

(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2011-175111

(P2011-175111A)

(43) 公開日 平成23年9月8日(2011.9.8)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G03F 1/08 (2006.01)	G03F 1/08 A	2H095
H01L 21/82 (2006.01)	H01L 21/82 D	5F064
	H01L 21/82 C	
	H01L 21/82 T	

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2010-39402 (P2010-39402)	(71) 出願人	000003078
(22) 出願日	平成22年2月24日 (2010.2.24)		株式会社東芝
			東京都港区芝浦一丁目1番1号
		(74) 代理人	100089118
			弁理士 酒井 宏明
		(72) 発明者	小寺 克昌
			東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
		(72) 発明者	児玉 親亮
			神奈川県横浜市栄区笠間2-5-1 STEビル内 東芝メモリシステムズ株式会社内
		Fターム(参考)	2H095 BB01 BB36
			5F064 DD03 DD07 DD10 DD12 DD24
			GG10 HH06 HH10

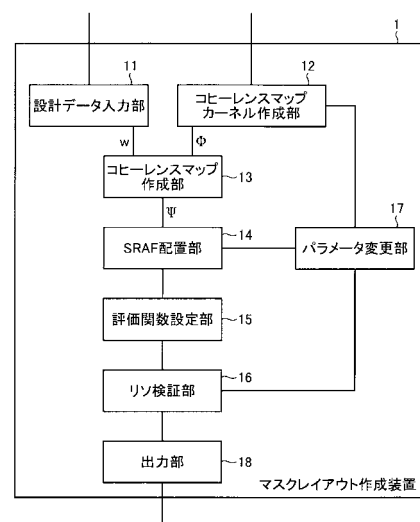
(54) 【発明の名称】 マスクレイアウト作成方法、マスクレイアウト作成装置、リソグラフィ用マスクの製造方法、半導体装置の製造方法、およびコンピュータが実行可能なプログラム

(57) 【要約】

【課題】 コヒーレンスマップ法を使用して補助パターンを作成する場合に、その配置精度を向上させることが可能なマスクレイアウト作成方法を提供する。

【解決手段】 リソグラフィ工程で危険点となる可能性の高い設計レイアウトを設定し、設定した設計レイアウトに対して、マスクレイアウトを生成するコヒーレンスマップカーネルを設定し、設定されたコヒーレンスマップカーネルと設計レイアウトとに基づいて、コヒーレンスマップを作成し、コヒーレンスマップから補助パターンを抽出・整形してマスクレイアウトを生成し、マスクレイアウトの最適度を評価するコスト関数COSTを定義し、当該コスト関数を使用して、生成したマスクレイアウトを評価し、コスト関数で評価されるマスクレイアウトが最適となるまで、コヒーレンスマップカーネルのパラメータおよびコヒーレンスマップから補助パターンを抽出・整形する際のパラメータの少なくとも一方を変更する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

コヒーレンスマップ法を用いて、設計レイアウトに対して補助パターンを形成したマスクレイアウトを生成するマスクレイアウト作成方法であって、

リソグラフィ工程で危険点となる可能性の高い設計レイアウトを設定する設計レイアウト設定工程と、

前記設計レイアウト設定工程で設定された設計レイアウトに対して、前記マスクレイアウトを生成するようにコヒーレンスマップカーネルを設定するコヒーレンスマップカーネル設定工程と、

前記コヒーレンスマップカーネル設定工程で設定されたコヒーレンスマップカーネルと、前記設計レイアウト設定工程で設定された設計レイアウトとに基づいて、前記コヒーレンスマップを作成するコヒーレンスマップ作成工程と、

前記コヒーレンスマップ作成工程で作成されたコヒーレンスマップから前記補助パターンを抽出・整形して前記マスクレイアウトを生成するマスクレイアウト生成工程と、

前記マスクレイアウトの最適度を評価するコスト関数を定義し、当該コスト関数を使用して、前記マスクレイアウト生成工程で生成したマスクレイアウトを評価する評価工程と、

前記評価工程で評価されるマスクレイアウトの最適度を改善するように、前記コヒーレンスマップカーネル設定工程でコヒーレンスマップカーネルを設定する場合のパラメータおよび前記マスクレイアウト生成工程で補助パターンを抽出・整形する際のパラメータの少なくとも一方を変更する変更工程と、

を含むことを特徴とするマスクレイアウト作成方法。

【請求項 2】

前記評価工程では、前記コスト関数を、1つ以上のプロセス変動条件に対するCD変動量に基づいて定義することを特徴とする請求項1に記載のマスクレイアウト作成方法。

【請求項 3】

前記変更工程では、前記コヒーレンスマップカーネル設定工程のコヒーレンスマップカーネルのパラメータのうち、XY異方性を調整するパラメータ、EL/DOFのアンバランスを調整するパラメータ、および前記コヒーレンスマップカーネルの近似精度を向上させるために前記コヒーレンスマップカーネルを微調整するパラメータの少なくとも1つのパラメータを変更することを特徴とする請求項1または請求項2に記載のマスクレイアウト作成方法。

【請求項 4】

前記コヒーレンスマップカーネル設定工程では、前記設計レイアウトの特徴量に基づいて、複数のコヒーレンスマップカーネルから1つのコヒーレンスマップカーネルを選択することを特徴とする請求項1～請求項3のいずれか1つに記載のマスクレイアウト作成方法。

【請求項 5】

前記設計レイアウトの特徴量は、パターンのピッチ、大きさ、形状、領域、および配線方向のうちの少なくとも1つであることを特徴とする請求項4に記載のマスクレイアウト作成方法。

【請求項 6】

前記設計レイアウト設定工程では、全体レイアウトのうち、リソグラフィ工程で危険点となる可能性の高い設計レイアウトを設定し、

前記リソグラフィ工程で危険点となる可能性の高い設計レイアウトに対して前記マスクレイアウトが最適となる前記パラメータを使用して、前記全体レイアウトのマスクレイアウトを作成することを特徴とする請求項1～5のいずれか1つに記載のマスクレイアウト作成方法。

【請求項 7】

コヒーレンスマップ法を用いて、設計レイアウトに対して補助パターンを形成したマス

10

20

30

40

50

クレイアウトを生成するマスキレイアウト作成装置であって、
リソグラフィ工程で危険点となる可能性の高い設計レイアウトを設定する設計レイアウト
設定手段と、

前記設計レイアウト設定手段で設定された設計レイアウトに対して、前記マスキレイ
アウトを生成するようにコヒーレンスマップカーネルを設定するコヒーレンスマップカー
ネル設定手段と、

前記コヒーレンスマップカーネル設定手段で設定されたコヒーレンスマップカーネルと
、前記設計レイアウト設定手段で設定された設計レイアウトとに基づいて、前記コヒー
レンスマップを作成するコヒーレンスマップ作成手段と、

前記コヒーレンスマップ作成手段で作成されたコヒーレンスマップから前記補助パター
ンを抽出・整形してマスキレイアウトを生成するマスキレイアウト生成手段と、

前記マスキレイアウトの最適度を評価するコスト関数を定義し、当該コスト関数を使用
して、前記マスキレイアウト生成手段で生成されたマスキレイアウトを評価する評価手段
と、

前記評価手段で評価されるマスキレイアウトの最適度を改善するように、前記コヒー
レンスマップカーネル設定手段でコヒーレンスマップカーネルを設定する場合のパラメータ
および前記マスキレイアウト生成手段で補助パターンを抽出・整形する際のパラメータの
少なくとも一方を変更する変更手段と、

を備えたことを特徴とするマスキレイアウト作成装置。

【請求項 8】

コヒーレンスマップ法を用いて、設計レイアウトに対して補助パターンを形成したマス
クレイアウトを生成するためのプログラムであって、

リソグラフィ工程で危険点となる可能性の高い設計レイアウトを設定する設計レイアウト
設定工程と、

前記設計レイアウト設定工程で設定された設計レイアウトに対して、前記マスキレイ
アウトを生成するようにコヒーレンスマップカーネルを設定するコヒーレンスマップカー
ネル設定工程と、

前記コヒーレンスマップカーネル設定工程で設定されたコヒーレンスマップカーネルと
、前記設計レイアウト設定工程で設定された設計レイアウトとに基づいて、前記コヒー
レンスマップを作成するコヒーレンスマップ作成工程と、

前記コヒーレンスマップ作成工程で作成されたコヒーレンスマップから前記補助パター
ンを抽出・整形してマスキレイアウトを生成するマスキレイアウト生成工程と、

前記マスキレイアウトの最適度を評価するコスト関数を定義し、当該コスト関数を使用
して、前記抽出工程で抽出・整形したマスキレイアウトを評価する評価工程と、

前記評価工程で評価されるマスキレイアウトの最適度を改善するように、前記コヒー
レンスマップカーネル設定工程でコヒーレンスマップカーネルを設定する場合のパラメータ
および前記マスキレイアウト生成工程で前記補助パターンを抽出・整形する際のパラメータ
の少なくとも一方を変更する変更工程と、

をコンピュータに実行させることを特徴とするコンピュータが実行可能なプログラム。

【請求項 9】

請求項 1～請求項 6 のいずれか 1 つに記載のマスキレイアウト作成方法を用いてリソグ
ラフィ用マスクを製造することを特徴とするリソグラフィ用マスクの製造方法。

【請求項 10】

請求項 1～請求項 6 のいずれか 1 つに記載のマスキレイアウト作成方法を用いて半導体装
置を製造することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、マスキレイアウト作成方法、マスキレイアウト作成装置、リソグラフィ用マ
スクの製造方法、半導体装置の製造方法、およびコンピュータが実行可能なプログラムに

10

20

30

40

50

関する。

【背景技術】

【0002】

近年、半導体装置を構成するパターンの微細化に伴って、主パターンの微調整だけでは十分なプロセスマージンを確保することが困難となっている。このため、現在では、リソグラフィマージンを向上させるための補助パターン（SRAF：Sub-Resolution Assist Feature）を用いたレイアウト設計が用いられている。SRAFは、複数のプロセス余裕度を十分に確保できるよう配置される必要がある。例えば、EL（露光量余裕度）、DOF（Depth of Focus：焦点深度・フォーカス余裕度）、MEF（Mask Enhancement Factor：マスク誤差感度因子）、光源の σ 敏感度に対する各余裕度を確保できるようSRAFを配置する必要がある。

