

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4606732号
(P4606732)

(45) 発行日 平成23年1月5日 (2011.1.5)

(24) 登録日 平成22年10月15日 (2010.10.15)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 L 21/027 (2006.01)

H O 1 L 21/30 5 1 6 A

請求項の数 15 外国語出願 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2003-417290 (P2003-417290)	(73) 特許権者	502120538
(22) 出願日	平成15年11月12日 (2003.11.12)		エーエスエムエル マスクツールズ ビー
(65) 公開番号	特開2004-289129 (P2004-289129A)		. ブイ.
(43) 公開日	平成16年10月14日 (2004.10.14)		オランダ国 ヴェルトホーフェン 550
審査請求日	平成16年4月15日 (2004.4.15)		4 ディー アール, デ ラン 6501
審査番号	不服2008-13005 (P2008-13005/J1)	(74) 代理人	100079108
審査請求日	平成20年5月22日 (2008.5.22)		弁理士 稲葉 良幸
(31) 優先権主張番号	425309	(74) 代理人	100093861
(32) 優先日	平成14年11月12日 (2002.11.12)		弁理士 大賀 真司
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100109346
			弁理士 大貫 敏史
		(72) 発明者	アルミン リーブヒェン
			アメリカ合衆国 カリフォルニア、ヘイワ
			ード、 ラウンド ヒル ドライブ 32
			97

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 照明源最適化によってレンズ収差補償を行う方法および装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

レンズ収差を補償する方法であって、

- (a) 光源照明プロファイルを定義する段階と、
 (b) 基板上で得られる像に対する前記光源照明プロファイルの作用を定量化し、且つ前記基板上で得られる像に対するレンズ収差の作用を最小限に抑えるために最小化しなければならないコスト測定基準を定義する段階と、
 (c) 前記光源照明プロファイルに基づいて前記コスト測定基準を評価する段階と、
 (d) 前記光源照明プロファイルを修正し、前記修正された光源照明プロファイルに基づいて前記コスト測定基準を再評価する段階と、
 (e) 前記コスト測定基準が最小限に抑えられるまで段階 (d) を繰り返す段階と、を含み、

前記光源照明プロファイルは、ひとみ平面を透過する回折次数を有する光に位相歪みが加えられる前記ひとみ平面内の位置に回折次数を有する光が入らないように修正される、レンズ収差を補償する方法。

【請求項 2】

前記コスト測定基準を評価した結果は、前記基板上で得られる像に対する前記光源照明プロファイルの作用を表す単一の数値である、請求項 1 に記載のレンズ収差を補償する方法。

【請求項 3】

最小限に抑えられたコスト測定基準に対応する前記光源照明プロファイルを実施する光源照明要素を形成する段階を更に含む、請求項 1 に記載のレンズ収差を補償する方法。

【請求項 4】

前記コスト測定基準は、結像プロセスの露光ラチチュード性能を更に反映する、請求項 1 に記載のレンズ収差を補償する方法。

【請求項 5】

レチクルを照明するための照明源と、前記レチクルによって回折された光を基板上に投影するための投影レンズとを有する結像系内のレンズ収差を補償する方法であって、

(a) 光源照明プロファイルを定義する段階と、

(b) 基板上で得られる像に対する前記光源照明プロファイルの作用を定量化し、且つ前記基板上で得られる像に対するレンズ収差の作用を最小限に抑えるために最小化しなければならないコスト測定基準を定義する段階と、

(c) 前記光源照明プロファイルに基づいて前記コスト測定基準を評価する段階と、

(d) 前記光源照明プロファイルを修正し、前記修正された光源照明プロファイルに基づいて前記コスト測定基準を再評価する段階と、

(e) 前記コスト測定基準が最小限に抑えられるまで段階 (d) を繰り返す段階と、

(f) 前記最小限に抑えられたコスト測定基準に対応する前記光源照明プロファイルを、前記レチクルを照明するための照明形状として選択する段階とを含み、

前記光源照明プロファイルは、ひとみ平面を透過する回折次数を有する光に位相歪みが加えられる前記ひとみ平面内の位置に回折次数を有する光が入らないように修正される、結像系内のレンズ収差を補償する方法。

【請求項 6】

前記コスト測定基準を評価した結果は、前記基板上で得られる像に対する前記光源照明プロファイルの作用を表す単一の数値である、請求項 5 に記載の結像系内のレンズ収差を補償する方法。

【請求項 7】

前記コスト測定基準は、結像プロセスの露光ラチチュード性能を更に反映する、請求項 5 に記載の結像系内のレンズ収差を補償する方法。

【請求項 8】

結像系内で使用するための光源照明要素を設計する方法であって、

(a) 光源照明プロファイルを定義する段階と、

(b) 基板上で得られる像に対する前記光源照明プロファイルの作用を定量化し、且つ前記基板上で得られる像に対するレンズ収差の作用を最小限に抑えるために最小化しなければならないコスト測定基準を定義する段階と、

(c) 前記光源照明プロファイルに基づいて前記コスト測定基準を評価する段階と、

(d) 前記光源照明プロファイルを修正し、前記修正された光源照明プロファイルに基づいて前記コスト測定基準を再評価する段階と、

(e) 前記コスト測定基準が最小限に抑えられるまで段階 (d) を繰り返す段階と、

(f) 前記最小限に抑えられたコスト測定基準に対応する前記光源照明プロファイルを実施する前記光源照明要素を設計する段階とを含み、

前記光源照明プロファイルは、ひとみ平面を透過する回折次数を有する光に位相歪みが加えられる前記ひとみ平面内の位置に回折次数を有する光が入らないように修正される、光源照明要素を設計する方法。

【請求項 9】

前記コスト測定基準を評価した結果は、前記基板上で得られる像に対する前記光源照明プロファイルの作用を表す単一の数値である、請求項 8 に記載の光源照明要素を設計する方法。

