

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6708217号
(P6708217)

(45) 発行日 令和2年6月10日(2020.6.10)

(24) 登録日 令和2年5月25日(2020.5.25)

(51) Int.Cl.

G03F 7/20 (2006.01)

F 1

G03F 7/20 501
G03F 7/20 521

請求項の数 9 (全 40 頁)

(21) 出願番号 特願2017-556106 (P2017-556106)
 (86) (22) 出願日 平成28年12月14日 (2016.12.14)
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2016/087262
 (87) 国際公開番号 WO2017/104717
 (87) 国際公開日 平成29年6月22日 (2017.6.22)
 審査請求日 令和1年7月23日 (2019.7.23)
 (31) 優先権主張番号 特願2015-246298 (P2015-246298)
 (32) 優先日 平成27年12月17日 (2015.12.17)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関
日本国 (JP)

(73) 特許権者 000004112
 株式会社ニコン
 東京都港区港南二丁目15番3号
 (74) 代理人 100077665
 弁理士 千葉 剛宏
 (74) 代理人 100116676
 弁理士 宮寺 利幸
 (74) 代理人 100191134
 弁理士 千馬 隆之
 (74) 代理人 100136548
 弁理士 仲宗根 康晴
 (74) 代理人 100136641
 弁理士 坂井 志郎
 (74) 代理人 100180448
 弁理士 関口 亨祐

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】パターン描画装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

描画データに基づいて変調される光ビームを基板上に投射する露光ヘッド部を有し、前記基板を副走査方向に移動させることによって、前記基板上に前記描画データに対応したパターンを描画するパターン描画装置であって、

前記基板を支持して前記副走査方向に移動させる移動機構と、

前記描画データで規定される画素の前記基板上での寸法よりも小さい分解能で、前記基板の移動量の変化を計測する計測機構と、

前記副走査方向に並ぶ複数の前記画素ごとの画素データを前記描画データとして記憶するとともに、前記計測機構で計測される前記基板の移動量に応じて画素データの読み出しアドレスが更新されるデータ記憶部と、

前記基板に描画すべき前記パターンの前記副走査方向に関する描画倍率の変更位置を前記計測機構で計測される前記移動量に対応して設定する倍率設定部と、

前記描画倍率の変更位置が、前記副走査方向に並ぶ複数の前記画素のうちの特定画素の前記副走査方向の途中に設定される場合は、前記副走査方向に関して前記特定画素の1つ手前の画素の描画が完了する位置を新変更位置として、前記計測機構で計測される前記移動量と前記画素の寸法との対応関係を補正して、前記描画倍率の次の変更位置までに前記データ記憶部から読み出される前記画素データのアドレスを設定する制御部と、

を備える、パターン描画装置。

【請求項 2】

10

20

請求項 1 に記載のパターン描画装置であって、

前記データ記憶部は、前記基板上に設定される露光領域内に描画すべきパターンを 2 次元の前記画素に分割し、前記副走査方向と交差する主走査方向に関して並ぶ 1 列分の画素の各々に対応した前記画素データを画素データ列として記憶するとともに、該画素データ列の複数を前記副走査方向に並ぶ画素に対応して記憶する、パターン描画装置。

【請求項 3】

請求項 2 に記載のパターン描画装置であって、

前記計測機構は、前記基板上に設定される前記画素の前記副走査方向の寸法の $1/k$ (ただし、 $k \geq 2$) の分解能で前記基板の移動量を計測するデジタルカウンタを備え、

前記制御部は、前記デジタルカウンタで計測される前記移動量と前記画素の寸法との対応関係を、前記倍率設定部で設定される前記描画倍率の変更位置で変更する、パターン描画装置。 10

【請求項 4】

請求項 3 に記載のパターン描画装置であって、

前記デジタルカウンタで計測される前記移動量に基づいて設定される前記変更位置を X_{mn} 、変更位置 X_{mn} で描画される前記画素データ列の前記副走査方向に関する番地を $X_{A2(n)}$ 、前記変更位置 X_{mn} までの前記描画倍率の補正係数を $M_x(n-1)$ 、変更位置 X_{mn} の手前に設定された新変更位置を $X_m(n-1)'$ 、前記新変更位置 $X_m(n-1)'$ で描画された前記画素データ列の前記副走査方向に関する番地を $X_{A2(n-1)}$ 、前記変更位置 X_{mn} を前記副走査方向に並ぶ前記画素の間の位置にずらした新変更位置を X_{mn}' としたとき、前記制御部は、 20

$$X_{mn}' = X_m(n-1)' + \{ X_{A2(n)} - X_{A2(n-1)} \} \cdot M_x(n-1)$$

の演算によって求まる新たな変更位置 X_{mn}' から、前記描画倍率の補正係数を $M_x(n)$ に変更する、パターン描画装置。

【請求項 5】

請求項 4 に記載のパターン描画装置であって、

前記制御部は、前記描画倍率を未補正の場合は前記補正係数 M_x を $M_x = k$ に設定し、前記描画倍率を縮小にする場合は $M_x < k$ に設定し、前記描画倍率を拡大する場合は $M_x > k$ に設定する、パターン描画装置。 30

【請求項 6】

請求項 2 ~ 5 のいずれか一項に記載のパターン描画装置であって、

前記露光ヘッド部に供給される前記光ビームを生成する為に、所定周波数 F_a でパルス状に発振する紫外波長域のパルス光を生成するパルス光源装置と、

前記データ記憶部に記憶された前記画素データ列の各画素データの値に応じて、前記パルス光の強度を変調して前記光ビームを生成する変調器と、

を更に備える、パターン描画装置。

【請求項 7】

請求項 6 に記載のパターン描画装置であって、

前記露光ヘッド部は、前記光ビームの入射を複数の反射面の各々で順次反射させて前記主走査方向に走査する回転ポリゴンミラーと、前記回転ポリゴンミラーの各反射面で反射された前記光ビームを入射して前記基板上にスポット光として収斂する為の f レンズと、前記回転ポリゴンミラーの各反射面が所定の角度位置になる度に、前記光ビームによる描画開始時点を表す原点パルス信号を発生する原点センサと、を有し、 40

前記制御部は、前記主走査方向に並ぶ 1 列分の画素に対応した前記画素データ列が、前記原点パルス信号の発生に応答して前記変調器に順次送出されるように前記データ記憶部を制御する、パターン描画装置。

【請求項 8】

請求項 3 ~ 5 のいずれか一項に記載のパターン描画装置であって、

前記基板は、前記副走査方向に長尺なフレキシブルなシート基板であり、

前記シート基板を前記副走査方向に移動させる為に、前記シート基板の長尺方向の一部を円筒状の外周面に倣って湾曲させて支持し、中心軸の回りに所定の回転速度で回転する回転ドラムを更に備え、

前記計測機構は、前記回転ドラムと一緒に前記中心軸の回りに回転する環状のスケール部と、該スケール部に周方向に沿って形成された目盛を読み取るエンコーダヘッドとで構成され、

前記デジタルカウンタは、前記エンコーダヘッドからの信号に基づいて前記シート基板の移動量を計測する、パターン描画装置。

【請求項 9】

請求項 8 に記載のパターン描画装置であって、

10

前記デジタルカウンタは、前記スケール部の周方向の 1ヶ所に形成された原点位置を表す Z 相マークによってリセットされることなく、前記スケール部の前記目盛の変化を前記回転ドラムの 1 周分以上にわたって連続して計数する、パターン描画装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、基板等の被照射体上に描画データに基づいた光ビームを照射してパターンを描画するパターン描画装置に関する。

【背景技術】

【0002】

20

近年、プリンタブル・エレクトロニックと称して、樹脂や極薄ガラスで構成されたフレキシブル（可撓性）な基板上に、凹版方式、凸版方式、シルク方式、または、インクジェット方式等の印刷法、或いはフレキシブルな基板上に塗布された感光層に紫外線の光パターンを投射する光パターニング法によって、表示ディスプレイ等の電子デバイスを形成することが試みられている。電子デバイスとして、薄膜トランジスタ（TFT）、ICチップ、センサ素子、抵抗素子、コンデンサ素子等を含む回路パターン（単一の配線層、または多層配線層）の形成には、パターンの描画分解能が高く、高精度な位置決め精度が要求されるため、印刷法ではなく光パターニング法を用いることが検討されている。

【0003】

特開 2004-272167 号公報には、所定の画素間ピッチ（画素寸法）で規定される描画データに応じて、レーザビームを基材上に照射するとともに、ビームと基材を相対的に 2 次元移動させて、基材上に TFT やカラーフィルター等のパターンを形成するパターン形成装置が開示されている。この特開 2004-272167 号公報のパターン形成装置では、基材（フレキシブル基材）上に形成された前工程パターンの周囲の複数ヶ所に形成されたアライメントマークの各位置を検出し、その結果に基づいて基材の伸縮（および変形）を求める、求めた伸縮（変形）に応じて描画データを補正することで、前工程パターンとの位置ずれを防止したパターン露光を行っている。その描画データの補正に際しては、基材上でビームを移動させる方向（主走査方向）と、基材を支持する移動ステージの移動方向（副走査方向）とに細分化された画素の寸法（画素ピッチ）を、基材の伸縮に応じて補正している。

30

【0004】

40

しかしながら、例えば、ロール・ツー・ロール方式で長尺の基材上に連続してパターンを形成する場合、基材の長尺方向の伸縮は一定ではなく、所々で変動することがある。すなわち、長尺の基材上に形成される 1 つの電子デバイスに対応したパターン形成領域（露光領域）の中であっても、副走査方向に関する伸縮が一定でないことがあり、基材上の 1 つのパターン形成領域にパターンを描画している途中であっても、下地パターン（前工程パターン）との重ね合せ精度やトータルピッチ精度（パターン形成領域全長の寸法精度）を劣化させないためには、副走査方向に関する倍率補正をきめ細かく変える必要性が生じる。

【発明の概要】

50

【0005】

本発明の第1の態様は、描画データに基づいて変調される光ビームを基板上に投射する露光ヘッド部を有し、前記基板を副走査方向に移動させることによって、前記基板上に前記描画データに対応したパターンを描画するパターン描画装置であって、前記基板を支持して前記副走査方向に移動させる移動機構と、前記描画データで規定される画素の前記基板上での寸法よりも小さい分解能で、前記基板の移動量の変化を計測する計測機構と、前記副走査方向に並ぶ複数の前記画素ごとの画素データを前記描画データとして記憶するとともに、前記計測機構で計測される前記基板の移動量に応じて画素データの読み出しアドレスが更新されるデータ記憶部と、前記基板に描画すべき前記パターンの前記副走査方向に関する描画倍率の変更位置を前記計測機構で計測される前記移動量に対応して設定する倍率設定部と、前記描画倍率の変更位置が、前記副走査方向に並ぶ複数の前記画素のうちの特定画素の前記副走査方向の途中に設定される場合は、前記副走査方向に関して前記特定画素の1つ手前の画素の描画が完了する位置を新変更位置として、前記計測機構で計測される前記移動量と前記画素の寸法との対応関係を補正して、前記描画倍率の次の変更位置までに前記データ記憶部から読み出される前記画素データのアドレスを設定する制御部と、を備える。10

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】第1の実施の形態による露光装置の全体構成を示す図である。

【図2】図1に示す露光装置の回転ドラムに基板が巻き付けられた状態を示す詳細図である。20

【図3】基板上で走査されるスポット光の描画ライン、および基板上に形成されたアライメントマークを示す図である。

【図4】図1に示す走査ユニットの光学的な構成を示す図である。

【図5】図1に示すビーム分配部の構成を示す図である。

【図6】図1に示す制御装置の概略構成を示すブロック図である。

【図7】図1に示す光源装置の具体的な構成を示す図である。

【図8】図6に示した描画コントロール部と描画データ記憶部とによって、基板の移動位置（移動量）に応じた描画データ（画素データ列）の読み出しのタイミングを説明する図である。30

【図9】図9Aは、倍率補正を行わないときに、Xアドレス値のインクリメント（1番地の増加）が、移動量の10カウント分に対応している状態を示す図、図9Bは、描画すべきパターンを縮小させるために、Xアドレス値のインクリメント（1番地の増加）が、移動量の9カウント分に対応している状態を示す図である。

【図10】描画動作中の途中で異なる描画倍率に変更する際の制御について説明する図である。

【図11】描画動作中の途中で異なる描画倍率に変更する際の制御について説明する図である。

【図12】1つの露光領域上に設定される倍率変更点の一例を説明する図である。

【図13】図6に示した描画コントロール部によって実行される副走査方向の描画倍率補正のための演算シーケンスの変形例を説明するタイムチャートである。40

【図14】走査ユニットからの原点信号の発生タイミング、描画タイミング、および演算タイミングを時系列に表したタイムチャートである。

【図15】図14で説明した制御を行うために、図6中の描画コントロール部と描画データ記憶部の各々に設けられる一部の回路構成の概略を説明するブロック図である。

【図16】図14、図15で説明した主走査方向（Y方向）への描画パターンの位置シフトを、露光領域に対するパターンの描画動作中に連続して実行する場合の一例を示すチャート図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

本発明の態様に係るパターン描画装置について、好適な実施の形態を掲げ、添付の図面を参照しながら以下、詳細に説明する。なお、本発明の態様は、これらの実施の形態に限定されるものではなく、多様な変更または改良を加えたものも含まれる。つまり、以下に記載した構成要素には、当業者が容易に想定できるもの、実質的に同一のものが含まれ、以下に記載した構成要素は適宜組み合わせることが可能である。また、本発明の要旨を逸脱しない範囲で構成要素の種々の省略、置換または変更を行うことができる。

【0011】

[第1の実施の形態]

図1は、第1の実施の形態の基板(P)に露光処理を施す露光装置(パターン描画装置)EXを含むデバイス製造システム10の概略構成を示す図である。なお、以下の説明においては、特に断わりのない限り、重力方向をZ方向とするXYZ直交座標系を設定し、図に示す矢印にしたがって、X方向、Y方向、およびZ方向を説明する。

10

【0012】

デバイス製造システム10は、基板Pに所定の処理(露光処理等)を施して、電子デバイスを製造するシステム(基板処理装置)である。デバイス製造システム10は、例えば、電子デバイスとしてのフレキシブル・ディスプレイ、フィルム状のタッチパネル、液晶表示パネル用のフィルム状のカラーフィルター、フレキシブル配線、または、フレキシブル・センサ等を製造する製造ラインが構築された製造システムである。以下、電子デバイスとしてフレキシブル・ディスプレイを前提として説明する。フレキシブル・ディスプレイとしては、例えば、有機ELディスプレイ、液晶ディスプレイ等がある。デバイス製造システム10は、可撓性のシート状の基板(シート基板)Pをロール状に巻いた供給ロール(図示略)から基板Pが送出され、送出された基板Pに対して各種処理を連続的に施した後、各種処理後の基板Pを回収ロール(図示略)で巻き取る、いわゆる、ロール・ツー・ロール(Roll To Roll)方式の構造を有する。基板Pは、基板Pの移動方向(搬送方向)が長手方向(長尺)となり、幅方向が短手方向(短尺)となる帯状の形状を有する。本第1の実施の形態においては、フィルム状の基板Pが、前工程の処理装置(第1の処理装置)PR1、露光装置EX、後工程の処理装置(第2の処理装置)PR2を経て、連続的に処理される例を示している。

20

【0013】

なお、本第1の実施の形態では、X方向は、装置が設置される工場の床面Eと平行な水平面であって基板Pが搬送される方向とし、Y方向は、水平面内においてX方向と直交する方向、つまり、基板Pの幅方向(短尺方向)とし、Z方向は、X方向とY方向とに直交する方向(上方向)であり、重力が働く方向と平行である。

30

【0014】

基板Pは、例えば、樹脂フィルム、若しくは、ステンレス鋼等の金属または合金からなる箔(フォイル)等が用いられる。樹脂フィルムの材質としては、例えば、ポリエチレン樹脂、ポリプロピレン樹脂、ポリエステル樹脂、エチレンビニル共重合体樹脂、ポリ塩化ビニル樹脂、セルロース樹脂、ポリアミド樹脂、ポリイミド樹脂、ポリカーボネート樹脂、ポリスチレン樹脂、および酢酸ビニル樹脂のうち、少なくとも1つ以上を含んだものを用いてもよい。また、基板Pの厚みや剛性(ヤング率)は、デバイス製造システム10の搬送路を通る際に、基板Pに座屈による折れ目や非可逆的なシワが生じないような範囲であればよい。基板Pの母材として、厚みが25μm～200μm程度のPET(ポリエチレンテレフタレート)やPEN(ポリエチレンナフタレート)等のフィルムは、好適なシート基板の典型である。

40

【0015】

基板Pは、処理装置PR1や処理装置PR2で施される各処理において熱を受ける場合があるため、熱膨張係数が顕著に大きくない材質の基板Pを選定することが好ましい。例えば、無機フィラーを樹脂フィルムに混合することによって熱膨張係数を抑えることができる。無機フィラーは、例えば、酸化チタン、酸化亜鉛、アルミナ、または酸化ケイ素等でもよい。また、基板Pは、フロート法等で製造された厚さ100μm程度の極薄ガラス

50

の単層体であってもよいし、この極薄ガラスに上記の樹脂フィルム、箔等を貼り合わせた積層体であってもよい。

【0016】

ところで、基板Pの可撓性(flexibility)とは、基板Pに自重程度の力を加えてもせん断したり破断したりすることではなく、その基板Pを撓めることができ�性質をいう。また、自重程度の力によって屈曲する性質も可撓性に含まれる。また、基板Pの材質、大きさ、厚さ、基板P上に成膜される層構造、温度、または、湿度等の環境等に応じて、可撓性の程度は変わる。いずれにしろ、本第1の実施の形態によるデバイス製造システム10内の搬送路に設けられる各種の搬送用ローラ、回転ドラム等の搬送方向転換用の部材に基板Pを正しく巻き付けた場合に、座屈して折り目がついたり、破損(破れや割れが発生)したりせずに、基板Pを滑らかに搬送できれば、可撓性の範囲といえる。

10

【0017】

前工程用の処理装置PR1は、基板Pを所定の速度で長尺方向に沿って搬送しつつ、基板Pに対して塗布処理と乾燥処理を行う塗布装置である。処理装置PR1は、基板Pの表面に感光性機能液を選択的または一様に塗布した後に、感光性機能液に含まれる溶剤または水を除去して、感光性機能液を乾燥させる。これにより、基板Pの表面に感光性機能層(光感応層)となる膜が選択的または一様に形成される。なお、ドライフィルムを基板Pの表面に貼り付けることで、基板Pの表面に感光性機能層を形成してもよい。この場合は、処理装置PR1に代えて、ドライフィルムを基板Pに貼り付ける貼付装置(処理装置)を設ければよい。

20

【0018】

ここで、この感光性機能液(層)の典型的なものはフォトレジスト(液状またはドライフィルム状)であるが、現像処理が不要な材料として、紫外線の照射を受けた部分の親液性が改質される感光性シランカップリング剤(SAM)、或いは紫外線の照射を受けた部分にメッキ還元基が露呈する感光性還元剤等がある。感光性機能液(層)として感光性シランカップリング剤を用いる場合は、基板P上の紫外線で露光されたパターン部分が撥液性から親液性に改質される。そのため、親液性となった部分の上に導電性インク(銀や銅等の導電性ナノ粒子を含有するインク)または半導体材料を含有した液体等を選択塗布することで、薄膜トランジスタ(TFT)等を構成する電極、半導体、絶縁、或いは接続用の配線となるパターン層を形成することができる。感光性機能液(層)として、感光性還元剤を用いる場合は、基板P上の紫外線で露光されたパターン部分にメッキ還元基が露呈する。そのため、露光後、基板Pを直ちにパラジウムイオン等を含むメッキ液中に一定時間浸漬することで、パラジウムによるパターン層が形成(析出)される。このようなメッキ処理はアディティブ(additive)なプロセスであるが、その他、サブトラクティブ(subtractive)なプロセスとしてのエッティング処理を前提にしてもよい。その場合は、露光装置EXへ送られる基板Pは、母材をPETやPENとし、その表面にアルミニウム(Al)や銅(Cu)等の金属性薄膜を全面または選択的に蒸着し、さらにその上にフォトレジスト層を積層したものであってもよい。

30

【0019】

露光装置EXは、処理装置PR1から搬送されてきた基板Pを処理装置PR2に向けて所定の速度で搬送方向(+X方向)に搬送しつつ、基板Pに対して露光処理(パターン描画)を行う処理装置である。露光装置EXは、基板Pの表面(感光性機能層の表面、すなわち、感光面)に、電子デバイス用のパターン(例えば、電子デバイスを構成するTFTの電極や配線等のパターン)に応じた光パターンを照射する。これにより、感光性機能層に前記パターンに対応した潜像(改質部)が形成される。

