

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7234052号
(P7234052)

(45)発行日 令和5年3月7日(2023.3.7)

(24)登録日 令和5年2月27日(2023.2.27)

(51)国際特許分類	F I		
H 0 1 J 37/09 (2006.01)	H 0 1 J 37/09	A	
G 0 3 F 1/86 (2012.01)	G 0 3 F 1/86		
G 0 3 F 7/20 (2006.01)	G 0 3 F 7/20	5 2 1	
H 0 1 J 37/28 (2006.01)	H 0 1 J 37/28	B	
H 0 1 L 21/66 (2006.01)	H 0 1 L 21/66	J	

請求項の数 8 (全17頁)

(21)出願番号	特願2019-121985(P2019-121985)	(73)特許権者	504162958 株式会社ニューフレアテクノロジー 神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番1
(22)出願日	令和1年6月28日(2019.6.28)	(74)代理人	100091982 弁理士 永井 浩之
(65)公開番号	特開2021-9780(P2021-9780A)	(74)代理人	100091487 弁理士 中村 行孝
(43)公開日	令和3年1月28日(2021.1.28)	(74)代理人	100105153 弁理士 朝倉 悟
審査請求日	令和4年2月22日(2022.2.22)	(74)代理人	100107582 弁理士 関根 毅
		(74)代理人	100118843 弁理士 赤岡 明
		(74)代理人	100120385 弁理士 鈴木 健之

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 マルチ電子ビーム画像取得装置及びマルチ電子ビーム画像取得方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板にマルチ1次電子ビームを照射して前記基板から放出されたマルチ2次電子ビームの像を取得するマルチ電子ビーム画像取得装置であって、

前記基板上に前記マルチ1次電子ビームを配置するビーム配置部を備え、

前記ビーム配置部は、前記基板が載置されるステージの第1移動方向および前記第1移動方向に直交する第2移動方向に沿った正方格子状であって、前記マルチ1次電子ビーム全体として見た場合に四隅のビームが欠落した状態に前記マルチ1次電子ビームを配置し、
前記ビーム配置部は、前記第1移動方向を列方向、前記第2移動方向を行方向とした場合に、K行目のビーム本数とN - A + K行目のビーム本数との和がM本になるように前記マルチ1次電子ビームを配置し、

10

前記マルチ電子ビーム画像取得装置は、前記基板の検査領域を仮想的に分割した複数のストライプであって、前記第1移動方向に沿って延びるとともに前記第2移動方向において隣り合う複数のストライプに沿って前記検査領域を前記マルチ1次電子ビームで走査し、各ストライプは、前記第2移動方向における一端と前記第2移動方向における他端との前記第2移動方向における変動の周期と形状は同じで、位相がずれる形状を有し、前記検査領域は隙間のない形状であり、

前記各ストライプは、前記第1移動方向に並んだ複数の走査領域を含み、同一ストライプに含まれる各走査領域は、前記同一ストライプ内の隣の走査領域の端部に隣接し、

前記ステージは、連続移動方式で移動することを特徴とするマルチ電子ビーム画像取得装

20

置。

但し、

M：マルチ1次電子ビームを構成するビームの列数

N：マルチ1次電子ビームを構成するビームの行数

A：列方向のビーム本数がMよりも少ない行の数の1/2

K：1以上A以下の任意の整数

【請求項2】

前記ビーム配置部は、180°回転対称となるように前記マルチ1次電子ビームを配置することを特徴とする請求項1に記載のマルチ電子ビーム画像取得装置。

【請求項3】

前記ビーム配置部は、複数の開口部が設けられたアパーチャ部材を有し、
前記複数の開口部は、前記第1移動方向および前記第2移動方向に沿って正方格子状に並んで設けられ、前記複数の開口部全体として見た場合に、四隅の開口部が欠落していることを特徴とする請求項1または2に記載のマルチ電子ビーム画像取得装置。

【請求項4】

前記第2移動方向に沿って蛇行するパターンを有する隣接するストライプに移動しながら、前記検査領域の各ストライプを個別に走査するように構成されていることを特徴とする請求項1～3のいずれか1項に記載のマルチ電子ビーム画像取得装置。

【請求項5】

前記N行のうち一部のK行目のビーム本数は、当該K行目に隣接する行のビーム本数と異なることを特徴とする請求項1～4のいずれか1項に記載のマルチ電子ビーム画像取得装置。

【請求項6】

基板にマルチ1次電子ビームを照射して前記基板から放出されたマルチ2次電子ビームの像を取得するマルチ電子ビーム画像取得方法であって、

前記基板上に、前記基板が載置されるステージの第1移動方向および前記第1移動方向に直交する第2移動方向に沿った正方格子状であって、前記マルチ1次電子ビーム全体として見た場合に四隅のビームが欠落した状態に前記マルチ1次電子ビームを配置し、

前記第1移動方向を列方向、前記第2移動方向を行方向とした場合に、K行目のビーム本数とN-A+K行目のビーム本数との和がM本になるように前記マルチ1次電子ビームを配置し、

前記基板の検査領域を仮想的に分割した複数のストライプであって、前記第1移動方向に沿って延びるとともに前記第2移動方向において隣り合う複数のストライプに沿って前記検査領域を前記マルチ1次電子ビームで走査し、

各ストライプは、前記第2移動方向における一端と前記第2移動方向における他端との前記第2移動方向における変動の周期と形状は同じで、位相がずれる形状を有し、前記検査領域は隙間のない形状であり、

前記各ストライプは、前記第1移動方向に並んだ複数の走査領域を含み、同一ストライプに含まれる各走査領域は、前記同一ストライプ内の隣の走査領域の端部に隣接し、

前記ステージを、連続移動方式で移動させることを特徴とするマルチ電子ビーム画像取得方法。

但し、

M：マルチ1次電子ビームを構成するビームの列数

N：マルチ1次電子ビームを構成するビームの行数

A：列方向のビーム本数がMよりも少ない行の数の1/2

K：1以上A以下の任意の整数

【請求項7】

前記走査は、前記第2移動方向に沿って蛇行するパターンを有する隣接するストライプに移動しながら、前記検査領域の各ストライプを個別に走査することを含むことを特徴とする請求項6に記載のマルチ電子ビーム画像取得方法。

10

20

30

40

50

【請求項 8】

前記N行のうち一部のK行目のビーム本数は、当該K行目に隣接する行のビーム本数と異なることを特徴とする請求項6または7に記載のマルチ電子ビーム画像取得方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、マルチ電子ビーム画像取得装置及びマルチ電子ビーム画像取得方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、大規模集積回路(LSI)の高集積化及び大容量化に伴い、半導体素子に要求される回路線幅はますます狭くなってきている。そして、多大な製造コストのかかるLSIの製造にとって、歩留まりの向上は欠かせない。しかし、1ギガビット級のDRAM(ランダムアクセスメモリ)に代表されるように、LSIを構成するパターンは、サブミクロンからナノメートルのオーダーになっている。近年、半導体ウェハ上に形成されるLSIパターン寸法の微細化に伴って、パターン欠陥として検出しなければならない寸法も極めて小さいものとなっている。よって、半導体ウェハ上に転写された超微細パターンの欠陥を検査するパターン検査装置の高精度化が必要とされている。その他、歩留まりを低下させる大きな要因の一つとして、半導体ウェハ上に超微細パターンをフォトリソグラフィ技術で露光、転写する際に使用されるマスクのパターン欠陥があげられる。そのため、LSI製造に使用される転写用マスクの欠陥を検査するパターン検査装置の高精度化が必要とされている。

