズ 1 7 とを含む、イオンビーム源 9 を備える。制御電圧及び制御電流を、ライン 2 1、2 2、2 3、及び 2 4 を介してコンポーネント 1 1、1 3、及び 1 7 にそれぞれ供給する。加速電極 2 7 は、イオンビーム 1 9 のビーム経路内でレンズ 1 7 の下流に位置決めする。加速電極 1 3 は、イオンビーム 1 9 が通過する開口を備え、イオンビーム 1 9 のイオンを所望の運動エネルギーに加速させるために、調整可能な加速電圧を、コントローラ 7 からライン 2 9 を介して加速電極 1 3 に供給する。一対の対向する偏向電極 3 1 を、イオンビームのビーム経路内で加速電極 1 3 の下流に位置決めする。コントローラ 7 は、ライン 3 3 を介して偏向電極 3 1 に調整可能な電位を印加する。開口 3 6 を有する開口板 3 5 を、偏向電極 3 1 の対の下流に位置決めし、コントローラ 7 は、ライン 3 7 を介して開口板 3 5 に調整可能な電位を印加することができる。偏向電極 3 1 の対及び開口板 3 5 は、イオンビームをオンオフに切り換える機能を提供する。ライン 3 3 を介して偏向電極 3 1 に異なる電位を印加した場合、イオンビーム 1 9 は、偏向電極 3 3 により偏向されて開口板 3 5 の開口 3 6 を通過できないが、偏向電極 3 1 に同じ電位を印加した場合、ビームは開口 3 6 を通過できる。

30

【0 0 3 0】

ビーム偏向器 3 9 は、イオンビーム 1 9 のビーム経路内で開口板 3 5 の下流に位置決めする。ビーム偏向器 3 9 は、ビームの周りに円周方向に分配した複数の偏向電極群 4 1 を備える。コントローラ 7 は、さらに詳細に後述するようにライン 4 3 を介して群ごとの偏向電極に調整可能な偏向電圧を供給する。

40

【0 0 3 1】

集束レンズ 4 5 を、レンズ 4 5 の物体平面 4 7 においてイオンビーム 1 9 を集束させるために、イオンビーム 1 9 のビーム経路内でビーム偏向器 3 9 の下流に位置決めする。ライン 4 3 を介して偏向電極に供給した偏向電圧は、ビーム 1 9 を光軸 5 から離れるように偏向させて光軸 5 から調整可能な距離 d で物体平面 4 7 に入射させるために、ビーム偏向器 3 9 内で偏向電場を発生させる。対物レンズ 4 5 の集束力は、コントローラ 7 によりライン 4 6 を介して制御する。

【0 0 3 2】

50

イオン源 11 は、例えば、イオンビーム 19 が Ga^+ イオンのビームであるようにガリウム Ga^+ イオン源とすることができる。物体平面 47 に入射するイオンの運動エネルギーは、例えば、 $1\text{ keV} \sim 30\text{ keV}$ の範囲内で調整することができる。物体平面内の集束イオンビーム 19 の直径は、例えば、 $1\text{ nm} \sim 2\text{ }\mu\text{m}$ の範囲内とすることができる。光軸 5 から離れるイオンビーム 19 の最大偏向 d は、例えば、 $1\text{ }\mu\text{m} \sim 1000\text{ }\mu\text{m}$ の範囲内とすることができる。他の例示的なイオン源として、ガスイオン源、プラズマイオン源、及びガス電界イオン源が挙げられ、これらは、イオンタイプ、ビームエネルギー、及びビーム電流に関して異なる複数の異なるイオンビームを生成することを可能にする。

【0033】

図 2 は、イオンビーム 119 を偏向させるために従来のイオンビームシステムで用いる偏向器 139 の概略図である。偏向器 139 は、第 1 偏向電極 151 と、光軸 105 に関して第 1 偏向電極 151 に対向して位置付けた第 2 偏向電極 152 とを備える。コントローラ 107 は、ライン 143 を介して偏向電極 151 及び 152 に異なる電位を供給して、図 2 に矢印 155 で表す偏向電場を偏向電極 151、152 間に発生させるようにすることができ、電場 155 は、イオンビーム 119 を光軸 105 から離れるように偏向させる。光軸 105 に沿った偏向電極 151、152 の長さ L は、イオンビーム 119 のイオンの所与の最大運動エネルギーを例えば 30 keV とし、偏向電極 151 及び 152 間の所与の最大電圧差を例えば 300 V として、ビーム 119 の所望の偏向を達成するよう選択する。長さ L は、例えば 20 mm とすることができる。 1 keV というイオンの比較的小さな運動エネルギーでは、イオンが偏向電極 151、152 とそれに対応した 20 mm の長さ L の偏向電場 155 とを通過するのに約 385 ns を要する。

