

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6598421号
(P6598421)

(45) 発行日 令和1年10月30日(2019.10.30)

(24) 登録日 令和1年10月11日(2019.10.11)

(51) Int. Cl.		F I			
HO 1 L	21/027	(2006.01)	HO 1 L	21/30	5 0 2 C
GO 3 F	7/20	(2006.01)	HO 1 L	21/30	5 1 4 C
			GO 3 F	7/20	5 2 1

請求項の数 8 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2013-33509 (P2013-33509)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成25年2月22日 (2013. 2. 22)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2014-165271 (P2014-165271A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成26年9月8日 (2014. 9. 8)	(74) 代理人	100126240
審査請求日	平成28年2月19日 (2016. 2. 19)		弁理士 阿部 琢磨
審判番号	不服2018-635 (P2018-635/J1)	(74) 代理人	100124442
審判請求日	平成30年1月17日 (2018. 1. 17)		弁理士 黒岩 創吾
		(72) 発明者	中山 諒
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内
		(72) 発明者	行田 裕一
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マスクパターンの決定方法、プログラム、情報処理装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

2つのマスクの各々のパターンを情報処理装置を用いて決定する決定方法であって、
基板上に形成されたラインパターンをカットするための複数のパターン要素を含むカットパターンのデータを取得する工程と、

取得した複数のパターン要素の各々を2つのマスクのうちいずれかのマスクに割り当てて各マスクのパターンに分ける分け方を繰り返し変更しながら、割り当てられたマスクの数と各マスクにおける複数のパターン要素の中心位置間の距離と各マスクを照明するための有効光源分布の極の方向を表す所定の角度に対する各マスクにおける複数のパターン要素の中心位置間を結ぶ線の角度とにより定まる評価指標の評価値を前記分け方のそれぞれについて計算する工程とを有し、

計算された前記評価値に基づいて各マスクのパターンを決定し、

前記所定の角度は、2つのマスク間で互いに異なり、各マスクにおいて一定の値が設定される

ことを特徴とする決定方法。

【請求項2】

前記評価指標は、各マスクにおける複数のパターン要素の中心位置間を結ぶ線の角度と所定の角度との差が、0度から離れ90度に近づくにつれて前記評価指標の評価値が悪くなる項を含むことを特徴とする請求項1に記載の決定方法。

【請求項3】

前記評価指標は、さらに、複数のパターン要素の中心位置間の最小距離により定まる項を含むことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の決定方法。

【請求項 4】

前記評価指標をコスト関数とし、各マスクにおける複数のパターン要素の中心位置間の距離と各マスクを照明するための有効光源分布の極の方向を表す所定の角度に対する各マスクにおける複数のパターン要素の中心位置間を結ぶ線の角度との制約条件を定義した、混合整数計画問題を用いて、各マスクのパターンを決定する請求項 1 乃至 3 の何れか 1 項に記載の決定方法。

【請求項 5】

前記評価指標の評価値を計算する際に、パターン要素の中心位置間の距離が予め決められた所定の範囲内にある複数のパターン要素についてのみ評価することを特徴とすることを特徴とする請求項 1 乃至 4 の何れか 1 項に記載の決定方法。

10

【請求項 6】

決定された各マスクのパターンを照明する照明光学系の瞳面に形成される光強度分布を決定する工程を有することを特徴とする請求項 1 乃至 5 の何れか 1 項に記載の決定方法。

【請求項 7】

請求項 1 乃至 6 の何れか 1 項に記載の決定方法を情報処理装置に実行させるためのプログラム。

【請求項 8】

2つのマスクの各々のパターンを決定する情報処理装置であって、

20

基板上に形成されたラインパターンをカットするための複数のパターン要素を含むカットパターンのデータを取得し、取得した複数のパターン要素の各々を2つのマスクのうちいずれかのマスクに割り当てて各マスクのパターンに分ける分け方を繰り返し変更しながら、割り当てられたマスクの数と各マスクにおける複数のパターン要素の中心位置間の距離と各マスクを照明するための有効光源分布の極の方向を表す所定の角度に対する各マスクにおける複数のパターン要素の中心位置間を結ぶ線の角度とにより定まる評価指標の評価値を前記分け方のそれぞれについて計算する処理部を有し、

前記処理部は、計算された前記評価値に基づいて各マスクのパターンを決定し、

前記所定の角度は、2つのマスク間で互いに異なり、各マスクにおいて一定の値が設定される

30

ことを特徴とする情報処理装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、マスクパターンの決定方法、プログラム、情報処理装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、半導体デバイスの微細化が進むにつれて、露光装置により、所望のパターンを基板上に高精度に転写することが困難になりつつある。その原因の1つに、回路を構成するパターン間の最短距離の半分を示すハーフピッチが小さくなったことが挙げられる。

40

【0003】

これに対処するため、22nm nodeのような微細パターンを基板上に高精度に転写させるための技術として多回露光技術が注目されている。この技術は、露光装置の解像限界のハーフピッチよりも小さなハーフピッチを持つパターンを複数のマスクのパターンに分割して露光することによって、従来の1回露光よりも微細なパターンを高精度に転写するための技術である。

【0004】

多回露光を行うためには、焦点深度等の解像性能向上、歩留まりの向上などが見込めるような、リソグラフィー・フレンドリーな複数のマスクパターンを決定することが必要である。複数のマスクパターンを決定するための方法が特許文献1及び2に示されている。

50

【0005】

特許文献1では、繰り返し法によりパターンの分割ルールを適用する方法が示されている。具体的にはまず、パターンの分割ルールを決定し、そのルールに基づいてパターン要素を第1マスクに属するか、別の第2マスクに属するかどうかを決定する。そして、その作業をパターン要素毎に繰り返すといった方法である。分割ルールとして、パターンの線幅や距離に基づいてクリティカルかどうかを判断してパターンを分割している。

