

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-126476

(P2017-126476A)

(43) 公開日 平成29年7月20日(2017.7.20)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 J 37/141 (2006.01)	HO 1 J 37/141	Z 2 G 0 0 1
GO 1 N 23/225 (2006.01)	GO 1 N 23/225	3 1 0 4 M 1 0 6
HO 1 J 37/29 (2006.01)	HO 1 J 37/29	5 C 0 3 3
HO 1 L 21/66 (2006.01)	HO 1 J 37/141	A
	HO 1 L 21/66	J

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 30 頁)

(21) 出願番号 特願2016-4875 (P2016-4875)
 (22) 出願日 平成28年1月14日 (2016.1.14)

(出願人による申告) 「平成27年度、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「次世代半導体微細加工・評価基盤技術の開発(超低電力デバイスプロジェクト) / E U Vマスク検査・レジスト材料技術開発」委託研究、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願」

(71) 出願人 000000239
 株式会社荏原製作所
 東京都大田区羽田旭町11番1号
 (74) 代理人 230104019
 弁護士 大野 聖二
 (74) 代理人 230112025
 弁護士 小林 英了
 (74) 代理人 230117802
 弁護士 大野 浩之
 (74) 代理人 100106840
 弁理士 森田 耕司
 (74) 代理人 100131451
 弁理士 津田 理
 (74) 代理人 100167933
 弁理士 松野 知絃

最終頁に続く

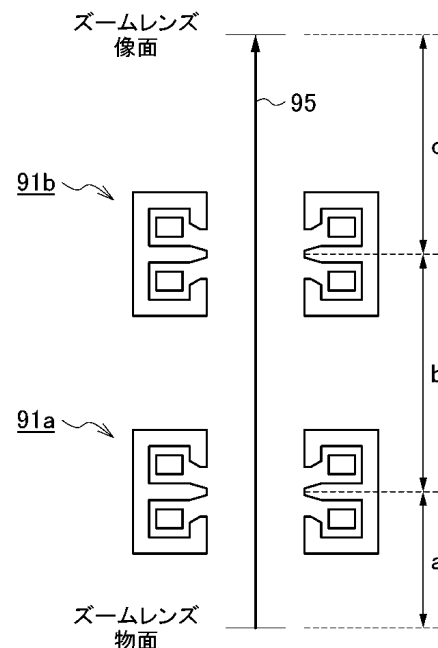
(54) 【発明の名称】 ズームレンズ及び検査装置

(57) 【要約】

【課題】 設計が容易なズームレンズ及びそのようなズームレンズを用いた検査装置を提供する。

【解決手段】 電子ビームの進行方向に沿って配置された第1ダブルギャップレンズ(91a)及び第2ダブルギャップレンズ(91b)を備え、そのそれぞれが、前記電子ビームの進路の周囲に巻回された第1コイルと、前記電子ビームの進路の周囲に巻回された第2コイルと、前記第1コイル及び前記第2コイルの一部を覆うように配置され、前記第1コイルに対応する第1ギャップと、前記第2コイルに対応する第2ギャップと、が設けられた磁路と、を有し、電子ビームによる像を拡大又は縮小するズームレンズが提供される。

【選択図】 図12



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電子ビームの進行方向に沿って配置された第 1 ダブルギャップレンズ及び第 2 ダブルギャップレンズを備え、そのそれぞれが、

前記電子ビームの進路の周囲に巻回された第 1 コイルと、

前記電子ビームの進路の周囲に巻回された第 2 コイルと、

前記第 1 コイル及び前記第 2 コイルの一部を覆うように配置され、前記第 1 コイルに対応する第 1 ギャップと、前記第 2 コイルに対応する第 2 ギャップと、が設けられた磁路と、を有し、

電子ビームによる像を拡大又は縮小するズームレンズ。

10

【請求項 2】

前記第 1 ダブルギャップレンズ及び前記第 2 ダブルギャップレンズによって、倍率調整及びフォーカス調整を行う、請求項 1 に記載のズームレンズ。

【請求項 3】

当該ズームレンズの物面から射出した電子ビームの開角と、当該ズームレンズの像面に結像した電子ビームの開角と、の比に応じて倍率が定まる、請求項 1 又は 2 に記載のズームレンズ。

【請求項 4】

当該ズームレンズの物面と前記第 1 ダブルギャップレンズの中心との距離、前記第 1 ダブルギャップレンズの中心と前記第 2 ダブルギャップレンズの中心との距離、及び、前記第 2 ダブルギャップレンズの中心と当該ズームレンズの物面との距離に応じて倍率が定まる、請求項 1 又は 2 に記載のズームレンズ。

20

【請求項 5】

前記第 1 ダブルギャップレンズは当該ズームレンズの物面側にあり、

前記第 2 ダブルギャップレンズは当該ズームレンズの像面側にあり、

当該ズームレンズは、電子ビームによる像を拡大し、

前記第 2 ダブルギャップレンズの中心と当該ズームレンズの物面との距離は、当該ズームレンズの物面と前記第 1 ダブルギャップレンズの中心との距離より大きい、請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載のズームレンズ。

【請求項 6】

前記第 1 ダブルギャップレンズは当該ズームレンズの物面側にあり、

前記第 2 ダブルギャップレンズは当該ズームレンズの像面側にあり、

当該ズームレンズは、電子ビームによる像を縮小し、

前記第 2 ダブルギャップレンズの中心と当該ズームレンズの物面との距離は、当該ズームレンズの物面と前記第 1 ダブルギャップレンズの中心との距離より小さい、請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載のズームレンズ。

30

【請求項 7】

前記第 1 ダブルギャップレンズにおける前記第 1 コイル及び前記第 2 コイル、並びに、前記第 1 ダブルギャップレンズにおける前記第 1 コイル及び前記第 2 コイルに流す電流に応じてフォーカス位置が定まる、請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載のズームレンズ。

40

【請求項 8】

前記電子ビームの進行方向に沿った磁場の積分値が略 0 である、請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載のズームレンズ。

【請求項 9】

前記電子ビームが前記第 1 ダブルギャップレンズ及び前記第 2 ダブルギャップレンズのそれぞれを通過しても、前記電子ビームによる像が回転しない、請求項 1 乃至 8 のいずれかに記載のズームレンズ。

【請求項 10】

前記第 1 コイルにおけるアンペアターンは、前記第 2 コイルにおけるアンペアターンと等しい、請求項 1 乃至 9 のいずれかに記載のズームレンズ。

50

【請求項 1 1】

前記第 1 コイルと第 2 コイルは分離されており、
前記第 1 コイルの巻回方向は前記第 2 コイルの巻回方向と等しく、
前記第 1 コイル及び前記第 2 コイルには、それぞれ第 1 電源及び第 2 電源から逆方向の電流が供給される、請求項 1 0 に記載のズームレンズ。

【請求項 1 2】

前記第 1 コイルの終端が前記第 2 コイルの始端と接続されており、
前記第 1 コイルの巻回方向は前記第 2 コイルの巻回方向と逆方向であり、
前記第 1 コイル及び前記第 2 コイルには、共通の電源から電流が供給される、請求項 1 0 に記載のズームレンズ。

10

【請求項 1 3】

試料を載置して連続的に移動するステージ装置と、
一次ビームを前記試料に対して照射することで前記試料から発生した二次ビームの像を生成する二次元センサを含む検出器と、
電極を含み、前記ステージ装置の移動に同期して、前記ステージ装置の移動によって前記試料が移動している間に、前記試料の同じ部分から発生した二次ビームが前記二次元センサの同じ部分に入射するように、前記電極に電界を発生させることで前記二次ビームを偏向する偏向器と、
前記二次ビームの進路に設けられた、請求項 1 乃至 1 2 のいずれかに記載のズームレンズと、を備える検査装置。

20

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、検査対象の表面に形成されたパターンの欠陥等を検査する検査装置及び検査装置に好適なズームレンズに関する。

【背景技術】**【0002】**

従来の半導体検査装置は、100nm デザインルールに対応した装置と技術であった。しかし、検査対象の試料は、ウエハ、露光用マスク、EUV マスク、NIL (ナノインプリントリソグラフィ) マスク及び基板と多様化しており、現在は試料が5~30nm のデザインルールに対応した装置及び技術が求められている。すなわち、パターンにおけるL/S (ライン/スペース) 又はhp (ハーフピッチ) のノードが5~30nm の世代に対する対応が求められている。このような試料を検査装置で検査する場合、高分解能を得ることが必要になる。

30

【0003】

ここで試料とは、露光用マスク、EUV マスク、ナノインプリント用マスク (及びテンプレート)、半導体ウエハ、光学素子用基板、光回路用基板等である。これらは、パターンを有するものとパターンがないものとがある。パターンが有るものは、凹凸のあるものとなないものとがある。凹凸のないパターンは、異なった材料によるパターン形成がなされている。パターンがないものには、酸化膜がコーティングされているものと、酸化膜がコーティングされていないものとがある。

40

【0004】

従来の半導体検査装置として、ステージの連続的な移動に伴う試料の移動と偏向手段による二次ビームの軌道の偏向とを同期させて制御することで、二次元CCDセンサ上で二次ビームの像を停止させ、その同期期間中に試料の同じ検出領域の像を二次元CCDセンサの同じ個所に投影させるようにした電子像追従式の電子光学装置を用いた電子線検査装置が知られている (例えば、特許文献1参照)。

【先行技術文献】**【特許文献】****【0005】**

50

【特許文献1】特許第4332922号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

二次元CCDセンサ上に像を得る際、像を拡大又は縮小させる必要がある場合がある。その場合、二次ビームの進路中にズームレンズが設けられる。ズームレンズの構成によっては、適切な設計が困難な場合がある。

【0007】

本発明は、以上のような問題点に着目し、これを有効に解決すべく創案されたものである。本発明の目的は、設計が容易なズームレンズ及びそのようなズームレンズを用いた検査装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の一態様によれば、電子ビームの進行方向に沿って配置された第1ダブルギャップレンズ及び第2ダブルギャップレンズを備え、そのそれぞれが、前記電子ビームの進路の周囲に巻回された第1コイルと、前記電子ビームの進路の周囲に巻回された第2コイルと、前記第1コイル及び前記第2コイルの一部を覆うように配置され、前記第1コイルに対応する第1ギャップと、前記第2コイルに対応する第2ギャップと、が設けられた磁路と、を有し、電子ビームによる像を拡大又は縮小するズームレンズが提供される。

ダブルギャップレンズを用いることで像の回転を防止できるため、回転補正用のレンズを設けなくてもよい。その結果、2段のダブルギャップレンズでズームレンズを構成でき、設計が容易となる。

【0009】

前記第1ダブルギャップレンズ及び前記第2ダブルギャップレンズによって、倍率調整及びフォーカス調整を行うのが望ましい。

2段のダブルギャップレンズで倍率調整及びフォーカス調整を行うことができる。

【0010】

当該ズームレンズの物面から射出した電子ビームの開角と、当該ズームレンズの像面に結像した電子ビームの開角と、の比に応じて倍率が定まるようにしてもよい。

また、当該ズームレンズの物面と前記第1ダブルギャップレンズの中心との距離、前記第1ダブルギャップレンズの中心と前記第2ダブルギャップレンズの中心との距離、及び、前記第2ダブルギャップレンズの中心と当該ズームレンズの物面との距離に応じて倍率が定まるようにしてもよい。

これらの構成により、倍率を適切に設計できる。

【0011】

望ましくは、前記第1ダブルギャップレンズは当該ズームレンズの物面側にあり、前記第2ダブルギャップレンズは当該ズームレンズの像面側にあり、当該ズームレンズは、電子ビームによる像を拡大し、前記第2ダブルギャップレンズの中心と当該ズームレンズの物面との距離は、当該ズームレンズの物面と前記第1ダブルギャップレンズの中心との距離より大きい。

この構成により、ズームレンズを好適に拡大系とすることができる。

【0012】

また、望ましくは、前記第1ダブルギャップレンズは当該ズームレンズの物面側にあり、前記第2ダブルギャップレンズは当該ズームレンズの像面側にあり、当該ズームレンズは、電子ビームによる像を縮小し、前記第2ダブルギャップレンズの中心と当該ズームレンズの物面との距離は、当該ズームレンズの物面と前記第1ダブルギャップレンズの中心との距離より小さい。

この構成により、ズームレンズを好適に縮小系とすることができる。

【0013】

前記第1ダブルギャップレンズにおける前記第1コイル及び前記第2コイル、並びに、

10

20

30

40

50

前記第 1 ダブルギャップレンズにおける前記第 1 コイル及び前記第 2 コイルに流す電流に応じてフォーカス位置が定まるようにしてもよい。

この構成により、フォーカス位置を適切に設計できる。

【0014】

前記電子ビームの進行方向に沿った磁場の積分値が略 0 であるのが望ましい。

前記電子ビームが前記第 1 ダブルギャップレンズ及び前記第 2 ダブルギャップレンズのそれぞれを通過しても、前記電子ビームによる像が回転しないのが望ましい。

これにより、像の回転角度が 0 となり、回転補正用のレンズが不要となる。

【0015】

望ましくは、前記第 1 コイルにおけるアンペアターンは、前記第 2 コイルにおけるアンペアターンと等しい。

一例として、前記第 1 コイルと第 2 コイルは分離されており、前記第 1 コイルの巻回方向は前記第 2 コイルの巻回方向と等しく、前記第 1 コイル及び前記第 2 コイルには、それぞれ第 1 電源及び第 2 電源から逆方向の電流が供給されてもよい。

