

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4993849号  
(P4993849)

(45) 発行日 平成24年8月8日(2012.8.8)

(24) 登録日 平成24年5月18日(2012.5.18)

(51) Int. Cl.	F I
GO 1 R 31/302 (2006.01)	GO 1 R 31/28 L
GO 1 N 23/225 (2006.01)	GO 1 N 23/225
GO 1 N 27/00 (2006.01)	GO 1 N 27/00 Z
HO 1 J 37/147 (2006.01)	HO 1 J 37/147 B
HO 1 J 37/153 (2006.01)	HO 1 J 37/153 B

請求項の数 16 (全 24 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2004-161276 (P2004-161276)	(73) 特許権者	501387839
(22) 出願日	平成16年5月31日(2004.5.31)		株式会社日立ハイテクノロジーズ
(65) 公開番号	特開2005-338043 (P2005-338043A)		東京都港区西新橋一丁目24番14号
(43) 公開日	平成17年12月8日(2005.12.8)	(74) 代理人	100074631
審査請求日	平成18年10月4日(2006.10.4)		弁理士 高田 幸彦
		(72) 発明者	揚村 寿英
			茨城県ひたちなか市大字市毛882番地
			株式会社 日立ハイ
			テクノロジーズ
			那珂事業所内
		(72) 発明者	佐藤 貢
			茨城県ひたちなか市大字市毛882番地
			株式会社 日立ハイ
			テクノロジーズ
			那珂事業所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 不良検査装置及び荷電粒子線装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

半導体ウェハ上に形成された微細な回路配線パターンを備えた試料の電気特性を測定する不良検査装置において、

前記回路配線パターンに接続された複数のパッド、あるいはプラグへ接触させて前記回路配線パターンの電気特性測定を行なう複数のプローブと、

試料ステージ上の試料に対して荷電粒子線を照射する手段と、荷電粒子線の照射点を前記試料上で移動させるイメージシフト手段と、試料に照射された荷電粒子線に起因して発生する二次的な荷電粒子線を検出して試料の画像を取得する手段と、

画像を表示する表示手段と、前記画像の任意箇所を指定するための入力手段と、イメージシフト操作座標が、イメージシフト手段の操作によって荷電粒子線の照射位置の仮想される移動量を示す座標であり、ステージ座標が荷電粒子線の照射に対応して換算された試料ステージ上の移動量を示す座標であるときに、回路配線パターン及びイメージシフト操作座標上での照射位置の移動量を、試料ステージ座標上の移動量に変換する式とを格納した記憶手段と、前記取得画像を前記表示手段に表示するための画像処理を行なう画像処理手段と、前記記憶手段と前記画像処理手段とを接続する通信手段を有し、

前記画像処理手段が、イメージシフト操作座標上で、前記イメージシフト手段によって移動させた照射位置の移動量を、試料ステージ座標上で、前記変換する式によって試料ステージ移動量として変換し、

前記シフト手段が、二段のイメージシフトコイルによって荷電粒子線を偏向し、

前記試料の画像を取得する手段が、前記イメージシフト手段によるイメージシフト量に依存したアライメント信号を付加し、

前記表示手段が、該試料ステージ変換座標上で移動された照射点によって生成された取得画像を表示すること

を特徴とする荷電粒子装置。

【請求項 2】

請求項 1 において、前記記憶手段は、前記試料ステージ変換座標上の試料ステージ移動量を回路配線パターンの C A D 変換座標の C A D 移動量に変換する式を格納し、

前記表示手段が、前記回路配線パターンと取得画像とを表示し、

前記画像処理手段が、前記回路配線パターンと前記取得画像との同一箇所の指示を、前記試料ステージ座標上の位置情報を、前記記憶手段に格納された前記 C A D 変換座標に変換する式から前記回路配線パターンの位置情報に変換することで行い、前記表示手段が、変換した前記回路配線パターンを前記取得画像にオーバーレイさせること

を特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 3】

請求項 2 記載の荷電粒子線装置において、

前記表示手段に、前記取得画像と前記回路配線パターンの双方を表示することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 4】

請求項 3 記載の荷電粒子線装置において、

前記表示手段に、前記取得画像と前記回路配線パターンを重ねて表示することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 5】

請求項 1 または 2 記載の荷電粒子線装置において、

前記表示手段が、イメージシフト操作座標上のイメージシフト移動量を試料ステージ座標上の試料ステージ移動量に換算して表示する該試料ステージ座標と、前記イメージシフト移動量が画像回転方向に換算して形成されたイメージシフト操作座標とを選択して表示することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 6】

請求項 5 記載の荷電粒子線装置において、

前記表示手段が、あらかじめプリセットされたイメージシフト移動量と移動方向とを選択した変換座標を表示し、前記選択された変換座標に、イメージシフトされた荷電粒子線を表示することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 7】

請求項 5 記載の荷電粒子線装置において、

前記表示手段が、直接入力された前記選択された変換座標の任意の位置に、イメージシフトされた荷電粒子線を表示することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 8】

請求項 1 または 2 記載の荷電粒子線装置において、

前記表示手段が、前記試料ステージ座標と、前記イメージシフト操作座標とを同時に表示することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 9】

請求項 8 記載の荷電粒子線装置において、

前記表示手段が、あらかじめプリセットされたイメージシフト移動量と移動方向選択した変換座標を表示し、前記イメージシフト操作座標に、前記荷電粒子線をイメージシフトされた荷電粒子線を表示することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 10】

請求項 8 記載の荷電粒子線装置において、

前記表示手段が、直接入力された前記イメージシフト操作座標の任意の位置に、イメージシフトされた荷電粒子線を表示することを特徴とする荷電粒子線装置。

10

20

30

40

50

## 【請求項 1 1】

請求項 1 または 2 記載の荷電粒子線装置において、  
前記表示手段が、前記イメージシフト移動量と前記回路配線パターンのピッチ間隔の比の整数をカウンタで表示することを特徴とする荷電粒子線装置。

## 【請求項 1 2】

請求項 1 1 記載の荷電粒子線装置において、  
カウンタ手段がカウント数を入力する手段を備え、前記イメージシフト移動量と前記ピッチ間隔の比の整数が入力したカウント数に達した場合に、前記表示手段にメッセージ表示させることを特徴とする荷電粒子線装置。

## 【請求項 1 3】

請求項 1 または 2 記載の荷電粒子線装置において、  
荷電粒子線を放出させる荷電粒子供給源と、前記荷電粒子線を収束する収束レンズと、前記収束された荷電粒子線を試料表面に収束する対物レンズと、前記荷電粒子線を試料上で走査する前記イメージシフト手段を構成する偏向器とを備え、

前記偏向器が 2 段のイメージシフト偏向器と、1 段の光軸制御用偏向器とから構成され、前記 2 段のイメージシフト偏向器に与える偏向信号を独立に調整、あるいはそれぞれの偏向信号の比を調整し、前記荷電粒子線の前記試料上の照射点を移動させ、さらに、前記 1 段の光軸制御用偏向器に与える偏向信号を調整し、荷電粒子線の中心軸を偏向して、色収差を実効的に消去する対物レンズの軸を形成する手段を備えたことを特徴とする荷電粒子線装置。

## 【請求項 1 4】

請求項 1 3 記載の荷電粒子線装置において、  
前記 1 段の光軸制御用偏向器に与える偏向信号を、前記 2 段のイメージシフト偏向器の上段、あるいは下段の偏向信号に重畳する手段を備えたことを特徴とする荷電粒子線装置。

## 【請求項 1 5】

請求項 1 3 記載の荷電粒子線装置において、  
前記光軸制御用偏向器は 2 段であり、前記 2 段の光軸制御用偏向器に与える偏向信号を独立に調整、あるいはそれぞれの偏向信号の比を調整し、前記対物レンズの物点位置を固定する手段を備えたことを特徴とする荷電粒子線装置。

## 【請求項 1 6】

請求項 1 5 記載の荷電粒子線装置において、  
前記 2 段の光軸制御用偏向器に与える偏向信号を、前記 2 段のイメージシフト偏向器に重畳する手段を備えたことを特徴とする荷電粒子線装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、荷電粒子線装置、特に半導体の微細パターンまたは一般的な試料の観察を行なう走査電子顕微鏡のような装置と、電子素子の電気的特性を微細な探針を用いて計測する不良検査装置、特に荷電粒子線装置のイメージシフト機能を用いた探針接触のための視野決め方法及び当該視野決め方法を用いた不良検査装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

半導体チップ上に形成された微細な電子回路の電気的欠陥を検出するための検査装置として、従来、電子ビームテストすなわち E B テスタ、プローバ装置等の検査装置が知られている。E B テスタとは、被測定点に電子ビームを照射し、測定点より発生する 2 次電子放出量が測定点の電圧値によって変化することを利用して、L S I の電気的不良箇所を検出する装置である。また、プローバ装置とは、L S I の特性測定用パッドの位置に合わせて配置された複数の探針、あるいはメカニカルプローブを測定パッドやプラグに触針させて、L S I の電気特性を測定する装置である。これら E B テスタやプローバ装置において

10

20

30

40

50

は、装置オペレータが、配線の光学顕微鏡像やSEM像等の画像を見ながら、プローブの触針位置をマニュアル作業で確認している。

【0003】

近年、LSI等の半導体素子上に形成される回路パターンは複雑化し、プローブを最適なプロービング位置へ短時間で移動することが困難になりつつある。そこで、プロービングの際に、装置オペレータが参照する半導体素子上の実画像に合わせて、半導体素子の配線レイアウトを表示して、プロービングを行なう際に要する時間を短縮する技術があり、CADナビゲーションと呼ばれている。

【0004】

上記SEM像の観察は、一次電子線を試料上で走査して、半導体の微細なパターン試料の走査像を得る走査電子顕微鏡が用いられている。微細なパターン試料を観察する目的の装置では、一次電子線の照射領域あるいは観察視野を試料上の観測点に正確に移動させるために、一次電子線を電氣的に偏向して、数 $\mu\text{m}$ ~10 $\mu\text{m}$ 程度の範囲で電氣的に2段の偏向器で観察視野を移動するイメージシフト機能を有している。