【0006】

特許文献2では、マスクを照明する照明光学系の瞳面に形成される光強度分布（有効光源分布）として2種類の2重極照明を前提とした、2回露光を行うための複数のマスクパターンの決定方法が示されている。具体的には、分割対象のパターンにおいて、x、y方向の2重極照明のうち、どちらの照明を用いて転写させることが適切かを分析して2種類のマスクパターンを決定する方法である。パターンの長手方向のエッジがy方向に延びるパターンはx方向の2重極照明用のマスクパターンに、パターンの長手方向のエッジがx方向に延びるパターンはy方向の2重極照明用のマスクパターンに分けている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】米国特許出願公開第2007/31740号明細書

【特許文献2】米国特許出願公開第2010/223590号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

特許文献1では、各マスクのパターンを決定する際に、パターンの線幅や距離を考慮しているが、複数のパターン要素間の角度を考慮していない。そのため、1つのマスクに角度がバラバラな複数のパターン要素が存在することで、1つの有効光源分布で照明した場合に各パターン要素の解像のしやすさが異なり、解像しにくいパターン要素が存在してしまう。

【0009】

特許文献2では、各パターン要素のエッジの方向と2重極照明の方向とを対応させて各マスクのパターンに分けている。しかし、複数のパターン要素の相対的な位置関係、つまり、複数のパターン要素間の距離や角度を考慮していない。そのため、1つのマスクに相対的な位置関係がバラバラな複数のパターン要素が存在することで、1つの有効光源分布で照明した場合に各パターン要素の解像のしやすさが異なり、解像しにくいパターン要素が存在してしまう。

【0010】

そこで、本発明は、パターンを複数のマスクのパターンに分割する際に、解像容易な各マスクのパターンを決定することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0011】

上記課題を解決するための本発明の一側面としてのマスクパターン決定方法は、2つのマスクの各々のパターンを情報処理装置を用いて決定する決定方法であって、基板上に形成されたラインパターンをカットするための複数のパターン要素を含むカットパターンのデータを取得する工程と、取得した複数のパターン要素の各々を2つのマスクのうちいずれかのマスクに割り当てて各マスクのパターンに分ける分け方を繰り返し変更しながら、割り当てられたマスクの数と各マスクにおける複数のパターン要素の中心位置間の距離と各マスクを照明するための有効光源分布の極の方向を表す所定の角度に対する各マスクにおける複数のパターン要素の中心位置間を結ぶ線の角度とにより定まる評価指標の評価値を前記分け方のそれぞれについて計算する工程とを有し、計算された前記評価値に基づいて各マスクのパターンを決定し、前記所定の角度は、2つのマスク間で互いに異なり、各マスクにおいて一定の値が設定されることを特徴とする。

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、パターンを複数のマスクのパターンに分割する際に、解像容易な各マスクのパターンを決定することができる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】マスクパターンの決定方法を示したフローチャートである。

【図2】1次元レイアウト技術を説明するための図である。

【図3】分割対象のカットパターンを説明するための図である。

【図4】コンフリクトグラフを説明するための図である。

10

【図5】パターン要素間の距離および角度を表す図である。

【図6】(a)距離に関する評価値を表す図である。(b)距離に関する評価値を表す図である。

【図7】(a)従来手法により分割されたマスクパターンを表す図である。(b)本発明により分割されたマスクパターンを表す図である。

【図8】有効光源分布のパラメータを表す図である。

【図9】(a)従来手法により最適化された有効光源分布を表す図である。(b)本発明により最適化された有効光源分布を表す図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

20

本実施形態は、半導体集積回路、液晶パネル、LED、イメージセンサ等のデバイスを作製するためのリソグラフィ技術に関し、特に2回露光をはじめとする多回露光用のマスクのパターン形成工程及び露光照明条件の決定工程において利用される可能性がある。

【0015】

図1に、マスクパターンの決定方法を示したフローチャートを示す。本方法は、コンピュータの処理部(CPUやMPU等)がプログラムを読み出して実行する。本実施形態の機能を実現するソフトウェアやプログラムはネットワーク又は各種記憶媒体を介して1つ又は複数のコンピュータよりなる情報処理装置に供給される。その情報処理装置の処理部が、記録媒体または記憶媒体に記録または記憶されたプログラムを読み出すことにより、プログラムが実行される。離れた位置にある複数のコンピュータが有線又は無線通信で互いにデータを送受信することにより、プログラムの各種処理を行っても良い。

30

【0016】

まず、S101で、コンピュータの処理部が分割対象のパターンのデータを取得する。当該データはデータ入力装置から入力されてもよいし、外部のコンピュータや記録媒体から入力されてもよい。当該データをコンピュータの記憶部に記憶し、記憶部から都度読み出すことにより取得してもよい。本実施形態では、分割対象のパターンの例として、1次元レイアウト技術におけるカットパターンを用いる。図2(a)に、基板上に形成されたラインアンドスペースパターンを示す。1次元レイアウト技術とは、図2(a)に示すラインアンドスペースパターンのラインパターン部分(黒色部)を、図2(b)の黒枠線内で示すホールパターン及び上下のラインを用いて切断することで加工し、図2(c)の所望のパターンを得る技術である。また、カットパターンとは、図2(b)の5つの黒枠線で示したホールパターンを意味し、以下そのように記述する。なお、ラインアンドスペースパターンのスペース部分を、ドットパターンで埋めることにより加工する技術も、1次元レイアウト技術に含まれる。本実施形態では、図3に示すカットパターンを分割対象のパターンとして用いる。図3で黒く塗られている各部分がカットパターンのパターン要素であり、一辺が23nmの正方形である。この分割対象のパターンは、例えば、ポリゴン座標形式で提供される。

