

(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2005-339960

(P2005-339960A)

(43) 公開日 平成17年12月8日(2005.12.8)

(51) Int.Cl.⁷

F I

テーマコード (参考)

H O 1 J 37/141

H O 1 J 37/141

A

4 M 1 O 6

H O 1 J 37/147

H O 1 J 37/147

B

5 C O 3 3

H O 1 J 37/28

H O 1 J 37/28

B

H O 1 J 37/29

H O 1 J 37/29

H O 1 L 21/66

H O 1 L 21/66

J

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2004-156386 (P2004-156386)

(22) 出願日 平成16年5月26日 (2004.5.26)

(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 100089705

弁理士 社本 一夫

(74) 代理人 100080137

弁理士 千葉 昭男

(74) 代理人 100092967

弁理士 星野 修

(74) 代理人 100093713

弁理士 神田 藤博

(74) 代理人 100093805

弁理士 内田 博

(74) 代理人 100106208

弁理士 宮前 徹

最終頁に続く

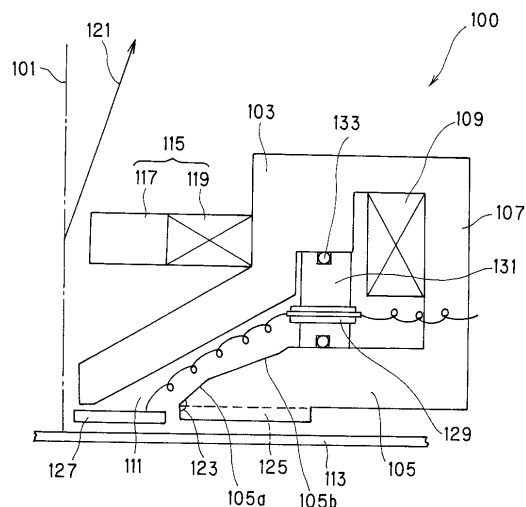
(54) 【発明の名称】 対物レンズ、電子線装置及び欠陥検査方法

(57) 【要約】

【課題】電子線を試料上に結像させる対物レンズにおいてレンズ動作を行うのに必要なAT数及び磁極内の磁束密度が大きくなるようにする。

【解決手段】対物レンズの内側磁極及び外側磁極が作る磁気ギャップが試料側に形成され、上記磁気ギャップを形成している内側磁極及び外側磁極のそれぞれ外側面及び内側面は光軸とのなす角が45度以上の頂角を有する円錐の一部の形状を有し、且つ、これらの磁極の試料付近の断面形状が90°以上の角度を有する事を特徴とする。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電子線を試料上に結像させる対物レンズであって、光軸側の内側磁極及びこれに対向する外側磁極が作る磁気ギャップが試料側に形成され、上記磁気ギャップを形成している内側磁極及び外側磁極のそれぞれ外側面及び内側面は光軸とのなす角が45度以上の頂角を有する円錐の一部の形状を有し、且つ、これらの磁極の試料付近の断面形状が90°以上の角度を有する事を特徴とする対物レンズ。

【請求項 2】

電子銃、照射光学系、電子線透過性試料、結像光学系を一本の光軸上に配置し、電子銃が作るクロスオーバー像を上記結像光学系の磁気レンズを含む対物レンズの主面近傍に結像させ、照視野を決める開口の像を上記試料に結像させ、試料を透過した電子を上記対物レンズで拡大し、後方の拡大レンズの手前に拡大像を作り、さらに上記拡大レンズで検出器に拡大像を形成する事を特徴とする電子線装置。

10

【請求項 3】

一本の光軸の近傍に複数のビームを形成し、対物レンズで試料面に結像させ、対物レンズの電子銃側に設けた2段の偏向器で試料面上を走査し、走査点から放出された2次電子を対物レンズを通過後、レンズ内部に設けたE×B分離器で一次光学系から分離し、少なくとも1段の拡大レンズで検出器面に結像させ検出する装置に於て、上記2段の偏向器による偏向中心を上記対物レンズの主面より電子銃側で、且つ、偏向時のコマ収差が最小になる位置と、偏向色収差が最小になる位置と間の間になる様に上記2段の偏向器の偏向感度比を調整した事を特徴とする電子線装置。

20

【請求項 4】

電子銃から放出された電子線を成形開口で成形し試料面に結像させ、試料から放出された電子を対物レンズを通過した後E×B分離器で一次ビームから分離し、さらに複数のレンズで拡大し検出器に結像させる装置であって、電子銃が作るクロスオーバー像を1段の磁気レンズで対物レンズの主面に結像させ、かつ少なくともE×B分離器と試料面間は一次ビームと二次ビームの主光線が異なる場所を通る事を特徴とする電子線装置。

【請求項 5】

電子線を試料に照射し、試料を通過し、試料から放出され、試料から反射し、あるいは試料に入射前に反射される電子を写像投影光学系で検出器面に結像又は集束させて検出することによって欠陥を検出する方法であって、試料面をダイツウダイで欠陥検出を行うべき領域とセルツウセルで欠陥検出を行う領域とを認識するステップと、

30

上記2つの領域間の境界のx座標を認識するステップと、

試料台をy方向に連続移動させながら試料像を取得するストライプにダイ全体を分割するステップと、

ストライプ単位で試料像を取得し欠陥検出を行うステップとを有し、

ストライプの端のx座標を上記2つの境界のx座標とを一致させる様に上記ストライプ分割を行う事を特徴とする欠陥検査方法。

【請求項 6】

電子銃、コンデンサレンズ、偏向器が一つの光軸上にあり、対物レンズ、E×B分離器が上記光軸と離れた別の光軸上に配置されており、上記偏向器で上記E×B分離器の中心方向に電子線を偏向させる事を特徴とする電子線装置。

40

【請求項 7】

電子銃から放出された電子線をE×B分離器で偏向し、試料に垂直入射させ、試料から放出された2次的粒子をE×B分離器で試料の法線方向と平行な別の光軸を有する偏向器の中心方向へ偏向し、該偏向器で上記別の光軸に合せる事を特徴とする電子線装置。

【請求項 8】

デバイスを製造する方法であって、

ウェーハを準備するステップと、

ウェーハプロセスを行うステップと、

50

請求項 1 ~ 4、6、7 のいずれかに示した対物レンズ又は電子線装置を用いてプロセス後のウェーハを評価するステップとからなり、

上記ステップを必要な数くり返すことによりデバイスに組み上げることを特徴とするデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は最小線幅 $0.1 \mu\text{m}$ 以下のパターンを有する試料、例えば、基板のパターン評価を高スループットで行う装置及び方法及びこれらに用いる対物レンズに関する。

【従来の技術とその問題点】

10

【0002】

従来、基板上に形成されたパターンの評価を電子線装置を用いて行う際に、電子線を試料上に結像させる対物レンズであって、光軸側の内側電極とこれに対向する外側電極が作る磁気ギャップが試料側にある電磁レンズでは、レンズ動作を行うのに必要な AT (アンペア・ターン) 数が大きくなる問題があり、さらに磁気ギャップの場所とビームが通る場所が遠いことによって磁極内の磁束密度が大きくなり過ぎ、磁性材料の透磁率が飽和して、必要な軸上磁場分布が得られない問題があった。本願発明は、合焦条件を得るための励磁電流の AT 数が大きくなり、また、磁極の磁束密度も大きくなり対物レンズを提供することを目的とする。

