

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7520249号  
(P7520249)

(45)発行日 令和6年7月22日(2024.7.22)

(24)登録日 令和6年7月11日(2024.7.11)

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 J 37/317(2006.01)

H 0 1 J 37/317

C

請求項の数 20 (全13頁)

|                   |                             |          |                          |
|-------------------|-----------------------------|----------|--------------------------|
| (21)出願番号          | 特願2023-560384(P2023-560384) | (73)特許権者 | 390040660                |
| (86)(22)出願日       | 令和4年2月10日(2022.2.10)        |          | アプライド マテリアルズ インコーポレ      |
| (65)公表番号          | 特表2024-512671(P2024-512671  |          | イテッド                     |
|                   | A)                          |          | APPLIED MATERIALS ,      |
| (43)公表日           | 令和6年3月19日(2024.3.19)        |          | INCORPORATED             |
| (86)国際出願番号        | PCT/US2022/015959           |          | アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 5 0    |
| (87)国際公開番号        | WO2022/211910               |          | 5 4 , サンタ クララ , パウアーズ ア  |
| (87)国際公開日         | 令和4年10月6日(2022.10.6)        |          | ヴェニュー 3 0 5 0            |
| 審査請求日             | 令和5年11月24日(2023.11.24)      |          | 3 0 5 0 Bowers Avenue    |
| (31)優先権主張番号       | 17/221,033                  |          | Santa Clara CA 9 5 0 5 4 |
| (32)優先日           | 令和3年4月2日(2021.4.2)          |          | U . S . A .              |
| (33)優先権主張国・地域又は機関 | 米国(US)                      | (74)代理人  | 110002077                |
|                   |                             |          | 園田・小林弁理士法人               |
|                   |                             | (72)発明者  | マーフィー , ボール ジェー .        |
|                   |                             |          | アメリカ合衆国 マサチューセッツ 0 1     |
|                   |                             |          | 最終頁に続く                   |

(54)【発明の名称】 エネルギー拡散イオンビームのための装置、システム、及び方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

イオン注入装置であって、  
連続イオンビームを生成するように構成されたイオン源、  
前記連続イオンビームを加速させる D C 加速システム、  
前記連続イオンビームを受信し、束ねられたイオンビームを出力する A C 線形加速器、  
及び

前記束ねられたイオンビームを受信し、前記束ねられたイオンビームの局所的な伝搬方向に沿って、エネルギー拡散電極アセンブリの複数の電極間に R F 電圧を印加する前記エネルギー拡散電極アセンブリ  
を備えているイオン注入装置。

【請求項 2】

前記束ねられたイオンビームが、束周波数で束ねられており、前記束周波数に等しい拡散周波数で R F 信号を前記エネルギー拡散電極アセンブリへ出力する R F 電源をさらに備えている、請求項 1 に記載のイオン注入装置。

【請求項 3】

前記エネルギー拡散電極アセンブリへの入口において、前記束ねられたイオンビームの位相を測定する検出器を備えている、請求項 1 に記載のイオン注入装置。

【請求項 4】

前記エネルギー拡散電極アセンブリに出力される R F 信号と、前記束ねられたイオンビ

ームの位相との間で一定の位相関係を維持するコントローラをさらに備えている、請求項 1 に記載のイオン注入装置。

【請求項 5】

前記束ねられたイオンビームが、束周波数で駆動され、前記エネルギー拡散電極アセンブリが、前記束ねられたイオンビームをペンシルビームとして受信するように構成され、前記エネルギー拡散電極アセンブリが、前記束周波数に等しい拡散周波数で駆動される、請求項 1 に記載のイオン注入装置。

【請求項 6】

第 1 の方向に沿って伝搬する、前記束ねられたイオンビームを受信し、前記第 1 の方向に対して垂直な第 2 の方向に沿って前記束ねられたイオンビームを走査するスキャナ、及び

10

前記スキャナの下流に配置されたコリメータであって、前記束ねられたイオンビームを受信し、前記束ねられたイオンビームを、束ねられたリボンビームとして前記エネルギー拡散電極アセンブリへ出力するコリメータ

をさらに備えている、請求項 1 に記載のイオン注入装置。

【請求項 7】

前記エネルギー拡散電極アセンブリが、前記束ねられたリボンビームを包含するように細長い断面で構成された複数の中空導電性円筒を備えている、請求項 6 に記載のイオン注入装置。

【請求項 8】

前記束ねられたリボンビームが、伝播の局所的方向に対して垂直な横方向に沿って伸長し、前記エネルギー拡散電極アセンブリが、前記横方向に沿った、前記束ねられたリボンビームの幅にわたって、前記束ねられたリボンビームに対して均一なエネルギー拡散をもたらすように構成されている、請求項 6 に記載のイオン注入装置。

20

【請求項 9】

第 1 の方向に沿って伝搬する、前記束ねられたイオンビームを受信し、前記第 1 の方向に対して垂直な第 2 の方向に沿って前記束ねられたイオンビームを走査するスキャナをさらに備え、

前記スキャナが、前記束ねられたイオンビームを束ねられたリボンビームとして生成し、

前記コントローラが、前記束ねられたリボンビームの瞬間的な走査位置を決定することによって、前記一定の位相関係を維持するように構成されている、請求項 4 に記載のイオン注入装置。

30

【請求項 10】

イオン注入装置であって、

イオンビームを連続イオンビームとして生成するイオン源、

前記連続イオンビームを束ねて、前記連続イオンビームを束ねられたイオンビームとして出力する線形加速器、

第 1 の方向に沿って伝搬する、前記束ねられたイオンビームを受信し、前記第 1 の方向に対して垂直な第 2 の方向に沿って前記束ねられたイオンビームを走査するように構成されたスキャナ、

