

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5587954号  
(P5587954)

(45) 発行日 平成26年9月10日(2014.9.10)

(24) 登録日 平成26年8月1日(2014.8.1)

(51) Int.Cl. F I  
 HO 1 L 21/027 (2006.01) HO 1 L 21/30 5 2 9  
 GO 3 F 7/20 (2006.01) GO 3 F 7/20 5 0 5

請求項の数 7 外国語出願 (全 40 頁)

(21) 出願番号	特願2012-220149 (P2012-220149)	(73) 特許権者	504151804
(22) 出願日	平成24年10月2日(2012.10.2)		エーエスエムエル ネザーランズ ビー、 ブイ、 オランダ国 ヴェルトホーフエン 550 4 ディー アール、デ ラン 6501
(62) 分割の表示	特願2009-174603 (P2009-174603) の分割	(74) 代理人	100105924 弁理士 森下 賢樹
原出願日	平成18年3月29日(2006.3.29)	(72) 発明者	パトリシウス アロイシウス ヤコブス ティンネマンス オランダ国、ハペルト、ヘト ロンセル 28
(65) 公開番号	特開2013-48258 (P2013-48258A)	(72) 発明者	ヨハネス ヤコブス マテウス パーゼル マンズ オランダ国、オイルショット、デ クルイ ク 1
(43) 公開日	平成25年3月7日(2013.3.7)		
審査請求日	平成24年10月2日(2012.10.2)		
(31) 優先権主張番号	11/093, 259		
(32) 優先日	平成17年3月30日(2005.3.30)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 データフィルタ処理を利用したリソグラフィ装置及びデバイス製造法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

リソグラフィ装置であって、  
放射線のビームを変調するパターン形成装置と、  
放射線の前記変調されたビームを基板上に投影する投影システムと、  
前記パターン形成装置を制御する制御信号を生成するデータ操作装置と、  
前記パターン形成装置により生成される線量パターンの限界寸法を制御するCDバイアス・フィルタであって、前記データ操作装置に入力される要求された線量マップ・データに対し演算を実行するCDバイアス・フィルタとを備えるリソグラフィ装置。

【請求項 2】

前記CDバイアス・フィルタは、前記線量パターンの少なくとも一部の拡大率を、前記線量パターンの他の部分に関して前記一部の位置を調整せずに、調整する請求項1に記載のリソグラフィ装置。

【請求項 3】

前記CDバイアス・フィルタは、前記線量パターンの複数の領域の前記限界寸法を独立に調整する請求項1に記載のリソグラフィ装置。

【請求項 4】

前記CDバイアス・フィルタは、前記線量パターンの平面内の第1の軸に平行な限界寸法を、前記線量パターンの前記平面内の第2の非平行軸に平行な前記限界寸法に無関係に調整する請求項1に記載のリソグラフィ装置。

## 【請求項5】

リソグラフィ装置であって、

基板上に放射線のビームを放射線のサブビームのアレイとして投影する投影システムと

、  
放射線の前記サブビームを変調し、前記基板上に要求された線量パターンを実質的に生成し、前記線量パターンはスポット露光のアレイから構成され、前記スポット露光はそれぞれ特定の時間に放射線の前記サブビームのうちの一つにより生成され、放射線の与えられたサブビームの放射線強度は、パターン形成装置の対応する部分の活性化状態に応じて制御される、パターン形成装置と、

ラスト化された要求された線量パターンを表すデータを含む信号を前記パターン形成装置の活性化状態を表す制御信号に変換して前記要求された線量パターンを生成し、前記変換は前記投影システムのコンポーネント又は前記パターン形成装置のコンポーネントのうち少なくとも一つにより引き起こされる強度バラツキを補正する、データ操作装置とを備え、

前記データ操作装置は、

前記パターン形成装置の特定の部分により生成される前記ラスト化された要求された線量パターンをその部分に対する活性化状態に変換する乗算器と、

前記その部分に対する活性化状態を生成する制御電圧を選択するためのルックアップ・テーブルを格納するメモリ・デバイスとを備え、

前記データ操作装置は、前記乗算器の利得特性を操作することにより、前記強度バラツキを補正するリソグラフィ装置。

## 【請求項6】

デバイス製造方法であって、

放射線のビームを変調することと、

放射線の前記変調されたビームを基板上に投影することと、

前記放射線のビームの変調を制御する制御信号を生成することと、

前記変調により生成される線量パターンの限界寸法を制御するために、前記制御信号の生成のために使用される要求された線量マップ・データをCDパイアス・フィルタ処理することを含むデバイス製造方法。

## 【請求項7】

デバイス製造方法であって、

放射線のビームを調整することと、

基板上に放射線の前記ビームを放射線のサブビームのアレイとして投影することと、

前記基板上に要求された線量パターンを実質的に形成するために放射線の前記サブビームを変調することであって、前記線量パターンはスポット露光のアレイから構成され、それぞれの前記スポット露光は特定の時間に放射線の前記サブビームの一つにより生成される、変調することと、

前記変調を実行するパターン形成装置の対応する部分の活性化状態に応じて放射線の前記サブビームのうちの一つの放射線強度を制御することと、

ラスト化された要求された線量パターンを表すデータを含む信号を、前記パターン形成装置の活性化状態を表す制御信号に変換して前記要求された線量パターンを実質的に生成することと、

投影システムのコンポーネント又は前記パターン形成装置のコンポーネントのうち少なくとも一つにより引き起こされる強度のバラツキを補正するように変換工程を修正することを含む、

前記変換工程は、

前記パターン形成装置の特定の部分により生成される前記ラスト化された要求された線量パターンをその部分に対する活性化状態に変換するための乗算を実行することと、

メモリ・デバイスに格納されるルックアップ・テーブルにアクセスして前記その部分に対する活性化状態を生成する制御電圧を選択することとを含む、

10

20

30

40

50

前記変換工程を修正することは、前記乗算の利得特性の操作により、前記強度のバラツキを補正することを含むデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、リソグラフィ装置、及びデバイスを製造するための方法に関する。

【背景技術】

【0002】

リソグラフィ装置は、所望のパターンを基板、通常は基板の目標部分に付ける機械である。リソグラフィ装置は、例えば、フラット・パネル・ディスプレイ、集積回路（IC）、微小電気機械システム（MEMS）、及び微細構造を伴うその他のデバイスの製造で使用することができる。従来の装置では、マスク又はレチクルと呼ぶこともできる、コントラスト（造影）装置又はパターン形成装置を使用して、フラット・パネル・ディスプレイ又は他のデバイスの個々の層に対応する回路パターンを生成することができる。このパターンは、基板（例えば、ガラス板）上の目標部分（例えば、1つ又は複数のダイの一部を含む）上に転写することができる。パターンは、通常、基板上に用意された放射線感光材料（例えば、レジスト）の層への結像を介して転写される。

10

【0003】

回路パターンの代わりに、パターン形成装置を使用して、他のパターン、例えば、カラー・フィルタ・パターン又はドットのマトリクスを生成することができる。マスクの代わりに、パターン形成装置は、個別に制御可能な要素からなるアレイを含むパターン形成アレイを含むことができる。マスクベースのシステムに比べて、パターンをより高速に変更することができる、しかもコストが低い。

20

【0004】

一般に、フラット・パネル・ディスプレイ基板の形状は長方形である。このタイプの基板を露光するように設計されている既知のリソグラフィ装置は、通常、長方形基板の全幅を覆う、又は幅の一部（例えば、幅の約半分）を覆う、露光領域を備える。基板は、露光領域の下でスキャンされるが、マスク又はレチクルはビームを通して同期スキャンされる。この方法で、パターンは、基板に転写される。露光領域が基板の幅全体を覆う場合、露光は単一スキャンで完了する。露光領域が、例えば、基板の幅の半分を覆う場合、基板は、最初のスキャンの後、横方向に移動され、第2のスキャンが実行され、基板の残り部分を露光する。

30

【0005】

他の結像法としては、ピクセル格子結像法があり、これは、連続するスポット露光によりパターンを実現する。

【0006】

基板上のパターンが局在露光又は「スポット露光」の格子から構成される場合、特定の点に形成されるパターンの品質はスポット露光格子位置に相対的に配置される場所に依存しうることがわかる。さらに、パターン品質のバラツキが、格子を定める軸に相対的なパターン内の特徴の角度に関して存在することがわかる。こうしたバラツキのいずれか、又は両方が、製造されるデバイスの品質に対し負の影響を及ぼす可能性がある。

40

【0007】

パターンの像対数勾配は、露光された基板の処理の後に形成されるフィーチャのレジスト側壁角度を決定する。像対数勾配が緩いということは、側壁角度が緩いことを意味し、これは、例えば、フラット・パネル・ディスプレイの広視野角を得るために使用したり、オーバーレイ誤差の結果を低減することができる。像対数勾配及び側壁角度が急であるほど、大きなコントラストが得られる。最大像対数勾配は、格子内のスポット露光の点広がり関数により、格子の幾何学的特性に基づいて決定される。したがって、一般に、像対数勾配は、対応するハードウェア要素が仕上げられると、固定される。しかし、適用例の性質に応じて像対数勾配を変化させることが望ましいと考えられる。

50

## 【0008】

限界寸法（CD）は、印刷可能な最小の特徴のサイズを指す。線量パターンのCDは、露光に先立ってきわめて正確に定めることができるが、露光後処理の後のパターンのCD特性を予測することは比較的困難である。しばしば、顧客の要件に従って処理済みパターンを最適化するため処理済み基板の検査の後にCDに手を加えることが望ましい。これを行う1つの方法は、放射源の強度を変化させることである。放射源の強度が大きいほど、その結果得られるパターンの広がりも大きい（通常は、CDが増大する）。しかし、このようにしてCDにバイアスをかけることは、一様に、また基板表面上に円対称的な形で適用することしかできない。

## 【0009】

最良焦点面に相対的な基板表面の位置のバラツキのせいで、基板上に形成される像の品質が劣化する。最良焦点面近くに基板を保持するために、基板テーブル及び/若しくは投影システムの平行移動並びに/又は傾斜を行う複雑なサーボ及び制御システムを備えることができるが、完全な補正を行うことは困難である。残余焦点誤差が残る傾向がある。

## 【0010】

個々に制御可能な要素のアレイがパターン形成装置として使用される場合、何らかの形態の変換ツールは、要求されたスポット露光線量を適切なきにアレイの対応する要素を作動させるのに適している電圧に変換する。例えば、個々に制御可能な要素のアレイがミラー・アレイを含む場合、電圧は、個々のミラー又はミラーのグループが傾斜し、投影システムを通じて入射放射線の適切な部分を偏向するように選択される。偏向された放射線の割合と電圧/傾斜角との関係は、複雑になりうる（例えば、非線形）。個別に制御可能な要素からなるアレイに入射した放射線の強度/一様性に影響するファクタ及び投影システムコンポーネントの光特性のバラツキ（例えば、異なる光柱の間のバラツキ）も、基板に到達する放射線の強度に影響を及ぼし、それにより、形成されるパターンの品質を落とす可能性がある。

## 【0011】

個別に制御可能な要素からなるアレイがパターン形成装置として使用される場合、ゴースト光（つまり、放射線の特定のサブビームに寄与するはずである要素以外の要素から発せられる光）により、基板上に形成されるパターンに誤差が生じうる。

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0012】

したがって、必要なのは、マスクレス・リソグラフィをより効率的に、効果的に実行するシステム及び方法である。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0013】

本発明の一実施例によれば、投影システム、パターン形成装置、ローパス・フィルタ、及びデータ操作装置を含むリソグラフィ装置が実現される。投影システムは、基板上に放射線のビームを放射線のサブビームのアレイとして投影する。パターン形成装置は、放射線のサブビームを変調し、基板上に要求された線量パターンを実質的に生成する。線量パターンは、少なくとも隣接するスポット露光同士が互いに関して非コヒーレントに結像され、それぞれのスポット露光が特定の時間に放射線のサブビームのうちの1本により生成されるスポット露光のアレイから構成される。ローパス・フィルタは、要求された線量パターンから誘導されたパターン・データに対し演算を実行するように配列され、それにより、選択された閾値周波数よりも下の空間周波数成分のみを主に含む周波数クリッピングされた目標線量パターンを形成する。データ操作装置は、周波数クリッピング目標線量パターンへのスポット露光強度の直接代数的最小二乗当てはめに基づいて、パターン形成装置により生成されるスポット露光強度を含む制御信号を発生する。

## 【0014】

本発明の一実施例によれば、投影システム、パターン形成装置、データ操作装置、及び

10

20

30

40

50

ローパス・フィルタを含むリソグラフィ装置が実現される。投影システムは、基板上に放射線のビームを放射線のサブビームのアレイとして投影する。パターン形成装置は、放射線のサブビームを変調し、基板上に要求された線量パターンを実質的に生成する。線量パターンは、少なくとも隣接するスポット露光同士が互いに関して非コヒーレントに結像され、それぞれのスポット露光が特定の時間に放射線のサブビームのうちの本により生成されるスポット露光のアレイから構成される。データ操作装置は、パターン形成装置により生成されるスポット露光強度を含む制御信号を発生する。制御信号は、要求された線量パターンから誘導されるデータへのスポット露光強度の直接代数的最小二乗当てはめに基づく。最小二乗当てはめは、点広がり関数行列の擬逆形式に、要求された線量パターンから誘導されるパターン・データを表す列ベクトルを乗じることにより実行され、この点広がり関数行列は所定の時間に放射線のサブビームのうち本により基板上に露光されるそれぞれのスポットの点広がり関数の形状及び相対的位置に関する情報を含む。ローパス・フィルタは、以下の演算により、最小二乗当てはめについて準備ができていて、点広がり関数行列の擬逆形式にオフラインで組み込まれている、選択された閾値周波数よりも上の信号の空間周波数成分を除去する。

【 0 0 1 5 】

【 数 1 】

$$[\mathbf{K}]^+_{\text{filtered}} = F_{\text{low-pass filter}} \otimes [\mathbf{K}]^+,$$

ただし、 $[\mathbf{K}]^+$  及び  $[\mathbf{K}]^+_{\text{filtered}}$  は、それぞれフィルタ処理の前後の点広がり関数行列の擬逆形式を表し、 $F_{\text{low-pass filter}}$  は、空間領域内のローパス・フィルタの数学的定義を表す。

【 0 0 1 6 】

本発明の一実施例によれば、投影システム、個別に制御可能な要素からなるアレイ、ラスタライザ装置、データ操作装置、及び焦点決定ユニットを含むリソグラフィ装置が実現される。投影システムは、基板上に放射線のビームを放射線のサブビームのアレイとして投影する。個別に制御可能な要素からなるアレイは、基板上に要求された線量パターンを実質的に形成するために放射線のサブビームを変調し、要求された線量パターンはスポット露光のアレイから時間の経過とともに構成され、それぞれのスポット露光は所定の時間に放射線のサブビームのうち本により生成される。ラスタライザ装置は、要求された線量パターンを定めるデータを、そのパターン内の対応する点列の要求された線量を表すデータ系列に変換する。データ操作装置は、そのデータ系列を受信して、そこから、個別に制御可能な要素からなるアレイを制御するのに好適な制御信号を発生する。焦点決定ユニットは、最良焦点面に関して基板の少なくとも一部の位置を測定する。データ操作装置は、最良焦点面に関して基板の少なくとも一部の測定された偏差に基づいて制御信号を適応させる焦点補正ユニットを備える。