10

【0003】

このようなSRAFの配置方法には、ルールベースSRAF配置方法とモデルベースSRAF配置方法の2通りの配置方法がある。ルールベースSRAF配置方法は、必要とされる各種プロセスマージンのバジェットに基づいて、リソグラフィ設計技術者が最適なSRAF配置ルールを設計レイアウト毎に人力で作成する手法である。このルールベースSRAF配置方法を用いた場合のSRAFの最適化度は高いが、そのルール作成に大きなTAT（Turn Around Time）を要するとともに、ランダムなレイアウトに対するSRAFの最適化が困難であるという2つのデメリットがある。

20

【0004】

一方、モデルベースSRAF配置方法は、露光装置光学系に精度的に許容できる近似演算を実施することで、ある単独のプロセス余裕度を向上させる最適SRAF配置を近似された光学モデルのみから算出する手法である。光学モデルには、ELを最大化させるSRAF配置計算モデルやDOFを最大化させるSRAF配置計算モデル等の、複数の物理モデルを考えることができる。このモデルベースSRAF配置方法では、ルールベースSRAF配置方法のようにSRAF配置ルール作成のTATが長くなることはなく、またランダム性の高いレイアウトに対しても最適なSRAF配置を計算できるというメリットがある。

【0005】

つぎに、モデルベースSRAF配置計算の二つの考え方についてその概略を説明する。一つ目は、逐次補正を用いたSRAF配置技術の方法である。SRAFを配置したマスクレイアウトに基づいて、リソグラフィシミュレーションを行い、そのウェハ結果 w をシミュレーションする。ウェハ結果 w の善し悪しをそのプロセス余裕度により判断（process window qualification）し、プロセス余裕度を改善せしめるように、マスクレイアウトのSRAF配置を逐次補正していく。この手法では高精度にチューニングされたSRAF配置を行うことができるというメリットがあるが、その一方で、SRAF配置にはシミュレーションループの回数に比例した計算量が必要となってしまう、TATが膨大であるというデメリットがある。

30

【0006】

2つ目は、コヒーレンスマップ法によりSRAF配置を計算する方法である。コヒーレンスマップ法については、特許文献1～7および非特許文献1が公知である。コヒーレンスマップ法では、まず、ターゲットとするべき回路パターンから計算される関数 w とコヒーレンスマップカーネル ϕ との線形式により、下式（1）のように、コヒーレンスマップ ψ を計算する。

40

【0007】

$$\psi = w \cdot \phi \quad \text{——— (1)}$$

ここで、「 $\cdot$ 」は畳み込み積分演算を示す。

【0008】

次に、算出したコヒーレンスマップ ψ をもとに、最適とされるSRAFをマスク製造可能な、SRAF m を抽出する。抽出方法としては、下式（2）で、定義されるマスク領域

50

を含む領域にあり、マスク制約条件（垂直・水平線分からなる *Rectilinear* な多角形でサイズや位置が製造上容易であるための条件）を含む *SRAF* を抽出する。

【0009】

$M = \{ (x, y) \mid \Psi(x, y) > \text{Threshold} \}$ ——— (2)

ここで、「Threshold」は最適な正数である。

【0010】

コヒーレンスマップ法のメリットは、その *TAT* の小ささであるが、その原理上、*SRAF* 配置精度には問題がある。具体的には、まず、現状のコヒーレンスマップモデルは、露光量余裕度を改善することのみを考慮して近似計算されたコヒーレンスマップカーネル Φ が用いられているため、他のプロセス余裕度に対するロバスト性の高い *SRAF* を生成できない。また、実際に *LSI* 上に配置されるパターンに対して最適化された *SRAF* ではない。さらに、コヒーレンスマップ Ψ から *SRAF* を生成する工程で、マスクレイアウトの種類によっては精度劣化が起こってしまうという問題がある。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0011】

【特許文献1】米国出願特許 2008 / 0301620

【特許文献2】特許第 3992688 号

【特許文献3】特開 2008 - 40470

【特許文献4】特開 2008 - 76682

20

【特許文献5】米国公開特許 2004 / 0229133 A1

【特許文献6】米国公開特許 2005 / 0142270 A1

【特許文献7】米国公開特許 2008 / 0052334 A1

【非特許文献】

【0012】

【非特許文献1】R. Socha et al., Proc. SPIE 5377(2004), pp.222-pp.240

【非特許文献2】H.H. Hopkins, "On the diffraction theory of optical images," Proc. Roy. Soc. London Ser. A, no.217 (1953): p. 408

【非特許文献3】Born & Wolf in Principles of Optics, 4th edition (Pergamon Press, 1970), in Section 9.2, pp. 464-467

30

【非特許文献4】H. Gamo, "Matrix Treatment of Partial Coherence," in Progress In Optics v.3, ed. Emil Wolf (North-Holland, 1964), p. 187

【非特許文献5】Y.C. Pati and T. Kailath, "Phase-shifting masks for microlithography: automated design and mask requirements," J. Opt. Soc. Am. A 11, no.9 (1994): p. 2438.

【非特許文献6】N.B. Cobb and A. Zakhor, "A mathematical and CAD framework for proximity correction," in SPIE v.2726 Optical Microlithography IX, ed. Gene E. Fuller (SPIE, 1996), p. 208.

【非特許文献7】Alan E. Rosenblutha, Gregg Gallatina, Ronald L. Gordonb, William Hinsbergc, John Hoffnaglec, Frances Houlec, Kafai Laib, Alexey Lvova, Martha Sanchezc, Nakgeuon Seong, "Fast calculation of images for high numerical aperture lithography", Proceedings of SPIE 5377, 615 (2004).

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0013】

本発明は、コヒーレンスマップ法を使用して補助パターンを作成する場合に、その配置精度を向上させることが可能なマスクレイアウト作成方法、マスクレイアウト作成装置、リソグラフィ用マスクの製造方法、半導体装置の製造方法、およびコンピュータが実行可能なプログラムを提供する。

50

【課題を解決するための手段】

【0014】

本願発明の一態様によれば、コヒーレンスマップ法を用いて、設計レイアウトに対して補助パターンを形成したマスクレイアウトを生成するマスクレイアウト作成方法であって、リソグラフィ工程で危険点となる可能性の高い設計レイアウトを設定する設計レイアウト設定工程と、前記設計レイアウト設定工程で設定された設計レイアウトに対して、前記マスクレイアウトを生成するようにコヒーレンスマップカーネルを設定するコヒーレンスマップカーネル設定工程と、前記コヒーレンスマップカーネル設定工程で設定されたコヒーレンスマップカーネルと、前記設計レイアウト設定工程で設定された設計レイアウトとに基づいて、前記コヒーレンスマップを作成するコヒーレンスマップ作成工程と、前記コヒーレンスマップ作成工程で作成されたコヒーレンスマップから補助パターンを抽出・整形してマスクレイアウトを生成するマスクレイアウト生成工程と、前記マスクレイアウトの最適度を評価するコスト関数を定義し、当該コスト関数を使用して、前記抽出工程で抽出・整形したマスクレイアウトを評価する評価工程と、前記評価工程で評価されるマスクレイアウトの最適度を改善するように、前記コヒーレンスマップカーネル設定工程でコヒーレンスマップカーネルを設定する場合のパラメータおよび前記マスクレイアウト生成工程で補助パターンを抽出・整形する際のパラメータの少なくとも一方を変更する変更工程と、を含むことを特徴とするマスクレイアウト作成方法が提供される。

10

【0015】

また、本願発明の一態様によれば、コヒーレンスマップ法を用いて、設計レイアウトに対して補助パターンを形成したマスクレイアウトを生成するマスクレイアウト作成装置であって、リソグラフィ工程で危険点となる可能性の高い設計レイアウトを設定する設計レイアウト設定手段と、前記設計レイアウト設定手段で設定された設計レイアウトに対して、前記マスクレイアウトを生成するようにコヒーレンスマップカーネルを設定するコヒーレンスマップカーネル設定手段と、前記コヒーレンスマップカーネル設定手段で設定されたコヒーレンスマップカーネルと、前記設計レイアウト設定手段で設定された設計レイアウトとに基づいて、前記コヒーレンスマップを作成するコヒーレンスマップ作成手段と、前記コヒーレンスマップ作成手段で作成されたコヒーレンスマップから補助パターンを抽出・整形してマスクレイアウトを生成するマスクレイアウト生成手段と、前記マスクレイアウトの最適度を評価するコスト関数を定義し、当該コスト関数を使用して、前記抽出手段で抽出・整形したマスクレイアウトを評価する評価手段と、前記評価手段で評価されるマスクレイアウトの最適度を改善するように、前記コヒーレンスマップカーネル設定手段でコヒーレンスマップカーネルを設定する場合のパラメータおよび前記マスクレイアウト生成手段で補助パターンを抽出・整形する際のパラメータの少なくとも一方を変更する変更手段と、を備えたことを特徴とするマスクレイアウト作成装置が提供される。

20

30

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、コヒーレンスマップ法を使用して補助パターンを作成する場合に、その配置精度を向上させることが可能なマスクレイアウト作成方法を提供することが可能になる。

40

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】図1は、実施の形態1に係るマスクレイアウト作成装置の構成を示すブロック図である。

【図2】図2は、コヒーレンスマップ法を使用してマスクレイアウトを生成する工程を説明するための説明図である。

【図3】図3は、マスクレイアウトを作成する手順を説明するためのフローチャートである。

【図4】図4は、X方向およびY方向のマージンを説明するための図である。

【図5】図5は、全方向、X方向、およびY方向の傾斜角をそれぞれ最大化した場合のコ

50

ヒーレンスマップを説明するための図である。

【図 6】図 6 は、極端なオフキシャル照明時のコヒーレンスマップを説明するための図である。

【図 7】図 7 は、カスタム照明形状を用いて、X 方向に伸びた孤立パターンを説明するための図である。

【図 8】図 8 は、孤立穴と密ピッチ穴のフォーカス余裕度および EL 余裕度を説明するための図である。

【図 9】図 9 は、異なったフォーカス条件で作成したコヒーレンスマップカーネル中の defocus - ピーク強度の関係を説明するための図である。

【図 10】図 10 は、コヒーレンスマップカーネルの近似精度向上を説明するための模式図である。

10

【図 11】図 11 は、SRAF 配置フローを示す図である。

【図 12】図 12 は、SRAF の抽出工程を示す図である。

【図 13】図 13 は、SRAF の抽出工程を示す図である。

【図 14】図 14 は、レイアウトの種類によって、使用するコヒーレンスマップカーネルを切り替えたり、SRAF 抽出方法を切り替えるフローを示す図である。

【図 15】図 15 は、PV band 幅が最適化の各 iteration (配置) 毎に変化する様子および最適化前と最適化後のマスクレイアウトを示す図である。