【請求項 10】

結像系内で使用するための光源照明要素を設計するようにコンピュータに指示するためのコンピュータ・プログラムであって、

10

20

30

40

50

前記コンピュータ・プログラムは、

- (a) 光源照明プロファイルを定義する段階と、
- (b) 基板上で得られる像に対する前記光源照明プロファイルの作用を定量化し、且つ前記基板上で得られる像に対するレンズ収差の作用を最小限に抑えるために最小化しなければならないコスト測定基準を定義する段階と、
- (c) 前記光源照明プロファイルに基づいて前記コスト測定基準を評価する段階と、
- (d) 前記光源照明プロファイルを修正し、前記修正された光源照明プロファイルに基づいて前記コスト測定基準を再評価する段階と、
- (e) 前記コスト測定基準が最小限に抑えられるまで段階(d)を繰り返す段階と、
- (f) 前記最小限に抑えられたコスト測定基準に対応する前記光源照明プロファイルを実施する前記光源照明要素を設計する段階とを前記コンピュータに指示し、

10

前記光源照明プロファイルは、ひとみ平面を透過する回折次数を有する光に位相歪みが加えられる前記ひとみ平面内の位置に回折次数を有する光が入らないように修正される、コンピュータ・プログラム。

【請求項11】

前記コスト測定基準は、結像プロセスの焦点深度性能を含む、請求項1に記載のレンズ収差を補償する方法。

【請求項12】

前記コスト測定基準は、結像プロセスの焦点深度性能を含む、請求項5に記載の結像系内のレンズ収差を補償する方法。

20

【請求項13】

前記光源照明要素は、最小限に抑えられたコスト測定基準に対応する前記光源照明プロファイルを実施するための回折光学素子を備える、請求項3に記載のレンズ収差を補償する方法。

【請求項14】

前記光源照明要素は、最小限に抑えられたコスト測定基準に対応する前記光源照明プロファイルを実施するための回折光学素子を備える、請求項8に記載の光源照明要素を設計する方法。

【請求項15】

前記光源照明要素は、最小限に抑えられたコスト測定基準に対応する前記光源照明プロファイルを実施するための回折光学素子を備える、請求項10に記載のコンピュータ・プログラム。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、フォトリソグラフィに関し、詳細には、照明源最適化プロセスを実行してレンズ収差を補償することにより、リソグラフィ・プロセスの性能を改善する方法に関する。さらに、本発明は、最適化プロセスを組み込み、投影放射ビームを提供するための放射システムと、投影ビームをパターン付けするように働くマスクを保持するためのマスク・テーブルと、基板を保持するための基板テーブルと、パターン付けられた投影ビームを基板の標的部分上に投影するための投影システムとを備えるリソグラフィ装置を使用するデバイス製造方法に関する。

40

【背景技術】

【0002】

リソグラフィ投影装置(ツール)は、たとえば、集積回路(IC)の製造時に使用することができる。そのような場合、マスクがICの個々の層に対応する回路パターンを含み、このパターンを、感放射線性材料(レジスト)の層で被覆された基板(シリコン・ウェハ)上の標的部分(たとえば、1つまたは複数のダイ)上に結像することができる。一般に、単一のウェハは、投影システムを介して1つずつ連続して照射される隣接した標的部分のネットワーク全体を含むことになる。1つのタイプのリソグラフィ投影装置では、マ

50

スク・パターン全体を一度に標的部分上に露光することによって各標的部分が照射され、そのような装置は、通常、ウェハ・ステッパと呼ばれている。通常、ステップ・アンド・スキャン装置と呼ばれる一代替装置では、所与の基準方向（「走査」方向）に投影ビーム下でマスク・パターンを段階的に走査し、一方、この方向に平行または逆平行で基板テーブルを同期走査することによって、各標的部分が照射される。すなわち、一般にこの投影システムは倍率 M （一般に1未満）を有することになるため、基板テーブルが走査される速さ V は、マスク・テーブルが走査される速さの M 倍になる。ここに述べられているリソグラフィ装置に関する、より多くの情報は、たとえば、参照により本明細書に援用する米国特許第6,046,792号から収集することができる。

【0003】

リソグラフィ投影装置を使用する製造プロセスでは、感放射線性材料（レジスト）の層によって少なくとも部分的に被覆された基板の上に、マスク・パターンが結像される。この結像工程の前には、基板を、下塗り、レジスト・コーティング、およびソフト・ベークなど、様々な手順にかけることができる。露光後には、基板を、露光後ベーク（PEB）、現像、ハード・ベーク、および結像されたフィーチャの測定／検査など、他の手順にかけることができる。この一連の手順を基礎として使用し、デバイス、たとえばICの個々の層にパターン形成する。次いで、そのようなパターン形成された層を、エッチング、イオン注入（ドーピング）、メタライゼーション、酸化、化学的機械的研磨など、すべて個々の層を仕上げるように意図された様々なプロセスにかけることができる。いくつかの層が必要とされる場合には、手順全体またはその変形形態を、新しい層それぞれについて繰り返さなければならないことになる。最終的には、一連のデバイスが基板（ウェハ）上に存在することになる。次いで、これらのデバイスは、ダイシングまたはソーイングなどの技法によって、互いに分離される。その後で、個々のデバイスを、キャリア上に取り付ける、ピンに接続する、などすることができる。そのようなプロセスに関するさらなる情報は、たとえば、参照により本明細書に援用するPeter van Zantによる書籍「Microchip Fabrication: A Practical Guide to Semiconductor Processing」第3版、McGraw Hill Publishing Co.、1997年、ISBN007-067250-4から得ることができる。

【0004】

リソグラフィ・ツールは、2つ以上の基板テーブル（および／または2つ以上のマスク・テーブル）を有するタイプとすることができる。そのような「マルチ・ステージ」デバイスでは、追加テーブルを平行して使用することができ、あるいは、準備工程を1つまたは複数のテーブル上で実施し、一方、1つまたは複数の他のテーブルを露光に使用することができる。2ステージ・リソグラフィ・ツールは、たとえば、参照により本明細書に援用する米国特許第5,969,441号およびWO98/40791に述べられている。