【 0 0 1 7 】

本発明の一実施例によれば、パターン形成装置、投影システム、及びCDバイアス・フィルタを含むリソグラフィ装置が実現される。パターン形成装置は、放射線のビームを変調する。投影システムは、放射線の変調されたビームを基板上に投影する。CDバイアス・フィルタは、要求された線量パターンから誘導されたパターン・データに対し演算を実行し、それをパターン形成装置に供給し、パターン形成装置により生成される放射線線量パターンの限界寸法特性を制御する。

【 0 0 1 8 】

本発明の一実施例によれば、照明システム、投影システム、パターン形成装置、及びデータ操作装置を含むリソグラフィ装置が実現される。照明システムは、放射線のビームを

10

20

30

40

50

調整する。投影システムは、基板上に放射線のビームを放射線のサブビームのアレイとして投影する。パターン形成装置は、放射線のサブビームを変調し、基板上に要求された線量パターンを実質的に生成する。線量パターンは、スポット露光のアレイから構成され、それぞれのスポット露光は特定の時間に放射線のサブビームのうち1本により生成される。放射線の所定のサブビームの放射線強度は、パターン形成装置の対応する部分の活性化状態に応じて制御される。データ操作装置は、要求された線量パターンから誘導されたスポット露光放射線線量を含む信号を、要求された線量パターンを実質的に生成するパターン形成装置の活性化状態を表す制御信号に変換する。変換は、投影システムのコンポーネント（構成要素）、照明システムのコンポーネント、照明システムの放射線源、及びパターン形成装置のコンポーネントのうち少なくとも1つにより引き起こされる強度のバラツキを補正するように適応される。

10

## 【0019】

本発明の一実施例によれば、以下の工程を含むデバイス製造方法が実現される。基板上に放射線のビームを放射線のサブビームのアレイとして投影する投影システムを実現する工程。放射線のサブビームを変調し、基板上に要求された線量パターンを実質的に生成するパターン形成装置を実現する工程。線量パターンは、少なくとも隣接するスポット露光同士が互いに関して非コヒーレントに結像され、それぞれのスポット露光が特定の時間に放射線のサブビームのうち1本により生成されるスポット露光のアレイから構成される。ローパス・フィルタを使用して、要求された線量パターンから誘導されたパターン・データに対し演算を実行し、それにより、選択された閾値周波数よりも下の空間周波数成分のみを含む周波数クリッピングされた目標線量パターンを形成する工程。データ操作装置を使用し、周波数クリッピング目標線量パターンへのスポット露光強度の直接代数的最小二乗当てはめに基づいて、パターン形成装置により生成されるスポット露光強度を含む制御信号を発生する工程。

20

## 【0020】

本発明の一実施例によれば、以下の工程を含むデバイス製造方法が実現される。基板上に放射線のビームを放射線のサブビームのアレイとして投影する投影システムを実現する工程。放射線のサブビームを変調し、基板上に要求された線量パターンを実質的に生成するためのパターン形成装置を実現する工程。線量パターンは、少なくとも隣接するスポット露光同士が互いに関して非コヒーレントに結像され、それぞれのスポット露光が特定の時間に放射線のサブビームのうち1本により生成されるスポット露光のアレイから構成される。データ操作装置を使用し、要求された線量パターンから誘導されたデータへのスポット露光強度の直接代数的最小二乗当てはめに基づき、パターン形成装置により生成されるスポット露光強度を含む制御信号を発生し、最小二乗当てはめは、点広がり関数行列の擬逆形式に、要求された線量パターンから誘導されるパターン・データを表す列ベクトルを乗じることにより実行され、この点広がり関数行列は所定の時間に放射線のサブビームのうち1本により基板上に露光されるそれぞれのスポットの点広がり関数の形状及び相対的位置に関する情報を含む工程。ローパス・フィルタを使用し、 $[K]^+$ 及び $[K]^+_{\text{filtered}}$ はそれぞれフィルタ処理前後の点広がり関数行列擬逆形式を表し、 $F_{\text{low-pass filter}}$ は空間領域内のローパス・フィルタの数学的定義を表すものとして、以下の演算

30

40

## 【0021】

## 【数2】

$$[K]^+_{\text{filtered}} = F_{\text{low-pass filter}} \otimes [K]^+,$$

により、最小二乗当てはめについて準備ができている、点広がり関数行列の擬逆形式にオフラインで組み込まれている、選択された閾値周波数よりも上の信号の空間周波数成分を

50

除去する工程。

【0022】

本発明の一実施例によれば、以下の工程を含むデバイス製造方法がある。基板上に放射線のビームを放射線のサブビームのアレイとして投影する投影システムを実現する工程。放射線のサブビームを変調し、基板上に要求された線量パターンを実質的に生成する個別に制御可能な要素からなるアレイを実現する工程。要求された線量パターンは、時間の経過とともにスポット露光のアレイから構成され、それぞれのスポット露光は所定の時間に放射線のサブビームのうち1本により生成される。要求された線量パターンを定めるデータを、そのパターン内の対応する点列の要求された線量を表すデータ系列に変換するラスタライザ装置を実現する工程。データ操作装置を使用し、データ系列を受信して、そこから、個別に制御可能な要素からなるアレイを制御するのに好適な制御信号を発生する工程。焦点決定ユニットを使用して、最良焦点面に関して基板の少なくとも一部の位置を測定する工程。焦点補正ユニットを使用して、最良焦点面に関して基板の少なくとも一部の測定された偏差に基づいて制御信号を適応させる工程。

10

【0023】

本発明の一実施例によれば、以下の工程を含むデバイス製造方法が実現される。放射線のビームを変調するパターン形成装置を実現する工程。放射線の変調されたビームを基板上に投影する投影システムを実現する工程。CDバイアス・フィルタを使用して、要求された線量パターンから誘導されたパターン・データに対し演算を実行し、それをパターン形成装置に供給し、パターン形成装置により生成される放射線線量パターンの限界寸法特性を制御する工程。

20

【0024】

本発明の一実施例によれば、以下の工程を含むデバイス製造方法がある。放射線ビームを調整する照明システムを実現する工程。基板上に放射線のビームを放射線のサブビームのアレイとして投影する投影システムを実現する工程。放射線のサブビームを変調し、基板上に要求された線量パターンを実質的に生成するパターン形成装置を実現する工程。線量パターンは、スポット露光のアレイから構成され、それぞれのスポット露光は特定の時間に放射線のサブビームのうち1本により生成される。放射線の所定のサブビームの放射線強度は、パターン形成装置の対応する部分の活性化状態に応じて制御される。データ操作装置を使用して、要求された線量パターンから誘導されたスポット露光放射線線量を含む信号を、要求された線量パターンを実質的に生成するパターン形成装置の活性化状態を表す制御信号に変換する工程。投影システムのコンポーネント、照明システムのコンポーネント、照明システムの放射線源、及びパターン形成装置のコンポーネントのうち少なくとも1つにより引き起こされる強度のバラツキを補正するように変換を適応させる工程。

30

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】本発明の一実施例によるリソグラフィ装置を示す図である。

【図2】本発明の一実施例による、例えば、フラット・パネル・ディスプレイの製造で、使用できるリソグラフィ装置を示す図である。

40

【図3】本発明の一実施例により、リソグラフィ装置を使用してパターンを基板に転写するモードを示す図である。

【図4】本発明の一実施例による、例えば、フラット・パネル・ディスプレイを製造するために使用される、基板上にパターンを露光するための光学エンジンの配列を示す図である。

【図5】本発明の一実施例によるデータ操作装置を含むデータ経路を示す図である。

【図6】本発明の一実施例による、正方形のスポット露光格子の一部及び「最悪の場合の」位置を示す図である。

【図7】本発明の一実施例による、六角形のスポット露光格子の一部及び「最悪の場合の」位置を示す図である。

50

【図 8】本発明の一実施例による、「最悪の場合の」直線と「最良の場合の」位置を持つ正方形のスポット露光格子の一部を示す図である。

【図 9】本発明の一実施例による、「最悪の場合の」位置と「最良の場合の」位置を持つ六角形のスポット露光格子の一部を示す図である。

【図 10】本発明の一実施例により、六角形のスポット露光格子幾何形状を示し、「中間程度の場合の」位置を示す図である。

【図 11】本発明の一実施例による、ローパス及びシャープニング・コンビネーション・フィルタを示す図である。

【図 12】本発明の一実施例による、像対数勾配フィルタを示す図である。

【図 13】本発明の一実施例による、CD バイアス・フィルタを示す図である。

【図 14】本発明の一実施例による、データ経路を介したオンザフライ焦点補正に好適な装置を示す図である。

【図 15】本発明の一実施例により計算負荷を低減するためプリプロセッサを備える乗算段を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0026】

以下では、本発明の他の実施例、特徴、及び利点、さらに本発明のさまざまな実施例の構造及びオペレーションについて、付属の図面を参照しつつ詳しく説明する。

【0027】

本明細書に組み込まれ、本明細書の一部をなす付属の図面は、本発明の 1 つ又は複数の実施例を例示しており、その説明とともに、さらに、本発明の 1 つ又は複数の実施例の原理を説明し、当業者が本発明の 1 つ又は複数の実施例を制作し利用できるようにするために使用される。

【実施例】

【0028】

次に、付属の図面を参照しつつ、本発明について説明する。図面では、類似の参照番号は、同一又は機能的に類似の要素を示しうる。

【0029】

本発明の一実施例では、個別に制御可能な要素（例えば、コントラスト装置）のアレイのセクション内にブレイジング（高回折効率）部分を備える。ブレイジング部分内のすべての要素は、ブレイジング部分を形成する、同じ角度で位置決めされた個別に制御可能な要素を備える。一実施例では、これは、スーパーピクセルの使用を通じて実現できる。ブレイジング部分は、ビームがアレイにより変調された一次回折で光強度を上げるために使用される。これは、プラスの一次回折変調ビームが、実際に、典型的なプラスの一次回折変調ビームに比べて、強度がほぼ 2 倍に等しいか、2 倍を超える強度を持つように負の一次回折変調ビームを実質的になくすことにより実現される。例えば、 $\pi/4$  の先端偏向を使用する場合、入射光の実質的にすべてが一次回折で反射される。

【0030】

他の実施例では、一次回折の代わりに、より高い先端偏向により高次回折を使用することができる。例えば、すべての光は、 $\pi/2$  先端偏向の二次回折で集束される。すべての光は、 $\pi/4$  先端偏向の  $n$  倍に基づいて  $n$  次回折で集束されることは理解されるであろう。

【0031】

他の実施例では、注目する回折次数（投影部分内で使用される）でアレイ上に光を当てることにより垂直投影を行い、その場合、この光は、さらに、投影された光がコントラスト装置から垂直方向に出るようにアレイのブレイジング部分に当てることができる。

【0032】

そのため、一実施例では、ブレイジング部分を使用することにより、回折されたエネルギーの実質的にすべてを注目する次数（例えば、回折次数）で基板に向けて集束させることが可能である。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 3 】

他の実施例では、「部分コヒーレント結像」モードを使用することができ、その際に、個別に制御可能な要素からなるアレイが基板に結合されるが、スーパーピクセルは使用されない。

## 【 0 0 3 4 】

概要及び用語

「オブジェクト」、「基板」、「ワーク・ピース」などは、本出願では、入れ換えて使用することができ、また限定はしないが、ワーク・ピース、基板（例えば、フラット・パネル・ディスプレイ・ガラス基板）、ウェハ（例えば、集積回路製造用の半導体ウェハ）、印字ヘッド、マイクロ又はナノ流体デバイス、投写型ディスプレイ・システム内のディスプレイ・パネルなどとする事ができる。

10

## 【 0 0 3 5 】

本明細書で使用される用語「コントラスト装置」、「パターン形成装置」、「パターン形成アレイ」、又は「個別に制御可能な要素からなるアレイ」は、広い意味で、基板の目標部分（例えば、オブジェクト）にパターンを作成するためなど放射線ビームの断面を変調するために使用することができる任意の装置を参照するものとして解釈すべきである。放射線ビームに与えられるパターンは、例えば、位相シフト特徴又はいわゆるアシスト特徴を含む場合に、パターンが基板の目標部分の中の所望のパターンに正確に対応するわけではないことに注意されたい。同様に、基板上に最終的に生成されるパターンは、個々に制御可能な要素からなるアレイ上に任意の時点に同時に形成されるパターンに対応しないことがある。これは、基板のそれぞれの部分に形成される最終的パターンが、個々に制御可能な要素からなるアレイ上のパターン及び/又は基板の相対的位置が変化する所定の期間又は所定の露光回数にわたって構成される場合と考えられる。一般に、基板 1 1 4 / 2 1 4 / 3 1 4 の目標部分上に作成されるパターンは、集積回路などの目標部分の中に形成されるデバイス内の特定の機能層に対応する。「光弁」及び「空間光変調器」(SLM) という用語も、この文脈において使用することができる。このようなパターン形成装置の実施例を以下に示す。

20

## 【 0 0 3 6 】

プログラム可能ミラー・アレイ。これは、粘弾性（例えば、粘性特性と弾性特性を併せ持つ）制御層及び反射面を持つマトリクス・アドレス指定可能な表面を備えることができる。このような装置の背後にある基本原理は、例えば、反射面のアドレス指定領域は、入射光を回折光として反射するが、非アドレス指定領域は、入射光を非回折光として反射するというものである。適切な空間フィルタを使用し、非回折光を反射されたビームから除去し、回折光のみを残して、基板に到達するようにできる。このようにして、ビームは、アドレス指定可能な表面のアドレス指定パターンに応じてパターン化される。

30

## 【 0 0 3 7 】

代替えとして、フィルタを使用して、回折光を除去し、非回折光を残して、基板に到達するようにできる。

## 【 0 0 3 8 】

回折光MEMS装置（微小電気機械システム）のアレイも、それに対応する方法で使用することができる。それぞれの回折光MEMS装置は、互いに関して変形し入射光を回折光として反射する回折格子を形成することができる複数の反射リボンからなる。

40

## 【 0 0 3 9 】

プログラム可能なミラー・アレイのさらに他の実施例は、小さなミラーからなるマトリクス配列を採用し、それぞれ、適当な局部的電界を印加するか、又は圧電作動手段を採用することにより、1本の軸を中心に個別に傾斜させることができる。前と同じように、ミラーはマトリクス・アドレス指定可能であり、アドレス指定されたミラーは、入射ビームを異なる方向の非アドレス指定ミラーに反射するが、このようにして、反射されたビームは、マトリクス・アドレス指定可能なミラーのアドレス指定パターンに応じてパターン形成される。マトリクス・アドレス指定は、適当な電子的手段を用いて実行することができ

50

る。ミラー・アレイについては、例えば、米国特許第5,296,891号及び第5,523,193号、並びにPCT特許出願WO98/38597号及びWO98/33096号で説明されており、参照によりその全体を本明細書に援用する。

【0040】

リソグラフィ装置は、1つ又は複数のパターン形成アレイを備えることができる。例えば、それぞれ互いに独立に制御される、個別に制御可能な要素の複数のアレイを持つことができる。このような配列では、個別に制御可能な要素からなるアレイの一部又はすべては、共通照明システム（又は照明システムの一部）、個別に制御可能な要素からなるアレイの共通支持構造、及び共通投影システム（又は投影システムの一部）のうちの少なくとも1つを備えることができる。

10

【0041】

本明細書で使用される「投影システム」という用語は、使用している露光放射線、又は浸液の使用若しくは真空の使用などの他の要因に必要な応じて、屈折光学系、反射光学系、反射屈折光学系、磁気光学系、電磁気光学系及び静電気光学系、又はそれらの組合せを含む、さまざまな種類の投影システムを包含するものとして広く解釈すべきである。本明細書で「投影レンズ」という用語を使用するが、これは、より一般的な用語「投影システム」と同義と考えることができる。