【図 16】図 16 は、PV band 幅に対するパターン数を示す図である。

【図 17】図 17 は、PV band 幅の標準偏差を示す図である。

20

【図 18】図 18 は、実施の形態 1 の最適化処理で最適化したパラメータを、大規模のレイアウトに適用する場合を説明するためのフローを示す図である。

【図 19】図 19 は、PV band 幅に対するパターン数を示す図である。

【図 20】図 20 は、PV band 幅の標準偏差を示す図である。

【図 21】図 21 は、代表危険レイアウトを選択するフローの一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下に添付図面を参照して、本発明の実施の形態に係るマスクレイアウト作成方法、マスクレイアウト作成装置、およびコンピュータが実行可能なプログラムを詳細に説明する。なお、これらの実施の形態により本発明が限定されるものではない。

30

【0019】

本明細書において使用する用語について定義する。「設計レイアウト」とは、設計者が書いた回路パターンのことであり、OPC (光近接効果補正) や他の処理がなされていないものをいう。「レイアウト」とは、回路パターンの図面を示し、一般的な意味でのレイアウトをいう。「マスクレイアウト」とは、設計レイアウトに対して、SRAF を配置しただけのレイアウトをいう。「マスクパターン」とは、マスクレイアウトを OPC 処理して得られたマスク形状をいい、これをリソグラフィ用のマスクに転写して露光に用いる。

【0020】

(実施の形態 1)

[マスクレイアウト作成装置およびそのマスクレイアウト作成方法]

40

本願発明者は、鋭意研究により、コヒーレンスマップ法を用いたモデルベース SRAF 配置の精度を向上させるために以下の 2 点が有用であることを発見した。1 点目は、コヒーレンスマップカーネルの高精度化である。2 点目は、コヒーレンスマップから SRAF をマスク製造可能な SRAF_m を抽出・整形する工程の高精度化である。

【0021】

本実施の形態では、コヒーレンスマップ法を用いたモデルベース SRAF 配置の精度を向上させるために、リソグラフィ工程で危険点となる可能性の高い設計レイアウト (ホットスポットパターン) を設定し、設定した設計レイアウトに対して、マスクレイアウトを生成するためのコヒーレンスマップカーネル (物理モデル) を設定する。設定されたコヒーレンスマップカーネルと設計レイアウトとに基づいて、コヒーレンスマップを作成し、

50

コヒーレンスマップから S R A F を抽出・整形してマスキレイアウトを生成する。マスキレイアウトの最適度を評価するためのコスト関数 C O S T を定義し、当該コスト関数を使用して、抽出したマスキレイアウトを評価する。そして、コスト関数で評価されるマスキレイアウトが最適となるまで、コヒーレンスマップカーネルのパラメータおよびコヒーレンスマップから S R A F を抽出・整形する際のパラメータの少なくとも一方を変更する。

【 0 0 2 2 】

図 1 は、実施の形態 1 に係るマスキレイアウト作成装置の概略の機能構成を示すブロック図である。図 2 は、コヒーレンスマップ法を使用してマスキレイアウトを生成する工程の一例を説明するための説明図、図 3 は、マスキレイアウトを最適化する手順を説明するためのフローチャートである。

10

【 0 0 2 3 】

図 1 に示すマスキレイアウト作成装置 1 は、コヒーレンスマップ法を使用し、半導体装置のリソグラフィ工程で用いるマスキレイアウトを評価して、最適なマスキレイアウトを設定するコンピュータなどの装置であり、特に、コヒーレンスマップ法を用いたモデルベース S R A F 配置の精度を向上させるものである。

【 0 0 2 4 】

マスキレイアウト作成装置 1 は、設計データ入力部 1 1 と、コヒーレンスマップカーネル作成部 1 2 と、コヒーレンスマップ作成部 1 3 と、S R A F 配置部 1 4 と、評価関数設定部 1 5 と、リソ検証部 1 6 と、パラメータ変更部 1 7 と、出力部 1 8 とを備えている。

【 0 0 2 5 】

20

設計データ入力部 1 1 は、設計レイアウトを用いて作成されたリソターゲットの関数 w を入力（設定）する（図 2 の S 1 0 1 参照）。ここで、関数 w は、リソターゲットのサイズを小さくしたり、大きくしたりして得られる図形のことを示している。例えば、 $100\text{ nm} \times 100\text{ nm}$ のリソターゲットを、 $90\text{ nm} \times 90\text{ nm}$ のリソターゲットに変換する。このような縮小／拡大工程を経た関数 w を基にコヒーレンスマップ計算を実施する。リソターゲットとしては、リソグラフィ工程で危険点となる可能性の高い設計レイアウト（ホットスポットパターン）を選択することができる。

【 0 0 2 6 】

コヒーレンスマップカーネル作成部 1 2 は、ステッパの条件等に基づいて、コヒーレンスマップカーネル ϕ を特徴づけるパラメータ（例えば、光源のコヒーレンスファクタ σ 、開口数 N A、焦点位置、コヒーレンスマップの調整に用いる後述のパラメータ等）を初期設定し、設定したパラメータに基づいて、コヒーレンスマップカーネル ϕ を計算する。コヒーレンスマップカーネル作成部 1 2 は、パラメータ変更部 1 7 でパラメータが変更された場合は、変更されたパラメータでコヒーレンスマップカーネル ϕ を計算する。

30

【 0 0 2 7 】

コヒーレンスマップ作成部 1 3 は、設計データ入力部 1 1 に入力されるリソターゲットの関数 w とコヒーレンスマップカーネル ϕ を用いてコヒーレンスマップ ψ を作成する（図 2 の S 1 0 2 参照）。コヒーレンスマップ ψ は、投影光学系の干渉性を示すマップであり、製品マスクパターンの解像性能に与える影響度の分布（分布情報）を示している。解像性能に与える影響度は、プロセス余裕度（プロセスマージン）を含んでいる。

40

【 0 0 2 8 】

S R A F 配置部 1 4 は、コヒーレンスマップ作成部 1 3 が作成したコヒーレンスマップ ψ からマスク製造可能な S R A F を抽出・整形し、S R A F を配置したマスキレイアウトを生成する（図 2 の S 1 0 3 ）。S R A F 配置部 1 4 は、パラメータ変更部 1 7 でパラメータが変更された場合は、変更されたパラメータを使用してマスキレイアウトを生成する。さらに、S R A F 配置部 1 4 は、マスキレイアウトに対して O P C 処理を行って、マスクパターンを生成する（図 2 の S 1 0 4 参照）。

【 0 0 2 9 】

評価関数設定部 1 5 は、マスキレイアウト（マスクパターン）の最適度を評価するためのコスト関数 C O S T を設定する。

50

【 0 0 3 0 】

リソ検証部 1 6 は、S R A F 配置部 1 4 で生成したマスクパターンに対して、評価関数設定部 1 5 で設定されたコスト関数を用いてリソ検証を行い、マスクパターン内にホットスポットやマスク制約違反があるか否かを判断する。

【 0 0 3 1 】

パラメータ変更部 1 7 は、リソ検証部 1 6 でマスクパターン内にホットスポットやマスク制約違反があると判断された場合に、コヒーレンスマップカーネル中のパラメータを変更したり、S R A F 配置部 1 3 が S R A F を抽出・整形する際のパラメータを変更して、パラメータを最適化し、マスクパターン内にホットスポットやマスク制約違反が無くなるようにする。パラメータ変更部 1 7 のパラメータの最適化処理の詳細は後述する。

10

【 0 0 3 2 】

出力部 1 8 は、マスクパターン内にホットスポットやマスク制約違反がないと判断された場合、製品パターンを形成するためのマスクパターンとして出力する。この出力されたマスクパターンでフォトマスクが作成され、L C C (リソコンプライアンスチェック) 処理が行われる (図 2 の S 1 0 5 参照) 。

【 0 0 3 3 】

つぎに、図 3 を参照して、上記構成のパターン作成装置 1 がマスクレイアウトを最適化する手順を説明する。ここでは、最適化に用いるアルゴリズムとしては、局所的な最適化手法 (Polytope 法) や他の最適化手法 (Simulated Annealing 法や、遺伝的アルゴリズムなど) を用いることができる。

20

【 0 0 3 4 】

図 3 において、まず、設計データ入力部 1 1 は、設計レイアウトを用いて、リソターゲットの関数 w を生成して、コヒーレンスマップ作成部 1 3 に出力する (ステップ S 1) 。リソターゲットとしては、例えば、ホットスポットパターンを選択することができる。

【 0 0 3 5 】

一方、コヒーレンスマップカーネル作成部 1 2 は、ステッパーの条件等に基づいて、コヒーレンスマップカーネル ϕ を特徴づけるパラメータ (例えば、 σ 、N A、 X/Y 、E L / D o F 等) を初期設定する (ステップ S 2) 。そして、コヒーレンスマップカーネル作成部 1 2 は、設定したパラメータに基づいて、コヒーレンスマップカーネル ϕ を計算して、コヒーレンスマップ作成部 1 3 に出力する (ステップ S 3) 。

30

【 0 0 3 6 】

コヒーレンスマップ作成部 1 3 は、リソターゲットの関数 w とコヒーレンスマップカーネル ϕ を用いてコヒーレンスマップ ψ ($\psi = w \cdot \phi$; 但し、「 $\cdot$ 」はコンボリューション) を生成し、S R A F 配置部 1 4 に出力する (ステップ S 4) 。

【 0 0 3 7 】

S R A F 配置部 1 4 は、コヒーレンスマップ作成部 1 3 が作成したコヒーレンスマップ ψ から S R A F を抽出・整形して、マスクレイアウトを生成する (ステップ S 5) 。さらに、S R A F 配置部 1 4 は、マスクレイアウトに対して O P C 処理を行って (ステップ S 6) 、マスクパターンを生成する (ステップ S 7) 。

【 0 0 3 8 】

評価関数設定部 1 5 は、マスクレイアウトの最適度を評価するためのコスト関数 C O S T を設定する (ステップ S 8) 。コスト関数 C O S T の詳細については後述する。