また、イメージシフトにより一次電子線は対物レンズに対して斜めに入射するため、対物レンズの軸外収差によってSEM像の分解能が劣化するが、例えば特許文献1のように、イメージシフト量の関数として軸外収差を除去するような例が開示されている。特に半導体などのパターン試料の観察では、試料の帯電を防ぐために、一般的には5kV以下の低い加速電圧を用いてサブナノメートル、ナノメートルオーダーの観察を行なう。このような目的でイメージシフトを使用する条件では、軸外色収差とイメージシフト偏向に伴う色収差を低減する必要がある。

【0005】

イメージシフトを使用しない条件、すなわち対物レンズの物点が移動しない条件では、試料に負の電圧を印加するリターディング法や、対物レンズ内に正の電圧を印加するブースティング法により、対物レンズの色収差を実効的に低減し、分解能の向上が図られている。また、一次電子線を傾斜して試料に照射するような条件、すなわちビームチルトでは、例えば特許文献2のように、一次電子線を対物レンズの軸外に意図的に入射させて色収差を発生させ、かつ、静電磁気多極子を用いてこの色収差を相殺するような例が開示されている。

【0006】

上記のイメージシフトによる視野移動は、機械的に試料ステージを動かすことでも代替できるが、移動速度の速さと精度の点でイメージシフトが優れている。仮に試料ステージの移動精度が向上しても、機械的な移動のため必ず振動が発生する。数本のプローブを同一SEM視野内で観察しながら測定プラグに触針してから、その他のプローブの触針を行なうことが多いため、機械的な振動があると、触針したプローブを破損する可能性がある。

【0007】

そこで、極力広範囲の一次電子線の照射領域を実現し、かつ色収差を低減したイメージシフト機能に連動したCADナビゲーション機能の実現できれば、不良解析装置の操作性が顕著に向上し、装置ユーザの負担を減らすことが可能となる。

【0008】

【特許文献1】特開平10-247465号公報

【特許文献2】特開2001-15055号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

近年、LSI等の半導体素子上に形成される回路パターンは複雑化し、プローブを最適なプロービング位置へ短時間で移動することが困難になりつつあり、そのためにCADナビゲーションが有効であることは前記のとおりである。しかし現状のCADナビゲーションは、試料ステージを駆動することのみが考慮されている。前記したように試料ステージ

10

20

30

40

50

の機械的な振動によるプローブの破損を防止し、かつ高速、高精度な視野移動を実現するためには、イメージシフト機能は必須である。しかしながら、イメージシフト機能にリンクしたCADナビゲーションに関する技術の開示がない。

【0010】

試料ステージの駆動範囲を完全にイメージシフトで置き換えるのは現実的に不可能である。しかしできるだけ広範囲の一次電子線照射領域を実現することが要求されている。実施例で詳しく述べるが、例えば、現在の半導体メモリマットのセクター幅からすると、イメージシフト移動量としては $\pm 75 \mu\text{m}$ 以上、全移動範囲で $150 \mu\text{m}$ 以上が要求される。また、プラグの大きさは $200 \text{nm}$ 以下であり、少なくともSEM倍率 $10 \text{k}$ 以上の高分解能観察も要求される。

10

【0011】

特許文献1に開示された装置は、対物レンズに斜め入射した一次電子線による軸外収差を除去し、従来のイメージシフト量数 $\mu\text{m} \sim 10 \mu\text{m}$ 程度の5倍でも高分解能SEM画像を得ることができる。しかし、 $\pm 75 \mu\text{m}$ 以上のイメージシフトで顕著になるのは偏向による色収差であり、特許文献1では偏向色収差が考慮されていない。

【0012】

イメージシフトを使用する条件でも、リターディング法やブースティング法によって色収差を低減することは可能である。しかし、リターディング法では試料に $-1 \text{kV}$ 以上の電圧を印加する。不良検査装置では、プローブを直接プラグに接触させて電気的測定を行なうため、試料に電圧が印加されていると、放電によりプローブ、プラグ、また素子全体も破損する。

20

【0013】

イメージシフトにおいても、一次電子線を試料に傾斜して入射させるため半導体の微細パターンの3次元観察で近年使用されているビームチルトに類似する。特許文献2に開示された装置は、一次電子線を対物レンズの軸外に意図的に入射させて色収差を発生させ、かつ、静電磁気多極子を用いてこの色収差と大きさは同じで方向が逆の色収差を発生させて相殺し、ビーム傾斜が大きい低加速電圧の条件でも、高分解能SEM画像を得ることができる。さらに対物レンズの軸外収差を極力低減するために、常に対物レンズの光軸上の物点位置を支点に、一次電子線を偏向するように制御されている。しかし、物点位置を移動させない限り、視野移動は実現できないし、物点を移動すれば、対物レンズの軸外収差が大きくなる。従ってイメージシフトとビームチルトは本質的に異なる。

30

【0014】

本発明では、対物レンズの物点位置と物点位置での一次電子線の傾きとの比を対物レンズの軸として定義する。対物レンズの軸とは、例えば荷電粒子線装置のユーザであれば一般的に知られている電流中心軸が一例である。ビームチルトでは物点位置ゼロとなるため、本発明で述べる対物レンズの軸は存在しない。

【0015】

そこで本発明では、 $\pm 75 \mu\text{m}$ 以上のイメージシフトでも色収差による分解能劣化が少ない対物レンズの軸を実現した荷電粒子線装置と、イメージシフト機能に連動したCADナビゲーション機能を有する不良検査装置を提供することを目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0016】

本発明は、半導体ウェハ上に形成された微細な回路配線パターンを備えた試料の電気特性を測定する不良検査装置に関し、回路配線パターンに接続された複数のパッド、あるいはプラグへ接触させて回路配線パターンの電気特性測定を行なう複数のプローブと、試料に対して荷電粒子線を照射する手段と、荷電粒子線を放出させる荷電粒子供給源と、荷電粒子線を収束する収束レンズと、収束された荷電粒子線を試料表面に収束する対物レンズと、荷電粒子線を試料上で走査する偏向器と、荷電粒子線の照射点を移動するイメージシフト偏向器と、荷電粒子線の光軸を制御する光軸制御用偏向器と、試料に照射された荷電粒子線に起因して発生する二次的な荷電粒子線を検出して試料の画像を取得する手段と、

50

画像を表示する表示手段と、画像の任意箇所を指定するための入力手段と、回路配線パターンを格納した記憶手段と、取得画像を表示手段に表示するための画像処理を行なう画像処理手段と、記憶手段と画像処理手段とを接続する通信手段により、表示手段に回路配線パターンと取得画像とを表示し、回路配線パターンと取得画像の同一箇所の指定を、装置ユーザに対して要求する情報を表示手段に表示し、指定された位置の座標情報を記憶手段と画像処理手段の間で通信し、座標情報にイメージシフト手段による荷電粒子線の試料上の位置情報を含ませることにより、前記課題を実現する。

【発明の効果】

【0017】

本発明により、プローブと荷電粒子線装置とを組み合わせた不良検査装置において、ユーザ利便性が飛躍的に向上する。すなわち、 $\pm 75 \mu\text{m}$ 以上のイメージシフトでも分解能の劣化の少ない荷電粒子線装置と、イメージシフト機能に連動したCADナビゲーション機能を有する不良検査装置の提供が可能となる。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

以下、図面を用いて実施形態について説明する。図1には不良検査装置の構成例を、図2には、走査電子顕微鏡(以下SEMと称する)の構成例を示す。初めに、図1を用いて検査装置の構成について説明する。

【0019】

101はSEM電子光学系要素であり、一次電子線103を試料上で照射かつ走査するための照射光学系を形成する。よって、本実施例の電子銃101は、電子ビームを発生する電子源やビームを走査するための偏向装置、電子ビームを収束するためのレンズ等、SEMに必要な構成要件を全て含んだ系を意味する。102は真空チャンバ隔壁であり、隔壁102により大気圧の領域と真空領域が隔てられている。SEM電子光学系要素101の動作、例えば電子源の電子ビーム引出し電圧や偏向装置、レンズへの電流などは、電子光学系制御装置116により制御される。

20

【0020】

一次電子線103の照射により被検査試料118より発生した二次電子105は、二次電子検出器104により検出される。二次電子検出器は、実際に電子を検出するセンサ部分は隔壁102内に配置されているが、電源接続用の配線等が接続される根本の部分は、隔壁の外に突き出ている。106は、被検査試料の所定領域に触針されるメカニカルプローブであり、アタッチメント107によって保持されている。108は、アタッチメント107を所望の位置に移動するためのプローブ駆動手段であり、メカニカルプローブ106をアタッチメント107ごと所望位置へ移動する。

30

【0021】

実際に不良検査の対象となる試料は試料台109上に保持される。試料台109は、更に試料台駆動手段110に保持されており、試料台109と試料台駆動手段を合わせて試料ステージと称される。試料ステージとプローブ駆動手段108とは、大ステージ111上に形成されており、大ステージ111は、X、Y(面内)、Z(垂直)方向への駆動手段を備えており、試料ステージとプローブ駆動手段108とを一体的に駆動することができる。このように大ステージ111上に試料ステージとプローブ駆動手段108とを一体形成した点は、本実施例の特徴の一つである。技術思想として重要な点は、被検査試料118とメカニカルプローブ106の両者を、独立的にも一体的にも移動できるように装置を構成にすることである。大ステージ111は、更に、ベース112上に配置される。

40

【0022】

試料台109およびアタッチメント107は電気特性計測器113に接続されている。電気特性計測器は、主としてメカニカルプローブ106により検出された試料の電流-電圧特性を計測して、そこから所望の特性値を算出する、例えば、メカニカルプローブ106の触針箇所の抵抗値や電流値、電圧などである。半導体ウエハの解析の場合には、電気特性計測器113として、例えば半導体パラメータアナライザが用いられている。電気特

50

性計測器 113 と試料台 109 が接続されるのは、試料台 109 の試料載置面には、試料に電流または電圧を印加するための給電プラグが備えられる場合もあるからである。