【0042】

投影システムは、パターンが基板上にコヒーレントに形成されるように、個別に制御可能な要素からなるアレイ上にパターンを結像することができる。それとは別に、投影システムは、個々に制御可能な要素からなるアレイの要素がシャッターとして動作する二次放射線源を結像することができる。この点に関して、投影システムは、マイクロレンズ・アレイ（MLAとして知られる）又はフレネル・レンズ・アレイなどの集束要素のアレイを備え、例えば、二次放射線源を形成し、スポットを基板上に結像することができる。このような配列では、集束要素のアレイ内の集束要素のそれぞれは、個別に制御可能な要素からなるアレイ内の個別に制御可能な要素の1つに関連付けることができる。それとは別に、投影システムは、個別に制御可能な要素からなるアレイ内の複数の個別に制御可能な要素からの放射線が集束要素のアレイ内の集束要素の1つに当てられ、そこから基板上に当てられるように構成することができる。

20

【0043】

本明細書の以下の図に示されているように、装置は反射型である（例えば、個別に制御可能な要素の反射アレイを採用する）。それとは別に、装置は透過型（例えば、個別に制御可能な要素の透過アレイを採用する）とすることもできる。

30

【0044】

リソグラフィ装置は、2つ（例えば、二段）又はそれ以上（例えば、多段）の基板テーブルを持つ型とすることができる。このような「多段」式機械では、追加テーブルを並列で使用することができるが、準備工程を1つ若しくは複数のテーブル上で実行しながら、1つ又は複数の他のテーブルを露光に使用することもできる。

【0045】

リソグラフィ装置は、さらに、基板の少なくとも一部が比較的高い屈折率を持つ「浸液」、例えば水で覆い、投影システムと基板との間のスペースを埋めることができるタイプのもので行うことができる。浸液は、さらに、例えば、コントラスト装置と投影システムとの間の、リソグラフィ装置内の他のスペースにも適用することができる。浸せきする手法は、投影システムの開口数を増やすための技術としてよく知られている。本明細書で使用されている用語「浸せき」は、基板などの構造が液中に沈めなければならないことを意味せず、むしろ、液体が露光時に投影システムと基板との間に配置されることしか意味しない。

40

【0046】

本文ではICの製造にリソグラフィ装置を使用することについて具体的参照を行う場合があるが、本明細書で説明されているリソグラフィ装置には、集積光学系、磁区メモリの

50

誘導及び検出パターン、フラット・パネル・ディスプレイ、液晶ディスプレイ（LCD）、薄膜磁気ヘッドなどの製造など、他の適用例のあることは理解されるであろう。当業者であれば、このような他の適用例に関して、本明細書の「ウェハ」又は「ダイス」という用語の使用は、それぞれ「基板」又は「目標部分」というより一般的な用語の範囲内にあると考えられることを理解するであろう。本明細書で参照している基板は、露光前後に、例えばトラック（通常レジストの層を基板上に形成し露光したレジストを現像する工具）又は測定工具及び/又は検査工具内で処理されるようにできる。該当する場合には、本明細書の開示をそのような基板処理工具及び他の基板処理工具に適用することができる。さらに、基板は、例えば、多層ICを作製するために複数回処理することができ、したがって、本明細書で使用される基板という用語は、すでに複数の処理済み層を含む基板をも指すことができる。

10

## 【0047】

上で光リソグラフィの背景状況において本発明の実施例の使用について特定の参照を行っているが、本発明は、他の適用例、例えば、インプリント・リソグラフィにおいて、背景状況が許せば、また光リソグラフィに限ることなく、使用できることは理解されるであろう。インプリント・リソグラフィでは、パターン形成装置内のトポグラフィにより、基板上に作成されるパターンが定められる。パターン形成装置のトポグラフィは、基板114/214/314に供給されるレジストの層内に圧入することができ、レジストは、電磁放射、熱、圧力、又はそれらの組合せを印加することにより硬化される。パターン形成装置は、レジストが硬化された後に、レジストから移動されパターンを残す。

20

## 【0048】

他の実施例では、本発明は、上述のように方法を記述する機械可読命令の1つ又は複数の列を含むコンピュータ・プログラム、又はそのようなコンピュータ・プログラムを格納するデータ記憶媒体（例えば、半導体メモリ、磁気又は光ディスク）の形を取りうる。

## 【0049】

例示的な環境

図1は、本発明の一実施例による、リソグラフィ投影装置100の概略を示す図である。

装置100は、少なくとも1つの放射システム102、個々に制御可能な要素のアレイ104（例えば、コントラスト装置又はパターン形成装置）、オブジェクト・テーブル106（例えば、基板テーブル）、及び投影システム（「レンズ」）108を備える。

30

## 【0050】

放射システム102は、放射線ビーム110（例えば、UV放射線、248nm、193nm、157nm、EUV放射線、例えば10~13nm）を供給するために使用することができ、特にこの場合、放射線源112も備える。

## 【0051】

個々に制御可能な要素からなるアレイ104（例えば、プログラム可能ミラー・アレイ）は、パターンをビーム110に適用する場合に使用することができる。一般に、個々に制御可能な要素からなるアレイ104の位置は、投影システム108に関して固定することができる。しかし、他の配置では、個々に制御可能な要素からなるアレイ104を位置決め装置（図には示されていない）に接続し、投影システム108に関して正確に位置決めするようにできる。ここで示されているように、個々に制御可能な要素104は反射型である（例えば、個々に制御可能な要素からなる反射アレイを備える）。

40

## 【0052】

オブジェクト・テーブル106は、基板114（例えば、レジスト被覆シリコン・ウェハ又はガラス基板）を保持するための基板ホルダ（特に図には示されていない）を備えることができ、オブジェクト・テーブル106を位置決め装置116に接続し、投影システム108に関して基板114の位置を決めることができる。

## 【0053】

投影システム108（例えば、石英及び/又はCaF<sub>2</sub>レンズ系若しくはそのような材

50

料で作られたレンズ素子を備える反射屈折光学系、又はミラー・システム）は、配向装置 118（例えば、ビーム・スプリッタ）から受け取ったパターン形成ビームを投影するために使用することができる。

【0054】

光は、配向装置 118 から基板 114 の目標部分 120（例えば、1つ又は複数のダイス）上に当てられる。投影システム 108 は、個々に制御可能な要素からなるアレイ 104 の像を基板 114 上に投影することができる。

【0055】

照明 124 は、ビーム 122 内の強度分布の外側及び／又は内側の放射状の広がり程度（それぞれ 外側及び 内側と一般に呼ばれる）を設定する調整装置 128 を備えることができる。さらに、照明器 124 は、一般に、さまざまな他のコンポーネントを含む。この実施例では、上述の実施例と比較して、要素 130 は、積分器 130 とすることが可能であり、要素 132 は、コンデンサ 132 とすることが可能である。このようにして、個々に制御可能な要素からなるアレイ 104 に当たるビーム 110 はその断面において所望の一様性及び強度分布を持つ。

【0056】

図 1 に関して、放射線源 112 は、リソグラフィ投影装置 100 の筐体内に配置できるこ

とに注意されたい。他の実施例では、放射線源 112 は、リソグラフィ投影装置 100 から離れた場所に置くことができる。この場合、放射線ビーム 122 は、装置 100 内に向けられるであろう（例えば、適当な指向ミラーの助けを借りて）。これらのシナリオは両方とも、本発明の範囲内で考察されることは理解されるであろう。

【0057】

ビーム 110 は、その後、配向装置 118 を使用して方向が決められてから、個々の制御可能な要素からなるアレイ 104 を捕える。個々に制御可能な要素からなるアレイ 104 により反射されたビーム 110 は、ビーム 110 を基板 114 の目標部分 120 に集束させる投影システム 108 を通過する。

【0058】

位置決め装置 116（及び任意選択により、ビーム・スプリッタ 140 を介して干渉計測ビーム 138 を受ける底板 136 に載っている干渉計測装置 134）の助けを借りて、基板テーブル 6 を移動することができる。これにより、ビーム 110 の経路内で異なる目標部分 120 の位置を決定することができる。使用される場合、個々に制御可能な要素からなるアレイ 104 用の位置決め装置（図に示されていない）を使用して、例えば、スキャン時に、ビーム 110 の経路に関して個々に制御可能な要素からなるアレイ 104 の位置を補正することができる。一般に、オブジェクト・テーブル 106 の移動は、長行程モジュール（コース位置決め）及び短行程モジュール（精細位置決め）の助けを借りて実現され

るが、これらは図 1 には明示的に示されていない。類似のシステムを使用して、個々に制御可能な要素からなるアレイ 104 の位置決めを行うこともできる。ビーム 110 は、代替えとして／追加として、移動可能であってよいが、オブジェクト・テーブル 106 及び／又は個々に制御可能な要素からなるアレイ 104 は、固定位置を持ち、相対移動を行うようにできることは理解されるであろう。

【0059】

この実施例の他の構成では、基板テーブル 106 は、固定することができ、基板 114 は基板テーブル 106 上で移動可能である。これが行われる場合、基板テーブル 106 は、平坦な一番上の表面に複数の開口部を備え、それらの開口部を通してガスが供給され、基板 114 を支えることができるガス・クッションを実現する。これは、従来から空気軸受け配置と呼ばれている。基板 114 は、ビーム 110 の経路に関して基板 114 の位置を決めることができる、1つ又は複数のアクチュエータ（図に示されていない）を使用して、基板テーブル 106 上を動く。それとは別に、基板 114 は、これらの開口部を通し

10

20

30

40

50

てガスの通過の始動及び停止を選択することにより基板テーブル106上を移動できる。

【0060】

本発明によるリソグラフィ装置100は、本明細書において基板上のレジストを露光するためのものであるとして説明されているが、本発明は、この用途に限定されず、装置100を使用して、パターン形成ビーム110を投影し、レジストのないリソグラフィで使うことができる。

【0061】

示されている装置100は、以下の複数のモードで使用することができる。

【0062】

1. ステップ・モード：個々に制御可能な要素からなるアレイ104上のパターン全体が1回（つまり、単一の「フラッシュ」）で目標部分120に投影される。その後、基板テーブル106は、x及び/又はy方向に、パターン形成ビーム110により照射される異なる目標部分120の異なる位置に移動される。

10

【0063】

2. スキャン・モード：与えられた目標部分120が単一の「フラッシュ」で露光されないことを除き、ステップ・モードに類似している。その代わりに、個々に制御可能な要素からなるアレイ104は、与えられた方向（いわゆる、「スキャン方向」、例えばy方向）に速度vで移動可能であり、これによりパターン形成ビーム110は個々に制御可能な要素からなるアレイ104をスキャンすることになる。同時に、基板テーブル106は、Mを投影システム108の倍率として速度 $V = Mv$ で同じ方向又は反対方向に同時移動される。このようにして、分解能を損なうことなく比較的大きな目標部分120を露光することができる。

20

【0064】

3. パルス・モード：個々に制御可能な要素からなるアレイ104は、本質的に静止状態に保たれ、パルス放射線システム102を使用してパターン全体が基板114の目標部分120上に投影される。基板テーブル106は、本質的に一定の速度で移動し、パターン形成ビーム110に基板106上の1本のラインをスキャンさせる。個々に制御可能な要素からなるアレイ104上のパターンは、放射システム102のパルスからパルスまでの間に必要に応じて更新され、連続する目標部分120が基板114上の場所で露光されるようにパルスのタイミングが決定される。その結果、パターン形成ビーム110は、基板114上をスキャンし、1片の基板114に対する完全なパターンを露光することができる。この処理工程は、基板114全体がライン毎に露光されるまで繰り返される。

30

【0065】

4. 連続スキャン・モード：実質的に一定の放射システム102が使用され、パターン形成ビーム110が基板114上をスキャンし、それを露光するとき個々に制御可能な要素からなるアレイ104上のパターンが更新されるという点を除き、パルス・モードに類似している。

【0066】

これらの第1の4つの例示的なモードでは、「部分コヒーレント結像」は、通常、集積回路形成のために実行される。この結像法を使用することで、個別に制御可能な要素からなるアレイ内のそれぞれの要素は固有の傾斜を持つ。このアレイは、オブジェクト面に配置され、基板は、結像投影光学系の像平面に配置される。環状、従来、4極子、双極子など、さまざまな照明モードを適用することができる。また、位相ステップ・ミラー、大きな傾斜の適用、ミラーの整形（バタフライ、H字型）など、個別に制御可能な要素からなるアレイ内のそれぞれの要素に対する異なる構成を使用して、「ネガティブ・ブラック」値を高くすることができる。

40

【0067】

上述の使用法又は全く異なる使用法での組合せ形態及び/又は変更形態を使用することもできる。

【0068】

50

図2は、本発明の一実施例によるリソグラフィ装置200を示す。例えば、装置200は、  
以下で説明する、ピクセル格子結像モードを使用するフラット・パネル・ディスプレイの製造において本質的に有用でありうる。

【0069】

投影システム208は、個々に制御可能な要素のアレイ204の要素がシャッターとして動作する二次放射線源の像を投影することができる。

【0070】

結像格子アレイの実施例では、投影システム208は、さらに、二次放射線源を形成し微小スポットを基板214上に投影するマイクロレンズ・アレイ(MLA)を備えることもできる。

【0071】

放射線源212(例えば、ピクセル結像モードの3倍周波数Nd:YAGレーザー又は他のモードのエキシマ・レーザー)は、放射線ビーム222を出力することができる。ビーム222は、照明システム(例えば、照明器)224に、直接、又は例えばビーム拡大器などの調整装置226を横断した後に、供給される。

【0072】

一実施例では、装置200が後述のようにピクセル格子結像モードで動作している場合、照明器224は、ズームを設定してビーム222のスポット・サイズを調整するための調整装置を備えることができる。さらに、照明器224は、一般に、スポット生成器及びコンデンサなどのさまざまな他のコンポーネントを含む。例えば、スポット生成器は、限定はしないが、屈折又は回折格子、分割ミラー・アレイ、導波路などが考えられる。このようにして、個々に制御可能な要素のアレイ204に当たるビーム210はその断面において所望のズーム、スポット・サイズ、一様性、及び強度分布を持つ。

【0073】

図2に示されているように、投影システム208は、2つのレンズ250及び252を備えるビーム拡大器を含む。第1のレンズ250は、変調放射線ビーム210を受け取って、それを開口絞り254内の開口に通して集束させるように配列される。一実施例では、レンズ256は、開口内に配置される。その後、放射線ビーム210は発散し、第2のレンズ252(例えば、視野レンズ)により集束される。

【0074】

投影システム208は、さらに、拡大された変調放射線210を受け取るように配列されたレンズ258のアレイ(例えば、マイクロレンズ・アレイ(MLA))を備える。パターン形成又はコントラスト装置204内の個別に制御可能な要素のうちの1つ又は複数に対応する、変調放射線ビーム210の異なる部分は、MLA258内のそれぞれのレンズ260を通過する。それぞれのレンズ260は、変調放射線ビーム210のそれぞれの部分を基板214上にある点に集束する。このようにして、放射線スポット262のアレイは、基板214上に露光される。8枚のレンズ260しか示されていないが、MLA258は、数千枚ものレンズを備えることができ、これは、パターン形成又はコントラスト装置204として使用される個別に制御可能な要素からなるアレイ内の多数の個別に制御可能な要素にも当てはまる。