【0005】

上記で参照しているフォトリソグラフィ・マスクは、シリコン・ウェハ上に集積される回路構成要素に対応する幾何パターンを備える。そのようなマスクを作成するために使用されるパターンは、CAD（コンピュータ支援設計）を使用して生成され、このプロセスは、しばしばEDA（Electronic Design Automation）と呼ばれる。大抵のCADプログラムは、機能的なマスクを作成するために、1組の所定の設計規則に従う。これらの規則は、加工および設計の制限によって設定される。たとえば、設計規則は、回路デバイス間（たとえば、ゲート、コンデンサなど）または相互接続ライン間の空間許容度を規定し、それにより、回路デバイスまたはラインが、望ましくない形で互いに相互作用しないようにする。

【0006】

当然ながら、集積回路製造時の目標の1つは、元の回路設計を（マスクを介して）ウェハ上に忠実に再現することである。もう1つの目標は、半導体ウェハの表面積を可能な限り使用することである。しかし、集積回路のサイズが縮小し、その密度が増大するにつれ

10

20

30

40

50

て、その対応するマスク・パターンのCD（クリティカル・ディメンション）が光学露光ツールの解像限界に近づく。露光ツールの解像度は、その露光ツールがウェハ上で繰り返し露光できる最小フィーチャと定義される。現在の露光機器の解像値は、しばしば多数の先進IC回路設計についてCDに制約を課している。

【0007】

リソグラフィ・プロセスの全体性能を劣化させる1つの要因は、投影レンズ内の収差である。実際、現行の製造プロセスは、高い品質基準を有するレンズの生産を可能にしているが、レンズ収差は依然として存在し、結像性能を劣化させている。さらに、レンズは、時間の経過につれて老化し、収差および/またはフレアの増加を示し、それにより、レンズの性能をさらに劣化させる可能性がある。したがって、レンズ収差、および経時的なレンズ性能の劣化を補償するための簡単かつコスト効果的な方法が求められている。

10

【0008】

以下で詳しく述べるように、本発明の好ましい実施例は、レンズ収差、および経時的なレンズ性能の劣化（たとえば、レンズは一般に、収差シグネチャの低次成分のドリフトを示す）を補償するための方法および装置を提供する。ただし、本発明について述べる前に、本発明の理解を容易にするために、リソグラフィ・プロセス、およびいくつかの現在周知の最適化技法の概要について簡単に述べる。本明細書では、「レンズ収差」という用語が、レンズの歪み、デフォーカス、レーザ波長の変動、ウェハ平坦度、および気圧による作用を含むことに留意されたい。

【0009】

20

図1は、結像系10の基本構成要素を示すブロック図である。図1を参照すると、結像系10は、マスク14（レチクルとしても知られる）を照明するための照明源12を含む。光は、マスクを通過した後で、ひとみ16を通過し、投影レンズ18によって取り込まれ、基板20上に投影され、基板20上では、所望のパターンが結像される。図1から理解できるように、撮像系の投影レンズ内に収差が存在する場合には、性能の劣化が生じる。

【0010】

全体的な焼付け性能を改善するように光源照明およびマスク・パターンを最適化するための方法は、従来技術で開示されていることに留意されたい。1つのそのような方法は、Rosenbluthらの米国特許公開第2002/01490920 A1号に開示されている。具体的には、Rosenbluthは、光源照明およびマスク・パターンの最適化を行って所与のマスク・パターンの焼付けを改善すると言われるリソグラフィ最適化システムを開示している。光源/マスク・パターンの最適な組合せを決定するためにRosenbluthによって使用されている優れた関数は、パターン幾何形状の境界に沿って事前選択されたいくつかの点での空中イメージ・ログ・スロープである。この最適化アルゴリズムは、リソグラフィ・パターンの焼付けが、結像ひとみ内で収集された回折次数の集合だけによって、ひとみ平面内の回折次数の位置とは独立して決定されるという仮定に基づいているようである。

30

【0011】

しかし、パターン内の選択されたサンプリング位置で空中イメージ・ログ・スロープを最大化することにより、通常、露光ラチチュード（EL）と呼ばれる露光変動に対する限度/許容量は高まるが、通常、焦点深度（DOF）と呼ばれる焦点変動に対する限度/許容量を増大する助けにならない。実際、インフォーカス条件（すなわち、DOFゼロ）下でELについて最適化されたパターンが、デフォーカス変動に対処する典型的なプロセス条件について最適化されたパターンに比べて補い合う結果を示すことが知られている。したがって、Rosenbluthの最適化ルーチンには、この問題があることになる。

40

【0012】

Rosenbluthの最適化プロセスの他の限界は、投影された像に対する回折パターンの作用が、ひとみ平面内の回折次数の位置から独立していると想定されていることである。したがって、Rosenbluthのプロセスは、ひとみ平面内の回折パターンの

50

正確な位置に応じて投影された像に影響を及ぼす、ひとみ平面位置依存性の波面変調として働くレンズ収差作用のモデル化を除外している。

【0013】

さらに、OAI (off axis illumination) を使用することによってマスク・パターンを照明すると、焼き付けられた像について焦点深度を向上させることができることは周知である。そのような応用の一例は、クェーサ (Quasar)、双極 (dipole)、四重極 (quadrupole) 光源照明要素など、選択可能な回折光学素子 (DOE) である。そのような要素の使用は、所与のリソグラフィ・プロセスについてDOFならびにELを改善することができる。しかし、そのような照明は、可能な最適照明プロファイルを生成することもしないこともある所定の形状を有する。現在、そのような光源形状パターンを最適化し、投影レンズ内のレンズ収差を補償する一方、所与のリソグラフィ・プロセスについてDOFおよびELをも共に改善する方法はない。

10

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

したがって、上記で指摘したように、レンズ収差と、経時的なレンズ性能の劣化とを補償し、また同時に、所与のリソグラフィ・プロセスについてDOF性能を最適化する簡単かつコスト効果的な方法が依然として求められている。

【課題を解決するための手段】

【0015】

20

従来技術の前述の不備を解決するための努力において、本発明の目的は、レンズ収差、および経時的なレンズ性能の劣化を補償するための方法を提供することである。本発明の他の目的は、同時にDOF性能を最適化しながら前述のレンズ補償を実行することである。本明細書では、「レンズ収差」という用語が、レンズの歪み、デフォーカス、レーザ波長の変動、ウェハ平坦度、および気圧による作用を含むことに留意されたい。