40

【0020】

本第1の実施の形態においては、露光装置EXは、マスクを用いない直描方式の露光装置、いわゆるラスタースキャン方式のパターン描画装置である。後で詳細に説明するが、露光装置EXは、基板Pを長尺方向(副走査方向)に搬送しながら、露光用のパルス状のビーム(パルスビーム、光ビーム)LBのスポット光SPを、基板Pの被照射面(感光面

50

)上で所定の走査方向(Y方向)に1次元に走査(主走査)しつつ、スポット光SPの強度をパターンデータ(描画データ)に応じて高速に変調(オン/オフ)する。これにより、基板Pの被照射面に電子デバイス、回路または配線等の所定のパターンに応じた光パターンが描画露光される。つまり、基板Pの副走査と、スポット光SPの主走査とで、スポット光SPが基板Pの被照射面上で相対的に2次元走査されて、基板Pに所定のパターンが描画露光される。また、基板Pは、長尺方向に沿って搬送されているので、露光装置EXによってパターンが露光される露光領域Wは、基板Pの長尺方向に沿って所定の間隔をあけて複数設けられることになる(図3参照)。この露光領域Wに電子デバイスが形成されるので、露光領域Wは、デバイス形成領域である。

【0021】

10

後工程の処理装置PR2は、露光装置EXから搬送されてきた基板Pを所定の速度で搬送しつつ、基板Pに対して湿式処理と乾燥処理を行う湿式処理装置である。本第1の実施の形態では、処理装置PR2は、基板Pに対して湿式処理の一種である現像処理またはメッキ処理を行う。そのため、処理装置PR2は、基板Pを所定時間だけ現像液に浸漬させる現像部、または基板Pを所定時間だけ無電解メッキ液に浸漬させるメッキ部と、基板Pを純水等で洗浄する洗浄部と、基板Pを乾燥させる乾燥部とを備える。これにより、感光性機能層の表面に潜像に応じたパターン層が析出(形成)される。つまり、基板Pの感光性機能層上のスポット光SPの照射部分と非照射部分の違いに応じて、基板P上に所定の材料(例えば、レジスト、パラジウム)が選択的に形成され、これがパターン層となる。

【0022】

20

なお、感光性機能層として感光性シランカップリング剤を用いる場合は、湿式処理の一種である液体(例えば、導電性インク等を含有した液体)の塗布処理、またはメッキ処理が処理装置PR2によって行われる。この場合であっても、感光性機能層の表面に潜像に応じたパターン層が形成される。つまり、基板Pの感光性機能層のスポット光SPの照射部分と被照射部分の違いに応じて、基板P上に所定の材料(例えば、導電性インクまたはパラジウム等)が選択的に形成され、これがパターン層となる。

【0023】

さて、図1に示す露光装置(パターン描画装置)EXは、温調チャンバーECV内に格納されている。この温調チャンバーECVは、内部を所定の温度、所定の湿度に保つことで、内部において搬送される基板Pの温度による形状変化を抑制するとともに、基板Pの吸湿性や搬送に伴って発生する静電気の帯電等を考慮した湿度に設定される。温調チャンバーECVは、パッシブまたはアクティブな防振ユニットSU1、SU2を介して製造工場の床面Eに配置される。防振ユニットSU1、SU2は、床面Eからの振動を低減する。この床面Eは、工場の床面自体であってもよいし、水平面を出すために床面上に専用に設置される設置土台(ペデスタル)上の面であってもよい。露光装置EXは、基板搬送機構12と、光源装置LSと、ビーム分配部BDUと、露光ヘッド14と、制御装置16と、複数のアライメント顕微鏡AM1m、AM2m(なお、m=1、2、3、4)と、複数のエンコーダヘッドENja、ENjb(なお、j=1、2、3、4)とを少なくとも備えている。制御装置(制御部)16は、露光装置EXの各部を制御するものである。この制御装置16は、コンピュータとプログラムが記録された記録媒体等とを含み、該コンピュータがプログラムを実行することで、本第1の実施の形態の制御装置16として機能する。

30

【0024】

40

基板搬送機構(移動機構)12は、デバイス製造システム10の基板搬送装置の一部を構成するものであり、処理装置PR1から搬送される基板Pを、露光装置EX内で所定の速度で搬送した後、処理装置PR2に所定の速度で送り出す。この基板搬送機構12によって、露光装置EX内で搬送される基板Pの搬送路が規定される。基板搬送機構12は、基板Pの搬送方向の上流側(-X方向側)から順に、エッジポジションコントローラEPC、駆動ローラR1、テンション調整ローラRT1、回転ドラム(円筒ドラム)DR、テンション調整ローラRT2、駆動ローラR2、および、駆動ローラR3を有している。

50

【0025】

エッジポジションコントローラE P Cは、処理装置P R 1から搬送される基板Pの幅方向(Y方向であって基板Pの短尺方向)における位置が、目標位置に対して±十数 μ m~数十 μ m程度の範囲(許容範囲)に収まるように、基板Pを幅方向に移動させて、基板Pの幅方向における位置を調整する。エッジポジションコントローラE P Cは、基板Pの幅方向の端部(エッジ)の位置を検出する不図示のエッジセンサからの検出信号に基づいて、エッジポジションコントローラE P CのローラをY方向に微動させて、基板Pの幅方向における位置を調整する。駆動ローラ(ニップローラ)R 1は、エッジポジションコントローラE P Cから搬送される基板Pの表裏両面を保持しながら回転し、基板Pを回転ドラムD Rへ向けて搬送する。なお、エッジポジションコントローラE P Cは、回転ドラムD Rに巻き付く基板Pの長尺方向が、回転ドラムD Rの中心軸A X oに対して常に直交するように、基板Pの幅方向における位置を適宜調整するとともに、基板Pの進行方向における傾き誤差を補正するように、エッジポジションコントローラE P Cの前記ローラの回転軸とY軸との平行度を適宜調整してもよい。10

【0026】

回転ドラムD Rは、Y方向に延びるとともに重力が働く方向と交差した方向に延びた中心軸A X oと、中心軸A X oから一定半径の円筒状の外周面とを有する。回転ドラムD Rは、この外周面(円周面)に倣って基板Pの一部を長尺方向に円筒面状に湾曲させて支持(保持)しつつ、中心軸A X oを中心に回転して基板Pを+X方向に搬送する。回転ドラムD Rは、露光ヘッド1 4からのビームL B(スポット光S P)が投射される基板P上の領域(部分)をその外周面で支持する。回転ドラムD Rは、電子デバイスが形成される面(感光層が形成された側の面)とは反対側の面(裏面)側から基板Pを支持(密着保持)する。回転ドラムD RのY方向の両側には、回転ドラムD Rが中心軸A X oの周りを回転するよう環状のペアリングで支持されたシャフトS f tが設けられている。このシャフトS f tは、制御装置1 6によって制御される図示しない回転駆動源(例えば、モータや減速機構等)からの回転トルクが与えられることで中心軸A X o回りに一定の回転速度で回転する。なお、便宜的に、中心軸A X oを含み、YZ平面と平行な平面を中心面P o cと呼ぶ。20

【0027】

駆動ローラ(ニップローラ)R 2、R 3は、基板Pの搬送方向(+X方向)に沿って所定の間隔を空けて配置されており、露光後の基板Pに所定の弛み(あそび)を与えている。駆動ローラR 2、R 3は、駆動ローラR 1と同様に、基板Pの表裏両面を保持しながら回転し、基板Pを処理装置P R 2へ向けて搬送する。テンション調整ローラR T 1、R T 2は、-Z方向に付勢されており、回転ドラムD Rに巻き付けられて支持されている基板Pに長尺方向に所定のテンションを与えている。これにより、回転ドラムD Rにかかる基板Pに付与される長尺方向のテンションを所定の範囲内に安定化させている。制御装置1 6は、図示しない回転駆動源(例えば、モータや減速機構等)を制御することで、駆動ローラR 1~R 3を回転させる。なお、駆動ローラR 1~R 3の回転軸、および、テンション調整ローラR T 1、R T 2の回転軸は、回転ドラムD Rの中心軸A X oと平行している。30

【0028】

光源装置L Sは、パルス状のビーム(パルスビーム、パルス光、レーザ)L Bを発生して射出する。このビームL Bは、370 nm以下の波長帯域の特定波長(例えば、355 nm)にピーク波長を有する紫外線光であり、ビームL Bの発光周波数(発振周波数、所定周波数)をF aとする。光源装置L Sから射出されるビームL Bは、ビーム分配部B D Uを介して露光ヘッド1 4に入射する。光源装置L Sは、制御装置1 6の制御にしたがって、発光周波数F aでビームL Bを発光して射出する。この光源装置L Sの構成は、後で詳細に説明するが、本第1の実施の形態では、赤外波長域のパルス光を発生する半導体レーザ素子、ファイバー増幅器、増幅された赤外波長域のパルス光を紫外波長域のパルス光に変換する波長変換素子(高調波発生素子)等で構成され、100 MHz~数百MHzの4050

発振周波数 F_a でのパルス発光が可能で、1パルス光の発光時間が数ピコ秒～十数ピコ秒程度の高輝度な紫外線のパルス光が得られるファイバーアンプレーザ光源（高調波レーザ光源）を用いるものとする。

【0029】

ビーム分配部 BDU は、露光ヘッド 14 を構成する複数の走査ユニット U_n （なお、 $n = 1, 2, \dots, 6$ ）の各々に光源装置 LS からのビーム LB を分配する複数のミラー やビームスプリッタと、各走査ユニット U_n に入射するビーム LB_n のそれぞれを描画データに応じて強度変調する描画用光学素子（AOM）等を有するが、詳しくは図 5 を参照して後述する。

【0030】

露光ヘッド（露光ヘッド部）14 は、同一構成の複数の走査ユニット U_n （ $U_1 \sim U_6$ ）を配列した、いわゆるマルチビーム型の露光ヘッドとなっている。露光ヘッド 14 は、回転ドラム DR の外周面（円周面）で支持されている基板 P の一部分に、複数の走査ユニット U_n （ $U_1 \sim U_6$ ）によってパターンを描画する。露光ヘッド 14 は、基板 P に対して電子デバイス用のパターン露光を繰り返し行うことから、パターンが露光される露光領域（電子デバイス形成領域）W は、図 3 のように、基板 P の長尺方向に沿って所定の間隔をあけて複数設けられている。複数の走査ユニット U_n （ $U_1 \sim U_6$ ）は、中心面 P_{oc} を挟んで基板 P の搬送方向に 2 列に千鳥配列で配置される。奇数番の走査ユニット U_1, U_3, U_5 は、中心面 P_{oc} に対して基板 P の搬送方向の上流側（-X 方向側）で、且つ、Y 方向に沿って所定の間隔だけ離して 1 列に配置されている。偶数番の走査ユニット U_2, U_4, U_6 は、中心面 P_{oc} に対して基板 P の搬送方向の下流側（+X 方向側）で、Y 方向に沿って所定の間隔だけ離して 1 列に配置されている。奇数番の走査ユニット U_1, U_3, U_5 と、偶数番の走査ユニット U_2, U_4, U_6 とは、XZ 面内でみると、中心面 P_{oc} に対して対称に設けられている。

【0031】

各走査ユニット U_n （ $U_1 \sim U_6$ ）は、ビーム分配部 BDU から供給されるビーム LB_n （ $n = 1 \sim 6$ ）を、基板 P の被照射面上でスポット光 SP に収斂するように投射しつつ、そのスポット光 SP を、回転するポリゴンミラー PM（図 4 参照）によって 1 次元に走査する。この各走査ユニット U_n （ $U_1 \sim U_6$ ）のポリゴンミラー PM によって、基板 P の被照射面上でスポット光 SP が Y 方向に 1 次元走査される。このスポット光 SP の走査によって、基板 P 上（基板 P の被照射面上）に、1 ライン分のパターンが描画される直線的な描画ライン（走査線） SL_n （なお、 $n = 1, 2, \dots, 6$ ）が規定される。

【0032】

走査ユニット U_1 は、スポット光 SP を描画ライン SL_1 に沿って走査し、同様に、走査ユニット $U_2 \sim U_6$ は、スポット光 SP を描画ライン $SL_2 \sim SL_6$ に沿って走査する。複数の走査ユニット $U_1 \sim U_6$ の各描画ライン $SL_1 \sim SL_6$ は、図 2、図 3 に示すように、奇数番と偶数番の描画ライン SL_n は基板 P の長尺方向である副走査方向に分離しているが、Y 方向（基板 P の幅方向、或いは主走査方向）に関しては互いに分離することなく、継ぎ合わされるように設定されている。なお、ビーム分配部 BDU から射出するビーム LB_n において、走査ユニット U_1 に入射するビームを LB_1 で表し、同様に、走査ユニット $U_2 \sim U_6$ に入射するビーム LB_n を $LB_2 \sim LB_6$ で表す。走査ユニット U_n に入射するビーム LB_n は、所定の方向に偏光した直線偏光（P 偏光または S 偏光）、或いは円偏光のビームであってもよい。

【0033】

図 3 に示すように、複数の走査ユニット $U_1 \sim U_6$ は全部で露光領域 W の幅方向の全てをカバーするように配置されている。これにより、各走査ユニット $U_1 \sim U_6$ は、基板 P の幅方向に分割された複数の領域（描画範囲）毎にパターンを描画することができる。例えば、1 つの走査ユニット U_n による Y 方向の走査長（描画ライン SL_n の長さ）を 20 ~ 60 mm 程度とすると、奇数番の走査ユニット U_1, U_3, U_5 の 3 個と、偶数番の走査ユニット U_2, U_4, U_6 の 3 個との計 6 個の走査ユニット U_n を Y 方向に配置するこ

10

20

30

40

50

とによって、描画可能なY方向の幅を120～360mm程度まで広げている。各描画ラインSL1～SL6の長さ（描画範囲の長さ）は、原則として同一とする。つまり、描画ラインSL1～SL6の各々に沿って走査されるビームLBnのスポット光SPの走査距離は、原則として同一とする。なお、露光領域Wの幅（基板Pの幅）をさらに広くしたい場合は、描画ラインSLn自体の長さを長くするか、Y方向に配置する走査ユニットUnの数を増やすことで対応することができる。

【0034】

なお、実際の各描画ラインSLn（SL1～SL6）は、スポット光SPが被照射面上を実際に走査可能な最大の長さ（最大走査長）よりも僅かに短く設定される。例えば、主走査方向（Y方向）の描画倍率が初期値（倍率補正無し）の場合にパターン描画可能な描画ラインSLnの走査長を30mmとすると、スポット光SPの被照射面上での最大走査長は、描画ラインSLnの描画開始点（走査開始点）側と描画終了点（走査終了点）側の各々に0.5mm程度の余裕を持たせて、31mm程度に設定されている。このように設定することによって、スポット光SPの最大走査長31mmの範囲内で、30mmの描画ラインSLnの位置を主走査方向に微調整したり、描画倍率を微調整したりすることが可能となる。スポット光SPの最大走査長は31mmに限定されるものではなく、主に走査ユニットUn内のポリゴンミラー（回転ポリゴンミラー）PMの後に設けられるfレンズFT（図4参照）の口径等によって決まる。

【0035】

複数の描画ラインSL1～SL6は、中心面Pocを挟んで、回転ドラムDRの周方向に2列に千鳥配列で配置される。奇数番の描画ラインSL1、SL3、SL5は、中心面Pocに対して基板Pの搬送方向の上流側（-X方向側）の基板Pの被照射面上に位置する。偶数番の描画ラインSL2、SL4、SL6は、中心面Pocに対して基板Pの搬送方向の下流側（+X方向側）の基板Pの被照射面上に位置する。描画ラインSL1～SL6は、基板Pの幅方向、つまり、回転ドラムDRの中心軸AXoと略並行となっている。

【0036】

描画ラインSL1、SL3、SL5は、基板Pの幅方向（主走査方向）に沿って所定の間隔をあけて直線上に1列に配置されている。描画ラインSL2、SL4、SL6も同様に、基板Pの幅方向（主走査方向）に沿って所定の間隔をあけて直線上に1列に配置されている。このとき、描画ラインSL2は、基板Pの幅方向に関して、描画ラインSL1と描画ラインSL3との間に配置される。同様に、描画ラインSL3は、基板Pの幅方向に関して、描画ラインSL2と描画ラインSL4との間に配置されている。描画ラインSL4は、基板Pの幅方向に関して、描画ラインSL3と描画ラインSL5との間に配置され、描画ラインSL5は、基板Pの幅方向に関して、描画ラインSL4と描画ラインSL6との間に配置されている。

【0037】

奇数番の描画ラインSL1、SL3、SL5の各々に沿って走査されるビームLB1、LB3、LB5の各々によるスポット光SPの主走査方向は、1次元の方向となっており、同じ方向となっている。偶数番の描画ラインSL2、SL4、SL6の各々に沿って走査されるビームLB2、LB4、LB6の各々によるスポット光SPの主走査方向は、1次元の方向となっており、同じ方向となっている。この描画ラインSL1、SL3、SL5に沿って走査されるビームLB1、LB3、LB5のスポット光SPの主走査方向と、描画ラインSL2、SL4、SL6に沿って走査されるビームLB2、LB4、LB6のスポット光SPの主走査方向とは互いに逆方向であってもよい。本第1の実施の形態では、描画ラインSL1、SL3、SL5に沿って走査されるビームLB1、LB3、LB5のスポット光SPの主走査方向は-Y方向である。また、描画ラインSL2、SL4、SL6に沿って走査されるビームLB2、LB4、LB6のスポット光SPの主走査方向は+Y方向である。これにより、描画ラインSL1、SL3、SL5の描画開始点側の端部と、描画ラインSL2、SL4、SL6の描画開始点側の端部とはY方向に関して隣接または一部重複する。また、描画ラインSL3、SL5の描画終了点側の端部と、描画ライ

10

20

30

40

50

ン S L 2、 S L 4 の描画終了点側の端部とは Y 方向に関して隣接または一部重複する。 Y 方向に隣り合う描画ライン S L n の端部同士を一部重複させるように、各描画ライン S L n を配置する場合は、例えば、各描画ライン S L n の長さに対して、描画開始点、または描画終了点を含んで Y 方向に数 % 以下の範囲で重複させるとよい。なお、描画ライン S L n を Y 方向に継ぎ合わせるとは、描画ライン S L n の端部同士を Y 方向に関して隣接または一部重複させることを意味する。すなわち、互いに Y 方向に隣り合った 2 つの描画ライン S L n の各々によって描画されるパターン同士が、 Y 方向に継ぎ合わされて露光されることを意味する。

【 0 0 3 8 】

なお、描画ライン S L n の副走査方向の幅 (X 方向の寸法) は、スポット光 S P の基板 P 上での実効的なサイズ (直径) に応じた太さである。例えば、スポット光 S P の実効的なサイズ (寸法) が $3 \mu m$ の場合は、描画ライン S L n の幅も $3 \mu m$ となる。また、本第 1 の実施の形態の場合、光源装置 L S からのビーム L B がパルス光であるため、主走査の間に描画ライン S L n 上に投射されるスポット光 S P は、ビーム L B の発振周波数 F a (例えば、 $100 MHz$) に応じて離散的になる。そのため、ビーム分配部 B D U からのビーム L B n の 1 パルス光によって投射されるスポット光 S P と次の 1 パルス光によって投射されるスポット光 S P とを、主走査方向にオーバーラップさせる必要がある。そのオーバーラップの量は、スポット光 S P のサイズ、スポット光 S P の走査速度 (主走査の速度) V s 、および、ビーム L B の発振周波数 F a によって設定される。スポット光 S P の実効的なサイズは、スポット光 S P の強度分布がガウス分布で近似される場合、スポット光 S P のピーク強度の $1/e^2$ (または $1/2$) で決まる。

【 0 0 3 9 】

本第 1 の実施の形態では、実効的なサイズ (寸法) に対して、 $\times 1/2$ 程度スポット光 S P がオーバーラップするように、スポット光 S P の走査速度 V s および発振周波数 F a が設定される。したがって、スポット光 S P の主走査方向に沿った投射間隔は、 $1/2$ となる。そのため、副走査方向 (描画ライン S L n と直交した方向) に関しても、描画ライン S L n に沿ったスポット光 S P の 1 回の走査と、次の走査との間で、基板 P がスポット光 S P の実効的なサイズの略 $1/2$ の距離だけ移動するように設定することが望ましい。また、基板 P 上の感光性機能層への露光量の設定は、ビーム L B (パルス光) のピーク値の調整で可能であるが、ビーム L B の強度を上げられない状況で露光量を増大させたい場合は、スポット光 S P の主走査方向の走査速度 V s の低下、ビーム L B の発振周波数 F a の増大、或いは基板 P の副走査方向の搬送速度 V t の低下等のいずれかによって、スポット光 S P の主走査方向または副走査方向に関するオーバーラップ量を増加させればよい。スポット光 S P の主走査方向の走査速度 V s は、ポリゴンミラー P M の回転数 (回転速度 V p) に比例して速くなる。