【0075】

図2内のシステムでは、他の動作モード、ピクセル格子結像モードにも対応する。このモードでは、基板214上に形成されるパターンは、アレイ204に当てられるスポット生成器130により形成されるスポットのその後の露光により実現される。露光されたスポットは、実質的に同じ形状を持つ。基板214上では、スポットは実質的に格子内に印刷される。一実施例では、スポット・サイズは、印刷ピクセル格子のピッチよりも大きい。露光スポット格子よりかなり小さい。印刷されるスポットの強度を変化させることにより、パターンが形成される。露光フラッシュ間に、スポット上の強度分布は変化する。

。

10

20

30

40

50

## 【0076】

一実施例では、フラット・パネル・ディスプレイの形成に通常使用される、このモードを使用することで、個別に制御可能な要素をスーパーピクセルへとグループ化することができる。1つのスーパーピクセルで、基板の1つのスポットの光を変調する。スーパーピクセルは、印刷されるそれぞれのスポットの射出ひとみ内のMLAの入射口に結像される。スポット形状は、スポット定義要素（例えば、スポット生成器）、ブレイジング機能のズームなどの使用を通じて照明器の影響を受ける可能性がある。

## 【0077】

図3は、本発明の一実施例による、基板314上のパターンを生成する方法の概略を示す。例えば、この実施例は、上述のピクセル格子結像モードを使用して実行することができる。

10

## 【0078】

暗色の円362は、投影システム、例えば、図2に示されているような投影システム内のMLAにより基板314上に最近投影されたスポットを表す。基板314は、一連の露光が基板314上に露光されるときに投影システムに相対的にY方向に移動される。

## 【0079】

開円364は、基板314上にすでに露光されているスポットを表す。図に示されているように、投影システム内のレンズのアレイを使用して基板314上に投影されたそれぞれのスポット362は、基板314上にスポット露光362/364の行366を露光する。基板314に対する完全なパターンは、スポット362のそれぞれにより露光されるスポット露光364のすべての行366の合計により生成される。このような配列は、一般に、上で説明されている、「ピクセル格子結像」と呼ばれる。

20

## 【0080】

放射線スポット362のアレイは、基板314に関して角度で配列されることがわかるであろう（つまり、基板314のエッジがX及びY方向に平行である場合）。これは、基板314がスキャン方向（例えば、Y方向）に移動されたときに、それぞれの放射線スポット362が基板314の異なる領域を通り過ぎ、それにより、基板全体を放射線スポットのアレイで覆うことができるように実行される。説明を簡単にするため、角度は、図3では誇張されていることは理解されるであろう。

30

## 【0081】

5×5スポットはMLAの2つの隣接スポット間に示されているが、一実施例では、最大約100×100スポットまでを使用できることは理解されるであろう。

## 【0082】

一実施例では、基板のスポット格子は、印刷される最小線幅の約半分（例えば、約0.1ミクロンから最大数ミクロンまで）であるが、MLAのスポット・ピッチは約100マイクロメートルから最大約数百マイクロメートルまでである。

## 【0083】

図4は、本発明の一実施例により、複数の光学エンジンを使用することでフラット・パネル・ディスプレイ基板414全体を単一スキャンで露光する方法の概略を示している。放射線スポットの8個のアレイ468は、「チェス盤」形状で2行470、472に配列された、8個の光学エンジン（図に示されていない）により生成され、放射線スポットの1つのアレイのエッジは、放射線スポットの隣接アレイのエッジとわずかにオーバーラップする（例えば、スキャン方向Y）。この実施例では、帯状の放射線が基板414の幅にわたって延び、基板全体の露光を単一スキャンで実行できる。適当な数の光学エンジンを使用できることは理解されるであろう。

40

## 【0084】

一実施例では、それぞれの光学エンジンは、上述のように、別々の照明システム、パターン形成装置、及び/又は投影システムを備えることができる。しかし、2つ以上の光学エンジンは、照明システム、パターン形成装置、及び投影システムのうちの1つ又は複数

50

の少なくとも一部を共有することができることは理解されるであろう。

【0085】

それぞれの光学エンジンは、上述のように、別々の照明システム、パターン形成装置、及び投影システムを備えることができる。しかし、2つ以上の光学エンジンは、照明システム、パターン形成装置、及び投影システムのうちの1つ又は複数の少なくとも一部を共有することができることは理解されるであろう。

【0086】

リソグラフィ・プロセスを使用して製品を製造するために、レジストを基板表面に均一に塗布する。その後、放射パターンは、レジスト上の一部の領域が比較的高い線量の放射線を受け取り、その一方で、レジストの他方の領域が比較的低い線量の放射線を受け取るように、レジスト上に露光される。与えられた放射線線量閾値を超えるレジストは反応し、その安定性が変化する。露光プロセスの後、基板に対し、さらに処理作業が行われ、そこで、反応していないレジストが除去される。したがって、レジストは、与えられた閾値よりも高い放射線線量を受け取った領域内の基板に残るが、閾値よりも低い放射線線量を受け取った領域から除去され、基板を露光する。したがって、レジストは、比較的高い放射線線量を受け取る領域内の基板上に残り、比較的低い放射線線量を受け取る基板上の領域から取り除かれる。したがって、基板を露光する放射線ビームに適切なパターンを印加することにより、露光された基板の領域とレジストで覆われた領域のパターンにより基板114/214/314を生成することが可能である。次に、後処理工程を実行して、基板上のデバイスの一部を形成する。例えば、レジストの前に金属層が基板に塗布されている場合、パターン形成されたレジスト層により保護されていない金属層にエッチング処理することができる。したがって、レジストが除去されると、基板は、レジスト・パターンに従って、例えば、放射線ビームのパターンに従ってパターン形成された金属層を残される。

【0087】

リソグラフィ・システムは、上述の実施例に限定されないことは理解されるであろう。例えば、いわゆる「ネガ・レジスト」を使用できる。ネガ・レジストが使用される場合、レジストの放射線露光により、安定性が低下する。したがって、これは露光後処理で除去される所定のレベルよりも高い放射線線量を受け取るレジストである。したがって、基板上に残るレジストのパターンは、与えられた閾値以下の放射線線量を受け取る基板上の領域に対応する。同様に、基板上のレジストのパターンは、さまざまな目的に使用することができる。例えば、基板の露光領域（つまり、レジスト層により保護されていない領域）は、イオン注入などの処理工程に曝すことができる。

【0088】

基板上に作成される製品パターンは、GDSIIなどのベクトル設計パッケージを使用して定義することができる。マスクレス・システムでは、そのような設計パッケージからの出力ファイルを処理し、パターン形成装置を制御するのに適した制御信号を導き出して、放射線の要求された線量マップをできる限り正確に基板上に再現する。パターン形成装置は個別に制御可能な要素からなるアレイを含む場合、制御信号は、アレイによりパターン形成される放射線のそれぞれのフラッシュに対する個別に制御可能な要素からなるアレイのそれぞれの要素の切り替えを管理する情報を含む（例えば、この適用例では、50kHzの領域内にある典型的なストローク周波数）。処理の一部は、基板の露光が開始する前に実行できるか（例えば、これは、オフライン像処理と呼ばれる）、及び/又は処理の一部は、即座に、又は対応する露光の直前の短期間（例えば、数秒以内）に実行できる（例えば、これは、インライン処理と呼ばれる）。膨大な量のデータがあるため、許容可能な速度及びパターン形成装置にとって妥当なコストで制御信号が供給できるようにインライン処理を慎重に管理しなければならない。

【0089】

図5は、本発明の一実施例によるデータ操作装置を含むデータ経路510を示す図である。データ経路510は、概念上、要求された線量マップ（入力装置504を介してユー

10

20

30

40

50

げにより定義されたような)を適切な形でパターン形成装置104/204に転送できるようにするすべてのデータ処理及び伝送コンポーネントを組み込んでいる。データ経路510は、1つ又は複数のデータ操作装置を備え、それぞれ要求された線量マップの(通常部分的に処理される)バージョンを含む着信データ・ストリームを解析し、パターン形成装置104/204又はパターン形成装置104/204に渡す前にさらにデータ・ストリームを処理する装置に信号を出力するように構成されている。例えば、要求された線量マップ(例えば基板114/214/314に関して点の格子上で定義できる)のそれぞれのピクセルについて、パターン形成装置104/204内の寄与するピクセル又はピクセルのグループから強度を計算し、適切な線量でスポット露光SEを出力するように構成された「逆光学」データ操作装置512(このような名前が付いているのは、主に投影システムの光学的配列の結果に関係するからである)を用意することができる。逆光学装置512は、その後、放射線スポットのアレイSが基板114/214/314の表面上を移動するとき、時間の経過とともに要求された線量マップが構成できるようにデータをパターン形成装置104/204に向けて転送する。

#### 【0090】

要求されたパターンが定義される格子点毎に、逆光学装置512では、格子点の領域内の多数のスポット364に対するスポット露光強度データを取り扱わなければならない。この情報は、次に、格子点の領域内の供給されたパターンから導かれる。一般に、「コンテキスト半径」は、要求されたパターン内の与えられた格子点を中心として定義することができ、これは、特定の精度で問題の格子点における所望のパターンをどのように得るかを計算するとき、考慮しなければならない要求されたパターンの領域を定義する。コンテキスト半径のサイズは、スポット364の点広がり関数の形状及び位置の偏差(完全定義済み格子位置からの)に依存する。通常、スポット・ピッチの数倍及び/又は印刷されるスポットのそれぞれの点広がり関数の半値全幅(FWHM)となるように選択され、したがって、数ミクロンに及ぶ可能性もある。「逆パターン形成装置」データ操作装置514などの他のデータ操作装置について以下で説明する。

#### 【0091】

通常のアプリケーションでは、基板114/214/314に書き込まれる特徴の数は、膨大であり、要求された線量パターン全体を表すデータは、パターン形成装置104/204にデータを供給するデータ経路510内でどの時点においてもハードウェアからは利用できない。図5に示されているように、装置504を介してユーザにより入力された所望のパターンの記述表現を基板114/214/314上に形成されるスポット364の系列に実質的に対応するデータ系列に変換するラスタライザ装置506を備えることができる(スポット364が実際に生成されるのと必ずしも同じ系列ではない - 以下参照)。ラスタ化された要求された線量パターンを表すデータは、一定期間にわたり、要求されたパターンすべてが基板114/214/314上に書き込まれるまで、データ経路510(データ経路の破線部分はパターン形成プロセスの他の態様を取り扱う他のデータ操作装置を含むことが可能なセクションを表す)上でラスタライザ506により徐々に転送される。

#### 【0092】

要求された線量パターンは、基板114/214/314上で定義されている多数の格子位置のそれぞれのところの線量を表す要素を含む列ベクトルとして表すことができる。要求された線量マップ内の格子位置は、測定フレーム座標系 $x_{MF}$ 、 $y_{MF}$ によるその座標に関して指定できる。上述のように、この要求された線量マップは、スポットの集まり364から構成される。これらのスポット364はそれぞれ、断面の強度に対する空間依存関係を記述する、特定の点広がり関数を持つ。さらに、スポットに集束させるために使用されるマイクロレンズ・アレイMLAに凹凸があるため、スポット格子内の予測される位置からのスポットのそれぞれの位置のバラツキがある。スポット位置及びスポット点広がり関数の形状は、較正データ記憶装置502を介して逆光学装置512に入力することができる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 9 3 】

この方法で像を形成するプロセスは、ピクセル格子結像法と呼ばれる。数学的には、要求された線量マップは、それぞれのスポットの点広がり関数を乗じたそれぞれのスポットでの強度の可能なすべてのスポット364にわたる総和に等しくなるように設定される。これは、以下の式

## 【 0 0 9 4 】

## 【 数 3 】

$$D(x_{MF}, y_{MF}) = \sum_n^{\text{all exposed spots}} I_n \cdot PSF_n((x_{MF} - x_n), (y_{MF} - y_n)),$$

10

として書くことができる。ただし、 $I_n$ は、スポット $n$ （「強度」と呼ぶのが通例であるが、これは通常エネルギー線量に比例するので、パラメータはときにはジュールを単位として表されることもある）に対する個別のスポット露光「強度」を表し、 $PSF_n((x_{MF} - x_n), (y_{MF} - y_n))$ は、点広がり関数を表し（スポット $n$ の場所 $x_{MF} - x_n$ 及び $y_{MF} - y_n$ での線量寄与）、 $x_n$ 及び $y_n$ は、個別の露光されたスポットの位置を示し、 $D(x_{MF}, y_{MF})$ は、リソグラフィ装置を支持するメトロフレームの座標で要求された線量マップを表す。

20

## 【 0 0 9 5 】

逆光学装置512は、要求された線量マップ及び点広がり関数情報（較正データとして供給される）が与えられたときに、何ができる限り正確に要求された線量マップを結像するために実現する必要がある個別のスポット露光強度（又は対応する所望のサブビーム強度）であるかを解くように構成される。

## 【 0 0 9 6 】

上記の式は、

$$[D] = [K] \cdot [I],$$

のようなベクトル/行列形式に書き換えることができる。ただし、列ベクトル $[D]$ は、離散（つまり、特定の基板格子位置のみで指定された）要求された線量マップを表し、列ベクトル $[I]$ は、個別のスポット露光強度を表し、行列 $[K]$ は、離散点広がり関数を表す。

30

## 【 0 0 9 7 】

行列 $[K]$ は、それぞれの個別のスポット露光点広がり関数（位置と形状の両方）に関する情報を含む。したがって、本発明の実施例により、行列 $[K]$ を生成するために、情報として1) スキャン速度/レーザー・ストロブ周波数、2) マイクロレンズ・アレイ・スポット位置、3) マイクロレンズ・アレイ点広がり関数形状（光学系全体のスポット点広がり関数、投影/SLM及び照明の両方）、及び4) 基板スキャン方向（段Y軸）に関するマイクロレンズ・アレイの回転位置が使用される。

40

## 【 0 0 9 8 】

上記を解くために、逆光学装置512を、 $[D] - [K] \cdot [I]$ が最小になるように個別の露光スポット強度を決定する配列とする。この最小値を求めるために、正規化が使用される。このアプローチはパイプライン環境で適用されなければならないという事実（基板上のスポット露光のすべてが同時に書かれるわけではないため）、及び1つのMLAスポットが多数のスポット364を印刷するために使用されるという事実（多数の異なるレーザー・パルスを使用して）により、要求されたパターンの特定の知識が使用できない、普遍的正規化を使用すべきである。このような特定の知識を利用することは、原理上組み込むことが可能であるが、装置のコスト増大につながるであろう。

## 【 0 0 9 9 】

50

したがって、最小二乗アプローチが適しており、逆光学装置 5 1 2 により解かれることは、したがって、

【 0 1 0 0 】

【 数 4 】

$$\min_{I_n} \|[D] - [K] \cdot [I]\|_2.$$

10

として表すことができる。

【 0 1 0 1 】

このような一般的なタイプの最小二乗  $s$  を解くのに複数のアプローチが使用されてきた。これらは、1) ヤコビアン (これは反復アプローチである) などを使用する幾何学的方法、2) 反復アプローチを使用する代数的方法 (例えば、ガウス・ザイデル法)、及び 3) 直接的アプローチを使用する代数的方法 (例えば、逆行列を使用する、ガウス・ジョルダン法) の 3 つに分類できる。