40

【 0 0 3 9 】

リソ検証部 1 6 は、S R A F 配置部 1 4 で作成されたマスクパターンに対して、評価関数設定部 1 5 で設定されたコスト関数を用いてリソ検証 (フォーカス、ドーズ等のマージンチェック等) を行い、マスクパターン内にホットスポットやマスク制約に違反する箇所があるか否かを判断する (ステップ S 9) 。マスクパターン内にはホットスポットやマスク制約に違反する箇所が無いと判断されると (ステップ S 9 の「O K」)、ホットスポットやマスク制約に違反する箇所が無いと判断されたマスクパターンを、製品パターンを形成するためのマスクパターンに設定する。

50

【 0 0 4 0 】

リソ検証部 16 でマスクパターン内にホットスポットやマスク制約に違反する箇所があると判断された場合には（ステップ S 9 の「 N G 」）、パラメータ変更部 17 は、コヒーレンスマップカーネル入力部 12 がコヒーレンスマップカーネル Φ を計算する場合のパラメータや S R A F 配置部 13 が S R A F を抽出・整形する際のパラメータを変更して、パラメータを最適化することにより、マスクパターン内にホットスポットやマスク制約違反が無くなるようにする（ステップ S 10）。パラメータを最適化する方法の詳細は後述する。コヒーレンスマップカーネル作成部 12 は、パラメータ変更部 17 でパラメータが変更された場合は、変更されたパラメータでコヒーレンスマップカーネル Φ を計算する（ステップ S 3）。S R A F 配置部 14 は、パラメータ変更部 17 でパラメータが変更された場合は、変更されたパラメータを使用してマスクレイアウトの生成を行う（ステップ S 5）。変更されたパラメータに基づく、コヒーレンスマップカーネル Φ の計算やマスクレイアウトの生成が行われた後、再度、リソ検証が行われ、以下、マスクパターン内にはホットスポットやマスク制約違反が無いと判断されるまでステップ S 3 ~ S 10 の処理が繰り返される。これにより、パラメータが最適化され、マスクレイアウトが最適化される。

10

【 0 0 4 1 】

[コスト関数]

マスクレイアウトの最適度を評価するコスト関数は、想定されるプロセス変動に対するロバスト性を示す関数として選択する。式（3）にコスト関数の一例を示す。

【 0 0 4 2 】

20

【 数 1 】

$$\text{Cost} = \sum_{\text{EvaluationPoints}} \text{Weight}_{\text{EvaluationPoints}} \sum_{\text{PW}} \text{Weight}_{\text{PW}} \text{PVband}_{\text{PW}}^p \dots (3)$$

【 0 0 4 3 】

式（3）に示すコスト関数は、注目点（Evaluation Points）毎に、プロセス変動があったときのマスクパターンのターゲットとする回路パターンとのずれ（EPE: Edge Placement Error）に基づいてコストを計算している。p は適切な正の数値である。p を大きな値に設定することで、最悪のケースの E P E を特に評価したコスト関数とすることができる一方、p を小さな値に設定することで、あらゆるパターンについて E P E を平均的に改善するようなコスト関数になる。

30

【 0 0 4 4 】

様々な p に対するコスト関数を用いて、チューニングパラメータを調整する実験を行ったところ、p を大きな値に設定することによりプロセスマージンの改善に対する計算精度は改善する一方、T A T が増大する傾向にある。最適な p 値は、精度と T A T のスペックから判断する必要がある、最適化した p を用いることで、パラメータ調整の T A T と精度を改善することが可能となる。

【 0 0 4 5 】

本実施の形態では、露光量、フォーカスの変動に対するパターン寸法のばらつき量から定義される関数をコスト関数 C o s t として選択した。P V b a n d（P V バンド）は、各プロセス変動（PW: Process Window）、例えば、露光量、フォーカスの変動に対するパターン寸法のばらつき量を示す。これを各評価点において総和計算したものをコストとする。p を大きな値に設定すると各パターンの P V b a n d のレンジ幅を小さくするような最適化になり、p を小さな値に設定すると各パターンの P V b a n d の σ 値を小さくするような最適化となる。検討の結果、p = 2 程度の値を設定することで妥当な結果を得ることができることが分かった。

40

【 0 0 4 6 】

[パラメータの最適化]

マスクレイアウトを最適化するために、上述したように、1. コヒーレンスマップカーネル Φ の高精度化、2. コヒーレンスマップ Ψ から S R A F を抽出・整形する工程の高精

50

度化を行う。このうち、少なくとも一方を実行することで、マスキレイアウトを最適化することができる。

【0047】

1. コヒーレンスマップカーネルΦの高精度化

1-1. X-Y異方性の修正

【0048】

図4～図7を参照して、X-Y異方性の修正を説明する。図4は、X方向およびY方向で異なるCD(Critical Dimension)マージンスペックを要求される例を説明するための図である。図5は、全方向、X方向、およびY方向の傾斜角をそれぞれ最大化した場合のコヒーレンスマップΨを説明するための図である。図6は、極端なオフキシャル照明時のコヒーレンスマップを説明するための図である。図7は、カスタム照明形状を用いて、X方向に伸びた孤立パターンを説明するための図である。

10

【0049】

特許文献1に示されているように、コヒーレンスマップカーネルΦは下式(4)で表すことができる。

【0050】

$$\Phi = FT^{-1}[(\xi^2 + \eta^2)\phi_0(-\xi, -\eta)] \quad \text{--- (4)}$$

ここでは、 FT^{-1} は逆フーリエ変換、 ϕ_0 は相互透過係数(非特許文献2-7参照)を特異値展開したときの最大固有値の固有関数を示す。コヒーレンスマップΨ(x, y)を下式(5)で定義する。

20

【0051】

$$\Psi(x, y) = \int dx' dy' m(x', y') \Phi(x - x', y - y') \quad \text{--- (5)}$$

ここで、mはマスク関数である。特許文献4では、 $\Psi(x, y) > 0$ の領域に配置されたSRAFはパターン境界における像強度傾斜(y方向にのびたパターンエッジに対しては dI/dx 、x方向に伸びたパターンエッジに対しては dI/dy)を増大させることを示している。

【0052】

実際、コヒーレンスマップカーネルΦを用いることで、像強度傾斜を向上させることが可能であるが、本願発明者は、この手法では特に光学系に異方性がある場合、SRAF配置精度があまり高くないという問題があることを見いだした。例えば、リソグラフィ照明の光源形状が極端に非対称な場合(例えばダイポール照明)である。この場合、ある方向に伸びたパターン境界方向の像強度傾斜(例えばy方向に伸びたパターンエッジの dI/dx)は十分に大きい、別方向に伸びたパターン境界方向の像強度傾斜(例えばx方向に伸びたパターンエッジの dI/dy)は十分ではないという状況が起こる。

30

【0053】

このように、パターン種によっては、X方向のCDマージンスペックとY方向のCDマージンスペックが大きく異なる場合が多く存在する。例えば、図4は、一般的なトランジスタの拡散層と制御ゲート層を模式的に示している。同図において、制御ゲート層のパターンについて考えると、X方向のCDマージンスペックはトランジスタの動作特性に大きく影響するため厳しいスペックが要求される。他方、Y方向のCDマージンスペックはX方向のそれに対して緩やかなスペックが要求されることになる。

40

【0054】

このようなX-Y異方性問題を解決するために、本願発明者は、上式(4)のコヒーレンスマップカーネルを、下式(6)のように、修正することを考えた。

【0055】

$$\Phi = FT^{-1}[(c_x \xi^2 + c_y \eta^2)\phi_0(-\xi, -\eta)] \quad \text{--- (6)}$$

ここで、 c_x 、 c_y は、調整されるパラメータである。 $c_x = 1$ 、 $c_y = 0$ の場合、抽出されるSRAFは、y方向に伸びたパターン境界の像強度傾き dI/dx のみを増大させる効果がある。 $c_x = 0$ 、 $c_y = 1$ の場合、抽出されるSRAFはx方向に伸びたパターン境界の像強度傾き dI/dy を増大させる効果がある。 c_x 、 c_y を最適な値に調整すること

50

により、X - Y 異方性問題を解決することが可能となる。

【0056】

図5は、ターゲットに対して、どの方向のCDマージンスペックを重視するかによって異なるコヒーレンスマップ Ψ を計算できる例を示しており、全方向(X方向およびY方向)の傾斜角を最大化した場合のコヒーレンスマップ Ψ 、X方向の傾斜角を最大化した場合のコヒーレンスマップ Ψ 、Y方向の傾斜角を最大化した場合のコヒーレンスマップ Ψ をそれぞれ示している。図5に示すように、 c_x 、 c_y の値をそれぞれ調整することによって様々なコヒーレンスマップ Ψ を計算することが可能である。 c_x 、 c_y をコヒーレンスマップカーネル Φ を調整するためのパラメータとして使用することにより、マスクレイアウトにとってマージンスペックを柔軟に考慮したロバスト性を有するマスクレイアウトを作成することが可能となる。

10

【0057】

また、非対称な光学系において、マスクレイアウトに必要なプロセスマージンスペックを十分に満足するSRAFを生成するために使われるコヒーレンスマップカーネル Φ の調整について説明する。近年、微細パターンを解像するため、露光機の照明形状には極端なOff Axial照明が用いられるのが一般的となっている。さらに、輪帯照明のような空間対称性の高い照明形状だけではなく、四重極照明、二重極照明といった空間的な対称性の低い照明形状も近年用いられてきている。以下、二重極照明の場合を例示して、従来からあるコヒーレンスマップ法適用の問題について説明する。

【0058】

20

例えば、図6の左に示したX方向に伸びた微細ピッチ配線を解像させるためには、図6の右のような最適化された二極照明が用いられる。このカスタム照明形状を用いて、同時にX方向に伸びた孤立パターン(図7の(a))を形成する必要がある場合について考える。

【0059】

この孤立配線パターンに対して、上記特許文献1のコヒーレンスマップ(SGM)を用いてモデルベースSRAFを配置した場合の計算結果($c_x = 1$ 、 $c_y = 1$ の場合)を図7(b)に示す。同図から分かるように、このようにして計算されるモデルベースSRAFは、Y方向のCDマージンを改善させるもののみが計算されることになり、X方向のCDマージンを改善させるSRAFが計算できていないことが分かる。これは従来のモデルベースSRAF配置手法が、二極照明においては適用が困難であることを意味する。

30

【0060】

これに対して、本実施の形態のように、X方向のCDマージンを改善することを重視したコヒーレンスマップ Ψ を用いて、SRAFを配置することを考える。具体的には $c_x > c_y$ とした場合のコヒーレンスマップ Ψ を計算する。

