

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5080657号
(P5080657)

(45) 発行日 平成24年11月21日(2012.11.21)

(24) 登録日 平成24年9月7日(2012.9.7)

(51) Int.Cl. F I
 HO 1 J 37/22 (2006.01) HO 1 J 37/22 5 O 2 H
 HO 1 J 37/28 (2006.01) HO 1 J 37/22 5 O 2 G
 HO 1 J 37/28 B

請求項の数 14 (全 14 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2010-542821 (P2010-542821) (86) (22) 出願日 平成21年11月24日(2009.11.24) (86) 国際出願番号 PCT/JP2009/006315 (87) 国際公開番号 W02010/070815 (87) 国際公開日 平成22年6月24日(2010.6.24) 審査請求日 平成23年5月16日(2011.5.16) (31) 優先権主張番号 特願2008-318305 (P2008-318305) (32) 優先日 平成20年12月15日(2008.12.15) (33) 優先権主張国 日本国(JP)</p>	<p>(73) 特許権者 501387839 株式会社日立ハイテクノロジーズ 東京都港区西新橋一丁目24番14号 (74) 代理人 110000350 ポレール特許業務法人 (72) 発明者 岡井 信裕 日本国東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目28 〇番地 株式会社日立製作所 中央研究所 内 (72) 発明者 早田 康成 日本国東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目28 〇番地 株式会社日立製作所 中央研究所 内 審査官 佐藤 仁美</p>
---	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 走査電子顕微鏡

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

電子線を走査して試料に照射し、試料から放出される信号を検出して画像を形成する走査電子顕微鏡において、

試料の観察視野を一度走査して得られるフレーム画像を複数枚保存する画像記憶部と、前記フレーム画像間及び前記フレーム画像を構成するフィールド画像間のドリフト量を算出する補正演算処理部と、前記フィールド画像間のドリフト量に基づき前記フィールド画像をドリフト補正し、重ね合わせるデータ処理部とを有することを特徴とする走査電子顕微鏡。

【請求項2】

請求項1に記載の走査電子顕微鏡において、

前記フレーム画像間のドリフト量は、前記フレーム画像同士を演算処理して算出されることを特徴とする走査電子顕微鏡。

【請求項3】

請求項1または2に記載の走査電子顕微鏡において、

前記補正演算処理部は、位相相関法を用いてドリフト量を算出することを特徴とする走査電子顕微鏡。

【請求項4】

請求項1乃至3のいずれかーに記載の走査電子顕微鏡において、

前記フィールド画像間のドリフト量は、前記フレーム画像間のドリフト量に基づき算出

されることを特徴とする走査電子顕微鏡。

【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 のいずれかーに記載の走査電子顕微鏡において、
前記フレーム画像を構成する前記フィールド画像の数は、任意に設定できることを特徴とする走査電子顕微鏡。

【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 のいずれかーに記載の走査電子顕微鏡において、
前記補正演算処理部は、前記フレーム画像を縮小する機能を有することを特徴とする走査電子顕微鏡。

【請求項 7】

請求項 1 乃至 6 のいずれかーに記載の走査電子顕微鏡において、
前記補正演算処理部は、前記フレーム画像のデータを用いて前記観察視野内のパターンが一次元パターンか二次元パターンかを判定する機能を有することを特徴とする走査電子顕微鏡。

【請求項 8】

請求項 1 乃至 6 のいずれかーに記載の走査電子顕微鏡において、
前記補正演算処理部は、観察対象パターンに対応する CAD データを用いて前記観察視野内のパターンが一次元パターンか二次元パターンかを判定する機能を有することを特徴とする走査電子顕微鏡。

【請求項 9】

請求項 1 乃至 8 のいずれかーに記載の走査電子顕微鏡において、
前記フィールド画像は、ラスタ走査で得られることを特徴とする走査電子顕微鏡。

【請求項 10】

請求項 1 乃至 9 のいずれかーに記載の走査電子顕微鏡において、
前記フィールド画像間のドリフトの補正が、1 つもしくは複数の走査ライン毎に行われることを特徴とする走査電子顕微鏡。

【請求項 11】

請求項 1 乃至 10 のいずれかーに記載の走査電子顕微鏡において、
前記フレーム画像間のドリフト量は、前記画像記憶部に保存された複数枚のフレーム画像を数枚ごとのグループに分け、グループごとにそれぞれ積算して新たな複数のフレーム画像とし、前記新たな複数のフレーム画像を用いて算出されることを特徴とする走査電子顕微鏡。

【請求項 12】

電子線源と、
前記電子線源から放出される電子を走査する偏向器と、
試料が載置される試料台と、
前記電子が前記試料台上の試料に照射されることにより、前記試料から放出される信号に基づき画像を表示する表示部とを有する走査電子顕微鏡であって、
前記電子が前記試料の観察すべき領域である観察視野に照射されることにより得られる複数枚のフレーム画像を保存する画像記憶部と、
前記複数枚のフレーム画像間のドリフト量、及び前記フレーム画像を構成する複数のフィールド画像間のドリフト量を算出する補正演算処理部と、
前記フィールド画像間のドリフト量に基づき前記フィールド画像をドリフト補正し、重ね合わせて新たなフレーム画像を作成するデータ処理部とを有し、
前記データ処理部は、前記新たに作成されたフレーム画像のデータに基づき、前記試料に形成された観察対象のパターン寸法を算出する機能も有することを特徴とする走査電子顕微鏡。