【0034】

例示的な用途では、イオンビームを偏向器 139 の下流の物体平面にわたって走査させて、走査線の各ピクセルにおける滞留時間が 40 MHz のピクセル周波数で 25 ns となるようにする。 1 keV という低運動エネルギーの低速イオンが偏向場 155 内に留まる時間は、15 ピクセル位置の期間に相当する時間である。しかしながら、偏向電極 151、152 の下流のイオンの偏向は、偏向場が引き起こす偏向の時間平均に対応し、偏向場は、ピクセル位置ごとに異なる強度を有する。低運動エネルギーを有するイオンの偏向の正確な制御は、偏向系 139 では不可能であることが明らかである。

【0035】

図 3 a は、図 1 に示すイオンビームシステム 1 のビーム偏向器 39 の偏向電極の一部を概略的に示す。ビーム偏向器 39 の偏向電極が図 2 のビーム偏向器 139 の偏向電極と異なる点は、電極をビームの長手方向に連続させるのではなく分割したことである。複数の第 1 偏向電極 51 a、51 b、51 c を、光軸 5 の一方の側に位置決めし、複数の第 2 偏向電極 52 a、52 b、及び 52 c を、光軸 5 の反対側で第 1 偏向電極 51 a、51 b、51 c に対向して位置決めする。偏向電極 51 a、51 b、51 c の隣接電極間に隙間を設けて、異なる電位を偏向電極 51 a、51 b、及び 51 c に印加できるようにする。同様に、隣接する第 2 偏向電極 52 a、52 b、及び 52 c 間に隙間を設けて、異なる電位を第 2 偏向電極 52 a、52 b、及び 52 c にも印加できるようにする。

【0036】

偏向電極 51 及び 52 用の電圧供給システムは、コントローラ 7 がライン 43₀ を介して供給した電位を電極に選択的に印加するか、又はコントローラ 7 がライン 43₁ を介して供給した電位を第 1 偏向電極に印加するために、コントローラ 7 により制御する複数のシャッタ 61 を備える。同様に、コントローラ 7 がライン 43₀ を介して供給した電位又はコントローラ 7 がライン 43₂ を介して供給した電位を、第 2 偏向電極 52 a、52 b、及び 52 c に選択的に供給することができる。

【0037】

図 3 a は、イオンビームシステム 1 の第 1 動作モードを示し、この場合、コントローラ 7 がイオンエミッタの電位に対して 30 kV の電位を加速電極 13 に印加して、ビーム偏向器 39 を通過するイオンが 30 keV の運動エネルギーを有し、 20 mm の全長 L を有

10

20

30

40

50

する3つの偏向電極対を通過するのに71.4 nsを要するようにする。この動作モードでは、スイッチ61は、全部の第1偏向電極51a、51b、及び51cをライン43₁に接続し、全部の第2偏向電極52a、52b、及び52cをライン43₂に接続して、図3aに矢印55で示すように偏向電場を全部の偏向電極対51及び52間に発生させるようにする。

【0038】

イオンビームシステム1の第2動作モードを図3bに示す。第2動作モードで加速電極13に印加した電位は、イオンエミッタの電位に対して1 keVであるため、ビーム偏向器39を通過するイオンの運動エネルギーは1 keVとなる。これらのイオンは、20 mmの全長Lを有する偏向電極51、52を通過するのに385 nsを要する。しかしながら、スイッチ61の切換位置は、第2動作モードでは、偏向電極51aのみをライン43₁に電氣的に接続し、偏向電極52aのみをライン43₂に電氣的に接続する一方で、残りの偏向電極51b、51c、52b、及び52cをライン43₀に接続するように設定する。コントローラ7は、ビーム19のイオンの電位又は運動エネルギーに対応する電位をライン43₀に印加する。この電位は、例えば、ビームを包囲する真空管に印加する電位に相当し得るため、ビーム19のイオンは、実質的な偏向を受けずに偏向電極対51c、52c及び51b、52bを通過する。イオンは、電極51a及び52a間に発生した偏向電場55が発生させる偏向のみを受ける。ビーム偏向器39の全偏向電極の20 mmの長さLよりも大幅に小さい、例えば1 mm又は2 mmという偏向電極51a、52aの短い長さに起因して、イオンは、20 nsしか偏向場55内に留まらず、これは、走査線の各個別ピクセルにおけるビームの滞留時間25 nsよりも大幅に短い。