【0061】

図7(c)には、 $c_x = 1$ 、 $c_y = 0$ としたときのコヒーレンスマップ Ψ を示してある。X方向のマージンを改善するSRAF配置が計算できている。図7(d)には、 $c_x = 1$ 、 $c_y = 0.2$ としたときのコヒーレンスマップ Ψ を示してある(改善SGM法と呼ぶ)。Y方向のCDマージンを改善するSRAFと、X方向のCDマージンを改善するSRAFが同時に計算できていることが分かった。このように改善SGMを用いることにより、従来のSRAF配置よりもCDマージンを改善することが可能となる。

40

【0062】

1-2. EL/DOFアンバランスの修正

図8~図9を参照して、EL/DOFアンバランスの修正を説明する。図8は、孤立穴と密ピッチ穴のフォーカス余裕度およびEL余裕度を説明するための図である。図9は、異なったフォーカス条件で作成したコヒーレンスマップカーネル Φ のdefocus-ピーク強度の関係を説明するための図である。

【0063】

上記特許文献1~7および非特許文献1で示す手法で抽出されたSRAFは、露光量変

50

動に対するロバスト性 (EL: exposure latitude)、若しくはフォーカス変動に対するロバスト性 (DoF: depth of focus) のいずれか、若しくは両方を向上させる効果があるが、ELとDoFの両方で、同時に必要とされるスペック内に入るために最適なSRAFとは必ずしも言えない。そこで、ELとDoFの両方で、同時に必要とされるスペック内に入るようにするためのコヒーレンスマップカーネル Φ の最適化設計方法を考えた。

【0064】

例えば、図8(a)に示すように、孤立穴ではフォーカス余裕度が不足しがちであり、図8(b)に示すように、密ピッチ穴では露光量余裕度が不足しがちとなる。レイアウトに対し露光量と同時にフォーカス余裕度をもつレイアウト設計を行うためのコヒーレンスマップカーネル Φ を計算する必要がある。本願発明者は、フォーカス余裕度を向上させるSRAF設計を可能とするコヒーレンスマップカーネル Φ を算出する方法について、以下の知見を得た。

【0065】

図9は、あるQuasar照明条件において、孤立穴レイアウトに対してコヒーレンスマップ法を用いSRAF設計を行ったマスクレイアウトのフォーカス変動に対する光学像強度(露光量の余裕度に関連した物理量)をプロットしたものである。コヒーレンスマップカーネル Φ を計算する際の光学条件がベストフォーカス条件であるものと、デフォーカス条件であるものについて示してある。同図に示すように、ベストフォーカス条件で作成したコヒーレンスマップカーネル Φ をもとに作成したSRAFは、露光量余裕度は高いが、フォーカス余裕度は低い。他方、デフォーカス条件で作成したコヒーレンスマップカーネル Φ をもとに作成したSRAFは、フォーカス余裕度は高いが、露光量余裕度は低いことが分かった。本願発明者は、コヒーレンスマップカーネル Φ を計算するフォーカス条件を調整することにより、露光量とフォーカス変動に対し同時に強いマスクレイアウトを生成するコヒーレンスマップカーネル Φ を計算することができることを確認した。

【0066】

具体的には、本願発明者は、コヒーレンスマップカーネル Φ を最適化するために、上式(4)または(6)の関数 φ_0 を最適化することを考えた。この関数 φ_0 は露光装置の光学条件、例えば、光学系の部分コヒーレンス、収差、瞳透過率、デフォーカス、レジスタスタック中の干渉効果等の情報をもとに算出される。具体的な計算手法は非特許文献2-7に記載されているので、その詳細の説明は省略する。

【0067】

本願発明者は、この関数 φ_0 を計算する際にインプットするフォーカス状態を少しデフォーカスした場合に得られるコヒーレンスマップカーネル Φ で計算したマスクレイアウトは、ノミナルなフォーカス量で計算した場合に得られるコヒーレンスマップカーネル Φ で計算したマスクレイアウトに比べて、ELは小さくなるがDoFは大きくすることが可能であることを見いだした。この関数 φ_0 を計算する際にインプットするフォーカス状態を最適なものに設定することで、ELとDoFを同時にスペックインするマスクレイアウトを生成するコヒーレンスマップカーネル Φ を計算することが可能である。

【0068】

1-3 コヒーレンスマップカーネルの近似精度向上

図10を参照して、コヒーレンスマップカーネル Φ の近似精度を向上させる方法について説明する。図10は、コヒーレンスマップカーネル Φ の近似精度向上を説明するための模式図である。上記実施の形態では、コヒーレンスマップカーネル Φ を最低次の固有関数を用いて、 $\Phi = FT^{-1}(\varphi_0)$ として計算していた。これに対して、最低次の固有関数だけでなく、高次の固有関数も用いて、下式(7)のようにコヒーレンスマップカーネル Φ を計算し、計算されたコヒーレンスマップカーネル Φ を用いてコヒーレンスマップ Ψ を計算することで、得られるモデルベースSRAFの高精度化が可能となる。

【0069】

$$\Phi = FT^{-1}(\varphi_0 + c\varphi_k) \text{ — (7)}$$

ここで、 c は、高次の固有関数の寄与をどの程度計算結果に反映させるかを表すパラメ

ータである。cを調整することで、コヒーレンスマップの高精度化を実現することができる。図10において、 $FT^{-1}(\varphi_0)$ に $FT^{-1}(c\varphi_k)$ (例えば、 $c=0.0001$)を加算することで、コヒーレンスマップカーネルΦの近似精度を向上できる場合がある。

【0070】

2. コヒーレンスマップΨからSRAFmを抽出・整形する工程の高精度化

図11～図13を参照して、コヒーレンスマップΨからSRAFmを抽出・整形する工程を高精度化する場合について説明する。

【0071】

上述したように、コヒーレンスマップΨを計算し、次に、算出したコヒーレンスマップΨからSRAFを抽出する。抽出方法としては、下式(8)で、定義されるマスク領域M1, M2, M3, M4を含む領域にあり、マスク制約条件(垂直・水平線分からなるRectilinearな多角形でサイズや位置が製造上容易であるための条件)を含むSRAFを抽出する。ここで、Ψは、マスクレイアウトの各座標(x, y)に対して、ある実数値が割り当てられたものであり、 $\Psi = \Psi(x, y)$ である。

【0072】

$$\begin{aligned} M1 &= \{ (x, y) \mid \Psi(x, y) > \text{threshold1} \} \\ M2 &= \{ (x, y) \mid |d\Psi/dx| < \text{threshold2} \} \\ M3 &= \{ (x, y) \mid |d\Psi/dy| < \text{threshold3} \} \\ M4 &= \{ (x, y) \mid (d\Psi/dx)^2 + (d\Psi/dy)^2 < \text{threshold4} \} \end{aligned} \quad \text{--- (8)}$$

ここで、threshold1, threshold2, threshold3, threshold4は、ある実数値である。

【0073】

式(8)で、マスク領域M1, M2, M3, M4を計算し、これらの共通マスク領域 $M = M1 \cap M2 \cap M3 \cap M4$ を計算する。このようにして計算されたマスク共通領域Mの情報をもとに、rectilinearなSRAFに整形することができる。threshold1～4をパラメータとして調整することにより、コヒーレンスマップΨからSRAFmを抽出する工程を高精度化することができる。

【0074】

一般的に、threshold1の値が小さく、threshold2～4を大きな値として、モデルベースSRAFを抽出しSRAF配置したほうが、マージン改善効果は大きいと期待されるが、SRAF転写が起きるリスクが増加することが分かっている。

【0075】

つぎに、抽出したSRAFを整形する工程を高精度化する方法について説明する。図11は、上記図3のSRAF配置処理(ステップS5)の詳細な処理を説明するためのフローである。図11において、まず、SRAF配置部14は、上述した方法でコヒーレンスマップΨからSRAFを抽出する(ステップS31)。ここで、抽出したSRAFは、マスク制約の観点からSRAFとしては使用できないので、制約を満たす形状(Rectilinearな多角形)にする必要がある。

【0076】

SRAF配置部14は、SRAF間のスペースを確保する(ステップS32)。SRAF間隔が狭くてマスク制約上問題のあるところは、一方または双方のSRAFを削ってスペースを広げる。ただし、マスク制約上、SRAFの最小面積が決まっているので、最小面積の範囲内でスペースを広げる。

【0077】

SRAF配置部14は、小さくなりすぎたSRAFの削除または間隔の狭すぎるSRAF同士の結合を行う(ステップS33)。スペース確保の際にSRAFを削った結果、SRAFが小さくなりすぎてマスク制約違反となる場合は、そのSRAFは削除する。また、削る前の状況でスペースが狭くマスク制約違反となる場合は、そのスペースを埋めてS

10

20

30

40

50

R A F 同士を結合する。

【 0 0 7 8 】

図 1 2 および図 1 3 は、S R A F の整形を説明するための工程図である。図 1 2 および図 1 3 において、まず、コヒーレンスマップΦから S R A F を抽出する (S 2 0 1)。次に、S R A F の外周矩形を取って、S R A F をパターン化する (S 2 0 2)。S 2 0 3 は、S R A F と設計パターンを残した図を示している。つぎに、S R A F のサイズを調整する (ステップ S 2 0 4)。同図に示す例では、短辺を一律に同じサイズに調整している。ここでは、短辺を一律に同じサイズに調整しているが、調整方法はこれに限定されるものではなく、他の調整方法を使用してもよい。また、外周矩形を取る以外にも他の公知の手法を応用することも可能である。

10

【 0 0 7 9 】

S R A F 間隔が狭くてマスキュール制約違反となる箇所を抽出する (S 2 0 5)。同図において、マスキュール違反となる箇所を破線の○で示している。違反箇所のスペースを広げるために、S R A F の面積または長さの大きい方を削る (S 2 0 6)。S R A F 間隔が狭く、かつ、S R A F のサイズが小さいため、どちらを削っても S R A F が小さくなりすぎてマスク制約違反になってしまう状況を考える (S 2 0 7)。この場合、いずれか一方の S R A F を削除 (S 2 0 8)、または、狭いスペース部分を双方若しくは一方の S R A F を伸ばして埋める (S 2 0 9)。このように、抽出した S R A F を整形することで、最適なマスキレイアウトを生成することが可能となる。

【 0 0 8 0 】

20

[変形例]

