

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2013-65018

(P2013-65018A)

(43) 公開日 平成25年4月11日 (2013.4.11)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G03F 1/36 (2012.01)	G03F 1/36	2H095
H01L 21/027 (2006.01)	H01L 21/30 515Z	5F146
	H01L 21/30 515A	

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L 外国語出願 (全 64 頁)

(21) 出願番号	特願2012-204768 (P2012-204768)	(71) 出願人	591060898
(22) 出願日	平成24年9月18日 (2012.9.18)		アイメック
(31) 優先権主張番号	11181654.2		I MEC
(32) 優先日	平成23年9月16日 (2011.9.16)		ベルギー、ペー 3001 ルーヴァン、カ
(33) 優先権主張国	欧州特許庁 (EP)		ペルドリーフ 75 番
(特許庁注：以下のものは登録商標)		(71) 出願人	306025156
1. フロッピー			アーエスエムエル・ネザーランズ・ベスロ
			ーテン・フェンノートシャップ
			ASML Netherlands B.
			V.
			オランダ5504 デーエル・フェルトホー
			フェン、デ・ルン6501 番
		(74) 代理人	100101454
			弁理士 山田 卓二

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学リソグラフィでの照明光源形状定義

(57) 【要約】

【課題】リソグラフィプロセス条件を決定するための良好な方法およびシステムを提供する。

【解決手段】リソグラフィプロセスのためのリソグラフィプロセス条件を決定する方法およびシステムが記載される。入力を取得した後、非矩形形状サブ分解能アシスト特徴部を許容する条件下で、照明光源およびマスク設計について第1の最適化を行う。続いて、矩形形状サブ分解能アシスト特徴部だけが許容される1つ又はそれ以上の追加の最適化において、マスク設計が最適化される。これにより良好なリソグラフィプロセスが得られるとともに、マスク設計の複雑性を制限する。

【選択図】 図3

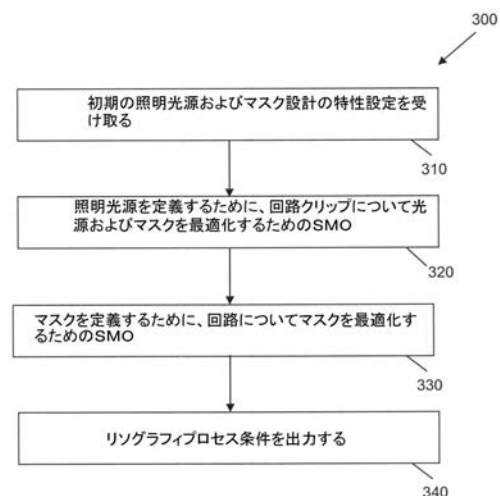


FIG. 3

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

リソグラフィプロセスのためのリソグラフィプロセス条件を決定する方法（３００）であって、

- ・照明光源およびマスク設計の特性を取得すること（３１０）を含み、該マスク設計は、リソグラフィパターンを含んでおり、

- ・リソグラフィプロセスのための照明光源特性およびマスク設計特性の組合せ最適化のための第１の最適化を実施すること（３２０）を含み、これにより前記第１最適化では、マスク用の非矩形状サブ分解能アシスト特徴部（１３０）が許容されており、

- ・前記第１の最適化から、最適化した照明光源特性の組を決定することを含み、

- ・リソグラフィプロセスのマスク設計特性の最適化のための１つ又はそれ以上の追加の最適化を実施すること（３３０）を含み、これにより前記１つ又はそれ以上の追加の最適化では、前記マスク設計用の非矩形状サブ分解能アシスト特徴部（１３０）の存在が実質的に排除され、前記１つ又はそれ以上の追加の最適化は、最適化した照明光源特性の前記組を考慮しており、

- ・前記１つ又はそれ以上の追加の最適化から、非矩形状サブ分解能アシスト特徴部（１３０）を実質的に排除した、最適化したマスク設計特性の組を決定することを含む、方法。

【請求項 2】

前記１つ又はそれ以上の追加の最適化を実施すること（３３０）は、１つ又はそれ以上の追加の最適化で許容される最も複雑なマスク設計特徴部が第１の最適化で許容される最も複雑なマスク設計特徴部よりも複雑でないことを少なくとも表現しているマスクルールチェック設定を考慮するようにした、請求項１記載の方法（３００）。

【請求項 3】

第１の最適化は、マスク設計の一部である最適化クリップについて実施するようにした、請求項１または２記載の方法（３００）。

【請求項 4】

１つ又はそれ以上の最適化を実施すること（３３０）は、リソグラフィプロセスのための閾値を最適化することをさらに含む、請求項１～３のいずれかに記載の方法（３００）。

【請求項 5】

１つ又はそれ以上の最適化は、

- ・リソグラフィプロセスの閾値およびマスク設計特性を最適化するための第２の最適化を含み、これにより前記第２の最適化では、前記マスク用の非矩形状サブ分解能アシスト特徴部（１３０）の存在が実質的に排除され、これにより第２の最適化は、最適化した照明光源特性の組を考慮しており、

- ・リソグラフィプロセスのためのマスク設計特性を最適化するための第３の最適化を含み、これにより前記第３の最適化では、前記マスク用の非矩形状サブ分解能アシスト特徴部（１３０）の存在が実質的に排除され、これにより第３の最適化は、第１の最適化から決定した最適化照明光源特性の組、および第２の最適化から決定した最適化閾値を考慮するようにした、請求項４記載の方法（３００）。

【請求項 6】

第２の最適化を実施することは、マスク設計の一部である最適化クリップに適用される、請求項５記載の方法（３００）。

【請求項 7】

第３の最適化を実施することは、フルマスク設計に適用される、請求項５または６記載の方法（３００）。

【請求項 8】

リソグラフィプロセスは、処理すべきパターンの異なる部分のパターニングを行う多重パターニングステップを含む、請求項１～７のいずれかに記載の方法（３００）。

10

20

30

40

50

【請求項 9】

第 1 の最適化または、1 つ又はそれ以上の追加の最適化の各々では、光源 - マスク最適化アルゴリズムが、フルレジストモデルまたは空中像モデルのいずれかをベースとして使用される、請求項 1 ~ 8 のいずれかに記載の方法 (3 0 0)。

【請求項 1 0】

リソグラフィプロセスのためのリソグラフィプロセス条件を決定するためのシステム (7 0 0) であって、

- ・照明光源およびマスク設計の特性を取得するための入力手段 (7 1 0) を備え、該マスク設計は、リソグラフィパターンを含み、

- ・処理手段 (7 2 0) を備え、該処理手段は、

- ・リソグラフィプロセスのための照明光源特性およびマスク設計特性の組合せ最適化のための第 1 の最適化を実施し、これにより前記第 1 最適化では、マスク用の非矩形形状サブ分解能のアシスト特徴部 (1 3 0) が許容されており、

- ・前記第 1 の最適化から、最適化した照明光源特性の組を決定し、

- ・リソグラフィプロセスのマスク設計特性の最適化のための 1 つ又はそれ以上の追加の最適化を実施し、これにより前記 1 つ又はそれ以上の追加の最適化では、前記マスク設計用の非矩形形状サブ分解能アシスト特徴部 (1 3 0) の存在が実質的に排除され、これにより前記 1 つ又はそれ以上の追加の最適化は、最適化した照明光源特性の前記組を考慮しており、

- ・前記 1 つ又はそれ以上の追加の最適化から、非矩形形状サブ分解能アシスト特徴部 (1 3 0) を実質的に排除した、最適化したマスク設計特性の組を決定するようにプログラムされている、システム。

【請求項 1 1】

システム (7 0 0) は、処理手段上で実行した場合、請求項 1 ~ 9 のいずれかに記載の方法の 1 つを実行するためのコンピュータプログラム製品として実装されている、請求項 1 0 記載のシステム (7 0 0)。

【請求項 1 2】

処理手段上で実行した場合、請求項 1 ~ 9 のいずれかに記載の方法の 1 つを実行するためのコンピュータプログラム製品を格納したデータキュリア、またはこうしたコンピュータプログラム製品の伝送。

【請求項 1 3】

リソグラフィプロセスで使用する部品キットであって、

- ・請求項 1 ~ 9 のいずれかに記載の方法を用いて決定した照明光源特性を少なくとも含むキャリアと、

- ・同じ方法を用いて決定したマスク設計に係るマスクとを備える、部品キット。

【請求項 1 4】

少なくとも 1 つのパターン層を含む電子デバイスであって、

該パターン層は、請求項 1 ~ 9 のいずれかに記載の方法を用いて決定したリソグラフィプロセス条件に従うリソグラフィプロセスを用いて製作されるようにした、電子デバイス。

【請求項 1 5】

電子デバイスを製造するための方法であって、

- ・請求項 1 ~ 9 のいずれかに記載の方法 (3 0 0) を用いて、照明光源特性およびマスク特性を含むリソグラフィプロセス条件の組を決定することを含み、

- ・電子デバイスを形成するために、該リソグラフィプロセス条件を用いて半導体基板上のフォトリジストを露光することを含む、方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0 0 0 1】**

本発明は、光学リソグラフィの分野に関し、詳細には、例えば、リソグラフィプロセス

10

20

30

40

50

に用いられる光源照明、閾値、マスクの最適化など、リソグラフィプロセスを最適化するための方法およびシステムに関する。

【背景技術】

【0002】

光学リソグラフィは、マイクロチップの生産に使用される技術のうちの1つである。それは、「レチクル(reticle)」あるいは「フォトマスク」または「マスク」を使用し、「ウエハ」上に塗布された「フォトレジスト層」に、あるパターンを形成する。このマスクは、あるパターンを含んでおり、その像がウエハ上に投影された場合、化学的に現像した後、このフォトレジスト層に所望のパターンを生成する。この投影した像は、ある波長および光源形状を用いてマスクを照明することによってフォトレジスト層に形成される。マスクを通過した光は、リソグラフィ露光ツールの投影レンズによって取り込まれ、このレンズは、マスクパターンの像をフォトレジスト層に形成する。マスク自体は、光学的に透明なプレートで構成され、その上にパターンが片面に形成されている。これらのパターンは、多角形からなり、マスクの光学伝達特性は「パターン無しエリア」に対して変更されている。一例として、これらの多角形状マスクパターンは、これらを通過した光を吸収しまたは減衰させる薄い層で構成してもよい。

10

【0003】

しかしながら、光学投影リソグラフィ用の上記基本概念は、2つの要素によって複雑化している。ウエハ上に形成された像での形状は、マスク上のパターンの形状と同一コピーではなく、リソグラフィ工程で用いられる「技術(technology)ノード」がより発展するにつれて、即ち、生成する必要があるパターンサイズおよびパターン密度がそれぞれ小さくなって、例えば、20nmノード未満に高密度になると、両者間の相違点は大きくなる。

20

【0004】

マスク像パターンおよび投影像パターンの間の相違の影響は、「光学近接効果」と称される。長年、この効果は、いわゆる「光学近接効果補正」(OPC)をマスクパターンに適用することによって取り扱われている。即ち、マスクパターンは、投影した像が所望のウエハパターンに接近するように、ウエハ上に形成したい像とは意図的に異ならせている。この変更は、一般に、マスクパターンの形状(多角形)がある適切な方法で所望の印刷形状とは異なることを意味しているが、それは、ウエハ上に印刷像を形成するものではないが、印刷すると考えられる多角形のプロセスラチチュード(次の黒点(bullet)を参照)をいくらか改善する追加の多角形をマスクパターンに追加することをも意味している。

30

【0005】

これらの「特別」マスク多角形は、しばしば「アシストマスク特徴部(feature)」または「アシスト特徴部」と称される。OPCは、長年に渡って標準的な技術となっており、幾つかの会社が、意図したウエハパターンを与えると、マスクがリソグラフィツール内で露光される方法に関して十分に詳細な事項と共に、光学近接効果を補正したマスクパターンを生成するソフトウェアを提供している。

【0006】

光学投影リソグラフィをより複雑化している第2の要素は、ウエハパターンの忠実度が、リソグラフィプロセスでの欠陥(これらの多くはここで列挙している。)の存在(回避できない程度の)によって影響を受けることである。印刷パターン形状は、ウエハ上に像を生成するために用いられる光の量に依存し、いわゆる「露光量」または「線量」と称される。

40

【0007】

一般に、例えば、回避できない機械エラーまたは作業員エラーに起因して、理想的な線量を正確に露光することが不可能であるため、リソグラフィ作業員は、十分な量の「露光ラチチュード(EL)」を有する条件下で、即ち、理想の露光量からのある一定のオフセット(通常、露光量自体の百分率として表現される)が許容される条件下で作業することを目的としている。

【0008】

50

像を形成するリソグラフィ投影レンズは、いわゆる「ベストフォーカス面」、即ち、像が最も「鮮鋭」であって、意図した像に最も近くなる、空間内のある平面を有する。ウエハがこのベストフォーカス面に関して理想的に配置されていない場合、ウエハは「合焦外れ」ということになる。

【0009】

一般に、例えば、回避できない機械エラーまたは作業者エラーに起因して、ウエハを正確に合焦状態で露光することが不可能であるため、リソグラフィ作業者は、十分な量の「焦点深度(DOF)」を有する条件下で、即ち、理想の焦点面からのある一定のオフセット(通常、実際のウエハ面が理想面から何ナノメートル離れているかで表現される)が許容される条件下で作業することを目的としている。

10

【0010】

例えば、上記OPCソフトウェアによって生成されたマスクパターンは、一般に、リソグラフィプロセスで用いられる実際のフォトマスク上で完全に実現できない。通常、「マスクエラー」が存在しており、即ち、マスクパターンは、所望のマスクパターンからサイズまたは形状(あるいは両方)の点で偏差している。所望のマスクパターンからの偏差(「マスクエラー」)はまた、ウエハパターンの偏差をもたらす。一般に、マスクエラーを回避すること不可能であるため、リソグラフィ作業者は、ある量のマスクエラーが許容される条件下で作業することを目的としている。

【0011】

典型的には、十分なEL、DOFおよびマスクエラーに対する許容誤差が実現されるリソグラフィプロセス条件を見出す必要がある。上記許容誤差に対するリソグラフィプロセスの実際の性能は、しばしば「クリティカル(critical)寸法均一性」、略してCDU(ナノメートル表現)と称される測定基準で定量化される。この測定基準は、例えば、この露光焦点または露光量または実際のマスクエラーなどのプロセス変動に起因して、ウエハ像のある構造の寸法が実際にどれくらい変動しているか(例えば、印刷したウエハ内部、またはウエハからウエハへ)を表現する。そして、リソグラフィプロセス条件の最適化は、CDU測定基準の最小化として表現できる。ここでの重要な要素(その要素だけではないが)は、リソグラフィ露光ツールで使用される照射光源形状の選択である。

20

【0012】

上記の2つの複雑化は、今日、いわゆる光源(source) - マスク最適化(通常、「SMO」と略す)を実施することによってしばしば対処されている。これは、露光量、焦点及び/又はマスクエラーについての最良の可能性のあるまたは少なくとも十分な許容誤差(いわゆる「プロセスマージン」)を提供する光源 - マスクの組合せを見出すために、照明光源およびOPCマスクが同時に変化する計算プロセスである。幾つかのソフトウェア会社が、所望のウエハ像が与えられた場合、他の入力、例えば、所望のプロセスマージンおよび、使用者にとって許容されるマスク複雑性への制限を規定するパラメータなどとともに、例えば、SMO計算を行う自動化ソフトウェアを提供している。

30

【0013】

これらのマスク複雑性の制限は、リソグラフィプロセスのラチチュードの最大化とコストとの間でトレードオフ(trade-off)を構成する。これは、次のように理解できる。

40

要求された像に可能な限り近い像を生成するために、マスク上のパターンが理想的にどのように見えるかを計算する場合、得られたマスクパターンは、通常、極端に複雑であり、このことは、印刷像、そしてアシスト特徴部の量、密度および形状を生成することを意図したマスク多角形の形状が極めて複雑であることを意味する。こうした複雑なマスクは、全て製造可能であれば、マスクコストが増加し、生成する必要がある多角形の数が増加し、あるいは、個々の多角形の形状がより複雑になる場合、極めて高価になるであろう。さらに、任意の形状のアシスト特徴部を用いると、極めて大きなマスクファイルが生じ、これはマスク上の全てのパターンの正確な形状を記述するファイルであり、これについて産業界は、gdsまたはgds2 ファイルと称される標準ファイルフォーマットを使用している。

50

【 0 0 1 4 】

従って、O P CソフトウェアおよびS M Oソフトウェアの両方は、使用者が受け入れようとする解法の複雑性に影響を与える（制限する）多くの数値パラメータを有し、これについてソフトウェアの使用者は、適切と考える数値または設定を選択する必要がある。最終のマスク解法に現れるアシスト多角形の実際の複雑性は、「マスキュールチェック」またはM R Cパラメータと称されるS M O計算のための入力パラメータ組の値によって、さらに影響される。これらのパラメータについての実際の値（計算を実行する人間によって設定される必要がある）は、個々のマスク多角形の許容される複雑性への制限を設定する。一例として、これらのM R Cパラメータは、マスク多角形の許容されるセグメント長に対して最小値を設定する。極めて複雑な形状を許容するM R Cパラメータは、「アグレッシブ（積極的）」と称され、こうしたM R C入力パラメータのアグレッシブな組を備えた印刷した像形状は、一般に、所望の理想像により近くなるであろう。しかし、得られたマスクは、製造不可能であるか、あるいは極めて高価であろう。これが、一般に、人々が、より「穏健なM R C」入力パラメータを用いてS M Oソフトウェアを実行することを好む理由であり、完全な印刷像ではないが、あまり複雑でなく、製造可能であり、あまり高価でないマスクを出力する。

10

【 0 0 1 5 】

矩形形状のアシストだけを許容する決定は、マスクコストを制限するが、より小さなプロセスラチチュードをしばしばもたらすことになる。多くの場合、リソグラフィプロセス許容誤差は、非矩形形状アシスト特徴部が許容された場合、矩形形状アシストのみが許容された場合と比べて改善することが知られている。よりアグレッシブな入力M R Cパラメータは、通常、より大きなプロセスマージンをもたらす。

20

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 6 】

（ 発明の要旨 ）

本発明の実施形態の目的は、リソグラフィプロセス条件を決定するための良好な方法およびシステムを提供することである。

【 0 0 1 7 】

本発明の実施形態の利点は、リソグラフィプロセス条件が、リソグラフィプロセスに良好な焦点深度（D o F）性能を提供するとともに、使用するマスクにおいて、低い複雑性のサブ分解能アシスト特徴部を許容するように決定できることである。本発明の実施形態の利点は、マスクを製造するための製造努力および経済的コストが低くなるとともに、良好なD o F性能を持つリソグラフィプロセスが得られることである。

30

【 0 0 1 8 】

本発明の実施形態の利点は、リソグラフィプロセス条件が、マスク複雑性が低く、または制限される（即ち、例えば、矩形形状のサブ分解能のアシスト特徴部のみが存在する）とともに、リソグラフィプロセスは、非矩形形状のサブ分解能の特徴部もマスク内で許容されている場合と類似または同じクリティカル寸法均一性（C D U）を取得できるリソグラフィプロセスのために決定できることである。