10

【0003】

検査手法としては、半導体ウェハやリソグラフィマスク等の基板上に形成されているパターンを撮像した測定画像と、設計データ、あるいは基板上の同一パターンを撮像した測定画像と比較することにより検査を行う方法が知られている。例えば、パターン検査方法として、同一基板上的異なる場所の同一パターンを撮像した測定画像データを比較する「die to die(ダイ-ダイ)検査」や、パターン設計された設計データをベースに設計画像データ(参照画像)を生成して、それとパターンを撮像した測定データとなる測定画像とを比較する「die to database(ダイ-データベース)検査」がある。撮像された画像は測定データとして比較回路へ送られる。比較回路では、画像同士の位置合わせの後、測定データと参照データとを適切なアルゴリズムに従って比較し、一致しない場合には、パターン欠陥有りと判定する。

20

30

【0004】

上述したパターン検査装置には、レーザ光を検査対象基板に照射して、その透過像或いは反射像を撮像する装置の他、検査対象基板上を電子ビームで走査(スキャン)して、電子ビームの照射に伴い検査対象基板から放出される2次電子を検出して、パターン像を取得する検査装置の開発も進んでいる。電子ビームを用いた検査装置では、さらに、マルチビームを用いた装置の開発も進んでいる。

【先行技術文献】

【特許文献】

40

【0005】

【文献】特開2004-200549号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、マルチビームを用いた検査装置において、マルチビームを全体として矩形状に配置した場合、四隅のビームがマルチビームの中心から離れるため、視野(FOV)が大きくなり、ビームの収束性や歪の点で不利になる。一方、単純に四隅のビームを無効にただけでは、マルチビームによって検査領域を過不足少なく走査することができない。このように、視野が大きくなる場合や検査領域を過不足少なく走査できない場合には

50

、検査の精度および効率を向上させることが困難となる。

【0007】

本発明の目的は、検査の精度および効率を向上させることができるマルチ電子ビーム画像取得装置及びマルチ電子ビーム画像取得方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の一態様であるマルチ電子ビーム画像取得装置は、基板にマルチ1次電子ビームを照射して前記基板から放出されたマルチ2次電子ビームの像を取得するマルチ電子ビーム画像取得装置であって、前記基板上に前記マルチ1次電子ビームを配置するビーム配置部を備え、前記ビーム配置部は、前記基板が載置されるステージの第1移動方向および前記第1移動方向に直交する第2移動方向に沿った正方格子状であって、前記マルチ1次電子ビーム全体として見た場合に四隅のビームが欠落した状態に前記マルチ1次電子ビームを配置する。

10

【0009】

上述のマルチ電子ビーム画像取得装置において、前記ビーム配置部は、前記第1移動方向を列方向、前記第2移動方向を行方向とした場合に、 K 行目のビーム本数と $N - A + K$ 行目のビーム本数との和が M 本になるように前記マルチ1次電子ビームを配置してもよい。但し、 M ：マルチ1次電子ビームを構成するビームの列数、 N ：マルチ1次電子ビームを構成するビームの行数、 A ：列方向のビーム本数が M よりも少ない行の数の $1/2$ 、 K ：1以上 A 以下の任意の整数である。

20

【0010】

上述のマルチ電子ビーム画像取得装置において、前記ビーム配置部は、 180° 回転対称となるように前記マルチ1次電子ビームを配置してもよい。

【0011】

上述のマルチ電子ビーム画像取得装置において、前記ビーム配置部は、複数の開口部が設けられたアパーチャ部材を有し、前記複数の開口部は、前記第1移動方向および前記第2移動方向に沿って正方格子状に並んで設けられ、前記複数の開口部全体として見た場合に、四隅の開口部が欠落していてもよい。

【0012】

本発明の一態様であるマルチ電子ビーム画像取得方法は、基板にマルチ1次電子ビームを照射して前記基板から放出されたマルチ2次電子ビームの像を取得するマルチ電子ビーム画像取得方法であって、前記基板上に、前記基板が載置されるステージの第1移動方向および前記第1移動方向に直交する第2移動方向に沿った正方格子状であって、前記マルチ1次電子ビーム全体として見た場合に四隅のビームが欠落した状態に前記マルチ1次電子ビームを配置する。

30

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、検査の精度および効率を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本実施形態によるパターン検査装置の一例を示す図である。

40

【図2】本実施形態によるパターン検査装置において、成形アパーチャレイ基板の一例を示す平面図である。

【図3】本実施形態によるパターン検査方法を示すフローチャートである。

【図4】本実施形態によるパターン検査方法において、被検査画像取得工程を示す平面図である。

【図5】本実施形態によるパターン検査方法において、被検査画像取得工程における走査領域の走査を示す平面図である。

【図6】本実施形態によるパターン検査方法において、マルチ1次電子ビームの配置を説明するための説明図である。

50

【図 7】本実施形態によるパターン検査方法において、マルチ 1 次電子ビームによって検査領域が過不足少なく走査される状態を示す平面図である。

【図 8】マルチ 1 次電子ビームの配置の変形例を示す平面図である。

【図 9】マルチ 1 次電子ビームの配置の他の変形例を示す平面図である。

【図 10】マルチ 1 次電子ビームの配置の更に他の変形例を示す平面図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、図面を参照して本発明に係る実施形態を説明する。実施形態は、本発明を限定するものではない。また、実施形態で参照する図面において、同一部分または同様な機能を有する部分には同一の符号または類似の符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。

10

【0016】

(パターン検査装置)

以下の実施形態では、マルチ電子ビーム画像取得装置の一例として、マルチ電子ビームを用いて基板に形成されたパターンを検査するパターン検査装置について説明する。

【0017】

図 1 は、本実施形態におけるパターン検査装置 1 の一例を示す図である。パターン検査装置 1 は、画像取得機構 2 と制御系回路 3 とを備えている。画像取得機構 2 は、電子ビームカラム 2 1 (すなわち電子鏡筒) と、検査室 2 2 とを備えている。電子ビームカラム 2 1 内には、電子銃 2 3 (すなわち放出源) と、電磁レンズ 2 4 と、ビーム配置部およびアパーチャ部材の一例である成形アパーチャアレイ基板 2 5 と、電磁レンズ 2 6 と、静電レンズ 2 7 と、一括ブランキング偏向器 2 8 と、制限アパーチャ基板 2 9 と、電磁レンズ 2 1 0 と、静電レンズ 2 1 1 と、電磁レンズ 2 1 2 (すなわち対物レンズ) とが配置されている。さらに、電子ビームカラム 2 1 内には、主偏向器 2 1 3 と、副偏向器 2 1 4 と、静電レンズ 2 1 5 と、ビームセパレーター 2 1 6 と、偏向器 2 1 7 と、電磁レンズ 2 1 8 と、静電レンズ 2 1 9 と、電磁レンズ 2 2 0 と、静電レンズ 2 2 1 と、電磁レンズ 2 2 2 と、静電レンズ 2 2 3 と、マルチ検出器 2 2 4 とが配置されている。