設計レイアウトの種類によって、使用するコヒーレンスマップカーネルΦを切り替えたり、S R A F 抽出・整形方法を切り替えることにしてもよい。コヒーレンスマップカーネル作成部 1 2 は、複数のコヒーレンスマップカーネルΦを用意しておき、設計レイアウトの特徴量に基づいてコヒーレンスマップカーネルΦを選択する。また、S R A F 配置部 1 4 は、複数の S R A F 抽出・整形方法を用意しておき、設計レイアウトの特徴量に基づいて S R A F 抽出・整形方法を選択する。

【 0 0 8 1 】

図 1 4 は、設計レイアウトの種類によって、使用するコヒーレンスマップカーネルΦを切り替えたり、S R A F 抽出・整形方法を切り替えるフローを示している。図 1 4 において、図 3 と同等のステップは同一符号を付しており、共通する部分の説明は省略する。

30

【 0 0 8 2 】

図 1 4 において、コヒーレンスマップカーネル作成部 1 2 は、リソターゲットのレイアウトの特徴量 (例えば、パターンのピッチ、デザインスペック、大きさ、形状、領域、および配線方向等) を抽出し (ステップ S 1 5)、ターゲットのレイアウトの特徴量に基づいて、コヒーレンスマップカーネルΦを選択する (ステップ S 1 7)。また、S R A F 配置部 1 4 は、リソターゲットのレイアウトの特徴量に基づいて、S R A F 抽出・整形方法を選択する (ステップ S 1 6)。

【 0 0 8 3 】

例えば、コヒーレンスマップカーネルΦを、領域 (セル部分と周辺部分)、パターンのピッチ (密ピッチ部分と孤立ピッチ部分)、配線方向 (X 方向、Y 方向) で切り替えることにしてもよい。レイアウトパリエーション依存で最適なコヒーレンスマップカーネルΦを計算でき、より高精度化することができる。具体的には、密ピッチ穴の場合、E L 重視コヒーレンスマップカーネルを使用することができる。また、疎ピッチ穴の場合、D o F 重視コヒーレンスマップカーネルを使用することができる。なお、レイアウトの領域によってモデルベース S R A F 配置とルールベース S R A F 配置のスイッチングを行ってもよい。これにより、より最適な S R A F 配置が可能となる。

40

【 0 0 8 4 】

[シミュレーション結果]

図 1 5 ~ 図 1 7 を参照して、本実施の形態のマスキレイアウトの最適化処理を使用して

50

マスクレイアウトを作成した場合のシミュレーション結果の一例について説明する。図 15 ~ 図 17 は、ホットスポットパターンに対してコヒーレンスマップモデルを最適化したシミュレーション結果を示したものであり、最適化前と最適化後の露光量、フォーカスの変動に対するパターン寸法のバラツキ量の標準偏差を示してある。

【0085】

図 15 は、P V band 幅が最適化の各 iteration 毎に変化する様子および最適化前と最適化後のマスクレイアウトを示している。同図において、横軸は、S R A F 配置の回数、縦軸はコスト関数 (P V band 幅の平均) を示している。同図に示すように、S R A F 配置を 20 回程度行うことで、P V band 幅が目標の「2」に近づくことが確認でき、少ない T A T でマスクレイアウトを最適化できることが確認された。

10

【0086】

図 16 は、最適化前と最適化後の P V band 幅に対するパターン数を示しており、図 17 は、最適化前と最適化後の P V band 幅の標準偏差を示している。図 17 に示すように、本実施の形態のマスクレイアウトの最適化処理によって、最適化前と最適化後で、バラツキ量が 6 . 8 nm から 3 . 5 nm まで改善できていることが確認でき、本実施の形態の有効性が確認された。

【0087】

以上説明したように、実施の形態 1 によれば、コヒーレンスマップ法を用いて S R A F を形成する場合に、リソグラフィ工程で危険点となる可能性の高い設計レイアウト (ホットスポットパターン) を設定し、設定した設計レイアウトに対して、マスクレイアウトを生成するためのコヒーレンスマップカーネル (物理モデル) を設定し、設定されたコヒーレンスマップカーネルと設計レイアウトとに基づいて、コヒーレンスマップを作成し、コヒーレンスマップから S R A F を抽出・整形してマスクレイアウトを生成し、マスクレイアウトの最適度を評価するためのコスト関数 C O S T を定義し、当該コスト関数を使用して、抽出したマスクレイアウトを評価し、コスト関数で評価されるマスクレイアウトが最適となるまで、コヒーレンスマップカーネルのパラメータおよびコヒーレンスマップから S R A F を抽出・整形する際のパラメータの少なくとも一方を変更することとしたので、コヒーレンスマップ法を使用して補助パターンを作成する場合に、その配置精度を向上させることが可能となる。これにより、コヒーレンスマップ法のモデルベース S R A F 配置において、T A T と精度を両立させることが可能となる。

20

30

【0088】

また、コスト関数 C O S T を、1 つ以上のプロセス変動条件に対する C D 変動量に基づいて定義することとしたので、パラメータを調整する場合の T A T と精度を改善することが可能となる。

【0089】

また、コヒーレンスマップカーネル中のパラメータのうち、X Y 異方性を調整するパラメータ、E L / D o F のアンバランスを調整するパラメータ、コヒーレンスマップカーネルの近似精度を向上させるためにコヒーレンスマップカーネルを微調整するパラメータの少なくとも 1 つのパラメータを変更することとしたので、マージンスペックを柔軟に考慮したロバスト性を有するマスクレイアウトを作成したり、E L と D o F が同時に必要とされるスペックに入るようなマスクレイアウトを作成することが可能となる。

40

【0090】

また、設計レイアウトの特徴量に基づいて、複数のコヒーレンスマップカーネルから 1 つのコヒーレンスマップカーネルを選択することとしたので、レイアウトバリエーション依存で最適なコヒーレンスマップカーネルを計算でき、より高精度化することが可能となる。

【0091】

(実施の形態 2)

実施の形態 2 では、実施の形態 1 の最適化処理で最適化したパラメータを、全体レイアウト (大規模レイアウト) に適用する場合について説明する。実施の形態 1 では、ホット

50

スポットパターンに対して、マスキレイアウトが最適になるように、パラメータを最適化する場合について説明したが、全体レイアウトのホットスポットパターンについて、マスキレイアウトが最適になるように、パラメータを最適化し、その最適化したパラメータを使用して、全体レイアウトのマスキレイアウトを作成してもよい。

【0092】

図18は、ホットスポットについて最適化した、コヒーレンスマップカーネルおよびSRAFの抽出・整形のパラメータを、全体レイアウトに適用してモデルベースSRAFを計算するフローである。図18において、図3と同等の処理を行うステップは同一のステップ番号を付し、共通する部分の説明は省略する。

【0093】

図18において、リソ検証でホットスポットやマスク制約違反が検出されなかった場合（ステップS9の「OK」）のコヒーレンスマップカーネル中のパラメータおよびコヒーレンスマップψからSRAFを抽出・整形するためのパラメータを確定する（ステップS11）。そして、確定したパラメータを使用してコヒーレンスマップカーネルψを計算し（ステップS22）、全体レイアウトについて（ステップS21）、コヒーレンスマップψを生成する（ステップS23）。そして、確定したパラメータを使用してSRAFを抽出・整形し（ステップS24）、OPC処理を行って（ステップS25）、マスクパターンを出力し（ステップS26）、リソ検証を行う（ステップS28）。

【0094】

コヒーレンスマップカーネルψをトレーニングする際に使用するホットスポットに適切なものを選択していた場合、全体レイアウト（大規模レイアウト）に対するモデルベースSRAFのプロセス変動に対するマージン改善効果を向上することができる。本手法によって、コヒーレンスマップ法による全体レイアウトの最適化の高精度化を、TATの大幅な増大無しに実現することが可能となる。

【0095】

次に、ホットスポットパターンに対して最適化される前と、ホットスポットパターンに対して、最適化した後のコヒーレンスマップカーネルψを用いて、別の検証用レイアウトに対して、露光量、フォーカスの変動に対するパターン寸法のばらつき量の標準偏差がどのように変化するかを調べた。図19は、ホットスポットパターンに対して最適化される前と、最適化後のPV band幅に対するパターン数を示しており、図20は、最適化前と最適化後のPV band幅の標準偏差を示している。図20に示すように、検証用レイアウトにおいても、最適化処理によって、最適化前と最適化後では、バラツキ量が5.3nmから3.1nmまで改善されていることを確認できた。

【0096】

つぎに、パラメータ最適化に用いる代表危険レイアウト（ホットスポットパターン）を選択する方法について説明する。パラメータ最適化に用いる代表危険レイアウトを、代表危険レイアウトデータベースから選択し、その代表危険レイアウトデータベースとして最適なものをを用いることで、より最適なマスキレイアウトを作成することが可能となる。図21は、代表危険レイアウトデータベースを最適化するフローを示している。図21において、図18と同等の処理を行うステップは同一のステップ番号を付し、共通する部分の説明は省略する。

【0097】

図21において、各種レイアウトについて（ステップS21）、コヒーレンスマップψを生成し（ステップS22、S23）、SRAF配置（ステップS24）、OPC処理（ステップS25）、マスクパターン出力（ステップS26）、リソ検証を行い（ステップS28）、ホットスポットを抽出する（ステップS31）。抽出したホットスポットパターンを代表危険レイアウトデータベースに追加する（ステップS32）。パラメータの最適化処理を行う場合に、代表危険レイアウトデータベースから代表危険レイアウトを選択する（ステップS33）。

【0098】

10

20

30

40

50

このように、パラメータ最適化に用いる代表危険レイアウトを、代表危険レイアウトデータベースから選択し、その代表危険レイアウトとして最適なものをを用いることで、より最適なマスクレイアウトを作成することが可能となる。

【0099】

実施の形態2によれば、全体レイアウトのホットスポットパターンについて、マスクレイアウトが最適になるように、パラメータを最適化し、その最適化したパラメータを使用して、全体レイアウトのマスクレイアウトを作成することとしたので、全体レイアウトのSRAF配置を高精度化することが可能となる。また、実施の形態1, 2では、マスクレイアウト作成方法等について説明したが、本発明はこれにらに限定されるものではなく、実施の形態のマスクレイアウト作成方法を用いてリソグラフィ用のマスクを製造するリソグラフィ用マスクの製造方法や半導体装置を製造する半導体装置の製造方法に適用することができる。