40

【 0 0 1 9 】

本発明の実施形態の利点は、使用するマスク特徴部およびサブ分解能のアシスト特徴部を定義するマスクファイルのサイズが制限できるとともに、良好なリソグラフィプロセスが得られることである。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 2 0 】

上記目的は、本発明に係る方法および装置によって達成される。

【 0 0 2 1 】

本発明は、リソグラフィプロセスのためのリソグラフィプロセス条件を決定する方法に関する。該方法は、

50

・照明光源およびマスク設計の特性を取得することを含み、該マスク設計は、リソグラフィパターンを含んでおり、

・リソグラフィプロセスのための照明光源特性およびマスク設計特性の組合せ最適化のための第1の最適化を実施することを含み、これにより前記第1最適化では、マスク用の非矩形状サブ分解能アシスト特徴部が許容されており、

・前記第1の最適化から、最適化した照明光源特性の組を決定することを含み、

・リソグラフィプロセスのマスク設計特性の最適化のための1つ又はそれ以上の追加の最適化を実施することを含み、これにより前記1つ又はそれ以上の追加の最適化では、前記マスク設計用の非矩形状サブ分解能アシスト特徴部の存在が実質的に排除され、前記1つ又はそれ以上の追加の最適化は、最適化した照明光源特性の前記組を考慮しており、

・前記1つ又はそれ以上の追加の最適化から、非矩形状サブ分解能アシスト特徴部を実質的に排除した、最適化したマスク設計特性の組を決定することを含む。

【0022】

驚くべきことに、非矩形状サブ分解能アシスト特徴部を許容しない制限されたマスク設計設定を用いるとともに、非矩形状サブ分解能アシスト特徴部を許容する無制限またはあまり制限されないマスク設計設定を用いて、決定した光源 - 照明条件を用いてマスク設計特性を最適化することは、良好なリソグラフィプロセスのためのリソグラフィプロセス条件、例えば、良好なDof、良好なCDUなどを提供するとともに、マスク設計の複雑性は制限されることが判明した。非矩形状サブ分解能アシスト特徴部を実質的に排除することは、矩形状サブ分解能アシスト特徴部のみを使用することを参照することがある。該方法は、コンピュータで実行してもよい。

【0023】

1つ又はそれ以上の追加の最適化は、1つ又はそれ以上の追加の最適化で許容される最も複雑なマスク設計特徴部が第1の最適化で許容される最も複雑なマスク設計特徴部よりもあまり複雑でないことを少なくとも表現しているマスクルールチェック設定を考慮して、実施してもよい。本発明の少なくとも幾つかの実施形態の利点は、良好なリソグラフィプロセスのために従来のマスク最適化を用いて製作したマスク設計でのマスク特徴部と比較して、サブ分解能アシスト特徴部が最終マスク設計においてあまり複雑にならないだけでなく、他のマスク特徴部も最終マスク設計においてあまり複雑にならないことである。

【0024】

第1の最適化は、マスク設計のほんの一部である最適化クリップについて実施してもよい。本発明の少なくとも幾つかの実施形態の利点は、最適化が、マスクの小さな部分だけについて実施可能であり、制限されたコンピュータ能力で効率的な処理が可能になる。

【0025】

1つ又はそれ以上の最適化は、リソグラフィプロセスのための閾値を最適化することを含んでもよい。

【0026】

1つ又はそれ以上の最適化を実施することは、リソグラフィプロセスの閾値およびマスク設計特性の最適化のための第2の最適化を実施することを含んでもよく、これにより前記第2の最適化では、前記マスク用の非矩形状サブ分解能アシスト特徴部の存在が実質的に排除され、第2の最適化は、最適化した照明光源特性の組を考慮しており、そして、リソグラフィプロセスのためのマスク設計特性を最適化するための第3の最適化を実施することを含んでもよく、これにより前記第3の最適化では、前記マスク用の非矩形状サブ分解能アシスト特徴部の存在が実質的に排除され、第3の最適化は、第1の最適化から決定した、最適化した照明光源特性の組、および第2の最適化から決定した、最適化した閾値を考慮している。

【0027】

本発明の少なくとも幾つかの実施形態の利点は、選択すべき照明光源、閾値およびマスクの特性が、異なる最適化ステップで最適化できることであり、それ自体のアシスト設定およびマスクルールチェック設定を用いて各パラメータを最適化することが可能である。

本発明の少なくとも幾つかの実施形態の利点は、異なるアシスト設定およびマスクルールチェック設定の使用が、照明光源、閾値およびマスクの特性を最適化することを可能にし、その結果、リソグラフィプロセスを用いて良好なDof及び/又はCDUが得られ、同時に、制限された複雑性を持つマスクがリソグラフィプロセス用に使用可能であることである。

【0028】

第2の最適化を実施することは、マスク設計のほんの一部である最適化クリップに適用してもよい。本発明の少なくとも幾つかの実施形態の利点は、最適化が、マスクの小さな部分だけについて実施可能であり、制限されたコンピュータ能力で効率的な処理が可能になる。

【0029】

第3の最適化を実施することは、フルマスク設計に適用してもよい。本発明の少なくとも幾つかの実施形態の利点は、マスク特徴部がフルマスクについて決定できることである。

【0030】

リソグラフィプロセスは、処理すべきパターンの異なる部分のパターニングを行う多重パターニングステップを含んでもよい。本発明の実施形態が、多重パターニングリソグラフィプロセスに特に好適であろう。それは、多重パターニングにおいて、サブパターンは、典型的には特徴部間で幅広のスペースを有するためである。換言すると、多重パターニングリソグラフィプロセスを用いると、孤立したパターンの発生頻度が多い。これは、焦点深度マージンおよびCD(クリティカル寸法)変動に対してマイナスの影響を固有に有するため、本発明の少なくとも幾つかの実施形態で得られるような、焦点深度およびCD均一性を改善するための戦略が、多重パターニング技術にとって有益である。

【0031】

第1の最適化または、1つ又はそれ以上の追加の最適化の各々または何れかを実施するために、光源-マスク最適化アルゴリズムが、フルレジストモデルまたは空中像モデルのいずれかをベースとして使用してもよい。

【0032】

本発明はまた、リソグラフィプロセスのためのリソグラフィプロセス条件を決定するためのシステムに関する。該システムは、

- ・照明光源およびマスク設計の特性を取得するための入力手段を備え、該マスク設計は、リソグラフィパターンおよびサブ分解能アシスト特徴部を含み、

- ・処理手段を備え、該処理手段は、

- ・リソグラフィプロセスのための照明光源特性およびマスク設計特性の組合せ最適化のための第1の最適化を実施し、これにより前記第1最適化では、マスク用の非矩形状サブ分解能のアシスト特徴部が許容されており、

- ・前記第1の最適化から、最適化した照明光源特性の組を決定し、

- ・リソグラフィプロセスのマスク設計特性の最適化のための1つ又はそれ以上の追加の最適化を実施し、これにより前記1つ又はそれ以上の追加の最適化では、前記マスク設計用の非矩形状サブ分解能アシスト特徴部の存在が実質的に排除され、これにより前記1つ又はそれ以上の追加の最適化は、最適化した照明光源特性の前記組を考慮しており、

- ・前記1つ又はそれ以上の追加の最適化から、非矩形状サブ分解能アシスト特徴部を実質的に排除した、最適化したマスク設計特性の組を決定するようにプログラムされている。

【0033】

処理手段は、リソグラフィプロセスの閾値およびマスク設計特性の最適化のための第2の最適化を実施するように適合してもよく、これにより第2の最適化では、前記マスク用の非矩形状サブ分解能アシスト特徴部の存在が実質的に排除され、第2の最適化は、最適化した照明光源特性の組を考慮しており、そして、リソグラフィプロセスのためのマスク設計特性を最適化するための第3の最適化を実施するように適合してもよく、これにより

10

20

30

40

50

第3の最適化では、前記マスク用の非矩形状サブ分解能アシスト特徴部の存在が実質的に排除され、第3の最適化は、最適化した照明光源特性の組を考慮しており、第1の最適化から決定した、最適化した照明光源特性の組、および第2の最適化から決定した、最適化した閾値を考慮している。

【0034】

システムは、処理手段上で実行した場合、上述したような方法の1つを実行するためのコンピュータプログラム製品として実装してもよい。

【0035】

本発明はまた、処理手段上で実行した場合、上述したような方法の1つを実行するためのコンピュータプログラム製品を格納したデータキュリアに関する。

10

【0036】

本発明はまた、処理手段上で実行した場合、上述したような方法の1つを実行するためのコンピュータプログラム製品の伝送に関する。

【0037】

本発明はまた、リソグラフィプロセスで使用する部品キットに関する。該部品キットは、上述したような方法を用いて決定した照明光源特性を含むキャリア、そして同じ方法を用いて決定したマスク設計に係るマスクを備える。

【0038】

本発明はまた、電子デバイスに関する。該電子デバイスは、少なくとも1つのパターン層を含み、該パターン層は、上述したような方法を用いて決定したリソグラフィプロセス条件に従うリソグラフィプロセスを用いて製作される。

20

【0039】

本発明はまた、電子デバイスを製造するための方法に関する。該方法は、上述したようなリソグラフィプロセス条件決定方法を用いて、照明光源特性およびマスク特性を含むリソグラフィプロセス条件の組を決定すること、続いて、電子デバイスを形成するために、該リソグラフィプロセス条件を用いて半導体基板上のフォトレジストを露光することを含む。

【0040】

本発明の実施形態の利点は、リソグラフィプロセス条件は、良好な焦点深度性能を持つリソグラフィプロセスを提供するように決定できることである。

30

【0041】

本発明の特定の好ましい態様は、添付の独立および従属請求項に記述している。従属請求項からの特徴は、適切に、単に請求項に明示的に記述したものとしてでなく、独立請求項の特徴および他の従属請求項の特徴と組み合わせてもよい。

【0042】

本発明のこれらの態様および他の態様は、後述する実施形態を参照しながら明らかになるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0043】

【図1】（先行技術）矩形状サブ分解能アシスト特徴部（分図A）および非矩形状サブ分解能アシスト特徴部（分図B）を示す。こうした特徴部は、本発明の実施形態においても好都合に使用できる。

40

【図2】（先行技術）先行技術から知られているものとして、従来の光源 - マスク最適化フローを示す。

【図3】本発明の一実施形態に係る、リソグラフィプロセス条件を決定する方法を示す。

【図4】許容される矩形状SRAFのみを用いた従来のフローを用いた場合（フローA）、許容される非矩形状SRAFを用いた従来のフローを用いた場合（フローB）、そして本発明の一実施形態に係るSMOフローを用いた場合（フローC）、生成したSRAMパターンの比較例を示す。

【図5】許容される矩形状SRAFのみを用いた従来のフロー、および本発明の一実施形

50

態に係る SMO フローについて、図 4 に示す SRAM パターンの例に示した切断線での正規化した像対数傾斜 (NILS: normalized image log slope) を示す。

【図 6】本発明の実施形態に係る SMO フローの主要なステップが示されている複数の例を示す。

【図 7】本発明の一実施形態に係る、リソグラフィプロセス条件を決定するためのシステム方法を示す。

【図 8】矩形状 SRAF を用いた従来のフローおよび本発明の一実施形態に係るフローについて、論理レイアウトの 250 個のコンタクトホールにおいて 6 % の露光ラチチュード (EL) での DoF のヒストグラムを示す。

【図 9】異なる SMO フローについてのクリティカル寸法均一性 (CDU) および GDS ファイルのサイズを示すもので、本発明の実施形態の利点を説明している。

【図 10】20 nm ノードの場合、異なる SMO フローについて対応するマスク設計との組合せで、異なる SMO フローについてのクリティカル寸法均一性 (CDU) および GDS ファイルのサイズを示すもので、本発明の実施形態の利点を説明している。

【0044】

図面は、概略的に過ぎず、限定的なものでない。図面において、幾つかの要素のサイズは強調していることがあり、説明目的のため、スケールどおりに描いていない。請求項での参照符号は、範囲を限定するものとして解釈すべきでない。異なる図面において、同じ参照符号は、同じまたは類似の要素を参照している。

【発明を実施するための形態】

【0045】

本発明は、特定の実施形態に関して一定の図面を参照しながら説明しているが、本発明はこれによって限定されず、請求項によってのみ限定される。ここで記載した図面は、概略的に過ぎず、限定的なものでない。図面において、幾つかの要素のサイズは強調していることがあり、説明目的のため、スケールどおりに描いていない。寸法および相対寸法は、本発明の実際の実施品と対応していない。

【0046】

さらに、説明および請求項での用語「第 1」「第 2」などは、類似の要素を区別するために使用しており、必ずしも時間的または空間的な順番を記述するためではない。ここで使用した用語は、適切な状況下で交換可能であり、ここで本発明の実施形態は、ここで説明したり図示したものとは別の順番で動作可能であると理解すべきである。

【0047】

さらに、説明および請求項での用語「上(top)」、「下(bottom)」等は、説明目的で使用しており、必ずしも相対的な位置を記述するためのものでない。こうして用いた用語は、適切な状況下で交換可能であって、ここで説明した本発明の実施形態がここで説明または図示した以外の他の向きで動作可能であると理解すべきである。

【0048】

請求項で用いた用語「備える、含む(comprising)」は、それ以降に列挙された手段に限定されるものと解釈すべきでなく、他の要素またはステップを除外していないことに留意する。記述した特徴、整数、ステップまたは構成要素の存在を、参照したように特定するように解釈する必要があるが、1 つ又はそれ以上の他の特徴、整数、ステップまたは構成要素、あるいはこれらのグループの存在または追加を除外していない。こうして表現「手段 A, B を備えるデバイス」の範囲は、構成要素 A, B のみから成るデバイスに限定すべきでない。本発明に関して、デバイスの関連した構成要素が A, B であることを意味する。

【0049】

本明細書を通じて「一実施形態」または「実施形態」への参照は、実施形態との関連で記載した特定の特徴、構造または特性が本発明の少なくとも 1 つの実施形態に含まれることを意味する。本明細書を通じていろいろな場所での「一実施形態」または「実施形態」の語句の出現は、必ずしも全て同じ実施形態を参照していないが、そうこともある。さ

らに、1つ又はそれ以上の実施形態において、本発明から当業者にとって明らかなように、特定の特徴、構造または特性は、いずれか適切な方法で組み合わせてもよい。

【0050】

同様に、本発明の例示の実施形態の説明において、本開示を合理化し、本発明の1つ又はそれ以上の種々の態様の理解を支援する目的で、単一の実施形態、図面、または説明において、本発明のいろいろな特徴と一緒にグループ化していることがあると理解すべきである。しかしながら、この開示の方法は、請求項の発明が、各請求項で明示的に記載したものより多くの特徴を必要とするという意図を反映していると解釈すべきでない。むしろ下記の請求項が反映しているように、発明の態様は、単一の前述した実施形態の全ての特徴より少ない場合がある。こうして詳細な説明に追従する請求項は、この詳細な説明の中に明示的に組み込まれており、各請求項は、本発明の別々の実施形態として自立している。

10

【0051】

さらに、ここで説明した幾つかの実施形態が、他の実施形態に含まれる幾つかの他でない特徴を含むとともに、当業者によって理解されるように、異なる実施形態の特徴の組合せが本発明の範囲内にあって、異なる実施形態を構成することを意味する。例えば、下記の請求項において、請求した実施形態の何れも、何れの組合せで使用可能である。

【0052】

ここで提供した説明では、多数の具体的な詳細を説明している。しかしながら、本発明の実施形態は、これらの具体的な詳細なしで実施してもよいことは理解されよう。別の例では、本説明の理解を曖昧にしないために、周知の方法、構造、および技法は詳細には示していない。

20

【0053】

後述する実験または本発明に係る実施形態において、サブ分解能アシスト特徴部(SRA F: sub-resolution assist features)という場合、マスクに追加された特徴部であって、パターン化すべき特徴部そのままに基づくマスクを適用した場合に導入される光学近接誤差を補正することが可能である特徴部を参照している。典型的には、2つのタイプのアシスト特徴部が存在する。第1タイプは、矩形形状のサブ分解能アシスト特徴部であり、形状は全体的に矩形である。第2タイプは、非矩形形状のサブ分解能アシスト特徴部(SRA F)であり、任意の矩形形状特徴部の他に、非矩形形状のSRA F部分も含んでいる。これらはまた、自由造形(free-form) SRA Fとも称される。一般に、アシスト特徴部は、任意の形状、例えば、任意の多数の頂点を持つ多角形の物体とすることができる。幾つかの実施形態では、こうした非矩形形状のSRA Fが、多角形状SRA F、および使用する角度が0°、90°、180°または270°に制限された多角形状SRA Fに制限できる。但し、本発明の実施形態はこれに限定されない。

30

【0054】

例えば、本発明の実施形態はこれに限定されないが、二重パターンニング用の矩形形状SRA F補正(分図A)および非矩形形状SRA F補正(分図B)の説明を図1に示している。黒色部分はサブ分解能アシスト特徴部を示し、一方、ハッチング部分は原型パターン特徴部を示している。知られているように、二重パターンニングでの非矩形形状SRA Fの使用は、焦点深度(Dof)を実質的に増加させ、マスクファイルサイズ(GDS)も実質的に増加させる。

40

【0055】

本発明に係る実施形態または実験において、光源(source) - マスク最適化(SMO)という場合、照射光源およびマスクを最適化するためのテクニックを参照している。最適化は、照射光源の異なるエッジおよび特徴部に対して異なる効果を有してもよい。それは、例えば、光源形状または照射パターンに対する効果を有してもよい。それは、例えば、光源照明を、選択した放射パターンに制限するための瞳の使用を含んでもよい。マスクの最適化は、マスクの異なる特徴部およびエッジに対する効果を有してもよい。それは、例えば、エッジ位置またはライン幅のシフト化またはバイアス化を含み、そして、それ自体を

50

印刷することを意図していないが、印刷すべき関連パターン特徴部の性質に影響を及ぼすアシスト特徴部の適用を含む。

【0056】

S M Oは、典型的には、閾値の最適化も含む。本発明に係る実施形態において、閾値という場合、照射用に使用する照射強度または線量を参照しており、それを超えると、照射されたフォトリジストが変化してパターンの形成を生じさせる。使用する閾値は、取得できるクリティカル寸法に直接に影響を与える。

【0057】

本発明に係る実施形態において、従来のS M Oフローまたは標準S M Oフローという場合、図2に示すような方法に従って典型的に実施されるS M O最適化を参照している。図2において、こうした従来のS M Oフロー200の本質的な部分を示している。第1ステップ210では、光源 - マスク最適化を回路クリップ(clip)、例えば、S R A Mセルに対して実施しており、光源およびマスク形状を規定する。このステップで使用するパターンは、1つの回路クリップ、例えば、S R A Mセルに必ずしも限定されず、他のクリップ、例えば、論理回路ブロックまたはこの組合せも使用できる。