別の例として、前記第 1 コイルの終端が前記第 2 コイルの始端と接続されており、前記第 1 コイルの巻回方向は前記第 2 コイルの巻回方向と逆方向であり、前記第 1 コイル及び前記第 2 コイルには、共通の電源から電流が供給されてもよい。

これらの構成により、磁場の積分値が 0 となり、結果として像の回転角度が 0 となる。

【0016】

本発明の別の態様によれば、試料を載置して連続的に移動するステージ装置と、一次ビームを前記試料に対して照射することで前記試料から発生した二次ビームの像を生成する二次元センサを含む検出器と、電極を含み、前記ステージ装置の移動に同期して、前記ステージ装置の移動によって前記試料が移動している間に、前記試料の同じ部分から発生した二次ビームが前記二次元センサの同じ部分に入射するように、前記電極に電界を発生させることで前記二次ビームを偏向する偏向器と、前記二次ビームの進路に設けられた、上記のズームレンズと、を備える検査装置が提供される。

【発明の効果】

【0017】

本発明によれば、像の回転を抑えることができるダブルギャップレンズを用いたズームレンズが提供される。そのため、回転補正を行うためのレンズが不要となり、ズームレンズの構成が簡略され、設計が容易となる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図 1】本発明の一実施形態に係る検査装置の主要構成要素を示す立面図である。

【図 2】図 1 に示す検査装置の主要構成要素の平面図であって、図 1 の線 B - B に沿って見た図である。

【図 3】本発明の一実施形態に係る電子光学装置の構成を示す図である。

【図 4】図 3 に示す電子光学装置におけるビーム経路を説明するための図である。

【図 5】(a) 本発明の一実施形態に係る二次ビームが試料の移動に追従するように二次ビームを偏向する高速偏向器の動作を説明する図である。(b) 本発明の一実施形態に係る照射領域と視野領域との関係を示す図である。(c) 本発明の一実施形態に係る照射領域と視野領域との関係を示す図である。

【図 6】本発明の一実施形態に係る高速偏向器と結像レンズと中間電極との組み合わせユニットの構成を示す図である。

【図 7】本発明の一実施形態に係るシミュレーション装置の動作を示すフロー図である。

【図 8】ダブルギャップレンズ 9 1 の断面を模式的に示す図である。

【図 9】二次ビームの進路 9 5 に沿った方向の磁場 B の分布を模式的に示す図である。

【図 10】ダブルギャップレンズ 9 1 の具体的な構成例を示す図である。

【図 11】ダブルギャップレンズ 9 1 の具体的な構成の別の例を示す図である。

【図 12】2 つのダブルギャップレンズ 9 1 a , 9 1 b を用いたズームレンズ 7 1 の断面

10

20

30

40

50

を模式的に示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下、本発明の実施の形態の検査装置について、図面を参照しながら説明する。なお、以下に説明する実施の形態は、本発明を実施する場合の一例を示すものであって、本発明を以下に説明する具体的構成に限定するものではない。本発明の実施にあたっては、実施の形態に応じた具体的構成が適宜採用されてよい。

【0020】

図1及び図2において、本実施形態による検査装置1の主要構成要素が立面及び平面で示されている。

【0021】

本実施形態による検査装置1は、複数枚の試料を収納したカセットを保持するカセットホルダ10と、ミニエンパイロメント装置20と、ワーキングチャンバを画成する主ハウジング30と、ミニエンパイロメント装置20と主ハウジング30との間に配置されていて、二つのローディングチャンバを画成するローダハウジング40と、試料をカセットホルダ10から主ハウジング30内に配置されたステージ装置50上に装填するローダ60と、主ハウジング30に取り付けられた電子光学装置70と、光学顕微鏡3000と、走査型電子顕微鏡(SEM)3002と、を備え、それらは図1及び図2に示されるような位置関係で配置されている。検査装置1は、更に、真空の主ハウジング30内に配置されたプレチャージユニット81と、試料に電位を印加する電位印加機構と、電子ビームキャリアレーション機構と、ステージ装置50上での試料の位置決めを行うためのアライメント制御装置87を構成する光学顕微鏡871と、を備えている。

【0022】

ここで試料とは、露光用マスク、EUVマスク、ナノインプリント用マスク(及びテンプレート)、半導体ウエハ、光学素子用基板、光回路用基板等である。これらは、パターンを有するものとパターンがないものとがある。パターンが有るものは、凹凸のあるものとないものとがある。凹凸のないパターンは、異なった材料によるパターン形成がなされている。パターンがないものには、酸化膜がコーティングされているものと、酸化膜がコーティングされていないものとがある。

【0023】

<カセットホルダ>

カセットホルダ10は、複数枚(例えば25枚)の試料が上下方向に平行に並べられた状態で収納されたカセットc(例えば、アシスト社製のSMIF、FOUPのようなクロードカセット)を複数個(この実施形態では2個)保持するようになっている。このカセットホルダとしては、カセットをロボット等により搬送してきて自動的にカセットホルダ10に装填する場合にはそれに適した構造のものを、また人手により装填する場合にはそれに適したオープンカセット構造のものをそれぞれ任意に選択して設置できるようになっている。カセットホルダ10は、この実施形態では、自動的にカセットcが装填される形式であり、例えば昇降テーブル11と、その昇降テーブル11を上下移動させる昇降機構12とを備え、カセットcは昇降テーブル上に図2で鎖線図示の状態ですべて自動的にセット可能になっていて、セット後、図2で実線図示の状態に自動的に回転されてミニエンパイロメント装置20内の第1の搬送ユニット61の回動軸線に向けられる。また、昇降テーブル11は図1で鎖線図示の状態に降下される。このように、自動的に装填する場合に使用するカセットホルダ、或いは人手により装填する場合に使用するカセットホルダはいずれも公知の構造のものを適宜使用すればよいので、その構造及び機能の詳細な説明は省略する。

【0024】

なお、カセットc内に収納される試料は、検査を受ける試料であり、そのような検査は、半導体製造工程中で試料を処理するプロセスの後、若しくはプロセスの途中で行われる。具体的には、成膜工程、CMP、イオン注入等を受けた試料、表面にパターンが形成さ

10

20

30

40

50

れた試料、又はパターンが未だに形成されていない試料が、カセット内に収納される。カセットc内に收容される試料は多数枚上下方向に隔ててかつ平行に並べて配置されているため、任意の位置の試料を第1の搬送ユニット61で保持できるように、第1の搬送ユニット61のアーム612を上下移動できるようになっている。

【0025】

<ミニエンバイロメント装置>

図1及び図2において、ミニエンバイロメント装置20は、雰囲気制御されるようになっているミニエンバイロメント空間21を画成するハウジング22と、ミニエンバイロメント空間21内で清浄空気のような気体を循環して雰囲気制御するための気体循環装置23と、ミニエンバイロメント空間21内に供給された空気の一部を回収して排出する排出装置24と、ミニエンバイロメント空間21内に配設されていて検査対象としての試料を粗位置決めするプリアライナ25とを備えている。

10

【0026】

ハウジング22は、頂壁221、底壁222及び四周を囲む周壁223を有し、ミニエンバイロメント空間21を外部から遮断する構造になっている。ミニエンバイロメント空間を雰囲気制御するために、気体循環装置23は、ミニエンバイロメント空間21において、頂壁221に取り付けられていて、気体（この実施形態では空気）を清浄にして一つ又はそれ以上の気体吹き出し口（図示せず）を通して清浄空気を真下に向かって層流状に流す気体供給ユニット231と、ミニエンバイロメント空間21内において底壁222の上に配置されていて、底に向かって流れ下った空気を回収する回収ダクト232と、回収ダクト232と気体供給ユニット231とを接続して回収された空気を気体供給ユニット231に戻す導管233とを備えている。この実施形態では、気体供給ユニット231は供給する空気の約20%をハウジング22の外部から取り入れて清浄にするようになっているが、この外部から取り入れられる気体の割合は任意に選択可能である。気体供給ユニット231は、清浄空気をつくりだすための公知の構造のHEPA若しくはULPAフィルタを備えている。清浄空気の層流状の下方向の流れすなわちダウンフローは、主に、ミニエンバイロメント空間21内に配置された第1の搬送ユニット61による搬送面を通して流れるように供給され、搬送ユニットにより発生する虞のある塵埃が試料に付着するのを防止するようになっている。したがって、ダウンフローの噴出口は必ずしも図示のように頂壁に近い位置である必要はなく、搬送ユニットによる搬送面より上側にあればよい。また、ミニエンバイロメント空間全面に亘って流す必要もない。なお、場合によっては、清浄空気としてイオン風を使用することによって清浄度を確保することができる。また、ミニエンバイロメント空間内には清浄度を観察するためのセンサを設け、清浄度が悪化したときに装置をシャットダウンすることもできる。ハウジング22の周壁223のうちカセットホルダ10に隣接する部分には出入り口225が形成されている。出入り口225近傍には公知の構造のシャッタ装置を設けて出入り口225をミニエンバイロメント装置側から閉じるようにしてもよい。試料近傍でつくる層流のダウンフローは、例えば0.3ないし0.4 m/secの流速でよい。気体供給ユニットはミニエンバイロメント空間21内でなくその外側に設けてもよい。

20

30

【0027】

排出装置24は、第1の搬送ユニット61の試料搬送面より下側の位置で第1の搬送ユニット61の下部に配置された吸入ダクト241と、ハウジング22の外側に配置されたブLOWER（図示せず）と、吸入ダクト241とブLOWERとを接続する導管（図示せず）とを備えている。この排出装置24は、第1の搬送ユニット61の周囲を流れ下り、第1の搬送ユニット61により発生する可能性のある塵埃を含んだ気体を、吸入ダクト241により吸引し、導管及びブLOWERを介してハウジング22の外側に排出する。この場合、ハウジング22の近くに引かれた排気管（図示せず）内に排出してもよい。

40

【0028】

ミニエンバイロメント空間21内に配置されたプリアライナ25は、試料に形成されたオリエンテーションフラット（円形の試料の外周に形成された平坦部分を言い、以下にお

50

いてオリフラと呼ぶ)や、試料の外周縁に形成された一つ又はそれ以上のV型の切欠きすなわちノッチを光学的に或いは機械的に検出して試料の軸線O-Oの周りの回転方向の位置を約±1度の精度で予め位置決めしておくようになっている。プリアライナ25は検査対象の座標を決める機構の一部を構成し、検査対象の粗位置決めを担当する。このプリアライナ25自体は公知の構造のものでよいので、その構造、動作の説明は省略する。

【0029】

なお、図示しないが、プリアライナ25の下部にも排出装置用の回収ダクトを設けて、プリアライナ25から排出された塵埃を含んだ空気を外部に排出するようにしてもよい。

【0030】

<主ハウジング>

図1及び図2において、ワーキングチャンバ31を画成する主ハウジング30は、ハウジング本体32を備え、そのハウジング本体32は、台フレーム36上に配置された振動遮断装置すなわち防振装置37の上に載せられたハウジング支持装置33によって支持されている。ハウジング支持装置33は矩形に組まれたフレーム構造体331を備えている。ハウジング本体32はフレーム構造体331上に配設固定されていて、フレーム構造体上に載せられた底壁321と、頂壁322と、底壁321及び頂壁322に接続されて四周を囲む周壁323とを備えていてワーキングチャンバ31を外部から隔離している。底壁321は、この実施形態では、上に載置されるステージ装置50等の機器による加重で歪みの発生しないように比較的肉厚の厚い鋼板で構成されているが、その他の構造にしてもよい。この実施形態において、ハウジング本体32及びハウジング支持装置33は、剛構造に組み立てられていて、台フレーム36が設置されている床からの振動がこの剛構造に伝達されるのを防振装置37で阻止するようになっている。ハウジング本体32の周壁323のうち後述するローダハウジングに隣接する周壁には試料出し入れ用の出入り口325が形成されている。

【0031】

なお、防振装置37は、空気バネ、磁気軸受け等を有するアクティブ式のものでも、或いはこれらを有するパッシブ式のものでもよい。いずれも公知の構造のものでよいので、それ自体の構造及び機能の説明は省略する。ワーキングチャンバ31は公知の構造の真空装置(図示せず)により真空雰囲気中に保たれるようになっている。台フレーム36の下には装置全体の動作を制御する制御装置2が配置されている。