前記スキャナの下流に配置されたコリメータであって、前記束ねられたイオンビームを受信し、前記束ねられたイオンビームを束ねられたリボンビームとして出力するコリメータ、並びに

40

前記線形加速器の下流に配置されたエネルギー拡散電極アセンブリであって、前記リボンビームの伝播の局所的な方向に沿って、当該エネルギー拡散電極アセンブリの複数の電極間に AC 電圧を印加するように構成されたエネルギー拡散電極アセンブリを備えているイオン注入装置。

【請求項 11】

前記エネルギー拡散電極アセンブリが、前記リボンビームを包含するように細長い断面で構成された複数の中空導電性円筒を備えている、請求項 10 に記載のイオン注入装置。

【請求項 12】

50

前記束ねられたイオンビームが、束周波数で束ねられており、前記束周波数に等しい拡散周波数でRF信号を前記エネルギー拡散電極アセンブリへ出力するRF電源をさらに備えている、請求項10に記載のイオン注入装置。

【請求項13】

前記リボンビームが、伝播の局所的方向に対して垂直な横方向に沿って伸長し、前記エネルギー拡散電極アセンブリが、前記横方向に沿った、前記束ねられたリボンビームの幅にわたって、前記束ねられたリボンビームに対して均一なエネルギー拡散をもたらすように構成されている、請求項10に記載のイオン注入装置。

【請求項14】

前記エネルギー拡散電極アセンブリが、ダイオードセットを備えている、請求項10に記載のイオン注入装置。

10

【請求項15】

ビーム調整装置であって、

第1の方向に沿って伝搬する、束ねられたイオンビームを受信し、前記第1の方向に対して垂直な第2の方向に沿って前記束ねられたイオンビームを走査するように構成されたスキャナ、

前記スキャナの下流に配置されたコリメータであって、前記束ねられたイオンビームを受信し、前記束ねられたイオンビームをリボンビームとして出力するコリメータ、

前記コリメータの下流に配置されたエネルギー拡散電極アセンブリであって、前記リボンビームの伝搬の局所的な方向に沿って、前記エネルギー拡散電極アセンブリの複数の電極間にAC電圧を印加するように構成されたエネルギー拡散電極アセンブリ、並びに

20

前記スキャナ及び前記エネルギー拡散電極アセンブリを制御して、前記リボンビームの前記局所的な伝搬方向に垂直な方向に沿った、前記リボンビームの幅にわたって、前記リボンビームの均一なエネルギー拡散を発生させるように構成されたコントローラを備えているビーム調整装置。

【請求項16】

前記エネルギー拡散電極アセンブリが、前記リボンビームを包含するように細長い断面で構成された複数の中空導電性円筒を備えている、請求項15に記載のビーム調整装置。

【請求項17】

前記束ねられたイオンビームが、束周波数で束ねられており、前記束周波数に等しい拡散周波数でRF信号を前記エネルギー拡散電極アセンブリへ出力するRF電源をさらに備えている、請求項15に記載のビーム調整装置。

30

【請求項18】

前記コントローラが、前記エネルギー拡散電極アセンブリに出力されるRF信号と、前記リボンビームの位相との間で一定の位相関係を維持するように構成されている、請求項15に記載のビーム調整装置。

【請求項19】

前記エネルギー拡散電極アセンブリへの入口において、前記リボンビームの位相を測定する検出器を備えている、請求項18に記載のビーム調整装置。

【請求項20】

40

前記コントローラが、前記リボンビームの瞬間的な走査位置を決定することによって、前記一定の位相関係を維持する、請求項18に記載のビーム調整装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

〔0001〕本開示は、概して、イオン注入装置に関し、より具体的には、高エネルギービームラインイオン注入装置に関する。

【背景技術】

【0002】

〔0002〕現在、絶縁ゲートバイポーラトランジスタ(IGBT)、CMOSイメー

50

ジセンサ、及びその他の半導体デバイスなどの特定のデバイスは、複数のイオン注入を用いて製造されている。複数のイオン注入を使用することで、半導体基板内の深さの関数としての目標の形状を有する滑らかなドーパントプロファイルを生成することが容易になる。このアプローチは、比較的深いイオン注入プロファイルに特に有用である。現在のプラクティスでは、この目標形状は、様々なイオンエネルギーで比較的少量のイオンを注入することによって達成することが可能である。例えば、CMOSイメージセンサ(CIS)デバイスの現在の技術水準では、500 keVから10 MeV超までの範囲の20の離散的なエネルギーを、 $1 \times 10$ から $1 \times 10^{12} / \text{cm}^2$ の線量で使用することがあるが、自動車や他の用途に必要とされているより短い波長のセンシングでは、注入ステップの回数が倍又はそれ以上となり得る。

10

#### 【0003】

【0003】所与のイオン注入動作でイオンエネルギーの拡散を発生させるために、複数の注入を用いるのではなく、鋸歯状吸収フィルタを使用することが提案されている。しかし、このアプローチには汚染、粒子、フィルタ寿命のリスクが伴い、これらのリスクが、実際の生産環境においてこのアプローチを制限する恐れがある。

#### 【0004】

【0004】本開示は、上記の考察及びその他の考察に関連して提示される。

#### 【発明の概要】

#### 【0005】

【0005】一実施形態では、イオン注入装置は、連続イオンビームを生成するように構成されたイオン源、連続イオンビームを加速させるDC加速システム、及び連続イオンビームを受信し、束ねられたイオンビームを出力するAC線形加速器を含み得る。イオン注入装置は、束ねられたイオンビームを受信し、束ねられたイオンビームの局所的な伝搬方向に沿って、エネルギー拡散電極アセンブリの複数の電極間にRF電圧を印加するエネルギー拡散電極アセンブリをさらに含み得る。