【0023】

電気特性計測器で計測された特性値は、伝送線を介して制御コンピュータ 114 に伝送される。制御コンピュータ 114 は、伝送された情報を元に更に高度な分析を行なう。例えば、測定値を解析して、測定箇所が不良か正常かの判定を行なう。制御コンピュータ 114 には、光学ディスクやハードディスク、ないしメモリなどの記憶手段が備えられており、測定した電気特性を格納しておくことができる。更にまた、制御コンピュータ 114 は、不良検査装置全体の動作を制御する役割も果たしている。例えば、電子銃制御器 116、二次電子検出器 104、プローブ駆動手段 108、試料ユニットおよび大ステージ 111 は、制御コンピュータ 114 により動作制御される。

10

【0024】

そのため、制御用コンピュータは、接続された各構成部品を制御するソフトウェアを格納するためのメモリ 115 と、装置ユーザが装置の設定パラメータを入力するための入力手段を備える。入力手段とは、例えば、キーボード、操作画面上でポインタを動かすためのマウスなどである。被検査試料の配線レイアウトのデータ（以下、CAD 画像データと称する）は、CAD 用ワークステーション (WS) 117 に格納される。WS 117 は、配線レイアウトを表示するための画像表示手段を備える。CAD 用 WS 117 は、制御コンピュータ 114 に接続されており、必要に応じて CAD 画像データを制御用コンピュータ 114 に伝送する。

20

【0025】

SEM 制御用 PC 119 は、SEM の光学条件、倍率、フォーカス、イメージシフト、SEM 画像の明るさ、スキャンスピード、アライメント、画像の記録、ステージ/プローブの移動等を、PC あるいは WS の Graphic User Interface (以下 GUI と称する) 操作やコマンド入力により実現する。コントロールパネル 120 は、SEM 制御用 PC 119 の機能の一部、メカニカルプローブ 106、試料ユニットおよび大ステージ 111 を、つまみやジョイスティック、ボタン等で操作することにより実現する。SEM 制御用 PC 119 は、ワークステーションを用いても良いのは明らかである。

【0026】

次に図 2 を用いて SEM 電子光学系要素の構成例を示す。電子銃 201 で放出、加速された一次電子線 103 は、コンデンサレンズ 202 によって絞り 203 の手前で収束される。収束される位置をコンデンサレンズ 202 で調整することで、絞り 203 を通過する一次電子線 103 の量を調節できる。絞りを通過した一次電子線 103 は、イメージシフトコイル 204、205 で偏向作用を受けて対物レンズ 209 を通過し、試料 210 上に照射される。イメージシフトコイル 204、205 は、それぞれ独立に動作させても良いし、上下段の偏向比を一定にして動作させても良い。いずれにしてもイメージシフトコイル 204、205 を調節することで、一次電子線 103 の試料 210 上での照射位置を変えることができる。この操作は一般的にビームシフト、あるいはイメージシフトと呼ばれる。アライメントコイル 206、207 は、通常は一次電子線 103 を対物レンズ 209 の所望の軸に通すように調整される。また、イメージシフト動作時には、対物レンズ 209 の物点 211 の調整を行ない、イメージシフト時の視野ずれを補正することができる。この動作については後述する。

30

40

【0027】

図 2 は SEM 電子光学系要素の構成の一例に過ぎない。例えば、絞り 203 を通過した後、試料 210 上での一次電子線 103 の開き角を制御するための第二のコンデンサレンズを挿入しても良い。また図 1 の二次電子検出器 104 は、真空チャンバ隔壁に設置されているが、対物レンズ上部にフィルタと二次電子検出器を配置し、二次電子を一次電子線 103 と逆行する方向に引き出して検出する方法を用いても良い。また、分解能向上のために、光軸沿いにプースティング電極を設けても良い。

【0028】

50

次に図3を用いて図1の不良検査装置のSEM制御用PC119に表示されるGUIの一例を説明する。SEM制御用PC上GUI301は、主に7つの部分から構成される。SEM制御GUI部302は、SEM画像表示と、SEMの光学条件の設定、SEMの倍率、フォーカス、イメージシフト、SEM画像の明るさ、スキャンスピード、アライメント、画像の記録などのアイコンやメニューから構成される。大ステージ制御GUI部303は、大ステージ111を、中央位置、CCD観察位置、メカニカルプローブ106の交換位置等に移動させるためのアイコンや、バックラッシュ除去のためのアイコン、座標入力・表示ボックスが配置されている。試料ステージ制御GUI部304は、移動位置を示すクロスカーソル、矢印アイコン、移動量選択用のコンボボックス、座標入力・表示ボックスが配置されている。イメージシフト制御GUI部305は、移動位置を示すクロスカーソル、矢印アイコン、移動量選択用のコンボボックス、座標入力・表示ボックス、イメージシフト中点に戻すリセットボタン等が配置されている。座標メモリ表示GUI部306は、大ステージ座標、試料ステージ座標、イメージシフト座標をメモリ登録するアイコン、登録座標の選択・呼出用のコンボボックス、登録座標表示ボックスが配置されている。移動選択GUI部307は、大ステージ、試料ステージ、イメージシフトのいずれかを移動させるための選択用のアイコンと、大ステージ、試料ステージ、イメージシフトを移動させないためのロック用のアイコンが配置されている。以上のGUI部を、纏めてSEM-ステージ制御GUI部とする。

10

#### 【0029】

メカニカルプローブ106を駆動制御するためのプローブ制御GUI部308は、駆動したいプローブユニットを選択・表示するためのアイコン、プローブを全退避させるためのアイコン、プローブのX、Y、Z駆動をマウス操作するスクロールバーと矢印アイコン、Z駆動の微調整をマウス操作するスクロールバー、プローブX、Y、Zを中点に戻すリセットアイコン、プローブX、Y、Z微動移動速度選択用のコンボボックス、プローブX、Y、Zステップ量選択用のコンボボックス、プローブX、Y、Z連続移動速度選択用のコンボボックス、各プローブの駆動状態表示部が配置されている。プローブ制御GUI部308がSEM制御用PC上GUI301の右側をほとんど占有しているのは、プローブのX、Y、Z駆動用のスクロールバーのマウス操作精度を向上させるために、スクロールバーをGUI上で大きく取っているためである。

20

#### 【0030】

図3ではGUI左側にSEM-ステージ制御GUI部、右側にプローブ制御GUI部308が配置されているが、ユーザの観察、操作が容易になるように、左右入れ替えることも可能である。

30

#### 【0031】

図4は、SEM制御GUI部302に表示されるSEM画像の例である。図4(a)の例では、4本のプローブを使用して不良検査を行なうとしたとき、SEM画面視野内に4本のプローブが入っている。複数のプラグ409の中で、プローブ401をターゲットプラグ405に、プローブ402をターゲットプラグ406に、それぞれ接触させるようにプローブユニットを操作する。プローブ403は既にターゲットプラグ407に接触させてある。プローブ404はSEM視野410外のターゲットプラグに接触させる。図4(a)の場合は、接触させるべき3本のプローブがSEM視野410内に入り、この場合はステージを動かす必要もなく、またイメージシフトさせる必要もない。

40

#### 【0032】

図4(b)の例では3本のプローブは既にターゲットプラグに接触させてある。しかし、プローブ404のターゲットプラグ408だけSEM視野410外にある例である。この場合は、接触したプローブが破損する可能性があるため、機械的振動を伴うステージを動かすことはできない。破損を防止するためステージをゆっくり動かすことも考えられるが、位置決め分解能5nm以下とするためにプローブの駆動に使用している piezo素子のクリープ現象により、ステージ駆動中に接触が外れてしまう可能性がある。このような理由からイメージシフトによりSEM視野410を移動させる方法が最適である。矢

50



印411は、駆動選択されたプローブ404がどちらの方向にあるかを明確にするために表示される。矢印の方向は、駆動させるプローブの方向によって変わる。

#### 【0033】

図4(c)の例では、プローブ404とターゲットゲートプラグ408がSEM視野410内で観察できるように、イメージシフト操作を行なった結果ある。現在の半導体素子でプラグの大きさは、200nm以下で、SEMの観察倍率は10k程度である。この倍率での観察視野はおよそ10 $\mu$ mとなる。例えば、現在の半導体メモリマットのセクター幅は大きくても150 $\mu$ m程度である。メモリ容量を増やすためにセクター幅を広くすると、素子の高周波成分による応答性の劣化が発生するため、複数のプラグ群409のピッチ間隔を圧縮することで、大容量化を実現している。セクターの片側の端に引き上げ用のターゲットゲートプラグ408があり、仮にその他の検査したいターゲットプラグ群405~407がセクターの反対側端にあると、イメージシフト移動量としては150 $\mu$ m、あるいは $\pm$ 75 $\mu$ m以上を満たしていれば、全範囲で試料ステージを移動することなくターゲットプラグのSEM観察が可能となる。従来のSEMでは、分解能試料等でSEMの観察倍率50k以上の場合に、電子光学系の調整中に付着するコンタミネーション部を観察しないように、電子光学系調整後にイメージシフトを行ない、かつ、イメージシフトに伴う軸外収差、特に低加速電圧における偏向色収差の発生による分解能劣化を避けるため、最大でもイメージシフト移動量は15 $\mu$ m程度である。また、コンタミネーション部を観察しないようにという目的から、イメージシフト後の座標位置を表示させる必要もない。

#### 【0034】

しかし、不良検査装置ではSEM画像とCAD画像のレイアウトを行ない、イメージシフトによってSEM画像が変化したとき、CAD画像も追従するような機能を持たせる必要がある。またCAD画像を使用しない場合でも、何ピッチ先のプラグにプローブを接触させたいというような要求があることから、イメージシフト移動量を座標表示できるようにしておく必要がある。以下のこの座標表示機能について、図5を用いて説明する。