【 0 0 4 0 】

各走査ユニット U n (U 1 ~ U 6) は、少なくとも X Z 平面において、各ビーム L B n が回転ドラム D R の中心軸 A X o に向かって進むように、各ビーム L B n を基板 P に向けて照射する。これにより、各走査ユニット U n (U 1 ~ U 6) から基板 P に向かって進むビーム L B n の光路 (ビーム中心軸) は、 X Z 平面において、基板 P の被照射面の法線と平行となる。また、各走査ユニット U n (U 1 ~ U 6) は、描画ライン S L n (S L 1 ~ S L 6) に照射するビーム L B n が、 Y Z 平面と平行な面内では基板 P の被照射面に対して垂直となるように、ビーム L B n を基板 P に向けて照射する。すなわち、被照射面でのスポット光 S P の主走査方向に関して、基板 P に投射されるビーム L B n (L B 1 ~ L B 6) はテレセントリックな状態で走査される。ここで、各走査ユニット U n (U 1 ~ U 6) によって規定される所定の描画ライン S L n (S L 1 ~ S L 6) の各中点を通って基板 P の被照射面と垂直な線 (または光軸とも呼ぶ) を、照射中心軸 L e n (L e 1 ~ L e 6) と呼ぶ。

【 0 0 4 1 】

この各照射中心軸 L e n (L e 1 ~ L e 6) は、 X Z 平面において、描画ライン S L 1

10

20

30

40

50

～S L 6 と中心軸 A X o とを結ぶ線となっている。奇数番の走査ユニット U 1、U 3、U 5 の各々の照射中心軸 L e 1、L e 3、L e 5 は、X Z 平面において同じ方向となっており、偶数番の走査ユニット U 2、U 4、U 6 の各々の照射中心軸 L e 2、L e 4、L e 6 は、X Z 平面において同じ方向となっている。また、照射中心軸 L e 1、L e 3、L e 5 と照射中心軸 L e 2、L e 4、L e 6 とは、X Z 平面において、中心面 P o c に対して角度が ± 1 となるように設定されている（図 1 参照）。

【0042】

図 1 に示した複数のアライメント顕微鏡 A M 1 m (A M 1 1 ~ A M 1 4)、A M 2 m (A M 2 1 ~ A M 2 4) は、図 3 に示す基板 P に形成された複数のアライメントマーク (マーク) M K m (M K 1 ~ M K 4) を検出するためのものであり、Y 方向に沿って複数 (本第 1 の実施の形態では、4 つ) 設けられている。複数のアライメントマーク M K m (M K 1 ~ M K 4) は、基板 P の被照射面上の露光領域 W に描画される所定のパターンと、基板 P とを相対的に位置合わせする (アライメントする) ための基準マークである。複数のアライメント顕微鏡 A M 1 m (A M 1 1 ~ A M 1 4)、A M 2 m (A M 2 1 ~ A M 2 4) は、回転ドラム D R の外周面 (円周面) で支持されている基板 P 上で、複数のアライメントマーク M K m (M K 1 ~ M K 4) を検出する。複数のアライメント顕微鏡 A M 1 m (A M 1 1 ~ A M 1 4) は、露光ヘッド 1 4 からのビーム L B n (L B 1 ~ L B 6) のスポット光 S P による基板 P 上の被照射領域 (描画ライン S L 1 ~ S L 6 で囲まれた領域) よりも基板 P の搬送方向の上流側 (- X 方向側) に設けられている。また、複数のアライメント顕微鏡 A M 2 m (A M 2 1 ~ A M 2 4) は、露光ヘッド 1 4 からビーム L B n (L B 1 ~ L B 6) のスポット光 S P による基板 P 上の被照射領域 (描画ライン S L 1 ~ S L 6 で囲まれた領域) よりも基板 P の搬送方向の下流側 (+ X 方向側) に設けられている。

【0043】

アライメント顕微鏡 A M 1 m (A M 1 1 ~ A M 1 4)、A M 2 m (A M 2 1 ~ A M 2 4) は、アライメント用の照明光を基板 P に投射する光源と、基板 P の表面のアライメントマーク M K m を含む局所領域 (観察領域) V w 1 m (V w 1 1 ~ V w 1 4)、V w 2 m (V w 2 1 ~ V w 2 4) の拡大像を得る観察光学系 (対物レンズを含む) と、その拡大像を基板 P が搬送方向に移動している間に、基板 P の搬送速度 V t に応じた高速シャッタで撮像する C C D、C M O S 等の撮像素子とを有する。複数のアライメント顕微鏡 A M 1 m (A M 1 1 ~ A M 1 4)、A M 2 m (A M 2 1 ~ A M 2 4) の各々が撮像した撮像信号 (画像データ) は制御装置 1 6 に送られる。制御装置 1 6 にはマーク位置検出部が設けられ、複数の撮像信号の画像解析を行うことで、基板 P 上のアライメントマーク M K m (M K 1 ~ M K 4) の位置 (マーク位置情報) を検出する。なお、アライメント用の照明光は、基板 P 上の感光性機能層に対してほとんど感度を持たない波長域の光、例えば、波長 5 0 0 ~ 8 0 0 n m 程度の光である。

【0044】

複数のアライメントマーク M K 1 ~ M K 4 は、各露光領域 W の周りに設けられている。アライメントマーク M K 1、M K 4 は、露光領域 W の基板 P の幅方向の両側に、基板 P の長尺方向に沿って一定の間隔 D h で複数形成されている。アライメントマーク M K 1 は、基板 P の幅方向の - Y 方向側に、アライメントマーク M K 4 は、基板 P の幅方向の + Y 方向側にそれぞれ形成されている。このようなアライメントマーク M K 1、M K 4 は、基板 P が大きなテンションを受けたり、熱プロセスを受けたりして変形していない状態では、基板 P の長尺方向 (X 方向) に関して同一位置になるように配置される。さらに、アライメントマーク M K 2、M K 3 は、アライメントマーク M K 1 とアライメントマーク M K 4 の間であって、露光領域 W の + X 方向側と - X 方向側との余白部に基板 P の幅方向 (短尺方向) に沿って形成されている。アライメントマーク M K 2、M K 3 は、露光領域 W と露光領域 W との間に形成されている。アライメントマーク M K 2 は、基板 P の幅方向の - Y 方向側に、アライメントマーク M K 3 は、基板 P の + Y 方向側に形成されている。

【0045】

さらに、基板 P の - Y 方向側の端部に配列されるアライメントマーク M K 1 と余白部の

10

20

30

40

50

アライメントマークM K 2とのY方向の間隔、余白部のアライメントマークM K 2とアライメントマークM K 3のY方向の間隔、および基板Pの+Y方向側の端部に配列されるアライメントマークM K 4と余白部のアライメントマークM K 3とのY方向の間隔は、いずれも同じ距離に設定されている。これらのアライメントマークM K m (M K 1 ~ M K 4)は、第1層のパターン層の形成の際に一緒に形成されてもよい。例えば、第1層のパターンを露光する際に、パターンが露光される露光領域Wの周りにアライメントマーク用のパターンも一緒に露光してもよい。なお、アライメントマークM K mは、露光領域W内に形成されてもよい。例えば、露光領域W内であって、露光領域Wの輪郭に沿って形成されてもよい。また、露光領域W内に形成される電子デバイスのパターン中の特定位置のパターン部分、或いは特定形状の部分をアライメントマークM K mとして利用してもよい。 10

【0046】

アライメント顕微鏡A M 1 1、A M 2 1は、図3に示すように、対物レンズによる観察領域(検出領域)V w 1 1、V w 2 1内に存在するアライメントマークM K 1を撮像するように配置される。同様に、アライメント顕微鏡A M 1 2 ~ A M 1 4、A M 2 2 ~ A M 2 4は、対物レンズによる観察領域V w 1 2 ~ V w 1 4、V w 2 2 ~ V w 2 4内に存在するアライメントマークM K 2 ~ M K 4を撮像するように配置される。したがって、複数のアライメント顕微鏡A M 1 1 ~ A M 1 4、A M 2 1 ~ A M 2 4は、複数のアライメントマークM K 1 ~ M K 4の位置に対応して、基板Pの-Y方向側からA M 1 1 ~ A M 1 4、A M 2 1 ~ A M 2 4、の順で基板Pの幅方向に沿って設けられている。なお、図2においては、アライメント顕微鏡A M 2 m (A M 2 1 ~ A M 2 4)の観察領域V w 2 m (V w 2 1 ~ V w 2 4)の図示を省略している。 20

【0047】

複数のアライメント顕微鏡A M 1 m (A M 1 1 ~ A M 1 4)は、X方向に関して、露光位置(描画ラインS L 1 ~ S L 6)と観察領域V w 1 m (V w 1 1 ~ V w 1 4)との長尺方向の距離が、露光領域WのX方向の長さよりも短くなるように設けられている。複数のアライメント顕微鏡A M 2 m (A M 2 1 ~ A M 2 4)も同様に、X方向に関して、露光位置(描画ラインS L 1 ~ S L 6)と観察領域V w 2 m (V w 2 1 ~ V w 2 4)との長尺方向の距離が、露光領域WのX方向の長さよりも短くなるように設けられている。なお、Y方向に設けられるアライメント顕微鏡A M 1 m、A M 2 mの数は、基板Pの幅方向に形成されるアライメントマークM K mの配置や数に応じて変更可能である。また、各観察領域V w 1 m (V w 1 1 ~ V w 1 4)、V w 2 m (V w 2 1 ~ V w 2 4)の基板Pの被照射面上の大きさは、アライメントマークM K 1 ~ M K 4の大きさやアライメント精度(位置計測精度)に応じて設定されるが、100 ~ 500 μm角程度の大きさである。 30

【0048】

図2に示すように、回転ドラムD Rの両端部には、回転ドラムD Rの外周面の周方向の全体に亘って環状に形成された目盛を有するスケール部S D a、S D bが設けられている。このスケール部S D a、S D bは、回転ドラムD Rの外周面の周方向に一定のピッチ(例えば、20 μm)で凹状または凸状の格子線(目盛)を刻設した回折格子であり、インクリメンタル型のスケールとして構成される。このスケール部S D a、S D bは、中心軸A X o回りに回転ドラムD Rと一緒に回転する。スケール部S D a、S D bを読み取るスケール読取ヘッドとしての複数のエンコーダヘッド(以下、単にエンコーダとも呼ぶ)E N j a、E N j b(なお、j = 1、2、3、4)は、このスケール部S D a、S D bと対向するように設けられている(図1、図2参照)。なお、図2においては、エンコーダE N 4 a、E N 4 bの図示を省略している。 40

【0049】

エンコーダE N j a、E N j bは、回転ドラムD Rの回転角度位置を光学的に検出するものである。回転ドラムD Rの-Y方向側の端部に設けられたスケール部S D aに対向して、4つのエンコーダE N j a (E N 1 a、E N 2 a、E N 3 a、E N 4 a)が設けられている。同様に、回転ドラムD Rの+Y方向側の端部に設けられたスケール部S D bに対向して、4つのエンコーダE N j b (E N 1 b、E N 2 b、E N 3 b、E N 4 b)が設け 50

られている。

【0050】

エンコーダEN1a、EN1bは、中心面P_ocに対して基板Pの搬送方向の上流側(-X方向側)に設けられており、設置方位線L_{x1}上に配置されている(図1、図2参照)。設置方位線L_{x1}は、XZ平面において、エンコーダEN1a、EN1bの計測用の光ビームのスケール部SDa、SDb上への投射位置(読み取り位置)と、中心軸AXoとを結ぶ線となっている。また、設置方位線L_{x1}は、XZ平面において、各アライメント顕微鏡AM1m(AM11～AM14)の観察領域Vw1m(Vw11～Vw14)と中心軸AXoとを結ぶ線となっている。つまり、複数のアライメント顕微鏡AM1m(AM11～AM14)も設置方位線L_{x1}上に配置されている。

10

【0051】

エンコーダEN2a、EN2bは、中心面P_ocに対して基板Pの搬送方向の上流側(-X方向側)に設けられており、且つ、エンコーダEN1a、EN1bより基板Pの搬送方向の下流側(+X方向側)に設けられている。エンコーダEN2a、EN2bは、設置方位線L_{x2}上に配置されている(図1、図2参照)。設置方位線L_{x2}は、XZ平面において、エンコーダEN2a、EN2bの計測用の光ビームのスケール部SDa、SDb上への投射位置(読み取り位置)と、中心軸AXoとを結ぶ線となっている。この設置方位線L_{x2}は、XZ平面において、照射中心軸Le1、Le3、Le5と同角度位置となって重なっている。

20

【0052】

エンコーダEN3a、EN3bは、中心面P_ocに対して基板Pの搬送方向の下流側(+X方向側)に設けられており、設置方位線L_{x3}上に配置されている(図1、図2参照)。設置方位線L_{x3}は、XZ平面において、エンコーダEN3a、EN3bの計測用の光ビームのスケール部SDa、SDb上への投射位置(読み取り位置)と、中心軸AXoとを結ぶ線となっている。この設置方位線L_{x3}は、XZ平面において、照射中心軸Le2、Le4、Le6と同角度位置となって重なっている。したがって、設置方位線L_{x2}と設置方位線L_{x3}とは、XZ平面において、中心面P_ocに対して角度が±1となるよう設定されている(図1参照)。

【0053】

エンコーダEN4a、EN4bは、エンコーダEN3a、EN3bより基板Pの搬送方向の下流側(+X方向側)に設けられており、設置方位線L_{x4}上に配置されている(図1参照)。設置方位線L_{x4}は、XZ平面において、エンコーダEN4a、EN4bの計測用の光ビームのスケール部SDa、SDb上への投射位置(読み取り位置)と、中心軸AXoとを結ぶ線となっている。また、設置方位線L_{x4}は、XZ平面において、各アライメント顕微鏡AM2m(AM21～AM24)の観察領域Vw2m(Vw21～Vw24)と中心軸AXoとを結ぶ線となっている。つまり、複数のアライメント顕微鏡AM2m(AM21～AM24)も設置方位線L_{x4}上に配置されている。この設置方位線L_{x1}と設置方位線L_{x4}とは、XZ平面において、中心面P_ocに対して角度が±2となるよう設定されている。

30

【0054】

各エンコーダENja(EN1a～EN4a)、ENjb(EN1b～EN4b)は、スケール部SDa、SDbに向けて計測用の光ビームを投射し、その反射光束(回折光)を光電検出した検出信号(2相信号)を制御装置16に出力する。制御装置16内には、エンコーダごとの検出信号(2相信号)を内挿処理してスケール部SDa、SDbの格子の移動量をデジタル計数することで、回転ドラムDRの回転角度位置および角度変化、あるいは基板Pの移動量をサブミクロンの分解能(設計上で設定される基板P上の画素寸法の数分の一以下の分解能)で計測する複数のカウンタ回路が設けられている。回転ドラムDRの角度変化からは、基板Pの搬送速度Vtも計測することができる。エンコーダENja(EN1a～EN4a)、ENjb(EN1b～EN4b)の各々に対応したカウンタ回路のカウント値(デジタル計数値)に基づいて、アライメントマークMKm(MK1

40

50

～M K 4) の位置、基板 P 上の露光領域 W と各描画ライン S L n の副走査方向の位置関係等が特定できる。その他、そのカウンタ回路のカウント値(デジタル計数値)に基づいて、基板 P 上に描画すべきパターンの描画データ(例えばビットマップデータ)を記憶するメモリ部の副走査方向に関するアドレス位置(アクセス番地)も指定される。なお、スケール部 S D a (S D b) の周方向の 1ヶ所には、図 2 に示すように周方向の原点位置を表す Z 相マーク Z Z が形成され、エンコーダ E N j a (E N 1 a ～ E N 4 a)、 E N j b (E N 1 b ～ E N 4 b) の各々は、その Z 相マーク Z Z を検知したときに、対応したカウンタ回路の計数値を瞬時にゼロ(或いは一定値)にリセットしたのち、スケール部 S D a (S D b) の格子の移動量を計測し続ける。

【 0 0 5 5 】

10

次に、図 4 を参照して走査ユニット U n (U 1 ～ U 6) の光学的な構成について説明する。なお、各走査ユニット U n (U 1 ～ U 6) は、同一の構成を有することから、代表して走査ユニット U 1 についてのみ説明し、他の走査ユニット U n についてはその説明を省略する。また、図 4 においては、照射中心軸 L e n (L e 1) と平行する方向を Z t 方向とし、 Z t 方向と直交する平面上にあって、基板 P が処理装置 P R 1 から露光装置 E X を経て処理装置 P R 2 に向かう方向を X t 方向とし、 Z t 方向と直交する平面上であって、 X t 方向と直交する方向を Y t 方向とする。つまり、図 4 の X t 、 Y t 、 Z t の 3 次元座標は、図 1 の X 、 Y 、 Z の 3 次元座標を、 Y 軸を中心 Z 軸方向が照射中心軸 L e n (L e 1) と平行となるように回転させた 3 次元座標となる。

【 0 0 5 6 】

20

図 4 に示すように、走査ユニット U 1 内には、ビーム L B 1 の入射位置から被照射面(基板 P)までのビーム L B 1 の進行方向に沿って、反射ミラー M 1 0 、ビームエキスパンダー B E 、反射ミラー M 1 1 、偏光ビームスプリッタ B S 1 、反射ミラー M 1 2 、シフト光学部材(平行平板) S R 、偏向調整光学部材(プリズム) D P 、フィールドアーチャ F A 、反射ミラー M 1 3 、 / 4 波長板 Q W 、シリンドリカルレンズ C Y a 、反射ミラー M 1 4 、ポリゴンミラー P M 、 f レンズ F T 、反射ミラー M 1 5 、シリンドリカルレンズ C Y b が設けられる。さらに、走査ユニット U 1 内には、走査ユニット U 1 の描画開始可能タイミングを検出する原点センサ(原点検出器、検出センサ) O P 1 と、被照射面(基板 P)からの反射光を偏光ビームスプリッタ B S 1 を介して検出するための光学レンズ系 G 1 0 および光検出器 D T とが設けられる。

30

【 0 0 5 7 】

走査ユニット U 1 に入射するビーム L B 1 は、 - Z t 方向に向けて進み、 X t Y t 平面に対して 45° 傾いた反射ミラー M 1 0 に入射する。この走査ユニット U 1 に入射するビーム L B 1 の軸線は、照射中心軸 L e 1 と同軸になるように反射ミラー M 1 0 に入射する。反射ミラー M 1 0 は、入射したビーム L B 1 を、 X t 軸と平行に設定されるビームエキスパンダー B E の光軸 A X a に沿って、反射ミラー M 1 0 から - X t 方向に離れた反射ミラー M 1 1 に向けて - X t 方向に反射する。したがって、光軸 A X a は X t Z t 平面と平行な面内で照射中心軸 L e 1 と直交する。ビームエキスパンダー B E は、集光レンズ B e 1 と、集光レンズ B e 1 によって収斂された後に発散するビーム L B 1 を平行光にするコリメートレンズ B e 2 とを有し、ビーム L B 1 の径を拡大させる。

40

【 0 0 5 8 】

反射ミラー M 1 1 は、 Y t Z t 平面に対して 45° 傾いて配置され、入射したビーム L B 1 (光軸 A X a) を偏光ビームスプリッタ B S 1 に向けて - Y t 方向に反射する。反射ミラー M 1 1 に対して - Y t 方向に離れて設置されている偏光ビームスプリッタ B S 1 の偏光分離面は、 Y t Z t 平面に対して 45° 傾いて配置され、 P 偏光のビームを反射し、 P 偏光と直交する方向に偏光した直線偏光(S 偏光)のビームを透過するものである。走査ユニット U 1 に入射するビーム L B 1 は、ここでは P 偏光のビームとするので、偏光ビームスプリッタ B S 1 は、反射ミラー M 1 1 からのビーム L B 1 を - X t 方向に反射して反射ミラー M 1 2 側に導く。

【 0 0 5 9 】

50

反射ミラーM12は、XtYt平面に対して45°傾いて配置され、入射したビームLB1を、反射ミラーM12から-Zt方向に離れた反射ミラーM13に向けて-Zt方向に反射する。反射ミラーM12で反射されたビームLB1は、Zt軸と平行な光軸AXcに沿って、2枚の石英の平行平板Sr1、Sr2で構成されるシフト光学部材SR、2つの楔状のプリズムDp1、Dp2で構成される偏向調整光学部材DP、およびフィールドアパー・チャ（視野絞り）FAを通過して、反射ミラーM13に入射する。シフト光学部材SRは、平行平板Sr1、Sr2の各々を傾けることで、ビームLB1の進行方向（光軸AXc）と直交する平面（XtYt平面）内において、ビームLB1の断面内の中心位置を2次元的に調整する。偏向調整光学部材DPは、プリズムDp1、Dp2の各々を光軸AXcの回りに回転させることによって、ビームLB1の軸線と光軸AXcとの平行出し、または、基板Pの被照射面に達するビームLB1の軸線と照射中心軸Le1との平行出ししが可能となっている。10