20

【0018】

検査室 2 2 内には、少なくとも X Y Z 方向に移動可能なステージ 2 2 5 が配置される。ステージ 2 2 5 上には、検査対象となる基板 4 (すなわち試料) が配置される。基板 4 には、露光用マスク基板、及びシリコンウェハ等の半導体基板が含まれる。基板 4 が半導体基板である場合、半導体基板には複数のチップパターン (すなわちウェハダイ) が形成されている。基板 4 が露光用マスク基板である場合、露光用マスク基板には、チップパターンが形成されている。チップパターンは、複数の図形パターンによって構成される。かかる露光用マスク基板に形成されたチップパターンが半導体基板上に複数回露光転写されることで、半導体基板には複数のチップパターンが形成されることになる。基板 4 は、例えば、パターン形成面を上側に向けてステージ 2 2 5 に配置される。また、ステージ 2 2 5 上には、検査室 2 2 の外部に配置されたレーザ測長システム 5 から照射されるレーザ測長のレーザ光を反射するミラー 2 2 6 が配置されている。また、検査室 2 2 上には、基板 4 面の高さ位置を測定する高さ位置センサ (すなわち Z センサ) 2 2 7 が配置される。Z センサ 2 2 7 は、投光器によって斜め上方から基板 4 面にレーザ光を照射し、照射されたレーザ光の反射光を受光器で受光し、受光された反射光を用いて基板 4 面の高さ位置を測定する。マルチ検出器 2 2 4 は、電子ビームカラム 2 1 の外部で検出回路 6 に接続される。検出回路 6 は、パターンメモリ 7 に接続される。

30

40

【0019】

制御系回路 3 では、パターン検査装置 1 全体を制御する制御計算機 3 1 が、バス 3 2 を介して位置検出回路 3 3、比較回路 3 4、参照画像作成回路 3 5、ステージ制御回路 3 6、静電レンズ制御回路 3 7、レンズ制御回路 3 8、ブランキング制御回路 3 9、偏向制御回路 3 1 0、磁気ディスク装置等の記憶装置 3 1 1、モニタ 3 1 2、メモリ 3 1 3、及びプリンタ 3 1 4 に接続されている。また、偏向制御回路 3 1 0 は、DAC (デジタルアナログ変換) アンプ 8 A、8 B、8 C に接続される。DAC アンプ 8 A は、主偏向器 2 1 3

50

に接続され、D A C アンプ 8 B は、副偏向器 2 1 4 に接続され、D A C アンプ 8 C は、偏向器 2 1 7 に接続される。

【 0 0 2 0 】

また、パターンメモリ 7 は、比較回路 3 4 に接続されている。また、ステージ 2 2 5 は、ステージ制御回路 3 6 の制御の下で駆動機構 9 によって駆動される。駆動機構 9 は、例えば、マルチ 1 次電子ビームの光軸に直交するステージ座標系における x、y 方向（すなわち、水平方向）および z 方向（すなわち、回転方向）にステージ 2 2 5 を駆動する 3 軸モータ等の駆動系を有している。3 軸モータとしては、例えばステップモータを用いることができる。また、駆動機構 9 は、例えば、ピエゾ素子等を用いて Z 方向（すなわち高さ方向）にステージ 2 2 5 を移動可能となっている。レーザ測長システム 5 は、ミラー 2 2 6 からの反射光を受光することによって、レーザ干渉法の原理でステージ 2 2 5 の位置を測定し、測定された移動位置を位置検出回路 3 3 に供給する。

10

【 0 0 2 1 】

電磁レンズ 2 4、2 6、2 1 0、2 1 2、2 1 8、2 2 0、2 2 2 およびビームセパレーター 2 1 6 は、レンズ制御回路 3 8 により制御される。また、一括ブランピング偏向器 2 8 は、2 極以上の電極により構成され、電極毎に図示しない D A C アンプを介してブランピング制御回路 3 9 により制御される。各静電レンズ 2 7、2 1 1、2 1 5、2 1 9、2 2 1、2 2 3 は、例えば中央部が開口した 3 段以上の電極基板により構成され、中段電極基板が図示しない D A C アンプを介して静電レンズ制御回路 3 7 によって制御される。各静電レンズ 2 7、2 1 1、2 1 5、2 1 9、2 2 1、2 2 3 の上段及び下段電極基板は、グランド電位に接続される。副偏向器 2 1 4 は、4 極以上の電極により構成され、電極毎に D A C アンプ 8 B を介して偏向制御回路 3 1 0 によって制御される。主偏向器 2 1 3 は、4 極以上の電極により構成され、電極毎に D A C アンプ 8 A を介して偏向制御回路 3 1 0 によって制御される。偏向器 2 1 7 は、4 極以上の電極により構成され、電極毎に D A C アンプ 8 C を介して偏向制御回路 3 1 0 によって制御される。

20

【 0 0 2 2 】

3 つの静電レンズ 2 7、2 1 1、2 1 5 によって構成される第 1 の静電レンズ群は、1 次電子光学系すなわち照明光学系に配置される。静電レンズ 2 7 は、電磁レンズ 2 6 の磁場中に配置される。静電レンズ 2 1 1 は、電磁レンズ 2 1 0 の磁場中に配置される。静電レンズ 2 1 5 は、対物レンズである電磁レンズ 2 1 2 の磁場中に配置される。3 つの静電レンズ 2 1 9、2 2 1、2 2 3 により構成される第 2 の静電レンズ群は、2 次電子光学系すなわち検出光学系に配置される。静電レンズ 2 1 9 は、電磁レンズ 2 1 8 の磁場中に配置される。静電レンズ 2 2 1 は、電磁レンズ 2 2 0 の磁場中に配置される。静電レンズ 2 2 3 は、電磁レンズ 2 2 2 の磁場中に配置される。例えば、各静電レンズにおいて、3 段の電極基板のうち中段電極基板が、各静電レンズに対応する電磁レンズの磁場中心高さ位置或いはレンズ主面に配置される。これにより、電磁レンズのレンズ作用によって電子の移動速度が遅くなっている状態、言い換えれば電子のエネルギーが小さくなっている状態で静電レンズによって電子ビームの軌道を修正することができるので、中段電極基板に印加する電位を小さくすることができる。