#### 【0035】

図5(a)はイメージシフト制御GUI部の1例である。試料ステージ変換座標501は、イメージシフト移動量を試料ステージの移動量に変換した座標であり、CAD用WS117に送信、あるいはCAD用WS117から受信するための座標である。CADのレイアウト画像が10mm角程度と範囲が広く、イメージシフトで $\pm$ 75 $\mu$ m移動してもCADのレイアウト画像全体にイメージシフトで移動させることができない。また、試料ステージにリニアスケールを用いればCADレイアウト画像と試料ステージ座標を高精度に対応させることができる。そのため試料ステージ座標に変換したイメージシフト座標を用いる。イメージシフト操作座標502は、イメージシフトが駆動する座標(イメージシフトDAC座標)から実際に操作している(観察している)座標にイメージシフト移動量を変換した座標であり、SEM画像視野を回転させるラスタローテーション機能が動作している場合、イメージシフトDAC座標とは異なるために必要な座標である。SEMでは対物レンズの回転作用があるため、常にラスタローテーション機能を動作させ、試料ステージの移動方向とSEMの走査方向が一致するように制御されている。ユーザがピッチを追って行くような場合は、このイメージシフト操作座標を参照する。座標変換の詳細については後述する。

#### 【0036】

RST503は移動したイメージシフトを中点に戻すためのボタンである。白抜き三角の矢印ボタン504は、コンボボックス505で選択されている移動量分、クリックした方向にイメージシフトする。コンボボックス505には所望の移動量を入力することも可能である。クロスカーソル506により、実際の座標位置が視覚的に分かるようになっている。座標507にはイメージシフト座標が表示されるようになっており、また、直接入力により所望の場所にイメージシフトさせることも可能である。ここで説明した機能は、オプションボタンで選択されている座標に対して有効である。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 7 】

図5 ( b ) はイメージシフト制御 G U I 部の別の例である。図5 ( a ) の機能に、ピッチ間隔の入力ボックス 5 0 8、ピッチ数を表示するためのカウンタボックス 5 0 9 が追加されている。ピッチ間隔を入力し、イメージシフト操作を行なうと、イメージシフト移動量とピッチ間隔の比の整数部が、カウンタのボックスに表示される。また、カウンタに移動させたいピッチ数を入力し、イメージシフト操作を行ない、設定したカウント数 ( ピッチ数 ) に到達したとき、図6のようなメッセージ 6 0 1 をメッセージ領域 6 0 2 に表示する。Y e s 領域 6 0 3 をマウスでクリックすれば、継続してイメージシフト動作を行なうが、N o 領域 6 0 4 をマウスでクリックすれば、イメージシフト操作を受け付けない。ユーザは常に S E M 画像視野に対してイメージシフト操作を行なうので、カウンタ機能は、

10

オプションボタンでイメージシフト操作座標が選択されているときのみ有効である。図5 ( c ) は図5 ( b ) のクロスカーソル、矢印ボタン、コンボボックス、カウンタ機能をイメージシフト操作座標のみに限定し、試料変換座標は参考値として表示するだけとした場合の例である。ユーザの操作は、座標入力を除けば常にイメージシフト操作座標上で行なわれ、また試料ステージ変換座標は、C A D 用 W S 1 1 7 との通信する際に意味があり、処理は制御コンピュータ 1 1 4 内で行なわれるためである。

## 【 0 0 3 8 】

次に、図1に示した不良検査装置を、図2で示した電子光学系構成要素を用いて動作させる方法を説明する。以下の説明では、既にC A D 画像データとS E M 画像データの位置情報が校正されているものとする。座標変換方法の詳細については後述する。

20

## 【 0 0 3 9 】

位置情報の校正方法を簡単に説明する。C A D 画像のあるパターンの一点に対応する位置に試料ステージを大よそで移動し、S E M 画像で観察しながら同じパターンが画面中心に見えるように、試料ステージを微調整して、C A D 座標と試料ステージ座標の1点目のアライメントを行なう。次に、同じC A D 画像で別のパターンの一点に対応する位置に試料ステージを大よそで移動し、S E M 画像で観察しながら同じパターンが画面中心に見えるように、試料ステージを微調整して、C A D 座標と試料ステージ座標の2点目のアライメントを行なう。最後に同じC A D 画像で更に別のパターンの一点に対応する位置に試料ステージを大よそで移動し、S E M 画像で観察しながら同じパターンが画面中心に見えるように試料ステージを微調整して、C A D 座標と試料ステージ座標の3点目のアライメントを行なう。以上の作業によりC A D 座標と試料ステージ座標の対応が取れる。アライメント作業におけるS E M の観察は、試料ステージを大よそで移動させるときは倍率 1 0 0 以下の低倍率で、試料ステージを微調整するときには倍率 1 0 k 程度の高倍率で行なう。試料全域でのC A D 座標と試料ステージ座標の変換精度を上げるために、アライメントする3点は試料の隅の方が望ましい。

30

## 【 0 0 4 0 】

まず、ユーザがS E M 制御用のP C 1 1 9 のG U I 操作、あるいはコントロールパネル 1 2 0 のつまみやジョイスティックにより、イメージシフト操作を行なった際のイメージシフト動作について、図7 ( a )、図7 ( b ) を用いて説明する。

S E M 制御用のP C 1 1 9 のG U I 操作、あるいはコントロールパネル 1 2 0 のつまみやジョイスティックによるイメージシフト操作を行なう ( ステップ 7 0 1 ) と、操作量を制御コンピュータ 1 1 4 に送信し、イメージシフト X Y の D A C 変化量を計算する。また座標入力量からはイメージシフト X Y の D A C 量を計算する ( ステップ 7 0 2 )。D A C 変化量の場合は現在の D A C 量に D A C 変化量を加算 / 減算する。D A C 量が決めれば、電子光学系制御手段 1 1 6 を介して、実際にイメージシフトを行なう ( ステップ 7 0 3 )。また、実際に設定したイメージシフト D A C 値からイメージシフト D A C 軸での座標を制御コンピュータ上で計算する ( ステップ 7 0 4 )。

40

## 【 0 0 4 1 】

以降は2つのステップ群が考えられる。一つ目は、イメージシフト D A C 座標を試料ステージ座標に変換するステップ群、二つ目は、イメージシフト D A C 座標をイメージシフ

50

ト操作軸に変換するステップ群である。まず、イメージシフトDAC座標を試料ステージ座標に変換するステップ群について述べる。

【0042】

イメージシフトDAC座標を試料ステージ座標に、制御コンピュータ114で変換する(ステップ705)。変換した座標値をSEM制御用PC119に送信し、座標をGUI上に表示する(ステップ706)。このときCAD用WS117とSEM制御用PC119がリンクしておらず、CADのレイアウト画像がSEM画像にオーバーレイされていない場合は(ステップ707)、再度イメージシフト操作があるかないかの判定を行なう(ステップ716)。

【0043】

逆にCAD用WS117とSEM制御用PC119がリンクしており、CADのレイアウト画像がSEM画像にオーバーレイされている場合は(ステップ707)、CAD用の座標に変換して移動量をCAD用WS117に送信してから(ステップ708)、新しいCAD画像をCAD用WS117から制御コンピュータ114に受信し(ステップ709)、SEM制御用PC119のGUI上にCAD画像をオーバーレイする(ステップ710)(716)。その後、ステップ707に移行する。再度イメージシフト操作があるかないかの判定を行ない、操作がない場合は処理を終了し(ステップ716)、操作がある場合はステップ702に戻り(ステップ717)、再度同様の処理を行なう。

【0044】

次に、イメージシフトDAC座標をイメージシフト操作軸に変換するステップ群について述べる。イメージシフトDAC座標をイメージシフト操作座標に、制御コンピュータ114で変換する(ステップ711)。変換した座標値をSEM制御用PC119に送信し、座標をGUI上に表示する(ステップ712)。

【0045】

イメージシフト操作座標軸上で、XY方向にあるパターン幅何個分移動したかを表示するカウンタがSEM制御用PC119上で設定されているかどうかの判定を制御コンピュータ114で行ない、設定されていない場合(ステップ713)はステップ707に移行する。設定されている場合(ステップ713)は、計算したイメージシフト操作座標とSEM制御用PC119のGUI上で選択されたパターン幅の比を制御コンピュータ114で計算し、小数点を取り除き、X、Y方向のカウント値とする(ステップ714)。カウント値をSEM制御用PC119に送信し、GUI上に表示する(ステップ715)。その後、ステップ707に移行する。

【0046】

また、イメージシフト操作座標軸上で、XY方向にあるパターン幅何個分移動するかをSEM制御用PC119上で設定、あるいはイメージシフト操作座標軸上で移動させるイメージシフト量をSEM制御用PC119上で設定し、実際のカウント値と設定値の比較を制御コンピュータ114で行ない、設定値を超えた場合は、イメージシフト操作を継続するかどうかを選択するための図6のメッセージを表示する。

【0047】

次に、ユーザがCAD用WS117上でレイアウトパターンを移動させたときイメージシフト動作について、図8を用いて説明する。

【0048】

CAD用WS117上でレイアウトパターンを移動させたときの移動量を、制御コンピュータ114に送信する(ステップ801)。試料ステージ軸換算したイメージシフト座標上での移動量を計算する(ステップ802)。SEM制御用PC119のGUI上で、試料変換座標を直接入力した場合はこの時点から制御を始める(ステップ803)。次に移動量を制御コンピュータ114に送信し、イメージシフトDAC軸での移動量を計算する。また座標入力量からは、イメージシフトDAC軸での座標入力値を計算する(ステップ804)。次に、移動量からDAC変化量を計算し、現在のDAC量にDAC変化量を加算/減算する。座標値入力値からはDAC量を計算する。DAC量が決まれば、電子光

10

20

30

40

50

学系制御手段116を介して、実際にイメージシフトを行なう(ステップ805)。また、実際に設定したイメージシフトDAC値からイメージシフトDAC軸での座標を制御コンピュータ上で再度計算する(ステップ806)。

【0049】

イメージシフトDAC座標を試料ステージ座標に、制御コンピュータ114で変換する(ステップ807)。変換した座標値をSEM制御用PC119に送信し、座標をGUI上に表示する(ステップ808)。このときCAD用WS117とSEM制御用PC119がリンクしておらず、CADのレイアウト画像がSEM画像にオーバーレイされていない場合は(ステップ809)、処理を終了する(ステップ813)。