【0003】

20

さらに磁気レンズは静電レンズよりも収差係数が小さいにもかかわらず、対物レンズとして使う場合に、試料面で軸上磁場がゼロでない場合は、試料面から法線方向に放出された電子は対物レンズによって集束された時に、光軸と交わらず、このため、クロスオーバー位置で NA 開口を設けることができず高解像度の像を得られないという問題があった。すなわち、そこに NA 開口を設けると、光軸から離れた位置から来た電子が必要以上に NA 開口で遮られ、周辺部の像が暗くなる欠点がある。本願発明は、磁気レンズを使用し、しかも光軸上にクロスオーバーを作りそこに NA 開口を設けて収差低減を図ることを目的とする。

【0004】

また、スループットを向上させるためマルチビームを作り試料上を走査して試料から放出された 2 次電子を検出器上に投影する従来の光学系では、対物レンズに静電レンズを用いていたので、収差が大きく、ビームを小さく絞ったときに大きいビーム電流が得られないという問題があった。本願発明は、レンズギャップが試料側にある電磁レンズを用いてマルチビームを絞り、しかも大きいビーム電流が得られるようにすることを目的とする。

30

【0005】

また、試料上に磁場があると、試料から垂直に出たビームが光軸と交わらないので NA 開口を設けられず、2 次ビームの隣のビームとのクロストークが大きい問題があった。本願発明は、かかる場合においても、隣のビームとのクロストークを小さくして高精度の画像が得られるようにすることを目的とする。

【0006】

40

さらに、従来のマルチビームを用いる方法では、一次ビームのビーム寸法を小さく絞って解像度を良くしているが、ビーム径を小さくするとビーム電流がビーム径の 4 乗に比例して小さくなるので、 S/N 比のよい信号を得るには長時間を要する欠点がある。本願発明は、一次ビームの寸法を太いままで使用し、二次光学系の解像度を向上させることにより高解像度の画像が得られるようにすることを目的とする。

【0007】

さらに、従来、電子線を試料に照射し、試料から放出あるいは反射される電子線を光学系で検出器面に結像させ又は集束させて試料の欠陥検出を行う検査においては、検査対象となるダイ全体を同一幅のストライプに分割し、ストライプごとに参照画像と被検査画像とを比較して欠陥検出を行っていたが、ダイ全体を同一幅のストライプに分割すると、一

50

つのストライプ内の主視野内(x方向の走査範囲内)にダイツウダイ比較で検査を行わねばならない領域と、セルツウセル比較で検査が行わねばならない領域とが混在する問題があった。このため、一つのストライプの走査中にダイツウダイ比較を行う回路と、セルツウセル比較を行う回路の切り替えを行わねばならず、切換え作業は非常に困難であった。本願発明は、一つのストライプの走査中にかかる切換え作業を必要としない検査方法を提供することを目的とする。

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記目的を達成するために、請求項1の発明では、電子線を試料上に結像させる対物レンズであって、光軸側の内側磁極及びこれに対向する外側磁極が作る磁気ギャップが試料側に形成され、上記磁気ギャップを形成している内側磁極及び外側磁極のそれぞれ外側面及び内側面は光軸とのなす角が45度以上の頂角を有する円錐の一部の形状を有し、且つ、これらの磁極の試料付近の断面形状は90°以上の角度を有する事を特徴とする。 10

【0009】

請求項2の発明では、電子線装置であって、電子銃、照射光学系、電子線透過性試料、結像光学系を一本の光軸上に配置し、電子銃が作るクロスオーバ像を上記結像光学系の磁気レンズを含む対物レンズの主面近傍に結像させ、照視野を決める開口の像を上記試料に結像させ、試料を透過した電子を上記対物レンズで拡大し、後方の拡大レンズの手前に拡大像を作り、さらに上記拡大レンズで検出器に拡大像を形成する事を特徴とする。 20

【0010】

請求項3の発明では、一本の光軸の近傍に複数のビームを形成し、対物レンズで試料面に結像させ、対物レンズの電子銃側に設けた2段の偏向器で試料面上を走査し、走査点から放出された2次電子を対物レンズを通過後、レンズ内部に設けたE×B分離器で一次光学系から分離し、少なくとも1段の拡大レンズで検出器面に結像させ検出する電子線装置に於て、上記2段の偏向器による偏向中心を上記対物レンズの主面より電子銃側で、且つ、偏向時のコマ収差が最小になる位置と、偏向色収差が最小になる位置との間になる様に上記2段の偏向器の偏向感度比を調整した事を特徴とする。

【0011】

請求項4の発明は、電子銃から放出された電子線を成形開口で成形し試料面に結像させ、試料から放出された電子を対物レンズを通過後E×B分離器で一次ビームから分離後複数のレンズで拡大し検出器に結像させる電子線装置であって、電子銃が作るクロスオーバ像を1段の磁気レンズで対物レンズの主面に結像させ、且つ少なくともE×B分離器と試料面間は一次ビームと二次ビームの主光線が異なる場所を通る事を特徴とする。 30

【0012】

請求項5の発明は、電子線を試料に照射し、試料を通過し、試料から放出され、試料から反射し、あるいは試料に入射前に反射される電子を写像投影光学系で検出器面に結像又は集束させて検出することにより欠陥を検出する方法であって、試料面をダイツウダイで欠陥検出を行うべき領域とセルツウセルで欠陥検出を行う領域とを認識するステップと、

上記2つの領域間の境界のx座標を認識するステップと、 40

試料台をy方向に連続移動させながら試料像を取得するストライプにダイ全体を分割するステップと、

ストライプ単位で試料像を取得し欠陥検出を行うステップとを有し、

ストライプの端のx座標を上記2つの境界のx座標とを一致させる様に上記ストライプの分割を行う事を特徴とする。

【0013】

請求項6の発明は、電子線装置であって、電子銃、コンデンサレンズ、偏向器が一つの光軸上にあり、対物レンズ、E×B分離器が上記光軸と離れた別の光軸上に配置し、上記偏向器で上記E×B分離の中心方向に電子線を偏向させる事を特徴とする。

【0014】

請求項 7 の発明は、電子線装置であって、電子銃から放出された電子線を $E \times B$ 分離器で偏向し、試料に垂直入射させ、試料から放出された 2 次的粒子を $E \times B$ 分離器で、試料の法線方向と平行な別の光軸を有する偏向器の中心方向へ偏向し、該偏向器で上記別の光軸に合せる事の特徴とする。

【0015】

請求項 8 の発明は、デバイスを製造する方法であって、
ウェーハを準備するステップと、
ウェーハプロセスを行うステップと、
請求項 1 ~ 4、6、7 のいずれかに示した電子線装置を用いてプロセス後のウェーハを評価するステップとからなり、
上記ステップを必要な数くり返すことによりデバイスに組み上げることを特徴とする。

10

【発明実施の形態】

【0016】

(第 1 の実施例)

図 1 は本発明の電子線装置に使われる対物レンズ 100 の断面形状を示したものである。光軸 101 の回りに回転したものが実際の構造である。

図の上方には電子銃(図示せず)が備えられ、この電子銃から放出される一次電子線を光軸を通して当該対物レンズによって試料 113 の表面に集束するようになっている。この対物レンズは、光軸側の内側磁極 103 と、これに対向する外側磁極 105 と、磁気回路 107 とで励磁コイル 109 を囲む構造を有し、レンズギャップ 111 が試料 113 側に
向かって開口するように形成されている。115 は、試料から放出される 2 次電子を検出器(図示せず)の方へ曲げる $E \times B$ 分離器で静電偏向器 117 と電磁偏向器 119 とを含む。
121 は 2 次電子の主光線の軌道である。試料 113 には負の高電圧が印加される。