【請求項 13】

請求項 12 記載の走査電子顕微鏡において、
前記電子が前記観察視野に照射される際、前記試料台は固定されていることを特徴とす

10

20

30

40

50

る走査電子顕微鏡。

【請求項 1 4】

請求項 1 2 または 1 3 に記載の走査電子顕微鏡において、
前記新たに作成されるフレーム画像のデータは、複数枚分積算されたものであることを特徴とする走査電子顕微鏡。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、走査電子顕微鏡装置に係り、特に、高倍率での像観察に好適な走査電子顕微鏡に関する。

10

【背景技術】

【0002】

走査電子顕微鏡は、試料に細く絞った電子線を照射し、電子線照射により発生した二次電子及び反射電子を検出し、検出量を元に輝度変調して画像を形成する装置である。（例えば、特許文献 1 参照）

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2006 - 308471 号公報

【発明の概要】

20

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

近年、半導体基板や絶縁体基板上に形成されるパターン寸法は益々微細化されてきており、走査電子顕微鏡を用いた観察や寸法測定でも高倍率が要求されるようになってきた。

【0005】

高倍率で試料を観察すると、時間の経過とともに観察すべき微細パターンの像が移動する現象、いわゆる像ドリフトが生じる。そのため、画像ぼけやそれに伴う測長精度の低下といった問題が発生する。例えば、10万倍の観察倍率で、512 x 512 画素のフレーム画像を取得しようとする、1画素の大きさは試料上では約 2.6 nm となる。現在の寸法算出の精度は 0.5 nm 以下が要求されているが、像ドリフトが顕著なパターンにおいては、1枚のフレーム画像を取得する時間（40 ミリ秒）に 1 ~ 2 nm 程度の像ドリフトが観察される。このようなドリフトパターンにおいて寸法を算出すると、2 nm 程度の寸法ずれが生じる。像ドリフトの発生要因の主なものとして、電子線照射に伴う試料の帯電が挙げられる。

30

【0006】

なお、特許文献 1 には、試料が搭載された試料台を移動させながら試料表面の画像（フレーム画像）取得を行うために、積算画像を取得する際に、取得した複数枚の画像（フレーム画像）を数枚ごとのグループに分けてそれぞれ積算画像を作成し、積算画像間の像移動量を算出して像移動量と撮像枚数の関係式を算出し、関係式をもとに複数枚の画像の移動量を算出し、その移動量だけ画像を補正し積算する手法が開示されている。この技術を用いることで、試料台を移動することにより観察視野内で像が移動しても、像ぼけの小さい積算画像を得ることができる。

40

しかし、特許文献 1 で開示された画像（フレーム画像）間の像の移動量を補正する方法では、高倍率（特に、観察視野 1 ミクロン程度以下で顕著）で画像ぼけが生じ、鮮明な画像やそれに伴う測長精度が十分えられないことが判明した。

【0007】

本発明の目的は、高倍率で試料表面を観察する際に、像ドリフトが生じても鮮明な画像を得ることができる走査電子顕微鏡を提供することにある。また、得られた鮮明な画像に基づき、試料表面に形成されたパターン寸法を精度よく算出することのできる走査電子顕微鏡を提供することにある。

50

【課題を解決するための手段】

【0008】

像ドリフトが生じても鮮明な画像を得るために、電子線を走査して試料に照射し、試料から放出される信号を検出して画像を形成する走査電子顕微鏡において、試料の観察視野を一度走査して得られるフレーム画像を複数枚保存する画像記憶部と、前記フレーム画像間及び前記フレーム画像を構成するフィールド画像間のドリフト量を算出する補正演算処理部と、前記フィールド画像間のドリフト量に基づき前記フィールド画像をドリフト補正し、重ね合わせるデータ処理部を有することを特徴とする走査電子顕微鏡とする。

【0009】

また、像ドリフトが生じても試料表面に形成されたパターン寸法を精度よく測定するために、電子線源と、前記電子線源から放出される電子を走査する偏向器と、試料が載置される試料台と、前記電子が前記試料台上の試料に照射されることにより、前記試料から放出される信号に基づき画像を表示する表示部とを有する走査電子顕微鏡であって、前記電子が前記試料の観察すべき領域である観察視野に照射されることにより得られる複数枚のフレーム画像を保存する画像記憶部と、前記複数枚のフレーム画像間のドリフト量、及び前記フレーム画像を構成する複数のフィールド画像間のドリフト量を算出する補正演算処理部と、前記フィールド画像間のドリフト量に基づき前記フィールド画像をドリフト補正し、重ね合わせて新たなフレーム画像を作成するデータ処理部とを有し、前記データ処理部は、前記新たに作成されたフレーム画像のデータに基づき、前記試料に形成された観察対象のパターン寸法を算出する機能も有することを特徴とする走査電子顕微鏡とする。

【発明の効果】

【0010】

フレーム画像を構成するフィールド画像の画像ドリフト量（移動量）を求め、フィールド画像に補正をかけた上で、各フィールド画像を積算してフレーム画像とするため、高倍率であっても鮮明な画像を得ることができる。また、得られた画像に基づいて半導体基板や絶縁体上のパターンの寸法を算出するため、微細なパターンであっても十分な測定精度を得ることができる。

なお、フレーム画像、フィールド画像の定義については後述する。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明に係る画像ドリフト補正演算装置を備えた走査電子顕微鏡の一実施形態を示す図である。

【図2】本発明で課題としているドリフト量の概念図であり、(a)はラインパターン、(b)はドットパターンを示す。

【図3】走査電子顕微鏡で得られる画像の種類を示した図であり、(a)はインターレス走査におけるフィールド画像、(b)は一度の走査で得られたフレーム画像、(c)はフレーム画像を複数枚重ねた画像である。

