

【公報種別】特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載

【部門区分】第 7 部門第 1 区分

【発行日】平成 18 年 11 月 30 日 (2006.11.30)

【公表番号】特表 2003-504803 (P2003-504803A)

【公表日】平成 15 年 2 月 4 日 (2003.2.4)

【出願番号】特願 2001-508472 (P2001-508472)

【国際特許分類】

**H 0 1 J 37/317 (2006.01)**

**C 2 3 C 14/54 (2006.01)**

**G 2 1 K 1/00 (2006.01)**

**G 2 1 K 1/093 (2006.01)**

**G 2 1 K 5/04 (2006.01)**

**H 0 1 J 3/07 (2006.01)**

**H 0 1 J 37/04 (2006.01)**

**H 0 1 J 37/147 (2006.01)**

**H 0 1 J 37/153 (2006.01)**

**H 0 1 J 37/21 (2006.01)**

**H 0 1 L 21/027 (2006.01)**

【F I】

H 0 1 J 37/317 E

C 2 3 C 14/54 F

G 2 1 K 1/00 A

G 2 1 K 1/093 D

G 2 1 K 5/04 A

G 2 1 K 5/04 W

H 0 1 J 3/07

H 0 1 J 37/04 Z

H 0 1 J 37/147 Z

H 0 1 J 37/153 Z

H 0 1 J 37/21 Z

H 0 1 L 21/30 5 4 1 A

【手続補正書】

【提出日】平成 18 年 10 月 5 日 (2006.10.5)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【書類名】明細書

【発明の名称】ターゲット上への材料の蒸着とモニタリングとを同時に行なう方法及び装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも 2 つの荷電粒子ビームを結合させる方法であって

(a) 第 1 のビームを第 1 の軸線に沿って所定の電場及び磁場の双方又はいずれか一方中へ指向させる工程と、

(b) 第 2 のビームを第 2 の軸線に沿って前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方中へ指向させる工程と、

(c) 前記第 1 のビーム及び前記第 2 のビームを、前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方との相互作用を通じて偏向させ、第 3 の軸線に沿った第 3 のビームにする工程とを含むことを特徴とする結合方法。

【請求項 2】

前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方は、幾何学的な中心部を有する磁場であることを特徴とする、請求項 1 に記載の結合方法。

【請求項 3】

前記第 1 のビームは、前記幾何学的な中心部に焦点されることを特徴とする、請求項 2 に記載の結合方法。

【請求項 4】

前記第 2 のビームは、前記幾何学的な中心部に焦点されることを特徴とする、請求項 3 に記載の結合方法。

【請求項 5】

前記第 3 のビームは、同一直線上及び同軸上の少なくとも一方に存在することを特徴とする、請求項 4 に記載の結合方法。

【請求項 6】

前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方は、円筒形の磁場であることを特徴とする、請求項 1 に記載の結合方法。

【請求項 7】

前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方は、実質的に円筒対称形の磁場であって、前記ビームが焦点する幾何学的な中心部を有する当該磁場であることを特徴とする、請求項 1 に記載の結合方法。

【請求項 8】

(a) 前記第 1 のビームは正電荷イオン粒子を含み、  
(b) 前記第 2 のビームは負電荷イオン粒子を含み、  
(c) 前記第 1 のビームからの前記正電荷イオン粒子をターゲット上に堆積する工程と、  
(d) 前記第 2 のビームからの前記負電荷イオン粒子を前記ターゲットから前記磁場へ向けて反射させる工程と、  
(e) 前記ターゲットから反射された前記負電荷イオンをモニタリングする工程と、  
を含むことを特徴とする、請求項 7 に記載の結合方法。

【請求項 9】

前記モニタリングする工程が、前記電荷イオン粒子の堆積工程をモニタリングする処理を有することを特徴とする、請求項 8 に記載の結合方法。

【請求項 10】

少なくとも 2 つの荷電粒子ビームの分離方法であって、

(a) 混合荷電粒子を含む第 1 のビームを第 1 の軸線に沿って電場及び磁場の双方又はいずれか一方に指向させる工程と、  
(b) この電場及び磁場の双方又はいずれか一方へ前記第 1 のビームを焦点させる工程と、  
(c) 前記混合荷電粒子を、前記第 1 のビームと前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方との相互作用を通じて少なくとも第 2 のビームと第 3 のビームとに分離する工程と、  
を含むことを特徴とする分離方法。

【請求項 11】

前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方は、幾何学的な中心部を有する磁場であることを特徴とする、請求項 10 に記載の分離方法。

【請求項 12】

前記第 1 のビームは、前記幾何学的な中心部に焦点されることを特徴とする、請求項 11 に記載の分離方法。

【請求項 13】

前記第 1 のビームは、同軸上に存在する混合荷電粒子を含むことを特徴とする、請求項

12に記載の分離方法。

【請求項14】

前記第1のビームは、同一直線上に存在する混合荷電粒子を含むことを特徴とする、請求項12に記載の分離方法。

【請求項15】

前記混合荷電粒子は、

(a) 電荷/質量比、

(b) 電荷、及び

(c) エネルギーの少なくとも1つにおいて異なる粒子から構成されていることを特徴とする、請求項10に記載の分離方法。

【請求項16】

前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方は、円筒形の磁場であることを特徴とする、請求項10に記載の分離方法。

【請求項17】

前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方は、実質的に円筒対称形であり、前記ビームを焦点させる幾何学的な中心部を有する磁場であることを特徴とする、請求項10に記載の分離方法。

【請求項18】

(a) 前記第1のビームは電荷/質量比の異なる混合荷電粒子を含み、

(b) 前記混合荷電粒子の少なくとも1つは正電荷イオン粒子であって、所定のターゲット上に蒸着されるものであり、

(c) 前記混合荷電粒子の少なくとも1つは電子であって、前記ターゲットから反射されるものであり、

(d) 前記ターゲットから反射された前記電子をモニタリングする、ことを特徴とする、請求項17に記載の分離方法。

【請求項19】

前記正電荷イオン粒子の堆積過程をモニタリングすることを特徴とする、請求項18に記載の分離方法。

【請求項20】

少なくとも2つの荷電粒子ビームを偏向させる方法であって、

(a) 第1のビームを第1の軸線に沿って所定の電場及び磁場の双方又はいずれか一方へ導入し、第2の軸線に沿って当該電場及び磁場の双方又はいずれか一方から出射させる工程と、

(b) 第2のビームを第3の軸線に沿って前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方へ導入し、第4の軸線に沿って前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方から出射させる工程と

を含み、

前記第3の軸線は、前記第2の軸線に対して同一直線上又は同一軸上に存在し、

前記第3の軸線に沿った前記第2のビームは、前記第2の軸線に沿った前記第1のビームと異なる方向に進行することを特徴とする偏向方法。

【請求項21】

前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方は、幾何学的な中心部を有する磁場であることを特徴とする、請求項20に記載の偏向方法。

【請求項22】

前記第1のビームは、前記幾何学的な中心部に焦点されることを特徴とする、請求項21に記載の偏向方法。

【請求項23】

前記第2のビームは、前記幾何学的な中心部に焦点されることを特徴とする、請求項22に記載の偏向方法。

【請求項24】

前記第 1 の軸線及び前記第 4 の軸線は、同一軸上に存在しないことを特徴とする、請求項 2 3 に記載の偏向方法。

【請求項 2 5】

前記第 1 の軸線及び前記第 4 の軸線は、同一直線上に存在しないことを特徴とする、請求項 2 3 に記載の偏向方法。

【請求項 2 6】

前記第 2 の軸線及び前記第 3 の軸線は、同一軸上に存在することを特徴とする、請求項 2 0 に記載の偏向方法。

【請求項 2 7】

前記第 2 の軸線及び前記第 3 の軸線は、同一直線上に存在することを特徴とする、請求項 2 0 に記載の偏向方法。

【請求項 2 8】

前記電場及び / 磁場は、円筒形の磁場であることを特徴とする、請求項 2 0 に記載の偏向方法。

【請求項 2 9】

前記電場及び / 磁場は、実質的に円筒対称形であり、前記ビームが焦点する幾何学的な中心部を有する磁場であることを特徴とする、請求項 2 0 に記載の偏向方法。

【請求項 3 0】

少なくとも 2 つの荷電粒子を結合する装置であって、

( a ) 電場及び / 磁場と、

( b ) 第 1 の軸線に沿って前記電場及び / 磁場へ導かれる第 1 のビームと、

( c ) 第 2 の軸線に沿って前記電場及び / 磁場へ導かれる第 2 のビームと

を具え、

( d ) 前記第 1 のビームと前記第 2 のビームとが、前記電場及び / 磁場との相互作用を通じて結合し、第 3 の軸線に沿って導かれる第 3 のビームとなるようにすることを特徴とする装置。

【請求項 3 1】

前記電場及び / 磁場は、幾何学的な中心部を有する磁場であることを特徴とする、請求項 3 0 に記載の装置。

【請求項 3 2】

前記第 1 のビームは、前記幾何学的な中心部に焦点されることを特徴とする、請求項 3 1 に記載の装置。

【請求項 3 3】

前記第 2 のビームは、前記幾何学的な中心部に焦点されることを特徴とする、請求項 3 2 に記載の装置。

【請求項 3 4】

前記第 3 のビームは、同一直線上又は同一軸上に存在することを特徴とする、請求項 3 3 に記載の装置。

【請求項 3 5】

前記電場及び / 磁場は、円筒形の磁場であることを特徴とする、請求項 3 4 に記載の装置。

【請求項 3 6】

前記電場及び / 磁場は、実質的に円筒対称形であり、前記ビームが焦点する幾何学的な中心部を有する磁場であることを特徴とする、請求項 3 0 に記載の装置。

【請求項 3 7】

( a ) 前記第 1 のビームは、所定のターゲット上に堆積される正電荷イオン粒子を含み、

( b ) 前記第 2 のビームは、前記ターゲットから前記磁場中へ反射される電子を含み、

( c ) 前記ターゲットから反射された前記電子をモニタリングするモニタリング装置を具えることを特徴とする、請求項 3 6 に記載の装置。

【請求項 3 8】

前記モニタリング装置は前記イオン粒子の堆積過程をモニタリングすることを特徴とする、請求項 37 に記載の装置。

【請求項 39】

前記第 1 の軸線及び前記第 2 の軸線は、約 127 度の角度をなしていることを特徴とする、請求項 30 に記載の装置。

【請求項 40】

少なくとも 2 つの荷電粒子を分離する装置であって、

- (a) 電場及び磁場の双方又はいずれか一方と、
  - (b) 第 1 の軸線に沿って前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方へ導かれ当該電場及び磁場の双方又はいずれか一方に焦点される、混合荷電粒子を有する第 1 のビームと、
  - (c) 前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方場と前記第 1 のビームとの相互作用によって、前記第 1 の荷電粒子より生成された第 2 のビーム及び第 3 のビームと
- を具えることを特徴とする装置。

【請求項 41】

前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方は、幾何学的な中心部を有する磁場であることを特徴とする、請求項 40 に記載の装置。