【 0 1 0 2 】

一実施例では、本発明実施例の方法は、これらのクラスの第 3 のものに分類される。これは、反復を必要とするオプションに比して高速にでき (逆行列が決定された後)、また最小二乗当てはめをリアルタイムで効果的に実行できる。さらに、これは、より多くのさまざまな条件の下で予測可能な収束及び速度を得られる、決定論的挙動を示す。対照的に、反復スキームでは、解が許容可能な誤差限界内で収束するのに要する時間の長さを非常に正確に予測することは可能でないことが多い。さらに、データ経路ハードウェア内のワード・サイズが限られていることによる切り捨ては、中間結果の再利用を避けられるせいで、このアプローチについて最小となる。最後に、異なる準備計算 (逆行列演算など) を、実際の結像処理のときに余分な計算を実行することなく、大きなワード・サイズ領域、例えば、浮動小数点領域でオフラインにより実行できるため実装に関してメリットがある (データ経路が、すでに大量のデータを処理しているとき)。

20

30

【 0 1 0 3 】

本発明の実施例の一面が、行列  $[K]$  が正方行列でないという点である。これは、スポット露光の個数  $n$  及び要求された線量マップが指定されている離散格子点の個数 (列ベクトル  $[D]$  の長さ) により決定されるサイズを持つ。したがって、標準的な数学的手法を使用して行列  $[K]$  の逆行列を計算することが可能でない場合がある。しかし、「擬逆」行列を計算することにより進めることが可能である (「Linear Algebra and its Applications」、Third Edition、Gilbert Strang、449 及び 450 頁、参照により全体を本明細書に援用する)。以下の説明では、擬逆行列は、 $[K]^+$  として表されている。例えば、擬逆行列のムーア・ペンローズの定義を使用できるが、他の類似の定義も好適であると考えられる。

40

【 0 1 0 4 】

ムーア・ペンローズ逆行列は、「matrix 1-inverse」と呼ばれる一般的なタイプの擬逆行列の特別なケースである。これは、「一般化逆行列」、又は単に「擬逆行列」とも呼ばれる。行列  $[K]$  のムーア・ペンローズ逆行列  $[K]^+$  は、以下の関係式を満たす (実行列の場合)。

$$[K][K]^+[K] = [K],$$

$$[K]^+[K][K]^+ = [K]^+,$$

$$([K][K]^+)^T = [K][K]^+, \text{ 及び}$$

$$([K]^+[K])^T = [K]^+[K]$$

【 0 1 0 5 】

50

$[D] = [K] \cdot [I]$  の最も短い最小二乗解 (これは  
【0106】  
【数5】

$$\min_{I_n} \|[D] - [K] \cdot [I]\|_2,$$

と表されている、上記参照)は、 $[I] = [K]^+ \cdot [D]$  という形式で書くことができる。

【0107】

( $[K]^T [K]$ ) の逆行列が存在する場合、擬逆行列  $[K]^+$  は、  
 $[K]^+ = ([K]^T [K])^{-1} [K]^T$  ,  
と表すことができる。

ただし、 $[K]^T$  は、転置行列である。これは、式  $[D] = [K] \cdot [I]$  の両辺に  $[K]^T$  を事前に乗じて正方行列 ( $[K]^T [K]$ ) を形成することにより確認でき、通常どおり逆行列を求めることができる。

$$[I] = ([K]^T [K])^{-1} [K]^T [D] \quad [K]^+ \cdot [D]$$

【0108】

直接代数的最小二乗当てはめにおける負の強度解、サブスポット露光格子位置の依存性、及びパターン角度依存性を避ける。

【0109】

要求された線量マップ (例えば、ラスタ化されたフラット・パネル・ディスプレイ・パターンに等しい可能性がある) は、輪郭のはっきりしたレジスト特徴を生成するように設計されることが多い。対応する線量パターンは、スポット364 (例えば、ガウス形状とすることができる) から構成され、当てはめルーチン (上述の最小二乗当てはめなどの) では、一般に、負の強度成分を持つ解が得られる (つまり、対象となる基板114 / 214 / 314 上の点において線量の低下を引き起こす傾向のあるスポット364)。残念なことに、負の寄与は、隣接するスポット364が非コヒーレントに形成される (例えば、異なる時間に到着するため) システムでは可能でない場合があるが、それは、放射線の関連するサブビーム同士の破壊的干渉がありえないからである。その後、基板114 / 214 / 314 上の与えられた点での線量を、振幅の総和ではなく、異なるサブビームからの強度の総和から構成する。

【0110】

負の強度成分は、無視 (例えば、0に設定) できるが、これにより、要求された線量パターンを限られた精度でしか再現しない当てはめが得られる。

【0111】

関連する問題は、基板上114 / 214 / 314に形成されたパターンの望ましくない位置依存性の問題である。特に、要求された線量パターンがスポット364のアレイ内の格子位置近くでより完全に得られる傾向がある。これが生じる理由の1つとして、負の強度を発生することができないことに関連する誤差が、格子位置の間の複数の点に関してこれらの領域内であまり顕著でないという点が挙げられる (以下参照)。この結果、格子期間に近い期間に印刷される高密度の特徴は、低い周波数 (特徴の期間と格子の期間との間の周波数差) の特徴形状のパラツキ (「ビーティング」) を被る。

【0112】

このサブスポット露光格子位置依存性の効果の1つは、デバイス特徴が格子に関する位置及び/又は向きに応じていろいろの形をとることである。例えば、エッジが格子に平行な特徴は、特によく (エッジが格子位置自体にそって配置されている場合)、又は特に悪く (エッジが格子の行の間に正確に配置されている場合) 形成することができる。中間角度のエッジを持つ特徴は、顕微鏡で見るとギザギザになっていることがわかる。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 1 3 】

また、放射線スポットの格子は、結果として得られるパターンに対し平行移動又は回転の効果を及ぼす可能性がある（特に、放射線スポットの格子に関する位置及び角度の関数としての像対数勾配のパラッキ）。

## 【 0 1 1 4 】

本発明の1つ又は複数の実施例によれば、これらの問題は、ローパス・フィルタ508（例えば、二次元フィルタ）を要求された線量パターン・データ（又はその派生データ）に適用し、逆光学装置512に供給される周波数クリッピングされた目標線量パターンを形成することにより少なくとも部分的に克服することができる。それとは別に、フィルタを点広がり関数行列 [ K ] に組み込み、同等の効果を得ることができる。

10

## 【 0 1 1 5 】

ローパス・フィルタは、信号から選択された閾値周波数よりも高い周波数成分を完全に又は部分的に除去するあらゆるフィルタを含むことができる。周波数カットオフは、いきなり/急である、或いは段階的な場合があり、カットオフの形状は、例えば、スポット露光及び/又はパターン形成装置の振幅周波数応答に要求された線量マップの振幅周波数応答をうまくマッチできるように調整することができる。より一般的には、フィルタは、要求された線量マップの振幅周波数応答をスポット364及び/又はパターン形成装置の振幅周波数応答に特にマッチするように設計することができる。

## 【 0 1 1 6 】

フィルタの開発及び適用は、以下の式

20

## 【 0 1 1 7 】

## 【 数 6 】

$$D(x_{MF}, y_{MF}) = \sum_n^{\text{all exposed spots}} I_n \cdot PSF_n((x_{MF} - x_n), (y_{MF} - y_n))$$

30

から始めて、それをフーリエ領域に変換することにより記述できる。一実施例では、それぞれのスポット364に対する点広がり関数は、

## 【 0 1 1 8 】

## 【 数 7 】

$$PSF_n((x_{MF} - x_n), (y_{MF} - y_n)) = \frac{1}{2\pi \cdot \sigma^2} \exp\left(\frac{-(x_{MLA} - x_n)^2 + (y_{MLA} - y_n)^2}{2 \cdot \sigma^2}\right)$$

40

として定義されているような二次元ガウス（他の実施例はエアリーの円板となり、本発明はスポット露光364のいずれの特定の形状にも限定されない）、又は半値全幅  $d_{fwhm}$  に関して

## 【 0 1 1 9 】

【数 8】

$$PSF_n((x_{MF} - x_n), (y_{MF} - y_n)) = \frac{4 \cdot 2 \cdot \ln(2)}{2\pi \cdot d_{fwhm}^2} \exp\left(\frac{-4 \cdot 2 \cdot \ln(2) \cdot ((x_{MLA} - x_n)^2 + (y_{MLA} - y_n)^2)}{2 \cdot d_{fwhm}^2}\right)$$

と書き換えられる。

【0 1 2 0】

10

上記の仮定の下で

【0 1 2 1】

【数 9】

$$D(x_{MF}, y_{MF}) = \sum_n^{\text{all exposed spots}} I_n \cdot PSF_n((x_{MF} - x_n), (y_{MF} - y_n)),$$

のフーリエ変換は、

20

【0 1 2 2】

【数 1 0】

$$\tilde{D} = \sum_n^{\text{all exposed spots}} I_n \cdot \exp(-jx_n k_x - jy_n k_y) \cdot \exp\left(\frac{-(k_x^2 + k_y^2) \cdot d_{fwhm}^2}{16 \cdot \ln(2)}\right),$$

となる。

ただし、 $k_x$  及び  $k_y$  は、二次元角空間周波数であり、

30

【0 1 2 3】

【数 1 1】

$$\tilde{D}$$
は、 $D(x_{MF}, y_{MF})$  のフーリエ変換である。

40

【0 1 2 4】

この最後式は、パターン位置情報は、

【0 1 2 5】

【数 1 2】

$$\tilde{D}$$

50

の位相で表され、形状情報は、振幅で表されることを示している。

【 0 1 2 6 】

空間フィルタ F は、

【 0 1 2 7 】

【 数 1 3 】

$$\tilde{F} \cdot \tilde{D}$$

10

として適用される（つまり、フーリエ領域内の乗算）。この演算は、さらに、対応する非フーリエ変換フィルタ F と  $D(x_{M_F}, y_{M_F})$  との間の畳み込みとみなすこともできる。

【 0 1 2 8 】

フィルタは、パターン位置情報に影響を及ぼすべきでない。したがって、フィルタは、直線位相挙動を持つように選択されるべきである。例えば、適当な直線位相挙動を持つ、対称 F I R（有限インパルス応答）フィルタ（この用途の目的に関しては、対称形状を持つ畳み込みは、このクラスに分類されると考えられる）を使用することができる。このようなフィルタの結果として得られる位相効果は、さらに変換を適用することにより 0 にすることができる。

20

【 0 1 2 9 】

フィルタは、パターン形状のサイズ / 線量には通常影響を及ぼさず、DC フィルタ利得は、通常、1 となるように選択される。

【 0 1 3 0 】

上述のように、スポット 3 6 4 の振幅周波数応答に関する問題の 1 つは、非コヒーレント結像法でネガ光（つまり、負の振幅）を発生することは可能でないという点である（これはコヒーレント結像法では可能であるが）。他の問題としては、スポット 3 6 4 の周波数応答は、個々のスポット露光格子位置に関するパターンの位置に応じて変化する（つまり、これは、上述の準露光格子位置依存性の原因の 1 つである）。これは、準露光格子の一部における線量パターン要素に対し働くように設計されているフィルタは、準露光格子内の他の位置で定義されている線量パターン要素について効果的には動作しえないことを意味する。

30

【 0 1 3 1 】

準露光格子位置依存性が問題となる程度は、一般に、スポット露光格子の性質に依存する。例えば、デバイス要素の直線的性質は、正方形 / 長方形のスポット露光格子（正方形又は長方形対称性を持つユニット・セルを識別できる）が、露光格子内の「最悪の場合」の直線にそってデバイス要素又はエッジが置かれる確率が高まることで問題になる可能性が高くなることを意味する（「最悪の場合」が何を意味するかについては以下を参照）。このようなシナリオでは、準露光格子内の「最悪の場合」の点を取り扱うようにフィルタ 5 0 8 を構成することが望ましい。他方で、他の露光格子幾何形状（例えば、六角形又は擬似六角形など）内のデバイス構造に対する準露光格子のパラッキの効果は、軽いフィルタが使用されるように平均する傾向があり、「最悪の場合」の位置ではなく、平均だけを扱うように構成できる。擬似六角形の幾何形状により、意味するのは、正六角形幾何形状から  $x$  及び  $y$  にそって単純な拡大縮小により導くことが可能な配列である（正六角形幾何形状は、六角形対称性を持つユニット・セルから構成できる格子幾何形状として定義される - 2 D 「最密」構造に類似）。一般に、フィルタ 5 0 8 の適切な強度は、特定のスポット露光格子幾何形状に依存する。

40

50

## 【 0 1 3 2 】

一実施例によれば、フィルタ 5 0 8 は、スポット露光格子インパルス応答のフーリエ変換に基づいて作成される（これは、特定の点でのディラックの関数からなる要求された線量パターンに対するスポット露光格子の応答を指す）。一般に、1つ又は複数のスポットを使用してインパルスを結像し、その数は、後述のように、準露光格子位置及び露光格子幾何形状に依存する。

## 【 0 1 3 3 】

図 6 は、本発明の一実施例による、正方形のスポット露光格子の一部及び「最悪の場合の」位置を示す。図 7 は、本発明の一実施例による、六角形のスポット露光格子の一部及び「最悪の場合の」位置を示す。そのため、図 6 及び 7 は、例示的な格子幾何形状を示す（それぞれ、長方形と六角形）。長方形格子では、高々 4 つのスポット露光が、インパルス応答を露光するために使用される。六角形格子では、高々 3 つのスポット露光が、インパルス応答を露光するために使用される。それぞれの場合に、実際の数値は、インパルス応答が要求される準格子位置に依存する。

## 【 0 1 3 4 】

格子に対するインパルス応答の一般化フーリエ変換（ガウス・スポット形状を仮定する）は、

## 【 0 1 3 5 】

## 【 数 1 4 】

$$\tilde{H} = \sum_n^{\text{all exposed spots}} I_n \cdot \exp(-jx_n k_x - jy_n k_y) \cdot \exp\left(\frac{-(k_x^2 + k_y^2) \cdot d_{\text{fwhm}}^2}{16 \cdot \ln(2)}\right),$$

である。ただし、 $k_x$  及び  $k_y$  は、二次元角空間周波数であり、 $d_{\text{fwhm}}$  は、スポット 3 6 4 の半値全幅を示し、 $I_n$  は、スポット  $n$  のスポット露光強度を示し、 $x_n$  及び  $y_n$  は、スポット  $n$  のスポット露光位置を示す。

## 【 0 1 3 6 】

インパルス応答が格子位置で正確に要求された場合、これは、露光するために 1 つのスポット露光 3 6 4 を活性化する。これは、「最良の場合」と呼ばれる。スポット露光格子のこの最良の場合のインパルス応答のフーリエ変換は、

## 【 0 1 3 7 】

## 【 数 1 5 】

$$\tilde{H}_{\text{best case}} = \exp\left(\frac{-(k_x + k_y) \cdot d_{\text{fwhm}}^2}{16 \cdot \ln(2)}\right)$$

である。

## 【 0 1 3 8 】

いわゆる最悪の場合の状況は、要求されたインパルスについて 2 つの露光されるスポット（六角形と長方形の両方）の間のちょうど半分のところで生じる。これらの位置（「 - 」で示される）の実施例は、図 6 及び 7 で与えられている。この最悪の場合のインパルス応答の一次元フーリエ変換（最悪の場合の軌道、 $x_n = 0$  にそって取る）は、

## 【 0 1 3 9 】

【数 16】

$$\tilde{H}_{\text{worst case}} = \frac{1}{2} \cdot \exp(-j \cdot 0.5 \cdot k_y p + j \cdot 0.5 \cdot k_y p) \cdot \exp\left(\frac{-(k_x^2 + k_y^2) \cdot d_{\text{fwhm}}^2}{16 \cdot \ln(2)}\right)$$