【0032】

<ローダハウジング>

図1及び図2において、ローダハウジング40は、第1のローディングチャンバ41と第2のローディングチャンバ42とを画成するハウジング本体43を備えている。ハウジング本体43は底壁431と、頂壁432と、四周を囲む周壁433と、第1のローディングチャンバ41と第2のローディングチャンバ42とを仕切る仕切壁434とを有していて、両ローディングチャンバを外部から隔離できるようになっている。仕切壁434には両ローディングチャンバ間で試料のやり取りを行うための開口すなわち出入り口435が形成されている。また、周壁433のミニエンパイロメント装置及び主ハウジングに隣接した部分には出入り口436及び437が形成されている。このローダハウジング40のハウジング本体43は、ハウジング支持装置33のフレーム構造体331上に載置されてそれによって支持されている。したがって、このローダハウジング40にも床の振動が伝達されないようになっている。ローダハウジング40の出入り口436とミニエンパイロメント装置20のハウジング22の出入り口226とは整合されていて、そこにはミニエンパイロメント空間21と第1のローディングチャンバ41との連通を選択的に阻止するシャッタ装置27が設けられている。シャッタ装置27は、出入り口226及び436の周囲を囲んで周壁433と密に接触して固定されたシール材271、シール材271と協働して出入り口を介しての空気の流通を阻止する扉272と、その扉を動かす駆動装置273とを有している。また、ローダハウジング40の出入り口437とハウジング本体32の出入り口325とは整合されていて、そこには第2のローディングチャンバ42と

10

20

30

40

50

ワーキングチャンバ 3 1 との連通を選択的に密封阻止するシャッタ装置 4 5 が設けられている。シャッタ装置 4 5 は、出入り口 4 3 7 及び 3 2 5 の周囲を囲んで周壁 4 3 3 及び 3 2 3 と密に接触してそれらに固定されたシール材 4 5 1、シール材 4 5 1 と協働して出入り口を介しての空気の流通を阻止する扉 4 5 2 と、その扉を動かす駆動装置 4 5 3 とを有している。更に、仕切壁 4 3 4 に形成された開口には、扉 4 6 1 によりそれを閉じて第 1 及び第 2 のローディングチャンバ間の連通を選択的に密封阻止するシャッタ装置 4 6 が設けられている。これらのシャッタ装置 2 7、4 5 及び 4 6 は、閉じ状態にあるとき各チャンバを気密シールできるようになっている。これらのシャッタ装置は公知のものでよいので、その構造及び動作の詳細な説明は省略する。なお、ミニエンバイロメント装置 2 0 のハウジング 2 2 の支持方法とローダハウジングの支持方法が異なり、ミニエンバイロメント装置 2 0 を介して床からの振動がローダハウジング 4 0、主ハウジング 3 0 に伝達されるのを防止するために、ハウジング 2 2 とローダハウジング 4 0 との間には出入り口の周囲を気密に囲むように防振用のクッション材を配置しておけばよい。

10

20

30

40

50

【0033】

第 1 のローディングチャンバ 4 1 内には、複数（本実施形態では 2 枚）の試料を上下に隔てて水平の状態に支持するサンプルラック 4 7 が配設されている。サンプルラック 4 7 は、矩形の基板 4 7 1 の四隅に互いに隔てて直立状態で固定された支柱を備え、各支柱 4 7 2 にはそれぞれ 2 段の支持部が形成され、その支持部の上に試料 W の周縁を載せて保持するようになっている。そして後述する第 1 及び第 2 の搬送ユニットのアームの先端を隣接する支柱間から試料に接近させてアームにより試料を把持するようになっている。

【0034】

ローディングチャンバ 4 1 及び 4 2 は、図示しない真空ポンプを含む公知の構造の真空排気装置（図示せず）によって高真空状態（真空度としては $10^{-5} \sim 10^{-6} \text{ Pa}$ ）に雰囲気制御され得るようになっている。この場合、第 1 のローディングチャンバ 4 1 を低真空チャンバとして低真空雰囲気に保ち、第 2 のローディングチャンバ 4 2 を高真空チャンバとして高真空雰囲気に保ち、試料の汚染防止を効果的に行うこともできる。このような構造を採用することによってローディングチャンバ 4 1 及び 4 2 内に収容されていて次に欠陥検査される試料をワーキングチャンバ 3 1 内に遅滞なく搬送することができる。このようなローディングチャンバ 4 1 及び 4 2 を採用することによって、欠陥検査のスループットを向上させ、更に保管状態が高真空状態であることを要求されるレーザ光源周辺の真空度を可能な限り高真空状態にすることができる。

【0035】

第 1 及び第 2 のローディングチャンバ 4 1 及び 4 2 には、それぞれ真空排気配管と不活性ガス（例えば乾燥純窒素）用のベント配管（それぞれ図示せず）が接続されている。これによって、各ローディングチャンバ内の大気圧状態は不活性ガスベント（不活性ガスを注入して不活性ガス以外の酸素ガス等が表面に付着するのを防止する）によって達成される。このような不活性ガスベントを行う装置自体は公知の構造のものでよいので、その詳細な説明は省略する。

【0036】

<ステージ装置>

ステージ装置 5 0 は、主ハウジング 3 0 の底壁 3 2 1 上に配置された固定テーブル 5 1 と、固定テーブル上で Y 方向（図 1 において紙面に垂直の方向）に移動する Y テーブル 5 2 と、Y テーブル上で X 方向（図 1 において左右方向）に移動する X テーブル 5 3 と、X テーブル上で回転可能な回転テーブル 5 4 と、回転テーブル 5 4 上に配置されたホルダ 5 5 とを備えている。そのホルダ 5 5 の試料載置面 5 5 1 上に試料を解放可能に保持する。ホルダは、試料を機械的に或いは静電チャック方式で解放可能に把持できる公知の構造のものでよい。ステージ装置 5 0 は、サーボモータ、エンコーダ及び各種のセンサ（図示せず）を用いて、上記のような複数のテーブルを動作させることにより、載置面 5 5 1 上でホルダに保持された試料を電子光学装置 7 0 から照射される電子ビームに対して X 方向、Y 方向及び Z 方向（図 1 において上下方向）に、更に試料の支持面に鉛直な軸線の回り方

向（ 方向）に高い精度で位置決めできるようになっている。なお、Z方向の位置決めは、例えばホルダ上の載置面の位置をZ方向に微調整可能にしておけばよい。この場合、載置面の基準位置を微細径レーザによる位置測定装置（干渉計の原理を使用したレーザ干渉測距装置）によって検知し、その位置を図示しないフィードバック回路によって制御したり、それと共に或いはそれに代えて試料のノッチ或いはオリフラの位置を測定して試料の電子ビームに対する平面位置、回転位置を検知し、回転テーブルを微小角度制御可能なステッピングモータなどにより回転させて制御したりする。ワーキングチャンバ内での塵埃の発生を極力防止するために、ステージ装置50用のサーボモータ521、531及びエンコーダ522、532は、主ハウジング30の外側に配置されている。なお、ステージ装置50は、例えばステッパー等で使用されている公知の構造のものでよいので、その構造及び動作の詳細な説明は省略する。また、上記レーザ干渉測距装置も公知の構造のものでよいので、その構造、動作の詳細な説明は省略する。

10

20

30

40

50

【0037】

電子ビームに対する試料の回転位置やX、Y位置を後述する信号検出系或いは画像処理系に予め入力することで、検査の際に得られる試料の回転位置やX、Y位置を示す信号の基準化を図ることもできる。更に、このホルダに設けられた試料チャック機構は、試料をチャックするための電圧を静電チャックの電極に与えられるようになっていて、試料の外周部の3点（好ましくは周方向に等隔に隔てられた）を押さえて位置決めするようになっている。試料チャック機構は、二つの固定位置決めピンと、一つの押圧式クランプピンとを備えている。クランプピンは、自動チャック及び自動リリースを実現できるようになっており、かつ電圧印加の導通箇所を構成している。

【0038】

なお、この実施形態では図2で左右方向に移動するテーブルをXテーブルとし、上下方向に移動するテーブルをYテーブルとしたが、同図で左右方向に移動するテーブルをYテーブルとし、上下方向に移動するテーブルをXテーブルとしてもよい。

【0039】

<ローダー>

ローダー60は、ミニエンバイロメント装置20のハウジング22内に配置されたロボット式の第1の搬送ユニット61と、第2のローディングチャンバ42内に配置されたロボット式の第2の搬送ユニット63とを備えている。

【0040】

第1の搬送ユニット61は、駆動部611に関して軸線 $O_1 - O_1$ の回りで回転可能になっている多節のアーム612を有している。多節のアームとしては任意の構造のものを使用できるが、この実施形態では、互いに回動可能に取り付けられた三つの部分を有している。第1の搬送ユニット61のアーム612の一つの部分すなわち最も駆動部611側の第1の部分は、駆動部611内に設けられた公知の構造の駆動機構（図示せず）により回転可能な軸613に取り付けられている。アーム612は、軸613により軸線 $O_1 - O_1$ の回りで回動できると共に、部分間の相対回転により全体として軸線 $O_1 - O_1$ に関して半径方向に伸縮可能になっている。アーム612の軸613から最も離れた第3の部分の先端には、公知の構造の機械式チャック又は静電チャック等の試料を把持する把持装置616が設けられている。駆動部611は、公知の構造の昇降機構615により上下方向に移動可能になっている。

【0041】

この第1の搬送ユニット61は、アーム612がカセットホルダ10に保持された二つのカセットcの内いずれか一方の方向M1又はM2に向かってアームが伸び、カセットc内に収容された試料をアームの上に乗せ、或いはアームの先端に取り付けたチャック（図示せず）により把持して取り出す。その後アームが縮み（図2に示すような状態）、アームがプリアライナ25の方向M3に向かって伸長できる位置まで回転してその位置で停止する。するとアーム612が再び伸びてアーム612に保持された試料をプリアライナ25に載せる。プリアライナ25から前記と逆にして試料を受け取った後は、アーム612

は更に回転し第2のローディングチャンバ41に向かって伸長できる位置(向きM4)で停止し、第2のローディングチャンバ41内のサンプルラック47に試料を受け渡す。なお、機械的に試料を把持する場合には試料の周縁部(周縁から約5mmの範囲)を把持する。これは試料には周縁部を除いて全面にデバイス(回路配線)が形成されており、この部分を把持するとデバイスの破壊、欠陥の発生を生じさせるからである。

【0042】

第2の搬送ユニット63も第1の搬送ユニット61と構造が基本的に同じであり、試料の搬送をサンプルラック47とステージ装置50の載置面上との間で行う点でのみ相違するだけであるから、詳細な説明は省略する。

【0043】

上記ローダー60では、第1及び第2の搬送ユニット61及び63は、カセットホルダ10に保持されたカセットからワーキングチャンバ31内に配置されたステージ装置50上への及びその逆の試料の搬送をほぼ水平状態に保ったままで行い、搬送ユニットのアームが上下動するのは、単に、試料のカセットからの取り出し及びそれへの挿入、試料のサンプルラックへの載置及びそこから取り出し、及び、試料のステージ装置50への載置及びそこから取り出しのときだけである。したがって、大型の試料、例えば直径30cmや45cmの試料の移動もスムーズに行うことができる。

【0044】

< 試料の搬送 >

次にカセットホルダ10に支持されたカセットcからワーキングチャンバ31内に配置されたステージ装置50までへの試料の搬送について、順を追って説明する。

【0045】

カセットホルダ10は、上述したように人手によりカセットをセットする場合にはそれに適した構造のものが、また自動的にカセットをセットする場合にはそれに適した構造のものが使用される。この実施形態において、カセットcがカセットホルダ10の昇降テーブル11の上にセットされると、昇降テーブル11は昇降機構12によって降下されカセットcが出入り口225に整合される。

【0046】

カセットが出入り口225に整合されると、カセットcに設けられたカバー(図示せず)が開き、また、カセットcとミニエンパイロメントの出入り口225との間には筒状の覆いが配置されてカセットc内及びミニエンパイロメント空間21内を外部から遮断する。これらの構造は公知のものであるから、その構造及び動作の詳細な説明は省略する。なお、ミニエンパイロメント装置20側に出入り口225を開閉するシャッタ装置が設けられている場合にはそのシャッタ装置が動作して出入り口225を開く。

【0047】

一方、第1の搬送ユニット61のアーム612は方向M1又はM2のいずれかに向いた状態(この説明ではM2の方向)で停止しており、出入り口225が開くとアームが伸びて先端でカセット内に収容されている試料のうち1枚を受け取る。なお、アーム612と、カセットcから取り出されるべき試料との上下方向の位置調整は、この実施形態では第1の搬送ユニット61の駆動部611及びアーム612の上下移動で行うが、カセットホルダ10の昇降テーブル11の上下動で行ってもよいし、或いはその両者を行ってもよい。