40

【0017】

次に、S102で、制約条件に基づいて、グラフ理論を用いてパターンをコンフリクトグラフで表現する。例えば、図4(a)に示すような所定の距離401を規定し、パター

50

ン要素の中心位置間の距離が上記所定の距離以内であれば、お互い異なるマスクのパターンにしなければならないという制約条件がある。図4(a)の四角形の黒枠はパターン要素を表し、点線は、あるパターン要素の中心位置を中心とし、距離401を半径とする円を表す。この条件は、具体的には図4(b)に示すようなコンフリクトグラフで表現される。パターン要素を402で示す点(vertex)で表し、距離が上記所定の距離以内であるパターン要素同士は403で表す線分(edge)で繋がれる。この線分で繋がれた両端では、異なるマスク番号(色)で塗り分けなければならない。マスクの数(分割数)と各マスクのパターンを決定する問題は、パターン要素を色で塗り分けるような性質を持つ問題であることから、彩色問題とも呼ばれる。以下、マスク番号を色番号とし、マスクの数と各マスクのパターンを決定する過程を色を塗り分ける表現を用いて説明する場合がある。

10

【0018】

次に、S103で、S102で取得したパターンに含まれるパターン要素間の距離を解析して求める。また、S104で、S102で取得したパターンに含まれるパターン要素間を結ぶ線の角度を解析して求める。

【0019】

S105で、制約条件、境界条件などの計算条件、各種変数を混合整数計画問題として定式化して設定する。S106で混合整数計画問題としてコスト関数を設定する。制約条件、境界条件、各種変数、コスト関数は後で詳細に説明する。次にS107で、これらの条件、変数、コスト関数を用いて混合整数計画問題を解き、複数のパターン要素の各々をいずれかのマスクに割り当てて各マスクのパターンに分け、色の塗り分けを実行し、各マスクのパターンを決定する。決定した各マスクのパターンのデータは解として出力され、モニター上に表示されたりする。混合整数計画問題を解くためのソフトウェアには、例えば、IBM社のILOG CPLEX(登録商標)が用いることができる。

20

【0020】

以下、プログラムで用いられる変数、定数、数式の詳細を説明する。

【0021】

(1) 変数の説明

j : 色番号を表し、 $1 \leq j \leq m$

m : 最大色番号

i, i' : パターン要素の番号

P_{all} : 全ての色の中でのパターン要素間の距離の最小値

P_j : j 番目の色におけるパターン要素間の距離の最小値

$D_{i i', j}$: i 番目のパターン要素と i' 番目のパターン要素の両方とも j 番目の色で塗る時に1、塗らない時に0となるバイナリ変数

y_j : 色 j を使うかどうかを表すバイナリ変数で、使う場合1、使わない場合0

$x_{i j}$: i 番目のパターン要素において色 j を使うかどうかを表すバイナリ変数で、使う場合1、使わない場合0

30

【0022】

(2) 定数の説明

$pitch_{i i'}$: i 番目のパターン要素と i' 番目のパターン要素の中心間の距離

$angle_{i i'}$: i 番目のパターン要素と i' 番目のパターン要素とを結ぶ線の角度
: 色数を表すコスト関数第1項の重み

: 全ての色の中でのパターン要素間の距離の最小値を表すコスト関数第2項の重み

: 各色におけるパターン要素間の距離の最小値の和を表すコスト関数第3項の重み

: 各色におけるパターン要素間の距離と角度により定まるコスト関数第4項の重み

a : 第4項におけるパターン要素間の距離の項の重み

b : 第4項におけるパターン要素間の角度の項の重み

c : 第4項における定数を表す重み

40

図5に $pitch_{i i'}$ 、 $angle_{i i'}$ を表す。 $angle_{i i'}$ は、基準線 L と

50

、 i 番目のパターン要素と i ' 番目のパターン要素とを結ぶ線とのなす角度を示す。

【 0 0 2 3 】

(3) 数式の説明

(3 . 1) コスト関数

S 1 0 8 で設定されるコスト関数 (評価指標) について詳細に説明する。コスト関数は式 (1) のように表される。式 (1) の *minimize* の記載は、このコスト関数を最小化する線形計画問題であることを意味する。

【 0 0 2 4 】

【数 1】

$$\text{minimize } \alpha * \sum_{j=1}^m y_j + \beta * P_{all} + \gamma * \sum_{j=1}^m P_j + \delta * \sum_{j=1}^m A_j \quad \dots \text{式 (1)} \quad 10$$

【 0 0 2 5 】

ここで、 α 、 β は正の定数で、 γ 、 δ は共に負の定数である。式 (1) は、色数を最小にし、パターン要素間の距離の最小値を最大化しつつ、パターン要素間の距離と角度により定まる項 A_j の値を最小化するように、問題を解くことを目的としたコスト関数である。

【 0 0 2 6 】

次に、式 (1) の各項の説明をする。第 1 項の

【 0 0 2 7 】

【数 2】

$$\sum_{j=1}^m y_j \quad 20$$

【 0 0 2 8 】

は色数、つまり、マスクの数を表す。例えば、色数が 2 であれば、

【 0 0 2 9 】

【数 3】

$$\sum_{j=1}^m y_j = 2 \quad 30$$

【 0 0 3 0 】

となる。第 2、3 項の、 P_{all} 、 P_j は、パターン要素間の最小距離 (nm) を表している。例えば、分割されたパターン要素間の最小距離が 1 nm 小さくなると、値は 1 小さくなる。

【 0 0 3 1 】

第 4 項の A_j 、すなわち、パターン要素間の距離と角度により定まる項を表すコストについては、図を併用して説明する。まず、 A_j は式 (2) のように表せ、 A_j が小さくなる程、露光がしやすくなることを示すコストとなっている。

【 0 0 3 2 】

【数 4】

$$A_j = -a * f(\text{pitch}_{ii'}) + b * g(\text{angle}_{ii'} - T_j) + c \quad \dots \text{式 (2)} \quad 40$$