逆にCAD用WS117とSEM制御用PC119がリンクしており、CADのレイアウト画像がSEM画像にオーバーレイされている場合は(ステップ809)、CAD用の座標に変換して移動量をCAD用WS117に送信してから(ステップ810)、新しいCAD画像をCAD用WS117から制御コンピュータ114に受信し(ステップ811)、SEM制御用PC119のGUI上にCAD画像をオーバーレイし(ステップ812)、処理を終了する(ステップ813)。

【0050】

以上のステップを実行することにより、イメージシフトによるSEM画像の視野変化に追従して、SEM制御用PC119のGUI上にオーバーレイされたCAD画像や座標の更新を自動的に行なうことができるため、プロービング時における装置ユーザの負担が非常に低減される。

【0051】

これまでの実施例説明の中で述べたイメージシフトの座標変換について説明する。イメージシフト制御で考えるのは以下の6つの座標となる。

- |                          |                            |
|--------------------------|----------------------------|
| (1) 試料ステージ座標             | $(X_{DUT}, Y_{DUT})$       |
| (2) 試料ステージ軸換算したイメージシフト座標 | $(X_{IS-DUT}, Y_{IS-DUT})$ |
| (3) イメージシフト軸補正座標         | $(X_{IS}, Y_{IS})$         |
| (4) イメージシフト理想座標          | $(X_{IS}, Y_{IS})$         |
| (5) イメージシフトDAC座標         | $(X_{IS-DAC}, Y_{IS-DAC})$ |
| (6) イメージシフト操作座標          | $(X_{IS-OP}, Y_{IS-OP})$   |

【0052】

(1)と(2)は試料ステージの直進性・直交ずれが無視できれば、基本的に全く同じ座標である。(3)は(2)に対して、イメージシフトコイルが理想的に配置されている場合の座標変換である。(4)は(3)に相似な座標で、イメージシフトによる軸ずれを補正したときに発生する視野ずれを考慮した座標変換である。(5)はイメージシフトコイルの直交度が(4)の理想軸からずれている場合の座標変換である。イメージシフトは(5)の座標上で駆動する。(6)はSEMの走査軸に(3)の座標軸を合わせるための座標変換で、対物レンズの励磁による走査軸の回転を試料ステージの座標軸に補正したり、電氣的に走査軸を回転させたりする条件で使用する。

【0053】

図7(a)、図7(b)、図8の説明で述べたように、イメージシフト動作の制御の中で必要な座標変化は(2) $(X_{IS-DUT}, Y_{IS-DUT})$ と(5) $(X_{IS-DAC}, Y_{IS-DAC})$ の変換と(6) $(X_{IS-OP}, Y_{IS-OP})$ と(5) $(X_{IS-DAC}, Y_{IS-DAC})$ の変換の関係である。それぞれの座標変換の関係は図9と図10に記載している。それぞれの座標変換を数式で表すと以下ようになる。

【0054】

10

20

30

40

【数 1】

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} x_{IS-DUT} \\ y_{IS-DUT} \end{pmatrix} &= A \begin{pmatrix} X_{IS} \\ Y_{IS} \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} X_{IS} \\ Y_{IS} \end{pmatrix} &= B \begin{pmatrix} x_{IS} \\ y_{IS} \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} x_{IS} \\ y_{IS} \end{pmatrix} &= C \begin{pmatrix} x_{IS-DAC} \\ y_{IS-DAC} \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} x_{IS-OP} \\ y_{IS-OP} \end{pmatrix} &= D \begin{pmatrix} X_{IS} \\ Y_{IS} \end{pmatrix} \end{aligned}$$

10

【0055】

行列 A は試料ステージ軸換算したイメージシフト座標とイメージシフト軸補正座標の変換行列で、対物レンズの励磁による回転角度に依存する。行列 B はイメージシフト軸補正座標とイメージシフト理想座標の変換行列で、イメージシフト時の軸ずれを、一段のライメントコイルあるいはイメージシフトコイルで補正したときに発生する視野ずれを考慮した行列である。行列 C はイメージシフト理想座標とイメージシフト DAC 座標の変換行列で、イメージシフトコイルの直交ずれ角度に依存する。行列 D はイメージシフト操作座標とイメージシフト軸補正座標の変換行列で、対物レンズの励磁による回転角度に加え、ラスタローテーションによる電気的な走査軸の回転角度に依存する。イメージシフト軸も電氣的に回転させることができる場合は、走査軸とイメージシフト理想軸の機械的なずれ角度に依存する。

20

【0056】

以上の関係から (2) と (5)、(6) と (5) の変換式を求めることができる。

【0057】

30

【数 2】

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} x_{IS-DUT} \\ y_{IS-DUT} \end{pmatrix} &= ABC \begin{pmatrix} x_{IS-DAC} \\ y_{IS-DAC} \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} x_{IS-DAC} \\ y_{IS-DAC} \end{pmatrix} &= (ABC)^{-1} \begin{pmatrix} x_{IS-DUT} \\ y_{IS-DUT} \end{pmatrix} \end{aligned}$$

40

【0058】

【数3】

$$\begin{pmatrix} x_{IS-OP} \\ y_{IS-OP} \end{pmatrix} = DBC \begin{pmatrix} x_{IS-DAC} \\ y_{IS-DAC} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x_{IS-DAC} \\ y_{IS-DAC} \end{pmatrix} = (DBC)^{-1} \begin{pmatrix} x_{IS-OP} \\ y_{IS-OP} \end{pmatrix}$$

10

【0059】

各行列要素について、注記しておくべき点を以下に説明する。

実際の試料ステージ座標と試料ステージ軸換算したイメージシフト座標は、試料ステージの直進性・直交ずれや、SEMの二次電子検出器の配置によっては原点ずれがあり、一致しないことがある。この場合は以下の関係で補正できる。

【0060】

【数4】

$$\begin{pmatrix} x_{DUT} \\ y_{DUT} \end{pmatrix} = A' \begin{pmatrix} x_{IS-DUT} \\ y_{IS-DUT} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta x_{IS-DUT} \\ \Delta y_{IS-DUT} \end{pmatrix}$$

20

【0061】

行列A'は試料ステージの直進性・直交ずれ考慮した変換行列、 $x_{IS-DUT}$ 、 $y_{IS-DUT}$ は試料ステージと一次電子線の照射点のずれ量である。実際の装置では、固定した条件からの相対移動で考えることが多く、また試料ステージの10mm以上の広い稼働範囲に対して、 $\pm 75 \mu\text{m}$ 程度のイメージシフトの動作範囲では、試料ステージの直進性・直交ずれが無視できることが多い。そのため以下の説明では同じ座標として扱う。

30

【0062】

行列BやCは、図4の説明で述べたような通常のイメージシフト範囲 $\pm 15 \mu\text{m}$ では顕著ではなく、不良検査装置で要求される $\pm 75 \mu\text{m}$ 以上のイメージシフト範囲を実現したときに顕著になる要素で、高精度に位置制御する場合には必ず考慮すべき要素である。行列Bは、二段のアライメントコイルあるいはイメージシフトコイルで対物レンズの物点位置が動かないような補正を加えた場合は、単位行列と置くことができる。以下行列Bについて図11を用いて説明する。

【0063】

図11(a)はイメージシフト制御時のビームの軌道を概念的に示した図である。一次電子線の実軌道はビーム軌道1である。イメージシフトコイル204、205を駆動すると仮想ビーム軌道1となる。更に上段アライメントコイル206のみ駆動すると(仮想ビーム軌道2+ビーム軌道2)となる。更に下段アライメントコイル207も駆動すると、(仮想ビーム軌道3+ビーム軌道3)となる。

40

【0064】

図11(b)は図11(a)で示したビーム軌道の中心軌道だけ示した図である。対物レンズ物面上の一次電子線クロスオーバー点(対物レンズの物点、A1)から出発した一次電子線は、イメージシフト上段コイル204で偏向され(B1)、更にイメージシフト下段コイル205で逆方向に偏向されて(C1)、対物レンズ主面上の一点(D1)を通過し、対物レンズ像面(すなわち試料)上の対物レンズ像点(E1)、傾斜して照射される。イメージシフトコイルが駆動することにより、対物レンズの物点A1がA2にシフトし

50

、仮想的に軌道はA 2 B 2 C 1 D 1 E 1となる。この状態で上段アライメントコイル206だけ駆動すると、対物レンズの物点A 2がA 3にシフトし、軌道はA 3 B 2 C 2 D 2 E 2となる。対物レンズの物点A 2がA 3にシフトしたため、一次電子線は、対物レンズ像点E 1もE 2にシフトするため、照射位置のずれが発生する。更にこの状態から下段アライメントコイル207も駆動し、対物レンズの物点A 3をA 2にあわせるようにシフトさせると、軌道はA 2 B 2 C 2 D 3 E 1となる。対物レンズの物点A 3をA 2に一致させれば、もとの対物レンズ像点E 1に一次電子線が照射されるため、照射位置のずれは除去できる。

#### 【0065】

二段のイメージシフトコイルにより一次電子線を偏向させることで試料上の一次電子線の照射点を移動させる方法が、SEMにおけるイメージシフトの基本である。イメージシフトコイルで一次電子線を偏向すると、一次電子線は斜めに試料に入射するため、軸外収差が発生する。また偏向に伴う色収差も発生する。この影響を最小限に抑えるために、上段と下段のイメージシフトコイルの電流比、あるいは独立にコイルに流す電流を、X方向とY方向にそれぞれ調整して、所望の軸を得るような制御を行なう。しかし実際には、対物レンズの回転作用により同一方向の調整だけでは前記所望の軸は実現できない。そのためイメージシフトコイルとは独立に1段のアライメントコイルを設けるか、イメージシフトコイル上段にアライメント信号を重畳させることによって、イメージシフト量に依存した補正を加え、前記所望の軸を実現する。