【0039】

ビーム偏向器39は、高偏向周波数で低運動エネルギー及び高運動エネルギーの両方を有するイオンの正確な偏向を達成することができる。

【0040】

図2に示す従来のビーム偏向器では、所望の偏向精度に対応する精度を有する高偏向電圧を、高運動エネルギーを有するイオンを偏向させるために印加しなければならない、同じ精度の低偏向電圧を、低運動エネルギーを有するイオンを偏向させるために印加しなければならない。それに従って、発生させる偏向電圧のダイナミックレンジが高くなければなら

【0041】

図3a及び図3bを参照して説明したビーム偏向器39では、低運動エネルギーイオンの動作モードで電極51a及び52aのみに印加する偏向電圧を比較的高くすることができるため、発生させる偏向電場のダイナミックレンジを従来のビーム偏向器に対して大幅に減らすことができる。したがって、比較的低いダイナミックレンジを提供する比較的単純な電圧供給を用いることができる。

【0042】

図4aは、図3aに示す高運動エネルギーイオン用の第1動作モードでの、ビーム偏向器39内の光軸5に沿った位置zに応じた偏向場の電場強度E_⊥を表すグラフを示す。図4aは、上記式(2)に従って求めることができる場分布の平均位置μ、及び上記式(1)を用いて求めることができる偏向器39内の偏向電場の分布幅σも示す。

【0043】

同様に、図4bは、図3bに示す低運動エネルギーイオン用の第2動作モードでの、ビーム偏向器39の偏向電場の分布を示す。図4bも、同じく上記式(1)及び(2)に従って計算することができる場分布の平均位置μ及び幅σを示す。図4a及び図4bを比較することにより、イオンビーム経路に沿った偏向電場の分布幅σが、高運動エネルギーイオン用の第1動作モードよりも低運動エネルギーイオン用の第2動作モードで小さいことが明らかである。

【0044】

図3a及び図3bを参照して説明した例では、ライン43₀を介して供給した非偏向電

位又はライン 4 3₁ 及び 4 3₂ を介して供給した偏向電圧は、偏向電極 5 1 及び 5 2 にそれぞれ選択的に印加することができる。しかしながら、偏向電極 5 1 a、5 1 b、及び 5 1 c、並びに 5 2 a、5 2 b、及び 5 2 c のそれぞれを、別個のラインを介してコントローラ 7 に接続して、個々の調整可能な電圧を電極に印加できるようにすることも可能である。これにより、イオンビーム経路に沿った偏向電場の分布を調整する可能性及び組み合わせがさらに広がる。このような構成の一例を図 4 c に示す。この例で中央偏向電極 5 1 b、5 2 b が発生させた偏向場は、下部の偏向電極対 5 1 a、5 2 a に発生させた偏向場よりも強度が低い。偏向電極に印加した偏向電圧のこのような個別調整を用いて、ビーム偏向器内の偏向電場の分布幅を実質的に連続的に調整することが可能である。

【0045】

図 5 は、図 1 に示すイオンビームシステムと同様の構成を有するイオンビームシステムのさらに別の実施形態を示し、このイオンビームシステムは、第 2 イオンビームシステム 3 9' をイオンビーム 1 9 のビーム経路内でビーム偏向器 3 9 の下流に位置決めする点が、図 1 に示すシステムと主に異なる。ビーム偏向器 3 9 及び 3 9' は、イオンビームを第 1 ビーム偏向器 3 9 により光軸 5 から離れるように偏向させ、第 2 ビーム偏向器 3 9' により光軸に向けて偏向させることで、ビーム 1 9 が光軸 5 の付近で対物レンズ 4 5 を通過し、物体平面 4 7 において光軸 5 から距離 d でさらに集束するようにする。この実施形態では、全偏向 d について光軸付近で対物レンズ 4 5 を通過させるため、対物レンズ 4 5 の収差が物体平面 4 7 でのイオンビーム 1 9 の集束を著しく損なわせることはない。ビームを逆方向に偏向させる 2 つの連続した (subsequent) ビーム偏向器を有する偏向系は、本開示では二重偏向器とも称する。