20

#### 【0006】

【0006】別の実施形態では、イオン注入装置が提供されており、イオン注入装置は、イオンビームを連続イオンビームとして生成するイオン源、及び連続イオンビームを束ねて、イオンビームを束ねられたイオンビームとして出力する線形加速器を含む。イオン注入装置は、第1の方向に沿って伝搬する、束ねられたイオンビームを受信し、第1の方向に対して垂直な第2の方向に沿って束ねられたイオンビームを走査するように構成されたスキャナを含み得る。イオン注入装置は、スキャナの下流に配置されたコリメータであって、束ねられたイオンビームを受信し、束ねられたイオンビームをリボンビームとして出力するコリメータをさらに含み得る。イオン注入装置は、線形加速器の下流に配置されたエネルギー拡散電極アセンブリであって、リボンビームの伝搬の局所的な方向に沿って、エネルギー拡散電極アセンブリの複数の電極間にAC電圧を印加するように構成されたエネルギー拡散電極アセンブリをさらに含み得る。

30

#### 【0007】

【0007】別の実施形態では、ビーム調整装置は、第1の方向に沿って伝搬する、束ねられたイオンビームを受信し、第1の方向に対して垂直な第2の方向に沿ってイオンビームを走査するように構成されたスキャナをさらに含み得る。ビーム調整装置は、スキャナの下流に配置されたコリメータであって、束ねられたイオンビームを受信し、束ねられたイオンビームをリボンビームとして出力するコリメータをさらに含み得る。ビーム調整装置は、線形加速器の下流に配置されたエネルギー拡散電極アセンブリであって、リボンビームの伝搬の局所的な方向に沿って、エネルギー拡散電極アセンブリの複数の電極間にAC電圧を印加するように構成されたエネルギー拡散電極アセンブリをさらに含み得る。ビーム調整装置は、スキャナ及びエネルギー拡散電極アセンブリを制御して、リボンビームの局所的な伝搬方向に垂直な方向に沿った、リボンビームの幅にわたって、リボンビームの均一なエネルギー拡散を発生させるように構成されたコントローラを追加的に含み得る。

40

50

**【図面の簡単な説明】****【 0 0 0 8 】**

【図 1】図 1 は、本開示の実施形態に係るイオン注入装置を示す。

【図 2】図 2 は、本開示の実施形態に係る、別の例示的なイオン注入装置を示す。

【図 3】図 3 は、本開示のさらなる実施形態に従って構成されたイオン注入装置を示す。

【図 4】図 4 は、本開示のさらなる実施形態に従って構成されたイオン注入装置を示す。

**【発明を実施するための形態】****【 0 0 0 9 】**

[ 0 0 1 2 ] 図面は必ずしも縮尺どおりではない。図面は、単なる表現であり、本開示の特定のパラメータを表すことを意図していない。図面は、本開示の例示的な実施形態を示すことが意図されており、したがって、範囲を限定するものと見なすべきではない。図面では、同様の番号が同様の要素を表す。

10

**【 0 0 1 0 】**

[ 0 0 1 3 ] ここで、本開示に係る装置、システム、及び方法を、システム及び方法の実施形態が示された添付の図面を参照しながら、以下により十分に説明する。システム及び方法は、多くの異なる形態で具現化されてよく、ここで提示された実施形態に限定されると解釈されるべきではない。その代わりに、これらの実施形態は、本開示が詳細かつ完全であり、システム及び方法の範囲を当業者に十分に伝えるように提供されている。

**【 0 0 1 1 】**

[ 0 0 1 4 ] 本明細書では、「上部 (top)」、「底部 (bottom)」、「上方 (upper)」、「下方 (lower)」、「垂直方向 (vertical)」、「水平方向 (horizontal)」、「横方向 (lateral)」、及び「縦方向 (longitudinal)」といった用語は、図に見られるような半導体製造デバイスの構成要素の形状寸法および配向に対して、これらの構成要素及びこれらを構成する部分の相対的な配置及び配向を説明するために使用され得る。用語には、具体的に言及された単語、その派生語、及び同様の趣旨の単語が含まれ得る。

20

**【 0 0 1 2 】**

[ 0 0 1 5 ] ここでは、単数形で記載された、「1つ」又は「ある」(a、an) という文言に続く要素又は操作は、複数の要素又は操作も潜在的に含むものとして理解される。さらに、本開示の「一実施形態 (one embodiment)」への言及は、記載された特徴も組み込む追加的な実施形態の存在を除外するものと解釈されることを意図しない。

30

**【 0 0 1 3 】**

[ 0 0 1 6 ] ここでは、ビームラインアーキテクチャに基づく、改善されたイオン注入システム及び構成要素、具体的には、線形加速器に基づくイオン注入装置などの高エネルギーイオン注入装置のためのアプローチが提供される。簡潔性のために、本明細書ではイオン注入システムが「イオン注入装置」とも呼ばれ得る。様々な実施形態には、線形加速器又は LINAC における処理のための束ねられたリボンイオンビームを生成する新規なアプローチが伴う。

**【 0 0 1 4 】**

40

[ 0 0 1 7 ] 様々な実施形態では、電極アセンブリは、LINAC の下流に設けられており、高周波で電極アセンブリに供給される AC 信号を使用して、束ねられたイオンビームのエネルギーを修正する。基板を処理するために基板及び / 又はイオンビームの走査が行われる様々な実施形態では、エネルギー変動の周波数が基板の走査よりも遙かに速く設定されることがあり、その結果、電極アセンブリによって発生するエネルギー変動が、制御されかつ反復可能なエネルギー拡散として基板上の各点に現れる。

**【 0 0 1 5 】**

[ 0 0 1 8 ] 図 1 は、本開示の実施形態に係るイオン注入装置 100 を示す。イオン注入装置 100 は、イオンビーム 120 として示される連続イオンビームを生成するように構成されたイオン源 102 を含む。イオン注入装置 100 は、イオンビーム 120 を受信