20

【0017】

当該対物レンズ 100 は、従来の対物レンズと異なり、レンズギャップの断面形状が光軸と平行ではなく、試料側で半径が小さく、電子銃側で半径が大きい円錐台のような形状を有する。このような円錐台形状とすることにより、合焦条件を得るための励起電流の AT (アンペアターン) 数が、光軸に平行なレンズギャップの場合に比べて半分程度に減少することがシュミレーションで確かめられている。

【0018】

内側磁極 103 は $E \times B$ 分離器 115 を配置するため、光軸と 45° より大きい角度を持つ円錐の一部の構造となっている。外側磁極 105 も同様な円錐の内側の一部の構造を有する。内側磁極 103 及び外側磁極 105 の円錐面と光軸 101 とのなす角度を 45° 以上とすると、磁極の磁束密度が小さく、低飽和磁束密度の材料も使用可能となる。しかし、磁極をこのような構造にすると、各磁極を通る磁束密度が、内側磁極 103 と外側磁極 105 の対抗部分で大きくなり、材料の飽和磁束密度に近くなるという問題を生ずる。とくに外側磁極 105 の内面がこのように円錐形状を有すると、123 の部分で鋭角の断面を有する部分がレンズギャップの試料側に形成される。このままにしておくと、この鋭角部に磁束が集中し、磁束密度が大きくなり過ぎ強磁性材料の透磁率が飽和する。透磁率が飽和すると、磁束が本来の場所を通らなくなり、それに伴って軸上磁気密度が軸方向に
広がり、収差特性を悪くすることになる。これを避けるため、123 部分の角が鈍角になり、しかも円錐の内面形状を変えないようにするために 125 の部材を追加する様にした。
このように、内側磁極及び外側磁極の試料付近の断面形状を 90° 以上の角度を持たせることにより、磁性材料の透磁率が飽和する問題を回避することができる。

30

40

【0019】

109 の励磁コイルは、実際は外径をさらに大きくし、Z 方向の寸法も大きくして太い線を多く巻ける様にする。127 は軸上磁場が大きい場所での電位を大きくするための正の高電圧を印加する軸対称円盤型の電極である。この電極は外側磁極 105 に絶縁スペーサー(図示せず)で固定され、内側磁極 103 の穴と本電極のボアの同軸度が良くなる様、レンズ全体を組み立てた後電極部 127 の穴を最終加工し、一度分解、洗條後再組み立

50

てを行っても良い。電極 127 に電圧を印加するリード線は両磁極の間にハーメチックシール 129 を設けて外部へ取り出しても良いし、あるいは外側磁極 105 の下から取り出しても良い。131 はコイル部 109 を大気下に置くため、該コイル部を電子線装置の真空部分から分離するための真空壁部材であって O - リング 133 で真空シールが行われる。

【0020】

E × B 分離機 115 の電磁偏向器 119 のコアを内側磁極 103 と共通にする事により、対物レンズ 100 と E × B 分離器 115 の各偏向器との同軸度を向上させることができる。117 は E × B 分離機の静電偏向器でセラミックスの一体構造にすることによって小外径寸法にしている。なお、図示の実施例では外側磁極の円錐面 105 a、105 b がそれぞれ光軸となす角度が異なっているが、たまたまシュミレーションでこの形状が良かったためであり、同じ円錐面であってもよい。

10

【0021】

以上のように、本実施例によれば、合焦条件を得るための励起電流の A T (アンペアターン) 数を減少させることができ、また、磁性材料の透磁率が飽和する問題を回避できる対物レンズを提供することができる。

【0022】

(第 2 の実施例)

図 2 は本発明の対物レンズを用いた透過マスクの検査装置の光学系を示したものである。LaB₆ カソード電子銃 201 を空間電荷制限条件で動作させ、電子銃 201 から放出された電子をコンデンサレンズ 203 で集束し、長方形の整形開口 205 を一様な強度で照射し、照射レンズ 207 でステンシルマスク(試料) 209 に結像させる。そして電子銃が作るクロスオーバー像を対物レンズ 211 の主面に結像させる。対物レンズ 211 はその軸上磁場が試料 209 の位置でまだ大きい値になっている。従って試料 209 から法線方向に放出された電子はクロスオーバー 213 で光軸と交叉しない。

20

【0023】

従来は、レンズ 207 による主光線の軌道をステンシルマスク 209 に垂直に入射させていた。このため、軸上磁場がゼロでない場所にあるステンシルマスク 209 から垂直に出たビームは、クロスオーバー 213 で光軸と交わらず、従って、ここに NA 開口を設けると、光軸から離れた位置から来たビームが必要以上に NA 開口で遮られ、周辺部の像が暗くなる欠点があった。

30

【0024】

本発明では、レンズ 207 による主光線の軌道を 215 で示したように試料 209 に垂直に入射させるのではなく、対物レンズ 211 の主面でクロスするような角度で入射させるようにしたので、213 にクロスオーバーを作ることができ、従って、ここに NA 開口 217 を設けて収差低減を計ることができる。

【0025】

これをさらに説明すると、磁気レンズは電子線を光軸まわりに回転させながら集束作用を行う。従って、図 2 B に示すように、試料が軸上磁場分布がゼロの場所にあると、そこから垂直に出たビーム、例えば試料の A、B 点から出たビームは点線で示す仮想面では図 2 C に示すように A'、B' 点へ回転している。従って、A'、B' 点では軌道は Z 軸(光軸)に平行ではなく、「速度ベクトル」で示したように回転方向の成分を持つ。このような軌道のビームのみが C 点でクロスオーバーを作る(光軸と交わる)。もし仮想面の位置に試料があると、そこから垂直に出たビームは回転方向の速度ベクトルを持っていないので C 点で光軸と交わらない。A、B 点から出るビームが垂直ではなく、放射方向の成分のみを持っているビームであればレンズの軸上磁場がゼロになっている場所でフォーカスされる場合はクロスオーバーを作る。一般に、軸上磁場がゼロの場所でクロスオーバーを作っていたビームがレンズの軸上磁場がゼロの場所でフォーカスされる場合はクロスオーバーを作る。

40

【0026】

50

図示例では、ステンシルマスク 209 から出る電子線の主光線は放射方向は集束ビームであるが、方位角方向も法線と角度を有するビームで、回転しながら対物レンズ 211 の主面に向かい、そこでクロスオーバを作ると同時に光軸と交わる。従って拡大レンズ 219 が作るクロスオーバ 213 で光軸と交わるので 213 の位置に NA 開口 217 を設けることができ高解像度の像を得ることができる。

【0027】

215 はクロスオーバの結像線である。ステンシルマスク 209 はステージに固定されていて、長方形の照射領域の短辺方向に試料台 221 を連続移動させながら検査を行う。ステンシルマスク 209 から放出された透過電子は 223 で拡大像を作り、さらに拡大レンズ 219 でさらに拡大してシンチレータを塗布した FOP (ファイバ オプティックス プレート) 窓 225 に像形成を行い、このシンチレータ面で光の像に変えられ、FOP 窓で真空中へ取り出され光学レンズで TDI 又は CCD 検出器 (図示せず) の検出面で検出され電気信号に変換され画像が形成され、欠陥検出が行われる。