30

【 0 0 2 3 】

電子銃 2 3 には、図示しない高圧電源回路が接続されている。電子銃 2 3 は、内部に配置された図示しないフィラメント（すなわちカソード）と引出電極（すなわちアノード）との間に高圧電源回路から加速電圧が印加され、また、別の引出電極（すなわちウェネルト）に電圧が印加され、さらに、所定の温度でフィラメントが加熱されることで、フィラメントから放出された電子群を加速させて電子ビーム 2 0 0 として放出させる。

40

【 0 0 2 4 】

図 2 は、成形アパーチャアレイ基板の一例を示す平面図である。図 2 の例において、成形アパーチャアレイ基板 2 5 には、2 次元状の横（x 方向）6 列 × 縦（y 方向）6 行の複数の穴（開口部）2 5 1 が設けられている。

【 0 0 2 5 】

50

複数の穴 2 5 1 は、ステージ 2 2 5 の第 1 移動方向に沿った x 方向および第 1 移動方向に直交するステージ 2 2 5 の第 2 移動方向に沿った y 方向に沿って、所定のピッチで正方格子状に並んで設けられている。言い換えれば、x 方向において隣り合う穴 2 5 1 同士の y 座標は同一であり、また、y 方向において隣り合う穴 2 5 1 同士の x 座標は同一である。

【 0 0 2 6 】

なお、図 2 の例において、穴 2 5 1 の x 方向のピッチと y 方向のピッチとは同一であるが、x 方向のピッチと y 方向のピッチとは異なってもよい。

【 0 0 2 7 】

また、複数の穴 2 5 1 は、複数の穴 2 5 1 全体として見た場合に、四隅の穴が欠落している。言い換えれば、x 方向の両端の穴 2 5 1 に外接する y 方向に沿った線分と、y 方向の両端の穴 2 5 1 に外接する x 方向に沿った線分とで囲まれる矩形領域（図 2 の破線部参照）の四隅には、穴が設けられていない。

10

【 0 0 2 8 】

図 2 の例において、複数の穴 2 5 1 は、同じ寸法の矩形状に形成されているが、各穴を同じ外径の円形状に形成してもよい。複数の穴 2 5 1 を電子ビーム 2 0 0 の一部がそれぞれ通過することで、マルチ 1 次電子ビーム 2 0 が形成される。

【 0 0 2 9 】

図 2 に示すように四隅が欠落した正方格子状に穴 2 5 1 が設けられていることで、成形アパーチャレイ基板 2 5 は、後述するように、ステージ 2 2 5 の第 1 移動方向および第 2 移動方向に沿った正方格子状であって、マルチ 1 次電子ビーム 2 0 全体として見た場合に四隅のビームが欠落した状態にマルチ 1 次電子ビーム 2 0 を配置することができる。このように配置されたマルチ 1 次電子ビーム 2 0 で、図 4 (B) および図 7 において後述する、周期的に幅が変動した形状を有しているストライプ 4 2 に沿って基板 4 の検査領域を走査することで、基板 4 の検査領域を過不足少なく走査することができる。

20

【 0 0 3 0 】

次に、パターン検査装置 1 における画像取得機構 2 の動作について説明する。

【 0 0 3 1 】

電子銃 2 3 から放出された電子ビーム 2 0 0 は、電磁レンズ 2 4 によって屈折させられ、成形アパーチャレイ基板 2 5 全体を照明する。そして、成形アパーチャレイ基板 2 5 の複数の穴 2 5 1 の位置に照射された一部の電子ビーム 2 0 0 が複数の穴 2 5 1 を通過することによって、マルチ 1 次電子ビーム 2 0 が形成される。

30

【 0 0 3 2 】

形成されたマルチ 1 次電子ビーム 2 0 は、電磁レンズ 2 6、2 1 0 によって屈折させられ、中間像およびクロスオーバーを繰り返しながら、マルチ 1 次電子ビーム 2 0 の各ビームのクロスオーバー位置に配置されたビームセパレーター 2 1 4 を通過して電磁レンズ 2 1 2 に進む。そして、電磁レンズ 2 1 2 は、マルチ 1 次電子ビーム 2 0 を基板 4 にフォーカスする。対物レンズとしての電磁レンズ 2 1 2 によって基板 4 面上に焦点が合わされた（すなわち合焦された）マルチ 1 次電子ビーム 2 0 は、主偏向器 2 1 3 及び副偏向器 2 1 4 によって一括して偏向され、各ビーム 2 0 の基板 4 上のそれぞれの照射位置に照射される。なお、一括ブランキング偏向器 2 8 によってマルチ 1 次電子ビーム 2 0 全体を一括して偏向することで、制限アパーチャ基板 2 9 の中心の穴から位置が外れたビームを制限アパーチャ基板 2 9 によって遮蔽することもできる。

40

【 0 0 3 3 】

基板 4 の所望する位置にマルチ 1 次電子ビーム 2 0 が照射されると、かかるマルチ 1 次電子ビーム 2 0 が照射されたことに起因して、基板 4 から、マルチ 1 次電子ビーム 2 0 の各ビームに対応する反射電子を含む 2 次電子の束であるマルチ 2 次電子ビーム 3 0 0 が放出される。

【 0 0 3 4 】

基板 4 から放出されたマルチ 2 次電子ビーム 3 0 0 は、電磁レンズ 2 1 2 及び静電レンズ 2 1 5 を通って、ビームセパレーター 2 1 6 に進む。

50

【 0 0 3 5 】

ここで、ビームセパレーター 2 1 6 はマルチ 1 次電子ビーム 2 0 の中心ビームが進む方向（すなわち軌道中心軸）に直交する面上において電界と磁界を直交する方向に発生させる。電界は電子の進行方向に関わりなく同じ方向に力を及ぼす。これに対して、磁界はフレミング左手の法則に従って力を及ぼす。このため電子の侵入方向によって電子に作用する力の向きを変化させることができる。ビームセパレーター 2 1 6 に上側から侵入するマルチ 1 次電子ビーム 2 0 に対しては、電界による力と磁界による力とが打ち消し合い、マルチ 1 次電子ビーム 2 0 は下方に直進する。一方、ビームセパレーター 2 1 6 に下側から侵入してくるマルチ 2 次電子ビーム 3 0 0 に対しては、電界による力と磁界による力とが同じ方向に働き、マルチ 2 次電子ビーム 3 0 0 は斜め上方に曲げられてマルチ 1 次電子ビーム 2 0 から分離する。

10

【 0 0 3 6 】

斜め上方に曲げられてマルチ 1 次電子ビーム 2 0 から分離したマルチ 2 次電子ビーム 3 0 0 は、偏向器 2 1 7 によって更に曲げられ、電磁レンズ 2 1 8 , 2 2 0 , 2 2 2 によって屈折させられながらマルチ検出器 2 2 4 に投影される。マルチ検出器 2 2 4 は、例えば図示しないダイオード型の 2 次元センサを有する。マルチ検出器 2 2 4 は、2 次元センサにマルチ 2 次電子ビーム 3 0 0 を衝突させて 2 次元センサから電子を発生させることで、投影されたマルチ 2 次電子ビーム 3 0 0 を 2 次元電子画像データとして画素毎に検出する。マルチ検出器 2 2 4 は、検出された 2 次元電子画像データを検出回路 6 に出力する。