【請求項 42】

前記第 1 のビームは、前記幾何学的な中心部に焦点されることを特徴とする、請求項 41 に記載の装置。

【請求項 43】

前記第 1 のビームは、同一軸上に存在する混合荷電粒子を有することを特徴とする、請求項 42 に記載の装置。

【請求項 44】

前記第 1 のビームは、同一直線上に存在する混合荷電粒子を有することを特徴とする、請求項 42 に記載の装置。

【請求項 45】

前記混合荷電粒子は、

- (a) 電荷 / 質量比、
- (b) 電荷、及び
- (c) エネルギー

の少なくとも 1 つにおいて異なる粒子から構成されていることを特徴とする、請求項 40 の記載の装置。

【請求項 46】

前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方は、円筒形の磁場であることを特徴とする、請求項 40 に記載の装置。

【請求項 47】

前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方は、実質的に円筒対称形であり、前記ビームが焦点する幾何学的な中心部を有する磁場であることを特徴とする、請求項 40 に記載の装置。

【請求項 48】

- (a) 前記第 1 のビームは、異なる電荷 / 質量比を有する混合荷電粒子を含み、
  - (b) 前記混合荷電粒子の少なくとも 1 つは正電荷イオン粒子であって、所定のターゲット上に堆積されるものであり、
  - (c) 前記混合荷電粒子の少なくとも 1 つは電子であって、前記ターゲットから反射されるものであり、
  - (d) 前記ターゲットから反射された前記電子をモニタリングするためのモニタリング装置を具える
- ことを特徴とする、請求項 47 に記載の装置。

【請求項 49】

前記モニタリング装置は、正電荷イオン粒子の堆積過程をモニタリングすることを特

徴とする、請求項 48 に記載の装置。

【請求項 50】

少なくとも 2 つの荷電粒子ビームを偏向する装置であって、

(a) 第 1 の軸線に沿って所定の電場及び磁場の双方又はいずれか一方中に導入され、第 2 の軸線に沿って前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方場より出射される第 1 のビームと、

(b) 第 3 の軸線に沿って所定の電場及び磁場の双方又はいずれか一方に導入され、第 4 の軸線に沿って前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方より出射される第 2 のビームとを具え、

前記第 3 の軸線は、前記第 2 の軸線と同一直線上又は同一軸上に存在し、

前記第 3 の軸線に沿った前記第 2 のビームは、前記第 2 の軸線に沿った前記第 1 のビームと異なる方向に進行することを特徴とする装置。

【請求項 51】

前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方は、幾何学的な中心部を有する磁場であることを特徴とする、請求項 50 に記載の装置。

【請求項 52】

前記第 1 のビームは、前記幾何学的な中心部に焦点されることを特徴とする、請求項 51 に記載の装置。

【請求項 53】

前記第 2 のビームは、前記幾何学的な中心部に焦点されることを特徴とする、請求項 52 に記載の装置。

【請求項 54】

前記第 1 の軸線及び前記第 4 の軸線は、同一軸上に存在しないことを特徴とする、請求項 53 に記載の装置。

【請求項 55】

前記第 1 の軸線及び前記第 4 の軸線は、同一直線上に存在しないことを特徴とする、請求項 53 に記載の装置。

【請求項 56】

前記第 2 の軸線及び前記第 3 の軸線は、同一軸上に存在することを特徴とする、請求項 50 に記載の装置。

【請求項 57】

前記第 2 の軸線及び前記第 3 の軸線は、同一直線上に存在することを特徴とする、請求項 50 に記載の装置。

【請求項 58】

前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方は、円筒形の磁場であることを特徴とする、請求項 50 に記載の装置。

【請求項 59】

少なくとも 2 つのビームの焦点方法であって、

(a) 互いに同一軸上に存在するとともに、互いに異なる電荷の第 1 のビーム及び第 2 のビームを提供する工程と、

(b) 前記第 1 のビーム及び前記第 2 のビームを、同一平面上に焦点させるようにレンズ内を通過させる工程と

を含むことを特徴とする焦点方法。

【請求項 60】

(a) 前記第 1 のビームを第 1 の軸線に沿って所定の磁場中に導入する工程と、

(b) 前記第 2 のビームを、前記第 1 の軸線と異なる第 2 の軸線に沿って前記磁場中へ導入する工程と、

を含むことを特徴とする、請求項 59 に記載の焦点方法。

【請求項 61】

前記第 1 のビーム及び前記第 2 のビームを、前記磁場との相互作用を通じて、同一軸上

に存在させるようにすることを特徴とする、請求項 60 に記載の焦点方法。

【請求項 62】

前記第 1 のビームは、第 1 の電荷 / 質量比を有する荷電粒子を含み、前記第 2 のビームは、前記第 1 の電荷 / 質量比と異なる第 2 の電荷 / 質量比を有する荷電粒子を含むことを特徴とする、請求項 61 に記載の焦点方法。

【請求項 63】

前記磁場は、静電レンズによって生成された静電場であることを特徴とする、請求項 59 に記載の焦点方法。

【請求項 64】

前記第 1 のビーム及び前記第 2 のビームは同時に焦点させることを特徴とする、請求項 61 に記載の焦点方法。

【請求項 65】

3 電極ユニポテンシャルレンズを具える静電レンズを用いて焦点させることを特徴とする、請求項 59 に記載の焦点方法。

【請求項 66】

前記ユニポテンシャルレンズは、正電荷イオン粒子を加速させ、電子を減速させるような電圧が印加される中心電極を有することを特徴とする、請求項 65 に記載の焦点方法。

【請求項 67】

前記正電荷イオン粒子は、前記中心電極電圧の実質上 140 % の電圧によって加速され、前記電子は、前記中心電極電圧の実質上 50 % の電圧によって減速されることを特徴とする、請求項 66 に記載の焦点方法。

【請求項 68】

前記磁場は、実質的に円筒対称形であり、前記ビームが焦点する幾何学的な中心部を有することを特徴とする、請求項 61 に記載の焦点方法。

【請求項 69】

少なくとも 2 つのビームを焦点させる装置であって、

(a) 互いに同一軸上に存在するとともに、互いに反対の電荷を有する第 1 のビーム及び第 2 のビームと、

(b) 前記第 1 のビーム及び前記第 2 のビームが同一面に焦点するように指向させるレンズと、

を具えることを特徴とする装置。

【請求項 70】

(a) 前記第 1 のビームが第 1 の軸線に沿って所定の磁場中に導入されるようにし、

(b) 前記第 2 のビームが、前記第 1 の軸線と異なる第 2 の軸線に沿って前記磁場中へ導入されるようにする、

ことを含むことを特徴とする、請求項 69 に記載の装置。

【請求項 71】

前記第 1 のビーム及び前記第 2 のビームを、前記磁場との相互作用を通じて同一軸上に存在させるようにすることを特徴とする、請求項 70 に記載の装置。

【請求項 72】

前記第 1 のビームは、第 1 の電荷 / 質量比を有する荷電粒子を含み、前記第 2 のビームは、前記第 1 の電荷 / 質量比と異なる第 2 の電荷 / 質量比を有する荷電粒子を含むことを特徴とする、請求項 71 に記載の装置。

【請求項 73】

静電レンズによって生成された静電場によって焦点させる処理を行うことを特徴とする、請求項 69 に記載の装置。

【請求項 74】

前記第 1 のビーム及び前記第 2 のビームは同時に焦点させることを特徴とする、請求項 71 に記載の装置。

【請求項 75】

3 電極ユニポテンシャルレンズを具える静電レンズを用いて焦点させることを特徴とする、請求項 69 に記載の装置。

【請求項 76】

前記ユニポテンシャルレンズは、正電荷イオン粒子を加速させ、電子を減速させるような電圧を印加される中心電極を有することを特徴とする、請求項 75 に記載の装置。

【請求項 77】

前記正電荷イオン粒子は、前記中心電極電圧の実質上 140% の電圧によって加速され、前記電子は、前記中心電極電圧の実質上 50% の電圧によって減速されることを特徴とする、請求項 76 に記載の装置。

【請求項 78】

前記磁場は、実質的に円筒対称形であり、前記ビームが焦点する幾何学的な中心部を有することを特徴とする、請求項 71 に記載の装置。

【請求項 79】

荷電粒子ビームの収差低減方法であって、

(a) 所定のビームを第 1 の軸線に沿って所定の電場及び磁場の双方又はいずれか一方に導入し、前記第 1 の軸線と同一直線上に存在しない第 2 の軸線に沿って前記ビームを前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方から出射させる工程と、

(b) 前記第 2 の軸線を所定のミラーへ向けて方向づける工程と、

(c) 前記ビームを前記ミラーから第 3 の軸線に沿って反射させる工程と、

(d) 前記ビームを前記第 3 の軸線に沿って前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方へ導入し、前記第 1 の軸線と同一直線上に存在しない第 4 の軸線に沿って前記ビームを前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方から出射させる工程と、

を含むことを特徴とする収差低減方法。

【請求項 80】

前記第 2 の軸線及び前記第 3 の軸線は、同一軸上に存在することを特徴とする、請求項 79 に記載の収差低減方法。

【請求項 81】

前記第 2 の軸線及び前記第 3 の軸線は、同一直線上に存在することを特徴とする、請求項 79 に記載の収差低減方法。

【請求項 82】

前記第 1 の軸線と前記第 4 の軸線とは、互いに鈍角をなして位置することを特徴とする、請求項 79 に記載の収差低減方法。

【請求項 83】

前記鈍角は、約 127 度であることを特徴とする、請求項 82 に記載の収差低減方法。

【請求項 84】

前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方は、実質的に円筒対称形の磁場であることを特徴とする、請求項 79 に記載の収差低減方法。

【請求項 85】

前記磁場は幾何学的な中心部を有することを特徴とする、請求項 84 に記載の収差低減方法。

【請求項 86】

前記ビームは、前記幾何学的中心部に焦点されることを特徴とする、請求項 85 に記載の収差低減方法。

【請求項 87】

前記ミラーは、静電ミラーであることを特徴とする、請求項 86 に記載の収差低減方法。

【請求項 88】

前記ミラーによって生成される球面収差が低減されることを特徴とする、請求項 86 に記載の収差低減方法。

【請求項 89】



前記ミラーによって生成される色収差が低減されることを特徴とする、請求項 86 に記載の収差低減方法。

【請求項 90】

前記ミラーによって生成される色収差が低減されることを特徴とする、請求項 88 に記載の収差低減方法。

【請求項 91】

荷電粒子ビームの収差低減装置であって、

(a) 所定のビームを第 1 の軸線に沿って所定の電場及び磁場の双方又はいずれか一方に導入し、前記第 1 の軸線と同一直線上に存在しない第 2 の軸線に沿って前記ビームを前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方から出射させ、

(b) 前記第 2 の軸線を所定のミラーへ向けて方向づけ、

(c) 前記ビームを前記ミラーから第 3 の軸線に沿って反射させ、

(d) 前記ビームを前記第 3 の軸線に沿って前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方へ導入し、前記第 1 の軸線と同一直線上に存在しない第 4 の軸線に沿って前記ビームを前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方から出射させる、  
ことを特徴とする収差低減装置。

【請求項 92】

前記第 2 の軸線及び前記第 3 の軸線は、同一軸上に存在することを特徴とする、請求項 91 に記載の装置。

【請求項 93】

前記第 2 の軸線及び前記第 3 の軸線は、同一直線上に存在することを特徴とする、請求項 91 に記載の装置。

【請求項 94】

前記第 1 の軸線と前記第 4 の軸線とは、互いに鈍角をなして位置することを特徴とする、請求項 91 に記載の装置。

【請求項 95】

前記鈍角は、約 127 度であることを特徴とする、請求項 94 に記載の装置。

【請求項 96】

前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方は、実質的に円筒対称形の磁場であることを特徴とする、請求項 91 に記載の装置。