【0046】

図 1 及び図 5 を参照して上述したイオンビームシステムで用いることができるビーム偏向器のさらに他の実施形態を、図 6 ～図 10 を参照して後述する。これらの実施形態は、数、配置、光軸からの距離、及びビーム偏向器の偏向電極の光軸に対する向きに関して、図 3 a 及び図 3 b を参照して説明したビーム偏向器の変形形態である。

【0047】

図 6 に示すビーム偏向器 3 9 は、光軸 5 の一方の側に位置決めした複数の偏向電極 5 1 a、5 1 b、5 1 c と、主軸 5 に関して偏向電極 5 1 a、5 1 b、5 1 c に対向して位置決めした偏向電極 5 2 a、5 2 b、5 2 c とを備える。偏向電極 5 2、5 3 は、主軸 5 に沿って異なる長さ l_1 、 l_2 、 l_3 を有し、主軸 5 から異なる距離 a_1 、 a_2 、及び a_3 にそれぞれ位置決めする。特に、長さ l_1 を有する短い偏向電極 5 1 a 及び 5 2 a は、長さ l_2 を有する比較的長い偏向電極 5 1 b 及び 5 2 b 内に位置決めし、偏向電極 5 1 b 及び 5 2 b は、長さ l_3 を有するさらに長い偏向電極 5 1 c 及び 5 2 c 内に再度位置決めする。偏向電極は、イオンビーム 1 9 に直交する方向で見た場合に重なり合っているが、ビームに沿って異なる領域をカバーする。イオンビーム 1 9 が図 6 に矢印 1 9 で表す向きをとる場合、全偏向電極が最長の偏向電極 5 1 c、5 2 c の出口端で重なり合う。しかしながら、ビームの方向を逆にした場合、全電極が最長の電極 5 1 c、5 2 c の入口端で重なり合うことも可能である。ビーム方向に沿った偏向電極の配置の多くの他の変形形態が可能である。図 7 及び図 8 は、さらに他の例を示し、図 7 は、ビーム方向で見た場合に対称な構成を示すが、図 8 は、偏向電極が重なり合わず、主軸からの距離をビーム方向 1 9 に増大させて位置決めした構成を示す。主軸 5 からの電極の距離がビーム方向に増大する構成を、図 9 にも示すが、この例では、偏向電極は、図 3、図 6、図 7、及び図 8 を参照して上述した例の場合のように主軸と平行な向きではない。図 9 に示す例では、偏向電極は、円錐形であり、主軸 5 に対して斜めの向きである。図 8 及び図 9 に示す実施形態でビーム方向を逆にして、主軸からの電極の距離をビーム方向に減少させて位置決めすることも可能である。

【0048】

図 10 は、4 つ以上の第 1 偏向電極 5 1 及び 4 つ以上の第 2 偏向電極 5 2 を有するビーム偏向器 3 9 の実施形態を示す。第 1 偏向電極 5 1 a ～ 5 1 f 及び第 2 偏向電極 5 2 a ～

5 2 f は、ビーム方向に 3 つの異なる長さ l_1 、 l_2 、及び l_3 、を有し、偏向電極の構成は、ビーム方向に対称であり、長さ l_1 を有する短い偏向電極 5 1 c、5 1 d、5 2 c、5 2 d をビーム偏向器 3 9 の中心に位置決めし、中心から距離が離れるにつれて長さの長い偏向電極を位置決めする。

【0049】

第 1 偏向電極 5 1 a ~ 5 1 f は、直線に沿って位置決めし、各隣接電極対間に隙間を設ける。しかしながら、複数の第 1 電極 5 1 a ~ 5 1 f の 2 つ以上の間に隙間を設けずに、それら 2 つ以上の電極が共通の一続きの第 1 偏向電極を提供するようにすることも可能である。複数の第 1 偏向電極 5 1 a ~ 5 1 f の全部を、複数の第 2 偏向電極 5 2 a ~ 5 2 f に対向して位置決めした単一の一続きの電極として具現することが、特に可能である。このような一続きの単一の第 1 偏向電極では、第 2 偏向電極 2 a ~ 2 f をビーム方向に分割して異なる偏向電極を供給することができるため、異なる幅の偏向電場を発生させることがなおも可能である。