【0060】

反射ミラーM13は、XtYt平面に対して45°傾いて配置され、入射したビームLB1を反射ミラーM14に向けて+Xt方向に反射する。反射ミラーM13で反射したビームLB1は、/4波長板QWおよびシリンドリカルレンズCYaを介して反射ミラーM14に入射する。反射ミラーM14は、入射したビームLB1をポリゴンミラー（回転多面鏡、走査用偏向部材）PMに向けて反射する。ポリゴンミラーPMは、入射したビームLB1を、Xt軸と平行な光軸AXfを有するfレンズFTに向けて+Xt方向側に反射する。ポリゴンミラーPMは、ビームLB1のスポット光SPを基板Pの被照射面上で走査するために、入射したビームLB1をXtYt平面と平行な面内で1次元に偏向（反射）する。具体的には、ポリゴンミラーPMは、Zt軸方向に延びる回転軸AXpと、回転軸AXpの周りに形成された複数の反射面RP（本実施の形態では反射面RPの数Npを8とする）とを有する。回転軸AXpを中心にこのポリゴンミラーPMを所定の回転方向に回転させることで反射面RPに照射されるパルス状のビームLB1の反射角を連続的に変化させることができる。これにより、1つの反射面RPによってビームLB1の反射方向が偏向され、基板Pの被照射面上に照射されるビームLB1のスポット光SPを主走査方向（基板Pの幅方向、Yt方向）に沿って走査することができる。20

【0061】

すなわち、ポリゴンミラーPMの1つの反射面RPによって、ビームLB1のスポット光SPを主走査方向に沿って1回走査することができる。このため、ポリゴンミラーPMの1回転で、基板Pの被照射面上にスポット光SPが走査される描画ラインSL1の数は、最大で反射面RPの数と同じ8本となる。ポリゴンミラーPMは、制御装置16の制御の下、回転駆動源（例えば、モータや減速機構等）RMによって一定の速度で回転する。先に説明したように、描画ラインSL1の実効的な長さ（例えば、30mm）は、このポリゴンミラーPMによってスポット光SPを走査することができる最大走査長（例えば、31mm）以下の長さに設定されており、初期設定（設計上）では、最大走査長の中央に描画ラインSL1の中心点（照射中心軸Le1が通る点）が設定されている。30

【0062】

シリンドリカルレンズCYaは、ポリゴンミラーPMによる主走査方向（回転方向）と直交する非走査方向（Zt方向）に関して、入射したビームLB1をポリゴンミラーPMの反射面RP上に収斂する。つまり、シリンドリカルレンズCYaは、ビームLB1を反射面RP上でXtYt平面と平行な方向に延びたスリット状（長楕円状）に収斂する。母線がYt方向と平行となっているシリンドリカルレンズCYaと、後述のシリンドリカルレンズCYbとによって、反射面RPがZt方向に対して傾いている場合（XtYt平面の法線に対する反射面RPの傾き）があっても、その影響を抑制することができる。例えば、基板Pの被照射面上に照射されるビームLB1（描画ラインSL1）の照射位置が、ポリゴンミラーPMの各反射面RP毎の僅かな傾き誤差によってXt方向にずれることを抑制することができる。40

【0063】

10

20

30

40

50

X t 軸方向に延びる光軸 A X f を有する f レンズ F T は、ポリゴンミラー PM によって反射されたビーム L B 1 を、X t Y t 平面において、光軸 A X f と平行となるように反射ミラー M 1 5 に投射するテレセントリック系のスキャンレンズである。ビーム L B 1 の f レンズ F T への入射角 θ は、ポリゴンミラー PM の回転角 ($\phi / 2$) に応じて変わる。f レンズ F T は、反射ミラー M 1 5 およびシリンドリカルレンズ C Y b を介して、その入射角 θ に比例した基板 P の被照射面上の像高位置にビーム L B 1 を投射する。焦点距離を f とし、像高位置を y とすると、f レンズ F T は、 $y = f \times \tan(\theta)$ の関係（歪曲収差）を満たすように設計されている。したがって、この f レンズ F T によって、ビーム L B 1 を Y t 方向 (Y 方向) に正確に等速で走査することが可能になる。f レンズ F T への入射角 θ が 0 度のときに、f レンズ F T に入射したビーム L B 1 は、光軸 A X f 上に沿って進む。
10

【0064】

反射ミラー M 1 5 は、f レンズ F T からのビーム L B 1 を、シリンドリカルレンズ C Y b を介して基板 P に向けて - Z t 方向に反射する。f レンズ F T および母線が Y t 方向と平行となっているシリンドリカルレンズ C Y b によって、基板 P に投射されるビーム L B 1 が基板 P の被照射面上で直径数 μm 程度（例えば、3 μm ）の微小なスポット光 S P に収斂される。また、基板 P の被照射面上に投射されるスポット光 S P は、ポリゴンミラー PM によって、Y t 方向に延びる描画ライン S L 1 によって 1 次元走査される。なお、f レンズ F T の光軸 A X f と照射中心軸 L e 1 とは、同一の平面上にあり、その平面は X t Z t 平面と平行である。したがって、光軸 A X f 上に進んだビーム L B 1 は、反射ミラー M 1 5 によって - Z t 方向に反射し、照射中心軸 L e 1 と同軸になって基板 P に投射される。本第 1 の実施の形態において、少なくとも f レンズ F T は、ポリゴンミラー PM によって偏向されたビーム L B 1 を基板 P の被照射面に投射する投射光学系として機能する。また、少なくとも反射部材（反射ミラー M 1 1 ~ M 1 5）および偏光ビームスプリッタ B S 1 は、反射ミラー M 1 0 から基板 P までのビーム L B 1 の光路を折り曲げる光路偏向部材として機能する。この光路偏向部材によって、反射ミラー M 1 0 に入射するビーム L B 1 の入射軸と照射中心軸 L e 1 とを略同軸にすることができる。X t Z t 平面に関して、走査ユニット U 1 内を通るビーム L B 1 は、クランク状に折り曲げられた光路を通った後、- Z t 方向に進んで基板 P に投射される。
20

【0065】

このように、基板 P が副走査方向に搬送されている状態で、各走査ユニット U n (U 1 ~ U 6) によって、ビーム L B n (L B 1 ~ L B 6) のスポット光 S P を主走査方向 (Y 方向) に一次元に走査することで、スポット光 S P を基板 P の被照射面にて相対的に 2 次元走査することができる。
30

【0066】

なお、一例として、各描画ライン S L 1 ~ S L 6 の実効的な長さ（描画長）を 30 mm とし、実効的なサイズ θ が 3 μm のスポット光 S P の $1 / 2$ ずつ、つまり、1.5 ($= 3 \times 1 / 2$) μm ずつ、オーバーラップさせながらスポット光 S P を描画ライン S L n (S L 1 ~ S L 6) に沿って基板 P の被照射面上に照射する場合、パルス状のスポット光 S P は、1.5 μm の間隔で照射される。したがって、1 回の走査で照射されるスポット光 S P の数は、20000 ($= 30 [mm] / 1.5 [\mu m]$) となる。また、基板 P の副走査方向の送り速度（搬送速度）V t を 2.42 mm / sec とし、副走査方向についてもスポット光 S P の走査が 1.5 μm の間隔で行われるものとすると、描画ライン S L n に沿った 1 回の走査開始（描画開始）時点と次の走査開始時点との時間差（周期）T p x は、約 620 μsec ($= 1.5 [\mu m] / 2.42 [mm/sec]$) となる。この時間差 T p x は、8 反射面 R P のポリゴンミラー PM が 1 面分 (45 度 = 360 度 / 8) だけ回転する時間である。この場合、ポリゴンミラー PM の 1 回転の時間が、約 4.96 ms sec ($= 8 \times 620 [\mu sec]$) となるように設定される必要があるので、ポリゴンミラー PM の回転速度 V p は、毎秒約 201.613 回転 ($= 1 / 4.96 [ms/sec]$) 、すなわち、約 12096.8 rpm に設定される。
40
50

【0067】

一方、ポリゴンミラーPMの1反射面RPで反射したビームLB1が有効にfレンズFTに入射する最大入射角度（スポット光SPの最大走査長に対応）は、fレンズFTの焦点距離と最大走査長によっておおよそ決まってしまう。一例として、反射面RPが8つのポリゴンミラーPMの場合は、1反射面RP分の回転角度45度のうちで実走査に寄与する回転角度の比率（走査効率）は、/45度で表される。本第1の実施の形態では、実走査に寄与する回転角度を10度よりも大きく15度よりも小さい範囲とするので、走査効率は1/3（=15度/45度）となり、fレンズFTの最大入射角は30度（光軸AXfを中心として±15度）となる。そのため、描画ラインSLnの最大走査長（例えば、31mm）分だけスポット光SPを走査するのに必要な時間Tsは、 $T_s = T_p \times \times \text{走査効率}$ 、となり、先の数値例の場合は、時間Ts、約206.666...μsec（=620[μsec]/3）、となる。本第1の実施の形態における描画ラインSLn（SL1～SL6）の実効的な走査長を30mmとするので、この描画ラインSLnに沿ったスポット光SPの1走査の走査時間Tspは、約200μsec（=206.666...[μsec] × 30[mm] / 31[mm]）、となる。したがって、この時間Tspの間に、20000のスポット光SP（パルス光）を照射する必要があるので、光源装置LSからのビームLBの発光周波数（発振周波数）Faは、 $F_a = 20000 \text{ 回} / 200 \mu \text{sec} = 100 \text{ MHz}$ となる。

【0068】

図4に示した原点センサOP1は、ポリゴンミラーPMの反射面RPの回転位置が、反射面RPによるスポット光SPの走査が開始可能な所定位置にくると原点信号SZ1を発生する。言い換えるならば、原点センサOP1は、これからスポット光SPの走査を行う反射面RPの角度が所定の角度位置になったときに原点信号SZ1を発生する。ポリゴンミラーPMは、8つの反射面RPを有するので、原点センサOP1は、ポリゴンミラーPMが1回転する期間で、8回原点信号SZ1を出力することになる。この原点センサOP1が発生した原点信号SZ1は、制御装置16に送られる。原点センサOP1が原点信号SZ1を発生してから、遅延時間Td1経過後にスポット光SPの描画ラインSL1に沿った走査が開始される。つまり、この原点信号SZ1は、走査ユニットU1によるスポット光SPの描画開始タイミング（走査開始タイミング）を示す情報となっている。原点センサOP1は、基板Pの感光性機能層に対して非感光性の波長域のレーザビームBgaを反射面RPに対して射出するビーム送光系opaと、反射面RPで反射したレーザビームBgaの反射ビームBgbを受光して原点信号SZ1を発生するビーム受光系opbとを有する。

【0069】

なお、走査ユニットU2～U6に設けられている原点センサOPnをOP2～OP6で表し、原点センサOP2～OP6で発生する原点信号SZnをSZ2～SZ6で表す。制御装置16は、これらの原点信号SZn（SZ1～SZ6）に基づいて、どの走査ユニットUnがこれからスポット光SPの走査を行うかを管理している。また、原点信号SZ2～SZ6が発生してから、走査ユニットU2～U6による描画ラインSL2～SL6に沿ったスポット光SPの走査を開始するまでの遅延時間TdnをTd2～Td6で表す場合がある。本実施の形態では、原点信号SZ1～SZ6を使って、各走査ユニットU1～U6のポリゴンミラーPMの回転速度を所定値に一致させる同期制御と、各ポリゴンミラーPMの回転角度位置（角度位相）を所定の関係に維持する同期制御とが行われる。

【0070】

図4に示す光検出器DTは、例えば、回転ドラムDRの表面に形成された基準パターン、或いは基板Pの特定位置に形成された基準パターンがスポット光SPによって走査されたときに発生する反射光の変化を光電変換する光電変換素子を有する。回転ドラムDRの基準パターン（或いは基板P上の基準パターン）が形成された領域に、走査ユニットU1からビームLB1のスポット光SPを照射すると、fレンズFTがテレセントリック系であることから、その反射光が、シリンドリカルレンズCYb、反射ミラーM15、f

レンズ F T、ポリゴンミラー P M、反射ミラー M 1 4、シリンドリカルレンズ C Y a、
 / 4 波長板 Q W、反射ミラー M 1 3、フィールドアパー・チャ F A、偏向調整光学部材 D P
 、シフト光学部材 S R、および、反射ミラー M 1 2 を通過して偏光ビームスプリッタ B S
 1 に戻ってくる。/ 4 波長板 Q W の作用によって、基板 P に照射されるビーム L B 1 は
 、P 偏光から円偏光のビーム L B 1 に変換され、回転ドラム D R の表面（或いは基板 P の
 表面）で反射されて、偏光ビームスプリッタ B S 1 まで戻ってくる反射光は、/ 4 波長板 Q W
 によって円偏光から S 偏光に変換され、偏光ビームスプリッタ B S 1 を透過し、光学
 レンズ系 G 1 0 を介して光検出器 D T に達する。光検出器 D T からの検出信号に基づいて
 計測される描画ライン S L n に対する基準パターンの位置情報によって、走査ユニット
 U n をキャリブレーションすることができる。

10

【0071】

図 5 は、ビーム分配部 B D U 内の構成を X Y 面内で見た図である。ビーム分配部 B D U
 は、複数の描画用光学素子 A O M n (A O M 1 ~ A O M 6) と、複数のビームスプリッタ
 B S a ~ B S e と、複数の反射ミラー M R 1 ~ M R 5 と、複数の落射用の反射ミラー F M
 1 ~ F M 6 とを有する。描画用光学素子 A O M n (A O M 1 ~ A O M 6) は、光源装置 L
 S からのビーム L B を 6 つに分配した光路の各々に配置され、高周波の駆動信号に応答して
 入射ビームを回折させた 1 次回折光を、ビーム L B n (L B 1 ~ L B 6) として射出する
 音響光学変調素子 (A O M : Acousto-Optic Modulator) である。描画用光学素子 A O
 M n (A O M 1 ~ A O M 6) の各々における 1 次回折光 (ビーム L B 1 ~ L B 6) の回折
 方向は X Z 面と平行な面内で - Z 方向であり、各描画用光学素子 A O M n がオン状態 (1
 次回折光を発生する状態) のときに各描画用光学素子 A O M n から射出されるビーム L B
 n (L B 1 ~ L B 6) は、反射面が X Y 面に対して傾斜した落射用の反射ミラー F M 1 ~
 F M 6 の各々によって、対応する走査ユニット U 1 ~ U 6 (反射ミラー M 1 0) に向けて
 - Z 方向に反射される。

20

【0072】

光源装置 L S からのビーム L B はビームスプリッタ B S a で 2 分割され、ビームスプリッタ
 B S a を透過したビームは、反射ミラー M R 1、M R 2 で反射された後、ビームスプリッタ
 B S b で 2 分割される。ビームスプリッタ B S b で反射したビームは、描画用光学
 素子 A O M 5 に入射する。ビームスプリッタ B S b を透過したビームは、ビームスプリッタ
 B S c で 2 分割され、ビームスプリッタ B S c で反射したビームは、描画用光学素子 A
 O M 3 に入射する。ビームスプリッタ B S c を透過したビームは、反射ミラー M R 3 で反
 射されて、描画用光学素子 A O M 1 に入射する。同様に、ビームスプリッタ B S a で反射
 されたビームは、反射ミラー M R 4 で反射された後、ビームスプリッタ B S d で 2 分割さ
 れる。ビームスプリッタ B S d で反射されたビームは、描画用光学素子 A O M 6 に入射す
 る。ビームスプリッタ B S d を透過したビームは、ビームスプリッタ B S e で 2 分割され
 、ビームスプリッタ B S e で反射されたビームは、描画用光学素子 A O M 4 に入射する。
 ビームスプリッタ B S e を透過したビームは、反射ミラー M R 5 で反射されて、描画用光
 学素子 A O M 2 に入射する。

30

【0073】

以上のように、6 つの描画用光学素子 A O M n (A O M 1 ~ A O M 6) の各々に、光源
 装置 L S からのビーム L B が約 1 / 6 に振幅分割（強度分割）された状態でともに入射す
 る。描画用光学素子 A O M n (A O M 1 ~ A O M 6) の各々に、描画データの画素毎のビ
 ットデータに応じて、高周波の駆動信号の印加をオン / オフすることによって、走査ユニ
 ット U n (U 1 ~ U 6) の各々の描画ライン S L n に沿って走査されるスポット光 S P の
 強度が変調される。これによって、描画データ（ビットマップ）に対応したパターンが、
 各走査ユニット U n (U 1 ~ U 6) で同時に基板 P 上に描画される。描画データ（パター
 ンデータ）は、走査ユニット U n 毎に設けられ、走査ユニット U n によって描画されるパ
 ンターンを、スポット光 S P のサイズに応じて設定される寸法の画素によって分割し、複
 数の画素の各々を前記パターンに応じた 1 ビットの論理情報（ビットデータ、画素データ）
 で表したものである。つまり、描画データは、スポット光 S P の走査方向（主走査方向
 40

50

、Y方向)に沿った方向を行方向とし、基板Pの搬送方向(副走査方向、X方向)に沿った方向を列方向とするように2次元に分解された複数の画素の論理情報(画素データ)で構成されているビットマップデータである。

【0074】

この描画データの1列分の画素の論理情報は、1本分の描画ラインSLn(SL1~SL6)に対応するものである。したがって、1列分の画素の数は、基板Pの被照射面上での画素の寸法Px yと描画ラインSLnの長さとに応じて決まる。この1画素の寸法Px yは、スポット光SPのサイズと同程度、或いは、それ以上に設定され、例えば、スポット光SPの実効的なサイズが3μmの場合は、1画素の寸法Px yは、3μm角程度以上に設定される。1列分の画素の論理情報に応じて、1本の描画ラインSLn(SL1~SL6)に沿って基板Pに投射されるスポット光SPの強度が変調される。この1列分の画素の論理情報(ビットデータ)を画素データ列DLnと呼ぶ。つまり、描画データは、画素データ列DLnが列方向に並んだビットマップデータである。走査ユニットU1の描画データの画素データ列DLnをDL1で表し、同様に、走査ユニットU2~U6の描画データの画素データ列DLnをDL2~DL6で表す。なお、画素のビットデータが「1」の場合は、基板P上に投射するスポット光SPの強度が高レベルになる、つまり、描画用光学素子AOMnが1次回折光を発生することを意味する。また、「0」の場合は、基板P上に投射するスポット光SPの強度が低レベル(例えば、ゼロ)になる、つまり、描画用光学素子AOMnが1次回折光を発生しないことを意味する。

【0075】

図6は、図1に示した制御装置16の主要な構成を示すブロック図であり、制御装置16は、描画動作全体を統括制御する描画コントロール部100と、走査ユニットU1~U6の各々の原点センサOPnのビーム受光系opbからの原点信号SZ1~SZ6を入力して、ポリゴンミラーPMの回転用のモータRMを制御するポリゴンミラー駆動部102と、複数のアライメント顕微鏡AM1m、AM2mの各々で撮像されるアライメントマークMK1~MK4の画像を解析して、マーク位置情報を生成するアライメント部104と、複数のエンコーダEN1a~EN4a、EN1b~EN4bの各々からの検出信号(2相信号)に基づいて、スケール部SDa、SDbの周方向の移動量や移動位置をデジタル計数するとともに、スケール部SDa、SDb(或いは回転ドラムDR)の1回転毎にZ相マークZZによって零リセットされるエンコーダカウンタ部106と、走査ユニットU1~U6の各々で描画すべきパターンの描画データをビットマップ形式で記憶する描画データ記憶部108と、描画データ記憶部108から読み出される描画ラインSL1~SL6ごとの描画データ列(ビットストリーム信号)に応じて、走査ユニットU1~U6の各々に対応した描画用光学素子AOM1~AOM6を変調するAOM駆動部110と、回転ドラムDRの回転駆動モータを制御する駆動制御部112と、を備える。さらに、描画コントロール部100は、光源装置LSに対して描画倍率補正のための情報TMg、CMgを送るとともに、走査ユニットU1~U6の各々が基板Pをスポット光SPで走査するタイミングで光源装置LSがビームLBを射出するように制御する描画スイッチ信号SHTを、原点信号SZ1~SZ6の発生状況をモニターして生成する。