【0016】

より詳細には、本発明は、(a) 結像系の結像性能を定量化し、結像性能に対するレンズ収差の作用を反映するコスト測定基準を定義する段階と、(b) 光源照明プロファイルを定義する段階と、(c) 光源照明プロファイルに基づいてコスト測定基準を評価する段階と、(d) 光源照明プロファイルを修正し、修正された光源照明プロファイルに基づいてコスト測定基準を再評価する段階と、(e) コスト測定基準が最小限に抑えられるまで段階(d)を繰り返す段階とを含む、レンズ収差を補償する方法に関する。最小限に抑えられたコスト測定基準に対応する光源照明プロファイルは、結像デバイスの最適な照明を表す。

30

【0017】

本文では、ICの製造における本発明の使用に特に言及する可能性があるが、本発明には、多数の他の可能な応用例があることを明確に理解されたい。たとえば、本発明は、集積光学系、磁区メモリ用の案内および検出パターン、液晶ディスプレイ・パネル、薄膜磁気ヘッドなどの製造時に使用することができる。そのような代替応用例の状況では、本文の「レチクル」「ウェハ」または「ダイ」という用語の使用が、それぞれ「マスク」「基板」および「標的部分」というより一般的な用語で置き換えられると見なすべきであることを、当業者なら理解するであろう。

40

【0018】

本書では、「放射」および「ビーム」という用語を使用し、(たとえば、365、248、193、157または126nmの波長を有する) 紫外線およびEUV (たとえば5~20nmの範囲内の波長を有する極紫外線) を含む、すべてのタイプの電磁放射を包含する。

【0019】

本文では、マスクという用語について、パターン付けられた断面を有する入来放射ビームをもたらすために使用することができ、その断面が、基板の標的部分内に形成されるパターンに対応する一般的なパターン付け手段を指すと広く解釈することができる。すなわ

50

ち、「光弁（ライト・バルブ）」という用語もまた、本文で使うことができる。典型的なマスク（透過型または反射型、バイナリ、位相シフト、ハイブリッドなど）を除いて、他のそのようなパターン付け手段の例には、以下が含まれる。

a) プログラム可能なミラー・アレイ。そのようなデバイスの一例は、粘弾性制御層および反射表面を有するマトリクス・アドレス可能な表面である。そのような装置の背景にある基本原理は、（たとえば）反射表面のアドレスされた領域が入射光を回折光として反射し、一方、アドレスされない領域が入射光を非回折光として反射することである。適切なフィルタを使用して、前記非回折光を反射されたビームから逃がし、回折光だけ残すことができ、このようにして、マトリクス・アドレス可能な表面のアドレッシング・パターンに従って、ビームがパターン付けされる。必要とされるマトリクス・アドレッシングは、適切な電子手段を使用して実行することができる。そのようなミラー・アレイに関するさらなる情報は、たとえば、米国特許第 5,296,891 号および米国特許第 5,523,193 号から収集することができ、これらを参照により本明細書に援用する。

10

b) プログラム可能な LCD アレイ。そのような構造の一例は、米国特許第 5,229,872 号にあり、これを参照により本明細書に援用する。

【0020】

本発明の方法は、従来技術に優る重要な利点を提供する。最も重要なことには、本発明は、レンズ収差を補償し、より高いパターン忠実度でユーザが結像させることを可能にする照明形状を自動的に決定するリソグラフィ光源パターン最適化ツールを提供する。その結果、本発明は、結像性能を改善し、投影レンズの有効寿命を延長する。一般に、投影レンズは、結像系の最も高価な部品の 1 つであるため、投影レンズの寿命を延ばすことは著しい利益になる（すなわち、レンズの性能を改善し、経時的なレンズ性能の劣化とを補償することにより、本発明は、レンズを交換することが必要とされる頻度を最小限に抑える）。さらに、本発明の方法はまた、それだけには限らないが、露光ラチチュード「EL」など追加的な測定基準を同時に最適化することを可能にする。

20

【0021】

本発明の追加的な利点は、当業者には、本発明の例示的な実施例に関する以下の詳細な説明から明らかになるであろう。

【0022】

本発明自体、ならびに他の目的および利点は、以下の詳細な説明と添付の図面を参照することによって、よりよく理解することができる。

30

【実施例】

【0023】

以下でさらに詳しく述べるように、本発明のリソグラフィ最適化プロセスの目的は、1 組の変化する結像条件下で、最初にコスト測定基準 C を規定し、次いでそれを最小限に抑えることである。ただし、コスト測定基準 C は、1 組のプロセス・パラメータの関数であり、結像系の性能を定量化する数値を返す。コスト測定基準 C は、結像性能に対するレンズ収差の作用を反映しなければならないことが重要である。本発明によれば、コスト測定基準は、基板上で得られる像に対する照明源の形状の作用を定量化する。コスト測定基準が小さいほど、結像プロセスがより良好に実行される（すなわち、得られる像がより正確に標的パターンに合致する）ことになる。

40

【0024】

実際問題として、リソグラフィ・プロセス最適化は、複数の制約を満たすことを必要とする。そのような制約の例には、それだけには限らないが、イメージ・ログ・スローブを最大化すること、焦点深度を最大化すること、ライン・エンド・ショートニングを最小限に抑えること、などが含まれる。したがって、1 組のそのような複数の性能基準が与えられた場合、グローバルなコスト関数は、式 1.0 で述べるように、個々の基準それぞれの加重和として公式化することができる。

【0025】

$$C_{\text{total}} = \sum_i w_i C_i \dots \dots \dots (\text{Eq. 1.0})$$

【 0 0 2 6 】

10

【 0 0 2 7 】

20

【 0 0 2 8 】

30

【 0 0 2 9 】

40

【 0 0 3 0 】

【 0 0 3 1 】

50

【 0 0 3 2 】

【 数 2 】

$$I(r) = \sum_s w_s I_s(r) \dots \dots \dots \text{(Eq. 2.0)}$$

と表すことができる。

【 0 0 3 3 】

$E_s(r)$ が、物体平面内の点 r で測定された点源 s に伴う電界を表すと仮定すると、
 $E_s(r)$ は、ひとみ開口によって収集された離散回折次数の関数であり、標準的な結像
 論理に従って、