10

【0100】

(プログラム)

なお、上記実施の形態のマスクレイアウト作成装置は、複数の機器(例えば、ホストコンピュータ、インターフェイス機器、ディスプレイ、スキャナ、プリンタ等)から構成されるシステムに適用しても、1つの機器から構成される装置(ホストコンピュータ等)に適用しても良い。

【0101】

また、上記実施の形態は、上述したマスクレイアウト作成装置の機能を実現するソフトウェアのプログラムコードを記録した記録媒体を、システムまたは装置に供給し、そのシステムまたは装置のコンピュータ(または、CPU、MPU、DSP)が記録媒体に格納されたプログラムコードを実行することによっても達成することが可能である。この場合、記録媒体から読み出されたプログラムコード自体が前述したマスクレイアウト作成装置の機能を実現することになり、そのプログラムコードまたはそのプログラムを記憶した記録媒体は本発明を構成することになる。プログラムコードを供給するための記録媒体としては、FD、ハードディスク、光ディスク、光磁気ディスク、CD-ROM、CD-R、磁気テープ、不揮発性のメモリ、ROMなどの光記録媒体、磁気記録媒体、光磁気記録媒体、半導体記録媒体を使用することができる。

20

【0102】

また、コンピュータが読み出したプログラムコードを実行することにより、前述したマスクレイアウト作成装置の機能が実現されるだけでなく、そのプログラムコードの指示に基づき、コンピュータ上で稼働しているOS(オペレーティングシステム)などが実際の処理の一部または全部を行い、その処理によって前述したマスクレイアウト作成装置の機能が実現される場合も含まれることは言うまでもない。

30

【0103】

また、記録媒体から読み出されたプログラムコードが、コンピュータに挿入された機能拡張ボードやコンピュータに接続された機能拡張ユニットに備わるメモリに書き込まれた後、そのプログラムコードの指示に基づき、その機能拡張ボードや機能拡張ユニットに備わるCPU等が実際の処理の一部または全部を行い、その処理によって前述したマスクレイアウト作成装置の機能が実現される場合も含まれることは言うまでもない。

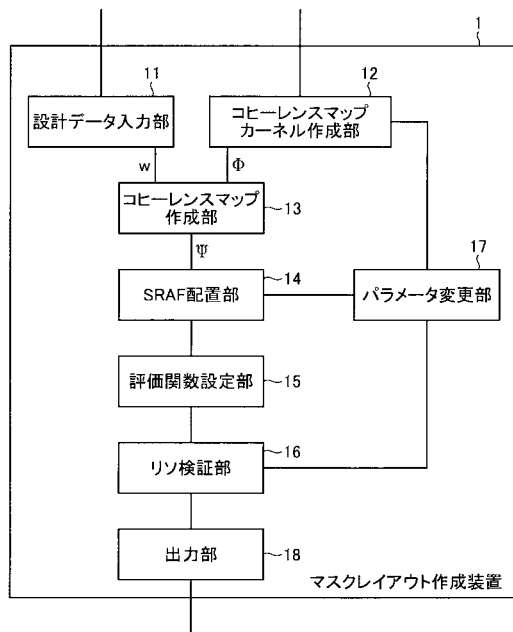
40

【符号の説明】

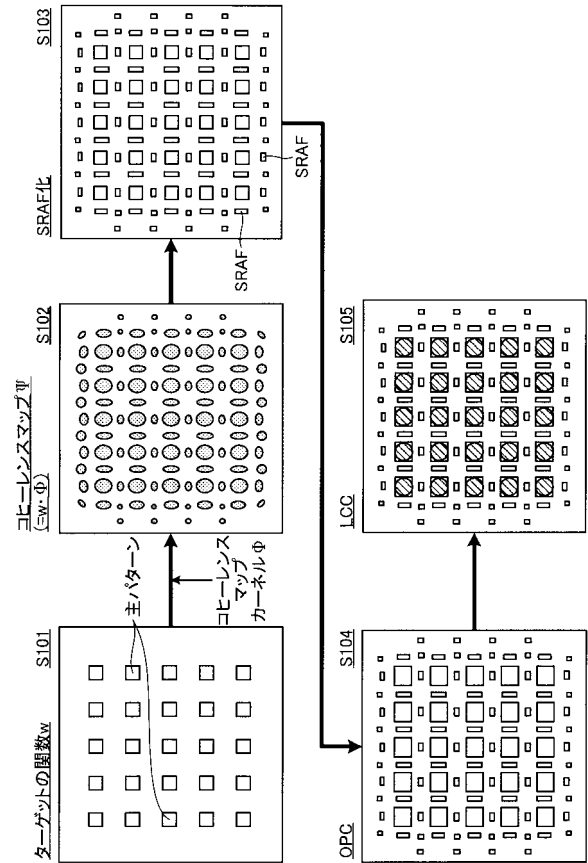
【0104】

1 マスクレイアウト作成装置、11 設計データ入力部、12 コヒーレンスマップカーネル作成部、13 コヒーレンスマップ作成部、14 SRAF配置部、15 評価関数設定部、16 リソ検証部、17 パラメータ変更部、18 出力部