【0076】

本実施の形態では、光源装置LSのビームLBを発振周波数Fa(例えば100MHz)のパルス光とするが、そのために、光源装置LSは発振周波数Faのクロック信号LTCを生成する。クロック信号LTCの1クロックパルスは、ビームLBの1パルス発光に対応している。さらに光源装置LSは、スポット光SPが描画ラインSLnに沿って走査されている間の特定の画素位置で、クロック信号LTCの周期を部分的に微調整する局所倍率補正部を備えている。なお、クロック信号LTCは、ポリゴンミラー駆動部102によるポリゴンミラーPMの回転速度の管理にも使われる。また、光源装置LSは、描画データ記憶部(データ記憶部)108がスポット光SPの1回の走査中にAOM駆動部110に送出する画素データ列DLnを1画素のビットデータごとにシフトするための画素シフト信号(画素シフトパルス)BSCを生成する。

10

20

30

40

50

【0077】

図7は、光源装置（パルス光源装置、パルスレーザ装置）LSの具体的な構成を示す図である。ファイバーレーザ装置としての光源装置LSは、パルス光発生部20と、制御回路22とを備える。パルス光発生部20は、DFB半導体レーザ素子30、32、偏光ビームスプリッタ34、描画用光変調器としての電気光学素子（強度変調部）36、この電気光学素子36の駆動回路36a、偏光ビームスプリッタ38、吸収体40、励起光源42、コンバイナ44、ファイバー光増幅器46、波長変換光学素子48、50、および、複数のレンズ素子GLを有する。制御回路22は、クロック信号LTCおよび画素シフトパルスBSCを発生する信号発生部22aを有する。

【0078】

DFB半導体レーザ素子（第1固体レーザ素子）30は、クロック信号LTCに応答して、所定周波数である発振周波数Fa（例えば、100MHz）で俊鋭若しくは尖鋭のパルス状の種光（パルスビーム、ビーム）S1を発生し、DFB半導体レーザ素子（第2固体レーザ素子）32は、クロック信号LTCに応答して、所定周波数である発振周波数Fa（例えば、100MHz）で緩慢（時間的にブロード）なパルス状の種光（パルスビーム、ビーム）S2を発生する。DFB半導体レーザ素子30が発生する種光S1と、DFB半導体レーザ素子32が発生する種光S2とは、発光タイミングが同期している。種光S1、S2は、ともに1パルス当たりのエネルギーは略同一であるが、偏光状態が互いに異なり、ピーク強度は種光S1の方が強い。この種光S1と種光S2とは、直線偏光の光であり、その偏光方向は互いに直交している。本第1の実施の形態では、DFB半導体レーザ素子30が発生する種光S1の偏光状態をS偏光とし、DFB半導体レーザ素子32が発生する種光S2の偏光状態をP偏光として説明する。この種光S1、S2は、赤外波長域の光である。

【0079】

制御回路22は、信号発生部22aから送られてきたクロック信号LTCのクロックパルスに応答して種光S1、S2が発光するようにDFB半導体レーザ素子30、32を制御する。これにより、このDFB半導体レーザ素子30、32は、クロック信号LTCの各クロックパルス（発振周波数Fa）に応答して、所定周波数（発振周波数）Faで同時に種光S1、S2を発光する。この制御回路22は、制御装置16中の描画コントロール部100によって制御される。このクロック信号LTCのクロックパルスの周期（=1/Fa）を、基準周期Taと呼ぶ。DFB半導体レーザ素子30、32で発生した種光S1、S2は、偏光ビームスプリッタ34に導かれる。

【0080】

なお、この基準クロック信号となるクロック信号LTCは、詳しくは後述するが、描画データ記憶部108のビットマップ状の描画パターンデータを記憶するメモリ回路中の行方向（主走査方向）のアドレスを指定するためのアドレスカウンタ（レジスタ）に供給される画素シフトパルスBSCのベースとなるものである。また、信号発生部22aには、基板Pの被照射面上における描画ラインSLnの全体倍率補正を行うための全体倍率補正情報TMgと、描画ラインSLnの局所倍率補正を行うための局所倍率補正情報CMgとが、制御装置16中の描画コントロール部100から送られてくる。これにより、基板Pの被照射面上における描画ラインSLnの長さ（走査長）をppmオーダーから%オーダーに渡ってきめ細かく微調整することができる。この描画ラインSLnの伸縮（走査長の微調整）は、描画ラインSLnの最大走査長（例えば、31mm）の範囲内で行うことができる。なお、本第1の実施の形態での全体倍率補正とは、描画データ上の1画素（1ビット）に対応するスポット光SPの数は一定にしたまま、主走査方向に沿って投射されるスポット光SPの投射間隔（つまり、クロック信号LTCの周期）を一律に微調整することで、描画ラインSLn全体の走査方向の倍率を一様に補正するものである。また、本第1の実施の形態での局所倍率補正とは、1描画ライン上に設定される離散的な幾つかの補正点（画素位置）でのみ、主走査方向に沿って投射されるスポット光SPの投射間隔（つまり、クロック信号LTCの周期）を一時的に増減することで、その補正点に対応した基

10

20

30

40

50

板上での画素のサイズを主走査方向に僅かに伸縮させるものである。

【0081】

偏光ビームスプリッタ34は、S偏光の光を透過し、P偏光の光を反射するものであり、DFB半導体レーザ素子30が発生した種光S1と、DFB半導体レーザ素子32が発生した種光S2とを、電気光学素子36に導く。すなわち、偏光ビームスプリッタ34は、DFB半導体レーザ素子30が発生したS偏光の種光S1を透過することで種光S1を電気光学素子36に導く。また、偏光ビームスプリッタ34は、DFB半導体レーザ素子32が発生したP偏光の種光S2を反射することで種光S2を電気光学素子36に導く。DFB半導体レーザ素子30、32、および、偏光ビームスプリッタ34は、種光S1、S2を生成するパルス光源部35を構成する。

10

【0082】

電気光学素子（強度変調部）36は、種光S1、S2に対して透過性を有するものであり、例えば、電気光学変調器（EOM：Electro-Optic Modulator）が用いられる。DFB半導体レーザ素子30、DFB半導体レーザ素子32の各々からの種光S1、S2は波長域が800nm以上と長いため、電気光学素子36として、偏光状態の切り替え応答性がGHz程度のものを使うことができる。電気光学素子36は、描画スイッチ信号SHTのハイ/ロー状態に応答して、種光S1、S2の偏光状態を駆動回路36aによって切り換えるものである。描画スイッチ信号SHTは、走査ユニットU1～U6のいずれかが描画を開始する直前、または描画開始時に対して一定時間だけ手前の時間にハイ状態となり、走査ユニットU1～U6のいずれもが描画をしていない状態になるとロー状態になる。この描画スイッチ信号SHTは、図6中の原点信号SZ1～SZ6の発生状態を、ポリゴンミラー駆動部102を介してモニターする描画コントロール部100から送出される。

20

【0083】

駆動回路36aに入力される描画スイッチ信号SHTがロー（「0」）状態のとき、電気光学素子36は種光S1、S2の偏光状態を変えずにそのまま偏光ビームスプリッタ38に導く。逆に、駆動回路36aに入力される描画スイッチ信号SHTがハイ（「1」）状態のときは、電気光学素子36は入射した種光S1、S2の偏光状態を変えて、つまり、偏光方向を90度変えて偏光ビームスプリッタ38に導く。このように駆動回路36aが電気光学素子36を駆動することによって、電気光学素子36は、描画スイッチ信号SHTがハイ状態（「1」）のときは、S偏光の種光S1をP偏光の種光S1に変換し、P偏光の種光S2をS偏光の種光S2に変換する。

30

【0084】

偏光ビームスプリッタ38は、P偏光の光を透過してレンズ素子GLを介してコンバイナ44に導き、S偏光の光を反射させて吸収体40に導くものである。この偏光ビームスプリッタ38を透過する光（種光）をビームLseで表す。このパルス状のビームLseの発振周波数はFaとなる。励起光源42は励起光を発生し、その励起光は光ファイバー42aを通ってコンバイナ44に導かれる。コンバイナ44は、偏光ビームスプリッタ38から照射されたビームLseと励起光とを合成して、ファイバー光増幅器46に出力する。ファイバー光増幅器46は、励起光によって励起されるレーザ媒質がドープされている。したがって、合成されたビームLseおよび励起光が伝送するファイバー光増幅器46内では、励起光によってレーザ媒質が励起されることにより、種光としてのビームLseが増幅される。ファイバー光増幅器46内にドープされるレーザ媒質としては、エルビウム（Er）、イッテルビウム（Yb）、ツリウム（Tm）等の希土類元素が用いられる。この増幅されたビームLseは、ファイバー光増幅器46の射出端46aから所定の発散角を伴って放射され、レンズ素子GLによって収斂またはコリメートされて波長変換光学素子48に入射する。

40

【0085】

波長変換光学素子（第1の波長変換光学素子）48は、第2高調波発生（Second Harmonic Generation：SHG）によって、入射したビームLse（波長λ）を、波長がλの1/2の第2高調波に変換する。波長変換光学素子48として、疑似位相整合（Quasi Phas

50

e Matching : Q P M) 結晶である P P L N (Periodically Poled LiNbO₃) 結晶が好適に用いられる。なお、 P P L T (Periodically Poled LiTaO₃) 結晶等を用いることも可能である。

【 0 0 8 6 】

波長変換光学素子（第2の波長変換光学素子）50は、波長変換光学素子48が変換した第2高調波（波長 $\lambda/2$ ）と、波長変換光学素子48によって変換されずに残留した種光（波長 λ ）との和周波発生（Sum Frequency Generation : SFG）により、波長が $\lambda/3$ の第3高調波を発生する。この第3高調波が、370 nm以下の波長帯域（例えば、355 nm）にピーク波長を有する紫外線光（ビームLB）となる。

【 0 0 8 7 】

駆動回路36aに印加する描画スイッチ信号SHTがロー（「0」）の場合、電気光学素子（強度変調部）36は、入射した種光S1、S2の偏光状態を変えずにそのまま偏光ビームスプリッタ38に導く。そのため、偏光ビームスプリッタ38を透過するビームLBs eは種光S2となる。この場合、ビームLBs eはパルスのピーク強度が低く、時間的にプロードな鈍った特性となる。ファイバー光増幅器46は、そのようなピーク強度が低い種光S2に対する増幅効率が低いため、光源装置LSから射出されるビームLBは、露光に必要なエネルギーまで増幅されない光となる。したがって、露光という観点からみれば、実質的に光源装置LSはビームLBを射出していないのと同じ結果となる。つまり、基板Pに照射されるスポット光SPの強度は極めて低いレベルとなる。ただし、パターンの露光が行われない期間（非描画期間）でも、種光S2由来の紫外域のビームLBが僅かな強度ではあるが、照射され続ける。そのため、描画ラインSL1～SL6が、長時間、基板P上の同じ位置にある状態が続く場合（例えば、搬送系のトラブルによって基板Pが停止している場合等）は、光源装置LSのビームLBの射出窓（図示略）に可動シャッタを設けて、射出窓を閉じるようにするとよい。

【 0 0 8 8 】

一方、駆動回路36aに印加する描画スイッチ信号SHTがハイ（「1」）の場合、電気光学素子（強度変調部）36は、入射した種光S1、S2の偏光状態を変えて偏光ビームスプリッタ38に導く。そのため、偏光ビームスプリッタ38を透過するビームLBs eは、DFB半導体レーザ素子30からの種光S1に由来して生成されたものとなる。DFB半導体レーザ素子30からの種光S1はピーク強度が強いため、ファイバー光増幅器46によって効率的に増幅され、光源装置LSから出力されるP偏光のビームLBは、基板Pの露光に必要なエネルギーを持つ。つまり、基板Pに照射されるスポット光SPの強度は高レベルとなる。このように、光源装置LS内に、描画スイッチ信号SHTに応答する電気光学素子36を設けたので、ポリゴンミラーPMの回転中にスポット光SPの走査による描画動作を行っている期間中だけ、走査ユニットU1～U6にビームLB（LB1～LB6）を送出させることができる。

【 0 0 8 9 】

なお、図7の構成において、DFB半導体レーザ素子32および偏光ビームスプリッタ34を省略して、DFB半導体レーザ素子30からの種光S1のみを電気光学素子36の偏光状態の切り換えで、ファイバー光増幅器46にバースト波状に導光することも考えられる。しかしながら、この構成を採用すると、種光S1のファイバー光増幅器46への入射周期性（周波数Fa）が描画すべきパターンや描画ラインSLnに沿ったスポット光SPの走査周期（ポリゴンミラーPMの各面でのビームLBnの反射周期）に応じて大きく乱される。すなわち、ファイバー光増幅器46にDFB半導体レーザ素子30からの種光S1が入射しない状態が続いた後に、ファイバー光増幅器46に種光S1が突然入射すると、入射直後の種光S1は通常のときよりも大きな増幅率で増幅され、ファイバー光増幅器46からは、規定以上の大きな強度を持つビームが発生するという問題がある。そこで、本実施の形態では、好ましい態様として、ファイバー光増幅器46に種光S1が入射しない期間は、DFB半導体レーザ素子32からの種光S2（ピーク強度を低くした時間的にプロードなパルス光）をファイバー光増幅器46に入射することで、このような問題を

10

20

30

40

50

解決している。

【0090】

図8は、図6に示した描画コントロール部100と描画データ記憶部108によって、基板Pの移動位置（移動量）に応じた描画データ（画素データ列DLn）の読み出しのタイミングを説明する図である。また、ここでは、走査ユニットU1による描画動作を代表して説明する。副走査方向（Xスキャン方向）に関する描画倍率補正を行わない状態（倍率=1.0）の場合、走査ユニットU1に対応したエンコーダEN2a（またはEN2b）によって、エンコーダカウンタ部（デジタルカウンタ）106で計数されるカウント値は、回転ドラムDRの回転位置、すなわち、基板Pの移動量（或いは移動位置）に対応しており、それをCX2とする。図8では、移動量CX2を、エンコーダカウンタ部106内の対応するカウンタ回路に供給されるアップダウンパルスの並びで模式的に表す。移動量（移動位置）CX2の計測分解能は、ここではスポット光SPの実効的な径サイズよりも小さくなるように設定される。本実施の形態では、描画データが主走査方向（Yスキャン方向）と副走査方向（Xスキャン方向）とにマトリックス状に分割された画素単位を1ビットとするビットマップデータとして、描画データ記憶部（データ記憶部）108に記憶されている。このエンコーダカウンタ部106、スケール部SDa、SDb、および、エンコーダENja、ENjbは、計測機構を構成する。

【0091】

描画データ上の1画素は、基板P上では、例えばスポット光SPのサイズと同程度の3μm角に設定されるものとする。また、スポット光SPは、主走査方向（Yスキャン方向）および副走査方向（Xスキャン方向）に関して、スポット光SPのサイズの1/2ずつオーバーラップして基板P上に投射されるので、主走査方向および副走査方向に沿って2つのスポット光SPが1画素に対応する。したがって、エンコーダカウンタ部106で計数される基板Pの移動量CX2の分解能が画素寸法の1/k（kは2以上が望ましい）であって、1カウント当り0.3μmの場合（1/kのkが10の場合）、描画コントロール部100（または描画データ記憶部108）は、移動量CX2の10カウント分ごとに、描画データ記憶部108のメモリに記憶された描画データのXスキャン方向の番地（Xアドレス値）を1つずつインクリメントする信号XA2を生成する。描画データ記憶部108は、この信号XA2に応じてYスキャン方向に並ぶ1列分の画素データ列DL1にアクセスする。描画データ記憶部108は、さらに、クロック信号LTCを1/2に分周した画素シフトパルスBSCに応答して、アクセスした1列の画素データ列DL1のYスキャン方向の番地（Yアドレス値）を指定して、対応する画素のビットデータ（「0」または「1」）を、AOM駆動部110にシリアルに出力させる。図8のように、画素シフトパルスBSCの周期をクロック信号LTCの周期の2倍とし、クロック信号LTCの発振周波数FaとポリゴンミラーPMの回転速度Vpとを同期させることによって、描画ラインSL1に沿って走査されるスポット光SPをサイズの1/2でオーバーラップさせることができる。図8に示すスポット光SPにおいて、実線はパルス発光によって基板Pに達するスポット光SPであり、破線は基板Pに照射されなかったパルス発光（スポット光SP）を表しており、ここでは、Xアドレス値が1の画素データ列DL1（00011...）を描画している場合を表す。

【0092】

なお、以上の例示では、エンコーダカウンタ部106で計数される基板Pの移動量CX2の分解能（1カウント分の移動量）と画素寸法Px yとの比率kは、説明を簡単にする為に整数（10）とした。しかしながら、スケール部SDa、SDbの目盛（回折格子）のピッチやエンコーダヘッドENja、ENjbの構成によっては、計測分解能（1カウント当りの移動量）と画素寸法Px yとの比率kが整数にならないことがある。例えば、エンコーダシステムの実際の計測分解能が0.312μm/カウントとなっている場合、設計上の画素寸法Px yを3μm角とした場合、比率kは、約9.615...（=3/0.312）となる。この場合、図9A～図11で説明した移動量CX2として、10カウント分が設計上の画素寸法Px yとみなすと、実際の基板Pの移動量は3.12μmと

なり、1画素当り約4% (= 0.12/3) の拡大誤差率になってしまう。したがって、その状態で副走査方向にパターン描画を続けていくと、副走査方向の描画倍率補正をしなくても、露光領域Wに描画されるパターンが全体的に4%だけ副走査方向に拡大されてしまう。これは、デジタル計数の際に生じるLSB(最下位ビット)未満の誤差の累積である。

【0093】

そこで、1つの対応策は、エンコーダカウンタ部106で計数される基板Pの移動量C \times 2のカウント値が、1画素当りの誤差率(設計上で想定した1カウント分の移動量に対する実際の1カウント分の移動量の比率)の逆数に対応した数だけ増加するたびに、1カウント分の丸め演算を行うことで、累積誤差を無くすことができる。例えば、上記の例示の場合、1画素当りの誤差率が+4%(0.04)である場合、エンコーダカウンタ部106で計数される基板Pの移動量C \times 2のカウント値が、誤差率の逆数である25(=1/0.04)カウントするたびに、次の1カウント分を計数しない、或いは25カウント目を計数しないようなインクリメントを行うアドレスカウンタを設ければよい。別の対応策としては、エンコーダカウンタ部106で計数される実際の1カウント分の移動量(例えば、0.312μm)に合せて、設計上の画素寸法P \times yを設定する方法もある。この方法では、予め本実施形態の露光装置(パターン描画装置)EXを使用する際に用意する描画データの画素寸法P \times yが、例えば、3.12μm角であるとして、パターンのCADデータをビットマップデータに変換すればよい。

【0094】

さて、描画コントロール部100は、図8に示すようにエンコーダカウンタ部106のカウント値に基づいて、計測される移動量(移動位置)C \times 2が、描画ラインSL1と露光領域Wの先端とが一致する副走査方向の描画開始位置W_stに一致すると、信号XA2の生成を開始し、Xアドレス値を順次インクリメントしていく。なお、描画コントロール部100は、描画開始位置W_stをゼロ点(スタート点)として移動量C \times 2をゼロから再計数して、Xアドレス値として生成するのが好ましい。さらに、基板Pの副走査方向の移動に伴って、描画ラインSL1に沿ったスポット光SPの走査は、副走査方向にピッチXPで繰り返される。標準的な露光モードでは、ピッチXPは、基板P上でスポット光SPの実効的なサイズの1/2程度になるように設定されている。すなわち、1画素のXスキャン方向に関しても、2つ分のスポット光SPで描画されるように制御される。

しかしながら、本実施の形態では、クロック信号LTCの発振周波数Fa(ビームLBのパルス発光周波数)と、ポリゴンミラーPMの回転速度とを変えずに、基板Pの移動速度を低下させることで、ピッチXPを1/2よりも小さくして、1画素を3回以上の多数回の主走査で露光する多重露光モードにして、パターン露光時の露光量を増やすことができる。

【0095】

以上のようにして、通常の露光モード、或いは多重露光モードでは、描画データに基づいたパターンが基板Pの移動量C \times 2に応じて精密に描画される。しかしながら、基板Pの変形に対応して、描画すべきパターンを副走査方向にも伸縮させる必要が生じる。そこで、本実施の形態では、図9A、図9Bに示すように、エンコーダカウンタ部106で計数される基板Pの移動量C \times 2と、描画データ上のXスキャン方向の番地(Xアドレス値)との対応関係を、標準的な関係からずらすことによって、副走査方向に関する描画倍率補正を行う。図9Aは、倍率補正を行わないときに、Xアドレス値のインクリメント(1番地の増加)が、移動量C \times 2の10カウント分に対応している状態を示し、図9Bは、描画すべきパターンを縮小させるために、Xアドレス値のインクリメント(1番地の増加)が、移動量C \times 2の9カウント分に対応している状態を示す。この場合、基板P上に描画される1画素のX方向の寸法Pxは、設計上の画素寸法P \times yが3μm角とすると、2.7μmに縮小される。したがって、Xアドレス値が10の位置までに基板P上に露光されたパターンは、倍率補正せずに露光されたパターンに対して、副走査方向に1画素分(3μm)だけ縮む。逆に、描画すべきパターンを拡大させる場合は、Xアドレス値のイン