【 0 0 3 4 】

【 数 3 】

$$E_s(r) = \sum_n a_{sn} e^{ik_n r} \dots \dots \dots \text{(Eq. 2.1)}$$

と表すことができ、上式で、下付き文字 n は、結像ひとみによって収集された全次数の有
 限集合を指し、 a_{sn} は、複素変調係数（回折の大きさ）の集合を指す。以下では、下付き
 文字 s を省略し、光源点 s から生ずる干渉照明からの部分的な寄与率を暗黙に仮定する。

【 0 0 3 5 】

レンズ収差の作用は、

【 0 0 3 6 】

【 数 4 】

$$a'_n = a_n e^{i\phi(k_n)} \dots \dots \dots \text{(Eq. 2.2)}$$

に従って回折の大きさを歪ませることであり、上式で、

【 0 0 3 7 】

【 数 5 】

$$a'_n$$

は、収差フィールド（ k ）によって歪められた回折の大きさを表す。次いで、収差フイ
 ールド（ k ）を受ける物体平面内の電界の大きさは、

【 0 0 3 8 】

【 数 6 】

$$E'_s(r) = \sum_n a_n e^{ik_n r} e^{i\phi(k_n)} \dots \dots \dots \text{(Eq. 2.3)}$$

に従う。

【 0 0 3 9 】

次いで、収差を受けた像強度

【 0 0 4 0 】

10

20

30

40

50

【数 7】

$$I'_s(r)$$

は、

【 0 0 4 1 】

【数 8】

$$I'_s(r) = \sum_{n,n'} a_n a_{n'}^* e^{i(k_n - k_{n'})r} e^{i(\phi(k_n) - \phi(k_{n'}))} \dots\dots\dots \text{(Eq. 2.4)} \quad 10$$

に従う。

【 0 0 4 2 】

式 2 . 4 内の対角項 ($n = n'$) すべてについて、収差の作用が相殺されることが観察される。対角でない項 ($n \neq n'$) について、($nn' + n'n$) の対に関連する部分項を構築する。

【 0 0 4 3 】

【数 9】

20

$$a_n := |a_n| e^{i\theta_n} :$$

$$I'_{s,nn'} = |a_n| |a_{n'}| \left(e^{i(k_n - k_{n'})r + i(\theta_n - \theta_{n'})} e^{i(\phi(k_n) - \phi(k_{n'}))} e^{-i(k_n - k_{n'})r - i(\theta_n - \theta_{n'})} e^{-i(\phi(k_n) - \phi(k_{n'}))} \right) \dots\dots\dots \text{(Eq. 2.5)}$$

【 0 0 4 4 】

【数 1 0】

$$\alpha := (k_n - k_{n'})r + (\theta_n - \theta_{n'}), \Delta\phi := \phi(k_n) - \phi(k_{n'}). \quad 30$$

を定義する。いくつかの簡単な代数変換の後で、式 2 . 5 は、

【 0 0 4 5 】

【数 1 1】

$$I'_{s,nn'} = 2|a_n| |a_{n'}| \cos(\alpha + \Delta\phi) \dots\dots\dots \text{(Eq. 2.6)}$$

$$= 2|a_n| |a_{n'}| (\cos \alpha \cos \Delta\phi - \sin \alpha \sin \Delta\phi) \dots\dots\dots \text{(Eq. 2.7)}$$

40

と表すことができる。

以下では、レンズ収差が小さい ($\alpha \ll 1$) ものと仮定されている。サインおよびコサイン項を第 1 次まで展開すると、

【 0 0 4 6 】

【数 1 2】

$$I'_{s,nn'} \approx 2|a_n| |a_{n'}| (\cos \alpha - \Delta\phi \sin \alpha) \dots\dots\dots \text{(Eq. 2.8)}$$

50

が得られる。したがって、部分的な像寄与率

【 0 0 4 7 】

【 数 1 3 】

$$I'_{s,nn'}$$

に対する収差フィールド (k) の作用は、

【 0 0 4 8 】

【 数 1 4 】

10

$$I'_{s,nn'}(r) \approx I_{s,nn'}(r) - 2|a_n||a_{n'}|\Delta\phi \sin \alpha(r) \dots\dots\dots \text{..(Eq. 2.9)}$$

と表すことができる。以下では、物体平面内の任意の点 r について

【 0 0 4 9 】

【 数 1 5 】

$$I'_{s,nn'}(r)$$

20

に対する収差の作用を最小限に抑えることが望ましい。この場合、係数 a ' (r) は、 [- 1 , + 1] の全範囲を仮定する。上記の仮定の下で、収差フィールドによって導入される合計像強度への接続寄与率 I_s に対する歪みは、

【 0 0 5 0 】

【 数 1 6 】

$$|I'_s - I_s| \leq C_s, \dots\dots\dots \text{..(Eq. 3.0)}$$

30

によって束縛され、ただし、

【 0 0 5 1 】

【 数 1 7 】

$$C_s := 2 \sum_{n < n'} |a_{sn}||a_{sn'}| |\phi(k_n) - \phi(k_{n'})| \dots\dots\dots \text{..(Eq. 3.1)}$$

上式を (式 2 . 0) と共に参照すると、収差フィールド (k) によるレンズ収差の作用を低減するために最適な光源形状は、コスト関数 C (w_s) を最小化する光源フィールド分布 w_s によって特徴付けられる。

40

【 0 0 5 2 】

【 数 1 8 】

$$C(w_s) := \sum_s w_s C_s \dots\dots\dots \text{..(Eq. 3.2)}$$

【 0 0 5 3 】

したがって、式 3 . 2 は、レンズ収差の作用を最小限に抑えるために最小化しなければならないコスト関数を表す。

【 0 0 5 4 】

50

図3を参照すると、周期的パターンを結像することにより、離散回折次数301の集合が得られる。具体的には、図3は、周期的パターンを結像することから生じる例示的な回折パターンを示す。図3に示された回折パターンは、図2に示された周期的パターンに対応しないことに留意されたい。さらに、非周期的パターンは、精度のために定義されたガード帯でパターンを囲む単位セルの周期的パターンとして近似することができることに留意されたい。