50

するようにイオン源 102 の下流に配置された、線形加速器 104 と表される AC 線形加速器を含み得る。線形加速器 104 は、束ねられたイオンビーム 122 が生成されるようにイオンビーム 120 を修正するために、当該技術分野で知られているバンチャー（別途図示せず）を含み得る。様々な非限定的な実施形態によれば、線形加速器 104 の複数の段階では、束ねられたイオンビーム 122 のエネルギーを、1 MeV、2 MeV、5 MeV、又は他の適切なイオンエネルギーなどの目標イオンエネルギーまで増加させることができる。

#### 【0016】

[0019] 本開示の幾つかの非限定的な実施形態によれば、イオン注入装置 100 は、束ねられたイオンビーム 122 を成形、コリメート、フィルタリング、若しくは走査するか、又はこれらの操作の任意の組合せを実行するための、線形加速器 104 の下流に配置された追加の構成要素を含み得る。これらの追加の構成要素は、下流構成要素 106 によって示されており、この構成要素は、線形加速器 104 とエネルギー拡散電極アセンブリ 108 との間に配置されている。エネルギー拡散電極アセンブリ 108 は、束ねられたイオンビーム 122 を受信し、束ねられたイオンビーム 122 のエネルギーを変調し、エネルギー拡散イオンビーム 124 を基板 110 へ出力するように構成されている。

#### 【0017】

[0020] 様々な実施形態では、エネルギー拡散電極アセンブリ 108 にわたって高周波電圧を印加することによって、束ねられたイオンビーム 122 のエネルギーを変調することが可能である。この電圧は、図示のデカルト座標系で Z 軸として表される束ねられたイオンビーム 122 の伝搬方向に沿って、対応する高周波電界を生成し得る。具体的には、本実施形態及び後に続く他の実施形態では、エネルギー拡散電極アセンブリ 108 は、伝播方向に沿って高周波電界を印加しながら、束状イオンビーム 122 を導電する中空電極として構成され得る。このようにして、可変エネルギーが、エネルギー拡散電極アセンブリを通過する間、束ねられたイオンビーム 122 に印加され得る。例えば、RF 電源 130 を利用して、1 MHz を超えるような適切な周波数で、エネルギー拡散電極アセンブリ 108 内における種々の電極間で AC 電圧信号（ここで使用される用語「AC 電圧」又は「AC 電圧信号」は、1 kHz、1 MHz などを含む任意の適切な周波数範囲を包含し得る）を発生させることができる。様々な非限定的な実施形態では、線形加速器の加速段及びエネルギー拡散電極アセンブリ 108 を駆動させる適切な加速周波数の例としては、13.56 MHz と 40 MHz の間の周波数が挙げられる。

#### 【0018】

[0021] 本開示の様々な実施形態によれば、エネルギー拡散電極アセンブリ 108 に供給される AC 電圧は、基板 110 に供給されるエネルギー拡散イオンビーム 124 内に目標エネルギー拡散を発生させるのに適した振幅を有し得る。例えば、幾つかの非限定的な実施形態によれば、エネルギー拡散イオンビーム 124 は、1% の公称イオンビームエネルギー、2% の公称エネルギー、5% の公称エネルギー、10% の公称エネルギー、又は 20% の公称エネルギーに等しい半値全幅（full width at half maximum: FWHM）を有するエネルギー分布を有し得る。したがって、公称イオンビームエネルギーは、異なる実施形態では、500 keV 超、1 MeV 超、2 MeV 超、5 MeV 超であり得る。このようにして、所与の公称イオンビームエネルギーにおいて、エネルギー拡散イオンビーム 124 は、同じ公称イオンビームエネルギーを有する単一エネルギーイオンビームによって発生する注入プロファイルに比べてより広い注入プロファイルをもたらすように、基板 110 に注入され得る。

#### 【0019】

[0022] 図 2 は、本開示の追加の実施形態に係るイオン注入装置 200 を示す。イオン注入装置 100 の場合と同様に、イオン注入装置 200 は、イオン源 102、及びイオン源 102 の下流に配置された線形加速器 104 を含む。

#### 【0020】

[0023] イオン注入装置 200 は、線形加速器 104 の下流に配置され、スキャナ

10

20

30

40

50

２０２、コリメータ２０４、及びエネルギー拡散電極アセンブリ２０８を含むビーム調整装置２２０を含み得る。

【００２１】

【００２４】線形加速器１０４は、イオンビーム１２０から束ねられたイオンビーム１２２を生成するバンチャー（図示せず）を含んでもよい。このイオンビームは、連続イオンビームとして線形加速器１０４に入り得る。スキャナ２０２は、束ねられたイオンビーム１２２（塗りつぶされた楕円によって表されるイオン束として概略的に示される）を受信するように構成され、かつ、スキャン周期によって規定されるように、スキャン信号を供給するよう構成されており、第１のビームライン側と第２のビームライン側との間の束ねられたイオンビーム１２２を走査する。この実施例では、束ねられたイオンビーム１２２は、ペンシルビーム又はスポットイオンビームであってもよく、束ねられたイオンビーム１２２は、図示のＸ－Ｚ平面内で走査される。例えば、走査発生器２３０は、幾つかの非限定的な実施形態によれば、振動電圧などの走査信号を、（１ｋＨｚ、２ｋＨｚ、５ｋＨｚなどのｋＨｚ範囲の）走査周波数で振動電界を発生させる一対の電極板に供給し得る。したがって、所与の走査周波数に対して、走査発生器２３０の周期よりも長い時間尺度にわたって平均化された場合、走査された束ねられたイオンビームは、Ｘ軸に沿って細長い断面を形成するように扇状に展開し得る。本実施形態では、エネルギー拡散電極アセンブリ２０８は、束ねられたイオンビーム１２２の所望のエネルギー拡散を実現するよう適切な位相を選択するために、束ねられたイオンビーム１２２の走査位置の情報を使用する位相制御システムに連結された一連のＡＣ電極を含む。