【 0 0 3 7 】

（パターン検査方法）

次に、図 1 のパターン検査装置 1 を適用したパターン検査方法について説明する。以下では、基板 4 として露光用マスク基板を用いる例について説明する。図 3 は、本実施形態によるパターン検査方法を示すフローチャートである。図 4 (A) は、本実施形態によるパターン検査方法において、被検査画像取得工程を示す平面図である。図 4 (B) は、ストライプの詳細図である。図 3 に示すように、パターン検査方法は、被検査画像取得工程（ステップ S 1 ）と、参照画像作成工程（ステップ S 2 ）と、位置合わせ工程（ステップ S 3 ）と、比較工程（ステップ S 4 ）とを有する。

20

【 0 0 3 8 】

まず、パターン検査装置 1 は、マルチ 1 次電子ビーム 2 0 を用いて基板 4 上に形成されるパターンの 2 次電子画像データを取得する被検査画像取得工程（ステップ S 1 ）を実施する。具体的には、パターン検査装置 1 は、以下のように動作する。

30

【 0 0 3 9 】

まず、対物レンズである電磁レンズ 2 1 2 によってマルチ 1 次電子ビーム 2 0 を基板 4 面の基準位置に合焦した状態で、ステージ制御回路 3 6 の制御の下で、駆動機構 9 によって基板 4 が載置されたステージ 2 2 5 を移動させる。ここで、ステージ制御回路 3 6 および偏向制御回路 3 1 0 は、図 4 (A) の破線矢印に示すように、パターンの欠陥を検査すべき基板 4 の検査領域 4 1 を複数の短冊状に仮想的に分割したストライプ 4 2 に沿って検査領域 4 1 をマルチ 1 次電子ビーム 2 0 で走査する制御を行う。なお、図 4 (A) においては、ストライプ 4 2 を簡略化して描いているが、実際のストライプ 4 2 は、図 4 (B) に示すように、周期的に幅が変動した形状を有している。言い換えれば、図 4 (B) のストライプ 4 2 は、第 1 移動方向（すなわち X 方向）に沿って周期的に、ストライプ 4 2 の第 2 移動方向（すなわち Y 方向）の両端部同士がストライプ 4 2 の第 2 移動方向の中心 C に対して接近と離間を交互に繰り返す（すなわち、ストライプ幅の減少と増加を交互に繰り返す）形状を有している。なお、図 4 (B) においては、第 2 移動方向において隣り合う 2 本のストライプ 4 2 の一方を実線で、他方を破線で描いている。図 4 (B) に示すように、第 2 移動方向において隣り合うストライプ 4 2 同士は、ストライプ 4 2 の第 2 移動方向の両端部同士が接近と離間を繰り返す周期は互いに同一であるが、当該接近および離間を開始する位置が、第 1 移動方向において互いにずれるように配置されている。すなわち、図 4 (B) に示すようにストライプ 4 2 が第 1 移動方向（x 方向）に延びている（横

40

50

長である)とみた場合に、第2移動方向(y方向)において隣り合うストライプ42同士は、第2移動方向における一端(上端)と第2移動方向における他端(下端)との第2移動方向における変動の周期と形状は同じで、位相がずれる形状を有している。また、第2移動方向において隣り合うストライプ42同士は、中心C間の距離であるピッチが、ストライプ42の最大幅よりも小さくなるように配置されている。すなわち、第2移動方向において隣り合うストライプ24は、検査領域41を隙間および重複なく敷き詰めるように配置されている。すなわち、検査領域41は隙間のない形状である。具体的には、ステージ制御回路36は、ストライプ42に沿って(すなわち、x方向に沿って)検査領域41がマルチ1次電子ビーム20で走査されるように駆動機構9を駆動制御する。なお、ストライプ42に沿った方向が、ステージ225の第1移動方向であり、ストライプ42に直交する方向が、ステージ225の第2移動方向である。また、偏向制御回路310は、ストライプ42を構成する複数の走査領域43毎に、マルチ1次電子ビーム20全体を一括偏向して各走査領域43をマルチ1次電子ビーム20で走査するように副偏向器214を制御する。なお、ステージ225の移動は、走査領域43を変更する毎にステージ位置が安定するまで整定時間(すなわち走査の待機時間)をとるステップアンドリピート方式によるものであってもよく、または、走査領域43の変更毎に整定時間をとらない連続移動方式によるものであってもよい。

10

【0040】

図5は、本実施形態によるパターン検査方法において、被検査画像取得工程における走査領域43の走査を示す平面図である。図5には、四隅のビームが欠落した6行×6列の合計24本のビーム201で構成されるマルチ1次電子ビーム20が示されている。走査領域43は、検査領域41のうち、1回のマルチ1次電子ビーム20の照射時(すなわち、ショット時)にマルチ1次電子ビーム20で走査可能な領域である。

20

【0041】

走査領域43は、マルチ1次電子ビーム20を構成する個々のビーム201で走査可能な複数のサブ走査領域44毎に区分されている。マルチ1次電子ビーム20を構成する個々のビーム201は、対応するサブ走査領域44内の同じ位置を走査する。サブ走査領域44毎のビーム201の走査は、既述したように副偏向器214によるマルチ1次電子ビーム20全体での一括偏向によって行われる。

【0042】

副偏向器214によるマルチ1次電子ビーム20の一括偏向において、各ビーム201の移動方向および移動量は同一である。これにより、マルチ1次電子ビーム20は、常に正方格子状に配置された状態を維持する。言い換えれば、x方向において隣り合うビーム201同士のy座標は同一に維持され、また、y方向において隣り合うビーム201同士のx座標は同一に維持される。

30

【0043】

また、マルチ1次電子ビーム20は、マルチ1次電子ビーム20全体として見た場合に、四隅のビームが欠落している。言い換えれば、x方向の両端のサブ走査領域44に外接するy方向に沿った線分と、y方向の両端のサブ走査領域44に外接するx方向に沿った線分とで囲まれる矩形領域(図5の破線部参照)の四隅には、ビーム201すなわち走査領域43が配置されていない。

40

【0044】

このようなマルチ1次電子ビーム20を構成する各ビーム201によって対応するサブ走査領域44の全体を走査することで、走査領域43の全体を走査する。そして、この走査を、ステージ225を移動させながらストライプ42上のすべての走査領域43に対して繰り返す。

【0045】

図6は、本実施形態によるパターン検査方法において、マルチ1次電子ビーム20の配置を説明するための説明図である。検査領域41を過不足少なく走査するため、マルチ1次電子ビーム20は、成形アパーチャアレイ基板25の穴251の配置によって、K行目