10

20

30

40

50

クリメント（1番地の増加）が、移動量CX2の11カウント分に対応するように制御すればよい。

【0096】

以上のように、基板Pの移動量CX2が、設計上の画素の寸法Pxに至る前にXアドレス値をインクリメントするか、設計上の画素の寸法Pxを越えたらXアドレス値をインクリメントするか、を選択することで描画倍率を縮小または拡大に切り替えることができる。さらに、1画素の副走査方向に関する設計上の寸法Pxと移動量CX2との関係を基準状態から変えるタイミング（Xスキャン方向の画素位置）は、全てのXアドレス値で行う必要は無く、例えば、Xアドレス値が10番まで進む間は、移動量CX2の10カウント（基準状態）でXアドレス値をインクリメントし、Xアドレス値が11番目になったときは、移動量CX2の9カウント（または11カウント）でXアドレス値をインクリメントし、Xアドレス値が12番目になったときは、再び移動量CX2の10カウント（基準状態）でXアドレス値をインクリメントすることを、次の20番目のXアドレス値まで続けるようにしてもよい。このような副走査方向の描画倍率の補正（%やppm）は、基板Pの1つの露光領域W内で一律にするだけでは、良好な重ね合せ精度や継ぎ精度を確保できないことがあり、露光領域Wを副走査方向に露光している途中で、徐々に異なる倍率補正量に遷移させる必要が生じる。10

【0097】

図10は、描画動作中の途中で異なる描画倍率に変更する際の制御について説明する図である。図10において、倍率補正しない場合は、1画素が移動量CX2の10カウントに対応しているものとし、描画開始位置Wstから移動量CX2が90カウント程度までの状態を示す。描画開始位置Wstでは、描画倍率が1.0倍（初期値）に設定されているものとし、移動量CX2が65カウントになる位置に拡大の倍率変更点Xm1が設定されているものとする。この倍率変更点Xm1は、例えば、アライメント顕微鏡AM1mによって検出される基板P上の複数のアライメントマークMK1～MK4の配列状態から推定されるものであり、描画コントロール部100は、描画開始位置Wstからの距離、すなわち、エンコーダカウンタ部106で計測される移動量CX2で倍率変更点Xm1を管理している。しかしながら、図10のように、倍率変更点Xm1はXアドレス値の6番に対応した画素データ列DLnを描画する期間であり、仮に倍率変更点Xm1から直ちに描画倍率が補正されるように、倍率変更点Xm1から移動量CX2を9カウント分または11カウント分したら、Xアドレス値をインクリメントすると、Xアドレス値が6番目の画素データ列DLnの描画（スポット走査）の途中で7番目の画素データ列DLnに切り替わってしまい、6番目の画素データ列DLnに対応する画素が中途半端に描画されたり、或いは欠落したりする。すなわち、副走査方向に関する画素（パターン）の連續性が損なわれることになる。副走査方向に関して、スポット光SPのサイズの1/2でオーバーラップするように、1画素を2回のスポット走査で描画する場合、或いは、基板Pの搬送速度Vtを低下させて、副走査方向に関して1画素を3回以上のスポット走査で描画して露光量を稼ぐ多重描画モードの場合であっても、倍率変更点Xm1のXアドレス値内での位置によっては、当該Xアドレス値の画素データ列DLnが欠落したり、露光量が不足した状態（断線の原因となり得る）になったりする。2030

【0098】

そこで、本実施の形態では、図10の下方に示すように、描画コントロール部（制御部）100は、当初の倍率変更点Xm1の直前に描画が正常に終わる5番目のXアドレス値と6番目のXアドレス値との境に位置する移動量CX2上の位置Xm1'（60カウント目）を、計算上で新たな倍率変更点（新変更点）として設定する。そして基板Pの移動位置が位置Xm1'になった時点から、描画データ記憶部108から読み出される6番目のXアドレス値の画素データ列DLnは、移動量CX2が11カウント進むごとに、図8に示した信号XA2（パルス）が発生してXアドレス値がインクリメントされる。以降、次の倍率変更点に至るまで、信号XA2の発生（Xアドレス値のインクリメント）は、移動量CX2が11カウント分（縮小の場合は9カウント分）進むごとに行われる。そして、4050

移動量 C X 2 上で設定される次の倍率変更点でも、同様にして計算上で新たな倍率変更点（新変更点）が設定される。なお、ここでは、新変更点（位置 X m 1'）を当初の倍率変更点 X m 1 の手前の位置としたが、当初の倍率変更点 X m 1 で描画される 6 番目の X アドレス値の画素データ列 D L n は、5 番目の X アドレス値の画素データ列 D L n と同じ倍率補正值で描画を行い、6 番目の X アドレス値の画素データ列 D L n の描画が完了する 70 カウント目を、新変更点 X m 1' として設定することもできる。

【 0 0 9 9 】

ここで、移動量 C X 2 が零となる描画開始位置 W s t で設定される倍率係数を M x (0)、移動量 C X 2 上での最初の倍率変更点（位置）を X m 1、位置 X m 1 以降で設定される倍率係数を M x (1)、描画が行われている現在の画素データ列 D L n の X アドレス値を X A 2 (1)、位置 X m 1 を変更した移動量 C X 2 上での新変更点（位置）を X m 1' とする。さらに、倍率係数（補正係数） M x (0)、M x (1) は、例えば 1 画素当たりに設定される移動量 C X 2 のカウント数 9、10、11 のいずれかとする。また、新変更点 X m 1' の次に倍率補正が行われる新変更点（位置） X m 2' の算定のために設定される X アドレス値のオフセット値（前回の新変更点での X アドレス値）を X A 0 とする。このように設定した場合、新変更点 X m 1' は以下の式（1）によって算定される。

$$X m 1' = W s t + \{ X A 2 (1) - X A 0 \} \cdot M x (0) \quad \dots (1)$$

【 0 1 0 0 】

ここで、図 10 に示したように、描画開始位置 W s t の移動量 C X 2 はゼロ、描画が行われている現在の画素データ列 D L n の X アドレス値 X A 2 (1) は 6、オフセット値 X A 0 はゼロ、倍率係数 M x (0) は 10 カウントとなるので、新変更点 X m 1' は 60 カウント目となる。

【 0 1 0 1 】

このように、新変更点 X m 1' で倍率係数が M x (0) から M x (1) に変更された後、X アドレス値 X A 2 が移動量 C X 2 の 11 カウント分ごとにインクリメントされて、X アドレス値 X A 2 が 7 番、8 番、9 番 … の順に画素データ列 D L n が読み出されて、パターン描画が行われる。そして、図 11 に示すように、次の倍率変更点 X m 2 が、例えば移動量 C X 2 上の 118 カウント目（11 番目の画素データ列 D L n）に指定され、倍率変更点 X m 2 からは倍率係数 M x (1) とは異なる倍率係数 M x (2) に設定されているものとする。ここで、倍率係数 M x (2) は、倍率補正を行わないための初期値の 10 カウントに設定され、描画が行われている現在の画素データ列 D L n の X アドレス値を X A 2 (2) とする。この場合、図 11 に示す新変更点 X m 2' は以下の式（2）によって算定される。

$$X m 2' = X m 1' + \{ X A 2 (2) - X A 0 \} \cdot M x (1) \quad \dots (2)$$

【 0 1 0 2 】

ここで、図 11 に示したように、前回の新変更点 X m 1' は 60、描画が行われている現在の画素データ列 D L n の X アドレス値 X A 2 (2) は 11、オフセット値 X A 0（すなわち、前回の新変更点 X m 1' での X アドレス値 X A 2 (1)）は 6、倍率係数 M x (1) は 11 カウントとなるので、新変更点 X m 2' は 115 カウント目として算定される。そして、X アドレス値 X A 2 (2) が 11 番の画素データ列 D L n の描画は、移動量 C X 2 が 10 カウント分進んだら X アドレス値をインクリメントして、次の番地（ここでは 12 番目）の描画データ列をアクセス（読み出し）するように制御する。なお、図 10、図 11 においては、新変更点（位置） X m 1' から新変更点 X m 2' までの X スキャン方向の画素を伸長する場合を例にしているが、縮小する場合は、移動量 C X 2 が 9 カウント進むごとに、信号 X A 2 (パルス) が発生して X アドレス値をインクリメントすればよい。

【 0 1 0 3 】

図 12 は、1 つの露光領域（パターン形成領域）W 上に設定される倍率変更点 X m n の一例を説明する図であり、XYZ 座標系上でみたとき、露光領域 W 内では + X 方向側を先端部（描画開始点 W s t）として、- X 方向に順次、アライメント顕微鏡 A M 11 ~ A M

10

20

30

40

50

14による複数のアライメントマークMK1～MK4の位置検出と、描画（露光）とが進行することになる。基板Pが+X方向に一定速度で移動していく間、アライメントマークMK1～MK4の位置検出の結果に基づいて、副走査方向（X方向）の倍率補正情報（倍率変更点Xmn、倍率係数Mx等）が逐次生成される。露光領域WのY方向の両側に配置されるアライメントマークMK1、MK4は、例えば、X方向に沿って設計上では10mm間隔で設けられる。アライメント顕微鏡AM11～AM14を使った倍率誤差の計測では、X方向に隣接して並ぶ少なくとも2つのアライメントマークMK1の間隔と、X方向に隣接して並ぶ少なくとも2つのアライメントマークMK4の間隔とが、エンコーダEN1a、EN1bの各々に対応したカウンタ回路での計数値に基づいて求められ、設計上の間隔（10mm）と比較され、倍率誤差（%、ppm）が求められる。

10

【0104】

図12では、露光領域Wの描画開始位置Wstを、初期の倍率係数Mx(0)が設定される倍率変更点Xm0とする。この種のフレキシブルな長尺の基板Pの場合、露光領域Wの描画開始位置Wst付近であっても、回転ドラムDRに支持される直前までの基板Pの搬送状態の変動によっては、副走査方向の倍率誤差が大きく発生することもある。そこで、初期の倍率係数Mx(0)を求めるために、アライメント顕微鏡AM11～AM14によって、露光領域Wの描画開始位置Wstよりも前に配置されているアライメントマークMK1～MK4（余白部、または前の露光領域に付随して形成されたマーク）を検出し、描画コントロール部100は、その計測結果も加味して倍率変更点Xm0（描画開始位置Wst）での倍率係数Mx(0)を算出する。

20

【0105】

その後、基板Pの+X方向への移動に伴って、アライメント顕微鏡AM11、AM14によるアライメントマークMK1、MK4の位置検出と倍率誤差の計測が逐次継続して実行され、その結果、描画コントロール部（倍率設定部、制御部）100は、初期の倍率係数Mx(0)を修正すべきと判断した場合は、修正すべき新たな倍率係数Mx(1)と倍率変更点Xm1とを設定する。アライメント顕微鏡AM11、AM14によるアライメントマークMK1、MK4の位置検出と倍率誤差の計測が開始されてから、一定距離だけ基板Pが+X方向に移動した時点で、露光領域Wの描画開始点Wstが奇数番の描画ラインSL1、SL3、SL5に達し、副走査方向に関して倍率係数Mx(0)でのパターン描画が行われ、さらにその後、露光領域Wの描画開始位置Wstが偶数番の描画ラインSL2、SL4、SL6に達し、副走査方向に関して倍率係数Mx(0)でのパターン描画が行われる。

30

【0106】

このように、基板Pの+X方向への移動に伴って、逐次、副走査方向の倍率誤差が計測され、図12のように、例えば、倍率変更点Xm2～Xm5と倍率係数Mx(2)～Mx(5)とが順次設定されていく。図12では、説明のために、露光領域W内でX方向に6つの領域の各々に対して、倍率係数Mx(0)～Mx(5)と倍率変更点Xm0～Xm5を設定したが、例えば、アライメントマークMK1、MK4のX方向の間隔（例えば、10mm）ごと、或いは、その1/2（5mm）ごとに、倍率係数Mx(n)と倍率変更点Xmnとを設定するようにしてもよい。このように、倍率変更点Xmnを副走査方向に細かく設定する場合は、例えば、基板Pが+X方向に10mm（または5mm）移動する間は、倍率係数Mx(n)を拡大または縮小に設定し、引き続き基板Pが+X方向に10mm（または5mm）移動する間は、倍率係数Mx(n+1)を等倍（拡大も縮小も行わない）に設定することを繰り返すようにしてもよい。本実施の形態では、このように、副走査方向に関する基板Pの伸縮による倍率誤差に対して、きめ細かに描画倍率を補正することができ、重ね合せ精度を露光領域Wの全面で良好に維持することができる。

40

【0107】

〔変形例〕図13は、図6に示した描画コントロール部100によって実行される副走査方向の描画倍率補正のための演算シーケンスの変形例を説明する図（タイムチャート）で

50

ある。ここでも、代表して走査ユニットU1のための演算シーケンスについて説明するが、他の走査ユニットU2～U6でも同様のシーケンスが実行される。描画コントロール部100は、図13に示す2つの処理A、Bを逐次繰り返し実行する。処理Aは、走査ユニットU1から送られてくる原点信号SZ1(パルス信号)に応答して逐次実行され、処理Bは、原点信号SZ1(パルス信号)が発生する周期Tp×よりも短い周期Tpkで生成されるタイミング信号(内部クロックパルス信号)SK1に応答して逐次実行される。ここでは、周期Tpkが周期Tp×の1/3程度に設定されているものとする。処理Bのルーチン処理の最長処理時間は、周期Tpk内に収まるように設定される。

【0108】

原点信号SZ1の1パルスごとに実行される処理Aは、図10、図11で説明したような移動量CX2(基板Pの描画開始位置Wstからの移動距離)を取得するステップSA1と、移動量CX2に対応する描画データメモリ中のXアドレス値XA2(n)を算出して設定するステップSA2とを含む。信号SK1の1パルスごとに実行される処理Bは、移動量CX2を取得するステップSB1と、取得した移動量CX2(現在位置)が、図10、図11で説明したような次の倍率変更点Xmnを過ぎたか否かを判断するステップSB2と、CX2=Xmnのときに、先に説明したXA2(n)のオフセット値XA0、新変更点Xmn'を算出するとともに、次の倍率係数Mx(n)に変更するステップSB3とを含む。なお、ステップSA2でのXA2(n)の算出は、処理Aの実行時に設定されている倍率係数をMx(n-1)とすると、小数点以下を四捨五入または切り捨てた以下の整数計算、

$$XA2(n) = \{ CX2 - Xmn(n-1) \} / Mx(n-1) + XA0$$

により算定される。

【0109】

このように、原点信号SZ1の周期Tp×ごと、および、原点信号SZ1の周期Tp×よりも短い周期Tpkごとに処理A、Bを並列することによって、副走査方向の描画倍率の変更点Xmnにて、副走査方向の1画素分の描画が中途半端になったり、消失したりすることが無くなり、精密なパターン描画が行われる。

【0110】

[第2の実施の形態]

先の第1の実施の形態や変形例では、描画ラインSL1～SL6の各々に沿ったスポット光SPによる描画開始は、図4、図6に示した検出センサとしての原点センサOPn(OP1～OP6)の各々からの原点信号SZn(SZ1～SZ6)が発生してから、直ちに行うように設定されている。ただし、実際は、原点信号SZn(SZ1～SZ6)が発生してから、スポット光SPが基板P上で1mm～数mm程度走ってからパターンの描画が開始されるように、原点信号SZnの発生時点から所定の遅延時間Tss後に描画開始を行う遅延回路(ハードウェアまたはソフトウェア)が設けられている。先に例示したように、描画ラインSLnに沿ったスポット光SPの1走査の走査時間Tspを約200μsecとし、スポット光SPの基板P上での最大の走査長を32mm(実効的な描画範囲30mmの前後に1mmの付加範囲を設ける)とすると、スポット光SPの走査速度Vsは、160μm/μsecとなる。したがって、遅延時間Tssを初期値に対して±1μsecだけ変化させると、基板P上に描画されるパターンを主走査方向(Y方向)に±160μmだけ位置シフトさせることができる。通常、原点信号SZnが発生してから、実際に描画開始されるまでの時間は、なるべく短く設定されるため、遅延時間Tssを初期値に対して減少させる場合は、原点信号SZnの発生時点から描画開始時点までのインターバル時間が短くなる。そのため、描画開始時点までに描画すべき画素データ列DLnのメモリ中のアドレス値を計算したり、各種の補正值(倍率補正量、Y位置のシフト量等)を計算したりする時間が、そのインターバル時間よりも長くなる場合があり、描画されるパターンが部分的に欠如したりして、大きく乱れことがある。

【0111】

そこで本実施の形態では、図14に示すように、スポット光SPの1回の走査で描画す

10

20

30

40

50

べき画素データ列 $D_L n$ の読み出し処理（アクセス番地の演算処理、画素データ列 $D_L n$ の1列分をビット単位でシフトするレジスタ等に転送する処理）や補正演算等の準備処理を、実際にビーム $L_B n$ のスポット光 S_P で描画するタイミングで発生する原点信号 $S_Z n$ のパルス（第2の検知信号）の1周期 T_{p_x} だけ手前で発生したパルス（第1の検知信号）に応答して、実行するようとする。図14は、走査ユニットU1からの原点信号 $S_Z 1$ の発生タイミング、描画タイミング（実描画期間を表す信号 $S_E 1$ ）、および演算タイミングを時系列に表したタイムチャートである。原点信号 $S_Z 1$ のパルスは、ポリゴンミラー-PMの連続した反射面 $R_P a$ 、 $R_P b$ 、 $R_P c$ 、 $R_P d$ … の順に、一定の周期 T_{p_x} で発生する。一般的な描画制御では、例えば、反射面 $R_P a$ ($R_P b \sim R_P d$ … も同様) が描画可能な回転角度の直前の状態で発生する原点信号 $S_Z 1$ の1つのパルスの発生時点から、所定の遅延時間 T_{s_s} 後に、例えば1つのXアドレス値に対応した画素データ列 $D_L 1 a$ に基づいた描画が行われる。すなわち、一般的な描画制御では、演算タイミングAで示すように、遅延時間 T_{s_s} 内で描画すべき画素データ列 $D_L 1 a$ のアクセス処理や演算処理を行う必要があった。
10

【0112】

なお、図14では、描画タイミング（信号 $S_E 1$ ）として表す $D_L 1 a$ 描画（画素データ列 $D_L 1 a$ に基づく描画タイミング、以下同様）、 $D_L 1 b$ 描画、 $D_L 1 c$ 描画、…の各々が、ポリゴンミラー-PMの反射面 $R_P a$ 、 $R_P b$ 、 $R_P c$ … の順に行われるとした。しかしながら、Xアドレス値は、スポット光 S_P の描画ライン $S_L 1$ に沿った走査が2回、またはそれ以上の一定回数行われるとインクリメントされるため、ポリゴンミラー-PMの連続した2つ以上の反射面 $R_P a$ 、 $R_P b$ 、 $R_P c$ … で、同じ画素データ列 $D_L 1$ を所定回数だけ繰り返し描画することになる。さらに、図14では、スポット光 S_P の1回の走査で描画すべき画素データ列 $D_L n$ の上記の準備処理を、実際にビーム $L_B n$ のスポット光 S_P で描画するタイミングで発生する原点信号 $S_Z n$ のパルス（第2の検知信号）の1周期 T_{p_x} だけ手前で発生したパルス（第1の検知信号）に応答して実行するが、これは1周期 T_{p_x} だけ手前であることに限定されず、1周期 T_{p_x} 以上の所定時間だけ手前の時点（例えば2周期以上の手前で発生した原点信号 $S_Z n$ のパルス）であつてもよい。どの程度手前の時点で準備処理を開始するかは、準備処理に要する時間に応じて設定される。
20

【0113】

本実施の形態では、図14の演算タイミングBに示すように、画素データ列 $D_L 1$ のアクセス処理や演算処理を、原点信号 $S_Z 1$ の1つのパルスに応答して先行実施し、原点信号 $S_Z 1$ の次のパルスに応答して実際の描画を開始するようとする。このようにすると、画素データ列 $D_L 1$ のアクセス処理や演算処理を行う時間を、最大で周期 T_{p_x} の時間まで確保することができ、画素データ列 $D_L 1$ のアクセス処理や演算処理を確実に実行させることができる。さらに、演算タイミングAの場合は、画素データ列 $D_L 1$ のアクセス処理のための最低限の時間を確保する必要性から、遅延時間 T_{s_s} をそれ以下に短くすることができなかった。そのため、描画されるパターンをY方向に位置シフトできる範囲に制限が生じていたが、本実施の形態では、遅延時間 T_{s_s} を零から設定することができるため、描画されるパターンのY方向の位置シフトの範囲を大きく取ることができ、基板Pの幅方向の位置や歪みが大きい場合でも、良好な重ね合せ精度を得ることが可能となる。
40