【請求項 97】

前記磁場は幾何学的な中心部を有することを特徴とする、請求項 96 に記載の装置。

【請求項 98】

前記ビームは、前記幾何学的中心部に焦点されることを特徴とする、請求項 97 に記載の装置。

【請求項 99】

前記ミラーは、静電ミラーであることを特徴とする、請求項 91 に記載の装置。

【請求項 100】

前記ミラーによって生成される球面収差が低減されることを特徴とする、請求項 91 に記載の装置。

【請求項 101】

前記ミラーによって生成される色収差が低減されることを特徴とする、請求項 91 に記載の装置。

【請求項 102】

前記ミラーによって生成される色収差が低減されることを特徴とする、請求項 101 に記載の装置。

【請求項 103】

ターゲットへの粒子堆積及び堆積モニタリング方法であって、

(a) イオンから構成される第 1 のビームを提供する工程と、

(b) 電子から構成される第 2 のビームを提供する工程と、

(c) 前記第1のビーム及び前記第2のビームと、電場及び磁場の双方又はいずれか一方との相互作用を通じてこれらのビームを結合させ同軸状の第3のビームを形成する工程と、

(d) 前記第3のビームを構成するイオンを所定のターゲット上に堆積する工程と、

(e) 前記ターゲットから発せられた粒子によって、工程(d)における堆積をモニタリングする工程と

を含むことを特徴とする方法。

【請求項104】

前記堆積されたイオンを前記第3のビームの電子によって走査する工程を含むことを特徴とする、請求項103に記載の方法。

【請求項105】

前記ターゲットから発せられた電子を前記同軸状の第3のビームに反射させる工程を含むことを特徴とする、請求項103に記載の方法。

【請求項106】

前記反射された電子は、前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方との相互作用を通じて前記同軸状の第3のビームから第4のビームに分離されることを特徴とする、請求項105に記載の方法。

【請求項107】

前記堆積のモニタリングは、前記第4のビームを構成する前記電子を用いて行なうことを特徴とする、請求項106に記載の方法。

【請求項108】

前記モニタリングにより、前記イオン堆積を視覚的に表示することを特徴とする、請求項107に記載の方法。

【請求項109】

前記堆積と前記モニタリングとは同時に行なうことを特徴とする、請求項103に記載の方法。

【請求項110】

前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方は、実質的に円筒対称形の磁場であり、前記第1のビーム及び前記第2のビームが焦点する幾何学的な中心部を具えることを特徴とする、請求項103に記載の方法。

【請求項111】

前記第1のビームはイオンソースから提供され、第1の焦点レンズによって前記幾何学的な中心部に焦点されることを特徴とする、請求項110に記載の方法。

【請求項112】

前記第2のビームは電子ソースから提供され、第2の焦点レンズによって前記幾何学的な中心部に焦点されることを特徴とする、請求項111に記載の方法。

【請求項113】

少なくとも1つのイオン化原子を堆積させて、このイオン化原子を所望の位置に移動させる方法であって、

(a) 第1のソースから少なくとも1つのイオン化原子を得る工程と、

(b) 前記少なくとも1つのイオン化原子を第1の軸線に沿って所定の電場及び磁場の双方又はいずれか一方中に導く工程と、

(c) 前記少なくとも1つのイオン化原子を、前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方との相互作用を通じて前記第1の軸線と異なる第2の軸線に沿って所定のターゲットへ導く工程と、

(d) 第2のソースから少なくとも1つの電子を得る工程と、

(e) 前記少なくとも1つの電子を、第3の軸線に沿って前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方へ導く工程と、

(f) 前記少なくとも1つの電子を前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方との相互作用を通じて、第4の軸線に沿って前記ターゲットへ導く工程と、

(g) 前記少なくとも１つのイオン化原子を前記ターゲット上へ堆積させる工程と、  
(h) 前記少なくとも１つの電子を、前記ターゲット上に蒸着された前記少なくとも１つのイオン化原子が所望の位置に移動するように導く工程とを含むことを特徴とする方法。

【請求項 1 1 4】

前記少なくとも１つの電子は、複数の電子を含む電子ビームであることを特徴とする、請求項 1 1 3 に記載の方法。

【請求項 1 1 5】

前記電子ビームは、前記ターゲット上に焦点されることを特徴とする、請求項 1 1 4 に記載の方法。

【請求項 1 1 6】

前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方は、実質的に円筒対称形であり、前記電子ビームが焦点すべき幾何学的な中心部を有していることを特徴とする、請求項 1 1 4 に記載の方法。

【請求項 1 1 7】

前記少なくとも１つのイオン化原子は、実質的に前記幾何学的中心部を通過することを特徴とする、請求項 1 1 6 に記載の方法。

【請求項 1 1 8】

前記電子は、堆積された前記少なくとも１つのイオン化原子との衝突によって散乱することを特徴とする、請求項 1 1 4 の記載の方法。

【請求項 1 1 9】

前記散乱された電子の少なくとも一部は、前記第 4 の軸線に沿って前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方中へ導入されることを特徴とする、請求項 1 1 8 に記載の方法。

【請求項 1 2 0】

前記堆積は、前記散乱電子をモニタリングすることによってモニタリングすることを特徴とする、請求項 1 1 9 に記載の方法。

【請求項 1 2 1】

(a) 所定の荷電粒子ビームを、第 1 の軸線に沿って磁場の幾何学的中心部に焦点させるレンズと、

(b) 前記ビームをミラーに向いている第 2 の軸線に沿って偏向させる磁場とを具え、

(c) 前記ミラーは、前記ビームを前記第 2 の軸線に沿って、前記磁場の幾何学的な中心部に反射させるように配置されており、

(d) 前記磁場は、前記ビームを所定のレンズへ向いている第 3 の軸線に沿って偏向させる、  
ことを特徴とする、装置。

【請求項 1 2 2】

前記第 1 の軸線及び前記第 3 の軸線は、同一直線上に存在することを特徴とする、請求項 1 2 1 に記載の装置。

【請求項 1 2 3】

前記第 1 の軸線及び前記第 3 の軸線は同一軸上に存在することを特徴とする、請求項 1 2 2 の記載の装置。

【請求項 1 2 4】

前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方は、電場であることを特徴とする、請求項 1 に記載の結合方法。

【請求項 1 2 5】

前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方は、電磁場であることを特徴とする、請求項 1 に記載の結合方法。

【請求項 1 2 6】

前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方は、磁場であることを特徴とする、請求項 1 に記載の結合方法。

**【請求項 1 2 7】**

前記第 1 のビーム及び前記第 2 のビームの少なくとも一方は、前記電場中に焦点されることを特徴とする、請求項 1 2 4 に記載の結合方法。

**【請求項 1 2 8】**

前記第 1 のビーム及び前記第 2 のビームの少なくとも一方は、前記電磁場中に焦点されることを特徴とする、請求項 1 2 5 に記載の結合方法。

**【請求項 1 2 9】**

前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方は、電場であることを特徴とする、請求項 1 0 に記載の分離方法。

**【請求項 1 3 0】**

前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方は、電磁場であることを特徴とする、請求項 1 0 に記載の分離方法。

**【請求項 1 3 1】**

前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方は、磁場であることを特徴とする、請求項 1 0 に記載の分離方法。

**【請求項 1 3 2】**

前記第 1 のビームは、前記電場内に焦点されることを特徴とする、請求項 1 2 9 に記載の分離方法。

**【請求項 1 3 3】**

前記第 1 のビームは、前記電磁場中に焦点されることを特徴とする、請求項 1 3 0 に記載の分離方法。

**【請求項 1 3 4】**

前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方は、電場であることを特徴とする、請求項 2 0 に記載の偏向方法。

**【請求項 1 3 5】**

前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方は、電磁場であることを特徴とする、請求項 2 0 に記載の偏向方法。

**【請求項 1 3 6】**

前記電場及び磁場の双方又はいずれか一方は、磁場であることを特徴とする、請求項 2 0 に記載の偏向方法。

**【請求項 1 3 7】**

前記第 1 のビームは、前記電場中に焦点されることを特徴とする、請求項 1 3 4 に記載の偏向方法。

**【請求項 1 3 8】**

前記第 1 のビームは、前記電磁場中に焦点されることを特徴とする、請求項 1 3 5 に記載の偏向方法。

**【請求項 1 3 9】**

前記静電レンズは、テレセントリック絞りを含むことを特徴とする、請求項 6 3 に記載の焦点方法。

**【請求項 1 4 0】**

前記静電レンズは、テレセントリック絞りを含むことを特徴とする、請求項 7 3 に記載の装置。

**【請求項 1 4 1】**

( a ) 第 1 の軸線に沿って第 1 の電場及び磁場の双方又はいずれか一方へ導かれるとともに、前記第 1 の電場及び磁場の双方又はいずれか一方に焦点される荷電粒子ビームと、

( b ) 前記荷電粒子ビームを、前記第 1 の軸線に対して同一直線上に存在しない第 2 の軸線に沿って所定のレンズに導く前記第 1 の電場及び磁場の双方又はいずれか一方と、

( c ) 前記荷電粒子ビームを、第 3 の軸線に沿って第 2 の電場及び磁場の双方又はいずれか一方へ導かれるとともに、前記第 2 の電場及び磁場の双方又はいずれか一方に焦点させる前記レンズと、

(d) 前記荷電粒子ビームを、前記第3の軸線に対して同一直線上に存在しない第4の軸線に沿って導く前記第2の電場及び磁場の双方又はいずれか一方と、  
を具えることを特徴とする、装置。

【請求項142】

前記レンズは、静電的偏向作用を有することを特徴とする、請求項141に記載の装置。

【請求項143】

前記第1の軸線と前記第4の軸線とは、互いに実質上127度の角度をなして存在することを特徴とする、請求項141に記載の装置。

【請求項144】

前記第1の電場及び磁場の双方又はいずれか一方は、磁場であることを特徴とする、請求項141に記載の装置。

【請求項145】

前記第2の電場及び磁場の双方又はいずれか一方は、磁場であることを特徴とする、請求項144に記載の装置。

【請求項146】

前記第1の軸線と前記第4の軸線とは、互いに実質上127度の角度をなして存在することを特徴とする、請求項145に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

(発明の属する技術分野)

本発明は、所定のターゲット上に材料を堆積する際に、その堆積工程をモニタリングしながら前記材料の堆積を行なう(例えば、書き込みと読みだしとを同時に行なうような)システムに関する。

【0002】

(背景技術)

(磁場中におけるビーム結合)

荷電粒子からなる非焦点のビームが所定の磁場中を通過すると、粒子の電荷/質量比及び/又は速度に応じて、前記ビームを構成する前記荷電粒子は分離する。これは、質量分析の基本原則である。このようなビームが磁場中を通過することによって生成される副生成物は、前記ビーム中における任意の連続したイメージに対して回復することのできない解像度限界上のずれを生じさせる。

【0003】

ラムファー及びマックは、“Correction of Chromatic Aberration with an Electron Mirror”, Optic, Vol. 92, No. 1 (1992)の論文中において、実際のイメージが磁場の中心部において形成される場合、解像度が制限されることなく、所定のイメージが円筒形の偏向磁場(CMTF)中を通過することができるということを開示している。換言すれば、前記CMTF中に入射したビームは、その中心部に焦点され、解像度の劣化を生じることなく、後方のレンズによって単一のイメージに再度焦点される。