#### 【0066】

上記したように、一段のアライメントコイルによる補正では、対物レンズの物点がシフトするために試料上の一次電子線の照射位置もシフトし、視野移動が発生してしまうため、実際に一次電子線をイメージシフトさせたい座標とは違ってしまふ。この量を考慮し、所望のイメージシフト座標に一次電子線をシフトするために行列Bが設定されている。しかし、二段の独立したアライメントコイルを設けるか、イメージシフトコイルの上下段にアライメント信号を重畳させることによって、イメージシフト量に依存した補正をアライメント信号に加え、前記所望の軸を実現すると同時に、対物レンズの物点位置がシフトしないように制御することで、試料上の一次電子線の照射位置をシフトさせず、視野移動を除去することができる。この方法により視野移動が除去できれば、行列Bを考慮する必要はなく、単行列として扱うことが可能となり、座標変換精度が向上する。

#### 【0067】

ここで所望の軸とは、例えば電流中心軸が一例である。電流中心軸とは、対物レンズの励磁を変化させたとき、対物レンズの像点位置が変化しない軸のことである。軸外収差の中で、非点収差は図2に示されていない非点補正コイルで補正することができ、像面湾曲収差は対物レンズの励磁を調整することで補正できる。対物レンズの特性や電子光学条件にもよるが、電流中心軸では100 $\mu$ mイメージシフトするとコマ収差が2~3nm程度残る。しかし、それよりも影響が大きいのはイメージシフトによる色収差で、特に5kV以下の低加速電圧で顕著となり、例えば、エネルギー幅0.3eVの電界放出型の電子源を搭載した荷電粒子線装置において、加速電圧2kVで100 $\mu$ mイメージシフトすると、約14nmの色収差が発生する。特に、不良解析装置では試料が半導体材料のため、試料へのダメージを極力低減するために低加速電圧での観測が必須である。そこで色消し軸と呼ばれる、対物レンズの軸外色収差と偏向色収差が除去できる軸も所望の軸として考えられる。ここで例に挙げた収差は荷電粒子線装置間で相違があり、荷電粒子線装置のユーザであれば明らかである。

#### 【0068】

所望の軸条件については、電流中心軸は荷電粒子線装置においては一般的に良く知られている。ここでは色消し軸について数式を用いて詳細に説明する。

#### 【0069】

10

20

30

40

【数5】

$$w_0 = a \cdot w_0'$$

【0070】

$w_0$ 、 $w_0'$  は対物レンズ物面での一次電子線の位置と傾きである。 $a$  が実現したい軸条件となる。対物レンズ像面での一次電子線の位置  $w_i$  と傾き  $w_i'$  は、数5を用いて次の式で表現できる。

【0071】

【数6】

$$w_i = a \cdot g_i \cdot w_0'$$

$$w_i' = (a \cdot g_i' + h_i') \cdot w_0'$$

【0072】

ここで、 $g_i$ 、 $g_i'$ 、 $h_i'$  は荷電粒子理論でよく知られた2本の基本近軸軌道  $g$ 、 $h$  の像点での位置と傾きである。荷電粒子理論では、対物レンズに斜め入射した一次電子線の色収差は次式で表現されている。

【0073】

【数7】

$$\Delta w_c = \left\{ C_{c0} \cdot w_i' + (C_{cm} + jC_{cr}) \cdot w_i \right\} \cdot \left( \frac{\Delta V}{V} \right)$$

【0074】

$C_{c0}$  は軸上色収差係数、 $C_{cm}$  は倍率色収差係数、 $C_{cr}$  は回転色収差係数である。 $V$  は一次電子のエネルギーのばらつきで、 $V$  は対物レンズ像面での一次電子線のエネルギーである。イメージシフトを行なうと、エネルギーのばらつき  $V$  によって一次電子線の到達位置にばらつきが生じる。これは一種の収差と見なすことができ、これを偏向色収差と呼ぶ。この偏向色収差は数7には含まれていない。例えばエネルギー幅  $0.3 \text{ eV}$  の電界放出型の電子源を搭載した荷電粒子線装置において、加速電圧  $2 \text{ kV}$  で  $100 \mu\text{m}$  イメージシフトを行なうと、数7の色収差が  $6 \text{ nm}$  程度に対し、偏向色収差は  $8 \text{ nm}$  程度となる。数7で色収差が消滅する軸条件を求めることもできるが、先の例では  $8 \text{ nm}$  の偏向色収差が残る。従って、偏向色収差も考慮した色収差がゼロの条件を満たす軸  $a$  を求める必要がある。イメージシフトなどの偏向作用で発生する色収差は次式で表現できる。

【0075】

【数8】

$$\Delta w_{def} = C_{def} \cdot r_{IS} \cdot \left( \frac{\Delta V}{V} \right) = C_{def} \cdot a \cdot g_i \cdot w_0' \cdot \left( \frac{\Delta V}{V} \right)$$

10

20

30

40

50



【 0 0 7 6 】

【数 9】

$$C_{def}(\text{磁界}) = -\frac{1}{2} \cdot \left( \frac{V}{V_{def}} \right)$$

$$C_{def}(\text{静電}) = -\left( \frac{V}{V_{def}} \right)$$

10

【 0 0 7 7 】

$C_{def}$  は偏向による色収差係数であり、磁界偏向と静電偏向では違う値となる。 $r_{IS}$  はイメージシフト操作量である。 $V_{def}$  は偏向箇所での一次電子線のエネルギーである。数 9 と数 10 を纏めると、

【 0 0 7 8 】

【数 10】

$$\Delta w_c = \{ C_{c0} \cdot (a \cdot g'_i + h'_i) + (C_{cm} + jC_{cr}) \cdot a \cdot g_i + C_{def} \cdot a \cdot g_i \} \cdot w'_0 \cdot \left( \frac{\Delta V}{V} \right)$$

20

【 0 0 7 9 】

となる。数 12 がゼロの条件を満たす  $a$  が色消し軸であり、次式で表現できる。

【 0 0 8 0 】

【数 11】

$$a = -\frac{C_{c0} \cdot h'_i}{C_{c0} \cdot g'_i + (C_{cm} + C_{def}) \cdot g_i + jC_{cr} \cdot g_i}$$

30

【 0 0 8 1 】

以上で述べた数式の中で、 $w_0$ 、 $w_0$ 、 $w_i$ 、 $w_i$ 、 $a$ 、 $r_{IS}$  は複素数となり、その他は実数となる。また以上で挙げた数値例が対物レンズの特性によって異なる。

先に述べたように、二段の独立したアライメントコイルを設けるか、イメージシフトコイルの上下段にアライメント信号を重畳させることによって、イメージシフト量に依存した補正をアライメント信号に加えて色消し軸を実現すると同時に、対物レンズの物点位置がシフトしないように制御することで、試料上の一次電子線の照射位置をシフトさせず、かつ色収差を実効上消去することが可能となる。

【 0 0 8 2 】

40

さて、国際公開番号 WO 01 / 033603 に、EXB (イークロスビー) フィールド発生装置、すなわちウィーンフィルタで、イメージシフト量に対応した軸外・偏向色収差と同じ大きさで反対方向のエネルギー分散を発生し、収差を打ち消すような装置について記載されている。この方法を用いれば、対物レンズの電流中心軸を実現してコマ収差などの軸外収差を低減すると同時に、軸外・偏向色収差を低減できる。EXB (イークロスビー) フィールド発生装置を用いるため、装置構成と制御が複雑になること、原価が高くなることが考えられる。

【 0 0 8 3 】

最後に SEM 制御用 PC 119 と CAD 用 WS 117 の通信で使用する座標変換について説明する。CAD ナビゲーションで考えるべき座標は、以下の 4 つとなる。

50

- (1) 試料ステージ座標  $(x_{DUT}, y_{DUT})$   
 (2) 大ステージ座標  $(x_{BASE}, y_{BASE})$   
 (3) 試料ステージ軸換算したイメージシフト座標  $(x_{IS-DUT}, y_{IS-DUT})$   
 (4) CADナビゲーション座標  $(x_{CAD}, y_{CAD})$

【0084】

(4)が理想的な倍率、パターン情報を持ったCAD画像のレイアウト座標となる。(1)は試料ステージのリニアスケール値である。ただしここにはステージ機構のバックラッシュ等による微小誤差補正項も含まれる。(2)は大ステージのリニアスケール値である。ただしここにはステージ機構のバックラッシュ等による微小誤差補正項も含まれる。(3)はイメージシフト量を試料ステージ軸に換算した座標である。座標変換は次の式で行なう。

10

【0085】

【数12】

$$\begin{pmatrix} x_{CAD} \\ y_{CAD} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{DUT} \\ y_{DUT} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_{BASE} \\ y_{BASE} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_{IS-DUT} \\ y_{IS-DUT} \end{pmatrix}$$

【0086】

20

試料ステージと大ステージに回転ずれや原点位置ずれがある場合は、数4と同様な変換補正を行えば良い。

【0087】

以上の実施例においては荷電粒子線装置として走査電子顕微鏡を例に説明したが、イオンビームを用いて試料の観察、加工を行なうFocused Ion Beam装置にも同様の説明ができることは、荷電粒子線装置の開発者・ユーザであれば明白である。また、イオンではガリウムイオンのような重い元素を用いるため、対物レンズとして磁界型レンズではなく静電型レンズが使用される。そのため磁界型対物レンズのような回転作用がないため、数1の行列Aを考慮する必要がなく、また、行列Dにおいても行列Aと同様に対物レンズの回転作用は無視できるため、イメージシフト制御精度が向上することは容易

30

【産業上の利用可能性】

【0088】

ステージ座標とイメージシフト制御座標との変換、イメージシフト操作座標とイメージシフト制御座標との変換方法と色消し軸の実現により、色収差による分解能低下なしに $\pm 75 \mu\text{m}$ 以上のイメージシフト制御が可能で、かつ座標を表示・入力できる荷電粒子線装置を提案する。また、プローブと荷電粒子線装置を組み合わせた不良検査装置において、CADナビゲーション導入に適したイメージシフト制御方法を提案する。本発明により、荷電粒子線装置および不良検査装置のイメージシフト機能を使用する際のユーザ利便性が飛躍的に向上する。