【0055】

周知のように、結像系の投影レンズ304によって取り込まれた回折次数301を有する光は、基板上で所望のパターンを複製する精度/性能を決定する。回折次数301の大きさ「 a_n 」は、結像されるフィーチャの幾何形状によって決定される。再び図3を参照すると、投影レンズ304は、レンズ304の開口数の取込み範囲内で特定集合の回折次数を有する光を収集する。レンズ304に対する回折次数301を有する光の位置は、イルミネータ内の光源要素「 s 」の部分干渉照明の照明プロファイルによって決定される。図4は、例示的なイルミネータ・プロファイル305を示し、単一の照明点「 s 」が照明されている。したがって、イルミネータ305内の光源要素「 s 」の変位は、集光ひとみ304（すなわち、投影レンズ）の中心と回折パターン302の中心との間で変位ベクトル「 s 」を引き起こす。したがって、イルミネータ305内の光源要素「 s 」を操作することにより、ひとみ304によって取り込まれた回折次数を有する光を変え、また、ひとみ304内で、取り込まれた回折次数を有する光の位置を変えることが可能である。光源イルミネータ305のこの操作により、レンズ収差による結像の劣化を最小限に抑えることができる。具体的には、レンズ収差がひとみ304内のある位置で存在する場合に、回折次数を有する光がひとみ304上の「収差位置」内に入らないように光源イルミネータ305を調整することができる。

【0056】

レンズ収差がない場合、集光ひとみ304（すなわち、投影レンズ）に関する回折次数を有する光の正確な位置は、同じ回折次数を有する光が収集されている限り重要でないことに留意されたい。しかし、上記で指摘したように、レンズ収差またはデフォーカスが存在する場合、性能は、レンズひとみ内の回折次数を有する光の正確な位置に応じて変わる。

【0057】

図5は、本発明の光源照明最適化プロセスを示す例示的な流れ図である。最初の段階であるステップ401では、初期光源照明プロファイル「 w_s 」が計算される。このプロファイルは、照明開口をカバーする一定グリッド上の透過値「 w_s 」の集合として表される。図6を参照すると、このプロファイルは、照明グリッドを形成する複数の離散点「 w_s 」のどれが照明されているかを示す。たとえば、上記で論じた「独立の」最適化モードで動作する場合には、 o'_{out} の可能な最大設定で従来の照明開口を使用することにより、イルミネータの初期プロファイル（すなわち、形状）を得ることができる。別法として、最適化を他のコスト測定基準と共に適用する場合には、他のコスト測定基準を考慮し、ただしレンズ収差を考慮することなしに形状を最適化することにより、イルミネータの初期プロファイル（すなわち、形状）を得ることができる。

【0058】

次の段階であるステップ402では、コスト測定基準 C_{total} が評価される。まず、本発明の反復プロセスを最初に通過する際に、 C_{total} は、（独立の最適化実施例における） $C(w_s)$ と同一であるように、または（組み合わせられた最適化実施例における）式1.0による $C(w_s)$ の作用を含むように仮定される。

【0059】

次いで、ステップ403で、ステップ402の結果が加重され、考慮されている他の測定基準すべてと共に組み合わせられる。次いで、この結果が先の反復と比較され、結果が最小であると決定された場合には、最小であると決定されたコスト関数 $C(w_s)$ に対応する照明プロファイル「 w_s 」が、最適な光源照明プロファイルとして選択される（ステップ4

05)。

【0060】

本発明のプロセスは、多数の反復を行って、コスト測定基準 $C(w_s)$ が最小であるか否か判定することに留意されたい。再び図5を参照すると、ステップ403でコスト測定基準 $C(w_s)$ が最初に決定された後で、 $C(w_s)$ の値がメモリに記憶され、プロセスがステップ404に進み、ステップ404で新しい照明プロファイル「 w_s 」が選択される。次いで、プロセスはステップ402に戻り、新しい照明プロファイルと共に $C(w_s)$ を計算する。次いで、この第2反復の得られたコスト測定基準 $C(w_s)$ は、第1反復のコスト測定基準と比較され、最小のコスト関数に対応する光源照明プロファイルが最適な照明プロファイルとして識別される。この反復プロセスは、最小のコスト測定基準 $C(w_s)$ が得られたことが確認されるまで続行される。一実施例では、先の反復の結果に基づいてコスト測定基準を最も低減する可能性のあるプロファイルを予測するために、ジェネリック・アルゴリズムが適用される。

10

【0061】

前述の変形形態では、指定された値イプシロンを事前定義することも可能であり、次いで、所定の先の反復回数（たとえば、反復4回）の間に $C(w_s)$ の最大変化とイプシロンを比較し、 $C(w_s)$ の変化がイプシロンより小さい場合には、プロセスがステップ405に進み、現在の照明プロファイルが最適な照明プロファイルとして選択される。

【0062】

ひとたび最適な照明プロファイル w_s が識別されたなら、オペレータは、最適な光源照明プロファイルを実施する、回折光学要素など照明シェーパを選択できる。

20

【0063】

本発明の前述の方法は、典型的には、上記で論じたように、CAD（コンピュータ支援設計）プログラムで実施され、CADプログラムは、一部には、前述の方法を実行し、最適な照明プロファイルを表すファイルを生成することになることに留意されたい。CADプログラムの出力となるであろうそのようなファイルは、最適な光源照明を実施するのに必要な回折光学要素を作製するために使用することができる。

【0064】

本発明はまた、従来技術に優る著しい利点を提供する。最も重要なことには、本発明は、レンズ収差を補償し、より高いパターン忠実度でユーザが結像させることを可能にする照明形状を自動的に決定するリソグラフィ光源パターン最適化ツールを提供する。その結果、本発明は、結像性能を改善し、投影レンズの有効寿命を延長する。一般に、投影レンズは、結像系の最も高価な部品の1つであるため、投影レンズの寿命を延ばすことは著しい利益になる（すなわち、レンズの性能を改善し、経時的なレンズ性能の劣化とを補償することにより、本発明は、レンズを交換することが必要とされる頻度を最小限に抑える）。