【図4】ドリフト補正の流れを示すフローチャートである。

【図5】フレーム画像間のドリフト量算出方法を示す図であり、(a)は1フレーム目の画像とNフレーム目の画像とをドリフト補正せずに重ねあわせた画像、(b)は画像取得開始からの経過時間とドリフト量との関係を示す図である。

【図6】インターレス走査におけるフレーム内のドリフト量算出方法を示す図である。

【図7】ラスタ走査におけるフレームの分割とドリフト量算出方法を示す図であり、(a)はラスタ走査における走査順序を示す図、(b)はフレーム画像を4分割した図、(c)は画像取得開始からの経過時間とドリフト量との関係を示す図である。

【図8】二次元パターンにおけるフィールド画像のドリフト補正の模式図であり、(a)は時間とともにパターンが右方向へドリフトしていることを示す図、(b)はフィールド画像単位でドリフト補正を行った場合のフレーム画像を示す図である。

【図9】ドリフト補正条件を設定するGUIの一例である。

【図10】実施例2におけるドリフト補正の流れを示すフローチャートである。

10

20

30

40

50

【図 1 1】一次元パターンにおけるドリフト量算出方法を表した模式図である。

【図 1 2】実施例 3 におけるドリフト補正の流れを示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、実施例により説明する。

【実施例 1】

【0013】

本発明の第 1 の実施例を、図を用いて説明する。

図 1 は、ドリフト補正機能を備えた走査電子顕微鏡の一実施形態を示している。この装置は、試料観察時に像が時間の経過とともに移動する現象である像ドリフトが生じても、ドリフト量を算出して補正を行うことで鮮明なフレーム画像を得ることを可能とするものである。前記において、「ドリフト量」とは、本実施例では、図 2 に示したフレーム画像間のパターンの位置ずれ量（移動量）及びフィールド画像間での移動量である。

10

【0014】

画像補正機能を備えた走査電子顕微鏡は、電子顕微鏡部 101、制御部 102、表示部 103 から構成されている。電子源 104 から放出された電子線は、集束レンズ 105、対物レンズ 107 で収束された後に試料 108 に照射される。電子線は偏向器 106 により、試料上を二次元的に走査される。試料から発生した二次電子及び反射電子は、検出器 110 で検出され、データ処理部 111 で信号を輝度変調してフレーム画像に変換し、画像記憶部 112 に格納される。画像記憶部 112 に保存されたフレーム画像は、補正演算処理部 113 においてドリフト補正され、モニタ 114 において補正画像を表示する。データ処理部 111 及び補正演算処理部 113 の機能は CPU にてそれぞれ実行可能であり、前記画像記憶部 112 は CPU に接続されるメモリ部に設けることができる。なお、それぞれを専用ハードで構成してもよい。

20

【0015】

走査電子顕微鏡を用いた計測では、一般に観察視野を複数回走査して得られたフレーム画像が用いられる。ここでの「計測」とは、例えば半導体ウエハ上に形成されたパターン寸法の算出である。試料を複数回走査して得られたフレーム画像は、1 回だけ走査して得られたフレーム画像に較べて S/N 比の良いフレーム画像となるため高い寸法精度が得られるが、走査中に試料の帯電が進行した場合、帯電により走査位置がずれてしまい、ぼけたフレーム画像が得られる。このぼけたフレーム画像を用いて寸法を算出しても高い寸法精度を保証できないため、画像処理を用いて 1 走査ごとのフレーム画像を補正して重ね合わせて、複数回走査時に鮮明なフレーム画像を得ることになる。帯電が特に顕著となる試料としては、レチクルに代表される絶縁体基板があげられる。

30

【0016】

本構成におけるドリフト補正の工程を説明する前に、フレーム画像間のドリフト量について図 2 を参照して説明する。図 2 では、観察パターンを一次元と二次元に分類してドリフト量を定義している。ここで、一次元パターンとは、フレーム画像の或る一方向にほとんど一様なパターンであって、例えば図 2 (a) に示すようなラインパターンがあげられる。一方、二次元パターンとは、前記一次元パターン以外の全てが該当し、例えば図 2 (b) に示すようなドットパターンがあげられる。図 2 では、1 枚目フレーム画像と 2 枚目フレーム画像のパターンの位置関係が分かるように重ねて描いている。

40

【0017】

図 2 (a) のラインパターンでは、ラインの長手方向にドリフトが進行してもドリフト量の算出ができないため、長手方向に垂直な方向にドリフト量を算出する。ここでは、1 枚目のパターンに較べて 2 枚目のパターンが右方にシフトしており、その移動量の d_x がドリフト量となる。一方、図 2 (b) のドットパターンでは、パターンのドリフトは二次元方向となる。ここでは、1 枚目のパターンに較べて 2 枚目のパターンが右上方にシフトしており、その移動量 $d_{x,y}$ がドリフト量となる。ドリフト量 $d_{x,y}$ は、フレーム画像の横方向のドリフト量 d_x と縦方向のドリフト量 d_y に分解することができる。ドリフト補