【0058】

次のステップ220において、マスク最適化(M O)を論理パターンに対して実施しており、この部分は本質的に光学近接効果補正(O P C)に対応している。マスク形状の結果は、マスク製造可能性について考慮すべきである。従って、典型的にはS M OおよびM O最適化は、穏健なマスク制限ルール(M R C)の下で矩形形状S R A Fを用いて実施される。非矩形形状S R A Fの場合、G D Sマスクファイルサイズは、典型的には極めて大きくなるためである。大きなG D Sファイルサイズおよび複雑なマスクが限定し過ぎでなければ、従来のS M Oフローは、より積極的なマスク制限ルールおよび非矩形形状S R A Fを用いて実施してもよい。

【0059】

第1態様では、本発明は、リソグラフィプロセスのためのリソグラフィプロセス条件を決定する方法に関する。該方法は、小さいパターンのパターンニング用に特に適している。該方法は、多重パターンニングプロセス、例えば、二重パターンングリソグラフィプロセスにおいて好都合に使用できる。但し、本発明の実施形態はこれに限定されない。それは、光源 - マスク最適化(S M O)のためのアルゴリズムを利用している。S M Oを実施するための種々のアルゴリズムが知られており、本発明の実施形態はこうしたアルゴリズムの各々を利用できる。使用可能なS M Oアルゴリズムの一例が、国際特許出願W O 2 0 1 0 / 0 5 9 9 5 4 A 2に記載されている。但し、本発明の実施形態はこれに限定されない。光源 - マスク最適化のためのアルゴリズムが、光学結像モデルシミュレーションを利用してもよい。例えば、S M O最適化は、空中像モデルまたはフルレジストモデルを利用してもよい。本発明の実施形態は、使用する特定のモデルに限定されない。

【0060】

さらに、本発明の実施形態は、種々の最適化ステップを利用する。ステップの各々において、同じまたは異なるS M Oアルゴリズムが使用でき、同じまたは異なる光学結像シミュレーションモデル、例えば、空中像モデルまたはフルレジストモデルを利用できる。幾つかのS M Oステップでは、光源条件が固定され、例えば、前のステップで決定される。こうした場合、アルゴリズムは、マスク最適化アルゴリズム(M O)と称してもよい。

【0061】

本発明の実施形態に係る方法は、最適化すべき照射光源およびマスク設計の特性を取得するステップを含む。マスク設計特性またはマスク設計は、初期のパターンを含む。マスク設計特性は、精製すべきサブ分解能アシスト特徴部の組を含んでもよく、または、実施すべき最適化の際に導入してもよい。初期の設定を取得した後、第1の最適化が、リソグラフィプロセス用の照明光源特性およびマスク設計特性の組合せ最適化のために実施される。本発明の実施形態によれば、この第1の最適化は、マスク用の非矩形形状サブ分解能アシスト特徴部が許容されるように実施される。上述したように、典型的なS M Oアルゴリ

ズムがこの最適化のために使用してもよい。本発明の実施形態はこれに限定されない。例えば、最適化は、フルレジストモデル、そして空中像モデルをベースとしてもよい。第1の最適化は、典型的には、最適化すべきマスク設計の一部分のみである最適化クリップについて実施してもよい。但し、本発明の実施形態はこれに限定されない。この第1の最適化から、最適化した照明光源特性の組、そして最適化したマスク設計特性の組が決定されるが、最適化した照明光源特性の組だけが維持され、この方法においてさらに使用されることになる。

【0062】

その後、1つ又はそれ以上の最適化を実施するステップが行われ、リソグラフィプロセスのマスク設計特性を最適化する。この最適化は、単一ステップで実施してもよく、または、例えば、他のパラメータ、例えば、閾値が最適化される場合、異なる最適化の際に実施してもよい。これらの1つ又はそれ以上の更なる最適化では、第1の最適化で決定したように、最適化した照明光源特性の組は、固定した照明光源特性として用いられ、これらの照明光源特性の更なる変動を許容しない。上述のように、使用するアルゴリズムは、第1の最適化で使用したものと同一または異なるアルゴリズムでもよい。それは、フルレジストモデルをベースとしたアルゴリズム、そして空中像モデルをベースとしたアルゴリズムでもよい。マスク設計特性を最適化するための1つ又はそれ以上の更なる最適化において、マスク設計のための非矩形状サブ分解能アシスト特徴部の存在は、実施的に排除される。さらに、マスキュールチェック設定が設定され、あまり複雑でないマスク設計特徴部が許容される。これらの最適化により、第1の最適化を用いて得られたものよりあまり複雑でないマスク設計が得られ、驚くことに、許容される非矩形状サブ分解能アシスト特徴部を用いて照明光源およびマスクの最適化を実施した場合に得られるような、良好な焦点深度(Dof)が得られるという利点を有する。

【0063】

これらの1つ又はそれ以上の更なる最適化から、最適化したマスク設計特性の組が決定され、これによりマスク設計特性の場合、非矩形状サブ分解能アシスト特徴部が実質的に排除される。これらの1つ又はそれ以上の最適化は、フルマスク設計について実施してもよい。一例として、本発明の一実施形態に係る例示の方法を図3に示している。例示の方法は、照明光源およびマスク設計に関する初期設定を取得すること(310)を含む。光源を定義するため(320)と、閾値およびマスクを定義するため(330)の最適化ステップ間の分離は、サブ分解能アシスト特徴部に関して異なる条件を使用することが可能になる。即ち、非矩形状サブ分解能アシスト特徴部を許容するマスク特性を用いて光源を定義することが可能になり、非矩形状サブ分解能アシスト特徴部を許容しない条件を用いてマスク特性および閾値を定義することが可能になる。

【0064】

下記の実験結果で説明するように、この結果は、良好な焦点深度が得られるリソグラフィプロセス条件の利点をもたらすとともに、マスク設計の複雑性および、マスク特性を保存するファイルのマスク設計ファイルサイズを制限する。

【0065】

この方法は、上述のように決定したリソグラフィプロセス条件を出力ポートを經由して、データキャリア、ディスプレイ表示または他の手段によって出力すること(340)を含んでもよい。提供した出力は、リソグラフィプロセス時に使用される照明光源、そしてリソグラフィプロセスで使用されるマスク設計に関する情報を含むリソグラフィプロセス条件である。

【0066】

本発明の実施形態に係る方法は、好都合なことに、少なくとも部分的にはコンピュータで実行される。例えば、最適化アルゴリズムが適用される少なくとも最適化ステップは、コンピュータで実行される方法で実施できる。幾つかの実施形態では、該方法は完全にコンピュータで実行される。

【0067】

幾つかの実施形態では、1つ又はそれ以上の更なる最適化はまた、リソグラフィプロセス用の閾値の最適化を含む。後者は、別個のステップで実施でき、またはマスク特性のための最適化ステップとの組合せが可能である。一実施形態では、閾値およびマスク設計特性の最適化は、単一の最適化ステップで実施され、照明光源特性を定義するための最適化ステップに続く。後者は、典型的には、フルマスク設計、即ち、全ての回路について実施してもよく、フルマスク設計の最適化を取得する。こうした実施形態では、閾値およびマスク設計特性は、同じステップで定義される。本発明の実施形態によれば、これは、非矩形状サブ分解能アシスト特徴部を排除しながら実施される。

【0068】

幾つかの実施形態では、閾値およびマスク設計の最適化は、別個の最適化ステップで実施される。従って、1つ又はそれ以上の更なる最適化は、第1の最適化で定義された照明光源の設定を用いて、閾値および、非矩形状サブ分解能アシスト特徴部を排除するマスク設計を最適化するための第2の最適化ステップを含んでもよい。第2の最適化ステップからは、少なくとも閾値設定が定義される。必要に応じて、マスク設計特性の一部について、例えば、回路マスク設計のほんの一部である回路クリップについて得られるようなこれらの特性が定義できる。定義された閾値および、必要ならばマスク設計特性の一部についても、第3の最適化ステップのための固定値として使用してもよく、この場合、追加のマスク設計特定のマスク設計特性は、フルマスク設計、即ち、全ての回路に対応した設計のために決定される。

【0069】

本発明の特定の実施形態では、非矩形状サブ分解能アシスト特徴部を排除したり許容する以外に、マスキュールチェック設定が異なる最適化の間で異なるように選択される。マスキュールチェック設定またはマスキュールチェックパラメータ(MRC)は、個々のマスク多角形の許容される複雑性への限界を設定するパラメータである。一例として、これらのMRCパラメータは、マスク多角形の許容されるセグメント長に対する最小値を設定してもよい。極めて複雑な形状を許容するMRCパラメータ組は、「アグレッシブ(積極的)」と呼ばれ、こうしたアグレッシブなMRC入力パラメータの組を持つ印刷した像形状は、一般には所望の理想像により近いであろう。しかし、得られたマスクは、より複雑であり、製造するのが困難であったり、及び/又は極めて高価であろう。

【0070】

穏健なMRC設定はあまり完全でない印刷像をもたらすが、あまり複雑でなく、より製造可能であり、またはあまり高価でないマスクを出力する。本発明の実施形態によれば、マスキュールチェック設定は、1つ又はそれ以上の追加の最適化において許容される少なくとも最も複雑なマスク設計特徴部が、第1の最適化で許容された最も複雑なマスク設計特徴部よりも複雑でないように、選択してもよい。

【0071】

本発明に係る実施形態の利点は、閾値設定が、非矩形状サブ分解能アシスト特徴部が排除される条件下で決定できることである。これにより、非矩形状サブ分解能アシスト特徴部が排除される従来のSMOフローを用いて得られるものより良好なDOFを有することが可能である。

【0072】

上述したように、異なる最適化ステップは、例えば、空中像モデルまたはフルレジストモデルを用いて、同じまたは異なるシミュレーションモデルをベースとしたSMO最適化アルゴリズムを用いて実施してもよい。

【0073】

図4は、許容される矩形状SRAFのみを用いた従来のフローを用いた場合(フローA)、許容される非矩形状SRAFを用いた従来のフローを用いた場合(フローB)、そして本発明の一実施形態に係るSMOフローを用いた場合(フローC)、生成したSRAMパターンの例を示す。本発明の一実施形態に係るSMOフローでは、SRAFの個数はフローAよりもかなり大きくなり、SRAFのレイアウトは、非矩形状SRAFを許容する

従来のフローにより近くなることが判る。矩形状 S R A F のみを用いた従来のフローと、本発明の一実施形態に係るフローとで N I L S の比較は、図 5 から導出できるように、最良のフォーカス条件およびデフォーカス条件で N I L S に関して明確な利点があることを示している。図 5 は、図 4 に示す切断線での正規化した像対数傾斜 (N I L S : normalized image log slope) を示す。

【 0 0 7 4 】

一例として、複数の可能性ある S M O フローの主要なステップを図 6 に示しており、本発明の実施形態に係る種々の可能性あるフローの幾つかの例を示している。

【 0 0 7 5 】

一態様では、本発明は、リソグラフィプロセスのためのリソグラフィプロセス条件を決定するためのシステムに関する。システムは、上述したような第 1 態様に係る方法を実施するために特に適しているであろう。但し、実施形態はこれに限定されない。システムは、コンピュータで実行してもよい。こうしたコンピュータでの実行は、ソフトウェアで実行しても、ハードウェアで実行しても、両方の組合せでもよい。一例として、本発明の実施形態はこれに限定されないが、本発明の一実施形態に係る例示のシステムを図 7 に示しており、こうしたシステムの標準および任意の特徴部を示している。システム 7 0 0 は、照明光源およびマスク設計の特性を取得するための入力手段 7 1 0 を含む。該特性は、典型的には、実施すべきリソグラフィパターンを含む。サブ分解能アシスト特徴部が、追加の最適化のために既に定義してもよく、あるいは、最適化とともにこれらを導入してもよいが、マスク設計特性の一部ではない。入力は、典型的には、電子データフォーマットで得られる。システムは、処理手段をさらに備える。処理手段 7 2 0 は、リソグラフィプロセスについての照明光源特性およびマスク設計特性の組合せ最適化のための第 1 の最適化を実施するためにプログラムされている。処理手段 7 2 0 はさらに、マスク用の非矩形状サブ分解能アシスト特徴部が許容される第 1 の最適化を実施するためにプログラムされている。

【 0 0 7 6 】

処理手段 7 2 0 はまた、第 1 の最適化から、最適化した照明光源特性の組を決定するためにプログラムされている。

【 0 0 7 7 】

処理手段 7 2 0 はまた、リソグラフィプロセスのマスク設計特性の最適化のための 1 つ又はそれ以上の追加の最適化を実施するためにプログラムされており、これにより、1 つ又はそれ以上の追加の最適化では、前記マスク用の非矩形状サブ分解能アシスト特徴部の存在が実質的に排除される。1 つ又はそれ以上の追加の最適化では、最適化した照明光源特性の前記組を考慮する。

【 0 0 7 8 】

処理手段 7 2 0 はまた、1 つ又はそれ以上の追加の最適化から、非矩形状サブ分解能アシスト特徴部を実質的に排除した、最適化したマスク設計特性の組を決定するためにプログラムされている。処理手段 7 2 0 は、異なる最適化ステップのための異なるマスクルールチェック設定を考慮するように適合してもよい。

【 0 0 7 9 】

上記フローを実行するために、処理手段 7 2 0 は、異なる動作のタイミングを決めるコントローラ 7 2 2 を備えてもよい。さらに、処理手段 7 2 0 は、S M O 最適化モジュール 7 2 4 を備えてもよく、これは、提供された特定の設定、例えば、特定のシミュレーション用に提供された特定の設定を考慮した S M O 最適化を実施するように適合している。これらの特定の設定は、使用者入力から取得してもよく、またはコントローラ 7 2 2 から取得してもよい。こうした設定は、マスクの複雑性の程度を決定する設定、非矩形状サブ分解能アシスト特徴部が許容されるか否かを決定する設定、パターン特徴部について許容された複雑性の程度を表現するマスクルールチェック設定などでもよい。

【 0 0 8 0 】

S M O 最適化モジュール 7 2 4 は、当業者に知られている任意の適切な光源マスク最適

化モジュールでもよい。それは、特定のモデル、例えば、空中像モデルまたはフルレジストモデルをベースとしてもよく、あるいは、興味のあるモデルを選択するために適合していてもよい。システムは、使用するリソグラフィプロセス条件を出力するための出力手段をさらに備える。こうしたリソグラフィプロセス条件は、典型的には、照明光源特性およびマスク設計特性を含み、電子データとして出力したり、表示したりできる。追加のシステムコンポーネントが、第1態様で説明したようなリソグラフィプロセス条件を決定するための方法のステップの1つまたはそれ以上、あるいはその一部を実施するように適合した任意のコンポーネントであってもよい。

【0081】

他の態様において、本発明は、処理手段上で実行した場合、第1態様で説明したような方法の1つを実行するためのコンピュータプログラム製品に関する。コンピュータプログラム製品は、少なくとも1つのメモリ形態、例えば、RAM、ROMなどを含むメモリサブシステムと結合した、少なくとも1つのプログラム可能なプロセッサを含む処理システム上で実行してもよい。プロセッサまたは複数のプロセッサは、汎用のものでもよく、または特別な目的のプロセッサでもよく、デバイスに組み込み用のもの、例えば、他の機能を実施する他のコンポーネントを有するチップでもよいことに留意する。こうして本発明の実施形態の1つ又はそれ以上の態様が、デジタル電子回路、またはコンピュータハードウェア、ファームウェア、ソフトウェア、これらの組合せで実施できる。プロセッサは、リソグラフィプロセス条件を決定するための方法を実施するように適合してもよく、あるいは、こうした方法を実施するための命令を含んでもよい。プロセッサは、少なくとも1つのディスクドライブ、及び/又はCD-ROMドライブ、及び/又はDVDドライブを有する保存サブシステムを含んでもよい。

【0082】

幾つかの例では、ディスプレイシステム、キーボード、ポインティングデバイスを、使用者が情報を手動で入力するのを提供するユーザインタフェース・サブシステムの一部として含んでもよい。データを入力および出力するためのポートを含んでもよい。例えば、ネットワーク接続、種々のデバイスとのインタフェースなどの要素を含んでもよい。処理システムの種々の要素は、バスサブシステムなどを介して種々の方法で接続してもよい。メモリサブシステムのメモリは、ある時は、処理システムで実行した場合、上述の方法の実施形態のステップを実行する命令セットの一部または全てを保持してもよい。こうした処理システムは先行技術であるが、上述したような方法の態様を実行する命令を含むシステムは先行技術ではない。

【0083】

コンピュータプログラム製品は、プログラム可能なプロセッサでの実行用の機械読み取り可能なコードを搭載したキュリア媒体内に有形的に具現化できる。こうして本発明は、コンピュータ手段上で実行した場合、上述したような方法の何れかに係るリソグラフィプロセス条件の決定を実行するための命令を提供するコンピュータプログラム製品を搭載したキュリア媒体に関する。用語「キュリア媒体」とは、実行用のプロセッサに命令を提供するのに関与する任意の媒体を参照する。こうした媒体は、多くの形態を取ることができ、例えば、これに限定されないが、不揮発性媒体、伝送媒体などである。不揮発性媒体は、例えば、光学ディスクまたは磁気ディスク、例えば、マストレージの一部であるストレージデバイスなどである。コンピュータ読み取り可能な媒体の一般の形態は、CD-ROM、DVD、フレキシブルディスクまたはフロッピーディスク、テープ、メモリチップまたはカートリッジ、またはコンピュータが読み取り可能な他の媒体を含む。

【0084】

コンピュータ読み取り可能な媒体の種々の形態は、実行用プロセッサに1つ又はそれ以上の命令からなる1つ又はそれ以上のシーケンスを搭載したのもでもよい。コンピュータプログラム製品は、ネットワーク、例えば、LAN、WANまたはインターネットなどで搬送波を介して伝送できる。伝送媒体は、例えば、ラジオ波および赤外のデータ通信の際に生成されるような、音響波または光波の形態を取るものでもよい。伝送媒体は、同軸ケ

10

20

30

40

50

ーブル、銅線、光ファイバなど、コンピュータ内部のバスを含むワイヤなどでもよい。

【0085】

更なる態様において、本発明はまた、リソグラフィプロセスで使用する部品キットに関する。該部品キットは、第1態様で説明したような方法を用いて決定した照明光源特性を含むデータを備えたキャリア、そして同じ方法を用いて決定したマスク設計に係るマスクを備える。

【0086】

さらに更なる態様において、本発明はまた、電子デバイスに関する。該電子デバイスは、少なくとも1つのパターン層を含み、該パターン層は、第1態様で説明したような方法を用いて決定したリソグラフィプロセス条件に従うリソグラフィプロセスを用いて製作される。

10

【0087】

さらに他の態様において、本発明は、電子デバイスを製造するための方法に関し、該方法は、第1態様で説明したような方法を用いてリソグラフィプロセス条件の組を決定すること、続いて、電子デバイスを形成するためのリソグラフィプロセス条件を用いて、半導体基板上のフォトレジストを露光することを含む。より詳細には、該方法は、