【 0 0 3 3 】

ここで、 a 、 b 、 c はそれぞれ正の定数である。

【 0 0 3 4 】

次に式 (2) の各項の説明をする。

【 0 0 3 5 】

第 1 項は、パターン要素間の距離により定まる項である。 $\text{pitch}_{ii'}$ の関数であ 50

る。パターン要素間の距離が大きい方がパターンの解像性能（焦点深度、プロセスウィンドウ、NILSなど）が高い（露光が容易）であるので、パターン要素間の距離が大きい方が評価値が良くなるようにモデル化したものである。パターン要素間の距離が大きい程、 A_j が小さくなる数式となっている。その意味で、この評価値はパターンの解像難易度（露光難易度）を表しているとも言える。第1項の一例を図6(a)に示す。

【0036】

第2項は、パターン要素間を結ぶ線の角度 $angle_{i,i'}$ により定まる項である。 $angle_{i,i'}$ と T_j との差の関数で表される。この関数は、 $(angle_{i,i'} - T_j)$ の絶対値が0度もしくは180度で最小値をとり、0度から離れ90度に近づくにつれて値が大きくなり、90度で最大値をとるように設定した。第2項の一例を図6(b)に示す。

10

【0037】

T_j は、0度から180度まで任意の値をとりうる変数であって、各色 j についてそれぞれ一定値に定められる。例えば、 T_1 が0度のとき、パターン要素間の角度が0度に近いパターン要素であれば第2項は小さく、評価値が良い。そのため、色 $i = 1$ のパターンは、パターン要素間の角度が0度に近いパターン要素で作られやすくなる。これらのパターン要素からなるマスクのパターンの解像性を向上させ、照明するのに適した有効光源分布（マスクを照明する照明光学系の瞳面に形成される光強度分布）は、基準線 L （角度0度）の方向に配列された2つの極を有する2重極照明である。つまり、第2項の T_j の値は、各マスクを照明するのに適した有効光源分布の方向性を表す。 T_j が90度のときは、基準線 L に垂直な方向（角度90度）に配列された2つの極を有する2重極照明が適している。

20

【0038】

パターン要素間の距離や角度を変えた場合の A_j の値の一例を表したのが表1である。縦は角度 $(angle_{i,i'} - T_j)$ を表し、横はパターン要素の中心間距離を表す。表中の値は、数式2の a 、 b 、 c に $a = 0.3$ 、 $b = 0.1$ 、 $c = 50$ を入力して算出したものである。

【0039】

【表1】

		パターン間の距離特性												
		90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
角度	0	23.0	21.5	20.0	18.5	17.0	15.5	14.0	12.5	11.0	9.5	8.0	6.5	5.0
	10	24.0	22.5	21.0	19.5	18.0	16.5	15.0	13.5	12.0	10.5	9.0	7.5	6.0
	20	25.0	23.5	22.0	20.5	19.0	17.5	16.0	14.5	13.0	11.5	10.0	8.5	7.0
	30	26.0	24.5	23.0	21.5	20.0	18.5	17.0	15.5	14.0	12.5	11.0	9.5	8.0
	40	27.0	25.5	24.0	22.5	21.0	19.5	18.0	16.5	15.0	13.5	12.0	10.5	9.0
	50	28.0	26.5	25.0	23.5	22.0	20.5	19.0	17.5	16.0	14.5	13.0	11.5	10.0
	60	29.0	27.5	26.0	24.5	23.0	21.5	20.0	18.5	17.0	15.5	14.0	12.5	11.0
	70	30.0	28.5	27.0	25.5	24.0	22.5	21.0	19.5	18.0	16.5	15.0	13.5	12.0
	80	31.0	29.5	28.0	26.5	25.0	23.5	22.0	20.5	19.0	17.5	16.0	14.5	13.0
	90	32.0	30.5	29.0	27.5	26.0	24.5	23.0	21.5	20.0	18.5	17.0	15.5	14.0
	100	31.0	29.5	28.0	26.5	25.0	23.5	22.0	20.5	19.0	17.5	16.0	14.5	13.0
	110	30.0	28.5	27.0	25.5	24.0	22.5	21.0	19.5	18.0	16.5	15.0	13.5	12.0
	120	29.0	27.5	26.0	24.5	23.0	21.5	20.0	18.5	17.0	15.5	14.0	12.5	11.0
	130	28.0	26.5	25.0	23.5	22.0	20.5	19.0	17.5	16.0	14.5	13.0	11.5	10.0
	140	27.0	25.5	24.0	22.5	21.0	19.5	18.0	16.5	15.0	13.5	12.0	10.5	9.0
	150	26.0	24.5	23.0	21.5	20.0	18.5	17.0	15.5	14.0	12.5	11.0	9.5	8.0
	160	25.0	23.5	22.0	20.5	19.0	17.5	16.0	14.5	13.0	11.5	10.0	8.5	7.0
170	24.0	22.5	21.0	19.5	18.0	16.5	15.0	13.5	12.0	10.5	9.0	7.5	6.0	
180	23.0	21.5	20.0	18.5	17.0	15.5	14.0	12.5	11.0	9.5	8.0	6.5	5.0	

30

40

【0040】

この表から、角度が90度になるにつれて値が大きくなり、距離が小さくなるにつれて値が大きくなり、コスト関数の評価値が悪くなるのが分かる。そのため、コスト関数の評価値を最小化するように、各マスクのパターンを決定していけば、解像難易度が低く露光容易なマスクパターンを作成することができる。

50

【 0 0 4 1 】

本実施形態では、式(1)に $\alpha = 1$ 、 $\beta = -0.001$ 、 $\gamma = -0.00001$ 、 $\delta = 0.001$ を入力している。これらの値は、色数を少なくすることを優先させながら、最小パターン間距離を大きくしつつ、パターン間の距離と角度特性の関係を考慮して、マスクパターン分割を行うことを目的として設定したもので、 α の重みは相対的に小さくしてある。これらの値については、優先したい項に応じて、別の値を入れても構わない。

【 0 0 4 2 】

また、各項の正負を反転させて、式(1)のコスト関数を最大化によって記述しても良い。これは、上述したコスト関数の最小化をしても、各項の正負を反転させてコスト関数を最大化しても、解には影響を与えないためである。