【0004】

このような構成は、ビーム中の連続したイメージがシステム中の実質的に平行な磁場中を通過しても、イオン質量によって簡単に分離することができないので、質量分析に用いることはできない。換言すれば、質量分析システムにおいては、磁場中に非焦点のビームが入射することが要求される。前記ビームはレンズを通過して異なるイオン質量に分離される。

【0005】

F E Iなる企業は、表面を侵食、すなわち加工するためのイオンビームと、侵食の度合いを探索し、モニタリングするための電子ビームを用いたXL800全ウエハ走査型顕微鏡を販売している。これらのビーム形成手段は、互いに分離してはいるが、近接して配置されている。

## 【 0 0 0 6 】

(色収差及び球面収差補正)

光学レンズ中を通過した光学ビームは、色収差及び球面収差によって解像度上の制約を受ける。したがって、静電レンズ及び電磁レンズ中を通過した荷電粒子からなるビームは、原理的に2つの要因によってこれらの収差の影響を受ける。

## 【 0 0 0 7 】

1. 球面収差は、軸線の横方向における異なる位置に存在する粒子を、前記軸線の長さ方向の同一点上に焦点させるためのレンズの欠陥に起因するものである。すなわち、軸線に対して平行に配置された収束レンズに粒子が入射した場合、軸線から離隔した粒子は、軸線に近接した粒子よりもよりレンズに近づくように焦点される。

## 【 0 0 0 8 】

2. 色収差は、異なるエネルギーの粒子を軸線上の同一点に収束させるためのレンズの欠陥に起因するものである。

## 【 0 0 0 9 】

色収差及び球面収差は、ビーム源から電子光学システム中へ導かれる場合もある。エネルギー収差が重要となる場合、ビーム強度を犠牲にすることにはなるが、所定のエネルギーフィルター中を通過させることによって、前記色収差及び前記球面収差を抑制することができる。

## 【 0 0 1 0 】

ヘンネバーグは、USP2,161,466において、静電ミラーの収差は、静電レンズ及び電磁レンズの収差に対して反対の符号を有することを教示しており、そして、そのようなミラーは、基本的にレンズ系及びビーム源の球面収差及び色収差を補正するために用いることができることを教示している。ラムファー及びマックは、1992年の"Optik"において、荷電粒子からなる入射ビーム及び反射ビームは、その単一かつ均質なビームが実質的に対称な円筒形の磁場中の中心部に焦点されるととともに、前記中心部を通過することによって、分離することができることを見出した。

## 【 0 0 1 1 】

但し、前記磁場は粒子ビームレンズのイメージ面内に位置させる。このようなシステムにおいては、イメージを各偏向場間にリレーさせるために2つのレンズが用いられ、磁場の歪み効果を抑制するために微小な磁場ビーム偏向角が採用されていた。不幸にも、そのようなシステムは複雑であり、偏向角も小さい。さらには、偏向角が小さいと、ビーム出口においてマグネットを歪ませてしまう。ここにおいて、入射ビームは、これを何らかの方法で変更する素子に向けられた荷電粒子からなるビームを意味するものである。

## 【 0 0 1 2 】

(127度又は135度の磁気偏向)

ルボテットらは、USP3,660,658において、荷電粒子ビームを最初の軸線方向に対して90度偏向させるとともに、前記ビームを127度偏向させる磁気偏向器を具えた磁気偏向システムを用いた質量分離器を開示している。ルボテットらの粒子ビームは非焦点の偏向磁場中を通過する。前述したルボテットらの装置は、ビームの非収束性に基づくものであり、これによって質量分離を遂行するものである。

## 【 0 0 1 3 】

ローズらは、USP4,760,261において、115度の好ましい角度で操作する電子エネルギーフィルターを開示している。ローズらの態様においては、三角形の磁石が用いられる。ルボテットらと同様に、ローズらも広範囲のエネルギースペクトルを有する荷電粒子ビームからある狭い選択的なエネルギー範囲内にある粒子を除く総てを分離する。このような装置は、非焦点ビームを用いた場合にのみ効果がある。

## 【 0 0 1 4 】

クリーエは、USP5,336,891において、収差のないイメージを得るべく、磁性的な構成要素と静電的な構成要素とを含む収差フリーレンズシステムを開示している。クリーエによって開示された総ての実施例(第3a図から第3i図)では、45度、90度、及び18

0度の偏向のみしか示されていない。

【0015】

ローズらは、USP5,449,914において、ビームを4回に亘って135度偏向させるエネルギーフィルターを開示している。ローズらは、そのような機能を得るために非焦点のビームを用いている。

【0016】

(磁気偏光器とともに用いる静電ミラー)

和田は、USP5,254,417において、基板表面からの反射電子を所望のパターン状に形成するための反射マスクを開示している。電子ビームは電磁場によって静電ミラー中に偏向され、次いで、前記電磁場中に戻されるとともに、再度偏向されることによって同じ工程を繰り返す。しかしながら、和田は入射ビーム又は反射ビームを対応する磁気偏向場の幾何学上の中心部に焦点させていない。

【0017】

ローズらは、USP5,319,207において、磁気偏向場B1及びB2を通過した電子ビームをミラー内に90度偏向させた後、磁気偏向器で後方へ反射させ、走査すべき物体上へ向けて90度偏向させることを開示している。ローズらによって教示された磁気偏向器は複雑な装置であって、1又は2以上の荷電粒子ビームが通過することができるよう、互いの距離を十分に取った1対の円形磁極から構成されている。ローズらは、入射ビームを偏向器3の仮想斜め対称面3g上に焦点させ、反射ビームを仮想斜め対称面3h上に焦点させている。

【0018】

(静電ミラーと円筒形偏向磁場との組み合わせ)

ローズらは、USP5,319,207において、磁気偏向場B1及びB2を通過した電子ビームを静電ミラー内に90度偏向させた後、正方形状の磁気偏向器で後方へ反射させ、走査すべき物体上へ向けて90度偏向させることを開示している。ローズは、入射ビーム及び反射ビームを仮想斜め対称面上に焦点させている。さらに、ローズらの偏向器は正方形であり、強度的に調整しバランスさせなければならない2つの磁場を有している。

【0019】

そして、ターゲット上に材料を堆積する際に、その堆積工程を同時にモニタリングしながら、前記材料の堆積を行なうことのできるような(書き込みと読み出しとを同時に行なうような)システムが望まれる。

【0020】

(発明の開示)

本発明は、第1のビームを第1の軸線に沿って所定の磁場中に導く工程を含む、少なくとも2つの荷電粒子ビームを結合させるためのシステムを提供することによって、前述したような欠点を克服する。第2のビームは、第2の軸線に沿って前記磁場中に導かれる。前記第1のビーム及び前記第2のビームは、前記磁場とこれらビームとの相互作用によって第3の軸線に沿って導かれる第3のビームとなる。

【0021】

本発明は、第1の軸線に沿って、混合荷電粒子を含む第1のビームを所定の磁場中に導くことによって、少なくとも2つの荷電粒子ビームを分離するシステムに関する。前記混合荷電粒子は、前記磁場と前記第1のビームとの相互作用によって、少なくとも第2のビームと第3のビームとに分離される。

【0022】

また、本発明は、少なくとも2つの荷電粒子ビームの方向を変えるシステムに関する。このシステムにおいては、第1のビームを第1の軸線に沿って所定の磁場中に導く。前記第1のビームは前記磁場中から第2の軸線に沿って出射される。第2のビームは、第3の軸線に沿って前記磁場中に導かれる。前記第2のビームは、前記磁場から第4の軸線に沿って出射される。前記第3の軸線は、前記第2の軸線と同一直線上又は同軸上に存在し、前記第3の軸線に沿った前記第2のビームは前記第2の軸線に沿った前記第1のビームと

異なる方向に伝播される。

【0023】

本発明は、互いに同一軸上にあって、電荷符号の異なる第1のビーム及び第2のビームを提供することによって、少なくとも2つのビームを焦点させるシステムに関する。前記第1のビーム及び前記第2のビームは所定のレンズを介して導かれ、同一の平面上に焦点される。

【0024】

本発明においては、荷電粒子ビームを第1の軸線に沿って所定の磁場に導くことによって、前記荷電粒子ビーム中の収差を低減する。前記磁場中において、前記荷電粒子ビームは、前記第1の軸線と同軸上に存在しない第2の軸線に沿って、前記磁場中から射出される。前記第2の軸線は、所定のミラーへ方向づけられている。前記荷電粒子ビームは、第3の軸線に沿って前記ミラーから反射される。次いで、前記荷電粒子ビームは、前記第3の軸線に沿って前記磁場中に導かれ、前記第1の軸線と同一軸上に存在しない第4の軸線に沿って前記磁場中から射出される。

【0025】

本発明は、所定のターゲット上へ粒子を堆積し、その堆積過程をモニタリングするシステムに関する。このシステムは、第1のイオンビーム及び第2の電子ビームを提供する工程と、磁場とこれらビームとの相互作用を通じて、前記第1のイオンビーム及び前記第2の電子ビームを結合させて、同軸の第3のビームを形成する工程とを含む。イオンが前記第3のビームよりターゲット上へ堆積される。この堆積過程は、前記第3のビームの電子によってモニタリングされる。

【0026】

本発明は、少なくとも1つのイオン化原子をターゲット上に堆積し、前記イオン化原子を所望の位置に移動させるためのシステムに関する。この少なくとも1つのイオン化原子は、第1のソースから得られ、第1の軸線に沿って所定の磁場中に導入され、この磁場との相互作用を通じて前記第1の軸線と異なる第2の軸線に沿ってターゲット上に導入される。第2のソースからの少なくとも1つの電子は、第3の軸線に沿って前記磁場中に導入され、前記磁場との相互作用により、第4の軸線に沿って前記ターゲット上に導かれる。前記少なくとも1つのイオン化原子は、前記ターゲット上に堆積される。前記少なくとも1つの電子は、前記ターゲット上の前記イオン化原子が所望の位置に移動するように前記ターゲット上に導かれる。

【0027】

(発明を実施するための最良の形態)

光学の分野においては、ビームを結合させたり分離させたりするに際してビームスプリッタが用いられている。このビームスプリッタは、部分的に透過及び反射させる機能を有する面を具えた透明基板から構成される。ビームスプリッタは、所定のビームに対して、このビームが2つに分離するような角度で配置することができる。前記ビームスプリッタに対しては、必要に応じて異なる波長、異なる強度、及び/又は異なる偏光状態のビームに分離すべく、所定のコーティングを施すこともできる。ビームの方向は、分離したビームが同一軸線上で結合するように設定することができる。

【0028】

電子光学の分野では、ビームスプリッタに相当するような素子は存在しないようである。したがって、共通の軸線に沿ってビームを結合し分離することを必要とする荷電粒子光学システムを実現することはできない。

【0029】

本発明のシステムを最も効果的に機能する好ましい態様において対処する必要がある収差による制限を説明するために、対物ソースSからの荷電粒子ビームに対する静電ミラーMの作用を検討する。前記荷電粒子ビームは、拡大倍率 $m_1$ の対物レンズ $L_1$ 及び拡大倍率 $m_2$ の補償レンズ $L_2$ 中を通過し静電ミラーMへ到達する。対物レンズ $L_1$ 及び補償レンズ $L_2$ は、前記荷電粒子ビームの入射光路において、及び、ミラーMから補償レンズ $L$