【0088】

照明光源およびマスク設計の特性を取得することを含み、該マスク設計は、リソグラフィパターンおよびサブ分解能アシスト特徴部を含んでおり、

リソグラフィプロセスのための照明光源特性およびマスク設計特性の組合せ最適化のための第1の最適化を実施することを含み、これにより前記第1の最適化では、マスク用の非矩形状サブ分解能アシスト特徴部が許容されており、

20

前記第1の最適化から、最適化した照明光源特性の組を決定することを含み、

リソグラフィプロセスのマスク設計特性の最適化のための1つ又はそれ以上の追加の最適化を実施することを含み、これにより前記1つ又はそれ以上の追加の最適化では、前記マスク設計用の非矩形状サブ分解能アシスト特徴部の存在が実質的に排除され、前記1つ又はそれ以上の追加の最適化は、最適化した照明光源特性の前記組を考慮しており、

前記1つ又はそれ以上の追加の最適化から、非矩形状サブ分解能アシスト特徴部を実質的に排除した、最適化したマスク設計特性の組を決定することを含む。

【0089】

30

該方法は、こうした得られたリソグラフィプロセス条件を用いて、半導体基板上のフォトレジストを露光することをさらに含む。

【0090】

一例として、本発明の実施形態はこれに限定されないが、上記原理の特徴および利点について実験結果によってさらに説明する。実験は、T a c h y o n - S M O (登録商標)を用いたサブ分解能アシスト特徴部の配置をベースとした光源 - マスク最適化およびモデルを用いて実施した。実験で用いた回路パターンは、スタティックランダムアクセスメモリ (S R A M) セルおよび論理標準セルであった。前者は、高いパターン密度を実現するように設計された6トランジスタS R A Mであった。後者は、4標準セル、フリップフロップ、フル加算器 (adder)、インバータ、N A N Dの組合せであった。これらの両方は、28nm、22nmおよび20nmノードで設計した。論理セルでのコンタクトホール

40

の総数は、約250個である。二重パターンング用のパターン分割 (splitting) を22nmおよび20nmセルについて実施した。

異なる実験では、目標C D Uとの比較のため、推定したC D Uを用いた。C D Uは、T a c h y o n - S M O (登録商標) で抽出されるリソグラフィ輪郭 (contour) によって推定した。シミュレーション条件を (表1) に掲載している。

【0092】

【表 1】

項目	小項目	条件
パターンニング条件	NA	1. 3 5
	ウエハスタック	デバイススタック
マスク	フィルムタイプ	6 % A t t . P S M
	M R C	1 5 n m (矩形形状 S R A F) 5 n m (自由造形 S R A F)
	マスクトーン	クリア・フィールド (ネガティブトーン現像と仮定)
SMO	レジストモデル	空中像モデル (ぼけ有り)
	S R A F	矩形形状、自由造形
プロセス誤差の推定	マスク C D	+ / - 2 n m
	線量	+ / - 3 %
	焦点	+ / - 5 0 n m

10

【 0 0 9 3 】

C D U 推定のフローは、下記のとおりであった。最初に、光源形状を S R A M セルレイアウトによって定義した。第 2 ステップでは、前回ステップで定義した光源を用いてマスク最適化を行った。第 3 ステップでは、シミュレーションを行った輪郭から C D を抽出した。抽出は、推定したプロセス誤差の有りと無しで実行した。全部で 7 つのタイプの C D データ組を抽出した。即ち、(1) 公称の条件、(2) (3) 焦点オフセット (+ / - 5 0 n m)、(4) (5) 線量オフセット (+ / - 3 %)、(6) (7) マスク誤差 (+ / - 2 n m)。最後に、これらの C D の 3 シグマを計算することによって、C D U を推定した。

20

【 0 0 9 4 】

第 1 の実験では、光源 - マスク最適化のための方法を特定の回路レイアウトに適用した。最初に、矩形形状サブ分解能アシスト特徴部を用いた従来のフローと、本発明の一実施形態に係るフローとで、2 2 n m ノードでの D o F を比較した。図 8 は、論理レイアウトの 2 5 0 個のコンタクトホールにおいて、6 % の露光ラチチュード (E L) での D o F のヒストグラムを示す。本発明の一実施形態に係る方法は、矩形形状サブ分解能アシスト特徴部を用いた従来のフローと比べて、D o F に関して明確に有利であることが判る。

30

【 0 0 9 5 】

クリティカル寸法均一性 (C D U) および G D S ファイルのサイズを比較して、図 9 に示している。3 つのタイプの光源 - マスク最適化フローを評価した。即ち、矩形形状 S R A F を用いた従来のフロー (1)、非矩形形状 S R A F を用いた従来のフロー (2)、本発明の一実施形態に係るフロー (3)。図 9 は、本発明の一実施形態に係るフローは、非矩形形状 S R A F を用いた従来のフローに匹敵する C D U レベルを実現していることを示している。より詳細には、非矩形形状 S R A F による従来のフローを用いた S M O 最適化、および本発明の一実施形態に係るフローを用いた S M O 最適化は、矩形形状 S R A F を用いた従来のフローよりもそれぞれ 1 0 % と 9 % だけ小さい C D U 性能を提供している。本発明の一実施形態に係るフローでの G D S サイズは、矩形形状 S R A F を用いた従来のフローと同じレベルを維持している。より詳細には、この従来のフローと比較した G D S サイズの増加量は、自由造形 S R A F を用いた従来のフローでは 2 5 % であり、本発明の一実施形態に係るフローでは 0 % であることが判った。その結果、本発明の一実施形態に係る本フローを使用すると、C D U - マスク複雑性の間のトレードオフを克服している。

40

【 0 0 9 6 】

第 2 の実験では、本発明の一実施形態に係るフローについて、2 0 n m ノードの論理回路のリソグラフィプロセスのためにテストを行った。

【 0 0 9 7 】

50

20nmノードでは、22nmのものよりCDU劣化がかなり大きい。調査によれば、主要な原因が、パターン分割の競合が生ずるポイントでのプロセス変動性であることが判った。これを解決するために、マスキレイアウトを変更する以外に、SMOフローを再び変更すると、CDUに対して有利な効果が得られるとともに、GDSファイルサイズを制限することが判った。図10において、矩形形状SRAFを用いた従来フロー(1)、非矩形形状SRAFを用いた従来フロー(2)、本発明の一実施形態にSMO係るフロー(3)について、CDUおよびファイルサイズを示している。図10において、CDUが、矩形形状SRAFを用いた従来フローと比較して著しく良好であるとともに、GDSファイルサイズは僅かに増加しているに過ぎないことが判る。換言すると、20nmノードで得られた結果は、22nmノードで得られたものと類似している。

10

【0098】

上記の例から、本発明の一実施形態に係る光源 - マスク最適化フローは、マスク製造可能性に関してはマイナスの影響なしで、CDU改善をもたらすことが判る。

【図 1】

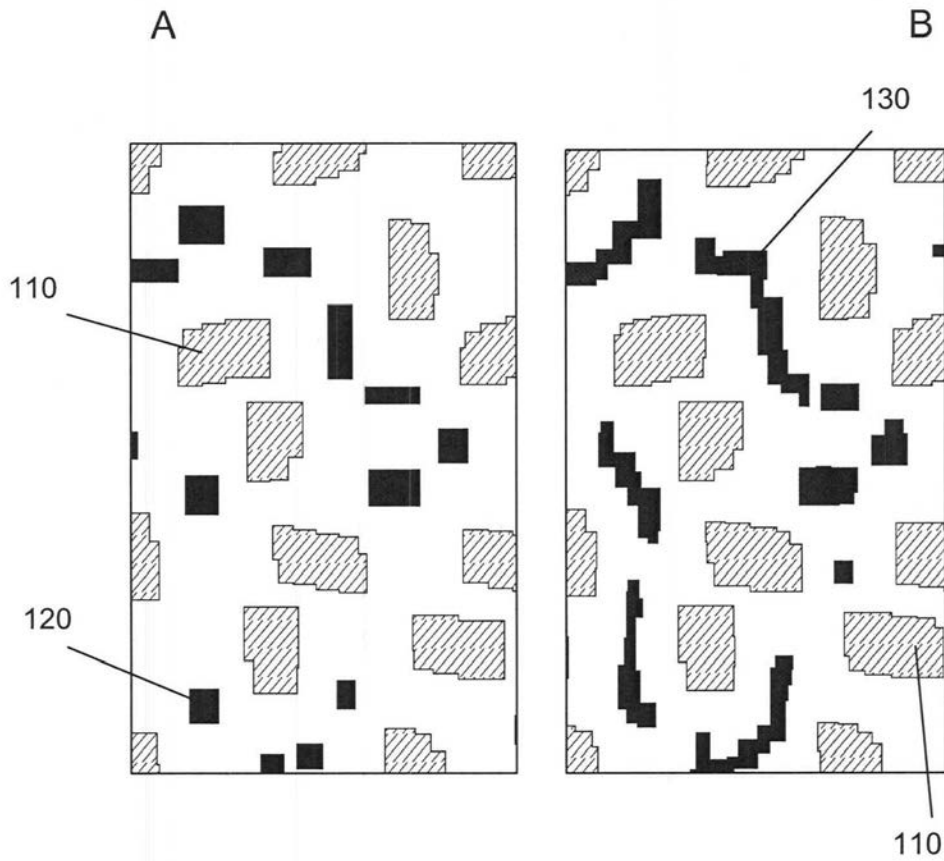


FIG. 1 – 先行技術

【図 2】

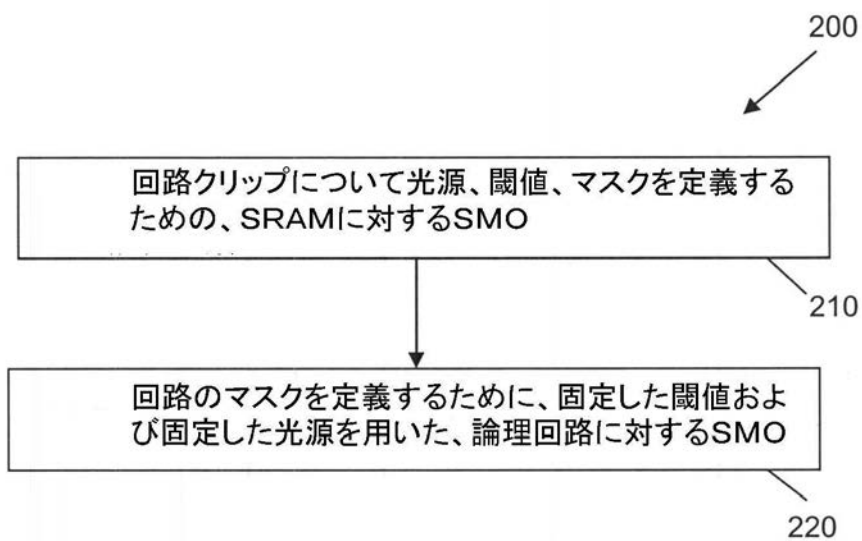


FIG. 2 – 先行技術

【 図 3 】

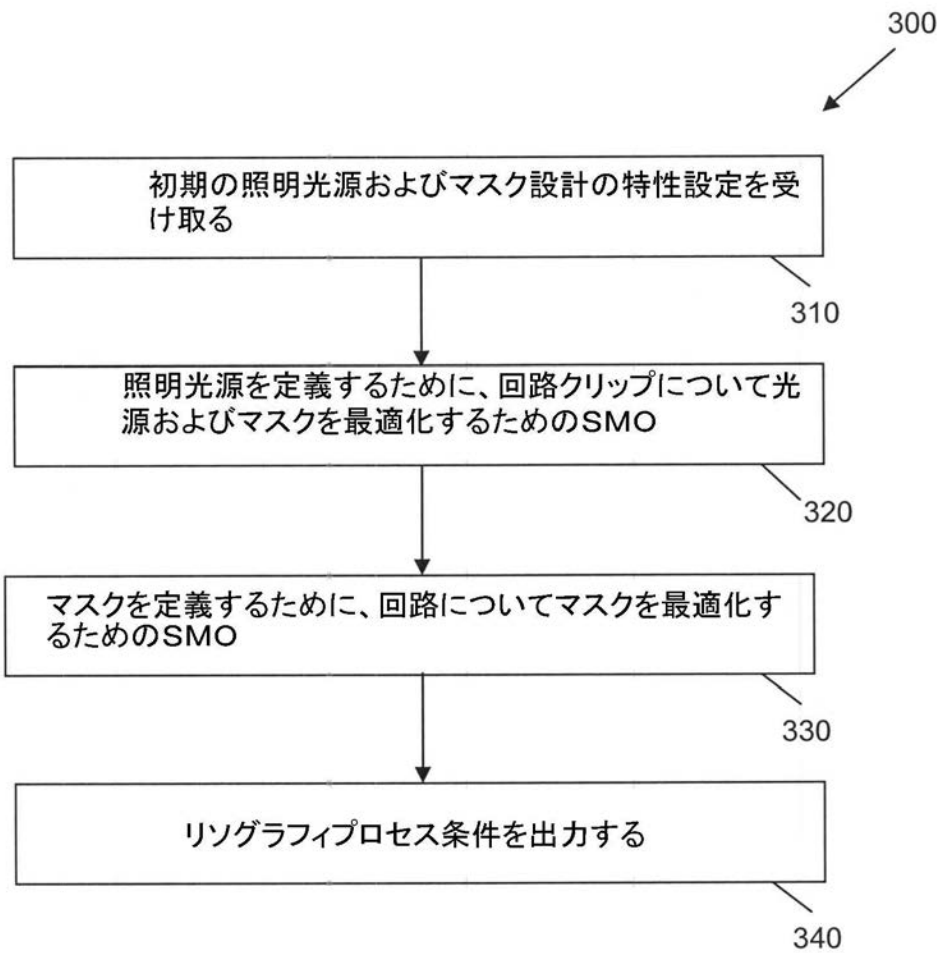


FIG. 3

【 図 4 】

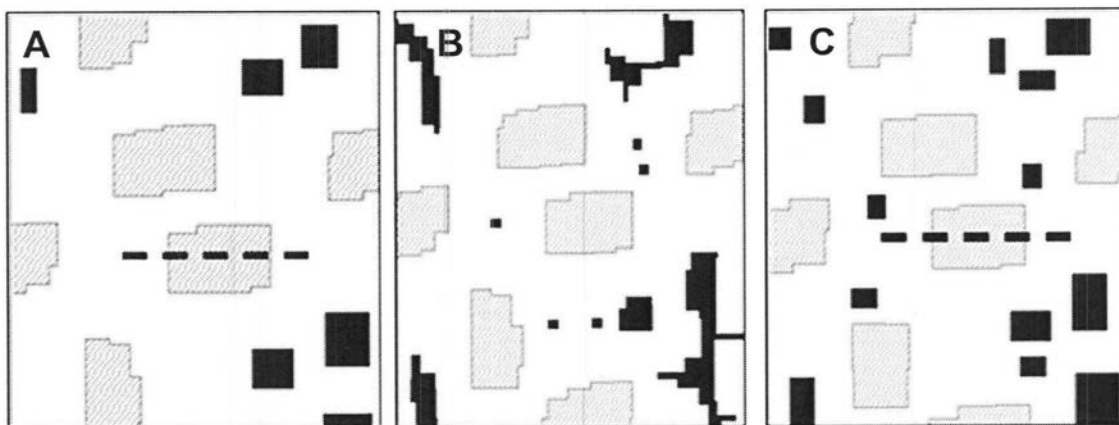


FIG. 4

【図 5】

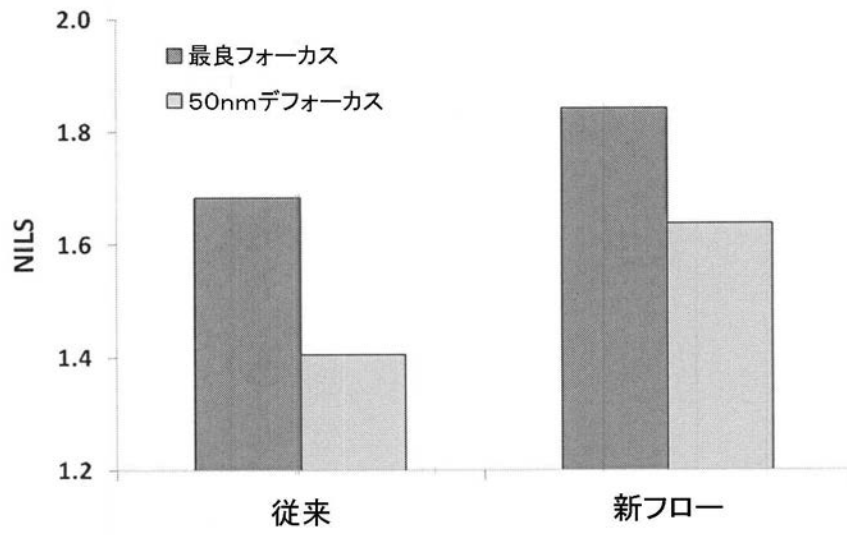
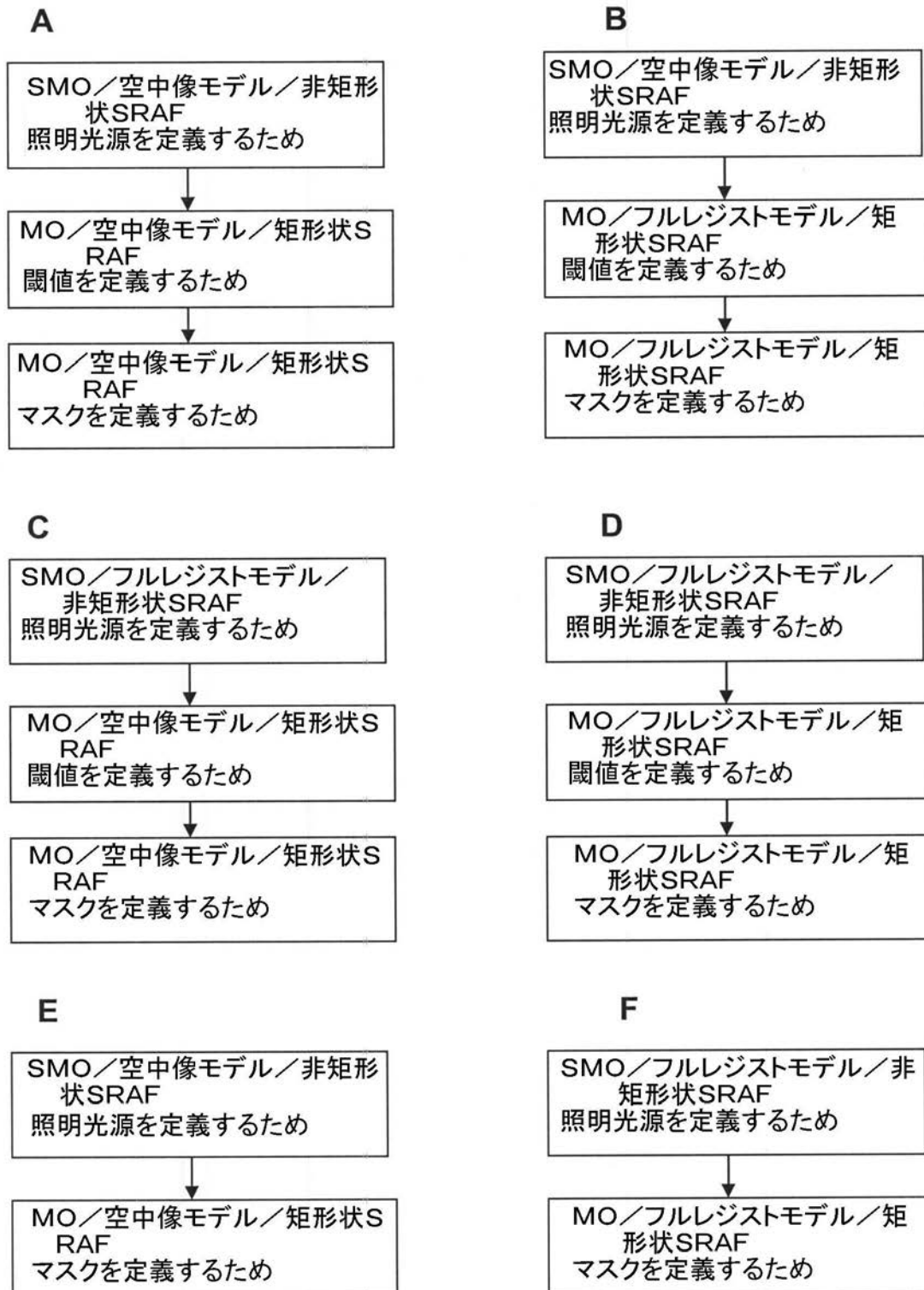