【0048】

アーム612による試料の受け取りが完了すると、アーム612は縮み、シャッタ装置を動作して出入り口を閉じ(シャッタ装置がある場合)、次にアーム612は軸線 $O_1 - O_1$ の回りで回動して方向M3に向けて伸長できる状態になる。すると、アーム612は伸びて、先端に載せられ或いはチャックで把持された試料をプリアライナ25の上に載せ、プリアライナ25によって試料の回転方向の向き(試料表面に垂直な中心軸線の回りの向き)を所定の範囲内に位置決めする。位置決めが完了すると第1の搬送ユニット61はアーム612の先端にプリアライナ25から試料を受け取った後、アーム612を縮ませ

10

20

30

40

50

、方向M4に向けてアーム612を伸長できる姿勢になる。するとシャッタ装置27の扉272が動いて出入り口226及び436を開き、アーム612が伸びて試料を第1のローディングチャンバ41内のサンプルラック47の上段側又は下段側に載せる。なお、前記のようにシャッタ装置27が開いてサンプルラック47に試料が受け渡される前に、仕切壁434に形成された開口435はシャッタ装置46の扉461により気密状態で閉じられている。

【0049】

第1の搬送ユニット61による試料の搬送過程において、ミニエンバイロメント装置20のハウジング22の上に設けられた気体供給ユニット231からは清浄空気が層流状に流れ（ダウンフローとして）、搬送途中で塵埃が試料の上面に付着するのを防止する。搬送ユニット61周辺の空気の一部（この実施形態では供給ユニットから供給される空気の約20%で主に汚れた空気）は排出装置24の吸入ダクト241から吸引されてハウジング外に排出される。残りの空気はハウジング22の底部に設けられた回収ダクト232を介して回収され再び気体供給ユニット231に戻される。

10

【0050】

ローダハウジング40の第1のローディングチャンバ41内のサンプルラック47内に第1の搬送ユニット61により試料が載せられると、シャッタ装置27が閉じて、ローディングチャンバ41内を密閉する。すると、第1のローディングチャンバ41内には不活性ガスが充填されて空気が追い出された後、その不活性ガスも排出されてそのローディングチャンバ41内は真空雰囲気になる。この第1のローディングチャンバ41の真空雰囲気は低真空度でよい。ローディングチャンバ41内の真空度がある程度得られると、シャッタ装置46が動作して扉461で密閉していた出入り口435を開き、第2の搬送ユニット63のアーム632が伸びて先端の把持装置でサンプルラック47から1枚の試料を受け取る（先端の上に載せて或いは先端に取り付けられたチャックで把持して）。試料の受け取りが完了するとアーム632が縮み、シャッタ装置46が再び動作して扉461で出入り口435を閉じる。なお、シャッタ装置46が開く前にアーム632は予めサンプルラック47の方向N1に向けて伸長できる姿勢になる。また、前記のようにシャッタ装置46が開く前にシャッタ装置45の扉452で出入り口437、325を閉じていて、第2のローディングチャンバ42内とワーキングチャンバ31内との連通を気密状態で阻止しており、第2のローディングチャンバ42内は真空排気される。

20

30

【0051】

シャッタ装置46が出入り口435を閉じると、第2のローディングチャンバ42内は再度真空排気され、第1のローディングチャンバ41内よりも高真空度で真空にされる。その間に、第2の搬送ユニット63のアーム632はワーキングチャンバ31内のステージ装置50の方向に向いて伸長できる位置に回転される。一方ワーキングチャンバ31内のステージ装置50では、Yテーブル52が、Xテーブル53の中心線 $X_0 - X_0$ が第2の搬送ユニット63の回動軸線 $O_2 - O_2$ を通るX軸線 $X_1 - X_1$ とほぼ一致する位置まで、図2で上方に移動し、また、Xテーブル53は図2で最も左側の位置に接近する位置まで移動し、この状態で待機している。第2のローディングチャンバ42がワーキングチャンバ31の真空状態と略同じになると、シャッタ装置45の扉452が動いて出入り口437、325を開き、アーム632が伸びて試料を保持したアーム632の先端がワーキングチャンバ31内のステージ装置50に接近する。そしてステージ装置50の載置面551上に試料を載置する。試料の載置が完了するとアーム632が縮み、シャッタ装置45が出入り口437、325を閉じる。

40

【0052】

以上は、カセットc内の試料をステージ装置50上に搬送するまでの動作について説明したが、ステージ装置50に載せられて処理が完了した試料をステージ装置50からカセットc内に戻すには前述と逆の動作を行う。また、サンプルラック47に複数の試料を載置しておくため、第2の搬送ユニット63でサンプルラック47とステージ装置50との間で試料の搬送を行う間に、第1の搬送ユニット61でカセットcとサンプルラック47

50

との間で試料の搬送を行うことができ、検査処理を効率良く行うことができる。

【0053】

具体的には、サンプルラック47に、既に処理済の試料Aと未処理の試料Bがある場合、(1)まず、ステージ装置50に未処理の試料Bを移動し、処理を開始し、(2)この処理中に、処理済試料Aを、アーム632によりステージ装置50からサンプルラック47に移動し、未処理の試料Cを同じくアーム632によりサンプルラック47から抜き出し、プリアライナ25で位置決めした後、ローディングチャンバ41のサンプルラック47に移動する。このようにすることで、サンプルラック47の中は、試料Bを処理中に、処理済の試料Aが未処理の試料Cに置き換えることができる。

【0054】

また、検査や評価を行うこのような装置の利用の仕方によっては、ステージ装置50を複数台並列に置き、それぞれの装置に一つのサンプルラック47から試料を移動することで、複数枚の試料を同時処理することもできる。

【0055】

上記の実施形態によれば、次のような効果を奏することが可能である。

(A)電子線を用いた写像投影方式の検査装置の全体構成が得られ、高いスループットで検査対象を処理することができる。

(B)ミニエンバイロメント空間内で検査対象に清浄気体を流して塵埃の付着を防止すると共に清浄度を観察するセンサを設けることによりその空間内の塵埃を監視しながら検査対象の検査を行うことができる。

(C)ローディングチャンバ及びワーキングチャンバを、一体的に振動防止装置を介して支持したので、外部の環境に影響されずにステージ装置50への検査対象の供給及び検査を行うことができる。

【0056】

<電子光学装置>

図3は、電子光学装置70の構成を示す図である。図4は、電子光学装置70におけるビーム経路を説明するための図である。電子光学装置70の検査対象(試料)は、試料Wである。試料Wは、シリコンウエハ、ガラスマスク、半導体基板、半導体パターン基板、又は、金属膜を有する基板等である。本実施の形態に係る電子線検査装置は、これらの基板からなる試料Wの表面上の異物の存在を検出する。異物は、絶縁物、導電物、半導体材料、又はこれらの複合体等である。異物の種類は、パーティクル、洗浄残物(有機物)、表面での反応生成物等である。

【0057】

図3及び図4に示すように、電子光学装置70は、電子ビームを生成する1次光学系72と、試料Wからの2次放出電子又はミラー電子の拡大像を結像させる2次光学系74と、それらの電子を検出する検出器761と、検出器761からの信号を処理する画像処理部763と、を備えている。

【0058】

1次光学系72は、電子ビームを生成し、試料Wに向けて照射する構成である。1次光学系72は、電子銃721と、レンズ722、725と、アパーチャ723、724と、E×Bフィルタ726と、レンズ727、729、730と、アパーチャ728と、を有している。電子銃721は、レーザ光源7211と光電面カソード7212とを有しており、電子銃721により電子ビームが生成される。レンズ722、725及びアパーチャ723、724は、電子ビームを整形するとともに、電子ビームの方向を制御する。そして、E×Bフィルタ726にて、電子ビームは、磁界と電界によるローレンツ力とクーロン力の影響を受ける。電子ビームは、斜め方向からE×Bフィルタ726に入射して、鉛直下方向に偏向され、試料Wの方に向かう。レンズ727、729、730は、電子ビームの方向を制御するとともに、適切な減速を行って、ランディングエネルギーLEを調整する。

【0059】

10

20

30

40

50

1次光学系72は、電子ビームを試料Wへ照射する。1次光学系72は、プレチャージの帯電用電子ビームと撮像電子ビームの双方の照射を行う。実験結果では、プレチャージのランディングエネルギーLE1と、撮像電子ビームのランディングエネルギーLE2との差異は、好適には5~20[eV]である。

【0060】

この点に関し、試料Wの表面21上の異物と周囲との電位差があるときに、プレチャージのランディングエネルギーLE1を負帯電領域で照射したとする。LE1の値に応じて、チャージアップ電圧は異なる。LE1とLE2の相対比が変わるからである(LE2は上記のように撮像電子ビームのランディングエネルギーである)。LE1が大きいとチャージアップ電圧が高くなり、これにより、異物の上方の位置(検出器761により近い位置)で反射ポイントが形成される。この反射ポイントの位置に応じて、ミラー電子の軌道と透過率が変化する。したがって、反射ポイントに応じて、最適なチャージアップ電圧条件が決まる。また、LE1が低すぎると、ミラー電子形成の効率が低下する。このLE1とLE2との差異は、望ましくは5~20[eV]である。また、LE1の値は、好ましくは0~40[eV]であり、更に好ましくは5~20[eV]である。

10

【0061】

E×Bフィルタ726の電界と磁界の条件を調整することにより、1次電子ビーム角度を定めることができる。例えば、1次系の照射電子ビームと、2次系の電子ビームとが、試料Wに対して、ほぼ垂直に入射するように、E×Bフィルタ726の条件を設定可能である。更に感度を増大するためには、例えば、試料Wに対する1次系の電子ビームの入射角度を傾けることが効果的である。適当な傾き角は、0.05~10度であり、好ましくは0.1~3度程度である。

20

【0062】

このように、異物に対して所定の角度の傾きを持って電子ビームを照射させることにより、異物からの信号を強くすることができる。これにより、ミラー電子の軌道が2次系光軸中心から外れない条件を形成することができ、したがって、ミラー電子の透過率を高めることができる。したがって、異物をチャージアップさせて、ミラー電子を導くときに、傾いた電子ビームが大変有利に用いられる。

【0063】

ステージ装置50上には試料Wがあり、試料Wの上に異物がある。1次光学系72は、ランディングエネルギーLE-5~-10[eV]で試料Wの表面21に電子ビームを照射する。異物がチャージアップされ、1次光学系72の入射電子が異物に接触せずに跳ね返される。これにより、ミラー電子が2次光学系74により検出器761に導かれる。このとき、2次放出電子は、試料Wの表面21から広がった方向に放出される。そのため、2次放出電子の透過率は、低い値であり、例えば、0.5~4.0%程度である。これに対し、ミラー電子の方向は散乱しないので、ミラー電子は、ほぼ100%の高い透過率を達成できる。ミラー電子は異物で形成される。したがって、異物の信号だけが、高い輝度(電子数が多い状態)を生じさせることができる。周囲の2次放出電子との輝度の差異・割合が大きくなり、高いコントラストを得ることが可能である。

30

【0064】

また、ミラー電子の像は、前述したように、光学倍率よりも大きい倍率で拡大される。拡大率は5~50倍に及ぶ。典型的な条件では、拡大率が20~30倍であることが多い。このとき、ピクセルサイズが異物サイズの3倍以上であっても、異物を検出可能である。したがって、高速・高スループットで実現できる。

40

【0065】

例えば、異物のサイズが直径20[nm]である場合に、ピクセルサイズが60[nm]、100[nm]、500[nm]等であり、この例のように、異物の3倍以上のピクセルサイズを用いて異物の撮像及び検査を行うことが可能となる。このことは、SEM方式等に比べて、高スループット化のために著しく優位な特徴である。

【0066】

50

2次光学系74は、試料Wから反射した電子を、検出器761に導く手段である。2次光学系74は、レンズ740、743と、NAアパーチャ742と、アライナ744と、検出器761と、を有している。電子は、試料Wから反射して、対物レンズ730、レンズ729、アパーチャ728、レンズ727及びE×Bフィルタ726を再度通過する。そして、電子は2次光学系74に導かれる。2次光学系74においては、レンズ740、NAアパーチャ742、レンズ743を通過して電子が集められる。電子はアライナ744で整えられて、検出器761に検出される。

【0067】

NAアパーチャ742は、2次系の透過率・収差を規定する役目を持っている。異物からの信号(ミラー電子等)と周囲(正常部)の信号の差異が大きくなるようにNAアパーチャ742のサイズ及び位置が選択される。あるいは、周囲の信号に対する異物からの信号の割合が大きくなるように、NAアパーチャ742のサイズ及び位置が選択される。これにより、S/Nを高くすることができる。

10

【0068】

例えば、50～3000[μm]の範囲で、NAアパーチャ742が選択可能であるとする。検出される電子には、ミラー電子と2次放出電子が混在しているとする。このような状況でミラー電子像のS/Nを向上するために、アパーチャサイズの選択が有利である。この場合、2次放出電子の透過率を低下させて、ミラー電子の透過率を維持できるようにNAアパーチャ742のサイズを選択することが好適である。