10

【0050】

図 10 に示すビーム偏向器 3 9 を用いて、図 5 を参照して説明したような 2 つのビーム偏向器又は二重偏向器を提供することも可能である。例えば、偏向電極 5 1 d、5 1 e、5 1 f、及び 5 2 d、5 2 e、5 2 f は、第 1 上流偏向器を提供することができ、偏向電極 5 1 a、5 1 b、5 1 c、及び 5 2 a、5 2 b、5 2 c は、第 2 下流偏向器を提供することができる。上述の原理を用いて、高エネルギーイオン及び低エネルギーイオンをそれぞれ伴う第 1 動作モード及び第 2 動作モード用に、偏向電圧を偏向電極に供給することもできる。例えば、偏向電圧を、例えば 30 keV の高運動エネルギーイオン用の第 1 動作モードで全部の偏向電極に印加することができ、偏向電圧を、例えば 1 keV の運動エネルギーを有するイオン用の第 2 動作モードで中心の短い偏向電極 5 1 c、5 2 c、及び 5 1 d、5 2 d のみに印加することができる。

20

【0051】

二重偏向系のさらなる実施形態を図 11 に示すが、この場合、偏向電極の構成は図 6 の実施形態と同様である。2 つの偏向器を、図 5 を参照して説明したようにビーム経路に沿って設ける。ビームを最初に主軸 5 から離れるように偏向させてから、主軸に向けて偏向させ戻して、ビームが光軸の近くで対物レンズ（図 11 には図示せず）を通過するように、電圧を偏向電極に供給する。

30

【0052】

高運動エネルギーイオン用の第 1 動作モードでは、長さ l_3 を有する長い偏向電極 5 1 f、5 2 f、5 1 e、5 2 e に逆方向の偏向電圧を供給し、低運動エネルギーイオン用の第 2 動作モードでは、長さ l_1 を有する短い偏向電極 5 1 b、5 2 b、及び 5 1 a、5 2 a のみに逆方向の偏向電圧を供給する。例えば 10 keV の中間運動エネルギーを有するイオン用の第 3 動作モードでは、長さ l_2 を有する中間偏向電極 5 1 d、5 2 d、及び 5 1 c、5 2 c に逆方向の偏向電圧を供給する。

【0053】

図 11 に示すビーム偏向器の電極は、主軸 5 から短い距離に位置決めした内側電極が主軸 5 から長い距離に位置決めした外側電極を遮ることができ、外側電極は依然として有効偏向場を発生させることができるような、重なり合った構成を有する。

40

【0054】

図 12 a、図 12 b、及び図 12 c は、二重偏向器として動作させることができる偏向電極の配置のさらに別の実施形態の 3 つの異なる動作モードを示す。この配置は、主軸 5 と平行な直線に沿って配置した 5 つの第 1 偏向電極 5 1 a、5 1 b、5 1 c、5 1 d、及び 5 1 e と、同じく主軸 5 と平行な直線に沿って配置した 5 つの第 2 偏向電極 5 2 a、5 2 b、5 2 c、5 2 d、及び 5 2 e とを備える。図 12 a は、例えば 1 keV の低運動エネルギーを有するイオンに用いる第 1 動作モードを示す。短い長さ l_1 を有する下方の偏向電極 5 1 b、5 2 b、及び 5 1 a、5 2 a は、図 12 a に符号「+」及び「-」で示すように、隣接する電極対及び対向する電極対に逆方向の電圧を印加することにより、二重

50

偏向器として動作させる。上方の偏向電極 5 1 c、5 1 d、5 1 e、及び 5 2 c、5 2 d、5 2 e は、互いに電氣的に接続し、イオンビームに影響を及ぼさないような電位を供給する。

【0055】

図 1 2 b は、例えば 1 0 k e V の中間運動エネルギーを有するイオンに用いる第 2 動作モードを示す。下方の隣接する第 1 電極 5 1 a 及び 5 1 b を互いに電氣的に接続し、下方の第 2 偏向電極 5 2 a 及び 5 2 b を互いに電氣的に接続して、下流偏向器を形成する一方で、第 1 偏向電極 5 1 c 及び 5 1 d を互いに接続し、第 2 偏向電極 5 2 c 及び 5 2 d を互いに接続して、二重偏向器の上流偏向器を形成する。この場合も、印加する偏向電圧は、符号「+」及び「-」で表し、イオンビームに影響を及ぼさない電圧を偏向電極 5 1 e 及び 5 2 e に供給する。