である。ただし、 $p$  は、スポット露光格子ピッチを示す。

10

【0140】

図8は、本発明の一実施例による、「最悪の場合の」直線と「最良の場合の」位置を持つ正方形のスポット露光格子の一部を示す。図9は、本発明の一実施例による、「最悪の場合の」位置と「最良の場合の」位置を持つ六角形のスポット露光格子の一部を示す。図8及び9は、最悪の場合（「-」）と最良の場合（「+」）の位置が、それぞれ、長方形と六角形の格子幾何形状にどのように分布するのかを示している。これからわかるように、六角形スポット露光格子の場合、離散点は、特定の角度の下で最悪の場合のインパルス応答挙動を示す。長方形スポット露光格子の場合、最悪の場合の点は、基板全体を覆う連続的直線にそって置かれる。これらの直線は、特定の、しかし、非常にありふれた、デバイス特徴の角度をなしている。長方形格子では、最悪の場合のインパルス応答の位置（統計的に）の個数は、六角形スポット露光格子内の類似の位置の個数を遙かに超えることがわかる。したがって、この視点からの六角形格子の平均的パフォーマンスは、長方形スポット露光格子のパフォーマンスよりもよい可能性がある。この改善は、とりわけ、上述のローパス・フィット・フィルタ508により決定される、システム挙動に関して適切である。

20

【0141】

長方形及び六角形のスポット露光格子に対する最良及び最悪の場合のシナリオの例示的な説明は、全体を参照により本明細書に援用する、2004年12月22日に出願した米国特許第11/018,929号に見られる。

【0142】

ローパス・フィット・フィルタ508は、さまざまな理由から、例えば、(1)負の光の必要性をなくす、(2)サブスポット露光格子位置の影響を最小限に抑える、(3)像特徴と結果として得られる空間像上のスポット露光格子とがなす角度の影響を最小限に抑えるため、適用することができる。六角形スポット露光格子では、長方形スポット露光格子が使用される場合に関して最大負解を高くすることなく、逆光学装置512の当てはめアルゴリズムに高い空間周波数を入れることができることがわかる。

30

【0143】

一実施例では、フィルタ508は、円対称的に動作し（基板の平面内に置かれている放射軸に関して）、最悪の場合のスポット露光格子インパルス応答とマッチするように構成される。最悪の場合のインパルス応答を考慮するために使用される程度は、格子の形状に依存しうる。最悪の場合の点が（直線にそってではなく）離散格子位置にある格子では、弱フィルタを使用することで十分であろう。異なる形状の格子では、特に最悪の場合の点が（直線にそってではなく）離散位置に並んでいる場合に、中間点（最悪の場合の位置と最良の場合の位置に関して）を選択するとより効果的と考えられる。

40

【0144】

この実施例によるフィルタ508は、さらに、CD、CDU、及び線量一様性に関して、ピクセル格子結像のパフォーマンスを同時に最大にするように設計されている（上述の $s$ を解くために過不足なく高い周波数を除去し、理想的にはそれ以上除去せずに）。

【0145】

長方形スポット露光格子フィルタ

50

上述のように、最悪の場合のインパルス応答の一次元フーリエ変換は、

【 0 1 4 6 】

【 数 1 7 】

$$\tilde{H}_{\text{worst case}} = \frac{1}{2} \cdot \exp(-j \cdot 0.5 \cdot k_y p + j \cdot 0.5 \cdot k_y p) \cdot \exp\left(\frac{-(k_x^2 + k_y^2) \cdot d_{\text{fwhm}}^2}{16 \cdot \ln(2)}\right)$$

10

と書くことができる。ただし、 $p$ は、スポット露光格子ピッチを示す。上記の式により記述されるこの最悪の場合のインパルス応答の大きさは、 $k_y = \omega / 2$ で負になり、したがって、この値よりも大きい空間周波数を抑制するような、ローパス特性を持つフィルタは、負の振幅を避ける。フィルタ508が最悪の場合の格子点を取り扱うのに十分強ければ、さらに、準露光格子内の他の位置について負の振幅を回避することで十分であろう。強いフィルタ508（例えば、なおいっそう低い周波数でのカットオフを持つ）を使用すると、スポット露光格子のパフォーマンスがいたずらに低下し、分解能の低い線量パターンが生じることになる。上記の説明から続けて、好適なフィルタは、以下の一次元の切り捨て

【 0 1 4 7 】

【 数 1 8 】

$$\tilde{F}_{\text{fit filter, rect}} = \begin{cases} \left| \tilde{H}_{\text{worstcase}}(k_x = 0, k_y = \omega) \right| & \text{when } \omega < \frac{\pi}{p} \\ 0 & \text{when } \omega \geq \frac{\pi}{p} \end{cases}$$

20

30

に基づいて、二次元円対称FIRフィルタとすることができる。ただし、 $\omega = \omega / p$ は、スポット露光格子ピッチに対応する一次元角空間周波数である。

【 0 1 4 8 】

六角形スポット露光格子フィルタ

図10は、本発明の一実施例により、六角形のスポット露光格子幾何形状を示し、「中間程度の場合の」位置を示す。露光格子のこの幾何形状に対するフィルタは、3つのスポットの間に正確に入る位置についてフーリエ変換されたインパルス応答から始めて作成することができる。図10に示されている位置は、最悪の場合と最良の場合との間の中間位置を表す（図9を参照）。中心位置のフーリエ変換されたインパルス応答

【 0 1 4 9 】

【 数 1 9 】

$$\tilde{H}_{\text{central; hex}} = \frac{1}{3} \cdot \left\{ \exp\left(-j \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot p \cdot k_x\right) + \exp\left(j \frac{\sqrt{3}}{6} \cdot p \cdot k_x - j \cdot \frac{1}{2} \cdot p \cdot k_y\right) + \exp\left(j \frac{\sqrt{3}}{6} \cdot p \cdot k_x + j \cdot \frac{1}{2} \cdot p \cdot k_y\right) \right\} \cdot \exp\left(\frac{-(k_x^2 + k_y^2) \cdot d_{\text{fwhm}}^2}{16 \cdot \ln(2)}\right)$$

40

50

が示される。ただし、 $p$  は、スポット露光格子ピッチを示す。

【0150】

この場合の最適なフィルタは、以下の一次元の切り捨て

【0151】

【数20】

$$\tilde{F}_{\text{fit filter, hex}} = \begin{cases} \left| \tilde{H}_{\text{worstcase}}(k_x = 0, k_y = \omega) \right| & \text{when } \omega < \frac{4\pi}{3p} \\ 0 & \text{when } \omega \geq \frac{4\pi}{3p} \end{cases}$$

10

に基づいて、二次元円対称FIRフィルタとすることができる。ただし、 $\omega = 4\pi / 3p$  は、スポット露光格子ピッチの0.75倍に対応する一次元角空間周波数である。

【0152】

上述の長方形及び六角形の両方のスポット露光格子フィルタ508について、逆光学装置512から当てはめで得られた解では、要求された線量マップを高い精度レベルで結像するために大きな負の露光スポット強度を使用しない。実際、典型的な解は、0にクリッピングできる、非常に小さな負の露光スポット強度のみを含む。一実施例では、フィルタ処理プロセスから副作用として生じる、小さな「漂遊」正値は、さらに、0にクリッピングすることもできる - この場合、他の方法だと、パターン特徴のエッジから遠く離れた領域内に小さいが、有意な量の「迷光」が生じる可能性がある。このクリッピングの効果により、光が全く要求されていない像特徴に隣接する領域の小さな部分に何らかの非常に小さな線量強度が生じる。これらの位置は、通常、実際のエッジから約1.5ミクロンの帯域内に配置されるため、形成されるデバイスに対する影響は、通常は、無視できる。

20

【0153】

一般に、ローパス・フィルタは、ラスタ化の後に、データ経路のオフライン部分内に部分的に若しくは完全に動作するように、又はラスタ化プロセスの一部として動作するように配列することが可能である。さらに、上記の実施例は、周波数クリッピングされた目標線量パターンに対するスポット露光強度の直接代数的最小二乗当てはめを参照しているが、間接的/反復的アプローチが使用される場合に合わせてローパス・フィルタの使用を適合させることも可能であろう。

30

【0154】

像シャープニング・フィルタ

図11は、本発明の一実施例による、ローパス1102及びシャープニング・フィルタ1104を示す図である。図11は、フィルタ508が、ローパス・フィルタ部1102と

シャープニング・フィルタ部1104を含む分割又はデュアル機能を持つ本発明の他の実施例を示す。シャープニング・フィルタ1104は、形成される製品特徴に関する知識を利用して、線量パターン内の特徴の定義を改善するために使用することができる。一般に、シャープニング・フィルタ1104は、(フーリエ領域内の)シャープニングされる像特徴の逆に対応する寄与分を含む。可能な最小の円形製品特徴(直径が限界寸法CDに等しい)を例にとると、シャープニング・フィルタ関数は、空間領域で

40

【0155】

【数 2 1】

$$H = \begin{cases} \frac{1}{\pi \cdot R_{\text{sharp}}^2} & \text{when } \sqrt{x^2 + y^2} \leq R_{\text{sharp}} \\ 0 & \text{when } \sqrt{x^2 + y^2} > R_{\text{sharp}} \end{cases}$$

として定義することができる。ただし、 $R_{\text{sharp}}$  は、像特徴の半径である（ここでは、CDの半分）。像特徴をフーリエ領域に変換すると、

【0156】

【数 2 2】

$$\tilde{H} = 2 \cdot \frac{J_1 \left( R_{\text{sharp}} \cdot \sqrt{k_x^2 + k_y^2} \right)}{R_{\text{sharp}} \cdot \sqrt{k_x^2 + k_y^2}}$$

20

が得られる。ただし、 $J_1$  は第 1 種のベッセル関数である。

【0157】

次に、この実施例に対応するシャープニング・フィルタ 1104 は、可能な最小の円対称像特徴のフーリエ変換の振幅周波数応答の逆である。

【0158】

【数 2 3】

$$\tilde{F}_{\text{sharp filter}} = \begin{cases} \left| \frac{\omega \cdot R_{\text{sharp}}}{2 \cdot J_1(\omega \cdot R_{\text{sharp}})} \right| & \text{when } \omega \leq \frac{\pi}{p} \\ \tilde{F}_{\text{sharp filter}} \left( \omega = \frac{\pi}{p} \right) & \text{when } \omega > \frac{\pi}{p} \end{cases}$$

30

【0159】

像対数勾配を制御するフィルタ

図 1 2 は、本発明の一実施例による、像対数勾配フィルタを示す。「像対数勾配」とは、

40

基板に書き込まれる線量パターンの空間依存性、特に、距離  $dI/dx$  による線量の変化率（つまり勾配）を意味する。いくつかの理由からこの勾配を調整できれば、リソグラフィ装置のユーザにとっては有益であろう。第 1 に、像対数勾配が浅いほど、基板処理後に形成される特徴を持つエッジは丸みを帯びる傾向があり、静電放電（火花）の発生リスクを低減できる。第 2 に、勾配が浅いほど、基板上の異なるプロセス層上の特徴の間に十分なオーバーラップを容易に得られるようにできる。オーバーラップは、一般に、特徴自体が任意の 1 つのプロセス層内で鮮明に定義される（つまり、急峻な像対数勾配を持つ）場合に高い精度で制御されなければならない。第 3 に、例えば、リソグラフィにより製造されるフラット・パネル・ディスプレイでは、視角は個々の特徴の像対数勾配に依存する。像対数勾配が浅いほど、視角を大きくでき（たぶん、分解能、コントラスト比などを犠牲

50

にして)、したがって特定の適用例では望ましい場合がある(例えば、テレビ又はビデオ)。

【0160】

フィルタ508は、この目的用に像対数勾配フィルタ1202を備えることができる。この方法では、最悪の場合のスポット露光インパルス応答により決定される最大コントラストよりも高くコントラストを調整することは一般的にはできず、したがって、フィルタは、通常、コントラストを下げる働きをする。

【0161】

空間領域内の例示的な像対数勾配フィルタ関数は、

【0162】

【数24】

$$F_{\text{slope}} = \begin{cases} \frac{1}{\pi \cdot R_{\text{slope}}^2} & \text{when } \sqrt{x^2 + y^2} \leq R_{\text{slope}} \\ 0 & \text{when } \sqrt{x^2 + y^2} > R_{\text{slope}} \end{cases}$$

10

20

である。

【0163】

フィルタ関数は、フィルタのDC利得が1となるように決定される。半径  $R_{\text{slope}}$  は、像対数勾配に影響を及ぼすパラメータである。

【0164】

フィルタの代替え

一実施例では、フィルタを使用してパターン形成装置104/204に送信される制御信号を操作する代わりに、照明及び投影光学系を修正してスポット形状を変更することも可能と考えられる。異なるスポット形状は、ビーム形成及び停止により実現することができる。実現されるスポット形状は、例えば、ガウス・ビーム(多重レーザー・ビーム伝搬の場合)、エアリーの円板(切り取り開口による)、円形トップヘッド光分布、又は上記のどれかの畳み込みとすることができる。

30

【0165】

一実施例では、フィルタは、新しいタイプのハードウェアを大々的に追加することを必要としないため、安価で、適合しやすい解決策が得られる。その代わりに、既存のハードウェア及び/又は再構成の容量を高めるだけで十分であろう。

【0166】

フィルタの組合せ

一実施例では、上述のフィルタのうちの2つ以上のフィルタの機能を実行する組合せフィルタを製作することが可能である。組合せフィルタがローパス・フィルタ1102、シャープニング・フィルタ1104、及び像対数勾配フィルタ1202から形成される場合、空間領域内の組合せフィルタは、畳み込みにより、

40

【0167】

【数25】

$$F_{\text{combined filter}} = F_{\text{fit filter}} \otimes F_{\text{sharp}} \otimes F_{\text{slope}}$$

50

のように形成される。ただし、

【 0 1 6 8 】

【 数 2 6 】

⊗

10

は「～と畳み込みされる」を表す（ここと、明細書全体を通して）。畳み込み演算は、特性

【 0 1 6 9 】

【 数 2 7 】

$$f \otimes g = g \otimes f,$$

20

を満たすので、フィルタが組み合わされる順序で違いを生じることはない。

【 0 1 7 0 】

－実施例では、こうして定義されたフィルタ（互いに組み合わされた、又は他の方法で組み合わされた）は、さらに、擬逆行列  $[K]^+$ （要求された線量  $[D]$  をフィルタ処理する別のフィルタ工程を使用する代わりに）とともに、

【 0 1 7 1 】

【 数 2 8 】

$$[I] = F_{\text{combined filter}} \otimes [K]^+ \cdot [D],$$

30

のように組み合わせることもでき、その結果、

$$[I] = [K]^+_{\text{filtered}} \cdot [D]$$

が得られる。

【 0 1 7 2 】

カーネル  $[K]^+$  をフィルタ処理して、要求された線量  $[D]$  をフィルタ処理しないと、a) カーネルのダイナミック・レンジが下がり（カーネル値が不鮮明になる）、ワード・サイズが縮小する、b) コンテキスト半径が実質的に縮小する（類似の結像パフォーマンスに関して）という属性を持ちうる。

40

【 0 1 7 3 】

－実施例では、フィルタ処理されたカーネル  $[K]^+_{\text{filtered}}$  は、完全にオフラインで準備できる。少なくとも、これは、単一の基板露光でMLAスポット位置が変動しない、MLA点広がり関数の形状が変動しない、MLA位置パラツキをデータ経路内で補正できる、スキャン速度及びレーザー周波数が一定である、という範囲では事実である。