40

【図面の簡単な説明】

【0089】

【図1】不良検査装置の構成例を示す縦断面図。

【図2】図1に示した不良検査装置の、電子光学系要素の詳細を示す模式図。

【図3】不良検査装置SEM制御PCのGUIを示す図。

【図4(a)】不良検査装置SEM制御PCのSEM画面例。

【図4(b)】不良検査装置SEM制御PCのSEM画面例。

【図4(c)】不良検査装置SEM制御PCのSEM画面例。

【図5(a)】不良検査装置SEM制御PCのイメージシフト部のGUIを示す図。

【図5(b)】不良検査装置SEM制御PCのイメージシフト部のGUIを示す図。

50

- 【図5(c)】不良検査装置SEM制御PCのイメージシフト部のGUIを示す図。
- 【図6】イメージシフト操作量が設定値を超えたときに表示するメッセージ例。
- 【図7(a)】図1に示した不良検査装置の、イメージシフト制御の基本フローチャート。
- 【図7(b)】図1に示した不良検査装置の、イメージシフト制御の基本フローチャート。
- 【図8】図1に示した不良検査装置の、イメージシフト制御の基本チャート。
- 【図9】試料ステージ座標とイメージシフトDAC座標の関係を示す概念図。
- 【図10】イメージシフト操作座標とイメージシフトDAC座標の関係を示す概念図。
- 【図11(a)】イメージシフト軸補正に伴う視野ずれを説明する概念図。
- 【図11(b)】イメージシフト軸補正に伴う視野ずれを説明する概念図。

10

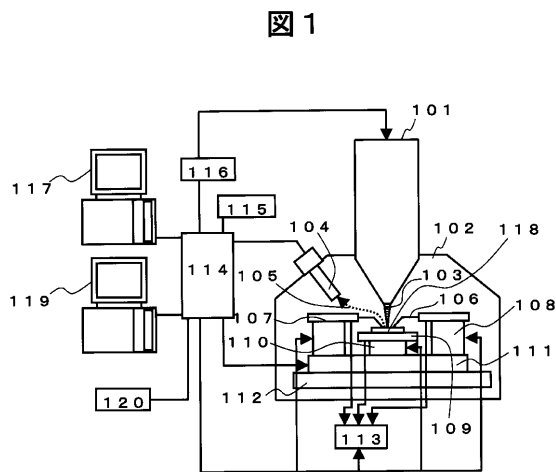
【符号の説明】

【0090】

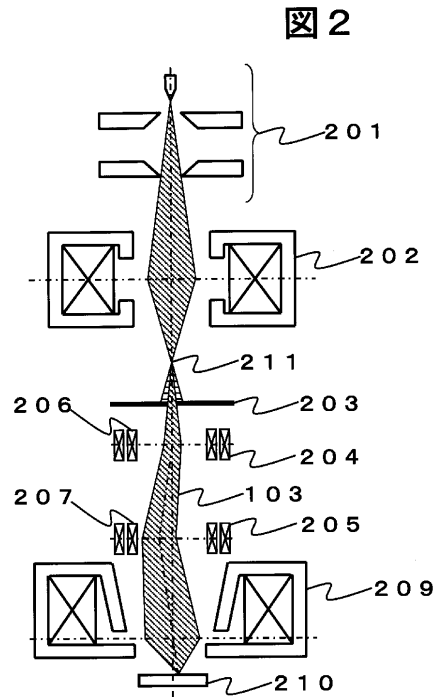
101：SEM電子光学系要素、102：真空チャンバ隔壁、103：一次電子ビーム、  
 104：二次電子検出器、105：二次電子線、106：メカニカルプローブ、107：  
 プローブ用アタッチメント、108：プローブ駆動手段、109：試料台、110：試料  
 台駆動手段、111：大ステージ、112：ベース、113：電気特性計測器、114：  
 制御コンピュータ、115：メモリ、116：電子光学系制御手段、117：CAD用ワ  
 ークステーション、118：被検査試料、119：SEM制御用PC、120：コントロ  
 ールパネル

20

【図1】

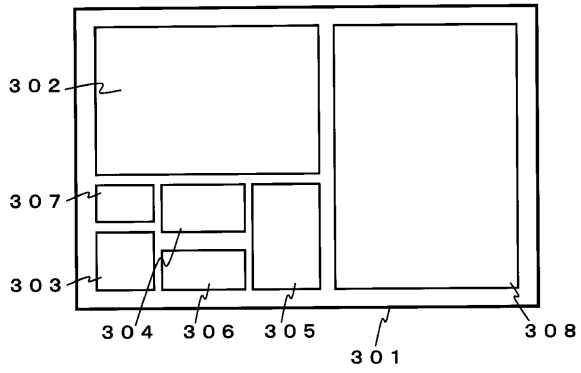


【図2】



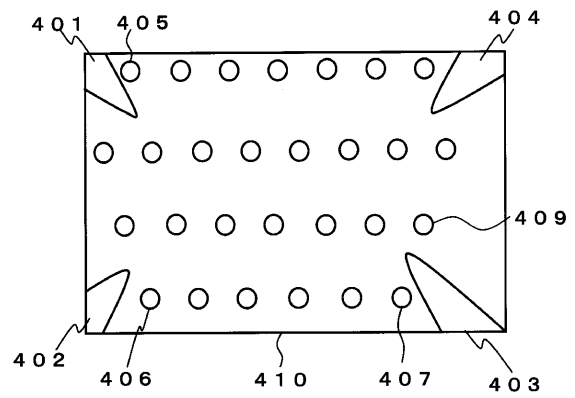
【図3】

図3



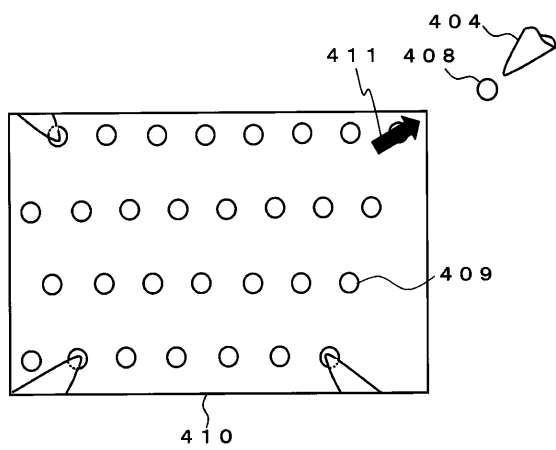
【図4(a)】

図4(a)



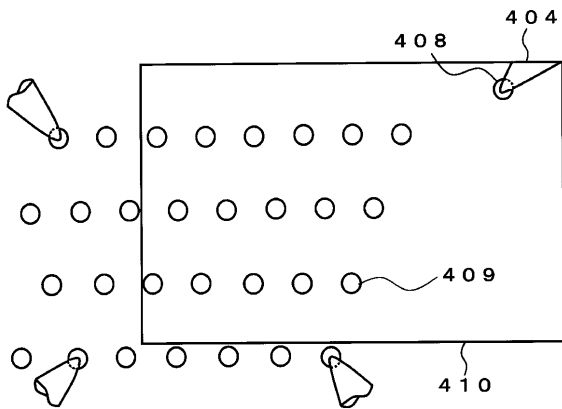
【図4(b)】

図4(b)

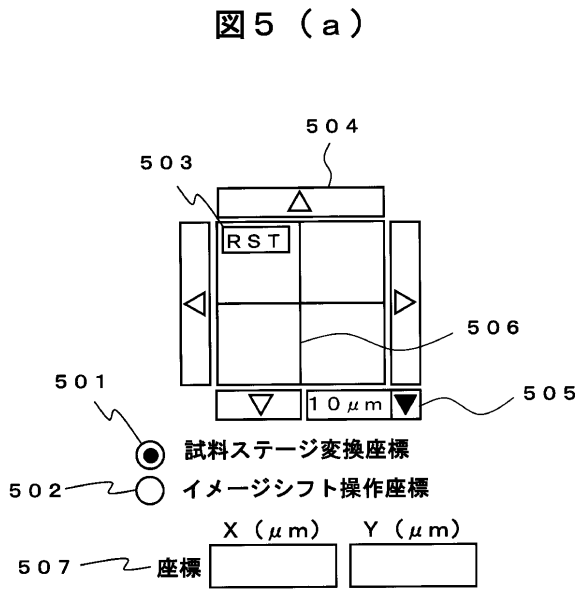


【図4(c)】

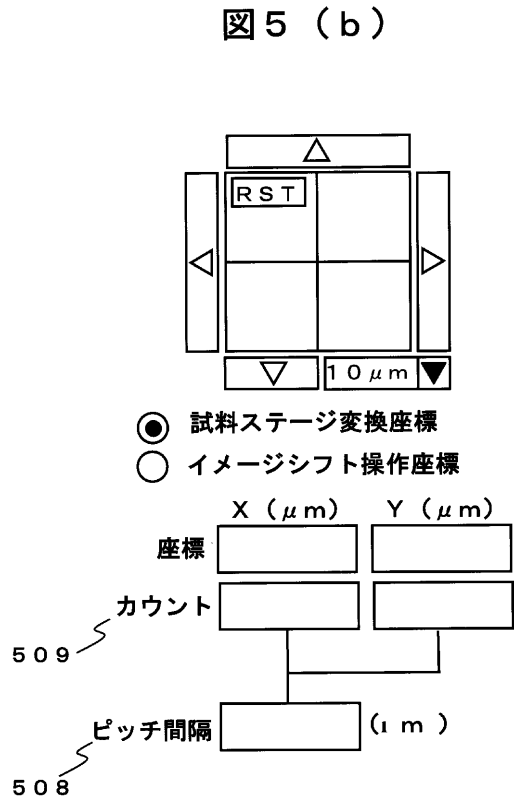
図4(c)