50

のビーム本数と $N - A + K$ 行目のビーム本数との和が M 本になるように配置される。

【 0 0 4 6 】

ただし、マルチ 1 次電子ビーム 2 0 の配置における列方向は、ステージ 2 2 5 の第 1 移動方向すなわち x 方向に平行な方向である。また、マルチ 1 次電子ビーム 2 0 の配置における行方向は、ステージ 2 2 5 の第 2 移動方向すなわち y 方向に平行な方向である。また、 M は、マルチ 1 次電子ビーム 2 0 を構成するビーム 2 0 1 の列数であり、図 6 の例において、 M は 6 である。また、 N は、マルチ 1 次電子ビーム 2 0 を構成するビーム 2 0 1 の行数であり、図 6 の例において、 N は 6 である。また、 A は、列方向のビーム本数が M よりも少ない行の数の $1 / 2$ であり、図 6 の例において、 A は 2 である。また、 K は、1 以上 A 以下の任意の整数であり、図 6 の例において、 K は、1 または 2 である。

10

【 0 0 4 7 】

より詳しくは、図 6 に示すように、 $K = 1$ 行目のビーム本数である 2 本と、 $N - A + K = (6 - 2 + 1) = 5$ 行目のビーム本数である 4 本との和は、6 本すなわち M 本である。また、 $K = 2$ 行目のビーム本数である 4 本と、 $N - A + K = (6 - 2 + 2) = 6$ 行目のビーム本数である 2 本との和は、6 本である。

【 0 0 4 8 】

また、図 6 の例において、マルチ 1 次電子ビーム 2 0 は、列方向および行方向のビーム本数が偶数本であり、また、 180° 回転対称になるように配置されている。

【 0 0 4 9 】

図 7 は、本実施形態によるパターン検査方法において、マルチ 1 次電子ビーム 2 0 によって検査領域 4 1 が過不足少なく走査される状態を示す平面図である。図 7 には、 y 方向において隣接する 2 行のストライプ 4 2 のそれぞれを構成する走査領域 4 3 が示されている。各ストライプ 4 2 は、図 4 (B) でも説明したように、周期的に幅が変動した形状を有している。

20

【 0 0 5 0 】

図 6 のように配置されたマルチ 1 次電子ビーム 2 0 によれば、図 7 に示すように、検査領域 4 1 を重複および隙間なく埋め尽くす走査領域 4 3 の全体を走査することができる。これにより、検査領域 4 1 を過不足少なく走査することができるので、検査の精度および効率を向上させることができる。

【 0 0 5 1 】

なお、走査領域 4 3 で検査領域 4 1 を埋め尽くすようにするため、図 7 に示すように、 y 方向において隣接するストライプ 4 2 同士の間において、走査領域 4 3 は x 方向にずれている。このように走査領域 4 3 の x 方向の位置をずらす処理は、例えばステージ位置をずらすことで行うことができる。例えば、ステップアンドリピート方式であれば、ステージ 2 2 5 をずらした位置で走査を開始し、連続移動方式であれば、走査を開始するタイミングをずらすことで、走査領域 4 3 の x 方向の位置を調整することができる。

30

【 0 0 5 2 】

上述のように配置されたマルチ 1 次電子ビーム 2 0 が基板 4 の所望する位置に照射されたことに起因して、基板 4 から、マルチ 1 次電子ビーム 2 0 に対応する反射電子を含むマルチ 2 次電子ビーム 3 0 0 が放出される。基板 4 から放出されたマルチ 2 次電子ビーム 3 0 0 は、ビームセパレーター 2 1 6 に進み、斜め上方に曲げられる。斜め上方に曲げられたマルチ 2 次電子ビーム 3 0 0 は、偏向器 2 1 7 で軌道を曲げられ、マルチ検出器 2 2 4 に投影される。マルチ検出器 2 2 4 は、投影されたマルチ 2 次電子ビーム 3 0 0 を 2 次元電子画像データとして検出する。検出された 2 次元電子画像データは、検出順に検出回路 6 に出力される。検出回路 6 内では、図示しない A / D 変換器によって、アナログの 2 次元電子画像データがデジタルデータに変換され、パターンメモリ 7 に格納される。

40

【 0 0 5 3 】

このようにして、パターン検査装置 1 は、基板 4 上に形成されたパターンの 2 次元電子画像データを被検査画像データとして取得する。取得された被検査画像データは、位置検出回路 3 3 からの各位置を示す情報と共に、比較回路 3 4 に転送される。比較回路 3 4 は

50

、転送された被検査画像データを一時的に記憶する。

【0054】

参照画像作成工程（ステップS2）は、被検査画像取得工程（ステップS1）の後、または被検査画像取得工程（ステップS1）と並行して実施される。参照画像作成工程（ステップS2）において、参照画像作成回路35は、被検査画像に対応する参照画像を作成する。具体的には、参照画像作成回路35は、記憶装置311から基板4にパターンを形成する基になった設計データを読み出し、読み出された設計データを2値ないしは多値の画像データに変換し、変換された画像データに適切なフィルタ処理を施すことで参照画像データを作成する。そして、参照画像作成回路35は、作成された参照画像データを比較回路34に出力する。比較回路34は、出力された参照画像データを一時的に記憶する。

10

【0055】

位置合わせ工程（ステップS3）は、被検査画像取得工程（ステップS1）および参照画像作成工程（ステップS2）の後に実施される。

【0056】

位置合わせ工程（ステップS3）において、比較回路34は、記憶された被検査画像データと参照画像データとを読み出し、両画像データを位置合わせする。

【0057】

位置合わせ工程（ステップS3）の後、比較回路34は、比較工程（ステップS4）を実施する。すなわち、比較回路34は、位置合わせされた被検査画像データと参照画像データとを比較することで、例えば形状欠陥といった欠陥の有無を判定する。例えば、比較回路34は、被検査画像データと参照画像データとの階調値差が判定閾値よりも大きければ欠陥と判定し、判定結果を記憶装置311、モニタ312、メモリ313若しくはプリンタ314に出力する。

20

【0058】

なお、上述したダイ-データベース検査に限らず、ダイ-ダイ検査を行っても構わない。ダイ-ダイ検査を行う場合には、同じパターンが形成された走査領域43の画像同士を比較し、比較結果に基づいて欠陥の有無を判定すればよい。また、基板4として半導体基板を用いる場合には、例えば、x方向およびy方向に沿ってアレイ状に配置された半導体基板の複数のチップ毎に検査を行えばよい。チップ毎の検査においては、露光用マスク基板の場合と同様に、チップをx方向に沿った複数のストライプに仮想分割し、ストライプに沿ってマルチ1次電子ビーム20でチップを走査すればよい。

30

【0059】

以上述べたように、本実施形態によれば、上述したように四隅のビームが欠落した正方形格子状に配置されたマルチ1次電子ビーム20を用いることで、検査領域41を重複および隙間なく埋め尽くす走査領域43の全体を走査することができる。これにより、検査領域41を過不足少なく走査することができるので、検査の精度および効率を向上させることができる。

【0060】

また、本実施形態によれば、K行目のビーム本数とN-A+K行目のビーム本数との和がM本になるようにマルチ1次電子ビーム20を配置することで、検査領域41を重複および隙間なく埋め尽くす走査領域43の全体を確実に走査することができる。