10

【0056】

図 1 2 c は、例えば 3 0 k e V の高運動エネルギーを有するイオンに用いる第 3 動作モードを示す。この動作モードでは、下流偏向器を形成するために、第 1 偏向電極 5 1 a、5 1 b、及び 5 1 c を互いに接続して符号「-」で示す同じ電圧を供給し、第 2 偏向電極 5 2 a、5 2 b、及び 5 2 c を互いに接続して符号「+」で示す電圧を供給する。上流偏向器を形成するために、第 1 偏向電極 5 1 d 及び 5 1 e を互いに接続して電圧「+」を供給し、第 2 偏向電極 5 2 d 及び 5 2 e を互いに接続して偏向電圧「-」を供給する。

【0057】

発生させた逆偏向場の中心位置又は平均位置 μ を、図 1 2 a、図 1 2 b、及び図 1 2 c に示す。平均位置 μ は、低運動エネルギーを有するイオン用の第 1 動作モードでは短い距離 d 1、中間運動エネルギーを有するイオン用の第 2 動作モードでは中間距離 d 2、高運動エネルギーを有するイオン用の第 3 動作モードではそれよりも長い距離 d 3 を有する。これには、偏向場を通過するイオンの移動時間が全運動エネルギーで十分に短いため、偏向電圧の急変時にも逆方向の順次偏向が所望の偏向をもたらすという利点がある。これにより、例えば上流偏向器に印加した信号に対する下流偏向器に印加した信号の遅延を含み得る、所望の偏向からのずれを減らす他の措置の適用が回避される。

20

【0058】

図 1 2 a、図 1 2 b、及び図 1 2 c で用いる符号「+」及び「-」は、一方又は他方の方向にイオンビームを偏向させるために対向電極に印加する電圧の関係を示す意図がある。しかしながら、これは、符号「+」で表す全電圧が互いに等しいこと、又は符号「-」で表す全電圧が互いに等しいことを要求するものではない。例えば、図 1 2 a において電極 5 2 a に印加した電圧は、図 1 2 a において電極 5 1 b に印加した電圧と異なっているもよい。

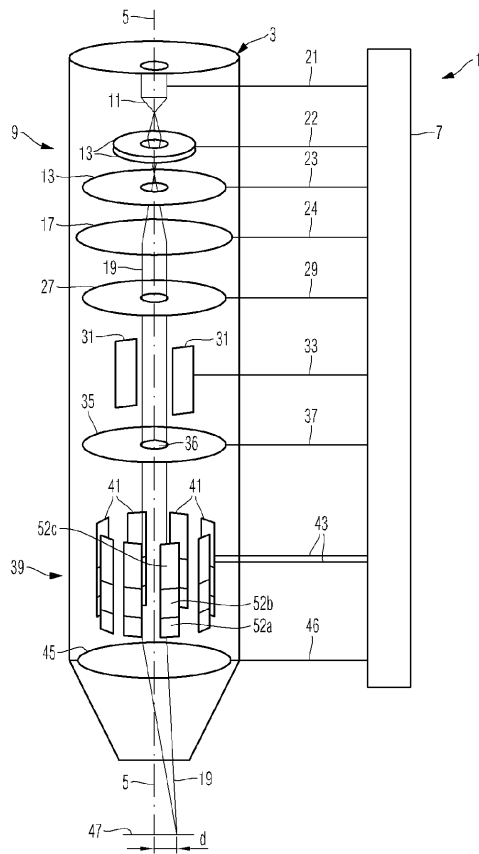
30

【0059】

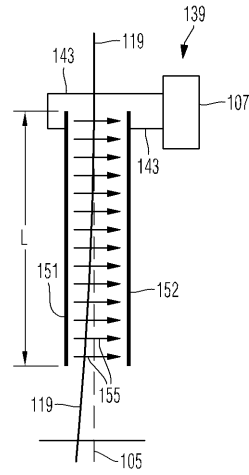
本発明をその特定の例示的な実施形態を参照して説明したが、多くの代替形態、変更形態、及び変形形態が当業者には明らかとなるであろうことが分かる。したがって、本明細書に記載の本発明の例示的な実施形態は、説明を意図するものであり、決して限定的なものではない。添付の特許請求の範囲に定義するような本発明の趣旨及び範囲から逸脱することなく、様々な変更を行うことができる。