10

【 0 0 4 3 】

(3.2) 制約条件、境界条件、バイナリ変数

制約条件は式(3)から式(20)、境界条件は式(21)から式(23)、バイナリ変数は式(24)から式(27)で表される。

【 0 0 4 4 】

制約条件

【 0 0 4 5 】

【数5】

$y_1 \geq y_2 \geq \dots \geq y_m \dots \dots \dots$ 式(3)

$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1 (\forall i) \dots \dots \dots$ 式(4)

$x_{ij} \leq y_j (\forall i, \forall j) \dots \dots \dots$ 式(5)

$x_{ij} + x_{i'j} \leq 1 (\forall j, \forall i, \forall i' \in A) \dots \dots \dots$ 式(6)

$x_{ij} + x_{i'j} \geq 2 * D_{ij} (\forall j, \forall i, \forall i' \in B) \dots \dots \dots$ 式(7)

$x_{ij} + x_{i'j} \leq 1 + D_{ij} (\forall j, \forall i, \forall i' \in B) \dots \dots \dots$ 式(8)

$P_j - pitch_{i'} * D_{ij} - 500(1 - D_{ij}) \leq 0 (\forall j) \dots \dots \dots$ 式(9)

$P_j \geq P_{all} (\forall j) \dots \dots \dots$ 式(10)

$A_{ij} + 500(1 - D_{ij}) \geq -a * pitch_{i'} + b * (B1_{ij} - B2_{ij} + B3_{ij} - B4_{ij}) + c (\forall j) \dots \dots$ 式(11)

$angle_{i'} - T_j = (B1_{ij} + B2_{ij} + B3_{ij} + B4_{ij}) - 180 (\forall j) \dots \dots \dots$ 式(12)

$90 * Z1_{ij} \leq B1_{ij} \leq 90 (\forall j) \dots \dots \dots$ 式(13)

$90 * Z2_{ij} \leq B2_{ij} \leq 90 * Z1_{ij} (\forall j) \dots \dots \dots$ 式(14)

$90 * Z3_{ij} \leq B3_{ij} \leq 90 * Z2_{ij} (\forall j) \dots \dots \dots$ 式(15)

$0 \leq B4_{ij} \leq 90 * Z3_{ij} (\forall j) \dots \dots \dots$ 式(16)

$Z3_{ij} \leq Z2_{ij} \leq Z1_{ij} (\forall j) \dots \dots \dots$ 式(17)

$A_j - A_{ij} \geq 0 (\forall j) \dots \dots \dots$ 式(18)

$A_{ij} \geq 0 (\forall j) \dots \dots \dots$ 式(19)

$0 \leq T_j \leq 180 (\forall j) \dots \dots \dots$ 式(20)

【0046】

境界条件

【0047】

【数6】

$y_1 = 1 \dots \dots \dots$ 式(21)

$P_j \geq 0 (\forall j) \dots \dots \dots$ 式(22)

$P_{all} \geq 0 \dots \dots \dots$ 式(23)

【0048】

バイナリ変数

【0049】

10

20

30

40

【数7】

$y_j \quad (\forall j) \quad \dots \dots \dots \text{式(24)}$

$x_{ij} \quad (\forall i, \forall j) \quad \dots \dots \dots \text{式(25)}$

$D_{ij} \quad (\forall j) \quad \dots \dots \dots \text{式(26)}$

$Z1_{ij}, Z2_{ij}, Z3_{ij} \quad (\forall j) \quad \dots \dots \dots \text{式(27)}$

10

【0050】

式(3)から式(20)の各制約条件について説明する。式(3)は、色番号は小さい順に使うことを表す制約条件である。例えば、 $y_1 = 0$ 、 $y_2 = 1$ とすると、1番目の色番号は使わないにも関わらず、2番目の色番号を使うことを意味するが、そのようなことが起きないようにするための制約条件である。式(4)は、i番目のパターン要素には、どれか1色だけ使うことを表す制約条件である。式(5)は、使わない色では塗れないようにする制約条件である。j番目の色番号を使わない、すなわち、 $y_j = 0$ であるにも関わらず、i番目のパターン要素でj番目の色が使われる、すなわち、 $x_{ij} = 1$ となることが起きないようにするための制約条件である。

20

【0051】

式(6)は、色番号の配置に関する制約条件である。i番目のパターン要素と、i'番目のパターン要素がコンフリクトグラフの線分で繋がれている時に、i、i'番目のパターン要素が同じ色番号にならないようにするための制約条件である。この制約条件は、コンフリクトグラフの線分で繋がれる、i、i'番目のパターン要素の中心間距離が所定の範囲A以内である時に適用される。

【0052】

式(7)と式(8)は、バイナリ変数 $D_{ii'j}$ の制約条件で、 x_{ij} と $x_{i'j}$ がともに1の時、 $D_{ii'j} = 1$ に、 x_{ij} と $x_{i'j}$ の少なくとも一方が0の時、 $D_{ii'j} = 0$ になる。よって、 $D_{ii'j}$ は、 x_{ij} と $x_{i'j}$ の論理積であることを意味する。これら制約条件は、i、i'番目のパターン間距離が所定の範囲B以内である時に適用される。

30

【0053】

式(9)は、パターン要素間の距離についての制約条件である。 $D_{ii'j}$ が1のとき $P_j \leq pitch_{ii'}$ となり、 P_j の値が、各色jにおける各パターン要素間の距離の値以下になるよう制約をしている。また、 $D_{ii'j}$ が0のとき $P_j \leq 500$ となる。ここで、500は、 $D_{ii'j} = 0$ のとき、常に実質的に P_j が制約されないようにするため、大きい数字を用いている。パターン要素間距離よりも十分大きい数として、本実施形態では500としているが、これ以外の値であっても大きい数字であれば式の意味は同じであるので構わない。式(10)は、 P_{a11} が、複数の P_j のうちの最小値を取ること