【００２２】

【００２５】コリメータ２０４は、スキャナ２０２の下流に配置されており、この場合、扇状のビームの形で束ねられたイオンビーム１２２を受信する。コリメータ２０４は、束ねられたイオンビーム１２２を、Ｘ軸に沿って伸長したリボンビーム２２２として成形かつ出力するように構成され得る。図２にさらに示すように、エネルギー拡散電極アセンブリ２０８は、コリメータ２０４の下流に配置され、リボンビーム２２２を受信する。以下に詳述するように、エネルギー拡散電極アセンブリ２０８は、エネルギー拡散を発生させるために、リボンビームの伝搬方向に沿って複数の電極間にＲＦ電圧を印加するように構成される。

【００２３】

【００２６】図２の実施例では、エネルギー拡散電極アセンブリ２０８は、第１の接地電極２１２及び第２の接地電極２１６を含み、２つの接地電極の間に給電された電極２１４が配置されている。ＲＦ電源２３４は、適切な周波数でＲＦ電力信号を給電された電極２１４へ供給し得る。例えば、ＲＦ電源２３４は、ＲＦ電圧信号を給電された電極２１４へ供給する共振器（別途図示せず）へＲＦ信号を誘導し得る。したがって、ＲＦ電圧が、給電された電極２１４と第１の接地電極２１２及び第２の接地電極２１６との間に発生する。そして、ＲＦ電圧は、ＲＦ電圧信号の周波数に対応する周波数を有する、リボンビーム２２２の伝搬方向のＺ軸に沿った振動電界を発生させる。

【００２４】

【００２７】本開示の様々な実施形態によれば、エネルギー拡散電極アセンブリ２０８は、リボンビーム２２２を包含するように設計された（Ｘ軸に沿った）細長い断面を有する一連の複数の中空導電性円筒として構成されてもよい。このように、エネルギー拡散電極アセンブリ２０８は、線形加速器においてイオンビームを束ねたり又は加速させたりするために使用される既知のドリフトチューブアセンブリの幾つの特徴を示し得る。リボンビーム２２２がエネルギー拡散電極アセンブリの所与の中空電極を通過する際に、リボンビーム２２２は、電界が存在しない中空電極内でドリフト領域に遭遇することになる。第１の接地電極２１２と給電された電極２１４との間に振動電界が発生するが、給電された電極２１４と第２の接地電極２１６との間にも振動電界が発生する。このようにして、エネルギー拡散電極アセンブリ２０８は、２つの加速ギャップに特徴付けられた、いわゆるダブルギャップ構成を画定し得る。本開示の様々な実施形態によれば、イオンエネルギー

ー拡散という所望の作用効果を得るために、幾つかの要因を考慮して、エネルギー拡散電極アセンブリ 208 に印加される振動電圧の周波数及び位相が選択される。これらの要因には、イオンの速度、イオン束における位相の拡散、及びダブルギャップ構成の 2 つのギャップ間の長さが含まれる。

【0025】

[0028] リボンビーム 222 がエネルギー拡散電極アセンブリ 208 内の加速ギャップに進入する際には、リボンビーム 222 の所与のイオン束の進入のタイミングが、イオンがギャップにわたってどのように加速又は減速するかに影響を与える。例えば、正弦波 RF 電圧信号が給電された電極 214 に印加される場合があり、この場合、加速ギャップにわたって正弦波電界が発生する。イオンが加速ギャップを横切るときの電界の瞬間的な振幅と徴候によって、イオンは、多かれ少なかれ、加速されたり減速されたりする。したがって、加速ギャップを通過する所与のイオン束では、束の先端のイオンが、束の後端のイオンとは異なる程度で加速又は減速するので、エネルギー拡散電極アセンブリ 208 を通過する間にリボンビーム 222 のイオンエネルギーの拡散がもたらされることになる。

【0026】

[0029] 本開示の実施形態によれば、エネルギー拡散電極アセンブリ 208 は、所望の範囲のイオンエネルギーを有するエネルギー拡散イオンビーム 224 (エネルギー拡散を示すためにより伸長した塗りつぶされた楕円として示される) を基板 110 に供給するため、リボンビーム 222 のエネルギーを目標量だけ広げたり拡散させたりすることができる。例えば、ある事例では、線形加速器 104 が 1 MeV のイオンエネルギーをリボンビーム 222 に付与する一方で、80 keV の振幅の RF 電圧信号が給電された電極 214 に供給される。リボンビーム 222 が初期的に単一エネルギーであると仮定すると、80 keV の信号により、エネルギー拡散イオンビーム 224 が、1 MeV の平均エネルギー及び最大 160 keV の FWHM で基板 110 に衝突し得る。