10

【0028】

(第3実施例)

図3はマルチビームを照射する光学系で本発明の対物レンズを用いた本発明の第3の実施の形態を示したものである。電子銃 301 は図2の実施例と同様 LaB₆ カソード電子銃を空間電荷制限条件で動作させる。電子銃 301 から出た電子線はコンデンサレンズ 303 と回転調整可能な回転レンズ 305 とで NA 開口 307 にクロスオーバを作る。回転レンズ 305 の手前にマルチ開口 309 を設けマルチビームを形成する。コンデンサレン 20
ズ 303 は次のレンズ 305 との間にクロスオーバを作らないで NA 開口 307 でのクロスオーバ倍率を変えることによってマルチ開口でのビーム電流密度を調整する。この光学系ではレンズはすべて電磁レンズであるのでマルチビームの姿勢を試料上の座標に合せる必要がある。回転レンズ 305 は2つのレンズギャップを有し、各レンズギャップで発生する磁場の方向が逆になる様に設定されていて、両方のギャップで発生する磁場によるレンズ強度を変えないで回転量を調整することができる。マルチ開口 309 でマルチビームに成形されたビームは縮小レンズ 311 と対物レンズ 313 とで縮小され、試料 315 上に細く絞られたマルチビームを合焦させる。ここで NA 開口 309 の寸法を最適化することによって収差とビーム電流の値を最適化できる。対物レンズ 313 は磁気ギャップが試料 315 側にあり、試料との間に正の高電圧を印加する軸対称円盤型の穴あき電極 317 30
を設け、収差係数を小さくしている。

【0029】

対物レンズ 313 の内部には静電偏向器 319 と電磁偏向器 321 とを含む E × B 分離器 323 が設けられ、試料 315 から放出された2次電子を対物レンズ 313 で加速、集束し、E × B 分離器 323 で図の右側に偏向し、2次光学系へ向かわせる。シュミレーションによると一次電子は 103° 程度対物レンズ 313 で回転し、2次電子は 115° 程度反対方向へ回転させる。

【0030】

E × B 分離器 323 には偏向のために直流電圧、直流電流が与えられ、走査には無関係に常時同じ値の電圧及び電流が与えられている。これに対して、走査のために三角波が与えられ、交流電圧が静電偏向器 325 と E × B 分離器 323 の静電偏向器 319 とに与えられる。従って、E × B 分離器 323 の静電偏向器 319 には2次電子の分離動作のための直流電圧と1次電子の走査のための三角波とが重畳して与えられることになる。

40

【0031】

E × B 分離器 313 は一次ビームを偏向させないが偏向色収差は発生させる。すなわち、E × B 分離器は一定のビームエネルギーを持った一次ビームを直進させるが、そのエネルギーと若干異なるエネルギーを持った電子線は直進させずに、わずかに偏向させる、すなわち、色収差が発生する。E × B 分離器 323 が発生させる偏向収差の方向と走査偏向器 325 が発生させる偏向収差の方向を 90° 変えると両者の偏向収差が加算される事がない。試料台を y 方向に連続移動させながら検査を行う装置では、走査方向は x 方向が大 50

きいから、E × B 分離器 3 2 3 の偏向方向は試料面で y 方向とし、従って対物レンズ 3 1 3 を通過した後、2 次光学系の方向を y 方向から対物レンズで 1 1 5° 回転した方向が良い。この事を説明する図を図 3 (b) に示す。即ち、同図で 3 2 7 は試料上での走査方向 (静電偏向器 3 2 5 と E × B 分離器の静電偏向器 3 1 9 の三角波による)、3 2 9 は試料上での E × B 分離器の偏向方向 (静電偏向器 3 1 9 の直流電圧及び電磁偏向器 3 2 1 の電圧による)、3 3 1 は 2 次光学系の方向、3 3 3 は対物レンズ 3 1 3 による 2 次電子の回転である。

【 0 0 3 2 】

走査時の主光線の軌道は静電偏向器 3 2 5 で偏向され、E × B 分離器 3 2 3 の静電偏向器 3 1 9 で振り戻され、偏向中心 3 3 5 を中心として偏向される。この偏向中心 3 3 5 の位置は 2 段の静電偏向器 3 2 5 及び 3 1 9 の偏向量比を変えることにより調整することができる。偏向中心 3 3 5 の位置はシュミレーションあるいは実測により、収差が最小になる値として求めればよい。すなわち、図 3 B に示すように、偏向中心が対物レンズ 3 1 3 の主面より電子銃側で、且つ、偏向時のコマ収差が最小となる位置 A と、偏向色収差が最小になる位置 B との間 L に来るように、好ましくは収差が最小になる位置 C に来るように上記 2 段の偏向器の偏向感度比を調整すればよい。

【 0 0 3 3 】

試料から放出された 2 次電子は対物レンズ 3 1 3 で集束され、E × B 分離器 3 2 3 の偏向主面の近傍に拡大像を作る様に設計した。これによって E × B 分離器の偏向色収差が拡大像に発生させる偏向色収差をほぼゼロにできる。E × B 分離器の主面近傍で像を作った 2 次電子像は E × B 分離器の静電偏向器 3 1 9 によって光軸方向へ戻されるので、試料上で 1 0 0 μ m 程度走査しても、E × B 分離器を通過した後光軸近くを通るので、2 段目の拡大レンズ 3 3 7 のボア径を比較的小さくすることができる。ただし、レンズギャップ 3 3 9 から漏れた磁場が一次ビームの非点を発生させない様にレンズ 3 3 7 の下部磁極 3 4 1 の光軸方向の長さをボア径の 2 倍以上にした。さらに一次ビームの真空壁をパーマロイとするとさらに確実に防止できる。すなわち、パーマロイは強磁性体であるためレンズギャップ 3 3 9 で発生して下部磁極 3 4 1 から漏れ出た磁束を磁気シールドすることができる。レンズ 3 3 7 はレンズ調整を行っても回転が生じない静電レンズとしてもよい。

【 0 0 3 4 】

3 4 3 は長焦点距離のレンズで結像条件はほとんど変えずに回転量を変え、マルチビームの姿勢と検出器の並び方向を調整する電磁レンズである。3 4 5 は F O P (ファイバeroptics プレート) を有する真空窓で真空側にシンチレータが塗布してある。3 4 7 は光学レンズで市販のカメラのズーム機構とオートフォーカス機構がそのまま使える。3 4 9 は P M T アレーで 8 行 8 列の P M T を 1 個にまとめたものが市販されている。3 4 9 は光軸と直角方向に移動可能な X - Y ステージに乗せ、マルチビームからの光信号の位置と P M T の位置とを合せる。この代替案として、拡大レンズ 3 3 7 の後に 8 極の静電偏向器を設け、3 4 5 の面のマルチビームの位置を合せる様にしてもよい。この 8 極の電極には、一次ビームの走査に同期した信号を与えることによって、走査位置に依存せず同じビームからの 2 次電子が常に同じ位置のシンチレータに入射する様にできる。さらに非点補正信号をこの電極に入れ、シンチレータ面で発生する非点も補正することができる。