40

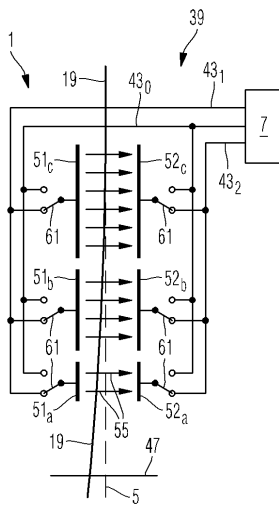
【図 1】



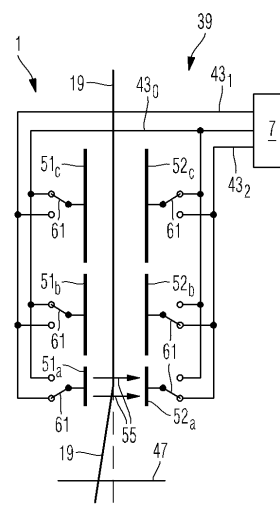
【図 2】



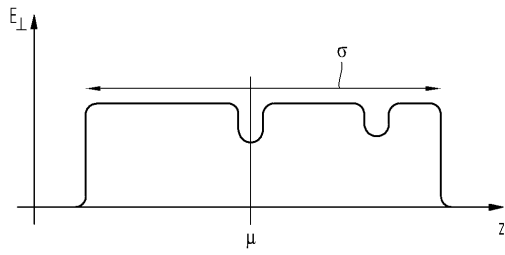
【図 3 a】



【図 3 b】



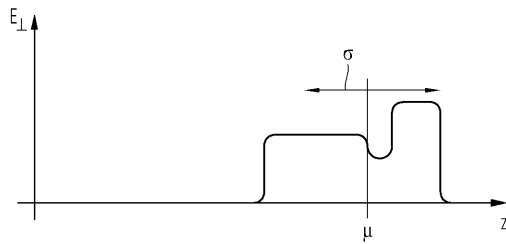
【図 4 a】



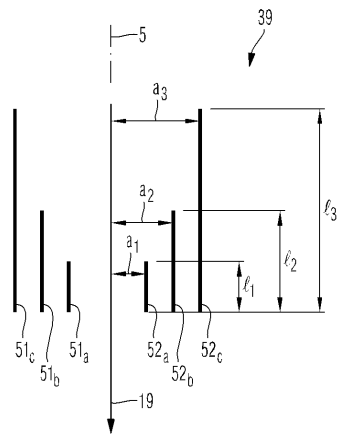
【図 4 b】



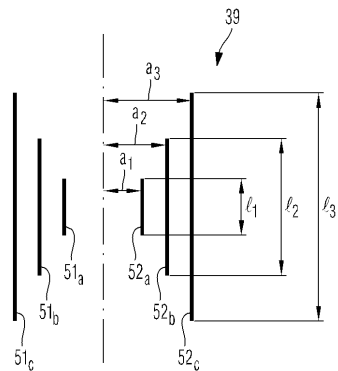
【図 4 c】



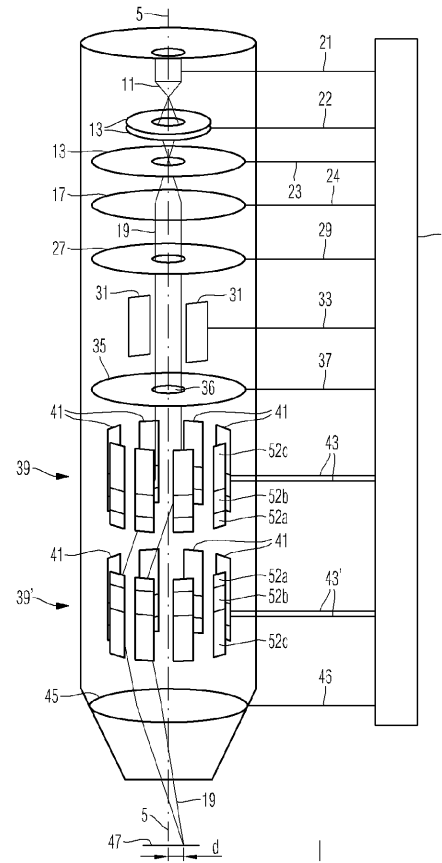
【図 6】



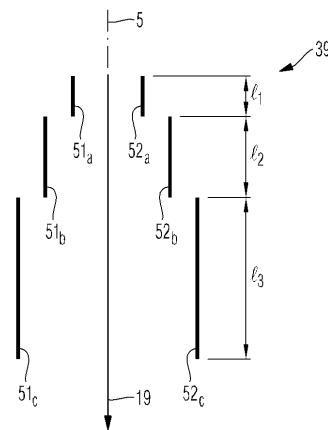
【図 7】



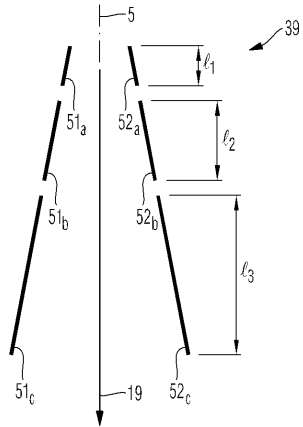
【図 5】



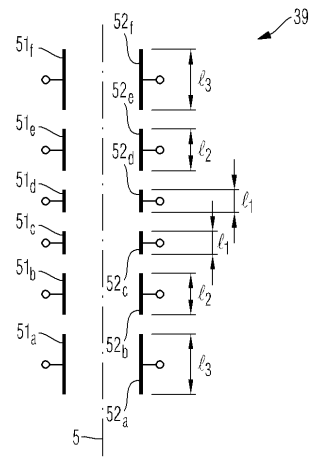
【図 8】