【0027】

[0030] 本開示の様々な非限定的な実施形態によれば、エネルギー拡散電極アセンブリは、1 Me から 10 MeV の範囲の初期イオンエネルギーに対して、イオンエネルギー (FWHM) を 1% から 30% 拡散させるように、イオンビームを処理することができる。上述したように、リボンビーム 222 は、互いに時間と空間において分離された、束ねられたイオンビーム (すなわち、離散された一連のイオンパケット又はイオン束) としてエネルギー拡散電極アセンブリに進入する。この束ねる作業は、ドリフトチューブ装置によって行われる。ドリフトチューブ装置は、一連のドリフトチューブ電極における少なくとも 1 つの給電された電極に RF 信号が印加されるエネルギー拡散電極アセンブリ 108 の動作と同様に動作し得る。バンチャーのこれらのドリフトチューブアセンブリは、2 つ以上の加速ギャップを生成することになる。この 2 つ以上の加速ギャップは、RF 電界が加速ギャップにわたって振動する際に種々のイオンが加速ギャップを通過するタイミングによって、イオンビーム中の種々のイオンをそれぞれ異なるように加速又は減速させる傾向がある。さらに、本開示の様々な実施形態によれば、束ねられたイオンビーム (リボンビーム 222) は、RF 電源 234 によって出力される拡散周波数 (spreading frequency) に等しい束周波数 (bunch frequency) で束ねられ得る。このようにして、リボンビーム 222 のイオン束の到着のタイミングは、エネルギー拡散電極アセンブリ 208 にわたって発生する電界と同期し得る。

【0028】

[0031] 特定の実施形態では、エネルギー拡散電極アセンブリ 208 の拡散周波数 (例えば、数 MHz 又は数十 MHz 程度) が、スキャナ 202 の走査周波数 (例えば、1 kHz 程度) よりも遙かに高速であり得る場合、エネルギー拡散が、均一かつ反復可能に、エネルギー拡散イオンビーム 224 の種々の束にもたらされ得る。例えば、リボンビーム 222 が伝搬方向 (Z 軸) に垂直な横方向 (X 軸) に沿って伸長している間、エネルギー拡散電極アセンブリ 208 は、X 軸に沿った束ねられたリボンビームの幅にわたる種々のイオン束について、束ねられたリボンビーム (リボンビーム 222) に均一なエネルギー

ー拡散をもたらすことができる。このエネルギー拡散の均一性は、RF電源234からエネルギー拡散電極アセンブリ208へ出力されるRF信号と、リボンビームにおける束群の到達時間との位相関係を一定に保つことによって達成することができる。

#### 【0029】

[0032] 一実施形態では、イオン注入装置200は、検出器210、及びリボンビーム222のイオン束の位相をエネルギー拡散電極アセンブリ208への入口で測定するための位相測定構成要素232を含み得る。イオン注入装置200は、図2に示すように、この位相情報をRF電源234と同期させるコントローラ236をさらに含み得る。代替的に、コントローラ236は、走査発生器230から信号を取得又は受信して、リボンビーム222のイオン束の(X軸に沿った)瞬間的な走査位置を決定することができる。イオン束の瞬間的な走査位置を知ることにより、RF電源234によって生成されるRF信号の同期が可能となり、確実に所与のイオン束が適切な間隔でエネルギー拡散電極アセンブリ208を通過し、目標とするエネルギー拡散が発生する。

10

#### 【0030】

[0033] 図3は、本開示のさらなる実施形態に従って構成されたイオン注入装置300を示す。イオン注入装置100及びイオン注入装置200の場合のように、イオン注入装置300は、イオン源102、及びイオン源102の下流に配置された線形加速器104を含む。この実施形態(並びに図1、図2、及び図4の実施形態の変形例)では、イオン注入装置は、線形加速器104でイオンビームのさらなる加速が行われる前に、幾つかの非限定的な実施形態によれば、イオンビーム120を250keVから500keVなどの適切なエネルギーまで加速するためのDC加速システム103をさらに含み得る。

20

#### 【0031】

[0034] 本実施形態では、エネルギー拡散装置は、エネルギー拡散電極アセンブリ310に連結された電源を含み得る。この場合、エネルギー拡散電極アセンブリ310は、上流電極312及び下流電極314を含むダイオードセットとして具体化される。幾つかの実施形態によれば、AC電圧が、上流電極312と下流電極314の間に印加され得る。図3に示すように、ビームラインの上流部分322は、ビームラインの下流部分324から電氣的に絶縁されている。異なる実施形態によれば、基板110を収容するエンドステーション(図示せず)を含め、ビームラインの上流部分322が電氣的に浮遊してもよく、又は下流部分324が電氣的に浮遊してもよい。このアプローチの利点を挙げると、この実施例では、エネルギー拡散電極アセンブリ310が、線形加速器104に印加されるRF電圧と同じ周波数に設定されたRF電圧信号を受信する必要がないことである。図3の実施形態では、エネルギー拡散電極アセンブリ310にギャップが1つしかなく、かつ、他の問題を引き起こすことなく、エネルギー発振の周波数をかなり広い範囲から自由に選択することができるので、幾つかの態様において図2の実施形態よりも単純化されている。しかしながら、図3の実施形態は、より複雑な機械的な設計を有しており、接地電位から大型アセンブリを分離し、アセンブリを絶縁体に取り付ける必要がある。

30

#### 【0032】

[0035] 上流電極312と下流電極314との間にAC電圧が印加される実施形態では、線形加速器104(パンチャーを含む)に印加されるRF電圧の走査周波数及び/又は束周波数とAC電圧とのエイリアシングを回避するために、AC電圧周波数を注意深く選択する必要がある。線形加速器104の複数の段で印加される束周波数は数MHz超であると推定されるので、スキャナ202の走査周波数は、1kHz以下の範囲であってもよい。幾つかの実施形態によれば、100kHz以下の範囲(例えば、50kHzから500kHzの範囲)のAC電圧周波数が、エネルギー拡散電極アセンブリ310に用いられてもよい。図3の実施形態に示されるように、第1の電源332が上流部分322に連結されるか、又は代替的に電源334が下流部分324に連結されてもよく、各電源がコントローラ330に連結されてもよい。後者の周波数は、線形加速器104の束周波数よりも遙かに低い(10倍以下又はそれ以上)場合があるため、エネルギー拡散電極アセンブリ310を通過するイオンの各束は、実質的にDC加速又は減速を経ることになる。