2 を通って対物レンズ L 1 のイメージ面に戻る反射光路において、ソース S のイメージに対して色収差及び球面収差を生じさせる。色収差は、拡大倍率  $m_1$  及び  $m_2$  の 2 乗に比例し、球面収差は、拡大倍率  $m_1$  及び  $m_2$  の 4 乗に比例する。

【0030】

静電ミラー M もソース S からの反射イメージ中に色収差及び球面収差を生じさせるが、これらの極性は対物レンズ L 1 及び補償レンズ L 2 に起因した色収差及び球面収差と反対である。したがって、ミラー M のパラメータ及び拡大倍率  $m_1$  及び  $m_2$  を適宜に選択することによって、ミラー M による色収差及び球面収差をレンズ L 1 及び L 2 による色収差及び球面収差と大きさを同じくするとともに、極性を反対にすることによって、これらをキャンセルすることができる。

【0031】

結果として、ミラー M によって対物レンズ L 1 のイメージ面に反射されたソース S のイメージには、実質的に収差が存在しなくなる。また、ミラーパラメータは、対物レンズ L 1 において実質的にオーバー補整されたイメージが存在するように調整することができる。このオーバー補整は対物レンズ L 1 の前方又は後方のレンズ系の収差によって正しく補整される。

【0032】

本発明の異なる態様、特に帯電粒子ビームの進路を偏向するための円筒形磁場に関する説明を簡略化すべく、図 1 A - 図 2 D には、いくつかの異なる態様が示されている。

【0033】

電気素子、静電素子、磁性素子、又は電磁素子中に入出する粒子ビームは、何らかの方法で修正され、区別される。例えば、入射ビームを出射ビームとより明確に区別するために、出射ビームは前記入射ビームに対して反射ビームなどと呼ぶ場合がある。前記電気素子などは、包括的に同一のものとして扱われる。

【0034】

次に、荷電粒子の、磁場との相互作用を詳細に述べる。ビーム E は電子ビームを表し、ビーム I は正又は負のイオンビームを表す。これらのビームは、好ましくは対称な円筒形の偏向磁場 F の幾何学的な中心 O に焦点され、磁場 F 中を横断した後中心 O から出射される。磁場 F は、以下に述べるように、実質的に円筒形であり、かつ実質的に対称であって、さらには実質的に均一とすることができる。

【0035】

前記ビームは、以下で述べるように、幾何学的な中心 O に焦点させることができる。さらに、以下に述べるように、磁場のタイプ、磁場及び / 又は電荷の分布状態は如何なる態様にも設定することができる。また、前記ビームは、焦点されていても良いし、されていなくとも良く、中心のみならず他の部分へ導入することもできる。また、図面の多くにおいては、1 又は 2 以上のビームを示しているが、ビームの数は必要に応じて変化させることができる。

【0036】

ビームの幾つかは、本来的に同一軸上に存在させることができる。加えて、ビームの幾つかは同一の直線上に存在させることもできる。構成粒子が同じ方向に移動するビームは、以下の図面において簡便化のために付加的な表示で示され、例えば、 $E_1 + E_2$ 、 $I + E$  などのように表示される。構成粒子が反対の方向に移動するビームは、以下の図面において簡便化のために差分的な表示で表され、例えば、 $I - E$ 、 $I_1 - I_2$  などのように表示される。

【0037】

電荷及び / 又は移動方向の異なる同軸上又は同一直線上のビームは、極めて強いビーム状態において電荷を空間的に中和する場合を除いては、互いに計測できる程度の影響を与えることはない。高強度の荷電粒子ビームは、粒子 - 粒子間の相互作用をもたらす、縦方向及び横方向のビーム拡大収差を生じさせる。この装置における共通の軸に沿って反対符号の荷電粒子ビームを通過させることにより、これらの収差を低減又は除去することがで

きる。

【 0 0 3 8 】

図 1 A は、2 つの荷電粒子ビーム E 及び I が磁場 F 中を通過する際の動作を示す図である。なお、磁場 F の範囲は符号 P によって示されている。ビーム E は光線 “ A ”、“ B ”、“ C ”を含み、これらの磁場 F 中の光路は “ A ” - “ A ”、“ B ” - “ B ”、及び “ C ” - “ C ”で表される。ビーム I は光線 A' ”、B' ” 及び C' ”を含み、これらの磁場 F 中の光路は A' ” - A' ”、B' ” - B' ” 及び C' ” - C' ”で表される。

【 0 0 3 9 】

ビーム E 及びビーム I は、中心 O において集束させ、所望に応じて同軸又は共直線上で結合させた双方の粒子を含む結合ビーム E + I として磁場 F 中から出射させるのが好ましい。前記結合ビーム E + I は、磁場 F の中心 O から出射されるように見える。

【 0 0 4 0 】

ビーム E がビーム I よりも磁場 F を通じてより大きな角度で偏向されていることから、ビーム E の構成粒子の質量及び / 又は速度は、ビーム I の構成粒子よりも小さいことが分かる。本質的に、図 1 A は、2 つの反対の極性を有する荷電粒子ビームを 1 つのビームに結合する状態を示している。

【 0 0 4 1 】

図 1 B は、同軸上（又は同一直線上）の入射ビーム E + I を示す線図である。このビームは、好ましくは磁場 F の幾何学的な中心部 O に焦点される。なお、前記ビームは、特に、磁場 F の幾何学的な状態に応じて磁場 F の他の部分へ焦点させることもできる。磁場 F は図 1 A に示された磁場 F と極性が逆向きとなっている。前記ビームは、例えば、質量に対して種々に帯電させる等した混合荷電粒子、異なる電荷、及び / 又は異なるエネルギーを有する粒子が混合して構成されていることが好ましい。

【 0 0 4 2 】

ビーム E を構成する光線 “ A ”、“ B ”、及び “ C ”の光路は、それぞれ “ A ” - “ A ”、“ B ” - “ B ”、及び “ C ” - “ C ”で表される。ビーム I を構成する光線 A' ”、B' ” 及び C' ”の光路は、それぞれ A' ” - A' ”、B' ” - B' ” 及び C' ” - C' ”で表される。個々の粒子は、磁場 F 中を通過する際に公知の物理的原理によって分離される。本質的に、図 1 B は、反対の極性を有する荷電粒子から構成される混合ビームが、2 つの異なる荷電粒子ビームに分離される状態を表している。

【 0 0 4 3 】

図 1 C は、同極性の荷電粒子、例えば電子から構成されるビーム E 1 - E 2 が、異なる方向、例えば反対の方向に進行する状態を表したものである。磁場 F の極性は、図 1 B に示したものと同じに設定されている。ビーム E 1 は、下側から入射して、左上側から出射される。ビーム E 2 は、右上側から入射してビーム E 1 と同様に下側から出射されるが、このビーム E 2 の方向はビーム E 1 の方向と逆になる。ビーム E 1 - E 2 は、同軸ビームとするのが好ましいが、同一直線のものとすることもできる。これら両ビームは、磁場 F に入る際には当該磁場 F の中心 O に集束され、磁場 F から出る際にはこの中心 O から出射されるようにするのが好ましい。

【 0 0 4 4 】

ビーム E 1 を構成する光線 “ A ”、“ B ”、及び “ C ”は、下側から入射して光路 “ A ” - “ A ”、“ B ” - “ B ”及び “ C ” - “ C ”に沿って磁場 F を通過する。ビーム E 2 を構成する光線 A' ”、B' ” 及び C' ”は、右上側から入射し、光路 A' ” - A' ”、B' ” - B' ” 及び C' ” - C' ”に沿って磁場中を通過する。本質的に、図 1 C は、3 つのビームが混合した状態を示している。

【 0 0 4 5 】

図 1 E は、同極性、異なる電荷 / 質量比、及び / 又は異なる速度を有する荷電粒子から構成されるビーム I 1 + I 2 を表したものである。ビーム I 1 + I 2 は、下側から入射し、磁場 F 中を通過する際にビーム I 1 の構成粒子がビーム I 2 の構成粒子から分離される。その理由は、ビーム I 1 の構成粒子は、ビーム I 2 の構成粒子よりも質量又は速度が小

さいためより急峻に向きが変わるためである。

【0046】

ビーム  $I_1 + I_2$  は、光線 “A”、“B”、及び “C” を含んでいる。ビーム  $I_1$  は磁場  $F$  中を光路 “A” - “A”、“B” - “B”、及び “C” - “C” に従って進行する。ビーム  $I_2$  は磁場  $F$  中を光路  $A' - A'$ 、“B'” - “B'” 及び  $C' - C'$  に従って進行する。図 1 D 及び図 1 E は、それぞれビーム  $I_1$  及び  $I_2$  の挙動を示しているが、ビームの方向は逆であり、粒子速度が反対になっているので、各ビームの偏向が逆になっている。本質的に、図 1 E は、複数の同一極性の荷電粒子ビームから構成される 1 つの粒子ビームが、複数のビームの分離される状態を示している。

【0047】

図 1 F は、同一符号の荷電 / 質量比を有するが、質量が異なり反対方向に進行する 2 つのビーム  $I$  及び  $E$  を示すものである。前記 2 つのビームの結合及び分離は同時に行われる。ビーム  $I$  は磁場  $F$  中に右上側から入射し、ビーム  $E$  は、磁場  $F$  中に下側から入射する。この磁場  $F$  においてビーム  $I - E$  は、好ましくは同一軸線又は同一直線上に存在し、構成粒子が反対方向に進行する。ビーム  $I - E$  は、光線 “A”、“B”、及び “C” を含んでいる。ビーム  $I$  は磁場  $F$  中を光路 “A” - “A”、“B” - “B”、及び “C” - “C” に従って進行する。ビーム  $E$  は磁場  $F$  中を光路  $A' - A'$ 、“B'” - “B'” 及び  $C' - C'$  に従って進行する。本質的に、図 1 F は、3 つの同様に荷電した粒子ビームが混合した状態を示している。

【0048】

次に、荷電粒子ビームと、円筒形均一偏向磁場などの磁場  $F$  及び静電ミラー  $M$  との相互作用について詳述する。ビーム  $E$  は電子から構成し、ビーム  $I$  は正の電荷を有するイオンから構成する。また、これらのビームは好ましくは磁場  $F$  の中心部  $O$  に焦点され、中心部  $O$  から出射される。ミラー  $M$  で反射されたビームは、好ましくは磁場  $F$  の中心部  $O$  に焦点される。

【0049】

図 9 は、電場及び / 又は磁場と複数のビームとが相互作用する状態を示したものである。荷電粒子の進行方向は必要に応じて変更することができる。

【0050】

図 8 は、1 対の場合、例えば 1 対の磁場中、及びレンズを通過するビームの経路を示すものである。ビームは、好ましくは磁場の幾何学的な中心部に焦点され、これによって偏向される。前記ビームは、レンズ上に入射する。前記ビームは、前記レンズによって、再度他方の磁場中の好ましくは幾何学的な中心部に焦点される。最終的に得られるビームは、入射ビームと同一になる。好ましい偏向角度は、 $63.5^\circ$ （実質的に  $63.5^\circ$ ）であり、全体の偏向角度は  $127^\circ$ （実質的に  $127^\circ$ ）である。