40

【0054】

式(11)は、パターン要素間の距離と角度についての制約条件である。また、パターン要素間のなす角度 $angle_{ii'}$ と T_j との関係は式(12)で表される。これらの式の中で、 $B1_{ii'j}$ 、 $B2_{ii'j}$ 、 $B3_{ii'j}$ 、 $B4_{ii'j}$ の項は、式(13)から式(17)、式(27)に示す、バイナリ変数 $Z1_{ii'j}$ 、 $Z2_{ii'j}$ 、 $Z3_{ii'j}$ を用いて表現した項である。これらの式により、図6(b)の評価値が計算される。例えば、 $Z1 = 1$ 、 $Z2 = Z3 = 0$ であれば、 $B1 = 90$ 、 $B2 = 90$ 、 $B3 = B4 = 0$ となり、式(12)は $angle_{ii'} - T_j = B2_{ii'j} - 90$ となり、式

50

(1 1) は、
 【 0 0 5 5 】
 【 数 8 】

$$A_{ij} + 500(1 - D_{ij}) \geq -a * pitch_{ij} + b * -(angle_{ij} - T_j) + c$$

【 0 0 5 6 】

となる。つまり、 $Z_1 = 1$ 、 $Z_2 = Z_3 = 0$ のとき、図 6 (b) の区間 B における評価値を求めている。評価値 $f = B_1(i, i', j) - B_2(i, i', j) + B_3(i, i', j) - B_4(i, i', j)$ は、 $angle_{i, i'} - T_j$ により定まり、その値が大きいくらい、パターンの解像が難しいことを意味するため、解像難易度 (露光難易度) を表す。なお、区間 A では $f = B_1(i, i', j)$ 、 $angle_{i, i'} - T_j = B_1(i, i', j) - 180$ 、区間 B では $f = 90 - B_2(i, i', j)$ と表すことができる。また、区間 C では $f = B_3(i, i', j)$ 、 $angle_{i, i'} - T_j = B_3(i, i', j)$ 、区間 D では $f = 90 - B_4(i, i', j)$ 、 $angle_{i, i'} - T_j = 90 + B_4(i, i', j)$ と表すことができる。

【 0 0 5 7 】

以上から、式 (1 2) は、折れ線状になっている評価値 f を混合整数計画問題で記述した制約条件であることが分かる。また、 $B_1(i, i', j)$ 、 $Z_1(i, i', j)$ などは混合整数計画問題で記述できるようにするための媒介変数であることが分かる。

【 0 0 5 8 】

式 (1 8) は、 $A_{i, i', j}$ の最悪値が A_j であることを示す制約条件である。式 (1 9) は、パターン要素間の距離と角度から成る項 $A_{i, i', j}$ が 0 よりも大きな値を取ることを示す制約条件である。式 (2 0) は、 T_j が 0° 以上 180° 以下であることを示す制約条件である。

【 0 0 5 9 】

以上、各制約条件について説明してきたが、考えられうる全てのパターン要素間の距離について、式 (7)、式 (8)、式 (9)、式 (1 1) を記述する必要はない。具体的には、例えば、解像度 $D = k_1 \times \lambda / NA$ (λ : 波長、 NA : 開口数) で表される $k_1 = 1.0$ 相当以上離れた距離では、制約条件から予め除外しておくなどすることによって、余分な計算を省き、解を求めるまでに要する計算時間を短縮することが可能である。

【 0 0 6 0 】

次に、式 (2 1) から式 (2 3) の境界条件について説明する。式 (2 1) は、色に関する境界条件であって、1 色目は必ず使うことを示す境界条件である。式 (2 2)、式 (2 3) は、距離に関する境界条件である。式 (2 2) は、各色におけるパターン要素間の距離は 0 よりも大きな値をとることを示す境界条件である。また、式 (2 3) は、分割対象の全てのパターン要素間の距離の最小値は 0 よりも大きな値をとることを示す境界条件である。

【 0 0 6 1 】

最後に、式 (2 4) から式 (2 7) のバイナリ変数について説明する。式 (2 4) の y_j は j 番目の色を使うかどうかを表すバイナリ変数である。使う場合には 1、使わない場合には 0 が入力される。式 (2 5) の $x_{i, j}$ はマスクパターン番号 i において j 番目の色を使うかどうかを表すバイナリ変数である。使う場合には 1、使わない場合には 0 が入力される。式 (2 6) の $D_{i, i', j}$ は i 番目のパターンと i' 番目のパターンの両方とも j 番目の色で塗る場合には 1、それ以外の場合には 0 が入力されるバイナリ変数である。式 (2 7) の $Z_1(i, i', j)$ 、 $Z_2(i, i', j)$ 、 $Z_3(i, i', j)$ は、制約条件の所で説明したように、パターン要素間の角度を混合整数計画問題で記述するために用いるバイナリ変数である。これらのバイナリ変数の 0、1 の組み合わせにより、図 6 (b) の区間 A から区間 D における評価値を記述することができる。

【 0 0 6 2 】

以上の数式に基づいて、S 1 0 9 で混合整数計画問題を解くことにより、図 3 の分割対象のパターンを各マスクのパターンに分割し、マスクの数、各マスクのパターンを決定し

10

20

30

40

50

た。

【 0 0 6 3 】

本実施形態のパターン決定方法を適用せずに求めた各マスクのパターンを図 7 (a) に、本実施形態のパターン決定方法を適用して求めた各マスクのパターンを図 7 (b) に示す。図中のマスク 1 (第 1 マスク)、マスク 2 (第 2 マスク) の表記は 2 色に色分けした時の、1 色目、2 色目のマスクを意味する。1、2 の数字の順番には意味はない。表 2 に示すように、図 7 (a) のマスク 1、マスク 2 共に、パターン要素間の最小距離が 1 3 8 n m である。図 7 (b) も同様である。一方で、図 7 (a) と図 7 (b) で異なる点として、各パターンの並び方が挙げられる。図中にマスクパターンの並び方向を矢印で示した。図 7 (a) のマスクパターンは、縦方向と横方向が混在しており、矢印の向きがマスク 1、マスク 2 共に不規則である。一方、図 7 (b) のマスクパターンは、矢印の向きがマスク 1、マスク 2 で規則的であり、マスク 1 では横方向、マスク 2 では縦方向に並んでいる。表 2 に示すように、本実施形態のパターン決定方法を適用した図 7 (b) では、マスク 1 の T_1 は 0° 、マスク 2 の T_2 は 90° と求まった。