50

正は、二枚目のフレーム画像を前記で得られたドリフト量だけずらして一枚目のフレーム画像に重ね合わせて行う。

【0018】

次に、走査電子顕微鏡で得られる画像の種類について、画像の形成過程と組み合わせて説明する。画像の種類としては、フレーム画像とフィールド画像に分類され、フレーム画像は観察視野全体を一度走査して得られた画像に相当し、フィールド画像は視野の一部を一度走査して得られた画像、すなわち、フレーム画像を構成する要素画像、と定義する。フレーム画像は全フィールド画像を足し合わせて作成される。ここでは、代表的な走査方法の一つであるインターレス走査を用いた場合の画像の分類について説明する。簡単のため、画像のライン数は6にしている。インターレス走査とは、
10
画像の奇数ラインを上から順番に走査した後に偶数ラインを上から順番に走査して1枚の画像を形成する手法である。

【0019】

図3(a)はインターレス走査におけるフィールド画像を示したものである。インターレス走査では、まず、奇数ラインのみ走査した奇数フィールド画像301と偶数ラインのみ走査した偶数フィールド画像308が取得される。奇数フィールド画像301は、走査した奇数ライン302、304、306のみに画像が形成され、偶数ライン303、305、307には画像が形成されない。一方、偶数フィールド画像308は、偶数ライン310、312、314のみに画像が形成され、奇数ライン309、311、313には画像が形成されない。
20

【0020】

これら奇数フィールド画像と偶数フィールド画像から図3(b)の1フレーム画像が形成される。図3(b)の1フレーム画像においてパターンの形状を認識することは可能であるが、1フレーム画像は観察視野を一度だけ走査して得られた信号を用いて作成しているためS/N比が悪く、そのままではパターンの観察には適さない。そこで、同じ観察視野を繰り返し走査し、図3(b)の1フレーム画像を複数枚連続して取得し、これらを重ね合わせることでノイズを低減してS/N比を向上させた図3(c)複数フレーム画像が形成される。パターンの観察や計測には、図3(c)の複数フレーム画像が用いられ、この複数フレーム画像を一般にSEM画像と呼ぶ。
30

【0021】

以下に、本発明の一実施例に係る図1の走査電子顕微鏡に対し、図4のフローチャートを参照しながら画像補正システムを説明する。

まず、ステージ(試料台)を動かして測定点に移動し、ステージの位置を固定した状態で、同一視野において複数のフィールド画像で構成される1フレームの画像を連続して複数枚取得する。得られた複数のフレーム画像はそれぞれ画像記憶部112に保存される(S401)。

次いで、補正演算処理部113を用いて、1フレーム目の画像を基準として、2フレーム目以降の画像間のドリフト量を算出する(S402)。

次いで、補正演算処理部113を用いて、S402で算出されたフレーム画像間のドリフト量をもとに、フレーム画像を構成するフィールド画像間のドリフト量に換算する(S403)。
40

次いで、補正演算処理部113を用いて、S403の処理で算出したドリフト量だけフィールド画像をシフトさせる(S404)。

次いで、ドリフト量だけシフトされたフィールド画像を基準のフィールド画像に重ね合わせ、新たなフレーム画像を作成する(S405)。なお、基準のフィールド画像については後述する。

次いで、S405で作成された複数フレーム画像をモニタ114に表示する(S406)。

その後、S406でモニタ114に表示された複数フレーム画像を用いてパターンの寸法算出を行う(S407)。
50

【 0 0 2 2 】

本実施例のフレームごとのドリフト量算出ステップ S 4 0 2 について、図 5 を用いて以下に詳細に説明する。図 5 (a) はドットパターンについて、1 フレーム目 (1 F 目) の画像と N フレーム目の画像を重ね合わせて表示した例である。これらのフレーム画像間のドリフト量はパターンの位置ずれ量から算出され、ここでは D_N と表記する。ドリフト量を算出する演算処理は、低 S/N 比の画像でも高精度計算が可能な位相相関法を適用するが、これに限らず、画像間の位置ずれ量算出が可能な画像演算法を適用しても良い。

【 0 0 2 3 】

縦軸を 1 フレーム目の画像からのドリフト量 D_N 、横軸を画像取得開始時からの経過時間 (画像枚数) としてのグラフの例を図 5 (b) に示す。図中では、N フレーム目の画像のずれ量 D_N を、N フレーム目の画像取得開始時間のドリフト量と設定している。このグラフを参照することで画像のドリフト特性を調べることができるため、操作者がドリフトの状態を確認できるようにこのグラフをモニタ 1 1 4 に出力しても良い。

【 0 0 2 4 】

ここで、ドリフト量を算出する演算処理である位相相関法について簡単に説明する。位相相関法は、フーリエ変換の位相成分を利用した相関法であり、低 S/N 比の画像における画像内パターンエッジ位置の検出に適した相関法である。下記に 2 枚の画像の位置ずれ量を算出する手順について説明する。まず、相関を算出したい 2 枚の画像に対してそれぞれ二次元離散的フーリエ変換を行う。次に、これらの 2 枚の画像に対して得られた位相スペクトルを合成して位相差画像を作成し、逆フーリエ変換を行う。逆フーリエ変換により得られた解析画像にはデルタ的なピークが形成され、このピーク位置を解析することで 2 枚の画像の位置ずれ量を算出することができる。このように、位相相関法は、画像の明るさに相当する振幅成分を用いずに画像のエッジ部に相当する位相成分のみを用いて相関を算出する手法であるため、 S/N 比が悪いフレーム画像であっても、画像内パターンのドリフト量を、パターンエッジ部を利用して高精度で算出することができる。

【 0 0 2 5 】

次に、ステップ S 4 0 3 のフィールド画像間のドリフト量への換算処理について、図 6 を用いて以下に詳細に説明する。ここでは、ステップ S 4 0 2 で算出したフレーム画像間のドリフト量をもとにしてフィールド画像間のドリフト量を算出する。