【0051】

図 2 A は、入射ビーム  $E_i$  と磁場  $F$  及び静電ミラー  $M$  との相互作用における理想的な状態を示す図である。ミラー  $M$  の表面は、前記入射ビーム  $E_i$  の影響を及ぼす球面収差及び色収差の補整度合いに応じて、平坦面又は凹面などの適切な表面に形成することができる。ビーム  $E_i$  は、実効領域が符号  $P$  で示された磁場  $F$  に、左上側から入射し、中心部  $O$  に焦点される。ビーム  $E_i$  は、磁場  $F$  によって（ビームの進行方向に沿って見た場合）右方向に偏向され、ミラー  $M$  に入射される。次いで、ミラー  $M$  からビーム  $E_r$  として反射された後、磁場  $F$  の幾何学的な中心部  $O$  に焦点される。

【0052】

ミラー  $M$  と磁界  $F$  との間ではビーム  $E_i - E_r$  の構成粒子は反対方向に進行するが、入射ビーム  $E_i$  及び反射ビーム  $E_r$  は、同一軸線及び / 又は同一直線上に存在することが好ましい。反射ビーム  $E_r$  は、磁場  $F$  によって再度右方向（反射ビーム  $E_r$  の進行方向に沿って見た場合）に偏向され、入射ビーム  $E_i$  と分離されて以降のビーム操作が行われる。入射ビーム  $E_i$  の偏向角度は、反射ビーム  $E_r$  の偏向角度と同じである。このような偏向角度によって、前記装置中を通過するビームに対して有効な光学的性質が付与される。

## 【 0 0 5 3 】

図 2 B は、入射ビーム E と磁場 F 及び静電ミラー M との相互作用における理想的な状態を示す図である。図 2 A 及び図 2 B は、それぞれ、ビーム E がミラー M で反射される際に生じるイメージの反転した状態を示すものである。

## 【 0 0 5 4 】

入射ビーム E<sub>i</sub> を構成する光線 “ A ”、“ B ”、及び “ C ” は、矢印で示されるイメージ Q として、磁場 F の幾何学的な中心部 O に焦点される。しかしながら、入射ビーム E<sub>i</sub> は、ミラー M へ向けて右方向に偏向されると、前記イメージは、磁場 F の中心部 O から出射される。この入射ビーム E<sub>i</sub> が反射ビーム E<sub>r</sub> としてミラー M から反射されると、イメージ Q は反転し磁場 F の中心部 O に焦点される。

## 【 0 0 5 5 】

図 2 B において、最初の偏向角度は（約）63.5 度であり、2 回目の偏向角度は（約）63.5 度であり、結果的に反射ビーム E<sub>r</sub> は入射ビーム E<sub>i</sub> に対して（約）127 度偏向されていることになる。このような偏向角度により、拡大したイメージからの一次光線が、入射ビーム及び反射ビームの軸線と平行な磁場 F / ミラー M 構造に入出射するという利点を得られる。前述した以外の角度が設定されると、ビームを構成する光束がビーム軸から逸れてしまい、前記ビームの外側を構成する光線が後の光学素子や光学システム中を通過することができなくなってしまうことから、光学システム全体の視野を狭めてしまうことになる。

## 【 0 0 5 6 】

前述したような角度を設定することによって、非偏向ビームを磁場 F の中心部 O に焦点させて偏向させ、ビーム歪みを最小限に抑えたとともに解像度の劣化を伴うことなく、この磁場 F 中を通過させることができる。このような特徴は、前述したように、ターゲットの最終的なイメージに焦点されるビームを独立に操作しうるように、個々のビームを結合して単一の同軸ビームを形成する前に、前記個々のビームを独立に偏向させる場合に有用である。

## 【 0 0 5 7 】

結果的に、図 2 B に示されたようなミラー配置によって、入射ビーム E<sub>i</sub> はそのイメージ Q が反転されることなく、磁場 F によって左方向に 127 度偏向される。この配置の利点は、図 2 B に示すような偏向及び反射の前及び / 又は後において、焦点レンズ中を通過することによって生じる色収差及び球面収差を補整できるように、ミラー M を調節できることである。

## 【 0 0 5 8 】

図 2 C は、図 2 B において、偏向角度が 127 度より小さい場合の光線の進行状態を示す図である。ここでは、光束はビーム軸に向けて進行している。図 2 D は、図 2 B において、偏向角度が 127 度より大きい場合の光線の進行状態を示す図である。ここでは、光束はビーム軸から離れるようにして進行している。

## 【 0 0 5 9 】

図 3 は、ターゲット上へのイオン化された分子材料の蒸着、すなわち書き込み、及びその際のモニタリング、すなわち読み出しを行なうための完全なシステムの好ましい態様を簡略化して示す線図である。図面においては、電圧供給源、支持構造、制御系、空間的及び角度的な関係事項については簡略化するとともに、個々の要素はシステムに対して望ましい形態で描いている。簡略化のために、荷電粒子ビームは、その移動方法に沿って見た場合において、右又は左に偏向されたというように記載する。

## 【 0 0 6 0 】

イオンソース 24 は、蒸着されるべき材料のイオンビーム 26 a を出射する。この性質は、達成すべき最終的な機能により決定される。イオンソース 24 は、必要に応じて液体金属イオンソースとすることができる。ビーム 26 a は、レンズ 28 によって平行にされ、マスフィルタ 30 によって特定のイオンビームのみが選択される。

## 【 0 0 6 1 】

レンズ 32 は、ビーム 26 a を質量選択開口部 34 中に焦点させる。マスフィルタ 30 及び質量選択開口部 34 は、使用する前記イオンソースを、単原子アイソマから構成する場合には、必要とされない。残りのビーム 26 a はレンズ 36 によって焦点され、このレンズは選択されたイオンにより、第 1 の偏向磁場 40 の中心部 38 において、イオンソース 24 からの実イメージを生成する。

【0062】

ビーム 26 は、第 1 の偏向磁場 40 によって左方向の偏向され、第 1 の静電ミラー 42 中へ導入される。このミラー 42 に対してイオンソース 24 の拡大又は縮小されたイメージを提供するために第 1 のリレーレンズ 44 が必要とされる場合がある。

【0063】

説明を分かり易くするために、入射ビーム 26 a は、ミラー 42 による反射後の反射ビーム 26 b と同一として扱う。入射ビーム 26 a には、レンズ 28、32、36 及び 44 を通過することによって生じる色収差及び球面収差のミラー 42 による補整（オーバー補整）と、イメージの反転とを除いて実質的な変化が起こることはない。

【0064】

ミラー 42 によって、第 1 の偏向磁場 40 の中心部 38 には、イオンソース 24 の実際の但し反転したイメージが（レンズ 44 の影響の如何を問わず）生成され、それにより、図 4 及び図 5 で詳述するように、反射ビーム 26 b は左方向に偏向され、コリメータレンズ 46 を通ってビーム偏向機構 48 内に導入される。偏向されたビーム 26 b は、第 2 の磁気及び電磁素子の幾何学的な中心部 52 に再度焦点される。前記第 2 の磁気及び電磁素子は、高度に制御されたスムーズな高電流電源装置を必要とするため、静電素子よりお大きな空間が必要になり、装置が著しく大型化し技術的なコストが大きくなる。

【0065】

しかしながら、電磁レンズ及び偏向器を用いても本発明の範疇を逸脱するものではない。

【0066】

反射ビーム 26 b は、円筒対称形の偏向磁場 40 の幾何学的な中心 38 に焦点される。次いで、反射ビーム 26 b は、ビーム偏向器 48 に入射する以前にレンズ 46 によって平行にされ、その後、レンズ 50 によって偏向磁場 54 の幾何学的な中心 52 に焦点される。次いで、ビーム 26 b は、所望の方向、例えば個々の集積回路のダイや大型ウエハなどの任意の種類の装置としうるターゲット 62 に指向される。

【0067】

リレーレンズアセンブリ 45 によって、ビーム 26 b は偏向磁場 40 及び 54 のそれぞれの幾何学的な中心 38 及び 52 に焦点される。第 2 の偏向磁場 54 は結合磁場であって、イオンビーム 26 b を電子ビーム 66 b と後に詳述するような好ましい態様で結合する。

【0068】

ビーム 26 b は、第 2 の偏向磁場 54 を通過することによって左方向に偏向され、共通の開口絞り 60 を有する焦点レンズ 56 及び 58 を通じて導入される。開口絞り 60、並びにレンズ 56 及び 58 は、以下で詳述するように、テレセントリックストップと一般に称される好適な結合ビーム焦点システム 58 を構成する。ビーム 26 b は、ビーム 66 b と同軸上に結合し、レンズ 56 及び 58 によって好ましくはターゲット 62 に垂直に導入され、焦点される。ターゲット 62 上では、ビーム中のイオンを所望の位置に蒸着される。

【0069】

本発明の好ましい態様においては、電子ビーム 66 を制御し、配列し、操作し、修正するための第 2 のビーム形成操作機構を含む。説明を明確にすべく、読み出しビーム 66（図 1 A - 図 1 F 並びに図 2 A - 図 2 D でビーム E とされているもの）は、ミラー 68 に向けられる以前は入射ビーム 66 a として記載し、ミラー 68 で反射された後は反射ビーム 66 b として記載される。入射ビーム 66 a は、好ましくは公知のポイントソースである。

、例えば電界放出カソードや熱イオン電界エミッタなどの電子ソース 6 4 から射出される。入射ビーム 6 6 a はレンズ 7 0 により平行にされて第 3 の偏向磁場 7 4 の幾何学的な中心部 7 2 に焦点される。

【 0 0 7 0 】

次いで、このビーム 6 6 は右方向に偏向されて第 2 の静電ミラー 6 8 中に導入される。ミラー 6 8 は、色収差及び球面収差を大きく補整するために凹面状に形成することができる。反射ビーム 6 6 b は、ミラー 6 8 によって第 3 の偏向磁場 7 4 の幾何学的な中心部 7 2 に焦点され、再度右方向に偏向されて好適な偏向焦点機構 7 6 内に導入される。この偏向焦点機構 7 6 は、後に図 4 及び図 5 と関連づけて詳細に説明するように、コリメータレンズ 7 8 及び 8 0、偏向板 8 2 を有している。レンズ 7 8 は、第 3 の偏向磁場 7 4 の幾何学的な中心部 7 2 に対して焦点が定められている。

【 0 0 7 1 】

また、レンズ 8 0 は、第 2 の偏向磁場 5 4 の幾何学的な中心部 5 2 に焦点が定められている。ビーム 6 6 b は、偏向磁場 5 4 によって右方向に偏向され、イオンビーム 2 6 b と同軸上に存在するようになり、ターゲット 6 2 上に垂直に焦点されて入射される。

【 0 0 7 2 】

偏向磁場 4 0、5 4、及び 7 4 は、好ましくはビーム 2 6 a、2 6 b、6 6 a 及び 6 6 b を 6 3 . 5 度偏向させるように設計する。

【 0 0 7 3 】

反射ビーム 6 6 b は、円筒対称形の偏向磁場 7 4 の幾何学的な中心部 7 2 に焦点される。次いで、反射ビーム 6 6 b は、レンズ 7 8 で平行にされた後、ビーム偏向器 8 2 中を通過し、次いで、レンズ 8 0 によって偏向磁場 5 4 の幾何学的な中心部 5 2 上に焦点される。ビーム 6 6 b は、ビーム 2 6 b と同軸上に結合し、所望する方向、例えばターゲット 6 2 へ導かれる。