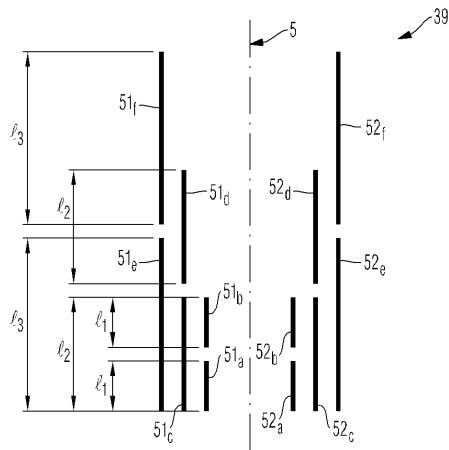
【図 9】



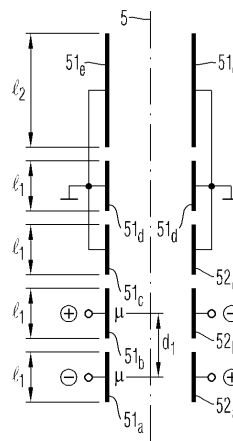
【図 10】



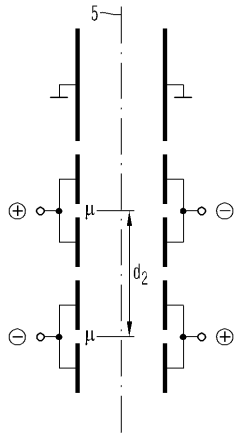
【図 11】



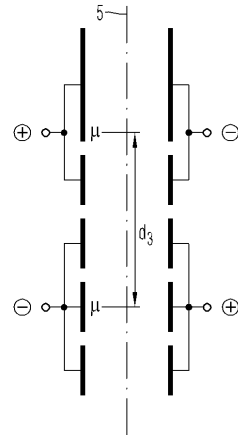
【図 12 a】



【図 1 2 b】



【図 1 2 c】



フロントページの続き

(72)発明者 ヨゼフ ビバーガー

ドイツ国 9 3 3 5 9 ヴィルデンベルク シュヴァインバッハ 3 9

(72)発明者 ラルフ プルウェイ

ドイツ国 7 3 4 3 0 アーレン ハイน์リヒターガーシュトラッセ 1 2 / 2

(72)発明者 アンドレアス アドルフ

ドイツ国 7 3 4 3 2 アーレン ホイレンベルクヴェーク 2 5

審査官 桐畑 幸▲廣▼

(56)参考文献 特開2002-117796 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01J 37/147

H01J 37/28

H01J 37/317