【 0 1 7 4 】

CDバイアスを適用するフィルタ

－実施例では、限界寸法バイアス（CDバイアス）が使用される。CDバイアスは、顧

50

客ニーズに応じて最小線幅を調整する工程に係る。この工程は、線量パターンの線幅は高度に予測可能である場合があるが、処理後に形成される特徴の実際の線幅は、予測しずらく、これは最適なパフォーマンスを得るために調整の恩恵を受けられるため、頻繁に使用される。この調整は、CDにバイアスがかかることにより実装できる（つまり、CDを高くすることで、線を太くし、CDを低くすることで、線を細くする）。

【0175】

マスクベースのリソグラフィ・システムでは、CDバイアスは、通常、放射線源の全強度を変化させることにより得られる。放射線のそれぞれのサブビームに対する高い強度は、個別のパターン特徴に関連する線量を広げる傾向があり、これにより、CDの変化が生じる（CD増大は、クリアな空間像に適用可能であり、CD減少は、暗い空間像 - 明視野に適用可能である）。このアプローチ及び類似のアプローチは、基板に平行な1本の軸にそって誘起されるCDの変化には、直交する軸にそって誘起されるCDの対応する変化が随伴するという欠点を持つ。この制限は、顧客がX及びYの両方の軸にそって等しい調整を要求する場合には問題にならないが、CDを軸毎に独立して調整可能であれば（例えば、XにそってCDを変化させ、Yにそっては変化させない）より高いレベルの最適化が一般的に可能になるであろう。さらに重大なのは、特徴タイプの部分集合、又はその全部（例えば、密集、孤立、直線、接点など）について特徴毎にサイズ及び密度を調整することが好ましいということである。

10

【0176】

図13は、本発明の一実施例による、CDバイアス・フィルタ1302を示す図である。

20

独立のX及びY CDバイアスは、照明線量ではなく、パターン形成装置104/204に送られる制御信号を制御してCDを変化させるCDバイアス・フィルタ1302を用意することにより実行される。この方法は、基板114/214/314上で位置とともに（及び、場合によっては、X及びYと独立に）変化するCDを実現するためにも使用できる。これは、上述のフィルタと類似の方法でCDバイアス・フィルタ1302の使用を通じて達成することができる。特に、CDバイアス・フィルタ1302を使用して、データ操作装置500に入力される要求された線量マップ・データを修正することができる（このような2つの装置は、例示する目的で示されている）。このフィルタ演算は、通常、そのような機能を当てはめアルゴリズム自体（逆光学装置512により実行されるような）で実装することは困難な場合があるので、オフラインで実行するように配列される。この実施例では、CDバイアス・フィルタ1302は、ラスタライザ506の前に配置される。一実施例では、インライン制御が使用される場合には、これは、場合によっては上述のオフラインの方法と併用し、例えば、放射線源の強度を変化させるか、又は膨張/侵食アルゴリズム（上記参照）を使用して、そのまま達成できる（マスクベースのシステムのように）。

30

【0177】

それとは別に、又はそれに加えて、膨張及び侵食と呼ばれる数学的モルホロジー演算を使用してCDバイアスを適用することができる。膨張演算を数学的に定義されたオブジェクトに適用することで、そのオブジェクトを膨張させる、つまり、サイズを大きくすることができるが、侵食演算では、オブジェクトは収縮する。オブジェクトを膨張又は縮小させる量及び方法は、いわゆる構造化要素により指定される。この方法は、インライン又はオフラインのいずれかでデジタル処理により適用することができる。

40

なお、CDバイアス・フィルタは、線量パターンの少なくとも一部の拡大率を、線量パターンの他の部分に関してその一部の位置を調整せずに、調整してもよい。

【0178】

オンザフライ焦点補正

焦点補正は、基板テーブルWT106/206が基板114/214/314に関して移動されるときに、最良の焦点位置の測定に応じて、基板テーブルWT106/206の位置を変化させることにより達成可能である。おおむね、投影システム108/208の

50

全部又は一部を移動して同じ効果を得ることもできる。いずれの場合も、平行移動と回転（傾斜）の両方の変位を使用できる。

【0179】

このようなシステムは、効率的な実装に使用されるサーボ及び付加的制御システムに関しては高価である。さらに、焦点補正の空間分解能は、せいぜい、与えられたMLA及び光柱に関連するスポット格子のサイズにより制限される。光柱及び/又は基板テーブル106/206のサブセクションは、通常、互いに、及び基板114/214/314に関して独立に移動することはできない。さらに、そのようなシステムが変位されるコンポーネントの慣性による最良の焦点位置の変化に応答できる速さに関して制限がある。

【0180】

一実施例では、最良の焦点は、データ経路を解して得られる（つまり、パターン形成装置104/204に供給される制御信号を操作することにより）。これは、焦点がそれぞれのスポット露光364に対する点広がり関数の半値全幅に影響を与えるため可能である。基板114/214/314上の特定の点に関する真の焦点位置の測定結果に基づく計算は、較正データとして点広がり関数行列[K]に入力することができる。パターン形成装置104/204は、したがって、スポット露光形状が通常よりもわずかに広がる基板114/214/314上の焦点はずれ領域を考慮するように適合することができる。そのようなスポット補正の結果、高い精度で焦点を効果的に合わせることができる。これは、一部は空間分解能が高まることによるものであり（スポット格子全体のサイズではなく、個々のスポット露光のサイズにより制限される）、一部は応答時間の高速化によるものである（余分な機械的移動は行われぬ）。これは、主要な新しいハードウェア（サーボ/制御システム）を追加することで実現されるが、追加計算ハードウェアは、データ経路510内に余分な容量を加えるためにも使用できる。一実施例では、この方法による焦点制御により、機械的焦点制御装置を取り除くか、又は簡素化することができ、したがってコスト及び/又はスペースを減らすことができる。それとは別に、機械的焦点制御（「粗」調整として）及びデータ経路焦点補正（「微」調整として）の組合せを使用して高分解能システムを考案することができる。粗調整及び微調整は、それぞれ、主に低い空間周波数と主に高い空間周波数の補正を意味しうる。

【0181】

一実施例では、データ経路により適用される補正では、スキャンとスキャンとの間で一定を保つ効果、例えば、MLA内のレンズ間の焦点バラツキを考慮することができる。このシナリオでは、補正は、オフライン計算及び逆光学データ操作装置512により使用される点広がり関数行列[K]に対するオフライン調整を介して実装することができる。しかし、補正をインラインで適用し、基板トポロジ又は基板テーブル搬送の欠陥に関連するようなスキャンからスキャンまでの間に变化しうる効果に対する「オンザフライ」補正を行うことができる。

【0182】

図14は、本発明の一実施例による、データ経路を介したオンザフライ焦点補正に好適な

装置を示す。この実施例は、さらに、上述の粗調整及び微調整を使用することもできる。焦点データは、基板114/214/314及び/又は基板テーブル106/206上のさまざまな位置から反射された後、放射線検出器1408により受信された放射線源1410からの放射線を解析することにより得られる。この解析は、焦点制御装置1402により実行できる。それとは別に、基板テーブル106/206及び基板114/214/314の位置は、基板114/214/314及び/又は基板テーブル106/206から反射された後、投影システム108/208に堅く取り付けられている1つ又は複数の超音波振動子により放射される超音波の伝達時間を測定することによりさまざまな地点で決定することができる。

【0183】

こうして得られた焦点データに基づき、焦点制御装置1402は、基板114/214

10

20

30

40

50

／ 3 1 4 の一部に対する最良の焦点位置を計算し、データ経路 1 4 1 2 及び 1 4 1 4 のいずれか又は両方にそって制御信号を投影システム位置及び／又は傾斜コントローラ 1 4 0 4 並びに基板テーブル位置及び／又は傾斜コントローラ 1 4 0 6 のいずれか、或いは両方に出力する。したがって、投影システム位置及び／又は傾斜コントローラ 1 4 0 4 並びに／或いは基板テーブル位置及び／又は傾斜コントローラ 1 4 0 6 は、投影システム 1 0 8 / 2 0 8 及び／又は基板テーブル W T 1 0 6 / 2 0 6 の平行移動及び／又は傾斜動作を実行させられ、露光される基板 1 1 4 / 2 1 4 / 3 1 4 の領域を最良焦点面に近い位置に寄せる。この実施例によれば、これは、いわゆる「粗」制御である。

#### 【 0 1 8 4 】

微制御は、データ経路 5 1 0 を介して実現される。焦点制御装置 1 4 0 2 は、制御信号をコントローラ 1 4 0 4 及び 1 4 0 6 に転送した後、焦点データを、焦点の質のバラツキによる予期されるべき点広がり関数のパフォーマンスの変化を考慮するために行列 [ K ] に対し行う必要のある調整を計算する、データ経路焦点制御装置 1 4 1 6 に転送するようにも構成される。

#### 【 0 1 8 5 】

－実施例では、粗補正及び微補正の組合せは、焦点を測定する、粗補正を実行する、焦点を再測定する、微補正する、の順序で実装できる。この順序で、粗装置に送られる焦点データは、毎回微補正装置に送られるデータと異なる（ある種の焦点誤差は常に検出されると仮定する）。それとは別に、粗補正及び微補正は、同時に実行できる。この場合、データ経路焦点制御装置 1 4 1 6 に送られるデータは、コントローラ 1 4 0 4 及び 1 4 0 6 に送られる制御信号を含む。その後、行列 [ K ] への補正では、基板テーブル 1 0 6 / 2 0 6 及び／又は投影システム 1 0 8 / 2 0 8 の移動の可能性を考慮する。コントローラ 1 4 0 4 及び 1 4 0 6 の一方又は両方に送信される制御信号の値と結果として生じる焦点の変化との関係は、較正テーブルに記録することができる。

#### 【 0 1 8 6 】

図に示されている実施例では、焦点補正データは、スポット位置及びスポット点広がり関数情報（焦点補正データにより更新できる）を逆光学データ操作装置 5 1 2 に供給する記憶デバイス 5 0 2 を介してデータ経路に渡される。補正データは、さらに、本発明の範囲から逸脱することなく、データ経路内の他のインライン点で組み込むこともできる。

#### 【 0 1 8 7 】

データ経路内の強度非一様性を補正する

個別に制御可能な要素からなるアレイ内のそれぞれの要素は、制御電圧に依存する状態に活性化することができる。問題の要素が複数のミラーからなる場合、活性化はミラーの平面内の軸を中心とする傾斜の形を取りうる。次に、活性化状態は、特定の傾斜角度に対応する。活性化状態は、さらに、例えば、可変反射率（与えられた方向に）の要素が個別に制御可能な要素からなるアレイで使用される場合、反射セット・ポイントとも呼ばれる。これらの要素の 1 つ又は複数によりパターン形成された放射線のサブビーム内の放射線の強度は、関係する（複数の）要素の活性化状態に依存する。強度と制御電圧との間の変換は、２段階プロセスとして実装できる。第 1 段では、強度を対応する活性化状態（例えば、反射率）に変換するため乗算が実行される。その後、第 2 段は、アレイ 1 0 4 / 2 0 4 からこれらの要素活性化状態を取得するために適切な制御電圧を選択することに関係する。制御電圧と結果として生じる要素活性化状態との関係は、一般に、単純な線形形式ではなく、この変換を実行できるようにするために、通常、較正テーブル（例えば、ルックアップ・テーブル）が用意される。補間を使用して、較正テーブル内の離散点間にある値を変換することができる。それとは別に、数学関数（例えば、チェビシェフ多項式）を較正テーブル内のデータの全部又は一部に当てはめることができ、結果として得られる当てはめ関数を使用して変換を実行できる。

#### 【 0 1 8 8 】

－実施例では、「逆パターン形成装置」データ操作デバイス 5 1 4 を介して変換全体が実行される。これは、上で図 5 を参照しつつ説明されているように、乗算器 5 1 6（スポ

10

20

30

40

50

ッ

ト強度から要素活性化状態又は反射率セットポイントへの第1段の変換を実行するため)及びルックアップ・テーブル装置518(要素活性化状態又は反射率セットポイントから要素制御電圧への第2段の変換を実行するため)を含む。

【0189】

一実施例では、強度非一様性は、装置内のさまざまな光学的効果により個別に制御可能な要素からなるアレイの特性とは無関係に発生しうる。その結果は、個別のスポット露光、個別の光柱、個別のレーザー・システムなどの間の望ましくない強度バラツキでありうる。おおむね、これらのバラツキは、付加的較正情報をデータ経路にそって送信された要求された線量データに組み込むことにより考慮することができる。強度バラツキの除去に潜在的に効果があるが、この種のアプローチでは、扱うことができるデータ経路内部的強度範囲の望ましくない増大が生じうる。これは、コストの増加をもたらす。

10

【0190】

一実施例では、逆パターン形成装置・データ操作装置514は、少なくとも一部は強度非一様性の補正をするように適合される。例えば、較正測定結果を使用して、パターン形成装置104/204の特性だけでなく強度非一様性に寄与する要因も考慮する装置518用に新しいルックアップ・テーブルを確定することができる。これらの較正測定は、完全に組み立てられた機械で実行できる(つまり、すべての強度影響要因が活性化している場合)。例えば、システムは、1つ又は複数の線量センサを備えることができ、両方とも、放射線源強度及びスポット強度を測定する。この2つの量の比は、強度非一様性に関係する。さらに、スポット・センサを、(複数の)スポット位置合わせ位置を測定できる基板レベルで備えることができる。それとは別に、又はそれに加えて、基板ベースの手法を使用することができるが、これは、パターン(又は個別のスポット)を印刷してから、オフライン・ツーリングを使用して強度非一様性特性を導くことからなる。非一様性特性が確定されると、標準補間スキームを使用して、新しいルックアップ・テーブル値を計算することができる。

20

【0191】

装置518のルックアップ・テーブル値を調整する代わりに、乗算器516の特性を操作することにより、強度非一様性補正を実装できる。例えば、非一様性効果を考慮して(複数の)利得を変化させることができる。

30

【0192】

データ経路内のこの後方の段階の強度非一様性の補正により、データ経路内の前の方の段階で高い帯域幅/ダイナミック・レンジの要件が引き下げられる。この実施例は、さらに、丸め誤差を小さくするのに役立つ可能性がある。

【0193】

完全に黒か白の値に対する計算実行を回避する

一実施例では、逆光学装置512により実行されるような像処理アルゴリズムは、行列乗算を実行する。これらの乗算を実行するために使用されるハードウェアは、特に、実行される計算のタイプに合わせて手直しされ、1秒当たりの最適なMAC(積和)回数が得られるように最適化される。問題のハードウェア(DSP又はより一般的にCPUとすることができる)は、MAC演算を実行するように特に構成されている乗算ユニットから作成できる乗算セクションを持つ1つ又は複数のFPGA(フィールド・プログラマブル・ゲート・アレイ)を備える。処理すべき像の詳細があらかじめ知られていないからである。ハードウェアは、通常、像を定義する格子位置のそれぞれの非ゼロ値を扱うことができるように設計される。これは、何回ものMACを必要とし、したがって、高価なハードウェアを必要とする。

40

【0194】

逆光学装置512などのリソグラフィ・アプリケーションでは、要求された線量パターン・ベクトル[D]内の項のほとんどは、0又は1となるか、或いは、灰色階調結像処理が使用される場合には、特徴の不在又は存在に対応して、0及び15となる。これらのM

50

A C 演算は、比較的単純なものとすることができる（例えば、実乗算は実行されない）。一実施例では、M A C は 0 又は乗算係数を出力し、これを左へ数桁シフトし、最少桁側に 0 を詰めることができる。像のデバイス要素のエッジ領域のみ、真の乗算が実行される灰色値からなる。黒と白の領域では、乗算ユニットにより与えられる完全な機能を使用することができない。