【 0 0 7 4 】

図 4 は、リレーレンズ機構 4 5 及び 7 6 の好ましい態様を詳細に示すものである。双方ともに同一の構造を有するが、明確化のために個別に説明する。リレーレンズ 4 5 はビーム偏向器 4 8 を含んでいる。これによって、ビーム 2 6 b はビーム 6 6 b と独立に焦点されるとともに操作され、ターゲット 6 2 上に  $\mu\text{m}$  オーダの精度で位置決めして前述したような機能を達成することができる。

【 0 0 7 5 】

反射ビーム 2 6 b は、円筒形の対称偏向磁場 4 0 の幾何学的な中心部 3 8 に焦点される。次いで、レンズ 4 6 によって平行にされた後、ビーム偏向器 4 8 を通過し、次いで、レンズ 5 0 によって偏向磁場 5 4 の幾何学的な中心部 5 2 に焦点される。そして、ビーム 2 6 b はビーム 2 6 b と同軸上で結合され、所望の方向、例えば、図 3 のターゲット 6 2 へ導かれる。

【 0 0 7 6 】

反射ビーム 6 6 b は、円筒形の対称偏向磁場 7 4 の幾何学的な中心部 7 2 に焦点される。次いで、レンズ 7 8 によって平行にされた後、ビーム偏向器 8 2 を通過し、次いで、レンズ 8 0 によって偏向磁場 5 4 の幾何学的な中心部 5 2 に焦点される。そして、ビーム 6 6 b はビーム 2 6 b と同軸上で結合され、所望の方向、例えば、図 3 のターゲット 6 2 へ導かれる。

【 0 0 7 7 】

合成リレーレンズ機構 4 5 は、ビーム 2 6 b がこのリレーレンズ機構 4 5 を通過する際にこれを平行なものとしながら、このビーム 2 6 b を偏向磁場 4 0 及び 5 4 のそれぞれの幾何学的な中心部 3 8 及び 5 2 に焦点しうことは当業者にとって当然に理解できることである。リレーレンズ機構 7 6 は、ビーム 6 6 b が偏向構造体 8 2 を通過する際にこれを平行なものとしながら、このビーム 6 6 を偏向磁場 7 4 及び 5 4 のそれぞれの幾何学的な中心部 7 2 及び 5 2 に焦点させることができる。

【 0 0 7 8 】

リレーレンズ機構 4 5 及び 7 6 を組合わせることで、これらが共通の偏向磁場を有するようにすることになり、所望に応じて荷電粒子ビームを同軸上で結合させて他の部分に記載した所定の機能を実現しうるが、このことは他の方法ではなし得ないものである。図 1 A - 1 F で示したように、これらのビームが同一の極性の電荷を有するか反対の極性の電荷を有するかは問題ではない。同様に、同一の方向に進行するか異なる方向に進行するかについても問題ではない。

【 0 0 7 9 】

図 4 は、リレーレンズ機構 4 5 及び 7 6 の好ましい態様におけるビーム偏向器 4 8 及び 8 2 の位置を開示している。ビーム 2 6 b 及び 6 6 b はビームを偏向させる必要のない場合で平行にされている。前記リレーレンズ機構は、参照数字 3 8 で示される位置において物点を有し、参照数字 5 4 で示される位置において像点を有する単純なレンズで置き換えることができる。図 4 に示すリレーレンズ機構の好ましい態様において、各偏向磁場はビームを 6 3 . 5 度偏向させ、合計で 1 2 7 度偏向させる。

【 0 0 8 0 】

図 5 A - 5 C は、図 3 及び図 4 に示したビーム偏向器 4 8 及び 8 2 をより詳細に示したものである。このような構成を採ることによって、モニタリングビームと蒸着ビームとを別々に偏向させることができる。ビーム偏向器 4 8 及び 8 2 は同一の構成を有するので、図 5 A - 5 C における説明によって双方の偏向器の構成を説明することになる。なお、説明は必要に応じて図 5 A - 5 C の各図面を用いて適宜に行なわれる。

【 0 0 8 1 】

図 5 A 及び図 5 B に示す絶縁性ハウジング 8 2 は、図 5 A 及び図 5 B において線図的に示すような、均質な電気抵抗性の矩形状の 4 つの偏向板 8 8 a - 8 8 d の 2 つの組 8 4 及び 8 6 を保持する。これらは、互いに離角されて、図 5 A に示すように、四角形状又は矩形状のトンネル 9 2 を形成する。

【 0 0 8 2 】

偏向板 8 8 a - 8 8 d は、図 5 A 及び図 5 C に示すように、導電性の接触体 9 0 a - 9 0 d によって 4 つの角部において結合されている。接触体 9 0 a - 9 0 d は、それらの 2 面において 2 つの偏向板 8 8 a - 8 8 d と結合している。例えば、接触体 9 0 a は一面において偏向板 8 8 a と結合し、隣接した面において偏向板 8 8 d と結合している。また、接触体 9 0 b は一面において偏向板 8 8 a と結合し、隣接した面において偏向板 8 8 b と結合している。偏向板 8 8 a - 8 8 d 及び接触体 9 0 a - 9 0 d によって形成された構造によって、図 5 A に示すように、双方の端部から見て四角形のトンネルが形成される。

【 0 0 8 3 】

2 組の偏向器 8 4 及び 8 6 は端面同士が結合されているが電気的には絶縁されている。これらの偏向器は当業者において公知の技術手段を用いることによって、前記偏向板によって形成されたトンネル 9 2 内に均一な電氣的偏向場を形成できるように、所定の制御系及び電源に接続される。

【 0 0 8 4 】

前述したような構造は、その特異な構造に依存して数々の利点を有する。前述した偏光器内を横断する荷電粒子ビームは、2 回対称である電場内を通過することになる。この電場は、前記荷電粒子ビームを歪めたり、又はビーム内に収差を加えたりすることはない。さらに、前記荷電粒子ビームが通過する部分において電場が直線的になるように、前記電場は偏光板のエッジ部分において直線になっている。その結果、直線的なビーム偏向 / 電圧が得られ、正確なビーム制御が可能になる。最終的に、抵抗性の偏向板は、付着した分散電子及びイオンを消散させ、この結果、再現性を得るために必要な偏向環境における浮遊電荷が除去される。

【 0 0 8 5 】

偏向板 8 8 a - 8 8 c には、制御回路を簡単化するためにトンネル 9 2 の中心部が接地電位となるような電圧を印加してもよいし、或いは他の任意の電位となるような電圧を印加してもよい。得られた均一な電場を用いて、荷電粒子ビームに実質的に直線の偏向を生

じさせることができる。偏向板の２つの組 ８４及び ８６を用いて、ビームの偏向の中心を必要とする任意の点に固定することができる。

【 ０ ０ ８ ６ 】

さらに、上述したような偏向電圧に加えて、前記荷電粒子ビームに対して４重極モーメントを付加するための電圧を印加することもできる。このためには、平均垂直分極電位を、水平偏向電極のものより正又は負の電位になるようにする。これによって、荷電粒子ビームの異なる部分が異なる平均電圧、つまり異なる速度で偏向器内を横断し、偏向方向におけるビームが集束するため、いわゆる偏向収差を補償することができる。このような補償を行う場合、他の種の偏向器における別個の構成で実現する必要がある。

【 ０ ０ ８ ７ 】

例えば先に図 ３と関連させて述べたように、２以上の荷電粒子ビームをシステム中の同一点で結合させる場合において、個々の分離した荷電粒子ビームを独立して同時に偏向させるのであれば、先に図 ４と関連させて述べたように偏向器を結合磁場の前、すなわち「上流」に設ける必要がある。

【 ０ ０ ８ ８ 】

図 ６は、前述したような、互いに異なる電荷／質量比を有する２つの別個の荷電粒子ビーム ２６ｂ及び ６６ｂを結合させるための円筒対称形の偏向磁場 ５４と、ターゲット ６２の共通点において荷電粒子ビーム ２６ｂ及び ６６ｂを同軸ビーム ６１として焦点させるための２つの別個の静電レンズ ５６及び ５８との空間的な配置 ５４を示すものである。

【 ０ ０ ８ ９ 】

３つの電極と本例ではレンズ ５６及び ５８とした静電レンズ（アインゼル（Einzel）レンズとも称される）により、正電荷若しくは負電荷のイオン又は電子が当該レンズ ５６及び ５８のそれぞれの中心電極 ５７及び ５９に焦点される。これらレンズ ５６及び ５８のそれぞれの中心電極 ５７及び ５９に印加して、所定のエネルギーを有する電子とこれと異なるエネルギーを有する正電荷イオンとを同一面上の同一点に焦点させうる特定の電圧が存在することはこれまで知られていなかった。

【 ０ ０ ９ ０ 】

好ましい態様においては、電子ビーム及びイオンビームを同一のレンズを用いて同時に焦点させる。その結果、同一のエネルギーを有する全てのイオンビームが同様に焦点されるので、任意の種類のイオンを電子ビームとともに用いることができる。さらに、前述したように、これらのビームは同一の結果を得るためにレンズを通じて同じ方向に進行させる必要がない。

【 ０ ０ ９ １ 】

さらに、実際の操作においてはユニポテンシャルレンズに限られず、加速静電レンズ又は減速静電レンズの多くも同じ特性を呈する。これらのレンズは、任意の数の電極を有することができるとともに、これらの電極は任意の形状を有することができる。これにより、図 ６に示したようなテレセントリックストップとともに複合レンズを用いることもできるようになる。

【 ０ ０ ９ ２ 】

例えば、図 ６に示す光学系は、２つの静電レンズから構成することができる。各静電レンズは互いに異なる電荷／質量比及び互いに異なるエネルギーを有する２つの荷電粒子ビームを焦点させる特徴がある。ユニポテンシャルレンズ ５６及び ５８は、偏向磁場 ５４の幾何学的な中心部 ５２から出射された、１５ｋＶの電子からなるビーム ２６ｂと、５ｋＶの正電荷ガリウムイオンからなるビーム ６６ｂとを同時にイメージ化させ、テレセントリック開口絞り ６０を通る同軸ビーム ２６ｂ＋６６ｂに結合する。

【 ０ ０ ９ ３ 】

双方のビームに対して同一のレンズ強度を付与するために、テレセントリック開口絞り ６０を通過するビーム ２６ｂ＋６６ｂに対して負電圧が印加される。双方のビームに対して同一のレンズ強度を付与するために、－１０．５ｋＶの負電圧がレンズ ５６及び ５８のそれぞれの中心電極 ５７及び ５９に印加され、同軸ビームの ２６ｂ＋６６ｂの正電荷成分



及び負電荷成分が等しい強度になる。この電圧は、ビーム 26b が有する電圧 - 15 kV の 70 % に相当し、ビーム 66b が有する電圧の - 210 % に相当する。

【0094】

前述したレンズは、イオンビームに対してはいわゆる加速モードとして作用し、電子ビームに対しては減速モードとして作用し、その結果、同軸ビーム 26b + 66b の 2 成分に対して同一のレンズ強度が付与される（静電レンズは、一般的に加速モードにおいては減速モードにおけるよりも強度が減少する）。