FIG. 5

【図 6】



【図 7】

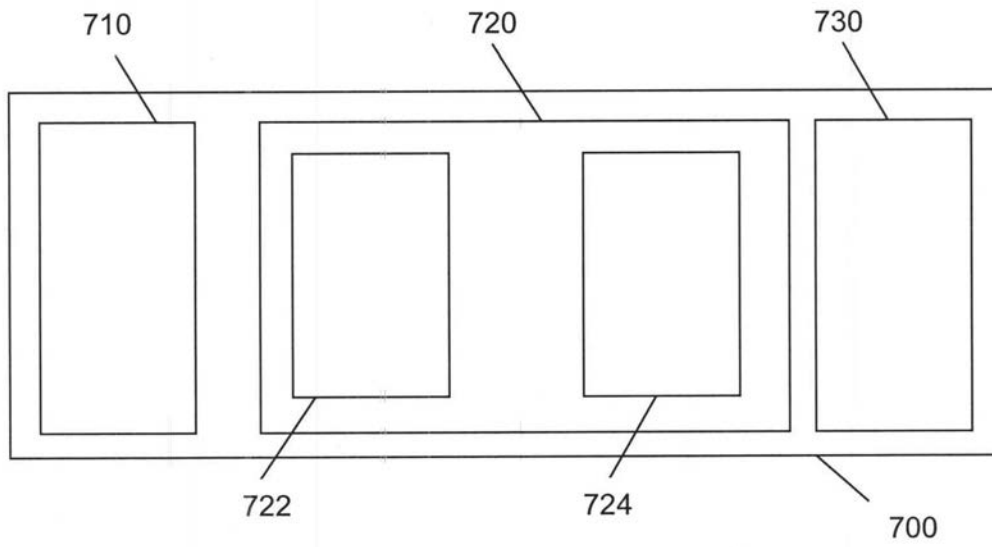


FIG. 7

【図 8】

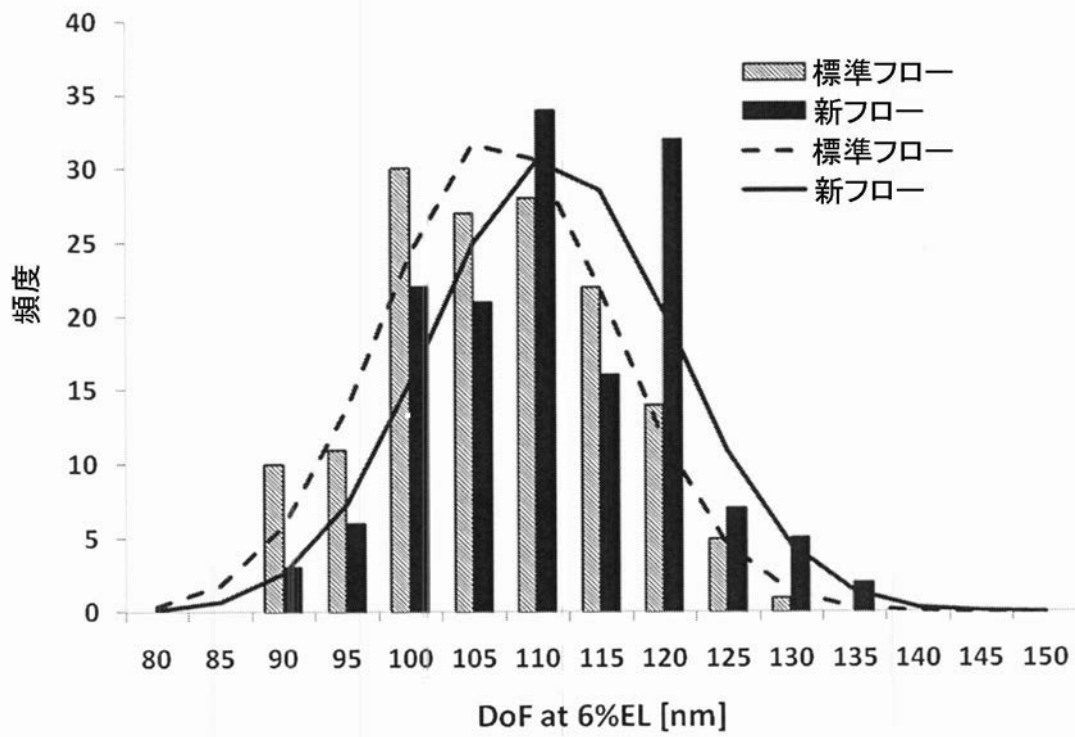


FIG. 8

【図 9】

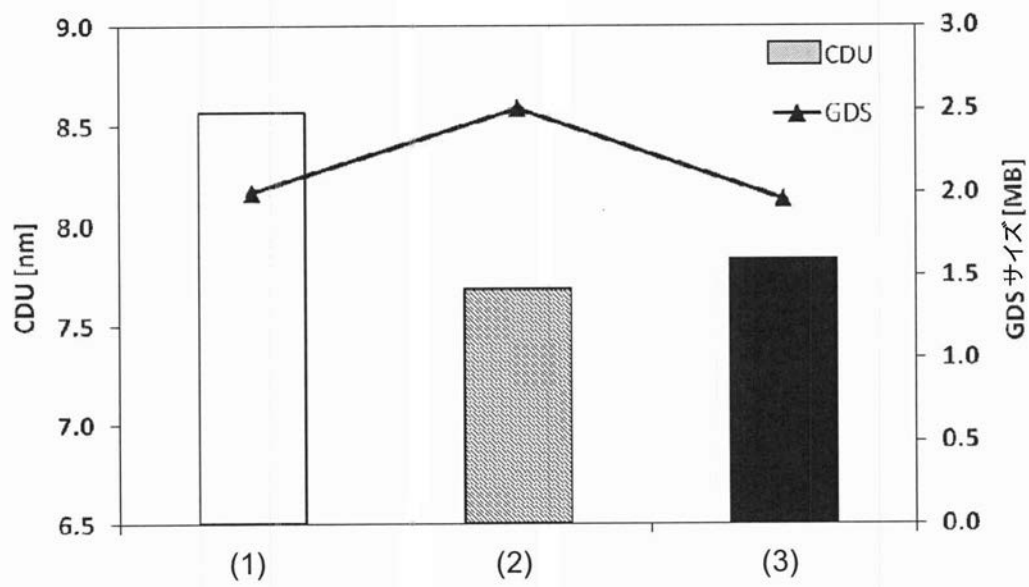


FIG. 9

【図 10】

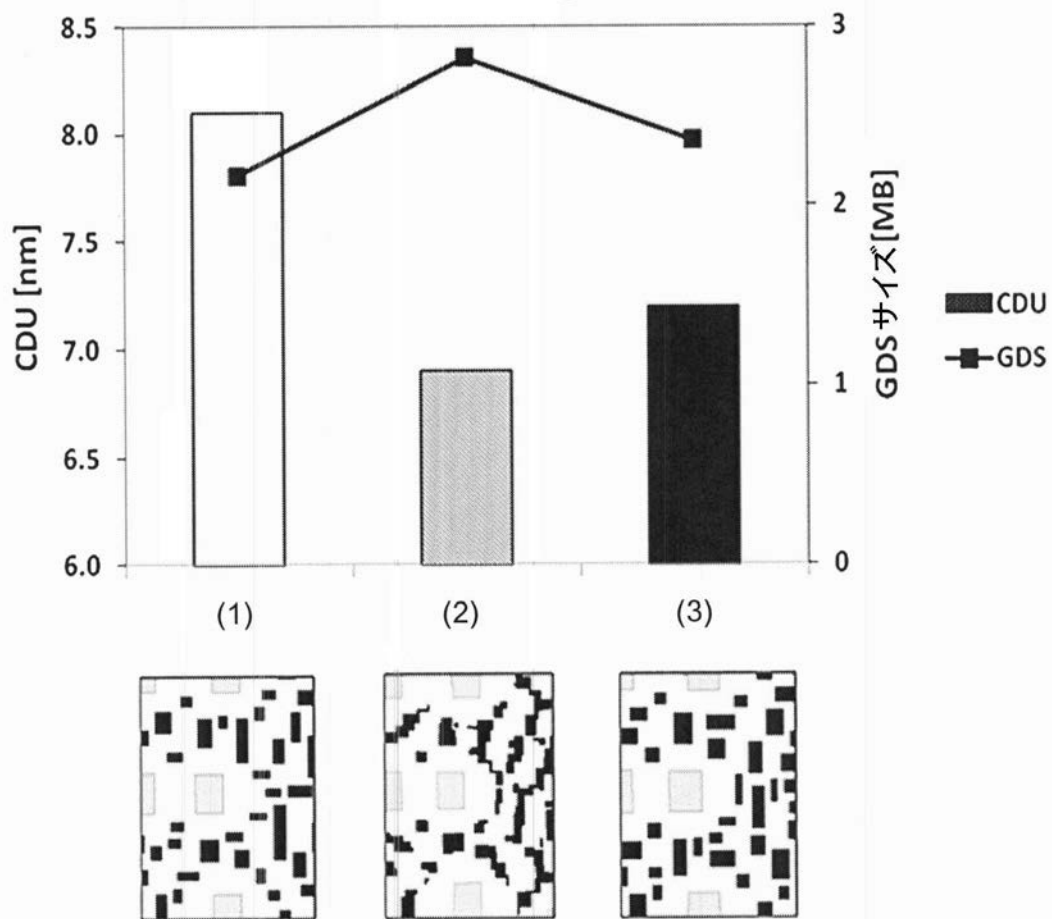


FIG. 10

フロントページの続き

(74)代理人 100081422

弁理士 田中 光雄

(74)代理人 100100479

弁理士 竹内 三喜夫

(72)発明者 岩瀬 和也

ベルギー 3 0 0 1 ルーヴァン、カペルドリーフ 7 5 番 アイメック内

(72)発明者 ペーテル・デ・ピシヨップ

ベルギー 3 0 0 1 ルーヴァン、カペルドリーフ 7 5 番 アイメック内

F ターム(参考) 2H095 BA01 BA02 BB02 BB36 BC09

5F146 AA17 AA25 BA04 BA05 CB43 DA01 DA02

【 外国語明細書 】

DenK iP confidential

1

11110IM00EP – description as filed

Illumination-source shape definition in optical lithography**Field of the invention**

The invention relates to the field of optical lithography. More specifically it relates to methods and systems for optimizing lithographic processing such as optimizing
5 source illumination, threshold and mask to be used for lithographic processing.

Background of the invention

Optical lithography is one of the technologies that are being used in the production of microchips. It uses a 'reticle', also called 'photomask' or 'mask' to form certain patterns in a 'photo-resist layer' that is coated on a 'wafer'. This mask contains a
10 pattern that, when an image of it is projected on the wafer, generates the desired pattern in this photoresist layer, after it has been chemically developed. This projected image is formed on the photoresist layer by illuminating the mask with a certain wavelength and light-source shape. The light passing through the mask is then captured by the projection lens of the lithography exposure tool, and this lens forms
15 an image of the mask pattern in the photoresist layer. The mask itself consists of an optically-transparent plate on which patterns have been created at one side: these patterns consist of polygons in which the optical-transmission properties of the mask are modified with respect to the 'unpatterned areas'. As an example, these polygon-shaped mask patterns might consist of a thin layer that absorbs or attenuated the
20 light that passes through them.

The above basic concept for optical-projection-lithography is however complicated by two elements. The shapes in the image that is formed on the wafer, is never an identical copy of the shape of the patterns on the mask, and the difference between the two has become larger as the 'technology node' for which the lithography step is
25 being used becomes more advanced, that is, as the pattern size and pattern density that need to be generated are becoming respectively smaller and denser such as for example below the 20nm node. This effect of the difference between mask- and projected-image-pattern is called the 'optical proximity effect'. Since many years, this effect has been dealt with by applying a so-called 'optical proximity correction' (OPC)

DenK iP confidential

2

11110IM00EP – description as filed

to the mask pattern: the mask pattern is intentionally made different from the image that one wants to form on the wafer, but in such a way that its projected image becomes closer to the desired wafer pattern. This modification in general implies that the shape of the mask patterns (polygons) is made different from the desired printed shapes in some appropriate way, but it can also imply adding additional polygons to the mask pattern that are not supposed to form printing images on the wafer but somehow improve the process latitudes (see next bullet) of the polygons that are supposed to print. These 'extra' mask polygons are often called 'assist mask features', or 'assist features'. OPC has been a standard technology for many years now, and several companies offer software that generates the optical proximity corrected mask pattern, if the intended wafer pattern is given, together with enough details on the way the mask will be exposed in the lithography tool.

The second element that makes optical-projection-lithography more complicated is that the fidelity of the wafer pattern is also affected by the presence of (to a certain extent unavoidable) imperfections in the lithographic process, a number of them being listed here. The printed pattern shape depends on the amount of light that is being used to generate the images on the wafer, the so-called 'exposure dose' or 'dose'. As it is in general not possible to expose exactly at the ideal dose, e.g. due to unavoidable machine- or operator-errors, lithographers aim to work under conditions where they have a sufficient amount of 'exposure latitude (EL)', that is conditions under which a certain offset from the ideal dose (usually expressed as a percentage of the dose itself) can be tolerated. The lithographic projection lens forming the image has a so-called 'best-focus plane', i.e. a certain plane in space where the image is most 'sharp' and hence closest to the intended image. If the wafer is not ideally located with respect to this best-focus plane, one says that the wafer is 'out-of-focus'. As it is in general not possible to expose wafers exactly in-focus, e.g. due to unavoidable machine- or operator-errors, lithographers aim to work under conditions where they have a sufficient amount of 'depth-of-focus (DOF)', that is conditions under which a certain offset from the ideal focus plane (usually expressed by saying how many nanometer the actual wafer plane is away from the ideal plane) can be

DenK iP confidential

3

11110IM00EP – description as filed

tolerated. The mask patterns as generated by e.g the above mentioned OPC-software can in general not be perfectly realized on the actual photo-mask that is being used in the lithographic process: usually there are 'mask errors', i.e. the mask patterns deviate either in size or shape (or both) from the desired mask pattern. Any deviation
5 from the desired mask pattern ('mask error') also leads to a deviation of the wafer pattern. As it is in general not possible to avoid mask errors, lithographers aim to work in conditions under which some amount of mask error can be tolerated.

Typically, one needs to find lithographic-process conditions under which enough EL, DOF and tolerance against mask errors is realized. The actual performance of a
10 lithographic process with respect to the mentioned tolerances is often quantified in a metric that is called the 'critical dimension uniformity', abbreviated as CDU (expressed in nanometer). This metric expresses how much the dimension of a certain structure in the wafer image will actually vary (e.g. within a printed wafer or from wafer to wafer) due to process variations such as this exposure focus or dose or
15 actual mask errors. Optimization of the lithographic process conditions can then be expressed as a minimization of this CDU metric. An important element therein – although not being the only element - is the selection of the illumination-source shape used in the lithographic exposure tool.

The above mentioned two complications are nowadays often handled by performing
20 a so-called source-mask optimization (usually abbreviated as 'SMO'). This is a computational process in which the illumination source and the OPCed mask are varied simultaneously in order to find the source-mask combination that offers the best possible or at least sufficient tolerances (also called 'process margins') for dose, focus and/or mask error. Several software companies offer automated software to do
25 such an SMO calculation, if the desired wafer image is given, together with other inputs such as the desired process margins and certain parameters that define limitations on the mask complexity that is allowed by the user.

These mask complexity limitations constitute a trade-off between maximizing the lithographic process latitudes and cost. This can be understood as follows. If a
30 calculation is made of what the patterns on the mask should ideally look like to

DenK iP confidential

4

11110IM00EP – description as filed

generate an image that is as close as possible to the requested image, the resulting mask patterns are usually extremely complex, which means that the shape of the mask polygons that are intended to generate a printing image as well as the amount, density and shape of the assist-features is very complex. Such complex masks, if at all

5 manufacturable, would be very expensive, as the mask cost increases as the number of polygons that need to be created increases, or if the shape of the individual polygons becomes more complex. Furthermore, using arbitrarily shaped assist features would result in a very large mask file, being the file that describes the exact shape of all the patterns on the mask for which the industry uses a standard file

10 format that is called a gds or gds2 file. Therefore, both OPC- and SMO-software have a number of numerical parameters that influence (limit) the complexity of the solution that the user is willing to accept, and for which the user of the software has to choose numerical value or settings he thinks are appropriate. The actual complexity of the assist polygons that appear in the final mask solution is further

15 influenced by the values of a set of input parameters for the SMO calculation that are called 'mask-rule check' or MRC parameters. The actual values for these parameters (that have to be set by the person who runs the calculation) set limits to the allowed complexity of each individual mask polygon. As an example, these MRC parameters set minimum values to the allowed segment length of mask polygons. An MRC

20 parameter set that allows very complex shapes would be called 'aggressive': the printed image shape with such an aggressive set of MRC input parameters would in general be closer to the desired ideal image, but the resulting mask might be non-manufacturable or very expensive. This is why in general people prefer to run SMO software with more 'moderate MRC' input parameters, leading to a less perfect

25 printed image but outputting a less complex and hence more manufacturable or less expensive mask.

The decision to allow only rectangular assists limits the mask cost, but it also often leads to smaller process latitudes: many cases are known where the lithographic process tolerances improve if non-rectangular assist-features are allowed as

DenK iP confidential

5

11110IM00EP – description as filed

compared to the case where only rectangular assists are allowed. More aggressive input MRC parameters usually also lead to larger process margins.