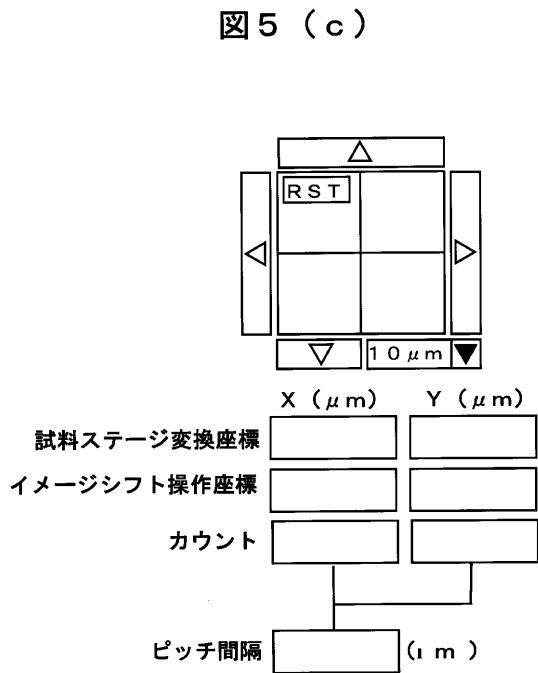
【図5(a)】



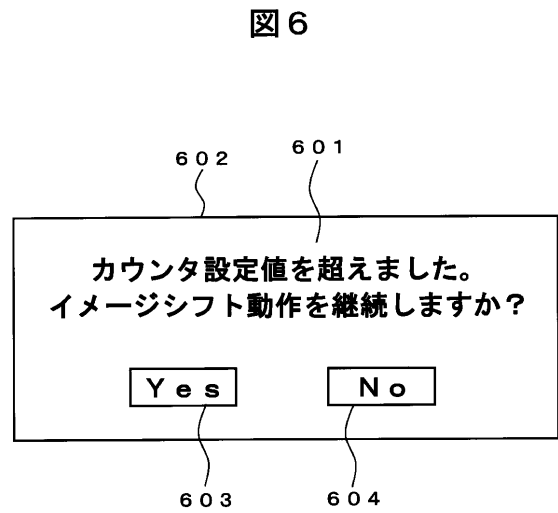
【図5(b)】



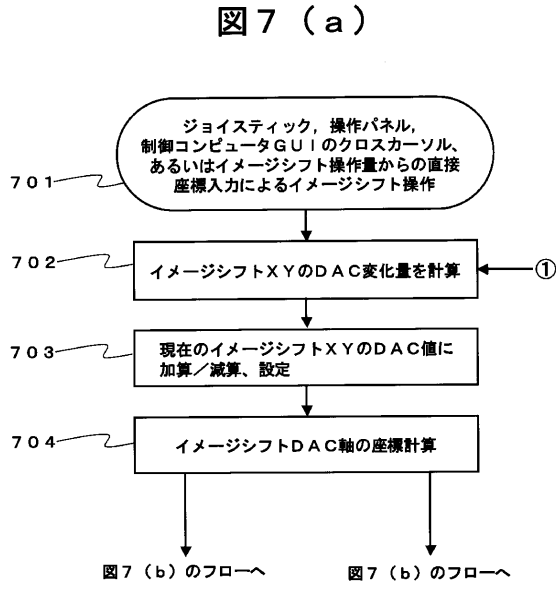
【図5(c)】



【図6】

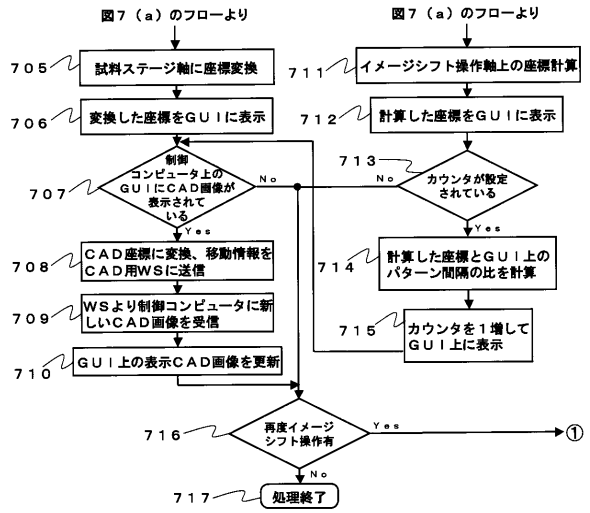


【図7(a)】



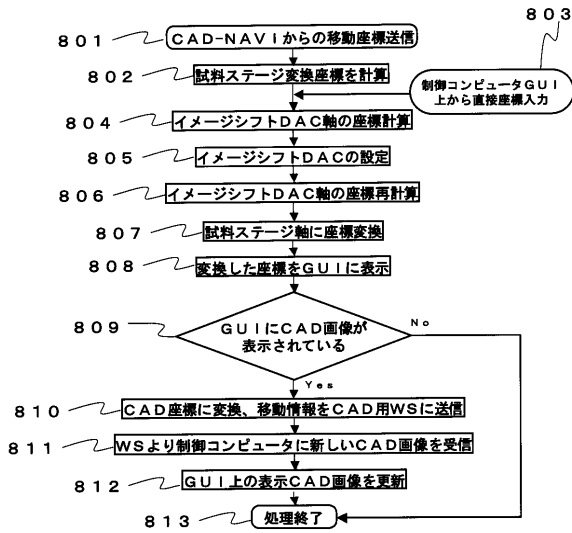
【図7(b)】

図7(b)



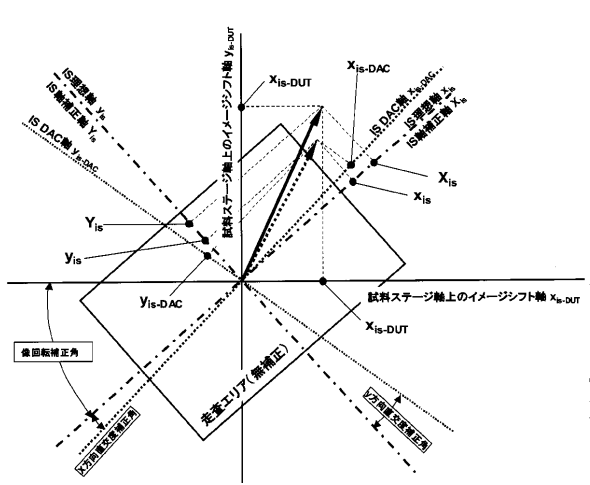
【図8】

図8



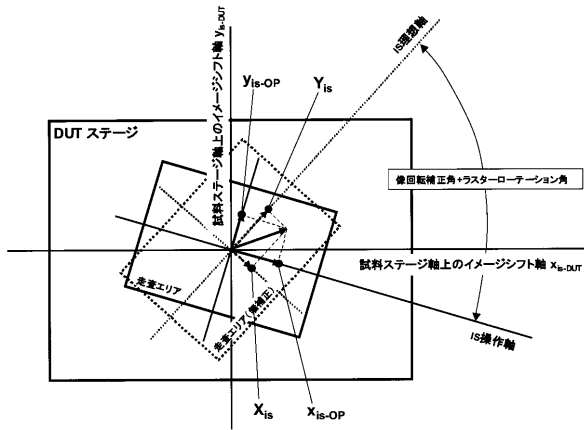
【図9】

図9



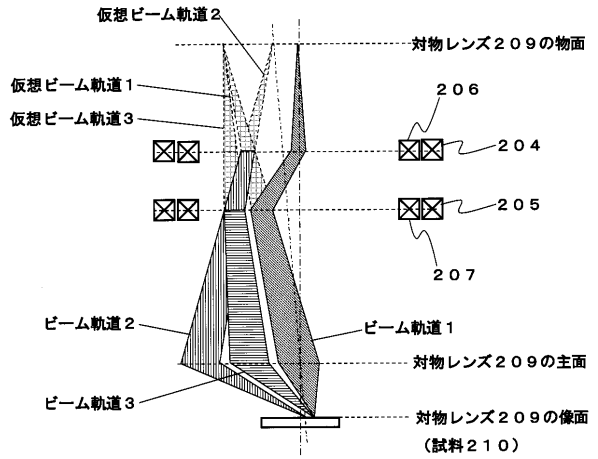
【図10】

図10



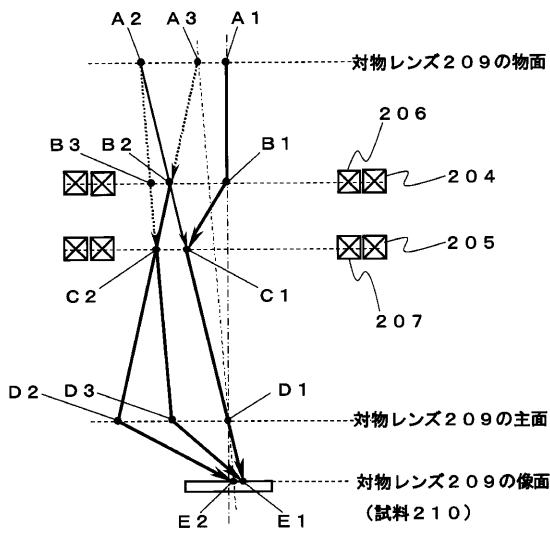
【図11(a)】

図11(a)



【図11(b)】

図11(b)



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl.			F I		
<i>H 0 1 J</i>	<i>37/22</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>H 0 1 J</i>	<i>37/22</i>	<i>5 0 2 A</i>
<i>H 0 1 L</i>	<i>21/66</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>H 0 1 J</i>	<i>37/22</i>	<i>5 0 2 D</i>
			<i>H 0 1 L</i>	<i>21/66</i>	<i>B</i>

審査官 菅藤 政明

(56)参考文献 特開2001-319609(JP,A)  
特開平10-050779(JP,A)  
特開平02-033843(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 0 1 R	3 1 / 3 0 2
G 0 1 N	2 3 / 2 2 5
G 0 1 N	2 7 / 0 0
H 0 1 J	3 7 / 1 4 7
H 0 1 J	3 7 / 1 5 3
H 0 1 J	3 7 / 2 2
H 0 1 L	2 1 / 6 6