40

【0061】

また、本実施形態によれば、180°回転対称になるようにマルチ1次電子ビーム20を配置することで、マルチ1次電子ビーム20を容易に配置することができる。

【0062】

また、本実施形態によれば、検査領域41を過不足少なく走査することができるマルチ1次電子ビーム20の配置を成形アパーチャアレイ基板25の穴251の配置によって簡便に実現することができる。なお、上述したマルチ1次電子ビーム20の配置は、成形アパーチャアレイ基板25の穴251の配置に加えて、または、穴251の配置に替えて、マルチ1次電子ビーム20の偏向制御によって実現してもよい。

50

【 0 0 6 3 】

(変 形 例)

次に、マルチ1次電子ビーム20の配置の変形例について説明する。図8(A)～図8(K)は、マルチ1次電子ビーム20の配置の変形例を示す平面図である。なお、図8(A)～図8(K)では、マルチ1次電子ビーム20の配置を、サブ走査領域44の配置として示している。図示はしないが、各サブ走査領域44には、マルチ1次電子ビーム20のうちの対応するビーム201が割り当てられている。

【 0 0 6 4 】

図5～図7では、合計24本のマルチ1次電子ビーム20について説明したが、マルチ1次電子ビーム20のビーム本数は、マルチ1次電子ビーム20によって検査領域41を重複および隙間なく埋め尽くす走査領域43の全体を走査できる限りにおいて、24本には限定されない。

10

【 0 0 6 5 】

例えば、図8(A)～図8(C)に示すように、マルチ1次電子ビーム20のビーム本数は40本であってもよい。図8(A)に示す $2 * S Q R T (1 2 . 5)$ は、図8(A)内の双方向矢印で示される最も離れたビーム同士の距離を、正方形のサブ走査領域44の一辺の長さを1とした場合の相対値として示したものである(以下、同様)。この距離が大きいほど、視野(FOV)が大きいことを示している。図8(B)、図8(C)の例では、最も離れたビーム同士の距離は $2 * S Q R T (1 3 . 5)$ であるため、図8(A)の方が、図8(B)、図8(C)よりも視野が小さい。

20

【 0 0 6 6 】

また、マルチ1次電子ビーム20のビーム本数は、図8(D)～図8(F)に示すように60本であってもよく、図8(G)に示すように80本であってもよく、図8(H)に示すように90本であってもよく、図8(I)に示すように100本であってもよい。あるいは、マルチ1次電子ビーム20のビーム本数は、図8(J)に示すように96本であってもよく、図8(K)に示すように108本であってもよい。

【 0 0 6 7 】

図9は、マルチ1次電子ビーム20の配置の他の変形例を示す平面図である。図5～図7では、走査領域43が互いに隣接する複数のサブ走査領域44で区分されたひとまとまりの領域である例について説明したが、マルチ1次電子ビーム20によって検査領域41を重複および隙間なく埋め尽くす走査領域43の全体を走査できる限りにおいて、走査領域43は、ひとまとまりの領域であることに限定されない。例えば、図9に示すように、走査領域43は、ステージ225の第1移動方向(すなわち、x方向)に間隔を空けて複数の分割領域43aに分割されていてよい。図9の例においては、隣り合う分割領域43aの間の空隙部が、x方向において隣接する他の走査領域43の分割領域43aによって埋められている。

30

【 0 0 6 8 】

図10は、マルチ1次電子ビーム20の配置の更に他の変形例を示す平面図である。図7では、マルチ1次電子ビーム20を180°回転対称になるように配置する例について説明した。これに対して、図10に示すように、マルチ1次電子ビーム20は、検査領域41を重複および隙間なく埋め尽くす走査領域43の全体を走査することができるのであれば、180°回転対称にならないように配置されていてもよい。

40

【 0 0 6 9 】

パターン検査装置1の少なくとも一部は、ハードウェアで構成してもよいし、ソフトウェアで構成してもよい。ソフトウェアで構成する場合には、パターン検査装置1の少なくとも一部の機能を実現するプログラムをフレキシブルディスクやCD-ROM等の記録媒体に収納し、コンピュータに読み込ませて実行させてもよい。記録媒体は、磁気ディスクや光ディスク等の着脱可能なものに限定されず、ハードディスク装置やメモリなどの固定型の記録媒体でもよい。

【 0 0 7 0 】

50

上述の実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれると同様に、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれるものである。