30

【0065】

図7は、本発明の助けにより設計されたマスクと共に使用するのに適したリソグラフィ投影装置を概略的に示す。この装置は、以下を備える。

- 放射線の投影ビームPBを供給するための放射システムEx、IL。この特定の場合では、放射線源LAをも備える。

40

- マスクMA（たとえば、レチクル）を保持するためのマスク・ホルダを備え、投影システムPLに対してマスクを正確に位置決めするための第1の位置決め手段に接続された第1の物体テーブル（マスク・テーブル）MT。

- 基板W（たとえば、レジスト被覆済みシリコン・ウェハ）を保持するための基板ホルダを備え、投影システムPLに対して基板を正確に位置決めするための第2の位置決め手段に接続された第2の物体テーブル（基板テーブル）WT。

- マスクMAの照射部分を基板Wの（たとえば、1つまたは複数のダイを備える）標的部分C上に結像するための投影系（レンズ）PL（たとえば、屈折光学系、反射光学系、カタディオプトリック光学系）。

50

【 0 0 6 6 】

本明細書では、この装置は透過型である（すなわち、透過型マスクを有する）。しかし、一般に、たとえば（反射型マスクを有する）反射型とすることもできる。これに代えて、この装置は、マスクの使用の代替として、別の種類のパターン付け手段を使用することができ、例には、プログラム可能なミラー・アレイまたはLCDマトリクスが含まれる。

【 0 0 6 7 】

放射線源LA（たとえば、水銀ランプ、エキシマ・レーザ、または放出プラズマ線源）は、放射線のビームを生成する。このビームは、直接に、あるいは、たとえばビーム・エキスパンダExなど条件付け手段を横切った後で照明系（イルミネータ）IL内に送られる。イルミネータILは、ビーム内の強度分布の（一般にそれぞれ - outerおよび - innerと呼ばれる）外部および/または内部径方向範囲を設定するための調整手段AMを備えることができる。さらに、概してインテグレータINおよびコンデンサCOなど、様々な他の構成要素を備えることになる。このようにして、マスクMA上に衝突するビームPBは、その断面において所望の均一性および強度分布を有する。

【 0 0 6 8 】

図7に関して、放射線源LAは、（たとえば、放射線源LAが水銀ランプである場合にしばしばそうであるように）リソグラフィ投影装置のハウジング内にあってもよいが、リソグラフィ投影装置から遠隔にあり、（たとえば、適切な誘導ミラーの助けにより）放射線源が生成する放射ビームを装置内に送ることもできることに留意されたい。この後者の状況は、放射線源LAが（たとえば、KrF、ArF、またはF₂レーザに基づく）エキシマ・レーザである場合が多い。本発明は、これらの状況をどちらも包含する。

【 0 0 6 9 】

その後で、ビームPBは、マスク・テーブルMT上で保持されているマスクMAと交差する。ビームPBは、マスクMAを横切って、レンズPLを通過し、レンズPLは、ビームPBを基板Wの標的部分C上に集束する。基板テーブルWTは、第2の位置決め手段（および干渉測定手段IF）の助けにより、たとえば、ビームPBの経路内で異なる標的部分Cを位置決めするように、正確に移動することができる。同様に、第1の位置決め手段を使用し、たとえば、マスクMAをマスク・ライブラリから機械的に取り出した後で、または走査中に、ビームPBの経路に対してマスクMAを正確に位置決めすることができる。一般に、物体テーブルMT、WTの移動は、図7には明示的に示されていないロング・ストローク・モジュール（粗い位置決め）およびショート・ストローク・モジュール（細かい位置決め）の助けにより実現されることになる。しかし、（ステップ・アンド・スキャン装置ではなく）ウェハ・ステッパの場合には、マスク・テーブルMTをショート・ストローク・アクチュエータに接続するだけとすることも、固定とすることもできる。

【 0 0 7 0 】

図のツールは、2つの異なるモードで 사용할 ことができる。

- ステップ・モードでは、マスク・テーブルMTが本質的に静止したままであり、マスク・イメージ全体が標的部分C上に一度に（すなわち、1回の「フラッシュ」）投影される。次いで、基板テーブルWTがxおよび/またはy方向でシフトされ、その結果、異なる標的部分CをビームPBによって照射することができる。

- 走査モードでは、本質的に同じ状況が当てはまるが、所与の標的部分Cが1回の「フラッシュ」で露光されない。その代わりに、マスク・テーブルMTは、所与の方向（いわゆる「走査方向」、たとえばy方向）に速さvで移動可能であり、その結果、投影ビームPBはマスク・イメージ全体にわたって走査させられ、それと共に、基板テーブルWTが、同方向または反対方向に速さV = Mvで同時に移動する。この式でMは、レンズPLの倍率である（一般に、M = 1 / 4または1 / 5）。このようにして、解像度を損なうことなく、比較的大きな標的部分Cを露光することができる。

【 0 0 7 1 】

以上、本発明のある特定の実施例について開示したが、本発明の精神または本質的な特徴から逸脱することなく、他の形態で本発明を実施することができることに留意されたい

。したがって、本実施例は、あらゆる態様において制限するものでなく例示的なものと解釈されるべきであり、本発明の範囲は、添付の特許請求の範囲に示されており、したがって、特許請求の範囲の均等性の意味および範囲内に入る変更すべてが特許請求の範囲に含まれるものとする。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 7 2 】