図 3 で図示したように、インターレス走査時には 1 フレームの画像は 2 フィールドの画像 (奇数フィールド画像と偶数フィールド画像) から構成されている。図 6 はフィールド間のドリフト量算出方法を示したものである。まず、ステップ S 4 0 2 によりフレーム間のドリフト量を算出し、図 5 (b) と同様に、縦軸をドリフト量、横軸を画像取得開始からの時間としたグラフを作成する。次に、プロットした点の間を直線でつなぎ、二点の間に新たにデータ点を作成してプロットする (図中では \square で表示)。上記の工程を経て得られたグラフは図 6 となる。

【 0 0 2 6 】

インターレス走査では、フィールド画像の取得時間は 1 フレームの画像取得時間の半分であるため、ステップ S 4 0 2 で算出したフレーム間のドリフト量 (図中 : \square) は奇数フィールド測定時のドリフト量になり、上記で算出したドリフト量 (図中 : \square) は偶数フィールド測定時のドリフト量となる。1 フレーム目の画像は、奇数フィールド画像 6 0 1 と偶数フィールド画像 6 0 2 に展開され、ここでは奇数フィールド画像 6 0 1 がドリフト補正の基準画像となる。2 フレーム目の偶数フィールド画像 6 0 4 のドリフト量を表したデータ点は 6 0 5 であり、この点でのドリフト量 $D_{2,2}$ は、

$$D_{2,2} = D_{2,1} + (D_{3,1} - D_{2,1}) / 2 \cdots (1)$$

から算出することができる。

【 0 0 2 7 】

これまではインターレス走査に限って説明を行ったが、フレーム画像をフィールド画像へ展開してドリフト量を算出する手法は、異なる走査方法においても適用が可能である。一例として、走査電子顕微鏡における走査方法としてインターレス走査と並んで一般的に

10

20

30

40

50

用いられているラスタ走査を用いて説明する。図7(a)はラスタ走査における走査順序を示した図である。インターレス走査では、奇数ラインを走査した後に偶数ラインを走査してフレーム画像を作成しているが、ラスタ走査では画像の1ライン目から順番に走査して画像を作成する。図7(b)は512ラインからなるフレーム画像を128ライン毎に4フィールド画像に分割した図である。フレーム画像701が、同じサイズのフィールド画像702、703、704、705に分割されている。ここで重要なことはそれぞれのフィールド画像が時系列に従って形成されていることにある。ここでは、4フィールドに分割した結果を示したが、その他のフィールド分割数も選択可能である。本実施例では1フレームが512ラインで形成されているために、例えば1ライン毎にドリフト補正を行うと512フィールドが必要となる。

10

【0028】

フィールド分割数をMとしたときのドリフト量の算出法を図7(c)を用いて以下に説明する。フィールドの走査時間はフレームの走査時間の1/Mに相当するため、各フィールドのドリフト量を直線式から算出する。図7(c)から、Nフレーム目のKフィールド目の画像のドリフト量は、

$$D_{N, K} = D_N + (D_{N+1} - D_N) * (K - 1) / M \dots (2)$$

から算出される。1フレームの画像取得時間は十分短いので、フレーム間のドリフト量は前後のフレームのドリフト量を用いて直線近似したが、スプライン補間や複数フレームのデータ点を利用して関係式を算出して、フレーム間のデータ点を補間しても良い。

【0029】

20

図8に一次元パターンにおけるフィールド画像のドリフト補正の模式図を示す。図8(a)は時間とともにパターンが右方向にドリフトする条件で得られた1フレーム画像の例である。この例では、1フレーム画像が801乃至804の4フィールドから構成されており、フィールド画像802乃至804におけるパターンの位置はフィールド画像801のパターンの位置に較べて右方向にシフトしている。図7(c)で算出されたフィールドのドリフト量をもとにフィールド画像801を基準としてフィールド単位でドリフト補正した1フレーム画像を図8(b)に示す。図8(b)では、フィールド画像805乃至808のパターンの位置は左右に揃っており、1フレーム内の画像ドリフトにより生じたパターン位置のずれも補正することが可能となる。

【0030】

30

インターレス走査方式、ラスタ走査方式ともに正方形が平行四辺形になる傾向がみられるが、フィールド画像補正により、元のパターンに忠実なフレーム画像が得られることが分かった。

【0031】

画像補正の環境設定を行うGUI(Graphical User Interface)の一例を図9に示す。まず、画像観察時において、ドリフト補正を実行するかしないかをスイッチにより判定する。補正方法は、フレーム補正とフィールド補正が選択可能となっている。フレーム補正は、ドリフト補正の単位をフレームに限定し、1フレームごとにドリフト補正を行う。一方、フィールド補正では、フレーム補正に加えて、1フレーム内の画像のドリフトも考慮し、画像を補正することになる。ここでは、フィールドの単位を指定することもでき、例えば2と指定すれば、1フレームを2フィールドに分解し、それぞれ補正を行うことになる。本実施例で説明するような環境設定画面を設けることにより、ドリフト補正の具体的な手法を任意に設定することが可能となる。なお、GUIとして、モニタ114を共用することができる。

40

【0032】

本実施例において、フィールド画像補正を行うことにより、フレーム画像取得中のドリフトが補正され、鮮明なフレーム画像を得ることができていることが分かった。

更に、本実施例において、フィールド画像を補正し、積算して新たなフレーム画像を作成し、それを用いてパターン寸法をデータ処理部に算出することにより、パターン寸法の0.5%以内の誤差で測定できることがわかった。