【符号の説明】

【0071】

1 パターン検査装置

4 基板

25 成形アパーチャレイ基板

225 ステージ

10

20

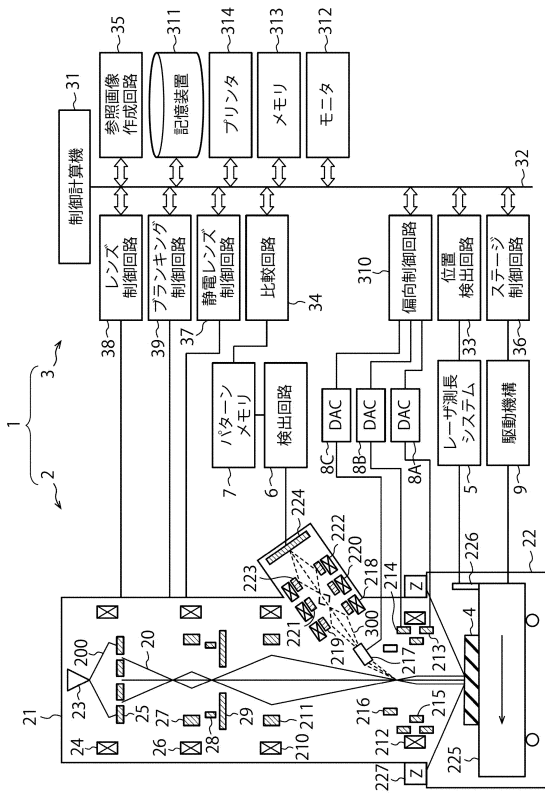
30

40

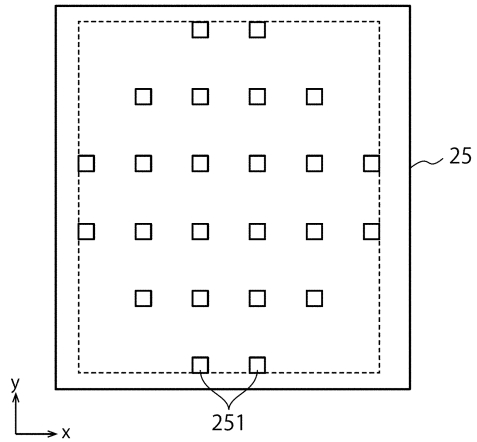
50

【図面】

【図 1】



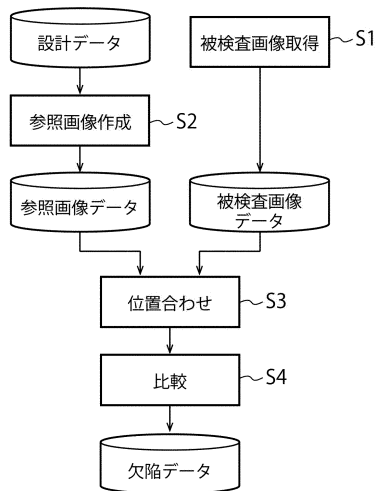
【図 2】



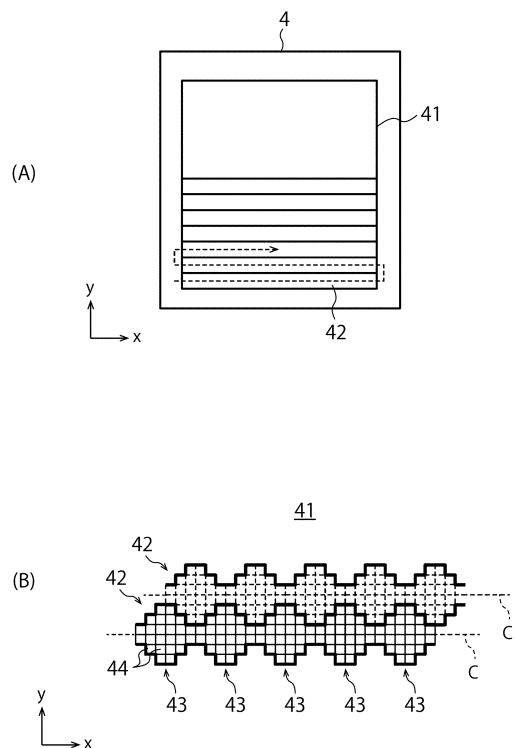
10

20

【図 3】



【図 4】

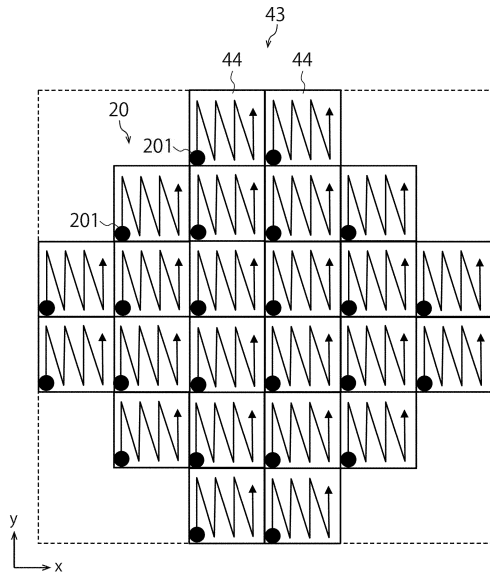


30

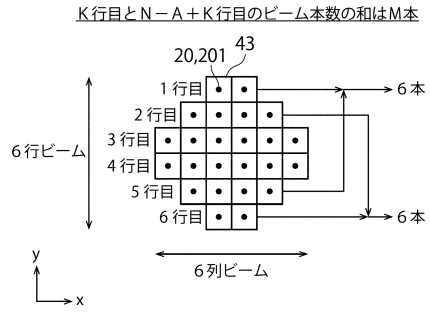
40

50

【 図 5 】



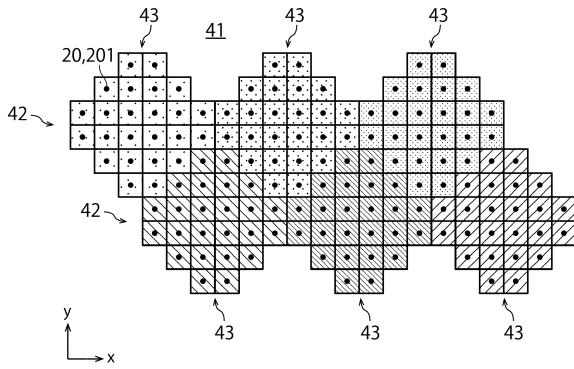
【 図 6 】



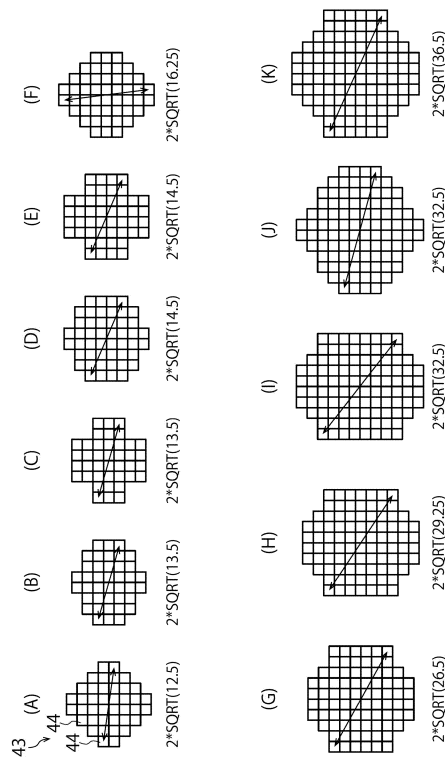
10

20

【 図 7 】



【 図 8 】

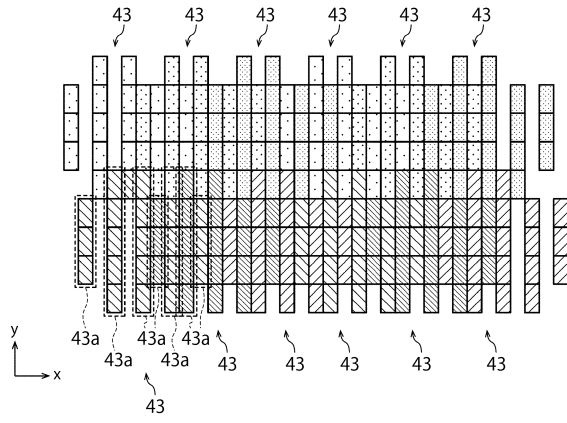


30

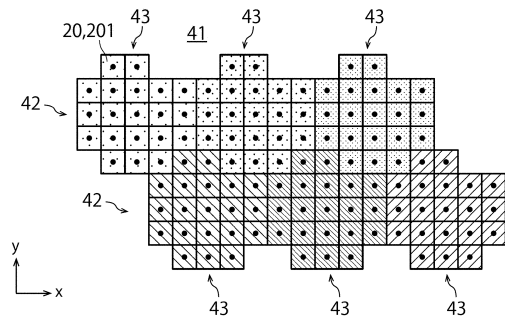
40

50

【図 9】



【図 10】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(72)発明者 能弾 長作

神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番 1 株式会社ニューフレアテクノロジー内

審査官 後藤 大思

(56)参考文献 米国特許出願公開第 2 0 1 8 / 0 2 5 4 1 6 7 (U S , A 1)

特開 2 0 1 8 - 0 3 7 5 7 9 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)

H 0 1 J 3 7 / 0 0 - 3 7 / 3 6