【図 1】結像系の基本構成要素を示すブロック図である。

【図 2】基板上に結像されるフィーチャを有する例示的な単位セルの図である。

【図 3】周期的パターンを結像することから生じる例示的な回折パターンの図である。

【図 4】例示的な光源照明プロフィルの図である。

10

【図 5】本発明の光源照明最適化プロセスを示す例示的な流れ図である。

【図 6】別の例示的な光源照明プロフィルの図である。

【図 7】本発明の助けにより設計されたマスクと共に使用するのに適したリソグラフィ投影装置の概略図である。

【符号の説明】

【 0 0 7 3 】

A M 調整手段

C 標的部分

C O コンデンサ

E x 放射システム（ビーム・エキスパンダ）

20

I F 干渉測定手段

I L 放射システム（照明システム）

I N インテグレータ

L A 放射線源 L A

M A マスク

M T 第 1 の物体テーブル（マスク・テーブル）

P B 投影ビーム

P L 投影系

W 基板

W T 第 2 の物体テーブル（基板テーブル）

30

1 0 結像系

1 2 照明源

1 4 マスク

1 6 ひとみ

1 8 投影レンズ

2 0 基板

1 9 9 フィーチャ

2 0 1 単位セル

3 0 1 回折次数

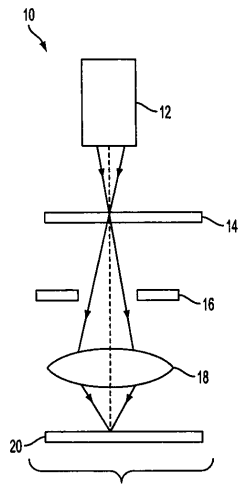
3 0 2 回折パターン

40

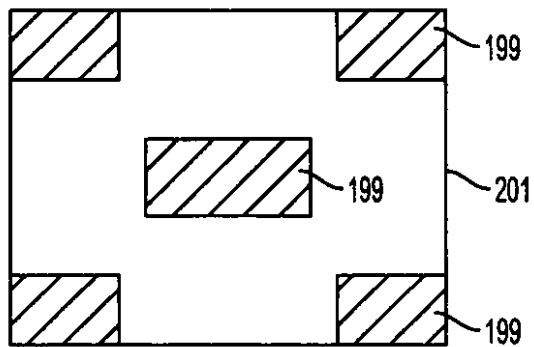
3 0 4 投影レンズ

3 0 5 イルミネータ・プロフィル

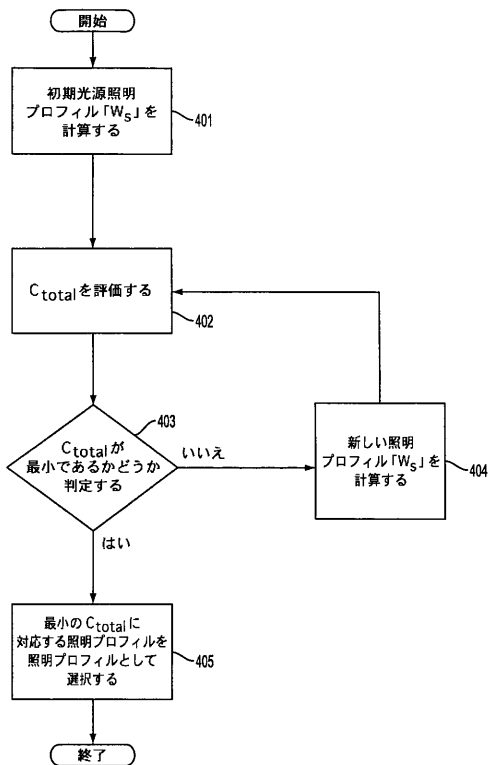
【図 1】



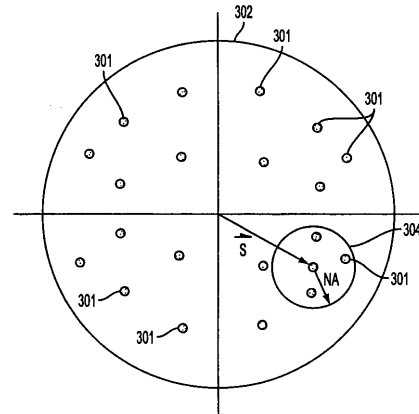
【図 2】



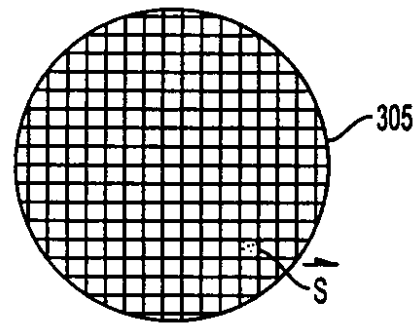
【図 5】



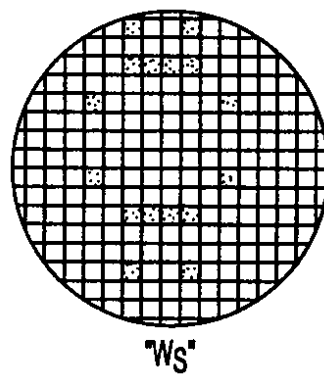
【図 3】



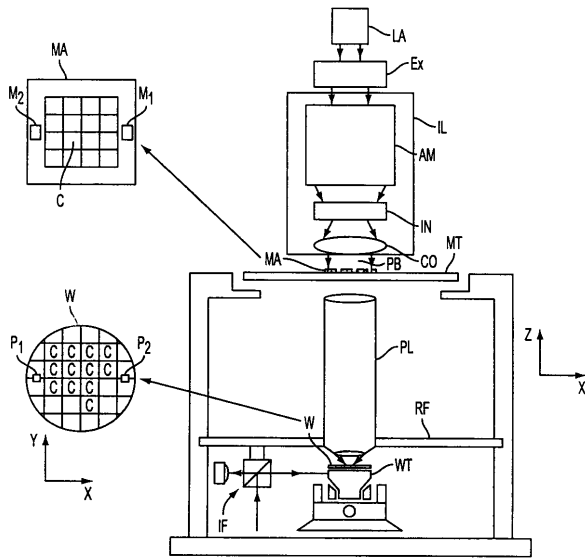
【図 4】



【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

合議体

審判長 小松 徹三

審判官 森林 克郎

審判官 岡田 吉美

- (56)参考文献 特開2002-334836(JP,A)
特開2002-261004(JP,A)
特開平7-29813(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L21/027