【0114】

図15は、図14で説明した制御を行うために、図6中の描画コントロール部100と描画データ記憶部108の各々に設けられる一部の回路構成の概略を説明するブロック図である。ここでも、描画コントロール部100と描画データ記憶部108は、代表して走査ユニットU1に対応して設けられているものとし、描画データ記憶部108には、描画ライン $S_L 1$ によって描画すべきパターンデータが記憶されているものとする。描画データ記憶部108は、Xアドレス値でアクセスされる主走査方向の1描画ライン分の画素データ列 $D_L 1 a$ 、 $D_L 1 b$ 、 $D_L 1 c$ 、…を記憶するメモリ領域108A0、108
50

A1、108A2・・・と、描画コントロール部100から指定されるXアドレス値に応じて、メモリ領域108A0、108A1、108A2・・・（以下、総称して108Anとも呼ぶ）のいずれか1つを選択する選択部108Bと、メモリ領域108Anから選択された1つのメモリ領域からシリアルに出力される画素データ列DL1のビットデータと、先の図6、図7で説明した描画スイッチ信号SHTとを入力するアンドゲート部108Cと、メモリ領域108Anのうちの選択された1つのメモリ領域のYアドレス値を生成するYアドレスレジスタ108Dと、Yアドレスレジスタ108DにYアドレス値をインクリメントするための画素シフト信号（パルス信号）BSCを供給するアンドゲート部108Eとを備えている。なお、図15では、選択部108Bが、Xアドレス値の0番地に対応したメモリ領域108A0からの画素データ列DL1aをアンドゲート部108Cに印加し、その画素データ列DL1aのビットストリーム（シリアルな2値信号）を、図6中のAOM駆動部110を介して走査ユニットU1用の描画用光学素子AOM1に変調信号として供給している状態を示す。

【0115】

描画コントロール部100は、図6中のポリゴンミラー駆動部102を経由して、走査ユニットU1からの原点信号SZ1を入力する遅延時間生成部100Aを備える。遅延時間生成部100Aは、原点信号SZ1の1パルスが発生した時点から、指定される遅延時間Tssだけ経過した後に、図14中に示したような信号SE1を出力する。その信号SE1は、描画データ記憶部108内のアンドゲート部108Eの一方の入力に送られ、アンドゲート部108Eの他方の入力に印加される画素シフト信号（パルス）BSCをYアドレスレジスタ108Dに通すか否かを高速に切換える。遅延時間生成部100Aの機能は、描画コントロール部100のCPUによるプログラム処理で実現してもよいし、FPGA（フィールド・プログラマブル・ゲート・アレー）によるハードウェアで実現してもよい。

【0116】

ここで、遅延時間生成部100Aに設定される遅延時間Tssは、原点信号SZ1が発生した時点からの遅延時間とするが、遅延時間生成部100A自体が一定の初期遅延時間Td0を生成するような構成にした場合は、遅延時間生成部100Aに設定される遅延時間Tss'を、Tss' = Tss - Td0としてもよい。

【0117】

以上の構成において、図14に示すような原点信号SZ1の1パルスが遅延時間生成部100Aに入力すると、遅延時間生成部100Aは、遅延時間Tss後にHレベルに立ち上り、描画ラインSL1に沿ったスポット光SPの1回の走査時間よりは少し長く、且つ原点信号SZ1がパルスを発生する周期Tpよりは短い時間が経過した時点でLレベルに降下する信号SE1を発生する。アンドゲート部108Eは、信号SE1がHレベルの間だけ、図8に示したような画素シフト信号（パルス信号）BSCをYアドレスレジスタ108Dに供給する。これによってYアドレスレジスタ108Dは、メモリ領域108A0内の番地を指定するためのYアドレス値を画素シフト信号BSCのパルスに応答して順次インクリメントしていく。図15の場合、Xアドレス値として指定される番地が0番地であるので、メモリ領域108A0内の番地0（ビット）から順番にシリアルに読み出される画素データ列DL1aは、アンドゲート部108Cを介してAOM駆動部110に送られ、描画ラインSL1に沿ったスポット光SPの走査中に、スポット光SPの強度が副走査方向の0番地（Xアドレス値が0）の画素データ列DL1aに応じて変調される。

【0118】

先に例示したように、描画ラインSLnに沿ったスポット光SPの1走査の走査時間Tspを約200μsec、スポット光SPの基板P上での最大の走査長を32mmとした場合、遅延時間Tssを±1μsec（1000nsec）だけ変化させると、基板P上に描画されるパターンは主走査方向（Y方向）に±160μmだけ位置シフトする。実用上、位置シフトの調整分解能は、重ね合せ精度や描画するパターンの最小寸法（最小線幅）等との兼合いで決まる。例えば、最小寸法が15μm、重ね合せ精度が最小寸法の1

10

20

30

40

50

/ 5 程度であるとして $\pm 3 \mu m$ の場合、位置シフトの調整分解能も $3 \mu m$ 程度が必要となる。したがって、遅延時間生成部 100A は、遅延時間 T_{SS} (または $T_{SS'}$) を 18.75 nsec ($= 3 \mu m \times 1000 \text{ nsec} / 160 \mu m$) 以下の分解能で設定できる構成であればよく、例えば 9 nsec 台であればよい。遅延時間 T_{SS} (または $T_{SS'}$) をクロックパルスの数で計時する場合、 107.25 MHz のクロック信号を作ると、そのクロック信号のパルス周期は 9.324 nsec となり、1 クロックパルスの計数を基板 P 上での $1.5 \mu m$ の位置シフトに対応させることができる。

【 0119 】

図 16 は、図 14、図 15 で説明した主走査方向 (Y 方向) への描画パターンの位置シフトを、露光領域 W に対するパターンの描画動作中に連続して実行する場合の一例を示すチャート図である。図 16 において、横軸は、露光領域 W の描画開始位置 W_{st} からの時間、または X 方向への移動位置を表す。移動量 CX_2 (または CX_1) は、ここではエンコーダ EN2 (または EN1) に対応したカウンタ回路によって描画開始位置 W_{st} からデジタル計数されるカウント値 (1 カウントが、例えば $0.3 \mu m$ に対応) の 500 までを表し、X アドレス値は、移動量 CX_2 の 10 カウント分で 1 番地分だけインクリメントされるものとする。Y シフト変更点 XS_0 、 XS_1 、 XS_2 は、描画開始直前にアライメント顕微鏡 AM11 ~ AM14 によって検出されるアライメントマーク MK1 ~ MK4 の位置情報に基づいて、描画コントロール部 100 によって計算された露光領域 W (下地パターン) の変形に対応するための位置シフトの変更点である。シフトレート YS_0 、 YS_1 、 YS_2 は、相前後する 2 カ所の Y シフト変更点 XS_n 、 XS_{n+1} の各々での位置シフト量の間を線形近似した位置シフトの変化率 (傾き) 0、1、2 を表す。

【 0120 】

図 16 において、描画開始位置 W_{st} (時刻 $T \times 0$ 、位置 X_0) では、露光領域 W の Y 位置が設計上の初期位置 (0) から Y 方向に $-YS_0$ だけずれていたものとする。初期位置 (0) は、遅延時間生成部 100A が、原点信号 SZ_1 のパルスの発生から初期遅延時間 T_{d0} 後に信号 SE_1 を H レベルに遷移したときに、基板 P 上に設定される主走査方向の描画開始点である。基板 P の副走査方向 (X 方向) の移動に伴って、アライメント顕微鏡 AM11 ~ AM14 とエンコーダ EN1 とが協働してアライメントマーク MK1、MK4 の位置検出を逐次実行する。描画コントロール部 100 は、検出された複数のアライメントマーク MK1、MK4 の検出位置に基づいて位置シフト量の計算を実行する。描画コントロール部 100 が、位置 X_1 で露光領域 W の Y 方向の位置シフトの傾向が変化していると判断すると、位置 X_1 (時刻 $T \times 1$) での初期位置 (0) からの位置シフト量 $+YS_1$ と、描画開始位置 W_{st} である位置 X_0 (時刻 $T \times 0$) での初期位置 (0) からの位置シフト量 $-YS_0$ との差分値を分子とし、位置 X_0 から位置 X_1 までの移動量 CX_2 (CX_1) のカウント値を分母としたシフトレート YS_0 (变化率 0) を算出する。

【 0121 】

先の図 3 に示したように、アライメント顕微鏡 AM11、AM14 の各検出領域 $Vw1$ 1、 $Vw14$ の位置から、描画ライン SL_1 、 SL_3 、 SL_5 の位置までの間には、基板 P の移動方向に関して複数のアライメントマーク MK1、MK4 が形成されている。図 3 の場合、露光領域 W 内の描画すべき位置が描画ライン SL_1 、 SL_3 、 SL_5 に達する前に、アライメント顕微鏡 AM11、AM14 は、それぞれ X 方向に間隔 Dh で設けられた 3 ケ所または 4 ケ所のアライメントマーク MK1、MK4 の各位置を検出することができる。したがって、それらの複数のアライメントマーク MK1、MK4 の位置検出結果により、露光領域 W の Y 方向の位置シフト量や位置シフトの変化率を、パターン描画の手前で求めることができる。

【 0122 】

以下、同様にして、基板 P の移動に伴って複数のアライメントマーク MK1、MK4 の各々を逐次検出して、次の位置 X_2 (時刻 $T \times 2$) で露光領域 W の Y 方向の位置シフトの傾向が再び変化していると判断されると、位置 X_2 での初期位置 (0) からの位置シフト量 $+YS_2$ と、直前の変化点である位置 X_1 (時刻 $T \times 1$) での位置シフト量 $+YS_1$ と

10

20

30

40

50

の差分値を分子とし、位置 X 1 から位置 X 2 までの移動量 C X 2 (C X 1) のカウント値を分母としたシフトレート Y S 1 (变化率 1) を算出する。このようにして、露光領域 W の Y 方向の位置シフト量の变化を、副走査方向 (X 方向) の基板 P の移動量 C X 2 (C X 1) に対応させて近似して逐次求める。位置 X 0 、 X 1 、 X 2 の各々での位置シフト量 - Y S 0 、 + Y S 1 、 + Y S 2 が求まり、シフトレート Y S 0 、 Y S 1 ・・・ が求まると、描画コントロール部 100 は、描画開始位置 W s t で位置シフト量 - Y S 0 に対応した遅延時間 T s s 0 の値と、シフトレート Y S 0 を遅延時間生成部 100 A に設定する。遅延時間生成部 100 A は、描画ライン S L 1 (S L 3 、 S L 5) と基板 P 上の描画開始位置 W s t とが一致した時点から、図 16 の場合は、遅延時間 T s s を初期値である T s s 0 からシフトレート Y S 0 にしたがって、逐次、増加させていく。そして、基板 P が位置 X 1 まで移動したら、描画コントロール部 100 は、位置 X 1 での位置シフト量 + Y S 1 に対応した遅延時間 T s s 1 の値を初期値として、シフトレート Y S 1 を遅延時間生成部 100 A に設定する。これにより、基板 P 上に位置 X 0 から露光されるパターンは、露光領域 W の Y 方向の位置シフトの傾向に倣うように原点信号 S Z n に応答した描画開始タイミングに逐次補正されて描画される。

【 0123 】

以上のように、露光領域 W の主走査方向に関する位置シフトの傾向に応じて、副走査方向に画素単位 (またはスポット光 S P による 1 回の走査単位) で描画ライン S L n 全体を Y 方向に高い分解能 (例えば、画素寸法の 1 / 2 程度) でシフトさせることができ、露光領域 W の全面で重ね合せ精度を大幅に向上させることができる。

【 0124 】

〔 变形例 1 〕 以上のような露光領域 W の Y 方向の位置シフトの他に、露光領域 W の副走査方向の位置に応じて、露光領域 W の幅方向 (主走査方向) の寸法が十数 p p m ~ 数百 p p m の範囲で伸縮変化している場合もある。そのような露光領域 W の主走査方向に関する伸縮の傾向も、アライメント顕微鏡 A M 1 1 、 A M 1 4 によるアライメントマーク M K 1 ~ M K 4 の位置検出によって推定できる。露光領域 W の主走査方向の伸縮に対する描画倍率補正は、図 6 や図 7 で説明したように、各描画ライン S L n で描画されるパターンの主走査方向の寸法が微調整されるように、描画コントロール部 100 から光源装置 L S に対して描画倍率補正のための情報 T M g 、 C M g を送ることで実行される。

【 0125 】

情報 T M g 、 C M g として光源装置 L S に設定される値を、基板 P の移動量 C X 2 に対応付けて逐次変えることで、露光領域 W の幅方向の寸法が長尺方向に関して非線形に変化しているような場合であっても、露光領域 W 内の全面で高い重ね合せ精度が得られる。さらに、先に説明した露光領域 W の副走査方向の伸縮変化に対する描画倍率補正と、露光領域 W の Y 方向の位置シフトに対する描画位置補正と、露光領域 W の幅方向の伸縮に対する描画倍率補正とのうちの少なくとも 2 つの補正を並行して実行することによって、露光領域 W 全体の非線形な変形に対しても、良好な重ね合せ精度でパターンを描画することができる。

【 0126 】

〔 变形例 2 〕 第 1 の実施の形態と第 2 の実施の形態では、光源装置 L S からのビーム L B の発振周波数 F a とスポット光 S P の走査速度 V s とが、スポット光 S P の基板 P 上でのサイズ の 1 / 2 で主走査方向にオーバーラップするように設定し、画素単位がスポット光 S P の 2 つのスポットで描画されるように設定する。そして、さらに、描画倍率の補正の際には、特定の画素に対応する補正点で、主走査方向に連続する 2 つのスポット光 S P の間隔がごく僅かに伸縮するように、クロック信号 L T C のクロックパルスの周期を伸縮させた。しかしながら、光源装置 L S からのビーム L B の発振周波数 F a を高め、画素単位を多数のスポット光 S P (パルス光) で描画するように制御し、描画倍率を補正するための補正点に位置する画素に対しては、スポット光 S P のパルス数を増減させるようにしてもよい。例えば、第 1 の実施の形態の光源装置 L S からのビーム L B を、 100 M H z の 4 倍の 400 M H z で発振させ、描画倍率のための補正点以外に位置する画素 (通常 50

画素)に対して、主走査方向に関して1画素当たり8パルスのスポット光SPで描画し、補正点に位置する画素(補正画素)については、主走査方向に関して、縮小の場合は7パルス、拡大の場合は9パルスのスポット光SPで描画する。この場合、ビームLBをパルス発振させるクロック信号LTCは、周期を部分的に微調整することなく一定周期(400MHzの場合、周期は2.5nS)のままでよい。

【0127】

このように、1画素当たりのスポット光SPのパルス数を調整する主走査方向の描画倍率補正の場合、描画データ記憶部108に記憶された画像データ(画素データ列)のアクセスは、通常画素に関してはクロック信号LTCのクロックパルスを8カウントしたらメモリのYアドレス値を1つだけインクリメントし、補正画素に関してはクロック信号LTCのクロックパルスを7カウントまたは9カウントしたらメモリのYアドレス値を1だけインクリメントするだけよい。このように、主走査方向に関して1画素当たりを標準で8パルスのスポット光SPで描画し、設計上の画素寸法P×yが3μm角の場合、通常画素は3μm角で描画され、補正画素は縮小時に主走査方向に関して約2.63μm(7/8×3μm)、拡大時に主走査方向に関して約3.38μm(9/8×3μm)で描画される。

【0128】

〔変形例3〕第1の実施の形態、第2の実施の形態では、いずれも、基板P上に投射されるスポット光SPをポリゴンミラーPMによって1次元走査する直描方式のマスクレス露光機を例示したが、例えば、特開2008-182115号公報に開示されているように、デジタルマイクロミラーデバイス(DMD)とマイクロレンズアレイとを用いて、パターンを描画するマスクレス露光機であってもよい。その場合、基板Pを副走査方向に精密に移動させる機構と、その移動量を画素寸法以下の分解能で計測するエンコーダや測長用干渉計等の計測システムとを備えていれば、第1の実施の形態で説明した副走査方向に関する描画倍率補正や第2の実施の形態で説明した主走査方向に関する描画位置のシフト補正を同様に実施することができる。DMDとマイクロレンズアレイとを含む露光ヘッド部を備えたマスクレス露光機の場合、DMDの多数の微小可動ミラーの各々で偏向される光ビームをマイクロレンズアレイの対応するレンズの各々に入射させるか否かを、描画データに基づいて高速に切換えることによって、基板P上に2次元的に分布する多数のスポット光SPの強度を変調(オン/オフ)しつつ、基板Pを副走査方向に移動させてパターンを描画している。なお、第1の実施の形態、第2の実施の形態や各変形例1~3では、基板Pが副走査方向に移動するものとしたが、露光ヘッド側(走査ユニットU_nの全体)を一定の距離に渡って副走査方向に所定速度で移動させてもよい。

【0129】

〔変形例4〕第1の実施の形態、第2の実施の形態では、図6に示したように、エンコーダカウンタ部106によって計数される回転ドラムDRの回転角度位置、すなわち基板Pの長尺方向の移動位置(或いは移動量)に基づいて、描画データ記憶部108に記憶されている走査ユニットU1~U6の各々に対応した描画データのアドレス値を、スポット光SPの走査のたびに指定して、データ読み出しを行い、描画ラインSL1~SL6の各々でパターン描画を行うようにした。しかしながら、先に説明したように、エンコーダカウンタ部106に設けられ、エンコーダENja(EN1a~EN4a)、ENjb(EN1b~EN4b)の各々からの2相信号を計数する各カウンタ回路は、Z相マークZZによってゼロリセットされる。そのため、描画データ記憶部108に記憶されている描画データのアドレス値をエンコーダカウンタ部106で計数された計数値(カウント値)によって直接生成すると、ゼロリセット時にアドレス値に大きな飛びが発生することがある。それを避ける為には、図3に示した基板P上の1つの露光領域Wに対して、走査ユニットU1~U6の各々が描画動作している間は、アドレス値がゼロリセットによって飛ばないように、例えば、描画コントロール部100内のマイクロプロセッサ(CPU)ユニットによるプログラム処理によって逐次監視し、ゼロリセットされる直前のカウンタ部106内のカウンタ回路の計数値をオフセット値としてラッチし、ゼロリセット後は、カウン

タ部 106 内のカウンタ回路で計数されるカウント値に、ラッチしたオフセット値を加算した値に基づいて、描画データ記憶部 108 に記憶されている描画データのアドレス値を生成すればよい。

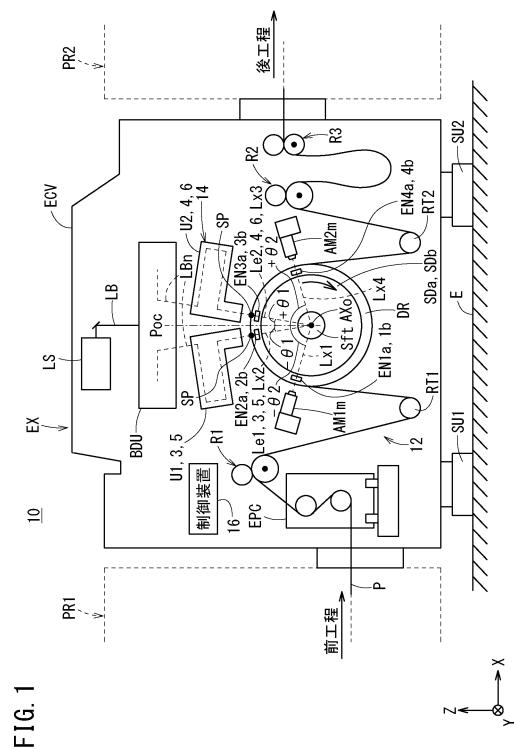
【 0130 】

その場合、描画コントロール部 100 内のマイクロプロセッサ (CPU) ユニットには、ラッチされたオフセット値と、その後にエンコーダカウンタ部 106 から送られてくるカウント値とを逐次加算して、描画データ記憶部 108 内のメモリの描画すべき描画データにアクセスする為のアドレスカウンタ (レジスタ) が設けられる。このアドレスカウンタは、結果的に、エンコーダスケール部 SDa (SDb) の Z 相マーク ZZ によってゼロリセットされないカウンタ回路として機能し、エンコーダカウンタ部 106 内の各カウンタ回路がゼロリセットされても、生成されるアドレス値の連續性を保つことができる。10