【0069】

例えば、1次電子ビームの入射角度が3°であるとき、ミラー電子の反射角度がほぼ3°である。この場合、ミラー電子の軌道が通過できる程度のNAアパーチャ742のサイズを選択することが好適である。例えば、適当なサイズは250[μm]である。NAアパーチャ(径250[μm])に制限されるために、2次放出電子の透過率は低下する。したがって、ミラー電子像のS/Nを向上することが可能となる。例えば、アパーチャ径を2000から250[μm]にすると、バックグラウンド階調(ノイズレベル)を1/2以下に低減できる。

20

【0070】

異物は、任意の種類で構成されてよく、例えば半導体、絶縁物、金属等がよく、又はそれらが混在してもよい。異物表面には自然酸化膜等が形成されるので、異物は絶縁材料で覆われることになる。よって、異物の材料が金属であっても、酸化膜にてチャージアップが発生する。このチャージアップが本例に好適に利用される。

30

【0071】

検出器761は、2次光学系74により導かれた電子を検出する手段である。検出器761は、二次元センサ7611を含んでいる。二次元センサ7611には、二次元方向に複数の画素が配列されている。

【0072】

二次元センサ7611には、EB(Electron Bombardment)半導体センサを適用することができる。例えば、二次元センサ7611には、EB-CMOSセンサが適用されてよい。EB-CMOSセンサは、電子ビーム(二次ビーム)をそれに直接入射させることができる。したがって、光電変換機構や光伝達機構による分解能の劣化が無く、高いMTF(Modulation Transfer Function)及びコントラストを得ることが可能となる。従来は、小さい異物の検出が不安定であった。これに対して、EB-CMOSを用いると、小さい異物の弱い信号のS/Nを上げることが可能である。したがって、より高い感度を得ることができる。S/Nの向上は1.2～2倍に達する。なお、二次元センサとして、EB-CCDセンサが用いられてもよく、EB-TDIセンサが用いられてもよい。

40

【0073】

また、二次元センサ7611には、CCD(Charge Coupled Device)又はTDI(Time Delay Integration)-CCDが適用さ

50

れてよい。これらは、電子を光に変換してから信号検出を行うセンサである。そのため、光電変換等の手段が必要である。よって、光電変換やシンチレータを用いて、電子が光に変換される。光の像情報は、光を検知するTDIに伝達される。こうして電子が検出される。

【0074】

なお、二次元センサ7611の画素数は、 $2k \times 2k \sim 10k \times 10k$ とすることができる。また、二次元センサ7611のデータレートは、10GPPS以下とすることができる。さらに、二次元センサ7611の画素サイズは $1 \sim 15 \mu m$ とすることができる。

【0075】

画像処理部763は、検出器761で得られた二次ビーム像に対して、ノイズリダクション処理、積算処理、サブピクセルアライメント等の画像処理を行う。この画像処理部763の処理速度は、10GPPS以下とすることができる。

【0076】

電子光学装置70について、さらに説明する。試料Wは、x、y、z、方向に移動可能なステージ装置50に設置される。ステージ装置50と光学顕微鏡871により、高精度のアライメントが行われる。そして、写像投影光学系が電子ビームを用いて試料Wの異物検査及びパターン欠陥検査を行う。ここで、試料Wの表面21の電位が重要である。表面電位を測定するために、真空中で測定可能な表面電位測定装置がメインチャンバ160に取り付けられている。この表面電位測定器が、試料W上の2次元の表面電位分布を測定する。測定結果に基づき、電子像を形成する2次光学系74においてフォーカス制御が行われる。試料Wの2次元的位置のフォーカスマップが、電位分布を元に製作される。このマップを用いて、検査中のフォーカスを変更制御しながら、検査が行われる。これにより、場所による表面電位の変化に起因する像のボケや歪みを減少でき、精度のよい安定した画像取得及び検査を行うことが可能となる。

【0077】

図4に示す例では、2次光学系74は、NAアパーチャ742に入射する電子の検出電流を測定可能に構成され、更に、NAアパーチャ742の位置にEB-CCD745が設置できるように構成されている。このような構成は大変有利であり、効率的である。NAアパーチャ742とEB-CCD745とは、開口747、748を有する一体の保持部材746に設置されている。そして、NAアパーチャ742の電流吸収とEB-CCD745の画像取得を夫々、独立に行える機構を、2次光学系74が備えている。この機構を実現するために、NAアパーチャ742、EB-CCD745は、真空中で動作するX、Yステージ746に設置されている。したがって、NAアパーチャ742及びEB-CCD745についての位置制御及び位置決めが可能である。そして、ステージ746には開口747、748が設けられているので、ミラー電子及び2次放出電子がNAアパーチャ742又はEB-CCD745を通過可能である。

【0078】

このような構成の2次光学系74の動作を説明する。まず、EB-CCD745が、二次電子ビームのスポット形状とその中心位置を検出する。そして、そのスポット形状が円形であって最小になるように、ステイグメーター、レンズ740、743及びアライナ744の電圧調整が行われる。この点に関し、従来は、NAアパーチャ742の位置でのスポット形状及び非点収差の調整を直接行うことはできなかった。このような直接的な調整が本実施の形態では可能となり、非点収差の高精度な補正が可能となる。

【0079】

また、ビームスポットの中心位置が容易に検出可能となる。そこで、ビームスポット位置に、NAアパーチャ742の孔中心を配置するように、NAアパーチャ742の位置調整が可能となる。この点に関し、従来は、NAアパーチャ742の位置の調整を直接行うことができなかった。本実施の形態では、直接的にNAアパーチャ742の位置調整を行うことが可能となる。これにより、NAアパーチャ742の高精度な位置決めが可能となり、電子像の収差が低減し、均一性が向上する。そして、透過率均一性が向上し、分解能

10

20

30

40

50

が高く階調が均一な電子像を取得することが可能となる。

【0080】

また、異物の検査では、異物からのミラー信号を効率よく取得することが重要である。NAアパーチャ742の位置は、信号の透過率と収差を規定するので、大変に重要である。2次放出電子は、試料Wの表面21から広い角度範囲で、コサイン則に従い放出され、NA位置では均一に広い領域(例えば、3[m m])に到達する。したがって、2次放出電子は、NAアパーチャ742の位置に鈍感である。これに対し、ミラー電子の場合、試料Wの表面21での反射角度が、1次電子ビームの入射角度と同程度となる。そのため、ミラー電子は、小さな広がりを示し、小さなビーム径でNAアパーチャ742に到達する。例えば、ミラー電子の広がり領域は、2次放出電子の広がり領域の1/20以下となる。したがって、ミラー電子は、NAアパーチャ742の位置に大変敏感である。NA位置でのミラー電子の広がり領域は、通常、10~100[μ m]の領域となる。よって、ミラー電子強度の最も高い位置を求めて、その求められた位置にNAアパーチャ742の中心位置を配置することが、大変有利である。

10

【0081】

このような適切な位置へのNAアパーチャ742の設置を実現するために、好ましい実施の形態では、NAアパーチャ742が、電子コラムの真空中で、1[μ m]程度の精度で、x、y方向に移動される。NAアパーチャ742を移動させながら、信号強度が計測される。そして、信号強度が最も高い位置が求められ、その求められた座標位置にNAアパーチャ742の中心が設置される。

20

【0082】

信号強度の計測には、EB-CCD745が大変有利に用いられる。これにより、ビームの2次元的情報を知ることができ、検出器761に入射する電子数を求めることができるので、定量的な信号強度の評価が可能となるからである。

【0083】

あるいは、NAアパーチャ742の位置と検出器761の検出面の位置とが共役の関係を実現するように、アパーチャ配置が定められてよく、また、NAアパーチャ742と検出器761の間にあるレンズ743の条件が設定されてよい。この構成も大変有利である。これにより、NAアパーチャ742の位置のビームの像を、検出器761の検出面に結像される。したがって、NAアパーチャ742の位置におけるビームプロファイルを、検出器761を用いて観察することができる。

30

【0084】

また、NAアパーチャ742のNAサイズ(アパーチャ径)も重要である。上述のようにミラー電子の信号領域が小さいので、効果的なNAサイズは、10~200[μ m]程度である。更に、NAサイズは、好ましくは、ビーム径に対して+10~100[%]大きいサイズである。

【0085】

この点に関し、電子の像は、ミラー電子と2次放出電子により形成される。上記のアパーチャサイズの設定により、ミラー電子の割合をより高めることが可能となる。これにより、ミラー電子のコントラストを高めることができ、つまり、異物のコントラストを高めることができる。

40

【0086】

更に詳細に説明すると、アパーチャの孔を小さくすると、アパーチャ面積に反比例して2次放出電子が減少する。そのため、正常部の階調が小さくなる。しかし、ミラー信号は変化せず、異物の階調は変化しない。よって、周囲の階調が低減した分だけ、異物のコントラストを大きくでき、より高いS/Nが得られる。

【0087】

また、x、y方向だけでなく、z軸方向にアパーチャの位置調整を行えるように、アパーチャ等が構成されてよい。この構成も有利である。アパーチャは、ミラー電子が最も絞られる位置に好適に設置される。これによりミラー電子の収差の低減、及び、2次放出電

50

子の削減を、大変効果的に行うことができる。したがって、より高いS/Nを得ることが可能となる。

【0088】

<電子像追従方式>

電子光学装置70について、さらに説明する。図3に示すように、1次光学系72は、一次ビームの経路に沿って、その経路を囲うように設けられた第1の高圧基準管701を備えている。なお、1次光学系72において、エミッション電流は $10\mu\text{A} \sim 10\text{mA}$ とすることができ、透過率は $20 \sim 50\%$ とすることができ、スポットサイズは $1 \sim 1000\mu\text{m}$ とすることができ、照射領域のサイズ(照野サイズ)は $10 \sim 10000\mu\text{m}$ とすることができ、光学系倍率は $1/1 \sim 1/10$ とすることができ、

10

【0089】

2次光学系74における二次ビームの経路の途中には、高速偏向器749が設けられている。具体的には、高速偏向器749は、NAアパーチャ742よりも検出器761側に設けられている。この高速偏向器749は、多極子(本実施の形態では、12極)から構成され、8極子場及び6極子場を生成し、二次ビームを任意の方向に偏向する。この偏向方向(偏向量)は、偏向制御装置90として機能する制御装置2によって制御される。高速偏向器749の構成についてはさらに後述する。なお、高速偏向器749に用いる多極子は、8極、4極等の多極子であってもよい。また、多極子は、6極子場のみを生成するものであっても、8極子場のみを生成するものであってもよい。

20

【0090】

なお、2次光学系74において、倍率は $10 \sim 10000$ 倍とすることができ、二次元センサ7611の1画素で捉える試料のサイズを $3 \sim 100\text{nm}$ ($3 \sim 100\text{nmPx}$)とすることができ、NAアパーチャ742の透過率を $10 \sim 50\%$ とすることができ、欠陥感度を $1 \sim 50\text{nm}$ とすることができ、

【0091】

制御装置2は、上述のように高速偏向器749の偏向方向を制御する偏向制御装置として機能するとともに、電子光学装置70のその他の動作を制御する電子光学制御装置、ステージ装置50を制御するステージ制御装置、試料Wを搬送するための構成を制御する搬送制御装置、二次元センサ7611の撮像を制御する撮像制御装置等としても機能する。特に、本実施の形態では、検査中にステージ装置50によって試料Wが一定速度で移動するが、制御装置2は、ステージ装置50を制御して、この試料Wの移動制御を行う。なお、図3では、図1及び図2における固定テーブル51、Yテーブル52、Xテーブル53及び回転テーブル54の組に符号56を付して示している。

30

【0092】

図5(a)は、二次ビームが試料Wの移動に追従するように二次ビームを偏向する高速偏向器749の動作を説明する図である。図5(a)に示すように、試料Wが右方向に連続的に移動している場合において、高速偏向器749は、試料W上の位置A1からの二次ビームが二次元センサ7611に二次ビーム像を結像するように二次ビームを偏向し、この試料Wが右方向に移動していく間、その移動に伴って、位置A1にあった試料Wの部分の二次ビーム像が常に二次元センサ7611に結像するように、二次ビームの偏向方向を変更する。即ち、高速偏向器749は、二次元センサ7611に二次ビーム像が結像される空間上の絶対位置を、試料Wの移動に追従して移動させる。なお、高速偏向器749の偏向周期は $100\text{kHz} \sim 100\text{MHz}$ とすることができ、

40

【0093】

このような二次ビームの偏向方向の変更(追従)によって、位置A1にあった試料Wの部分が移動によって位置A2の位置に到達するまでの間、二次元センサ7611には、常に、最初に位置A1にあった試料Wの部分からの二次ビームが入射することになり、この期間(一周期)は、二次元センサ7611は試料Wの同じ領域について、二次ビーム像を撮影することになる。位置A1にあった試料Wの部分が位置A2に達すると、高速偏向器749は、視野領域を再び位置A1に戻す。これによって、試料Wの新たな部分の二次ビ