#### 【 0 1 9 5 】

一実施例では、乗算段の前の F P G A 内に専用プリプロセッサが用意され、これは、要求された線量マップ内の黒白領域を識別し、処理することができる。乗算セクションでは、乗算ユニットの完全な機能を使用できない、主に要求された線量マップ内の灰色領域からなる低減された入力を使用する。この配列により、像処理パフォーマンスに対する著しい負の影響を持つことなく 1 秒当たりの M A C 回数（したがって、コスト）を大幅に低減することができる。

10

#### 【 0 1 9 6 】

図 1 5 は、本発明の一実施例により計算負荷を低減するためプリプロセッサ 1 5 0 0 を備える乗算段を示す図である。上述のように、プリプロセッサ 1 5 0 0 は、さらに、F P G A と一体として形成することもできる。

#### 【 0 1 9 7 】

##### ゴースト光抑制

一実施例では、基板 1 1 4 / 2 1 4 / 3 1 4 に何とか到達する望ましくない光、又は迷光である、ゴースト光を出力することができる。これは、例えば、システム光学系内の内部反射を介して及び/又は隣接する M L A スポット間のクロストークを介して発生しうる。リソグラフィ装置の光学素子は、通常、可能な限りこれを回避するように設計されるが、完全に排除することはきわめて困難である。

20

#### 【 0 1 9 8 】

一実施例では、要求された線量パターンの直接最小二乗当てはめをスポット露光のアレイに使用することで、多数の項を点広がり関数行列  $[K]^+$  に組み込むことによりゴースト光を補正することができる。隣接するスポット露光がコヒーレントに結像できる場合、迷光を非常に高いレベルで補正することが可能である。隣接するスポット露光が異なる時間に露光される場合、低レベル補正を得ることができる。この方法では、行列  $[K]^+$  内で追加非ゼロ項を使用せず、データ経路内に積和が加えられる。この結果、いくぶんコストは高めになる可能性があるが、これは、一方で、潜在的に比較的高品質の像により、又は他方で、光学系設計のコスト低減により、相殺することができる（補正できる場合にゴースト光抑制の回避にあまり費用をかけなくて済むからである）。

30

#### 【 0 1 9 9 】

##### 結論

これまで本発明のさまざまな実施例について説明してきたが、実施例としてのみ提示されており、限定することを意図していないことは理解されるであろう。当業者にとっては、本発明の精神及び範囲から逸脱することなく形態及び詳細のさまざまな変更が可能であることは明白であろう。したがって、本発明の程度及び範囲は、上述のいかなる実施例により限定されるのではなく、請求項及びその等価物によってのみ定義されるべきである。

40

#### 【 0 2 0 0 】

「発明の開示」と「要約」ではなく、「実施例」の節が請求項の解釈に使用されることが意図されていることは理解されるであろう。「発明の開示」及び「要約」の節では、（複数の）発明者により考察されているように、本発明の 1 つ又は複数の、ただしすべてではない、実施例を説明することができ、したがって、いかなる形でも本発明及び付属の請求項を限定することは意図されていない。

#### 【 符号の説明 】

#### 【 0 2 0 1 】

##### 6 基板テーブル

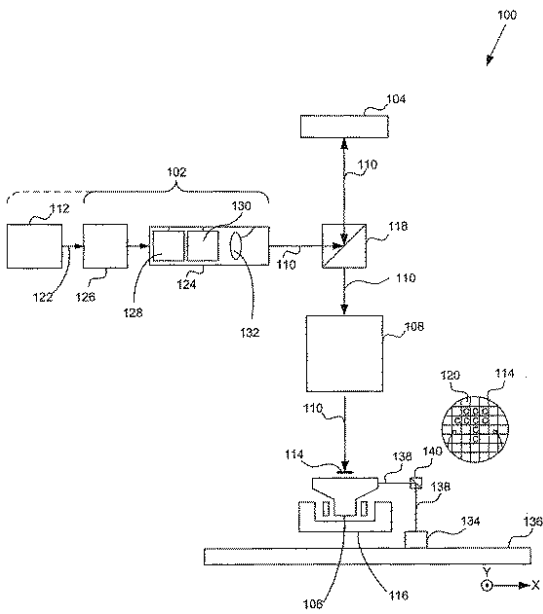
##### 1 0 0 リソグラフィ投影装置

50

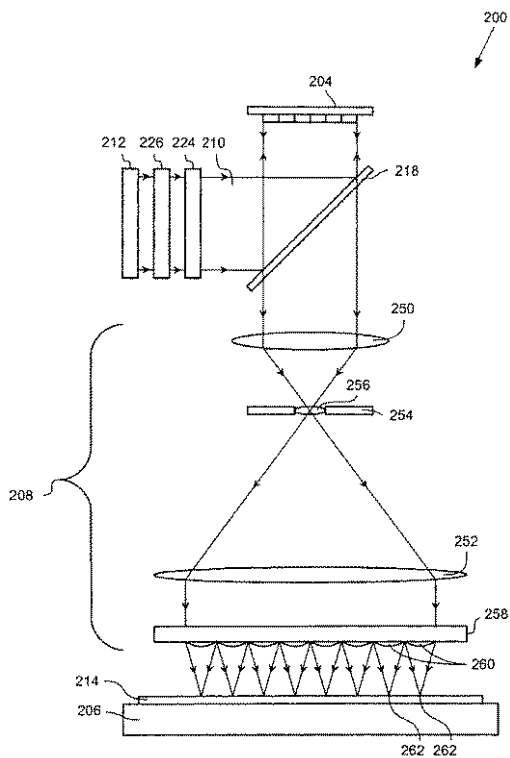
1 0 2	放射システム	
1 0 4	個々に制御可能な要素のアレイ	
1 0 6	オブジェクト・テーブル	
1 0 8	投影システム(「レンズ」)	
1 1 0	放射線ビーム	
1 1 2	放射線源	
1 1 4	基板	
1 1 6	位置決め装置	
1 1 8	配向装置	
1 2 0	目標部分	10
1 2 2	ビーム	
1 2 4	照明	
1 2 8	調整装置	
1 3 0	スポット生成器	
1 3 4	干渉計測装置	
1 3 6	底板	
1 3 8	干渉計測ビーム	
1 4 0	ビーム・スプリッタ	
2 0 0	リソグラフィ装置	
2 0 4	個々に制御可能な要素のアレイ	20
2 0 8	投影システム	
2 1 0	拡大された変調放射線	
2 1 2	放射線源	
2 1 4	基板	
2 2 2	放射線ビーム	
2 2 4	照明器	
2 5 0	及び 2 5 2	レンズ
2 5 4	開口絞り	
2 5 8	レンズ	
2 6 0	レンズ	30
2 6 2	放射線スポット	
3 1 4	基板	
3 6 2	暗色の円	
3 6 4	開円	
3 6 6	行	
4 1 4	フラット・パネル・ディスプレイ基板	
5 0 4	装置	
5 0 6	ラスタライザ装置	
5 0 8	フィルタ	
5 1 0	データ経路	40
5 1 2	逆光学装置	
5 1 4	「逆パターン形成装置」データ操作装置	
5 1 6	乗算器	
5 1 8	装置	
1 1 0 2	ローパス・フィルタ	
1 1 0 4	シャープニング・フィルタ	
1 2 0 3	像対数勾配フィルタ	
1 3 0 2	CDバイアス・フィルタ	
1 4 0 2	焦点制御装置	
1 4 0 4	投影システム位置及び/又は傾斜コントローラ	50

- 1 4 0 6 基板テーブル位置及び／又は傾斜コントローラ
- 1 4 0 8 放射線検出器
- 1 4 1 0 放射線源
- 1 4 1 2 及び 1 4 1 4 データ経路
- 1 4 1 6 データ経路焦点制御装置

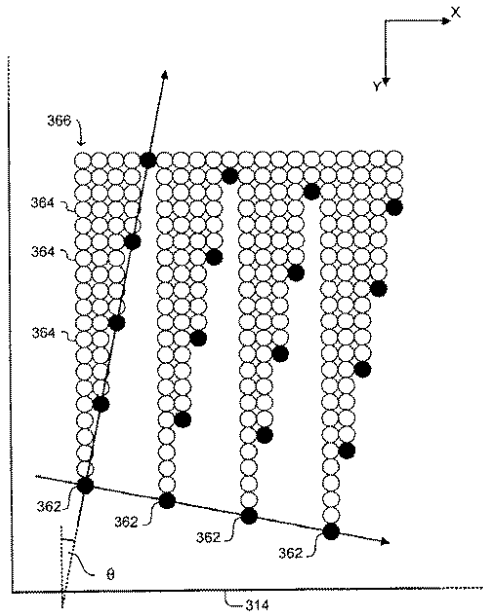
【図 1】



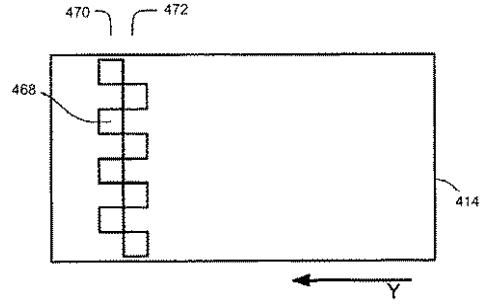
【図 2】



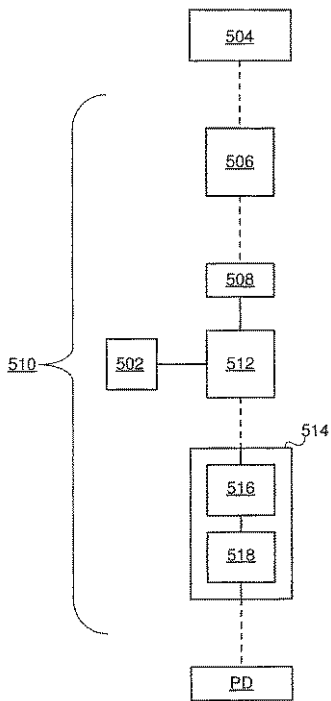
【 図 3 】



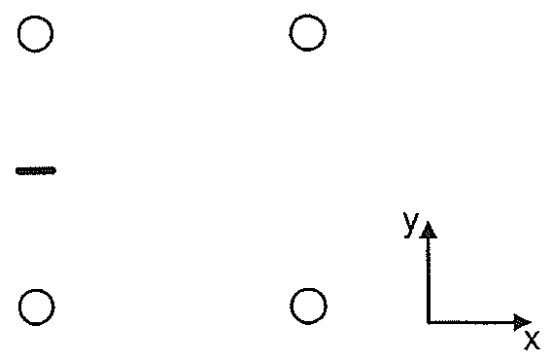
【 図 4 】



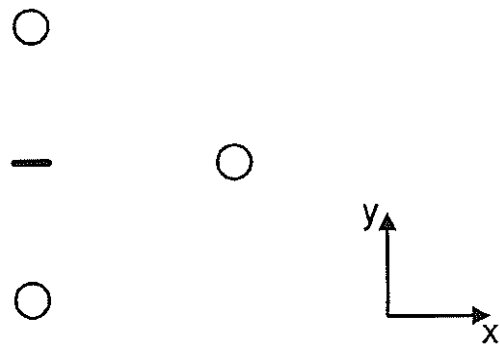
【 図 5 】



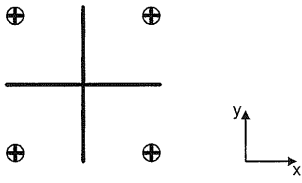
【 図 6 】



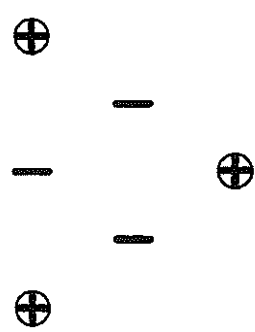
【 図 7 】



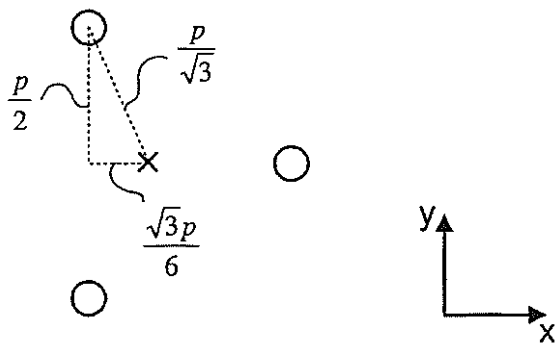
【 8 】



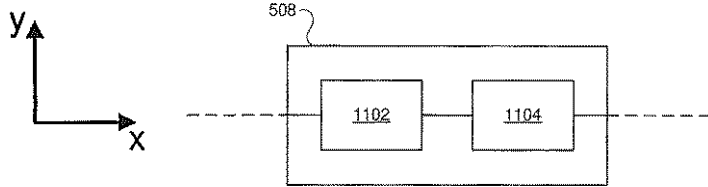
【 9 】



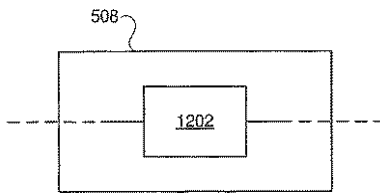
【 10 】



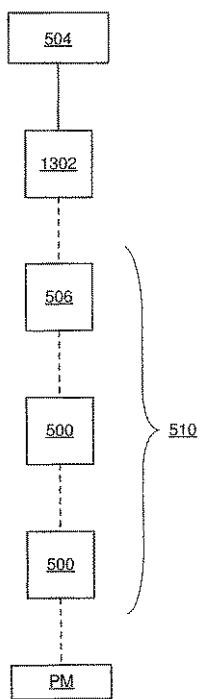
【 11 】



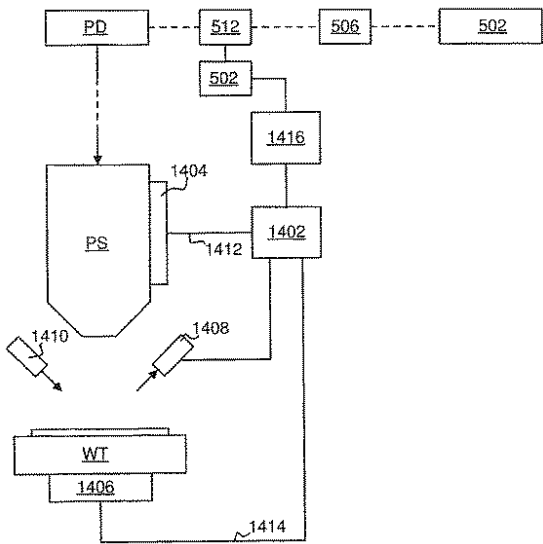
【 12 】



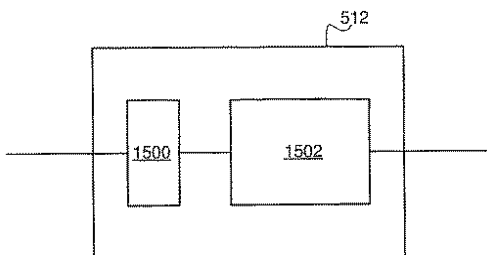
【 13 】



【 14 】



【 15 】



---

フロントページの続き

審査官 赤尾 隼人

- (56)参考文献 特開2003-337426(JP,A)  
国際公開第2005/013007(WO,A1)  
特開2004-304135(JP,A)  
特開昭62-021115(JP,A)  
特開2005-072133(JP,A)  
特開2002-367900(JP,A)  
特表2001-500628(JP,A)  
国際公開第2004/077533(WO,A1)  
特開2003-337427(JP,A)  
国際公開第2008/085626(WO,A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H01L 21/027