【 0 0 3 5 】

図 3 の (b) に 2 次光学系の方向を示す説明図がある。試料上を一次ビームが走査する方向は x 軸に平行な走査 3 2 7 であり、E × B 分離器 3 2 3 による偏向方向は試料上で 3 2 9 で示した様に静電偏向器 3 1 9 , 電磁偏向器 3 2 1 共 y 軸に平行である。E × B 分離器 3 2 3 の偏向方向を試料上で 3 2 9 の方向にすると対物レンズ 3 1 3 による二次ビームの回転量 3 3 3 を考慮し、3 3 1 の方向に一次ビームが偏向されることになる。この結果二次ビームは 3 3 1 の方向に偏向されるので二次光学系を 3 3 1 の方向に設ける。

【 0 0 3 6 】

レンズ 3 3 7 のシンチレータでの焦点深度は十分深いので、2 次ビームの回転量を変えてもシンチレータ面でビームのボケが増えることはない。従ってレンズ 3 3 7 を回転調整

10

20

30

40

50

レンズとし、電磁レンズ 3 4 3 を省くことも可能である。3 5 1 は P M T 3 4 9 の前面に設けられた光量調整用のマルチ開口である。光軸近くでは一次ビームの強度も強く、2 次電子像の収差も小さいので信号量が大きい、光軸から離れた周辺部では一次ビームの強度が小さく、2 次系の収差も大きく信号量が小さくなる。従って、マルチ開口 3 5 1 を光軸近くでは小面積しと、光軸から遠くでは大面積とするとよい。特に各行、列の端では隣に検出器が無いので外側の開口無しでもクロストークは小さい。

【0 0 3 7】

なお、図において 3 5 3 はダイナミック補正のための偏向器、3 5 5 は対物レンズ 3 1 3 の励磁コイル、3 5 7 は該励磁コイルを大気中に置くため電子線装置の真空部から分離するためのシールリング、3 5 7 は該シールリングのための O - リングである。

10

【0 0 3 8】

以上のように、本実施例では、電磁レンズ、しかもレンズギャップが試料側にあるレンズを用いてマルチビームを絞るので、ビームを小さく絞っても大きいビーム電流を得ることができる。また、試料上に磁場があるので試料から垂直に出たビームが光軸と交わらず N A 開口を設けられず、隣のビームとのクロストークが大きいという問題があったが、本実施例では N A 開口を設ける代わりに、検出器の前に小開口を設けることにより、隣のビームとのクロストークを小さくして高精度の画像を得ることができる。

【0 0 3 9】

(第 4 実施例)

図 4 は一次ビームは大電流ではあるが低分解能のビームで試料上を走査し、2 次電子像を拡大 2 次光学系で検出面に拡大して、この面に高解像にするための開口を設ける電子線装置に関する説明図である。一次ビーム (右側) は試料 4 0 9 の法線と約 3 0 度傾いた方向から入射させる。電子銃 4 0 1 から放出されたビームは開口 4 0 3 を照射し、その縮小像がコンデンサレンズ 4 0 5 と対物レンズ 4 0 7 とで試料面 4 0 9 に結像させる。電子銃が作るクロスオーバー 4 1 1 は 1 段の磁気レンズ 4 0 5 で対物レンズ 4 0 7 の主面に形成させる。開口 4 0 3 は単一でも複数でもよい。E × B 分離器 4 1 3 が一次ビームを偏向して試料 4 0 9 の方向へビームを向かわせ、4 1 5 の軌道を通り、対物レンズ 4 0 7 の主面 4 1 7 にクロスオーバーを作る。静電偏向器 4 1 9 と E × B 分離器 4 1 3 の静電偏向器とで試料上をラスタ走査する。試料 4 0 9 には数 k v の負の電圧が印加されている。対物レンズ 4 0 7 は図 1 に示したレンズあるいは通常の電磁レンズと静電レンズとの組み合わせレンズ、あるいは静電レンズから選ぶことができる。但し図 1 のレンズを選択した場合は二次光学系に N A 開口 4 2 1 を設けることができない。すなわち、この場合は磁気レンズ 4 0 7 の軸上磁場が試料面でゼロでないから、試料から法線方向に放出された 2 次電子がクロスオーバーを作らず (光軸と交わらない) N A 開口を設けることができない。

20

30

【0 0 4 0】

図 1 以外のいずれの対物レンズを選んだ場合でも試料 4 0 9 と対物レンズ 4 0 7 との間は 2 次電子に対する加速電界が形成されているため、試料面の法線と大きい角度で放出された 2 次電子も小さく収束されるため N A 開口 4 2 1 は小寸法の開口でよく 2 次電子の検出効率を落さないで良い解像度が得られる。図示のように、一次ビームと二次ビームとは、E × B 分離器 4 1 3 と試料面 4 0 9 との間は少なくとも主光線が異なる場所を通る。これにより、二次ビームが一次ビームの空間電荷効果によってボケが増えることがない。また、2 次電子像は E × B 分離器 4 1 3 の偏向主面 4 2 3 に作られるため、偏向色収差はここでは発生せず、さらに電磁偏向量が静電偏向量の 2 倍であるので色収差は発生しない。これは、E × B 分離器 4 1 3 の電磁偏向器による偏向色収差は静電偏向器 (静電偏向器 4 1 9 と E × B 分離器の静電偏向器) の色収差と絶対値が等しく、偏向方向が互いに逆であるためである。E × B 分離器の偏向主面 4 2 3 で作られた 2 次電子像は拡大レンズ 4 2 5 でさらに拡大され F O P (ファイバオプティクスプレート) 4 2 7 が中心部に形成された真空窓の内面に塗られたシンチレータに拡大像を作る。4 2 9 はダイナミック補正のための偏向器、4 3 1 は光拡大レンズ、4 3 3 は P M T アレーである。この装置で図 3 の場合と大きく異なるのは、図 3 の場合は一次ビームの解像度を良くする必要があるのに対して、図

40

50

4 の場合は二次ビームの解像度を良くする必要があり、このため二次電子像を $E \times B$ 分離器の偏向主面に形成して 2 次ビームを $E \times B$ 分離器で偏向する時の偏向色収差を消せる様にした。

【0041】

以上のように、本実施例では、一次ビームの寸法は太いままにして、二次光学系の解像度をよくすることにより、試料上の小領域から放出された二次電子を検出器に入射するようにしたので、一次ビームのビーム寸法を大きくしたまま高解像度の画像を得ることができる。一次ビームの寸法を大きくしたまま一定のビーム径で走査すると、ピクセルに入射するビーム電流は(ピクセル寸法)² に比例して小さくなるので、従来のビーム寸法を絞った場合の(ビーム径)⁴ に比例してビーム電流が小さくなる場合と比較して信号の弱くなり方が遅いので、高解像度でのスループットの低下が小さい。

【0042】

(第5実施例)

図5は本発明の第5の実施の形態である。図4の実施例では一次光学系も二次光学系も試料面と垂直でないため、片方の光軸での偏向色収差は消せるが光学系を実際に製作するには精度を出すのが困難である。図5では一次光学系と二次光学系のいずれかを試料に対して直角に作り、高精度な鏡筒が製作可能な電子線装置である。図5は一次光学系が試料に直角な場合を示したものであるが、逆に電子銃を図の右側に配置し、矢印の逆の方向へ電子線が進む様にして二次光学系を試料に対して直角にしてもよい。以下、説明は図示のように、一次光学系が試料に対し直角の場合についてのみ行う。