Summary of the invention

5 It is an object of embodiments of the present invention to provide good methods and systems for determining lithographic processing conditions.

It is an advantage of embodiments of the present invention that lithographic processing conditions can be determined for providing a lithographic process with a good depth of focus (DoF) performance while allowing low complexity of sub-
10 resolution assist features in the mask used. It is an advantage of embodiments of the present invention that the manufacturing effort and economical cost for manufacturing masks can be low, while still obtaining a lithographic process with a good DoF performance.

It is an advantage of embodiments of the present invention that lithographic
15 processing conditions can be determined for a lithographic process wherein the mask complexity is low or limited (i.e. for example only rectangular shaped sub-resolution assist features being presence), while the lithographic process allows obtaining a similar or the same critical dimension uniformity (CDU) as would be the case if also non-rectangular shaped sub-resolution features would have been allowed in the mask.

20 It is an advantage of embodiments of the present invention that the size of the mask file, defining the mask features and the sub-resolution assist features used, can be limited, while still obtaining good lithographic processing.

The above objective is accomplished by a method and device according to the present invention.

25 The present invention relates to a method for determining lithographic processing conditions for a lithographic process, the method comprising obtaining characteristics of an illumination source and a mask design, the mask design comprising a lithography pattern, performing a first optimization for combined optimizing of the illumination source characteristics and the mask design
30 characteristics for the lithographic process, whereby for said first optimization non-

DenK iP confidential

6

11110IM00EP – description as filed

rectangular sub-resolution assist features for the mask are allowed, determining from said first optimization a set of optimized illumination source characteristics, performing one or more further optimizations for optimizing the mask design characteristics of the lithographic process, whereby for said one or more further optimizations the presence of non-rectangular sub-resolution assist features for said mask design is substantially excluded and whereby said one or more further optimizations takes into account said set of optimized illumination source characteristics, and determining from said one or more further optimizations a set of optimized mask design characteristics substantially excluding non-rectangular sub-resolution assist features. It has surprisingly been found that optimizing the mask design characteristics using restricted mask design settings not allowing non-rectangular shaped sub-resolution assist features while using source-illumination conditions determined using non- or less restricted mask design settings allowing non-rectangular shaped sub-resolution assist features, provides lithographic processing conditions for a good lithographic process, e.g. good DoF, good CDU, whereas the mask design complexity is limited. Where reference is made to substantially excluding non-rectangular sub-resolution assist features, this may refer to using only rectangular sub-resolution assist features. The method may be computer-implemented.

The one or more further optimizations may be performed taking into account mask rule check settings expressing at least that the most complex mask design feature allowed in the one or more further optimizations is less complex than the most complex mask design feature allowed in the first optimization. It is an advantage of at least some embodiments of the present invention that not only the sub-resolution assist features may be less complex in the final mask design but also the other mask features may be less complex in the final mask design, compared to mask features in a mask design made using conventional mask optimization for good lithographic processing.

The first optimization may be performed on an optimization clip, being only a part of the mask design. It is an advantage of at least some embodiments of the

DenK iP confidential

7

11110IM00EP – description as filed

present invention that optimization can be performed on only a small part of the mask, thus allowing efficient processing with limited computing power.

The one or more optimizations may comprise optimizing a threshold for the lithographic processing.

5 Performing the one or more optimizations may comprise performing a second optimization for optimizing of the threshold and the mask design characteristics of the lithographic process, whereby for said second optimization the presence of non-rectangular sub-resolution assist features for said mask is substantially excluded and whereby the second optimization takes into account the set of optimized illumination
10 source characteristics, and performing a third optimization for optimizing the mask design characteristics for the lithographic process, whereby for the third optimization the presence of non-rectangular sub-resolution assist features for said mask is substantially excluded and whereby the third optimization takes into account the set of optimized illumination source characteristics determined from the first
15 optimization and an optimized threshold determined from the second optimization. It is an advantage of at least some embodiments of the present invention that the illumination source, the threshold and the mask characteristics to be selected can be optimized in different optimization steps, allowing to optimize each parameter with its own assist- and mask rule check settings. It is an advantage of at least some
20 embodiments that the use of different assist- and mask rule check settings can allow to optimize the illumination source, the threshold and the mask characteristics such that a good DoF and/or CDU can be obtained using the lithographic processing and simultaneously a mask with limited complexity can be used for lithographic processing.

25 Performing the second optimization may be applied for an optimization clip, being only a part of the mask design. It is an advantage of at least some embodiments of the present invention that optimization can be performed on only a small part of the mask, thus allowing efficient processing with limited computing power.

DenK iP confidential

8

11110IM00EP – description as filed

Performing the third optimization may be applied for the full mask design. It is an advantage of at least some embodiments of the present invention that mask features can be determined for the full mask can be obtained.

The lithographic process may comprise multiple patterning steps for patterning
5 different portions of a pattern to be processed. Embodiments of the present invention may be especially suitable for multiple patterning lithographic processing as in multiple patterning as the sub-patterns typically have a wide spacing between the features. In other words, using multiple patterning lithographic processing, there is more frequent occurrence of isolated patterns. As this has intrinsically negative
10 impact on the depth of focus margin and the CD (critical dimension) variation, strategies for improving depth of focus and CD uniformity as obtained with at least some embodiments of the present invention are beneficial for the multiple patterning technique.

For performing each or any of the first or the one or more further optimizations a
15 source-mask optimization algorithm may be used based on any of a full resist model or an aerial image model.

The present invention also relates to a system for determining lithographic processing conditions for a lithographic process, the system comprising an input means for obtaining characteristics of an illumination source and a mask design, the
20 mask design comprising a lithography pattern and sub-resolution assist features, a processing means programmed for performing a first optimization for combined optimizing of the illumination source characteristics and the mask design characteristics for the lithographic process, whereby for said first optimization non-rectangular sub-resolution assist features for the mask are allowed, determining from
25 said first optimization a set of optimized illumination source characteristics, performing one or more further optimizations for optimizing the mask design characteristics of the lithographic process, whereby for said one or more further optimizations the presence of non-rectangular sub-resolution assist features for said mask is substantially excluded and whereby said one or more further optimizations
30 takes into account said set of optimized illumination source characteristics, and

DenK iP confidential

9

11110IM00EP – description as filed

determining from said one or more further optimizations a set of optimized mask design characteristics substantially excluding non-rectangular sub-resolution assist features.

The processing means may be adapted for performing a second optimization for
5 optimizing of the threshold and the mask design characteristics of the lithographic process, whereby for said second optimization the presence of non-rectangular sub-resolution assist features for said mask is substantially excluded and whereby the second optimization takes into account the set of optimized illumination source characteristics, and a third optimization for optimizing the mask design characteristics
10 for the lithographic process, whereby for the third optimization the presence of non-rectangular sub-resolution assist features for said mask is substantially excluded and whereby the third optimization takes into account the set of optimized illumination source characteristics determined from the first optimization and an optimized threshold determined from the second optimization.

15 The system may be implemented as a computer program product for, when executing on a processing means, carrying out one of the methods as described above.

The present invention also relates to a data carrier for storing a computer program product for, when executing on a processing means, carrying out one of the
20 methods as described above.

The present invention also relates to the transmission of a computer program product for, when executing on a processing means, carrying out one of the methods as described above.

The present invention furthermore relates to a kit of parts for use in lithographic
25 processing, the kit of parts comprising a carrier comprising illumination source characteristics determined using a method as described above, and a mask according to a mask design determined using the same method.

The present invention furthermore relates to an electronic device, the electronic device comprising at least one patterned layer, the patterned layer being made using

DenK iP confidential

10

11110IM00EP – description as filed

lithographic processing according to lithographic processing conditions determined using a method as described above.

The present invention also relates to a method of manufacturing an electronic device, the method comprising determining a set of lithographic processing
5 conditions comprising illumination source characteristics and mask characteristics using a method for determining lithographic processing conditions as described above, and exposing a photoresist layer on a semiconductor substrate using the lithographic processing conditions for forming the electronic device.

It is an advantage of embodiments of the present invention that lithographic
10 processing conditions can be determined for providing a lithographic process with a good depth of focus performance

Particular and preferred aspects of the invention are set out in the accompanying independent and dependent claims. Features from the dependent claims may be combined with features of the independent claims and with features of other
15 dependent claims as appropriate and not merely as explicitly set out in the claims.

These and other aspects of the invention will be apparent from and elucidated with reference to the embodiment(s) described hereinafter.

Brief description of the drawings

FIG. 1 – prior art illustrates the rectangular (part A) and non-rectangular (part B) sub-
20 resolution assist features. Such features can also be advantageously used in embodiments of the present invention.

FIG. 2 - prior art illustrates a conventional source-mask optimization flow, as known from prior art.

FIG. 3 illustrates a method for determining lithographic processing conditions
25 according to an embodiment of the present invention.

FIG. 4 illustrates comparative examples of SRAM patterns generated using a conventional flow with only rectangular SRAF allowed (flow A), using a conventional flow with non-rectangular SRAF allowed (flow B) and using an SMO flow according to an embodiment of the present invention (flow C).

DenK iP confidential

11

11110IM00EP – description as filed

FIG. 5 illustrates the normalized image log slope (NILS) on the cut line indicated in the examples of SRAM patterns illustrated in FIG. 4 for the conventional flow with only rectangular SRAF allowed and for the flow according to an embodiment of the present invention.

- 5 FIG. 6 illustrates a plurality of examples wherein the major steps of an SMO flow are indicated, according to embodiments of the present invention.

FIG. 7 illustrates a system for determining lithographic processing conditions according to an embodiment of the present invention.

- 10 FIG. 8 shows a histogram of DoF at 6% exposure latitude (EL) in 250 contact holes of a logic layout for a conventional flow using rectangular SRAF and for a flow according to an embodiment of the present invention.

FIG. 9 illustrates the critical dimension uniformity (CDU) and the size of the GDS file for different SMO flows, illustrating advantages of embodiments according to the present invention.

- 15 FIG. 10 illustrates, for the 20nm node, the critical dimension uniformity (CDU) and the size of the GDS file for different SMO flows, in combination with the corresponding mask designs for the different SMO flows, illustrating advantages of embodiments according to the present invention.

- 20 The drawings are only schematic and are non-limiting. In the drawings, the size of some of the elements may be exaggerated and not drawn on scale for illustrative purposes.

Any reference signs in the claims shall not be construed as limiting the scope.

In the different drawings, the same reference signs refer to the same or analogous elements.

25 Detailed description of illustrative embodiments

The present invention will be described with respect to particular embodiments and with reference to certain drawings but the invention is not limited thereto but only by the claims. The drawings described are only schematic and are non-limiting. In the drawings, the size of some of the elements may be exaggerated

DenK iP confidential

12

11110IM00EP – description as filed

and not drawn on scale for illustrative purposes. The dimensions and the relative dimensions do not correspond to actual reductions to practice of the invention.

Furthermore, the terms first, second and the like in the description and in the claims, are used for distinguishing between similar elements and not necessarily for
5 describing a sequence, either temporally, spatially, in ranking or in any other manner. It is to be understood that the terms so used are interchangeable under appropriate circumstances and that the embodiments of the invention described herein are capable of operation in other sequences than described or illustrated herein.

Moreover, the terms top, under and the like in the description and the claims
10 are used for descriptive purposes and not necessarily for describing relative positions. It is to be understood that the terms so used are interchangeable under appropriate circumstances and that the embodiments of the invention described herein are capable of operation in other orientations than described or illustrated herein.

It is to be noticed that the term “comprising”, used in the claims, should not
15 be interpreted as being restricted to the means listed thereafter; it does not exclude other elements or steps. It is thus to be interpreted as specifying the presence of the stated features, integers, steps or components as referred to, but does not preclude the presence or addition of one or more other features, integers, steps or components, or groups thereof. Thus, the scope of the expression “a device
20 comprising means A and B” should not be limited to devices consisting only of components A and B. It means that with respect to the present invention, the only relevant components of the device are A and B.

Reference throughout this specification to “one embodiment” or “an
embodiment” means that a particular feature, structure or characteristic described in
25 connection with the embodiment is included in at least one embodiment of the present invention. Thus, appearances of the phrases “in one embodiment” or “in an embodiment” in various places throughout this specification are not necessarily all referring to the same embodiment, but may. Furthermore, the particular features, structures or characteristics may be combined in any suitable manner, as would be

DenK iP confidential

13

11110IM00EP – description as filed

apparent to one of ordinary skill in the art from this disclosure, in one or more embodiments.

Similarly it should be appreciated that in the description of exemplary embodiments of the invention, various features of the invention are sometimes
5 grouped together in a single embodiment, figure, or description thereof for the purpose of streamlining the disclosure and aiding in the understanding of one or more of the various inventive aspects. This method of disclosure, however, is not to be interpreted as reflecting an intention that the claimed invention requires more features than are expressly recited in each claim. Rather, as the following claims
10 reflect, inventive aspects lie in less than all features of a single foregoing disclosed embodiment. Thus, the claims following the detailed description are hereby expressly incorporated into this detailed description, with each claim standing on its own as a separate embodiment of this invention.

Furthermore, while some embodiments described herein include some but
15 not other features included in other embodiments, combinations of features of different embodiments are meant to be within the scope of the invention, and form different embodiments, as would be understood by those in the art. For example, in the following claims, any of the claimed embodiments can be used in any combination.

20 In the description provided herein, numerous specific details are set forth. However, it is understood that embodiments of the invention may be practiced without these specific details. In other instances, well-known methods, structures and techniques have not been shown in detail in order not to obscure an understanding of this description.

25 Where in experiment discussed below or embodiments according to the present invention reference is made to sub-resolution assist features (SRAF), reference is made to features that are added to a mask and that allow to correct for optical proximity errors introduced if a mask literally based on the features to be patterned would be applied. Typically two types of assist features exist. A first type are the
30 rectangular sub-resolution assist features which are generally rectangular in shape. A

DenK iP confidential

14

11110IM00EP – description as filed

second type are non-rectangular sub-resolution assist features (SRAF) which comprise, besides optionally rectangular features, also non-rectangular shaped SRAF portions. These are also referred to as free-form SRAF. In general, assist features can be objects of any shape, for example polygons with an arbitrary high number of vertex points. In

5 some embodiments, such non-rectangular SRAF may be limited to polygonal shaped SRAF and even to polygonal shaped SRAF wherein the angles used are limited to 0°, 90°, 180° or 270°, embodiments of the present invention not being limited thereby. By way of illustration, embodiments of the present invention not being limited thereto, an illustration of rectangular SRAF correction (part A) and non-rectangular

10 SRAF (part B) correction for double patterning is shown in FIG. 1. The black portions indicate the sub-resolution assist features whereas the hatched portions indicate the original pattern features. As known, the use of non-rectangular SRAF in double patterning substantially increases the depth of focus (DoF), but also substantially increases the mask file size (GDS).

15 Where in embodiments of the present invention or experiments, reference is made to source-mask optimization (SMO) reference is made to a technique for optimizing the irradiation source and the mask. The optimization may have different effects on different edges and features of the irradiation source. It may for example have an effect on the source shape or the irradiation pattern. It may for example also include

20 the use of pupils to restrict the source illumination to a selected pattern of radiation. Optimizing the mask may have an effect on different features and edges of the mask. It may for example include shifting or biasing edge positions or line widths as well as application of assist features that are not intended to print themselves but will affect the properties of an associated pattern feature to be printed. The SMO typically also

25 includes optimization of the threshold. Where in embodiments of the present invention reference is made to the threshold, reference is made to the irradiation intensity or dose used for irradiating and above which the irradiated photoresist will be altered so that it can lead to formation of a pattern. The threshold used directly influences the critical dimension that can be obtained.

DenK iP confidential

15

11110IM00EP – description as filed

Where in embodiments according to the present invention reference is made to a conventional SMO flow or a standard SMO flow, reference is made to SMO optimization typically performed according to the method as shown in FIG. 2. In FIG. 2 essential parts of such a conventional SMO flow 200 are shown. In a first step 210, source mask optimization is implemented on a circuit clip, e.g. an SRAM cell, so as to define the source and the mask shape. The pattern used in this step is not necessary limited to one circuit clip such as an SRAM cell, but other clips e.g. from a logic circuit block or a combination thereof also can be used. In the next step 220, mask optimization (MO) is performed on logic pattern, this part being essentially corresponding with the optical proximity correction (OPC). The outcome of the mask shape should be taken into consideration mask manufacturability. Therefore, typically the SMO and MO optimization is performed under moderate mask restriction rules (MRC) and using rectangular SRAF, as for non-rectangular SRAF the GDS mask file size typically becomes very large. If a large GDS file size and a complex mask are not too restrictive, the conventional SMO flow also may be performed with more aggressive mask restriction rules and with non-rectangular SRAF.

In a first aspect, the present invention relates to a method for determining lithographic processing conditions for a lithographic process. The method is especially suitable for patterning of small patterns. The method may be advantageously be used in multiple patterning processing, such as for example in double patterning lithographic processing, although embodiments of the present invention are not limited thereto. It makes use of an algorithm for source-mask optimization (SMO). Different algorithms for performing SMO are known in the art, and embodiments of the present invention can make use of each of such algorithm. An example of a SMO algorithm that can be used is described in international patent application WO2010/059954 A2, although embodiments of the present invention are not limited thereto. Algorithms for source mask optimization typically may make use of optical imaging model simulations. For example the SMO optimization may make use of an aerial image model or a full resist model, embodiments of the present invention not being limited by the particular model used. Furthermore, embodiments of the

DenK iP confidential

16

11110IM00EP – description as filed

present invention make use of different optimization steps. In each of the steps, the same or a different SMO algorithm may be used, making use of the same or a different optical imaging simulation model such as an aerial image model or a full resist model. For some SMO steps, the source conditions are fixed, e.g. determined in

5 a previous step. In such cases the algorithm also may be referred to as a mask optimization algorithm (MO). The method according to embodiments of the present invention comprises a step of obtaining characteristics of an illumination source and a mask design to be optimized. The mask design characteristics or mask design thereby comprise an initial pattern. The mask design characteristics may also comprise a set

10 of sub-resolution assist features to be refined or these may be introduced during the optimization steps to be performed. After obtaining the initial settings, a first optimization is performed for combined optimizing of the illumination source characteristics and the mask design characteristics for the lithographic process. According to embodiments of the present invention, this first optimization is

15 performed such that non-rectangular sub-resolution assist features for the mask are allowed. As indicated above, a typical SMO algorithm may be used for this optimization, embodiments of the present invention not being limited thereto. For examples, the optimization may be based on a full resist model as well as on an aerial image model. The first optimization typically may be performed on an optimization

20 clip, being only part of the mask design to be optimized, although embodiments of the present invention are not limited thereto. From this first optimization, a set of optimized illumination source characteristics as well as a set of optimized mask design characteristics is determined, but only the set of optimized illumination source characteristics is maintained and will be used further in the method.