50

【実施例 2】

【0033】

第2の実施例について、図10、図11を用いて説明する。なお、実施例1に記載の内容は特段の事情がない限り、本実施例にも適用できる。

【0034】

図10は、本実施例における処理フロー図である。以下このフロー図について説明する。

まず、ステージを動かして測定点に移動し、同一視野において1フレームの画像を連続して複数枚取得する。得られたフレーム画像は画像記憶部112に保存される(S1001)。

10

補正演算処理部113を用いて、フレーム画像を縮小化してS/N比を向上させる(S1002)。

補正演算処理部113を用いて、観察対象のパターンに対応する設計データであるCAD(Computer Aided Design)データ、あるいは観察により得られたフレーム画像のデータを用いてパターンが一次元か二次元か判定し、解析する手法を決定する(ドリフト量の算出方向を決める)(S1003)。

補正演算処理部113を用いて、1フレーム目の画像を基準とした2フレーム目以降の画像のドリフト量を算出する(S1004)。

補正演算処理部113を用いて、S1004で算出されたフレーム間のドリフト量をもとに、フィールド間のドリフト量に換算する(S1005)。

20

補正演算処理部113を用いて、S1005の処理で算出したドリフト量だけフィールド画像をシフトさせる(S1006)。次に、基準のフィールド画像に重ね合わせて積算し、複数フレームの画像を作成する(S1007)。

S1007で作成された複数フレーム画像をモニタ114に表示する(S1008)。

その後、S1008でモニタ114に表示された複数フレーム画像を用いてパターンの寸法算出を行う(S1009)。

【0035】

本例のステップS1002において、フレーム画像の縮小化はノイズを低減する効果によりS/N比を向上させることとなる。画像を縮小化する代表的な手法としては、最近傍補間法、バイリニア法、バイキュービック法があげられる。それぞれ、画素の最も近い値を設定する手法、画素の周囲4点の値を用いて直線フィッティングして値を設定する手法、画素の周囲16点の値から3次関数でフィッティングして算出した値を設定する手法である。以下に、画像縮小によるノイズの低減をバイリニア法を用いて説明する。例えば、画像を1/2サイズに縮小した場合、縮小後の1画素の値は、縮小前の4画素の値の平均値から算出される。すなわち、縮小後の画像の画質は縮小前の画像を4枚平均化した画像の画質と同等となる。以上のことから、画像を縮小することでノイズの大きさを低減し、結果的にS/N比を向上させることが可能となる。しかし、画像を縮小する際にシグナル成分も平均化されてしまい、S/N比が低下するため、ノイズを低減しつつシグナルの低減を抑える適切な縮小率の設定が必要となる。

30

【0036】

本例のステップS1004について、ステップS1003でパターンが一次元であると判定された時のドリフト量算出方法を以下で説明する。一次元パターンでは、パターンの長手方向に平行なドリフト量は算出することができないため、長手方向に垂直なドリフト量のみ算出することになる。二枚のフレーム画像の相関値が最大の点を探索する次元数は1に減少するため、通常の二次元の探索に較べて相関係数の計算に要する時間を短縮することができる。

40

【0037】

図11に一次元パターンのドリフト量算出方法の一例を示す。縦方向にラインパターンがある二枚のフレーム画像1101、1102に対して、ラインに水平な方向に信号強度を加算し、一次元のラインプロファイル1103、1104を作成する。これらの一次元

50

のラインプロファイル間の相関係数を算出すると、1105のグラフが得られ、フレーム画像1101に較べてフレーム画像1102が右方に d_x だけシフトしている結果が得られる。この手法を用いると、(1)ライン加算してプロファイルを作成するのでS/N比が向上する、(2)相関係数を算出するための元データ量が減少する、(3)相関係数を探索する次元を減らすことができる、ことにより短時間で高精度のドリフト量算出が可能となる。あるいは、ライン加算を行わずに、二次元のフレーム画像を用いたままでドリフト量の探索方法を、ラインに垂直な方向に限定する手法も適用が可能である。この手法では、元データ量は変わらないが、探索方向を減らすことができるので、図11の手法ほど顕著ではないが、計算時間を短縮することができる。

【0038】

10

しかし、ドリフト量算出の次元数を減らしたこれらの手法では、ラインの長手方向のドリフトは考慮していないため、長手方向にドリフトがある場合にはパターンのエッジ部が平均化されることからラフネス計測には適しておらず、パターン寸法の算出時に対して有効である。なお、パターンに十分なラフネスが含まれる場合には、二次元のドリフト量解析が可能なので、ラフネス計測時には一次元解析を行わないように設定する。

【0039】

本実施例では、実施例1と同様、鮮明なフレーム画像がえられ、また、パターン寸法の測定精度を向上できる。更に、フレーム画像の縮小化により、画像のS/N比を向上させることができる。

【実施例3】

20

【0040】

第3の実施例について、説明する。なお、実施例1に記載の内容は特段の事情がない限り、本実施例にも適用できる。

【0041】

実施例1では、1フレーム画像ごとにドリフト量を算出し、それをフィールド画像のドリフト量に分割してドリフト補正を行っていた。この手法では、1フレームの画像同士を比較してドリフト量を算出しているが、極端にS/N比が低い場合はそのままの1フレームの画像ではドリフト量を精度良く算出することができない。そこで、1フレームの画像を複数枚重ね合わせて新たに画像を作成し、S/N比を向上させたこれらの画像どうしのドリフト量を算出して補正を行う手法があげられる。1フレーム画像の重ね合わせ枚数は、ドリフト量算出が可能なS/N比が得られる最小枚数に設定する。2枚あるいは3枚が適当であるがそれ以上の枚数でも構わない。