10

【 0 0 6 4 】

【表 2】

	マスク1	マスク2	マスク1	マスク2
パターン要素間の最小距離	138nm	138nm	138nm	138nm
T_j			0deg	90deg

20

【 0 0 6 5 】

以上でマスク数と各マスクのパターンを求めたので、次に解像性能に対する本実施形態の効果を検証するため、上述のマスクパターンを用いて、有効光源分布とマスクパターンの同時最適化を行った。波長が 1 9 3 . 3 6 8 n m、NA が 1 . 0 であるタンジェンシャル偏光の条件の下、マスクの材料としてハーフトーンマスクを用いて、I - Q u a d 照明のパラメータとマスクパターンの寸法を同時に変化させることにより同時最適化を行った。同時最適化の際に変化させる有効光源分布のパラメータには、図 8 に示すように、照明の外シグマ、内シグマ、角度、光強度がある。I - Q u a d 照明を用いた理由の 1 つは、2 種類の 2 重極照明の和で、解像しやすい方向に配列された各極の光強度と、相対的に解像しにくい方向に配列された各極の光強度の差が分かりやすいことである。もう 1 つの理由は、各マスクのパターンの中には、ピッチの厳しい (小さい) 部分と緩い (大きい) 部分、すなわち、クリティカルなマスクパターンと非クリティカルなパターンが混在しているためである。また、最適化結果を公平に比較するため、各マスクのパターンについて、パラメータを変化させる範囲を同じ範囲に設定にして同時最適化を行った。評価箇所は各パターン要素の x 方向、y 方向である。

30

【 0 0 6 6 】

最適化結果を図 9 に示す。図 9 (a)、図 9 (b) はそれぞれ、図 7 (a)、図 7 (b) で示したマスクパターンに対応した最適化結果の有効光源分布、表 3 は各種数値を比較したものである。

40

【 0 0 6 7 】

【表 3】

	マスク1	マスク2	マスク1	マスク2
外 σ	0.704	0.667	0.705	0.627
内 σ	0.517	0.490	0.491	0.555
強度 X	1	1	1	0.582
角度 X	60.6 deg	60.3 deg	52.0 deg	23.6 deg
強度 Y	0.786	0.733	0.582	1
角度 Y	59.1 deg	59.9 deg	20.8 deg	31.3 deg
CDDOF(%)min	38.3 nm		39.2 nm	
NILS min	1.74		2.14	

【0068】

10

表 3 中の CDDOF (5 %) min と NILS min は、それぞれ、複数ある評価箇所の内、ターゲット寸法 43 nm の 5 % 以内の寸法を満たす焦点深度の最悪値とコントラストの最悪値である。これら焦点深度、コントラストは共に、大きい方がリソグラフィー特性（解像性能）が優れている。表 3 にあるこれらの数値を比較すると、CDDOF (5 %) min と NILS min は共に、本実施形態のパターン決定方法を適用した方が優れている。したがって、本実施形態のパターン決定方法を適用することにより、リソグラフィー・フレンドリーな各マスクのパターンを決定できることが分かる。

【0069】

次に、本実施形態のパターン決定方法によって、マスクの数と各マスクのパターンを決定できるだけでなく、各マスクを照明する有効光源分布も決定できることを説明する。表 3 で、本実施形態のパターン決定方法を適用した方の強度 X と強度 Y の値に着目すると、マスク 1 では強度 X の方が大きく、マスク 2 では強度 Y の方が大きいことが分かる。マスク 1 で強度 X が大きい理由は、図 7 (b) にあるように、マスク 1 のパターンのピッチが横方向 (x 方向) に厳しい (クリティカル) ので、x 方向に配列されたパターン要素を解像させやすくするためである。同様に、マスク 2 で強度 Y が大きい理由は、マスク 2 のパターンのピッチが縦方向 (y 方向) に厳しいので、y 方向に配列されたパターン要素を解像させやすくするためである。一方、マスクパターンを求めた時の結果である T_1 、 T_2 の角度はそれぞれ、 $T_1 = 0^\circ$ 、 $T_2 = 90^\circ$ であり、マスクのパターンの最適化結果における強度の大きい成分の方向と一致している。そのため、 T_1 、 T_2 の角度から、各マスクのパターンを解像させる際に重要となる有効光源分布の各極の角度方向の情報を知ることが出来る。そして、その情報を用いて有効光源分布を決定することができる。

20

30

【0070】

以上より、マスクの数と各マスクのパターンを決定できるだけでなく、クリティカルなマスクパターンを解像する有効光源分布を決定することもできる。

【0071】

以上、本実施形態では、コスト関数として式 (1)、(2) を用いて混合整数計画法で解いたが、これに限らない。マスクの数を表す項と、各マスクにおけるパターン要素間の距離と角度により定まる項をコスト関数に含んでいけば、他のコスト関数、他の最適化手法を用いてもよい。例えば、他の最適化手法としては、遺伝的アルゴリズムなどの手法を用いても良い。なお、最適化手法によっては、複数のパターン要素の各々をいずれかのマスクに割り当てて各マスクのパターンに分ける分け方を繰り返し変更しながら色の塗り分けを実行してもよいし、予め決められたルールに基づいて 1 回で塗り分けを実行してもよい。

40

【0072】

また、式 (1) において、パターン要素間の距離の最小値の項を除き、マスクの数を表す項と各マスクにおけるパターン要素間の距離と角度により定まる項のみをコスト関数に用いてもよい。