50

ーム像を撮影することができる。二次元センサ7611の視野領域が位置A2から位置A1に戻った後は、同様にして、高速偏向器749によって二次ビームの偏向方向が変更されることによって、試料Wの移動に追従して、二次元センサ7611の視野領域が位置A1から位置A2に向けて移動する。

【0094】

上記のように二次元センサ7611の視野領域は、位置A1と位置A2との間を往復するが、視野領域には常に一次ビームが照射されていなければならない。これを実現するためには、図5(b)に示すように、一次ビームの照射領域EFが、位置A1における視野領域VF1と位置A2における視野領域VF2とをすべてカバーするように一次ビームを試料Wに照射すればよく、すなわち、照射領域EFが視野領域2個分の大きさを有していればよい。この場合には、一次ビームの照射領域EFは常にこの位置に固定しておくことができる。

10

【0095】

また、図5(c)に示すように、一次ビームの照射領域を試料W及び視野領域の移動に追従させて、位置A1における照射領域EF1から位置A2における照射領域EF2まで移動させてもよい。このときの1次ビームの照射領域の変更は、E×Bフィルタ726によって一次ビームの偏向方向を変更することによって行うことができる。

【0096】

2次光学系74には、試料である試料Wに近い方から順に第2の高圧基準管702、第3の高圧基準管703、及び第4の高圧基準管704が、それぞれ二次ビームの経路に沿って、この経路を囲うように設けられている。第2の高圧基準管702は、試料Wとビーム分離器としてのE×Bフィルタ726との間に設けられ、第3の高圧基準管703は、E×Bフィルタ726よりも二次元センサ7611側に設けられ、第4の高圧基準管704は、第3の高圧基準管703と検出器761との間に設けられる。NAアパーチャ742は第3の高圧基準管703の内部に設けられ、高速偏向器749は第4の高圧基準管704の内部に設けられる。

20

【0097】

第1の高圧基準管701、第2の高圧基準管702、第3の高圧基準管703、第4の高圧基準管704には、それぞれ第1の電圧V1、第2の電圧V2、第3の電圧V3、第4の電圧V4が印加される。実施の形態では、検出器761における検出電圧をV5とすると、これらの電圧は、 $V1 = V2 = V3$ 、 $V3 > V4$ 、 $V4 = V5$ の関係にある。すなわち、高速偏向器749で二次ビームを高速に偏向するために、第4の高圧基準管704に印加する電圧V4を第3の電圧V3より小さくして、二次ビームの電子エネルギーを小さくしている。ここで、第3の電圧V3は、例えば40kVであり、第4の電圧V4は、例えば5kVである。

30

【0098】

上述のように高速偏向器749で二次ビームを偏向するが、そのときの二次ビームの電子エネルギーが例えば10kVより大きいと、高速偏向器749における偏向電圧を高くする必要があり、二次ビームの高速な偏向が困難でとなる。そこで、第4の高圧基準管704を第3の高圧基準管とは切り離して設けて、第4の高圧基準管704に印加する電圧を例えば5kV程度にまで落として、高速偏向器749に入射する二次ビームの電子エネルギーを小さくする必要がある。一方で、このような第3の電圧から第4の電圧への急激な変化によって、二次ビームに湾曲収差が生じ、検出器761に形成される二次ビームの像(二次ビーム像)に歪が生じてしまう。

40

【0099】

そこで、本実施の形態では、第3の高圧基準管703と第4の高圧基準管704との間に、中間電極(緩和電極)750を設けて、この中間電極に、第3の電圧V3より大きく、第4の電圧V4より小さい中間電圧を印加する。これによって、上述の湾曲収差の発生を抑えることができ、よって二次ビーム像の歪を抑えることができる。

【0100】

50

図6は、高速偏向器と結像レンズと中間電極との組み合わせユニットの構成を示す図である。中間電極750は、例えば40kVの第3の電圧を印加される第3の高圧基準管703と、例えば5kVの第4の電圧を印加される第4の高圧基準管704との間に、第3の高圧基準管703及び第4の高圧基準管704に接することなく配置され、例えば10kV~13kVの中間電圧を印加される。

【0101】

高速偏向器749は、二次ビームの偏向を高精度で行うため、上述のように12極子構造を用いている。12極は、等角度間隔で配置されており、制御装置2によって個別に電圧を印加することが可能である。第4の高圧基準管によって第4の電圧V4に重畳された高速偏向用の電源及びアンプを用いることで、高速偏向器749の電圧精度を向上させている。

10

【0102】

結像レンズ741には、2重の磁場レンズ方式を採用している。上側コイル7411と下側コイル7412の磁束方向を逆にすることで、二次ビーム像を回転させることができる。また、この磁場レンズ用コイル7411、7412は、2配線方式であり、これによって一定電力で温度を安定化させることができる。第3の高圧基準管703による第3の電圧V3から第4の高圧基準管704による第4の電圧V4に電子エネルギーが変化した状態で結像を行うため、電位が変化した付近に結像レンズ741を配置し、その前段に電界変化によるレンズ効果の影響を緩和するための中間電極(電界緩和用電極)750を配置する。これにより、急激な電位変化による二次ビーム像の歪を抑えることができる。

20

【0103】

二次ビーム像は、結像レンズ741による拡大結像を行う検出器761に近づくと、像が大きくなる。よって、二次ビーム像が小さい状態の結像レンズ741に近い位置で高速偏向を行うために、結像レンズ付近に高速偏向器749を設置する。即ち、二次ビーム像が大きくなると、二次ビームを偏向するのに要する偏向電圧が大きくなり、偏向感度が低下するため、高速偏向が困難になり、上述の歪補正精度が低下し、後述の振動補正精度も低下してしまう。よって、中間電極750、結像レンズ741、高速偏向器749は、二次ビームの進行方向にこの順でなるべく近く配置されることが望ましく、これらが一体となったユニットとして構成されるのが望ましい。

【0104】

高速偏向器749は、試料Wの移動に追従するための偏向だけでなく、上述のような二次ビーム像の歪補正や、後述の振動補正も行うが、これらの機能は制御装置2によって12極に個別に電圧を印加することで実現される。

30

【0105】

図3に戻って、振動補正について説明する。上述のように、試料Wはステージ装置50によって連続的に一定速度で移動し、高速偏向器749は、この試料Wの移動に追従して視野領域が移動するように二次ビームの偏向方向を変更するが、このとき、ステージ装置50による試料Wの移動に、意図しない振動が与えられることがある。上述のように、視野領域の移動の一周期の間には、二次元センサ7611は常に試料Wの同一の部分の二次ビーム像を撮像しているが、試料Wに意図しない振動が加わると、二次元センサ7611の各画素に、試料Wの他の部分からの二次ビームが入射するというコンタミネーションが生じる。

40

【0106】

上述のように、ステージ装置50は、サーボモータ、エンコーダ及び各種のセンサ(図示せず)を用いて、複数のテーブルを動作させることにより、ホルダ55に保持された試料WをX方向、Y方向及びZ方向(図1において上下方向)に、更に試料の支持面に垂直な軸線の回り方向(方向)に高い精度で位置決めする。このための構成として、ホルダ55にはミラー571が固定され、主ハウジング30の内壁にはミラー571にレーザビームを照射して、ミラー571から反射して戻ってきたレーザが入射されるレーザ干渉計572が設けられる。

50

【 0 1 0 7 】

本実施の形態の検査装置 1 では、このホルダ 5 5 に固定されたミラー 5 7 1 とレーザ干渉計 5 7 2 を振動検出手段として用いて、振動補正を行う。レーザ干渉計 5 7 2 にて検出された試料 W の意図しない振動は、制御装置 2 に入力される。制御装置 2 には、試料 W が意図しない振動をせずに移動した場合の高速偏向器 7 4 9 による二次ビームの偏向方向の変更が指示されているが、制御装置 2 は、本来の試料 W の移動だけでなく、レーザ干渉計 5 7 2 にて検出された試料 W の意図しない振動も考慮して、高速偏向器 7 4 9 による二次ビームの偏向方向を決定して、高速偏向器 7 4 9 を制御する。なお、制御装置 2 に、試料 W が意図しない振動をせずに移動した場合の高速偏向器 7 4 9 による二次ビームの偏向方向の変更が指示されていなくてもよく、この場合には、制御装置 2 は、レーザ干渉計 5 7 2 にて検出された、試料 W の意図しない振動も含む試料 W (を保持したホルダ 5 5) の位置を検出して、この位置に基づいて高速偏向器 7 4 9 による二次ビームの偏向方向を決定して、高速偏向器 7 4 9 を制御してもよい。

10

【 0 1 0 8 】

以上のように、本実施の形態の電子光学装置 7 0 を含む検査装置 1 では、試料 W が移動している間に、試料 W の移動に同期して、試料 W の同じ部分の二次ビームが二次元センサ 7 6 1 1 の同じ部分に入射するように、二次ビームを偏向する高速偏向器 7 4 9 が、二次ビーム像の歪を補正する歪み補正器、及び試料 W の意図しない振動によるコンタミネーションを補正する振動補正器としても機能するので、二次元センサ 7 6 1 1 では精度の高い二次ビーム像が得られる。

20

【 0 1 0 9 】

なお、第 1 の電圧 V_1 、第 2 の電圧 V_2 、第 3 の電圧 V_3 、第 4 の電圧 V_4 、検出電圧 V_5 は、上記の例に限られず、例えば、 $V_1 < V_2$ 、 $V_2 = V_3$ 、 $V_3 > V_4$ 、 $V_4 = V_5$ の関係であってもよく、すなわち、第 1 の電圧 V_1 を第 2 の電圧 V_2 及び第 3 の電圧 V_3 より小さくしてもよい。1 次光学系 7 2 における第 1 の高圧基準管 7 0 1 に印加する電圧 V_1 を小さくすると、第 1 の高圧基準管 7 0 1 における放電リスクを低減できる。即ち、1 次光学系は、第 1 の高圧基準管 7 0 1 内にアパーチャ 7 2 3 があり、このアパーチャ 7 2 3 において電子銃 7 2 1 からのエミッションの 5 0 % 以上を吸収するので、リーク電流量は大きく、また、リーク電流量の変動も大きい。これに対して、第 1 の高圧基準管 7 0 1 に印加する第 1 の電圧 V_1 を小さくすることで、放電のリスクを低減ないし解消できる。

30

【 0 1 1 0 】

また、上記の検査装置 1 において、第 4 の高圧基準管 7 0 4 に印加する第 4 の電圧 V_4 を調整する電圧制御装置を設け、第 4 の電圧 V_4 を可変としてもよい。このとき、第 4 の電圧 V_4 は、例えば、 $\pm 1 \text{ kV}$ の範囲で調整可能としてよい。このように第 4 の電圧 V_4 を調整することで、検出器 7 6 1 への入射する二次ビームの電子エネルギー (入射エネルギー) を調整できることになる。これによって、二次元センサ 7 6 1 1 のゲイン (すなわち、二次ビーム像の輝度) を調整できる。

< ソフトウェアによる再検査シミュレーション >

【 0 1 1 1 】

図 3 に戻って、上述したように、電子光学装置 7 0 は、ステージ装置 5 0 に保持された試料である試料 W に面ビームである一次ビームを照射して、それによって試料 W から発生した二次ビームを検出器 7 6 1 に導く。検出器 7 6 1 は、図示しない二次元センサによって二次ビームを捕捉して二次ビーム像の画像を生成し、画像処理部 7 6 3 に出力する。

40

【 0 1 1 2 】

画像処理部 7 6 3 は、検査処理装置として、検出器 7 6 1 から入力された二次ビーム像に対して、像処理フィルタ (平均値 (Mean) フィルタ、ガウシアン (Gaussian) フィルタ、中央値 (Median) フィルタ等) を用いて画像処理を施し、シェーディング補正をした上で、セル - セル比較、ダイ - ダイ比較、ダイ - データベース比較等の比較処理によって検査を行う。具体的には、画像処理部 7 6 3 は、比較処理において差分

50

が所定の閾値を超える部分を欠陥として検出して、欠陥画像を生成する。

【0113】

画像処理部763は、設定された検査条件パラメータに従って検査を行う。この検査条件パラメータには、セル-セル比較の場合のセル周期、ダイ-ダイ比較の場合のエッジ許容値、欠陥を検出するための閾値、画像処理フィルタ、シェーディング補正值、ダイ-データベース比較のパラメータ、検出したくない欠陥の分類情報が含まれる。なお、この検出したくない欠陥の分類情報は、検査後にSEMでの撮像を行って分類した結果として得られる。

【0114】

ところで、試料に生じている欠陥を検査する検査装置において、真の欠陥を確実に検出し、かつ、欠陥でない箇所（疑似欠陥）を検出しないようにするためには、検出閾値等の検査条件を変えながら何度も検査を繰り返し、最適な検査条件を決定する必要がある。

【0115】

しかしながら、検査を繰り返すと、検査条件の最適化に時間がかかるという問題がある。また、検査を繰り返すことで、試料にダメージが蓄積したり、試料が汚染されたりするといった問題も生じる。