30

【0042】

図12は、本実施例での処理フロー図である。以下このフロー図を用いて説明する。

まず、ステージを動かして測定点に移動し、同一視野において1フレームの画像を連続して複数枚取得する。得られたフレーム画像は画像記憶部112に保存される(S1201)。

補正演算処理部113を用いて、前記画像記憶部112に保存された複数のフレーム画像を、数枚毎のグループに分け、グループ毎にフレームの画像を重ね合わせて、新たに複数フレームの画像を作成する(S1202)。

40

補正演算処理部113を用いて、1枚目のフレーム画像を基準として、2枚目以降のフレーム画像のドリフト量を算出する。(S1203)。

補正演算処理部113を用いて、S1203で算出された複数フレーム画像間のドリフト量をもとに、フレーム画像間のドリフト量を算出する(S1204)。

補正演算処理部113を用いて、S1204で算出されたフレーム画像間のドリフト量をもとに、フィールド画像間のドリフト量に換算する(S1205)。

補正演算処理部113を用いて、S1205の処理で算出したドリフト量だけフィールド画像をシフトさせる(S1206)。次に、基準のフィールド画像に重ね合わせて積算し、複数フレームの画像を作成する(S1207)。

S1207で作成された複数フレーム画像をモニタ114に表示する(S1208)。

50

その後、S 1 2 0 8でモニタ 1 1 4に表示された複数フレーム画像を用いてパターン寸法算出を行う(S 1 2 0 9)。

【 0 0 4 3 】

本実施例では、実施例 1と同様、鮮明な画像がえられ、また、パターン寸法の測定精度が向上できる。更に、1フレームの画像を複数枚重ね合わせて新たに画像を作成することにより、画像のS/N比を向上させることができる。

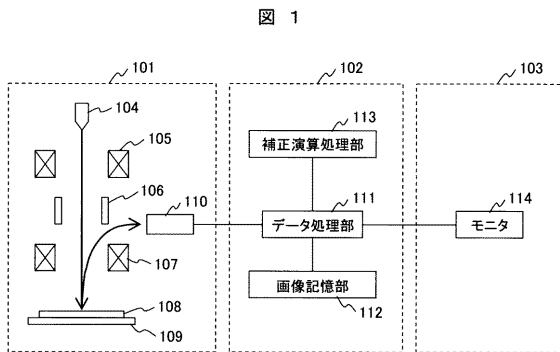
【符号の説明】

【 0 0 4 4 】

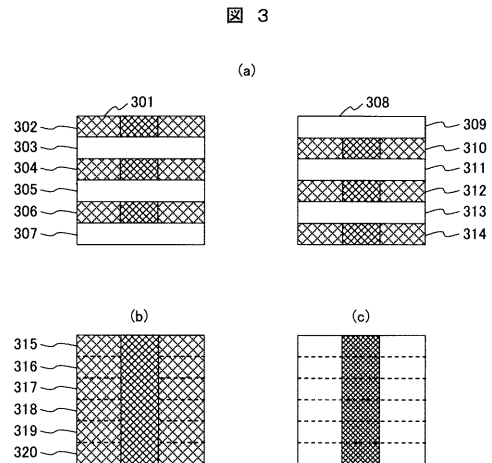
1 0 1 ... 電子顕微鏡部、1 0 2 ... 制御部、1 0 3 ... 表示部、1 0 4 ... 電子源、1 0 5 ... 集束レンズ、1 0 6 ... 偏向器、1 0 7 ... 対物レンズ、1 0 8 ... 試料、1 0 9 ... 試料台、1 1 0 ... 検出器、1 1 1 ... データ処理部、1 1 2 ... 画像記憶部、1 1 3 ... 補正演算処理部、1 1 4 ... モニタ、1 1 0 1 ... 画像データ、1 1 0 2 ... 画像データ、1 1 0 3 ... 1 1 0 1のラインプロファイル、1 1 0 4 ... 1 1 0 2のラインプロファイル、1 1 0 5 ... 1 1 0 3と1 1 0 4の相関関数。