25 Thereafter, a step of performing one or more further optimizations is performed, for optimizing the mask design characteristics of the lithographic process. This optimization may be performed in a single step or in different optimizations, e.g. if other parameters such as for example the threshold also are to be optimised. For these one or more further optimizations, the set of optimized illumination source

30 characteristics as determined in the first optimization are used as fixed illumination

DenK iP confidential

17

11110IM00EP – description as filed

source characteristics, without allowing further variation of these illumination source characteristics. As indicated above, the algorithm used may be the same or a different algorithm as used in the first optimization. It may be an algorithm based on a full resist model as well as an algorithm based on an aerial image model. In the one
5 or more further optimizations for optimizing the mask design characteristics, the presence of non-rectangular sub-resolution assist features for the mask design is substantially excluded. Furthermore, the mask rule check settings may be set, such that less complex mask design features are allowed. These optimizations will result in a less complex mask design than obtained with the first optimization but surprisingly
10 has the advantage of obtaining the good depth of focus (DoF) as would have been obtained when performing the optimization of illumination source and mask with non-rectangular sub-resolution assist features allowed. From these one or more further optimizations, a set of optimized mask design characteristics is determined whereby for the mask design characteristics, non-rectangular sub-resolution assist
15 features are substantially excluded. These one or more optimizations may be performed for the full mask design. By way of illustration, an exemplary method according to an embodiment of the present invention is illustrated in FIG. 3. The exemplary method comprises obtaining 310 initial settings for the illumination source and the mask design. The separation between the optimization step for defining the
20 source 320 and for defining the threshold and the mask 330 allows to use different conditions on the sub-resolution assist features, i.e. allows to define the source using mask characteristics allowing non-rectangular sub-resolution assist features and allows to define the mask characteristics and threshold using conditions not allowing non-rectangular sub-resolution assist features. As will be illustrated in experimental
25 results below, this results in the advantage of obtaining lithographic process conditions resulting in good depth of focus while limiting the mask design complexity and mask design file size of the file storing the mask characteristics.

The method also may comprise outputting 340 the lithographic processing conditions as determined above via an output port, to a data carrier, by displaying or in any
30 other means. The output provided are lithographic processing conditions comprising

DenK iP confidential

18

11110IM00EP – description as filed

information regarding the illuminations source to be used during lithographic processing as well as a mask design for use in the lithographic processing.

Methods according to embodiments of the present invention advantageously are at least partially computer-implemented. For example, at least the optimization steps

5 wherein the optimization algorithms are applied may be performed in a computer-implemented manner. In some embodiments, the method may be fully computer implemented.

In some embodiments, the one or more further optimizations also include optimization of the threshold for lithographic processing. The latter can be performed
10 in a separate step or combined with the optimization step for the mask characteristics.

In one embodiment, optimization of the threshold and the mask design characteristics is performed in a single optimization step, following the optimization step for defining the illumination source characteristics. The latter then typically may
15 be performed on the full mask design, i.e. for the full circuit, in order to obtain optimization of the full mask design. In such an embodiment the threshold and the mask design characteristics are defined in the same step. According to embodiments of the present invention, this is performed while excluding non-rectangular sub-resolution assist features.

20 In some embodiments, optimization of the threshold and the mask design is performed in separate optimization steps. The one or more optimization steps may therefore comprise a second optimization step for optimizing the threshold and the mask design excluding non-rectangular sub-resolution assist features and using the illumination source settings defined in the first optimization. From the second
25 optimization step, at least the threshold setting is defined. Optionally also part of the mask design characteristics, e.g. those characteristics as obtained for a circuit clip being only part of the circuit mask design can be defined. The defined threshold and optionally also part of the mask design characteristics may then be used as fixed values for a third optimization step, wherein the mask design characteristics of the

DenK iP confidential

19

11110IM00EP – description as filed

further mask design characteristics are determined for the full mask design, i.e. corresponding with the full circuit.

In particular embodiments of the present invention, besides excluding or allowing non-rectangular sub-resolution assist features, also mask rule check settings are selected differently between different optimizations. Mask-rule check settings or Mask-rule check parameters (MRC) are parameters that set limits to the allowed complexity of each individual mask polygon. As an example, these MRC parameters may set minimum values to the allowed segment length of mask polygons. An MRC parameter set that allows very complex shapes would be called 'aggressive': the printed image shape with such an aggressive set of MRC input parameters would in general be closer to the desired ideal image, but the resulting mask is more complex and might be difficult to manufacture and/or very expensive. Moderate MRC settings lead to a less perfect printed image but outputting a less complex and hence more manufacturable or less expensive mask. According to embodiments of the present invention, the mask rule check settings may be selected such that at least the most complex mask design feature allowed in the one or more further optimizations is less complex than the most complex mask design feature allowed in the first optimization. It is an advantage of embodiments according to the present invention that the threshold setting can be determined under the conditions wherein non-rectangular sub-resolution assist features are excluded, as this allows to have a good DoF, better than the one obtained using a conventional SMO flow wherein non-rectangular sub-resolution assist features are excluded.

As also indicated above, the different optimizations steps may be performed using SMO optimization algorithms based on the same or on different simulation models, e.g. using an aerial image model or a full resist model.

FIG. 4 illustrates examples of SRAM patterns generated using a conventional flow with only rectangular SRAF allowed (flow A), using a conventional flow with non-rectangular SRAF allowed (flow B) and using an SMO flow according to an embodiment of the present invention (flow C). It can be seen that for the SMO flow according to an embodiment of the present invention, the number of SRAF is

DenK iP confidential

20

11110IM00EP – description as filed

substantially larger than in flow A and that the layout of the SRAF is substantially more close to the conventional flow allowing non-rectangular SRAF (flow B). Comparison of the NILS for the conventional flow with only rectangular SRAF and for the flow according to an embodiment of the present invention indicates that there is
5 a clear advantage on the NILS both for best focus and defocused conditions, as can be derived from FIG. 5. FIG. 5 illustrates the normalized image log slope (NILS) on the cut line indicated in FIG. 4.

By way of illustration the major steps of a plurality of possible SMO flows are illustrated in FIG. 6, illustrating some examples of different possible flows according
10 to embodiments of the present invention.

In one aspect, the present invention also relates to a system for determining lithographic processing conditions for a lithographic process. The system may be especially suitable for performing a method according to the first aspect as described
15 above, although embodiments are not limited thereto. The system may be computer implemented. Such a computer-implementation may be software implemented as well as hardware implemented or a combination thereof. By way of illustration, embodiments of the present invention not being limited thereto, an exemplary system according to an embodiment of the present invention is shown in FIG. 7,
20 illustrating standard and optional features of such a system. The system 700 comprises an input means 710 for obtaining characteristics of an illumination source and a mask design. The characteristics typically comprise a lithography pattern to be implemented. Sub resolution assist features may also already be defined for further optimization, or these may be introduced while optimizing, then not being part of the
25 mask design characteristics. The input typically is obtained in electronic data format. The system furthermore comprises a processing means. The processing means 720 thereby is programmed for performing a first optimization for combined optimizing of the illumination source characteristics and the mask design characteristics for the lithographic process. The processing means 720 furthermore is programmed for

DenK iP confidential

21

11110IM00EP – description as filed

performing the first optimization such that non-rectangular sub-resolution assist features for the mask are allowed.

The processing means 720 also is programmed for determining from the first optimization a set of optimized illumination source characteristics.

5 The processing means 720 also is programmed for performing one or more further optimizations for optimizing of the mask design characteristics of the lithographic process, whereby for the one or more further optimizations the presence of non-rectangular sub-resolution assist features for said mask is substantially excluded. The one or more further optimizations thereby take into account said set of optimized
10 illumination source characteristics.

The processing means 720 also is programmed for determining from the one or more further optimizations, a set of optimized mask design characteristics substantially excluding non-rectangular sub-resolution assist features. The processing means 720 furthermore may be adapted for taking into account different mask rule check
15 settings for the different optimization steps.

For performing the above flow, the processing means 720 may comprise a controller 722 for timing the different actions. Furthermore, the processing means 720 also may comprise a SMO optimization module 724, which is adapted for performing SMO optimization taking into account particular settings provided, e.g. particular settings
20 provided for particular simulations. These particular settings may be obtained from user-input or may be obtained from the controller 722. Such settings may be settings determining the degree of complexity of the mask, settings determining whether or not non-rectangular assist features are accepted, mask rule check settings expressing a degree of complexity allowed for the pattern features, etc. The SMO optimization
25 module 724 may be any suitable source mask optimization module known to the person skilled in the art. It may be based on a particular model, such as for example an aerial image model or full resist model, or it may be adapted for selecting the model of interest. The system furthermore comprises an output means for putting out the lithographic processing conditions to be used. Such lithographic processing
30 conditions typically comprise illumination source characteristics and mask design

DenK iP confidential

22

11110IM00EP – description as filed

characteristics and can be outputted as electronic data, displayed, etc. Further system components may be any component adapted for performing one, more or part of steps of the method for determining lithographic processing conditions as described in the first aspect.

5

In another aspect, the present invention relates to a computer program product for, when executing on a processing means, carrying out one of the methods as described in the first aspect. The computer program product may be implemented on a processing system that includes at least one programmable processor coupled to a
10 memory subsystem that includes at least one form of memory, e.g., RAM, ROM, and so forth. It is to be noted that the processor or processors may be a general purpose, or a special purpose processor, and may be for inclusion in a device, e.g., a chip that has other components that perform other functions. Thus, one or more aspects of embodiments of the present invention can be implemented in digital electronic
15 circuitry, or in computer hardware, firmware, software, or in combinations of them. The processor may be adapted for performing a method for determining lithographic processing conditions or may comprise instructions for performing such a method. The processor may include a storage subsystem that has at least one disk drive and/or CD-ROM drive and/or DVD drive. In some implementations, a display system,
20 a keyboard, and a pointing device may be included as part of a user interface subsystem to provide for a user to manually input information. Ports for inputting and outputting data also may be included. More elements such as network connections, interfaces to various devices, and so forth, may be included. The various elements of the processing system may be coupled in various ways, including via a
25 bus subsystem. The memory of the memory subsystem may at some time hold part or all of a set of instructions that when executed on the processing system implement the steps of the method embodiments described above. While a processing system as such is prior art, a system that includes the instructions to implement aspects of the methods as described above is not prior art.

DenK iP confidential

23

11110IM00EP – description as filed

The computer program product can be tangibly embodied in a carrier medium carrying machine-readable code for execution by a programmable processor. The present invention thus relates to a carrier medium carrying a computer program product that, when executed on computing means, provides instructions for

5 executing determination of lithographic processing conditions according to any of the methods as described above. The term “carrier medium” refers to any medium that participates in providing instructions to a processor for execution. Such a medium may take many forms, including but not limited to, non-volatile media, and transmission media. Non-volatile media includes, for example, optical or magnetic

10 disks, such as a storage device that is part of mass storage. Common forms of computer readable media include, a CD-ROM, a DVD, a flexible disk or floppy disk, a tape, a memory chip or cartridge or any other medium from which a computer can read. Various forms of computer readable media may be involved in carrying one or more sequences of one or more instructions to a processor for execution. The

15 computer program product can also be transmitted via a carrier wave in a network, such as a LAN, a WAN or the Internet. Transmission media can take the form of acoustic or light waves, such as those generated during radio wave and infrared data communications. Transmission media include coaxial cables, copper wire and fibre optics, including the wires that comprise a bus within a computer.

20

In a further aspect, the present invention also relates to a kit of parts for use in lithographic processing. The kit of parts comprises a carrier comprising data including illumination source characteristics determined using a method as described in the first aspect, as well as a mask according to a mask design determined using the same

25 method.

In yet a further aspect, the present invention also relates to an electronic device, wherein the electronic device comprises at least one patterned layer, the patterned layer being made using lithographic processing according to lithographic processing

30 conditions determined using a method as described in the first aspect.

DenK iP confidential

24

11110IM00EP – description as filed

In still another aspect, the present invention relates to a method for manufacturing an electronic device, the method comprising determining a set of lithographic processing conditions using a method as described in the first aspect and thereafter

5 exposing a photoresist on a semiconductor substrate using the lithographic processing conditions for forming an electronic device. More particularly, the method may comprise obtaining characteristics of an illumination source and a mask design, the mask design comprising a lithography pattern and sub-resolution assist features, performing a first optimization for combined optimizing of the illumination source

10 characteristics and the mask design characteristics for the lithographic process, whereby for said first optimization non-rectangular sub-resolution assist features for the mask are allowed, determining from said first optimization a set of optimized illumination source characteristics, performing one or more further optimizations for optimizing of the mask design characteristics of the lithographic process, whereby for

15 said one or more further optimizations the presence of non-rectangular sub-resolution assist features for said mask design is substantially excluded and whereby said one or more further optimizations takes into account said set of optimized illumination source characteristics, and determining from said one or more further optimizations a set of optimized mask design characteristics substantially excluding

20 non-rectangular sub-resolution assist features. The method furthermore comprises exposing a photoresist on a semiconductor substrate using the lithographic processing conditions thus obtained.

By way of illustration, embodiments of the present invention not being limited

25 thereto, features and advantages of the above principles will be further illustrated by experimental results. The experiments were performed using source-mask optimization and model based sub-resolution assist feature placement using Tachyon-SMOTM. The circuit patterns used in the experiments were a static random access memory (SRAM) cell and a logic standard cell. The former was a 6-transistor

30 SRAM which is designed to realize high pattern density. The latter was a combination

DenK iP confidential

25

11110IM00EP – description as filed

of 4-standard cells, flip-flop, full-adder, inverter and nand. Both of them were designed on 28, 22 and 20 nm node. The total number of contact holes in the logic cells is around 250. Pattern splitting for double patterning was implemented on 22 and 20 nm cells.

- 5 In the different experiments, use was made of the estimated CDU for comparison with the target CDU. CDU was estimated by lithography contour, which is extracted by Tachyon-SMO™. Simulation conditions are listed in Table 1.

Item	Sub-item	Condition
Patterning condition	NA	1.35
	Wafer stack	Device stack
Mask	Film type	6% Att. PSM
	MRC	15 nm (Rectangular SRAF) 5 nm (Free form SRAF)
	Mask tone	Clear field (Assuming negative tone development)
SMO	Resist model	Aerial image with blur
	SRAF	Rectangular, Free form
Process error	Mask CD	+/-2 nm
Assumption	Dose	+/-3%
	Focus	+/-50 nm

- The flow of the CDU estimation was as follows : At first, the source shape was defined by SRAM cell layout. On the second step, mask optimization was done with the source which was defined in the previous step. On the third step, CDs were extracted from simulated contours. The extraction was executed with and without assumed process error. Totally, 7 types of CD data sets were extracted such as (1) nominal condition, (2), (3) focus offset (+/-50 nm), (4), (5) dose offset (+/-3%) and (6), (7) mask error (+/-2 nm). Finally, CDU was estimated by calculating 3-sigma of these CDs.
- 10
- 15

DenK iP confidential

26

11110IM00EP – description as filed

In a first experiment, a method for source-mask optimization was applied to a particular circuit layout. The DoF was first compared for the 22nm node for conventional flow using rectangular sub-resolution assist features and a flow according to an embodiment of the present invention. FIG. 8 shows a histogram of DoF at 6% exposure latitude (EL) in 250 contact holes of a logic layout. It can be seen that a method according to an embodiment of the present invention is clearly advantageous with regard to DoF over the conventional flow using rectangular sub-resolution assist features.

Critical dimension uniformity (CDU) and the size of the GDS file were compared and shown in FIG. 9. Three types of source-mask optimization flows were evaluated : conventional flow with rectangular SRAF (1), conventional flow with non-rectangular SRAF (2) and a flow according to an embodiment of the present invention (3). FIG. 9 indicates that the flow according to an embodiment of the present invention realizes comparable level of CDU to a conventional flow with non-rectangular SRAF. More precisely, SMO optimization using a conventional flow with non-rectangular SRAF and SMO optimization using the flow according to an embodiment of the present invention offer smaller CDU performance than that of a conventional flow with rectangular SRAF by 10% and 9% respectively. The GDS size for a flow according to an embodiment of the present invention retains at the same level as the conventional flow with rectangular SRAF. More particularly, the amounts of increase of GDS size compared with this conventional flow was found to be 25% for a conventional flow with free form SRAF and 0% for the flow according to an embodiment of the present invention. Consequently, using this flow according to an embodiment of the present invention overcomes the trade-off between CDU vs mask complexity.

25

In a second experiment, a flow according to an embodiment of the present invention is tested for lithographic processing of a logic circuit at the 20nm node.

At the 20nm node, the CDU degradation was substantially larger than at the 22nm. Investigation learned that a major cause was the process variability at points where pattern-splitting conflicts occurred. To solve this, besides altering of the mask layout,

30

DenK iP confidential

27

11110IM00EP – description as filed

it was found that altering the SMO flow again resulted in an advantageous effect on CDU while limiting the GDS file size. In FIG. 10 the CDU and file size are shown for a conventional flow using rectangular SRAF (1), a conventional flow using non-rectangular SRAF (2) and an SMO flow according to an embodiment of the present invention (3). It can be seen in FIG. 10 that the CDU is significantly better compared to a conventional flow with rectangular SRAF while the GDS file size only slightly increased. In other words, the results obtained for the 20nm node are similar to those obtained for the 22nm node.

- 5
- 10 From the above examples, it can be seen that applying a source-mask optimization flow according to embodiments of the present invention results in a CDU improvement without negative impact regarding to mask manufacturability.

15

DenK iP confidential

28

11110IM00EP – description as filed

Claims

- 1.- A method (300) for determining lithographic processing conditions for a lithographic process, the method (300) comprising :
- obtaining (310) characteristics of an illumination source and a mask design, the mask design comprising a lithography pattern,
 - performing a first optimization (320) for combined optimizing of at least the illumination source characteristics and the mask design characteristics for the lithographic process, whereby for said first optimization non-rectangular sub-resolution assist features (130) for the mask are allowed,
 - determining from said first optimization a set of optimized illumination source characteristics,
 - performing one or more further optimizations (330) for optimizing the mask design characteristics of the lithographic process, whereby for said one or more further optimizations the presence of non-rectangular sub-resolution assist features (130) for said mask design is substantially excluded and whereby said one or more further optimizations take into account said set of optimized illumination source characteristics, and
 - determining from said one or more further optimizations a set of optimized mask design characteristics substantially excluding non-rectangular sub-resolution assist features (130).
- 2.- A method (300) according to claim 1, wherein performing said one or more further optimizations (330) comprises taking into account mask rule check settings expressing at least that the most complex mask design feature allowed in the one or more further optimizations is less complex than the most complex mask design feature allowed in the first optimization.
- 3.- A method (300) according to any of claims 1 or 2, wherein the first optimization is performed on an optimization clip, being only a part of the mask design.
- 4.- A method (300) according to any of claims 1 to 3, wherein performing the one or more optimizations (330) furthermore comprises optimizing a threshold for the lithographic processing.