【0095】

レンズ 58 は、結合された同軸平行ビーム 26b + 66b を絞り 60 から受光し、イオンビーム 26b 及び電子ビーム 66b の一致したイメージをターゲット面 62 上に同時に生成する。絞り 60 を、レンズ 58 の焦点面上に配置すれば、図 6 に示す光学系は、ターゲット面 62 に垂直（実質的に垂直）な電子ビーム 66b 及びイオンビーム 26b を走査させたい場合に、これらビームを独立に制御することができる。図 4 に示すような偏向光学形態を用いることによって、他の面倒な収差を防止することができる。

【0096】

また、このような構造は、図 1A に示すような円筒対称形の結合磁場と組み合わせて用いることもできる。前記磁場は、荷電粒子ビームを荷電 / 質量比の平方根に比例した角度で偏向させるので、それぞれ反対符号の荷電 / 質量比を有する 2 つの荷電粒子ビームのみならず、それぞれ同符号の荷電 / 質量比を有する 2 以上の荷電粒子ビームを結合させるのにも用いることができる。

【0097】

大きさが異なるが符号が同じ荷電 / 質量比を有する一致ビームは、これらビームのエネルギーが同じである限り、その後に関した任意の静電レンズによって同じ様に焦点される。2 以上の結合磁石を縦続接続させることにより、複数のイオンをターゲット面に供給することができる。これは、複数種の元素を同時に蒸着するのが望ましい合金の蒸着処理に有効である。

【0098】

また、円筒形結合磁石は、正電荷イオン及び負電荷イオンを結合させて単一のビームを形成する際に用いることができ、このことは、絶縁体や所定の薬品を製造する際に重要となることがある。

【0099】

ターゲットから出射される荷電粒子ビームは変化させることができる。例えば、粒子を、反射ビーム及び / 又は粒子、2 次電子、2 次イオンなどとすることができる。

【0100】

(1) 両方向におけるビームの通過と焦点とを同時に行なうためのレンズ、及び (2) 結合と分離とを同時に行ないうる円筒形磁石の双方を用いることができる。イオンビームが所定の表面上に蒸着されている際、これと同時に電子ビームによってその蒸着過程を探索する。処理から追い出された電子及びイオンの双方は、前記レンズ及び前記磁石を通過して戻り分離され、その結果、これら粒子を個々に検出することができるようになる。これは、個々の原子又は分子の配列、モニタリング、及び操作する際に有用であるとともに、解析する際にも有用である。

【0101】

図 7 は、2 つの静電レンズ X 及び Y と、円筒対称形の偏向磁場 Z と、及び静電ミラー M とを互いの角度が 90 度となるように配置した状態を示す図である。静電レンズ X 及び Y 並びに静電ミラー M の軸線は、偏向磁場 Z の幾何学的な中心部 O を通っており、これら 3 つの素子を通過するビームも中心部 O に焦点される。この結果、小さいスペースにおいて、図 3 に示すようなシステムを製造することができる。静電ミラー M は外部焦点 O を有するように付勢されており、さらに前記システム中のレンズ X 及び Y、さらにはその他のレンズによってビーム 26b + 66b に生成された球面収差及び色収差を、反対符号のオーバー補整された球面収差及び色収差をビームに導入することにより、解消するようになっ

ている。

【0102】

この場合は、単一の偏向磁場 $Z$ のみが使用されるので、総ての軸線は共通の面内に存在するようになり、図3に示す場合よりも経済的で物理的にコンパクトにすることができる。好ましい角度は90度であるが、必要に応じてその他の角度に設定することもできる。

【0103】

次に、先にも提案したように、適当な条件下においては、分子的及び原子的ディメンションの作業を行なうことができる。次に示す議論によって、可能な解像度レベルに対する指針が与えられる。

【0104】

イオンビーム及び電子ビームに対して球面収差及び色収差が完全に補整された状態において、2kVの電子エネルギーは0.27の電子波長を生ずる。収差補整電子光学系における、このような電子ビームの理論的解析限界は、100mradの開口角に対しては1.67であり、10mradの開口角に対しては16.7である。

【0105】

本発明者らによって先に実施された公表の実験結果によれば、35mradの開口角からの電子ビームを完全に補整することができた。また、後に実施された非公表の実験結果によれば、所定の状況下において、100mradの開口角からのビームを完全に補整することができた。8kVの電子ビームは、上述した値の半分のレベルの解像度を有する。

【0106】

イオン波長は電子波長よりもはるかに短いので、比較的小さいビームエネルギーを用いることによって、原子レベルの解像度を得ることができる。例えば、330eVのガリウムイオンは0.002の波長を有するので、10mradの開口角に対しては0.12の解像度が得られる。300eV以下のイオンビームを用いた場合は、相当な確率でターゲット、例えば基板に付着し、最も小さい原子に対してその0.1倍の解像度を得ることができる。この場合、イオンによるサブ原子的な置換が可能となり、いわゆる“デザイナー”分子を形成することができる。

【0107】

本発明の装置は、イオンなどの単一の原子を基板上に蒸着し、電子流によって前記原子を移動させると同時にその過程を同時に観察する場合に用いることができる。また、本発明の装置は、化合物の表面を化学的にマッピングするための、スパッタリングなどに用いることもできる。

【0108】

さらに、図3において言及したように、その焦点機能及び偏向機能によれば、イオンビーム26a及び26bを用いて、分子レベルの大きさのあるいは単一イオンを堆積させると同時に、電子ビーム66a及び66bを用いて、堆積されているものをスキャンし読み出すことができる。

【0109】

さらに、電子ビームは、分子レベルの大きさの堆積物を侵食して所望の形状にするために、及び/又は単一のイオン堆積物を得るために用いることができる。

【0110】

書き込みビーム及び読み出しビームにおける色収差及び球面収差を補整することによって、個々の集積半導体デバイスの大きさを数桁程度縮小することができ、集積回路の密度及び又は速度を大幅に増大させることができる。

【0111】

ナノエレクトロニクス分野においては、微小なデバイスを製造する方法及びそのようなデバイスの評価するための装置が存在しないことが、研究開発及びその進歩を阻害する要因となっていた。図3に線図的に示され、これと関係付けて説明したシステムを用いることによって、nmオーダの大きさの電子回路をその構成材料から直接的に作製することができる。

## 【 0 1 1 2 】

導電線路は、リソグラフィなどの技術を用いることなく、直接的に蒸着によって形成することができる。絶縁体は、基板上に形成されたシリコン膜から必要な箇所に成長させて、その後、酸素イオンビームを用いて酸化物に転換することができる。ダイレクトドープは、所定の位置にイオンを直接に打ち込むことにより、又は所望の表面上にイオンを蒸着させて指向性の電子ビームによりイオンを「打ち込む」すなわち溶解させることによって行なうことができる。【 0 1 1 3 】

ここで述べたように、回路又は装置を作製するに際して必要とされる材料のみを蒸着するので、半導体電子デバイスの製造に際して、有害かつ無駄な副生成物の発生を抑制することができ、製造処理が著しく改善される。したがって、このような副生成物をエッチングしたり溶解したりする工程は殆ど又は全く行われぬ。

## 【 0 1 1 4 】

デバイスや材料は、前述したようなシステムを用いて完成させることができる。所定の回路が完成したら、接続を確立して前記システム内で製造した機器の端子に電力を供給して試験を行い、その場でその回路を評価することができる。試験中において診断モードにある回路のイメージ化は、例えば、ミラーモードの低エネルギー電子ビーム又はイオンビームを用いて行なうことができる。前記回路の修正は、イオンビームを用いてその場で行なうことができる。最終的に要求の満たされた回路特性及び形態が得られたら、ステップ・アンド・リピート工程によって、自動的かつ無限に再生産を行うことができる。

## 【 0 1 1 5 】

ナノデバイスの評価及び製造を行なうに際しては、ある工程から次の工程へ移る際の整列が著しい障害となる。これは、同軸上に存在する光軸に沿って読み出しと書き込みとを同時に行なうことによって克服される。これによって、サブ原子の精度をもって不明確なアレイの構造をスティッチすることができる。図 3 及びこれと関連して説明された同時読み出し / 書き込みシステムによれば、あらゆる種類のデバイスを自動で作製することができる。

## 【 0 1 1 6 】

整列や記録を自動的に制御するので、磁場を結合させることにより、サイズや構成に制限されずにデバイスを製造することができる。分子サイズのデバイスは、生物、医薬、機械、環境、化学、物理、及び電子分野において注目されている。

## 【 0 1 1 7 】

デバイスの大きさはある範囲を超えて縮小されれば、デバイスの連続的な製造が可能となるばかりでなく、平行生産と比較して経済的にも望ましくなることはあまり知られていない。液体金属及びガスイオンソースは極めて有用であって、これらソースからのビームにおいて球面収差及び色収差が補整された場合においては、ナノデバイスを経済的に作製するのに必要十分な流れが得られる。

## 【 0 1 1 8 】

前述したように解像度を改善することに加えて、好適例では、収差が補整されたビームを操作しうることを利用して、ビームの開口角を増大させて、ビームの流れ及びスループットを増大させる。この特徴は、走査型電子顕微鏡、透過型電子顕微鏡、光電子放出顕微鏡、低エネルギー放出顕微鏡、その他の分析機器の速度及び解像度を増大させるのに用いる。また、これにより、光学リソグラフィマスクの作製及び補修についても利点が得られる。

## 【 0 1 1 9 】

上述した明細書中に記載された用語や表現は、何ら限定されるものではなく、これらの使用において特別な意図はない。そして、本発明の範疇はクレームにおいて規定され限定されており、これと均等なものを排除するものでもない。

## 【 図面の簡単な説明 】

【 図 1 A 】 荷電粒子と磁場との相互作用を示す線図である。

【 図 1 B 】 荷電粒子と磁場との相互作用を示す線図である。

- 【図 1 C】 荷電粒子と磁場との相互作用を示す線図である。
- 【図 1 D】 荷電粒子と磁場との相互作用を示す線図である。
- 【図 1 E】 荷電粒子と磁場との相互作用を示す線図である。
- 【図 1 F】 荷電粒子と磁場との相互作用を示す線図である。
- 【図 2 A】 磁場とミラーとの幾何学的な配置を簡略化して示す線図である。
- 【図 2 B】 図 2 A の荷電粒子の線路を示す線図である。
- 【図 2 C】 図 2 B に示す荷電粒子線路において、127 度以下のものを示す線図である。
- 【図 2 D】 図 2 B に示す荷電粒子線路において、127 度以上のものを示す線図である。
- 【図 3】 ターゲット上へイオン材料を蒸着し、蒸着されたイオン材料を電子ビームによって検知するシステムを簡略化して示す線図である。
- 【図 4】 図 3 で示すシステムで用いられる、“読み出し”ビームと“書き込み”ビームとをそれぞれ分離して偏向されるリレーレンズを簡略化して示す線図である。
- 【図 5】 図 3 で示すシステムで用いられる、ビーム偏向器を簡略化して示す線図である。
- 【図 6】 2 つの静電ミラー、磁場及びミラーの集約した空間配置を示す図である。
- 【図 7】 分離した荷電粒子ビームを結合させるための磁場と、ターゲット上へビームを焦点させるための 2 つのレンズとを示す図である。
- 【図 8】 ビームと静電場又は磁場との相互作用を示す図である。
- 【図 9】 多重ビームと相互作用する一般的な磁場及び / 又は電場を示す図である。