40

50

別の言い方をすれば、例えば 13 . 56 MHz の周波数で束ねられたイオン束の場合、エネルギー拡散電極アセンブリ 310 を通るイオン束の長さ、ひいては移動時間が十分に短いので、エネルギー拡散磁界周波数が遙かに低い (100 kHz 以下) ことに起因してその束が経験する有効磁界は準一定 (quasi - constant) に見える。

#### 【0033】

[0036] 図4は、本開示のさらなる実施形態に従って構成されたイオン注入装置400を示す。イオン注入装置100、イオン注入装置200、及びイオン注入装置300の場合と同様に、イオン注入装置300は、イオン源102、及びイオン源102の下流に配置された線形加速器104を含む。図2及び図3の実施形態とは異なり、本実施形態では、イオン注入装置400は、ペンシルビーム(又はスポットビーム)を生成し、基板110へ方向付ける。

10

#### 【0034】

[0037] 上述の実施形態のように、様々な非限定的な実施形態によれば、線形加速器104の複数の段階では、束ねられたイオンビーム122を生成し、1 MeV、2 MeV、5 MeV、又は他の適切なイオンエネルギーなどの目標イオンエネルギーまで加速させることができる。上述の実施形態とは異なり、基板110に衝突する前に、束ねられたイオンビーム122を目標値のイオンエネルギーを有するスポットビームとして処理するために、エネルギー選択磁石404などの構成要素が設けられ得る。エネルギー選択磁石404(「最終エネルギー磁石」と呼ばれることもある)は、ビームラインのそのポイントにおけるイオンのエネルギーを個別に測定する役割を負う。イオン注入装置400は、高周波電源412として具現化されたエネルギー拡散装置、及びエネルギー拡散電極アセンブリ406をさらに備えている。簡略化のため、エネルギー拡散電極アセンブリ406は、2つの電極として示される。しかしながら、異なる実施形態によれば、エネルギー拡散電極アセンブリ406は、エネルギー拡散電極アセンブリ208と同様に、ダブルギャップドリフトチューブアセンブリとして具現化されてもよく、又は代替的に、2つの接地電極の間に2つの給電された電極が設けられたトリプルギャップ電極アセンブリとして具現化されてもよい。したがって、高周波電源412は、電源アセンブリ410が線形加速器104のパンチャー及び様々な段にRF電圧を供給するのと同じ周波数でRF電圧を生成することができる。図4の構造の利点は、線形加速器からエネルギー拡散電極アセンブリ406までの束ねられたイオンビーム122のイオンの経路長が一定であるため、両者の間の位相関係も一定であることである。一連のイオン束の所望の及び反復性の加速又は減速を実現するためには、加速又は減速するAC磁界の位相が、AC磁界が作用するイオン束の到着時間に一致する必要がある。言い換えれば、エネルギー拡散電極アセンブリ406に到着するそれぞれの連続的なイオン束は、印加されたAC磁界と同じ振幅と位相を経験するはずである。したがって、電源アセンブリ410によって生成された束状信号、及び高周波電源412によって送信された拡散信号と同じ周波数を確立し、束状信号と拡散信号を適切に同期することにより、所与のイオン経路に沿ったそれぞれの連続的なイオン束が、同じようにエネルギー拡散電極アセンブリからの印加されたAC磁界によって処理されることになる。図2の構成では、この位相関係は、所定の時点の走査角度に応じて種々のイオン経路の経路長が変化するにつれて変化するが、図4の構成では、経路長を変化させる高速走査はない。したがって、コントローラ414は、線形加速器104を通過する束ねられたイオンビーム122の加速と、エネルギー拡散電極アセンブリ406によって実行されるエネルギー拡散とをより容易に同期させることができる。

20

30

40

#### 【0035】

[0038] 図4に示すように、イオン注入装置400は、基板110をZ軸の周りで回転させるとともに、基板をX軸などの垂直軸に沿って移動させるように構成された基板ステージ408を含み得る。このようにして、束ねられたイオンビーム122は、所定の段階では基板110の一部だけを照射し得るが、基板110の全体又はその任意の目標部分は、基板110が適切に回転及び/又は並進することにより、エネルギー拡散イオンビーム420に曝露され得る。

50

## 【 0 0 3 6 】

[ 0 0 3 9 ] 上記に鑑みて、本明細書に開示される実施形態によって、少なくとも以下の利点が達成される。本実施形態のイオン注入装置によってもたらされる第 1 の利点は、既知の単一エネルギーの高エネルギー注入装置を使用した場合よりも、所与の注入プロセス内でより広範な注入プロファイルを達成する能力である。さらなる利点は、エネルギー拡散構成要素に印加される電圧を単に調整することにより、注入プロファイルの幅を容易に調整できる能力である。

## 【 0 0 3 7 】

[ 0 0 4 0 ] 本開示の特定の実施形態が本明細書に記載されているが、本開示はこれらに限定されない。なぜなら、本開示は、当該技術分野が許す限り範囲が広く、本明細書も同様に解することができるからである。したがって、上記の記載は限定として解釈すべきではない。当業者は、本明細書に添付された特許請求の範囲及び本質の範囲内での他の変更を想定するであろう。