DenK iP confidential

29

11110IM00EP – description as filed

- 5.- A method according to claim 4, wherein the one or more optimizations comprise
- a second optimization for optimizing a threshold and the mask design characteristics of the lithographic process, whereby for said second optimization the presence of non-rectangular sub-resolution assist features (130) for said mask is substantially excluded and whereby the second optimization takes into account the set of optimized illumination source characteristics, and
 - a third optimization for optimizing the mask design characteristics for the lithographic process, whereby for the third optimization the presence of non-rectangular sub-resolution assist features (130) for said mask is substantially excluded and whereby the third optimization takes into account the set of optimized illumination source characteristics determined from the first optimization and an optimized threshold determined from the second optimization.
- 6.- A method (300) according to claim 5, wherein performing the second optimization is applied for an optimization clip, being only a part of the mask design.
- 7.- A method (300) according to any of claims 5 or 6, wherein performing the third optimization is applied for the full mask design.
- 8.- A method (300) according to any of the previous claims, wherein the lithographic process comprises multiple patterning steps for patterning different portions of a pattern to be processed.
- 9.- A method (300) according to any of the previous claims, wherein for each of the first or the one or more further optimizations a source-mask optimization algorithm is used based on any of a full resist model or an aerial image model.
- 10.- A system (700) for determining lithographic processing conditions for a lithographic process, the system comprising
- an input means (710) for obtaining characteristics of an illumination source and a mask design, the mask design comprising a lithography pattern,
 - a processing means (720) programmed for

DenK iP confidential

30

11110IM00EP – description as filed

- performing a first optimization for combined optimizing of the illumination source characteristics and the mask design characteristics for the lithographic process, whereby for said first optimization non-rectangular sub-resolution assist features (130) for the mask are allowed,
- 5 - determining from said first optimization a set of optimized illumination source characteristics,
- performing one or more further optimizations for optimizing the mask design characteristics of the lithographic process, whereby for said one or more further optimizations the presence of non-rectangular sub-resolution assist features (130) for said mask is substantially excluded and whereby said one or more further optimizations takes into account said set of optimized illumination source characteristics, and
- 10 - determining from said one or more further optimizations a set of optimized mask design characteristics substantially excluding non-rectangular sub-resolution assist features (130).
- 15 11.- A system (700) according to claim 10, the system (700) being implemented as a computer program product for, when executing on a processing means, carrying out one of the methods according any of the claims 1 to 9.
- 12.- A data carrier for storing a computer program product or the transmission of such a computer program product for, when executing on a processing means, carrying out one of the methods according any of the claims 1 to 9.
- 20 13.- A kit of parts for use in lithographic processing, the kit of parts comprising
 - a carrier comprising at least illumination source characteristics determined using a method according to any of claims 1 to 9, and
 - 25 - a mask according to a mask design determined using the same method.
- 14.- An electronic device, the electronic device comprising at least one patterned layer, the patterned layer being made using lithographic processing according to lithographic processing conditions determined using a method according to any of claims 1 to 9.
- 30 15.- A method of manufacturing an electronic device, the method comprising

DenK iP confidential

31

11110IM00EP – description as filed

- determining a set of lithographic processing conditions comprising illumination source characteristics and mask characteristics using a method (300) according to any of claims 1 to 9, and
 - exposing a photoresist layer on a semiconductor substrate using the
- 5 lithographic processing conditions for forming the electronic device.

DenK iP confidential

32

11110IM00EP – description as filed

Abstract

Illumination-source shape definition in optical lithography

- 5 A method and system are described for determining lithographic processing conditions for a lithographic process. After obtaining input, a first optimization is made for illumination source and mask design under conditions of allowing non-rectangular sub-resolution assist features. Thereafter, mask design is optimized in one or more further optimizations for which only rectangular sub-resolution assist
- 10 features are allowed. The latter results in good lithographic processing while limiting the complexity of the mask design.

+ Fig. 3

15

DenK iP confidential
11110IM00EP – drawings as filed

1/6

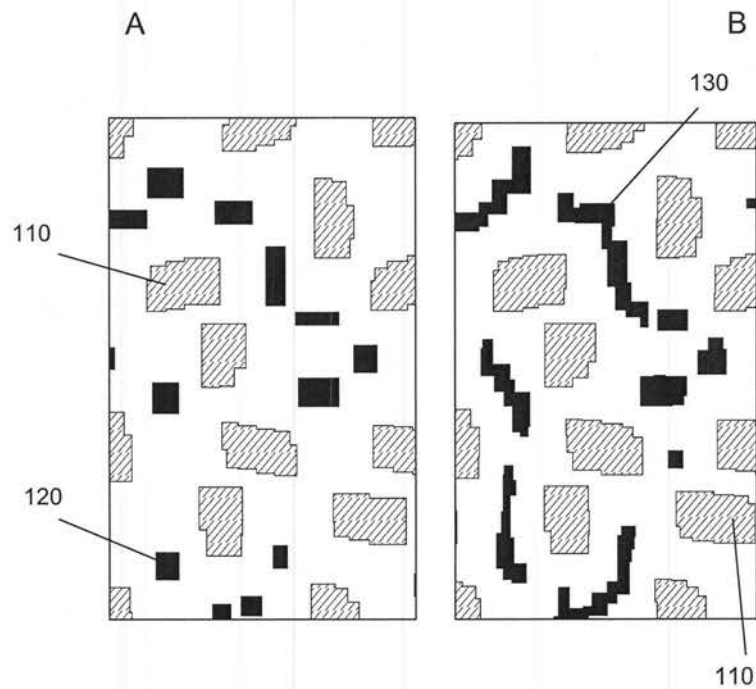


FIG. 1 – prior art

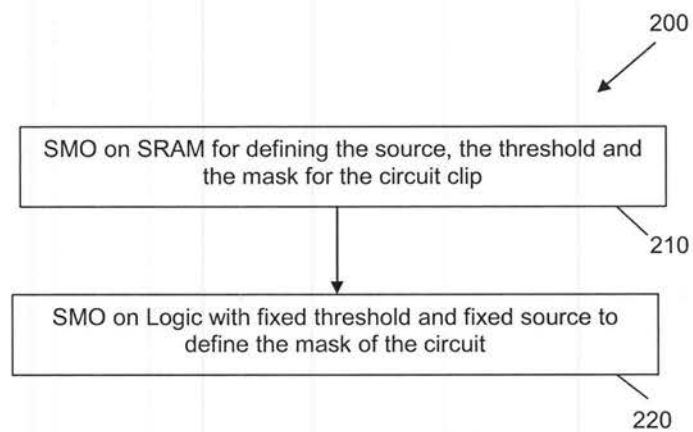


FIG. 2 – prior art

DenK iP confidential
11110IM00EP – drawings as filed

2/6

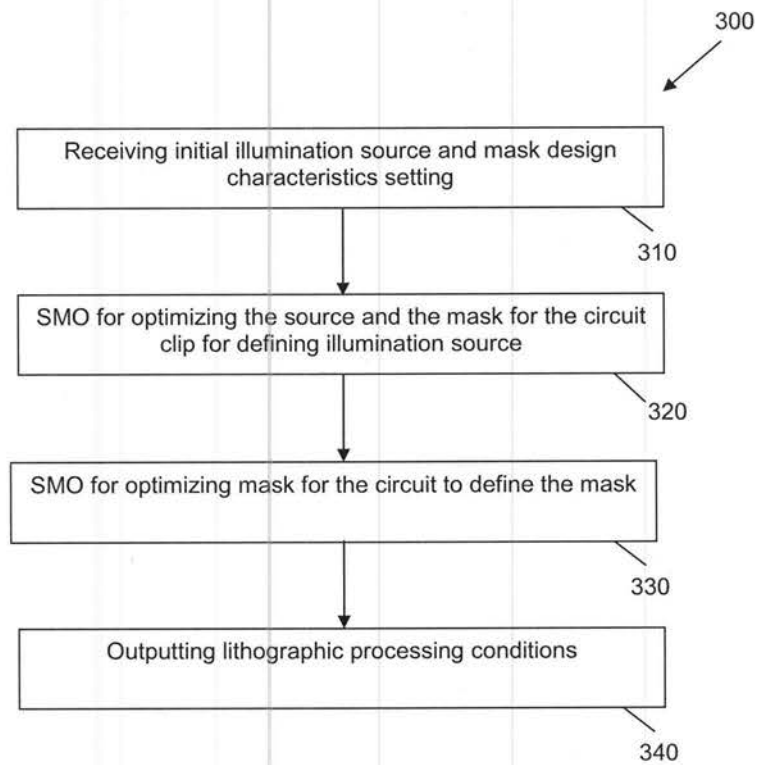


FIG. 3

DenK iP confidential
11110IM00EP – drawings as filed

3/6



FIG. 4

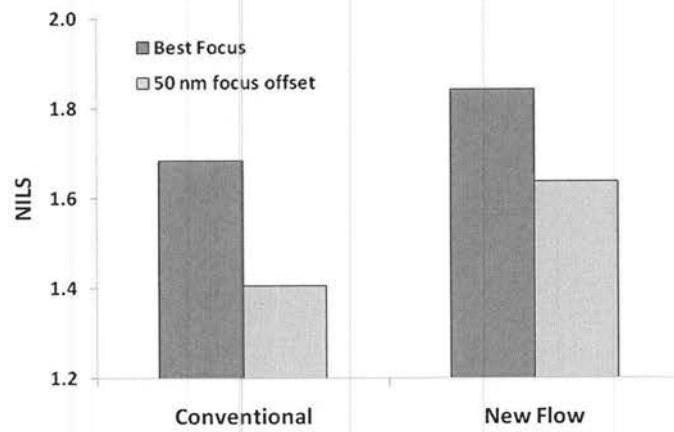


FIG. 5

DenK iP confidential
11110IM00EP – drawings as filed

4/6

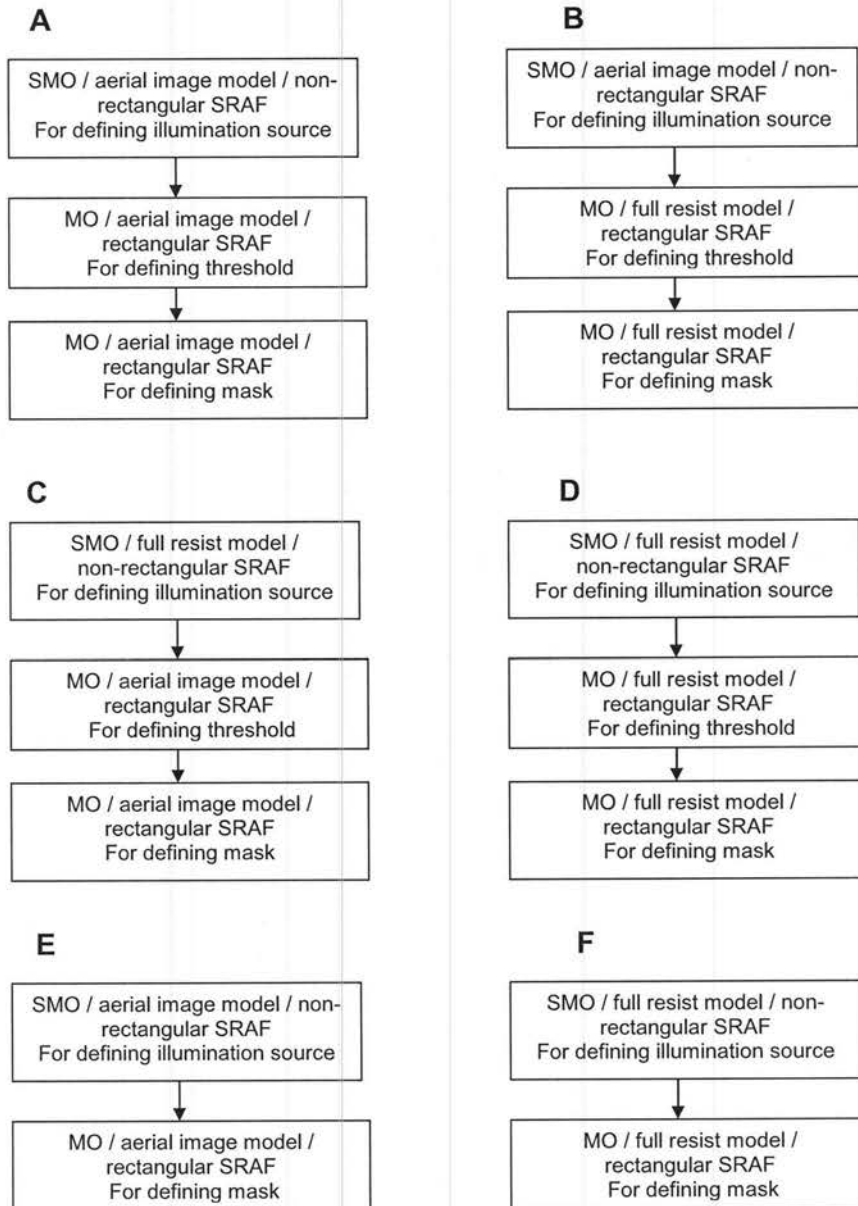


FIG. 6

DenK iP confidential
11110IM00EP – drawings as filed

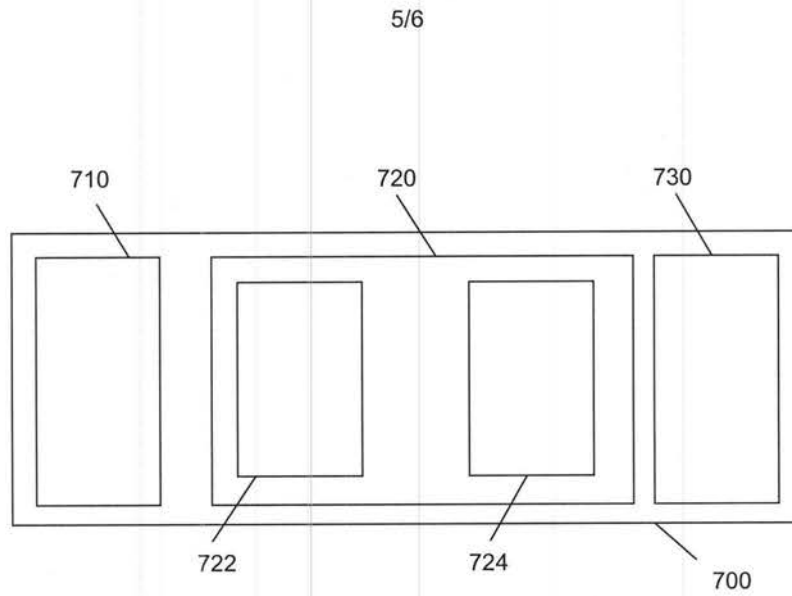


FIG. 7

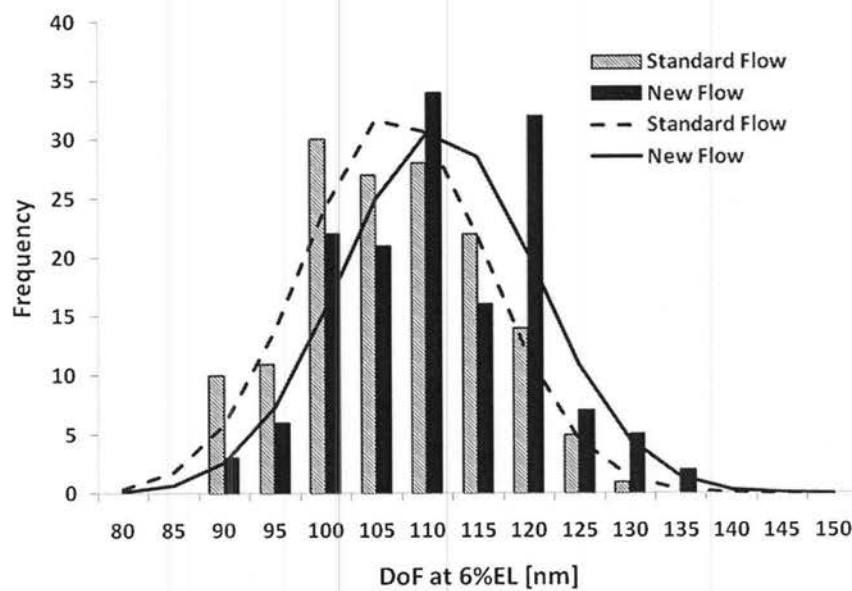


FIG. 8

DenK iP confidential
11110IM00EP – drawings as filed

6/6

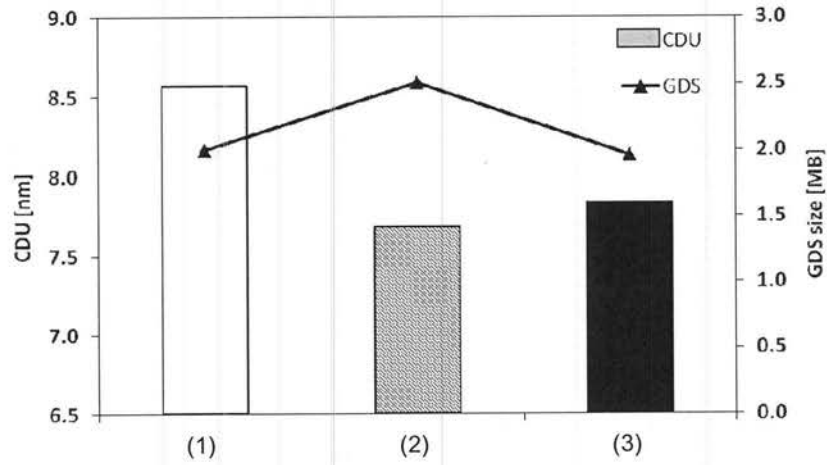


FIG. 9

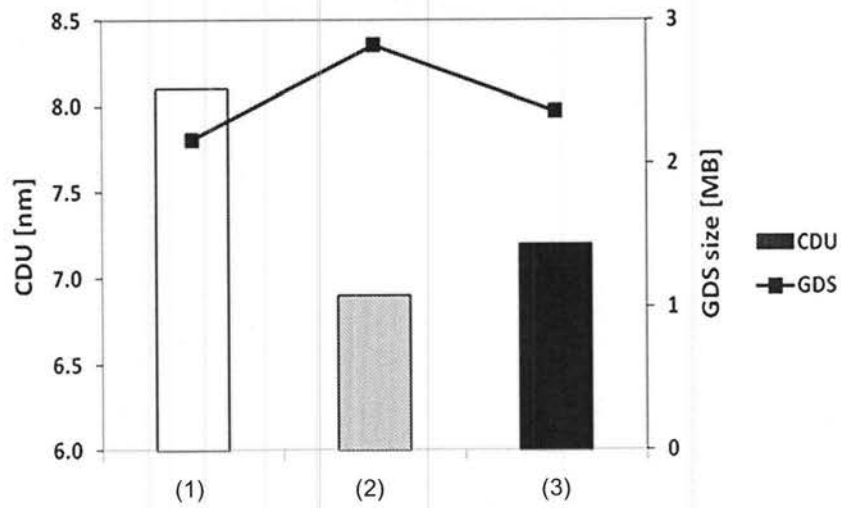


FIG. 10