10

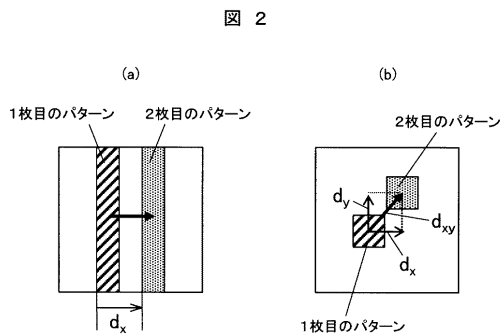
【 図 1 】



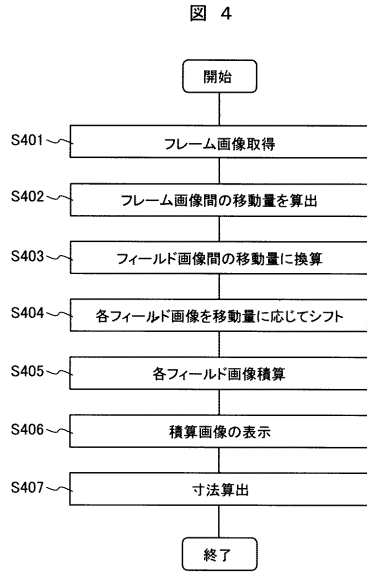
【 図 3 】



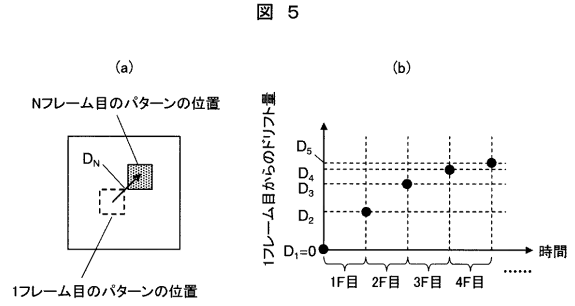
【 図 2 】



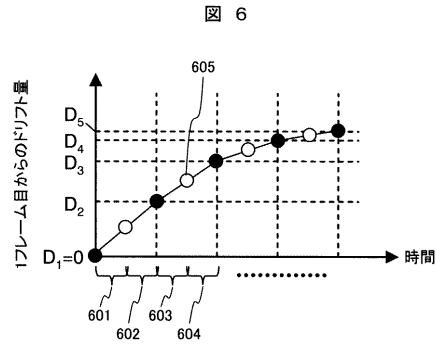
【 図 4 】



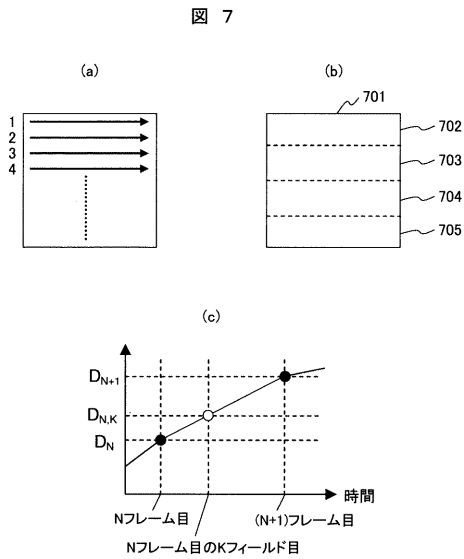
【 図 5 】



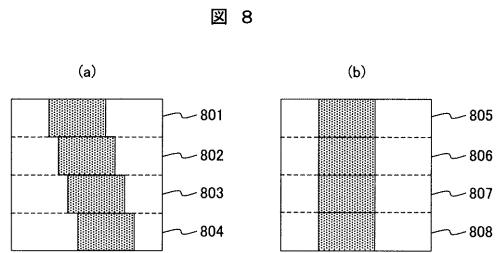
【 図 6 】



【 図 7 】



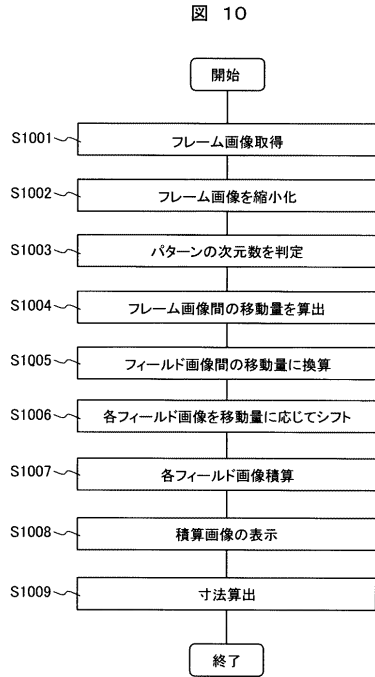
【 図 8 】



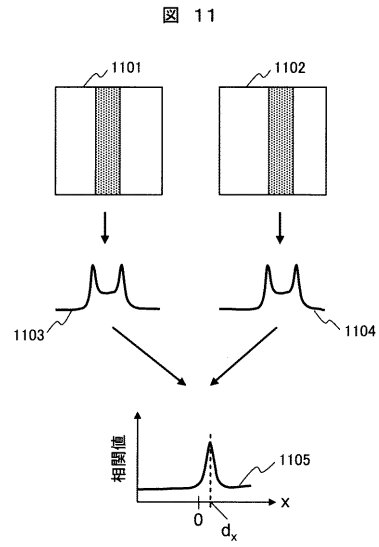
【 図 9 】

図 9

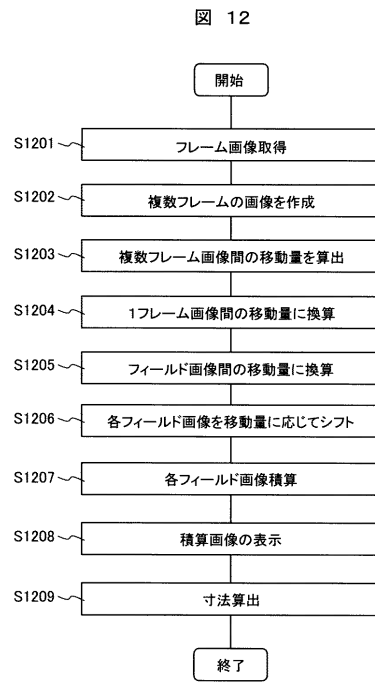
【図 10】



【図 11】



【図 12】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2006-308471(JP,A)
国際公開第2003/044821(WO,A1)
特開平05-290787(JP,A)
特開昭59-224038(JP,A)
特開2003-086126(JP,A)
特開2000-294185(JP,A)
特開2000-106121(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 15/00-15/08、
H01J 37/00-37/02、37/05、37/09-37/18、
37/21-37/244、37/252-37/295、
H01L 21/64-21/66