【0043】

図は、実施例による電子線装置の主要部を示すものであって、同図において、501は電子銃、503はコンデンサレンズ、505は軸合わせ偏向器、507は一次ビームの主光線の軌道、509は静電偏向器511と電磁偏向器513を含む $E \times B$ 分離器、515は対物レンズ、517は試料、519は電磁偏向器513による偏向量、521は静電偏向器511による偏向量、523は二次ビームの主光線の軌道である。

【0044】

電子銃501、コンデンサ・レンズ503、偏向器505が一つの光軸上にあり、対物レンズ515、 $E \times B$ 分離器509が上記光軸と離れた別の光軸上に配置されており、上記偏向器505で $E \times B$ 分離器509の中心に電子線を偏向させる。

【0045】

偏向器505と $E \times B$ 分離器509間のZ方向距離をLとする。 $E \times B$ 分離器509で試料517からの反射電子を3α図の右側へ偏向したい場合、2つの光軸間のズレ量Dは $D = L \alpha$ となる。そして、偏向色収差を消す条件より次の式が導かれる。

【0046】

(i) 偏向器505が静電偏向器である場合、

$$\begin{aligned} & \text{偏向器513による一次ビームの偏向量519} - \text{偏向器511} \\ & \text{による一次ビームの偏向量521} = \alpha \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & 2 \times (\text{偏向器511による偏向量521} + \text{偏向器505による偏向量} \alpha \times L / L) \\ & = \text{偏向器513による偏向量519} \end{aligned} \quad (2)$$

上記(1)、(2)の連立方程式を解けば、偏向器511、513の偏向量が決定できる。

【0047】

(ii) 偏向器505が電磁偏向器の場合は、上記(1)式は同じで、(2)式は(2)'となる。即ち、

$$\begin{aligned} & 2 \times (\text{偏向器511による偏向量521}) = \text{偏向器513による偏向量519} - \\ & \text{偏向器505による偏向量} \alpha \times L / L \end{aligned} \quad (2)'$$

10

20

30

40

50

であり、(1)と(2)'から成る連立方程式を解けば偏向器511、513の偏向量が決定できる。

【0048】

(2)又は(2)'は共に、電磁偏向器による偏向量 = 2 × 静電偏向器による偏向量とする事で偏向色収差が消せる条件から与えられる。但し、偏向器505による偏向色収差は、E × B分離器による偏向色収差の1/Lの割合で小さくなる事が考慮されている。ここでは対物レンズ515による試料面517との共役点525と偏向器505との距離が1である。

【0049】

電子銃が図の右側にあり、矢印の逆方向へ電子線が進む場合は、電子銃から放出された電子線をE × B分離器509で偏向し、試料517に垂直に入射させ、試料から放出された二次電子をE × B分離器509で試料と法線方向と平行な別の光軸を有する偏向器505の中心方向へ偏向し、該偏向器で該別の光軸に合わせればよい。

【0050】

以上のように、本実施例によれば、一次光学系と二次光学系のいずれかを試料に対して直角に作ることができ、これにより高精度な鏡筒の製作が可能となる。

【0051】

(第6の実施例)

図6は本発明の第6の実施の形態の説明図である。

電子線を試料に照射し、試料を通過し、試料から放出され、試料から反射され、あるいは試料に入射する前に反射される電子線(例えば、ネガティブにバイアスされた電子ミラー表面を持つ試料に入射された電子線)を写像投影光学系で検出器面に結像させ又は集束させて試料の欠陥検出を行う方法においては、基準となる参照画像と被検査画像との比較をダイごとに行うダイツウダイ方法と、セルごとに行うセルツウセル方法とがあるが、試料面上のダイ601の中にはダイツウダイでしか検査できない領域603とセルツウセルでも検査が行える領域605とが混在している。欠陥検査はy軸方向にステージを連続移動させながら、ダイ又はセルの分割されたストライプごとに試料像を取得して行われる。この場合、画像処理部の回路はダイツウダイ比較を行う回路とセルツウセル比較を行う回路は異なる場合があり、たとえ回路が同じであってもソフトウェアが異なる場合が多く、取り込んだ画像をダイツウダイ比較用回路に入れたり、セルツウセル比較回路に入れたりする切換には多少時間がかかるので、ストライプをx方向に走査中にこのような切換を行いたくない。すなわち、例えば、ピクセル周波数を100MHzとすると、走査の途中にダイツウダイ用の回路へ画像信号を入れていたのをセルツウセル用の回路へ画像信号を入れるように切換を行うには10ns以内で行う必要があり、作業はきわめて困難である。本願発明では、このようなストライプ走査途中での切換を行わないようにするために、ストライプの境界を両者の領域、すなわち、ダイツウダイで欠陥検出を行うべき領域B、B'とセルツウセルで欠陥検出を行う領域Aとの境界と一致する様にストライプの分割を行った。そしてセルツウセル比較を行う領域Aではストライプ607のx方向幅aはセルのピッチの整数倍とし、ダイツウダイ比較を行う領域B及びB'でのストライプ609のx方向の幅bは電子光学系の視野寸法、すなわちビームの走査幅(写像投影方式の場合はビーム寸法)と等しいx方向寸法とした。これによって、従来のように一つのストライプの走査中における回路の切り替えが不要となり、切換え作業が容易となる。

【0052】

(第7の実施例)

図7は、上記実施形態で示した電子線装置を半導体デバイス製造工程におけるウェーハの評価に適用したものである。

デバイス製造工程の一例を図7のフローチャートに従って説明する。

この製造工程例は以下の各主工程を含む。

(1) ウェーハを製造するウェーハ製造工程(又はウェーハを準備する準備工程)(ステ

10

20

30

40

50

ップ 10)

(2) 露光に使用するマスクを製作するマスク製造工程(又はマスクを準備するマスク準備工程)(ステップ 11)

(3) ウェーハに必要な加工処理を行うウェーハプロセッシング工程(ステップ 12)

(4) ウェーハ上に形成されたチップを 1 個ずつ切り出し、動作可能にならしめるチップ組立工程(ステップ 13)

(5) 組み立てられたチップを検査するチップ検査工程(ステップ 14)

なお、各々の工程は、更に幾つかのサブ工程からなっている。

【0053】

これらの主工程の中で、半導体デバイスの性能に決定的な影響を及ぼす主工程がウェーハプロセッシング工程である。この工程では、設計された回路パターンをウェーハ上に順次積層し、メモリや MPU として動作するチップを多数形成する。このウェーハプロセッシング工程は以下の各工程を含む。

(1) 絶縁層となる誘電体薄膜や配線部、或いは電極部を形成する金属薄膜等を形成する薄膜形成工程(CVD やスパッタリング等を用いる)

(2) 形成された薄膜層やウェーハ基板を酸化する酸化工程

(3) 薄膜層やウェーハ基板等を選択的に加工するためにマスク(レチクル)を用いてレジストのパターンを形成するリソグラフィ工程

(4) レジストパターンに従って薄膜層や基板を加工するエッチング工程(例えばドライエッチング技術を用いる)

(5) イオン・不純物注入拡散工程

(6) レジスト剥離工程

(7) 加工されたウェーハを検査する検査工程

なお、ウェーハプロセッシング工程は必要な層数だけ繰り返し行い、設計通り動作する半導体デバイスを製造する。

【0054】

上記ウェーハプロセッシング工程の中核をなすリソグラフィ工程を図 8 のフローチャートに示す。このリソグラフィ工程は以下の各工程を含む。

(1) 前段の工程で回路パターンが形成されたウェーハ上にレジストをコートするレジスト塗布工程(ステップ 20)