【0116】

そこで、試料に与えるダメージや試料の汚染を回避して少ない検査回数で検査条件を決定するために、本実施の形態の検査装置1には、シミュレーション装置200が設けられている。画像処理部763は、欠陥画像とそれを生成するのに用いた未処理画像（二次ビーム像）をシミュレーション装置200に出力する。

【0117】

シミュレーション装置200は、シミュレーション処理部201と、入力部202と、モニタ203と、を備えており、例えば入力手段とモニタと演算処理ユニット、メモリ、記憶装置、入出力ポート等を備えた汎用のコンピュータによって構成される。シミュレーション処理部201は、本実施の形態の検査結果レビュープログラムが演算処理ユニットによって実行されることで実現される。この検査結果レビュープログラムは、ネットワークを通じてシミュレーション装置200に提供されてもよく、シミュレーション装置200が記憶媒体に記憶された検索結果レビュープログラムを読み出すことでシミュレーション装置200に提供されてもよい。このようにして提供された検索結果レビュープログラムは、シミュレーション装置200の記憶装置に記憶され、そこから読み出されて実行されることで、シミュレーション処理部201が構成される。

【0118】

シミュレーション処理部201は、検査装置100から入力した二次ビーム像に対して、検査条件パラメータを変更しながら、再検査シミュレーションを行い、最適な検査条件パラメータを決定する。シミュレーション処理部201が再検査シミュレーションのために変更する検査条件パラメータには、セル-セル比較の場合のセル周期、ダイ-ダイ比較の場合のエッジ許容値、欠陥を検出するための閾値、画像処理フィルタ、シェーディング補正值、ダイ-データベース比較のパラメータ、検出したくない欠陥の分類情報等が含まれる。

【0119】

図7は、シミュレーション装置200の動作を示すフロー図である。まず、電子光学装置70は検査を行い、画像処理部763は検査結果をシミュレーション装置200に出力する（ステップS331）。このとき、画像処理部763は、検査結果とともに、その検査結果を得るのに用いた未処理画像（二次ビーム像）、及び検出したくない欠陥の分類情報もシミュレーション装置200に出力する。シミュレーション装置200では、シミュレーション処理部201がこの検査結果を読み込んで、欠陥画像を生成し、モニタ203に表示する（ステップS332）。

【0120】

次に、シミュレーション処理部201は、検査条件を変更して再検査シミュレーション

10

20

30

40

50

を実行し（ステップ S 3 3 3）、それによって得られた再検査結果を出力する（ステップ S 3 3 4）。この再検査シミュレーションでは、電子光学装置 7 0 における検査と同様に、検出したくない欠陥の分類情報にある欠陥については検出しないようにする。シミュレーション処理部 2 0 1 は、ステップ S 3 3 4 で得られた再検査結果を読み込んで、欠陥画像を生成し、モニタ 2 0 3 に出力する（ステップ S 3 3 5）。

【 0 1 2 1 】

次に、この再検査によって得られた欠陥画像を評価することで、検査条件が最適であるかが判断され（ステップ S 3 3 6）、検査条件が最適でなければ（ステップ S 3 3 6 で N O）、ステップ S 3 3 3 に戻って、検査条件を変更して再検査シミュレーションを実行する（ステップ S 3 3 3）。このように検査条件パラメータを変えながらの再検査シミュレーションを繰り返して、検査条件が最適になったときは（ステップ S 3 3 6 で Y E S）、その最適になった検査条件を電子光学装置 7 0 で採用する検査条件として決定し（ステップ S 3 3 7）、処理を終了する。シミュレーション処理部 2 0 1 は、検索条件が最適であるか否かは、例えば、入力部 2 0 2 からの入力に基づいて判断してよい。

10

【 0 1 2 2 】

以上のように、本実施の形態によれば、電子光学装置 7 0 において実際の検査を行ったうえで、シミュレーション装置 2 0 0 で電子光学装置 7 0 から出力された欠陥画像及び未処理画像を用いて、検査条件を変えながら検査結果レビューソフトウェアによって再検査シミュレーションを行うので、少ない検査回数で検査条件の最適化が可能となり、検査条件を最適化するための時間を短縮できる。また、電子光学装置 7 0 による実際の検査を繰り返す必要がないので、試料へのダメージを減少させることができ、試料の汚染を減少できる。

20

【 0 1 2 3 】

以上説明した検査装置におけるレンズ 7 4 1 , 7 4 3 について詳しく説明する。レンズ 7 4 1 , 7 4 3 は、二次ビームが二次元センサ 7 6 1 1 上に結像することによって得られる電子像を拡大又は縮小するズームレンズである。レンズ 7 4 1 , 7 4 3 が磁界レンズである場合、レンズ強度（例えばコイルに流す電流）によって倍率を調整できるが、像が回転してしまう。像の回転角度 θ は下記（ 1 ）式で表される。

【 数 1 】

$$\theta = \sqrt{\frac{e}{8m\Phi}} \int B dz \quad \dots (1)$$

30

ここで、 e は素電荷、 m は電子の質量、 Φ は加速電圧、 B は磁場である。すなわち、磁場の積分値に比例して像が回転する。

【 0 1 2 4 】

通常シングルギャップレンズを用いてズームレンズを構成する場合、3 段のレンズ、すなわち倍率調整用のレンズ、回転補正用のレンズ及びフォーカス調整用のレンズが必要となる。倍率ごとに、回転補正及びフォーカス調整用の各レンズの設定値（アンペアターンやコイル電流など）を予め計算しておく必要があるが、レンズが 3 段の組み合わせであるため、計算には膨大な時間がかかってしまう。

40

【 0 1 2 5 】

そこで本実施形態では、像の回転を抑えられるダブルギャップレンズを用いることで回転補正用のレンズを省き、2 段のダブルギャップレンズ、すなわち倍率調整のダブルギャップレンズ及びフォーカス調整用のダブルギャップレンズでズームレンズを構成する。レンズが 2 段であるため、上記の計算が大幅に簡略化される。なお、以下に説明するズームレンズをレンズ 7 4 1 , 7 4 3 のいずれに適用してもよい。

【 0 1 2 6 】

図 8 は、ダブルギャップレンズ 9 1 の断面を模式的に示す図である。ダブルギャップレ

50

レンズ 9 1 は、二次ビームの進行方向に沿って同軸状に配置された第 1 コイル 9 2 及び第 2 コイル 9 3 と、第 1 コイル 9 2 及び第 2 コイル 9 3 の一部を覆うように配置された磁路 9 4 と、を有している。ダブルギャップレンズ 9 1 の断面形状はレンズ中心を軸として線対称である。また、ダブルギャップレンズ 9 1 の内部には二次ビームの進行方向に沿って延びる空洞が形成されており、当該空洞は二次ビームの進路 9 5 となっている。

【 0 1 2 7 】

第 1 コイル 9 2 は二次ビームの進行方向における試料 W 側において、二次ビームの進路 9 5 の周囲に巻回されている。第 2 コイル 9 3 は二次ビームの進行方向における二次元センサ 7 6 1 1 側において、やはり二次ビームの進路 9 5 の周囲に巻回されている。

【 0 1 2 8 】

磁路 9 4 は例えば鉄製のヨークであり、第 1 コイル 9 2 とは離間して、その試料 W 側側面、二次元センサ 7 6 1 1 側側面、外周面を覆うとともに、内周面の一部のみを覆っている。言い換えると、第 1 コイル 9 2 の内周面の一部と対向する位置において、磁路 9 4 には第 1 コイル 9 2 と対応する第 1 ギャップ 9 4 1 が設けられている。さらに言い換えると、第 1 コイル 9 2 と二次ビームの進路 9 5 との間に第 1 ギャップ 9 4 1 がある。

【 0 1 2 9 】

また、磁路 9 4 は、第 2 コイル 9 3 とは離間して、その試料 W 側側面、二次元センサ 7 6 1 1 側側面、外周面を覆うとともに、内周面の一部のみを覆っている。言い換えると、第 2 コイル 9 3 の内周面の一部と対向する位置において、磁路 9 4 には第 2 コイル 9 3 と対応する第 2 ギャップ 9 4 2 が設けられている。さらに言い換えると、第 2 コイル 9 3 と二次ビームの進路 9 5 との間に第 2 ギャップ 9 4 2 がある。

【 0 1 3 0 】

すなわち、磁路 9 4 は、第 1 コイル 9 2 及び第 2 コイル 9 3 の間に配置された円環状の中間部分と、中間部分の外周側端部から第 1 コイル 9 2 の外周面と試料 W 側側面と内周面の一部とを覆うように回り込んで内周側に延びる第 1 外側部分と、中間部分の外周側端部から第 2 コイル 9 3 の外周面と二次元センサ 7 6 1 1 側側面と内周面の一部とを覆うように回り込んで内周側に延びる第 2 外側部分と、を有している。そして、中間部分の内周側端部と第 1 外側部分の内周側端部との間に第 1 ギャップ 9 4 1 が設けられており、中間部分の内周側端部と第 2 外側部分の内周側端部との間に第 2 ギャップ 9 4 2 が設けられている。

【 0 1 3 1 】

第 1 コイル 9 2 と第 2 コイル 9 3 の巻回方向が等しい場合、第 1 コイル 9 2 及び第 2 コイル 9 3 には逆向きの電流が供給される。一方、第 1 コイル 9 2 と第 2 コイル 9 3 の巻回方向が逆である場合、第 1 コイル 9 2 及び第 2 コイル 9 3 には等しい向きの電流が供給される。また、第 1 コイル 9 2 のアンペアターン（コイルの巻数とコイル電流との積）と第 2 コイル 9 3 のアンペアターンとが等しくなるようにする。

【 0 1 3 2 】

第 1 ギャップ 9 4 1 及び第 2 ギャップ 9 4 2 から漏れ出る磁場がレンズ作用をもたらす。磁場の大きさによって倍率を調整できる。

【 0 1 3 3 】

図 9 は、二次ビームの進路 9 5 に沿った方向の磁場 B の分布を模式的に示す図である。縦軸は磁場分布であり、横軸はレンズ中心からの距離を進路 9 5 と対応付けて示している。磁場 B は、第 1 コイル 9 2 及び第 2 コイル 9 3 に電流を供給することによって磁路 9 4 に発生した磁場が、第 1 ギャップ 9 4 1 及び第 2 ギャップ 9 4 2 から漏れ出たものである。

【 0 1 3 4 】

上記のような電流が供給されることで、ダブルギャップレンズ 9 1 の中心に対して、反対称性の磁場 B が発生する。そのため、このような磁場 B を進路 9 5 に沿って積分すると積分値はほぼ 0 になり、上記（ 1 ）式における回転角度 を 0 にできる。そのため、二次ビームがダブルギャップレンズ 9 1 を通過しても、像は回転しない。

10

20

30

40

50

【0135】

図10は、ダブルギャップレンズ91の具体的な構成例を示す図である。このダブルギャップレンズ91は、第1コイル92と第2コイル93とが分離している。そのため、第1コイル92は第1電源96から電流が供給され、第2コイル93は別の第2電源97から電流が供給される。また、第1コイル92と第2コイル93は巻回方向が等しい。そのため、例えば第1コイル92の図面右下（試料W側かつ進路95に近い側）から図面左上（二次元センサ7611側かつ進路95から遠い側）に向かう電流が供給される場合、第2コイル93には、その図面左上（二次元センサ7611側かつ進路95から遠い側）から図面右下（試料W側かつ進路95に近い側）に向かう電流が供給される。この構成の場合、第1コイル92と第2コイル93の巻数が異なっていてもよく、その場合は電流量を調整してアンペアターンが互いに等しくなるようにすればよい。

10

【0136】

図11は、ダブルギャップレンズ91の具体的な構成の別の例を示す図である。このダブルギャップレンズ91は、第1コイル92と第2コイル93とが直列接続されている。すなわち、符号98で示すように、第1コイル92の終端が第2コイル93の始端と接続される。第1コイル92及び第2コイル93は、第1ギャップ941及び第2ギャップ942を通過して接続されてもよいし、磁路94の一部に小さな孔を設けて接続されてもよい。そして、第1コイル92の巻回方向と第2コイル93の巻回方向は逆である。この構成の場合、1つの電源96から第1コイル92及び第2コイル93の両方に電流を供給できる。ただし、第1コイル92及び第2コイル93に流れる電流量が等しくなるため、第1

20

【0137】

図12は、2つのダブルギャップレンズ91a, 91bを用いたズームレンズ71の断面を模式的に示す図である。二次ビームの進行方向に沿って配置された2つのダブルギャップレンズ91a, 91bからズームレンズ71が構成される。このズームレンズ71は、例えば図3におけるレンズ741, 743に適用できる。ダブルギャップレンズ91a, 91bを連動させて、倍率調整及びフォーカス調整を行うことができる。まずは倍率調整について説明する。