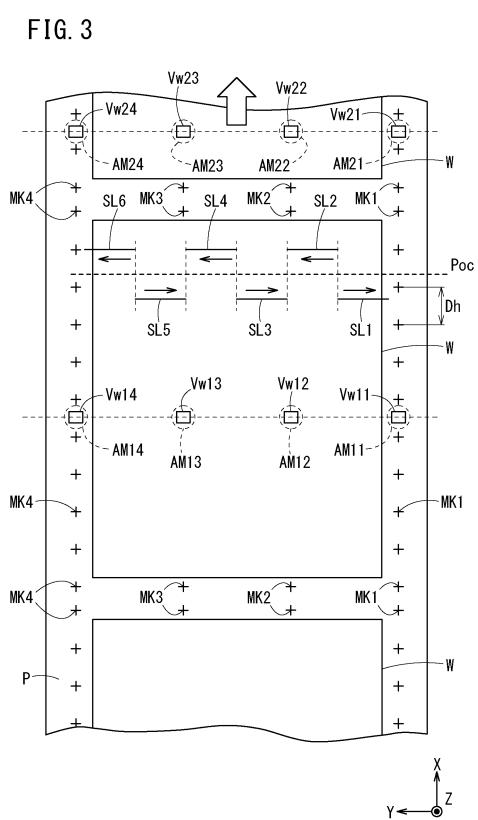
【 0131 】

ただし、描画コントロール部 100 内のマイクロプロセッサ (CPU) ユニットは、常にエンコーダカウンタ部 106 内の各カウンタ回路のゼロリセットの発生を監視し、ゼロリセット時にオフセット値をラッチし、エンコーダカウンタ部 106 からのカウント値とオフセット値との加算演算等を割込み処理で行うことになり、それらの一連の処理が割込み発生のタイミングによっては遅れたりする場合もある。そこで、エンコーダカウンタ部 106 内の各カウンタ回路と同等の構成で、Z 相マーク ZZ によってはリセットされない第 2 のカウンタ回路 (描画データ記憶部 108 内のメモリの為のアドレスカウンタとして機能する) を別に設ける。この第 2 のカウンタ回路は、回転ドラム DR の 1 周分以上、望ましくは数周分以上に渡って、スケール部 SDa (SDb) の格子目盛を計数するだけの桁数 (ビット数) を有する。第 2 のカウンタ回路 (複数) は、それぞれエンコーダ ENja (EN1a ~ EN4a)、ENjb (EN1b ~ EN4b) の各々からの 2 相信号を計数するが、計数値のリセットは、各走査ユニット U1 ~ U6 が基板 P 上の露光領域 W の長尺方向に関する描画開始点の位置で、例えば原点信号 SZn (SZ1 ~ SZ6) に応答して一度行われる。その際のリセット値は、例えば露光領域 W 内に描画されるパターンの描画データが記憶されるメモリの先頭アドレス値に対応したものにする。このように、第 2 のカウンタ回路 (複数) を設けることによって、描画コントロール部 100 内のマイクロプロセッサ (CPU) ユニットは、エンコーダカウンタ部 106 内の各カウンタ回路のゼロリセットに応答した割込み処理を行う必要が無くなり、描画データ記憶部 108 内のメモリからの描画データの読み出しが時間的にも連続して飛ぶことなく可能となる。なお、第 2 のカウンタ回路 (複数) は、各走査ユニット U1 ~ U6 の各々に対応して 6 つ設け、それぞれの第 2 のカウンタ回路が、対応する走査ユニット U1 ~ U6 からの原点信号 SZ1 ~ SZ6 のパルスを、露光領域 W の長尺方向に関する描画開始時点から計数して、描画データ記憶部 108 内のメモリの為のアドレス値を生成する構成にしてもよい。2030

【 図 1 】

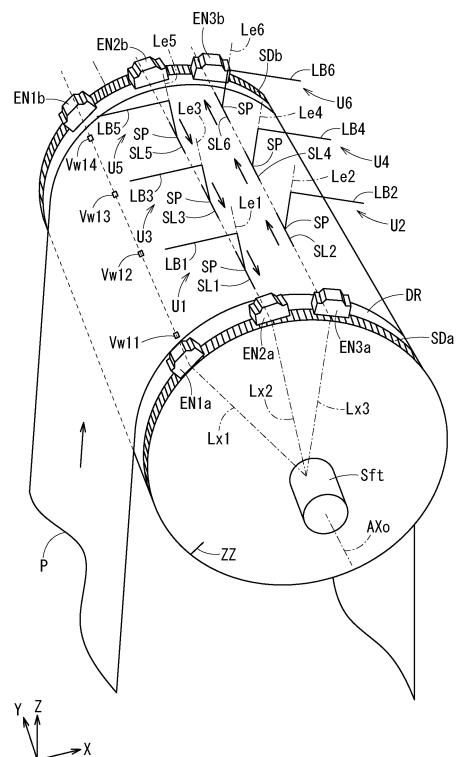


【 3 】



【 四 2 】

FIG. 2



【 义 4 】

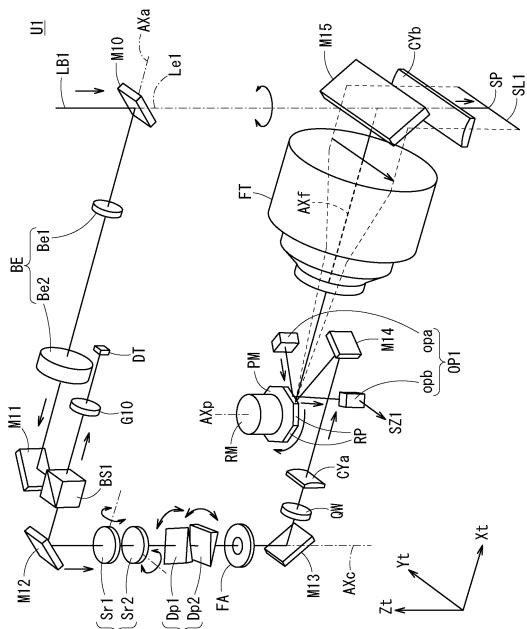
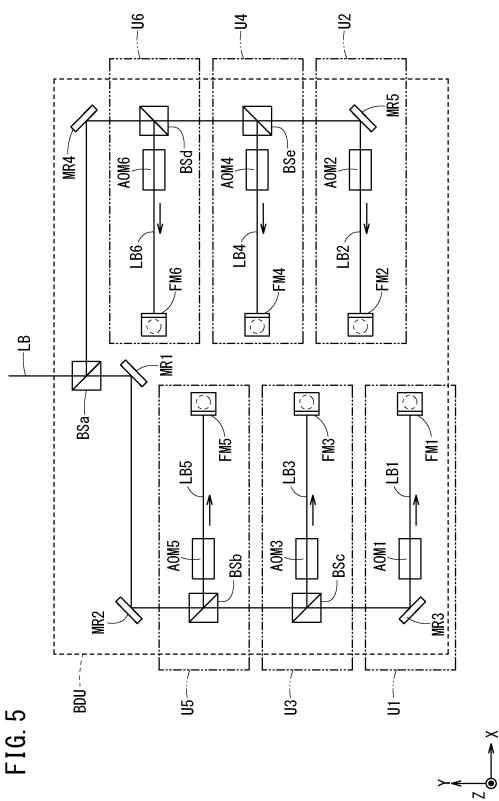
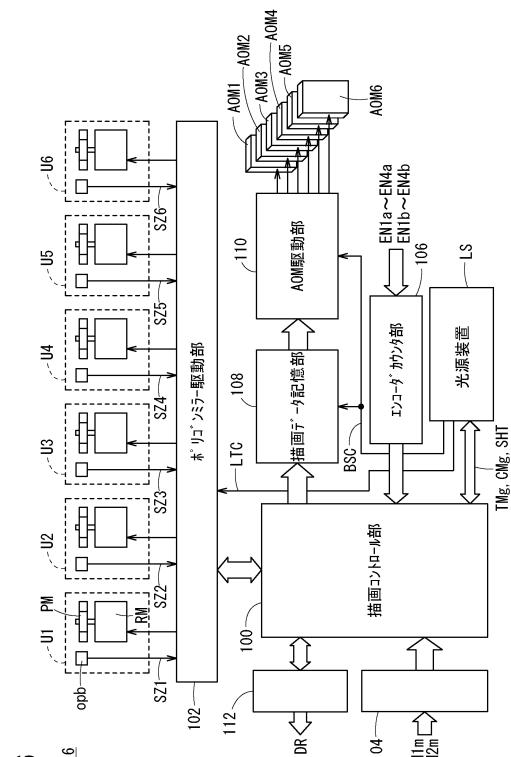


FIG. 4

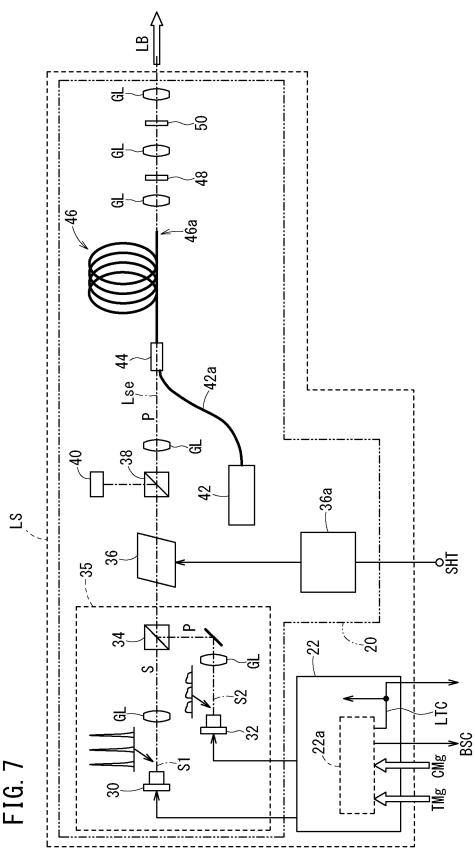
【図5】



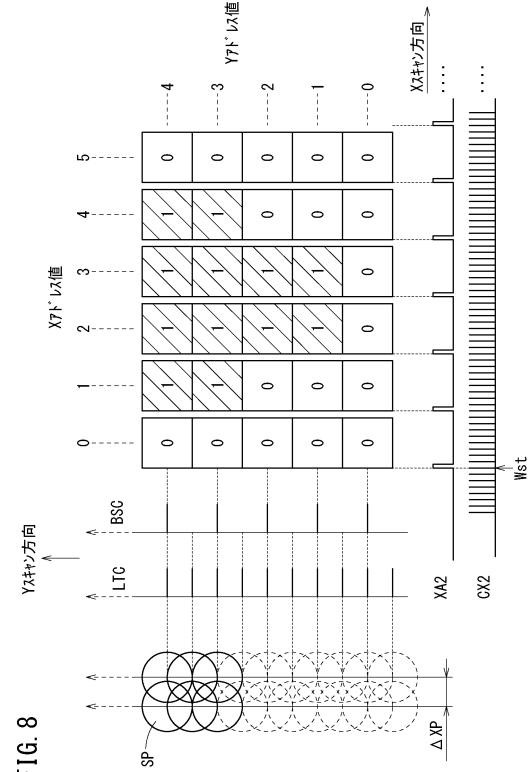
【図6】



【図7】



【図8】



【図9】

FIG. 9A

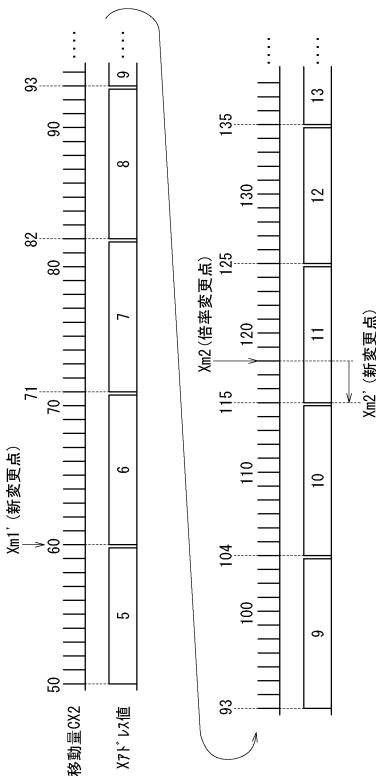
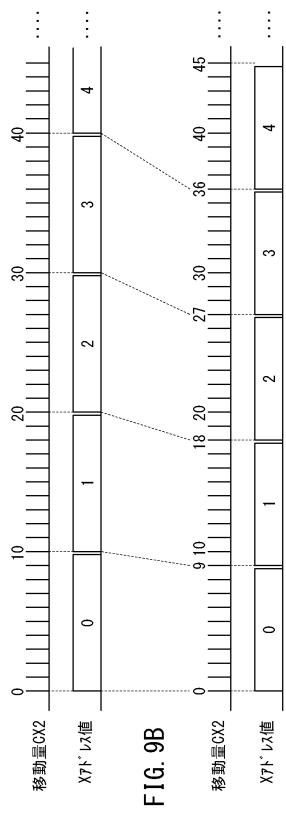
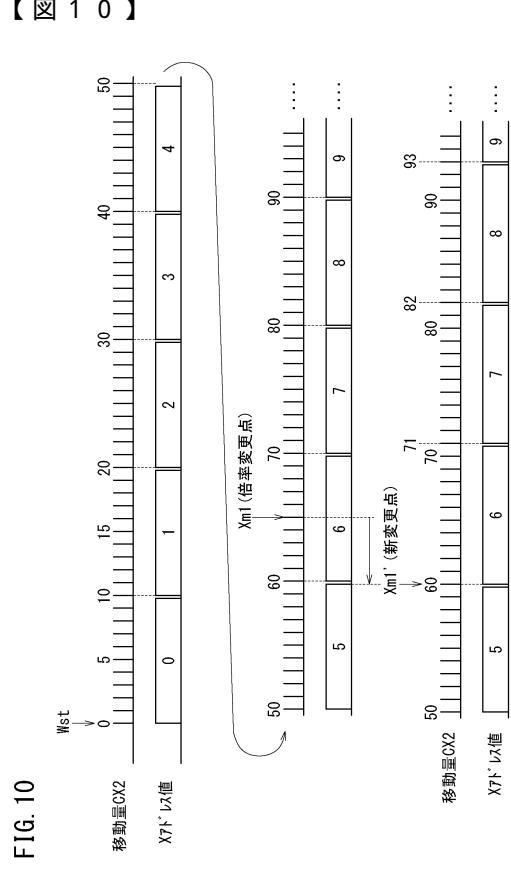


FIG. 9B



【図11】

FIG. 10



【図10】

FIG. 12

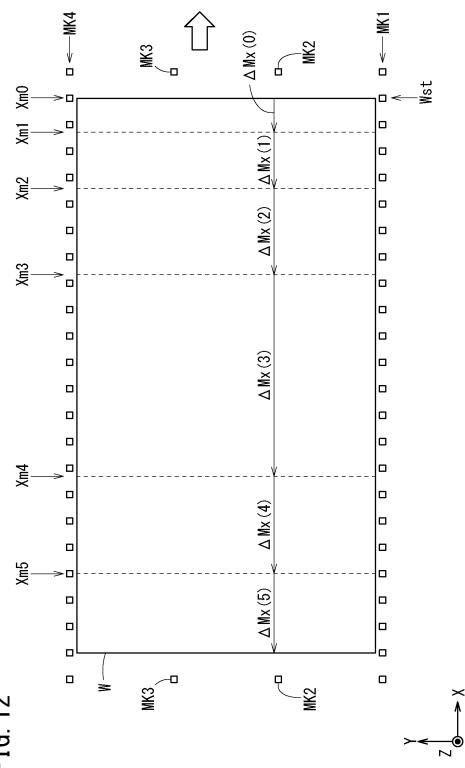


FIG. 12

【図12】

【図 1 3】

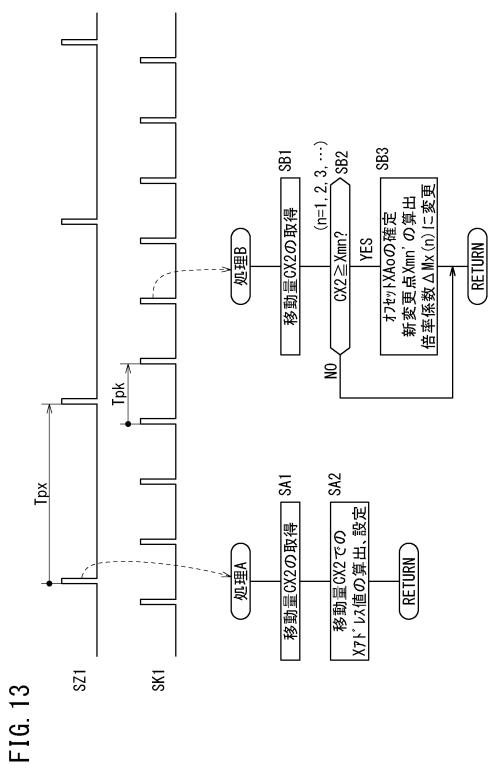


FIG. 13

【図 1 4】

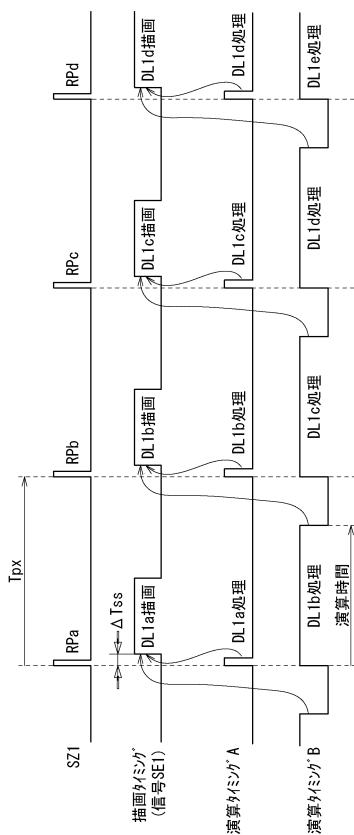


FIG. 14

【図 1 5】

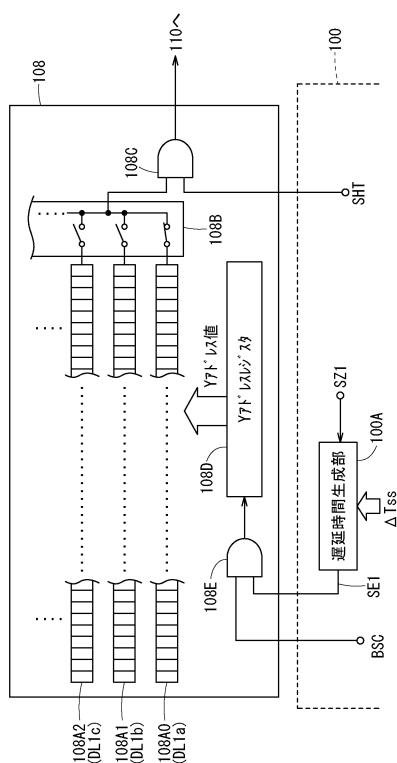


FIG. 15

【図 1 6】

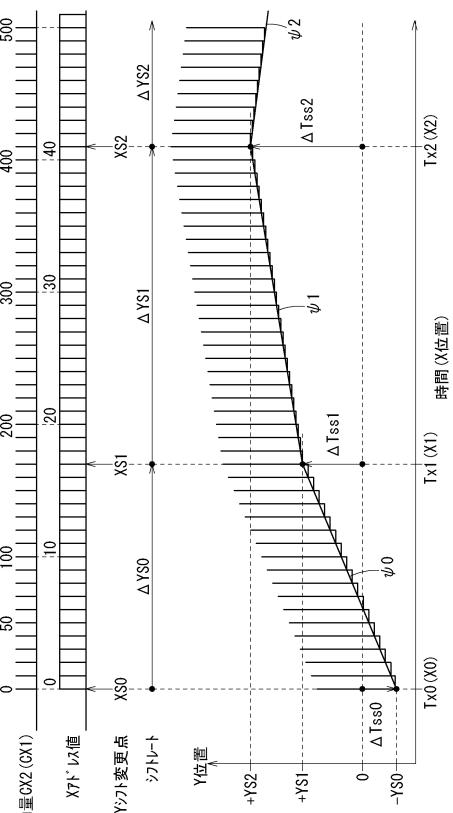


FIG. 16

フロントページの続き

(72)発明者 倉重 貴広
東京都港区港南二丁目15番3号 株式会社ニコン内
(72)発明者 渡辺 智行
東京都港区港南二丁目15番3号 株式会社ニコン内
(72)発明者 加藤 正紀
東京都港区港南二丁目15番3号 株式会社ニコン内

審査官 長谷 潮

(56)参考文献 特開2004-272167(JP, A)
国際公開第2015/152217(WO, A1)
特開2015-145990(JP, A)
特開2015-219244(JP, A)
特開2015-210437(JP, A)
特開2013-200463(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 03 F 7 / 20 - 7 / 24