(2) レジストを露光する露光工程(ステップ 21)

(3) 露光されたレジストを現像してレジストのパターンを得る現像工程(ステップ 22)

(4) 現像されたパターンを安定化させるためのアニール工程(ステップ 23)

以上の半導体デバイス製造工程、ウェーハプロセッシング工程、リソグラフィ工程には周知の工程が適用される。

【0055】

上記(7)のウェーハ検査工程において、本発明の上記各実施形態に係る欠陥検査装置を用いた場合、微細なパターンを有する半導体デバイスでも、2次電子画像の像障害が無い状態で高精度に欠陥を検査できるので、製品の歩留向上、欠陥製品の出荷防止が可能となる。

【0056】

なお、本発明によるパターン評価は、フォトマスクやレクチル、ウェーハ等の試料の欠陥検査、線幅測定、合わせ精度、電位コントラスト測定等広く試料のパターン評価に適用することができる。

【図面の簡単な説明】

【0057】

【図 1】電磁レンズと静電レンズとを組み合わせた本発明の対物レンズの一実施例を示す断面図である。

【図 2】試料面上に磁場が存在する対物レンズを用いたステンスルマスク用欠陥検査装置

10

20

30

40

50

の電子光学系を含む本発明の実施の形態を示す概略構成図である。

【図 2 B】磁気レンズの軸上磁場とビームとの関係を示す図である。

【図 2 C】図 2 B の仮想面におけるビームの速度ベクトルについての説明図である。

【図 3】マルチビーム用の電子光学系を含む本発明の実施の形態を示す概略構成図である。

【図 3 B】図 3 の電子光学系における偏向中心位置と収差との関係を示す図である。

【図 4】太いビームで走査し、検出面の寸法を小さくして解像度を出す電子光学系を含む本発明の実施の形態を示す概略構成図である。

【図 5】E × B 分離器の偏向色収差を消す光学系を含む本発明の実施の形態を示す概略構成図である。

10

【図 6】本発明の欠陥検査方法におけるストライプの分割方法を示す概略構成図である。

【図 7】本発明の電子線装置を使用した半導体デバイス製造プロセスを示すフローチャートである。

【図 8】図 7 の半導体デバイス製造プロセスのうちリソグラフィープロセスを示すフローチャートである。

【主要部分の符号の説明】

【0058】

101 : 光軸、103 : 内側磁極、105 : 外側磁極、105a : 外側磁極の磁気ギャップ形成面、105b : 外側磁極の磁気ギャップ形成面の奥側、109 : 励磁コイル、113 : 試料、117 同左用静電偏向器、119 : E × B 分離器用電磁偏向器、121 : 2 次的ビーム軌道、123 : 鈍角の断面、125 : 磁気材料の鋭角部を無くす追加部材、127 : 軸対称電極、129 : ハーメチックシル、131 : 真空シールド材、133 : 0 リング、

20

201 : 電子銃、205 : 成形開口、207 : 照射レンズ、

211 : 対物レンズ、219 : 拡大レンズ、223 : 第 1 拡大像、

225 : シンチレータ塗布した FOP 窓

303 : コンデンサレンズ、309 : マルチ開口、305 : 回転レンズ

307 : NA 開口、311 : 縮小レンズ、313 : 対物レンズ、315 : 試料、317 : 軸対称電極、323 : E × B 分離器、325 : 走査偏向器、327 : 試料面での E × B の偏向方向、329 : E × B の偏向方向、331 : 2 次光学系方向、333 : 対物レンズによる 2 次電子の回転、335 : 走査偏向支点、337 : 第 2 拡大レンズ、339 : レンズギャップ、341 : 磁場もれを少なくする磁気シールド、343 : 第 3 拡大レンズ、345 : シンチレータ面、347 : 光学レンズ、349 : PMT アレー、351 : 信号強度を調節する開口、353 : ダイナミック補正のための偏向器、355 : 励磁コイル、359 : 0 リング、357 : 真空シールドリング

30

401 : 電子銃、403 : マルチ開口、405 : コンデンサレンズ、407 : 対物レンズ、409 : 試料、411 : クロスオーバ、413 : E × B 分離器、415 : 一次ビーム主光線軌道、417 : クロスオーバ像、419 : 走査偏向器、423 : 2 次的ビームの像、427 : MCP、429 : ダイナミック補正偏向器、431 : 光拡大レンズ、433 : PMT アレー

40

501 : 電子銃、503 : コンデンサレンズ、505 : 軸合せ偏向器

507 : 一次ビーム主光線軌道、511 : E × B 分離器用静電偏向器

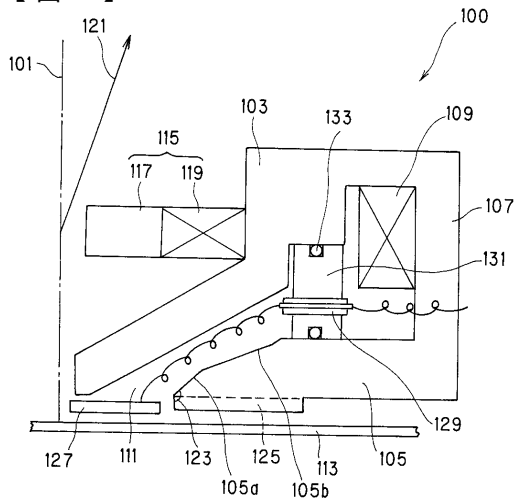
513 : 同上用電磁偏向器、515 : 対物レンズ、517 : 試料

519 : 電磁偏向器による偏向量、521 : 静電偏向器による偏向量

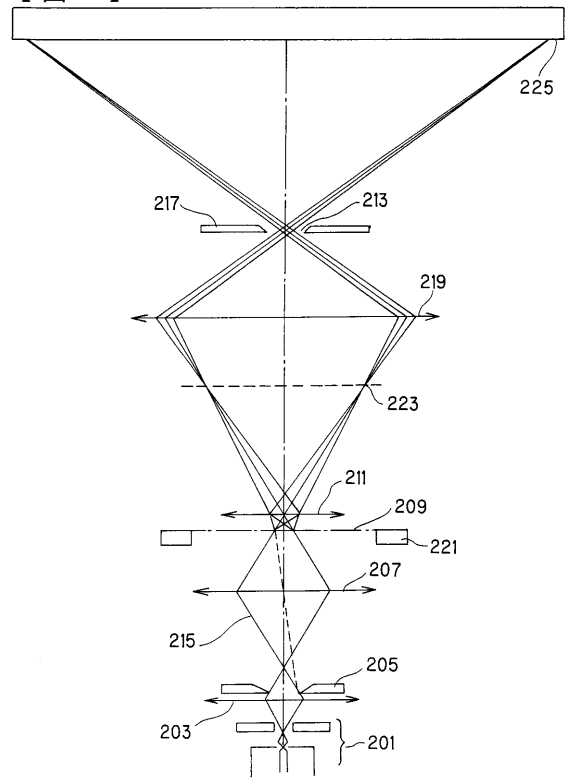
523 : 2 次的ビームの軌道、525 : 2 次的ビームの第 2 拡大レンズ、