【0138】

ズームレンズ71の物面とダブルギャップレンズ91aの中心との距離をa、ダブルギャップレンズ91a, 91bの中心間の距離をb、ダブルギャップレンズ91bの中心とズームレンズ71の像面との距離をcとする。また、二次ビームの進路95上のズームレンズ物面から射出した二次ビームがズームレンズ像面に結像したときの、射出した二次ビームの開角を θ_1 とし、結像した二次ビームの開角を θ_2 とする。開角 θ_1 及び開角 θ_2 は距離a~cに依存する。そして、倍率は開角 θ_1 と開角 θ_2 の比率で決まる。

30

【0139】

開角 θ_1 が開角 θ_2 より大きい場合、像は拡大され（拡大系）、開角 θ_2 を固定とした場合、開角 θ_1 が小さいほど拡大率が高くなる。拡大系の場合には $a < c$ とするのが望ましい。開角 $\theta_1 > \theta_2$ の条件を満たしやすいためである。例えば、ダブルギャップレンズ91bのコイル電流を0としてダブルギャップレンズ91aのみで結像させた場合に拡大率が最大となるが、 $a + b + c$ が一定であれば距離aが短い方が最大拡大率を大きくすることができる。

40

【0140】

一方、開角 θ_1 が開角 θ_2 より大きい場合、像は縮小され（縮小系）、開角 θ_2 を固定とした場合、開角 θ_1 が大きいほど縮小率が高くなる。縮小系の場合には $a > c$ とするのが望ましい。開角 $\theta_1 < \theta_2$ の条件を満たしやすいためである。

【0141】

また、倍率調整の自由度を高くするためには、拡大系であるか縮小系であるかに関わらず、距離bができるだけ大きいのが望ましい。

【0142】

50

実際には、予め計算された倍率ごとの各ダブルギャップレンズ 9 1 a , 9 1 b におけるコイル電流の設定値を使用し、基準サンプル（寸法が既知の格子パターンなど）の画像を観察しながら倍率の微調整を行ってもよい。

【 0 1 4 3 】

続いてフォーカス調整について説明する。フォーカス位置はダブルギャップレンズ 9 1 a , 9 1 b のレンズ強度に依存し、レンズ強度はコイル電流（より具体的には、ダブルギャップレンズ 9 1 a における第 1 コイル 9 2 及び第 2 コイル 9 3 並びにダブルギャップレンズ 9 1 b における第 1 コイル 9 2 及び第 2 コイル 9 3 の少なくとも 1 つのコイル電流、以下同じ）に依存する。よって、フォーカス位置をコイル電流によって調整できる。具体的には、コイル電流を大きくすることで焦点距離が短くなり、コイル電流を小さくすることで焦点距離が長くなる。

10

【 0 1 4 4 】

検査装置においては、ズームレンズ 7 1、投影レンズ及び二次元センサ 7 6 1 1 がこの順で配置される。そして、投影レンズの倍率や、投影レンズと二次元センサ 7 6 1 1 との距離はおおよそ固定値である。よって、ズームレンズ 7 1 のフォーカス位置（すなわちズームレンズ 7 1 の像面）が投影レンズの物面になるように設定される。

【 0 1 4 5 】

なお、拡大率を大きくするために 3 つ以上のダブルギャップレンズ 9 1 を設けてもよいが、その場合でも回転補正用のダブルギャップレンズは不要である。

【 0 1 4 6 】

このように、本実施形態では、像の回転が生じないダブルギャップレンズ 9 1 を用いてズームレンズ 7 1 を構成する。そのため、回転補正用のレンズを不要とでき、ズームレンズ 7 1 の構成が簡略化され、設計が容易となる。

20

【 0 1 4 7 】

なお、説明したダブルギャップレンズ 9 1 を用いたズームレンズ 7 1 は、検査装置における写像投影系以外にも、例えば試料を蛍光板に投影する TEM (Transmission Electron Microscope) などにも適用可能である。

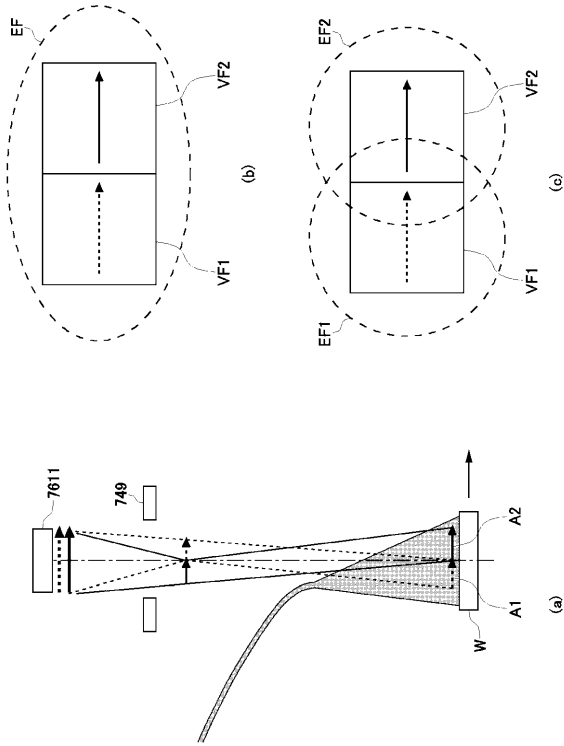
【 符号の説明 】

【 0 1 4 8 】

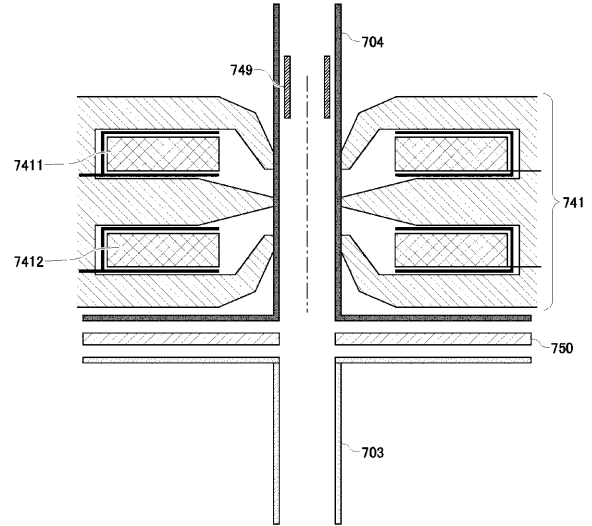
1 : 検査装置、 2 : 制御装置、 3 0 : 主ハウジング、 5 0 : ステージ装置、 5 5 : ホルダ、 5 7 1 : ミラー、 5 7 2 : レーザ干渉計、 7 0 : 電子光学装置、 7 1 : ズームレンズ、 7 6 1 : 検出器、 7 6 1 1 : 二次元センサ、 7 6 3 : 画像処理部、 7 2 : 1 次光学系、 7 4 : 2 次光学系、 7 2 1 1 : レーザ光源、 7 2 1 2 : 光電面カソード、 7 2 2 : レンズ、 7 0 1 : 第 1 の高圧基準管、 7 0 2 : 第 2 の高圧基準管、 7 0 3 : 第 3 の高圧基準管、 7 0 4 : 第 4 の高圧基準管、 7 4 9 : 高速偏向器、 7 4 2 : NA アパーチャ、 7 2 6 : E × B フィルタ、 7 5 0 : 中間電極、 9 0 : 偏向制御装置、 9 1 , 9 1 a , 9 1 b : ダブルギャップレンズ、 9 2 : 第 1 コイル、 9 3 : 第 2 コイル、 9 4 : 磁路、 9 4 1 : 第 1 ギャップ、 9 4 2 : 第 2 ギャップ、 9 5 : 二次ビームの進路、 9 6 : 第 1 電源、 9 7 : 第 2 電源

30

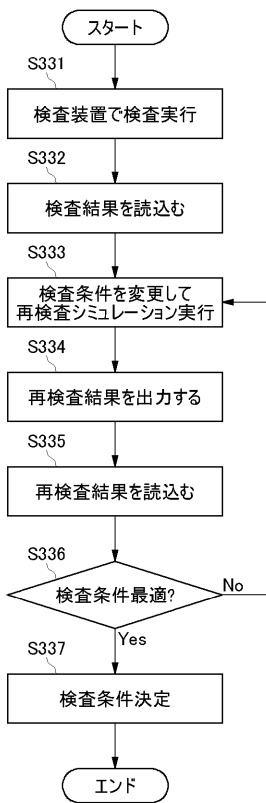
【 図 5 】



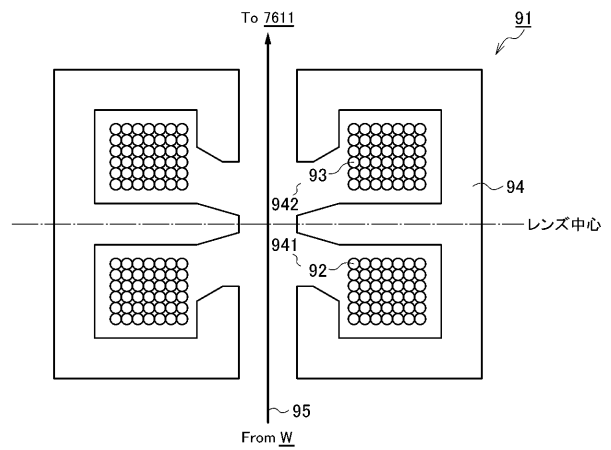
【 図 6 】



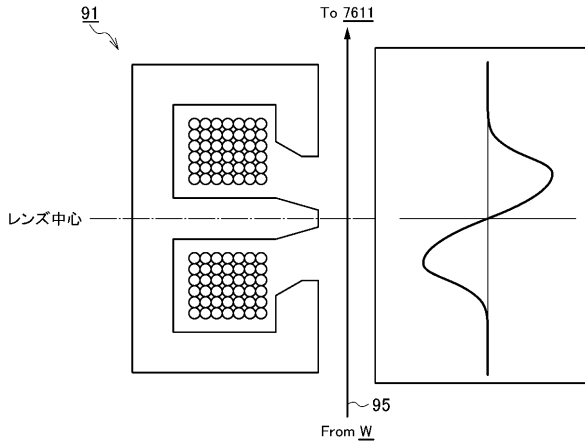
【 図 7 】



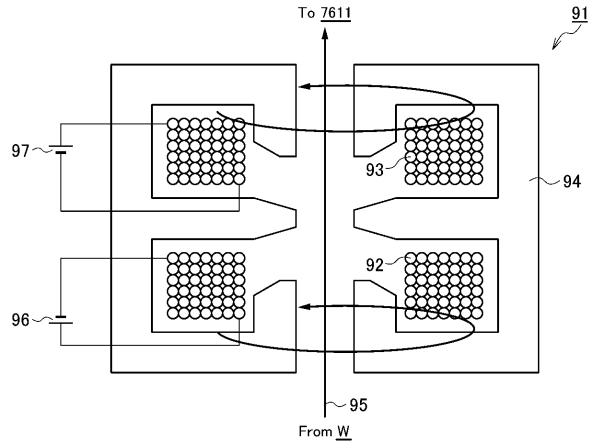
【 図 8 】



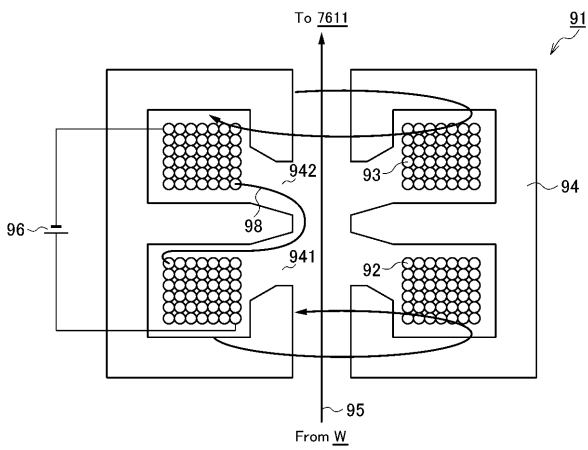
【 図 9 】



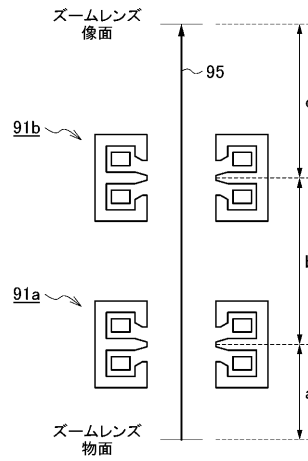
【 図 10 】



【 図 11 】



【 図 12 】



フロントページの続き

(74)代理人 100174137

弁理士 酒谷 誠一

(74)代理人 100133042

弁理士 佃 誠玄

(74)代理人 100184181

弁理士 野本 裕史

(72)発明者 岡田 真一

東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社荏原製作所内

Fターム(参考) 2G001 AA03 BA05 BA07 CA03 EA04 GA01 GA06

4M106 AA01 AA09 BA02 CA39 DB04 DB05 DB07 DH32 DJ03

5C033 DD10 DE10