10

20

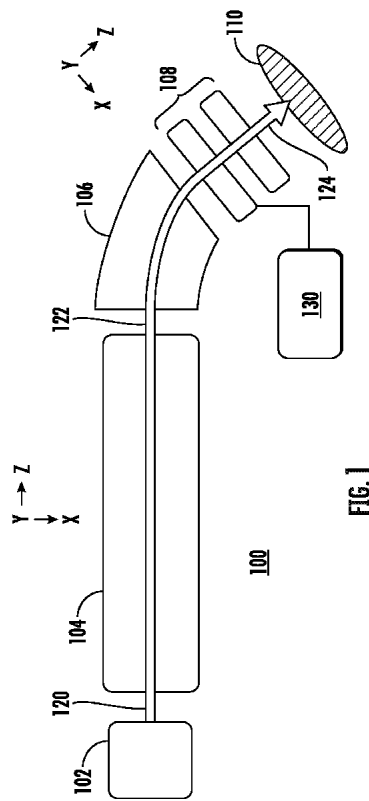
30

40

50

【 図面 】

【 図 1 】



**FIG. 1**

【 図 2 】

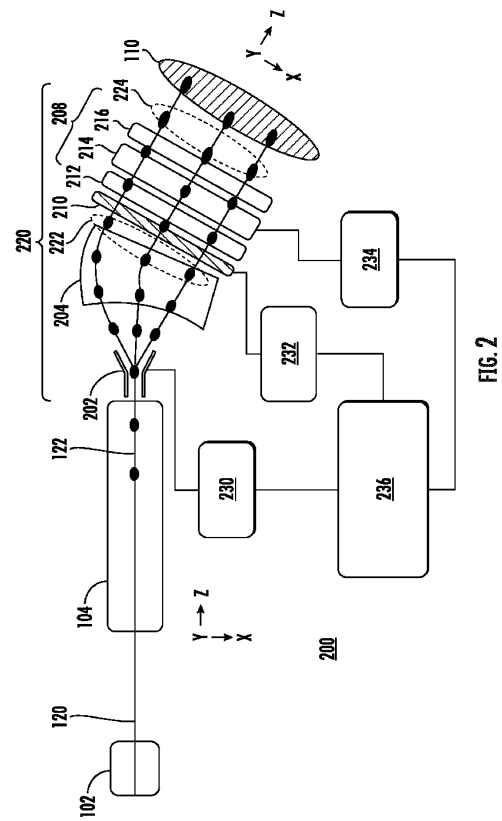


FIG. 2

【 図 3 】

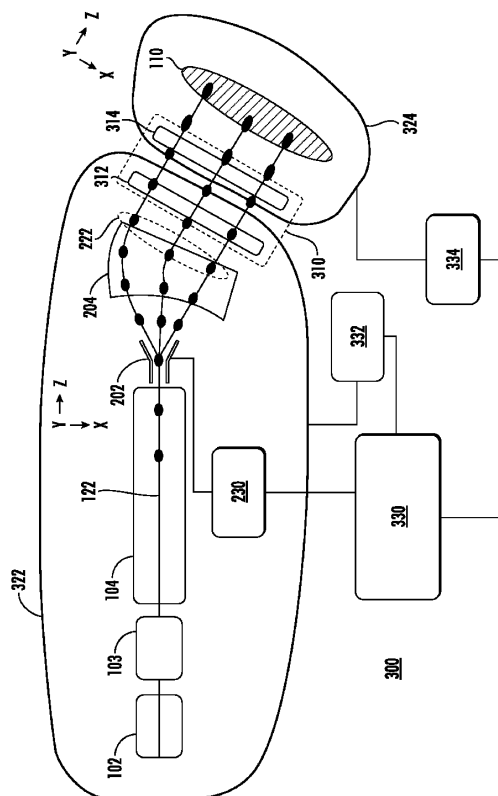
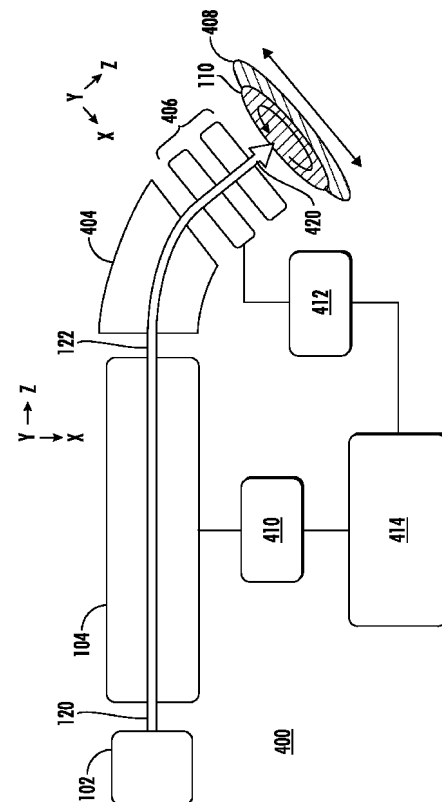


FIG. 3

【 図 4 】



**FIG. 4**

フロントページの続き

- 9 3 0 ,   グロスター ,   ドーリー   ロード   3 5
- (72)発明者   シンクレア ,   フランク  
アメリカ合衆国   マサチューセッツ   0 1 9 3 0 ,   グロスター ,   ドーリー   ロード   3 5
- (72)発明者   ルー ,   ジュン  
アメリカ合衆国   マサチューセッツ   0 1 9 3 0 ,   グロスター ,   ドーリー   ロード   3 5
- (72)発明者   ティーガー ,   ダニエル  
アメリカ合衆国   マサチューセッツ   0 1 9 3 0 ,   グロスター ,   ドーリー   ロード   3 5
- (72)発明者   レナウ ,   アンソニー  
アメリカ合衆国   マサチューセッツ   0 1 9 3 0 ,   グロスター ,   ドーリー   ロード   3 5
- 審査官   右▲高▼ 孝幸
- (56)参考文献   米国特許出願公開第 2 0 1 9 / 0 3 7 1 5 6 2 ( U S , A 1 )  
国際公開第 2 0 2 0 / 2 2 9 6 3 8 ( W O , A 2 )  
特開平 8 - 2 1 2 9 5 6 ( J P , A )
- (58)調査した分野   (Int.Cl. , D B 名)  
H 0 1 J   3 7 / 3 1 7