601 : ダイ、603 : ダイツウダイでの検査領域、605 : セルツウセル検査可能領域、607 : セルツウセル検査可能領域を含むストライプのストライプ幅、609 : ダイツウダイの検査領域でのストライプ、

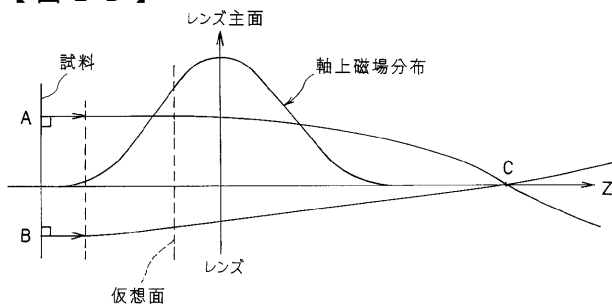
【図 1】



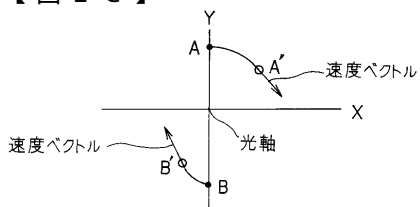
【図 2】



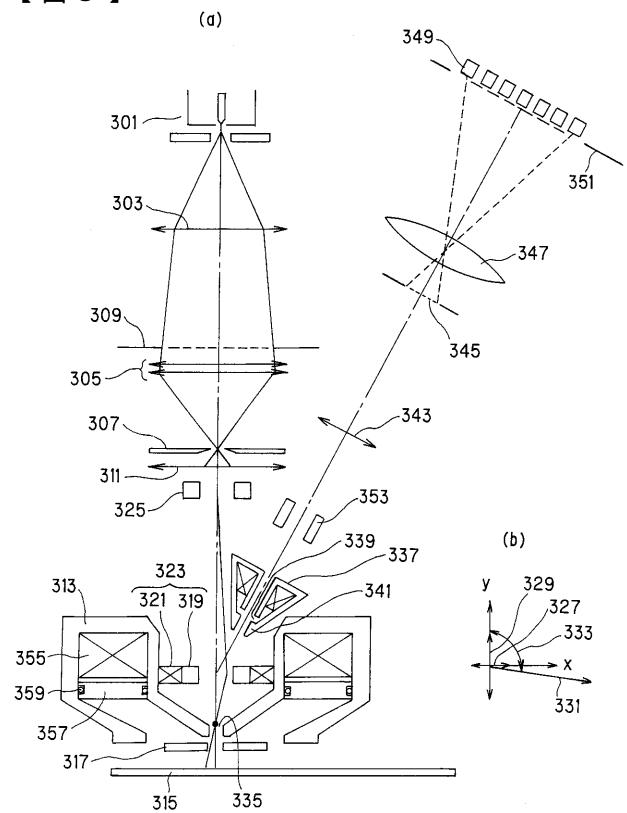
【図 2 B】



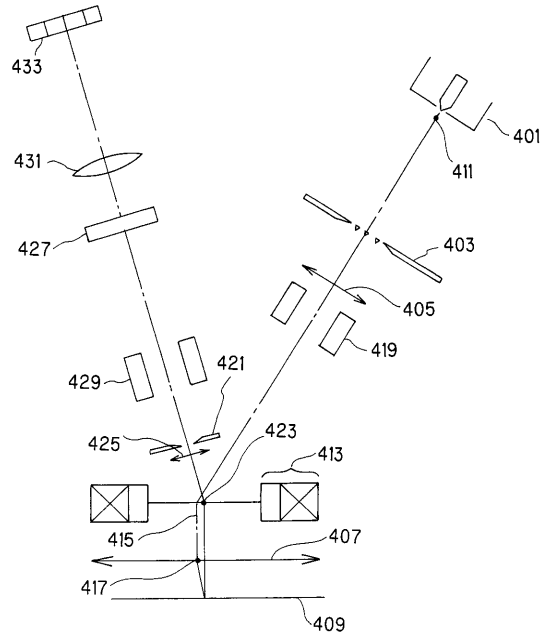
【図 2 C】



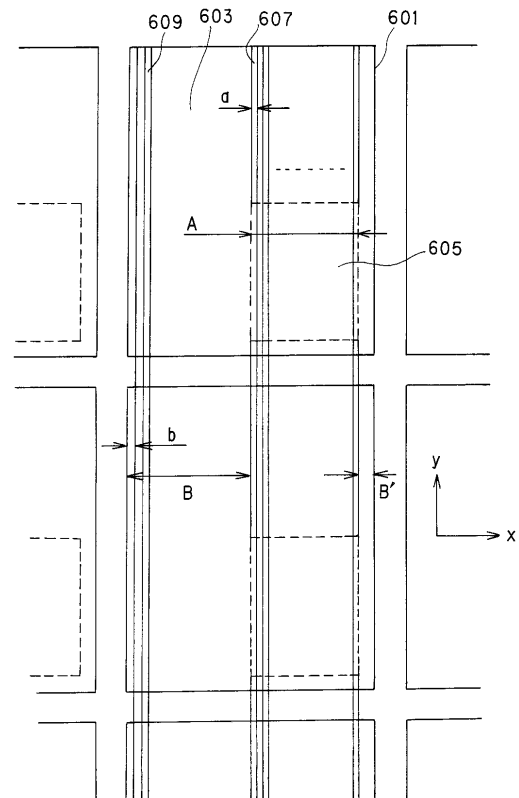
【図 3】



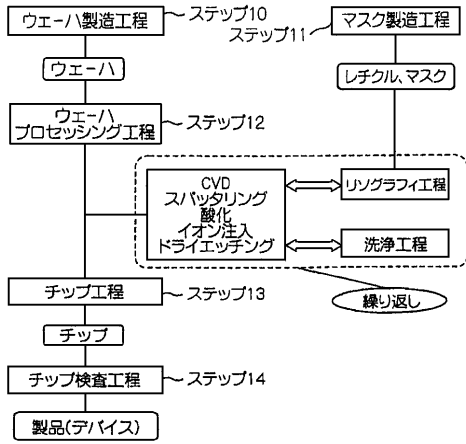
【 図 4 】



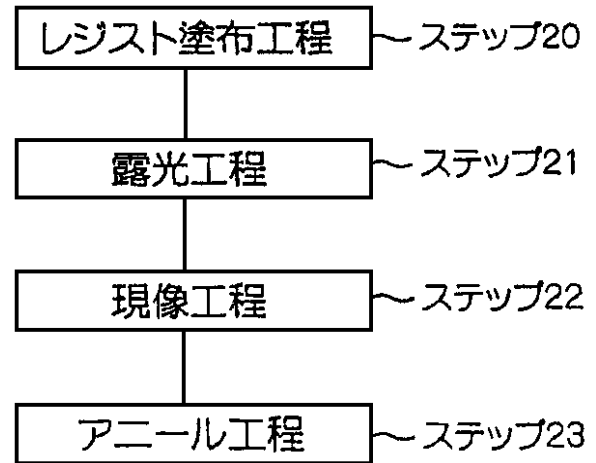
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



フロントページの続き

(72)発明者 中筋 護

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

(72)発明者 佐竹 徹

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) 4M106 AA01 AA02 BA02 CA39 DB05 DB12 DB18 DH33
5C033 DD09 FF08 JJ05