【0073】

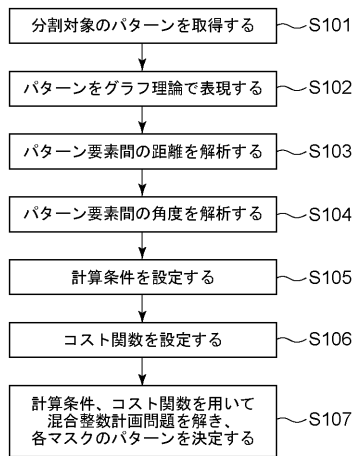
また、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明は以上の実施形態に限定されないことは言うまでもなく、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

50

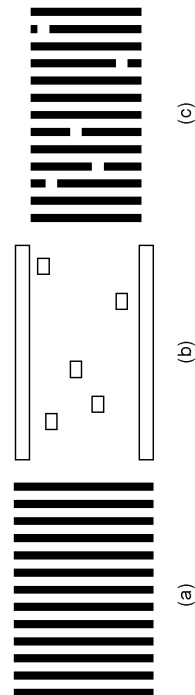
【 0 0 7 4 】

マスク描画装置が、本実施形態のマスクパターン決定方法により決定されたマスクパターンのデータを用いてマスクブランクス上にパターンを形成することにより、マスクが製造される。製造された各マスクは露光装置による露光に用いられる。

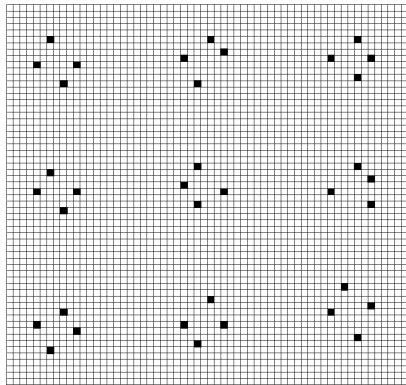
【 図 1 】



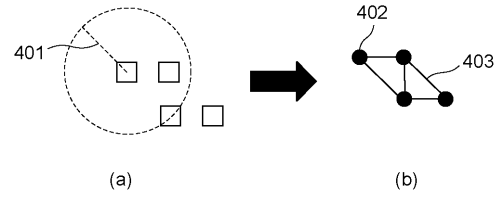
【 図 2 】



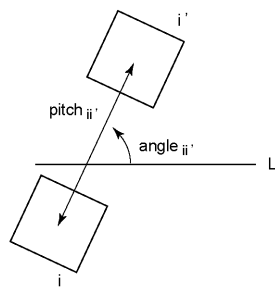
【図3】



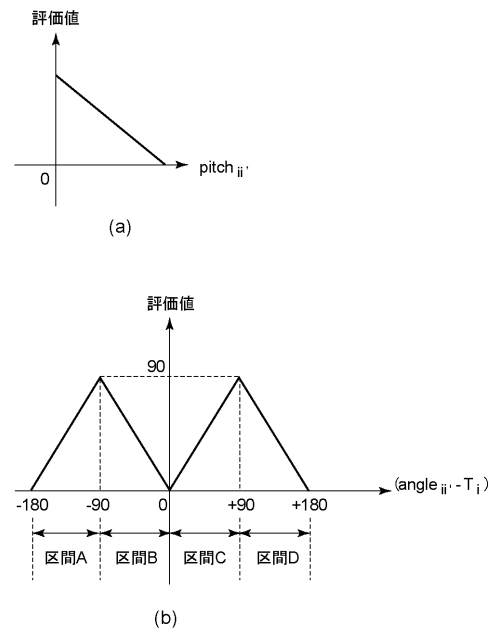
【図4】



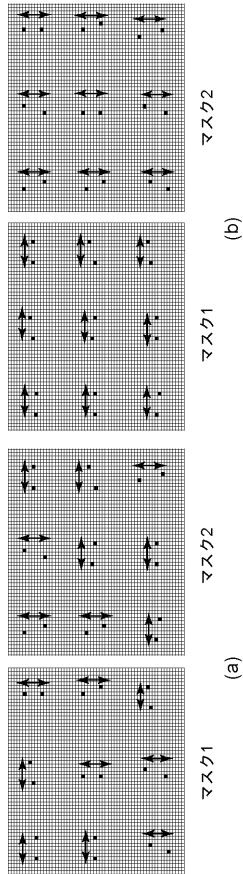
【図5】



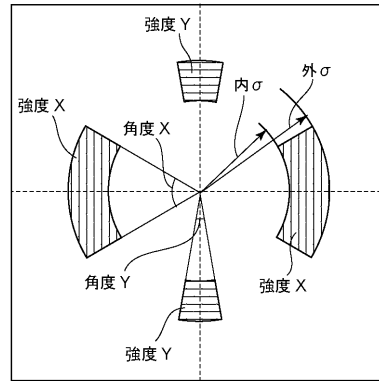
【図6】



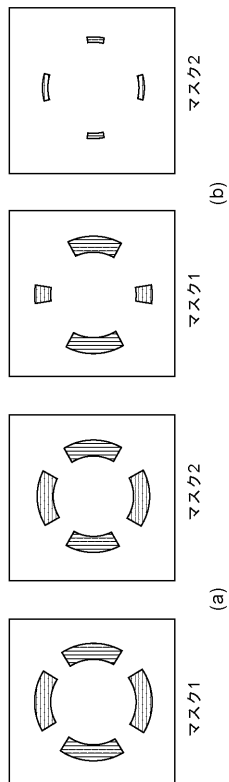
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



フロントページの続き

合議体

審判長 井上 博之

審判官 野村 伸雄

審判官 星野 浩一

(56)参考文献 米国特許出願公開第2011/0197168(US, A1)

特開2010-160442(JP, A)

特開2004-177968(JP, A)

特開2008-65320(JP, A)

特開2009-139938(JP, A)

特開2011-59662(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027

H01L 21/30

G03F 1/00-1/86

G03F 7/20-7/24

G03F 9/00-9/02