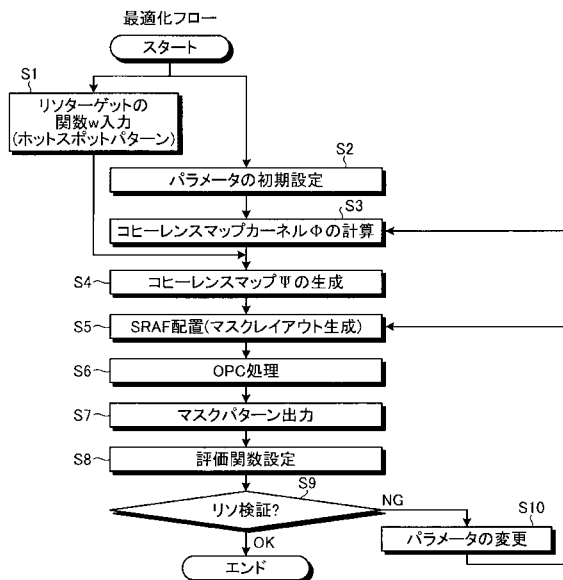
【図 1】



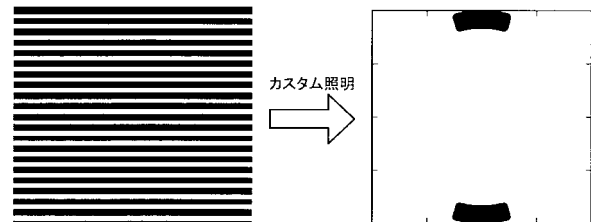
【図 2】



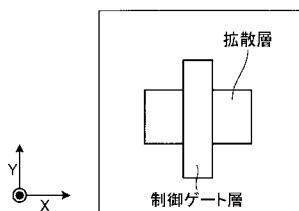
【図 3】



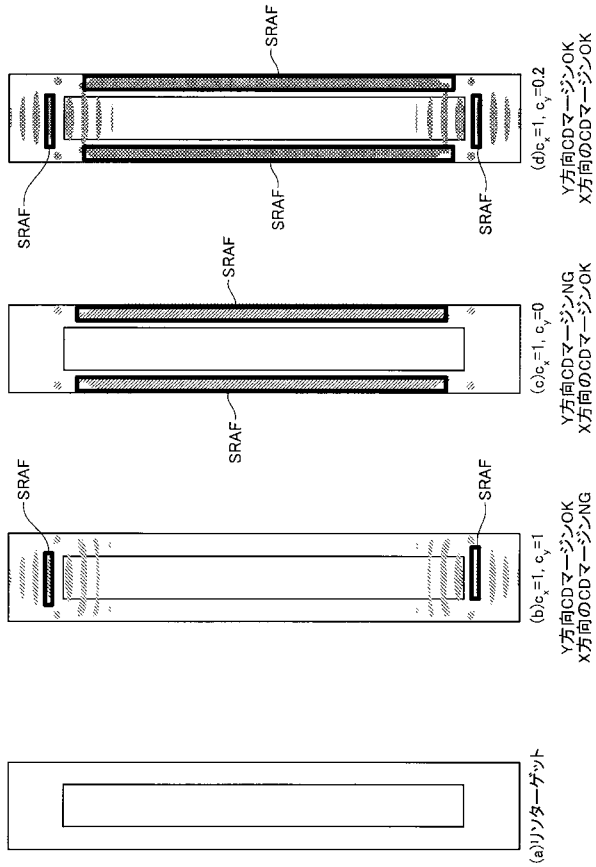
【図 6】



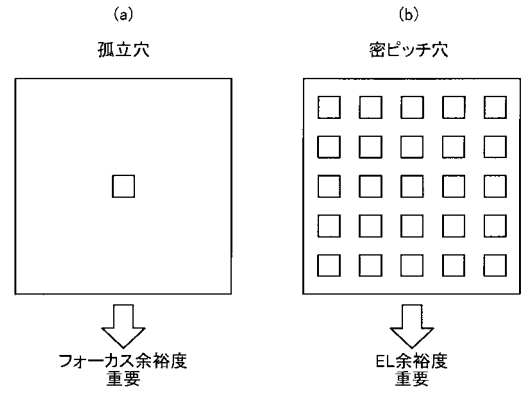
【図 4】



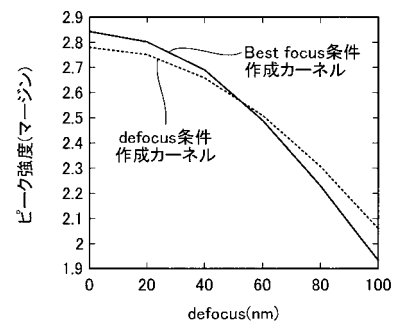
【図 7】



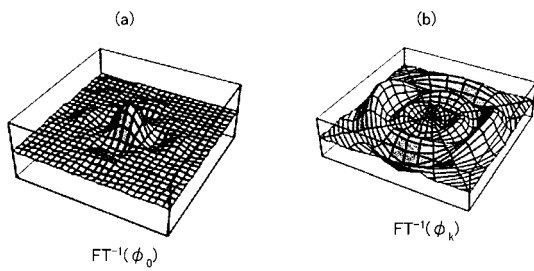
【図 8】



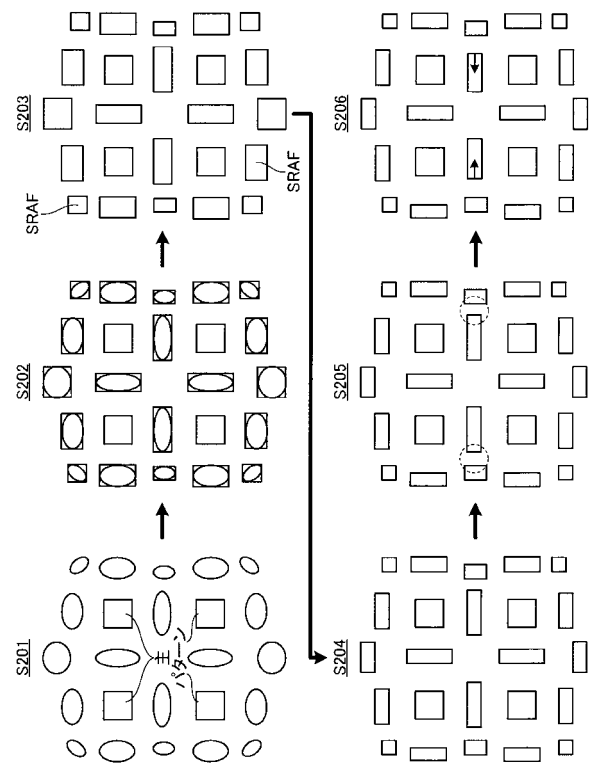
【図 9】



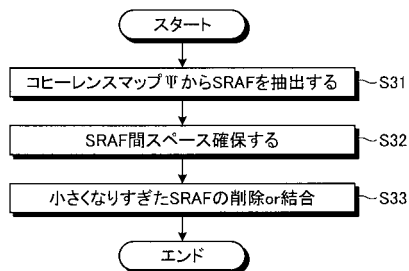
【図 10】



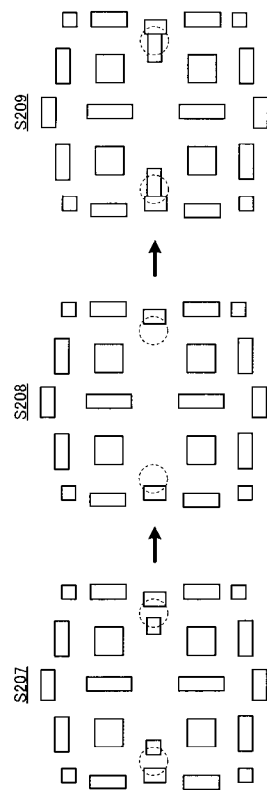
【図 12】



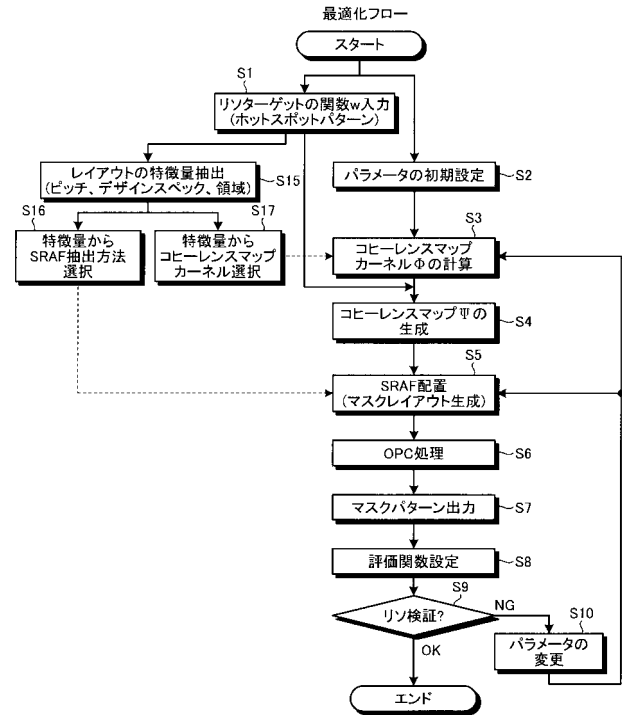
【図 11】



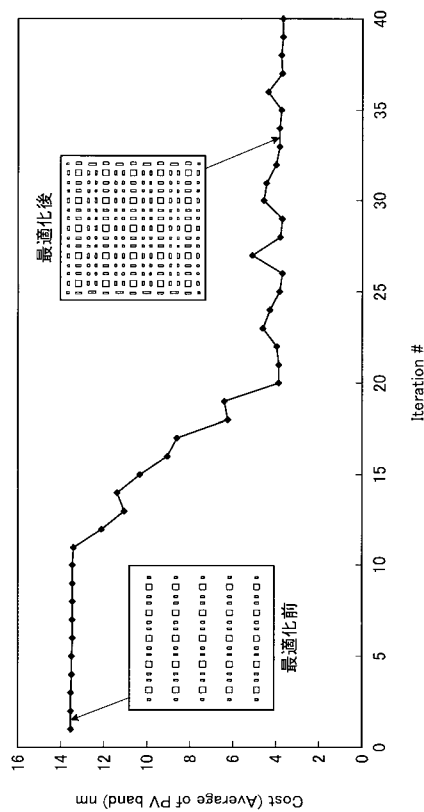
【図 13】



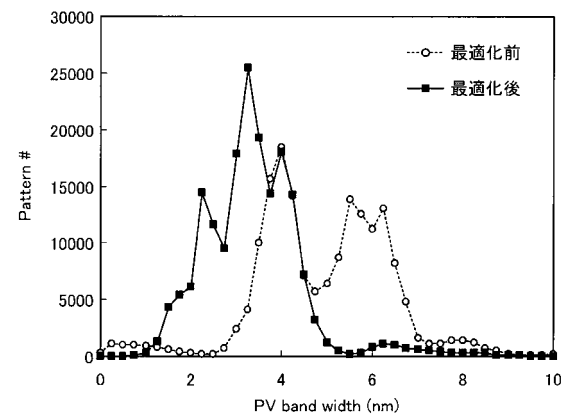
【図 14】



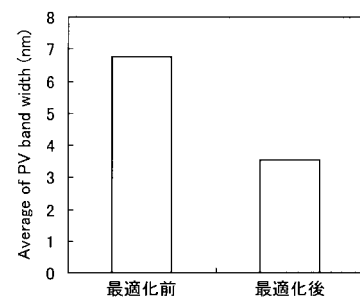
【図 15】



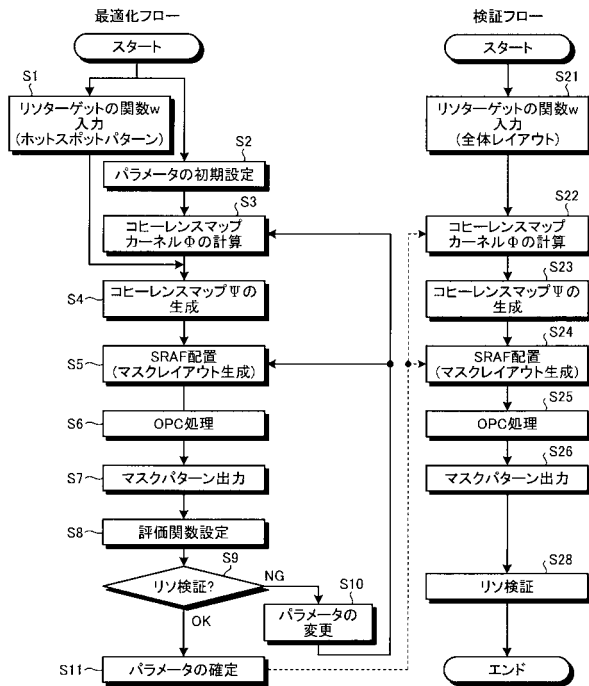
【図 16】



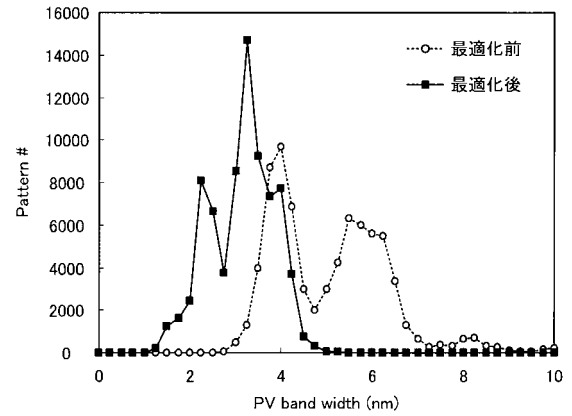
【図 17】



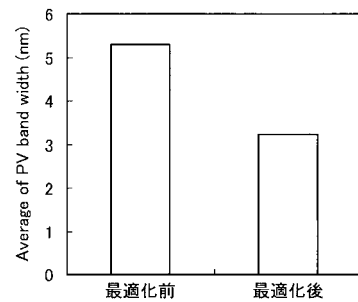
【図 18】



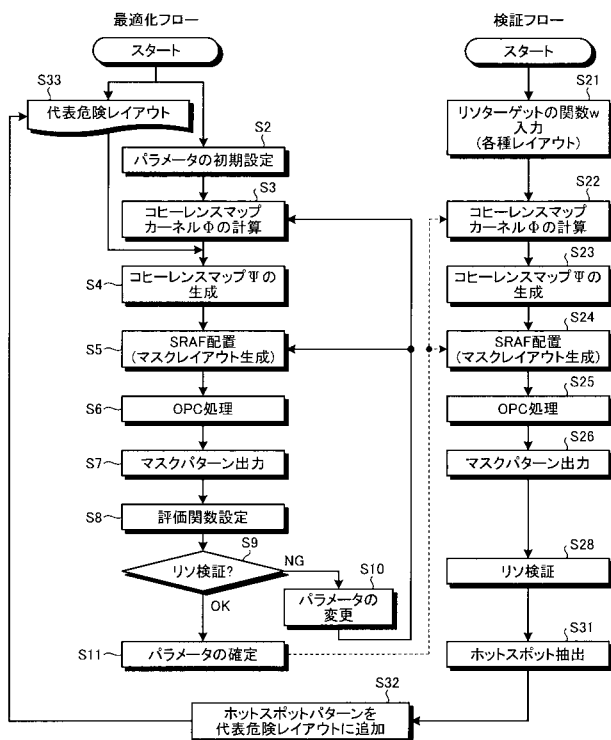
【図 19】



【図 20】



【図 21】



【図 5】

